

も く じ

■開催日時：2023年3月18日（土）

■テーマ：「答えのない課題の解決に挑む学び」を支える教育システム・デザイン

- 1) プログラミングの文章問題を対象とした定式化による解法の
理解を促す学習支援システムの開発・評価-----1
●白髭虹輝(東京工芸大学), 松爲泰生(東京工芸大学大学院), 東本崇仁(東京工芸大学)
- 2) プログラミングにおける補助問題を用いた複雑な課題の理解を促す課題系列の提案と
そのシステムの開発・評価-----9
●増田敢太(東京工芸大学), 前田新太郎(東京工芸大学大学院), 東本崇仁(東京工芸大学)
- 3) 対戦型ビデオゲームをプレイすることによる情報処理能力向上の可能性の検討-----16
●三宅瑞樹(東京工芸大学), 東本崇仁(東京工芸大学)
- 4) コード共有プラットフォームにおける戦略性を考慮した評価指標の提案と実装-----23
●前田新太郎(東京工芸大学大学院), 古池謙人(東京工芸大学大学院), 東本崇仁(東京工芸大学)
- 5) Web 調べ学習におけるリフレクション支援のためのコンテキストアウェアな問題生成手法の評価 -----31
○加藤慎融(電気通信大学大学院), 柏原昭博(電気通信大学大学院)
- 6) 学術文献におけるテキスト分析タスクのためのデータセット自動構築システムの開発-----39
○JINGHONG LI(北陸先端科学技術大学院大学), 太田光一(北陸先端科学技術大学院大学),
谷文(北陸先端科学技術大学院大学), 長谷川忍(北陸先端科学技術大学院大学)
- 7) 学修活動に応じた視覚的アプローチによる子ども向けリフレクション支援システム -----47
○後藤由翔(東京情報大学), 河野義広(東京情報大学), 河野由香(Candy)
- 8) 勉強無効感尺度の開発に向けた因子構造と妥当性の検討-----53
○白澤秀剛(東海大学), 岩屋裕美(川崎市立看護大学)
- 9) 工業高等専門学校における障害者支援装置開発と7年間一貫実践教育-----58
○片山英昭(舞鶴工業高等専門学校), 丹下裕(舞鶴工業高等専門学校),
竹澤智樹(舞鶴工業高等専門学校), 舩木英岳(舞鶴工業高等専門学校)

10) ビジュアルコンテンツ比較による協調型プログラミング学習の試み ー中小 IT 企業における社内リカレント教育を例にー	66
●Thanh Ha Nguyen(神戸大学大学院), 清光英成(神戸大学大学院), 大月一弘(神戸大学大学院)	
11) 授業アーカイブに対する映像分析フィードバックの半自動化を活用した SCOT 支援の提案	73
●土屋琴未(香川大学), 後藤田中(香川大学), 小林雄志(東京大学), 米谷雄介(香川大学), 國枝孝之(香川大学), 八重樫理人(香川大学), 林敏浩(香川大学)	
12) メタ学習スキル育成プログラムのデザイン原則の検討	77
●油谷知岐(大阪府立大学大学院), 瀬田和久(大阪公立大学大学院), 林佑樹(大阪公立大学大学院)	
13) 教材化のための身体動作映像に対するアノテーション付与の検討	85
●近藤愛鈴(香川大学), 田中凌太(香川大学), 後藤田中(香川大学), 李セロン(香川大学), 林敏浩(香川大学)	
14) ビデオ視聴と自他レポート吟味による批判的思考力育成のための授業設計評価	89
○仲林清(千葉工業大学, 熊本大学)	
15) 創造的問題解決における他者との協調における創造性の発揮の検証 ーグループ (3 人組) と個人の比較ー	97
○高津遥(大阪大学大学院), 後藤崇志(大阪大学大学院)	
16) 音楽の授業の効果を日常的に測定する ICT ツールの利用法の開発	105
○沖林洋平(山口大学), 高橋雅子(山口大学)	
17) 会話に関する情報を利用した相手の主張の推理スキルの育成を目指した会話形式学習支援システム	109
●乙成仁未(東京工芸大学), 東本崇仁(東京工芸大学)	
18) 力学の立式に用いる力の要素に着目した物理現象の可視化による学習支援システム	116
●関川千紗子(東京工芸大学), 相川野々香(東京工芸大学院), 東本崇仁(東京工芸大学)	
19) 誤りの可視化システムのフィードバックに対する発話プロトコル分析と考察	122
●中村祐希人(東京工芸大学), 東本崇仁(東京工芸大学)	
20) ICT 活用型防災フィールドワークが地域の特徴の理解に与える効果の検討	128
○畠山久(東京工業大学), 永井正洋(東京都立大学), 室田真男(東京工業大学)	

21) ローコード・ノーコードに基づくオープンデータ／オープン IoT の 構築を支援するソフトウェアコンポーネントの開発-----	135
○廣瀬雅也(香川大学), 米谷雄介(香川大学), 樋川直人(かがわ県民情報サービス), 長坂友則(日本電気), 李セロン(香川大学), 山本高広(香川大学), 高橋亨輔(香川大学), 後藤田中(香川大学), 國枝孝之(香川大学), 紀伊雅敦(香川大学), 八重樫理人(香川大学)	
22) 「探究とは何か」の受講高校生の傾向-----	143
●宮下伊吉(三重大学)	
23) COVID-19 をテーマとした医療福祉情報系分野連携遠隔 PBL 授業-----	147
○片岡竜太(昭和大学), 二瓶裕之(北海道医療大学), 小原真知子(日本社会事業大学)	
24) 対話モデルを用いた授業の発話分析とシーンの可視化-----	152
○大西朔永(岡山理科大学大学院), 椎名広光(岡山理科大学), 保森智彦(岡山理科大学)	

プログラミングの文章問題を対象とした定式化による 解法の理解を促す学習支援システムの開発・評価

白髭 虹輝^{*1}, 松爲 泰生^{*2}, 東本 崇仁^{*1}

^{*1} 東京工芸大学工学部, ^{*2} 東京工芸大学大学院工学研究科

Development and Evaluation of a Learning Support System That Encourage the Understanding of the Solution by Formularization for Programming Sentences

Koki Shirahige^{*1}, Taiki Matsui^{*2}, Takahito Tomoto^{*1}

^{*1} Faculty of Engineering, Tokyo Polytechnic University

^{*2} Graduate School of Engineering, Tokyo Polytechnic University

プログラミング課題の文章問題において解が導けない学習者は、問題文中の情報を整理できず、解の導き方を理解できていない状態であると考えられる。学習者に解の導き方を理解させるためには、一連の問題解決過程に沿った思考をさせることが望ましい。そこで本研究では、プログラミング課題を対象とした文章問題の定式化を提案する。定式化では問題文中に存在する情報を整理し、その情報をもとに属性の関係式を求め、関係式から解を導く一連の流れを作成する。これらの活動を学習者に行わせることで、解法の理解を促すことが期待される。本稿では提案手法に基づいてシステムを開発・評価した。

キーワード: 外在化支援, 定式化, プログラミング支援, 学習支援システム

1. はじめに

プログラミング課題において文章問題を解く際に解が導けない学習者が存在する。解が導けない学習者は問題文中の情報を整理できず、解を導くための一連の流れを理解できない状態であると考えられる。このような学習者に解の導き方を理解させるためには、問題解決過程に沿った思考をさせることが望ましい。平嶋ら^①は算数や数学、力学などの文章問題の領域で問題の定式化が重要であることを指摘し、問題解決過程を3つの段階に分けてモデル化した。著者らはこの問題解決過程をプログラミング領域に活用することで、プログラミング課題の文章問題において学習者が問題文から解を導くことが可能になると考える。

そこで本研究では、プログラミング課題を対象とした文章問題の定式化を行わせる学習支援を提案する。具体的には、平嶋らが算数や数学あるいは力学などの

文章問題の領域で提案した定式化構造、制約構造、解法構造の三つの構造を活用する。学習者は問題に対応したそれぞれの構造を作成することにより、プログラミング課題における文章問題の解法の理解を促すことが期待される。開発したシステムは学習者に、問題文中の情報を整理させ（定式化構造）、その情報をもとに関係式と属性を求めさせる（制約構造）。そして、求めさせた関係式と属性を用いて解を導く一連の流れを組み立てさせる（解法構造）。このような演習を学習者に行わせることで、学習者にプログラミング課題の解法の理解を促すことが期待される。

2. 先行研究

2.1 補助問題の定式化

2.1.1 問題解決過程

平嶋ら^①は算数や数学、力学などの文章問題におけ

る問題解決過程を3段階に分けてモデル化した（図1）．問題解決過程は表層構造作成過程，定式化過程，解導出過程の三つの段階に分かれている．表層構造作成過程は，問題文に記されているオブジェクトと属性の関係を表現する表層構造を問題文から生成する過程である．定式化過程は，表層構造を数量関係が適用可能にした構造である定式化構造を生成する過程である．解導出過程は，定式化構造から数量関係を用いた変換をしていき，最終的に求めたい解を含んだ目標構造を生成する過程である．さらに，解導出過程において目標構造を導くまでの一連の数量関係を解法構造と呼ぶ．また，解法構造に含まれている数量関係は，その問題で対象としている状況の一部にすぎず，問題が対象としている状況に存在する数量関係のすべてを表現したものを制約構造と呼ぶ．

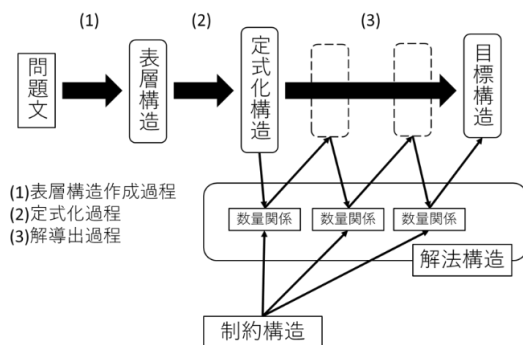


図1 問題解決過程

2.1.2 表層構造と定式化構造

図2に表層構造と定式化構造を示す．力学の問題などでは，「ボールを静かに離す」といった明示的に含まれている「ボール」のようなオブジェクトと，「静かに離す」のような属性がある．この二つの関係を表層構造として表現することができる．また，表層構造で表現した「静かに離す」という属性を「速度 $v_0(T=0)$ 」のように公式などに数量関係として適用可能な表現にした構造が，定式化構造である．

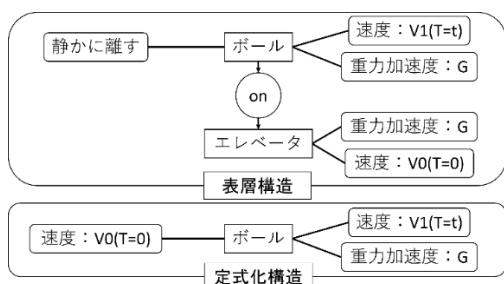


図2 表層構造と定式化構造

2.1.3 制約構造

図3に制約構造を示す．制約構造は属性と数量関係で構成される．数量関係に対応する入出力属性を線で結び，問題解決に関係のないものも含めて問題の背景に存在する数量関係をすべて記述したものが制約構造である．例えば「ベクトル分解」は「斜面傾角」，「ブロック鉛直重力」，「ブロック斜面方向重力成分」の三つの属性が必要な制約である．そのため，制約構造では制約である三つの属性と「ベクトル分解」を線で結び，問題の中に存在する属性間の数量関係を表現する．

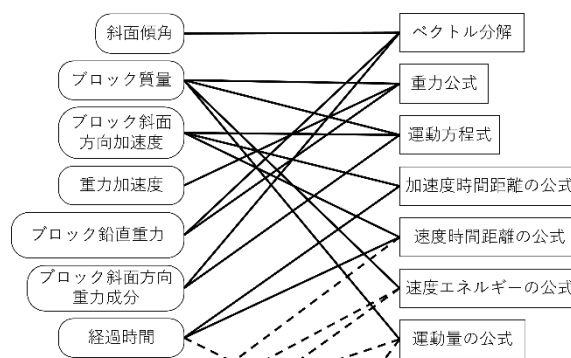


図3 制約構造

2.1.4 解法構造

図4に解法構造を示す．解法構造は，属性と数量関係を使用し，数量関係を介して入力属性から出力属性を矢印で結ぶことで作成する．例えば「ブロック初速度」，「ブロック斜面方向加速度」，「移動距離」が入力属性であるとき，出力属性である「ブロックの斜面方向加速度」を導くことができる．そして入力属性と出力属性を結ぶ際に「 $v_1^2 - v_0^2 = 2AS$ 」のような数量関係を入出力属性の間に記す．このように解を導く一連の数量関係を表現した構造を解法構造としている．

