

も く じ

■開催日時：2019年7月14日(日)

於：千歳市民文化センター（北海道千歳市）

■テーマ：ICTを活用した学修支援／一般

- 1) 写経型プログラミング学習における無作為修正者の検出-----1
○江籠育朗，内田眞司，上野秀剛(奈良工業高等専門学校)，大野優(ゾーホージャパン)，
河合和久(豊橋技術科学大学)
- 2) オブジェクト指向プログラミングの利便性に着目した学習手法-----7
竹川夏実(千葉工業大学大学院)，○仲林清(千葉工業大学)
- 3) 初学者に向けたプログラミング多重ループの効果的な学習方法について-----15
○時田真美乃，不破泰(信州大学)
- 4) タブレットPCを用いた運筆情報と画像処理によるペン習字上達支援方法の検討-----19
長井孔明(近畿大学大学院)，越智洋司(近畿大学)
- 5) 英文読み合い支援メディアとしてのロボットとタブレットシステムの比較-----27
○柏原昭博，足立祥啓(電気通信大学大学院)
- 6) スマートデバイスを用いた弦楽器のコード押弦を体験的に学ぶスキル学習支援システム-----35
○松原行宏，菊田和希(広島市立大学)
- 7) クイズ作成を題材とした小学校プログラミング教育の研修プログラムの提案と効果の検証-----41
岡田悠希，○野崎浩成，梅田恭子，江島徹郎(愛知教育大学)
- 8) TVMLと連携した問題出題に関する検討-----47
○柏木治美(神戸大学)，康敏，大月一弘(神戸大学大学院)
- 9) Web調べ学習における適応的な部分課題推薦手法の評価-----51
○萩原未来，柏原昭博(電気通信大学)，長谷川忍，太田光一(北陸先端科学技術大学院大学)，
鷹岡遼(山口大学)

- 10) eラーニングシステムを活用した入学前教育におけるプレ・ポストテスト得点にみる学習傾向分析 -----59
 ○菅原良(明星大学), 奥原俊(藤田医科大学), 福山佑樹(明星大学), 佐藤喜一(九州大学)
- 11) 3DCGによる教師キャラクタを用いた動画教材作成システム -----63
 ○井上翔太, 小島篤博(大阪府立大学大学院)
- 12) ICTとネット社会の危険性について -----67
 ○金山茂雄(拓殖大学)
- 13) PBLワークフローモデルに基づくテーマの類型化 -----73
 ○佐藤克己(東京学芸大学, インフォスクリー), 樫山淳雄(東京学芸大学),
 中村勝一(福島大学), 宮寺庸造(東京学芸大学)
- 14) 基礎・教養科目のための社会人基礎力向上を目指した情報教育プログラムの開発 -----81
 ○勝瀬郁代(近畿大学)
- 15) ロボット教材を用いた個別学習を連携した協調学習 -----89
 ○布施泉, 野口孝文(北海道大学), 梶原秀一(室蘭工業大学),
 千田和範, 稲守栄(釧路工業高等専門学校)
- 16) ビデオ講義を対象とした協同学習における学習者の動作の分析(第3報) -----97
 ○渡邊栄治(甲南大学), 尾関孝史(福山大学), 小濱剛(近畿大学)
- 17) 数学eラーニングシステムSTACKを用いた計算問題の誤答分析 -----105
 ○中村泰之(名古屋大学), 樋口三郎(龍谷大学), 吉富賢太郎(大阪府立大学),
 宮崎佳典(静岡大学), 市川裕子(東京高専), 中原敬広(三玄舎)
- 18) フルオンデマンド型全学数学基盤教育におけるルーブリックの活用 -----109
 ○高木悟(早稲田大学), 林康弘(武蔵野大学), 二上武生(工学院大学)

写経型プログラミング学習における無作為修正者の検出

江籠育朗^{*1}, 内田眞司^{*2}, 上野秀剛^{*2}, 大野優^{*3}, 河合和久^{*4}

^{*1} 奈良工業高等専門学校専攻科 システム創成工学専攻 情報システムコース

^{*2} 奈良工業高等専門学校 情報工学科

^{*3} ゴーホージャパン株式会社

^{*4} 豊橋技術科学大学 情報・知能工学系

Detection of Random Correction in the 'SHAKYO'-Style Learning of Computer Programming

Ikuro Ego^{*1}, Shinji Uchida^{*2}, Hideaki Uwano^{*2}, Yu Ohno^{*3}, Kazuhisa Kawai^{*4}

^{*1} National Institute of Technology, Nara College, Faculty of Advanced Engineering

^{*2} National Institute of Technology, Nara College, Department of Information Engineering

^{*3} ZOHO Japan Corporation

^{*4} Toyohashi University of Technology, Department of Computer Science and Engineering

"SHAKYO"-Style learning of computer novice is one of the learning methods for programming beginners. This method is the learning of computer programming by mimicking input according to sample programs, running them and ensuring their outcome. In programming education, it is improve educational effect to detect student who actions the "random correction". Random correction is as an action that source code correction without understanding the exercise contents. Our purpose is to classify the students who is random correction in 'SHAKYO'-Style learning on the Online Judge System(OJS). OJS enable for learners to submit and execute programs online. OJS store the past records of code that user submit the server as Snapshot. In this paper, we propose 6 metrics which is characteristic of behavior from OJS snapshot and verify the usefulness.

キーワード: プログラミング教育, 写経型プログラミング学習, OJS, 無作為修正者

1. はじめに

プログラミング教育において初学者の学習方法のひとつに写経型プログラミング学習(以降, 写経型学習と呼ぶ.)がある. 写経型学習とは教員または教材により提示されたサンプルプログラムを学習者が模倣して入力し, コンパイル・実行・結果の確認を行う一連の流れの学習法である⁽¹⁾. 写経型学習により個々の宣言的知識を整理, 統合して有機的に結び付け, 利用可能な知識として習得することが可能となる.

一方でプログラミング教育は多数の受講生に対して少人数の教員が実施することが多い. そのため受講生の理解状況や作業の様子を教員が把握することは容

易ではない. 教員への負担が増えるだけでなく, 理解が不十分な学生に対し指導が行き届かない場合もある. このような状況は学習者に対して学習意欲の低下を招くことも懸念される.

近年, プログラミング教育環境に Online Judge System(OJS)を導入している事例が報告されている.OJS はユーザから提出されたプログラムをコンパイル・実行し, 正誤判定データや検証器を用いて, 正確さと性能を自動評価し, フィードバックするシステムである⁽²⁾. OJS を教育現場で導入することで, 教員の教育コスト削減や学生のプログラミング学習の効率化に繋がることが報告されている⁽³⁾. 学生たちに単純に問題を解かせてもプログラミング能力が身につか

い、という導入プログラミング演習の問題点から、OJS を用いて改善しようという試みもある⁷⁾。OJS には提出されたコードをスナップショットとして記録される。スナップショットの履歴を分析することで理解が不十分な学習者を検出できれば、教員はその学習者に対して別途指導が容易となる。

本研究では初学者に対するプログラミング教育現場を対象とし、写経型学習において無作為修正者を OJS のスナップショットの履歴から検出することを目的とする。無作為修正者とは、OJS に提出したコードの修正を迫られた時、一般的に間違えた箇所をサンプルコード（写した元のコード）と見比べることで修正するところを、比べることなく修正する学習者を指す。このような振舞いを繰り返すことはコードの内容を理解できず、プログラムの正しい挙動を理解することを妨げてしまうので、本来想定している学習到達目標に到達できない恐れがある。このような無作為修正者は学習意欲が低く、特に指導が必要だと考える。

本稿では無作為修正者を検出するための手法として先行研究を基に OJS のスナップショットから無作為修正者の行動の特徴となる 6 つのメトリクスを提案し、その有用性を検証する。

2. 先行研究

2.1 写経型学習におけるつまずきの抽出とその改善

岡本らは写経型学習について定義し、これを用いた演習過程全体を一連の過程として、どのようなつまずきを学習者は抱えているのかを抽出した。その結果、「作業の自立性」に係るつまずきと、「作業を介した理解」に係るつまずきの 2 つに類型化し、さらに、認知的負荷理論を用いて「本質的な認知的負荷を伴う学習過程によるつまずき」と「非本質的な認知的負荷を伴う学習過程によるつまずき」に分けた¹⁾。また、抽出・類型化したつまずきから教材を改善し、その有効性を検証した²⁾。岡本らが定義したつまずきは、ある課題に対しエラーが発生した時、自ら修正することができず学習そのものが停滞してしまう要因と捉えることができる。

先行研究では学習者が一般的にどのようなつまずきを持っているかを定性的な手法で抽出した。つまず

きを学習者の行動から定量的にとらえることができれば、どの学習者がつまずきを持っているかを検出することが可能と考える。本研究はこの類型化された中で「作業の自立性」に係るつまずきを改善するものになると考える。本研究で検出する無作為修正者は写経型学習なので正解となるコードは既にある。それを見比べることができるにも関わらず、十分に見比べない、あるいは全く見ることもなく適当に修正するので、「作業の自立性」が損なわれていると考える。

2.2 スナップショットに基づいた無作為修正の検出

大野らは奈良高専のプログラム演習受講者を対象に無作為修正者の検出を試みた³⁾。具体的には以下に示す観点から行動の特徴となるような 4 つのメトリクスを提案し、各課題のテストケースの正答数から Score を算出し、その相関を求めることでその有用性を検証した。

- 同じ行を頻繁に修正する
- 一定時間の修正・コンパイル回数が多い
- 1 回あたりの修正量が小さい

先行研究と本研究の違いは分析対象のソースコードの作成する過程である演習方法にある。大野らはプログラム作成演習を対象としていた。すなわち提示されたプログラムの仕様をもとに学習者が自らコードを作成する演習方法であった（以降、課題型学習と呼ぶ）。つまり、本研究が対象としている写経型学習のように正解となるコードは一意ではない。

写経型学習、課題型学習の双方においても無作為修正者が見受けられることから、この 2 つの学習における無作為修正者の行動の特徴は一致する範囲があると考えられる。そのため、大野らが提案した 4 つのメトリクスを用いて写経型学習における無作為修正者を検出できると考える。

以上から、本稿ではこの 4 つのメトリクスは写経型学習においても有用となるか検証する。

3. 実験

3.1 対象とするデータ

本研究で対象とするデータは平成 29 年度に奈良工業高等専門学校情報工学科の 2 年生に対して開講されたプログラミング I において受講した学生が提出した

ソースコードを対象とする。本講義は反転授業を取り入れており、自学自習として教員から配布された資料に記載されたコードを写経型学習として受講生は学習していた⁴⁾。講義時間の演習においては課題型学習が課されていた。両学習ともに Learning Management System(LMS)の1つである Moodle に OJS 機能を提供する CodeRunner for Moodle を利用しており、ここに蓄積されたスナップショットを回収・分析する。

本稿では7課題、のべ136人の提出したスナップショットを対象に分析を行う。

3.2 Score(t)の算出

OJS では学習者が提出したコードをコンパイル・実行して課題の作成者が予め準備したテストケースの結果と一致するかを比べることで判定する。課題型学習ではメトリクスとの相関をとる Score はこのテストケースを正答した割合を用いていた。課題を提出し始めてから t 分以内でのテストケースにおける最高点数であった。しかし、本研究で対象とする環境ではこの写経型学習の課題におけるテストケースが少ないことが多く、100%か0%のどちらかの場合もあった。そのため、このように極端であれば有意な相関が取れないと考えたため、本研究では新たな Score を定義する。

CodeRunner for Moodle では各課題において、提出された際の不正解になった回数から成績を算出している。これは正解したときに与えられるもので、1回の提出のみで正解した場合1.0点となる。そこから提出したコードが不正解になる度に0.1ずつ引かれ、最低0点となる。本研究ではこの成績を課題 Score(t)と定義し、t分時におけるスコアを算出する。

3.3 メトリクス

メトリクスは以下の4つを用いる。なお、本研究では写経型学習取り組んでいる最中の識別を目的としているため、t分間で提出されたスナップショットに対して各メトリクスを算出する。

Freq(t):修正行の偏り

Revs(t):t分間の提出回数

DiffLine(s,t):s行以下の修正が続いた回数

AveDiff(t):1回あたりの平均修正行数

Freq(t)はt分間に提出されたコードで、どの行に偏

って修正しているのかを表す。無作為修正者は写し間違えた箇所を真剣に見比べることなく、自分の思った間違いの箇所を闇雲に修正することが考えられるので、ある行に集中して修正していると考えられる。Freq(t)は修正された回数の分散を用いる。修正行に偏りがあれば分散は大きくなるので、無作為修正者は Freq(t)が大きくなると考えられる。

Revs(t)はt分間に提出されたスナップショットの回数を表す。無作為修正者は短時間で適当な修正を行い、それを何度も OJS に提出するので、この値が大きくなると考えられる。

DiffLine(s,t)はt分間でs行以下の修正が続いた回数を表す。無作為修正者は同じ行を正解であるソースコードと見比べることなく繰り返し修正し、提出をするので、sが小さければ DiffLine(s,t)の値は大きくなると考えられる。本研究ではs=1の場合を計算する。

AveDiff(t)はt分間に提出されたそれぞれのコードの修正行数を算出し、その平均を求める。無作為修正者は同じ行を何度も修正するので、1回あたりの修正行数は小さい。そのため、AveDiff(t)は無作為修正者であるならば値が小さくなると考えられる。

上記4つのメトリクスは先行研究で提案されたものであるが、これらに加えて写経型学習のみの特徴として考えられる2つの新たなメトリクスを用いる。

Syntax(t):シンタックスエラーの回数

Test(t):テストケースエラーの回数

これは、前述の課題 Score(t)だと提出回数である Revs(t)に相関があるのは自明なため、Revs(t)のみでは不相当だと判断したためである。CodeRunner では結果がシンタックスエラーかテストケースエラーかはスナップショットに記録されている。写経型学習で提示される課題は一般的に複雑な処理ではなく、基礎的な文法等を学ぶための簡単な処理になるので単純な写し間違い(文法エラー)が多くなると考えられる。そのため、無作為修正者はシンタックスエラーを繰り返し起こすと考えられる。

3.4 算出方法

メトリクスを以下の手順で算出する。

[Step1]スナップショット群からt分間における

表 1. Freq(t), Revs(t), DiffLine(1,t), AveDiff(t) と Score(t) の相関

t	Freq(t)		Revs(t)		DiffLine(1,t)		Avediff(t)	
	相関係数	p 値	相関係数	p 値	相関係数	p 値	相関係数	p 値
1	0.245	0.008	-0.793	0.000	-0.134	0.154	0.168	0.072
2	0.287	0.001	-0.896	0.000	-0.259	0.003	0.121	0.177
3	0.249	0.004	-0.929	0.000	-0.322	0.000	0.148	0.091
4	0.272	0.001	-0.953	0.000	-0.374	0.000	0.164	0.058
5	0.310	0.000	-0.966	0.000	-0.430	0.000	0.165	0.056
6	0.316	0.000	-0.970	0.000	-0.428	0.000	0.163	0.060
7	0.324	0.000	-0.970	0.000	-0.427	0.000	0.151	0.079
8	0.326	0.000	-0.919	0.000	-0.371	0.000	0.155	0.073
9	0.331	0.000	-0.973	0.000	-0.426	0.000	0.147	0.089
10	0.326	0.000	-0.919	0.000	-0.371	0.000	0.155	0.073

メトリクスを算出する。Freq(t), Revs(t), DiffLine(s,t), AveDiff(t)の算出方法は先行研究を基にした²⁾。

[Step2]同様のスナップショット群から t 分間における Syntax(t), Test(t)を算出する。与えられた t 分以内にシンタックスエラーおよびテストケースエラーになった回数を課題別，学習者別に求めた。

[Step3]Score(t)を算出する。回収したスナップショット群では正解するまでは 0 点として扱われるので，各提出で Score(t)を算出して t 分ごとにまとめる。

なお，Score(t)が満点の学習者，つまり一度の提出で正解したものは該当課題について問題なく学習しているとして除外した。

[Step4]算出した各メトリクスと Score(t)との相関係数および無相関検定を算出する。

本研究では t=1 から 1 分毎に区切って t=10 まで算出した。これは，対象とする写経型学習では教科書のサンプルプログラムのような基本的な処理を含む課題が多かった。したがって修正に要する時間が総じて短かったためである。本研究で分析したデータ群の場合，10 分以内で解答を終了している学習者は 90%を超えていたため，それ以降も解答を続ける学習者は無作為修正でない別のつまづきがあると考えられるが，本実験には関係ないとして，無視する。

4. 結果と考察

先行研究で提案された 4 つのメトリクスの Score(t)との相関係数と無相関検定の結果を表 1 に示す。また，本研究で提案した 2 つのメトリクスの相関係数と無相関検定の結果を表 2 に示す。4.1 以降，全ての t において有意な相関(p<0.01)が見られなかった AveDiff(t)を除いた各メトリクスと Score(t)との相関関係について考察する。

表 2. Syntax(t), Test(t) と Score(t) との相関

t	Syntax(t)		Test(t)	
	相関係数	p 値	相関係数	p 値
1	-0.659	0.000	-0.267	0.004
2	-0.723	0.000	-0.343	0.000
3	-0.783	0.000	-0.257	0.003
4	-0.823	0.000	-0.229	0.008
5	-0.863	0.000	-0.161	0.063
6	-0.882	0.000	-0.145	0.093
7	-0.880	0.000	-0.171	0.046
8	-0.866	0.000	-0.109	0.210
9	-0.877	0.000	-0.156	0.071
10	-0.866	0.000	-0.109	0.210

4.1 Freq(t)

Freq(t)については弱い正の相関で、全ての t において有意な相関が見られた($p < 0.01$). t が大きくなるにつれて相関係数が大きくなる傾向にある。つまり、Score(t)が高い学生ほど修正行数に偏りがあることを示している。無作為修正者は総じて Score(t)が低いと考えられるので、この結果は考えられた仮説とは反対の性質を示している。これは、Score(t)が高い学習者は少ない修正回数で終了して、1 行だけ修正して正解したような場合だと偏りは大きくなるからだと考えられる。この結果は先行研究での課題型学習においても同様であった。

4.2 DiffLine(1,t)

DiffLine(1,t)は弱い負の相関で、t=1 を除くその他の t において有意な相関が見られた($p < 0.01$). これは、1 行のみの修正を何度も行っている学習者ほど Score(t)が低い、つまり無作為修正者としての傾向があることが示唆される。また先行研究より相関係数が高い傾向にあった。その理由としては、写経型学習だと正解となるコードがあるため、Score(t)が高い学習者となる学習に意欲がある学習者や既に十分な理解をしている学習者は見比べながら複数の行を修正しているためと考えられる。

4.3 Revs(t)

Revs(t)は強い負の相関を示した。また、すべての t において有意な相関が見られた($p < 0.01$). 3.2 で述べた通り Score(t)は Revs(t)と関係が強いため相関が強くなるのは当然の結果となる。

4.4 Syntax(t)

Syntax(t)は高い負の相関となった。また、すべての t において有意な相関が見られた($p < 0.01$). これは、無作為修正者ほどシンタックスエラーを多く起こしていることを示している。Syntax(t)の回数は Score(t)に全く関係していないため、Revs(t)に代わり無作為修正者の検出のためのメトリクスとして活用できることが考えられる。

4.5 Test(t)

Test(t)の相関は解答を開始してから 4 分までは負の

相関が得られたが、t=5 以降有意な相関が得られなくなっている。図 1 に t=4 における Test(t)と Score(t)の散布図を示す。Score(t)が 0.4 以下ではテストケースエラーが起こっていない。すなわち、無作為修正者で考えられる Score(t)の低い学生はテストケースエラーをあまり起こさないことが分かる。このため、無作為修正者を検出するためのメトリクスとしての有用性は低いと考える。

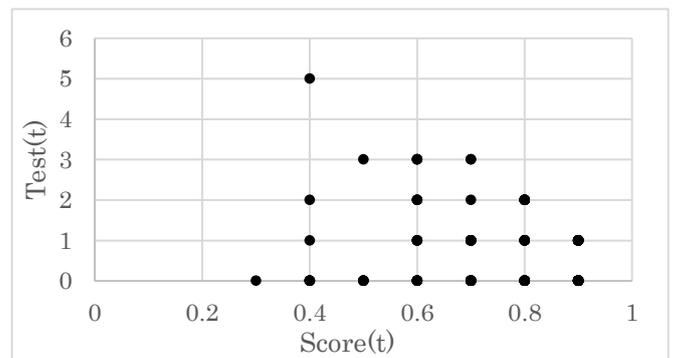


図 1. Test(t)と Score(t)の散布図(t=4)

5. まとめ

本稿では写経型学習において無作為に修正する無作為修正者の検出を目的とし、OJS のスナップショットから検出を可能とするメトリクスを提案し、その有用性を検証した。結果として、先行研究同様 Freq(t)および Revs(t)は Score(t)との有意な相関を得られた。さらに、DiffLine(1,t)においても有意な相関が得られたので、写経型学習での無作為修正者の検出ではこのメトリクスも有用な可能性がある。今後のメトリクスを提案する上での試金石になると考えられる。本研究で新たに提案した Syntax(t)および Test(t)については Revs(t)が Score(t)との依存性があることから、Syntax(t)は Revs(t)の代用として有用だと考えられる。

以上の結果から、写経型学習における無作為修正者は課題型学習における無作為修正者と概ね同様の行動の特徴があると考えられる。これにより、先行研究同様に Freq(t)や Revs(t)を組み合わせることで無作為修正者を検出することが可能だと示唆される。また、Revs(t)を Syntax(t)に変えることや、DiffLine(1,t)も組み合わせることにより写経型学習に特化した検出も可能であることも期待できる。

今後の課題としては、より多くのデータを収集して

分析を行うことにより，結果の精度をさらに高めることが挙げられる．また，複数のメトリクスを組み合わせる手法について提案することが挙げられる．

参 考 文 献

- (1) 岡本雅子, 喜多一: “プログラミングの「写経型学習」における初学者のつまずきの類型化とその考察”, 滋賀大学教育学部附属教育実践総合センター紀要, No..22, pp.49-53, (2014)
- (2) 岡本雅子, 村上正行, 吉川直人, 喜多, 一:” <実践報告> プログラミングの写経型学習過程を対象としたつまずきの分析とテキスト教材の改善 : 作業の自立的遂行と作業を介した理解のための支援と工夫”, 京都大学高等教育研究, No.19, pp.47-57, (2013)
- (3) 大野 優, 上野 秀剛, 内田 眞司:”ソースコードのスナップショットに基づいた無作為修正者の検出”, 信学技報 教育工学研究会, Vol.118, No.214, pp.53-58, (2018)
- (4) 内田眞司, 松村寿枝, 西野貴之: ” 反転授業を導入したプログラミング講義の実践と学生の学習履歴分析”, 日本高専学会誌 (Journal of JACT), Vol.22, No.3, pp.45-48, (2017)
- (5) 渡部有隆:”オンラインジャッジの開発と運用: Aizu online judge”, 情報処理, Vol. 56, No. 10, pp. 998, (2015)
- (6) 永賢次:”導入プログラミング教育におけるオンラインジャッジシステムの活用の試み”, 情報科学研究, No. 31, pp.25-41, (2011)
- (7) 古谷勇樹, 長尾和彦, 峯脇さやか:”OJS を用いたプログラミング学習支援環境の構築と評価”, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 115, No. 492, pp. 45-50, (2016)

オブジェクト指向プログラミングの利便性に着目した 学習手法

竹川 夏実*, 仲林 清**

*千葉工業大学大学院, **千葉工業大学

A Learning Method for Object-oriented Programming Focusing on its Advantages

Natsumi Takekawa*, Kiyoshi Nakabayashi**

*Graduate School of Chiba Institute of Technology **Chiba Institute of Technology

オブジェクト指向プログラミング (以下 OOP) はプログラムの機能拡張に優れる手法だが, 苦手意識を持つ学習者が多いとされている. OOP を正しく利用するには, まず OOP の利便性を理解した上で, 基礎概念と利便性の結びつきを意識することが有効ではないかと考えられる. 本研究では, インストラクショナルデザインの第一原理に則った学習を行う. 具体的には, 例示課題として, OOP と非 OOP を用いたプログラムの機能拡張を行わせ, 両者の比較を通じて OOP の利便性を認識させる. 次に, 応用課題で, 例示課題と異なる機能拡張課題を自力で解かせる. 最後に統合課題として, OOP の利便性が基礎概念によって生じていることを一般化して説明させる. OOP と非 OOP の比較を行う実験群と, 比較を行わない統制群で実験を行い, 実験群が利便性と基礎概念の結びつきをより明確に理解していることが示唆された.

キーワード: オブジェクト指向プログラミング, 比較学習, ID の第一原理

1. はじめに

オブジェクト指向プログラミング(以下 OOP)は,機能拡張を前提とするプログラムを開発することに優れた手法である⁽¹⁾⁽²⁾. OOP を正しく利用するには, 「クラス」, 「継承」, 「多態性」などの OOP の基礎概念を理解する必要がある. しかし, この基礎概念が抽象的で理解が困難であるため, OOP そのものに苦手意識を持つ学習者が多数存在する.

この問題を解決するため, OOP の基礎概念を現実社会の物体に投影させる手法⁽³⁾, プログラムの動きを可視化する手法⁽⁴⁾, クラス図を自動生成しプログラム全体の構造を理解させる手法⁽⁵⁾, などが提案されている. これらの手法では, OOP の基礎概念の振る舞いを理解させることはできるが, 基礎概念の必要性やそれによって生じる利点を理解させることは困難である. 高井らは, 会社の業務のシナリオを想定しながら OOP の学習を実施した研究を行い, OOP を利用することのメリット (利便性) を実感させることを狙った⁽⁶⁾. 上記のような手法によって, 単純にプログラミングに関する事項を知識として取り入れるよりも深いレベルで, 対象のプログラミング手法について理解させる狙いが

ある. しかし, 利便性を実感させ, それが OOP の基礎概念と結びついていることを学習者に理解させるということに関しては実施されていなかった.

そこで本研究では, OOP の利便性である「拡張性」, 「保守性」を実感させ, これらが OOP の基礎概念によって生じていることを人に説明ができるレベルまで引き上げることを目的とする. これを達成するため, 本研究では以下の 2 点を実施した. まず, インストラクショナルデザイン (以下 ID) の第一原理に則って学習全体の流れを設計した. 学習者には, 例示課題と応用課題の 2 回のプログラムの機能拡張を行わせる. 例示課題では, 拡張のための段階的な指示を出し, 応用課題では目標だけを与えて自力で拡張を行わせる. さらに, 例示課題では, OOP に加えて非 OOP でプログラムの機能拡張を行わせる. これによって, 両者の比較を通じて, OOP の利便性を認識させる. 今回の報告では, 以上 2 点を実施した際の OOP に関する学習効果を調査した.

以下, 第 2 章では本研究の目的を, 第 3 章では学習目標を述べる. 第 4 章で学習手法, 第 5 章で学習課題, 第 6 章で実験結果について述べる. 第 7 章で実験結果に対する考察を行い, 第 8 章で今後の方向性を述べる.

2. 目的

本研究では学習者に、OOPの「拡張性」、「保守性」といった利便性を実感させ、その利便性がクラスや継承、多態性などのOOPの基礎概念によって生じることを理解させることを目的とする。前回の実験⁷⁾では、ショッピングカートのプログラムを段階的に拡張させる課題を行った。この際、実験群にはOOPに加えて、非OOPとの比較をさせた。また、そこから得た知識を一般化し自分の言葉で説明させた。

実験の結果、実験群、統制群ともにプログラム拡張課題を参照しながらであれば、OOPの利便性と基礎概念の関係性を説明できた。しかし、両群とも、OOPの利便性と基礎概念の関係性を十分に一般化して説明することはできなかった。このことから、「OOPの利便性と基礎概念の結びつきを自分の言葉で一般的に説明させる」レベルに理解度を引き上げるには、段階的な拡張の例示のみでは不十分であることがわかった。

そこで今回は、IDの第一原理に則り、例示課題におけるプログラムの段階的な拡張の後に、応用課題を課した。例示課題では、前回と同様、実験群にはOOPに加えて非OOPでプログラムの機能拡張を行わせた。応用課題では、実験群・統制群とも、例示課題とは異なるプログラムの拡張を自力で行わせた。

3. 学習目標

OOPの利便性が生じる理由と関連する基礎概念を結びつけた説明ができることを学習目標とし、評価基準を設定した。これを表1に示す。表1の内容は、前回の報告で使用したものをベースにし、さらに詳細な評価を行うため理解度のレベルを1段階追加している。レベル0は、機能拡張の課題を全て完了したが、拡張性・保守性といった利便性を体感できない程度の理解度を示す。さらに、レベル1, 2は、OOPの利便性を実感し(レベル1)、それが基礎概念と関連していることを具体例で(レベル2)説明ができるレベルである。レベル3は、OOPの利便性のみ一般的に説明ができるレベルである。レベル4, 5は、OOPの利便性の特徴とそれが基礎概念のどのような作用から生じるかについて、基礎概念を列挙しながら説明できるレベルである。このうち、説明の抽象度が高いものをレベル4

とする。例えば、「各種基礎概念によって拡張がしやすくなる」といった記述が当てはまる。OOPの利便性の実現に基礎概念が関係していることは理解できているが、具体的にどの基礎概念がどのように作用するのかが明示していないためである。これに対し、レベル5は、利便性実現に関係する基礎概念の名称を挙げながらレベル4よりも具体的に説明ができるレベルである。

表1 評価基準

要素	内容
レベル0	OOPの利便性が分からない・実感できない。
レベル1	OOPと非OOPの違いが体感的にわかる。
レベル2	OOPが手続き型よりも便利であると感じ、どのような便利さがあるか、例を用いて簡単な説明ができる。
レベル3	OOPの利便性について一般的に説明できる。
レベル4	OOPには2つの利便性があり、その利便性は基礎概念と結びついているということが理解できており、プログラム中の一部の基礎概念の作用を取り上げ、簡単な説明ができる。
レベル5	OOPには2つの利便性があり、その利便性は基礎概念と結びついているということが理解できており、具体的な基礎概念を挙げて説明ができる。

4. 学習手法

4.1 基本的な方針

本学習手法の特徴は、以下の2点である。

- (1) OOPと非OOPによるプログラムの比較学習により、OOPの利便性を実感させること。
- (2) IDの第一原理に則り、応用課題で、OOPの利便性と基礎概念の結びつきの理解を深めさせること。

以下の節でそれぞれの説明を行う。

4.2 比較学習

本研究では、学習者に手続き型とOOPでプログラムを比較させるという手法をとる。OOPの基礎概念を利用しない非OOP(手続き型)を比較対象にすることで、OOPの利便性を実感させやすくする。

課題のプログラムはOOPと手続き型の両手法で同一のデータ構造を取っているが、処理方法が異なる。手続き型では、if文の分岐処理でデータの種別を分別し、計算や出力等の処理を行っていく。つまり、新しい種別のデータを追加していくほど分岐が増加し、ソ

ソースコードが複雑化していく。一方 OOP では、クラスを利用してデータの種別を分別し、計算・出力等の処理も同クラス内で行うためソースコードが複雑化しない。これは、クラス・継承・多態性などの OOP の基礎概念がプログラム中で利用されているからである。この結果として「メインプログラムの拡張が不要になり、拡張が限定的になる（拡張性）」、または「エラーを防いだり、あるいは発生しても発見しやすくなる（保守性）」という OOP の利便性が実現される。

4.3 ID の第一原理

OOP の利便性と基礎概念の結びつきは、OOP の基礎概念をただ知識として取り込むだけでは理解することは困難である。そこで本研究では、学習の流れに ID の第一原理を取り入れている。ID の第一原理とは、構成主義心理学に基づいて近年提唱されている ID モデル・理論に共通する 5 つの要素を指す⁽⁸⁾⁽⁹⁾。表 2 に、ID の第一原理が持つ 5 つの要素をまとめたものを示す。「1.問題」では実際に起こりうる問題を学習者に提示する。「2.活性化」では、既存知識をもとに問題に取り組ませる。「3.例示」では、具体例を見せる。「4.応用」では、例示で見せた例とは別の例を示し、取り入れた知識を使う練習をする機会を与える。「5.統合」は、全ての課題の振り返りとして、その成果を確認する。

表 2 ID の第一原理の各要素

要素	内容
1. 問題	これから取り組む課題について問題提起を行う。
2. 活性化	持っている知識を動員して課題に取り組む。
3. 例示	具体的な例題を参照する。
4. 応用	応用的な課題に取り組み、今までで得た知識を使う練習をする。
5. 統合	全ての課題を振り返る機会を設ける。

5. 学習課題

今回の実験で用意した学習課題は、例示課題、応用課題、統合課題である。前回から大きく変更した点は、応用課題の追加である。

5.1.1 例示課題

例示課題は、

1. プログラム拡張の実行
2. プログラム拡張の振り返り

という流れで実行した。まず、「1. プログラム拡張の実行」では、ショッピングサイトのプログラムの機能拡張を実施する。このプログラムは、顧客 1 人 1 人が買い物かごを取り、好きな商品を入れ、レジで精算するという一連の処理を行うものである。図 1 に OOP で作成したプログラムのクラス図を示す。プログラムの機能要件は、商品ごとに異なる割引条件で小計計算・情報出力の処理を行うことである。OOP の実装条件は各クラスのメソッドをオーバーライドし、クラスごとに独自の機能を持たせることである。課題実施前はサンプルプログラムとして図 1 で示している青色のクラスのみ提示し、その後 CD 等のクラス拡張を 3 段階に分けて実施する。「2. プログラム拡張の振り返り」では、プログラム拡張課題を参照しながら、OOP の利便性と基礎概念の関係性について振り返らせる。そのために、記述問題をいくつか出題し理解度を確認する。この記述問題の一部を、表 3 に示す。問 1~2 では、拡張したプログラムの例から、プログラム中にもたらず利点を意識させながら、OOP の各基礎概念の役割を考えさせる。問 3~5 は、前回の実験で多態性の理解度が低かったことを受け、例示課題の段階から多態性の理解度を向上させるために設けている。問 3, 4 は、プログラム拡張課題 1~3 のそれぞれで多態性が実装された箇所と、実現された利点を問う。問 5 では、問 3, 4 を受けて、実際に多態性が実現したきっかけとなった基礎概念（継承、オーバーライド）を考えさせる。

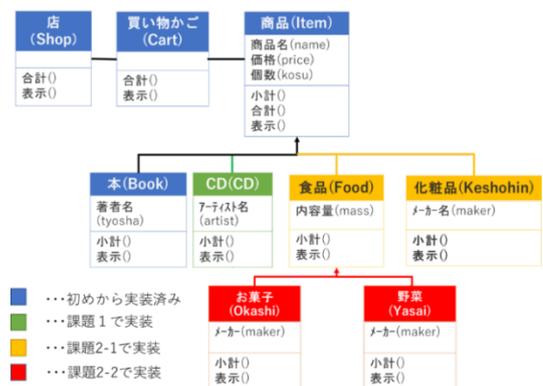


図 1 ショッピングサイト課題のクラス図

表 3 プログラム拡張課題の振り返り（記述問題）

例示課題（記述問題）	
問1)	ООPの各課題で作成した各サブクラス内で、一部の変数が宣言せずに利用できたのはなぜか？
問2)	ООPの各課題で様々なクラスを追加していく際に、小計メソッド shoukei や情報表示メソッド hyouji を再定義せずそのまま使いまわせたのはなぜか。また、そのようなことが実現することで得られるメリットは何か？
問3)	ООPの各プログラム中で、多態性はどのような場面で実現されていたか？
問4)	プログラム内で多態性が実現した際、どのような利点が実現したか？
問5)	基礎課題を通し、多態性が実現するために必要な基礎概念はあったか。ある場合は具体的にどの概念（複数回答可）で、どのように作用したか？

5.1.2 応用課題

応用課題は、

1. 課題全体の俯瞰と多態性に関する考察
2. プログラム拡張の実行
3. プログラム拡張の振り返り

という流れで実施した。まず、「1.課題全体の俯瞰と多態性に関する考察」では、応用課題で新たに作成する給与計算のプログラムの概要を説明し、そのプログラム内での多態性の役割について考えさせる。具体的には、クラス図を用いながら給与計算プログラムのデータ構造を俯瞰したあと、多態性について理解を深めるための記述課題を3問解いてもらう。記述問題では、まず、プログラム中で多態性が実装されている箇所について予想してもらう（問1）。そして、なぜその箇所に多態性が生じるのか、継承とオーバーライドの働きという観点から考察をさせる（問2）。最後に、多態性が実現した際のメリットを聞く（問3）、という内容になっている。この3問によって「2.プログラム拡張課題」を実施するとき、「クラスの継承とメソッドのオーバーライドの働きでクラスごとに異なる処理が行えること」、またこれによって多態性が実現し「メインメソッドの拡張が不要になること」を意識させながらプログラム拡張をさせることを狙う。

次に、「2. プログラム拡張の実行」を実施する。例示課題で実施したプログラム拡張課題と異なる点は、例示課題では段階的に指示を出して拡張をさせているのに対し、応用課題では、プログラムの完成予想として先にクラス図を提示するのみ、つまり拡張の最終的な目標のみ示しているという点である。図2に給与計

算プログラムのクラス図を示す。プログラム中では、社員の雇用形態や役職によって異なる給与計算・情報出力の処理を行い、給与計算の結果と固定給や労働時間などの情報を表示する。正規社員の各サブクラスでは、給与計算およびボーナス計算のメソッドがオーバーライドされ、非正規社員の各サブクラスでは、給与計算メソッドがオーバーライドされる。学習者に配布する拡張前のサンプルプログラムは、メインクラスであるKyuyoProgクラスと、氏名などの社員全員が共通して持つデータを定義したShainクラスのみを定義したものとなっている（赤枠内のクラス）。この時点では、社員のデータは、その役職や雇用形態に関わらず全てShainクラスで処理する仕組みになっている。この状態から、クラス図や入力するデータなどの情報に基づき、プログラムの拡張を行ってもらう。

次に、「3.プログラム拡張の振り返り」として、拡張したプログラムに関する記述課題を実施する。表4にその内容を示す。この間によって、クラス、継承、オーバーライドなどのООPの基礎概念がプログラム中で作用していること、それらが多態性を実現し、メインメソッドの拡張が不要になる等のメリットを生むことに気づきがあるかどうかを確認する。

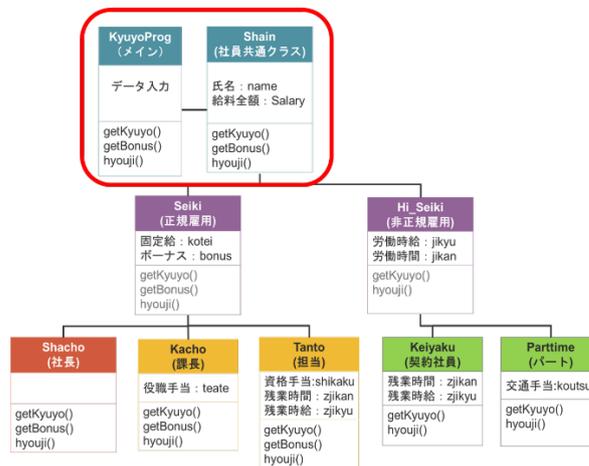


図 2 給与計算プログラムのクラス図

表 4 応用課題における振り返り問題

<p>プログラムを拡張するときに、①どのような基礎概念が作用していたかを説明せよ。また、②どのように作用していたか、それによって③メリットやデメリットは生じたか、④具体的にどんなメリット（デメリット）かを説明せよ。</p>

5.1.1 統合課題

ここでは、特に今回の実験で評価に深く関係する問を抜粋し、表 5 に示す。問 1, 2 は、応用課題の給与計算プログラムの拡張に関する問である。類似した問を応用課題で出題しているが(表 3), 表 4 で示した問では、多態性、あるいは多態性を実現させるための継承やオーバーライドなど、拡張したプログラム内で作用した基礎概念を学習者自身に気づかせるという意図がある。これを踏まえ、統合課題の問 1, 2 では、応用課題での学習者の気づきを振り返らせ、多態性についての理解を定着させるといった意図がある。問 4, 5 は、これまでの課題を振り返りとして、OOP の利便性と基礎概念の結びつきについて自分の言葉で説明させるまでに理解を落としこませるための問になっている。

表 5 統合課題

問題内容	
問1)	給与計算のプログラム中で、多態性はどのような場面で実現されていたか？
問2)	プログラム内で多態性を実現した際、どのような利点を実現したか？
問4)	なぜ OOP では拡張性が得られるのか？
問5)	なぜ OOP では保守性が得られるのか？

5.2 学習の組み立て

図 3 に学習実験の流れを示す。事前テストでは、OOP の基礎概念に関する問題を出題し、その得点に基づいて、実験群・統制群の 2 群分けを行う。事前テスト終了後、課題テキストを配布し、実験前に各自に読んでもらう。課題テキストとは、OOP の基礎概念や OOP の基本的な考え方、また例示課題で扱うサンプルプログラムの仕組みを簡単に解説した冊子である。例示課題は、ショッピングプログラム拡張課題とその課題に関する記述課題の 2 つを出題している。統制群は OOP による機能拡張を行い、実験群は OOP に加えて「4.2 比較学習」で述べた非 OOP による拡張を行う。応用課題では、5.1.2 で述べたように、課題全体の俯瞰、プログラム拡張、拡張の振り返りを行う。統合課題では、今までに行った実習課題のまとめとして、OOP の利便性と基礎概念の関係性について、一般化しながら説明させる。事後アンケートでは、実験で取り扱った OOP の基礎概念や利便性に関する知識や、それらの関係性についてどのくらい理解度が改善したかを学習者に主観的に評価させる。

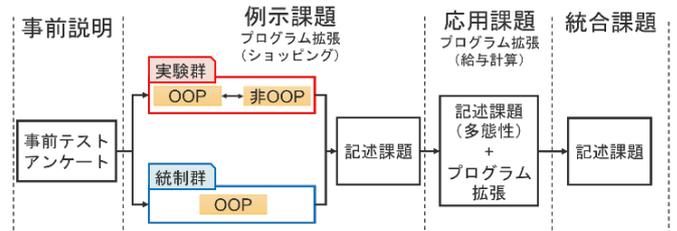


図 3 学習の組み立て

6. 実験結果

6.1 実験概要

対象とした学生は、情報系学科学部生 11 名、大学院生 7 名の計 18 名で、いずれも大学 1 年次に C, 2 年次に Java を用いたプログラミング演習を受講している。この 18 名を実験群、統制群の 2 群に分類するために、事前テストを実施した。事前テストでは、基本情報技術者試験の過去問題⁽¹⁰⁾から OOP に関する問題を 8 問抜粋した。群分けの結果を表 6 に示す。t 検定を実施し、両群の学習者の合計得点に有意な差がないことを確認した。実験期間は 2 週間とし、その中で他人と相談せずに各自で課題に取り組んでもらった。使用言語は学習者が学内講義で扱いが慣れている Java とし、開発環境も同様の理由で eclipse とした。

表 6 事前テストの成績

項目	学習者	実験群	統制群
得点の平均 (8 点満点中)		5.44	5.00
標準偏差		1.24	1.50
t 検定結果		t(16)=0.69, ns	

6.2 OOP の利便性と基礎概念の関係性の理解度評価

実験終了後、OOP の利便性と基礎概念の結びつきの理解度について、表 1 で示した評価基準に基づいて、統合課題の記述回答を評価した。課題の回答例については 6.5 節で説明する。表 7 に評価結果を示す。レベル 4 以上の理解度に達した学習者は、実験群で 9 名中 6 名、統制群で 9 名中 5 名であった。レベル 4 は OOP の利便性と基礎概念の結びつきについて部分的に説明できる、レベル 5 は具体的な基礎概念を挙げて説明できる、と定義している。両群で OOP の利便性と基礎概念の関係性の理解度に大きな差は見られず、U 検定でも大きな差は見られなかった。

表 7 OOP の利便性と基礎概念の関係性の理解度に関する総合評価

レベル	実験群 (計 9 名)	統制群 (計 9 名)
0	-	-
1	-	-
2	1	2
3	2	2
4	4	2
5	2	3
U 検定 結果	ウィルコクソンの W=42.0, ns	

6.3 多態性の具体的な利点の理解の評価

例示課題、統合課題で出題した記述問題の中で、多態性の利点の理解度について評価するための問題を設けた。具体的には、例示課題の間 4 (表 3)、統合課題の間 2 (表 5) が該当する。記述の評価は、多態性の利点について「メインプログラムの拡張が不要・軽減される」など、具体的な記述があれば正解 (○/2 点)、正解例よりは抽象的であるが的外れではないものは部分点を加算 (△/1 点)、多態性の利点とは関係のない記述であれば不正解 (×/0 点) とした。表 8 に、例示課題、統合課題における両群の得点分布と U 検定の結果を示す。例示課題の平均得点は実験群 1.00 点、統制群 0.44 点で、有意差は無かった。統合課題では、実験群 1.67 点、統制群 0.44 点で、実験群のみ平均点が上昇しており、1%有意水準で有意差があった。この結果から、例示課題の段階でプログラミング拡張を行わせた直後だと、多態性の利点についての記述の質の差は両群であり変わらないが、応用課題後の統合課題で同様の記述問題を行わせると、実験群の方が統制群よりも記述の質が上がっていることが分かった。

6.4 多態性の理解度向上に関するヒアリング

実験終了後、ヒアリングを行った。表 9 にヒアリング結果を示す。実験を通して多態性の理解度が上がったと感じた学習者が、実験群で 9 名中 7 名、統制群で 9 名中 8 名であった。次に、多態性の理解度が上がったと感じた学習者に、その要因を、役に立ったと感じた順に挙げさせた。要因として提示したのは、実験で使用した課題テキスト、例示課題、応用課題、統合課題の 4 つである。これら 4 つのうち、例示課題と応用課題を上位 3 位以内に挙げた者は、実験群で 7 名中 6 名、統制群では、8 名中 3 名であった。統制群の他の

5 名については、課題テキストを最上位に挙げていた者が 3 名、応用課題のみを挙げていたものが 2 名であった。例示課題と応用課題を上位 3 位以内に挙げた者の人数比に対して母比率の差の検定を行ったところ、 $p < 0.1$ となり有意傾向が見られた。実験群の学習者は「多態性を理解する要因となった課題は、例示課題と応用課題の両方であり、どちらかの課題ではなく両方の課題に取り組むことで効果が得られる」と実感している傾向にあることが分かった。

表 8 例示課題、統合課題の学習者の得点の分布

学習者 評価	例示課題		統合課題	
	実験群 (計 9 人)	統制群 (計 9 人)	実験群 (計 9 人)	統制群 (計 9 人)
○=2 点	3	0	6	1
△=1 点	3	4	3	2
×=0 点	3	5	0	7
平均(点)	1.00	0.44	1.67	0.44
U 検定 結果 ¹	ウィルコクソンの W=55.5, ns		ウィルコクソンの W=73.5, $p < 0.01$	

表 9 多態性の理解に関するヒアリング結果

2) 「多態性」という OOP の基礎概念について、課題や課題のテキストを通して、多少でも理解度が上がったと感じるか?		
アンケート項目	実験群	統制群
理解度が上がったと感じた	7 名	8 名
例示課題、応用課題(上位 3 位以内)が役に立った	6 名	3 名
母比率の差の検定: 基礎・応用を上位 3 位以内に挙げた学習者の比率の差: カイ二乗値=3.61, $p=0.057$		

6.5 学習者ごとの回答の変化

6.5.1 OOP の利便性と基礎概念の結びつきの理解度

6.1 節で示した OOP の利便性と基礎概念の結びつきの理解度は、例示課題、統合課題の記述問題の回答をもとに評価している。例示課題で出題した記述問題では、OOP の利便性と基礎概念の関係性をショッピングプログラムの拡張課題を例にして回答させ、統合課題では、実施した課題を振り返りながら自分の言葉で回答させた。実験群の学習者 D、統制群の学習者 L の回答例を表 10 に示す。両者の理解度は、最終的にレベル 5 に達している。

まず、例示課題の回答例を説明する。例示課題問 1 では、継承の概念がプログラムに及ぼす働きやそのメ

¹ 本来、 2×2 の分散分析を行うべきであるが、ノンパラメトリックな 2×2 の分散分析手法は存在しないため、U 検定で代用した⁽¹¹⁾⁽¹²⁾。

リットを、ショッピングプログラムの拡張課題を例示しながら説明させる。この問題では学習者 D, L ともにプログラム拡張課題で作成したサブクラスで一部の変数を宣言せずに利用できた理由として、「親クラスで変数が宣言されているため」といった趣旨の回答が確認できた。そのため、課題の例を使いながら継承がプログラムに及ぼす働きを説明できていると判断し正解とした。この他の問題でも、学習者 D, L は、オーバーライドの働きやそれを利用することのメリットについても、プログラム拡張課題の例を挙げながら説明できていた。このことから、学習者 D, L は、例示的に OOP の利便性と基礎概念の関係性を理解していると判断し、表 1 で示したレベル 2 の理解度には達しているとした。

次に、統合課題の回答例を説明する。統合課題問 4 では、「なぜ OOP では拡張性が得られるのか」という問題を出題した。学習者 D, L は拡張性が得られる要因として具体的な基礎概念の名称を挙げながら、OOP で拡張性が生じる要因になる事象を示していることから、理解度レベルを 5 とした。

6.5.2 多態性の具体的な利点に関する理解度の変化

OOP の利便性と基礎概念の関係性には、多態性の実現が関わっており、これを理解することが OOP の理解度向上に繋がる。そこで、表 4 で示した学習者の理解度をさらに詳しく調べるため、例示課題、統合課題における多態性の利点に関する回答を評価した。評価対象は、表 3 の問 4、表 5 の問 2 の回答である。

具体的な回答例を表 11 に示す。前節で例に挙げた、実験群の学習者 D には回答に改善が見られ、統制群の学習者 L には改善が見られなかった。まず、例示課題において学習者 D, L は、「メソッドを一部書き換えるだけでよい」、「同じ処理を記述する必要が無い」といったサブクラスの作成が楽になるという記述をしており、メインクラスが複雑化しない、という多態性が拡張性に及ぼす本質的な利点に関する指摘が無かったため、不正解 (×/0 点) とした。しかし、学習者 D は、統合課題では「KyuyoProg.java の記述が簡潔になる」と回答した。これは、メインプログラムの拡張が不要になるという多態性の利点を意味しており、正解 (○/2 点) とした。一方で学習者 L は、Shain クラスの構造を真似ればプログラムが作れ、それによって可読性が上がると指摘した。この回答から、学習者 L はプロ

グラム拡張課題を単なる作業としてこなしていた可能性が高い。そもそも多態性の実現に関して気づきがなく、的外れな回答として不正解 (×/0 点) とした。

表 10 例示課題、統合課題の回答例

例示課題	問 1) OOP の各課題で作成した各サブクラス内で、一部の 変数が宣言せず に利用できたのはなぜか?
D (Lv.2)	Food クラスを継承していたため、Food クラスで宣言した変数を利用することができた。
L (Lv.2)	親クラスで宣言されているため。
統合課題	問 4)なぜ OOP では拡張性が得られるのか?
D (Lv.5)	メインクラスをほとんど変更せずに新たなクラスを追加、そこでオーバーライドし、そのメソッドの処理を対応したものに 変えるだけで済む ので、拡張性が得られている。
L (Lv.5)	継承やオーバーライドを用いることにより、サブクラスにおいて拡張したい要素だけを記述すれば良く、これにより記述が容易になるため。

表 11 多態性の利点に関する回答例

例示課題	問 4) プログラム内で多態性が実現した際、どのような利点を実現したか?
学習者 D (×)	syoukei, hyouji メソッドの作成を、メソッド内の計算式や表示内容を一部書き換えるだけで済んだ。
学習者 L (×)	似たプログラムを書くとき、同じ処理を記述する必要がなく、使い回せる。
統合課題	問 2) プログラム内で多態性が実現した際、どのような利点を実現したか?
学習者 D (○)	getkyuyo メソッドを呼び出すだけで各役職に対応した給与計算がなされるため、KyuyoProg.java の記述が簡潔になった。
学習者 L (×)	全てのクラスが Shain クラスと同じ構造をとっていたので、一つのクラスを理解すれば他のクラスの理解も容易。よって可読性が上がることが考えられる。

