

も く じ

■開催日時：2023年3月18日（土）

■テーマ：学校段階間での接続を意識したデータサイエンス教育／一般

1) 講義前後に実施する力学概念調査（FCI）の比較検証-----	1
○近藤隆司(大分大学)，後藤善友(別府大学短期大学部)	
2) 産学連携を意識したデータサイエンス教育の実践と実データ活用能力の育成-----	3
○永田奈央美(静岡産業大学)，岩本武範(静岡産業大学)，高橋等(静岡産業大学)	
3) 遠隔教育のグループ学習活動における教員の見とり支援について-----	10
○横山誠(山口大学大学院，エスブレイン)，鷹岡亮(山口大学)，中田充(山口大学)，霜川正幸(山口大学)	
4) コロナ禍における高等学校でのオンライン授業に対する生徒の意識の変容-----	16
○小竹七海(東洋大学附属牛久高等学校)，山本瑠璃(東洋大学附属牛久高等学校)， 佐藤海斗(東洋大学附属牛久高等学校)，徳竹圭太郎(東京工業大学大学院)，佐久間大(Libry)	
5) 中学生を対象とした三角ロジック組立演習の実践利用と分析結果-----	21
○沖永友広(広島大学大学院)，長澤怜男(広島大学大学院)，藤原宗幸(広島商船高等専門学校)， 木下博義(広島大学大学院)，林雄介(広島大学大学院)，平嶋宗(広島大学大学院)	
6) 三角ブロックにおける情報不備課題の定義と演習化-----	29
○清水拓海(広島大学大学院)，尾坂隆児(広島大学大学院)，守山映見里(広島大学)， 山元翔(近畿大学)，前田一誠(環太平洋大学)，林雄介(広島大学)，平嶋宗(広島大学)	
7) プログラミング初学者に向けた数理データサイエンス AI 教育プログラム選択学修項目の実践-----	37
○二瓶裕之(北海道医療大学)，西牧可織(北海道医療大学)	
8) 線形代数における行列簡約化アルゴリズム学習支援システムの開発と学習履歴の分析-----	44
○樋口三郎(龍谷大学)	
9) 発達障害傾向を有する児童の学習場面におけるコミュニケーションロボットの活用-----	50
○小川莉久(大阪府立大学)，真嶋由貴恵(大阪公立大学)，榊田聖子(大阪公立大学)	

10) 教科横断型のスキルの育成状況を可視化するカリキュラムマネジメントシステムの開発-----	54
○小笠原歩夢(東北学院大学), 松本章代(東北学院大学), 後藤康志(新潟大学), 豊田充崇(和歌山大学), 泰山裕(鳴門教育大学), 稲垣忠(東北学院大学)	
11) 大学生の食事行動変容に向けた新たな健康指標の検討 ースマホ利用の有無による食事良識の腸音分析からー-----	61
○佐保友啓(大阪府立大学), 真嶋由貴恵(大阪府立大学), 榊田聖子(大阪府立大学)	
12) 医療安全教育プログラムの考察に向けた医療機関における安全対策の現状調査-----	65
○松本龍樹(大阪府立大学), 真嶋由貴恵(大阪公立大学), 榊田聖子(大阪公立大学)	
13) 学習支援サービスのコメント送信機能を活用した学習者の学びの過程の分析-----	70
○宇宿公紀(東京都立東大和南高等学校/教育テスト研究センター)	
14) 脳波測定器 Muse2 による正確な脳波データの取得法分析-----	76
○安部拓磨(東京国際工科専門職大学), 篠崎諒(東京国際工科専門職大学), 塩尻(斎藤)亜希(東京国際工科専門職大学), 上條浩一(東京国際工科専門職大学), 大関和夫(東京国際工科専門職大学), 鈴木雅実(東京国際工科専門職大学)	
15) 文系学部大学生のソーシャルメディア活用についての記述の分析-----	80
○佐藤弘毅(名古屋大学)	
16) Moodle を使ったオンライン・プレ・バズセッションの実践とその分析-----	86
○浅羽修丈(北九州市立大学), 斐品正照(東京国際大学)	
17) 事前学習におけるの能動的学習情報に基づくプログラミング学習進捗状況把握-----	94
○王笑難(神戸大学大学院), 清光英成(神戸大学大学院), 孫一(神戸情報大学院大学), 蘇彦聰(Xiamen University of Technology), 大月一弘(神戸大学大学院)	
18) プログラミング演習における学習者の進捗状況の把握を目的とした評価指標の提案-----	99
○田中空来(信州大学大学院), 香山瑞恵(信州大学), 新村正明(信州大学), 舘伸幸(信州大学)	
19) ソースコード処理手順の学習によるコード補完機能の検討-----	107
齋藤愛莉佳(神奈川工科大学大学院), ○鷹野孝典(神奈川工科大学)	
20) 視線情報を用いた図形特徴の読み取り順序理解支援システム-----	111
○上田航司(関西大学大学院), 小尻智子(関西大学)	

21) 英語学習支援のための学力推定に基づいた学習ペースアルゴリズムの実装と評価-----	118
佐々木陸(神奈川工科大学), ○鷹野孝典(神奈川工科大学)	
22) 英文読み合いにおける Learning-by-Teaching 促進システムの評価-----	125
○須藤敬仁(電気通信大学大学院), 柏原昭博(電気通信大学大学院)	
23) 誤り発言からの学習者の誤り箇所候補推定トレーニングシステム-----	133
○秦弘和(関西大学大学院), 小尻智子(関西大学)	
24) 状態変化に基づく妥当性検証による活動分析支援システム-----	141
○久乗皓大(関西大学大学院), 小尻智子(関西大学)	
25) インタラクティブロボット講義における注意・理解リカバリの有効性評価-----	149
○島崎俊介(電気通信大学大学院), 柏原昭博(電気通信大学大学院)	

講義前後に実施する力学概念調査（FCI）の比較検証

近藤隆司^{*1}, 後藤善友^{*2}

^{*1} 大分大学理工学部, ^{*2} 別府大学短期大学部

Comparative verification of Force Concept Inventory (FCI) conducted before and after the lecture

Ryuji Kondo^{*1}, Yoshitomo Goto^{*2}

^{*1} Faculty of Science and Technology Oita University, ^{*2} Beppu University Junior College

理工系学部初年度の講義の開始時と終了時で実施した、力学概念テスト（FCI）の報告である。受講の前後で FCI 総得点の平均値にはほぼ変化が見受けられないが、以前の調査と同様に、各受講者の回答内容の変化は大きく、その回数は平均して 30 問中の 11 問程あった。これは受講者において、力学概念が正誤ともに確固としたものではなく、揺らいでいる状態の反映だと考えられる。

キーワード: 力学概念調査, FCI, 誤概念

1. はじめに

力学分野の概念把握を調査する方法として力学概念調査（FCI）がある⁽¹⁾。それは計算問題ではなく、すべて定性的な問い 30 問で構成されている。回答は 5 つの選択肢(A, B, C, D, E)から選んで回答する。正答以外の選択肢は力学現象に対する誤概念を抽出する工夫がなされている。FCI を講義開始時と終了時に実施すれば、受講者の力学概念に対する講義の影響を測ることが可能となる⁽²⁾。この調査を大学初年次の「力学」の講義において 70 名の受講生に対して実施した。

2. 調査結果

FCI 得点の平均値は講義開始時で 16.24 点、講義終了時で 16.21 点であり多少低下したが値に大きな変化は無い。図 1 に講義開始前と後の FCI 得点を、それぞれ縦軸横軸とした図を示す。中程の直線上にある受講生は講義前後で FCI 得点に変化がない。ほぼ全員が 5 点程度の幅の内にあるが、平均得点が 16 点程度であることを考慮すれば 5 点の変動幅は大きい。FCI 得点に変化は見受けられなかったが、それぞれの受講生の回答内容は大きく変化していて、図 2 に設問ごとの回答変更人数をあげる。変更した回数の平均は 11.2 回で

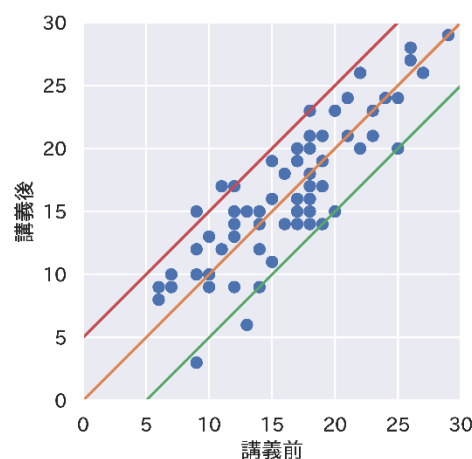


図 1 講義前後の FCI 得点の対応

あり、昨年の調査⁽³⁾の際の値 9.89 回と同様に 3 分の一程の回答が変更されていて、図 1 の印象と矛盾しない。

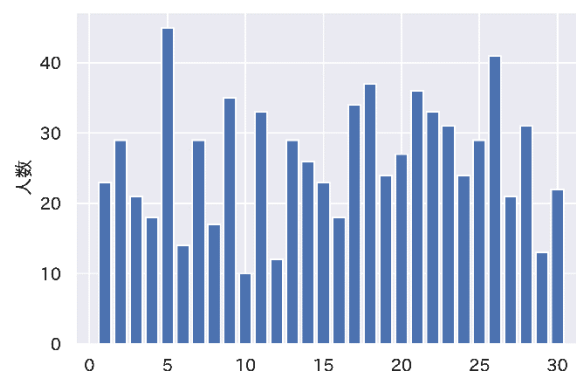


図 2 各設問で回答を変更した人数

FCI 総計には講義前後で差がないが、各設問ごとに見ると正答数に変化がある。図 3 に設問ごとの正答人数の変化をあげる。最も改善が見られた設問 9 は打撃による速度変化の問題である。最も正解数が減少した設問 23 は、宇宙空間においてエンジンが停止した後のロケットの運動を問うもので、インペタスと言われる誤概念が関連している。こうした比較から講義が受講生に及ぼした影響を評価できる。

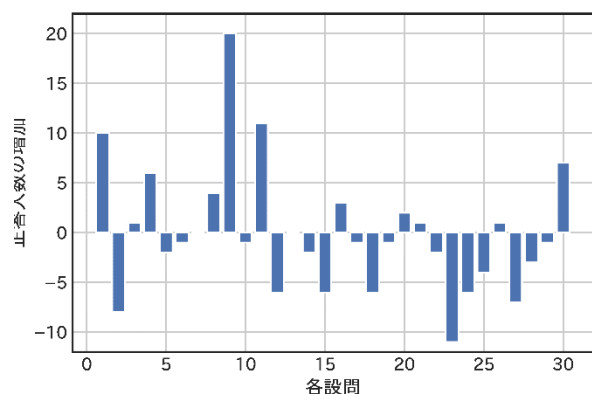


図 3 設問ごとの正答人数の変化

3. 調査結果の解析

以下では、最も正解数が減少した設問 23 を取りあげる（表 1）。表 1 では講義前の FCI の選択を行とし講義後の選択を列として設問 23 の選択数を表している。その意味は、例えば講義前に A を選択した人数は 12 名で、そのうちの 3 名が講義後では D を選択している。また講義後に A を選択した人数は 14 名であるといった意味である。設問 23 の正解は B であるが、講義前の調査では 27 名が正解を選び、そのうち 14 名が講義後も B を選択したが、約半数の 13 名が他の解答を選択して、正解者は 16 名へと減少している。

表 1 設問 23 の講義前後での選択数の変化

前 \ 後	A	B	C	D	E	計
A	8	1	0	3	0	12
B	2	14	3	7	1	27
C	0	0	2	4	0	6
D	3	1	4	14	0	22
E	1	0	0	1	1	3
計	14	16	9	29	2	

このような選択肢の変更は誤答においても見られる。選択肢 D を取りあげれば、講義前の調査では 22 名が選んでいるが、講義後の調査で同じ D を選んだ受講生は 14 名に減少している。正答、誤答のいずれの場合にも選択に揺らぎが見られるが、この傾向は昨年調査結果とも共通する⁽³⁾。

表 2 設問 21 と 23 の対応（講義後の調査から）

前 \ 後	A	B	C	D	E	計
A	2	0	0	2	0	4
B	1	0	5	1	0	7
C	7	4	2	14	0	27
D	0	2	1	2	1	6
E	4	10	1	10	1	26
計	14	16	9	29	2	

他の設問と比べた場合には、また異なる結果も見ることができる。表の 2 に講義終了後の設問 21 と設問 23 の選択肢を取りあげた。設問 21 の正解は E である。21B は影響の連鎖と言われる誤概念の CI3 カテゴリーに属するが⁽¹⁾、同じカテゴリーに 23C も含まれる。これに関しては、21B を選んだ 7 名のうち 5 名が 23C を選んでいて共通の原因を伺わせる。21C は同じ影響の連鎖の CI2 カテゴリーに属していて、その半分ほどが 23D を選んでいるが、23D はインペタスの I3 カテゴリーに属している。この場合カテゴリー間に何らかの繋がりが予想される。これらの誤答の解析から、正答に基づく FCI 総得点の解析以外でも、受講者の力学概念がどのような状況にあるのか、得られる知見は多分にあるのではないかと考察する。

参 考 文 献

- (1) Hestenes, David and Malcolm, Wells and Swackhamer Gregg : “Force concept inventory”, The Physics Teacher, 30, pp.141 (1992)
- (2) E.F. レディッシュ : “科学をどう教えるか”、丸善出版、東京(2012)
- (3) 近藤隆司、後藤善友 : “力学概念調査 (FCI) による授業評価”, 教育システム情報学会研究報告, Vol.36, No.6, pp.86-87(2022)

産学連携を意識したデータサイエンス教育の実践と 実データ活用能力の育成

永田奈央美^{*1}, 岩本武範^{*1}, 高橋等^{*1}

^{*1} 静岡産業大学

Practice of data science education and Development of real data utilization skills with an awareness of Industry-Academia collaboration

Naomi Nagata^{*1}, Takenori Iwamoto^{*1}, Hitoshi Takahashi^{*1}

^{*1} Shizuoka Sangyo University

数理・データサイエンス・AI はデジタル社会の基本的な素養とされている。大学における数理・データサイエンス・AI 教育では、実社会に直結した実践的なデータ活用が求められている。そこで本研究では、企業側から実データが大学側へ提供され、そのデータの処理・分析を大学側が行い、新たに見出された知見を企業側へフィードバックする仕組みを考察した。本稿では、その仕組みについて詳述する。

キーワード: 産学連携, 数理・データサイエンス・AI 教育, 高等学校「数学科」「共通教科情報科」

1. はじめに

文部科学省の数理・データサイエンス・AI 教育プログラム認定制度では、学生の数理・データサイエンス・AI への関心を高め、数理・データサイエンス・AI を適切に理解し、それを活用する基礎的な能力を育成することが求められている⁽¹⁾。そのために必要な知識及び技術を体系的に修得させる教育プログラムを検討することに重きが置かれている。

そのような背景を踏まえ、静岡産業大学（以下、本学）では、数理・データサイエンス・AI 教育のリテラシレベルに準拠した教育内容を検討し、2023 年度から教育実践を計画している。

本研究では、高等学校、大学、企業で実施されているデータサイエンス教育について調査し、社会への接続を見据えた上で、大学において実データを活用した課題解決、課題発見を中心とした数理・データサイエンス・AI 教育の今後の方向性について論考する。

2. 高等学校「数学科」「共通教科情報科」との接続

AI や IoT の広がりや社会や生活が大きく変わろうとしている。情報化やグローバル化の進展で社会が多様化複雑化して予測困難な時代に対応する教育を目指し、2022 年度から年次進行で新高等学校学習指導要領が実施されている。新学習指導要領では情報教育の充実を目指し、「情報 I」が必修科目となり、2025 年度以降の大学入学共通テストでの実施も決定した。また、「数学」でも問題解決における論理的・科学的手法の必要性から統計教育の充実が図られた。

本章では、高等学校でどのような数理・データサイエンス・AI に関する内容を学習し大学へ進学するか、学習指導要領と高校の実態から検討する。

2.1 新学習指導要領が定める学習内容

数学科では、社会生活などのさまざまな場面において、必要なデータを収集して分析し、その傾向を踏まえて課題を解決したり、意思決定をおこなう能力の育

成を目指し、統計教育の改善・充実が図られている⁽²⁾。必修科目「数学Ⅰ」単元「データの分析」では、中学校までの学習を基に、データの散らばり（分散・標準偏差）、データの相関（散布図・相関係数）、仮説検定の考え方を学習する⁽³⁾。また、「数学Ⅱ」単元「統計的な推測」では、確率分布（確率変数と確率分布・二項分布）、正規分布（連続型確率変数・正規分布）、統計的な推測（母集団と標本・統計的な推測の考え）を学習する⁽⁴⁾。

共通教科情報科では、情報技術を活用した学習活動を通して、問題の発見・解決に向けて情報と情報技術を適切かつ効果的に活用し、情報社会に主体的に参画するための資質・能力を育成することを目指している⁽⁵⁾。必修科目「情報Ⅰ」単元「コンピュータとプログラミング」では、ソフトウェア、プログラミングを活用して、社会や自然などにおける事象をモデル化し、シミュレーションを通して問題解決を図る方法を学習する。単元「情報通信ネットワークとデータの活用」では、情報機器、データを表現、蓄積する方法や、データを収集、整理、分析する方法を理解し技能を身につける⁽⁶⁾。

また、「情報Ⅱ」単元「情報とデータサイエンス」では、多様かつ大量のデータの存在やその活用の有用性を理解し、ソフトウェア、プログラミング、確率や統計を用いて、適切にデータの収集、整理、整形、モデル化、可視化、分析、評価、実行、効果検証を行い、データに基づいた科学的な問題解決方法を学習する。

2.2 高等学校での学習状況と課題

前述のように、新学習指導要領の内容は、統計・データサイエンス教育を重視しているが、学習目標の達成には様々な課題がある。

「数学科」の統計教育では、「情報科」との連携とコンピュータなどの情報機器を用いた学習が求められている。しかし、大学入試問題に見られるように、問題演習は手計算が主であり、計算量が限られるため、データが典型的なものに限られる。また、条件を変えて何度も計算することも難しい。情報科とは連携よりも住み分けが進み易く、統計の数学的理解はできるが、実社会の複雑なデータを分析する学習は難しい。

「情報Ⅰ」ではモンテカルロ法によるシミュレーシ

ョンなどプログラムを活用した問題解決、データの比較や単回帰分析による量的データの解析や推測、テキストマイニングによる質的データの分析など、様々な課題を、コンピュータを活用したデータ処理で解決できることを学ぶ。しかし、専任の情報科教員の不足が指摘されるなか、表計算ソフトやワープロソフトの操作に重点を置いた「情報活用の実践力」を重視する旧授業形態から脱却できるかが課題である。

「情報Ⅱ」は多様かつ大量のデータを扱うデータサイエンスそのものを学ぶが、必修科目ではないため、どのくらい的高校で開講するか不明である。また、Rなどデータサイエンスに適したソフトウェアの導入も課題になる。

2.3 高大接続を意識したデータサイエンス教育

上述したように、高等学校のデータサイエンス教育の現状調査をしたところ、「数学科」はデータ分析だけを取り扱っており、「共通教科情報科」の「情報Ⅰ」は、求められているデータサイエンス教育の内容を教えられる指導者が少ないという現状が考えられた。また、表計算ソフトの使い方やデータ処理と分析が中心で、実データを活用して様々な実社会の問題を解決する能力の育成には至っていないということが考えられた。

このような現状を踏まえて、大学におけるデータサイエンス教育では、自ら課題を発見し、より適した問題解決方法を選択できる能力を身につけさせることが重要であると考えた。

3. 大学におけるデータサイエンス教育プログラム

本章では、本学で検討されたデータサイエンス教育プログラムの内容について述べる。本学は、経営学部とスポーツ科学部の二学部からなる大学である。経営学部は経営学科と心理経営学科の二学科制であり、スポーツ科学部はスポーツ科学科の一学科制である。本教育プログラムは、上記の二学部を対象とする。

「ビジネス・社会課題を解決する力」を身につけさせるためのデータサイエンス教育と仮定した場合、「データ収集と管理法」、「データ分析技術」、「分析技術の組み合わせによる複雑事象の解明」の三領域をプログラムとして位置づけることが重要であると考え、それ

に適應する科目について検討した。また、三領域の学びをそれぞれ、「データマネジメント」、「統計学」、「データサイエンス」とした。この学問領域と位置づけを整理し、それに適應する科目の設置と対象学年について検討した。

先行研究を分析すると、二瓶らの研究では、医療系大学における数理・データサイエンス・AI教育のモデルカリキュラムに準拠した学修内容が検討されている⁽⁷⁾⁽⁸⁾。また、多賀らの研究では、薬学系・医療系大学のデータサイエンス教育内容をガニエの9教授事象に基づき設計している⁽⁹⁾。

3.1 「データ収集と管理法」（データマネジメント）

様々な問題を引き起こす要因を検討し、その解決を目指す文脈において相応しいデータを集め、いつでも分析できるよう管理することが重要である。これらの方法論や倫理観を学ぶことができる科目を本学では「データマネジメント基礎」とし、大学2年生を対象に設けた。尚、「データマネジメント基礎」では、基本統計量の算出、相関分析、回帰分析、統計的仮説検定などのデータ分析に必要な基礎力の養成も包含した。

3.2 「データ分析技術」（統計学）

次に、データサイエンス教育の目的を達成するためのデータ分析に関する基礎技術の習得が必要となる。あらゆるデータを多角的な視点から解析する意味での「データサイエンス」の基盤とさえいえる。データマネジメントで学んだ知識の確認に加え、因子分析や主成分分析、判別分析、ロジスティック回帰、クラスター分析など、より高度な多変量解析を加えた学びであるといえる。本学では、これは「統計学」という科目とし、大学2,3,4年生を対象に展開することとした。

3.3 「分析技術の組み合わせによる複雑事象の解明」（データサイエンス）

さらに、「データサイエンス」は、統計学の手法を応用して、自然言語処理や画像処理といったあらゆるICT技術を駆使し、実社会の問題解決法を提示することであると定義づける。分析技術の組み合わせによる複雑事象の解明を可能とすることを意味する。この問題解決の手法を学ぶ「データサイエンス基礎」と、解

析したデータを基に、問題解決法を考察する「データサイエンス基礎実践」の二科目を設けた。これらの二科目は、大学3,4年生を対象とし、「データサイエンス基礎」を前期、「データサイエンス基礎実践」を後期に展開することとした。

3.4 三つの学びの領域と位置づけ

「データサイエンス」、「データマネジメント」、「統計学」の三つの学びの領域とその位置づけを図1に示す。それぞれ二つの学びの領域には、共通領域が存在し、さらに三つの学びの共通領域は、ビジネス・社会の「課題解決」や「課題発見」であると考え、大学におけるデータサイエンス教育の最終到達目標は、この共通領域である「課題解決能力」と「課題発見能力」であるとし、三つの学びを網羅し、これらの能力を身につけさせたいと考えた。

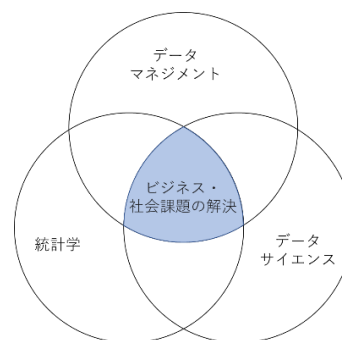


図1 データサイエンス教育の三つの学びの位置づけ

3.5 モデルカリキュラムと4科目の照合

文部科学省の数理・データサイエンス・AI教育プログラム認定制度リテラシレベルのモデルカリキュラムでは、「導入（社会におけるデータ・AI利活用）」、「基礎（データリテラシ）」、「心得（データ・AI利活用における留意事項）」、「選択（オプション）」の4つに分類して、学修項目が体系的に示されている。学修項目と学修内容に、本学で設定した4科目を照合したところ、図2のようになった。

「導入（社会におけるデータ・AI利活用）」で示された6つの学修内容を科目「データマネジメント基礎」が網羅し、さらに「1-4 データ・AI利活用のための技術」、「1-5 データ・AI利活用の現場」、「1-6 データ・AI利活用の最新動向」の学修内容を科目「データサイエンス基礎」が補完する。

「基礎（データリテラシ）」で示された3つの学修内

モデルカリキュラム

	項目と学修内容	データ マネジメント 基礎	データ サイエンス 基礎	データ サイエンス 基礎実践	統計学
【導入】 社会におけるデータ・AI活用	1-1. 社会で起きている変化 社会で起きている変化を知り、数理・データサイエンス・AIを学ぶことの意義を理解する。AIを活用した新しいビジネス/サービスを知る				
	1-2. 社会で活用されているデータ どんなデータが集められ、どう活用されているかを知る				
	1-3. データ・AIの活用領域 さまざまな領域でデータ・AIが活用されていることを知る				
	1-4. データ・AI利活用のための技術 データ・AIを活用するために使われている技術の概要を知る				
	1-5. データ・AI利活用の現場 データ・AIを活用することによって、どのような価値が生まれているかを知る				
	1-6. データ・AI利活用の最新動向 データ・AI利活用における最新動向（ビジネスモデル、テクノロジー）を知る				
【基礎】 データリテラシー	2-1. データを読む データを適切に読み解く力を養う	データ処理の 基礎	機械学習・ 言語画像処理 など	ビジネス 課題を解く	統計を学ぶ
	2-2. データを説明する データを適切に説明する力を養う				
	2-3. データを扱う データを扱うための力を養う				
【心得】	3-1. データ・AIを扱う上での留意事項 データ・AIを利活用する上で知っておくべきこと	大学1年生を対象とした必修科目「情報処理基礎Ⅰ」で取り扱う			
	3-2. データを守る上での留意事項 データを守る上で知っておくべきこと				

図 2 学修項目・学修内容に対応した4つの科目の位置づけ

容は、4つの科目でそれぞれ取り扱うこととし、取り扱い方の違いを明確にした。データ処理の基礎を科目「データマネジメント基礎」、機械学習・言語画像処理などを科目「データサイエンス基礎」、ビジネス課題を解くことを科目「データサイエンス基礎実践」、統計を学ぶことを科目「統計学」で行うようにした。

尚、「心得（データ・AI利活用における留意事項）」は、大学1年生を対象とした必修科目「情報処理基礎Ⅰ」中で取り扱うこととした。

3.6 課題解決能力と課題発見能力の育成

手段の目的化が進み、データマネジメントを行うシステムの導入、統計学やデータサイエンスを支援するデータ処理技術のみに傾注してしまうことで、最終到達目標であるビジネス・社会の「課題解決能力」や「課題発見能力」を身につけさせることが軽視されやすい。この問題は、ビジネス現場においても同様であり、「課題解決」や「課題発見」を企図したビジネス現場とな

っていないことが多々見受けられる。大学教育とビジネス現場を連結する実学にするためには、ビジネス課題を設定し、それを統計学あるいはデータサイエンスの技術や発想で解く取組みの創造が今後は重要となってくる。

また、課題や問題を正しく認識できるキーパーソンが、教育現場とビジネス現場に必要である。

4. 産学連携における実データの活用

産学連携を意識した実学教育を行うためには、図3に示すように、社会での実例を題材に、現実の課題と適切な活用法を学ばせるべきであると考えられる。そのためには、ビジネス現場から大学へ実データが提供される仕組みが必要である。企業または団体等から各種データには、個人情報に相当するものも少なくない。その場合は、個人情報を秘匿化した複製不可能な状態で提供されることになる。企業または団体等の「個客」のパフォーマンスを解析したいなどのケースには対応で

きないものの、そのデータを活用し可能な範囲で分析を行うことで、出された課題に対応するのが一般的であろう。また、企業または団体等が、データの取り扱いに関する規約などにおいて、取引顧客に対する十分な説明と理解を得ているのであれば、大学研究機関などと機密保持契約を締結したうえで、Serialno のような一連番号をデータに付与し、自らの事業やサービス向上の目的に資する範囲内で、課題解決に対応する分析を行うケースも考えられる。

いずれの場合にも、企業または団体等の顧客から十分な理解を得ていることが前提となる。

4.1 企業側からの実データの提供

ポイントカード等の規約に第三者提供の理由が記載されていることが前提である。ただし、インターネット上での取引であると企業や団体の都合で書き換えられる容易性もあり、顧客と共通理解を得ることは難しいことも多々ある。また、民法改正により、こうしたデータ利活用の明示性が強く謳われるようになった⁽¹⁰⁾。

その他、情報銀行制度の検討にともない、データ主権化の思想が強まっており、消費者が提供先を選ぶ時代の到来も議論されていることから、今後のデータサイエンス教育を活性させるためには、企業のみならず生活者に対して許諾を得る必要もある^{(11) (12)}。

4.2 大学側の実データの取得

オフライン化された特定 PC で操作ログを提示できる必要がある。また、使用期間を過ぎてもデータが大学側に残る事象を避けるために、破棄されたことを複数の人物で確認することが求められる。分析担当者が、教員や学生を問わず可能な限りでセキュアな環境にて取り扱うことが徹底されなければならない。

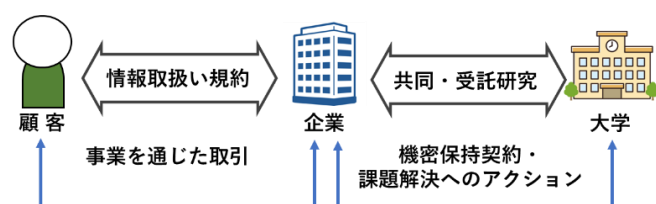


図 3 産学連携における実データの取得

5. 産学連携を意識したデータサイエンス教育の仕組み

企業においてもデータサイエンス教育が重要視されていることは、昨今のメディアなどでも語られることが多い。特に、金融系、消費財メーカー、大手小売業、EC ビジネス企業等は、データサイエンスの研修も含めて強化されている印象を受ける。一方で、未だ手つかずの企業も多数あるとも考えられよう。

そこで本研究では、実データや実課題を用いた演習での大学生の成果物を企業側へフィードバックし、ビジネス現場の社員が、それに対して助言コメントするという仕組みが有効ではないかと想定した。これによって、大学でのデータサイエンス教育による成果物が実データ提供もとの企業へ提示されるからだ。さらに、企業側がその成果物へ助言することにより、企業におけるデータサイエンス教育が展開できると考えたためでもある^{(13) (14)}。

5.1 実データ分析結果の共有

大学側からの成果物のフィードバックと、それに対する企業側の助言コメントの挿入は、クラウドサービスを活用する。具体的には、図 4 に示すように Google Work Space(GWS)を利用する。本学では、共同・受託研究事業を受けた企業から、データサイエンス教育を受ける社員を 10 名提供してもらうこととした。

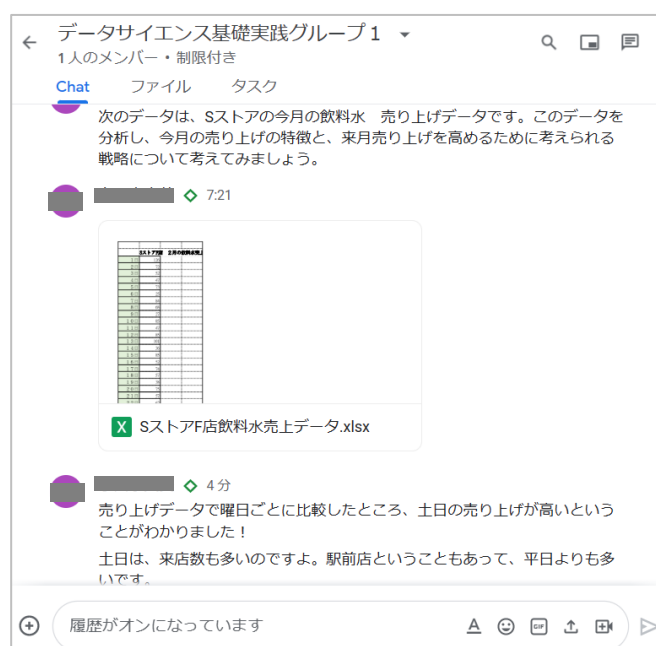


図 4 実データ分析結果の共有画面

GWS の Google Chat 機能へ、各教科で 10 の Space を作成し、各 Space へ企業人を 1 名割り当てる。大学側は、データサイエンス教育の 4 つの教科を受ける受講生を 10 の Space に割り当てる。

受講生は、実データや実課題を用いた演習での成果物を Google Chat にアップロードする。それに対して、各 Space に割り当てられた企業人はコメントを挿入する。

5.2 分析結果の共有による期待される効果

実データ分析結果の共有によって、大学生は、実データを分析するだけでなく、分析結果をもとに課題解決法について考察したり、新たな課題を発見し、それについて発言することができるようになることを期待する。

一方、企業人も大学生への助言や指導を行うことにより、実データを基に課題解決法や課題発見法について考える機会が与えられ、企業におけるデータサイエンス教育へと発展することが期待できる。

6. おわりに

本研究では、実社会に直結した実践的なデータ活用能力育成のために、産学連携を意識したデータサイエンス教育について検討した。

そのために、高等学校、大学、企業で実施されているデータサイエンス教育について調査し、社会への接続を見据えた上で、大学における数理・データサイエンス・AI 教育の今後の方向性について論考した。

高等学校でのデータサイエンス教育は、「数学科」はデータ分析だけを取り扱っており、実データ活用能力の育成には至っていない可能性があることが示唆された。また、共通教科情報科の「情報Ⅱ」は、ほとんどの高等学校が実施を予定しておらず、実施されている「情報Ⅰ」であっても、求められているデータサイエンス教育の内容を教えられる指導者が少ないという現状が考えられた。

そこで大学でのデータサイエンス教育では、実データを活用した課題解決能力及び課題発見能力を身につけさせるべきであると考えた。そのために、学びの領域と科目の位置づけを明確にした。さらに、企業から実データを取得する仕組みについて提案した。そして、大学生と企業人とが実データの分析結果をもとに、課

題解決法や課題発見法について意見交換し合う仕組みについても検討した。

今後は、本研究で提案したデータサイエンス教育を 2023 年度に実施し、その効果を検証していきたいと考えている。

参 考 文 献

- (1) 文部科学省：数理・データサイエンス・AI 教育プログラム認定制度（リテラシーレベル），
https://www.mext.go.jp/a_menu/koutou/suuri_datascience_ai/000002.htm (2023 年 1 月 20 日確認)
- (2) 加藤和幸：“情報科での統計分野の指導について-「情報Ⅰ・Ⅱ」実施に向けて数学科と連携した統計教育の指導について-”，日本情報科教育学会東海・中部支部研究会報告,(2021)
- (3) 赤澤紀子，赤池英夫，柴田雄登，山根一朗，角田博保，中山泰一：“高等学校情報科の知識体系に関する一考察”，日本情報科教育学会第 14 回全国大会講演論文集：pp42-43(2021)
- (4) 澤田大祐：“高等学校における情報科教育の現状”，国立国会図書館調査と情報-ISSUE BRIEF, No. 1095(2020)
- (5) 文部科学省 高等学校学習指導要領解説（平成 30 年告示） 情報編・数学編
- (6) 文部科学省 高等学校情報科「情報Ⅰ」「情報Ⅱ」教員研修用教材
https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyouhou/detail/1416756.htm(2023 年 2 月 3 日確認)
https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyouhou/detail/mext_00742.html(2023 年 2 月 3 日確認)
- (7) 二瓶裕之，西牧可織：“医療系大学における数理データサイエンス AI 教育（リテラシーレベルプラス）の実践と検証”，教育システム情報学会研究報告，Vol.36, No.6, pp.67-71 (2022)
- (8) 西牧可織，二瓶裕之：“ICT と STEAM を組み合わせた医療系大学における数理データサイエンス AI 教育（応用基礎レベル相当）”，教育システム情報学会研究報告，Vol.37, No.2, pp.142-148 (2022)
- (9) 多賀万里子，大田祥子：“薬学系・医療系大学初年次の AI リテラシー教育の実践と学習モチベーション分析”，教育システム情報学会研究報告，Vol.36, No.6, pp.71-77 (2022)
- (10) 個人情報保護委員会：“令和 3 年 改正個人情報保護法について（官民を通じた個人情報保護制度の見直し）”，

<https://www.ppc.go.jp/personalinfo/minaoshi/>(2023 年
2 月 7 日確認)

- (11) ITMediaNEWS : “JR 東、Suica データから駅の利用状況分析「カルテ」外販へ”,

<https://www.itmedia.co.jp/news/articles/2201/21/news115.html> (2023 年 2 月 3 日確認)

- (12) 読売新聞オンライン : “T カード会社, 4 千万人分の顧客データを販売へ…「同意」は有効か”,

<https://www.yomiuri.co.jp/science/20220903-OYT1T50092/2/> (2023 年 2 月 3 日確認)

- (13) リクルート進学総研 : “数理・データサイエンス・AI 教育と, その先の大学教育のデジタルイゼーション”,

https://souken.shingakunet.com/higher/.assets/2020_RCM223_06.pdf(2023 年 2 月 7 日確認)

- (14) 前川恒久 : “産業界のニーズと乖離する学校教育”, 日本行動計量学会大会抄録集, No.43, SEO1-1-2(2020)

遠隔教育のグループ学習活動における 教員の見とり支援について

横山 誠^{*1,*2}, 鷹岡 亮^{*3}, 中田 充^{*3}, 霜川 正幸^{*3}

^{*1} 山口大学大学院東アジア研究科

^{*2} 株式会社エスブレイン

^{*3} 山口大学教育学部

Support for Teachers' Observations on Group Learning Activities in Distance Education

Makoto YOKOYAMA^{*1,*2}, Ryo TAKAOKA^{*3}, Mitsuru NAKATA^{*3}, Masayuki SHIMOKAWA^{*3}

^{*1} The Graduate School of East Asian Studies, Yamaguchi University

^{*2} ESBrain,Inc.

^{*3} Faculty of Education, Yamaguchi University

教育 DX の取り組みや新型コロナウイルス感染症の影響などにより、学校種を問わず遠隔教育の取り組みが行われてきている。遠隔教育のうち、ビデオ対話を介したグループ学習活動場面における課題の 1 つとして、グループが複数ある状況では、教員が各グループの活動状況をリアルタイムに見とることが難しいことがあげられる。そこで本稿では、グループ活動中の学習者のノート記述データや発話音声をもとに、データマイニング手法を用いてグループの活動状況をリアルタイムで視覚化して、見とりを支援する仕組みについて説明する。さらに、これら可視化による見とり支援機能を試作したうえで、この機能の有用性について、現職教員を対象にしてアンケート調査を行ったので報告する。結果として、4 種類の可視化及び活動数を用いたソート表示方法は全て有用性が認められた。

キーワード: 遠隔教育, オンライン授業, グループ学習, データマイニング, 見とり

1. はじめに

人口減少による小・中学校の小規模化⁽¹⁾や新型コロナウイルス感染症の影響もあって、学校種を問わずオンライン授業あるいはオンライン学習といった遠隔教育が実施されている⁽²⁾。これらのオンライン授業やオンライン学習の質を向上させるために、教育 DX に関連する研修会やシンポジウムの提供などによって、オンライン授業・学習方法の経験則が蓄積され始めている状況にある⁽³⁾。

オンライン授業では、TV 会議システムや Web 会議システムが準備できれば、学習者間や教室間を接続して授業を実施することは可能である。しかしながら、オンライン授業を実践する上では、課題の 1 つとして、

グループ学習場面における活動状況を把握しにくい点があげられる。オンライン上でのグループの学習活動を見とる教員にとって、1 つの教室のなかで目視してグループの学習活動全体や個々学習者の状況を確認できるのとは異なり、オンライン上で全てのグループの学習活動を同時並行的に確認することは難しい。教員が個々のグループを確認するためには、そのグループの学習活動の場に移動して確認しなければならないため、手間がかかることになる。

近年では、学習者や教員の発話情報を音声認識・話者認識・感情解析によってテキスト化して音声の可視化を実現し、教員が指導・支援する上での有益なフィードバック情報（優先的に働きかけが必要なグループ

や個人へのアラートなど）として提供する研究も行われている(4)。

本稿では、我々研究チームが設計・開発している遠隔教育支援環境である「つながる授業アプリ」に、対話音声データ（バーバル情報）と個人・協働ノート記述データ（ノンバーバル情報）から活動数を算出する機能、対話音声データからデータマイニング手法を用いてワードクラウドや共起ネットワークを作成し、教員によるグループ活動の見とりを支援するグループ学習状況監視機能を試作実装し、現職教員を対象にアンケート調査を行って、その有用性を検証する。

2. データマイニング手法を活用した見とり支援機能について

2.1 「つながる授業アプリ」の機能

我々の研究チームでは、オンライン授業における個人作業・学習環境、協働作業・学習環境、グループセッション機能、そして授業支援機能に特化した「学習者が個人でノートを作成でき、学習者同士がつながり協働的に学習や作業が行え、教師が学習活動を見とることができるツール」である「つながる授業アプリ」を設計・開発している(5)。「つながる授業アプリ」では図1に示すように、教員は学習者をグループに割り当て、課題を作成して学習者に提示し、各学習者やグループのノート記述内容を見とったり、グループ対話に入り込んで対話状況を確認したりすることができる。また、学習者は、個別学習時には「マイノート」に自分の考えを書き込み、グループ学習時には「シェアノート」に自分のノートをコピーしてグループ内で共有しながらビデオチャットで対話することができる。

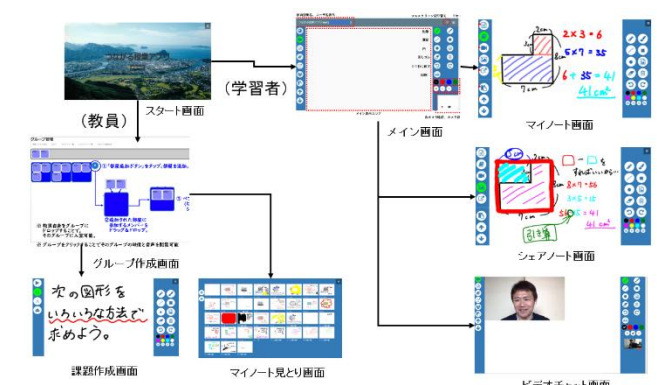


図1 「つながる授業アプリ」画面遷移例

2.2 グループ学習状況監視機能の試作

グループ学習中のノート記述ストロークデータや、対話音声データを音声認識したテキストデータをもとにデータマイニング手法を用いて活動状況を可視化し、グループ学習状況監視機能として試作した(7)(8)。グループ学習状況を画面に表示したものが図2である。グループごとの活動状況が横並びで表示され、グループにおける詳細の活動状況を縦に並べて表示している。「活動数」によって各グループ間で活動状況が比較できるようになっている。「活動数」は、ノート記述ストロークデータは「1筆1カウント」とし、発話音声データは「1文を1カウント」として、フィラーを含めて発話していればカウント対象として、グループ内の各学習者から得られたカウントを合計した数値を用いた。さらに、各グループで「活動数」が計算された後、次の手続きでグループを表示する列の位置を決定する(7)(8)。

①「活動数」を昇順ソートし、左から表示する。

②直近5分間の活動数が10未満の場合、枠線、活動数の色を赤色にして「確認ボタン」を表示する。

③赤色になったグループの対応終了後に「確認ボタン」を押すと、その後5分間は、活動数が10未満の場合は活動数の色を黄色にする。

このソート表示により、教員は画面左側が活性度が低いグループとして、一目で確認できるようになっている。

「ワードクラウド」、「共起ネットワーク」では、学習者の発話音声を音声認識によってテキストデータをもとに、MeCabを用いて形態素解析し、得られた字句から代名詞を除く名詞、動詞、形容詞のみを採用してキーワードとして使用頻度をカウントする。「ワードクラウド」では、使用頻度に応じて文字を大きくし、品詞によって色分けを行っている。また、ワードクラウド部分をクリックすると、「ワードクラウド」を拡大表示し、対話時間区間を絞り込んで表示できる機能を有している。「共起ネットワーク」は、1文に含まれるキーワード同士のつながりをカウントし、カウント数の多いつながりを共起ネットワークとして表示している。「対話ログ」は、音声認識で得られたテキストデータを時系列にリスト表示している。

3. アンケートによる有用性の調査

3.1 実施方法

試作したグループ学習状況監視機能の有用性を検証するために、現職教員に対し、Google フォームを使ったアンケート調査を実施した。Google フォームでは、最初に「つながる授業アプリ」の構成とグループ学習状況監視機能を図で説明し、実際にオンライン授業で実践する例をビデオ動画で説明し、回答者の学校種を選択してから、アンケート項目に回答してもらう形式とした。調査項目は、遠隔教育において教員が学習者のグループ活動を見とる難しさに関わる自由記述回答評価の1問、グループ学習状況監視機能の活動数の有用性に関わる3問（5段階評価：2問、自由記述回答評価：1問）、ワードクラウドに関わる3問（5段階評価：2問、自由記述回答評価：1問）、共起ネットワークに関わる2問（5段階評価：1問、自由記述回答評価：1問）、グループ対話履歴に関わる2問（5段階評価：1問、自由記述回答評価：1問）、グループ活動の見とりに必要な情報に関わる自由記述回答評価1問の合計12問とした。アンケートを実施した結果、小学校教員（管理職含む）7名、中学校教員（管理職含む）4名、特別支援学校教員（管理職含む）1名、大学教員1名、指導主事2名の合計15名から回答を頂けた。

3.2 結果と考察

遠隔教育や遠隔合同授業において、教員が学習者のグループ活動を見とる難しさを問う質問（表1：質問1）からは、遠隔に関わらず、学習者のグループ活動を見とることは難しいという意見もあるが、遠隔教育では通常授業よりもさらに困難さが伴うと認識している回答者が多かった。特に学習者の表情や視線など、ノンバーバル情報に関する情報が十分に得られないことに不安を感じている意見がみられた。学習者が発するバーバル情報、ノンバーバル情報をICTによって要約し、可視化して教員の見取りを支援する手立ては必須であろう。

グループ学習状況監視機能の活動数の有用性に関わる質問（表2：質問2、質問3、表1：質問4）からは、活動数の提示と、活動数が少ないグループを画面の左側に配置し、介入を促す機能について、90%を超える高い期待があることが分かった。活動数という単純な数値で判断できることは、数値の正確性よりも即応性を重視する点で、有用性がある。

ワードクラウドによるグループ対話の内容を把握する機能の有用性に関わる質問（表2：質問5、質問6、表1：質問7）からは、5段階評価では「そう思う」、「少しそう思う」の回答しかなく、高い期待が得られた。ワードクラウドを対話のサマリとしてとらえ、学

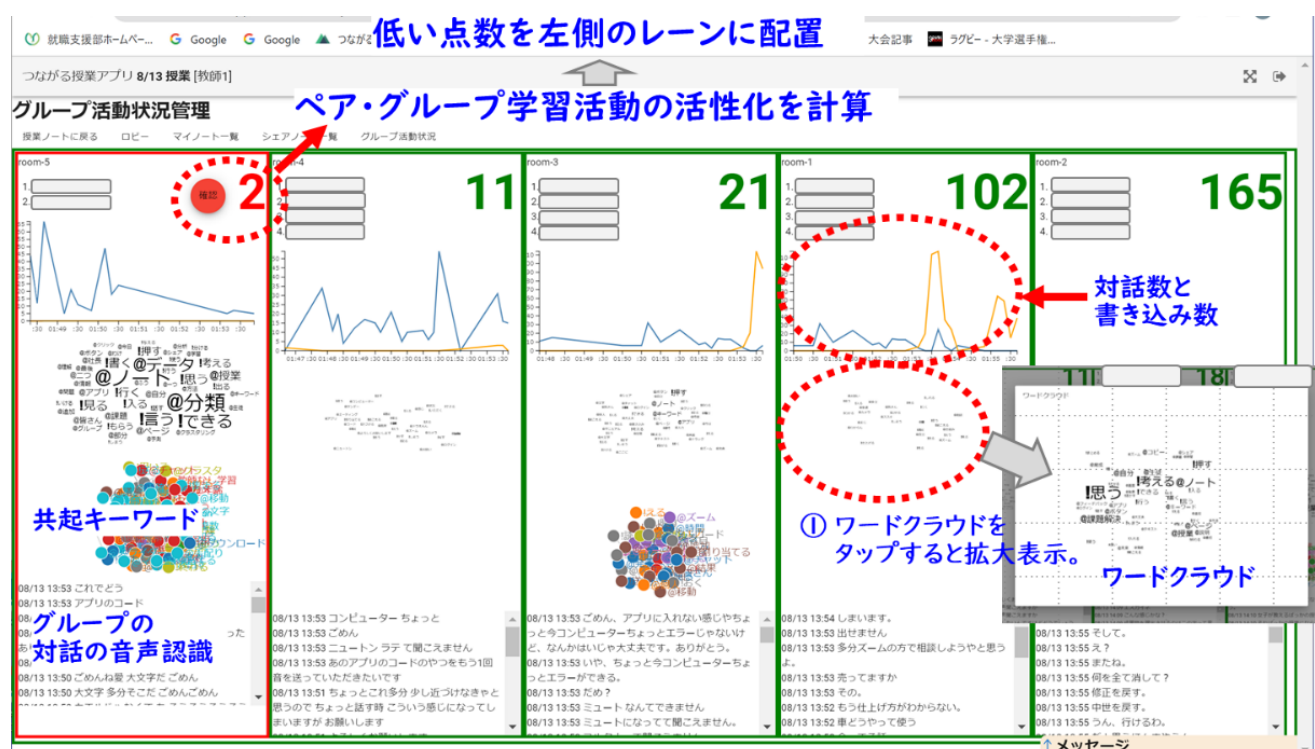


図2 グループ学習状況監視機能画面

表 1 グループ活動の見とり機能に関する質問項目と自由記述回答

質問項目・被験者の主な自由記述回答
質問1:遠隔教育や遠隔合同授業において、 教員が学習者のグループ活動を見とる難しさはどこにあると思いますか？ その見とりが難しいところについて教えてください。 ・遠隔でない通常の授業においても、①どのような論点で話し合いが進んでいるか全てのグループ(通常だと9グループ)を把握すること、②個々の主体性(学習意欲)や協働性を把握すること、③それらを評価するために記録することは非常に難しいです。遠隔であれば会場も異なるため、様子を一望することは更に難しいかもしれないです(人数が少なければ見ることは可能かもしれませんがグループの対話を同時に聞けない)。 ・遠隔にいる児童については直接目に見ることができないので、見とること自体に難しさがある。細かい表情やしぐさ、などの言語化されない思いが見とれないのが難点であると感じます。 ・複数グループの活動が同時に展開しているため、どのグループでどのような思考の変容があるのかは見取りにくい。また、同じグループ内のどの子の考えの影響を受けて考えが変容しているのかといった思考の流れは見取りにくい。 ・限られた時間ですべてのグループの活動を把握できない難しさを感じる。また、教員が途中からグループに入った時に活動のプロセスがつかめていないと助言がしにくい(グループに入った時に沈滞している場面があった時、それは議論が進んだ上で個人で考えている時間なのか、そもそも話し合いが進んでいないのか、話し合いがすでに終わったのか、が分からない)。 ・子どもたちが、オンライン上のペアやグループで話し合っていたとして、話しているか、書いているかは確認できても、その内容が発問や現在の活動と合っているのかを確認するのは難しいのではないかと思います。 質問4:「A)グループ活動状況(活動数)」の情報から、グループ活動についてさらに読み取れることがありますか？ 読み取れることがあれば、その内容を教えてください。 ・数だけでは正しい判断はできないかもしれませんが、数が多いということはそれだけ活動しているということなので、その活動内容と話し合いの深まりとの因果関係は掴めるのではないかと思います。 ・どの時間帯に活動がさかんにいったか、問い(課題)や提示された資料の質によっても変わる可能性があると考えられる。また、教師が見とれなかった時間帯に活動が活性化・停滞化したかを確認できる。 ・グループの活動の総数だけでなく児童生徒個人の活動数が表示することができればグループ内で活動の偏りをみとることができると思った。活動の偏りがあるグループを見つけて、教師が介入・ファシリテートして発言数の少ない児童生徒のサポートができるかもしれない。 ・どういった刺激(発問、発言者の存在、対話促進のきっかけ、グループのメンバーを変えても同じ数になるかを比較し、グループ構成の効果を検証)が効果的か変化とその要員を比較によって見取る。 ・教員の発問や活動内容についてどの程度、活動がうながされているのか。 グループの活動状況によってグループの人数やメンバーの関係はよくなったか。 質問7:「B)ワードクラウド」の情報から、グループ活動についてどのような支援が可能でしょうか？ 可能な支援内容を教えてください。 ・関係のないワードが出てきている場合は指導支援にいくことができ、学びの活性化に繋がる。出てきたワードの共通点が見出だせれば焦点化して学びを深めることができる。 ・授業者がキーワードを設定することで、授業者が求める答えを探さないようにすることが必要かと感じました。 ・ねらいに向かうワードが現れたときに全体の活動を止め、そのワードについて全体に広める。 ・ねらいに迫れているかどうか、音声でテキストで残して保存できる、会話の分析ができるので、教員がいない間の見取りや非同期的なかわりができる ・どのような言葉を使って会話を成立させているのかを読みとることができるため、子どもたちの対話や活動のヒント出しやこちらの発問、授業の意図(めあて)の伝え方の支援に役立つと思います。 質問9:「C)共起キーワード」の情報から、グループ活動についてどのような支援が可能でしょうか？ 可能な支援内容を教えてください。 ・情報と情報の繋がりが見えると、そこをきっかけにさらに学びを深めることができる。 ・みんなの総意がわかるので、合意形成の一つとして使えるがしれません。 ・ねらいに向かうワードが現れていないグループにヒントカードや、他のグループの活動を例に挙げる等の支援が可能となる。 ・キーワードが出たからと言って、中身の濃い対話がなされているとは限らないが、他の項目と関連させてグループ状況を見取るための一つにはなるように思う。 ・対話の内容を深めていってほしいときに、グループごとに対して的はずれにならない発問が可能になる。活動内容の方向の修正にも役立つと思います。 質問11:遠隔教育や遠隔合同授業のなかで、「D)グループの対話履歴」の情報を活用できる場面はあるでしょうか？ 活用できる場面とそこでの使い方を教えてください。 ・授業中というよりも、授業後の評価や研究において有効に活用できると思います。グループ内での対話の論点がどのように形成されたのか、誰が効果的な発言を促したのかといったことを見取りやすくなる。 ・振り返る際に大切かと思えます。 ・対話の中で学習者の考えの変容が現れた部分を抜き出して、その前後の対話について全体で共有したり、その中からキーワードを抜き出したりすることができる。 ・教師が各グループの活動状況やプロセスを把握するために重要だと思う。グループに入った際に「ここまで〇〇について話し合ってくれていたようですね。それでは・・・」というように助言しやすくなると思う。 ・これまではグループ学習の結果だけの共有だったが、過程を学ぶことで根拠をもとに説得力が増す 他者の目で対話履歴を評価してもらい、メタ認知の質の向上を図る 質問12:遠隔教育や遠隔合同授業のグループ活動を見とり、適切に支援を行うために、どのような情報が必要でしょうか？ 円滑に見とりと支援を行うために必要な情報を教えてください。 ・活動の数や抽出語の数だけでなく、子どもたちの反応や表情なども見とれるとよいと思います。 ・遠い場所の人とのやりとりになるかと思えますので、記録や大切な用語などが言語化され、記録されると、教師もみとりが容易になるかと思えます。 ・グループ活動中の児童生徒側のアクションが教員側に伝わるような機能があると良いかもしれない。例えば、「SOSボタン(システムの問題を解決してほしい)」「困ったボタン(話し合いが行き詰まっているので助けてほしい)」「聞いてほしいボタン(活動が終わったのでまとめを聞いてほしい・この後何をしたらよいかを教えてほしい)」といったボタンがみとり機能のボードに反映されると、教員がしっかりと見てくれている・積極的にアクションしても良いという安心感を児童生徒が得られるかもしれません。 ・心の声の可視化 メンバーのどの子とどの子の発言が関わり合って進んでいくかをグラフで可視化 ・動画の説明にもありましたが、何を見取るか授業者があらかじめ設定しておくことが最も重要だと思います。

習場面にあった対話がなされているか判断したり、グループ間の対話の比較を、一斉学習の場面で利用したりするなど、回答者が利用場面を想像しやすい機能であることも分かった。特に、対話内容のワードクラウドをそのまま分析して表示するだけの機能よりも、教員が授業に関連するキーワードに対して重みづけし、

文字色を変えて表示する機能のほうが、より期待が高いことが分かった。

グループ対話内容を共起ネットワークで把握する機能の有用性に関わる質問(表2:質問8,表1:質問9)からは、ワードクラウドと比較して期待が低いことが分かった。これは、アンケートで紹介した共起ネット

表 2 グループ活動の見とり機能に関する質問項目と 5 段階評価方式による回答

[5 : そう思う, 4 : 少しそう思う, 3 : どちらでもない, 2 : あまりそう思わない, 1 : そう思わない]

質問項目	平均	標準 偏差
質問 2: 教員が遠隔教育や遠隔合同授業における学習者のグループ活動を見とる際に、「A) グループ活動状況(活動数)」は役に立つと思いますか.	4.67	0.60
質問 3: 教員が遠隔教育や遠隔合同授業における学習者のグループ活動を『時間がないな』で見とる際に、活動数の少ないグループを左側のレーンに配置して、ある域値以下の場合に「確認ボタン」を表示する仕組みは役に立つと思いますか.	4.60	0.80
質問 5: 教員が遠隔教育や遠隔合同授業における学習者のグループ活動を見とる際に、「B) ワードクラウド」の「B)-1 通常モード」は役に立つと思いますか.	4.47	0.50
質問 6: 教員が遠隔教育や遠隔合同授業における学習者のグループ活動を見とる際に、「B) ワードクラウド」の「B)-2 授業キーワードモード」は役に立つと思いますか.	4.60	0.49
質問 8: 教員が遠隔教育や遠隔合同授業における学習者のグループ活動を見とる際に、「C) 共起キーワード」は役に立つと思いますか.	4.00	0.89
質問 10: 教員が遠隔教育や遠隔合同授業における学習者のグループ活動を見とる際に、「D) グループの対話履歴」は役に立つと思いますか.	4.40	0.80

ワーク画面が、キーワードの表示が多すぎて、内容を把握しにくいことが原因である可能性がある。キーワード同士のつながりが見えることで、それをきっかけに学びを深めることができそうなど、ワードクラウドとは別の見え方を肯定的にとらえた意見も出ていた。共起キーワードの表示の工夫によって、評価が改善できる可能性がある。

グループ対話内容について、対話履歴の表示機能の有用性に関わる質問（表 2：質問 10、表 1：質問 11）からは、有用性については、共起キーワードとワードクラウドのおおよそ中間の評価となった。対話履歴では情報量が多すぎて、授業中に見とりとしては活用が難しいという意見が出ていた。授業後の分析の場面での活用を見出している意見もあり、この機能も改良することで評価の改善が期待できる。

遠隔教育や遠隔合同授業のグループ活動を見とるために必要な情報についての質問（表 1：質問 12）からは、学習者の反応や表情、発言量や発言時間など、ノンバーバル情報の活用が期待されていることがわかった。また、見とりの目的や注意すべきキーワードなど、教員が授業ごとにデータの重みづけを設定できる機能が期待されていることがわかった。

質問全体を通して、回答者は試作した機能を実際の授業では使用していないという状況であり、遠隔授業や遠隔合同授業を想像して回答しているため、「期待」という意味で、肯定的な回答が多かった可能性がある。その点を加味しても、遠隔側の学習者の学習状況を把握するための ICT 支援は必要であり、様々な学習者の状況を整理し、視覚化して提示する機能は有用である。

今後の授業実践を見据えると、試作したグループ学習状況監視機能においても、画面上はデータマイニングによって視覚化された情報で埋め尽くされている状況であるため、教員に提示するデータ量を制限しなければ、新しいデータを表示するエリアがない。したがって、グループ活動状況を俯瞰するには、グループ活動状況のデータ表示をカスタマイズできる機能が必要である。

4. おわりに

教員のグループ活動の状況把握の質を向上させるために、学習者のノート記述ストロークデータと発話音声データをもとに、データマイニング手法によってグループ対話状況を確認する機能について説明した。さらに、グループ対話状況監視機能を「つながる授業ア

プリ」上に試作し、現職教員から得られたアンケート調査をもとに、その有用性を検証した。結果として、グループ学習状況監視機能は、停滞しているグループを見いだしたり、グループ間の対話状況の比較を行ったりして、学習者グループの見とりを支援することに有用であることが示唆される結果となった。

今後の課題として、音声認識やデータマイニングの精度を上げて、教員の意思決定に対してより意味のある情報を提供することが必要である。また、今回提案した支援機能については、授業実践を行ったうえで有用性を検証することも必要である。

参 考 文 献

- (1) 文部科学省: “学校基本調査”,
http://www.mext.go.jp/b_menu/toukei/chousa01/kihon/1267995.htm (2023 年 2 月 10 日確認)
- (2) 株式会社内田洋行 教育総合県研究所, “遠隔教育システム活用ガイドブック 第3版(令和2年文部科学省委託「遠隔教育システム導入実証研究事業)」”,
https://www.mext.go.jp/content/20210601-mxt_jogai01-000010043_002.pdf (2023年2月10日確認)
- (3) 国立情報学研究所: “教育機関 DX シンポジウムアーカイブズ”
<https://edx.nii.ac.jp/> (2023 年 2 月 10 日確認)
- (4) NEC: “社会システムの DX を実現する技術～政府・行政サービスの DX : 音声の可視化による学びの改革 協働学習支援ソリューション”
<https://jpn.nec.com/techrep/journal/g21/n01/210105.html>. (2023 年 2 月 10 日確認)
- (5) 鷹岡亮, 横山誠, 吉田哲朗, 中原章宏, 義永涼太: “遠隔合同授業における協調学習支援ツールの開発”, 教育システム情報学会第 41 回全国大会講演論文集, pp.141-142 (2016).
- (6) 横山誠, 鷹岡亮: “遠隔合同授業支援環境におけるグループ活動見とり支援機能について”, 教育システム情報学会第 47 回全国大会, pp. 125-126 (2022)
- (7) 横山誠, 鷹岡亮: “オンライン授業におけるワードクラウドを活用した学習・授業支援機能の開発”, 電子情報通信学会技術研究報告, 第 122 巻, 第 191 号, ET2022-13, pp. 15-20 (2022)

コロナ禍における高等学校でのオンライン授業に対する 生徒の意識の変容

小竹七海^{*1}, 山本瑠璃^{*1}, 佐藤海斗^{*1}, 徳竹圭太郎^{*2}, 佐久間大^{*3}

^{*1} 東洋大学附属牛久高等学校, ^{*2} 東京工業大学, ^{*3} 株式会社 Libry

Changing Student Attitudes to Online Lessons at Senior High School Under the Coronavirus Pandemic

Nanami KOTAKE^{*1}, Ruri YAMAMOTO^{*1}, Kaito SATO^{*1}, Keitaro TOKUTAKE^{*2}, Dai SAKUMA^{*3}

^{*1} Toyo University Ushiku High School, ^{*2} Tokyo Institute of Technology, ^{*3} Libry co

With the aim of improving the quality of online classes in high schools, this study examined the changing attitudes of high school students toward online classes and the requirements for online classes to improve students' motivation to learn. The results of a questionnaire survey of high school students revealed that, as they became accustomed to operating the equipment through participating in online classes several times, they began to seek active way of learning where they could feel that they were participating in the class, rather than passive attitudes where they received one-way lectures from the teacher. Based on the free responses to the "conditions for a good class," we summarized the requirements for online classes to improve students' motivation to learn into the four points.

キーワード: オンライン授業, コロナ禍, 高校生, ICT 機器

1. はじめに

総務省の調査⁽¹⁾では, 高校生及び大学生を対象に, 2020 年 5 月と同年 12 月にオンライン教育に対する希望について調査し, 高校生のオンライン授業希望者の数が減少したことを報告している. 早稲田大学大学総合研究センターが行った調査⁽²⁾では, 学生の要望を踏まえたオンライン授業を行うことで, 学生の満足度が増加したことを報告している.

本稿では, 高校生のオンライン授業に対する意識の変容について検証するとともに, 高等学校におけるオンライン授業の満足度を向上させる要件について検討する. 本研究で対象とするオンライン授業の形式は, 以下の 2 点である.

- (1) ビデオ配信によるオンデマンド形式
- (2) Zoom 等によるリアルタイム形式

2. オンライン授業に対する意識の変容

2.1 アンケート調査の実施概要

本研究の対象は, 茨城県にある私立中高一貫校に通う高校 1 年生から高校 2 年生であり, 調査期間は 2020 年度 4 月及び 2021 年度 4 月の合計 2 回に渡って実施した. アンケートは各配信形式の授業に対する満足度を 7 件法で回答させるとともに, 各配信方法の利点と欠点について多肢選択法で回答させた. また, オンライン授業の満足度を向上させるための要件について検証するため, オンライン授業における「良い授業」と「悪い授業」の例について, 自由記述で回答させた.

2.2 生徒の満足度評価の変化

オンデマンド形式の授業を受講した生徒の有効回答数は, 2020 年度調査では 1670 件, 2021 年度調査では 545 件であった. また, リアルタイム形式の授業を

受講した生徒の有効回答数は、2020 年度調査では 838 件、2021 年度調査では 689 件であった。

オンライン授業に対する満足度の変化を比較するため、アンケートの評定値に対して t 検定を行った。その結果を表 1 に示す。オンデマンド形式の授業に対する満足度については、2021 年度の値が 2020 年度に比べて有意に低かった ($t(900)=6.03, p<.01$)。一方で、リアルタイム形式の授業に対する満足度については、2020 年度と 2021 年度で有意差は見られなかった。

このことから、本研究の対象となった学校においては、特にオンデマンド形式の授業の運用において、高校生のオンライン授業の満足度を低下させる要因があったと考える。

2.3 各配信方法の利点と欠点

オンデマンド形式の授業を受講した生徒の有効回答数は 2020 年度調査では 990 件、2021 年度調査では 545 件であった。また、リアルタイム形式を受講した生徒の有効回答数は 2020 年度調査では 394 件、2021 年度調査では 689 件であった。各選択肢に対する回答の割合表 2 に示す。表 2 を見ると、オンデマンド形式の授業については、「自分のペースで学習できる」ことを利点と捉えている生徒の割合が増加している一方で、「教室より集中出来る」ことを利点と捉えている生徒の割合は減少していることが分かる。また、「勉強のペースがつかみにくい」ことを欠点としている生徒の割合が減少している一方で、「集中力が続かない」ことを欠点として挙げている生徒の割合は増加している。このことから、オンデマンド形式の授業を年間に渡って複数回受けたことから、生徒が自分なりのペースで学習が進められるようになったことが読み取れる。しかし、「繰り返し学習できる」ことを利点とする生徒の割合が減少するとともに、「集中力が続かない」ことを欠点とする生徒の割合が増加していることから、一方的に配信された動画を見続けるだけのオンデマンド授業では集中力が続かず、オンライン授業の受講に対する

満足度が低下したと考える。

リアルタイム形式の授業については、「場所を問わず学習できる」ことを利点として捉えている生徒の割合が増加している。一方で、「授業の雰囲気を感じることができる」ことを利点とした生徒の割合は減少しており、「集中力が続かない」ことを欠点とした生徒の割合が増加していた。リアルタイム形式の授業において、授業の雰囲気を感じることが出来るという利点に対する回答割合が減少している要因を明らかにするため、別途自由記述形式のアンケート調査を実施した。アンケートには、リアルタイム形式の授業において不満に感じたことを記入させた。アンケートの対象はリアルタイム形式の授業を受講した高校 1 年生から高校 2 年生の 1111 名であり、有効回答数は 192 件であった。

その結果、授業の雰囲気を感じられるという利点に対する回答割合が減少する要因となった可能性がある記述内容として、以下の回答が見られた。

[生徒 A] 皆の声をより出すようにするのがいいんじゃないかなと思います。

[生徒 B] 先生から一方的に話されると集中力が続かなくて最終的に授業の理解ができずに終わってしまうから、なにかオンラインでも活動ができたら良いと思う。

生徒 A 及び生徒 B の記述を見ると、リアルタイム形式の授業において、教師の一方的な発話による授業が進められていたことが推測できる。

このように、オンデマンド形式、リアルタイム形式に関わらず、生徒は場所を問わずに学習機会を設けられていることに対しては肯定的に捉えている。一方で、教師の一方的な教授に対する不満を持ち始めたことが明らかになった。これは、「操作方法が複雑」という欠点に対する回答割合が減少していることから、生徒自身がオンライン授業に対する慣れが生まれ、一方的に授業を受けようとする姿勢から、対面授業のように学習活動に参加したいと望むようになったためであると考えられる。

これらのことから、オンデマンド形式の授業に対する満足度が有意に低下したのは、動画教材を視聴するだけの授業では、学習活動に参加する機会が得られず、受動的な授業形式になっていたためであると考えられる。

表 1 オンライン授業に対する満足度

授業形式	年度	平均値	標準偏差	t 値
オンデマンド	2020	4.85	1.18	6.04**
	2021	4.49	1.21	
リアルタイム	2020	4.51	1.31	1.47
	2021	4.41	1.32	

** $p < .01$

表 2 各形式の利点と欠点に対する回答割合

項目	内容	オンデマンド形式		リアルタイム形式	
		2020 年度	2021 年度	2020 年度	2021 年度
利点	繰り返し学習できる	40.7	35.7	8.8	3.9
	自分のペースで学習できる	46.2	49.8	12.1	18.3
	場所を問わず学習出来る	5.1	7.5	14.3	32.3
	教室より集中できる	2.8	1.4	5.9	6.1
	内容が理解しやすい	4.1	4.2	13	5.7
	授業の雰囲気を感じることができる	1.1	1.4	45.9	33.9
欠点	集中力が続かない	50.3	67.2	22.3	41
	授業の教材がわかりにくい	12.2	12.7	4.3	6.5
	勉強のペースがつかみにくい	31.5	16.4	21.2	14.8
	操作方法が複雑	6	3.7	26.4	4.3

3. オンライン授業運営のための要件の検討

オンライン授業を設計、運営するための要件について検討するため、オンライン授業における「良い授業」と「悪い授業」の条件を、自由記述で回答させた。調査は 2021 年度調査でのみ実施し、有効回答数は 745 件であった。

3.1 生徒の意欲を向上させる授業の要件

オンライン授業における生徒の学習に対する意欲を向上させる要因について検討するため、「良い授業」について書かれた自由記述の内容から、頻出単語を抽出した。総文数は 779、総抽出語数は 2,408、異なり語数は 459 であった。なお、「授業」という単語は質問文に含まれる単語であり、出現回数が多くなること考え、分析の対象から除外した。頻出単語の上位 20 以内に含まれる 20 語を表 3 に示す。

次に、単語間の繋がりを可視化するため、抽出された語をもとに共起ネットワークの作成を行った。共起ネットワークの作成に当たり、出現数による語の取捨選択（最小出現語数：5－最大出現語数：200）に設定した。共起ネットワークの描画数は、分析に使用した「KH Coder」のデフォルトである 60 に設定した。

表 3 「良い授業」に関する記述の頻出語句

抽出語	出現数	抽出語	出現数
生徒	109	自分	23
見る	60	内容	23
先生	52	良い	22
受ける	42	コミュニケーション	20
ペース	34	思う	16
変わる	34	進める	16
聞く	31	画質	15
環境	38	進む	14
オンライン	37	分かる	14
画面	24	見える	13

上記の手順で得られた共起ネットワークを図 1 に示す。

図 1 におけるサブグラフ 1 からは、「通信環境がよく、対面と同じくらい集中できる環境にあること」、「Wi-Fi 環境がいいのと機器の扱いが上手な先生」などの文章が確認された。ネットワークの速度は家庭の環境に依存する点ではあるが、全ての生徒の接続状況が良いわけではないという点を踏まえた上で、授業の流れを設計することを求めていることが読み取れた。また、サブグラフ 1 からは、「わからないことをすぐに聞くことが出来る環境がある授業」、「誰もが発言しやすい環境」などの文章も確認された。対面授業とは異なり、自身の意見や質問を発しにくい環境下では、教員が意識的に生徒の発話を誘発するための環境整備を行うことを求めていることが読み取れた。

サブグラフ 2 からは、「板書が見やすい」、「画面が見やすい」、「黒板、ホワイトボードの文字が見やすく、対面と同じようにノートが取りやすかったりすること」という文章が確認された。このように、情報の可読性を考慮した授業設計、板書設計を求めていることが読み取れた。

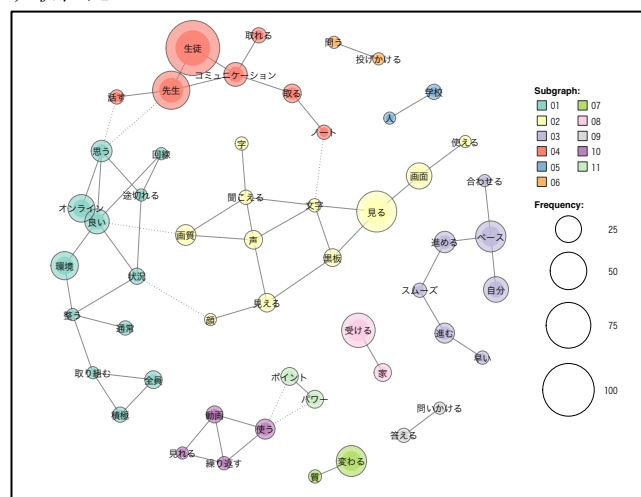


図 1 「良い授業」に関する記述の共起ネットワーク

サブグラフ3からは、「ペースを考えてくれている」、「ペースを生徒に合わせる」、「見やすい、聞きやすい、適度なペースで行う授業」という文章が確認された。このように、生徒の進捗状況を確認した上で授業を進行することを求めていることが読み取れた。

サブグラフ4～サブグラフ9からは、「先生と生徒のコミュニケーション」、「問を投げかける」、「家に居ても対面授業と同じように受けられる」、「対面授業と変わらない授業」という文章が確認された。このように、教師による一方的な教授ではなく、対面授業のように教師とのコミュニケーションや発話の機会を設けることを求めていることが読み取れた。

サブグラフ10からは、「繰り返しできるように動画を残す」、「動画視聴でわからないところを理解するまで見られるところ」などの文章が確認された。生徒は対面授業と同じような双方向性のある授業を求めている一方で、動画配信のように繰り返し視聴が出来る環境を求めていることが読み取れた。

これらのことから、本研究ではオンライン授業において生徒の学習に対する意欲を向上させる授業の要件を以下のように整理した。

- (1) 生徒の通信環境を考慮した授業運営
- (2) 教師や他の生徒とのコミュニケーションが取りやすい環境の整備
- (3) 生徒の学習の進度を踏まえた授業進行
- (4) ライブ配信後の授業動画の保存と公開

上記の要件を満たすオンライン授業を実施することで、生徒の学習に対する意欲の向上が可能になると考える。

3.2 生徒のモチベーションを低下させる要因

オンライン授業における生徒の学習のモチベーションを低下させる要因について検討するため、「悪い授業」について書かれた自由記述の内容から、頻出単語を抽出した。総文数は785、総抽出語数は2,981、異なり語数は549であった。「良い授業」に関する記述内容の分析と同様に、「授業」という単語は分析の対象から外した。頻出単語の上位20以内に含まれる20語を表4に示す。

次に、単語間の繋がりを可視化するため、抽出された語をもとに共起ネットワークの作成を行った。

表 4 「悪い授業」に関する記述の頻出語句

抽出語	出現数	抽出語	出現数
先生	91	聞く	32
生徒	75	進める	30
集中	72	環境	27
悪い	71	ペース	26
進む	40	早い	25
質問	35	見える	24
理解	35	画質	22
話す	35	黒板	21
見る	32	状況	21
通信	32	続く	21

共起ネットワークの作成に当たり、出現数による語の取捨選択（最小出現語数：5－最大出現語数：200）に設定した。共起ネットワークの描画数は、分析に使用した「KH Coder」のデフォルトである60に設定した。得られた共起ネットワークを図2に示す。

サブグラフ1、サブグラフ8、「先生側が一方的に授業を行う」、「話を聴くだけの授業」、「教科書のページを進める授業あまり良い授業だとは思いません」といった記述が見られた。このように、教員による一方的な内容教授の授業は、生徒の学習意欲を低下させる可能性があることが読み取れた。また、サブグラフ1、サブグラフ9からは「画像の解像度が悪いので黒板が見にくい」、「声が聞き取りづらい」などの記述が見られた。このように、映し出された情報の可読性や教師の発話の可聴性が低いことで、生徒に学習に対する不満感を持たせてしまう可能性があることが読み取れた。

サブグラフ2からは、「質問しにくい雰囲気」、「質問や生徒とのやり取りができないような雰囲気があること」などの記述が見られた。このように、発話しにくい雰囲気が形成されていることが、生徒の学習意欲を低下させる可能性があることが読み取れた。

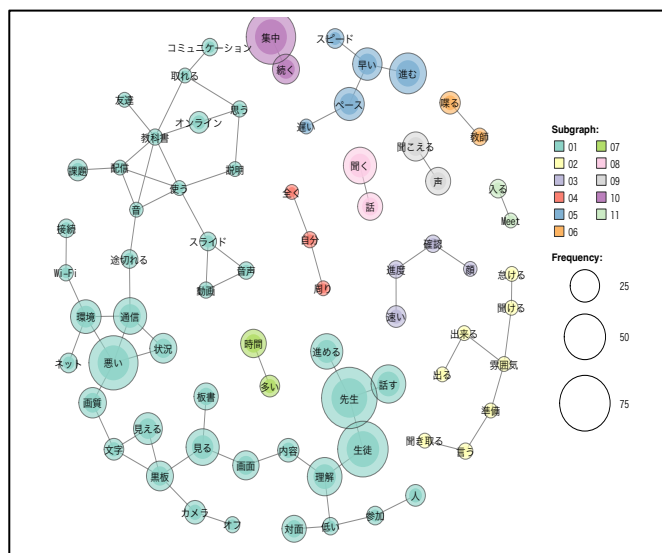


図 2 「悪い授業」に関する記述の共起ネットワーク

参 考 文 献

- (1) データで見る遠隔・オンライン教育の状況,
<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r03/html/nd122230.html> (2022 年 12 月 9 日確認)
- (2) オンライン授業に関する調査結果 (2020 年度秋学期),
<https://www.waseda.jp/inst/ches/news/2021/05/17/3291/> (2022 年 12 月 9 日確認)

サブグラフ 3～サブグラフ 6 からは、「先生が自分のペースで授業を進めてしまうこと」、「進むペースが早い」、「進捗を確認しないでどんどん先に進んでしまう」などの文章が確認された。このように、生徒の学習の進捗を踏まえずに授業を進めることで、生徒にとって理解度の低い授業となっている可能性があることが読み取れた。

サブグラフ 10 及びサブグラフ 11 は、オンライン授業を受ける生徒側の問題について述べられている文章であったため、本研究の分析から除外した。

これらのことから、本研究ではオンライン授業において生徒の学習意欲を低下させる授業の要因を以下のように整理した。

- (1) 教師による一方的な授業
- (2) 可読性及び可聴性の低い授業
- (3) 生徒の学習の進捗を踏まえない授業進行

学習意欲を低下させる授業の要因のうち、(1) 及び (3) は、良い授業の要件を満たすことで、回避可能なものであると考える。可読性及び可聴性については、教師の配信環境だけでなく、生徒の受講環境も考慮した授業運営を検討する必要があると考える。

4. まとめと今後の課題

本研究では、高校生のオンライン授業に対する意識の変容について検証した。アンケート調査の結果から、生徒はオンライン授業に慣れてきたことで、授業に対して受動的な姿勢から、能動的な姿勢へと変化したことが明らかになった。また、「良い授業」と「悪い授業」の例に関する自由記述の分析結果から、高校生に対するオンライン授業を運営するための要件について、以下の項目に整理した。

- (1) 生徒の通信環境を考慮した授業運営
- (2) 教師や他の生徒とのコミュニケーションが
取りやすい環境の整備
- (3) 生徒の学習の進捗を踏まえた授業進行
- (4) ライブ配信後の授業動画の保存と公開

今後の課題として、オンライン授業における課題の内容が、生徒の満足度及び理解度の向上に与える影響について検証することが挙げられる。

中学生を対象とした

三角ロジック組立演習の実践利用と分析結果

沖永 友広^{*1}, 長澤 怜男^{*1}, 藤原 宗幸^{*2}, 木下 博義^{*3}, 林 雄介^{*1}, 平嶋 宗^{*1}

^{*1} 広島大学大学院先進理工系科学研究科, ^{*2} 広島商船高等専門学校,

^{*3} 広島大学大学院人間社会科学研究科

Practical Use of Triangular Logic Assembly Exercises for Junior High School Students and Its Analytical Results

Okinaga Tomohiro^{*1}, Nagasawa Reo^{*1}, Fujiwara Muneyuki^{*2}, Kinoshita Hiroyoshi^{*3},
Hayashi Yusuke^{*1}, Hirashima Tsukasa^{*1}

^{*1} Graduate School of Advanced Science and Engineering, Hiroshima University

^{*2} National Institute of Technology (KOSEN), Hiroshima College

^{*3} Graduate School of Humanities and Social Sciences, Hiroshima University

先行研究において、学習者に命題を提供し、根拠・理由付け・主張で構成される三角ロジックを組立てさせる論理学習システムが開発され、高校生・大学生・大学院生群を対象とした実践及び実験的利用において、演習としての有効性、学習効果があることが示唆されている。そこで本研究では、中学校にて演習システムの実践利用を行い、中学校で実践利用が可能かどうかを検証した。結果として、(1)システムの所要時間や所要手数の分析から、中学生が真剣に演習に取り組んでいることが示唆された。また、(2)論理的思考テストスコアの分析から、本演習の実施が論理的思考の促進に有用であることが認められた。また、(3)システムについて高校生・大学生・大学院生群と遜色ない程の成績であることから、中学生もシステム利用が可能であることが分かった。以上の結果から、中学校にて実践利用が可能であると考えている。

キーワード: 三角ロジック, 演繹的推論, 外在化支援, 論理的思考, 批判的思考

1. はじめに

論理的思考力は、算数・数学から国語まで、個々の教科において求められる能力とされている⁽¹⁾。また、論理的思考力を測るために議論を正確に評価できるかどうか調査されており⁽²⁾、職業や時代を問わず必要となる普遍性の高い能力であるといえる。しかしながら、論理的思考力の育成方法としてディベート等様々なものが考案されてきたが、いずれも個別診断・フィードバックが困難であるという課題が残されていた。そこで筆者らは、上記の課題解決及び論理的思考力の育成を指向して、論理構造の組立演習をインタラクテ

ィブに行うことができる演習システムを、三角ロジックモデルをベースに設計・開発している⁽³⁾⁽⁴⁾。三角ロジックモデルとは、論理の構造的記述法として知られている Toulmin モデル⁽⁵⁾を構成する 6 要素の内、「根拠」、「理由付け」、「主張」の主要 3 要素⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾に限定したモデルであり、Toulmin 自身もこの 3 要素が読解に有用であるとしている⁽⁹⁾。この 3 要素について、三角形の底辺左頂点に「根拠」、底辺右頂点に「理由付け」、底辺対頂点に「主張」を配置するため三角ロジックと呼ばれている。筆者らは、この三角ロジックモデルで扱う命題推論をモーダスポネンスと三段論法に限定し、オープン情報構造アプローチ⁽¹⁰⁾を適用することで三

角ロジック組立演習をシステム化しており、高校生・大学生・大学院生群に対する実験・実践利用を通して論理的思考力に対する学習効果を示唆する結果を得ている⁽³⁾⁽¹¹⁾⁽¹²⁾.

