

も く じ

■開催日時：2017年3月18日（土） 10:00～17:00

於：北九州市立大学 北方キャンパス 本館（福岡県北九州市）

■テーマ：—安心・安全な社会に貢献する教育システム—

—プログラミング・情報技術教育に関する実践・支援システム—

- 1) 保育士養成の学習支援システムと 授業プログラムの開発およびシステムの評価 ----- 1
○館秀典（東京福祉大学），矢野景子（東京福祉大学），立野貴之（松蔭大学）
- 2) 看護の安全教育における動画教材を利用した学習支援システムと授業プログラムの開発----- 5
○立野貴之（松蔭大学），館秀典（東京福祉大学），風岡たま代（松蔭大学）
- 3) 読み手情報の提示方法の違いが操作説明に与える影響----- 11
○成田佳加，富永敦子（公立はこだて未来大学）
- 4) HMM を用いた指揮者による表現指示動作の識別 ----- 19
○古川絵梨，真嶋由貴恵，泉正夫（大阪府立大学）
- 5) 視線情報を省察することによるパイロット訓練生の操縦技能の向上----- 23
○芳賀瑛（法政大学情報メディア教育研究センター），遠藤信二（法政大学理工学部），
柴田東作（法政大学理工学部），森田進治（法政大学理工学部），新井和吉（法政大学理工学部），
常盤祐司（法政大学理工学部）
- 6) VDT 機器を使用する学習環境におけるストレス検知のための動作認識 ----- 31
○延知奈美（大阪府立大学），泉正夫（大阪府立大学大学院），真嶋由貴恵（大阪府立大学大学院）
- 7) ロボットを活用した小学生のための認知症サポーター育成教材の開発と評価----- 37
○村嶋琴佳（大阪府立大学），真嶋由貴恵（大阪府立大学），栢田聖子（関西医療大学）
- 8) 高齢者を対象としたロボットを用いた健康促進教材の設計----- 45
○玉井臣人（大阪府立大学），真嶋由貴恵（大阪府立大学），菅秀樹（関西電力研究開発室技術研究所），
井上修紀（関西電力研究開発室技術研究所）
- 9) 災害時避難行動の指針習得のための逆思考問題による学習支援方式の検討
—発話思考法による問題解決過程の分析—----- 49
○久山勝生（関西大学大学院），池内惟真（関西大学），北川悠一（関西大学大学院），
田中孝治（北陸先端科学技術大学院大学），池田満（北陸先端科学技術大学院大学），
堀雅洋（関西大学大学院）

10) 野外において主体的な避難行動を促すシナリオベース学習支援システムの開発とその評価	57
○島山久 (首都大学東京, 東京工業大学大学院), 永井正洋 (首都大学東京), 室田真男 (東京工業大学)	
11) 考えさせる ICT 活用型避難訓練の実践	65
○光原弘幸 (徳島大学), 井上武久 (オプトピア), 山口健治 (オプトピア), 武知康逸 (オプトピア), 森本真理 (オプトピア), 井若和久 (徳島大学), 上月康則 (徳島大学), 獅々堀正幹 (徳島大学)	
12) 大学生の学校安全意識に関する研究	73
○沖林洋平 (山口大学)	
13) 情報モラル行動における知識と行動意図の不一致の自覚を促す教育プログラムの提案と評価	81
○田中孝治 (北陸先端科学技術大学院大学), 三輪穂乃美 (関西大学大学院), 池田満 (北陸先端科学技術大学院大学), 堀雅洋 (関西大学大学院)	
14) 情報モラル教育における ERICA (リアルタイム感性評価システム) 活用による効果の検証	89
○豊瀬仁須 (田川市立田川中学校), 松田昇 (テキサス M&A 大学), 西野和典 (九州工業大学), 浅羽修丈 (北九州市立大学)	
15) 論文推薦ソフトウェア「研究のネタ帳」の開発と評価	97
○大川内隆朗 (帝京大学), 平野智紀 (内田洋行教育総合研究所), 舘野泰一 (立教大学)	
16) 遠隔プログラミング教育環境の構築	105
○那須靖弘 (大阪滋慶学園)	
17) IoT 時代に資する「ものグラミング」教育の開発と実践	113
森祥寛 (金沢大学), ○大野浩之 (金沢大学), 北口善明 (金沢大学), 中村和敬 (ユニバーサル・シェル・プログラミング研究所), 石山雅三 (ユニバーサル・シェル・プログラミング研究所), 松浦智之 (ユニバーサル・シェル・プログラミング研究所)	
18) IoT を適用したプログラミング実習の設計: 初学者・経験者レベルでの実践	119
○山川広人, 小松川浩 (千歳科学技術大学)	
19) 生徒の苦手知識を個別に可視化する学習ドリルの開発	125
○澤山郁夫 (大阪大学), 高松昭彦 (丹波市立柏原中学校), 寺澤孝文 (岡山大学)	
20) はんだづけから始める大学生への情報の基礎的知識学習の教育効果 ～プログラミングの基礎的理解を含めた体験的学習～	129
○時田真美乃, 長谷川理, 不破泰 (信州大学)	

21) e-ラーニングによる情報リテラシー講義の実践と分析	137
○山口真之介 (九州工業大学 学習教育センター), 大西淑雅 (九州工業大学 学習教育センター), 西野和典 (九州工業大学)	
22) C 言語プログラミング教育における反転授業の実践	143
○小島篤博 (大阪府立大学大学院)	
23) クリティカルシンキング能力測定のための項目反応理論に基づいた尺度開発	151
○若山昇 (帝京大学, CRET), 宮澤芳光 (東京学芸大学), 梶谷真司 (東京大学), 植野真臣 (電気通信大学)	
24) 項目反応理論に基づき学習支援を行うプログラミング演習用穴あきワークシートシステムの評価	159
○榎本命, 宮澤芳光, 宮寺庸造, 森本康彦 (東京学芸大学)	
25) プログラミング学習尺度 (試行版) の作成	167
○富永敦子, 内山芳紀 (公立はこだて未来大学)	
26) 大学の教養教育におけるプログラミング教育で育成される能力の分析	175
○吉田典弘 (関西学院大学, 東北大学大学院), 篠澤和久 (東北大学大学院)	
27) PPL システムにおける偽答生成機能の開発	183
小久保柁宏, ○上倉諒佑, 布広永示 (東京情報大学)	
28) JavaScript を使った 1Day プログラミング教室用教材の開発と試用	189
○室谷心 (松本大学総合経営学部), 矢野口聡 (松本大学松商短期大学部), 林大輔 (長野県諏訪実業高等学校)	
29) 思考スキルと個人特性に着目した小学校におけるプログラミング教育の長期間経過後の効果の分析	195
○荒木貴之 (武蔵野大学), 板垣翔大 (東北大学大学院情報科学研究科), 齋藤玲 (東北大学大学院情報科学研究科), 佐藤和紀 (東北大学大学院情報科学研究科), 東京都杉並区立高井戸東小学校), 堀田龍也 (東北大学大学院情報科学研究科)	
30) 初学者を対象とした授業用プログラミング学習環境の構築	203
○布施泉 (北海道大学), 中原敬広 (三玄舎), 岡部成玄 (北海道大学)	
31) プログラムにおける構造的理解のための部品の段階的拡張手法の提案とそのシステムの開発	211
○古池謙人, 東本崇仁 (東京工芸大学)	
32) プログラムの動作理解を表出する課題の実践と評価	219
○山本樹 (尚美学園大学), 國宗永佳 (信州大学), 華山宣胤 (尚美学園大学)	

33) 内省を指向したノートリビルディングシステムの蓄積機能及び関連付け機能開発	227
○小山俊哉, 東本崇仁 (東京工芸大学)	

保育士養成の学習支援システムと 授業プログラムの開発およびシステムの評価

舘 秀典^{*1}, 立野 貴之^{*2}, 矢野 景子^{*1}

^{*1} 東京福祉大学, ^{*2} 松蔭大学

Development and evaluation of learning support system for nursery teacher Coursework

Hidenori TACHI^{*1}, Takashi TACHINO^{*2}
, Keiko YANO^{*1}

^{*1} Tokyo University of Social Welfare, ^{*2} Shoin University

本稿では、動画教材の保育士養成への活用を目指し、学生の意識と教員の意識を視覚化し、その結果を比較することで振り返りが行える学習支援システムの開発と評価を行った。本システムは、学生が保育の現場で遭遇する、事前に気づいて介入したほうが望ましい場面を提示し、学生に教員との意識の差を思考させることができるものである。学生は動画の視聴中に気づきが生じた時点で画面上のボタンを押下しコメントを入れる。動画視聴終了後に学生が意識したタイミングと教員との意識の差を確認することで振り返りを行う。教員は各々の学生が意識したタイミングを管理画面から把握することが可能である。本研究は、学生が教員と共に、保育士として現場で遭遇する状況における介入のタイミングや理由について考える学習を支援できると考える。複数の大学の授業担当者による評価では、学生の主体的な学びを促進する、システムを授業に利用したいとの評価が得られた。

キーワード: アクティブラーニング, 保育士養成, e-Learning, 学習支援, 気づき

1. はじめに

本稿では、保育士養成の授業における、e-Learningの利用状況、教育方法や教材に関して過去の知見から得た事例を検証した。そして、学習支援をするための演習補助システムを開発し、保育内容（環境）の「安全と環境」における授業プログラムの検討を行った。

今回開発したシステムは、保育におけるアクティブラーニング形式の授業を補助するものであり、学生は授業前にストーリーミング形式で動画を視聴し、各ポイントにおいて気づきとコメントを付与する。コメントやタイミングはサーバ上に集計され、授業では学生と教員、現場の保育士との意識内容の差が確認できる。この演習補助システムによって学習前後の姿勢や意識を確認することによって、気づきや考え方に変化が生

じる事が期待される。

2. 先行事例および研究の背景

各教育分野においては、CAI (Computer Aided Instruction) や e-Learning, 携帯電話やスマートフォンによるモバイルラーニングなどの学習サポートによる e-Learning 学習サポートの事例もある。一方で、保育士養成における教育の分野では Web ベースでの授業資料の配信の報告が散見されるが、e-Learning ではなく、あくまで配信にとどまっている。現職者研修においては、研修内容のコンテンツの配信が行われており、映像を通して、質を高める取り組みはされているが、こちらにおいても一方行の配信にとどまっている。

また、最近の学生の傾向として授業に対して受け身である事が多く、保育実習を目前にしても現場に出る

という意識はそれほど高くない学生も見受けられる。

養成校である本学においても、常に現場を意識させた授業を行うべく、学内のFD(Faculty Development)等では教員の授業における工夫の一つとして、学生の持っているスマートフォンを利用させたいという意見も見受けられる。

本研究では養成校における保育実習前の授業において、気づきや考え方・意識を視覚化し、グループワーク演習を通して学べる支援システムを開発した。

3. 保育士養成の学習教材支援システム

本システムは、動画視聴後のグループワークを通じて学生が気づきを得られる効果的な仕組みであり、教員や学生にとって機能的な学習環境を提供する。

本システムの特徴は以下の4つである。

1. 動画の視聴中に、気づきのタイミングとコメントをその場で付与できる。
2. 他の学生、現場の保育士、授業担当教員の気づきのタイミングとコメントをタイムラインで視覚的に提示し自身との比較が可能である。
3. 付与したタイムライン上のポイントをクリックすると、数秒前から動画再生が可能である。
4. 初回の動画再生でのみ、気づきのポイントを付与できる。2度目の以降の再生は、「見逃したボタン」のみ押すことができる。

本システムの利用方法の一例を挙げる。学生は、パソコン、または、スマートフォンのブラウザを利用し、動画教材を視聴して事前学習する。本学習支援システムは、保育士養成のカリキュラムにおける実習前指導の授業での利用を想定しており、学生は授業前に動画視聴によるシナリオ学習を行い授業に臨むアクティブラーニングの形式をサポートするものである。



図 1 学生の授業前視聴画面

学生は事前学習として、現場の園児の一日の一部を撮影した動画を本システムによりストリーミング形式で視聴し、保育士の立場としての介入、または声かけが必要であると考えられる場所で、画面上の「気づきポイント」ボタンをクリックする。

ボタンを押し損ね、動画の視聴を継続する中において、介入または声かけをすべきだったと後から気づいた際には、気づいたときに画面上のもう一方の「見逃した」ボタンをクリックする。これにより、遅れてしまったが声かけすべきであった事に気づいたという意思表示となる。いずれかのボタンをクリックすると動画が一時停止され、そのボタンを押した理由を記載するコメント欄がポップアップされ、学生は、なぜその時点で介入が必要であったのかの理由をメモとして記載する。記入したコメントは、画面右に時間とともに追加表示される(図1)。

気づきに関するボタンをクリックしたという情報およびコメントは、動画のタイムライン上にタグ付けされ、リアルタイムにサーバ上に送信される。また、一通り動画を見終わると、再度最初から再生することや、ボタンを押下した場所を数秒前から再生し見直す事が可能となるが、その際はいずれの気づきのボタンも押下できない仕様とした。これは、2度目の視聴で気づきを意思表示する事は、先に答えを観た後に回答を行うようなものであり、学生の気づきそのものを反映していないためである。またこのような制限を課す事で、映像視聴に対する学生の注意力を高める事にも役に立つ。実際に保育の現場では時間を遡って介入することはできないため、日頃から常に注意関心を向ける意識の向上にも役に立つものと思われる。

教員用の画面には、各々の学生が付与した気づきのタイミングを一覧で表示する事ができる(図3)。タイムライン上のポイントを比較し、タイムライン上のマーカーをクリックする事で、3秒前から再生する事が可能である。これにより気づきのタイミングの違いや気づきの理由を確認する事ができる(図2)。



図 2 自分と他者との気づきのタイミングの比較



図 3 学生の気づき一覧

4. システムを活用した授業プログラム

本システムは、様々な用途に応用可能であるが、今回は保育士養成校における授業「保育内容」に対するプログラムを作成した。「保育内容」は、「環境」、「言葉」、「健康」、「人間関係」、「表現」の5領域に分かれている。実践の一例として、「環境」において本システムを活用した授業プログラムの事例を説明する(図5)。

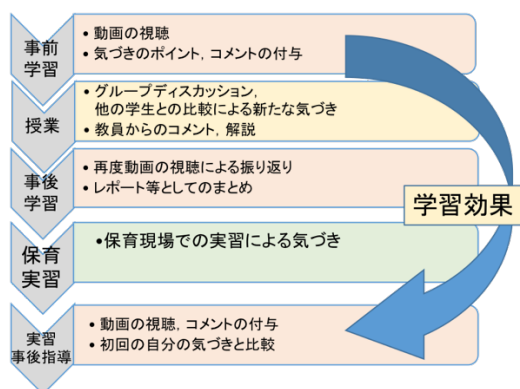


図 5 システムを活用した授業の流れ

本授業プログラムは、保育士養成のカリキュラムにおける実習前指導の授業での利用を想定しており、教材として保育の現場における実際の様々なシチュエーションの動画を利用する。そのため、既に基本的知識を習得し、現場での実習を目前に控えている学生を対象としている。

事前学習として、学生は前述にて挙げた本システムの機能を利用し、自らの気づきとコメントを記述する。

授業においてはグループワークを行い、学生はグループ内の学生の気づきのタイミングとコメントをもとに気づきの違いや理由を話し合い、その後、教員や現場の保育士の気づきのタイムラインとコメントを表示し、学生自身のものと比較させる。登場する園児の背

景によって様々な状況が考えられるが、子どもの生活場面や活動場面から、保育環境構成の視点についての気づきを共有し、人それぞれに気づきのタイミングの違いや、考え方の違いが存在する事に気付かせ、なぜ差が出たのかをグループワークによるディスカッションを通して考えさせる。その中で、保育者としての介入、声かけのタイミングを意識させ、改めてその根拠(理由)を記述、語るよう促す。その後、教員は援助のタイミングと理由を説明する。

授業後は、授業中のディスカッションの内容や、動画に付与された他の学生のコメントをもとにレポートとしてまとめる。幾度かの授業の後、保育の現場実習に出て新たな気づきを得た学生は、実習の事後指導において再度本システムを利用する事で、実習前の自分の気づきと実習後の気づきを比較する事により、学生は自分自身の成長に気づく事ができる。

このような授業実践が、事前学習⇒講義⇒事後学習といった学習の流れを支援するだけでなく、学生の思考を促し、保育士としての安全と環境におけるリスクマネジメントに対する姿勢や意識に影響を与え、現場を意識した保育士を育成することが期待できる。

5. システムの評価

本システムの評価として、4大学の教員5名に対しアンケート調査を行った。評価者は全員、授業「保育内容」を担当している教員である。

5.1 調査内容

本システムの特徴に関する各機能、本システムを授業に利用する事に関して有効であるか、自分の授業で使いたいかについて5段階で評価を行った(表1)。

表 1 機能に関する調査項目

全体的なインターフェースの使いやすさについて
2度目以降の視聴では、気づきボタンが押せない機能について
「見逃した」ボタンの有効性について
ユーザー間の気づきのタイミングが比較できる機能について
学生が付与した各ポイントから再生できる機能について
本システムは学生の主体的な学びを促進するものとなるか
本システムを利用したいと思うか

その他、「コメントを付与するタイミングは再生の都

度が良いか、視聴後に各ポイントについて振り返りながら付与するのどちらが良いか、またその理由、「追加する機能にはどのようなものがあるか、またその理由」についても調査を行った。その後、フリートーク形式にて、本システムについて自由に語ってもらった。

5.2 調査結果

調査の結果、「見逃したボタン」の機能以外について、各項目平均 4.8 以上の評価を得る事ができた。また、「授業の活性化に繋がるか」、「利用したいと思うか」については、全ての教員から「そう思う」との回答を得た。

ほぼ全てに対して評価が高かった理由として、これまでの講義形式の保育の学習補助教材とは違い、教材が主体では無く学生が主体で自ら意見を出せる事、「気づき」という事が保育にとって大切であり、それを表出できるシステムである。という事が、アンケート後の会話に現れていた。

また、コメントを記述するタイミングに関して現場の教員からの視点においては、「気づきがあった際に、その時々気づきを大切にしたい」、「全体を通した中における、その場の気づきにしたい」と双方の意見があった。この要望に対応すべく、各タイミングに対するコメントは、視聴後に編集では無く追記できる機能を付加することで対応する。これは、その時点での気づきと、全体を通して見た後での気づきの違いも記録するためである。

「見逃したボタン」機能に関しては平均 3.3 という評価であったが、その理由として、「何度も動画を見返す度に気づきが増えていく事は保育分野における学習では望ましいことであり、見逃したという表示は良いとは思わない」というものであった。これについては、複数回の視聴において、何度目の再生での気づきを同時に記録する事で、学習者の気づきが深まる事をデータとして採る機能として新しく実装したい。その他、学生が付けたコメントを整理できる機能の要望などが挙げられた。

6. まとめと今後の課題

本研究では、過去の事例より問題点および課題を挙げ、保育士養成教育を支援するシステムの開発、授業

プログラムの検討と、システムの評価を行った。

本システムを利用する事で、学生自身が気づきを意識し、教員や現場の保育士との意識の差を客観的に確認し、現場での実習の際により多岐にわたる考えを促進できるのではないかと考える。動画を注意深く視聴し、リスクマネジメントに対する感性を身につける授業計画において、本システムが有効的に支援することが推測される。また、動画を利用した教育は実施の頻度が高いものの、その可能性を従来の e ラーニング研究では、捉えきれていない部分も多いと考えられる。これを明らかにすることは、保育士を目指す学生を対象とする教育研究の先駆けになると考える。

授業設計をするうえでの一つ目の課題として、共通する活動プロセスの構成を明らかにし、学習目標との対応関係を明らかにする必要がある。二つ目の課題は、システムの利用・運用に関してである。過去の知見で示された指導上の配慮点を整理し、実践を通して必要な学習環境を整えられるようにする。

今後、開発したシステムを保育士養成の授業において利用し、利用した学生の現場実習を終えた時点で再度利用することで、気づきや考え方に変化が生じたのか意識調査や評価、考察を行う。また、繰り返し行う評価の結果により、システムの改良を行っていく。

参考文献

- (1) 伊東知之, 大野木裕明, 石川昭義: “保育実習生のヒヤリハット認知を高める教材開発研究”, 仁愛大学研究紀要. 人間生活学部篇 4, 39-52 (2013)
- (2) 佐々加代子: “保育におけるメディアの利用 II”, 放送大学研究報告 26, 300-310 (2001)
- (3) 清水里美, 吉島紀江, 志澤康弘, 藤本史: “保育士養成課程における実習指導上の留意点: 施設実習の事前指導における教育内容の検討”, 平安女学院大学研究年報 13, 19-28 (2013)
- (4) 館秀典, 立野 貴之, 矢野景子, 河合光利: “保育士養成の学習支援システムと授業プログラムの開発”, 第 41 回教育システム情報学会 全国大会 講演論文集 293-294 (2017)
- (5) 野上俊一, 野中千都, 山田朋子: “看図アプローチを用いた保育者志望学生の見る力の分析”, 中村学園大学発達支援センター研究紀要 7, 45-50 (2016)

看護の安全教育における動画教材を利用した学習支援システム と授業プログラムの開発

立野貴之^{*1}, 舘秀典^{*2}, 風岡たま代^{*1}

^{*1} 松蔭大学, ^{*2} 東京福祉大学

The Development of Learning Support System for Safety Education in Nursing Coursework

Takashi Tachino^{*1}, Hidenori Tachi^{*2}, Tamayo Kazaoka^{*1}

^{*1} Shoin University, ^{*2} Tokyo University of Social Welfare

本稿では、動画教材の看護教育への活用を目指し、学生の意識と教員の意識を視覚化し、その結果を比較することで振り返りを行える支援システム開発と、システムに対応した授業プログラムを提案する。動画による学習支援は有用であるが、教育現場で実際に用いる場合には様々な課題がある。そこで、看護学生（以下、学生）の動画によるシナリオ学習の動画視聴終了後に、学生がリスクに対して意識したタイミングと教員との意識の差を確認することで、振り返りを行うシステムを開発した。本システムでは、学生が学習すべきであっても、その機会が制限される看護場面や対処するには難度が高く複雑で困難な看護場면을提示し、学生にリスクに対する教員との意識の差を思考させることができる。また、教員は学生が意識したタイミングを、管理画面から把握することが可能であり、学生が教員と共に看護介入の方法を考える実践の支援ができる。

キーワード: 看護教育, 動画教材, 学習支援システム, 授業プログラム

1. はじめに

看護教育では、知識だけでなく安全面への姿勢や意識を習得することが重要になる。しかし、学生がこういった姿勢や意識を身につけるには、特別な研修や経験を積む必要があり、知識習得を主目的にする既存の講義だけでは対応できない。実際の臨床場面と講義や演習といった教育を結びつけるために、シミュレーションなどの体験学習が注目され、看護教育の分野では動画を利用した実践の評価も高い⁽¹⁾。

看護教育で動画視聴教育が取り入れられている理由は、良質で安心・安全な医療提供のできる人材が必要とされ、看護師は専門的な知識と技術、姿勢を持ち、臨床で活かせる実践力が必要とされるからである。そのため、動画視聴による自身の意識や対応を振り返り、それを表現するスキルが養えるものと考えられる。一方、国内でのシミュレーションによる教育や研

究は、スキルアップや技術習得を目指したものが多く、近年米国で行われているようなヒューマンエラーの分野での研究⁽²⁾は未だ少ないのが現状である。その中で、Kazaoka (2007) らが報告した研究⁽³⁾などから、意識や対応の振り返りを目的とした看護教育の必要性が明確となり、看護におけるヒューマンエラー防止のためのシミュレーションによる安全教育の学習環境の開発を進めている。著者らの一連の研究では、授業設計における共通する活動プロセスの構築と学習目標との対応関係を明確にすることを課題としていた⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

本稿では、看護教育の分野で行ったeラーニングの利用状況、教育方法や教材に関して、過去の知見から得た事例を検証した。そして、看護の安全教育を支援する動画教材支援システムと、共通する活動プロセスを明確にした授業プログラムを開発した。

開発したシステムは、講義や動画配信教材による学

習を補助するものである。学生は、動画配信教材によって、教員から知識を確認するための質問が行なわれ、回答により学生と教員の意識内容の差が確認される。

このシステムは、学生が学習前後の姿勢や意識の変化を確認することも可能であり、看護の臨床を再現したものを利用した演習の効果判定などへの運用も期待される。

2. 研究の目的と背景

2.1 過去の知見

看護の臨床で起こるアクシデントやインシデント⁽⁶⁾は、ミスメイク、スリップ、ラプスに分類されるが、要因は様々である。特に、ミスメイクは知識や経験不足で生じることが多く、学生や新人看護師の実践力向上のために有効な学習方法が画策されている。例えばシミュレーション教育⁽⁷⁾があるが、風岡らは、学生同士のロールプレイ⁽⁸⁾や、その効果の調査⁽⁹⁾、シナリオの妥当性の検討⁽¹⁰⁾などを示している。最近では、CAI (Computer Aided Instruction) やeラーニング、携帯電話やスマートフォン（以下、ケータイとする）によるモバイルラーニングなどの学習サポートによるeラーニングでの学習プログラムや、新人研修プログラムの事例もある⁽¹¹⁾⁽¹²⁾。

eラーニングを利用した学習形態の一つとしてブレンディッドラーニングがある。ブレンディッドラーニングは、「対面授業とeラーニングを融合させた学習」と定義され、情報学の分野で実践と評価に関する報告がなされている。看護教育の分野ではWebベースの授業資料の配信の報告が散見されるが、動画教材コンテンツの配信、予習テスト、復習テストを授業前後で活用して講義と演習において有効性を示している⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾。

2.2 開発したシステムの特徴

過去の研究により、看護分野教育におけるeラーニングやブレンディッドラーニングの活用に向けての知見が得られた。eラーニングと対面授業を融合させたブレンディッドラーニングは、学生の利用状況と自己評価、および筆記試験や実技試験による学習評価効果が示されている。特に、対面授業の前後に学生が予習・復習、動画の視聴を授業時間外で可能とすることが評価の要因とみられる。

しかし、過去の知見によるシステムでは、個別学習の利用状況から学習評価を検証し、知識学習への影響やシステムへの評価と合わせて考えると、看護の安全教育においてシステム支援が十分であるとは言いきれない。学生のeラーニングの学習活動にフィードバックを与え個別学習を促進させるだけでは、姿勢や意識を変容させるほどの経験としては不十分である。つまり、従来のシステムを利用して体験学習を行うとしても限界がある。

看護における安全教育を効果的に進めるためには、姿勢や意識を身につけることにあり、ディブリーフィングの教育を視野に入れることが重要であると考え。そこで、学生の意識と教員の意識を視覚化し、その結果を比較することで振り返りを行える支援システムを開発した⁽⁴⁾。

2.3 本研究の着想

看護分野の教育における先行研究では、ヒヤリハットやインシデントレポートを用いた事例検討、グループワークでディブリーフィングを行う授業として取り入れた報告がある⁽¹⁵⁾。臨床で、たまたま未然に防ぐことができたエラーはあったが、患者の障害まで至らなかった場合に、看護師がヒヤリとした経験、ハットした経験が多くある。この経験は、適切に処理が行われなければ医療事故になる可能性がある事象として「ヒヤリハット」と呼ばれる。看護実習では、学生がこのヒヤリハットを経験することは少なくないものの、仮にヒヤリハットがあっても気づかない学生も多くいる。

これらの事例検討や学習は、実際に起きてしまった事柄の振り返りを中心とした学習であり、ヒヤリハットを起こさないように、また、起こった時にどのような対処をすればよいか、といった危険を予測した教育の視点に欠けている。そのため、授業において、安全のための知識や技術にとどまらず、それを現実の場で危険予知ができるような思考の演習を含めた学習が必要である。

学生であっても経験が多くなれば、ヒヤリハットも相関して機会は増える⁽¹⁶⁾。アクシデントになる前に、気付けば未然に防ぐことができるヒヤリハットを経験することで、安全な看護技術が身に付いていくと考えられる。そのため、学生が看護技術を体験するときに

は、教員や実習指導者が患者の状態や行動特性を予測して学生に伝えておくことや、行うとする看護技術のイメージトレーニングをあらかじめ行わせることが必要である。

看護分野の教育でも、動画教材を利用した学習効果を高めるために、教育システムの利用は重要視されている。しかし、学生がヒヤリハットを経験し、彼らの姿勢や意識につなげるための支援をするシステムを利用した教育実践は、簡単に準備は出来ない。本システムは、動画視聴後のディブリーフィングを通じて、気づきが得られる効果的な仕組みであり、教員や学生にとって機能的な学習環境を提供する。

3. 看護の安全教育教材支援システムと授業プログラムの開発

3.1 看護の安全教育教材支援システム

図1は、システムの動画視聴の画面である。学生は、パソコン、または、ケータイのブラウザを利用し、動画教材を視聴して学習する。



図1 動画視聴の画面

学習支援システムの使い方としては、学生が動画視聴によるシナリオ学習で、シナリオ内の患者の対応に異変を感じたら、選択肢からボタンをクリックする、というシンプルなものである。学生は、動画視聴をしながら、アクシデントが起こるリスクの原因と考えられる個所で、ボタンをクリックする。また、そのリスクの重要度に応じて、ボタンを選択する。重要度のボタンは、「重要度A：直接原因」「重要度B：間接原因」「重要度C：間接要因」「重要度D：ヒヤリ」とした。

既に時間が過ぎてしまったが、後からリスクを察知し場合は、「ヒヤリ」ボタンにより、察知を示すことができる。ヒヤリは、後からエラーはあったことに気付いた時に使用し、クリック後に、その後の対処をテキストで入力する画面が表示される。そこで、リスクの察知を明確に示すために、テキスト入力画面が現れ、既に起きてしまったインシデントに対して対応するシミュレーションができる。

クリックした情報は、どの時点に関連する指摘であるかを判別するために時刻を指摘情報として記録し、タイムライン上にタグ付けされる。タグ付けをタイムライン上で可視化し、学生が意識したリスクの情報を明確にする。タグ付けした映像のタイミングはワンクリックで確認することが可能で、学生は動画視聴終了後に、自分が意識したタイミングと教員とのリスクを感じる意識の差を振り返ることができる。また、教員は学生の意識するタイミングを、システムの管理画面で把握することが可能である。

管理画面では、あらかじめ教員がリスクを察知すべき箇所を設定しておき、学生がリスクを察知したタイミングに差異があることを、教員は確認するだけでなく、学生に見せることで振り返り学習に利用する。学生が学習しておくことが望ましいがその機会が制限される看護場面、あるいは対処するには難度高く複雑で困難な看護場面を提示し、状況について教員とのリスクに対する意識の差を思考することによって、看護介入の方法を考えることを支援する。

3.2 安全教育教材

動画の学習支援は非常に有効である一方、授業で実際に利用する場合には、内容の検討が必要である。安全看護における授業の中で本システムを利用する場合は、教材として気づきに必要個所が含まれている必要がある。また、現場の再現性と忠実度が高いシミュレーションも期待されるが、教育的には問題の焦点が絞り切れないといった観点から、こういったものが必ずしも効果が高いわけではない。このことを考慮し、動画撮影を実施した。動画シナリオの例を表1に示す。

表1 動画シナリオの例

Aさんは、手術後の経過を確認するために、午後14時検温のあと、CT検査に行くこととなった。検温での、KT36.8℃、P.72、血圧

	116/68mmHg、SPO298 で、頭痛などの症状もなかった。看護学生は、車椅子の移送は、過去に経験はあるものの、A さんを車椅子で移送するのは初めての体験である。
看護師	「学生さん、AさんがCT 検査に行くことになりました。一緒に行きましょう。車椅子で行くことになっているので、準備して下さい。」
看護学生	「わかりました。」 車椅子の定位置に行き、車椅子を広げ処置室前まで移動し、処置室前で止めてストッパーをかけた。
看護学生	処置室で必要物品（ひざ掛け、ウェルパス(手指消毒)、チューブ鉗子、ガーゼ、尿バックカバー)の準備をして、車椅子の上に乗せた。
看護学生	車椅子を広げ、トレイを座面に乗せて、 「看護師さん、準備ができました。先に行って、準備をしています。」と看護室で声をかけた。
看護学生	車椅子を押し、病室にいき、カーテンを閉める。
看護師	病室にきた看護師は、 「Aさんこれから車椅子でCT検査に行きます。」
Aさん	「よろしくお願いします」
看護師	ベッドのストッパーを外し、車椅子が入るようにベッドを移動し、ベッドのストッパーを確認する。 左頭側に車椅子をベッドに対し20～30度の角度に設置する。できる限り車椅子とベッドの距離は短くする。車いすのストッパーを確認する。フットレストはあげておく。
看護学生	オーバーベッドテーブルの上に、準備した物品を置き、テーブルが邪魔にならないように移動した
看護師	「ベッドを少し下げますね。」とベッドの高さを足底が床につく程度に調節する。
看護師	点滴架を車椅子の背もたれ側に移動する。 車椅子を配置した側と反対側のベットサイドに 尿道留置カテーテルをチューブ鉗子でクランプし、車椅子の配置側のベットサイドに移動する。
看護師	「体を起こします」といって、電動ベッドで少しずつ患者の頭を上げ、「気分はいかがですか？めまいはしませんか？」と確認した。Aさんを端座位にして、「柵につかまって」といい、足が床についていることを確認する。スリッパを履かせる。座位の安定を図る。
看護師	身体を「起こしますね」といって一緒に体を起こす。「車椅子に移ります」といって右側の足を奥側のフットレストの近くまで前に出す。右側で奥側のアームレストを掴んでもらう。車椅子に座れるように方向転換を行う。
看護師	点滴スタンドを看護師の邪魔にならない位置に移動し、車椅子の背もたれ側に立ち、Aさんに「腕を組んでください。看護師が後ろから、体を引き上げます。」と声かけをする。
看護師	Aさんの両腋窩から腕をつかみ、 「Aさん、前傾姿勢になって下さい」と説明し、Aさんの身体を引き寄せ車椅子の座面に深く座らせる。
看護師	フットレストに足が乗っていることを確認をする。
看護師	点滴スタンドを A さんの前側に移動させ、フットレストの間に設置する。蓄尿バッグは車椅子の車輪に巻き込まれない位置で暴行より低い位置にフックで吊るす。
看護学生	ひざ掛けを膝にかける。
看護学生	車椅子ストッパーレバー解除し移送する。

シナリオ作成に関しては、看護基礎教育で使用するシミュレーション作成の必須内容を明確にするため、医療事故の分析、研究、教育に携わる病院の医療安全看護師らの調査を基に作成をした。また、看護場面を再現する臨床場面を、学生と看護教員のロールプレイによってシミュレーションの実効性を確認した。

表1の動画教材は、新人看護師のインシデント分析の結果および看護の安全教育に期待する教育内容であ

る。安全看護教育における技術を含めたシナリオを撮影した動画は、シナリオ内の看護師の行動において、ヒヤリハットが含まれたシナリオを合わせた教材であり、成人看護の授業に対応するための構成である。動画により、学生が気づきを得ることや、教師からの問題点の指導を正確に行うため、複数の手本となる動作と、事故につながる可能性のある動作を動画の中で視聴できる必要がある。これにより正確な指導や、学生の気づきにつなげることが可能になると、考えられる。

3.3 システムを利用した授業プログラム

実践の一例として、授業プログラムの事例を説明する。授業では、安全看護を実施するための方法を理解し、動画視聴によるリスクに対する意識チェックを事前に行うことを前提に、授業を構成した(図2)。

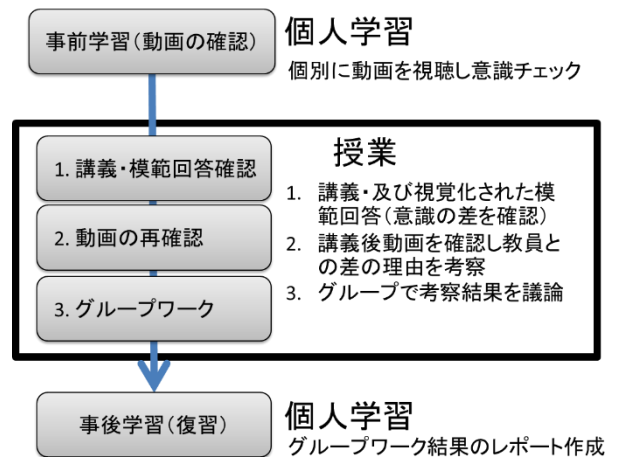


図2 授業プログラム

教室での講義は、基本的知識、根拠や留意点を学習内容とし、講義を受講する前に自身の意識がどのようなものか、事前学習課題として提示する。事前学習は、個別に取り組みめるよう講義前から各単元の動画に再度アクセスができるようにする。学生は事前に動画視聴をしてリスクを感じた部分で、重要度 A から D のボタンをクリックする。

授業では、あらかじめ教員が設定しておいた、事故原因と関連する部分を比較した資料を配布する。配布資料は、学生と教員がクリックした部分の差が明確になるような資料とする。教員の模範回答(教員が察知したリスク)と学生の回答にどの程度の差があり、なぜ差が出たのかを考えさせる。そして、講義と資料をもとにディブリーフィングを行う。実際のシミュレー

ジョン動画を見ただけでは、学生はその立場が許容する部分しか確認できない。シミュレーション後のディブリーフィングを通じ、自己の意識を客観視し、その中から気づきが得られることが推測される。

授業時間外に自主的にインターネットを経由して講義の事前学習を可能にし、自宅や学外のPC、ケータイからも閲覧可能にしておく環境を整える。学生自身が講義での実施内容を振り返り、時間外での予習・復習の必要性を認知できるように、システムは効果的なリフレクションの仕組みを備えている。そして、授業で行ったグループワークの結果をレポートなどにまとめる事後学習を取り入れる。このような授業実践が、事前学習⇒講義⇒事後学習といった学習の流れを支援するだけでなく、学生の思考を促し、リスクに対する姿勢や意識に影響を与えると期待できる。

4. 考察

本研究では、看護における安全教育教材を支援するシステムの開発にあたり、過去の事例より問題点をあげ、新たな授業プログラムを検討した。

学生が動画の内容に関して予習をしておき、ディブリーフィングを効果的に行う試みは現時点の研究では見当たらない。臨床現場に潜むヒューマンエラーのリスクを挿入することで、医療事故防止のための教育手段となる。さらに、ヒヤリボタンにおける、テキスト入力機能を組み込むことで、対処に関する的確な教授や、コミュニケーションエラー、コミュニケーションエラーに潜む心理的要因を教育することも可能となる。教員から意識すべきリスクの指導を受けることで、学生自身が教員との意識の差を客観的に確認し、安全教育がより促進されていくのではないかと考える。

動画を注意深く視聴し、リスクに対する感性を効果的に身につける実践事例においては、システムが効果的に支援することが推測される。また、動画を利用した看護教育は実施の頻度が高いものの、その可能性を従来のeラーニング研究では、捉えきれていない部分も多いと考えられる。これを明らかにすることは、学生を対象にする教育研究の先駆けになると考える。

5. 今後の課題

開発したシステムは、実際に看護科目において利用し、システムを利用した学生の知識不足や経験不足をどの程度解消できるのか、評価や考察を行う。実際にシステムを用いて講義を行う実践と意識調査を実施する。また、繰り返し行う評価の結果により、システムの改良を実施する。さらに、臨床で新人教育に対しても利用することで、実践的な評価を実施できると考えられる。

看護師の単なるスキル不足、知識不足、確認不足や観察不足をルール違反といった個人の要因として、シミュレーション演出するのでは不十分であると考えている。安全看護の教育をするシミュレーションとしては、医療ミスにつながるチーム医療業務の流れ、あるいは、それぞれの場面でのコミュニケーションの問題として教育する可能性を広げていきたいと考えている。

今後は授業においての実践利用を進め、より実用的な指摘方法・支援機能の実装と有用性の評価を行う予定である。授業実践を行う課題として、授業実践による評価結果を明らかにし、実際に看護科目において学生の知識不足や経験不足をどの程度解消できるのか、分析を進めていく。

〈付記〉

本研究の一部は、科学研究費挑戦的萌芽研究（課題番号：15K15816）の援助を受けたものである。

参 考 文 献

- (1) 永松いずみ, 宮崎伊久子, 原田千鶴, 他: “看護基礎教育における危険予知トレーニング(KYT)を取り入れた医療安全教育に関する考察: 動画事例を用いたプログラムの効果”, 日本看護学会論文集 看護教育, Vol.42, pp.158-161 (2011)
- (2) Henneman.EA, Roche. JP, & Fisher.DL, et.al: “Error Identification and Recovery by Student Nurses Using Human Patient Simulation: Opportunity to Improve Patient Safety”. Appl Nurs Res,23(1), p.11-21 (2010)
- (3) Kazaoka.T., Ohtsuka, K, & Ueno.K, et.al: “Why Nurses Make Medication Errors: A Simulation Study, Nurse Education Today”, 27(4), pp.312-317 (2007)
- (4) 立野貴之, 館秀典, 風岡たまた: “看護の安全教育の学習

- 支援システムと授業プログラムの開発”，大学 ICT 推進協議会 2015 年度年次大会論文集，F3E-4 (2015)
- (5) 館秀典，立野貴之，風岡たま代：“看護のシナリオを利用したロールプレイング教育を支援するシステムの開発”，大学 ICT 推進協議会 2016 年度年次大会論文集，TE11 (2016)
- (6) 相馬孝博：“これだけは知っておきたいWHO患者安全カリキュラムガイド”，pp.21，メディカ出版（日本医療マネジメント学会監修）(2013)
- (7) 阿部幸恵：“看護のためのシミュレーション教育”，医学書院 (2013)
- (8) 唐國真由美，大塚邦子，風岡たま代他：“成人看護学における医療事故防止の取り組みーロールプレイング・シミュレーション導入による学習効果”，Quality Nursing 5(3)，pp.45-51 (1999)
- (9) 風岡たま代，大塚邦子：“医療事故のリスクについて看護学生の認識に関する一考察ー誤薬のロールプレイングのシナリオを用いてー”，日本看護研究学会雑誌，Vol.26(5)，pp.133-143 (2003)
- (10) 風岡たま代：“誤薬のシミュレーションの内容と構成に関する一考察”，日本看護学教育学会誌，vol.15(1)，p.25-39 (2005)
- (11) 隆朋也，西堀好恵，坂田五月，風岡たま代他：“状況設定問題対応型の看護自己学修支援コンピュータプログラムの開発”，日本看護研究学会第 32 回学術集会 (2006)
- (12) 伊津美孝子，真嶋由貴恵，寫田聡：“e ラーニングを活用した新人看護師研修プログラムの開発と評価”，教育システム情報学会誌，Vol.31(1)，pp.57-68 (2014)
- (13) 三宮有里，村中陽子，熊谷たまき他：“個別学習の促進に向けた看護技術学習科目でのブレンディッド型授業の実践”，教育システム情報学会誌，Vol.31(1)，pp.75-80 (2014)
- (14) 高橋暁子，吉里孝子，本尚美，鈴木克明：“新人看護師対象フィジカルアセスメント研修における多段階オンライン練習問題の開発と実践”，教育システム情報学会誌 Vol. 32, No.2，pp.186-191 (2015)
- (15) 岩本由美：“ディブリーフィングによって学びを深めるー看護基礎教育におけるシミュレーション学習ー”，看護教育，Vol.50(9)，pp.802-805 (2009)
- (16) 風岡たま代，伊藤ふみ子，有田清子：“成人看護学実習での看護学生のヒヤリハット・急性期実習と慢性期実習での比較-”，横浜創英短期大学紀要，Vol7，pp.57-66 (2011)

読み手情報の提示方法の違いが操作説明に与える影響

成田佳加^{*1}, 富永敦子^{*1}

^{*1} 公立はこだて未来大学

Effect of Difference in Audience Knowledge on Operating Instructions

Yoshiki Narita^{*1}, Atsuko Tominaga^{*1}

^{*1} Future University Hakodate

文章産出過程において、読み手の存在や読み手に関する情報は重要な役割を持つ。これまでの研究で、読み手情報を多く提示することにより産出文章に変化が生まれることが明らかになっている。しかし、読み手情報を実験者が与えた研究がほとんどであり、書き手自身が読み手について深く考えることが少なかった。そこで、本研究では読み手に関する情報を与えられた場合（属性提示群）と書き手自身が具体的な読み手、すなわちペルソナを考えた場合（ペルソナ作成群）とでは、産出される文章に違いがあるのかを実験によって明らかにすることを目的とした。その結果、両群の文章記述の合計得点には有意差はなかったが、両群共に事前テストより事後テストの得点が高かった。このことから、読み手情報を与える、または自分で考えることにより、読み手に配慮した文章記述が可能になると言える。読み手意識尺度の回答では、工夫実践の因子で属性提示群よりペルソナ作成群のほうが高かったことから、自分で読み手像を考えたほうが、読み手への配慮をするための具体的な工夫への意識が高まることが考えられた。

キーワード：読み手、読み手情報、操作説明、ライティングプロセス、ペルソナ手法

1. はじめに

ライティングのメカニズムについては、認知心理学の分野において研究されてきた。中でも文章の産出過程は、これまでさまざまな形でモデル化されてきた（以下、ライティングプロセスモデルという）。代表的なライティングプロセスモデルとして Hayes⁽¹⁾がある。このモデルは、課題環境（The Task Environment）と個人（The Individual）から成り立っている。課題環境は、社会的環境（The Social Environment）、物質的環境（The Physical Environment）から成り立っており、個人は動機/情動（Motivation/Affect）、認知過程（Cognitive Processes）、長期記憶（Long-term Memory）、作業記憶（Working Memory）の4項目から成り立っている。このモデルの中で、読み手（The Audience）は

課題環境の社会的環境に属し、読み手情報（Audience Knowledge）は個人の長期記憶の中に位置する。読み手の存在や、読み手の具体的な情報は、文章産出プロセスにおいて重要な位置づけであることが示されている。崎濱⁽²⁾は「読み手を意識する」ことを「（長期記憶中にある）読み手に関する情報を抽出し、抽出した情報を踏まえて、書く内容や文章表現を選択するという一連の活動」と具体的に定義し、言葉で相手に情報を伝える際には重要な要素であると述べている。

では、読み手情報を書き手に与えることにより産出文章はどのように変わるのだろうか。大浦・安永⁽³⁾は、大学生を実験協力者とし、読み手の個人特性に関する情報を与える個人特定群（N=42）、読み手の属するカテゴリ情報を与えるカテゴリ特定群（N=35）、読み手情報を与えない統制群（N=33）に分け、道案内文を作

成させた。作成した文章を「正確さ」「わかりやすさ」「読み手への配慮」の3観点で採点したところ、「読み手への配慮」の項目で個人特定群が統制群より有意に高かった。個人を特定できる個人情報をもっと提示することにより、読み手情報を与えない場合と比較して、読み手意識活動が活性化されやすいということが明らかになった。

これまでの先行研究では、与えられた読み手情報をもとに文章産出するものが多く、書き手自身が読み手について考えて文章を産出するものは少なかった。そこで富永⁽⁴⁾は、ペルソナ手法を用いて大学生を対象としたマニュアル制作授業を行うことで、受講者の読み手意識が授業前後でどのように変化するかを調査した。ペルソナ手法とは、Web サイトやマーケティング、マニュアル制作などの現場で用いられるユーザー分析手法の一つである。ペルソナ手法では、ペルソナという典型的なユーザーを想定し、そのペルソナの年齢、性別、家族構成、趣味、スキルなどを具体的に考えることで、ユーザーのニーズにあった製品を開発できる⁽⁵⁾。富永⁽⁴⁾は、わかりやすいマニュアルとは、どのようなものだと思うかについて、自由記述形式で調査した。その結果、読み手意識について言及した受講者は、授業前よりも授業後にわずかながら増え、内容にも変化があったことが明らかになった。ただし、この研究ではペルソナの作成をグループで行っており、個人でペルソナを作成した場合の効果については検討されていない。

そこで、本研究では、読み手に関する情報を与えられた場合と、書き手個人が読み手に関する情報、すなわちペルソナを考えた場合とでは、産出される文章の違いがあるのかを実験によって明らかにする。まず、課題文章を検討するための予備実験を行い、最も適切な課題文章を用いて本実験を行うこととする。

2. 予備実験

2.1 方法

2.1.1 実施日および場所

2016年9月X大学において、一人または複数人同時に実施した。複数人を対象に同時に実験を行う場合は、互いの回答が見えないように座席を指定し、互いの存

在が回答に影響を与えることはないようにした。

2.1.2 実験協力者

公立X大学情報系学部の学生計6名であった。6名のうち、3年生1名（男性20歳）、4年生5名（男性21歳1名、22歳1名、女性21歳1名、22歳2名）であった。

2.1.3 実験材料

課題文章として、読み手が異なる、道案内文、ATM操作説明文、進数変換説明文の3種類を作成した。

道案内文は、地図をもとに出発地から目的地までの行き方を説明する課題である。読み手は小学1年生に設定した。提示資料として架空の地図を作成した。架空の地図には、太い道路と細い道路の2種類と、目印になる信号機や建物などを複数設けた。教示文は「地図を見ながら、家からお店までの道案内文を記述してください。目的地は星マークのついているパン屋さんです。読み手は、初めておつかいをする小学1年生です。読み手は、道案内文を読みながらおつかいに行きます。地図は見ません。」とした。

ATM操作説明文は、銀行のATM操作画面が印刷されたもの（図2.1参照）をもとに、ATMを使用してお金の引き出す方法を説明する課題である。読み手は小学6年生に設定した。提示資料として架空のATM操作画面を9点作成した（付録参照）。預金の引き出しに限定し、引き出しのみの操作画面を提示した。教示文は「画面遷移の記された紙を見ながら、ATMを使用してお金の引き出しをする方法の説明文を原稿用紙に記述してください。読み手は、ATMを初めて使用する小学6年生です。読み手は、説明文を読みながら操作をします。画面遷移の図は見ません。」とした。



図1 ATM操作説明課題の画面（抜粋）

進数変換説明文は10進数および2進数の説明と、10進数の25を2進数に変換する方法を説明する課題

である。読み手は次年度大学に入学する新1年生に設定した。書き手が情報の知識を持つものであったことから、専門的知識を要する説明課題をテーマとした。

教示文は、「10進数および2進数の説明と、10進数の25を2進数に変換する方法の説明文を原稿用紙に記述してください。読み手は、情報の知識を持たない次年度入学する新1年生です。」とした。

すべての課題に原稿用紙2枚とメモ用紙1枚を用意した。

2.1.4 手続き

実験課題の順番が文章産出に及ぼす慣れの効果を防ぐため、ラテン方格法を用いた。

実験者が1つ目の課題の提示資料、原稿用紙、メモ用紙を配布し、課題の教示文を読み上げた後、実験協力者はその課題に取り組んだ。時間は制限しなかった。1つ目の課題が終了したら、同様に2つ目の課題、3つ目の課題に取り組んだ。3種類の課題がすべて終了したところで、簡単に感想をきいて終了した。

2.2 結果

2.2.1 所要時間および文字数

各課題の所要時間を表1に、文字数を表2に示す。

表1 予備実験所要時間

協力者 No.	道案内文	ATM 操作説 明文	進数変換 説明文
1	5分05秒	7分50秒	23分28秒
2	4分29秒	14分54秒	16分39秒
3	6分11秒	18分51秒	14分47秒
4	11分31秒	19分29秒	30分13秒
5	9分13秒	10分51秒	56分12秒
6	7分26秒	6分10秒	61分30秒
最短	4分29秒	6分10秒	14分47秒
最長	11分31秒	19分29秒	61分30秒

表2 予備実験課題文字数

協力者 No.	道案内文	ATM 操作説 明文	進数変換 説明文
1	88	178	399
2	136	413	339
3	119	477	372
4	249	574	763
5	141	307	714
6	99	182	635
平均	138.67	355.17	537.00

2.2.2 書き手による産出文章の違い

道案内の産出文章では、選択した経路が3通りにな

ったという違いはみられたものの、目印の使い方や表現方法、読み手への配慮の仕方などには書き手による差があまり見られなかった。

ATM 操作説明に対する産出文章では、操作画面の文字表示をそのまま記述していたものや、読み手に配慮し、操作画面に書かれていることに補足説明をしながら記述していたものなど、書き手による違いがみられた。読み手に配慮した文章として、キャッシュカードを機械に入れる画面でカードの向きを説明していたもの、暗証番号入力画面で暗証番号について説明していたもの、明細票発行画面で明細票の説明をしていたものがあった。

進数変換説明の産出文章では、進数説明は多少書き手によって異なったが、変換の説明方法はほとんど同じであり、書き手による産出文章の違いはほとんど見られなかった。

2.2.3 書き手の感想

書き手に、3種類の課題の中で書きやすかった課題と難しかった課題について質問したところ、書きやすかった課題に関しては6人中4人がATM操作説明文と回答し、難しかった課題に関しては6人中5人が進数変換説明文と回答した。

2.3 考察

ATM 操作説明文は、書き手によって産出文章に差が生まれたが、道案内文、進数変換説明文は書き手による産出文章の差があまり見られなかった。また進数変換説明文は時間がかかりすぎるため、本実験に不適切であると考えられた。文字数は、道案内文は平均で400字の原稿用紙約3分の1、ATM操作説明文は約1枚、進数変換説明文は1枚と3分の1程度であり、ATM操作説明文は分量的に本実験に適しているのではないかと考えられた。また、書き手の感想からもATM操作説明文が3種類の課題の中で比較的書きやすかったことがわかった。

予備実験の所要時間、文字数、産出文章の書き手による違いを考慮した結果、本実験ではATM操作説明文を課題文章とすることが最適であると考えられた。

3. 本実験

3.1 方法

3.1.1 実施期間および場所

2016年10月～11月X大学において実施した。属性提示群は一人または複数人同時に実施した。ペルソナ作成群は、ペルソナ作成の時間があり、複数人同時の実験は厳しいと考えられたため、個人で実施した。

3.1.2 実験協力者

公立X大学情報系学部の学生計44名であった。44名のうち、22名を属性提示群、22名をペルソナ作成群として2つの群にランダムに分けた。属性提示群は男性15名、女性7名で、平均年齢は19.64歳、年齢の標準偏差は1.11であった。ペルソナ作成群は男性7名、女性13名で、平均年齢は19.75歳、年齢の標準偏差は1.44であった。

3.1.3 実験材料

予備実験と同じ銀行のATM操作画面を提示資料として用いた。新たに、読み手情報の書いてある紙、事前事後アンケート、承諾書を作成した。読み手情報は両群共に小学6年生ということ、実験者から提示する読み手に関する情報を8点とすることを統一した。8点の読み手に関する情報は、以下のとおりである。

・性別	・住んでいるところ
・家族構成	・趣味
・ゲームの得意不得意	・勉強の好き嫌い
・運動の好き嫌い	・読書の好き嫌い

属性提示群には、上記の8点の項目情報に加え、その項目に対する回答を作成した。ペルソナ作成群には項目のみを作成した。事前事後アンケートには読み手意識尺度⁽⁶⁾を使用した。承諾書には、産出された文章と質問紙調査結果を本研究に使用すること、結果を個人情報として外部に漏らすことがないこと、本実験を自発的同意に基づいてのみ行われ、いつでも拒否する権利があることを記載した。

3.1.4 手続き

まず、実験協力者は実験の承諾書と事前アンケートに回答し、その後、文章記述を2回行った。

1回目(pre)の文章記述は、属性提示群・ペルソナ作成群とも同じ内容であった。実験者が課題の提示資料、原稿用紙、メモ用紙を配布し、課題の教示文を読

み上げた後、実験協力者はその課題に取り組んだ。時間は20分から30分程度とした。読み手は指定しなかった。

2回目(post)の文章記述は、群によって手続きが異なった。属性提示群には、1回目の課題の後、実験者が読み手情報と2回目の課題の原稿用紙、メモ用紙を配布し、実験協力者はその課題に取り組んだ。ペルソナ作成群には、1回目の課題の後、実験者が読み手の項目情報を提示し、実験協力者はその項目情報を基に読み手のペルソナを作成した。時間は25分とした。ペルソナ作成後、実験者は2つ目の課題の原稿用紙とメモ用紙を配布し、実験協力者はその課題に取り組んだ。

最後に、属性提示群・ペルソナ作成群共に2つ目の課題が終了したところで実験協力者はアンケートに回答した。

3.2 結果

以下の分析では、Q&A形式で回答した協力者1名と、実施時間内で文章が完成しなかった協力者1名を除く42名の文章を検討対象とした。検討対象となったのは、属性提示群22名、ペルソナ作成群20名であった。

3.2.1 産出文章の分析

予備実験、本実験の産出文章をもとに採点表を作成した。配点は、-1, 0, 1, 2とした。基本的に操作のみ記述した文章を0点とし、5つあるボタンの中からお引き出しの操作ボタンを押す画面で、「ご希望のボタンを押してください」のような、どのような操作をするかが読み取れない文章を-1点とし、読み手への配慮を行っていたものに加点を行った。1点は読み手への配慮が1つ(1種類)の場合、2点は読み手への配慮が2つ(2種類)以上の場合とした。

採点項目は、「1.これからやることの予告」「2.カードの入れ方」「3.暗証番号の入力」「4.暗証番号の入力を間違ったとき」「5.金額の入力」「6.金額の入力を間違ったとき」「7.読み手が金額確認画面を正しく操作できる」「8.明細票発行画面の説明」「9.終了時」「10.表現」の10項目とした。

表3および図2は、属性提示群とペルソナ作成群の個人の合計得点の平均を示した。

表 3 各群の pre/post 合計得点の平均と標準偏差

	属性提示群		ペルソナ作成群	
	pre	post	pre	post
N	22	22	20	20
平均	6.14	9.82	6.80	10.70
標準偏差	2.77	2.44	3.54	4.31

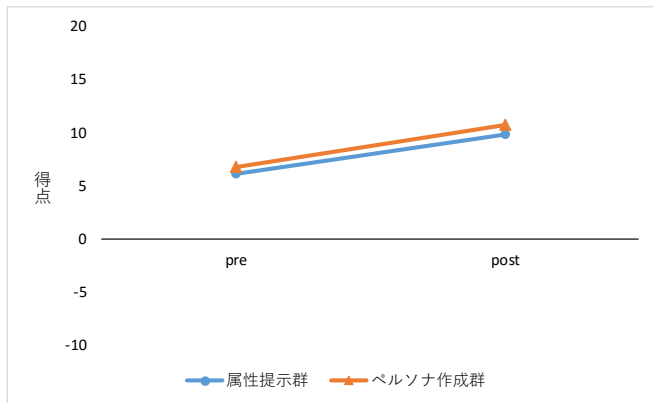


図 2 各群の pre/post 合計得点の平均

表 4 各群の pre/post 得点の平均と標準偏差

		属性提示群	ペルソナ作成群
		pre	post
1. これからやることの予告	pre	0.59 (1.30)	1.00 (1.22)
	post	0.77 (1.17)	1.25 (1.09)
2. カードの入れ方	pre	1.00 (0.52)	0.75 (0.62)
	post	1.14 (0.62)	1.00 (0.63)
3. 暗証番号の入力	pre	0.68 (0.47)	0.60 (0.73)
	post	0.91 (0.67)	0.85 (0.73)
4. 暗証番号の入力を間違ったとき	pre	0.36 (0.71)	0.55 (0.86)
	post	0.91 (0.95)	0.90 (0.94)
5. 金額の入力	pre	0.55 (0.72)	0.75 (0.70)
	post	0.73 (0.75)	1.00 (0.84)
6. 金額の入力を間違ったとき	pre	0.41 (0.78)	0.45 (0.80)
	post	0.36 (0.71)	0.55 (0.86)
7. 読み手が金額確認画面を正しく操作できる	pre	0.59 (0.49)	0.65 (0.65)
	post	0.82 (0.58)	0.95 (0.86)
8. 明細票発行画面の説明	pre	0.27 (0.54)	0.35 (0.57)
	post	1.23 (0.73)	1.25 (0.62)
9. 終了時	pre	1.27 (0.54)	1.10 (0.54)
	post	1.41 (0.58)	1.45 (0.50)
10. 表現	pre	0.41 (0.49)	0.60 (0.58)
	post	1.55 (0.50)	1.50 (0.67)

合計得点について群(2)×テスト実施時期(2)による分散分析を行った結果、群の主効果は有意ではなかった($F(1, 40)=0.70, ns$)。テスト実施時期の主効果は1%水準で有意であり($F(1, 40)=58.67, p<.01$)、pre よりも post のほうが高くなった。交互作用は有意ではなかった($F(1, 40)=0.05, ns$)。

表 4 は、属性提示群とペルソナ作成群の各採点項目の平均と標準偏差を示した。

3.2.2 読み手意識尺度の分析

読み手意識尺度を用いた事前アンケートと事後アンケートを比較した。読み手意識尺度は、「説明意識」(説明を行うときに意識していることに関する因子)、「書き手意識」(読み手への意識に関する因子)、「メタ理解」(説明を行う、あるいは受けるときに理解の程度を確認する因子)、「工夫実践」(自分なりに具体的な工夫を行っているかに関する因子)の4因子から成り立っており、上記4因子の下位尺度得点について群(2)×アンケート実施時期(2)による分散分析を行った(表 3.3 参照)。

因子「説明意識」では、群の主効果、アンケート実施時期の主効果、交互作用共に有意ではなかった($F(1, 40)=0.82, ns$; $F(1, 40)=0.75, ns$; $F(1, 40)=0.89, ns$)。

因子「書き手意識」は群の主効果は有意ではなかったが($F(1, 40)=1.16, ns$)、アンケート実施時期の主効果は1%水準で有意であった。pre よりも Post のほうが高くなった。($F(1, 40)=34.75, p<.01$)。交互作用は有意ではなかった($F(1, 40)=0.30, ns$)。

因子「メタ理解」は、群の主効果、アンケート実施時期の主効果、交互作用共に有意ではなかった($F(1, 40)=0.73, ns$; $F(1, 40)=0.24, ns$; $F(1, 40)=0.01, ns$)。

因子「工夫実践」は群の主効果は5%水準で有意であった。属性提示群よりもペルソナ作成群のほうが高くなった($F(1, 40)=4.49, p<.05$)。さらに、アンケート実施時期の主効果は有意傾向であった($F(1, 40)=3.93, p<.10$)。交互作用は有意ではなかった($F(1, 40)=2.56, ns$)。

表 5 各因子の pre/post 得点の平均と標準偏差

		属性提示群	ペルソナ作成群
説明意識	pre	3.44 (0.46)	3.60 (0.41)
	post	3.45 (0.39)	3.51 (0.40)
書き手意識	pre	2.41 (0.51)	2.60 (0.53)
	post	2.92 (0.48)	3.03 (0.48)
メタ理解	pre	2.86 (0.52)	2.99 (0.55)
	post	2.89 (0.53)	3.03 (0.49)
工夫実践	pre	2.86 (0.53)	3.09 (0.51)
	post	2.89 (0.49)	3.30 (0.51)

3.3 考察

3.3.1 産出文章の分析

項目 1「これからやることの予告」と項目 6「金額の入力を間違えたとき」以外のすべての項目で 1 回目の文章記述より 2 回目の文章記述のほうが得点が高まった。合計得点でも 2 回目の文章記述で両群共に得点が高まったことから、読み手情報を与えられる、もしくは読み手について考えることで、読み手に配慮した文章記述ができるようになることが明らかになった。

ペルソナ作成群の中で 2 回目の文章記述の得点が 1 回目より 8 点以上上がった協力者は、提示した項目に加えて、操作するときの状況や性格を考えたり、イラストを描いたりしていた。また、漢字が不得意であると考え、振り仮名を振ったり、暗証番号を入力する際に声に出してはいけないことを注意する文章を追加したり、簡単な言葉で表現したり、補足説明をしていたりといった、読み手に配慮した文章が多いことがわかった。

3.3.2 読み手意識の分類

本実験では、読み手ははじめて ATM を使用する小学 6 年生であったことから、読み手がわからないのでは

ないかと思われる言葉についての意味の説明であったり、漢字に振り仮名を振ったり、言葉を言い換えてわかりやすくしたりといった配慮がみられたのではないかと考えられる。このことをふまえて、項目 1 から 10 までの全体を通してみると、「知識」、「間違えたときの配慮・間違えないための配慮」、「見やすさ」、「親しみやすさ」の 4 つの観点に分類できた (表 6 参照)。

4 つの観点の分析から、項目 1「これからやることの予告」のような作文の書き方の知識に依存する部分は読み手情報の有無は文章力に影響がないと考えられたが、そのほかの項目は読み手情報を与えることで読み手に配慮した文章を書くことができるようになるため、文章力が向上されると考えられた。

3.3.3 読み手意識尺度の分析

書き手意識は、群による得点に違いはなかったが、事前アンケートと事後アンケートでは両群共に書き手意識が高まった。

上記の結果から、読み手情報の提示や読み手について考えることで、書き手の読み手への意識が高まることがわかった。

因子「工夫実践」では、属性提示群よりペルソナ作成群のほうが高かったことから、自分で読み手像を考えたいほうが、読み手への配慮をするための具体的な工夫への意識が高まることが考えられた。

4. おわりに

読み手への配慮ができていた協力者ほど、「知識」、「間違えたときの配慮・間違えないための配慮」、「見やすさ」、「親しみやすさ」の 4 つの観点が多く含まれていた。そのため、この 4 つの観点は今後読み手について考えるときの一つの指標として利用できるのではないかと考えられた。

表 6 読み手意識に関する 4 つの観点

知識	間違えたときの配慮 間違えないための配慮	見やすさ	親しみやすさ
項目 3「暗証番号の入力」 項目 5「金額の入力」 項目 8「明細票発行画面の説明」 項目 10「表現」	項目 2「カードの入れ方」 項目 4「暗証番号の入力を間違えたとき」 項目 6「金額の入力を間違えたとき」 項目 7「読み手が金額確認画面を正しく操作できる」	項目 10「表現」	項目 10「表現」





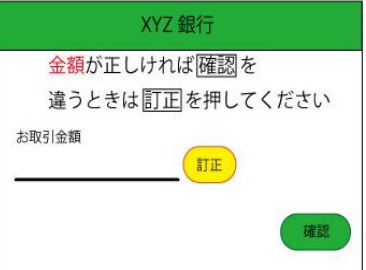
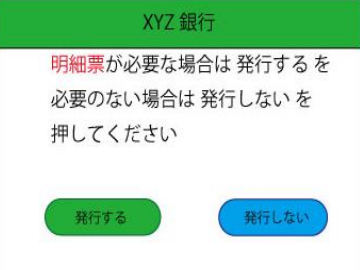
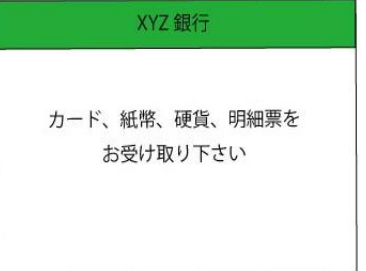


今回は「ATM を初めて使用する小学 6 年生に向けた ATM のお引き出し操作の説明」を題材としたが、今回分類した 4 つの観点は今回の文章産出課題にのみ見られるものではなく、文章の読み手以外にも、商品の購入者、システムのユーザーなど、言葉や図表、絵など相手に情報を伝達する際に気をつけるべき共通の観点ではないかと推測できる。また、今回は両群共に読み手情報を提示してから 1 度の文章記述しか行わなかったが、1 度だけでなく、反復して実践することで少しずつ文章力が身につく、伝わりやすい文章記述ができるようになるのではないかと考えられる。

今後は、ペルソナ作成をすることで読み手への配慮が高まる人と、あまり高まらない人の文章の違い、意識の違い、作成したペルソナの違いについて詳細に検討することと、「知識」、「間違えたときの配慮・間違えないための配慮」、「見やすさ」、「親しみやすさ」の 4 つの観点を意識して文章産出の反復練習を行うことでライティングスキルの向上につなげられるのではないかと考えられる。

参 考 文 献

- (1) Hayes, J. R. : A new framework for understanding cognition and affect in writing Levy, C. M. and Randall, S. (Eds.), *The Science of writing: Theories, Methods, Individual Differences, and Applications*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc (1996)
- (2) 崎濱秀行: 読み手に関する情報の違いが文章産出プロセスや産出文章に及ぼす影響について. 名古屋大学大学院教育発達科学研究科紀要. 心理発達科学, 50, 207-212 (2003)
- (3) 大浦理恵子, 安永悟: 読み手を特定することが文章産出におよぼす効果. 久留米大学心理学研究, 6, 11-20 (2007)
- (4) 富永敦子: ペルソナ手法を用いたマニュアル制作授業の実践. 日本教育工学会研究報告書集, JSET13-1, 275-282 (2013)
- (5) 山崎和彦, 浅野智, 上平崇仁: 情報デザインの教室. 丸善出版, 東京 (2010)
- (6) 岸学, 辻義人, 初山香奈子: 説明文産出における「読み手意識尺度」の作成と妥当性の検討. 東京学芸大学紀要. 総合教育科学系, 65(1), 109-117 (2014)

付録：ATM 操作説明課題の画面

- ①
- 
- ②
- 
- ③
- 
- ④
- 
- ⑤
- 
- ⑥
- 
- ⑦ <明細票あり>
- 
- ⑦ <明細票なし>
- 
- ⑧
- 

HMM を用いた指揮者による表現指示動作の識別

古川絵梨^{*1}, 泉正夫^{*2}, 真嶋由貴恵^{*3}

^{*1}大阪府立大学工学域

^{*2}大阪府立大学大学院 工学研究科

^{*3}大阪府立大学大学院 人間社会システム科学研究科

Identification of Action to Indicate Expression by the Conductor using HMM

Furukawa Eri^{*1}, Izumi Masao^{*2}, Majima Yukie^{*3}

^{*1}Faculty of Engineering, Osaka Prefecture University

^{*2}Graduate School of Engineering, Osaka Prefecture University

^{*3}Graduate School of Humanities and Sustainable System Science,
Osaka Prefecture University

現在、市民オーケストラや市民合唱団など音楽を楽しむ多くの人たちが幅広く活動している。しかし、初学者は指揮者の表現の指示が即座に理解することが困難であったり、また市民楽団の指揮者は経験者でない場合もあり、指揮初心者の多くは指揮における指示動作を独学で習得することが難しい。そこで本研究では、実践的な指揮の学習を行うことを支援するために、指揮者の動作から表現指示動作を自動的に抽出し、指揮中の表現を識別するシステムを提案する。提案手法では、直接機器を身体に装着する必要がないため、身体への負担がない。また、より自然な指揮を扱うことができ、実際の指揮での識別を可能にする。実験では、指揮映像から指揮表現を識別し、手法の有効性を確認した。

キーワード: 指揮動作, 動作識別, 自己学習サポート, 隠れマルコフモデル (HMM), Kinect

1. はじめに

現在、市民オーケストラや市民合唱団など音楽を楽しむ多くの人たちが幅広く活動している。しかし、初学者は指揮者の表現の指示が即座に理解することが困難であったり、また市民楽団の指揮者は経験者でない場合もあり、指揮初心者の多くは指揮における指示動作を独学で習得することが難しい。そこで本研究では、実践的な指揮の学習を行うことを支援するために、指揮者の動作から表現指示動作を自動的に抽出し、指揮中の表現を識別するシステムを提案する。

提案手法では、直接機器を身体に装着する必要がないため、身体への負担がない。また、より自然な指揮を扱うことができ、実際の指揮での識別を可能にする。

実験では、指揮映像から指揮表現を識別し、手法の有効性を確認した。

2. 提案手法

2.1 提案手法の概要

Kinect センサを用いて指揮者の動作から表現指示動作を識別する手法を提案する。提案手法の概要を下図に示す。

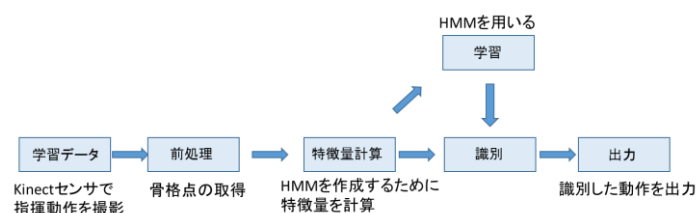


図1 提案手法の概要

2.2 学習データ

本研究で扱う識別データは、学習者が演奏を行う上で必ず理解しなければならない指揮中で頻繁に扱われる表現かつ、多くの指揮者が類似した動作を行う4種類

の表現指示動作と表現を含まない通常の指揮動作の計5種類を扱う。

- 1) スタッカートを指示する動作
手を開いた状態で、手腕を振り下ろす動作を繰り返すものである。
- 2) 音の維持を指示する動作
手のひらを真上に向けた状態で、手腕を体の前方に伸ばし、同じ高さで保つ動作。
- 3) 音の停止を指示する動作
開いた手を円状に動かしながら徐々に閉じていく動作。
- 4) 音の大きさを指示する動作
手を軽く握ったような形にし、体の前方に伸ばした位置から真っ直ぐ戻す動作。
- 5) 表現が含まれていない通常指揮動作

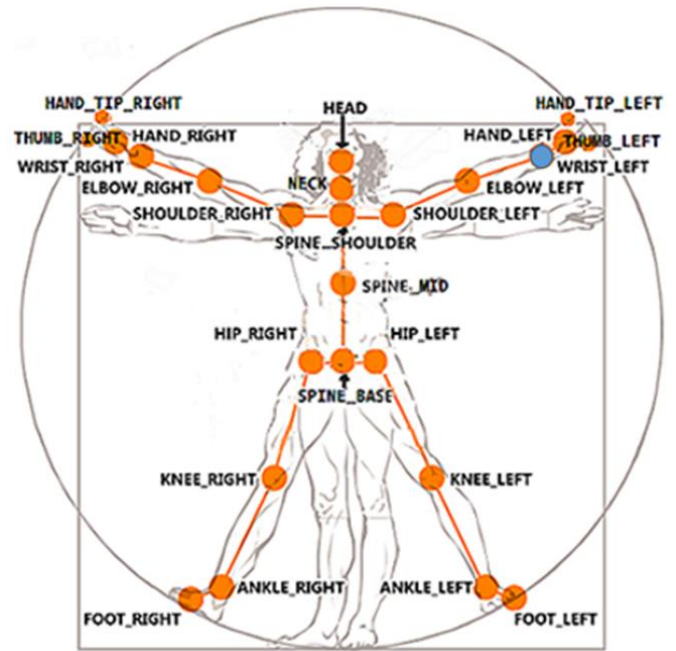


図2 Kinectで取得することができる骨格点

2.3 骨格点の取得

識別に使用する座標情報を Kinect によって得られる骨格点から取得する。Kinect for Windows SDK 2.0(以下 SDK)⁽¹⁾とは、2014年7月にMicrosoftが公開したソフトウェア開発キットである。SDKでは Kinect に搭載された各種センサから得られるデータを取得可能であり、RGB 画像、深度画像、骨格線情報を取得することができる。ここで骨格線情報は深度情報から Kinect 独自のアルゴリズムにより算出される。また、骨格線中の空間座標も取得可能である。三次元座標が取得できる人体の骨格点(25点)の位置を図2に示す。

2.4 特徴量

特徴量には Kinect センサから取得される骨格点の三次元座標を用いる。指揮における表現指示動作とは、「主導的ではない方の手による身振りを表現に関する身振り」(Braem&Bräm, 2000)⁽²⁾としている。そこで本研究では、左手で表現指示動作を行うと仮定した。また、指揮動作を識別する上で、手の動きを取得する必要がある。しかし、指や手のひらの座標は安定的に取得できないことがある。そこで本研究では、左手首の三次元座標を特徴量として用いる。図2における青い点が今回使用した骨格点の位置である。

2.5 学習

本研究では、隠れマルコフモデル(以下 HMM)によって動作の識別を行う。HMM とは、確率モデルの一つであり、観測されない状態をもつマルコフ過程である。時系列パターンに対して統計的、確率的なパターン認識の手法として一般的に用いられている。実験では、Python で実装された hmmlearn⁽³⁾を用いた。

表現指示動作4種類に対し、各1つずつ HMM を作成し、表現指示動作の含まれていない通常の指揮動作に対し、1つの HMM を作成した。以上5つの HMM を用いて識別を行った。

HMM を作成する際には、指揮動作の映像を目視で30フレームずつに分割し、学習を行った。

3. 実験

3.1 実験環境

図3にデータ収集のための実験環境を示す。取得した座標の位置が大きくずれることを防ぐため、Kinect から被験者までの距離は、常に全身の25点の骨格点が計測できるように設定した。この位置から動くことなく指揮を行い、撮影した。

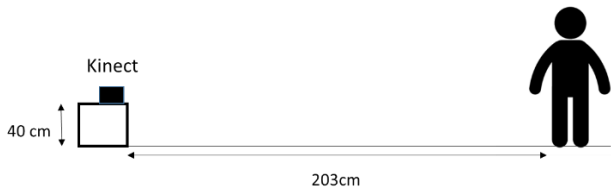


図 3 撮影環境

3.2 データ収集

表現指示動作の登録用データとして1名のデータを収集した。データの種類は2種類収集した。

1つ目は4つの表現指示動作のうち1つの表現指示動作が含まれた指揮を10セットずつ、計40セット行った。1セットには、表現指示動作が2回分と通常指揮動作が含まれている。

2つ目は4つの表現指示動作が一回ずつと通常指揮動作が含まれた指揮を5セット行った。

3.3 評価方法

本研究では、指揮中で表現指示動作が行われているタイミングの検出を行うことと、識別することを目指している。そこで、各表現指示動作の識別率と指揮中での表現指示動作が行われているタイミングの検出率で評価する。

各表現指示動作の識別率の評価は一個抜き交差検証により行う。この評価法では、標本となるデータから1つを抜き出しテストデータとし、残りのすべてのデータで学習を行う。データの解析及び導出されたモデルがどれだけ母集団に有効であるか良い近似で検証できる。実験では少数のデータでも精度を評価できるよう交差検証を用いた。今回は撮影したデータセットのうち指揮動作20回分のデータで一個抜き交差検証を行った。本実験での一個抜き交差検証は、以下の手順で行った。

3.3.1 一個抜き交差検証の手順

- 1) 撮影した20データのうち、1つのデータをテスト用データとし、残りの19データを用いて学習する。
- 2) 1)を20回繰り返す。
- 3) 20回の識別結果の平均を全体の結果とする。

指揮中での表現指示動作が行われているタイミングの検出率の評価は、以下の手順で行った。

3.3.2 表現指示動作が行われているタイミング検出率評価手順

- 1) 1つの表現指示動作が含まれた指揮40セットすべてを用いて学習を行い、4つの表現指示動作が含まれた指揮5セットのうち1セットをテスト用データとして識別を行う。
- 2) 1)を5回繰り返す。
- 3) 5回の識別結果をテスト用データと目視で確認し、検出率とする。

4. 結果

表1に各表現指示動作の識別結果を示す。今回は通常指揮動作についての識別は行わず、表現指示動作の識別のみを行った。

表 1 各表現指示動作の識別結果

		正解				
		1)	2)	3)	4)	5)
識別結果	1)	15	0	3	2	0
	2)	0	18	1	0	1
	3)	0	1	19	0	0
	4)	1	0	3	16	0

1) スタッカートを示す動作、2) 音の維持を示す動作、3) 音の停止を示す動作、4) 音の大きさを指示する動作、5) 表現が含まれない通常指揮動作を示している。

以上の結果より、スタッカートを示す動作は75%、音の維持を示す動作は90%、音の停止を示す動作は95%、音の大きさを指示する動作は80%という結果となった。

表2に表現指示動作が行われているタイミングの検出結果を示す。

表 2 指揮中の表現指示動作のタイミング検出結果

	表現指示動作の種類			
	1)	2)	3)	4)
検出数	5	5	4	3

1) スタッカートを示す動作、2) 音の維持を示す動作、3) 音の停止を示す動作、4) 音の大きさを指示する動作を示している。

以上の結果より、スタッカートを示す動作と音の維持を示す動作の検出率は100%、音の停止を示す動作は80%、音の大きさを指示する動作は60%という結果となった。

5. 考察

表現指示動作の識別率に関して、音の維持を指示する動作と音の停止を指示する動作は比較的に高い識別率であるといえる。スタッカートを指示する動作については、動作が速いため、データが連続で取ることができていない可能性が考えられる。音の大きさを指示する動作については、左手首の前後の動きに重点をおいた HMM を作成したため、深度情報のずれが結果に大きく関係したのではないかと考えられる。

表現指示動作のタイミング検出に関しては、動作の長さが違うため、検出できなかったものがあると考えられる。

Kinect で撮影することによって、身体に装置を付ける必要がないため、自然な指揮を行うことができたので、より実践的な指揮学習に用いることができると思われる。

6. おわりに

6.1 まとめ

HMM を用いて指揮者の動作から表現指示動作を識別する手法を提案した。特徴量には Kinect センサから得られる骨格点の三次元座標から、左手首の三次元座標を用いた。また、学習には HMM を用いた。提案手法を実証するために、実験を行い、有効性を確認した。

6.2 今後の課題

演奏学習者に対しては、指揮者が行っている指揮動作が何を示すのかをリアルタイムで伝えることができるシステムの構築を目標としている。また、指揮学習者に対しては、指揮熟達者の表現指示動作の振り方や、タイミングを解析したもので自己学習できるシステムの構築、そして自分自身の動作が正しく演奏者に伝えられるものであるかを確認できるシステムの構築を目標としている。そのため、まず識別率を向上させるために撮影データを増やすこと、それぞれの表現指示動作の長さが異なる場合に対して頑強なシステムとすること、また、汎用的なシステムとするために被験者を増やすことも課題として挙げられる。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 JP25330412, JP26293451 の助成を受けたものです。

参考文献

- (1) Developing with Kinect for Windows.
<https://developer.microsoft.com/en-us/windows/kinect/develop> (2017年2月3日確認)
- (2) Bream, P. B. & Bräm, T: A Pilot Study of the Expressive Gestures Used by Classical Orchestral Conductors. In Emmorey, K. & Lane, H. (Eds.), *The Signs of Language Revisited: An Anthology to Honor Ursula Bellugi and Edward Klima*, 143-167. Lawrence Erlbaum Associates.(2000)
- (3) Hmmlern0.2.0:PythonPackageIndex.
<https://pypi.python.org/pypi/hmmlern>(2017年2月3日確認)

視線情報の省察による

パイロット訓練生の操縦技能の向上

芳賀 瑛^{*1}, 遠藤 信二^{*2}, 柴田 東作^{*2}, 森田 進治^{*2}, 新井 和吉^{*2}, 常盤 祐司^{*1}

*1 法政大学情報メディア教育研究センター

*2 法政大学理工学部

Improvement of Trainee's Flight Operation Skill by Reflective Practice using Eye-Gaze Information

Akira Haga^{*1}, Shinji Endo^{*2}, Tosaku Shibata^{*2}, Shinji Morita^{*2}, Kazuyoshi Arai^{*2}, Yuji Tokiwa^{*1}

*1 Research Center for Computing and Multimedia Studies, Hosei University

*2 Faculty of Science and Engineering, Hosei University

Abstract: In order to support flight simulation training in a pilot education course, the pilot's performance was evaluated quantitatively. As an index of quantitative evaluation, we focused on the pilot's eye-gaze information and tried to characterize the pilot's performance level from the eye movement-tendency. Two experiments were conducted, one was comparative analysis between instrument rated (IR)- and non-rated (NIR)-pilots' performance for verifying that eye-gaze information could show the characteristic of a pilots' operation skill. The other was conducted for verifying the effectiveness of eye-gaze directions of an instructor. To improve NIR pilots' operation skill, visual recordings of eye-gaze movement of the best-performed IR pilots' were used as the instructor's directions. In each experiment, steep turn which is a major flight work task was conducted using a flight training device (FTD). Six cockpit instruments were chosen as the targets of eye movement measurements. The number of times at which the pilot's eye-gaze fixated on each instrument was measured and the cumulative fixation time was calculated. In this study, different eye movement tendency between IR and NIR pilot group was observed. It was shown that the flight operation skill was markedly improved by instructor's direction using visual recordings.

キーワード: スキル教育, 視線情報, 航空教育, 操縦技能

1. はじめに

近年、国内の航空業界では団塊世代の一斉退職、および世界的な航空需要の伸びに伴う職業パイロットの不足が深刻な問題として浮上している。国土交通省は2030年頃には年間400名規模で新規パイロットを採用しなければならない事態になると予測しており⁽¹⁾、本学航空操縦学専修を含む計7つの私立大学においてパイロットの養成課程が開設される経緯となった。

養成課程の主な目的は、パイロット訓練生の操縦技能

を効率的に向上させることであり、その一環としてFTD (Flight Training Device)の導入によるシミュレーション教習が挙げられる。

シミュレーションによる教習では、学習にかかる時間の短縮と実機を飛行するコストの削減を図ることができ、操縦技能の向上に大きく寄与するが、教習時における訓練生の操縦技能の評価は、指導者の主観的評価が中心となっており、客観的な証左に乏しいという問題点がある。また操縦ログに関してもこれまで十分に

3. 目的

本研究では、民間航空機のパイロット養成課程において、シミュレーション教習時の訓練生の操縦技能向上を支援する為に、客観的かつ定量的な技能評価指標として視線情報を導入し、その有効性について検証することを目的とする。

検証は2つの実験によって行い、第1の実験では視線情報がパイロットの操縦技能レベルの特性を示す評価指標として有効であるかを検証することを目的とした。計器飛行に熟達した証左である計器飛行証明を保持しているパイロット(**Instrument rated Pilot**、以下 **IR**)と保持していないパイロット(**Non-Instrument rated Pilot**、以下 **NIR**)という技能レベルの異なる2群を対象に、視線情報を評価指標とした操縦技能の比較分析を行い、パイロットの技能レベルに応じた特有の注視傾向が検出されるか観測し、視線情報がパイロットの操縦技能レベルを裏付ける指標として有効であるかどうかを検証した。

第2の実験では第1の実験で観測された注視傾向の結果から、訓練生に対して視線情報による評価を基にした指導を行い、実地有効性について検証を行った。

新たに募集した **NIR** パイロットを2群に分割し、同一の飛行課題について計2回実施した。2群のうち実験群に対しては、第1回の課題遂行後、指導として模範的 **IR** パイロットの同一課題遂行時の飛行、視線情報の映像記録の視聴及び自身の映像記録に対する省察活動を実施した。統制群については省察を実施せず、第1-2回間における操縦技能の向上について観測し、視線情報に基づく評価と指導の実地有効性について検証した。

全ての実験における飛行課題として、エアワーク(飛行機の基本的な操縦技術を学ぶための練習となる課題)におけるスティープターン(急旋回)を選定した。選定した根拠は、同課題はエアワークの中でも最も典型的な飛行課題であることによる。課題の内容は機体の傾斜角を45度にした状態で左右連続の旋回を行うものであり、飛行機の3つの舵を安定して操作することが求められる。

4. 手法

4.1 評価指標としての視線情報の有効性の検証

4.1.1 概要

指標有効性の検証実験は、2016年7月22日より2016年8月12日迄の7日間で行った。

エアラインに勤務する計器飛行証明保持者5名(以下 **IR** 群)と、計器飛行証明を保持していない訓練生5名(以下 **NIR** 群)が本研究に参加した。参加者は全てが男性であった。

FTD を操縦する前に、研究概要及び計器飛行の概要につき口頭及び書面にて説明し、個人情報保護についても説明して参加者の同意を得た。

計測参加者には、視線計測器を装着した上で、**G58** 型認定 **FTD** の操縦中の視線位置を記録した。

計測参加者は左席で操縦し、必要などときには右席の計器飛行証明を保持している副操縦士に脚、フラップの上げ下げなどの指示を行えることとした。

計測では **FTD** に以下の状況を設定した(チャートについては図2参照)。

[使用空港] 仙台空港 Runway 27

[気象条件] 風 300° / 8 ノット 視程 1,200 メートル
雲高 500 フィート 気圧 29.92 インチ

この状況下で高度 5000 フィートに達した時点でスティープターンを行い、視線計測を実施した。初回ターンに向け、機体が傾きだした時点を開始点とし、傾斜角 45 度で 180 度旋回を行った後、反対側に 180 度旋回し、元の針路に戻った時点を終了点とした。

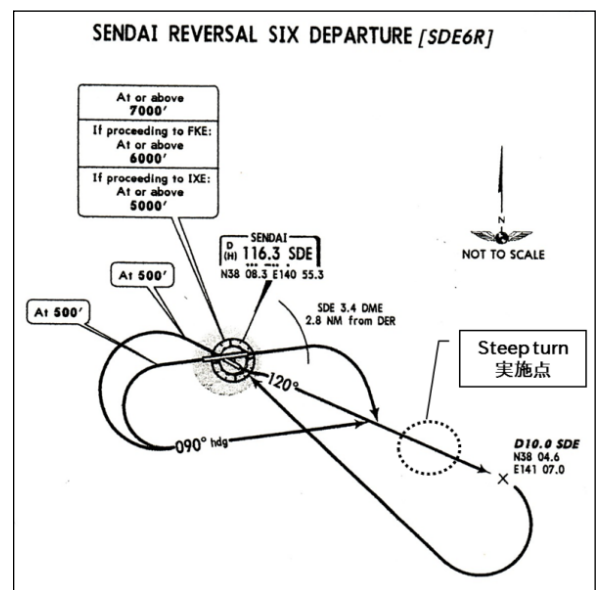


図2 計測時チャート図

表 1 シミュレーションにおける操縦技能の評価基準

評価	指標
5	飛行が安定しており、かつSpeed, Pitch, Altitude, Bank, Headingの Deviationがほとんど無い。
4	飛行が安定しており、Speedは ± 5 kt, Pitchは $\pm 2.5^\circ$, Altitudeは ± 50 ft, Bankは $\pm 5^\circ$, Headingは $\pm 5^\circ$ 以内のずれである。
3	飛行に少し不安定な部分があり、Speedは ± 10 kt, Pitchは $\pm 5^\circ$, Altitudeは ± 100 ft, Bankは $\pm 10^\circ$, Headingは $\pm 10^\circ$ 以内のずれである。
2	飛行に不安定な部分があり、Speedは ± 20 kt, Pitchは $\pm 7.5^\circ$, Altitudeは ± 200 ft, Bankは $\pm 15^\circ$, Headingは $\pm 15^\circ$ 以内のずれである。
1	飛行が非常に不安定であり、Speedは ± 20 kt, Pitchは $\pm 7.5^\circ$, Altitudeは ± 200 ft, Bankは $\pm 15^\circ$, Headingは $\pm 15^\circ$ 以上のずれである。

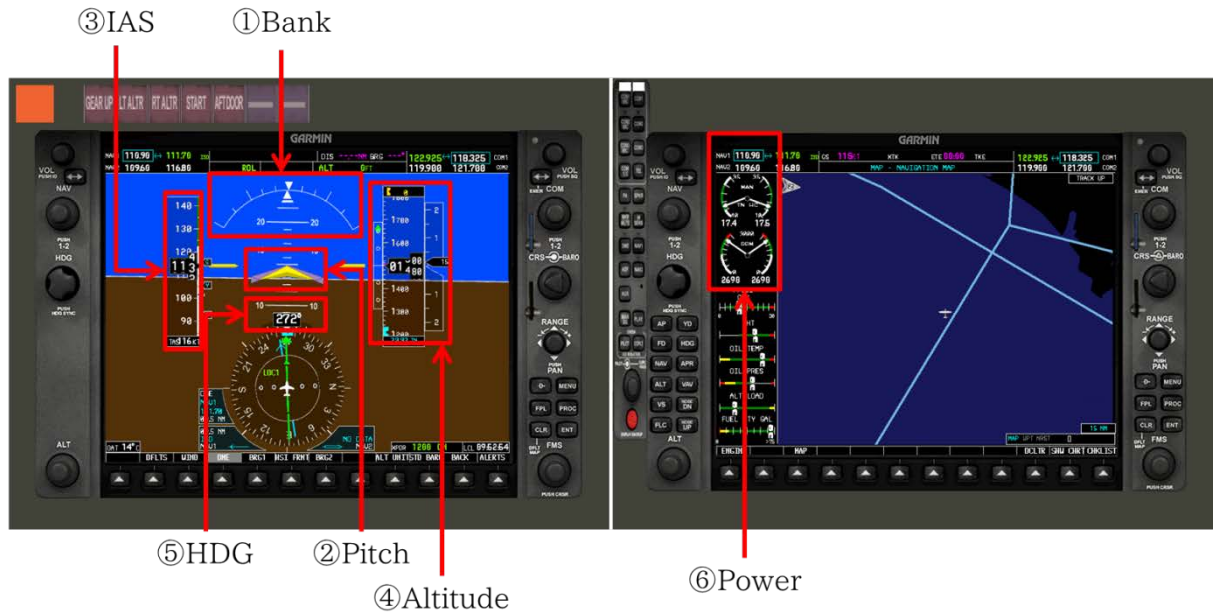


図 3 重要計器一覧

上記の課題の遂行において重要と考えられる計器に、視線が向けられた回数(Frequency)と視線が停留した時間の合計(Duration)を算出した。注視については被験者の視線が 0.1 秒以上停留した場合を有効とした。

計測時における被験者のシミュレーション時の操縦の技能評価については、本学航空操縦学専修所属の指導教官が操縦士実地試験実施細則⁽¹³⁾に基づき作成した 5 段階評価表を用いて行った(表 1 参照)。一般に評価点が 3 以上であれば実地試験においては合格と判定される。

4.1.2 対象計器

課題の遂行に必要なとされる計測対象計器について、下記に記す(番号は図 3 重要計器一覧を参照)。

①Bank

操縦桿を左右に傾けた時に、機体はその前後軸回りに何度左右に傾いているかを角度表示する。

②Pitch

操縦桿を前後に動かしたときに、機首と水平面の成す角度が機体の横軸回りに何度になっているかを角度表示する。

③IAS(Indicated Air Speed)

その時点での航空機の対気速度をノット数で示す。

④Altitude

航空機の高度を表示する。単位はフィート (1 フィート = 0.305m) 本研究では、高度計に昇降率計などの計器も含むものとした。昇降率計は機体の上昇および降下率を示す計器である。

⑤HDG(Heading)

磁北を 0° として、航空機が何度の方角に飛んでいるかを角度表示する。

⑥Power

エンジンの出力を示す計器で、G58 型機ではマニフールドプレッシャーの計器で Power を判別する。

4.1.3 使用機材

視線情報の取得には nac 社のアイマークレコーダー EMR-9 を使用した。同製品は瞳孔角膜反射法に基づき、近赤外照明による角膜の反射像と瞳孔の中心位置との相対距離から視線位置を検出する。60Hz での取得が可能であり、0.1 秒以上の視線停留点を検出する。

使用した FTD は GARMIN 社製の G1000 飛行計器を装備し、計器進入のチャートについては JEPPESEN 社製のものを使用した。

統計処理については SPSS Statics 24 を使用した。

4.2 視線情報に基づく指導の有効性の検証

指標有効性の検証実験は、2016 年 12 月 7 日より 2016 年 12 月 17 日迄の 9 日間で行った。

4.1 における検証実験の結果から、NIR パイロットに特有な課題遂行時に問題となる視線移動傾向、および IR パイロットに備わる課題遂行時の望ましい視線移動傾向について特定した後、視線情報による評価を基にした指導が訓練生の操縦技能向上を促すかについて実地有効性の検証を行った。

新たに計器飛行証明を保持していない NIR パイロット 14 名(男性 12 名、女性 2 名)が実験に参加し、ランダムに 7 名ずつの 2 群に分割し、実験群、統制群とした。飛行課題及び計測手順については 4.1.1 と同様の手続きとした。

計測実験は同課題を 2 回実施し、実験群に対しては被験者自身の第 1 回課題遂行時における視線情報及び飛行記録について映像で省察させた後、同課題を模範的 IR パイロットが遂行した際の視線情報及び飛行映像記録について省察させた。省察は問題が発生している地点を映像から検出し、原因と解決策について筆記させる方式とし、省察後に 2 回目の課題を実施した。統制群については省察を実施しなかった。第 1 回目と 2 回目の間隔は約 2 週間とした。

課題における操縦技量の評価については、4.1 における結果から、NIR パイロットの視線移動について課題の遂行段階にあわせてより詳細に評価することが望ましいと考えられたことから、5 段階の評価ルーブリックに加え、視線情報に基づいた評価基準を新規に作成し、課題遂行時のスキャンングとして見るべき対象を明確化した(図 3 参照)。評価は飛行時に常に実行が求められる常時スキャンング基準と、課題の進行にあわせて推奨される定点スキャンング基準の 2 つの観点から行い、各スキャンング基準において望ましいスキャンングが実行されなかった回数を減点方式で計数した。

5. 結果

5.1 評価指標としての視線情報の有効性の検証

実験参加者のうち、計器飛行証明保持者の平均年齢は 32.4 歳、非保持者の平均年齢は 20.2 歳であった。

課題実施時における諸計器への注視回数、合計注視時間、及び被験者のシミュレーションの操縦技能の評価について、Kolmogorov-Smirnov 検定を行い、正規分布が確認された。その為、t 検定を用いて解析を行った結果を表 2、3 に示す。

視線情報の内訳に関して、まず Bank への注視回数及び注視時間において、非計器飛行証明保持者が保持者よりも有意に高い値を示した。また、Altitude、IAS においては計器飛行証明保持者が非保持者よりも高い回数、時間を示す結果となった。また、Heading への注視時間についても保持者の方が非保持者よりも高い数値を示した。他の計器について有意差は観測されなかった。

操縦技能の評価得点については、IR 群が NIR 群よりも有意に高い評価得点を示した。

基準	初回 ターン開始	Bank角 45度付近	Bank角 45度到達	初回 ターン戻し	目標HDG 到達	2回目 ターン開始	Bank角 45度付近	Bank角 45度到達	2回目 ターン戻し	目標HDG 到達
定点 スキャンング 基準		Bank	IAS		HDG		Bank	IAS		HDG
常時 スキャンング 基準1	Pitch & Altitude & IAS									
常時 スキャンング 基準2	Power(IAS、Altitudeにずれがある場合)									

図 3 視線情報を基にした評価用ルーブリック

表 2 スティーブターン実行時における計器への注視回数および注視時間

Instrument	Gaze	Instrument rated pilot (IR) n=5	Non-instrument rated pilot (NIR) n=5	t-test	
				t (8)	Significance
Bank	Frequency	59.00 (SD±2.35)	89.80 (SD±4.98)	t (8) =-5.59	IR<NIR**
	Duration	18.73 (SD±3.13)	31.31 (SD±3.57)	t (8) =-2.65	IR<NIR*
Pitch	Frequency	59.80 (SD±10.40)	54.60 (SD±4.39)	t (8) =0.46	N.S
	Duration	18.09 (SD±1.72)	16.68 (SD±1.01)	t (8) =-0.71	N.S
Heading	Frequency	21.60 (SD±5.70)	11.40 (SD±3.67)	t (8) =-3.05	N.S
	Duration	7.02 (SD±1.51)	2.80 (SD±1.03)	t (8) =-2.31	NIR<IR*
Altitude	Frequency	31.40 (SD±4.46)	11.40 (SD±5.70)	t (8) =2.77	NIR<IR*
	Duration	7.48 (SD±1.37)	2.78 (SD±1.35)	t (8) =-2.45	NIR<IR*
IAS	Frequency	21.40 (SD±2.93)	3.60 (SD±1.36)	t (8) =5.51	NIR<IR**
	Duration	5.42 (SD±0.84)	1.21 (SD±0.34)	t (5.29) =-4.65	NIR<IR**
Power	Frequency	3.40 (SD±1.50)	1.20 (SD±0.58)	t (5.11) =1.36	N.S
	Duration	0.83 (SD±0.42)	0.25 (SD±0.13)	t (8) =-1.307	N.S

※Mean notation. Significance level **=0.01 *=0.05

表 3 IR・NIR 群における
操縦技能の評価

No	Group	Score
1	IR	5
2	IR	5
3	IR	5
4	IR	3
5	IR	3
6	NIR	1
7	NIR	1
8	NIR	2
9	NIR	1
10	NIR	1
t-test	t (8) =-5.67	NIR<IR**

Significance level **=0.01 *=0.05

表 4 評価点及び減点回数の推移

Group	No	1st Score	2nd Score	Difference of Score	1st Demerit Pont	2nd Demerit Pont	Difference of Demerit Pont
Experimental	1	1	3	2	25	4	-21
	2	1	3	2	22	11	-11
	3	1	2	1	11	7	-4
	4	1	2	1	16	5	-11
	5	2	2	0	15	8	-7
	6	1	2	1	15	14	-1
	7	1	2	1	13	10	-3
Control	8	1	1	0	16	14	-2
	9	1	1	0	12	14	2
	10	2	2	0	2	12	10
	11	1	1	0	21	20	-1
	12	1	1	0	31	30	-1
	13	1	1	0	12	15	3
	14	1	2	1	13	10	-3
Mann-Whitney U test	Experimental<Control**			Control<Experimental**			

Significance level **=0.01 *=0.05

表 5 実験群・統制群における計器注視の結果

Instrument	Gaze	Experimental (n=7)		Wilcoxon signed-rank test	Control (n=7)		Wilcoxon signed-rank test
		1st	2nd		1st	2nd	
Bank	Frequency	84.00	60.00	N.S	64.00	77.00	N.S
	Duration	28.26	21.29	1st>2nd**	32.25	25.51	N.S
Pitch	Frequency	47.00	55.00	N.S	49.00	57.00	N.S
	Duration	18.63	17.37	N.S	20.06	19.48	N.S
Heading	Frequency	17.00	27.00	1st<2nd**	32.00	28.00	N.S
	Duration	7.10	11.61	N.S	13.09	11.71	N.S
Altitude	Frequency	15.00	32.00	N.S	24.00	26.00	N.S
	Duration	4.42	11.87	1st<2nd**	7.93	7.78	N.S
IAS	Frequency	3.00	8.00	N.S	1.00	4.00	N.S
	Duration	1.46	1.52	N.S	0.37	1.15	N.S
Power	Frequency	1.00	3.00	N.S	0.00	0.00	N.S
	Duration	0.14	0.42	N.S	0.00	0.00	N.S

※Median notation. Significance level **=0.01 *=0.05

5.2 視線情報に基づく指導の有効性の検証

実験参加者の内、実験群の平均年齢は 20.2 歳、統制群の平均年齢は 20.1 歳であった。

課題実施時における操縦技能の 5 段階評価と減点回数の差分、及び諸計器への注視回数、合計注視時間について、Kolmogorov-Smirnov 検定を行い、非正規分布が確認された為、ノンパラメトリック法を用いて解

析を行った。結果について表 4、表 5 に示す。

操縦技能の評価点においては実験群が統制群に比して高い得点へと推移する結果となった。実験群においては民間航空会社において合格とされる段階 3 の評価到達者が 2 名観測された。