7. 考察

7.1 実験群と統制群の共通点と相違点

6 章で述べた実験結果から、OOP の利便性と基礎概念の結びつきの理解は、実験群と統制群ともに向上した。具体的には、表 1 で示した評価基準のレベル 4~5 に達した学習者が両群とも過半数以上見られた。相違点はこの利便性と基礎概念の結びつきを理解するための鍵となる「多態性の利点」の理解について、実験群の学習者の方が深い理解が得られたことである。次節から、これらについて詳しく考察する。

7.2 OOPの利便性と基礎概念の関係性の理解度

表1のレベル4～5に達した学習者は、前回の実験⁽⁷⁾と比較すると、実験群、統制群ともに増加した。この要因として、今回は、学習の流れにIDの第一原理に則って応用課題を導入し、多態性に関する知識を活用する機会を作ったことが挙げられる。IDの第一原理を学習の流れに則らせる場合は、例示、応用、統合という流れに意味があり、どれか一つの要素を抜いてしまうと学習効果が得られなくなる可能性があることがわかった。

7.3 比較学習の効果

今回の実験では、例示課題で比較学習を行わせたうえで応用課題を実施した実験群で多態性に対する理解度が深まる、という結果が得られた。ヒアリングで、「多態性の理解度が向上したきっかけとなった課題はどれか」という質問を設けたところ、比較学習を行った実験群の学習者のほとんどが、役に立った課題として、例示課題と応用課題の双方を挙げており、統制群の回答とは有意傾向のある差が見られた。学習者の主観的な評価においても、例示課題で比較学習を行ったうえで、応用課題で振り返りをさせるという流れが、OOPの利便性と基礎概念の結びつきの理解を深めるうえで有効であることが示唆された。

8. 今後の方向性

実験の結果と考察から、例示課題でOOPと非OOPの比較学習を実施したうえで、応用課題で多態性についての学習を行うことが、OOPの利便性と基礎概念の関係性の理解度向上に効果があることがわかった。今後は、OOPの基礎概念の特徴を活用できていないプログラムをリファクタリングによって書き換える課題を導入するなどをし、学習課題の質を高めていく必要がある。また、学習者をさらに増やしたうえで調査を行い、今回よりも明確なデータを取ることも今後の課題である。

参考文献

- (1) 情報システムと情報技術辞典編集委員会:情報システムのための情報技術辞典, 培風館(2006)
- (2) アラン・シャロウェイ, ジェームズ・R・トロット:デザインパターンとともに学ぶオブジェクト指向のこころ, 株式会社ピアソン桐原(2005)
- (3) 中鉢直宏, 伊藤一成:“オブジェクト指向プログラミング教育におけるLEGOを用いた体験型課題の試み, 情報処理学会研究報告, Vol.2014-CE-124, No.8, pp.1-6(2014)
- (4) 石川裕季子, 松澤芳昭, 酒井三四郎,:オブジェクト指向言語におけるポリモーフィズムの概念を理解するためのワークベンチ”, 教育システム情報学会誌, Vol.31, No.2, pp.208-213(2014)
- (5) 早川勝, 野沢光太郎, 松澤芳昭, 酒井三四郎:オブジェクト指向モデリング教育のためのオブジェクト図自動生成システムの設計と評価, 情報処理学会論文誌, Vol.54, No.1, pp.66-79(2013)
- (6) 高井久美子, 佐々木茂, 渡辺博芳, 荒井正之, 武井恵雄:「物語」導入型コンテンツを活用したセルフレARNING型授業—オブジェクト指向プログラミング教育における実践例—, 教育システム情報学会誌, Vol.24, No.2, pp.106-116(2007)
- (7) 竹川夏実, 仲林清:”オブジェクト指向プログラミングの利便性に着目した学習手法の改善と評価”, 教育システム情報学会研究報告, Vol.33, No.1, pp39-46(2018)
- (8) 野嶋栄一郎, 鈴木克明, 吉田文:人間情報科学とeラーニング, 放送大学教育振興会(2006)
- (9) 鈴木克明, 市川尚, 根本淳子:インストラクショナルデザイン 101, 北大路書房(2016)
- (10) 基本情報技術者試験過去問題(午前)
https://www.jitec.ipa.go.jp/1_04hanni_sukiru/_index_mondai.html
- (11) 池田郁男:統計検定を理解せずに使っている人のためにⅢ, 放送大学教育振興会, Vol.51, No.7, pp.483-495(2013)
- (12) 対馬栄輝:リハビリテーション分野の研究で用いられる統計手法, バイオメカニズム学会誌, Vol.35, No.1, pp.67-75(2011)

初学者に向けたプログラミング多重ループの効果的な学習方法について

Effective learning method of programming multiple nested loop understanding for beginners

時田 真美乃, 不破 泰
Mamino TOKITA, Yasushi FUWA

信州大学
Shinshu University

Email: m_tokita@shinshu-u.ac.jp

あらまし：本研究は、プログラミング学習時における FOR 文の多重ループで、学習が困難な要因に人間の認識の限界があることを取り入れ、認知科学的な工夫をした学習法を実践したものである。シングルボードコンピュータである IchigoJam を使用し、多重ループの動作について音によるチャンク化を行い、記憶の負荷の軽減による理解の促進が見られるかを調査した。また、学習時に多重ループの動作について、音がどのように鳴るかについて予め予測を行うようにした。そのことで FOR 文の多重ループの動作の理解が促進されるかを確認し、音の予測と音による教示を行うことで正答率が上昇するという結果を得た。

キーワード：プログラミング教育、初年次教育、入れ子構造、多重ループ、認知科学、人間の情報処理

1. はじめに

初等教育からプログラミング学習を実施する重要性が高まる中、大学初年次教育においてもプログラミング教育を含めて教育することが推奨されている。本研究は、2017 年度に発表した⁽¹⁾大学初年次教育における情報の基礎的な知識の修得におけるプログラミングの制御構造の理解において、効果的な教育カリキュラムの構築を目的とし、その方法について論じる一連の研究である。

情報の基礎的教育に、認知科学の知見を取り入れることについて、人間の情報処理の視点の重要性について言及しているものがある⁽²⁾。また、第一著者の過去の研究では、学習者は高次の入れ子構造になると、課題の正答率が下がることが論理・数学的課題においても見られていた⁽³⁾。

本研究では、特にプログラミング学習時における最も基本的な制御構造の IF 文 FOR 文の多重ループの学習で“入れ子構造”の学習が困難となる要因に、人の認識の限界が関係することを取り入れ、特に初学者の記憶の負荷が軽減するような工夫を教材に取り入れることを検証するものである。

記憶の負荷があるときはチャンクを作り情報の塊で理解することが有用であるとされている。プログラミングの課題は視覚的に提示されているが、従来の学習法としてはインデントを付ける等、視覚領域での工夫が多かった。一方で、ワーキングメモリに関する Baddeley のモデルでは音韻ループ(聴覚系)と視空間スケッチパッド(視覚系)の 2 つの情報の格納庫が提案されている。そのため、課題の負荷が大

きい場合は、異なる系での記憶を用いてチャンクを作る方が負荷軽減になると仮説を立てた。この仮説に基づいた教材は、多くの情報がチャンク化されていない初学者の教材として特に有効であると考えた。

2. 提案する教育カリキュラム

本研究では、プログラミング学習うちの多重ループ学習の FOR 文の 2,3 重構造について音を用いて情報の固まりを聴覚的に際立たせて提示することで、記憶の負荷が減少し理解が促進されるようになることを目標とした。

また、正解の提示の前に一度結果を予測させる思考を取り入れることで、記憶がさらに強化され理解が深まることも狙いとした。この予測については、音が鳴る順序を予測させるために、音の違いが明瞭になるように、音域と長さについて差ができるようにすることとした。

実験環境については、2017 年度と同様に大学初年次の情報学入門の授業を使用した。この授業で著者らは、IchigoJam の機材を 1 人 1 台使用し、情報学全般の知識の体験的学習の実践にも 2014 年度から取り組んできている⁽⁴⁾。ハンズオン教材をプログラミング教育に取り組む実践は他にも事例がある⁽⁵⁾。

その一貫の中で、IchigoJam で圧電サウンドを使用し、音を出力するコマンドである PLAY コマンド、BEEP コマンドを用いて体験学習を開発した。

提案する教育プログラムは、図 1 のような手順で、授業カリキュラムを実施した。

1. 繰り返し構造 FOR 文 1-3 重の通常の解説を行い、IchigoJam でプログラムを組む練習をする。
2. [テスト(1)]
FOR 文 1 重・3 重の理解度を確認するテストを行う。
3. <音の出力パターンの予測> 2018 年度のみ
<音によるタイミング教示>
IchigoJam の PLAY コマンドを使用し FOR 文の 1-3 重の構造を理解する体験学習を行う。
4. [テスト(2)]
FOR 文 1 重・3 重の理解度を確認するテストを行う。
5. 「3」で行ったのは別の題材にて、
<音の出力パターンの予測> 2018 年度のみ
<音によるタイミング教示>を行い、
IchigoJam の PLAY コマンドを使用し FOR 文の 1-3 重の構造を構築して理解する。
体験学習の繰り返しと応用学習を行う。
(テストは実施しない。感想アンケートは実施)
6. [テスト(4)]
最終回で再度理解度を確認するテストを行う。

図1 IchigoJam を使用した音による
タイミング教示の実践手順(2018)

また、実際に使用したプログラムのうち、2重構造の例は図2のようになる。外側のループが実行される時に「ド」の音がなり、内側のループが実行される時に「短いソ」の音なるように PLAY コマンドを組み込む教材を開発した。2018年度のこの教材については、異なるループに発する音について、音域以外に長さも異なるようにし、違いを明瞭にした。

```

10 for j=1 to 9 : PLAY"C" : wait 30
20   for i=1 to 9
30     print i*j, " "; PLAY"G16":wait 30
40     wait30
50   next
60   print
70 next
80 wait 30
90 end

```

図2 IchigoJam による Basic プログラム
(FOR 文 2 重構造の教材の場合)

また、音の出力パターンの予測については、どの順序で何の音が何回どの順序で鳴るかを自由記述で記載する方法とした。その各自の回答を確かめるよう、その後に音によるタイミングの提示を実施した。

3. 実践

実践は、初年次の後期の情報学入門のプログラミングを学習する授業で行なった。受講者数は2017年度は85名であり、2018年度は53名でテストは e-Learning の教材を用い WEB 上で実施した。

4. 結果と考察

表1については、まず繰り返し構造の学習において、FOR 文の1重～3重の構造を学習した後でのテスト結果である。FOR 文1重の正答率については90.4%であり、視覚的な情報だけを使用した解説だけで、構造の理解に困難さはないといえる。一方で、FOR 文2重・3重についての初回の正答率は38.1%、33.3%と低い結果であった。このことは、図説やインデントだけの視覚的な説明だけで多くの学生の理解を得ることは難しいということを示している。一方で、音の出力パターンの予測および、音による教示を実施した後におけるFOR 文2重・3重についての正答率は、71%、84%にまでなり30%以上も正答率が上昇する結果が示された。

表1 [テスト(1)・(2)]における教示の実施
前後の FOR 文の正答率(%)

	テスト(1)(定数)	テスト(2)(定数)
For文一重	90.4	100.0
For文二重	38.1	71.0
For文三重	33.3	84.0

次に、表2に、最終回のテストにおけるの正答率の2017年度および2018年度の比較を示す。図1で示したように、最終回のテストの前に、一度復習としてリハーサル学習が入っている。最終回の結果についてはFOR 文2重の結果については、2017年度も2018年度も、それぞれ86.0%、84.9%であった。この結果については、繰り返しの学習を含めて、音による教示を行うことで、理解の定着があったことが考えられる。一方FOR 文3重の結果については、2017年度は55.3%であったのに対し、2018年度は83.0%と30%近く正答率が上昇した。2017年度についてはFor 文3重については音による教示だけでは理解の定着が難しいと結論していたが、2018年度の一度予測させる思考を学習に取り入れたことで、より効果的な学習がなされた可能性が示された。この結果について統計的有意差が示された。(p<0.001)

表2 [テスト(4)]における年度間の正答率
(定数)の比較(%)

	テスト(4)(定数)	
	2017年度	2018年度
For文一重	94.1	100.0
For文二重	86.0	84.9
For文三重	55.3	83.0

また、最終回における変数課題の結果は表3の通りとなった。2017年度は、まずFOR 文二重の課題は55.3%であったのに対し、2018年度は74.0%と正答率が上昇し、統計的有意差が示された。(p<0.01)ま

た,FOR 文三重課題についても,2018 年度は 6 割近くが正答した. この結果についても統計的有意差が確認された. ($p<0.001$) FOR 文の変数が可変となる課題については音による教示を行う授業はしていないため,応用課題に位置付けられる.2018 年度において,この変数の課題についても正答率が上昇したことは,音の鳴る順序を考える思考を挟むことが制御構造の理解を深めたことが考えられる.

表3 [テスト(4)]における年度間正答率(変数)の比較(%)

	テスト(4)(変数)	
	2017年度	2018年度
For文二重	55.3	74.0
For文三重	25.8	59.0

また,これらの課題について,同じ課題で行うことによる慣れの影響があることを 2017 年度の調査では排除できなかった.そのため,2018 年度については,FOR 文 1,2 および 3 重の定数の課題について,最終回で別の課題も回答するような調査も行った.その結果についても表 4 に示す.

表4 [テスト(4)]における別問題の FOR 文の正答率(定数)

	テスト(4)別問題
For文一重	94.0
For文二重	72.0
For文三重	70.0

表 4 について,表 2 に示した初回と同じ問題を実施した場合の結果と同様に,少し正答率が下がったものの,FOR 文 2 重・3 重の結果についても 70%以上の正答率となり,2017 年度の結果と差が確認された. このことは,音の鳴る順序の予測をした後で音による教示がある場合の理解の定着に一定の効果があることが示される.

一方で,表 1 に示したように定数の課題については,音の鳴る順序の予測と音による教示の後で正答率が顕著に上昇したが,変数の課題については,そのタイミングでは顕著な上昇は見られなかった.これは FOR 文 2 重・3 重の課題いずれでもであった. 表 3 に示すように,最終回のテストでは,変数の課題についても理解が得られたことが正答率から示唆されたが,直後の理解は得られていなかった.このことから,FOR 文の繰り返しの構造の理解とは別に,プログラムにおける変数についての理解が関係していることが考察される.

最終回では変数についても点数が上昇した理由に,繰り返し学習がもう一度成されて理解が深まった可

能性,最終回までに他の単元で変数に関するプログラムを学習しているので,プログラミングで使用する変数そのものの理解が定着したことが関係した可能性があると考えられる.

また,音が鳴る予測について記載された例とこの試みを実施した学生の感想についても図 3 に示す.

<音が鳴る予測についての記述(例)>

数が表示されるたびに短いソが鳴る。
十の位が変化するたびに少し短いミが鳴る。
百の位が変化するたびにドが鳴る。

「ド」の音が 1 回鳴った後、最初 1 の倍数から答えが順番に表示されながら短い「ソ」の音が同じタイミングで鳴る。これが 9 の倍数まで同様に行われる。

<音による教示の教材についての感想(例)>

前回までは、音を出さず、数字を送受信していて、頭の中でどのようなことが行われているか考えてやっていたが、音を鳴らして行ったことによってどのタイミングでどのような処理が行われているか頭の中だけでなく耳を使って理解することが出来た。

自分で実際にプログラムした内容なので理解することができたのだと思う。二重の for 文も音が鳴ることで体感することができ、とても良かったと思う。

図3 音が鳴る予測についてと感想の記述例

これらの結果から,提案した教育プログラムは,体験的理解を促すものとして,一定の効果が示唆されたと考えられる. 著者は FOR 文 2 重・3 重の課題は認知的負荷,特に記憶の負荷が高いことが,初学者にとって,理解しにくい要素にあると考えていた.記憶に関してはチャンクという考え方があり,図説で要素を囲ったり,インデントをつけることは,情報の塊として理解することにつながり,記憶の負荷を軽減させる方法として以前から一定の有効さはあったといえる.しかしそれだけでは,多くの学生の理解に至らなかったため,本研究の聴覚も用いた教材の有効性が示されたといえる. テストにおける正答率の上昇の結果から,視覚記憶だけでなく,異なる記憶領域の聴覚を使用することで,認知的な負荷が軽減された可能性と,また音による予測も行うことでチャンクとしての情報の塊が,視覚以上に明瞭に把握できた可能性が考えられる.

今後も,音による教示が実際に聴覚的な記憶の負荷の軽減になっているかを示す研究や,教材としての確立に向けて,どのように予測されることがより効果的な学習につながるのかについて等の研究を実施していく.

参考文献

- (1) 時田真美乃,長谷川理,不破泰：“認知科学を取り入れたプログラミング多重ループ理解の効果的な教育について”,教育システム情報学会全国大会論文集：pp.137-138(2018).
- (2) 神谷良夫：教師のための認知科学-新教科「情報」と「総合的な学習」を支えるもの;コンピュータ&エデュケーション,Vol8,pp.68-73(2000).
- (3) 時田真美乃,平石界,：“心の状態及び数学的課題における再帰的推論の処理時間の関連性,人間行動進化学会プログラム, p.29(2017).
- (4) 時田真美乃,長谷川理,不破泰：“はんだづけから始める大学生への情報の基礎的知識の教育効果~プログラミングの基礎的理解を含めた体験的学習~”,教育システム情報学会研究会論文集,Vol.31(No.7)：pp.25-30(2017).
- (5) 香山瑞恵,箕浦航,山本翔,不破泰,橋本昌巳：“情報通信ネットワークにおけるプロトコルの基本概念理解のためのハンズオン教材”,教育システム情報学会誌,Vol.35(No.2)：pp.163-174(2018).

タブレット PC を用いた運筆情報と画像処理による ペン習字上達支援方法の検討

長井 孔明^{*1}, 越智 洋司^{*2}

^{*1} 近畿大学大学院総合理工学研究科, ^{*2} 近畿大学理工学部

Study on penmanship learning support method using stroke information and image processing with a tablet PC.

Koumei NAGAI^{*1}, Youji OCHI^{*2}

^{*1} Graduate School of Kindai University, ^{*2} Kindai University

Recently, improvements of pen input devices have led to increase the opportunity of writing operation on digital devices. Beautiful character gives a good impression to others. In our research, we focus on the beautifulness of not only a character but also sentences. Our system compare a student's data with expert's data using stroke information and image processing.

キーワード: 運筆動作, ペン習字, 画像処理, 運筆情報

1. はじめに

近年, コンピュータにペン入力出来るタブレットや液晶タブレットが普及し, ペン入力を使って人間の運筆動作に注目する研究が増えてきた. 大柳らの研究[1]では, 運筆状況を取得するソフトウェアとして, 書癩患者を対象とした CSWin[2], パーキンソン病患者を対象とした Neuroskill[3], ADHD 患者の評価を目的とした EDT[4]などあることが報告されている.

このような医療系の研究もあれば, 運筆動作としてデッサンやペン習字の研究もある. デッサンの研究では, 独習性や時間的コストの問題を解決するタブレット型 PC で動作する対話的なデッサン学習支援システムの開発[5]等が行われている. ペン習字の研究では, 学習場所にとらわれない遠隔実時間添削指導の研究[6]やスマートフォンを用いた運筆リズムを学ばせるアプリの開発[7]などがある.

本研究では運筆動作の中でもペン習字の分野に注目し, 手書き文字の綺麗さ向上支援を図る. 手書き文字には字の形や大きさや筆圧等から書き手の性格や適性が判断可能だと考えられており, 字を綺麗に書けることは相手に好印象を与えることに繋がるとされている

[8-10]. デジタル文字が普及する中でも, 履歴書など手書き文書が必要とされる場面は多々存在する上, 近年では企業等でも同意の際はタブレット上に手書きでサインといった場面が増えている. そういった背景から手書き文字の綺麗さは必要であると考えため, 本研究ではペン入力に対応した PC での横書き及び縦書きの手書き文章の入力を手書き文字の綺麗さ向上を目的とする.

手書き文字の綺麗さとして平均文字に関する研究がある[11-12]. 書き手は頭の中に浮かべる理想の字と実際に書いた字にはブレがあり, 何度も書いた字の平均文字が綺麗であるとしている. 本研究では, 履歴書等に綺麗な字を書くという観点から, 平均文字を扱わず実際に書いた字を扱う. そのため, 熟達者の字を参考に学習させる.

また, 身体的体験の有用性が主張されており[13], 実際にシステム等を使って学習者に体験させながら教えることが早い上達になるとされている. そのような中で実際にシステムを用いて学習者に描画プロセスを意識させることの重要性を説く研究[14]や, 熟達者との違いを明確ささせ自覚を促す研究[15]等がある.

先行研究で古積らは, 漢字を正しくきれいに書くこ

とを学ぶための学習システムにおいて、文字毎のサイズと位置を正規化し、運筆速度と筆圧の変化を見て、終筆状態の「止め」、「払い」判定を行っている[16]. 吉野らの研究では、「止め」、「払い」の判定に末尾周辺の平均筆圧が大で「止め」、小で「払い」としている[17].

本研究では、漢字、ひらがなを対象とし、終筆状態の判定に関して、画毎の平均運筆速度と標準偏差を用いて、「止め」、「払い」の判定と止め払いの程度の判定を行う。また、文字毎の綺麗さと文字列での綺麗さを熟達者の運筆データと画像処理技術を用いることにより、複合的に評価する。

2. ペン習字の支援アプローチ

2.1 ペン習字とは

ペン習字とは、ボールペンや鉛筆を用いて字を美しく正しく書くことを指す。一般的に硬筆書道と呼ばれ、単純な動作であるがため習熟には比較的容易と思われがちだが、熟練に達することは容易ではない。ペン習字は毛筆書道に比べ、文字の太さや力強さの違いは微小であるが、それらは視覚的印象に大きな影響を与えるとして、オノマトペを用いた硬筆書道の筆記指導の評価に関する研究[18]もある。

2.2 支援アプローチ

字を綺麗に書くには「文字毎の綺麗さ」と「文字列での綺麗さ」を複合的に評価する必要がある。例えば、文字そのものは綺麗に書けているが、文字毎の間隔がバラバラである場合(図 1)と文字そのものが汚い場合(図 2)、両者とも綺麗であるとは言い難い。このような例から、文字だけ綺麗であっても、文章としてだけ綺麗(文字間隔など)であってもいけない。両者が綺麗である必要がある。そこで本研究では、文字毎の評価も含めた文字列での評価を行うものとする。想定する支援アプローチの手順は以下の 4 過程である。

(1)学習者に指定した文字列を運筆させる

(2)学習者の運筆した情報を取得・分析する

(3)学習者の運筆を評価する

(4)分析・評価した結果を学習者に知らせる

この 4 過程を繰り返し行わせることで、学習者のペン習字向上を促すことを想定する(図 3)。



図 1 文字毎の間隔の悪い例



図 2 文字自体が汚い例



図 3 想定支援アプローチ

2.2.1 文字毎の評価

本研究では文字毎の評価指標を 3 つ定義し、終筆状態の評価を含めた「運筆速度」、運筆者の筆圧情報を用いた「的確な位置での筆圧強弱」、横線を書く際は斜め 6 度を書くことが綺麗とされている斜め 6 度法[19]と筆順の評価も含めた「的確な位置での運筆」とする。文字の種類は無数にあり、文字によって「筆圧の付け方」や「止め・払い」などは異なるため、一つ一つの文字に対して評価基準を設けるのは現実的ではない。そこで、予め学習する文字を決め、熟達者に運筆してもらい、その運筆を基準に学習者の運筆を比較することで評価する。

2.2.2 文字列の評価

文字列が綺麗とされる項目は大きく分けて 3 つあり、「文字の大きさにおいて漢字は大きく、ひらがなは小さく書くこと」、「文字の中心位置が一定であること」、「文字毎の配置間隔が一定であること」である[20]。これらの項目を評価指標とした場合、文字列ごとに評価基準を設ける必要は無く、どんな文字列であっても同様の評価ができる。

3. 文字・文字列評価手法

3.1 文字サイズ取得と文字の特徴点抽出

前述(2.2.1 及び 2.2.2)の評価を行うために画像処理を用いて文字サイズの取得と文字の特徴点抽出を行う。

(1)文字サイズの取得

文字列評価では文字の大きさ・間隔・中心位置を評価するため、文字の上下左右の最大値(座標)つまり文字サイズを取得できれば評価可能と考える。後述の試作システムは、文字は点の集合で表現しているため単純に文字中の全点から上下左右の最大値を算出するだけでも取得可能と考えられるが、筆圧によって点の太さが変更される処理を行っているため、正しい上下左右の最大値とはならない。筆圧に応じた点の太さも計算に考慮しようとする、プログラム上やや複雑になり管理も難しくなる。そこで、視覚的に見たままの上下左右の最大値を取れないかと考え、画像処理を用いて取得する。具体的なプロセスについては後述の 3.2.2 で示す。

(2)文字の特徴点抽出

特徴点抽出(図 4)を行い特徴点の位置を用いて運筆位置を決定する。特徴点を利用する理由として、試作システムにより取得した文字である点の座標を用いると、数が多すぎてしまい比較回数が増大してしまうのと、学習者の運筆速度によりその個数も大きく変わってしまうため、特徴点を利用して学習者と熟達者の座標の個数を違いすぎないようにしたからである。また、視覚的にも特徴といえる箇所(始点、終点、角)を特徴点として取得する。

特徴点抽出方法に関して、文字毎に特徴点抽出を行うと、どの画の特徴点なのかが分かりづらくなる上、画の重なりが起きる部分も特徴点として認識してしまうためノイズが多くなる。そのため、文字毎ではなく、画毎に特徴点を抽出する必要があるため、1画毎の画像を読み込み、Fast アルゴリズム[21]を用いてコーナー検出を行った。閾値を調整することにより視覚的にも特徴と言える部分(始点、終点、角)に近い個数の特徴点を抽出できる。

3.2 文字毎の管理

前述(2.2.1)の評価をするためには文字毎に管理をする必要がある。図 5 のように文字毎に描画画面を分け、レイヤー管理を行うことで対応した。文字毎に描画画面を分けて管理することで、一文字一文字を個別に扱えるようになり、後述の 3.3 の文字毎のリサイズ、位置移動が行えるため、熟達者の運筆データとより正確

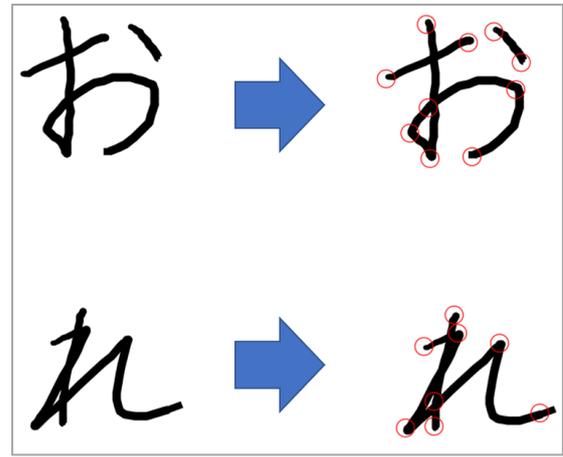


図 4 特徴点抽出結果

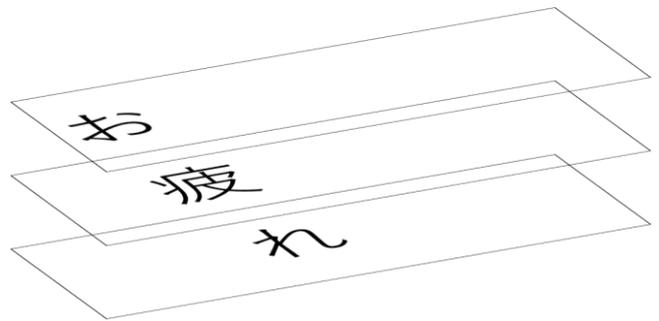


図 5 文字毎のレイヤー分けのイメージ

に比較出来るようになった。しかし、レイヤー管理を行うためには学習者が一文字毎に描画画面を変更しなければならないため、自然な運筆を行えないという問題も生じた。対応策として、画数による対象文字の把握を行うようにした。熟達者の運筆データより、学習者の運筆画数が熟達者の文字終了画数になり、かつ、その画の終了(ペンを離れた)直後に描画画面を自動遷移する仕組みにした。これにより、自然な運筆というものを達成した。

3.3 文字のリサイズ・再配置

文字毎の評価の際、熟達者の文字と比較するため学習者の文字をリサイズし再配置を行う。文字のリサイズは文字毎に行い、熟達者の文字と学習者の文字の X 座標 Y 座標それぞれの比を取り、比が小さい方をその文字の比とする。その比を文字となっている点一つ一つに掛け合わせ拡大縮小(リサイズ)を実現している。ただし掛け合わせる際、文字の中心を拡大縮小の中心点とし、点の座標と中心点までの差に対して掛け合わせ、「掛け合わせた結果」と「点の座標と中心点までの差」の差を点座標に足すという処理を行っている。

例えば、熟達者との文字比 S が 1.2、文字の中心座標 $C(120,120)$ 、文字のある点 $P(40,80)$ の場合、 P と C の差 $d(-80,-40)$ 、 d と S を掛け合わせた $dS(-96,-48)$ 、 dS と d の差 $d2(-16,-8)$ となるため、最終的な拡大縮小結果である P と $d2$ の加算結果 $P2$ は $(24,72)$ となる。このような計算過程を文字の全点に行うことで文字の拡大縮小つまり文字のリサイズを実現している。そして、学習者の文字の中心座標と熟達者の文字の中心座標を合わせることで再配置としている。

4. 試作システム

文字毎・文字列での評価指標を用い、学習者の運筆を分析・評価するために試作システムを開発した。実装環境として、Microsoft Surface Pro(OS:Windows 10 Pro)と Surface Pen Model:1776 を用いて、Visual Studio の WPF ライブラリで開発した。

4.1 目的

本システムでは、ペン入力から学習者の運筆情報を取得し保存する機能、画像処理を用いて、学習者が書いた文字の特徴点抽出、文字列の分析・評価を行う機能、熟達者（教師データ）との比較可能な学習環境を実装する。

4.2 システム概要

実装機能として大きく分けて 4 つあり、描画機能、文字のサイズ取得・リサイズ・再配置機能、採点機能、リアルタイム診断機能である。これらの機能の詳細を以下に述べる。

4.2.1 描画機能

描画機能では、描画・消去機能がある。まず描画に関して、ペン入力における運筆時の描画位置・筆圧に対応して図 6 のように画面上に字形が描画される機能である。実際に紙に書いたときと同じ様に再現するという意味合いもあるが、文字の太さや大きさによって読み手への印象が変化することが報告されている [22-25] ため、筆圧に応じた文字の太さ変更機能を取り入れた。WPF ライブラリ標準搭載の Stylus イベントを使用して、学習者の運筆情報である描画位置や筆圧等を取得し描画する。また、取得した運筆情報は CSV ファイルとして保存しており、再度読み込んで復元するこ



図 6 描画面面



(a) 背景表示

(b) 上側表示

図 7 熟達者運筆表示

ともできるため、熟達者の運筆情報を読み込んで熟達者の字を図 7(a)のように背景に表示(再描画)したり、図 7(b)のように描画領域の上側に表示したりすることができる。また、熟達者の字は学習者が任意で表示・非表示を選択できる仕様になっているため、学習者の学習速度に合わせて、表示状態を変更できる。

次に文字消去に関しては、一画戻すまたは全部削除の機能を搭載している。座標等を設定した Line クラスを Canvas の子に追加しているため、この Canvas の子を一括または指定範囲の消去により全文字消去文字単体消去、一画消去を実現している。これにより、消しゴムで消して書き直すといった動作が再現できる。

この描画機能は、縦書き・横書きの両方に対応している(図 8)。ただし、運筆した字の画面反映はポインタの座標を取得して Line クラスに設定し、描画面面(Canvas クラスの描画用 Canvas)の子にするという処理を行っているため、縦書き用に描画面面を縦(90 度回転)にして運筆を行うと期待した位置に字が反映されないという問題が起きた。この問題を解決するため、画面の回転度を考慮し運筆座標に修正を加え、画面に反映するようにした。これにより、縦書きでも実際に字を書いた時と同じ効果が得られ、学習者は学習する文字列に合った向きで学習することが出来る。

4.2.2 文字のサイズ取得・リサイズ・再配置機能

文字列評価の際に用いる文字サイズの取得方法に関して、画像処理を用いた具体的な流れとして以下の4過程がある。

- (a)文字画像を読み込む
- (b)ラベリングを行う
- (c)ラベリング領域の上下左右の最大値を取得する
- (d)(c)の結果を文字サイズとして格納する

ここで(b)のラベリングに関して、図9の「お」の3画面目のように、離れている点があると別のラベルとして複数のラベルが現れるが、(c)を行う際、複数のラベルも考慮した全体を通しての最大値取得を行っている。

文字のリサイズ・再配置については前述の3.3の通りである。

4.2.3 採点機能

採点機能では文字毎の評価指標を元にした採点、文字列の評価指標を元にした採点をする機能を実装した。

採点項目は4つに分かれ、以下に詳細を示す。ただし、(1)が文字毎に関する採点であり前述の評価指標(2.2.1参照)3つを評価し、(2)~(4)が文字列に関する採点であり前述の評価指標(2.2.2参照)3つについて評価し、(1)~(4)の合計で学習者の運筆の評価とする。

(1) 文字毎の採点

前述の評価指標(2.2.1参照)3つについて採点する。以下に具体的な採点項目内容を示すが、一面毎の採点であるため、全ての面の採点が終了した後、項目毎にそれぞれの面の得点を合計し、画数で割る処理を行っている。また、文字サイズや運筆位置に関して、評価前にリサイズ・再配置しているものとする。

(a)運筆速度

運筆速度と終筆状態を熟達者と比較し、採点を行う。終筆状態は「止め」と「払い」の二択とし、終筆直前の運筆速度が平均運筆速度より上なら「払い」、下なら「止め」と判断し熟達者と比較する。さらに、標準偏差を利用して、止め・払いがどの程度しっかりと行っているかを3段階評価する。例えば「止め」を評価する時、平均運筆速度40、標準偏差5の場合、レベル1:40-35、レベル2:35-30、レベル3:30未満となりレベルが高いほどしっかりと止まれていると評価する。ここで、平均運筆速度と標準偏差は画毎に算出する。標準偏差を利用して評価することにより、目に見えない部



(a)横書き

(b)縦書き

図8 運筆方向

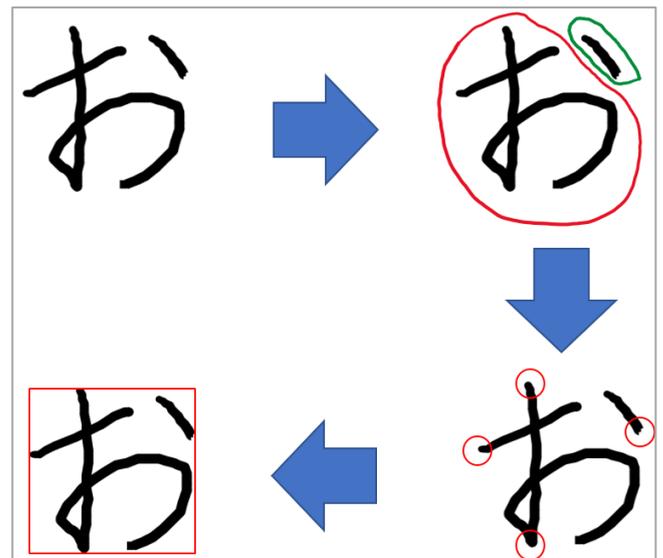


図9 文字サイズ取得の流れ

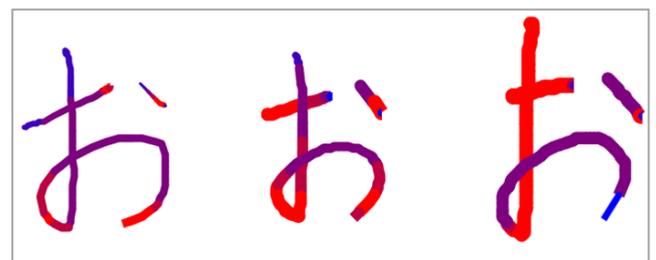


図10 筆圧強弱の例(赤⇄青:筆圧強⇄筆圧弱)

分の評価も細かく行うことができる。

(b)的確な位置での筆圧強弱

筆圧の強弱(Max:1000, Min:0)は、運筆中の筆圧最高値と筆圧の標準偏差を用いて決定する。筆圧の強弱を筆圧最高値から標準偏差の倍数で4段階区別をしている。例えば、運筆中の筆圧最高値が900、標準偏差が100である場合、レベル4:900-800、レベル3:800-700、レベル2:700-600、レベル1:600-500という区別になる。本手法での評価により、学習者によって筆圧強弱が分からないといった事が起きなくなり、学習者毎の筆圧強弱を得る事ができる(図10)。

(c)的確な位置での運筆

特徴点を用いて学習者と熟達者の描画位置を比較し、かつ、熟達者の斜め6度の横線が確認出来る部分で学習者も斜め6度の横線になっているか比較し評価する。

筆順判定に関して、書き始めの向きと始点から終点の向きの2点を算出して熟達者と比較し評価を行う。例えば特徴点が3つ得られた場合、1つ目と2つ目の向きと1つ目(始点)と3つ目の(終点)向きを算出し熟達者と比較する

(2)文字の大きさ

漢字の大きさとひらがなの大きさは、予め熟達者の字を登録する際に漢字とひらがなの識別をしているため、学習者が字を書いたとき自動的に分類される(文字毎の区別は3.2)。その上で、漢字毎の文字サイズ平均、ひらがな毎の文字サイズ平均を算出し、平均値を比較することで評価する。ただし一般的に、漢字よりひらがなを小さく書くことが綺麗とされているため、本研究では、漢字サイズ平均の0.7~0.9倍の範囲にひらがなサイズ平均が存在すれば綺麗と定義している。また、漢字毎、ひらがな毎に平均だけでなく標準偏差も算出しており、標準偏差が予め設定した閾値より大きかった場合、大きく平均値を狂わせている文字があるということになるため、その文字を特定し学習者に伝える。

(3)文字の中心

文字の最上値と最下値を用いて算出する。運筆した全文字において中心位置を算出し、その位置のバラつき(標準偏差)具合で評価する。標準偏差に対しては予め閾値を設定しており、3段階のレベルで評価をする。

(4)文字の間隔

左に位置する文字の最右値と右に位置する文字の最左値を用いて算出する。全文字間に対して行うため、「文字の数 - 1」分だけ間隔値が得られる。この間隔値を用いて、バラつき具合で評価する。ただし、文字の中心位置の評価同様、標準偏差に対して予め閾値を設定しており、3段階のレベルで評価をする。

4.2.4 リアルタイム診断機能

学習者が運筆中一画毎に、熟達者の運筆時間より長過ぎる(短過ぎる)場合にリアルタイムでコメントを表示する(図11)。また、「参考再生」を押すことで、学習者のリアルタイムの運筆画数に応じて、背景に熟達者の運筆を一画毎に赤色で再生する(図12)。



図11 リアルタイムコメント表示

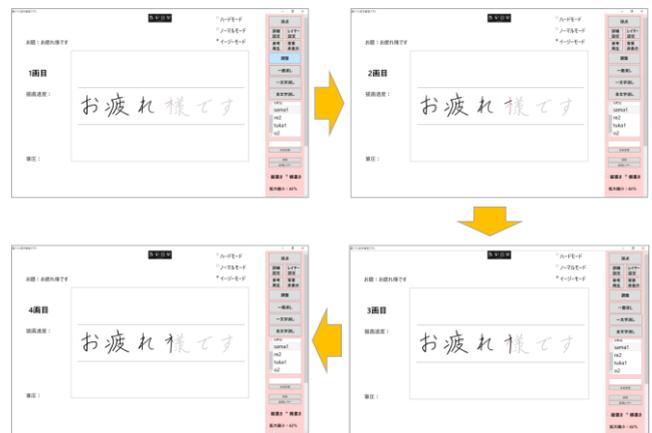


図12 リアルタイムに熟達者の運筆を表示

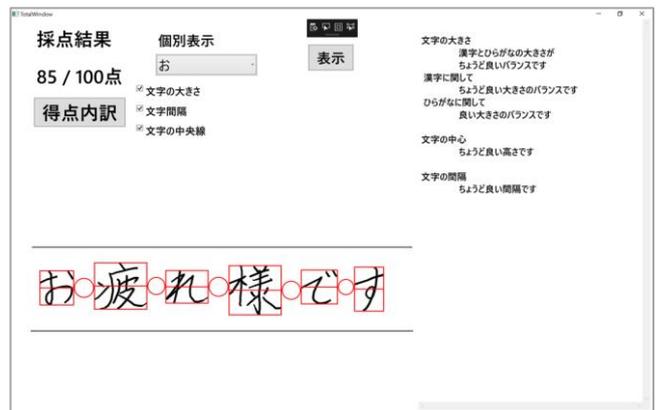


図13 全体文字列結果画面

4.3 評価結果表示手法

評価結果画面は全体文字列結果画面(図13)、個別文字結果画面(図14)の2つがあり、学習者はそれらの画面に表示される指摘箇所の学習を行う。全体文字列結果画面では、学習者が運筆した文字列(教材として指定された文字列)に対し、文字毎の筆圧の変化、文字毎の大きさ、文字毎の配置間隔、文字毎の中心の

揃い具合と学習者の任意で文字毎の個別結果を提示する。個別文字結果画面は2画面あり、1つ目の画面では個々の文字について図14のように学習者の運筆と熟達者の運筆の筆圧や運筆位置の違いをコメント付きで提示する。2つ目の画面は学習者の運筆と熟達者の運筆を比較再生出来る画面となっている(図15)。また採点結果では、筆圧の変化に応じて学習者の書いた文字を色分け(赤と青)表示する。赤であるほど筆圧が強く、青であるほど筆圧が弱い事を表す。



図14 個別文字結果画面(採点結果表示)

5. 評価実験の検討

本試作システムが学習者のペン習字上達に關与できたかどうかを評価する必要がある。想定する評価実験の流れとしては、まず被験者を複数人用意し、試作システムの支援有り G1 と支援無し G2 のグループに分ける。G1 は以下の4過程を繰り返し実施する。

- (1-1)試作システム上に対象文字列を運筆する
- (1-2)採点を実施する
- (1-3)結果画面の文字列・文字毎の指摘箇所を学習する
- (1-4)もう一度対象文字列を運筆する

G2 は以下の4過程を G1 と同じ回数だけ繰り返し実施する。リアルタイム診断機能は無効とする。

- (2-1)試作システム上に対象文字列を運筆する
- (2-2)採点を実施する
- (2-3)得点のみを閲覧する
- (2-4)もう一度対象文字列を運筆する

最後に全被験者にもう一度対象文字列を紙に書いてもらう。第三者に対象文字列の運筆を事前事後で比較してもらいどちらが綺麗かを判断し試作システムの評価とする。また、G1、G2 それぞれの採点結果の得点状況を t 検定を用いて試作システムの有意性を示す。第三者が G1 の事後運筆の方が綺麗と判断した上で、t 検定により試作システムの有意性が示せれば採点結果の指摘箇所の妥当性も示すことができると考える。

6. おわりに

本研究ではペン習字の分野に注目した。デジタル文字が普及する中でも履歴書等で書き手の印象といった観点から綺麗な手書き文字が必要とされる。手書き文字の綺麗さには文字毎での綺麗さ、文字列での綺麗さ



図15 個別文字結果画面(比較再生表示)

の両方が必要であると考え、それぞれの評価指標を定義した。これらの評価指標を元に評価出来る環境として試作システムを開発した。実装機能として描画機能、文字のサイズ取得・リサイズ・再配置機能、採点機能、リアルタイム診断機能の4つを用意し、実際に紙に書く時と同じような感覚で学習者は字を書き、採点を行う。学習者は採点結果を閲覧し、指摘箇所を学び、もう一度書き直す中でリアルタイム診断機能を活用することでペン習字の上達を促す仕組みのシステムである。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP17K01098 の助成を受けた。

参考文献

- (1) 大柳俊夫, 中島そのみ, 中村裕二, 仙石泰仁: “運筆課題を用いた上肢機能評価のためのソフトウェアの研究開発”, 札幌医科大学保健医療学部紀要, 第12号, pp. 1-8(2010)
- (2) Pullman SL. : “Spiral analysis : a new technique for measuring tremor with a digitizing tablet.” ,

- Mov.Disord, 13 Suppl 3, pp. 85-89,(1998)
- (3) Vuillermot S., Pescatore A., Holper L.et.al. : “An extended drawing test for the assessment of arm and hand function with a performance invariant for healthy subjects.”, J.Neuroscience Methods 177, pp. 452-460(2009)
- (4) Rosenblum S.,Parush S.,Epstain L.,et.al. : “Process versus product evaluation of poor handwriting among children with developmental dysgraphia and ADHD.”, In H. L. Teulings & A. W. A. Van Gemmert. Proceedings of the 11th Conference of the International Graphonomics Society. , pp.169-173(2003)
- (5) 澤田明宏, 亀田昌志 : “タブレット型 PC を用いた初心者向け対話型デッサン学習支援システムの開発”, 情報処理学会第 74 回全国大会, 2ZH-8, pp. 4_895-4_896(2012)
- (6) 鈴木琢也, 吉川大輝, 鈴木雅人, 山下静雨, 市村 洋 : “ペン字・書道の遠隔実時間添削指導に関する研究”, 情報処理学会第 65 回全国大会, 1T-4, pp. 355-356(2003)
- (7) 浦正広, 遠藤守, 山田雅之, 宮崎慎也, 安田孝美 : “スマートフォンに向けた運筆リズムの可視化とペン習字アプリへの応用”, 情報処理学会報告研究報告, Vol.2013 DCC 4 No.9, pp. 1-6(2013)
- (8) 柴田博仁, 大村賢悟 : “手紙文の内容評価と差出人のパーソナリティ評価に及ぼす表示メディアと文書スタイルの効果”, 日本印刷学会誌, Vol54-1, pp.49-57(2017)
- (9) 新垣紀子, 都築幸恵 : “人は手書き文字をどのような次元で認知しているのか?”, 成城大学社会イノベーション研究, 4 巻 2 号, pp. 27-43(2009)
- (10) 槇田仁, 兼高聖雄 : “筆跡から判断される文字の特徴の評価と書き手パーソナリティーの関係について”, 慶應義塾大学大学院社会学研究科紀要 : 社会学心理学教育学, No.27, pp. 33-43(1987)
- (11) 中村聡史, 鈴木正明, 小林孝徳 : “平均文字は美しい”, エンタテイメントコンピューティングシンポジウム, Vol.2014, pp. 32-39(2014)
- (12) 中村聡史, 鈴木正明, 小林孝徳 : “ひらがなの平均手書き文字は綺麗”, 情報処理学会論文誌, Vol.57 No.12, pp. 2599-2609(2016)
- (13) 岩根 典之, 吉田 誠, 岸田 一 : “デジタル教材における身体知の表現と理解の支援”, JSiSE 全国大会, A5-4, pp. 373-374(2017)
- (14) 永井 孝, 香山 瑞恵 : “描画プロセスを意識させる美術入門者向けドローイング学習支援機能の設計”, JSiSE 全国大会, A3-2, pp. 189-190(2017)
- (15) 藤塚 哲也, 小林 幸雄 : “拡張現実を用いた毛筆学習支援システムに関する研究”, 一般社団法人電子情報通信学会, pp. 163(2014)
- (16) 古積 拓見, 稲谷 壮一郎, 蔡 文杰, 中川 正樹 : “漢字を正しくきれいに書くことを学ぶための学習システム”, 情報処理学会研究報告, Vol.2014-CE-124 No.14, pp.1-7(2014)
- (17) 吉野 岳男, 田中 久治, 岡崎 泰久, 渡辺 健次 : “筆圧を含むオンライン手書き情報を用いた平仮名学習支援システムの改良”, 電気関係学会九州支部連合大会, pp.330(2010)
- (18) 野町 希望, 中村 剛士, 加納 政芳, 山田 晃嗣 西野 順二 : “このへんファジィを用いた筆記者間のオノマトペ類似度評価”, 第31回ファジィシステムシンポジウム, WA3-4, pp. 41-44(2015)
- (19) 富澤敏彦 : “「六度法」でうまくなる!モテ文字練習帳” 東京書籍, 東京(2006)
- (20) 青山 浩之 : “10 日で「美文字」が書ける本” 株式会社講談社, 東京(2013)
- (21) Rosten E., Drummond T.: Machine Learning for High-Speed Corner Detection. Computer Vision – ECCV 2006, Lecture Notes in Computer Science, vol.3951, pp.430-443(2006)
- (22) 李志炯, 崔底瑞, 小山慎一, 日比野治雄 : “文字の太さによる印象の変化”, デザイン学研究, 63 巻 5 号, pp. 5_101-5_108(2017)
- (23) 宮崎紀郎, 湊幸衛, 黒岩眞吾, 市川熹 : “読みやすい文字の大きさの検討 : 新聞を主とした文字のレイアウトの基礎的研究(2)”, デザイン学研究, 58, pp. 39-44(1987)
- (24) 西田昌史, 堀内靖雄, 黒岩眞吾, 市川熹 : “書き起こしへの付与を目指した音声とテキストを対象とした発話印象の分析”, 情報処理学会論文誌, 50-2, pp. 460-468(2009)
- (25) 阿久津洋巳, 近藤雄希 : “文字の読みやすさ 2 : 読みやすさと読みの速さの比較”, 14-1, pp. 26-33(2010)

英文読み合い支援メディアとしての ロボットとタブレットシステムの比較

柏原 昭博^{*1}, 足立 祥啓^{*1}

^{*1} 電気通信大学 大学院情報理工学研究科 情報学専攻

Comparative Study of Collaborative Reading in English with Robot and Tablet Media

Akihiro Kashihara^{*1}, Yoshihiro Adachi^{*1}

^{*1} Graduate School of Informatics and Engineering, The University of Electro-Communications

In collaborative reading in English, Japanese learners often feel reluctant, which could prevent them from engaging in English communication. We have been addressing the issue how to promote engagement in collaborative reading with communication robot, and developed a robot partner system. This paper describes a comparative study whose purpose was to ascertain the effects of the system in comparison with virtual partner working on tablet media who has the same functions as the robot partner. The results of the study suggest that the robot partner affords more authentic communication including eye contact with learners and promotes self-efficacy in collaborative reading.

キーワード: ロボットパートナー, 英文読み合い, 心理的抵抗感, 視線の共有

1. はじめに

教師や他の学習者とペアになって英文を読み合うこと (collaborative reading) は, リーディングだけでなく, スピーキングやリスニングにも効果的である⁽¹⁾. このような英語コミュニケーションに求められる能力を高めるには, 対人コミュニケーションは必須であり, お互いが視線を合わせて自然にコミュニケーションが行えるような場で英文を読み合うことが有効と考えられる.

一方, 英文読み合いは, 学校教育現場でも広く取り入れられているが, 効果的に読み合うことは容易ではないことが指摘されている^{(2),(3)}. まず, 第二言語を話す場合, 恥ずかしさといった心理的抵抗感があるとコミュニケーションに没入することが難しい. 特に, 日本人ではこの傾向が顕著に現れる. また, ペア間で音読スキルの差が大きい場合, 読み合いの足かせになるのではないかと懸念から積極的な参加が望めないこともある.