本演習システムの利用可能性の確認は、高校生から大学院生までであった。しかし、論理的思考は中学生以降（13歳以上）で本格的に展開可能であると指摘されている⁽¹⁾と同時に、その学習が十分にできていないとの指摘もなされている⁽¹³⁾。これらのことから、中学生において、論理的思考の基本形である演繹の構造を組立てる活動である三角ロジック組立演習の適用可能性と有用性があると考えている。そこで本研究では、中学生群において、三角ロジック組立演習システムの実践利用を行った。本実践にあたっては、まず、中学校での豊富な実践経験を持つ共同研究者の一人が演習内容を精査し、演習として実施可能性があり、学習効果も見込めるであろうと判断した。さらに、中学校側の教員に演習を利用してもらう機会を設け、その利用を踏まえて、中学3年生であれば授業時間内で利用する価値があるであろうという判断となった。

実践目的は、(1)中学生のシステムに対する取り組み方、(2)演習システムの学習効果、(3)高校生・大学生・大学院生群と比較し、システム利用が可能かどうか、を調査することである。

以下、第2章では、三角ロジック組立演習に関する先行研究を説明する。また今回の実践のシステム利用では、三種類の問題：常識問題、無意味問題⁽¹⁴⁾、非常識問題⁽¹¹⁾を実装しており、それらに関する先行研究も紹介する。第3章では、実践方法について説明する。第4章では、実践結果について説明する。第5章では、まとめと今後の課題について説明する。

2. 三角ロジック組立演習に関する先行研究

2.1 三角ロジック組立演習システム概要

図1に本演習システムの画面を示す。画面の左に提示された命題リストから、命題をドラッグ&ドロップで移動させ、右側の三角形の各頂点の空欄に、根拠、理由付け、主張に相当する命題を当てはめることで、三角ロジックを組立てる（本論文の三角ロジックで扱う命題推論は、三段論法を表現したものに限定する）。

システムは組立てた論理構造を診断し、正誤判定、及び入れ替えが必要な命題の指摘を行う。このように論理構造の組立演習をインタラクティブに行うことは、能動的に命題を用い論理を構築するという点で、論理の深い理解に繋がると考える⁽¹⁵⁾。

正しい論理構造に利用されない命題（ダミー命題と呼ぶ）は、三角ロジックを構成する命題に対して否定の論理変換や命題の構成要素の入れ替え、合成をすることで用意している。例えば、 $P \rightarrow Q$, $Q \rightarrow R$, $\therefore P \rightarrow R$ という三角ロジックを組立てる問題の場合、 $P \rightarrow \neg Q$ や、 $\neg P \rightarrow R$ のように否定の論理変換を施したり、 P , Q , R を要素として、 $Q \rightarrow P$, $R \rightarrow P$ のように命題の構成要素の入れ替えを行ったりすることでダミー命題を用意している。また、ダミー命題の用意時には、論理的には成立しているがダミー命題を含んだ三角ロジックは再構成できないようにしている。

2.2 本研究で扱う問題

2.2.1 常識問題

常識問題とは、一般的に常識と判断される命題を用いた問題であり、例えば「ペンギンは鳥である、鳥は卵を産む生物である、 $\therefore$ ペンギンは卵を産む生物である」のようなものである。この種類の問題の例として、図1のようなものが挙げられる。先行研究⁽³⁾では、この常識問題のみで構成された演習システムの実験的利用を行っていた。

2.2.2 無意味問題・非常識問題

三角ロジック組立演習について、命題を無意味綴り化、非常識化した演習への拡張がなされた（命題を無意味綴り化した問題例を図2に、命題を非常識化した問題例を図3に示す）。これは、論理的思考を要する状況の一つである、他者立論の論理的再構成⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾において、他者の提示した情報が意味的に解釈できるとは限らない、または偽と判断される場合における論理的再構成の重要性⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾から実装された。この拡張演習の、高校生・大学生・大学院生群に対する実験・実践利用から、従来の演習と同様に論理的思考の促進に有用であるという示唆が得られている⁽¹¹⁾⁽¹²⁾。本研究のシステムも、常識問題・無意味問題・非常識問題を実装したものとなっている。



図 1 三角ロジックの組立例（常識問題）



図 2 三角ロジックの組立例（無意味問題）

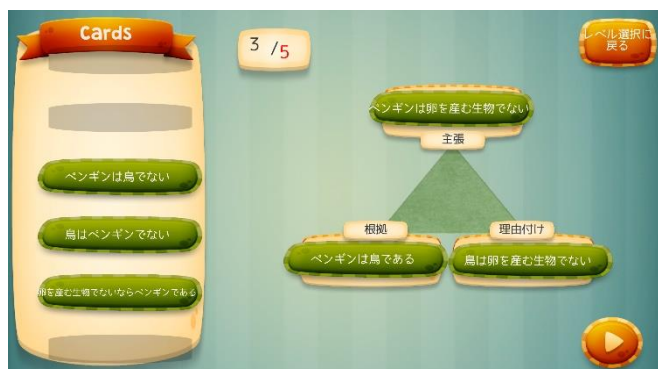


図 3 三角ロジックの組立例（非常識問題）

3. 実践

3.1 実践方法

本実践は、2 回の授業に分けて行った。1 回目に(1)論理の問題（プレテスト）を 20 分、(2)三角ロジックモデルと演習システムの説明を 10 分、その 1 日後に 2 回目として(3)演習システムの利用を 30 分、(4)論理の問題（ポストテスト）を 20 分、(5)演習後のアンケートを 5 分、という実践手順とした。プレ・ポストテストには、国立教育政策研究所教育課程教育センターが高校 2 年生を対象に論理的思考の育成状況を測るために実施した「特定の課題に関する調査（論理的な思考）」⁽¹⁹⁾の中から、一般的な表現形式である調査 I の内容 A(13 問)を用いた。

三角ロジックモデルと演習システムの説明では、最初に三段論法の事例を挙げ、それを三角ロジックに当てはめた場合の図を提示しながら説明した。また、命題の構成要素（単純命題）を記号的に捉えたうえで、主張を推論する方法も説明した。次に、演習で扱う常識問題、無意味問題、非常識問題について説明し、無意味問題に関しては、意味解釈できない命題を用いても論理構造を組立てることができること、また非常識問題に関しては、偽と判断できる命題を用いても論理構造を組立てることができることを明示的に説明した。その後、演習システム上で、常識問題 2 問、無意味問題 1 問、非常識問題 1 問について正解・誤りのパターンを示しながら被験者と一緒に解いた。ここまでの説明の 10 分である。また、問題ごとに 5 分の制限時間を設定しており、5 分が経過するとシステム側から次の問題に進むことを促す通知が行われるようになっている（このことは、演習前に被験者に説明済である）。なお、指示・説明はプレゼンテーションソフトを用い口頭で説明し、テスト、演習、アンケートは、各被験者に学習用として中学校から支給されているタブレット端末により個人で Web ベースのシステムにアクセスしてもらうことで行った。

3.2 問題構成

表 1 に本演習の問題構成を示す。レベル 1~5 は一つの三角ロジックを組立てる問題であり、レベル 1 は一つの空欄を埋める問題、レベル 2 は二つの空欄を埋める問題、レベル 3~5 は三角ロジックを構成する三つの命題全てを埋める問題である。これらのレベルでは、論理組立に必要な命題に加えて、ダミー命題を含めている。レベル 6 は二つの三角ロジックで構成された論理構造を組立てる問題であり、五つの空欄を埋めることが求められる。命題数が多くなるため、レベル 6 ではダミー命題は提供されていない。レベル 1 と 2 は学習者が三角ロジック組立演習に慣れることを目的として用意しているため、常識問題のみとしている。なお、本演習で用いている各命題を構成する文言は平易な言葉が用いられており、個々の命題について中学生が理解できないことはないものと考えている。

本実践では、先行研究⁽¹¹⁾⁽¹²⁾と同様に、無意味問題と非常識問題の出題順序による影響を相殺するためにグ

ループを二つ設け、グループ 1 では無意味問題、非常識問題の順で出題し、グループ 2 では、その逆の順で出題した。また、組立ログの分析では、ダミー命題を踏まえて三角ロジックを組立てるレベル 3~5 が各問題種類の違いが顕著に表れると考え、両グループのデータを一つにまとめたうえで分析を行っている。順序効果の分析に関しては本研究における主題ではないため行っていないが、同様の問題を含んだ演習を設計する際の知見になり得ると考え、今後の課題としている。

表 1 問題構成

レベル	空欄個数	グループ 1	グループ 2
1	1	常識(5 問)	常識(5 問)
2	2	常識(5 問)	常識(5 問)
3	3	常識(5 問)	常識(5 問)
4		無意味(5 問)	非常識(5 問)
5		非常識(5 問)	無意味(5 問)
6	5(二つの三角ロジックの連結)	常識(3 問)	常識(3 問)
		無意味(3 問)	非常識(3 問)
		非常識(3 問)	無意味(3 問)

3.3 被検者

被検者は、中学 3 年生 113 名（一中学校の四クラス）である。中学生に対する実施は、情報教育の一環としてのシステムの体験的利用として授業内で一教室内にて 4 クラス同時に実施した。この実施に関しては、事前に実施内容及び実践が順守する倫理規定について授業担当教員と協議したうえで了解を得ており、また参加者に対しても実施時に説明を行っている。なお、後述する結果は、後日、中学校に報告している。

4. 実践分析結果

4.1 組立ログの分析

三角ロジック組立演習は、探索的再構成課題であり⁽²⁰⁾、正解進行型となっているため、先行研究と同様に問題に正解するまでの所要時間、所要手数を問題の難しさを測る主たる指標として用いる⁽³⁾⁽⁴⁾⁽¹²⁾。

表 2 に三空欄問題である、レベル 3~5 における 1 問当たりの平均所要時間、平均所要手数を問題種類ごとに示す。所要手数については、空白の部分に命題を当

てはめる行動を 1 回としてカウントしている。また、既に当てはめられている命題を外し、新たに命題を当てはめる行動も 1 回としてカウントしている。このため、最小所要手数は 3 回としている。各問題にはダミー命題を含めて 6 個の命題が提供されていることから、組立可能な構造は 1 問当たり 60 通りであり、十分に少ない手数で正解にたどり着いているといえる。また、表 3 に平均所要時間・所要手数の各種問題の差について分析した結果を示す（フリードマン検定、ホルム法で多重比較）。無意味問題については、全ての指標の増加が有意であり ($p<.001$)、命題無意味化の影響が顕著に表れたといえる。また、非常識問題については、所要手数に有意な増加が見られ ($p<.010$)、命題非常識化も影響があったといえる（この結果は先行研究⁽¹¹⁾⁽¹²⁾と概ね同様である）。しかし、所要時間から、十分に短い時間で解いていること、また、所要手数から、ランダムではなく考えて命題を当てはめていることから、命題無意味化や非常識化の影響があったにも関わらず、中学生が真剣に演習に取り組んでいたことがうかがえる。

表 2 各問題の平均所要時間・所要手数

問題	所要時間(秒/問)	所要手数(手数/問)
常識	49.76($\sigma=22.69$)	6.95(2.66)
無意味	85.39(34.86)	10.36(2.84)
非常識	52.24(24.39)	8.10(2.73)

表 3 各種問題に対する平均所要時間・所要手数の差の検定結果

比較の組	所要時間		所要手数	
	P 値	効果量 r	P 値	効果量 r
常識－無意味	.000	.460	.000	.555
常識－非常識	.464	.049	.009	.175
無意味－非常識	.000	.509	.000	.381

4.2 テスト結果の分析

プレテスト及びポストテストの結果を表 4 に示す。

テストの満点は 14 点である。プレテストとポストテストについて、対応のある t 検定を行ったところ、 $p=.000(<.001)$ で有意差が見られ、効果量は中程度であった($d=.437$)。この結果は、本演習の学習効果を示すものとなっていると考える。

表 4 プレ・ポストテストのスコアと検定結果

プレ平均	ポスト平均	P 値	効果量 d
10.47 ($\sigma=2.30$)	11.38 (1.85)	.000 ($<.001$)	.437

4.3 アンケート結果の分析

アンケートでは、表 5 に示した質問に対して 5 件法 (1:全く思わない, 2:思わない, 3:どちらとも言えない, 4:思う, 5:とても思う) で回答してもらった。また、回答の平均値及び肯定群 (5, 4 と回答した群) と非肯定群 (3, 2, 1 と回答した群) の数の差を直接確率計算で検定した際の p 値も示した。この結果から、全ての項目において肯定群の方が有意に多く、演習システムの有効性や、論理的思考の重要性に対し理解を示していることが確認された。

4.4 アンケート項目 E に関する分析

アンケート項目 E『三角ロジックを用いた演習で行った考え方は、「論理の問題」を解くのに役に立った』は、被験者がどの程度論理の問題と三角ロジック演習を関連付けているかを問うている項目であるといえ、被験者の主観による演習の効果が表れると考えた。そこで、5 (とても思う), 4 (思う) と肯定的に回答した被験者 84 名と、3 (どちらとも言えない), 2 (思わない), 1 (全く思わない) と非肯定的に回答した被験者 29 名にグループ分けをした。次に、被験者間要因を肯定・非肯定、被験者内要因をプレ・ポストとして二要因分散分析を行った結果を表 6 に示す。交互作用は有意傾向でなかった($p=.173$)が、単純主効果の検定を行ったところ、肯定群のプレ・ポストのみにおいて有意差が見られ($p<.001$)、効果量は中程度($d=.692$)となった。このことから、演習と論理的思考問題に関係があると肯定した群にはより学習効果があると考えられ、ポストテストスコアの上昇が演習の効果であることを

示唆する結果が得られた。

表 5 アンケート項目と結果及び肯定・非肯定の直接確率計算による検定結果

質問項目(N=113)	平均値	P 値
A:システム利用は楽しかった	4.37	.000
B:システムをもっと使ってみた	4.01	.000
C:三角ロジックを用いた演習では論理的に考えることが必要だった	4.57	.000
D:三角ロジックを用いた演習を行うことは、論理的に考える能力を身に付けるのに役立つ	4.35	.000
E:三角ロジックを用いた演習で行った考え方は、「論理の問題」を解くのに役に立った	4.00	.000
F:三角ロジックを用いた演習で行った考え方は、これから自分が物事を論理的に考えるうえで参考になりそうである	4.34	.000
G:今までに、三角ロジックを用いた演習と似た問題を学校の授業で解いたことがある	4.32	.000
H:「論理の問題」と似た問題を学校の授業で解いたことがある	3.69	.001
I:論理的思考力が社会に求められる力である	4.31	.000
J:自分は普段から物事を筋道立てて考えようとする	3.82	.000
K:自分は複数の情報から必要な情報を選んで使おうとする	4.14	.000
L:日頃の学習や生活の中でわからないことや疑問が出てきたときにできるだけ自分で考えるようにしている	3.91	.000

表 6 アンケート項目 E への肯定・非肯定群のプレ・ポストのスコアと検定結果

群	プレ	ポスト	P 値	効果量 d
---	----	-----	-----	-------

肯定群 (N=84)	10.30 ($\sigma=2.38$)	11.38 (1.98)	.000	.692
非肯定群 (N=29)	10.97 (2.01)	11.38 (1.47)	.327	.197

4.5 高校生・大学生・大学院生群との比較

4.5.1 比較対象者の詳細

本節では、システムの組立ログやアンケートにおいて、中学生群と高校生・大学生・大学院生群を比較する。高校生・大学生・大学院生群の人数は、筆者らが実施した実験・実践の被験者⁽¹¹⁾⁽¹²⁾57名及び、新たに実験・実践を行った際の被験者104名の、計161名としている。両群に対する実験・実践利用の方法は同様のものとしている。なお、テストについては、高校生・大学生・大学院生と違い、中学生に対する実践利用は今回が初めてであり、難易度を下げるため一部問題を省略しているため、比較は行っていない。

4.5.2 比較結果

まずは、平均所要時間、平均所要手数について両群を比較（対応のないt検定）した結果を表7、表8に示す。表8の所要手数については、高校生・大学生・大学院生群の方が有意に少なく、問題解答の正確性は低いことが見受けられる。しかし、表7の所要時間については、両群の間に有意な差は見られず、高校生・大学生・大学院生群と遜色なくシステムの利用ができていることがうかがえる。次に、アンケート結果について両群を比較（対応のないt検定）した結果を表9に示す。この表において両群で肯定・非肯定が相反する結果となっている項目が、項目G、Hの二つあった。項目G、Hはそれぞれ三角ロジック演習の経験の有無、論理問題の経験の有無を問うものであった。項目Gについて中学生群の平均が4.32と肯定的、高校生・大学生・大学院生群の平均が2.50と非肯定的であった。そこで、それぞれ5、4の回答を肯定的回答、3、2、1の回答を非肯定的回答とした場合、直接確率計算において、中学生群は有意に肯定的回答が多く($p=.000$)、高校生・大学生・大学院生群は有意に非肯定的回答が多い($p=.000$)ことが分かった。項目Hについても、中学生群の平均が3.69と肯定的、高校生・大学生・大学院生群の平均が2.88と非肯定的であり、直接確率計算にお

いて、中学生群は有意に肯定的回答が多く($p=.001$)、高校生・大学生・大学院生群は有意に非肯定的回答が多い($p=.000$)ことが分かった。

本実践を実施した中学校は、論理的な思考力・表現力の育成に力を入れて、「ことば科」という独自の科目を持っており、三角ロジックを用いた意見の整理や、論理的思考力問題の解決課題を正規の授業の中で行っている。このことが項目G、Hの結果に反映したと考えられ、本実践に参加した生徒にとっては、本演習は比較的なじみのある活動として受け入れられたことが示唆される。なお、本研究で用いている三角ロジックは、形式的論理計算が可能な演繹的三角ロジックであるが、授業等で用いられている三角ロジックは、形式的論理計算ができない言語的三角ロジックである（このことは中学校に対する結果報告の際に確認できている）。この違いは診断・フィードバックを可能にする演習化においては重要となるが⁽²¹⁾、本結果は生徒にとっては大きな違いと認識されていないことを示唆している。この違いの持つ演習のインタラクティブ化の可否以外の学習上の意味については、今後さらに検討が必要と判断している。

表7 平均所要時間における中学生群と高校生・大学生・大学院生群との比較

問題	中学生 (N=113)	高校生・大学生・大学院生 (N=161)	P 値	効果量 d
常識	49.76($\sigma=22.69$)	48.84 (28.91)	.779	.034
無意味	85.39 (34.86)	80.43 (39.56)	.285	.131
非常識	52.24 (24.39)	56.10 (31.60)	.277	.133

表8 平均所要手数における中学生群と高校生・大学生・大学院生との比較

問題	中学生 (N=113)	高校生・大学生・大学院生 (N=161)	P 値	効果量 d
常識	6.95($\sigma=2.66$)	5.20 (2.16)	.000	.732

無意味	10.36 (2.84)	7.54 (3.54)	.000	.859
非常識	8.10 (2.73)	6.16 (2.54)	.000	.738

表 9 アンケート平均値における中学生群と高校生・大学生・大学院生群との比較

質問項目	中学生	高校生・大学生・大学院生	P 値	効果量 d
A	4.37	3.98	.001	.393
B	4.01	3.64	.008	.328
C	4.57	4.29	.007	.330
D	4.35	4.06	.007	.335
E	4.00	4.01	.921	.012
F	4.34	3.94	.001	.419
G	4.32	2.50	.000	1.512
H	3.69	2.88	.000	.635
I	4.31	4.40	.334	.118
J	3.82	3.75	.535	.076
K	4.14	4.09	.658	.054
L	3.91	3.83	.474	.088

5. まとめと今後の課題

5.1 まとめ

本研究では、中学生に対して常識問題、無意味問題、非常識問題を組み込んだ三角ロジック組立演習の実践利用を行い、中学生に対する演習の有効性の調査をすることで、中学生にて実践利用が可能かどうかを検証した。結果として、(1)命題の無意味化と非常識化は学習者に対し影響を与えたが、所要時間や所要手の分析において、十分に短い時間で思考しながら解答していることから、真剣に演習に取り組んでいることが示唆された。また、(2)テスト結果から学習効果の確認ができ、特にこの演習と論理問題に関係があると肯定した群に学習効果があることが認められた。また、(3)システム利用について高校生・大学生・大学院生群と比較すると、遜色ない程の成績であり、中学生もシステム利用が可能であることが分かった。これらの結果から、中学校での実践利用が可能であると考え。本実践結果は、これまで中学校にて行われていなかった演

習システムの実践利用が可能であることの示唆が得られた点で、本研究の大きな貢献と考えている。

5.2 今後の課題

4.5.2 項で説明したように、本実践を実施した中学校は、「ことば科」という独自の科目を持っており、論理的思考力の育成に大きな力を入れていることがうかがえる。そのため、本結果をもって三角ロジック演習が一般中学校に適用可能であるとは直ちに言えないことも示唆している。従って、今後の課題として、別の中学校においても実践利用を実施し、今回の中学校の実践結果と同様にシステム利用が可能であるか、また論理的思考の促進に有用であるかどうかを調査する必要があると考えている。

参 考 文 献

- (1) 文化庁: “これからの時代に求められる国語力について”, 文化審議会答申 (2004)
- (2) Britt, M. A., Kurby, C. A., Dandotkar, S., et al.: “I agreed with what? Memory for simple argument claims”, *Discourse Processes*, 45(1), pp.52-84 (2007)
- (3) 北村拓也, 長谷浩也, 前田一誠, 林雄介, 平嶋宗: “論理構造の組み立て演習環境の設計開発と実験的評価”, *人工知能学会論文誌*, Vol.32, No.6, pp.C-H14_1-12 (2017)
- (4) 中野謙, 姫宮恵, 北村拓也, 林雄介, 平嶋宗: “論理組立演習における情報過不足問題の開発”, *教育システム情報学会誌*, 38(3), pp.243-247
- (5) Toulmin, S. E.: “The Uses of Argument, Updated Edition”, Cambridge University Press(First published:1958) (2003)
- (6) Henderson, J. B., Osborne, J., MacPherson, A., et al.: “A new learning progression for student argumentation in scientific contexts”, In *Proceedings of the ESERA 2013 conference: Science education research for evidence based teaching and coherence in learning*, pp.726-742 (2014)
- (7) 井上尚美: “言語論理教育入門—国語科における思考”, 明治図書 (1989)
- (8) Berland, L. K. and McNeill, K. L.: “A learning progression for scientific argumentation: Understanding student work and designing supportive instructional contexts”, *Science Education*, Vol.94, No.5, pp.765-793 (2010)
- (9) Chambliss, M. J.: “Text cues and strategies successful

- readers use to construct the gist of lengthy written arguments”, Reading Research Quarterly, pp.778-807 (1995)
- (10) 平嶋宗: “思考の外在的行為化の場としての仮想空間－学習支援の立場から－”, 人工知能, 36(4), pp.476-479 (2021)
- (11) 沖永友広, 藤原宗幸, 林雄介, 平嶋宗: “論理構造組立における命題の無意味化と非常識化の影響の実験的分析”, 信学技報(思考と言語研究会), Vol.121, No.219, pp.16-21 (2021)
- (12) 沖永友広, 長澤怜男, 藤原宗幸, 林雄介, 平嶋宗: “論理的思考力の向上を指向した三角ロジック演習への非常識問題の組み込みと実験的評価”, 教育システム情報学会誌(採録決定)
- (13) 向井大喜, 松本伸示: “大学生の仮説検証活動における演繹的推論過程の分析”, 理科教育学研究, Vol.61, No.3 (2021)
- (14) 中野謙, 北村拓也, 林雄介, 平嶋宗: “命題三角ロジック組立課題における命題構成単語の無意味綴り化の影響の実験的検証”, 教育システム情報学会誌, 38(4), pp.358-362 (2021)
- (15) Larson, A. A., Britt, M. A. and Kurby, C. A.: “Improving students’ evaluation of informal arguments”, The Journal of Experimental Education, 77(4), pp.339-366 (2009)
- (16) 道田泰司: “批判的思考における soft heart の重要性”, 琉球大学教育学部紀要, 60, pp.476-170 (2002)
- (17) 平嶋宗: “共感的理解を通じた学習の設計: 「学習者による共感的理解」のタスク化”, 第45回教育システム情報学会全国大会講演論文集, pp.169-170 (2020)
- (18) Vinod, J. and Raymond, J. D.: “Explaining Modulation of Reasoning by Belief”, Cognition, 87(1), B11-B22 (2003)
- (19) 国立教育政策研究所: “特定の課題に関する調査(論理的な思考)”, (2017), https://www.nier.go.jp/kaihatsu/tokutei_ronri/index.html (閲覧日 2022 年 9 月 21 日)
- (20) 松本慎平, 林雄介, 平嶋宗: “確率モデルによる探索的再構成課題の学習プロセス分析手法の提案”, In 人工知能学会研究会資料 先進的学習科学と工学研究会, 88 回 (2020 March)
- (21) 平嶋宗: “言語的三角ロジックに対する演繹的三角ロジックの提案: 主題共通命題・自明論拠・許容命題を用いた妥当性検証可能化”, 教育システム情報学会中国支部

三角ブロックにおける情報不備課題の定義と演習化

清水拓海^{*1}, 尾坂隆児^{*1}, 守山映見里^{*2}, 山元翔^{*3}, 前田一誠^{*4}, 林雄介^{*1}, 平嶋宗^{*1}

^{*1} 広島大学大学院先進理工系科学研究科,

^{*2} 広島大学情報科学部,

^{*3} 近畿大学情報学部,

^{*4} 環太平洋大学次世代教育学部

Design of Exercise for Arithmetic Word Problems with Insufficient and/or Excess Information

Takumi Shimizu^{*1}, Ryuji Osaka^{*1}, Emiri Moriyama^{*1}, Sho Yamamoto^{*1}, Kazushige Maeda^{*1},
Yusuke Hayashi^{*1}, Tsukasa Hirashima^{*1}

^{*1} Graduate School of Advanced Science and Engineering, Hiroshima University,

^{*2} School of Informatics and Data Science, Hiroshima University,

^{*3} Faculty of Informatics, Kindai University,

^{*4} Faculty of Education for Future Generations, International Pacific University

算数文章題の統合過程における学習支援システムとして、算数三角ブロック組立演習が提案され、学習効果が確認されている。システムで演習化されているのは問題としては情報が全て揃ったもののみであり、学習者の思考は与えられた情報内に留まる。一方で、解くための情報を不備化させた問題においては、問題に含まれている情報を吟味し、情報不備の検出と対応が必要になるため、これまでの研究においても学習者における有用性が指摘されている。しかしながら、情報不備課題においては多様な正解が生じる場合が多く、このため答え合わせに困難が生じるため、具体的な実施事例はほとんど見当たらない。本研究では、算数文章題における情報不備課題を詳細に分類し、三角ブロックを用いて診断・フィードバックを伴った演習化・システムの構築をおこなった。本稿では、小学校教員らを対象とした利用実験の結果についても報告する。

キーワード: 学習科学, 算数文章題, 三角ブロックモデル, 情報不備課題, 完備化活動

1. 緒言

算数文章題の解決過程は、変換過程、統合過程、プラン化過程、実行過程の4つの下位過程に分けられるとされている⁽¹⁾。この4過程のうち、問題文から数量概念を抜き出し、問題表象に合った数量関係で結びつける過程である統合過程に、最も学習者の躓きが存在することが知られている⁽²⁾。また、中学生であっても、小学校で習うレベルの算数文章題において、演算子を適切に選択できない学習者が存在することも報告され

ている⁽³⁾。しかし、統合過程は学習者の頭の中で行われる思考活動であるため、第三者からの支援が難しい。

そこで、統合過程を支援するシステムとして、「さんすうさんかくブロックシステム」が開発されている⁽⁴⁾。このシステムは、統合過程を学習者がシステム上で操作可能な形で、算数文章題の解決を学習できるシステムである⁽⁵⁾⁽⁶⁾。

一方、これまでの算数三角ブロックシステムは、解決のために必要な情報が過不足なく揃った情報完備問題のみを扱っており、解決のために必要な情報に過不

足のある情報不備課題は対象としていなかった。情報不備課題では、問題文中で与えられる数量概念を吟味し、その過不足を検出・対応することで、情報完備な問題を取り出すことが必要となる。従って、学習者は対象の問題を解くために必要な知識を単に適用するだけではなく、それが適用可能な形であるかの確認も行う必要がある。

そのため、情報完備問題と比較して情報不備課題は、学習指導要領⁽⁷⁾に示されている「日常的・社会的な事象」とより適合していると考えられる。しかし、情報過剰問題、情報不足問題共に、情報完備問題よりも正解率が下がる傾向にあることが報告されている⁽⁸⁾⁽⁹⁾。また、情報不備課題の一種であり、力学の分野で提案されている、補完する情報によって異なる解法が考えられる問題⁽¹⁰⁾については、算数の分野では扱われておらず、こちらも解法とその適用条件について深く習得する必要があることから、演習化・支援する余地があると考ええる。

本研究は、先行研究である算数三角ブロックシステムを、情報不備課題に拡張する試みである。そのために、情報不備課題について分類し、それらを演習化したシステムである算数三角ブロック・web を開発した。本稿では、それらの分類と演習化方法を述べる。また、本システムについて実際の小学校教員を含めた方々に利用いただいたため、その評価についても報告する。

2. 三角ブロックモデル

算数文章題の最小単位は、3 つの数量概念とそれらを結ぶ 1 つの数量関係であるとされている⁽¹¹⁾。この関係は、通常以下の方程式で表される。

$$[\text{数量1}][\text{計算記号}][\text{数量2}] = [\text{結果}]$$

この式と等価な図式表現が、図 1 に示す三角ブロックモデルである。各数量をノードと呼ぶ。また、算数文章題は、次に示す式のように複数の式で構成されるものもあり、本モデルは図 2 の形式で扱っている。

$$[\text{数量1}][\text{計算記号}][\text{数量2}] = [\text{結果1}]$$

$$[\text{結果1}][\text{計算記号}][\text{数量3}] = [\text{結果2}]$$

なお、結果 1 のように三角ブロックの中間に存在する数量概念を、中間数量概念と呼ぶ。

本モデルは、数量概念とその関係を「言葉の式」と

して表しており、各々の数量概念は、文章題中の数量概念と対応している。このように、文章題中の数量概念を三角ブロックの形式で接続させることにより、統合過程が外在化されている。よって、学習者は自身の思考について可視化された形で振り返ることが可能になる。また、本モデルは「言葉の式」として表現されていることから、次の過程であるプラン化過程での立式活動にも、シームレスに移行することが可能になる。

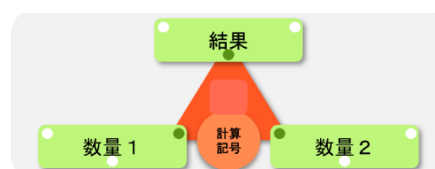


図 1：単一三角ブロックの定義

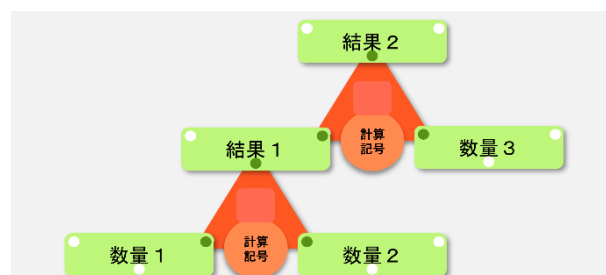


図 2：複合三角ブロックの定義

3. 情報不備課題の定義と問題の分類

3.1 情報完備問題と不備化・完備化

情報不備課題のうち、数量概念の数を増大させる不備化を行った問題を情報過剰問題、数量概念の数を欠落させる不備化を行った問題を情報不足問題と呼ぶ。

学習者が情報不備課題を解く際は、不備となっている点を修正して情報完備問題を作問し、解くことになる。この修正活動を完備化活動と呼ぶことにする。情報過剰問題であれば情報の取捨選択が、情報不足問題であれば情報の補完が、それぞれ完備化活動にあたる。また、情報過剰問題の場合はどの情報を過剰と判定するか、情報不足問題の場合はどの情報を補完するかによって、異なる解法を用いる問題となる場合がある。

3.2 情報完備問題の分類

本研究における情報完備問題の分類を、図 3 に示す。

まず、情報完備問題は、その問題における解が、1 回の演算で求められるのか、2 回以上の演算で求められるのかで分けられる。1 回の演算で求められる問題は

単一三角ブロックの形式が、2 回以上の演算で求められる問題は複合三角の形式が、それぞれ問題表象を表す図式表現となる。

次に 3 段目では、中間数量概念の形式について分類している。ここで、「空白化」とは、中間数量概念が文章の形で提供されないものを指す。算数文章題において中間数量概念は、文章中で言及された 2 つの数量概念から推論的に導かれる新しい数量概念である。よってその量は何であるかを思考させる活動が必要であるため、本分類項目を設定している。なお、図中(※1)の点は、単一演算では中間数量概念が存在しないため、分類項目を設定していない。

4 段目は、数量概念がノードの形式で予めシステムから与えられるかどうかで分類される。「ノードは与えられない」の項目の問題では、ノードはシステムから与えられない。その問題を解くとき学習者は、問題文章中の数量概念から、必要な概念を抽出して入力することにより、ノードを作成する必要がある。この活動のことを、分節化と呼称する。

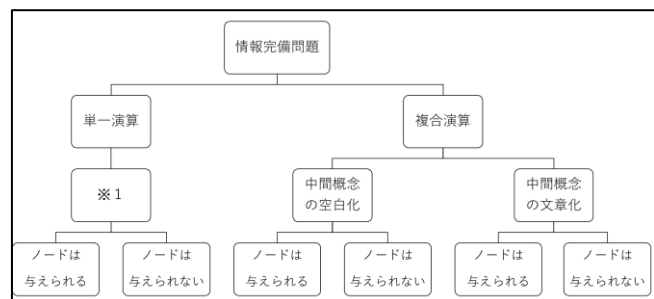


図 3：情報完備問題の分類

3.3 情報不備課題の分類

3.2 節に示した情報完備問題と同様、情報不備課題においても、単一演算で解ける問題と、複合演算で解ける問題に分類できる。複合演算で解ける情報不備課題の分類は、図 4 に示す単一演算の情報不備課題の分類と、図 3 に示す情報完備問題の分類を合わせたものになる。よって、本節では単一演算で解ける情報不備課題の分類のみを示す。

図 4 の 2 段目の分類は、その問題における情報不備の対象である。「所与ノード不備」とは、問題文章が完備問題であるもののシステムからの所与ノードに過剰・不足がある問題を指す。「問題情報の不備」とは、問題文章そのものが過剰問題・不足問題であるものを

指す。後者は純粋な情報不備課題であるが、前者においては、問題文章と所与ノードが部分的に対応していない問題となっている。前者は、純粋な情報不備課題の前段階として、注意深く問題文章と所与ノードを観察させる演習として設定している。

3 段目の分類は、「完備化過程で複数解法が存在するか」である。情報過剰問題であれば、どの数量概念を選ぶか、情報不足問題であれば、どの数量概念を補完するかで、組立可能な三角ブロック構造が異なる問題と同一になる問題を分類している。「複数の問題がある」問題の例として、情報不足問題を図 5 に示す。図 5 中央部に示すノードがシステムから与えられた場合、学習者が「ボートの川を上る速さ」を補完することで図上部の構造が組み立てられるが、「ボートの川を下る速さ」を補完すると図下部の構造のようになり、別の構造が完成する。

なお、4 段目の分類は、3.2 節で述べたものと同義である。

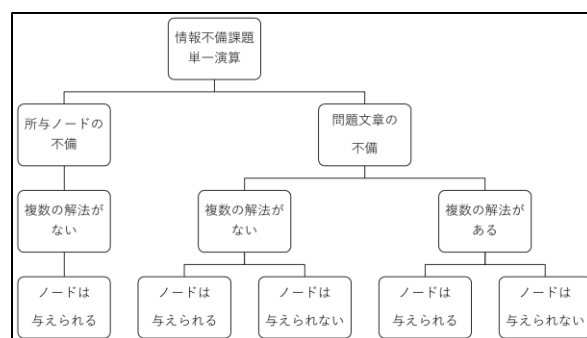


図 4：単一演算における情報不備課題の定義

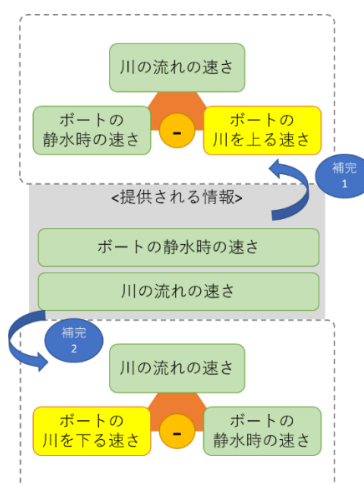


図 5：解法が異なる問題とその解法

4. 算数三角ブロック-web

本研究では、3 章で分類した問題を取り扱う学習支

援システムとして、「算数三角ブロック-web」を開発した。本システムは、学習者の持つ OS の形態を問わないよう、Web アプリケーションとして開発している。

本システムの演習の流れは、(a)三角ブロック構造組立フェーズ、(b)作問・組立結果見直しフェーズ、(c)計算入力フェーズの、3つのフェーズで構成される。

(a)の三角ブロック構造組立フェーズの画面イメージを、図 6 に示す。本フェーズにおいて、学習者は三角ブロック構造の組み立てを行う。なお 3 章で述べた、分節化が必要な問題や、取捨選択・補完が必要な問題については、このフェーズで入力による分節化・補完と、取捨選択活動を行う。なお、このフェーズでは、学習者が組み立てた三角ブロック構造に対してシステムによる自動診断とフィードバックを可能としている。

ここで、情報不足問題における補完には、キーワード検索結果選択法を適用している。学習者はまず図 6 の組み立て画面で補完したい情報を確認したのち、図 7 の入力画面で、その情報についてのキーワードを入力する。システムはそのキーワードを受理し、そのキーワードを含む数量概念をリストとして提示する。このときシステムは、問題ごとに提示する情報をリストとして保持しており、そのリストから、入力された文字列を含むものが抽出されて画面に提示される。その提示されたリストの中から、学習者が必要な数量概念を選択したのち、数量がシステムから自動的に追加されたものがノードとしてマップに出現する。

ここで、システムに保持されている、提示する数量概念のリストは、そのリスト中の全ての量が問題文章中の言葉を含んでいる。また、補完可能なノードに関しても問題ごとに保持していることから、補完できない量に関してはシステムによるフィードバックが可能である。そのため、学習者との対話的な補完が可能であることから、この手法は妥当であると考えている。加えて、補完画面では、学習者が入力するまでは選択できるリストが提示されない。そのため、学習者に対し、能動的に所与情報を吟味して補完する活動を演習化できていると考えている。

(a)の正解判定後、(b)の作問・組立結果見直しフェーズを設定している。情報不備課題では、完備化活動を行うことにより、情報不備課題から情報完備問題を作問することになる。よって、その結果を本フェーズで

示すことにより、学習者のリフレクションを支援できると考える。

また、(c)の計算入力フェーズでは、学習者に対して未知数ノードに数値を入力させる。この画面を図 8 に示す。ここで、このフェーズで表示される三角ブロック構造については(a)で組み立てた構造である。なお、未知数については、問題文章中に示された求めるべき数量概念だけでなく、複合三角ブロックにおける中間数量概念も計算入力の対象としている。加えて、このフェーズでも、学習者から入力された結果について、システムからの診断とフィードバックが可能である。

以上のように、フェーズ(a)と(b)では、頭の中で行われる統合過程を外在化させることによって、統合過程の操作対象化とリフレクションを可能にした。また、フェーズ(c)では、構造化した問題について計算させる。よって、統合過程からプラン化過程へのシームレスな移行を可能にしている。

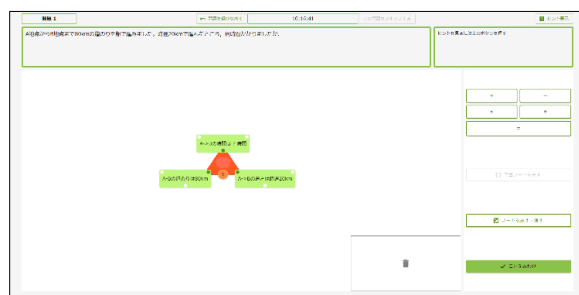


図 6：三角ブロック構造組立フェーズの画面



図 7：補完におけるキーワード検索画面



図 8：計算入力画面

5. 本システムの評価

本システムの予備的評価として、(1)小学校教員による利用実験、(2)教職大学院生(5名の現職教員を含む)による利用実験を行ったので、その結果を報告する。

5.1 小学校教員を対象とした利用実験

公立小学校の教員 11 名に対し、システムを使用してもらい、アンケート調査を行った。なお、本システムについては、単文統合型作問学習支援システムであるモンサクン⁽¹²⁾、モンサクン・三角ブロック接続教材と関連していることから、まず 10 分で全体像を消化した後、(1)モンサクンの利用(和差・乗除)、(2)本システムの情報完備問題、(3)モンサクン・三角ブロック接続教材、(4)本システムの情報不備課題、(5)アンケートの順に利用していただいた。それぞれにおいて、システムの使い方を説明し(約 5 分)、その後自由に利用していただいた(約 15 分)。自由利用においては、筆者らへの質疑や、教員同士の意見交換が活発に行われていた。その後、アンケートへの紙面での回答をお願いした。アンケートの項目を表 1 に示す。本アンケート項目は、上記システム(1)~(4)のシステムごとに設定しており、それぞれに回答していただいている。

表 1：小学校教員向け実験アンケート項目

(1)	算数に役立つ課題であったと思いますか？
(2)	どの学年に利用できそうですか？
(3)	アプリが無くても同様な授業を実施できそうですか？
(4)	アプリを使った授業をしてみたいですか？
(5)	将来的に利用できる可能性があると思いますか？
(6)	改善すべき点、感想などをお書きください。

アンケート調査結果を、図 9 から図 13 に示す。図 9 と図 13 から、本システムが算数の教材として受け入れられていることが確認できた。ただし、図 12 については半数程度の肯定意見しか得られなかった。この原因として、組立フェーズにおいて、組立とノードの分節化・取捨選択・補完が別画面で構成されており、認知負荷が高いことが原因として考えられた。よって実験後、組立フェーズを扱う画面を 1 画面に集約するようシステムを改善しており、次節の利用実験では改

善後のシステムが用いられている。

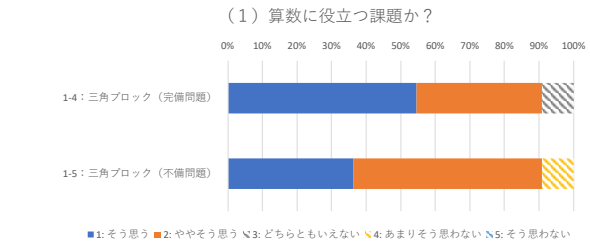


図 9：設問（１）の結果

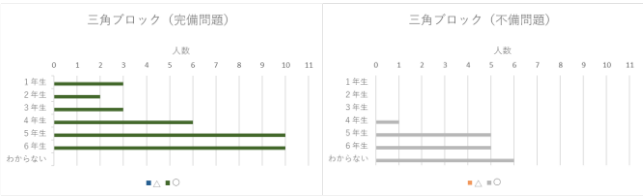


図 10：設問（２）の結果

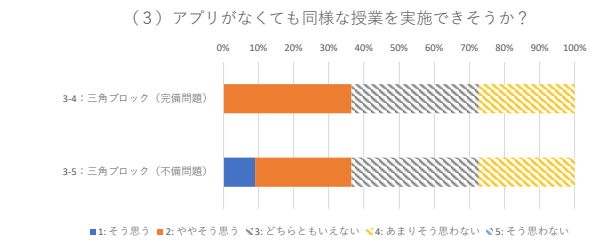


図 11：設問（３）の結果

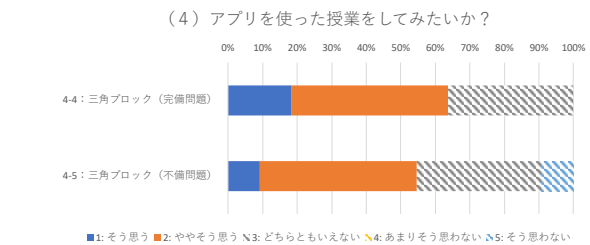


図 12：設問（４）の結果

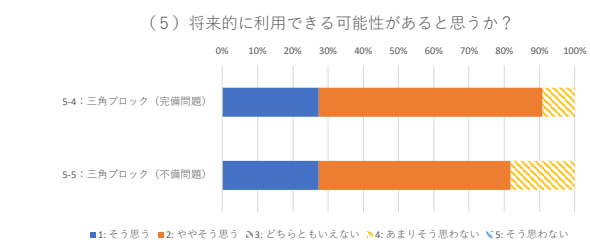


図 13：設問（５）の結果

5.2 教職大学院生を対象とした利用実験

本節では、前節の指摘を踏まえて改善したシステムについて、教職大学院生 13 名(全員教員免許保持、うち 5 名が現職教員)に対し、システムを使ってもらい、アンケート調査を行った。今回の調査では、5.1 節同様、本システムと関連しているモンサクン・三角プロ

ック接続教材、および、三数量関係づけアプリと同時に実験を行った。アンケート調査では、5.1 節の項目に加えて、教授者向けの教材分析に利用可能であるか、児童の取り組みを評価するツールとして有用かなどの項目を追加している。また、表 1 項目（2）については、「中学生以上」の項目も追加している。実験は3 日間に分けて行い、それぞれの日程で、各システムについて(1)利用説明、(2)システム利用、(3)アンケート回答を、30 分ずつ行った。本システムについては、(1)の利用説明の時間に情報不備課題について説明を行い、その後(2)の利用時間に表 2 の問題を解いてもらった。

データに不備のあった項目を除くアンケート調査の結果について、5 件法で調査した項目を図 14 に示す。このうち、現職教員 5 名を抜き出したグラフを、図 15 に示す。また、どの学年に利用可能であるかについて全員を対象に集計したグラフを、図 16 に示す。

表 2：教職大学院生向け利用実験の問題

問題種類	複数解法
完備／複合／中間ノードが文章	無
不足／複合／中間ノードが文章	無
不足／単一	有
不足／複合／中間ノードが文章	有

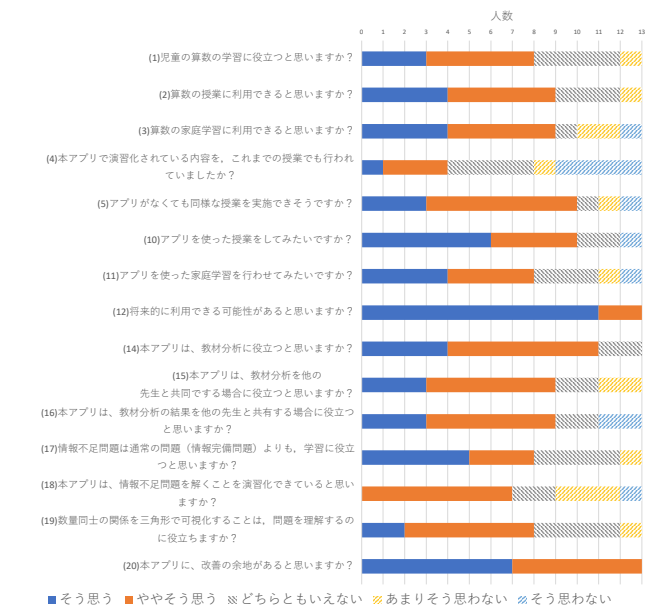


図 14：教職大学院生向け予備的実験の結果(1)

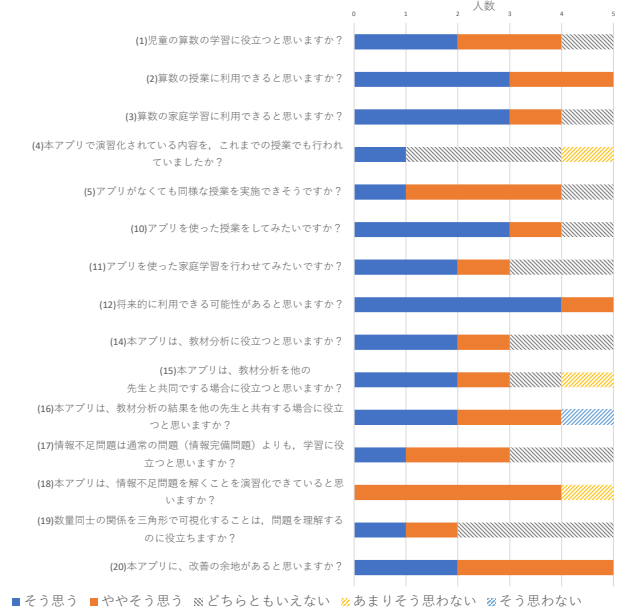


図 15：現職教員のみの方の予備的実験の結果

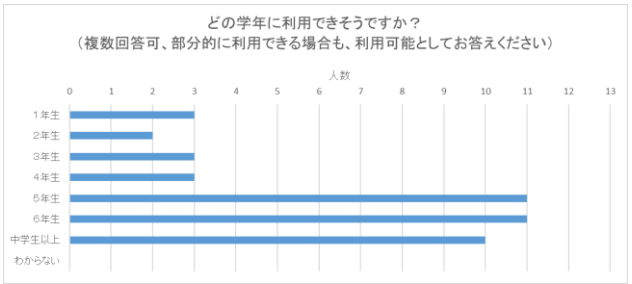


図 16：教職大学院生向け予備的実験の結果(2)

項目 1 の児童の算数の学習に役立つこと、項目 2 の算数の授業に利用することについては、半数以上の肯定意見が得られ、否定意見は 1 名であった。かつ、図 15 より、両方の項目で現職教員からの否定意見はなかった。項目 19 の三角ブロックを用いた可視化についても、半数程度の肯定意見が得られた。これらのことにより、本システムの問題を児童に取り組みさせることに関して多くの教員が肯定的であることが示された。三角ブロックの可視化については、さらにシステムのユーザビリティを改善することによって、より多くの教員に受け入れられると考えている。

また、項目 3 の算数の家庭学習に利用できそうか、ということについても、全体での調査では否定意見があるものの、現職教員からの否定意見はなかった。本システムは 4 章でも述べた通り、学習者の使用端末を問わない Web アプリケーションとして開発している。このことから、システムをさらに改善することにより、授業・家庭学習問わず利用できる可能性が示唆された。

項目 4 については、実験前は否定を予想していたが、

半数以上の8名が否定していなかった。情報不備課題の重要性は先述したように多くの文献で述べられているが、具体的な実践報告はほとんど見当たらず、本システムのように同一の情報不備課題について異なる完備化を考えさせる活動を診断・フィードバックを用いて実現している例は存在しない。従って、項目4の結果については、被験者がこのような情報不備課題の重要性を認識しており、一部を取り入れた授業を行っているとは推定される。

項目5についても肯定の意見が見られるが、これについても、本システムの内容を、黒板を用いた通常の授業形態でも実施可能であると判断されたものと思われる。関連するモンサクンや三角ブロックについての先行研究でも、モデルに基づいて、教員による黒板を用いての作問の仕組みの指導や、三角ブロックの組み立ての指導が行われ、その後システムを用いて学習者個々が演習する形をとっていた。よって、本システムの評価において、システムなしでの授業実施の可能性と、演習を含めた場合のシステムの必要性は対立するものではないと判断できる。特に、演習を含めた場合、本システムを利用することで学習者個々への診断・フィードバックが可能であることから、本システムの有用性は向上すると考える。また、本システムを改善し、解決途中のログを収集しリアルタイムに教授者に提示することができれば、本システムの有用性は向上すると考える。この点については、今後の課題である。

加えて、項目14の本システムを教材分析に有用かについても、11名の肯定意見が得られ、否定意見は見られなかった。本実験では、システム利用中にしばしば問題内容について意見交換する光景が見られていたことから、本システムが教材分析のツールとして有用である可能性が裏付けられると考える。

しかし、項目18の情報不足問題を演習化できているかについては、肯定意見が7名と半数をやや上回る程度であり、否定も4名いた。これについては、情報不備課題の重要性は指摘があるものの、どのような活動をすれば情報不備課題を取り扱ったことになるかは研究レベルでも定式化されたものがなく、本研究がその活動を具体化した最初の例になっていることから、何をもって演習化と呼ぶかに関しての合意がなかったことが1つの要因であると考えている。また、項目20

の本システムに改良の余地があるかについても13名全員が肯定しているように、システムの完成度が必ずしも高くなかったことが影響していると考えている。本研究が情報不備課題における完備化活動の具体的な定式化を行い、診断・フィードバック機能を実現したうえで、教員による利用を可能にした最初の例であることを考えれば、半数が演習化として肯定的な判断をしたことは十分な成果であると判断している。

上記のアンケート結果は、項目4, 5, 18にあるように、全面的に本システムの必要性を肯定するものとはならなかったが、それぞれ本システムの価値を損ねるものではないとの解釈が可能である。他の項目は、多くの教員らが本システムを利用価値のあるものとして受け入れていることを示している。このことから、本システムをさらに改良し、児童に向けた実践利用に進む上での十分な評価結果を得られたことが本研究の成果であると判断している。

また、アンケートの最後の自由記述では、平均224文字の記入が見られた。必須項目とは指定していなかったにもかかわらず、多くの記入が見られたことはアンケートで示された本システムへの興味を裏付けるものと判断している。内容としては、具体的なシステムの改良点や、適用学年・適用学習者についての指摘が多かった。例えば、不正解だった場合の学習者に対してのフォローや、用意されているノードについて、図などを用いて視覚的に表現する機能などを追加する要望があった。特に前者については、図16に示すように多くの教員が小学校高学年以上で使えると判断してはいるものの、学力の低い児童には難しいとの指摘もあった。特にそのような学習者に対しては、継続的な学習を支援するために、誤りの回数に応じて段階的にフィードバックを用意するなどの対応が必要であると考えている。

6. 結言

本研究では、統合過程におけるさらなる支援のために、情報不備課題について詳細に定義し、分類したのち、三角ブロックを用いて演習化を行った。情報不備課題では、過剰な情報の判断や、情報の不足の発見・補完が必要となり、特に、不足情報の補完において、

複数の補完情報候補が存在し、どれを補完するかによって解き方が異なってくる場合があり、問題の意味的吟味が促進されることが期待できる。

情報不備課題を演習化したシステムを、小学校教員、および教職大学院生の計 24 名に利用してもらい、システムの有用性を評価した。多くの利用者が算数の課題として受け入れていることが確認され、また、教員同士の教材研究として利用できる可能性があること、また将来的にはあるが、授業等で利用できる可能性があることも確認された。

今後の課題としては、教員らによる利用を通して指摘された、学習に関係のない負荷を軽減するシステム改良があげられる。本演習が情報不備課題の解決課題となっていることはある程度の合意を得られたが、演習において学習者に考えさせたいこと以外で生じる負荷についての指摘もいくつかあった。たとえば、本システムで用いているキーワード検索結果選択法では、「全て」と「全部」など、類義語を検知できず、そのために入力による自由度が高くないために、学習者がシステムに合わせる必要があった。また、本演習活動のログを収集し、分析対象としたり、リアルタイムのモニタリングを実現したりすることが、本演習を実践可能にするために必要と考えている。たとえば、情報過剰問題の問題解決過程において、学習者の能力と情報の取捨選択活動の順序に関連があることが報告されており⁽¹³⁾、本システムでそれを踏まえた支援、および、検証・分析を行うことも今後の課題となっている。

参 考 文 献

- (1) 多鹿秀継: “算数問題解決過程の分析”, 愛知大学研究報告, 44(教育科学編), pp. 157-167 (1995)
- (2) 坂本美紀: “算数文章題の解決過程における誤りの研究”, 発達心理学研究, 第 4 巻, 第 2 号, pp. 117-125 (1993)
- (3) 植坂友理, 鈴木雅之, 清河幸子, 瀬尾美紀子, 市川伸一: “構成要素型テスト COMPASS に見る数学的基礎学力の実態—「基礎基本は良好, 活用に課題」は本当か—”, 日本教育工学会論文誌, 37(4), pp.397-417 (2014)
- (4) 山元翔, 尾土井健太郎, 前田一誠, 林雄介, 平嶋宗: “算数文章題における統合過程のモデル化と外化支援システムの実践利用”, 人工知能学会全国大会論文集第 27 回 3D34in-3D34in (2013)
- (5) Hirashima, T., Furukubo, K., Yamamoto, et al. : "Practical use of triangle block model for bridging between problem and solution in arithmetic word problems," Proc. of International Conference on Computers in Education (ICCE2016), pp. 36-45 (2016)
- (6) Hirashima, T., Hayashi, Y., Yamamoto, S. et al. : "Bridging model between problem and solution representations in arithmetic/mathematics word problems," Proc. of International Conference on Computers in Education (ICCE2015), pp. 9-18 (2015)
- (7) 文部科学省: “小学校学習指導要領解説 (平成 29 年告示) 解説 算数編”,
https://www.mext.go.jp/content/20211102-mxt_kyoiku02-100002607_04.pdf (2023 年 2 月 8 日確認)
- (8) 岡田猛: “児童の算数の課題解決に及ぼす過剰情報の効果”, 日本教育心理学会第 27 回総会発表論文集, pp. 380-381 (1985)
- (9) 竹綱誠一郎, 齋藤寿実子, 吉田美登利, 佐藤朗子, 瀧沢絵里, 小方涼子: “児童の作文学力と算数文章題学力との関係”, 人文, 10, pp. 85-92 (2012)
- (10) 中道孝之, 平嶋宗: “力学の情報不備問題を対象とした演習支援システム”, 教育システム情報学会誌, vol. 27, No. 2, pp. 155-163 (2010)
- (11) T. Hirashima, S. Yamamoto and Y. Hayashi: “Triplet structure model of arithmetical word problems for learning by problem-posing”, Proc. of HCI2014, pp. 42-50 (2014)
- (12) 山元翔, 神戸健寛, 吉田祐太, 前田一誠, 平嶋宗: “教室授業との融合を目的とした単文統合型作問学習支援システムモンサクン Touch の開発と実践利用”, 電子情報通信学会論文誌, vol. J96-D, No. 10, pp. 2440-2451 (2013)
- (13) 岡本真彦: “発達の要因としての知能及びメタ認知的知識が算数文章題の解決に及ぼす影響”, 発達心理学研究, 第 2 巻, 第 2 号, pp. 78-87 (1991)

プログラミング初学者に向けた数理データサイエンス AI 教育

プログラム選択学修項目の実践

二瓶 裕之^{*1}, 西牧 可織^{*1}

^{*1} 北海道医療大学

Practice of option skill sets in MDASH for programming beginners

Hiroyuki Nihei^{*1}, Kaori Nishimaki^{*1}

^{*1} Health Sciences University of Hokkaido

数理データサイエンス AI 教育プログラムリテラシーレベルにおいて選択の学修項目となった「プログラミング基礎、教師あり学習、自然言語処理」などを、プログラミング初学者に対して実施するための工夫について、本学の授業デザインや実践結果の観点から明らかにする。本学は医療系大学であり、初めてプログラミングを学ぶ学生が多いことから、手を動かしながらデータ分析などを体験できるような授業を設計したり、プログラミングを学ぶことの目的や意義をどのように学生へ伝えるのかなども検討を重ねたりしており、本実践は将来的にプログラミングなどの補正教育にもつながると考える。

キーワード: 数理データサイエンス AI 教育プログラム, プログラミング基礎, 医療系大学

1. はじめに

数理データサイエンス AI 教育プログラム（以下、MDASH）リテラシーレベルには、コア学修項目である「導入、基礎、心得」に加えて、「選択」の学修項目が組み込まれている。「選択」については、学生の学修歴や習熟度合いなどに応じて設定するものとされており、「プログラミング基礎、教師あり学習、自然言語処理」などのスキルセットが含まれる。

「選択」のスキルセットで基盤となるプログラミングは、令和4年度新高等学校学習指導要領における「情報Ⅰ・Ⅱ」にも組み込まれたが、「情報Ⅰ・Ⅱ」を履修した学生が大学等へ入学するのは令和7年以降である。現状では、大学入学時点でプログラミングの経験を有する学生は1割から2割程度とされている（1, 2, 3）。そのため、MDASHにおいて「選択」の学修項目を実施するためには、プログラミング初学者に向けた授業設計に加えて、プログラミングなどを導入する目的や意義も学生へ伝える必要があると考える。

このような背景の中、大学におけるプログラミング

教育の実践例は、MDASHにおける実施も含めて、かねてより、理工学系や人文社会学系の学部を中心に報告されている。例えば、プログラミングの初学者向けとしたオンライン授業(1)や授業支援環境の構築(4)、コード補完機能などの効果的な学修方法(5, 6)などが検討されている。また、MDASHの学修項目としての実践も広がり始めており、機械学習・深層学習の修得や問題解決能力の育成を目指したプログラミング教育なども報告されている(7, 8)。

一方、医療系の多くの学部においては、MDASHの実施はまだ過渡期にあるが、北海道医療大学（以下、本学）では令和2年度よりMDASHリテラシーレベルにあたる教育プログラムの実践を始めた。本学が有する学部はすべて医療系であるが、リテラシーレベルの「導入、基礎、心得」については、全学部の必須科目となっている「情報処理演習」等において実施している。さらに、一部の学部で開講している「情報科学」では、「選択」の学修項目も実施し始めた。

本論文においては、MDASHリテラシーレベルの「選

択」の学修項目となった「プログラミング基礎、教師あり学習、自然言語処理」などのスキルセットを実施するための工夫について、「情報科学」の授業デザインや実践結果の観点から明らかにする。本学は、医療系大学であり、「情報科学」において初めてプログラミングを学ぶ学生も多いことから、手を動かしながらデータ分析などを体験できるような授業を設計したり、プログラミングを学ぶことの目的や意義をどのように学生へ伝えるのかなども含めて検討を重ねたりしており、本実践は将来的なプログラミングの補正教育にもつながると考える。

2. 授業でサインの概要

MDASH の「選択」の学修項目を実施している「情報科学」を開講しているのは看護福祉学部と医療技術学部であり、前者では1年後期の選択科目、後者では1年後期の必須科目となっている。授業はすべて対面形式で実施し、履修者数は、ともに70名程度である。また、「情報科学」の履修条件として、「情報処理演習」等において MDASH リテラシーレベルのコア学修項目である「導入、基礎、心得」を修得していることを定め、スプレッドシートアプリケーションの分析ツール（フィルタやピボットテーブル等）を使うスキルも修得していることを前提としている。

「情報科学」の一般目標は、将来従事する医療職の現場において数理データサイエンス AI を使いこなせる知識やスキルを学ぶこととしている。行動目標としては、医療の現場から取得するデータを活用するうえでの個人情報の扱いができること、分析ツールを使いながら時系列分析や回帰分析ができることを挙げている。また、分析ツールをブラックボックスとせずに医療の現場で目的に沿って正しく使うことを目的として、アルゴリズムやプログラミングの基礎や考え方を身に着けることで、データ分析の計算手順や仕組みを理解することを挙げている。そのうえで、画像診断などでも活用されている機械学習や、診療記録の音声入力などでも活用されている自然言語処理などの数理データサイエンス AI について説明できることとしている。

「情報科学」で扱う授業内容のテーマは表1にまとめた。5つのテーマを、各々、3回の授業で実施して

いる。序盤の2つのテーマは、MDASH リテラシーレベルの「基礎、心得」に該当するテーマであるが、「情報処理演習」で学んだ内容をさらに深めた内容としている。中盤以降の3つのテーマが「選択」に組み込まれているスキルセットに該当するテーマである。

また、本学では、学生全員がパソコン必携となっており、事前学修についても、テキストや資料を事前に読んでおくことをシラバスに記載している。

表 1 「情報科学」で扱う授業内容のテーマ

授業回	テーマ
1～3	個人情報、匿名化処理、情報セキュリティ
4～6	データ処理、データ集計、データ分析
7～9	プログラミング基礎
10～12	教師あり学習（機械学習）
13～15	自然言語処理

3. 授業デザインの工夫

授業デザインの工夫として、まず、初回授業のガイダンスにおいて、「情報科学」の学修内容の一部（時系列分析や回帰分析などのデータ分析、プログラミング基礎など）が、令和4年度新高等学校学習指導要領における「情報Ⅰ」の学修内容となっていることを伝えている。自身が医療人になった数年後には、新しく現場に加わる医療人の全てが、これらの学修内容を学んでくると実感できるようにしている。

また、各テーマ実施回の冒頭では、扱うテーマが、DX 化が進む医療分野において必須の知識や技能となるなど、自身が目指す医療人の観点から各テーマを学ぶ目的や意義を伝えるようにしている。さらに、毎時間、自身の必携パソコンにより演習課題を解かせるなど、手を動かしながらデータ分析やプログラミングなどを体験できるような工夫をしている。

例えば、「個人情報、匿名化処理、情報セキュリティ」を学ぶ意義としては、「医療の分野でも広く用いられている調査・研究において、個人情報を扱ったり匿名化処理を施したりするスキルが欠かせないこと」を伝えている。演習課題では、アンケート結果に対して k-匿名化を施すことで、個人情報の具体的な取扱いを修得

できるようにしている。また、スプレッドシートのフィルターやピボットテーブルを使いながら解くように演習課題を設定することで、「情報処理演習」等で学んだ分析ツールの操作を復習できるように工夫している。

「データ処理、データ集計、データ分析」を学ぶ意義としては、「医療に関わるデータの分析において、時間的な変化に対する時系列分析や目的変数と独立変数に対する回帰分析の手法が欠かせないこと」を伝えている。演習課題では、新型コロナウイルス感染者数に対する時系列分析や人口と医療施設数に対する回帰分析をするなど、医療の観点からのデータ分析のスキルを修得できるようにしている。ここで、時系列分析や回帰分析は「情報科学」で初めて扱う学修内容であることから、まずは、スプレッドシートの分析ツールを使いながら、時系列分析や回帰分析の数学的な概念を視覚的に学べるような工夫をしている。

「プログラミング基礎」を学ぶ意義としては、「データ分析ツールを目的に沿って正しく使えるようになるために、アルゴリズムやプログラミングの基礎や考え方を学ぶことで、データ分析における計算手順や仕組みを理解する」と伝えている。演習課題では、まず、スクラッチ(9)を使って繰り返しや条件などのフローチャートの概念を学び、Edublocks(10)を使ってPythonのライブラリやImportの概念を学んだうえで、Colabatory(11)を使ってPythonによるプログラミングの基礎を学べるようにしている。しかし、演習課題では、自身でアルゴリズムを作ってプログラミングする観点では、グラフを描くなどの簡単な課題にとどめ、むしろ、「データ処理、データ集計、データ分析」で扱ったのと同じ時系列分析と回帰分析をするPythonのソースコードを学生へ提示して、それを読み解くことを課題とするなど、データ分析の計算手順や仕組みを理解することを重視する工夫をしている。

「教師あり学習（機械学習）」を学ぶ意義としては、「画像診断や病気の早期発見など医療の分野においても機械学習やAIによる予測・判断の技術は欠かせない」と伝えている。演習課題では、画像認識モデルを作りながら機械学習の仕組みを学んだり、Scikit-Learnの回帰モデル（LinearRegression）による予測技術を学べるようにしている。ここでも、Pythonのソースコードはすべて学生へ提示し、学生は、ソースコ

ードに従って学習用データを適切に用意したり、適切なパラメータ値を設定したりする演習を行うようにしている。また、予測技術で扱う回帰分析については、「データ処理、データ集計、データ分析」で視覚的な概念を学び、それに続く「プログラミング基礎」で計算手順や仕組みを学んでおり、「情報科学」の一連のテーマの中で段階的に学びを深められる工夫をしている。

最後に、「自然言語処理」を学ぶ意義としては、「医療分野においても、診療記録の音声入力や電子カルテの解析など自然言語処理技術には様々な応用例がある」と伝えている。演習課題では、文章を単語に分ち書きして解析する形態素解析や単語の関係性を解析するn-gramなどのテキストマイニング技術を学んだうえで、マルコフ連鎖などの文書生成技術により、どのように文章が作られていくのかを体感できるようにしている。また、ニューラルネットワークモデルであるDoc2Vecを使って文書類似度なども推論する。テキストマイニングや文書類似度の算出は、他の授業科目においてレポートを学生にフィードバックする際にも利用しており(12)、普段の大学生活で身近に触れている自然言語技術の仕組みを学べるという観点からも興味を持てるような工夫をしている。