減点数に関しては実験群が統制群に比して減点数が減少する傾向が示された。

視線情報の内訳では、Bank への注視回数及び注視時間において、1 回目の実施から 2 回目の実施にかけて減少傾向が示された。同様に Heading への注視回数及び注視時間において、1 回目から 2 回目にかけて実験群が増加傾向を示した。また、Altitude への注視時間についても実験群が 1 回目から 2 回目にかけて増加傾向を示した。統制群についてはどの計器についても 1-2 回目間において有意な差は観測されなかった。

6. 考察

6.1 評価指標としての視線情報の有効性の検証

課題遂行時に、Bank への注視回数、注視時間が計器飛行証明非保持者の方が保持者よりも高かったことについては、非保持者は保持者に比して、旋回中、Bank 角を 45 度に維持することに強く集中していたことが原因として考えられる。

Altitude や IAS への注視回数、注視時間において、保持者の方が非保持者よりも高い値を示したことから、Bank の維持に注意を振り向ける一方で、機体の高度や速度の維持に関しては注意が疎かになっている傾向が示された。

Heading への注視時間について保持者の方が高い値を示す一方で、注視回数については差が出なかったことについては、Heading の示す数値を読み取る時間について、非保持者が漠然と見ているのに対し、保持者の方は、意味のある数字として認識に時間をかけているものと推察された。

上記のことから保持者と非保持者との間に異なる注視傾向、即ち保持者は各計器を万遍なくスキャンングするのに対して、非保持者は機体の Bank 角維持に注意の大半が向けられ、他の高度や速度維持について注視が少なくなるという傾向が検出されたと考えられる。

視線移動の傾向から技能レベルの差及び固有の問題点を検出することが出来たことから、定量的評価の指標としての有効性を示すことができたと考えられる。

6.2 視線情報に基づく指導の有効性の検証

視線情報に基づく省察を実施した実験群が統制群よりも高い評価得点へと推移したこと、また、減点数

についても統制群に比べて減少傾向を示したことから、この指導方法が訓練生の操縦技能の向上に寄与しているものと考えられる。

視線情報の内訳からは、6.1 にて計器飛行証明非保持者に特有の問題行動であった機体の Bank 角制御に気を取られることからの Bank への注視傾向が、省察を実施した実験群において減少していることが示されている。Altitude、Heading への注視時間も増加していることから、計器へのクロスチェックを、映像記録を省察することで意識するようになったものと考えられる。

IAS に関しては差は観測されなかったが、原因として、最高得点である 5 の評価を受けたパイロットが存在する群と、得点 3 が最高点であった群とでは明確な有意差が出るには至らなかったものと考えられる。

7. 結論

本研究ではシミュレーション教育の教育効果向上を念頭に、視線情報を評価指標とした操縦技能の定量的評価を行った。

第一に視線情報の定量的評価指標としての有効性検証を目的として、エアワーク時における視線情報の傾向について、操縦技能の異なる計器飛行証明保持者と非保持者の 2 群を対象に計測実験を行い、比較検討した。

視線の注視回数、及び注視合計時間の結果から、保持者がクロスチェックの結果として、万遍なく計器を注視する傾向が示されたのに対し、非保持者では課題の主要素である急旋回において Bank 角を一定に維持することに終始し、他計器への注視が減少するという問題点が定量的に示された。このことから視線情報によって操縦技能のレベルに応じた注視傾向を把握することができることが示され、評価指標として有効であることが示された。

続いて視線情報を用いて訓練生の操縦技能を向上させる実地有効性について検証を行い、非保持者を対象に、視線情報に基づく省察活動を実施し、前後における操縦技能の得点と視線の傾向について実施群と非実施群について比較分析した。実験の結果からは、省察実施群において第 1 の実験で明らかになった非保持者

の問題となる注視傾向の改善が示され、技能評価点が上昇し減点数が少なくなる傾向が示された。このことから、視線情報に基づく評価および指導は訓練生の操縦技能を改善するものと考えられ、有効性を示すことができたと考える。

今後の課題として、視線情報用ループリックを条件式とした VR による自動視線パターン学習システムを構築し、さらにパイロット教育の効果向上を図りたいと考えている。

商標

本論文中で使われているシステム・製品名は、一般に各社の商標または登録商標を指す。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 15K00494 の助成を受けたものである。

参考文献

- (1) 国土交通省航空局:我が国における乗員等に係る現状・課題 <http://www.mlit.go.jp/common/001019364.pdf>, (2013), pp.1-19.
- (2) 加藤 象二郎, 門尾 孝是, 西 修二: 心拍数からみた実機飛行と模擬飛行との比較, 人間工学, 32, 3 (1996), pp.123-129.
- (3) 鶴原 亜紀, 荒毛 将史, 小川 隆昭, 相羽 裕子, 冨塚 有次: フライトシミュレータによる飛行課題遂行時のワークロード評価: -ASSR を指標として- 人間工学 51(特別号), (2015), pp.342-343.
- (4) 野見山 武徳: シミュレータ飛行時の状況認識測定: 視線データ及び心拍データの分析" 日本人間工学会第 51 回大会講演集, (2010), pp.160-161.
- (5) Nadine B. Sarter, Randall J. Mumaw, Christopher D. Wickens.: Pilots' Monitoring Strategies and Performance on Automated Flight Decks: An Empirical Study Combining Behavioral and Eye-Tracking Data. The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, 49, 3(2007), pp.347-357.
- (6) 西 修二, 大久保 堯夫: フライトシミュレータを用いた操縦者の視線移動に関する研究, 人間工学, 31, 3(1995), pp.225-233.
- (7) 西 修二, 大久保 堯夫: 航空機操縦におけるパイロットの情報入手・操作行動と機体応答との関係についての一考察 日本経営工学会論文誌 47, 6(1997) pp.327-334.
- (8) Chung-San Yu, Eric Min-yang Wang, Wen-Chin Li, Graham Braithwaite, Matthew Greaves: Pilots' Visual Scan Patterns and Attention Distribution During the Pursuit of a Dynamic Target. Aerospace Medicine and Human Performance, 87, 1(2016) pp40-47(8)
- (9) Mackenzie G. Glaholt, Toronto Research Centre: Eye tracking in the cockpit: a review of the relationships between eye movements and the aviator's cognitive state. Defence Research and Development Canada Scientific Report DRDC-RDDC-2014-R153(2014)
- (10) Nadir Weibel, Adam Fouse, Colleen Emmenegger, Sara Kimmich, Edwin Hutchins.: Let's look at the cockpit: exploring mobile eye-tracking for observational research on the flight deck. Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications, (2012), pp.107-114.
- (11) Haslbeck, A., Schubert, E., Gontar, P. Bengler, K.: The relationship between pilots' manual flying skills and their visual behavior: a flight simulator study using eye tracking. a flight simulator study using eye tracking. In S. Laundry, G. Salvendy & W. Karwowski, Advances in Human Aspects of Aviation (Advances in Human Factors and Ergonomics), (2012), pp.561-568.
- (12) Emilien Dubois, Colin Blättler, Cyril Camachon, Christophe Hurter: Eye Movements Data Processing for Ab Initio Military Pilot Training. Intelligent Decision Technologies 39 of the series Smart Innovation, Systems and Technologies, (2015), pp.125-135.
- (13) 航空局技術部乗員課監修: “操縦士実地試験実施基準 操縦士実地試験実施細則”, 鳳文書林出版販売(株), 東京 (2008)

VDT 機器を使用する学習環境における ストレス検知のための動作認識

延 知奈美^{*1}, 泉 正夫^{*2}, 真嶋 由貴恵^{*3}

^{*1}大阪府立大学 工学域

^{*2}大阪府立大学大学院 工学研究科

^{*3}大阪府立大学大学院 人間社会システム科学研究科

Motion Recognition for Stress Detection in Learning Environment Using VDT Devices

Chinami Nobu^{*1}, Masao Izumi^{*2}, Yukie Majima^{*3}

^{*1}Faculty of Engineering, Osaka Prefecture University

^{*2}Graduate School of Engineering, Osaka Prefecture University

^{*3}Graduate School of Humanities and Sustainable System Science,
Osaka Prefecture University

近年教育現場での ICT の普及が進んでおり、この問題点の 1 つとして VDT 作業により疲労やストレスを感じる人が増加することが挙げられる。これを防ぐためには、作業中の人物の様子を観察し、疲労を感じていれば適切な休息をとらせるなどの対策が必要となる。作業状態の観察・状態を認識するために、本研究では KinectV2 から取得した作業者の映像と深度情報を利用し、疲労を感じた時に表出しやすい肩を触るなどの自己接触動作を認識することを試みた。認識は、肌の色相ヒストグラムと動きベクトルを用いて手領域を追跡し、身体の部分と手領域の深度値の差を求めることにより行った。

キーワード: VDT 症候群, 学習環境, 動作認識, ストレス, 疲労, 追跡

1. はじめに

近年 ICT 技術の普及に伴い、VDT 症候群患者が増加している。VDT 症候群とは、VDT (Visual Display Terminal) 機器を長時間使用することにより身体や精神に支障をきたす病気であり、主な症状として眼精疲労、肩こり、首や腰の痛み、抑うつ症状などが挙げられる。

また、教育現場でも ICT 技術が利用されるようになり、1 人 1 台端末の学習環境が整備され⁽¹⁾、IT 機器に長時間接する子どもが増加している。これに伴って近視視力不良の子どもの負担が大きくなることが予測されている⁽²⁾。また、日本眼科医会でも VDT 症候群の子どもの存在を報告し、対策の必要性を唱えている⁽³⁾。

VDT 症候群の予防のためには、適度な休息を取ることが重要であるとされている。厚生労働省の「VDT 作業における労働衛生管理のためのガイドライン」では、連続作業と連続作業の間に 10~15 分の作業休止時間を設け、一連続作業内に 1~2 回程度の小休止を設けることなどが示されているが、疲労は個別性が高いため、各人が疲労度に応じた休息を取ることが望まれる⁽⁴⁾⁽⁵⁾。そのためには作業中の疲労度を自動的に測定し、その疲労度に応じて休息を促すようなシステムが必要となる。

疲労度推定のための研究は数多く行われているが、アンケート⁽⁶⁾や生体情報⁽⁷⁾⁽⁸⁾を用いるなど、通常の作業姿勢での推定が困難なものが多い。そこで本研究では、

作業中の人物を撮影した映像から疲労度を推定し、適切に休息を促すことを目的に、疲労を感じているときに表出しやすいと考えられる、肩や首を触るなどの自己接触動作の認識を試みた。

2. 提案手法

作業者の様子を撮影した映像から自己接触動作を検出する手法を提案する。本手法では、Kinect センサを用いてデータを取得し、両手領域の追跡を行い、身体部分と手領域の深度値の差を算出する。提案手法の概要を図 1 に示す。

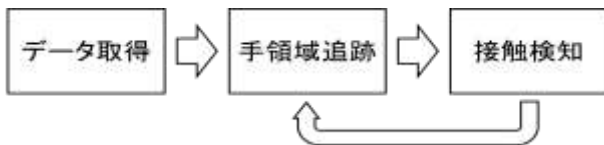


図 1 提案手法概要

2.1 データ取得

本手法では、作業者の撮影に Microsoft 社製の KinectV2 を用いる。同社が公開している Kinect for Windows SDK 2.0 を使用し、RGB 画像、深度情報、人物領域、顔領域の情報を取得した。

2.2 手領域追跡

自己接触動作、つまり手が身体の一部に触れる動作を認識するためには、まず手の位置を取得する必要がある。手領域追跡手法の概要を図 2 に示す。

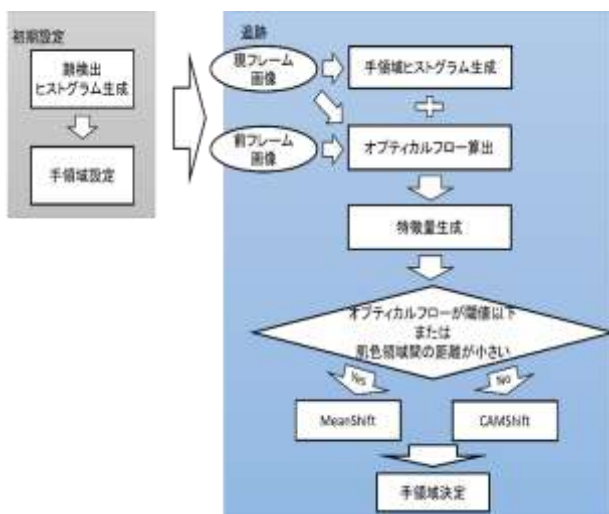


図 2 手領域追跡手法概要

まず、手領域の初期位置を設定する。Kinect から取得した顔領域の色相ヒストグラムを生成し、ヒストグラムの類似度が高く、人物領域内に含まれる領域を手

領域とする。この様子を図 3 に示す。これによって得られた手領域に対して毎フレーム追跡を行う。

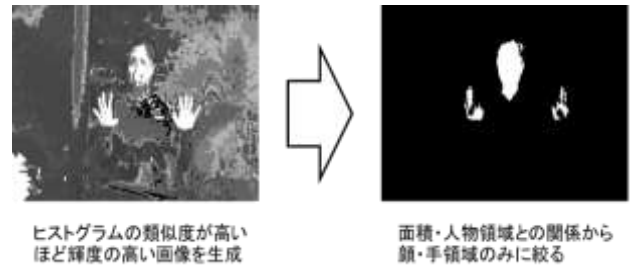


図 3 手領域初期設定の様子

追跡には MeanShift⁽⁹⁾と CAMShift⁽¹⁰⁾を用いた。これらの詳細については本節の 2 項と 3 項で述べる。追跡のための特徴量として、手が肌色であり、顔や背景領域と比較して動きが大きいという性質を利用して、色相ヒストグラムの類似度とオプティカルフローを用いる。特徴量生成の様子を図 4 に示す。

2.2.1 オプティカルフロー

オプティカルフローとは、時間連続な画像列中の物体の見かけの動きをベクトルで表したものであり、本手法ではオプティカルフローを推定するアルゴリズムとして、密なオプティカルフローを推定することができる Farneback によるアルゴリズム⁽¹¹⁾を使用した。



図 4 特徴量生成

2.2.2 MeanShift

MeanShift とは、与えられた集合で定義される密度関数における最頻値探索法である。MeanShift を用いて追跡を行う場合、図 5 のように画素の分布に対して与えられたウィンドウを移動し、画素の分布密度が最大になる領域を探索する。

MeanShift による追跡では、ウィンドウのサイズが固定であるため、手の位置や形状が変化した際に誤追跡をしてしまう可能性がある。そこで本手法では、大

きさや傾きの変化に柔軟な CAMShift を主要な追跡手法として用いる。

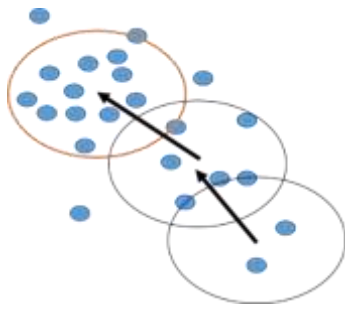


図 5 MeanShift による探索

2.2.3 CAMShift

CAMShift は MeanShift を拡張したものである。まず MeanShift アルゴリズムによりウインドウの中心を決定し、画素分布に合わせてウインドウのサイズを変更し、楕円の回転角を計算することにより、大きさや形状が変化しても追跡が可能となる。

CAMShift の欠点として、ウインドウの大きさを変更できるために、特徴が類似した領域が接近した場合にウインドウサイズが大きくなりすぎてしまうなどの誤追跡が生じる可能性がある。そのため本手法では色相ヒストグラムの類似度が近い領域が接近した場合と、手領域のオプティカルフローが小さい場合に追跡手法を MeanShift に切り替えることにより、誤追跡を防ぐ。CAMShift のみで追跡を行った場合と、CAMShift と MeanShift を組み合わせて追跡を行った場合の様子を図 6 に示す。

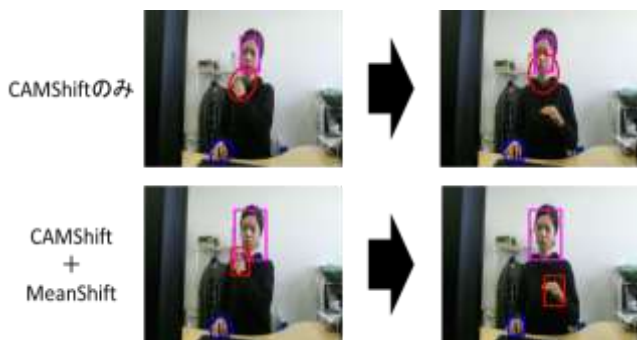


図 6 追跡の様子

2.3 接触検知

手領域とその領域の身体部分の深度値を算出することにより接触の検知を行う。ここで、胴体の移動量は小さいという性質より、手領域によって隠される前の値を利用し、身体部分の深度値とする。取得した深度値をグレースケール化して表示した結果を図 7 に示す。なお、深度値は Kinect センサから得られた値を使用

する。

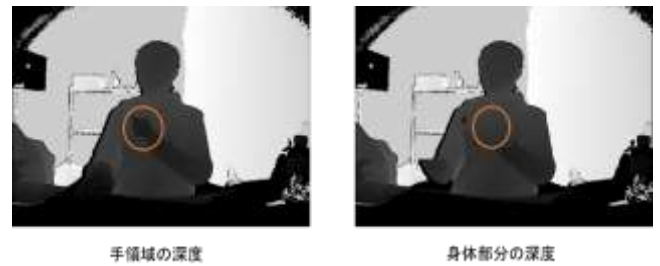


図 7 手領域と身体部分の深度情報

手が身体に接触するとき、手領域と身体部分の深度値の差は接触していないときに比べて小さくなると考えられるので、深度値の差が設定した閾値以下になった状態が一定フレーム以上続いたときに接触が起こったと判断する。深度値の差の変化をグラフ化したものを図 8 に示す。

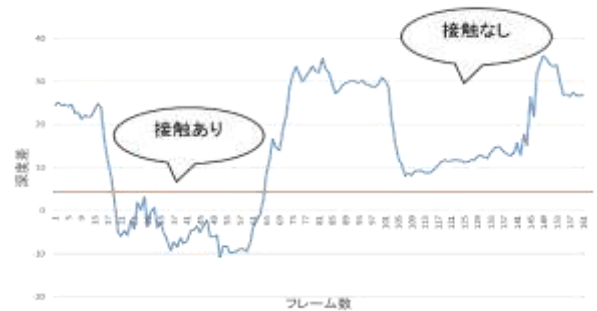


図 8 深度差変化

3. 実験

3.1 実験環境

図 9 にデータ取得のための撮影環境を図示する。KinectV2 の深度値の取得範囲は 0.5~8.0m であるため、その範囲内に被験者の上半身全体が収まるように設定した。その他実験環境を以下に示す。

- ・解像度：512×424 ピクセル
- ・フレームレート：30 フレーム/秒

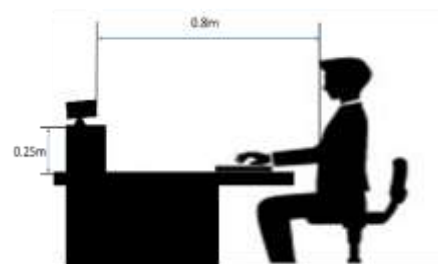


図 9 実験環境

3.2 実験内容

本研究では、被験者 4 人に自己接触動作のうち作業

中に表出しやすいと考えられる「肩を触る」「首を触る」「頭を触る」の動作と、「どこにも接触しない」という動作をそれぞれ両手で5回ずつ行ってもらい、追跡と接触検知の精度を検証した。なお、両手領域の位置の初期設定をできるだけ正確に行い、かつ身体部分の深度値に影響を与えないように、撮影は図10のように両手を挙げた姿勢から開始した。



図10 撮影初期姿勢

3.3 実験結果

まず、手領域追跡の実験結果を表1に示す。判定は目視で行い、追跡率の算出には以下の式を用いた。

$$\text{追跡率} = \frac{\text{正追跡フレーム数}}{\text{全フレーム数}} \times 100$$

表1 追跡結果

	正追跡 フレーム数	誤追跡 フレーム数	追跡率
肩	1764	88	93.7
頭	1823	161	91.8
首	1795	234	88.4
接触なし	1680	39	97.7
全動作	7062	522	93.1

次に、接触検知の実験結果を表2に示す。検知率の算出には以下の式を用いた。

$$\text{検知率} = \frac{\text{接触検知正解数}}{\text{動作数}} \times 100$$

表2 接触検知結果

	検知率
肩	95
頭	75
首	70
接触なし	95
全動作	83.8

また、手領域を正確に追跡できていた場合のみの接触検知率を表3に示す。

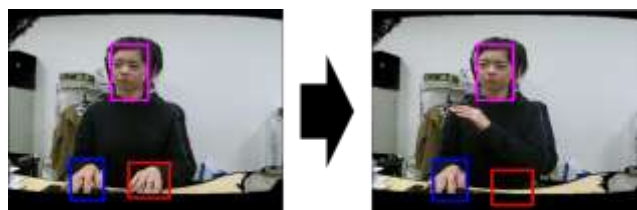
表3 正追跡時の接触検知結果

	検知率
肩	100
頭	80
首	80
接触なし	95
全動作	89.7

4. 考察

4.1 手領域追跡

実験結果より、全体の追跡率は90%以上と高い数値となったが、首や頭に接触する動作のときに追跡率が低下した。図11に誤追跡の例を示す。



誤追跡例(a)



誤追跡例(b)

誤追跡例(c)

図11 手領域誤追跡例

図11(a)では、連続フレーム間で領域の移動距離が大きすぎたために誤追跡が生じた。撮影がスムーズに行われた場合には、通常速度で動作を行ったときに図のように同領域が大きく離れることはない。そのため、この種の誤追跡を防ぐためにはシステムの高速化をする必要があると考えられる。

図11(b)では、顔領域と手領域が長時間近接していたために誤追跡が生じた。本手法では色相ヒストグラムとオプティカルフローを特徴量として使用しているため、手領域が顔領域の近くで静止すると顔領域との区別が困難になり、精度が低下する。この対策として追跡手法をCAMShiftからMeanShiftに切り替えるだけでなく、顔領域を候補から除外するための工夫が必要であると考えられる。

図11(c)では、手領域の大部分が身体に隠れてしまったために誤追跡が生じた。本手法では、手領域が常に存在するという前提としているため、図のよう

な状態のときに追跡が不安定となる。これを防ぐためには、領域が隠れたということを検知し、隠れた領域の位置を推定する仕組みが必要となる。

また、本手法では一度追跡対象から大きく外れてしまうと復帰が困難であり、手領域と異なる物体の追跡を続けてしまうという状態が見受けられた。そのため、一定フレーム間隔で顔領域のヒストグラムと比較し直すなどにより、誤追跡を検知するシステムを構築する必要がある。

4.2 接触検知

表 3 より、手領域の追跡が正しく行われている場合には、89.7%の精度で接触を検知できており、接触がない動作の場合にも同程度の精度で検知ができていることから、本手法は接触検知に有用であるといえる。ただし、肩に比べて首や頭の接触検知率が低下するという問題がある。これは、本手法は深度情報を利用しているため、撮影映像に写っている接触部分の面積が小さいと、深度情報の値が正確に測定できないことが原因であると考えられる。そのため、前後の接触だけでなく、あらゆる角度での接触を考慮した検知システムを構築する必要がある。

5. おわりに

VDT 機器を使用する学習環境において、VDT 症候群予防のためには疲労を検知し休息を促すシステムが必要である。そこで本稿では、疲労検知のための自己接触動作の認識手法を提案した。色相ヒストグラムとオプティカルフローによる特徴量から CAMShift と MeanShift を組み合わせた手法により手領域を追跡し、手領域と身体領域の深度値の差により接触を検知した。提案手法の有用性を検証するために実験を行った結果、状況によって追跡が困難になる場合があることが分かった。

今後の課題としては、4.1 節に挙げた誤追跡を防ぐための対策や 4.2 節に挙げた首や頭の接触検知への対策を行い、接触検知の精度を向上させる必要がある。さらに、姿勢や身体動揺量などの状態と組み合わせることにより、実際にストレスや疲労を検知できるシステムの開発を目指したい。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 JP25330412, JP26293451 の助成を受けたものです。

参考文献

- (1) 文部科学省:“平成 27 年度学校における教育の情報化の実態等に関する調査結果”(2016)
- (2) 高橋ひとみ, 川端秀仁, 衛藤隆:“ICT 教育の推進に向けて—近見視力との関連—”, 桃山学院大学総合研究所紀要, Vol.42, No.1, pp.1-13 (2016)
- (3) 公益社団法人日本眼科医会: 子どもの IT 眼症 <http://www.gankaikai.or.jp/health/36/> (2017 年 2 月 6 日確認)
- (4) 厚生労働省:“VDT 作業における労働衛生管理のためのガイドライン”(2002)
- (5) 平間大貴, 鴨澤健志, 岩崎武史, 皆月昭則:“VDT 症候群における予防アプリケーションの開発”, 情報科学技術フォーラム講演論文集, Vol.12, No.2, pp.431-432, (2013)
- (6) 川井俊輝, 敷田幹文:“ストレス心理学に基づく情動モデリングとストレス推定”, 研究報告デジタルコンテンツクリエーション, pp.1-8 (2014)
- (7) 高橋圭太, 井上浩:“心拍変動解析による VDT 作業者の疲労の検討”, 電子情報通信学会総合大会講演論文集, 2008 年_基礎・境界, pp.92 (2008)
- (8) 大野雅樹, 和田美帆子, 松井香織:“唾液中ストレスマーカーによる女子大生のストレス耐性の評価”, 京都女子大学発達教育学部紀要, Vol.10, pp.69-76 (2014)
- (9) D.Comanicu, P.Meer: “Mean Shift: A robust approach toward feature space analysis”, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 24, pp. 603–619 (2002)
- (10) G.R, Bradski: “Computer vision face tracking for use in a perceptual user interface”, Proc. of Intel Technology Journal (1998)
- (11) Farneback: “Two-frame motion estimation based on polynomial expansion”, In Proc Scandinavian conf. Image Anal, SCIA, pp 363-370 (2003)

ロボットを活用した小学生のための 認知症サポーター育成教材の開発と評価

村嶋琴佳^{*1}, 榎田聖子^{*2}, 真嶋由貴恵^{*1}

^{*1} 大阪府立大学 現代システム科学域, ^{*2} 関西医療大学 保健看護学部

Development and Evaluation of Teaching Materials of Dementia by a Robot for Schoolchildren Supporters

Kotoka Murashima^{*1}, Seiko Masuda^{*2}, Yukie Majima^{*1}

^{*1} College of Sustainable System Sciences, Osaka Prefecture University

^{*2} Faculty of Health and Nursing, Kansai University of Health Sciences

近年、認知症高齢者数の増加を背景に、認知症の人の見守り役として地域住民に対する期待も高まっている。特に小学生など次世代の地域を担う若年層が、認知症サポーターとして地域で活躍することが重要である。そこで本研究では、小学生が認知症高齢者への対応方法を実践的に学習することを目的とし、コミュニケーションロボットの Pepper を活用した教材の開発と評価を行った。教材には現実的な文脈として認知症高齢者に見られる代表的な症状をモデル化した。学習目標の達成と学習意欲の持続においてはメリルの ID の第一原理と ARCS モデルの 2 つの理論を応用した。さらに、教材の有効性を検証するために、地域福祉の専門家 5 名を対象にアンケート調査による評価を行った。その結果、Pepper を用いることで学習意欲が増加し、効果的に学習できることが推測された。今後は、評価に基づき教材に機能を追加・改善し、認知症キッズサポーター養成講座への導入を目指す。

キーワード: 認知症, 小学生, メリルの ID の第一原理, ARCS モデル, コミュニケーションロボット

1. はじめに

厚生労働省研究班の調査⁽¹⁾によると、65 歳以上の高齢者のうち、認知症の人の数は 2012 年時点で全国に約 462 万人いると推計されている。また、認知症予備軍である軽度認知障害 (MCI) の患者も推定約 400 万人いるとされ、約 4 人に 1 人の 65 歳以上の高齢者が、認知症またはその予備軍ということになる。さらに 2015 年 1 月に新たに、2025 年には 65 歳以上の認知症高齢者数が全国で約 700 万人にのぼる⁽²⁾と推定された。認知症になっても住み慣れた土地で暮らし続けるには、周囲の理解が必要不可欠であるが、認知症に対する周囲の人々の理解はあまり進んでおらず⁽³⁾、心無い言葉を投げかけられたり、対人トラブルの原因にな

ったりする。こうした差別や偏見をなくし、認知症に関する正しい知識を持った地域住民が認知症高齢者をサポートすることが重要である。このため、全国各地でもさまざまな対策や活動が行われており、その 1 つに「認知症サポーター養成講座」がある。この活動は 2005 年に厚生労働省が提唱した「認知症を知り地域を作る 10 ヶ年」⁽⁴⁾キャンペーンの一環として始まった。全国キャラバン・メイト連絡協議会が中心となり、養成講座の講師役となるキャラバン・メイトの養成や、全国各地の自治体・企業・学校などで認知症サポーター養成講座を開催している。2016 年 12 月末現在、認知症サポーターの数は 8,497,194 人を超え、キャラバン・メイトも 136,306 人となっている⁽⁵⁾。

養成講座を受講するにあたって年齢制限はないた

め、老若男女問わず受講が可能である。特に小学校や中学校では「認知症キッズサポーター養成講座」と称して認知症啓発授業が各地で開催されており、若年層のうちから認知症や高齢者への正しい理解を深める良い機会となっている。講座の内容は、認知症の機序や症状、対応方法など多岐に渡っている。村山らの調査⁽⁶⁾では、この啓発授業を受けることで、認知症に関する知識の獲得や、認知症高齢者に対する共感的意識の形成につながる事が明らかにされている。

しかし、養成講座受講者の受講後の認知症に対する行動変容を調査した研究は少ない⁽⁷⁾。さらに、認知症啓発授業における小学生向けの効果的な教材を検証する研究はなく、どのような教材が小学生の啓発意識を高めるのかは明らかではない。また、講座で使われる教材はキャラバン・メイトや各地の地域包括支援センターの職員、民生委員などによる手作りのため、内容はさまざまであり、講座の回数を重ねる中で手探りで作成されている。加えて、講座で学んだ認知症高齢者に対する接し方を実際に体験し、その対応についてフィードバックするような講座内容はあまり見受けられない。そこで本研究では、認知症に対する啓発意識だけでなく、対応方法を実践的に学ぶために、認知症高齢者に見立てたロボットを使用し、このロボットに接しながら認知症の知識や認知症高齢者への関わり方を学ぶことができる、小学生のための認知症サポーター育成教材の開発することを目的とした。

2. 認知症キッズサポーター養成講座の現状と課題

2.1 認知症キッズサポーター養成講座の内容と課題

小学生を対象とした講座では、認知症についての知識や、認知症の人への対応方法を、スライドやホワイトボード、寸劇や紙芝居を用いることが多い^{(6),(8)}。具体的には、認知症に関する知識として、「認知症が脳の病気であること」「認知症になると新しいことを覚えにくくなること」といった認知症の中核症状が取り上げられる。また、認知症高齢者の一般的な症状や対応方法の例などは寸劇や紙芝居を通して伝えている。講座によってはグループワークを行い、小学生自身が感じたことや学んだことを発表することもある(表1)。こ

れらの内容を通してキャラバン・メイトは小学生に、認知症は誰しもうなり得る脳の病気であること、認知症の人には思いやりを持って接すること、偏見や差別意識を持たないことなどを伝えている。しかし、講座に費やされる時間は1~2時間程度というところが多く、全ての項目を十分に網羅することは難しい。そのため、小学生が講座で学んだ認知症の人に対する接し方をその場で実践したり、考察したりする機会はあまりない。そこで本研究では「実践できる」ことを重視し、認知症高齢者が実際にいなくても、認知症高齢者を相手にしているようなイメージができるロボット教材を開発する。

表 1. 認知症サポーター養成講座内容の一例

内容	所要時間	教材	課題
認知症に関する知識	25分	スライド	病名など小学生が理解し難い内容が含まれる。
認知症の症例紹介	10分	紙芝居	現実と関連付けて考えさせる工夫が必要。
対応方法の紹介	30分	寸劇 グループワーク	学習したことを実践する機会が無い。
まとめ	10分	スライド	フィードバックが難しい。

2.2 講座で取り上げられる認知症高齢者の症例

対応方法を学ぶ教材として、講座でも良く取り上げられる認知症の症状の1つに「物忘れ」がある。認知症の原因となる病気には、アルツハイマー病やレビー小体病、血管性認知症など多くの種類があり、出現する症状やその程度は様々である⁽⁹⁾。しかし、物忘れという症状は全ての認知症において現れる。また、物忘れの症状が進むと、食事を取ったのにすぐに空腹を訴えたり、約束をしていたこと自体を忘れていたりなど、対人関係に影響を及ぼすような言動が増えていく。認知症キッズサポーター養成講座でも、そういった症状をモデルに作られた紙芝居や寸劇などが多く見られる。また、こうした紙芝居などを見た後に、小学生に紙芝居の中での接し方の良し悪しを考えさせるところも多い。今回ロボット教材を開発する上でも、講座中の寸

劇などで取り上げられやすい症例を参考に、小学生が実生活の出来事に置き換えることができ、かつ自分が考えた接し方によって相手の反応がなぜ変わるのかを考えやすいように設計を工夫した。

3. ロボットを活用した小学生のための認知症サポーター育成教材の開発

3.1 コミュニケーションロボットの活用

本研究では、小学生が実際に認知症高齢者と出会ったときに正しい対応ができるようにするために、認知症高齢者に見立てたロボットを活用した認知症サポーター育成教材を開発する。これにより、認知症高齢者への具体的な声のかけ方や接し方を実践的に学ぶことができると思う。そのためには人間と同じように双方向のコミュニケーションをとることが必要である。そこで今回使用するロボットは、Pepper（ソフトバンクロボティクス株式会社/Aldebaran）を採用した。Pepper は身長が 121 センチの人型ロボットで、人間と共生することを目的として開発されており、画像認識・音声認識・会話・移動などが可能である。これらの機能から、Pepper を認知症高齢者のように振舞わせることが可能であると思う。Pepper を活用した教材の開発には、ソフトバンクロボティクス株式会社が公開している開発キット「Choregraphe（コレグラフ）」を使用した。

3.2 教材設計理論の応用

本研究では、効果的に学習目標を達成させるために、M.D.メリルの ID の第一原理と J.M.ケラーの ARCS モデルを教材の設計に適用する。

3.2.1 M.D.メリルの ID の第一原理

M.D.メリルは、数多くの ID（Instructional Design：教育設計）モデルや理論に共通する原理として、効果的な学習環境を実現するために「ID の第一原理」と呼ばれる 5 つの要件^{(10),(11)}をまとめている（表 2）。

表 2. メリルの ID の第一原理⁽¹¹⁾

要件
①現実に起こりそうな問題に挑戦する（問題）
②すでに知っている知識を動員する（活性化）
③例示がある（例示）
④応用するチャンスがある（応用）
⑤現場で活用し、振り返るチャンスがある（統合）

図 1 にメリルの ID の第一原理を教材に応用させるタイミングを示す。具体的には、Pepper が認知症の症状を示すことで、学習者である小学生は問題に直面（①問題）し、自分の既存知識で対応する（②活性化）。その後、正しい対応を示すと Pepper が穏やかになることを例示し（③例示）、先の問題と異なる問題（2 回目）に挑戦することで応用をはかる（④応用）。また、2 回目の挑戦でなぜ自分はその選択をし、Pepper が反応したのか振り返る（⑤統合）ことができる。このように、メリルの原理に基づいて設計することで、学習者は内省を踏まえて効果的に学習を統合できると考えている。

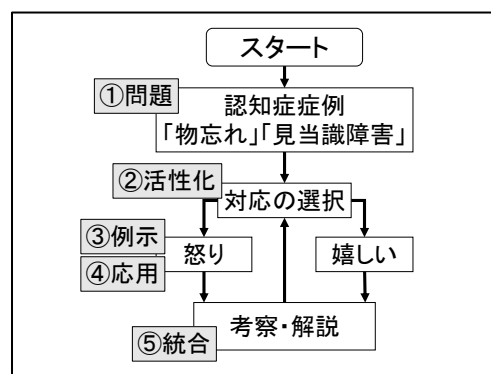


図 1.メリルの ID を第一原理の応用するタイミング

3.2.2 J.M.ケラーの ARCS モデル

学習意欲を扱う ID の中で最も代表的なものとして J.M.ケラーが提唱する ARCS モデルがある。これは、学習意欲を 4 つの因子に分類し、それぞれの因子を刺激することで効果的に意欲を持続させるためのモデル⁽¹²⁾である（表 3）。

表 3.ARCS モデル

分類	
Attention 注意	学習者の興味・関心を引く
Relevance 関連性	学習課題を提示し、学習者との関連性を示す
Confidence 自信	学習者に成功の体験を与え、自信を獲得させる
Satisfaction 満足感	学習に対して満足感を与え、次の学習意欲へ繋げる。

図2にARCSモデルを教材に応用させるタイミングを示す。教材開発において、本研究ではこのモデルも適用させる。具体的には、Pepper が学習者を認識するとその人に対して話しかける(①注意)。次に、認知症高齢者の症例を示し、対応方法を学ぶという学習課題を提示する(②関連性)。さらに、正しい対応方法を選択すると Pepper が喜び、学習者に成功したことを伝え、満足感を与える(③自信、④満足感)。

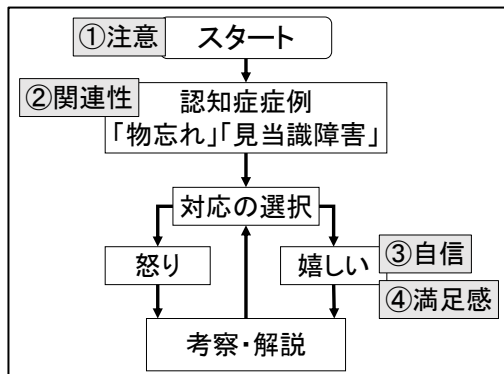


図 2.ARCS モデルを応用するタイミング

3.3 認知症高齢者の感情を学習させる工夫

接し方によって、認知症高齢者の感情の変化を視覚的に理解しやすくするため、Pepper の胸元に付属されているタブレットに感情を表現するイラスト(左から順に「とても嬉しい」「嬉しい」「普通」「悲しい・混乱」「怒り」)を表示させる(図3)。



図 3.Pepper のタブレットへの表示例

3.4 集合教育における工夫

小学校で行われる認知症サポーター養成講座では、体育館や教室など広い場所で行われる。また、子どもたちの話し声が常時発生するため、Pepper の音声認識機能が正常に動作しない可能性がある。そこで、開発した教材を実際の講座に導入することを想定し、確実に認識を行わせるために言葉を QR コードで置き換え、認識させるようにした。

3.5 認知症高齢者の症例のモデル化

認知症高齢者によく見られる「物忘れ」と「見当識障害(時間や場所の概念がわからなくなる障害)」の2つの症状を、Pepper に搭載されている音声認識と画像認識の機能を用いてモデル化し、再現させる。

(1) 「物忘れ」のモデル化

「物忘れ」のモデル化では、質問したこと自体を忘れて何度も同じ質問を繰り返す物忘れの症状を取り上げる。まず、Pepper の画像認識機能を利用し、目の前を人が通過するのを認識する度に Pepper が何度も同じ質問を行う。次に、それに対する返答を音声で認識することによって Pepper の反応が変わるように設計した(図4)。

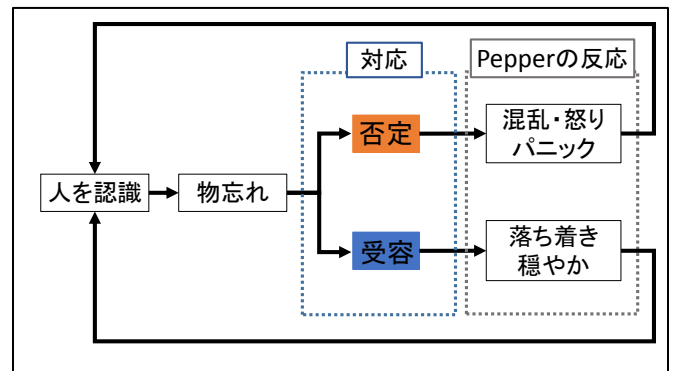


図 4.「物忘れ」のモデル化

この場合の Pepper が認識する言葉は表4の通りである。例えば、夕飯を食べたはずなのに食べていないと主張する Pepper に対し、「食べたでしょう!」と強く否定する言葉を言うと、Pepper が怒りを露わにし、胸のタブレットに表示された Pepper の感情も「怒り」のイラストになる。逆に、「もう少し待ってね」と優しく振舞うと、Pepper は落ち着き、感情イラストも「とても嬉しい」または「嬉しい」になる。

表 4.Pepper が認識する言葉

対応	認識する言葉
否定 (Pepper が怒る)	<ul style="list-style-type: none"> ・もう食べた ・食べたでしょう！ ・いい加減にして
受容 (Pepper が落ち着く)	<ul style="list-style-type: none"> ・もう少し待ってね ・お菓子食べよう

(2) 「見当識障害」のモデル化

「見当識障害」のモデル化では、相手を正しく認識できないという症状を取り上げる。はじめに、画像認識機能によって目の前の人を認識すると、その人へ Pepper が話しかける。次に、それに対する返答を QR コードによって認識させ、返答の内容次第で Pepper の反応が変化するように設計した (図 5)。

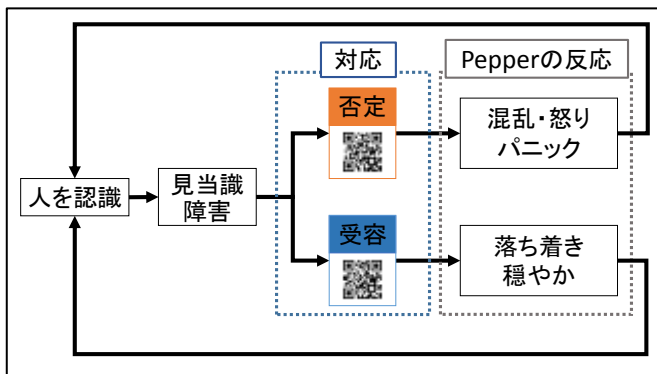


図 5. 「見当識障害」のモデル化

例えば、孫を自分の娘の幼少期と勘違いしている Pepper に対し、否定の QR コードを見せながら「ちがう！」と怒ると、Pepper はパニックを起こし、タブレットに表示された Pepper の感情も「悲しい・混乱」または「怒り」になる。一方、受容の QR コードを見せながら Pepper の話に合わせて接すると、Pepper はパニックを起こすことなく落ち着き、感情イラストも「とても嬉しい」または「嬉しい」になる。

4. 評価

開発した教材を、学習効果と学習意欲の観点から評価するため、地域福祉の専門家 5 名に対しアンケート調査を行った。質問項目は全部で 17 項目あり、それぞれ「5.そう思う」「4.どちらかといえばそう思う」「3.どちらでもない」「2.どちらかといえばそう思わない」「1.そう思わない」の 5 段階評価を得た。学習効果に

関する質問項目は M.D.メリルの ID の第一原理を基に作成し、学習意欲に関する質問項目は ARCS モデルを参考にした。

4.1 学習効果に関する評価

結果の平均点は、「①問題」が 4.20 点、「②活性化」が 3.6 点、「③例示」が 4.60 点、「④応用」が 4.40 点、「⑤統合」が 4.20 点となった (表 5)。

表 5. 学習効果に関する評価結果 (N=5)

①問題	②活性化	③例示	④応用	⑤統合
4.20	3.60	4.60	4.40	4.20

4.2 学習意欲に関する評価

結果の平均点は、「A 注意」が 4.33 点、「R 関連性」が 3.80 点、「C 自信」が 4.27 点、「S 満足感」が 4.20 点となった (表 6)。

表 6. 学習意欲に関する評価結果 (N=5)

A 注意	R 関連性	C 自信	S 満足感
4.33	3.80	4.27	4.20

4.3 評価アンケートから得られた意見

学習効果に関するアンケートの質問項目には、それぞれ以下の意見が寄せられた (表 7)。

表 7. 学習効果に関する評価に寄せられた意見

メリルの ID の第一原理	寄せられた意見
①問題	現実に起こりそうな問題ではあるが、表面的である。
②活性化	小学生が過去の経験で得た知識を活用しにくいと思う。
③例示	Pepper を通して認知症高齢者への対応方法を学習できると思う。
④応用	Pepper に対して正しい対応を行うことはできるが、人に応用するのは難しい。
⑤統合	Pepper との関わりを日常生活に置き換えて考えることは難しい。

また、学習意欲に関するアンケートの質問項目には、それぞれ以下の意見が寄せられた (表 8)。

表 8.学習意欲に関する評価に寄せられた意見

ARCS 分類	寄せられた意見
A 注意	Pepper を用いることで、小学生が興味を持って講座に臨めると思う。
R 関連性	小学生が Pepper を認知症高齢者として捉えることが難しい。
C 自信	認知症高齢者への対応方法を楽しく学習することができる。
S 満足感	Pepper と接することで講座に満足することができると思う。

4.4 考察

学習効果に関する評価では、全体的に高い評価得点が得られたが、中でも「③応用」が最も高い 4.60 点となり、「②活性化」が最も低い 3.60 点となった。このようになった理由としては、Pepper を通して認知症高齢者への対応方法を学習できるという意見が挙げられた一方で、今回モデル化の際に取り上げた症例に関して、現実で起こりそうな問題ではあるが表面的であるといった意見や、Pepper との関わりを日常生活に置き換えて考えることは難しいといった意見が挙げられたためである。今後「②活性化」を高めていくためには、代表的な場面を取り上げるのではなく、対象とする地域で実際に起こった問題を取り上げるなど、より具体的で身近な症例をモデル化させる必要がある。

学習意欲に関する評価アンケートでも、全体的に高い評価得点が得られた。最も高い得点となったのは「A 注意」の 4.33 点で、最も低い得点となったのは「R 関連性」の 3.80 点である。このような結果となった理由としては、Pepper を用いることで小学生が興味を持って講座に臨めようという意見に対し、小学生が Pepper を認知症高齢者として捉えることが難しいといった意見が寄せられたためである。このことから、「R 関連性」を高めていくためには、Pepper の見た目に関して、衣装を着せたり音声に実際の高齢者の声を活用したりするなどの工夫が必要である。

全体に対する意見としては、認知症高齢者に対する小学生の言動がどのように影響するのかを示した方が良いという意見があった。今後は、症例のモデル化だけでなく、小学生が認知症高齢者に対して取り得る言動をプログラムに組み込むことで、自身の行動の影響を実感させ、教育効果を高められるのではないかと考える。

5. まとめ

本研究では、小学生が認知症高齢者への対応方法を実践的に学習することを目的とし、Pepper を活用した小学生のための認知症サポーター養成教材の開発と評価を行った。教材の設計にはメリルの ID の第一原理と ARCS モデルの 2 つの理論を応用し、学習目標の達成と学習意欲の持続を図った。具体的には、Pepper の音声認識と画像認識の機能を使い、認知症高齢者によく見られる症例をモデル化し、Pepper との接し方を通じて認知症高齢者への対応方法を学べるように設計した。また、地域福祉の専門家による評価アンケートを実施し、教材の有効性を検討した。その結果、Pepper を用いることで学習意欲が増加し、効果的に学習できることが推測された。また、教材の設計においては、実際に起こった問題のモデル化や、Pepper を高齢者と関連付けて考えるための工夫など、改善すべき点が挙げられた。今後は、評価に基づいて教材により具体的な症例を追加・改善し、認知症キッズサポーター養成講座への導入を目指したい。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP16K12355 の一部の助成を受けたものです。

参考文献

- (1) 朝田隆: “都市部における「認知症有病率と認知症の生活機能障害への対応」, 厚生労働科学研究費補助金 認知症対策総合研究事業 総合研究報告書 (2011 年度—2012 年度)
- (2) 厚生労働省報道発表資料 2: “「認知症施策推進総合戦略～認知症高齢者などにやさしい地域づくりに向けて～(新オレンジプラン)」について”, <http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/0000072246.html> 2015 年 1 月 27 日掲載(2017 年 2 月 1 日確認)
- (3) Arai Y, Arai A, Zarit SH: “What do we know about dementia? ; A survey on knowledge about dementia in the general public of Japan”, *International Journal of Geriatric Psychiatry*, Vol.23, No.4, pp.433-438(2008)
- (4) 厚生労働省「認知症を知り地域をつくる 10 ヶ年」の構想, <http://www.mhlw.go.jp/topics/kaigo/dementia/c01.html> (2017 年 2 月 1 日確認)

- (5) 認知症サポーターキャラバン,
<http://www.caravanmate.com/> (2017年2月1日確認)
- (6) 村山陽, 小池高史, 倉岡正高, 藤原佳典: “認知症啓発授業が小中学生の認知症高齢者イメージに及ぼす影響 テキストマイニング手法による分析”, 日本認知症ケア学会誌, Vol.12, No.3, pp.593-601(2013)
- (7) 森本喜代美, 林谷啓美, 窪内敏子: “認知症サポーター養成の課題とあり方”, 園田学園女子大学論文集, Vol.46, pp.89-97(2012)
- (8) 細川敦子, 金子紀子, 前田充代, 天津栄子, 松平裕佳, 金川克子: “A 小学校の総合学習に「認知症」の学習を取り入れて”, 石川看護雑誌, Vol.6, pp.53-58(2009)
- (9) 数井裕光, 杉山博通, 坂東潮子: “認知症知って安心! 症状別対応ガイド”, 株式会社メディカルレビュー社, 大阪(2012)
- (10) Merrill, M. D.: “First Principles of Instruction”, Educational Technology Research and Development, Vol.50, No.3, pp.43-59(2006)
- (11) 鈴木克明, 根本淳子: “教育設計についての三つの第一原理の誕生をめぐって”, 教育システム情報学会誌, Vol.28, No.2, pp.168-176(2011)
- (12) J.M.Keller: “An integrative theory of motivation, volition, and performance”, Technology, Instruction, Cognition, and Learning, Vol6, pp.79-104(2008)

高齢者を対象としたロボットを用いた健康促進教材の設計

玉井臣人^{*1}, 真嶋由貴恵^{*1}, 菅秀樹^{*2}, 井上修紀^{*2}

^{*1} 大阪府立大学 現代システム科学域

^{*2} 関西電力株式会社 研究開発室技術研究所

Design of Health Promotion Teaching Material with Communication Robot for the Elderly

Takahito Tamai^{*1}, Yukie Majima^{*1}, Hideki Suga^{*2}, Syuuki Inoue^{*2}

^{*1} College of Sustainable System Sciences, Osaka Prefecture University

^{*2} Kansai Electric Power Company Research and Development Department R&D Center

日本では近年、少子高齢化の進行により医療費や介護負担の増大が問題となっている。これらの問題を解決するには、多くの高齢者が自立して健康な生活を送ることが必要である。そこで本研究では高齢者の健康促進を支援する健康アドバイスシステムの開発を目的とする。今回は、高齢者が利用しやすいようにロボットを活用し音声で操作できるようなシステムの開発とその操作性および印象に対する評価を行った。

キーワード：高齢者，コミュニケーションロボット，ロボホン，健康アドバイスシステム

1. はじめに

近年、日本では少子高齢化が進む中、2050年には65歳以上の高齢者一人あたり20～64歳が1.2人で支えるという状況が推定され⁽¹⁾、医療費や介護負担の増大が問題として挙げられている⁽²⁾。これらの問題を解決するためには単なる寿命の延伸ではなく、多くの高齢者が可能な限り長く自立し健康に過ごすことが必要で、日常的な健康管理が求められている。

本研究では、高齢者の日々の健康状態をチェックし、軽い運動（外出）を促進するような健康アドバイスシステムの開発を目的とする。先行研究⁽³⁾において、高齢者はタブレット PC のタップ操作が困難であったことより、音声による操作の導入を検討している。また近年、人と会話し、人の生活を支援する存在として、人型のコミュニケーションロボットの活用が進められている。これらのことから今回、高齢者が利用しやすいようなインターフェースとしてロボットを活用し音声で操作できるようなシステムを開発した。さらに、ロボットの操作性および印象について評価を行った。

2. ロボットの活用

2.1 コミュニケーションロボット

近年、様々な役割に応じてロボットの開発が進められている。人の生活の支援を目的とした動作機構が主体に置かれたヒューマノイド型ロボットや、人を癒すことを目的としたあざらしや犬のような姿をしたペット型ロボットなどがある。その他、音声認識や会話機能を用い、会話を主体に考えられたコミュニケーションロボットがある。

2.2 ロボホンの活用

これまで音声認識技術において、その認識率の低さが課題であったが、今回採用したモバイル型ロボット電話のロボホン（SHARP）では、認識率の精度の向上と会話やダンスなどを行う親しみやすさから、高齢者に受け入れられやすいと判断し採用した。

ロボホンは、小型の人型ロボット（高さ20cm）で、持ち運びしやすい。またカメラやGPS、加速度などのセンサーが搭載されている（図1）。

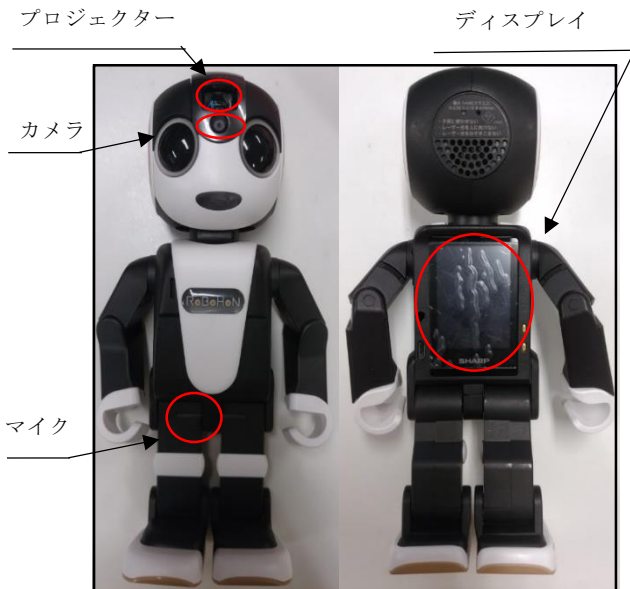


図 1.ロボホンの外観

3. アプリケーションの開発

3.1 アプリケーションの概要

開発したアプリケーション（以下アプリ）の全体の流れを図 2 に示す。まず、利用者は測定したバイタルサイン値（血圧、脈拍、体温）を音声で入力する。次にシステムは、入力されたバイタルサイン値から体調を判定し、それによって食事指導や外出促進などの健康アドバイスを行う。ここで、血圧値が高い場合には安静を保つことや食事アドバイスを行う。健康状態が良い場合には外出アドバイスをを行い、日常的な運動習慣を促す。

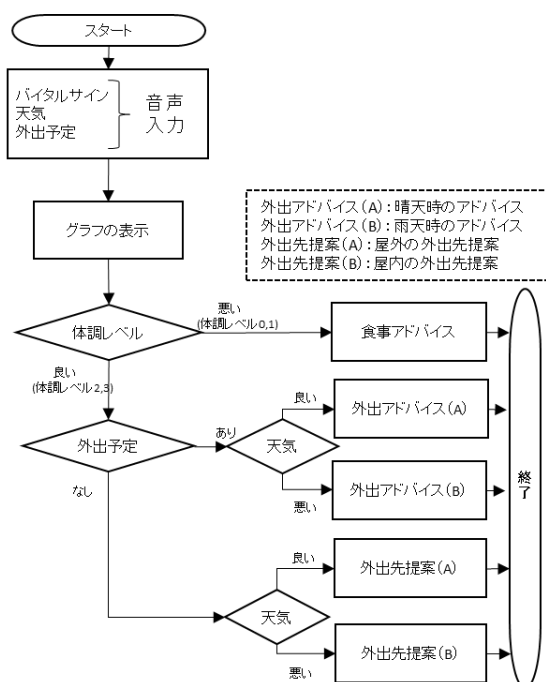


図 2.開発したロボホンのアプリの全体の流れ

3.2 体調レベル判定

本アプリでは、当日のバイタルサインの測定値を過去 30 日間の平均値と比較することで健康状態を判定する。また、高齢者のバイタルサイン値には以下のような特徴⁽⁵⁾がある。

- (1) 高血圧がみられる人が多い
- (2) 脈拍の変動は多くみられるが、低い方が良い
- (3) 高齢者は通常より高熱で、自身で気づくことが難しい

よって今回、上記の特徴をもとに基準を設け(表 1)、基準を満たす項目の個数に応じて体調レベル⁽³⁾(表 2)を判定し、健康アドバイスを行う。

表 1.体調レベル判定の基準

種類	条件	
	良い	悪い
血圧	過去 30 日間の平均値との差が 10mmHg 未満	過去 30 日間の平均値との差が 10mmHg 以上
脈拍	過去 30 日間の平均値との差が 10 回未満	過去 30 日間の平均値との差が 10 回以下
体温	過去 30 日間の平均値との差が 0.8℃未満	過去 30 日間の平均値との差が 0.8℃以上

表 2.体調レベル判定

条件	体調レベル	良い ↑ ↓ 悪い
血圧・脈拍・体温が3つとも良好	3	
血圧・脈拍・体温が2つとも良好	2	
血圧・脈拍・体温が1つ良好	1	
血圧・脈拍・体温が全て不良	0	悪い

3.3 外出促進機能

体調レベル判定によって体調が良い場合（体調レベル 3 または 2）には、外出を促すアドバイスを行う。天気に関する情報も入力することで、それらに基づいてアドバイスを行う。例えば、晴天時には水分管理を促すなどの外出アドバイス（図 2 中の「外出アドバイス (A)」）や公園など屋外への外出先提案（図 2 中の「外出先提案 (A)」）を行う。雨天時には体温調節を促すなどの外出アドバイス（図 2 中の「外出アドバイス (B)」）や施設など屋内への外出先提案（図 2 中の「外出先提案 (B)」）を行う。また先行研究では、高齢

者が外出時に必要な情報として、外出先のトイレの有無やバリアフリー情報などを挙げていたことにより、今回それらも追加した。

体調レベル判定によって体調が悪い場合（体調レベル 1 または 0）には、外出を控え、食事アドバイスをを行うなど体調に留意する旨のアドバイスを行う（表 3）。

表 3. 体調レベルに基づいた外出促進アドバイス

体調レベル	提案するアドバイスの例
3	<ul style="list-style-type: none"> 汗をかいて風邪をひかないように注意しましょう 乾燥しているのでマスクをつけましょう
2	
1	<ul style="list-style-type: none"> 長時間の外出は控えましょう 塩分の摂り過ぎには注意しましょう
0	

3.4 ロボホンへの実装

アプリケーションの開発では、yEd graph Editor を用いて会話のフローチャートを作成する。このフローチャートを hvm1 ファイルに変換し、Android Studio で実行することで、ロボホンに実装される。今回は、SHARP 社が公開しているサンプルシナリオを改変し開発を行った。フローチャートの開発例を図 3、ロボホンのディスプレイに表示される様子を図 4 にそれぞれ示す。

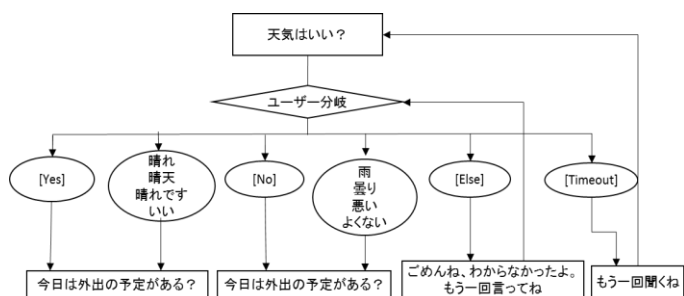


図 3. フローチャートの開発例



図 4. ロボホンのディスプレイに表示される様子

ロボホンには男の子として性別が設定されており、会話にもそのキャラクター性が反映されている。このため、タブレット PC や性別を持たない無機質なロボットに比べて、より人間らしく親しみやすいコミュニケーションをとることが可能である。

また、ロボホンにはあらかじめ応答を想定した一定の言葉や発言が多く設定されており、柔軟で自然な会話運びを行うことができる（表 4）。

表 4. ロボホンが反応する単語例

	単語例
肯定的な返答	はい、はい、いいよ、オッケー、そうだよ、大丈夫、お願いね など
否定的な返答	いいえ、だめ、嫌だ、しない、いない、やめとく、違う など

4. 実践

4.1 評価方法

開発したシステムの有効性を検討するため、協力への同意が得られた 50 代～80 代の男女 10 名を対象に、タブレット PC とロボホンの比較検証実験を行い、その後アンケート調査を行った。実験の様子を図 5 に示す。アンケートは「1. 良い」「2. どちらかといえば良い」「3. どちらかといえば悪い」「4. 悪い」の 4 段階で評価を得た。実践対象および実践場所・時期を表 5 に示す。



図 5. 実験の様子

表 5. 実践対象および実践場所・時期

対象	50 代～60 代 男性 6 名 70 代～80 代 女性 4 名 合計 10 名
実施場所	大阪府立大学
時期	2017 年 1 月 30 日～2 月 1 日

4.2 結果

アンケート結果の平均値を表 6 に示す。音声操作に対する評価は 50 代～60 代の男性より 70 代～80 代の女性の方が高評価であった。また、ロボットに対する印象（関心度、利用意欲）は全ての年代において高い評価を得られた。

表 6. アンケート結果

年代	人数	タブレット PC に対する評価		ロボットに対する印象の評価	
		タップ操作	音声操作	関心度	利用意欲
全体	10	3.5	3.1	3.7	3.7
50～60 代男性	6	3.6	2.7	3.7	3.7
70～80 代女性	4	3.2	3.8	3.8	3.8

評価の値は平均値

4.3 考察

音声による操作について、50 代～60 代の男性では 2.7 点であり、タップ操作に慣れている人にとっては自分のペースでは進められないことから使いづらいという意見があった。音声ガイダンスを待ってからしか入力できないことが原因と考えられる。一方で、70 代～80 代の女性では 3.8 点と高い評価であり、従来のタップ操作より音声による入力の方が簡単であるとの意見もあった。年代や性別によって入力までの待ち時間の影響を考慮する必要がある。

ロボットに対する印象については、「見た目が良い」「キャラクター性が良い」などの理由から全年代で関心度は高かった。ロボホンは小型で手に取ることができ、また一人称を「ぼく」と話すことから、孫や子どものような小さな男の子をイメージでき、愛着が湧きやすかったのではないかと考えられる。また「会話が作業的でなく楽しい」との理由で、開発したアプリの利用へも意欲的な意見が見られた。しかし、音声だけでは記憶に残りにくいこと、ディスプレイが背面にあることへの使いにくさ、ディスプレイに表示される文字が小さいことなどへの対応が今後の課題として挙げられる。

5. おわりに

本研究では、高齢者の健康管理と軽い運動（外出）を促進することを目的とし、高齢者が利用しやすいように音声で操作が行えるロボットを活用した健康アドバイスシステムの開発を行った。

今後は、利用者の外出や運動行動の変容と継続的な利用を推進できるようにシステムの改善を図りたい。

参考文献

- (1) 内閣府：2016 年度版高齢社会白書（2016）
- (2) 厚生労働省：平成 26 年度 国民医療費の概況（2016）
- (3) 菅 秀樹，真嶋由貴恵，高橋勇斗ら：“安全・安心機能を備えた高齢者のための HEMS 機器の開発 - (その 2) 高齢者外出促進および夏期における HEMS の機能性確認試験結果について -”，電子情報通信学会，MICT2016-49(2016-11)，pp.7-11（2016）
- (4) 日本高血圧学会：高血圧治療ガイドライン 2009，pp.34～44（2009）
- (5) 有田清子，石田寿子，今井 宏美ら：“系統看護学講座 基礎看護技術 I”，医学書院，pp.140-147（2016）

災害時避難行動の指針習得のための逆思考問題 による学習支援方式の検討 —発話思考法による問題解決過程の分析—

久山勝生^{*1}, 池内惟真^{*2}, 北川悠一^{*1}, 田中孝治^{*3}, 池田 満^{*3}, 堀 雅洋^{*1}

^{*1} 関西大学大学院, ^{*2} 関西大学, ^{*3} 北陸先端科学技術大学院大学

Study of a method using reverse-thinking problems to learn guidelines for safe action: Investigation of the problem-solving process by think-aloud usability testing

KUYAMA Masaki^{*1}, IKEUCHI Tadamasa^{*2}, KITAGAWA Yuichi^{*1}, TANAKA Koji^{*3},
IKEDA Mitsuru^{*3}, HORI Masahiro^{*2},

^{*1} Kansai University Graduate School, ^{*2} Kansai University,

^{*3} Japan Advance Institute of Science and Technology

近年多発する豪雨災害による人的被害を軽減させるには、災害時にとるべき行動の指針として整備されたガイドラインにしたがって、住民一人ひとりが自らの判断で適切な避難行動を取れるようにする必要がある。しかし、水害時の避難行動は浸水の被害状況や家屋形式等の条件により異なり、その場から立ち退くことだけが適切な避難行動であるとは限らない。そのため、前提となる災害時の状況から、適切な避難行動を導く順思考型の学習だけでなく、災害状況の進展や新たな危険箇所の発覚等に備えて当初前提とした状況を見直す可能性も考慮する逆思考型の学習が必要となる。本稿では、水害時の前提条件から避難行動を特定する流れをフローチャートで表現した安全確保行動の選択フローに基づき、逆思考問題を取り入れた学習支援方式を提案するとともに、発話思考法に基づくユーザ評価によって課題遂行中の思考過程を検討した結果について報告する。

キーワード: 防災学習, 逆思考問題, 発話思考法

1. はじめに

近年、大雨による洪水被害が多発し⁽¹⁾、平成27年9月の関東・東北豪雨では一級河川である鬼怒川の氾濫による洪水で立退き避難が必要な区域から多くの人々が逃げ遅れた。適切なタイミングで住民が避難行動を開始できなかつた要因の一つとして、避難指示発令の遅れが指摘されている。内閣府は、自然災害に対して住民一人ひとりが自らの判断で適切な避難行動を取れるように、災害時にとるべき行動の指針をガイドラインとして整備している⁽²⁾。しかし、災害時に想定される浸水深や避難所等をハザードマップに記載するだけ

では、災害時の状況変化を想定しながら、避難所に移動するべきかその場に留まるべきか適切に判断することは必ずしも容易でない⁽³⁾。例えば、所在地の浸水深が0.5m未満であればほとんどの場合、その場に留まることで危険を回避できるとされているが、所在地が河川沿いや住居の1階である場合は、その場に留まり続けるとかえって危険を招く恐れもある。

このことから、特定の災害状況や居住建物の状況においてとるべき避難行動を確認するだけでなく、異なる場所で災害に遭遇した場合や、危険がさらに切迫した状況等も想定しながら災害状況と避難行動の関係性を理解することが重要と考えられる。災害状況と避難

行動の関係性を理解するには、前提となる災害時の状況から、とるべき避難行動を導く順思考型の学習だけでなく、災害状況の進展や新たな危険箇所の発覚等に備えて当初前提とした状況を見直す可能性も考慮する逆思考型の学習が必要となる。このような逆思考に着目した学習支援方式として、算数における数量関係の理解を深めるために逆思考問題を学習者自身が作問する方法⁽⁴⁾、経済学における競争と価格に関するルールの意味を理解するために前提と結果を入れ替えて教示する方法⁽⁵⁾が提案されている。しかし、災害時にとるべき行動は、変数間の数量関係として表現できない。

さらに、災害時の避難行動選択を対象とする場合、複数の前提条件を確認することによって、とるべき避難行動を住民自身が容易に確認できる行動指針としてだけでなく、災害状況と避難行動の関係性を学ぶための防災学習教材として活用できるように表現されなければならない。本研究では、前提条件と結果の関係性を俯瞰することができ、逆思考問題を取り入れた学習支援に利用可能な教材表現としてフローチャート形式を採用した。本稿では、水害時の前提条件から避難行

動を特定する流れをフローチャートで表現した安全確保行動の選択フローに基づき、逆思考問題を取り入れた学習支援方式の有効性について、課題遂行中の思考過程を考慮することによって評価した結果を報告する。

2. フローチャートに基づく逆思考学習

自然災害による被害を予測し、その被害の範囲を地図化したハザードマップは災害時の避難や防災学習に活用されるもので、専門知識を有しない住民にも必要な情報をわかりやすく提供しなければならない⁽⁶⁾。しかし、水害時の避難行動は浸水の被害状況や家屋形式等の条件により異なり、その場から立ち退くことだけが適切な避難行動であるとは限らない。そのため、水害時の避難行動を適切に指南できるようにフローチャート形式で表現された行動指南型洪水ハザードマップが提案されている⁽⁷⁾。この行動指南型洪水ハザードマップは、水害ハザードマップについて高い情報解釈能力（リテラシー）を有しない場合でも、前提条件を確認しながら適切な行動を簡便に導くことが可能だが、逆思考型の学習支援への適用は想定されていない。

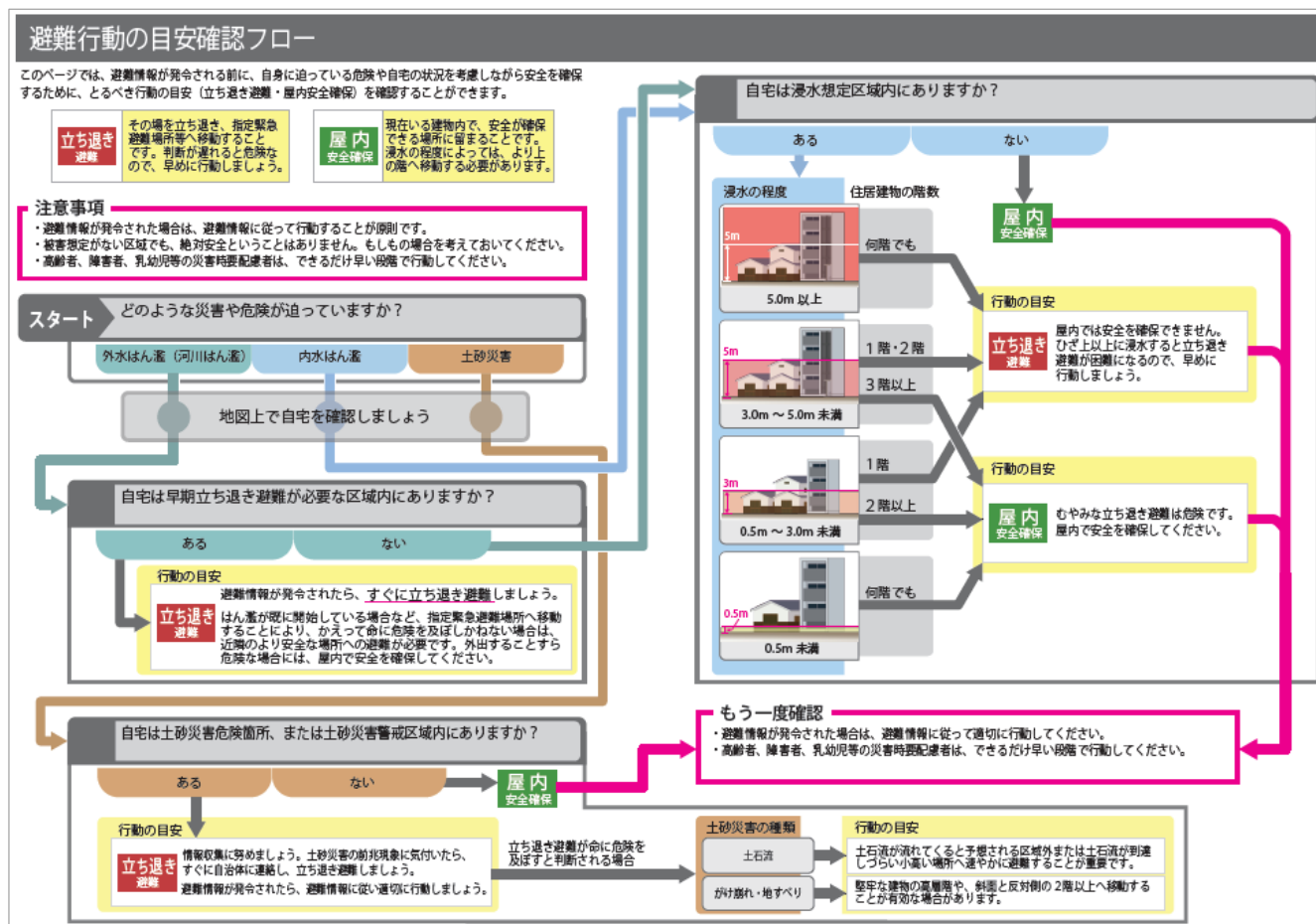


図1 安全確保行動の選択フロー

それに対して、本研究ではフローチャート形式で表現された安全確保行動の選択フロー⁽⁸⁾（以下、選択フロー）を用い、適切な回答を簡便に導く順方向の支援だけでなく、前提条件と避難行動の関係性を考慮した情報解釈能力を高めるために逆思考型の学習支援を取り入れた方式を提案している。

2.1 安全確保行動の選択フロー

内閣府による最新のガイドライン⁽²⁾では、災害時の安全確保行動は、指定緊急避難場所や近隣の安全な場所に移動する「立ち退き避難」、屋内に留まって安全を確保する「屋内安全確保」の2種類に区分されている。筆者らが作成した選択フロー（図1）は、前提となる災害種別、所在地が危険区域内かどうか、浸水の程度、居住建物の状況等に関する質問等に順次回答しながら矢印に沿ってフローをたどることで、「立ち退き避難」「屋内安全確保」どちらの安全確保行動をとるべきか判定するものとなっている。

ただし、浸水深と居住建物の状況については、浸水深が0.5m未満（床下浸水）の場合は1階建ての建物でも屋内安全確保が選択可能であるが、災害状況が変化し、浸水深が0.5mを越えた時点で1階部分が浸水するため1階建ての建物からは立ち退き避難する必要がある。このことから、特定の条件について避難行動を確認するだけでなく、災害状況の変化によって異なる避難行動をとるべき事態が発生する可能性を勘案し、災害状況と安全確保行動の関係性について理解することが重要となる。

2.2 逆思考問題による学習支援

安全確保行動の選択フローにおいて災害状況の変化を想定した学習は、最初に特定の前提条件に対してとるべき避難行動を確認し、その上で異なる避難行動をとらなければならないとなったとすれば前提条件の1つがどのように変化したと考えるべきかを問うことによって行うことができる。この場合、前段は前提条件から避難行動を確認する順思考問題、後段は異なる避難行動をとるべき状況を仮定して、前提条件を確認する逆思考問題に対応する。逆思考問題では、選択フローの終端にあたる避難行動から、フローを逆向きにたどりながら前提条件をどのように見直すべきか検討が求

められる。

また、逆思考問題では、災害状況や居住建物の状況を推測する課題だけでなく、立ち退き避難が必要な区域（もしくは、屋内安全確保が可能な区域）を地図上から推測する課題など、どの前提条件を検討対象とするかによって様々な課題が作成可能となる。

3. 発話思考法によるユーザ評価

評価にあたっては、課題遂行中に評価協力者が考えたこと感じたことをその都度声に出して語ってもらう発話思考法⁽⁹⁾を用いた。

逆思考問題に取り組むことによって前提条件と避難行動の関係性を考慮する情報解釈能力が高まることを検証するために、安全確保行動の選択フローを用いる学習課題と、実施後の効果を確認するための確認課題を用いた。学習課題は順問題学習群（統制群）と逆問題学習群（実験群）において実施し、確認課題において統制群と実験群の発話内容を比較した。

確認課題では、両群とも順思考問題を提示し、選択フローを用いずに学習課題の回答経験を踏まえて安全確保行動を特定するように求めた。さらに、学習課題では、水害または土砂災害のどちらか一方が発生した状況を前提とした設問であったのに対して、確認課題では学習課題での想定を超えた状況として水害と土砂災害の同時発生を前提としたより難易度の高い設問を含めた。それによって、確認課題への回答では一定の試行錯誤は避けられないが、避難行動と前提条件を相互に関連づけながら課題を遂行する際の発話を分析することによって、順思考学習群と逆思考学習群における思考傾向の違いを比較・検討した。

3.1 評価協力者

ユーザ評価には情報学を専攻する大学生および大学院生12名（平均年齢：22.3歳、うち女性3名）が参加した。このうち順思考学習群に6名、逆思考学習群に6名を割り当てた。なお、課題遂行中の様子と発話はあらかじめ評価協力者の許可を得てビデオカメラとマイクで記録した。

3.2 評価素材

各評価協力者には、評価課題、安全確保行動の選択

表 1 学習課題一覧

課題種別	課題番号	回答する項目	想定浸水深	危険区域	居住建物の階数	安全確保行動	正解
順思考問題	F1	安全確保行動	なし	○外	2階	—	屋内安全確保(1階)
	F2		0.5m未満	◇外	2階	—	屋内安全確保(1階)
	F3		0.5m～3.0m未満	◇付近	2階	—	屋内安全確保(2階)
	F4		3.0m～5.0m未満	◇付近	4階	—	屋内安全確保(3階)
	F5		3.0m～5.0m未満	◇外	2階	—	立ち退き避難
	F6		5.0m以上	◇内	4階	—	立ち退き避難
	F7		0.5m～3.0m未満	◇外	1階	—	立ち退き避難
逆思考問題	R1	居住建物の階数	0.5m～3.0m未満	◇付近	2階	立ち退き避難	1階
	R2		3.0m～5.0m未満	◇外	2階	屋内安全確保	3階, 4階, 4階以上
	R3	想定浸水深	0.5m～3.0m未満	◇外	1階	屋内安全確保	0.5m未満, 浸水なし
	R4		3.0m～5.0m未満	◇付近	4階	立ち退き避難	5.0m以上
	R5	安全確保が可能な区域	5.0m以上	◇内	4階	屋内安全確保	(地図上で特定)
	R6		なし	○外	2階	立ち退き避難	(地図上で特定)
	R7	安全確保行動	0.5m未満	◇外	2階	—	屋内安全確保(1階)

危険区域：○ 土砂災害危険箇所，◇ 早期立ち退き避難が必要な区域

表 2 確認課題（順思考問題）一覧

課題区分	課題番号	回答する項目	想定浸水深	危険区域	居住建物の階数	正解
単一災害	T1	安全確保行動	0.5m～3.0m未満	◇付近	2階	屋内安全確保(2階)
	T2		3.0m～5.0m未満	◇付近	4階	屋内安全確保(3階)
複数災害	T3		なし	○内	2階	立ち退き避難
			0.5m～3.0m未満	◇外	2階	屋内安全確保(2階)
	T4		0.5m未満	◇外	1階	屋内安全確保(1階)
			0.5m～3.0m未満	◇外	1階	立ち退き避難

危険区域：○ 土砂災害危険箇所，◇ 早期立ち退き避難が必要な区域

フロー（図1）、ハザードマップに記載される避難所や危険箇所、および地図上の凡例表記について説明した資料を配布した。

評価課題（学習課題、確認課題）はA3サイズの用紙1枚に横向きで印刷され、左側に災害状況説明文、課題説明文と回答欄を配置し、右側には危険箇所や避難所を表示したハザードマップを掲載した。ハザードマップには、現在地を示すアイコンと避難所アイコン、各課題で想定された浸水深および危険区域（表1、表2参照）が記載された地図を示した。

課題用紙の回答欄には、3つの問を記載した。問1は現在地の浸水深を「①なし、②0.5m未満、③0.5m

～3.0m未満、④3.0m～5.0m未満、⑤5.0m以上」から一つ選択する問題。問2は、「回答する項目」（表1、表2参照）に示された項目について回答を求める問題である。問2のうち安全確保行動について回答する場合（順思考問題）は、状況説明文と行動選択フローから適切な安全確保行動として「①屋内安全確保、②立ち退き避難」のうち適切な安全確保行動を選択（複数選択可）し、①屋内安全確保を選択した場合は移動先の階数を記入し、②立ち退き避難を選択した場合はハザードマップ上から避難所を一つだけ選択する。問3は、問2で選択した回答の確信度を7段階（1:あまり自信がない～7:大変自信がある）から一つ選択する問

題とした。

順思考学習群の学習課題（表 1，F1～F7）ではフローをたどることによって導かれる安全確保行動について、異なる前提条件の組合せを用いた。逆思考学習群の学習課題（表 1，R1～R7）では、逆思考によって異なる前提条件を確認する逆思考問題 6 問に加えて、選択フローを順方向に利用する経験を与えるために順思考問題 1 問（R7）の計 7 問を用いた。

確認課題（表 2）では、単一の水害（河川はん濫）による浸水を前提とした課題 2 問（表 2 の T1,T2），土砂災害と水害など異なる災害が同時に発生した状況を想定した課題 2 問（表 2，T3,T4）の計 4 問を用いた。

3.3 実施手順

評価の実施にあたっては、最初に安全確保行動の選択フローの使い方、および発話思考法の実行要領について説明を行った。その後、発話思考法に慣れてもらうために防災と異なる分野のフローチャートを用いる練習課題（1 問）に回答してもらった。練習課題終了後、順思考学習群には順思考問題冊子、逆思考学習群には逆思考問題冊子をそれぞれ配布して学習課題（7 問）に回答してもらった。

学習課題終了後、学習課題による直後再生効果が確認課題に影響しないようにするため、5 分間の遅延課題を実施した。その後、学習課題の回答経験から、災害状況と安全確保行動の関係性を考慮しながら安全確保行動を選択できるかどうかを確認するための確認課題（4 問）を提示し、両群とも選択フローを用いずに回答してもらった。確認課題終了後、各課題の回答理

由についてヒアリングを行った。

4. 結果と考察

4.1 課題の正答率

学習課題と確認課題における平均正解率と回答選択時の確信度（1：あまり自信がない～7：大変自信がある）の平均を図 2 に示す。

課題文に示された災害状況や家屋形式を読み取り、選択フローをたどることによって安全確保行動を選択する順思考学習群における学習課題では、総出題数 42 問（6 名×7 問）に対する正解数は 39 問（正解率：93%）だった。順思考問題への回答には安全確保行動の選択指針について高い情報解釈能力が求められないため、正解率 9 割は選択フローが有効活用された際の正答率の目安と考えることができる。

逆思考学習群の学習課題では、総出題数 42 問（6 名×7 問）に対する正解数は 25 問（正解率：62%）だった。未確定とされた前提条件を回答する逆思考問題で特に不正解者が多かったのは、屋内安全確保ができる状況での想定浸水深を回答する問題（表 1,R3）であった。この問題では、1 階建て住居が屋内安全確保できる基準として 0.5m 未満の浸水と、浸水しない状況を選択することが正解となるが、6 名中 5 名が屋内安全確保すべき状況として 0.5m 未満の浸水深だけを回答したため不正解となった。選択フローを用いて屋内安全確保ができる状況での想定浸水深を回答する逆思考問題では、浸水の程度を考慮することはできたが、浸水しない状況での屋内安全確保の可能性は想定できなかったと考えられる。

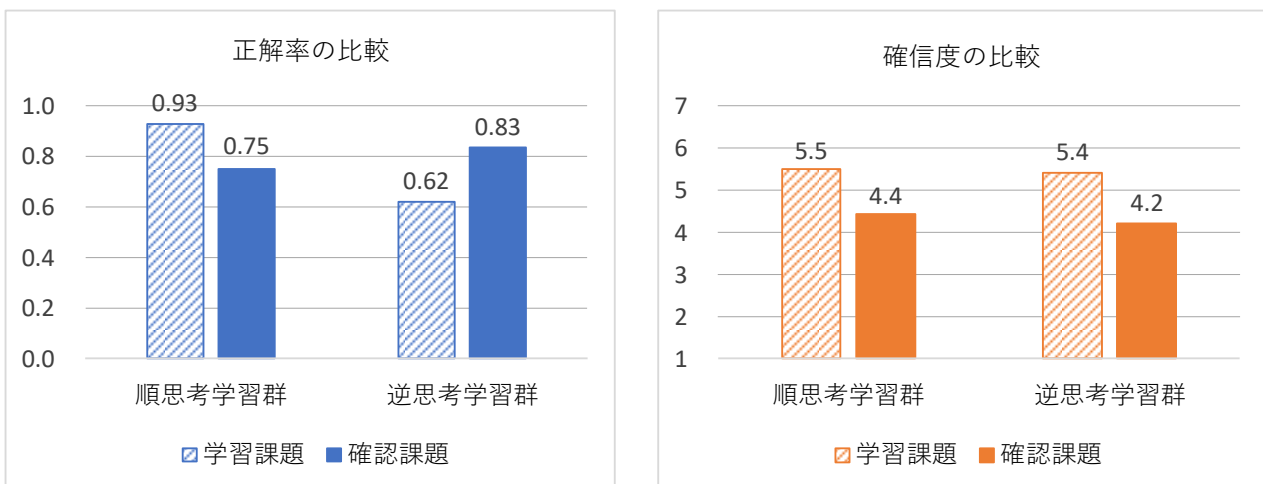


図 2 正解率と確信度の比較

表 3 確認課題において考慮された要因とその思考傾向が確認された回答数

前提条件		安全確保行動		順思考学習群		逆思考学習群	
想定 浸水深	居住建物の 階数	立ち退き 避難	屋内安全 確保	単一災害 課題	複数災害 課題	単一災害 課題	複数災害 課題
○	○	×	○	8 (8)	—	9 (9)	—
○	×	○	×	2 (0)	7 (7)	1 (0)	9 (9)
○	×	×	○	2 (1)	3 (0)	1 (1)	1 (0)
×	×	○	×	—	2 (2)	1 (0)	2 (2)

括弧内の数字は、該当する回答数における正解数を表す。

一方、選択フローを用いずに安全確保行動を特定する確認課題については、順思考学習群では総出題数 24 問（6 名×4 問）に対して正解数 18 問（正解率:75%）、逆思考学習群では総出題数 24 問（6 名×4 問）に対して正解数 20 問（正解率:83%）であった。したがって、逆思考学習群は、学習課題の正解率（62%）では順思考学習群を大きく下回っていたが、確認課題の正解率（83%）は順思考学習群を上回る正答率を達成した。

回答に対する確信度（図 2 参照）については、学習課題、確認課題とも両群に大きな違いは見られなかった。ただし、行動選択フローを順方向にたどる逆思考問題は本来の使い方と異なるため、逆思考学習群では、学習課題の 1 問目で回答要領を把握するまでに若干時間を要していた。一方、選択フローが与えられない状況で回答を求められた確認課題の確信度では、両群とも回答中に試行錯誤を伴うためどちらも学習課題より低い値を示した。

逆思考問題による学習効果は、与えられた条件に従って選択フローをたどるだけの順思考問題と異なり正解率によって定量的に評価できないが、逆思考学習群では前提条件と避難行動に内在する様々な関係性を考慮する機会を学習者に与えられると考えられる。以下では、課題遂行中の発話と事後ヒアリングの結果に基づき、学習者の課題遂行中の思考傾向について検討する。

4.2 確認課題遂行中の思考傾向

表 3 に、確認課題において考慮された要因（前提条件、避難行動）とそれらが考慮された回答数および正解数を、両学習群における単一災害課題（表 2 の T1, T2）および複数災害課題（表 2 の T3, T4）ごとに示した。

単一災害課題については、順思考学習群では総出題数 12 問（6 名×2 問）に対して正解数 9 問、逆思考学習群では総出題数 12 問（6 名×2 問）に対して正解数 10 問であった。なお、順思考学習群では、屋内安全確保を選択した際に、浸水の危険から回避できない居住建物の階数が選択された回答が 1 件あった。また、災害状況と安全確保行動の関係性を理解できず、屋内に待機して安全確保すべき状況で、立ち退き避難を選択した回答が両群とも 2 件あった。しかし、不正解となった逆思考学習群における 1 件は、ハザードマップ上で想定浸水深を正しく読み取ることができず、立ち退き避難すべき浸水が見込まれると判断したために屋内安全確保を選択することができなかった。順思考学習群では適切な浸水深を判断できたとしても、適切な安全確保行動を選択できなかった回答が 2 件確認されたことから、順思考学習群は単一災害が発生した際の前提条件と避難行動の関係性について考慮できていなかったと考えられる。

複数災害課題では、程度が異なる二種類の災害状況が想定され、一方の災害のみ考慮すると屋内安全確保が適切な安全確保行動となり、もう一方の災害のみ考慮すると立ち退き避難が適切な安全確保行動となる。複数災害課題については、順思考学習群では総出題数 12 問（6 名×2 問）に対して正解数 9 問、逆思考学習群では総出題数 12 問（6 名×2 問）に対して正解数 11 問であった。なお、複数災害課題においても、両群で 2 件ずつ浸水の程度を見誤った回答が確認されたが、課題で設定された浸水深よりさらに深い浸水深であると想定されたため、立ち退き避難を適切な安全確保行動として選択することができた。このことから、複数災害が同時に発生した場合、逆思考学習群は順思考学

習群に比べてより危険度の高い状況を想定するように解釈していたと考えられる。

一方、浸水深を正しく解釈することができたにも関わらず、立ち退き避難を選択できなかった回答は、順思考学習群で総出題数 12 問（6 名×2 問）に対して 3 問、逆思考学習群で総出題数 12 問（6 名×2 問）に対して 1 問であった。この点については、複数災害問題においては、浸水の程度を正しく解釈できていたとしても、土砂災害による被害を同時に考慮しなければならない場合（表 2 の T3）など、水害による浸水の程度に関係なく立ち退き避難を選択しなければならない問題において、前提条件と避難行動の関係性を的確に考慮することが困難であったと考えられる。したがって、両群とも学習課題において、土砂災害危険箇所内の安全確保行動について順思考問題もしくは逆思考問題による学習を経験していたが、土砂災害時の状況と安全確保行動の関係性を理解するには至らなかったといえる。このことから、土砂災害と水害の影響が相互に関連しあう複合的な災害状況について、逆思考問題の構成と利用法をさらに検討していく必要がある。

5. おわりに

安全確保行動の選択は、災害状況だけでなく居住建物の状況等を考慮して検討する必要がある。しかし、順思考学習群では、屋内安全確保を選択した場合、すべての学習者が居住建物の階数しか考慮しなかったことから、災害状況と安全確保行動の関係性が十分意識されていなかったと考えられる。また、立ち退き避難を選択した場合についても、順思考学習群では 6 名中 4 名が現在地における浸水深のみを選択理由として挙げている。災害時に適切な避難行動を選択するには、単に災害状況と安全確保行動の関係性を理解するだけでなく、検討対象となる前提条件の危険性について様々な状況を想定できる必要がある。今後は、逆思考問題による学習支援方式の適用可能性について、異なる年齢層の学習者を対象とした検討も必要と考えられる。

参 考 文 献

(1) 財賀美希, 藤井俊久, 雁津佳英, 松見吉晴: "住民の洪水災害に対する防災意識の把握と向上化施策に関する研

- 究", 土木学会論文集 F6 (安全問題), Vol. 67, No.2, pp185-190 (2011)
- (2) 内閣府(防災担当): "避難勧告等の判断・伝達マニュアル作成ガイドライン", http://www.bousai.go.jp/oukyu/hinankankoku/guideline/pdf/150819_honbun.pdf (2015)
- (3) 内閣府中央防災会議・災害時の避難に関する専門調査会: "災害時の避難に関する専門調査会報告～誰もが自ら適切に避難するために～", <http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chousakai/saigaijihinan/pdf/report.pdf> (2012)
- (4) 倉山めぐみ, 平嶋 宗: "逆思考型を対象とした算数文章題の作問学習支援システム設計開発と実践的利用", 人工知能学会論文誌, Vol.27, No.2, pp.82-91 (2012)
- (5) 進藤聡彦, 麻柄啓一: "ルール適用の促進要因としてのルールの方向性と適用練習-経済学の「競争と価格のルール」の教授法に関する探索的研究-", 教育心理学研究, Vol.47, No.4, pp.462-470 (1999)
- (6) 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課水防企画室: "水害ハザードマップ作成の手引き", http://www.mlit.go.jp/river/basic_info/jigyuo_keikaku/saigai/tisiki/hazardmap/suigai_hazardmap_tebiki_201604.pdf (2016)
- (7) 片田敏孝, 及川康, 児玉真: "行動指南型洪水ハザードマップの開発", 土木学会論文集, Vol.67, No.4, pp.528-541 (2011)
- (8) 久山勝生, 堀 雅洋, 田中孝治, 池田 満: "安全確保行動選択フローのユーザ評価に基づく検討", 日本災害情報学会第 18 回研究発表大会予稿集 (2016)
- (9) Ericsson, K. A. and Simon, H. A.: "Protocol Analysis: Verbal Reports as Data", Cambridge, MA: MIT Press (1993)

野外において主体的な避難行動を促す

シナリオベース学習支援システムの開発とその評価

畠山 久^{*1,2}, 永井正洋^{*3,1}, 室田真男^{*4}

*1 首都大学東京 学術情報基盤センター

*2 東京工業大学 大学院社会理工学研究科

*3 首都大学東京 大学教育センター

*4 東京工業大学 リベラルアーツ研究教育院

A Development and Evaluation of Scenario-Based Learning Support System for Proactive Disaster Evacuation Drills in the Field

Hisashi Hatakeyama^{*1,2}, Masahiro Nagai^{*3,1}, Masao Murota^{*4}

*1 Library and Academic Information Center, Tokyo Metropolitan University

*2 Graduate School of Decision Science and Technology, Tokyo Institute of Technology

*3 University Education Center, Tokyo Metropolitan University

*4 Institute for Liberal Arts, Tokyo Institute of Technology

野外における避難訓練を通じた自助意識の向上を目指し、モバイル端末を用いたシナリオベースの学習支援システム "ES3" を開発した。野外でも利用できるようスタンドアロンで動作するクライアントアプリケーションと、データを非同期で集約し共有するサーバアプリケーションから構成される。本システムを用いた学習の評価のため、野外における避難訓練とその振り返り学習から構成される授業を高等学校において実施した。避難開始地点が同じであっても学習者によって避難場所の選択が異なることから、学習者の主体的な判断で避難経路や避難場所を選択していたと考えられる。自らの判断で行動する避難訓練として、本システムを用いた手法に一定の有用性が認められた。また、主観調査結果からは防災意識の向上と共に、危険な箇所や避難できる箇所を意識し、具体的に説明できるようになったことが認められた。

キーワード: 防災教育, 学習システム開発, 避難訓練, 野外学習, 授業実践

1. はじめに

東日本大震災以降、日本国内では防災・減災への意識が高まっている。学校現場においても、震災直後から防災教育のあり方について議論がなされている。一例として、文部科学省の有識者会議⁽¹⁾では「自らの命を守り抜くための主体的に行動する態度の育成」を今後の防災教育の方向の一つとして提言している。

被災時に身の安全を守るという観点では、避難訓練

が広く行われている。災害発生時にすぐ対応できるよう繰り返し練習することが目的であるが、限られた状況の訓練であり、主体的に行動することを目的としたものとは言い難い。そこで、従来の避難訓練を拡張したものとして、ICT 活用型避難訓練⁽²⁾が提案されている。実際に移動を伴う避難訓練において、携帯する端末にデジタル教材を提示しアドベンチャーゲームのように避難が擬似体験できるとされている。

2. 目的

本研究では、ICT 活用型避難訓練を通じて学習者自身の判断・行動を訓練し自らの命を守ることへの意識（自助意識）の向上を目指す。このために、野外において自らの判断で避難行動をとる訓練を通じた学習をデザインし、この学習を支援するシステムを開発した。そして、学校現場における授業実践を通じ、学習による効果を検討する。

3. 学習活動の検討

3.1 学習活動

学校教育において日常的に実施される避難訓練では、遭遇する状況や避難経路が決められており、教師からも行動を指示されることが多い。しかし、「主体的な判断」を学習者に促すためには想定されにくい状況・指示がない状況での訓練が良いと考える。そこで、本研究では野外における避難訓練を通じた学習を実施する。

想定される状況に対して安全性・危険性を判断するためには、災害に関する一般的な知識が必要である。地域によって発生する出来事の想定も異なるため、地域の特徴も理解する必要がある。また、避難訓練後には判断や行動を振り返ることが有効であると考えられる。

以上を踏まえ、下記の活動からなる学習活動を設計した。

- 判断のための知識の学習

- 野外における避難訓練
- 避難訓練結果の振り返り

3.2 システム要件

学習活動のうち、「野外における避難訓練」と「避難訓練結果の振り返り」についてはシステムの支援が必要と判断した。学校内での避難訓練と異なり、野外では訓練開始のアナウンスや状況の伝達などが行えない。そこで、訓練の状況を学習者に伝達する仕組みが必要となる。野外における活動であるため、安全管理やサポートの観点から教師は学習者の現在位置がリアルタイムに分かることが望ましい。また、学習者の判断や行動はデータとして記録する必要がある。野外学習後にはこれらの記録を用いた振り返りを行うため、データを学習者間で共有し閲覧できる仕組みが求められる。

以上を踏まえ、システムの主要な要件として下記 3 点を整理した。

- 訓練における仮想的な状況を提示する機能
- 判断・行動を記録する機能
- 記録を共有し閲覧する機能

野外での利用となるため、本学習支援システムはタブレットコンピュータ等のモバイル端末で動作する必要がある。また、通信が常時行えるとは限らないため、スタンドアロンで動作することが望ましい。



図 1 ES3 の利用イメージ

4. システム開発

4.1 全体設計

検討したシステム要件を踏まえ、本研究における学習を支援するシステム”ES3”を開発した(図1)。クライアントはAndroid端末で動作し、通信が利用できない状況でも動作するスタンドアロンのアプリケーションとして実装した。クライアントアプリケーションはGPSを用いて端末の現在位置を常時取得する。また、教室環境など通信が利用できる状況下でクライアントのデータを同期し、ブラウザ上で全ての学習者の記録を閲覧できる機能を有するサーバアプリケーションを合わせて開発した。

4.2 訓練における仮想的な状況を提示する機能

訓練時に仮想的な状況を学習者に提示するため、Google Play services location APIs に用意されているジオフェンス^③を用いる。予め半径20~40mほどの円形領域をジオフェンスとして設定しておく。端末では常時GPSによって位置情報を取得しており、携帯した学習者がこの領域内に到着したときイベントとしてアプリの変化を起こすことができる。

この仕組みを用いて、クライアントアプリケーションでは、位置に応じた状況と、その地点における行動の選択肢が警告音と共に「イベント」として提示される(図2)。学習者は今いる地点の平常時を観察し、提示された状況を踏まえ災害時の状況をイメージして安全性や危険性を考える。そして、判断を理由と共に記録する。地域全体に避難中の出来事となる障害物や二次災害などのイベントを配置し、特定の地点に訓練開始のイベント、地域内の避難場所には訓練終了のイベ



図2 イベント発生画面

ントを設置する。これらのイベントのセットを本研究では「シナリオ」として定義する。

4.3 判断・行動を記録する機能

イベントにおける判断は、学習者の選んだ選択肢や理由や位置情報と共に端末のローカルデータベースに記録される。また、同時に端末の位置情報も、GPSを用いて最短10秒ごとに取得し記録される。これにより、学習者がどのような経路で行動したか、あるいはどこでどのようなイベントに遭遇しどういった判断を行ったかを避難訓練の記録として蓄積できる。これらの記録は訓練の振り返りで利用できる。

4.4 記録を共有し閲覧する機能

クライアントアプリケーションは基本的にスタンドアロンで動作するが、通信が行える際にサーバとデータを同期する。ローカルのデータベースに蓄積されたデータを差分更新でサーバに反映させ、学習者全体の記録を集約する。集約した記録は地図上に重畳表示され、ブラウザで閲覧できる。

また、通信が確立しているときは端末の現在位置をサーバに常時送信するよう設計し、サーバアプリケーションには端末位置を地図に集約しリアルタイムで更新表示する画面を実装した。教師はブラウザで閲覧することで、学習者の現在位置を常に把握できる。

5. 授業実践

5.1 概要

開発したシステムを用いた学習デザインの検証のため、2015年9月から11月にかけて千葉県内の公立高等学校第1学年(4クラス、計111名)を対象に授業実践を行った。総合的な学習の時間の一単位として、全4回の授業を同時並行で各クラス担任が実施した。全体の実施スケジュールを表1に示す。学習者は4名前後のグループに分かれ、システム利用のために各グループに1台のタブレット端末(ASUS Nexus7(2013)またはLenovo YOGA Tablet2(8 inch))を貸与した。いずれの端末も野外でデータ通信が行えるよう、通信回線契約を結んだSIMカードまたはWi-Fiルータをセットにしている。

表 1 実施スケジュール

実施日	時間	学習内容
9月3日	110分	基礎的な知識の学習 システム利用練習
10月8日	120分	野外における避難訓練(1)
11月5日	120分	野外における避難訓練(2)
11月28日	100分	訓練結果の振り返り

5.2 学習目標の設定

本実践では、学校周辺の地域の特徴を踏まえ、災害時に自らの命を守る行動を考えることを学習目標とした。本校は千葉県内房地域に位置し、海岸線から1.3kmほど内陸にある。川沿いに位置しており本校の敷地の標高は8mほどだが、海岸近くにある最寄り駅までの通学路の途中には標高40mほどの地点もあり、周囲は起伏に富んでいる。

行政発行の地震ハザードマップ⁽⁴⁾では、この地域の川沿いを中心に最大で震度6強の揺れが想定されている。この想定を踏まえ、この地域が震度6強の揺れに見舞われたと仮定して、専門家の知見を参考とし学校周辺の半径1kmほどの地域内に45件の災害イベントを作成した。この内訳を表2に示す。なお、イベントは後述のシナリオで共通とした。

避難訓練の開始地点となる被災地点は地域内に5箇所を設定し、それぞれが開始地点となるシナリオとして

表 2 設置したイベント

イベントの種類	件数
障害物	13
道路の破損(ひび割れ等)	6
崖崩れ	5
ガラスの飛散	4
火災	3
共助(助けを求められる)	3
家屋倒壊	2
浸水	2
津波警報	2
塀の倒壊	2
切れた電線	2

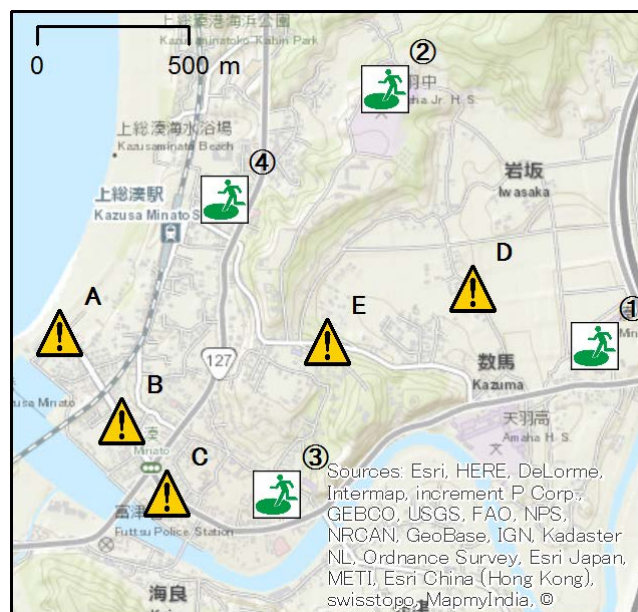


図 3 被災地点と避難場所の配置
 図中 A~E は各シナリオの被災地点(訓練開始地点)、
 ①~④は地域における避難場所を示す

各グループに割り振った。また、終了地点である避難場所は、津波を想定した場合に地域で指定されている4箇所の避難場所を設定した(図3)。そして、10月8日・11月5日の2回にそれぞれ85分の避難訓練学習を実施した。グループ毎の活動には教師は同伴せず、サーバに集約される学習者の現在位置を参考に地域各所を巡回することで学習者の安全性を確保した。

6. 結果

6.1 学習記録

2回の避難訓練では、5つのシナリオを各グループにランダムに振り分けて実施した。訓練結果として、シナリオごとに選択された避難先の数を表3に示す。時間内に避難場所まで到達しなかったグループはその他として分類した。

避難行動中には、グループ平均4.1回のイベントに遭遇している。

6.2 システム評価

システムの利用評価のため、野外における避難訓練の実施後にそれぞれアンケートを実施した。この結果を表4に示す。いずれの項目も5段階評価(1:全くあてはまらない~5:よくあてはまる)とした。各項目とも平均得点は3.6程度であった。10月8日・11月

表 3 シナリオ毎の避難場所の選択結果

シナリオ	避難場所	件数
シナリオA	避難場所①	2
	避難場所②	2
	避難場所③	5
	避難場所④	2
	その他	0
シナリオB	避難場所①	2
	避難場所②	1
	避難場所③	3
	避難場所④	3
	その他	1
シナリオC	避難場所①	2
	避難場所②	1
	避難場所③	5
	避難場所④	1
	その他	1
シナリオD	避難場所①	6
	避難場所②	2
	避難場所③	0
	避難場所④	0
	その他	1
シナリオE	避難場所①	2
	避難場所②	2
	避難場所③	0
	避難場所④	3
	その他	2

5 日の差異は小さく、いずれの項目も対応のある t 検定で有意差は認められなかった。

6.3 意識調査

学習者の災害に対する意識の変化と学習効果を検証するため、学習前と学習後にアンケートを実施した。項目 1～10 は元吉ほか(2005)を参考とした防災意識尺度項目、項目 11～16 は学習の目標である自助意識の

変化を検証するため、防災・減災に係る自己効力感を測る項目を独自に設定した。いずれの項目も 5 段階評価での回答とした。

表 5 では各項目の平均得点を前後で比較した。ほとんどの項目で平均得点が向上している。対応のある t 検定の結果、16 項目中 11 項目で有意差が認められた。

7. 考察

7.1 システムの有効性

表 4 に示したシステム評価項目の得点からは、学習者から本システムが良い評価を受けていることがわかる。また、アプリケーションの操作だけではなく、貸与した端末やシステムで用いた基図 (Google Maps) も良い評価を受けている。結果として、主観的評価としては今回の学習活動で災害時の状況をイメージすることができたと考えられる。

また、表 3 に示した学習記録からは同じシナリオであっても学習者によって避難場所の選択が異なることが分かる。それぞれのシナリオにおいて、「近くに避難所があったから」などの理由で最寄りの避難場所へ避難しているグループが認められる。一方で、離れた避難場所へ避難しているグループも一定数認められる。例えば避難場所②はいずれのシナリオでも避難しているグループがいるが、ここは地域内の避難場所のうち最も標高の高いところに位置している。シナリオ A・B・C では避難場所②までの距離は離れているが、訓練開始の時点で津波の危険性を考え遠くても高いところに逃げようと考えた学習者が選んでいたようである。それぞれのグループにおいて、各自の判断基準に基づいて避難場所を選んで行動したことから、主体的な行動を促すことができていたと考えられる。

表 4 野外学習におけるシステム評価項目の得点比較

	N	10月8日		11月5日	
		M	SD	M	SD
防災学習で使ったタブレット端末は操作しやすかった	101	3.70	0.975	3.65	1.126
防災学習で使ったシステムは操作しやすかった	101	3.64	0.912	3.64	1.154
システムに表示された地図は見やすかった	101	3.72	1.078	3.67	1.123
システムに表示された災害イベントはわかりやすかった	99	3.76	0.970	3.66	1.108
システムに考えやコメントを記録する方法はわかりやすかった	100	3.54	0.947	3.58	1.037
システムが記録した情報を確認する方法はわかりやすかった	101	3.60	0.939	3.55	1.063
防災についての学習活動では、災害時の状況をイメージすることができた	101	3.57	0.952	3.56	1.053

表 5 学習前後の意識調査項目の得点比較 (*:p<.05, **:p<.01)

	N	事前		事後	
		M	SD	M	SD
1 貴重品などをすぐ持ち出せるように準備している	107	3.36	1.085	3.43	1.304
2 災害時の家族との連絡方法を決めている*	107	2.62	1.171	2.92	0.245
3 災害時に避難する場所を決めてある*	107	2.89	1.305	3.21	0.316
4 ラジオ(やラジオ放送が聴けるオーディオ機器)を持ち歩いている	107	1.79	1.108	1.88	1.139
5 携帯電話を常時持っている	107	4.45	1.066	4.52	0.904
6 救急処置法(応急救護の仕方)を知っている*	107	2.49	1.136	2.79	1.174
7 消火器の使い方を知っている**	107	2.40	1.331	2.76	1.352
8 地震や水害に備えた行動をとっている**	107	2.43	1.740	2.83	1.068
9 地域の防災訓練に参加している**	106	1.86	1.099	2.57	1.598
10 防災関係の講演や催し物に参加したことがある**	106	2.15	1.315	2.63	1.463
11 学校外で、地震発生時に危険な場所について判断できる**	107	3.20	1.120	3.54	0.984
12 学校外で、地震発生時に避難できる場所を確認するようにしている**	107	2.57	1.150	3.21	1.172
13 学校外で強い揺れを感じたとき、その場で自分の身を守ることができる	107	3.53	1.102	3.60	1.054
14 学校外で強い揺れを感じたとき、揺れが収まった後に安全な場所まで避難することができる	107	3.58	1.010	3.74	0.894
15 学校外で強い揺れを感じたとき、危険と考えられる場所が具体的に説明できる**	107	2.68	1.024	3.08	1.011
16 学校外で強い揺れを感じたとき、どこに避難すれば良いか具体的に説明できる**	107	2.60	1.050	3.01	0.895

各シナリオにおける避難所への最短経路上には、通行せずに引き返すなど避難経路の変更を促すイベントを複数設置していた。実際に避難経路を変更したグループも認められたが、経路を変更せずにそのまま進んだグループもいくつか認められた。その理由として「避難所がすぐ近くにあるからそこまで安全にたどり着ければいい」といった意見が見受けられた。この点に関しては、イベントの危険性が客観的に提示されていなかった可能性があり、より臨場感・逼迫感を与えられるような提示方法を検討する必要があると考える。

7.2 防災意識の変化

表5に示した主観調査結果からは、学習者の防災意識の向上が認められる。また、防災・減災に係る自己効力感として、6項目中4項目で有意差が認められた。このことから、本研究における避難訓練学習を通じて、野外においても災害時を想定し備える意識が醸成されたと考えられる。また、訓練中に災害時に起こりうるイベントを経験することで、危険な箇所や避難する場所といった地域の状況を理解し、具体的に説明できるようになったと考えられる。

8. まとめ

本研究では、学習者の自助意識の向上を目的とし、野外において自らの判断で避難するICT活用型避難訓練を取り入れた学習活動をデザインした。そして、この学習を支援するシステム“ES3”を開発した。

本システムの有用性と学習効果の検証のため、野外における避難訓練とその振り返りからなる授業実践を高等学校で実施した。同じシナリオであっても学習者によって避難場所の選択が異なっていることから、学習者の主体的な判断で避難経路や避難場所を選択していたと考えられる。自らの判断で行動する訓練として、本システムを用いた手法に一定の有用性が認められた。また、主観調査結果からは防災意識の向上と共に、危険な箇所や避難できる箇所を意識し、具体的に説明できるようになったことが認められた。

謝辞

本研究の実施にあたり、千葉県立天羽高等学校に授業実践のご協力をいただきました。関係者の方々に厚く御礼申し上げます。また、授業設計にあたりご助言をいただきました日本大学第三中学校・高等学校柴山愛先生に感謝申し上げます。

本研究はJSPS 科研費 15H02933「モバイル端末を利用した野外防災学習支援システムの開発と評価」の助成を受けたものです。

また、本研究の一部は、大会講演⁶⁾および研究報告⁷⁾にて報告いたしました。

参考文献

- (1) 「東日本大震災を受けた防災教育・防災管理等に関する有識者会議」最終報告,

- http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/sports/012/toushin/1324017.htm (2017年2月6日確認)
- (2) Mitsuhashi, H., Sumikawa, T., Miyashita, J. et al.: “Game-based evacuation drill using real world edutainment”, *Interactive Technology and Smart Education*, Vol. 10, Iss. 3, pp.194-210 (2013)
- (3) Creating and Monitoring Geofences,
<https://developer.android.com/training/location/geofencing.html> (2017年2月6日確認)
- (4) 富津市地震ハザードマップ,
<http://www.city.futtsu.lg.jp/0000000115.html> (2017年2月6日確認)
- (5) 元吉忠寛, 松井豊, 竹中一平, 新井洋輔, 水田恵三, 西道実, 清水裕, 田中優, 福岡欣治, 堀洋元: “広域災害における避難所運営訓練システムの構築と防災教育の効果に関する実験的研究”, *地域安全学会論文集*, Vol.11, No.7, pp.425-432 (2005)
- (6) 畠山久, 永井正洋, 室田真男: “モバイル端末を用いた避難訓練支援システムの開発”, *日本教育工学会第31回全国大会 大会講演論文集*, pp.225-226 (2015)
- (7) 畠山久, 永井正洋, 柴山愛, 室田真男: “シナリオベースのモバイル学習システムを用いた野外における避難訓練学習の実践とその評価”, *日本教育工学会研究報告集*, Vol. 16, No. 1, pp.387-392 (2015)

考えさせる ICT 活用型避難訓練の実践

光原 弘幸^{*1}, 井上 武久^{*2}, 山口 健治^{*2}, 武知 康逸^{*2}, 森本 真理^{*2},
上月 康則^{*1}, 井若 和久^{*3}, 獅々堀 正幹^{*1}

*1 徳島大学大学院理工学研究科, *2 株式会社オプトピア, *3 徳島大学地域創生センター

Case Studies of ICT-based Evacuation Drill that Promotes Participants to Think

Hiroyuki Mitsuhashi^{*1}, Takehisa Inoue^{*2}, Kenji Yamaguchi^{*2}, Yasuichi Takechi^{*2}, Mari Morimoto^{*2},
Yasunori Kozuki^{*1}, Kazuhisa Iwaka^{*3}, Masami Shishibori^{*1}

*1 Graduate School of Science and Technology, Tokushima University

*2 OPTPIA Co., Ltd.