以上のことを踏まえると, 英文読み合いを促進するためには, 視線を共有しながら自然なコミュニケーションが可能となる場を提供するとともに, 対人コミュニケーションで生じうるネガティブな感情や音読のスキル差を軽減することが重要な課題となる⁽⁴⁾.

本研究では, 英文読み合いパートナーとして人型コミュニケーションロボットを用いて, この課題の解決を試みてきた. ロボットは, PCやタブレットメディアなどの学習支援メディアと比べて, モノではなく人間 (教師や他の学習者) として認識される傾向 (擬人化傾向) にあり, また身体性を有している点が特徴である⁽⁵⁾. そのため, 教師と学習者間のインタラクションのように学習している場や視線が共有されやすく, 学習者とロボットの間でより自然でかつ真正性 (authenticity) の高いコミュニケーションを実現することができる. また, 学習者が対人コミュニケーション時に感じるネガティブな感情を軽減できることも期

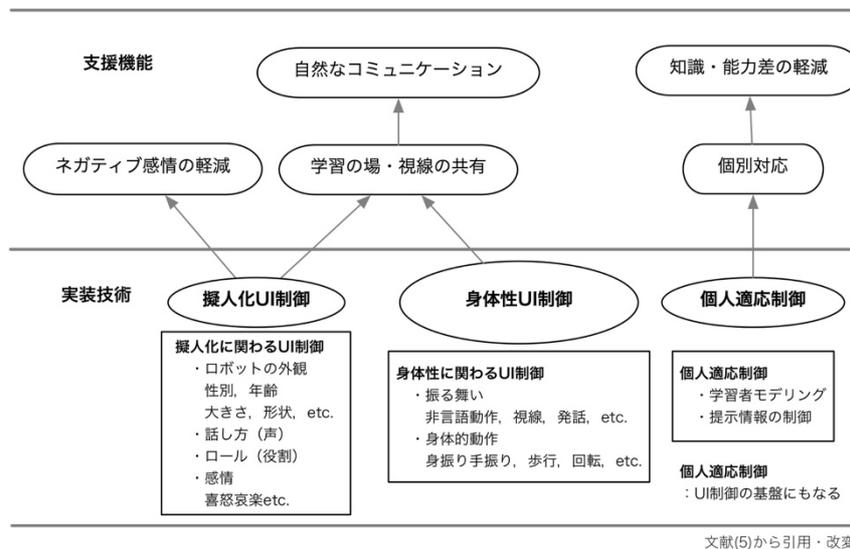


図1 人型コミュニケーションロボットによる学習支援のデザイン⁽⁵⁾

待される⁽⁶⁾。

本研究では、こうしたロボット活用の有用性を踏まえて、英文読み合いロボットパートナーシステムを開発してきた。また、ケーススタディの結果、人間との英文読み合いと比較して、本システムが学習者の心理的抵抗感を有意に軽減し、英語コミュニケーションへのエンゲージメントを促進できることを確認した⁽⁴⁾。

本稿では、英文読み合いロボットパートナーによる有効性をさらに見極めるために、タブレットメディア上で動作する仮想的な読み合いパートナーとの比較を行ったケーススタディについて述べる。実験の結果、ロボットがより真正な読み合いの文脈を作りだし、かつ視線を合わせながら共に学んでいるという感覚を高めることに寄与し、自己効力感を向上させることが示唆された。

以下、比較実験について述べる前に、学習支援メディアとしてロボットの可能性およびシステムとしてのデザインと、英文読み合いロボットパートナーシステムの概要について述べておく。

2. 学習支援メディアとしてのロボット

現在、学習支援に人型コミュニケーションロボットを活用する試みが行われ、ロボットが果たせる役割や支援可能性が模索されている⁽⁷⁾。本研究では、学習へのエンゲージメントを取り上げて、ロボット活用の必要性や優位性を明らかにし、支援システムのデザインを進めている^{(5), (8)}。エンゲージメントとは、学習対象

や学習プロセスに興味・楽しさを感じながら学習に没入・熱中することであり⁽⁹⁾、その程度が高いほど学びのプロセスへの注意が促され、何らかの気づきを学習者自身が得る可能性が高まる⁽¹⁰⁾。

一方、学習支援メディアとしてのロボットの特徴は、擬人化傾向と身体性にあり、学習の場や視線を共有し、共に学んでいるという感覚を与えることに寄与することができる。また、学習者と自然でかつ真正なコミュニケーションを実現でき、学習者が対人コミュニケーション時に感じる心理的抵抗感や劣等感、恥ずかしさなど学習を阻害するネガティブな感情の軽減にも資することが期待される⁽⁶⁾。

このようなロボットによる支援可能性からすると、学習者からエンゲージメントを引き出す上でロボットは有効なメディアといえる。特に、エンゲージメントが学びにとって不可欠となる語学学習では、対人コミュニケーションにネガティブな感情が起こると効果的な学びには至らないため、ロボットの活用は極めて効果的といえる。

本研究では、現在のところ、図1に示すようにロボットがエンゲージメントを引き出す上で提供可能な支援を整理している⁽⁵⁾。まず、①ネガティブ感情の軽減はロボットの擬人化傾向から実現される支援である。また、②学習の場・視線の共有はロボットの身体性から実現可能であり、より自然なコミュニケーション場を提供することにつながる。さらに、③個別対応も、学びに対する個々の学習者の興味・関心を喚起する上

で重要なことから取り上げている。これは、知識・能力差の軽減にも寄与する。

図1には、これらを実現するための実装技術も示しており、中でもユーザインタフェース (UI) としてのロボット制御が特に重要になると考えている。具体的には、ネガティブな感情の軽減を実装するためには、ロボットの擬人化傾向を利用してロボットの外観 (性別, 年齢, 大きさなど) を変える, 役割 (教師, 同僚など) を付与する, 感情を表出するなどの制御を行う必要がある。また, 学習の場・視線を共有するには, ロボットの身体性を利用して, ロボットに指さしや顔向け, アイコンタクトといった非言語動作や発話などを遂行させて, 共に学んでいる感覚を高めるような制御を行うことが必要である^{(11), (12)}。英文読み合いパートナーシステムは, このような考え方に基づいてデザインしている。

3. 英文読み合いロボットパートナーシステム

3.1 英文読み合いと支援

教師や他の学習とペアになって行う英文読み合いは, 英語コミュニケーションの体験を積む方法としてしばしば用いられ, 単なる音読だけでなくコミュニケーション感覚の向上にも寄与することが確認されている⁽¹⁾。こうした効果のある読み合いを実践する場合, ペア同士が視線を合わせ自然にコミュニケーションが行えるような場が有効と考えられる。

しかしながら, 読み合いに伴う対人コミュニケーションでは, 第二言語を話す恥ずかしさや他者からの冷やかしへの恐れなどから, 英語で読むことに心理的な抵抗感を感じやすい。また, ペア間で音読スキルの差が大きい場合, 読み合いのモチベーションが低下することも指摘されている⁽¹³⁾。

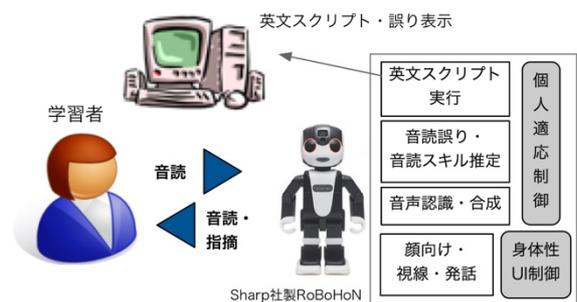
また, 初等・中等教育の現場では, 英文を読むことに焦点を当てすぎて対人コミュニケーションが疎かになることが多い。また, 音読の目的や方法も多様に存在するが⁽³⁾, 授業では教師やCDなどの手本となる音読を聴きながら, それを真似して読む「聴いてまね読み (リッスン・アンド・リピート)」方法に限定され, 学習者の音読レベルに合わせて音読方法を段階的に使い分けるような練習がなされていない⁽³⁾。

さらに, 英語コミュニケーションを支援するために PC やタブレットメディアベースの学習支援システムが開発されているが^{(14), (15)}, ユーザインタフェース上の仮想パートナーとのコミュニケーションは人間同士と比べて不自然であり, 視線を共有するような対人文脈を提供することは難しいと考えられる。

一方, ESL (English as Second Language) 学習者にとって, 対人文脈で実践し, WTC (Willingness to Communicate) および学習意欲を持つことが効果的な学びにとって何より重要であることが指摘されている⁽¹⁶⁾。そのため, 真正な対人コミュニケーションの提供, およびそこで生じるネガティブな感情や音読のスキル差の軽減を図ることが重要となる。また, 学習者の音読レベルに応じて読み合い方法を変えることも音読スキル向上にとって必要である。

3.2 枠組み

本研究では, 以上の要件を満たすべく, 英文読み合いロボットパートナーシステムを開発している⁽⁴⁾。本システムは, 英文読み合いにおけるエンゲージメント促進を目的に, ネガティブな感情の軽減, 視線の共有, 個別対応を実現する。また, 英文読み合い方法を初級・中級の2段階で10レベル⁽³⁾に分けており (初級には聴いて真似読みや一文交代読み, 中級には制限時間読みや役割読みなどがある), 学習者の音読スキルに応じて段階的に読み合いレベルを変更することができる。



英語コミュニケーション：ネガティブ感情の軽減・視線の共有

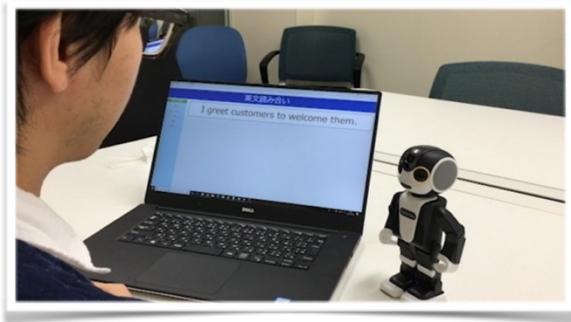
文献 (5) から引用・改変

図2 英文ロボットパートナーシステムの枠組み⁽⁵⁾

図2に, 本システムの枠組みを示す⁽⁵⁾。本システムは Sharp 社製の RoBoHoN⁽¹⁷⁾を用いており, また読み合う英文スクリプトや学習者の誤りを表示するための PC を備えている。ロボットは, 音声認識と簡単な音声合成機能を備えており, 学習者の音読を自動認識する

ことができる。ロボットと学習者による英文読み合いは、事前に準備された読み合いシナリオにしたがって遂行される。シナリオには、学習者に応じた読み合い方法が設定され、その方法で読み合いを行う具体的な英文スクリプトが用意されている。ロボットは、このシナリオの範囲内で、学習者とのインタラクティブな読み合いを可能としている。

具体的には、シナリオに基づいて英文スクリプトを PC 上に表示し、設定された読み合い方法でロボットと学習者が英文を読み合う。この際、図 1 に示した身体性 UI 制御として学習者のほうへロボットの視線を向けさせながら、ロボットに英文を発話させる。また、学習者の音読誤りを認識した場合、誤りを PC 上に示しながらロボットが指摘し、誤った英文を再度読ませる。これは、個人適応制御に対応する。システムでは、学習者の音読速度と読み間違いの割合を自動認識して、学習者の音読誤り・音読スキルを推定している⁽⁴⁾。



R: 僕はAさんの役になって音読するよ。君はBさんの役で音読してね。
※役割読みを始める
 R: Where did you go on last Sunday?
 学: I went to an art museum. I want to be a painter.
 R: Wow, how was it?
 学: It was so interesting, but I couldn't..
 (読めなくて詰まる)
※音読レベルが低いと推定
 R: I see. I went to a ballpark. I want to be a baseball player.
 学: Sounds nice.
※役割読みを終了
 R: 良い感じだね。けど、練習すればもっと良くなるよ。この英文の練習をしよう。
※聴いて真似読みを始める
 R: I went to an art museum, but I couldn't see all the pictures.
 学: I went to an art museum, but I couldn't see all the pictures.
 R: とても良い感じだよ。もう1回読み合いしてみよう。

文献 (5) から引用・改変

図 3 英文読み合い例⁽⁵⁾

図 3 に、英文読み合いの一例を示す。この例では、ロボットと学習者がそれぞれ役を演じる「役割読み」において、学習者の音読誤りが認識され、より簡単な「聴いて真似読み」方法を用いてロボットの音読に続いて学習者に再度音読させるような支援が行われている。

以上のように、読み合いスクリプトごとに学習者の読み合いを支援し、学習者の音読スキルに向上・下降が見られれば、読み合い方法のレベルを初級から中級あるいは中級から初級に変更する。

4. 比較実験

本ケーススタディでは、開発した英文読み合いロボットパートナーシステムが、同等の機能を果たすタブレットメディア上の仮想パートナーと比較して、主に真正な英語コミュニケーションの場を提供できるかどうか、視線の共有を高めることができるかどうかを確かめるために実験を行った。実験の詳細は次の通りである。

4.1 実験手順・実験条件

被験者は、大学生及び大学院生 18 名であった。英文読み合い条件は、ロボットパートナーとの読み合い (R 条件) と、仮想パートナーとの読み合い (V 条件) の 2 条件とし、実験条件の遂行順序によって被験者を 2 群 (R-V 群と V-R 群) に分けた。各群には、参加者をランダムに 9 名ずつ配置し、被験者内実験として実施した。

R-V 群は、まず R 条件での読み合いセッションを行い、次に V 条件での英文読み合いセッションを実行した。V-R 群は、その逆順で読み合いセッションを実行した。各セッションでは、「役割読み」方法を用いて、10 文からなる会話形式の英文を読み合った。一通り読み合いを行うことを 1 セットとし、各セッション内で一役につき 3 セットずつ、計 6 セットの読み合いを行った。

具体的には、両条件とも、1 セットの読み合いごとに被験者に対してフィードバックを行った。ここでは、ロボットが一文ごとに学習者の音読レベルを推定し、一文でも初級レベルと判断した場合は、その文の練習へと学習者を誘導し、「聴いてまね読み」方法で練習さ

せた。音読レベルが初級だと判断された全ての文を練習した後、役割読みに戻った。また、被験者の音読レベルが、全ての文について中級だった場合、褒めるフィードバックを与えた。

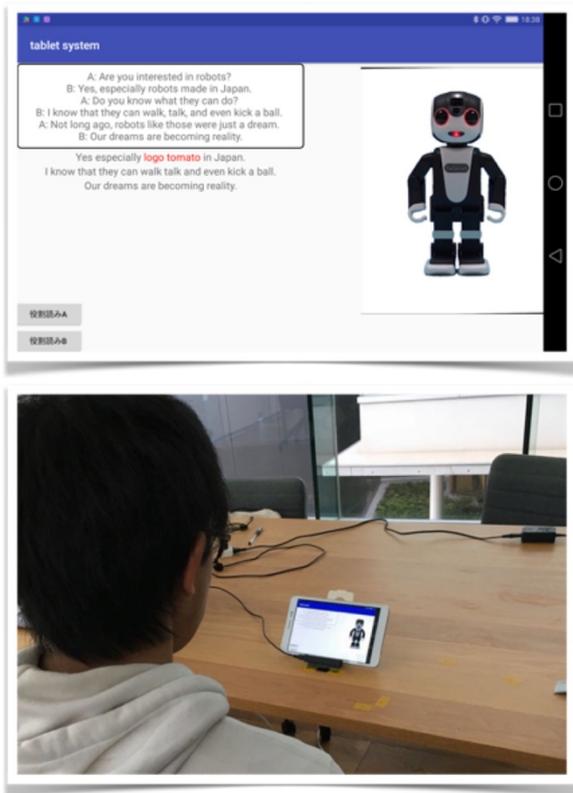


図 4 仮想パートナーシステムの UI

なお、V 条件では仮想パートナーとの英文読み合いのために開発したタブレットシステムを用いた。図 4 に、このシステムのユーザインタフェースと利用の様子を示す。このシステムは、ロボットパートナーシステムと同等の支援機能を実装しており、UI も可能な限り同じようなつくりで使用方法も同様となっている。特に、仮想パートナーが英文を読む時の動きは、ロボ

ットパートナーと同様にしている。また、音声合成・音声認識には、Android に実装されている TextToSpeech と SpeechRecognizer を用いた。TextToSpeech による音読速度は、ロボットパートナー速度と同じとなるように調整し、SpeechRecognizer による音声認識についてもロボットパートナーの音声認識の精度とほとんど差がないことを確認した。また、英文読み合いのやり方については、R 条件と全く同じとした。

また、両条件とも、被験者に対して読み合いを通じた英語コミュニケーションが目的であることを伝え、出来る限り相手の顔や目を見ながら英文読み合いを行ってもらうように指示した。そして、被験者が英文読み合いを行っているときに、どこを注視していたかを確認するために視線センサーによるアイトラッキングを行い、視線データを取得した。

各セッション終了後には、表 1 に示すアンケート項目に回答してもらった。アンケートでは、読み合いに対するエンゲージメントに関する 17 項目⁽¹⁸⁾、視線があった感覚に関する 1 項目、パートナーの親しみやすさに関する 1 項目、読み合いへの集中に関する 1 項目、自己効力感に関する 1 項目について、それぞれ 1-5 の 5 件法で問う項目を与えた。また、英文読み合い文脈の真正さに関する 4 項目⁽¹⁹⁾、パートナーに感じた人間らしさ(擬人化傾向)に関する 7 項目⁽²⁰⁾について、1-7 の 7 件法で問う項目を与えた。

また、2つのセッション終了後には、表 2 に示すような両条件での読み合いの比較アンケートに回答してもらった。このアンケートでは、どちらのパートナーが読み合いに没頭できたか、視線が合った感覚がした

表 1 各セッション後のアンケートと結果

アンケート項目	R条件	V条件
5件法(1-5)での質問		
エンゲージメントに関する質問(17項目)	62.2	59.1
視線が合った感覚:視線を合わせて読み合いがどの程度できましたか? (1項目)	3.28*	2.50
親しみやすさ:パートナーにどの程度親しみやすさを感じましたか? (1項目)	4.01**	3.00
集中:どの程度読み合いに集中できましたか? (1項目)	4.00	3.72
自己効力感:システム利用を続ければ、どの程度コミュニケーション能力が向上すると感じましたか? (1項目)	3.94	3.72
7件法(1-7)での質問		
読み合い文脈の真正さに関する質問(4項目)	18.67*	16.50
パートナーの人間らしさ(擬人化傾向)に関する質問(7項目)	26.83	21.00
	*p<.05, **p<.01	

表 2 比較アンケートと結果

アンケート項目	R条件	V条件
没頭:どちらのほうが読み合いに没頭できましたか?	13*	5
視線が合った感覚:どちらのほうが視線が合った感覚がしましたか?	15**	3
読み合いしやすさ:どちらが読み合いしやすかったですか?	9	9
親しみやすさ:どちらが親しみを感じましたか?	18**	0
集中:どちらが読み合いに集中できましたか?	11	7
自己効力感:どちらが英語コミュニケーション能力が向上すると思いますか?	15**	3
読み合いの感覚:どちらが読み合いをしている感覚が得られましたか?	17**	1
人間らしさ(擬人化傾向):どちらが人間のように感じましたか?	18**	0
	*p<.05, **p<.01	

か、読み合いしやすかったか、パートナーとして親しみを感じたか、集中できたか、英語コミュニケーション能力が向上すると感じたか(自己効力感)、読み合いしていると感じたか、パートナーに人間らしさを感じたかについて、二者択一で質問した。

本ケーススタディでは、次に示す8つの仮説を立てて、2つのアンケート結果とアイトラッキングによる視線データを分析し、システムの有効性を評価した。

- H1:ロボットのほうが、視線が合った感覚が得られる。
- H2:ロボットのほうが読み合いパートナーとして親しみやすい。
- H3:ロボットのほうが読み合いに集中できる。
- H4:ロボットのほうが自己効力感を向上させる。
- H5:ロボットのほうが読み合いへのエンゲージメントを促進する。
- H6:ロボットのほうが読み合い文脈の真正さを高める。
- H7:ロボットのほうが人間らしく感じる。
- H8:ロボットのほうが相手の顔(目)を見ながら読み合いを行う。

4.2 実験結果・考察

まず、H1~H7を検証するため、アンケート結果を分析した。表1に、各セッション後に実施したアンケート結果の平均スコアを示す。なお、エンゲージメント、英文読み合い文脈の真正さ、パートナーの人間らしさのスコアに関しては、それぞれの質問項目に対する被験者の回答を合計し、その平均をスコアとして計算した。

質問項目のうち、視線が合った感覚、親しみやすさ、集中、自己効力感について、Wilcoxonの符号付順位検定の片側検定を行った結果、視線が合った感覚、親しみやすさに関して、両条件間に有意差が確認できた(視線が合った感覚: $N = 12, T = 9.5, p < .05$, 親

しみやすさ: $N = 12, T = 0.0, p < .01$)。この結果より、仮説H1, H2が成り立つことが示唆された。これは、仮想パートナーよりもロボットの方が身体性を有しているためと考えられる。

読み合いへの集中に関しては、R条件の平均スコアが高かったが、両条件間に有意差は確認されなかった。しかしながら、両条件とも平均スコアは高かった。これは、人間との英文読み合いとは異なり、両条件での英文読み合いにおいてコミュニケーション時の心理的抵抗感が軽減されたためと考えられる。

また、自己効力感に関しても、R条件の平均スコアがやや高かったが、両条件間に有意差は確認されなかった。これは、両条件とも同様の英文読み合い支援を行っており、それらが効果的に機能したためと考えられる。

また、英文読み合い文脈の真正さと、人間らしさに関する項目については、片側t検定を行った結果、両条件間に有意差が確認できた(英文読み合い文脈の真正さ: $t(17) = 1.89, p < .05$, 人間らしさ: $t(17) = 2.78, p < .01$)。この結果より、仮説H6, H7が成り立つことが示唆された。これは、ロボットの擬人化傾向および身体性が影響し、仮想パートナーよりもロボットの方が人間らしく感じられ、英文読み合い文脈の真正さが向上したと考えられる。

次に、表2に比較アンケートの結果として、各質問項目においていずれかの条件を選択した被験者数を集計した。この結果に対して、1×2直接確率計算を行った結果、読み合いへの没頭、視線が合った感覚、親しみやすさ、自己効力感、読み合いをしている感覚、人間らしさに関して、両条件間に有意差を確認できた。

(没頭 : $p = 0.048$, $p < .05$, 目が合った感覚 : $p = 0.0038$, $p < .01$, 親しみやすさ : $p = 0.00$, $p < .01$, 自己効力感 : $p = 0.0038$, $p < .01$, 読み合いをしている感覚 : $p = 0.0001$, $p < .01$, 人間らしさ : $p = 0.00$, $p < .01$) この結果より, 仮説 H1, H2, H4~H7 が成り立つことが示唆された。

一方, 読み合いのしやすさと集中に関しては, 有意差は確認できなかった。これについては, 実験後のコメントから, ロボットとの英文読み合いの際, 英文を表示する PC とロボットとの視線移動が大きいことが影響し, 集中が阻害されてしまっていたことが影響した可能性が考えられる。

以上のように, 各セッション後のアンケートおよび比較アンケートの結果から, H3 以外の仮説について成り立つことが示唆され, 英文読み合いにおけるロボットパートナーが有する擬人化傾向および身体性の有効性を確認することができた。

最後に, 実験で取得した視線データについての分析結果を述べる。なお, 被験者のうち 3 名のデータが的確に取得できなかったため, この 3 名を除いた 15 名の視線データを分析した。この視線データから, 各条件において被験者がどの程度読み合いパートナーを注視していたかを確認した。

その結果, 読み合いにかかった全時間に対してパートナーを注視した時間の割合の平均は, R 条件で 45.7%であり, V 条件で 32.8%であった。また, これらに対して片側 t 検定を行った結果, 有意差を確認することができた。($t(14) = 2.26$, $p < .05$) これについては, ロボットの身体性からロボットパートナーとの視線の共有が促され, ロボットを注視する割合が増えたと考えられる。実験後のコメントでも, 「仮想パートナーは二次元だからどこを見ているかわからず, 視線が合った感覚しなかった, 読み合いをしている感覚がなかった」との意見が多かったことから間接的に伺われる。

以上の実験結果をまとめると, ロボットパートナーは仮想パートナーに比べて, 擬人化傾向および身体性の特徴から英文読み合いの場や視線の共有を促し, 読み合い文脈の真正さを向上することに寄与したことが示唆された。このことは, 英文読み合いでのロボット活用によって従来の学習支援システムよりも効果的な

支援が実現できる可能性を示唆しているといえる。

5. おわりに

英文読み合いのように, 対人コミュニケーションを要する学習文脈では, 学習者の心理的抵抗感(恥ずかしさ, 劣等感など)を軽減し, コミュニケーションへの没入を促すことが非常に重要となる。同時に可能な限り真正なコミュニケーション場を提供することも必須といえる。そこで, 本研究では, コミュニケーションロボットが有する擬人化傾向および身体性に着目し, ロボットを英文読み合いのパートナーとする学習支援システムを開発した⁴⁾。また, ケーススタディを通して, 人間をパートナーとする英文読み合いよりもロボットパートナーが心理的抵抗感を有意に軽減し, エンゲージメントを引き出すことを示してきた⁴⁾。

一方, これまでも英語コミュニケーションを支援する PC あるいはタブレットメディアベースの学習支援システムが存在し, ユーザインタフェースにおける仮想パートナーとのコミュニケーションの有効性が確かめられている。しかしながら, 視線の共有を含むより真正なコミュニケーションの場を提供するためには, 仮想パートナーよりも, 身体性を有しかつ擬人化傾向を持つコミュニケーションロボットは有望な学習支援メディアと考えられる。

そこで, 本稿では, ロボットパートナーと仮想パートナーによる英文読み合いを比較することで, ロボットがより真正なコミュニケーションを実現する上で有効に機能する可能性があることを論じた。特に, ケーススタディの結果, 仮想パートナーに比べて, ロボットは読み合い相手としてより人間味を与え, かつ視線が合う感覚を伴うコミュニケーションの場を提供することが示唆された。また, 自己効力感の向上にも寄与することが示唆され, 英語コミュニケーションスキルの向上が期待される。

今後は, 英文読み合いロボットパートナーシステムにおける個人適応制御および擬人化 UI 制御(特に外観や感情表現について)の強化を図るとともに, 長期的なシステム利用によって英語コミュニケーションスキルを向上させることができるかどうかを評価したいと考えている。

謝辞 本研究の一部は、JSPS 科研費 JP18K19836 の助成による。

参 考 文 献

- (1) 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)
- (2) 野口朋香: 英語学習における不安とコミュニケーション能力 : 不安軽減のための教室環境づくりへの提言, 外国語教育メディア学会機関誌 Vol. 43, pp. 57-76 (2006)
- (3) 小原弥生: 中学校英語教育における種類・目的・使用法-段階別の分類をふまえて-, 言語教育研究, Vol.1, pp.31-42 (2011)
- (4) Y. Adachi, and A. Kashihara: A Partner Robot for Promoting Collaborative Reading, Proc. of the International Conference on Smart Learning Environments (ICSLE 2019), pp.15-24 (2019)
- (5) 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)
- (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—叙事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 (2013)
- (7) J. Han, M. Jo, V. Jones, and J.H. Jo: 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) 柏原昭博: 効果的な学習体験を作り出す学習支援ロボット, 2018 年度人工知能学会全国大会 4H2-OS-9b-03 (2018)
- (9) J. Reeve: Self-determination theory applied to educational settings. In E. L. Deci & R. M. Ryan (Eds.), Handbook of self-determination research, pp.183-203, Rochester, NY, US: University of Rochester Press (2002)
- (10) D.H. Schunk: Learning Theories: An Educational Perspectives (5th Edition), Pearson Prentice Hall (2008)
- (11) T. Ishino, M. Goto, and A. Kashihara: A Robot for Reconstructing Presentation Behavior in Lecture, Proc. of 6th International Conference on Human-Agent Interaction (HAI2018), pp. 67-75 (2018)
- (12) A. Kashihara, T. Ishino and M. Goto: Robot Lecture for Enhancing Non-Verbal Behavior in Lecture, Proc. of the 20th International Conference on Artificial Intelligence (AIED2019) (2019 in press)
- (13) スワレスアーマンド, 田中ゆき子: 日本人学習者の英語発音に対する学習態度について, 新潟青陵大学紀要, Vol.1, pp.99-111 (2001)
- (14) 中川聖一, 牧野正三, 壇辻正剛: 音声言語処理技術を用いた語学学習システム, 日本音響学会誌, Vol.59, No.6 (2003)
- (15) 五十里慎吾, 佐野輝希, 緒方淳, 有木康雄: ユーザー発話のセグメンテーションと発話評価機能をもつ英語学習支援システム, 情報処理学会ヒューマンインタフェース研究会報告 97, pp.7-12 (2002)
- (16) 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(5), pp.81-93 (2003)
- (17) RoBoHoN, <https://robohon.com/global/>
- (18) H.L. O'Brien, P. Cairns, and M. Hall: A practical approach to measuring user engagement with the refined user engagement scale (UES) and new UES short form. International Journal of Human-Computer Studies, Vol.112, pp.28-39 (2018)
- (19) B.G. Witmer, and M.J. Singer: Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire, Presence, Vol.7, No.3, pp.225-240 (1998)
- (20) P.J. Hinds, and T.L. Roberts, and H. Jones: Whose Job Is It Anyway? A Study of Human-Robot Interaction in a Collaborative Task, Human-Computer Interaction, Vol.19, pp.151-181 (2004)

スマートデバイスを用いた弦楽器のコード押弦を 体験的に学ぶスキル学習支援システム

松原 行宏^{*1}, 菊田 和希^{*1}

^{*1} 広島市立大学大学院 情報科学研究科

Learning Support System for Code Press Skill of Stringed Instruments using Smart Device

Yukihiro MATSUBARA ^{*1}, Kazuki KIKUTA ^{*1}

^{*1} Graduate School of Information Sciences, Hiroshima City University

あらまし：弦楽器の演奏において、押弦スキルは基本的で重要な技能である。本稿では、いつでも簡単に短時間で用いることのできるデバイスであるスマートデバイスを用いて、実際に手と指の動きを伴う押弦スキルの学習支援を行えるシステムを開発した。検証実験では、システムを用いて学習するグループ（実験群）と現行の学習法で学習するグループ（統制群）に分け、学習前後における実際の楽器を用いた押弦の速さ等を比較し、一定の効果があることを確認した。

キーワード：押弦スキル、実際の手指の形、学習支援、弦楽器、スマートデバイス

1. はじめに

趣味のひとつとして楽器の演奏があるが、楽器の演奏経験のある人のうち 76.6%が現在演奏していないという調査がある⁽¹⁾。また、楽器演奏を断念してしまう理由に、「忙しい」、「上達しない」の 2 点が挙げられる。弦楽器は音を鳴らすために、最初に押弦スキルを習得する必要がある、曲を演奏するまでのステップ数が多いため、押弦スキルの学習のスムーズな導入が重要であると考えられる。

本稿では弦楽器の中でも特にアコースティックギターを題材として用い、指による複数箇所を押弦すなわちギターコードの押弦スキルの学習支援を行う。

一般的なギターコードの学習方法を図 1 に示す。図 1 の左上にある図はコード表と呼ばれ、ギターのイラスト上で押弦する場所と、押弦する指を示している。学習者はコード表を見て押弦箇所を確認しながら学習を行う。コード表を見て学習する方法では、実際のギターを使えない場合、見て覚えるだけであり、実際に手指を動かして学習を進める事が困難であり、初心者にとっては正しい押弦を行えているか

の判断が難しいため、正しい学習が行えない場合があり、他者からの判断が必要となることがある。

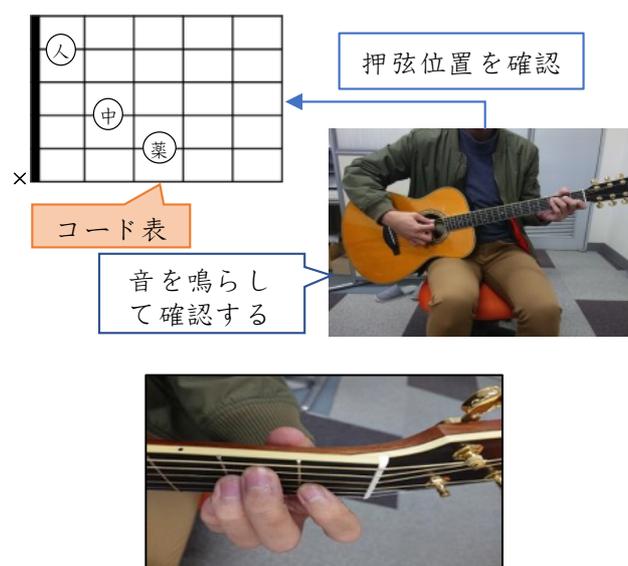


図 1 一般的なギターコード押弦習得方法

一方、様々な押弦スキル学習支援システムが考案されている⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾。坂牛らは web カメラを利用して押弦推定等を行い、ギター練習を支援するシステム

を開発した²⁾。しかしながら、web カメラの使用等、様々な機器を準備する等煩雑さがあり、手軽にかつ動作を伴った学習支援を考案することは意義があると思われる。そこで本研究では、1) 実際の押弦の行為と同じような手指の動作を伴うこと、2) 手軽にかつ短時間に繰り返し学習（反復学習）が行えること、に着目した押弦スキル学習支援システムについて検討した。

2. コードについて

2.1 音の高さ

一般的に「ド、レ、ミ、ファ、ソ、ラ、シ」の音階を用いるが、アコースティックギターなどの楽器では、「C、D、E、F、G、A、B」などの音階の呼び方を用いる。

弦楽器は、鳴らしたい音の高さによって押弦位置が変わる。ギターの場合、基本的には1弦が一番高く、6弦が一番低い音である。また、1つの弦の中でも解放弦と呼ばれる押弦を行わない状態では一番低い音が鳴り、ブリッジ側に1フレットずつずれていくと半音ずつ高くなる。そのため、6弦であるが、5弦の解放弦の音より高い音が鳴ることや、同じ高さの音が鳴ることも存在する。図2に各フレットで鳴る音をコード表に記入したものを示す。なお、コード表とは、ギターの指板を簡略化したイラストであり、コード表の横線は弦を示し、上から1弦、2弦…となっている。また、コード表の縦線はナットとフレットを示し、一番左の太い線がナットであり、左から2つ目の縦線から1フレット、2フレット…となる。一番左は押弦しない（開放弦）場合に鳴る音である。

E	F	F#	G	G#	A
B	C	C#	D	D#	E
G	G#	A	A#	B	C
D	D#	E	F	F#	G
A	A#	B	C	C#	D
E	F	F#	G	G#	A

図 2 各フレットで鳴る音

2.2 コード

コードとは和音のことであり、同時に異なる高さの音を鳴らすことである。各コードは鳴らす音が決まっており、例えば、Cメジャーコードであれば、C、E、Gの音から構成される。また、Dマイナーコードであれば、D、F、Aから構成される。コード名に含まれる音（CメジャーコードであればC）はルート音と呼ばれ、各コードはルート音を中心に構成されている。

表 1 ギターコードの押弦例（左）とコード表（右）

	押弦例	コード表（上）
C		
A		
D		

ギターコードの例として、4節で述べる評価実験で用いるギターコードの押弦例とコード表の一部を表1に示す（なお評価実験で用いるのは、C、C7、D、Dm、D7、E、Em、E7、G、G7、A、Am、A7の13個）。なお、コード表の左側の×印は、その弦をミュートする（鳴らさない）ことを示している。また、コード名は音階を示すアルファベットのみの場合はメジャーコード、音階名の後ろにmが書かれている場合はマイナーコード、音階名の後ろに7が書かれている場合はセブンスコードを示す。コード表の○の部分の部分が押弦する位置であり、○の中の漢字は押弦する指を示す。「人」は人差し指、「中」は中指、「薬」は薬指、「小」は小指である。なお、厳密にはどの指で押弦するかは正確には決まっておらず、どのような押弦方法でも良い。しかしながら初心者が何も知らないまま押弦を行うと、押さえにくい、または、曲

を演奏する際さまざまなコードを押弦するが、あるコードから次のコードへの移行（コード進行）が難しくなるなどの可能性がある。よって、コード表には押弦する指を示しているが、コード表によっては異なる指で押弦すると書かれているものも存在する。また、これらのコードは、1本の指で一箇所を押さえるコードであるが、1本の指で同フレット上の異なる弦を押弦する場合もあり、そのようにして押弦するコードのことをセーハコード、もしくはバレーコードと呼ぶ。本稿ではセーハコードを対象外とした。

3. スマートデバイスを用いた弦楽器のコード押弦を学ぶ学習支援システム

3.1 概要

押弦スキルの習得には、1) 押弦位置を理解すること、2) 指や手の使い方を身につけること、3) 押弦時間の短縮を行うこと、が重要であると考えられる。これらの点を中心に学習支援を行うために、本システムではスマートデバイスを用いる。スマートデバイスの画面にギターイラストまたは写真を表示し、その上に押弦する位置を示すことで、見て理解できる。次に、タッチパネル上に触れることで、正しく指で押さえているか確認できる。最後に、システムにタイマー等を組み込むことで押弦時間を意識させることが可能である。これらのことより、本システムではスマートデバイスを用いる。

本システムとシステム使用時の外観を図3に示す。本システムはスマートデバイスを使用したシステムであり、図3(下)に示しているようにスマートデバイスを横向きにして使用する。システム使用者はスマートデバイスのタッチパネルが使用者の体の反対側を向くようにスマートデバイスを持ち学習を行う。システムの全ての操作はスマートデバイスのタッチパネル上で行い、ボタン等を押すことで学習を進めることができる。システムの画面にはギターの写真が表示されており、写真のギターの弦の位置に触れるとタッチパネル上の座標の位置を取得し、タップ位置と同じ場所にあるフレットを押弦している状態と判定する。また、押弦している場所は色を付

けて表示する。色を付けて表示するのは押弦位置だけではなく、コードの正しい押弦位置も含まれる。コードの押弦位置と押弦する指はシステムに設定してある。なお、コードの押弦位置の表示と学習者の押弦位置の表示では異なる色を使用している。

また、システム画面の右側の黄色い部分でフリック操作を行うと音を鳴らすことができる。音は1弦ずつ鳴らすことが可能であり、フリック位置と長さによって変化する。学習者が押弦している場合は、その押弦場所に対応した音を鳴らすことが可能である。また、黄色い部分に音符マークの付いたボタンがあり、このボタンを1回押すとミュート状態となり、フリック操作を行ってもその弦の音を鳴らすことはできない。ボタンをもう一度押すとミュート状態が解除され、音が鳴るようになっている。

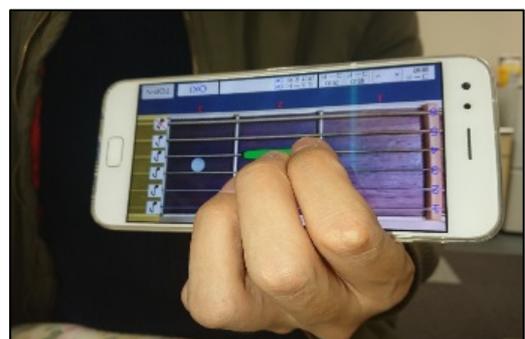


図3 学習モードの画面例(上)と外観(下)

3.2 学習モード

TOP画面には学習モードボタンと実践モードボタンの2種類のボタンが設置されており、ボタンを押すと、それぞれのモード用の画面に遷移する。学習モード、実践モードともに画面内はギター部とメニュー部で構成される。

学習モードの画面を図3(上)に示す。メニュー部は下の白い部分であり、ギター部はギターの写真が写されている部分である。ギター部の左側の縦に

並んでいる数字は弦数を示し、下側の横に並んでいる数字はフレット数を示す。また、画面内の右下にある TOP へと書かれているボタンを押すと、TOP 画面に戻ることができる。

ギター部には学習したいコード（以下、学習コードとする）の押弦位置が青色で示されており、それぞれに白い文字で漢字 1 文字が表示されている。この漢字は押弦する指を示しており、「人」は人差し指、「中」は中指、「薬」は薬指、「小」は小指を示す。

ギター部の右側には演奏部（黄色部分）が表示されており、その中には、音符マークが描かれているミュートボタンが設置されている。演奏部の上でフリック操作を行うと、その時点でのギター部における押弦位置に対応した音を鳴らすことができる。ミュートボタンは、各弦の上に 1 つずつ設置されており、ボタンをタップするとボタン上に赤い×印が表示される。この状態では、ミュートしている状態であると判断され、フリック操作を行っても、そのミュートボタンに対応する弦の音は鳴らないように設定されている。また、演奏部に含まれていない写真上のギターの弦の上に触れると、押弦していると判断され、押弦場所に色をつける。押弦場所の色は、学習コードに含まれている部分であれば緑色、学習コードに含まれていなければ赤色となる。

学習モードのメニュー部はコード選択部、評価部、総合評価部から構成されている。コード選択部ではドロップダウンを用いて、設定されているコードの中から学習コードを選択することができる。学習コードを選択すると、ギター部にコードの押弦位置が青色で表示される。コードの選択に関して、「前」のコードボタンを押すとドロップダウンで選択中のコードの 1 つ上のコードを学習コードとして変更する。ドロップダウン上で一番上のコードを選択している場合は一番下のコードを学習コードに変更する。「次」のコードボタンも同様に、選択中のコードの 1 つ下のコードを学習コードとする。なお、初期状態では「A」コードが選択されている。評価部は、ミュート評価と押弦評価が表示されている。ミュート評価では、学習コードでミュートする弦のミュートボタンが押されているかどうかを判断し、正しいミュートができている場合は青い文字で「OK」と表示し、

間違えている場合は、ミュートしていない弦が存在するときに黒い文字で「○弦 ミュート」と表示し、ミュートする必要のない弦をミュートしているときに赤い文字で「○弦鳴らして下さい」と表示する。押弦評価に関しても同様に、ギター部上で正しい押弦を行えている場合は青い文字で「OK」と表示し、間違えている場合、コードに含まれない場所を押弦しているときに赤色で「コード外を押している」、コードに含まれる全ての押弦位置の内、1 ヶ所でも押弦できていないときに黒い文字で「押せていないところあり」と表示する。押弦評価では、両方の間違いを満たす場合は、「押せていないところあり」のみを表示する。総合評価部は、評価部の両評価において「OK」と表示されている場合、青文字で「OK」と表示し、評価部のどちらか一方でも「OK」と表示されていない場合は赤文字で「NG!」と表示する。

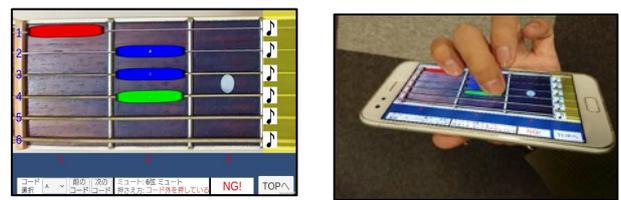


図 4 学習モード押弦例

学習モードの押弦例として、図 3 の状態から、1 弦 1 フレットと 4 弦 2 フレット上に触れた場合の画面を図 4 に示す。図 4 の右側の写真は、図 3 (下) のようにスマートデバイスを持った状態における学習者の視点からスマートデバイスを見下ろした図である。押弦している 2 箇所のうち、学習コードである A コードに含まれていない 1 弦 1 フレットは赤色、学習コードに含まれている 4 弦 2 フレットは緑色で表示されている。また、A コードに含まれていない部分を押弦しているため、評価部の押弦評価に「コード外を押している」と表示されている。また、A コードは 6 弦をミュートする必要があるが、ミュートボタンに×印が表示されていないため、ミュートしていないと判断され、ミュート評価として「6 弦ミュート」と表示されている。押弦評価、ミュート評価ともに「OK」と表示されていないため、総合評価は「NG」となっている。

次に、正しい A コードの押弦とミュートを行った

場合のシステム画面を図 5 に示す。この図も図 4 と同様に、右側の図は学習者の視点からスマートデバイスを見た図である。図を見ると、学習コードに含まれる場所のみを押弦し、正しくミュートもできているため、評価部は両方とも「OK」と表示され、総合評価も「OK」となっている。

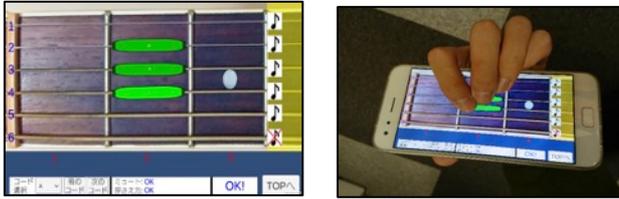


図 5 正しい押弦を行った際の画面

3.3 実践モード

次に、実践モードの初期画面を図 6 に示す。ギター一部の構成は学習モードと同じであり、使用者が押弦した位置は青色で表示するが、最初に押弦場所の表示は行っていない。実践モードのメニュー部は、コード表示部と残り時間表示部から構成される。コード表示部で設定されているコードの中から 1 つをランダムで指定し、残り時間表示部に表示されている秒数が 0 秒になった時にミュートも含め、正しいコードを押弦できているかを判定する。なお、解答中は押弦場所が青色で表示されている。



図 6 実践モードの画面

残り時間が 0 秒となり正誤判定を行った後、正しい場合は図 7 (左) のように正解表示を行う。「次の問題へ」と書かれたボタンを押すと、再びランダムでコードが表示され、押弦を行っていく。「実践モード終了」と書かれたボタンを押すと、TOP 画面に戻ることができる。正誤判定の結果、間違えている場合は、図 7 (右) のように不正解の表示を行う。不正解時は、正解時に表示される 2 つのボタンに加えて、「答えを見る」と書かれたボタンが設置されている。

また、コード表示部の一部が変化し、間違い指摘部が表示される。間違い指摘部は、押弦場所やミュート場所のどこが間違えているのかを具体的に表示する。また、残り時間表示部が「次の問題へ」ボタンに変化する。このボタンは正解時の「次の問題へ」ボタンと同じものである。また、不正解時に表示される「答えを見る」とかかかれているボタンを押すと、不正解表示が消え、ギター部全体を見ることができる。「答えを見る」ボタンを押したときの画面例を図 8 に示す。

図 8 では、Dm コードが指定されているが、システム使用者の押弦場所が 1 弦 2 フレット、2 弦 3 フレット、3 弦 2 フレットであり、6 弦のみミュートしていた場合を用いている。Dm コードの正しい押弦位置は 1 弦 1 フレット、2 弦 3 フレット、3 弦 2 フレットであり、ミュートは 6 弦と 5 弦である。よって、正しいコードの押弦に直す場合は、間違い表示部にも書かれているように、1 弦 2 フレットの押弦をやめ、1 弦 1 フレットの押弦を行い、5 弦をミュートする必要がある。また、ギター部において、フレットが色づけされているが、青色はコードに含まれており正しく押弦できた場所、赤色はコードに含まれていないが押弦した場所、緑色はコードに含まれているが押弦されていない場所を示す。

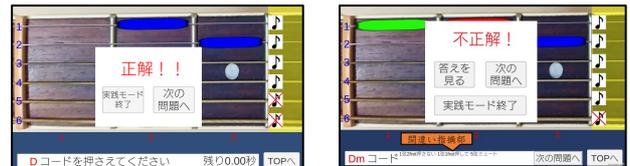


図 7 実践モード正解時 (左) 不正解時 (右)

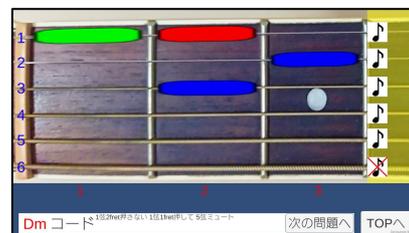


図 8 答表示の画面例

4. 検証実験

本実験では、システムを使用するグループを第 1 グループ (被験者 A~C) (実験群)、コード表を用いるグループを第 2 グループ (被験者 D~F) (統制

群)と2グループに分け、比較を行った。両グループ共に15分間コードの学習を行った。また、学習前後にコードの押弦の速さを測るコード押弦テストを行った。また、コードの暗記量を測るコード暗記テストも同時に行った。本実験の被験者はアコースティックギターについての知識の少ない大学生、大学院生、計6名である。本実験での学習対象コードは基本的によく使用されるコード13個(C, C7, D, Dm, D7, E, Em, E7, G, G7, A, Am, A7)を選定した。

学習前後には実際のギターにおける押弦時間を計測するコード押弦テストを行った。また、コードの暗記量を測るコード暗記テストも実施した。コード押弦テストは全5問であり、各問題では、学習対象全13コードのなかから4つが選ばれたコード押弦テスト表を見て被験者は、順に演奏を行う。1問ずつ演奏時間を計測した。全ての問題において、コード1つにかかる時間を計測し、10秒以内に押弦することのできたコード数を図9に示す。図9より、システムを用いて学習を行ったグループ1の被験者A, B, Cはいずれも事後テストの方が点数が高く、平均5.33個の増加となっている。しかし、コード表のみの被験者D, E, Fのうち2人についてはコード数が減少しており、平均0.67個であった。よってシステムを用いると、実際のギターでコードを押弦するまでの時間短縮が可能であると考えられる。

図10にコード暗記テストの正答数を示す。コード暗記テストの結果、コード表をみて覚えた第2グループが点数が高いという結果となった。これは、コード暗記テストにコード表を用いていること、学習時間が15分という短時間であり、システム使用の第1グループの被験者はコードの暗記より、指の使い方の学習を優先している傾向が見られ、覚える時間が足りなかったという事が考えられる。

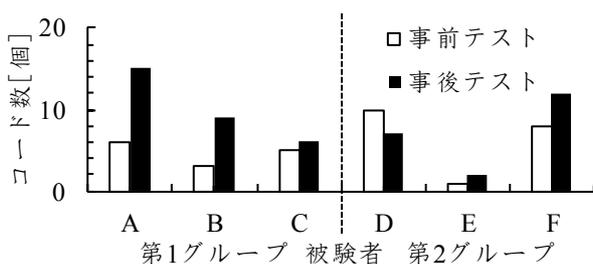


図9 10秒以内に押弦できたコード数

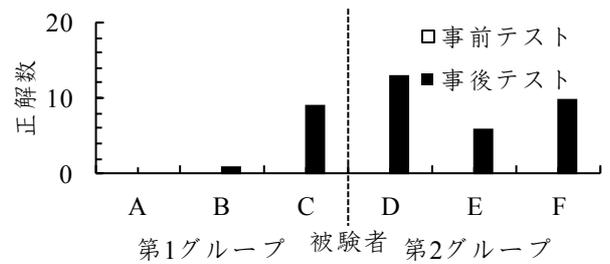


図10 コード暗記テスト正答数

5. まとめと今後の課題

曲を演奏するまでにステップ数の多い弦楽器の演奏において、押弦スキルの学習時間の短縮を目指し、スマートデバイスを用いたシステムの開発を行った。

本システムでは学習モードで学習を行い、実践モードで暗記の確認、定着を行うことができる。検証実験を行った結果、実際のギターを用いて演奏した際、システムを用いて学習したグループの方が短い時間で押弦できるコード数が多くなり、本システムは押弦スキルの学習支援が可能であるのではないかと考えられる。

しかしながら、コード暗記テストの結果より、短時間でコードの押弦場所の暗記を行うという点ではコード表を用いた学習法と差が生まれた。この点の検討が今後の課題である。

なお本研究の一部は、科学研究費補助金基盤研究C (No. 19K12253) による。

参考文献

- (1) 株式会社イード：“音楽と楽器に関する調査”，<http://www.iid.co.jp/news/report/2013/0924.html> (2018年2月9日確認)
- (2) 坂牛和里, 植村あい子, 村岡眞伍, 甲藤二郎：“Webカメラを利用したギターの練習支援システムの検討”，信学技報, Vol. 116, No. 176, pp. 67-71 (2016)
- (3) 榎原絵里, 宮下芳明：“ヴァイオリン初心者のための無音運指練習支援システム”，エンタテインメントコンピューティング 2011 予稿集, pp. 235-237 (2011)
- (4) 松岡慶一, 小原大, 久保田稔：“ウェアラブルデバイスを用いた学習支援システム”，情報処理学会第77回全国大会, (2015)

クイズ作成を題材とした小学校プログラミング教育の 研修プログラムの提案と効果の検証

岡田悠希^{*1}, ○野崎浩成^{*1}, 梅田恭子^{*1}, 江島徹郎^{*1}

^{*1} 愛知教育大学

The development of a teacher training program designed for programming education at elementary schools

Yuki OKADA^{*1}, ○Hironari NOZAKI^{*1}, Kyoko UMEDA^{*1}, Tetsuro EJIMA^{*1}

^{*1} Aichi University of Education

In this study, we have designed a teacher training program for elementary school programming education based on the teachers' awareness of issues and training needs. The purpose of this study was to clarify the effects and improvements of this teacher training program. This training program was implemented for the undergraduate students who finished the practical training at school. As a result, it was shown that they were able to resolve the anxiety about the programming education at elementary school.