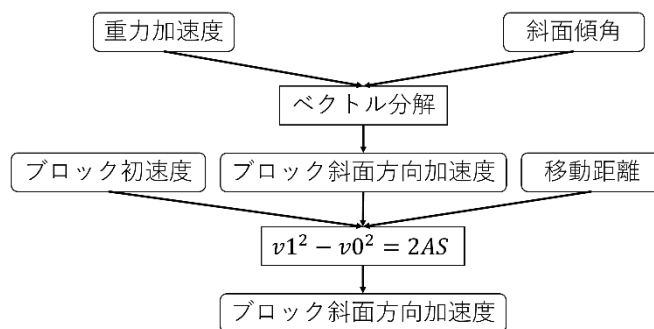


図4 解法構造

2.2 プログラミング領域への活用

著者らはプログラミング課題の文章問題が解けない

学習者に対して、問題解決過程に沿った思考をさせることが重要であると考え、そこで本研究では、平嶋らが提案した問題解決過程をプログラミング領域に活用する。これにより、プログラミング課題を対象とした文章問題における解法の理解を学習者に促すことが期待される。先行研究の問題解決過程で対象としている数学や力学の領域では、問題解決に用いられる知識そのものが領域に依存した知識であり、数学の知識や力学の知識を構造として表現することで問題解決過程を表現できる。一方、プログラミングの領域においては、if 文や for 文に関する言語的な知識、カプセル化などの概念的な知識、あるいはソートなどの特定のアルゴリズムに関する操作を行うための知識などプログラミング特有の知識と、プログラミングを用いて解決しようとしている問題領域に関する知識の双方を必要とする。たとえば、微分積分に関するプログラミングを作るためには微分積分の知識を必要とし、物流システムに関するプログラムを開発するためには物流システムに関する知識が必要となる。そのため、先行研究の問題解決過程をそのままプログラミングに適用させることは一般的に困難であると考えられる。

そこで、本研究ではまずはプログラミングにおける問題で対象としている領域知識を制約構造として表現した上で、プログラミングの文章問題に対する定式化を通した問題解決過程を学習させる方法を提案する。なお、問題文で対象としている領域知識については、プログラミングの教師など専門家があらかじめ構造を提供してくれることを前提とし、制約構造そのものの正誤や質は本稿の議論の範囲外とする。

3. 提案手法

本研究では文章問題の定式化を学習者に行わせることで、解法の理解を促す手法を提案する。具体的には、平嶋ら⁽¹⁾の定式化構造、制約構造、解法構造を活用し、学習者に問題に対応した構造を作成させることで解の導き方を段階的に思考させる学習支援を行う。先述したように、ここで表現されるべき知識は、プログラミング特有の知識と、プログラミングにより解決しようとしている対象の領域の知識の双方であるが、本研究では対象の領域の知識に焦点を当てた方法を提案する。

本研究において、定式化構造は問題文中のオブジェクトと属性の関係性を表現した構造とし、制約構造は問題に存在する属性と属性を構成する関係式を表現する構造とした。ただし、プログラミングにおいては、「3つの変数の最大値」などの複雑な関係式も許容する。そして、この定式化構造と制約構造から、解を求める一連の流れを属性と関係式を用いて表現した構造を解法構造としている。通常、プログラミングにおいては、入力された値やあらかじめプログラム上で規定された値を元に、最終的な値を求める（あるいは最終的な状態にする）ことが求められる。さらに、この値を変化させるものが関数などのコンポーネント単位の操作であると考えられる。したがって、プログラミングにおける解法構造は、データと操作を組み合わせたものにより生成されるデータフローダイアグラムに近い形となると考える。平嶋らの問題解決過程において、制約構造は問題の背景に存在するすべての数量関係であり、解法導出過程で参照されるものだった。しかし、物理などの領域において制約構造は「その領域の知識の構造」であったのに対し、プログラミングにおいてはプログラムが対象とする領域によって制約構造は異なると考えられる。そのため、本研究では制約構造を学習者に作らせることは、プログラミングの問題文が対象とする領域の知識の獲得の促進につながると考えている。そのため、本稿では制約構造も学習者自身に明示的に構築させる。以下にそれぞれの構造の作成において、学習者が行う活動とその目的について例示する。

まず、定式化構造を作成する活動について説明する。解法構造を作成するには、学習者が問題文中に登場するオブジェクトと属性の関係性を理解する必要がある。よって、学習者には問題文中の単語について、その単語をオブジェクトと属性に振り分けさせ、その関係性を記述させることで定式化構造を作成させる。例えば「入浴券 1 枚の価格とプール券 1 枚の価格、A さんが持っているお金が入力として与えられたとき、入浴券とプール券を 1 枚ずつ買った後に A さんが持っているお金を出力するプログラムを作成してください。」という問題文にはオブジェクトである「入浴券」や「プール券」という単語と、「入浴券」の属性である「(入浴券 1 枚の) 価格」という単語がある。学習者にはこ

の「入浴券」と「(入浴券 1 枚の) 価格」のように関係している単語同士を接続する活動を要求する。この活動により、学習者は問題文中のオブジェクトと属性の関係性を理解することができると考える。なお、この活動はオブジェクト指向プログラミングにおける設計と近い活動であるが、オブジェクト指向プログラミングでなくてもこのような構造化は重要である。

次に、制約構造を作成する活動では、学習者は定式化構造で求めた属性を使用し、属性間の関係式を求める活動を要求される。例えば、「(入浴券の) 1 枚の価格と (入浴券の) 枚数と (入浴券の) 総額」の関係式を求めるとする。この場合、「(入浴券の) 1 枚の価格」という属性と「(入浴券の) 枚数」という属性を使用し、積を求めることで「(入浴券の) 1 枚の価格 $\times$ (入浴券の) 枚数 = (入浴券の) 総額」という関係式を求めることができる。このように学習者は属性を使用した関係式を作成して制約構造を作成していく。なお、この活動においてはある属性がどのオブジェクトの属性であるかを意識する必要がある。上記の関係式はオブジェクトの入浴券をプール券に変更しても成立する関係であると同時に、プール券の 1 枚の価格 $\times$ 入浴券の枚数などオブジェクトを意識しない関係式を構築してはいけないことを意味している。この活動により、学習者は属性がどのように構成されているか考え、属性を構成するための関係式をオブジェクトと関連付けながら理解することができると考える。

最後に、解法構造を作成する活動では、学習者は制約構造で求めた関係式を使用し、入力から解を求める一連の流れを作成する活動を行う。例えば、「入浴券の総額」を求めるには「(入浴券の) 1 枚の価格」と「(入浴券の) 枚数」という属性の積をとることで求めることができる。さらに、「(プール券の) 総額」と和をとることで、「全体の総額」を求めることができる。

このように問題文から定式化構造を作成したのち、問題文が対象とする領域についての知識の構造である制約構造を作成し、解法構造を構築する一連の流れをすべて学習者は体験することになる。この活動により、問題文のどの要素が定式化されるか、対象としている領域において必要とされる知識は何であるか、定式化構造と制約構造を用いてどのように解法を導くプロセ

スを生成できるかを学ぶことになる。

4. 提案システム

提案システムは定式化構造作成画面、制約構造作成画面、解法構造作成画面の三つの画面で構成されている。ここでは三つの画面についての説明を行う。

4.1 定式化構造作成画面

図 5 に定式化構造作成画面を示す。この画面では、システムから問題文が提示される。本来は問題文から単語を抽出させる過程も存在するが、現時点のシステムでは抽出された後の単語をあらかじめ提示する。この単語は教授者があらかじめ設定した正解の構造から自動で作成される。学習者は提示された単語についてオブジェクトと属性のどちらかをボタンにより決定する。さらに、属性は関連するオブジェクトとリンク（関係を表す線）で接続させる。この一連の過程により学習者に定式化構造を作成させる。

例えば、図 6 では、「入浴券」と「入浴券の購入枚数」がある。学習者は「入浴券」をオブジェクトブロックとして画面に生成し、「入浴券の購入枚数」を属性ブロックとして生成している（以降、これを「入浴券/オブジェクト」「入浴券の購入枚数/属性」と表記する）。そして、学習者は「入浴券/オブジェクト」「入浴券の購入枚数/属性」のブロックには関係があるとして、二つのブロックをリンクしている。このようにブロックの生成とリンクの接続を繰り返し行い、学習者は定式化構造を作成していく。

次に、フィードバックについて説明を行う。ここでは教授者があらかじめ作成した正しい構造と比較することで差分を提示する。具体的には「オブジェクトブロックの正誤」、「属性ブロックの正誤」、そして「ブロックの接続関係の正誤」の三つについて診断を行う。例えば、学習者が誤った単語をオブジェクトブロックとして生成した場合、「オブジェクトで生成してはいけないブロックが○個あります」とフィードバックされる。また、別の例として、学習者が「入浴券の割引料金/属性」を「入浴券/オブジェクト」にリンクで接続しておらず、「プール券/オブジェクト」に接続している場合、入浴券の割引料金と入浴券は接続する必要があり、入浴券の割引料金とプール券は接続してはな

らない。この場合、システムは「リンクで接続してはいけない箇所が一つ、リンクで接続しなければいけない箇所が一つあります」とフィードバックを行う。

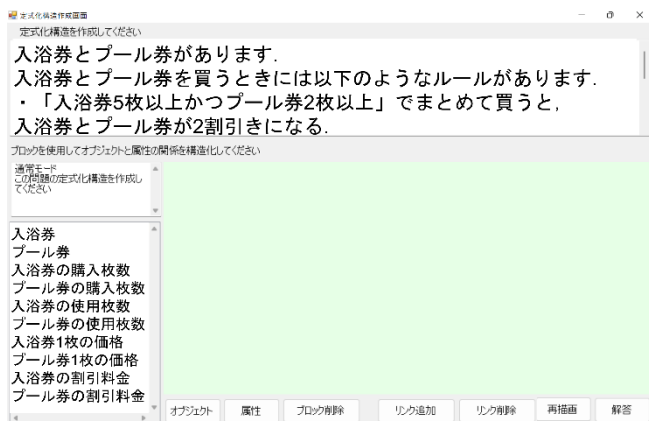


図 5 定式化構造作成画面

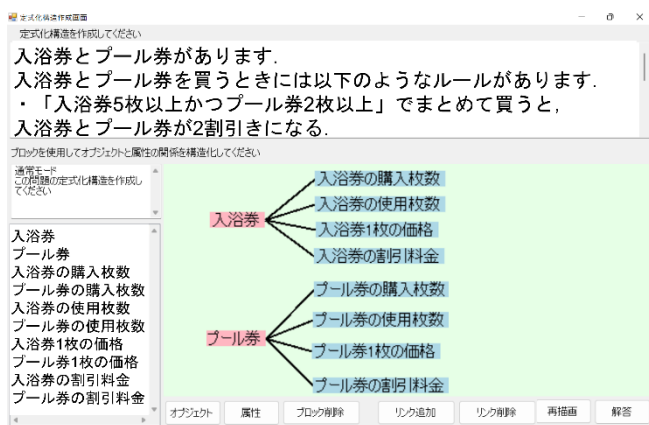


図 6 学習者が定式化構造を作成した状態

4.2 制約構造作成画面

図 7 に制約構造作成画面を示す。学習者は複数の属性を用いて問題の背景となる関係式を構築し、制約構造を作成する。具体的には、システムが問題の属性の一覧と「=」のような関係式の雛形を提示し、学習者は提示された関係式の雛形に属性を当てはめることで、制約構造を作成する。この雛形や属性の一覧は教授者があらかじめ設定した正解の構造から自動で作成される。なお、二つの値の最大値 (Max) の値を入れるなどの関係式も扱っている。

例えば、図 8 では学習者が「A (入浴券の購入枚数)」と「B (入浴券の使用枚数)」を選択し、「 $A=B$ 」という関係式を作成する。このように属性を選択し、関係式を作成することで制約構造を作成している。