*3 Center for Community Revitalization, Tokushima University

ICT活用型避難訓練 (ICTBED) では、仮想的な災害状況を表現したコンテンツを場所に対応させて携帯情報端末 (スマートフォンやタブレット) に提示し、どのような判断 (避難行動の選択) をとるべきかを参加者に考えさせる。著者らは、南海トラフ巨大地震により甚大な被害を受ける徳島県の小中学校を中心に、ICTBED を実践してきた。本稿では ICTBED を概説した後、これまでの実践事例を紹介する。

キーワード: スマートフォン/タブレット, 避難訓練, 学校防災教育, 南海トラフ巨大地震

1. はじめに

我が国ではこれまで、地震・津波、台風・洪水、噴火など多くの自然災害が発生し、甚大な被害を受けてきた。このことから、国民の高い防災意識が期待されるが、災害を他人事と考え、防災に関心をもたない人も少なくない。

防災意識を向上・維持させるには防災教育が有効であり、これまでさまざまな防災教育が実施されてきた。特に近年、ICT (情報通信技術) を活用した防災教育に期待が高まっており⁽¹⁾、盛んに研究・開発・実践されている。例えば、孫らは津波避難訓練用スマートフォンアプリを開発している⁽²⁾。このアプリでは、訓練参加者の現在位置を津波シミュレーションに重ねて表示し、参加者に津波の位置とスピードを俯瞰させながら避難場所まで移動させることで、訓練の緊迫感を高めている。吉野らは Android 端末を用いた防災マップ作成システムを開発している⁽³⁾。このシステムでは、ゲーミフィケーションを導入するなどして、防災マッ

プ作成作業を動機づけている。田中らは、ゲーミングの手法を応用し、不安全避難行動を誘発することで災害時における知識と行動の不一致を疑似体験させる学習支援を検証している⁽⁴⁾。畠山らは、避難時の主体的な判断力などを育成するために、シナリオベースのモバイル避難訓練システムを開発し、高校生を対象にその有用性を検証している⁽⁵⁾。

著者らも ICT 活用型防災教育に着目しており、携帯情報端末を用いた避難訓練や防災マップ作成など複数のプロジェクトを立ち上げ⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾、実践にも取り組んできた⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾。これらの取組の中で著者らは、防災教育の多様化が必要であると主張している⁽¹¹⁾。特に、防災教育として一般的な避難訓練の多くは避難場所・経路の確認が主目的となっており、避難中に発生しうる困難な状況について訓練参加者に十分に考えさせていない。例えば、“津波避難の途中で発見した負傷者を救助すべきかどうか?”について考えさせることはあまりない。

このような背景から本研究では、防災教育の多様化



図1 ICTBED 実施の様子（左：コンテンツを見る参加者，右：急いで避難場所へ移動する参加者）

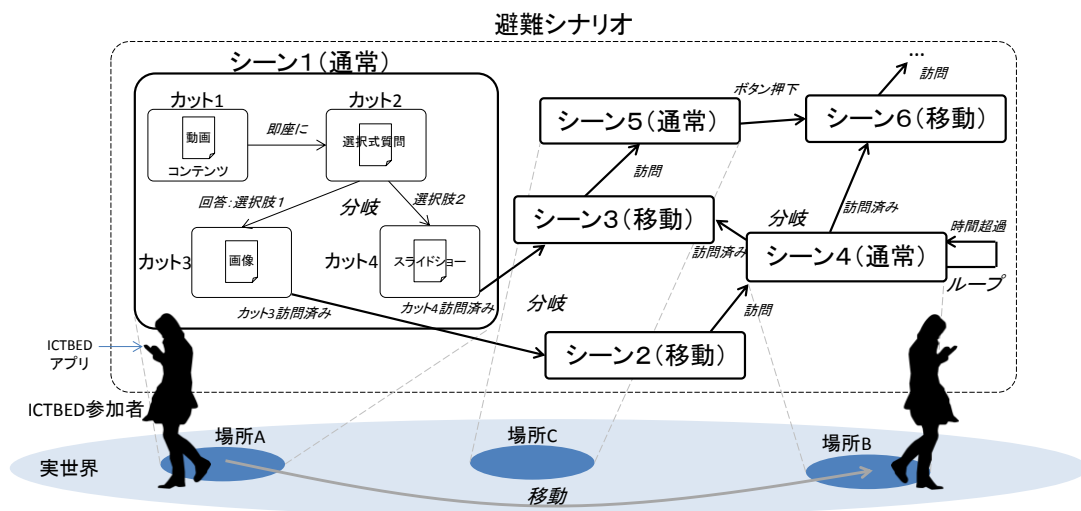


図2 避難シナリオの構成

のひとつとして，“考えさせる”を標榜した ICT 活用型避難訓練 (ICT-Based Evacuation Drill: ICTBED) を提案・システム開発し、徳島県内の小中学校を中心に実践してきた。

本稿では、ICTBED を概説した後、これまでの実践事例を紹介する。

2. ICT 活用型避難訓練

ICTBED において、訓練参加者は GPS 搭載の携帯情報端末 (スマートフォンやタブレット) をもち、自由な経路で避難場所へ移動する。移動途中、参加者が予め設定された場所 (領域) に入るか、予め指定された時間になると、対応するコンテンツ (動画など) が携帯情報端末に提示される。図1に ICTBED 実施の様子を示す。

ICTBED は、避難シナリオとコンテンツにより災害

状況をリアルに表現し、参加者に判断 (避難行動の選択) を迫る。特に，“負傷者を救助するか? ”，“家族の安否確認のために自宅に戻るか?” という一種のモラルジレンマ (自助か共助か) を疑似体験させることで、災害や防災を自分事として考えさせる。

2.1 避難シナリオ

避難シナリオは、場所または時間に対応するシーンおよびシーン内のコンテンツ提示単位であるカットから構成され、実際の災害時に “どこで” (シーン) “どのような災害状況” (カット) が発生しうるかについて記述される。避難シナリオには条件を設定することが可能で、条件分岐によりマルチエンディング (例えば、避難成功/失敗) といったインタラクティブな避難訓練を実現できる。図2に避難シナリオの構成を示す。

2.1.1 シーン

避難シナリオは複数のシーンから構成される。シーンには以下の3種類がある。

(1) 通常シーン

通常シーンは場所と対応づけられ、GPSにより参加者の現在位置から認識される。参加者が通常シーンに入ると、その場所で立ち止まってコンテンツを閲覧する。

(2) 移動シーン

移動シーンは通常シーンの間に設定され、参加者に次の通常シーンへの移動を促す。

(3) 割込シーン

割込シーンは指定時間やシーン訪問からの経過時間と対応づけられ、強制的に指定のコンテンツを提示する。

2.1.2 カット

カットはシーンを構成し、コンテンツと対応づけられる。

2.2 コンテンツ

コンテンツ（テキストメッセージ、音声、静止画、動画、スライドショー、選択式質問）はシーン（場所や時間）に対応した仮想的な災害状況を表現し、選択式質問で参加者に判断を迫る。選択式質問の回答に正誤を設定すれば、コンテンツとしてクイズを提示できる。

2.3 条件分岐

避難シナリオには、以下のような条件分岐を設定できる。

2.3.1 選択肢選択

選択式質問の回答に応じて、次のカットを変える。例えば、“家族がまだ自宅に残っているかもしれない”という状況に対して、“家族の安否確認のために自宅に戻る？”と質問し、“自宅に戻る”と“避難場所へ行く”という選択肢を示す。“自宅へ戻る”を選択した場合、次のカットでは“自宅へ急ごう！”という状況を表現するコンテンツが提示される。

2.3.2 正誤

クイズの正誤によって、次のカットを変える。例えば、“この場所には津波が来る？”と質問（クイズ出

題）し、不正解の場合、次のカットでは、その場所への津波予想到達時間や浸水深に関するコンテンツを提示する。

2.3.3 訪問済みカット／シーン

特定のカット（当該シーン内に限定）またはシーンに訪問したかどうかで次のカットまたはシーンを変える。多くの場合、選択式質問と組み合わせでカットを分岐させ、到達したカットに応じて次のシーンを変える。例えば、“家族がまだ自宅に残っているかもしれない”という状況に対して、“自宅へ戻る”を選択した場合、分岐により次のシーンは“自宅”となる。

2.3.4 スコア

選択式質問の回答にスコアを設定できる。参加者の累積スコア（当該シナリオ内に限定）によって、次のカットまたはシーンを変える。例えば、累積スコアに応じてエンディング（シーン）を変えることができる。

2.4 ICTBED アプリ

ICTBEDへ参加するには、著者らが開発したICT活用型防災教育Webシステム“防災ヤットサー”へのユーザ登録に加え、GPS搭載の携帯情報端末と専用アプリ（ICTBEDアプリ）が必要になる。

2.4.1 ICTBED 開始までの流れ

訓練参加者はICTBEDアプリを起動させ、次のような流れでICTBEDを開始する。

- i. 訓練したい避難シナリオをダウンロードする。
避難シナリオはXMLで記述されており、関連するコンテンツファイルとともにアーカイブ化されている。
- ii. ダウンロードした避難シナリオを選択する。
アーカイブファイルが解凍され、シナリオXMLファイルの内容がメモリに読み込まれる。
- iii. ICTBEDを開始する
解凍およびメモリ読み込みに成功すれば、指定のスタート地点に赴き、ICTBEDを開始する。避難シナリオの実施期間設定などによって、開始できない場合がある。

2.4.2 ユーザインタフェース

(1) 通常シーン、割込シーン

これらのシーンでは、立ち止まって閲覧するコンテンツが提示される（図3(a)）。

(2) 移動シーン

移動シーンでは、テキストメッセージや音声に加え、Google マップ上に参加者の現在位置を表示する。現在位置に加えて次シーンの場所を表示することで、次シーンへの円滑な移動を補助する (図 3(b))。

2.5 振り返り機能

ICTBED アプリは避難訓練ログを記録している。参加者は ICTBED 終了後、防災ヤットサーの振り返り機能(サーバ)にログファイル(CSV ファイル)を送信することで、避難訓練ログ(避難経路、閲覧したコンテンツ、選択式質問の回答)を閲覧できる。参加者のユーザ権限によっては、同じ避難シナリオで訓練した他参加者の避難訓練ログを閲覧することもできる。図 4 に振り返り機能のユーザインタフェースを示す。

3. ICT 活用型避難訓練の実践

著者らはこれまで、徳島県内の小中学校を中心に南海トラフ巨大地震(南海地震)を対象とした ICTBED を実践してきた。徳島県では、南海地震による激しい揺れと沿岸部への津波襲来が予想されており、地震・津波防災教育が重要課題となっている。

3.1 学校における地震・津波避難訓練

学校における地震・津波避難訓練の多くは、授業中または休憩時間(児童生徒が校内にいる時間帯)に地震が発生し、校内の避難場所(校庭や校舎の最上階)へ移動するという避難シナリオを採用する。このような避難訓練はもちろん有意義であるが、放課後(下校時、単独在宅時、校区内で遊んでいる時など児童生徒が校外にいる時間帯)の地震発生を想定した避難訓練も重要である。放課後には、教師や保護者による直接的な避難指示や避難場所への同行が期待できない場合がある。よって、児童生徒は自ら考えて適切に避難しなければならない。学校防災教育において、放課後の地震発生を想定した避難訓練はまだ一般的ではない。

さらに、校内の移動で完結する避難訓練は“校内には避難できない”という状況までは想定していない。実際の地震では、校舎の火災や倒壊などにより校外へ避難しなければならない状況も考えられる。よって、校内から校外への避難訓練も重要である。



(a) 動画コンテンツ提示



(b) マップ表示

図 3 ICTBED アプリのユーザインタフェース



図 4 振り返り機能のユーザインタフェース

3.2 ICTBED モデル

従来の避難訓練は避難場所・経路の確認を主目的とするため、避難場所に到着した時点で終了することが多い。一方、考えさせる避難訓練を標榜する ICTBED では、避難訓練中はもちろん、訓練終了後(避難場所に到着後)に振り返りを通じて考えさせることをめざ

している。

振り返りを通じて、参加者には次のような動機づけが期待される。図5にICTBEDモデルを示す。

- 「あの災害状況で異なる判断をしていたらどうなっていたらだろう」と考え、同じ避難シナリオで再度訓練に参加する。
- 「似たような災害状況に遭遇したら、どのような判断をするだろう」と考え、類似した災害状況を含む別のシナリオで訓練に参加する。
- 「疑似体験した災害状況を踏まえて、自分なりの避難訓練を作りたい」と考え、避難訓練をデザインする（避難シナリオとコンテンツを作成する）。すなわち、避難訓練の参加者から実践者へと移行して防災教育に貢献する。

このように、ICTBEDモデルは循環型を理想としている。

3.3 想定

著者らは、南海地震によって発生しうるさまざまな災害状況、地震発生時の児童生徒の代表的な状況を想定してICTBEDを実践してきた。

3.3.1 災害状況

4つに大別した災害状況における代表的なシーンを以下に挙げる。

(1) 推奨避難経路からの逸脱

- ブロック塀の倒壊や液状化現象などにより、推奨避難経路を通行できず、別の道を通行しなければならない。
- 自宅に残っているかもしれない家族の安否を確認するために、自宅へ戻るか判断する。自宅に戻る場合は、推奨避難経路から逸脱することになる。結果的に、家族はすでに避難しており、時間のロスになってしまう。
- 知人の災害弱者（子どもやお年寄り）を救助するために、その知人宅へ行くか判断する。救助しに行く場合は、推奨避難経路から逸脱することになる。

(2) 負傷者や災害弱者の救助

参加者が救助すると判断した場合、実際に重り（負傷者や災害弱者に見立てた人形やリュックサック）を持って避難を継続することになる。

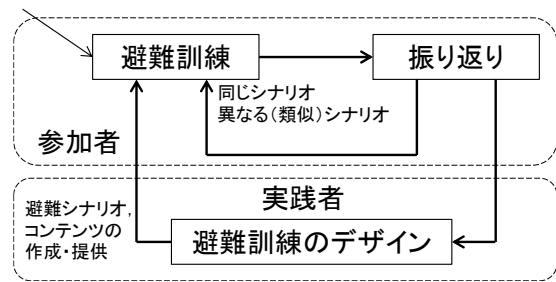


図5 ICTBEDの実践モデル

- 避難途中に発見した負傷者を救助するかどうか判断する。
 - 保育園付近で保育士から、園児を避難場所まで連れて行ってほしいと懇願される。
- (3) 自身の負傷
- 通行不可の道を無理矢理通行しようとする、足を負傷してしまう。この場合、参加者は実際の重りを足に装着し、避難を継続することになる。
 - (割込シーンとして) 余震が発生し、飛んできた瓦礫に当たって目を負傷する。この場合、参加者は実際に視野狭窄眼鏡（または簡易的な目隠し）を装着して、避難を継続することになる。

(4) 他者の避難行動

他者の避難行動について、その是非について考えさせる。

- 車で逃げようとしている家族に遭遇する。その結果、渋滞が発生している。
- 避難に適さない場所（津波が襲来する低地など）に避難している人がいる。

3.3.2 地震発生時の児童生徒の状況

(1) 放課後に校外にあり、学校への避難が必要

放課後、友達と校外で遊んでいる時に南海地震が発生する。約2分間の激しい揺れの後、津波が到達する前（または自分たちが定めた制限時間内）に避難場所である学校へ到着すべく避難を開始する。

(2) 授業中で校内にいるが、校外への避難が必要

授業中に南海地震が発生する。約2分間の激しい揺れの後、避難場所である校舎へ移動しようとするが、校舎で火災が発生し、運動場も液状化している。先生も助けに来てくれないため、津波が到達する前（または自分たちが定めた制限時間内）に校区外の適切な避難場所へ到着すべく避難を開始する。

3.4 参加者

携帯情報端末を必要とする ICTBED には、一人（個人）でも、携帯情報端末を共有すれば複数人（グループ）でも参加できる。

放課後に一人で過ごす児童生徒もいるため、個人単位で ICTBED を実践する必要性は高い。しかし、学校防災教育（防災授業）の一環として ICTBED を実践する場合、携帯情報端末の台数確保が難しい。また、自由な経路を通ることができることから避難訓練中の児童生徒の安全にも十分注意しなければならない。言い換えれば、各児童生徒に同行するスタッフ（教師や地域ボランティアなど）の確保も難しい。

以上の点から、著者らはグループ単位で ICTBED を実践してきた。グループ単位にすることで、話し合いを通じて、判断（避難行動を選択）することが求められる。具体的には、避難場所に到着するまでの時間的猶予を考慮しながら、客観的な状況把握、意見対立、説得といった過程を経て、迅速に判断（合意形成）しなければならない疑似体験といえる。さらに、このような判断過程は、避難訓練の振り返りの際、議論の材料になることが期待される。例えば、「避難途中で負傷者を救助する？」という状況に対して、「とにかく困っている人を助けたかった」、「自分の命が優先だと思った」、「自分たちの力で助けられるか分からなかった」、「避難の残り時間が気になった」、「他のメンバーとは意見が違うけど多数派に従った」など意見を述べ、自グループはもちろん他グループの意見も含めて、判断についてじっくりと考えることができる。なお、モラルジレンマに関しては、判断の是非（正解／不正解）を結論づけることは難しいため、振り返り（議論）を通じて帰結をめざすものではない。

3.5 実践例

継続的に ICTBED を実践してきた小中学校に焦点を当て、ICTBED の実践例を紹介する。

3.5.1 津波襲来が予想されている沿岸部の中学校

ここで例示する中学校は徳島市の沿岸部に位置し、南海地震の発生から約 40 分後に津波（第一波・最大波）が到達すると予想されている。これまでの実践では、3～5 名（主に 2 年生）から成る 3 または 4 つのグループ（スタート地点は異なる）を形成し、40 分以



(a) 人形を運びながら避難場所に移動する参加者



(b) 振り返りの様子

図 6 ICTBED の実践の様子

内に指定避難場所まで（約 1km）自由な経路で移動させた。

ICTBED では、「負傷者を救助する？」といったシーンを積極的に採用するが、中学生は救助する側としてしばしば期待される。そこで、災害状況（シーン）として負傷者や災害弱者の救助を多く含む訓練シナリオを採用した。つまり、訓練参加者（中学生）に“自助と共助のジレンマ”ならびに“共助を成功させるために普段からできること”を考えさせるねらいがあった。共助には時間と肉体的負担がかかることがある。例えば、負傷者を避難場所まで連れて行くには、長時間背負う必要があるかもしれない。そこで、肉体的負担（とそれに伴う時間消費）を疑似体験させるために、負傷者や災害弱者に見立てた最大約 40kg の人形を用意し、救助することを選択した参加者には実際にその人形を運んでもらうようにした（図 6(a)）。

全グループが避難訓練を終えて教室に集合してから、“自助と共助のジレンマ”を主なテーマとした振り返り

返りを開始した。振り返り機能を適宜使いながら、負傷者の救助などについて各グループに意見を述べさせ、意見対立などを起点として議論を深めていった。例えば、“子どもとお年寄り、どちらの救助を優先するか？”という議論から、“どちらも助かるためには、自分たちが普段できることは何か？”を考えさせ、「お年寄りがどこに住んでいるかを把握しておく」、「誰が助けに行くか予め地区で話し合っておく」などが提案された。

3.5.2 津波襲来は予想されていない山間部の小学校

ここで例示する小学校は徳島県の西部に位置し、南海地震による津波襲来はないものの、激しい揺れによる大きな被害が予想されている。これまでの実践では、3～6名（4、5年生）から成る4つのグループ（教室を共通のスタート地点とする）を形成し、各グループで話し合っただけの校外の場所（避難できそうな場所）へ移動するという避難シナリオを採用した。この避難シナリオでは、授業中に南海地震が発生し、火災や液化現象により学校には避難できないことを想定している。また、参加者には“自助と共助のジレンマ”を疑似体験させるが、主に家族（自宅にいるかもしれない妹または弟）の安否確認に焦点を当てている。これは、小学生にとって救助は負担が大きいと考えたからである。津波襲来がないため、避難場所に到着するまでの制限時間は避難開始時に参加者に（選択式質問を用いて）設定させた。

避難場所に到着して学校へ戻り、全グループが教室に集合してから、または、翌日に振り返りを実施した。用意したワークシートに、“災害状況に対して考えたこと”、“どのような判断をしたか”、“判断の理由”を記述させた後、振り返り機能を適宜使いながら、各グループに遭遇した災害状況について発言させた。さらに、共通する災害状況については、各グループからの意見を起点に議論を深めた（図 6(b)）。家族の安否確認について、“家族はすでに避難していた”という状況から、「家族で避難する場所を決めておく」、「家族を信じて自分は避難場所へ行く」などが提案された。

3.5.3 アンケート結果

例示した ICTBED の実践において、数日の回答期間を設けて 5 段階アンケートを実施した。表 1 に防災意識の向上についての平均値と標準偏差を、表 2 に家庭で防災について話し合った参加者の数を示す。

表 1 防災意識の向上に関するアンケート結果

	N	AVG	SD
中学校 2014 年	20	4.25	1.04
中学校 2015 年	6	4.16	0.37
小学校 2015 年	19	4.47	0.59
小学校 2016 年	23	4.13	0.67

質問：ICT 活用型防災教育はあなたの防災意識を高めましたか？

回答：{1: まったく思わない, 2: あまり思わない, 3: どちらでもない, 4: 少し思う, 5: とても思う}

表 2 家庭で防災について話し合った参加者数

	はい	いいえ	未回答
中学校 2014 年	5	13	2
中学校 2015 年	1	1	4
小学校 2015 年	9	6	4
小学校 2016 年	7	16	0

すべての実践において、防止意識に関する平均値が 4 以上となっており、ICTBED は防災意識を向上させるといえる。しかし、家庭で防災について話し合った参加者は多くない。ICTBED を実施する学校はもともと防災意識が高い傾向があり、参加者は普段から家庭で防災について話し合っている可能性がある。しかし、従来の避難訓練とは異なる“考えさせる”ICTBED が参加者から家庭に話題提供されていない状況は、その目的が未達成であることを表しており、改善が必要である。

4. おわりに

本稿では、徳島県内の小中学校における ICTBED の代表的な実践事例を紹介した。実践を通じて、防災意識の向上を確認できた一方で、ICTBED が家庭での防災学習に必ずしもつながっていないことが課題として挙げられた。学校防災教育は授業として実施するだけでなく、家庭での学びといかに結びつけるかが重要である。授業として実施した ICTBED を起点として、“子どもから家庭（保護者）へ”、“家庭から地域へ”という流れが理想的であり、実践的な防災の普及にも効果的である。したがって、ICTBED の実践にあたり、家

庭を含めたモデルを検討することが必要である。また、ICTBED 以外のさまざまな防災教育も取り入れた、長期的かつ体系的な防災教育カリキュラムも必要である。

今後は、学校防災教育に加え、地域の自主防災組織や行政が主導する防災活動にも ICTBED を取り入れてもらうべく、働きかけを強化していきたい。

謝辞

本研究は、総務省・戦略的情報通信研究開発推進事業 SCOPE（地域 ICT 振興型研究開発）の委託研究によるものである。

ICTBED をはじめとして ICT 活用型防災教育の実践にご協力いただいた徳島県内の小学校、中学校、高等学校、特別支援学校、防災センターなど関係各所の皆様に心より感謝致します。

システム開発およびシナリオ作成等に携わった川井淳矢氏、北島成子氏、山住遙氏をはじめとする WBL 研究班メンバーにも謝意を表する。

参考文献

- (1) 株式会社毎日新聞社: “「ICT を活用した防災教育に資する教材の開発・普及のための調査研究」成果報告書”, http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyouhou/_ics/Files/afieldfile/2013/10/28/1340779_01.pdf (2017 年 2 月 7 日確認)
- (2) 孫英英, 矢守克也, 鈴木進吾, 李勇昕, 杉山高志, 千々和詩織, 西野隆博, 卜部兼慎: “スマホ・アプリで津波避難の促進対策を考える: 「逃げトレ」の開発と実装の試み”, 情報処理学会論文誌, Vol.58, No.1, pp.205-214 (2017)
- (3) 吉野孝, 濱村朱里, 福島拓, 江種伸之: “災害時支援システム“あかりマップ”の地域住民による防災マップ作成への適用”, 情報処理学会論文誌, Vol.58, No.1, pp.215-224 (2017)
- (4) 田中孝治, 梅野光平, 池田満, 堀雅洋: “疑似被災体験により不安全避難行動を誘発する学習支援方式”, 教育システム情報学会誌, Vol. 34, No. 1, pp.44-53 (2017)
- (5) 畠山久, 永井正洋, 柴山愛, 室田真男: “シナリオベースのモバイル学習システムを用いた野外における避難訓練学習の実践とその評価”, 日本教育工学会研究報告集, JSET16-1, pp.387-392 (2016)

- (6) Mitsuhashi, H., Sumikawa, T., Miyashita, J., Iwaka, K., and Kozuki, Y.: “Game-based evacuation drill using real world edutainment”, Interactive Technology and Smart Education, Vol.10, No.3, pp.194-210 (2013)
- (7) Kawai, J., Mitsuhashi, H., and Shishibori M.: “Tsunami Evacuation Drill System Using Smart Glasses”, Procedia Computer Science, Vol.72, pp.329-336 (2015)
- (8) 光原弘幸, 井上武久, 山口健治, 武知康逸, 森本真理, 井若和久, 上月康則, 獅々堀正幹: “ICT 活用型避難訓練をデザインするという防災教育”, 日本災害情報学会第 17 回研究発表大会予稿集, pp.42-43 (2015)
- (9) 三木啓司, 角川隆英, 宮下純, 光原弘幸, 小西正志, 井若和久, 上月康則: “実世界 Edutainment によるバーチャル避難訓練-南海地震津波を想定した徳島県徳島市津田地区の場合”, 日本災害情報学会第 14 回研究発表大会予稿集, pp.34-37 (2012)
- (10) 光原弘幸, 井上武久, 山口健治, 武知康逸, 森本真理, 井若和久, 上月康則, 獅々堀正幹: “デジタル防災マップ作成支援システムとその防災授業利用”, 教育システム情報学会研究報告, Vol.30, No.7, pp.89-96 (2016)
- (11) 光原弘幸: “ICT 活用型防災教育を盛り上げるには?”, 人工知能学会誌, Vol.30, No.4, pp.517-518 (2015)

大学生の学校安全意識に関する研究

沖林 洋平^{*1}

^{*1} 山口大学教育学部

Research on School Safety Awareness among University Students

Yohei OKIBAYASHI^{*1},

^{*1}Faculty of Education, Yamaguchi University

In this research, we conducted a survey on information moral awareness for university students in the teacher training courses. We also examined whether the information moral guidance curriculum checklist are changed by the video presentation procedure which based on the flipped classroom. We clarified that students have high awareness of information moral guidance. Secondly, the procedures using video materials for flipped classrooms increase awareness of students' information moral guidance.

キーワード: 情報モラル, 大学生, 反転授業

1. はじめに

本研究では、大学生の学校安全に対する意識について調査を行う。とりわけ、本研究では、教育学部の教員志望の学生の情報モラル教育に対する意識や効力感について検討するとともに、情報モラル意識を高める大学での授業デザインに関して検討する。

学習指導要領の改訂による教育の情報化への充実化に基づいて、「教育の情報化に関する手引き」が作成された。(1)「教育の情報化に関する手引き」の5章に「学校における情報モラル教育と家庭・地域との連携」が設定されている。このことから、現行学習指導要領において、情報モラルは情報に関する教育において教えられる必要のある内容であることが分かる。ここでは、情報モラルを「情報社会で適正に活動するための基となる考え方や態度」のことであるとしており、その範囲は、「他者への影響を考え、人権、知的財産権など自他の権利を尊重し情報社会での行動に責任をもつこと」、「危険回避など情報を正しく安全に利用できること」、「コンピュータなどの情報機器の使用による健康とのかかわりを理解すること」など多岐にわたっている。

また、情報モラルの指導の具体的な在り方としては、考えさせる学習活動を重視することが挙げられている。具体的には、「児童生徒どうしで討論することや、インターネットで実際にあるいは擬似的に操作体験をしたり調べ学習をしたりするなどして、「情報モラルの重要性を実感できる授業」を実践する必要がある。」と述べられている。(2)

学習指導要領は改訂途中にあり、次期学習指導要領は、小学校では平成32年度(2020年度)から、中学校は平成33年度(2021年度)から全面実施予定となっている。次期学習指導要領は「主体的・対話的で深い学び」が重要な視点とされている。(3)小中高等学校を通じた情報教育において、全ての生徒に育成を目指す情報にかかわる資質・能力は、知識・技能(何を知っているか、何ができるか)、思考力・判断力・表現力(思っていること・できることをどう使うか)、学びに向かう力・人間性等(どのように社会・世界とかわり良い人生を送るか)という3つの柱の中の、学びに向かう力・人間性に含まれるものとして整理されている。この中で情報モラルについては、「情報モラルや情報に対する責任について考え行動しようとする態度」とされている。このように、次期学習指導要領の全面実施以降に

は、情報モラルに関する指導が、教育課程に組み込まれることになる。ただし、情報モラルに関しては、高等学校の情報科における指導だけでなく、小中学校における情報に関する教育での指導が重要である。高等学校情報科新科目の一つ情報 I (仮称)は、情報と情報技術を問題の発見と解決に活用するための科学的な考え方等を育成する共通必修科目であるとされるが、この科目構成の1つとしての情報社会の問題解決という構成要素は、「中学校までに経験した問題解決の手法や情報モラルなどを振り返り、これを情報社会の問題の発見と解決に適用して、情報社会への参画について考える。」とされている。すなわち、情報モラル教育の端緒は、小中学校教育で行われることが望まれる。(4)

このように、小学校では平成 32 年度(2020 年度)、中学校では平成 33 年度(2021 年度)の実施が計画されている情報モラルの指導では、教員はどのような内容を指導できることが求められているのだろうか。国立教育政策研究所は情報モラル教育実践ガイダンスを発行し、すべての小中学校で、すべての教員が指導するためのガイダンスを行っている。(4)

この中には、小中学校教員の行う情報モラル教育の進め方として、子どもたちの実態把握や整理、年間指導計画の作成、指導方法の検討、実際の指導と評価という4つのステップや実際の授業に用いるための授業指導案とともに、情報モラル指導カリキュラムチェックリストが掲載されている。これは、情報モラル指導における具体的な指導項目(例えば、「約束や決まりを守る」、「ネットワークの教養性を意識して行動する」、「自他の安全面に配慮した、情報メディアとのかかわり方を意識し、行動できる」)を分野別、学年別に示したチェックリストである。(5)このチェックリストにある項目は、今後情報モラル指導が行われる際の、教員の指導に求められると考えられる。すなわち、大学の教員養成課程において、小中学校の教員を希望するものに対して育成が求められる内容であるといえる。また、チェックリストの項目には、情報モラルに特化したというよりは、一般的な規範意識と関係する項目も多く、児童生徒の日常生活に即した指導が行われる必要があることを示唆するものといえる。

また、次期学習指導要領では、主体的・対話的で深い学びを行うために、いわゆるアクティブラーニング

の推進が重視されている。これは、情報に関する教育においても求められるものであり、「教育の情報化に関する手引き」にも、例えば小学校の国語や社会科においては、「責任を持って情報発信」、「正しいメールの書き方」、「情報に対する正しい判断」といった題材を、対話や調べ学習を通して学ぶことが有効であると指摘されている。(3)このことは、大学の教員養成課程においては、アクティブラーニングによる効果的な情報モラル指導法の習得の必要性を示唆するものである。その一方で、教員養成課程でのアクティブラーニングによる情報モラルの指導法については、効果的な授業実践に関する報告は小中高における教員による実践の報告は見られる(6)一方で、大学の教員養成課程における一般的な授業を通じた実践報告は見られない。そこで、本研究では、アクティブラーニングの授業形態の1つとしての反転授業を参考にした手続きの有効性を検討することとした。教材には、文部科学省が作成した一般に視聴することができる動画教材を用いた。(7)(8)

そこで、本研究では、教員養成過程の大学生が持っている情報モラル教育に対する意識について調査を行った。また、教員養成課程の大学生の情報モラル指導力の向上に効果的な大学での授業デザインについて検討した。まず、情報モラル指導に関する項目の必要性について自己評価を調査した。その上で、現在文部科学省が開発した情報モラル教育に関する動画教材を提示し、学生に教材としての有効性についてディスカッションすることを求めた。ディスカッションの後に、同じ項目を評定した。また、あわせて文部科学省が作成している「教員の ICT 活用指導力の基準(チェックリスト)」(9)に対して、児童生徒に情報モラルを指導するうえでどの程度できるようになりたいか(技能習得の必要性認知)、どの程度重要であるか(技能の重要性認知)をたずねた。

2. 方法

2.1 調査時期

本研究は、2016年12月に実施された。

2.2 調査対象者

本研究の調査対象者は、教育学部選択必修科目「発達心理学」の受講者 107 名のうち分析の対象とした 98

名であった。

2.3 調査項目

本研究では、以下の調査項目が用いられた。1. 情報モラル指導カリキュラムチェックリスト(全 28 項目、心を磨く領域 14 項目、知恵を磨く領域 14 項目) 2. 教員の ICT 活用指導力の基準(チェックリスト)(全 20 項目、5 領域) 3. 情報モラルに関する知識理解テスト(情報モラルチェックリスト)(10) 4. 日常生活での携帯電話やスマートフォン利用に関する調査項目 以下の 7 項目について、それぞれ、はい・いいえで回答を求めた。

- ① 高校までで、情報モラルに関する授業を受けたことがある
- ② 現在、SNS で自分のページを持っている
- ③ 現在、SNS で自分のページをほぼ毎日更新している
- ④ 日常的に顔を合わせる友人の SNS にほぼ毎日投稿する
- ⑤ 普段、SNS の利用には PC よりもスマートフォンを用いる
- ⑥ これまでに、サークルや部活などのウェブや SNS の管理したことがある
- ⑦ これまでに、自分の SNS のページの管理が難しいと思ったことがある

5. 動画視聴後、情報モラルをどの教科、科目で教えるかに関する自由記述 6. 授業の目標は何に関する自由記述 7. どのような手続きで授業を進めるかに関する自由記述

2.4 手続き

本研究は、授業の 1 回分を利用して行われた。発達心理学における道徳性の一環として情報モラルを扱った。まず、情報モラル指導カリキュラムチェックリスト、情報モラルチェックリスト、日常生活での携帯電話やスマートフォン利用に関する調査項目について、調査対象者に回答を求めた。回答終了後、動画教材を提示した。本研究では、「情報化社会の新たな問題を考えるための教材～安全なインターネットの使い方を考える～」から、小学校高学年から中学生を対象とした動画教材(1)と、中学生から高校生を対象とした動画教

材を用いた。2 本の動画を見た後に、まず、それぞれの自分が小中学校の教員となった場合、情報モラルを教えることを考える教科、科目、学年について個人で考えて回答を求めた。そのうち、自分であれば情報モラルに関する授業をどのように進めるかを個人で考えて回答を求めた。個人での考えをまとめたのちに、4 名程度のグループを形成し、個人の考えの共通点や相違点について自由にディスカッションする時間を設けた。ディスカッション終了後、ディスカッション前の個人の考えを修正する時間を設けた。ここまでが終了した後に、情報モラル指導カリキュラムチェックリストの項目について再度回答し、加えて教員の ICT 活用指導力の基準(チェックリスト)に回答を求めた。以上が、本研究で行った手続きであるが、本研究に関わる手続きに要した時間は、事前回答(約 10 分)、動画視聴(約 20 分)、個人での思考(約 5 分)、グループでのディスカッション(約 15 分)、事後回答(約 5 分)で 55 分から 60 分程度であった。

3. 結果

3.1 情報モラル指導カリキュラムチェックリストの得点

情報モラル指導カリキュラムチェックリストの全体および各領域別、ICT 活用指導力チェックリストの事前回答と事後回答の平均値と標準偏差を表に示す。

表 1 情報モラル指導カリキュラムチェックリスト、ICT 活用指導力チェックリストの平均値と標準偏差

	平均値	標準偏差
事前回答 全体	4.17	0.50
事前回答 心領域	4.25	0.56
事前回答 知恵領域	4.07	0.59
事後回答 全体	4.57	0.44
事後回答 心領域	4.62	0.44
事後回答 知恵領域	4.51	0.53
ICT 活用指導力 必要性認知	3.51	0.47
ICT 活用指導力 有効性認知	4.29	0.48

情報モラル指導カリキュラムチェックリストの全体得点、各領域別得点について、事前回答と事後回答で t 検定を行った。全体得点および各領域別の得点のすべてにおいて有意であった($t(97)=-9.344, -8.746, -8.048, p<.01, p<.01, p<.01$)。

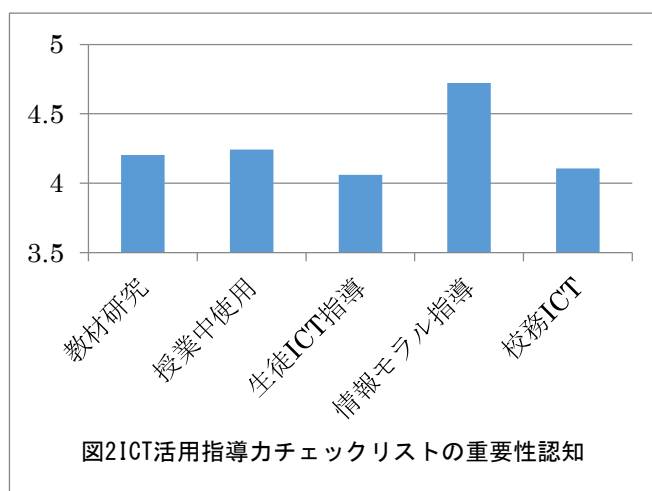
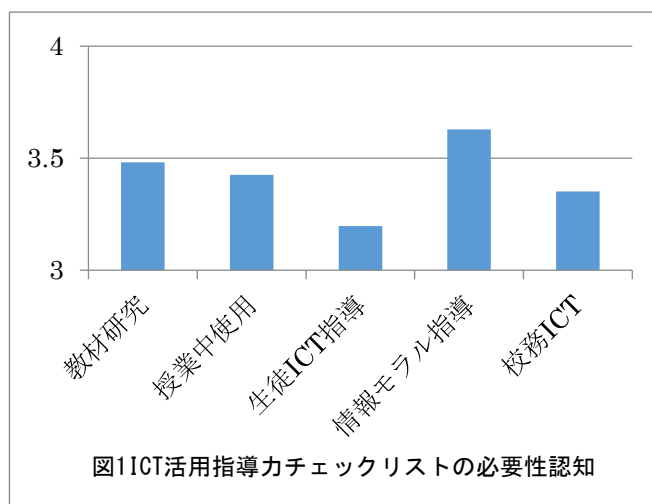
3.2 ICT 活用指導力チェックリスト

ICT 活用指導力チェックリストの必要性認知と重要性認知について、領域別の平均値を表 2 に示す。また、領域別の平均値を図 1, 2 に示す。必要性認知と重要性認知 5 領域の平均値を従属変数とした参加者内 1 要因分散分析を行った。分散分析の結果、必要性認知と重要性認知の両方の主効果が有意であった ($F(4,388)=7.294, p<.01$; $F(3,388)=26.246, p<.01$)。必要性認知の領域の主効果が有意であったため下位検定を行った結果、情報モラル指導に関する必要性認知は他の領域よりも有意に高く、生徒の ICT 活用への指導に関する必要性認知は他よりも有意に低かった ($t(388)=5.167, 3.309, 3.421, 2.747, p<.01$)。重要性認知の下位検定の結果、情報モラル指導に対する重要性認知は他の領域よりも有意に高かった ($t(388)=9.056, 8.427, 7.098, 6.562, p<.01$)。

表 2 ICT 活用指導力指導力チェックリストの領域別の平均値と標準偏差

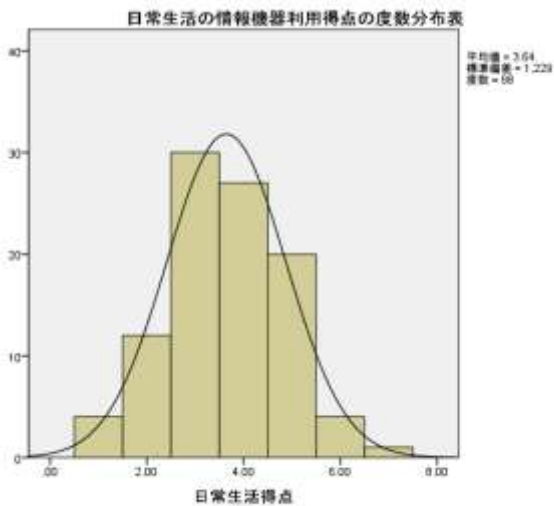
	教材研究	授業中使用	生徒の ICT 指導	情報モラル指導	校務 ICT
必要性認知	3.482 (1.16)	3.426 (0.54)	3.197 (0.60)	3.628 (0.46)	3.352 (0.61)
重要性認知	4.204 (0.57)	4.243 (0.67)	4.061 (0.72)	4.722 (0.51)	4.107 (0.83)

次に、どのような授業をデザインするかという問いに対する自由記述



3.3 日常生活での携帯電話やスマートフォン利用に関する調査項目

日常生活での携帯電話やスマートフォン利用に関する調査項目について、各参加者のはいと回答した度数分布表を図 3 に示した。



平均値は 3.64 で中央値は 4 であり、得点の分布に大きな偏りはないと考える。

日常生活での利用得点を独立変数として、情報モラル指導カリキュラムチェックリストの事前回答を充足変数とする重回帰分析を行ったところ、有意な係数は得られなかった($R^2=0.01$, ns)。

3.4 情報モラルを教える教科、科目と授業デザイン

動画教材視聴後、参加者に授業等で使用を考える教科、科目、授業の目標、授業デザインについて回答を求めた。回答は自由記述であった。得られた回答を、著者がカテゴリ分類した。得られた自由記述をカテゴリ分類した結果を表 3 に示す。この中で、例えば授業の目標は、「本時のめあて」「授業のめあて」と呼ばれるもので、小中学校の授業において、冒頭に教師から児童生徒に 1 文で伝えられるものである。本研究では得られた自由記述に含まれる内容を分類した。例えば、情報の授業「スマートフォンを正しく利用して、他の人を傷つけないようにする」の場合は、「情報×情報モラル態度」と「情報×ICT 機器利用法」のありに 1 の度数とした。

表 3 動画教材を使用する授業、科目と授業の目標に含まれる内容

	情報モラル知識		情報モラル態度		ICT 機器利用法	
	あり	なし	あり	なし	あり	なし
情報	9	14	15	8	8	15
道徳	12	15	13	14	13	14
特別活動	19	15	14	20	15	19
技術	5	4	6	3	3	6
その他	3	2	2	3	1	4
合計	48	50	50	48	40	58

次に、情報モラルに関する授業をどのように進めるかについての自由記述回答をカテゴリ分けした結果を表 4 に示す。授業デザインのカテゴリ分類にあたっては、アクティブラーニングの技法・授業デザインの構成要素を設定した。(11)それら授業手続きが含まれている場合、度数としてカウントした。この中で、ジグソー学習の手続きは、少人数に分かれた課題解決型の手続きが組み込まれていること、反転授業の手続きは、教員による説明の前に動画視聴やワークシートへの記入、課題解決の手続きが組み込まれていることをカウントの基準とした。

3.5 情報モラルクイズ成績と情報モラル指導に関するチェックリスト、授業デザインの関係

情報モラル指導力チェックリストに関する項目は、教員に求められる知識や技能に関するものについて自らが当てはまるかどうかについて自己評価を行うものであった。そのため、大学生の情報モラルに関する知識理解を測定するためには、一般的な ICT 利用に関する知識に関するテストが必要であった。そこで、本研

表4 情報モラルを教えることを想定する教科、科目と授業デザインのカテゴリ分類

	グループでの話し合い		発表		動画視聴		ジグソー学習の手続き		反転授業の手続き	
	なし	あり	なし	あり	なし	あり	なし	あり	なし	あり
情報	12	11	15	8	3	20	22	1	10	13
道徳	10	17	17	10	2	25	24	3	6	21
特別活動	11	23	24	10	2	32	29	5	14	20
技術	4	5	5	4	0	9	9	0	4	5
その他	1	4	2	3	1	4	5	0	3	2
合計	38	60	63	35	8	90	89	9	37	61

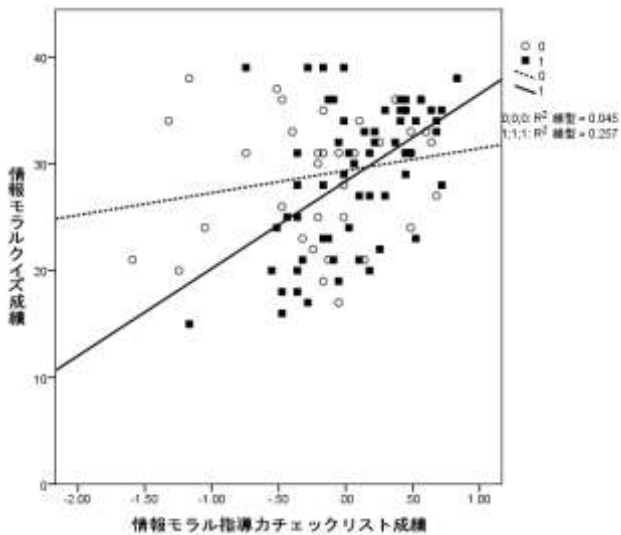


図 4 情報モラル指導力チェックリストと情報モラルクイズ成績の関係

本研究では、市販の情報モラルに関する知識理解に関するクイズに対する回答を求めた。情報モラルに関する知識理解と情報モラル指導に対する意識、動画教材視聴後に考える授業デザインの関係を図 4 に示す。

階層的重回帰分析の結果を表 5 に示す。階層的重回帰分析の結果、反転授業の想起の有無による情報モラルチェックリストと情報モラルクイズの成績に交互作用が見られた。

表 5 反転授業想起の有無による情報モラルチェックリストと情報モラルクイズの階層的重回帰分析

	Step1		Step2	
	b	bSE	b	bSE
Step1				
情報モラルチェックリスト	4.812	1.242	2.084	1.163
情報モラルクイズ	-1.082	1.273	-0.991	1.24
Step2				
情報モラルチェックリスト × 情報モラルクイズ			6.09	2.23
△R ²	0.136		0.05	
Adj△R ²	0.118		0.165	

4. まとめ

本研究では、教員養成課程の大学生を対象として、情報モラル意識についての調査を行った。また、反転授業を参考にした動画提示手続きによる、情報モラル指導カリキュラムチェックリストへの回答に変化が見られるかを検討した。本研究の結果、以下のことが明らかとなった。1. 教員養成課程の大学生は、事前にある程度高い情報モラル指導に対する意識を持つ。2. 反転授業を参考にした動画教材を用いた手続きは、大学生の情報モラル指導に対する意識を高める。3. ICT活用指導に対する意識の必要性と重要性認知は、情報モラル指導に関するものが、他の領域に対するものよりも高い。

参 考 文 献

- (1) 教育の情報化に関する手引き ,
http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyouhou/1259413.htm(参照 2017.2.7)
- (2) 第 5 章 学校における情報モラル教育と家庭・地域との連携 ,http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/detail/_icsFiles/afieldfile/2010/12/13/1259416_10.pdf(参照 2017.2.7)
- (3) 次期学習指導要領等に向けたこれまでの審議のまとめ ,
http://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/_icsFiles/afieldfile/2016/09/09/1377021_1_1_11_1.pdf(参照 2017.2.7)
- (4) (13)情報 ① 現行学習指導要領の成果と課題を踏まえた情報科の目標の在り方 ,
http://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/_icsFiles/afieldfile/2016/10/06/1377021_1_6.pdf(参照 2017. 2.7)
- (5) 情報モラル教育実践ガイダンス ,
<https://www.nier.go.jp/kaihatsu/jouhoumoral/guidance.pdf>(参照 2017. 2.7)
- (6) 西田光昭: “小学校における情報モラル教育—これからの世界を生き抜く子どもたちのために—”, コンピュータ&エデュケーション, Vol.24, 10-13.(2008)
- (7) 教材⑨ SNS等のトラブル(小5～中1) SNSへの書き込みの影響 全編 ,
<https://www.youtube.com/watch?v=3PfcQEkZ4kI&index=28&list=PLGpGsGZ3lmbAOd2f-4u Mx-BCn13GywDI>(参照 2017.2.7)
- (8) 教材⑩ SNS等のトラブル(中2～高3) 軽はずみなSNSへの投稿 全編 ,
<https://www.youtube.com/watch?v=xCpca6P9Nfc&list=PLGpGsGZ3lmbAOd2f-4u Mx-BCn13GywDI&index=31>(参照 2017. 2.7)
- (9) 教員の ICT 活用指導力の基準(チェックリスト),
http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyouhou/1296901.htm(参照 2017. 2.7)
- (10) 日本文教出版;“見てわかる情報モラル” 確認問題 ,
<http://nichibun.net/material/j-moral/index.php>(参照 2017.2.7)
- (11) 安永悟・関田一彦・水野正朗: “アクティブラーニングの技法・授業デザイン”, 東信堂, 東京(2016)

情報モラル行動における知識と行動意図の不一致の自覚を促す

教育プログラムの提案と評価

田中孝治^{*1}, 三輪穂乃美^{*2}, 池田 満^{*1}, 堀 雅洋^{*2}

*1 北陸先端科学技術大学院大学知識科学系 *2 関西大学大学院総合情報学研究科

A Proposal and Evaluation of an Education Program to Raise Awareness of the Inconsistency between Knowledge and Intention in Information Ethics

Koji Tanaka^{*1}, Honomi Miwa^{*2}, Mitsuru Ikeda^{*1}, Masahiro Hori^{*2}

*1 School of Knowledge Science, Japan Advance Institute of Science and Technology

*2 Graduate School of Informatics, Kansai University

If learners cannot form an intention to take an appropriate action with reference to the knowledge of information ethics, it cannot be said that the learners have working knowledge of ethical principles. In this study, we propose a learning support method and an education program to raise awareness of the inconsistency between knowledge and intention in information ethics. The education program for university students was consisted of two phases. In the first phase, students answered paper-and-pencil tests consisting of choose-behavior tasks and evaluate-behavior tasks to confirm the knowledge-to-action gap based on an experiment of cognitive psychology. In the next phase, students were shown the graph of experiments results as feedback. As results of questionnaire for evaluating learning activities, it indicates that the program gets many students to capture the gap as own affairs.

キーワード: 知識と行動の不一致, 情報モラル, 動機づけ, 認知心理学的実験手法

1. はじめに

情報技術の急速な発展に伴い、一人一人の情報モラルの成熟が求められている。情報モラルは、“情報社会で適切な活動を行うための基になる考え方と態度”⁽¹⁾と定義されることから、情報モラルに関する知識を有していたとしても、その知識を行動として具現化しようとする意志（行動意図）が形成されなければ、実効的な意味で情報モラルの知識を習得したとは言い難い。そのため、情報モラルに関する知識を行動として具現化しようとする態度を育成する教授法や教材の開発が求められており、様々な情報モラル教育が実践されている。玉田・松田⁽²⁾⁽³⁾は、情報モラル教育に重要な知識として、情報社会の特性や技術的な限界などの「情

報技術の知識」、人として守るべき「道徳的規範知識」、これらの知識を組み合わせ様々な価値基準と照らし合わせて適切に判断するための考え方である「合理的判断の知識」を挙げている。筆者らは、情報モラルに反する行動（以下、不遵守行動）をとらせる学習者自身の心の動きを、その行動主体である学習者本人に認識させることが、判断のための考え方を育成する一助となると考えている。

心の動きを学習者が認識するためには、学習・訓練場面の行動と自身がとる実際場面の行動との違いを自覚する学習活動が必要である。そこで本研究では、学習・訓練場面の行動（覚えている原則としての知識）と自身がとる実際場面の行動との違いを顕在化する認知心理学的実験⁽⁴⁾⁽⁵⁾を援用した情報モラル行動選択

表 1 学習対象の情報モラル行動

情報社会の倫理	情報セキュリティ
チェーンメールの転送	ウイルス対策ソフトの未更新
SNSでの個人特定	データ紛失対応策の未実施
優先座席付近での電源オン	パスワードの使い回し
デジタル万引き	パスワード記憶機能の使用
歩きスマホ	URLの未確認
法の理解と遵守	安全への知恵
著作権の侵害	検索情報の信憑性未確認
肖像権の侵害	架空請求の支払い
不正アクセス	未登録アドレスへの返信
違法ダウンロード	個人情報取扱いの未確認
不正指令電磁的記録の併用	リアルタイムの情報公開

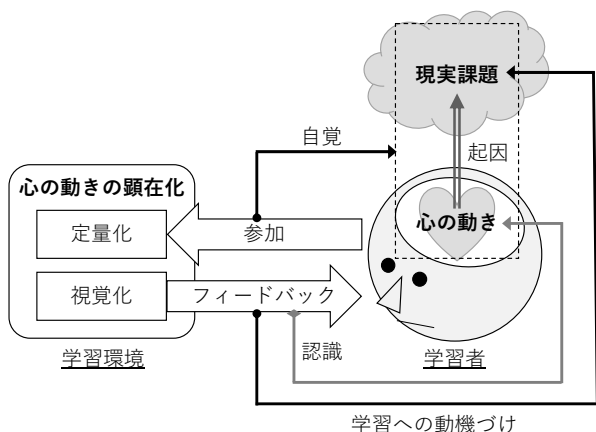


図 1 学習支援方式の概要

課題に取り組むこと、および、課題に対する学習者自身の回答に基づいて作成された知識と行動意図の不一致のグラフを読み取ることで不遵守行動をとる心の動きの自覚を促し、情報モラル学習への動機づけを高める学習支援方式を提案する。本稿では、学習支援方式を試行した教育プログラム内で実施した学習評価アンケートの結果に基づき、その有用性について検討を加える。

2. 心の動きの認識を促す学習支援手法

心の動き、つまり、人間の心の中で行われる内的な処理を捉える学問領域の一つとして、認知心理学・認知科学が挙げられる。認知心理学・認知科学の主要な研究方法として、行動研究(実験的研究と観察的研究)、コンピュータシミュレーション、脳研究の三つが挙げられ⁽⁶⁾、複雑・困難な認知システムや心理現象の研究には、モデルベースのアプローチが用いられている⁽⁷⁾。三輪ら⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾は、モデルベースのアプローチが、内的処理を理解するための研究ツールだけでなく、学習者自身の認知過程に関する理解を深める教育ツールの役割を担い得るとし、学習者自身が認知モデルを構築するモデルベースアプローチの学習環境 DoCoProを開発し、大学での認知科学の授業実践に適用している。

また、Hulshofら⁽¹²⁾⁽¹³⁾は、心理現象をよりよく理解するためには、心理現象の主體的な経験とその経験の振り返りが有用であるし、心理現象の体験、心理実験の実験者としての体験、心理実験の参加者としての体験と結果のフィードバックが可能な学習環境 (ZAPs)

を開発し、大学での授業実践に適用している。

これらの学習環境では、学習者自身が心の動きの顕在化に参加し、顕在化された心の動きを認識することによって、その心の動きを理解する枠組みと捉えることができる。本教育プログラムにおいても同様の枠組みを用いるが、本研究では心の動きの理解を学習目標とするのではなく、心の動きの認識を通して心の動きに起因する現実問題への自覚と学習への動機づけを高めることを目標とする(図 1)。具体的には、初めに、心の動きを顕在化させる情報モラル行動課題として、知識と行動意図の不一致を定量化する認知心理学的実験手法⁽⁵⁾を与えることで、情報モラルにおける知識と行動の不一致についての自覚を促し、学習のレディネスを高める。次に、情報モラル行動課題についての説明などのデブリーフィングを行ったうえで、学習者の回答を含む課題の結果から作成した知識と行動意図の不一致を表すグラフを提示することで、情報モラル学習への動機づけを高める。

3. 教育プログラムでの試行

2016 年春学期に大学 1 回生向けに必修科目として開講された情報処理に関する講義の第 1 回の講義中に情報モラル行動課題を課し、第 2 回の講義時間を用いて課題のデブリーフィングと課題結果のグラフの提示を行った。学習対象とした情報モラル行動は、高等学校の教科書および副読本、警視庁の Web サイトから収集した 20 項目であった(表 1)。

3.1 情報モラル行動課題

情報モラル行動課題では、学習者は情報モラル行動選択課題と情報モラル行動評価課題の二つの課題に取

表 2 評価ごとの回答者の人数

	P評価	NP評価	二項検定 [95%信頼区間]
行動選択			
学習契機	270	124	$p < .001$ ** [.64, .73]
学習意欲	196	198	$p = .003$ ** [.45, .55]
期待度数	168.86	225.14	
グラフ確認			
学習契機	266	128	$p < .001$ ** [.63, .21]
学習意欲	213	181	$p < .001$ ** [.49, .59]
期待度数	168.86	225.14	

Note. $N = 394$. ** $p < .01$.

対象に対する評価が異なっていることについて説明を受けた。

4. 学習評価アンケートに対する回答の分析

情報モラル学習課題の結果から作成した不一致グラフ提示後、続けて学習評価アンケートを実施した。学習評価アンケートでは、不一致グラフを見たことについて、学習契機確認設問（「情報モラルについて考えるきっかけになったと思いますか？」）と、学習意欲確認設問（「あなたの情報モラルについて学びたいという意欲を高めたと思いますか？」）について7段階の評定（1：まったくそう思わない～7：非常にそう思う）および自由記述での回答を求めた。本研究では、学習活動への影響を鑑み、評価アンケートを二つの学習活動の終了後に実施した。そのため、選択課題の評価は不一致グラフを確認したことの影響を受けていることに注意が必要である。

学習評価アンケートについては、第2回講義に出席した学生のうち、第1回講義で情報モラル学習課題に回答した経験がある大学1年生394名を分析対象とした。

4.1 7段階評価

行動選択課題への取り組みと不一致グラフを見たことが学習契機と学習意欲に与える影響についての検討を加えるために、学習契機確認設問と学習意欲確認設問で回答された評定値を、Positive評価（P評価）とNon-Positive評価（NP評価）の二つに分類した。具体的には、評定値が5・6・7の場合をP評価、評定値が1・2・3・4の場合をNP評価とした。P評価とNP評価を回答した人数について二項検定を実施した。このとき、各評価に割り当てた評定値数を鑑み、検定比を3

表 3 コーディングルール

コード名	コーディングに用いた主な語
自分と他者	
自分ごと	自分自身, 自己, 個人的, 自覚, 共感
身の回り	実生活, 日常, 普段, 身近, 日頃
家族・友人	家族, 友人, 友達
他者	人, 周り, 他人, 周りの人, 周りの意見, 周りの行動
知識と行動の不一致	
不一致	不一致, 不和, ズレる, 差, 行動の食い違い
知識	常識
行動	行為, アクション 「実行」もしくは「行動」の前後に「する」
学習契機	
関心	興味, 関心, 疑問, なぜ, 不思議, 面白い, どうして
意外性	びっくり, 意外, 驚く, 案外, こんなに, ショック, 衝撃
気づき	気づき, 認識, 確認, 実感, 見出す, 再認識, 再確認
学習意欲	
意識	意識, 心がける, 「目」の前後に「向ける」
見直し	見直す, 振り返る, 考え直す, 思い直す
学習	学ぶ, 習う, 学べる, 教わる

対4とした。その結果、学習契機と学習意欲の両方の設問で評定人数に有意差が見られ、P評価を選択した人数の方がNP評価を選択した人数よりも多かった（表2）。この結果から、行動選択課題に取り組むこと、および、不一致グラフを見ることで、情報モラル行動に関する学習契機となり、学習意欲を高める効果が期待できる。

4.2 計量テキスト分析

自由記述の回答内容の全体像を把握するために、KH Coder⁽¹⁶⁾を利用して計量テキスト分析を実施した。

コーディングを行うために、『段落中に、自分自身、自覚、などの語があれば、その段落に「自分ごと」というコードを与える』といったコーディングルールを、教育プログラムの重要な要素ごとに作成した。コーディングルールの一覧と、コーディングのために用いた主な語を表3に示す。

初めに、それぞれの学習活動が学習者のどのような学習契機になったかを検討する。選択課題における行動選択および不一致グラフの確認を表す名義変数（学習活動）を作成し、学習活動のコードの出現数の差異を確認するためにクロス集計とカイ二乗検定を行った（表4）。その結果、「自分ごと」については、学習活動間で出現数に有意差は見られなかった。「身の回り」「見直し」については、学習活動で出現数に有意差が見られ、行動選択の方がグラフ確認よりも出現数が多かった。「他者」「不一致」「関心」「意外性」については、学習活動間で出現数に有意差が見られ、グラフ確認の方が行動選択よりも出現数が多かった。行動選択では、「身の回り」や「見直し」といった語が記述されてい

表 4 学習契機設問におけるコードのクロス集計とカイニ乗検定

	自分ごと	身の回り	家族・友人	他者	不一致	知識	行動	関心	意外性	気づき	意識	見直し	学習	ケース数
行動選択	76 (22.09%)	44 (12.79%)	1 (0.29%)	18 (5.23%)	14 (4.07%)	6 (1.74%)	18 (5.23%)	25 (7.27%)	4 (1.16%)	111 (32.27%)	17 (4.94%)	35 (10.17%)	8 (2.33%)	344
グラフ確認	65 (20.44%)	9 (2.83%)	0 (0.00%)	60 (18.87%)	30 (9.43%)	3 (0.94%)	11 (3.46%)	40 (12.58%)	15 (4.72%)	114 (35.85%)	12 (3.77%)	16 (5.03%)	6 (1.89%)	318
合計	141 (21.30%)	53 (8.01%)	1 (0.15%)	78 (11.78%)	44 (6.65%)	9 (1.36%)	29 (4.38%)	65 (9.82%)	19 (2.87%)	225 (33.99%)	29 (4.38%)	51 (7.70%)	14 (2.11%)	662
カイ2乗値	0.18	20.93**	0	28.26**	6.82**	0.31	0.85	4.68*	6.27*	0.79	0.3	5.45*	0.02	

Note. $N = 394$. * $p < .05$, ** $p < .01$.

表 5 学習意欲設問におけるコードのクロス集計とカイニ乗検定

	自分ごと	身の回り	家族・友人	他者	不一致	知識	行動	関心	意外性	気づき	意識	見直し	学習	ケース数
行動選択	56 (17.39%)	10 (3.11%)	2 (0.62%)	19 (5.90%)	10 (3.11%)	7 (2.17%)	9 (2.80%)	54 (16.77%)	5 (1.55%)	101 (31.37%)	1 (0.31%)	6 (1.86%)	65 (20.19%)	322
グラフ確認	44 (14.06%)	5 (1.60%)	0 (0.00%)	36 (11.50%)	29 (9.27%)	5 (1.60%)	10 (3.19%)	61 (19.49%)	6 (1.92%)	111 (35.46%)	11 (3.51%)	6 (1.92%)	59 (18.85%)	313
合計	100 (15.75%)	15 (2.36%)	2 (0.31%)	55 (8.66%)	39 (6.14%)	12 (1.89%)	19 (2.99%)	115 (18.11%)	11 (1.73%)	212 (33.39%)	12 (1.89%)	12 (1.89%)	124 (19.53%)	635
カイ2乗値	1.09	0.98	0.474	5.61*	9.41**	0.06	0.00	0.62	0.00	1.02	7.14**	0.00	0.11	

Note. $N = 394$. * $p < .05$, ** $p < .01$.

たことから、学習者自身の選択する情報モラル行動を問われることが、身の回りを見直す機会になったと考えられる。一方、グラフ確認では、「他者」「不一致」「関心」「意外性」といった語が記述されていたことから、選択課題のデブリーフィングを受けることと不一致グラフを確認することが、他者の知識と行動意図の不一致に関心や意外性を持つ機会になったと考えられる。

次に、それぞれの学習活動が学習者にどのような学習への動機づけを与えていたかを検討する。学習活動間のコードの出現数の差異を確認するためにクロス集計とカイニ乗検定を行った（表 5）。その結果、「自分ごと」については、学習活動間で出現数に有意差は見られなかった。「他者」「不一致」「意識」については、学習活動間で出現数に有意差が見られ、グラフ確認の方が行動選択よりも出現数が多かった。グラフ確認では、「他者」「不一致」「関心」「意外性」といった語が記述されていたことから、選択課題のデブリーフィングを受けることと不一致グラフを読み取ることで、他者の知識と行動意図の不一致についての関心や意外性から学習意欲が向上したと考えられる。これらの結果は、それぞれの学習活動が適切に学習目標についての学習を促す役割を果たしたものと見える。

さらに、P 評価参加者の回答と NP 評価者の回答を表す名義変数（評価者群）を作成し、各学習活動に対する設問ごとに評価者群のコードの出現数の差異を確認するためにクロス集計を行った。その結果、すべての学習活動の設問において、P 評価者群の方が NP 評価者群よりも「自分ごと」のコードの出現数が多かった（行動選択における学習契機： $\chi^2 = 10.20$, $p < .01$ ；行動選択における学習意欲： $\chi^2 = 19.79$, $p < .01$ ；グラフ確認における学習契機： $\chi^2 = 5.16$, $p < .05$ ；グラフ確認における学習意欲： $\chi^2 = 11.84$, $p < .01$ ）。行動選択における学習契機では「気づき」（ $\chi^2 = 4.84$, $p < .05$ ）が、行動選択における学習意欲では「身の回り」（ $\chi^2 = 7.48$, $p < .01$ ）が、グラフ確認における学習契機では「不一致」（ $\chi^2 = 4.14$, $p < .05$ ）が、グラフ確認における学習意欲では「他者」「不一致」「気づき」（他者： $\chi^2 = 8.25$, $p < .01$ ；不一致： $\chi^2 = 7.61$, $p < .01$ ；気づき： $\chi^2 = 5.02$, $p < .01$ ）が、P 評価者群の方が NP 評価者群よりもコードの出現数が多かった。その他のコードについては評価者群間で有意差は見られなかった。

教育プログラムを肯定的に評価している学習者は、肯定的に評価していない学習者に比べて、学習活動を問わず本教育プログラムの学習内容を自分ごととして捉えていること、選択課題に取り組むことで身の回り

を意識していること、不一致グラフを読み取ることによって知識と行動意図の不一致に着目し他者の知識と行動の不一致から気づきを得ていることが示唆された。

4.3 自由記述の内容

自由記述の回答を意味レベルで解釈するために、記述内容について学習契機と学習意欲の観点から分析を行った。

4.3.1 情報モラル学習の契機

“情報とつきあうことがあたり前になりすぎていて、正しくないことをあたり前にやっていたので、改めて思い出すことができたから”（行動選択における学習契機）や“無意識のうちにしていることも多いのもう一度確認するため”（行動選択における学習契機）といった不遵守行動の自覚についての記述が見られた。

また、“普段、やってはいけないと分かっているけど、それほど大事ではないだろうと思ってついやってしまっていることがどれくらいあるのか自分でも分かっていなかったのを知ることになったから”（行動選択における学習契機）や“情報モラルについての知識は持っていたけど、色んな状況下においての自分の行動に活かされていないことが改めて分かったから”（行動選択における学習契機）といった知識と行動の不一致の自覚についての記述が見られた。

さらに、“実際にグラフを見ると、自分と同じように知識があっても行動できていない人が多かったのだから”（情報モラルを改めて考え直してみたいと思ったから）（グラフ確認における学習契機）や“正しい選択をできない部分が自分にも少しあったし、周りの人はもっとできないようだったので、きちんとしなければいけないと感じたから”（グラフ確認における学習契機）といった知識と行動の不一致についての自身と他者の比較についての記述が見られた。

これらの記述から、本教育プログラムが学習者の情報モラル学習のきっかけになっていたことが示唆される。

4.3.2 情報モラル学習への動機づけ

“情報モラルについて、一般的な知識は誰にきいてもほぼ間違いなく持っているはずなので逆に解決策を学びたい”（グラフ確認における学習意欲）や“「情報モラルの大切さ」よりも、それに反する行動をおこさ

ないようにする防止策について知りたいと思った”（行動選択における学習意欲）といった知識と行動の不一致を解消する方法の学習についての記述が見られた。

また、“常識として、モラルとして分かっているけど、行動に移せていない人が多数見られた理由を深く考えてみたいから”（グラフ確認における学習意欲）や“何がどのくらい不一致なのかが一目で分かり、その理由などが気になるから”（グラフ確認における学習意欲）といった知識と行動の不一致が生じる要因の学習についての記述が見られた。

さらに、“前回のアンケートのような単純な質問では、どちらの行動が正しくて、間違っているのか分かったけど、もっと深い内容なら絶対に答えられないと思ったから、学びたいと思った”（行動選択における学習意欲）や“これら以外にも知識と行動の不一致なことがまだまだあると思うので、少し興味をもちました”（行動選択における学習意欲）といった教育プログラムで捉えている学習内容が限定的であることを認識し、学習が必要な情報モラル行動の対象を広く捉えて学ぼうとする記述が見られた。

これらの記述から、本教育プログラムによって学習者の情報モラル学習への動機づけが高まることが期待できる。

4.3.3 学習目標の誤認識

一方で、本教育プログラムを肯定的に捉えていない記述も少なからずあった。例えば、“高校までに既に学んでいる情報が多かったため”（グラフ確認における学習意欲）や“基本的に理解している事柄が多く、これと言って情報モラルについて考えようなどは思わなかったから”（行動選択における学習契機）といった適切な行動を知識として知っていることを理由としている記述、“確かに情報モラルについて考える一つのきっかけにはなったと思う。だが、知識と行動とが一致しないということは目に見えていたため、個人的には大きなきっかけにはなったとは思わない”（行動選択における学習契機）や“社会常識について長々と分析結果を出されてもきっかけになるほどのインパクトはなかった”（グラフ確認における学習契機）といった不一致の存在が周知の事実であること理由にしている記述が見られた。これらの記述は、本教育プログラムが知っている知識・事実の伝達を目的とした学習活動

であると学習者に捉えられていたことを示すものといえる。

5. おわりに

教育プログラム内で実施した学習評価アンケートに対する回答の分析結果より、学習者は自身がとる情報モラル行動を選択する課題に取り組んだことで、自分ごととして自身の情報モラル行動を見直すようになり、その課題についてのデブリーフィングと学習者自身の回答を含む課題の結果から作成された知識と行動意図の不一致を表すグラフを読み取ることで、自身と他者についての知識と行動の不一致に対する関心や意外性から、知識と行動の不一致の解決策や生起要因に関する学習意欲や教育プログラムで扱い切れない学習内容についての学習意欲を持つようになることが示唆された。これらのことから、情報モラル行動における知識と行動の不一致への自覚から情報モラル学習への動機づけを高める学習支援方式の有用性が見込まれる。

今後の検討課題については、以下の通りまとめることができる。一つ目の課題は、本教育プログラムが既有的知識や周知の事実の伝達であると一部の学生に捉えられていたことである。認知心理学は人間の営みを扱う学問領域であり実験結果が日常の常識と相反することは少ないが、定量化にあたり現象が抽象化されるため、教育実践に利用するためには具体性に欠ける部分が多い。そのため、抽象化された選択課題の結果を再度自分ごととして具体化して考える必要がある。この再具体化を伴う結果の解釈は、学習者によって容易でない可能性がある。今後は、知識と行動意図の不一致を表すグラフを提示する際に再具体化を促す仕組みを検討していく必要がある。

二つ目の課題は、本教育プログラムが、ZAPs や DoCoPro に比べて、即時性に欠けることである。“機会を与え、考えることは出来たかもしれないが、占有する時間が長すぎてしんどかったことしか頭に残らない”といった学習活動時間についての記述も見られた。本学習支援手法が情報モラル教育分野で実践的に活用されるには、インタラクティブなシステムを導入した運用を行うなど、即時性を高める仕組みを教育プログラムに取り込むことが必要であろう。

謝辞

本研究の一部は科学研究費助成事業 26560133、16K12782 の助成を受けた。

参考文献

- (1) 文部科学省：“高等学校学習指導要領解説情報編”，(2009)
- (2) 玉田和恵，松田稔樹：“異なる知識の組み合わせによる「情報モラル」指導法の検討”，日本教育工学会誌，Vol.24, Suppl., pp.147-152 (2000)
- (3) 玉田和恵，松田稔樹：“「3種の知識」による情報モラル指導法の開発”，日本教育工学会論文誌，Vol.28, No.2, pp.79-88 (2004)
- (4) 田中孝治，梅野光平，池田満，堀雅洋：“知識と行動の不一致に見られる不安全避難行動の危険認知に関する心理実験的検討”，認知科学，Vol.22, No.3 pp.356-367 (2015)
- (5) 田中孝治，園田未来，池田満，堀雅洋：“情報モラル行動における知識と行動の不一致に関する心理実験的検討”，日本教育工学会論文誌，Vol.40, No.3, pp.153-164 (2016)
- (6) 高野陽太郎：“認知心理学”，放送大学教育振興会，東京 (2013)
- (7) Fum, D., Del Missier, F. and Stocco, A.: “The cognitive Modeling of Human Behavior: Why a Model Is (Sometimes) Better Than 10,000 Words”, Cognitive Systems Research, Vol.8, pp.135-142 (2007)
- (8) 中池竜一，三輪和久，森田純哉，寺井仁：“認知科学の入門的授業に供する Web-based プロダクションシステムの開発”，人工知能学会論文誌，Vol.26, No.5, pp.536-546 (2011)
- (9) 三輪和久，寺井仁，森田純哉，中池竜一，齋藤ひとみ：“モデルを作ることによる認知科学の授業実践”，人工知能学会論文誌，Vol.27, No.2, pp.61-72 (2012)
- (10) 神崎奈奈，三輪和久，寺井仁，小島一晃，中池竜一，森田純哉，齋藤ひとみ：“認知モデル作成による認知情報処理の理解を促す大学授業の実践と評価”，人工知能学会論文誌，Vol.30, No.3, pp.536-546 (2015)
- (11) 齋藤ひとみ，三輪和久，神崎奈奈，寺井仁，小島一晃，中池竜一，森田純哉：“理論に基づく実験結果の解釈の支援—認知科学の授業実践におけるモデル構築の効果に関する検討—”，人工知能学会論文誌，Vol.30, No.3, pp.547-558 (2015)
- (12) Hulshof, C. D., Eysink, T. H., Loyens, S. and De Jong, T.: “ZAPs: Using Interactive Programs for Learning

- Psychology”, *Interactive Learning Environments*, Vol.13, No.1-2, pp.39-53 (2005)
- (13) Hulshof, C. D. and Eysink, T. H.: “The ZAP Project: Designing Interactive Computer Tools for Learning Psychology”, *Innovations in Education and Teaching International*, Vol.43, No.4, pp.337-351 (2006)
- (14) 田中孝治, 三輪穂乃美, 池田満, 堀雅洋: “情報モラル教育での利用に向けた知識と行動意図の不一致定量化の試み”, *教育システム情報学会第41回全国大会講演論文集*, pp.151-152 (2016)
- (15) Ajzen, I.: “The Theory of Planned Behavior”, *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, Vol.50, No.2, pp.179-211 (2006)
- (16) 樋口耕一: “社会調査のための計量テキスト分析—内容分析の継承と発展を目指して—”, ナカニシヤ出版, 京都 (2014)

情報モラル教育における ERICA（リアルタイム感性評価システム）活用による効果の検証

豊瀬 仁須^{*1} 松田 昇^{*2} 西野 和典^{*3} 浅羽 修丈^{*4}

*1 田川市立田川中学校 *2 テキサス A&M 大学 *3 九州工業大学 *4 北九州市立大学

Verification of effect by using ERICA(Real-time kansei evaluation system) in information moral education.

Kimitoshi Toyose^{*1}, Noboru Matsuda^{*2}, Kazunori Nishino^{*3}, Nobutake Asaba^{*4}

*1Tagawa municipal junior high school, *2Texas A&M University

*3Kyushu Institute of Technology, *4 The University of Kitakyushu

私たちは中学校における「誹謗中傷」に関する情報モラルを高める学習に、動画の視聴者の印象や感性などの変化を時間軸に沿って連続的に記録するシステム「ERICA」を活用し、その効果を検証した。その結果、ERICAを使用した情報モラル学習では、ERICAを使用しない情報モラル学習よりも高い教育効果が得られる傾向にあることが確認された。

キーワード: 情報モラル学習, 中等教育, ERICA

1. はじめに

中学校学習指導要領第1章総則⁽¹⁾には「各教科等の指導に当たっては、生徒が情報モラルを身に付け、コンピュータや情報通信ネットワークなどの情報手段を適切かつ主体的、積極的に活用できるようにするための学習活動を充実するとともに、これらの情報手段に加え視聴覚教材や教育機器などの教材・教具の適切な活用を図ること。」とあるように、情報モラル学習の充実が求められている。辰巳・原田(1999)は、コンピュータネットワークの発展にともない、それまでの「コンピュータ未対応の『情報倫理』」では分類・分析・解決できない問題が生じ始めた。特に、World Wide Webの発展は「情報倫理」にかかわるとされる新しい問題を提示するようになり「ネットワーク対応型の『情報倫理』」が必要とされるようになった。⁽²⁾としている。

インターネット上には誹謗中傷やいじめ、犯罪や違法行為、有害情報などの問題が存在する。従って「情報モラルを身に付けるよう指導することを明示」し「情報社会に積極的に参画する態度を育てることは今後ま

すますます重要」⁽³⁾としている。中学校における情報モラル学習の充実および、その効果的な学習支援の探究は、極めて重要な研究課題である。

筆者らは、情報教育において、特に、集団と個人との相互依存関係に着目する。筆者らは、議論に基づく学習において、意見が大きく分かれる部分に集中して論議をさせることで、従来の学習方法よりも高い教育効果が得られると仮説立てをした。その上で、議論の多様性をリアルタイムに可視化するために、動画の視聴者の印象や感性などの変化を時間軸に沿って連続的に記録するシステム「ERICA (Emotional / kansei Reaction Input-data Collector, reviewer and Analyzer) ^{(4)(5) (6)}」を情報モラル学習に応用する学習方法を提案する。ERICAを使用した学習では、生徒は意見が大きく分かれる部分に集中して論議をすることができる。集団で意見の相違について論議することが、個人の意見に影響を与えるのである。ERICAを使用した学習によって、従来の学習方法よりも高い教育効果が得られることが期待される。

2. ERICA

「ERICA」とは、動画を視聴している視聴者の心情や印象、感性などの度合いを連続した時系列データとして記録、および、そのグラフ化と分析といった調査支援を目的に開発したシステムである。ERICAは、Web環境上での動作を実現しており、視聴者は、Webブラウザ上で展開される映像を視聴しながら、キーボードを用いて心情や印象、感性などの度合いを入力する。図1にERICAによる調査・グラフ化の概念図を、図2にERICAで調査・グラフ化したスクリーンショットを示す。図2で細く描画された折れ線状のグラフが、視聴者ひとりひとりが入力した結果であり、太く描画された曲線状のグラフが、全体の平均と標準偏差のグラフである。ERICAを用いた授業では、学習者に対してこれらのグラフを即時に情報提示することが可能になる。

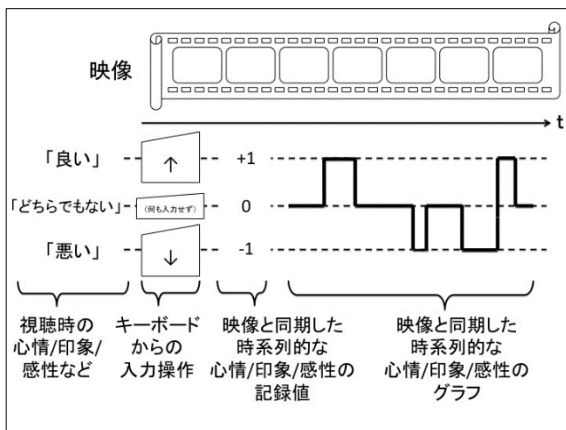


図1 ERICAによる調査・グラフ化の概念図

本研究では、情報モラルに関する動画に対して、ERICAを適用する。図2は、誹謗中傷に関する動画で、友達の悪口を投稿しようとしている場面である。生徒は、それぞれの場面について、登場人物の振る舞いの良し悪しを判断する。図2下の時系列グラフに表示される標準偏差が大きい場面は、生徒の「良い - 悪い」の判断の差が大きい場面を示している。教師は、このように意見の分かれている部分に焦点を当てて、意図的に議論を誘導するような授業が展開できる。例えば、標準偏差が大きい場面を再生し、「良い」と判断した生徒と「悪い」と判断した生徒とに、それぞれなぜそのように考えたのかについて発表させ、考え方や価値観の多様性について瞬時に共有することが可能で



図2 ERICAのスクリーンショット

ある。

このような活動を通して、生徒は、単に知識として情報モラルを受け取るだけでなく、自ら考え判断することが求められる。従って、知識として教え込む教授法と比較して、主体的に考える場面を設定することによって、情報モラルに関する理解を深め、定着させることが可能であると考えられる。

3. Research Question と仮説

本論文の目的を検証可能な Research Question として記述すれば、次のようになる：情報モラル教育において、議論に基づく学習を行う場合に、意見のばらつきに着目させることは、学習効果をどのように向上させるであろうか？この問いに答えるために、以下の3つの点に着目する：(1) ERICAを使用した情報モラル学習では、教師が意図的に議論の流れを誘導し、意見のばらつきの大きな部分に焦点を当てさせることが出来るが、ERICAを使用しない場合のように、生徒が自主的に議論を進める場合には、どのような部分において、議論が展開させるであろうか？

(2) ERICAを使用した学習と使用しない学習とでは、議論の深まりとまとまりに違いがあるか？議論の“深まり”とは、反対意見の数により定量化する。議論の“まとまり”とは、発言箇所1箇所ごとの発言回数により定量化する。(3) ERICAを使用した学習と使用しない学習とでは、情報モラル学習の教育効果に違いがあるか？教育効果の測定は、情報モラルアンケートによって行う。

本論文では、上述した Research Question に答えるために、次の3つの仮説を検証する：

仮説 1. ERICA を使用しない情報モラル学習では、必ずしも意見のばらつきの大きな部分から議論が始まるとは限らないだろう。

仮説 2. ERICA を使用した情報モラル学習の方が、ERICA を使用しない情報モラル学習よりも、反対意見が多く出、発言箇所1カ所ごとの発言回数が増えるだろう。

仮説 3. ERICA を使用した情報モラル学習の方が、ERICA を使用しない学習よりも、情報モラルアンケート結果が改善されるだろう。

4. 先行研究

文部科学省は、情報モラル学習を「情報社会で適正な活動を行うための基になる考え方と態度⁽⁷⁾」(2000)と定義している。ここでいう「考え方」とは正しい判断をする能力であり、態度はその判断に基づいて実践する力である。梅田ら(2008)は「一般に、情報社会の発展は早く、制度や技術は頻繁に更新されるので、全ての事例を挙げられるわけではない。そのため、対処的なルールを身に付けるだけではなく、それらのルールの意味を正しく理解し、新たな場面でも正しい行動がとれるような考え方と態度を育成することを目的とした教材やその開発法が必要である。」⁽⁸⁾としている。

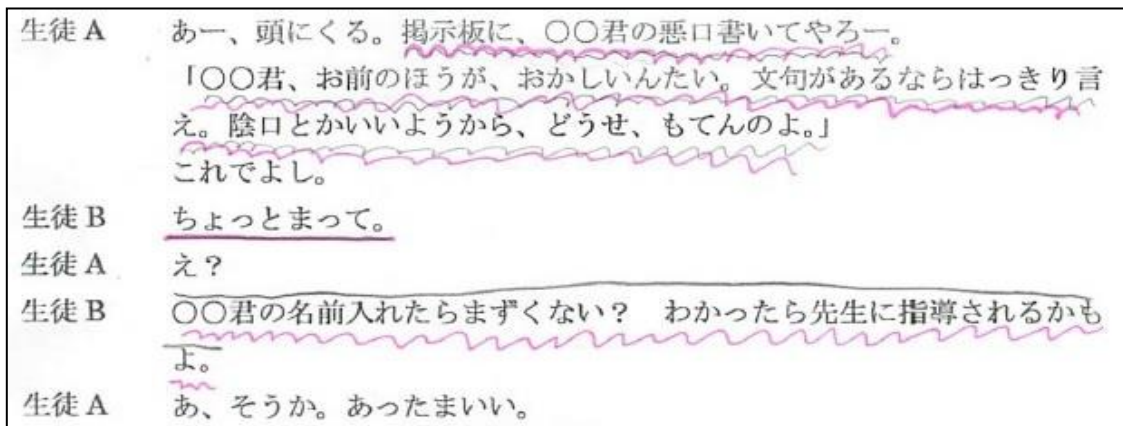


図3 ワークシート例

図3は、生徒が実際に使用し、記入したワークシートの一部である。このワークシートには動画の台詞が書かれている。生徒は、台詞の中で「良い」と判断した箇所には棒線を引き、「悪い」と判断した箇所には波線を引く。その際、特に「一文で線を引く」という指示はしていないので、生徒が引いた線は、複数の文にまたがることもあった。また、「良い」「悪い」の判断ができない箇所には、何も線を引かないように指示をした。本研究では、仮説1については、生徒が「良い」「悪い」の判断を記入したワークシートから検証する。具体的には、ワークシートに記入した発言箇所における意見のばらつき(標準偏差)との関係の比較によって検証する。仮説2については、学習実験の事前と事後に行なう情報モラルアンケートから検証する。

以上から、知識ではなく、考え方や態度を育成することが必要であると考えられる。そのためには、一方通行的に教訓を引き出す寓話形の教材ではなく、子ども自身が判断することを迫られ、子ども自身が思考したり議論したりしながら道徳性を発達させていく葛藤型(モラルジレンマ)の教材が必要となる。ERICAはこのような学習に適した教材であり、思考したり議論したりすることによって、学習前と学習後の判断に変化が現れることが期待される。

5. 評価実験

本研究の実験参加者(以下:生徒)は、本校1年生36名である。使用する教材は、情報モラル(誹謗中傷)に関連した動画である。生徒は、実験群17名(ERICA使用)と統制群19名(ERICA不使用[動画のみ使用])とに分かれる。本研究では、実験群を1年1組と統制群を1年2組とした。本研究では、実際の授業を通して実

証実験を行うため、学生数には限りがあるが、生態学的妥当性 (ecological validity) ⁽⁹⁾が高いという利点がある (Barab 他, 2004). 実験は以下に示す学習の流れで行なう.

実験群

情報モラルアンケート① → 動画視聴 → ワークシート記入① (シナリオに「良い」「悪い」の判断を記入) → ERICAに「良い」「悪い」の判断結果を入力 → 平均と標準偏差のグラフを確認する → 標準偏差の大きな部分について討論する → ワークシート記入② (シナリオに「良い」「悪い」の判断を記入) → 情報モラルアンケート②

統制群

情報モラルアンケート① → 動画視聴及びワークシート記入① (シナリオに「良い」「悪い」の判断を記入) → 動画を視聴してワークシート①に記入した内容を確認 → ワークシート①に記入した内容をもとに討論 → ワークシート記入② (シナリオに「良い」「悪い」の判断を記入) → 情報モラルアンケート②

表 1 情報モラルアンケート質問項目

Q1	他人のパスワードをたずねたり、使ったりすることは、問題があると思いますか。
Q2	迷惑メールが来た時に、返事をするのは問題があると思いますか。
Q3	あやしいメールに返事をしたり、添付ファイルを開いたりすることは問題があると思いますか。
Q4	あやしいメールのお得な情報を開くのは、問題があると思いますか。
Q5	掲示板などに、個人名をあげて、悪口などを書くことは、問題があると思いますか。
Q6	掲示板などに、個人名をあげずに、悪口などを書くことは、問題があると思いますか。
Q7	掲示板などで、初めての人に誘われて、実際に会うことは、問題があると思いますか。
Q8	困ったときには、先生や家の人に相談するのは問題があると思いますか。

生徒は学習前に情報モラルアンケート① (以下: 事前アンケート) に回答し、学習後に情報モラルアンケ

ート② (以下: 事後アンケート) に回答する. 事前アンケートと事後アンケートの内容は同じである. アンケートの質問項目を表1に示す.

本研究で実施した情報モラルアンケートの信頼性を確認するために、クロンバックの α (信頼性係数) を測定した.

$$\alpha=0.7489$$

この結果から、本研究で実施した情報モラルアンケートは信頼性をもつといえる.

生徒は、「良い」と思った場面では、ワークシート① (以下: テスト1) 及びワークシート② (以下: テスト2) で、心情曲線を上方にし、「悪い」と思った場面では心情曲線を下方にして記入する. 本研究では教材の台詞の一文ごとに生徒の判断の結果を記録する. 表2に教材の台詞と発言数・反対意見の有無・標準偏差を示す.

2学期の国語の授業時間数は、実験群、統制群共に43時間だった. 2学期国語の授業でのすべての発言回数を比較すると、実験群と統制群に有意差はみられなかった ($t(34)=1.06, p=0.29$). よって、通常の授業における発言回数で実験群と統制群に差はないと考えられる.

6. 結果と考察

6.1 議論が始まる箇所について

表2には、教材の台本中、生徒の発言があった箇所に発言数と反対意見の有無、「良い」「悪い」の判断の標準偏差が示されている. この標準偏差は、図3のワークシートで、棒線部分 (生徒が「良い」と判断した部分) を「+1」とし、波線部分 (生徒が「悪い」と判断した部分) を「-1」として出したものである. なお、棒線も波線も付けていない生徒のデータは計算に加えない.

実験群で生徒が発言をした箇所は、3カ所すべてで標準偏差が確認できた. それに対して統制群では6カ所中4カ所で標準偏差が確認できたが、2カ所では「0」であった.