キーワード: 小学校プログラミング教育, 教員研修プログラム, クイズ作成

1. はじめに

2018年11月に文部科学省が提示した「小学校プログラミング教育の手引き(第二版)」では、プログラミング教育のねらいや育成すべき資質・能力、教科指導における指導例などが示された。しかし、指導事例が記載されていない教科・単元でのプログラミング教育の実施や評価方法は学校ごとに裁量が任されており、その教育方法や評価方法については曖昧さがある。

黒田ら(2018)は、小学校教員に対してアンケートを実施し、小学校教員はプログラミング教育に対する知識・理解不足を課題としており、プログラミング教育の実践事例、プログラミングのソフトウェアなどを研修ニーズとしていることを明らかにした。しかし、これらに基づいた教員研修の提案は行っていない。

また、小池(2018)は、プログラミング教育の実践研究の動向を探る中で、算数科・総合的な学習の時間・国語科・理科・図画工作科・家庭科についての実践研究を確認しているが、社会科・生活科・音楽科・体育科の研究件数は確認できておらず、教科に偏りが見ら

れるなどの問題点が挙げられる。

そこで、先行研究で示された問題点を解決するために、本研究では、教員の課題意識と研修ニーズに基づいた小学校プログラミング教育に関する研修プログラムを開発し、その効果や改善点を明らかにすることを目的とした。

2. 先行研究の概観と本研究の目的

2.1 先行研究での課題

黒田ら(2018)は、小学校プログラミング教育の実施には、支援体制の構築が急務であるとして、教員研修の充実をあげた。そこで、小学校教員がプログラミング教育に対してどのような課題意識を持ち、どのような研修ニーズを必要としているか、108校522名の小学校教員を対象にアンケートを行った。課題意識は一人三つまで、研修ニーズは一人四つまでで回答を得た結果、92%の教員がプログラミング教育に対する知識・理解の不足をあげ、52%が配当できる授業時数の不足を、40%がプログラミング教育に対する指導力向上の

場の不足を課題としていることが分かった。さらに80%がプログラミング教育の実践事例を、60%がプログラミング教育で使用するソフトウェアを、50%がモデル授業の動画を、研修ニーズとしていることが明らかとなった。

また、小池(2018)はプログラミング教育の実践研究の動向を調べた。その結果、算数科・総合的な学習の時間に関する実践研究が8件と一番多く、次いで国語科が5件、理科が4件、図画工作科が2件、家庭科が1件であった。その一方で、社会科・音楽科・体育科などの実践研究は0件であった。

文部科学省(2018)が平成30年度11月に公開した「小学校プログラミングの手引き(第二版)」では、小学校プログラミング教育のねらいや、プログラミング教育を通して育むべき資質・能力が示されており、平成29年度告示の小学校学習指導要領に示される各教科の内容を指導する中で実施するプログラミング教育の指導例などが例示された。

2.2 教員研修の必要性と本研究の目的

黒田ら(2018)は小学校教員に対するアンケートから、小学校プログラミング教育についての課題意識と研修ニーズについての傾向は明らかにしたが、それに基づいた教員研修の構築にはいたっていない。したがって、これらに基づいた教員研修の構築が必要であると考えられる。

そこで、本研究の目的は、教員の課題意識と研修ニーズに基づいて考案した小学校プログラミング教育に関する研修プログラムを実施し、その効果を検証し、この研修プログラムの改善点を明らかにすることである。これにより、プログラミング教育に対する不安や疑問を解消し、プログラミング教育の実施を円滑に進めることができる。

小池(2018)の取り組みでは、いくつかの実践研究が確認される一方で、社会科・生活科・音楽科・体育科については、実践研究を1件も確認できなかった。また、文部科学省(2018)「小学校プログラミングの手引き(第二版)」に示された指導例についても、見本となるプログラムは第5学年 算数科、第6学年 理科にのみ記載されており、社会科や音楽科など、他の教科については記載がない。ほかにも、例示された単元・教科

以外の実施については各学校の裁量で実施することの必要性が述べられている。そこで、他の教科でも実践することができるようなプログラミング教育の指導事例を考案することが本研究の目的となる。

さらに、ICT機器の整備が十分でない小学校に対して、コンピュータを用いないプログラミング教育、いわゆる「アンプラグドプログラミング」を用いた指導方法を見いだすことができるとしつつも、「アンプラグドプログラミング」についての具体的な実施単元や指導例などは明示されていない。したがって、本研究で提案する小学校プログラミング教育の研修プログラムでは、アンプラグドプログラミングの指導事例についても紹介するものとする。

3. 研究の方法

3.1 研究の実施方法

3.1.1 対象者

現職の小学校教員に対して本研修プログラムを本格的に運用するための前段階として、本研究では、教育実習を終えた学部生を対象に実施した。また、彼らは、3週間の教育実習を終えたことで教員としての問題意識を持ち始めており、将来、彼らが教員になり、プログラミング教育を実施する際には、本研究で研修プログラムを受講した経験が役に立つと考えられる。以上の理由により、本研究の対象者は、筆者が所属する大学の3年生10名(男子3名、女子7名)とした。10名の専攻教科の内訳は社会科3名、理科3名、家庭科4名であった。

3.1.2 日時

(1)2018年12月12日(水)~12月14日(金)

事前調査紙への回答(10名)。

(2)2018年12月15日(土) 9:00~12:00

4名に対して研修プログラムを実施。

終了後に、事後調査紙への回答(4名)。

(3)2018年12月16日(日) 13:00~16:00

6名に対して研修プログラムを実施。

終了後に、事後調査紙への回答(6名)。

3.1.3 実施場所と使用機材

愛知教育大学 教育交流館 第4PCルームにて実施された。使用機材は、プロジェクター・パソコン・ビ

デオカメラ・プログラミングソフト(Scratch!)であった。研修プログラムを実施した様子はビデオカメラで撮影をした。

3.2 研修プログラムの展開について

対象者に対して、3時間の研修プログラムを実施した。研修プログラムは、黒田ら(2018)の課題意識と研修ニーズに基づいて開発した。表1には、研修プログラムの流れを示した。また、研修プログラムの前後には、「事前調査紙」および「事後調査紙」に回答してもらった。以下では、表1の内容についての詳細を示す。

表1 研修プログラムの流れ

時間(分)	内容
研修前	事前調査紙への回答
0~20	小学校プログラミング教育に関する講義
20~80	プログラミングソフト「Scratch!」の体験
80~120	模擬授業の実施
120~130	(休憩)
130~150	指導事例の紹介
150~180	簡易指導案の作成
研修後	事後調査紙への回答

3.2.1 小学校プログラミング教育に関する講義

「未来の学びコンソーシアム HP」,「小学校プログラミング教育の手引き(第二版)」の二つを冒頭に紹介した。その後、「小学校プログラミング教育の手引き(第二版)」に記載されている内容に基づき、プログラミング教育導入の経緯、プログラミング教育の位置づけ、プログラミング教育のねらい、プログラミング的思考の定義、プログラミング的思考の育成、ビジュアル型プログラミング言語、ソフトウェアの紹介に関する講義を行った。

3.2.2 プログラミングソフト「Scratch!」の体験

はじめに、Scratch!の立ち上げ方について、ブラウザ・ソフトウェアの2通りの方法を説明した。続いて、スプライトを移動させるプログラムの例として、ネコとネズミのスプライトを用いた簡単な追っかけゲームを作成する活動を行った。この活動を通して、ブロックの組み合わせ方や外し方などの操作方法や、プログラミングにおいて重要な要素である「順

次処理」「条件分岐」「反復」についての学習を行った。その後、スプライトの移動を用いたプログラミングだけでなく、計算や会話のような文字を入力したりするプログラミングも行うことができる例として、簡単なクイズをプログラミングする活動を行い、「メッセージ」の機能について学習を行った。

3.2.3 模擬授業の実施

小池(2018)の研究によると、研究件数が0件であった教科は社会科・生活科・音楽科・体育科の四つであった。したがって、これらの教科については、多くの教員もプログラミング教育の実践に不安を感じていると考えられる。その中でも、年間配當時数の多い社会科を題材に本授業を立案した。

「プログラミング教育の手引き(第二版)」(2018)によると、プログラミング教育のねらいのひとつに「各教科の学びを確実にする」ことが述べられている。そこで本授業では、単元末において学習事項を確認・共有する学びあい活動の中でプログラミング教育を取り入れた授業を立案した。

単元については、児童の発達段階によるプログラミングの難易度を考慮し、乱数・座標・変数を必要としないプログラミング活動であること、かつ、学びあい活動の中で取り入れることから、第4学年 社会科の「私たちの県」における「クイズの作成」を題材とした。

模擬授業は第4学年 社会科「私たちの住む県」の単元における一場面を取り上げて実施した。まず、実施する内容について、単元内での位置づけや単元におけるねらいを説明した。模擬授業の導入では、前時の活動の復習を行い、そこから自分が出題したいクイズの内容を記述する活動を行った。次に、出題したいクイズをプログラムで実現するために、設計シートを用いて設計活動を行った。設計シートは米澤(2017)のものを改善して使用した(図1)。その後、作成した設計シートに基づき、Scratch!を用いて実際にプログラミングを行った。

図1 改善した設計シート

3.2.4 指導事例の紹介

指導事例の紹介では、「小学校プログラミング教育の手引き(第二版)」(2018)に記載されている指導事例のうち、「学習指導要領に示される各教科等の内容を指導する中で実施するもの」を紹介した。また、アンプラグドプログラミング教育の指導事例として、自分たちの生活を「朝起きる」「歯を磨く」「着替える」「ご飯を食べる」「天気予報を確認する」「傘を持つ」のようにカードを用意し、それらをフローチャート式に組み立てる授業を紹介した。

3.2.5 簡易指導案の作成

「小学校プログラミング教育の手引き(第二版)」(2018)によると、各学校におけるプログラミング教育の実施については、指導例のみの実施ではなく、小学校段階の教育課程全体を見据え、各学校の創意工夫により、様々な場面で積極的に取り組むなど、発展させていくことが望ましい、とある。このことから、プログラミング教育の実施には、教員一人ひとりにもプログラミング教育を実施することができる単元を見いだす力も求められていると考えられる。したがって、受講者にはプログラミング教育のねらいに基づき、簡易的な指導案を作成してもらった。

3.3 研修プログラムの評価

3.3.1 評価方法

研修プログラムの効果は、反応レベル(受講者の研修に対する満足感)、学習レベル(受講者の知識や能力の獲得)、行動変容レベル(受講者の行動変容)、成果レベル(受講者の組織への効果)をもとにした、カーク・パトリックの効果測定レベル(小清水ほか2014)を用いて評価した。しかし、本研究は大学生を対象としており、成果レベルを検証するのは難しいと判断したため、成果レベルを除く3つのレベルで評価を行うものとした。

(1)反応レベルについて

反応レベルは3つの観点から評価を行う。1つ目の「研修の満足度」では、事後調査紙において「大変満足(5点)」から「大変不満(1点)」の5件法で得た回答を得点化する。2つ目、3つ目の「研修前の不安・疑問の解消」、「研修後の新たな不満・疑問」については、それぞれ2点満点、1点満点のルーブリックを作成して評価した。

(2)学習レベルについて

学習レベルでは、3つの観点から評価を行う。1つ目は、小学校プログラミング教育に関する17点満点の知識テストである。2つ目は、研修プログラム内の模擬授業で作成した設計シート・プログラムを、プログラミング的思考の育成(文部科学省 2018)の観点で10点満点のルーブリックを作成し、評価する。3つ目は、研修内で作成した簡易指導案をプログラミング教育のねらい(文部科学省 2018)に沿って評価した。

(3)行動レベルについて

受講者の行動変容については、事前調査紙・事後調査紙において、小学校プログラミング教育の実施に対する12個の質問項目の変容から評価する。質問項目は、「よくあてはまる(5点)」から「まったくあてはまらない(1点)」の5件法で回答してもらった。

3.3.2 評価の結果と考察

(1)反応レベルについて

研修の満足度は、5点満点で、全体の平均は4.3点であった。この結果から、本研修プログラムは、受講者に満足感を与えたと考えられる。また、各観点の平均点は、研修前の不安・疑問の解消(1.8)、研修後の新たな不満・疑問(0.6)となった。これにより、本研修の結果、不安や疑問が軽減できたといえる。しかし、研

修後に生まれた疑問として、「指導事例のない教科では、どのようにプログラミング教育を行うべきかわからなかった。」などの回答も得られた。

(2) 学習レベルについて

知識テストは、平均で 7.4 点 (17 点満点)、設計シートとプログラムは、平均で 7.85 点 (10 点満点) となった。

知識テストの平均点は低い結果となった。これを問題別にみると、「プログラミング的思考について」の問題(6 点満点)で平均点が 1.2 点と低いことが目立った。これは、模擬授業内でプログラミング的思考にかかわる活動を実施したが、それらがプログラミング的思考の育成にかかわる活動だと説明しなかったためだと考えられる。

その一方で、設計シートとプログラムでの平均点は高かったことから、受講者はプログラミングのスキルを身に付けることができたと考えられる。

簡易指導案の作成では、模擬授業を参考に、クイズ作成を題材にプログラミング教育の指導案を作成した受講者がいる一方で、プログラミング教育の指導法を見いだせなかった受講者もいた。

(3) 行動レベルについて

プログラミング教育 (13 項目) について、事前・事後の平均得点について、イメージプロフィールを作成した(図 2)。その回答は、「よくあてはまる(5 点)」から「まったくあてはまらない(1 点)」の 5 件法で回答してもらったもので、得点が高いほど「肯定的」で、得点が低いと「否定的」であることを意味する。t 検定を行い、事前・事後の平均得点を比較した。その結果の詳細を以下に示す。

質問項目 1 は「プログラミング教育の必要性」、質問項目 2,3,4 は「プログラミングの理解」、質問項目 5,6,7 は「プログラミング教育の授業の立案」、質問項目 8,9,10,11 は「プログラミング教育の授業の実施」、質問項目 12 は「プログラミング教育の専科化」、にそれぞれ関わる質問である。

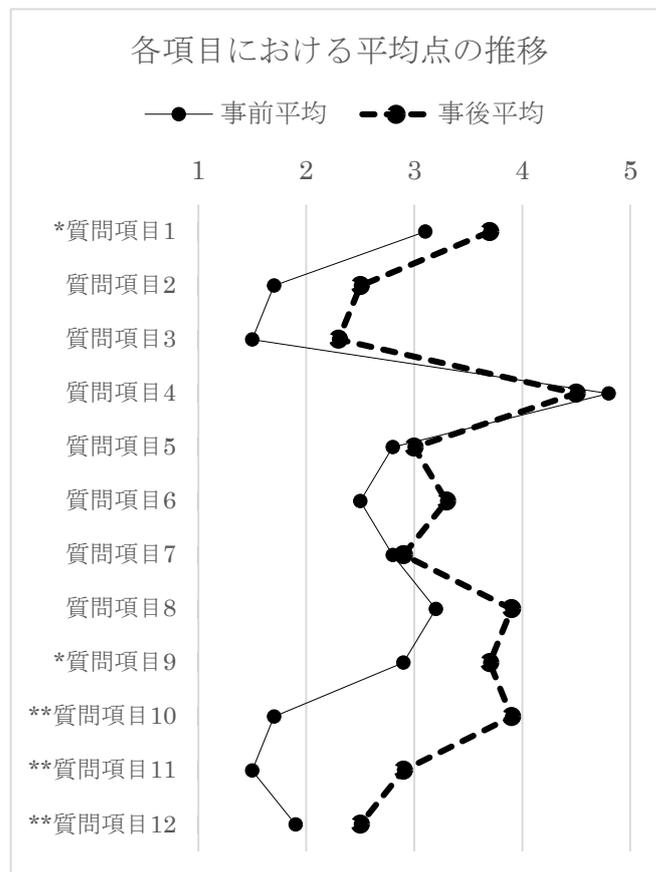


図 2 プログラミング教育に対する意識の変化

事前と事後調査の比較 * $p < .05$, ** $p < .01$

t 検定の結果、質問項目 8 を除き、プログラミング教育の授業に関する質問項目 (項目 9,10,11,12) が有意に上昇したことが示された (質問項目 9 ($t(9)=3.207, p<.05$)), (質問項目 10 ($t(9)=8.820, p<.01$)), (質問項目 11 ($t(9)=4.118, p<.01$)), (質問項目 12 ($t(9)=3.67, p<.01$)). これは、研修プログラムで模擬授業を実施したことで、受講者にプログラミング教育の授業を行うことに対する具体的なイメージができたためだと考えられる。

しかし、質問項目 5,6,7「プログラミング教育の授業の立案」に関する項目は、平均点が上昇している項目もあるが、有意差が確認できなかった。クイズ作成活動を参考に、他の教科で立案することができた受講者もいたが、そうでなかった受講者もいたことが原因だと考えられる。

4. まとめ

本研究で開発した研修プログラムを実施することで、プログラミング教育がどのようなものであるか、プロ

プログラミング教育を授業で実施する際にどのようなソフトウェアを使用し、どのような活動を行うか、といった不安や疑問を解消することができることが明らかとなった。その一方で、「小学校プログラミング教育の手引き(第二版)」などに例示されていない教科・単元について、プログラミング教育の指導の可能性を見いだすことや、プログラミングソフト(今回であれば「Scratch!」)についてのさまざまな使い方についての理解を十分に深めることができなかつた。これらを解決するためには、今後、研修プログラムの改善が必要であるといえる。

これまでの結果と考察から、今回考案した研修プログラムは小学校教員がプログラミング教育に関する研修を受講する際の、第一回目の導入研修として、小学校プログラミング教育を概観するための研修として効果的であるといえると結論付けられる。

5. 今後の課題

最後に、今後の課題として、以下の2点が挙げられると考える。

1 つ目は、対象者とその人数である。本研究は、提案した研修プログラムの効果だけでなく改善点を明らかにすることも目的としているため、大学生を対象として実施した。しかし、現職の小学校教員を対象として実施していないため、同様の効果が得られるか、確かでない。また、受講者も10人と決して多いとは言えない人数であったため、より多くの人数を対象として行い、その教育的効果を検証すべきであると考えられる。

2 つ目は、研修の目的の洗練化である。本研究では、プログラミング教育実施の円滑化に向けて、小学校プログラミング教育の概要理解、プログラミングソフトの紹介と使用方法の理解、模擬授業(ワークシートの活用)の体験、指導事例の把握、プログラミング教育の授業の立案と、大きく5つの目的を1つの研修に取り入れたため、小学校でのプログラミング教育全体を概観するための導入研修としては十分に機能していたと考えられるが、その一方で、Scratch!の使い方の変数や座標を取り入れることができず、また、プログラミング教育の授業の立案では、受講者同士が意見交換などを行う時間を設けることができなかつた。このことか

ら、プログラミング技術の習得や授業案作成などを深く学べるような、特定のトピックに的を絞った発展的内容を含む新たな研修プログラムを、別途、開発することが必要であると考えられる。

参 考 文 献

- (1) 文部科学省: “小学校段階におけるプログラミング教育の在り方について(議論の取りまとめ)”, (2016)
- (2) 文部科学省, 総務省, 経済産業省: “『小学校プログラミング教育必修化に向けて』パンフレット(未来の学びコンソーシアム作成)”, (2017)
- (3) 文部科学省: “小学校プログラミング教育の手引き(第二版)”, (2018)
- (4) 黒田昌克, 森山潤: “小学校段階におけるプログラミング教育の実践に向けた教員の課題意識と研修ニーズとの関連性”, 日本教育工学論文誌, 41 卷, Suppl.号, pp.169-172 (2018)
- (5) 小池翔太: “小学校第 3 学年の総合的な学習の時間におけるプログラミング教育のカリキュラム開発の試み”, 千葉大学大学院人文公共学府研究プロジェクト報告書, 324 卷, pp.23-32 (2018)
- (6) 米澤和志: “小学校におけるプログラミング的思考の育成を促す設計シートの提案”, (2017)
- (7) 小清水貴子, 藤木卓, 室田真男: “校内における ICT 活用推進を促す教員研修の評価方法の提案と効果の検証”, 日本教育工学会論文誌 38(2), pp.135-144 (2014)

TVML と連携した問題出題に関する検討

柏木 治美^{*1}, 康 敏^{*2}, 大月 一弘^{*2}

*1 神戸大学大学教育推進機構 *2 神戸大学大学院国際文化学研究科

A Method for Setting Questions in Cooperation with TVML

Harumi KASHIWAGI^{*1}, Min KANG^{*2}, Kazuhiro OHTSUKI^{*2}

*1 Institute for Promotion of Higher Education, Kobe University

*2 Graduate School of Intercultural Studies, Kobe University

本稿では、外国語スピーキング練習において TVML Player X と連携した問題出題を行うため、独立して動作する異なるアプリケーション間での通信を可能にすることを考え、2つの仮想シリアルポート (COM ポート) によりデータのやりとりを行う方法を検討した。プロトタイプシステムを試用した結果、テキストベースによる問題情報を TVML Player X 本体中の AnimeViewer により問題提示を行うことが可能になった。CG キャラクタについては、簡単なリアクション動作の必要性や、CG キャラクタの役割と学習者の心理面への影響等について意見を得た。

キーワード: CG キャラクタ, TVML, スピーキング, 外国語練習

1. はじめに

グローバル化が進む中、外国語教育においてはオーラル面のコミュニケーション能力の育成が重視されている⁽¹⁾⁽²⁾。一方、外国語を話す機会は限られるため、外国語を口頭で練習する場が必要となる。外国語を話す場合、学習者としては知っている表現なのに、いざ使うとなるととっさに出てこない場合が多くみられる。言語知識 (knowledge of language) はあるが、言語使用 (language use) が十分ではないと考えられ、外国語口頭運用能力を育てることが重要であると考えられる。言語使用を重視した外国語練習を考える場合、その方法の1つとして、練習する語句・表現と関連のある場面や文脈を用いて練習することが考えられる。知っている表現ではあるが、スムーズに使用できないということは、その表現がよく使われる場面での練習が十分ではない可能性があるためであり、特定の場面を想定したコミュニケーション活動を通じた指導も提案されている⁽³⁾。

本研究では、上記の課題である関連する表現が使用される場面での外国語スピーキング練習を支援するシステムについて検討している。ここでは簡単にではあ

るが関連する場面を準備することを考慮し、TVML (TV program Making Language) を技術的基盤とした TVML Player X⁽⁴⁾を用いて検討する。TVML は、コンピュータグラフィックス (以下、CG) キャラクタを用いてテレビ番組を記述できるテキストベース言語⁽⁵⁾であり、HTML (Hyper Text Markup Language) のように一行ずつ解析し表示するインタープリタ型言語である。TVML Player X では CG キャラクタ等を表示するプレイヤーとなる AnimeViewer に対してスクリプトを送る SendScriptX があり、SendScriptX から送られてくるスクリプトにより AnimeViewer はスクリプトを実行する。外国語練習のための問題を AnimeViewer で表示するためには、テキストベースによる問題情報を TVML で記述されたスクリプトに変換し、問題出題を行うしくみが必要となる。筆者らはテキストベースによる問題情報から TVML で記述されたスクリプトへの変換については、MINI BASIC と称するツールを開発した⁽⁶⁾。本稿では、TVML と連携した問題出題を行うため、異なるアプリケーション間での通信が可能となる方法を検討する。

2. プロトタイプシステムについて

2.1 システムの構成

プロトタイプシステムを試作して、異なるアプリケーション間での通信方法を検討する。試作システムの構成は、図1のように問題作成・問題出題・履歴保存・解析評価を行う問題作成・実行解析部と、問題情報をTVML スクリプトに変換するツール MINI BASIC, TVML スクリプトによるコンテンツを表示する AnimeViewer から成っている。問題作成・実行解析部と MINI BASIC 間の通信は、2つの仮想シリアルポート (COMポート, ここでは COM4 と COM5) によりデータのやりとりを行うしくみを考える。

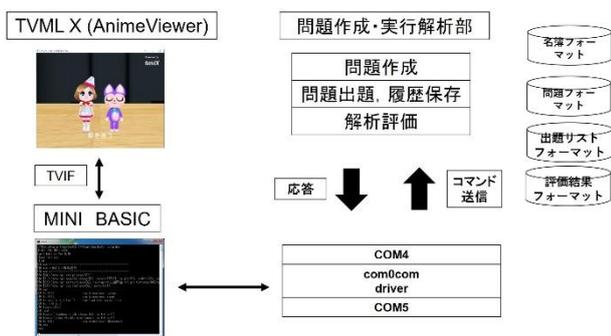


図1 プロトタイプシステムの構成

関連するデータは以下のものを準備する。ユーザ情報を扱う名簿フォーマット (meibo.csv) では、学生番号、氏名、出題リスト番号等を管理する (例:0901234, 山田太郎, 1)。問題フォーマット (quest.csv) では、場面別に日本語・英文を管理する。出題リストフォーマット (questlist.csv) では、問題フォーマットの各問題の行と列の2組で1問の問題情報とし、出題する問題の情報を管理する (例:問題列1, 問題行1, 問題列1, 問題行3,・・・(2組で1問の可変長))。評価結果フォーマット (result.csv) では、学生番号, 氏名, 出題リスト番号, 1問目評価項目1, 1問目評価項目2, 1問目評価項目3, 2問目評価項目1, 2問目評価項目2, 2問目評価項目3,・・・等, 評価項目分の結果が可変長に並ぶよう設定する。

2.2 プロトタイプシステムを用いた問題実行例

プロトタイプシステムを用いた問題実行の一例を示す。図2問題出題側 (教師側) の画面上の「名簿読み込み」ボタンを押すと、名簿フォーマットのファイルが

読み込まれ、学習者の氏名が表示される。対象となる学習者を選択すると、出題リスト番号を取得して該当する問題が図2の画面上に表示される。例えばここでは、学習者は「山田太郎_1」、1問目の出題問題は「顔を洗う/I wash my face.」となっている。次に MINI BASIC で問題情報を TVML スクリプトに変換すると、図3の問題提示側 (学習者側) となる AnimeViewer では、CG キャラクタが登場して問題に対する指示を説明する (例:「日本語の内容を英語に訳して教えてください」等)。続いて、図2画面上の「開始」ボタンを押すと、図3の AnimeViewer 側で1問目の「顔を洗う」が日本語音声で出題されるとともに、日本文「顔を洗う」が表示される。学習者はその日本文を英語に訳して口頭で答える。教師側は学習者の解答を聞き、設定している評価項目に対して評価を選びチェックする。そして「次問」を押して次の問題に進む。出題終了後、実施した問題に対する評価結果が、csv形式で保存される。



図2 問題出題側 (教師側) の画面例



図3 問題提示側 (学習者側) の画面例

3. TVML と連携した問題出題に関する試用

3.1 方法

参加者として大学院生4人がプロトタイプシステムを試用した。4人のうち、2人は中学校英語教員、小学校英語専科教員であり、残りの2人は英語教員免許資格の取得を目指す大学院生であった。参加者は、出題される日本語・英語表現、およびシステムの使い方について説明を受けた後、学習者側・教師側両方の立場でシステムの試用を行った。参加者の意見をもとに、TVML と連携した問題出題やデータフォーマット、評価項目のチェック、CG キャラクタを用いたコンテンツ等について検討考察を行った。

3.2 考察

ここでは、(1)TVML と連携した問題出題やデータフォーマット、(2)評価項目、(3)CG キャラクタを用いたコンテンツ、を中心に考察する。

3.2.1 TVML と連携した問題出題やデータフォーマットについて

2つの仮想シリアルポート (COM ポート) によりデータのやりとりが可能になったことにより、テキストベースによる問題情報を MINI BASIC 側に送り、TVML で記述されたスクリプトに変換し、AnimeViewer で表示することができた。試用時においては、AnimeViewer に表示するまでの時間も遅滞することなくスムーズにコンテンツが表示された。参加者による試用では、簡単な説明だけで問題なく使用することができていた。これにより、TVML によるスクリプト作成の知識がなくとも、テキストによる問題情報を準備すれば、TVML と連携した問題出題が可能となった。今後への発展として、USB 型無線モジュールを取り入れ、問題出題 (教師側) と問題提示 (学習者側) を2台の PC に分けて実施することへの見通しを持つことができた。

問題やユーザ情報に関するデータフォーマットは簡便に扱えるよう、csv ファイルで管理している。これについては、データの修正・追加等の編集がテキストで行えるため、参加者からも肯定的な反応が得られた。

3.2.2 評価項目について

解答に対する評価については、今回、3項目 (反応

速度、発音やアクセント、英文内容) を3段階で評価するものを準備した。参加者による試用においては、

「3項目3段階程度であれば、各問題に対してリアルタイムで評価することができる」といった意見があった。一方、評価基準については「5段階の評価になると、評価基準を考えて評価するのが難しくなる。評価段階に対する基準を忘れそうになるので画面上に書いておいてほしい」といった意見があった。また、評価項目の内容については「発音の b と v のチェック等、評価する項目の内容をもう少し絞った方がよい」といった意見が聞かれた。さらに、「評価項目の内容が、発音の b と v のチェックや、単語レベルの評価であれば、できている・できていない等、評価の段階を2段階にできるのではないか。2段階評価であれば評価しやすくなる。また、2段階のチェックであれば、復習活動として、学習者同士でのチェックもできる」といった評価項目についての提案的意見が得られた。

これらの意見より、今回のようにリアルタイムで1問ずつ評価を行う場合は、評価項目の内容を具体的に詳細な項目に絞り、評価の段階も2段階・3段階までとすると、比較的円滑に評価が行える感触を得た。評価について、本研究ではテストではなく学習支援の範囲を想定しているが、これらの問題出題を毎回の復習活動として行うのか、確認的なまとめという位置づけで行うのか等、どのような目的や意図で行うのかによって評価項目の内容や段階数が異なってくると考える。また、リアルタイムでの評価ではなく録音音声による評価も考えられる。今後は、学習者への支援目的に応じた評価項目や基準、実施形態を探っていきたいと考える。

3.2.3 CG キャラクタを用いたコンテンツについて

CG キャラクタを用いたコンテンツについては、試用参加者から「中学校英語教科書の英文を準備すれば、各レッスンで CG キャラクタを用いたオーラル・イントロダクションのコンテンツが作成できる」といった意見が聞かれた。また、「イラストや映像などを取り入れたコンテンツがよい」「学習者が答えた後に、CG キャラクタが首をかしげる、頷く等のジェスチャーがほしい」といった意見が聞かれた。TVML で記述されたスクリプトでは、背景場面や音声、動画、CG キャラクタによるリアクションなどを加えることができる。ジ

エスチャーによるリアクションについては、筆者らのこれまでの取組においても、簡単なリアクション動作を用意しておくことよと考⁽⁷⁾、リアクション動作用スクリプトを登録するツール作成への取組がある⁽⁸⁾。外国語のスピーキング練習においては、場面により様々な展開が考えられ、今回のプロトタイプシステムおよびこれまでの取組をもとに、コンテンツについて、さらに探っていきたいと考える。

CG キャラクタについては、「CG キャラクタと向き合うと、人と向き合うより圧迫感がなく緊張感が少なくなるのではないか」との意見があった。これまでの取組においても同様の意見があり⁽⁷⁾、外国語を話す際に緊張する学習者には、話す練習の場となることが期待できる。また、CG キャラクタの役回りについて「CG キャラクタがあえて間違え、わからないと言う等の役をつとめると、学習者、特に小学生は答えやすくなるのではないか」「ALT (Assistant Language Teacher) が常駐しているとは限らないので、ALT がいない場合にうまく取り入れられるとよい」等の意見が得られた。CG キャラクタは仮想のキャラクタであり、様々な役を担うことが可能である。コンテンツに使用する CG キャラクタに対して幅広い役割が考えられ、その役割を探っていくことが考えられる。

4. おわりに

本稿では、外国語スピーキング練習において TVML Player X と連携した問題出題を行うため、異なるアプリケーション間での通信を可能にすることを考え、2つの仮想シリアルポート (COM ポート) によりデータのやりとりを行う方法を検討した。試用の結果、テキストベースによる問題情報を TVML で記述されたスクリプトに変換し、TVML Player X 本体中の AnimeViewer により問題提示を行うことが可能になった。問題に対する評価について、今回のようにリアルタイムで1問ずつ評価を行う場合は、評価項目の内容を具体的で詳細な項目に絞り、評価の段階を2段階・3段階までとすると、比較的円滑に評価が行える感触を得た。CG キャラクタを用いたコンテンツについては、授業でのオーラル・イントロダクションへの利用といった活用の方向性や、静止画、動画、CG キャラク

タによるリアクションなどを加えることが提案された。さらに、CG キャラクタについて、あえて間違え役回りや ALT 不在時の活用が提案された。CG キャラクタは仮想のキャラクタのため幅広い役割が考えられ、CG キャラクタの役割と学習者の心理面について探っていきたいと考える。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 18K02822 の助成を受けたものです。

参 考 文 献

- (1) 文部科学省: “今後の英語教育の改善・充実方策について 報告～グローバル化に対応した英語教育改革の五つの提言～”, 英語教育の在り方に関する有識者会議 (2014) http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shotou/102/houkoku/attach/1352464.htm (2019年6月3日確認)
- (2) Japan Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology: “English Education Reform Plan corresponding to Globalization” (2014) http://www.mext.go.jp/en/news/topics/detail/_icsFiles/afieldfile/2014/01/23/1343591_1.pdf (2019年6月3日確認)
- (3) 田中正道: “英語の使用場面と働きを重視した言語活動—指導と評価の実際”, 教育出版, 東京 (2000)
- (4) TVML Player X: TVML Home Page (2015) <http://www.nhk.or.jp/str/tvml/index.html> (2019年6月3日確認)
- (5) Hayashi, M.: “TVML (TV program Making Language) - Automatic TV program generation from text-based script -”, Proceedings of Imagina '99, pp.119-133 (1999)
- (6) 柏木治美, 康敏, 大月一弘: “TVML を用いた出題問題選択に関する検討”, 教育システム情報学会研究報告, Vol.33, No.3, pp.9-12 (2018)
- (7) 柏木治美, 澁谷恵美, 康敏, 大月一弘: “無線モジュールを用いた TVML による対話練習環境に関する検討”, 日本教育工学会研究報告, JSET 16-1, pp. 219-226 (2016)
- (8) 澁谷恵美, 康敏, 大月一弘, 柏木治美: “TVML コントローラボタン登録支援ツールの検討”, 教育システム情報学会研究報告, Vol.30, No.6, pp.63-68 (2016)

Web 調べ学習における適応的な部分課題推薦手法の評価

萩原 未来^{*1}, 柏原 昭博^{*1}, 長谷川 忍^{*2}, 太田 光一^{*2}, 鷹岡 亮^{*3}

^{*1} 電気通信大学 ^{*2} 北陸先端科学技術大学院大学 ^{*3} 山口大学

Evaluating Recommendation for Question Decomposition in Web-Based Investigative Learning

Miki Hagiwara^{*1}, Akihiro Kashihara^{*1}, Shinobu Hasegawa^{*2}, Koichi Ota^{*2}, Ryo Takaoka^{*3}

^{*1} The University of Electro-Communications

^{*2} Japan Advanced Institute of Science and Technology ^{*3} Yamaguchi University

Web 調べ学習では、学習者は Web リソースを選択し、学習課題についての知識構築しながら、さらに学ぶべき項目を部分課題として展開し、学ぶべき項目と順序(学習シナリオ)を主体的に作成する。これに対し、先行研究では Web 調べ学習モデルを構築し、学習シナリオを作成するためのいくつかの足場を提供するシステムを開発した。一方、システムを用いても課題展開が不十分なまま学習を終える学習者に対して課題展開を促進する必要がある。しかしながら、Web のようなオープンエンドな空間で作成される学習シナリオは個別性が高く、各学習者に対して別個に解を準備することは困難なため、学習者の学習シナリオ作成に対する適応的支援は困難である。本論文では Linked Open Data(LOD)を用いた展開すべき部分課題の推薦手法を提案し、評価のためのケーススタディを行った。その結果、部分課題の推薦によってより広く深く調べ学習が促進されることを確認した。

キーワード: Web, 調べ学習, LOD, 主体的学習

1. はじめに

近年、教育現場においても Web 上での調べ学習(Web 調べ学習)の機会が増加している⁽¹⁾。Web 調べ学習では、学習者は膨大で多種多様な Web リソースの中から学ぶべき課題(学習課題)の学習に適したリソース(学習リソース)を選択・探求していくことで自分の視点から知識を構築でき、高い学習効果が期待される^(2,3)。また、多様な学習リソースを横断的に学んでいくことで、学習者は学習課題に関する知識を広く深く構築できる⁽⁴⁾。

ここでの Web 調べ学習は、単純なキーワード検索ではなく、学習者が Web リソースを選択し、学習課題についての知識を構築しながら、さらに初期課題と関連する項目を部分課題として展開することで、初期課題と関連する項目について網羅的かつ体系的に学ぶことである。このとき、課題展開を通じて学習項目や順番(学習シナリオ)の作成が行われ、学習者がナビゲーシ

ョンと知識構築プロセスを自己調整するのに役立つ⁽⁵⁾。

一方、テキストを用いた学習とは異なり、Web 調べ学習では学習課題の達成に必要な学習項目や順番(学習シナリオ)が提供されていない。そのため、学習者は自分で学習シナリオを作成する必要がある。しかし、学習者は Web ページのナビゲーションや知識構築と同時に、学習課題をより詳細な部分課題として展開していき、学習シナリオを作成する必要がある、負荷が高い⁽⁶⁾。

これに対し先行研究では、Web 調べ学習プロセスのモデルを提案し、モデルに従って学習を支援する環境を学習者に提供する interactive Learning Scenario Builder (iLSB)を開発した。また、iLSB が課題展開プロセスを活性化し、学習項目について網羅的・体系的な学習を促進することを確認した⁽⁷⁾。

一方、学習者は作成した学習シナリオの課題展開が不十分なまま学習を終えてしまうことがしばしば起

ってしまう。このような学習者に対し、課題展開を促進するために、展開すべき課題キーワード(展開課題候補キーワード)を推薦する必要がある。しかし、Webのようなオープンエンドな空間では解となる学習シナリオ(解シナリオ)をあらかじめ準備をすることが困難なため、解シナリオに基づいて展開すべき課題を推薦することは困難である。

そこで、本稿では学習シナリオにおける課題展開が不十分な学習者のために、Linked Open Data(LOD)を用いて、学習の課題展開を診断する手法について述べる。また、本手法の評価実験についても報告する。その結果、推薦システムが広く深い学習シナリオ作成の促進に寄与することが分かった。

2. Web 調べ学習

まず先行研究で提案した Web 調べ学習モデルについて説明する。また、学習シナリオを作成する際に課題展開を支援する必要性についても説明する。

2.1 Web 調べ学習のモデル

本研究では Web 調べ学習を、以下の 3 つのフェイズからなるサイクルモデルとして定義している。

(1) Web リソース探索フェイズ

学習者は学習課題を表すキーワード(課題キーワード)を用いて検索エンジンを用いて検索し、学習課題に関する学習リソースを収集する。

(2) Navigational Learning フェイズ

学習者は Web リソース探索フェイズで収集された学習リソース・ページをナビゲーションしながら、学習課題について学ぶべき項目をキーワードとして抽出し、抽出キーワード間を関係づけながら学習課題に関する知識を構築する。

(3) 課題展開フェイズ

学習者は Navigational Learning フェイズで構築した知識を振り返りながら、最初に与えられた課題(初期課題)についてさらに学ぶ必要がある項目(キーワード)を部分課題として展開する。

学習者は、部分課題が新たに展開できなくなるまで各部分課題に対してこれらの 3 つのフェイズを実施する。3 フェイズを再帰的に行い部分課題を展開した結果として、初期課題を根ノードとして、展開した課題

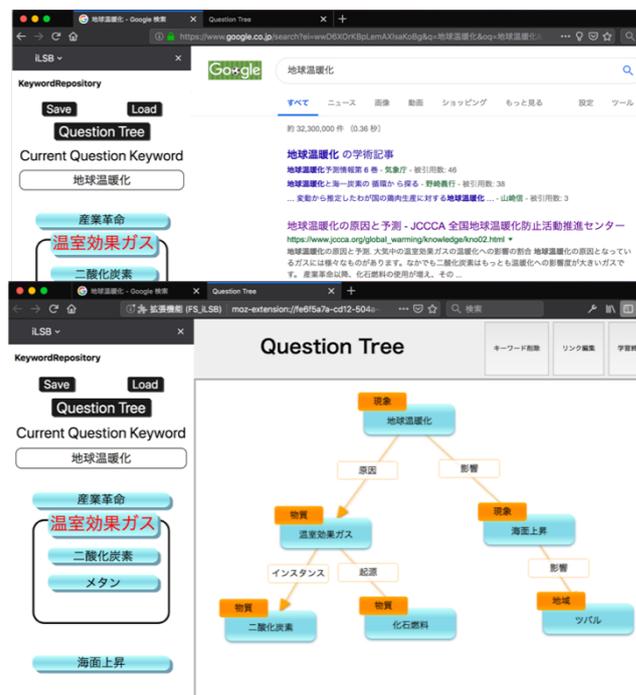


図 1 iLSB の UI と学習シナリオ例

を子ノードとする木構造の形で学習シナリオが作成される。

2.2 interactive Learning Scenario Builder

先行研究では、学習者に Web 調べ学習モデルに沿って学習させるために、iLSB を Firefox⁽⁶⁾ のアドオンとして開発した。図 1 は iLSB の UI を示す。iLSB は以下の機能を実装している。iLSB を使用することで、初期課題に関連する項目を部分課題として展開しながら、網羅的かつ体系的に学習が促されることが分かっている。

(1) Web ブラウザ機能

学習用のリソースを選択・収集するための、Web リソースを探索する機能。

(2) キーワードリポジトリ機能

選択・収集した学習リソースから学習項目を端的に表すキーワードを収集し、キーワード間の関係づけを視覚的に行うことで、知識を構築する機能。

(3) 課題キーワードマップ機能

キーワードリポジトリ機能を用いて作成した知識構造を振り返り、キーワードの中のいくつかを部分課題として展開し、学習課題と部分課題を関係づけることで学習シナリオを作成する機能。

「地球温暖化」を初期課題とした例を図 1 に示す。

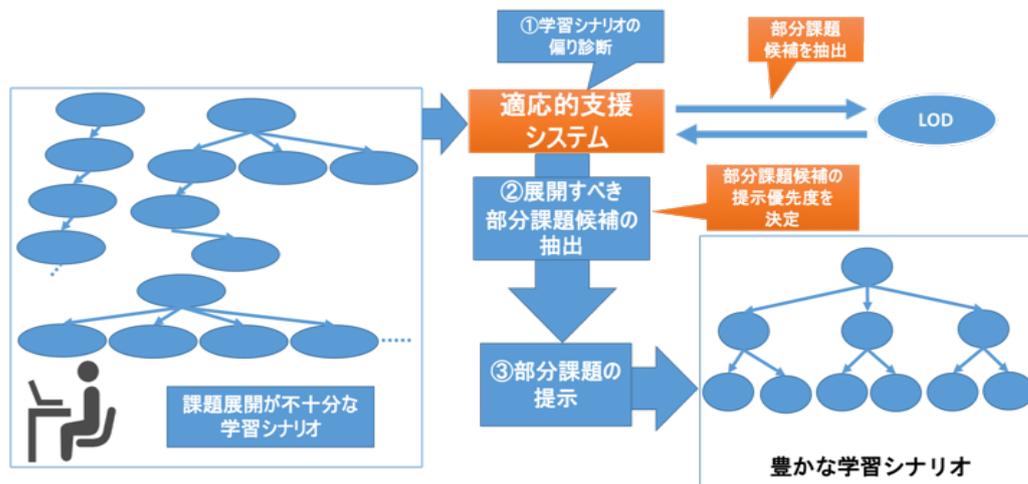


図 2 部分課題推薦の枠組み

まず初期課題「地球温暖化」に関して検索エンジンで検索し、「地球温暖化」の学習リソースを収集する。次にキーワードドリポジトリ機能を用いて学習リソース内で「地球温暖化」に関連する項目をキーワードとして収集し、関連付けを行う。最後に「地球温暖化」のキーワードドリポジトリを振り返り、「地球温暖化」を学習するためにさらに学習が必要なキーワード「温室効果ガス」「海面上昇」を「地球温暖化」の部分課題として課題キーワードマップに展開している。さらに、展開した部分課題「温室効果ガス」「海面上昇」についても検索エンジンによる学習リソースの検索、キーワードドリポジトリへのキーワードの収集と関連づけ、部分課題の展開を行う。

2.3 問題点

Web 調べ学習では、学習者が作成した学習シナリオが不十分なまま学習を終えることがある。このとき、シナリオ作成における課題展開が妥当でない場合と、課題展開自体が不十分な場合が存在する。先行研究では、課題展開に対する妥当を診断し、学習者によるリフレクションを促す支援を実現してきた⁽⁹⁾。本稿では、課題展開が不十分な場合に着目する。

課題展開が不十分な場合、学習者の作成した学習シナリオの構造に応じて展開課題候補を推薦することが有効である。また、このとき推薦する展開課題候補キーワードは、それまで学習者が学んできた課題と関連することが適応的な支援として望まれる。特に、初期課題および課題展開が促されるべき課題と関連した課題を推薦する必要がある。一般に、このような支援は、

学習成果物と解を比較することで実現するが、Web のようなオープンエンドな空間で学習者によって作成される学習シナリオは個別性が高く、事前に解シナリオを用意することは困難である。従って、学習者の学習シナリオに適した支援を提供することは困難である。

そこで、本稿では課題展開が不十分な学習者に対する支援として、学習シナリオに含まれる初期課題と部分課題に関連したキーワードを LOD を用いて抽出し、展開課題候補として推薦手法を提案する。

3. 課題展開推薦

本章では、LOD と、展開すべき課題を学習者に提示する方法について説明する。また、学習者の学習シナリオに沿った展開課題候補キーワードの推薦のための学習者モデリングについても説明する。

3.1 Linked Open Data

LOD は、Web 上の関連データをリンク付けし、誰でも利用できるように公開する仕組みである⁽¹⁰⁾。本研究では、日本語版 Wikipedia を LOD として表現した DBpedia Japanese⁽¹¹⁾を利用する。DBpedia Japanese のデータは、Infobox、カテゴリ情報などの日本語版 Wikipedia のデータを、主語、述語、目的語の三項からなる RDF 形式で表現される。RDF 形式のデータは、クエリ言語 SPARQL⁽¹²⁾で取得できる。推薦する展開課題候補キーワードは、LOD において、学習シナリオの初期課題や、展開課題候補キーワードから見た親・兄弟課題との関連度によって決定される。

3.2 枠組み

図 2 に LOD による部分課題推薦の枠組みを示す。推薦システムは、iLSB の一機能として実装されている。学習者が学習を終了した段階で、作成された学習シナリオは本研究で開発された推薦システムに送信される。推薦システムは学習シナリオからその不十分さを診断する。初期課題からの課題展開が不十分であると判断された場合、学習シナリオにおいてさらに展開が促されるべき課題キーワードを展開元のキーワードとして同定し、そのキーワードを用いて SPARQL クエリを作成し、DBpedia Japanese に送信する。その結果として DBpedia Japanese から得られるキーワードが、展開課題候補として学習者に提示される。学習者は提示された展開課題候補キーワードから展開する部分課題を選択する。このような推薦によって、より豊かな学習シナリオが作成されることを期待している。

3.3 学習者モデリング

学習者に展開すべき課題を推薦するためには、学習者が作成した学習シナリオの状態を把握することが重要である。具体的には、学習シナリオに含まれる課題キーワードと課題構造に応じて Web 調べ学習が効果的に行われているかどうかを診断する。これによって、学習シナリオにおける課題展開の広さ・深さ・バランスの評価が可能になる。この際、広さ・深さ・バランスのいずれかが不十分であると診断した場合、診断結果に基づいて推薦の戦略を決定し、展開すべき学習課題を同定する。

4. 推薦方法

この章では、展開課題候補キーワードを学習者に提示するための具体的な方法について説明する。

4.1 推薦戦略決定アルゴリズム

図 3 に、学習者の学習シナリオから推薦の戦略を決めるためのフローチャートを示す。このアルゴリズムによる戦略に基づいて、展開すべき学習課題が決まり、展開課題候補キーワードの抽出が行われる。まず、推薦システムは初期課題からの課題展開数が十分かどうかを診断する。課題展開の数が十分でない場合、初期課題からの展開を増やす展開課題候補キーワードを推薦する。次に、初期課題から同じ深さの部分木間で、

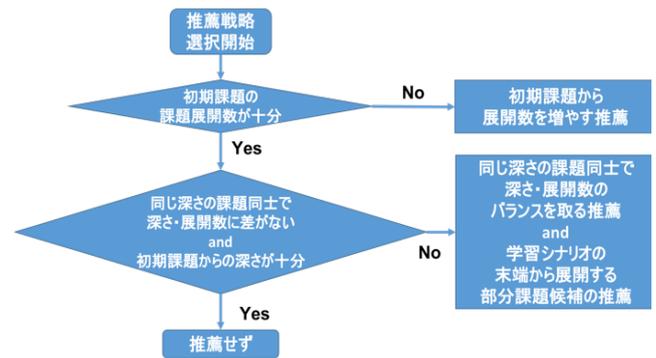


図 3 推薦戦略の決定

深さと展開数に差があるかどうかを診断する。差がある場合は、深さと展開数が小さい部分木において課題展開が不十分であると診断される。このとき、展開数が不足している場合はその部分木の根の課題を親とする展開課題候補キーワードを推薦し、深さが不足している場合はその部分木の葉にあたる課題を親とする展開課題候補キーワードを推薦する。さらに、学習シナリオ全体として十分な深さが必要なため、学習シナリオの葉の課題に対して初期課題からの深さが十分かどうかを診断する。葉の課題の深さが十分でない場合、深さ方向への展開が不十分であり、学習シナリオに対して十分な深さを確保するために葉の課題を学習シナリオ上で親とする展開課題候補キーワードを推薦する。

4.2 初期課題からの展開数の診断

推薦戦略決定において初期課題からの展開数の十分さを診断する必要があるが、様々な初期課題に対して十分とされる課題展開数を一意に決定することは困難である。そこで、本研究では初期課題からの展開数と、初期課題キーワードと DBpedia Japanese 上で双方向にリンクしているキーワード数との間に関係があると仮定する。

この仮定について、予備実験では、「アレルギー」、「インフルエンザ」、「災害」の 3 つの学習課題に対して 10 人の学習者が作成した学習シナリオに対して、初期課題からの展開数が十分と考えられるものを 3 人の実験者に判断させ、その課題展開数と、DBpedia Japanese 上で初期課題と双方向にリンクしているキーワードの数を取得した。その結果をもとに、初期課題に対する適切な課題分割数を「degree」、初期課題と