次に、フィードバックについて説明を行う。制約構造作成画面では、関係式の左辺を「求める属性」、右

辺を「左辺を求めるために必要な属性の式」として、診断を行う。左辺が誤っている場合は誤っている個数を表示し、誤っている箇所の色が変更される。右辺が誤っている場合、誤っている関係式を表示する。例えば、学習者が「H (割引されていない入浴券にかかる合計料金)」、「B (入浴券の使用枚数)」、「G (入浴券 1 枚の価格)」を「 $H=B \times G$ 」と入力した場合、正答は「A (入浴券の購入枚数)」を使用した「 $H=A \times G$ 」であるため右辺の関係式が誤っている。システムは「以下の式の右辺が間違っています $H=B \times G$ 」とフィードバックを行う。

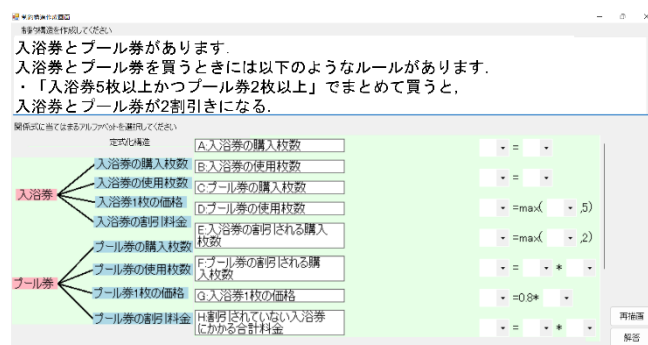


図 7 制約構造作成画面

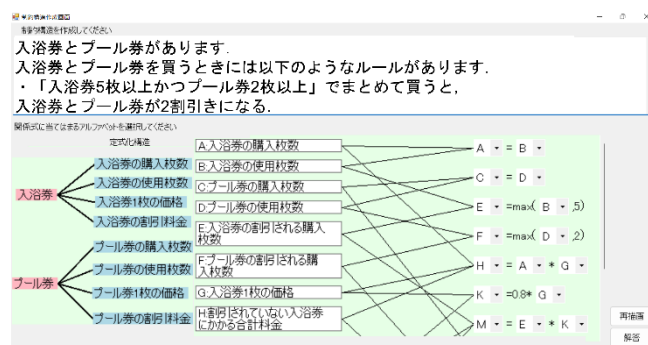


図 8 学習者が制約構造を作成した状態

4.3 解法構造作成画面

図 9 に解法構造作成画面を示す。この画面では、これまでに作成した制約構造をシステムが提示し、学習者が制約構造の制約を入力から出力までの一連の流れに当てはめることで解法構造を作成する。具体的には、システムが解法構造の雛形と、これまでに作成した制約構造および属性を提示する。この雛形も教授者があらかじめ設定した正解に基づいて自動で生成される。学習者は提示された制約構造と属性をみて、雛形にそれらを当てはめる。

例えば、図 10 では学習者はまず求めるべき属性と、問題文によって与えられる属性を考える。今回の問題

文では、「最も安いプール券と入浴券の総額」を求める問題であるため、「Q（最も安い総額）」が構造の終端（ルート）に来ることを決定できる（同様に与えられる属性はリーフとなる）。そのため、終端に「Q」を入力する。次に、学習者はこのルートを求めることができる関係式を制約構造から考え、「Q」につながる関係式に「 $Q=\min(O,P)$ 」を入力する。その後同様に繰り返すことでこの解法構造を作成していくことになる。

次に、フィードバックについて説明を行う。解法構造作成画面では、「求める属性」、「属性を求めるための関係式」、「関係式に使用する属性」の正誤についてあらかじめ教授者に設定された構造を元に診断する。例えば、学習者が「 $Q=\min(O,P)$ 」に使用する属性を二つとも「O（割引されていない総額）」と解答したとする。しかし、ここでの正答は「O」と「P（割引された総額）」を選択することであり、関係式に使用する属性が誤っている。この場合、システムは「関係式を求めるための属性が不正解です」とフィードバックを表示し、誤っているコンボボックスの色を赤色に変更する。

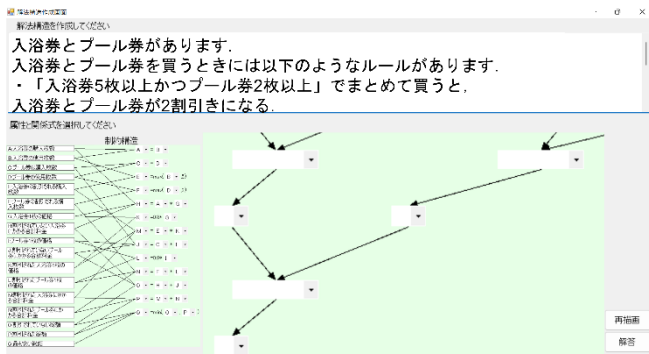


図 9 解法構造作成画面

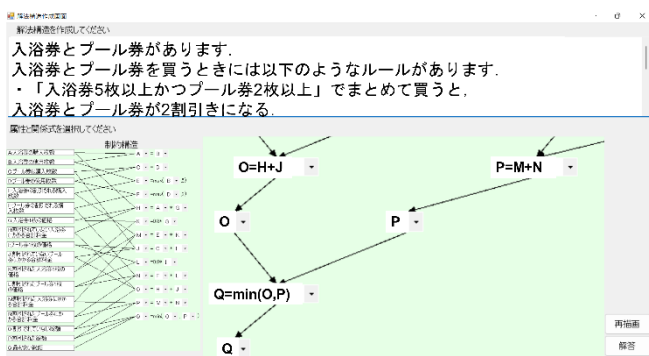


図 10 学習者が解法構造を作成した状態

5. 評価実験

5.1 実験概要

本システムの学習効果の検証を行うため、工学部の学生 16 名を対象に実験群 8 名、統制群 8 名に分けて評価実験を行った。実験は事前テストを 40 分、実験群と統制群に分かれての学習活動を 60 分、事後テストを 40 分、アンケートの順で行った。事前・事後テストと学習活動の際に提示する問題は同じ問題とした。

事前・事後テストは、プログラミング課題を提示し、定式化構造、制約構造、解法構造の三つの構造を作成するテストとなっている。学習活動では、実験群には提案システムを使用してもらい、統制群には実際にプログラムを構築する学習を行ってもらった。なお、実験群、統制群ともに扱った問題は事前テストで扱ったプログラミング課題となっている。アンケートでは、プログラミング課題を解く際に提案手法に基づいた思考を意識しているかといった質問をした。

5.2 実験結果

5.2.1 事前・事後テスト

事前・事後テストのスコアを表 1 に示す。テストは全 3 問存在し、問題ごとに、①定式化構造作成、②制約構造作成、③解法構造作成の 3 つの小問に分かれており、9 点満点となっている。総得点については、実験群の事前テストの平均点は 6.63 点で、事後テストの平均点は 8.00 点となった。一方で統制群の事前テストの平均点は 5.88 点で、事後テストの平均点は 6.25 点となった。テストの平均点と標準偏差から効果量を算出した結果、実験群では 1.60 で統制群では 0.33 という結果となった。これにより実験群は効果量が大きく、統制群は効果量が小さいという結果となった。このことから、提案システムは通常のプログラミングの作成を行う活動に比べて、問題の定式化を通じた解法構造の構築に有効であることが分かった。

さらに、表 2、表 3、表 4 に小問ごとの平均点、標準偏差、効果量を記述する。定式化構造については実験群の効果量は中、統制群の効果量は小となり、実験群の方がやや効果が見られた。制約構造、解法構造については、いずれも実験群の効果量が、統制群の効果量が大きい結果になった。

以上より、問題文から定式化を行い、解法構造を構築する一連の過程において提案システムの方が単にプログラミングを構築するより効果があることが確認できたが、特に制約構造と解法構造の構築過程において顕著な差が出るということが分かった。今回、プログラミング課題の対象となる領域を制約構造として定義し、その構築を学習者に要求する手法を提案したが、その手法による効果により対象となる領域の知識構造が適切に構築された可能性が示唆された。

表 1 事前・事後テストの総合得点

	平均(標準偏差)		効果量	目安
	事前	事後		
実験群	6.63(0.70)	8.00(1.00)	1.60	大
統制群	5.88(1.27)	6.25(0.97)	0.38	小

表 2 定式化構造の得点

	平均(標準偏差)		効果量	目安
	事前	事後		
実験群	2.86(0.35)	3.00(0.00)	0.5	中
統制群	2.00(1.22)	2.33(1.00)	0.3	小

表 3 制約構造の得点

	平均(標準偏差)		効果量	目安
	事前	事後		
実験群	1.88(0.35)	2.50(0.53)	1.38	大
統制群	1.56(0.73)	1.67(0.71)	0.15	無

表 4 解法構造の得点

	平均(標準偏差)		効果量	目安
	事前	事後		
実験群	1.88(0.35)	2.50(0.53)	1.38	大
統制群	1.67(0.71)	1.56(0.73)	0.15	無

5.2.2 アンケート

アンケート結果の一部を表 5 に示す。アンケートは 6 件法で行い、6 が「非常にそう思う」、5 が「そう思う」、4 が「どちらかといえばそう思う」、3 が「どちらかといえばそう思わない」、2 が「そう思わない」、1 が「全くそう思わない」として平均を集計した。表 5 より全項目において高い評価を得ることができた。質問 1、質問 2、質問 3 は実験群、統制群の両方にアンケートをとり、それ以外の質問は実験群にのみアンケートをとった。アンケート結果より、本研究で提案したプログラミングの問題を解くために問題の構造を作成し、処理の流れを考えることによって解を導くことが重要であると考えていることが確認できた。

表 5 アンケート結果

	実験群	統制群
1. プログラム問題で問題文を理解することは重要だと思いますか？	5.33	5.13
2. プログラミングの問題を解く際に、処理の流れを考えることは大切だと思いますか？	5.67	5.88
3. プログラミングの問題を解く際に、データの流れを考えることは大切だと思いますか？	5.67	5.50
4. 本システムを用いた学習は、プログラミングの問題を解く際に、データの流れを考える能力の向上につながると思いますか？	5.33	-
5. 本システムを用いた学習は、プログラミングの問題を解く際に、問題文を理解するために構造を段階的に作成する能力の向上につながると思いますか？	5.33	-
6. 本システムを用いた学習はプログラミングの学習として有効だと思いますか？	5.33	-

6. おわりに

プログラミング課題において、文章問題の解を導くことができない学習者に対しては、問題解決過程に沿った思考をさせることが望ましい。そこで著者らは平嶋ら⁽¹⁾がモデル化した問題解決過程をプログラミング領域に活用することでプログラミング課題の文章問題において学習者が問題文から解を導くことが可能になると考えた。

本研究では、プログラミングの問題解決において構造化すべき知識として、プログラミング特有の知識とプログラミング課題が対象とする領域についての知識を規定し、対象とする領域についての知識を主とした構造化を行った。本稿では、学習者に構造を整理させるための手法とその支援システムを提案した。

評価実験の結果から、本システムを利用せずに通常のようにプログラミングの構築を通して学習した学習者に比べ、システムを使って学習した学習者の点数が上昇していたことがわかった。よって、本システムを利用することでプログラミング課題から定式化を行い、解法構造を作成する能力の向上が促進されることが示唆された。

今後の課題として、本研究ではプログラミング課題そのものが対象とする領域についての構造化のみを対象としたが、本来はプログラムと構築するための知識と組み合わせることで初めてプログラミングを行える

はずである．たとえば，ある 3 つの値と最大値の間に
関係式を引けたとしても，3 つの値から最大値を求め
る操作を行うコンポーネントを構築できるとは限らな
い．そのため，コンポーネントの構築に関する知識を
今後本構造に付与する必要がある．著者らはこれまで
にプログラミング特有のコンポーネントに関する知識
の構築に関する研究⁽²⁾⁽³⁾を推進しており，この研究と
組み合わせることを予定している．さらに，評価実験
においては，構築活動そのものの体験による差である
のか，構築に関する能力が向上したのかを厳密には評
価できていないため，今後より精査された評価実験が
必要である．

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 JP22K12322，
JP21H03565，JP20H01730 の助成による．

参 考 文 献

- (1) 平嶋宗, 東正造, 柏原昭博, 豊田順一: “補助問題の定式
化”, 人工知能学会誌, Vol.8, No. 8, pp. 211-218 (2017)
- (2) 古池謙人, 東本崇仁, 堀口知也, 平嶋宗: “プログラミング
学習における再利用性を指向した知識組織化のための
知的支援: 機能・振舞い・構造の観点に基づく問題解決
過程のモデル”, 人工知能学会論文誌, Vol.35, No. 5, pp.
C-J82_1-17, (2020)
- (3) 古池謙人, 東本崇仁, 堀口知也, 平嶋宗: “プログラミング
の構造的理解を指向した部品の段階的拡張手法の提案
と支援システムの開発・評価”, 教育システム情報学会
誌, Vol.36, No. 3, pp. 190-202, (2019)