表 2 情報モラルアンケート質問項目・反対意見

の有無・標準偏差

	台詞番号	台詞	実験群				統制群			
			棒線数	標準偏差	発言数	反対意見の有無	棒線数	標準偏差	発言数	反対意見の有無
生徒A	A①	〇〇君、頭にくるー。	7	0			3	0		
生徒B	B①	どうしたん？	4	0			4	0		
生徒A	A②1	聞いてっちゃん。	1				1			
	A②2	〇〇君、私たちの前では、なんも言わんくせに、私たちがおらんとくところでは、悪口ばかり言いようらしいよ。	5	0			3	0	3	無し
	A②3	〇美が言いよった。	4	0			3	0		
生徒B	B②	うそー。	2	1.414214			0			
生徒A	A③1	あー、頭にくる。	4	0			4	0	4	無し
	A③2	掲示板に、〇〇君の悪口かいてやろー。	16	0			18	0		
	A③3	「〇〇君、お前のほうが、おかしいんたいし。	17	0			9	0		
	A③4	文句があるならはっきり言え。	14	0.851631			12	1.029857	1	無し
	A③5	陰口とかいりようから、どうせ、もてんのよ。」	14	0			8	0		
	A③6	これだよ。	11	0			2	0		
生徒B	B③	ちょっとまって。	9	0			5	1.095445		
生徒A	A④	え？	12				1			
生徒B	B④1	〇〇君の名前入れたらまずくない？	23	0.851631	2	有り	7			
	B④2	わかったら先生にどうされるかもよ。	13	0.904534			7	1.069045	2	有り
生徒A	A⑤1	あ、そうか。	2	1.414214			2	0		
	A⑤2	あったまじし。	1				4	0		
	A⑤3	「M、お前のほうが、おかしいんたいし。	15	0			8	0		
	A⑤4	文句があるならはっきり言え。	11	0.80904			8	1.069045		
	A⑤5	陰口とかいりようから、どうせ、もてんのよ。」	22	0			6	0		
	A⑤6	陰口とかいりようから、どうせ、もてんのよ。」	19	0.632456			1			
	A⑤7	イニシャルはこた。	13	0.80904			3	1.154701		
生徒B	B⑤1	うーん。	7				3			
	B⑤2	それでもなんかばれそう。	6	1.095445	2	有り	3	1.154701		
生徒A	A⑥1	そうか。	5	1.154701			1			
	A⑥2	よし。	7	1.154701			1			
	A⑥3	「私の悪口言いようやつ、お前のほうが、おかしいんたいし。	13	0.934199	3	有り	10	1.054093	1	無し
	A⑥4	文句があるならはっきり言え。	9	0.881917			11	0.934199		
	A⑥5	陰口とかいりようから、どうせ、もてんのよ。」	8	0			10	0.966092	1	無し
	A⑥6	これだろう？	1				3	1.154701		
生徒B	B⑥	これなら、だれかわからんね。	5	0			2	0		
生徒A	A⑦1	よし、送信！	6	1			1			
	A⑦2	あー、スッキリした。	5	1.095445			3	1.154701		

実際の議論においては、実験群の生徒は図3の資料をもとに、ERICAを使い、データを入力した。その上で、教師がERICAのデータを用いて、議論を誘導した。すなわち、実験群ではERICAを使うことによって、意見のばらつき（標準偏差）の大きな部分に着目して、議論が開始・誘導されている。一方で、表2は、統制群では、必ずしも意見のばらつき（標準偏差）の大きな部分から議論が始まるとは限らないことが示されている。

今回のデータは、サンプル数が十分ではなく、定量的に結論を導き出すことは難しいが、以上のデータは、仮説1を支持する傾向にあると考えられる。

6.2 議論の深まりとまとまりについて

実験群では発言のあった3カ所すべてで反対意見が出ているのに対して、統制群で反対意見が出ているのは6カ所中1カ所のみである。実験群では、教師が意図的に標準偏差の大きな箇所に議論を誘導したので、すべての箇所で反対意見が出ていると考えられる。それに対して、統制群では、必ずしも意見のばらつき（標準偏差）の大きなところで議論が起こっているとは限

らないので、反対意見が出にくいと考えられる。一般的に中学校の授業では、生徒は誤答を発表することを避ける傾向がある。標準偏差が認められなかった2カ所は以下の箇所である。

「〇〇君、私たちの前では、なんも言わんくせに、私たちがおらんとくところでは、悪口ばかり言いようらしいよ。」(A②2)

「あー、頭にくる。掲示板に、〇〇君の悪口かいてやろー。」(A③1,A③2)

この2カ所は比較的善悪の判断が容易な部分であると考えられる。統制群では、標準偏差のグラフを生徒が見ることができないため、生徒は誤答を避け、他の生徒と同じ判断であると予想されるカ所について発言をする傾向があると考えられる。

統制群で反対意見が出された箇所は1箇所、以下の箇所である。

〇〇君の名前入れたらまずくない？わかったら

先生にされるかもよ。

この箇所での発言記録を示す。

生徒 C

良いと思います。その理由は、〇〇君の名前を入れて先生にばれて指導されそうだからです。

教師

一回指導された方が良いということだな。他に。

生徒 D

悪いと思います。このときに止めたらいと思ったからです。

発言記録からは、生徒 B が注意しているのを、生徒 D は、生徒 A の行動を止めているととらえているのに対して、生徒 C は止めているとはとらえていないことがわかる。同様の傾向が実験群の発言記録でも見られた。次は同じ箇所における実験群の発言記録である。

生徒 E

悪いと思います。その理由は先生に指導されるのがわかっているなら、止めてあげなかったからです。

教師

他にないですか？ここに関して。ないですか。じゃあ「良い」という人、いませんか？

生徒 F

良いと思います。その理由は、友達が掲示板に送信しようとしているところを、止めるようにしたからです。

生徒 F が、生徒 A の行動を止めているととらえているのに対して、生徒 E は止めているとはとらえていない。生徒 A の行動に対する注意を制止ととらえるかどうかの認識の違いによって反対意見が述べられている。

統制群において発言があった箇所で、標準偏差が大きい箇所は次の箇所である。

陰口とかいいようから、どうせもてんのよ。

私の悪口言いやつ、おまえのほうがおかしいんたい

これらの箇所での発言記録を示す。

生徒 C

良いと思います。名前を出していないから、〇〇君しかわからないからです。

生徒 G

悪いと思います。生徒 A が〇〇君に対して、「どうせもてんのよ。」と関係のないことまで言っていたからです。

発言記録からは、それぞれの箇所をどう理解するかではなく、善悪の判断だけが述べられているのがわかる。

以上から、統制群において反対意見が出たのは、シナリオの認識の違いによるものであると考えられる。発言箇所 1 カ所ごとの発言数の平均は、実験群：2.33 回、統制群：2 回である。

表 3 発言箇所数, 発言数等

	発言箇所数	発言数	発言数「1」の箇所数	反対意見の割合
実験群	3	7	0	1.00
統制群	6	12	3	0.14

表 3 は、「発言箇所数」、「発言数」、「発言数『1』の箇所数」、「反対意見が出た割合」である。カイ二乗検定を行った結果、実験群と統制群に有意差は認められなかった ($\chi^2=3.07$, $p=0.38$)。しかし、実験群と統制群で「反対意見あり」と「反対意見なし」でカイ二乗検定を行った結果、有意差が認められた ($p<0.05$)。また、発言数が 1 か、1 以上かでカイ二乗検定を行った結果、有意差は認められなかった ($p=0.13$)。以上のデータから、仮説 2 について、反対意見の多さについては支持される傾向が認められ、発言箇所 1 カ所ごとの発言回数については棄却される傾向が認められる。

6.3 情報モラルアンケート結果の改善について

ERICA 使用の教育効果を検証するために、事前アンケートの平均と事後アンケートの平均の反復測定分散分析を行なった。図 4 は、8 つのアンケート項目の平均を実験群と統制群で比較したものである。実験群、統制群ともに、事後アンケートの方が事前アンケートに比べて優意に高いことが分かる； $F(1,29)=7.86$, $p<0.01$ 。しかし、学習の効果についてはグループ間に有意差が認められなかった。

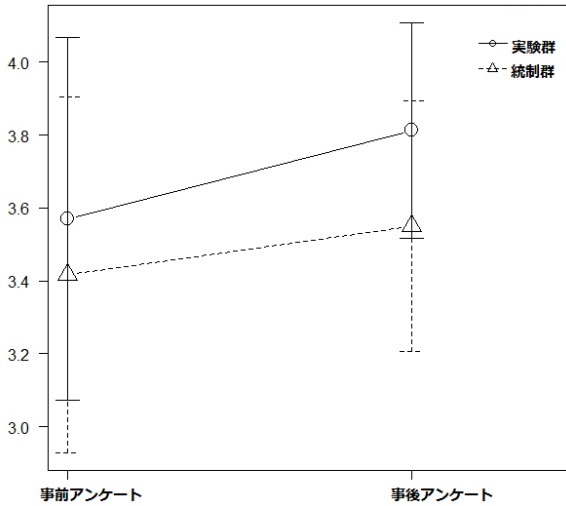


図 4 アンケート平均のインタラクションプロット

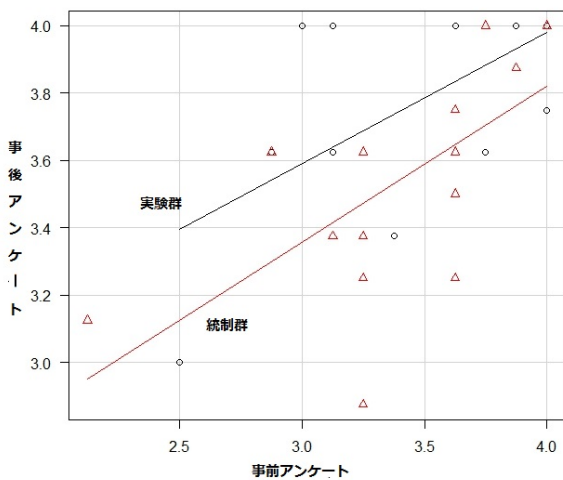


図 5 アンケート平均の散布図

しかし、事後アンケートを従属変数、グループを独立変数、事前アンケートを剰余変数とした共分散分析の結果からは、グループ間に優位差が見られ、実験群の方が、微小ながら ($d=0.29$)、事後アンケートの点数が有意に高い。 ; $F(1,28)=4.86$, $p<0.05$ 。図 5 に散布図を示す。

以上により、仮説 3 は支持される傾向にあると考えられる。なぜ、実験群と統制群の間で学習効果の差が極めて小さいのであろうか？

一つには、生徒に議論をするレディネスが育っていなかったことが考えられる。今回の学習実験では、生徒が意見を出し合うことを通して、生徒の考えの深化を図るよう授業設計を行った。しかし、生徒の発言記録からは、生徒の議論をするスキルを十分に育てていなかったことが分かる。下は、表 2 中、実験群の「B④1」「B④2」における発言記録である。

生徒 1: 「〇〇君の名前入れたらまずくない？ わかったら先生に指導されるかもよ。」の部分について、僕は悪いと思います。その理由は先生に指導されるのがわかっているのに、止めてあげなかったからです。

教師: 他にないですか？ここに関して、ないですか。じゃあ「良い」という人、いませんか？

生徒 2: 良いと思います。その理由は、友達が掲示板に送信しようとしているところを、止めるようにしたからです。

教師: 「悪い」という意見と「良い」という意見がありました、他にないですか？

発言記録からは、教師に促されて反対意見を言っているものの、前の意見を踏まえての意見になっていないことが認められる。対立する意見を出し合って論議する方法には、ディベートがある。ディベートでは、相手の主張に反論するときに、まず、相手の主張の根拠をくずし、新たに自分の主張の根拠を述べる。双方が根拠に対する意見を出し合うことによって、より考えが深まっていくのである。しかし、今回の学習実験では、相手の根拠に触れることなく、議論が進んでいる。これは、すべての発言箇所において見られたことである。つまり、せっかく意見が異なる部分について議論をしても、考えを深めるための議論にはなっていなかったと考えられる。今後の学習実験では、生徒の議論のスキルを十分に高めてから、学習実験を行う必要があると考える。

もう一つは、生徒の発言箇所と発言数の総数が実験群よりも統制群の方が多かったことである。統制群の発言の内訳を見ると、標準偏差の大きな箇所での発言が 4 回、標準偏差がない部分での発言が 8 回である。統制群では、標準偏差が大きい部分に着目していないので、生徒は自由に思い思いの箇所について発言することができた。筆者の経験から、中学校における授業では、「間違えたくない」という心理の表れからか、意見の分かれる部分についての発言は少ない傾向が見られる。そのため、だれが考えても同じ結果になる部分(標準偏差がない部分)での発言が多くなりがちである。このことが生徒の発言数を増やし、結果的に統制群の理解を深める結果になったと考えられる。

7. まとめ

本研究では、ERICA を活用した情報モラル学習を行い、その有効性を実際の授業を用いて検証した。

その結果下記のことが確認された。

- (a) ERICA を使用しない情報モラル学習では、必ずしも意見のばらつきの大きな部分から議論が始まるとは限らない。
- (b) 議論の深まりと広がりについては、ERICA を使用した情報モラル学習と ERICA を使用しない情報モラル学習の間に差がない傾向が確認された。しかし、議論の深まりに限った場合は、ERICA を使用した情報モラル学習と ERICA を使用しない情報モラル学習の間に差がある傾向が確認された。今回の実験では検証データが少なく、再度十分なデータ数のもとで検証することが必要である。
- (c) ERICA を使用した情報モラル学習では、ERICA を使用しない情報モラル学習よりも高い教育効果が得られることが確認された。

しかし、本研究では、議論に関する生徒のスキルを十分に高めていない状況での学習実験になってしまったため、ERICA 活用による学習効果を正確に測定できなかった可能性もある。今後は生徒の議論に関するスキルを十分に高めた上で学習実験を実施し、検証することが課題とされる。

謝辞

本研究は、平成 24 年度科学技術研究費補助金を受けています（課題番号 24910008）。

参考文献

- (1) 文部科学省：“中学校学習指導要領”（2015）
- (2) 辰巳丈夫・原田康也：“新しい「情報倫理」の目指すもの”，情報処理学会論文誌，40(3)，pp. 990-997，(1999)
- (3) 国立教育政策研究所：“情報モラル教育実践ガイド”，文部科学省，pp1(2011)
- (4) 浅羽修丈，斐品正照：“モニタージュ効果をねらった映像作品における視聴者の時系列的感性変化の調査 - SD 法と ERICA システムを用いた手法の比較”，教育システム情報学会研究報告，Vol.23, No.6, pp.146-153，(2009)
- (5) 斐品正照，浅羽修丈，三池克明：“Web デザインにおける色相の RGB 値指定に対する識別と印象”，情報コミュニケーション学会誌，Vol.7, No.2，pp.4-16 (2012)
- (6) 浅羽修丈，倉光貴子，斐品正照：“事前に見たロコミが販売促進映像の視聴時に与える影響について”，第 16 回日本感性工学会大会予稿集，B52(USB メモリ)，pp.1-8 (2014)
- (7) 文部科学省：“「教育の情報化に関する手引」検討案”，<http://www.mext.go.jp/>（参照 2014.8.31）
- (8) 梅田恭子，江島徹郎，野崎浩成：“情報モラル判断の枠組みを学習するゴールベースシナリオ理論に基づく教材の開発と授業実践”，愛知教育大学教育実践総合センター紀要第 11 号，PP67—72 (2008)
- (9) Barab, S. A., & Squire, K. D. (2004). Design-based research: Putting our stake in the ground. *Journal of the Learning Sciences*, 13(1), 1-14.

論文推薦ソフトウェア「研究のネタ帳」の開発と評価

大川内隆朗^{*1}, 平野智紀^{*2}, 舘野泰一^{*3}

^{*1} 帝京大学総合教育センター, ^{*2} 内田洋行教育総合研究所, ^{*3} 立教大学経営学部

Development and Evaluation of a Recommendation Software for Research Papers

Takaaki Ohkawauchi^{*1}, Tomoki Hirano^{*2}, Yoshikazu Tateno^{*3}

^{*1} Center for Fundamental Education, Teikyo University

^{*2} Uchidayoko Institute for Education Research

^{*3} Collage of Business, Rikkyo University

It is very difficult to survey related papers for novice researchers who don't have a lot of technical terms. In this study, we developed a software for recommending research papers using information by easy and natural researchers' behaviors, such as writing memo and saving files. The experimental result shows the software enables novice researchers to acquire as much as research papers and technical terms than keyword search engine for papers.

キーワード: 文献検索, 推薦システム, アカデミック・ライティング

1. はじめに

研究をはじめたり論文を執筆したり際に欠かすことの出来ない重要な作業として、雑誌、書籍、Webサイト、論文などの様々な文献の調査が挙げられる。書籍やWebサイトは幼少期から身の回りにあるもので馴染みも深く、必要な情報に辿り着くための手法についても一定以上の水準で自然と身につくだろう。その一方で、従来研究となるような論文の調査は、これから行おうとする研究のオリジナリティにも深く関連することであり、研究を行ううえではとりわけ重要度が高いにも関わらず、研究をはじめて行おうとするときまですぐに検索の手法を習得する機会も少ないと考えられる。

比較的容易に利用できる論文の検索システムもいくつかある。代表的なものとしては、キーワードを入力すると、ヒットした論文の一覧を表示してくれるタイプのものが挙げられる。しかし、このようなキーワード検索においては、キーワードの質の善し悪しや量が検索結果に大きく影響するが、学部生をはじめとした研究に対する初心者たちは、研究に必要な専門用語を

十分に持ち合わせていないことが考えられる。また、論文検索にはキーワードのほかに、発行年月日、著者、被引用数などいくつかの重要なメタデータが存在し、それらを利用することでより効率の良い文献調査を行うことが可能であるが、前述のような初心者にとっては困難を伴う作業である。

本研究では、初心者をはじめとした研究に慣れていないユーザでも、自身の研究に関連する論文やキーワードにより多く発見することができるようなアプリケーションの開発と評価を行った。

2. 先行研究

2.1 論文検索システム

論文検索の代表的なシステムとして、Cinii⁽¹⁾やGoogle Scholar⁽²⁾が挙げられる。自身の専門分野にある程度の知識を持った研究者であればキーワードの入力から始め、メタデータを活用しながら効率的な文献調査が可能であるかもしれない。しかし、研究の初心者は十分なキーワードを持ち合わせていないし思いつくことも困難である⁽³⁾。「画像処理」や「機械学習」と

いった抽象度の高いキーワードから入ると、膨大な論文の中から絞り込んでいかななくてはならないし、あまりに具体的なキーワードを入力してしまうと、今度はほとんど論文がヒットしないようなことも少なくない。研究を行ううえでは、キーワードやテーマを絞り込んでいく作業と、ときには広げていく作業が必要であり、そこには論文やキーワード同士の関連が重要であるが、多くのキーワード検索システムにおいてはお互いの距離感や関係性に対して視覚的に表示されることは少ない。この点を考慮し、引用文献の情報を用いて論文同士のつながりを可視化し類似論文を効率的に探すことに焦点を当てたシステム⁽⁴⁾もある。

初心者にも易しい論文検索システムを提案する際には、最初に持っている数少ないキーワードで論文を検索させ、知識も少ない中で本文や概要を確認しながら次のキーワードを見つけていくような作りでは効率が悪く、本文を確認する前に、システムの方からある程度絞り込みを行うことができるような仕組みも必要である。

2.2 推薦システム

ユーザに積極的に情報を検索させるのではなく、今ある情報からユーザにアイテムを推薦する手法は、論文検索のみでなく多くの分野で行われている。例えば、協調フィルタリング⁽⁵⁾という手法では、ネットショッピング等で自分と似たような買い物をしている人が買っているアイテムの購入を促したり、レビューサイトで自分と同じような点数の付け方の似ている人が高評価を付けているアイテムを勧めたりする。このアルゴリズムをそのまま論文検索に適用しようと考えた場合、多くの人がユーザ登録を済ませたうえで利用する必要があり、精度の高い推薦を行うために必要な利用者数の規模なども含め、現実的とは言えない。

推薦システムを実装するにあたって、ユーザが持つどのような情報を利用することが良いのかを考えた場合、研究の初心者もベテランも含め、必要な情報をメモしたり、論文の pdf やそうでないものも含めた参考になるようなファイルを保存したりすることは多くの人が自然に行う行動と考えられる。このような研究を行ううえで自然に発生するような情報を利用することで文献調査の支援を行おうとする研究もあり、文書の中から専門用語を抽出するアプローチ⁽⁶⁾や、あるキー

ワードを軸に別のキーワードを提示するシステム⁽⁷⁾などが挙げられる。また初心者が作成した文書の中にはそもそも専門用語といえるようなキーワードが正確に含まれていないことも考えられ、連想検索と呼ばれる技術により、入力した情報以外の情報から連想したキーワードを基に、情報の提示を行うような類のシステムもある⁽⁸⁾。

初心者にとっては、文献調査のはじめとしては、正確な情報を厳しく求めるようなシステムよりも、メモ書きや保存したファイルの情報を基に、緩く情報の提示を行い、そこから徐々に絞り込んでいけるような設計の方が易しいと考えられる。

2.3 研究の遂行と情報の整理

研究活動においては、議論、調査、実験、分析、執筆など複数の作業を伴う。しかし、個々の作業を行う際に使用するアプリケーションが変化するため、文脈情報が分断されてしまうという問題点が指摘されている⁽⁹⁾。例えば、指導教員のいる学部生をイメージすると、(1)ゼミや研究室での発表では PowerPoint を利用し、(2)教員や先輩からの指導でコメントを貰う際にはテキストエディタを利用し、(3)論文や情報の検索を行う際にはブラウザを利用し、(4)論文を執筆する際には Word などを利用することが多いだろう。これらの情報はそれぞれの過程で利用するアプリケーションの中でのみ利用され、自動的にデータが連係されるような試みはほとんど無い。いずれ活用しようと思っただけの内容や保存しておいたファイルが、その後の研究活動において全く使われずに終わってしまうケースも多いだろう。

また、研究の遂行や執筆を勧めていく際に必要な文献というのは逐一変化していくものである。文章生成のモデルとして HAYES and FLOWER は文章が作られていく過程を、(1)「書こうとする内容の考案や目標の設定」、(2)「文字に変換して執筆を行う」、(3)「(1)と(2)の比較」に細分化した⁽¹⁰⁾。アカデミック・ライティングにおいてこの3つの作業は繰り返して行われるものであるが、この流れは研究における文献調査にも通じると考えている。過程の中で、必要となるデータや素材も変化していき、その時々文章プランに対応する新しい文献が必要になってくる。この流れは論文

の文献調査とも、執筆プロセスと文献調査は密接に関わっており、切り離すことのできないものであるにも関わらず、この両者の関係性を重点に置いている研究は少ない。必要となる文献は、執筆過程によって変わるのだから、研究の各過程で発生する情報を効率よく活用したアルゴリズムや仕組みを実装することにより、より効果的な文献推薦システムの開発が可能となると考えられる。

3. 開発したシステム

3.1 設計理念と目的

前章までの内容を踏まえ、学部生など研究の初心者の文献調査を支援するために、以下の点を重視して推薦システムの設計を行った。

(1) 検索作業の包括的アプリケーション

文献調査は図1に挙げる作業の往来により数を進めていくことが多いと考えられる。論文検索システムをはじめとして「2.文献情報の取得」および「3.文献の選別」の両者を1つのシステムで支援するものは見られるが、「1.情報の収集・整理」も含めて支援するシステムはほとんど見られない。インターネット利用の中で「メモ書き」や、必要と感じ保存した「ファイル」は、関連研究の検索・推薦システムの実装にあたって重要な情報となる可能性が高く、それらを利用できるようなシステムの実装はより効果的な文献調査の支援につながると考える。本研究では、「メモ書き」と「ファイル保存」といった研究活動における2つの自然な行動をユーザからの最初の入力データとして利用する。

(2) メタデータの活用

研究者としての成長を考慮すると、論文のメタデータに対する意識は重要である。アカデミック・ライティングのみでなく学習全般に共通することであるが、

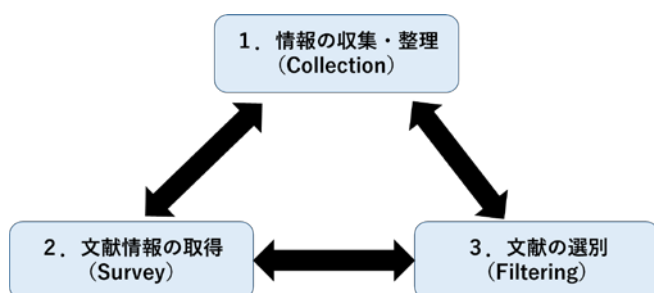


図1 文献検索に必要な作業

最終的な到達目標は、解答を写して100点満点の答案用紙を作ることや、教員の手直しを経て良いレポートが完成すれば良いのではなく、学習者自身の成長や熟達が求められる。したがって、本研究で焦点を当てているような文献調査においても、被引用数、発行年月日、査読の有無、海外との比較などを意識できることを促すような設計になっていることが好ましい。本研究では、基本的なメタデータを意識させることで、研究者としてより深いレベルで文献調査を行うことを実現するためのシステム設計を目指した。

(3) 専門用語や論文同士のつながり

研究の初心者が文献調査に困難を抱える要因として、利用できる専門用語が少なく、知っている用語についても周辺の専門用語や用語同士の関連性に乏しいことが挙げられる。(2)でも示したように、研究者としての成長を目標とするうえで、専門用語の量を増やしていくことや用語同士の関連性を理解することは不可欠である。多くの一般的な推薦システムは、学習という観点が特に必要無く、推薦情報の結果のみを提示すれば良いが、学術的な情報の検索の中ではその過程の中でも学習を促すような設計になっていることでより効果的な支援が可能となる。本研究におけるシステムでは論文や用語同士のつながりを可視化するための実装を試みた。

3.2 システムの機能

本節では、本研究で開発したソフトウェア「研究のネタ帳」の各機能についての内容を示す。

(1) メモ書きとファイルの保存

本システムでは、研究を「ネタ」という単位で管理することとした。研究メモの記述の際に、一つのファイルにすべての情報を記述すると、ファイルとしては一つで済む反面、どの情報がどこにあるのか非常にわかりづらくなり、結果的に利便性に欠ける。これはインターネットからダウンロードした必要なファイルの管理にも共通する。無造作に一つのフォルダに保存すると、後々に見返そうとした際に非常に手間の掛かる作業になってしまう。したがって、研究のネタごとにフォルダ分けされるような感覚で、そこにメモやファイルを追加していく形式が最も妥当性が高いと考えた。またシステム側から論文の推薦を受ける際にも、多種

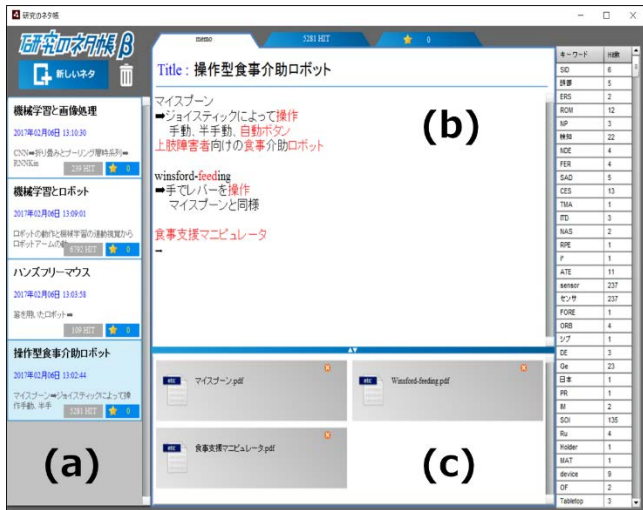


図 2 メモ書きとファイル保存

多様なものが推薦されるよりも、ネタごとに関連する論文を提示してくれるインターフェースが好ましいと考えたため、図 2 に示すインターフェースとした。(a)のエリアは、ネタの一覧表示となり、「新しいネタ」のボタンを押下することでネタを随時追加できる。(b)のエリアは各ネタのメモ書き（タイトルおよび本文）を行うための欄となっている。(c)のエリアはファイルをドラッグ&ドロップすることで保存できるエリアとなっている。ユーザが特に意識したり手間を掛けたりすることなく、自然な感覚でメモとファイルを紐付けできるような仕組みになっている。各情報は、論文の推薦時に利用され、メモ書きのタイトルと本文のみでなく、保存したファイルが対応形式 (txt, doc&docx, xls&xlsx, ppt&pptx, pdf) の場合は、ファイル中に存在する文字データも自動的に抽出されて活用される。

(2) 推薦論文の提示

メモ書きとファイルの内容から、システムは自動的に論文の推薦を行う。ソフトウェア上部のタブをクリックすると、各ネタにおいて関連があると判断した論文がリストアップされる (図 3)。本研究においては、論文の書誌情報は、工学系の学会が提供している



図 3 推薦論文の提示とフィルタリング

データベースを、ネットを介さずに高速に利用するためにソフトウェア内部にデータベースを構築して同学会の 2014 年度までの 167,269 件の論文や研究報告について、タイトル、キーワード、著者名・所属、分野、概要、発行年月日、掲載誌、査読の有無、ページ数のデータをソフトウェア内部で保存している。またいずれの情報も和文・英文を含んでいるため、メモ書きやファイルの内容が日本語であったとしても、英文の論文を推薦することが可能となっている。推薦画面上部にはフィルタリングやソートの項目が付いていて、「英文のみ」、「査読有のみ」、「新しい順」といったような方法で絞っていくことも可能である。また、プロトタイプ設計時に行った予備調査の際に、キーワードによる論文検索では、調査の中で同じ論文に何度もヒットしてしまい、中盤あたりから上位 10 本程度がいつも見慣れた論文で埋め尽くされてしまうという意見が得られた。したがって、本システムでは「既読のみ」、「未読のみ」といったフィルタリング項目も用意し、同問題の解決も図った。

また推薦論文については、一覧画面ではタイトルと著者のみが表示されるが、クリックすると図 4 のように分野・年月日、概要等のより詳細な情報が閲覧可能となる。またブラウザによる論文検索では、気になった論文を保存することはやや手間であり、引用文献としてリストアップできるような必要度の高い論文のみメモしておくような状況に陥る可能性もある。また気になる論文についてタイトルやリンクだけを逐一メモしていくような方法では、どのような文脈や目的でヒットして記録しておいたのか後々にわからなくなってしまうことにもつながる。本システムでは図 4 にあるような推薦情報の左上の★ボタンを押下すること

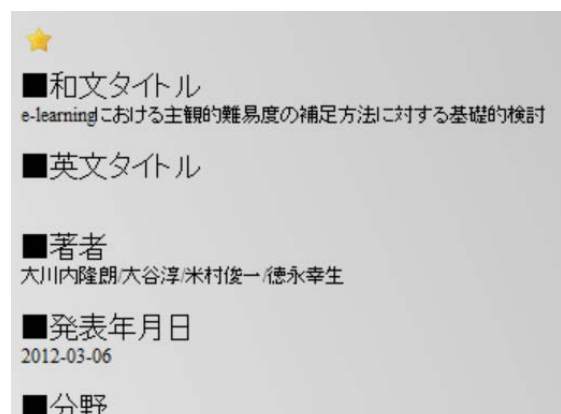


図 4 論文の詳細情報の提示

キーワード	HIT数 ▲
CT	70
Kinect	45
時系列	32
データ	28
CNN	14
リング	12
情報処理	7

図 5 抽出されたキーワードの表示

でお気に入りの解除／追加が可能となるので、とりあえず気になった論文を容易に記録しておくことが可能であり、すべての情報はネタに紐付く形となっているので、どのようなメモ書きに関連する文脈で記録された論文であるの振り返りが容易となる。

(3) 抽出されたキーワードを利用した検索

本システムでは、メモ書きやファイルの内容から自動的にキーワードの抽出を行い、ネタの編集画面右側に図 5 のようなキーワード一覧が常に表示される。

すなわち、メモ書きやファイルの内容から、ユーザ自身で必要なキーワードを抽出すること無く、システム側で提示を行うので文献調査の際に増やしていくべきキーワードの漏れを減らすことが可能となる。またそのキーワードを含む論文の数が同時に表示されるので、それぞれのキーワードの重要度を認識することが容易となる。

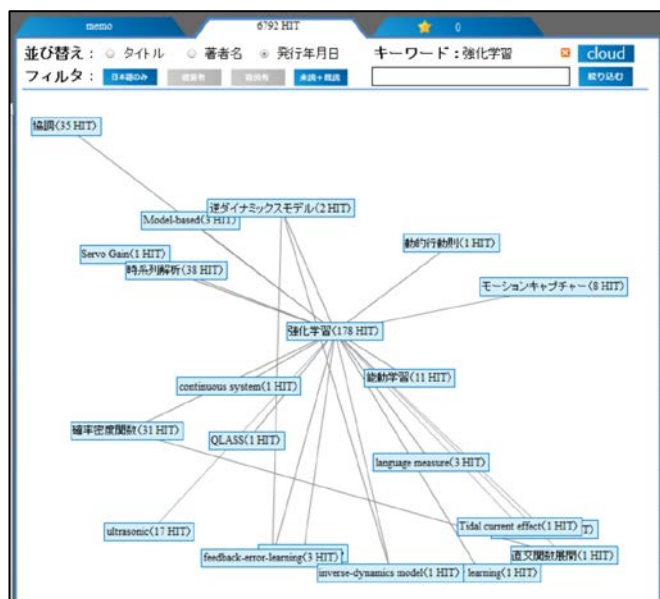


図 6 キーワード・クラウド

各キーワードをクリックすると、同キーワードを含む論文の書誌情報を表示すると同時に、単語同士の関連性を示すキーワード・クラウド (図 6) が表示される。同機能によって、キーワードからキーワードへ、専門用語の関連性を意識しながら移動していく感覚で、新しい論文を探していくことが可能となる。

4. 実験と評価

4.1 実験の概要

本研究の評価を行うために、本ソフトウェアを利用する群(システム利用群)と、利用しない群(システム非利用群)に分けて事前・事後のデータによる比較分析を行った。

まず論文検索の作業を各 20 分ずつの 3 つのステップに分類して操作を行ってもらった。1 つ目のステップでは、文献(論文)を探すための準備として、インターネットを利用しながらメモ書きやファイルを作成してもらった。システム非利用群については、ネタごとにテキストファイルを作成してもらった。

2 つ目のステップでは、「とりあえず後で目を通してみたい論文」を探す作業を 20 分間で行ってもらった。システム非利用群については、工学系の学会が提供しているキーワード検索システムを利用して論文を探してもらった。当該の検索システムは、本研究の開発で使用した論文データベースを提供している同学会が提供しているものであり、データベースに含まれる論文誌の総数はほぼ同等と考えられる。

3 つ目のステップでは、ステップ 2 で集めた論文等の情報を基に、再度メモ書きの追記を行ってもらった。3.1 で述べたように、システムを利用した文献調査はメモ書きやファイル保存などの情報整理と、検索やフィルタリングの繰り返し作業となるため、今回の実験ではその最初の一部を模した作業を想定している。本来、文献を探す作業では、メモ書きや情報収集の作業と論文検索の作業を時間で区切るようなことはしないだろうが、メモ書きに充てた時間や論文の検索やフィルタリングに充てた時間について、2 つの群で大きな差が生じて結果に影響することを避けるため、可能な限り条件を揃えた。

4.2 実験の結果

実験は学部3年生から修士1年生までの4名を、システム利用群とシステム非利用群の2名ずつに分けて行った。4名の被験者はいずれも、本研究で利用したデータベースを提供している工学系学会に関係の深い研究室に所属する学生である。いずれも学士論文や修士論文で自身にとって新しいテーマで研究をはじめようとする学生であり、それぞれの研究分野における知識に関しては研究初心者と分類して良いレベルといえる。

まずステップ1の作業でネタに関するメモ書きやファイルの収集を行ってもらった後のデータが表1である。被験者Noの1, 2番が本システムを利用して実験を行った被験者であり, 3, 4番が本システムを利用していない被験者である。20分間の作業内で作成したネタの個数や保存したファイルの個数に特に大きな差は見られなかった。保存したファイル中に含まれる文字数に差があるものの、各自が辿り着いた関連資料の分量について偶然にバラつきがあったのみで、ファイル内の文字数の差自体には大きな意味は無いと考える。

ステップ2において、各ネタに関連する論文を20分間探した結果が表2である。例えば、被験者1の場合、ネタ数が4つに対して、それぞれのネタに関係しそうな関連論文を6, 3, 3, 5個の計17個発見している。被験者1, 2と被験者3, 4では、見つけた論文数に大きく差がある。これはシステムがメモ書きやファイル中から必要な情報を抽出し、推薦論文のリストアップが機能していた結果と考える。また被験者3, 4が、一部のネタについて関連論文を発見できていないことについて、事後のインタビュー調査で「もう少し時間があれば何本かは探せたと思うが、そこまで時間が無かった」といった旨の発言が得られた。本開発システムでは、ネタのメモ書きや保存したファイルさえあれば自

表1 ステップ1終了後のデータ

No	学年	ネタ数 (総文字数)	ファイル数 (ファイル内総文字数)
1	B4	4個(212字)	5個(13124字)
2	B4	3個(323字)	5個(8247字)
3	B4	3個(186字)	7個(9233字)
4	M1	4個(394字)	4個(6789字)

表2 ステップ2終了後のデータ

No	ネタ数	見つけた関連論文数
1	4個	6+3+3+5個(計17個)
2	3個	7+4+7個(計18個)
3	3個	3+3+0個(計6個)
4	4個	1+0+0+5個(計6個)

動的に論文が推薦されるので、今回の被験者1, 2についてはネタに関連する論文が1本も見当たらないという結果にはならず、効率良く多くの論文にアクセス出来ていたことが窺える。

ステップ3ではネタに関するメモ書きの追記やファイルの追加を行ってもらった。ネタの追記に関する分量の変化については目立った差が見られなかった一方で、本システムを利用した群については、専門用語を交えた記述の追加が見られた。実際に、事前・事後調査アンケートで、自身の研究に関して思いつく検索キーワードを挙げてもらったところ、本システム利用群の2名についてはそれぞれ7個および12個増えたが、利用していない群の2名については3個および5個の増加に留まった。また、ステップ3の終了後に、本システムを利用していない2名が作成したメモ書きや保存したファイルについて、本システムに改めて入力して推薦される論文や抽出したキーワードを確認してもらったところ、

被験者3: (表示された「日常生活」のキーワードに関する論文を差し) こんなキーワードでも引っかかるんですね。書いてて全然気付かなかったです。」

といったような発言も得られた。メモ書きから検索に移す際に無意識に落としてしまっているようなキーワードに関する気付きが見られた。

上記以外にも、いくつかシステムの機能を評価するうえで重要なデータが得られた。事後アンケート項目で、「作業中に保存した各ファイルについて、自分の研究のどの部分に関連しそうなファイルなのか対応が取れますか」の問いに対して、5件法でシステム利用群の評価の方が高く、システム非利用群の被験者4(「4: 7~8割程度は対応が取れる」と回答した)についても、

被験者4:「今、作業の直後だからさすがに覚えてますけど、何日かしたら絶対に忘れます。」

と発言が得られた。

また事前アンケートでは、「文献調査の過程で同じ論文に何度も検索結果に表示され、検索の効率が下がったことがある」との問いに対して4名中3名が「1. 非常によく当てはまる」、残り1名が「2. 当てはまる」と答えた。「非常によく当てはまる」と答えた1名からは、

被験者1:「この既読を表示しなくなるボタン、普通の検索システムにも欲しいと思いました。」

と本システムの既読フィルタリングに関する好意的な意見が述べられた。

図6に示したキーワード・クラウドの機能については、

被験者2:「あの単語のリンクのやつが面白くて、どんどんやってみました」

インタビュアー:「実際、辿っていった用語から研究に関係しそうな論文が見つかることはありましたか？」

被験者2:「はい、ありました」

といった会話があり、同被験者については、事後アンケートの際に増えていたキーワードについては、キーワード・クラウドから辿っていったものが含まれていることが、システムの操作ログからも確認できた。

以上のように言及のあった機能とは対照的に、各被験者の操作ログからほとんど使われていないことが判明した機能や、アンケート調査や発話からもほとんど言及の無かったりする機能も存在した。いずれも、推薦論文をフィルタリングする際の機能であり、英文論文のみの検索モードと、査読有無についての検索指定である。本実験では4人全員日本人の対象としたことと、各ステップ20分という短い時間の中では英文まで手を伸ばして検索する作業は敷居が高かったと考えられる。また、今回の実験の範囲では「とりあえず後で目を通してみたい論文を探す」という広く浅い目的で行ったため、内容まで目を通して探していくという作業まで行き着く必要が無く、査読論文に絞ったり英文論文を含めて探したりすることの重要性が低かったように感じる。このあたりは時間を掛けて、より長期的な使用の中で評価を行っていくことで、機能の効果を確認できる可能性がある。

5. まとめと今後の課題

本研究ではメモ書きやファイルの保存など、研究や分野の初心者でも自然にできるような作業の中から必要な情報を抽出し、論文を推薦するシステムの開発し、評価実験を行った。その結果、文献調査の中で(1) 関連論文の効率の良い発見、(2) 専門用語やキーワードの増加、に対する支援が可能となった。

一方で、いくつかの課題も残る。1点目として、今回は4名の被験者による短時間の評価実験を行ったが、今後は人数を増やし統計的な分析も行っていくと同時に、長期的な利用を通じた評価を行うことにより多角的な分析が可能となると考える。2点目として、システム利用群については推薦される論文数の多さのマイナス面も指摘された。保存したファイルに含まれている文字列を抽出したうえで論文を推薦する仕組みとなっているので、多様なトピックを含むファイルを保存した場合、ユーザの興味のある話題はその中の一つであったとしても、多様なトピックに関する論文を推薦してしまう。実際に一つのファイルを保存しただけで5,000以上の論文がヒットすることになってしまった事例もあった。今回のシステム仕様では、抽出した文字列に関連する論文を逐一推薦していくようなシステムと設計したが、数が増えてきた場合は、複数のファイルやメモ書きに共通するような論文を優先して提示するような仕組みを実装することで改善することと考えられる。

さらには、本研究では、関連論文やキーワードの数を増やすという目的の基にシステムの開発を行ったが、最終的には良い研究成果に繋がらなくては意味が無い。増えた論文やキーワードを研究にどう結びつけていけば良いか、また最終的には研究者自身を育てることにつながるシステムを目標に、本研究を発展させていく必要がある。

謝辞

本研究は、科学研究費補助金「論文の執筆過程を考慮したサーベイ支援システムの開発と評価（研究課題番号：26870632）」の助成を受けている。

参 考 文 献

- (1) CiNii Articles - 日本の論文をさがす - 国立情報学研究所,
<http://ci.nii.ac.jp/> (2017年2月7日確認)
- (2) Google Scholar
<https://scholar.google.co.jp/>, (2017年2月7日確認)
- (3) R.N.ODDY, "Information Retrieval through Man-Machine Dialogue", *Jornal of Documentation*, Vol.33, No. 1, pp.1-14 (1997)
- (4) 鈴木雅人, "リッチインターフェースを備えたグラフィカル論文検索支援システム", 情報処理学会研究報告 HCL ヒューマンコンピュータインタラクション研究会報告, Vol. 2008, No. 11, pp. 87-91 (2008)
- (5) 神鷹敏弘, "推薦システム-情報過多時代をのりきる", 情報の科学と技術, Vol.56, No.10, pp.452-457, (2006)
- (6) 源翔三郎, 竹内孔一, "統計的学習モデルとルールベースに基づく用語抽出システムの比較", 電子情報通信学会技術研究報告 TL 思考と言語, Vol.111, No.227, pp.33-37, (2011)
- (7) 丸山雄三, 阿辺川武, "横断的連想検索サービス「想-IMAGINE」データベース連携が拓く新たな可能性", 情報管理, Vol.53, No.4, 198-204 (2004)
- (8) 高久雅生, 江草由佳, "セレンディビティを促す論文検索ツール「ふわっと関連検索」", デジタル図書館, Vol.38, pp.35-41, (2010)
- (9) 大沼亮, 中山祐貴, 神長裕明, 森本康彦, 宮寺庸造, 中村勝一, "研究活動における作業間の溝を繋ぐ情報提示・蓄積手法の提案", 電子情報通信学会技術研究報告 ET 教育工学, Vol.111, No.141, pp.35-40 (2011)
- (10) HAYES, J. R. and FLOWER, L., "Identifying the organization of writing processes", *Cognitive Processes*, Erlbaum, pp.3-30 (1980)

遠隔プログラミング教育環境の構築

那須靖弘^{*1}

^{*1} 大阪滋慶学園

Development of programming language educational environment for distance leaning

Yasuhiro NASU^{*1}

^{*1} Osaka Jikei Colledge

In distance programming education via the Internet, learner uses various computer environments, so it needs to be examined that how students can set up the program development environment for learning. Therefore, we developed a C language processing system which operates on the browser (including smartphone) using the bytecode interpreter. Interactive programming exercises using console I/O and graphics exercises are possible using it. In addition, we constructed a C programming learning material as the Moodle plugin.

キーワード: プログラミング教育, C言語, バイトコード・インタプリタ, 遠隔教育, モバイル端末

1. はじめに

遠隔教育において、学習者の利用するコンピュータ環境はさまざまであり、インターネットカフェ等における学習やモバイル端末による学習など、開発実行環境の導入が難しいケースも想定される。このため、Webブラウザ上で動作するプログラム開発実行環境があれば大変都合がよい。

現在、ブラウザ上で各種のプログラミング言語を簡単に実行できるサイトは多数存在する(1)。また、高等教育機関等においても授業での利用を目的とし、同様の機能を持った学習システムが開発されている。これらのサイトは、サーバ側でプログラムを実行して結果を表示するもの(2,3,4)と、ブラウザ上でプログラムを実行しているもの(5,6,7)、それらのハイブリッド(8)に分類できる。サーバ上でプログラムを実行させる方式は、豊富な既存の言語処理系が利用できる点が利点であるが、①悪意のあるプログラムの実行等によるセキュリティ上のリスクがある。また、ブラウザ上で実行する方式に比べて、②サーバ側に大きなCPUリソースが必要となりサーバコストの上昇を招く。③実行時に多くの通信が必要であり、通信帯域や通信コストに

配慮すると、アニメーション表示を行う課題などは実施が難しいという問題がある。

一方、ブラウザ上でプログラムを実行させる方式は、セキュリティ上の問題がなく、運営側にとってメリットのある方式といえる。しかし、JavaScriptはブラウザで直接実行可能な唯一の言語であるが、①静的型付言語でないためデバッグに時間を要するケースが多い、②シングルスレッドモデルで動作するため処理時間の長いプログラムを実行するとブラウザがフリーズする、③プログラムの実行を中断する機能がないなどの点において初学者がプログラミングを学ぶために適した言語であるとはいえない。

そこで、筆者は、ブラウザ上で動作するC言語処理系を開発し、それを利用したプログラミング教育システムを構築した(9)。本処理系はソースプログラムをコンパイラでバイトコードに翻訳した後、バイトコード・インタプリタによって実行を行う方式を採用しており、素数計算等の処理に時間の掛かるプログラムであってもブラウザはフリーズせず、さまざまな種類の課題による演習を実施することができる。

本稿は、開発したブラウザ上で動作するC言語処理系と、それを利用した遠隔プログラミング学習環境に

ついて述べるものである。

2. プログラミング教育環境

2.1 プログラミング教育環境

筆者らが開発した C 言語処理系は JavaScript により C コンパイラ、バイトコード・インタープリタを記述したもので、ブラウザ単体で動作するものであり、学習者の端末に別途プログラムを導入する必要がないという遠隔教育用として優れた特徴を有している。この C 言語処理系とオープンソースの Web エディタ (Ajax Cloud9 Editor, 以下 Ace という) を組み合わせて遠隔教育用のプログラミング学習教材を構築した (図 1)。

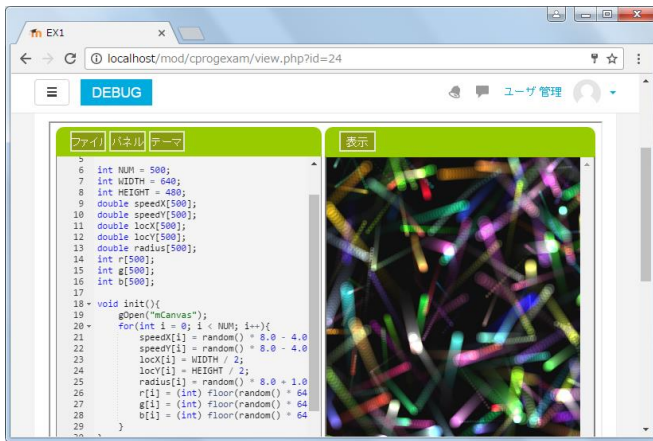


図 1 プログラミング演習環境¹

本システムの特徴は以下の通りである。

- (1) キー入力や画面表示を行う対話処理課題からグラフィック課題まで実施可能
- (2) エラーメッセージをクリックすることによりエディタ上の該当する箇所にカーソルが移動
- (3) スロー・ステップ実行機能や動作説明機能などの動作モードを持ち、プログラムが実行される様子の確認や、デバッグに活用できる
- (4) スマートフォンなどモバイル端末でも動作可能

2.2 TinyC

TinyC とは、開発した遠隔プログラミング演習向け開発実行環境用の初学者向けの C 言語処理系であり、標準的な C コンパイラから演習で利用しないものを削除した、C 言語のサブセットとなっている。

¹ <http://yoppa.org/taumedia10/2065.html> に掲載のプログラムを C 言語用に改変

標準ライブラリ関数は数が多く、すべてを実装することは現実的ではない。do-while 文や switch-case 文は実装していないが、他の構文で代用可能であり、初学者向きプログラミング教育において扱う必要はないと考えている。goto 文はないが、その代わりにラベル付き break 文を実装している。

共用体を実装するためには、メモリのさらに詳細なエミュレーションが必要であり、実用的な速度で動作する環境の構築は難しいと判断して除外した。また、文字列は JavaScript のオブジェクトをそのまま利用している。

一方、配列は C 言語においてどのように実装されるか内部形式を確認して学ぶことができるように、JavaScript の配列は使用せず、C 言語と同じ形式でスタック上に展開している。

ところで、JavaScript は実数と整数の区別はなく数はすべて Number 型で表現されている。このため、本システムでは、整数の演算は Number 型で演算した後、整数に変換しているが、sizeof 演算子はスタック上のデータの大きさを表すこととして、int 型、double 型ともに 1 としている。

TinyC で実装していない主な機能を表 1 に示す。

表 1 TinyC が実装していない機能

プリプロセッサ	なし
ポインタ	文法上なし
標準ライブラリ関数	ほとんどなし
基本型	int, double のみ
制御構文	if, for, while のみ
goto 文	なし
共用体	なし
文字列	JavaScript オブジェクト

一方、TinyC では学習者が学びやすいように C 言語の仕様を変更している部分もある。C 言語ではグローバル変数とローカル変数、あるいはスコープの異なるローカル変数に同じ名前をつけることができる。この名前空間の分離は、大規模なシステム開発等で名前の衝突を避ける場合に役立つが、初学者向きのプログラミング演習において異なる変数に同じ名前をつける必

然性はない。同じ名前が使われているとすれば、間違っ
て付けている可能性が高く、ミスによりこのような
記述がなされた場合、コンパイルは正常終了するが意
図した動作とならず、原因の究明に時間が掛かる。

実は、**Java** では同じ名前のローカル変数を用いると
文法エラーとなる。そこで、本コンパイラではグロー
バル変数とローカル変数、ローカル変数同士に同じ名
前を付けた場合、警告を出すようにしている。

さらに、配列の初期化を行う場合、**C** 言語では配列
のサイズと初期値の数が一致しなくてもよい。しかし、
これも入力ミスの可能性が高いと考え、警告を出すよ
うにしている。

2.3 同期コンソール出力機能

JavaScript は排他制御等のオーバーヘッドを避ける
ためシングルスレッドモデルを採用しており、ユーザ
プログラムが処理を行っている間は、他の **UI** に関す
る処理は停止する。そのおかげで、**JavaScript** プログ
ラムは自由に **Web** ページの書き換えが可能となるが、
その一方で短い時間で処理を終了することが求められ
る。これは、**JavaScript** が動きのある **Web** ページを
作成するためのツールであることを考えれば当然の仕
様である。しかし、この仕様は初学者向きプログラミ
ング演習においては問題となる。

例えば、学習者が繰返しの終了条件を誤り、無限ル
ープとしてしまうと、ブラウザは簡単にフリーズして
しまう。ブラウザがフリーズ状態となると強制終了す
るしか対処法はなく、最悪の場合その時点までの学習
記録が消失し、学習者のモチベーションの低下を引き
起こす可能性がある。

さらに、**JavaScript** は画面更新時のチラつきを防ぐ
ため、プログラムから行った画面変更はプログラムの
実行終了後にブラウザに反映される仕様となっている。
しかしその結果、プログラムの実行途中でメッセージ
を表示することはできなくなっている。また、これら
の仕様とも関連するがプログラムの実行をキャンセル
する仕組みが提供されていない点もプログラミング演
習では問題となる。

JavaScript でこれらの問題点を解決する手法には、
Web ワーカー、継続渡し形式 (**CPS**)、**yield** 等が利用
できる。

Web ワーカーとは **JavaScript** のマルチスレッド機
構である。**Web** ワーカーを用いると、ワーカースレ
ッドが無限ループとなっても **UI** スレッドはフリー
ズせず、プログラムの処理と同期した画面表示が可能
であり、さらにプログラムの実行をキャンセルするこ
とができる。しかしながら、**JavaScript** には **Wait** 機
構がないため、処理の途中でキー入力を受け取るプロ
グラムを実現することは難しい。

ところで、公開されている **Web** 上のプログラム開発
環境の多くが、プログラム実行前に処理に必要なデー
タを入力し、実行結果は一括して表示する汎用機のバ
ッチ処理に似た実行方式となっている。実行時にキー
入力を受け取る必要がなく、ステップ実行等の機能も
必要ないのであれば、**Web** ワーカーを用いるのが最も
簡単な方法であろう。

継続渡し形式 (**CPS**) への変換を行い、**setTimeout**
によってプログラムを分割する手法は、**JavaScript** に
おいてプログラムの実行途中で画面表示を行うための
テクニックとしてよく利用される。**CPS** への変換を行
えば、元のプログラムにおいて無限ループとなってい
るプログラムを動作させてもブラウザがフリーズする
ことはなく、プログラムの実行停止機能を追加するこ
ともできる。

しかし、**CPS** へ変換されたプログラムは構造が大き
く変化するため、元のプログラムと同じ動作をするプ
ログラムであると判読することは難しい。このため、
期待通りの動作をしなかった場合、デバッグ作業は困
難となり、プログラミング演習で用いるには、元のコー
ドとの対応関係を自動的にとりながらデバッグでき
るようなツールが必要であろう。

ECMAScript6 で導入された **yield** は関数の処理を
中断させる機能である。このため、事前にプログラムの
適切な箇所に **yield** を挟み込んでおけば、無限ルー
プとなっても実行を停止できる。**yield** は、元のプ
ログラム中の任意の場所に単純に挿入するだけでよく、
CPS と比べればプログラムの対応関係を取りやすい
形式である。

しかし、**yield** は **IE11** ならびに、**Android4**、**iOS9**
のモバイル端末のブラウザは対応しておらず(10)、現
状では不特定の端末からの利用を前提とするシステム
で利用するには不安が残る。

本処理系はバイトコード・インタプリタを用いており、画面表示処理の後でプログラムの実行を一時停止することによりブラウザに画面更新の機会を与えている。このことによって、for ループ等の繰返しの中で文字を表示するようなプログラムにおいても、処理の進行に合わせ滑らかに文字が表示されるようになっている。また、プログラムの実行を数十ミリ秒ごとに停止してブラウザに制御を返しており、画面上に配置している「停止」ボタンによってプログラムの実行停止が可能となっている。

なお、CPS, yeild, バイトコード・インタプリタは、いずれも setTimeout によって処理を分割するが、本稿では、分割された各実行単位のことをタイムスライスと呼ぶこととする。

2.4 性能評価

図 2 に示すプログラムの本システムによる処理時間を表 2 に示す。評価 PC は東芝 dynabook B552/G, CPU : Core i5-3320M, 2.6GHz, RAM : 4GB である。

```
int p = 3456793;
int r = 1;
for (int i = 2; i < p; i++) {
    if ((p % i) == 0) {
        r = 0;
        break;
    }
}
```

図 2 時間計測用素数判定プログラム

表 2 本システムの素数判定プログラムの実行時間

実行環境	Elapse Time
Firefox ver.48	1.09sec
chrome ver.52	1.12sec
IE ver.11	4.14sec
Safari ver.5 (参考)	10.44sec
Visual-C (最適化 O2)	0.011sec

処理時間はブラウザによって大きく異なり、最も速い Firefox と最も遅い IE では 3.8 倍の開きがある。Visual-C と比較すると、最も速い Firefox でも 99 倍遅くなっている。なお、Safari は Windows 版の開発が止まっているため参考とした。

つぎに、図 2 と同等の素数判定プログラムを JavaScript で実行した処理時間を表 3 に示す。

表 3 CPS による素数判定プログラムの処理時間

実行方式	Elapse Time
CPS(Firefox)	13852.65sec
ConcurrentThread(Firefox)	6.17sec
JavaScript(Firefox)	0.032sec

for 文による繰返しを CPS に変換する場合、ループ 1 回分の処理を継続として、それを setTimeout でつなぐ形となる。今回の素数判定プログラムではタイムスライス中の処理は if 文が一つだけとなり、処理時間が短く効率が悪い。ConcurrentThread とは牧(11)らが開発した CPS を用いる JavaScript のマルチスレッドフレームワークであるが、setTimeout による中断を最適化する実行制御を行うことにより高速化を実現している。一方、素数判定プログラムを JavaScript でそのまま実行した場合の処理時間は 0.032 秒であり、Visual-C の処理時間の 2.9 倍と非常に健闘している。これは、最近の JavaScript 実行環境がプログラム実行時に JIT コンパイラによる最適化を行うためである。

最後に、yield を使用してタイムスライスを実現する場合の処理時間の計測結果を表 4 に示す。CPS の場合と同様に、yield 呼び出しによる関数の中断に対して、必ずしも setTimeout によって実行を停止する必要はない。このため、この表は何回の yield に対して setTimeout を実行するかをパラメータとして変化させ、処理時間を計測したものとなっている。

表 4 yield による素数判定プログラムの処理時間

yield の回数	Elapse Time	Time Slice
1000000	0.232sec	67msec
100000	0.386sec	11msec
10000	2.044sec	8.7msec

表より、タイムスライスの処理時間を数十ミリ秒となるように制御を行った場合、処理時間は 0.3 秒程度になると見積もることができる。

バイトコード・インタプリタはバイトコードの命

令単位で分割が可能であり、文単位で分割を行う CPS や `yield` と比較すると粒度が細くなる。このため、バイトコード・インタプリタは実行制御処理に要するオーバーヘッドがより大きくなる。そこで、本システムではタイムスライスを構成するためのループはステップ数のみで制御し、時間の計測はタイムスライス終了時点で行い、次のタイムスライスで実行するステップ数に反映するようにしている。その結果、各タイムスライスの処理時間は変動することになるが実用上問題は無い。

CPS と `yield` は分割の粒度は同じであるが、この実験による比較では CPS が最も遅いという結果となった。これは、CPS で用いる継続を構成するために関数オブジェクトの生成が必要であり、その処理に時間がかかっているためであると考えられる。

つぎに、Chrome のデバッガを使い、本システムにおける図 2 に示すプログラム実行時のタイムラインを取得し本システムの動作を詳細に分析した。

本システムは図 2 のプログラムの構文解析に 15.10msec、バイトコード生成に 5.00msec 要している。また、実行に関しては、タイムスライスごとに処理時間が変動するが、下表の通りであった。

表 5 実行時各タイムスライスの処理時間

Time Slice	Elapsed time	Remarks
No.1	6.79 msec	print 呼出
2	69.59 msec	
3	46.92 msec	
4	60.65 msec	
5	45.41 msec	
6	7.95 msec	JIT 最適化
7	15.78 msec	
8	31.43 msec	
以下省略		

図 2 では省略しているが、プログラムの先頭で `print` 関数を使いメッセージを表示しており、タイムスライスの No.1 は `print` 関数の呼び出しのため途中で中断し処理時間が短くなっている。

No.2 から No.5 は 45~69msec であるが、No.6 で

7.95msec と処理時間が短くなっている。この理由は、この時点で Chrome の JIT による最適化が完了したためであると推測される。その後、No.8 にかけて処理時間が 2 倍ずつ増加している。これは、本システムがタイムスライスの処理時間が短すぎると判断し、次のタイムスライスあたりの処理ステップ数を 2 倍に増やしているためである。なお、No.9 以降の処理時間は 30~34msec でほぼ一定であった。

2.5 スロー・ステップ実行機能

スロー・ステップ実行機能とは、プログラムを一行ずつ実行し、エディタ上で対応する文をハイライト表示するもので、多くのデバッガが有する機能である。このスロー・ステップ実行を用いると、繰り返しや条件分岐といった制御構造におけるプログラムの動作を視覚的に伝えることが可能である。プログラミングの学習において条件分岐や繰り返しといった制御構造の単元で躓く学生は多いが、スロー実行やステップ実行でどのようにプログラムが動作するのかを確認しながらプログラムを実行することで理解を深めることができる(12)。

2.6 プログラム動作説明機能

この機能は、プログラムを実行しながら、どのような処理が行われているかを説明する機能であり、関数呼び出し、代入、`if` 文、`for` 文、`while` 文、`return` 文が実行された時点でコンソールに説明を表示している。特に、代入や条件判断では、その根拠となる計算過程を表示するようにしており、どのように、コンピュータが処理を進めているのかを確認することができる。

```

年=2016
/// atoi("2016") 呼出し
/// y = 2016 : 2016
/// input("月=") 呼出し
月=11
/// atoi("11") 呼出し
/// m = 11 : 11
/// if 文を実行します
/// 偽 : (11==2)
/// if 文を実行します
/// 真 : (((11==4) || (11==6)) || (11==9)) ||
/// dm = 30 : 30
/// if 文を実行します
/// 偽 : ((11==1) || (11==2))

```

図 3 動作説明機能の実行画面による実行例

植野(13)らはトレース課題における学習者の解答によって能力を推定し、適応的にヒントを出すシステムを提案している。この手法では「足場かけ」に用いるヒントとして、主にプログラムの動作説明のアニメーションを用いている。この場合の、動作説明アニメーションは実行するステップ数によってレベル分けされており、「足場かけ」レベルの高いヒントは低いヒントを完全に包含する関係にある。

このため、本システムの動作説明機能を用いて、できるだけ少ないヒントで回答するように指示し、何ステップまで動作説明を表示させたかにより学習者の能力推定を行うことにより同様の学習効果が期待できる。

2.7 バイトコード表示機能

この機能は、コンパイルされたバイトコードの表示ならびに、プログラム実行中の、スタックやレジスタの状態を表示する機能である。これによって C 言語の各文が、CPU によりどのように実行されるのかを確認することができる。実行画面の例を図 4 に示す。

```
/// 関数実行
: FRAME 1
  [PC:6 Top:3 FP:2 AD:0] STACK:[0,2,0,0]
/// for 文を実行します
/// 変数 i 定義
: PUSHI 0
  [PC:12 Top:4 FP:2 AD:0] STACK:[0,2,0,0,0]
: ADDR1 0
  [PC:14 Top:4 FP:2 AD:3] STACK:[0,2,0,0,0]
: ST 1
  [PC:15 Top:4 FP:2 AD:3] STACK:[0,2,0,0,0]
```

図 4 バイトコード表示機能による実行例

この機能は上級者向けのものであり、初学者はバイトコードの詳細について理解する必要はないが、初学者に対しても高級言語の利点やコンパイラの役割、コンピュータの仕組みについて学ばせる教材として使用することができる。

3. Moodle 活動モジュール

学習者が利用するコンピュータ環境によって、学習者が作成したプログラムをローカル端末に保管することが難しいケースもあり、ファイルをサーバ上に保管できると便利である。さらに、課題の提示やレポート

提出といった作業を簡単に行えることが望ましい。

e-learning の標準規格である SCORM は多くの LMS で採用され広く利用されているが、定型的な e-learning で必要とされる API しか持たず、上記のような機能を提供することは難しい。

そこで、プログラミング演習の授業において必要となる機能をパッケージ化し、Moodle の活動モジュールを構築した。

本教材では学習者は、サーバ上にファイル保管領域を持ち、作成したプログラムはサーバ上に保管される。また、共有フォルダの機能があり、学習者全員にファイルを配布することも可能となっている。なお、ファイルシステムは安全性に配慮して、サーバのファイルシステムとは切り離し、Moodle のデータベース上に実装している。

また、本教材は、「エディタ」、「コンソール」、「ファイラー」、「課題提示」、「レポート提出」の 5 つのパネルで構成され、図 1 に示すように画面を左右に分割してパネルを組み合わせて表示する形式となっている。

学習者は課題の説明を見ながらプログラムの作成を行い、実行結果を確認しながらデバッグを行うなど、それぞれの演習フェーズにおいて使用する画面を変更しながら学習を進めることができるようになっている。

4. 関連研究

三浦(6)は、Processing による Web アプリケーション開発のための教育環境を Web 上に構築し、教育を実践し評価を行っている。その中で Processing は JavaScript に変換されて実行されるため、無限ループを作ってしまうとブラウザがフリーズしてしまう点を問題点として挙げている。本システムは一定の時間間隔でバイトコード・インタープリタを停止しているため、無限ループでブラウザはフリーズすることはなく、「停止」ボタンによって実行をキャンセルすることができる。

(14)は、JavaScript で動作する BASIC インタープリタであり、文単位で実行制御を行うことでブラウザがフリーズしないようにしており、言語が BASIC である点を除けば、授業での利用も可能なほど完成度が高い。この BASIC は初期の PC 環境の再現を目指し

たもので、性能は重視していないと推察されるが、図2と同等のプログラムの実行に724秒必要であった。

本システムはソースプログラムをコンパイルした後、バイトコード・インタプリタで実行し、さらに、実行制御の工夫によって高速化することにより、処理に時間のかかる課題など幅広い内容を扱うことができる。

Chansilp(15)らは、初学者がプログラムの動作に対して持つ概念の間違いが理解の妨げになっているとし、プログラムの動作と連動しながらコンピュータ内部でどのような処理が行われているかを表す動作説明アニメーションを提示することで、プログラムの動作に対する正しい概念を形成することが可能となると指摘している。また、Byckling(16)は変数の役割が、初級レベルのプログラミングでは「固定値」、「カウンタ」など10種類に収まるとし、それぞれの役割を表すアイコンを用いたアニメーションによって学ばせる手法を提案している。これらは、あらかじめ作製したアニメーションを提示して学習を行うものであり、学生が作成したプログラムを自動的にアニメーション表示することはできない。

変数の役割はコンパイラで判断できないため、別途ラベル付けを行う必要があるが、本システムの動作説明機能は、学生の作成したプログラムであっても実行可能であり、内容として上記のアニメーションと同等のものを文字として出力している。アニメーション表示については、その必要性も含めて今後検討して行く。

プログラミング演習環境を Moodle のプラグインとして構築しているものには、Juan(3)、布施(4)などがある。Juan(3)らは、VPL というプログラミング教育用の Moodle プラグインを開発し GitHub において公開している。これは、Jail サーバというプログラム実行専用のサーバを別途用意することで Moodle サーバのセキュリティを確保するものであり、ブラウザ上でのプログラム開発実行が可能となっている。また、Test ベースの提出課題の自動評価機能、さらには不正コピーチェック機能等を備えている。布施(4)らは、Ruby の学習環境として、ファイルマネージャをインターフェースの中心としたシステムを構築している。このシステムは、各ユーザがサーバ上にホームディレクトリを持ち、アイコンの操作によって作業を行う GUI 型の

演習環境となっている点に特徴がある。

本システムも、Moodle のプラグインであり、同様の演習環境を提供するものであるが、プログラムがクライアント側で実行されるため、コンソール入出力を用いた課題からグラフィックスを利用する課題まで幅広い題材を扱うことが可能である。また本システムでは、スロー・ステップ実行や動作説明を用いた、初学者に対する木目の細かい演習が可能となっている。

なお、本システムは提出課題の自動評価の仕組みを持たないが、管理画面において提出課題を選択するだけで自動的に提出プログラムの実行が行われるなど、教員の採点作業をサポートする仕組みを提供している。

5. おわりに

Processing, Brython など、他の言語を JavaScript に変換しブラウザ上で実行する言語処理系は各種存在する。これらの、トランスパイラ言語は処理速度の面では有利であるが、処理時間の長いプログラムを実行するとブラウザがフリーズする等の、JavaScript の実行方式の問題点を引き継いでいる。

本システムでは、バイトコード・インタプリタを採用し、画面更新処理後にその動作を停止することで、プログラム実行中に画面が更新可能となっている。また、一定の間隔で動作を停止してブラウザに処理を返しており実行停止ボタンによって、プログラムの実行を途中でキャンセルすることも可能となっている。さらに、スロー・ステップ実行、動作説明機能、バイトコード表示機能など初学者向きプログラミング学習のための有用な機能を備えている。

バイトコード・インタプリタは、トランスパイラと比較して実行速度が遅くなるのが問題点であるが、単純に CPU クロックだけで比較すると、現在の標準的なモバイル端末の CPU クロックが 1GHz であるとするれば、本システムは 10MHz (≒1GHz ÷ 99) 程度のコンピュータと同等の性能があることになり、モバイル端末でのプログラミング演習用の環境として十分な性能を有しているといえる。さらに、グラフィックス処理などブラウザにまもった処理を依頼する部分は高速に動作し、描画を繰り返してアニメーションを表現するような課題も実施することができる。

さらに、コンパイル済みのオブジェクト形式でのプログラムの配布が可能である点も利点とすることができる。例えば、完成したプログラムをヒントとして学生に配布する場合、バイトコードに変換したプログラムというのは、解読困難であり解答そのものが学習者に伝わる心配はない。

本システムは、プログラミングの初学者を対象とし、コンピュータの動作を深く理解させるために行う演習での利用を想定しており、簡単なアルゴリズムの実装を演習として取り上げる予定である。しかし、C言語は高級アセンブラとしての側面を持ち、現在でも組込システム開発の分野で使用されているが、当該分野では、プログラムがどのような機械語に翻訳され実行されるかを意識する必要がある。プログラミング言語には、その言語の持つ文化のようなものがあり、その文化的側面についてふれることも重要である。その意味ではC言語教育にバイトコード・インタプリタを利用する方式は理に合っているといえる。

今回、独自のC言語処理系を開発したが、独自コンパイラは、学習者のレベルに合わせてエラーメッセージを変更することも可能である。また、言語仕様も教育目的に合わせて変更することができるため、授業の目的が特定の言語を学ぶことではない場合、独自コンパイラを用いるプログラミング教育も意義があると考えている。

参 考 文 献

- (1) アサインナビ: “ブラウザ上で簡単にプログラミングができる”, <http://room.assign-navi.jp/column/1519/>, (参照 2016.5.30)
- (2) 平田克己, Ahmad Z: “Web ブラウザ上で動作する C プログラミングシステムの開発”, 小山工業高等専門学校研究紀要, No.42, pp.123-128 (2010)
- (3) Juan C.R, Enrique R, Zenón J.H: “A Virtual Programming Lab for Moodle with automatic assessment and anti-plagiarism features”, Proceedings of EEE'12, (2012)
- (4) 布施泉, 中原敬広, 岡部成玄: “授業での利用を前提とした初学者プログラミング学習環境の開発—Ruby 言語の Moodle 環境での学習支援—”, 大学 ICT 推進協議会 2016 年度年次大会論文集, FE22, 京都(2016)
- (5) 那須野薫, 上野山勝也, 松尾豊: “次世代プログラミング学習サイト構築の試み”, 2013 年度人工知能学会全国大会 (第 27 回) 富山 (2013)
- (6) 三浦元善: “Web 技術を活用したインタラクティブな情報教育環境の構築と実践”, 信学技報 116(85), pp.19-24, 2016
- (7) 兼宗 進, 本多 佑希, 林康平, 他: “オンラインで利用可能なプログラミング学習環境の提案”, 日本情報科教育学会 第 9 回全国大会講演論文集, pp.89-90, 2016
- (8) 宇野健, 畝傍みなみ: “C 言語学習支援のための Web 上でのプログラミング環境の開発(2)”, 県立広島大学経営情報学部論集, 第 6 号, pp.35-41 (2014)
- (9) 那須靖弘: “遠隔教育のためのプログラミン言語教育環境の構築”, 2016 年度教育システム情報学会全国大会, 宇都宮(2016)
- (10) ECMAScript compatibility table , <https://kangax.github.io/compat-table/es6/>, (参 照 2016. 12. 14)
- (11) 牧 大介, 岩崎 英哉: “非同期処理のための JavaScript マルチスレッドフレームワーク”, 情報処理学会論文誌. プログラミング vol.48, no.12, pp.1-18, 2007
- (12) 西田智博, 原田章, 中村亮太, 他 “初学者用プログラミング学習環境 PEN の実装と評価”, 情報処理学会論文誌, Vol.48, No.8, pp.2736-2746 , 2007.
- (13) 植野真臣, 松尾淳哉, “項目反応理論を用いて適応的ヒントを提示する足場かけシステム”, 信学論 D, VolJ98-D, No.1, pp.17-29, 2015
- (14) “ブラウザ版 N88-BASIC 互換 BASIC のようなもの”, <http://uso800-basic.appspot.com/>, (参照 2017.2.3)
- (15) K. Chansilp, R. Oliver: “Using multimedia to develop students’ programing concepts”, proceedings of EDU-COM 2002, pp.91-101, 2002
- (16) P. Byckling, J. Sajaniemi: “Roles of variables and programming skills improvement”, Proceedings of the 37th SIGCSE technical symposium on Computer science education, SIGCSE '06, pp.413-417

IoT時代に資する「ものグラミング」教育の開発と実践

森祥寛^{*1}, 大野浩之^{*1}, 北口善明^{*1}, 中村和敬^{*2}, 松浦智之^{*2}, 當仲寛哲^{*2}

^{*1} 金沢大学総合メディア基盤センター, ^{*2} ユニバーサル・シェル・プログラミング研究所

Development and Practice of the "Mono-Gramming" Based Education for the IoT Generations

MORI Yoshihiro^{*1}, OHNO Hiroyuki^{*1}, KITAGUCHI Yoshiaki^{*1},
NAKAMURA Kazutaka^{*2}, MATSUURA Tomoyuki^{*2}, TOUNAKA Nobuaki^{*2}

^{*1} Informational Media Center, Kanazawa University,

^{*2} Universal Shell Programming Laboratory Ltd.

Currently, many people are required to provide opportunities to touch and to deepen their understanding of electronic machine tools, various information and systems ranging from IoT to big data, In this research, we are developing and practicing lesson content and educational methods based on the concept of "Mono-gramming". We report "Mono-grammings" and the practical contents of classes based on it.

キーワード: IoT, ものグラミング, ユニケーj開発手法

1. はじめに

近年, 情報科学技術はさまざまな分野で活用されている. それは, マイコン (マイクロコントローラー) を使った計測制御系を組みこんだ機器を個人が気軽に設計製作する環境の整備や, 個人向けの3Dプリンターやレーザーカッターの普及と合わさり, 電子回路を活用した「ものづくり」を, 趣味もしくは小規模事業とするものが増加し, その制作物が多様化している事からもよく分かる. このような「ものづくり」の当事者を **Maker** と呼び, **Maker** による新たな物作りの潮流は新たな分化であるとして, クリス・アンダーソンによって「メイカー・ムーブメント(1)」と名付けられている.

Maker が制作に使用するマイコン類は, PIC マイコンや, AVR マイコンを搭載した **Arduino** などに加え, 2012年頃からは **Raspberry Pi** に代表される「Linux を搭載する小型で高機能なマイコン (以下, **Linux** マイコンという.)」が安価に供給されるようになるなど多種多様である. 特に **Linux** マイコンが登場してからは, これを積極的に採用する傾向が見られる. しかし,

ものづくりの中ではマルチユーザー・マルチタスクの本格的な **Linux OS** が利用可能になったことを十分に生かしきれていないように見える. 例えば「OS が提供するような基本機能」や「OS インストール時点で利用可能な多数の基本コマンド群」を活用すれば簡単に目的を達成できる局面であっても, **C** や **C++** などの言語を用いてプログラミングを行ったり, **Ruby** や **Python** のようなスクリプト言語を追加インストールした上で, これらの動作環境を常に最新状態に更新しつつ利用したりしているのである. これらの手法を否定しないが, 固定観念に縛られて, 既存の方法しか試さなくなっている場合はないだろうか. **Maker** を始めとして, 情報科学技術に触れ, それを活かしていく人材であれば, 情報科学技術に関して広い知見を持ち, 状況に応じて, 固定観念に囚われず問題解決できることが必要となるだろう. そういった人材の需要は, 今後高くなり, そのような人材を育成するための情報科学技術教育プログラムもより求められていくだろう.

そこで金沢大学総合メディア基盤センターの大野, 北口, 森は, **USP** 研究所との共同研究「IoT時代に資

するユニケーj開発手法の普及啓発に関する研究プロジェクト」により、電子工作を始めとする IoT からビッグデータの取扱いに至るさまざまな情報と情報技術に触れる機会を「ものグラミング」という言葉を核として提供し、情報科学技術分野の専門教育を受けたことのない人々に対して、その理解を深めるような教育プログラムの在り方について研究を進めることとした。

本稿では、2015年度後期より授業を実施しており(2, 3), それら授業内容構築の背景と実践内容について報告する。

2. ものグラミングとそこに至る背景

ものグラミングとは、「ものづくりに適したシンプルなプログラミング」という意味を込めて、我々が名付けた造語である。英語では、mono-gramming と表記することにしたが、これは日本語のものプログラミンjの音訳であるとともに、Mono という音節に「単純喝単一なプログラミングスタイル」というニュアンスを含ませている。

現代社会において、情報システムはますます複雑になってきており、システム開発を容易にするため、さまざまな OS や言語、ライブラリやミドルウェア等の製品が、日々公表、またはバージョンアップされている。それらのほとんどは、その特定の適用範囲での性能や機能を追求していて、機能性と利便性に優れているが、バージョンアップの度に以前とはまったく異なるユーザーインターフェースや API を提供するケースが多々みうけられる。このため現状の情報システムを理解するために必要な知識は、適用 API やライブラリ、プログラミング言語、システムを使用する OS、さらにはそれらを使用する者の専門分野ごとに異なっている。これに加えて時とともに「更新」が求められる。

この結果、分野や OS、言語などによる知識の断絶と更新の必要性が発生し、情報科学に関する一般的な知識から、個々の情報システムを理解できるようにすることに対して障害となってきている。特に教育の観点からは、ある状況で演習を行なおうとすると、それ毎のライブラリや言語、あるいはパッケージ化された製品について学ばねばならず、利用者のみならず教育者に

とって大きな負担となっている。

そこで我々が提唱する「ものグラミング」では、「UNIX 系 OS インストール時点が提供する優れた基本機能」と「UNIX 哲学(4)」に基づいて作られた「それぞれは単機能だが組み合わせることで様々な機能を提供できる多種多様な POSIX コマンド群」を積極的に活用したシェルスクリプトでものづくりを推進することで、これらの知識の断絶と更新の必要性をできる限り回避し、20 年後でも使用できる情報技術やシステム、プログラミングの在り方について構築を目指している。

3. 教育プログラムへの活用

実際の授業内容の開発は、「ものグラミング」というコンセプトを実現するために、「POSIX 中心主義」と「ユニケーj開発手法(5)」という 2 つの要素と、小型のマイコン類とセンサー群という実習機器から行っている。

3.1 POSIX 中心主義とユニケーj開発手法

ここで POSIX 中心主義とは、ソフトウェアの互換性や長期持続性を高めるために大野、當中、松浦らが提唱するソフトウェアのプログラミング指針であり、その名のとおり POSIX.1(IEEE Std 1003.1) 文書に記されている仕様を中心にプログラミングをすることである。なお「中心」とは「極力準拠」という意味である。この POSIX の仕様に準拠したプログラムを作成することにすると、開発言語はシェルスクリプトまたは C 言語 (C99) を利用することになるが、基本的にはシェルスクリプトを利用する。C 言語は低水準言語であり、バイトオーダー等のハードウェア構造を意識しなければならず、シェルスクリプトであれば、そのようなハードウェア依存は POSIX コマンドが吸収しており、意識せずにプログラミングできるためである。したがって POSIX 中心主義プログラミングとは、POSIX の仕様に準拠したシェルスクリプトを中心としたプログラミングと考えて良い。ユニケーj開発手法とは、UNIX 系 OS 上でコマンドとシェルスクリプトを使ったシステム開発手法である。その特徴として、データをテキストファイルで持ち、100 種類程度の単

機能コマンドを、パイプ、リダイレクトなどで組み合わせ、データを処理を行っている。

3.2 実習機器

小型の電子基板とセンサー群としては、Arduino, ESP-WROOM-02, Raspberry Pi2 に、エレキットセンサー活用入門(6), モーター・リレー・ブザー制御入門(7)など、1台辺りの値段が 3,000 円程度となる機器を主に使用している。これらを授業用教材として、受講者に配布(授業期間中の貸与)するとともに、それらで使用可能な Linux 等の UNIX 系 OS およびシェルスクリプトを使用して開発した情報システムを取りあげる。これによって受講者にさまざまな電子機器と情報システムに触れる機会を提供するとともに、プログラミングと物理的な機器操作や現象(LED が点滅する等)が全く異なるものではないことを気づかせることとした。

4. 授業の構築と実践

本教育プログラムを踏まえて、現在、本プロジェクトでは、2015 年度後期から、次の 3 種類の授業を用意し、教育を実践している。1 つが、金沢大学における数学と物理学の学部 3 年生向けの教職免許取得のための授業「①計算科学特論」。もう 2 つが、大学コンソーシアム石川において、基本的には石川県内の高等教育機関に所属する学生向けに開講される授業(希望があれば県民なども受講可能)「②クラウド時代の「ものづくり」概論」「③シェルスクリプト言語論」である。

授業①は、教員となる学生向けの授業のため、将来、中学や高校で生徒に対して ICT や情報機器などの活用について指導できるようになることを目的としている。授業②では、様々なシステムを俯瞰する事に主眼をおき、授業③では、それらシステムの開発手法について深く解説をする。②と③の授業は 2 コマ連続で開講する事により、情報システム開発手法それ自体に興味を持つ受講者と、情報科学の応用分野に興味を持つ受講者のそれぞれの学びに応えることを目的としている。

4.1 計算科学特論

ここでは Arduino などの IoT 端末とそこで使える

センサー群、そしてノートパソコンを駆使し、IoT 端末へのプログラミングを行いながらインターネット上の情報の取得、取得した情報の処理、処理結果のインターネット上への発信といった作業を実現する手法の習得と、センサーやアクチュエータを操作するのに必要となる手法の習得を目指す。なお、この授業の履修対象者は、教員免許の取得を目指している学生である。そこで、情報技術や機器操作の社会での位置づけの変遷や将来的に予想される状況などについても解説していき、児童生徒に対して、IoT を含む ICT 全般の適切な活用について指導可能となることを学習目標としている。表 1 に 2016 年度の計算科学特論の授業概要を示す。

表 1 2016 年度計算科学特論授業概要

	概要
第 1 回	ガイダンス
第 2 回	Arduino と ArduinoIDE のインストールについて
第 3 回	Arduino の貸与と Arduino で L チカしてみる
第 4 回	Arduino で使用するセンサー群の紹介
第 5 回	センサー群の貸与と使い方の説明
第 6 回	センサー群を使ったものづくり
第 7 回	ESP-WROOM-02 の貸与と使うための準備
第 8 回	IFTTT の説明と使用するための準備
第 9 回 ～第 10 回	ESP-WROOM-02 を使ったものづくり
第 11 回	ESP-WROOM-02 を使って無線 LAN との接続する
第 12 回	Chibi:bit などの他の端末についての紹介
第 13 回	インターネットとの接続によるものづくり
第 14 回	電子工作とプログラミング言語についての補足的説明
第 15 回 ～第 16 回	成果発表

この授業では、IoT 端末などを貸与し、その基本的な使用方法を教えた上で、実際にどのような事ができるか、あるいはどのような事がしてみたいかを考えさせ、それを実現するための作業を行わせている。その作業途中で、発生した問題を授業中に報告させ、教員はその解決方法をアドバイスしていく。これは課題発見型のアクティブラーニングであり、学生には意図的に、どれだけ早く正解にたどり着くかから、これまで誰も実施したことのない方法の模索を促す指導をして

いる。一方で、先行的に作成されている「ものづくり」の成果物を探しだし、必要に応じて参考にするこも指導しており、IoT などに必要な知識をアクティブに学習できるようにするための方策を学ばせている。

2015年度後期に行った授業では7名が履修し、2016年度後期では19人が履修した。2016年度後期については、最終課題として、貸与した機器を使用するプログラムを作成させた。基本的に与えられた課題としての機器の操作（センサー類の使用）については、履修者全体が習得はしていた。しかしセンサー類を組み合わせインターネットなどのサービスとの連携を行って何かを実現させようとした場合、学生の中には「何をしたいか?」という視点を持ってないものがいた。IoT 端末などを活用したプログラミングやサービスの作成において、内発的な発想を与えるための教授内容や方法、特にファシリテートへの工夫が必要である。しかし機器の操作やプログラミング、インターネット上のサービスなど、教授項目の多さと必要な演習量を踏まえると反転学習などを用いて授業内容を整理していかなくてはならないだろう。

4.2 クラウド時代の「ものグラミング」概論

ここでは、近年のさまざまな情報システムを俯瞰し、さらにそれらを組み合わせて、「ものづくり」と「プログラミング」を安全安心かつ楽しく行う創造的実践するための基本的知識の習得を目指す。これは「ものグラミング」とはどのようなものかを学び、伝えられることを学習目標とする。表2に2016年度のクラウド時代の「ものグラミング」概論の授業概要を示す。

表2 クラウド時代の「ものグラミング」概論授業概要

	概要
第1回	ガイダンス
第2回	「ものグラミング」のための創造的環境
第3回	オフライン環境での「ものグラミング」① ArduinoIDE と ESP-WROOM-02 環境の導入
第4回	同②ESP-WROOM-02 による「Lチカ」
第5回	IoT 技術とものづくりについての解説
第6回 ～第7回	LAN 環境での「ものグラミング」①ESP-WROOM-02 に WiFi でアクセスして Lチカしてみる
第8回	クラウド時代の「ものグラミング」① IFTTT について
第9回	同②IFTTT を使ってみる、Linux メディアを使ったものづくり

第10回 ～第11回	同③Raspberry Pi 環境の構築
第12回	同④kotoriotoko(8) との連携ほか
第13回 ～第14回	同⑤Raspberry Pi を使ったものづくり
第15回	講義まとめ

この授業では、クラウドサービスとIoT 端末を取り上げる。クラウドサービスの世界では、インターネット上に大量のデータや情報が集積され、これらを活用するサービスもまたインターネット上に用意されている。ユーザは自身のパソコン上にデータやアプリケーションを用意するのではなく、パソコンからインターネットにアクセスしてこれらを活用していけば良いことを学んでいく。IoT 端末では、小型のコンピュータや超小型のセンサーなどが安価に普及し、これまで手軽に手の届かなかった機器が利用できるという状況を学ぶ。特に、多くの人にとって、IoT 端末と利用者自身のパソコンは、全く別々の世界のものという認識である。しかし、現在では、これらはネットワークにより接続され渾然一体となり、相互に連携して活用することが当たり前となっている。そこで、手元で動く小さな「モノ」が徐々に発展しインターネットを介してクラウドシステムと連携するまでと、クラウドシステム上の大量の情報やサービスが手元の小さな「モノ」に影響を与えるまでを講義と実習（体験）を通じて解説し、「ものグラミング」全体の理解を受講者に促した。

本授業は2016年度が初めての開講となる。大学コンソーシアム石川のシティカレッジとしての開講あり、講義会場が金沢大学キャンパス外であったため履修者が1名であった。授業自体は、座学と演習を繰り返す形で進めた。また、適宜討論の回を設けて、学んだ知識の深化と、セキュリティの問題等、実際に応用する際の注意点の気付きを促した。

4.3 シェルスクリプト言語論

ここでは、POSIX 中心主義に基づいたシェルスクリプトによるシステムの開発方法を学ぶ。その結果、POSIX 環境におけるシェルスクリプトについて新しい視点を知り、「すべてのUNIX で25年後も動く普遍的なプログラム(6)」を書く方法について会得し、日頃の問題解決に適用できるようになることを学習目標と

する。表 3 に 2016 年度のシェルスクリプト言語論の授業概要を示す。

表 3 シェルスクリプト言語論授業概要

	概要
第 1 回	ガイダンス
第 2 回	POSIX とは何か、POSIX の性質と効果
第 3 回	シェルスクリプトとは何か
第 4 回	シェルスクリプト環境を整え、シェルスクリプトを使ってみる①シェルスクリプトでファイル操作などをする
第 5 回	同②kotoriotoko を使ってみる
第 6 回	POSIX 中心主義の概要と POSIX 準拠のための準備
第 7 回	シェルスクリプトでプログラミングをする上での様々な落とし穴
第 8 回	目の前の課題を解決するソフトが手元になかった時どうするか。時刻計算プログラムを作る
第 9 回	単純なコマンドをパイプで繋ぎ、課題を解決していくアプローチの重要性（複雑なテキスト加工も行単位に切って考えると対応できることを学ぶ）
第 10 回	データベース（RDB）相当処理も POSIX の範囲でできることを学ぶ
第 11 回	Web ブラウザとのやりとりがシェルスクリプトからどう見えるか
第 12 回 ～第 14 回	POSIX 中心主義による実用的アプリ制作実習：郵便番号から住所欄を埋めるソフトを作る（Web アプリ）
第 15 回	講義のまとめ

授業では、どのようにすればシェルスクリプトコマンド群を活用できるようになるかという点に注目し、そのための課題を毎時間用意し、実際にパソコン上でその課題を解決するスクリプトを組ませることで学習をさせた。課題によっては「写経」と呼ばれる方法で、実際に動くシェルスクリプトのコードを、そのまま順を追って入力していき、スクリプトを作成することもあった。

本授業は先の授業と同じく 2016 年度が初めての開講となり、履修者が 2 名であった。授業自体は、座学と演習を繰り返す形で進めた。シェルスクリプトのコマンド単体は、単機能を有しているだけのものであり、シェルスクリプトによるコード作成は、目的を達成するために単機能のコマンドをどのように組み合わせるかを考えることともいえる。この組み合わせを思い付けるかどうか重要で、授業の学習目標は、組み合わせを思い付けるようにさせることでもある。授業で実施した写経と呼ばれる手段は、既存の組み合わせを順番

に実施し、その結果を繰り返し学ぶという作業になる。プログラミング教育では古くからある方法論ではあるが、本教育プログラム（特にシェルスクリプト）との親和性は高く、今後は、この学習方法の体系化と学習効果の定義と測定方法の確立をはかることが重要だろう。

5. 今後の展開と課題

本教育プログラムの構築自体は、2015 年度から開始して、現在も進行中である。

2015 年度には、計算科学特論の授業の担当を開始し、授業内容の骨子を固め、それを踏まえた上で 2016 年度にクラウド時代の「ものグラミング」概論とシェルスクリプト言語論を実施した。今回の授業では、授業内容の確立と授業用教材の準備と同時に授業が進められており、教授内容の精査と授業結果による学生の学習成果の質的・量的評価が未着手である。今回の授業によって、本授業による学生の反応などが得られたので、これを踏まえて、授業内容の整理とともに、ルーブリックの作成と学習効果の評価方法の確立をしていきたい。なお、授業内容の整理では、情報処理学会が策定し、公開する、情報専門学科におけるカリキュラム標準 J07(9)のコンピュータ科学領域(J07-CS)への準拠も視野に入れている。

併せて本教育プログラムの実施先の開拓も進めて行く予定である。JMOOC を始めとした各国 MOOCs への講義の公開等を通じて、海外、企業研修、生涯学習などへの展開も計画している。

参考文献

- (1) Chris Anderson : “Makers : the new industrial revolution”, “Random House Business Books”, 2012
- (2) 中村和敬, 石山雅三, 松浦智之, 當仲寛哲, 北口善明, 森祥寛, 大野浩之 : “IoT 時代に資するユニーク開発手法の普及啓発に関する研究 (1) ユニークシステムと情報科学教育”, 情報処理学会第 78 回全国大会 (2016)
- (3) 中村和敬, 石山雅三, 松浦智之, 當仲寛哲, 北口善明, 森祥寛, 大野浩之 : “IoT 時代に資する「ものグラミング」教育のための授業開発と実践”, 教育システム情報学会 2016 年度第 6 回研究会 (2016)

- (4) Mika Gancarz, 芳尾桂 (監訳) : “UNIX という考え方”,
オーム社, 2001 年
- (5) 松浦智之, 大野浩之, 當仲寛哲 : “IoT 時代に資するユ
ニケーション開発手法の普及啓発に関する研究 (2) POSIX
中心主義と情報科学教育”, 情報処理学会第 78 回全国
大会 (2016)
- (6) エレキット, センサー活用入門 [SU-1203],
<https://www.elekit.co.jp/product/SU-1203>
(2017 年 2 月 12 日接続確認)
- (7) エレキット, モーター・リレー・ブザー制御入門 [SU-
1204], <https://www.elekit.co.jp/product/SU-1204>
(2017 年 2 月 12 日接続確認)
- (8) 秘密結社シェルショッカー 日本支部, シェルスクリプ
ト製 Twitter 怪人「恐怖!小鳥男」,
<https://github.com/ShellShoccar-jpn/kotoriotoko>
(2017 年 2 月 12 日接続確認)
- (9) 情報処理学会情報処理教育委員会 J07 プロジェクト連
絡委員会編, “情報専門学科におけるカリキュラム標準
J07”, 最終更新日: 2010 年 6 月 11 日 .
[https://www.ipsj.or.jp/12kyoiku/J07/J0720090407.ht
ml](https://www.ipsj.or.jp/12kyoiku/J07/J0720090407.html)
(2017 年 2 月 12 日接続確認) .