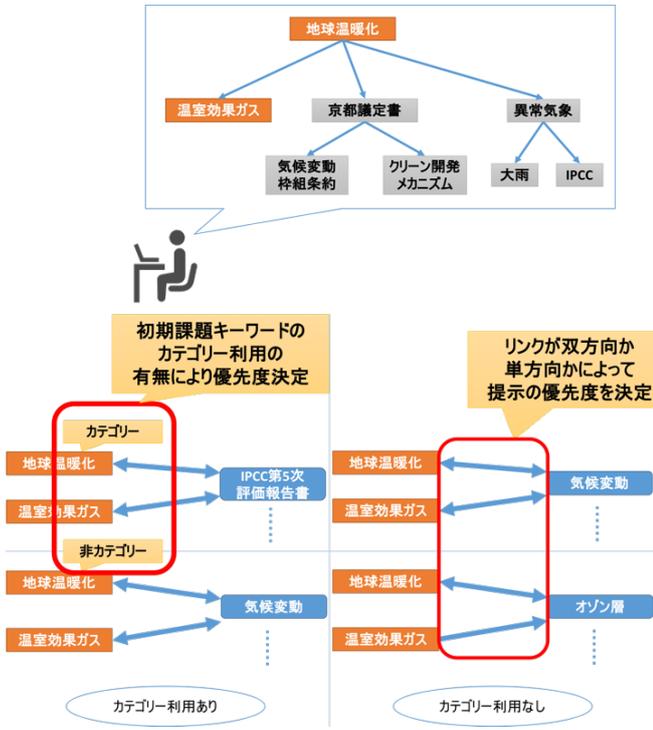


図 4 展開課題候補キーワードの優先付け例

双方向にリンクしているキーワード数を「object」とする式(1)を算出し、初期課題から展開されるべき部分課題数を仮定した。

$$degree = 0.16 \times object - 2.1$$

初期課題の課題展開数が、degree の値未満であれば、初期課題からの課題展開が不十分であると診断し、展開課題候補キーワード推薦のため、初期課題およびその部分課題と関連するキーワードを DBpedia Japanese から取得する SPARQL クエリを作成する。

4.3 展開課題候補キーワードの優先度決定

本節では、初期課題から推薦される展開課題候補キーワードへの DBpedia Japanese 上でのリンク関係と、親・兄弟課題から展開課題候補キーワードへの DBpedia Japanese 上でのリンク関係の有無に基づいて展開課題候補キーワードの優先度を決定するアルゴリズムについて述べる。図 4 に初期課題「地球温暖化」について推薦が必要な学習シナリオと抽出した展開課題候補キーワードの優先順位付けの例を示す。

図 4 では、学習者の作成した学習シナリオにおいて初期課題「地球温暖化」からの課題展開数は十分ではあるが、部分木間の比較で「温室効果ガス」を根とする部分木における課題展開が不足していると推薦システムで診断している。このとき、「温室効果ガス」から

表 1 展開課題候補キーワードの優先付け

提示優先度	カテゴリ利用	初期課題との関係	親兄弟課題との関係
1	有り	-	双方向
2	有り	-	単方向
3	無し	双方向	双方向
4	無し	双方向	単方向
5	無し	単方向	双方向



図 5 展開課題候補キーワードの提示システム

展開を増やすために、初期課題「地球温暖化」と親課題「温室効果ガス」を用いて関連キーワードを取得する SPARQL クエリを作成し、DBpedia Japanese に送信する。結果として返ってきた展開課題候補キーワードについて、日本語版 Wikipedia のカテゴリ情報の利用の有無と DBpedia Japanese 上でのリンク関係により提示優先度が決まる。まず、カテゴリを用いた提示の優先順位付けの一例として、DBpedia Japanese から取得した展開課題候補キーワード「IPCC 第 5 回評価報告書」と「気候変動」を用いる場合について説明する。図 4 では、「IPCC 第 5 回評価報告書」においては、日本語版 Wikipedia の「地球温暖化」のカテゴリから生成された「カテゴリ：地球温暖化」からリンクが張られている。一方、「気候変動」においては、日本語版 Wikipedia の「地球温暖化」の記事から生成されたデータからリンクが張られている。このとき、カテゴリ情報を利用して得られる展開課題候補キーワードは記事間のリンク関係を利用した展開課題候補キーワードよりも構造化されているデータを利用して得られたデータであるため、より関連度が強いと考えられるため、「IPCC 第 5 回評価報告書」の方が提示優先度が高い。

表 2 評価用 Web リソース

喫煙	原子力
http://www.fukushihoken.metro.tokyo.jp/kensui/kitsuen/leaflet/j_sitte.files/sittekudasai.jyudoukitsuen.pdf	https://www.env.go.jp/chemi/rhm/h29kisoshiryo/h29kiso-01index.html
https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryuu/kenkou/tobacco/index.html	https://www-sdc.med.nagasaki-u.ac.jp/nuric/ricnew/ri/A01.pdf
http://www.u-gakugei.ac.jp/~tschin/csp/09csp06.pdf	http://rcwww.kek.jp/kurasi/
https://www.jti.co.jp/tobacco/	http://ishiken.free.fr/english/lecture.html
http://www.kameda.com/patient/topic/nonsmoking/index.html	http://ushi.lebra.nihon-u.ac.jp/~yahayak/wiki/wiki.cgi?action=ATTACH&page=FrontPage&file=kunren07.pdf
	http://ndrc.jrc.or.jp/infolib/cont/01/G0000001nrcarchive/000/071/000071859.pdf
	https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/hosho_02.html

また、学習シナリオから取得した学習課題と推薦する展開課題候補キーワードとの DBpedia Japanese 上でのリンク関係の強さでも決まる。DBpedia Japanese から取得した展開課題候補キーワードとして「気候変動」と「オゾン層」を用いる場合について説明する。

図 4 では、「気候変動」は、「地球温暖化」と「温室効果ガス」に対して双方向リンクを有する。一方、「オゾン層」は、「地球温暖化」に対して双方向リンクを有するが、「温室効果ガス」とは単方向リンクで関連している。このとき、リンクの強さは単方向のものより双方向のものの方が強く、リンクが強いほど関連も強いと考え、「気候変動」の提示優先度を高くしている。

以上の日本語版 Wikipedia のカテゴリ情報の利用の有無と DBpedia Japanese 上でのリンク関係による提示優先度の決定を表 1 にまとめる。

4.4 展開課題候補キーワードの提示

本節では推薦システムによる、学習者に対する展開課題候補キーワードの提示について説明する。展開課題候補キーワードは提示優先度が高いほど文字を大きくして提示する。図 5 に展開課題候補キーワードの提示の例を示す。図 5 では初期課題が「地球温暖化」であり、地球温暖化から部分課題として「温室効果ガス」「海面上昇」が展開されている。このとき学習者が学習を終了しようとするとき、推薦システムに学習者が作成した学習シナリオが送信される。推薦システムは、まず学習シナリオの課題構造から推薦戦略を決定する。

この場合、初期課題からの課題展開数が不十分であると診断されている。次に、初期課題「地球温暖化」と「地球温暖化」の部分課題「温室効果ガス」・「海面上昇」の少なくともいずれかに関連するキーワードを取得するクエリを DBpedia Japanese に送信する。その後 DBpedia Japanese から抽出された展開課題候補キーワードに対してカテゴリの使用とリンク関係に基づいて提示優先度を決定する。最後に学習者に対して初期課題「地球温暖化」からの展開課題候補キーワードの提示を行う。

5. ケーススタディ

5.1 実験目的と方法

本研究で提案した推薦システムの有効性を評価するためのケーススタディを実施した。被験者は理工系の大学生および大学院生は 20 名で、学習課題は「喫煙」・「原子力」とし、各学習課題に 10 人の被験者を割り当てた。各被験者は、iLSB を用いて「喫煙」または「原子力」を 2 回学習した。最初の学習では、被験者は推薦システムなしの iLSB を用いて学習シナリオを作成し、2 回目の学習では、最初の学習の継続として推薦システムを含む iLSB を用いて学習シナリオを作成した。このとき推薦システムの利用については学習者の任意とした。また、推薦された展開課題候補キーワードの利用については学習者自身が学ぶべきだと感じた課題のみを利用するように指示した。

表3 学習シナリオの分析結果

	喫煙					原子力				
	推薦無し		推薦有り		t 値 (両側)	推薦無し		推薦有り		t 値 (両側)
	平均	SD	平均	SD		平均	SD	平均	SD	
課題 キーワード数	19.9	8.55	26.1	10.3	-4.66**	20.2	7.12	25.7	9.02	-6.71**
最小分割 詳細度	0.0549	0.0450	0.0284	0.0229	4.04**	0.0625	0.049 3	0.0408	0.0448	2.92*
根の次数	4.80	4.60	7.30	3.77	-5.00**	4.20	1.17	1.00	1.04	1.00
葉の数	13.2	7.28	17.4	7.94	-4.47**	11.7	5.00	-4.22	6.70	-4.22**
葉の最大深度	3.90	1.45	4.20	1.33	-1.41	3.40	1.02	-2.69	0.831	-2.69*
葉の平均深度	2.72	1.22	2.39	0.617	1.37	2.53	0.410	-1.69	0.223	-1.69

表4 レポートの分析結果

	喫煙					原子力				
	推薦無し		推薦有り		t 値 (両側)	推薦無し		推薦有り		t 値 (両側)
	平均	SD	平均	SD		平均	SD	平均	SD	
章・節の数	16.5	4.36	22.2	7.44	-2.64*	14.7	2.69	17.4	1.74	-3.30**
末端節の数	10.6	2.50	14.8	4.45	-3.56**	9.40	1.91	11.6	1.28	-4.30**
末端節の 最大深度	3.00	0.447	3.10	0.539	-0.557	3.00	0.447	3.10	0.300	-1.00
末端節の 平均深度	2.52	0.369	2.63	0.364	-1.61	2.46	0.448	2.51	0.283	-0.386
課題キーワー ドの適合率	0.686	0.184	0.633	0.226	1.38	0.805	0.131	0.787	0.151	1.17
課題キーワー ドの再現率	0.637	0.236	0.635	0.265	0.0445	0.638	0.188	0.581	0.171	2.76

その後、学習シナリオと iLSB 上で構築した知識構造に基づいて、参加者は推薦無しの学習と推薦有りの学習に対し、それぞれ学習内容に関するレポートの目次を作成した。また、iLSB が課題展開を促進することができるかどうかを確かめるために、推薦無しと推薦有りの学習で作成された学習シナリオを比較した。木構造としての学習シナリオを分析するために、課題キーワードの数、最小分割詳細度、根の次数、葉の数、葉の最大深度、葉の平均深度を尺度として用いた。また、推薦無しと推薦有りの学習で学習者が作成した目次を比較するために、章・節の数、末端節の数、末端節の最大深度、末端節の平均深度、課題キーワードの適合率(章・節で使用されるキーワードの数/課題キー

ワードの数)、課題キーワードの再現率(章・節で使われるキーワードの数/レポート内の章・節の数)を尺度として用いた。

5.2 結果と考察

表3に学習者によって作成された学習シナリオの分析結果を示す。初期課題ごとに推薦無しと推薦有りの学習で平均値に差があるかt検定を行った。その結果、「喫煙」において、課題キーワード数で $t(9) = -4.66$, $p < 0.01$, 最小分割詳細度で $t(9) = 4.04$, $p < 0.01$, 根の次数で $t(9) = -5.00$, $p < 0.01$, 葉の数で $t(9) = -4.47$, $p < 0.01$ で1%水準で有意差が確認された。同様に、「原子力」では、課題キーワードの数で $t(9) = -6.71$, $p < 0.01$, 葉の数で $t(9) = -4.22$, $p < 0.01$ で1%で有意差が確

参考文献

認められた。また、最小分割詳細度は $t(9) = 2.92, p < 0.05$, 葉の深度の最大値は $t(9) = -2.69, p < 0.05$ であり、5%水準で有意差が確認された。

作成されたレポートの分析結果を表4に示す。各分析項目について、1回目と2回目の学習で平均値に差の有無を判定するためにt検定を行った。その結果、「喫煙」については、レポートの章・節数は $t(9) = -2.64, p < 0.05$ であり、5%水準で有意差が認められた。末端節の数は、 $t(9) = -3.56, p < 0.01$ で1%水準で有意差が確認された。同様に、「原子力」では、レポートの章・節の数は $t(9) = -3.30, p < 0.01$, 末端節の数は $t(9) = -4.30, p < 0.01$ で1%水準で有意差が確認された。

以上より「喫煙」「原子力」の両方で、本システムによる展開課題候補キーワードの推薦は学習シナリオの課題展開数の増加と課題展開の詳細化に寄与したことが示唆された。また、「喫煙」においては推薦の戦略として広さ方向と部分木間のバランス方向の戦略が取られていたことから、広さ・バランスの推薦戦略がより幅広い学習の促進につながったと考えられる。「原子力」においては深さ・バランスの推薦戦略が取られていたことから、深さ・バランスの推薦戦略がより深く詳細な課題の学習につながったと考えられる。

また、レポートの目次作成において章・節の数や末端節の数が有意に増加していることから、展開課題候補キーワードの推薦によって豊かな目次の作成が行われている可能性があることが示唆された。

6. 結論

本論文では、LODを用いたWeb調べ学習における学習者作成シナリオにおける課題キーワードの関連課題の推薦手法を提案した。さらに、推薦手法を評価したケーススタディの結果を報告した。これらの結果は、部分課題の推薦はより広く深い学習を促進したことが示唆された。今後の課題として、過去の学習データの活用と学習課題間の関係に着目した推薦手法を提案が挙げられる。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP17H01992 の助成による。

- (1) 文部科学省 情報教育 http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shotou/056/gijigaiyou/attach/1259396.htm
- (2) Fischer, Gerhard, and Eric Scharff. "Learning Technologies in Support of Self-Directed Learning", *Journal of Interactive Media in Education*, 98 (4) (1998)
- (3) Hübscher, Roland, and Sadhana Puntambekar. "Adaptive Navigation for Learners in Hypermedia is Scaffolded Navigation", *Proc. Of International Conference on Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-based Systems*, pp.184-192 (2002)
- (4) Akihiro Kashihara and Naoto Akiyama, "Learner-Created Scenario for Investigative Learning with Web Resources", *Proc. of the 16th International Conference on Artificial Intelligence in Education (AIED2013)*, Memphis, USA (2013)
- (5) Land, Susan M. "Cognitive Requirements for Learning Open-Ended Learning Environments", *Educational Technology Research and Development*, Vol. 48, No. 3, pp. 61-78 (2000)
- (6) Zumbach, Joerg and Maryam: "Cognitive load in hypermedia reading comprehension: Influence of text type and linearity", *Computers in Human Behavior*, 2008
- (7) Akihiro Kashihara, and Naoto Akiyama, "Learning Scenario Creation for Promoting Investigative Learning on the Web", *Journal of Information and Systems in Education*, Vol.15, No.1, pp.62-72 (2017).
- (8) Mozilla Japan, "Firefox 製品情報" <http://mozilla.jp/firefox/>
- (9) Yoshiki Sato, Akihiro Kashihara, Shinobu Hasegawa, Koichi Ota, Ryo Takaoka, "Diagnosis with Linked Open Data for Question Decomposition in Web-based Investigative Learning", *The International Conference on Smart Learning Environments (ICSLE 2019)*, pp.103-112, Texas, USA (2019.3.18)
- (10) Bizer, Christian, Tom Heath, and Tim Berners-Lee. "Linked data: The story so far." *Semantic services, interoperability and web applications: emerging concepts*. IGI Global, pp205-227 (2011).
- (11) DBpedia Japanese, <http://ja.dbpedia.org/>
- (12) RDF 用クエリ言語 SPARQL <https://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query/>

eラーニングシステムを活用した入学前教育における

プレ・ポストテスト得点にみる学習傾向

菅原 良^{*1}, 奥原 俊^{*2}, 福山 佑樹^{*1}, 佐藤 喜一^{*3}

^{*1} 明星大学, ^{*2} 藤田医科大学, ^{*3} 九州大学

Learning Tendency in Placement Test and Post Test Score in Pre-entrance Education utilizing e-Learning System

Ryo Sugawara^{*1}, Shun Okuhara^{*2}, Yuki Fukuyama^{*1}, Yoshikazu Sato^{*3}

^{*1} Meisei University, ^{*2} Fujita Health University, ^{*3} Kyushu University

本研究では、第一筆者らの本務校で実施する入学前教育で課している eラーニングのレベル分けを行うためのプレースメントテストと修了テストの得点差に着目し、学習者のテスト得点と学習癖の関連を分析した。その結果、eラーニング後のテスト得点（修了テスト得点－プレテスト得点）の伸びが大きい者は、eラーニングの学習期間中、偏ることなくログインを行い（LTrf または MTrf）、学習を進めていることがわかった。一方、プレテスト得点が高い者は、プレテストよりも修了テスト得点がマイナス（－）になる傾向が高いことがわかった。

キーワード: テスト得点 学習癖 eラーニングの学習傾向

1. はじめに

筆者らは、学習者が eラーニングで学習を進める際に、「処遇（指導法）」（教材設計・インストラクショナルデザイン）と学習者の「適性」（学習癖）には交互作用があり、両者の組み合わせによって学習効果が異なり、処遇（指導法）に一致（あるいは近接）する適性を持つ学習者の学習効果は高くなり、一致しない学習者は学習効果が現れないか、現れたとしても低いものになってしまうのではないかと考えた⁽¹⁾。

その背景には、今日まで eラーニングによる学習が自発的な学習を促進できていないのは、eラーニングシステムや教材設計ではなく、eラーニングで提供している教材が推奨する学び方（一般には、「このような方法で学習を進めてください」というマニュアルによって示されている）と、学習者の学習癖（タイプ）に何らかのズレがある場合に、学習途中で脱落したり、期待される学習効果が現れないなどの負の効果が現れるのではないかと考えたことにある⁽¹⁾。

筆者らは、第一筆者らの本務校で実施する入学前教育で課している eラーニングのレベル分けを行うためのプレースメントテスト（以下、単にプレテスト）の成績上位者を対象とし、学習癖とテスト得点の関連を分析した（本研究では、入学前教育の課題として課した eラーニングの学習傾向を探索的に分類）（表 1）。

その結果、成績上位層（国語： ≥ 90 、英語： ≥ 74 ）は、ほとんど（国語 81.8%、英語：94.6%）が、LTrf および MTrf タイプのいずれかの学習タイプに分類された。しかし、得点が下がる（国語 $90 >$, ≥ 80 、英語 $74 >$, ≥ 65 ）と、LTrf および MTrf タイプの割合が、国語（80.4%）で 1.4 ポイント、英語（87.5%）で 7.1 ポイント低下した。プレテストの得点が高いことと、eラーニングの学習期間を通して偏ることなく学習を継続すること（LTrf および MTrf に分類）に関連があることが確認された（表 2）。なお、このテストは AO・推薦入試合格者に対し、入学前教育プログラムの一部として実施されたものであることから、高校までの学習

表1 学習癖の分類

学習癖 (タイプ)	進捗率	ログイン 回数 (Trf)
長期完了 (LTrf)	100(%)	前後半共 30<=
中期完了 (MTrf)	100	前後半共<30
短期終了未達成 (STrf)	<100	前後半共 10<=Trf
前半集中未達成 (FHaf)	<100	前半 10<=Trf 後半 Trf<10
後半集中未達成 (LHaf)	<100	前半 Trf<10 後半 10<=Trf
非習慣 (N)		前半 Trf<10 後半 10<Trf
無学習 (NS)	-	-

注1) 学習期間は約2ヶ月または約3ヶ月。

注2) 学習期間のうち、約3ヶ月の学習期間の者は、前半を45日間、後半を45日間とし、約2ヶ月の学習期間の者は、前半を30日間、後半を30日間とする。

表2 学習癖とプレテストの得点の関連

		国語		英語	
		>=90	90>, =>80	<=74	74>, =>65
学習癖	達成率	N:44	N:163	N:56	N:48
LTrf	100.0(%)	50.0(%)	46.0(%)	73.2(%)	58.3(%)
MTrf	100.0	31.8	34.4	21.4	29.2
Sub total		81.8	80.4	94.6	87.5
STrf	<100.0	2.3	4.9	1.8	6.3
FHaf	<100.0	-	1.2	1.8	-
LHaf	<100.0	9.1	3.7	1.8	2.1
N	<100.0	4.5	9.2	-	4.2
NS	<100.0	-	-	-	-

癖が強く表れるのではないかと考えたことによる。

しかし、筆者らが行ってきたここまでの研究では、プレテストの高得点者を分析対象としてきたため、テスト得点の中下位の得点者は分析対象としてこなかったため、これらの学習者の学習癖は明らかになっていなかった。

本研究では、eラーニングの学習効果を測定することを目的として実施したプレテストと修了テストの得点差に着目し、学習者のテスト得点と学習癖の関連を明らかにすることを目的とする。

2. 方法

A大学において2017年にAO・推薦入試で合格した入学予定者(2018年度入学者)に受講させたeラーニング(自宅で受講。eラーニングを進めるにあたっては、受講前の集合講習(11月および12月に実施)で、モデル学習プランを示している)のレベル分けを行うためのプレテストおよび修了テストで取得したテスト得点(本研究では、修了テスト得点からプレテスト得点を差し引いた得点差)と、eラーニングの学習履歴(本研究ではeラーニングシステムに対してログインした回数とし、1日に何回ログインしたとしても最大2回までしかカウントされない)を用いて、学習癖との関連について分析を行った(表3)。

表3 学習タイプ別課題進捗率(2017)

学習癖	進捗率	SD
LTrf	100.0(%)	-
MTrf	100.0	-
STrf	78.5	16.7
FHaf	59.1	29.3
LHaf	68.7	23.1
N	41.8	26.8
NS	-	-

注) 進捗率は、3科目(英語・数学・国語)平均

3. 学習癖とテスト得点差の関係

取得した2017年度の国語のデータを統計分析したと

ころ、修了テストの得点がプレテストの得点よりもプラス (+) になった学習者の学習癖は、LTrf または MTrf に分類される割合が高くなった (85%以上) が、マイナス (-) (0>=-20 を除く) になった学習者の学習癖は、LTrf または MTrf に分類される割合が大きく低下した (80%以下)。特に、修了テスト得点がプレテスト得点よりも 20 点以上低くなった学習者では、LTrf または MTrf に分類される割合は大きく低下することがわかった (表 4) (図 1)。

また英語では、修了テストの得点がプレテストの得点よりもプラス (+) になった学習者の学習癖は、LTrf

図 1 学習癖とプレテスト得点の関連 (国語, 2017)

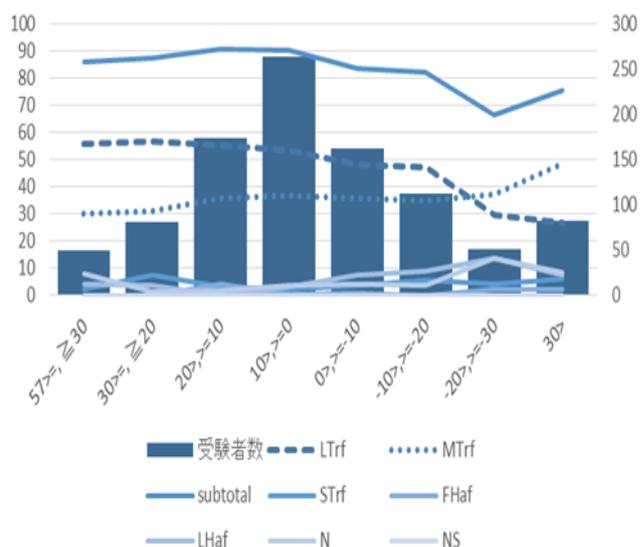


表 4 テスト得点の伸びと学習癖 (国語, 2017)

学習癖	≥30	30>, ≥20	20>, >=10	10>, >=0
	N:50	N:81	N:174	N:264
LTrf	<u>56.0</u> (%)	<u>56.8</u> (%)	55.2(%)	<u>53.4</u> (%)
MTrf	30.0	30.9	<u>35.6</u>	36.7
subtotal	86.0	87.7	90.8	90.1
STrf	2.0	7.4	3.4	2.3
FHaf	—	—	4.0	.4
LHaf	4.0	3.7	—	3.4
N	8.0	1.2	1.7	3.8
NS	—	—	—	—
Tota 1	100.0	100.0	100.0	100.0
学習 タイプ	0>, >=-10	-10>, >=-20	-20>, >=-30	-30>
	N:162	N:112	N:51	N:82
LTrf	<u>48.1</u> (%)	<u>47.3</u> (%)	<u>29.4</u> (%)	26.8(%)
MTrf	35.8	34.8	37.3	<u>48.8</u>
subtotal	83.9	82.1	66.7	75.6
STrf	3.7	5.4	3.9	6.1
FHaf	.6	—	2.0	2.4
LHaf	7.4	8.9	13.7	7.3
N	4.3	3.6	13.7	8.5
NS	—	—	—	—
Tota 1	100.0	100.0	100.0	100.0

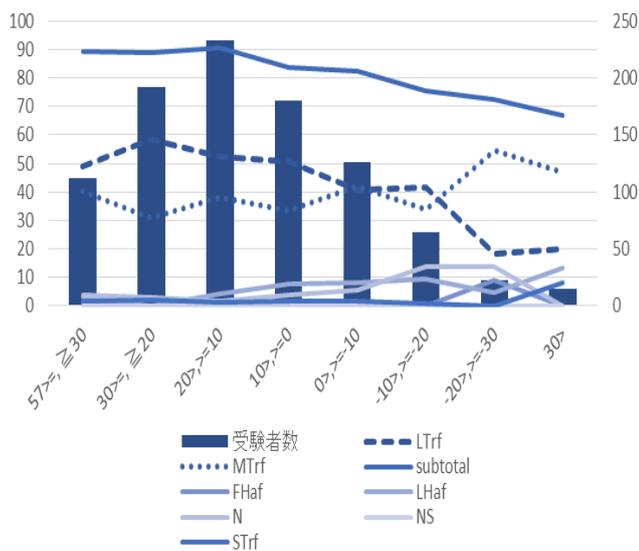
表 5 テスト得点の伸びと学習癖 (英語, 2017)

学習癖	≥30	30>, ≥20	20>, >=10	10>, >=0
	N:112	N:192	N:233	N:180
LTrf	<u>49.1</u> (%)	<u>58.3</u> (%)	<u>52.4</u> (%)	<u>50.6</u> (%)
MTrf	40.2	30.7	38.2	33.3
subtotal	89.3	89.0	90.6	83.9
STrf	3.6	4.7	3.4	3.9
FHaf	.9	3.1	—	.5
LHaf	2.7	—	4.3	7.8
N	3.6	3.1	1.7	3.9
NS	—	—	—	—
Total	100.0	100.0	100.0	100.0
学習 タイプ	0>, >=-10	-10>, >=-20	-20>, >=-30	-30>
	N:126	N:65	N:22	N:15
LTrf	<u>40.5</u> (%)	<u>41.5</u> (%)	<u>18.2</u> (%)	20.0(%)
MTrf	42.1	33.8	54.5	<u>46.7</u>
subtotal	82.6	75.3	72.7	66.7
STrf	4.0	1.5	—	20.0
FHaf	—	—	9.1	—
LHaf	7.9	9.2	4.5	13.3
N	5.6	13.8	13.6	—
NS	—	—	—	—
Total	100.0	100.0	100.0	100.0

本研究は電気通信普及財団研究調査助成を受けたものである。

または MTrf に分類される割合が高くなった（83%以上）が、マイナス（-）（ $0 > \geq -10$ を除く）になった学習者の学習癖は、LTrf または MTrf に分類される割合は低下した（80%以下）。特に、修了テスト得点がプレテスト得点よりも 20 点以上低くなった学習者では、国語と同様の傾向を示し、LTrf または MTrf に分類される割合が大きく低下することがわかった（表 5）（図 2）。

図 2 学習癖とプレテスト得点の関連（英語，2017）



4. 考察

ここまでの検討から、e ラーニング後のテスト得点（修了テスト得点－プレテスト得点）の伸びが大きい者は、e ラーニングの学習期間中、偏ることなくログインを行い（LTrf または MTrf）、学習を進めていることがわかった。一方、プレテスト得点が高い者は、e ラーニングで学習した後の修了テスト得点がマイナス（-）になる傾向が高いことがわかった。

参 考 文 献

- (1) 菅原良: “e ラーニングにおける学びと学習タイプの適性処遇交互作用に関する考察～e ラーニングはなぜ学ぶ行為を満足させることができないのかへの言承～”, 国際 ICT 利用研究会論文誌, Vol.1, No.1, pp.16-22 (2017)

3DCG による教師キャラクターを用いた動画教材作成システム

井上翔太^{*1}, 小島篤博^{*1}

^{*1}大阪府立大学大学院 人間社会システム科学研究科

A Video Authoring System for Teaching Materials

Using Teacher's CG Avator

Shota Inoue^{*1}, Atsuhiko Kojima^{*1}

^{*1}Graduate School of Humanities and Sustainable System Sciences,
Osaka Prefecture University

従来 3DCG キャラクターを扱うツールの操作には専門的な知識が必要であり、習熟に時間を要する。このため、直感的にもわかりやすいユーザーインターフェースを採用したシステムを開発する。教師が行う身振りのモーションをシステム内に用意し、タイムライン上にクリップを配置することで、モーションやスライド切り替えのタイミングを設定するという簡易な操作によって 3DCG キャラクターを用いた動画教材を作成することができる。

キーワード:3DCG キャラクター, 動画教材, オーサリングシステム

1. はじめに

近年、反転授業のための動画教材を利用する機会が増加している。一般的な動画教材である教師が説明を行う実写映像の形式では、教材作成に時間やコストがかかる⁽¹⁾、作成後の修正が難しいなどの問題点がある。そこで、本研究では教師に見立てた 3DCG キャラクターに説明役を担わせる形式の動画教材を、簡易に作成することができるシステムを開発することでこの問題を解決する。現状では 3DCG キャラクターを使用した動画を作成することができるツールには Unity や MMD (MikuMikuDance) などがあるが、これらのツールは操作に専門的な知識が必要であり、習熟に時間を要する。このため、コンテンツの動作タイミングを決定し動画教材を作成することに特化することで、簡易な操作で 3DCG キャラクターを用いた動画教材を作成できるシステムを開発する。その結果、知識や経験によらず動画教材を作成することができることを目指す。

2. 関連研究

これまで、動画教材における 3DCG キャラクターのモーションが与える効果について検討した研究は行わ

れている。高山らは 3DCG キャラクターが講師役を演じる動画教材を制作し、キャラクターに誇張的な仕草を付与することが、学習効果の向上に有効であることを示した⁽²⁾。また、Xu らはキャラクターの台詞に基づき、表情や仕草を調整する手法を考案し、キャラクターアニメーションを生成するオーサリングツールを開発した⁽³⁾。しかしながら、これらの研究では動画教材における 3DCG キャラクターのモーションが与える効果について検討したものであり、3DCG キャラクターを用いた動画教材を簡易な操作で作成する手法自体を提案したわけではなかった。そこで本研究では、CG 制作ツールの操作に習熟していない教師が使用することを想定し、簡易な操作で 3DCG キャラクターを用いた動画教材を作成するシステムを開発することを目的とする。

3. システムの概要

一般的な動画教材の形式には、スライドを背景に教師が解説を行う形式のものが多い。本システムではこの形式を基本とし、合わせて 3DCG キャラクターモデルに教師が行う身振りのモーションを付与することで、3DCG キャラクターに教師の役割を担わせる。このよう

な形式の動画教材を作成するための機能として以下が挙げられる。

- あらかじめ用意したスライド，解説音声を入力とする
- 解説音声を再生し，適切なタイミングにスライドの切り替えを決定する
- 音声やスライド切り替えに合わせたタイミングで，3DCG キャラクタのモーションを決定する
- 決定した動作を時間軸に沿って録画し，動画ファイルとして出力する

これらの機能を実装するためには，モーションのタイミングやスライドの切り替えタイミングを時間軸上で決定する必要がある。本システムでは，時間軸上でタイミングを決定することができ直観的に操作できるユーザーインターフェースとしてタイムラインを使用し，その上にコンテンツを配置する方式を採用する。タイムラインは多くの動画編集ツールにも使用されており，3DCG キャラクタやスライドを直観的に操作する方法として有効と考えられる。

次に開発環境およびデータ形式について説明する。本システムの概要を図 1 に示す。解説音声，PowerPoint スライドを入力とする。3DCG キャラクタには VRM 形式のモデルを用いる。VRM 形式は，3DCG キャラクタの骨格であるボーンが正規化されており，モーションデータの動作が保証されるなどの利点がある。3DCG キャラクタのモデルに発話させる音声に合わせて，タイムラインに沿って 3DCG キャラクタの動作とスライドの操作を行う。そして，スライドと 3DCG キャラクタのモデルの動作を録画し動画として出力する形式をとる。開発ツールとしてはドキュメントやアセットが豊富である Unity を採用し⁽⁴⁾，VRM 操作用アセットである UniVRM を使用して VRM 形式のモデルを読み込んでいる⁽⁵⁾。

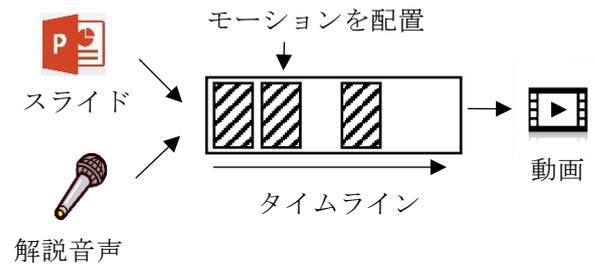


図 1 データフロー図

4. システムの構成

次に，スライド，3DCG キャラクタなどのデータをシステム内でどのように扱っているかを説明する。本システムのクラス図を図 2 として示す。本システム内の主なデータ構造として VTMMakerClip, TimeLine, VTMPProject の 3 つがある。

TimeLine はタイムライン自体の管理や配置されたクリップに対して操作を行うためのクラスである。再生開始からの経過時間やタイムライン上での時間の縮尺，クリップの追加や再生のためのメソッドなどを持っている。

VTMMakerClip はタイムライン上に配置するクリップを表現する抽象クラスであり。クリップの再生に必要な動作開始時刻，動作時間を保持するためのデータ構造である。MotionClip, SlideClip は VTMMakerClip の子クラスであるとともに，ユーザーが配置するモーションクリップ，スライド切り替えクリップを表現する抽象クラスであり，それぞれモーション名，遷移後のスライド番号を保持する。

VTMPProject はクリップの再生によって動作する 3DCG キャラクタモデルやスライドを保持するためのデータ構造である。タイムライン上に配置されたクリップのデータから，モーション名，スライド番号に対応する動作を VTMPProject 内の 3DCG キャラクタモデル，スライドに対して付与する。

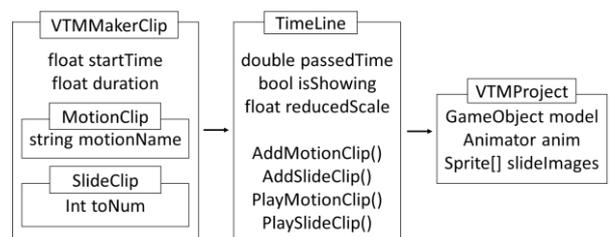


図 2 クラス図

5. システムの機能

一般に用いられる動画編集ソフトや 3DCG キャラクタ操作ソフトは、タイムライン上のクリップの操作、3DCG キャラクタの動作付与などの様々な機能を持つ。以下では、それらの中から本システムに実装したものを図 3、図 4 に画面構成を示して説明する。本システムの全体の流れはスライド・解説音声の読み込み、タイムライン上へのクリップの配置、動画としての出力となっているため、順に説明する。

5.1 スライドおよび解説音声の読み込み

本システムで作成する動画教材は、3DCG キャラクタがスライドの説明を行う形式である。そのため、説明するスライドと、音声を読み込む必要がある。画面左にあるスライド読み込みのボタンを選択し、スライドを選択することで VTMPProject クラス内にスライドのリストとして読み込まれる。解説音声は画面左にある解説音声読み込みボタンを選択し、音声ファイルを選択することでシステム内の解説音声として登録される。

5.2 クリップの配置

読み込んだ音声に合わせてスライドの切り替え、3DCG キャラクタのモーション付与を行う必要がある。そのために、本システムではスライド切り替えクリップとモーションクリップの 2 種類を使用する。

スライド切り替えクリップは画面左のテキストボックスに遷移先のスライドの番号を入力し、ボタンを押すことで画面下のタイムライン下部に配置される。切り替え時には遷移時のアニメーションなどは行わない。モーションクリップは画面左上のモーションリストから配置するモーションを選択することで画面下のタイムライン上部に配置される。このクリップはモーションの長さに応じて幅が調整される。本ツールで使用するモーションは、表 1 に示すような宮崎の研究に基づいて 5 つに分類されている⁽⁶⁾。図 5 にモーションの一例を示す。これらのモーションに加え、教師として自然な印象を与えるために音声に合わせて唇の動き（リップシンク）、瞬き、体を揺らすなどのモーションを付与している。

5.3 動画としての出力

以上の操作によりタイムライン上にクリップを配置した後、録画ボタンを押すことでタイムラインに沿ってスライドと 3DCG キャラクタのモデルの動作の録画を開始し、指定したフォルダ内に MPEG4 形式の動画ファイルが出力される。スライドと 3DCG キャラクタのモデルの動作は、タイムラインの再生時間が各クリップの開始時刻に到達した時点で行われる。

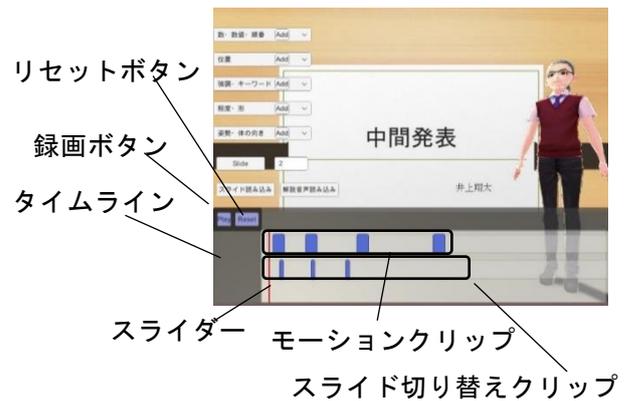


図 3 システムの画面構成

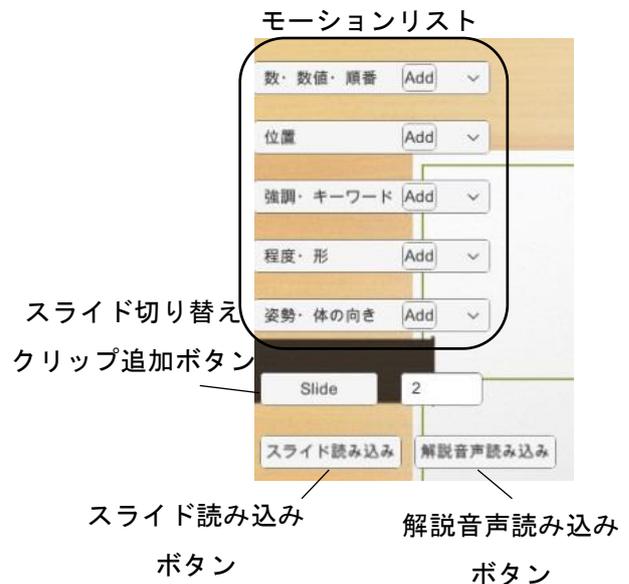


図 4 画面拡大図

表 1 モーションの分類

番号	モーションの種類
1	数・数値・順番
2	位置
3	強調・キーワード
4	程度・形
5	姿勢・体の向き



図 5 モーションの例

6. システムの検討

本研究では、動画教材を作成するために必要な機能を実装した。ここではシステムの現状と課題について述べる。

最初の課題として、3DCG キャラクタへのモーションの付与は実装されているが、モーションが不自然で機械的な印象を与えることが挙げられる。この原因としてモーションの際に動かす部位以外の動きが不自然であることが考えられる。現状は Unity のアニメーション機能を利用してモーションを作成しているため、一部の動作に合わせて他の部位を追従させることが難しい。スライドを指示するモーションの場合、腕はスライドを指示するがそれ以外の部位は人間の動作とは異なり腕の動きに追従しない。この課題を解決する方法として final IK という Unity のアセットを使用することを検討している。このアセットを使用することで体の一部の動作に対して全身がどのように動作するかを計算し、人間の動作により近いモーションを作成することが可能となると考えられる。

次の課題として、利用者の立場からの意見が不足していることが挙げられる。現状ではシステムの基本的なアイデアを実現した段階であり、必要最低限の機能しか備えていない。しかし今後システムの UI や機能の改善を行うためには、システムを使用して動画教材を作成してもらうなどの実験を行うことにより、システムの不満点などを収集する必要がある。

7. まとめ

本研究では、3DCG キャラクタを用いた動画教材を簡易な操作で作成できるツールを開発した。教材作成のために必要となる機能は一通り実装したが、現状ではモーションの種類も限られ、操作性にも改善の余地がある。今後の課題として、実際にシステムを教材作成に使用し、モーションの種類の見直しや操作性の評価を行うことなどが挙げられる。

参考文献

- (1) デジタルナレッジ, ビデオ教材 (映像コンテンツ) の教育利用に関する定点調査報告書 < 2014 年 >, <https://www.digital-knowledge.co.jp/archives/1702/> (2019 年 6 月 12 日確認)
- (2) 高山伸也, 酒澤茂之, 愛澤伯友: “3D キャラクタを用いた教育コンテンツの有効性検証”, 映像情報メディア学会冬季大会, pp.2-5, (2013)
- (3) Jianfeng Xu, *et al.*: “Accurate Synchronization of Gesture and Speech for Conversational Agents using Motion Graphs”, ICAART, (2014)
- (4) Unity: <https://unity3d.com/jp>
- (5) UniVRM モデルのワークフロー: https://vrm.dev/univrm/univrm_workflow/ (2019 年 6 月 10 日確認)
- (6) 宮崎悠: “3DCG キャラクタを用いたビデオ教材制作のための動作作成とその評価”, 大阪府立大学卒業論文 (2017)

ICT とネット社会の危険性について

金山 茂雄

拓殖大学 商学部

(拓殖大学経営経理研究所)

Application of ICT and Risks of the Internet Society

Shigeo Kanayama

Faculty of Commerce , Takushoku University

(The Business Research Institute Takushoku University)

概要 この研究は、前回まで研究から、企業の技術経営（MOT）や製品（製品開発）の動向とその経済的効果の分析、そして新産業創出の効用に関する産業技術教育向上のための方法の検討・試行を行うことが目的である。2014年度から2017年度の調査結果（検証）の報告が目的の1つである。先行研究の数理的処理や経営学などの研究で医療の人材育成、評価等を参考に、前回までの研究報告等の産業社会教育にも一歩踏み込んで、情報の扱いや捉え方がどのようになっているのか、その情報に対する実態調査を行った結果を別の視点から客観的に評価、検証する。二つ目は、社会にとってICTは重要なインフラであり、個人にとっても同じである。科学技術の進歩は、新しい社会の創造を意味する。インターネットの普及により、PCの利用が増加し、その後携帯電話、そして今はスマートフォンの使用がほとんどである。もちろん、ゲームの世界も同様に変移している。今回、新たにインターネットの普及が何をもたらしたのか、インターネットの存在が生活にどのように影響しているのか。今回実施した予備調査から、傾向を推察し、仮説を立てたい。

キーワード：MOT 産業教育 ネット依存 評価基準

1. はじめに

最近の話題には、「AI」が経営判断を支援することができるモノが開発された。2016年6月2日、株式会社日立製作所が「企業の経営判断に活用できる人工知能（AI）を開発したと発表した」（2016年6月3日朝刊、P.8）。20世紀末にこのような情報システムが開発され話題になったことがある。それは「DSS（志決定支援システム）」や「MIS（経営情報システム）」である。前者の「DSS」は、今回発表になった「企業経営者の判断支援」を行う情報システムであったが、最終的には人間が判断することで、この情報システムは無意味な存在となった。同時に企業の業務システムが効率的に行い企業経営に多大に助ける情報システムである「MIS」も役に立たなくな

り、今に至っている。

社会が先端技術により高度化され企業も同様な動きになった経営へとシフトしている。それは情報化、国際化、グローバル化への対応である。その中心がICTであろう。ICTの発達やデジタル化技術の進歩は、社会全体から個人に至るところまで影響を与え、広範囲に浸透している。高度な技術は、自分たちの身の回りにたくさん存在している。そして、その利便性だけでは計り知れない価値を生んでいる。

大学のような高等教育機関では、学術研究の高度化と人材育成・養成、社会の要請に適切に応えることが求められている。一般社会では、自分の人生において「生きていける力」が必要である。一般的にそれを「キャリア教育」といい、個人の能力向上のため、社会倫理を軽視し進んでいる。

2005年からある調査を実施し、その結果から自己防衛や退避症候群の実態と状況等が分かりつつある。さらに、個人と社会の関係には、必要なコミュニケーションが必要である。最近の傾向では、コミュニケーションが以前より少ない。それは退避症候群に観られる情報を避けているからだと推察できる。また、コミュニケーションの欠如とも言える。「ITの活用と情報環境」に関する調査などの結果から、環境の変化、特に自己防衛や退避症候群の実態と状況等に対して、「教育の質と量が問われている」と考える。このことに関して、事例を含み報告する。

2. 技術スキルとICTの基礎的な力

若年層は主にコンピューターやその関連する道具を利用する機会が増えると推測される。今回は、社会と人間関係に的を当て、個人の存在と集団、さらに社会との関わりの中で個人のおかれている状況を把握（自己分析）するために、調査を実施し、その結果と前回までの関連性に関し、前々回報告した。そのなかで「プロジェクト組織形成の可能性」に関し、結論的ではないが、大学・高等教育機関や高等学校、特に、義務教育機関である小中学校には、いち早く「多機能性のあるプロジェクト組織」が必要である。それは、多様な社会、複雑化社会、様々な国の人たちといった項目と内容が挙げられる。もちろん、その国家のルールはあるが国際化となると国家のルールが変わる。いろいろな地域でいろいろなことが毎日起き、その対応に追われる社会なのである。そのために情報処理能力や活用能力等が必要である。

情報活用能力は、「収集、文責、整理・保管、表現（分かりやすく伝達する）、運用」である。そして、基盤力は、「論理」と「数理」の力及び「ICT基礎知識」である。この基盤力がコアで、「情報活用力」「ビジネスフレームワーク」「モチベーション」「コミュニケーション」が「5つの基礎力」として社会人に求められる能力として位置づけられている。

企業事例からみると、大学等高等教育機関では社会で活躍し、あるいは貢献できる人材の育成に対し責任がある。そして大学が学生に対して「質の保証」は絶対的な重要なことである。だが、企業場合、「質」は「労働生産性＝仕事生産性」であり、「量」は「働き手の数」となる。つまり、教育の質を高めたその先は、実社会の仕事との関係となる。すなわち、仕事がどれだけできるか、に問われることになる。

日本企業にとっては、トップサイエンスによる新市場の開拓と製品開発への質的变化への対応に遅れが生じている。これはもはや企業組織の硬直化の現れであり、組織論の限界であろう。

独創的な技術に基づく新ビジネスの可能性は、経営陣、つまり組織が的確に様々な項目・内容に評価し行動する機会があまりにも少ないことである。自己成長への変革の必要性、想像力、創造性、独創性などや経済産業省が掲げる「社会人基礎力」が問われていることである。特に、企業社会では個人に対し強く求められ、能力の向上が必要とされている。社会が都市化され、周囲の環境が変化し「技術の進歩」の結集したものが多く見える。人の都市への憧れは、現実的に、都市の言葉のとおり、人間の過密状態を生み出している。このような都市環境は現代人のストレスなどの大きな要因、そして原因にもなっている。これらは情報としての産業構造の連関分析に大きく影響する。

3. 実施調査と項目・内容および結果

調査内容は「あなたの危険度認識チェックー個人情報保護について」として「個人情報保護法理解度チェック 10個の質問に「○」「×」で答えてもらった。下記が、質問項目・内容である。

1. 個人情報、プライバシー情報のことである。・・・→
2. 名刺も特定個人を識別できる遺伝子情報も、どちらも個人情報である。・・・→

3. 顧客コードのように記号や数字の配列にすぎない情報は、個人情報から除外される。・・・→
4. 顧客情報に限らず、社員の情報も個人情報である。・・・→
5. 企業はすべて、個人情報保護法を守らなければならない。・・・→
6. など、10個の質問に答えてもらった。
(質問項目7～10は、省略)

る。①と⑤は質問項目内容が、本稿の PP. 2-3 に記載されている。

①が、「個人情報は、プライバシー情報のことである。」

⑤が、「企業はすべて、個人情報保護法を守らなければならない。」

⑩が、「企業は、個人情報保護方針を作成して公開しなければならない。」

表1. あなたの危険度認識チェック結果

2014年度と2015年度および2016年度比較

No.	2014 被験者回答「○」	2015 被験者回答「○」	2016 被験者回答「○」
①	80%	53%	84%
②	90%	93%	88%
③	20%	17%	19%
④	100%	97%	97%
⑤	60%	97%	94%
⑥	50%	13%	11%
⑦	70%	100%	92%
⑧	50%	7%	17%
⑨	90%	73%	84%
⑩	70%	80%	83%
平均	68%	63%	67%

質問項目など、10項目の質問に「○」「×」で答えてもらった。その他に『個人情報保護に対して、「自分・本人の個人情報が守られている」と思いますか。』の質問についても任意に答えてもらった。

2014年度、2015年度、そして今年度2016年の調査結果から、3年間共通して、「異質な状況(状態)」(ここでは、略称で「異状」と表す)を表している項目がある。それは、①、⑤、⑩であ

表2. あなたの危険度認識チェック結果

A 大学 (2017年度)

No.	被験者回答「○」	被験者回答「×」	模範解答
①	77%	23%	×
②	95%	5%	○
③	23%	77%	×
④	91%	9%	○
⑤	91%	9%	×
⑥	27%	73%	×
⑦	77%	23%	○
⑧	14%	86%	×
⑨	91%	9%	○
⑩	77%	23%	×
平均	66%	34%	

この3つの模範解答は、「×」であり、「×」を選んだ者が1割から2割の間である。つまり、8割から9割の者が「○」を選んでいる。①の「個人情報」と「プライバシー情報」が同じに理解している。⑤の「企業は全て・・・」の「企業」だけのことと理解していると思われる。「企業」だけが対象ではなく、国民全員が対象である。⑩も⑤と同様に理解している。全体的に「模範解答」と比べた際、選ぶ割合(比率(%))が9割以上、または1割以下になっていない。

表 3. あなたの危険度認識チェック結果

B 大学 (2017 年度)

No.	被験者回答「○」	被験者回答「×」	模範解答
①	88%	<u>12%</u>	×
②	<u>88%</u>	12%	○
③	24%	76%	×
④	88%	12%	○
⑤	94%	6%	×
⑥	12%	88%	×
⑦	94%	6%	○
⑧	24%	76%	×
⑨	94%	6%	○
⑩	<u>88%</u>	12%	×
平均	69%	31%	

表 4. あなたの危険度認識チェック結果

C 大学① (2017 年度)

No.	被験者回答「○」	被験者回答「×」	模範解答
①	84%	<u>16%</u>	×
②	<u>90%</u>	10%	○
③	29%	71%	×
④	94%	6%	○
⑤	84%	16%	×
⑥	23%	<u>77%</u>	×
⑦	<u>97%</u>	3%	○
⑧	16%	<u>84%</u>	×
⑨	<u>84%</u>	16%	○
⑩	<u>81%</u>	19%	×
平均	68%	32%	

表 5. あなたの危険度認識チェック結果

C 大学② (2017 年度)

No.	被験者回答「○」	被験者回答「×」	模範解答
①	84%	<u>16%</u>	×
②	<u>95%</u>	5%	○
③	11%	89%	×
④	<u>100%</u>	0%	○
⑤	95%	5%	×
⑥	5%	<u>95%</u>	×
⑦	<u>100%</u>	0%	○
⑧	5%	<u>95%</u>	×
⑨	<u>95%</u>	5%	○
⑩	<u>95%</u>	5%	×
平均	69%	31%	