なお、本学DX推進計画、ならびに、MDASH推進の観点から、演習課題の一部については本学DX推進計画サイト(13)に公開して、広く普及を図っている。

4. 効果の検証

MDASHの学修項目である「プログラミング基礎、教師あり学習、自然言語処理」などのスキルセットを、プログラミング初学者に対して実施するために行った「情報科学」の工夫について、実践結果の観点から検証する。

検証にあたって、対象とするのはX学部における「情報科学」の履修者70名程度とするが、まず、履修者像を明らかにするために、大学入学前におけるプログラミング学習の経験についてアンケートを実施した(n=68)。その結果、大学入学前に高等学校においてプログラミング学習をした経験のある学生は13名であり、従前の調査結果(1, 2, 3)と同様に2割程度であった。一方、独学でプログラミングを経験していた

学生は1名のみであり、高等学校での学修を除くと大学入学前にプログラミングを経験したことのある学生が非常に少なかったが、これは、本学が医療系大学であることが要因の1つと考えられる。

次に、実践結果の検証として、図1に「情報科学」定期試験の結果を示した。定期試験では、表1のテーマごとに大問題として問1から問5を設定した。

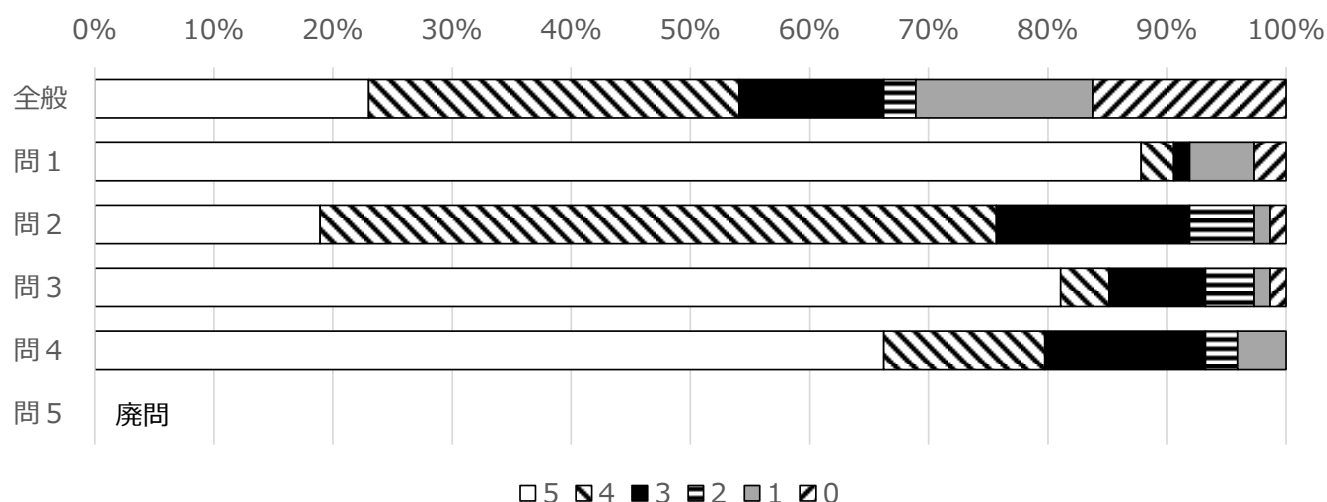


図1 「情報科学」の定期試験の結果

問1「個人情報、匿名化処理、情報セキュリティ」では、分析ツールを使いながら、同一属性のデータがk件以上となるように匿名化ができるかを問うた。

問2「データ処理、データ集計、データ分析」では、統計ダッシュボード(14)から2変数のデータをダウンロードしたうえで、分析ツールを使いながら、2変数間の相関係数と回帰直線を求める回帰分析ができるか、また、回帰分析の結果を正しく読み取れるのかを問うた。

問3「プログラミング基礎」では、プログラミング言語(Python)の書式に従って関数を適切に記述してグラフを描画できるか、適切なデータと時間間隔を指定して時系列データをトレンドとノイズに分離する時系列分析ができるかを問うた。

問4「教師あり学習(機械学習)」では、Scikit-Learnの回帰モデル(LinearRegression)を使った重回帰分析により算出された予測値を正しく読み取れるのかを問うた。

問5「自然言語処理」では、指定した小説のテキストデータを青空文庫(15)からダウンロードしたうえで、文章を単語に分ち書きして解析する形態素解析ができるかを問うた。

試験を実施するにあたっては、学生へ自身の必携パソコンを持ち込むように伝えて、各問の回答をまとめ

たドキュメントファイルを解答用紙として Google フォームから送信するように指示した。また、問1と問2についてはスプレッドシートの分析ツールを、問3から問5については Google Colaboratory を使って解くことを伝えた。なお、Google Colaboratory がオンラインアプリケーションであったり、統計ダッシュボードや青空文庫などの外部サイトも利用したりすることから、インターネットへの接続にも制限を設けないことを伝えた。

そのため、問題全般について、知識を問う問題ではなく、適切な外部サイトから必要なデータを取得するなどしながら、データを正しく分析したり、データの分析結果を正しく読み取ったりするスキルの習熟度を測ることを意図して問題を設定した。

さらに、問3から問5については、問題文中に Python のソースコードを提示しており、プログラミング技術よりも、むしろ、プログラムの計算手順に沿ってデータを適切に用意したり、プログラムの計算結果を正しく読み取ったりできるのかを重視して評価をした。

図1には、さらに、「全般」とした項目もあるが、ここには、解答用紙を作成するにあたって問われる統合型オフィスツール(主に、文書作成)の利用スキルについて評価した結果を示した。

問5の結果には廃問と記載しているが、これは、試験時間の途中より、本学から青空文庫へのアクセスができなくなってしまったためである。問5で外部サイトを利用した意図は、外部サイトから学生自身がデータを取得したうえで、さらに、そのデータを分析させることで、実践的なスキルを測ることができるとの考えであったが、一方で、今回のような事象も発生する可能性もある。

また、図1には、全般、および、問1から問4について、各々、5点満点と換算したときの採点結果の分布を示した。採点の方法は、例えば、問2では、指定したデータが正しく使われているのか、回帰直線や相関係数が正しく求められているのかといった客観的な採点に加えて、グラフの読み取りが正しいのか、事実に基づいた考察ができているのかなどを評価した。

まず、オフィスツールの利用スキルを図った「全般」の項目については、問1から問4と比較すると、各点数に満遍なく学生が分布していることがわかる。

問1については、9割近くの学生が5点となっており、分析ツールを正しく使いながらk匿名化ができていた。問3についても、8割以上の学生が、関数を正しく指定してグラフを描いたり、指定されたデータと時間間隔で時系列分析ができていたりした。

一方、問2と問4については、5点の比率が下がっている。これは、両問については、データを分析したり、分析の結果を読み取ったりすることに加えて、分析の結果についての考察も求めていることに依る。

問4では、適切なデータを使って重回帰分析ができた学生（3点に相当）は9割、結果のグラフを正しく読み取れた学生（4点に相当）は8割近くまでいたが、重回帰分析の予測結果が正しい、もしくは、正しくないと判断される要因を考察できた学生（5点に相当）は6割5分程度であった。

最も得点率が低かった問5については、問題を詳細に分析する。問4では、統計ダッシュボードから1975年と2012年の両年について、都道府県別の「15～64歳の人口」と「病院数」をダウンロードして（ここまでで、1点相当）、各々、散布図を描かせた（2点相当）。次に、相関係数と回帰直線を求めさせて（3点相当）、1975年と2012年度のばらつきの具合、つまり、2012年のばらつきが大きいことを読みとらせた

（4点相当）。最後に、2012年度、つまり、以前と比較して近年では、「15～64歳の人口」と「病院数」のばらつきが大きくなってきていることの社会的な要因を自分なりに考察することを求めた（5点相当）。図1の結果から、相関係数と回帰直線を求めたり、その結果を読み取ったりするところ（4点に相当）までは、7割5分程度の学生ができていた。

これからの結果から、MDASHの学修項目である「プログラミング基礎、教師あり学習、自然言語処理」などのスキルセットを「情報科学」の中に取り入れたことで、正しくデータ分析したり、分析結果を正しく読み取ったりするスキルの習熟度については、一定の効果が見られたものと考ええる。

プログラミング技術については、グラフを描画するなどのスキルを検証したのにとどまっているが、行動目標とした「分析ツールをブラックボックスとせずに医療の現場で目的に沿って正しく使うことを目的として、アルゴリズムやプログラミングの基礎や考え方を身に着けることで、データ分析の計算手順や仕組みを理解する」ことの観点は、達成されたと考える。

特に、回帰分析については、「データ処理、データ集計、データ分析」で視覚的な概念を学び、「プログラミング基礎」で計算手順や仕組みを学び、さらに、「教師あり学習（機械学習）」では、予測技術の1つとしても学ぶなど、「情報科学」の一連のテーマの中で手を動かしながら、段階的に学びを深められる工夫をした効果が表れていると考える。

最後に、「自然言語処理」については、問5「自然言語処理」が廃問となったことから、15回目授業の振り返りコメントを検証する。振り返りコメントは、授業の毎時間取得しており、授業で学んだことや感想を学生に自由に記載してもらっている。

15回目授業では、第3章の「授業デザインの工夫」で述べたように、ニューラルネットワークモデルであるDos2Vecを構築し、文章類似度などを推論した。具体的には、まず、250万文字からなるテキストデータをインターネットからダウンロードして、エポック数などを指定しながらDoc2Vecにより推論モデルを構築させた。次に、推論モデルを利用して、単語や文章をベクトル化させたり、ベクトル化した単語をヒートマップにより可視化させたりした。さらに、ベクトル

の類似性から類似語を抽出したり、対義文章(16)を生成したりする演習課題に取り組むようにさせた。

図2に、振り返りコメントの結果をまとめた(n=68)。振り返りコメントには、「わかった」、「すごい・楽しい」、「難しい」のいずれか、もしくは、複数があったことから、振り返りコメントの概要として、3つのコメントを記載した学生数(複数あり)を示した。「わかった」とした学生は66名であり、その中に「すごい・楽しい」と記載した学生が含まれる。残りの2名は「難しい」と記載した。

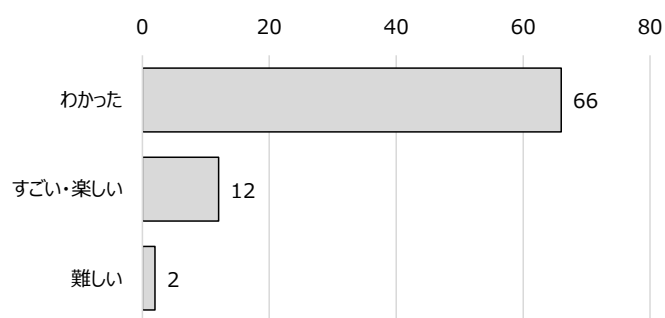


図2 振り返りコメントの結果

5. むすび

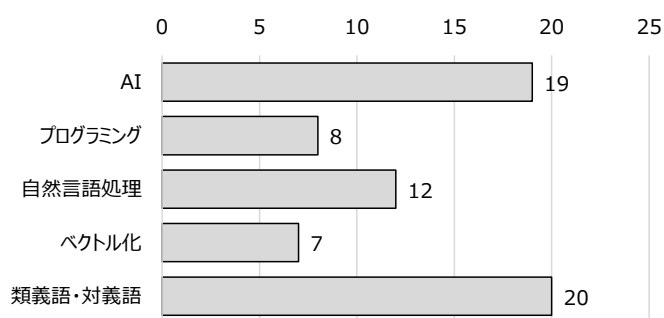
MDASHにおいて選択の学修項目となった「プログラミング基礎、教師あり学習、自然言語処理」を本学において実施するための工夫について、授業デザインや実践結果の観点から明らかにした。

本学は医療系大学であることから初めてプログラミングを学ぶ学生が多く、特に、独学でプログラミングを経験していた学生は非常に少なかった。多くの学生がプログラミング初学者である状況において、「プログラミング基礎、教師あり学習、自然言語処理」を実施する工夫として、まず、授業で扱うテーマが、DX化が進む医療分野において必須の知識や技能となるなど、自身が目指す医療人の観点から各テーマを学ぶ目的や意義を伝えた。そのうえで、毎回の授業では、自身の必携パソコンにより演習課題を解かせるなど、手を動かしながらデータ分析やプログラミングなどを体験できるようにした。

特に、プログラミングを学ぶ目的や意義としては、自身でアルゴリズムを作ってプログラミングをする技術よりも、プログラミングの基礎や考え方を身につけることで、データ分析の計算手順や仕組みを理解し、

図2には、「わかった」とした学生が、わかったとした項目(複数あり)を記載した。各項目は、AI、プログラミング、自然言語処理などといった授業概要を示すキーワード以外に加えて、ベクトル化や類似語・対義語など授業で扱った詳細なキーワードとも一致した。

15回目授業は、「情報処理演習」から「情報科学」へと至るMDASHの総まとめとして、MDASHの応用基礎レベルにもつながるような高度な学修内容であったが、自由記載コメントの概要からも概ね好評であり、わかったとされた項目も適切であったと考える。



医療の現場で目的に沿って正しいデータ分析ができることとした。

また、データ分析の手法である時系列分析や回帰分析などは、複数のテーマの間で段階的に学びを深められるようにした。例えば、回帰分析については、「データ処理、データ集計、データ分析」で視覚的な概念を学び、「プログラミング基礎」で計算手順や仕組みを学び、さらに、「教師あり学習(機械学習)」では、予測技術の1つとしても学べるようにした。

これらの工夫について、定期試験の結果から、その効果の検証をした。結果、データを正しく分析したり、分析の結果を正しく読み取ったりするスキルについては、一定の効果が見られるなど、全体的に概ね良好な結果であったと考える。一方で、社会的な要因も加味しながら、データ分析の結果について考察するなどのスキルについては、応用基礎レベル相当など、より高度な内容を扱う授業科目とも連携しながら、更なる実践が必要であると考えます。

定期試験以外の観点として、学生の振り返りコメントについても、MDASHの総まとめとなった15回授業を対象に検証した。結果、授業内容が、MDASHの

応用基礎レベルにもつながるものとなったが、コメントの結果は概ね好評であったと考える。

「情報科学」で扱った「時系列分析、回帰分析、プログラミング基礎」は、令和4年度新高等学校学習指導要領における「情報Ⅰ」の学修内容となっている。令和7年度以降は、MDASHの実施にあたり、これらの学修内容を高等学校で履修したことを前提として授業を設計することになるが、それと同時に、補正教育の必要性が高まることも予想される。本実践で対象となった学生の多くはプログラミング初学者であり、医療系大学における本実践は将来的にプログラミングなどの補正教育にもつながると考える。

今後の検討課題として、まず、定期試験については、難易度設定の適切さについて検証をしたい。今回の結果では、一部の問題について高得点域に多くの学生が分布したが、これは、難易度の設定が低いと考えることもできる。特に、プログラミング技術を問う問題については、プログラミング言語の書式を問う簡単な内容としたが、他の実践例も参考にしながら、問題設定の適切さなども検討していきたい。

また、自身が目指す医療人の観点から各テーマを学ぶ目的や意義を伝えたことによる効果についても、今回は直接的な検証はしていないので、今後の検討課題としたい。

最後に、現在、MDASHの応用基礎レベル相当の授業科目として、「医療データサイエンス入門Ⅰ・Ⅱ」も開講しており、今後は、リテラシーレベルの次のステップとなる応用基礎レベルの実践についても検証を続けていきたい。

謝辞

本研究はJSPS科研費JP 22H01051の助成を受けたものである。

参 考 文 献

- (1) 布施泉: “Code Commons: Sunaba を用いた大学の一般情報教育としてのプログラミング教育”, 教育システム情報学会誌, Vol.35, No.2, pp.227-232 (2018)
- (2) 布施泉: “初学者を主対象とする大学の一般プログラミング教育のオンライン授業による実施”, 高等教育ジャーナル: 高等教育と生涯学習, No.28, pp.65-72 (2021)

- (3) 深井裕二: “プログラミング教育に関する入学生の学習経験およびこれからの大学教育”, 北海道科学大学研究紀要, No.50, pp.1-5 (2022)
- (4) 布施泉, 中原敬広, 岡部成玄: “プログラムの相互利用と相互評価が可能な初学者用プログラミング授業支援環境の構築”, 教育システム情報学会誌, Vol.35, No.2, pp.221-226 (2018)
- (5) 三浦元喜: “初学者向け Processing プログラミング環境におけるコード補完機能の導入と効果”, 教育システム情報学会誌, Vol.37, No.2, pp.167-172 (2020)
- (6) 時田真美乃, 不破泰: “初学者向けプログラミング基礎教育における可聴化を用いた多重ループの効果的な学習方法”, 教育システム情報学会誌, Vol.38, No.1, pp.49-54 (2021)
- (7) 巳波弘佳: “AI を使いこなす教育プログラムの取組み〜AI 活用スキルを身に付けるには〜”, 大学教育と情報, No.3, pp.7-12 (2020)
- (8) 渡邊 紀文: “問題解決を重視したプログラミング教育とオンラインでの実践”, Musashino University Smart Intelligence Center 紀要, Vol.2, pp.60-67 (2021)
- (9) SCHRATCH, <https://scratch.mit.edu/> (2023年2月5日確認)
- (10) Edublocks, <https://edublocks.org/> (2023年2月5日確認)
- (11) Colaboratory, <https://colab.research.google.com/> (2023年2月5日確認)
- (12) 二瓶裕之, 浜上尚也, 木村治, 小田雅子: “面接受講と遠隔受講を組み合わせた早期体験学習ワークショップの実施と検証”, 薬学教育, Vol.5, pp.1-9 (2021)
- (13) 北海道医療大学 DX 推進計画サイト, <https://dx.hoku-iryo-u.ac.jp/> (2023年2月5日確認)
- (14) 統計ダッシュボード, <https://dashboard.e-stat.go.jp/> (2023年2月5日確認)
- (15) 青空文庫, <https://www.aozora.gr.jp/> (2023年2月5日確認)
- (16) youwht: “キテレツおもしろ自然言語処理”, 翔泳社 (2021)

線形代数における行列簡約化アルゴリズム学習支援システム の開発と学習履歴の分析

樋口三郎^{*1}

^{*1} 龍谷大学先端理工学部

Development and analysis of a learning support system for the row reduction algorithms in linear algebra

Saburo Higuchi^{*1}

^{*1} Faculty of Advanced Science and Technology, Ryukoku University

大学初年次で学ぶ線形代数において、アルゴリズムにしたがった行列の変形を筆算で行えることは、理論の理解の上でも、実用的にも有用と考えられている。しかし筆算では、成分の加減乗除や転記などの非本質的なミスにより、学習者による理解や教授者による採点を困難にすることがある。本システムは非本質的なミスを防いで学習を支援するとともに、最終的な変形すなわち「計算過程」を構成するに至る「思考過程」のデータを取得し、教授者に提示する。本システムの学習者向けユーザーインターフェースと教授者向け表示の改善、授業での実践を報告する。

キーワード：線形代数，学習支援システム，モバイルデバイス，学習履歴

1 はじめに

何かの答を，学習が自ら構成した根拠とともに示せる，という学習目標を考える。この学習の2つの困難に着目する。1つは，テストで評価するときの解答時間が，答のみよりも答と根拠のほうが長くなる傾向にあることである。もう1つは，答が1つに定まるときにも正しい根拠は複数ある得るため，教授者やコンピュータによる採点やフィードバックにリソースを多く要することである。

数学で例をあげると，このような学習目標は，量や式の最終的な答を求められることに加え，計算過程や証明を正しく記述できるというものである。それぞれのテストは短答式と過程記述式に対応する。

「計算過程」を構成する際に，学習者は一般に試行錯誤を行う。すなわち，部分的な計算過程や誤った計算過程の構成を経て正しい計算過程に到達することがある。この「根拠や計算過程を構成する過程」のことをここでは「思考過程」と呼ぶ。足場かけとして思考過程に基づいて途中で介入を行うことで，学習を支援できる可能性がある。また，思考過程を記録し事後に分析することで，より効果的な学習支援を行える可能性がある。

数学で言えば，「思考過程」は消しゴムと鉛筆を使って答案を下書きしたり書き直したりする作業として現れる。これは動画などで記録できるが，含まれる情報が多く，分析するのは難しい。

著者は共同研究者とともに，このような問題意識

から、線形代数による行列の基本変形という、数学の特定の計算過程記述問題の学習・教授を支援するシステムを開発してきた^(1,2)。本システムは、アルゴリズムにしたがった行列の基本変形について、学習者による計算過程の構成を容易にする。また、「思考過程」を記録し可視化する。本システムを授業で試用し学習履歴データを取得した⁽³⁾。

本論文では、本システムへの機能の追加と、その授業での試用と学習履歴データの分析を報告する。

2 線形代数の基本変形アルゴリズム

行列の基本変形とは、次の3種の基本操作の有限列である⁽⁴⁾。

R1:swap 第 i 行と第 j ($\neq i$) 行を交換する

R2:mul 行列の i 行の全成分を係数 c ($\neq 0$) 倍する

R3:add 第 i 行を係数 a 倍して第 j ($\neq i$) 行に加える

基本変形は行列の階数や簡約形を変えないことから、与えられた行列に応じて基本操作を部品として並べて基本変形を構成し、与えられた行列を望ましい形に変形するアルゴリズムが多く知られている。ここでは、基本操作の列である基本変形が「計算過程」にあたる。このようなアルゴリズムの理解は、データサイエンスや広く理工学において重要である。

そのようなアルゴリズムとしてよく知られたものに掃き出し法（ガウスの消去法）がある。任意の行列を簡約形という標準形に変形するもので、連立1次方程式の求解や行列式の計算などに用いられる。

このアルゴリズムを自動で行うツールは多く存在するが、九九の暗記が有用であるのと同様に、アルゴリズムを筆算で実行できることは計算にも理論の理解にも有用と考えている数学の専門家は多い。

本システムでは、学習目標を、アルゴリズムに従って基本操作の列（計算過程）を構成し、最終的な行列を得られること、としている。

3 システムの概要

本システムはPC、スマートフォンのWebブラウザで、インターネット上のWebアプリケーションを利用するクライアントサーバシステムである。フロントエンドにはJavaScript、サーバサイドにPHPを使用している。

学習者のWebページには、変形対象の行列が表示される（図1）。本システムは実有理数成分の行列にのみ対応している。基本操作を1つ指定するのに必要なのは、種類(R1,R2,R3)、基本操作が働く行番号と有理数の係数である。学習者は、種類と行番号を画面上のタッチやクリックで指定する。有理数係数の入力については4.1節で述べる。

学習者は、基本操作の不適切な並べ方（誤った計算過程）を入力することはできるが、誤った部品（基本操作でないもの）を使うことはできない。筆算の場合に起こりうる誤りの一部を禁止して、学習者が基本操作とその順序の決定に集中することが足場かけとなっている。

ページには、その時点までに構成した基本変形（計算過程）と、変形結果の行列が表示される。学習者は、アルゴリズムの終了条件が満たされたと考えた時点で「完了宣言」ボタンをクリックする。実際に終了条件が満たされているかどうかが判定される。

システムは、学習者によるこれらすべての入力と、その段階の行列、時刻、学習者IDを1レコードとしてデータベースに記録する。各基本操作の所要時間や、ひとつの基本操作を取り消すUndoや完了宣言の実行が、筆算の最終的答案には含まれない「思考過程」に関わる情報である。

4 システムの改良

4.1 仮想キーボードの導入

基本操作R3では、有理数の係数を指定する必要がある。一般に有理数は $\pm n, \pm n/m$ の形で通常のキー

ボードでテキスト入力することが可能である。しかし、キャラクタ $+$, $-$, $/$ と数字は、多くのスマートフォンのキーボードで同時には表示されない。また、これらのキャラクタだけを許しても、有理数として意味のない文字列を入力することができてしまう。

著者と共同研究者の先行研究⁽²⁾では、HTMLのselect要素を用いて $1 \leq m, n \leq 99$ の範囲の $\pm m$ と n をそれぞれ、入力することで、誤りを防いでいた。しかし、複雑な有理数の入力には多量のスクロールが必要だった。

改良したシステムでは入力の労力と時間の軽減を意図してソフトウェアキーボードを導入した。jQuery UIを用いて構築された、jQueryのKeyboardプラグイン⁽⁵⁾で、 $0-9, +, -, /$ キーだけを表示した(図1)。学習者は画面上のキーをタッチまたはクリックして有理数を入力する。

4.2 変形過程の教授者向け表示

3節で述べた通り、学習者はページ下部でその時点までの基本変形を確認することができる(図1)。教授者が同様の過程を閲覧できることは、学習状況の分析の上で有用である。

そこで、基本変形と、各基本操作の所要時間に加え、その時点の行列と、各操作がアルゴリズムに従ったものかどうかのラベルを付加して、教授者向けに、事後に表示する改良を行った。図2で、上から順に、基本操作、直前の操作からの所要時間(秒)、操作後の行列(赤が階段部分、青が再帰的に階段化すべき部分)、基本操作の種類、ラベル、その日本語による説明、である。

ガウスの消去法は、行列に零の成分を増やし、階段の形を増やすアルゴリズムである。アルゴリズムとはいっても、基本操作の順序を完全には指定していない。例えば、成分0を持つ行を、0でない成分を持ついずれかの行と入れ替える、などの指示には不定性がある。プログラムとして書くときは、最初

表 1: 基本操作のラベルの定義

ラベル	意味
Best	階段を増やす基本操作
Good	零成分を増やす基本操作
Accepted	学習者の自由度で選択可能な基本操作
Bad	本来アルゴリズムの許さない零成分を減らす基本操作
Destroying	本来アルゴリズムの許さない階段を減らす基本操作
Other	初期化、完了宣言など

に現れた非零な行、のようにして無理に不定性を除くが、学習者が操作する際には、操作の適用結果が簡単な有理数になるものを選ぶような自由度を残すのが現実的である。そこで、その時点での基本操作がアルゴリズムに即しているかどうかを表1の5段階にラベル付けして表示している。Undoは逆基本操作とみなしてラベル付けした。

4.3 実践を行った授業への対応

先行研究⁽³⁾と異なる教科書⁽⁴⁾を用いた授業(5節)で使用するため、次の変更を行った。

2つの教科書で、基本操作R1,R2,R3の組は同じであるものの、番号、名称、記号が異なっていた。教科書の流儀に対応した表示とした。

先行研究⁽³⁾で実践した科目では、前進消去、後退消去のアルゴリズムを採用していた。一方、本報告で述べる科目では教科書⁽⁴⁾にしたがい、前進消去のみからなるアルゴリズムを採用した。これに対応して学習者用ページの終了宣言の判定を変更した。新たに実装した教授者向け表示(4.2節)のラベル付けもこれにしたがった。

5 実践と学習履歴の分析

著者を担当教員とする、理系大学1年次の線形代数の科目(履修登録130名)において本システムを試用した。当該授業はBYODの対面授業で全員がノートPCを持参することになっているが、本システムを

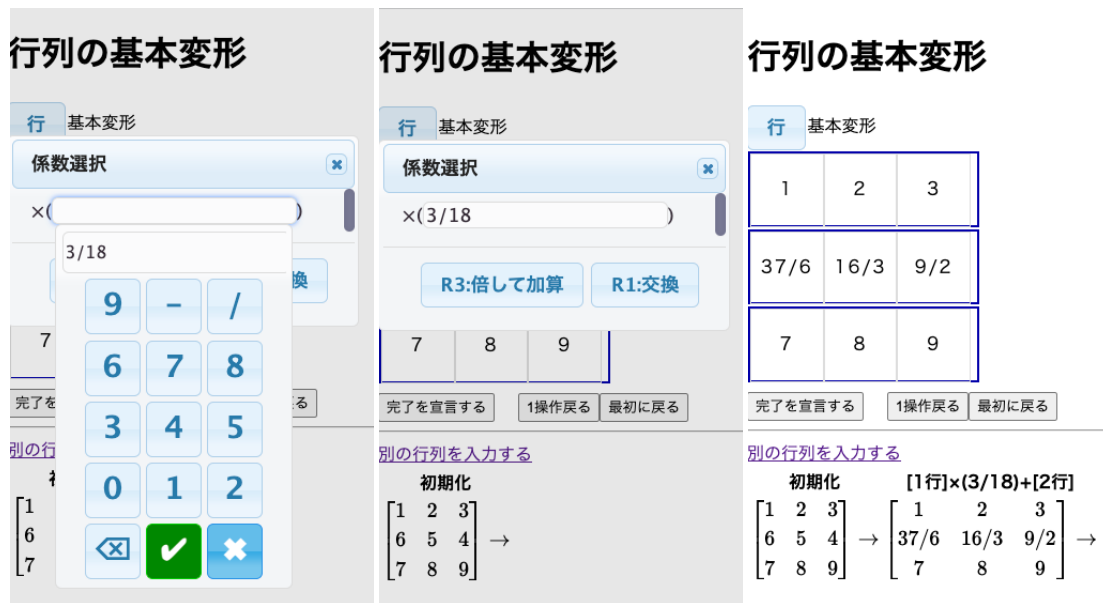


図 1: ソフトウェアキーボード

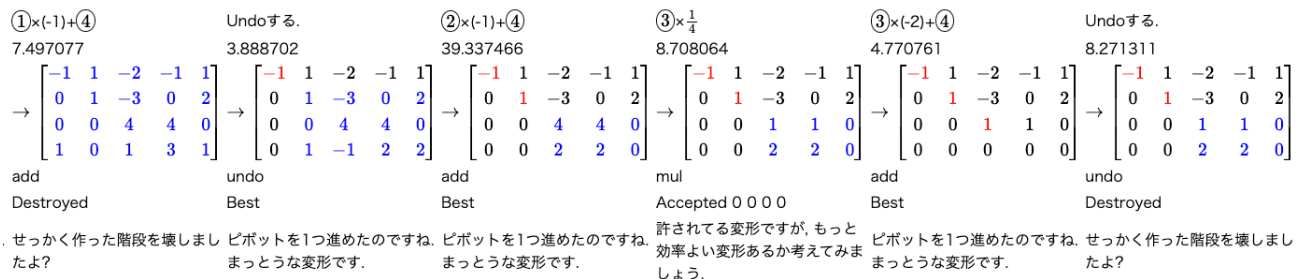


図 2: 教授者向けの計算過程の表示 (部分)

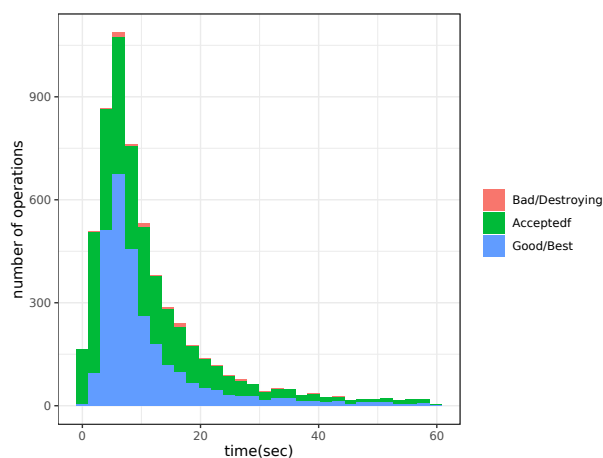


図 3: 所要時間の分布

使用するデバイスはPC、タブレット、スマートフォンいずれも可とした。本システムを授業時間内で指示にしたがって使用すること、および授業内外の任意の時点で使用してよいことを伝えた。また、本システムの使用は成績に算入しないこと、「与えられた行列を簡約形にせよ」という問が、本システムを使用しない、筆算による小テストに出題されることを説明した。

本システムは、学習者ごとの、基本操作等（Undo、完了宣言を含む）の時系列データを取得する。したがって、連続する2つの基本操作の間の経験遷移確率行列なども算出可能である。この実践では、研究への使用に同意した受講生の操作の7294レコードを取得した。

5.1 ラベルと所要時間

全ユーザの全基本操作等について、所要時間の分布を、4.2節で述べたラベルごとの積み上げヒストグラムとして図3に示す。

所要時間は、次に行うべき基本操作を導出する時間の和と、本システムを操作する時間の和と考えられる。ピーク付近が、本システムを操作する時間の代表的な値と考える。一方、学習者が基本操作を行った後、数日間放置したような場合にも、システムのセッション管理の範囲内では続けた操作とみなして所要時間を計算することから、分布は右に尾を引いている。

誤りに分類されるBad/Destroyingのラベルが少ないことから、アルゴリズムを理解した状態でこのシステムを使用している受講者が多いことを示唆する。なお、Bad/Destroyingの所要時間の中央値14.3秒は、Accepted 9.1秒、Good/Best 7.9秒よりも長かった。

5.2 思考過程におけるUndoの使用状況

先行研究⁽³⁾では、Undo回数の分析から思考過程の考察を行った。ここでは、ラベルごとにUndoがどのような頻度で選択されるかを調べた。表2の通

基本操作等	直前のラベル	
	Bad/Destroying	任意
swap	1	338
mul	3	1053
add	30	3662
undo	38	740
他	9	1501
計	81	7294

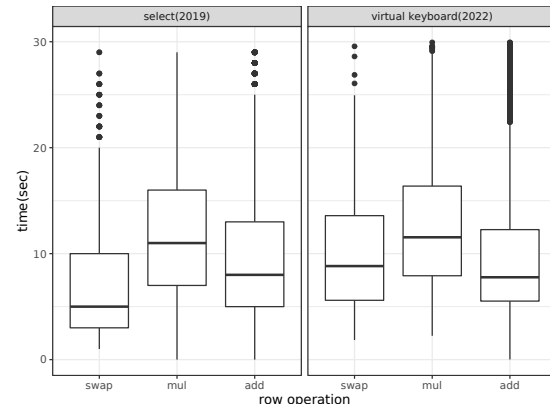


図 4: 入力方法、基本操作による所要時間

り、Bad や Destroying のときに、それを打ち消すことに Undo を使う頻度が高いことを示す。

5.3 有理数係数入力方法と所要時間

3つの基本操作 R1:swap,R2:mul,R3:addのうち、R2,R3のみが、有理数係数の入力に要する。これらについて、ソフトウェアキーボードによる2022年度の実践で入力に要した時間の分布を、select要素による2019年度の実践と対比して図4に示す。

被験者もタスクも異なるため、単純な比較はできないが、R1とR2,R3の差が、有理数入力に要する時間と関係する可能性がある。ソフトウェアキーボードのほうが、差が小さい。

5.4 学習者の主観評価

学期末に行った科目のアンケートでの、本システムに関する設問の回答結果を表3,4に示す。本システムは肯定的に評価されていると考える。なお、この授業の学期後半では、本システムを列基本変形を

表 3: 有用性についての回答 学習に役立ちましたか	回答数
役立った	33
まあ役立った	14
あまり役立たなかった	6
役立たなかった	1

表 4: 使いやすさについての回答 使いやすかったですか	回答数
使いやすい	25
まあ使いやすい	21
やや使いにくい	8
使いにくい	1

許す行列式の計算にも利用した。この節の回答はその利用後のものだが、本論文その他の結果には行列式の計算は含まない。

6 議論

4.2 節で述べた計算過程の表示は、操作完了後の学習者に対して有効なフィードバックとなる可能性がある。さらに、学習者の計算過程構成中に、直前に選択した基本操作に対するフィードバックや、次に加える基本操作の選択に対するヒントを提示することが考えられる。

本論文で実践を報告した科目の小テストでは、有理数の加減乗除を含む筆算による基本変形ができるかどうかを評価している。本システムは、小テストの学習目標への足場かけとなることを意図しているが、学習目標は異なる。この違いが学習者に混乱を招いていないか、検討が必要である。

本システムは現在、テスト（評価）に特化した機能を有していないが、試験監督により参照、相談条件を課し、一定時間内に計算過程を構成してスクリーンショットを撮って提出するようなテストは可能と考える。

本システムは jQuery UI の Draggable プラグインと jQuery UI の修正 jQuery UI Touch Punch⁽⁶⁾ に基づいて開発されている。jQuery UI の開発は終了してい

るため、持続的な開発方針の検討が必要である。

7 おわりに

本報告では、行列簡約化アルゴリズム学習支援システムの改良、授業に即した修正、実践の学習履歴の分析を述べた。本システムをより汎用なものすることに加え、学習者ごとの学習履歴の分析を行う予定である。

謝辞

本研究の一部は科研費（21H04412, 21H00921）の助成を受けた。

参 考 文 献

- (1) 田中 円, 樋口三郎: “線形代数における計算アルゴリズム学習支援システムの開発と評価,” 教育システム情報学会研究会報告, vol.32, no.4, pp.47–52, Dec. 2017.
- (2) 樋口三郎: “モバイルデバイスに対応した線形代数における行列変形アルゴリズム学習システムの改良,” 教育システム情報学会 2020 年度全国大会論文集, pp.193–194, (2020).
- (3) 樋口三郎: “基本変形による行列簡約化の学習支援システムとその授業内での試用,” 京都大学数理解析研究所講究録, vol.2142, pp.169–173, (2020).
- (4) 加藤文元: 大学教養 線形代数, 数研出版, (2019).
- (5) R. Garrison: “Keyboard v1.30.4,” 2022. <https://mottie.github.io/Keyboard>.
- (6) D. Furfero: “jQuery UI Touch Punch v0.2.3,” 2014. <https://github.com/furf/jquery-ui-touch-punch>.

発達障害傾向を有する児童の学習場面における コミュニケーションロボットの活用

小川莉久^{*1}, 真嶋由貴恵^{*2}, 榎田聖子^{*2}

^{*1} 大阪府立大学 現代システム科学域

^{*2} 大阪公立大学大学院 情報学研究科

Using of Communication Robot in Learning Situation for Children with Developmental Disabilities

Riku Ogawa^{*1}, Yukie Majima^{*2}, Seiko Masuda^{*2}

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

^{*2} Graduate School of Informatics, Osaka Metropolitan University

近年、発達障害児童数の増加から、児童の特性に合わせた支援の需要が高まっている。ADHD（注意欠陥多動性障害）、ASD（自閉症スペクトラム）の特徴を有する児童は、それぞれ注意継続の困難による集中継続の困難、対人関係のストレスによる学習意欲低下が考えられ、十分な学習成果が得られないと考えられる。本研究では、学習時のコミュニケーションロボットによる声掛けを用いた集中力の向上と持続学習への動機づけ、学習意欲の向上を目指した。

キーワード：発達障害傾向、コミュニケーションロボット、学習デザイン、教科学習

1. 背景

近年、発達障害と診断される児童生徒の数は増加傾向にある。令和4年度の文部科学省の調査によると、全国の公立小中学校の通常学級に在籍する児童生徒のうち発達障害の可能性のあるものは8.8%であった⁽¹⁾。

放課後等デイサービス事業所の数は、令和3年度の厚生労働省の調査では平成24年度から令和元年度にかけて6.9倍増加⁽²⁾しており、発達障害傾向を有する児童生徒に対する支援のニーズが高まっていることがうかがえる。

発達障害傾向を有し、注意力や行動上の問題を有する児童は、課題に集中することや効率的に課題に取り組むことが困難である⁽³⁾と言われている。そこで学習中に一定間隔で声掛けを行うことにより、集中力の増加、学習意欲の向上を実現できるのではないかと考えた。

2. 目的

本研究では、発達障害傾向を有する児童を対象とし、学習時集中力の向上と持続、学習への動機付けとなることを目指し、コミュニケーションロボットに声掛けを行わせる学習プログラムを考案し、その評価を目的とする。

3. 研究方法

3.1 対象者

本研究における評価実験は、大阪市内のある放課後等デイサービス事業所を利用する発達障害傾向を有する小中学生6名を対象に、事業所協力のもと、本人と保護者の同意を得る。なお、本研究は本学情報学研究科の研究倫理委員会の承認を得て実施する。

3.2 使用機器

ロボット：本実験ではコミュニケーションロボットとしてSHARP社のRoBoHoN（以下「ロボホン」、図1）をする。その理由は、小型で親しみやすいコミュニケーションロボットであるため、学習者の興味を惹くことができ、机上に設置できるメリットがある。

撮影用アプリケーション：対象児童の学習を妨害することなく、学習中の様子を記録するため、無音で一定のインターバルごとに静止画を撮影可能であるiPhoneのアプリケーション「観察カメラ（Looped Picture Company）」を用いて対象児童の撮影を行う。



図 1 ロボホン

3.3 学習課題

教科学習として算数/数学を対象科目として実施する。教材には、各自の学習レベルに合わせたものを使用し、介入中は同一のレベルで異なる種類の課題に取り組むことができるよう設定を行った。小学生の対象児童に対しては、「幼児・小学生の無料プリント〜すきるまドリル〜」を、中高生の対象児童に対しては、「みんぷり〜みんなが自由に使えるプリント〜」を使用する。

3.4 学習課題

本実験の介入は全て同一の環境で実施する。ロボホンとの1対1の環境をつくるため、実施施設内の一部を区切り、また他の児童が周囲にいない時間帯で実施する。

3.5 実験手順

実験手順について図2に示す。

- (1) 介入前：学習意欲に関するアンケート調査（以下「事前アンケート」）を行う。
- (2) 介入期間：対象者の学習レベルに合わせた数学・算数プリント課題への取組みを、(A) 指導員と1対1での学習（以下「ベースライン期」）と (B) ロボホンと1対1での学習（以下「ロボホン介入期」）の2通りに分け、それぞれ2回ずつ交互に計4回行う。1回の介入時間は20分間、2週間で計4回実施する。介入期間中は被験者が学習に取り組んでいる様子（以下「課題従事行動」）を撮影記録する。

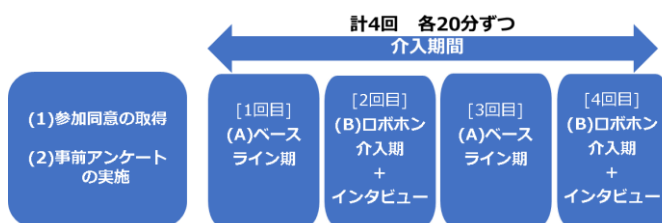


図 2 実験手順

3.5.1 (A) ベースライン期 [1回目, 3回目]

対象者1名に対して指導員1名が机を挟み対面で座り、対象児童の学習状況の観察、課題従事への声かけ、被験者からの質問に対する回答を行う。

3.5.2 (B) ロボホン介入期 [2回目, 4回目]

対象児童1名に対してロボホン1台が机の上に置かれた状態で、20分間の学習で1分ごとにロボホンが注意刺激として声掛けを行う。学習終了後には毎回ロボホ

ンとの学習の感想をインタビューにより調査する。

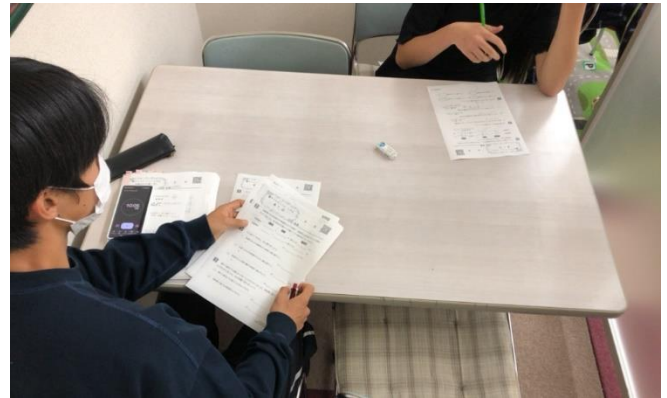


図 4 ベースライン期における学習の様子

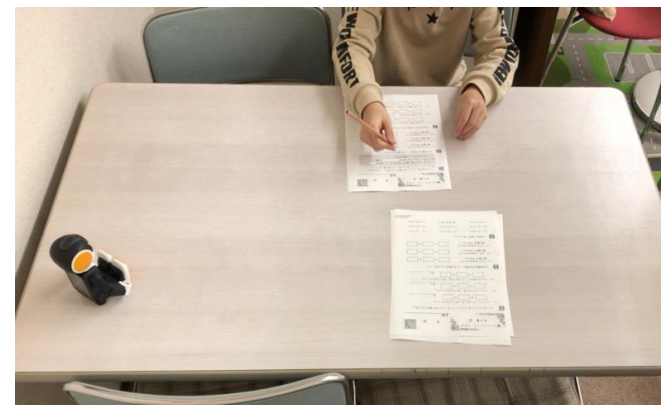


図 5 ロボホン介入期における学習の様子

3.6 分析方法

集中力（課題従事行動生起率）：タイムサンプリング法を用いて介入時間内の課題従事行動の生起率を、画像を基に測定する。児童の通常時平均学習時間は、施設で使用している学習記録を基に集計する。記録した20分間の学習中の学習態度画像は全て図6に示す課題従事行動と非課題従事行動に分類し、課題従事行動生起率を算出する。

学習意欲：柴山・小嶋（2016）⁽⁴⁾によって作成された学習意欲尺度を参考に事前アンケートを作成し、学習に対する知的的好奇心、嫌悪感等に関する表1に示す11項目について、4段階（1：あてはまらない～4：よくあてはまる）のリッカート尺度を用いる。嫌悪感に関する質問では、回答の点数を逆転して分析を行う。

また、介入が学習動機に繋がった可能性については、ロボホン介入学習直後に毎回実施するインタビュー調査の結果を用いて分析を行う。

課題従事行動：

1. 解答欄に回答を記入
2. 課題用紙を消す
3. 筆箱から筆記用見る
4. 誤答を消しゴム具の交換
5. 指導員orロボホンに質問を行う
6. プリントをめくる・受け取る

非課題従事行動：

1. 離席する
2. 課題用紙を見ず顔や爪を触る
3. 教材以外の方向を向く
4. 文房具で遊ぶ

図 6 課題従事行動と非課題従事行動の定義

表 1 学習意欲に関する質問内容

	質問内容
1	勉強して新しいことを知るの楽しいです。
2	今までよりも難しい問題を解いてみたいと思います。
3	出された宿題はきちんと取り組みます。
4	自分で目標や計画を立てて、勉強をしています。
5	学ぶことが楽しいと思えない日が多いです。(逆転)
6	勉強をしているとすぐに飽きてしまいます。(逆転)
7	勉強することは好きです。
8	わからない問題でも、すぐにあきらめずにいろいろ考えようとします。
9	答えが分からなかったとき、そのままにしています。(逆転)
10	勉強中はよそ見をしたり、おしゃべりをしたりしません。
11	勉強をしているとき、ほかにおもしろいことがあると、勉強をやめてしまいます。(逆転)

4. 結果

1名の研究離脱者を除いた5名を分析対象とした。

4.1 集聚力（課題従事行動生起率）

各被験者の性別と学年、平均学習時間、課題従事行動生起率の推移を表2に示す。また、各被験者の課題従事行動生起率の推移グラフを図7に示す。その結果、被験者4名（ID.1,2,3,5）はロボホン期において課題従事行動生起率の増加が見られた。一方で、被験者1名（ID.5）はロボホンの介入により大きく減少した。

表 2 各被験者の学習状況と課題従事行動生起率

被験者 ID	性 別	学 年	平均 学習 時間 (分)	課題従事行動生起率(%)			
				1回目 ベース 期	2回目 ロボ ホン期	3回目 ベース 期	4回目 ロボ ホン期
1	女	小5	25	90.9	99.2	96.7	98.8
2	男	小3	32	94.8	96.7	97.9	97.1
3	男	小4	29	95.4	98.7	92.3	95.2
4	男	中3	52	99.6	93.8	93.8	89.5
5	男	高1	61	99.6	99.5	99.2	100.0

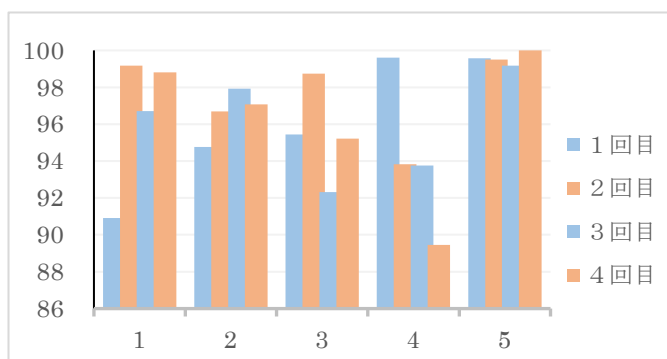


図 7 各被験者の課題従事行動生起率推移

4.2 学習意欲

4.2.1 事前アンケート

表 1 に示したアンケートの質問内容ごとの全被験者

の平均値（小数点以下第2位を四捨五入）を図8に示す。5番目の「学ぶことが楽しいと思えない日が多いです」という逆転項目では、平均値が1.6と他の項目と比べて最も低かった。

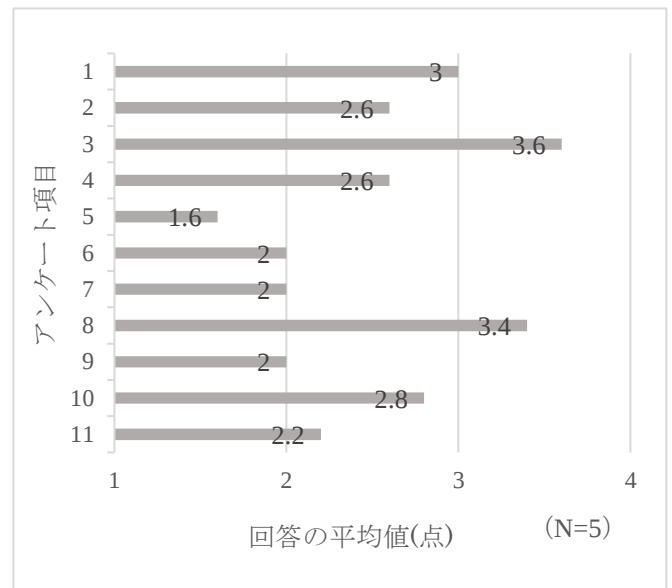


図 8 各アンケート項目の平均値

各被験者の回答結果と平均値（の一覧）を表3に示す。平均値は1名（ID.3）が最も高く、続いて3名（ID.2,4,5）が同じ値、1名（ID.1）が最も低いという順になった。

表 3 各被験者のアンケート結果

被験者 ID	アンケート項目											平均
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	2	1	4	2	1	1	1	4	2	1	3	2.0
2	3	4	4	2	1	2	2	4	1	3	2	2.5
3	4	4	4	4	2	2	2	3	4	3	3	3.2
4	3	1	3	2	2	3	2	3	2	4	2	2.5
5	3	3	3	3	2	2	3	3	1	3	1	2.5

4.2.2 インタビュー調査

2・4回目のロボホン介入後に行ったインタビュー調査では「今日のロボホンとの勉強はどうだった？」という質問に対して、「寂しいから（ロボホンが）いたほうがいい（ID.5）」「普通だった（ID.2）」といった好意的な感想も得られたが、「声かけがうるさい/じゃま（ID.1,3,4）」等、煩わしさを感じている意見も得られた。その他、改善点として「声掛けの間隔をもっと伸ばした方が集中できる（ID.4）」といった意見もあった。

5. 考察

課題従事行動生起率の推移と事前アンケート、インタビュー調査の結果から考察を述べる。

5.1 ロボホン介入と集中力の関係

実験結果から、ロボホンとの学習は指導員との学習に比べて、被験者 4 名 (ID.1,2,3,5) の課題従事行動生起率を増加、もしくは同等の値で推移させたことから、被験者の集中力を向上・維持させる可能性があることが示唆された。一方で、普段から学習時間が長く、学年の高い被験者 1 名 (ID.4) では、課題従事行動生起率が減少していたことから、児童の学年や学習時間等児童の学習レベルに合わせてロボット介入の可否を考える必要性も示唆された。

これらから高学年になり、課題の量も増えることで通常時の平均学習時間が長くなっている児童は既に学習習慣が定着しており、ロボホンの介入が注意刺激でなく学習の妨害となった可能性が考えられた。

5.2 ロボホン介入と学習動機・意欲との関係

事前アンケート調査の結果から、学習意欲の数値が課題従事行動生起率の推移と明確に関連する様子は見られなかった。また、インタビュー調査では、学年に関わらず、ロボホンに対して煩わしさを感じていた。一方で、ロボホンとの学習により学習中の心理的な安心感に繋がる被験者 (ID.5) もいた。ロボホンの介入が学習面だけでなく、心理面においても効果的となる可能性もあり、学習者の特性に合わせて今回のようなロボット介入の可否や、声掛けの間隔、内容を考えることが必要であると考えられる。

6. おわりに

本研究では、ロボホンとの学習が発達障害傾向を有する児童の学習課題を解決することを目的とし、放課後等デイサービスでの通常の学習時とロボホンと 1対1での学習の違いを分析・比較した。その結果、ロボホンの声かけによる学習が発達障害傾向にある低学年児童の集中力増加に対して有効であることが示唆された。

今後は対象者の学年・年齢、適切な声掛け内容や回数を検討することにより、発達障害傾向児童に対してより有効的な学習手法の確立に努めたい。

謝辞

本実験にご協力いただきました、被験者と保護者の皆様、そして事業所の職員の皆様に心より感謝申し上げます。

参 考 文 献

- (1) 文部科学省. “通常の学級に在籍する特別な教育的支援を必要とする児童生徒に関する調査結果について”. 2022-12-13. https://www.mext.go.jp/content/20221208-mext-tokubetu01-000026255_01.pdf (2023-01-27 確認)
- (2) 厚生労働省. “障害者通所支援の現状等について” “2021—07-05” <https://www.mhlw.go.jp/content/12401000/000801033.pdf>
- (3) 永富太輔, 野呂文行. 家庭学習場面で宿題の取り組みに困難のある男児に対するセルフモニタリングの効果.

LD 研究, 27(2) : pp.213-223, 2018

- (4) 柴山直, 小嶋妙子. 児童の学習意欲に関する研究 : 自己効力感との関連について. 新潟大学人間科学部紀要, 人文・社会科学編, 9(1) : pp.37-52, 2006

教科横断型のスキルの育成状況を可視化する カリキュラムマネジメントシステムの開発

小笠原 歩夢[†] 松本 章代[†] 後藤 康志^{††} 豊田 充崇[‡] 泰山 裕^{‡‡} 稲垣 忠[†]

[†] 東北学院大学 ^{††} 新潟大学 [‡] 和歌山大学 ^{‡‡} 鳴門教育大学

Development of a curriculum management system to visualize a mastery level of cross-curricular skills

Ayumu OGASAWARA[†] Akiyo MATSUMOTO[†] Yasushi GOTO^{††}

Mititaka TOYODA[‡] Yuu TAIZAN^{‡‡} Tadashi INAGAKI[†]

[†] Tohoku Gakuin University

^{††} Niigata University

[‡] Wakayama University

^{‡‡} Naruto University of Education

キーワード：カリキュラムマネジメント、情報活用能力、Web アプリケーション

1. はじめに

カリキュラムマネジメントとは学校における教育課程（カリキュラム）の編成・実施・評価・改善（PDCA サイクル）を行うことで、教育の質を高めることである [1]。具体的にはカリキュラムの組織的な配置、いわゆる年間カリキュラム表の作成が挙げられる。

学校教育において教科横断的な資質・能力の育成や学習の個別最適化に対応するためには、このカリキュラムマネジメントを効率的に支援するサービスが必要である [2]。しかしながら、カリキュラムマネジメントを支援するシステムはアメリカでは開発され利用されているものの、日本には存在しない [2]。そのうえ、教科横断的な資質・能力の育成や学習の個別最適化に対応するためのシステムは存在しないため、先生方がカリキュラムマネジメントを進めるうえで効率よく PDCA サイクルを行うことができていない現状がある [3]。

そのため、カリキュラムマネジメントを支援し、教科横断的な資質・能力をより効率よく育成するためのシステムが必要であると考えます。

システムに求められる PDCA サイクルの例を以下に示す。

P：年間計画を立てる際にどの単元にどのスキルが位置付けられているのか全体のバランスを可視化する

ることができる

D：実施状況を月単位で反映できる

C：調査データを読み込み、実施状況と照らし合わせる
ことができる

A：年間計画をカスタマイズできる

一方、我々がカリキュラムマネジメントへの取り組みに関する実態調査を行ったところ、「年間計画の実施状況を可視化することにより、バランスや抜けなど系統の点検に役立つ」、「年間計画が実施状況の全てを網羅していないため、日常的に取り組んでいる項目と意識的に位置づける項目を可視化する手法が必要である」という知見を得た [4]。

そこで本アプリケーションでは、教科横断的な資質・能力の1つである情報活用能力に着目し、年間カリキュラム表の作成や PDCA サイクルの支援、単元毎に得られる情報活用能力の表示、その年における情報活用能力の育成状況の評価ができるものとなっている。

本稿では、カリキュラムの現状や児童・生徒の情報活用能力の習得状況を可視化することで、カリキュラムマネジメントを効率的に行うことができる Web アプリケーションについての説明と、アプリケーションの画面ごとの目的、意義、その機能について示す。さらに、評価実験の結果とその考察、今後の課題について報告する。

2. 基本的考察

2.1 情報活用能力の育成とは

2017 年から 2019 年に改訂された学習指導要領において、情報活用能力は「学習の基盤となる資質・能力」と定義された [5]。つまり、情報活用能力は、一つの教科ですべて身につけられるものではなく、教科横断的に育成する資質・能力にあたる。たとえば、情報の収集、編集、発信といった情報活用のスキルには、図書による情報収集は国語で、統計資料からの情報の読み取りは社会科等、各教科に指導事項が埋め込まれており、これらを総合的な学習の時間等で探究する際に統合し、発揮するといった関係にある [6]。情報活用能力に含まれる内容を整理した体系表例が公表されており、小学校から高校までの学習内容が資質・能力の 3 つの柱に沿って整理されるとともに、「想定される学習内容」として「基本的な操作等」「問題解決・探究における情報活用」「プログラミング」「情報モラル・情報セキュリティ」の 4 つが示されている [7]。体系表例に基づいたチェックリストの開発 [8] や、自治体独自の体系の開発が進められている。本システムは、情報活用能力を仙台市・宮城県が開発した「活動スキル」「探究スキル」「プログラミング」「情報モラル」の 4 カテゴリー計 30 項目からなる体系を採用した [9]。

情報活用能力を育成するには、どの校種、学年、教科、単元で何をどの程度、身につけさせるのかといったタイミングを教員間で共有することが必要となる [10]。一方でカリキュラムを計画通り実施したとしても、学習者間の習得の程度にはバラつきが生じる。適切なタイミングで学習者の実態を把握し、繰り返し指導したり、習得した力を発揮する機会を設けたりできるよう、カリキュラムを学習者の実態に応じて改善し続けることになる。

2.2 カリキュラムマネジメントシステム

教科を横断して情報活用能力等の資質・能力を育成するには、教科・単元毎にどの資質・能力が育成・発揮されるのかを見渡し、児童生徒の実態に合わせて適切に調整していくカリキュラムマネジメントが重要となる。我々は文献 [11] において、各自治体の報告書や海外のカリキュラムマネジメントシステムの調査をもとに、構成要素を検討した。その結果、年間指導計画に対して、資質・能力の体系をマッピングするモジュールと、実態把握を行うモジュールからなる基本モデル

を構築した。

本研究では、その基本モデルに基づきシステムを構築する。

3. システム構成

3.1 動作環境

本システムは Web アプリケーションとして構築しており、パソコン以外にもスマートフォンやタブレットなど、インターネットに接続できる端末で利用することができる。サーバの OS は Linux、開発言語は Python、フレームワークは Django、データベースは PostgreSQL を使用している。Web サーバソフトウェアとして Apache を用いている。

3.2 児童・生徒による評価アンケートの詳細

本システムでは学習者の実態を把握する手段として、児童・生徒に対して行ったアンケート結果を用いる。

はじめに学校が児童・生徒に対して、各学期末を目安に情報活用能力の習得状況を確認するためのアンケートを Google フォームにて行う。アンケートには 3 つのレベルが存在しており、どのレベルのアンケートを行うかは学年によって変わる。小学 1 年生から 3 年生まではレベル 1、小学 4 年生から 6 年生まではレベル 2、中学 1 年生から 3 年生まではレベル 3 のテストを実施する。アンケートの回答項目は 30 個あり、それぞれ 30 種類ある情報活用能力に対応している。それぞれの項目の回答に「そう思う」、「まあそう思う」、「あまりそう思わない」、「そう思わない」の 4 つから児童・生徒は自分に合った答えを選択する。アンケート結果は CSV ファイル形式で出力する。

その後、「そう思う」を 4、「まあそう思う」を 3、「あまりそう思わない」を 2、「そう思わない」を 1 に設定し、数値として出力する。以降、この評価の数値を学年や学校全体で平均した値のことを「評価値」と呼ぶ。

3.3 システム概要

本アプリケーションはデータベースに登録された教科書データを使用し、学年ごとにカリキュラム表を作成・閲覧することが可能である。まず初めに学校ごとにアカウントを作成し、その後カリキュラム表に表示する単元を教科ごとに教科書を選択、不足している単元を新しく追加することで、学校独自のカリキュラム表を作成することができる。以降、学校ごとのアカウン

トを用いてシステムを利用する者のことを「ユーザー」と呼ぶ。

ここで作成した独自のカリキュラムと評価値を利用し、各スキルに対応している単元の数とそれに対する児童・生徒からの評価を数値とグラフで確認することができる。その結果によってカリキュラムの見直しを図るという PDCA サイクルを行うことができる。

アプリケーションの画面遷移図は図 1 のようになっている。

以下にそれぞれの画面の機能、目的について示す。

3.3.1 トップページ

本アプリケーションを開いた際に初めに表示される画面であり、サインアップやサインイン画面へ移動することができる。

3.3.2 サインアップ・サインイン

アカウントを用いてログインする画面である。アカウントを所持していない学校は、サインアップ画面に移動してアカウント作成を行った後利用する。サインアップ画面でメールアドレスとパスワードを設定し、メールアドレスに認証メールを送信、メールに書かれている URL をクリックすることでアカウントの使用が可能になる。サインインは登録したメールアドレスとパスワードを用いて行う。

3.3.3 メニュー

ログインした後に表示される画面であり、一般のユーザーは利用項目である「学年ビュー」、「教科ビュー」、「スキルビュー」、「調査データ」と、設定項目である「学校情報」、「教科書情報」、「単元情報」へ移動することができる(図 2)。

3.3.4 学校情報

学校情報の登録・修正を行う画面である。ここで学校名や都道府県、小学校か中学校かを入力する。

3.3.5 教科書情報

カリキュラムマネジメント表を利用するための設定を行う画面である。各学年の教科ごとの教科書を教

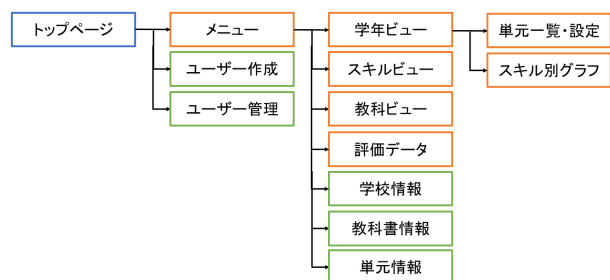


図 1 画面遷移図

科書会社で選択する。選択できる教科書会社はデータベースに登録されている単元で使用する教科書会社のみである。ここで教科書を選択しなくても、デフォルトでは仙台市が採択している教科書会社が選択されている。

3.3.6 単元情報

カリキュラムマネジメント表を利用するための設定を行う画面である。単元情報を基となる教科書データから読み込み、アカウント独自の単元情報を持つようにする。一度操作を行った後にもう一度単元情報の読み込みを行うと、単元情報を新しく作り直す(初期化する)。

3.3.7 調査データ

児童・生徒に実施した調査アンケートの結果を CSV ファイル形式でインポートし、その閲覧や削除を行う画面である。削除は各学年ごとの削除ができるほか、各回、そのアカウントに含まれるすべてのデータの削除も可能になっている。ここでインポートされたデータは各画面で使用される。

3.3.8 スキルビュー

カリキュラムと評価値の関係をグラフと数値で閲覧する画面である(図 3)。全学年の実施予定単元数や実施済み単元数、評価値を数値とグラフで表示する。プルダウンメニューでアンケート実施回の切り替えができ、その実施回の評価値を表示できる。また、この画面から全学年の実施状況を変更することができる。

3.3.9 学年ビュー

本システムのメインとなる画面であり、学年ごとの年間カリキュラム表と単元等を表示する(図 4)。カリキュラム表は縦軸が教科、横軸が月となっており、それらに対応した「教科書情報」で選んだ教科書の単元が表示される。単元名をクリックすると、折りたたまれていた単元の詳細情報が表示されるようになってい

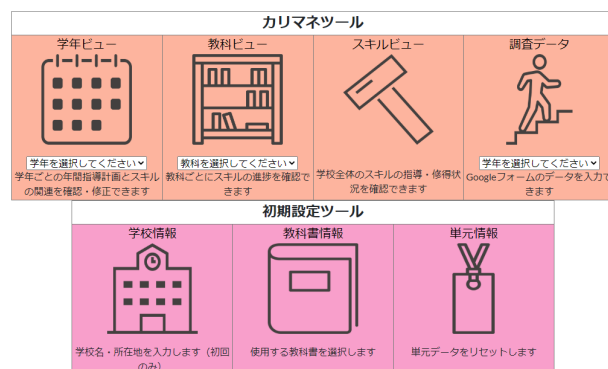


図 2 メニュー

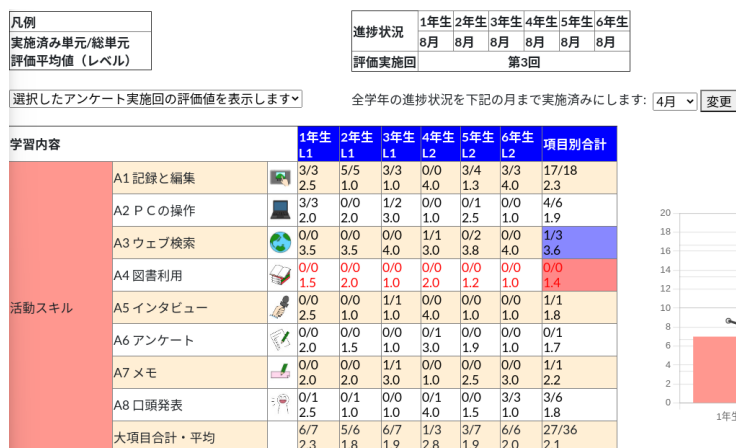


図 3 スキルビュー

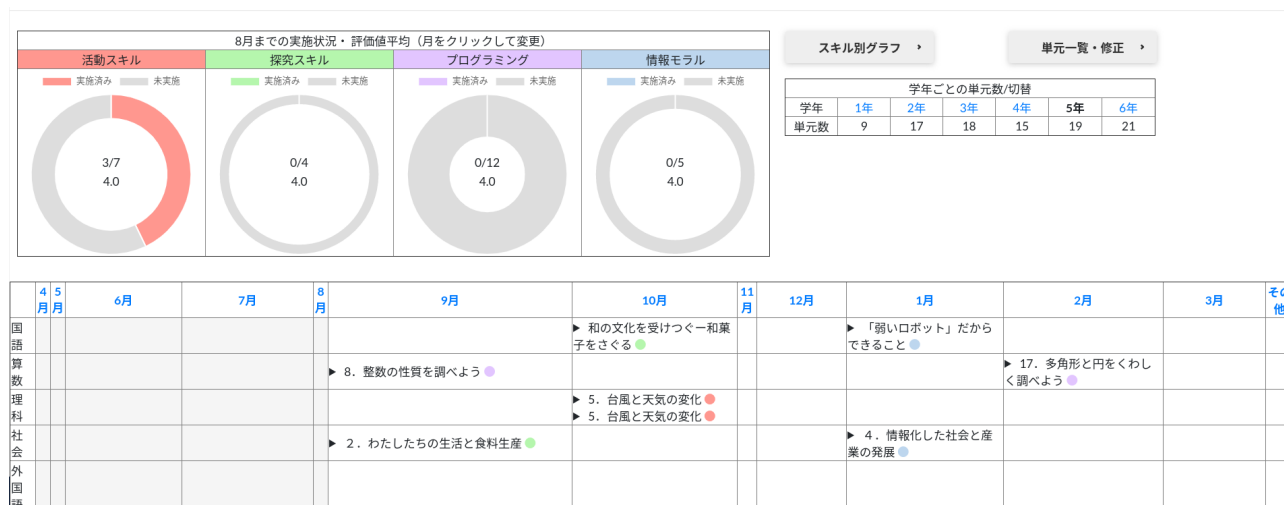


図 4 学年ビュー

る。月をクリックするとその月までの単元の実施状況を変更することが可能となっている。実施された月の背景の色は灰色に変化している。画面上部には現在見ている学年と、他の学年や「単元一覧・修正」,「スキル別グラフ」へ移動するリンクと単元数を表示, また指導予定の情報活用能力数とその実施した数をグラフで表示する。グラフの中には各単元数と調査結果の平均値を数値で表示している。調査結果の実施回数は単元の実施状況と連携しており、実施状況をもとに直近のアンケート結果を表示するようになっている。

3.3.10 単元一覧・修正

ユーザーが学校独自のカリキュラムを作成する画面である (図 5)。アカウントが所持している単元の一覧の表示と修正を行う画面であり、ここから独自の単元の登録や単元の削除、削除した単元の復元を行う。デフォルトで情報活用能力が設定されている単元のみが表示されるが、すべての単元の表示も可能となっ



図 5 単元一覧・修正

いる。

3.3.11 スキル別グラフ

各学年ごとに細かく単元の実施状況と評価値を確認する画面である。各学年の指導予定の単元数と実施した単元数、調査結果をグラフ化し表示する。グラフの縦軸はそれぞれ単元数と調査結果の平均値を表示、横軸は他画面で表示されている 4 項目のスキルを細分化した 30 項目のスキルを表示している。調査結果の平均値はプルダウンメニューでアンケート実施回の切り替えができ、その実施回の値を表示できる。

3.3.12 教科ビュー

教科別に単元、評価値とカリキュラムの相関を確認することができる画面である。アカウントが所持している単元、指導予定の情報活用能力数と実施した数を各教科毎に表示する。学年ビュー同様、円グラフによって、その教科の単元数と実施済みの単元数、評価を確認できる。単元一覧・修正同様、情報活用能力が設定されている単元とすべての単元の表示切替が可能である。また、教科を選択する画面では単元以外の項目を一覧で表示し、比較することができる。

4. 評価実験

4.1 実験概要

A 中学校と B 小学校の先生方にカリキュラムマネジメントシステムを利用してもらい、評価としてアンケートを実施する。アンケート項目は以下のとおりである。

- (1) システムの各機能 (学年ビューのグラフ、学年ビューの年間計画表、単元一覧・修正、スキル別グラフ、スキルビューのスキル表、スキルビューのグラフ、教科ビュー) は見やすいか、役に立つか (各項目 4 段階評価)
- (2) 各機能 (学年ビュー、スキルビュー、教科ビュー) の良かった点・改善点・新規機能の要望・感想 (自由記述)
- (3) カリキュラムマネジメントシステムにあるとよい機能 (選択式 (複数選択可))

4.2 実験結果および考察

4.2.1 アンケート件数

今回のアンケートでは、A 中学校で 20 件、B 小学校で 5 件、合わせて 25 件の評価データを収集できた。

4.2.2 各機能の見やすさ、有用性

(1) の結果のうち、見やすさに関する項目を表 1、有用性に関する項目を表 2 に示す。

システムが見やすいかという設問への回答は全体を通して「そう思う」、「ややそう思う」と回答した人の割合が 78.5% となっており、スキルの育成状況を視覚化するという目的は達成できていると考えられる。また、有用性の面に関しても同様の結果となっているため、カリキュラムマネジメントをするうえで必要となる機能は実装できていると考える。

4.2.3 学年ビューに関する意見

(2) の結果のうち、学年ビューに関するものを抜粋すると、「円グラフがわかりやすい、円の太さが変わっているのが良い」、「他の教科の活動が把握しやすい」、「見やすく偏りや傾向に気づきやすい」といった感想がある一方、「どのスキルがどんな内容を含んでいるのか対応させることが慣れるまで難しい」という意見があった。

慣れが必要であるということは初回利用時にはわかりにくい点があるということになるため、初めてアプリケーションに触る人でも利用しやすいよう説明の追加や UI の改善が必要であると考ええる。

4.2.4 スキルビューに関する意見

(2) の結果のうち、スキルビューに関するものを抜粋すると、「現状をイメージしやすい」という感想がある一方、「評価値は 3 年間の合計値があるとよい」、「短い単語で表現されている箇所の理解が正しいか確認が必要」、「カリキュラムの実施が終わった項目は完了したことがわかるよう色付けされているとうれしい」という意見があった。

年間の全体的な評価は各アンケート回と比較する際にも利用できるもので、今後実装する方針で進める。また、システムのみで各単語についての理解が完結できるように、カーソルを合わせたときに説明文を表示するなど修正が必要である。色付けについては教員のモチベーションにもつながる点となるため、優先度は低めになるが、実装していきたい機能である。

4.2.5 教科ビューに関する意見

(2) の結果のうち、教科ビューに関するものを抜粋すると、「教科ごとの取り組みのため、学年ビューよりイメージしやすくわかりやすい」、「状況を視覚的にとらえられる」という感想がある一方「学年ビュー同様に教科ごとに改訂の入力ができると良い」という意見があった。

中学校では教科ごとにカリキュラムを組むことが多いため、こちらの機能も実装する方針で進める。

4.2.6 カリキュラムマネジメントシステムに求める機能

(3) のアンケート結果を表 3 に示す。追加の要望が多かった機能については、生徒自身が学習したスキルを記録・可視化できる機能と、次点でスキルごとに関連する教科・単元を一覧表示する機能であった。

これらの要望が強い点に関しては、優先的に実装を進めていく。

表 1 システムの各機能の見やすさ

単位: 人				
	そう思う	ややそう思う	あまりそう思わない	そう思わない
学年ビューのグラフ	14	9	2	0
学年ビューの年間計画表	6	14	5	0
単元一覧・修正	3	14	8	0
スキル別グラフ	7	14	4	0
スキルビューのスキル表	6	14	5	0
スキルビューのグラフ	5	15	4	1
教科ビュー	4	17	4	0

表 2 システムの各機能の有用性

単位: 人				
	そう思う	ややそう思う	あまりそう思わない	そう思わない
学年ビューのグラフ	8	14	3	0
学年ビューの年間計画表	5	18	1	1
単元一覧・修正	5	13	6	1
スキル別グラフ	6	15	2	2
スキルビューのスキル表	7	13	4	1
スキルビューのグラフ	5	14	5	1
教科ビュー	3	19	3	0

表 3 カリマネシステムに求められる機能

(複数回答可)	
スキルごとに関連する教科・単元を一覧表示する機能	9
生徒の自己評価のグラフを複数回重ね合わせ表示する機能	7
ある時点の年間計画を保存し他の時期と比較できる機能	6
生徒自身が学習したスキルを記録・可視化できる機能	13

4.2.7 アンケート結果を受けて

機能としては当初の目的を達成できるシステムはできていると考えられるが、今回いただいた改善点を基に修正を加える必要がある。まず初めに慣れや理解に時間がかかる点を解消することから始め、その後要望があった新規機能の実装を行うことで、よりユーザーが利用しやすいシステムになるのではないかと考える。

5. まとめ

本稿では、教科横断的なスキルの育成状況を視覚化しカリキュラムマネジメントを支援するアプリケーションの開発を行い、その機能と目的、意義を示した。また、それらの機能を現職の先生方に利用していただき、評価実験を行った。今後の展望としては、評価実験を基に出した現機能の修正・新規機能の追加を行った後、一貫校や高校の方々にも利用していただけるよう、各校に対応させていく予定である。

参考文献

- [1] 文部科学省：学習指導要領等の理念を実現するために必要な方策,
https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/siryo/attach/1364319.htm
- [2] 稲垣忠, 後藤康志, 泰山裕, 豊田充崇, 松本章代：カリキュラムマネジメントシステムの国外動向に関する調査, 日本教育工学会 2020 年秋季全国大会 (2020)
- [3] 後藤康志, 稲垣忠, 豊田充崇, 松本章代, 泰山裕：情報活用能力におけるカリキュラムマネジメントの手法の検討, 日本教育メディア学会第 26 回年次大会 (2019)

- [4] 稲垣忠, 松本章代, 泰山裕, 後藤康志, 豊田充崇: 情報活用能力の育成状況の可視化に関する調査, 第 48 回全日本教育工学研究協議会全国大会 (2022)
- [5] 文部科学省: 小学校学習指導要領 (2017)
- [6] 稲垣忠, 後藤康志, 豊田充崇, 松本章代, 泰山裕: 探究学習の基盤となる情報活用スキルの概念構成に関する一考察, 教育メディア学会研究会論集, No.48, pp.13-16(2020)
- [7] 文部科学省: 教育の情報化に関する手引 (2019)
- [8] 村上唯斗, 野澤博孝, 高橋純: 「情報活用能力の体系表例」に基づいた情報活用能力のチェックリストの開発, 日本教育メディア学会第 26 回年次大会 (2019)
- [9] 仙台市教育センター: 平成 30 年度教育の情報化研究委員会活動報告書,
<http://www.sendai-c.ed.jp/04kenkyu/02jyouho/01johokyouiku/h28/h30jyohorifu.pdf>
- [10] 稲垣忠: 小学校における教科・領域からみた情報活用能力観に関する調査, 東北学院大学教育学科論集, No.1, pp.17-34 (2019)
- [11] 稲垣忠, 後藤康志, 泰山裕, 豊田充崇, 松本章代: 教科横断の資質・能力の育成を支援するカリキュラムマネジメントシステムの検討, 日本教育メディア学会第 27 回年次大会 (2020)

大学生の食事行動変容に向けた新たな健康指標の検討 -スマホ利用の有無による食事様式の腸音分析から-

佐保友啓^{*1}, 真嶋由貴恵^{*2}, 榎田聖子^{*2}

^{*1} 大阪府立大学 現代システム科学域, ^{*2} 大阪公立大学 情報学研究科

Investigation of a new health indicator for eating behavior change in college students: From gut acoustic analysis of eating style with and without smartphone use

Tomoaki Saho^{*1}, Yukie Majima^{*2}, Seiko Masuda^{*2}

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

^{*2} Graduate School of Informatics, Osaka Metropolitan University

In recent years, an increasing number of college students use smartphones while eating. The use of smartphones while eating causes decreased secretion of digestive enzymes and soft stools due to lack of attention to the meal. According to a previous study, 21% of college students suffer from irritable bowel syndrome, and are more anxious about their daily lives than normal students. In this study, we compared and analyzed the sound of intestinal peristalsis after eating with and without smartphone use to examine a new health index to change the behavior of university students in their eating patterns.