IoT を適用したプログラミング実習の設計： 初学者・経験者レベルでの実践

山川広人^{*1}, 小松川浩^{*1}

^{*1} 千歳科学技術大学 理工学部

Designing of Practical Training of IoT Programming: Case Study for Beginners and Experienced Students

Hiroto Yamakawa^{*1}, Hiroshi Komatsugawa^{*1}

^{*1} Faculty of Science and Technology, Chitose Institute of Science and Technology

本論文では、IoT を適用したプログラミング実習を設計し、これを実践した結果を報告する。IoT の技術要素を、検証フィールドとなる理工学部のカリキュラムとの整合性も意識しながら体験・学習できるように、プログラミング初学者・経験者・上級者むけに大別する。この中で初学者・経験者向けのプログラミング実習を設計する。それぞれの実習の実践結果を報告し、新たな課題を検討する。

キーワード: Internet of Things, プログラミング実習, 情報系カリキュラム

1. はじめに

あらゆるモノがネットワークでつながり、これによって収集される膨大な情報に基づいて新たなサービスを提供する Internet of Things(以後、IoT と記す)への取り組みが世界的に進められている。IT 人材白書 2016 ではこれを IoT 時代の到来と捉え、情報系の各分野の中で特化した知識や技術だけではなく、「事業全体の技術を俯瞰し、全体を設計する能力」が IT 人材の技術力として重視されていることが示されている⁽¹⁾。

高等教育機関が、社会に通用する実践的な情報系エンジニアを目指す学生を育成していくには、情報系の基礎知識やプログラミングスキルを身につけた学生が、IoT に代表される現在・将来の情報基盤に必要な技術となる技術を体験・学習し、情報サービスやソリューションへの実用につなげるためのノウハウや深い理解を得られる機会となるように、カリキュラムを整備していくことも重要であろう。こうした観点で本研究は、IoT 時代にむけた実践的な情報系教育プログラムの構築を目的とする。本論文ではこの目的にむけて、IoT を適用したプログラミング実習を設計し、実践した結果を報告する。IoT のソフトウェア開発部分の技術要素を、

センサデバイス作成(プログラミング初学者むけ)、Web との連係(プログラミング経験者むけ)、全体システム設計(上級者むけ)の 3 段階の難易度に大別し、検証フィールドである理工系学部の情報系カリキュラムとの整合を図る。この中で、技術要素の体験・学習を狙った初学者・経験者むけのプログラミング実習を設計する。実習に必要な教材と学習者の支援体制を整え、対象レベルの学習者に実践する。実践結果に基づき、課題や改善点を考察する。

2. 対象とする IoT 技術要素の整理

本章では、教育プログラム化を図る IoT の技術要素とその大別を提案し、研究フィールドのカリキュラムとの整合性について述べる。

2.1 IoT の技術要素の大別の提案

本研究では IoT の技術要素を、教育プログラムを受ける学習者のレベルを考慮した形で大別できると仮定する。IoT の技術要素は多岐にわたるが、センサデバイス(センサとその制御機器を指す)のソフトウェアと、Web 上のソフトウェアが連係する観点では、クライア

ント・サーバモデルの Web システムの発展系として捉えることができる。この考えのもと、IoT の技術要素を ①センサデバイス部分 ②Web との係部分 ③全体システム設計部分 の 3 つに分けられると仮定する。①は、センサやその制御モジュールを動作させるためのプログラミング技術にあたる。②は、Web-API などを通じてセンサデバイスから送り込まれた情報を利用する Web プログラミング技術にあたる。③は、①・②の技術も踏まえ、セキュリティなども考慮した上で、蓄積された情報のサービスへの実用を担う Web システム開発技術である。クライアント・サーバモデルにあてはめた場合、①がクライアント側、②・③がサーバ側のソフトウェア開発技術にあたる。

上記の 3 つの大別に、技術の体験や学習を行うための難易度を付与できれば、教育プログラムの設計にむけた、既存の情報系カリキュラムとの整合を図ることが可能となる。①の技術の体験・学習には、近年、プログラミング入門用のマイコンボードが複数、用意されている。これらのマイコンボードには、センサ接続の簡略化の工夫や、スクリプト言語やビジュアルプログラミング言語を用いて容易に制御プログラムを容易に学習できる工夫もされている。これを教材に用いることで、プログラミングのスキルや経験が十分ではない初学者による体験や学習も可能であろう。一方で、②の技術の体験や学習には、プログラミングの知識やスキルだけではなく、HTTP や Web-API といった Web 技術の知識・理解が、③の技術の体験や学習には、①・②の技術に加え、セキュリティなども考慮して要件定義・システム設計・開発を行うといった、より高度な技術への知識・理解が前提として必要であろう。このことから本研究では、①はプログラミング初学者、②はプログラミング経験者、③はさらに上級者向けの難易度であると仮定する。図 1 に、IoT の技術要素の大別と体験・学習にむけた難易度を示す。なお、本論文で取り上げる IoT の技術要素はソフトウェアに関するものに限定している。ハードウェアやサーバ・ネットワーク分野といった幅広い関連技術も含めた考慮は、今後の課題である。

2.2 既存のカリキュラムとの整合

本研究の IoT 技術要素①・②・③に基づいた教育プ

ログラムを、教育現場の既存のカリキュラムに適用していくには、カリキュラムを経た学習者の知識・スキルレベルと教育プログラムの整合性を考える必要がある。検証フィールドとなる理工系学部では、学部 2・3 年次のカリキュラムの中に情報系の科目が体系的に配置されている。特にプログラミング分野では、学生は 2 年次に C 言語や Java 言語を通じて文法や基礎的スキルの習得を図る。3 年次に発展的な内容として、Web プログラミングや情報システム的设计・開発を学ぶ。図 2 に、この体系を主軸として、IoT 技術要素の①・②・③にむけた教育プログラムを適用する案を示す。①の技術は、マイコンボードを用いて容易に体験・学習が行える。したがって、プログラミングをこれから触れる学部 1 年生(図 2 の A)や、基礎知識を学んだ学部 2 年前期段階の学生(図 2 の B)を「初学者」として、プログラミングの実用性や実装方法を学ぶために適用できると考えている。②の技術は、プログラミングの基礎的スキルの習得を前提として、Web-API の利用といった Web プログラミング技術を体験・学習するものである。したがって、プログラミングの基礎を前提に、Web プログラミングを学ぶ学部 2 年後期(図 2 の C)～学部 3 年前期段階(図 2 の D)の学生を「経験者」

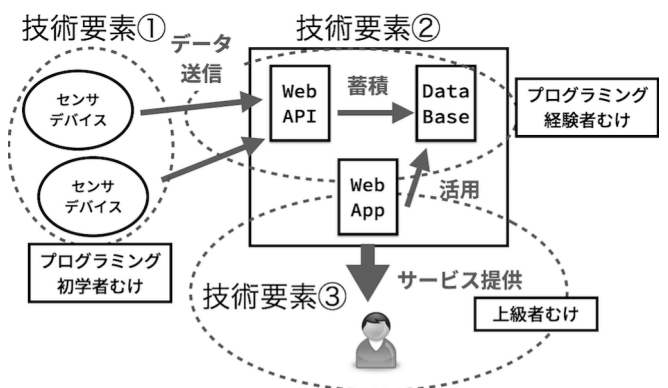


図 1 IoT 技術要素の大別と体験難易度の仮定

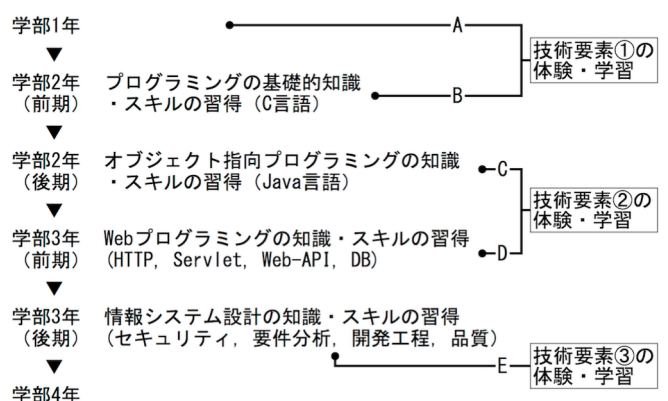


図 2 IoT 技術要素の大別とカリキュラムとの整合案

として、知識や技術の実用例を学ぶために適用できると考えている。③の技術は、①・②を前提としたより高度な技術・知識を体験・学習するものである。したがって、実践的な情報システム開発スキルやノウハウを身につけることを目指す学部 3 年後期段階(図 2 の E)の学生を「上級者」として適用できると考えている。本研究ではこのカリキュラムとの整合案を前提に、プログラミング実習を設計する。

3. プログラミング実習の設計

本章では、2 章で整理した IoT の技術要素①・②に基づいて、初学者・経験者向けのプログラミング実習を設計する。なお、上級者(技術要素③)向け実習の設計は今後の課題としている。

3.1 初学者向けプログラミング実習(実習 1)の設計

初学者向けの実習(以後、実習 1 と記載)は、プログラミング入門用に利用できるマイコンボードの使用を前提とする。実習の目標は、センサデバイスを試作する体験を通じて、初学者(プログラミングをこれから学ぶ学習者、基礎を学んだ学習者)が、IoT への興味・関心をもつことや、プログラミングの実用性・実装方法を学ぶことに定める。実習の手順を以下に示す。

- (1) 教員は学習者に、IoT の概要や、センサデバイスの役割、プログラミング方法について講習する。
- (2) 学習者が、指定されたセンサによるデータの測定と、その測定値を可視化させるプログラミングを体験する。センサには測定値を変化させやすいもの、可視化方法には、見分けが付きやすい液晶や LED を指定する。指定されたセンサや液晶をマイコンボードに取り付け、配布されたサンプルコードの通りプログラミングし、動作を確認する。これにより、センサ・マイコンボードの組み立て方と、プログラミングの実用性の理解を狙う。
- (3) 学習者がセンサの中から興味があるものを複数選択し、マイコンボードに取り付け、データを測定することに挑戦する。各センサには、対応するサンプルコードを付随させ、学習者はこれを参考にプログラミングの体験を継続する。これにより、センサデバイスの提案・試作に必要な最低限のプログラミング内容や、センサで測定できるデータ

の種類を理解することを狙う。

- (4) 出題されたテーマにそって、学習者がセンサデバイスの提案に挑戦する。提案は、テーマに対して「どのセンサで」「何を測定し」「何に使うか」という観点でワークシートにまとめる。教員は、IoT のセンサデバイスの役割について学習者の理解度を確認し、必要に応じてアドバイスを行う。
- (5) 学習者が、自ら提案したセンサデバイスを試作する。センサ・マイコンボードを組み立て、動作させるためのプログラミングに挑戦する。教員は、学習者のプログラミングへの理解度を確認し、必要に応じてアドバイスを行う。

3.2 経験者向けプログラミング実習(実習 2)の設計

経験者(プログラミングの基礎的文法やスキルを身につけた学習者)向けの実習(以後、実習 2 と記載)の目標は、IoT におけるセンサデバイスと Web システムの関係の仕組みや実用例・プログラミングによる実装方法を学ぶことに定める。実習の手順を以下に示す。

- (1) 教員が学習者に、IoT における Web-API の役割や、センサデバイスとの Web の関係方法とその実用例について講習する。
- (2) 学習者が、センサデバイスの測定データを Web-API に送信し、データを Web で利用するプログラミングを体験する。指定されたセンサをマイコンボードにとりつけ、配布されたサンプルコードの通りにプログラミングし、動作を確認する。
- (3) 出題されたテーマにそって、学習者が Web と関係するセンサデバイスの提案を行う。提案のまとめ方は実習 1 の(4)と同様とする。教員はセンサデバイスと Web の関係のしくみについて学習者の理解度を確認し、必要に応じてアドバイスを行う。
- (4) 学習者が、自ら提案したセンサデバイスを試作する。組み立てたセンサデバイスから、測定データを Web-API に送信し、データを利用できることを確認する。教員は学習者のプログラミングへの理解度を確認し、必要に応じてアドバイスを行う。

4. 教材および学習者の支援体制の整備

3 章の実習 1・2 を実現するには、設計した手順にあ

わせて、学習者が実習に取り組むための教材と支援体制が必要である。この整備状況を本章で述べる。

講習テキスト：実習 1 の(1)・実習 2 の(1)に利用する講習テキストは情報系の教員が用意した。社会における IoT への期待や位置づけ、センサデバイスと Web との関係のしくみ、実際の IoT 製品の事例、実習の流れを 30 分程度で説明する内容とした。

センサデバイス：実習全体で用いるセンサデバイス用のマイコンボードには、Intel Edison Kit for Arduino⁽²⁾を用いた。センサには、Grove System⁽³⁾規格に対応し、環境・生体データを測定できるものを約 20 種類用意した。機器選定理由は、本研究の開始時点で、1.はんだやブレッドボードを使わずに、コネクタの差し込みのみで手軽にセンサとマイコンボードを組み立てられる点、2.Intel 社から、センサごとの動作サンプルコードが検索サイトの形で提供されている点⁽⁴⁾の 2 点を満たしており、設計した実習に最適と判断したためである。

サンプルコード：実習 1 の(2)・実習 2 の(2)で用いるサンプルコードは、情報系教員および後述する TA が作成した。利用する言語は、マイコンボードの対応言語のうち、コンパイルといった動作手順を省ける JavaScript(Node.js)を採用した。コードは 40 行程度の量で、測定値の変化を確認しやすい温度センサで室温を測定し、液晶に表示するものとした。学習者の理解を助けるため、コード中のコメントアウトは 1 行ごとに準備するなど、解説を充実させた。学習者が自由にセンサを用いる実習 1 の(3)以降や実習 2 の(4)では、先に述べた Intel 社のサンプルコード検索サイトの内容を参照できるようにした。

ワークシート：実習 1 の(4)と実習 2 の(3)で用いるワークシートは情報系教員が作成した。ワークシートにはセンサデバイスの利用目的、使用するセンサの種類、測定データの使用方法のほか、学習者が提案内容を膨らませられるよう、利用場面のイメージスケッチや、使われ方の説明を記述できるようにした。

Web-API：実習 2 では Web-API を用いるが、学習者は Web システムの仕組みなどを十分に理解した上級者を想定したものではない。そのため、学習者自身に Web-API やデータ利用(例として、グラフによる可視化や Web サービスとの関係)を行う機能を設計・プ

ログラミングさせることは難しいと考えた。そこで、学習者が無料で利用できる範囲で、Web-API に送信された値をグラフ化できる AT&T 社の M2X⁽⁵⁾や、Google 社の Gmail API⁽⁶⁾に代表される Web サービスを使うことにした。

ティーチングアシスタント(TA)：実習全体をうまく進めるためには、学習者に寄り添い、つまづいた部分を随時補助できる TA も必要であろう。本研究では、IoT に興味のある情報系の学部 3 年生以上を 5 名募り、TA にあてた。この 5 名には事前に担当教員との間で、実習 1・2 の流れをプロジェクト教育形式で進め⁽⁷⁾、リハーサル・TA としての育成を兼ねた。

5. 試行結果と考察

4 章で述べた教材や支援体制を整備した上で、3 章の実習 1・2 を試行した。本章ではこの試行結果について述べ、本研究の IoT 技術要素の大別やプログラミング実習の設計について考察する。

5.1 実習 1 の試行

実習 1 の対象は、プログラミング初学者を想定している。そこで、情報系に興味があり、プログラミングを本格的に学習していない学部 1 年生(9 名)、および高校 2 年生(1 名)・3 年生(7 名)を対象に試行した。

学部 1 年生への試行では、実習 1 の導入を進めることができるかを確認することにした。約 90 分の作業時間の中で、各自に実習 1 の(1)～(2)を進めてもらい、不明な点には TA のサポートをうけられるようにした。試行した学生へのアンケート結果を表 1 に示す。この結果から、実習 1 の導入部分は、学習者がプログラミング初学者であっても、難易度やプログラミング量を抑えてセンサデバイスの試作を体験でき、IoT への興味を促進できる可能性がうかがえた。

高校生には、夏期休業中の 3 日間(総実習時間：約 840 分)の合宿型の大学体験講習の中で、実習 1 の(1)～(5)までを通して行い、初学者がセンサデバイスの試作を通じて、IoT への興味をもつことや、プログラミングでの実装方法を理解できるか確認することにした。ここで、生徒には 2 名 1 組のチームで取り組んでもらい、互いに協力してセンサデバイスの提案や試作に取り組んでもらう形をとった⁽⁸⁾。チームには TA を専属

させ、技術的なサポートも随時行えるようにした。生徒へのアンケートの結果を表 2 に、実習 1 の(4)~(5)の段階で、「興味のある事柄に利用できるセンサデバイス」をテーマに生徒が試作したセンサデバイスの一例を図 3 に、チームごとの試作内容の一覧を表 3 に示す。表 1 と表 2 の比較では、わかりやすさが低下し、難易度やコード量が増加している。これは実習内容を全て体験することで、プログラミングに取り組む時間が増えているためと予測できる。また生徒からは「実用的なプログラムの基本を学べた」「高校ではやらないプログラミングに取り組めた」といったコメントがよせられた一方、TA からは、実習 1 の(2),(3)の段階では、センサの取り付け場所の間違いなどへの対応が多かったものの、実習 1 の(5)の段階では、生徒のみでプログラミングを進めることは難しく、変数・if・for・関数といった文法的な部分でのサポートを絶えず行ったという報告が挙げられた。

5.2 実習 2 の試行

実習 2 は、プログラミング経験者を対象としていることから、プログラミングの基礎的な文法を学習済みの学部 2 年後期段階の学生(3 名)を対象として試行した。3 名にはセンサデバイスを制御した経験が無かったため、実習 1 の(1)~(3)までを行った上で、実習 2 の(1)~(4)を行うこととした。作業期間は 6 日間(総実習時間：540 分)とし、各自が実習に取り組み、不明な点には TA のサポートをうけられるようにした。実習 2 の(3)~(4)の段階で、「Web と関係した、北海道で役に立つ IoT デバイス」をテーマに、3 名が企画し試作したセンサデバイスの一覧を表 4 に示す。実習 2 の(3)の段階では、Web と関係するセンサデバイスを提案できた学生はいなかった。教員・TA が Web-API の利用方法のアドバイスを行った結果、学生 B1 のみ、Google Gmail API との関係を行う形に改善できた。学生 B2、B3 は Web と関係できない形で実習を終了した。

5.3 考察

本研究では、既存のカリキュラムへの適用も考慮して、IoT の技術要素をプログラミング初学者・経験者・上級者むけの 3 つに大別できると仮定し、これに基づく初学者・経験者むけのプログラミング実習を設計し

た。試行結果から課題や改善点を考察する。

実習 1 の試行では、本研究で設計したプログラミング実習によって、初学者であってもセンサデバイスの試作を通じたプログラミングを体験でき、IoT への興味を促せる可能性が示された。ただし、TA のサポート内容からは、学習者のプログラミングへの前提知識やスキルが不足しており、学習者の独力ではなく、TA の全面的な支援ありきで試作が進んでいる実情もうかがえる。プログラミングの実用性や実装方法への理解といった効果につなげていくためには、学習者のレベルにあわせてビジュアルプログラミング言語の利用も可能とするといった実習方法の検討が必要であろう。

実習 2 の試行では、プログラミングの基礎的スキルを学んだ経験者であっても、センサデバイスと Web との関係を考える点や、その実装をプログラミングで

表 1 学部 1 年生へのアンケート結果(試行 1)

質問内容	回答の平均値 (1:低~4:高)
講習でIoTへの興味が出たか	3.67
講習のわかりやすさ	3.89
講習の難易度	2.67
講習の資料の見やすさ	3.44
プログラミングしたコードの量の多さ	2.78

表 2 高校生へのアンケート結果(試行 1)

質問内容	回答の平均値 (1:低~4:高)
講習でIoTへの興味が出たか	3.5
講習のわかりやすさ	3.13
講習の難易度	3.13
講習の資料の見やすさ	3.88
プログラミングしたコードの量の多さ	3.25

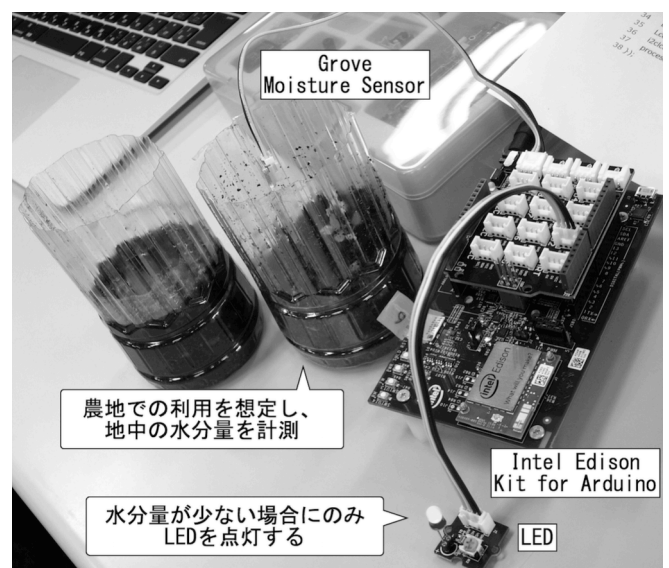


図 3 生徒(チーム D)の作成したセンサデバイス

表 3 高校生による試作の内容(試行 2)

チーム	センサデバイスの利用目的	センサ	測定結果の利用方法
A	ホラーゲームに臨場感をプラスする	心拍センサ	ブザー：叫び声の再現
B	駐車場の使用状況を通知する	モーションセンサ、タッチセンサ	液晶：色と文字による利用状況の通知
C	散歩に適しているか天気を診断する	気温センサ、UVセンサ	液晶：色と文字による度合いの通知
D	農場用の水まき時を通知する	モイスチャースエンサー	LED：点灯による通知

表 4 学部 2 年生(後期)による試作の内容(試行 2)

学生	センサデバイスの利用目的	センサ	Web (Web-API) と連係した測定結果の利用方法
B1	トイレの利用状況を可視化する	光量センサー	Gmail API によるメール通知
B2	部屋の温度を自動調整する	温度センサー	—
B3	部屋の光量を自動調整する	光量センサー	—

行う点で難易度が高い結果となった。この要因の 1 つとして、Web との連係を考えるための HTTP や Web-API にむけた知識やノウハウが学習者に不足していたことも考えられる。こうした不足部分を充実させた実習内容への改善の必要性も考えられる。

実習 1・2 の試行は、図 2 の A・C にあたる学習者のみを対象としている。実習の設計全体を改善していくためには、図 2 の B・D にあたる学習者の実践結果も検討し、実習内容や実施対象を見直していく必要がある。上述の通り、実習 1・2 の難易度は A・C の学習者にとって高い状態と判断できる。IoT の技術要素の大別を、初学者向け・経験者向けの中でさらに細分化し、カリキュラムの中で A～D の学習者それぞれに整合させた実習を整備するといった、大別の妥当性とカリキュラムとの整合性を高める改善のほか、A～D の学習者が合同で取り組み、上級生が下級生にとって難易度の高い部分をサポートできるようにする工夫なども想定される。加えて、本論文では取り上げられていない、ソフトウェア以外の技術要素に着目した大別や上級者向けの実習内容も含め、カリキュラム全体を通じた教育効果の追求も今後の課題である。

6. おわりに

本研究では、IoT 時代の実践的な情報系教育プログラムの構築を目的に、IoT を適用したプログラミング実習の設計と実践を行った。IoT のソフトウェア部分の技術要素を、理工学部のカリキュラムと整合可能な形で 3 つに大別し、このうちプログラミング初学者・経験者に対するプログラミング実習を設計し、試行した。試行の結果から、各々の実習内容や技術要素の大

別方法の課題や改善点を明らかにした。今後は、課題・改善点の解決を図り、カリキュラムとの整合性を高め、情報系教育プログラムとしての実用化を図る。

6.1 謝辞

本研究は、地(知)の拠点大学による地方創生推進事業：「ものづくり・人材」が拓く「まち・ひと・しごとづくり」の一環で行われている。

参 考 文 献

- (1) 情報処理推進機構 IT 人材育成本部 編：”IT 人材白書 2016”，独立行政法人 情報処理推進機構 (2016)
- (2) The Intel® Edison Module,
<http://www.intel.com/content/www/us/en/do-it-yourself/edison.html> (2017 年 2 月 7 日確認)
- (3) Grove System,
http://wiki.seced.cc/Grove_System/ (2017 年 2 月 7 日確認)
- (4) Sensors | IoT | Intel® Software,
<https://software.intel.com/en-us/iot/hardware/sensors> (2017 年 2 月 7 日確認)
- (5) AT&T M2X,
<https://m2x.att.com/>(2017 年 2 月 7 日確認)
- (6) Gmail API,
<https://developers.google.com/gmail/api/> (2017 年 2 月 7 日確認)
- (7) 山川広人, 小松川浩:”IoT 技術を用いた教材作成を題材としたプロジェクト教育の試行”, 第 11 回医療系 e ラーニング全国交流会, pp.54-55 (2016)
- (8) 山川広人, 石田雪也, 小松川浩: IoT 技術を用いた初学者むけのシステム開発実習の提案, 第 41 回教育システム情報学会全国大会講演論文集, pp.125-126 (2016)

生徒の苦手知識を個別に可視化する学習ドリルの開発

澤山郁夫^{*1}, 高松昭彦^{*2}, 寺澤孝文^{*3}

*1 大阪大学, *2 丹波市立柏原中学校, *3 岡山大学

Development of Rote Exercises that Enable to Monitor the Learner's Mastery Level by Knowledge

Ikuo SAWAYAMA^{*1}, Akihiko TAKAMATSU^{*2}, Takafumi TERASAWA^{*3}

*1 Osaka University, *2 Tamba Municipal Kaibara Junior High School, *3 Okayama University

In school education, unfortunately, students have little occasion to know what they have not understood. Some tests may give them hints. However, these are often too vague because the typical purpose of tests is to evaluate the mastery of the learner in the topic over a short time. Therefore, we developed rote exercises that enable one to monitor a student's mastery of a topic based on the knowledge acquired. The rote exercises were completed by 104 Japanese junior high school students. They then received feedback indicating their level of mastery. Although some challenges remain, the results suggest that rote exercises could support advanced learning in the classroom.

キーワード: 学校教育, 教育評価, 自己調整学習, アダプティブ・ラーニング, 情報・教育インフラ

1. はじめに

学習を適切に進めるためには、「自身が何を理解できていないのか」を正しく認識し、学習目標と現在の状態を埋めるような学習行動をとる必要がある。ところが、学校現場において生徒が「自身が何を理解できていないのか」を知る機会は、実のところあまり多くない。そこで本研究では、発展的な学びを進めるための素地として、生徒が「自身が何を理解できていないのか」を認識する機会を設けるためのツールを開発する。

2. 既存の苦手確認ツールの問題点

2.1 テストによる苦手確認の問題点

「自身が何を理解できていないのか」について、確認するための既存の機会として、定期考査や実力テスト等の「テスト」が挙げられる。ところが、テストは「短時間で実力を推し測る」という目的の性質上、大まかな領域別の評価に留まらざるを得ない。また、学習行動について、早期に修正を加えるという観点からは、苦手評価の機会は、テストよりも高い頻度で日常的に設けられるべきである。すなわち、1) 診断の具体性、2) 頻度の2点から、テストの機会だけで自身

の苦手を確認しようとするには課題があるといえる。

2.2 市販の問題集による苦手確認の問題点

「自身が何を理解できていないのか」確認する方法として、市販の問題集を利用することも考えられる。問題集には、テストよりも多くの知識問題が収録されていることや、自由なタイミングで繰り返し使用可能であることから、先述したテストの問題点を埋め合わせる有効な手段となりうる。

ところが、市販の問題集による苦手確認は、テストと同様に「問題を解く」ことで評価が進むため、どの知識問題に対しても「正答できたか否か」といった白黒的な判断しかつけない点で問題がある。同じく正答を埋められない状態であっても、それぞれの知識に対する習熟の程度には、幅があるはずである。そのような幅を無視して、「できていない」と烙印付ける評価の形式は、「いくら繰り返しても、学習が進んでいる感じがしない」といった無力感を学習者に与えかねない。したがって、苦手の評価ツールとしては、学習の進捗に応じて、習熟度の変化、すなわち学習の「成果」を敏感に検出可能であることが、合わせて求められるといえる。

3. 苦手知識を可視化する学習ドリルの開発

3.1 目的

以上の既存の苦手確認ツールの課題を背景として、本研究では、具体的な知識を単位とし、学習の進捗に応じて習熟度の変化を検出可能な、苦手知識の可視化ツールを開発することを目的とする。また、可視化手法の妥当性について、検討を加えることも目的とする。

3.2 方法

3.2.1 苦手知識を可視化するための方法

習熟度の変化を高精度で検出可能とするには、まず、習熟度を測定する尺度として、信頼性の高いものを用意する必要がある。そのための手段としては、当該知識に対して(ア)設問を増やす方法、(イ)繰り返し測定する方法等が考えられる。ただし、(ア)の「設問を増やす方法」は、作問コストが問題となる。多忙な教員にとって、多くの時間を要求するような授業改革は躊躇されるため⁽¹⁾、日常的に用いられるツールを目指すには、作問コストは出来る限り小さく抑えられるべきである。そこで、段階的な評価観点を設けて、繰り返し測定を行う、寺澤・吉田・太田⁽²⁾による評価方法をベースに、学習ドリルを開発することとした。具体的には、寺澤ら⁽²⁾による方法では、習得すべき知識に対して、「全然だめ」～「よい」の4段階で自己評価を行う形式がとられている。このような評価形式をとり、繰り返し評価された値を合算すれば、反復測定の回数に応じて、信頼性の高い習熟度尺度が得られることになる。例えば、7回の繰り返し測定を行うならば、1点刻みで21段階の幅をもつ習熟度尺度となる。

なお、学習ドリルとしての機能を考えた場合、このような質問紙調査的な形式で、学習が進むのかと懸念されうる。しかし、この方法での学習効果について検討を加えた寺澤ら⁽²⁾の報告では、自己評価による評定平均値は、(A)学習の繰り返し数に応じて着実に高くなること、(B)高い自己評価に到達した者ほど、客観テストの成績が高いことが示されている。したがって、習熟度に対する学習教材としての機能は、保証されていると考えてよい。

3.2.2 可視化手法の妥当性を検討する方法

苦手知識を可視化するには、その手法の妥当性も

問題となる。既に寺澤ら⁽²⁾の報告において、自己評定平均値と客観テストの成績との相関は示されているものの、寺澤ら⁽²⁾の研究では英単語を学習題材としているのに対し、本研究では社会科の公民的知識を学習題材とする点で異なる(詳しくは後述する)。したがって、本研究でも別途妥当性に関する検討を行う必要がある。苦手知識の妥当性を確認する手段は、何らかの外的基準(e.g., 再生課題の成績)との相関を検討する方法など、いくつか考えられるが、今回は、(1)全参加者の評定平均値から推定される各知識の平均的な難易度ランキングと、(2)当該知識に関連する設問から構成された定期考査得点との相関により考察することとする。

3.2.3 対象

公立中学校の3年生104名(男子47名,女子57名)が、試作の学習ドリルに取り組んだ。

3.2.4 学習内容

著者間で協議のもと、既習事項である公民的知識50個を選定した。各知識は、一問一答式の形式で表現した(問題例:『少数の企業』が生産や販売市場を支配している状態を何というか。)、解答例:「寡占」。

3.2.5 ドリルの形式

選定された50問それぞれに1回ずつ自己評価を行うことを1日分の学習として定め、図1に示す形式でA3用紙の両面に、評定欄を配置した。また、プリントは、各日で問題の提示順序をランダムにソートし、1人あたり7日分を用意した。なお、個人内のデータをプリント間で対応づけるため、各日のプリントの冒頭部で、組番号および出席番号のマークチェックを求めた。

3.2.6 学習スケジュール

2016年11月21日に、各クラスでドリルについての説明を行った後、一人あたり7枚のドリルプリントを配布した。また、定期考査までの期間、1日1枚のペースで取り組むよう求めた。

3.2.7 解析とフィードバック

回収されたプリントを、研究機関でOMR(optical mark reader)処理にかけた。その後、統計解析ソフトR studio(ver.1.0.44)上で、R markdownを用いて個人毎に各知識の評定平均値を算出し、個人毎の苦手知識ランキングをA41枚のPDF形式で出力した(図2参照)。生徒へのフィードバックは12月19日に行われた。

問題/Question	答え/Answer	全然だめ	だめ	もう少し	よい
		←————→			
(例) 日本国憲法の三大基本原理は何か。	国民主権、平和主義、基本的人権の尊重	1 <input type="checkbox"/>	2 <input checked="" type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
(01) 資本により財・サービスの生産販売する経済活動を継続して行う組織を何というか。	企業	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
(02) 生産の3要素を挙げよ。	土地（自然）、労働、資本	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>

図1 学習ドリルの形式

Rank	※	Question & Answer
1	1.50	貿易において、各国が自身の得意分野に特化した生産を行い、不得意分野は輸入によりまかなうことで、互いの利益を高めることになったとした、リカードの学説を何というか。<< 比較生産費説 >>
2	2.14	新しい分野を開拓し、今までにない製品やサービスを提供する企業を何というか。<< ベンチャー企業 >>
2	2.14	複数企業が裏で協定を結び、商品の価格などを決定してしまうことを何というか。<< カルテル >>
4	2.29	性別や人種、宗教などをこえて多様な人材を採用し、活用しようという考え方を何というか。<< ダイバーシティ >>
5	2.43	私企業のうち、個人と同じように権利や能力を認められた企業を何というか。<< 法人企業 >>
5	2.43	派遣労働が増えた理由を2つ挙げよ。<< (1) 新しい産業が増え、必要な時に必要なだけ労働者を求める産業に移行したこと。(2) 企業内で労働者を育てる余裕がなくなったこと。>>
7	2.57	商品を買った収入から生産にかかった費用をさしひいたものを何というか。<< 利益、利潤 >>

図2 個人ごとに出力された苦手知識ランキング表の一例（※は自己評定平均値を指す）

【企業に関する問題 1】

1 次の（ ）に適切な用語を記入すること。（知識・理解）

さらに下線部については、あとの問いこたえること。（読解・分析的知識）

資本を集め、財・サービスの生産販売する経済活動を継続して行う組織を企業といいます。アメリカやEU、日本で多く海外企業が活動していますが、日本の企業もまた海外で活動しています。このように国境を越えて活動する企業を（1 ）といいます。これらの企業の活動には莫大な資本が必要となります。このため、これらの企業は、一般の人々から資金を集めてその借入金を活動資金として生産活動を行い結果として（2 ）を得ます。その一部は配当となります。このときの借入金資金の証書として発行されるのが有価証券というお金に換金できる証書です。この証書は売買されます。このような仕組みで活動する会社を（3 ）といいます。この仕組みは16世紀以降に英仏オランダにより、アジ

図3 定期考査で出題された問題の一例

3.3 結果と考察

まず、フィードバック時に、自身の出力された苦手知識ランキングが、これまで評定した値や直感的なランキングに反するものではないか生徒に確認を求めた。結果、フィードバックされたランキングが妥当ではないと訴えた生徒はいなかった。

次に、全参加者の評定平均値から各知識の難易度ランキングを算出した。結果、推定された難易度ランキングは、著者らの想定と概ね一致していた。具体的には、難易度上位と推定される項目群に、授業の発展的な学びの中で扱われた知識が多く含まれていた。参考までに、難易度が高いと推定された上位3項目と、難易度が低いと推定された下位3項目を表1に示す。

最後に、回答に著しい欠測のない103名の生徒を対象として、当該知識に関連する設問から構成された定期考査(図3参照)の得点と、最終日の自己評定平均値との相関を求めた。結果、中程度の相関が認められた($r(101) = .58, p < .01, 95\%CI = .44 - .70$)。これらの結果は、本研究で用いた自己評定による苦手知識の評価手法の妥当性を保証する一つの根拠とみなしうる。

表1 参加者全体の苦手知識ランキング

順位	問題と答え
1	貿易において、各国が自身の得意分野に特化した生産を行い、不得意分野は輸入によりまかなうことで、互いの利益を高めることになるとした、リカードの学説を何というか。<<比較生産費説>>
2	性別や人種、宗教などをこえて多様な人材を採用し、活用しようという考え方を何というか。<<ダイバーシティ>>
3	派遣労働が増えた理由を2つ挙げよ。<<(1)新しい産業が増え、必要な時に必要なだけ労働者を求める産業に移行したこと。(2)企業内で労働者を育てる余裕がなくなったこと。>>
...	...
48	ネットワークをつなぐネットワーク、すなわち、複数のネットワークを互いに結びつけるものを何というか。<<インターネット>>
49	育児をする男性のことを何というか。<<イクメン>>
50	一日の法定労働時間は、労働基準法により、何時間と定められているか。<<8時間>>

4. 総合考察

本研究の目的は、具体的な知識を単位とし、学習の進捗に応じて習熟度の変化を検出可能な、苦手知識の可視化ツールを開発することであった。結果、寺澤ら⁽²⁾による評価手法を用いることで、ある程度の信頼性および妥当性が保証される苦手知識ランキングを、個別に可視化することができたと考えられる。

最後に今後の課題について3点述べる。

第一に、フィードバックの即時性に関する問題が挙げられる。冒頭では、テストによる苦手評価の問題点の一つとして、「頻度」を指摘したが、今回の実践ではこれを解決するものには到達できなかった。具体的には、解析のためにプリントを一旦研究機関へ郵送するという過程を経たため、学習終了日からフィードバックまで、おおよそ3週間を要した。したがって、フィードバックの即時性の点で、課題が残る。

第二に、学習成果の検出手法に関する問題が挙げられる。先述の通り、学習者が学習に対して効力感を失わないためには、学習の「成果」を検出可能なツールであることが求められる。ところが本研究では、評価の信頼性を確保するため、7日分の学習を1時点の反復測定と捉えたフィードバックを行った。したがって、学習の「成果」に関する情報を提供するには至らなかった。この点は今後検討を加える必要がある。

第三に、学習の質保証の問題が挙げられる。具体的には、本研究で開発した学習ドリルのような形式で習得される知識は、条件反射的な浅い理解に留まる可能性に留意する必要がある。ただし、深い学習を進めるための素地として、知識に対する習熟度を高めることは必要な過程である。ドリルによる学習と、授業での発展的な学びを、相補的な車の両輪と捉え、相乗効果を狙うような実践研究を今後進めていく必要がある。

引用文献

- (1) 高松昭彦: “授業づくりを阻む「問題」はなにか”, 日本教育心理学会第56回総会発表論文集, pp.112-113 (2014)
- (2) 寺澤孝文, 吉田哲也, 太田信夫: “英単語学習における自覚できない学習段階の検出 長期に連続する日常の場へ実験法を展開する”, 教育心理学研究, 56, pp.510-522 (2008)

はんだづけから始める大学生への情報の基礎的知識の教育効果

～プログラミングの基礎的理解を含めた体験的学習～

時田 真美乃¹⁾ 長谷川 理¹⁾ 不破 泰¹⁾

1) 信州大学 総合情報センター

The effects of education of foundation of information technology in start from the soldering : experiential learning including programming education

Mamino TOKITA¹⁾ Osamu HASEGAWA¹⁾ Yasushi FUWA¹⁾

1) Integrated Intelligence Center, Shinshu University

信州大学では、大学初年次教育として情報の基礎的知識の定着を目的とした「情報学入門」の授業を開講している。その中で、入学時の情報の基礎的理解度は年々低くなる傾向があるが、入学後に新たに情報機器に触れる機会が多ければ知識が定着しやすい傾向がみられた。この結果から“体験”による学習が基礎的理解を促進させると仮説を立て、2016年度より、組み込み型PC基板(IchigoJam)を教材とし、体験型の情報の基礎的な理解を深める授業を試み、一定の効果を得た。

キーワード： 初学者向け教育，情報基礎教育，プログラミング教育，はんだづけ，体験学習

1. はじめに

本研究は、大学初年次教育における情報の基礎的な知識の修得に向けた、効果的な教育カリキュラムの構築を目的とし、情報機器を使用した体験的な学習を積極的に取り入れる教育法を提案し、その効果について論じるものである。

筆者らは、2014年度より大学初年次教育において、「情報」に関する実際的能力(コンピテンシー)を身につける事を目的とした教育カリキュラムを構築し、授業を行い、その効果を測定してきた⁽¹⁾⁻⁽⁴⁾。その結果、学生は授業の中で情報機器に触れることが情報の基礎的知識を得るために効果がある事が明らかになった⁽⁵⁾。

この結果を受けて、授業で積極的に情報機器を使用しながら学ぶ新たなカリキュラムを考え、2016年度後期の授業で実践した。本発表では、この授業の概要を特にどのように情報機器を積極的に使用させたのかについて中

心に述べ、その結果情報の基礎的知識の習得にどのような効果があったのかについて述べる。

2. 背景

前章で述べたように、筆者等は「情報学入門」の教育カリキュラムをさらに改良していくことを目的として、毎回授業の初回と最終回に大学関連携共同教育推進事業が策定したプレイズメントテストを実施してきた。その結果、次の傾向が明らかとなった。

(1) 授業初回時のプレイズメントテストの結果を比較すると、2014, 2015 年は平均正解率が約 76%であるのに対し、2016 年は約 67%と低下していた。(2) 授業最終回時のプレイズメントテストの結果は、2014 年, 2015 年は平均正解率が約 78%, 2016 年は約 70%と、3 年間ともに初回に比べて正解率が約 2~3%上昇するのみで、大きな改善とはなっていなかった。(3) 2015 年と

2016年に実施した学生アンケートの結果、情報機器の使用経験がプレイスメントテストに回答する際に役に立ったと比較的多くの学生が応えており、授業の中でも情報機器に触れる機会を増やすことが情報の理解に効果的ではないかと想定された。

また、本カリキュラムでは、アルゴリズム的思考法の定着も目的の一つとしているが、2015年までの授業で次の傾向が見られた。縮小統治法や動的計画法などのような多重の繰り返し文や条件文と関係するアルゴリズムについて、理解しづらい学生が多かった。

この事を踏まえて、2016年後期に情報機器を教材キットとして使い、全ての学生がこの情報機器を購入してはんだづけをして組み立て、その機器の使い方を履修した後に、簡単なプログラミングを学び、その後情報に関する各単元をできるだけこの情報機器を用いて学ぶこと、アルゴリズムで理解が難しい多重の繰り返し文の理解にも情報機器を活用すること等からなる新たなカリキュラムを開発し、2016年後期に授業として実施した。

3. 本研究の目的

本研究では、「情報の基礎的知識が定着するための良いカリキュラムの情報学授業を行う」という大きな目的の中で、常に情報機器に触れあいながら学ぶ教育カリキュラムの完成を目的とした。したがって研究目的は以下の2点とする。

- (1) 様々なカリキュラムでどのように情報機器を使うか。
- (2) 情報機器を使用する教育は、学生が楽しく学び知識を定着させるのにどの程度効果があるか。

特に情報機器としてPCでなくIchigoJamを使用したことには、全ての学生がPCを持つことが義務付けられていないこと、現在の学生にとってはスマートフォンが主流であることに加え、プログラムの実行のしやすさを考えた。PCを使うプログラミングでは、OSやファイルの概念、ツールの使い方等、プログラミング以外に教えることが多く、プログラミング学習だけが目的ではない一般教養科目としての授業に必ずしも最適でないためである。

(1)について、まずIchigoJamを使用したカリキュラムを考え、(2)について、いくつかの情報の基礎的知識を問う

テストやアンケートを用いて、知識の定着と学生の感想を確認することとした。

4. 「情報学入門」の新カリキュラムについて

4.1 IchigoJamについて

IchigoJamは2014年4月に公開されたコンピュータ基板であり、この基板に電源・キーボード・TVを接続するだけでBASIC言語を入力して実行できる。(図1)

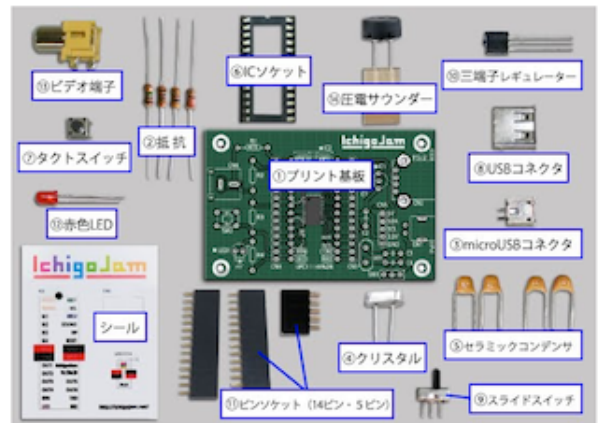


図1 教材キットにしたIchigoJam一式

その特徴を以下に示す。

- (1) プログラミングが簡便にできる。

電源を入れるとBASICインタプリタが動き、キーボードからプログラムを入力し、直ぐに実行できる。

- 10 LED1:WAIT60 (LEDを点灯して、1秒待つ)
- 20 LED0:WAIT60 (LEDを消灯して、1秒待つ)
- 30 GOTO 10 (行番号10に戻る)

例えば、上記のプログラムを入力し、RUNと打つと、基板上のLEDが1秒毎に点滅するプログラムが完成する。このとき、OSやファイルの知識、エディタや言語ツール等の知識は必要がない。

- (2) 安価で入手ができ、自宅でも容易に使用できる。

教科書と同程度の価格で購入できた上で、他に必要なものはUSB電源、キーボード、ビデオ (NTSC) 入力端子があるTVだけとなる。

- (3) 外部機器の接続が容易である。

基盤には入出力ポートとシリアル通信ポートが備わっており、これらをプログラムから直接制御することが可能であるため、容易に組み込みシステムの開発体験が可能となる。

4.2 IchigoJamを用いたカリキュラムについて

次に, IchigoJamを使用した体験型カリキュラムについて述べる. 情報学入門の全般の中で特にプログラミング・ネットワークの単元を中心に行い, 初回と最終回を除く全ての回でIchigoJamを使用する内容とした.

対象学年: 大学1年生後期

対象学部: 全学部・選択授業

授業形態: 9月~1月までの15週, 週1回90分授業.

授業構成: ガイダンス・はんだづけと基本動作・プログラミング基礎学習・プログラミング応用学習・コンピュータネットワークの基礎・総合学習・情報リテラシー
授業構成の詳細 (IchigoJam 使用の回):

(1) はんだづけと基本動作(4週)

まずははんだづけによるパソコン制作を実施. その際に, 口頭説明に合わせて, 各自の進捗にそった学習や復習を可能とする, WEBサイトを用意した(図2).



図2 はんだづけ説明WEBサイト

このWEBサイトでは, はんだづけをステップ毎に分けて, 図と動画で説明した(図3). また, 各 부품の機能についても記載し, 学生がはんだづけをしながら各 부품の役割を学習できるようにした.

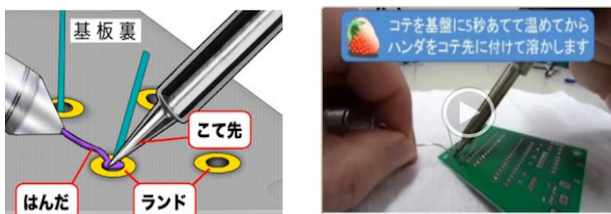


図3 WEBサイトの図と動画の説明

学生はそれぞれの進捗でWEBサイトに従ってプリント

基盤に各部品をはんだづけし, 最終的に仕上がったパソコンにディスプレイとキーボードを接続し動作確認を実施して完了とする手順とした.

また, 完成後は, まず Basic プログラムの基本的な書き方, 保存や呼び出し等の主なコマンドを実行するようにした. 次に基盤に取り付けたLEDを光らせることや簡単なゲームのできるプログラムを打ち込んでプログラムを実行させる内容とした.

(2) プログラミング基礎学習(4週)

完成したパソコンを使用して, 変数・入力・出力・条件・配列について各自でプログラムを打って理解できるようにした. 制御構造は, 条件分岐(if文)・反復(for文)のその2重構造までを学習範囲とした.

(3) プログラミング応用学習(暗号鍵作成)(2週)

「(2)」で習得した条件文を組み合わせて, RAS 暗号について, 公開鍵や秘密鍵を求める計算を経て実装するプログラムを考える内容とした.

(4) コンピュータネットワーク基礎(通信体験)(2週)

2台の機器間でのデータ通信技術を学ぶ単元とした. データ通信の基礎技術であるビット同期の基本的な学習の中心は送信側の送信タイミングと受信のサンプリングタイミングをどのような手法で同期させて正しくデータ通信を確保するかである. 授業では, 学生は2人1組となり, その2台のIchigoJamを送信機器, 受信機器として割り当て, ケーブルを用いて出力信号を入力信号に接続した.(図4)

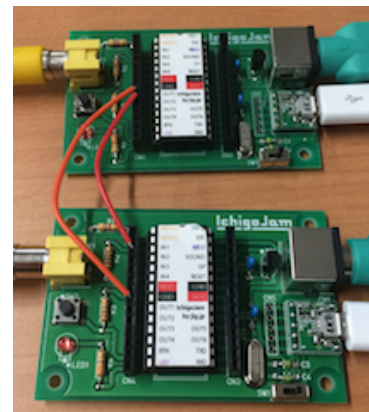


図4 接続したIchigoJam(上が送信側, 下が受信側)

そのうえで, 次の方法を採用した. ①送信側, 受信側双方のIchigoJam用プログラムを学生に渡し, 実行し

てもらう。②動作の確認後、プログラムの解説を行い理解することでビット同期の原理を学習する。③理解したプログラムを修正しながら、送信タイミングとサンプリングタイミングの同期確保のやり方について学習する。またこのプログラムを修正しながら送信タイミングとサンプリングタイミングの元になるタイマーにズレが生じる場合にどの程度のズレまで許容できるのか等について学び、より理解を深める。特に③では、双方のタイミング時に IchigoJam の BEEP コマンドを使用して音を鳴らす行を含めることで、同期がとられていく様子やずれていく様子を実際に自分たちの機器に触れながら体験出来る様に工夫した。音については送信側に BEEP 1, 受信側に BEEP 10 を使用し、音の高低に差をつけた。

(5) 総合学習（チャットプログラムで音体験）（1 週）

コンピュータ構成・プログラム・通信の学習を総合する単元とした。特にこの単元では学生にとって身近なコミュニケーションツールである“チャット”をプログラムで実現させることにした。「(5)」と同様に学生は 2 人 1 組でケーブルを用い送信側・受信側を接続するようにした。

また、本単元は特に、プログラムの制御構造を「音」で体感できるものとし、文字列に変換する際に 2 重 for 文を使用し、プログラムの解説もした上で多重ループ学習の強化も目的とした。

```
----  
270 FOR B=0 TO N-1  
280 V=[B]  
290 PLAY "C"  
300 OUT 1,1  
310 WAIT W  
320 FOR A=0 TO 7  
330 PLAY "G"  
----  
---- NEXT  
---- NEXT
```

図 5 PLAY コマンドを使用した音による制御構造を含む送信側プログラムの一部

具体的にはプログラムの内側のループで“ソ”の音、外側のループで“ド”の音が鳴るようになるように PLAY コマンドを使用した。学生は 1 つの文字を表すための 1 つの数字が送信される度に、“ド”の音を 1 回耳にしたあとで、“ソ”の音が 7 回（あるいはドの 7 倍の長さで）鳴るのを耳にすることになり、聴覚を使用してプログラムの制御構造を体感できるようにした。

4.3 授業の評価方法

授業の評価については、次の 4 種類のテストを実施した。また授業の感想もアンケートで実施した。

(1) プレイメントテスト

全 40 問から成り、各設問は、(領域 1) 情報活用の実践力：12 問 / (領域 2) 情報の科学的な理解：15 問 / (領域 3) 情報社会に参画する態度：13 問の 3 つの学習領域に分類されるもの。

(2) コンピュータの構成テスト

コンピュータの基本構成とプログラミング処置との関係を確認する内容(付録. 1)。

(3) プログラミングテスト（読み取り）

条件分岐, 反復の 2 重ループの読み取り(付録. 2)。

(4) プログラミングテスト（書き取り）

条件分岐, 反復の 2 重ループの書き取り(付録. 3)。

5. 実施状況

今回体験学習であるため、最初のはんだづけを完了させないと次のカリキュラムに進めないリスクがあった。また、各カリキュラムにおいても体験型の教育であるため、失敗するリスクがあった。授業の進捗に問題がなかったか、また失敗等がどのくらいの割合で生じたか、について各カリキュラム毎に述べる。

(1) はんだづけと基本動作

まず、はんだづけについて述べる。WEB サイトも併用した効率的な学習によって、期間内に終了した。全体の 69.3% の学生が 1 回で完成し、残りの学生は、抵抗, IC ソケット等でやり直しが発生した。理由としては、はんだの量が不適切だったという回答が最も多かった。動作確認についても 85.7% の学生が 1 回で完了した。残りの学生については、次の週の授業までの間に教員の職場に来てやり直し、問題ない状態になった。LED を光らせる・ゲームなどの入力について全ての学生が体験できた。

(2) プログラミング基礎学習

教員は、キーボードとディスプレイを教室に運び、学生は開始前までに IchigoJam と接続しておくようにした。まだ接続不具合等が生じていた学生は 1 回の

授業で1人程度いたが、授接続機の交換等で解決した。

プログラム学習については、全ての学生が各自の端末で実施できた。そのうえで、自力でプログラムの完成までできた学生は、配列については78%、多重の条件分岐(if文)については77%、多重の繰り返し文(for文)については70%であった。

(3) プログラミング応用学習(暗号鍵の作成)

プログラム学習については、全ての学生が各自の端末で実施できた。そのうえで、自力で暗号化プログラムの完成までできた学生は16%であった。

(4) コンピュータネットワークの基礎(通信体験)

2人ペアを作り、送信側、受信側に分かれてプログラムを打ち通信を実施した。初めは接続がうまくできないペアもみられたが、最終的に全てのペアにおいて通信が成功し、数字のデータ通信を体験することができた。

(5) 総合学習(チャットプログラムで音の体験)

2人ペアを作り、送信側、受信側に分かれてプログラムを打ち通信を実施した。最終的に80%のペアが通信に成功した。

6. 評価

6.1 情報の基礎知識全般

まず、全てのカリキュラムに関係するプレイズメントテストの結果を報告する。2014年度以降の結果も含め、それぞれの初回および最終回の結果を表1に示す。

人数	種別	合計		領域1		領域2		領域3	
		初回	2回目	初回	2回目	初回	2回目	初回	2回目
2014年度									
104	平均点	30.5	31.3	9.9	9.9	11.1	11.6	9.5	9.8
	正答率	76.2%	78.1%	80.2%	82.3%	74.2%	77.3%	73.0%	75.2%
2015年度									
113	平均点	30.4	31.2	9.6	9.9	11.0	11.4	9.8	9.9
	正答率	76.0%	77.9%	80.0%	82.1%	73.3%	76.1%	75.2%	76.1%
2016年度(前期)									
124	平均点	26.9	27.9	8.8	9.1	9.2	9.9	8.7	9.0
	正答率	67.3%	69.8%	73.3%	75.8%	61.3%	66.0%	66.9%	69.2%
2016年度(後期)									
43	平均点	28.1	32.6	9.2	10.4	10.3	12.1	8.6	10.1
	正答率	70.3%	81.5%	76.6%	86.7%	68.7%	80.7%	66.2%	77.7%

表1: 2014-2016年度のプレイズメントテストの結果

過去年度を見ると、初回の正答率が2014年度、2015年

度共に、約76%であり、領域毎に確認すると、領域1が最も正答率が高く、また領域2,3はそれより低い結果であった。それに対し、2016年度については、前期/後期共に、初回は70%前後と例年より低い傾向があった上で、特に後期の授業において、2回目のプレイズメントテストの結果は、81.5%と、初回と比較して11%も上昇した。前期が2%程度の伸びであったことと比較しても伸び率は大きいといえる。またいずれの年度も領域2の伸び率が高い傾向である点は同様であった。2016年度は前期/後期共に、初回の点数が特に低い傾向があったが、IchigoJam学習を使用した体験学習をした後期だけに成績が特に上昇する傾向が見られた。次に、学生のアンケートの結果を表2に示す。

		2015年度	2016年度(後期)
設問	1)今回実施したプレイズメントテストについて、初回に実施した時より、点数が上がったと思いますか。	回答率	回答率
回答群	はい	77.0%	77.5%
	いいえ	19.0%	22.5%
	前回受けていない	3.0%	0.0%
設問	2)このプレイズメントテストで問われる知識を得るのに役に立ったと思うものを選んでください。(複数可)	回答率	回答率
回答群	情報学入門の教科書	46.3%	25.0%
	本授業の講義(2016年度はIchigoJamを用いた学習)	72.5%	72.5%
	本授業の資料	56.3%	75.0%
	他の授業の講義	13.8%	7.5%
	自分でWebで調べたこと	25.0%	22.5%
	自分で読んだ本	10.0%	2.5%
	日々の情報機器等の使用経験	31.3%	32.5%
	友人との情報交換	15.0%	7.5%
	その他	7.5%	10.0%

表2: 2015-2016年度の最終回アンケートの結果

本結果から、初回より点数が上がったと自己評価する学生が2015年度は77%、2016年度後期は77.5%と多い結果であった。また、その理由としては授業についての評価が最も多い中で、「日々の情報機器等の使用経験」を選択する学生が30%以上であった。

6.2 カリキュラム毎の評価

次の表3.4はカリキュラムに対する学生のアンケート結果である。

設問	特に楽しく学べたカリキュラム	回答率
回答群	1)はんだづけと基本動作	12.5%
	2)プログラミングの基礎学習	62.5%
	3)プログラミング応用学習(暗号鍵作成)	10.0%
	4)コンピュータネットワークの基礎(通信体験)	5.0%
	5)総合学習(チャットプログラムで音体験)	10.0%

表3 特に楽しく学べたカリキュラムについて

またカリキュラム毎の学生の回答は次に示す。

設問	1) はんだづけと基本動作	回答率
回答群	とても楽しかった	60.0%
	楽しかった	27.5%
	どちらともいえない	7.5%
	あまり楽しなかった	5.0%
	全く楽しなかった	0.0%
設問	2) プログラミング基礎学習	回答率
回答群	とても楽しかった	57.5%
	楽しかった	40.0%
	どちらともいえない	2.5%
	あまり楽しなかった	0.0%
	全く楽しなかった	0.0%
設問	3) プログラミング応用学習(暗号鍵作成)	回答率
回答群	とても楽しかった	22.5%
	楽しかった	22.5%
	どちらともいえない	22.5%
	あまり楽しなかった	27.5%
	全く楽しなかった	2.0%
設問	4) コンピュータネットワークの基礎(通信体験)	回答率
回答群	とても楽しかった	27.5%
	楽しかった	52.5%
	どちらともいえない	12.5%
	あまり楽しなかった	7.5%
	全く楽しなかった	0.0%
設問	5) 総合学習(チャットプログラムで音体験)	回答率
回答群	とても楽しかった	27.5%
	楽しかった	52.5%
	どちらともいえない	10.0%
	あまり楽しなかった	10.0%
	全く楽しなかった	0.0%

表4 カリキュラム毎の学生の感想

(1) はんだづけと基礎動作

はんだづけと基礎動作については、学生は表7より「とても楽しかった」と回答した学生が60%と最も多い結果であった。感想としては、「自分の手でバラバラの部品を繋げてパソコンができるというのは感動した」「中学の技術以来でワクワクしながらできた」「今まで扱ったことのないクリスタルのような部品も、1つ1つ役割を確認しながら組み立てることができたので有意義な作業だった」等があり、「感動」「嬉しい」等の感情を伴う言葉が多くみられた。

また、この單元では「コンピュータの構成」を理解することを目的としていたがその理解度を示す(表5)。

全体の平均点は、初回が14.9点であったのに対し最終回が15.3点と上昇し、各設問に対する正答率は表8の通りとなった。

設問	正答率	
	初回 50人	2回目 44人
コンピュータの基本構成		
1)コンピュータの頭脳の範囲	8.0%	36.4%
2)「1」の名前	34.0%	77.3%
コンピュータの構成とプログラム処理		
3)アルゴリズムを考える	52.0%	70.4%
4)プログラムを打ち込む	90.0%	91.0%
5)プログラムを実行しデータを蓄える	44.0%	32.0%
6)データを元に四則演算の実施をする	90.0%	98.0%
7)テストの成績の判定結果を蓄える	40.0%	43.2%
8)テスト成績の判定した結果を出力する	94.0%	95.0%
コンピュータの構成と記憶(レジスタ、主記憶装置、補助記憶装置)		
9)データアクセスの早い順	42.0%	31.8%
10)データ領域の大きい順	8.0%	22.7%
11)パソコンの電源切ってもデータが残るもの	14.0%	27.3%

表5：コンピュータの構成についてのテスト

CPUを中心としたハードウェアの基本構成を設問は77.3%等、正答率が上昇していた。一方、記憶装置に関する設問については、プログラム処理や記憶装置の関係の設問いずれもにおいて、正答率の上昇は見られない項目があった。「データを蓄える」「データを格納する」というIchigoJamで扱わなかった設問の理解が低い結果であった。これらについては、記憶装置については、はんだづけやプログラミング授業の中で「体験」されにくかった点であり、感覚的に掴みにくかった可能性がある。

(2) プログラミング基礎学習

プログラミング基礎学習については、表4より「とても楽しかった」と回答した学生が57.5%と最も多かった。また表3より、全てのカリキュラムの中で最も楽しいと感じた学生が62.5%であった。感想としては、「単純な命令の組み合わせでプログラミングが行われていることがわかり、訳の分からないものという印象を薄めることが出来た」「人が単純だと思う処理をプログラミングすることが大変かを学べた」等があった。次にプログラミングテストの結果を表6に示す。

	書き取り(ifif)	書き取り(forfor)	読み取り(ifif)	読み取り(forfor)
正解者	35	41	39	30
正答率	70.0%	82.0%	88.6%	68.1%

表6：プログラミングテストの結果

書き取りについては、この単元の学習後、読み取りについては授業の最終回に実施したものとなる。いずれも70%前後の正答率が確認された。

(4) プログラミング応用学習

とても楽しかった、楽しかったと答えた学生は、22.5%ずつであった。感想としては、「記憶領域の少ないコンピュータでどのような工夫を施せば暗号化・複合化が可能になるかを学べた」等のある一方で「とても難しかった、複雑な動作を行わせる場合、自分が完全に理解しなければならぬことが分かった。」というものもあった。

(5) コンピュータネットワークの基礎

とても楽しかった、楽しかったと答えた学生は、それぞれ27.5%、52.5%であった。感想としては「送受信で異なる音を鳴らした後に、受信側の音が一拍ずれていて処理の実行のタイミングが分かりました」とあった。同期タイミングの理解については、次で合わせて述べる。

(6) 総合学習

とても楽しかった、楽しかったと答えた学生は、それぞれ27.5%、52.5%であった。感想としては、「文字が文字として送られるのではなく、一度変換されてから送られるのが実感できて面白かった。自ら書いたプログラムで実際にチャットができたのは感動した。」「たった数文字送信するのに数10秒かかったから、現代のメールやLINEなどのシステムがいかにすごいかを実感することができた。」とあった。

また通信に成功した80%のペアにおいて、送信・受信のタイミングの音の違いについて認識できたかを1)とてもよく分かった2)分かった3)どちらともいえない4)あまり分からなかった5)分からなかったで確認したところ、とてもよく分かった、分かったと答えた学生は送信・受信それぞれ70%であった。

また次に2重for文の構造による音のタイミングの理解については、とてもよく分かった、分かったと答えた学生は送信・受信で、61%、64%であった。

一方通信に成功していないペアにおいては理解度が低い結果であった。また実際のプログラミングの理解との関係については、表9の結果より70%近い学生が2重for文の構造の理解が出来ていた。

7. おわりに

5, 6章に示した実施状況と評価結果から、本研究の目的(1)(2)に対する次の考察がなされる。

- (1) 様々なカリキュラムでどのように情報機器を使うか。
- (2) 情報機器を使用する教育は、学生が楽しく学び知識を定着させるのにどの程度効果があるか。

まず(1)については、5章の実施状況より、いずれの単元の体験学習も問題なく進めた。プログラミングの応用学習については、全ての学生にとって理解しやすい内容ではなかったため、扱う範囲を厳選し時間を減らすことを検討する。一方、総合学習については学生の感想はよかった一方で、失敗したペアへのリカバリーまで実施できなかったため時間を増やす検討をする。

次に(2)については、6章で述べたアンケート結果より全体的に学生は楽しく学ぶことができおり、体験学習としてはある程度成功したといえる。また、ただ楽しいというだけに留まらず、プレイメントテストやコンピュータの構成のテストの点数が上昇する結果が得られ一定の成果を得た。一方で、授業で十分扱えなかった記憶装置についての知識を定着させる仕組みを作ることが課題となった。配列に値を入れる等プログラミングの学習と合わせて、記憶についても学生に意識を向ける教材や授業の進め方の工夫をし、記憶装置の「体験」を深めるカリキュラムを強化する。

はんだづけから始める情報学の基礎教育について、視覚・触覚・聴覚等を使用した学生の豊かな感情の喚起を伴う体験的学習の良さを活かし、今後も改善しながら継続的に良い授業に取り組んでいく。

謝辞

本研究を進めるにあたり、教材準備やWEBサイトをお手伝いいただいた小幡美紀さんに感謝いたします。

参考文献

- (1) 金子大輔, 石田雪也, 小俣昌樹, 吉川雅修, 畑由美子, 駒木伸比古, 古賀崇朗: 大学新生を対象とした情報に関する基礎知識調査の実施

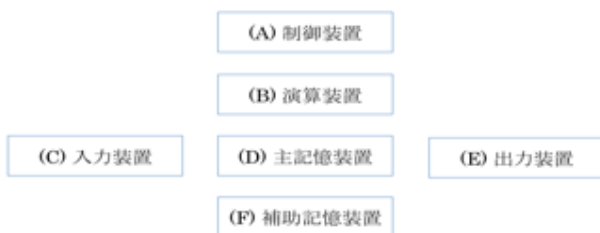
と分析, 教育システム情報学会第 38 回全国大会講演論文集, pp.191-192 (2013) .

- (2) 長谷川理, 香山瑞恵, 鈴木彦文, 時田真美乃, 不破泰 : 大学初年次教育におけるプレイスメントテストの結果から見える高校「情報」科目の現状とその対応; 日本情報科教育学会第7回全国大会講演論文集, pp.65-66(2014).
- (3) 時田真美乃, 鈴木彦文, 長谷川理, 不破泰: プレイスメントテストにおける情報の科学的理解とレポート課題への取り組みの関連性; 教育システム情報学会研究報告, pp.3-8 (2015)
- (4) 時田真美乃, 鈴木彦文, 長谷川理, 不破泰: アルゴリズム学習の推論過程における方法論による教育の有効性; 教育システム情報学会研究報告, pp3-8, (2016) .
- (5) 時田真美乃, 鈴木彦文, 長谷川理, 不破泰: 大学初年次教育におけるプレイスメントテストの結果による情報の科学的理解の3年間の推移について; 教育システム情報学会研究報告第, pp17-22(2016)

付録.1 課題. (1)

コンピュータの構成テスト(コンピュータの基本構成・プログラミング処理との関係)

設問(1). 「図Aはコンピュータのハードウェアの基本構成を示したものである. 次の問いに答えよ. 」



図A

1. コンピュータの心臓部分, 頭脳と言われる部分についてどこを指すか. その範囲を答えよ.
2. 「1」のことを何というか.

設問(2). 「太朗さんは, クラスの学生の成績を判定するプログラムを実行させることにした. 次の太朗さんの処理では, 具体的にどの装置が使われるか. 設問[1]の図1の記号で答えよ. (該当がないときは, 記号をX, また複数可)

1. クラスの学生の成績を判定するアルゴリズムを考える.
- /2. アルゴリズムが実現できるプログラムを打ち込む.

/3. プログラムを実行して, 命令やデータ(テストの成績)を蓄える. /4. 命令やデータを元に, 四則/論理演算等を実施する. /5. テストの成績の判定結果を蓄える. /6. テストの成績を判定した結果を出力する.

設問(3). 「コンピュータには代表的な記憶装置として, 「レジスタ」「主記憶装置」「補助記憶装置」がある.

1. データのアクセスのスピードが速い順を答えよ/
2. 記憶領域が大きい順に答えよ/3. 電源を切ってもデータが残るものはどれか.

付録.2 課題. (2)

プログラミングテスト : 書き取り (IF 文 FOR 文の2重ループを使用した書き取りの課題)

1. ある数を入力すると, 3 で割り切れる数であれば A, 5 で割り切れる数であれば B, 3 でも 5 でも割り切れる数であれば C と出力する BASIC プログラムを IF 文を使用して作成せよ.
2. 1~5 の九九の段を出力する BASIC プログラムを FOR 文を使用して作成せよ.

付録.2 課題. (3)

プログラミングテスト : 読み取り (IF 文 FOR 文の2重ループを使用した書き取りの課題)

1. 次の BASIC プログラムを実行したとき, 表示されるものを書け. .

```
10 S=70
20 IF S>70 THEN PRINT "L" ELSE IF S<60 PRINT "M" ELSE PRINT "N"
30 END
```

2. 次の BASIC プログラムを実行したとき, 表示されるものを書け.

```
10 FOR A=1 TO 2
20 FOR B=1 TO 3
30 PRINT A, A+B
40 NEXT
50 NEXT
60 END
```

e-ラーニングによる情報リテラシー講義の実践と分析

山口真之介*1, 大西淑雅*1, 西野和典*1

*1 九州工業大学

Practice and Analysis of the Information

Literacy Lecture by using e-learning

Shin'nosuke Yamaguchi*1, Yoshimasa Ohnishi*1, Kazunori Nishino*1

*1 Kyushu Institute of Technology

Many educational institutions implement blended lecture using LMS, and desire about analysis about the learning effect, effective how to lead. This report designed the information literacy lecture of this school as a lecture of the blended type using LMS as one example and, our research group practiced it and examined the use situation of the teaching materials of the student and results and a request, the refinement of the teaching materials.

キーワード: e-ラーニング, ブレンディッドラーニング, 学習ログ

1. はじめに

ICT を利用した講義支援は、既に多くの教育機関で実施されている。講義を撮影した動画教材やクイズ形式のテスト、プログラムを利用したシミュレーション等、多くの教材が開発され、講義の中で利用されている。その一つに通常の対面型の講義を行いながら、講義に用いたスライドや配布用の資料、自主学習用の教材を、Learning Management System (LMS) を使って学生に提供する、ブレンディッド型の講義がある。

このブレンディッド型の講義の、小松らは事前にビデオで学習した後に講義を行う反転型の授業を実践し、ビデオの視聴状況と成績との相関を検証している⁽¹⁾。また東京農工大学では、情報リテラシー教育を、LMS を用いて実施し、最終課題となる Web ページの作成を、グループ学習形式にして実践している⁽²⁾。

本稿は本学で実施している情報リテラシー講義を、講義中は対面式、時間外は ICT 教材による自主学習を行わせる、ブレンディッド型の講義として設計・実践する⁽³⁾。さらに学生の学習記録を分析、試験の結果と比較、学生の学習活動と成績との関連を調査した。最後に、この調査を元に学習効果に繋がる活動を促すための、講義の改善点について提案する。

2. 講義の内容

今回対象とする講義は、本学工学部の基礎情報科目となる情報リテラシーである。この科目は工学部の全学科の学生を対象としており、全学科で統一シラバスに基づいて個々の講義が行われる。この講義では本学が提供している情報機器のサービス（端末へのログイン、電子メール、図書館システム、学習支援サービス）とワードプロセッサなど、基本的なソフトの利用方法、情報技術の基礎知識となる 2 進数、HTML、コンピュータグラフィック、論理回路に加え、インターネット利用時の注意点などの情報倫理についても学習する。

講義の概要を以下に示す。

- ◇ 講義名：情報リテラシー
- ◇ 対象学生：1 年生
- ◇ 受講者数：75 名
- ◇ 講義の場所：端末室（一人一台利用）
- ◇ 講義の期間と回数：前期，試験を含めて 16 回
- ◇ 演習：LMS のテスト機能を用いた演習問題，仮想サーバを用いたリモートアクセスの演習など
- ◇ 課題：レポート課題 2 件
- ◇ 試験：LMS のテスト機能を用いた期末試験

◇ 成績：レポート 40%，期末試験 60%

3. 作成した教材と講義の設計

次に講義で用意した教材と、講義の設計について述べる。この講義は情報科目の基礎となるものであり、計算機やサービスの利用方法を理解するところから開始する。従って操作の基礎については一人一台が端末を使える教室で、対面式で学習させる。

また他の講義に対して、学生が本学の計算機を活用して、自主的に学習できるように、大学での学習方法を体得する為の講義でもある。従って、講義時間中は解説の後に演習を与え、学生が計算機に触れる機会を増やす。講義時間外は、学生に自主的な学習活動を経験させるために、LMS で教材を提供する、ブレンディッド型の講義として設計する。本学では講義の支援に利用できる LMS として Moodle が導入されており、この講義でもこれを利用して教材を提供する。

教材は用途に合わせて 5 種類を用意する。また教材とは別に、学生が記述できるスペースとして Moodle のコース内にノートを用意する。

3.1 教材の構成要素

講義資料：講義の中で表示するスライドを PDF ファイルにしたものである。15 回の講義に対して内容毎に分け全部で 13 個のファイルを作成している。受講生は講義中に Moodle にアクセスする事で、同じものを自身の端末で見ることができる。スライド資料なので、教員が講義で話す詳細な説明は載せていない。

課題解説資料：講義の中で学生に課した、演習や課題を行うための解説資料である。

図 1 に示すように、教員が解説するような形式で作成した資料となっている。演習の手順を操作画面と合わせて一つ一つ解説している為、講義資料よりもページ数が多い (40 ページ以上)。課題に躓いている学生にとっては、必要な情報となるが、課題を終了した学生が見る必要はない。

参考資料：2 進数、16 進数の表など、解説のないファイル資料である。小テスト問題を解く際に、有用な情報となる。ただしファイル内に説明はないので、ある程度講義内容を理解している必要がある。

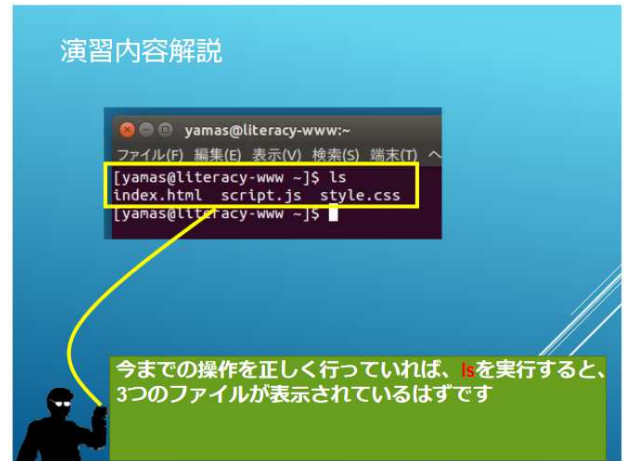


図 1 課題解説資料

自主学習用教材：講義内容を解説した文章とスライドを合わせた Flash ファイルである。アニメーションや音声は無いが、図 1 の解説資料と同様に、教員が説明する口調で記述した文章と、図を載せた資料となっている。ただし、全講義分は作成しておらず、教員が理解するのが難しいと判断した、2 進数と情報の表現方法の、2 回分の教材のみ作成・公開している。

小テスト教材：学生の復習と、学生の理解度の確認の為に Moodle の小テスト機能を使って、提供した問題集である。Linux コマンド 17 問、2 進数 23 問、情報の表現 13 問、論理回路 5 問を作成。問題は図 2 に示すような、多肢選択式か穴埋め式の問題である。

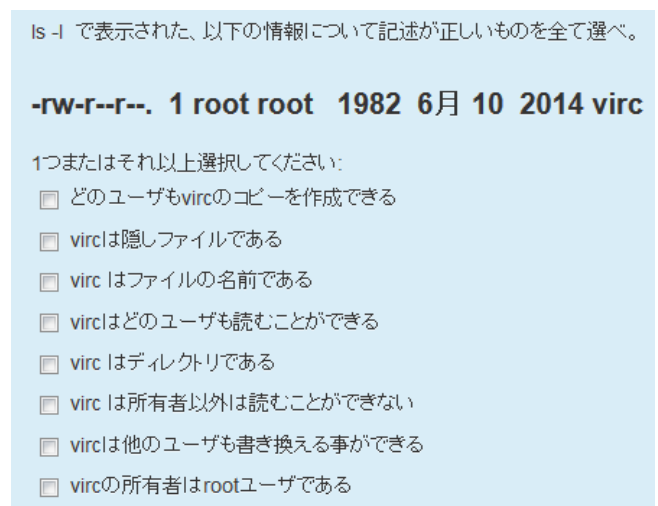


図 2 小テスト問題の例 (Linux コマンド)

小テストは 1 回の受験で、分類ごとの問題全てが出題される。自動採点式の小テストなので、解答を送信すると直ぐに結果を得られるが、その結果には正負、点数、間違えた場合のヒントのみが表示され、正解は

表示されない。受験をやり直すと、前回正解した箇所も空欄になり、再度解答する必要がある。よって満点を取るためには、その受験内で全ての問題に正解する必要がある。

ノート：は実験的に提供したもので、学生が自由に記述できるスペースである。これは Moodle のデータベースモジュールを用いて作成している。図 3 に示すように、1 つのエントリに、講義毎のテキストエリアのフィールドを用意している。学生は講義中、あるいはそれ以外の時間に学習の内容を記述・確認できる。

Moodle のデータベースモジュールは、通常であれば他の学生が入力した内容も閲覧できるが、本講義ではそれを規制しており、学生は自分のノートだけを見ることができる。

新しいエントリ

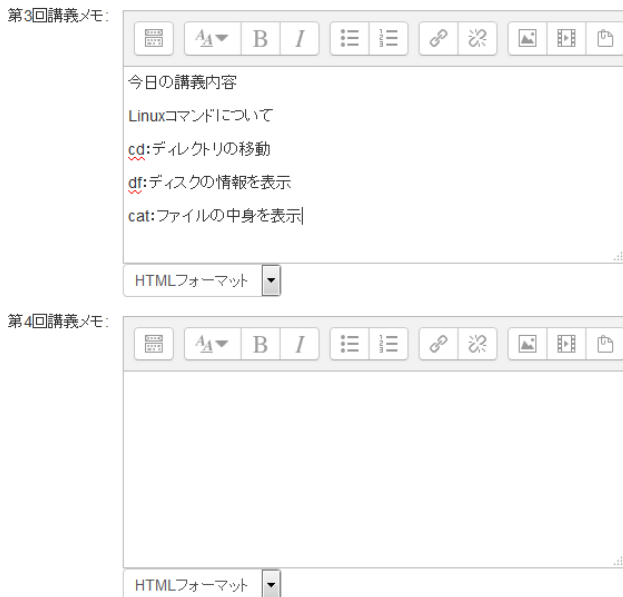


図 3 DB モジュールによるノートの画面

このノートについては学生の入力を促すため、講義の半分を経過した頃に、期末試験時にノートだけは閲覧可能である事を伝えている。

3.2 講義の進め方

次に本講義の進め方について述べる。まず講義資料を講義の 1 日前か当日に公開する。

教員は講義開始時に、今回使う講義資料を学生に示し、それを開いて通常の対面型の講義を行う。解説に合わせて、自主学習用の教材や参考資料を公開し、学生にそれを見るように指導する。

学生は講義時間中に資料や説明を元に、ノートに自分が重要だと思う箇所を入力する。解説を終えた後、残りの講義時間で学生は計算機を用いた演習を行う。演習の内容は講義資料に掲載するか、小テストとして提供する。小テストは、講義時間中に公開した日から、期末試験直前まで受験可能にし、学生は自身が理解できるまで取り組むように指導する。

演習の間、教員は学生の質問や、学生が躓いている箇所について対応する。演習で多くの学生が躓いている箇所がある場合は、画面や資料等を示しつつ、全体に解説する。

課題は講義終了時に学生に公開し、学生に講義外の時間を使ってファイルを作成・提出するよう指導する。課題解説の資料は、課題を出した次の週から公開し、講義の中で課題に躓いた学生に対して、見るように指導する。

講義時間外では、学生は教員が提供する講義資料、や自主学習用教材や、自分が作成したノートを見て、小テストや課題に取り組み、各自学習する。

学生からの質問はメール及び、講義中に口頭で行う。その際、教員は質問内容に応じて、講義資料等の教材を示したうえで回答する。

講義の最後に期末試験を行う。期末試験も小テストと同様に全 60 問を Moodle の小テスト機能を用いて作成する。問題の内容は小テストで出題したものに近く、全 60 問の内 30 問は、数値などは異なるが、同じ考え方で解ける問題を用意する。

4. 学習活動の記録と分析

本節では実際の学生の利用状況と、期末試験の結果との関連を検証する。活動記録を利用した、学生の学習活動の解析や、学生の理解度を把握する試みは、多くの教育機関で行われている。広島修道大学において、大学内の複数の科目で、学生が教材にアクセスした数と、成績との相関を検証しており⁽⁴⁾、石川らは LMS の学習記録を元にクラスタリングを行い、学生の学習スタイルの分析を試みている⁽⁵⁾。さらに九州大学では、電子教科書で読んだページ履歴も記録することで、学生の学習パターンや理解度も把握する試みが行われている⁽⁶⁾。

本稿では、講義期間中に Moodle から得られたログと、74 名分の期末試験の点数を元に分析を行い、教材の利用状況や、学習活動と点数との関係を分析する。

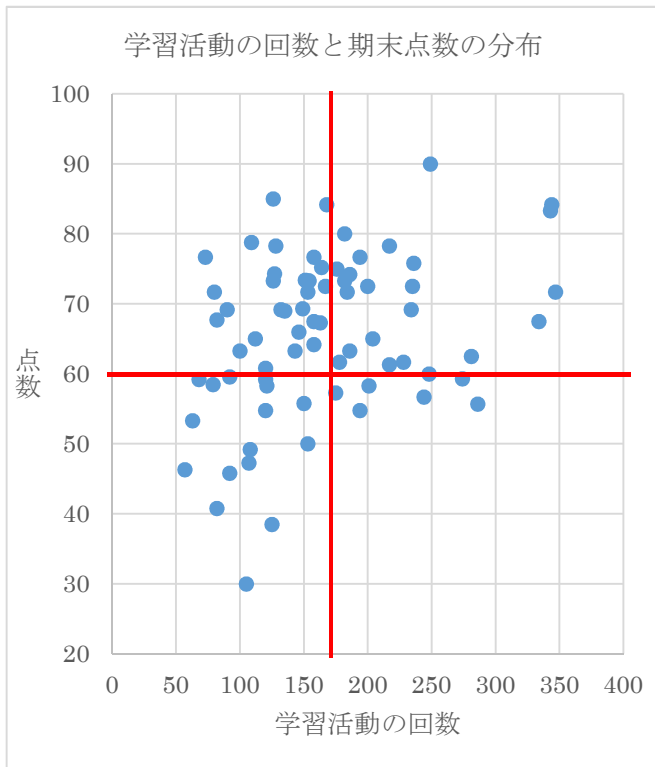


図 4 期末試験結果と学習活動の分布

期末試験の結果は、最高得点が 90、最低点は 30、平均点は 65.76 となった。一方学習活動の最大数が 347、最小の回数は 57、中央値は 154 であった。

図 4 に試験の点数と学習活動の分布図を示す。本稿における学習活動とは、Moodle のログから、それぞれの教材にアクセスした回数を合計したものである。講義資料や課題説明資料等のファイル資料であれば、アクセスした回数の合計。小テストについては、小テストの回答結果を送信した回数。ノートでは、ノートにアクセスした回数と、ノートに書き込み、更新した回数を数えている。

図 4 から、中央値 154 より学習活動が多い学生の大半は、合格圏である 60 点を超えているが、一部の学生は僅かな点数ではあるが、60 点を下回っている。一方、中央値を下回る領域を見ると、試験の点数は 85 点から 30 点まで広く分布している。

次に、学生の学習活動の内容について、分析を進める。この分析を進めるにあたり、学生をグループに分け、その内 2 つのグループに注目する。

- ◇ **グループ A**：学習活動の回数が多く、試験結果が 60 点以上
- ◇ **グループ B**：学習活動の回数は多いが、試験結果が 60 点未満（全 6 名）

なお、比較する人数を合わせるため、グループ A は、該当の学生 30 名から、学習活動の回数が上位である 6 名を選択している。この 2 つのグループの講義期間中の講義時間外の学習活動の回数を図 5 に示す。なお、比較する人数を合わせるため、グループ A は、該当の学生 30 名から、学習活動の回数が上位である 6 名のデータのみで集計している。

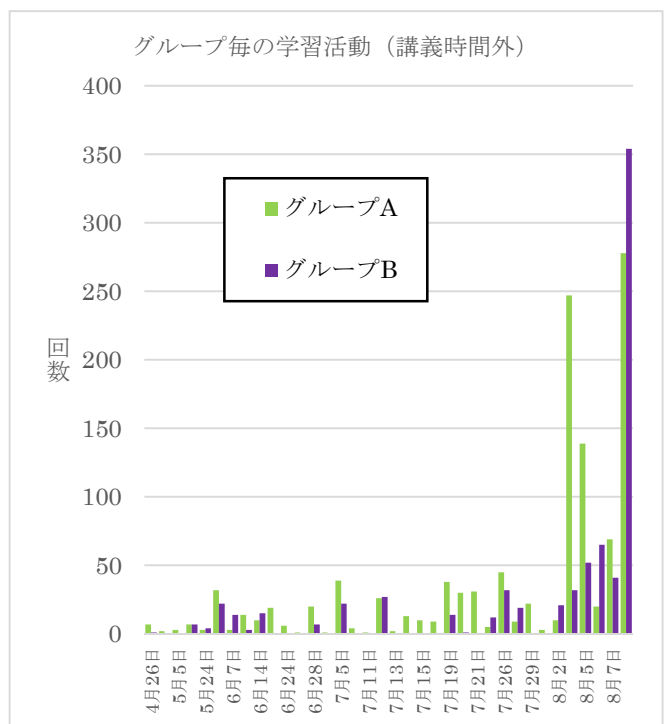


図 5 講義期間中の学習活動

講義を行った期間は 4 月 12 日～7 月 26 日、試験は 8 月 9 日に行っている。図 5 のグラフは、講義期間中にグループ内の学生から、講義のある日付の 14:40～16:10 を除いた時間に、活動があった回数を示している。試験 1 週間前までは、両グループともそれほど学習活動は多くないが、グループ A の方が若干講義日であるかどうかを問わず、1 桁～10 数回程度のアクセスがあり、グループ B と比べると活動の頻度が高い。

学習活動の数と効果の妥当性は今後の課題ではあるが、我々の想定通りの学習活動を学生がしていた事を示している。

試験一週間前になると、大きくグループの違いが見

られる。グループ A は試験 5 日前である 8 月 4 日に、大きく増えており、その後下がりながら、試験前日の 8 月 8 日に再び大きく増えている。一方グループ B は、8 月 4 日はそれほど多くないが、試験前日の 8 月 8 日だけは、グループ A を超える活動数を示している。その結果、60 点にたどり着けなかった事を鑑みると、学習方法や時間に改善が必要である、と我々は考える。

次に利用された各教材の回数について図 6 のグラフに示す。どの教材に対しても、回数はグループ A が上回っているが、グループ B も少ない訳ではなく、どの教材にもアクセスしている。ただし、自主学習用教材のアクセスについては、グループ A の数 34 回と比較すると 7 回と少ない。教材の利用については、自主学習教材を除いて大きな偏りはない。

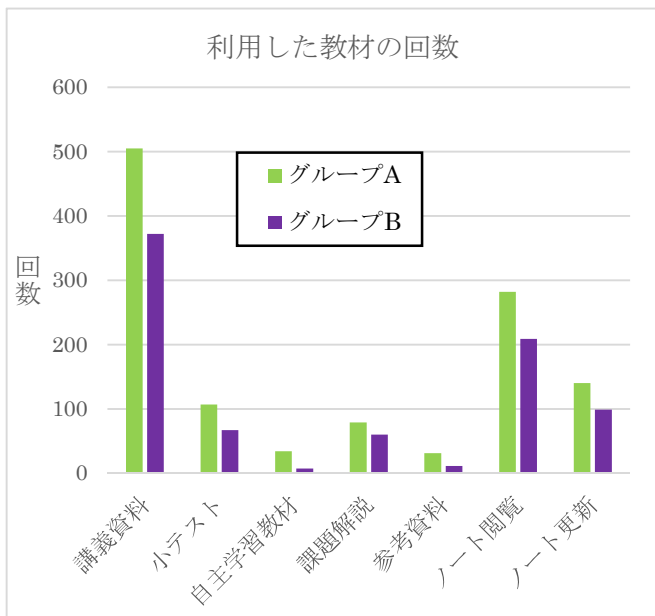


図 6 グループ毎に利用した教材の回数

最後に試験日一週間前の、グループ毎の活動について、教材の種類も含めて、グラフにしたものを、図 7 に示す。グラフでは、グループ A が 8 月 4 日に数を伸ばしており、ここでは講義資料、ノート、課題解説が主に利用されている。グループ B も、少しではあるが課題解説の資料を利用している。これは Web ページの課題期限を試験前日に延長しており、この時期に学生が提出しようと、教材にアクセスしたものと我々は想定する。8 月 5 日からは講義資料、ノートの利用が増えてきている。今回の期末試験では、ノートを見ることを許可している為、試験当日に使うノートを作成していたと想定できる。最終日も同様に、資料、ノー

トが主に使われているが、それに加えて、グループ A では、小テストが 30 回程度実施されている。グループ B では 4 回と少なめで、小テストよりも、講義資料とノートの利用が主となっている。

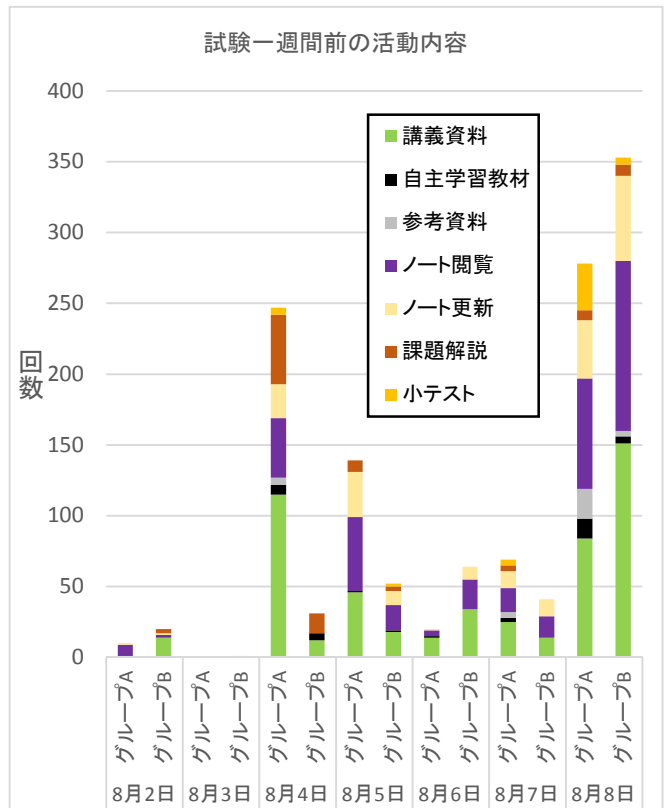


図 7 試験一週間前の学習活動

グループ A の学生の小テストの内容を確認する。小テストは、本講義において復習用として提供しているものである。図 8 に本講義で利用した、一つの小テストの結果を示す。左はテスト一回目の点数分布で、右は何度も行った後の、最高点の分布である。先に述べたとおり、講義の成績とは関係がないが、学生は結果をすぐ得られる事から、間違えているとわかると、正しく解答できるまで繰り返している事がわかる。

講義期間中に、小テストを最後に課したのは 7 月 26 日である。多くの学生はその日から 3 日程度で大半の学生が解答し終わっている。しかし図 4.4 に示すグループ A の学生は、一度最後まで解いた小テストをもう一度受験している。グループ A に入る 30 名の学生の内、17 名が一週間前から小テストを受験しており、その回数は合計で 74 回に至る一方で、グループ B では、同じ期間に小テストを利用した者は、4 名で 6 回である。

今回の期末試験の形式は、小テストと同様の Moodle

の機能を利用したものである。選択問題や穴埋めが主となる為、問題の傾向が近いものになる。従って、改めて小テストに取り組み学習することが、今回の試験結果を伸ばす一因になったと我々は考える。

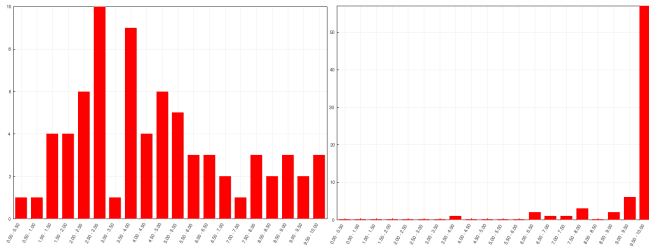


図 8 小テストの点数分布
(左：初回時，右：最高点)

5. 講義の再設計

本節では、前節で行った学習活動と点数の分析を踏まえて、講義の再設計について述べる。受講生は作成した教材に、講義時間外にアクセスして学習を行っている。アクセス数が多い学生は、教材への定期的なアクセス、試験日の少し前からの学習活動、小テストの再受験、これらが学習記録の中に見られ、それが期末試験の結果に結びついたものと、我々は想定する。

従ってこの学習活動のパターンに、他の学生も入れるように、本講義の教材について、小テストを中心に改善していく。

まず一つ目は演習として課す、講義中の小テストとは別に、講義時間外用の小テストを用意する。これによって講義時間外の教材へのアクセスを促す。

次に講義内容のカテゴリ毎に一つの小テストを用意するのではなく、複数の小テストを作成して提供する。グループ B の学生は、小テストにアクセスしなかったり、中途半端に終わらせたりはしていない。一度満点を取った後、それを見直す行動が少なかった事がグループ A との違いとなって表れている。

従ってカテゴリを問わずに小テストを複数用意する事で、一つのカテゴリに関する小テストを一度で終わらせず、自然に複数回の学習を行うように促す。ただし 1 回の小テストの問題数が多いと、学生の負担が大きくなるので、問題数は少なくする必要がある。一方で試験前には、今までの問題をまとめた確認用の小テストを用意して、小テストの利便性を上げる。

さらには小テストを公開するタイミングも、講義で扱った直後ではなく、少しずらして公開する。学生に

時期をずらして学習させる事で、知識の固定化につなげる。

最後に小テストの解答に制限時間を付け、学生の学習時間を正確に把握する。これを設定しない場合、学生が小テストを受験してから解答を送信せずに終了し、受験時間が 24 時間を超えて記録される事がある。制限時間を付ける事で、より正確な学生の学習時間を把握できるようにして、次回以降の分析に繋げたい。

6. まとめ

本稿は、情報リテラシー講義を、LMS を利用したブレンディッド型の講義として設計。これを実践し、学生の学習活動の記録と成績を合わせて分析、次年度以降に利用する講義の改善点を提案した。

今後は、この改善点を加えた教材を開発し、次年度に講義を実践。さらに学生の学習活動履歴を蓄積して、より詳細な分析と教材の改善を目指す。

謝辞本研究の一部は、科学研究費補助金(基盤研究(C) JP16K01116, 及び基盤研究(C) JP16K01069)の助成を受けている

参考文献

- (1) 小松泰信：“導入教育におけるタブレット端末を活用した全学反転授業”，ICT 活用教育方法研究 第 17 巻 第 1 号，pp.43-48，2014.
 - (2) 加藤由香里，江木啓訓：“ブレンディッド学習による情報リテラシー教育”，東京農工大学大学教育ジャーナル 5，pp. 9-16，2009.
 - (3) 山口真之介，大西淑雅，西野和典：“情報リテラシー講義におけるブレンディッド学習の実践”，大学 ICT 推進協議会 2016 年度年次大会論文集，TP04，p.6，2016.
 - (4) 石川 晶子，小川 賀代，ピトヨ ハルトノ：“学習履歴データを活用した学習者の特性抽出手法の検討”，教育システム情報学会誌，Vol. 31，No. 2，pp.185-196，2014.
 - (5) 緒方広明，殷成久，毛利考佑，大井京，島田敬士，大久保文哉，山田政寛，小島健太郎：“教育ビッグデータの利活用に向けた学習ログの蓄積と分析”，教育システム情報学会誌 Vol33，No2，pp.58-66，2016.
- 大澤真也，中西大輔：“e ラーニングは教育を変えるか”，海文堂出版，2015.

C言語プログラミング教育における反転授業の実践

小島篤博

大阪府立大学 大学院 人間社会システム科学研究科

Practice and Evaluation of Flipped Classroom for Teaching C Programming Language

Atsuhiro Kojima

Graduate School of Humanities and Sustainable System Sciences,
Osaka Prefecture University

Introducing a style of flipped classroom into a course of learning programming bring the benefits that students can make more exercise in the class time by learning basic syntax and algorithms in advance. In this paper, a practice of flipped style education on a programming course for the first-year students is reported including short movies for preparation and assurance tests. An analysis and evaluation on the practice are also presented.

キーワード: プログラミング言語教育, 反転授業

1 はじめに

大学における情報系のプログラミング教育においては、コンピュータを用いた基礎的なアルゴリズムと、プログラミング言語の文法を修得することを目的としている。しかしながら、一般にプログラミング技能の修得には、自分でプログラムを作成、コンパイルし、動作を確認するという一連の演習が不可欠であり、通常の授業内では時間が不足するという慢性的な問題を抱えている。多くの授業では、プログラミングの考え方や文法を教師が時間内に講義し、課題については個々の学生が時間外に取り組むといった形態が取られている。

一方、近年アクティブ・ラーニングの一手法として、授業と時間外の自習との役割を逆転した反転授業の導入が試みられている⁽¹⁾⁽²⁾。反転授業の長所としては、事前に学習内容をビデオ等の自習教材で予習することで、授業では演習を中心とした能動的な活動に多くの時間を割り当てることができるという点が挙げられる。この利点は、前述のように演習の比重が大きいプログラミング教育においても効果的であると考えられるが、大学のプログラミング科目における実践の報告例はまだ多くない⁽³⁾。

本論文では、大阪府立大学の情報系課程（現代システ

ム科学域 知識情報システム学類）におけるプログラミング科目として、1年次後期に担当されている「プログラミング入門」において、反転授業用のビデオ教材や予習確認のための小テスト等を開発し実践を行なった事例について報告する。

2 プログラミング科目の概要

まず、授業実践の対象とした科目「プログラミング入門」の授業目標および授業計画について説明する。

2.1 授業目標

授業目標としては、問題解決のための手法として基礎的なアルゴリズムを理解し、C言語の基本的な文法とプログラムの作成方法を習得することである。ただし、科目を配当している課程は情報系ではあるが工学系ではなく、将来的にはプログラム開発技術者と言うより、広くシステム構築の企画・運営に携わる職種を目指す学生が多い。また、研究室配属後に使用するプログラミング言語も、Java、Swift、Python、Rなど研究室によって大きく異なっている。このため、到達目標としてはC言語の基本的な文法はカバーしつつも、言語によって仕様

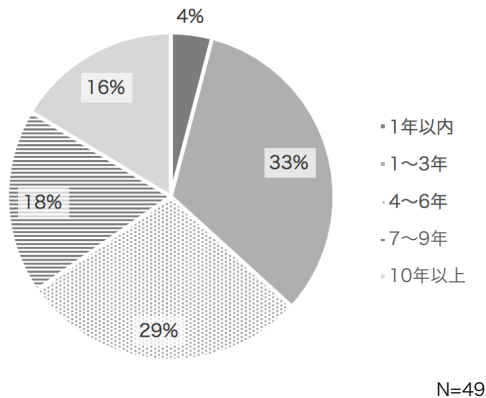


図 1: パソコン使用経験

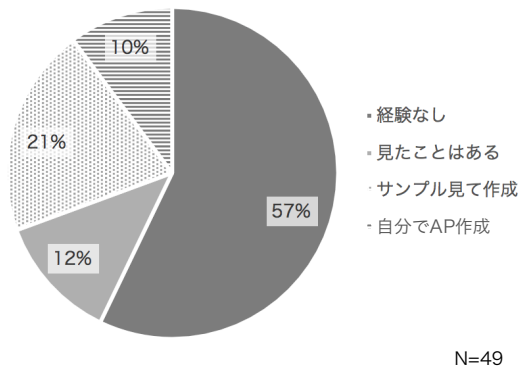


図 2: プログラミング経験

の差異が大きい構造体やポインタは授業内容から外している。

2.2 授業計画

授業計画の参考とするため、授業開始時に受講者のプロフィールを把握するためのアンケートを実施した。図 1 は、これまでの PC 使用経験を尋ねたものであり、最も多いのが 1~3 年、さらにほとんどの学生がそれ以上の経験を持っていることがわかる。本学では 1 年次前期に共通教育として情報リテラシー教育を実施しており、PC 未経験者はいない⁽⁴⁾。また、図 2 はプログラミング経験について尋ねたものであり、約 7 割の学生が自分でプログラムを作ったことはないと回答している。プログラミング経験については年度によって変動はあるものの、大半の学生が未経験であり、授業としては初めてプログラミングを行う初学者であることを想定する必要がある。

表 1: 「プログラミング入門」の授業計画

項目	内容
1	C 言語とは C 言語の概要 プログラムの作成手順
2	テキストの出力 文字列出力, printf
3	変数とデータ型 変数名, 変数宣言, 基本的なデータ型
4	配列 配列の構造, 配列の宣言
5	計算と演算子 演算子と数式, 変数の出力
6	データの入出力 数値・文字列の入出力, scanf, fgets, getchar
7	条件分岐 (1) if 文, 関係・等価演算子
8	中間テスト 分岐処理 (2) switch 文
9	反復処理 (1) 定型的な反復, for 文 制御変数, マクロ
10	反復処理 (2) 汎用的な反復, while 文, break/continue 文
11	反復処理 (3) 反復処理の応用, 素数判定, 組合せ探索
12	関数の定義 関数定義の文法, プロトタイプ
13	さまざまな関数 標準ライブラリ, #include strlen, isalpha, sin, cos
14	ファイル処理 ファイル処理の手順, fopen, fgets, fclose
15	期末テスト ソート バブルソート

これらに基づいて、初めて C 言語を学ぶ学生が一通りの文法を習得し、プログラムが作成できることを目標とした授業計画を表 1 に示す。教科書は林晴比古『明快入門 C スーパービギナー編』⁽⁵⁾を採用した。

各回の授業は基本的に次のような手順で進める。

1. 予習ビデオの視聴

授業日の 1 週間程度前から、その回の内容を予習するためのビデオを公開する。受講者には授業開始前までに視聴することを指示する。

2. 予習確認テスト

授業の最初に、予習ビデオの内容を確認する Web 上の小テストを実施する。出題は 2~4 問程度で、問題プールからランダムに出題する。得点は成績にも反映する。

3. プログラム作成演習

その回の学習内容に対応したプログラムの作成を演習形式で行う。受講者は教師に質問したり、受講者同士で相談したりしながら進める。

4. 課題提出

指定された課題を 1 週間後までに提出させる。課

題は授業中に提示するようにし、少し取り組む時間を与える。一旦提出した課題で間違いなどがあれば指摘し、再提出させる。

なお、第1回は初回であるため、授業の進め方についてガイダンスを行い、予習確認テストは実施しない。中間・期末テストは授業の一部として実施し、テスト終了後は通常の授業を続けるものとした。

3 反転授業教材の開発

前章で説明したプログラミング科目を反転授業で実施するための教材として、予習ビデオと確認テストを開発した。大阪府立大学では、すべての開講科目で利用可能な公式サービスとしてオープンソースのLMSであるMoodleを運用しており、これらの教材もMoodle上で提供している⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾。

3.1 予習ビデオ

今回予習ビデオとして作成したものの一覧を表2に示す。形式はA,B,Cの3種類からなり、Aは教師によるスライド説明を撮影したもの、Bは教師がその回の概略を口頭で説明したもの、CはPowerPointのスライドに音声のみを吹き込んだものである。それぞれ再生時間があり長くなり過ぎないように、6~8分を目安として作成したが、一部10分を超えたものもある。図3に予習ビデオの例を示す。

反転授業では、受講者は毎回授業前にビデオを視聴し理解しておくことが求められるが、一般にスライドに音声のみを吹き込んだもののみでは単調となってしまうがちであり、飽きさせずに視聴を促す工夫が必要である。本研究では、香川大学の林が実践している事例に倣い⁽⁹⁾、予習ビデオの本編であるスライド形式のビデオに先立ち、教師がその回の概略を説明するという態で毎回異なる場所を訪問し収録を行なった。

スライド形式のビデオは、前年度以前の通常授業で使用していたPowerPoint形式の資料に音声を収録し、ビデオ出力したものを動画編集して作成した。PowerPointへの収録は、説明用の原稿をあらかじめ用意し、スライドごとに音声を吹き込むという手順で行なった。当初は原稿を用意しない形で収録を試みたが、何度もリテイク

表 2: 予習ビデオ一覧

	形式	内容
1	02:58 A	ガイダンス, 導入
	13:11 C	C言語の概要, コンパイル
2	08:40 C	文字列の表示, main関数
	06:32 C	基本的な文法
3	01:10 B	授業の概略
	08:03 C	変数, データ型
	06:12 C	代入, 変数の出力
4	01:23 B	授業の概略
	06:06 C	配列, 文字列
	05:51 C	初期化, 定数
5	01:37 B	授業の概略
	07:57 C	算術演算子, 優先順位
	07:21 C	型変換, インクリメント
6	01:14 B	授業の概略
	06:18 C	実数の入出力, scanf
	05:39 C	文字列の入出力
7	01:18 B	授業の概略
	06:46 C	制御構造, 分岐処理, if文
	08:26 C	多分岐, 条件式
8	01:23 B	授業の概略
	08:52 C	複合条件, switch文
9	01:50 B	授業の概略
	07:30 C	反復処理, for文
	04:04 C	総和計算
10	01:22 B	授業の概略
	07:10 C	多重ループ
	07:24 C	while文, break/continue文
11	01:28 B	授業の概略
	09:17 C	字下げ, 素数判定
	03:06 C	組合せ探索
12	01:24 B	授業の概略
	08:18 C	関数定義, ローカル変数
	08:23 C	return文, プロトタイプ
13	03:40 C	授業の概略, グローバル変数
	09:24 C	標準ライブラリ関数
14	10:22 C	授業の概略, ファイル入出力
	04:09 C	コマンドライン引数
15	01:56 B	授業の概略
	08:52 C	アルゴリズム
	03:50 C	乱数, バブルソート

することになり結果として収録時間が長引いてしまうという経験に基づいている。

3.2 確認テスト

毎回の授業で予習ビデオの内容を確認するための小テストを作成した。授業のガイダンスを行なった初回、および中間・期末テストを実施した2回分を除く12回分であり、内容は予習ビデオで説明した中から出題している。問題はMoodleで作成可能な多肢選択、短文記述、穴埋め、組合せ、正誤の中から問題ごとに選択し、それぞれ類似問題を3~5問程度用意してランダムに出題できるようにしている。図4に出題例(第5回)を示す。



for文の構造

KIS

・変数の値と連動しながら、決められた回数の反復処理を行う。変数が反復回数を制御することから、**制御変数 (カウンタ)** と呼ばれる。

最初一度だけ、制御変数 i の値を設定する

毎回の処理の前に、継続条件を判定する
→ 偽なら終了

毎回の処理の後に制御変数を更新する

```
for (i = 1; i <= 10; i++) {
    printf("Hello\n");
}
```

図 3: 予習ビデオの例

また、予習確認テストとは別に、第 8 回と 15 回にそれぞれ中間・期末テストを作成した。これは、前半と後半の内容の知識定着度を判定するために実施するものであり、それぞれの範囲から出題している。問題自体は予習確認テストと同様の形式であるが、重複はしていない。出題数は、予習確認テスト 33 問、中間・期末テスト 13 問、ランダム出題のために用意した問題の総数は 206 問である。

4 授業実践と評価

以上の教材を利用し、授業での実践を行なった。対象科目は、大阪府立大学の現代システム科学域 知識情報システム学類 1 年次後期配当の「プログラミング入門」であり、毎週金曜 5 コマ (16:15~17:45)、期間は 2016 年 9 月 30 日~2017 年 2 月 3 日の計 15 回である。科目の受講者数は 53 名、このうち学習履歴の研究利用に同意した 49 名を対象に、以下の分析を行なっている。

4.1 ビデオの視聴行動

まず、予習ビデオの視聴行動について、Moodle のログから統計を取った。図 5 は、各回のビデオ視聴率 (受講者数に対するユニーク視聴者数の割合) の推移を示す。当初、特に 1~3 回目までは 8 割以上の受講者が視聴した上で授業を受講していたが、4 回目以降はほぼ 6

次の数式をC言語の文として記述せよ。(変数x,yは宣言されているものとする)

$$y = x^2 - 3x + 1$$

解答:

次の数式をC言語の文として記述せよ。(変数x,yは宣言されているものとする)

$$y = \frac{1}{x-3}$$

解答:

次の文を実行した後の、変数 i, j の値を答えよ。

```
int i, j;
i = 3;
j = -i;
```

i の値

j の値

次の数式と同じ意味で、最も簡略な記述を選べ。

`i = i * 2;`

1つ選択してください

`i = *2;`

`i = i + i;`

`i = 2 * i;`

`i**;`

`i *= 2;`

図 4: 確認テストの例

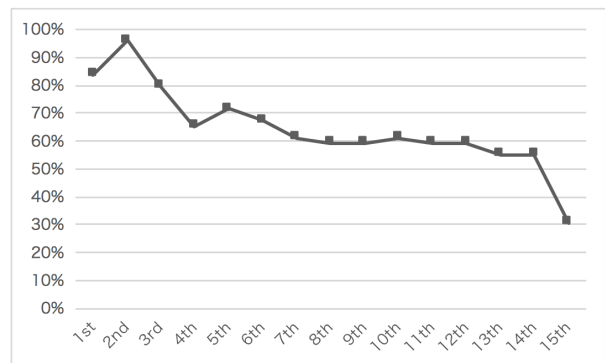


図 5: ビデオ視聴率の推移

割程度で推移している。15 回目が落ち込んでいるのは、期末テストのため通例の予習確認テストを行わず、試験範囲の復習に時間が充てられたこと、また大学の試験期間に重なったことが要因と考えられる。

各回ごとの視聴行動に関しては、授業日までの視聴回数を時間帯ごとに集計したものを図 6 に示す。この結果から、授業当日の授業開始直前、次いで当日の午前中に視聴数が多いことがわかる。また、アクセス元の IP アドレスから、視聴場所を自宅、大学、モバイルの 3 つに分類したものを図 7 に示す。時間帯を、授業当日の 12 時までと、それ以降の授業直前までとに分けているのは、授業直前は大学での視聴が主となることが予想されたため、それ以前の時間帯でどのような視聴方法が取られているか確認したかったからである。直前の駆け込み型の視聴を除けば、66%が自宅、15%がモバイルで視聴しており、時間外での予習ができていることがわかる。

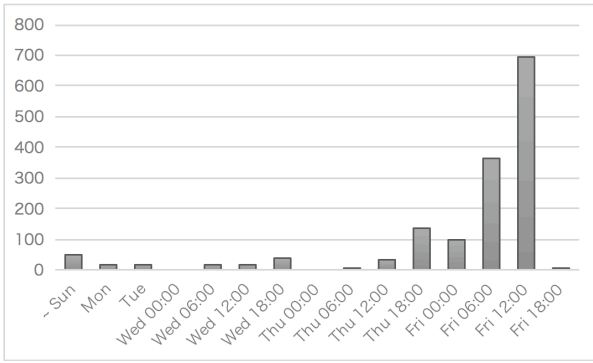


図 6: 予習ビデオの視聴時期

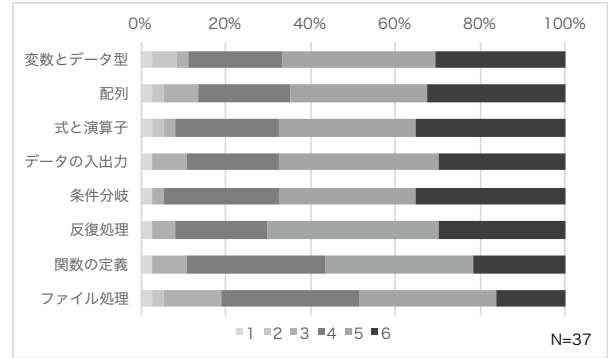


図 8: 項目ごとの達成度

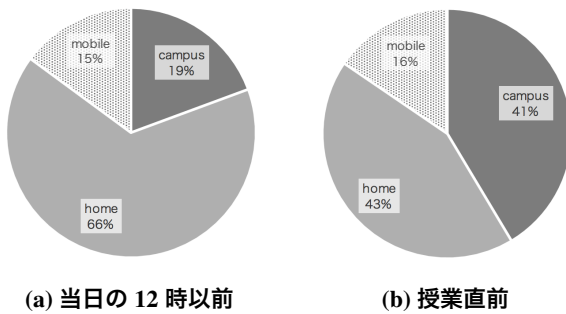
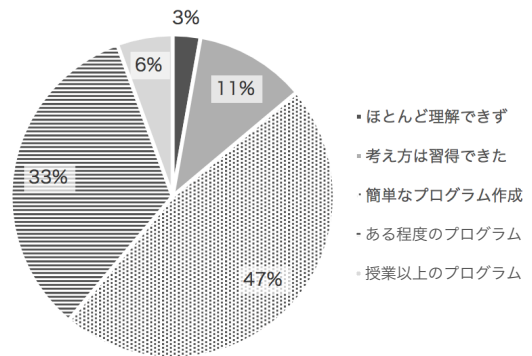