プログラミングにおける補助問題を用いた 複雑な課題の理解を促す課題系列の提案と そのシステムの開発・評価

増田 敢太^{*1}, 前田 新太郎^{*2}, 東本 崇仁^{*1}

^{*1} 東京工芸大学工学部, ^{*2} 東京工芸大学大学院工学研究科

Proposal of Task Sequences Using Auxiliary Problems to Promote Understanding of Complex Tasks in Programming and System Development and Evaluation

Kanta Masuda^{*1}, Shintaro Maeda^{*2}, Takahito Tomoto^{*1}

^{*1} Faculty of Engineering, Tokyo Polytechnic University

^{*2} Graduate School of Engineering, Tokyo Polytechnic University

プログラミング学習において、初学者は単純ソートのような複雑な課題を理解することは難しい。そこで本研究では、行き詰まりを解消する補助問題に着目した。補助問題は学習者の誤答箇所に応じた部分問題を提示する手法で、複雑な課題の理解を促すことが期待される。本稿では、補助問題による行き詰まり解消を指向したプログラミング学習支援システムの開発と評価を行った。評価から、プログラミング学習を対象とした補助問題を提示することによる学習効果が示唆された。

キーワード: プログラミング学習, 適応的支援, 補助問題, 課題系列

1. はじめに

プログラミング学習において、複雑な課題を初学者がすぐに理解することは難しい。例えば、「要素数 n の配列 a の全体を昇順単純ソートで並べ替えよ。」というプログラミング課題を解くためには、一時変数を用いた入れ替えや、入れ替えを用いた並べ替え、最小値探索等のいくつかのアルゴリズムを組み合わせる必要がある。しかし、これらを組み合わせる活動は初学者にとって複雑であり、問題解決に行き詰まってしまうと考えられる。学習者が問題解決に行き詰まる原因として、何らかの理解が不十分な要素が存在することがあげられる。

学習者の行き詰まりを解消する支援の手法として、補助問題⁽¹⁾があげられる。補助問題とは、もとの問題を単純化した問題である。学習者が問題解決に行き詰

まった際、補助問題を学習者に与えることで、学習者は問題解決の行き詰まりを解消する効果が期待できる。相川らは、力学の作図問題において、学習者の誤答箇所に適応的な補助問題を提示する学習支援システムを開発した⁽²⁾。学習者の誤答箇所に対応する補助問題を提示することで、学習者の問題解決の行き詰まりを解消することができた。

そこで本研究では、単純ソートのような複雑なプログラミング課題の学習を支援するため、補助問題を作成し、コードの意味的なまとまりごとに関係付け、課題系列を作成した。次に、作成した補助問題の課題系列を基に、学習者の誤答箇所に対応する補助問題を提示し、行き詰まりを解消する学習支援システムを開発した。開発したシステムは、学習者が誤答をした場合に学習者の解答から正答に不足している要素を分析し、誤答を繰り返した場合に誤答箇所に対応する補助問題

を提示する．学習者に誤答箇所に対応する補助問題を提示することで，個々の学習者の行き詰まりを解消し，複雑なプログラミング課題の学習を支援する．

2. 先行研究

2.1 力学における補助問題提示システム

相川らは力学の作図問題を学習題材として，**Error-based Simulation**（以下，EBS）を用いた補助問題提示システムを開発してきた．従来の EBS では，学習者の解答にもとづいたシミュレーションをフィードバックする．しかし，学習者の誤った解答のシミュレーションのみ提示するため，正解の提示が行われない．そのため，解答の修正すべき箇所を理解できず，正解に辿り着けない学習者の支援が行われていない．そこで相川らは，EBS を拡張し，学習者が誤答を繰り返した場合に誤答箇所に応じた補助問題を提示するシステムを開発した．誤答箇所に応じた補助問題を提示することにより，学習者の問題解決の行き詰まりを解消し，もとの問題の理解を促すことができた．

相川らのシステムでは，物体にはたらく力のベクトルを学習者に入力させ，その解答の中で欠落している力を分析し，対応した補助問題を提示する．力のベクトルは例えば重力や垂直抗力といった，その意味によって分類することができ，問題どうしを結び付けることができる．しかし，プログラミング学習では解答は複数行のコードであり，1 行ごとの処理を結びつけることは難しい．プログラミングでは，コードのまとまりごとに意味をもつ．そのため，その意味をもつコードのまとまりごとにプログラミング課題を結び付けることができる．

そこで本研究では，ある学習対象とするコードの全体（例えば，単純ソート）から，意味をもつコードのまとまりごとに補助問題として分け，それぞれの問題を結びつける課題系列を構築する．

2.2 従来のプログラミング学習における学習支援

古池ら⁽³⁾はプログラミングの構造的理解を支援するため，1 行ごとのコードにあらたな処理や機能をもつコードを加え，機能を変化させる活動による機能を拡張する学習の手法を提案した．学習者が問題に正解すると，その問題で学習した機能を部品として獲得する．

その部品にあらたな部品やコードを加える問題を解くことで，機能を拡張し，より大きな部品を獲得する．小さな部品を拡張し，より大きな部品を作る活動を繰り返すことで，プログラミングを構造的に理解することを促した．また，併せて古池ら⁽⁴⁾は学習者の理解状態に適応的な課題提示を実現するため，プログラミング課題の構造化に取り組んできた．課題どうしは全体一部分関係と一般一特殊関係で結び付けられている．全体一部分関係は部分問題と部分問題を用いてあらたな機能を学習する全体課題の関係である．そして，一般一特殊関係は特殊課題の振舞いをより汎用的にした一般課題の関係である．これにより，課題を段階的に学習することが可能になる．

このような学習方法で誤答した場合，学習不足による誤答であれば，それよりも 1 段階簡単な問題を復習することが有効である．しかし，必要な問題を十分に学習しているにもかかわらず誤りがおこることがある．その場合はヒントによって解決過程を 1 つ進めることが有効である．そこで藤島ら⁽⁵⁾は，学習者が誤答した際，その部品となる問題の習熟状態によって適応的にフィードバックをする支援システムを提案した．学習者が誤答した際，その部品となる問題でヒントを使わずに正解している場合，詳細ヒントによって過程を 1 つ進める．ヒントを用いて正解している場合，簡易ヒントを提示し，さらに誤答した場合は未習熟部品として部品の問題の復習に移る．このように，部品問題の習熟状態によって適応的にフィードバックをすることで，個々の学習者の習熟状態に応じた支援を実現した．

しかし，藤島らの提案するフィードバックは部品問題の学習が必要となる．そのため，部品問題を学習していない学習者への支援は行えていない．そこで本研究では，問題の解答内容から習熟状態を分析し，個々の学習者の習熟状態に適応的に支援する．

3. 提案手法

3.1 課題系列

本研究では，古池らのプログラミング課題の構造化を用いて補助問題を作成する．そして，作成した問題どうしを全体一部分関係，一般一特殊関係によって関

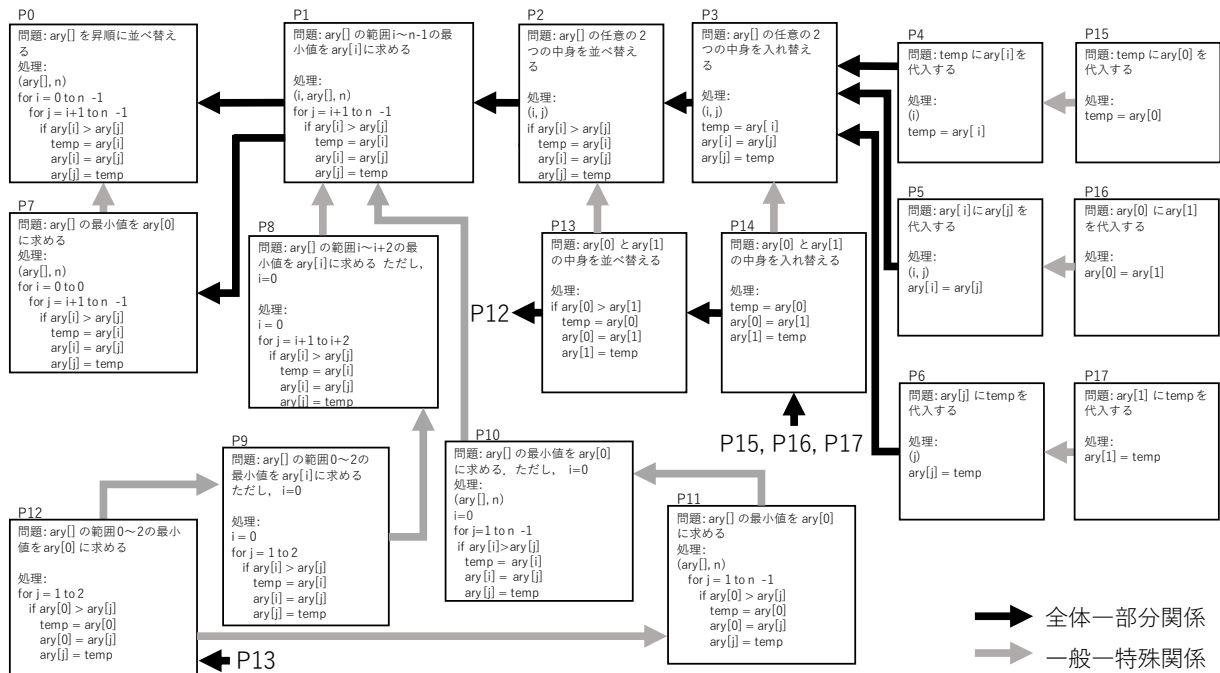


図 1 単純ソートの問題をもとに作成した課題系列

係付け，課題系列を作成する．図 1 は単純ソートの問題をもとに古池らのプログラミング課題の構造化によって作成した課題系列である．図中の灰色の矢印が一般一特殊関係，黒色の矢印が全体一部分関係である．

P0 は要素数 n の配列 ary を昇順単純ソートする問題であり，その部分課題として，機能の一部を切り取った P1 の要素数 n の配列 ary の最小値を求める問題がある．そして特殊課題として，P0 の for 文の 1 回分の振舞いの一部を切り取った P7 の問題がある．

3.2 誤答箇所分析

本研究では，正答のコードを機能ごとに分解し，まとまりごとに正誤判定をする．図 2 は単純ソートの問題を機能で分解した例である．単純ソートには最小値探索，並べ替え，入れ替えの機能が含まれており，全体一部分関係により小さい機能を大きい機能が包含する形となっている．例えば，並べ替えは入れ替えの機能を含んでおり，最小値探索はその並べ替えの機能を含んでいる．そのため，入れ替え部分，並べ替え部分，最小値探索部分，単純ソート部分の順に小さい機能をもつコードから分析を行い，学習者の解答の誤答箇所を判定する．例えば，図 3 左部のような解答では，入れ替えのまとまりが含まれているが，並べ替えのまとまりが含まれていない．この場合は，並べ替えの誤りとなる．

また，学習者がコードの振舞いを理解できていない場合，変数や条件式などを誤ってしまうと考えられる．例えば，図 3 右部のように for 文の条件式を誤っている場合，最小値探索部分の for 文の条件式の誤りとなる．

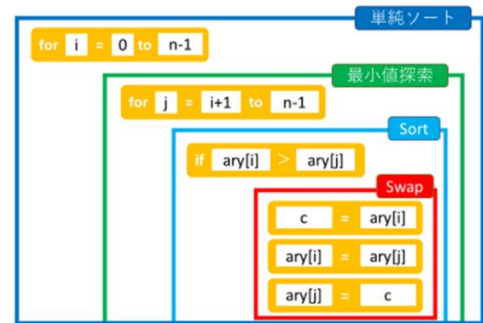


図 2 単純ソートを機能ごとに分解した例

```
for i = 0 to n-1
  for j = i+1 to n-1
    if ary[i] > ary[j]
      ary[i] = ary[j]
      ary[j] = ary[i]
```

```
for i = 0 to n
  for j = 0 to n
    if ary[i] > ary[j]
      c = ary[i]
      ary[i] = ary[j]
      ary[j] = c
```