表 6. あなたの危険度認識チェック結果

C 大学 M (2017 年度)

No.	被験者回答「○」	被験者回答「×」	模範解答
①	91%	9%	×
②	<u>95%</u>	5%	○
③	24%	76%	×
④	<u>91%</u>	9%	○
⑤	91%	9%	×
⑥	21%	<u>79%</u>	×
⑦	<u>97%</u>	3%	○
⑧	24%	<u>76%</u>	×
⑨	<u>82%</u>	18%	○
⑩	<u>91%</u>	9%	×
平均	70.7%	29.3%	

表7. あなたの危険度認識チェック結果

C 大学 W (2017 年度)

No.	被験者回答「○」	被験者回答「×」	模範解答
①	93%	<u>7%</u>	×
②	<u>93%</u>	7%	○
③	<u>15%</u>	<u>85%</u>	×
④	<u>100%</u>	0%	○
⑤	<u>100%</u>	<u>0%</u>	×
⑥	<u>0%</u>	<u>100%</u>	×
⑦	<u>100%</u>	0%	○
⑧	7%	<u>93%</u>	×
⑨	<u>85%</u>	15%	○
⑩	<u>96%</u>	4%	×
平均	68.9%	31.1%	

4. インターネット依存と活用の調査と項目・内容および結果

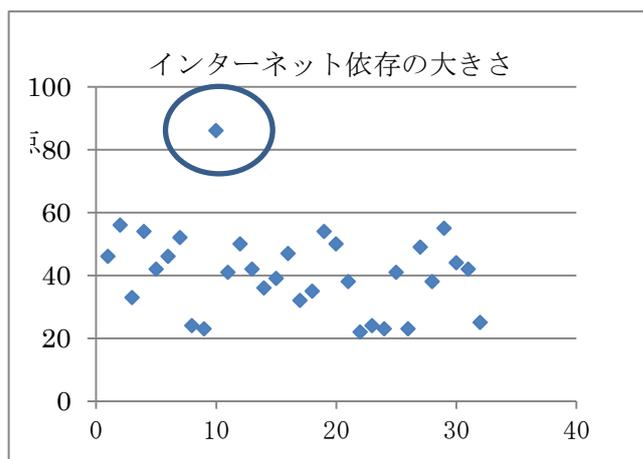
調査内容は「インターネット依存のち」として「インターネット依存の大きさ・生活への影響等のチェック 20 項目について「5 段階」で答えてもらった。「全くない：1 点、時々ある：3 点、いつもある：5 点」などの、質問項目・内容である。内容の一部は、

- ・インターネットで新しい仲間をつくること
がありますか。→
- ・インターネットのために、仕事の能率や成果が下がったことがありますか。→
- ・睡眠時間を削って、深夜までインターネットをすることがありますか。→
- ・インターネットをする時間を減らそうとしても、できないことがありますか→
- ・インターネットをしている時間の長さを隠そうとすることがありますか。→

(残りの質問項目は、省略)

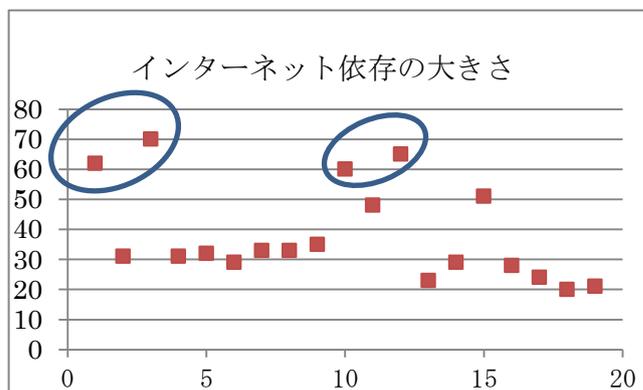
調査結果から、現代人は「平均的にオンラインをしゅとしてオンラインユーザーである」、しかしそうでもない者いる。しかし、おおくではないがインターネットが生活に重大な影響を与えている者もいる。

図1. インターネット依存チェック 1



注) インターネット依存の調査結果の一部である。

図2. インターネット依存チェック 2



注) インターネット依存の調査結果の一部である。

5. おわりに (今後の課題)

インターネットに依存した生活や環境が今後も続く、むしろそれがないといけないのかもしれない。なぜならインフラであるからである。最近

の傾向では、コミュニケーションが以前より少ない。それは退避症候群に観られる情報を避けているからだと推察できる。これらが今後も増加の傾向であれば、そのための対策が必要である。画像処理やインターネット利用には十分な注意が必要であると考え。この点について、実験調査などを分析し、あらためて論じたい。今後も様々な分野・領域にインターネットが関わることが、増え絶えず問題になってくると考える。その度に向き合い処理しなければならない。そして、一方では、重要なものである（経済の発展、社会の発展・成長に重要なものである）。

《参考文献》

- [1] 藪下, 秋山他訳: 「スティグリッツ ミクロ経済学」 東洋経済新社, 2000.
- [2] 藪下, 秋山他訳: 「スティグリッツ マクロ経済学」 東洋経済新社, 2001.
- [3] 窪田, 金山: 「社会環境の変化と情報教育の対行動意識」 『平成 19 年度情報教育研究集会論文集』 大阪大学, 2007.
- [4] 窪田, 金山: 「情報教育と学部専門科目群との連携強化」 『平成 18 年度情報教育研究集会論文集』 広島大学, 2006.
- [5] 漁田, 真田他: 「現代心理学」 酒井書店, 1991. 他
- [6] 経済産業省: http://www.meti.go.jp/policy/kisoryoku/kisoryoku_image.pdf
- [7] 読売新聞社: 「厚生労働省調査」 読売新聞社, p. 20, 2007.
- [8] 窪田, 金山: 「情報処理能力育成と教育の質保証との関係」 教育システム情報学会全国大会, 2011.
- [9] 拙稿 「知覚に関する情報処理環境の変化と意識」 PC 利用技術学会全国大会, 2005.
- [10] 窪田, 金山: 「情報化と教育環境の影響分析」 教育システム情報学会全国大会, 2009.
- [11] 拙稿: 「情報メディア産業のビジネスモデル調査・分析」 拓殖大学経営経理研究所 11 月定例会, 拓殖大学経営経理研究所, 2005. 学経営経理研究所 第 79 号, 2006.
- [12] 拙稿: 「産業社会に関する教育の ICT の活用と知的財産の保護 (1)」 教育システム情報学会, 第 2 回研究会, 2014.
- [13] 拙稿: 「産業社会に関する教育の ICT の活用と知的財産の保護 (2)」 教育システム情報学会, 第 2 回研究会, 2015.
- [14] 拙稿: 「産業社会に関する教育の ICT の活用と知的財産の保護 (3)」 教育システム情報学会, 第 2 回研究会, 2016.
- [15] 藪下, 秋山他訳: 「スティグリッツ ミクロ経済学」 東洋経済新社, 2000.
- [16] 藪下, 秋山他訳: 「スティグリッツ マクロ経済学」 東洋経済新社, 2001.
- [17] 窪田, 金山: 「社会環境の変化と情報教育の対行動意識」 『平成 19 年度情報教育研究集会論文集』 大阪大学, 2007.
- [18] 窪田, 金山: 「情報教育と学部専門科目群との連携強化」 『平成 18 年度情報教育研究集会論文集』 広島大学, 2006.
- [19] 漁田, 真田他: 「現代心理学」 酒井書店, 1991. 他
- [20] 経済産業省: http://www.meti.go.jp/policy/kisoryoku/kisoryoku_image.pdf
- [21] 読売新聞社: 「厚生労働省調査」 読売新聞社, p. 20, 2007 年.
- [22] 窪田, 金山: 「情報処理能力育成と教育の質保証との関係」 教育システム情報学会全国大会, 2011.
- [23] 拙稿: 「知覚に関する情報処理環境の変化と意識」 PC 利用技術学会全国大会, 2005.
- [24] 窪田, 金山: 「情報化と教育環境の影響分析」 教育システム情報学会全国大会, 2009.
- [25] 拙稿: 「情報メディア産業のビジネスモデル調査・分析」 拓殖大学経営経理研究所 11 月定例会, 拓殖大学経営経理研究所, 2005. 学経営経理研究所 第 79 号, 2006.
- [26] 拙稿: 「情報メディア産業のビジネスモデル調査・分析」 拓殖大学経営経理研究所 11 月定例会, 拓殖大学経営経理研究所, 2005 年. 学経営経理研究所 第 79 号, 2006 年.
- [27] 拙稿: 「情報通信と情報技術の史的展開」 拓殖大学経営経理研究所 第 79 号(2006)
- [28] 経済産業省: http://www.meti.go.jp/policy/kisoryoku/kisoryoku_image.pdf.

PBL ワークフローモデルに基づくテーマの類型化

佐藤 克己^{*1*2} 樫山 淳雄^{*1} 中村 勝一^{*3} 宮寺 庸造^{*1}

^{*1} 東京学芸大学 ^{*2} 株式会社インフォスクリー ャー ^{*3} 福島大学

Classifying of the Themes Based on PBL Workflow Model

Yoshiki Sato^{*1*2} Atsuo Hazeyama^{*1} Shoichi Nakamura^{*3} Youzou Miyadera^{*1}

^{*1} Tokyo Gakugei University ^{*2} Info Screw Inc. ^{*3} Fukushima University

近年、問題解決能力を実践的に養うことができる PBL (Project Based Learning) が注目されている。しかし、PBL に不慣れな教員による PBL の指導・支援は難しい。また PBL 初学者は PBL をうまく進めることが難しい。本研究では、PBL 実践の適応的な支援システムの開発を見据え、テーマを類型化し、テーマごとの代表的な手順、起こりうる問題とその対応付けを行った。結果として、8 のアクティビティ種によって、テーマを類型化できることが確認できた。

キーワード：問題解決力、Project Based Learning (PBL)、プロジェクトマネジメント

1 はじめに

国内外で問題解決能力の育成が望まれている⁽¹⁾⁽²⁾。これに伴い、問題解決能力を実践的に養うことができる PBL (Project Based Learning) が注目されている。PBL は、学習者(チーム)の主体性を重視し、PBL の定石を大きく逸脱しない範囲で自由に活動することが望ましい。しかし、PBL の定石やノウハウが定形化されておらず、PBL 初学者は PBL をうまく進めることが難しい。さらに、学習目標・学習過程・対象テーマなどの多様性から、経験の浅い教員には適切な支援を行うことが困難である。

これまで、PBL の指導・支援については多く実践がされている⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾。また、大学等においても実践ガイドやマニュアルが存在している⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾⁽¹²⁾⁽¹³⁾。しかし、問題解決能力を育成する方法論として確立されているものがなかった。

これに伴い、筆者らはプロジェクトマネジメントの知識体系 *A Guide to the Project Management Body*

of Knowledge (PMBOK®Guide) を参考に、PBL 向けにテーラリングを施した知識体系 PBLBOK⁽¹⁴⁾ を開発した。PBLBOK により、テーマや状況に依存しない定石や、資料の雛形等の提供が行え、問題解決能力の育成について一定の評価が得られている⁽¹⁵⁾。

PBL は、学習者(チーム)の主体性を重視する必要がある。そのため、学習者は自由に PBL を進めることが望ましい。一方で、PBL の定石を大きく逸脱しない範囲で自由に活動することが望ましい。これらの、矛盾するよう見える 2 つの要件を満たす運用モデルを考える。

これらを実現するためには、PBL の定石に則りながら、より細かい粒度の運用モデルが必要となる。実際の PBL では、テーマによって行うべき作業が大きく異なる。テーマが異なると、学習者が行うべき作業は異なり、発生する課題も異なる。テーマの内容やチームの状況が一樣ではなく、一樣な支援は行えない。作業に応じた支援、発生した課題に応じた

支援が難しいという問題が残されている。

また、PBLBOKを実際のPBLに適用し、上手に活用・運用するには、PBLBOKに示されているプロセス(定石)を踏まえながら、実際のPBLに合わせて、具体的な作業を時系列で並べる行為が必要となる。そのため、筆者らはISO/IEC 12207:2008⁽¹⁶⁾を参考にし、フェーズ、アクティビティ、タスク、およびリストの4つの作業の粒度を定義した。

また、アクティビティと発生しがちな課題とその支援について対応付けを行った。これに基づき、PBLの実践を進めていくPBLワークフローモデルを提案した⁽¹⁷⁾。

PBLワークフローモデルは、アクティビティの種類と発生しがちな課題とそれに対応する支援を例示できるが、PBLを遂行するにあたっては、テーマからアクティビティ種を列挙する必要がある。しかし、テーマからアクティビティ種を列挙する支援は行えていない。ここで、テーマに応じたアクティビティ種の列挙・例示が行えれば、PBLの一気通貫の支援が行えると考える。そこで、本研究では、テーマの類型化とアクティビティ種の対応付けを行う。

本稿では、このPBLワークフローモデルに基づき、テーマの類型化を行い、アクティビティ種と対応付けた結果を報告する。

2 準備

2.1 本研究で扱うPBL

本研究では、“PBL”を、デューイの問題解決学習論⁽¹⁸⁾、PDCA^(19,20)、PDSA⁽²¹⁾、IDEAL⁽²²⁾に基づき、再定義する。

また、オープンエンドな問題を扱う、基本的に少人数のチームで取り組む、期間が決まっている、期間が1コマではなく、数日から数年の比較的長期であるといった特徴を持つPBLを対象とする。既存の「テーマ学習」「プロジェクト学習」「PBL (Problem Based Learning)」「PBL (Project Based Learning)」

「問題解決型学習」「課題解決型学習」「卒業研究」等を包含したPBLを扱う。また、本研究において、PBLの目的は、問題解決能力の習得とする。問題解決能力の習得とは、問題解決の進め方と管理すべき観点を理解し、進め方と観点を遵守した問題解決を実践する力を身につけることとする。本研究では、PBLで学習者が行うべき全ての行為を「作業」と定義する。また、PBLの実行フェーズで発生する、リスクが顕在化したものを「課題」と定義する。

2.2 PBLBOKの概要

PBLBOKとは、PBLの定石をまとめたものである。PBLを5つのフェーズと6つの知識エリアに分割し、必要な成果物をうまく作成するために必要なプロセスを定義している。PBLを進めるにあたり、これらを時系列で作業を列挙できることが望ましい。

表1にPBLBOKにおける5つのフェーズ、6の知識エリア、21の観点を示す。表2にPBLBOKにおける要素成果物と、利用するフェーズ、知識エリアとの対応付けを示す。

2.3 本研究で想定するPBL

本研究が想定するPBLの概要は以下の通りである。PBLBOKに則り、最小構成のPBLを想定する。PBLは以下4つのフェーズから構成される。

フェーズ1. 企画フェーズ

- 全体の流れを理解する。
- チームを作り、チームごとにリーダーを決定する。
- 現状と理想とのギャップを見つけ、問題を定義する。
- ギャップを埋めるために作成する成果物を決定する。
- 企画書にまとめる。

フェーズ2. 計画フェーズ

- 企画書に基づき、スケジュールと評価基準書を作成する。
- スケジュール作成にあたっては、一定の作業単位でメンバーをアサインする。

表 1: PBLBOK における 5 のフェーズ, 6 の知識エリア, 21 の観点

知識エリア	フェーズ				
	企画	計画	実行	確認	評価
統合	チーム決め テーマ決め	計画の統合	実行の統合	確認の統合	総括的評価
品質	-	品質計画	品質の作り込み	品質確認	-
コスト	-	コスト計画	調達実行	コスト確認	-
スケジュール	-	スケジュール 計画	スケジュール 実行	スケジュール 確認	-
リスク	-	リスク計画	リスク対応	リスク確認	-
コミュニケーション	-	コミュニケーション 計画	コミュニケーション 実行	コミュニケーション 確認	-

表 2: PBLBOK の要素成果物とフェーズ, 知識エリアとの対応

要素成果物	フェーズ	知識エリア	概要
企画書*	企画	統合	テーマ, ゴール, 最終成果物, リーダー, メンバーを記載
評価基準書*	計画	品質	最終成果物, 問題解決プロセスの評価基準を記載
コスト管理書	計画 実行	コスト	購入する物品, 利用するサービスにかかる費用とタイミング, ステータス(未発注, 発注済み, 到着済み等)を記載
スケジュール*	計画	スケジュール	作業, 予定と実績(開始日, 終了日), 担当を記載
リスク計画書	計画	リスク	リスクの影響度と確率, 予定する対応を記載
課題管理表*	計画 実行	リスク	課題の担当, 登録日, 完了予定日, ステータス(未着手, 対応中, 完了)を記載
コミュニケーション 計画書	計画	コミュニケーション	チーム内での公式コミュニケーション, 非公式コミュニケーションの方法, 教員や関係者との連絡の方法, レビュー前の情報収集タイミングを記載
進捗報告書	計画 実行	コミュニケーション	スケジュールの概要, 課題の概要, 現時点での評価を記載する. レビューを短時間かつ円滑に進めるための文書.
議事録	計画 実行	コミュニケーション	レビューの内容, および教員と合意した現時点での評価を記載する. 前回のレビューからの進捗を確認するため, また成績付けに利用するために作成
発表資料	実行 評価	統合	実行結果を発表するためのプレゼンテーション資料等
最終報告書*	評価	統合	企画書と照らし合わせ, 当初の目的, 目標を達成できたか, 教訓等を記載

* 必須

- 最終成果物の評価基準は学習者が決定する(目安).
- 評価基準は成果物の評価を決定する(目安).

フェーズ3. 実行・監視フェーズ

- 計画書に基づき、計画を実行する.
- スケジュールに進捗を記述する.
- 課題が発生したら課題管理票に記載し、課題を消化していく.
- 未着手の課題があれば、自発的に自分を課題にアサインする.
- 評価基準書に則り、定期的な形成的評価を行う.

フェーズ4. 評価フェーズ

- 発表を行う.
- 他のチームの発表を評価する.
- 自己評価, チーム内評価, チーム間評価を行う.
- PBL を振り返り, 教訓などをまとめ, 最終報告書を作成する.

2.4 PBL ワークフローの概要

PBL ワークフローは、典型的なテーマの進め方を表現するために作業を階層化し、作業を行う際や、課題が発生した際に適応的な支援が行えるようにPBLをモデル化したものである。

まず、作業粒度のサイズを検討した。

ISO/IEC 12207:2008⁽¹⁶⁾ を参考にし、PBL における作業を、フェーズ、アクティビティ、タスク、およびリストの4つの粒度を定義した。

アクティビティはテーマに応じて異なる。要素成果物と1対1に対応づけられる粒度で定義する。タスクは、アクティビティを分割し、メンバと1対1に対応づけられる粒度で定義する。リストはタスクを分割し、ToDo リストのように利用される。リストは、タスクに割り当てられたメンバーが自分で管理する。

あるタスクに含まれる全てのリストが完了することは、そのタスクが完了したことを意味する。あるアクティビティに含まれる全てのタスクの完了する

ことは、そのアクティビティが完了したことを意味する。あるフェーズに含まれる全てのアクティビティを完了することは、そのフェーズが完了したことを意味する。全てのフェーズを完了することは、そのPBL が完了したことを意味する。

本研究で想定するワークフローモデルと作業の単位を図1に示す。

フェーズ、アクティビティはPBLBOKを逸脱しないよう、学習者の編集に制約を持たせることを考える。タスクおよびリストは主体性への配慮のために、学習者が自由に編集できるものとする。

次に、過去のPBLテーマをアクティビティ単位で整理、類型化した。2013年から2016年の間のPBLの事例に基づいて課題ごとにテーマを分類した。対象はPBLのテーマ95件、1109件のタスクを分析した。結果として、アクティビティの種類として「知識獲得」「調査」「企画・提案」「発想」「創造」「体験・実践」「調達」「渉外」が得られた。

最後に、アクティビティ種を過去のPBLで発生した課題群と支援群と対応付けを行った。アクティビティ種と課題、支援との対応例を表3に示す。

このようにアクティビティの種類と課題を対応づけることで、学習者が当該アクティビティを進める際に、躓きがちな点とその対策等などを提示することが可能となる。また、計画フェーズでは、テーマに応じたリスク計画の雛形を提示することも可能となる。

3 研究の目的と方法

本研究では、テーマに応じたアクティビティ種の列挙・例示を行うことで、PBLの一气通貫の支援を行うことを目的とする。そこで、本研究では、テーマの類型化とアクティビティ種の対応付けを行う。

まず、過去のPBLのテーマを俯瞰し、いくつかのテーマ種に類型化する。次に、それぞれのテーマ種をアクティビティ種を列挙することで、テーマを表現する。最後に、テーマ種とアクティビティ種の対

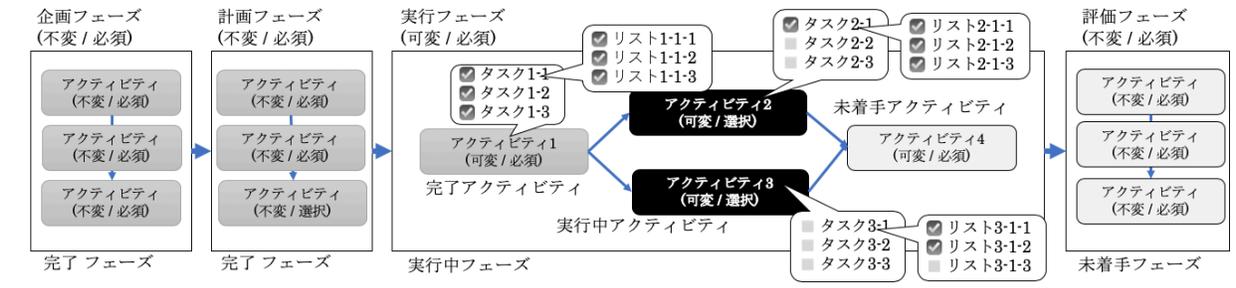


図1: 想定するワークフローモデルと作業の単位

表3: アクティビティ種と課題、支援との対応例

アクティビティ種	課題例	支援例
知識獲得	・見積もり期間が短すぎる	→ 期間に余裕を持たせる
	・機材が準備できていない	→ 調達リストを使わせる (雛形を提供する)
調査	・対象者が見つからない	→ 対象者探しの期間に余裕を持たせる。対象者を紹介する。
	・調査実施日が調整できない	→ 調査実施日に余裕をもたせる。日程調整に協力する。
	・調査場所が予約できない	→ 調査場所予約日に余裕を持たせる。調査場所予約に協力する。
企画・提案	・問題と対応していない	→ 企画書を再確認させる
	・前提条件を満たしていない	→ 前提条件と計画を見直しさせる
発想	・アイデアが発想できない	→ 発想法を提示する
	・アイデアがまとまらない	→ 収束法を提示する
創造	・スキルが足りない	→ スキル習得のためのスケジュールを追加させる
	・進捗がないメンバーがいる	→ 当該メンバーの支援を促す
	・必要なメンバーが来れない	→ 原因を明確にする (優先順位、障害など)
体験・実践	・必要な物が準備できていない	→ 調達リストを使わせる (雛形を提供する)
	・雨天 (屋外の場合)	→ 予備日を設けさせる
調達	・比較が十分でない	→ 2つ以上のもものと比較させる
	・調達が遅れる	→ いつ手配できるかを確認させる。 必要な日に調達できなければ代替案を考えさせる。
	・調達が行えない	→ 調達が行えなくても進められないかを考えさせる。 代替案を考えさせる。
渉外	・見積もり期間が短すぎる	→ 渉外の期間に余裕を持たせる
	・打ち合わせの日が調整できない	→ 日程に余裕をもたせる。日程調整に協力する。
	・打ち合わせ場所が予約できない	→ 予約日程に余裕を持たせる。場所予約に協力する。
	・態度や振る舞いが悪い	→ 礼儀正しく、事前にアポイントを取らせる。

応付けの妥当性を評価する。

4 テーマの類型化

2013年から2018年の190テーマの類型化を行った。具体的な成果物の有無や目的に応じて、テーマ全体を俯瞰し、結果として、制作型、実践型、企画型、調査型、体験型の5のテーマ種が挙げられた。テーマの例とテーマ種との対応を表4に示す。

制作型は、具体的な成果物を制作することが目的のテーマである。実践型は、成果物を制作するかに依らず、催事を企画・実践することが目的のテーマ

である。催事の実践にあたり、成果物の制作が必要となるテーマも含まれている。企画型は、費用やスケジュール、実際に実践が難しい内容を取り上げ、企画・提案を行う。制作型、実践型と比較して、評価が曖昧になりがちなので、専門家や第三者評価による事後調査が重要となる。調査型は、調査の実践とその考察が目的となるテーマである。調査型は、その調査の信憑性の評価の他、調査のための渉外や調達が重要となる。体験型は、実際に「やってみる」ことが目的のテーマである。メンバーのタイピングスキルを向上させる、世間で流行っているダイエット法

表4: テーマ種とテーマ例

テーマ種	概要	テーマ例
制作型	作品・動画・システム等, 成果物を作って評価する	<ul style="list-style-type: none"> ・大学生協の商品のPC動画の制作と売上向上 ・動きのある新しい紙芝居の制作と評価 ・地理に興味を持てる絵地図教材の開発
実践型	催事を企画し, 実践する	<ul style="list-style-type: none"> ・プログラミング勉強会の企画・実践・評価 ・コンピュータシステム概論の模試実践と評価 ・プレーパークでの子供とのワークショップ開催
企画型	制作・催事の提案・企画を立てて評価する	<ul style="list-style-type: none"> ・海外に日本人学校をつくる ・新しい遊具を考える ・新しい野球チームを設立する
調査型	調査を行い, 結果をまとめ, 考察する	<ul style="list-style-type: none"> ・数学嫌いの原因究明と改善提案 ・生協の人気メニュー調査 ・スーパーの食材の値段比較
体験型	メンバーが体験・実験を行い, 考察する	<ul style="list-style-type: none"> ・ダイエット法を追試験する ・タイピングスキルを上げる ・成績を上げる

をチームメンバーで試す, などが挙げられるが, メンバーの人数や, 前提条件や実験条件を揃えることが極めて難しいため, 信憑性に乏しい結果になりがちである。そのため, 企画前調査や事前事後調査が重要となる。

5 テーマ種とアクティビティ種の列挙

次に, テーマ種をアクティビティ種で記述した。テーマ種をアクティビティ種で列挙し, 一般化したモデルを図2,3,4,5,6に示す。

背景色が白色の枠が必須のアクティビティ群・アクティビティ種である。背景色が灰色の枠は選択的に利用されるアクティビティ群・アクティビティ種である。基本的に同一のアクティビティ群の列挙によって, テーマを表現している。また, 必須となるアクティビティ群はテーマ種によって決定することとした。

制作型, 実践型, 企画型, 調査型については, 概ね「企画前の調査」, 「企画」, 「事前調査」, 「成果物の創造/調査準備」, 「成果物の披露/催事実践/本調査実施」, 「事後調査」のアクティビティ群が進められることがわかった。アクティビティ群「企画前の調査」, 「事前調査」, 「事後調査」においては, 調査の企画, 実行, 調査結果をまとめるアクティビティ

種が必須となり, 調査のために許可が必要であれば「渉外」, 調査のために物品や人員が必要であれば「調達」が必要となる。

また, アクティビティ群「成果物の制作」においては, 制作に知識・技能が足りなければそのための「知識・技能獲得」, 撮影などの許可が必要であれば「渉外」, 成果物の制作のために, 物品や人員が必要であれば「調達」が必要となる。

アクティビティ群「成果物披露」においても, 披露のために許可が必要であれば「渉外」, 物品や人員が必要であれば「調達」が必要となる。

6 アクティビティ種の評価

最後に, 2013年から2018年のPBLの190テーマに含まれる2,829タスクを8のアクティビティ種で表現できるかの評価を行った。結果として, 8のアクティビティ種ですべてのタスクが表現できることを確認できた。

なお, 一部のテーマにおいては, PBLの学習期間に余裕が出来たことから, 「事後評価」の評価結果を踏まえ, 再度「企画」を行っているテーマも見受けられた。そのため, テーマ種からアクティビティ種を時系列で列挙する際には, 繰り返しについても考慮する必要があると考えられる。

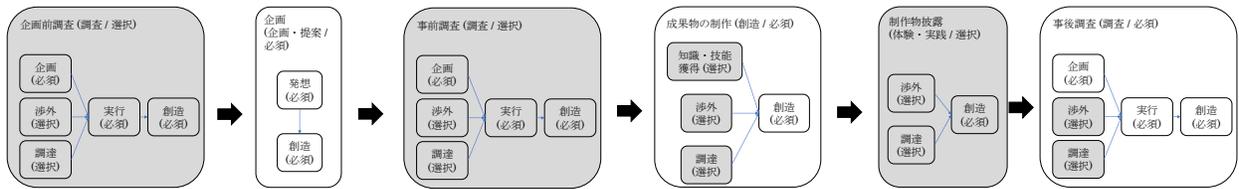


図2: テーマ種「制作型」をアクティビティ種で一般化

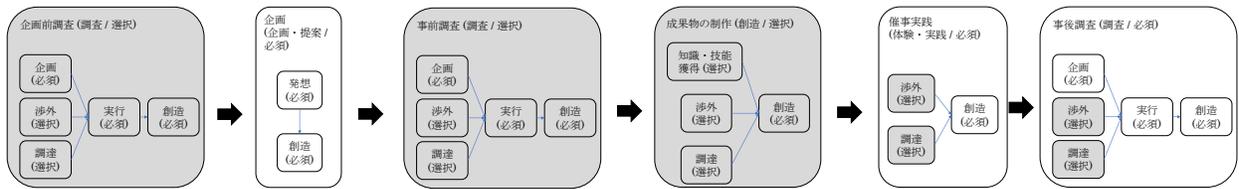


図3: テーマ種「実践型」をアクティビティ種で一般化

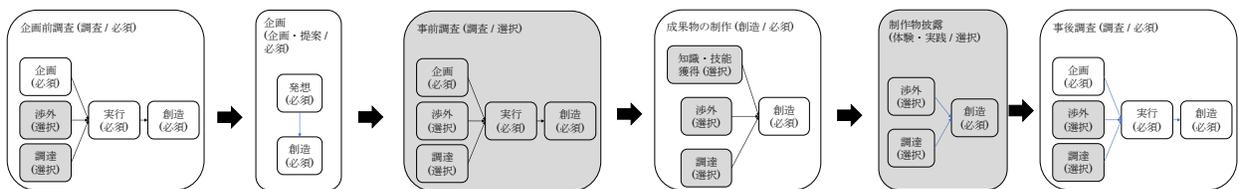


図4: テーマ種「企画型」をアクティビティ種で一般化

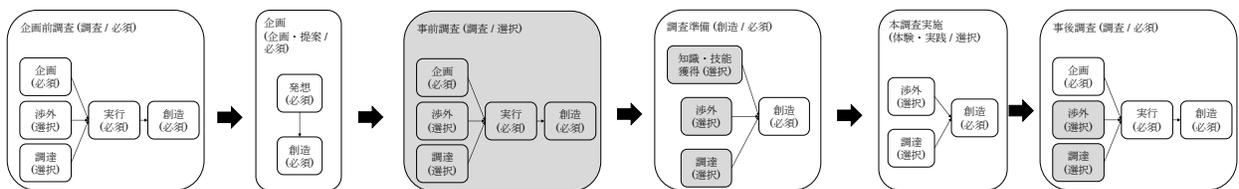


図5: テーマ種「調査型」をアクティビティ種で一般化

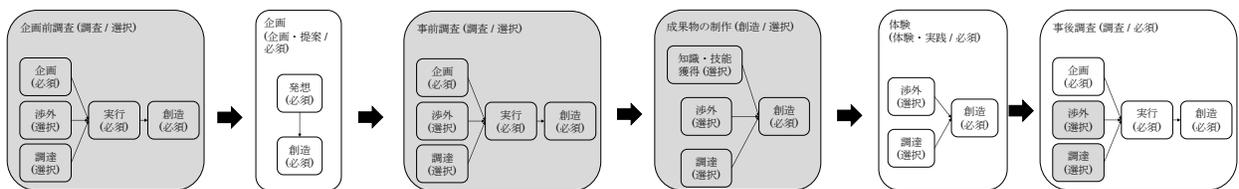


図6: テーマ種「体験型」をアクティビティ種で一般化

7 おわりに

本稿では、PBLの一气通貫の支援を行うため、テーマに応じた支援を目指すため、これまでのPBLの実践からテーマ種を定義し、アクティビティ種を列挙することで一般化した。これにより、テーマの種類に応じてアクティビティ群を例示することにより、計画フェーズでのスケジュール作成の支援を行えることが期待できる。また、アクティビティ種に応じて、起こりがちな課題と支援が提示できることから、計画フェーズでのリスク計画策定の支援、実行フェーズで課題が発生した際の適応的な支援が期待できる。今後、本モデルに基づくシステム開発と実践・評価が求められる。

参 考 文 献

- (1) OECD: The Definition and Selection of KEY COMPETENCIES, OECD, (2005).
- (2) ATC21S: Assessment and Teaching of 21st Century Skills, Springer Netherlands, (2015).
- (3) S. Williams vanRooij: "Scaffolding project-based learning with the project management body of knowledge (PMBOK®)," Computers & Education, vol.52, no.1, pp.210-219, (2009).
- (4) M. Lehmann, P. Christensen, X.-Y. Du, and M. Thrane: "Problem-oriented and project-based learning (POPBL) as an innovative learning strategy for sustainable development in engineering education," European Journal of Engineering Education, vol.33, no.3, pp.283-295, (2008).
- (5) C. Kim, J. Jeon, and M.-S. Kim: "A Project Management System Based on the PMBOK Guide for Student-Centered Learning," International Journal of Knowledge Engineering, vol.1, no.3, pp.185-190, (2015).
- (6) L. Torp and S. Sage: PBL 学びの可能性をひらく授業づくり, 北大路書房, (2017).
- (7) D.R. Woods: Problem-based Learning: 判断能力を高める主体的学習, 医学書院, (2001).
- (8) 三重大学高等教育創造開発センター: Problem-based Learning 実践の方法論, 三重大学, (2006).
- (9) 三重大学高等教育創造開発センター: 三重大学版 PBL 実践マニュアル - 事例シナリオを用いた PBL の実践, 三重大学, (2007).
- (10) 三重大学高等教育創造開発センター: 三重大学版 Problem-based Learning の手引き - 多様な PBL 授業の展開, 三重大学, (2011).
- (11) 九州大学: 情報工学系大学教員のための PBL 実践ガイド, 九州大学, (2012).
- (12) 東京電機大学: 東京電機大学 PBL ハンドブック, 東京電機大学 教育改善推進室, (2014).
- (13) 文部科学省: PBL(Project Based Learning) 型授業 実施におけるノウハウ集, 文部科学省 先導的 IT スペシャリスト育成推進プログラム 拠点間教材等洗練事業 PBL 教材洗練 WG, (2012).
- (14) Y. Sato, A. Hazeyama, and Y. Miyadera: "Development of a Project/Problem based learning body of knowledge (PBLBOK)," Proc. IEEE 8th International Conference on Engineering Education 2016 (ICEED 2016), pp.181-186, (2016).
- (15) 佐藤克己, 樫山淳雄, 宮寺庸造: "プロジェクト管理手法に基づく問題解決学習指導の知識体系 PBLBOK の開発と実践," 日本教育工学会 研究報告集, 第 16 巻, pp.31-38, 日本教育工学会, (2016).
- (16) International Organization for Standardization: ISO/IEC 12207:2008 Systems and software engineering - Software life cycle processes, International Organization for Standardization, (2008).
- (17) Y. Sato, A. Hazeyama, S. Nakamura, and Y. Miyadera: "Design of a PBL Workflow Model Suitable for Learners Situations," Proc. 2017 IEEE 9th International Conference on Engineering Education (ICEED2017), pp.186-191, (2017).
- (18) J. Dewey: How We Think, D.C. HEATH & CO., PUBLISHERS, (1910).
- (19) W.A. Shewhart: Statistical Method from the Viewpoint of Quality Control, Dover Publication, (1939).
- (20) W.E. Deming: Elementary Principles of the Statistical Control of Quality, JUSE, (1950).
- (21) W.E. Deming: Out of the Crisis, MIT Press, (1986).
- (22) J. Bransford and B. Stein: The IDEAL Problem Solver: A Guide for Improving Thinking, Learning, and Creativity, W H Freeman & Co., (1984).

基礎・教養科目のための

社会人基礎力向上を目指した情報教育プログラムの開発

勝瀬 郁代^{*1}

^{*1} 近畿大学 産業理工学部 情報学科

Information literacy instruction program to improve basic ability to work in society for basic and liberal arts

Ikuyo Masuda-Katsuse^{*1}

^{*1} Kindai University

本稿では、地域社会の課題を発見し、情報通信技術を活用して解決するための事業提案を行う活動を通して、社会人基礎力の涵養を目指す教育プログラムについて報告する。このプログラムでは、まず情報通信技術を活用して地域の課題を解決した事例について研究し、地域社会が抱える問題を認識し理解すること、問題解決のための人的・組織的ネットワークの必要性に気づくこと、地域課題の解決に利活用できる情報技術・情報システムの基礎知識を得ることを目指す。その後、チーム活動を通じて自ら地域社会の課題を見出し、解決のための事業を提案する事業提案協働活動により、課題の発見・解決に向けた主体的・協働的な学び（アクティブラーニング）へと転換する。プログラム終了時に実施した受講生による主観評価の結果、本科目の履修により社会人基礎力は概ね向上したと感じていることがわかった。

キーワード：教育プログラム，社会人基礎力，ICT活用，地域活性化，アクティブラーニング

1. はじめに

情報通信技術や人工知能の急速な発展により、我々の社会は今まさに、第4次産業革命ともいふべき大きな変革を経て、Society 5.0と呼ばれる社会へと変わろうとしている⁽¹⁾。新しい社会では、これまでの社会とは、産業構造・雇用市場・就業構造が大きく変わり、求められる人材もこれまでとは異なる。従来型の社会では、「業務遂行能力」や「基礎的素養」を有する人物が重宝されたが、これらは人工知能が得意とする能力でもある。そのため、人工知能と協働することになるこれからの社会では、より「チャレンジ精神、主体性」、「行動力、洞察力」、「企画発想力や創造性」といった能力を有する人材が求められる⁽²⁾。

経済産業省は、職場や地域社会で多様な人々と仕事をしていくために必要な基礎的な力として、2006年に「社会人基礎力」を提唱した⁽³⁾。社会人基礎力は、「前に踏み出す力」、「考え抜く力」、「チームで働く力」の3つ

の能力から構成され、さらにこれらの能力は12の要素から構成されている。社会人基礎力の項目を表1に記す。

平成21年に経済産業省が報告した「大学生の「社会人観」の把握と「社会人基礎力」の認知度向上実証に関する調査」によると、企業側は学生に対し、「主体性」「粘り強さ」「コミュニケーション力」といった内面的な基本能力の不足を感じているのに対し、学生は、技術・スキル系の能力要素が自らに不足していると考えており、企業側が「学生に求める能力要素」と学生が「企業から求められていると考えている能力要素」ならびにその水準には、大きなギャップが存在している⁽⁴⁾。社会から求められるこのような能力を涵養するために、高等教育機関である大学も、教育方法の見直しを求められてきた。アクティブラーニング導入の推奨もその一つである。社会人基礎力は、専門知識やスキルを活用する上でも必須であり、就職後だけでなく、大学での学びの充実にも大きく貢献すると考えられる。それゆえ、主に低学年で開講されている基礎・教養科目は、そのような基礎能力の涵養

表 1 社会人基礎力

A 前に踏 み出す 力	A1 主体性 (物事に進んで取り組む力)
	A2 働きかけ力 (他人に働きかけ巻き込む力)
	A3 実行力 (目的を設定し確実に実行する力)
B 考え抜 く力	B1 課題発見力 (現状を分析し目的や課題を明らかにする力)
	B2 計画力 (課題の解決に向けたプロセスを明らかにし準備する力)
	B3 創造力 (新しい価値を生み出す力)
C チーム で働く 力	C1 発信力 (自分の意見をわかりやすく伝える力)
	C2 傾聴力 (相手の意見を丁寧に聴く力)
	C3 柔軟性 (意見の違いや立場の違いを理解する力)
	C4 状況把握力 (自分と周囲の人々や物事との関係性を理解する力)
	C5 規律性 (社会のルールや人との約束を守る力)
	C6 ストレスコントロール (ストレスの発生源に対応する力)

も一つの役割として求められることになる。

一方、地域社会における情報化の流れを見ると、1980年代から盛んに地域情報化政策が実施されてきた。特に総務省は、地域経済や地域社会を活性化させ、地域のさまざまな課題を地域が対応するために、情報通信技術（ICT）の効果的な利活用を推進してきた⁵⁾。

そして現在、我々が目指す Society5.0 の実現には、IoT、ビッグデータ、人工知能、ロボットといった第4次産業革命技術の社会実装がカギとなっている。そしてこのような社会実装は、産業分野を横断して実現されるものである⁶⁾。そのため、情報通信技術を社会がどう利用し、どのように課題を解決するのかについて社会で共有するために、一般教育としての情報教育の拡充はますますその重要性が増している⁷⁾。大学教育においては、情報技術に関する知識や技能を涵養するだけでなく、それらを社会的課題の解決のために ICT を活用できる能力を涵養することは意義があるといえよう。

そんな折、近畿大学産業理工学部では、基礎・教養科目として、情報リテラシー教育と Microsoft Office のスキルを学ぶ情報処理 I・II、IT パスポート試験の領域を中心に一般情報教育⁸⁾を実践する情報処理 III に加えて、2016 年度、「地域社会と情報」が新規に開講された。近畿大学産業理工学部は、文系の1学科と理系の4学科からなる文理融合学部であり、この科目は、その学部1、2

年生を対象とした選択・必修科目である。

本論文では、この基礎・教養科目「地域社会と情報」の教育プログラムとして、自ら地域社会の課題を見出し、ICTにより解決する事業を提案する活動を通じて、社会人基礎力を涵養するプログラムを開発し、実践した結果を報告する。

2. 授業の到達目標と授業計画

2.1 授業の到達目標

授業の到達目標は、受講生が具体的な目的を意識できるよう、また、達成度を成績評価に反映できるよう、次の4項目を設定した。

到達目標（1）：地域社会が抱える問題を認識でき、その問題の本質を正しく理解できる。

到達目標（2）：問題解決のための、人的・組織的ネットワークの必要性に気づくことができる。

到達目標（3）：地域課題の解決に利活用できる情報技術・情報システムの基礎知識がある。

到達目標（4）：共通した問題解決へ向けて、協働して取り組むことができる。

2.2 授業計画

授業の活動内容は、「地域社会の問題を認識し、情報技術を活用してその解決をはかる」ことであるが、受講生がこれを最初から実践することは難しい。総務省は、各自治体が地域活性化のために ICT を活用して実践した事業の実践報告を閲覧できるポータルサイトを運用しており⁹⁾、これら実践報告はまさに活きた教材として活用できる。そこで、第一段階として、

- ・活動1（事例研究）：「総務省の ICT 地域活性化ポータルの実践報告を教材として、ICT を活用して地域社会の課題を解決する事例を学ぶ」

段階を設け、まずは地域社会の問題に目を向けさせ、それらの問題を解決するための方法や技術を学んでもらった。そして、次に、

- ・活動2（事業提案）：「自ら地域社会の課題を見出し、ICTにより解決する事業を提案する」

段階へ発展させ、活動1による学びを課題の発見・解決に向けた主体的・協働的な学び（アクティブラーニング）へと転換した。

同様に、協働活動についても、いきなりグループワークを取り入れるのではなく、まずは、活動1の中にペア

ワークを取り入れ、少しずつ他者とのコミュニケーション活動に慣れておき、活動2の段階でグループワークを採用した。

このように、授業の到達目標の段階的な達成を図った。また、これらの達成度合いは、小テストの点数といった客観的な点数では測りにくいので、毎授業の終わりに、受講生が「振り返りシート」(2.2.3 参照)に記入することで自らの達成度合いを意識してもらった。

全15週の授業計画を表2に示す。

表2 授業計画

授業週	テーマ	具体的内容
1	導入講義	到達目標とその意図、授業の進め方と成績評価方法の説明
2	事例研究	事例研究協働活動の進め方の説明と試行
3～6	協働活動	予習シートの提出・協働活動による提案シートの作成と提出
7	事例紹介	地域の問題解決事例紹介及び利活用しやすい情報技術の紹介
8～9		解決すべき課題の洗い出し
10～11	事業提案	解決方法の具体化
12～13	協働活動	事業提案書の作成とプレゼンテーションの準備
14～15		事業提案発表と教員による総括

2.2.1 事例研究協働活動(第2回～第7回)

前半で実施する事例研究協働活動では、総務省 ICT 地域活性化大賞⁶⁾を受賞した具体的な事例から、課題設定、課題解決のための人的・組織的ネットワークの構築、情報通信技術の利用方法、効果の検証方法などを学ぶ。さらに、ペアワークで、その事業を発展させる方法を考える。研究対象事例として、総務省ホームページ⁶⁾から、情報システムがあまり複雑でなく、解決すべき課題が学生にも身近で理解しやすいと思われる事業例をピックアップし、4週にわたり、一つずつ研究対象とした。なお、具体的にどのような活動すればよいのか戸惑うことがないように、最初の週(第2回)では、活動内容とその意図について逐一説明しながら一通り体験してもらった。具体的な活動内容は以下の通りである。

(1) 予習課題:「予習シート」の作成

前週に、総務省ホームページ⁶⁾からダウンロードした概要資料と、「予習シート」を配布した。予習シートには、研究対象となっている事業の「解決すべき課題」「解決手段・仕組み」「事業の特徴」「得られた効果」「あなたの意見」などの記入欄を設けてあり、翌週の授業時に提出を求めた。「解決すべき課題」を明確にすることによって到達目標(1)を、「解決手段・仕組み」を明確にすることによって到達目標(2)(3)の学修を促す。さらに、予習シートを作成するにあたり、配布された概要資料だけ

でなく、インターネットでこの事業について検索をして調査することや、不明な用語や情報技術について主体的に調査をするように指導した。

授業では、はじめに、教員がこの予習シートの各項目について簡単に解説した。予習シートの提出を授業終了時として、この解説に基づいてシートの記載内容を追記・修正することを許した。

(2) 事例研究協働活動:「提案シート」の作成

授業の大半は、事例研究協働活動の実施である。この活動は、主体的な課題設定や解決策の提案を促すとともに、ペアワークにより初対面の相手との協働活動に慣れることを目的としている。二名一組となって、対象事例と「同様の情報システムで新たな課題の解決を提案する」もしくは、対象事例の「残された課題を解決するために、追加できそうな新しい機能や仕組みを提案する」活動を行う。提案シートには、「解決できそうな課題」「解決手段・仕組み(図示推奨)」「さらに残る課題」等の項目が設定してあり、二人でこれらの項目について話し合う。社会人基礎力Cにおける“協働する他者”には、異分野の他者が想定されていることから、協働ペアを組む相手はできるだけ異なる学年や学科の相手と組むよう、また、毎週異なる相手と組むように調整した。加えて、授業時間中であっても、疑問に感じたことはスマートフォンなどを使って調査することも奨励した。一組で一枚の提案シートを作成し、授業終了時に提出してもらった。

(3) 提出シートのフィードバック

「予習シート」と授業で作成した「提案シート」は、評定(S,A,B)と、改善すべき点や優れている点などを指摘したコメントを記入の上、翌週に返却した。

(4) その他の事例・情報技術の紹介(第7週)

4週にわたる事例研究協働活動により、課題設定、課題解決のための人的・組織的ネットワークの構築、ICTの利用方法、効果の検証方法などを学んでもらったが、後半に実施する事業提案活動につなげるためには、より多くの事例や情報技術の知識が必要であるため、この週は唯一の座学形式をとり、時間の許す限り、様々な事業の例を紹介し、情報技術の解説を行った。

2.2.2 事業提案協働活動(第8回～第15回)

四名一組のチーム活動により、ICTを活用して地域の課題を解決するための新たな事業提案を行う。チームのメンバー構成は、学科と学年ができるだけ偏らないよう、また、前半の成績を参考に、メンバーの成績も偏らない

ように配慮した。チームごとに、解決すべき地域の課題を設定し、その解決方法を考える。その結果を事業提案書にまとめ、全員の前でプレゼンテーションを行うのが一連の活動である。事業提案書には、「事業分野」「事業タイトル」「解決すべき課題と事業による効果」「事業や提供サービスの概要とシステム構成図」「使用する情報技術」「今後の展望」の各項目を設定し、これらの項目について考案し、記載することを求めた。

この活動は、電算機センターの演習室内で実施し、インターネットを使った関連事項の調査、エクセルを使った事業提案書の作成、パワーポイントを使ったプレゼンテーションの作成を求めた。

事業提案活動は全部で8週を割り当て、「課題の洗い出し」と「解決方法の提案」については、それぞれおおよそ2週ずつをかけて活動を進めるように促した。教員はファシリテータとして各チームの議論に加わって回ったが、授業時間中に全チームを回することは難しいので、課題の洗い出しと解決方法提案のための4週間については、途中経過を記載した提案書を授業終了時に提出させ、それにコメントを記入して翌週に返却し、かつ、翌週に教員が議論に加わるべきチームの優先順位を見定めた。

プレゼンテーションは最後の2週にわたって実施した。各チーム5分以内で、全受講生を前に、チームのメンバー全員が分担しての発表を課した。また、傾聴を促すため、全受講生に対して、他チームの事業提案と発表に対する評価とコメントの記入というピアレビューを取り入れた。

2.2.3 振り返りシートの活用

毎回の授業の終わりに、「振り返りシート」⁹⁾を使って各自で授業の取り組みについての振り返りを行ってもらった。振り返りシートの質問項目は、その週の取り組み内容によって少しずつ異なるが、おおよそ、「読解力」「批判的思考力」「主体性」「傾聴力・柔軟性」「伝える力」「創造的思考力」「表現力」などの項目について自己評価してもらった。また、「自由記述欄」を設けており、授業に対する意見を自由に記載できるようにした。このシートは授業の終了時に提出してもらった。自由記述欄に記載があった場合は、必要に応じて翌週に回答を返した。

3. 受講生による主観的評価

本科目の成績評価基準は、予習課題 20%、事例研究協働活動報告書 20%、事業提案書 40%、プレゼンテーシ

ン 20%である。これらの評価には、授業の到達目標の到達度は複合的に反映されるが、個々の目標の達成度を直接的に知ることは難しい。そこで、授業最終回に、授業全体の振り返りシートに回答してもらい、到達目標の到達度を主観的に評価してもらおうと共に、授業の取り組み姿勢や、社会人基礎力の向上についても、主観的に評価してもらった。この最終振り返りシートの質問項目を付録に掲載する。本科目の履修登録者数は 87 名であったが、授業最終回に出席し、かつ、最終振り返りアンケートの全項目に回答した学生数は 68 名であった。

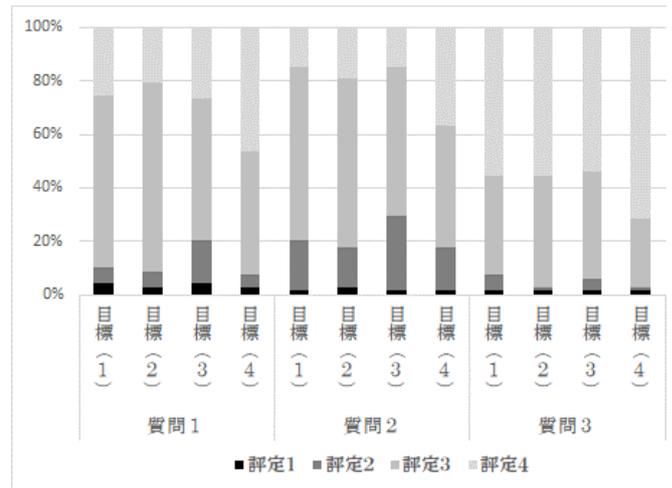


図 1 授業到達目標に関する振り返り結果 (質問 1: この到達目標を意識して授業に取り組んだか。質問 2: 到達目標に対する達成度。質問 3: 大学での学びや仕事において、この目標はどれだけ重要か)