図 7: アクセス経路



N=36

図 9: C 言語の習得レベル

4.2 アンケート調査

毎回の授業後に学習項目ごとの理解度・達成度、また第 15 回の授業後に全般的な達成度や予習ビデオに関するアンケートを実施した。ここでは、第 15 回に実施したアンケートの結果を示す。図 8 は、C 言語の大きな学習項目ごとに達成度を自己評価してもらった結果である。評価は「1. 全く達成できていない」から「6. 完全に達成できた」までの 6 件法で行なった。結果として、すべての項目で 80%以上の受講者が達成できた（「ある程度」から「完全に」と回答しており、特にプログラミングの基本となる条件分岐や反復処理においては 90%以上となっている。

また、授業を終えた時点での C 言語の習得レベルを、「ほとんど理解できず、身につかなかった」から「自分でも C 言語について積極的に勉強し、授業の例題以上のプログラムが作成できるようになった」の 5 段階から選んでもらったものを図 9 に示す。最も多かったのは、「C 言語の基本的な文法は習得し、簡単なプログラムが作成できるようになった」(47.2%)、次いで「授業の内容はほぼ理解でき、ある程度のプログラムが作成できるようになった」(33.3%)であった。

以上の結果から、基礎的なプログラミング科目としてはほぼ目標を達成していると考えている。

次に、今回反転授業の教材として導入した予習ビデオに関して、映像の長さは適当だったか (図 10)、実写による概要説明で、その回の目標が理解できたか (図 11)、スライド資料の部分にも、音声だけでなく教師の実写映像があった方がよいか (図 12) を尋ねた。

ビデオの長さについては、一般には 5~10 分程度が適当とされており、それ以上になると飽きてしまうと考えられる。本研究で作成したビデオは、ほとんどが 6~9 分であり、アンケートの結果でも「ちょうど良い長さ」との回答が 66.7%となっている。実際にビデオを編集した際には、説明の区切りのよいところで分割したため、項目によっては長くなってしまったものもあったが、概ね良好な評価であったと言える。

各回授業の概略説明のために作成した教師による実写映像については、目標が理解できたとの回答が合わせて 63.3%であったが、一方であまり理解できなかったという回答も 26.7%あり、よりわかりやすい説明とするため

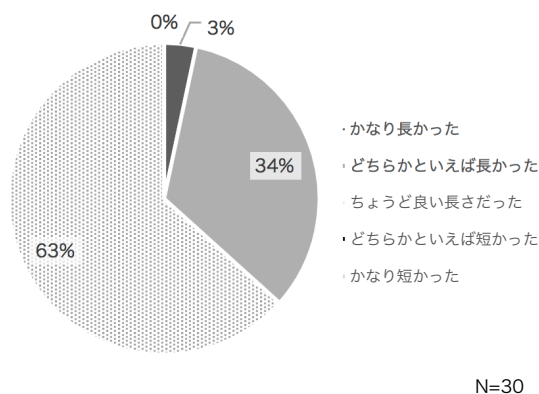


図 10: 予習ビデオの長さは適当だったか

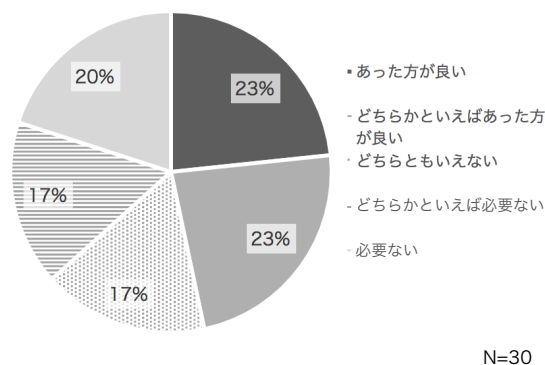


図 12: 教師の実写映像はあった方がよいか

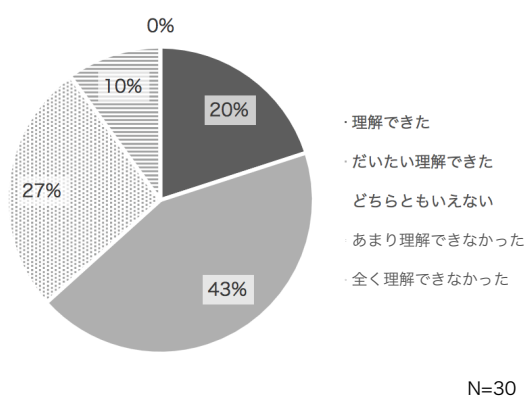


図 11: 各回の概要説明で目標が理解できたか

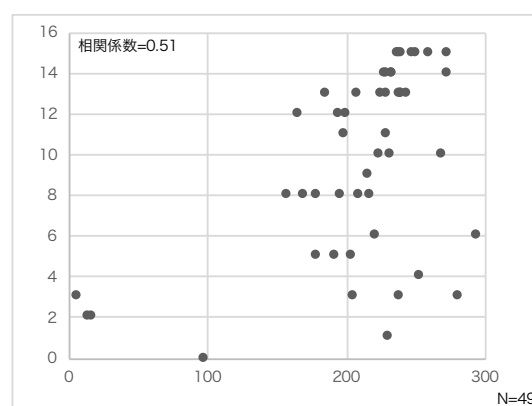


図 13: 視聴回数と成績との相関

に今後も改善したい。

今回の教材ビデオでは、本編は教師の映像はなく音声のみの説明とした。教師の実写映像による教材は、撮影や編集に時間と手間を要するだけでなく、映像の繋ぎ合わせて接続が不自然になるなど、品質の高い教材を作成するのは難しい。一般の大学の講義で継続的にビデオ教材を準備する場合、作成の手軽さと映像の品質はトレードオフの関係にあり、スライド資料に音声を収録する形式のものはコストパフォーマンスに優れていると考えられる。教材を視聴した受講者の意見では、教師の実写映像の有無は図 12 に示す通り大きく回答が分かれる結果となった。

その他、記述回答として「一番初めの先生の概要説明が楽しみなので、説明部分でも先生が直接出てほしい。」「現状だとスライド見るだけで何とかなるような予習ビデオの構成なので、見る価値のあるものにしてほしい。」などの改善提案があった。

4.3 成績との相関

最後に、予習ビデオの視聴行動と成績との相関を分析した。成績としては、プログラム作成課題、予習確認テスト、中間・期末テストをそれぞれ 100 点ずつとし、合計したものを用いた。また、各回のビデオを 1 度でも視聴したかどうかを累積し、すべて視聴した場合は 15 を視聴数とした。図 13 に、成績と視聴回数の相関を示す。相関係数は 0.51 で、やや相関が見られるという結果であったが、成績を高位・中位・低位の 3 階層に分けた上で集計したところ、図 14 に示すように特に高位群において視聴行動に幅が見られた。

そこでプログラミング経験ごとに視聴回数を集計したところ、図 15 に示すようにアプリケーション作成経験を持つ受講者についてはほとんど視聴していないことがわかった。すなわち、ある程度の経験がある受講者は、ビデオを視聴せず資料のみで予習したか、あるいはほぼ予習なしで経験のみで授業に臨んでいたことになる。授業としては、こういった経験のある学生に対しても視聴

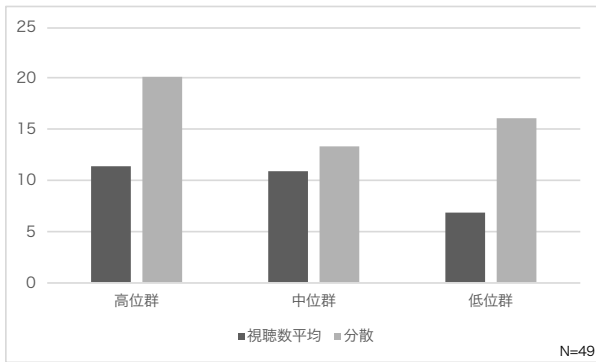


図 14: 成績群ごとの視聴数

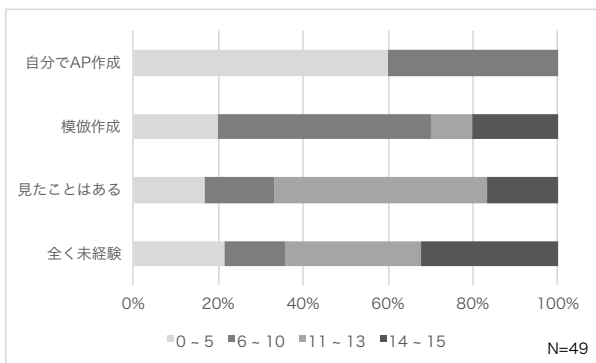


図 15: プログラミング経験と視聴数

の動機付けになるような工夫を今後検討する必要があると考えている。

5 まとめ

大学の情報系課程におけるプログラミング科目において、反転授業のための教材として予習ビデオを開発し、授業による実践と評価を行なった。その結果、基礎的なプログラミング能力を修得するという目標についてはある程度達成したと考えている。一方、反転授業の効果としては、教材と成績との相関分析、従来型の授業との比較などを含め、今後も検討して行く必要がある。

参考文献

- (1) ジョナサン・バーグマン, アーロン・サムズ, (山内祐平 訳): “反転授業”, オデッセイコミュニケーションズ (2014)
- (2) 重田勝介: “反転授業 ICT による教育改革の進展”, 情報管理 Vol.56, No.10, pp.677-684 (2013)
- (3) 喜多一, 岡本雅子: “写経型プログラミング学習と反転授業”, システム制御情報学会研究発表講演会講演論文集 60, 4p (2016)
- (4) 小島篤博, 真嶋由貴恵, 宮本貴朗, 青木茂樹: “e ラーニングを導入した全学情報教育における教育実践と質保証”, 教育システム情報学会研究報告 27(7), pp.213-218 (2013)

- (5) 林晴比古: “明快入門 C スーパービギナー編”, ソフトバンククリエイティブ, 東京 (2013)
- (6) 小島篤博, 青木茂樹, 宮本貴朗: “大学基盤システムと連携した Moodle による授業支援システムの構築”, 日本教育工学会 第 28 回全国大会, pp.229-230 (2012)
- (7) 青木茂樹, 小島篤博, 星野聡孝, 宮本貴朗: “出席管理システムの開発・運用と利用状況解析”, 電子情報通信学会論文誌 (D), J97-D(5), pp.1053-1057 (2014)
- (8) 小島篤博, 青木茂樹, 宮本貴朗: “大阪府立大学における Moodle のバージョンアップ”, 日本 Moodle 協会全国大会 (2015) 発表論文集, pp.44-47 (2015)
- (9) 林敏浩: “e-Knowledge コンソーシアム四国の教育クラウド運用と Learning Analytics への課題”, コンピュータ&エデュケーション, Vol.38, pp.49-54 (2015)

クリティカルシンキング能力測定のための

項目反応理論に基づいた尺度開発

Critical Thinking Ability Scale Development

on Item Response Theory

若山 昇^{*1}

宮澤 芳光^{*2}

梶谷 真司^{*3}

植野 真臣^{*4}

Noboru WAKAYAMA^{*1}

Yoshimitsu MIYAZAWA^{*2}

Shinji KAJITANI^{*3}

Maomi UENO^{*4}

^{*1} 帝京大学/CRET

^{*2} 東京学芸大学

^{*3} 東京大学

^{*4} 電気通信大学

^{*1}Teikyo University/CRET ^{*2}Tokyo Gakugei University

^{*3}The University of Tokyo ^{*4}The University of Electro-Communications

Email: Wakayama.class@pobox.com

近年、資質・能力の育成の重要性が指摘され、その中でもクリティカルシンキング能力は現代社会を生きるうえで必須の能力になってきている。現在、クリティカルシンキング能力を評価するテストは世界的には数多く提案されているが、それに伴い多くの尺度が存在する。被検者のクリティカルシンキング能力や学習効果の測定では、比較的短時間で正確に測る必要があるが、クリティカルシンキングには、複数の領域が関わるので容易ではない。本稿は、項目反応理論に基づきクリティカルシンキングの能力の尺度開発とその評価を試みた。大学生 736 人を分析した結果、クリティカルシンキングの 3 尺度(分析、推論、読解)は、相関、散布図、情報量、固有値から統計的に独立で、信頼性が確認された。さらに分析の尺度を例に、大学研究者、大学生、高校生の結果の差異から尺度の妥当性が示唆された。

キーワード：クリティカルシンキング、項目反応理論、尺度開発、試験、評価

1. はじめに

近年、資質・能力の育成の重要性が指摘されて、その中でもクリティカルシンキング能力は現代社会を生きるうえで必須の能力になってきている。クリティカルシンキングとは、先入観に囚われず、論理的に考え、合理的な決定を導き出す能力と意思である⁽¹⁾。現在、クリティカルシンキングの能力を測定するためのテストは、世界中で数多く提案され、それぞれのテストでは複数の領域が存在し、それらの領域の項目を全て解答することによってクリティカルシンキングの能力を測定している。このため、クリティカルシンキングを測定するために現存する領域が多岐に渡り、クリティカルシンキングの能力が同程度であっても、それぞれのテストによって点数が

異なる。この問題を防ぐには、それらの領域の項目を全て解答する必要が、クリティカルシンキングの項目は、受験者に長い思考時間を要求し、多くの項目を解答させることは困難である。このため、受験者に出題する項目数にはトレードオフの関係が存在する。

本研究の目的は、新たな尺度開発を行うことにより、このトレードオフの問題の解決を試みるものである。このようなトレードオフの問題を解決するには、実現可能な少ない項目数において、十分に測定可能なテストが必要となる。そこで本研究では、具体的に(1)まずクリティカルシンキングの主な尺度間の関係を分かりやすく整理し、(2)これに基づき、能力全体を網羅し、かつ、実現可能な少ない領域数で漏れがなく、信頼性のある尺度を開

発する。

筆者らはこれまでに、クリティカルシンキングの能力を測定するための尺度開発を行なってきた^②。本研究では、これらを基に分析の尺度を実装して、実際に大学研究者、大学生、高校生に受検してもらい、その結果の差異などから尺度の妥当性を示す。

2. 尺度の開発

2.1 クリティカルシンキングの能力測定尺度

クリティカルシンキングにおける尺度については、面接・口頭試問や筆記試験があり、以下のように分類される(表 1)。筆記試験は、面接・口頭試問に比べて評価者の評価特性に左右されないのでも筆記試験を対象とする。

さらに、クリティカルシンキングの能力で測定は、質問紙の自己申告形式では個人間比較には適さない^④、対象から外す。試験形式では、選択式項目は採点の利便性があるが、クリティカルシンキングなど複数の領域にまたがる能力の測定には適してなく、記述式の方が優れている^⑤、指摘されることがあった。しかし、大学入試センター試験においては、理数系でない科目でも選択式問題が出題され、その能力測定に大きな問題は生じてない。最近の研究では同じ時間では選択式の方が信頼性が高いと報告されている^{⑥⑦}。そこで本研究では、クリティカルシンキングの能力は、2. 試験形式、(2)選択式(Multiple Choice)で十分に測定できるという前提下で、その尺度開発を行う。

2.2 既存尺度の分類と整理

既存の尺度とその内容を Liu et al の総説^⑧を参考に分類・整理することを試みた(表 2)。まず、既存の尺度及びその下位尺度の共通点・相違点について比較した。そこで本研究において、いかなる下位尺度を設定すべきかを検討するべく、探索的に下位尺度数とその内容を変化させるところ、下位尺度数が 3 尺度①分析的思考力、②論理・推論能力、③読解・理解能力であり、かつ、それらの尺度が以下の内容とする場合が最も適切であると判断された。分析については、大学教員でかつ教育に関する研究を行っている博士号を有する研究者 4 人で議論し、同意できるまで検討した。

なお、専門的な知識ではなく、クリティカルシンキングの力が重視されているといわれる我が国の法科大学院入学の適性試験の択一式では、論理的判断力、分析的判断力、長文読解力が出題されており、本研究における尺度と概ね合致している。

表 2 においては、強い関連のあるものは「2」、関連のあるものは「1」と表記している。既存の尺度を整理した表 2 の結果から、下位尺度を全て含めた場合には尺度の漏れは見あたらなく、②論理・推論能力が尺度の中心となり重要であることが浮かび上がってきた。

さらに、開発する尺度は、既存の主な尺度、下位尺度の内容との関係は明らかなので、開発する尺度で測定すれば既存の尺度の能力値を推定することができることになり、既存の尺度を複数回受験するという受検者の負担を減らすことが可能になる。

2.3 開発する尺度の下位尺度

①分析的思考力

情報や問題を的確に把握し理解するための分解・解析する能力である。いわゆる公務員試験や法科大学院の適性試験では分析、数的処理といわれる分野がこれに含まれる。具体的には、順列・組合せ、確率、順序・手順、位置・対応、嘘つき・暗号問題などが含まれるが、数学の知識の有無の影響のないよう配慮した。例えば、変数 x 、 y の 2 つを使わないと解けない問題は避けた。

②論理・推論能力

論理展開の妥当性・整合性の有無及びその背景を的確に把握する能力である。いわゆる公務員試験や適性試験では論理、推論といわれる分野がこれに含まれる。具体的には、集合・論理、命題、演繹・帰納、逆・裏・対偶、論理の前提や飛躍・省略、論理構造、因果・相関、第 3 変数などがこれに含まれる。

表1 クリティカルシンキングにける尺度の分類

尺度	I. 面接・口頭試問		
	II. 筆記	1. 質問紙・自己申告形式(リッカート、7件法など)	
		2. 試験形式	(1) 記述式 (Essay)
			(2) 選択式 (Multiple Choice)

参考: 若山他 2014^③

③読解・理解能力

情報を有機的に結合し活用して、内容の本質を的確に理解する能力である。PISAの応用力はこれに含まれる。難解すぎる文章や長い文章は、国語力が左右するので避けた。さらに受検者の慣れ/不慣れや既存の教科の知識量による影響を避けるべく、論理展開・構造が複雑すぎないものとし、概ね500～1000文字程度の文章とした。

クリティカルシンキングでは、知識を覚えていること

より、考えることの方が重要であるので⁹⁾、設問を解答する際には、極力知識量に左右されないように細心の注意を払って項目を設定した。クリティカルシンキングの定義に沿って能力を測るべく、項目の策定は、独自で作問したものに加えて、公務員試験など既存の項目の中から良問と考えられるもので構成した。なお、各尺度の設問例(イメージ)は以下のとおり。

各尺度の設問例

① 分析的思考力の設問例

コインを3枚同時に投げた。今、その3枚は表・表・表ではなく、裏・裏・裏でもないことが分かった。このとき3枚のうち2枚が裏である確率は、次のどれか。なお、コインの表裏の出る確率はそれぞれ50%である。

- (1) $\frac{1}{8}$ (2) $\frac{1}{4}$ (3) $\frac{1}{3}$ (4) $\frac{3}{8}$ (5) $\frac{1}{2}$ (6) $\frac{5}{8}$ (7) $\frac{2}{3}$ (8) $\frac{3}{4}$ (9) $\frac{7}{8}$ (10) これらのいずれでもない。

② 論理・推論能力の設問例

「人は死ぬ」「ソクラテスは人である」この2つの命題を用いたことから100%確実に導かれる結論は「ソクラテスは死ぬ」となります。2つの命題を必ず用いることから結論が100%確実に導かれるとき、「 ? 」の内容で最適なものを選びなさい。

「新幹線に乗ると遅れないで着く」「あの人は、遅れないで着いた」したがって「 ? 」

- (1) あの人は、新幹線に乗った
(2) 遅れるのは新幹線に乗らないからだ
(3) 遅れないためには新幹線に乗る
(4) 新幹線は、時速200kmを超えている
(5) 何も入りえない

③ 読解・理解能力の設問例

次の文章の要旨として最も適切なのはどれか。

通貨を統合すると何が起きるか。通貨を統合した国とは戦争が起こせないという事である。単純な話である。もし経済的に同一の国の中で戦争になれば、経済的には「国内紛争」となり、その「国」の国力を激減させる。経済的に見て敗者も勝者もなく、搾取側も被搾取側も存在しない。戦後処理が国内で負担されるのであるから、その「国」にとって基本的なメリットはない。自分で自分の首を締めることになるからだ。確かに、通貨統合の象徴である中央銀行の設立は、市民の意識を大きく変えることになる。明治維新後の日本銀行設立、アメリカ独立後のFRB設立、ユーロの中央銀行設立以降、国内の紛争は激減している。

そもそも面倒な通貨統合を成し遂げてまで目指そうとする基軸通貨とは、何だろうか。ユーロは通貨統合を成し遂げて世界の基軸通貨になることを目指している。現在、世界の基軸通貨はドルである。では、アメリカのドルが基軸通貨になると、アメリカにとって何が好都合なのであろうか。通貨であるドルが、アメリカ国外でも流通することでドル通貨圏が拡大する。端的に言えば、これによりアメリカの中央銀行(FRB)が世界経済の中央銀行になることに近づくことができる。つまりアメリカが世界経済を左右する事が可能となる。では、世界の経済が一つになり、完璧に融合されたときの状態はどうなるか。世界全体が「拡大アメリカ合衆国」となり、戦争が消え平和が訪れる、と考える有識者もいる。ある意味で真実だろう。しかし、世界の人が本当にそれを望んでいるだろうか。

大切な事は、欧米にできた事は、アジアでも充分にできると言うことである。それどころか現状のままでは、ドルとユーロの2大通貨がアジアを分断統治することになる。アジアが通貨覇権競争において草刈場となりつつある。西にあるトルコはユーロの勢力範囲に、東にあるニッポン、フィリピン、太平洋の島々はドルの勢力範囲になりつつあると見るのは、早合点であろうか。10年後にはインドを含めたアジアは人口、経済ともに世界1位になるだろう。今こそアジアの力の結集を検討するべきではないだろうか。アジアの英知が、いやその英知の有無までもが、今まさに試されようとしているのだから。

- (1) アジアの諸国は、ユーロで見られたような通貨統合を、検討するべきである。
(2) アメリカのドルを基軸通貨とする世界経済は安定しており、アメリカ中心の世界が戦争のない世界平和をもたらす。
(3) 通貨を統合すると、統合した国同士では戦争は起こせない。なぜなら、経済的には「国内紛争」となり、相手から搾取する意味がなくなるからである。
(4) 基軸通貨になると、その国の世界的な影響力が拡大する。なぜなら、その国の中央銀行が世界の中央銀行のような力を持つからである。
(5) ドルとユーロの2大通貨の勢力がアジア地域に及んでいる。西のトルコ、東のニッポンなどをみれば、明らかである。

表2 クリティカルシンキングの主な尺度とその下位尺度

	尺度1	尺度2	尺度3
California Critical Thinking Disposition Inventory (CCTDI)			
(a) 真実の探求	1	1	
(b) 視野の広さ		1	1
(c) 分析力	2	1	1
(d) 系統立てる力	1	1	1
(e) 推論の信頼性	1	2	1
(f) 好奇心、質問力	1	1	
(g) 判断の成熟度	1	1	1
California Critical Thinking Skills Test (CCTST)			
(a) 分析力	2	1	1
(b) 評価力	1	2	1
(c) 推論力	1	2	1
(d) 演繹法		1	
(e) 帰納法		1	
(f) 論理体系化力、理由づけ能力	1	2	1
Collegiate Assessment of Academic Proficiency (CAAP) Critical Thinking,			
(a) 議論の要点分析する力	1	1	1
(b) 議論を評価する力	1	2	1
(c) 発展させる力		1	1
Cornell Critical Thinking Test (CCTT) Level X: 71 items Grades 5-12+			
(a) 帰納法		1	
(b) 演繹法		1	
(c) 信頼性		1	1
(d) 前提条件を識別		1	
Cornell Critical Thinking Test (CCTT) Level Z is intended for students in Grades 11-12+			
(a) 帰納法		1	
(b) 演繹法		1	
(c) 信頼性		1	1
(d) 前提条件を識別		1	1
(e) 意味付け力		1	1
(f) 定義		1	1
(g) 計画予測力	1	1	1
ETS Proficiency Profile (EPP)			
(a) ノンフィクションの散文でレトリック(修辞)と議論を区別する力		1	1
(b) 提示された情報を説明するため最善の前提と仮説を認識する力		1	1
(c) 変数間の関係を推定し、解釈する力	1	1	1
(d) 提示された情報に基づいて有効な結論を引き出す力	1	1	
Halpern Critical Thinking Assessment (HCTA)			
(a) 言葉による推論スキル	1	2	1
(b) 議論と分析スキル	1	2	1
(c) 仮説検証に資する思考スキル	1	1	
(d) 確実性と不確実性の利用	1	1	
(e) 意思決定と問題解決のスキル	1	1	
Watson-Glaser Critical Thinking Appraisal tool (WGCTA)			
(a) 推論	1	2	1
(b) 仮定を認識	1	2	1
(c) 演繹法		1	
(d) 解釈	1	1	1
(e) 議論を評価	1	2	1
Watson-Glaser II: Short form: 30min			
(a) 仮定を認識する力	1	2	
(b) 議論を評価する力		2	1
(c) 結論を導く力	1	2	1

3. 項目反応理論

本研究では、項目の分析に項目反応理論を用いる^{(10)~(13)}。項目反応理論の利点として以下の点が知られている。

- (1) 受検者が異なる項目で構成されたテストを受けた場合においても、同一尺度上に評価可能
- (2) データの中に欠損値を推定可能

項目反応理論では、2パラメータロジスティックモデルが最も一般的によく使われている。

受検者 j の項目 i への正答率 $P(u_{ij} = 1 | \theta_j)$ を以下のように定義する。

$$P(u_{ij} = 1 | \theta_j) = \frac{1}{1 + \exp\{-1.7(\alpha_i(\theta_j - \beta_i))\}} \cdots (1)$$

ただし、

$$u_{ij} = \begin{cases} 1: & \text{受検者 } j \text{ が項目 } i \text{ に正答したとき} \\ 0: & \text{上記以外} \end{cases}$$

能力パラメータ θ_j において識別力パラメータ α_i (discrimination parameter) と難易度パラメータ β_i (difficulty parameter) の二つのパラメータを項目ごとに推定する。

式(1)の α_i は、識別力パラメータいわれ項目の識別力を示す。図1は、項目反応関数 (item response function: IRF) の例であり、x軸の受検者の能力パラメータ θ_j であり、y軸はその能力パラメータの受検者の正答確率を示している。図1aには識別力パラメータ α_i の傾きの小さい方から ($\alpha_i = 0.5, \alpha_i = 1, \alpha_i = 2$) 異なる三つの項目反応関数を示す。図のように識別力パラメータ α_i の値が大きいと、図1のIRFの曲線は立ってくる。

同様に式(1)の β_i は、難易度パラメータであり項目の困難度を示している。図1bの横軸は受検者の能力パラメータであり、縦軸はその能力パラメータ θ_j の受検者の正答確率を示している。図1bは難易度パラメータ β_i が左から ($\beta_i = -1, \beta_i = 0, \beta_i = 1$) の項目反応関数を示す。難易度パラメータ β_i の値が大きいと、図2のIRFは右にシフトする。またIRFの勾配が最大になるのは、 $\beta_i = \theta_j$ となるところであり、傾きが0.5となる。

項目反応理論では、個々の項目が受検者の能力をどの程度の精度で測定できるかを以下のフィッシャー情報量により評価できる⁽¹³⁾。

$$I(\theta_j | \alpha_i, \beta_i)$$

$$= 1.7^2 \sum_{i=1}^n \alpha_i^2 P(u_{ij} = 1 | \theta_j) (1 - P(u_{ij} = 1 | \theta_j)) \quad (2)$$

また、図2は項目情報関数の例であるが、例えば能力パラメータ θ_0 を推定する場合、項目1が項目2,3より項目情報量が大きくなるため、能力パラメータ推定の精度が高くなる。

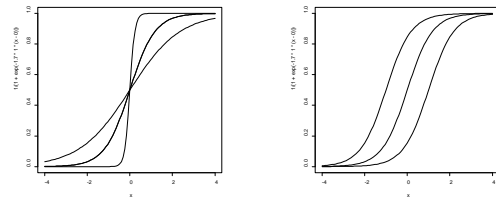


図1a: 能力値による正解率の変化 a 図1b: 能力値による正解率の変化 b

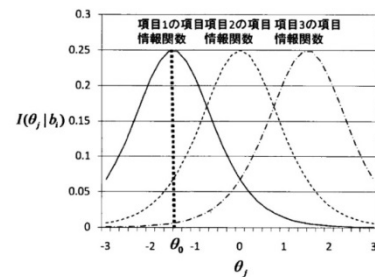


図2 項目情報関数例

4. 項目反応理論に基づいた開発尺度の分析

4.1 分析方法

尺度作成のために策定した項目群を分析するために、2014年7月~2015年12月に、東京及び近郊の大学生736人を対象として、試験を実施した。18歳から概ね22歳であり留学生及び重複・欠損値のある回答は対象から除外している。倫理的配慮として、成績に無関係で教育・研究目的以外には使用せず個人名は特定されないことを説明し、学生の了解を得た。

クリティカルシンキングの項目では考える能力を測定するため、前提にグラフや表を用い、本文において状況を説明したりするので、項目の設問自体が長い、いわゆる「大問」の場合がある。これらを理解し的確に解答するには、受検者は考える時間が十分に必要とされるので、全体の項目数には制限されることが多い。しかし、本研究では尺度の信頼性を高めるべく、設問を短い「小問」として、項目数を確保することとした。

また、等化の推定のための共通項目を⁽¹⁴⁾、各尺度内それぞれ5問として、各尺度では15問の試験を5組～6組作成した。試験時間は1問4～5分として、60～75分に設定し、1組に合計で50人程度が解答した。大学の授業では試験を1組ずつ行い合計632人のデータを得た。別途週末に55人ずつ(3人が重複)2日で107人が集まり①分析と③読解の両方に設問、加えて②推論の共通項目に解答してもらった(表3)。これらで得られたデータを、IRTPRO3、SPSS20を用いて相関、散布図、信頼性係数、情報量を分析し、さらに、因子分析により固有値プロットにより、尺度の一因子性を検討した。

4.2 分析結果と考察

個人の能力における各尺度間の相関(表4)と尺度間の散布図(図3a～3c)は以下のとおり。各尺度毎の困難度・識別力の散布図を以下に示す(図4a～4c)。さらに、各アイテムバンクのテスト情報量(I)と標準誤差(S.E.)は以下のとおり(表5、図5a～5c)。また、各尺度の固有値プロットを図6a～6cに示し、各尺度のテストごとの信頼性係数(アルファ係数)を求め⁽¹⁵⁾表6に示す。

各尺度(①分析的思考力、②論理・推論能力、③読解・理解能力)の相関は、.423～.570となり、想定よりも小さくなった。散布図を見ても各図で2元性以上は確認されず、偏りもそれほど大きくはなかった。困難度・識別力の散布図は、想定通りであり困難度0付近を中心に左右対称で正規分布のような形状が確認された。被検者数が必ずしも十分に大きくはないこともありテスト情報量(I)と標準誤差(S.E.)は限界があるものの概ね想定される範囲におさまった。

尺度1及び尺度3は、主に週末に学生が集合して1日で試験を受けてもらったが、尺度2は主にいわゆる個別の授業でデータを収集するため対象人数も多くなった。尺度2ではグラフには若干の歪みが見られ、誤差は小さく(0.24)となったの

は、このデータの収集方法の差異によるものと考えられる。

また、信頼性係数で、尺度2が最も小さくなったのは、尺度1及び尺度3は、週末に学生が集合してもらったので金銭的なインセンティブがあったが、尺度2は個別の授業でデータを収集するためそれがなく、その差異による可能性が考えられる。尺度3の読解・理解の作問の際には、あえてなるべく広範囲にわたる分野から、さまざまな種類の文章の項目を選んだが、学生は一般に得意分野を有し、比較的領域固有性があると想定されるので、結果的に尺度3の信頼性係数に跛行が見られたと考えられる。なお、固有値プロットでは、どの尺度も第1と第2因子間で、大きく半減しており1因子の可能性が示唆された。これらのことから、尺度の信頼性が確認できた。

さらに、「平均的な大学生の能力値 Θ は、大学の研究者より低く、平均的な高校生より高い」という仮説を立てた。2016年9月から同年12月に尺度1を例にして実装実験を行った。平均的なレベルの高校生25人及び平均的なレベルの大学の学生64人に加えて、分析するには必ずしも十分な人数とはいいきれないが大学研究者10人に受検してもらった。

得られた能力値 Θ について、分散分析したところ、群間の能力値の差が有意で($F(2,94)=35.21, p<.001$)あったことから、多重比較(TukeyのHSD)を行ったところ、高校生と大学生及び高校生と大学研究者とは共に $p<.001$ の有意差が、さらに大学生と大学研究者では $p<.05$ で有意差があった(図7)。このことによって尺度1の妥当性が示唆された。

さらに、(1)項目策定時にクリティカルシンキングの定義に沿って、選定していること、(2)相関、散布図の分析において概ね独立的事象であること、(3)尺度1のみではあるが、大学研究者、大学生、高校生の能力値に差があることから、総合的に鑑みるに妥当性に問題はないと考えられた。

表3 尺度毎の試験問題と受検者の概要

○: おおむね50人以上

被検者	試験 問題数	①分析的思考力					②論理・推論能力						③読解・理解能力						
		1A	1B	1C	1D	1E	1共通	2A	2B	2C	2D	2E	2F	2共通	3A	3B	3C	3D	3E
授業 632人	10	10	10	10	10	5	10	10	10	10	10	10	5	10	10	10	10	10	5
週末 55人			○	○	○	○							○						○
週末 55人		○	○	○	○	○							○	○	○	○	○	○	○

注: 授業と2つの週末において3人のダブリがある

表4 個人能力の尺度間相関

	Θ1	Θ2	Θ3
Θ1			
Θ2		.568**	.570**
Θ3			.423**

** : $p < .01$

表5 アイテムバンクの情報量と標準誤差

	情報量(max)	Θ(I=max)	標準誤差
尺度1	11.65	-0.20	0.29
尺度2	17.44	0.20	0.24
尺度3	10.15	-0.70	0.31

表6 各テストの信頼性係数

	尺度1	尺度2	尺度3
A	0.506	0.485	0.365
B	0.735	0.508	0.618
C	0.750	0.479	0.630
D	0.717	0.353	0.598
E	0.580	0.513	0.388
F	---	0.684	---
平均	0.658	0.504	0.520

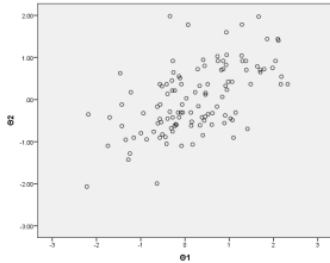


図3a ①分析的思考力と②論理・推論能力

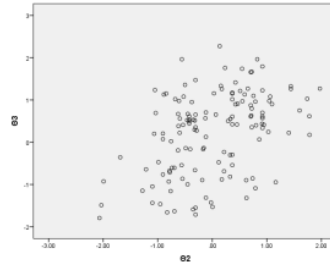


図3b ②論理・推論能力と③読解・理解能力

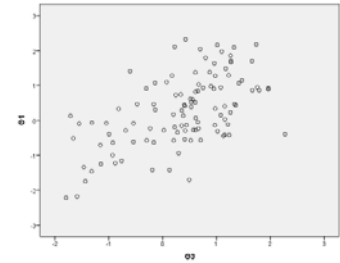


図3c ③読解・理解能力と①分析的思考力

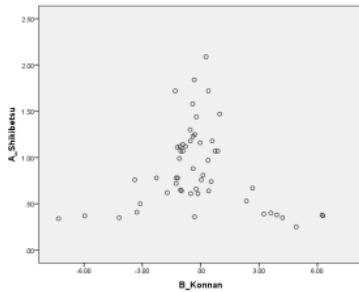


図4a ①分析的思考力の困難度と識別力

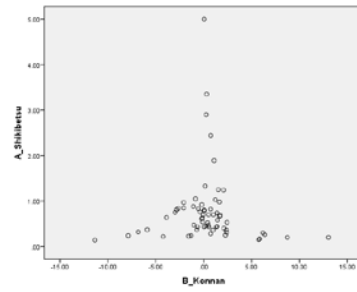


図4b ②論理・推論能力の困難度と識別力

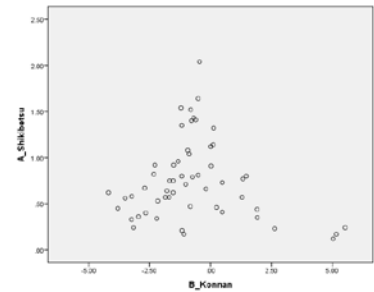


図4c ③読解・理解能力の困難度と識別力

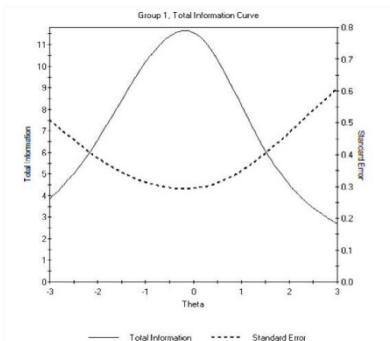


図5a ①分析的思考力の情報量と標準誤差

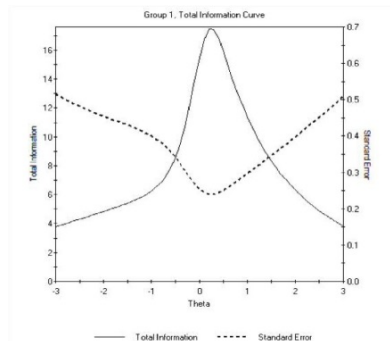


図5b ②論理・推論能力の情報量と標準誤差

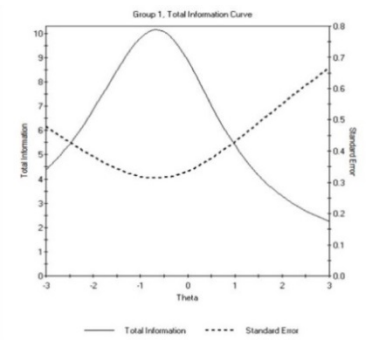


図5c ③読解・理解能力の情報量と標準誤差

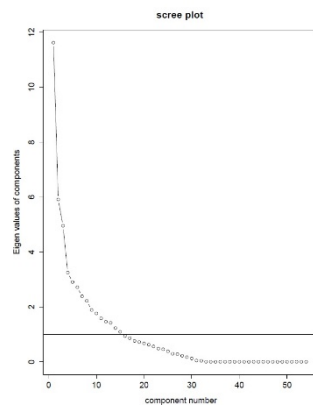


図6a ①分析的思考力の固有値プロット

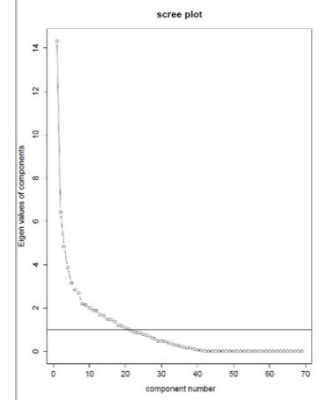


図6b ②論理・推論能力の固有値プロット

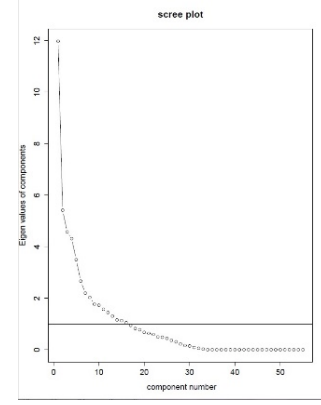


図6c ③読解・理解能力の固有値プロット

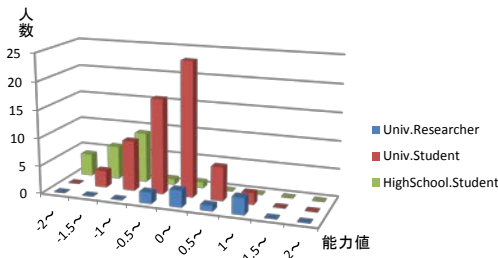


図7 ①分析的思考力の能力値と度数

5. おわりに

開発する尺度を、下位の3尺度、①分析的思考力、②論理・推論能力、③読解・理解能力から構成したところ、下位尺度の相関はそれほど大きくはなく、固有値プロット、困難度・識別力、情報量から、各尺度は1因子であり統計的に独立で、信頼性が確認された。さらに、尺度1を例に平均的な高校生、大学生及び大学研究者の間で能力値に差があることなどから、この尺度の妥当性が確認された。

今後は、クリティカルシンキングの能力評価において3尺度を検討したが、今後は規模をさらに拡大して3次元尺度の最適性を探究することが望まれよう。

謝辞

本研究の一部は、科学研究費助成事業 基盤研究(A)番号 15H01772, 基盤研究(C)番号 15K01088, 及び、CRET(教育テスト研究センター)の助成を受けている。

参考文献

- (1) 若山昇: “大学におけるクリティカルシンキング演習授業の効果”, 大学教育学会, Vol.31, No.1, pp.145-153 (2009)
- (2) 若山昇, 宮澤芳光, 梶谷真司, 植野真臣: “クリティカルシンキングの適応型テストの尺度開発”, 日本テスト学会, 第14回大会発表論文抄録集, pp.58-61, (2016)
- (3) 若山昇, 梶谷真司, 渡辺博芳, 赤堀侃司: “クリティカルシンキング教育の現状と課題 —大学における授業実践者の視点から—”, 帝京大学ラーニングテクノロジー開発室年報, Vol11, pp85-94, (2014)
- (4) 若山昇, 大浦宏邦, 長谷川成海, 植野真臣: “クリティカルシンキングに対する志向性に関する検討”, 情報文化学会誌, 23(2), pp43-50, (2016)

- (5) Ennis, R. H.: “Critical Thinking Assessment: Theory into Practice”, 32(3), pp179-186 (1993)
- (6) Lee, Hee-Sun; Liu, Ou Lydia; Linn, Marcia C.: “Validating measurement of knowledge integration in science using multiple-choice and explanation items”, Applied Measurement in Education, 24(2), pp115-136, (2011)
- (7) Zahner, D. : “Reliability and validity-CLA+”, Council for Aid to Education, http://cae.org/images/uploads/pdf/Reliability_and_Validity_of_CLA_Plus.pdf (参照日 2017.02.06)
- (8) Liu, Ou Lydia; Frankel, Lois; Roohr, Katrina Crotts: “Assessing Critical Thinking in Higher Education: Current State and Directions for Next-Generation Assessment”, Research Report. ETS RR-14-10, Educational Testing Service (2014)
- (9) 若山昇: “誰でもわかるクリティカルシンキング”, 北樹出版 (2013)
- (10) 植野真臣, 永岡慶三: “e テスティング”, 培風館(2009)
- (11) 豊田秀樹: “項目反応理論 [入門編] 第2版”, 朝倉書店 (2012)
- (12) 宮澤芳光, 植野真臣: “適応型テストを用いた携帯型観光・学習ナビゲーションシステム”, 教育システム情報学会誌, 29(2), 110-123, (2012)
- (13) 宮澤芳光, 植野真臣: “テスト情報量と移動距離を最適化するモバイル・テスト・システム”, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J98-D, No.1, pp.30-41, (2015)
- (14) 野口裕之, 大隅敦子: “テストの基礎理論”, 研究社 (2014)
- (15) Robert L. Linn (原著, 編), 池田央ら(訳): “教育測定学”, 学習評価研究所 (1992)

項目反応理論に基づき学習支援を行う

プログラミング演習用穴あきワークシートシステムの評価

榎本命^{*1}, 宮澤芳光^{*1}, 宮寺庸造^{*1}, 森本康彦^{*1}.

^{*1} 東京学芸大学

Evaluation of a Fill-in-the-blank Worksheet System for Programming Practical Training with Assessment Based on IRT

Mikoto ENOMOTO^{*1}, Yoshimitsu MIYAZAWA^{*1}, Youzou MIYADERA^{*1}, Yasuhiko MORIMOTO^{*1}

^{*1} Tokyo Gakugei University

近年のプログラミング教育への注目に伴い、初学者が独学でプログラミングの学習を行う場面が想定される。そこで、本研究では、初学者が独学で効果的にプログラミングの演習を行う環境として、学習者の学力に応じた学習支援を伴ったプログラミング演習用 e ラーニングシステムの構築を目的とする。目的達成のため、空欄の大きさによって段階的な難易度になるように穴あきワークシートを作成し、項目反応理論に基づいて学習者の学力を測定し、その学力に応じた学習支援を行うプログラミング演習用 e ラーニングシステムを開発した。本論では評価実験を行った結果について詳しく述べる。

キーワード: 穴あきワークシート, プログラミング教育, 項目反応理論, 学習支援, e ラーニングシステム

1. はじめに

近年、IT 人材の不足の深刻化⁽¹⁾などを背景に、プログラミング教育が注目されている。プログラミングとは、人が意図した処理をコンピュータに実行させるためにプログラムを作成することである。

プログラミング教育が注目されるに伴い、プログラミングに興味を持ち、自ら学びたいという学習者が増えることが期待されている⁽²⁾。そこで、現在では、独学で時間や場所に制限されることなく学習ができる環境の一つとして、プログラミングの学習を行うことができる e ラーニングシステムが多く見受けられるようになってきた。その中には、文法知識を習得する⁽³⁾、アルゴリズムを考える力を養う⁽⁴⁾といったプログラミングにおける基礎的な学力を習得するための e ラーニングシステムが存在する。一方で、プログラミングを用いて現実的な問題を解決できるようになるには、習得した知識を活用して課題を解決するプログラムを構築するプログラミングの演習を行うことも重要である。しかし、初学者にとってはプログラミングの演習を独

力で進めることは困難であるため、学習支援を含んだプログラミングの演習ができる環境が必要である。近年、学習支援においては、課題に対して学習者への支援が少なく難易度が高すぎると独力で解くことが困難になってしまい、支援が多く難易度が低すぎると学習者の思考が減少すると言われ、この現象は一般的に、Assistance Dilemma として知られている⁽⁵⁾。Assistance Dilemma を考慮した e ラーニングシステムとしては、Ueno ら(2015)は、項目反応理論に基づいた適応的なヒントを用いて足場かけを行う研究を行っている⁽⁶⁾。ここでは、プログラムを学習させるため、課題に誤答した際に学習者に応じたヒントを提示することで、学習者に応じた学習支援を実現している。しかし、ここで行われる学習はプログラムのトレース課題であり、プログラムを構築する演習としては不十分と考える。

そこで、本研究では、プログラミングの初学者を対象に、学習者の学力に応じた学習支援がプログラミング演習に組み込まれた e ラーニングシステムを構築す

ることを目的とする。

本研究における目的を達成するための要件として以下の2点を挙げる。

- 要件① eラーニングシステムで知識を活用しながら知識を深め、プログラミングの演習ができる
- 要件② 演習を行うときに、学習者の学力に応じた学習支援を行い、深く考えることを促すことができる

要件を満たすために、本研究では、プログラム中に空欄を設けて学習を行う穴あきワークシートに着目する。プログラミング学習における穴あきワークシートについて、柏原ら(2001)が「単に記憶だけでは空欄を補うことは出来ず、空欄の前後における処理の流れを追いながら必要な情報を収集することが求められる。こうした問題解決過程において、自ずとプログラムの処理過程を考える機会が増え、プログラム理解が深まる」と述べていることから⁽⁷⁾、プログラムの空欄を埋める過程で習得した知識を活用しながら課題を解くことができ、知識を深めることができると考えられる。よって、要件①を満たす可能性がある。

また、穴あきワークシートは、空欄の周囲にコメント文やコードを残すことで、それらを参考に解答を考えることができると仮定すると、学習支援としても活用できると考えられる。このことから本研究では、一つの課題に対して空欄の位置や大きさを変化させることで難易度を変化させるように穴あきワークシートを作成し、項目反応理論に基づいた適応的足場かけの枠組み⁽⁶⁾に適用することを提案する。これにより、常に学習者の学力に応じた穴あきワークシートを出題することで学習支援を行いながらプログラミング演習を行うことができ、要件②を満たす可能性がある。

本研究では、段階的に空欄を小さくする穴あきワークシートの作成方法を提案し、被験者実験の結果から作成方法に関して分析を行った⁽⁸⁾。また、提案手法による演習用eラーニングシステムの開発を行った⁽⁸⁾。本論では、評価実験の結果について詳述する。

2. 穴あきワークシートの定式化

ここでは、足場かけの枠組みに基づいた穴あきワークシートを定式化する。

2.1 穴あきワークシートに対する反応データ

ここでは、穴あきワークシートへの反応データに項目反応理論を利用するためのデータの形式を定義する。被験者の反応データ X から課題 j の識別力パラメータ a_j 、課題 j において k 番目の空欄で正答するときの困難度パラメータ b_{jk} を推定する。被験者 i が課題 j を解くとき、課題 j の穴あきワークシートのうち、最も難易度が高いときに正答した場合を $k = K$ とし、一段階難易度が低いときに正答した場合を $k = K - 1$ 、さらにもう一段階難易度が低いときに正答した場合を $k = K - 2$ というように、学習者が正答するまで難易度を低くする。これにより、

$$X = \{x_{ijk}\}, (i = 1, \dots, N, j = 1, \dots, n, k = 0, \dots, K)$$
を得ることが出来る。ただし、

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{段階}k\text{のときに学習者}i\text{が課題}j\text{に正答} \\ 0 & \text{それ以外} \end{cases}$$

である。 $k = 0$ は最も難易度が低いときに誤答したことを表し、 $x_{ij0} = 1$ は最も難易度が低いときに誤答した反応データを示す。

2.2 項目反応モデル

前節のようなデータ X が得られたとき、項目反応理論に適用することを考える。学習者の正答確率は、反応データ X から推定した被験者 i の学力を表す能力値 θ_i と項目パラメータ a_j 、 b_{jk} を所与として、項目反応理論における段階反応モデル⁽⁹⁾に基づいた式(1)の通りである。

$$P(u_j = k | \theta_i) \tag{1}$$

$$= \frac{1}{1 + \exp(-1.7a_j(\theta_i - b_{j(k-1)}))} - \frac{1}{1 + \exp(-1.7a_j(\theta_i - b_{jk}))}$$

ここで、

$$\frac{1}{1 + \exp(-1.7a_j(\theta_i - b_{jk}))} = 0$$

$$\frac{1}{1 + \exp(-1.7a_j(\theta_i - b_{j(-1)}))} = 1$$

と設定する。ただし、 $b_{j0} < b_{j1} < \dots < b_{jk} < \dots < b_{jK-1}$ と制約される。

以上の定式化により、項目反応理論に基づいて事前に推定しておいた各段階の穴あきワークシートの識別力 a_j 、困難度 b_{jk} 、過去の解答データから測定した学習

者の能力値 θ_i を用いて、ある学習者 i が課題 j の各段階の穴あきワークシートへ正答する確率を予測でき、50%に最も近い段階の穴あきワークシートを出題することで学習者の学力に応じた学習支援を行う。また、課題を解き終えるたびに項目反応理論に基づいて学習者の能力値 θ_i を再測定することで、穴あきワークシートを用いて常に学力に応じた学習支援を実現できる。

3. 穴あきワークシートの作成方法

3.1 穴あきワークシート作成方法の提案

本研究で想定するプログラミング演習課題は、現実で問題解決に用いるような、ある程度の大きさを持つプログラムであるため、一つの課題として段階的な穴あきワークシートを作成することは困難である。

そこで、本論では、大学教授2名と大学院生1名で議論した結果として、以下の手順で穴あきワークシートを作成することを提案した⁸⁾。

- 手順1. 演習課題のプログラムを作成し、そのプログラムを処理の単位で独立になるように分割し、それぞれを課題とする
- 手順2. 課題のプログラム中に、命令、定数、変数、演算子の順番で要素が提示されるように段階的に空欄を設定し、穴あきワークシートを作成する

穴あきワークシートの作成方法の具体例を図1に示す。なお、本研究では作成した段階を、困難度レベルと呼び、全ての要素が提示されている穴あきワークシートを困難度レベル0とし、提示される要素が減るごとに困難度レベルを1ずつ足していくこととする。

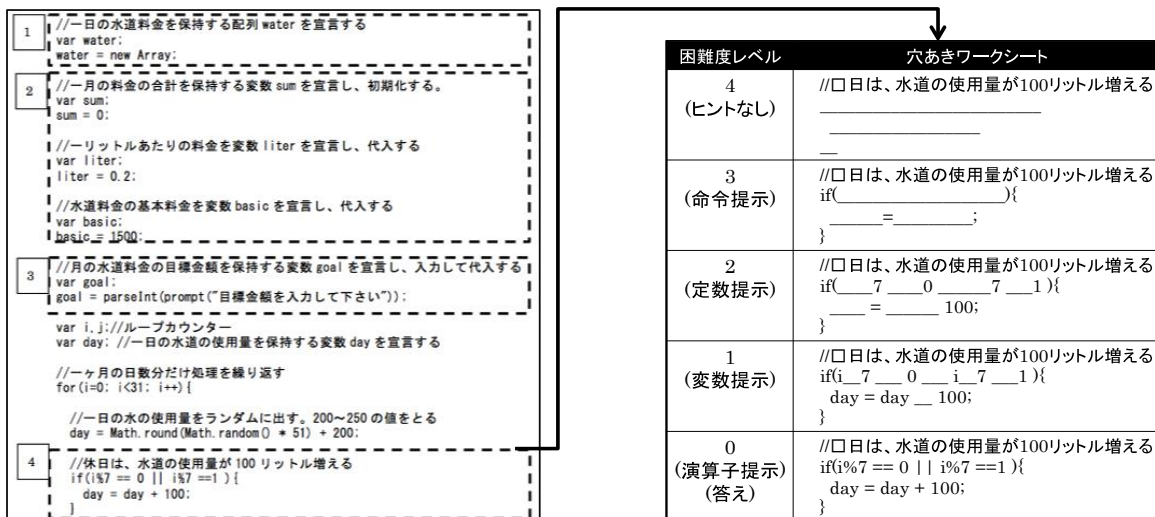


図1 穴あきワークシートの作成方法

3.2 被験者実験による穴あきワークシート作成方法の分析

3.2.1 被験者実験の概要

3.1 で提案した作成方法について分析をするために、被験者に対して実験を行い、反応データを得た。実験は、期間を2016年3月18日から5月25日として、プログラミングの基本構文を学んだ高校生20名と大学生42名、合計62名を対象に行った。今回は、プログラミング言語にJavaScriptを用いた。

演習課題は2題作成し、それらの演習課題に対して、3.1 で提案した作成方法に従って課題を作成した。その結果、合計16問の課題で構成された。

3.2.2 被験者実験の手順

実験は、演習課題の問題文と画面例を含む問題用紙、JavaScriptの基本的な構文が記載されたリファレンスを配布し、紙の穴あきワークシートに解答を記入させる形で行い、課題1から課題16の各課題について、以下の手順で進めた。

- 手順1. 課題 j において困難度レベル K に解答する
- 手順2. 正答した場合は解答を終了する
- 手順3. 誤答した場合は、空欄を段階的に減少させる
- 手順4. 課題 j において困難度レベル1で誤答した場合には、解答を終了する

この実験で2.1の反応データ X を得た。

3.2.3 項目パラメータの推定

項目パラメータ $(a_j, b_{jk})(j = 1, \dots, n, k = 0, \dots, K - 1)$ の推定値 $(\hat{a}_j, \hat{b}_{jk})(j = 1, \dots, n, k = 0, \dots, K - 1)$ を求めるために、ベイズ推定の枠組みで得られた反応データ X を所与として以下の事後分布を最大化する。

$$l(a_j, b_{jk}|X) \quad (2)$$

$$= \int \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^n \sum_{k=0}^K [(x_{ijk} \log p(u_j = k|\theta, a_j, b_{jk})p(\theta)p(a_j)p(b_{jk})] d\theta$$

ここで、 $p(\theta) \sim N(0, 1^2)$, $p(a_j) \sim \log N(0.1, 1^2)$, $p(b_{jk}) \sim N(\mu_{jk}, 1^2)$ とし、 $K = 4$ のとき $\mu_{j0} = -2$, $\mu_{j1} = -1$, $\mu_{j2} = 1$, $\mu_{j3} = 2$, $K = 3$ のとき $\mu_{j0} = -1$, $\mu_{j1} = 0$, $\mu_{j2} = 1$, $K = 2$ のとき $\mu_{j0} = -1$, $\mu_{j1} = 1$ とする。積分は Gauss-Quadrature 積分により数値的に行う。結果として、パラメータ (a_j, b_{jk}) については、

$$\frac{\partial l(a_j, b_{jk}|X)}{\partial a_j} = 0$$

$$\frac{\partial l(a_j, b_{jk}|X)}{\partial b_{jk}} = 0$$

をニュートン・ラフソン法で解き、全てのパラメータ推定値の更新差が 0.001 以下になるまで繰り返す。ただし、パラメータ推定値が 50 回の繰り返し計算を経てもパラメータ推定値が収束しない穴あきワークシートを逐次、削除しながら全てのパラメータ値が収束するまで繰り返し計算を行う。

推定結果を表 1 と表 2 に示す。表 1 は、作成した課題のうち、3 カテゴリ以上で解答を得られた課題での項目パラメータである。表 2 は、2 カテゴリで解答を得られた課題での項目パラメータである。なお、表 1 中の NA は、解答が得られなかった穴あきワークシートである。

表 1 3 カテゴリ以上の項目パラメータ

課題	識別力	各困難度レベルでの困難度					
		0	1	2	3	4	
演習課題 1	1	1.15	-1.94	-0.79	0.36		
	2	1.03	-2.77	-2.22	-1.06	-0.46	
	3	0.97	-2.83	-1.28	0.27		
	4	1.30	-0.59	-0.22	0.79	1.69	1.95
	5	1.37	-1.30	-0.80	0.36	1.77	2.47
	6	1.96	-1.04	-0.53	0.27	0.55	
	7	1.54	-0.90	-0.75	0.01	1.40	2.19
	8	1.71	NA	-0.97	-0.82	-0.67	
	9	1.44	-1.80	-1.45	-0.41	0.28	
演習課題 2	1	1.24	-2.14	-0.99	0.17		
	2	1.62	-1.94	-1.11	-0.28		
	3	1.37	NA	-1.80	-1.38	-0.95	
	4	1.64	-1.82	-1.50	-0.71	0.54	1.30
	5	1.34	-1.44	-1.14	-0.37	1.06	2.02
	7	2.34	NA	-0.56	-0.41	-0.25	

表 2 2 カテゴリの項目パラメータ

課題	識別力	困難度
演習課題 2	6	1.40
		0.47

3.2.4 穴あきワークシート作成方法の分析

3.1 で提案した作成方法による穴あきワークシートの特徴の分析を行った。

まず、困難度が高い値を示していた課題については、問題文を元に自身でアルゴリズムを考えてプログラムを書いていく必要があるもの、命令・変数・定数・演算子と多くの要素が含まれているもの、for 文・if 文・配列を組み合わせるものが挙げられた。

次に、困難度が低い値を示していた課題については、変数の宣言や配列の宣言などの構文の一部を変更するものや、単純な四則演算を行うものが挙げられた。

さらに、ある課題において困難度レベル k から困難度レベル $k-1$ に変わった際に、困難度の値が小さく変化する段階と大きく変化する段階について分析した。

困難度が小さく変化するのは、命令が提示されたときに多いという傾向がみられた。一方で、大きく変化するのは、数値が提示されたときに多いという傾向がみられた。これらは、初学者であっても問題文からどの命令を用いればよいかは把握できているものの、何をどう制御すればよいか分からないことが多く、数値を提示することによって何を考えていけばよいか考えることを促すことができるためだと考えられる。

4. 学習支援機能を持つプログラミング演習用穴あきワークシートシステムの開発

4.1 開発の概要

学習者の学力に応じて穴あきワークシートを活用した学習支援を行う機能を有する、プログラミング演習用 e ラーニングシステムを開発した。本システムは、Web アプリケーション上にて動作し、インタフェース部は HTML, CSS, JavaScript を、エンジン部は Java を、データベース部には MySQL を用いた。

4.2 システムの概要

プログラミングの演習画面の例を図 2 に示す。画面左列がプログラムコード全体であり、現在取り組んでいる課題は赤く囲って表示される。課題は上から順に解いていく。画面上部の「問題文の PDF をダウンロード」ボタンを押すことで、この演習課題の問題文が記載されている PDF ファイルを閲覧できる。画面右列には、現在取り組んでいる課題の、現在取り組んで

いる穴あきワークシートが提示されており、その下には解答欄を設けている。

4.3 能力に応じた学習支援機能

演習の際には、まず、課題 j における困難度レベル最大の穴あきワークシートに解答し、誤答した際には足場かけの枠組みにより学習者 i の現在の能力値 θ_i と課題 j における各困難度レベル k の穴あきワークシートの項目パラメータ a_j, b_{jk} を(1)式に代入することで予測され、正答確率が50%に近い困難度レベルの穴あきワークシートが提示される。正答確率が50%に近い穴あきワークシートが提示された上で誤答した場合は、困難度レベル $k-1$ の穴あきワークシートを提示することを繰り返す。なお、困難度レベル1で正答できなかった場合には解答と解説を提示して次の課題に進む。困難度レベルが1以上で正答した場合、または、困難度レベル1で誤答した場合には、(2)式を用いてそれまでの解答データから能力値 θ_i を再推定する。まだ課題が残っている場合には、次の課題に進む。以上の流れを課題の数だけ繰り返し、演習を進めていく。

5. システムを用いた評価実験

本章では、提案手法によるeラーニングシステム上でのプログラミング演習が、要件を満たし、学習者のプログラミングの能力を向上するか否かの検証を行った。

5.1 実験の概要

5.1.1 実験参加者

期間を2016年11月23日から2016年12月6日とし、プログラミングの基礎を学んだ初学者である東京学芸大学教育学部情報教育選修・専攻の学部生・大学院生41名(1年生31名, 2年生1名, 3年生3名, 4年生3名, 修士1年2名, 修士2年1名)を対象として、提案手法によるeラーニングシステムを用いて演習を行う群(A群)と、通常のeラーニングシステムを



図2 eラーニング上での演習画面例

用いて演習を行う群(B群)に分け、評価実験を行った。

5.1.2 群分けの方法

被験者の群分けにあたって、群間のプログラミングの能力を均質にするため、東京学芸大学情報教育選修・専攻における1学年の授業科目「プログラミングI」の成績の値を被験者に事前に申告させ、平均と分散がほぼ同等になるように群分けを行った。その上で、学習を行う前に事前テストを行い、均質性を検証した。

5.1.3 評価の手順

2つの群に分けた実験参加者に対して、以下の手順に沿って実験を行った。

- 手順I 各群のプログラミングの能力を測定するための事前テスト(20分)
- 手順II 各群での演習用eラーニングシステムを用いた学習(50分)
- 手順III 各群のプログラミングの能力を測定するための事後テスト(20分)
- 手順IV 学習方法に関する質問紙調査(10分)

5.1.4 用いたeラーニングシステム

A群では、5章で開発した演習用eラーニングシステムを用いた。B群では、独力でプログラムを構築する一般的なeラーニングシステムとして、穴あきワークシートを用いて演習を行うが、困難度レベル最大の穴あきワークシートに誤答した際には、再度困難度レ

ベル最大の穴あきワークシートに解答するシステムを用いた。また B 群のシステムは、解答がわからない場合には解答を見て次の課題に進むことができる機能をもたせた。

5.1.5 評価方法

評価は、異なる e ラーニングシステムにおける被験者のプログラミングの能力の向上を検証するために、事前・事後で客観テストを実施した。事前・事後テストは初学者のプログラミングの能力を測定するものとして、習得した知識を用いてプログラムを完成させるものとした。テストの題材については、「情報の科学」の教科書からそれぞれ一つ選定した。実験者があらかじめそれぞれの題材を満たすプログラムを作成し、被験者に処理ごとのコードを記述させる問題とした。その結果、事前テストは 10 問、事後テストは 12 問で構成され、各問 1 点で採点を行い、その得点について分析を行った。

また、演習の際に知識を活用しながら深めることができたか、また学習者の学力に応じて支援を行うことができ、深く考えることができたかについて検証するために、自由記述を含む質問紙調査の結果を用いた。質問紙の質問項目は、プログラミングの知識を活用しながら深めることができたかに関する観点として、「プログラミングの知識の活用・深化 (5 問)」、「プログラミングにおける自信・意欲 (5 問)」を挙げ、学習者の学力に応じて支援を行うことができ、深く考えることができたかに関する観点として、「穴あきワークシートを用いた学習 (2 問)」、「穴あきワークシートを用いた学習支援 (A 群:6 問, B 群:4 問)」、「空欄の作成方法 (A 群:2 問)」を観点に挙げ、A 群は計 20 問、B 群は計 16 問を作成し、それぞれ 5 件法 (5 が高い) で実施した。また、両群にそれぞれ用いた e ラーニングシステムに関する良い点・改善すべき点について、自由に記述させた。

5.2 結果と考察

5.2.1 事前・事後テストの結果の考察

表 3 は、事前テスト・事後テストの得点について t 検定 (対応なし) を行った結果を表したものである。結果より、事前テストにおいては A 群と B 群の得点の間には有意差が認められなかった。したがって、A 群

と B 群のいずれかの平均点が高いまたは低いことはなかったため、両群の均質性が担保されたと判断した。一方、事後テストにおいては、A 群と B 群の平均点において有意差が認められ、B 群よりも A 群の平均点の方が有意に高いことがわかった。したがって、穴あきワークシートを用いて学習者の学力に応じた学習支援を行う e ラーニングシステムを用いることで、プログラミングの能力をより向上できる可能性が示唆された。

表 3 事前・事後テストの結果

事前・事後テスト (N=41)	A 群 (N = 20)		B 群 (N = 21)		t 値
	M	SD	M	SD	
事前テスト (10 点)	4.40	1.88	4.29	1.93	0.19
事後テスト (12 点)	8.60	2.11	6.57	3.26	2.37*

* $p < .05$; ** $p < .01$

5.2.2 質問紙調査の結果の考察

表 4 は、e ラーニングシステムを用いたプログラミング演習に関わる質問紙調査の結果について t 検定を行った結果を表したものである。両群に回答を求めた項目については対応のない t 検定を用い、A 群のみに回答を求めた項目については中央値(3.00)を母平均とする t 検定を用いた。

「プログラミングの知識の深化・活用」に関する項目について、全項目で有意差が認められ、B 群よりも A 群の平均値が有意に高いことがわかった。したがって、穴あきワークシートを用いて学力に応じた学習支援を行う e ラーニングシステムによる学習は、よりプログラミングに関する知識を活用し、深めることが示唆された。

「プログラミングにおける自信・意欲」に関する項目について、全項目で有意差が認められ、B 群よりも A 群の平均値が有意に高いことがわかった。したがって、穴あきワークシートを用いて学力に応じた学習支援を行う e ラーニングシステムによる学習は、初学者にとってプログラミングに対する自信をもたせ、学習する意欲を高めることが示唆された。

「穴あきワークシートを用いた学習」に関する項目について、両項目において、有意差は認められなかった。平均値に着目すると、両項目において、両群とも高い値を示している。このことから、両群ともに穴あきワークシートを用いることによって、周囲の情報を収集しながら、解答を考えられることが示唆された。

「穴あきワークシートを用いた学習支援」に関する

表 4 質問紙調査の結果

観点	質問項目	A群		B群		t値
		(N = 20)		(N = 21)		
		M	SD	M	SD	
活用・知識の 深化	1. 自分が今まで持っていた知識を活用して課題を解くことができた.	3.90	0.45	3.43	0.93	2.09*
	2. 課題を解く過程を通して、新しい知識が身についたと感じた.	4.25	0.79	3.62	0.92	2.35*
	3. 課題を解く過程を通して、文法について深く理解できたと感じた.	4.10	0.79	3.33	1.02	2.69*
	4. 課題を解く過程を通して、アルゴリズムを考える力が向上したと感じた.	3.90	0.79	3.05	1.20	2.70*
	5. 課題を解く過程を通して、プログラムを記述する力が向上したと感じた.	4.20	0.70	3.33	1.02	3.20**
プログラミン グへの 自信・意欲	6. 今回のプログラミングの学習を通して、自分の力でプログラムを作成できる自信がついた.	3.70	0.92	2.95	1.12	2.33*
	7. 今回のプログラミングの学習を通して、自分の力でプログラムの課題を解けるようになったと感じた.	3.85	0.75	3.05	1.16	2.62*
	8. 今回のプログラミングの学習を通して、どのようにプログラミングを学べばよいかを知ることができた.	4.00	0.86	2.48	1.08	5.02**
	9. 今回のプログラミングの学習を通して、プログラミングを学習する意欲が上がった.	4.40	0.75	3.00	1.34	4.14**
	10. 今回行った学習方法であれば、一人でもプログラミングの学習を続けられると思う.	4.30	0.80	2.95	1.53	3.53**
穴あきワー クシートを 用いた学 習	11. 穴あきワークシートを用いることによって、周囲に残ったコメント文やコードの中から情報を探し、解答を考えることができた.	4.35	0.67	4.05	0.74	1.38
	12. 穴あきワークシートを用いることによって、周囲に残ったコメント文やコードの中から情報を探し、プログラムのアルゴリズムを把握することができた.	4.15	0.75	3.71	0.72	1.91
穴あきワー クシートを 用いた学 習 支援	13. ある課題で初めて提示される穴あきワークシートの難易度は、深く考えれば分かりそうな難易度だった.	3.25	0.79	3.33	1.20	-0.26
	14. ある課題で初めて提示される穴あきワークシートに誤答した際に提示される穴あきワークシートの難易度は、深く考えれば分かりそうな難易度だった.	4.40	0.50	-	-	12.46**
	15. 徐々に空欄が埋まっていく穴あきワークシートは、解答を考える上で役立った.	4.65	0.59	-	-	12.57**
	16. 誤答した際に、穴あきワークシートを用いて、どこを間違えたのかを考えた.	4.30	0.73	3.86	0.57	1.96*
	17. 誤答した際に、穴あきワークシートを用いて、再度解答を考え直した.	4.25	0.64	3.52	0.93	2.93**
	18. 誤答した際に、穴あきワークシートを用いて、プログラムのアルゴリズムを考え直した.	4.00	0.73	2.95	1.16	3.48**
空欄の作 成方法	19. 穴あきワークシートの空欄が埋まった際に、回答を考え直す際にヒントとなる箇所が埋まったと感じた.	3.25	0.72	-	-	1.56
	20. 穴あきワークシートの空欄が埋まった際に、プログラムのアルゴリズムを把握するためのヒントとなる箇所が埋まったと感じた.	3.20	0.70	-	-	1.29

* $p < .05$; ** $p < .01$

項目について、まず、質問項目 13.については、有意差が認められなかった。平均値に着目すると、A 群が 3.25、B 群が 3.33 と比較的高くない値となっている。このことから、困難度レベル最大の穴あきワークシートは、深く考えるには難易度がやや高いことが示唆された。一方で、A 群のみに解答を求めた質問項目 14.,15.については、有意差が認められ、平均値に着目すると、どちらも母平均である 3.00 を上回っていた。このことから、学力に応じた学習支援となる穴あきワークシートの難易度は、深く考えることに適していたことが示唆された。また、誤答した際に徐々に空欄が埋まっていく穴あきワークシートは、解答を考えることを支援していたことが示唆された。さらに、質問項目 16.,17.,18.については、有意差が認められ、B 群よりも A 群の平均値が有意に高いことがわかった。このことから、誤答した際に、穴あきワークシートを用いて

学習支援を行うことで、再度課題について考え直すことを促すことが示唆された。

A 群に対して回答を求めた、「空欄の作成方法」に関する項目について、両項目において、有意差が認められなかった。平均値に着目すると、それぞれ 3.25, 3.20 と母平均である 3.00 と同程度であった。このことから、穴あきワークシートの作成方法については、より良い学習支援となるように改善をする余地がある。

さらに、それぞれの群に求めた、用いた e ポートフォリオシステムの良い点・改善すべき点の自由記述においては、A 群における良い点として、「一度解けなかったときに、なぜ自分の考えが間違っていたのかを空欄以外を見ながらよく考えることが出来た。」など、演習を行うにあたり、穴あきワークシートによる学習支援があることで、より深く考えることができたという主旨の記述が目立った。一方 A 群における改善すべき

点においては、「間違えたときにわからないところに対する答えを考えることができず、ヒントにならないときがある。」など、空欄の作成方法については改善することが必要な可能性が伺えた。また、B群における良い点としては、「自分の力でよく考えるようになったと思う。」などのA群と同じ趣旨の記述は見受けられたが、A群と比べその記述の数は少なく、また具体性に欠ける記述であった。一方、B群における改善すべき点の記述では、「わからなければ安易に正答を見るようになってしまう感じがしたので、自分で考えなくなる、答えを覚えようとしてしまう。」など、穴あきワークシートを用いたとしても支援がなければ考えることを阻害してしまう可能性が伺えた。

以上の議論をまとめると、穴あきワークシートを用いて学力に応じた学習支援を行うeラーニングシステムによる学習は、eラーニングシステム上で知識を活用しながら深め、プログラムを記述する演習を行うことができる可能性、また学習者の学力に応じた学習支援を行い、深く考えることを促すことができる可能性が示唆され、要件①、要件②を満たすことができたと考えられる。

6. おわりに

本研究では、プログラミング初学者を対象として、学習者の学力に応じた学習支援を伴ったプログラミング演習を行うことができるeラーニングシステムを構築することを目的に、段階的な穴あきワークシートを作成し、項目反応理論に基づいた適応的足場かけの枠組みに適用することで、常に学習者の学力に応じた学習支援を行いながら演習を行う仕組みを提案した。また、穴あきワークシートの作成方法を提案し、その特徴を分析した。さらに、提案手法に基づいたプログラミング演習用eラーニングシステムを構築し、そのシステムを用いて被験者に対して評価実験を行ったところ、要件①②を満たし、よりプログラミングの能力を向上する可能性があることが示唆された。

今後は、質問項目や自由記述から得られた知見である、穴あきワークシートの段階の作成方法に関して、より良いものを検討していく予定である。また、プログラミングの能力のうち、特にどのような力を育成す

ることができるかなど、より詳細な検証を行っていきたいと考えている。

謝辞

本研究は科研費(15H01772)の助成を受けたものである。本研究に御協力いただいた、光明学園相模原高等学校の笹原健司様、埼玉県立川越南高等学校の春日井優様、および関係者の皆様に感謝申し上げます。

参考文献

- (1) 経済産業省: "IT人材の最新動向と将来設計に関する調査結果～報告書概要版～", http://www.meti.go.jp/policy/it_policy/jinzai/27FY/ITjinzai_report_summary.pdf (参照 2017.02.05)
- (2) 文部科学省: "小学校段階におけるプログラミング教育の在り方について(議論の取りまとめ)", http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shotou/122/attach/1372525.htm (参照 2017.02.05)
- (3) 山本芳人, 廣瀬啓雄: "プログラミング言語を習得するためのJavaScriptを使用したWBT教材の開発と実践", 日本教育工学会論文誌, Vol.31, No.Suppl., pp.13-16(2007)
- (4) 新開純子, 炭谷真也: "プロセスを重視したプログラミング教育支援システムの開発", 日本教育工学会論文誌, Vol.31, No.Suppl., pp.45-48(2007)
- (5) Koedinger, K. R. and Aleven, V.: "Exploring the Assistance Dilemma in Experiments with Cognitive Tutors", Educational Psychology Review, Vol.19, No.3, pp.239-264 (2007)
- (6) Ueno, M. and Miyazawa, Y.: "Probability based Scaffolding System with Fading." International Conference on Artificial Intelligence in Education, Springer International Publishing, pp.492-50 (2015)
- (7) 柏原昭博, 久米井邦貴, 梅野浩司, 豊田順一: "プログラム空欄補充問題の作成とその評価", 人工知能学会論文誌, Vol.16, No.4, pp.384-391 (2001)
- (8) 榎本命, 宮澤芳光, 宮寺庸造, 森本康彦: "穴あきワークシートを用いた足場かけに基づく演習用eラーニングシステムの開発とプログラミング教育への適用", 日本教育工学会研究報告集 JSET16-5, pp.95-102 (2016)
- (9) Samejima, F.: "Estimation of latent ability using a response pattern of graded scores." Psychometrika Monography, No.17, pp.1-100 (1969)

プログラミング学習尺度（試行版）の作成

富永敦子^{*1}, 内山芳紀^{*1}

^{*1} 公立はこだて未来大学

Development of a Scale for Programming Learning

Atsuko Tominaga^{*1}, Yoshiki Uchiyama^{*1}

^{*1} Future University Hakodate

本研究では、大学生がプログラミングを学習する際にどのような能力が必要とされているかを測定するための質問紙を作成した。まず自由記述アンケートの回答データを KJ 法により分析し、その結果をもとに 46 項目の質問紙を作成・実施した。探索的因子分析および確認的因子分析の結果、2 つの下位尺度（知識・スキル下位尺度、学習行動下位尺度）からなるプログラミング学習尺度（試行版）を作成した。知識・スキル下位尺度は「構想・設計」「文法知識」「エラーメッセージ理解」の 3 因子、学習行動下位尺度は「積極性」「友人リソース」「Web リソース」の 3 因子からなる。本尺度の信頼性および妥当性を α 係数、確認的因子分析の適合度指標により検討し、概ね妥当であると判断した。

キーワード: プログラミング学習, 質問紙, 尺度開発

1. はじめに

プログラミング教育では、プログラム言語の文法やプログラム書法を理解する能力、アルゴリズムを組み立てる能力の育成が重視されている⁽¹⁾⁽²⁾。しかしながら、初学者の中には、初めて目にするプログラム言語の文法や書法に戸惑い、十分に理解できず、アルゴリズムを組み立てるところまで行き着かない者も多い。大学生初学者の実習における誤りを分析したところ、スペルミスなどの単純な誤り（51.6%）、文法の誤り（23.3%）、プログラムの組み立て方の誤り（25.2%）の 3 種類が抽出された。単純なスペルミスでも、出力されたエラーメッセージの意味がわからないため、解決できないというケースもあった⁽³⁾。また、授業の課題として作成されたプログラムは正常に動作しているため、内容を理解しているように見えるが、実はサンプルコードの寄せ集めで、作成者自身は十分に理解していない場合も指摘されている⁽⁴⁾。プログラミング学習者が何をどのくらい理解しているのかを把握しにくくなっている。

一方、学習全般においては、知識やスキルの習得だけでなく、それらを習得するための方法や、学習する

際の態度も重視されている。例えば、Gagne は、学習成果として言語情報、知的技能、認知的方略、態度、運動の 5 つを挙げている（学習成果の 5 分類）⁽⁵⁾。プログラミング学習では、プログラム言語の文法は言語情報、そのプログラム言語を用いてプログラムを組む能力は知的技能に相当する。そして、プログラム言語の文法やプログラムの組み立て方を効果的・効率的に学ぶための方法が認知的方略であり、あきらめずに学習し続ける姿勢は態度に相当する。いずれもプログラミングができるようになるには必要な要因といえる。

そこで、本研究では、プログラミングを学習する際にどのような能力が必要とされているのかについて、知識やスキルだけでなく、学習方略や態度も含めて測定する質問紙を作成・実施し、その信頼性・妥当性を確認することを目的とする。

2. 予備調査

2.1 方法

質問項目を作成するために、まずプログラミング学習に関する予備調査を 2016 年 7 月に行った。対象者は公立 X 大学情報系学部 1 年生 80 人であった。この

大学では、1年生前期からプログラミングの必修科目があり、回答者はすべてプログラミングを学習中である。

質問項目は「1.プログラムを作成したとき、あなたはどのようなところでつまりましたか。または、どのようなところが苦手ですか」「2.プログラムがうまく作成できないとき、または正しく動作しないとき、あなたはどうしますか」「3.プログラムを作成するために必要なこと(知識、スキルなど)は何だと思いますか」「4.プログラムの作成について、あなたはどのように学習しますか」の4項目であった。回答方法はすべて自由記述で文字数の制限はせず、大学のLMSを用いて行った。

2.2 結果

有効回答は70人(有効回答率87.5%, 全員1年生)であった。1つの質問に対して複数のトピックが含まれている場合はトピックごとに切片化した。その結果、432トピックが抽出された。これらのトピックをKJ法により分類した結果、7グループ「プログラミングの知識」「プログラム作成時の工夫」「エラーの理解・対処」「プログラミング以外の知識」「高次能力」「学習

方法」「意識」に整理された(表1参照)。

3. 本調査

3.1 方法

質問項目を作成するにあたり、KJ法の結果である7グループを、さらに2つの下位尺度「知識・スキル」と「学習行動」に分類した。

1つ目の「知識・スキル」には、「プログラミングの知識」「プログラム作成時の工夫」「エラーの理解・対処」「プログラミング以外の知識」「高次能力」が分類された。これらのグループのトピックを参考に、プログラムを組む際に必要となる知識やスキルに関する質問項目26項目を作成した。

2つ目の「学習行動」には、「学習方法」「意識」が分類された。これらのグループには、プログラミングを学習する際の方法や、プログラミング学習にどのような意識で取り組むかを具体的に記したトピックが多く含まれていた。学習者にとってプログラミングに関する知識やスキルは当然重要であるが、なかなか理解できない内容、あるいは達成できない課題に取り組むには、効果的な学習方法や学習に対する意識も重要である。そこで、これらのグループのトピックをもとに、

表1 KJ法による自由記述の分析結果

下位尺度	グループ	トピック
知識・スキル	プログラミングの知識	関数の仕組み・使い方がわからない(23), for文・while文の仕組み・使い方がわからない(19), 言語の知識を覚えることが重要(8), 基本的な文法知識が必要(8), アルゴリズムについての知識(8), 配列の仕組み・使い方がわからない(7), 変数や関数を使う場面がわからない(7)
	プログラム作成時の工夫	プログラムを作成する作業順序がわからない(9), プログラムが実行される順序を理解することが重要(7), 他の関数や方法を試してみる(7), 作ろうとしているプログラムに必要な機能を整理する(6), プログラムの構造を紙に書き出す(6), 綺麗なインデントで書く(3), プログラミングに行き詰ったとき一度時間を置く(3)
	エラーの理解・対処	プログラムを少しずつ変更し, エラーの原因を探る(16), エラーの内容を理解する(14), エラーが出る前までプログラムを戻す(14)
	プログラミング以外の知識	数学の公式を理解できること(11), リファレンスやエラー文を読むための英語の知識(6)
	高次能力	発想力・想像力が必要(19), 設計・デザインをする能力が必要(7)
学習行動	学習方法	友人や先輩に助言を求める(71), 参考書などを参考にする(66), さまざまなプログラムの開発を経験することが重要(24), サンプルコードなどを参考にする(22), 演習問題・例題を解く(4), 講義スライドを読み返す(7)
	意識	忍耐力が必要(16), 自分が作りたいプログラムを作る(12), 興味を持つことが大事(7)

()はトピック数, トピック数の多い順に表記

プログラミング学習の方法や意識に関する質問項目
20項目を作成した。

回答は、「知識・スキル」「学習行動」とともに「非常
にあてはまらない、かなりあてはまらない、少しあて

表2 知識・スキル下位尺度 探索的因子分析結果

質問項目	因子1	因子2	因子3
1 仕様書を読んでプログラムを作成するとき、ソースコードの完成形を想像できる	.919	-.072	-.070
38 類似のソースコードがなくても、一からソースコードを記述できる	.844	-.045	-.057
34 何かプログラムを作りたいと思ったとき、作りたいプログラムのアイデアを思いつく	.831	-.064	.001
27 ソースコードを読むことで、大まかな動作を想像できる	.793	-.080	.023
8 プログラムが思ったとおりに動作しないとき、別のやり方を思いつく	.757	.116	-.190
15 順を追って論理的にソースコードを記述できる	.704	.082	.018
47 他者のソースコードやサンプルコードを説明できる	.666	-.042	-.039
22 プログラムが正しく動作しないとき、すぐに修正箇所を探し出せる	.477	.084	.103
4 ソースコードを見直すと、間違いに気づくことができる	.469	.071	.111
54 機能が似ている命令文の違いを説明できる	.461	.214	.070
44 仕様書に書かれている文章を理解できる	.461	.023	.177
35 関数を使うべき場所で正しく使える	.404	.249	-.001
39 ライブラリ関数の仕組みを説明できる	.386	.110	.175
45 ライブラリ関数を使うべき場所で正しく使える	.343	.195	.225
7 プログラミングで使われる数学の公式や理論を説明できる	-.235	.860	-.092
28 関数の仕組みを説明できる	.182	.628	-.062
21 数学の公式や理論をプログラムで表現できる	.045	.622	.133
9 命令文の仕組みを説明できる	.187	.550	-.054
16 配列の仕組みを説明できる	.194	.545	-.073
2 「文末に『:』を記述する」「文字列は『"』、文字は『'』で囲む」などの、プログラミング言語の記述ルールを説明できる	.180	.487	.116
53 エラーメッセージの英語の内容を理解できる	-.064	-.011	.864
18 エラーメッセージが表示されたとき、そのエラーメッセージの内容を理解できる	.038	-.091	.851
因子寄与	9.54	1.60	1.20
因子寄与率 (%)	43.38	7.29	5.46
累積因子寄与率 (%)	43.38	50.67	56.14

表3 学習行動下位尺度 探索的因子分析結果

質問項目	因子1	因子2	因子3
32 難しいプログラミングにも挑戦する	.837	.096	-.145
20 プログラミングを積極的に勉強している	.752	.009	.025
52 プログラミングを学習するとき、自分の作りたいプログラムを作る	.685	-.081	.090
24 プログラムをうまく作成できないときは、別の方法を試す	.558	-.094	.116
31 プログラミングを学習するとき、友人や先輩と協力する	.052	1.010	-.040
25 プログラムが正しく動かないときは、友人や先輩に相談する	-.077	.691	.112
37 プログラミングを学習するとき、Web上にある情報やリファレンスを利用する	.014	.014	.833
42 プログラムが正しく動かないとき、Web上にある情報やリファレンスを利用する	.004	.063	.686
因子寄与	2.95	1.70	1.24
因子寄与率 (%)	36.86	21.20	15.45
累積因子寄与率 (%)	36.86	58.06	73.51

はまらない、どちらでもない、少しあてはまる、かなりあてはまる、非常にあてはまる」の 7 件法とし、1～7 点に得点化することとした。

フェイスシートでは、性別、年齢、学年だけでなく、プログラミングが得意かどうか、質問項目と同じ 7 件法で尋ねた。この得点をプログラミング得意度とする。本調査は、2016 年 12 月、公立 X 大学情報系学部の大学生 200 人を対象に実施した。

3.2 結果

3.2.1 因子の抽出（探索的因子分析）

有効回答者は 132 人（男性 107 人、女性 25 人；1 年生 118 人、2 年生 12 人、3 年生 2 人；平均年齢 18.81；有効回答率 66.00%）であった。

「知識・スキル」下位尺度と「学習行動」下位尺度のそれぞれについて、探索的因子分析（重みなし最小二乗法、プロマックス回転）を行い、因子を抽出した。使用ソフトは SPSS23.0（IBM）であった。

その結果、「知識・スキル」下位尺度（26 項目）では、スクリープロットの急落から 3 因子が抽出された。3 因子を仮定し、負荷量が.25 未満の項目および多重負荷の項目を除外しながら因子分析を繰り返した結果、3 因子 22 項目が得られた（表 2 参照）。「学習行動」下位尺度（20 項目）もスクリープロットの急落から 3 因子が抽出された。同様の方法で因子分析を行った結果、3 因子 8 項目が抽出された（表 3 参照）。

3.2.2 因子構造の適合性（確認的因子分析）

探索的因子分析で抽出した因子の因子構造の適合

表 4 知識・スキル下位尺度 確認的因子分析結果

因子	質問項目	標準化係数	R ²
構想・設計	1 仕様書を読んでプログラムを作成するとき、ソースコードの完成形を想像できる	0.82	0.67
	34 何かプログラムを作りたいと思ったとき、作りたいプログラムのアイデアを思いつく	0.80	0.64
	38 類似のソースコードがなくても、一からソースコードを記述できる	0.79	0.63
	27 ソースコードを読むことで、大まかな動作を想像できる	0.76	0.57
	8 プログラムが思ったとおりに動作しないとき、別のやり方を思いつく	0.75	0.57
	15 順を追って論理的にソースコードを記述できる	0.75	0.56
	47 他者のソースコードやサンプルコードを説明できる	0.64	0.40
文法知識	28 関数の仕組みを説明できる	0.76	0.57
	2 「文末に『:』を記述する」「文字列は『"』、文字は『'』で囲む」などの、プログラミング言語の記述ルールを説明できる	0.71	0.50
	16 配列の仕組みを説明できる	0.70	0.49
	9 命令文の仕組みを説明できる	0.68	0.46
	21 数学の公式や理論をプログラムで表現できる	0.66	0.43
エラーメッセージ理解	18 エラーメッセージが表示されたとき、そのエラーメッセージの内容を理解できる	0.88	0.78
	53 エラーメッセージの英語の内容を理解できる	0.82	0.68

構想・設計 $\alpha=0.904$, 文法知識 $\alpha=0.826$, エラーメッセージ理解 $\alpha=0.841$
 カイ 2 乗= 92.44, 自由度= 74, GFI=0.907, AGFI=0.868, CFI=0.980, RMSEA=0.044

表 5 学習行動下位尺度 確認的因子分析結果

因子	質問項目	標準化係数	R ²
積極性	20 プログラミングを積極的に勉強している	0.77	0.59
	52 プログラミングを学習するとき、自分の作りたいプログラムを作る	0.75	0.56
	32 難しいプログラミングにも挑戦する	0.72	0.52
	24 プログラムをうまく作成できないときは、別の方法を試す	0.64	0.41
友人リソース	25 プログラムが正しく動かないときは、友人や先輩に相談する	0.88	0.77
	31 プログラミングを学習するとき、友人や先輩と協力する	0.80	0.64
Web リソース	37 プログラミングを学習するとき、Web 上にある情報やリファレンスを利用する	0.86	0.74
	42 プログラムが正しく動かないとき、Web 上にある情報やリファレンスを利用する	0.67	0.45

積極性 $\alpha=0.808$, 友人リソース $\alpha=0.823$, Web リソース $\alpha=0.730$
 カイ 2 乗= 31.15, 自由度= 20, GFI=0.946, AGFI=0.903, CFI=0.966, RMSEA=0.065

性を検証するために、「知識・スキル」下位尺度と「学習行動」下位尺度のそれぞれについて確認的因子分析を行った。計算はAmos23.0 (IBM) による。

①「知識・スキル」下位尺度

探索的因子分析の結果、「知識・スキル」下位尺度は、第1因子が14項目、第2因子が6項目、第3因子が2項目であった。項目数に差があったため、第1因子のみ負荷量が特に高い7項目を分析対象とした。3因子15項目を分析した結果、GFI=0.907、AGFI=0.868、CFI=0.980、RMSEA=0.044であった。 α 係数は第1因子0.901、第2因子0.826、第3因子0.841であった(表4参照)。

第1因子(7項目)は「仕様書を読んでプログラムを作成するとき、ソースコードの完成形を想像できる」「何かプログラムを作りたいと思ったとき、作りたいプログラムのアイデアを思いつく」「類似のソースコードがなくても、一からソースコードを記述できる」などから構成された。これらの質問項目は、プログラム全体を考え、設計するスキルを示していることから「構想・設計」と命名した。第2因子(5項目)は「関数の仕組みを説明できる」「配列の仕組みを説明できる」など、プログラミング言語に関する質問項目から構成されたことから「文法知識」と命名した。第3因子は「エラーメッセージが表示されたとき、そのエラーメッセージの内容を理解できる」「エラーメッセージの英語の内容を理解できる」の2項目により構成されたことから「エラーメッセージ理解」と命名した。

②「学習行動」下位尺度

「学習行動」下位尺度は、各因子の項目数に大きな

差がなかったため、3因子8項目を分析した。その結果、GFI=0.946、AGFI=0.903、CFI=0.966、RMSEA=0.065であった。 α 係数は第1因子0.808、第2因子0.823、第3因子0.730であった(表5参照)。

第1因子は「プログラミングを積極的に勉強している」「プログラミングを学習するとき、自分の作りたいプログラムを作る」など4項目から構成された。プログラミング学習に積極的に取り組んでいることを示す文言であるため、「積極性」と命名した。第2因子は「プログラムが正しく動かないときは、友人や先輩に相談する」「プログラミングを学習するとき、友人や先輩と協力する」の2項目から構成された。よって「友人リソース」と命名した。第3因子は「プログラミングを学習するとき、Web上にある情報やリファレンスを利用する」「プログラムが正しく動かないとき、Web上にある情報やリファレンスを利用する」の2項目により構成されたことから「Webリソース」と命名した。

3.2.3 因子間およびプログラミング得意度との相関

「知識・スキル」下位尺度、「学習行動」下位尺度の各因子、およびプログラミング得意度との相関係数は表6のとおりである。相関係数0.7以上の強い正の相関を示したのは、「構想・設計」と「文法知識」($r(132)=.717, p<.01$)、「構想・設計」と「積極性」($r(132)=.830, p<.01$)、「構想・設計」と「プログラミング得意度」($r(132)=.788, p<.01$)、「積極性」と「プログラミング得意度」($r(132)=.707, p<.01$)であった。0.4以上0.7未満の中程度の正の相関を示したのは、「文法知識」と「積極性」($r(132)=.656, p<.01$)、「文法知識」と「プログラミング得意度」($r(132)=.684,$

表6 因子間およびプログラミング得意度との相関

	知識・スキル下位尺度			学習行動下位尺度			プログラミング得意度
	構想・設計	文法知識	エラーメッセージ理解	積極性	友人リソース	Webリソース	
知識・スキル 下位尺度	構想・設計	.717**	.370**	.830**	-.169	.281**	.788**
	文法知識		.331**	.656**	-.099	.270**	.684**
	エラーメッセージ理解			.340**	.042	.132	.275**
学習行動 下位尺度	積極性				-.145	.330**	.707**
	友人リソース					.001	-.185*
	Webリソース						.280**
	プログラミング得意度						

* $p<.05$, ** $p<.01$

$p<.01$)であった。

「友人リソース」以外の因子は、プログラミング得意度と正の相関を示したが、「友人リソース」はプログラミング得意度と弱いながらも負の相関($r(132)=-.185, p<.05$)を示した。

3.2.4 得意度による下位尺度得点の違い

プログラミング得意度の平均は 3.31、標準偏差は 1.55 であった。プログラミング得意度によって、因子の下位尺度得点に差があるかを確認するために、プログラミング得意度の 1~3 点を低群 ($n=73$)、4 点を中群 ($n=23$)、5~7 点を高群 ($n=36$) とし、因子ごと

に 1 要因参加者間分散分析を行った。下位尺度得点は、各因子の下位項目の平均点とした(表 7, 図 1~6 参照)。

その結果、1%水準で有意だったのは「構想・設計」($F(2,129)=49.18, p<.01$)、「文法知識」($F(2,129)=31.35, p<.01$)、「エラーメッセージ理解」($F(2,129)=5.49, p<.01$)、「積極性」($F(2,129)=32.89, p<.01$)であった。「Web リソース」は 5%水準で有意差があり ($F(2,129)=4.59, p<.05$)、「友人リソース」は有意傾向を示した ($F(2,129)=2.90, p<.10$)。

各因子の多重比較 (Holm 法) は以下のとおりであった。「構想・設計」「積極性」は、得意度の高群、中

表 7 プログラミング得意度別の下位尺度得点の平均・標準偏差

	知識・スキル下位尺度			学習行動下位尺度		
	構想・設計	文法知識	エラーメッセージ理解	積極性	友人リソース	Web リソース
高群 ($n=36$)	5.07 (0.77)	5.18 (0.84)	4.92 (1.12)	5.14 (1.04)	4.83 (1.49)	5.88 (1.17)
中群 ($n=23$)	4.30 (0.86)	4.70 (0.60)	4.67 (1.32)	4.08 (1.07)	5.63 (1.21)	5.35 (1.35)
低群 ($n=73$)	3.23 (1.01)	3.73 (1.05)	4.08 (1.38)	3.42 (1.01)	5.51 (1.57)	5.12 (1.19)

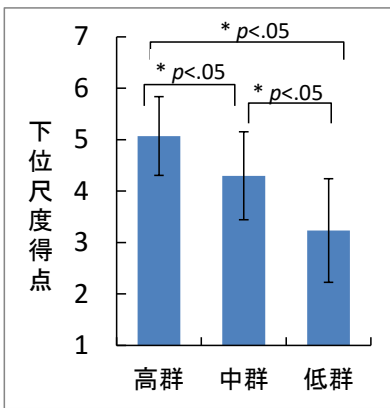


図 1 構想・設計

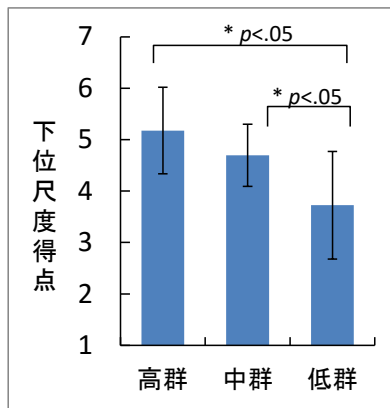


図 2 文法知識

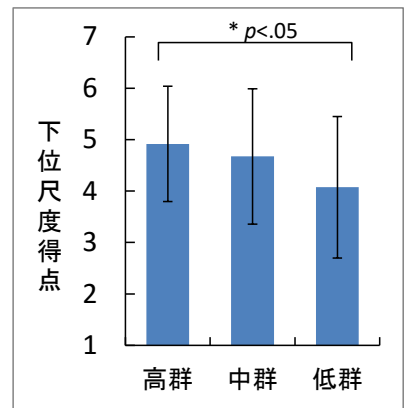


図 3 エラーメッセージ理解

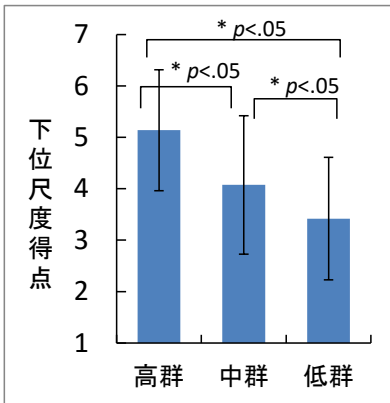


図 4 積極性

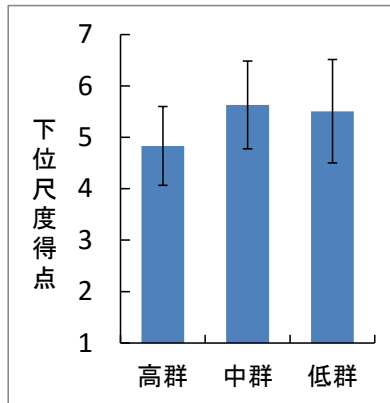


図 5 友人リソース

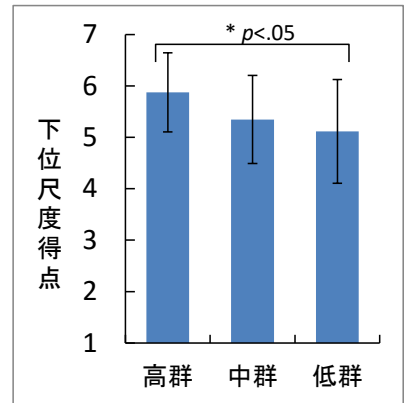


図 6 Web リソース

群, 低群の順に下位尺度得点が有意に高かった ($MSe=0.87, p<.05; MSe=1.09, p<.05$). 「文法知識」は, 得意度の高群と中群に有意差はなかったが, 高群・中群は低群よりも有意に高かった ($MSe=0.88, p<.05$). 「エラーメッセージ理解」「Web リソース」は, 高群と中群, 中群と低群には有意差はなかったが, 高群は低群よりも有意に高かった ($MSe=1.73, p<.05; MSe=1.51, p<.05$). 「友人リソース」はどの群間にも有意差はなかった.

3.3 考察

3.3.1 プログラミング学習尺度の信頼性および妥当性の検討

α 係数は, 「学習行動」下位尺度の「Web リソース」($\alpha=0.730$) がやや低めであったが, それ以外の「知識・スキル」下位尺度の 3 因子, 「学習行動」下位尺度の 2 因子はいずれも 0.8 以上を示しており, 内的一貫性がみられた.

妥当性は, 確認的因子分析の適合度指標により確認できる. 「知識・スキル」下位尺度の適合度指標 GFI, AGFI, CFI, RMSEA は, 豊田⁶⁾の示す基準値を満たしており, モデルとデータの当てはまりが良く, 妥当なモデルであるといえる.

一方, 「学習行動」下位尺度は, GFI, AGFI, CFI は基準値を十分に満たしたが, RMSEA は 0.065 であり, モデルとして当てはまりが良いとされている 0~0.05 よりやや大きかった. RMSEA はモデルの分布と真のデータの分布との乖離を示す指標であり, 0.10 以上だと当てはまりが悪く, 0.05~0.10 はグレーゾーンとされている⁶⁾. GFI, AGFI, CFI が十分な値であるのに対し, RMSEA がいまひとつである原因としては, 観測変数の少なさが挙げられる⁷⁾. 「学習行動」下位尺度の観測変数, すなわち質問項目は 8 項目であり, 特に第 2 因子「友人リソース」, 第 3 因子「Web リソース」は 2 項目ずつと少ない. GFI, AGFI, CFI は十分な値を示しているため, 概ね妥当なモデルといえるが, 項目数を増やすことにより, モデルをさらに改善できると考えられる.