図 3 単純ソートの問題の誤答の例

3.3 問題の移行

学習者が誤答を繰り返した場合は，3.2 の手法でえられた分析結果から，最も多い誤答箇所に対応する補助問題に移行する．例えば P0 の問題で図 3 左部のよ

うな誤答した場合、P0の部分課題であるP1に移行する。また、図3右部のように単純ソート部分のfor文の条件式のみ誤っている場合、単純ソートのコードの振舞いを学習するためのP7の問題に移行する。そして、補助問題に正解すると図1の課題系列に沿ってP0に向かって課題を移行する。例えば、P0からP1、P2を辿りP3に移行したのち、問題にすべて正解した場合、図1の課題系列に沿ってP3→P2→P1→P0の順に問題を移行する。

補助問題に正解した際、移行先が複数ある場合、その問題に辿り着くまでに行った移行をなぞり、問題を移行する。例えば、P9で誤答を繰り返しP12に移行したのち、P12を正解した場合はP9に移行する。ただし、その2つの問題間の移行を3回以上行っている場合は、別の問題へ移行する。たとえば、P9からP12に移行し、P12を正解したとき、P9-P12間の移行を3回繰り返していた場合はP11に移行する。

4. 提案システム

4.1 システム概要

図4は学習者が使用するシステム画面である。画面左上に問題が提示され、右上に解答の条件が提示される。そして作業スペース上部に引数が提示される。図5では「問. 要素数nの配列aryの全体を昇順単純ソートで並べ替える」という問題文と、条件として「変数について配列はary, 要素数はn, 記憶変数c, 添え字はi, jの順で用いること.」, 引数として「ary[], n」が提示されている。学習者は画面左側のブロックリストからブロックを画面中央の作業スペースに追加し、ブロックを操作することでプログラムを作成する。学習者は解答を作成したのち、画面右下の解答ボタ



図4 システム画面



図5 解答のプログラムの実行結果

ンを押し、正誤判定を行う。解答したのち、画面右側に表示される実行結果で学習者が作成したプログラムの機能を確認できる。図5は「要素数nの配列aryの最小値をary[0]に求めよ.」という問題で、学習者が作成した解答と、その実行結果である。解答ボタンを押すと変数の初期値がランダムで生成され、「初期値」の欄に表示される。学習者が作成したプログラム実行後の終了値を「終了値」の欄に表示する。まず、「初期値」にプログラムで使用する変数「ary[0], ary[1], ary[2], ary[3], ary[4], c」にランダムな値「39, 34, 23, 34, 47, 28」が割り当てられている。この問題はary[0]と他の要素を並べ替えていき、ary[0]に最小値を求める問題である。正答の場合は配列aryの出力結果は「ary[0]=23, ary[1]=39, ary[2]=34, ary[3]=34, ary[4]=47」となる。しかし図5の解答では、2つ目のfor文の条件式を誤っているため、誤った出力結果が表示される。そして、学習者はこの実行結果をもとに解答の修正を行う。^{*1}

4.2 誤答箇所分析

学習者が誤答をした場合、3.2の手法により誤答箇所を分析する。図5の解答では入れ替え、並べ替えのコードのまとまりが含まれている。そして、最小値探索部分で必要な繰り返しブロックも含まれているが、その条件式が誤っている。この場合、最小値探索部分の条件式の誤りと診断する。

4.3 問題の移行

本システムでは、答箇所ごとに誤答回数を数え、合計で3回以上誤答を繰り返した場合、「次へ」ボタン

^{*1} エラーによって結果を表示できない場合、終了値には「コンパイルエラー」と表示される。

が表示される．そして「次へ」ボタンを押すと，3.3の手法にもとづいて最も多い誤答箇所に対応する補助問題へ移行する．また，補助問題に移行せず6回誤答を繰り返した場合，「次へ」ボタンを押してない場合も補助問題に移行する．補助問題で正解した場合は図1の課題系列に沿って移行していき，最終的にP0の問題へ戻る．また，移行した問題で学習者が誤答をした場合も同様に分析をし，同様の条件で問題を移行する．学習者が図5のような誤答を繰り返した場合，図6のような「問. 配列 `ary` の範囲 $i \sim i+2$ の最小値を `ary[i]` に求める．ただし， $i=0$ とする．」という問題に移行し，学習者は補助問題の学習に移る．このように，課題系列に沿って繰り返し補助問題を解くことで，学習者の理解が不足している要素を段階的に学習する．このような学習活動によって，もとの課題で生じた行き詰まりを解消することが期待される．

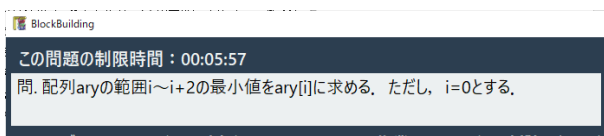


図6 誤答を繰り返した場合の問題の移行の例

4.4 問題マップの表示

本システムでは，学習者の誤答箇所に応じて補助問題を提示する．しかし，プログラミングを題材としているため，問題文の提示による変化のみでは，もとの問題とあらたに提示された問題との差分を学習者は理解しづらいと考えられる．そのため本システムでは，課題系列をもとにした問題マップ（図7）をシステム画面（図4）とともに提示する．問題マップは，学習者の学習状況によって問題文や正答例がマップ上に表示される．また，学習者が現在学習中の問題は，青色で，学習者が既に到達したことがある問題は白色で問題文の背景がハイライトされる．既に正解した問題は赤色にハイライトされ，問題文に加えて正答例が表示される．図中では学習者は「`ary[i]`と `ary[j]`を昇順に並べ替えよ．」などの問題にすでに到達しているため，白い背景で問題文が表示されている．そして，「配列 `ary` の $i \sim i+2$ の最小値を `ary[i]` に求める．ただし， $i=0$ とする．」という問題に解答中のため，青い背景で表示されている．そして，その補助問題である「配列 `ary` の範囲 $0 \sim 2$ の最小値を `ary[i]` に求める．ただし，

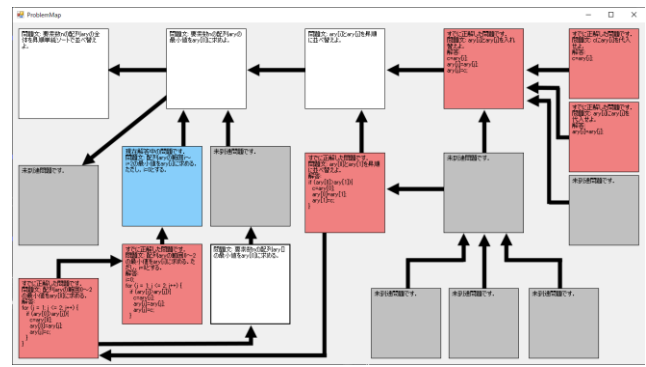


図7 問題マップの例

$i=0$ とする．」などの問題を正解しているため，赤い背景で正答例が表示されている．

5. 評価実験

5.1 実験概要

本実験では，提案システムによる補助問題の提示は学習者自身が問題を選択する学習よりも有効性があるか検証する．対象者は工学部の学生17名である．実験は実験群10名と，統制群7名にわけて行う．実験群では本システムを使用する．統制群では本システムからシステムによる問題選択機能を削除し，代わりに学習者自身が問題を選択し学習するシステムを使用する．

まず，15分間の事前テストを行う．その後，被験者は60分間システムを使用する．そしてシステム利用後に15分間の事後テストを行う．最後にアンケートを実施する．

事前テストではシステムであつかつている単純ソートをもとにしたプログラミング課題を6問出題し，システム利用前と利用後のプログラミング学習の理解度を調査する．実験群のシステムは，まず，もとの課題である「要素数 n の配列 `ary` を昇順単純ソートせよ．」という課題を提示する．そして，学習者が誤答をした場合は誤答箇所ごとに誤答回数を数える．学習者が繰り返し誤答している場合は，これまでの解答の中で一番多い誤答箇所に対応する補助問題を提示する．補助問題に正解した場合は課題系列に沿ってもとの課題に向かって移行を繰り返す．統制群のシステムは，実験群のシステムから，学習者の解答の一番多い誤答箇所によって補助問題を提示する機能と問題マップによる問題どうしの関係の可視化機能を削除したシステムで

ある．システム利用中は学習者自身が自由に問題を選択する．事後テストでは事前テストと同様の問題を出題する．

5.2 実験結果

5.2.1 テスト結果

テストの結果を表 1 に示す．テストは単純ソートを題材とした問題を 6 問提示し，各問題で 1 点ずつの 6 点満点で採点する．採点の結果，平均点が実験群では事前テストが 2.00 点，事後テストが 3.20 点となった．統制群では事前テストが 2.00 点，事後テストが 3.14 点となった．そして，効果量 d を求めた結果，実験群は 1.02 で効果量大，統制群は 0.53 で効果量中という結果になった．

表 1 事前・事後テストの結果

	平均		標準偏差		効果量(d)
	事前	事後	事前	事後	
実験群	2.00	3.20	1.00	1.32	1.02
統制群	2.00	3.14	1.60	2.53	0.53

5.2.2 ログ分析結果

統制群の被験者のうち，事後テストで満点をとった 2 名の問題の移行を表 2 に示す．また，学習者が選択した問題が実験群のシステムで選択する問題と一致している箇所を表中に下線で示す．この表から，C3 は，P0 から P17 までは順に選択し，時間内にすべて正解したのち，P0 を学習しなおしている．C7 は自身で選択した問題がシステムによって選択する問題と一致している箇所が多いことがわかる．このことから，適切に問題選択することができていたため，学習効果があったと考えられる．このことから，学習が必要な問題を学習することができているため，点数が向上したと考えられる．

5.2.3 アンケート結果

アンケート結果の一部を表 3 に示す．6 件法を用いて，6 が「とてもそう思う」，5 が「そう思う」，4 が

表 2 C3,C7 の問題の移行

	学習者による問題の移行
C3	P0→ <u>P1</u> → <u>P2</u> →P3→……→P16→P17→P0
C7	P0→ <u>P1</u> →P17→P5→P4→P3→ <u>P2</u> → <u>P1</u> →P12→P11→P13→ <u>P12</u> → <u>P11</u> → <u>P12</u> → <u>P11</u> → <u>P12</u> → <u>P11</u>

「どちらかといえばそう思う」，3 が「どちらかといえばそう思わない」，1 が「まったくそう思わない」として平均を集計した．アンケートの結果から，「補助問題の提示機能はプログラミング学習に有効であると思いますか?」「問題マップの表示機能はプログラミング学習に有効であると思いますか?」の項目において，実験群から肯定的な評価をえられた．また，「自分で問題を選択する機能はプログラミング学習に有効であると思いますか?」の項目において，統制群からは肯定的な評価をえられなかった．そして，「本システムによる学習はプログラミング学習において有効だと思いますか?」の項目において，統制群と比べて実験群に肯定的な評価をえることができた．

また，「本システムがプログラミング学習の妨げになる点 等，悪かった点について記述してください．」について，実験群の学習者から「コンパイルエラーの表示のみではどこで間違えたのか確認するのが難しかった」という意見があった．

表 3 アンケートの結果

質問内容	実験群	統制群
システムで提示された補助問題ともとの問題との関係を意識しましたか?	4.5	-
システムから提示された補助問題は問題の解き方を理解するヒントになったと思いますか?	4.1	-
補助問題の提示機能はプログラミング学習に有効であると思いますか?	4.9	-
自分で選択した問題ともとの問題との関係を意識しましたか?	-	3.0
自分で選択した問題はもとの問題の解き方を理解するヒントになったと思いますか?	-	2.7
自分で問題を選択する機能はプログラミング学習に有効であると思いますか?	-	2.3
システムで提示された問題マップは問題を解くヒントになったと思いますか?	3.7	-
問題マップの表示機能はプログラミング学習に有効であると思いますか?	4.3	-
本システムによる学習はプログラミング学習において有効だと思いますか?	4.4	3.2

5.3 考察

テストの結果から実験群、統制群ともに点数の伸びがみられた。このことから、プログラミング学習における補助問題による学習効果が示唆された。そして、実験群の方が統制群と比べ、効果量が高いことが示唆された。また、統制群ではテストの点数の伸びにばらつきがみられた。そこで、事前・事後テストで点数が向上した統制群の被験者 C3, C7 の 2 名のログ分析を行った。その結果、C7 は自身で選択した問題と実験群のシステムで選択する問題の一致している箇所が多かった。そのため、補助問題を適切に選択できる学習者については学習効果があったと考える。また、C3 は問題選択の一致はないが、すべての問題に着手し、正解することができていることが確認できた。そのため、学習が必要な問題を網羅していたため、点数が向上したと考える。点数が向上した 2 名を除いた統制群は平均点が事前テストで 2.00 点、事後テストで 2.00 点であり、点数の伸びがみられなかった。そのため、問題を適切に選択できなかった学習者は学習効果が少なかったと考える。一方実験群では標準偏差が低く、事前・事後テストの点数では一定の伸びがみられた。この結果から提案システムの学習効果が示唆された。