キーワード: 腸蠕動音, スマートフォン, 食事様式, 大学生, 健康指標

1. 背景

近年, 食事にスマートフォン (以下スマホ) を利用する大学生は増加傾向にある. 令和 2 年度の株式会社 NTT ドコモ, モバイル社会研究所の調査によると食事にスマホを利用する 20 代の割合が 65.8% に増加している^[1]. 食事にスマホを利用する理由として食事に暇であることや SNS が気になることなどが挙げられる. 食事中のスマホ利用は, 食事よりも画面に意識が集中することにより, 咀嚼回数の減少から消化酵素の分泌低下につながる. そのため, 食物が未消化のまま食道を通過することになり, 消化器官への負担が生じる^[2]. 完全に消化されていない食物が腸管を刺激すると蠕動運動が活発になり, 軟便や下痢となる恐れがある. しかし, 大学生がその症状の原因は自覚しづらく, 食事中のスマホ利用が健康障害につながることを容易に理解することが難しい. 大学生に対して集中して食事を行う必要性を理解してもらうために, 消化器官への負担等, 具体的な身体状態を示す新たな健康指標が必要である.

2. 目的

本研究では, 食事にスマホを利用する大学生に対して, 行動変容に向けた新たな健康指標を検討するた

めに, スマホ利用時と通常時, 食事に集中した状態の腸音データを取得し, 分析・比較する.

3. 実験

3.1 実験対象者

本実験は, iPhone を利用する大学生 24 名 (男性 19 名, 女性 5 名) を対象に, 本人の同意を得て実施した. なお, 本研究は所属研究科の研究倫理委員会の承認を得て実施した.

3.2 使用機器

本実験では, 腸音を計測するアプリとして「腸 note」^[3]を選択する. 腸 note は, サントリーグローバルイノベーションセンター (株) が開発するアプリであり, iPhone のマイクを用いて腸音を聴取することができる. 個人の iPhone で時間や場所に制限されず利用できるため, 大学生の腸音取得において最適であると考え.

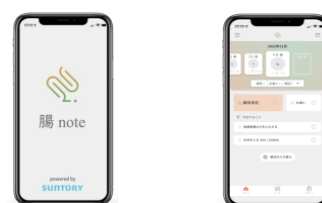


図 1 腸 note

3.3 実験手順

実験手順を図 2 に示す。本実験では、腸音の分析は、図 2 の①④通常の食事（介入前後）、②スマホなし食事、③スマホあり食事の 4 つの食事様式で比較する。評価指標には 1 分間の測定中に腸音の発生する間隔（以下 ssi）を用いる。

以下に、実験手順に沿ってその詳細を説明する。

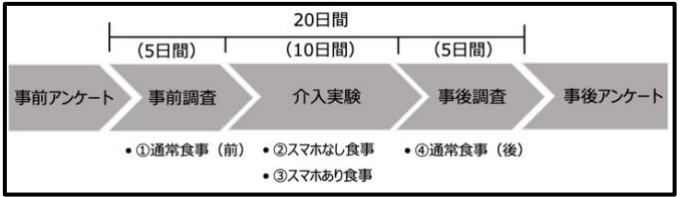


図 2 実験手順

3.3.1 事前アンケート

事前アンケートの質問項目を表 1 に示す。普段の食事様式について、選択肢の中からあてはまるものを選択してもらう。

表 1 事前アンケート

質問		回答					
1	食事の摂取状況について教えてください	欠かさず食べる	朝食、昼食、夕食	朝食は食べない	昼食は食べない	夕食は食べない	
2	食事習慣について教えてください	スマートフォンを見ながら	テレビを見ながら	家族と話しながら	読書しながら	読書しながら	その他
3	現状、お腹に違和感がありますか	ある	ない				
4	3で"ある"と答えた方は具体的に教えてください	自由記述					

3.3.2 通常食事（前）

被験者の通常時の腸音を分析することを目的として、朝食直前、昼食直前、夕食直前の 1 日 3 回、5 日間（計 15 回）の腸音を計測する。

3.3.3 介入実験

介入はスマホなしとスマホありの 2 つの食事様式とする。介入期間は両者ともに 5 日間、聴音の測定は夕食 30 分後と翌日の朝食直前の 2 回とする（計 10 回）。

1) スマホなし食事

夕食摂取時に、スマホ・テレビ等を見ずに味の感想や栄養素について考えながら、集中する。

2) スマホあり食事

「スマホなし食事」とは対照に夕食はスマホで動画を視聴しながら食事をする。

3.3.4 通常食事（後）

介入後の被験者の腸音を分析することを目的として、通常食事（前）と同様に、朝食直前、昼食直前、夕食直前の 1 日 3 回、5 日間（計 15 回）の腸音を計測する。

3.3.4 事後アンケート

事後アンケートの質問項目を表 2 に示す。「腸 note」や「今後の食事様式」等に関する 5 つの項目への回答

には 5 段階のリッカート尺度を用いる。実験の感想や腸 note への意見は、自由記述とする。

表 2 事後アンケート項目

	質問内容	回答方法
1	腸 note の使いやすさについて教えてください	5 段階
2	実験終了後も引き続き腸 note を利用したいと思えますか	
3	スマートフォンを利用しながら食事をした場合と集中して食事をした場合で体調に変化を感じましたか	
4	今回の実験に参加して集中して食事を行うことは必要だと感じましたか	
5	スマートフォンを利用しながら食事をする食事習慣は変わると感じますか	
5	腸 note での腸音計測を行ってよかった点を教えてください	自由記述
6	腸 note での腸音計測について改善点があれば教えてください	
7	実験に参加して感じたことなど感想があれば教えてください	

3.4 分析方法

評価指標には 1 分間の測定中に腸音の発生する間隔（以下 ssi）を用いる。ssi 値が高ければ腸の動きが不活発で便秘傾向になり、低ければ活発で下痢傾向になると判断する。

本実験では、この ssi を「通常食事（前）」「スマホなし食事」「スマホあり食事」「通常食事（前）」で比較・分析する。

4. 結果

4.1 腸音分析の対象者

本研究では被験者計 24 名に対し、各計 20 日間の実験を行った。その中で腸音データが揃った 11 名（完了率 46%）を対象に分析を行った。分析対象となる被験者の個人カルテを表 3 にまとめた。

表 3 個人カルテ

No	ID	性別	年齢	食事様式	食事摂取状況	体質	腸音データ数（個/m）
1	01	男性	22	スマホ	朝食は食べない	下痢	43
2	04	男性	21	スマホ	朝食は食べない	普通	47
3	05	男性	19	スマホ	欠かさず食べる	普通	48
4	07	女性	23	スマホ	朝食は食べない	普通	42
5	09	男性	22	スマホ	朝食は食べない	普通	42
6	11	男性	22	スマホ	欠かさず食べる	普通	42
7	20	男性	22	スマホ	欠かさず食べる	普通	40
8	16	男性	22	テレビ	欠かさず食べる	普通	41
9	13	男性	22	集中	欠かさず食べる	普通	49
10	18	男性	22	集中	欠かさず食べる	下痢	48
11	12	男性	22	集中	朝食は食べない	普通	48

※スマホ、テレビ：スマートフォン、テレビを見ながら食事をする
テレビ：テレビを見ながら食事をする
集中：何も見ず食事に集中して食事をする

4.1.1 実験前後での通常食事による比較

各被験者の通常食事（前）と通常食事（後）の腸音計測時における ssi 平均値について表 4 に示す。通常食事の実験前後における ssi 平均値を比較すると、低

下したものが 7 名 (ID.4,5,7,9,11,12,13), 増加したものは 4 名 (ID.1,16,18,20) であった. 実験前の ssi 平均値では, 3.14 (ID.16) が最も低く, 8.63 が最も高かった. 実験前後における ssi 平均値の変化について信頼区間 95% で t-検定を行ったところ片側検定の $P=0.15$ で相関は見られなかった.

表 4 各被験者の実験前後における ssi 平均値

ID	1	4	5	7	9	11
①通常食事 (前)	5.64	3.69	3.46	4.98	4.67	8.63
④通常食事 (後)	6.62	2.84	2.8	4.91	4.19	4.16

ID	12	13	16	18	20
①通常食事 (前)	8.03	5.46	3.14	3.33	5.56
④通常食事 (後)	6.04	3.91	3.33	4.15	7.25

4.1.2 スマホ有無の食事による比較

1) 食事時のスマホ有無における ssi 平均値について表 5 に示す. スマホの有無による ssi では, 「スマホなし」より「スマホあり」の ssi 平均値が高かった (腸の動きが不活発になった) ものは 6 名 (ID. 4, 5, 9, 13, 16, 20), 逆に低かった (腸の動きが活発になった) ものは, 5 名 (ID. 1, 5, 7, 11, 12) であった. ssi 平均値の変化について信頼区間 95% で t-検定を行ったところ片側検定の $P=0.44$ で相関は見られなかった.

2) 食事様式について, 普段スマホ・テレビを見ながら食事をしている 8 名 (ID.1,4,5,7,9,11,16,20), 集中して食事をしている 3 名 (ID.12,13,18) に対してスマホの有無における ssi 平均値の変化について信頼区間 95% で t-検定を行ったところ片側検定の P 値がそれぞれ 0.48, 0.29 でどちらも相関は見られなかった.

3) 同様に食事摂取状況について, 朝食を食べない 5 名 (ID.1,4,7,9,12), 欠かさず食べる 6 名 (ID.5,11,13,16,18,20) に対して t-検定を行ったところ P 値がそれぞれ 0.11, 0.15 と相関は見られなかった.

表 5 食事時のスマホ有無における ssi 平均値

ID	1	4	5	7	9	11
②スマホなし食事	11.43	3.03	2.88	4.98	3.51	7.9
③スマホあり食事	5.55	3.18	3.26	3.87	4.19	7.15

ID	12	13	16	18	20
②スマホなし食事	4.69	3.17	2.98	2.91	3.72
③スマホあり食事	3.54	3.82	3.45	2.42	9.4

4.2 実験前後でのアンケートの比較

4.2.1 事前アンケート

被験者の食事摂取状況, 食事様式の結果をそれぞれ図 3, 図 4 に示す. 図 3 より朝食を食べない者は, 13 名 (54%) であったが, 昼食, 夕食を食べない者は一人もいなかった. また, 図 4 よりスマホ・テレビを見ながら食事をしている者は 20 名 (83%) であった.

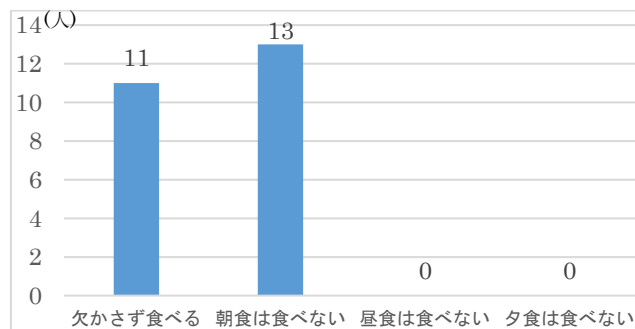


図 3 食事摂取状況について (n=24)

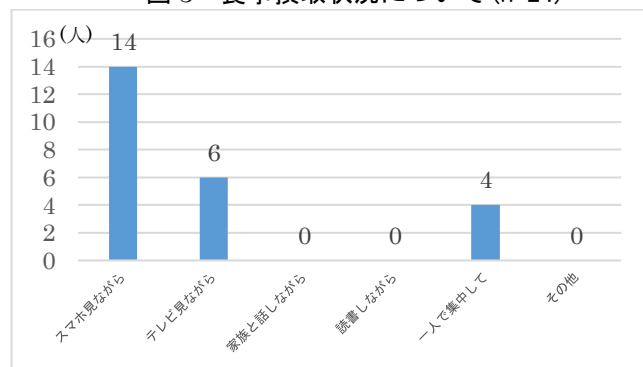


図 4 食事様式について (n=24)

3.2.2 事後アンケート

最後まで実験に参加した 11 名 (回収率 46%) のうち半数以上である 6 名 (54.5%) がスマホの有無による食事であり体調の変化は感じなかったと回答した (図 5). 5 名 (45%) は集中して食事を行う必要性を感じたと回答した (図 6). これらの項目は, 5 段階のリッカート尺度 (1: 全く感じなかったから 5: とても感じた) で実施した.

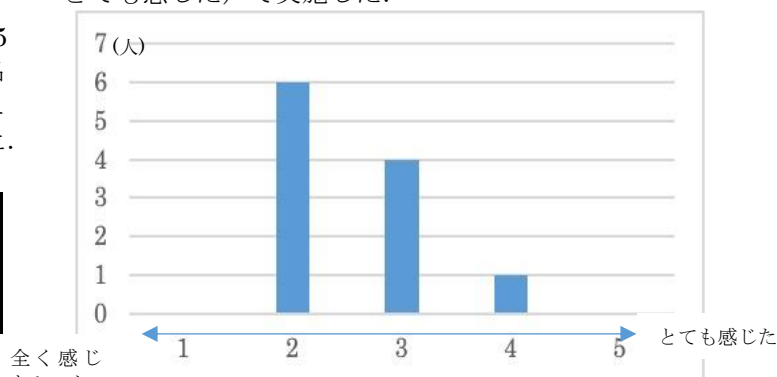


図 5 スマホ有無による食事での体調の変化 (n=11)

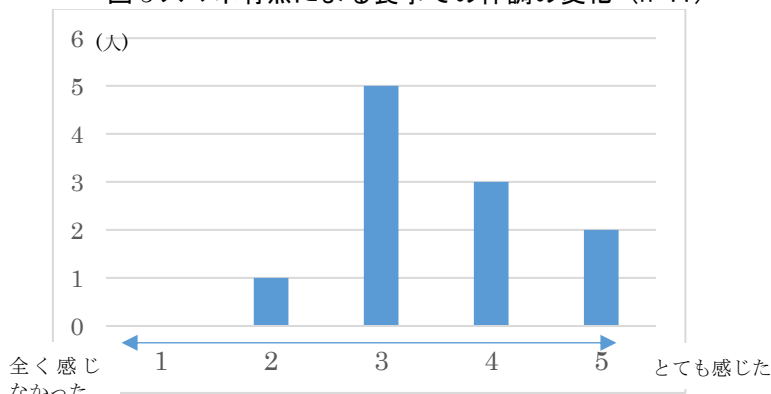


図 6 集中して食事を行うことの必要性

5 考察

腸音分析とアンケート調査の結果から考察を述べる。

5.1 食事様式と腸音発生間隔の関係

日常生活において、普段スマホ・テレビを見ながら食事をしている被験者と集中して食事をしている被験者の腸音発生間隔（ssi）について、有意な相関は見られなかった。相関が得られなかった最も大きな理由としては、腸の動きは個人によるため被験者ごとの比較では、相関が得られないと考えられる。他には、スマホを見ながら食事をするることによる唾液の分泌量などが人によって異なっていることや被験者によって腸が活発に動く時間が異なることなどが考えられる。また、事後アンケート結果より 5 名が集中して食事を行う必要性を感じており、行動変容ステージモデル^[4]の無関心期から関心期への移行の足掛かりが得られたと考えられる。

5.2 食事習慣と腸音発生間隔との関係

日常生活における食事の摂取状況によって各被験者の腸音発生間隔の平均値には有意な相関は見られなかった。相関が得られなかった最も大きな理由としては、食事様式と同様、腸の動きが個人により、他の被験者との比較では、相関が得られなかったことが考えられる。

5.3 食事におけるスマホ有無の腸音発生間隔について

スマホなし食事とスマホあり食事での各被験者の ssi 平均値において有意な相関が得られなかった。これより、スマホなし食事とスマホあり食事の二つの食事様式における腸の動きに大きな差はないと考えられる。有意な結果が得られなかった理由として被験者の数が少ないことや被験者による腸音数のばらつきがあること、食事内容を個人に委ねていたことなどが考えられる。

6 おわりに

今回の研究では、食事中にスマホを利用する大学生に対して行動変容を行うことを目的とし、スマートフォン利用時と通常時（食事に集中した状態）の腸音を分析・比較した。その結果、食事様式による腸音発生間隔（ssi）について有意な相関は得られなかったが、変化が見られる被験者が数名いた。

今後は、腸音の発生回数や腸音の大きさなど分析指標の追加、食事内容や腸音計測日時などの測定環境を統一した分析を行う必要がある。

今後、実際に変化が見られた被験者へはデータをフィードバックし、集中して食事を行うことの必要性の理解と行動変容につなげていきたい。

謝辞

本実験にご協力いただきました、被験者の皆様、そしてサントリーグローバルイノベーションセンター株式会社の金川氏に心より感謝申し上げます。

引用文献

- [1] モバイル社会研究所 “スマホ・ケータイのマナーに関する調査,” 株式会社 NTT ドコモ 2021 年一般向けモバイル 動 向 調 査 , 2021. <https://www.mobaken.jp/project/lifestyle/20200520.html>, (2023 年 2 月 8 日確認)
- [2] 光岡 知足, “腸内フローラの生態と役割,” 理研腸内フローラシンポジウム 学会出版センター , 1990.
- [3] Yuka Kutsumi, Norimasa Kanegawa, “Automated Bowel Sound and Motility Analysis with CNN Using a Smartphone,” Suntory Global Innovation Center, Sensors2023 , p3-10,2023.
- [4] 厚生労働省 “行動変容ステージモデル,” <https://www.ehealthnet.mhlw.go.jp/information/exercise/s-07-001.html>. (2023 年 2 月 9 日確認)

参考文献

- [1] Jun Tayama , Naoki Nakaya , “Maladjustment to Academic Life and Employment Anxiety in University Students with Irritable Bowel Syndrome,” 長崎大学, PLoS ワン, 2015.
- [2] 阪本 みどり, 深井 喜代子, “腸音リズムと排便習慣との関係,” 川崎医療福祉大学 日本看護研究学会雑誌 Vol.21 No.3, 1998.
- [3] 斎藤 慎之介, 大塚 翔, “腹部聴診音と X 線透視動画像との同時計測による蠕動音発生のメカニズムの推定,” 千葉大学 Annual 巻 Abstract 号 p.402, 2021.
- [4] Ning Wang, Alison Testa, “Development of a bowel sound detector adapted to demonstrate the effect of food intake,” Biomedical Engineering Online, 2022. (2023 年 2 月 8 日確認)

医療安全教育プログラムの考案に向けた 医療機関における安全対策の現状調査

松本龍樹^{*1}, 真嶋由貴恵^{*2}, 榊田聖子^{*2}

^{*1} 大阪府立大学 ^{*2} 大阪公立大学 情報学研究科

Survey of Current Safety Measures in Medical Institutions to Devise a Medical Safety Education Program

Tatsuki Matsumoto^{*1}, Yukie Majima^{*2}, Seiko Masuda^{*2}

^{*1} Osaka Prefecture University ^{*2} Osaka Metropolitan University

Medical institutions need to provide safe medical services and prevent medical accidents. It is said that about 6.3 million incidents occur per year, which is four times the number of hospital beds in Japan. Currently, medical institutions are implementing various measures and staff education for medical safety, but the effectiveness of these measures and staff education has not been evaluated. In this study, we surveyed the current safety measures implemented by medical institutions and examined the educational programs required for future medical safety based on the results of the survey.

キーワード: インシデント, 医療安全, 報告する文化, 効果評価, 安全教育

1. はじめに

医療安全とは「安全な医療サービスを提供するために医療事故やトラブルなどの対策を行い未然に防ぐこと」であり、医療の質に不可分とされる⁽¹⁾。医療事故はその被害度合から 0, 1, 2, 3a, 3b, 4a, 4b, 5 の 8 段階に分けられる。0 は未発生もしくは未然に防げた例, 5 は死亡した例である。一般的にレベル 3a までがインシデント, 3b 以上がアクシデントに分類される。公益財団法人医療機能評価機構の集計表⁽²⁾を基に計算すると 2018 年に日本全体でインシデントは約 637 万件発生しており, そのうち約 3 万 4 千件は実際に発生していれば対象が死亡もしくは重篤な障害を負っていた事例である⁽³⁾。

医療安全を確保するためには「安全文化」の醸成が必要であり, 「報告する文化」, 「正義の文化」, 「柔軟な文化」, 「学習する文化」の 4 つから構成される⁽⁴⁾。荒井⁽⁴⁾は情報収集が他の文化の基礎となるという点で

「報告する文化」に着目している。病院などの各医療機関は医療安全の確保や「安全文化」の醸成のために様々な安全対策を行っている。安全対策にはダブルチェックや指さし確認, フルネームによる確認や医療安全に関する研修の実施など様々である。

日本看護協会⁽⁵⁾は, 過剰な対策はかえってリスクが増すことになり, 安全対策の実施により関連する医療事故の発生数が減少したかなどの観点から適切な評価を行い, 改善を継続していく事が重要であるとしている。評価は難しいとも述べており, 報告事例のモニタリング調査や, アンケート・院内ラウンドによる評価, コホート研究による介入評価といった方法を通して安全対策に対する評価の検討・実施をしていくことも重要であるとしている。

しかし, 各医療機関の実施する安全対策の項目や評価法, 効果については不明である。

2. 目的

本研究の目的は、各医療機関が実施する安全対策の項目とその効果や課題から、「報告の文化」との関連を明らかにし、今後の医療安全教育プログラムを検討することである。

3. 研究方法

3.1 調査対象

近畿県内にある病床数 400 床以上の 21 施設に対しメールで研究協力を依頼、そのうち同意を得られた 5 施設である（以下、対象病院）。

3.2 調査方法

アンケート調査：対象病院に対し郵送で質問紙を送付する。内容は、回答者の役割に関する質問 2 項目、実施している安全対策に関する質問 23 項目（表 1）とする。

インタビュー調査：実施する安全対策の効果等について、アンケートへの回答内容に基づきオンラインで実施する（所要時間 30 分程度）。

3.3 分析方法

アンケート調査：医療安全対策 23 項目（表 1）の実態を整理する。

インタビュー内容：各病院の具体的な安全実施対策や効果、担当者としての意見や問題意識などを定性的に分析する。

表 1 医療安全対策の項目

項目	
A	ダブルチェック
B	指差し確認
C	フルネームによる患者確認
D	転倒転落アセスメントシートの活用
E	救急カート内の薬品の管理方法標準化
F	医療事故発生時の対応マニュアルの製作
G	院内緊急コール先の確保
H	定期的な病棟の見回り
I	インシデント報告強化月間（週間）の実施
J	医療安全に関する講習・勉強会の実施・参加
K	インシデントレポートへの事例の報告
L	インシデントレベル 0 の積極的報告の推奨
M	医療安全に関する掲示物の発行

N	優秀な報告への表彰
O	事例報告における匿名性の確保
P	公的機関が実施する医療の質を評価する事業（QI など）への参加
Q	日本医療機能評価機構が実施する事故情報収集事業への参加
R	医療安全管理室もしくはそれに類する組織の設置
S	医療安全対策会議の実施
T	他機関との医療安全に関する情報交換
U	医療安全担当者の任命
V	報告された事例に対する分析
W	危険予測トレーニングの実施

4. 結果

4.1 アンケート結果

対象病院の医療安全対策の状況を表 2 に示す。対象病院が実施すると回答した項目の平均は 21.4 項目（93%）であった。標準偏差は 0.8 であり、対象病院間で実施している安全対策の数はほとんど差がなかった。項目の中で、未実施の病院が 2 施設以上あったのは、I（インシデント報告強化月間）、N（優秀な報告への表彰）であった。未実施の病院が 1 施設のみだった項目は、L（インシデントレベル 0 の積極的報告の推奨）や P（公的機関が実施する医療の質を評価する事業への参加）、Q（日本医療機能評価機構が実施する事故情報収集事業への参加）であった。

表 2 対象病院の医療安全対策の状況

	病院 1	病院 2	病院 3	病院 4	病院 5
A	○	○	○	○	○
B	○	○	○	○	○
C	○	○	○	○	○
D	○	○	○	○	○
E	○	○	○	○	○
F	○	○	○	○	○
G	○	○	○	○	○
H	○	○	○	○	○
I	○	×	○	○	×
J	○	○	○	○	○
K	○	○	○	○	○
L	○	○	○	×	○
M	○	○	○	○	○
N	×	×	×	○	○
O	○	○	○	○	○
P	×	○	○	○	○
Q	×	○	○	○	○

R	○	○	○	○	○
S	○	○	○	○	○
T	○	○	○	○	○
U	○	○	○	○	○
V	○	○	○	○	○
W	○	○	○	○	○
SUM	20	21	22	22	22

4.2 インタビュー結果

5 病院を対象にしたインタビューより、各安全対策の効果は測定されていないということがわかった。しかし現場のスタッフから得た情報や医療安全管理者の感覚、他の施設との交流などから一部の安全対策の効果に一定の認識を持っていることがわかった。以下に、医療安全対策の項目をあげて述べる。

A（ダブルチェック）：4施設がその効果について懐疑的な意見を持っており、実施されてはいるが形骸化や流れ作業化を感じていた。また1施設は試験的にではあるが、2病棟ごとに実施を中止していると語った。

B（指差し確認）：5施設すべてが実施していると回答していたが、うち3施設は実際には正確に実施されていない状況があった。

F（医療事故発生時の対応マニュアルの作成）：1施設はマニュアルを作成したことに満足せず定期的に内容を精査しその時の状況に合わせて改善していくことが重要であると語った。

H（定期的な病棟の見回り）：普段は看護師長などのベテランや統括する立場のスタッフに話を聞くことが多いが、実際に患者に接する機会が多い看護スタッフや比較的経験年数の少ないスタッフともコミュニケーションをとることが理想だという意見があった。

医療安全管理者になる前に看護師として病棟に勤務していたころは、医療安全管理者の見回りが怖かったという意見があった。

J（医療安全に関する講習・勉強会の実施・参加）：医療法で規定されている年2回・全職員対象の研修に関して、1施設から、部署によっては関係のない内容が多く参加意欲にばらつきが出ているとの意見があった。同施設は、対象者のニーズに合わせたテーマで研修を実施するために、部署別・経験年数別の研修を迫

加で行っており、この方が、決定事項などを各部署に持ち帰って実践してくれやすいと考えていた。

L（インシデントレベル0の積極的報告の推奨）：

実施する理由として、インシデントレベル0のレポートは事故を未然に防ぐことができる事例のため、どうやったら事故が防止できるかという点で以後の安全対策の立案・遂行に非常に有益であることや、院内の状況把握に役立つからということがあげられていた。また1施設はインシデントレベル0のレポートに対して積極的に返信していると語った。

T（他機関との医療安全に関する情報交換）：すべての対象病院で行われていたが、情報交換の規模は異なっており、県・府規模で情報交換している施設や、全国にある同じ系列の医療機関の医療安全管理者と情報交換している施設、連携している近隣の2、3施設と情報交換している施設などさまざまであった。

V（報告された事例に対する分析）：RCA分析（Root-Cause Analysis：根本原因分析）は2～3か月に1回程度しか行えていないという意見があった。また手間と時間がかかるためRCA分析の実施に至っていないという施設もあった。蓄積されたインシデントレポートデータを統計的に活用する施設はなく、むしろ日々あがってくるインシデントレポートを事故原因別などで集計する作業などに時間がかかるという意見があった。よって、4施設はデータの加工や分析ができる人材を、そのうち2施設はそれが事務職員であることを望んでいた。

5. 考察

5.1 安全対策の実施状況に関して

アンケートの結果では実施する安全対策の数にあまり差がなかったが、インタビューの結果も踏まえると実施の状況は対象病院間で異なると考える。特にV（報告された事例に対する分析）に関して、あまりデータの活用を行っていないという状況は共通していたが、そもそもデータの活用を行う必要があるのかという点で対象病院間に認識の相違があったように思う。認識の相違が生まれた原因としては、医療安全においてデータの活用に関する研究が乏しいからであると考えられる。

5.2 安全対策の効果に関して

各安全対策の効果が測定されていない理由に関して、2つの理由が考えられる。ひとつ目は日々の業務が多く人力的余裕がないため、各安全対策の効果を測る余裕がないこと。ふたつ目は実施したくても方法がわからない事である。前者に関して、インタビューの節々で一日の業務量の多さがうかがえた。またその中で大きな負担となるのが報告された事例の集計・分析業務であると推察される。

また各項目に関して、A（ダブルチェック）はB（指差し確認）とは異なり個人で完結するものではなく、実施率が悪いという意見もなかった。形骸化や流れ作業化の理由は、ダブルチェックそのものの簡易さにあると考える。よってAは継続的なインシデント予防効果が小さいと推察する。

H（定期的な病棟の見回り）に関して、スタッフと積極的にコミュニケーションをとることは些細な事でも報告しやすい雰囲気づくり、つまり「報告する文化」の醸成に大きく貢献していると考えられる。

L（インシデントレベル0の積極的報告の推奨）に関して、インシデントレベル0を報告することは状況把握などの理由から重要であると感じていたが、公益財団法人日本医療機能評価機構の事故情報収集等事業の情報⁽²⁾を見るに実際に発生したインシデント（1~3a）はそうでないインシデント（0）に比べ2倍近い。これはハインリッヒの法則（1つの重大な事故の背景には29の軽微な事故が、その背景には300もの事故未満が存在するとする経験則）に反するものであり、インシデントレベル0の報告が軽視されていると考えられる。これは医療安全管理者とそれ以外のスタッフ間での認識の相違であり、インシデントレベル0の報告の重要性を伝える必要があると考える。

V（報告された事例に対する分析）に関して、看護師など現場からの情報が細かく分析され事後対策に活かされることは、医療安全の確保につながると同時に報告側のモチベーションになるため、フィードバックの質は「報告する文化」を向上させることにつながる。よってフィードバックのために分析やその過程を担う人材は医療安全の確保をより確実なものにすると考え

る。しかしデータの加工や分析には知識と経験の両方が要求されることであり、日々様々な業務をこなす医療安全管理者が働きながら学ぶのは極めて難しいと考える。したがって、医療安全管理室に追加でデータの加工や分析ができる人材が必要であることから、発掘や育成の重要性は高いと考える。

5.3 必要な教育プログラムに関して

以上の結果・考察をふまえ、必要な医療安全教育プログラムの内容を考えた。

- ・EXCEL もしくはその他ツールによるデータハンドリング技術
- ・Exploratory（Rをベースとするノーコードの分析ツール）に代表される分析用ツールを扱う技術
- ・統計的知識（統計検定2級：大学基礎科目レベル）
- ・インシデントレベル0報告の重要性

6. おわりに

本研究では各医療機関が実施する安全対策の実態や効果を調査し、「報告する文化」との関連性を解明し今後の医療安全教育プログラムを検討した。調査に協力いただけたのは21施設中5施設であり数は十分といえないが、一部の項目の「報告する文化」との関連性を明らかにし、いくつか医療安全教育プログラムを検討できた。今後の展望として、「報告する文化」との関連性を数値化することや考察した医療安全プログラムの具体的な内容に関して検討することが挙げられる。

謝辞

本研究に協力してくださった医療安全管理者の方々に感謝の意を表明する。

参考文献

- (1) 厚生労働省、政策について 医療安全施策にかかる説明資料、
<https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000109040.html>, (2023年2月9日確認)
- (2) 公益財団法人日本医療機能評価機構、ヒヤリ・ハット事例収集・分析提供事業 2018年1月-12月（2018年年報

- 分) 発生件数の報告 YNR-01 発生件数情報の報告件数,
https://www.med-safe.jp/contents/report/html/nennzi/2018/TTL301_YNR-01.html, (2023 年 2 月 9 日確認)
- (3) 厚生労働省, 日統計表 9 都道府県－18 大都市・中核市
(再掲) 別にみた病床数及び人口 10 万対病床数,
<https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/iryosd/07/toukei09.html>, (2023 年 2 月 9 日確認)
- (4) 荒井由実, “インシデント報告によるナレッジマネジメント”, 医学界新聞, 医学書院 (2020)
https://www.igaku-shoin.co.jp/paper/archive/y2020/PA03356_03, (2023 年 2 月 9 日確認)
- (5) 公益社団法人日本看護協会, “医療安全推進のための標準テキスト”, 2013 年
<https://www.nurse.or.jp/nursing/practice/anzen/pdf/text.pdf>, (2023 年 2 月 9 日確認)

学習支援サービスのコメント送信機能を活用した 学習者の学びの過程の分析

宇宿 公紀

東京都立東大和南高等学校/教育テスト研究センター

Analysis of the Learning Process for Using Web-based Communication

Usuki Kiminori

Tokyo Metropolitan Higashiyamato Minami High School /
Center for Research on Educational Testing

本研究では、難易度の異なる問題を個別学習、協働学習の順で学習するグループと協同学習、個別学習の順で学習するグループに分けて学習した場合、学習者の意識に与える影響の差異と協同学習の学びの過程を分析することを目的に、大学生を対象に実験を行った。結果、どちらのグループも実験の前後でテストの得点の平均値に有意な差が認められなかったが、協同学習、個別学習の順よりも、個別学習、協同学習の順に学習したグループの方が、意識調査の得点の平均値が高い項目があることが認められた。また、難易度が易しい問題と比較して、中程度の問題の方が、発話数と相互作用のある重要な対話が多くみられた。

キーワード: 対話的な学び, 相互作用のある対話, 協同学習, 操作的トランザクション

1. はじめに

対話的な学びが重視されている現代では、どのような教材を用いて学習することが効果的であるのだろうか。Berkowitz&Gibbs(1983)は、相互作用のある対話である(Transactive Discussion:TD)を引き起こす重要な要因は、単に他者の考えを引き出したり、表象したりする「表象的トランザクション(representational transactiol)」の対話ではなく、「操作的トランザクション(operational transaction)」の対話であることを明らかにした。本研究では、難易度の異なる問題を個別学習と協同学習の学習形態で学習した場合、学習形態が学習者の意識に与える影響の差異と協同学習の学びの過程を分析することを目的とした。

2. 調査の方法

2.1 実験の手続き

関東圏内の大学生 49 名 (男性 25 名, 女性 24 名) を対象に, Zoom Meetings を用いて調査を行った。また, 大学生 49 名を (協同学習後に個別学習を行うグループ:「協同個別グループ」) 26 名 (男性 14 名女性 12 名), (個別学習後に協同学習を行うグループ:「個別協同グループ」) 23 名 (男性 11 名女性 12 名) の 2 つに分けて実験を行った。さらに, 協同学習グループと個別学習グループは, 協同学習の際に 5 つの班に分けて google スライドによるコメント機能を活用した話し合い活動を行った。実験中は, Zoom Meetings に学習者のパソコンとスマートフォン両方を接続させて, 調べ学習を禁止した。実験の手続きを表 1 に示す。また,

「協同個人グループ」と「個人協同グループ」の学力を測定するために、実験の前後で同一問題の小テスト（5問合計5点満点）を行った。また、実験は、高等学校生物基礎の内分泌系と血糖値に関する難易度の異なる問題を筆者が3問（問題1：難易度易、問題2：難易度中、問題3：難易度高）作成したものを使用した。問題は、調べ学習を防ぐために、血糖値の減少に関与する架空の物質x（問題1と問題2）、物質xと血糖値の増加に関与する架空の物質y（問題3）を設定したため、正解が複数ある問題となっている。問題1は、健康なヒトの血糖値と物質xのグラフと糖尿病患者A（血糖値が健康なヒトよりも高く、物質xの分泌量が少ない）グラフから分かることをもとに、糖尿病患者Aの原因についての問題である。問題2は、糖尿病患者Aと糖尿病患者B（物質Xは正常に分泌されているが、血糖値が糖尿病患者と同じくらい高い）のグラフから分かることをもとに糖尿病患者Aと糖尿病患者Bの糖尿病の原因についての問題である。問題3は、健康なヒトの血糖値と物質xのグラフから、物質yの食前1時間から食後3時間までの相対値を予測させる問題であった。加えて、実験後に学習者の意識について調べるために、意識調査を行い、5件法（1:全くそう思わない～5:とてもそう思う）で回答を求めた。

表1 実験の手続き

時間	協同個別グループ	個別協同グループ
10分	調査の説明、接続確認、事前調査	
10分	個別学習（問題1）	協同学習（問題1）
10分	協同学習（問題2）	個別学習（問題2）
10分	個別学習（問題3）	
10分	事後調査	

2.2 分析の方法

まず、実験前後の小テストの得点の平均値（標準偏差）と意識調査の得点の平均値（標準偏差）を算出した。また、実験の前後とグループを要因とした2要因分散分析を行った。さらに、「個別協同グループ」の「問題1」、「協同個別グループ」の「問題2」における個別学習で得られた解答の得点の平均値（標準偏差）を算出して、t検定を検討した。問題の採点は筆者が、課題に対してグラフをもとに結論を導き出せば正解として、5点満点（0点～5点）で行った。また、「協同

個別グループ」の「問題1」、「個別協同グループ」の「問題2」における協同学習についても個別学習と同様に採点を行った。続いて、「問題3」の「協同個別グループ」と「個別協同グループ」の個別学習で得られた解答の得点の平均値（標準偏差）を算出して、t検定を行った。

次に、「協同個別グループ」と「個別協同グループ」の意識調査による得点の平均値（標準偏差）を算出して、t検定を行った。さらに、「協同個別グループ」と「個別協同グループ」の事後テストと意識調査による得点の平均値（標準偏差）の相関係数と有意差検定を行った。

最後に、学習者の学びの過程の分析は、「協同個別グループ」の「問題1」と「個別協同グループ」の「問題2」における協同学習の学習者のコメントを用いた。TDの質的分析カテゴリは、Berkowitz&Gibbs(1983)をもとに高垣ら(2004)が作成したものを参考にした。TDの分類は、高等学校教員免許状を取得している2名でそれぞれ行い、双方の一致を原則とした。TDの分類が不一致の場合は、一致するまで話し合いを行った。そして、「協同個別グループ」と「個別協同グループ」におけるTDの上位カテゴリの発話数とその割合を算出した。

表2 TDの質的分析カテゴリ

カテゴリ		分類基準
表 象 的 ト ラ ン ジ ャ ク ソ ン	課題の提示	話し合いのテーマや論点を提示する。
	フィードバックの要請	提示された課題や発話内容に対して、コメントを求める。
	正当化の要請	主張内容に対して、正当化する理由を求める。
	主張	自分の意見や解釈を提示する。
	言い換え	自己の主張や他者の主張と、同じ内容を繰り返して述べる。
操 作 的 ト ラ ン ジ ャ ク ソ ン	併置	他者の主張と自己の主張を、並列的に述べる。
	拡張	自己の主張や他者の主張に、別の内容をつけ加えて述べる。
	矛盾	他者の主張の矛盾点を、根拠を明らかにしながら指摘する。
	比較的批判	自己の主張が他者の示した主張と相容れない理由を述べながら、反論する。
	精緻化	自己の主張や他者の主張に、新たな根拠をつけ加えて説明し直す。
	統合	自己の主張や他者の主張を理解し、共通基盤の観点から説明し直す。

3. 結果と考察

まず、実験前後の小テストの得点の平均値（標準偏差）と意識調査の得点の平均値（標準偏差）の結果を表 2 に示す。また、実験の前後とグループを要因とした 2 要因分散分析を検討した結果、交互作用 ($F(1,47)=0.08$) が認められなかった。続いて、実験の前後による主効果 ($F(1,47)=2.83$) を検討した結果、有意な差が認められなかった。加えて、グループによる主効果 ($F(1,47)=0.26$) を検討した結果、有意な差が認められなかった。従って、「協同個別グループ」と「個別協同グループ」は、知識がほぼ同じグループであることが分かった。また、実験の前後で問題に関連する知識の得点の平均値に有意な差が認められなかったことから、調べ学習をして知識を得た学習者は少なかった、あるいは、いなかったと考えられる。

表 3 実験前後の小テストの得点の平均値（標準偏差）

調査内容	協同個別グループ	個別協同グループ
事前テスト	3.08(1.17)	3.00(1.02)
事後テスト	3.50(1.25)	3.30(1.27)

「個別協同グループ」の「問題 1」、「協同個別グループ」の「問題 2」における個別学習で得られた解答の得点の平均値（標準偏差）を算出して、 t 検定を検討した。結果、「協同個別グループ」の個別学習による「問題 2」の得点の平均値（標準偏差）3.37(2.16)と比較して、「個別協同グループ」の個別学習による「問題 1」の得点の平均値（標準偏差）4.65(0.96)が有意に高かった ($p<0.05$)。「協同個別グループ」の「問題 1」、「個別協同グループ」の「問題 2」における協同学習について採点したところ、どのグループも結論を導き出していた。続いて、「問題 3」の「協同個別グループ」と「個別協同グループ」の個別学習で得られた解答の得点の平均値（標準偏差）を算出して、 t 検定を検討した。結果、「協同個別グループ」の得点の平均値（標準偏差）が 1.50 (1.74)、「個別協同グループ」の得点の平均値（標準偏差）が 1.96 (2.01) であり、有意な差が認められなかった。従って、問題 1、問題 2、問題 3 の順

に難易度が高くなっていることが確認された。

次に、表 3 の事後テストと意識調査による得点の平均値（標準偏差）の結果を表 4 に示す。結果、表 3 の項目内において、「問題 2」の内容が理解できた」という意識による得点の平均値が、「協同個別グループ」が 4.04 (0.81)、「個別協同グループ」が 4.17 (1.05)、と一番高く、そう思うに近い値となった。一方、「グループでのコメントのやりとりに、ついていくことができなかった」という意識による得点の平均値が、「協同個別グループ」が 2.44 (1.05)、「個別協同グループ」が 1.96 (0.88) と一番低く、そう思うわないに近い値となった。続いて、表 4 の項目において、 t 検定を検討した。結果、「興味をもてた」において、「協同個別グループ」の得点の平均値（標準偏差）3.42 (1.12) と比較して、「個別協同グループ」の得点の平均値（標準偏差）4.09 (0.78) が有意に高かった ($p<0.05$)。加えて、「もっと知りたい」において、「協同個別グループ」の得点の平均値（標準偏差）3.23 (1.09) と比較して、「個別協同グループ」の得点の平均値（標準偏差）3.96 (0.81) が有意に高かった ($p<0.05$)。換言すると、協同学習、個別学習の順よりも、個別学習、協働学習の順で学習した方が、学習への興味やもっと知りたいという意識にポジティブに感じる傾向があることが分かった。吉田 (2022) は、未来の学習のための準備 (Preparation for Future Learning:PFL) の知見を個別最適な学びのアプローチの一つとして位置づけているが、難易度が易しい問題での個別学習が、類似した難易度の中程度の問題での協同学習に影響を与えたのかもしれない。また、表 4 の事後テストと意識調査による得点の平均値（標準偏差）の相関係数と有意差を検定した結果を表 5 に示す。表 5 の結果の一部として、「協同個別グループ」は、「興味をもてた」と「これまで学習した内容と知識を結びつけて考えることができた」に有意な強い正の相関が認められた ($p<0.05$)。意識調査による得点の平均値（標準偏差）は、「興味をもてた」が 3.42 (1.12)、「これまで学習した内容と知識を結びつけて考えることができた」が 3.31 (1.10) と

どちらともいえないに近かった。「個別協同グループ」は、「自分の意見を伝えることができた」と「問題2が理解できた」に有意な強い正の相関が認められた ($p<0.05$)。意識調査による得点の平均値(標準偏差)は、「自分の意見を伝えることができた」が3.83(0.82)、「問題2が理解できた」が4.17(1.05)とそう思うに近かった。

最後に、「協同個別グループ」の「問題1」による協同学習と「個別協同グループ」の「問題2」による協同学習において、表2の高垣ら(2004)のTDの質的分析カテゴリを基にコメント内容を分類した結果を表6に示す。結果、総発言数において、「協同個別グループ」の54と比較して、「個別協同グループ」の85が多かった。操作的トランジクションの割合は、「個別協同グループ」の37.65%と比較して、「協同個別グループ」の50.00%が高かった。続いて、「協同個別グループ」における各班のTDの質的分析カテゴリを基にコメント内容を分類した結果を表7に、「個別協同グループ」の結果を表8に示す。

表4 事後テストと意識調査による
得点の平均値(標準偏差)

番号	調査内容	協同個別グループ	個別協同グループ	p
1	小テストの得点	3.50(1.25)	3.30(1.27)	
2	自分の意見を伝えることができた	3.62(0.84)	3.83(0.82)	
3	興味がもてた	3.42(1.12)	4.09(0.78)	*
4	情報を精査して考えることができた	3.77(0.70)	3.83(0.96)	
5	問題1の内容が理解できた	4.04(0.81)	4.13(1.12)	
6	問題2の内容が理解できた	3.73(1.13)	4.17(1.05)	
7	問題3の内容が理解できた	3.31(1.17)	3.35(1.24)	
8	もっと知りたい	3.23(1.09)	3.96(0.81)	*
9	これまで学習した内容と知識を結びつけて考えることができた	3.31(1.10)	3.96(1.16)	
10	個人だけではなく、グループでコメントし合うことで問題を解くことができた	3.30(1.11)	3.18(1.23)	
11	グループでのコメントのやりとりについていくことができなかった	2.44(1.05)	1.96(0.88)	

表5 事後テスト意識調査による得点の相関係数の結果

		個別協同グループ										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
協 同 個 別 グ ル ー プ	1		-0.06	0.11	-0.08	0.15	0.09	0.25	0.52 *	0.52 *	-0.09	0.22
	2	-0.19		0.34	0.31	0.60 *	0.64 *	0.41	0.08	0.44 *	-0.19	-0.48 *
	3	0.09	0.04		-0.01	0.08	0.20	-0.11	0.58 *	0.06	0.36	0.03
	4	-0.16	0.23	0.57 *		0.37	0.47 *	0.29	-0.05	0.06	0.19	-0.11
	5	0.06	-0.05	0.33	0.53 *		0.94 *	0.75 *	0.01	0.61 *	-0.56 *	-0.69 *
	6	0.14	-0.11	0.20	0.52 *	0.68 *		0.66 *	0.01	0.49 *	-0.41 *	-0.66 *
	7	0.40 *	-0.04	0.38	0.49 *	0.39	0.32		-0.02	0.51 *	-0.58 *	-0.33
	8	0.02	-0.15	0.60 *	0.13	0.01	0.13	0.19		0.29	0.28	0.20
	9	0.27	0.17	0.50 *	0.43 *	0.39 *	0.21	0.21	0.35		-0.58 *	-0.29
	10	0.31	0.12	0.03	-0.28	-0.33	-0.31	0.03	-0.13	-0.09		0.54 *
	11	-0.31	-0.11	0.19	-0.05	0.04	-0.09	0.15	0.15	-0.20	0.04	

*表5の番号は、表4の番号と対応している。

表6 「協同個別グループ」と「個別協同グループ」における TD の上位カテゴリの発話数 (%)

	協同個別グループ 「問題1」	個別協同グループ 「問題2」
表象的トラン ジャクソン	27(50.00)	53(62.35)
操作的トラン ジャクソン	27(50.00)	32(37.65)

表7 「協同個別グループ」の TD による分類

項目	1	2	班 3	4	5
課題の提示	1	1	1	1	1
フィードバック の要請	1	0	1	1	0
正当化の要請	0	0	0	0	0
主張	4	3	4	2	1
言い換え	1	1	1	2	0
併置	0	0	0	0	0
拡張	1	1	0	0	0
比較的批判	1	0	0	0	0
矛盾	0	0	0	0	0
精緻化	4	4	4	3	0
統合	1	4	3	1	0

表8 「個別協同グループ」の TD による分類

項目	6	7	班 8	9	10
課題の提示	1	1	1	1	1
フィードバック の要請	3	2	0	2	1
正当化の要請	2	0	0	1	0
主張	1	10	1	8	3
言い換え	4	4	1	0	3
併置	1	1	0	0	0
拡張	1	1	2	1	1
比較的批判	3	1	0	0	0
矛盾	2	0	0	1	0
精緻化	3	3	2	3	1
統合	2	3	0	1	1

表7と表8の結果から分かることの一部を示す。表7から、2班が操作的トランジャクションを含むコメントが9件と一番多かった。2班のコメントの一部を抜粋したものをプロトコル①に示す。「個別協同グループ」の個別学習による「問題1」の得点の平均値(標準偏差) 4.65(0.96)と難易度の易しい問題となっている。「協同個別グループ」は、個別でもほとんどの学習者が問題を解くことができたと考えられるが、プロトコル①から、TDの操作的トランザクションに関する

コメントが表出していたことから、多角的な視点で考えられた学習者がいたのかもしれない。

プロトコル①:「協同個別グループ」の2班

番号	コメント内容	カテ ゴリ
略		
G4	物質 x が、血糖濃度が一定以下でないと多くなれないという性質があるのではないかと考えます。	主張<表>
F5	確かにそうですね、 <u>初期の物質 X の値はどちらもほぼ同じ値を記録</u> しています。	精緻化<操>
H3	<u>健康者は血糖濃度と物質 X が同じ値をとる時があるが、糖尿病疾患者には両方の数値が同じになることはない。</u>	拡張<操>
G5	健康なヒトは <u>食事後 1 時間で血糖濃度と物質 x の濃度がピークを迎えてその後値が下がっていますが、糖尿病の人の血糖濃度は 2 時間を過ぎても上がったままです。</u> このことから、 <u>物質 x は血糖濃度を下げる働きがある</u> のではないかと考えます。	統合<操>
略		

*番号は、同一アルファベットが同一人物、数字はコメントの順番を示している。

*カテゴリは、「下位カテゴリ<上位カテゴリ>」の順で示している。

表8から、1班がTDの操作的トランジャクションを含むコメントが11件と一番多かった。2班のコメントの一部を抜粋したものをプロトコル②に示す。「協同個別グループ」の個別学習による「問題2」の得点の平均値(標準偏差) 3.37(2.16)と難易度が中程度の問題となっている。表7の「協同個別グループ」の比較的批判は1件であったが、表8の「個別協同グループ」の比較的批判は4件となっている。問題1と比較して問題2の方が、誤ったコメントが増えたと考えられるが、このことが比較的批判のコメントを増やしたのかもしれない。また、プロトコル①とプロトコル②から、コメントを通して、グラフについて様々な視点で読み取ることができていることが、問題の内容について理解が深まったことの1つの要因として考えられる。

プロトコル②：「個別協同グループ」の1班

番号	コメント内容	カテゴリ
A1	Aは物質 x の生成もしくは分泌をする器官に、Bは物質 x を受け取る器官に問題があると考えました。 略	主張 <表>
G3	B って元々健常者よりも血糖濃度と物質 X 高めですよね？	正当化 の要請 <表>
H2	<u>B は運動しているが、A は運動していないのも気になります</u>	拡張 <操>
I1	健常者より高いですが <u>A も高いので関係ない</u> と思います	比較的 批判 <操>
F4	<u>物質 x を受け取る器官や物質 x を使う器官</u> がうまく働いていないから物質 x が過剰に分泌されているのではないのでしょうか	統合 <操>
G4	Aは食事に対して物質 X が分泌されていないことが原因で、 <u>B は分泌されても働かないことが原因</u> のように見えます フィードバックがないんですね。ただ物質 X 濃度が過剰なのかどうかまでは	精緻化 <操>
F5	<u>このグラフではわからない</u> と思います 物質 X は何かの器官に受け取られることで効果が働く物質なののでしょうか？ 僕はそうではなく、 <u>血糖そのものに直接働いて血糖を分解する</u> のだと思っています。なので患者 B は、物質 X を受け取る器官に問題があるというよりは、物質 X そのものに問題があるのではないかと思います。	矛盾 <操>
G5	<u>患者 B の血糖が物質 X に効果を受けにくい血糖(?)</u> かもしれません 物質 x の働き方(受け取り口があるのかないのか)は、 <u>このグラフだけでは分からない</u> かなと思いました。	精緻化 <操>
I2		矛盾 <操>
G6	物質 x 自体がおかしいのはあり得るかもしれません	言い換え <表>
F6	A=物質 x を受け取る器官や物質 x を使う器官がうまく働いていない	言い換え <表>
F7	B=物質 X に問題あり	言い換え <表>

を対象に実験を行った。結果、どちらのグループも実験の前後でテストの得点の平均値に有意な差が認められなかったが、協同学習、個別学習の順よりも、個別学習、協同学習の順に学習したグループの方が、意識調査の得点の平均値が高い項目があることが認められた。また、難易度が易しい問題と比較して、中程度の問題の方が、発話数と相互作用のある重要な対話が多くみられた。

今後の課題として、学習者のコメントの評価方法の検討等が挙げられる。

謝辞

本研究は、教育テスト研究センターの助成を得た。深く感謝の意を表す。

参考文献

- (1) Berkowitz, M. W., & Gibbs, J. C. (1983) Measuring the developmental features of moral discussion. Merrill-Palmer Quarterly, 29, 399-410.
- (2) 高垣 マユミ, 中島 朋紀 (2004) 理科授業の協同学習における発話事例の解釈的分析, 52, 4, 472-484
- (3) 吉田 英彰 (2022) 個別最適な学びの実現に関する検討「未来の学習のための準備」研究に着目して, 46, 2, 393-403

4. おわりに

本研究では、難易度の異なる問題を個別学習、協働学習の順で学習するグループと協同学習、個別学習の順で学習するグループに分けて学習した場合、学習者の意識に与える影響の差異と協同学習の学びの過程を分析することを目的に、大学生

脳波測定器 Muse2 による正確な脳波データの取得法分析

安部拓磨^{*1}, 篠崎諒^{*1}, 塩尻(斎藤)亜希^{*1}, 上條浩一^{*1}, 大関和夫^{*1}, 鈴木雅実^{*1}

^{*1} 東京国際工科専門職大学

Acquisition Method Analysis of Accurate Electroencephalogram Data by Electroencephalograph Muse2

Takuma ABE ^{*1}, Ryo SHINOZAKI ^{*1} Aki SHIOJIRI(SAITO) ^{*1},
Koichi KAMIJO^{*1}, Kazuo OHZEKI^{*1}, Masami SUZUKI^{*1}

^{*1} International Professional University of Technology in Tokyo

脳の活動観測において、装着が容易で被験者への負荷が低い脳波計(EEG)は様々な分野で利用されている。しかしながら、EEG は、脳磁図記録(MEG)などに比べ空間分解能に優れず精度が低い、という問題がある。そこで、精度が低いドライタイプの EEG 装置(Muse2)を用いても、装着の容易さと被験者への負荷を損なうことなく、高い精度で脳波を計測する方法の研究を行った。研究の結果、Muse2 を頭に固定する簡易的な工程を加えるだけで、脳波の標準偏差が小さくなることが確認できた。ある電極では、固定の有無で各々46.425, 0.354 となり、131 分の 1 まで小さくなることを確認した。

キーワード: 簡易脳波計, EEG, Muse2, アーチファクト, 動画視聴, 集中度

1. はじめに

近年では多くの企業から多様な脳波計(electroencephalograph: EEG)が出てきており、MEG(Magneto-Encephalo-Graphy)などの時間分解能に優れた大がかりな脳波計だけでなく、より安価で多様性のあるものも販売されている。そして、脳波計を用いた研究は、様々な分野へ広がりを見せている。しかし、計測には様々な問題が指摘されている。その中でもアーチファクトの除去は大きな課題⁽¹⁾であり、中でも皮膚の電極間接触抵抗(10k Ω 以下)を取ることは重要な課題の 1 つである。一般の脳波計測においては皮脂除去や導電性ペーストなどを使用することで頭皮に電極をフィットさせている。しかし、これらの前処置をすることは簡易とは言えず被験者への不快感も増加していると考えられる。本研究では、簡易脳波計として広範な分野で使用されているドライタイプの EEG 装置(Muse2: InteraXon 社、図 1)⁽²⁾を用いており EEG 装置の中で最も感度が劣る脳波計とされている。

そこで本研究では Muse2 は皮膚と電極との接触が悪くなっていることでアーチファクトの原因になると

いう仮説の元、電極と皮膚間の接触を的確にするためヘアバンド(バンド)を使用することで正確な測定をすることを目的とした。

2. 方法

2.1 実験方法

2.1.1 被験者

本研究では、東京国際工科専門職大学の工科学部情報工学科に所属する 1, 2 年次の学生(9 名)を対象に実験を行った。表 1 に被験者の詳細を記す。実験の実施に当たり、直前に当該研究の趣旨、及び倫理的配慮の記載された資料を作成し、対面にて説明を実施した。

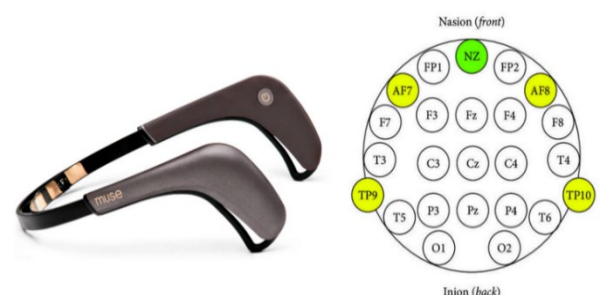


図 1 Muse 2 の本体(左)⁽²⁾と
脳波センサ(右, TP9, TP10, AF7, AF8)⁽³⁾

表 1 被験者の詳細

No.	性別	年齢	メガネ
1	M	22	
2	M	21	○
3	M	20	
4	M	22	
6	M	19	
5	M	20	
7	M	19	○
8	M	21	
9	M	19	

2.1.2 脳波測定

脳波の測定には、Muse2、スマートフォン(Google Pixel 4a)、及び EEG raw データ取得アプリ(Mind Monitor)を使用した。Muse2 は、脳波センシング・ヘッドバンドであり、従来の生体センサのような電極ジェルなどが不要なため長時間の装着が可能である。また、国際 10-20 法に対応した AF7・AF8・TP9・TP10 の 4 チャンネルの電極(図 1)から 3 次元加速度、3 次元ジャイロ、 δ 波(0.5-4Hz)、 θ 波(4-8Hz)、 α 波(8-12Hz)、 β 波(12-35Hz)、及び γ 波(35Hz 以上)の情報を取得可能である⁽²⁾。データ記録開始・終了は、Android スマートフォンに事前にダウンロードした Mind Monitor⁽³⁾を使用し、動画開始直前から動画終了直後を計測した。また、脳波のリサンプリングは EEGLAB⁽⁴⁾を使用した。

2.1.3 実験条件

脳の刺激として、本研究は 5 分程度で視聴できる動画を用意した。被験者は 5 分 4 秒の「介護における IoT 活用事例紹介⁽⁵⁾」を 2 回に分けて視聴する。脳波測定は順序効果を考慮して、動画視聴 1 回目にバンドを着用する条件と着用しない条件に分けた。被験者は教示に従い、各自でアルコール除菌シートを用いて額と耳裏を拭き、皮脂の不純物を取り除いて行った。被験者は着席し、静止した状態で視聴した。Muse2 を固定するために図 2 のヘアバンドを用いた。全ての実験の終了

後、アンケートの記入を求めた。サンプリング周波数は 300Hz であった。

2.1.4 アンケート

実験終了後、実験アンケートを実施した(表 2)。各アンケートの項目は、快—不快の項目を含め、それに付随するアンケートとして 6 つの形容詞対を 5 段階評価とした。



図 2 ヘアバンド

表 2 アンケート詳細

大項目	小項目	回答形式	
		単一	記述
参加者情報	氏名(フリガナ)		○
	学籍番号		○
測定環境	その着席位置	○	
	室温の快適度	○	
	ヘアバンドの快適度	○	
動画視聴時について	動画の視聴経験	○	
	視聴時の快適度	○	
	1 回目の視聴時にヘアバンド使用の有無	○	
	1 本目の動画の関心度	○	
	2 本目の動画の関心度	○	
	動画視聴時の覚醒度	○	
その他	良かった点		○
	改善してほしい点		○

2.2 データの解析

データを解析するにあたり、脳波の計測時にビデオ撮影を行うことで検査状態を検討した。入眠状態で体が揺れて筋電図が計測の全般的に混入している 1 名 (No.3)を除き、残りの 8 名で分析を行った。Bad Fit(BF)回数および Jaw Clench(JC)⁽³⁾は Mind Monitor 専用のサイトを使用した。

300Hz でサンプリングされたデータを 75Hz にリサンプリングし、5-35Hz の帯域幅を持つバンドパスフィルタを適用した。このように前処理を行ったデータを使用し、4 秒間に記録された各電極の出力値の標準偏差(単位は μV)を 1 秒間隔で算出し、標準偏差が 15 以上の電極データをノイズとして出力した。そして、チャンネルごとにノイズと出力した回数を記録した。さらに、ノイズの回数を記録したものを標準偏差で算出し t 検定で計算した。

アンケートの結果からバンド・視聴時の快適度(5段階)の評価を 3 以下と 4 以上で 2 群に分け、低評価群を不快群、高評価群を快適群とした。2 群間の BF 数・JC 数を対応のない t 検定で分析した。

3. 結果

バンド装着に関するアンケートからは装着不快を示すものは 1 例認められたがそのほかの 8 名は最大で計測時間 6 分 21 秒の測定にて問題は認められなかった。表 3 の通り、バンド無しで測定困難者 3 名、バンド有りでは全員測定可能であった。

3.1 アンケート結果

アンケートの結果より、バンドの快適度の項目において、1(非常に不快)を選択したものはおらず、2(やや不快)を選択したのも 1 例のみで、他 8 名は 3(どちらでもない)以上を選択しており、動画視聴時の測定でのバンドの使用に関して、不快感を持つものはほとんどみられなかった。また、バンド・視聴時それぞれの不快群と快適群間の BF 数・JC 数の t 検定の分析を行った結果どちらも有意差は得られなかった。

3.2 RAW データの結果

RAW データの結果を表 3, 4 に記す。アーチファクトのうちでは BF 数は、バンド無し 34 ± 25.4 回、バ

表 3 RAW データの結果

		バンド無し		バンド有り	
No.	年齢	BF 数	JC 数	BF 数	JC 数
1	22	—	—	5	0
2	21	59	43	0	0
3	22	—	—	11	32
4	20	—	—	0	6
5	20	51	1	7	0
6	19	48	23	1	3
7	19	2	0	0	0
8	21	2	8	1	4
9	19	42	6	0	5

表 4 バンドの有無における BF・JC 比較

	バンド無し		バンド有り		t 値
	M	SD	M	SD	
BF(回数)	34.000	25.385	1.750	2.712	0.013*
JC(回数)	13.500	16.646	2.250	2.550	0.080

* $p < .05$

ンド有り 2.8 ± 4.0 回と有意に($p < 0.05$)バンド有りのアーチファクトは減少していた。また、JC 数ではバンド無し 13.5 ± 16.5 回、バンド有りでは 5.6 ± 10.2 回と明らかに低値を示していたが有意差は認められなかった。

3.3 リサンプリング後の結果

チャンネルごとのノイズの回数の結果は表 5 のようになった。また、それらの結果の標準偏差を計算し t 検定で有意差を調べた結果を表 6 に記す。その結果か

ら、バンド無しとバンド有りを比較すると、平均と標準偏差どちらもすべてバンド有りのほうがバンドなしに比べて小さい値となった。そこで t 検定を用いてこれらの結果の評価を行った。その結果、AF7・AF8は有意差が見られたが、TP9・TP10の電極では有意差が見られなかった。

4. 考察

今回の実験では、バンドを使用することで、脳波の標準偏差が小さくなることが確認できた。特に、AF7では、バンド無し、有りで各々46.425,0.354 となり、131分の1まで小さくなることを確認した。これは、前頭部の皮膚の電極間接触抵抗を抑制したことによる効果と考えられる。しかしながら、側頭部においてはTP9でバンド無し、有りで標準偏差が各々57.469,35.575と、1.62分の1になる効果は確認できたものの、改良の余地があることが分かった。このことは、バンドの使用では水平の前後方向への牽引力は適度であったが横方向への牽引が不十分であったと考えられた。横方向の牽引力を増すためにはバンドを耳の下方を回すか幅広くして頭頂部を回すなどの工夫が必要と考えられる。

表5 バンド無し有りでの標準偏差15越えの個数

No.	バンド無し				バンド有り			
	TP9	AF7	AF8	TP10	TP9	AF7	AF8	TP10
1	—	—	—	—	14	1	0	1
2	0	39	41	0	0	0	0	0
3	—	—	—	—	3	187	36	0
4	—	—	—	—	0	0	0	1
5	129	125	38	20	88	0	0	1
6	64	28	19	30	67	0	0	34
7	—	—	—	—	0	0	0	0
8	1	1	0	1	0	0	0	0
9	0	50	1	1	0	0	1	1

表6 バンド有り・無しの標準偏差の比較

バンド	有り	無し	t 値
TP9	57.469	35.575	0.280
AF7	46.425	0.354	0.040*
AF8	19.537	0.354	0.044*
TP10	13.795	11.829	0.236

* $p < .05$

5. 今後の展望

今回の結果から、バンドを着用することで一部のアーチファクトの除去に効果がみられたが、本研究の実験は、静止状態で5分4秒の動画を視聴している条件で脳波計測を行った。しかし、より自由度の高い研究を行うためには、本実験のような静止状態だけではなく動作時や長時間、その他環境によるバンドの効果はどれほどあるのかを検討すると共に改良の必要があると考えられる。

謝辞

本研究は、科学研究費補助金(22K02868)の助成を受けたものである。

参考文献

- (1) 安藤啓司: "脳波計測における精確さと危うさ." 計測と制御, Vol.60, No.2, pp 131-135 (2021)
- (2) Muse2, <https://choosemuse.com/muse-2/>, (Available: September 2022)
- (3) Mind Monitor, <https://mind-monitor.com/>, (Available: September 2022)
- (4) Abhang, Priyanka A., Bharti W. Gawali and Suresh C. Mehrotra, "Technological basics of EEG recording and operation of apparatus", Introduction to EEG-and Speech-Based Emotion Recognition, pp.19-50 (2016)
- (5) 総務省動画チャンネル, 2021, 介護におけるIoT活用事例紹介, <https://youtu.be/MPQwGPLNeto>, (accessed on 10 February 2023)

文系学部大学生のソーシャルメディア活用についての 記述の分析

佐藤弘毅

名古屋大学国際本部国際言語センター

Analysis on Humanities Undergraduate University Students' Descriptions of Social Media Use

Kouki SATO

International Language Center, Nagoya University

文系学部大学生を対象とした情報リテラシーの授業の課題において、受講者にソーシャルメディア（SNS）の活用状況について記述させた。本研究ではその記述について、テキストマイニングの手法を用いて分析を試み、今後の情報リテラシー教育やソーシャルラーニングを考えていく上での示唆を得る。

<キーワード> 情報メディア, 情報リテラシー, ソーシャルメディア, テキストマイニング

1. 研究の背景

近年の情報通信技術（ICT）とインターネットの発達に伴い、これらのメディアを介したコミュニケーション（Computer-Mediated Communication；CMC）の機会が増加した。CMCは文字によるコミュニケーションが中心で匿名性が高い等の特徴から、対面に比べ自由で活発なコミュニケーションができる利点がある。一方でその特徴ゆえ感情の誤解が生じやすく、炎上（flaming）と呼ばれる誹謗中傷合戦が起こる等の問題がある⁽¹⁾。特に最近ではLINEやTwitterをはじめとするソーシャルメディア（ソーシャル・ネットワーキング・サービス；Social Networking Service；SNS）の利用が一般的になり、CMCの問題を回避し適切なSNSの活用を行うためには、情報リテラシー、すなわちコンピュータの操作スキルや情報の科学的理解等の知識面の教育に加えて、情報モラルや情報社会に参画する態度、情報に対する批判的思考等の感情面の教育が必要となる。これらの情報リテラシー教育を通じてSNSの適切な活用方法を学ぶ、あるいはSNSの活用を通じて情報リテラシーを身につける取り組み

はソーシャルラーニングと呼ばれ、近年の大学教育で注目されている⁽²⁾。

筆者の担当する文系学部大学生を対象とした情報リテラシーの授業においても、SNSを用いて授業の課題や感想を受講者間で共有し、お互いにコメントし合う活動を取り入れ、効果をあげてきた⁽³⁾⁽⁴⁾。一方で、この活動の効果は、受講者のこれまでのSNSの活用経験によって影響することがわかっている⁽⁵⁾。

2. 目的

本研究では、前述の授業の課題としてSNSに投稿された、受講者のSNSの活用経験についての自由記述を分析し、その特徴を把握することを目指す。そのための方法として、テキストマイニングを用いる。

テキストマイニングを用いてSNSへの投稿を分析し、その特徴の把握を試みた先行研究⁽⁶⁾がある。本研究もこの知見に基づいた分析を行う。

また本研究では、2017年に実施された授業の課題と、2021年に実施された授業の課題を分析し、それらの結果を比較することで、通時的な特徴の変化についても

考察する。

ただし、本研究の対象とするデータは、先行研究のような大規模なものではなく、1つの授業の受講者による投稿を対象としたものである。そのため、一般的な文系学部大学生の SNS 活用の特徴を把握する目的ではなく、対象とする授業の受講者の特徴を把握することを目指す。そのための手法として、テキストマイニングがどの程度有効であるかについて検討する。

3. 方法

3.1 分析するデータ

表1は今回分析対象とする2017年と2021年の授業のシラバス概要である。授業は全14回であり、大学において必要となる基本的な情報リテラシーを押さえた、一般的な内容になっている。授業では実際に各種メディアやPCソフトを用いた実習を行い（表1中の3列目）、それに関連する情報リテラシー（表1中の2列目）を習得する形式をとった。また、単なる操作スキルの習得に留まることのないよう、実習課題は情報リテラシーの感情面に配慮したものとなっている。

第9回の授業から、実習課題の共有、発表、意見交換の場として SNS を用いた。プラットフォームとし

て FC2 の SNS レンタルサービスを利用した。今回は受講者および担当教師・TA のみアクセス可能な、閉じた SNS とした。

分析の対象とするのは、第10回の課題として SNS の日記に投稿された自由記述である。課題文は「これまでの自分の SNS の活用について考え、何をどのように活用してきたか、良かった点、悪かった点を『私は SNS をこのように使ってきました！』と題して、自分の日記に書く」であった。余力のある人向けの「発展課題」としたため、2017年は受講者68名のうち投稿が41件、2021年は受講者81名のうち投稿が48件であった。

3.2 分析方法

記述の分析にはテキストマイニングツールである KH Coder⁷⁾を用いた。分析の手順は以下の通りである。

初めに、2017年と2021年のすべてのデータを対象とし、前処理として形態素解析による語の抽出を行った。1回目に抽出された語のうち、表記ゆれ、英語表記とカタカナ表記、大文字と小文字、明らかな誤植、抽出の際にノイズとなる半角文字などについて、表記の統一や調整を行った。修正したものの一覧を表2に示す。その上で、再度前処理を行った。また、正常に抽出されなかった略語や固有名詞などについては、強制抽出を行った。その一覧を表3に示す。

続いて、抽出された語について、2017年と2021年のものに分けて、共起関係に基づく階層的クラスター分析を行い、その結果に基づいた共起ネットワーク図を作成した。その際に、関連付けがうまく行われなかった語のうち、意味が一般的すぎて解釈が難しいものを除外した。除外した語の一覧を表4に示す。

4. 結果と考察

4.1 抽出された語と出現回数

抽出された語とその出現回数を、2017年と2021年の合計回数の多いものから順に並べたものを76語まで表5に示す。上位には「LINE」「Twitter」「SNS」「Instagram」など SNS の名称や「使う」「情報」「自分」「良い」「悪い」など課題文に含まれていた語が目立った。

表1 授業のシラバス概要

回	情報リテラシー	実習
1	オリエンテーション	
2	ワープロによる表現	ワープロの活用
3	メールによる情報伝達	メールの利用
4	情報倫理とネチケット	事例の検討
5	情報検索	Web サービス、 検索エンジンの 活用
6		
7	情報検索による翻訳支援	
8	図書館と文献利用	
9	Web ページによる表現	SNS の活用
10		
11	情報整理と分析	表計算ソフトの 活用
12	グラフによる表現	
13	プレゼンテーション	プレゼンの作成 と発表
14		

表 2 修正を行った語

語	回数	修正
ツイッター	20	Twitter
インスタグラム	8	Instagram
ライン	6	LINE
気をつけ	6	気を付け
インスタ	5	Instagram
L I N E	4	LINE
RT	3	リツイート
line	3	LINE
LINE,Instagram, Twitter	2	(コンマ「,」→読点「,」)
S N S	2	SNS
Inatagram	1	Instagram
SNS(Twitter)	1	(カッコ「(」→「(」)
SNSN	1	SNS
SNSno	1	SNS の
twitter,2	1	(コンマ「,」→読点「,」)
鵜 x{541e}み	1	鵜呑み
ふおろわー	1	フォロワー
あつとゆうま	1	あつと言う間
ストーリーズ	1	ストーリー
関り	1	関わり
小ぢんまり	1	こじんまり
"" (二重引用符)	1	(カギカッコ「」)

表 3 強制抽出を行った語

語	回数
気を付け	15
既読	9
インスタグラム	8
スマホ	4
(固有名詞：大学)	1
(固有名詞：店名)	1
ストーカー	1
ツイ廃	1
ネッ友	1

SNS の名称として、上位から順に「LINE」(105 回)、「Twitter」(104 回)、「Instagram」(44 回)、「

表 4 除外した語

語	回数
今	25
主	22

「Facebook」(7 回)が抽出された。2017 年と 2021 年の違いとして、「LINE」と「Twitter」には大きな差はなかったが、「Instagram」が 2017 年(7 回)より 2021 年(37 回)が大幅に増え、逆に「Facebook」は 2017 年(6 回)より 2021 年(1 回)が減った。