3.3.2 プログラミング学習尺度による学習者の分析

プログラミング得意度による下位尺度得点の違いを分析した結果によると, 高群は「構想・設計」「文法

知識」「エラーメッセージ理解」「積極性」「Web リソース」が高かった. すなわち, プログラミングを得意とする学習者は, プログラミングに必要な知識・スキルを有し, Web 上の情報やリファレンスを有効に活用しながら積極的に学習を進めていると考えられる.

一方, 中群は「文法知識」「エラーメッセージ理解」「Web リソース」については高群と有意な差はなかったものの, 「構想・設計」「積極性」は高群よりも有意に低かった. このことから, 彼らは関数や配列の仕組みやエラーメッセージの意味などは高群と同じくらい理解しているが, プログラム全体を考え, 設計するスキルには欠けており, プログラミング学習に対する積極性も低いと推測される. 積極性が低いために「構想・設計」のスキルが低いのか, それとも「構想・設計」のスキルが低いためにプログラミングのおもしろさに気づけず, 積極性が高まらないのかは, 今後検討の余地がある.

低群は, 「構想・設計」「文法知識」「エラーメッセージ理解」「積極性」「Web リソース」が高群より有意に低かった. 特に, 「構想・設計」「文法知識」「積極性」は中群よりも有意に低く, プログラミング全般を苦手としていることが因子からもうかがえる. 低群が高群・中群と同じくらい下位尺度得点が高かったのは, 「友人リソース」のみであり, 平均値は 5.51 ($SD=1.57$) であった. 「友人リソース」と他の因子との相関は低いものの負の相関を示していることから, 文法知識に乏しく, プログラムの構想・設計ができず, エラーメッセージも理解できず, Web リソースも活用できない学習者は, 友人や先輩に相談する傾向が高いと考えられる.

友人同士で協力しながら学習することを否定するものではないが, 一方的に答えを教えてもらうだけでは, 知識・スキルを身に付けることは難しく, プログラミング学習に積極的に取り組む姿勢を養うことはできない. 能力に差がある学習者同士による互恵的な学習をどのように進めればよいのかも今後の課題といえる.

4. 結論

本研究では, 大学生がプログラミングを学習する際

にどのような能力を必要としているかを測定するための質問紙「プログラミング学習尺度（試行版）」を作成した。この尺度は、2つの下位尺度「知識・スキル」下位尺度（14項目）、「学習行動」下位尺度（8項目）から構成された。「知識・スキル」下位尺度は「構想・設計」「文法知識」「エラーメッセージ理解」の3因子、「学習行動」下位尺度は「積極性」「友人リソース」「Webリソース」の3因子からなる。本尺度の信頼性および妥当性を α 係数、確認的因子分析の適合度指標により検討し、概ね妥当であると判断した。

本尺度を用い、学習者層を分析したところ、プログラミングを得意とする学習者は、「構想・設計」「文法知識」「エラーメッセージ理解」「積極性」「Webリソース」が高く、順調に学習している様子が見られた。一方、苦手な学習者はこれらの因子が低く、友人や先輩に相談する傾向が高いことが推測された。

参 考 文 献

- (1) 新開純子, 宮地功: "プログラミング学習支援システムを用いた入門教育の実践", 日本教育工学会論文誌, 33. Suppl, pp.5-8 (2009)
- (2) 平井佑樹, 井上智雄: "ペアプログラミング学習における状態の推定—つまずきの解決の成功と失敗に見られる会話の違い", 情報処理学会論文誌, Vol.53, No.1, pp.72-80 (2012)
- (3) 高本明美, 藤井美知子: "誤り分析にもとづくプログラミング学習の支援", 電子情報通信学会技術研究報告, ET94-32, pp.23-30 (1994)
- (4) 美馬義亮: "公立はこだて未来大学における初年度プログラミング教育", 情報処理, Vol.57, No.4, pp.370-373 (2016)
- (5) Gagne, R. M., Wager, W. W., Golas, K. C., Keller, J. M.: "インストラクショナルデザインの原理", 鈴木克明, 岩崎信 (監訳), 北大路書房, 京都 (2007)
- (6) 豊田秀樹: "共分散構造分析 [Amos 編] —構造方程式モデリング—", 東京図書, 東京 (2007)
- (7) 豊田秀樹: "共分散構造分析 [疑問編] —構造方程式モデリング—", 朝倉書店, 東京 (2003)

大学の教養教育におけるプログラミング教育で 育成される能力の分析

吉田典弘^{*1,2}, 篠澤和久^{*2}

*1 関西学院大学 教務機構 共通教育センター *2 東北大学大学院情報科学研究科

Analysis of the ability to bringing up at Programming Education in Liberal Arts Education

NORIIHIRO YOSHIDA^{*1,2}, KAZUHISA SHINOZAWA^{*2}

*1 Kwansai Gakuin University *2 Graduate School of Information Sciences, Tohoku University

プログラミング教育で育成される能力の一つとして、「手順的な処理」が出来るようになることが挙げられる。そこで、大学の教養教育におけるプログラミングの授業を行い、この授業を受講することで、「手順的な処理」に関する能力が育成されるかについて事前事後テストを用い評価し分析した。その結果、事前テストの得点が低い学生について、事後テストの得点が向上していることを示す。

キーワード: プログラミング教育, 手順的な処理, 事前事後テスト

1. はじめに

次期学習指導要領では、小学校から高等学校までプログラミング教育が実施されることとなっている。特に、高等学校における教科「情報」では必修とされている。現在までに各教育機関でのプログラミング教育の在り方について、様々な方法で行われて来ているが、今後は、それぞれの教育段階でどのように評価するかが問われると考えられる。大学の教養教育においても、プログラミング教育が実施されている。先行研究では、授業の最終成績が向上するなどの成果はあるが、プログラミング教育の授業により、何らかの能力が育成されたことを定量的に示すことは難しいとされている。

一方、以前よりプログラミング教育では、小学校から大学まで「手順的な自動処理」を体験、あるいは、これを利用して教育することが望ましいとされている。「手順的な自動処理」に関しては、情報処理学会の情報処理教育委員会が、2005（平成17）年10月に「日本の情報教育・情報処理教育に関する提言2005」の中で公表している。この提言では、(1) 小学校・中学校・高等学校それぞれの発達段階に応じて適切な「手順的な自動処理」の体験を持たせる。(2) 高等学校の教科

「情報」に選択科目を追加することで、「手順的な自動処理」に関心を持った生徒が系統的に学べる場を設ける。(3) 大学の一般情報教育において、「手順的な自動処理」についての制作体験をさせる。また各専門において、その専門に関連した情報系科目を選択可能とする(教員養成系においては必修とする)。これからの情報教育において、「手順的な自動処理」を体験や経験させることが、どの教育機関においても重要としている。

このような提言に関して、大学の一般情報教育のプログラミング教育の実践としての報告がある⁽¹⁾。この中では、JavaScriptを用いたプログラミング教育により、論理的思考力を育成できると示されている。そこで、このことを実証すべく、筆者らは、2013年度後期に、実際にプログラミングの授業を行い、その授業の前後で問題を解かせることで、論理的思考力の評価を行い、その結果を評価した⁽²⁾。この報告では、評価問題として、国家公務員Ⅲ種および地方公務初級における採用試験の過去問題の中から、論理的思考力を問う問題を選び評価を行った。しかし、この問題がプログラミング教育で育成される「手順」や、手順を追っていく上で必要不可欠な時間的要因を考慮した問題となっていないので、「手順的な処理」に関する能力の評価

が出来ていないのではないかという指摘があった。また、評価を実施した時期が、5月と7月と間隔が長かったため、もう少し短い期間で評価問題を解かせるようにした方が良いとの意見もあった。そこで、これらのことを踏まえ、2014年度の前期の授業において2回目の評価を行った。評価問題としては、高等学校の教科「情報」の教科書に掲載されていた、ナンバープレイス（ナンプレ）を使用した。また、評価する時期としては、6月の受講時と7月の受講時として期間を短くした。しかし、この報告^③においても評価問題としてナンプレはプログラミング教育で育成される能力を評価するにはふさわしくない等の意見があった。そのため、プログラミング教育によって育成される論理的思考力を評価するという立場から、大学の教養教育におけるプログラミング教育において、「手順的な処理」に関する能力が育成されているかを評価することとした。この考えを基に実施した2016年度前期の事前調査では、プログラミングを行った授業、行っていない授業、両方とも授業後の点数が上昇していた。この結果を踏まえ、2016年後期に本調査を実施した。本論文では、本調査の分析をすることで、半期15回でも「手順的な処理」に関する能力が育成されていることと、事前テストでの得点下位の履修生の得点が、授業を受けたことで、「手順的な処理」に関する能力が向上するかを分析した。

2. 事前調査

本調査の結果を検討するために、この章では、事前調査について示す。プログラミング教育で育成される能力の評価方法が適切であるかを確認するために2016年の4月から7月の授業で行った^④。この調査の方法と分析の結果を以下に示す。

2.1 評価問題

プログラミング教育で育成される能力、つまり正確に動作するプログラムを作成する能力として、「手続きを順番に追いながらプログラムを作成できる能力」を評価することとした。そして、プログラミングで利用される「繰り返し」に関する理解度を評価できる問題として、慶應義塾大学湘南藤沢キャンパスが実施し

た、2014年度の一般入試「情報」の参考問題^⑤の間6（付録A）について、プログラミングの初心者に対して、分かりやすい文面とするため、若干の改変をして利用した（付録B）。

2.2 評価対象と授業内容

対象を関西学院大学の共通教育センターで開講している情報科学科目の履修生とした。この情報科学科目を履修しているのは、いずれも非情報系学部・学科に所属している1年生から4年生である。また、この科目は選択科目であり、履修者は希望者が多数のため抽選で決まっている。授業期間は、2016年4月から7月までの春学期の授業であった。プログラミング教育を実践したクラス（Aクラス）は、科目名が「コンピュータ言語（Java）」であり、Javaを用いてプログラミング初心者向けの授業を行った。授業はEclipseを用いたがテキストベースで進めた。また、プログラミングの授業を受講していないクラス（Bクラス）は、科目名が「コンピュータ実践（ホームページ作成）」で、初心者向けの内容であり、Webサイト制作をHTMLとCSSにより行う授業であった。履修人数および評価人数は表1示す。また、授業のシラバスを掲載しておく。

表1 事前調査対象のクラスについて

	履修人数	評価人数
Aクラス プログラミングの授業（Java）	30名	23名
Bクラス（HTML&CSS）	45名	38名

コンピュータ言語（Java）のシラバス

- 第1回 オリエンテーション
- 第2回 順次処理1 データの出力、入力
- 第3回 順次処理2 四則計算
- 第4回 選択処理1 if文、if～else文
- 第5回 選択処理2 switch～case文
- 第6回 繰り返し処理1 for文、while文、do～While文
- 第7回 繰り返し処理2 無限ループ、二重ループ
- 第8回 配列1 1次元配列
- 第9回 配列2 2次元配列

- 第 10 回 アニメーション 1 図形を表示する
- 第 11 回 アニメーション 2 図形をたくさん描く
- 第 12 回 アニメーション 3 図形を動かす
- 第 13 回 アニメーション 4 いくつかの図形によるアニメーション
- 第 14 回 アニメーション 5 配列を利用してプログラムを簡潔にする

2.3 評価方法

「手順的な処理」の評価に関しては、2016 年 4 月から 7 月の授業において、前節で示したシラバスで授業を行い、順次処理までの授業が終わった第 4 回の冒頭における 5 月の受講時と、第 13 回の冒頭における 7 月の受講時において評価を実施した。評価方法は以下の通りである。

1. 5 月は問題 1 (付録 B) で実施し、7 月は問題 2 (付録 B) により実施した。回答時間は、2 回とも 10 分間とした。なお、7 月の実施に当たっては、5 月の問題の正解および各自の得点について一切公表はしなかった。
2. プログラミングの授業を受講したクラスと、全く受けていないクラスについて、同じ問題を出題し、その結果を比較した。
3. 5 月の問題 1 と 7 月の問題 2 は問題を若干変更している。この理由として 5 月の正解や点数を学生に伝えていなくても、全く同じ問題であれば確実に点数が向上すると考えたので変更を加えた。よって、問題 2 の手順 B に関しては、解答すべき箇所を 1 か所だけ増やしている。

2.4 評価結果

表 2 に、それぞれのクラスの 5 月と 7 月における平均点と得点差を示す。この事前調査では、プログラミングの授業を受けたクラスの得点は向上しているが、受講していないクラスも同様に向上しているとなった。また、表 3 が全体の分析結果であり、表 4 が 2 要因分散分析を行った結果である。分散分析にはフリーソフトの js-STAR を用いた⁽⁶⁾。

表 2 手順的な処理の得点結果

	5 月の 得点平均	7 月の 得点平均	得点差
A クラス (Java)	4.78	5.74	0.96
B クラス (HTML&CSS)	3.62	4.53	0.91

表 3 事前調査の結果

	プログラミング群		HTML&CSS 群	
	事前	事後	事前	事後
N	23	23	38	38
Mean	4.78	5.74	3.62	4.53
S. D.	2.94	2.59	2.55	2.09

表 4 事前調査における分散分析の結果

S. V	SS	df	MS	F
A	40.4772	1	40.4772	4.52 *
subj	528.8465	59	8.9635	
B	24.9022	1	24.9022	6.22 *
AxB	0.0169	1	0.0169	0.00 ns
sxB	236.1921	59	4.0033	
Total	830.4350	121		+p<.10 *p<.05 **p<.01

表 3 は、手順的な処理のテスト平均と標準偏差をまとめたものである。表 4 の分散分析の結果、授業前後の主効果のみが有意であった。(F(1, 61) = 6.22, P<.05)。事前、事後テストの平均を比べると事後テストの方が大きく、両クラスとも手順的な処理についての理解度を促進している効果を示したといえる。しかし、授業間の効果の差は見出されなかった。

3. 本調査

本調査は、事前調査の結果を踏まえ、2016 年の 9 月から 12 月の授業において、実施した。本章では、この調査の方法とその結果を示す。

3.1 評価対象

対象は、事前調査と同様に関西学院大学の共通教育センターで開講している情報科学科目の履修生とした。この情報科学科目を履修しているのは、いずれも非情報系学部・学科に所属している 1 年生から 4 年生であ

る。なお、今回のプログラミングのクラスは、コンピュータ実践（ホームページ作成）、プログラミングを受講していないクラスはコンピュータ実践（表計算）である。表4に各クラスの履修人数と評価人数を示す。

表4 本調査対象のクラスについて

	履修人数	評価人数
Cクラス (JavaScript)	30名	25名
Dクラス (表計算)	45名	36名

3.2 授業内容

JavaScriptの授業は、エディタとしてTerapad、それをブラウザで確認するというテキストベースで行った。授業の目的は、動的なWebサイトの作成の基礎を身に付けることとした。つまり、JavaScriptによるプログラミング教育を初心者向けの内容で実施した。特別な準備などをしなくても、プログラミング教育を実施すれば「手順的な処理」に関する能力が向上するという結果が出るとする考えに基づいている。また、授業においても「手順的な処理」を意識させるというよりは、プログラミングとして重要事項である、「順次処理」、「条件処理」、「繰り返し処理」を理解させ、これらに配列を利用することで、プログラムをより効率良く作成できるということを習得させることを一番の目的とした。以下に、この授業のシラバスを示す。なお教科書⁷⁾を使用して授業を実施した。

コンピュータ実践 (HP作成: JavaScript) のシラバス

- 第1回 オリエンテーション
- 第2回 HTMLの基礎 画像の表示, ハイパーリンクの設定
- 第3回 イベントハンドラの利用, 関数の基本, 変数の利用, 変数の演算
- 第4回 配列, 関数の引数, 繰り返し処理, 文字の表示
- 第5回 条件分岐 if文, if~else文, switch文
- 第6回 breakとContinue, 関数の戻り値
- 第7回 文字入力とエラー処理, オブジェクト
- 第8回 ウィンドウの操作, スクロールの操作
- 第9回 文字色, 背景色の操作, 画像の操作
- 第10回 日付, 時間の操作, Mathオブジェクト

- 第11回 一定間隔での処理を繰り返す, 簡単なアニメーション
- 第12回 最終課題1 各自で15枚以上の静止画を利用してアニメーションを作成
- 第13回 最終課題2 各自で15枚以上の静止画を利用してアニメーションを作成 (第12回の継続)

3.3 評価方法

評価問題の実施は、2016年9月から12月の授業において、前節で示したシラバスで授業を行った中で、第4回の冒頭における10月の受講時と、第13回の冒頭における12月の受講時において評価を実施した。評価手法は事前調査と同じ方法である。

3.4 事前調査からの改善点

事前調査では、変数の初期化に関する得点が非常に悪かった。そこで、本調査の授業内では、変数の初期化と、繰り返しに関する理解度を高めるように授業内で指導をした。

3.5 結果の予測

・JavaScriptによるプログラミングの授業を受講したクラスは、「手順的な処理」の能力が育成されるので、10月の受講時と12月の受講時の点数は、12月の方が高くなっている。

・この授業を受けていない、表計算クラスは、「手順的な処理」の能力は育成されていないので、10月と12月の点数には、大きな変化は生じない。

3.6 評価結果

「手順的な処理」の得点結果について、両クラスの得点分布を図1から図4、各問題の正答率を図5と図6、統計解析の結果を表5から表7に示す。

- (1) 両クラスの得点分布を比較すると、それぞれ授業後の図2と図4において、得点が向上している履修生が多いことが分かる。
- (2) 表5において、プログラミングの授業を受講したCクラスの履修生の平均点は、10月の得点より12月の得点が高くなっており、1.04点上昇している。

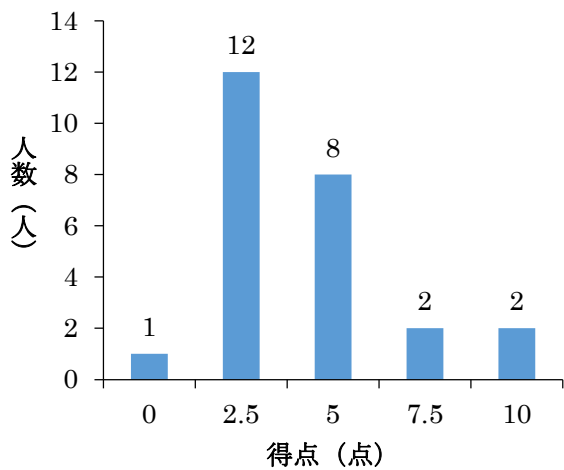


図1 JavaScript クラス得点分布 (10月)

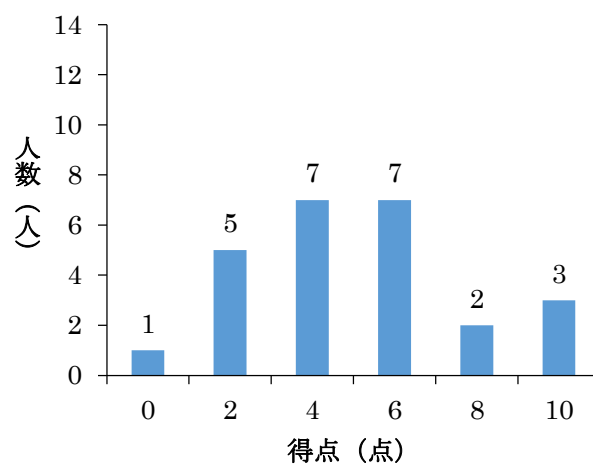


図2 JavaScript 受講クラス得点分布 (12月)

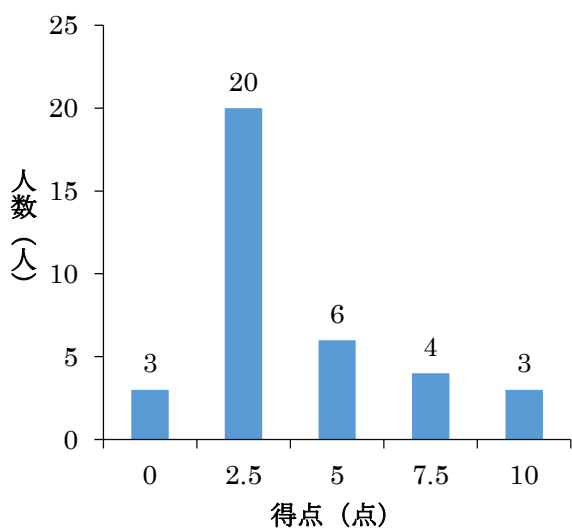


図3 表計算クラス得点分布 (10月)

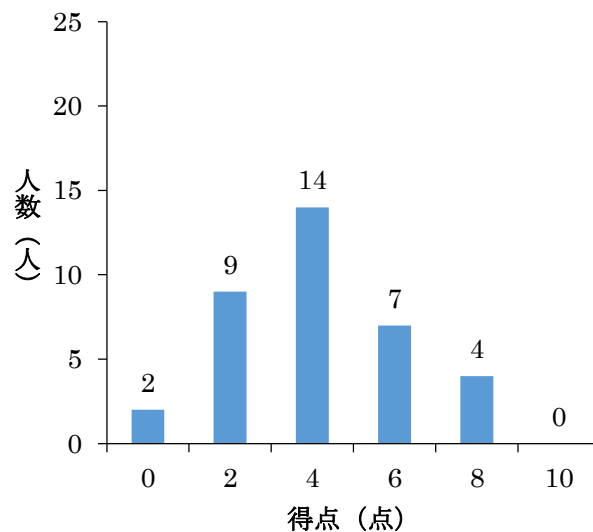


図4 表計算クラス得点分布 (12月)

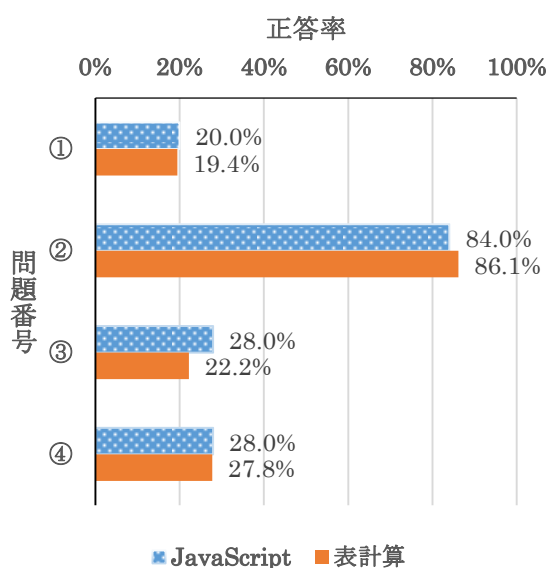


図5 10月における各問題における正答率

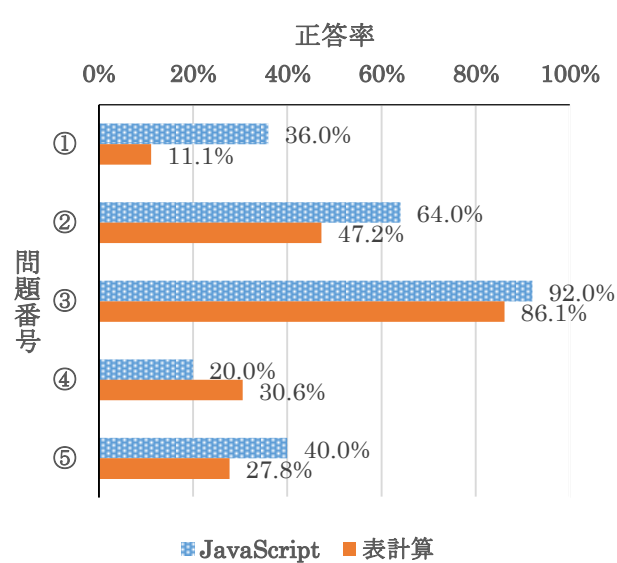


図6 12月における各問題における正答率

- (3) プログラミングの授業を受講していない D クラスにおいては、12月の得点の平均は高くなっているが0.17点であり、大幅な上昇ではない。
- (4) 問題1と問題2における各問題に関する正答率については、図5が10月、図6が12月である。特に正答率が低いのは、両月とも問題①であった。
- (5) 他の問題については、プログラミングの授業を受講したクラスの方が正答率は高いが、図5と図6からでは、「手順的な処理」に関して、受講したクラスの方がより成果が上がっているという結果を示してはいない。

表5 本調査における手順的な処理の評価結果

	10月の 得点平均	12月の得 点平均	得点差
Cクラス (JavaScript)	4.00	5.04	1.04
Dクラス(表計算)	3.89	4.06	0.17

表6 本調査の結果

	JavaScript群		表計算群	
	事前	事後	事前	事後
N	25	25	36	36
Mean	4.00	5.04	3.89	4.06
S. D.	2.55	2.66	2.66	2.08

表7 本調査における分散分析の結果

S. V	SS	df	MS	F
C	8.8542	1	8.8542	1.15 ns
subj	453.6744	59	7.6894	
D	10.7413	1	10.7413	2.13 ns
CxD	5.6266	1	5.6266	1.12 ns
sxD	297.2300	59	5.0378	
Total	761.0532	121		+p<.10 *p<.05 **p<.01

表6は、手順的な処理のテスト平均と標準偏差をまとめたものである。表7の分散分析の結果、授業前後の主効果に有意はなかった。プログラミングの授業における事前、事後テストの平均を比べると事後テストの方が大きく、手順的な処理についての理解度効果を示したといえるが、授業間の効果の差は見出されな

った。

4. 考察

表5のように、プログラミング教育の授業を受けたクラスの得点は大きく向上し、受けていないクラスの得点との差が出た。しかし、表6と表7の統計解析では有意な結果であることを示すことが出来なかった。よって、プログラミング教育の授業を受けた学生に、「手順的な処理」に関する能力が育成されたとは明確には言えないが、事前調査と本調査において、2回とも事後テストの平均点が向上したことは示せた。

また、各設問の正答率を示している図5と図6から分かることは、プログラミングの授業を受講したクラスにおいても、変数の初期化に関する設問である問題①での正答率が大変低い結果となっている。このクラスの問題①の12月の正答率が10月の正答率よりも高くなっているが、大幅に良くなっているという結果とはならなかった。

次に、表5に示したように、プログラミングのクラスの得点の平均点は向上しているが、図2の得点分布のように、全履修生の得点が向上しているわけではなく、10月が高得点であっても、12月に得点が下がってしまう履修生もいた。この点は、事前調査でも同じであったが、事前と事後のテスト実施における、履修生のモチベーションを維持することが難しいことを示している。

「手順的な処理」に関しては、問題1であれば問題③と④、問題2であれば問題④と⑤の正答率を見るべきである。図6において、問題④の正答率が表計算クラスの方が高くなっているが、問題⑤では、プログラミングクラスの正答率が高くなっている。しかし、両方を合わせると、プログラミングによる能力の育成が向上したといえるほど、正答率は高くなかった。

次に、プログラミングの授業を受けたことで、「手順的な処理」が出来るようになったことを示す結果として以下の検討を行った。

・10月の得点が下位群の得点向上について

プログラミング教育により、「手順的な処理」が出来るようになったことを示すために、両クラスで、10月

の得点が0点と2.5点（得点下位）だった履修生について、12月の得点が向上したかを分析した。

プログラミングのクラスは、14名中11名の得点が向上し、13名の得点の平均点が、2.14点から4.86点となった

表計算のクラスは、23名中17名の得点が向上し、23名の得点の平均点が、2.17点から3.91点となった。これらをまとめたのが表8である。また、表9に統計解析、表10に2要因分散分析の結果を示す。

表8 10月得点下位群の得点上昇

	10月の得点下位群 (人)	得点上昇者 (人)	得点上昇 (点)
CLクラス	14	11	2.72
DLクラス	23	17	1.74

表9 10月の得点の下位群における分析の結果

	JavaScript群		表計算群	
	事前	事後	事前	事後
N	14	14	23	23
Mean	2.14	4.86	2.17	3.91
S. D.	0.87	2.80	0.84	2.17

表10 10月の得点の下位群における分散分析の結果

S. V	SS	df	MS	F
CL	3.6275	1	3.6275	0.97 ns
subj	130.9130	35	3.7404	
DL	86.3000	1	86.3000	26.58 **
CLxDL	4.1378	1	4.1378	1.27 ns
sxDL	113.6460	35	3.2470	
Total	338.6243	73		+p<.10 *p<.05 **p<.01

表9は、10月の得点下位群の手順的な処理のテストの平均と標準偏差をまとめたものである。表10は分散分析の結果であり、授業前後の主効果のみが有意であった。(F(1, 37)=26.58, P<.01)。事前、事後テストの平均を比べると事後テストの方が大きく、両クラスとも手順的な処理についての理解度を促進している効果を示したといえる。すなわち、授業による主効果

が有意でなく(F<1), 授業間の効果の差は見出されなかった。

5.おわりに

プログラミング教育を行うことで、「手順的な処理」に関する能力を評価するための本調査を実施した。「手順的な処理」に関する能力が向上したとする、授業前後の平均点の向上および事前テストにおける成績下位群の平均点の向上は示せた。しかし、交互作用は有意ではなかった。過去の調査と同様にプログラミング教育を行った上で、「手順的な処理」に関する能力を評価する場合、評価に相応する問題を準備し、受講後の結果として能力が向上されたことを統計的に有意な結果として得ることは大変難しいと言える。しかし、事前調査と本調査の分析結果により、プログラミング教育を行うことで育成される能力を直接的に評価する上で、「手順的な処理」に関する評価が有効である可能性を示した。

謝辞

本研究を進める上で有益な御助言をいただいた、東北大学大学院情報科学研究科情報リテラシー教育プログラムの代表・窪俊一准教授、副代表・堀田龍也教授、静谷啓樹教授、ならびにメンバーである邑本俊亮教授、徳川直人准教授、和田裕一准教授に謹んで感謝の意を表します。

参考文献

- (1) 河村一樹：“一般情報教育におけるプログラミング教育の在り方について”，情報処理学会コンピュータと教育研究会研究報告, Vol. 2011-CE108 No16, pp. 1-8 (2011)
- (2) 吉田典弘, 篠澤和久：“手順的な自動処理による論理的思考力育成の評価結果の検討”，情報処理学会コンピュータと教育研究会研究報告, CE-123-4, pp. 1-6 (2014)
- (3) 吉田典弘, 篠澤和久：“手順的な自動処理による論理的思考力育成評価結果の検討 part2”，情報処理学会コンピュータと教育研究会研究報告, CE-126-6, pp. 1-8 (2014)
- (4) 吉田典弘, 篠澤和久：“プログラミング教育で育成される能力の評価結果の検討”，情報処理学会コンピュータと教育研究会研究報告, CE-136-9, pp. 1-6 (2016)
- (5) 慶應義塾大学 湘南藤沢キャンパス：“一般入試「情報」

参考試験(2014年7月30日実施)の問題等の公開および実施結果について”

http://www.sfc.keio.ac.jp/joho_sanko_2014_kekka.html (2016年4月23日確認)

- (6) 中野博幸, 田中敏: “フリーソフト js-STAR でかんたん統計データ分析”, 技術評論社 (2012)
- (7) 相澤裕介: “(新) JavaScript ワークブック”, カットシステム (2011)

付録

付録A 慶應義塾大学湘南藤沢キャンパスでの一般入試「情報」参考問題 (2014年度)

第6問

計算の手順を, 文を並べて書き表すことを考える。ただし, 「～の場合は次の処理を行う」, 「～について次の処理を繰り返す」という文に対しては, 次の処理の範囲を明確にするために「処理の始め」と「処理の終わり」という文を必ず使うものとする。「処理の始め」と「処理の終わり」は入れ子になってもよい。

(ア) 次の手順は1 から100 までの合計を計算するものである。空欄に当てはまるもっとも適切な語句を下の選択肢から選びなさい。

- A. 合計 s を17 と置く
- B. 足す数 n が1 から18 までのそれぞれについて次の処理を繰り返す
- C. 処理の始め
- D. 19 に20 を加える
- E. 処理の終わり

[17 ~ 20 の選択肢]

- (1) 0
- (2) 1
- (3) 100
- (4) n
- (5) s

付録B 「手順的な処理」の評価問題

問題1 (事前テスト)

次の手順は1から10までの合計を計算するものである。以下の①から④に当てはまるもっとも適切な語句を下の選択肢(1)～(5)から選びなさい。

(手順)

- A. 合計を入れる変数sumを①と置く
- B. 足す数の変数をnとして, この数字が1から②まで, 次の処理を繰り返す
- C. 処理の始め
- D. ③に④を加える
- E. 処理の終わり

※①～④の選択肢

- (1) 0
- (2) 1
- (3) 10
- (4) n
- (5) sum

※1問2.5点, 計10点満点

問題2 (事後テスト)

次の手順は2, 4, 6, 8…100までの合計を計算するものである。以下の①から⑤に当てはまるもっとも適切な語句を下の選択肢(1)～(6)から選びなさい。

(手順)

- A. 合計を入れる変数sumを①と置く
- B. 足す数の変数をnとして, この数字が②から③まで, 次の処理を繰り返す
- C. 処理の始め
- D. ④に⑤を加える
- E. 処理の終わり

※①～⑤の選択肢

- (1) 0
- (2) 1
- (3) 2
- (4) 100
- (5) n
- (6) sum

※1問2点, 計10点満点

PPL システムにおける偽答生成機能の開発

上倉諒佑, 小久保証宏, 布広永示

東京情報大学

Development of incorrect answer generation function in PPL system

Ryosuke KAMIKURA, Masahiro KOKUBO, Eiji NUNOHIRO*

Tokyo University of Information Sciences*

プログラミング教育の目的は、プログラム言語の文法や構文要素などの知識の習得だけではなく、プログラミングを通して問題を詳細化し、解決策を提案する問題解決能力を向上させることであると考えられる。本研究では、学習者に対し「システム開発」に関わる要素を含んだ問題を与え、段階的詳細化を図ることによってプログラミング教育の到達目標として必要な問題解決能力を向上させる学習を支援するプログラミング学習支援システム「PPL システム (Problem based Programming Learning system using stepwise refinement)」を開発している。PPL システムでは、「システム開発」を段階的に詳細化していく5つの設問を解答する。本発表では、PPL システムの概要について解説し、Word2vec を用いて正答のキーワードから偽答を自動生成する偽答生成機能について述べる。

キーワード: 学習支援システム, プログラミング, 段階的詳細化, Word2Vec, 自動生成

1. はじめに

情報化社会の拡大により、小学校教育課程でプログラミング教育が必修化される方針が採られるといった情報処理教育に対する取り組みが活発に行われるようになってきている[1]。プログラミング学習に対してのアプローチは様々な形態があり、言語に対する知識を要さずに感覚的にプログラミングの構造を理解することの出来るビジュアルプログラミングなどが中心となってプログラミングの初学者に対して用いられてきている。しかし、これらの取り組みはコーディングという工程の流れを簡略化して学習させているだけに過ぎない。

本研究では、ウォーターフォールモデルを適用したシステム開発における問題の段階的詳細化をプログラミング教育に取り入れた。そして、プログラミングを行う必要のある機能部分や処理の流れを理解することを重視し、プログラミングの工程の前段階として問題発見・解決の手順を理解するための学習を支援するプログラミング学習支援システムを開発した。本発表では、問題中にある択一問題作成において、正答のキー

ワードを元にして偽答を自動生成することにより問題作成する管理者側に必要な問題入力工程を効率化する機能を提案する。

2. PPL システム概要

2.1 設計方針

本システムは、(1) 初学者に対して言語知識やプログラミングの構造知識を要さない日本語ベースの問題を与える、(2) マウス操作に特化する、(3) 段階的詳細化により問題をそれぞれのプロセスに分割して捉えさせる、(4) 出題者の問題追加の負荷軽減を重視するという4つの設計方針で開発している。

(1) の目的は、プログラミングの前工程である問題の理解と読み取りに重きをおいた内容となっておりプログラミング言語の構文要素などを出さないことで学習者の知識レベルを問わないことである。

(2) の目的は、キーボード入力を行わずマウス操作で解答することで、様々な環境で学習を可能とし、更にタブレットなどの場合キーボード入力の大半がタッチスクリーンになってしまい解答のレスポンスが悪

くなる問題を解決することである。

(3)の目的は、PPLの問題の各設問に対して以下のような段階のプロセスを与え、設問の役割を明確にすることである。

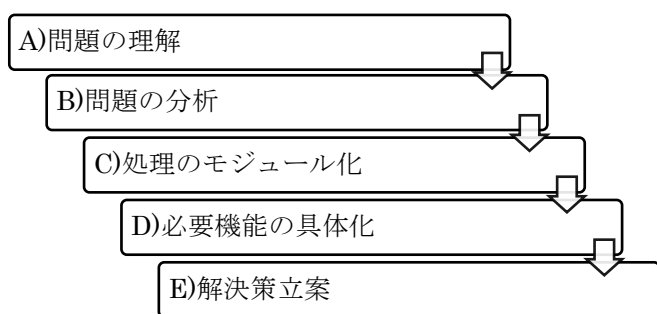


図 1 PPL システムの解答プロセス

A) 問題の理解

問題文から、利用者の操作手順や処理に必要なデータについて考える。設計工程における外部設計である。

B) 問題の分析

利用者の操作手順と操作に対応したシステムの機能について考える。設計工程における内部設計である。

C) 処理のモジュール化

機能毎に、処理能力と入出力情報を考える。設計工程における内部設計である。

D) 必要機能の具体化

モジュール毎に処理内容、入力として必要な情報、出力されるべき情報を考える。設計工程における内部設計である。

E) 解決策の立案

提案した機能を用いてシステムの側面から処理の流れをチャートで表現する。設計工程におけるプログラム設計である。

A)～E)を段階的に解答していこことで前工程の重要性を理解する。

(4)の目的は、問題の出題者が新規の問題を追加する際に必要最低限の文章、項目を入力することで問題生成時の出題者の負担を軽減することである。

2.2 システムの構成

本システムは、学習者操作系、自動処理系、出題者操作系の3系統により構成されている。本システムの構成を図2に示す。また、図3に本システムの利用の流れを示す。

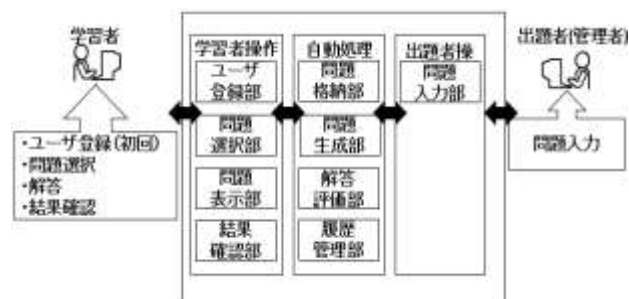


図 2 システムの構成

2.3 利用者のアクセスから終了までの動作概要

学習者と本システムの利用の流れを次に記述する。

- ① 学習者はログイン画面にアクセスする。
- ② 初回利用時はログイン画面からユーザ登録画面に移行してIDとパスワードを登録する。
- ③ ログイン後に問題選択画面にある問題群から解答する問題を選択する。
システムは、学習者に選択した問題の表示に必要な情報群をデータベースから取得する。
- ④ 学習者は、設問を1問ごとに正解するまで次の設問には進まずに解答を行う。設問内の問題をすべて正答した時、次の設問に進む。

各設問の内容は以下の通り。

設問1：択一形式問題

設問2：文字列ピースの並び替え

設問3：機能の概要に対するピース並び替え

設問4：機能の入出力に対するピース並び替え

設問5：チャートの並び替え

- ⑤ 設問5まで正答したら、解答にかかった時間・不正解の数をもとに成績のランクを解答結果画面にて表示する。
- ⑥ 各画面から前回の成績データを確認出来る。
- ⑦ 問題への挑戦をやめる場合などは各画面内に表示されているログアウトボタンを選択することで利用を終了する。

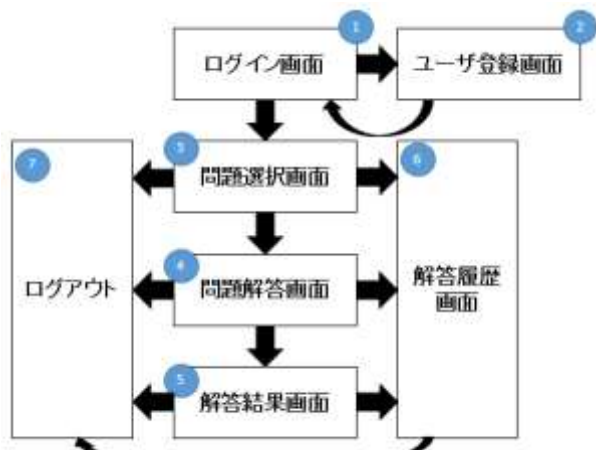


図 3 システム利用の流れ



図 4 解答画面設問 1 の例

3. 問題の生成

3.1 問題の入力手順

問題入力画面の例と追加手順を次に示す。

問題番号:

タイトル入力:

(a) 問題文入力:

【設問1で使われる部分です】
 (b) 操作部分:
 3

【設問2で使われる部分です】
 (c) 主制御部分(正解の並びで入力):

【設問3で使われる部分です】
 (e-1) 機能部分(ピースは正解の並びで入力してください):

【設問4で使われる部分です】
 (e-2) 機能部分:

【設問5で使われる部分です】
 (f-1) 全体チャート:
 パーツ追加:

図 5 問題入力画面

入力画面では各設問の構成に必要な入力フォームとボタンが表示されている。

- ①問題番号を入力する
- ②問題タイトルを入力する
- ③問題文を入力する
- ④設問 1 の内容を入力する。

設問 1 は操作関連の問題で文章と択一問題で構成される。文章入力フォームと選択問題の「正答」を入力する。設問 1 の出題では、偽答を Word2vec で動的に生成する。

- ⑤設問 2 の内容を入力する。

設問 2 は主制御関連の問題となっている、解答の内容は文章の並び替えを行う、内容は正答の順番に文章を入力する。

- ⑥設問 3 の内容を入力する。

設問 3 は機能部分の問題となっている、解答の内容は文章の並び替えを行う、正答は正答の順番に文章を入力する。

- ⑦設問 4 の内容を入力する。

設問 4 は機能の入出力を選択する問題となっている、機能に対して必要なデータと入出力されるデータを入力する

- ⑧設問 5 の内容を入力する。

設問 5 はシステム全体の流れと機能の内部の流れをチャート形式で構成する問題となっている。ピースを並び替えて、正しい順にシステムを構成する。

3.2 問題の格納と表示

問題構成に必要な文章やパラメータをデータベースに格納する。

297	6	0	1	システムにログインするときに一般的にIDの他に使われるものは?
298	6	1	2	パスワード
299	6	1	2	ログイン
300	6	1	2	ID
301	6	0	3	ウェブページの表示に変わるアプリケーションは?
302	6	1	4	ブラウザ
303	6	1	4	Internet Explorer
304	6	1	4	ウェブブラウザ

図 6 データベースの内容例

問題の表示は学習者が問題選択画面で選択した問題番号をもとにデータベースから取得・表示する。データベース内の情報から問題生成に必要な情報を取得したあと、ブラウザ側で問題を生成・表示する。

4. Word2vec 概要

4.1 Word2vec 概要

Word2vec とは単語をベクトル表現化して次元圧縮を行う定量化手法である[2]. 単語を数値として扱うことが可能になるため、単語同士の類似度や単語間の加算・減算を行うことが出来る[3].

4.2 ベクトル表現化の理論

Word2vec で単語に数値を持たせるために必要なものは次の 2 点である.

① わかち書きテキストデータ

単語毎にスペースで区切られたテキストデータ

② Word2vec 本体

Word2vec を用いてテキストデータ内にある単語群を解析し、それに対して指定数のベクトル (次元) を生成する. その後にベクトルと単語に対してどれだけの関連度数があるのかを計算する. 以下に例えを示す.

表 1 Word2vec によるベクトル演算の結果例

	単語 A	単語 B	単語 C	単語 D
次元 1	0.05	0.55	0.3	0.1
次元 2	0.95	0.15	0.7	0.2
次元 3	0.03	0.02	0.05	0.85
次元 4	0.54	0.3	0.2	0.5

わかち書きされたテキストデータを解析し頻出するキーワードを「次元」として扱い、その次元と「単語」に対しての類似度 (関連度) を数値として取得する. 1.00 に近いものほど関連度が強いものとして扱われる.

4.3 関連度計算

Word2vec の仕様として、「単語」の周辺にある「単語」は関連度のあるものとして扱う. 例として、わかち書きテキストの中身に以下の内容を考える.

「明日の 朝ごはん は パン と スープ が飲みたい」

Word2vec ではキーとなる単語に対して周囲のどの範囲の単語までを関連語として扱うかをパラメータとして指定出来る[4]. 例えば、「パン」と言うキーワード

に対して周囲 3 つまでを関連があるとした場合、結果は「パン」に対して「朝ごはん」と「スープ」が関連のあるキーワードとして出力される.

このパラメータの値を大きくすることで数値の精度としては、範囲を狭くした時に比べ落ちるが範囲の広い結果を取得することが出来る.

4.4 Word2vec の学習プロセス

わかち書きテキストを用意する為に、複数のウェブページからテキストを収集する必要がある. 今回は以下の図 7 の流れで Word2vec による学習を行った.

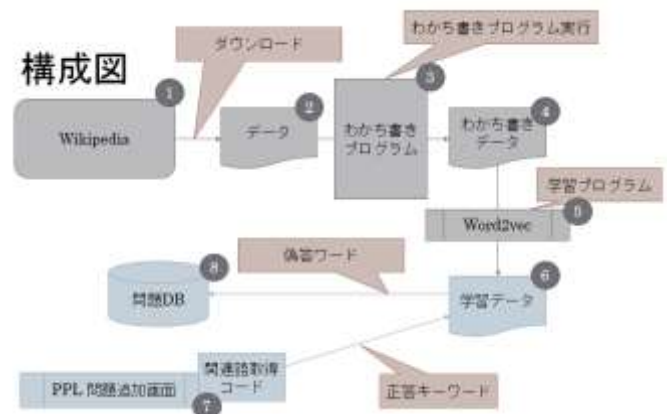


図 7 データを Word2vec で学習させる例

- ① Wikipedia から記事のダンプファイルをダウンロードする
- ② ダウンロードされたデータ (純粋なテキストファイル)
- ③ わかち書き用のプログラムでわかち書きテキストに変換
- ④ わかち書きテキストを出力
- ⑤ Word2vec によるわかち書きテキストの学習
- ⑥ 学習データの出力

5. PPL システムへの応用

5.1 偽答の動的生成

Word2vec により学習結果の入った学習データが出力された状態で、この学習データに対してプログラムから正答キーワードを与えることでそのキーワードに対して関連度の高い「単語群」が抽出される. PPL システムでは、この「単語群」の中から数値の高いもの上位 2 つを偽答キーワードとしてデータベースに正答キーワードと一緒に格納する.

5.2 問題格納プロセス

PPLシステムの偽答の生成と追加の流れを図8に示す。出題者は問題追加画面へアクセスし各設問の内容を入力し、格納実行ボタンを押す。

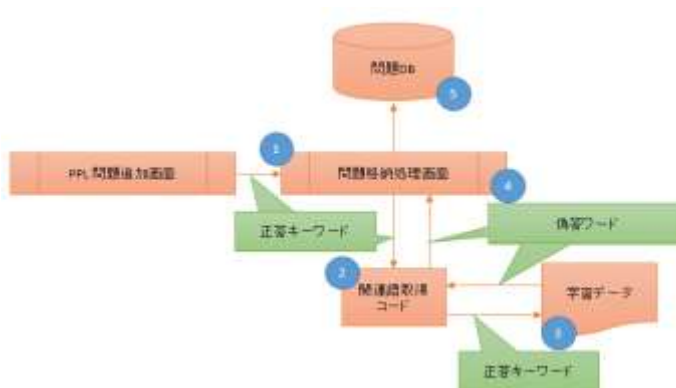


図 8 偽答の取得と格納の流れ

- ①問題格納処理のプログラム中で正答キーワードをキーワードとして別途で用意された関連語取得プログラムに渡す
- ②関連語取得プログラムが Word2vec に対してキーワードを与えて関連語を抽出する
- ③関連語として得られた単語群の上位 2 つを格納処理プログラムに返す
- ④偽答キーワードを問題格納処理プログラムから問題データベースに格納する

(b)操作部分:入力文章 = システムにログインするときに一般的にID他に使われるものは?
count_length_input = 1
(b)通常文: 格納完了
選択3 = : 3

```
Array
(
    [0] => パスワード
)
---偽答候補出力結果---
array(2) [
    [0] =>
    string(12) "ログイン"
    [1] =>
    string(2) "ID"
]
出力結果mein_operation_data_select
Array ( [0] => パスワード [1] => ログイン [2] => ID )
(b)セレクトフォーム文: 格納完了
```

図 9 偽答の格納結果

6. おわりに

プログラミング学習に関する情報として、複数のウェブサービスやアプリケーションが存在しているが、どの内容においても学習者の理解度の違いや出題者側にかかる負担などの課題がある。ウェブページに個人

がアクセスして学習を行えるような教育システムは今後より高い需要が生まれると考えるが、需要の高まりと同時に学習者に対して学習効果の出る内容・環境を整備することは難しい。今回は学習者に段階的詳細化の重要性の理解と問題解決能力の向上を図るシステムを開発し、その中で出題者が効率的に問題を生成出来る機能を実装した。評価結果から、Word2vec を用いた現時点での偽答生成は、対義語などの表現に弱いなどの問題があることが分かった。

今後は、偽答の向上の為の事前単語フィルタリングや格納処理時の偽答候補の選択機能などの実装を行う予定である。

謝辞

本研究は、JSPS 研究費 15K01086 の助成を受けたものです。

参考文献

- (1) 文部科学省,教育の情報化の推進,プログラミング教育,
http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyouhou/detail/1375607.htm (2017年2月1日確認)
- (2) DeepAge,ビッグデータ,Word2vec,
https://deepage.net/bigdata/machine_learning/2016/09/02/word2vec_power_of_word_vector.html#word2vec
とは,(2017年2月1日確認)
- (3) qiita,米 google の研究者が開発した Word2Vec で自然言語処理(独自データ),
<http://qiita.com/okappy/items/e16639178ba85edfee72>
(2017年2月1日確認)
- (4) qiita,word2vec のソースを読んでみた,
<http://qiita.com/mash0510/items/347964f3eb2e080ea7a4>,(2017年2月1日確認)

JavaScript を使った

1Day プログラミング教室用教材の開発と試用

室谷 心^{*1}, 矢野口聡^{*2}, 浅見 (林) 大輔^{*3}

^{*1} 松本大学総合経営学部

^{*2} 松本大学松商短期大学部

^{*3} 長野県諏訪実業高等学校

Development and trial use of a lesson plan for a one-day programming class with Java Script

Shin MUROYA^{*1}, Satoshi YANOKUCHI^{*2} and Daisuke Hayashi ASAMI^{*3}

^{*1} Department of comprehensive Management, Matsumoto University

^{*2} Matsusho Gakuen Junior College

^{*3} Suwa Vocational High School

We have developed a lesson plan for a one-day programming class with Java Script. In the plan, the use of a library, Enchant.js, enables students to make a shooting game in about four hours and enjoy it on their own smart phone. Through the lesson, students learn many important concepts in modern programming theory. We also report the results of the trial use of the lesson plan in a local festival, Matsumoto Mono-dukuri (MAKE) Fair held at Matsumoto University, July 16-17, 2016.

キーワード: アルゴリズム理解, オブジェクト指向教育

1. はじめに

本論文では, 松本広域ものづくりフェアにおいて実施した, 中高校生むけプログラミング教室について報告する. 松本広域ものづくりフェアは, 松本市を中心とした中信地区の市町村, 広域連合, 及び商工会議所などが主催するイベントであり, “ものづくり”をキーワードに地元企業や県内の大学, 高専, 高校などがブースや講座を開き, 子供たちにもものづくりに親しんでもらおうというイベントである. 従来, 工業団地のなかの施設を利用して開かれていたが, 平成 23 年度から会場を松本大学に移したので, これを機会に“ソフトウェアによるものづくり体験”をキーワードに“松本大学キッズプログラミング教室”の開催を始めた.

情報教育という意味で“プログラミング教室”と銘

打っているが, 広い意味での情報技術の啓蒙を意識し,

(1) 小学生を対象とした講座としてのプログラミング教室, (2) 最新の技術との関連を意識した体験デモコーナー, (3) ネットワークを利用したシミュレーションゲーム の3つのコーナーを併設してきた.

2016 年には, 主催者側から, “ものづくりフェアを製造業への就業意識を高める場としたいので, プログラミング教室を中高生向けにしてほしい”という要望を受け, 内容を JavaScript による携帯ゲームの作成にし, ヤングプログラミング教室という名前で開催した. 商工会議所の担当者の要望は, “受講者が帰宅後, 家族や友達に店で自慢でき, さらに発展的な内容を自習できるような内容”というものであった. したがって, 教材は講座終了後持ち帰りが前提で受講生の実費負担となり, 高価なデバイスを使うことは好ましくな

い。この条件を満たすプログラミング環境として、今回はソフトウェアに絞り、JavaScript によるプログラミングを行うこととした。

当日募集のオープンな講座なので、中高生の興味を引く題材として、普及率の高いスマホで動くゲームの作成とした。その場限り終わらず、帰宅後つづきができることを考え、free soft だけですべての作業ができるシステムが望ましい。さらに現状の普及率から考えて、iPhone と Android のどちらでも動かせる必要がある。そこで HTML5 と Java Script を利用することにし、ゲームを簡単に作れるライブラリーである Enchant.js を使用した。

昨年までの Scratch による講座は午前と午後で2回行っていたが、今回はある程度まとまった内容のスマホゲームの作成を目指し、定員 10 人で昼食をはさんで午前・午後トータル 4 時間の講座とした。講師は教員が勤め、大学生の助手が 3 人ついた。

2. 利用システム

学内 LAN と電源のある教室を利用し、パソコン (Sony VAIO core i5 4200 1.60GHz 4GB メモリー、タッチパネル画面) を受講者人数分用意した。OS は 64Bit Windows 8.1 であった。USB スティックメモリーに必要なライブラリーや画像ファイル、音データ、テンプレートファイルに加えて、完成プログラム例のファイルを用意して配布した。エディターは TeraPad を使い、Java Script の実行ブラウザは Google Chrome を利用した。Google Chrome には開発モードがあり、Java Script の基本的な文法エラーに関しては、メッセージを出すことができる。

JavaScript なので、作ったプログラムをスマホで動かすには HTML サーバに上げる必要がある。講座内で使うだけならば、学内限定の臨時サーバで十分であるが、帰宅後家族や友達に見せるためには、公開サーバが必要となる。当初 Dropbox の無料ユーザーでの利用を計画していたが、Dropbox 側の運用方針の変更で html の公開はできなくなってしまった。無料レンタルサーバもいろいろあるが、ライブラリー利用の自由度や、アップローダの有無で適当なものが見つからなかった。また、同一ドメインでのアダルトサイトと

の共存も、中高生向けの教育講座としては好ましいものではない。そこでやむを得ず、自前のサーバを利用することとした。

古いシステムではあるが、Linux + apache で動作する自前の HTML サーバに専用のディレクトリーを用意し、講座の受講登録番号ごとのサブディレクトリーにライブラリーや必要な画像を用意し、配布した USB スティックメモリーと同じ動作環境にした。パソコンからサーバへのファイル転送には、perl- CGI によるアップローダを用意した。

受講生が作ったプログラムにスマホからアクセスする URL は、帰宅後家族や友達に見せられるように、無料のサイトを利用して QR コードを作成し、写真に撮ることにした。

3. 授業計画

プログラム作成とデバッグ作業はエディター Terapad とブラウザ Google Chrome を使って、基本的にローカル環境で行った (図 1)。

準備

1. Google chrome をインストールする
2. エディターをインストールする。エディターが何か知らなかったらとりあえず Terapad をインストールする
3. MonoDukuri フォルダを自分のホームにコピーする

作業手順

1. Terapad で 何とか.html というファイルを作る。もしくは名前を付けて保存する
2. Google chrome で開く。(Google chrome にドラッグアンドドロップ)
3. うまくいかなかったら、Google chrome の設定メニューからデベロッパーツールを開き、エラーを調べる
4. Terapad で直す
→ 1へ

図 1 プログラム作成作業の解説スライド

Google Chrome のデベロッパーモードはエラーを出すだけではなく、スマホ画面のエミュレーションモードがあり、今回試用した PC はタッチパネル対応モデルだったので、スマホでの操作性の確認ができる (図 2)。

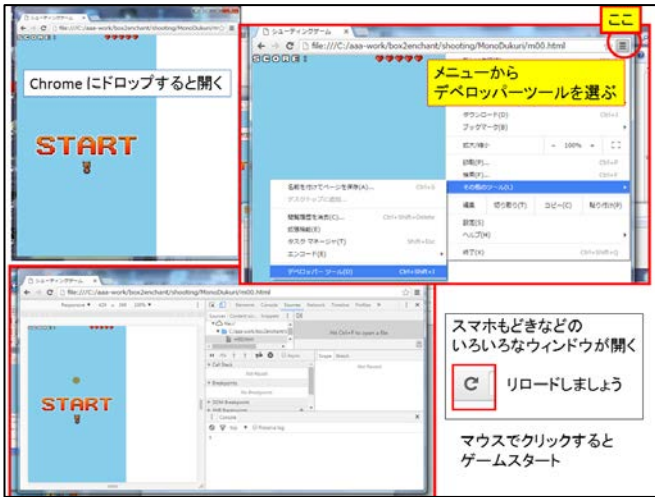


図 2 デベロッパーツールの解説スライド



図 3 配布したテンプレートの先頭部分

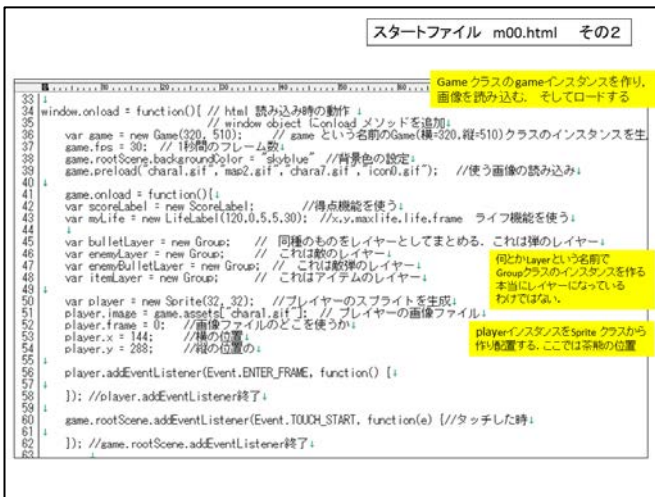


図 4 配布したテンプレートの中盤部分

プログラム作成のスタートファイルとして、web ページの基本設定に加え enchant 関連ライブラリーの読み込み設定、加速度センサーの準備、game.rootScene 設定のしてあるファイルをテンプレートとして、利用することにした (図 3, 4, 5)。

ここで JavaScript プログラムを単に解説するのではなく、図 5 の末尾の「試してみよう」にあるように、コメントアウトしたり引数を変えてみたりして、「エディターでのエディット⇒保存⇒ブラウザでの再読み込み」という一連の作業に慣れるとともに、プログラムの内容理解と受講者ごとのカスタマイズを行った。受講者の反応を見ていると、キャラクターや背景色をカスタマイズできることは、単純なことではあっても受講者の充足感を高める重要なポイントであった。

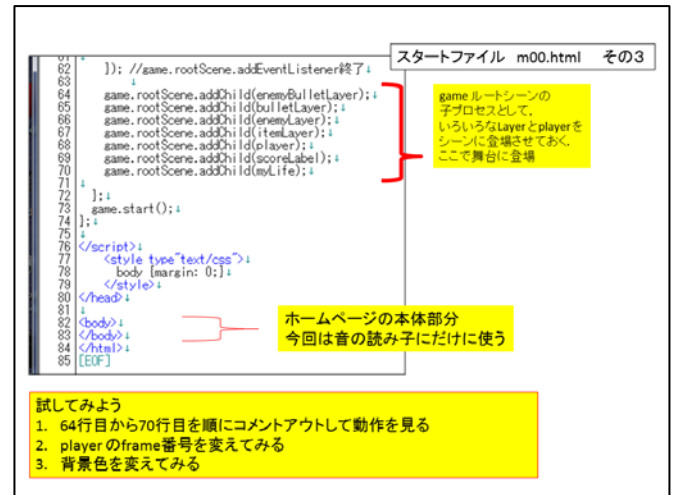


図 5 スタートページの解説スライドの終わり部分

講座のこれ以降のプロセスでは、プログラムの意味ごとのブロックを挿入して、html ファイルを更新して進めていくように、教材をデザインした。タイルプログラムではなく、エディターを使うスタイルをとったのは、“言語の学習”の意味も含めた教育効果を狙って、受講生のキー入力を想定したものであった。しかしながら、実際に受講生に入力をさせてみたところ、キー入力が遅いばかりでなく、英語理解の不足からか、語単位でなく文字単位での入力確認動作となり、時間がかかり学習意欲も見ると下がってしまった。そこで、今回は途中から、サンプルプログラムの該当部分をコピー&ペーストで挿入させることにした。

もともとサンプルファイルの方では、解説用に更新差分部分がマークアップしてあったので、エディターで開き、行番号で指示することによって、混乱なく該当部分を見つけることができ、スムーズにコピー&ペーストをすることができた。GUIによるマウスを使ったコピー&ペースト作業には、受講生は良く慣れているようであった。

```

89 enemy.frameCount = (enemy.frameCount+1)%60;
90
91 bulletLayer.childNodes.forEach(function(e) { //-----m05で追加
92   if(this.intersect(e)) { //---衝突判定--->
93     this.parentNode.removeChild(this);
94     e.parentNode.removeChild(e);
95     scoreLabel.score +=1;
96   }
97 }, this); //-----m05で追加
98
99 if(enemy.frameCount ===5|enemy.frameCount ===10|enemy.frameCount ===15){//-----m04で追加
100   var enemyBullet = new Sprite(16,16);
101   enemyBullet.image = game.assets["icon0.gif"];
102   enemyBullet.frame = 56;
103   enemyBullet.x = enemy.x +8;
104   enemyBullet.y = enemy.y +;
105   enemyBullet.addEventListener(Event.ENTER_FRAME,function(){
106     enemyBullet.y += 10;
107     if(enemyBullet.y > 510)enemyLayer.removeChild(enemyBullet);
108   });
109   enemyBulletLayer.addChild(enemyBullet); //-----m04で追加
110
111

```

図 6 サンプルファイルの差分部分の例

講座でのプログラム作成のステップは、

1. テンプレートの利用

Web ページの基本設定と JavaScript の利用
enchanted.js の読み込み部分

加速度センサーの準備

キャラクターの画像の読み込みと生成

ステージとアニメーションの設定

各オブジェクトのレイヤーの準備

エディターによる修正と保存

ブラウザによる実行や再読み込み

2. キャラクターの動作

タッチパネルによる動き

x, y の座標と移動

3. 発射弾の作成

Sprite クラスから弾クラスの生成

弾の属性（絵や動き）、発射タイミングの設定

弾を弾レイヤーの子プロセスとして生成

4. 敵登場

Sprite クラスから敵クラスの生成

敵の属性や機能の定義

敵を敵レイヤーの子プロセスとして生成

ローカル変数とグローバル変数の違い

5. 敵の攻撃

Sprite クラスから敵弾クラスの生成

敵弾の動きや発射タイミングの設定

敵弾を敵弾レイヤーの子プロセスとして生成

子プロセスの消去の仕方

6. 敵に命中

弾と敵の接触判定

親プロセスに対して子プロセスの排除命令

7. 効果音

敵の爆発音を入れる。サウンドデータの扱い

8. Class を定義して使う

弾と敵弾の定義から共通部分を括りだし, Sprite クラスから新しいクラスを定義する

新しく定義したクラスを使って弾と敵弾の定義を簡単に書き直す

9. タップに反応

一定間隔で出ていた発射弾をタップした時に発射するように変更する

10. ライフを有効にする

自キャラと敵弾の接触判定

ライフ機能を起動し、ゲームの終了を付ける

11. 加速度センサーによるコントロール

自キャラを加速度センサーでコントロールできるようにする

12. 発射音

弾発射時に発射音が出るようにする

13. 新しい敵キャラ

別な動きをする新しい敵キャラ敵 2 を定義する

14. 新しい敵クラスの定義

新旧の敵の定義を比べ、新しい敵クラスを定義して、敵と敵 2 の定義を簡単にする

15. 新しい敵クラスの利用

新しい敵クラスをつかって、敵 3 を定義する

16. 被弾効果の追加

自キャラが被弾した際の効果（短時間の爆発の絵と音）を追加する。

というものであった。実際の講座では、5 か 6 の終了後にお昼休みをとった。また、11 の後で、ファイルのアップロードと URL の QR コード作成をおこない、各自のスマホでの動作確認を行った。

Enchant.js はもともとゲーム作成のためのライブラリーであり、Game クラスの属性として、fps やスタート画面、得点、ライフなどが用意してあり、ゲームプログラムに特有の細々した設定をいちいち自分で定義する必要はない。

JavaScript はモダンな言語であり、クラスからインスタンスを作ったり、クラスを継承するといった作業を行うが、教科書では色々な属性や機能を持ったオブジェクトの説明に、動物や機械など実世界にある物体

を例に使うことが多いが、ゲームに出てくるロケットや敵 UFO といったオブジェクトはまさしく実世界の物体のシンボルであり、クラスの定義としていろいろな属性や機能を持つことはとても自然な説明となる。また、プログラムを発展させていく際にも、新しい属性や機能の追加という形でのオブジェクトの発展もプログラムの自然な改良である。

本講座のなかでは、弾と敵キャラに関して、わざと類似オブジェクトの定義を別々に行ってから、その冗長性をなくす形で、クラスを定義することの意義を説明した。新しい敵キャラの定義では、新しい定義をまじめに行っていくが、行っているうちにすでにある敵の定義と同じ命令がいくつも出てくることに気づく生徒が出てくる。新しい敵の定義の際に、弾の時に一度やっているのと同様に、すでにある敵とまとめて敵クラスを作りそれを継承することによって、効率良く定義できることを気づく生徒もいた。

4. 受講者の反応

中高生を対象とした当日募集のオープンな講座であり、参加者についてはこちらではコントロールできない。結果として 2 日間とも高校生の参加者はなく、

全員が中学生で、さらに約半分が一年生であった。うちほぼ 1/3 が女子学生であった。この参加者の学年構成のために、英語に対する素養が不十分であったのか、プログラム入力の際に語単位ではなく文字単位での作業をしているように見え、コード入力とデバッグ作業に時間をとられた。キー入力からコピー&ペースト式の作業に切り替えた以降は、特に問題なく授業を進めることができ、受講者全員がゲームを完成させてアップロードし、ダウンロード用の URL の QR コードの作成まで終了することができた。

終了時のアンケートをとった結果が表 1 である。回収数は 2 日間の総計 17 枚で、うちの一枚は女子生徒の隣の席で授業参加していた父親のものであった。アンケートの結果は総じて好評であり、難易度も分量も良い評価であった。難易度について「難しすぎる」という唯一の回答は父親のものであった。

題材として「家で続きをやるようなもの」というのが主催者側からの要望であったが、アンケートを見る限り、受講生の意欲は十分に見られる。ただ、実際に家でプログラム作成の続きを行ったかどうかは、今回は追跡調査を行ってはいない。

表 1 アンケート結果

Q1. 楽しかったですか？	5. 楽しかった	4. まあまあ楽しかった	3. まあまあだった	2. あんまし	1. 期待はずれ
	17	0	0	0	0
Q2. 家で続きを？	5. 絶対やる	4. できればやる	3. わからない	2. あんまし	1. やらない
	5	12	0	0	0
Q3. 説明は	5. グッド	4. まあまあグッド	3. こんなもん	2. あんまし	1. 判らない
	13	3	1	0	0
Q4. 内容は？	5. ちょうど良い	4. まあまあ	3. 少ない	2. 多すぎ	1. 物足りない
	6	6	4	0	0
Q5. 難易度は？	5. ちょうど良い	4. まあまあ良い	3. こんなもん	2. 難しすぎ	1. 物足りない
	6	6	4	1	0

5. おわりに

本論文では、われわれが行った中高生を対象とした一日プログラミング教室用の教材の開発と松本広域ものづくりフェアでの試用の結果を報告した。

中高生対象ということで、スマホで動くゲームを JavaScript で Enchant.js を使って作ることにした。受講生全員が、ゲームを完成しアップロードまで完了したことやアンケート結果から見て、難易度も分量も一日イベント（4 時間程度）の講座として過不足ないものであったと考えられる。高校によって学内でのスマートフォンの扱いはいろいろであろうが、「情報」の授業でも 4 コマを使ったプログラミング教育に使えるのではないかと考えている。シューティングゲームは男子生徒向きに見えるが、今回参加した生徒は男女を問わず楽しんでいたように見られた。

エディターを使いキー入力を予定していたが、受講生の様子から断念し、コピー&ペーストでプログラムの作成を進めたので、文法や具体的な命令を覚えるような言語教育という面では効果は期待できない。キー入力によるプログラム作成に問題があったのは、中高生ということで募集したが、実際には中学生、それも一年生が多く、キー入力に慣れていなかったためだと考えられる。実際著者の一人（浅見）は同様の内容を本務校商業科 3 年生対象の選択科目で授業に使ってみたが、キー入力による問題は特に現れなかった。中学入学から高校 3 年までの 6 年間に身に付けたキー入力や英単語のリテラシーの成果と考えられる。

html ファイルをサーバ上にアップロードした後で、プログラムの改良のためにサーバ上での編集を求めた受講生がいた。今回はサーバのセキュリティーを意識して、html ファイルのアップロード以外の操作はできないようにしたが、ソースファイルの作成・編集もサーバ上で行うようなシステムの構築も考えられるが、セキュリティーの問題とのトレードオフと考える。

謝辞

本研究は松本大学 COC「地（知）の拠点」活動の補助を受けた。キッズプログラミング教室（ヤングプログラミング教室）の開催にあたって便宜をはかってくださった「まつもと広域ものづくりフェア」実行委員

会、並びに松本大学情報センターに感謝する。

参考文献

- (1) 布留川英一，伏見遼平，田中諒：“ゼロからはじめる enchant.js 入門” ASCII，東京（2012）

思考スキルと個人特性に着目した小学校における プログラミング教育の長期間経過後の効果の分析

荒木貴之^{*1}, 板垣翔大^{*2}, 齋藤玲^{*2}, 佐藤和紀^{*2*3}, 堀田龍也^{*2}

^{*1} 武蔵野大学, ^{*2} 東北大学大学院情報科学研究科, ^{*3} 杉並区立高井戸東小学校

Analysis of Long-Term Effects in Programming Education at Elementary School Focused on Thinking Skills and Personal Characteristics

Takayuki ARAKI^{*1}, Shota ITAGAKI^{*2}, Ryo SAITO^{*2}, Kazunori SATO^{*2*3}, Tatsuya HORITA^{*2}

^{*1} Musashino University, ^{*2} Graduate School of Information Sciences, Tohoku University,

^{*3} Takaido-Higashi Elementary School

10年前に小学校で2年間以上プログラミング教育を受講した大学生と高校生を対象に、受講した当時のプログラミング教育とその効果の把持に関する自己評価をするための質問紙調査と半構造化インタビュー調査を行った。その結果、授業だけでなく放課後の活動、あるいは外部人材を指導者として招いた公開講座への参加など、授業以外の場面においてもプログラミング経験をした生徒ほど、プログラミング教育に対する肯定的な評価が見られた。また、21世紀型スキル、論理的思考および認知欲求などの個人特性においても特徴が見出された。これらに加え、プログラミング教育とすべての教科共通の思考スキルとの関係性が見出されたが、それは一様なものではなかった。これらのことから、今後小学校でプログラミング教育を各教科で実施する際の、教員によるカリキュラム・マネジメントの重要性と方向性が示唆された。

キーワード: 小学校, プログラミング教育, 思考スキル, 21世紀型スキル, 論理的思考

1. はじめに

小学校におけるプログラミング教育の必修化は、2020年度から実施される新しい学習指導要領の柱の1つである。

文部科学省・中央教育審議会(2016)は、「幼稚園、小学校、中学校、高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善及び必要な方策等について(答申)」の中で、「将来どのような職業に就くとしても、時代を超えて普遍的に求められる『プログラミング的思考』などを育むプログラミング教育を通じて、身近なものにコンピュータが内蔵され、プログラミングの働きにより生活の便利さや豊かさがもたらされていることを理解し、そうしたプログラミングを、自分の意図した活動に活用していけるようにすることもますます重要」と提起した。この答申において「プログラミング的思考」とは、「自分が意図する一連の活動を実現するため

に、どのような動きの組合せが必要であり、一つ一つの動きに対応した記号を、どのように組み合わせたらいいのか、記号の組合せをどのように改善していけば、より意図した活動に近づくのか、といったことを論理的に考えていく力」と定義づけられている。そして、小・中・高等学校を通じたプログラミング教育の充実を図るために、「小学校において教科等における学習上の必要性や学習内容と関連付けながらプログラミング教育を行う単元を位置付けること、中学校の技術・家庭科技術分野においてプログラミング教育に関する内容が倍増すること、高等学校における情報科の共通必修科目の新設」が掲げられた⁽¹⁾。

小学校の各教科と情報教育との関連について泰山ら(2014)は、「情報教育に関する目標は各教科の中に分散されており」、「体系的な情報教育のために教科横断的な思考スキルの指導が重要」であることを指摘して

いる^②。また、堀田（2016）は、小学校でプログラミング教育を実施することにより、「コンピュータはプログラムで動いているということ」、「プログラムは誰か人が作っているということ」、「コンピュータには、得意なところと、なかなかできないところがあるということ」の3つの目標を、児童に体験的に理解させることの重要性を提起している。そして、「プログラミングに興味を抱いた子供が、多様な才能を伸ばしていくことができる」ために、「民間企業やNPO法人等に協力を仰ぐなど、官民が連携して指導体制を整えていく」ことを提案している^{③④}。さらに、山本ら（2016）は、初等中等教育におけるプログラミング教育について、「小学校段階でプログラミングの学習経験がある子どもは少なく」、今後「どのような方法でどの程度の力を身につけるか」ということについて、明らかにする必要があると指摘している^⑤。

しかしながら、これまでに小学生がプログラミングを授業で学び、長期間経過した後には当時の学習についてどのような効果を感じているのかを明らかにするための研究は行われていない。そこで本研究では、次期学習指導要領で実施される小学校におけるプログラミング教育により、児童にどのような力が育つのか、また、そのプログラミング教育が長期間を経てどのような効果を及ぼしているのかについて、10年前に実際に小学校でプログラミングを学んだ学習者本人に振り返らせることを通して、明らかにすることとした。またこれに併せて、プログラミング教育が各教科に単元を設けて実施されるために、教科共通の思考スキルとプログラミング教育との関連も分析した。

2. 目的

10年前に小学校において、授業および課外活動等でプログラミング教育を体験した大学生と高校生に、当時のプログラミング教育とその効果の把持について振り返らせることを通して、プログラミング教育と関連のある教科共通の思考スキルを明らかにするとともに、プログラミング教育と個人特性（21世紀型スキル、論理的思考、認知欲求）との関係性について分析する。

3. 方法

3.1 対象

R小学校（2006年開校）において、学校設定科目として開設された「ロボティクス科」^⑥で、プログラミング教育を受講した当時の小学校1年生から3年生までの20名を対象とした。調査実施時の年齢は、高校2年生1名、高校3年生11名、大学1年生8名であった。

3.2 プログラミング学習環境

当該小学校では、2006年から2009年の3カ年に渡り、独立行政法人メディア教育開発センターによる「NEXTプロジェクト」のモデル校に指定され、1人1台のPC環境を活かした教育環境やその効果について、実証研究が行われた。この「NEXTプロジェクト」では、魅力的な教材とユビキタスな学習機会の提供を通して、考える力や分析力、豊かな表現力など、総合的な幅広い学力の向上が目標として掲げられていた^⑦。当該小学校では、ものづくりを通じたサイエンス学習として学校設定科目「ロボティクス科」がある。「ロボティクス科」では、理科・生活科・図画工作科等を横断したクロスカリキュラムがあり、第1学年から第4学年までが年間30単位時間（1単位時間は40分）取り組まれていた^⑧。「ロボティクス科」は、Seymour Papertが提唱したConstructionism（構築主義）に基づき、「力・構造」、「電気・回路」、「プログラミング・制御」、「デザイン」および「社会倫理」の5領域から構成されていた。「プログラミング・制御」領域では、マサチューセッツ工科大学メディアラボで開発された小型コンピュータ「クリケット」、アラン・ケイ氏らが開発にかかわったビジュアルプログラミング環境「Squeak」、レゴ社の「教育版レゴ・マインドストーム」等の教材を用いて、プログラミングを用いた制御についての学習があった。

実際の授業では、2人1組でプログラミングを学習するペア・プログラミングを採用していた。また、R小学校では、学校休業日には近隣の児童を対象としたNPO法人との共催によるプログラミング公開講座や、放課後にはロボット部の活動などが行われ、それぞれの活動に児童が任意に参加していた。

3.3 実施方法

調査日に参加できた協力者には質問紙により、進学や留学で遠隔地にいる協力者には web フォームにより、アンケート調査を 2016 年 12 月に実施した。調査紙冒頭のフェースシートでは、協力者のプログラミング経験を同定するために、プログラミング公開講座への参加やロボット部での活動の有無について尋ねた。

設問 1 は「21 世紀型スキルに関する設問」(表 1) とし、プログラミング学習により、自分の 21 世紀型スキル(三宅ら 2014⁹⁾) がどの程度向上したと思うかを尋ねた。「まったくあてはまらない」1 点、「あてはまらない」2 点、「あまりあてはまらない」3 点、「ややあてはまる」4 点、「あてはまる」5 点、「とてもよくあてはまる」6 点として、計 10 項目を 6 件法で回答を求めた。

設問 2 は、「プログラミング教育に関する設問」(表 2) とした。「小学生(または子ども)」と「プログラミング」を書名に含み、2015 年から 2016 年に発刊された 4 点の書籍から、教育工学を専門分野とする研究者 4 名が抽出したプログラミングに関連がある項目に加え、山本ら(2016)が示した「プログラミングに関する教育の効果」、堀田(2016)が提起したプログラミング教育の目的により質問項目を構成した。自らのプログラミング学習を振り返り、どのように感じるかについて、計 20 項目を 6 件法で回答を求めた。

設問 3 は、「論理的思考力に関する設問」(表 3) とした。平山ら(2004)が示した批判的態思考尺度¹⁰⁾を用い、プログラミング学習により、どのような力が身につくと感じるかを尋ねた。「まったくあてはまらない」1 点、「あまりあてはまらない」2 点、「どちらともいえない」3 点、「ややあてはまる」4 点、「あてはまる」5 点とし、計 17 項目を 5 件法で回答を求めた。

表 1 21 世紀型スキルに関する設問

【カテゴリー1: 思考の方法(Ways of Thinking)】

1. 創造性とイノベーション
2. 批判的思考・問題解決・意思決定
3. 学びの学習とメタ認知

【カテゴリー2: 仕事の方法(Ways of Working)】

4. コミュニケーション
5. コラボレーション、チームワーク

【カテゴリー3: 仕事のツール(Tools for Working)】

6. 情報リテラシー
7. ICT リテラシー

【カテゴリー4: 社会生活(Skills for Living in the World)】

8. 地域とグローバルのよい市民であること
9. 人生とキャリア発達
10. 個人の責任と社会的責任

表 2 プログラミング教育に関する設問

1. 楽しかった
2. 問題解決能力が身についた
3. 論理的思考力が身についた
4. 将来の可能性が広がった
5. 自分に自信がもてた
6. 創造性を広げることができた
7. 進んで試行錯誤できるようになった
8. 進んで学習するようになった
9. 自分のアイデアを実現できてうれしかった
10. 答えがないことがおもしろかった
11. Word や Excel を使えるようになった
12. 先を読む力が身についた
13. アイデアをもつことができるようになった
14. アイデアをどうすれば実現できるか考えることができるようになった
15. アイデアを行動に移す実行力や積極性、主体性が身についた
16. 試行錯誤を繰り返す粘り強さや段取り力が身についた
17. アイデアを実現したものを、積極的に世の中に発信するための自己主張性や人前で話す力が身についた
18. コンピュータはプログラムで動いているということがわかった
19. プログラムは誰か人が作っているということがわかった
20. コンピュータには、得意なところと、なかなかできないところがあるということがわかった

表 3 論理的思考力に関する設問

【カテゴリー1: 論理的思考への自覚】

1. 難しい問題について 1 つ 1 つ順番に考えることが得意だ
2. 友達や先生がよくわかるような説明をすることができる
3. 先生や友達の言うことを自分の言葉でまとめることができる
4. すぐに答えが見つからない問題でも取り組み続けることができる
5. 1 つ答えが見つかってさらにいい答えがないか考えることができる

【カテゴリー2: 探究心】

6. いつも新しいことを学び続けたいと思う
7. 自分とは違う友達の考え方に興味がある
8. 自分とは違う考えの友達と話すのはおもしろい

【カテゴリー3: 客観性】

9. なにか決める時は自分の考えだけでなく、友達がどう思うかも考えるようにする
10. 意見が違う友達の話も聞くようにする
11. いつも親や先生、友達などさまざまな人がどう思うかを考える

【カテゴリー4: 証拠の重視】

12. 考えをまとめる時は、ちゃんとした証拠があるかどうか考える
13. なにかを決める時には、できるだけ証拠があるかどうかを調べる
14. 先生や友達の話など何事も、すぐには信じこまないで少し疑うようにしている

【カテゴリー5: 問題への理解】

15. 問題の解き方や問題の内容について確認しながら取り組んでいる
16. 問題の解き方を 1 つ 1 つ順番に説明できる
17. 問題の解き方を頭の中で想像できる

設問 4 は、「思考スキルに関する設問」(表 4) とし、泰山ら (2014) が示した 19 の教科共通の思考スキルについて、プログラミング教育と関係があると思われる項目をすべて選ぶよう求めた。設問には、19 の教科共通の思考スキルそれぞれについて、泰山らの定義を参考に、「多面的にみる：多様な視点や観点にたって対象を見る」のように、補足の説明を付け加えた。

設問 5 は、「Grit に関する設問」(表 5) とし、西川ら (2015) が示した日本語版 Short Grit 尺度⁽¹¹⁾を用いて自分自身のことをどう思うかを尋ねた。「まったくあてはまらない」1 点、「あまりあてはまらない」2 点、「どちらともいえない」3 点、「ややあてはまる」4 点、「あてはまる」5 点とし、計 8 項目を 5 件法で回答を求めた。

設問 6 は、「認知欲求に関する設問」(表 6) とし、Cacioppo *et al.* (1996) による NFC (Needs for Cognition) 尺度⁽¹²⁾を日本語訳した質問項目を用いて、自分自身のことをどう思うかを尋ねた。「まったくあてはまらない」1 点、「あてはまらない」2 点、「あまりあてはまらない」3 点、「どちらともいえない」4 点、「ややあてはまる」5 点、「あてはまる」6 点、「よくあてはまる」7 点とし、計 15 項目を 7 件法で回答を求めた。

表 4 思考スキルに関する設問

多面的にみる	変化をとらえる	順序立てる	比較する
分類する	変換する	関係づける	関連づける
理由づける	見通す	抽象化する	焦点化する
評価する	応用する	構造化する	推論する
具体化する	広げてみる	要約する	

表 5 Grit に関する設問

【カテゴリー1：根気尺度】

2. 頑張り屋である

1. 始めたことは何であれやり遂げる

4. 私は困難にめげない

7. 勤勉である

【カテゴリー2：一貫性尺度】

8. 新しいアイデアや計画を思いつくと、以前の計画から関心がそれる (逆転)

3. 終わるまでに何ヶ月もかかる計画にずっと興味を持続するのは難しい (逆転)

6. いったん目標を決めてから、後になって別の目標に変えることがよくある (逆転)

5. 物事に対して夢中になっても、しばらくするとすぐに飽きてしまう (逆転)

表 6 認知欲求に関する設問

- あまり考えなくてもよい課題よりも、頭をよく使う難しい課題のほうが好きだ
- たくさん頭を使わなければ達成できないようなことを目標にすることが多い
- 必要以上に考える方である
- 新しい考え方を学ぶことに興味がない (逆転)
- 一生懸命考え、多くの知的な努力を必要とする重要な課題を成し遂げることに、とくに満足感をおぼえる
- 必要以上には考えないほうである (逆転)
- 一度覚えてしまえば、あまり考えなくてもよい課題が好きだ (逆転)
- 長い時間にわたって一生懸命考えることは苦手だ (逆転)
- 考えることは楽しくない (逆転)
- 深く考えなければならぬような状況は、避けたい (逆転)
- 生活の中で、自分が何をすべきかについて考えることは、好きではない (逆転)
- 常に頭を使っていなければ、満足できない
- 生活の中で、自分自身で解決しなければならない難しい課題は、多いほうがよい
- 単純な課題よりも、複雑な課題のほうが好きだ
- 問題の答えがなぜそうなるのか理解するよりも、単純な答えだけを知っているほうがよい (逆転)

4. 結果

4.1 分析方法

20 名の対象者を、プログラミングを学校の授業のみで学習した「初級者群 ($n=7$)」、授業に加えて授業以外で行われた公開講座に参加していた「中級者群 ($n=6$)」、さらに放課後の部活動に参加し、国内外で開催されたロボット大会に参加していた「熟達者群 ($n=7$)」とし、プログラミング経験の違いにより、対象を 3 群に分けて分析を行った。

4.2 各項目の結果

4.2.1 プログラミングと思考スキルとの関係

20 名の対象者からは、泰山ら (2014) が示した 19 の教科共通の思考スキルのすべてに、プログラミングとの関連性を指摘する回答が得られた。各群において、生徒がプログラミング学習と関連があると回答した教科共通の思考スキルの個数の平均値は、初級者群が $M=10.9$ ($n=7$, $SD=4.4$)、中級者群が $M=10.5$ ($n=6$, $SD=1.0$)、熟達者群が $M=10.6$ ($n=7$, $SD=4.6$) であ

表7 プログラミングで育まれる思考スキル

回答数が10を超えた項目		回答数が10以下の項目	
見通す	16	抽象化する	5
順序立てる	15	関係づける	7
変換する	15	焦点化する	9
比較する	14	具体化する	9
構造化する	13	変化をとらえる	10
多面的にみる	12	評価する	10
理由づける	12	要約する	10
推論する	12		
分類する	11		
関連づける	11		
応用する	11		
広げてみる	11		

り、有意な群間差は認められなかった。項目ごとの回答数は最大で16（見通す）、最小で5（抽象化する）となり、項目間の回答数には差異が認められた（表7）。また、プログラミング経験と19の教科共通の思考スキルとの関係性については、多変量解析により教科共通の思考スキル相互の相関係数を求めたところ、熟達者群・中級者群・初級者群において差異が認められた。熟達者群では、教科共通の思考スキル間において、「変換する」・「理由づける」・「推論する」、「関連づける」・「要約する」、「構造化する」・「具体化する」の間に強い関連性（ $r=1.0$ ）が認められた（図1）。中級者群では、教科共通の思考スキル間において、「変換する」・「比較する」・「分類する」の間に強い関連性（ $r=1.0$ ）が認められた（図2）。初級者群では、教科共通の思考スキル間において、「抽象化する」・「応用する」および「焦点化する」・「推論する」の間に強い関連性（ $r=1.0$ ）が認められた（図3）。

4.2.2 プログラミング経験と21世紀型スキルとの関係

10項目の21世紀型スキルのうち、カテゴリ1（思考の方法）に含まれる「創造性とイノベーション」（ $r=.451$ ）と、カテゴリ4（社会生活）に含まれる「人生とキャリア発達」（ $r=.532$ ）の2項目とプログラミング経験との間に、5%水準で有意な相関が認められた。

4.2.3 プログラミング経験とプログラミング教育に対する捉え方との関係

6件法（最高値6点、最低値1点）の調査においてどの群においても高い評価であったのは、プログラミ

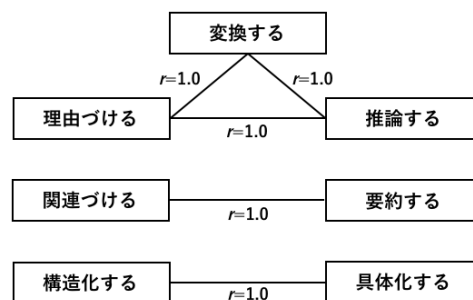


図1 熟達者群における教科共通の思考スキルの相関



図2 中級者群における教科共通の思考スキルの相関

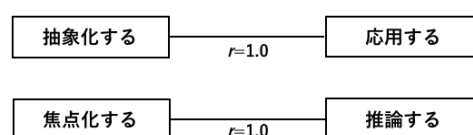


図3 初級者群における教科共通の思考スキルの相関

ングの授業が「楽しかった」（ $n=20, M=5.6, SD=.67$ ）であった。また、次期学習指導要領におけるプログラミング教育の目標として掲げられている「コンピュータはプログラムで動いているということがわかった」（ $n=20, M=5.5, SD=1.2$ ）、「プログラムは誰か人が作っているということがわかった」（ $n=20, M=5.4, SD=1.3$ ）、「コンピュータには、得意なところと、なかなかできないところがあるということがわかった」（ $n=20, M=5.2, SD=1.3$ ）の3項目の平均値は、いずれも高い数値を示した。

プログラミング学習で育まれたこととして、「問題解決能力が身についた」（ $r=.451$ ）、「自分に自信がもてた」（ $r=.507$ ）、「進んで試行錯誤できるようになった」（ $r=.478$ ）、「試行錯誤を繰り返す粘り強さや段取り力

が身についた」($r=.555$)の4項目とプログラミング経験との間に、5%水準で有意な相関が認められた。

4.2.4 プログラミング経験と論理的思考力との関係

プログラミング教育で育まれたこととして、カテゴリー2(探究心)の「いつも新しいことを学び続けたいと思う」($r=.471$)およびカテゴリー5(問題への理解)の「問題の解き方を頭の中で想像できる」($r=.471$)の2項目とプログラミング経験との間に、5%水準で有意な相関が認められた。

4.2.5 プログラミング経験と Grit との関係

日本語版 Short Grit 尺度の全体得点とプログラミング経験、下位尺度である根気尺度および一貫性尺度とプログラミング経験との間には、有意な相関を見出すことはできなかった。

4.2.6 プログラミング経験と認知欲求との関係

認知欲求については、「あまり考えなくてもよい課題よりも、頭をよく使う難しい課題のほうが好きだ」($r=.444$)および「長い時間にわたって一生懸命考えることは苦手だ」($r=-.494$)の2項目とプログラミング経験との間に、5%水準で有意な相関が認められた。

また、調査をした熟達者群・中級者群・初級者群の認知欲求尺度15項目の全体得点の平均値および統計量は、図4のようになった。記述統計の値から、熟達者群がほかの2群よりも得点が高いことがわかった。このことから、熟達者群の認知欲求の高さ、換言すれば好奇心の高さが示唆される。なお、プログラミング経験と認知欲求尺度得点との間の相関係数は $r=.399$ で

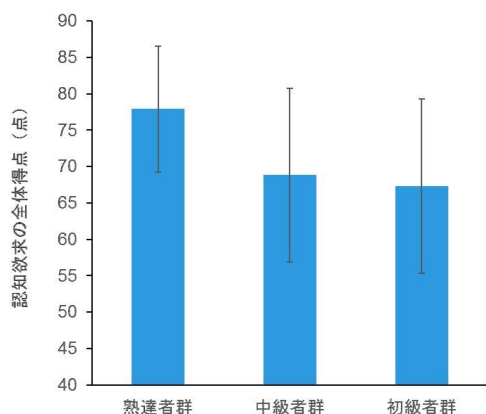


図4 認知欲求尺度得点 (エラーバーは±SD)

あり、弱い相関が認められた。

5. 考察とまとめ

本研究では、10年前に小学校で授業および課外活動等でプログラミング教育を体験した大学生と高校生に、プログラミング教育とその効果の把持について振り返らせることを通して、プログラミングで身につく教科共通の思考スキルを明らかにするとともに、プログラミングと個人特性(21世紀型スキル、論理的思考、認知欲求)との関係性についての分析を試みた。

「思考スキル」に関する設問では、19の教科共通の思考スキルとプログラミング教育との関連性が明らかになった。「コンピュータには、得意なところと、なかなかできないところがあるということ」と併せて、プログラミング教育で育まれる教科共通の思考スキルの同定が今後求められる。そのことが、小学校の教員が各教科の単元の中で、効果的にプログラミング教育を実施していく際の、カリキュラム・マネジメントに大いに参考となるであろう。また、プログラミング経験の違いにより、教科共通の思考スキル同士の関連性に差異が見られた。熟達者群では、複数の教科共通の思考スキルを関連付けて捉える傾向が見られたが、このことがプログラミング経験とどのような関係があるのか、今後詳細な分析が必要である。

「21世紀型スキル」に関する設問では、「創造性とイノベーション」や「人生とキャリア発達」とプログラミング経験との関連性が示唆された。これは、堀田(2016)が指摘する「プログラミングに興味を抱いた子供が、多様な才能を伸ばしていくことができるように」、学校の授業だけでとどまらない外部人材との連携やそのような体制構築が重要であることを示している。

「プログラミング教育」に関する設問では、当該小学校のプログラミング授業は、STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics の融合)に基づくものであり、ハンズオンラーニングによるものづくり体験を伴っているため、プログラミング経験の差異にかかわらず「楽しかった」と高い評価をしていた。また、次期学習指導要領が目指すプログラミング教育の3つの目標がいずれも高い評価を示しており、当該小学校で10年前に実施されたプログラミング教

育の内容の、通用性と汎用性が示された。さらに、熟達者群では、プログラミング教育によって、問題解決能力を身につけ、自分に自信をもち、進んで試行錯誤を行い、粘り強さや段取り力が身についたと評しており、学校と外部との連携の重要性を示唆している。

「論理的思考力」に関する設問では、多様なプログラミング経験と、「新しいことを学び続けたい」とする態度や「問題の解き方を頭の中で想像できる」とする思考法との関連性が示唆された。質問紙調査とあわせて実施した半構造化インタビュー調査の中で、「頭の中でフローチャートを思い浮かべながら課題解決をする」と述べた熟達者群の生徒もおり、今後半構造化インタビューの詳細な質的分析を通して、プログラミングと思考の関係性について、追加の分析が検討される。

「認知欲求」に関する設問では、多様なプログラミング経験と、「難しい課題」を好む傾向や「長い時間をかけて考える」傾向との関連性が示唆された。これらの関係が、元々そのような傾向をもつ子どもがプログラミングに向いているのか、あるいは、プログラミングによって育まれるのか、プログラミング教育の前後の個人の変容に着目した縦断的な研究が求められる。

質問紙の最後の自由記述欄や半構造化インタビュー調査の中で、「コンピュータに対する抵抗感がなくなった」、「コンピュータを使えば、問題を解決できる」との回答もあり、コンピュータの操作やプログラミングを十分に体験することで、プログラミング以外のアプリケーションを扱うことへの抵抗感の低減や、コンピュータを使った課題解決への自信が生まれたことが推察される。

今後の課題としては、第一に、半構造化インタビュー調査で得られた調査対象者の語りの質的分析が挙げられる。質問紙調査と同日に実施した半構造化インタビューの中で、熟達者群の中には、大学で理工学部ロボティクス学科へ進学した者や、課題解決を頭の中でフローチャートを思い浮かべながら行うと答えたものもいた。プログラミング経験が、10年後に学習者にどのような影響を及ぼしているのか、あるいは把持されているのか、今後分析をしていかなければならない。

第二に、本研究では10年前にプログラミング教育を受けた児童の振り返りを研究対象としたが、今後小学校で必修化されるプログラミング教育に対する、教

員や保護者の過度な期待や不安を同定しておくことは、すべての小学校で適切にプログラミング教育が実施されるために欠かすことができない。本研究で得られた知見を元に、10年前にプログラミング教育を担当した指導者を対象として、どのような目的の元に授業あるいは活動を実施したのかを自己評価させ、それらを体験した大学生や高校生の振り返りと比較するなど、発展的な追加研究が考えられる。

本研究をきっかけとして、分析対象を小・中・高の児童生徒や保護者、指導教員に広げていくなど、系統的なプログラミング教育の効果を明らかにするために、広範な調査研究を進めていきたい。

参 考 文 献

- (1) 文部科学省・中央教育審議会：“幼稚園、小学校、中学校、高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善及び必要な方策等について（答申）”，http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/_icsFiles/afieldfile/2017/01/10/1380902_0.pdf（2017年1月29日確認）
- (2) 泰山裕・小島亜華里・黒上晴夫：“体系的な情報教育に向けた教科共通の思考スキルの検討—学習指導要領とその解説の分析から—”，日本教育工学会論文誌 37(4), pp.375-386（2014）
- (3) 堀田龍也：“なぜ小学校から必要なのか？プログラミング教育が目指すもの”，総合教育技術, 71(10), pp.44-47, 小学館，東京（2016）
- (4) 堀田龍也：“初等中等教育における情報教育”，日本教育工学会論文誌 40(3), pp.131-142（2016）
- (5) 山本利一・本郷健・木村猛能・永井克昇：“初等中等教育におけるプログラミング教育の教育的意義の考察”，日本教育情報学会 32(2), pp.3-11（2016）
- (6) 立命館小学校：“まるごと立命館小メソッド～発見・創造・基礎基本”，学事出版，東京（2009）
- (7) マイクロソフト株式会社：“NEXT プロジェクト報告書 エデュステーション for School 特別号”，マイクロソフト社，東京（2009）
- (8) 荒木貴之：“ロボットが教室にやってきた—知的好奇心はこうして伸ばせ：立命館小学校のアイディア—”，教育出版，東京（2008）
- (9) 三宅なほみ・益川弘如・望月俊男編訳：“21世紀型スキル：学びと評価の新たなカタチ”，北大路書房，京都（2014）

- (10) 平山るみ・楠見孝：“批判的思考態度が結論導出プロセスに及ぼす影響—証拠評価と結論生成課題を用いての検討—”, *教育心理学研究*, 52(2), pp.186-198 (2004)
- (11) 西川一二・奥上紫織里・雨宮俊彦：“日本語版 Short Grit(Grit-S)尺度の作成”, *パーソナリティ研究*, 24(2), pp.167-169 (2015)
- (12) Cacioppo, J. T., Petty, R. E., Feinstein, J. A., & Jarvis, W. B. G.: “Dispositional differences in cognitive motivation: The life and times of individuals varying in need for cognition.”, *Psychological Bulletin*, 119, pp.197-253 (1996)

初学者を対象とした授業用プログラミング学習環境の構築

布施 泉^{*1}, 中原 敬広^{*2}, 岡部 成玄^{*1}

^{*1} 北海道大学 ^{*2} 合同会社三玄舎

Learning Environment for Programming in Beginner's Class

Izumi FUSE^{*1}, Takahiro NAKAHARA^{*2}, Shigeto OKABE^{*1}

^{*1} Hokkaido University ^{*2} Sangensha LLC.

The purpose of this research is to investigate the learning environment of programming for beginners in a class by evaluating the environment through construction of its prototype and concrete practices. We have developed a learning environment of programming as a Moodle plug-in so that learning history of learners can be managed. We have implemented a learning environment which allows learners to browse learning materials, create a program and execute it on PC. We have used the learning environment for beginners in a class of 2016. According to the self-evaluation of the learner, the degree of satisfaction for the lesson is generally good on an average, although the lesson is judged to be harder on an average. This shows that the implemented learning environment of programming is effective for beginners.