また、アンケート結果から、実験群の学習者の方が統制群の学習者と比べ、システムでの学習はプログラミング学習に有効であると考えていることがわかった。しかし、解答内容によって実行結果を表示できない場合に表示される「コンパイルエラー」だけではなぜ誤答しているのかわからず、解答を考える妨げになっていることがわかった。今後はエラー内容を表示することで、実行結果を表示できない原因を示す必要があると考えられる。

6. おわりに

プログラミング初学者にとって、複雑なプログラミング課題を理解することは難しく、問題解決に行き詰まってしまうと考えられる。初学者がそのような複雑な課題を理解するためには、学習者の行き詰まりを解消する必要がある。学習者の行き詰まりを解消する手法の 1 つとして補助問題の提示があげられる。

先行研究では、力学の作図問題において、学習者が

行き詰まった場合にもとの問題を単純化した補助問題を誤答箇所に応じて提示するシステムを開発した。システムにより誤答箇所に対応した補助問題を提示することで、力学の作図問題における学習者の問題解決の行き詰まりを解消する支援を提案した。

そこで本研究では、学習者がプログラミング課題で問題解決に行き詰まった際、誤り箇所を分析し誤答箇所に応じた補助問題を提示する。それにより、個々の学習者の問題解決の行き詰まりを解消し、複雑なプログラミング課題の理解を支援するシステムを開発した。

結果、プログラミング学習において補助問題による一定の学習効果が示唆された。そして、提案システムを用いることで、個々の学習者に適切な問題を選択することができた。

今後の課題として、実行結果を表示できない解答をした場合にフィードバックとしてエラーの内容を提示する機能の実装があげられる。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 JP22K12322, JP21H03565, JP20H01730 の助成による。

参考文献

- (1) 平嶋宗, 東正造, 柏原昭博, 豊田純一: “補助問題の定式化”, 人工知能学会誌, Vol.10, No.3, pp.413-420, (1995)
- (2) 相田野々香, 古池謙人, 東本崇仁, 堀口知也, 平嶋宗: “力学を対象とした Error-based Simulation における行き詰まりの解消を指向した補助問題の提示システム”, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J106-D, No.2, in press, (2023)
- (3) 古池謙人, 東本崇仁, 堀口知也, 平嶋宗: “プログラミングの構造的理解を指向した部品の段階的拡張手法の提案と支援システムの開発・評価”, 教育システム情報学会誌, Vol.36, No.3, pp.190-202, (2019)
- (4) 古池謙人, 東本崇仁, 堀口知也, 平嶋宗: “プログラミング課題を構造化することによる理解状態に適応した課題提示方法の検討”, 人工知能学会第 83 回先進的学習科学と工学研究会, pp.35-40, (2018)
- (5) 藤島優希, 古池謙人, 東本崇仁: “知識の再利用性向上を目的としたプログラミング学習における理解状態に基づく適応的フィードバックの開発と評価”, 第 91 回先進的学習科学と工学研究会, pp.60-65, (2021)

対戦型ビデオゲームをプレイすることによる 情報処理能力向上の可能性の検討

三宅 瑞樹^{*1}, 東本 崇仁^{*1}

^{*1} 東京工芸大学工学部

Investigating the Potential of Playing Competitive Video Games to Improve Information Processing Capacity

Mizuki MIYAKE^{*1}, Takahito TOMOTO^{*1}

^{*1} Tokyo Polytechnic University

ゲームは老若男女問わず楽しめる娯楽にとどまらず、学習能力や意欲の向上が報告されており、特定の能力の向上を支援できると考えられる。そこで、本研究では多くの情報から必要な情報を判断する情報処理能力に着目した。実際の対戦型のビデオゲームを簡略化したゲームを開発し、プレイさせることで情報処理能力が向上するか、意欲的に取り組めたかを検証した。結果から、情報処理能力や意欲の向上が示唆された。

キーワード: 情報処理能力, 対戦型ビデオゲーム, 意欲的な学習, ポケットモンスター

1. はじめに

ビデオゲーム（以降単にゲームと呼ぶ）は老若男女問わず楽しむことができる私たちの生活に身近な娯楽となっている。一方で、ゲームは依存性が高く、「ゲームばかりしていて勉強が疎かになる」、「脳の構造に悪影響をおよぼす」などの批判の声があがることも多い⁽¹⁾。しかし、ゲームを題材として行われた研究では、学習者にゲームを2か月間、毎日プレイさせることで意欲や学習能力の向上が報告されている⁽²⁾。このことから、ゲームをプレイすることで特定の能力が向上する可能性があると考えた。

そこで、本稿では「ポケットモンスターソード&シールド」（以下ポケモンゲーム）⁽³⁾に着目した。ポケモンゲームはお互いのポケモンに指示し戦う対戦ゲームであり、対戦中にえられる多くのデータから必要な情報の取捨選択や、複数の情報を組み合わせた判断などの情報処理能力が必要とされる。そのため、ポケモンゲームをプレイすることで情報処理能力の向上が期待できると考え、その検証を行うことを検討した。しかし、ポケモンゲームにはストーリーの要素や心理戦

の要素など、情報処理能力とは関係のない要素があるため、そのままプレイするだけでは情報処理に関する部分以外の影響をうけるため、情報処理能力の向上に繋がっているかの検証が難しい。また、そのままのポケモンゲームには情報の構成要素が多く、情報処理の過程が複雑すぎるため、この点も検証を困難とする。そこで、本研究では情報処理に関係のない（あるいは薄い）要素を省くとともに、情報処理の過程を簡略化したポケモンゲームを開発した。そして、学習者に開発したゲームをプレイさせることで情報処理能力や意欲の向上に繋がったかを検証する。

2. 関連研究・関連技術

2.1 関連研究

Tobias ら⁽²⁾は、被験者に2か月間1日30分以上、「スーパーマリオ64」をプレイさせ、脳への影響を調査するための実験を行った。この実験では、48人の被験者を対象に、ゲームをプレイするトレーニング群と全くプレイしない受動的統制群に分けて調査を行った。また、被験者は過去6ヶ月間、ビデオゲームを

ほとんど・全くプレイしておらず、「スーパーマリオ 64」については未経験者の被験者を対象とした。

トレーニング群は、トレーニング前にゲームの操作方法を教わり、「スーパーマリオ 64」のルールについて説明をうけた。また、トレーニング期間に被験者がゲームに関連する問題で解決することができずに行き詰まっているときにはサポートを行った。受動的統制群は、特に課題を持たずにトレーニング群と同じテストだけをうけた。そして、1日のゲーム時間とその日えたゲーム関連報酬（スター）の量を調査し、アンケートで「楽しさ」「欲求不満」「ゲームへの満足度」を7段階の評価で実施した。

調査の結果、実験前と実験後でトレーニング群の脳の興味・判断・意欲に関する部分の数値が増加したことが確認された。また、記憶や空間学習能力についての値も増加が見られた。このことから、ゲームをプレイすることで意欲や特定の能力が向上する可能性があると考えられる。

2.2 ポケットモンスター

ポケットモンスターは、任天堂が発売しているロールプレイングゲームのシリーズである。ポケットモンスターの基本的な流れとしてプレイヤー自身が主人公になり、ポケモンと呼ばれる不思議な生物たちと冒険を進めていくゲームである。また、ストーリーを進めて楽しむことや冒険の過程で出会ったポケモンを捕まえて仲間にし、育成することもできる。その他にも、友人とポケモンの交換や、対戦でお互いのポケモンを戦わせることもできる（図1）。

そしてポケモンの対戦では、お互いに自分の育てたポケモンから手持ちのポケモンを構成し、指示をだして戦わせる。手持ちのポケモンを出す順番や対戦中の交代などが可能となっているため、相手がどのポケモンを先に出すか、相手が今出しているポケモンを別のポケモンと交代する可能性など相手の行動を読む必要がある。そして、先に相手の手持ちのポケモンをすべて倒した（瀕死にした）プレイヤーが勝利となる。

また、対戦では相手の行動を読むこと以外にも考慮すべきことが多くある。例えば、ポケモンにはそれぞれ体力（HP）、こうげき、ぼうぎょ、とくこう、とくぼう、すばやさがあり、能力の伸びやすさはポケモン

によって異なる。本稿ではこれらの能力値をまとめて「ステータス」とする。こうげき、とくこうの値が高いほど用いる技の与えられるダメージ量が高くなり、HP、ぼうぎょ、とくぼうの値が高いほど相手の攻撃を耐えることができる。また、すばやさの値が高いほどはやく行動できる。そのため、お互いのステータスから相手や自分の攻撃力や耐久力に加えて、すばやさと比較しどちらが先に行動できるかを考えることができる。また、ポケモンの特性や持たせる道具によって自分の攻撃力を高めることや、相手の攻撃を無効化することができることもあり、これらも対戦の中で考慮する必要がある。その他にも、同じポケモンでも性格などによって普通よりも攻撃力、防御力、すばやさが高くなることや、低くなることもあり、ポケモンの育成の段階でどの性格、特性、道具にするのか、一緒に手持ちに入れるポケモンとの組み合わせなど多くのことを考慮する必要がある。熟達者になると自分のポケモンと相手のポケモンのステータス、特性、道具、性格や、相手と自分の生き残っている手持ちのポケモンなどをすべて考慮した上で自分がどのような行動をとるべきか判断する。さらに、「POKEHOME」によって、全国のプレイヤーのオンライン対戦の統計データを閲覧することができるため、対戦でよく使われているポケモンとそのポケモンの技の使用率などを知ることができる。このように、ポケモンは育成や手持ちのポケモンを構成するだけでなく、実際の対戦の中でも相手に勝利するために考慮すべきことが多く存在する。



図1 ポケモン（ポケットモンスターソード&シールド公式サイトより引用⁽⁴⁾）

3. 提案手法

題材としたポケモンゲームの対戦において、対戦の

中で多くの情報から必要な情報を判断する能力や複数の情報を組み合わせた判断をする能力が必要とされる。そのため、学習者にポケモンゲームをプレイさせることで、ポケモンゲーム内での情報処理能力が向上する可能性があると考えられる。さらに、ポケモンゲームにおいて複数の情報を取捨選択し、統合し、ポケモンや行動を選択する活動は、当日の天気や気温、最近の流行などを加味して販売する商品や戦略を決定するマーケティングの領域などの社会的な情報処理能力の向上にも影響すると予想される。そのため、ポケモンゲームをプレイすることで、ポケモン以外の領域における情報処理能力の向上への転移が行われる可能性があると考えた。

本研究では、ポケモンゲームにおける対戦をテーマとして取り上げ、ポケモンゲームに存在する多くの情報から、対戦で勝利（あるいは敗北）するための行動を選択させるとともに、勝敗に関連する要素を選択させる学習活動を提案する。本学習活動において、学習者は多くの情報から必要な情報を取捨選択し、勝敗と結び付けて処理することを要求されることになるため、情報処理能力の向上が期待されると考えた。

ただし、先述したように実際のポケモンゲームにおける対戦では心理戦の要素など情報処理能力に関連の薄い要素や、複数のポケモンを組み合わせたチームの構成や戦略など初学者が検討するには複雑すぎる要素があるため、その要素については割愛した活動を設計している。実際のポケモンゲームにおける対戦と、本提案手法における対戦の違いを表1にまとめる。表より、実際のポケモンゲームの対戦と共通する要素として、ステータス、技の威力やタイプ相性を考慮したダメージの計算、相手のポケモンの行動、これらは相手の考えを読むこと、運要素がなく情報処理を行う活動となっているため、本提案手法においても採用している。一方、ポケモンゲームではシリーズごとにストーリーがあるが、これは情報処理能力と関係がないため割愛している。また、相手がどのようなポケモンを出すかを想定することは対戦における重要な要素であるが、心理戦による読みあいは情報処理能力と関連がないため割愛している。さらに、世界的なポケモンの使用率に基づいた確率的な推定は情報処理能力に関連しているが、これも複雑になりすぎるため割愛している。