その他の特徴的な違いとして、「良い」は 2017 年(17 回)より 2021 年(23 回)が増えたのに対し、「悪い」は 2017 年(28 回)より 2021 年(20 回)が減った。近年は比較的 SNS に肯定的な記述が増えたのではないかと推察される。一方で「トラブル」は 2017 年(7 回)より 2021 年(13 回)が増えており、必ずしも利点だけでなく、弊害についても具体的な記述が増えたことがうかがえる。

4.2 共起ネットワーク

2017 年と 2021 年それぞれについて作成された共起ネットワーク図を、図 1 および図 2 に示す。図中の円の色分けは階層的クラスター分析による語のグループ分けを、線は共起関係を、円の大きさは出現回数を示している。

まず、両年に共通する特徴として、いずれも代表的な SNS である「LINE」と「Twitter」の活用を中心に記述されていたことがうかがえる。「Instagram」については、両年とも記述が見られたが、2017 年は比較的周縁的であったのに対し、2021 年は「LINE」や「Twitter」と並んで代表的な SNS として取り上げられていたことがうかがえる。「Facebook」については、2017 年は独立して「グループ」「メッセージ」「やり取り」などの機能をあげて記述されていたのに対し、2021 年は記述が見られなかった。

その他の特徴として、2021 年には「LINE」「Twitter」「Instagram」など具体的な SNS をあげての記述の他に、「個人」「繋がる」「特定」「リスク」「ネット」「注意」など弊害についての記述、「大学生」「共有」「持つ」「必要」など、特定の SNS に結びつかない一般的な活用方法に関する記述が見られた。

表 5 抽出された語とその出現回数

抽出語	2017 年	2021 年	合計
LINE	57	48	105
Twitter	53	51	104
使う	50	51	101
SNS	44	50	94
情報	33	40	73
思う	26	44	70
人	28	38	66
自分	30	33	63
悪い	28	20	48
利用	23	25	48
Instagram	7	37	44
友達	19	23	42
良い	17	23	40
連絡	18	21	39
投稿	17	20	37
知る	14	18	32
アカウント	10	21	31
活用	12	19	31
見る	10	21	31
相手	13	11	24
写真	8	14	22
トラブル	7	13	20
個人	9	10	19
友人	8	10	18
フォロー	4	13	17
感じる	6	11	17
多い	5	12	17
気を付け	5	10	15
言う	7	8	15
使用	6	9	15
発信	4	11	15
便利	9	6	15
ツイート	10	4	14
得る	7	7	14
グループ	12	1	13
顔	7	6	13
特に	7	6	13
高校	5	7	12

抽出語	2017 年	2021 年	合計
時間	7	5	12
必要	4	8	12
会話	4	7	11
基本	7	4	11
好き	4	7	11
書く	8	3	11
ネット	4	6	10
メール	8	2	10
載せる	8	2	10
趣味	3	7	10
収集	4	6	10
送る	3	7	10
大学生	2	8	10
特定	4	6	10
たくさん	4	5	9
やり取り	5	4	9
メッセージ	5	4	9
既読	3	6	9
気	3	6	9
鍵	3	6	9
持つ	1	8	9
意見	0	8	8
画像	5	3	8
楽しい	3	5	8
共有	2	6	8
結果	2	6	8
公開	5	3	8
考える	3	5	8
取る	1	7	8
手段	3	5	8
大学	5	3	8
注意	3	5	8
入る	4	4	8
目的	5	3	8
Facebook	6	1	7
スタンプ	4	3	7
家族	3	4	7
気軽	1	6	7

5. まとめ

本研究では、文系学部大学生を対象とした情報リテラシーの授業の課題として SNS に投稿された、受講者のこれまでの SNS の活用状況についての自由記述を、テキストマイニングツールを用いて分析を試みた。2017 年の授業の記述と 2021 年の授業の記述をそれぞれ分析し、結果を比較することにより通時的な変化についても検討した。形態素解析により抽出された語と出現回数、階層的クラスター分析に基づく共起ネットワーク図より、下記に述べるようないくつかの特徴のうかがうことができた。

まず、受講者が使用している代表的な SNS は「LINE」「Twitter」であり、それらの活用を中心とした記述が多く見られた。

次に、2017 年には「Facebook」の活用が見られたが、2021 年には見られなかった。一方、「Instagram」については、2017 年は比較的少数で周辺的であったが、2021 年は「LINE」「Twitter」に並んで活用の記述が見られた。

さらに、2021 年には、特定の SNS に結びつかない、一般的な活用方法についての記述も見られた。比較的肯定的な記述や弊害についての具体的な記述が目立った。

本研究の限界および今後の課題として、以下の 2 点があげられる。

まず、本研究で分析対象としたデータは、1 つの授業の受講者によって記述されたものである。SNS の活用状況について一般的な知見を得るためには、より多くの大学生による記述を集めて分析する必要がある。

次に、今回はテキストマイニングツールにより作成された共起ネットワークをそのまま用いて考察を行っ

たが、より精緻な内容を知るためにはさらなる分析が求められる。例えば、「Twitter」「ツイート」「フォロー」など、ある程度共起が予想される語の組み合わせに基づいてあらかじめコーディングルールを作成し、それを使用した分析を行うなどの方法が考えられる。

参考文献

- (1) Kato, Y., Kato, S., and Akahori, K.: "Effects of emotional cues transmitted in e-mail communication on the emotions experienced by senders and receivers", *Computers in Human Behavior*, Vol.23, No.4, pp.1894-1905 (2007)
- (2) 長谷川聡, 安井明代, 山口宗芳: "SNS の教育利用とソーシャルラーニング", *名古屋文理大学紀要*, Vol.13, pp.51-58 (2013)
- (3) 佐藤弘毅: "受講者の授業の感想を SNS で共有することの効果に関する分析", *日本教育工学会研究報告集*, Vol.12, No.4, pp.1-8 (2012)
- (4) 佐藤弘毅: "授業の感想を CMS・SNS に投稿・フィードバック・共有することの効果に関する分析", *教育システム情報学会研究報告*, Vol.28, No.7, pp.23-30 (2014)
- (5) 佐藤弘毅: "授業における受講者の存在感促進ツールの活用に SNS 利用経験が与える影響に関する分析", *日本教育工学会研究報告集*, Vol.18, No.1, pp.287-294 (2018)
- (6) 大野邦夫, 渡辺篤史: "ソーシャルメディアへのテキストマイニングの適用に関する検討", *情報処理学会研究報告*, Vol.DD-64, No.7, pp.47-54 (2008)
- (7) 樋口耕一: "テキスト型データの計量的分析 —2 つのアプローチの峻別と統合—", *理論と方法 (数理社会学会)*, Vol.19, No.1, pp.101-115 (2004)

Moodle を使ったオンライン・プレ・バズセッションの実践と その分析

浅羽 修丈^{*1}, 斐品 正照^{*2}

^{*1} 北九州市立大学, ^{*2} 東京国際大学

Practicing Online Buzz Session on Pre-Learning using Moodle and Analysis of Text Comments Collected in the Practice

Nobutake Asaba^{*1}, Masateru Hishina^{*2}

^{*1} The University of Kitakyushu, ^{*2} Tokyo International University

筆者らは、授業の事前にバズセッションをオンラインで短時間だけ行う「プレ・バズセッション」を提案している。この手法は、教科書を読んだり講義を聴講したりする予習や反転学習とは異なり、あらかじめ授業テーマに関する思考を行っておくことで授業の準備状態を高めることをねらいとする。本稿では、Moodle を使ったプレ・バズセッションを授業で実践し、そこで得られたデータを分析した。その結果、プレ・バズセッションは、まず動画視聴により生活的概念を想起できること、また、学習者同士のコメントのやりとりの中でさらに生活的概念の想起が促進されること、さらに、思考の発散に留まらずに思考の深化まで実現できる可能性があるということが分かった。

キーワード: 事前学習, ビデオ, ソーシャルメディア, Moodle, 質的分析 (SCAT), 生活的概念

1. はじめに

授業の事前学習としてのいわゆる予習や反転学習は、学習成果をあげる一方で、いくつかの問題点を挙げるができる。例えば、予習や反転学習は、一般的には独学となるケースが多く、得られる知的刺激は教科書や参考書、Web ページ、講義ビデオ等の教材に限られる。また、独学は、他の学習者がいない孤独な学習となるため、社会的存在感が欠如しがちである。

さらに、予習や反転学習の主な目的は知識の獲得であり、それが学習者にとっては心理的な負担（実際には時間があっても知識獲得のために割きたくない）や時間的な負担（アルバイト等で知識獲得のためのまとまった時間が確保できない）になることが考えられる。その結果として、事前学習が課されたものの、学習者は事前学習をせず、近年の学生は事前に学習を行う時間が少ないという報告^{(1),(2)}に繋がると推測される。

筆者らは、これらの問題を解決するために、プレ・バズセッション (Pre-Buzz-Session ; Buzz Session on Pre-Learning) という事前学習を提案している⁽³⁾⁻⁽⁵⁾。これは、授業の事前に授業のテーマに関する短時間の動画を視聴しながら、学習者同士でバズセッションを行うものである。バズセッションであるため、孤独な学習から解放されて社会的存在感を得ることが可能であり、短時間（5～10 分程度）の動画視聴は時間的負担も少ない。また、知識を獲得することが目的ではなく、授業テーマに関連した概念の想起を目的としているため、心理的負担の軽減にも繋がると考えている。

本研究では、提案したプレ・バズセッションの学習効果を科学的に検証するため、プレ・バズセッションの学習プロセスと、そのプロセスに沿って学習した際に構築／再形成される学習者の概念についてモデル化した。また、そのモデルに基づいて、実際の授業でプ

レ・バズセッションを実践し、各種の学習データを採取した。本研究ではまず、バズセッションの記録である言語データに注目し、質的データを質的に分析する手法の SCAT により学習効果の分析を試みた。本報告では、プレ・バズセッションの学習モデルと実践、および、言語データの分析結果について報告する。

2. プレ・バズセッションとそのオンライン化

2.1 プレ・バズセッションの概要

筆者らが提案するプレ・バズセッションは、「授業の準備状態を高める」ことを目的として実施する事前学習である⁽³⁾⁽⁵⁾。事前学習であるため、学習のタイミングとしては予習や反転学習と同じであるが、プレ・バズセッションは、教科書や講義動画からの知識の獲得、問題への解答、Web による調査活動といった学習を目的としない。プレ・バズセッションでは、次回の授業テーマについての学習者同士の意見交換により、過去の経験や学校で習ったことを思い出したり、他の学習者の意見からの知的刺激を受けたりすることで、授業に対する事前の準備状態を高めることをねらう。

ここでいう授業の準備状態とは、以下の 3 要素を意味する。

- 次回の授業テーマに関連するスキーマの活性化
- 知的好奇心の促進
- 対人関係の構築

プレ・バズセッションでは、次回の授業テーマに関連する生活的概念や科学的概念⁽⁶⁾⁽⁷⁾（生活的概念と未だ結びついていないものを含む）を想起・注意・喚起することにより、1 つ目の要素である「スキーマの活性化」をねらう。次回の授業テーマに関連したスキーマの活性化が実現できれば、スキーマと新しく授業で学ぶ科学的概念との相互作用が起こり、知識の効果的な獲得や応用といった、より質の高い学習効果が期待できる。

この学習効果は、先行オーガナイザー⁽⁸⁾⁽⁹⁾の理論でも説明できるが、プレ・バズセッションの特徴は、授業の事前のタイミングかつ学習者同士の意見交換の中で構成しようというところにある。

なお、残る 2 つの要素である「知的好奇心の促進」と「対人関係の構築」は、本報告の内容に関連しないため、紙面の制限の都合により割愛する（先行研究⁽³⁾⁽⁵⁾を参照されたい）。

2.2 プレ・バズセッションのオンライン化

プレ・バズセッションは、前述の通り事前学習である。この「事前（プレ；previous）」は、二通りの場面を想定することができる。授業が終了してから次の授業が開始するまでの時間を利用した学習場面と、授業が開始した直後（授業内容に入るまで）の時間を利用した学習場面である。

プレ・バズセッションでは、両者ともソーシャルメディアのようにオンライン環境下でのテキストベースによる意見交換が望ましい。その理由は、前者の場合は対面での実現が難しい点にある。すなわち、対面による実施では、学習者は授業時間とは別に教室等の物理的な空間に集まる必要があるため、学習者の負担を増やすことに繋がる。後者の場合は、コミュニケーションの円滑化が難しくなる可能性である。すなわち、対面で実施すると、意見交換時の口頭による発言に抵抗を感じる学習者にとっては、発言する機会がほとんどなく、プレ・バズセッションの学習効果があまり期待できない可能性がある。そのような学習者にとっては、口頭による発言よりもソーシャルメディアのようにテキストの送受信による意見交換の方が気軽にできる。これは、意見交換の活発化による学習効果が期待されるだけでなく、意見を投稿する際に学習者の思考や知識を外化することによる学習効果も同時に期待できる。

このような理由から、プレ・バズセッションは、オンライン上で非同期にテキストで意見交換ができる環境下での実施を想定している。筆者らは、プレ・バズセッションに適した環境を実現するシステムを開発中である。その詳細は先行研究⁽³⁾⁽⁵⁾に譲るが、オンライン化したプレ・バズセッションでは、学習者同士が、次回の授業テーマに関連した短時間の動画（5～10 分程度）を視聴しながら、過去の経験や学校で習ったことで思い出したこと、動画の内容やコメントを見て感

じたこと等についてのコメントを送受信することで、授業に対する事前の準備状態を高めることをねらう。

3. プレ・バズセッションの学習モデル

認知心理学をベースにしたプレ・バズセッションの学習モデルを図1に示す。プレ・バズセッションで想定する学習効果は、プレ・バズセッションの実施中だけではなく、その後の授業中や授業終了以降にも影響を及ぼすと考えているため、それぞれの学習場面における学習プロセス、および、各プロセスにおいて想起／構築／再構築／形成／再形成される学習者の概念を表現している。

3.1 学習場面1：プレ・バズセッション実施中

プレ・バズセッションの実施中において、学習者は、5～10分程度の授業テーマに関連したビデオを視聴しつつ、他の学習者が投稿したコメントも閲覧する。そのため、そのビデオの内容と他の学習者のコメントの両方が、短期記憶（Short Term Memory; STM）に入力される。その中で、学習者が注目した一部の情報（図1の①、以下、図1は省略）が作業記憶（Working Memory; WM）に移る（②）。作業記憶にある注目した情報が刺激となって（③）、過去の経験に基づいた生活的概念や学校等で学んだ既存の科学的概念、擬概念等が長期記憶（Long Term Memory; LTM）が想起され（④）、WMに呼び出される（⑤）。②と⑤が相互作用

することで（⑥）、⑤の生活的概念が再構築される（⑦）。

この学習場面で重要なことは、LTMから授業のテーマに関連した生活的概念を呼び出せるかどうかである。これを呼び出すことが、授業の準備状態を高めるきっかけになる。さらに、②と⑤の相互作用が発生し、⑦に示す概念の再構築ができれば、授業の準備状態はさらに高まることが推測される。

3.2 学習場面2：授業中

授業では、教員から様々な科学的概念が提示されてSTMに入力されるが、その中から学習者が注目した情報が抽出され（⑧）、WMに移る（⑨）。WM内に移った注目した科学的概念は、学習者の頭の中で様々な情報処理が行われるが、その中でLTMにある過去の経験に基づいた生活的概念や学校等で学んだ既存の科学的概念、擬概念等が想起される（⑩）。想起された⑩によりWMに呼び出された概念（⑪）と⑨とが相互作用を起こすが、その際に、プレ・バズセッションで再構築された⑦との相互作用（⑫）も起きることが期待される。そのことにより形成／再構築された科学的概念（⑬）は、プレ・バズセッションを実践しない場合よりも多様な相互作用が行われるため、質の高い学習効果が期待できる。⑬で構築された概念は、新たに得た科学的概念としてLTMに送られ（⑭）、記憶される（⑮）。

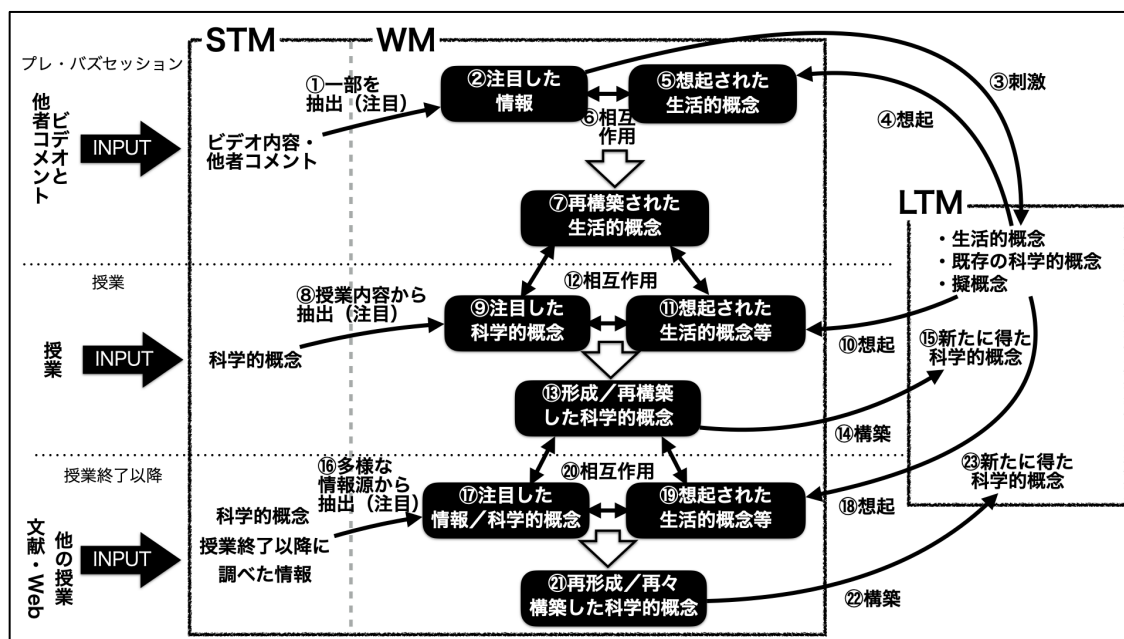


図1 プレ・バズセッションの学習モデル

3.3 学習場面3：授業終了以降

授業が終了したあとは、学習者は別の授業を受けたり、課題や独自の学習で文献や Web ページを検索したりする。その際に得た科学的概念や調べた情報等が、STMに入力される。入力された科学的概念や情報の中で、学習者が注目した情報が抽出され (⑩)、WMに移る (⑪)。WM 内に移った注目した科学的概念や情報は、学習者の頭の中で様々な情報処理が行われるが、その中で LTM にある過去の経験に基づいた生活的概念や学校等で学んだ既存の科学的概念、擬概念等が想起される (⑫)。想起された⑫により WM に呼び出された概念 (⑬) と⑪とが相互作用を起こすが、その際に、授業で形成／再構築された⑬との相互作用 (⑭) も起きることが期待される。そのことにより再形成／再々構築された科学的概念 (⑮) は、プレ・バズセッションにより質の高い形成／再構築が行われた科学的概念との相互作用が行われるため、より質の高い学習効果が期待できる。⑮で構築された概念は新たに得た科学的概念として LTM に送られ (⑯)、記憶される (⑰)。

4. 授業での実践

プレ・バズセッションを実際の授業で実践した。本章では、その概要を説明する。

4.1 実践した授業の概要

K 大学で 2022 年度 2 学期に開講された教職課程必須科目である「教育と ICT 活用」において、プレ・バズセッションを実践した。受講者数は、48 名であった。

なお、各種の学習データの収集と分析、研究発表に

ついては、全受講生からあらかじめ承諾を得ている。

4.2 プレ・バズセッションの実施概要

全 15 回の授業の内、6 回の授業でプレ・バズセッションを実施した。その概要を表 1 に示す。

プレ・バズセッションで受講生に視聴させた動画は、授業テーマに関連した内容で構成した。そのため、動画を視聴することで想起／再構築された授業テーマに関連した生活的概念 (⑤および⑦) と、授業で提示された科学的概念 (⑧および⑨) とが相互作用する (⑫) ことにより、より高い学習効果が得られる (⑬) ことが期待される。

プレ・バズセッションを実施するにあたり、受講生同士のコメントを送受信できる環境を用意する必要がある。今回は、その環境として Moodle のフォーラムを使用した。すなわち、受講生は、動画を視聴しながら、感じたことや思い出したこと、疑問に思ったことなどをコメントとして Moodle のフォーラムに送信する。送信されたコメントは受講生同士で共有され、各コメントに対して返信することも可能である。Moodle

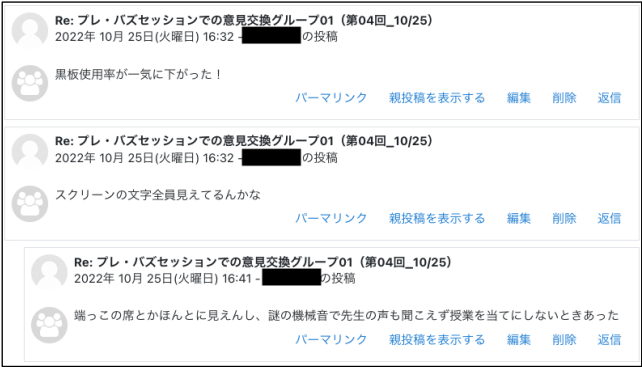


図 2 Moodle フォーラムによるコメント共有

表 1 プレ・バズセッションの実施概要

授業回 授業日	授業テーマ	動画内容	動画の長さ	動画投影方法	タイミング	コメント 共有範囲
第 2 回 2022/10/11	教育の情報化の 重要性と課題	情報活用能力の育成/ ICT を活用した授業の風 景/校務の情報化	4 分 05 秒	プロジェクタ/ スクリーン	授業中 (教室)	クラス 全体
第 3 回 2022/10/18	指導方法の類型と ICT 活用の特性/強み	ICT を活用した授業の風 景	6 分 31 秒	パソコン教室 中間モニター	授業中 (教室)	クラス 全体
第 4 回 2022/10/25	一斉学習における ICT 活用	一斉学習の風景	4 分 55 秒	パソコン教室 中間モニター	授業中 (教室)	グループ
第 6 回 2022/11/8	個別学習における ICT 活用	個別学習の風景	4 分 02 秒	各自の PC/ スマホ	授業終了以降の 任意のタイミング (教室外)	グループ
第 8 回 2022/11/22	協働学習における ICT 活用	協働学習の風景	4 分 53 秒	パソコン教室 中間モニター	授業中 (教室)	グループ
第 10 回 2022/12/13	情報活用能力の 育成とその課題	情報活用能力育成を 目指した授業の風景	5 分 04 秒	各自の PC/ スマホ	授業終了以降の 任意のタイミング (教室外)	グループ

のフォーラムを使ってコメントを共有している画面の一部を抜粋して図 2 に示す。

5. 問い

本研究では、まずプレバズセッションの初期のプロセスにおける効果の有無に注目し、以下の 2 つの問いを設定した。これらの問いは、図 1 の①～⑤に当たる。

- i. プレ・バズセッションの実践により、受講生の生活的概念は想起されるだろうか。
- ii. 想起されるとすれば、どのような刺激に対してどのような生活的概念が想起されるだろうか。

生活的概念とは、人が生活のなかで自然と獲得していく概念である。ただし、対象についての概念は持っていて自然発生的に操作はできても、その概念そのものがどのようなものなのかという意味を自覚していないような概念を指す。ヴィゴツキーは、生活的概念は体系の外にある概念（体系化できていない概念）であり、対象のあいだに経験的に設定される結合のみが、概念の中に存在し得るにすぎないと説明している⁽⁶⁾⁽⁷⁾。

本研究で取り扱う生活的概念は、受講生が過去の授業で経験したなかで自然と獲得した概念と定義する。プレ・バズセッションで送信したコメントの内容が、体系化されていないと判断できるものを（例え受講生がその内容に対する科学的概念を所持していたとしても想起したものが科学的概念ではないという意味において）生活的概念として扱う。

6. 分析と考察

本章では、第 4 章で説明したプレ・バズセッションの実践で得られたデータの分析について報告する。

6.1 分析対象

本研究では、表 1 の第 4 回で実施されたプレ・バズセッションのうち、ひとつのグループに絞って分析を行った。グループメンバー数は 4 人であるが、分析対象としたグループメンバーのうち 1 人は欠席のため、3 人による意見交換を分析の対象とした。

6.2 分析手法

問いに対するアプローチとして、第 4 章で説明した動画の内容に対して受講生が共有した Moodle フォーラム上のコメントを分析した。その分析手法として、本研究では大谷⁽¹⁰⁾が提案する SCAT (Steps for Coding and Theorization) を使用した。

SCAT とは、観察および面接によって採取した言語記録から潜在的な意味を見いだし、新たな概念を案出するための道筋を示した分析方法である。分析では、作成されたマトリックスに、(1) 言語データから注目すべき語句を選び出し、(2) それを名詞句に言い換えを行い、(3) その概念を説明するようなデータ外の概念（潜在的な意味）を記入し、(4) 前後や全体の文脈を考慮しながらコードを考えて付していく。このような分析手順により、個別的・具体的データは、脱文脈化され、構成概念としてまとめられる。この構成概念を紡ぎ合わせて、テーマを見いだし、ストーリーラインとしてまとめ（再文脈化）、さらに、このストーリーラインの中から中核となる概念やパターン等を抽出する理論記述を行う。なお、本研究では、分析過程をより明示的にするために、(3) では①の階層構造と②の因果関係の 2 段階で、(4) では「小ストーリーライン」と「その【タイトル】」の 2 段階で検討した。

6.3 分析結果とその考察

SCAT を用いて作成した分析表、ストーリーライン、および、理論記述を表 2 に示す。分析対象としたグループのコメント送信数は 20 件であった（表 2 の番号 1 は授業担当者からの課題提示）。

6.3.1 問い i に対する分析と考察

表 2 の<3>にある①は、受講者が送信したコメントを階層構造（カテゴリ、特性、次元）で概念化した結果である。概念化したカテゴリと特性から、問い i について分析および考察を試みる。

カテゴリの種類と頻度を見ると、想起：15 件、連想：2 件、要望：2 件、指摘：2 件、意見：1 件、疑問：1 件、気づき：1 件、再認：1 件であった。コメントの多くが、過去に受けた授業の内容や板書等を思い出す「想起」であることがわかった。「想起」の特性を確認する

と、番号7の「上レ点」や番号11の「過去の『けり』」は科学的概念（擬概念含む）の可能性はあるものの、多くは授業で経験した体系化されていない生活的概念であった。

番号20で2件確認された「連想」の特性を確認すると、「先生の声」と「先生による授業」であり、これらは授業で経験した体系化されていない生活的概念の想起を基にして連想しているものと考えられる。番号5で確認された「意見」や番号9の「気づき」、番号14の「再認」の特性は、それぞれ「発声」や「黒板使用率」、「助詞・助動詞」であり、これらもやはり生活的概念の想起を基にしたコメントといえる。

これらのことから、プレ・バズセッションの実践によって、生活的概念の想起は実現可能であると結論づけることができる。

一方で、番号8の「疑問」や番号15の「要望」、番号16と21の「指摘」の特性は、それぞれ「スクリーンの投影文字」、「視点誘導」、「注目（喚起）」、「スライド投影」であった。これらは、生活的概念というよりは、授業でのスライド投影や視点誘導に対する不満や改善点を述べたものであり、動画を視聴して感じたことを送信したコメントといえる。

6.3.2 問いiiに対する分析と考察

前項にて、プレ・バズセッションの実践によって多くの生活的概念が想起されたことを確認できた。表2の<4>の浮上するテーマから記述した<6>ストーリーラインは、番号1の担当教員からの設問に対して受講生がどのように回答したかという観点からストーリーライン化した。また、そのストーリーラインから<7>理論記述も行った。問いiiでは、このストーリーラインと理論記述からの分析および考察を試みる。

表2の<6>を見ると、6種類のストーリーラインが確認できた。6種類のストーリーラインのうち、2種類は動画から刺激を受けたコメントであった。これは、理論記述にもあるように、パターン1「動画への反応／思考」として分類できる。

このパターンのカテゴリの内訳は、「想起、再認」「意見、気づき」であり、前項で示した通り、全てが生活的概念の想起によるものである。すなわち、今回の研

究対象に限っては、動画を刺激として、過去に授業を受けたときの経験やそのときの気持ち（想起、再認）、指導方法の重要性や提示用教材の変化（意見、気づき）といった生活的概念が想起されたことが確認できた。

一方で、残り4種類は、動画から刺激を受けたコメントがさらに刺激となり、別のコメントが送信されたケースである。すなわち、受講生同士のコメントのやりとりが確認された。これは、理論記述にもあるように、パターン2「動画と他者コメントへの反応／思考」として分類できる。これは、動画に対する単なる反応／思考であるパターン1よりも、少し高度な反応／思考であるといえる。

このパターンのカテゴリの内訳は、「想起→当時の想起、共感」「想起→連想」「疑問／要望→想起」「指摘→同意」であった。「想起→当時の想起、共感」と「想起→連想」は、前項の分析を参照すると、生活的概念同士でのやりとりとなる。すなわち、プレ・バズセッションは、生活的概念の反応／思考から、さらに別の生活的概念の反応／思考を促進できることが示された。

特に、「想起→連想」は注目に値する。番号20を確認すると、動画やコメントの内容に対する反応／思考だけに留まらず、そこから連想して動画やコメントにはない反応／思考が行われている。プレ・バズセッションでは、授業テーマに対して発散／深化／収束という3つの思考活動を通して授業の準備状態を高めることをねらっており^{(1),(3)}、これは「思考の発散」に留まらずにさらに先の「思考の深化」にまで思考活動が行われた可能性がある。これは、本研究の問いの範囲として設定したプレ・バズセッションの学習モデルの図1①～⑤の先にある⑥相互作用が確認できた可能性を示している。

「疑問／要望→想起」は、前項の分析を参照すると、生活的概念ではない思考／反応から、生活的概念の思考／反応が起きた事例である。プレ・バズセッションでは、このようにコメントのやりとりの中で生活的概念が想起されるケースもあることが確認できた。

最後の「指摘→同意」は、前節の分析を参照すると、生活的概念ではない思考／反応であった。

7. まとめ

本研究では、筆者らが提案したプレ・バズセッションの学習モデルを作成し、その学習モデルの①～⑤に対する検証を行った。検証を行うために、「問い i: プレ・バズセッションの実践により、受講生の生活的概念は想起されるだろうか」と「問い ii: 想起されれば、どのような刺激に対してどのような生活的概念が想起されるだろうか」という 2 つの問いを立て、実際の授業でプレ・バズセッションを実践することでこれらの問いについて検証した。その結果、以下のことが分かった。

- 問い i については、プレ・バズセッションの実践によって、生活的概念の想起は実現可能である。
- 問い ii については、動画から刺激を受けて「想起、再認」「意見、気づき」という生活的概念が想起されたパターン 1 と、動画から刺激を受けたコメントがさらに刺激となり、別のコメントが送信されたパターン 2 が確認された。
- 問い ii のパターン 2 で生活的概念が想起されるケースでは、生活的概念の反応／思考からさらに別の生活的概念の反応／思考が促進される事例と、生活的概念ではない思考／反応から生活的概念の思考／反応が起きた事例が確認された。

これらの結果をまとめると、プレ・バズセッションは、授業の事前に授業テーマに関連した生活的概念を想起できる事前学習法であることが分かった。

重要なことは、体系化されていない生活的概念を、授業の中でいかに科学的概念に変えていくかである。生活的概念と科学的概念の相互作用が実現できれば、学習効果は高度になると推測される。その実現のためには、まずは事前に生活的概念を想起させる必要がある。プレ・バズセッションはその役目を果たす可能性がある。

本研究には、課題が多く残っている。今回は、プレ・バズセッションの実践で採取できた学習データのほんの一部を分析しただけである。今後は、他の学習データも分析し、プレ・バズセッションの学習効果についてさらに検証していく必要がある。また、分析の過程

において、プレ・バズセッションの意見交換やグループメンバーの思考を促進するキーパーソンが存在する可能性を確認できた。キーパーソンによってプレ・バズセッションの活性化が図れるのであれば、そのキーパーソンをコメントを分析することにより、プレ・バズセッションの活性化の知見を得ることができるとも考えられる。今後は、キーパーソンの分析も含めていく予定である。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP19K12276 の助成を受けたものです。

参考文献

- (1) 京都大学高等教育研究開発推進センター、電通育英会：“『大学生のキャリア意識調査 2016』報告書” (2018)
- (2) 谷村英洋：“大学生の学習時間分析—授業と学習時間の関連性—”，大学教育学会誌，第 31 巻，第 1 号，pp.128-135 (2009)
- (3) 浅羽修丈，斐品正照：“Web 配信講義ビデオを用いた事前学習でのオンライン・バズセッションの構想”，教育システム情報学会研究報告，Vol.34, No.6, pp.131-136 (2020)
- (4) 浅羽修丈，斐品正照：“学習活動の準備状態を高めるオンライン・バズセッションの要求と仕様～基盤となる機能（コア・モジュール）について～”，教育システム情報学会研究報告，Vol.35, No.6, pp.47-54 (2021)
- (5) 浅羽修丈，斐品正照：“オンライン・プレ・バズセッションのコアモジュールを用いた発散思考の試行”，教育システム情報学会研究報告，Vol.36, No.6, pp.94-101 (2022)
- (6) ヴィゴツキー（著），柴田義松（訳）：“思考と言語”，新読書社，東京（2001）
- (7) 柴田義松：“ヴィゴツキー入門”，寺子屋新書，東京（2006）
- (8) Richard E. Mayer: “Can Advance Organizers Influence Meaningful Learning?”, Review of Educational Research, Vol.49, No.2, pp.371-383 (1979)
- (9) 多鹿秀継：“学習の理論”，教育工学事典（日本教育工学会編），pp.97-99，実教出版，東京（2000）
- (10) 大谷尚：“SCAT: Steps for Coding and Theorization – 明示的手続きで着しやすく小規模データに適用可能な質的データ分析手法 –”，感性工学，Vol.10, No.3, pp.155-160 (2011)

表2 SCAT による分析の結果

番号	通称元となる番号	日時	発話者	<0>セグメント化(テキスト)	<1>着目する語句の明確化	<2>着目した語句の一般化	<3>データ外 の概念による説明 (簡略)①カテゴリ特性一次元 (図表)②状況一行為一帰結	<4>浮上するテーマ ストーリーラインと その「タイトル」	<5>疑問・課題
1	1	1	T	ビデオや他者のコメントを見ながら、感じたことや思い出したこと、疑問など、何でも気楽に投稿しよう。 ※ 最低でも2回以上(ビデオを見ながら1回以上、他者のコメントを見ながら1回以上を想定)は投稿すること。	ビデオや他者のコメントを見ながら、感じたことや思い出したこと、疑問など、何でも気楽に投稿しよう。 (最低でも2回以上)は投稿すること、ビデオを見ながら1回以上、他者のコメントを見ながら1回以上を想定	動画や他者のコメントに対する感情依頼、動画に対して1回と他者のコメントに対して1回の合計2回の感情依頼。	①課題一コメント入力動画へ他者コメントに対して(各1回) ②以下の全ての起点の1つ(想定される起点: 課題文、動画、他者コメント(オンラインディスカッション))となる。	担当教員は、動画の視聴とそれに対するコメントや、他者のコメントに対するコメントを各1回以上投稿することを指示した。【 動画視聴シーナットの課題提示 】	(この部分のコーディングはどのグループでも同じ)
2	1	16:28	A01	古文は、苦手です	古文は、苦手	苦手な古文の想起	①想起一古文一苦手 ②動画のシーンからの反応	A01とB01は、動画の中の古文のシーンから当時を懐かしんだり、苦手意識を想起した。 【 古文の授業の想起 】	
3	1	16:28	B01	古文懐かしすぎる～	古文懐かしすぎる	懐かしい古文の想起	①想起一古文一懐かしい ②動画のシーンからの反応		
4	1	16:29	C01	全部手書きの時の懐かしい！	全部手書きの時の懐かしい	懐かしい手書き(板書)の想起	①想起一手書き一懐かしい ②動画のシーンからの反応	C01は、動画の中の板書のシーンから当時全て手書きだったことを想起して懐かしんだ。それに伴い、A01は、ノートへの転記が嫌だったことを想起した。【 手書きによる板書とノート転記の想起 】	(18番のコメントが4番のコメントの返信だったので直接に移動してきた)
18	4	16:39	A01	本文写すの嫌やった	本文写すの嫌やった	板書から本文を転記することの感情の想起(上記4番に対する反応)	①想起一ノートへの転記一嫌だった ②動画のシーンと上記4番のコメントからの反応		
5	1	16:30	B01	声に出て言うって大切よねー	声に出て言うって大切	発声が大切という意見 (語学ではという意味か？それとも呼びこい！国名などでもスバリと伝えるようにという意味か？)	①意見一発声一大切 ②動画のシーンからの反応	B01は、動画の中の発声のシーンから発声が大切だと意見した。【 学習では発声が大切という意見 】	
6	1	16:30	C01	黒板に生徒たちに書かせてみんなで答え合わせかやっていたなあ	黒板に生徒たちに書かせてみんなで答え合わせかやっていた	クラスで黒板への回答と答え合わせの想起 (ただし、動画にはそのようなシーンはないので、周辺の記憶が想起されたとと思われる、連想？)	①想起一黒板使用方法一回答と答え合わせ ②動画のシーンからの反応	C01は、動画の中の板書のシーンから当時黒板で答え合わせしたことを想起した。それに伴い、B01は、共通して懐かしんだ。【 板書による答え合わせの想起と共感 】	(19番のコメントが6番のコメントの返信だったので直接に移動してきた)
19	6	16:40	B01	やっていた、やっていた！懐かしいなあ。	やっていた、やっていた、懐かしい	「クラスで黒板への回答と答え合わせ」と同様の体験の想起(上記6番に対する反応)	①想起一黒板使用方法一共通 ②動画のシーンと上記6番のコメントからの反応 ③想起一黒板使用方法一懐かしい ④動画のシーンと上記6番のコメントからの反応		
7	1	16:30	A01	上レ点懐かしい	上レ点懐かしい	懐かしい「返り点」の想起	①想起一「返り点」一懐かしい ②動画のシーンからの反応(動画内の板書)	A01は、動画の中の板書のシーンから「返り点」を想起し懐かしんだ。【 「返り点」の想起 】	
8	1	16:32	B01	スクリーンの文字全員見えてるんかな	スクリーンの文字全員見えてるんかな	スクリーンに投影された文字の視認への疑問	①疑問一スクリーンの投影文字一見えんのかな ②動画のシーンからの反応	B01は、動画の中のシーンから、スクリーンに投影された文字の視認性に疑問を感じた。それに伴い、C01は、座席によって見えなかったことを想起した。【 スクリーン投影時の視認性への疑問と共感 】	
20	8	16:41	C01	帰ったの席とか4人とか見えん、謎の機械音で先生の声も聞こえず授業を当ててにしないときあった	帰ったの席とか4人とか見えん、謎の機械音で先生の声も聞こえず授業を当ててにしないときあった	「スクリーンに投影された文字の視認」に対する座席配置による見えにくさの想起(上記8番に対する反応)、 謎の機械音(プロジェクタの動作音?)による先生の声の聞き取りにくさの連想、 授業を当ててにできなかったこと、連想、 授業を当ててにできなかったこと、連想、	①想起一スクリーンの投影文字一見えにくい(座席位置の影響) ②動画のシーンと上記8番のコメントからの反応 ③連想一先生の声一聞こえない(機械音で原因) ④上記8番のコメントからの反応 ⑤連想一先生の声一聞こえない(授業を当ててにできなかったこと、連想) ⑥上記8番のコメントからの反応	A01は、動画の中の板書のシーンから「返り点」を想起し懐かしんだ。【 「返り点」の想起 】	(20番のコメント8番のコメントの返信だったので直接に移動してきた)
9	1	16:32	C01	黒板使用率が一気に下がった！	黒板使用率が一気に下がった	黒板使用率が低下したという気づき (板らの経験上である時期からという意味か？)	①気づき一黒板使用率一(過去に比べて)低下した ②動画のシーンからの反応	C01は、動画の中のシーンから、過去に比べて黒板使用率が下がってきていることに気づいた。【 黒板使用率低下の気づき 】	黒板使用率が一つに比べてどこで下がったのか？
10	1	16:33	C01	授業前に早く来て一生懸命黒板作っている先生とかいたなあ	授業前に早く来て一生懸命黒板作っている先生とかいたなあ	先生による授業開始前の黒板準備の想起	①想起一板書一授業開始前 ②動画のシーンからの反応	C01は、動画の中の板書のシーンから、黒板準備のために授業開始前に来ていた先生のことを想起した。【 先生による授業開始前の黒板準備の想起 】	
11	1	16:34	A01	過去の「けり」	過去の「けり」	古典文法の「過去の助動詞」の想起 (動画内ものを反復)	①想起一古典文法一「過去の助動詞」 (動画のシーン一板書一反復) ②動画のシーンからの反応	A01は、動画の中のシーンから、「過去助動詞」の「けり」を想起した。【 「過去助動詞」の「けり」の想起 】	(動画のシーン一板書一反復)の扱いを今後検討
12	1	16:35	C01	品詞ごとに色を変えて見やすくしてくれて！	品詞ごとに色を変えて見やすくしてくれて	品詞毎の提示の工夫を想起 (ただし、動画にはそのようなシーンはないので、周辺の記憶が想起されたとと思われる、連想？)	①想起一板書一チョーク色分け(品詞毎) ②動画のシーンからの反応	C01は、動画の中のシーンから、品詞毎にチョークの色を変えたり、漢字を大きく書いた。書き順まで教えてくれたりした板書を想起した。【 板書の工夫の想起 】	
13	1	16:37	C01	漢文とかにでてる漢字を大きく書いてくれたり、書き順とか習った	漢文とかにでてる漢字を大きく書いてくれたり、書き順とか習った	漢字を書く板書の工夫を想起、 漢字の書き順の板書の想起 (ただし、動画にはそのようなシーンはないので、周辺の記憶が想起されたとと思われる、連想？)	①想起一板書一大きく書く(漢字) ②動画のシーンからの反応 ③想起一板書一書き順(漢字) ④動画のシーンからの反応		
14	1	16:37	A01	助詞・助動詞って聞いてただけで嫌な気持ちになる	助詞・助動詞って聞いてただけで嫌な気持ちになる	「助詞・助動詞」への気持ちの再認	①再認一「助詞・助動詞」一嫌な気持ち ②動画のシーンからの反応	A01は、動画の中のシーンから、「助詞・助動詞」への嫌な気持ちを再認した。【 「助詞・助動詞」への気持ちの再認 】	
15	1	16:38	A01	差し棒でしてほい、コンコンって	差し棒でしてほい、コンコンって	(手や黒板消しではなく)差し棒を使っていたという要望、 コンコンという音を鳴らせながら注目させてほしいという要望、	①要望一視点誘導一差し棒で ②動画のシーンからの反応 ③要望一注目(喚起)一打音で ④動画のシーンからの反応	A01は、動画の中のシーンから、差し棒と打音による視点誘導を要望した。それに伴い、C01は、指や手による視点誘導のわかりにくさを想起した。【 視点誘導への要望とわかりにくさの想起 】	(17番のコメント15番のコメントの返信だったので直接に移動してきた)
17	15	16:39	C01	指とか手とかどこ指してるってなった	指とか手とかどこ指してるってなった	指や手でまず方向がわからなかったことの想起(上記15番に対する反応)	①想起一視点誘導一どこかわからない ②動画のシーンと上記15番のコメントからの反応		
16	1	16:38	B01	プロジェクターに映し出すスライドを先生側の方で工夫する必要があるそう	プロジェクターに映し出すスライドを先生側の方で工夫する必要があるそう	スライド投影の工夫不足の指摘 (文字の大きさなどか？)	①指摘一スライド投影一視認への配慮不足 ②動画のシーンからの反応	B01は、動画の中のシーンから、スライド投影の視認への配慮不足を指摘した。それに伴い、A01は、「それな」と同意した。【 スライド投影の配慮不足の指摘と同意 】	(21番のコメント16番のコメントの返信だったので直接に移動してきた)
21	16	16:41	A01	それな	それな	「スライド投影の工夫不足の指摘」に対する同意(上記16番に対する反応)	①指摘一スライド投影一同意 ②動画のシーンと上記16番のコメントからの反応		

<6>ストーリーライン (現時点で言えること)	担当教員は、 Moodle 上で【動画視聴とコメントの課題提示】を行った。 それに対してグループ701の受講生たち(A01、B01、C01、※D01は欠席)からは、まず、以下の(1)～(4)のコメントが書き込まれた。 (1)「動画一想起、再認」 A01とB01は【古文の授業の想起】した。A01は【「返り点」の想起】した。C01は【先生による授業開始前の黒板準備の想起】した。A01は【「過去助動詞」の「けり」の想起】した。C01は【板書の工夫の想起】した。 A01は【「助詞・助動詞」への気持ちの再認】した。 (2)「動画一意見、気づき」 B01は【学習では発声が大切という意見】した。C01は【黒板使用率低下の気づき】を書いた。 (3)「動画一想起一当時の想起、共感」 C01とA01は【手書きによる板書とノート転記の想起】した。C01とB01は【板書による答え合わせの想起と共感】した。 (4)「動画一想起一連想」 C01はB01のコメントから【先生の声の聴認不可経験と受講態度諦念の連想】した。 (5)「動画一疑問(要望一想起)」 B01とC01は【スクリーン投影時の視認性への疑問と想起】した。A01とC01は【視点誘導への要望とわかりにくさの想起】した。 (6)「動画一指摘一同意」 B01とA01は【スライド投影の配慮不足の指摘と同意】した。
<7>理論記述	グループ701において、この課題(動画の視聴とそれに対するコメントの書き込み)は、以下のパターンの確認ができた。 パターン1「動画への反応(思考)」(動画に対する反応を書き込む行動の確認ができた?) (1)「動画一想起、再認」、(2)「動画一意見、気づき」 パターン2「動画と他者コメントへの反応(思考)」(コメントのやりとり、つまりパセリセッションの確認ができた?) (3)「動画一想起一当時の想起、共感」、(4)「動画一想起一連想」、(5)「動画一疑問(要望一想起)」、(6)「動画一指摘一同意」 特に、上記での下線部分(つまり、パターン1の(2)やパターン2の(4)(5)(6))は、単なる反応ではなく、意見、気づき、連想、疑問、要望、指摘といった少し高度な思考とみるとことができ、当該授業の目的(教職生対象の教育方法科目)としても効果が期待される。 一特に、パターン2は、コメントのやりとり(パセリセッション)による「思考の発散と深化」という2段階の思考を促した可能性? (※ただし、「思考の収束」は確認できなかった) さらには、C01(B01も少し可能性)はこのグループにおいて特に促進されており、キーパーソンとなっていた可能性はある? (コメントのやりとりを促進する存在?)
<8>さらに追究すべき点・課題	このグループ701において確認できた2つのパターンは、他のグループでも出現するかどうか? (新たなパターンがあるかもしれない、パターン1だけのグループもあるかもしれない) C01のようなキーパーソンが他のグループでも存在するかどうか? また、このキーパーソンは、どのようなコメントを書き込むのかも注目する必要があるかもしれない。

事前学習における能動的学習情報に基づく

プログラミング学習進捗状況把握

王笑難^{*1}, 清光英成^{*1}, 孫一^{*2}, 蘇彦聰^{*3}, 大月一弘^{*1}

^{*1} 神戸大学大学院国際文化学研究科, ^{*2} 神戸情報大学院大学情報技術研究科,

^{*3} アモイ理工大学デザインアート学部

Programming learning progress monitoring based on active learning information in on-demand advance learning

Xiaonan Wang^{*1}, Hidenari Kiyomitsu^{*1}, Yi Sun^{*2}, Yancong Su^{*3}, Kazuhiro Ohtsuki^{*1}

^{*1} Graduate School of Intercultural Studies Kobe University,

^{*2} Graduate School of Information Technology Kobe Institute of Computing,

^{*3} School of Design and Art Xiamen University of Technology

オンデマンド事前学習用動画教材の時点と能動的学習情報とを紐づけることにより, 状況を特定する記述をほとんど必要としないメモ・質問機能をもつ教育支援システムを開発した. 学習状況を把握する手掛かりとなる観測・観察型のフィードバックを得ることが対面授業ほど容易ではないというオンデマンド型がかかえる問題, 例えば, 開始時刻, 各回の授業内における学習者間での進捗のようではないなどの諸問題に対する一改善策を提案し, 事後調査の評価により本方式の有用性を確認したので報告する.

キーワード: 学習情報, オンデマンド授業, 教育支援システム

1. はじめに

従来の講義形態は知識や技能について教授する効率はよく, 学習者が教授者へ質問する機会は確保されているものの, 教授者から学習者への一方向に偏重する傾向があった. アクティブラーニングなど双方向性を重視する学習法の導入により, 学習者が教授者へ質問する逆方向への情報伝達, 多人数の前での質問や自分の意見を述べることなどによる情報・問題意識の共有が図られるようになりつつある. これらは主に対面授業で実施されているが, 教育に情報通信機器が広く利用されるようになり, 学習効果の考慮は従来の対面授業に加えて遠隔化・オンライン化が可能となった.

リアルタイム型の遠隔授業は, 無料もしくは安価な遠隔会議システムが利用され学習場所の多様化を許容する. オンデマンド型では学習場所に加えて学習時刻の束縛も緩和される. しかしながら, 対面授業と同等の臨場感を求めることには限界がある. 例えば, 遠隔

授業では教員が学生の表情などの変化から感じ取る種類のフィードバックを得にくい. 学生は近くを通りかかった教員に気軽に質問をするという従来型の簡易質問ができない. さらに, オンデマンド型は学習時刻・時間が一律でないため対面型であれば同時に得られたはずのフィードバックが学習者個々の時間軸上に分布する. このように対面授業との授業形態, 学生と教員のコミュニケーション方法などの違いに起因する問題が顕在化してきた.

教授方法の提案やオンライン通信システムの利用による授業コミュニケーションの改善などさまざまな研究がなされている[1, 2]. オンデマンド型授業において, 学習活動の観察は困難であるため提出物の評価を介して知識・技能の習得過程を推測することは少なくない. しかしながら, 提出物だけで学習状況の把握が対面授業と同等にできるわけではない.

学習管理システム(LMS)などを利用し, 学習者の行

動履歴の記録を分析することが行われるようになった[3, 4]. 学習者の学習活動中の表情や脈拍などの生理情報を収集することによる学習活動の分析の研究も続けられている[5, 6]. これらは主に自動的に収集される学習情報に基づいた手法のため、客観的な学習者の状態や学習タスク達成度などの把握が可能になったが、内容の理解度や応用への着想など、学習者が実感した主観的な自己評価の把握には至っていない。

予備実験と同時に行った調査で、オンデマンド授業中の学生はプログラミングに関する質問に際し、状況の説明に難しさを感じていることが分かった。学習者の能動的活動（質問や学習ノートなど）を学習状況把握に利用できるようになれば、学習状況に応じたフィードバックならびに学習意欲などのエンゲージメント向上が期待できる。そこで本研究では、学習者が入力するコンテンツ（ノートと質問）とオンデマンド事前学習用の動画教材のシーン（時点）との紐づけにより、単元や状況を特定する記述をほとんど必要とせずに学習記録と教員への質問ができるシステムを提案した。本稿では、提案したシステムの構築、運用、プログラミング学習の状況把握に関する考察と今後の展望について議論する。

2. 支援システムの概要

2.1 システムの構成

提案システムは Web ブラウザ上で動作する。授業は(1)教員が動画教材を用意、(2)学生が事前学習、(3)授業は主に演習とオンラインの質疑応答、という形態である。学生は Web ブラウザでシステムにアクセスし、事前学習しながらノートをとる、質問するなどの機能を利用できる。ノートと質問はサーバへ送信され、動画教材の時点と共に行動履歴として記録される。学生の行動履歴とノートと質問の内容は選別確認機能を介して教員用の画面に集約表示される。図 1 にシステム構成を示す。

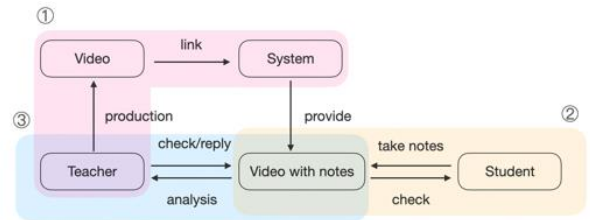


図 1 システム構成

2.2 学生用のインターフェース

図 2 に学生用のインターフェースを示す。画面の左側は、動画教材を再生するプレーヤーである。右側には、入力フォームがあり、上側の +Note または +Question ボタンをクリックすることにより動画が一時停止し、動画プレーヤー下側のタイムラインに現在の時点がマークされる（ノートがオレンジ、質問が緑）。同時にボタン下側の入力フォームにはマーク色に応じ動画時点に紐づいたタグが表示され、学生がノートや質問を入力できるようになる。入力完了と内容の修正の操作はフォーカスが離れた際に入力した内容と関連情報をサーバに送信し、データベースの更新を行う。通信成否の情報はタグの右側にグレー文字で提示する。また、メモタグ（以下メモ：便宜上、質問用のタグもメモと呼ぶ）やタイムラインでのマークのいずれかをクリックすると、動画が紐付けされた時点に戻り、メモがついたコンテンツは動画と共に確認・復習することができる。これにより、プログラミング学習の習慣に応じた単元や状況を特定する記述をほとんど必要とせずに、教員へ直接質問を送信するハードルを下げられる。

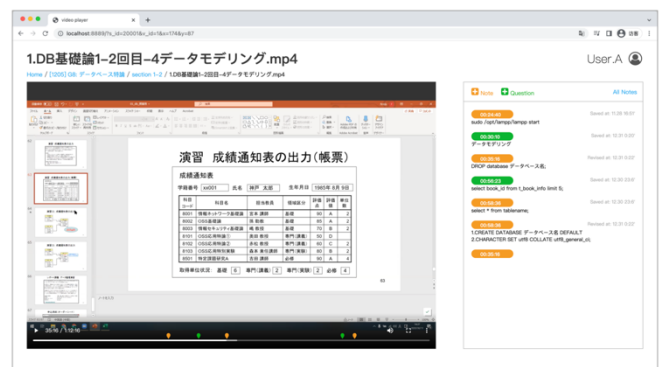


図 2 学生用のインターフェース

2.3 教員用のインターフェース

教員用の画面を図 3 に示す。左側に学生一覧フォームを設置することにより、学生毎にメモがついたコンテンツを確認できる。最初には動画のタイムライン

のマークと右側入力フォームで全てのメモを表示する。学生名をクリックすると、入力フォームでこの学生のメモのみ表示される。その上、入力フォーム上側の「Note」・「Question」・「All」ボタンを利用し、ノートのみや質問のみなどを絞り込み、表示することが可能である。ボタンの組み合わせによる表示可能な場面を表 1 に示す。



図 3 教員用のインターフェース

表 1 フィルター機能にあたりボタンの組み合わせによる表示可能な場面

	「学生名」	「Allstudents」
「Note」	この学生のノートメモ	全ての学生のノートメモ
「Question」	この学生の質問メモ	全ての学生の質問メモ
「All」	この学生の全てのメモ	全ての学生の全てのメモ

学生の事前学習における異なる学習時間でのメモ情報を集約してフィルター機能で絞り込み、さらに動画教材のシーンに紐づけたタイムライン上のマークを提示することにより、能動的学習記録の分布、例えば、ノートや質問が集中する場面などを教員が把握できるようになる。こうした能動的な情報を把握し、教員は対面授業の進度の調整や学習進捗状況を知る手掛かりとして有用である。

3 システム運用実験

3.1 実験概要

Amazon のサーバ上に提案システムを実装し、大学生を対象とした Python 基礎コースで実験を行った。被験者は学生 38 名、教員 7 名である。

システムの運用期間は一週間であり、期間内は学生がシステムに自由にアクセスし、を好きなときに事前学習で利用できるようにする。授業前に教員がシステムによる提示された内容を確認する。教材は 20 分程度の三つの動画を利用した。また、実験後にシステムに対する教員・学生両方アンケートへの回答を依頼した。

3.2 実験結果

適用実験終了後のシステムは、学生 38 名により、359 件のメモを収集した。学生のうち 26 名のメモが記録され、ノート 303 件、質問 56 件であった。三つの動画で各記録されたメモ状況を図 4 に示す。

また、アンケート調査の実施の結果は学生 21 名、教員 7 名の回答を収集した。

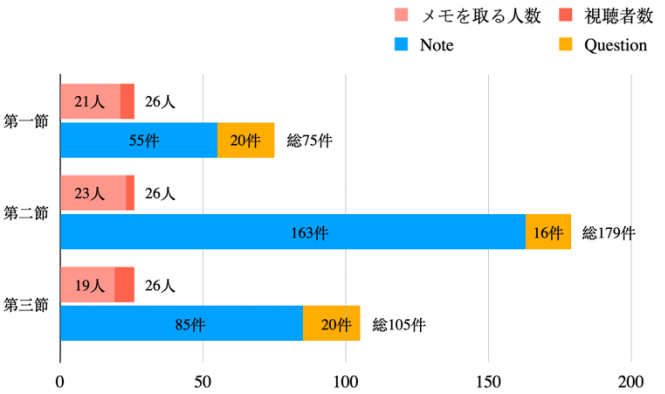


図 4 各節の動画の記録の状況

4 分析と考察

4.1 メモ内容の分析

図 5 に第一節の動画での全ての質問の表示画面を示す。タイムラインに集まったマークにより、問題が多発した時間帯 a (0:49-3:36), b (10:25-11:33), c (14:34-17:33) の 3 つの時間帯が検出された。質問を確認した結果、時間帯 a では主にバージョンの問題である。動画画面と違った画面新しいバージョンあるため、それに対する疑問が多いことが分かった。時間帯 b では三つ質問があり、いずれも言語設定の問題であった。動画では英語の IDE 画面を使用し、英語が苦手、環境言語を変更してほしい学生が多いことが分かった。時間帯 c の質問は、異なるバージョンをインストールしたため、環境設定の際に学習動画と見え方が微妙に違ったため、トラブルが多発していたことが判明した。

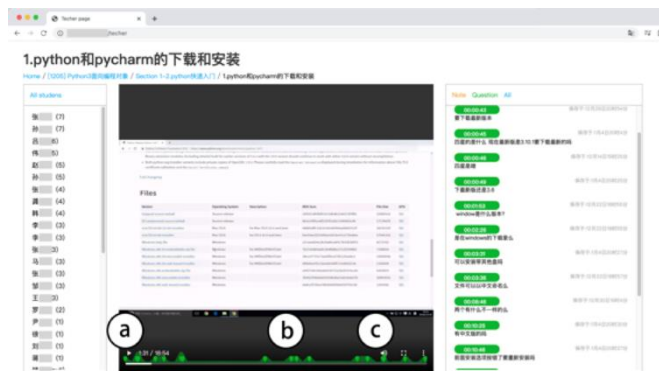


図 5 第一節動画の全ての質問メモの表示画面

図 6 に第二節の動画での全てのノートと質問の表示画面を示す。メモをとった学生は 23 名おり、最大 35 件のメモをとった学生がいた。

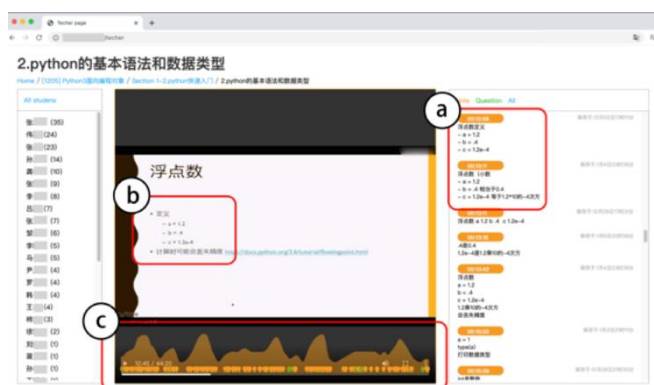


図 6 第二節動画の全てのノートと質問の表示画面

ノートを確認した際に右側のメモフォームに「-a = 1.2」という不自然な表現式があった (図 6④)。学習動画の 13 分あたりの時点であった (図 6⑤)。タグをクリックし、ノートに紐づいた時点の動画の内容を確認した結果、「float 型」について説明するスライド (図 6⑥) は、箇条書きの行頭記号「-」が学生にマイナスの意味と認識された問題を判明した。同様の問題が他の 3 名の学生のノートからも確認できた。動画教材の間違いや改善が必要な点なども学生のメモから判明する可能性がある。

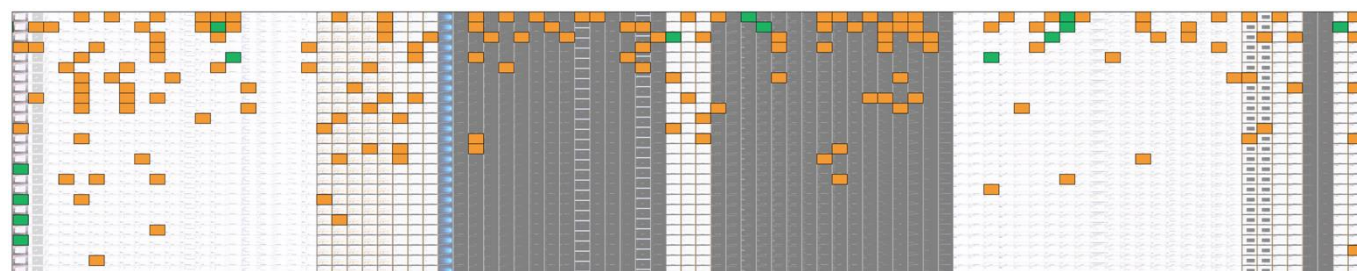


図 7 学習動画教材の 30 秒時間間隔における学生ごとのメモ分布。

4.2 システム利用アンケートの分析

学生へのアンケート調査の結果では、教員に質問した人数が従来の 33.33%から 95.24%に増えたことから、従来の質問の提出方法より気軽に容易になったと推測できる。「質問の便利さ」「問題記述の容易さ」と「メモの利用効果」の設問に対してもおおむね良好な評価を得た。一方、教員への調査結果では本システムを導入する場合、学生からの質問数は従来よりも増加し、有用なフィードバックが増えたことをすべての教員から確認できた。学生の学習進捗や内容の理解度など学習状況の把握についても全ての項目で肯定的な評価を得た。

4.3 可視化による分析

ノートが学生の学習状況把握に有効であると考えられるが、各学生個別にノートを見るコストは無視できない。また、動画のタイムラインにマークしたメモが多く記録されると重なってしまい確認には不便であった (図 6 ③)。動画内の学生毎のノート分布をわかりやすくするために可視化方法を改善しメモマップを試作した (図 7)。学生ごとのノート・質問が動画内でどのように分布しているかを示している。横軸は時間軸であり、時間間隔は 30 秒を一行とした。縦軸は上からメモ数降順に学生を並べた。ノートがあった時点をオレンジ色で、質問があった時点を緑で表している。背景は動画教材のサムネイルである。メモマップは一瞥で教材動画の内容の変化や各学生の能動的学習記録としてのノートと質問の分布をその時間軸とともに確認できる。活動記録の少ない時間帯や質問頻出の時点やシーンが捕えやすくなる。また、学習内容の特性に応じた差異や学習活動の特徴と学生メモの関連性について分析が可能な属性集合の発見も期待できる。

5. おわりに

本研究はプログラミング学習に特有の動作などを参考にし、オンデマンド型授業に適応した教育システムを開発した。初學者用の Python の授業で実験を行い、学生が動画教材の時点に質問を紐づけることで、単元や状況に関する詳細を説明することなく、気軽に自分の意見を提出できることを確認した。アンケート調査から教員は学生からのフィードバックが増え、学生の学習状況を把握することにおいて本方式が有効であることを確認した。さらに、可視化の方法を利用した学習データの分析は、学生特徴の発見や授業内容改善のための有用な手掛かりとして双方向性を含めた多岐にわたる応用が期待できる。

今後、収集したデータの可視化方法の検討を進めるとともに、より多く、多種類の教育データの収集と分析を行う。また、収集データの観察と分析結果から人工知能的手法によるデータの処理、処理後のデータの可視化方法の開発を行う。これらを利用して教授法と教材の改善について整理・検討を行う。

謝辞

本研究の一部は科研費(19K03000)「プログラミング教育のための進捗把握手法」、科研費(19K03030)「コピペ時代のプログラミング学習方法の開発」の支援による。ここに記して謝意を表す。

参 考 文 献

- (1) 内田いづみ. "反転授業の授業外学習を支援する学習環境の設計と効果: 情報基礎科目における Moodle 活用." 駿河台大学教職論集 (2017): 26-35.
- (2) 守一雄. "Microsoft Teams を使ったオンライン授業での小グループに分かれてのディベートの実践報告." 教育総合研究 4.special (2020): 249-256.
- (3) 岡田浩希, 鈴木孝幸, 納富一宏. "映像講義における受講者の視聴ログの可視化." バイオメディカル・ファジィ・システム学会大会講演論文集 29. バイオメディカル・ファジィ・システム学会, 2016.
- (4) Shi, Conglei, et al. "VisMOOC: Visualizing video clickstream data from massive open online courses." 2015 IEEE Pacific visualization symposium

(PacificVis). IEEE, 2015.

- (5) 中村和晃, 村上正行, 角所考. "非同期型 e-learning 環境における学習者の顔情報把握のための視覚的インタフェース." ヒューマンインタフェース学会論文誌= Human interface: the transaction of Human Interface Society 8.4 (2006): 527-536.
- (6) Monkaresi, Hamed, et al. "Automated detection of engagement using video-based estimation of facial expressions and heart rate." IEEE Transactions on Affective Computing 8.1 (2016): 15-28.

プログラミング演習における学習者の 進捗状況の把握を目的とした評価指標の提案

田中 空来^{*1}, 香山 瑞恵^{*2}, 新村 正明^{*2}, 舘 伸幸^{*2}

^{*1} 信州大学大学院, ^{*2} 信州大学

A Research on Assessment Metrics for Keeping track of Learners' Progress in Programming Exercises

Sora Tanaka^{*1}, Mizue Kayama^{*2}, Masaaki Niimura^{*2}, Nobuyuki Tachi^{*2}

^{*1} Graduate School of Science & Technology, Shinshu University, ^{*2} Shinshu University

本研究の目的は初学者向けのプログラミング演習で、学習指導が必要である学習者を同定し、指導者の学習指導をサポートすることである。そのため、模範解答との類似度と相違度に基づく評価指標を提案する。本稿では、まず、プログラムに対応する抽象構文木 (AST) から算出した類似度と相違度の計算方法を示す。次に、これらの指標と一般的なプログラムメトリックスとの関係を整理する。この結果に基づき、提案指標の妥当性を考察する。また、学習指導が必要な学習者の進捗状況について、どのようなパターンが存在するのかを考察する。最後に、進捗状況可視化システムの概要の説明と可視化シミュレーションの評価を行う。

キーワード: プログラミング演習, 進捗状況, 類似度, 相違度, 抽象構文木

1. はじめに

高等教育機関での専門情報教育において、プログラミングは基本技術であり、多くの大学でプログラミング演習が行われている。プログラミング演習は、開始時に指導者 (講師, Teaching Assistant) が学習者に課題を与え、学習者は、わからない点を指導者に質問しつつ、コーディングを行うという授業形式が一般的である⁽¹⁾。また、コーディングの終了タイミング、もしくは、課題の提出時間になると、指導者にソースコードを提出し、チェックを受ける。このように、プログラミング演習では、学習者が個別に課題に取り組むため、学習者の能力差によって進捗状況に大きな差が生まれることが多い⁽²⁾。実際に、講義や演習の内容がわからない状態でも質問をせずに、手が止まってしまう学習者が多く存在している⁽³⁾。そのため、指導者は学習者からの質問に対応するだけでなく、学習指導が必要である学習者を把握し、状況に応じた指導を行うことが重要である。特に、初学者向けのプログラミング演習では、理解不足などの状態を早期発見することは非常に重要である。しかし、プログラミング演習では、多数の学習者に対して、少数の指導者が対応するため、

学習者全員のコーディング状況を把握することは困難である。そこで、演習中の学習者のコーディング過程を分析し、進捗状況を可視化するツールが提案されている⁽⁴⁻⁶⁾。これらの研究では、コーディング行数、コーディング時間、エディターの操作数、エラーメッセージの内容、実行結果や実行ログなどの学習者の行動に基づく情報を利用している場合が多い。しかし、ソースコードの内容や構造などの質的な評価に基づく指標を考慮している研究は少ない。これに対して、本研究では、学習者が作成したソースコード (以下、学習者コード) の質的な評価指標の開発を試みてきた⁽⁷⁾。

本研究の目的は、大学で行われている初学者向けのプログラミング演習で、学習指導が必要である学習者を同定することで、指導者の学習指導をサポートすることにある。そこで、本稿では、ソースコードの質的な評価指標となる、類似度と相違度を提案する。これらの指標と、一般的なプログラムメトリックスである、循環的複雑度とソースコードの行数を用いたプログラムの評価を行い、学習指導が必要な状態について考察した。また、指導者と学習者に対して進捗状況を表示するツールのプロトタイプを開発した。

本研究におけるリサーチクエスチョンは以下の3点である。

- 1) 学習指導が必要な学習者の進捗状況とはどのような状態であるか
- 2) 学習指導が必要な学習者の進捗状況を特定のパターンに分けることができるのか
- 3) 学習指導が必要な学習者の進捗状況を演習の過程で検出できるのか

2. 学習者の進捗状況について

リサーチクエスチョン 1)「学習指導が必要な学習者の進捗状況とはどのような状態であるか」について、本研究では、次のように仮定する。プログラミング演習において、学習者に対する学習指導が必要でない状態とは、課題内容やアルゴリズムを理解しており、自力でコーディングすることができ、かつ、学習者の解答内容が模範解答に近い場合であるとする。

一方、学習指導が必要な状態として、主に次の2点が考えられる。1 点目は、課題内容やアルゴリズムが理解できず、手が止まっている状態である。2 点目は、課題内容やアルゴリズムはある程度理解しており、コーディングもしているが、模範解答には近づいていない（解答の方向性が間違っている）状態である。ここで、1 点目の状態については、コーディング行数や実行ログなどの学習者の行動に基づく評価指標を用いることで、学習指導が必要な学習者を検出できる可能性が高い。2 点目の状態については、コーディング行数や実行ログのみでは、学習指導の必要の有無を判断することは困難である。そこで、本稿では、ソースコードの構造を抽象構文木（図1）を用いて比較することで、ソースコードの質的な評価指標を具体化する。これらの指標を用いることで、2 点目の状態の学習者の同定を試みる。

3. 提案する評価指標について

提案する評価指標は「類似度」と「相違度」である。類似度は「学習者コードと模範コード（後述）が構造的に一致するノード（後述）の割合」、相違度は「学習者コードの中で模範コードに含まれないノードの割合」とした。また、相違度は1から類似度を引いた値では

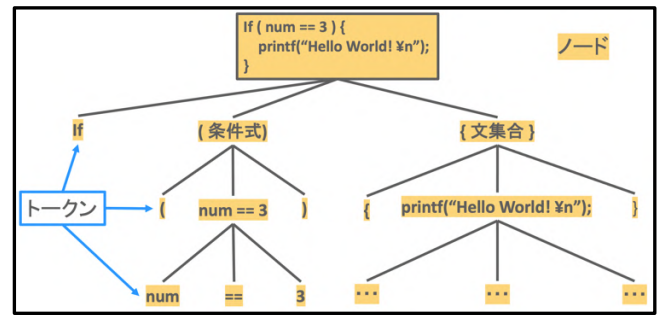


図 1: 抽象構文木の例

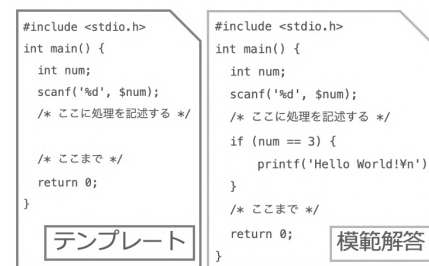


図 2: テンプレート(t)の例

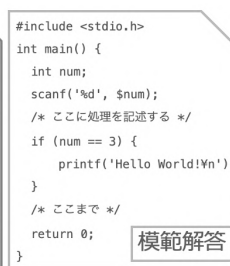


図 3: 模範解答(a)の例

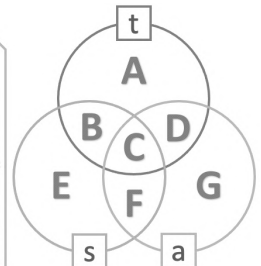


図 4: 各コードの関係性

ない。以下、3.1 でこれらの評価指標の設計概要を示し、3.2 で計算方法を示す。

3.1 設計概要

本研究では、抽象構文木（Abstract Syntax Tree, 以下, AST）のノード単位でソースコードを分析する。ここでは、ソースコードの解析ツールとして Gum Tree^(8,9)を利用する。Gum Tree は 2 つのソースコードを入力として与えることでそれぞれの AST を生成し、AST 間でノードの一致、挿入、削除、更新、移動を検出するが、ソースコードの構造が破綻していると、AST が生成できない場合がある。本研究では、このうち一致と挿入を使用している。Gum Tree に与えるソースコードは、テンプレート（以下, t）、模範解答（a）、スナップショット（s）の 3 種とする。t と a は指導者があらかじめ用意しておく。学習者は t を用いてコーディングを始める。図 2 の t には学習者が処理を記述する範囲がコメントで示されており、学習者はその中のみ編集を行うことが期待される。図 3 の a は t に処理が追記された模範解答例である。s は編集途中の学習者コードであり、編集が加えられた場合に一定間隔で自動保存される。

3.2 計算方法

図 4 に、t, a, s に含まれるノードの関係を示す。A

～G を Gum Tree で解析されたノードの部分集合とした場合、それぞれ、 $t = \{A, B, C, D\}$, $a = \{C, D, F, G\}$, $s = \{B, C, E, F\}$ となる。このうち、E は s にのみ存在するノードであり、F は s と a にのみ存在するノードである。t には、基本的に A, B のノードは存在しないが、一部の課題で t を編集可能であるため、t の要素に含んでいる。類似度と相違度の計算式は図 4 の要素を用いて次の(1)式、(2)式のように表される。両指標の値域は、[0, 1]である。

$$\text{類似度} = \frac{|\{A, F\}|}{|\{A, B, F, G\}|} \quad (1)$$

$$\text{相違度} = \frac{|\{D, E\}|}{|\{A, D, E, F\}|} \quad (2)$$

4. プログラムメトリックスの概要

一般的なプログラムメトリックスについて説明する。

4.1 Jaccard 係数

Jaccard 係数は集合の類似度を計算するメトリックスである。2 つの集合の和集合に対する積集合の割合で計算され、値域は[0, 1]である。図 4 の a と s の Jaccard 係数は次の(3)式のように表される。

$$J(a, s) = \frac{|a \cap s|}{|a \cup s|} = \frac{|\{C, F\}|}{|\{B, C, D, E, F, G\}|} \quad (3)$$

また、1 から Jaccard 係数を引いた値である Jaccard 距離は、集合の非類似性を表す。値域は[0, 1]である。a と s の Jaccard 距離は次の(4)式のように表される。

$$dj(a, s) = 1 - J(a, s) = \frac{|a \cup s| - |a \cap s|}{|a \cup s|} \quad (4)$$

4.2 循環的複雑度

循環的複雑度 (Cyclomatic Complexity, 以下, CC) は、プログラムの複雑度を測るメトリックスであり、ソースコード内の線形独立な経路の数のことである。例えば、if 文や for 文などの分岐のないソースコードの場合、その経路は 1 つしかないため、CC は 1 であ

る。また、ソースコードに 1 つの if 文が含まれる場合は、if 文が真となる場合と偽となる場合の 2 つの経路が存在するため、CC は 2 となる。

4.3 ソースコードの行数

ソースコードの行数 (Lines of code, LOC, 以下, 行数) は、ソフトウェアの規模を表すメトリックスのひとつである。テキストファイルとしての行数を物理 LOC (physical LOC) という。本研究では、空行やコメント行を除いた行数である論理 LOC (logical LOC) を使用する。

5. 提案指標の妥当性の検証

評価指標と Jaccard 係数, CC, 行数との関係を示す。

5.1 実験条件

2021 年度に実施された信州大学工学部電子情報システム工学科 2 年生向けの C 言語プログラミング演習を対象とした。70 分間の期末試験に出題された 5 題のうち 3 課題 (以下, 解析課題問 2, 問 3-1, 問 3-2) を用いた。解析課題は、テンプレートに元からあるコードの修正・削除は禁止されており、コードの追加のみ行うようになっている。解析課題を解いた学習者の学習者コードのうち AST 生成が成功したコードをスナップショットとした。表 1 に各解析課題の学習者コード数とスナップショット数を示す。なお、これらのスナップショットは学習者のコーディングが止まると 2 秒後に自動保存される学習者コードである。

5.2 結果

学習者ごとにスナップショットの枚数が異なる。解析における個々の学習者の影響を等しくするために、期末試験時間内にスナップショットが 20 枚以上保存されている学習者を解析対象とした。学習者が解析課題に取り組んだ時間をそれぞれ 10 等分し、学習者コードが保存された時間が等分時間に近いスナップショット 10 枚を個人データとした。表 2 に各課題で解析対

表 1: 学習者コード数とスナップショット数

解析課題	学習者コード	スナップショット
問 2	20,622	7,705
問 3-1	17,463	10130
問 3-2	5,975	4,151

表 2: 学習者とコンパイルの成否数

解析課題	学習者数	s_ok	s_ng
問 2	105	653	397
問 3-1	120	702	498
問 3-2	51	287	223

象とした学習者数と、スナップショットにおけるコンパイル成否数を示す。表中、s_ok はコンパイルが成功したスナップショット数、s_ng はコンパイルが失敗したスナップショット数である。それらのスナップショットに対して 5 つの指標を計算し、相互の相関を求めた。問 2 の Jaccard 係数、類似度、相違度、CC、行数の相関を表 3 に示す。表 3 の薄灰色部分は s の相関係数である。黒色部分はコンパイルが成功した s_ok と失敗した s_ng との相関係数である。

問 2 の結果（表 3）より、Jaccard 係数と類似度は強い正の相関があり、Jaccard 係数と相違度、そして類似度と相違度ではほとんど相関がなかった。一方で、問 3-1 と問 3-2 では Jaccard 係数と類似度、そして類似度と相違度ではかなり正の相関があり、Jaccard 係数と相違度ではやや負の相関があった。また、問 2 の類似度と CC、そして類似度と行数では強い正の相関があった。これらは、問 3-1 と問 3-2 でも同様の結果となった。また、問 2 では、いずれの指標でもコンパイルの正否による影響はないが、問 3-1 と問 3-2 では、特に相違度に関係する相関係数に影響が確認された。

これらの結果から、Jaccard 係数や類似度、相違度は、課題の内容や難易度により、各メトリックスとの相関が異なることがわかった。

5.3 考察

5.2 の結果から、課題の内容や難易度がメトリックス値に影響することを推察された。各解析課題ではコーディング量が異なる。そのため、学習者のコーディング量（追加したトークン数）の影響を除いた場合の Jaccard 係数、類似度、相違度の偏相関係数を計算した。結果を表 4 に示す。

それぞれの解析課題において、Jaccard 係数と類似度の偏相関係数は、0.99, 0.99, 1.0 で、強い正の相関があった。類似度と相違度では、-0.51, -0.35, -0.35, Jaccard 係数と相違度では、-0.51, -0.37, -0.38 となり、かなり負の相関があるという結果となった。これらの結果から、Jaccard 係数と類似度は同等の指標であると考えられる。また、Jaccard 係数と対の関係にある Jaccard 距離は相関係数が[Jaccard 係数の相関係数-1]となるが、類似度と相違度ではそうはならない。そのため、類似度と相違度により Jaccard 係数とは異

表 3: 問 2 の相関係数

相関係数		Jaccard係数	類似度	相違度	CC	行数
Jaccard 係数	s_ok		0.94	-0.06	0.54	0.78
	s_ng					
類似度	s_ok	0.94		0.13	0.73	0.91
	s_ng	0.94				
相違度	s_ok	0.01	0.21		0.34	0.26
	s_ng	-0.21	-0.02			
CC	s_ok	0.57	0.76	0.4		0.65
	s_ng	0.49	0.67	0.23		
行数	s_ok	0.78	0.91	0.33	0.69	
	s_ng	0.77	0.91	0.13	0.6	

表 4: 偏相関係数

解析課題	Jaccard 係数 類似度	類似度 相違度	Jaccard 係数 相違度
問 2	0.99	-0.51	-0.51
問 3-1	0.99	-0.35	-0.37
問 3-2	1.0	-0.35	-0.38

なる質的評価が可能になると考える。

6. 学習者の進捗状況のパターンについて

リサーチクエスチョン 2)「学習指導が必要な学習者の進捗状況を特定のパターンに分けることができるのか」について、表 2 の学習者のスナップショットを用いて考察する。提案指標である類似度と相違度の 2 つの指標を用いてクラスタリングとプロセスマイニングを行った。クラスタリングの手法は k-means++法⁽¹⁰⁾である。k-means++法では、k-means 法が有する初期値依存性が解消されている。また、プロセスマイニングには Disco⁽¹¹⁾を用いた。

6.1 クラスタリング

個々の学習者のコーディングを 10 のスナップショットで抽象化した結果に対して、類似度と相違度の 2 つの値によりクラスタリングした。エルボー法により、クラスタ数を 5 とし、それぞれのクラスタにラベル付を行った（図 5）。ここで、スナップショットがテンプレートと一致する場合の類似度と相違度の値はどちらも 0、模範解答と一致する場合の類似度は 1、相違度は 0 となる。青点は課題に取り組み始めた段階の Beginning クラスタ（以下、B クラスタ）、緑点は課題を進めている途中で、状態が不確定な Indefinite クラスタ（I クラスタ）、橙点は比較的順調に課題を解いている Favorable クラスタ（F クラスタ）、紫点は学習指導が必要な可能性が高い Warning クラスタ（W クラ

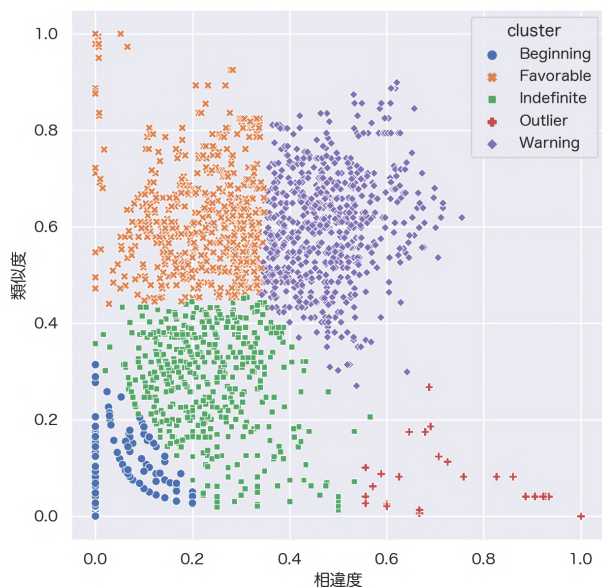


図 5: 類似度と相違度の散布図
(クラスタごとに色分け)

スタ), 赤点は極端に類似度が低く, 相違度が高い
Outlier クラスタ (O クラスタ) とした.