3.1 主な質問項目の集計結果

図 1 は、授業到達目標に対する質問への回答の集計結果である。

質問 1 は、各到達目標に対して「この到達目標を意識して授業に取り組んでいましたか?」という問いであり、評価 1 は「この目標を知らなかった」、評価 2 は「この目標を知っていたが、意識していなかった」、評価 3 は「この目標を時々意識していた」、評価 4 は「この目標を常に意識した」である。ほぼ毎回の授業で協働活動を行うので、目標 (4) を意識している受講生が多いのに対し、目標 (3) はあまり意識されていなかったようである。

質問 2 は、各到達目標に対して「この到達目標に対するあなたの達成度はどれくらいですか?」という問いであり、評価 1 は「まったく達成していない」、評価 2 は「あまり達成していない」、評価 3 は「やや達成した」、評価 4 は「十分に達成した」である。到達目標としてよく意識されていた目標 (4) は達成度も高い傾向にある

が、目標（3）は、受講生の約3割があまり達成していないと感じているようである。

質問3は、各到達目標に対して「あなたの大学での学びや、社会に出てからの仕事において、この目標はどれだけ重要だと思いますか？」という問いであり、評定1は「まったく重要でない」、評定2は「あまり重要でない」、評定3は「やや重要である」、評定4は「非常に重要である」である。おおよそその受講生が、本科目の到達目標が学生自身にとって重要であると認識していることがわかる。

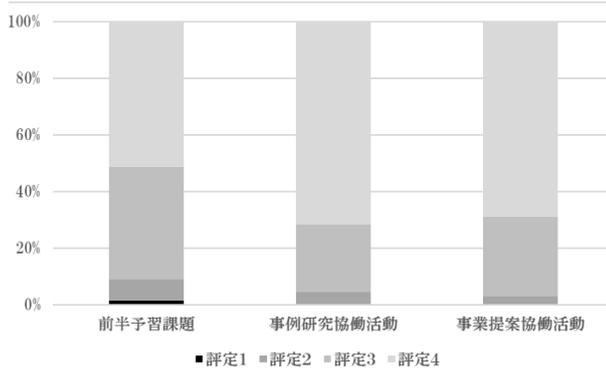


図2 授業への取り組み姿勢に関する振り返り結果

図2は、前半予習課題、事例研究協働活動、事業提案協働活動それぞれの取り組み姿勢に関する質問の回答をプロットしたものである。評定1は「まったく真剣に取り組まなかった」、評定2は「あまり真剣に取り組まなかった」、評定3は「時々真剣に取り組んだ」、評定4は「いつも真剣に取り組んだ」である。予習課題に対しては、いつも真剣に取り組んでいたと回答した学生は半数程度であったが、授業中の協働活動にはより真剣に取り組む姿勢がみられる。

図3は、この授業を受講する前後でどれくらい社会人基礎力が向上したかを自己評価した結果である。評定1は「大きく後退した」、評定2は「少し後退した」、評定

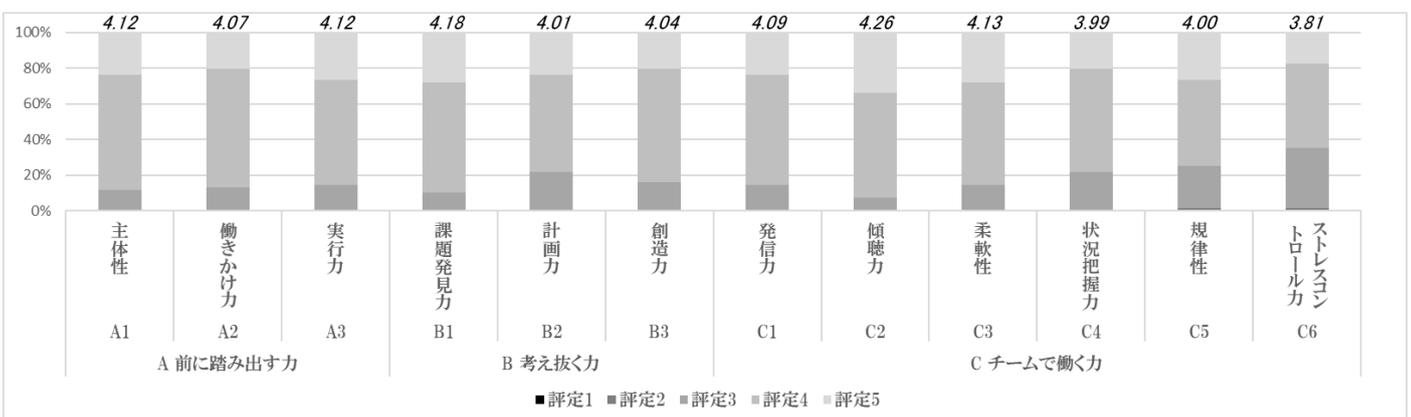


図3 社会人基礎力向上に関する振り返り結果（評定1「大きく後退した」—評定5「大きく成長した」）

3は「変わらない」、評定4は「少し成長した」、評定5は「大きく成長した」である。これらの評定は順序尺度ではあるが、間隔尺度とみなして評定値の平均を計算した結果も図中に示す。評定が最も高いのは「C2：傾聴力」である。コミュニケーションには、自分が話すことだけでなく相手の話を聞く力も必要であることを学んでくれたとすべうれしい。「B1：課題発見力」も比較的評定が高い。地域社会にはどのような課題があるのかを真剣に検討してくれたのだと思う。最も評定が低く、かつ、「変わらない」の評定が最も多いものが「C6：ストレスコントロール力」であったが、それでも約65%の人が向上したと回答していることがわかる

3.2 アンケート項目間の関係

アンケート調査項目間の関係を調査するために、以下の各項目についてグッドマン・クラスカルの順序連関係数 (γ)⁽¹⁰⁾を求め、考察を行った。 γ の値は項目間の相関の強さを示す ($|\gamma| \leq 0.2$: ほとんど相関なし, $0.2 < |\gamma| \leq 0.4$: 弱い相関あり, $0.4 < |\gamma| \leq 0.7$: 比較的強い相関あり, $0.7 < |\gamma|$: 強い相関あり)。

3.2.1 授業の取り組み姿勢と到達目標の主観的な達成度の関係

図4は、授業の到達目標の達成度と、予習課題、事例研究協働活動、事業提案協働活動の取り組み姿勢との相関、および、振り返りシートの活用との相関を示す。グラフより、到達目標（1）や（3）と予習課題の取り組み姿勢には比較的強い相関があることがわかる。予習課題を遂行する中で、どれだけ真剣に、地域の課題を理解しようとし、利活用されている情報技術について調査したかどうかが、到達目標の達成度に関係していると思われる。

次に、前半の事例研究協働活動の取り組み姿勢については、到達目標（3）や（4）と比較的強い相関があることがわかる。学修した情報システムの応用・展開を考えるにあたって、情報システムの構成の見直しが必要になることがあり、これが、情報システムの基礎的な知識の向上につながったと思われる。また、ペアワークでの作業のため、目標（4）との相関が強く出たと思われる。

次に、後半の事業提案協働活動の取り組み姿勢については、すべての目標に対して比較的強い相関もしくは強い相関がみられる。この活動は、すべての到達目標の内容を網羅しており、努力の度合いが達成度に反映されているようである。特に目標（4）とは強い相関がみられ、協働活動への取り組み姿勢が達成度に強く反映されているようである。

振り返りシートの活用度については、目標（2）や（4）の達成度にやや強い相関があることがわかる。

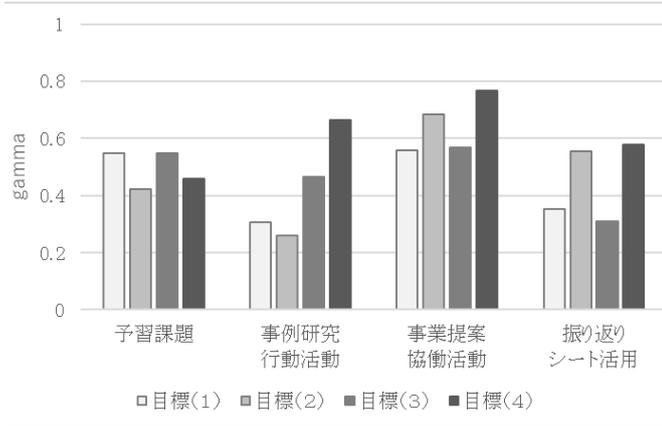


図 4 授業到達目標達成度と授業の取り組み姿勢の相関

3.2.2 達成目標の主観的な達成度と社会人基礎力の主観的向上度の関係

図 5 は、授業の到達目標の達成度と社会人基礎力向上度の相関を示す。到達目標（1）と課題発見力や計画力、規律性に比較的強い相関がみられる。到達目標（2）の達成度は、課題発見力に強い相関がみられる。さらに、前に踏み出す力全体に、比較的強い相関がみられる。「問題解決のための、人的・組織的ネットワークの必要性に気づくことができる」ためには、「課題を認識し理解する」よりも深い洞察が必要である。そのことが「前に踏み出す力」との関係に表れているかもしれない。

到達目標（3）の達成度は、課題発見力とは強い相関がみられるが、ほとんどの社会人基礎力の向上とやや強い相関がみられる。「地域課題の解決に利活用できる情報技術・情報システムの基礎知識がある」ことは、目標（1）や（2）の達成が前提となっており、もともと情報技術

に詳しくないほとんどの履修生にとって、ハードルが高い目標である。それゆえ、この目標の達成が、より広範囲の社会人基礎力の向上につながったと推察される。

到達目標（4）は「チームで働く力」と同じ能力のほずであるが、相関は比較的弱い。むしろ、課題発見力や計画力にやや強い相関がみられる。

4 つの目標に共通して「規律性」とのやや強い相関がみられる。特に後半の事業提案協働活動ではグループメンバーが固定であるため、遅刻や欠席は他のメンバーに多大な迷惑をかけ、活動の停滞につながる。それゆえ、熱心に取り組む学生ほど出席に対する意識が高くなり、それが規律性として意識されたためではないかと思う。

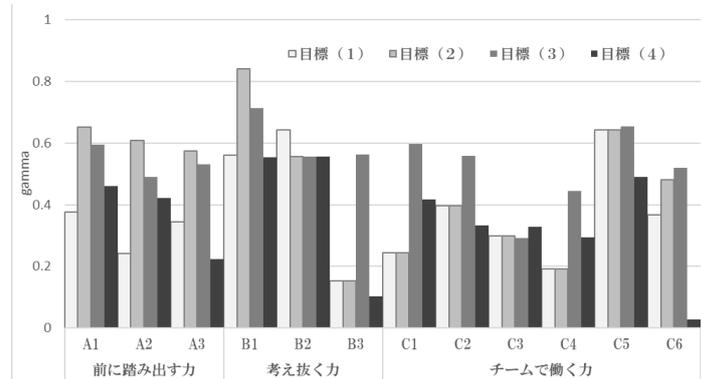


図 5 授業到達目標達成度と社会人基礎力向上度の相関

4. 考察

4.1 予習課題における ICT 機器活用

事例研究協働活動では、取り扱う事例に関する予習課題を出題した。予習課題では、与えられた事業報告書を読み、必要に応じて関連資料を調査し、その事業における「解決すべき課題」「解決手段・仕組み」「事業の特徴」「得られた効果」を読み取り、「自分の意見」とともに、レポートとしてまとめるものであった。時には、問題解決のための人的・組織的ネットワークや、情報システムの構成を自分なりにまとめて図示する必要があった。

本科目が開講した当初は、この予習課題をエクセルシートに記入してもらい、それを、ユニバーサルパスポートを通じて授業前に電子的に提出してもらい、教員コメント欄にフィードバックコメントを記載していた。しかし、提出された課題は、web サイトや事業報告書の文章を丸々コピーペーストしただけのレポートが散見され、教員からのフィードバックコメントもほとんど参照されていないようであった。そこで、現在のように、用紙に手書きで記入させ、その用紙に評価とフィードバックコメントを赤ペンで記入して翌授業で返却する形式に変更

した。その結果、予習課題には、その事業で活用された人的・組織的ネットワークや情報システムの構成が、構成図とともに説明されるようになり、より理解が深まった様子が確認され、用紙返却時にはフィードバックコメントを参照してもらえるようになった。

反転授業におけるICTを利活用した予習の効果を示す報告⁽⁴¹⁾はあるが、本プログラムにおける予習課題のように、解答が一意でない予習課題にICTを活用する場合は、入力デバイスに受講生の表現の自由度がどの程度保証されているかなども教育効果に関係するようと思われる。

4.2 協働活動が停滞する原因と対処

事業提案協働活動では、多くのグループで途中行き詰まりがみられた。行き詰まりの原因は、グループ内のコミュニケーションの停滞よりも、地域の問題を漠然としてしか捉えておらず具体的な解決策を見つけられないことが多いように感じた。前半の「事例研究協働活動」において地域の課題の本質を捉える能力が十分に涵養されていることが、後半の協働活動成功の鍵となっていたように思う。

議論が停滞している時、教員がファシリテータとして議論に加わることで、具体的な解決策を見つけられることが多かったが、授業時間内に教員が議論に加わるグループ数は限られ、とても手が回らなかった。例えば、グループ間で情報交換を行う時間を設けるなどして、受講生同士が互いにファシリテータ役を担うなど、工夫が必要であろう。

5. おわりに

基礎・教養科目として開講した「地域社会と情報」のために、自ら地域社会の課題を見出し、ICTにより解決する事業を提案する活動を通じて、社会人基礎力を涵養するプログラムを開発し、実践した。最終振り返りアンケートの結果、授業到達目標への主観的達成度、社会人基礎力の向上の主観評価とも、おおむね高い評価を得ることができた。自由記述欄にも、「コミュニケーション力が向上した」という記載がいくつか見られた。一方で、授業到達目標に関する質問の回答集計を見てもわかるように、学生は、目標(4)の協働活動する力に意識が向きがちである。目標(1)(2)(3)にもっと意識を向けさせ、能力向上につながる仕組みが必要である。

参考文献

- (1) 経済産業省, ものづくり白書 2018 年版第 1 部第 1 章第 3 節 “価値創出に向けた Connected Industries の推進”, <https://www.meti.go.jp/report/whitepaper/mono/2018/honbun/html/honbun/101031.html>
- (2) 総務省, 平成 28 年度 情報通信白書 第 1 部第 4 章第 4 節 “必要とされるスキルの変化と求められる教育・人材育成のあり方”, <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h28/pdf/n4400000.pdf>
- (3) 経済産業省, “社会人基礎力”, <https://www.meti.go.jp/policy/kisoryoku/index.html>
- (4) ベネッセ総合教育研究所, “データで見る学生の実態と社会で求められる力のギャップ”, https://berd.benesse.jp/up_images/magazine/021.pdf
- (5) 総務省, “ICT 利活用の促進”, http://www.soumu.go.jp/menu_seisaku/ictseisaku/ictriyou/index.html
- (6) 経済産業省, “「新産業構造ビジョン」一人ひとりの、世界の課題を解決する日本の未来”, https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/shinsangyo_kozo/pdf/017_05_00.pdf
- (7) 喜多一, “わが国の情報教育—初等教育から大学教育まで”, システム/制御/情報, Vol. 62, No. 7, pp.242-247, 2018.
- (8) 情報処理学会, “カリキュラム標準一般情報処理教育(GE)”, https://www.ipsj.or.jp/annai/committee/education/j07/ed_j17-GE.html
- (9) 佐藤雅希, 他, “作問学習における思考力・判断力・表現力の自己評価支援機能の開発と評価”, 教育システム情報学会第 43 回全国大会講演論文集, P1-06, 2018.
- (10) 森敏阿昭, 吉田寿夫編著, 心理学のためのデータ解析テクニカルブック 第 5 章第 2 節 連関係数, 北大路書房, 1990.
- (11) 重田勝介, “反転授業 ICT による教育改革”, 情報管理 56(10), pp. 677-684, 2013.

付 録 最終振り返りアンケート

1. 授業の到達目標の達成度

「授業の到達目標」について該当するものに○をつけて下さい。
○目標 1 : 「地域社会が抱える問題を認識でき、その問題の本質を正しく理解できる。」

- ・この到達目標を意識して授業に取り組んでいましたか？(この目標を知らなかった, この目標を知っていたが意識していなかった, この目標を時々意識した, この目標を常に意識した)
- ・この到達目標に対するあなたの達成度はどれくらいですか？(まったく達成していない, あまり達成していない, やや達成し

た、十分に達成した)

・あなたの大学での学びや、社会に出てからの仕事において、この目標はどれだけ重要だと思いますか?(まったく重要でない、あまり重要でない、やや重要である、非常に重要である)

○目標2:「問題解決のための、人的・組織的ネットワークの必要性に気づくことができる。」

・この到達目標を意識して授業に取り組んでいましたか?(この目標を知らなかった、この目標を知っていたが意識していなかった、この目標を時々意識した、この目標を常に意識した)

・この到達目標に対するあなたの達成度はどれくらいですか?(まったく達成していない、あまり達成していない、やや達成した、十分に達成した)

・あなたの大学での学びや、社会に出てからの仕事において、この目標はどれだけ重要だと思いますか?(まったく重要でない、あまり重要でない、やや重要である、非常に重要である)

○目標3:「地域課題の解決に利活用できる情報技術・情報システムの基礎知識がある。」

・この到達目標を意識して授業に取り組んでいましたか?(この目標を知らなかった、この目標を知っていたが意識していなかった、この目標を時々意識した、この目標を常に意識した)

・この到達目標に対するあなたの達成度はどれくらいですか?(まったく達成していない、あまり達成していない、やや達成した、十分に達成した)

・あなたの大学での学びや、社会に出てからの仕事において、この目標はどれだけ重要だと思いますか?(まったく重要でない、あまり重要でない、やや重要である、非常に重要である)

○目標4:「共通した問題解決へ向けて、協働して取り組むことができる。」

・この到達目標を意識して授業に取り組んでいましたか?(この目標を知らなかった、この目標を知っていたが意識していなかった、この目標を時々意識した、この目標を常に意識した)

・この到達目標に対するあなたの達成度はどれくらいですか?(まったく達成していない、あまり達成していない、やや達成した、十分に達成した)

・あなたの大学での学びや、社会に出てからの仕事において、この目標はどれだけ重要だと思いますか?(まったく重要でない、あまり重要でない、やや重要である、非常に重要である)

2. 事例研究協働活動

前半で実施した「事例研究協働活動」について、該当するものに○をつけてください。

・事前に配布された資料の内容の要約や、関連事項の調査を行うという「予習」の取り組みについて(まったく真剣に取り組まなかった、あまり真剣に取り組まなかった、時々真剣に取り組んだ、いつも真剣に取り組んだ)

・二人一組で行った事例研究行動活動の取り組みについて(まったく真剣に取り組まなかった、あまり真剣に取り組まなかった、時々真剣に取り組んだ、いつも真剣に取り組んだ)

・前半の活動について何か意見があれば自由に記述して下さい。

3. 事業提案協働活動

後半で実施した「事業提案活動」について、該当するものに○をつけてください。

・事業提案活動の取り組みについて(まったく真剣に取り組まなかった、あまり真剣に取り組まなかった、時々真剣に取り組んだ、いつも真剣に取り組んだ)

・後半の活動について何か意見があれば自由に記述して下さい。

4. ふりかえりシートについて

・ふりかえりシートによる、活動内容の反省と翌週以降への活用について(まったく活用しなかった、反省したことを翌週以降の活動にあまり活かさなかった、反省したことを翌週以降の活動に時々活かした、反省したことを翌週以降の活動にいつも活かした)

・ふりかえりシートについて何か意見があれば自由に記述して下さい。

5. アクティブラーニング形式の授業について

・どの程度適応できましたか。(まったく適応できなかった、あまり適応できなかった、やや適応できた、十分に適応できた)

・アクティブラーニング形式の授業について何か意見があれば、自由に記述して下さい。

6. 社会人基礎力について

経済産業省が提唱している社会人基礎力それぞれに対し、この授業を受講する前後で成長したかを、(大きく後退した、少し後退した、変わらない、少し成長した、大きく成長した)の5段階で自己評価して下さい。

○前に踏み出す力

・主体性 ・働きかけ力 ・実行力

○考え抜く力

・課題発見力 ・計画力 ・創造力

○チームで働く力

・発信力 ・傾聴力 ・柔軟性 ・状況把握力 ・規律性

・ストレスコントロール力

ロボット教材を用いた個別学習を連携した協調学習

布施 泉^{*1}, 野口 孝文^{*1}, 梶原 秀一^{*2}, 千田 和範^{*3}, 稲守 栄^{*3}

^{*1} 北海道大学, ^{*2} 室蘭工業大学, ^{*3} 釧路工業高等専門学校

Collaborative Learning linking Individual Learning using Teaching-aid Robot

Izumi Fuse^{*1}, Takafumi Noguchi^{*1}, Hidekazu Kajiwara^{*2}, Kazunori Chida^{*3}, Sakae Inamori^{*3}

^{*1} Hokkaido University, ^{*2} Muroran Institute of Technology,

^{*3} National Institute of Technology, Kushiro College

In this paper, we propose collaborative learning linking individual learning using a teaching-aid robot as a better learning method in a group of learners with different programming skills and levels. According to the learner's questionnaire that was conducted after completing the nine class lessons, it was confirmed that the learner had an increased interest in programming regardless of programming experience.

キーワード: ロボット, 個別学習, 協調学習

1. はじめに

プログラミングの学習は、初等中等教育における次期学習指導要領(小学校は 2020 年度から全面実施)の柱の一つであり、将来的にはすべての児童・生徒が、「プログラミング的思考」を身につけ、大学に進学してくるものと考えられる⁽¹⁾。一方、その学習到達レベルは、学習者により異なることが当然に予想される。

本報告は、プログラミングを対象とし、スキルやレベルが異なる学習者集団における、より良い学習手法として、個別学習を連携した協調学習の実践手法について検討することを目的とする。その際、特定のプログラミング言語を用いるのではなく、機械語命令で動作するプログラミングロボットを用い、ロボットの動きを制御することで、プログラミングを基礎的なレベルから体験的に理解することを目的とした。

本稿では、第 2 章でロボット教材について紹介する。第 3 章で個別学習と協調学習を連携させた授業実践の詳細を示した上で、第 4 章で学習者によるアンケート結果を用いた評価を行う。最後に第 5 章で本実践手法の有用性等についてまとめる。

2. ロボット教材

2.1 ロボット教材の構造

図 1 に本実践で用いた教材ロボットを示す。ロボットは、2つのギヤドモータに直結した車輪で移動する。ロボットはマイクロコンピュータ上に作成した仮想コンピュータのプログラムを書き換えることで制御し、その命令セットには演算命令等の他、モータ制御やセンサ入力を読み取る命令を用意している⁽²⁾。また、ロボットを動作させるプログラムの入力や実行をすべて図 1 のロボット上面にあるスイッチのみで行うようにしているほか、PC に接続して PC からプログラム作成の支援をしたりプログラムを実行したりすることができる。

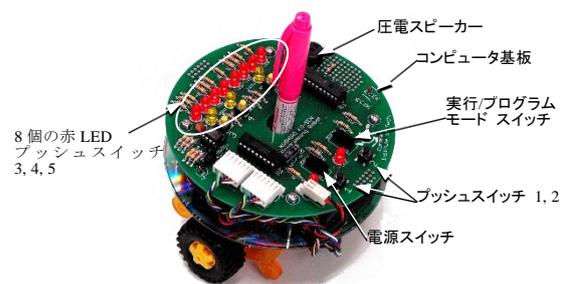


図 1 プログラミングロボット

2.2 直感的に作成できるプログラム

本ロボット教材の特徴は、ロボットを制御する命令コードのビットデザインにある。プログラムの入力や実行を、図 1 に示したロボットの上面前方にある 8 つの赤色 LED にロボットの命令を表示させながら行うことができる。図 2 は、LED とスイッチの機能説明図である。本ロボットでは、ロボットを移動させる命令を直感的に分かりやすくなるように設計している。

命令は 8 個の LED の点灯/消灯に対応する 8bit 列で表現する。さらに左右 4bit ずつに分け、左 4bit で動作内容、右 4 ビットで動作量を示すことを基本とする。左 4bit をさらに 2bit ずつ左右のモータの動作内容に割り当てている。図 2 に示す上位 4bit の点灯パターン(0101)は、左右のモータの順回転を指示しており、ロボットが前方に進む命令となる。これを左の 2 つの LED の点灯を逆にして(1001)とすると、左のモータが逆回転するため、ロボットは左に回転する。

8bit のうち、右の 4bit は動作量を表し、ロボットの前・後進/回転/停止に応じて距離/角度/時間に割り当てている。この 4bit には重みを付け、図の前進命令(0101 1010)では、 $8+2=10\text{cm}$ 移動することに対応する。前述の左回転命令(1001 1010)にすると、 $60+15=75^\circ$ 左に回転する。

このように本ロボットでは、動作内容と動作量を組み合わせた命令によりプログラムとすることで、プログラミングや制御の仕組みのイメージを学習者が容易に持つことができる。

学習者は、ロボットへのプログラム入力に慣れた後には、繰り返し処理やデータを保持できるレジスタを用いた比較演算やジャンプ命令等を用いたプログラムを作成することもできる。一部の命令は、2 バイトの命令により指示を行う。音データを指示することにより、音を奏でることも可能である。

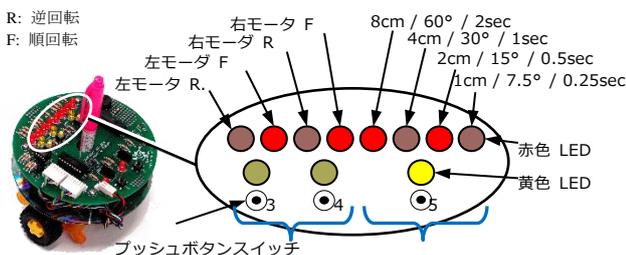


図 2 ロボットの動作命令機能の説明図

2.3 プログラムの入力と実行

本ロボットへのプログラム入力やその実行は、コンピュータ基板上のスライドスイッチおよび 5 つのボタンスイッチで行う。図 1 のコンピュータ基板の右下(ロボットの後方)に 2 つのスライドスイッチとそれらの後方に 2 つのボタンスイッチ 1, 2 がある。スライドスイッチの 1 つは、電源スイッチである。もう 1 つのスイッチは、プログラムの実行とプログラムの入力の切り替えを行う。なお、ロボットには 256 ステップのプログラムを入力することができる。この場合、命令は 0 から 255 番地までのメモリに記録される。電源スイッチをオンにすると、0 番地の命令が表示され、プログラム実行の待機状態となる。

図 2 に示した黄色 LED のそれぞれ下にある 3 つのボタンスイッチ 3, 4, 5 を使い、番地の移動やプログラムの確認・入力を行う。このように、本ロボットではプログラミングから実行までを本ロボットのみで行うことができる。

命令の数が 20 ステップ以上に増えてくると、手入力のみでは使いにくくなる場合もあることから、プログラムを PC で作成し、ロボットに転送することで、より高度なプログラミングの支援を実現している。

2.4 PC を用いたプログラムの確認と転送

PC を使い、ロボットに入力されたプログラムの確認、ロボットへのプログラム転送、等を行うことができる環境を用意した。図 3 に、PC の操作画面例を示す。右欄内に、「04 FOR 2」「05 RGT C」といった形で、番地の指示とともにアセンブリ言語による命令を記述している。ここで、上部にある「データ変換」ボタンを押すことで、対応する 16 進表示によるコードに変換することが出来る。さらに、当該コードを、ロボットへの送信データとして変換し、ロボットへ転送するような流れとなる。

ロボットに格納されているプログラムを確認する際には、図 3 の上部中央にある「list:0x1f」と表示されているボタンを押すことで、31 (16 進で 1f) バイト分の命令内容を確認することができる。なお、ボタンに表示している文字は、ロボットに送ることができる操作命令の一例で、これらの操作命令を、キーボードを使って送ることもできる。

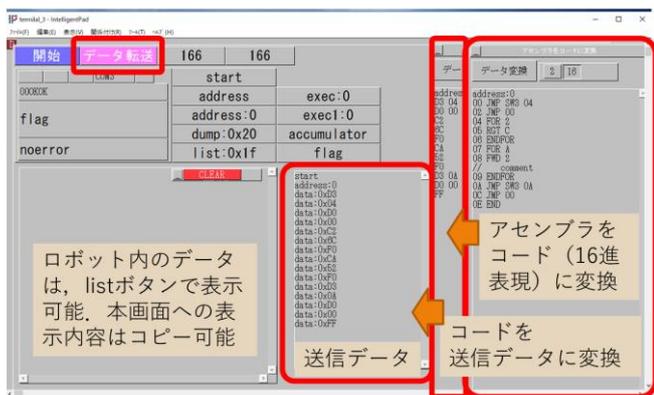


図 3 PC の操作画面 (ロボットへのプログラム転送)

3. 授業実践

3.1 授業の概要

2018 年度後期、第一著者の所属大学において、全学共通科目「一般教育演習 (フレッシュマンセミナー) タンジブルな情報科学入門 (2 単位 15 回)」と題する授業において、9 回を用い、18 名の履修者を対象に本ロボットを用いて授業を行った。ロボットを用いた授業スケジュールを表 1 に示す。表は左から授業実施日、当該回の授業テーマ、授業形態 (個人学習か協調学習の別)、当該回の授業概要を示す。

当初は普通教室で授業を行ったが、グループ作業を行う第 5 回 (11/1) 以降は、コンピュータ教室で授業を行った。但し、PC からロボットへの転送等には、独自のソフトウェア環境等の整備が必要なことから、ロボットへの転送を行えるマシンはノート PC を 5 台持ちこみで用意し、学習者には共用で利用させた。コンピュータ教室のマシンは、全員が使うことができるため、当該 PC に入れるべきデータを作成するために各学習者が利用した。

表 1 授業スケジュール

日	テーマ	形態	概要
10/4 (1 回)	ロボット操作	個人	2 進法, ロボット操作 (作成, 書き込み, 実行, 修正), 動作確認
10/11 (2 回)	繰返し処理	個人	繰返しを用い, 円とその円に内接する三角形を描き出す

10/18 (3 回)	条件分岐 / PC でのデータ確認	個人	命令の種類の確認, 2 進法と 16 進法の変換確認, プッシュスイッチ押下による条件分岐プログラムの作成, ロボット内のプログラムを PC 上で確認
10/25 (4 回)	条件分岐 / PC によるデータ転送	個人	各自の独自の条件分岐プログラムを作成 (前回の継続), PC からロボットへのデータ転送の方法, アキュムレータを用いたデータの保存
11/1 (5 回)	復習, サブルーチン, グループ作業	個人 & グループ	ロボット操作の復習, PC を用いた処理確認・転送, サブルーチンの使い方の確認とそのメリットを説明, グループ生成・活動開始 (全 5 グループ). グループでの相談 (計画策定, 分担を決める)
11/8 (6 回)	グループ活動	グループ	分担を決め, 適宜, グループ活動.
11/15 (7 回)	グループ活動	グループ	同上. 2 グループはプログラムが完成. ロボットの動きをビデオ撮影.
11/22 (8 回)	グループ活動・発表会 1	グループ	未完成チーム: 次回目途に完成を目指す. 完成チーム: 前半発表スライドの作成, 後半発表会
11/29 (9 回)	発表会 2・まとめ	グループ・個人	前半発表会, 後半: ロボット授業のまとめ, システムアーキテクチャを考慮したプログラムの解析 (問題を解く)

表1に示したとおり、前半4回でロボットの操作について、一通り個人での学習（基本事項）を行った。その際に、サブルーチンについての質問が複数あったため、その利便性を第5回の始めに以下のように提示したのちにグループ分けを行い、協調学習をベースとした学習へ遷移させた。

- ・呼び出す先の番地を指定できるため、使いたいプログラムを、予め別々にセットできる。
- ・グループ作業の際には、個々の領域を確保しておき、個別作業をしてから統合ができる。
- ・同じ処理を何度も書かなくてよい。
- ・レジスタというデータを保持する場所が1つあるので、それを利用して、ある値より大きければ6cm直進、小さければ3cm直進というように、ちょっとだけ違う値を持つプログラムをまとめて記載しておくこともできる（かもしれない）

最後の項目は、教員から可能か否かは明言せず、サブルーチンの利用可能性を述べ、学習者に色々と考えさせることを求めた。

グループ分けは、全体で3-4名とすることのみを提示し、学習者に任せた。結果的に5グループとなった。第5回の授業内で、どのようなプログラムをグループで作成するかの相談を行う、作業分担を行った。

ロボットは、原則として授業時のみに貸与し、授業時間外での貸し出しは行わないこととしたが、グループでのプログラム完成が遅れた1チームに対しては、授業時間外に集合することになり、その際は教員の立ち会いの下で貸与し、完成させた。

グループとしてのプログラムが完成した後は、ロボットがプログラムに応じて動く様子をグループ内で分担を決めてビデオ撮影した上で、その内容をを用いた発表会を行った。9回の授業が終了した後は、グループ成果物として発表会資料、プログラムのまとめを提出させるとともに、個人レポートとして、ロボット授業における苦労した点、工夫した点などを提出させた。さらに、授業時間外にアンケートに回答をさせた。

3.2 グループによる協調学習の状況

全体で5つのグループに分かれ、協調的なプログラミング活動を行った。それぞれのテーマは、北大尽くし、北海道、自転車、雪、ハロウィン、の5種である。

概要と特徴を表2に示す。

表2 グループのテーマと概要・特徴

テーマ	利用機能等	人数	概要・特徴
北大尽くし	描画、音、アキュムレータを利用した入力値判断	3	プッシュスイッチによる入力値が一致した場合に動作開始。音楽(北大寮歌)演奏と文字(「北大」)描画。音楽、文字描画の順でプログラムを単純連結。
北海道	描画、音	4	メンバーで分担し、北海道地図を描く。個人で分担作成したものを単純連結。描画とは別のロボットにて、「北の国から」のテーマソングを演奏。
自転車	描画(サブルーチン)	3	車輪(前輪と後輪)、ハンドル、サドルの3か所に分け、サブルーチンのプログラムとして分担作成。メインプログラムで順次サブルーチンを呼ぶ方法で実装。PCは利用せず。
雪	描画(サブルーチン、繰り返し)	4	雪の結晶の模様を描く。3パーツの描画(枝から先、結晶の骨格、内部模様)と全体プログラムを分担作成。全体プログラムは、枝等の6回繰り返しに加え、内部模様を描く。
ハロウィン	描画(サブルーチン)	4	帽子、カボチャの上半分(目と顔輪郭)、カボチャの下半分(歯と顔輪郭)、マントと足、の4箇所を分け、サブルーチン化し分担作成。全体プログラムでそれらをまとめる。

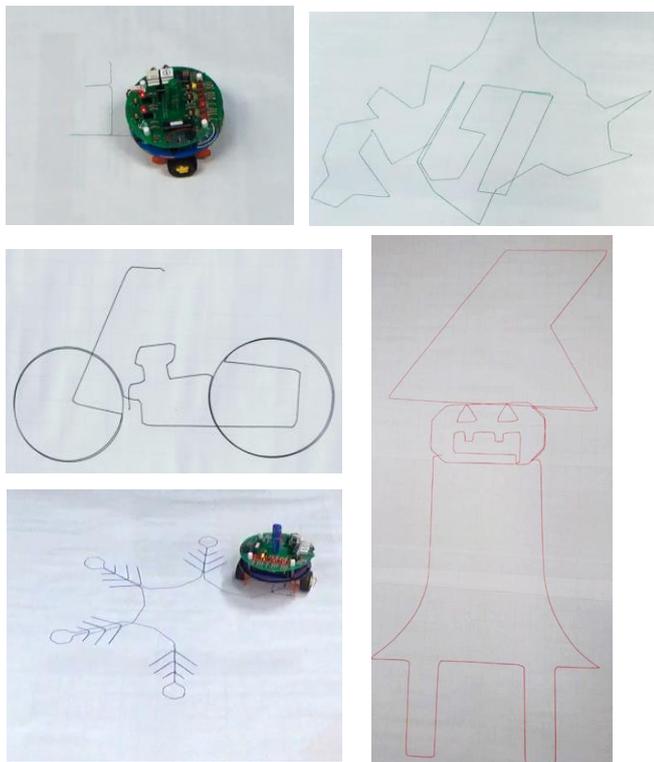


図 4 各グループの作品

ロボットは個人用のものを各自に貸与する他、各グループに 1 台、グループ用のロボットとして貸与した。グループでの作業方法としては、大きく、個人が分担して作成するプログラムを、そのままグループのロボットに対し順次連結させるタイプと、サブルーチンで各自が作業を行い、メインプログラムにおいて連結させるタイプのものに大別された。

ハロウィンチームは、授業の想定期間内ではバグが取れず、授業時間外での作業が発生した。原因は、メンバーの 1 名が、サブルーチンの最後に次の人のプログラムを呼び出していたにも関わらず、メインプログラムでも次のプログラムを呼び出していたことによる想定外のプログラムの 2 重実行であった。

各グループのプログラムが完成し、描画をさせた際の動作状況を図 4 に示す。

4. 学習者による評価

9 回の授業が終了した後の 11 月 29 日にアンケートを提示し、2019 年 1 月 10 日までの間に回答をさせた。有効回答数は 17 名である。項目は、プログラミング経験と経験年数、プログラミングロボットの各種操作や興味関心についての感想に分けられる。本稿では、

表 3 各グループのプログラミング経験割合の内訳

グループ	A	B	C	D	E
未経験	0	0	1	1	3
経験	3	3	2	3	1

プログラミング経験と、所属グループに分けて、本ロボットへの興味関心、および自由記述の感想についての概要を述べる。

17 名のうち、プログラミング経験は 7 割の 12 名であり、経験年数は殆どが 1 年未満であった。授業と同時に他のプログラミング言語を学んでいる学習者が多かった。未経験者は 5 名である。また、17 名のうち文系 5 名、理系 12 名であり、文系の殆どがプログラミング未経験であった。このように本授業を履修した学習者には、プログラミングに関するスキルに差がある状態であることが分かった。表 3 にグループ毎のプログラミング経験者の割合を示す。

E グループに未経験者が固まっている状況が確認された。続いて、表 4 に以下の 5 つの設問について、(強くそう思う、そう思う、あまり思わない、まったく思わない、の 4 択) で回答させた結果をプログラミング未経験者と経験者の別でまとめた結果を示す。具体的な質問項目は下記に記す。

- ・ ロボットのプログラム実行は簡単だった
- ・ ロボットのプログラム入力は簡単だった
- ・ ロボットのプログラム修正は簡単だった
- ・ ロボットの命令は理解しやすい
- ・ ロボットのプログラム作成 (考えたとおりに動作させる) は簡単だった

表 4 では、各設問で最も多い回答の背景を網掛けとした。全体として、未経験者は難しく、経験者は易しいという回答が多いことがわかる。

次に、表 5 に以下の 5 つの設問について、(強くそう思う、そう思う、あまり思わない、まったく思わない、の 4 択) で回答させた結果をプログラミング未経験者と経験者の別でまとめた結果を示す。

- ・ ロボットの動作をプログラムすることは面白いと思う
- ・ ロボットのプログラミングを体験して、プログラミングに対する興味が増したと思う
- ・ ロボットのプログラミングを体験して、もっと

複雑なプログラムを作りたいと思う

- ・ ロボットのプログラミングを体験して、ロボットのハードウェアに対する興味が増したと思う
- ・ ロボットのプログラミングを体験して、新しくロボットを作りたいと思う

表 5 では、「ロボットのプログラミングを体験して、プログラミングに対する興味が増したと思う」との設

表 4 ロボットへのプログラム実行・入力・修正・命令・作成の容易さ（未経験者を未、経験者を経と表記）

	実行		入力		修正		命令		作成	
	未	経	未	経	未	経	未	経	未	経
強く思う	0	2	0	2	0	1	0	2	0	1
そう思う	1	6	1	8	0	0	0	8	0	6
あまり思わない	3	4	4	2	3	10	5	1	4	5
まったく思わない	1	0	0	0	2	1	0	1	1	0

表 5 プログラムの面白さ・興味の増加・複雑なプログラムの作成・ハードウェアへの興味・ロボット作成（未経験者を未、経験者を経と表記）

	面白い		興味増		複雑		ハードウェア		新規ロボット	
	未	経	未	経	未	経	未	経	未	経
強く思う	2	8	2	8	1	7	2	5	1	3
そう思う	2	4	3	4	2	5	1	7	2	5
あまり思わない	1	0	0	0	1	0	2	0	2	4
まったく思わない	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0

問に全員が肯定的な回答を得た。また、「ロボットの動作をプログラムすることは面白いと思う」の設問にも 1 名を除き、未経験者でも肯定的な回答を得た。

一方、プログラミング経験者においては、より複雑なプログラムの作成、ハードウェアへの興味についても全員が肯定的な回答をしていることがわかる。

これらの結果から、未経験者は、ロボットへのプログラミングが難しいと感じながらも、ロボットの動作をプログラムすることや、プログラミングに対する興味を持ったことがわかる。雪グループに所属してグループ活動を行った未経験者の個人レポートでは、「自分たちの班は、他班に比べ作業にかなり多くの時間を要していたが、原因として、図に精巧な計算が必要であり、その実現においてロボットの動作に一切の妥協が許されなかったことがあげられると思う。微調整のためのプログラミングの再構築にかなりの時間が割かれたが、その結果、ある程度のレベルの雪の結晶を描けたことは間違いない事実である。」と記述しており、グループによるプログラムの成果に、自信を持っていることが伺える。このようなグループでの協調活動での達成感が、プログラミングへの興味に直結しているものと考えられる。また、アンケートにおける未経験者の自由記述では、2 名「とても難しかった」との回答があるものの、「今まで未知の世界だったので学習する機会があつてよかったです。仕組みがわかると面白いなと思いました。」「操作に慣れれば、ロボットの動作やそのプログラミングは、楽しいものだった。」といった肯定的な回答も見受けられた。

一方、プログラミング経験者のアンケートにおける自由記述意見は、より具体的であり、「機械語レベルでプログラムを書くことは、普段 C や Ruby で書いているときには得られなかった発見を多く提供してくれるものであり、楽しかった。」「レジスタとかがもっといっぱいあつたら面白いものが作れるなあと思った。」「大方自分が作成したプログラム通りにロボットが動いてくれたのでそこは面白かった。自分が経験したことがある言語は全部 web 制作に使用したので今回初めてパソコンの画面ではなく実際にハードを動かすことができたのでそこは新鮮だった。」「プログラミングの基礎的な仕組みについての理解をより深めることができた。レジスタや音などの少し特殊なプログラムの

解釈には時間がかかった。」などの回答があった。

このように、本実践では、プログラミング経験者と未経験者といった学習者のレベルが大きく異なっている学習者構成であるにも関わらず、学習者全体で達成感が高い状況が確認でき、本実践が有効に機能していることが示唆される。

5. まとめ

本稿では、プログラミングを対象とし、スキルやレベルが異なる学習者集団における、より良い学習手法として、個別学習を連携した協調学習の実践手法について検討した。具体的には、機械語命令で動作するプログラミングロボットを用い、グループとしてのプログラム作成を企画し、その実現に必要なプログラムを、グループ構成員が分担して作成し、実現を調整していく「個別学習を連携させた協調学習」にて行った。

実践結果をアンケートによる回答で確認したところ、プログラミング経験者と未経験者において、プログラムの実行等の難易度の感じ方に大きな違いがあることが示された。それにも関わらず、「プログラミングに対する興味が増した」との設問に全員が肯定的な回答を得るなど、未経験者でも満足のいく学習活動が行えていることが確認できた。

これらのことから、本ロボットを用いた個別学習を連携した協調学習の手法は有効であると結論付けられる。レベルの異なる学習者に対し、プログラミングに対する更なる興味関心を喚起したと言って良いと考える。

今後の課題として、実際のプログラミングの知識修得度合いを調査し、個別学習と協調学習の連携により、プログラミングスキルについても、各学習者の状況に応じて、どのように向上していくかを確認したいと考えている。

謝辞

本研究の一部は、科学研究費 16K01150, 16K12779, 19H01727 の支援を受けた。

付記

本研究の一部は、参考文献(3)における発表の一部成果にさらなる分析を加えてまとめたものである。

参考文献

- (1) 文部科学省 学習指導要領「生きる力」平成 29・30 年改訂 学習指導要領、解説等、
http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/1384661.htm (2019 年 6 月 12 日確認)
- (2) T. Noguchi, H. Kajiwara, K. Chida and S. Inamori, “Development of a Programming Teaching1-Aid Robot with Intuitive Motion Instruction Set”, *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol.29 No.6, pp.980-991, December 2017
- (3) 野口孝文, 布施泉, 梶原秀一, 千田和範, 稲守栄: “個別学習から協調学習をシームレスに支援するロボット教材”, *ロボティクス・メカトロニクス講演会報告*, 2P2-N03, p4, (2019)

ビデオ講義を対象とした協同学習における 学習者の動作の分析 (第3報)

渡邊 栄治^{*1}, 尾関 孝史^{*2}, 小濱 剛^{*3}

*1 甲南大学, *2 福山大学, *3 近畿大学

Analysis of behaviors by students in cooperative learning for video lectures (Third report)

Eiji Watanabe^{*1}, Takashi Ozeki^{*2}, Takeshi Kohama^{*3}

*1 Konan University, *2 Fukuyama University, *3 Kindai University

In this report, we discuss the analysis of non-verbal behaviors of students in a cooperative learning. Here, we adopt the body parts detected by OpenPose as features for behaviors of students. Furthermore, we model the interactions between students by the multilayered neural networks. Finally, we extract the influence on the interactions based on the internal representations of the multilayered neural networks.