さらに、通常の対戦では3体のポケモン対3体のポケモンで行われる。3体のチーム編成は、お互いの手持ちの6体のポケモンが見える状態から自分のチームに編成する3体を決定し対戦が開始となる。その際、相手のチームのポケモンの装備や育成状態を見ることはできないため、相手がどのような戦略を練ってきているのか、相手が初手に出してくるポケモンはどのポケモンかを推測し、自分は最初にどのポケモンを出すべきかを判断する必要がある。また、相手がどのポケモンをチームに編成してきても対処できる組み合わせや戦略を考える必要があり、対戦中においても常にと相手の控えのポケモンや交代のタイミングなどを考慮する必要がある。これは統合的なバランスや弱点や長所について検討することになり情報処理能力に関連する部分ではあるが、要因が複雑になりすぎるため割愛している。

表1 実際のポケモン対戦ゲームとの比較

実際のポケモンゲームの対戦と共通	ターン制、タイプ相性、使用できる技、性格補正、特性、道具、能力値、ダメージ計算
情報処理能力と関連が薄いため割愛	ストーリー、アニメーション、相手の出すポケモンの読みあい（心理戦）、一撃必殺要素（運）、技の命中率（運）、ポケモンの育成（レベル上げなど）
複雑すぎるため割愛	技の当たる確率を元にした計算、相手が出すポケモンの確率的予想、努力値、個体値、技の確率的な付属効果、複数のポケモンを用いたチームの編成・戦略

本研究では、学習者に対戦で勝利（あるいは敗北）するための行動や関連する要素を選択させる問題を出題する。この選択は、多くのデータに基づいてなされる。このもととなるデータは、実際のポケモンゲームに近づけるために、ポケモンゲームの世界中のプレイヤーの対戦データを収集した「POKEHOME」のデータを用いている。

さらに、通常のポケモンゲームでは、行動を選択した後は実際に選択の結果を、相手に与えたダメージや効果、こちらがうけたダメージや効果としてフィードバックされることになる。このダメージを与えるという行動を数回繰り返すことで相手のポケモンを倒せれ

ば勝利となる．本提案手法でも同様に，学習者が選択した行動の結果について，ただ問題の解説を行うのではなく，実際の対戦の場合に返される結果と類似した結果を返すこととする．このように，フィードバックを設計することで，実際に対戦を行っているときのような感覚で学習活動に取り組むことができる．

また，ポケモンの対戦において自分のポケモンがどのような攻撃をすれば敵のポケモンを倒すことができるのか，自分のポケモンは相手の攻撃をどのくらい耐えることができるのかを考える必要がある．そこで，相手に与えることのできるダメージや与えられるダメージの量を知ることができるダメージ計算の機能が重要となってくる．なぜなら，ダメージ計算では，使用する技の威力やタイプ相性だけでなく性格や道具，特性，技の効果，敵のポケモンの装備やポケモンの種族値によってもダメージの量が変動する．そのため，相手を倒すことができるダメージを与えるにはどのような攻撃方法を用いればよいのかを判断するうえでもダメージ計算は重要である．そこで，本提案手法ではダメージ計算も学習活動の範囲に含むこととする．

4. 提案システム

本研究では，構成要素が複雑になってしまうことを防ぐため，手持ちのポケモンの交代などの読み合いの要素を省き，実際の対戦を簡略化したポケモンゲームを開発した．開発したゲームでは，対戦の中で必要とされる多くの情報から行動を選択する情報処理の過程を学習者に考察させる．

システム画面について説明する．図 2 の(a) 問題画面では，敵と自身のポケモンの情報を閲覧でき，学習者は閲覧できる情報をもとに敵を倒せる要因となる情報を特定する．また，閲覧する情報は学習者が情報を閲覧したいポケモンとデータ項目を選択することで自由に閲覧できる．閲覧できるデータ項目の中には，「ステータス」，「使用技」，「性格」などがあり，これらの項目からお互いの弱みや強みがわかる．

例として，(a) 問題画面では「ステータス」の項目からお互いの「すばやさ」の値を閲覧でき，比較することで自身のポケモンが敵のポケモンより先に行動できるかを判断できる．また，問題画面の「ダメージ計

算」のボタンを押すことでダメージの計算を行うことができる（図 3）．ダメージ計算は算出した値からお互いのポケモンが，どの技でどのくらいのダメージを与えることができるのかを知ることができ，ポケモンの対戦に必要な要素である．しかし，計算能力は情報処理能力とは別の能力であるため，学習者は本システム内にあるダメージ計算機能を用いて計算を行う．

例えば，この図 3 の画面では左側に表示されている「ガブリアス」が攻撃を与える攻撃側，右側の「エレキブル」が攻撃側の攻撃をうける防御側となっている．攻撃側の使用技やお互いの性格，道具などの条件を選択して「計算開始」を押すことで算出された計算結果が表示される．算出された与えられるダメージの値は攻撃側の「ガブリアス」の右側のオレンジの枠の中に表示されている値である．そして，防御側の左側にある青い枠の中に防御側の最大 HP が表示されているため，学習者はこれらの値から敵のポケモンをどのくらいで倒すことができるのかを知ることができる．この図の場合「ガブリアス」が「じしん」を打った時のダメージが表示されているため，「エレキブル」の最大 HP から「ガブリアス」はエレキブルを「じしん」1 発で倒すことができる．

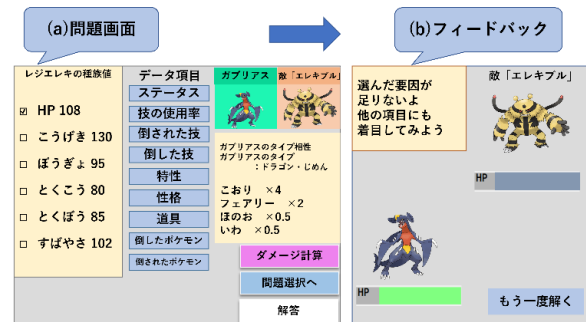


図 2 システム画面



図 3 ダメージ計算機能

このように、学習者は与えられた多くの情報から必要な情報を判断し分析、比較することで自身のポケモンの勝因を特定する。これにより、学習者は自身に必要な情報の取捨選択や複数の情報の判断能力を身につけることができる。

そして、学習者の解答後に図 2 の(b)フィードバック画面を表示する。図 2 に表示されているこの画面は学習者が解答した要因が不足しており、不正解だったときの状態である。要因が不足していた場合、学習者に他のデータ項目に着目するように促すことにより、学習者に学習者自身の解答に応じたフィードバックを与え、正解を導くことができる。そして、学習者が正解した時には実際の対戦のようにどのような技や攻撃方法で敵のポケモンを倒すことができたのかといった結果の表示を行う。これにより、学習者は実際のゲームをプレイしている感覚でシステムの利用を楽しむことができる。

5. 評価実験

5.1 評価実験手順

大学生 15 名を対象に、学習者に開発したゲームをプレイさせることで、情報処理能力が向上するか、意欲的に取り組めたかを検証する。検証のため、事前・事後テストと 6 件法によるアンケートを行った。

評価実験の流れは事前テスト→システム利用→休憩→事後テスト→アンケートといった流れで行った。また、ポケモンゲームについての知識や経験がない学習者のことを考慮し、事前テストの前には今回のシステムで用いる範囲のポケモンの対戦のルールに関する前提知識の事前説明を実施した。テストは、提案システムやポケモンの対戦ゲームに近い問題が出題されるポケモンテストと、天気や気温、参加する男女比などを元に売り上げが高い商品を考える社会的なマーケティングに関連する文化祭テストを用意した。ポケモンテストはポケモンゲームの対戦の問題となっており、配布した様々なデータが掲載された資料から学習者に自分のポケモンが敵のポケモンに勝つ要因を選択させる問題となっている。文化祭テストは文化祭を題材として、日常でも行うような情報処理の問題となっており、各テストに 2 問ずつ出題した。また、問題 1 と問題 2

で違う問題を用意した。文化祭テストでは、ポケモンと全く関係のない情報処理の問題となっているため、提案システムを学習することで他領域にも転移が起きるかを確認するために実施した。問題を解く際には、問題に関連する複数のデータを記載した資料を学習者に配布した。問題 1 は、学習者は配布されたデータから文化祭で出す商品の売り上げが高い順に並び変える問題である。そして、問題 2 では問題 1 で学習者が解答した並び替えとなった要因となるデータを選択させた。配布した資料には、それぞれの商品の特徴や近年の売り上げ、客数などさまざまなデータを用意した。

事前・事後におけるテストでは同じ問題を出題した。また、ポケモンテスト、文化祭テストともに各 10 分で行わせた。事前テスト後には、システムを 60 分利用させた。その後、学習者の疲労を考慮し 50 分の休憩時間を設けた。休憩時間では、なるべく頭を使う作業などは控えるように指示をした。休憩後に、事後テストを行わせ、最後に 6 件法（1:全くそう思わない・6:非常にそう思う）によるアンケートを実施した。アンケートでは、システムを楽しく利用できたか、意欲的に学習に取り組むことができたかなどの項目を用意し、学習者の意欲を調査した。

5.2 評価実験結果

5.2.1 事前・事後テスト

事前・事後テストの結果を表 2、3 に示す。テストの結果はポケモンテストの問題 1、問題 2、文化祭テストの問題 2 に関しては要因選択問題となっているため学習者の解答のなかで選ぶべき要因を選択できた数を正答とし、選ぶべきでない要因の選択数を誤答として記載している。そして、正答のスコアから誤答のスコアを引いた値を総合スコアとした。

student's の t 検定を行い、cohen's d の効果量も求めた（表 4、表 5）。 t 検定より、ポケモンテストにおいては問題 2 の誤答以外で事前・事後の平均点に水準で有意な差があることがわかった。このことから、ポケモンテストの問題 1、2 における正答スコアと総合スコアは向上しており、問題 1 の誤答スコアは現状していることがわかった。また、文化祭テストでは、問題 2 の誤答スコア、総合スコアにおいて 5%水準で有意な差がえられ、問題 1、問題 2 の正答スコアについ

では 10%水準で有意な傾向があった。

効果量について、ポケモンテストの問題 1, 2 ともに正答スコアと総合スコアで大という結果がえられ、誤答スコアについては中という結果がえられた。また、文化祭テストについても問題 1 で大、問題 2 の総合スコアで中という結果がえられた。

以上より、本提案システムにより、ポケモンテストにおいては問題 2 の誤答以外で成績を向上させることがわかったといえる。さらに、文化祭テストにおいても各問題において効果がえられたことから、本提案システムにより他の領域の情報能力の向上にもつながる可能性が示唆された。本提案システムは、通常のポケモンゲームの要素のいくつかを割愛したものであり、実際のポケモンゲームのデータを収録した POKEHOME のデータに基づいて設計されており、実際のダメージ計算を導入していることから、実際のポケモンの対戦ゲームに類似した活動を設定しているといえる。そのため、実際のポケモンゲームの対戦活動を通して、情報処理能力の向上が期待できるのではないかと考える。

表 2 ポケモンテスト：スコア平均（標準偏差）

		事前：平均 (標準偏差)	事後：平均 (標準偏差)
問題 1	正答	5.93(2.21)	7.33(0.79)
	誤答	4.73(5.36)	1.53(2.25)
	総合	1.20(5.42)	5.80(2.48)
問題 2	正答	1.80(2.86)	8.20(1.56)
	誤答	1.20(2.20)	2.33(1.74)
	総合	0.60(1.02)	5.87(1.45)

表 3 文化祭テスト：スコア平均（標準偏差）

		事前：平均 (標準偏差)	事後：平均 (標準偏差)
問題 1		0.07(0.49)	0.40(0.49)
問題 2	正答	9.53(3.32)	10.93(3.71)
	誤答	6.40(3.95)	4.87(4.50)
	総合	3.13(5.16)	6.07(5.41)

表 4 ポケモンテスト：効果量と t 検定

		効果量(d)	効果量 目安	p 値
問題 1	正答	0.84	大	p=.033*
	誤答	0.78	中	p=.013*
	総合	1.09	大	p=.003*
問題 2	正答	2.76	大	p<.001*
	誤答	0.62	中	p=.140
	総合	4.20	大	p<.001*

+ : 10%未満 * : 5%未満

表 5 文化祭テスト：効果量と t 検定

		効果量(d)	効果量 目安	p 値
問題 1		0.85	大	p=.055+
問題 2	正答	0.40	小	p=.094+
	誤答	0.36	小	p=.049*
	総合	0.56	中	p=.009*