図 5 の結果から, 各クラスタについての考察を行う.
B クラスタは, テンプレートの値 (原点) に近い場所
に分布しているため, 課題に取り組み始めた学習者,
もしくは, あまり手が動いていない学習者であると考え
る. つぎに, I クラスタは, B クラスタの右上付近に
分布しており, およそ類似度は 0~0.4, 相違度は 0~0.6
の範囲にある. このクラスタは, B クラスタにいた学
習者がコーディングを行い, 課題を解き進めている段
階であると考え. F クラスタは, I クラスタの上側に
分布しており, およそ類似度は 0.4~1.0, 相違度は
0~0.35 の範囲にある. このクラスタには, 模範解答と
同じく, 類似度が 1 で相違度が 0 であるスナップショ
ットが含まれており, 相違度が比較的低いため, 順調
に課題を進め, 模範解答に近づいている学習者が多い
と考える. W クラスタは, 類似度が分布している範囲
は F クラスタと似ているが, 相違度の分布がおおよそ
0.35 以上と高い値となっている. このクラスタに含ま
れる学習者は, 課題を解き進めているが, 模範解答に
含まれない無駄なコードを多く記述している可能性が
高いため, 学習指導が必要である可能性が高いと考え
る. O クラスタは, 類似度が 0.3 以下で相違度が 0.5
以上のあたりに分布している. このクラスタには, 禁
止事項であるテンプレートの修正, または削除をして
しまっているスナップショットも含まれており, W ク

表 5: 最後のスナップショットの平均値と標準偏差

	類似度	相違度
問 2	0.64 ± 0.18	0.27 ± 0.15
問 3-1	0.56 ± 0.15	0.44 ± 0.14
問 3-2	0.59 ± 0.12	0.40 ± 0.15

表 6: 解析課題ごとのスナップショットの割合

クラスタ	問 2 (1050)	問 3-1 (1200)	問 3-2 (510)	全て (2760)
Beginning	18.5%	14.0%	15.5%	16.0%
Favorable	46.3%	12.2%	19.0%	26.4%
Indefinite	19.0%	25.5%	25.5%	23.0%
Outlier	3.0%	4.2%	1.0%	3.1%
Warning	13.1%	44.2%	39.0%	31.4%



図 6: 類似度と相違度の散布図
(課題ごとに色分け)

ラスタと同様に, 学習指導が必要と考える.

ここで, 表 5 にそれぞれの解析課題の最後のスナ
ップショットの類似度と相違度の平均値と標準偏差の値,
表 6 に解析課題ごとのスナップショットの存在するク
ラスタの割合を示す. 解析課題の難易度は問 2, 問 3-
1, 問 3-2 の順に高くなる. 表 5 を見ると, 解析課題 3
つの中で問 2 の類似度の値が一番高く, 相違度の値が
一番低い. 類似度と相違度には課題の難易度が反映し
ていると考えられる. また, 問 3-1, 問 3-2 は類似問題
であり, 類似度と相違度の値も近い結果となった. 問
3-1 よりも問 3-2 の類似度が高く, 相違度が低いのは,
問 2 や問 3-1 を解き終えた学習者のみが問 3-2 を解い
ているためと考える.

また, 図 6 に図 5 の散布図を解析課題ごとに色分け

したものを示す。この図より、解析課題 3 つの中で最も難易度が低い問 2 の分布と、難易度が高い問 3-1、問 3-2 の分布を比較すると、問 2 の分布が左上側によっており、問 3-1、問 3-2 の分布は比較的似ていることがわかる。

6.2 プロセスマイニング

6.1 のクラスタリングの結果をもとに、プロセスマイニングを行い、スナップショットが属するクラスタの時系列の変化を考察する。

図 7 にプロセスマイニングの結果を示す。図 7 は、すべての学習者の 10 のスナップショットの試験開始時から終了時までの遷移（以下、プロセス）の中から、出現頻度が上位 30% のプロセスに含まれる学習者を抽出したものであり、クラスタのラベルとその経路を辿った学習者の割合が示されている。O クラスタは、上位 30% のプロセスには含まれなかったため、図 7 には 4 つのクラスタのみが示されている。また、図上部にある▽が開始地点であり、下部にある□が終了地点である。開始地点からプロセスを追っていくと、すべての学習者がまず B クラスタに遷移したことがわかる。B クラスタは、テンプレートに近いクラスタであるため、学習者がテンプレートをもとに課題に取り組んでいる様子が表れている。つぎに、約 7 割の学習者が I クラスタに遷移した。これは、コーディングを行い、順調に課題を解き進めていることを示している。残りの 3 割の学習者はそれぞれ、1 割が F クラスタ、2 割が W クラスタに遷移している。また、I クラスタでは、クラスタ内にしばらく停滞する学習者と、すぐに F クラスタ、もしくは W クラスタに遷移する学習者が見られた。このことから、W クラスタに含まれる学習者に加えて、I クラスタに長時間停滞し、F クラスタに進まない学習者も学習指導の必要があると考える。

7. 進捗状況可視化システム

リサーチクエスチョン 3)「学習指導が必要な学習者の進捗状況を演習の過程で検出できるのか」について、プログラミング演習中に使用することを想定した進捗状況可視化システムのプロトタイプを開発した。そして、学習進捗状況の可視化方法のシミュレーションを行った。

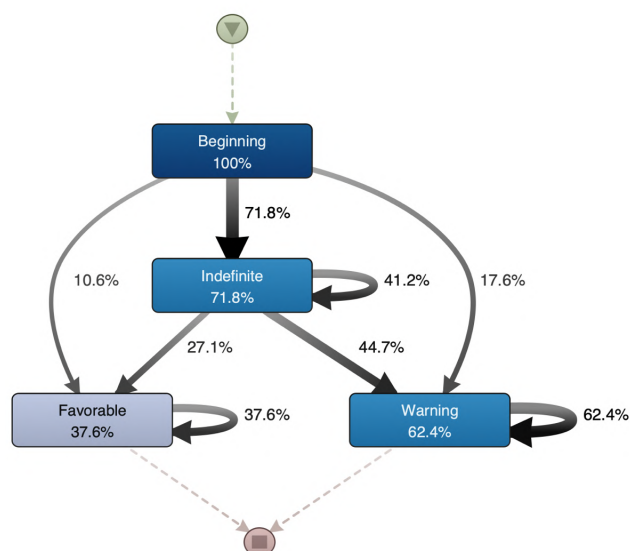


図 7: プロセスマイニングの結果

プログラミング演習での使用にあたり、最低限以下の 4 点の機能が必要である。

- ① 学習者のスナップショットの回収
- ② スナップショットの解析
- ③ 類似度、相違度の計算
- ④ 類似度、相違度の可視化

今回は、プロトタイプの開発であるため、①については、解析課題の学習者コードを使用することとし、②～④の機能の開発を行った。

7.1 システムの構成

本システムでは Docker Compose^(12,13)を使用し、web アプリケーションの開発を行った。フロントエンドでは、フレームワークに React⁽¹⁴⁾ (TypeScript⁽¹⁵⁾)を使用、バックエンドでは、Express⁽¹⁶⁾ (Node.js⁽¹⁷⁾)を使用している。解析用サーバーには、Express と Gum Tree の環境を作成し、データベースは MongoDB⁽¹⁸⁾を使用した。主に、解析用サーバーに機能②、③を実装し、フロントエンドに機能④を実装した。

7.2 可視化シミュレーション

指導者がプログラミング演習中に、学習者の進捗状況を把握するための機能についてシミュレーションを行った。図 9 はそれぞれ、解析課題問 2 の試験開始から 10 分後、30 分後、試験終了の各時点での、類似度と相違度の散布図である。プロットされている点 1 つが 1 人の学習者であり、点の色は、その時点での学習者の累積スナップショット数を相対的に表している。

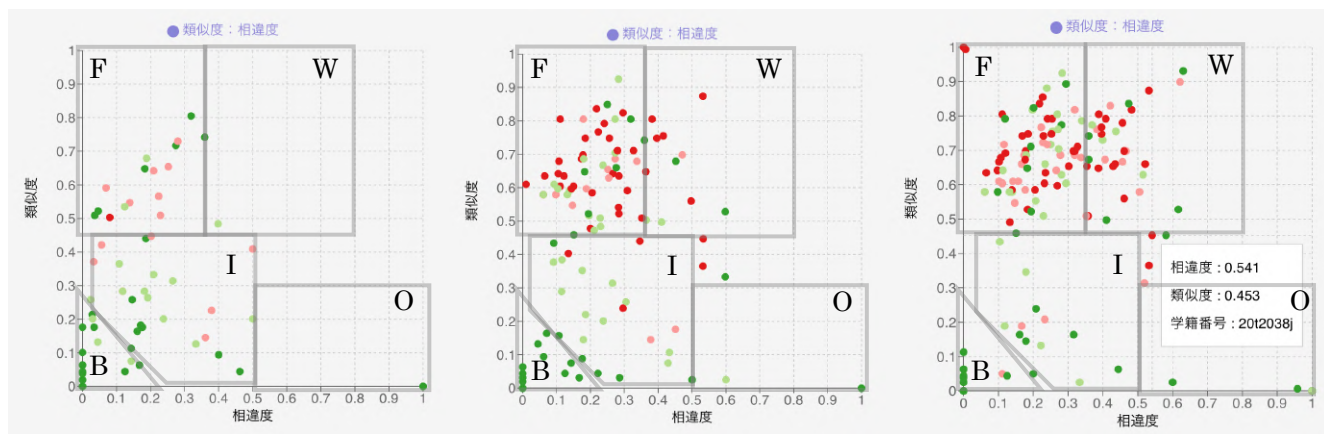


図 9: 類似度と相違度の散布図 (左から, 試験開始 10 分後, 30 分後, 試験終了時)

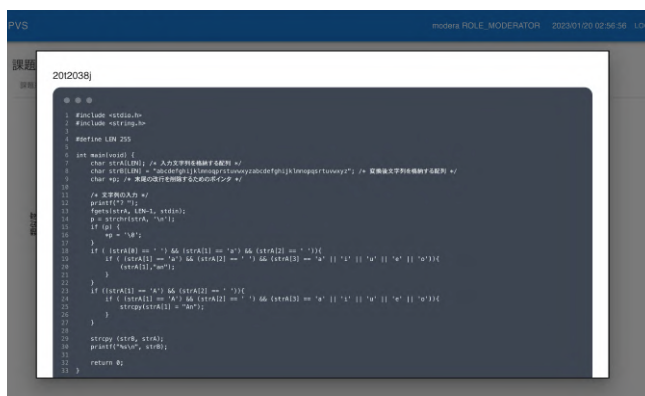


図 10: ソースコード確認画面

参照時点でのスナップショットの数が少ない方から, 全体の 0~25%を緑色, 25~50%を黄緑色, 50~75%を桃色, 75~100%を赤色とし, 4 段階で表示している. 試験開始から 10 分後では, B クラスタや I クラスタ, F クラスタに含まれる学習者が多く, W クラスタには学習者が存在していない. 試験開始から 30 分後では, F クラスタの学習者が増えている. また, W クラスタに含まれる学習者も現れてきており, 学習指導を行うポイントであると考え. 一方で, B クラスタや, I クラスタでスナップショットの数が少なく, 停滞しているような学習者も見られるため, これらのクラスタに対しても, 学習指導が必要であると考え. 試験終了時では, F クラスタ, W クラスタの両方で学習者が増加している.

7.3 システムの機能

実際の演習では, 30 分後などの時点で学習指導を行うことで, 終了時に W クラスタにいる学習者を減らすことができる可能性があると考え. また, B クラスタや I クラスタで停滞している学習者と, W クラスタ

課題: exam toi2

課題選択 進捗状況 類似度: 相違度 CC: 行数

学籍番号	類似度	相違度	CC	行数	枚数	コンパイル	時間
ソースコード 1712032g	0.604	0.294	9	29	29	OK	2022/02/04 11:19:51
ソースコード 1712147a	0.698	0.178	8	30	69	OK	2022/02/04 11:04:35
ソースコード 1812087h	0.579	0.14	5	33	25	OK	2022/02/04 11:49:12
ソースコード 1812601j	0.604	0.232	8	31	91	OK	2022/02/04 11:18:52
ソースコード 1812806b	0.686	0.276	9	32	36	NG	2022/02/04 11:47:14
ソースコード 1912002b	0.748	0.185	6	33	82	OK	2022/02/04 11:09:43
ソースコード 1912005g	0.66	0.234	6	31	35	OK	2022/02/04 11:44:46

図 11: 学習者進捗状況一覧

にいる学習者では学習指導の内容が異なることが想定される. 指導者は散布図の気になる点 (学習者) をクリックすることで, その学習者のソースコードを確認することができ, 学習指導の参考にすることが可能である (図 10). この他の機能としては, 学習者の進捗状況の一覧が確認できるテーブル (図 11) があり, ソースコードの表示や, 類似度や相違度などの各指標の値, スナップショットの枚数や保存された時間などを一括で確認することができる. ソート機能やフィルタ機能もあるため, 気になる学習者を絞り込むことが可能である. また, CC と行数の散布図 (図 12) も表示することができる. この散布図には, テンプレートと模範解答の CC と行数の値の位置にそれぞれ, 緑色と赤色で境界線が引かれている. 指導者はこの図を確認することで, 明らかに行数が多い学習者や CC の値が高すぎる学習者を発見することができるため, 類似度と相違度の散布図と合わせて, 学習指導に活用できると考える.

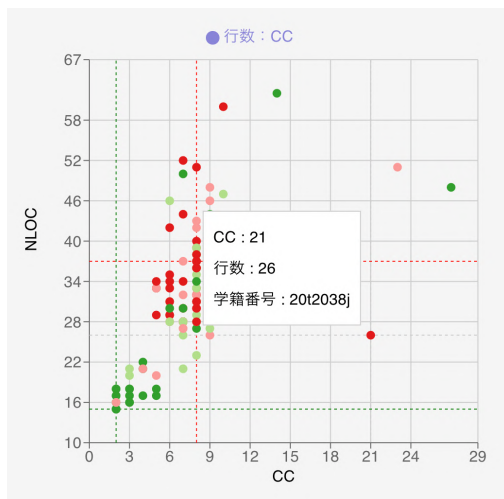


図 12: CC と行数の散布図

7.4 システムの評価

7.2 の結果をもとに、プログラム演習担当教員による提案システムの試用を行い、つぎの 2 点の意見を得た。1 点目は、「Warning クラスタの学習者のうち、スナップショット数が多い学習者（赤色）への指導の優先度が高いと考えられる。スナップショット数による色分けは、指導の優先度という点で有用性があると思われる」ということである。2 点目は、「クラスタごとに色分け、スナップショット数を色の濃さとすることで、クラスタとスナップショット数の両方の情報が得られるのではないか」ということである。

1 点目の意見から、提案システムの有用性が示唆されたと考える。2 点目については、クラスタ境界を背景画像として示し、現行のスナップショット数に基づく色表示のドットを重ねることで対応できると考える。

8. おわりに

本稿では、プログラミング演習で、学習指導が必要である学習者を同定し指導者の学習指導をサポートすることを目的として、3 つのリサーチクエスチョンに基づき研究成果を述べた。

本研究では、学習者の進捗状況を 5 つのクラスタに分け、学習指導が必要な学習者について考察した。進捗状況可視化システムを使用することで、解答の方向性が間違っている可能性がある W クラスタの学習者には解答のヒントを与え、B クラスタや I クラスタで長時間停滞している学習者にはアルゴリズムや課題内

容についての初歩的な説明を行うなど、クラスタごとに異なる学習指導を行うサポートができると考える。

今後は、可視化システムの機能追加や実際の授業での使用について検討していく。

参 考 文 献

- (1) 槇原絵里奈, 藤原賢二, 井垣宏ほか: “初学者向けプログラミング演習のための探索的プログラミング支援環境 Pockets の提案”, 情報処理学会論文誌, Vol.57, No.1, pp.236-247 (2016)
- (2) 堀口悟史, 井垣宏, 井上亮文ほか: “講義資料閲覧ログを用いたプログラミング講義進捗管理手法の提案”, 情報処理学会論文誌, Vol.53, No.1, pp.61-71 (2012)
- (3) 浦上理, 長島和平, 並木美太郎ほか: “プログラミング学習者のつまずきの自動検出”, 情報処理学会論文誌, Vol.2020-CE-154, No.4, pp.1-8 (2020)
- (4) 市村哲, 梶並知記, 平野洋行: “プログラミング演習授業における学習状況把握支援の試み”, 情報処理学会論文誌, Vol.54, No.12, pp.2519-2526 (2013)
- (5) 井垣宏, 斎藤俊, 井上亮文ほか: “プログラミング演習における進捗状況把握のためのコーディング可視化システム C3PV の提案”, 情報処理学会論文誌, Vol.54, No.1, pp.330-339 (2013)
- (6) 堀口諒人, 筒井善規, 井垣宏: “プログラミング演習における学生のプログラミング行動推定のための授業環境と実験環境の比較”, 第 7 回実践的 IT 教育シンポジウム (rePiT2020) 論文集, pp.114-120 (2020)
- (7) 秋山直人, 新村正明: “プログラミング課題における進捗状況可視化手法の提案”, 教育システム情報学会研究会講演論文集, Vol.34, No.6, pp.51-55 (2020)
- (8) J.-R.Falleri, F.Morandat, X.Martinez, et al., “Fine-grained and accurate source differencing”, Proc. of the 29th ACM/ IEEE International Conference on Automated Software Engineering, pp.313-324 (2014)
- (9) GumTreeDiff/gumtree: A neat code differencing tool – GitHub, <https://github.com/GumTreeDiff/gumtree> (2023 年 1 月 19 日 確認)
- (10) David Arthur, Sergei Vassilvitskii, “K-means++: The Advantages of Careful Seeding”, Proceedings of the Eighteenth Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete algorithms, pp.1027-1035 (2007)
- (11) Process Mining and Automated Process Discovery Software for Professionals - Fluxicon Disco, <https://fluxicon.com/disco/>, (2023 年 1 月 19 日 確認)
- (12) Docker: Accelerated, Container Application Development, <https://www.docker.com/>, (2023 年 1 月 24 日 確認)
- (13) Docker Compose – Docker-docs-ja 20.10 ドキュメント, <https://docs.docker.jp/compose/toc.html> (2023 年 1 月 24 日 確認)
- (14) Meta Platforms, Inc. React. <https://ja.reactjs.org/> (2023 年 1 月 24 日 確認)
- (15) Microsoft. TypeScript. <https://www.typescriptlang.org/>, (2023 年 1 月 24 日 確認)
- (16) OpenJS Foundation. Express, <https://expressjs.com/ja/>, (2023 年 1 月 24 日 確認)
- (17) OpenJS Foundation. Node.js, <https://nodejs.org/ja/>, (2023 年 1 月 24 日 確認)
- (18) MongoDB, Inc. MongoDB, <https://www.mongodb.com/ja-jp>, (2023 年 1 月 24 日 確認)

ソースコード処理手順の学習によるコード補完機能の検討

齋藤 愛莉佳^{*1}, 鷹野 孝典^{*2}

^{*1} 神奈川工科大学大学院 工学研究科 情報工学専攻

^{*2} 神奈川工科大学 情報学部 情報工学科

A Method for Code Completion Function by Learning a Sequence of Procedures in Source Code

Erika Saito^{*1}, Kosuke Takano^{*2}

^{*1} Course of Information and Computer Sciences, Graduate School of Engineering,
Kanagawa Institute of Technology

^{*2} Department of Information and Computer Sciences, Faculty of Information Technology,
Kanagawa Institute of Technology

For the efficient program coding, it is important to provide learning environments for improving programming skills and tools to support software development. This study presents a method to perform code completion according to the distance of meaning between procedures in a source code by learning the meanings that occur in the context of the processing procedures. In the experiment, by applying word2vec, which learns semantic relationships between words, to a logic corpus generated from a large set of source code, we evaluate the performance of code completion using the feature representation matrix of the code procedure obtained through the training with word2vec, and confirm the feasibility of the proposed method.

キーワード: プログラミング学習, ソースコード推薦, word2vec, 特徴表現行列

1. はじめに

ソフトウェア開発者がプログラミングを効率的に行うために, プログラミング技能を向上させるための学習環境やソフトウェア開発を支援するツールの提供が重要である.

我々はこれまで, ソフトウェア開発者がコードを作成中に利用可能なソースコード推薦を行うことを目的として, ロジック・コーパスと呼ばれる, ソースコード集合を機能ラベル列集合として表現したコーパスを生成し, ニューラルネットワークモデル (以降, NN モデル) へ適用することで, ソースコードの処理手順の文脈を考慮したコード機能の補完手法を提案してきた⁽²⁾. しかし, この手法では, ソースコードの処理手順に着目して学習を行う系列変換型の NN モデルを利用した推定を行っており, 処理手順の前後関係から生じる

処理手順間の意味的關係には着目していなかった.

本研究では, ソースコードにおける処理手順に生じる意味を学習することにより, 処理手順間の意味の近さに応じてコード補完を行う手法を提案する. 実験では, 大規模なソースコード集合から生成したロジック・コーパスを単語間の意味的關係を学習する NN モデルの一つである word2vec⁽⁶⁾ に適用し, 学習により得られたコード処理手順の特徴表現行列を利用したコード補完機能が実現可能であることを確認する.

2. 関連研究

従来研究において, NN モデルを用いたソースコード分析性能の向上もあり, ソースコード生成や推薦手法の研究が活発になっている.

文献(1)において, Li らは大規模なサンプリングとフ

フィルタリングを組み合わせ、深い推論を必要とする問題に対して新しい解を生み出すことができるコード生成システム AlphaCode を提案した。AlphaCode は、競技プログラミングコンテストにおいて上位 54% 以内のとなる性能を達成している。

また、内山らは、word2vec⁽⁶⁾の学習基準である近傍単語の個数を増やすことにより、ソースコード特有の影響を考慮した類似コード片の推薦手法を提案した⁽²⁾。Ye らは 2 つのコアコンポーネントで構成される、エンドツーエンドの推論コード類似システムを提案した⁽³⁾。このシステムの特徴として、ソースコードの構文から意味構造の抽出機能、およびニューラルネットワークを用いたコード類似度算出アルゴリズムが挙げられる。なお、評価実験では、code2vec⁽⁷⁾、code2seq、neural code comprehension、aroma⁽¹⁰⁾などのコード類似度システムよりも精度が改善されたとする結果を示している。山本は、制御文の有無情報を追加したソースコード・コーパスを用いたコード補完方式を提案し⁽⁸⁾、さらに、文献(9)において、既存のソースコードに記述されているメソッド呼び出し文の順序に着目した、メソッド呼び出し文を補完する方式を提案した。なお、回帰結合ニューラルネットワーク (RNN, Recurrent Neural Network) を適用することで、次に現れるであろうメソッド呼び出し文を予測している。

文献(10)において、Barnaby らは機械学習を用いた、大きなコードベースから洞察を得るプロセスを大いに簡単にするコード間検索及び推奨ツールを提案した。このツールは、コードスニペットを使用して検索クエリを実行した後、コードスニペットのクラスターを検出することで、手動で数十個のコードスニペットを使用することなく、一般的なコーディングパターンを見付けられるようユーザにソースコードを推薦する。

3. 提案手法

3.1 ロジック・コーパス

提案手法では、ソースコード機能分析により、ソースコードの処理手順をコード片に対応する機能ラベル列(表 1)として抽出し、ソースコード集合を機能ラベル列集合として表現したロジック・コーパス(表 2)を生成する(図 2)。ここで、機能ラベルの抽出には code2vec

などの既存手法を用いることができる。次に、NN モデルを適用したロジック・コーパスの深層学習により、ソースコードの機能を推定・補完するコード機能推定モデルを構築する。

ソースコードの処理手順を推定するために、時系列を対象とした深層学習モデルである、LSTM や双方向 LSTM(Bi-LSTM, Bidirectional LSTM)を適用する。機能ラベル列の続きとなる機能を推定する場合は、機能ラベル列をコード機能推定モデルに入力し、出力として続く機能を推定する。また、機能ラベル列を補完する機能を推定する場合は、補完する機能より前の機能ラベル列を順方向で入力し、かつ補完する機能より後の機能ラベル列を逆方向で入力することにより、それぞれの出力で得られた機能の双方を満たすものを補完機能として推定する。

表 1 機能ラベルの例

```
['main']
['get', 'key']
['operates', 'on', 'fact', 'handles']
['cancel', 'button', 'action', 'performed']
```

表 2 ロジック・コーパスの例

```
['test', 'lock', 'timeout'] ['sleep']
['main'] ['do', 'work']
['set', 'message', 'body'] ['load'] ['set', 'subject'] ['process']
['run'] ['get', 'value']
```

3.2 系列変換モデルへの適用

図 3 は、Transformer や LSTM(Long Short-Term Memory)などの系列変換 NN モデルを適用したコード機能推定モデルを構築するためのロジック・コーパスの作成手順および学習手順を示している。

図 3 に示すように、あるソースコードを I 個のコード片に分割し、それに対応する機能ラベル列 $K=\{k_1, k_2, \dots, k_{l-1}, k_l\}$ を生成し、ソースコード集合から得られる機能ラベル列集合を、ロジック・コーパスとして生成する。また、学習データを生成する際は、ロジック・コーパスからソースコード中のコード片に対応する機能ラベル列 $K=\{k_1, k_2, \dots, k_{l-1}, k_l\}$ を抽出し、各機能ラベル列 K において、先頭から $l-1$ 個目までを入力データ K_{input} 、末尾の 1 個目を正解の機能ラベル K_{label} として作成す

る. 入力データ K_{input} と正解の機能ラベル K_{label} のペアを学習データとして, 系列変換 NN モデルを適用した学習を行う.

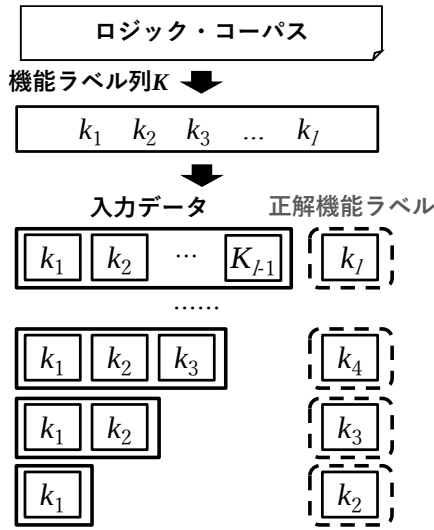


図 1 系列変換 NN モデルの学習データの生成

3.3 意味抽出モデルへの適用

ロジック・コーパスを word2vec や BERT などの単語や文章の意味抽出が可能な NN モデルに適用させ, ソースコードの補完機能の推定へと応用する. 本節では, word2vec への適用方法について述べる. word2vec は, 単語の意味的な特徴を多次元の単語ベクトルとして表現することで, 単語ベクトル同士で演算することができる.

word2vec への学習データとして, ロジック・コーパスをそのまま適用できる. word2vec の学習アルゴリズムである CBOW (Continuous Bag-Of-Words)や skip-gram (Continuous Skip-Gram)を適用することで, コード処理手順について穴埋め箇所を生成し, 処理手順の前後関係から意味を推定できるように学習する.

このように word2vec は, 意味的な特徴表現を学習するため, 与えたソースコードの処理手順に対して, コード機能の意味的な類似性を学習することができる. 学習結果として得られるコード機能の特徴表現行列を用いて, コード補完に応用できる. 入力コンテキストとしては, 与えたいコンテキストおよび除外したいコンテキストを, それぞれ複数のコード機能として指定することで, ソースコードの処理手順の文脈に応じたコード機能を推定し, コード補完に利用する.

4. 実験

提案手法を word2vec に適用してコード補完モデルを構築し, モデルの推定結果からコード補完が可能であることを確認する.

4.1 実験環境

実験で使用したデータの内訳を表 1 に示す. ロジック・コーパスの生成には, Project CodeNet⁽¹¹⁾というデータセットおよび書籍⁽¹²⁾に収録されているソースコードを用いた. これらのデータについて, 2~10 個の機能ラベルで構成されるソースコードが多かった. このため, テストデータは機能ラベルを 2~10 個含むソースコードを 10 件ずつ, 合計 90 件作成した. 表 3 はテストデータの例を示しており, 線で囲われたコード機能は推定評価のために伏せた箇所を示している.

表 3 実験データ数の内訳

データ数	ロジック・コーパス 生成と学習	テスト
20, 240	20, 150	90

表 4 テストデータの例

No	機能ラベル列
1	['main'] ['cat']
...	...
90	['main'] ['apply'] ['max'] ['dist'] ['reduce'] ['gcd'] ['pow'] ['mod'] ['count'] ['next', 'token']

4.2 実験方法

複数のコード機能をコンテキストを入力として, 推定スコアが高い機能ラベルを 3 件出力し, 補完機能として適切であるかを評価する. コード推定の精度の評価は次の 4 段階で行う. 評価 1 から評価 4 になるにつれて高評価であることを示している. なお, 評価 1 から評価 4 の判定は人が行う.

- [評価 1] コード機能として合わない
- [評価 2] コード機能としておよそ合う
- [評価 3] コード機能として合う
- [評価 4] テストデータで伏せた機能ラベルと同じ

4.3 実験結果

図 2 に実験結果を示す. 図 2 は推定された機能レベルについて, 評価 1~4 の各評価における機能ラベル

数を示している。

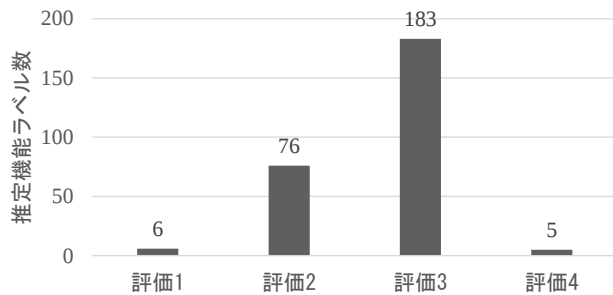


図 2 推定された機能ラベル数

図 2 の結果から、word2vec により学習した NN モデルが補完可能であると推定した機能ラベルは評価 3 のもので 183 個と最も多く、「処理手順として合う機能ラベル」が多く推定されていることが確認できた。一方、評価 4 に相当する「テストデータで伏せた機能ラベル」および評価 1 の「処理手順として合わない機能ラベル」はほとんど推定されなかった。さらに、評価 2 の「処理手順としておよそ合う機能ラベル」が推定される割合は全体の 3 割程度の 76 個であった。

以上、テストデータとして入力した処理手順列に対して、補完可能であると推定された機能ラベルは、中評価から高評価に相当する評価 2 および評価 3 のものがほとんどであった。このことから、提案手法により、word2vec から得られるコード機能の意味情報に基づいて、処理手順として入力したコード機能に対して、処理手順のコンテキストに適切なコード補完が可能であることが確認できた。

5. まとめ

本研究では、ソースコードにおける処理手順に生じる意味を学習することにより、処理手順間の意味の近さに応じてコード補完を行う手法を提案した。実験では、word2vec から得られるコード機能の意味情報に基づいて、処理手順として入力したコード機能のコンテキストに適切なコード補完が可能であることを示し、提案手法の実現可能性を確認することができた。

今後の課題として、BERT や Transformer などの意味抽出ニューラルネットワークモデルおよび系列変換ニューラルネットワークモデルを適用してコード補完モデルを構築し、性能評価をしていく予定である。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 17K00498 の助成を受けたものである。

参考文献

- (1) Li, Y., Choi, D., Chung, J., et al.: “Competition-Level Code Generation with AlphaCode”, arXiv:2203.07814 [cs.PL] (2022)
- (2) 齋藤愛莉佳, 鷹野孝典: “プログラミング支援のためのコード機能推定に基づくソースコード推薦手法”, 人工知能学会 第 123 回知識ベースシステム研究会予稿集, pp.32-pp.37 (2021)
- (3) 重田智希, 鷹野孝典: “プログラミング・ロジックを考慮したソースコード推薦システムの検討”, 第 81 回全国大会講演論文集 2019(1), pp.305-pp.306 (2019)
- (4) 内山武尊, 新美礼彦: “ソースコード特有の近傍単語の影響を考慮した Word2Vec を用いた類似コード片推薦手法”, ソフトウェアエンジニアリングシンポジウム 2017 論文集, pp.146-pp.153 (2017)
- (5) Ye, F., Zhou, S., Venkat, A., Marcus, R., Tatbul, N., et al.: MISIM: “A Novel Code Similarity System”, arXiv:2006.05265 [cs.LG] (2020)
- (6) Mikolov, T., Chen, K., Corrado, G., Dean, J.: “Efficient Estimation of Word Representations in Vector Space”, arXiv:1301.3781 [cs.CL] (2013)
- (7) Alon, U., Zilberstein, M., Levy, O., Yahav, E.: “code2vec: Learning Distributed Representations of Code”, arXiv:1803.09473 (2018)
- (8) 山本哲男: “制御構造を考慮したソースコードコーパスに基づくメソッド呼び出し文補完手法”, 情報処理学会論文誌 56(2), pp.682-pp.691 (2015)
- (9) 山本哲男: “回帰結合ニューラルネットワークを利用した API 推薦手法”, 情報処理学会論文誌 58(4), pp. 769-779 (2017)
- (10) Luan, S., Yang, D., Barnaby, C., Sen, K., Chandra, S.: “Aroma: Code Recommendation via Structural Code Search”, arXiv:1812.01158 [cs.SE] (2019)
- (11) Kickstarting AI for Code: Introducing IBM's Project CodeNet, <https://research.ibm.com/blog/codenet-ai-for-code> (2023/01/30 閲覧)
- (12) The Java Cookbook, <http://javacook.darwinsys.com/>, (2023/01/30 閲覧)

視線情報を用いた図形特徴の読み取り順序理解支援システム

上田 航司^{*1}, 小尻 智子^{*1}

Reading Priority Understanding Support System of Figure Features Using Gaze Information

Koushi Ueda^{*1}, Tomoko Kojiri^{*2}

^{*1} Graduate School of Science and Engineering, Kansai University

^{*2} Faculty of Engineering Science, Kansai University

The diagram drawer determines the figure features, such as color and size, so as to convey the contents to readers. However, if the order of the figures that readers read is different from the order assumed by the drawer, the diagram will be difficult for the readers to understand. The order of reading the figures is determined by the figure features. The figures that have salient features tend to be read first. The priority of features can be inferred from the movement of the readers' gaze when they look at the figure. Therefore, this paper proposes a system that collects the priority of figure features from the readers' gaze information while they are reading diagrams. Furthermore, based on the collected priority, the system displays the estimated readers' eye movement toward the diagrams drawn by the drawer, to support drawing easy-to-read diagram.

キーワード: 図描写支援, 読み取り順, 視線データ

1. はじめに

図は伝達したい内容を二次元空間上に視覚的に表現したものである。伝えたいことを図形とその関係で表現することで直感的に伝達が可能であるため、知的障碍児向けのコミュニケーションツール[1]や問題を解決するためのヒント[2]等日常の様々な場面で用いられる。

図は直感的な伝達ツールであるため、伝達したい内容を正確に伝えられるだけでなく、理解が容易になるように描かれている必要がある。そのため、描き手は描いた図に対し、内容が正確に伝わるかだけでなく、読みやすいかも考慮して何度も図を確認し、洗練していくことが望ましい。しかし、描いていた際の先入観が働くため自身の図を客観的に見直すことは困難である。

伝え手が生成した物に変形を加え、生成したものの不十分さに気づかせる研究がある。高橋らは描き手が

描いたイラストの一部を遮蔽して、描き手に遮断箇所を描くべき理想的なイメージを想像させ、そのうえで遮蔽していたところを見せることで実際のイラストと描き手が描いたイラストの相違を発見させるシステムを提案した[3]。この研究では、伝え手が描きたいイラストのイメージを持っているため、生成物を遮蔽するだけで不正確な点に気づくことが可能である。本研究で対象としている図の読みやすさは、伝え手が感じる読み方と読み手が感じる読み方が異なるため、伝え手がイメージしても読み手が読みやすいかは確認することができない。

読み手の代わりにシステムが読み手の理解を表出化することで、生成物の不十分さを教える研究も存在する。国近らは英作文の学習において、システムが提示した正解の英文に登場する人／ものとその行為に対応したアニメーションをあらかじめ用意しておき、学習者の英文の誤りの種類に応じてアニメーションを変化させることで、英文が意図したとおりに読まれないこ

とに気付かせるシステムを構築した [4]。この研究では、英文の誤りパターンを伝えるためのアニメーションが定義できているが、本研究では読み手が図をどのような順番で読み取るかがわからないため、システムが読み手の読み方を生成させることができない。

人が生成物を解釈するときどのような順番で見ると、その物を見る際の視線から取得することができる。視線の動きを人の理解や考え方が反映したものと捉え、視線の動きを学習支援に活用する研究も見られる。Okutsu らは知識構造が位置情報に対応づけられた Web 学習教材において、学習者の視聴している画面の位置から、学習者の学習単元の知識に関する理解とその理解過程を推定するシステムを開発することを目的としている [5]。本研究グループでも英文読解問題の回答時における学習者自身と他人の視線情報を比較して提示することで、解を導出する際に考えるべきことを学習者自身に考えさせる環境を構築した [6]。これらの研究では視線情報を対象への理解と関連づけている。一方で、視線から人が無意識に行っている対象物の読み取り方を抽出し、図の見方として知識化を試みている研究はない。

図が提示されたときの視線の動きは、個々の図形の特徴を持つ見やすさの順番を反映している。そこで、本研究では人が図を見るときの視線の動きから図形が着目される順番を取得し、抽出された図形の順序とそれらの属性値から属性値に対する注目の順序を特定する。

図形には色や形など様々な属性がある。図形はそれらを総合して見やすい順番に着目される。様々な属性を加味した優先度を理解するためにはまず個々の属性において属性値の着目されやすさの関係を明らかにする必要がある。本研究では図の読み取り順序の理解の第一段階として、描き手に個々の属性の属性値の優先度を理解させることを目的とする。

本研究では一つの属性のみが変化した図を複数用意し、それを提示したときのユーザの視線を取得して属性値の優先順位を取得するシステムを構築する。また、取得した優先順位を用いてユーザの描いた図に想定する読み手の視線の動きを、ユーザが想定している視線の動きと並べて見せることで、図形の読解順序に応じで割り当てべき属性値を理解させるシステムを構築

する。

2. アプローチ

2.1 図の描写と読解

本研究では、複数の図形で構成され、属性とその関係で内容表現している図を対象とする。図形は形状や色、大きさ等の属性を持つ。図を描くときは、伝えたい内容やその関係に加え、見やすさを考慮して各図形の属性を決めていくこととなる。

例として、A (女)、B (男)、C (男) という人に対するお金の貸貸関係を図で表現した図を描写する。表現したい内容は人とその性別の違い、お金の流れとその量であるとする。これらを図で表現した例を図 1 に示す。人を楕円で表現し、同じ性別の人が同じ色になるようにすることで、性別の違いを表現した。お金の流れは楕円間の矢印で表現し、その太さが量を示すようになっている。

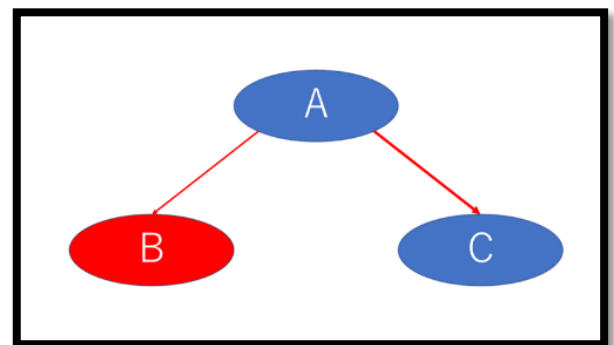


図 1 図の例

このような図を描写する際の図の描き手のステップを図 2(a)に示す。描き手はまず、伝えたい内容に含まれる要素とその特徴を整理する。次に要素とその特徴に対して、要素間の関係が分かりやすいように図形とその属性を割り当てる。一方、読み手の読解のステップを図 2(b)に示す。読み手は図から図形とその属性を読み取る。その後それらが意味する要素とその特徴を解釈し、描き手が伝えたかった内容を推測する。

図を読み取る際、読み手は目立つ属性を持つ図形から見る人が多い。図に割り当てられている属性の見やすさが読み取ってもらいたい順番と異なっていれば、意図が理解されなかったり理解するのに時間がかかったりする。例えば、図 1 で円の方が楕円より見やすい

とする。描き手が楕円で人の存在を理解したあとでその流れを理解してもらうことを想定して図を描いていた場合、読み手が矢印から見てしまうと矢印が何を表しているのか理解できない。その場合、矢印の意味を理解できないまま楕円を見たのちに、再度矢印を見て初めて図全体を理解できることとなる。このような図としないために、描き手は各属性の属性値の気づきやすさを理解したうえで、読み手が円滑に意図を読みとれる属性値を割り当てる必要がある。

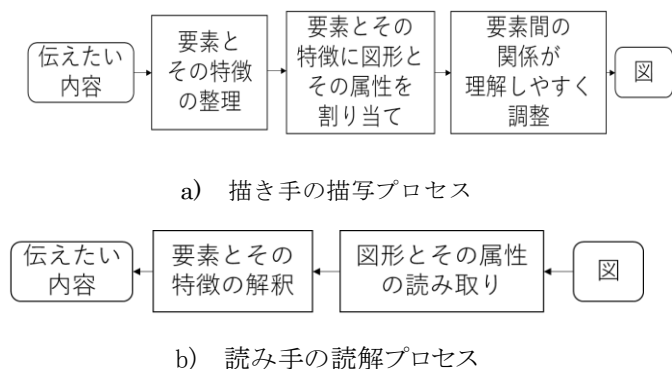


図 2 図の描き手と読み手のステップ

2.2 視線情報を用いた読解方針獲得環境の概要

描き手は他者の図を読み取る時は読み手となる。描き手が属性値の読み取りやすさを理解するためには、自身が他の図の読み手の時の読み取り方を理解すればよい。本研究では、描き手が他の図を見たときの視線の動きを収集し、各属性の属性値の読み取りやすい順番を明らかにする。そのうえで、描いた図に対して読み取ってほしい順番と、明らかになった順番に基づいた視線の動きを表示することで、人の読み取り方の理解を促進するシステムを構築する。自身が図を読み取ったときの図の見方を図の描写時に活用することで、読み手にとって読み取りやすい図を生成できるだけでなく、描き手自身が他者の図を見る時の見方を活用しようという意識を得ることができる。

図 3 に本研究で構築するシステムの構成図を示す。本システムは 2 種類のサブシステムで構成される。見方収集システムは、図を提示し、視線の動きから特定の属性の属性値の着目されやすさの順序（見方）を収集する。見方適用システムは、ユーザが描いた図に視線を反映したものを可視化し提示するシステムである。ユーザが図の描画時に想定した図形の着目順序と、見

方データベース中の見方に沿った図形の着目順序との 2 種類を表示する。

本システムは、個々の属性の属性値の着目順序を見方として収集する。したがって、図データベースは一つの属性以外の属性の値が統一された図を保持している。取得した属性値の優先度は見方データベースに格納される。見方適用システムでは見方データベースに格納された優先度を用いて、ユーザの指定した属性ごとに図形の着目順序を提示する。

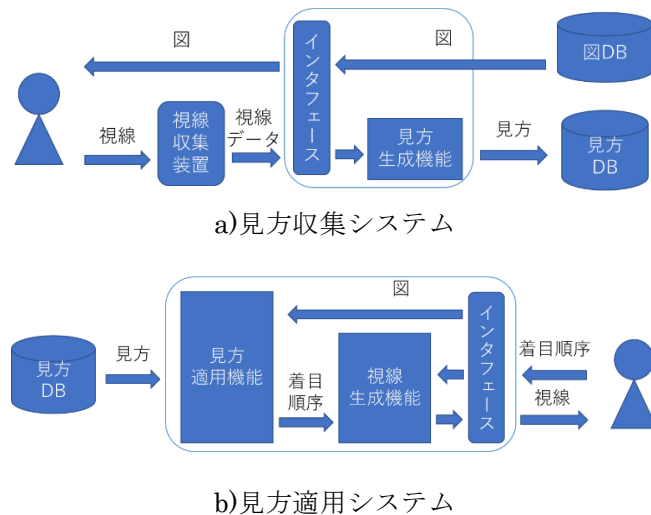


図 3 システム構成図

3. 見方収集システム

3.1 見方の収集方法

見方の収集システムは、個々の属性内の属性値の着目順序を見方として取得する。例えば、図 4 の図が提示され、ユーザが図形 3、1、2 の順で着目したとする。この図は色のみが異なる図であるため、色の見方を収集することができ、この図の場合は着目する色の順序が赤、青、緑の順であることがわかる。

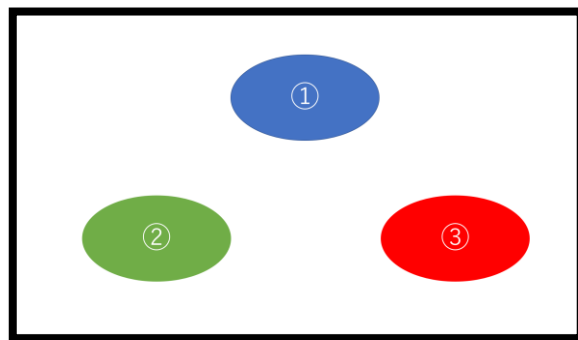


図 4 図の例

このような特定の属性値の着目順序を取得するためには、図 4 のように、特定の属性以外の属性値が統一された図を見せ、その時の視線の動きから図形の着目順序を取得し、着目順序を属性値の順序とすればよい。図データベースでは形状、色、大きさを対象の属性とし、対象とする属性以外の属性値が統一された図形から成る図を保持する。図形の位置による見やすさの影響を防ぐため、同じ属性値を持つ図形の組に対してこれらの場所が異なる図を数枚用意する。属性値が見られる順序は、個々の図を見たときに着目順序の合計が小さいものから割り当てる。

図 4 の図形で構成される図を 3 つ用意したとする。赤、青、緑の図形を見たときのユーザの着目順序が表 1 のようであったとする。これらの順序の合計は、(赤、青、緑) = (4, 6, 8) となる。したがって、色の着目順序は (赤、青、緑) = (1, 2, 3) となる。

表 1 色が異なる図形の着目順序の例

	赤	青	緑
1 枚目	1	3	2
2 枚目	1	2	3
3 枚目	2	1	3

3.2 プロトタイプ・システム

提案した見方収集システムを C# で実装した。本システムでは、パワーポイントで作成されたスライドを図として扱う。なお、視線収集装置として tobii の TOBII PRO NANO を使用した[7]。

システムを起動すると視線を収集するための視線収集インターフェースが表示される (図 5)。設定ボタンを押すと tobii が提供しているディスプレイエリア設定及びキャリブレーション設定を行うアプリケーションが起動する。スタート/ストップボタンを押すと、図表示エリアに図データベースに保持されている図が表示され、ユーザによる図の読み取りが行われている間、視線収集装置によって読み取り時の視線情報が収集される。読み取りが終わったタイミングでスタート/ストップボタンを押すと、図の表示が停止され視線特性が見方データベースに格納される。全ての図の読み取りが完了すると、見方生成機能により抽出され属性毎の属性値と属性値の着目順序が見方データベースに保存

され、システムは終了する。

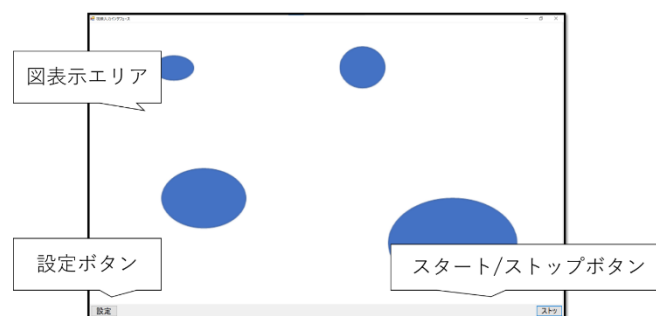


図 5 視線収集インターフェース

4. 見方適用システム

4.1 見方適用機能

見方適用機能では、見方収集システムで収集した見方を用い、ユーザが入力した図中の図形に着目順序を付与する。着目順序はユーザが指定した属性ごとに割り当てる。

ユーザが属性を指定すると、見方適用機能は図中の全ての図形の識別子と属性値を取得し、見方データベースに格納されている着目順序に沿ってオブジェクトに順序を付与する。付与された順序の順番に、図形の中心から直線をひいたものを、視線の動きとして生成する。例えば、見方データベース内の色の着目順序が緑、赤、青であったとする。このときユーザが図 4 の図形を描いたとすると、着目される順番は 2, 3, 1 となり、表示される視線は図 6 ようになる。緑の楕円のうへの赤い丸は視線の始点を表している。

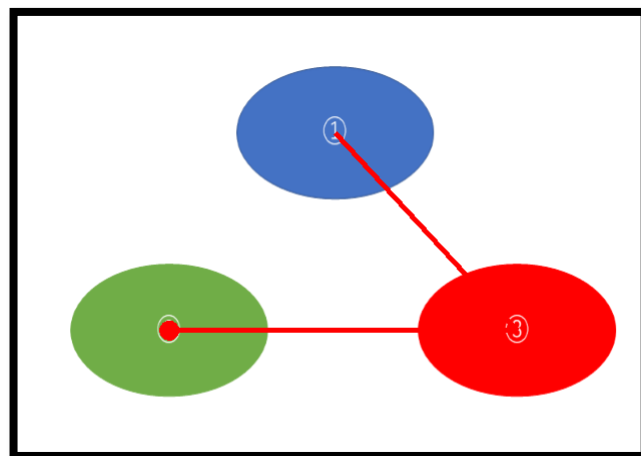


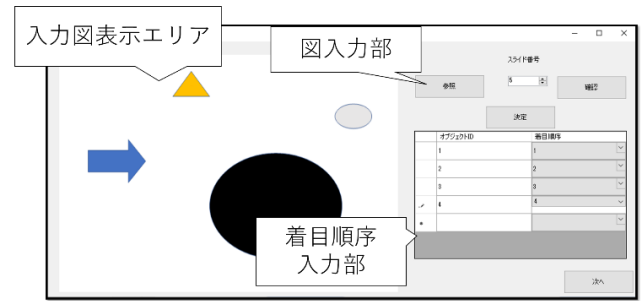
図 6 視線の例

4.2 プロトタイプ・システム

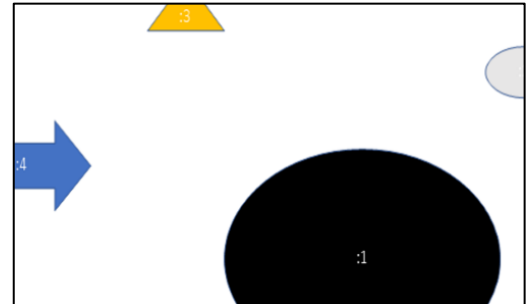
提案した見方適用システムを C# で実装した。本システムでは、パワーポイントで描かれた図を対象とする。

システムを起動すると図・着目順序入力インターフェースが表示される。図入力部で図が描かれている pptx 形式のファイル名と、そのファイル中のスライド番号を入力し、確認ボタンを押すと、入力図表示エリア内に指定されたスライドが表示される（図 7-a）。決定ボタンを押すと入力した個々の図形に識別子が付与されたスライドが新たに表示される。図 7-b に図形に識別子が付与されている入力図表示エリアの一部を拡大したものを示す。着目順序入力部に想定する着目順序を入力し、次へボタンを押すと視線表示インターフェースが表示される（図 8）。

視線表示インターフェースでは、入力した図にシステムが視線に対応する赤線を付与した 2 種類の図を提示する。左はシステムの見方適用機能によって決定した図形の着目順序を表す視線であり、右はユーザーが着目順序入力インターフェースに入力した着目順序を表す視線となっている。左の視線は、属性選択部により色、形状、大きさの属性から 1 つ選択すると、選択した属性における視線が表示されるようになっている。また、属性値表示エリアでは、左と右それぞれの図のオブジェクトの属性値が着目順序に沿って表示される。



a) 決定ボタン押下前



b) 決定ボタン押下後の入力図表示エリアの一部の拡大図

図 7 図・着目順序入力インターフェース

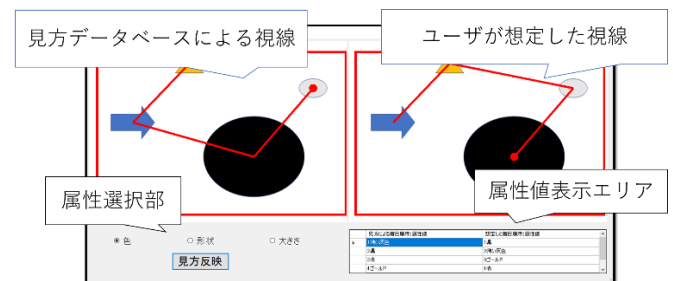


図 8 視線表示インターフェース

5. 評価実験

5.1 実験概要

構築したプロトタイプ・システムを用いて評価実験を行った。本実験では、システムを用いることで、属性値を割り当てる際に協力者自身の見方を意識するようになるかを評価する。協力者は大学生 10 名であった。

手順を図 9 に示す。まず、筆者があらかじめ図データベースに用意しておいた図を方収集システムを用いて読み取ってもらった（Step 1）。用意した図は 8 種類の形状の図形で構成された図が 6 枚、12 種類の色が付与された図形で構成された図が 9 枚、4 種類の異なる大きさから成る図形で構成された図が 3 枚の計 18 枚

である。次に、図の要件が書かれた用紙を基に、パワーポイントを用いて 2 つの図（図 A、B）を描画してもらい、その際に意識したことをそれぞれ記述してもらった（Step 2）。その後、見方適用システムを使用して図 A を修正してもらった（Step 3）。最後にシステムを使用せずに図 B を修正してもらい、その際新たに意識したことを追記してもらった（Step 4）。

システムにより新たな図を描く際の意識が変化したかどうかは、システムを使用する前後の図 B に対する意識（Step 2 と Step 4）の数によって評価する。

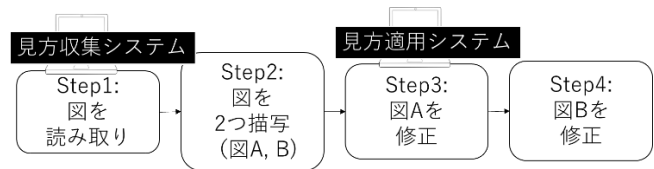


図 9 実験手順

5.2 実験結果

表 2 に図 B に対する見方に関する意識の増加数（Step2 と Step4 の差分）を示す。

表 2 図 B に対する見方に関する意識の増加数

協力者	見方に関連した意識の増加数
a	2
b	1
c	0
d	0
e	2
f	0
g	2
h	1
i	0
j	2

表 2 より、協力者 10 名中 6 名が、システム終了後に見方に関連する意識の数が増加していた。新たに意識された内容は全て、Step3 でシステムにより提示された協力者自身の意識であった。例えば、協力者 a は Step3 でシステムを使用していた時に、形状については（楕円、正方形/長方形、四角形（角を丸くする）、下

向き矢印、二等辺三角形、右向き矢印）の順に、大きさについては（とても大きい、中くらい、大きい）の順に注目するということが表示されていた。その結果、Step4 では「（注目してほしい）A 君を楕円にして、大きくした」という、着目してほしいものを表す図形の形状と大きさに関する修正がなされ、A 君を表す図形の形状が角の取れた四角形から楕円に、大きさが大きく変化していた。また、協力者 g は Step3 でシステムを使用していた時に、色については（黒色、ゴールド、赤、紫、緑）の順にみることが表示されていた。協力者 g が想定していた着目順序を図 10 に、協力者 g によるシステム使用前後の図 B を図 11 に示す。協力者 g の矢印の着目順序は他の図よりも下の方であったにもかかわらず、システム使用前は一番着目する黒色を使用していた。システム使用後の、Step4 では矢印が灰色で目立ちにくくなっており、「黒色の矢印は目立つので色を薄く（灰色に）した」というような意識が記述されていた。このように、10 名中 6 名がシステムの使用後にシステムによって提示された見方について意識することができるようになっていたことから、協力者はシステムの使用前は自身の見方を意識して自身の図を描けておらず、システムによって自身の見方が提示されることで、システムに提示された自身の見方のみを獲得し自身の図に取り入れるように意識が変化したことが分かる。

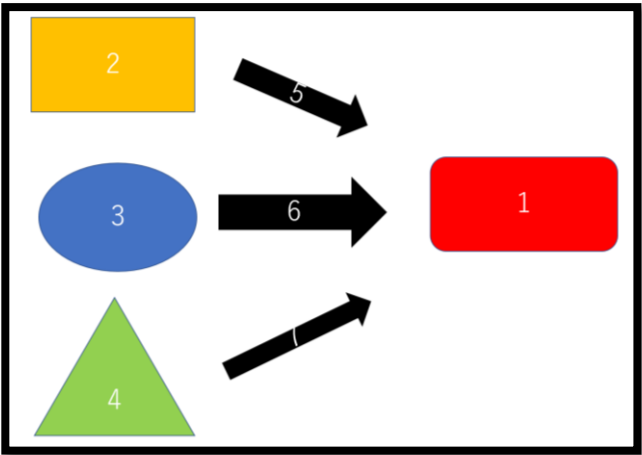
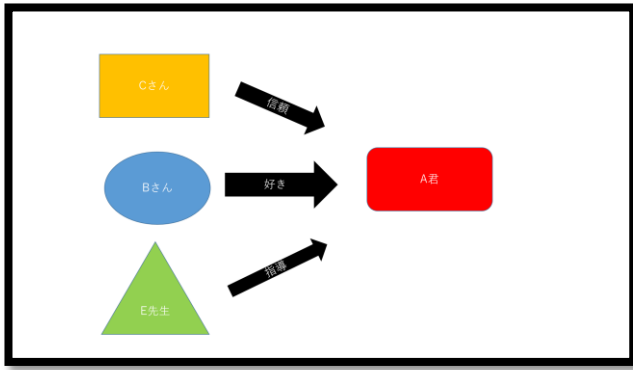
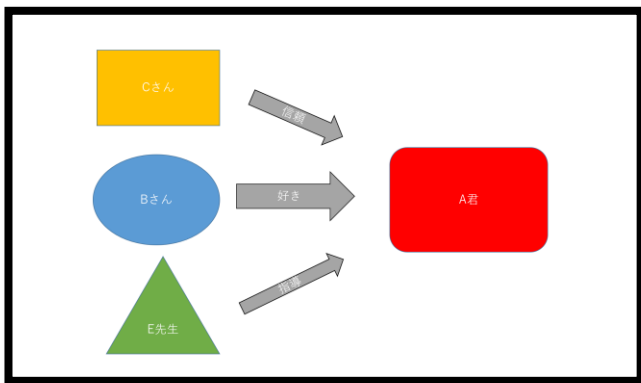


図 10 協力者 g が想定した着目順序



a) システム使用前



b) システム使用后

図 11 協力者 g が描いた図 B

6. おわりに

本研究では、図の属性値による図形の読み取り順序の理解を支援するシステムを構築した。描き手自身が提示された図を読む際の視線の動きから属性値の着目順序を取得する見方収集システムと、収集した見方で図形を見る順番を描き手の図に対して提示する見方適用システムを構築した。見方適用システムでは、見方データベースより生成した視線の動きと、描き手自身が想定していた視線の動きの相違を見せることで、図形の属性値の割り当て方を改善させることを狙っている。システムを用いた評価実験の結果から、ユーザが想定している視線の動きと想定している読み手の視線の動きの差異を見、かつ想定している読み手が着目する属性の順番を知ること、図を描く際に読みやすい属性を図形に割り当てることができるようになることが明らかになった。

現時点のシステムでは、個々の属性における属性値

の着目順序のみを対象としている。しかし、実際の図は複数の属性が異なる図形で構成されていることが普通である。このような図に適切な属性値を割り当てるためには、複数の属性の組み合わせによる着目順序を理解する必要がある。今後は個々の属性値内での着目順序と属性の組み合わせによる着目順序の関係を明らかにするとともに、その関係を描き手に理解させるシステムを構築したい。

参 考 文 献

- (1) 藤原和子, 清田公保, 中山典子:「視覚シンボルを使用した知的障害児のための電子メールの開発と実践」, 日本教育工学会論文誌, Vol.29, No.4, pp.597-606 (2005)
- (2) M. Beveridge, E. Parking: “Visual Representation in Analogical Problem Solving”, Memory&Cognition, Vol.15, No.3, pp.230-237 (1987)
- (3) 高橋拓, 中村聡史:「作画ミス見落としに関する基礎調査とその防止のためのイラストの自動遮蔽システムの実現」, 情報処理学会研究報告, Vol.2021-HCI-191, No.9, pp.1-8 (2021)
- (4) 國近秀信, 古賀崇年志, 出山大誌, 村上卓見, 平嶋宗, 竹内章:「誤りの可視化による英作文学習支援」, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J91-D, No.2, pp.210-219 (2008)
- (5) A. Okutsu, Y. Hayashi, K. Seta: “Gaze-and Semantics-aware Learning Material To Capture Learners’ Comprehension Processes”, Proceeding of the 29th International Conference on Computer in Education. Asia-Pacific Society for Computers in Education, pp.81-86(2021)
- (6) 久乗皓大, 上田航司, 大鳥雄司, 秦弘和, 小尻智子:「視線情報を用いた読解方針獲得環境の構築」, 電子情報通信学会研究報告, Vol. ET2021-72, pp. 117-122 (2022)
- (7) <https://www.tobii.com/ja/products/eyetrackers/screen-based/tobii-pro-nano#form>

英語学習支援のための学力推定に基づいた学習ペース 調整手法の実装と評価

佐々木 陸^{*1}, 鷹野 孝典^{*1}

^{*1} 神奈川工科大学 情報学部 情報工学科

A Method for Learning Pace Adjustment based on Academic Ability Estimation for English Learning Support

Riku Sasaki^{*1}, Kosuke Takano^{*1}

^{*1} Department of Information and Computer Sciences, Faculty of Information Technology,
Kanagawa Institute of Technology

This study presents a learning support system that estimates the user's academic ability and weak areas using item response theory, and sets number of questions suitable to the individual learning pace based on the estimated academic ability in weak areas. The feature of the proposed system is that the learning pace is adjusted by determining the ratio of new questions and review questions given in one learning period according to the estimated academic ability. In the experiment, we evaluate the feasibility of our pace adjustment function and the usability of the proposed system using the prototype that we are developing.

キーワード: 英語学習, 項目反応理論, 学習支援システム, e-Learning

1. はじめに

ICT (Information and Communication Technology) を活用した学習支援システムの導入において, 項目反応理論 (IRT : Item Response Theory) などを適用して学習者の学力を推定し, 推定学力に基づいた難易度の問題を出題する手法などが研究されている⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾. 項目反応理論は, 英語学習の分野においては TOEIC や TOEFL の出題システムにも用いられている⁽⁴⁾. しかし, 学習支援システムにより出題された問題を解くことを中心とした個人学習では, 学生のモチベーションが続かず, 学習を中断してしまうことも多い. その要因としては, 利用者の学力以上の問題量が出題されてしまい, 心理的負荷がかかってしまうことが考えられる.

本研究では個人の学習ペースを考慮するために, 項

目反応理論を用いて利用者の学力と苦手分野を推定し, 苦手分野に対して推定学力に基づいた学習ペースで出題する学習支援システムを提案する. 提案システムの特徴は, 推定した学力によって, 1 学習期間で出題される新規問題と復習問題の割合を決めておくことで, 学習ペースを調整する点にある.

実験では, 実装したプロトタイプを用いて, 提案アルゴリズムの実現可能性, および実装システムのユーザビリティの評価を行う.

2. 関連研究

本節では, 項目反応理論を適用した研究, 個人の学習ペースやモチベーション維持に着目した研究について述べる.