キーワード: プログラミング, 学習環境, 授業, 大学, 初学者

1. はじめに

本研究の目的は、初学者が授業で用いるためのプログラミング学習環境を検討し、プロトタイプ of プログラミング学習環境の構築とそれを用いた具体的な実践による当該学習環境の有効性の評価を行うことにある。

初学者に対するプログラミング教育は、初等中等教育段階から高等教育に至るまで、様々な教育実践がなされている。例えば岡本らは、プログラミング学習における模倣の重要性に着目し、初学者のプログラムの模倣におけるつまずきについて、認知的負荷理論を用いた類型化を行い、非本質的な認知的負荷が要因となるつまずきを、教材の工夫により低減できることが示した^[1]。関谷らは、初学者のトレーシングにおいて誤りやすい解釈に基づく誤った出力を得る仕組みを作成することで、初学者の誤答パターンの分析を行った^[2]。兼宗らは、オンラインで利用可能なプログラミング学習環境を提案し、複数のプログラミング言語に対応可能な統合環境を提案している^[3]。

どのようなプログラミング言語を、どのような学習環境でどのように用いるのが初学者のプログラミング

的思考の向上につながるかは、発達段階に応じ、今後とも実践を進めていく必要がある。現時点では確固たる方法が確立しているわけではなく、研究は発展途上であると考えられる。本研究では、このような背景を踏まえ、大学の一般教育としての授業を前提に、初学者のためのプログラミング学習環境のあり方について、検討を進めることとする。本研究では、実際の授業形態を踏まえ、学習者の認知的負荷の低減を図り、学習者がプログラムを思考する学習活動を活性化するために必要とされる学習環境のあり方について検討を進める。

2. プログラミング学習環境の要件

本論文では、以下の学習者と学習環境を想定する。

1. 主に大学生を対象とする。
2. 初学者を対象とする。
3. 授業での利用を前提とするが、授業以外でも同様の環境で利用可能で、学習者管理ができること。

大学生が対象であり、プログラミング言語は汎用性があるものを検討する。本論文では Ruby を用いた実

践を示す。授業での利用を前提としており、履修者への授業資料の提示が簡便な環境が必要である。また、授業であり、成績評価を行うことが必要となるため、学習者の授業時間内外での利用状況を把握できると進捗管理などを行いやすい。

原則として、初学者を対象とした環境の構築に特化し、熟達者になった際には、各自で設定する独自環境へ移行することも念頭として設計する。そのため、当該環境特有の操作は極力排除することとする。

初学者が対象のため、プログラミング行為そのものに注力できる環境を目指し、プログラムの参照、入力、実行に際し、画面遷移や別アプリケーションの利用など、プログラムを思考する以外の認知的負荷が極力かからないような学習環境を検討する。また、プログラミングを理解し、自分のものとして活用するには時間を要するため、授業時と同等な学習環境を、いつでもどこでも提供できる仕組みが望ましい。さらには、学習間で協調的にプログラムを活用し、グループ活動として、個々のプログラミングを組み合わせ、ある用途を達成するようなプログラムの作成を行うこともできる学習環境を検討する。

上記の要件から、本研究では、Moodle プラグインとして、プログラミング学習環境を構築することとした。Moodle であれば、個人がアカウントを持つことで、特定の Moodle コース上で、プログラミングの学習活動を行うことができる。学習の成果として生成されるプログラムや閲覧資料等は、当該アカウントがアクセスできるディレクトリ内に保持されるため、ブラウザがあれば、いつでもどこでも、学習を継続して行うことができる。さらに教師権限で、学習者の課題の進捗管理も原理的に可能となることが期待される。

3. プログラミング学習環境の構築

前章における要件から、初心者がプログラミングに注力できる環境を目指し、次のような学習環境を構築した。

図 1 に、開発したプログラミング学習環境の初期画面を示す。タブとして、「フォルダ」、「ライブラリ」、「ギャラリー」、「管理」（教師権限のみ）、（Moodle の）「コースへ戻る」、の 5 つを有し、デフォルトでは、「フ

ォルダ」タブ画面を表示することとした。

初学者である学習者がプログラミングそのものに注力できるようにするための工夫の一つとして、Moodle 上でプログラミング学習環境に遷移した時点で、Moodle で通常はデフォルト表示されるメニュー等、プログラミングに関係しない表示は全てなくしている。「コースへ戻る」タブの押下で、通常の Moodle コースへ戻る。

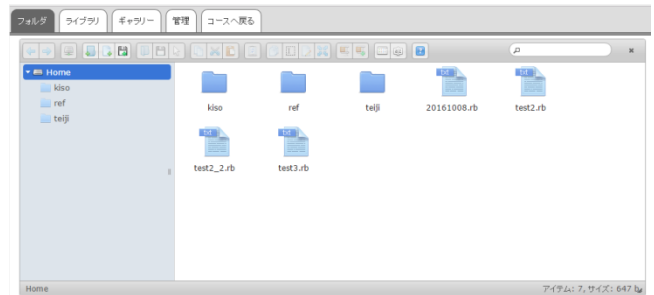


図 1 プログラミング学習環境画面（フォルダタブ）

3.1 「フォルダ」タブ

プログラムを編集、実行するための基本機能を有するタブであり、図 1 が一例である。フォルダ内にフォルダを生成することもできる。本フォルダの機能は、修正 BSD ライセンスの下に配布されているオープンソース elFinder^[4]を基盤として開発を行った。本環境では、elFinder の設定を編集し、右クリックメニューに「公開」「実行」を追加した。

フォルダ内のプログラムファイルを開いた際のエディタ画面例を図 2 に示す。フォルダ内のファイルをダブルクリックするか、マウス右ボタンによるメニュー「開く」の選択により、図 2 の画面に遷移する。複数のファイルを同時に開くことも可能である。

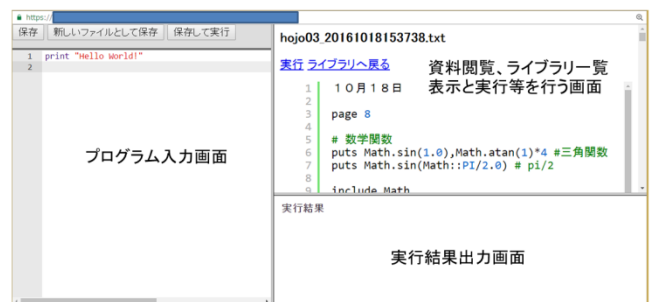


図 2 プログラムの入力・資料閲覧・実行結果画面

エディタ画面は3分割されており、左側にプログラムの入力画面がある。画面の上部に、「保存」、「新しいファイルとして保存」、「保存して実行」の3つのボタンを配置している。

一斉授業では、学習者は、教師が説明しているプログラムや資料等を閲覧しながら、プログラムを入力あるいは編集し、実行することが多いと考える。プログラムの内容を考え、入力し、実行結果を確認し、内容を評価し改善していくことは、学習者のプログラミングに関わる重要な思考活動である。可能な限り、その思考活動に注力できる環境が必要である。図2では、学習者がサンプルプログラムを参照し（あるいは独自に入力し）、実行するまでの手順を、ブラウザ上の一画面で完結できるようにした。授業では、教師の説明に合わせて資料を閲覧し、当該資料をそのまま実行したり、資料内容を一部選択したものを各自のプログラム編集画面上に複製し、修正して実行することも、画面遷移なくできる。このように、プログラムの編集や実行を、画面を3分割することにより、単一画面で完結できるように実装している。なお、画面フレームの境界は可変である。3分割した各フレームの主たる役割を以下にまとめる。

- ・ライブラリフレーム(図2の右上):本システムでは、サンプルプログラムや資料等、教師を含む参加者から提供された資料やプログラムをライブラリとして取り込むことができる。図2では、ライブラリとして取り込んだ資料の内容を右上の分割画面に表示している。この右上の画面上に青字で「実行」「ライブラリに戻る」というリンクがあるが、「実行」リンクをクリックすることでライブラリ画面にあるプログラムを実行することができる。「ライブラリに戻る」ではライブラリの一覧表示と選択表示を切り替えることができる。これらのライブラリは、後述する「ギャラリー」に公開されているファイルの中で、教師により許可されたファイルを各自で取りこむことで設定する。取りこんだライブラリは、各自が使いやすいように、フォルダに分けたり、不要となったものを削除したりすることもできる。
- ・エディタフレーム(図2の画面左):プログラムの入力・編集を行うフレームである。エディタフレームは、修正 BSD ライセンスの下で配布されているオー

ンソースのコードエディタ Ace^[5]を利用した。編集中のコードは、フレーム上部の「保存して実行」ボタンをクリックすることにより、即時実行され、実行結果は、右下の実行結果フレームに表示される。

- ・実行結果フレーム(図2の画面右下):エディタ上のプログラムを「保存して実行する」ボタンを押下することで、実行結果を表示する。Ruby(.rb), HTML(.html/.htm), テキストファイル(.txt), SVG ファイル(.svg)の形式に対応し、拡張子を判別して実行する。また、本環境で学習し、熟達した学習者が、Windows環境での学習環境を整えた場合との互換性を考慮し、Rubyの関数や命令に関して独自の処理を行うことができるラップ機能を有したClassを準備した。

3.2 「ライブラリ」タブと「ギャラリー」タブ

プログラムや資料等のファイルは、各自でギャラリーに公開でき、学習者間の協調学習も可能とする設計にした。公開されたプログラム等は、「ギャラリー」タブ内に表示される。表示例を図3に示す。公開した日時をファイル名に付加し、ユニーク性を確保した。ギャラリー内のファイルは、教師が閲覧権限を設定できる。学習者が閲覧可能としたプログラムに対しては、図3の表示「アイコン」の下にある「操作メニュー」から、プログラムのプレビュー・実行(別ウインドウが立ち上がる)、利用者ライブラリへの追加、ギャラリーからの削除(公開した本人及び教師のみ可能)など、与えられた権限に応じた操作ができる。

「ライブラリに追加」から、図4の「登録」ボタンを押すことで、当該プログラムを利用者のライブラリとして登録でき、前述のライブラリフレームに表示できる。



図3 ギャラリータブにおけるファイル詳細表示



図4 「ギャラリー」タブからのライブラリ追加

4. 授業実践

北海道大学で第一著者を含む複数の教員が一般教育として開講している選択1単位のプログラミングの授業において、本システムを試行した。履修者は1年次の学生が多いが高学年も少数存在する。また、本授業は、北海道地区の国立大学での連携授業としても提供しており、遠隔の学習者も少人数(2016年度は1名)いる。

履修者はこれまでのプログラミング経験等を踏まえ、3つのグループに分かれて授業が進められる。授業内容は同等であるが、経験者と初学者では、授業進捗と方法が異なり、経験者グループでは、各自必要な資料を確認しながら各自で課題を進める形を取る。初学者のグループは、基本的に担当教員がサンプル等の説明や実行を行いながら、学習者に実行を指示する形の一斉型で授業を行っている(先に進みたい学習者は先取りでの学習も可能である)。本学習環境を用いたのは、この中の初学者向けの1グループである。

4.1 授業概要

本システムを利用したグループ(遠隔履修者を含む)の授業内容の概要と、各授業回において、本システムを使用した人数、並びにシステムにおける学習者全体での実行回数(一人当たりの平均実行回数を下段に付す)を表1に示す。遠隔の学習者を含むPC環境が異なる学習者に、同一環境をシステムとして提供できるメリットは大きいと考える。

表1 授業概要とシステム利用状況(2016年度)

週	日時	主たる内容	実行人数	実行回数
1	10/4	ガイダンス(大部屋)		
2	10/11	プログラムの入力・保存・実行・終了等の操作, 四則演算(課題1, 2)	24	1000 42/人
3	10/18	数学関数, 文字列, 基本入出力, 代入	22	1595 73/人
4	10/25	定数と変数(課題3), 比較, 条件分岐, 繰り返し	22	1075 49/人
5	11/1	繰り返し, ループ脱出(課題4, 5), 配列	20	1098 55/人
6	11/8	配列とハッシュ, ファイル入出力(課題6, 7)	21	654 31/人
7	11/15	課題7(魔法陣)の詳細, メソッド	20	623 31/人
8	11/22	メソッド(課題8), 再帰(課題9)	19	715 38/人
9	11/29	クラス, ビット演算(課題10)	19	699 37/人
10	12/6	正規表現(課題11)	19	805 42/人
11	12/13	応用課題:(例)円周率(モンテカルロ法ほか), ライフゲーム, スピングラス, 公開鍵暗号, アミノ酸の頻度分布, 文字の頻度分布, 金利計算等	19	518 27/人
12	12/20		17	521 31/人
13	1/10		13	299 23/人
14	1/17		13	266 20/人
15	1/24		13	266 20/人

学習者には、毎回の授業終了時に、作業記録を提出させている。作業記録には、毎回の授業で行った内容(箇条書き等自由記述)、質問事項(記述は任意)、授業進捗の満足度合(満足, まあ満足, 普通, 少し不満, 不満, から選択)、難易度(難しい, まあ難しい, 普通, 少し易しい, とても易しい, から選択)、その他のコメ

ントを記入することを求めている。

4.2 基礎課題

本授業では、表 2 に示す 11 の基礎課題の提出を求めている。学習者には、出席要件の他、これらの基礎課題をきちんと提出できていれば、単位は修得できる旨の説明をしている。

表 2 基礎課題一覧

基礎課題名	内容	必要知識（当該課題までの内容を含む）
課題 1	整数の演算	プログラム実行に至る一連操作
課題 2	浮動小数点数の演算（限界）	数値の表現
課題 3	変数を用いた計算	代入，出力
課題 4	繰り返しによる演算時間の確認	繰り返し
課題 5	平方根の逐次近似	ループ脱出
課題 6	HTML ファイルの出力	HTML 表示，ファイル出力
課題 7	魔法陣（行列の和を含む）	—
課題 8	メソッドにおける引数の設定	メソッドの作成，引数の対応
課題 9	パスカルの三角形（再帰）	再帰，書式付き出力（再確認）
課題 10	画像データの合成	ビット演算
課題 11	文字の頻度分布	正規表現

各課題の必要知識として、基礎課題 7 では、追加の学習事項はないものの、魔法陣のアルゴリズムの理解した上で、縦横のマス目の和の計算を独自に作成し、HTML 形式の表として表示する必要があり、難易度が高い（アルゴリズムについてはテキストで説明し、それに該当するサンプルプログラムも提示している）。例年、基礎課題 7 の前後で学習者の不満が高い傾向にあるが、2016 年度は特段の問題はなかった。

4.3 応用課題

第 11 回以降の授業では、基礎課題で理解した内容を踏まえた応用課題を学習者に取り組みさせた。この段階では、教師は TA とともに学習者の質問対応を行うのみで、一斉型授業は行っていない。応用課題では、SVG, Ruby/Tk などを用いて、グラフィカルな結果を描画する課題や文字の前後のつながりの頻度分布など基礎課題で扱った内容を少し高度にした課題など、多種多数の課題群を用意し、学習者が好きな課題を選択し無制限に解かせることとした。提出課題数の上限はない。また、基礎課題で使用していた Moodle 上の学習環境を用いなくても良いこととした。Moodle プラグインで Tk を利用し、ブラウザ上にグラフィカルな出力をレンダリングする機能を用意するのは今回の開発では困難であった。そこで、Tk を用いたプログラムを作成する場合には、学習者のローカル PC でプログラムの作成と実行を行う必要があること、ならびに処理手順についての説明を行い、ローカル PC での実施を促した。応用課題に取り組む段階では、実行に特段の困難はなく、学習者は好みに応じた課題選択を行った。

このような状況のため、学習者の課題選択内容に依存して、応用課題では Moodle 学習環境を用いない場合がある。表 1 で示す通り、11 回以降ではシステムの実行者数と実行回数が減少している。これは当該環境を“卒業”してプログラミングを実行していることに対応し、想定された動きと言える。

応用課題は、単にプログラムだけではなく、レポートの提出を課している。レポートには、当該応用課題における作業内容、課題概要、プログラムのポイント、結果や苦労したことや工夫したことなどを適宜まとめるように指示した。

図 5 は、応用課題として提出された円周率のモンテカルロ法での計算例である。上は Ruby/Tk で描画を行ったものであり、下は SVG で描画したものである。上はローカルマシンで、下は当該システムを用いて課題を実行している。

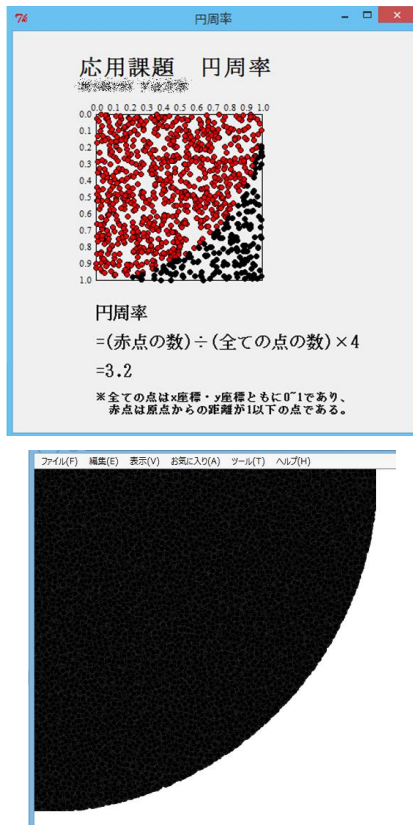


図 5 円周率をモンテカルロ法で求める応用課題の実行例 (Tk と SVG での使用例)

5. 結果と分析

本章では、開発した学習環境の有効性を評価するために、システムを用いていない 2015 年度と、システムを用いた 2016 年度の作業記録による学習者の自己評価結果を比較して示す。2015 年度、2016 年度ともに、学習者は初学者であり、同様のテキストで、同じ内容の授業を実施している。グループ人数は 2016 年度の方がやや多めであるが、概ね 20 名弱で同様である。2015 年度は、ローカル PC 上で、テキストエディタを用いてプログラムを入力、保存し、実行は Windows 上のコマンドウィンドウを開き、プログラムを指定して実行させた。

図 6 は、授業進捗に関する満足度 (5 段階評価) の結果である。満足度を 5、全く不満を 1 とした数値データとして、各回の平均値を求めたものである。2016 年度は本学習環境を用い、基礎課題に要する時間を 1 週間短縮することができた。基礎課題に取り組む時間が減少しているにも関わらず、基礎課題の取組期間における授業の満足度は 2015 年度のものに比して、概ね高いことが分かる。なお、2015 年度はシステム障害のために、第 4 週の作業記録は取れず、当該回のみは

比較すべきデータは欠損している。

各回の満足度について、ウェルチの方法による二群の平均値の差の検定を行ったところ、図 6 の点線で囲った第 7 週では、2016 年度の満足度が、2015 年度より有意に高い ($p < .01$) が示された。

難易度についても、難しいを 5、とても易しいを 1 と数値化した上で、同様の検定を行った。図 7 の点線で囲った第 9 週では、2016 年度の難易度は、2015 年度に比較して有意に低いことがわかった ($p < .05$)。この難易度のグラフは、2016 年度では、授業初期には少しずつ難易度が上がり、授業中盤で概ね一定 (やや難しい: 4 となる程度) するような推移をしており、望ましい状態であると考えられる。一方、2015 年度は、各回における学習者の感じる難易度の差が大きく、学習者が理解しやすい回と理解しにくい回が明確に分かれていることが示唆される。

2015 年度の第 7 週は HTML ファイルの出力と魔法陣を扱った回であり、HTML ファイルのタグ出力や魔法陣のアルゴリズムなど、内容の理解が比較的難しい課題を扱っている。2016 年度も当然同じ課題に取り組んでいるが、サンプルプログラムは複製でき、それを基に思考できるため、サンプルにおける入力ミスは発生せず、プログラムの内容の理解に時間をあてることができた。魔法陣の課題を取り扱った 2016 年度の第 7 回の満足度は、2015 年度と比して有意に高い。

応用課題では、各自が独力でプログラムを作成していくため、難易度はそれまでの基礎課題に比して高い。各自で取り組み、満足できる結果はすぐには出ないため、図 6 の通り、授業満足度も抑え気味に推移していることがわかる。この傾向は 2015 年度も同様である。

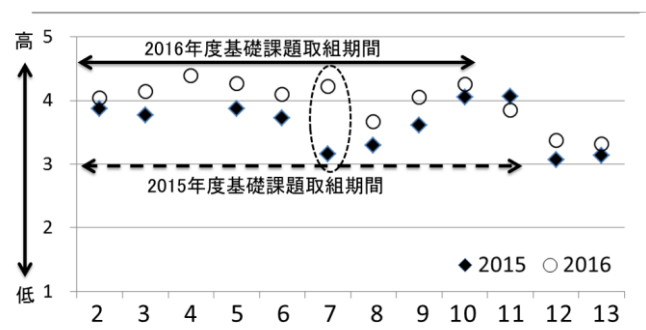


図 6 授業進捗の満足度についての学習者の自己評価。横軸は授業週数を示し、各授業時の満足度を数値データとして変換し、平均値を記した

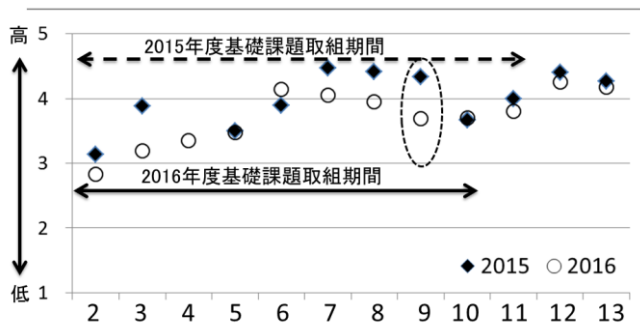


図 7 授業の難易度についての学習者の自己評価。横軸は授業週数を示し、各授業時の難易度を数値データとして変換し、平均値を記した

応用課題で提出されたレポートの内容を抜粋し、いくつか紹介する。

与えられたアミノ酸配列を読み込み、各アミノ酸の出現回数を数え、出現頻度順に並べ替えるヒストグラムを描画する課題に取り組んだ学生は、工夫点として、「プログラム簡略化のため、アミノ酸の種類を記した配列をプログラム内で作る作業を省き、aminosan_name.text というファイルで与えました。数える対象のファイルに関係なく、アミノ酸の種類は変わらないこと、また存在はするが数える対象の配列に含まれていないアミノ酸があるときはそのことが分かるようにしたかったことが理由です」と記述した。ライフゲームに取り組んだ学習者は、「Tk の仕様を理解するのに苦労した。また、初期段階では、描画の際にセルのオブジェクトを増やすプログラムとなっていたので、時間が経つにつれ、処理が遅くなっていた。これを改善するために、一度すべてのセルを消すというプロセスを増やした。」とプログラム作成の苦労と工夫を記述した。いずれも、課題の要求要件を自分で咀嚼し、自らの考えに沿ってプログラムを適切に作成していた。これは、本学習環境の利用により、基礎的な学習時間を短縮できたため、応用課題に比較的じっくりと取り組むことができたことと、基礎課題においてはプログラミングを思考する活動に注力できるようになったことによる効果であると考えている。さらには、自宅でも同一環境で利用できる学習環境を用意できたことから、学習者によっては、授業時間外で毎週のように 3 時間ほどシステムを利用していたものもいた。これらの結果から、初学者に対するプログラミング学

習環境として、本研究で開発したシステムは有効に機能していたと判断する。

6. 結論

本研究では、授業で利用することを前提とした大学初学者向けのプログラミング学習環境を構築し、その有効性を評価した。システムを用いていない 2015 年度と本システムを用いた 2016 年度の学習者の作業記録の分析から、本システムを利用することにより、学習者の授業進捗に関わる満足度が向上するとともに、難易度は回に関わらず、一定程度に抑え、全体として難易度を低減させる効果があることが確認された。これらの結果は、開発したプログラミング学習環境内で、教師の資料を確認し、プログラムを入力し、実行するという一連の操作が一画面で完結することによる認知的負荷の減少が理由の一つとして考えられる。

学習者のプログラム入力画面は、教師の資料からプログラムの一部を選択し複製でき、そのプログラムをそのまま実行することもできる。このようなコピーを許す実行環境には賛否があるかもしれないが、打ち込みミス回避することで、学習者がプログラミングそのものを思考する学習活動を増やすことはできる。実際、本システムを用いることで、2015 年度と比較し、1 コマ程度、基礎課題に要する期間を短くでき、その分を応用課題に取り組ませることができた。応用課題のレポートを確認する限り、基礎課題での教師プログラムをコピーすることによる弊害は見受けられず、総合的に学習者のプログラミングに関わる思考力向上に寄与できたと考えている。応用課題に至る際に、本学習環境を卒業する学習者もいたが、いずれも無理なく移行ができた。

このように、本研究で開発したシステムは、大学初学者向けのプログラミング学習環境として、有効であることが示されたと考えるため、今後は他のプログラミング言語への拡張や他の発達段階にある学習者への適用などを検討している。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 15H02921、および 16H03074 の助成を受けた。

参 考 文 献

- (1) 岡本雅子: “模倣の重要性に着目した初学者向けプログラミング教育の研究”, 博士論文, 京都大学,
<http://repository.kulib.kyoto-u.ac.jp/dspace/bitstream/2433/188863/1/djohk00519.pdf> (2017年2月10日確認)
- (2) 関谷貴之, 山口和紀, 山本三雄: “初学者によるプログラミングトレーシングにおける誤答に関する分析”, 情報処理学会情報教育シンポジウム, 2012年8月, pp.113-120 (2012)
- (3) 兼宗進, 本多佑希, 林康平, 島袋舞子, 長慎也, 長島和平, 並木美太郎: “オンラインで利用可能なプログラミング学習環境の提案”, 日本情報科教育学会第9回全国大会, pp.89-pp. 90 (2016),
<http://kanemune.eplang.jp/data/jaeis1606jslesson.pdf> (2017年2月10日確認)
- (4) elFinder, <http://studio-42.github.io/elFinder/>, (2016年10月21日閲覧).
- (5) Ace, <https://ace.c9.io/>, (2016年10月21日閲覧).

プログラミングにおける構造的理解のための 部品の段階的拡張手法の提案とそのシステムの開発

古池 謙人^{*1}, 東本 崇仁^{*1}

^{*1} 東京工芸大学工学部

Proposal of Granularity Expand Method in Parts for Structural Understanding on Programming and Development Learning Support System

Kento KOIKE ^{*1}, Takahito TOMOTO ^{*1}

^{*1} Faculty of Engineering, Tokyo Polytechnic University

本研究では、プログラミング学習において知識の拡充だけでなく、拡充した知識の関係性を理解する構造的理解の重要性を主張した。この構造的理解を深めることで、コードの有意な塊ごとに部品化を行い、部品の再利用性を高めるといった構造的な設計が行えると考えた。よって、構造的理解の支援を行うために、「部品の段階的拡張手法」の提案を行った。「部品の段階的拡張手法」では、プログラムにおける一行ずつの処理を組み合わせることで部品の構築を行い、さらに構築した部品に対して新たな処理や既存の部品の追加・修正を行うことで部品の構造を変化させ、段階的に拡張していくことが有用であると考えた。加えて、提案手法を用いたシステムの開発を行った。本システムの評価実験では、プログラムの構造的な理解に有用であることが示唆され、アンケート結果より、学習者が本システムを肯定的に受け入れていることが分かった。

キーワード: 部品の段階的拡張手法, 段階的な思考, 構造的な理解, 学習支援システム

1. はじめに

一般的にプログラミング学習では、学習者が書籍やウェブ上に掲載されている解説を読んだ後、サンプルコードを実行し、その後に自由に調整した結果から学習者自身がそのサンプルコードの意味や仕組みについて考えることで、動作の理解や経験を得ることができる。また、こういったプロセスは、プログラミングのみならず多くの学習においても有意義である。しかし、現実には最初にサンプルコードを読む段階までで学習が止まってしまう場合や、サンプルコードの切り貼りによってプログラムを作成するだけにとどまることもある。サンプルコードの切り貼りだけでプログラムを作成する場合には、学習者自身がサンプルコードの意味や仕組みについて思考する機会が少なく、理解が不

足する。同様にプログラミング教育の場合でも、教師がサンプルコードの提示を行い、学習者が提示されたコードを入力して動かすという行程を課題形式で行うことが多い。教師による課題形式で学習者が学習を行う場合には、提示されたサンプルコードについての説明を教師が一方的に行うものの、学習者は単純に課題をこなすためだけに学習を行うため、学習者自身が能動的にサンプルコードの意味や仕組みについて考える機会が不足する場合が多く存在する。結果として、学習者はこれまでに学習した if 文や for 文などの基礎構文や、アルゴリズムなどに対してコードの各行に対する具体的な動作、コードにおける入力と出力の関係がわからないなど十分な理解ができないことで、知識としての習得が不十分となる。独学や教育の場合では、知識

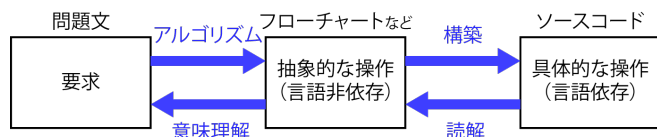


図 1 金森ら⁽⁷⁾によるプログラミングプロセス

の習得が十分に支援されない場合が多いため、学習者が十分な知識を獲得するための支援は多く行われており、効果も検証されている⁽¹⁾⁻⁽³⁾。また、アルゴリズムの理解に焦点を当てた研究⁽⁴⁾⁻⁽⁶⁾も多く行われている。

しかし、個々の知識やアルゴリズムの理解が十分な学習者でも、実際の要求からおおよその流れを加味した手続き的な設計を行うことはできるものの、コードの有意な塊ごとに部品化を行い、部品の再利用性を高めるといった構造的な設計は苦手とする場合が多い。

加えて、学習者にとってみれば、コードの単一行は理解できていても、複数行になると理解が困難になることがある。なぜなら、学習者が複数行のコードを有意な塊ごとに部品として認識することができておらず、個々の部品の関係性や特徴を理解することが十分に行えていないためである。また、コードを有意な塊ごとに部品化を行い、部品の再利用性を高めるといった構造的な設計を行う能力は、システムエンジニア職や、近年主流となっている Java や C# などオブジェクト指向プログラミングには重要である。しかし、一般的にシステムエンジニア職が行う機能設計では、大きな目的を細かい目的に細分化することで行い、詳細なコードまで知らなくても設計が行えると考えられている。

著者らはこれまでのプログラミング学習における経験から、色々なコードの有意な塊を部品として習得し、より大きな部品を構築するというプロセスを繰り返しており、習得した部品の中から必要な部品を選んでより大きな部品を構築するというプロセスは、個々の部品の関係性や特徴を理解していないと行うことができない。機能設計も同様に個々の部品の関係性や特徴を理解することで、システムのようなより大きな部品の設計を構造的に行うことができるのではないかと著者らは考える。

著者らは、拡充した知識からコードの有意な塊ごとに部品として認識を行い、個々の部品の関係性や特徴を理解し、より大きな部品の構築を構造的に行えるように知識を整理することを「構造的理解」と位置付け、

この構造的な理解が要求から構造的な設計を行うために重要であると考えた。

そこで本研究では、プログラミングにおける構造的な理解のための「部品の段階的拡張手法」と、提案手法を用いることによる学習支援システムの開発、その評価を行った。

2. 関連研究

知識の拡充によってコードの有意な塊を習得するだけでなく、習得した塊のそれぞれの関係性や特徴を正しく理解することの重要性が金森ら⁽⁷⁾や Arai et al.⁽⁸⁾によって主張されている。

構造的な理解を行うためのアプローチとして、他者のソースコードを読み、その構造を理解することや、他者のソースコードを真似て自分で作ってみるといった手段の後に、自らソースコードに対して自由な調整を行うことでより個々の部品への理解を深められるのではないかと著者らは考える。学習者が知識によって各行を理解することはできるものの、複数行になった際に理解が困難になることから、学習者がコードの各行についての関係性を正しく理解することを目的とした研究が行われている^{(9), (10)}。渡辺らの研究⁽¹⁰⁾では、金森らが提案するプログラミングプロセス（図 1）において、プログラムの読解と意味理解を行うことが学習において有意義であるとし、その手段として段階的抽象化プロセスを提案している。段階的抽象化プロセスは、新開ら⁽¹¹⁾の目的からプログラムを徐々に細分化していくというアルゴリズム学習の支援である段階的詳細化プロセスを参考に提案されており、段階的詳細化の有用性は木村らの研究⁽¹²⁾で示唆されている。段階的抽象化プロセスの手順は、与えられたコードの中で一連の操作だと考えられる部分をまとめ、その意味を考えることを繰り返すことで、“段階的に読む”学習を支援するプロセスである。例えば、(1)c に a を代入、(2)a に b を代入、(3)b に c を代入という 3 行程からなるプログラムでも、行ごとに見れば単なる代入の繰り返しであるが、3 行程をまとめて意味を考えることで、スワップという新しい概念を発見できている。著者らは、この渡辺らの段階的抽象化によって、コードの各行の関係性を正しく理解することができ、有意な

塊としての認識が行えると考える。

しかし、新開らによる段階的詳細プロセスや、渡辺らによる段階的抽象化プロセスでは、プログラムを構成している部品について着目しているものの、部品同士を組み合わせてより大きな部品を作るといった、部品の発展については扱っていない。そこで著者らは、コードの有意な塊ごとに部品として認識すると同時に、その部品を段階的に発展させ組み合わせることによって、どうすれば部品を再利用できるかなどを考える“段階的に作る”学習に焦点を当てることで、より塊ごとの構造的な理解につながるのではないかと考えた。

3. 提案手法

著者らは、プログラミング学習において、知識の拡充だけでなく、知識の関係性を正しく理解する構造的な理解が重要だと考え、この構造的な理解を支援するための手法を提案する。提案手法は、渡辺らの段階的抽象化プロセスを用いて、まず、学習者がプログラムにおける1行ずつのコードから有意な塊ごとに部品の構築を行う。さらに構築した部品に対して新たな処理や既存の部品の追加をしたり、すでに構築された部品における部分的な修正を行ったりして部品を変化させる。こうした部品の変化を繰り返すことで部品の構造を段階的に拡張していく(図2)。そうすることで、学習者に部品ごとに対する関係性の理解を促し、学習することができる。また、部品を段階的に拡張する行為そのものによって、自身で大きな部品を作る訓練にも繋がります。実際に設計を行う際に役立つと考えられる。この過程を、著者らは「部品の段階的拡張手法」と定義した。

通常、熟達者はプログラミングの際に他人のプログラムを部品ごとに構造的に読む行為と、自ら部品ごとに再利用性などを考慮しながら構造的にプログラムを

設計する行為を日常的に行っている。熟達者は他人のプログラムの構造を理解し自らの知識に部品として加えることで、加わった部品を用いた新たな設計を行うことが可能となる。

段階的に読む学習の有用性については金森ら⁽⁹⁾によって主張されているが、加えて、従来の学習行程である作る学習で段階的にプログラムを発展できれば、設計を行う能力だけでなく、アルゴリズムの構造的な理解に繋がり、プログラミング学習としても有用であると著者らは考える。

4. 提案システム

本研究では、上述の「部品の段階的拡張手法」を用いた学習支援システム(以下、本システム)の提案を行う。本システムでは、各部品をブロックと位置づけ、従来のプログラミングにおける一行ずつの処理をスタンダードブロックとし、スタンダードブロックに対して新たな処理や既存の部品を追加して拡張した部品をアドバンスブロックと定義した。「部品の段階的拡張手法」の活用として、構築すべきアドバンスブロックを目標としてあらかじめ設定し、ブロックの組み合わせや発想が容易なものから順に習得を目指すことで、学習者におけるプログラムの構造的な理解を目的とした、プログラミング学習の支援を図る。

4.1 ブロック

本項では、スタンダードブロックとアドバンスブロックからなる2種類のブロックの特徴を説明する。

4.1.1 スタンダードブロック

スタンダードブロックは、従来のプログラミングにおける各行に相当するものとし、「代入」や、「条件」などの単一の処理を行うものと定義した。

4.1.2 アドバンスブロック

アドバンスブロックは、従来のプログラミングにおける関数やクラスに相当するものとし、スタンダードブロックの組み合わせによる複合的な処理、すなわちアルゴリズム化された一意な部品と定義した。組み合わせの手段は三種類あり、まず、(1)スタンダードブロックのみの組み合わせからなるアルゴリズムの定義、

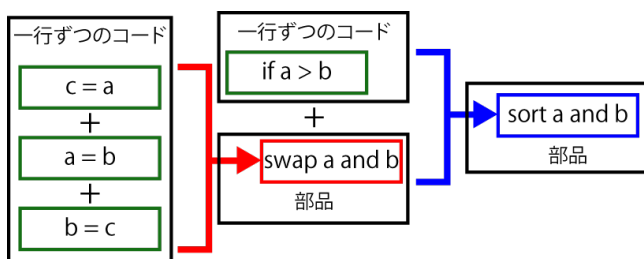


図2 提案する「部品の段階的拡張手法」

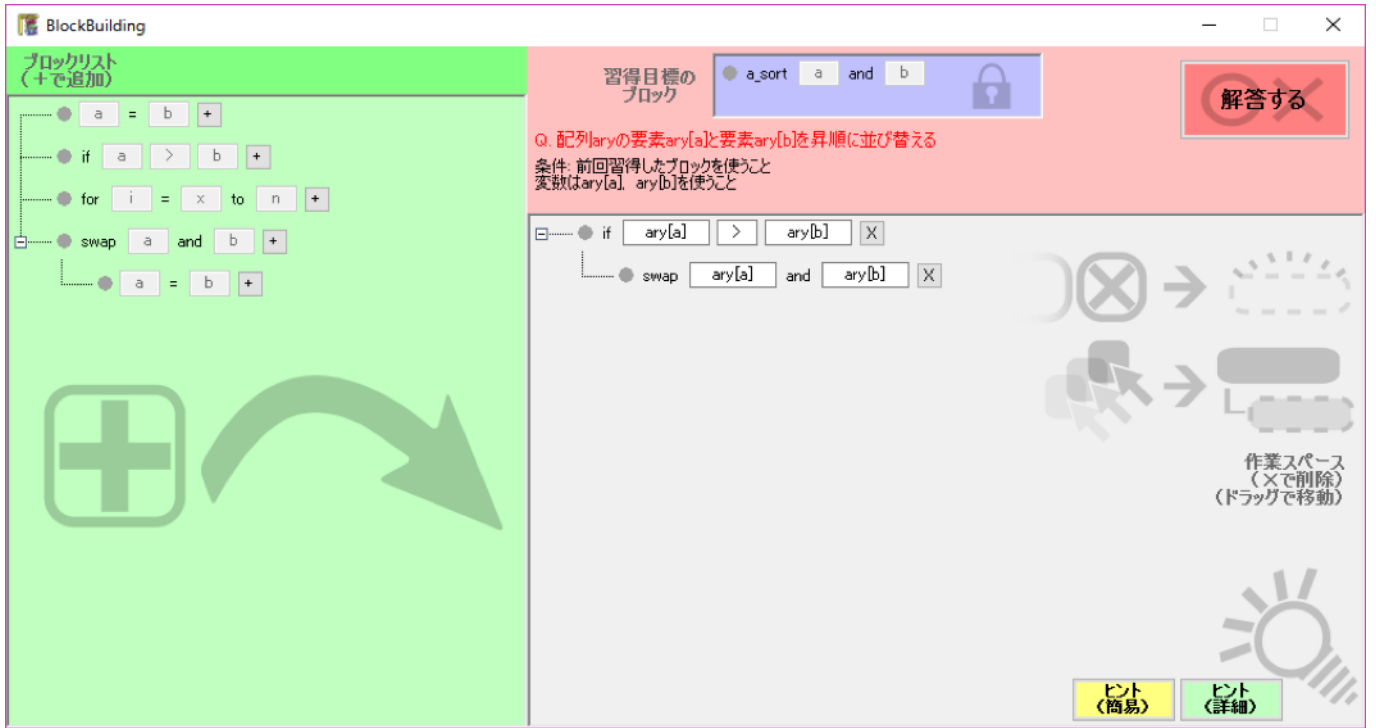


図 3 本システムのインタフェース

次に、(2) スタンダードブロックとアドバンスブロックの組み合わせからなるアルゴリズムの拡張, 加えて、(3) アドバンスブロック同士の組み合わせからなるアルゴリズムの統合からなる。本システムでは、この三種類の組み立て方法を提供し、学習者はその中から選択、構築することで設計能力の向上を目指す。

4.2 インタフェースと学習方法

本システムのインタフェースを図 3 に示す。本システムのインタフェースは、習得目標であるアドバンスブロックを習得するための習得画面のみからなる。まず、左側には、学習者が構築に利用できるブロックがブロックリストとして提示される。提示されるブロックは、用意されたスタンダードブロックの全てと、今までに学習したアドバンスブロックである。スタンダードブロックはそのまま一行で表示されるが、アドバンスブロックは階層構造を持って表示され、子ノードには包含するブロックが表示される。これらのブロックはカーソルを合わせることでそのブロックの動作が表示されるようになっていく。右部ではそれらのブロックを用いた構築領域が提示され、ブロックリストから追加したブロックはこの構築領域に表示される。中央上部には習得するアドバンスブロックが提示され、完成した場合には、右上部の完成ボタンを押すことで正解であれば次の習得画面に移行し、不正解である場

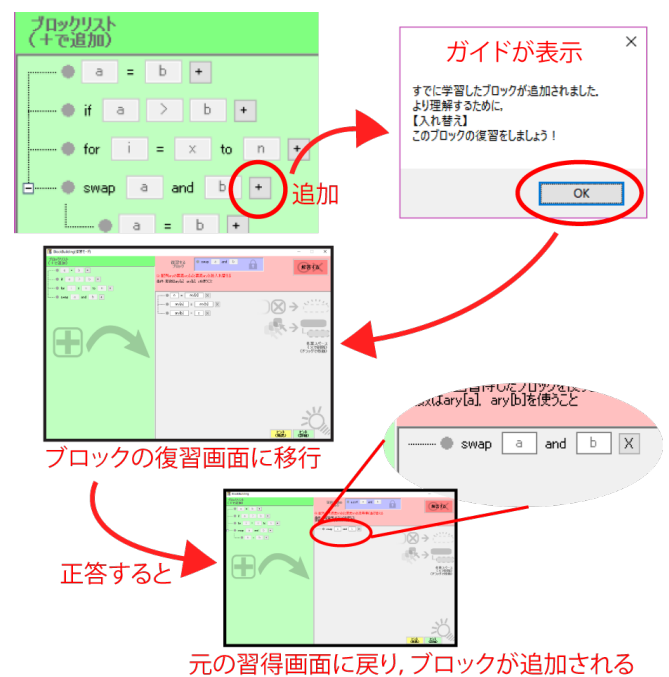


図 4 復習画面への移行

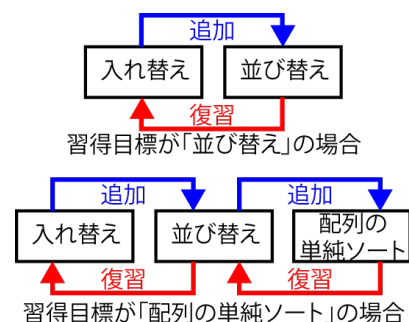


図 5 復習の移行図

合には不正解と表示される。また、右下部の簡易ヒントボタンか詳細ヒントボタンを押すことでフィードバックが提示される。

また、本システムではブロックの復習を導入している(図4,5)。具体的には、ブロックリストからアドバンスブロックの追加が行われた際に、追加されたアドバンスブロックの習得画面へ移行する。そこで、既に学習したアドバンスブロックを同様に構築することで、学習者の理解を深められると考える。追加されたアドバンスブロックの習得が終わった際には、元の習得画面に戻る。元の習得画面で一度そのブロックの復習を行った場合は、同一のアドバンスブロックの習得画面の間は再度復習画面が出ないようにになっている。

4.3 段階的な発展

本システムでは、段階的な発展を行うために問題を系列的に出題し、必ず前後の問題が関連するように設定している。例えば、スワップの習得(図6)を行った後に、そのスワップを用いて2変数のソートを習得する(図7)。また、その後には2変数のソートを用いて、単純ソートの習得を行う(図8)。このように、本システムでは、問題を段階的に発展させている。そうすることで、学習者への構造的な理解を促すことを志向した。

4.4 フィードバック

フィードバックの提示は、上述の簡易ヒントボタン、詳細ヒントボタンにて行われる。両ボタンともに、正答のブロック構成と学習者のブロック構成の間で比較を行い、その差異をエラーとして提示する。エラーの優先順位は上から、ブロックの数、階層の高さ、ブロックの種類、ブロック内における値の順番となっている。簡易ヒントボタンでは、最も上流にあたるエラーに対して「～が間違っています」というフィードバックを行う。例えば、ブロックの数と階層の高さが合っており、ブロックの種類が違った場合には「上から n 番目のブロックの種類が違います」というフィードバックを行う。詳細ヒントボタンでは、最も上流にあたるエラーに対して、その正答を一つフィードバックとして提示を行う。例えば、ブロックの値が間違っていた場合は「上から n 番目のブロックの m 個目の値は x です」といったフィードバックを行う。

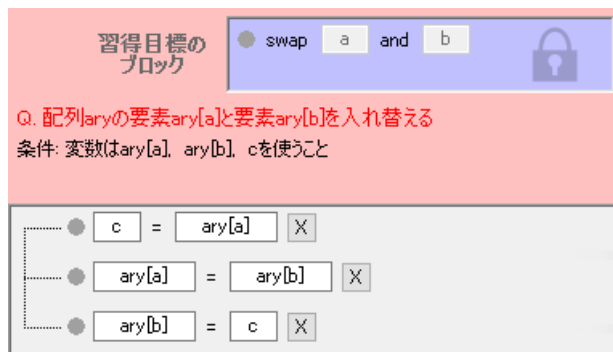


図 6 スワップの習得画面 (一部)

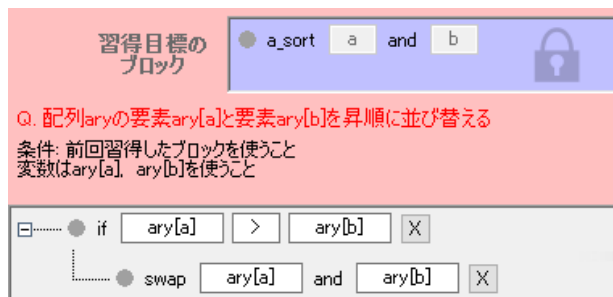


図 7 2変数ソートの習得画面 (一部)

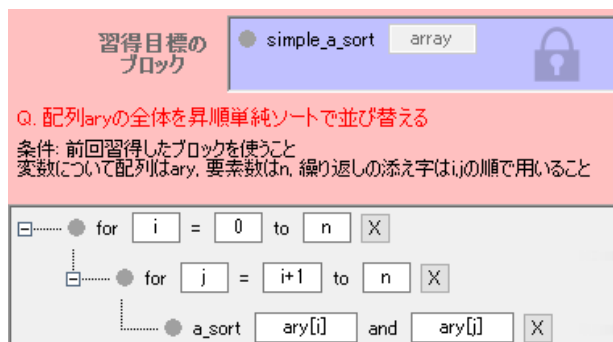


図 8 単純ソートの習得画面 (一部)

本システムでは簡易ヒントボタンと詳細ヒントボタンによって、学習者自身が自律的に修正できるフィードバックを提供しており、このようなフィードバックを学習者が通常の紙媒体による学習で得るためには、間違えた箇所を自ら正答例との差異を見比べることで確認しなければならず、誤答の度に正答例との差異を確認することは、学習者が能動的に学習を行う際に妨げとなる。また、学習者は紙媒体の学習において正答例と自分の解答を比較する際に、そもそも誤答に気づくことすら行えない場合がある。本システムでは、学習者自身の要求するレベルでフィードバックを得られ、その場で修正を行い正答に至るまでフィードバックを得ながらアプローチを繰り返すことができ、このようなシステムは通常の学習と比べて学習者の意欲を妨げることは少ない。

5. 評価実験

システム利用を通して、学習者の設計能力の向上に寄与したかを検討するために、評価実験を行った。

5.1 実験概要

被験者はプログラミングの講義を受講したことのあ
る大学生 17 名である。事前に、基礎的なプログラミング能力や設計能力を測るための系列的に発展が可能な問題 7 問を記載した 15 分間の事前テストを行った。また、事前テストではなるべく各問で関数化など構造化を行い、他の問題で再利用するよう指示を与えた。これらの評価は、手順が正しいかを評価した素点と、関数化を行い他の問題で再利用できているかを評価した構造化点の二種類の評価を行った。その結果から、素点、構造化点ができるべく均等になるように、システムを利用して学習する実験群（9 名）と、紙媒体で同じ問題を学習する統制群（8 名）に振り分けた。本実験では、まず被験者は 30 分間システム又は紙媒体の学習教材を用いて学習を行った。なお、実験群はあらかじめシステム利用方法について 2 分間程度の事前説明を受けた。その後、事前テストと同一の内容、評価で 15 分間事後テストを行った。事後テストの終了後には、学習方法や教材についての 4 段階評価を用いたアンケートを実施した。

統制群の教材は、出題範囲が学べる一般的な教科書教材の約 2 ページ分を教材として用いた。実験群、統制群ともに教材で答えを学ぶことが可能であったが、統制群は事後テストまで自己の誤りに対するフィードバックを得ることはできなかった。

5.2 テスト結果

表 1 に素点評価における事前・事後テスト、得点の伸びの平均と標準偏差の値を示す。表 1 から、事前テストでは統制群より点数の低かった実験群が事後テストにおいて統制群より点数が高くなっており、実験群の得点の伸びが統制群より大きいことがわかる。

表 2 に素点評価における事前・事後テストの結果に分散分析を行った結果を示す。表 2 から、個人内では 0.1% で有意な差が見られた。

表 3 に構造化点評価における事前・事後テスト、得点の伸びの平均と標準偏差の値を示す。表 3 から、事

前テストでは統制群より実験群の点数が高いものの、事後テストにおいて実験群の平均値が統制群より高く、得点の伸びが統制群より大きいことがわかる。

表 4 に構造化点評価における事前・事後テストの結果に分散分析を行った結果を示す。表 4 から、個人間では 5% で、個人内では 0.1% で有意な差が見られた。また、交互作用に 1% で有意な差が見られた。そこで、単純主効果の表を表 5 に示す。表 5 から、個人間の事後テストの結果に 0.1% で有意な差が見られた。よって、事前・事後テストの結果から、実験群において構造化について有意な結果が得られたため、システムがプログラムの構造的理解について有用であるといえる。また、個人内の実験群に 0.1% で有意な差が見られた。よって、表 3 における得点の伸びより、実験群のほうが統制群より点数が向上したといえる。

表 1 素点評価におけるテスト結果

	事前テスト		事後テスト		得点の伸び	
	平均値	S.D.	平均値	S.D.	平均値	S.D.
実験群	1.44	1.51	4.67	1.80	3.22	1.48
統制群	1.50	2.07	3.88	2.95	2.38	1.85

表 2 素点評価における分散分析表

変動要因	SS	df	MS	F	p
個人間	1.15	1	1.15	0.15	0.7035
誤差	114.38	15	7.63		
個人内	66.34	1	66.34	48.04	0.0000
交互作用	1.52	1	1.52	1.10	0.3107
反復誤差	20.72	15	1.38		

表 3 構造化点評価におけるテスト結果

	事前テスト		事後テスト		得点の伸び	
	平均値	S.D.	平均値	S.D.	平均値	S.D.
実験群	0.33	1.00	3.22	2.05	2.89	1.96
統制群	0.25	0.71	0.63	0.92	0.38	0.74

表 4 構造化点評価における分散分析表

変動要因	SS	df	MS	F	p
個人間	15.22	1	15.22	6.80	0.0198
誤差	33.55	15	2.24		
個人内	22.56	1	22.56	19.47	0.0005
交互作用	13.38	1	13.38	11.55	0.0040
反復誤差	17.38	15	1.16		

表 5 構造化点評価における単純主効果の表

変動要因	SS	df	MS	F	p
個人間(事前)	0.03	1	0.03	0.02	0.8962
個人間(事後)	28.57	1	28.57	16.83	0.0003
誤差		30	1.70		
個人内(実験)	35.35	1	35.35	30.50	0.0001
個人内(統制)	0.60	1	0.60	0.51	0.4844
誤差		15	1.16		

5.3 アンケート結果

4段階評価(4:非常にそう思う~1:全く思わない)を用いたアンケートの結果を表 6,7,8 に示した. 表 6 では各質問項目が重要だと思うかについてのアンケートを行っている. この結果では, 各質問項目平均 3.5 以上と実験群, 統制群共に各能力について重要だと感じていると考えられる. また, 表 7,8 では, 実験群, 統制群に対して使用した学習教材について, 各能力につながるかについてのアンケートを行っている.

表 6 両群に対する能力に対する重要さのアンケート項目

質問項目	平均	S.D.
プログラムの塊を部品として認識する能力	3.64	0.49
プログラムごとの関係性を理解する能力	3.83	0.39
プログラムごとの再利用性を高める能力	3.76	0.44
構造的にプログラムを理解する能力	3.83	0.39

この結果より, 実験群と統制群の間には, 各項目に 0.50 以上の差がみられている. このことから実験群のほうが, 学習教材が構造化に繋がるように感じていたと考えられる.

表 7 実験群に対する本システムについてのアンケート項目

質問項目	平均	S.D.
プログラミングの理解につながるか	3.00	0.71
プログラムの塊を部品として認識することにつながるか	2.89	0.60
プログラムごとの関係性を理解することにつながるか	2.89	0.33
プログラムごとの再利用性を高めるプログラミングにつながるか	2.89	0.60
構造的にプログラムを理解することにつながるか	3.00	0.50

表 8 統制群に対する紙媒体教材についてのアンケート項目

質問項目	平均	S.D.
プログラミングの理解につながるか	2.25	0.89
プログラムの塊を部品として認識することにつながるか	2.13	1.25
プログラムごとの関係性を理解することにつながるか	1.63	1.06
プログラムごとの再利用性を高めるプログラミングにつながるか	2.13	1.13
構造的にプログラムを理解することにつながるか	2.50	0.93

6. おわりに

本研究では, プログラミング学習において, 知識の拡充だけでなく, 拡充した知識の関係性を理解する構造的理解の重要性を主張した. また, この構造的理解を深めることで, コードの有意な塊ごとに部品化を行い, 部品の再利用性を高めるといった構造的な設計が行えると考えた. よって, 構造的理解の支援を行うために, 先行研究の段階的抽象化を用いた「部品の段階

的拡張手法」の提案を行った。「部品の段階的拡張手法」では、プログラムにおける一行ずつの処理を組み合わせて部品の構築を行い、さらに構築した部品に対して新たな処理や既存の部品の追加・修正を行うことで部品の構造を変化させ、段階的に拡張していくことが有用であると考えた。加えて、提案手法を用いたシステムの開発を行った。本システムの評価実験では、プログラムの構造的な理解に有用であることが示唆され、アンケート結果より、学習者が本システムを肯定的に受け入れていることが分かった。

今回は、提案手法において部品の組み合わせと拡張に着目してシステム開発を行ったため、修正による部品の変化はシステムに適応されなかった。また、問題系列にもより発展的な問題系列のために検討の余地があるといえる。

そのため、今後は部品の修正をシステムに取り入れ、問題系列の発展や、複数の問題系列の分岐・統合などについても検討していきたい。

謝辞

本研究の一部は科研費・基盤研究(C) (15K00492)、科研費・基盤研究(B) (K26280127) の助成による。

参考文献

- (1) 兼宗進, 中谷多哉子, 御手洗理英, 福井眞吾, 久野靖: “教育用プログラミング言語におけるオブジェクト共有機能の導入,” *情報処理学会論文誌プログラミング (PRO)*, vol. 45, no. 5, pp. 81–81, (2004).
- (2) 江木 鶴子, 竹内 章: “プログラミング初心者にトレースを指導するデバッグ支援システムの開発と評価,” *日本教育工学会論文誌*, vol. 32, no. 4, pp. 369–381, (2009).
- (3) 石川裕季子, 松澤芳昭, 酒井三四郎: “オブジェクト指向言語におけるポリモーフィズムの概念を理解するためのワークベンチの試作,” *教育システム情報学会誌*, vol. 31, no. 2, pp. 208–213, (2014).
- (4) 杉浦学, 松澤芳昭, 岡田健, 大岩元: “アルゴリズム構築能力育成の導入教育: 実作業による概念理解に基づくアルゴリズム構築体験とその効果,” *情報処理学会論文誌*, vol. 49, no. 10, pp. 3409–3427, (2008).
- (5) 松澤 芳昭, 保井 元, 杉浦 学, 酒井 三四郎: “ビジュアル-Java相互変換によるシームレスな言語移行を指向したプログラミング学習環境の提案と評価,” *情報処理学会論文誌*, vol. 55, no. 1, pp. 57–71, (2014).
- (6) 古宮 誠一, 今泉 俊幸, 橋浦 弘明, 松浦 佐江子: “プログラミング学習支援環境AZUR—ブロック構造と関数動作の可視化による支援—,” *研究報告ソフトウェア工学 (SE)*, vol. 2014, no. 5, pp. 1–8, (2014).
- (7) 金森春樹, 東本崇仁, 米谷雄介, 赤倉貴子: “プログラミングプロセスにおける「プログラムを読む学習」の提案及び「意味理解」プロセスの学習支援システムの開発,” *電子情報通信学会論文誌 D*, vol. 97, no. 12, pp. 1843–1846, (2014).
- (8) T. Arai, H. Kanamori, T. Tomoto, Y. Kometani, T. Akakura: “Development of a learning support system for source code reading comprehension,” in *International Conference on Human Interface and the Management of Information*, 2014, pp. 12–19.
- (9) 東本崇仁, 赤倉貴子: “プログラムトレース課題の提案と学習支援システムの開発,” *電子情報通信学会論文誌 D*, vol. 99, no. 8, pp. 805–808, (2016).
- (10) 渡辺圭祐, 東本崇仁, 赤倉貴子: “段階的抽象化を用いたプログラムを読む学習の支援システムの開発とその評価 (教育工学),” *電子情報通信学会技術研究報告= IEICE Tech. Rep. 信学技報*, vol. 115, no. 50, pp. 49–54, (2015).
- (11) 新開 純子, 炭谷 真也: “プロセスを重視したプログラミング教育支援システムの開発,” *日本教育工学会論文誌*, vol. 31, Suppl., pp. 45–48, (2008).
- (12) 木村 優那, 矢入 郁子: “段階的詳細化能力とプログラミング学習の関係に関する研究,” *人工知能学会全国大会論文集*, vol. 29, pp. 1–4, (2015).

プログラムの動作理解を表出する課題の実践と評価

山本 樹^{*1,2}, 華山 宣胤^{*1}, 國宗 永佳^{*3},

^{*1} 尚美学園大学 情表表現学科

^{*2} はこだて未来大学大学院システム情報科学研究科

^{*3} 信州大学学術研究院工学系

Implementation and Evaluation of Tasks to Express Learner's Understanding of Program Behavior

Tatsuki YAMAMOTO^{*1,2}, Nobutane HANAYAMA^{*1}, Hisayoshi KUNIMUNE^{*3},

^{*1} Faculty of Informatics for Art, Shobi University

^{*2} Graduate School of Systems Information Science, Future University Hakodate

^{*3} Institute of Engineering, Shinshu University

プログラミングを学習する過程では、学習者がプログラムの動作を思考し、思考したプロセスを自己の中で形成し、形成したプロセスを、実際のプログラムの動作と一致させることが重要である。この教育を行うため、完成したプログラムとその動作を学習者が記入する表を並べて提示した課題を用いてプログラムの動作理解を表出するための課題を用いた授業を実施した。本稿では、この課題を実施した後の試験結果から、誤答箇所を抽出し、学習者がプログラムの動作に関する誤答傾向を把握するための分析方法を提案し、分析結果から誤答傾向を見出すことを目的とする。

キーワード: プログラミング教育, プログラムの動作理解, 誤答傾向

1. はじめに

筆者らは、手続き型構造化プログラミングの教育を行っているが、教育する中で、分岐・反復などの制御構造化でつまづく学習者が多く存在することがこれまでの研究で明らかになっている⁽¹⁾。その結果として、プログラムの作成が困難な学習者が多数存在する。このことから、プログラミングを教育する上で教授者が特に留意する事項であることは明らかである。

本研究で対象とする手続き型構造化プログラミングの場合、プログラムを作成する前に、変数、代入・演算などの操作、順接・分岐・反復の動作順序などに関する概念について正しく理解する必要がある。これらの基本的な概念を習得した後にプログラムを作成する段階に進むことが学習のプロセスであると

考えている⁽²⁾。

この学習プロセスに習い、筆者らはプログラムの基本的な概念を理解させるために、プログラムの動作を追う、すなわちトレーシングを利用した教育を、ビジュアルプログラミング環境を用いて授業の早い段階で実施している。この結果、誤答した学習者に一定の誤答傾向が見られるのではないかと考えた。

そこで、本稿では、トレーシング課題を用いて、誤答傾向を把握するための分析方法を提案し、分析結果から誤答傾向を見出すことを目的とする。

誤答傾向を把握するために、この課題を実施した学習者の中間試験の結果を用いて、誤答箇所を抽出し、抽出結果から誤答パターンと考えられる7つの項目に分類し、因子分析を行った。さらに、プログラムの動作理解が不十分な学習者を早期に発見する

ため、1年次と再履修者を分けて分析した。

2. 関連研究

関谷ら⁽³⁾はプログラムの変数の値の変化を追う問題（トレーシング能力）に注目し、初心者が起こしやすい誤った解釈に基づいて、与えられたプログラムから誤った出力を得る仕組みを作成している。この仕組みを用いて、学生に与えたごく簡単トレーシング課題の解答から、プログラミング初学者の誤答パターンを見つけた。さらに、トレーシング能力と成績と期末試験の結果を比較・分析し、トレーシング試験の結果と期末試験の傾向に関係があり、特にfor文を解釈しない誤答のパターンに一致する学生の成績が良くない傾向があることを明らかにしている。先行研究は、繰り返しと分岐を様々な組み合わせたソースコードを用いた設問を様々な授業の学生に解答させ、似たような構造をもつソースコードで共通に見られる誤った解釈を誤答パターンとし、この誤答パターンとの学生の成績の関係性を確認したものである。

先行研究とは、誤答の傾向を把握する点において本研究と共通しているが、本研究では、トレーシングの誤答パターン抽出のための試験を実施せずに、過去に使用された課題や試験の結果から、誤答箇所の抽出することで、誤答パターンを類推し、因子分析を用いた誤答傾向の把握をしている点において先行研究は異なる。また、この手法を確立することで、トレーシング課題の解答から、即座に各授業やクラスでの誤答傾向を把握するためのシステム構築を目

指しているとともに、それに応じた指導方法を考案することを目指している点が先行研究とは異なる。

3. 課題の形式と利用環境⁽⁴⁾

本研究で使用した課題形式は、ビジュアルプログラミング環境 AT⁽⁵⁾を用いた。提示方法は、プログラムとその動作を学習者が記入するための表を並べて提示している。表の各行と各列は、プログラムの各行と各変数にそれぞれ対応しており、プログラムの各行の実行結果を、表の同じ行の対応する変数の列に記入する。また、同じ行が複数回実行される場合があるため、実行される回数に応じて右方向に同様の表を並べている。ある行が反復して実行された場合には、左隣の表へ移動し結果を記入することで、プログラムの全ての動作を記録することができる。実行結果として表に記入する項目は、以下の4つである。

- ・変数の値の変化
- ・条件判断
- ・入力、出力された値
- ・代入された値

変数が宣言されたときや変数の値に変化が生じたときには、変数の値を表の対応する列に記入する。変数の値が不定であるときには、不定である旨を記入する（後述する例では「-」で表す）。また、条件判断の結果についてはその真偽を、表の対応する列のセルの色を、真なら青、偽なら赤で表現する。セルの色を変更した同じセルに変数の値の変化も記入することができる。ただし、条件判断が $a < b$ の



図1 AT上で実装したトレース課題

ように複数の変数間で行われている場合には、左辺の変数に対応する列に記入する。変数の値を出力した場合にはその値を、表の対応する列に記入する。本研究では、この形式の課題で提示するプログラムについて、以下のような制約を課している。この制約によって、1行で複数の変数の値が変化することや複数の条件判断が行われることがなく、表の記入に対する混乱を小さくしている。

- 1行に複数の文を含めない
- 1行で複数の代入を行わない
- 計算や条件判断は単独の二項演算のみで行う

なお、授業ではこの課題形式を「トレース課題」と提示していることから、今後、この課題形式をトレース課題と記す。

4. 評価対象者と評価用データ

4.1 対象授業と対象者

対象授業は、尚美学園大学芸術情報学部情報表現学科の1年次秋学期配当の必修科目「プログラミング初級演習1（以下「初級演習1」）」である。この授業は1回90×2コマの演習形式の授業で、対象者はこの授業の2015年度の履修者（再履修者を含む）である。初級演習1では、授業の初段階でATを利用し、基本的なプログラムの動作（振る舞い）を学習し、中期以降、C言語を用いたプログラムを作成させる授業を行っている。

トレース課題は反復を学習する授業で使用した。授業では、反復の概念を説明し、トレース課題の記入方法の説明を行った後、課題を提示している。課題は授業全体で7問提示した。なお、学習者は、トレース課題での演習の前までに、ATを利用して操作、順接、分岐の講義と演習を行っている。

4.2 対象データ

ATを利用した授業終了後、中間試験を実施した。この試験の中でトレース課題を2問提示した。なお、試験は、履修者全員が一斉に試験を受験できる環境が整わなかったため、同日に、Aグループ、Bグループの2グループに分けて実施している。Aグループの受験者は119名、Bグループは83名である。また、別時間実施のため、A、Bグループに同じ問題

を提示できないことから、両グループで別の問題を提示している。但し、プログラムの構成は同じとし、値を変更して提示している。提示した問題のプログラム構成は下記の通りである。

（問題1）入力、反復、算術演算（乗算）、出力

（問題2）入力、反復、分岐、算術演算（加算）、出力

両グループのプログラム違いは、算術演算式で用いた「即値」の値と、入力値のみである。

（問題1）のプログラムをC言語の表記で下記に示す。Aグループに提示した問題を「A-1」と呼び、

Bグループに提示した問題を「B-1」と呼ぶ。

（A-1）入力値は「5」とする。

```
int k;
int n;
int i;
k = 0;
scanf("%d",&n);
for(i = 1; i <= n; i++){
    k = i * 7;
    printf("%d¥n",k);
}
```

（B-1）入力値は「4」とする。

```
int k;
int n;
int i;
k = 0;
scanf("%d",&n);
for(i = 1; i <= n; i++){
    k = i * 5;
    printf("%d¥n",k);
}
```

（問題2）のプログラムを下記に示す。なお、C言語の表記で示す。Aグループに提示した問題を「A-2」と呼び、Bグループに提示した問題を「B-2」と呼ぶ。

（A-2）入力値は「5」とする。

```
int k;
int n;
int a;
int i;
k = 0;
scanf("%d",&n);
for(i = 1; i <= n; i++){
    a = i % 3;
```

```

    if(a != 0){
        k = k + 1
    }
}
printf("%d\n",k);

```

(B-2) 入力値は「4」とする。

```

int k;
int n;
int a;
int i;
k = 0;
scanf("%d",&n);
for(i = 1; i <= n; i++){
    a = i % 2;
    if(a != 0){
        k = k + 1
    }
}
printf("%d\n",k);

```

5. 評価手順

5.1 誤答箇所の確認

中間試験で提示したトレース課題で、誤答した箇所を、A-1、A-2、B-1、B-2 それぞれの問題に対し、下記の7項目で抽出した。

- (1) 解答に超過しているセル：正解では空だが、解答では値が書かれている
- (2) 解答に不足しているセル：正解では値が書かれているが、解答では空

- (3) 解答の値が誤っているセル：正解と同じ箇所だが、値が誤っている
- (4) 真の超過セル：正解では真になっていないが、解答では真になっている
- (5) 真の不足セル：正解では真になっているが、解答では真になっていない
- (6) 偽の超過セル：正解では偽になっていないが、解答では偽になっている
- (7) 偽の不足セル：正解では偽になっているが、解答では偽になっていない

上記の抽出結果の一部を表1に示す。

表の各列は誤答箇所の項目、各行は対象者となる。「□」が記入されているセルは、その列の誤答箇所の項目に該当していないことを示している。No.3の項目(1)にある「[0][k][3]」は、「□」の左から順に図1にある左表の繰り返しの回数-1の値([0])、変数名([k])、先頭行を0とした場合の行数([3])を表している。この例の場合、解答に超過しているセルが、繰り返し1回目の変数kの4行目にあることを示している。また、1つのセルに該当する誤りが複数箇所ある場合、誤答した箇所すべてが抽出される。取得した結果からは、一見すると一般的な分析手順が見当たらない。しかし、誤答パターンとして用意した項目に分け、因子分析を用いることで、誤答傾向を見ることが可能であるとともに、分析結果からいくつか興味深い因子を見つけることができた。

表1 誤答箇所を抽出した結果 (一部抜粋)

No.	(1)解答に超過している	(2)解答に不足している	(3)解答の値が誤っている	(4)真の超過	(5)真の不足	(6)偽の超過	(7)偽の不足
1	□	□	□	□	□	□	□
2	'[4][k][6]'	□	□	□	□	□	□
3	'[0][k][3]'	'[0][n][3]'	□	□	□	□	□
4	'[4][n][4]'	'[4][i][4]'	□	□	□	'[4][n][4]'	'[4][i][4]'
5	'[4][k][6]', '[1][k][4]', '[0][k][4]', '[2][k][4]', '[4][k][4]'	'[2][k][6]', '[2][i][4]', '[0][k][6]', '[1][k][6]', '[0][i][4]'	'[1][k][5]', '[2][k][5]', '[3][k][5]'	'[0][k][4]'	'[0][i][4]', '[1][i][4]', '[2][i][4]', '[3][i][4]'	'[4][k][4]'	'[4][i][4]'

5.2 因子分析を用いた誤答傾向の確認

5.1 の抽出結果と、教授者の経験則から、誤答と考えられる項目を下記の7つに分類し、該当した場合1、そうでない場合0のダミー変数を用いて因子分析を行った。

- (a) Verify truth : 真偽について誤りがある
- (b) Understanding rule : 変数 k, n, i のすべてに対し超過がある
- (c) Understanding command : いずれかの変数について、誤った値が書かれている
- (d) Understanding constant value : 変数 n について、過不足・誤りがある
- (e) Understanding loop : 変数 i について、過不足・誤りがある
- (f) Careless for [i] : 繰り返し 1,2 回目の変数 i について過不足・誤りがなく、それ以外で変数 i について過不足・誤りがある
- (g-1) Careless for [k] : 繰り返し 1, 2 回目の変数 k について過不足・誤りがなく、それ以外で変数 k について過不足・誤りがある (問題 1 のみ)
- (g-2) Careless for [k] and [a] : 繰り返し 1, 2 回目の変数 k, a について過不足・誤りがなく、それ以外で変数 k, a について過不足・誤りがある (問題 2 のみ)

因子分析を行う際には、問題 1, 問題 2 とも、A グループ、B グループの提示問題に即値以外の違いがないことから、(A-1)と(B-1)を合わせて分析し、同じく(A-2)と(B-2)を合わせて分析している。

6. 結果と考察

6.1 誤答箇所に関する結果と考察

誤答箇所の分類では、(1)～(3)が値の誤りに

表 2 問題 1, 2 の誤答者数

	問題 1 (N=202)	問題 2 (N=195)
値の誤り	126	70
真偽の誤り	36	97
どちらも誤り	36	86
正解	76	61

関する項目、(4)～(7)が条件判断の誤りに関する項目であることから、それぞれの問題について、値の誤り者数と、条件判断の誤りの誤答者数を確認した()。なお、解答していない学習者は含まない。

6.2 因子分析の結果と考察

本研究では、履修者の中の1年次と再履修者のそれぞれの傾向を把握するため、問題 1, 2 それぞれの問題に対し、1年次と再履修者を分けて因子分析を行った。

6.2.1 問題1の結果の考察

6.2.1.1 1年次の結果と考察

1年次の因子分析の結果と、因子寄与率を表 3, 4 に示す。結果、第 1 因子は寄与率が 22.64%で、「Careless for [i]」と「Verify truth」の項目に高い負荷量が示されていることから、繰り返しの概念理解についての因子と考える。第 2 因子は寄与率が 19.44%で、「Understanding rule」と「Understanding constant value」の項目に高い負荷量が示されていることから、変数の変化する位置の理解についての因子と考えられる。第 3 因子の寄与率は 13.80%で「Understanding loop」の項目

表 3 問題 1 1年次の因子分析結果

(N=161)

	因子 1	因子 2	因子 3
Careless for [i]	0.921	0.013	-0.118
Verify truth	0.739	0.195	0.317
Understanding rule	0.198	0.878	0.155
Understanding constant value	-0.004	0.732	-0.001
Understanding loop	0.027	0.128	0.751
Understanding command	0.100	-0.012	0.462
Careless for [k]	-0.009	0.018	0.221

表 4 問題 1 1年次の因子寄与率

因子 No.	二乗和	寄与率	累積
1	1.44	20.64%	20.64%
2	1.36	19.44%	40.08%
3	0.97	13.80%	53.88%

に高い負荷量が示されていることから、繰り返しの理解についての因子と考えられる。しかし、3つの因子の累積寄与率は 53,88%となり、因子解釈の点からは妥当なもの判断しかねる。

結果、第1因子は寄与率が 22.64%で、「Careless for [i]」と「Verify truth」の項目に高い負荷量が示されていることから、繰り返しの概念理解についての因子と考える。第2因子は寄与率が 19.44%で、「Understanding rule」と「Understanding constant value」の項目に高い負荷量が示されていることから、変数の変化する位置の理解についての因子と考えられる。第3因子の寄与率は 13.80%で「Understanding loop」の項目に高い負荷量が示されていることから、繰り返しの理解についての因子と考えられる。しかし、3つの因子の累積寄与率は 53,88%となり、因子解釈の点からは妥当なもの判断しかねる。

6.2.1.2 再履修者の結果と考察

再履修者（2年次～4年次）の因子分析の結果と、因子寄与率を表5, 6に示す。なお、「Understanding rule」と「Understanding constant value」の項目の変数の値が、すべて同じであったことから、この2つの項目を合わせ

表5 問題1 再履修者の因子分析結果

(N=41)

	因子1	因子2	因子3
Understanding loop	0.942	-0.230	-0.226
Understanding command	0.921	0.205	-0.044
Verify truth	0.797	-0.372	0.360
Understanding rule & constant value	-0.058	0.662	-0.166
Careless for [k]	0.058	-0.662	0.166
Careless for [i]	-0.055	-0.285	0.719

表6 問題1 再履修者の因子寄与率

因子 No.	二乗和	寄与率	累積
1	2.38	39.70%	39.70%
2	1.19	19.84%	59.54%
3	0.75	12.57%	72.11%

「Understanding rule & constant value」項目として分析している。結果、第1因子は寄与率が 39.70%で、「Understanding loop」、「Understanding command」、「Verify truth」の項目に高い負荷量が示されている。これらは、繰り返しの動作に関する項目、繰り返しの中にある算術演算に関する項目、繰り返し文にある条件判断に関する項目であることから、繰り返しの概念と動作の理解についての因子と考える。第2因子は寄与率が 19.84%で、「Understanding rule & constant value」項目に高い負荷量が、「Careless for [k]」項目にマイナスの負荷量が示されていることから、変数kを除いた変数の変化する位置の理解についての因子と考えられる。第3因子の寄与率は 12.57%で「Careless for [i]」との項目に高い負荷量が示されていることから、繰り返しの理解についての因子と考えられる。3つの因子の累積寄与率は 72,11%となり、因子解釈の点からは妥当なもの判断できる。

6.2.2 問題2の結果の考察

6.2.2.1 1年次の結果と考察

1年次の問題2の因子分析の結果と、因子寄与率を表7, 8に示す。

表7 問題2 1年次の因子分析結果

(N=157)

	因子1	因子2	因子3
Careless for [i]	0.946	-0.078	0.174
Verify truth	0.444	0.664	0.099
Understanding rule	0.326	0.639	0.387
Careless for [k] and [a]	0.160	-0.081	0.728
Understanding command	0.010	0.353	0.381
Understanding constant value	-0.017	0.179	-0.017
Understanding loop	-0.078	0.364	0.017

表8 問題2 1年次の因子寄与率

因子 No.	二乗和	寄与率	累積
1	1.23	17.57%	17.57%
2	1.15	16.45%	34.02%
3	0.86	12.35%	46.37%

結果、第1因子は寄与率が17.15で、「Careless for [i]」項目に高い負荷量が示されていることから、繰り返しの概念理解についての因子と考える。第2因子は寄与率が16.45%で、「Verify truth」と

「Understanding rule」項目に高い負荷量が示されていることから、条件判断の変数の変化の位置の理解についての因子と考える。第3因子は寄与率が12.35%で、「Careless for [k] and [a]」項目に高い負荷量が示されていることから、分岐の中の算術演算、つまり分岐の真偽判定の結果で算術演算が実行されるか否かの理解についての因子と考えられる。しかし、3つの因子の累積寄与率は46.37%のため、因子解釈の点からは妥当なものとは判断しかねる。

6.2.2.2 再履修者の結果と考察

問題2の再履修者の因子分析の結果と、因子寄与率を表9、10に示す。なお、「Understanding constant value」項目の変数の値がすべて「0」であったため、この項目を除いて分析した。

結果、第1因子は寄与率が24.22で、「Verify truth」、「Understanding rule」、「Careless for [k] and [a]」項目に高い負荷量が示されている。これらは、繰り返し文の真偽判定と分岐の真偽判定に

表9 問題2 再履修者の因子分析結果

(N=38)

	因子1	因子2	因子3
Verify truth	0.757	0.123	0.292
Understanding rule	0.637	0.516	-0.055
Careless for [k] and [a]	0.521	0.103	0.001
Understanding command	0.218	0.865	0.146
Understanding loop	0.022	0.105	0.956
Careless for [i]	0.394	0.187	-0.171

表10 問題2 再履修者の因子寄与率

因子 No.	二乗和	寄与率	累積
1	1.45	24.22%	24.22%
2	1.09	18.10%	42.33%
3	1.05	17.55%	59.87%

関する項目、繰り返しの中にある算術演算の結果を代入する変数と算術演算の結果を用いた分岐の変数に関する項目、さらに、変数の変化する位置に関する項目が含まれていることから、繰り返し・分岐双方の概念と動作理解についての因子と考えられる。

第2因子は寄与率が18.10%で、「Understanding command」と「Understanding rule」項目に高い負荷量が示されていることから、算術演算に関係する変数の変化する位置の理解についての因子と考える。第3因子は寄与率が17.55%で、「Understanding loop」項目に比較的高い負荷量が示されていることから、繰り返しの動作理解についての因子と考えられる。3つの因子の累積寄与率は59.87%のため、因子解釈の点からは妥当なものとは判断できる。

6.3 誤答傾向に関する考察

6.3.1 1年次・再履修者の共通した誤答傾向

1年次、再履修者共通して、問題2の第2因子に「Understanding rule」項目が含まれていることから、繰り返しの中に分岐のあるプログラムでも、プログラムの基本動作を理解しており、トレース課題の解答位置の記述ミスや計算ミスといったケアレスミスの誤答傾向があると考えられる。しかし、問題の解答位置を間違える学習者は、変数の変化の位置が把握できていないという可能性も否定できない。このことから、繰り返し文の中にあるプログラムの構成が違い場合の分析を行う必要がある。

6.3.2 1年次の誤答傾向

1年次は、問題1の第1因子に「Careless for [i]」と「Verify truth」項目が分類されているのに対し、問題2では、第1因子に「Careless for [i]」、第2因子に「Verify truth」項目が分類されている。これは、分岐の条件判断と繰り返しの条件判断の誤答傾向は別であることを示していると考えられる。

一方、「Understanding command」項目が、どの因子にも属さない結果となった。この項目に該当する算術演算では、問題1、2とも繰り返し用に用意した変数*i*を計算内で使用している。このことから、変数*i*の値の変化の誤答傾向と相関があると考えられるが、分析結果では、その点について相関が確認できない。このことから、この項目に関しては

再検討が必要であると考え

6.3.3 再履修者の誤答傾向

再履修者については、問題 1、問題 2 とも第 1 因子に「Verify truth」と「Understanding rule」項目が含まれている。これは、繰り返しの真偽判定での誤答と、分岐での真偽判定での誤答の相関が強いということが考えられる。つまり、繰り返しと分岐の真偽判定の誤答が同時に起きる可能性が高いと考えられる。また、問題 1 では、第 2 因子で「Careless for [k]」項目がマイナスの負荷量であったのに対し、問題 2 では、「Careless for [k] and [a]」項目が第 1 因子でプラスの負荷量となっている。これは、繰り返し文と分岐の動作の理解ができていない傾向が示されていると考える。これらのことから、再履修者の特徴として、条件判断の誤答が、プログラムの動作の理解の妨げとなっていると考えられる。

7. まとめと今後の課題

本稿では、プログラミングを学習する際に、学習者がプログラムの動作を思考し、思考したプロセスを自己の中で形成し、形成したプロセスを、実際のプログラムの動作と一致させることが重要であることから、完成したプログラムとその動作を学習者が記入するための表を並べて提示した課題（トレーシング）を、ビジュアルプログラミング環境上で実装し授業で実施した。授業後に実施した中間試験から、トレーシング問題の誤答箇所を抽出し、抽出した誤答から、筆者らが誤答パターンと考える 7 つの項目に分類し、因子分析を用いて誤答傾向を確認した。分析結果の寄与率が、1 年次の問題 1 で 53.88%、問題 2 で 46.37%、再履修者の問題 2 で 59.87%と、高い寄与率とは判断できないものの、誤答傾向を知る上での一つの指針となり得ると考える。

再履修者の誤答傾向からは、関係演算子に関する誤答がプログラムの動作の理解の妨げとなっていると考えられることが確認できた。このことから、1 年次の授業直後にこの分析を実施し、条件判断に多くの誤答がある学習者に対して関係演算子の理解を促す課題を追加するなどといった対応をすることで、分岐だけでなく繰り返しの動作理解が促すことが可

能であると考えられる。

今後は、誤答パターンの項目で、因子分析の結果、因子に寄与しない項目があったことから、誤答パターンの項目を再検討する必要がある。

また、授業内の課題で学習者が提出した解答の中で、最初の提出で誤答があった学習者が正解するまでの過程を分析する予定である。

さらに、本結果を用いて演習時に誤答傾向を即座に確認できるシステムを追加することを検討している。

謝 辞

本研究は JSPS 科研費 26350284, 15K01023 の助成を受けたものです。

参 考 文 献

- (1) IT 総合戦略本部, 世界最先端 IT 国家創造宣言, June 2015, <https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20150630/siryou1.pdf> (2017 年 2 月 3 日アクセス)
- (2) 文部科学省, 中学校学習指導要領, March 2008. http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/youryou/icsFiles/a_eld_le/2015/03/26/13562511.pdf (2017 年 2 月 3 日アクセス)
- (3) 関谷貴之, 山口和紀, 山本三雄: "初学者によるプログラムトレーシングにおける誤答に関する分析", 情報教育シンポジウム 2012 論文集 2012(4), 113-120 (2012)
- (4) 湯沢航太, 國宗永佳, 新村正明: "プログラムの動作理解を表出する課題形式の提案", 信学技法, ET2016-2, pp.49-52 (2016)
- (5) 小林慶, 國宗永佳, 香山瑞恵: "アルゴリズム的思考法教育を支援するビジュアルプログラミング環境の開発", 教育システム情報学会研究報告, vol.27, no.4, pp.3-8 (2012)

内省を指向したノートリビルディングシステムの 蓄積機能及び関連付け機能開発

小山俊哉^{*1}, 東本崇仁^{*1}

^{*1} 東京工芸大学工学部コンピュータ応用学科

Development of Accumulation function and Association function of Directed the Introspection Note-Rebuilding system

Toshiya Koyama^{*1}, Takahito Tomoto^{*1}

^{*1}Department of Applied Computer Science,
Faculty of Engineering,
Tokyo Polytechnic University

大学の講義では、学習者が講義資料の内容を自ら書き写し整理する機会がない。東本らの研究では、資料を分割し部品として学習者に与え、資料の再構築を要求する支援システムを開発した。しかし、作成したノートは蓄積できず講義後に見直すことは出来ない。本研究では、システムで作成したノートを保存し、蓄積できる機能と蓄積したノート間でさらに再整理できる機能を追加することで学習効果を高める支援を行った。

キーワード: 形成的評価, ノート構築, ノート保存

1. はじめに

近年、様々な大学においてプレゼンテーションソフトウェアを用いた講義が増加している。特に、情報技術系の科目においては、その傾向が顕著であるように思える。したがって、情報技術教育においては、このような形態の講義において、効果的な教授方法を模索する必要がある。

プレゼンテーションソフトウェアを用いたスライドによる一斉講義では教員の一方的な講義になりやすい。スライドを用いることにより教授者側は事前に情報を的確に整理された資料を作ることができる。講義中において、板書などの手間を省くことができ、次年度などで再利用できるという利点がある。また、学習者側には講義内容に関する構造化された資料が提供され自分でノートを取る必要がなく、書き漏らしがなくなる利点がある。しかし、学習者が板書された情報を自ら

ノートに書き写し整理することは、自身の理解状態を整理することになり、学習成果が期待できるとされている。これに対してプレゼンテーション型講義において、講義の内容のものを明示的に整理するためのタスクを学習者に与えることを目的としたノートリビルディング方式を提案し、その支援システムを設計・開発し、評価する研究は上記の問題を解決しているが、作成したノートを蓄積することができず、講義後に見返すことができない。

本研究では、ノートリビルディング方式とその支援システムにノートを蓄積する機能と、ノート間の関連付けをできる機能を追加し、各講義のノートに関連付けることで学習効果を高める支援を行う。

2. 関連研究

2.1 講義に対する理解促進のためのノートリビルデ

インギ法の提案と支援システムの開発・評価

プレゼンテーションソフトウェアを用いた講義において、学習者自身の理解状態を整理する機会が与えられないことを問題点として提起し、その解決策として明示的に構造化ノートを再整理させるタスクを提供する。東本ら[1]は、このタスクをノートリビルディング方式と呼んでおり、その支援システムを開発した。

2.2 ノートリビルディング方式

教授者により構築されたコンセプトマップを、ノードとリンクという部品に分割し、学習者に再構築させる Kit-build 方式に関する研究があり、教育現場での実践利用も試みられている。Kit-build 方式では教師はあらかじめ正解となるコンセプトマップを作成するだけで、システムが自動で部品に分割するため、簡単にタスクを生成することができる。また、各学習者は同じ部品を用いて作業を行うため、各学習者が作成したマップを重ね合わせて比較することができ(重畳機能)、学習者が自身の理解状態を把握することができる。さらに、教授者が全体の理解状態を把握することで、講義の補足や改善を行える。ノートリビルディング方式は、Kit-build 方式をプレゼンテーション講義型に適用したものである。

2.3 構造化ノート

プレゼンテーション型講義で用いられる講義資料がすべてに渡って構造化されているとはいえないが、重要であり、かつ整理が必要とされるような箇所については、リスト、表、階層構造、概念マップ、ベン図あるいはフローチャートなどの形式を用いた構造化が行われていることが多い。

提案されているノートリビルディング方式では構造化ノートをその構造の形式を定めている枠組み(以下ではスケルトンと呼ぶ)と、そのスケルトンを埋めている単語やフレーズ(以下では概念要素と呼ぶ)で構成されていると考え、二つをあわせて部品と呼んでいる。ノートリビルディング方式ではスケルトンと概念要素を学習者に与え、適切に組み合わせることで理解状態の整理を促す。図1は箇条書き形式の構造化ノートの例、図2は箇条書き形式について部品化を行った例である。

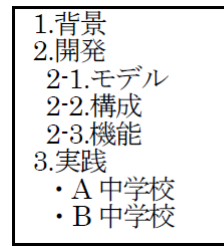


図1 構造化ノート

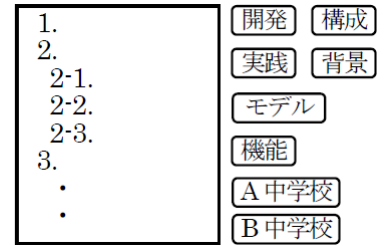


図2 スケルトンと概念要素

2.4 ノートリビルディング方式を用いた講義

ノートリビルディング方式を用いた実際の講義形式としては、構造化ノートとプレゼンテーションソフトウェアを用いて教授者側が構築し、部品(スケルトンと要素)に分割した状態で学習者に与える。学習者は与えられた部品を組み立てて、構造化ノートを構築することで、自身の理解状態の整理を行う。

2.5 ノートリビルディング支援システム

システムは、プレゼンテーションソフトウェアにより構造化された資料を解析する機能と、概念要素とスケルトンを学習者に組み立てさせるインタフェイスと、教授者や他の学習者の構築したノートを比較する比較機能からなる。

システムのメリットとしては大きく三つある。一つ目は、聞くだけになりがちなプレゼンテーション型講義において、学習者の理解状態を整理する活動が要求されること。二つ目はシステムを利用することで学習者の理解状態を教授者側が講義中に収集でき、即座に授業改善に役立てることができる。三つ目は、教師は学習者に与えるタスク用に新たに資料を作成する必要がなく、既に作成したプレゼンテーションソフトウェアを用いた資料をシステムが自動で部品に分割することである。

2.6 構造化ノート解析機能

構造化ノート解析機能では、教授者がプレゼンテーションソフトウェアにより作成した構造化ノートを自動で構造化ノート情報に変換する。構造化ノート情報とは、学習者に構築を要求する構造化ノートについて教授者側が用意した正解の情報である。図3は、箇条書きについての構造化ノート情報の例である。箇条書きの例では、各情報(sentence)、階層の深さ(Level),

数字つき(number)か数字なし箇条書き(dot)かを別の情報として入力している。

```

{"ClassStructure": [
  {"level": 1,
   "sentence": "MySQLの起動",
   "type": "number"},
  {"level": 2,
   "sentence": "mysql -u j**** -p -tee='filename.txt'",
   "type": "dot"},
  {"level": 1,
   "sentence": "データベースの確認",
   "type": "number"},
  {"level": 2,
   "sentence": "SHOW DATABASES:",
   "type": "dot"}
]}

```

図3 構造化ノート情報の一例

2.7 ノートリビルディングインタフェース

学習者はマウスまたはタッチパネルをドラッグ&ドロップ操作でノートを組み立てることとなる。構造化ノート情報を読み取り、記述されている要素をランダムに整列するとともに、要素を除去してスケルトンも提示する。ノートの構造はインタフェース上の「送信」ボタンを押すことで、サーバ側に送信される。図4は実際に開発した箇条書きについてのシステムのインタフェースの例である。



図4 ノートリビルディングインタフェース

2.8 比較機能

サーバでは学習者の回答データを収集し、複数の学習者のノートを重畳した結果および教授者側の用意した結果を重ね合わせて表示する機能を持つ。本機能は、講義中に教授者側の任意のタイミングで利用できるため、学習者は正解と自身の回答を比較することや、他の学習者の回答と比較することで自分の回答を振り返ることができる。これにより、多くの学習者が間違え

た箇所を自分も間違えた時や、多くの学習者が正解しているのに自分だけ間違えた時など、注意しながら学習することができる。さらに、教授者側は、講義中に即座に学習者の不十分な理解を把握し、行った講義について振り返り授業改善に役立てられるとともに、その場で補足説明を行う等の対応が可能となる。図5は数字つき箇条書き形式において複数の学習者のノートを重ね合わせた結果の例である。



図5 ノートリビルディング比較機能

2.9 実験と評価

本システムを実際の大学のプログラミングの講義にて用いた。対象の講義では、PHP と MySQL について扱っており、特に今回は既に学習済みの内容について、復習として学習者に再整理することを要求した。被験者は工学系大学生 69 名である。詳細な手順は以下の通りである。

1. プレゼンテーションソフトウェアを用いて作成した構造化ノートによる復習。通常の講義形式(6分)
2. 事前テスト(6分)
3. 支援システムによるノートリビルディング(6分)
4. 比較機能を用いた講義の再説明(6分)
5. 事後テスト実施(6分)
6. アンケート(5分)

事前事後テスト結果について、MySQL および PHP+MySQL のそれぞれについて事前から事後にかけて成績が向上していた。システムを通して講義の順序構

造の理解が促進されることが明らかになった。

4 件法(4 思う, 3 やや思う, 2 あまり思わない, 1 思わない,)で回答させ、集計した平均点を表 1 に示す。また、4, 3 をポジティブ(Ps), 2, 1 をネガティブ(Ng)としている。

表 1 アンケートの集計結果(平均点 Ave)

質問項目	平均点	Ps	Ng
システムを使って学習すると、使わないときに比べて内容を理解しやすかった	3.3	65	4
システムを使って学習すると、使わないときに比べて、どの部分に分かってないかをよく確かめることができた	3.2	60	9
システムを使って学習すると、使わないときに比べて、学習内容のポイントを理解しやすい	3.1	59	9
システムを使って学習すると、使わないときに比べて、構造を理解しやすい	3.2	62	7

表 1 から、本システムの利用により、講義の内容や構造、ポイントを理解しやすくなるという意見が得られたといえる。さらに、自分の理解状態を振り返るために有益であると学習者が主観的にも感じていることも明らかになった。

以上の結果より、順序構造の事後テストにおいて成績が向上しており、またアンケート結果から主観的にも理解が促進されていることが確認できた。講義の後にノートリビルディングを MySQL と PHP+MySQL の各 3 分、比較機能による説明を各 3 分追加することで通常の講義をのみを行う時に比べ、効果的な結果が得られた。

3. 提案機能

3.1 プレゼンテーション型講義

プレゼンテーションソフトウェアを用いる講義形態では、教授者があらかじめ資料を整理し、構造化された資料が配られるため、学習者はノートを取る必要がなく、学習者自身が情報を再整理することは要求されない。しかし、板書型の講義形態において、板書された情報を自らノートに書き写し再整理することは、自身の理解状態を整理することになるとされており、学習効果が期待できるとされている。

3.2 ノート蓄積

ノートリビルディング方式とその支援システムを用いることで、プレゼンテーション型講義において、学習者は与えられた資料を再整理することができる。し

かし、現在のシステムにはノートを保存する機能はない。学習者は自身で作成したノートを見返すことはできないので、学習の効果は講義時の一時的なものである。

そこで、本研究では(1)ノートを保存し講義後に復習することができる蓄積機能、(2)保存したノートとほかの回のノートをさらに再整理する、関連付け機能の 2 つを提案する

4. 提案システム

4.1 開発環境・動作環境

本システムの開発環境と動作環境を表 2 に示す。

表 2 本研究の開発環境

OS	Windows7 64bit
言語	PHP, Java script

本研究では、OS に依存せず、Web 上で運用することができる JavaScript を採用する。JavaScript はブラウザ上で動くのでインストールする手間はなく、大学や家庭でも利用することができる。

4.2 ノート蓄積機能

現在のノートリビルディング方式支援システムでは、講義内で教授者が提示した資料を情報の構造と個々の情報に分割し、部品として学習者に再構築させるものである。そこで、本研究は講義ノート保存機能を提案する。本機能は講義の各回分のノートを保存するものであり、これにより学習者は自身で作成した各回分のノートを見返すことができる。

4.3 インタフェイス

システム起動時のシステムインタフェイスについて図 6, 7 をもとに説明する。学習者はシステムを利用する際に、学籍番号を入力する、OK ボタンをクリックすることでノート選択画面に移行する。ノート選択画面ではノート作成、ノート編集、関連付け、関連ノートの項目が表示される。各項目のリンクをクリックすることで各ページへ移行する。

ノート作成(図 7)では画面右に学籍番号が表示される。学習者は画面左上にあるセレクトボックスから各回のノートを選択する。選択後、講義ボタンを押すことで図 6 のように右側にカードがランダムに表示され、

左側には組み立てるための枠が並べられる。学習者は右側の枠の要素を左側の枠にドラッグ&ドロップすることでノートを組み立てを行う。送信ボタンを押すことでサーバにノート情報が送信される。ノート編集では学習者が作成して、送信したノートを再表示する。また、未完成のノートを再編集することができる。保存する場合、再度送信ボタンを押すことでノートを保存することができる。



図 6 学籍番号入力画面



図 7 ノート作成画面

4.4 関連付け機能

通常の講義で資料を復習する際、他の回の資料と関連付けて学習したほうが効果的であると考えられる。関連付けをすることで、その回の講義と他の回の講義のノートを跨ってひとつのノートとして再整理することができる。例として、ある講義の第一回で「コンピュータの動作」について説明され、第二回には「論理回路」についての説明がある。この場合「コンピュータの動作」には2進数が用いられ、「論理回路」は2進数で表現されている、という関連がある。このように一回の講義だけで終わらず、複数回にも続いて同じ内容のものを教授することは少なくない。関連付け機能では、このような例において講義をまたいで関連付けることができる。

各回の講義の内容に関連する項目があった場合、作成されたノートをさらにノトリビルディング方式により再整理することで、板書したノートのように各回のノートを関連付けする。図8のノート関連付け画面では、3つのノートからひとつのノートにまとめる。学習者は3つのセレクトボックスから作成したノートをそれぞれ選択する。さらに、その下のセレクトボックスから関連付けするためのノートを選択する。講義ボタンを押すことで図8画面のようにノートが表示される。作成したノートは画面左の枠に表示され、タブボタンを選択しクリックすることでノートを切り替えることができる。学習者は最大3つのノートから、マウスによりドラッグ&ドロップすることでカードを移動し、ノートを組み立てる。また、既に整理したノート間で再整理を行うので過去のノートを整理することができる。



図 8 ノート関連付け画面

5. 評価実践

5.1 概要

本研究で対象とした講義は、東京工芸大学の統計処理である。統計処理は Excel のデータ分析を使用して具体的に統計処理の手法を習得するものである。学習者には主に、データ分析の手順と分析方法の概要についての内容を学習者に与え、再整理を要求した。統計処理は全15回行われ、5回、9回、14回で中間テストが行われる。本実践では、統計処理の第7回から第15回の総合テストまでの8回分でシステムを用いた。また、第1回から第6回までの内容を冬休みの課題として学習者に要求した。対象とする学習者は統計処理を受講する66人である。

5.2 実践手順

手順としては、通常形式の講義を行い講義資料の説明が終わった後、既存のノトリビルディング手法を用いて学習者にノートの再構築を要求する。作成したノートの情報は各回の講義ごとに蓄積される。蓄積されたノートは授業外でも閲覧することができ、学生が蓄積されたノートを閲覧した際にログとして記録される。ログにはノートを表示した日時と表示したノートの種類が記録される。

関連付け機能については第 11 回、第 13 回、冬休みの課題で実施した。関連付け機能の手順としては、ノトリビルディング手法によってノート作成が終了した後に関連付けを実施する。関連付け後、比較機能によって学習者と教授者に理解状況をフィードバックする。

5.3 結果

本システムの実践の結果とアンケート結果について示す。アンケートは、システムの利用を通して復習に役立ったか、作成したノートを見返すことで理解が向上したか、また、関連付け機能を利用することで複数のノートをまとめることで理解状態が改善されたかなどについて調査することが目的である。5 件法によって実施した任意回答のアンケートは 27 名が回答した。回答尺度のうち 4,5 をポジティブ (Ps) とし 1,2 をネガティブ (Ng) とした。

蓄積機能のアンケート結果について、表 3 に示す。表 3 のアンケート項目から、項目 1 では、回答者 27 名中 18 名がポジティブな回答をしており、システムが有用に使われていることがわかる。また、項目 2 より、「自分で作ったノートを見直すことは、内容の理解につながる」という項目に対して、項目 3 の「システムで作ったノートを見直すことは、内容の理解につながる」とほぼ同等の評価であったことから、情報量の多い紙のノートと同等の効果を果たしていると考えられる。また、項目 4 より、17 名がポジティブな評価をしており、システムで作成したノートは復習に役立っているといえる。これらの結果により、システムで作成したノートを見返すことで学習者の理解向上につながり、復習に役立つといえる。また、蓄積機能を追加した結果、実践によって蓄積した各回のノートのログ機

能によって、第 14 回 3 回目の中間テスト中では 13 名、第 15 回の総合テストでは 9 名の学習者が作成したノートを確認していた。なお、両方のテストでは講義資料、紙のメモ、web サイト、本システムの閲覧が可能となっている。講義内容があらかじめまとめられた講義資料の閲覧が可能となっているにもかかわらず、本システムを利用していることから、本システムが有用であると考えられる。

関連付け機能のアンケート結果について表 4 に示す。表 4 のアンケート項目から、1, 2, 3, 4 より複数回の講義内容をまとめることは、資料の記憶と理解につながり、復習に役立つと感じていることがアンケートよりわかった。また、項目 5, 6, 7 の関連付け機能について、ポジティブな評価が多いことから、資料内容の理解とまとめに有用であることがわかった。項目 8, 9, 10 についてもネガティブよりもポジティブの評価が高いことから、本機能が有用であることがわかる。他と比べて多少評価が低い理由として、関連付けとして再構築を要求したノートが問題として向いていなかったということが予想される。

これらの結果から、本システムの利用によって複数回の講義をまとめることに役立ち、資料内容の理解につながったことがアンケート結果から読み取れた。

また、表 5 は、2015 年度と 2016 年度の統計処理の中間テストの結果である。中間テストは半期中に毎年 3 回行われており、本システムを実践したのは 2016 年の第 1 回目と第 2 回目の間の期間からである。表 5 より、第 1 回目の中間テストについては 2015 年度も 2016 年度もほぼ同等の成績であるが、システムの実践を開始して以降の 2016 年の第 2 回目と第 3 回目の中間テストの結果は、2015 年度と比べて向上している。

また、被験者間要因として、年度 (2015 年度 / 2016 年度)、中間テスト時期 (中間テスト 1 回目 / 2 回目 / 3 回目) の 2 要因とする分散分析を行った。結果として、要因 : 年度、要因 : 中間テスト時期、交互作用のすべてに有意差が見られた ($p < 0.01$)。さらに、要因 : 中間テスト時期について Ryan' s の多重比較を行ったところ、中間テスト 1 と 2、1 と 3 の間で有意な差が見られた ($p < 0.01$)。交互作用について、単純主効果を調べたところ、要因 : 年度に対して、中間テスト 2 回目と 3 回目で有意な差が得られ ($p < 0.01$)、要因 : 中間

テスト時期に対して、2015年度のみ有意な差が得られた ($p < 0.01$)。以上より、年度の違いは、第2回目、第3回目についてのみ見られたことと、テスト時期の違いは2015年度のみに見られたことが分かった。以上より、2015年度は第2回目と第3回目が、第1回目に対して減少していたのに対し、2016年度は中間テスト時期に対して減少していないことが言える。以上より、2015年度と比較して、2016年度は中間テスト第2回目、第3回目で減少せず、テストの成績が維持されていることがわかる。

授業実践における利用は、長期の利用であり、様々な要因が存在するため、本システムの利用による学習効果であるかは断定できないが、システムの利用による理解力の向上の可能性が示された。

表3 蓄積機能アンケート結果

	アンケート項目	Avg	Ps	Ng
1	自分で作成したノートの間違いを直すことができた	3.70	18	4
2	自分で作ったノートを見直すことは、内容の理解につながる	3.89	19	3
3	システムで作ったノートを見直すことは、内容の理解につながる	3.63	18	4
4	システムで作ったノートは復習に役立つ	3.63	17	4

表4 関連付け機能アンケート結果

	アンケート項目	Avg	Ps	Ng
1	複数回の講義をまとめることで資料の記憶につながる	3.63	16	3
2	複数回の講義をまとめることで資料の理解につながる	3.56	17	5
3	複数回の講義をまとめることで学習内容のポイントを理解しやすい	3.74	19	5
4	複数回の講義をまとめることでテスト前の勉強に役立つ	3.85	18	2
5	関連付けによって資料の内容の記憶につながる	3.30	13	5
6	関連付けによって資料の内容の理解に繋がる	3.44	14	4
7	関連付けによって複数回の講義をまとめるのに役立つ	3.48	14	5
8	関連付けによって自分の知らなかった関係に気づいた	3.15	9	5
9	関連付けによって教師の理解してほしい内容を把握できた	3.30	10	4
10	関連付けによって教師の理解してほしい内容を理解した	3.04	8	6

表5 中間テスト結果

	2015年		2016年	
	受講者	平均点	受講者	平均点
1回目	81名	6.1点	71名	6.0点
2回目	78名	4.2点	68名	5.8点
3回目	79名	4.4点	66名	6.0点

6. おわりに

大学の講義において、プレゼンテーションソフトウェアを用いる講義形態では、学習者が講義資料の内容を自ら書き写し整理ができないなどの問題がある。そこで、ノトリビルディング方式では、講義資料を分割し、部品として学習者に与え、講義資料の再構築を要求する。これにより、学習者は講義における情報の構造を自ら整理する必要があるため、自らの理解状態を振り返ることが可能となる。

本研究では、ノトリビルディング方式の問題点であるノートの蓄積ができないという点において、(1)ノートを保存し講義後に復習することができる蓄積機能、(2)保存したノートとほかの回のノートをさらに再整理する関連付け機能、の2つを提案した。

評価実践で実施したログとアンケート結果から、本研究で追加した機能である蓄積機能と関連付け機能が有用であることが分かった。

今後の課題として、関連付け機能に適した問題を探すことが課題としてあげられる。

謝辞

本研究の一部は科研費・基盤研究(C)(10508435)の助成による。

参考文献

- (1) 東本 崇仁, 平嶋 宗: “講義に対する理解促進のためのノトリビルディング法の提案と支援システムの開発・評価”, 教育システム情報学会誌, 31(4), 264-269, 2014