キーワード：協同学習, 学習者, 非言語動作, ニューラルネットワーク, 時系列分析

1. まえがき

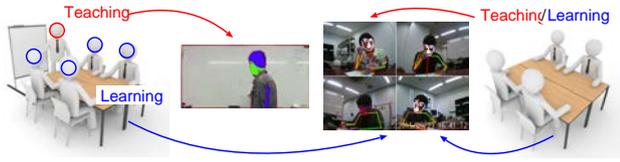
近年, 学習者自身による能動的な学習携帯が活発に導入されている。また, 学習者間で, 「相互に教える/教わる」形態を指す「協同学習」について, 活発に議論されている⁽¹⁾,⁽²⁾,⁽³⁾。協同学習の目的は, グループとしての協調性を高めつつ, 当該の内容に対する理解度を深めることである。また, 協同学習では, 知識の単なる give and take だけでなく, コミュニケーション能力の育成にも有効である。さらに, グループを効果的にする基本要素として, 「互恵的な協力関係」, 「個人の役割責任」, 「促進的な相互作用」, 「社会的スキル」および「グループによる改善手続き」が挙げられている⁽¹⁾。

しかしながら, 1人または少数の教員が, リアルタイムに「協同学習」における上記の基本要素を評価し, かつ多数の学習者の理解度や協調性を把握することは困難である。そこで, 学習者あるいはグループとしての理解度や協調性を把握するための一つのアプローチとして, 会議分析で議論されているような非言語動作の分析手法⁽⁴⁾,⁽⁵⁾,⁽⁶⁾の導入が考えられる。著者などは, 特に, 「教え合う」協同学習を対象として, 学習者の非言語動作を分析するための手法および実験結果について報告している⁽⁷⁾。

既に提案した分析手法⁽⁷⁾,⁽¹¹⁾では, 学習者の顔領域の大きさに基づいて, 学習者の非言語動作を検出していたのに対して, 本報告では, OpenPose⁽⁸⁾により学習者の骨格や部位の座標を検出する。ここでは, 検出された学習者の骨格や部位に基づいた特徴量を採用し, 学習者の非言語動作に対するモデリング手法を提案する。また, 構築されたモデルに基づいて, 学習者が相互に及ぼす影響を抽出する。最後に, ある事例に対する分析結果について述べる。

2. 学習者の非言語動作の検出

本報告では, 図1に示すように, ホワイトボードと机を用いた協同学習環境を対象とする。ただし, ホワイトボードを用いる場合 (Case-1) およびホワイトボードを用いない場合 (Case-2) に分けて検討する。Case-1では, “教える” 学習者がホワイトボードの前に立ち, 説明を行ったり, ホワイトボードに書き込むような動作を行う。同時に, 机の周りに座っている“教わる” 学習者は, ホワイトボードの前に立っている学習者の話を聞いたり, ノートを取るなどの動作を行う。このケースでは, “教える立場” が明確である。一方, Case-2では, 全ての学習者は, 机の周りに座っており, 学習者の“教える立場” および “教わる立場” が曖昧である。



(a) Case-1

(b) Case-2

図 1: 対象とする協同学習における“教える/教わる”学習者の非言語動作

2.1 OpenPose⁽⁸⁾による非言語動作の検出

対象とする学習環境において、学習者には、複数の動作 (i) ホワイトボードへの書き込み、(ii) 学習者への説明 (教える)、(iii) 説明を聞く (教わる)、(iv) ノートを取る) が生じる。ここでは、OpenPose⁽⁸⁾¹を用いて、複数の部位 (i) Body: “Neck”, “Shoulder”, “Elbow”, “Wrist”, ..., (ii) Face: “Nose”, “Eye”, “Mouth”, ..., (iii) Hand: “Finger”, “Palm”, ...) を検出する。

2.2 ホワイトボードを用いる場合における学習者の非言語動作の検出

このケースでは、ホワイトボードの前に立つ“教える”学習者には、(i) ホワイトボードに説明内容を書き込む、(ii) “教わる”学習者に説明動作が生じる。同時に、テーブルの周りに座っている“教わる”学習者には、(i) 説明を聞く、(ii) ノートを取る動作が生じる。

したがって、これらの動作を検出するために、OpenPoseにより検出される“Neck”, “Eye”および“Finger” f を用いる。ここでは、“教える”学習者の動作を検出するための部位の座標 $\mathbf{p}^{WB}(t)$ を以下のように定義する。

$$\mathbf{p}^{WB}(t) = (x_{Neck}(t), y_{Neck}(t), x_{Eye}^L(t), y_{Eye}^L(t), x_{Eye}^R(t), y_{Eye}^R(t), x_{Hand}^L(t), y_{Hand}^L(t), x_{Hand}^R(t), y_{Hand}^R(t))^T \quad (1)$$

ここで、 $(x_{Neck}(t), y_{Neck}(t))$ は“Neck”の座標値を、 $(x_{Eye}^L(t), y_{Eye}^L(t))$ および $(x_{Eye}^R(t), y_{Eye}^R(t))$ は、“Left Eye”および“Right Eye”の中心位置を表す。また、 $(x_{Hand}^L(t), y_{Hand}^L(t))$ および $(x_{Hand}^R(t), y_{Hand}^R(t))$ は、それぞれ、“Left Hand”および“Right Hand”の中心位置を表す。例えば、“教える”学習者の動作と部位の座標 $\mathbf{p}^{WB}(t)$ との関係は、以下のようにまとめられる。

- ホワイトボードへの書き込み：

$$x_{Neck}(t) \neq 0, x_{Eye}^L(t) = 0, x_{Eye}^R(t) = 0.$$

¹単一のカメラ画像に基づいて、体、手、顔などの部位の座標 (135点) を検出できる。

- 音声のみによる説明動作：

$$\{x_{Eye}^L(t) \neq 0 \text{ and } x_{Eye}^R(t) \neq 0\}, \{x_{Hand}^L(t) \neq 0 \text{ and } x_{Hand}^R(t) \neq 0\}.$$

- ホワイトボードを用いた説明動作：

$$\{x_{Eye}^L(t) \neq 0 \text{ or } x_{Eye}^R(t) \neq 0\}, \{x_{Hand}^L(t) \neq 0 \text{ or } x_{Hand}^R(t) \neq 0\}.$$

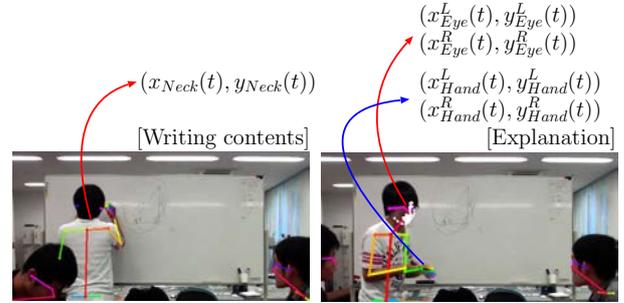


図 2: “教える”学習者の非言語動作と部位の座標 (ホワイトボードを用いる場合)

2.3 ホワイトボードを用いない場合における学習者の非言語動作の検出

このケースでは、学習者が、テーブルの周りに着席していることから、各学習者は、交互に“教える”および“教わる”役割を担う。したがって、学習者には、(i) ノートを取る、(ii) ホワイトボードを見る、(iii) 説明する/聞く動作が生じる。

したがって、これらの動作を判別するために、OpenPoseにより検出された部位 (“Neck”, “Eye”, “Finger”) の座標を用いる。前節と同様に、“教える/教わる”学習者の動作を判別するための部位の座標 $\mathbf{p}^{Table}(t)$ を以下のように定義する。

$$\mathbf{p}_i^{Table}(t) = (x_{Neck,i}(t), y_{Neck,i}(t), x_{Eye,i}^L(t), y_{Eye,i}^L(t), x_{Eye,i}^R(t), y_{Eye,i}^R(t), x_{Hand,i}^L(t), y_{Hand,i}^L(t), x_{Hand,i}^R(t), y_{Hand,i}^R(t))^T, \quad (2)$$

ここで、 i は学習者番号を表す。例えば、“教える/教わる”学習者の動作と部位の座標 $\mathbf{p}^{Table}(t)$ との関係は、以下のようにまとめられる。

- ノートを取る：

$$\{x_{Neck,i}(t) \neq 0, x_{Eye,i}^L(t) = x_{Eye,i}^R(t) = 0\}, \{x_{Hand,i}^L(t) \neq 0 \text{ or } x_{Hand,i}^R(t) \neq 0\},$$

- ホワイトボードを見る :

$$x_{Neck,i}(t) \neq 0, \{x_{Eye,i}^L(t) \neq 0 \text{ or } x_{Eye,i}^R(t) \neq 0\}, \\ |y_{Eye,i}^R(t) - y_{Eye,i}^L(t)| > 0,$$

- 説明する/説明を聞く :

$$x_{Neck,i}(t) \neq 0, \{x_{Eye,i}^L(t) \neq 0 \text{ or } x_{Eye,i}^R(t) \neq 0\}, \\ |y_{Eye,i}^R(t) - y_{Eye,i}^L(t)| > 0.$$

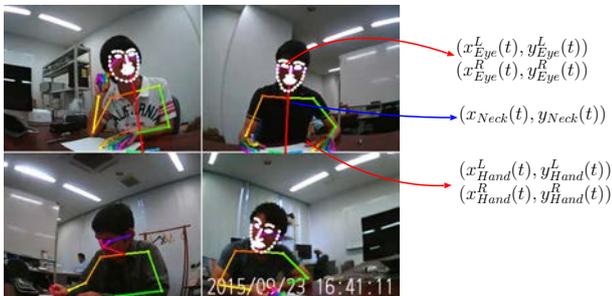


図 3: 学習者の動作と部位の座標 (ホワイトボードを用いない場合)

3. 学習者の非言語動作のモデリング

3.1 ニューラルネットワークに基づいた学習者の非言語動作のモデリング

協同学習において、当該の内容に対する学習者の“理解度”，“興味” および “教える” 学習者の説明内容が、学習者の動作に影響を及ぼすことが考えられる。したがって、協同学習における学習者間の“協調性”を正確に把握するためには、学習者の動作の関係を定量的に表現する必要がある。本節では、学習者の動作における相互作用のモデリングについて検討する。

まず、ホワイトボードに立つ学習者の部位の座標値 $p^{WB}(t) = (p_m^{WB}(t))$ およびテーブルの周りに着席する学習者の部位の座標値 $p_i^{Table}(t) = (p_{m,i}^{Table}(t))$ を、以下のような特徴量 $x_m(t) = \{x_{m,i}(t)\} = \{x_m^{WB}(t), x_{m,1}^{Table}(t), \dots, x_{m,P}^{Table}(t)\}$ に変換する。

$$x_m^{WB}(t) = \begin{cases} 1 & p_m^{WB}(t) \neq 0, \\ 0 & \text{Otherwise.} \end{cases}$$

$$x_{m,i}^{Table}(t) = \begin{cases} 1 & p_{m,i}^{Table}(t) \neq 0, \\ 0 & \text{Otherwise.} \end{cases}$$

ここで、 $m(=1, 2, \dots, M)$ は、イベント (ある部位の座標値が検出されているか否かを表す) 番号を表す。また、 $i(=1, 2, \dots, P)$ が学習者番号を表す。

つぎに、“教える/教わる” 学習者の動作が、時間遅れを伴って相互に影響を及ぼすことから、“教える/教わる” 学習者の動作 $x_m(t) = \{x_{m,i}(t)\}$ を、次式のよう

な時系列モデルによってモデル化を行う。このモデルでは、第 i 番目の学習者動作における m 番目の特徴量を、当該の学習者も含めた全ての学習者の過去の統計量 $x_{n,k}(t-\ell)$ から予測することを目的としている。

$$x_{m,i}(t) = f \left(\sum_{j=1}^J \alpha_{m,i,j} h_{m,j}(t-\ell) \right) + e(t), \quad (3)$$

ただし、

$$h_{m,j}(t-\ell) = f \left(\sum_{n=1}^N \sum_{k=0}^P \sum_{\ell=1}^L w_{n,j,k,\ell} x_{n,k}(t-\ell) \right). \quad (4)$$

ここで、 i および k は、学習者番号 ($i=0$: ホワイトボードの前に立つ学習者, $i=1, \dots, P$: テーブルの周りに着席している学習者) を表す。また、 $e(t)$ はガウス性雑音を表し、 $\alpha_{m,i,j}$ は、 i 番目の学習者の動作が j 番目の学習者の動作から受ける影響を表す。さらに、 $w_{n,j,k,\ell}$ は、学習者の動作における時間的な相関を表し、 $f(\cdot)$ はシグモイド関数 $f(x) = \tanh x$ である。

さらに、(3) 式で定義した時系列モデルは、図 4 に示すニューラルネットワーク (9) により表現できる。また、ニューラルネットワークの内部表現を明確にするために、構造化学習法 (10) により、以下の誤差関数 E_F を最小化する。

$$E_F = E + \varepsilon \left(\sum_{m,i,j} |\alpha_{m,i,j}| + \sum_{m,j,k,\ell} |w_{m,j,k,\ell}| \right), \quad (5)$$

ただし、

$$E = \sum_{t=1}^T E_t = \sum_{t=1}^T \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^P (x_{m,i}(t) - \hat{x}_{m,i}(t))^2, \quad (6)$$

ここで、 T はモデリング区間の長さを表し、 $\hat{x}_{m,i}(t)$ は特徴量 $x_{m,i}(t)$ に対する予測値を表す。

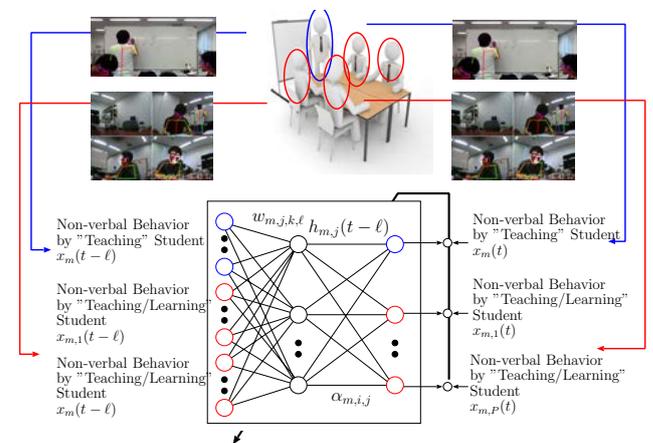


図 4: (3) 式に対するニューラルネットワークモデル

3.2 学習者間の相互作用の評価

(3) 式により, 学習者間の相互作用を表現した. ここで, (3) 式は, 第 i 番目の学習者における第 m 番目の特徴量 $x_{m,i}(t)$ と, 第 k 番目の学習者における第 n 番目の特徴量 $x_{n,k}(t-\ell)$ の関係を表している. また, 荷重係数値 $\{\alpha_{m,i,j}\}$ および $\{w_{m,j,k,\ell}\}$ は, 上述の関係を表現するために重要な役割を果たしている. 本報告では, 特徴量 $x_{m,i}(t)$ に特徴量 $x_{n,k}(t-\ell)$ が及ぼす影響を次で定義される微係数によって評価する.

$$\frac{\partial x_{m,k}(t)}{\partial x_{m,i}(t-\ell)} = x'_k(t) \sum_{j=1}^J \sum_{\ell=1}^L \alpha_{m,i,j} w_{m,j,k,\ell} h'_{m,j}(t-\ell), \quad (7)$$

ここで, 誤差関数 E が十分に小さい場合は, $x'_k(t) \approx 0$ とみなせることから, $x'_k(t)$ は考察の対象外とする.

以下では, (7) 式で定義された微係数 $\frac{\partial x_{m,k}(t)}{\partial x_{m,i}(t-\ell)}$ により, “教える/教わる” 学習者間の相互作用を評価する. ここでは, 2つの指標 $\Delta_{k,i}$ および Δ_m を導入する.

3.2.1 学習者間の相互作用

まず, (8) 式で定義される指標 $\Delta_{k,i}$ を導入する. ここで, 指標 $\Delta_{k,i}$ は, 図 4 に示した階層型ニューラルネットワークにおける入力層ユニットの入力値 $x_i(t)$ (i 番目の学習者の動作に対する特徴量) に対する出力層ユニットの出力値 $x_k(t)$ (k 番目の学習者の動作に対する特徴量) の変化率を表している.

$$\Delta_{k,i} = \frac{1}{TJLM} \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J \sum_{\ell=1}^L \left(\frac{\partial x_{m,k}(t)}{\partial x_{m,i}(t-\ell)} \right)^2, \quad (8)$$

3.2.2 モデリングにおける部位の影響

つぎに, (9) 式で定義される指標 Δ_m を導入する. ここで, 指標 Δ_m は, m 番目の部位に対する特徴量が, (3) 式で定義したモデルに対する影響を表している.

$$\Delta_m = \frac{1}{TJLP^2} \sum_{k=1}^P \sum_{i=1}^P \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J \sum_{\ell=1}^L \left(\frac{\partial x_{m,k}(t)}{\partial x_{m,i}(t-\ell)} \right)^2, \quad (9)$$

4. 実験結果

下記の要領で実施したビデオ講義を対象とした.

- 内容: 「正弦定理」, 「余弦定理」の証明 (各 10 分間),
- 講義方法: 板書を基に説明,
- 講師: 大学教員.

また, 学習者は理工系学部学生 4 名である. なお, ホワイトボードの前に立つ学習者の動作は, MacBook Air (Apple Co. Ltd., 1280 × 720 [pixel], 30 [fps]) により録画し, 着席しているに学習者の動作は, Meeting Recorder (Kingjim Co. Ltd., 640 × 480 [pixel], 30 [fps]) により録画した.

さらに, 実験手順は以下の通りである.

1. 事前テスト [10 分間]: 「正弦定理」, 「余弦定理」.
2. ビデオ講義 [10 分間]: 事前テストに対する説明.
3. 協同学習 [10 分間]: ホワイトボードの利用.
4. 事後テスト [10 分間]: 事前テストの類似問題.

4.1 学習者の理解度の評価

表 1 に, 事前/事後テスト (Test), ノート内容 (Note) の評価結果を示す. ここでは, 1 (best), 2, 3, 4 (worst) の 4 段階により評価した (評価者: 2 名).

4.1.1 講義-1

学習者-A (「教える」ことに積極的) および学習者-B の事後テストの評価が高く, 学習者-C の事後テストの評価が低い. また, 学習者-B はノート内容の評価に関わらず, 事後テストの評価が改善されている. 一方, 学習者-D の事後テストの評価が改善されていない.

4.1.2 講義-2

概ね, 講義-1 と同様な評価が得られている. 学習者-A (「教える」ことに積極的) および学習者-B の事後テストの評価が高く, 学習者-C (「教える」ことに積極的) の事後テストの評価が低い. 学習者-B は, 事後テストの評価が大幅に改善されている. 一方, 学習者-D の事後テストの評価が改善されていない.

表 1: 学習者の事前/事後テストおよびノート内容の評価

Student	Lecture-1		Lecture-2	
	Test (Before/After)	Note	Test (Before/After)	Note
A	1.33/1.33	1.67	2.00/1.67	1.33
B	3.67/1.00	2.67	4.00/1.00	1.67
C	3.67/2.00	3.00	3.33/2.67	1.33
D	3.33/3.33	2.33	1.67/4.00	2.33
Ave.	3.00/1.92	2.42	2.75/2.34	1.67

4.2 学習者の動作に対する特徴量

図5 (a)に、講義-1における学習者(ホワイトボードの前に立つ)の動作および部位の座標値 $p_i^{Table}(t)$ に対する特徴量 $x_m(t)$ を示す. 一方, 図5 (b)に、講義-1における学習者-B(テーブルの周りに着席する)の動作および部位の座標値に対する特徴量を示す. 本図より, 部位の座標値 ($x_{Eye}^{L/R}(t)$ など) に対する特徴量が, 学習者の各動作の変動に対応していることが示されている.

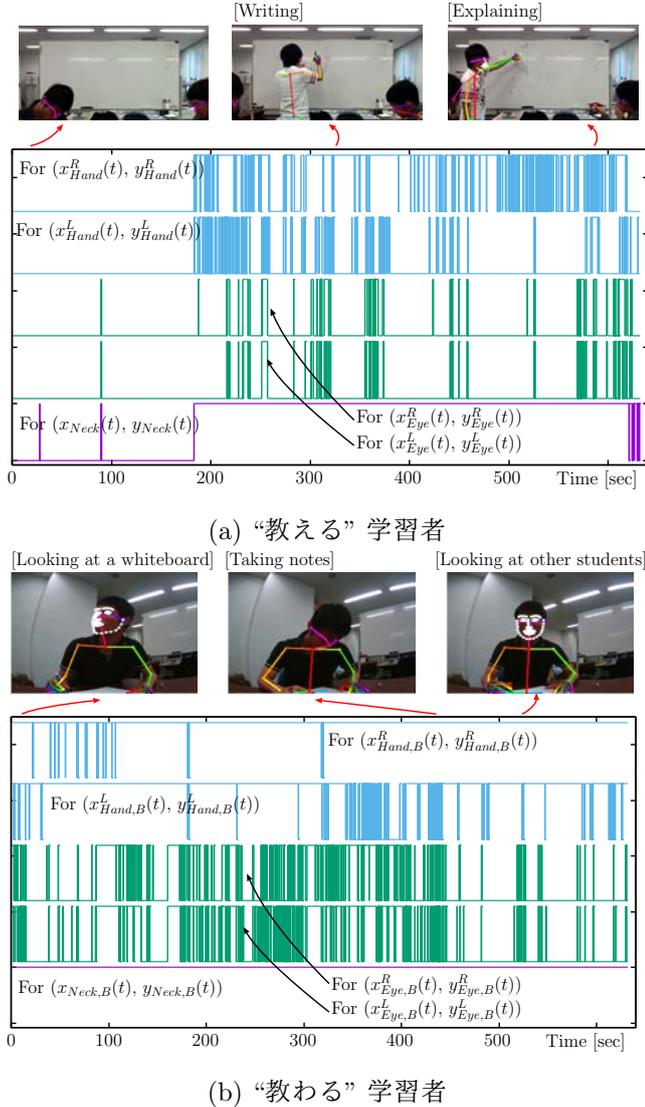


図5: “教える/教わる” 学習者の動作と特徴量 (講義-1)

図5 (a)において, 学習者-Aがホワイトボードの前に移動していることがわかる (180 [sec]). 座標値に関して, $x_{Eye}^{L/R}(t) = 0, x_{Hand}^{L/R}(t) \neq 0$ が成立する場合, “教える” 学習者がホワイトボードに説明内容を書き込んでいるものと判別できる. また, 座標値に関して, $x_{Eye}^{L/R}(t) = 0, x_{Hand}^{L/R}(t) \neq 0$ が成立する場合, “教える” 学習者が “教わる” 学習者に説明していると判別できる.

同様に, 図5 (b)において, 学習者-B (“教わる” 学習者) の動作が変化していることがわかる. 座標値に

関して, $x_{Neck,B}(t) \neq 0$ が成立する場合, 学習者-Bがテーブルの周りに着席していると判別できる. また, $x_{Eye,B}^{L/R}(t) \neq 0$ が成立する場合, 学習者-Bが他の学習者を見ており, $x_{Eye,B}^{L/R}(t) = 0, x_{Hand,B}^{L/R}(t) \neq 0$ が成立する場合, 学習者-Bがノートを取っていると判別できる.

4.3 学習者の非言語動作に対するモデリング結果

時系列モデル ((3) 式) により学者間の相互作用のモデリングを行なった. また, (3) 式を, 図4に示した階層型ニューラルネットワークに表現した. なお, ここで利用した階層型ニューラルネットワークの構造は以下の通りである. (i) 学習者数: $P = 4$, (ii) モデリング区間の長さ: $L = 10$ [sec], (iii) 対象とした体の部位数: $M = 5$ (首, 左右の目, 左右の手), (iv) 入力層ユニット数, 中間層ユニット数, 出力層ユニット数: $L \times M \times (P + 1)$, $J = 10$ and $M \times (P + 1)$.

4.3.1 学習者間の相互作用を評価するための指標

表2に, 学習者間の相互作用を評価するための指標である $\Delta_{k,i}$ を示す. ここで, “0” はホワイトボードの前に立つ学習者を, “A”, “B”, “C”, “D” はテーブルの周りに着席する学習者を表す. 講義-1において, 学習者-0の動作が学習者-Bの動作の影響を受けている ($\Delta_{k,i} = 3.590$) ことが示されている. さらに, 学習者-Dは自身の影響を受けていることが示されている. 一方, 講義-2では, 全ての学習者が, 学習者-Bおよび学習者-Dの影響を, 強く受けていることが示されている.

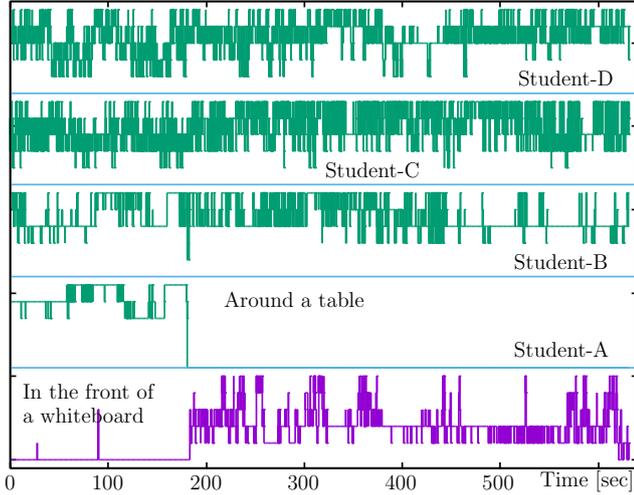
表2: $\Delta_{k,i}$: i 番目の学習者と k 番目の学習者間の相互作用

(a) Lecture-1					
k/i	0	A	B	C	D
0	2.017	2.076	3.590	1.451	2.883
A	2.349	1.841	1.916	1.513	1.331
B	0.000	1.125	0.801	3.944	0.104
C	0.000	3.943	8.144	13.850	0.560
D	0.000	3.427	4.256	7.664	84.053

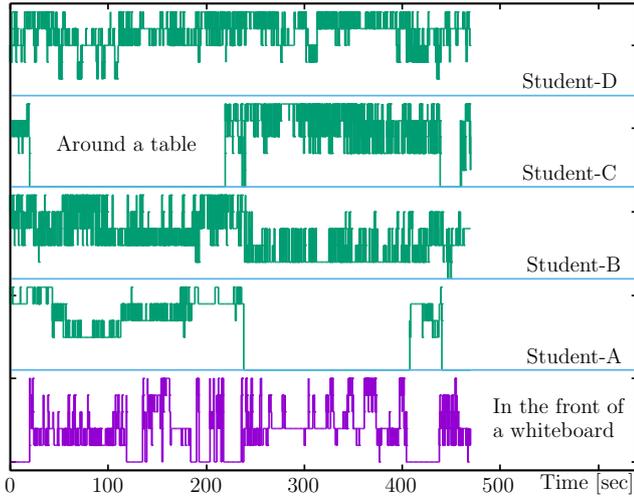
(b) Lecture-2					
k/i	0	A	B	C	D
0	2.629	1.128	2.240	3.908	3.763
A	2.888	0.012	0.010	4.445	1.412
B	0.000	1.181	3.209	1.023	2.830
C	1.400	2.493	3.528	0.675	2.260
D	0.000	2.381	7.937	4.009	3.332

4.3.2 特徴量の総和

図 6 に、3.1 節で定義した特徴量 $x_m(t)$ の総和 $\sum_m x_{m,i}(t)$ を示す。ここで、 m は部位の番号を、 i は学習者の番号を表す。また、特徴量の総和が大きい場合、「第 i 番目の学習者の多くの部位が検出されている」ことや「第 i 番目の学習者が他の学習者を見ている」ことが示されている。



(a) Lecture-1



(b) Lecture-2

図 6: $\sum_m x_{m,i}(t)$: テーブルの周囲に座っている学習者およびホワイトボードの前に立っている学習者の動作に対する特徴量の総和

図 6 (a) において、180 [sec] に、学習者-A がホワイトボードの前に立ったことから、特徴量の総和が変動していることが示されている。さらに、学習者-C および学習者-D の特徴量の総和が、学習者-A および学習者-B と比較して、増加している。一方、表 2 (a) において、学習者-C および学習者-D に対する指標 $\Delta_{k,i}$ が大きな値 (13.850, 84.053) を呈している。したがって、特徴量

の総和 $\sum_m x_{m,i}(t)$ と指標 $\Delta_{k,i}$ の間に関連があることが示されている。

同様に、図 6 (b) において、(i) [240-405] および [450-470] の区間において、学習者-A が“教える”学習者となり、(ii) [20-238] および [430-450] の区間において、学習者-C が“教える”学習者となっていることが示されている。また、240 [sec] において、学習者-B の特徴量の総和が変動しており、他の学習者 (C および D) と異なった影響を受けていることが示されている。

4.3.3 モデリングにおける部位の影響

表 3 に、(3) 式で定義したモデルにおける部位の影響を評価する指標 Δ_m を示す。手 (“R-Hand” および “L-Hand”) の影響が強いことが示されているものの、有意な差異は見られない。

表 3: Δ_m : モデリングにおける部位の影響

(a) Lecture-1					
m	Neck	L-Eye	R-Eye	L-Hand	R-Hand
	0.114	5.810	5.452	5.052	6.062
(b) Lecture-2					
m	Neck	L-Eye	R-Eye	L-Hand	R-Hand
	0.570	1.906	1.636	2.430	2.323

5. むすび

本報告では、ホワイトボードとテーブルを利用した協同学習環境を対象として、学習者の動作をモデリングするための手法を提案した。まず、OpenPose⁽⁸⁾ により学習者の骨格や部位の座標を検出し、検出された部位の座標値に基づいた特徴量を採用した。つぎに、特徴量間の関係 (学習者間の相互作用) に対するモデリング手法を提案した。さらに、モデルにおける入出力関係に基づいて学習者間の関係を評価するための指標 $\Delta_{k,i}$ および Δ_m を導入した。最後に、ある事例に対する分析結果より、指標 $\Delta_{k,i}$ が学習者の動作のモデリングに際して、強い影響を与えることを示した。

今後の課題として、(i) 視線移動の検出と利用、(ii) 学習者の説明内容の利用、(iii) 第三者による協同学習の過程の評価などが挙げられる。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 19K12261, 19K03095 の助成を受けたものです。

参考文献

- (1) ジョンソン, D. W. 他 (著), 石田裕久 他 (翻訳): “学習の輪”, 二瓶社 (2010)
- (2) 杉江修治: “協同学習入門 ー基本の理解と 51 の工夫”, ナカニシヤ出版 (2011)
- (3) Martinez-Maldonado, R., Yacef, K., Kay, J.: “TSCL: A Conceptual Model to Inform Understanding of Collaborative Learning Processes at Interactive Tabletops”, *International Journal of Human-Computer Studies*, **83**, 62-82 (2015)
- (4) Otsuka, K., Araki, S., Ishizuka, K., Fujimoto, M., Heinrich, M., Yamato, J.: “A Realtime multimodal system for analyzing group meetings by combining face pose tracking and speaker diarization”, *Proceedings of International Conference on Multimodal Interfaces*. 257-264 (2008)
- (5) 新西誠人, 糟谷勇児, 稲本浩久: “わいわいメーター : 場の活性度計測による会議の評価システムの試作”, *電子情報通信学会技術研究報告*, Vol. 114, No. 273, pp. 19-24 (2014)
- (6) 渡邊栄治, 尾関孝史, 小濱 剛: “ブレインストーミングにおける参加者の動作の分析”, *映像情報メディア学会技術研究報告*, AIT2015-100, pp. 9-12, 2015.
- (7) 渡邊 栄治, 尾関 孝史, 小濱 剛: “ビデオ講義を対象とした学習者のノーティング動作の分析 (第 2 報)”, *電子情報通信学会技術研究報告*, Vol. 117, No. 29, pp. 37-42 (2017)
- (8) Cao, Z., Simon, S., Wei, S., Sheikh, Y.: “Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields”, <https://arxiv.org/abs/1611.08050> (Last accessed 12 Dec 2018)
- (9) Rumelhart, D. E., McClelland, J. L., and the PDP Research Group: “Parallel Distributed Processing”, MIT Press (1986)
- (10) Ishikawa, M.: “Structural learning with forgetting”, *Neural Networks* **9**(3), pp. 509-521 (1996)
- (11) Watanabe, E., Ozeki, T., Kohama, T.: “Analysis of non-verbal behaviors by students in cooperative learning”, *Proceedings of 8th International Conference on Collaboration Technologies*, 9 pages (2016)

数学 e ラーニングシステム STACK を用いた

計算問題の誤答分析

中村泰之^{*1}, 樋口三郎^{*2}, 吉富賢太郎^{*3}, 宮崎佳典^{*4}, 市川裕子^{*5}, 中原敬広^{*6}

*1 名古屋大学, *2 龍谷大学, *3 大阪府立大学, *4 静岡大学, *5 東京高専, *6 合同会社三玄舎,

Analyzing Incorrect Answers of Culculus Using Mathematics e-Learning system STACK

Y. Nakamura^{*1}, S. Higuchi^{*2}, K. Yoshitomi^{*3}, Y. Miyazaki^{*4}, Y. Ichikawa^{*5}, T. Nakahara^{*6}

*1 Nagoya U., *2 Ryukoku U., *3 Osaka Pref. U., *4 Shizuoka U., *5 NIT Tokyo C.,
*6 Sangensha LLC.

In this paper, we analyze mathematical online quiz data stored in mathematics e-Learning system STACK. We specifically focused on investigating various types of differentiation of composite functions. In order to classify incorrect answers, automatic classification was carried out with the use of the Potential Response Tree that was embedded in STACK. It was shown how the levels of students' understandings are identified by classifying incorrect answers. It was also revealed that, for a differentiation of $f(g(x))$ of its correct answer $f'(g(x))g'(x)$, with different $f(x)$'s and $g(x)$'s on the whole. The result itself will match the instinct of experienced teachers who have tacit knowledges, which is helpful for novice teachers on the site to guide students.

キーワード: 誤答分析, 合成関数の微分, STACK

1. はじめに

学習管理システム (Learning Management System, LMS) の利用が普及し, 重要な機能の一つとしてオンラインテストが提供されている。即時採点・フィードバックが可能であり, 学習内容の理解度の確認, またドリル的な利用により学習内容の定着を目的として活用されている。従来は正誤判定式, 多肢選択式, 短答式などが主な問題形式であったが, 近年では理数系科目での利用を目的として, 解答として入力された数式の自動採点を可能にするオンラインテストシステム (数学 e ラーニングシステム) の利用が広がりつつある。国内外で利用されているシステムとしては, STACK^(1, 2), MATH ON WEB⁽³⁾, Möbius Assessment⁽⁴⁾, WeBWorK⁽⁵⁾, Numbas⁽⁶⁾などが挙げられる。

従来の問題形式は, 候補となる選択肢の中から正答

を選ぶことにより解答する形式であったが, 数式入力形式の場合は, 入力される数式は一意でない。例えば, $\frac{d}{dx}(2x+1)^3$ という微分の計算問題の場合, 正答は $6(2x+1)^2$ であるが, 展開された $24x^2+24x+6$ も代数的に等価であるという意味では正答ではある。しかし, 後者の場合, 解答者は合成関数の微分について忘れていたかもしれないし, $3(2x+1)^2$ という解答が提示された場合には, 合成関数の微分について十分に理解できていないことも推測される。したがって, 数式解答形式のオンラインテストでは, 解答の正誤評価だけでなく, 誤答から学生の理解度を推測することが重要になってくる。計算問題において誤答を分類することにより, 学生の理解度を推定すること, また, どのような誤答をたどって正答に至ったかという解答過程から, 学生の理解の定着過程を知ることを見据えて, 本研究では, いくつかの計算問題例に対して, 数学 e ラーニングシステム STACK を活用した誤答分類の

方法について報告する。すでに予備的な研究により、誤答の傾向については把握することができたが⁽⁷⁾、今回は効率的な誤答分類方法の確立を目指して、STACK のポテンシャル・レスポンス・ツリー(PRT)の活用について検討を行う。

2. STACK の概要

2.1 解答の正誤評価

図 1 に、STACK で $\sin^4 x$ を微分する問題とその解答に対する評価の様子が例示されている。解答は STACK が採用している数式処理システム Maxima の書式により入力するが、まず視覚的に認識されやすい表記で確認が行われ、その後に正誤評価がなされる。また、単に正解か不正解かだけでなく、最後の例のように部分点をつけることも可能である。部分点については、問題を設計する際、解答の形式に応じてどのような配点、フィードバックを与えるかを定めることができ、これはポテンシャル・レスポンス・ツリーという機構で実現されている。

問題の整頓 | 問題のテストとデプロイ

次の微分を計算せよ。

$$\frac{d}{dx} \sin^4 x = 4*\cos(x)^3$$

あなたの入力した数式は次のとおりです:

$$4 \cdot \cos^3 x$$

あなたの解答の中で使われている変数は[x] です

チェック

✖ 残念、不正解です。
この送信の評点: 0.00/1.00

問題の整頓 | 問題のテストとデプロイ

次の微分を計算せよ。

$$\frac{d}{dx} \sin^4 x = 4*\sin(x)^3$$

あなたの入力した数式は次のとおりです:

$$4 \cdot \sin^3 x$$

あなたの解答の中で使われている変数は[x] です

チェック

🕒 部分的に正解です。
あなたは、三角関数の微分については理解しているようです。ただし、合成関数の微分のチェンルールを思い出してください。
この送信の評点: 0.10/1.00

図 1 STACK による解答の評価

2.2 ポテンシャル・レスポンス・ツリー

STACK では、前節で見た解答の評価はポテンシャル・レスポンス・ツリー(PRT)で処理される。具体的な例としては次のとおりである。なお、次の箇条書きの番号は図内のノード (青丸) 番号に対応する。

- このノード解答と正答 $4 \sin^3 x \cos x$ とが代数的に等価である (真) か等価でない (偽) かどうかを評価する。具体的には、「解答-正答」がゼロであるかどうかを、数式処理によって評価を行う。もし真であれば緑の分岐により、正答として評価を終了し、偽の場合はノード 2 に移る
- 解答が $\cos^4 x$ であるかどうかを判定する。もし真の場合は「あなたは、三角関数の微分については理解しているようです。ただし、 x^n の微分について思い出してください。」というフィードバックを表示し、部分点として 0.1 点を与える。偽の場合ノード 3 に移る。
- 解答が $4 \sin^3 x$ であるかどうかを判定する。もし真の場合は「あなたは、三角関数の微分につ

問題の整頓 | 問題のテストとデプロイ

次の微分を計算せよ。

$$\frac{d}{dx} \sin^4 x =$$

チェック

問題の整頓 | 問題のテストとデプロイ

次の微分を計算せよ。

$$\frac{d}{dx} \sin^4 x = 4*\sin(x)^3*\cos(x)$$

あなたの入力した数式は次のとおりです:

$$4 \cdot \sin^3 x \cdot \cos(x)$$

あなたの解答の中で使われている変数は[x] です

チェック

問題の整頓 | 問題のテストとデプロイ

次の微分を計算せよ。

$$\frac{d}{dx} \sin^4 x = 4*\sin(x)^3*\cos(x)$$

あなたの入力した数式は次のとおりです:

$$4 \cdot \sin^3 x \cdot \cos(x)$$

あなたの解答の中で使われている変数は[x] です

チェック

✔ よくできました。正解です!
この送信の評点: 1.00/1.00

いては理解しているようです。ただし、合成関数の微分のチェインルールを思い出してください。」というフィードバックを表示し、部分点として 0.1 点を与える。偽の場合は最終的に 0 点として終了する。

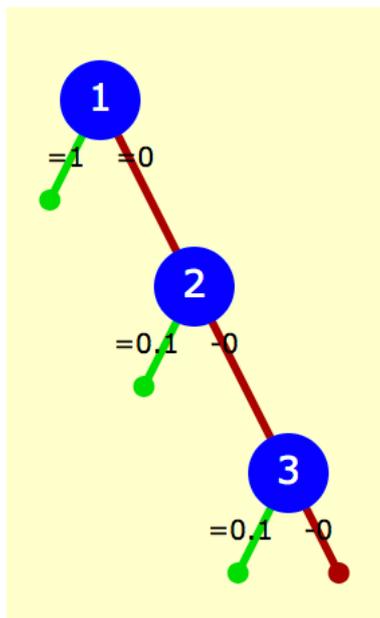


図 2 ポテンシャル・レスポンス・ツリー概念図

このように、PRT により部分点まで含めた解答の柔軟な評価が可能であり、解答に応じて適切なフィードバックを返すことにより、学生に気づきを与え、自習ドリルシステムとしての利用も期待される

2.3 誤答分類のための PRT の必要性

PRT は元々解答の柔軟な評価を可能にするために考案されたものだが、学生の解答が誤答であった場合、どのような誤答であったかを把握し、どこで躓きやすいかといった誤答の傾向を調べることに応用できる。また、何度か解き直して正答に至った場合、どのような誤答を経て正答に至ったかを検証することで、学生の思考過程を調べることもつながると期待される。

我々の予備的な研究では、 $f(g(x))$ の形の合成関数の微分の問題の誤答分析を行った。取り上げた問題ではシンプルな PRT が適用されており、その PRT では分類しきれない誤答の種類については、一つ一つの誤答を目視により分類を行わざるを得なかった。 $f(x) = x^l$, $g(x) = ax^n + bx^m + c$ の形式の誤答分類の結果は

表 1 のとおりである。誤答のうち、予想通り「分類 2」のタイプが多いが、予想しなかった「分類 5」も多く見られ、様々な誤答タイプを想定して、系統的に分類を行う必要があることが、予備調査から明らかになった。その系統的分類のために、本研究では、詳細な PRT の設計を行った。

表 1 $f(x) = x^l$, $g(x) = ax^n + bx^m + c$ の誤答分類例

分類	誤答タイプ	頻度
1	(正答)	32
2	$f'(g(x))$	15
3	$f'(g'(x))$	8
4	$f'(g'(x))$ ただし $f'(x) = x^{n-1}$ の適用	4
5	$f'(g'(x))g(x)$	7
6	$f'(g(x))g(x)$	2

3. 誤答分類のための PRT の設計

学生の様々な解答の分類のために、STACK が採用している Maxima の関数を駆使して、PRT を設計する。

4. おわりに

数学 e ラーニングシステムで出題された計算問題において誤答を分類することにより、学生の理解度を推定すること、また、どのような誤答をたどって正答に至ったかという解答過程から、学生の理解の定着過程を知ることを見据えて、本研究では、いくつかの計算問題例に対して、数学 e ラーニングシステム STACK を活用した誤答分類の方法について報告した。具体的には、元々解答の評価とフィードバックの提示のために考案されたポテンシャル・レスポンス・ツリーにおいて、Maxima の関数を駆使することで、誤答の分類を自動化することができ、系統的な誤答分類が可能になることを確認した。また、STACK に用意されている「STACK 解答解析」の機能を活用することにより、統計的な処理を行うことができた。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 18H01069 の助成を受けたものです。

参 考 文 献

- (1) Sangwin, C.: “Computer Aided Assessment of Mathematics”, Oxford University Press (2013)
- (2) STACK | The University of Edinburgh,
<https://www.ed.ac.uk/mathes/stack/> (2019年6月13日
確認)
- (3) Kawazoe, M. and Yoshitomi, K.: “E-learning / e-assessment systems based on webMathematica for university mathematics education”, MSOR Connections, 15, pp. 17-24 (2017)
- (4) Möbius Assessment – Online Assessment System for STEM Courses | DigitalED,
<https://www.digitaled.com/products/assessment/>
(2019年6月13日確認)
- (5) Welcome to WeBWork, <http://webwork.maa.org/> (2019
年6月13日確認)
- (6) Really versatile maths e-assessment | Numbas,
<https://www.numbas.org.uk/> (2019年6月13日確認)
- (7) Nakamura, Y., Ichikawa, Y., Miyazaki, Y. Yoshitomi, K., Higuchi, S. and Nakahara, T.: “An attempt to analyze mathematical question-solving processes using STACK”, Proc. SITE International Conference, AACE (2019)

フルオンデマンド型全学数学基盤教育における ルーブリックの活用

高木悟^{*1}, 林康弘^{*2}, 二上武生^{*3}

^{*1} 早稲田大学 グローバルエデュケーションセンター

^{*2} 武蔵野大学 データサイエンス学部 データサイエンス学科

^{*3} 工学院大学 教育推進機構 国際キャリア科

Utilization of Rubrics in Full On-Demand Style University-Wide Mathematics Literacy Education

Satoru TAKAGI^{*1}, Yasuhiro HAYASHI^{*2}, Takeo NIKAMI^{*3}

^{*1} Global Education Center, Waseda University

^{*2} Department of Data Science, Faculty of Data Science, Musashino University

^{*3} Division of Global and Carrier Education, Center for Promotion of Higher Education,
Kogakuin University

Rubrics are useful tools for evaluation of students' skills which are difficult to grade by examinations. On the other hand, rubrics are also useful for checking students' skills at that time by themselves. Authors have conducted improvement of rubrics for university students major in science and engineering. In this paper, we show a revised rubric and report the activity of this rubric applying to the students in the class of full on-demand style mathematics literacy at Waseda University.

キーワード: ルーブリック, 評価, フルオンデマンド型授業, 数学教育, 全学基盤教育

1. はじめに

著者らは、学生自身による現時点での自己評価と学習意欲継続を主な目的とし、さらに学生自身によるレベル分けをよりしやすくした第二著者提案のフローチャート形式の改良版ルーブリックを考案した。

この改良版ルーブリックによる評価を、対面型の数学科目において実施しているが、今回は早稲田大学の全学数学基盤教育として担当しているフルオンデマンド型授業（講義だけでなく問題演習や試験も LMS で実施する形式の授業）において実施した。これは、対面型授業との違いを把握することに加え、履修登録者が 1,000 名を超えるデータの取得を可能とするため、今後の研究を進めていく上で、非常に有用な実施結果

になると期待される。本稿では、このフルオンデマンド型授業における改良版ルーブリックの活用事例について紹介する。

ルーブリックは、従来の試験では評価がしにくい項目（例えば、思考・態度・表現など）の 1 つの評価ツールとして普及している。これは学生にとって受動的なルーブリックの利用に相当する。ダネルら⁽¹⁾によると「ある課題について、できるようになってもらいたい特定の事柄を配置するための道具」であり、「自己評価と自己改善を習慣化するように、学生を奮いたたせることができる」という能動的な側面も持ち合わせている。本取り組みの特徴は、試験によって学習到達度を測ることが容易な数学科目においても、ルーブリック評価の能動的な側面により、学生の主体性を引き出す

効果があるか検証しようとする点にある。なお、著者らによる過去のルーブリックに関する研究と、早稲田大学で実施している全学数学基盤教育の取り組みについては、参考文献の各資料を参照いただきたい。

2. 改良版ルーブリック

改良版ルーブリックとは、第二著者のアイデアによるフローチャート形式のルーブリックを指す。2016年、第三著者の助言により、筆頭著者が担当する微積分クラス用のルーブリックを作成し、実施した(図1)。それを2017年度の本学会全国大会で発表した際^②、座長をしていた第二著者から、フローチャート形式によるルーブリックシートの作成と実施方法について助言いただき、3名の共同研究として今回実施する改良版ルーブリックが完成した(図2)。

は各評価観点において自分で到達度合いを確認しながらレベルを決めるスタイルであった。改良版ルーブリックでは、評価観点ごとにその内容はフローチャートとして表現され、学生はYes/No形式により回答する。評価観点の図式化により内容把握のしやすさと、学生が自身のレベルがすくにわかる点が特徴である。また、評価観点には具体的な問題例も明記して観点の意図を明確にしたり、レベル分けのフローチャートの文言も、「人に教えられる」「例題を見ながらであれば解ける」のように具体的な能力を記すことで回答しやすくしたりしている。レベルについては、以下の4段階としている(表1)。

表1 改良版ルーブリックのレベル

レベル3 (超すごいレベル)	人に教えられる
レベル2 (すごいレベル)	何も見ないで解けるが自信がない
レベル1 (普通レベル)	例題を見ながらであれば解ける
レベル0 (がんばろうレベル)	レベル1にも到達していない

Figure 1 shows a traditional rubric table. It has columns for '能力' (Ability) and '観点' (Viewpoint) and rows for different skill levels. The table is divided into four main sections based on ability levels.

図1 従来のルーブリック

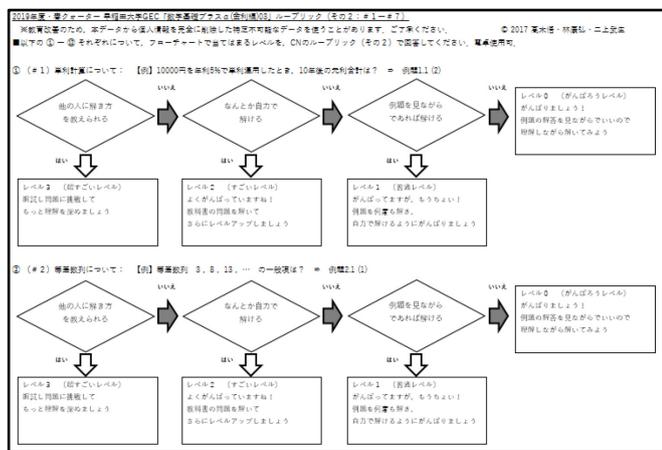


図2 改良版ルーブリック

従来のルーブリックは、縦軸が評価観点、横軸がレベルのマトリック形式になっており、学生(対象者)

3. フルオンデマンド型授業での実施

筆者らは改良版ルーブリックをすでに対面型授業において用いている。今回、筆頭著者が早稲田大学で担当する数学のフルオンデマンド型授業にて実施した。この科目は選択科目で(一部の学部ではある条件のもとに自動登録としている)、全学部全学年が受講できるが、主に文系学部の1年生を対象にした金利計算をしながら数列や指数・対数などの数学を学習する内容となっている。クォーター科目のため授業回数は8回であるが、第8回(以下、#8と表記)は試験のみである。フルオンデマンド型授業のため、受講生はいつでも受講できるスタイルにはなっているが、実際の運用は、ビデオ講義は当該クォーターの間はいつでも視聴可能、各回の小テストのみ1週間ごとに区切った解答期限を設けている。2019年度・春クォーターでは、1,019名が本科目を履修登録した。大まかな授業内容とルーブリックに配置した評価観点は下表のとおりである(表2)。

表 2 今回実施したループリックの評価観点

①	# 1	単利計算
②	# 2	等差数列
③	# 2	等差数列の和
④	# 3	1年複利計算
⑤	# 3	等比数列
⑥	# 3	等比数列の和
⑦	# 4	指数法則・指数の拡張
⑧	# 4	半年(1/2年)複利計算
⑨	# 5	3ヶ月(1/4年)複利計算
⑩	# 6	対数・対数法則
⑪	# 7	漸化式によるローン残高計算
⑫	# 7	漸化式によるローン返済年数計算

今回は、# 4が終わった段階で1回目のループリックとして①～⑧を、# 7が終わった段階(最終試験受験前)で2回目のループリックとして①～⑫を実施した。なお、①～⑧は1回目と2回目で同じ評価観点となっており、その間の3週間でレベルがどのように変化したかを学生自身が認識できるようにしている。

本稿執筆時点で、2回目のループリックが終わったところであり、集計すると以下ようになった(表3)。

表 3 1回目と2回目のレベルの平均値

	1回目 (N=367)	2回目 (N=159)	両方回答者のレベル 変化の人数 (N=118)		
			+	± 0	-
①	2.46	2.47	21	79	18
②	2.54	2.55	18	82	18
③	2.34	2.37	22	76	20
④	2.37	2.43	21	82	15
⑤	2.47	2.52	20	83	15
⑥	2.27	2.35	25	73	20
⑦	2.36	2.43	16	89	13
⑧	2.29	2.37	23	81	14
⑨	--	2.31	--	--	--
⑩	--	2.20	--	--	--
⑪	--	2.08	--	--	--
⑫	--	2.10	--	--	--

どの評価観点においても、比較的高い平均値となっている。これは、対面型とフルオンデマンド型の特性にも依存していると思われる。具体的には、対面型授業でループリックを実施する場合は、教員はその回に出席した学生すべてから回収することが可能であるが、フルオンデマンド型授業の場合は、回答期間を設けていても、コンテンツの取り組み具合によってループリックをやる時間が限られ、結果的によくできる学生のみが回答しているのではないかと思われる。

今回の実施では、自由記述によるコメントも回答任意で書いてもらった。1回目は25件のコメントがあり、それらをだまかに分類すると、以下のようなものである。

- (1) 自分の理解度・レベル・苦手なところを知ることができた
 - レベルが段階として可視化されていること、そのレベルが学生視点でのレベルになっていることによると思われる。
- (2) がんばるモチベーションになる
 - レベルが可視化されていて学生たちが実感しやすいこと、レベルのつけ方の工夫によると思われる。
- (3) 学生たち自身による気づき
 - 結果をもとに学生たちが内省できることによると思われる。
- (4) 今後の改善要望
 - 各評価観点に挙げている例題の答えをつけてほしいというもので、これは答えを明記することで正しいレベルが測定できなくなる可能性があることを、後日フィードバックで伝えた。
- (5) その他

2回目は22件のコメントがあり、

- ・完璧に理解できている
- ・数学に慣れてきてレベルがあがった
- ・前に学習した内容を忘れていたことに気づいた

などと、1回目の結果と比較したコメントも多かった。

現在、本科目は最終試験の実施中であり、それが終了したら、ループリックの各評価観点のレベル平均値と最終試験(評価観点に沿った出題をしている)の出来具合を比較してみたい。

4. おわりに

改良版ルーブリックについては、対面型授業であってもフルオンデマンド型授業であっても、学生からの評判はよく、学生の学習意欲継続にも寄与していると思われるので、今後も継続していきたい。

授業形式の違いによるルーブリックの実施について、それぞれメリットとデメリットがある。集計作業については、フルオンデマンド型は LMS と連動させることで比較的容易にできるが、対面型では時間がかかるので集計に関するシステムが作ればよいと考える。回答率については、対面型では出席者から回収することができるが、フルオンデマンド型では任意の回答となるために提出が少ない。受講生へのお知らせを工夫する、回答を強制的にするなどの方法もあるが、様子を見ながら検討していきたい。最後に、対面型とフルオンデマンド型の両方で実施して気づいたことであるが、対面型では各自のレベルの結果によってすぐにグループワークをすることができ、レベルの高い学生も低い学生も学力向上の機会をすぐに与えることができる点が大きなメリットである。実際、演習のときにレベルの高い学生は低い学生に教えることによってあいまいな点についてさらに理解を深めることができ、またレベルの低い学生は高い学生から教わることによって教員に聞くよりも気軽に分からない点を聞きやすく、なんとか理解するところまで到達することが多い。フルオンデマンド型の場合、特に全学基盤教育の場合は学部も学年も異なり、受講するタイミングもそれぞれであるから、受講生同士の交流があまりできない。現在、電子掲示板を設置して、受講生同士で質疑応答などできるようにしているが、あまり利用されていない。また、特に数学という科目の性質上、電子掲示板での議論は数式入力も含め、かなりハードルが高いように感じる。今後、フルオンデマンド型であっても、受講生同士のグループワークができ、お互いに学力を向上させる取り組みができればよいと考える。

謝辞

本研究の一部は、早稲田大学特定課題研究助成費(課題番号 2019C-439)と JSPS 科研費 19H01738 の助成を受けている。

参 考 文 献

- (1) ダネル・スティーブンス, アントニア・レビ, 佐藤浩章, 井上敏憲, 俣野秀典: “大学教員のためのルーブリック評価入門”, 玉川大学出版部 (2014)
- (2) 高木悟, 二上武生: “ルーブリックによる微分積分学の単元間の関連性”, 教育システム情報学会第 42 回全国大会論文集, pp.289-290 (2017)
- (3) Takagi, S. and Nikami, T.: “A method of evaluation in calculus classes by rubric”, ICIC Express Letters, Part B: Applications, Vol.9, No.7, pp.715-720 (2018)
- (4) 高木悟, 林康弘, 二上武生: “数学科目でのルーブリック活用事例”, バイオメディカル・ファジィ・システム学会第 31 回年次大会講演論文集, pp.134-137 (2018)
- (5) 林康弘, 安田秀喜: “コンピュータ演習におけるルーブリック評価の導入”, 教育システム情報学会 2017 年度第 2 回研究会, pp.71-78 (2017)
- (6) 林康弘: “ルーブリックによる高大情報教育接続に向けた一提案”, 日本情報科教育学会 2018 年度第 10 回研究会, (2018)
- (7) 林康弘: “大学情報リテラシーのためのルーブリック評価表とその支援ツールの開発”, 教育システム情報学会第 43 回全国大会, pp.343-344 (2018)
- (8) 高木悟: “早稲田大学における ICT を活用した数学リテラシー教育の報告”, 獨協大学情報センター 情報科学研究, No.28, pp.73-79 (2011)
- (9) 高木悟: “大学の入学前と初年次の数学教育”, 教育システム情報学会研究報告, Vol.28, No.2, pp.91-94 (2013)
- (10) 上江洲弘明, 大枝和浩, 齋藤正顕, 瀧澤武信, 曾布川拓也, 高木悟: “早稲田大学における ICT を活用した数学の全学基盤教育 (5)”, 数学教育学会誌臨時増刊 2015 年度秋季例会発表論文集, pp.199-201 (2015)
- (11) Sobukawa, T., Takagi, S. and Uesu, H.: “Introduction to University Calculus for “Bunkei” Students in Waseda”, Vyssee obrazovanie v Rossii, Vol.28, No.2, pp.63-68 (2019)