学習者の習熟度を推定するため, 項目反応理論を導入した e-learning システムに関しての研究が行われて

いる。文献(1)では、数学の学習における e-learning システムに項目反応理論を組み込み、学習者の習熟度を正確に把握できることを確認した。また、e-learning システムに項目反応理論を組み込んだことで、レスポンスが速くなり、学習意欲の向上が観察された。文献(2)では、情報系の資格に関する講義において、項目反応理論を用いることでその資格内における苦手分野を特定し、その分野に対し学習を促すという手法を提案している。文献(3)では、項目反応理論を用いて学生の特徴を推定し、スコアに応じて出題方式を変更するシステムを提案している。出題方式は、多肢選択、穴埋め、記述式が存在し、スコアが極めて高い場合にはさらに高難度の問題を出題する。

適応学習を考慮した学習支援システムとして、文献(6)や(7)では、ビデオ配信型の e-learning におけるモチベーション維持を図るために、目の動きに注目し、目の動きによって、再生速度・音量の変更や、警告メッセージの表示など、利用者に外的要因を与えるという手法を提案している。文献(8)では、英語の授業において、15回の授業が終了するまでに課題を100%終わらせるという課題を出し、学生がどのようなペースで e-learning 学習を行うかの調査を行った。文献(9)では、項目反応理論を用いて出されるスコアによって、現在学習している単元よりも前の単元の学習が必要であるかを判断する手法を提案している。文献(10)では、項目反応理論とフェルダー・シルバーマン学習スタイルモデル (FSLM, Felder-Silverman Learning style Model)を用いて、学習開始時に利用者の学習スタイルを予測し、各々に合った学習スタイルを提供するための、適応学習のためのフレームワークを提案している。

学習者のモチベーションを維持するための手法も多く提案されている。文献(11)では、デジタル教材において、利用者がハイライトした部分の問題が作成され、その問題を解き学習していく。モチベーションを維持する手法として、学習状況の可視化、復習のタイミングを各利用者の学習する際の時間情報や位置情報を取得し、利用者ごとに学習パターンを調整する手法を提案している。文献(12)では、モチベーション維持を図るために、他の利用者の学習状況を閲覧できるように

するという手法を提案している。文献(13)では、複数の学習アプリケーションの学習記録を統合し、学習状況に応じてコインという分かりやすい指標で可視化できるようにしたシステムを提案している。API で簡単に連携することができ、このシステムを利用したことで、学習意欲が向上したという結果が確認された。

3. 提案手法

3.1 学習ペース調整手法

本研究で提案する学習ペース調整手法では、1 学習期間に出題する問題は新規問題と復習問題で構成され、出題数も一定に定められる。新規問題数の割合を推定学力に応じて配分することで、学習ペースを調整する。

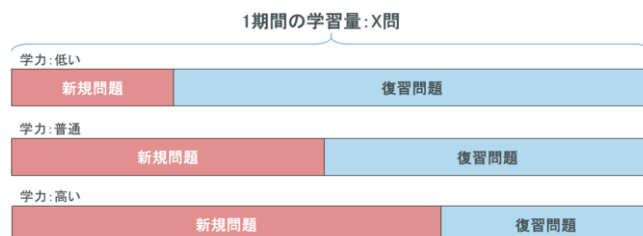


図 1 推定学力に基づいた新規問題・復習問題の配分

新規問題の調整は、 n 段階に分けた学力クラスを θ_n 、1 学習期間の出題数を X 、各学力の新規問題の割合を $rate_n$ としたとき、以下の式で求める。

$$\text{学力クラス } \theta_n \text{ の新規問題数 } newp = X \times rate_n \quad (1)$$

$$\theta_n \text{ の復習問題数 } revp = X - (X \times rate_n) \quad (2)$$

新規問題と復習問題は、正解率を用いて次のように定義する。直近 p 回の解答に対して、 q 回以上正解している問題を復習問題とし、未出題もしくは正解数が p 回中 $p - q$ 回以下の問題を新規問題とする。また、復習問題の正解率が下がった場合には再度新規問題として扱われる。1 学習期間における学習完了の基準は、出題される X 問のすべての問題に対して、新規問題の配分がなくなった時点とする。なお、1 学習期間において推定学力は固定され、学習過程により学習者の学力が変化した場合は、次の学習期間において反映する。

3.2 学習クラスの設定

項目応答理論での推定学力 θ に対して、閾値を設けて n 段階の学力クラスを設定する．

$$L_n \leq \theta < L_{n+1} \quad (3)$$

例えば、学力クラスが $\theta_1 \sim \theta_4$ と 4 段階の場合、下記のように定めることができる．

学力クラス θ_1 : $L_1 = -3.0 \leq \theta < L_2 = 0.4$

学力クラス θ_2 : $L_2 = 0.4 \leq \theta < L_3 = 1.5$

学力クラス θ_3 : $L_3 = 1.5 \leq \theta < L_4 = 2.5$

学力クラス θ_4 : $L_4 = 2.5 \leq \theta < L_{max} = 3.1$

各学力クラスの閾値の求め方は、例えば、学力クラスを θ_n ごとに学力推定用問題の正解数を仮定しておき、 s 回の施行結果から得られる学力推定値の平均値 t を基準に算出することができる．

3.3 学習手順

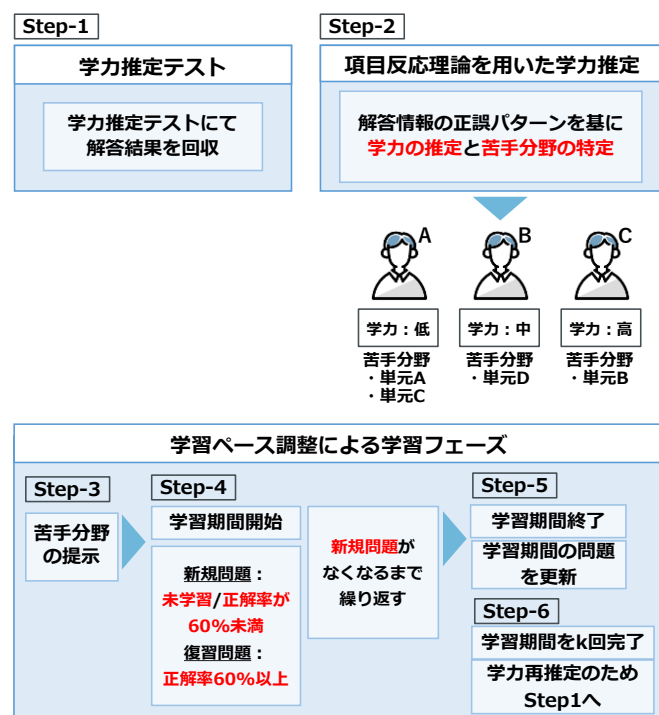


図 2 学習ペース調整手法を適用した学習手順

学習ペース調整手法を適用して、学習者は以下の学習手順で学習を進める (図 1)．Step-4 において学習ペースを調整することにより、学力クラスが低いうちは、英語学習の負担を軽くするため新規問題の割合を少なくし、学力が向上していくごとに新規問題の割合を増

やすことができる．これにより、自分に合った学習量で学習を続けることを可能とする．

Step-1: 学力推定テストを実施する．

Step-2: 正誤結果に基づき、項目反応理論を用いて学力の推定および苦手分野の抽出をする．

Step-3: 提示された苦手問題を提示する．

Step-4: 苦手分野に対し学習ペース調整手法を適用した学習を行う．(学習期間開始)

Step-5: 学習完了後、学習問題の更新を行う．(学習期間終了)

Step-6: 学習期間が k 回数経過後、再度学力推定テストを実施する．(Step-1 へ戻る．)

4. 実験

4.1 実験 1

提案手法により、学力ごとに学習ペースが適切に調整できているのかの確認を行う．

学習問題数は 30 問、1 学習期間の日数は 3 日、1 期間の学習量は 10 問、学力の分類は「低い」「普通」「高い」「非常に高い」の 4 分類とした．新規問題と復習問題の定義に関しては、未出題、または直近 5 回の解答履歴の内 3 回正解していない問題を新規問題、5 回の内 3 回以上正解している問題を復習問題とする．また、学力クラスのしきい値は項目反応理論のスケールで、学力クラス θ_1 は $-3.0 \sim 0.3$ 、 θ_2 は $0.4 \sim 1.4$ 、 θ_3 は $1.5 \sim 2.4$ 、 θ_4 は $2.5 \sim 3.0$ とした．

実験結果を図 3～図 6 に示す．学力クラスが一番低い状態で始めた場合と、一番高い状態で始まった場合を比べると、学力が高い人が 2 倍の速さで学習できるという結果になった．また、求めた学力ごとの新規問題と復習問題の合計出題数を比較すると、新規問題を 30 問学習する間に、学力が「低い」場合は復習問題を 44 問、学力が「普通」の場合は 26 問、学力が「高い」場合は 16 問、学力が「非常に高い」場合は 6 問という結果になった．以上のことより、学力が低い場合には復習問題が多く出題され、学習負担を抑えながら学習に取り組むことができると考える．また、出題問題の傾向を調べた結果、問題によっては、早い期間で

学習したにもかかわらず最後の期間まで復習問題として出題されない、といった結果が確認された。これらの原因としては、問題をランダムで選定しているという点と、実験期間が短く、正確な分布を確認できなかった、という点が挙げられる。ランダム出題に関しては、一定期間出題されなかった場合に強制的に復習問題として出題するなどの措置を取る必要がある。

以上の実験の結果より、特定の条件下ではあるが提案手法により学力ごとに学習ペースを調整した出題が可能であることが確認できた。

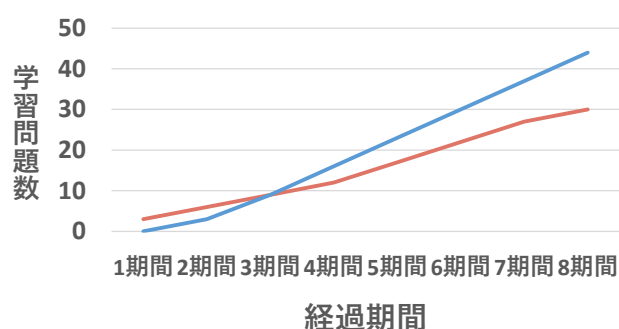


図 3 推定学力「低い」場合の学習経過

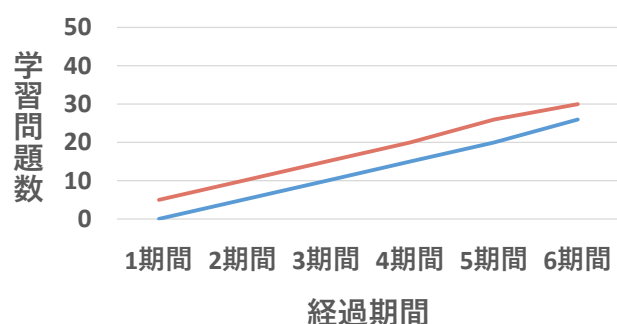


図 4 推定学力「普通」の場合の学習経過

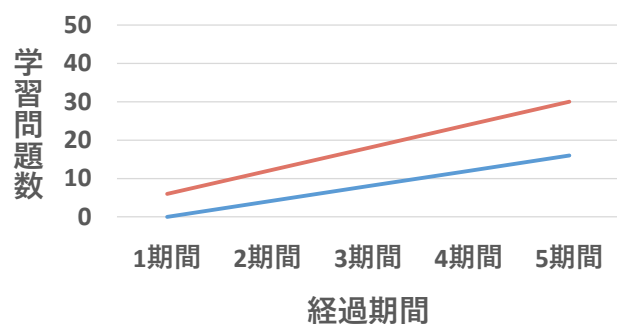


図 5 推定学力「高い」場合の学習経過

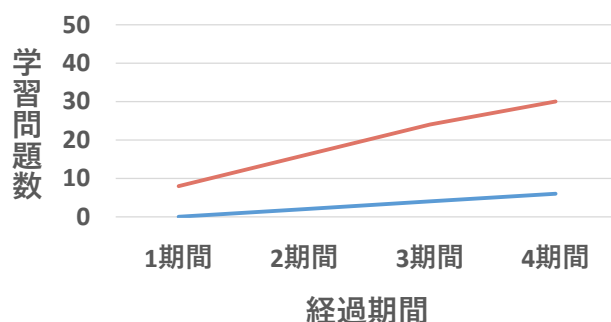


図 6 推定学力「非常に高い」場合の学習経過

4.2 実験 2

実装した学習支援システムを、被験者に実際に使用してもらい、推定学力や苦手分野が適切であったか、およびシステムのユーザビリティについて評価する。

問題は全て TOEIC の Part5 に出題される問題であり、6 分野で構成され、各分野 30 問の計 180 問となっている。被験者は大学生 8 名、大学院生 1 名の計 9 名、期間は学力の推定を行い苦手分野の学習を 3 期間完了するまでとする。1 期間は、3 日経過するか、その期間の新規問題を全て学習済みとすることで次の期間へ行くことができる。アンケートの内容を表 1、結果を図 7 に示す。

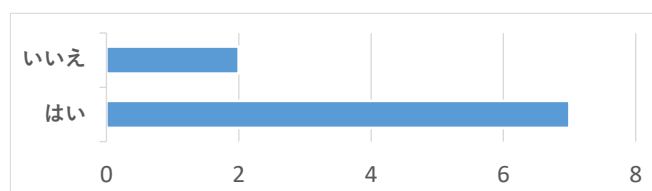
Q2 と Q3 は、項目反応理論により推定された学力が適切であったかを問う質問である。Q2 の推定された学力が適切だと感じたかという質問に対しては、9 人中 8 人が適切であったと感じている。また、Q3 の苦手分野の特定に関しても、9 人中 7 人が適切であったと感じている。これらの結果から、項目反応理論による学力の推定と学力のクラス分け、苦手分野の特定が十分に効果を発揮していることを確認した。しかし、9 人中 2 人が苦手分野の特定が適切ではないと感じており、苦手なのに得意と判定された、という意見を頂いた。これは推定用の問題が少なく、偶然正解してしまった際の学力の上昇幅が大きくなってしまっていることが原因と考えられる。この問題を解決するためには、学力を推定する際の問題をさらに増やすことで、精度を上げられると考える。Q4 と Q5 は、提案手法が適切であったかを問う質問であり、Q6 と Q7 は、このシステ

ムへの学習継続性を問う質問である。Q4 の復習問題を入れることによって学習に取り組みやすくなったかという質問には、9 人中 7 人が取り組みやすくなったと答えている。Q5 出題された新規問題の数に関して、適切であったと答えた人は 9 人中 6 人であった。これらの結果より、学習の際に新規問題と復習問題を組み合わせることにより、学習に取り組みやすくなるということが分かった。しかし、新規問題の数に関してはどちらとも言えない、適切だと感じなかった、と答えた人が 3 人おり、これは、学力クラスの閾値が適切ではなく、学力に合っていないクラスに識別された人が居たのではないかと考えられる。Q6 の本システムを利用することで学習を無理なく続けて行けるかという質問には、9 人中 9 人が続けていけると思ったと答えた。Q7 英語学習の際に、本システムを利用したいかという質問には、9 人中 7 人が利用したいと答えた。また、Q1 で英語学習に対して苦手意識を持っていると答えた人が 7 名いたにもかかわらず、Q6 では 9 人中 9 人が学習を続けていけると思うと答えている。また、Q7 にも 7 人が使用していきたいと答えていることから、本システムが英語学習支援システムとして機能しており、継続して使用できると感じさせる機能を持ち合わせているということが分かった。Q8 と Q9 に関しては、本システムの使用感を問う質問である。Q8 本システムの使用感についての質問には、9 人中 8 人が使いやすかったと答えた。Q9 本システムを楽しく使えたか、という質問には、9 人中 6 人が楽しく、2 人がやや楽しく使えたと回答している。これらの結果より、本システムのユーザインターフェースが使いやすく、楽しく学習できるとの評価を得た。また、ユーザインターフェースが良いのでモチベーションにもつながる。という意見もいただき、学習支援システムを製作する際のユーザインターフェースの重要性を確認することができた。

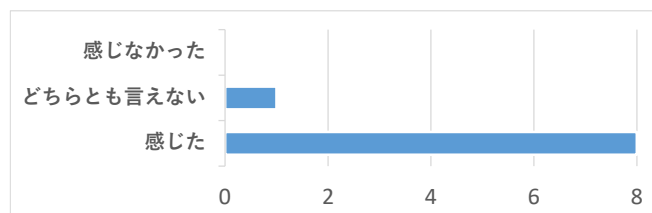
以上のアンケート結果から、実装したシステムのユーザビリティに関して、一定の評価を得ることができ、モチベーション維持を図るための一助になるのではないかと考えられる。

表 1 アンケート内容

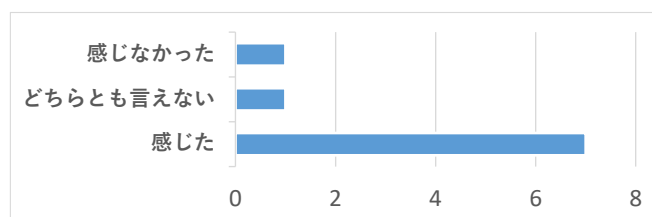
No.	アンケート質問内容
Q1	英語に苦手意識がある。
Q2	推定された学力は適切だと感じた。
Q3	提示された苦手分野は適切だと感じた。
Q4	復習問題を混ぜることで学習に取り組みやすくなったと感じた。
Q5	2 学習期間目以降に出題された復習問題の数は適切だと感じた。
Q6	本システムによって無理なく学習を続けていけると思う。
Q7	英語学習をする際に本システムを利用していきたいと思う。
Q8	本システムは使用しやすかった。
Q9	本システムを楽しく使えた。



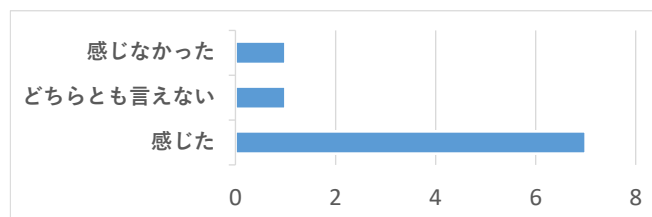
(a) Q1 の回答結果



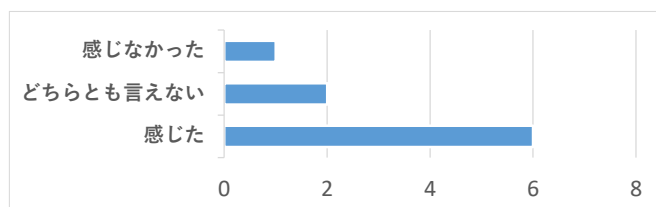
(b) Q2 の回答結果



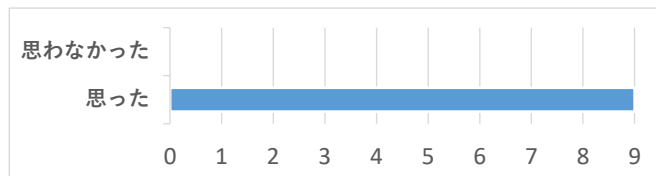
(c) Q3 の回答結果



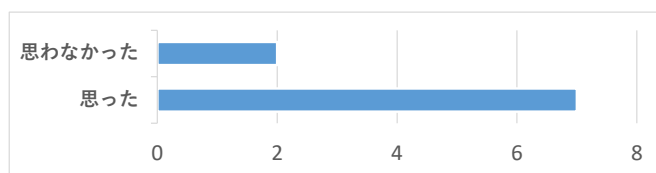
(d) Q4 の回答結果



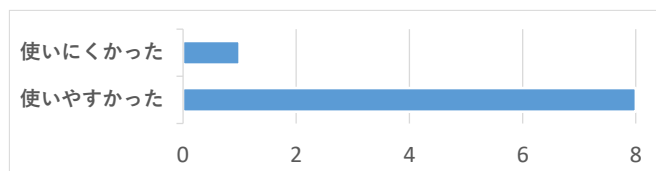
(e) Q5 の回答結果



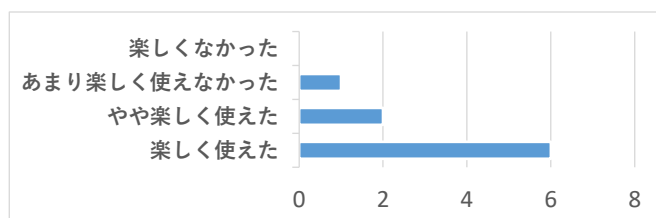
(f) Q6 の回答結果



(g) Q7 の回答結果



(h) Q8 の回答結果



(i) Q9 の回答結果

図 7 アンケート回答結果

5. まとめ

本研究では、学力ごとに学習負荷を調整することで、学習者のモチベーションの低下を防ぐことができるのではないかと考え、項目反応理論を用いて推定した学習者の学力に応じた学習ペースに基づく出題数を調整する学習ペース調整手法を提案した。さらに、項目反応理論による学力の推定機能と、学習ペース手法を組み込んだ学習支援システムの実装と評価を行った。提案手法の特徴は、1 学習期間で新規問題と復習問題の割合を調整し、学習者に適した学習ペースを提示する

点である。実験では、学力ごとに学習ペースが適切に調整できることを示すとともに、システムのユーザビリティについてアンケート結果から一定の評価を得ることができ、提案手法の学習支援システムとしての実現可能性を確認することができた。

今後の課題として、問題数と被験者をさらに集めた実証実験を行う予定である。出題する問題の項目パラメタを正確に求めることが可能になれば、学力推定の精度と共に学力クラスの閾値もさらに正確に求めることが可能になる。そのうえで、学力に合った困難度の問題を出題することで、より学習負荷をその学力に適したものにでき、学習者のモチベーション維持につなげることができると考えられる。

謝辞

神奈川工科大学英語科の河野智子講師、浅川友幸講師には、本研究を行うにあたり適切なご助言を賜りました。ここに深謝の意を表します。

参考文献

- (1) 月原由紀, 鈴木敬一, 廣瀬英雄: “項目反応理論による評価を加味した数学テストと e-learning システムへの実装の試み”, *Computer&Education*, 24 巻, pp.70-76 (2008)
- (2) 小玉成人, 北川翔太: “項目反応理論を用いた e-learning システムの構築”, 平成 21 年電気関係学会東北支部連合大会, p.215 (2009)
- (3) 牛島正規, 史一華, 徐海燕: “学習者適応型 e-Learning 演習システムの開発”, 平成 19 年度電気関係学会九州支部連合大会, p.374 (2007)
- (4) 島田拓司: “項目反応理論(IRT)を使用した言語テストの研究: 死角はないのか?”, *外国語教育: 理論と実践*, pp.29-42(2006/03/15)
- (5) 中島康博, 原幸範, 境優一, 小川原弘士, 金井政宏: “項目反応理論による習熟度別クラス分けの考察”, 久留米工業大学研究報告, 40 号, pp.98-102 (2018)
- (6) 中村亮太, 井上亮文, 市村哲, 岡田謙一, 松下温: “「Ghost-Tutor」: 個人の学習ペースを考慮した学習支援システム”, *情報処理学会論文誌*, 47 巻, pp.2099-2106 (2006)
- (7) 長嶋純平, 中村亮太, 井上亮文, 市村哲, 松下温: “個

- 人の学習ペースを配慮した効率的自主学習システム”，
 情報処理学会第 67 回全国大会，pp.463-464（2005）
- (8) 合田美子，山田政寛，松田岳士，加藤浩，齋藤裕，宮川
 裕之：“e ラーニングにおける学習行動の分類”，日本教
 育工学会第 29 回全国大会，pp.867－pp.868（2013）
- (9) 延原哲也，小山嘉紀，三宅新二，庄司成臣，劉渤江，横
 田一正：“学習者の理解度に対応した適応型 e ラーニン
 グシステムの考察”，情報処理学会研究報告データベー
 スシステム，pp.601-606（2004）
- (10) Rami Sami，Bennai Samir，Idrissi Mohammed
 Khalidi: “Automatic Prediction of Learning Style
 Based On Prior Knowledge Using IRT and FSLM”,
 ACM Proceedings, No. SITA'20, pp.1-6 (2020)
- (11) 川島博陽，毛利考佑，金子敬一：“学習者の習熟度と学習
 パターンを考慮したモチベーション維持システムの設
 計と開発”，電子情報通信学会，pp.1－4（2019/11/30）
- (12) 納富一宏，西村広光，示野浩士：“e ラーニングにおける
 学習者のモチベーション維持を目的とした学習状況提
 示機能の実装”，電子情報通信学会，pp.1－6(2009/10/02)
- (13) 上村航平，長沼一輝，鷹野孝典：“学習状況管理のための
 e-Coin システムの導入に よる複数の英語学習アプリ
 ケーションの統合”，JSiSE Research Report，pp.13－17
 （2018）
- (14) 加藤健太郎，山田剛史，川端一光：“R による項目反応理
 論”，オーム社（2014）
- (15) 別府正彦：“「新テスト」の学力測定方法を知る IRT 入
 門—基礎知識からテスト開発・分析までの話”，河合出版
 （2015）

英文読み合いにおける Learning-by-Teaching 促進システムの評価

須藤敬仁^{*1}, 柏原昭博^{*1}

^{*1} 電気通信大学大学院

Evaluating a System for Learning-by-Teaching in Collaborative Reading

Takahito Sudo^{*1}, Akihiro Kashihara^{*1}

^{*1} The University of Electro-Communications

初等中等教育の英語教育では英語によるコミュニケーション能力の育成が重要視されており，教科書を用いた英文読み合い活動が実施されている．こうした活動では，英文発話に対する心理的抵抗感や，自分だけの発話に意識が向くことによるコミュニケーション感覚の欠如など，効果的な学習活動を阻害する要因が存在する．先行研究ではロボットと英文読み合いを行うことで心理的抵抗感を軽減する支援を提案した．本研究では英文法を誤るロボットと英文読み合いを行い，学習者の向社会性を促進することでコミュニケーション感覚を維持し，さらに学習者にロボットを教授する環境を与える Learning by Teaching 支援を提案する．評価実験の結果，文法を誤るロボットが学習者の向社会性や教授意欲を促進し，学習者が教授活動を通じて文法知識の習得や学習への積極的な参加等，Learning by Teaching による学習効果が得られることが示唆された．

キーワード: Learning by Teaching, 向社会性, 英文読み合い, 学習パートナーロボット

1. はじめに

近年，急速なグローバル化から日本人における英語を用いたコミュニケーション能力の育成は急務である．初等中等教育では英語によるコミュニケーション能力育成の一環として，教科書の英文を学習者ペアで読み合う英文読み合い活動が広く行われている．しかしながら，英語を発話することに対する心理的抵抗感や，英文の発話に集中し，対話相手の発話に注意が向かないことによるコミュニケーション感覚の欠如など，効果的な学習が阻害される要因が存在する．

先行研究⁽¹⁾では対話相手をロボットとした英文読み合い支援システムを開発・検証した．研究成果として，人間同士での英文読み合いと比較して英文を発話する際の心理的抵抗感を軽減し，効果的な学習が実践できることが示唆されている．

本研究では，学習者が対話相手の発話に注意を向けないという問題点に着目し，学習者の向社会性を促進するアプローチを提案している．向社会性とは相手の助けになろうとする心理的な働きのことである．本研究では，ロボットとの英文読み合いにてロボットが文法的な誤りを含む発話とともに，たどたどしい動作を行うことで，学習者の向社会性を促進する．加えて，学習者がロボットの誤りに対して教授を行う Learning by Teaching による学習支援を提案する．Learning by Teaching とは，学習者が他者へ教授することで自らのスキルを内省し，それによって学習効果が得られる学習方法である⁽²⁾．また，本研究では，ロボットを英文読み合いパートナーとする Learning by Teaching 支援システムを開発した．

本稿では，2 章にて英文読み合いや関連研究について述べ，本研究の位置づけを明確にする．3 章では，

本研究で提案するロボットを用いた **Learning by Teaching** 支援の枠組みとシステムの機能について説明する。4 章では、システムの実証実験について述べる。5 章では本研究の結論と今後の展望について述べる。

2. 関連研究

2.1 英文読み合い

本研究では、学習者のペアが英会話を模した英文群(英文スクリプト)を互いに読み合う学習活動のことを英文読み合いと定義する。

英文読み合いのような英語学習におけるペアワークは、学習者同士のコミュニケーションや学習意欲を促進する効果が確認されているが、学習者同士の英語習熟度の差や英語を発話することに対する心理的抵抗感から効果的な学習が阻害されてしまう例も確認されている^③。文献^④では第二言語学習者にとって、第二言語を用いて他者と対話する意思(WTC: **Willingness to Communicate**)や学習意欲が重要であると述べている。また、WTC に悪影響を与える要因として、英語を発話することに対する自己効力感の低さや、不安、恥ずかしさ等の心理的抵抗感が挙げられている。加えて、英文読み合いでは学習者が英文の発話に集中し、学習相手の発話内容に注意が向かず、コミュニケーション感覚が欠如するという問題点が挙げられる。

以上の要因は英文読み合いをはじめとする第二言語を用いた対話ベースの学習活動を阻害するため、これらをいかに軽減するかが重要な課題となっている。

2.2 関連研究

本節では、ロボットを用いた学習支援、中でも第二言語習得に関する研究を挙げ、本研究の位置づけを示す。

2.2.1 ロボットを用いた学習支援の関連研究

文献^⑤では、人間はロボットを擬人化し、まるで人間であるかのように扱う傾向(擬人化傾向)があると示唆している。この特性により、アバターや VR 等のマルチメディアと比べて、ロボットを用いれば人間とのコミュニケーションに近い対人文脈が得られやすいと考えられる。

文献^⑥ではコミュニケーションが苦手な人が積極的

にロボットに話しかけたり、遊んだりすることが報告されている。英文読み合いは第二言語で発話するという苦手意識が発生しやすいため、学習相手をロボットとすることで対人よりも積極的なコミュニケーションを引き出すことができると考えられる。

以上の関連研究から、コミュニケーションを伴う学習支援ではロボットを用いることで効果的な学習が見込める。そこで、本研究では英文読み合い相手としてロボットを採用した。

2.2.2 ロボットを用いた第二言語習得支援の関連研究

文献^⑦では英語学習においてロボットの有するジェスチャーや表情を活用した支援を提案した。評価実験ではオーディオ付きの本による学習、Web 上での学習、ロボットとのインタラクションを含む学習の 3 条件を比較し、ロボットを活用した学習支援が最も学習者の集中を維持し、学習効果に最も高い影響を与えたことが報告されている。これは、ロボットが第二言語学習における学習メディアとして効果的であることを示唆している。

文献^⑧では学習者と共に学習するロボットの賢さに着目し、WoZ 法によりロボットが学習者に教授を求めることで **Learning by Teaching** を促す実験を行った。実験では学習対象を英単語とし、提示された問題に常に正答するロボット、常に誤答するが学習者が教授することで正答する学習能力を有したロボット、学習者の教授に関わらず常に誤答する学習能力を持たないロボットの、3 段階のロボットの賢さによる比較を行っている。実験の結果、教授行為が学習者の自己効力感を高め、学習能力を有するロボットは学習者の積極的な教授行為を促すことが示唆された。これに対して、本研究では WoZ 法を採用せず、システム単体で学習者とのインタラクション及び教授活動が行える支援を目指し、また英単語ではなくコミュニケーションの学習支援を目的としている。

次に、英文読み合い支援を提案した筆者らの先行研究と本研究との位置づけを述べる。先行研究^①では SHARP 製の RoBoHoN^⑨を学習パートナーとした英文読み合い支援を提案した。評価実験ではロボットとの英文読み合いと人間同士の英文読み合いを比較し、ロボットは学習者の心理的抵抗感を軽減し、英文読み合いへの学習意欲や自己効力感を向上させる効果があ

ることを示唆した。一方、本研究は英文読み合い中の学習相手への注意欠如に対して、ロボットに教授する環境を与える。

先行研究⁽¹⁰⁾では教師と生徒の役割をそれぞれ担う2体のロボットを用い、英文読み合いにおける Learning by Teaching 支援を提案した。学習者はロボット同士の英文読み合い及び教師役ロボットの教授活動を参考にすることができ、生徒役ロボットとの英文読み合いの後、生徒役ロボットに対して教授活動が行える。評価実験では、ロボットへの教授活動が学習内容への理解を促進し、英文の発話に対する自信につながることを示唆された。一方、学習者の教授活動に対する足場掛けとしての機能を期待した教師役ロボットの教授活動の例示が、逆に学習者の自由な教授活動を阻害してしまう可能性があることが指摘された。

2.3 研究目的

本研究では、学習者が英文読み合いの対話相手であるロボットの発話に注意を向けるようにするため、学習者の向社会性を促進するアプローチを考える。そのため、本研究ではロボットに誤った文法で発話させ、たどたどしく英文を読む動作をするといった初學者らしい動きをさせる。文献⁽¹¹⁾では自らのみではゴミを拾えないゴミ箱ロボットや、「あー」「えーっと」などのフィラーを交えながらつとつと話す会話ロボットのような、人間のアシストを引き出す相互互助な関係を人間と築くロボットを「弱いロボット」と呼んでいる。本研究でもこうした考え方を踏まえて、英文読み合いにおける学習パートナーを設定し、学習者の向社会性を促進する。また、ロボットの文法の誤りを教授することで、学習者の文法知識の深化や学習活動への積極的な関与を促進する等の Learning by Teaching による学習効果を期待している。

3. Learning by Teaching 支援システム

3.1 枠組み

提案システムの枠組みを図1に示す。本システムでは学習者と英文読み合いを行うロボットに SoftBank Robotics 社製の NAO を採用した。本システムは以下の学習活動を行う。

1. 英文確認活動

2. 英文読み合い活動

3. 教授活動

これら一連の学習活動を Learning by Teaching 支援サイクル(以下、LbT 支援サイクル)と呼ぶ。1つの英文スクリプトを題材として LbT 支援サイクルによる学習を行い、学習者がロボットの誤りを教授すると、ロボットは学習者の教授内容に基づいて自分の誤りを訂正し、次回以降の英文読み合いにて正しく発話ようになる。それにより、学習者は自分の教授活動によってロボットが学んだことを実感し、教授活動に対しての成功体験を得られる。以降の節では LbT 支援サイクルの各学習活動について詳細を述べる。

3.1.1 LbT 支援サイクル: 英文確認活動

英文確認活動は LbT 支援サイクルの1週目と2週目以降で活動内容が異なる。1週目では図2のようにモニターに表示された英文とそれぞれに対応する日本語を参照しながらロボットと英文読み合いを行うことで英文を確認する。この時点ではロボットは文法的な誤りを起こさないが、「発話がつまる」「声が上擦る」「考える動作をする」(図3)といったたどたどしい発話・動作を行う。これにより、学習者の向社会性や教授意欲を促進する狙いがある。

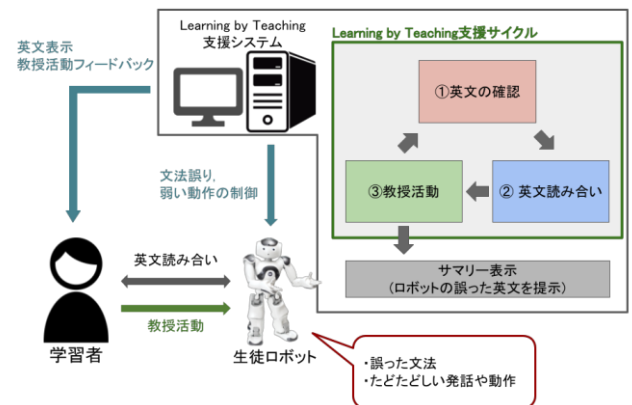


図1 Learning by Teaching 支援の枠組み



図2 英文確認活動1週目の英文読み合い画面



図 3 NAO の考える動作

2 回目以降の LbT 支援サイクルではロボットとの英文読み合いは行わず、画面表示にて英文を確認する。

3.1.2 LbT 支援サイクル：英文読み合い活動

英文読み合い活動では、各英文に対応した日本語のみに表示した状態で英文読み合いを行う(図 4)。ただし、本支援では教授活動を主目的としているため、学習者の負担が大きい場合には学習者の発話する英文を半透明で表示する。ロボットは誤った文法による発話を行い、さらに「英文を思い出す仕草をする」「なんだっけ、と学習者に問いかける」といった弱い動作を行う。

3.1.3 LbT 支援サイクル：教授活動

教授活動では、直前の英文読み合いにてロボットが誤って発話したと感じた英文について教授を行う。教授活動の際、図 5 のようにロボットが発話した英文に対して番号が表示される。学習者は番号によって教授する英文を選択し、ロボットの発話に対する教授を行う。ロボットは学習者の教授に対してリアクションを行い、教授内容が正しかった場合、ロボットはそれ以降の英文読み合いにて教授された英文を正しく発話するようになる。

学習者の教授内容の正誤判定はロボットの誤りに対して予め設定した教授キーワードが 1 つでも教授内容に含まれているか否かにより行う。教授キーワードは、例えばロボットが「bought」を「buy」と誤った場合、発話したとすると、「bought, buy, 過去形」のように学習者の教授内容に用いられるであろうキーワードを予め設定する。ロボットへの教授活動が一通り終了した後、学習者の教授内容の正誤判定結果を表示することによりフィードバックを行う(図 6)。

3.1.4 サマリー表示

LbT 支援サイクルによる学習の後、ロボットが誤っ

て発話した英文及び、その英文が教授済か否かを表示する(図 7)。これにより、学習者がロボットの誤りに気付かなかった場合に対応する。

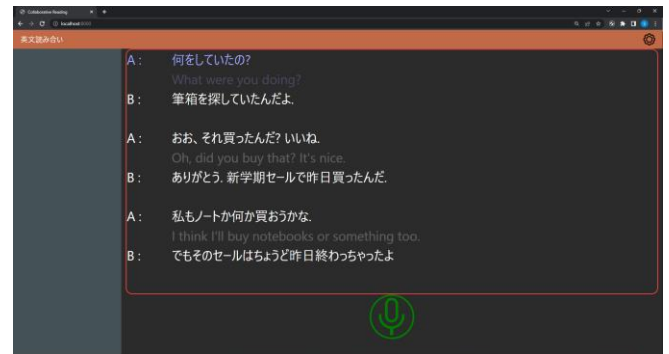


図 4 英文読み合い活動における画面表示

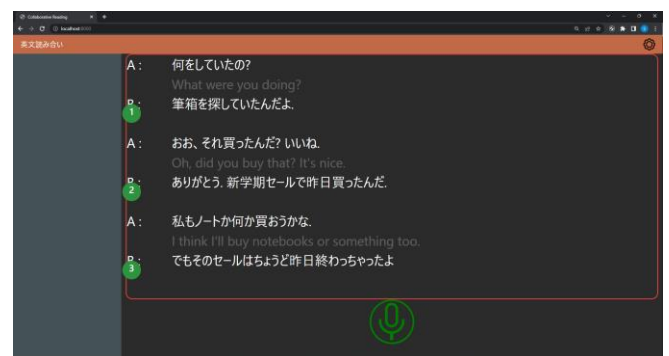


図 5 教授活動時の画面表示

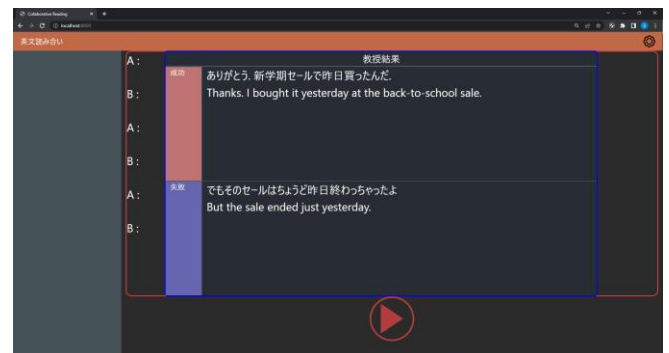


図 6 教授内容の正誤判定



図 7 サマリー表示

3.2 システムの機能

本システムは、英文読み合いにてロボットがたどどしい発話や動作、誤った文法による発話をするように制御し、学習者に教授活動の環境を提供する。英文読み合いに使用する英文はモニターを用いて学習者に提示する。また、学習者の発話はマイクを通して取得し、Google Cloud Platform が提供する Speech to Text API を利用して文字列に変換する。変換した文字列はロボットとのインタラクションの制御や、教授内容の正誤判定に用いられる。

本システムでは学習者の向社会性や教授意欲を促進するべくロボットの弱い動作を 5 つ実装した(表 1)。また、ロボットの文法誤りや弱い動作を行う英文、タイミングは事前に設定している。

4. 評価実験

4.1 実験目的

本研究では、提案した学習支援システムを用いた評価実験を行い、以下の仮説を検証した。

- H1 誤った文法で発話を行う学習パートナーロボットが学習者の向社会性を促進する。
- H2 ロボットへの教授活動によって Learning by Teaching による学習効果が得られる。

4.2 実験方法

実験条件として、ロボットが文法的に誤った発話を行い、その誤りに対しての教授活動を含む英文読み合いを行う条件(LbT 条件)と、ロボットが誤らず、教授活動も含まない英文読み合いを行う条件(CR 条件)を設定し、比較を行った。ただし、どちらの条件であっても英文読み合いにてロボットは弱い動作を行うこと

表 1 ロボットの弱い動作

動作名	説明
pause	1 秒間ポーズする。
filler	「えーっと」と言いながら考える動作を行う。
twice	指定の単語を 2 度言う。
pitchup	指定の単語を上擦って発話する。
listen	指定の単語で 10 秒間発話につき、学習者から単語が発話されると反応を返す。

に留意されたい。被験者は理工系大学生・大学院生 16 名で、予め調査した TOEIC の点数の平均が同等となるよう、それぞれの条件で学習する群(LbT 群及び CR 群)に振り分け、被験者間実験を実施した。

実験手順を図 8 に示す。本実験では過去形, 比較級, to 不定詞の 3 つの英文法を題材とした。実験では、はじめに被験者へ実験の手順と英文読み合いの流れを説明し、LbT 群の被験者には教授活動の手順に関する動画を視聴させた。そして、両群ともにシステムの使い方理解するためのデモを行い、題材とした英文法(過去形, 比較級, to 不定詞)を主に含む英文スクリプトを使用した英文読み合いを行った。学習支援システムによる学習の後、英文内容確認テストを行った。また、それらの前後には英文法テストを実施し、英文法の学習度合を比較した。最後に、実施した学習支援に関する事後アンケートを実施した。

4.2.1 英文読み合い

英文読み合いはロボットと対面し、英文を表示するモニターを右脇に配置する形で行った(図 9)。また、ロボットの発話する英文を非表示とし、学習者が発話する英文は半透明で表示した。本実験で使用した英文スクリプトは中等教育で使用される教科書から一部改変し、過去形, 比較級, to 不定詞を主に含む英文を使用した。各英文スクリプトは 10 文で、学習者とロボットが共に 5 文ずつ発話するように構成されている。

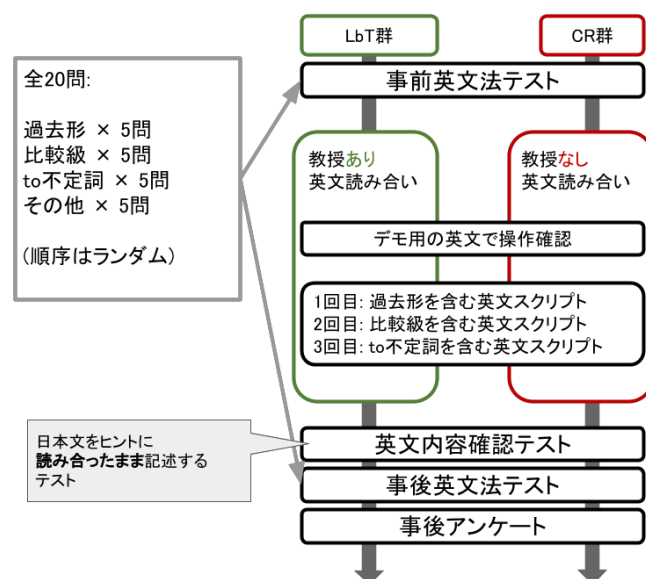


図 8 実験手順



図9 英文読み合いの学習状況

英文読み合いの学習内容に関して、LbT 群は前述した LbT 支援サイクルを 2 週行い、CR 群は LbT 群に対応する形で、教授活動のみ差し引いた英文読み合い学習を行った。また、英文読み合い中の視線情報を、視線計測機器: Tobii Pro Nano を用いて記録した。

4.2.2 英文内容確認テスト

英文内容確認テストでは、英文読み合い活動時に表示された日本文を提示し、それに対応した英文を記述させた。

4.2.3 英文法テスト

英文法テストでは、日本文とそれに対応した英文が動詞の部分空欄にした形で提示され、その空欄を埋める形で回答するテストである。問題数は事前事後テスト共に計 20 問であり、内訳は過去形、比較級、to 不定詞に関する問題が各 5 問、その他の英文法を問う問題が 5 問となっている。また、英文法テストに用いた英文や解答となる動詞の活用形は英文読み合い活動にて使用されていないことに留意されたい。

4.2.4 事後アンケート

事後アンケートでは 5 段階リッカート尺度によるアンケートを実施した。アンケート内容は英文読み合いへのエンゲージメント、自己効力感、英文法学習への動機付け、ロボットとのコミュニケーション意欲に関する質問から構成されている。

4.3 実験結果と考察

実験結果を分析し、本研究における仮説の検証を行う。仮説 H1 については英文内容確認テスト、視線情報、事後アンケートの分析結果を基に考察を行い、仮説 H2 に関しては英文法テスト、事後アンケートの分析を基に考察を行う。

4.3.1 英文内容確認テストの分析結果

英文内容確認テストでは、正解の文章と被験者の回答した文章に記号や空白を削除する等の前処理を施した後、編集距離を算出することで採点を行った(式 1)。点数は 1 問につき最大 1 点となる。

$$\text{点数} = 1 - \frac{\text{正解文と回答文の編集距離}}{\text{正解文の文字列長}} \quad (1)$$

図 10 に英文内容確認テストの結果を示す。点数は各群、各英文スクリプト、さらに英文の発話者ごとに平均値を算出した(以下、被験者群(発話者)の形式で示す)。分析の結果、英文スクリプト 1 では CR 群(ロボット)の平均値に対して他の項目の平均値が有意に高く、大きな効果量が確認された(LbT 群(学習者), 対応のない両側 t 検定: $t(14)=2.94$, $p<.05$, $d=1.47$; LbT 群(ロボット), 対応のない両側 t 検定: $t(14)=2.81$, $p<.05$, $d=1.41$; CR 群(学習者), 対応のある両側 t 検定: $t(7)=3.73$, $p<.01$, $d=1.44$)。英文スクリプト 2 においても同様に CR 群(ロボット)の平均値に比べ他の項目の平均値が有意に高く、大きな効果量が確認された(LbT 群(学習者), 対応のない両側 t 検定: $t(14)=3.16$, $p<.05$, $d=1.59$; LbT 群(ロボット), 対応のない両側 t 検定: $t(14)=2.85$, $p<.05$, $d=1.59$; CR 群(学習者), 対応のある両側 t 検定: $t(7)=3.58$, $p<.01$, $d=1.71$)。英文スクリプト 3 では CR 群(学習者)の平均値が CR 群(ロボット)の平均値より有意に高く、大きな効果量が確認された(対応のある両側 t 検定: $t(7)=3.05$, $p<.05$, $d=0.82$)。以上の結果から、LbT 群の被験者は自身が発話した英文と同程度、ロボットの発話した英文を記憶していた一方、CR 群の被験者は自分が発話した英文に比較してロボットの発話した英文を記憶していなかったことが伺える。このことから、学習者にロボットへの教授活動の機会を与えることでロボットの発話に

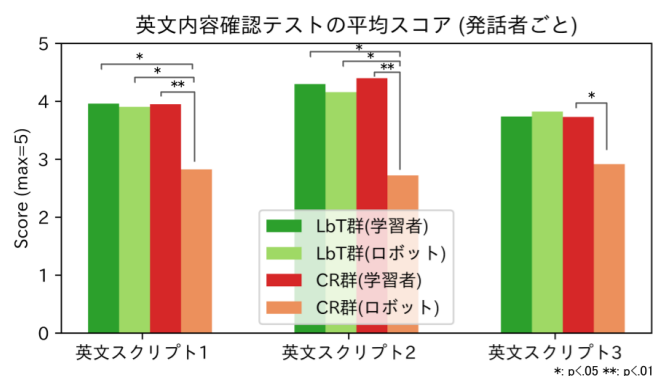


図10 英文内容確認テストの結果

注意が向き、学習者の向社会性が促進したと考えられる。この結果は仮説 H1 を支持する。

4.3.2 英文読み合い時の視線情報の分析結果

学習者が英文読み合い中どの程度ロボットに注意を向けていたかを測定するため、モニターに対する視線割合を集計し、英文読み合い中は被験者がロボットとモニターのどちらかを見ているという前提のもと分析した。図 11 に英文読み合い時のモニターへの視線割合を示す。対応のない両側 t 検定による分析の結果、有意差はみられなかった。しかしながら、一部を除き LbT 群の方がモニターへの視線割合が低いことから、LbT 群の学習者は CR 群の学習者に比べてロボットに注意を向けていた可能性があり、仮説 H1 を支持する。

4.3.3 英文法テストの分析結果

英文法テストの正解数を集計し、各群の平均値を比較した。採点基準は被験者の回答にテスト問題で対象としている英文法の活用がみられたら正答とし、スペルミスや単語誤りを許容した。分析対象は本実験で主題とした英文法(過去形, 比較級, to 不定詞)である。

図 12 に英文法テストの各群の平均スコアを示す。事前・事後英文法テストの平均スコアについて群ごとに分析を行った結果、LbT 群の to 不定詞に関してのみ事前テスト結果より事後テスト結果の方が有意に高く、大きな効果量が確認された(対応のある両側 t 検定: $t(7)=2.97, p<.05, d=1.78$)。この結果から、短期間の評価ではあるが、教授活動によって効果的な英文法学習が促された可能性があり、これは仮説 H2 を支持する。

次に、LbT 群の被験者を教授活動の回数によって上位群と下位群に分け、各群の英文法テストの平均値を比較した(図 13)。分析の結果、to 不定詞にて教授回数上位群と教授回数下位群の差に有意傾向がみられ、大きな効果量が確認された(対応のある両側 t 検定: $t(3)=2.45, p<.10, d=2.00$)。また、比較級、過去形に対して、群間に有意差はみられなかったが、教授回数下位群と比較して教授回数上位群は平均スコアが向上しており、比較級では大きな効果量が、過去形では小さな効果量が確認された(比較級, 対応のある両側 t 検定: $t(3)=1.46, ns, d=1.10$; 過去形, 対応のある両側 t 検定: $t(3)=1.00, ns, d=0.46$)。以上の結果から、本支援における教授活動に積極的である程、高い学習効果が生じることが示唆された。これは仮説 H2 を支持

する。

4.3.1 事後アンケートの分析結果

図 14 に事後アンケートの両群の平均スコアを示す。各質問項目に対し、対応のない両側 t 検定による分析

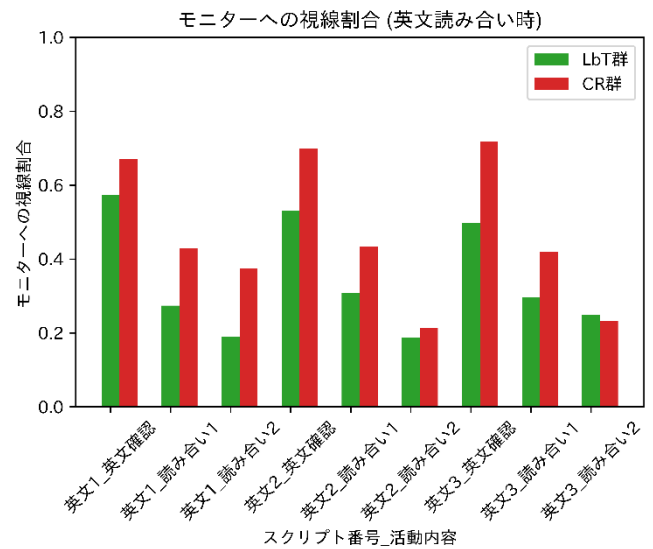


図 11 英文読み合い時のモニターへの視線割合

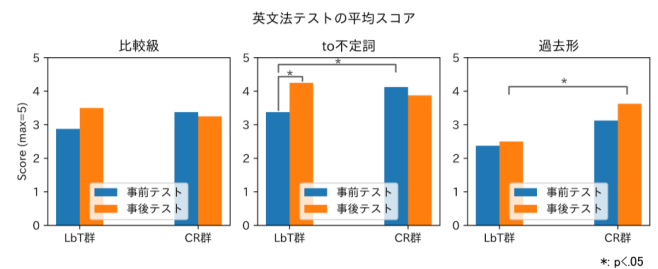


図 12 英文法テストの事前事後間の比較

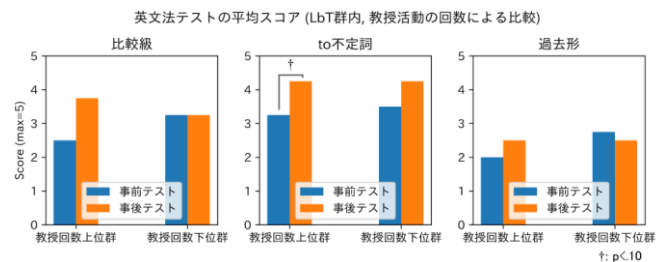


図 13 英文法テストの教授回数による比較

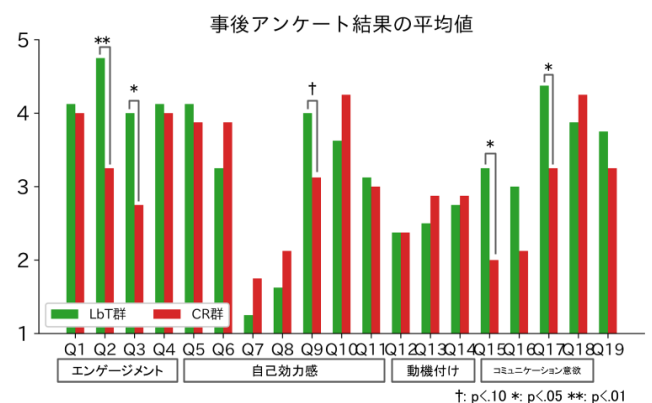


図 14 事後アンケートの結果

を行った。両群を比較した結果、コミュニケーション意欲に関する質問にて LbT 群の方が有意にポジティブな回答をしており、大きな効果量が確認された(Q15: $t(14)=2.38$, $p<.05$, $d=1.19$; Q17: $t(14)=2.50$, $p<.05$, $d=1.25$)。質問内容はそれぞれ、Q15「ロボットを学習者として対等に見られましたか」、Q17「どの程度助けたいと感じましたか」である。このことから、主観評価においても学習相手としてロボットを助けてあげたいという気持ちを促進した可能性があり、これは仮説 H1 を支持する。

また、エンゲージメントに関する質問では Q2, Q3 にて LbT 群の方が有意にポジティブな回答をしており、自己効力感に関する質問では Q9 にて LbT 群の方がポジティブな回答をした有意傾向がみられた。また、どの質問においても大きな効果量が確認された(Q2: $t(14)=3.74$, $p<.01$, $d=1.87$; Q3: $t(14)=2.38$, $p<.05$, $d=1.19$; Q9: $t(14)=1.83$, $p<.10$, $d=0.91$)。これらの結果から本支援の Learning by Teaching による学習効果により、LbT 群の学習者は学習活動に積極的に関与した可能性がある。これは仮説 H2 を支持する。

5. 結論

本研究では、英文法を誤るロボットとの英文読み合いにより学習者の向社会性を促進し、ロボットに英文法の教授を行う Learning by Teaching 支援システムを提案・開発した。学習支援システムの評価実験の結果、ロボットの文法誤りを含んだ発話やたどたどしい動作は学習者の向社会性や教授意欲を促進し、ロボットの発話内容に注意を向けさせる効果があると考えられる。また、ロボットへの教授活動を伴う Learning by Teaching 支援によって英文読み合い学習への積極的な参加や、英文法知識の深化などの学習効果が得られることが示唆された。

今後の展望として、ロボットの弱い動作にバリエーションを持たせ、それぞれの動作を評価することで学習者の向社会性や学習意欲の促進に効果的な動作を調査する必要がある。さらに、学習者の英語習熟度によって英文の表示方法を変化させたり、ロボットの誤る文法・弱い動作を変化させたりするといった適応的な支援に発展させることも考えられる。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP20H04294 の助成による。

参考文献

- (1) Adachi, Y. and Kashiara, A.: “A Partner Robot for Promoting Collaborative Reading”, The International Conference on Smart Learning Environments (ICSLE 2019), pp.15-24 (2019)
- (2) Biswas, G., Leelawong, K., Schwartz, D. and et al.: “Learning by teaching: A new agent paradigm for educational software”, Applied Artificial Intelligence, vol. 19, no. 3-4, pp.362-392(2005)
- (3) 小原弥生: “ペア活動を中心とした音読指導の影響 ―学力テストとアンケートの結果から―”, 英語教育研究, Vol.39, pp.37-56(2016)
- (4) 八島智子: “第二言語コミュニケーションと情意要因: 「言語使用不安」と「積極的にコミュニケーションを図ろうとする態度」についての考察”, 関西大学外国語教育研究, Vol.5, pp.81-93(2003)
- (5) Kiesler, S., Powers, A., Fussell, S.R. and et al.: “Anthropomorphic Interactions with a Robot and Robot-like Agent Social Cognition”, Social Cognition, Vol.26, pp.169-181(2008)
- (6) 河嶋珠実: “ロボットセラピー研究における事例整理及び治療効果抽出の試み―叙述的分析を用いた文献研究―”, 臨床心理学部研究報告, Vol.6, pp.155-187(2014)
- (7) Jeonghye, H., Miheon, J., Vicki, J. and et al.: “Comparative Study on the Educational Use of Home Robots for Children”, Journal of Information Processing Systems, Vol.4, No.4, pp.159-168(2008)
- (8) 松添静子, 田中文英: “教育支援ロボットの賢さの違いが子どもの英単語学習に及ぼす影響”, 人工知能学会論文誌, Vol.28, No.2, pp.170-178(2013)
- (9) RoBoHoN: <https://robohon.com> (2023.2.8 確認)
- (10) Sudo, T., Kashiara, A.: “Learning by Teaching Partner Robot in Collaborative Reading”, International Conference on Human-Computer Interaction 2022. Lecture Notes in Computer Science, vol 13329, pp.237-248(2022)
- (11) 岡田美智男: “人とのかわりを指向する〈弱いロボット〉とその展開”, 日本ロボット学会誌, Vol.34, No.5, pp.299-303(2016)

誤り発言からの学習者の誤り箇所候補推定 トレーニングシステム

秦 弘和^{*1}, 小尻 智子^{*2}

^{*1} 関西大学大学院理工学研究科 ^{*2} 関西大学システム理工学部

Training System for Estimating Learner's Incorrect Knowledge from Erroneous Utterances

Hirokazu Hata^{*1}, Kojiri Tomoko^{*2}

^{*1} Graduate School of Science and Engineering, Kansai University

^{*2} Faculty of Engineering Science, Kansai University

指導者は学習者の誤った発言をもとに学習者の知識状態を推定し、誤っている箇所を修正するような指導をする。学習者は発言した内容だけでなく、関連する他の知識も誤っている場合があり、指導者はそれらを推定したうえで指導方針を考える必要がある。そこで、本研究では指導者が教えるべき知識と学習者が発言した内容から、誤っている可能性がある箇所（誤り候補）を推定するための手法を提案し、その手法を習得できるようにするためのトレーニングシステムを構築する。

キーワード: 発言, 知識推定, 誤り発見, トレーニングシステム

1. はじめに

指導者は学習者との会話の中で、学習者が誤った発言をしている場合、正しい知識となるように指導する。誤った発言は誤り箇所を直接表している訳でなく、間接的に影響している可能性がある。例えば、クジラの生態について教授しているときに、クジラは卵を産まないにも関わらず、学習者がクジラの卵の大きさを尋ねたとする。この場合、クジラが卵を産まないことを理解していないかもしれないし、クジラが哺乳類ではなく魚類と理解していることが原因で誤った発言をしたかもしれない。後者の場合、クジラが哺乳類であることを教えることでクジラが卵を産まないと判断できるようになる可能性がある。

指導者が学習者に正しい知識を理解させるためには、誤り箇所を正確に発見する必要があるが、学習者の一回の誤った発言からは誤り箇所を正確に特定することは困難である。その代わり、指導者は誤っている発言の原因となりうる誤り箇所の候補（誤り箇所候補）をすべて考え、可能性の高そうなものから修正を試みる。

この時に誤り箇所候補を十分に推定できないと誤りを修正できなくなる。そこで、本研究では、指導者が学習者の誤り箇所候補を推定できるようになることを支援する。

学習者の誤りを表現する方法としては、バグモデルとオーバレイモデル⁽¹⁾がある。バグモデルは、誤りに対する誤り原因のパターンをあらかじめ保持しておき、学習者の表出化された誤りから原因を同定する方法である。バグモデルを用いて誤りを推定している研究としては、筆算の計算過程を対象としたもの⁽²⁾や、プログラミングのバグの発見⁽³⁾などがある。バグモデルでは想定している誤りのパターンをあらかじめすべて想定しておく必要があるが、学習者の誤りを事前に全て予測することは困難である。それに対して、オーバレイモデルを用いて誤りを推定する方法は、学習者の知識と正誤を比較し、正解に存在しない知識は誤っていると判断する方法である。オーバレイモデルを用いて、誤りを推測する研究としては、学習者の分数計算を対象とした研究⁽⁴⁾がある。オーバレイモデルは学習者から観測されない知識は保持していないと判断するが、

対話でのやりとりでは学習者は自身が持っている知識をすべて発言するわけではない。そのため、知識の断片である発言から誤り箇所候補を推定する必要がある。

指導者にとって、誤り箇所候補の推定は通常は暗黙的な活動である。暗黙的なスキルの獲得支援では、暗黙的な活動の成果を表出化することで活動の不十分さを学習者に考えさせるアプローチが多くとられる。石井らは学習者の利き手と反対の手による動作の支援として、利き手時の動作を理想的な動作として提示し、反対の手と比較させることで不十分さに気づかせる研究^⑤をしている。また、Nishino らは書道の実力を上げる支援として、ディスプレイの上に仮想のキャンパスを用意し、仮想のキャンパスの位置関係の変化から力の加え方を計算することで、理想の筆跡と自身の筆跡を再現したものを比較できるようにする研究^⑥をしている。これらの研究は、暗黙的な活動の結果から活動の不十分さを示すにとどまっており、活動の仕方そのものは暗黙のままである。そのため、活動自体が改善できない場合がある。

本研究では、指導者が教える知識と学習者の発言を表出化し、そのうえで誤り箇所候補を推定させる過程を段階的に実施する方法を提案する。そして、提案した推定方法の各ステップに従って、仮想的に指導者の知識と学習者の発言を提示し、誤り箇所候補を推定する体験が可能な環境を構築する。

2. 学習者の誤り箇所候補の推定方法

誤った発言をする学習者は、正しい知識の中で保持していない知識があったり、正しくない知識を有していたりする。発言は学習者の知識の断片しか表出していないため、学習者の発言から学習者の保持する知識を推測する必要がある。

学習者が発言した内容は学習者が信じている知識であると想定することができる。そのため、発言があっても間違ってもそこに含まれる知識は学習者の知識となる。一方、学習者に指導している指導者は、学習者は教えた知識は最大限有していると想定して誤り箇所を推定する。そのため、学習者が発言していない知識は正しく保持していると想定する。学習者が誤った発言をしている場合、このようにして学習者の知

識と想定したものには矛盾が発生する。このとき、学習者の知識と想定している知識の中のいくつかを保持していないと仮定すると、矛盾が解消できることがある。この矛盾を解消できる知識を誤り候補として特定する。

以上のことより、学習者の誤り箇所候補の推定方法は以下のとおりである。

1. 学習者が発言した知識を学習者の知識と想定する。
2. 指導者が教える知識で学習者が発言していない知識を学習者の知識と想定する。
3. 学習者の発言箇所と矛盾している知識のうち、誤りと仮定することで矛盾が解消できる知識を誤り箇所候補とする。

具体例を示す。教える知識が「ほ乳類は卵を産まない、クジラはほ乳類の一種、クジラは海を泳ぐ」であり、学習者がクジラは海を泳ぐ、クジラは卵を産む」と発言したとする。このとき、指導者は学習者が保持している知識として、発言した知識と教える知識の重複を除いた「ほ乳類は卵を産まない、クジラはほ乳類の一種、クジラは海を泳ぐ、クジラは卵を産む」を学習者の知識として想定する（図 1）。これらの知識の中で、「ほ乳類は卵を産まない、クジラはほ乳類の一種」と「クジラは卵を産む」が矛盾する。学習者は「クジラは卵を産む」と発言しているため、「ほ乳類は卵を産まない」もしくは「クジラはほ乳類の一種」という知識を学習者が持っていないと仮定すると矛盾がなくなる（図 2）。そこでこれらの知識を誤り箇所候補とみなす。

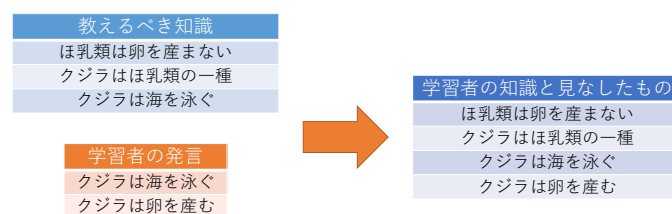


図 1 誤り箇所候補の推定例（ステップ 1, 2）

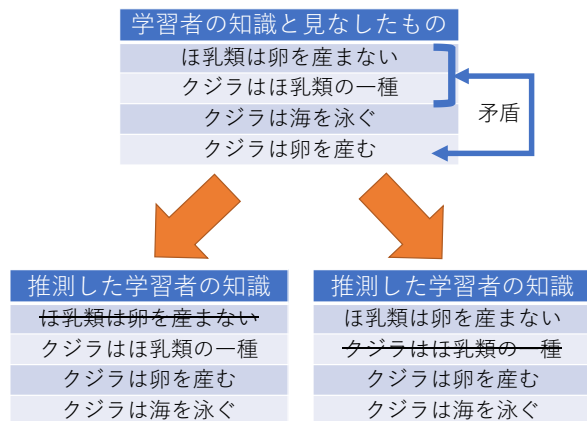


図 2 誤り箇所候補の推定例（ステップ 3）

3. 誤り箇所推定トレーニングシステム

指導者が学習者の発言から誤り箇所候補を推定できるようになるには、誤り箇所候補を推定する方法を明示的に 1 つずつ実施していくことが有効である。誤り箇所推定トレーニング支援システムは、仮想的に用意した指導者の知識と学習者の発言から誤り箇所の候補を推定する体験が可能な環境を提供する。また、システムは各ステップをユーザが正しくできているかを判定し、フィードバックを与える。すべての誤り箇所候補を推定できるまでトレーニングを実施する。

システム構成図を図 3 に示す。システムは教えるべき知識と仮想学習者の発言を保持する。また、発言から学習者が保持すると想定できる矛盾を含んだ知識および誤り箇所候補を、ユーザが推定すべき正解として保持する。インタフェースは学習者知識想定インタフェースと誤り箇所候補推定インタフェースの 2 つにわかれている。学習者知識想定インタフェースは、ステップ 1 とステップ 2 で行っている学習者の知識を想定する活動をする場を提供しており、誤り箇所候補推定インタフェースは、ステップ 3 の誤り箇所候補を推定する活動をする場を提供する。システムが教えるべき知識と学習者の発言を提示すると、ユーザは学習者が保持すると想定できる矛盾を含んだ知識を入力する。学習者想定知識正誤判定機能は、入力された学習者が保持すると想定できる知識が正解かどうかを判定し、フィードバックを返す。また、正解と判定すると、誤り箇所候補推定インタフェースが起動する。誤り箇所候補推定インタフェースにユーザが誤り箇所候補と入力すると、誤り箇所候補正誤判定機能はユーザが推定

した誤り箇所の候補が正解となる誤り箇所候補と同じであるかを判定し、フィードバックを返す。

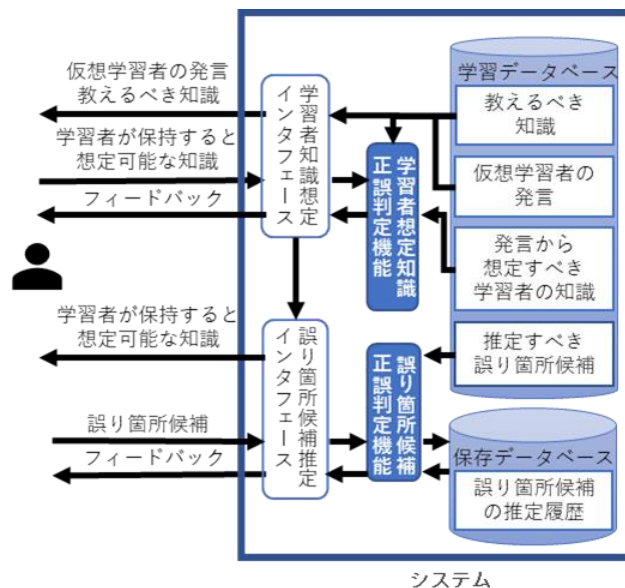


図 3 誤り箇所候補推定トレーニングシステム

4. 学習者知識想定インタフェース

4.1 教えるべき知識の表現方法

学習者知識想定インタフェースはユーザが教えるべき知識を見やすい形式でユーザに提示する。本研究では宣言的知識を教授の対象とする。宣言的知識は概念と概念間の関係で表現される。

概念間の関係を表現する方法として、意味ネットワークがある。意味ネットワークとは、概念をノードとし、概念間の関係を有向リンクとしたラベル付き有向グラフで知識を表現したものである⁷⁾。ラベルにはあらゆる関係を記述することができる。継承関係や包含関係などの一部の関係は is_a、has_a などの特別な名称で記述する。

教える知識の意味ネットワークでの表現例を図 4 に示す。図 4 は教える知識が「クジラはほ乳類の一種、ほ乳類は卵を産まない」である例である。この知識における概念は「クジラ、ほ乳類、卵」であり、概念間の関係は「一種、産まない」である。「一種」は継承関係を示しているため、概念間の関係がクジラとほ乳類の間の関係は is_a になり、ほ乳類と卵の関係は産まないとなる。

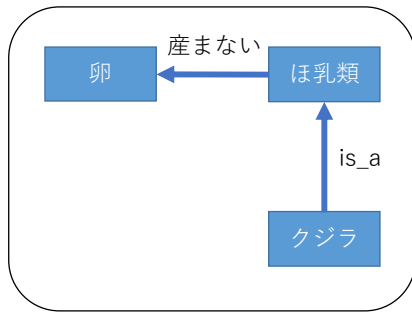


図 4 教えるべき知識の表現例

4.2 学習者想定知識正誤判定機能

学習者想定知識正誤判定機能は、ユーザが入力した学習者が保持していると想定できる知識が正しいかを判定する。ユーザは、仮想学習者の発言に含まれているが、誤って理解していることが明らかな知識と、学習者が正しく理解しているだろうと想定できる知識をわけて入力する。学習状況判定機能はシステムの保持する正解となる知識と比較して、それらの入力が正しいかを判定する。

例を示す。教えるべき知識が「クジラはほ乳類の一種、ほ乳類は卵を産まない、クジラは海を泳ぐ」で、学習者が「クジラは海を泳ぐ、クジラは卵を産む」と発言したとする。このとき、学習者が誤って保持していると想定できる知識として、「クジラは卵を産む」をユーザが入力したとする。この知識は学習者が誤って理解している知識であるため、システムはユーザの入力は正しいと判定する。一方、学習者が理解していると想定できる知識として同様に「クジラは海を泳ぐ」をユーザが入力したとする。この知識は誤って理解していると判定する。

4.3 プロトタイプ・システム

学習者知識想定インタフェースを図 5 に示す。トレーニング番号が入力されると、発言表示エリアと知識表示エリアに仮想学習者の発言と教えるべき知識が意味ネットワークの形式で表示される。正解予測知識入力エリアは仮想学習者が正しく理解していると想定できる知識を入力するエリアであり、誤り予測知識入力エリアでは誤っていると想定できる知識を入力するエリアである。

学習者想定知識表示エリアでは、ユーザが想定する

仮想学習者の知識が表示されるエリアである。システム開始時は教えるべき知識が表示されているが、正解予測知識入力エリアと誤り予測知識入力エリアへの入力に応じて更新される。正解予測知識入力エリアに入力された知識が正しければオレンジ色に（図 6）、誤り予測知識入力エリアに入力された知識が正しければ緑色に（図 7）着色される。

入力された知識が正しくない場合は、フィードバックを返す。入力された知識が正しくない場合は以下のいずれかが考えられる。

1. 学習者が理解していると入力した知識が学習者の発言に含まれていない
2. 学習者が理解していると入力した知識が教える知識に含まれていない
3. 学習者が理解していないと入力した知識が発言に含まれている

1 の場合は、「学習者が発言していない知識は理解していると想定できません」、2 の場合は、「学習者が正しく理解していると想定できる知識は教える知識に含まれるべきです」、3 の場合は、「学習者はその知識を正しく理解していると想定できます」というメッセージを表示する。

想定完了ボタンが押されると、発言した知識がすべて入力されたかを判定する。すべて入力されていない場合は、入力できていない学習者の発言部分の色を変化させることで強調する。

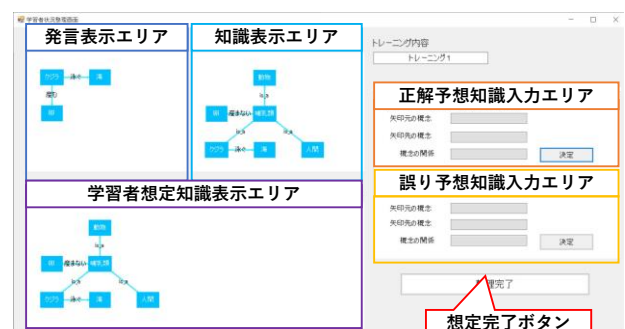


図 5 学習者知識想定インタフェース



図 6 正解予測知識入力後の学習者知識想定インタフェース

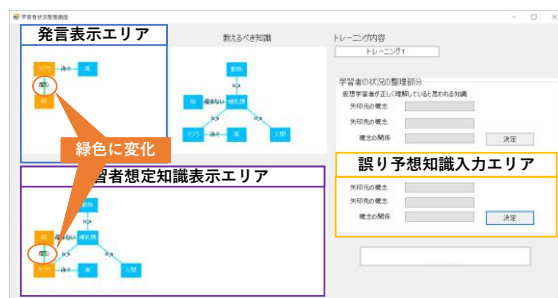


図 7 誤り予想知識入力後の学習者知識想定インタフェース

5. 誤り箇所候補推定インタフェース

5.1 誤り箇所正誤判定機能

誤り箇所正誤判定機能は、誤り箇所候補推定インタフェースに入力される誤り箇所候補を正誤判定する機能である。誤り箇所正誤判定機能はユーザの入力とシステムの保持する正解を比較し、ユーザが推定した誤り箇所候補が正しいかを判定する。また、ユーザがすべての誤り箇所候補を推定できたかを判定し、フィードバックを与える。

5.2 プロトタイプ・システム

誤り箇所候補推定インタフェースを図 8 に示す。学習者想定知識表示エリアは、学習者知識想定インタフェースで学習者が保持する知識の想定結果を表示する。矛盾解消知識入力エリアは、誤りと仮定すると矛盾を解消できる知識を概念とその関係の形式で入力するエリアである。知識を入力すると、学習者想定知識表示エリアからユーザが入力した知識に対応した部分が削除される（図 9）。誤り箇所候補推定履歴表示ボタンを押すと、図 10 の画面が表示され、同じトレーニング内でこれまでに推定した誤り箇所候補が閲覧可能である。

誤り箇所候補推定エリアは、ユーザが誤っている知識を自然言語で入力させるエリアである。誤り箇所候補は矛盾解消知識入力エリアに入力された知識と同じであるが、ユーザが意味ネットワーク上での矛盾の解消するために誤りと見なした知識が誤り箇所と同じであると理解できているかを確認するために再度自然言語の形式で入力させるようになっている。ユーザが誤り箇所候補を入力し、決定ボタンを押すと、誤り箇所正誤判定機能により正誤を判定する。誤り箇所正誤判定機能が正しいと判定した場合、図 11 のようなフィードバック画面が表示される。一方、誤り箇所正誤判定機能が誤っていると判定した場合、「矛盾が解消できていないので推測した学習者の知識に誤り箇所があります」というメッセージが表示され、誤りと仮定したときに矛盾を解消できる知識の入力からやり直させる。

推定完了ボタンを押すと、すべての誤り候補が推定されたかを判定し、未推定の誤り候補が存在した場合は、「推定できていない学習者の知識が存在するため、誤り箇所候補が他に存在します」というメッセージを表示し、学習者予測情報表示エリアで今まで推定した誤り箇所候補にあたる部分を強調して提示する。全ての誤り箇所候補が推定されていた場合、トレーニングを終了する。



図 8 誤り箇所候補推定インタフェース



図 9 矛盾解消知識を入力した際の誤り箇所候補推定インタフェース

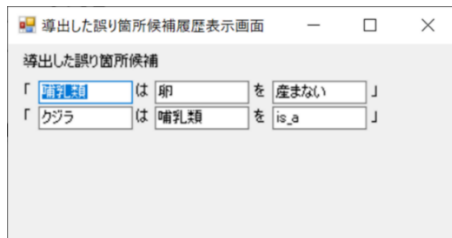


図 10 誤り箇所候補推定履歴



図 11 誤り箇所候補を推定できたときの
フィードバック画面

6. 評価実験

本研究で提案した誤り箇所推定トレーニング支援システムの有効性を評価した。評価項目は、システムによって誤り箇所候補の推定方法が習得できたか（項目 1）と、習得した誤り箇所候補の推定方法は教える知識や学習者の発言が複雑な場合でも適用可能か（項目 2）、の 2 点である。実験協力者は 18 歳から 25 歳までの男女 8 名(A~H)である。

実験の手順を以下に示す。

- ① プレテスト
- ② システムを用いたトレーニング
- ③ ポストテスト 1
- ④ ポストテスト 2

プレテストでは、教える知識と学習者の発言を用意し、誤り箇所候補とそれぞれの誤り箇所候補を推定した過程や理由を回答する問題に 2 問（問題 a, b）解答してもらった。教える知識と学習者の発言は、意味ネットワークの形で表した図と文章で示した。問題 a, 問題 b の文章を図 12, 図 13 に示す。

システムを用いたトレーニングでは、問題 a, b とは異なる教える知識と学習者の発言を 2 組与え、システムを用いて誤り箇所候補の推定トレーニングを 2 回して

もらった。ポストテスト 1 では、プレテストと同様の活動を再度実施し、プレテストから解答が変わるかを調査した。ポストテスト 2 では、項目 2 を評価するため、問題 a, b とは異なり、かつ問題 a, b より難しい問題（問題 c）を用意した。プレテストと同様に誤り箇所候補とそれぞれの誤り箇所候補を推定した過程や理由を可能な限り回答してもらった。問題 c の文章を図 14 に示す。問題 a, b よりも学習者の発言の数を多くしている。問題 a と b のプレテストとポストテストにおいて、正解のうち推定できた誤り箇所候補の数とその理由で項目 1 を評価する。項目 2 は問題 c の誤り箇所候補の数と理由より評価する。

教えるべき知識

- ・ ジャガイモはイモの一種
- ・ タロイモはイモの一種
- ・ 寒い土地ではタロイモは育たない
- ・ 寒い土地ではジャガイモは育つ
- ・ 北海道は寒い土地の一種
- ・ 知床半島は北海道の土地の一種
- ・ 十勝平野は北海道の土地の一種

仮想学習者の発言

- ・ 十勝平野は北海道の土地の一種
- ・ 北海道はタロイモが育つ

図 12 問題 a

教えるべき知識

- ・ 無脊椎動物は動物の一種
- ・ 無脊椎動物背骨を持たない
- ・ 背骨は骨の一種
- ・ 節足動物は無脊椎動物の一種
- ・ 節足動物は外骨格を持つ
- ・ 昆虫は節足動物の一種
- ・ 昆虫は六本足を持つ
- ・ カブトムシは昆虫の一種
- ・ カブトムシは空を飛ぶ
- ・ カブトムシはつものを持つ
- ・ 軟体動物は無脊椎動物の一種
- ・ いかは軟体動物の一種

仮想学習者の発言

カブトムシは骨を持つ

図 13 問題 b

教えるべき知識 - 鉄は金属の一種 - 鉄は磁石にくっつく - 鉄は電気を通す - アルミニウムは金属の一種 - アルミニウムは磁石にくっつかない - アルミホイルはアルミニウムの一種 - アルミホイルは電気を通す - 雷は電気の一種
仮想学習者の発言 - 鉄は金属の一種 - 鉄は電気を通す - アルミニウムは金属の一種 - アルミホイルは電気を通す - アルミニウムは磁石にくっつく

図 14 問題 c

実験結果を示す。まず、項目 1 を評価する。それぞれのテストで用いた問題の正解のうち、推定できた誤り箇所候補の数を表 1 に示す。推定できた誤り箇所のうち、提案した推定方法を用いて推定できたとみなせる数を表 2 に示す。推定できた誤り箇所がない場合は斜線にしている。提案した推定方法を活用していたかについては、回答に「教えるべき知識を元に考えている」、「学習者の発言と一致しているに対して、正しく理解できているか否かを判断している」、「矛盾の組が作成されている」、「その組の一部が誤り箇所ということを記述している」という趣旨が全て記述されている、もしくは具体的に理由となる発言や教える知識が示されていれば、活用していたとした。

表 1 より、8 名中 6 名がプレテストよりもポストテストの方が推定できた誤り箇所候補の数が増加した。また、表 2 より 8 名中 5 名（実験協力者 B、C、D、F、G）がシステムの使用前は、提案した誤り箇所候補の推定方法を全く用いていなかったが、使用後では提案方法を用いて誤り箇所候補を推定できていた。この

うち、実験協力者 C は問題 a のプレテストでは誤り箇所候補を推定した理由が「北海道はタロイモが育つという発言がおかしかった」と回答していたが、ポストテストでは「教えるべき知識と仮想学習者を比較したときに、教えるべき知識になかった誤った発言であろう『北海道はタロイモが育つ』と、『北海道は寒い土地の一種』と『寒い土地ではタロイモが育つ』が矛盾していて、その中で『北海道はタロイモが育つ』は学習者の発言なので、それ以外が誤り箇所候補になるから」と回答していた。このことから、誤り箇所候補推定トレーニングシステムを用いることで誤り箇所候補の推定方法を習得できることが示唆された。

次に項目 2 を評価する。問題 c で推定された誤り箇所候補の数を表 3 に示す。表 2 より提案方法を用いて誤り箇所候補を推定できていた 7 名（実験協力者 B～H）のうち、5 名が全ての誤り箇所候補を推定できていた。そのため、誤り箇所候補の推定方法を用いることで、複雑な問題に対しても誤り箇所候補を推定できると考えられる。一方で、実験協力者 B と F は 1 つも推定できなかった。その理由として、実験協力者 B「矛盾となる組み合わせがわからなかった」と、実験協力者 F は「教えるべき知識における仮想学習者の発言部分がわからなくなった」と回答した。これらのことは、発言数が多い場合など教える知識や学習者の発言が複雑になると、誤り箇所候補の推定方法を習得していても学習者の状況を整理することや矛盾を発見することが困難になる人がいることも明らかになった。トレーニングシステムで知識や発言が少ないものから多いものまで段階的にトレーニングをさせることで、複雑な知識や発言にも提案手法を適用できるように支援をしていく必要がある。

表 1 推定できた誤り箇所候補の数（推定できた数／正解の数）

実験協力者		A	B	C	D	E	F	G	H
a	プレテスト	1/2	1/2	1/2	2/2	2/2	1/2	2/2	1/2
	ポストテスト	1/2	2/2	2/2	2/2	2/2	2/2	2/2	1/2
b	プレテスト	0/5	1/5	1/5	3/5	2/5	0/5	3/5	1/5
	ポストテスト	0/5	4/5	5/5	5/5	5/5	3/5	5/5	1/5

表 2 提案した導出方法を用いた数（導出方法を用いた数／導出した誤り箇所候補の数）

実験協力者		A	B	C	D	E	F	G	H
a	プレテスト	0/1	0/1	0/1	0/2	0/2	0/1	0/2	1/1
	ポストテスト	0/1	1/2	2/2	2/2	2/2	2/2	2/2	1/1
b	プレテスト		0/1	0/1	1/3	1/2		0/3	1/1
	ポストテスト		3/4	5/5	5/5	5/5	3/3	4/5	1/1

表 3 問題 c で導出した誤り箇所候補の数

実験協力者	A	B	C	D	E	F	G	H
		0/2	2/2	2/2	2/2	0/2	2/2	2/2

おわりに

本研究では、指導者が学習者の誤り箇所の候補を推定できるようにすることを目的に、学習者の誤り箇所候補を段階的に特定するための方法を提案し、その方法の習得を支援するためのトレーニングシステムを構築した。トレーニングシステムでは、指導者が教える知識と仮想学習者の発言を提示し、ユーザがすべての誤り候補を正しく推定できるまでフィードバックを出して支援する。提案システムを用いた評価実験の結果、システムを用いてトレーニングすることで、誤り箇所候補の推定方法を習得できることが明らかになった。また、習得した誤り箇所候補の推定方法は、問題が複雑になっても適応できる可能性があることが明らかになった。

本研究では誤り箇所の候補の推定までを支援している。学習者の誤り箇所を正しく修正するためには、推定した誤り箇所候補が正しい知識になるように教授し、反応を見るというやりとりが必要となる。想定した誤り知識が正しければよいが、誤り箇所候補が誤りでない場合は得られた反応を基に誤り箇所候補をさらに推定するという仮定が必要となる。学習者の誤りを素早く特定するためには、学習者の反応を正しく解釈することと、反応をもとに誤り箇所候補の中から誤っている箇所を絞る必要がある。今後は学習者の反応のパターンを分類し、個々のパターンに応じて誤り箇所を適切に絞る方法を明らかにし、その方法の習得を支援するシステムを構築したい。

参 考 文 献

- (1) D. Sleeman, J. S. Brown: “Intelligent Tutoring Systems”, Academic Press (1982).
- (2) 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).
- (3) 原田裕基, 西原佑, 松本剛史, 藤田昌宏: “充足可能性判定に基づくシステムレベルデバッグ支援手法におけるバグモデルの導入による効率化”, 情報処理学会研究報告, Vol. 2010-SLDM-145, No. 10, pp. 1-6 (2010).
- (4) 渡辺健次, 岡崎泰久, 只木進一, 近藤弘樹: “分数計算を指導する知的 CAI システムの実現”, 電子情報通信学会論文誌 A, Vol. 77, No. 3, pp. 518-529 (1994).
- (5) 石井和喜, 曾我真人, 瀧寛和: “モーショキャプチャシステムを利用した左右反転動作スキル習得支援環境の構築”, 情報処理学会シンポジウム論文集, pp. 327-330 (2011).
- (6) H. Nishino, K. Murayama, T. Kagawa, K. Utsumiya: “A Japanese Calligraphy Trainer Based on Skill Acquisition Through Haptization”, Proceedings of the 24th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications, pp. 1225-1232 (2010).
- (7) 岡本敏雄, 香山瑞恵: “人工知能と教育工学—知識創産指向の新しい教育システム”, 株式会社オーム社(2011).

状態変化に基づく妥当性検証による活動分析支援システム

久乗皓大^{*1}, 小尻智子^{*2}

^{*1} 関西大学大学院理工学研究科, ^{*2} 関西大学システム理工学部

Activity Analysis Support System with Validation Based on State Change

Kota Kunori^{*1}, Tomoko Kojiri^{*1}

^{*1} Graduate School of Science and Engineering, Kansai University

^{*2} Faculty of Engineering Science, Kansai University

When we cannot do some activity well, we need to identify the cause. The activity is composed of several small activities (sub-activities) and the cause might be one of them. This research proposes the method for analyzing activity and identifying the cause sub-activity. In order to attain to this goal, the valid sub-activities should be defined. This research proposes the activity model that represents the relations between the activity and its sub-activities. In addition, we construct an activity analysis support system with a function to verify the validity of the derived sub-activities and a function to recommend operations for the successful analysis of the activity.

キーワード: 問題分析, 活動分析, 活動モデル, 操作推薦, 妥当性検証

1. はじめに

我々は問題に直面した場合, それを解決しようと試みる. 例えば, 「プレゼンテーションが上手くいかない」という問題に直面した場合には, 何度も練習するなどして上手くいくよう試みる. しかし, 問題の原因を正確に認識できない場合, 試みた方法では問題解決に至らない場合が存在する. 例えば, 「プレゼンテーションが上手くいかない」という問題の原因がスライド構成の悪さであった場合, いくら発表の練習をしても改善されることはない.

問題の分析方法を提示することで原因の同定を支援する研究がある. Harich らはグループでの問題解決で, 問題に対して「なぜ?」という問いをグループ内での合意が取れるまで繰り返し問いかけるという方法を実施可能なワークシートを提案している⁽¹⁾. 中村らはトラブルが発生した際にトラブルの対象, 場所, 時間などに対して起きている事実と起きていてもおかしくないが起きていない事実を記述し, それらの差異から原因を考える手法である KT 法に基づいた問題分析のフ

レームワークを提案し, フレームワークに沿って問題解決可能なシステムを構築している⁽²⁾. これらの研究で提示される問題分析方法は問題の原因の 1 つを導出することはできるが, 原因を網羅的に探すことはできない.

網羅的に原因を導出できる方法として, 問題を抱えるもののモデルを構築し, モデルに当てはめて分析するという方法がある. 小林は発展途上国への援助政策に必要な要素を規定したモデルを提案し, モデルに施行したい政策を当てはめることで政策の不十分さを分析する方法を提案している⁽³⁾. ビジネスの経営問題に対しても, 経営において考えるべき要素を規定したモデルを定義し, モデルに基づいた経営の分析を可能にするシステムが開発されている⁽⁴⁾. 問題を構成する要素をモデルとして定義することで, 問題を分析する際に考えなければならない範囲が明らかになるとともに, すべての原因を発見することが可能になる. しかし, モデルの要素が表す概念と分析者の想定する概念に差異が存在する場合, モデルに上手く当てはめられず, 妥当な分析ができないこととなる.

システムに問題の知識を持たせることで、システムによる妥当性のある分析を支援している研究も存在する。大野らはネットワークのトラブルシューティングにおいて、ネットワークの構造と、ネットワーク上のトラブルとその解決方法の知識を持ち、ホームネットワークにおけるネットワークの構造を自動で推定して視覚化し、原因のある部分を提案することが可能なシステムを構築している⁶⁾。Shigoらはソフトウェア開発の問題分析に使用されるプロブレム図、ドメイン仕様、要求記述、マシンの仕様からなるプロブレムフレームに沿った分析が可能なインタフェースと、プロブレムフレーム間の関係知識を元に分析した内容の矛盾を検出する機能を備えたシステムを開発している⁶⁾。森らは研究に関する認知活動、行為のオントロジーを構築し、オントロジーに基づいて質問を生成するシステムを構築することで問題の理解を支援している⁷⁾。これらの研究ではシステムの持つ問題知識を基に妥当性のある分析を支援しているため、システムの問題知識の範囲内でしか問題分析を支援することができない。日常的な問題は様々な種類の問題が考えられるため、あらかじめ問題の知識をすべて知識として記述しておくことは不可能である。問題の知識をシステムに持たせるのではなく、汎用的な問題分析の方法を提案する必要がある。

本研究では問題に対して妥当な問題分析が満たす条件を定義する。また、条件を満たす分析をするために考えるべきことを明らかにし、それらの思考を促進するインタフェースと、分析された問題が条件を満たしているかを判定し、適切な思考へと誘導する分析支援システムを構築する。なお、日常に存在する問題は人が行う活動の中に存在すると捉え、活動を問題の対象とする。

2. アプローチ

2.1 活動モデル

活動の分析を定義するためにはまず、活動を明確に定義する必要がある。活動とは、主体が目的を達成するために実行する行動であり、いくつかの細分化された活動によって構成される。本研究では活動を構成する細分化された活動をサブ活動と定義する。

サブ活動を含む活動にはそれが実施可能な状態が存在する。また、活動することで状態が変化するため、事前状態と事後状態の差を活動の効果とみなすことができる。したがって、活動はある条件下で特定の効果を引き起こすものと解釈できる。

活動はある活動が原因で他の活動が生じる場合がある。そのような活動は、原因となる活動の効果によって引き起こされた事後状態が、結果となる活動の条件となる。本研究ではこのような関係となっている活動のことを、因果関係のある活動と呼ぶ。例えば、図1に示すような条件、事前状態、事後状態を持つ「指示棒で指す」、「内容を説明する」という活動が存在したとする。「指示棒で指す」という活動の事後状態「聴衆の注意が向いている」と、「内容を説明する」という活動の条件「聴衆の注意が向いている」が一致しており、「内容を説明する」は「指示棒で指す」の結果可能となる活動であることがわかる。このことから「指示棒で指す」という活動から「内容を説明する」という活動に対して因果関係が存在すると捉えることができる。

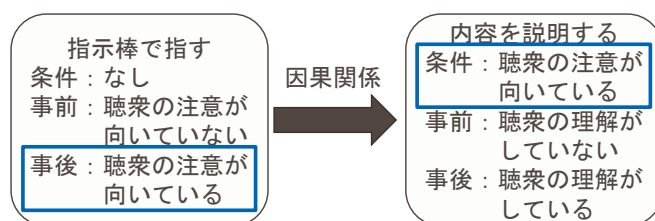


図1 活動間に因果関係が存在する例

以上のことを踏まえて定義した活動モデルを図2に示す。活動はいくつかのサブ活動によって構成され、事前状態・事後状態で表現可能な効果と条件を持つ。活動を構成するサブ活動は、それらの集合で元の活動と同じ活動を実現できるものであるため、元の活動と同じ効果を引き起こすことができる必要がある。すなわち、サブ活動群全体の事前状態・事後状態が元の活動の事前状態・事後状態と一致している必要がある。

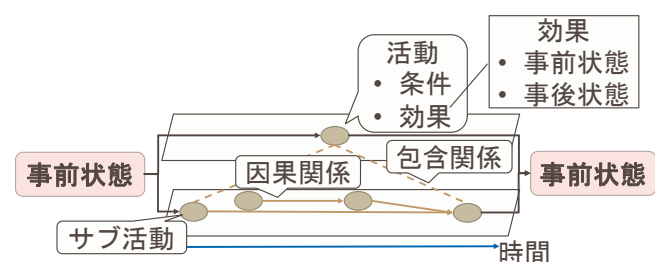


図2 活動モデルの模式図

2.2 活動の分析

活動の分析とは、活動モデルの要素に沿って活動を捉えることである。そのためにはまず、活動モデルの要素を導出し、その後導出したサブ活動が活動のサブ活動として妥当であるかを検証する必要がある。

サブ活動の要素は、活動している場面を具体的に思い出し、活動している際に実施している個々の動作をサブ活動として抽出すると同時に、それらがもたらす状態変化を特定する。このとき、実際の場面を思い出すことができなければ、サブ活動を導出することができず、また活動を導出できたとしても状態変化を同定することができない。

サブ活動の妥当性の検証では、サブ活動群全体の事前・事後状態を同定し、それを活動の事前・事後状態と比較する。このとき、妥当なサブ活動の条件を知っていたとしても、個々のサブ活動の事前・事後状態からサブ活動群全体の事前・事後状態を同定する方法を知らなければ、正しく検証することができない。

2.3 システム構成図

本研究では、活動のイメージを持ってないユーザや、妥当なサブ活動群を導出するための手法がわからないユーザの活動の分析を支援するためのシステムを構築する。活動の具体的なイメージの想起を促すためには、活動だけを考えるのではなく、活動が実際に行われる場面を思い描くことが有効である。そこで、場면을構成する要素をユーザに提示し、それらを考えさせて場面を具体化させることで、具体的な活動の想起を促進する。妥当なサブ活動が導出できないユーザに対しては、分析の状態に応じて適切な操作を指示することで、具体的な操作を促す。

システムの構成図を図3に示す。活動分析支援システムは活動の要素を導出するためのインタフェースと分析状態の判定のための妥当性判定機能、そして行き詰まった際に操作を推薦する分析操作推薦機能によって構成される。サブ活動が妥当であるためには、すべてのサブ活動の事前状態と事後状態が導出されていること、サブ活動間が因果関係で接続されていること、そして、サブ活動群全体の効果が元の活動の効果と一致している必要がある。妥当性判定機能はそれら個々の条件を判定するため、全てのサブ活動の候補に効果

があるかどうかを判定する効果充足判定機能、サブ活動間に因果関係の繋がりがあるかどうかを判定する一貫性判定機能、サブ活動の候補全体の効果と元の活動の効果が一致しているかどうかを判定する整合性判定機能で構成される。

システムとユーザのインタラクションを説明する。ユーザは分析したい活動とサブ活動の候補、活動・サブ活動の候補の効果をインタフェースに入力する。ユーザがサブ活動の妥当性の判定を要求すると、妥当性判定機能はユーザの入力したサブ活動の候補が妥当かどうかを判定し、妥当でない理由を提示する。ユーザが具体的な操作の推薦を要求した場合は、妥当性判定機能で現在の分析状況を判定し、判定結果を基にユーザに実施すべき操作を推薦する。

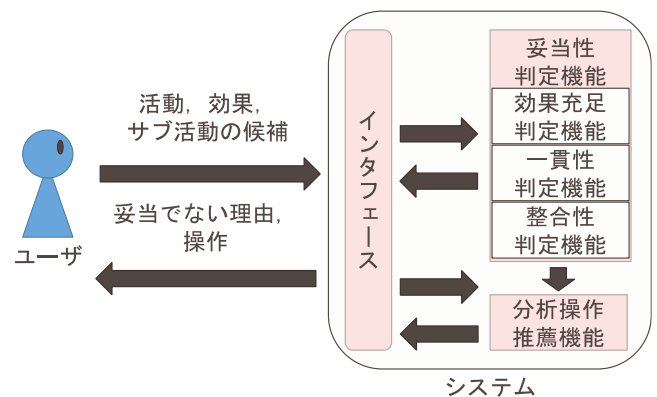


図3 システム構成図

3. 活動分析支援システム

3.1 インタフェース

インタフェースでは、活動を実施する状況を具体的に考えさせることでサブ活動の候補の想起を支援する。活動は、主体が対象に対して何らかの働きかけをするものであるため、主体や対象、働きかける方法を具体的に考えることは活動の具体化につながる。また、活動はある時空間で実施されるため、時間や空間を考えることで、主体や対象、働きかける方法の具体化を促進する。本インタフェースは、活動やサブ活動に対し、主体、対象、道具に加え、場所、時間を入力できる場を提供することで、活動の具体化を支援する。

3.2 妥当性判定機能

妥当性判定機能はユーザが導出したサブ活動系列の候補がサブ活動の系列になりうるかを判定する機能で

ある。サブ活動の系列は元の活動の代替であるため、活動が効果を持ち、因果関係で接続された系列全体が一連の活動を表現していることと、サブ活動系列全体が引き起こす状態変化が元となる活動の状態変化と一致することが必要である。妥当性判定機能はこれら 3 つの条件をそれぞれ判定する効果充足判定機能、一貫性判定機能、整合性判定機能を保持している。ユーザが入力したサブ活動系列の候補に対して、効果充足判定機能、一貫性判定機能、整合性判定機能の順に判定をする。その後、妥当性の有無と妥当でない場合はどの判定が失敗したかを出力する。

効果充足判定機能は、ユーザが入力した全ての活動、サブ活動の候補に対して効果が入力されているかどうかを確認する。一貫性判定機能は、入力されたサブ活動系列の候補が因果関係を持つ一連の活動を表現できているかを判定する。よって、入力されたサブ活動系列の候補に対して、系列中の最後の活動以外の全ての活動を原因とする因果関係がそれぞれ存在するかどうかを確認する。

整合性判定機能は、サブ活動系列の候補が元の活動と同様の状態変化を引き起こすことを確認するために、サブ活動系列の候補と元の活動の事前状態、事後状態が等しいかを判断する。サブ活動系列の候補を構成する個々のサブ活動候補の事前状態のうち、それ以前のサブ活動候補によって引き起こされたものは活動の中で変化した状態だと捉えられ、全体の事前状態、事後状態とはならない。また、系列全体の事前状態、事後状態の中に同じ状態が含まれていた場合、サブ活動系列によって変化しない状態と捉えることができる。そこで、全てのサブ活動候補の事前状態と事後状態の集合からこれらの状態を除外したものをサブ活動系列の候補の事前状態、事後状態とし、元の活動の事前状態、事後状態と比較することでサブ活動系列の候補が元の活動と同様の状態変化を引き起こすかどうか判定する。

整合性判定機能の判定過程を説明する。まず、サブ活動系列の候補全体の事前状態、事後状態を格納するリストと除外する状態を格納するリストを用意する。サブ活動系列の候補に含まれる全ての事前状態、事後状態を時系列順に確認し、あるサブ活動候補の事後状態がそれ以降に実施されるサブ活動候補の事前状態になっていた場合、その状態を除外リストに追加する。

次に、除外リストに含まれない全ての事前状態、事後状態を全体の事前状態、事後状態リストにそれぞれ入れる。次に 2 つのリストを比較し、一致する状態があった場合、その状態を両方のリストから削除する。最後に完成した全体の事前状態、事後状態リストを元の活動の事前状態、事後状態と比較し、一致しているかどうかによって整合性の有無を判定する。

生成された全体の事前状態、事後状態のリストの具体例を図 4 に示す。サブ活動系列の候補として「聴衆の緊張感無し→聴衆の緊張感有り」という効果を持った「指示棒で指し示す」、「聴衆の理解無し→聴衆の理解有り」という効果を持った「内容を説明する」、「聴衆の緊張感有り→聴衆の緊張感無し」という効果を持った「雑談する」という活動が入力されていたとする。まず、系列中のサブ活動の候補の事前状態、事後状態を順に確認していった際、「指示棒で指し示す」の事後状態と「雑談する」の事前状態が一致していることが分かる。よって、重複している状態である「緊張感有り」を除いた全ての事前状態、事後状態が系列全体の事前状態、事後状態リストに追加される。次に系列全体の事前状態、事後状態リストを比較すると「緊張感無し」という状態が両方のリストに存在していることが分かる。よって、両方のリストから「緊張感無し」を消去する。これにより全体の事前状態「聴衆の理解無し」、全体の事後状態「聴衆の理解有り」が得られる。



図 4 生成された全体の事前・事後状態のリストの例

3.3 分析操作推薦機能

分析操作推薦機能はユーザが活動の分析に行き詰まった際に、次にすべき操作を推薦する。行き詰まりを解消できる操作は、その時点の分析の状況に応じて異なる。効果が充足していない場合は効果を入力することで解決できる。サブ活動系列の候補に一貫性がない場合には、条件を追加することで新たに因果関係が繋がる部分ができる可能性があるため、条件の入力が解決できるための操作の候補となる。活動とサブ活動

系列の候補に整合性がない場合は、効果・条件が十分に入力された既存の系列では元の活動と同様の効果にならないので、新たにサブ活動候補を想起することによって解決できる可能性が高い。したがって、効果が充足していない場合は効果の入力を、サブ活動系列の候補に一貫性がない場合には条件の入力を、活動とサブ活動系列の候補に整合性がない場合は新たなサブ活動の入力を促す。

分析操作推薦機能は推薦した操作が実施されずに、同じ状態で再度操作の推薦を要求された場合、推薦した操作では状態を解消できなかったと判断し、異なる操作を推薦する。活動の分析はサブ活動候補の想起、効果の入力、条件の入力の順に段階的に実施される。よって、異なる操作を推薦する場合は、前の段階の操作を推薦する。例えば、条件の入力を推薦したが実施されなかった場合には、条件の入力の前の段階である効果の入力を推薦する。また、サブ活動候補の想起を実施できない際には、サブ活動候補の想起を促進するために活動の状況を考えるよう促す。

4. プロトタイプ・システム

図5にシステムのインタフェースを示す。インタフェースは、活動表示エリアと操作実行エリアの2つで構成される。活動表示エリアにはユーザによって入力された活動やサブ活動の候補が時系列順に表示される。

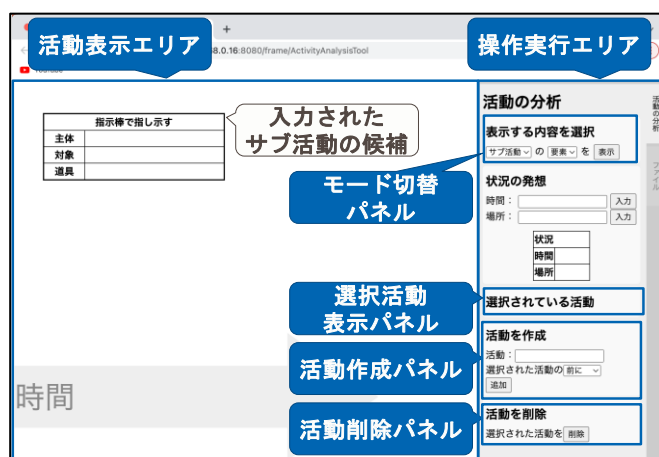


図5 システムのインタフェース

操作実行エリアは活動の分析が実行可能なエリアである。本エリアはモード切替パネルでモードを切り替えられるようになっている。モードにはサブ活動の候補を発想する活動想起モードと、効果・条件を入力し

て活動間の因果関係を確認できる効果入力モードがある。選択されているモードによってエリア内に表示される内容が変化する。

活動想起モードでは、ユーザが想起したサブ活動が入力できるようになっている。活動作成パネルに想起したサブ活動候補の名称を入力し、活動表示エリアからサブ活動の前、または後に来る既出のサブ活動の候補を選択して追加ボタンを押すことで、サブ活動の候補を入力することができる。入力されたサブ活動の候補は、状況の要素を行に持つ表の形式で描画される。一番前、もしくは一番後ろのサブ活動を指定する場合は、サブ活動を選択せずに、前、もしくは後ろのみを指示する。入力したサブ活動の候補を削除したい場合は削除したい活動を活動表示エリアから選択し、活動削除パネル内の削除ボタンを押すことで削除できる。

活動表示エリアに表示された活動をクリックすることで、その活動を選択状態にすることができる。選択された活動は選択活動表示パネルに表示され、操作実行パネルに活動内容入力パネルが出現する。活動内容入力パネルが表示された状態のインタフェースの例を図6に示す。活動内容入力欄ではサブ活動の想起を促進するための主体、対象、道具の入力ができるようになっている。入力された内容は活動表示欄に存在するサブ活動の候補の表に反映される。また、状況発想パネルではサブ活動の候補を想起するための時間、場所が入力できるようになっている。時間、場所が入力された場合、状況発想パネル内の表に内容が反映される。

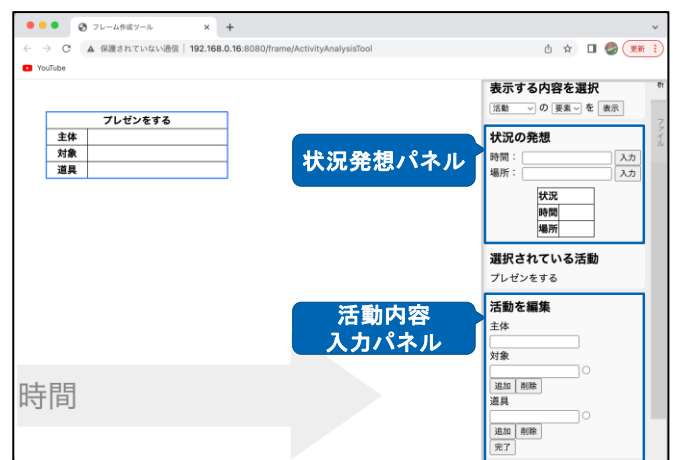


図6 活動内容入力パネルが表示された状態

効果入力モードでは、入力した活動に対する効果を入力できる。効果入力モードのインタフェースを図7に示す。効果入力モードでは活動またはサブ活動の候

補が選択されている場合、操作実行エリア上に条件入力パネルと効果入力パネルが表示される。

条件入力パネルでは活動が実施可能な条件を、効果入力パネルでは活動の効果を入力できるようになっている。条件と効果が入力されると、入力内容が活動表示エリア上のサブ活動の候補の表に反映される。サブ活動の候補の条件・効果が入力されると、インタフェースは入力された効果を基に、他のサブ活動の候補との因果関係の有無を判定し、因果関係があると判断される2つのサブ活動の候補間全てに因果関係を表す弧を描画する。

分析支援パネルは、導出したサブ活動の候補が妥当かどうかのフィードバックを求めるボタンと、導出に行き詰まった際に次にすべき操作の推薦を要求するボタンによって構成される。フィードバックを求めるボタンが押されると、妥当だと判断された場合は妥当であることを伝えるメッセージが表示される。そうでない場合は、妥当でない理由が表示される。操作の推薦では、次にすべき操作を伝えるメッセージが表示される。

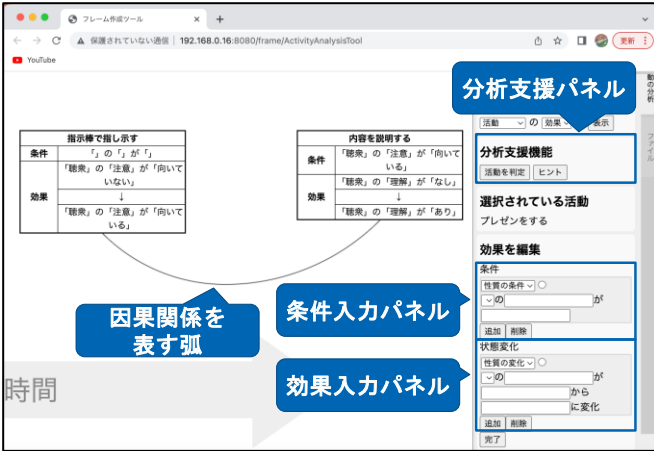


図7 効果入力モードのインタフェース

5. 評価実験

5.1 実験内容

本研究で提案した活動分析手法とシステムの有効性を評価するために以下の項目について評価する。

- i) 活動モデルの妥当性
- ii) インタフェースのサブ活動の候補想起に対する有効性
- iii) 分析操作推薦機能による操作推薦の行き詰まり

解消に対する有効性

iv) 提案システム全体の活動分析に対する有効性

実験協力者は大学生、大学院生(A~F)の6名である。

図8に実験手順の概要を示す。活動モデルと活動分析手法の説明(ステップ1)の後、実験協力者には、分析する活動を決めてもらい、システムを用いずに提案する活動分析手法を用いて活動の分析をしてもらった(ステップ2)。分析にはマインドマップを作成できるツールを使用した。ステップ3では、ステップ2で活動の分析が実施できなかった協力者に同様の活動をシステムを用いて分析してもらった。その後、活動分析方法とシステムに関するアンケートに回答してもらった(ステップ4)。

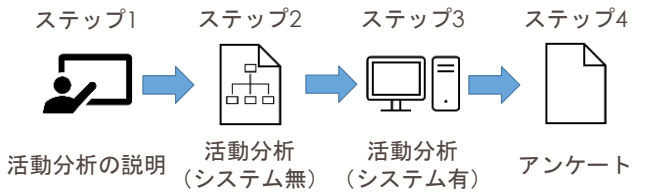


図8 実験の手順

アンケートの質問項目を表1に示す。評価項目iを評価するため、因果関係の表現が妥当かどうかと、提案手法による分析結果が納得のいくものであったかを確かめるための質問項目1,2を用意した。質問項目1,2ともに1(全く納得できない)~4(とても納得できる)の4段階で回答してもらった。

表1 アンケートの質問項目

質問項目
1. 状態変化による因果関係の表現にはどの程度納得できましたか？
2. 分析によって導出したサブ活動には納得していますか？

評価項目iiはシステム使用前後でのサブ活動候補の数の差分から評価する。評価項目iiiは分析操作推薦機能の使用後に推薦された操作が実施されていたかどうかから評価する。評価項目ivはシステム無しで妥当性のあるサブ活動候補の系列を導出できなかった協力者が、システムの使用により妥当性のあるサブ活動候補の系列を導出できたかどうかで評価する。

5.2 実験結果と考察

表2に協力者が分析した活動を示す．表3に活動モデルにおける因果関係の表現に対する納得度(アンケートの質問項目1)と活動モデルに沿った分析により導出された活動への納得度(アンケートの質問項目2)を示す．表4に実験協力者がシステムの使用前後で分析できたかどうかを示す．Yができた，Nができていないを表している．また，システム使用前後のサブ活動候補の数の差分を表5に，分析操作推薦機能の使用回数を表6に示す．

表2 分析対象の活動

協力者	活動
A	支援が必要な子どもとコミュニケーションをとる
B	やるべきことを余裕をもって終わらせる
C	料理
D	勉強
E	塾の数学の授業の実施
F	複数コミュニティの活動におけるスケジュール調整

表3 因果関係と分析結果への納得度

協力者	A	B	C	D	E	F
因果関係の納得度	3	3	2	3	4	4
分析結果の納得度	4	4	-	2	4	3

表4 活動の分析ができていたかどうか

協力者	A	B	C	D	E	F
システム無し	N	N	N	N	N	Y
システム有り	Y	Y	Y	Y	Y	-

表5 システム使用前後のサブ活動候補の数

協力者	A	B	C	D	E	F
サブ活動候補の数の差分	0	-2	2	0	0	-

表6 分析操作推薦機能の使用回数

協力者	A	B	C	D	E	F
分析操作推薦機能の使用回数	0	6	4	2	0	-

評価項目 i について評価する．表3から，活動モデルによる因果関係の表現に納得できたかという問いに対して，6名中5名が「納得できた」を表す3，もしくは4と回答していた．また，活動モデルに基づいた分析によって導出された結果に納得しているかという問いに対しても，因果関係に納得しなかったCを除いた5名中4名が「納得できた」を表す3，もしくは4と回答していた．活動モデルの因果関係の表現が実験協力者にとって概ね納得のいくものであったこと，活動モデルに基づいて実験協力者が分析の対象とした活動が表現可能であったことから提案する活動モデルは妥当であったことが示唆される．

評価項目 ii については，表5よりシステムの使用によってサブ活動の候補の数が増加したのはCのみであった．このことから，システムを使用した際にサブ活動を想起するという操作がほとんど実施されなかったことが明らかとなった．システムの使用によりサブ活動の候補を想起していたCは「道具」が想起の手助けになったと述べていた．このことは，活動が実施される状況を考えることでサブ活動の候補が想起できた事例があったことを示しているが，状況を考えることがサブ活動の候補の想起に寄与するという結果は得られなかった．

評価項目 iii について，表6より分析操作推薦機能を使用したのはB，C，Dの3名だった．C，Dは妥当性判定機能によってサブ活動の候補の系列に因果関係が繋がっていない箇所が存在することを伝えられ，条件を考え直すことを促すメッセージが表示された後に再び分析操作推薦機能を使用した．この時，分析操作推薦機能は，再び操作の推薦を要求されたことから，最初のメッセージでは修正できなかったと判断し，効果を入力することを促すメッセージを表示した．C，Dは効果の入力が促された後，実際には最初のメッセージで指示されたように条件を修正することによって因果関係の繋がった系列を得ることができた．このことから，分析操作推薦機能が推薦する操作は妥当であったが，提示するメッセージが推薦する操作を分析者に実行させることを十分に促せていないことが示唆された．

評価項目 iv について評価する．表4より，システムを使用せずに分析が実施できたFを除いた5名全員がシステムの使用により分析ができていた．このことは，

システムを使用することで活動の分析ができるようになることを示唆している。評価項目 ii, iii の結果よりサブ活動の候補を想起することや、操作を推薦することが活動の分析を促進することに寄与していないことを考慮すると、妥当性の判定により妥当であると判定されるまで分析を繰り返し行ったことが活動の分析に有効であったと考えられる。

6. おわりに

本稿では活動の分析を支援するために、活動モデルと活動分析支援システムを提案した。活動分析支援システムは、サブ活動の候補を連想的に想起することを支援するために活動に関する状況の要素を考えさせるフレームを提供するインタフェースと、導出したサブ活動系列の候補が活動の説明として妥当であるかどうかを判定する妥当性判定機能、そしてユーザの行き詰まりの状態を推定し、分析に行き詰まった際にすべき操作を推薦する分析操作推薦機能を保持する。システムを用いて活動分析を実施してもらった結果、活動モデルの妥当性とシステムを使用することによる活動分析に対する有効性が示唆された。しかし、活動の状況を考えさせるフレームを提供することでサブ活動候補の想起を支援するインタフェースや、分析操作推薦機能の効果は見られなかった。

実験結果から、分析操作推薦機能により推薦された操作を分析者が実施できない可能性があることが分かった。現在の分析操作推薦機能は操作の種類を伝えるのみとなっており、現時点で導出されているサブ活動やその効果のどの部分を対象に操作を実行すべきかまでは示していない。そのため分析者はどこに操作を適用すべきかがわからなかった可能性がある。操作を適用する対象を指示することで、分析者がすべき操作を理解しやすくなると考えられる。よって、操作の種類だけではなく、推薦する操作をどのサブ活動候補に対して行うべきかという、より具体性のある指示が出るようシステムを改良する必要がある。

参 考 文 献

- (1) J. Harich, M. K. Rosas, "Process-driven Problem Solving with Root Cause Analysis: Adapting Powerful Business Tools to Fit The Sustainability Problem,"

- Proceeding of Earth System Governance Conference, pp. 1-25, 2020.
- (2) 中村恵一, 鈴木智, 橋浦弘明, 八重樫理人, 古宮誠一, "KT 法の導入によるグループ問題解決支援システムー適用実験によるコーディネータ支援機能の有効性確認," 情報処理学会論文誌, Vol. 46, No. 1, pp. 127-137, 2005.
 - (3) 小林誉明, "「国際開発政策論」の意義とその継承・発展に向けての課題ー政策分析ツールとしての「基本枠組み」ー," 国際開発研究, Vol. 27, No. 1, pp. 35-49, 2018.
 - (4) H. Avdiji, D. Elkan, S. Missonier, Y. Pigneur, "Designing Tools for Collectively Solving Ill-Structured Problems," Proceeding of the 51st Hawaii International Conference on System Sciences, pp. 400-409, 2018.
 - (5) 大野健彦, 齋藤耕介, 宮本勝, 加藤洋一, "構造化されていない問題空間における問題解決支援: ホームネットワークにおける故障診断を題材として," 情報処理学会技術研究報告, Vol. 134, No. 7, pp. 1-8, 2009.
 - (6) O. Shigo, K. Yokoyama, "A State Machine Analysis Support System Based on the Problem Frames," Proceeding of 18th Asia-Pacific Software Engineering Conference, pp. 373-380, 2011.
 - (7) N. Mori, Y. Hayashi, K. Seta, "Ontology-based Thought Organization Support System to Prompt Readiness of Intention Sharing and Its Long-term Practice," The Journal of Information and Systems in Education, Vol. 18, No. 1, pp. 27-39, 2019.

インタラクティブロボット講義における 注意・理解リカバリの有効性評価

島崎俊介^{*1}, 柏原昭博^{*1}

^{*1} 電気通信大学 大学院情報理工学研究科 情報学専攻

Evaluating Recovery of Learners' Attention and Understanding in Interactive Robot Lecture

Toshiyuki Shimazaki^{*1}, Akihiro Kashiara^{*1}

^{*1} Graduate School of Informatics and Engineering, The University of Electro-Communications

本研究では、人間講師の講義を再現・再構成するロボット講義をベースに、受講者の講義に対する注意及び理解を受講状況に応じてインタラクティブにリカバリするインタラクティブロボット講義システムを開発し、長時間の講義を対象とした評価実験を実施した。その結果、被験者の受講状態が良好で注意リカバリは起動しなかったが、被験者が難しいと感じた講義コンテンツの理解度テストにおいては、ロボットによるインタラクションやチャットボット機能による理解リカバリの有効性が確認された。

キーワード: インタラクティブロボット講義, 状態推定, 注意・理解リカバリ, チャットボット

1. はじめに

近年、先進的学習支援分野において学習支援ロボット研究が増えてきている。学習支援メディアとしての学習支援ロボットの優位性として、擬人化傾向と身体性が挙げられる¹⁾。これらは、既存の学習支援メディアには存在せず、学習者とのパートナー性によってエンゲージメントの促進が期待できる^{2,3)}。現在のロボットは、技術的制約も存在するが、AI技術の進歩や安価になることで、より学習者とのインタラクションの種類が豊富になり今後発展する分野であると確信する。

筆者らは、将来的な1人1台学習パートナーロボット時代の到来を目指した学習支援ロボット研究の1つとして、インタラクティブロボット講義研究を進めている^{3,4,5,6,7,8,9)}。講義に関する先進的学習支援研究の大半は、eラーニングやオンライン講義を題材とした講師から学習者への一方向的学習であり、何時どこでも学べる利点もあるが、学習者が孤立し、講義の理解に追従できない可能性が存在する。そこで、学習支援ロボットが人間講師の講義を代行することで、人間講師が不在でも孤立せずに学習させることができる。更に、

センシングデータに基づく学習者状態推定や、受講状態に応じた適応的なインタラクションが期待できる。将来的には、人間講師による対面講義、オンライン講義に加え、インタラクティブロボット講義という新たな選択肢が増える点でもインパクトがある。

講義では、通常長時間に及ぶほど講義に対する学習者の注意を制御すること（以下、注意制御）や、理解状態を把握しながら、インタラクティブに進めることが重要となる。しかしながら、熟達した人間講師でもそれらを遂行することは容易ではない。筆者らは、これまで人間講師の講義に関わる非言語動作（以下、講義動作）をロボットが再現するとともにモデルベースに不十分な動作を再構成するロボット講義を提案した。そして、短時間の講義において講義動作を再構成したロボット講義が、再構成なしのロボット講義よりも注意や理解を促進することを実証した⁴⁾。

一方、この研究では、学習者の受講状態を考慮していないため、講義が長くなるほど学習者の注意が外れ、講義に追従できず理解できない可能性がある。そこで学習者の受講状態を推定し、講義動作やマルチメディ

アを用いたインタラク션을を制御することで、注意維持支援を行うインタラクティブロボット講義システムを開発した^{5,6,7,8)}。このシステムでは、人間講師の講義の再現性を高めるため、SoftBank Robotics 社製のヒューマノイドロボットの NAO を用いており、学習者に近づくウォークが可能となっており、学習者の注意維持支援に効果的であることを確認している^{6,7,8)}。同時に、Kinect による学習者の受講状態を集中・非集中の 2 状態で推定しており、集中状態であっても学習者の理解がどの程度かを把握するのが困難であった。そこで、学習者の注意回復（以下、注意リカバリ）と理解回復（以下、理解リカバリ）を行うアルゴリズムと Kinect による状態推定に加え、講義内容の重要箇所や関係を問うチャットボット機能を具備した新たなインタラクティブロボット講義システムを開発した⁹⁾。

本稿では、本システムによる注意・理解リカバリの有効性を評価するために実施したケーススタディについて述べる。以下、2 章では、インタラクティブロボット講義システムに関する関連研究とモデル、本研究の新規性、システムの枠組みを述べ、3 章では注意・理解リカバリアルゴリズムと適応的テスト問題生成手法を示す。4 章では、システムを用いたケーススタディの結果と考察を示し、5 章では今後の課題を述べる。

2. インタラクティブロボット講義システム

2.1 関連研究と本研究の新規性

ロボット講義の関連研究の多くは、筆者らの研究アプローチである人間講師の代講とは異なるシステムを開発している。具体的には、講義ロボットが受講者に問題を回答させ^{10,11)}、学習者とのインタラク션을を試みており、多肢選択問題出題が長時間の講義において受講者の集中力の向上に一定の成果が見られた研究¹¹⁾や、一定時間以上システムを利用した被験者が特定の単位において理解度を有意に向上させる効果を示した研究がある¹²⁾。これらの関連研究では、事前に用意された講義シナリオに基づいて学習支援ロボットが講義を実施するが、人間講師の講義動作を再現するために講義シナリオを構成することは意図されておらず、また学習者の受講状態の推定やそれに基づく講義動作制御や学習者の注意・理解リカバリは意図されていない。

本研究の新規性は、人間講師の個性を活かし、講義動作やスタイルを反映することを意図して、ロボットが講義を代行する点にある。そのために、講師の講義を収録して、ロボットが再現するとともに不十分・不適切な講義動作をモデルベースに再構成する。そして、ロボット講義に対する学習者の受講状態をリアルタイムで推定し、適応的に学習者の注意・理解リカバリを行う。これらは、関連研究にはない斬新な点である。

2.2 講義シナリオ

本研究における講義シナリオとは、講義における複数の切れ目(セグメント)を含む講義スライドの系列、人間講師による講義意図、講義スライド毎の非言語動作・パラ言語・スライド内問題、セグメント内のスライド間問題から構成されている。講義意図は、人間講師がどのように講義を行うかを意図したものであり、講義毎に 1 つ固定するものとする。スライド内問題とは、特定のスライドにおける重要箇所を問う問題であり、スライド間問題とは、複数のスライドの関係性を問う問題である。これらの問題は、講義シナリオ作成時に予め人間講師が作成すること前提とし、各講義スライドで重要なキーワードを問う問題を想定している。

2.3 講義動作モデル

講義動作は、講義意図に応じて実施される。講師は、講義準備する際、学習者の状態を仮定し、講義意図に基づいて講義スライド毎に学習者の注意・理解を促す際にどのような講義動作を用いるか、どうオーラルとして説明するのかを表す講義シナリオを組み立てる。なお、筆者らは講義意図から適切な非言語動作を導き出す講義動作モデル(図 1)をデザインし⁹⁾、モデルベースにロボット講義の講義シナリオを組み立てている。

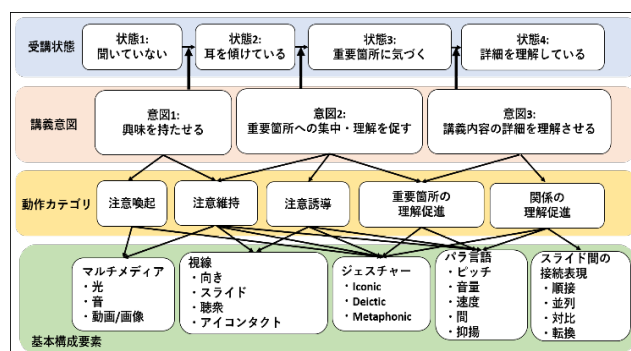


図 1 講義動作モデル

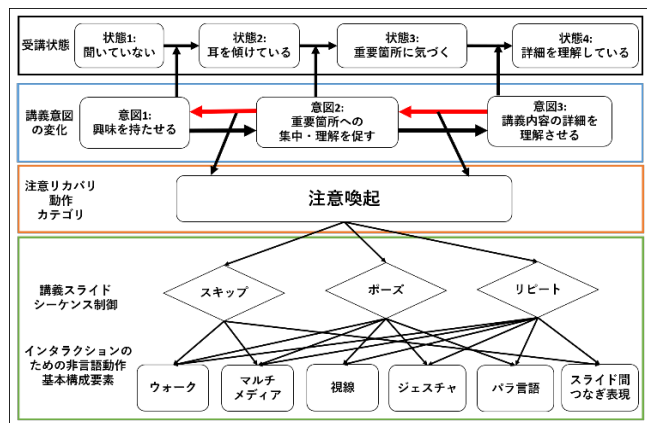


図 2 シナリオ制御モデル

2.4 シナリオ制御モデル

ロボット講義では、ロボットが学習者の受講状態に応じて講義スライドの説明順序を変更し、学習者の注意や理解を回復するためのインタラクションを行う。特に、長時間の講義ほど、学習者に応じた講義シナリオの適応的な制御が必須である。そこで筆者らは、学習者の状態に応じた注意・理解リカバリを実現するためのシナリオ制御モデル(図 2)をデザインした⁹⁾。

本モデルの目的は、講義スライドのシーケンスを制御することで、学習者のロボット講義受講に対する注意制御を行うことにある。そのために、学習者の受講状態、講師の講義意図の変化、講義スライドシーケンス制御、注意リカバリ動作カテゴリ、インタラクションのための非言語動作基本構成要素の 5 層からなっており、学習者の受講状態の推定をトリガーとして、講義シナリオの再構成を行う。受講状態は、講義動作モデルと同様に、状態 1 から 4 の 4 状態で構成される。

2.5 枠組み

図 3 にインタラクティブロボット講義システムの枠組みを示す。

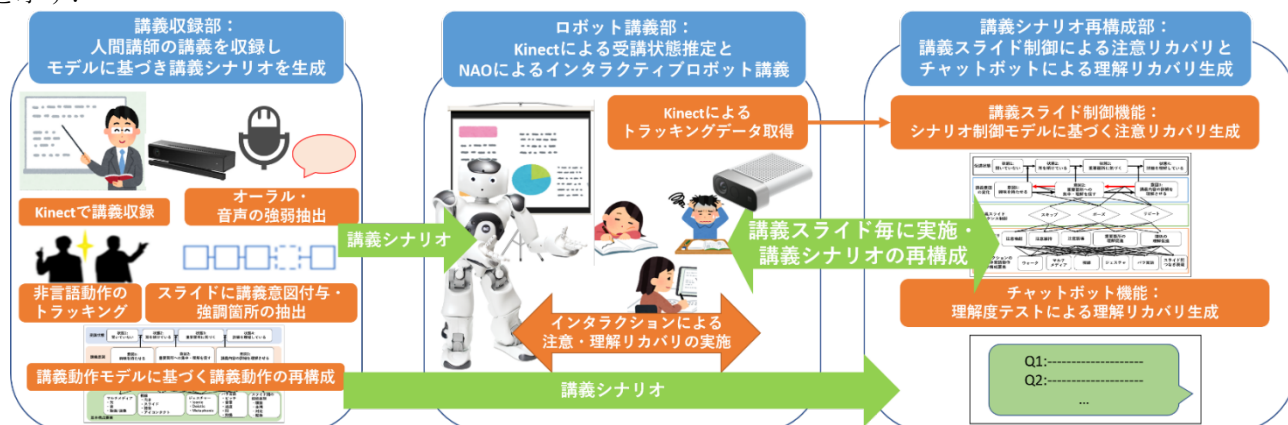


図 3 インタラクティブロボット講義システムの枠組み

本システムは、講義シナリオを生成する講義収録部、講義スライド毎に生成された講義シナリオを用いて状態推定と NAO が講義・注意・理解リカバリを実施するロボット講義部、受講状態に応じて注意・理解リカバリのための講義動作やインタラクションを生成する講義シナリオ再構成部の 3 つから構成されている⁹⁾。

講義収録部は、人間講師が行う講義を Microsoft 社の Kinect v2 で収録、もしくは既に収録された講義動画と、講義スライドを用いて講義シナリオを生成する。

ロボット講義部では、Kinect で得られるトラッキングデータを用いて、学習者の姿勢や受講態度に基づく受講状態推定を行う。具体的には、顔(目・耳)、首、右腕、左腕のトラッキングデータを取得し、姿勢推定ライブラリである OpenPose の信頼度に基づき、講義スライド毎に状態推定を行っている。

講義シナリオ再構成部では、講義スライドシーケンス制御としてロボット講義部の Kinect のトラッキングデータに基づき、学習者の受講状態が想定された状態と異なる場合、講義スライドシーケンス制御を行い、注意リカバリのためのインタラクションを生成する。チャットボット機能(図 4)では、理解リカバリを行う。チャットボットが提示するテスト問題は、スライドごとに予め人間講師が用意する。注意リカバリ及びチャットボットが起動するタイミングは、次章で述べる。

図 4 チャットボット機能のスクリーンショット

3. 注意・理解リカバリアルゴリズム

3.1 注意・理解リカバリのフローチャート

インタラクティブロボット講義における注意・理解リカバリは、図5のフローチャートに基づき実施される。本研究では現在のところ、学習者の受講状態を状態2: (耳を傾けている)、講義意図を意図2: (重要箇所への理解・集中を促す) として状態3へ移行させる講義を想定している。

3.2 注意リカバリ

注意リカバリは、学習者の受講状態が状態1: (聞いていない) 場合をトリガーとして起動される。図5の赤枠の通り、シナリオ制御モデルに基づき、講義スライドの説明を中断し、図6の通りウォークで学習者に近づくことで、講義への注意を向ける注意喚起を行う。その後、ロボットは学習者に講義スライドをもう一度説明するか問いかね、学習者は説明要否を選択できる。学習者が説明を要するとした場合、ウォークとマルチメディアによる注意喚起実施後、ロボットは1回限定で、誇張して講義スライドの説明をリピートすることで、受講状態が初期状態の状態2に回復したとみなし、意図2での講義を再開して、注意リカバリが完了する。

なお注意リカバリから理解リカバリへ遷移する条件は、予め人間講師が講義シナリオ作成時に意図した、同一セグメント内での注意リカバリの回数 n をタイミングとし、 n 回目の注意リカバリが後述のチャットボット機能の起動するトリガーとなる。

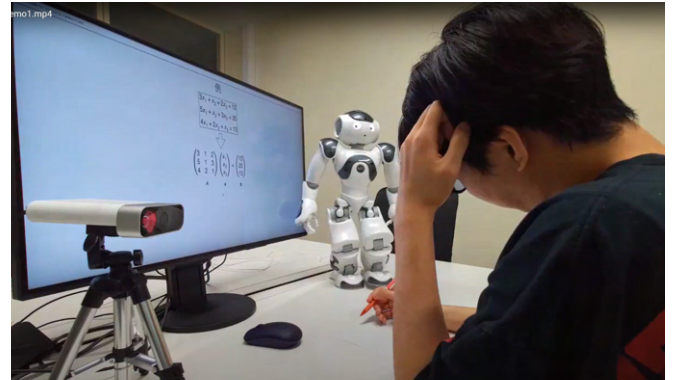


図6 NAOのウォークによる注意リカバリの例

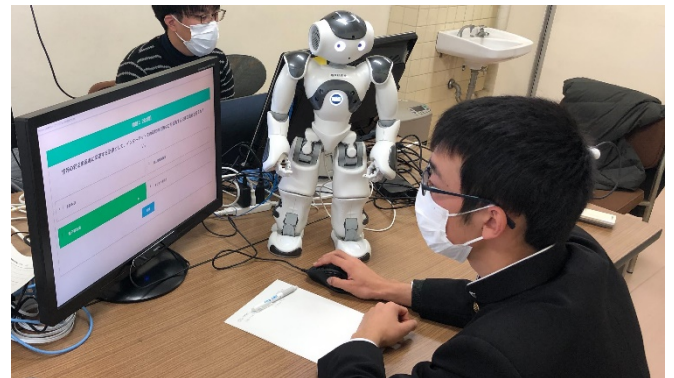


図7 チャットボット機能による理解リカバリの例

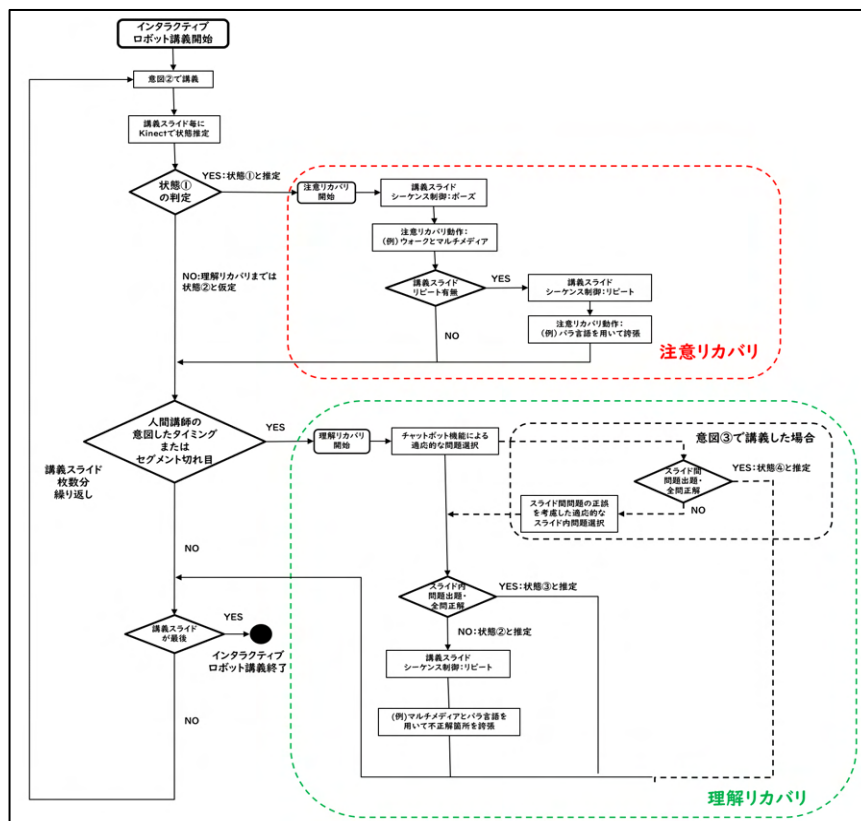


図5 注意・理解リカバリアルゴリズム

3.3 理解リカバリ

理解リカバリは、受講状態が状態 1 ではない、かつ、注意リカバリの回数 n 、または、講義スライドのセグメントをトリガーとして、図 5 の緑枠の通り、チャットボット機能が起動される(図 7)。チャットボット機能によるテスト問題は、4 択の選択式問題で与えられ、スライド内問題とスライド間問題の 2 種類を用意する。本研究では、スライド内問題を状態 3: (重要箇所気づく) の推定に用いており、全問正解すると状態 3 と推定する。またスライド間問題を状態 4: (詳細を理解する) の推定に用いており、全問正解すると状態 4 と推定する。詳細は文献 9) に譲る。

4. ケーススタディ

4.1 目的と仮説

インタラクティブロボット講義が、注意・理解リカバリ支援に有効かどうかを検証するために、以下の仮説を検証するケーススタディを実施した。

H1: 講義スライドシーケンス制御による注意喚起のインタラクションは、長時間の講義における注意リカバリに有効である。

H2: チャットボットによる理解度推定は、長時間の講義における理解リカバリに有効である。

H1 を検討する評価指標として、学習者とロボットとのインタラクション回数、受講後アンケート、全体アンケートによる主観的評価を行った。

H2 を検証する評価指標として、受講後の理解度テストを用いた客観的評価と、受講後アンケート、全体アンケートによる主観的評価を行った。

4.2 実験方法

実験は、表 1 の被験者内計画で行った。被験者は、公立高校 1 年生 8 名であり、講義は情報科を題材とし、高校教員による講義を予め収録した 30 分程度のコンテンツ(情報社会における法:以下、情報社会)と(ネットワークのしくみ:以下、ネットワーク)を用意した。実験では、被験者を二群に分け、受講順序を考慮し、インタラクティブに注意・理解リカバリを行うインタラクティブロボット講義条件(IL 条件)と、ロボット講義条件(NL 条件)の 2 条件で実施した。被験者には、任意で講義中に講義メモを記入することを許可した。

なお、IL 条件と NL 条件の両方とも、次節で述べる推定率算出のため Kinect による状態推定データを取得し、IL 条件のみ注意・理解リカバリに用いた。

受講後は講義メモを回収し、被験者は講義毎に、スライド内問題 10 問・スライド間問題 5 問、計 15 問の理解度テスト(選択式問題 8 問 1 点・記述式問題 7 問 2 点の計 22 点満点)、7 段階リッカー尺度による受講後アンケート(表 2)、に回答し、最後に二者択一による全体アンケート(表 3)に回答した。理解度テストは、チャットボット機能と異なる問題を用意した。アンケート項目は、HRI 分野における主観評価の心理尺度として提案されている GodSpeed Questionnaire を参考に作成した。今回のケーススタディでは、図 5 に基づき、学習者の受講状態を状態 2、講義意図を意図 2 でロボット講義を用意した。チャットボット機能のトリガーとして、注意リカバリの回数 $n=2$ とした。

表 1 グループとロボット講義の受講順序

グループ	ロボット講義の受講順序	
	情報社会における法	ネットワークのしくみ
A(4 名)	IL 条件	NL 条件
B(4 名)	NL 条件	IL 条件

表 2 受講後アンケート項目

1. 全体的に講義内容が分かりやすかった
2. スライドへ注意を向けるタイミングが分かりやすかった
3. スライド中の重要な箇所が分かりやすかった
4. 飽きずに集中して講義を聞くことができた
5. 興味深く講義を聞き続けることができると感じた
6. 講義へついていきやすいと感じた
7. 人間の講師による講義の進行に近いと感じた
8. ロボットと視線があっているように感じた
9. ロボットが家庭教師のように感じた
10. ロボットによる講義は私の学びに合うと感じた
11. ロボットによる講義は親しみやすいと感じた
12. ロボットによる講義は愉快だと感じた
13. もう一度このシステムで学習したいと思った
14. ロボットが講義をすることで好奇心をそそられた
15. 講義内容がやさしかった
16. 講義内容に対して事前知識があった
17. ロボットの声に抵抗感がなかった

表 3 全体アンケート項目

1. 全体的に講義内容が分かりやすいと感じた
2. 全体的に注意が維持あるいは高まったと感じた
3. スライドに注意を向けるタイミングが分かりやすいと感じた
4. スライド中の重要な箇所が分かりやすいと感じた
5. 集中して講義を聞きやすいと感じた
6. 講義を聞き続けることができると感じた
7. 講義へついていきやすいと感じた
8. ロボットとのインタラクションがしやすかった
9. 人間の講師による講義の進行に近いと感じた
10. ロボットと視線があっているように感じた
11. 自分自身に語りかけているように感じた
12. もう一度このシステムで学習したいと思った
13. 好奇心をそそられた
14. 講義内容が難しかった
15. 理解度テストが難しかった
16. ロボットによる講義に抵抗がなかった

本ケーススタディでは、講義意図を意図 2 に固定しているため、チャットボット機能によるテスト問題ではスライド内問題に全問正解すると状態 3 と推定し、それ以外は 状態 2 と推定したが、受講後の理解度テストにはスライド間問題も含めている。理由は、意図 2 で講義を行った場合でも、状態 4 に遷移する学習者が存在するかどうかを確かめるためである。

4.3 結果

図 7・8 に各講義に対する 2 条件の理解度テスト平均値、図 9・10 に各講義受講後のアンケート平均値、図のグラフは平均点と、赤色は NL 条件、青色は IL 条件を示している。また図 11・12 に全体アンケートの平均値を示す。図のグラフの黄色は 1 回目に受講した講義、緑色は 2 回目に受講した講義を示している。更に、表 4 に下記の式で算出した受講状態の推定率を、講義別に人間講師である高校教員と、システムのそれぞれ算出し、被験者数で割った平均値を条件別に示す。

(高校教員/システム)が判定した受講状態と
被験者の受講状態が一致したスライド枚数

講義スライド枚数

表 4 推定率の平均値

	高校教員	システム
情報社会(NL)	0.985	0.956
情報社会(IL)	0.951	0.951
ネットワーク(NL)	1	0.970
ネットワーク(IL)	0.955	0.955

図 7・8 より、理解度テストにおいては、ネットワークのみ両側 t 検定の結果、理解度テストの合計点 ($t(4)=2.8748, p<.05$)とスライド内問題のそれぞれで有意差が確認できた($t(4)=3, p<.05$)。

図 9・10 より、受講後アンケートにおいては、ネットワークのみ、Q8 で両側 t 検定の結果、有意差が確認できた($p<.05$)。また、図 11・12 より、フィッシャーの直接確率計算による検定結果、Group A で Q2, Q13, Group B で Q5, Q6, Q8 で有意差を確認した($p<.10$)。

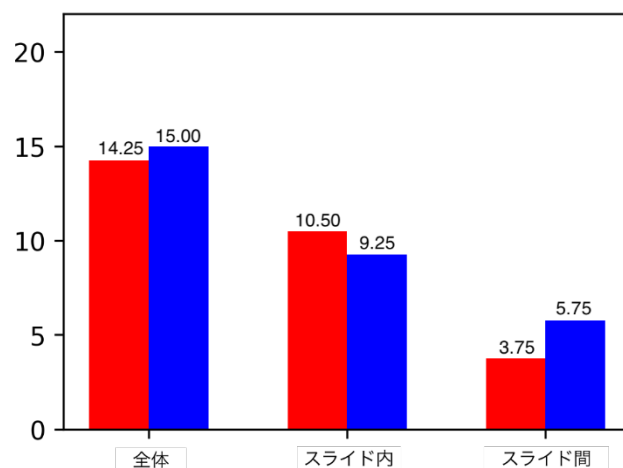


図 7 理解度テストの平均点 (情報社会)

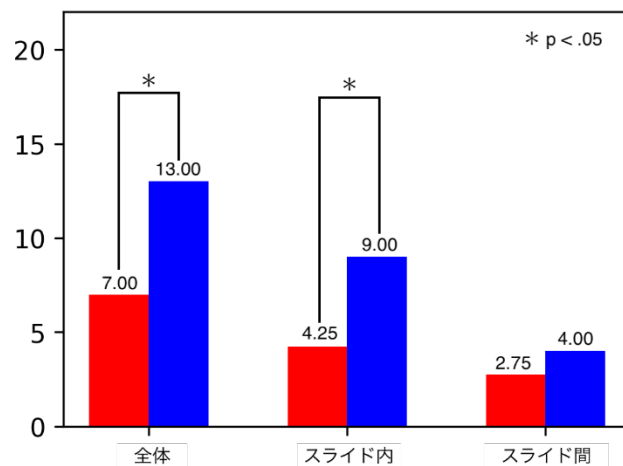


図 8 理解度テストの平均点 (ネットワーク)

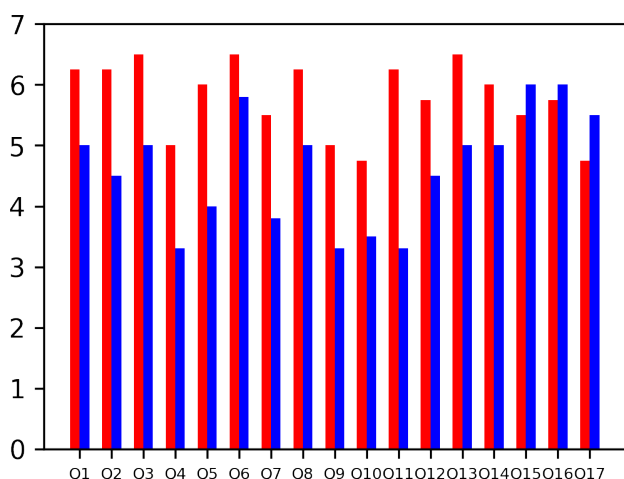


図 9 受講後アンケート結果（情報社会）

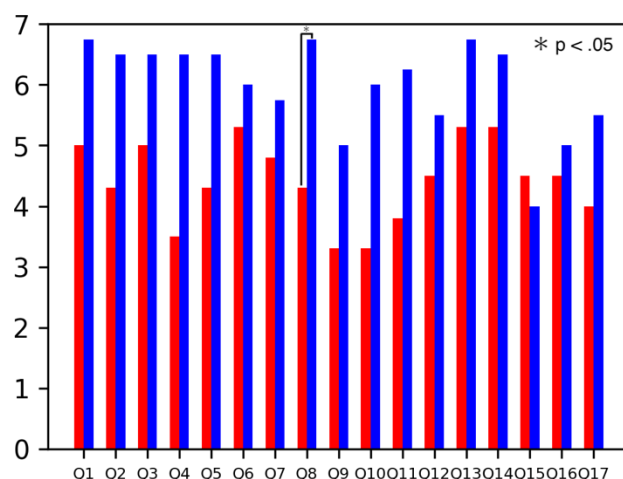


図 10 受講後アンケート結果（ネットワーク）

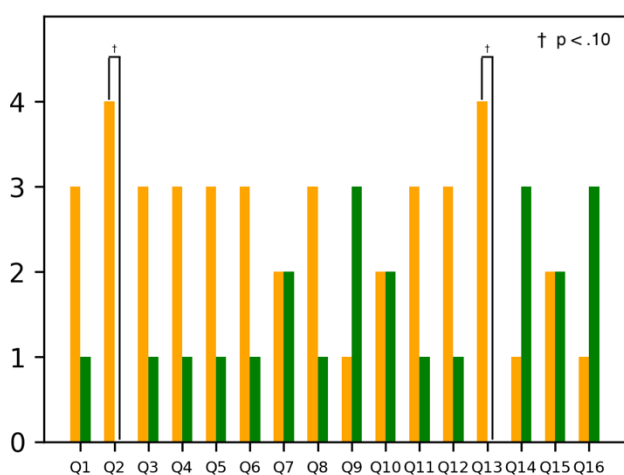


図 11 全体アンケート結果(Group A)

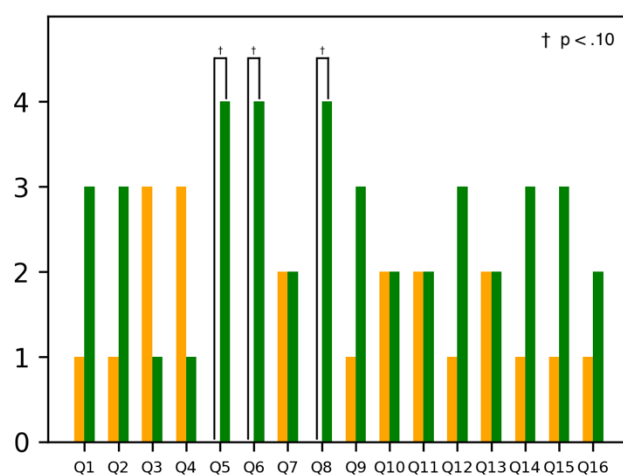


図 12 全体アンケート結果(Group B)

4.4 注意リカバリに関する考察

今回のケーススタディでは、被験者の受講状態が良好で、高校教員及びシステムは、全ての被験者の受講状態が状態 2 と判定したため、注意リカバリと適応的テスト問題生成が起動されなかった。だが表 4 より、推定率は 9 割程度となっている。この理由として、高校教員とシステムから見た被験者の姿勢や受講態度は、状態 2 と判定して適切であるが、被験者の自己評価としては、注意が外れていたと回答したため、一致しないと算出した。この場合は、高校教員とシステムともに判定できないため、受講状態判定の限界と考える。

また、両条件で受講後・全体アンケートにほとんど有意差が見られなかったのは、両条件のロボット講義による注意制御の効果が考えられる。非言語動作やパラ言語は統一しているため、被験者にとって注意維持に効果的であったことも要因として考えられる。

よって H1 は、受講状態の推定率とアンケートの分析結果に限定されるが、支持されるのではないかと考える。今後、被験者を増やして継続的に評価を行う。

4.5 理解リカバリに関する考察

情報社会の講義において、図 7 より、両条件における理解度テストの平均値はわずかに IL 条件が高く有意差は認められなかった。だが、スライド内問題とスライド間問題を比較すると、スライド間問題では IL 条件の方が NL 条件より平均点が高いことが確認できた。理由として、図 9 の Q15、Q16 及び図 11・12 の Q14、Q15 より、事前知識があり講義内容も容易であったため、スライド間問題においては、両条件に差はなかったと考えられるが、IL 条件では、チャットボット機能が起動したため、スライド間の理解を促したと考えられる。

ネットワークの講義において、図 8 より、両条件に

参 考 文 献

おける理解度テストの平均値は、IL 条件の方が NL 条件よりも有意傾向が確認できた。特に、スライド内問題とスライド間問題を比較すると、スライド内問題で有意差が確認できた。理由として、図 10 の Q15, Q16 と図 11・12 の Q14, Q15 より、講義内容が難しいと回答があり、IL 条件で実施したチャットボット機能によるスライド内問題に関する理解リカバリが起動し、講義スライド間の理解を促したからだと考えられる。

更に、理解度テストに含んだスライド間問題 5 問に 4 問以上回答できた割合は、情報社会では IL 条件 3 名、NL 条件では 1 名であり、ネットワークでは IL 条件 1 名、NL 条件では 1 名であった。この結果は、本研究では、意図 2 で講義した場合は、状態 3 の遷移を目指していたが、理解リカバリが状態 4 に遷移するのを促す可能性を示唆している。講義メモを記入した被験者は 8 名中 6 名であり、記入しなかった被験者は、記入した被験者よりもチャットボット機能による問題正答率が低かったが、理解度テストでは、講義メモの記入有無で点数の差はなかった。この結果も、チャットボット機能によるスライド内問題の提示が、講義スライドの理解を促進したと考えられる。

よって H2 は、理解度テスト、アンケート分析結果より支持されたと考えられ、長時間の講義における理解リカバリに有効であることが示唆された。

5. おわりに

本研究では、講義における学習者の状態を推定し、注意・理解リカバリを行うインタラクティブロボット講義システムを用いたケーススタディを行った。その結果、注意リカバリと適応的テストの自動生成は起動しなかったため、評価は限定的であったが、理解リカバリにおいては、被験者が難しいと感じた講義コンテンツの理解度テストにおいて IL 条件で有意傾向が確認できた。今後も引き続き、ケーススタディを実施し、インタラクティブロボット講義の有用性を評価する。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 18K19836 と 20H04294 の助成を受けた。また埼玉県立川越高等学校村口将美教諭には、講義収録とケーススタディの協力を頂いた。

- (1) 柏原昭博: “ソーシャルロボットを用いた学びの研究”, 教育システム情報学会誌, Vol.37, No.2, pp.73-82 (2020)
- (2) 柏原昭博: “エンゲージメントを引き出す学習支援ロボット”, コンピュータ&エデュケーション Vol.46, pp.30-37 (2019)
- (3) 柏原昭博, 島崎俊介: “ロボット講義におけるインタラクティブデザイン”, 教育システム情報学会 2022 年度第 2 回研究会, pp.16-20, (2022)
- (4) Tatsuya Ishino, Mitsuhiko Goto, and Akihiro Kashihara: “Robot Lecture for Enhancing Presentation in Lecture” Journal of Research and Practice in Technology Enhanced Learning, pp.1-22, (2022)
- (5) 柏原昭博, 菅原歩夢: “ロボット講義における講義シナリオの適応的制御”, 教育システム情報学会 2020 年度第 6 回研究会, pp.19-26 (2021)
- (6) Shimazaki, T., Sugawara, A., Goto, M., and Kashihara, A.: An Interactive Robot Lecture System Embedding Lecture Behavior Model, HCII 2022. Lecture Notes in Computer Science, vol 13329. Springer, Cham, (2022)
- (7) 島崎俊介, 菅原歩夢, 後藤充裕, 柏原昭博: “ヒューマノイドロボットを用いたインタラクティブロボット講義システム”, 電子情報通信学会教育工学研究会, pp.97-102 (2022)
- (8) 島崎俊介, 菅原歩夢, 後藤充裕, 柏原昭博: “インタラクティブロボット講義における学習者状態推定と注意維持支援”, 教育システム情報学会 第 47 回全国大会, pp.155-156, (2022)
- (9) 島崎俊介, 柏原昭博: “インタラクティブロボット講義における注意・理解リカバリとその評価”, 教育システム情報学会 2022 年度第 4 回研究会, pp.70-77, (2022)
- (10) 芳尾哲, 荒木健治: “ヒューマノイドロボットを用いた講義代行システムのための Wikipedia を用いた多肢選択問題生成手法の性能評価”, 情報処理学会研究報告, pp.1-6, (2020)
- (11) 前出晃佑, 増田寛之, 本吉達郎, 澤井圭, 高木昇: “オンライン講義で参加者とインタラクティブをするためのロボットシステム開発”, 第 37 回ファジィシステムシンポジウム講演論文集 (FSS2021), pp.451-455, (2021)
- (12) 小松原剛志, 塩見昌裕, 神田崇行, 石黒浩, 萩田紀博: “理科室で授業の理解を支援するロボットシステム”, 日本ロボット学会誌, Vol.33, No.10, pp.789-799, (2005)