+ : 10%未満 * : 5%未満

5.2.2 アンケート

開発したシステムを利用することで、学習者が意欲的に取り組むことができたか、楽しめたかを調査するため 6 件法によるアンケートを行った。アンケートの結果と回答の平均を表 6 に示す。意欲や楽しさを問う質問である質問①、質問②では 4.62, 4.85 と高い数値がえられたことから学習者の多くがシステムを楽しく意欲的に取り組めたと考えられる。その他にも、情報処理能力との関連性に関して問う質問③と質問④でも肯定的な評価をえられたことから、学習者はシステム利用の中で情報処理能力の向上に効果的だと感じていたことがわかった。また、実験の前後での気持ちの変化を聞いたところ、質問⑤と質問⑥では 4.69 から 5.00, 質問⑦と質問⑧では 4.77 から 5.08 とどちらの質問も実験の前後でわずかに肯定的な意見が増えたことがわかる。このことから、本実験を通して、学習者がポケモンゲームや一般的なゲームの情報処理能力との関連性を実感するようになったことが示唆された。

表 6 アンケート結果

質問		平均
①	システムは楽しく利用できたと思いますか	4.62
②	システムの問題を解くのに意欲的に取り組めたと思いますか	4.85
③	このシステムは複数のデータを組み合わせた考え方を身につけるのに効果的だと思いますか	4.23
④	このシステムは多くの情報から必要な情報を判断する力を身につけるのに効果的だと思いますか	4.69
⑤	<実験前> 今回のポケモンの対戦のような数値や勝因を考える過程は情報処理能力の向上に繋がると感じますか	4.69
⑥	<実験後> 今回のポケモンの対戦のような数値や勝因を考える過程は情報処理能力の向上に繋がると感じますか	5.00
⑦	<実験前> 一般的なゲームにより情報処理能力などの有用な能力の向上が行えることはあると思いますか	4.77
⑧	<実験後> 一般的なゲームにより情報処理能力などの有用な能力の向上が行えることはあると思いますか	5.08

6. おわりに

ゲームは、プレイする中でさまざまな能力が必要とされ、プレイすることでその能力が向上する可能性がある。このことから、ゲームを用いることで意欲的に学習に取り組ませ、特定の能力を向上させることができるのではないかと考え、ポケモンゲームを題材としたシステムを提案した。ポケモンゲームは、対戦の中で多くの情報から自分に必要な情報を選び取り複数の情報を組み合わせた判断などといった情報処理能力が必要とされる。そのため、学習者にポケモンゲームをプレイさせることで情報処理能力が向上する可能性があると考えた。また、ゲームであることから、楽しく意欲的に学習に取り組むことができると考えられる。しかし、ポケモンゲームには読み合いなどの情報処理とは関係のない部分や複雑になりすぎてしまう要素があり、そのままポケモンゲームをプレイさせるのでは情報処理能力の向上の検証が難しい。そこで、本研究

ではポケモンゲームを題材として、対戦の中で考慮すべき読み合いや確率を加味した判断などの複雑になりすぎてしまう要素や関係のない要素を省いたゲームを開発し、検証、評価を行った。

結果、実際のポケモンゲームの対戦の問題を出題したポケモンテストだけでなく文化祭テストにおいても事前と事後で成績の向上がみられた。このことから本提案システムは、ポケモンゲームとは他の領域の情報処理能力の向上にもつながる可能性が示唆された。また、アンケートにより学習者の多くが意欲的に学習に取り組めたことがわかった。今後の課題として、テストのスコアの増加がシステムの利用によるものなのかの検証を行うために、システムを利用しない群を設けた実験を行うことがあげられる。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 JP22K12322, JP21H03565, JP20H01730 の助成による。

参考文献

- (1) 松崎泰, 川島隆太: “ネットとゲームへの依存が脳に及ぼす影響”, <https://psych.or.jp/publication/world091/pw08/>, (参照 2022-11-10)
- (2) SKuhn, T Gleich, RC Lorenz, U Lindenberge, and J Gallina: “Playing Super Mario induces structural
- (3) brain plasticity: gray matter changes resulting from training with a commercial video game”, *Molecular Psychiatry* 19, pp. 265–271 (2014)
- (4) 株式会社ポケモン: “ポケットモンスターソード&シールド”, https://www.pokemon.co.jp/ex/sword_shield/, (参照 2022-11-10)

コード共有プラットフォームにおける 戦略性を考慮した評価指標の提案と実装

前田 新太郎^{*1}, 古池 謙人^{*1}, 東本 崇仁^{*2}

^{*1} 東京工芸大学大学院工学研究科, ^{*2} 東京工芸大学工学部

Implementation of Quality Indicator based on Strategy in Code Sharing Platform

Shintaro Maeda^{*1}, Kento Koike^{*1}, Takahito Tomoto^{*2}

^{*1} Graduate School of Engineering, Tokyo Polytechnic University,

^{*2} Faculty of Engineering, Tokyo Polytechnic University

プログラミング学習では、コードをより良いものへ洗練することが重要である。これまで、受講者の多様なプログラミングのレベルに着目し、レベルの近いコードを提示するコード共有プラットフォームを開発してきた。本稿ではより正確な受講者ごとのレベルを評価するべく、コードの振舞いを用いて戦略の近さも考慮した評価指標を提案・実装する。提案手法では、自身より発展したコードや無駄な動きが少ないコードの数値化を試みる。

キーワード: プログラミング学習, 他者からの学び, コード共有, 仮想ロボットプログラミング

1. はじめに

プログラミング学習において、自身の記述したコードをより良いものへ近づける、コードの洗練活動は重要である。本研究ではこれまで、プログラミングのレベルが異なる様々な学習者が受講されることが期待されるプログラミング講義に着目し、学習者のレベルに近いコードが共有される環境をコード共有プラットフォームとして開発してきた⁽¹⁾。プログラミングについて初めて学ぶ学習者から独学で学んできた学習者といった、様々なレベル差のある学習者のプログラミングに関する知識を収集・評価することで、学習者のレベルに応じたコードを教師の負担なく共有することが実現される。学習者は自身のレベルの近いコードが共有されるため、他者のコードから学ぶことができ、自身のコードの洗練活動につながる。さらに、この活動を繰り返すことで、漸進的な学習になることが期待される。

開発してきたシステムは、仮想上で動作するロボットプログラミングを学習題材としている。学習者は、ロボットに対して、「畑に移動」、「畑に植え」、「成長した作物の収穫」といった動きが行えるようにコードを記述する。さらに、システム上では、ロボットプログラミングを基にした評価指標とその評価によるランキング機能を備えており、学習者のランクに近いコードのみ共有されるように制御する。

本システムは、小規模な実験室環境上⁽²⁾や授業実践による大規模な環境上⁽³⁾での評価を既に実施しており、一定の学習効果が確認された。しかしながら、評価指標のみ用いたレベルの近さを評価するランキング機能では、必ずしも学習者の戦略に沿ったコードが共有されるとは限らない。

そこで本研究では戦略を考慮する仕組みをランキング機能に拡張する形で提案・実装する。具体的には、コードの実行時の振舞いを戦略として定義し、学習者の記述したコードの振舞いに類似しているか評価する。



図 1 開発してきたシステム画面の例

2. コードの洗練活動

2.1 コードの洗練における学習題材

コードをより良いものへ近づける洗練活動は重要である。一般的なプログラミング講義においても、講義内で、良いコードの例をプロジェクターやディスプレイなどで投影し、どの点が良いのか解説する場合や、教師自らが、より良いコードに関する書き方や手法などを、学習者の前で披露する場合がある。このように、コードの洗練活動の重要性は確かなものであるが、多くのケースにおいて、学習者は適切な学習につながらないことが懸念される。例えば、教師から教授される良いコードの書き方については、別の学習者が記述したコードや参考書に書かれているコードといった、学習者自身のコードをベースとした解説ではない。そのため学習者は、自身のコードと解説されたコードの差異を見出すことができずに、学習につながらない事が考えられる。一方で、教師が学習者一人ひとりのコードを評価し、より良いコードの記述とその解説をすることは、一対多で実施されるプログラミング講義において現実的ではない。

そこで本研究では、様々なプログラミングのレベルを持つ学習者が受講されるプログラミング講義に着目した。プログラミング講義は通常、プログラミングに関して初めて触れる学習者や、独学で学んできた学習

者など、幅広いレベルを持つ学習者が多く受講する。この学習者の知識をコード共有という形で活用することで、学習者にレベルの近いコードを提示することができるのではないかと考えた。学習者は自身のレベルに近いコードが提示されることから、自身のコードと共有されたコードとの差分を学び、自身のコードに取り入れることができる。つまり本研究では、他者のコードから学び、そこから自身のコードに学んだ要素を取り組み、洗練する活動を促す学習活動を支援する。

2.2 他者からの学びによる学習効果と提案手法

本研究では、他者のコードから学び、自身のコードを洗練する活動を促す学習環境を提案している。他者のコードからの学びによる学習効果は多くの研究から報告されている⁽⁴⁾⁽⁵⁾。その中で特に、プログラミングの熟達者の記述したコードを読むことは、学習者において、より良い学習につながる事が報告されている⁽⁶⁾。このように、教育上、熟達者の記述したコードから学ぶことによる学習効果は明らかであるが、初学者がファーストステップとして熟達者のコードを読むことは、互いのレベル差から学習につながらない。この問題の解決には、学習者のレベルに少し近いコードを与えることが望ましいと考える。

本研究では、プログラミング講義を受講する学習者を対象に、互いのコードを共有することで、より良い

コードに近づける、洗練活動を促す学習デザインを提案した。

3. 先行研究 - コード共有プラットフォーム

3.1 システム概要

2 章にて述べたように、本研究ではこれまで、他者のコードから学び、自身のコードの洗練活動を促すコード共有プラットフォームを開発してきた。

開発したシステム（図 1）は、農場をテーマとした仮想上で動作するロボットプログラミングで、作物を収穫させ、スコアを競い合うゲームのような仕様となっている。学習者は、ロボットに対して、畑を巡回しながら種植えと収穫を行うようなプログラミングをする。ロボットが成長した作物を収穫すると、後述する収穫ポイントを獲得することができる。

3.2 課題設計

他者のコードから学び、自身のコードへ学習した要素を取り入れるためには、その他者のコードがどのように動作しているかを理解する必要がある。本システムでは仮想ロボットプログラミングにより、学習者の記述したコードの実行時動作を振舞いとして可視化することにより活動の支援をする。

3.3 評価指標

学習者にレベルの近いコードを共有するためには、コードのレベルを評価することが重要である。本システムでは、ロボットプログラミングを基に、評価の指標を定めた。具体的には、「収穫数」、「コスト」、「合計スコア」の 3 つである。「収穫数」は、作物の収穫できた数を表す。「コスト」は、ロボットに対して何かしらの行動をするたびに増加するステップ数を表す。「合計スコア」は、「収穫数」から「コスト」を引いた結果を表す。コードの評価は一意に定まらず、コードの再利用性やコードの見やすさといった複数の観点が考えられるが、開発したシステムは、多くの作物を収穫でき、よりコストを抑えたコードを良いコードとして定めている。また、コードの書き方のような、静的な評価は考慮されておらず、実行時動作のような、動的な評価

を取り入れている。

3.4 ランキング機能

本研究では、他者のコードからの学びに着目している。学習者の学習対象となるコードは、その学習者のレベルに近いことが望ましい。そこで本研究では、3.3 節にて説明した評価指標による評価を用いて、ランキング順にソートし、学習者のランクに近いコードのみ閲覧できるランキング機能を提案した。

実際に開発したランキング機能を図 2 に示す。ランキング機能は、評価指標による指標ごとのランキングを学習者に提示する。学習者は、閲覧したいランクを選択すると、そのランクの実際のコードが画面右部に提示される。ランキング機能の制約としては、学習者のひとつ上のランクから下のすべてのコードが閲覧できるようになっている。つまり、図を例に、自身のランクが 22 位だった場合には、21 位から下のすべてのコードが閲覧できる。ここで、20 位のランクを選択したとしても、コードは提示されない。

4. 戦略を考慮したコード共有プラットフォーム

4.1 概要

本研究ではこれまで、他者のコードから学び、自身のコードを洗練する活動を促すコード共有プラットフォームを開発してきた。また、開発したシステムは、実験室環境における予備評価実験と実践環境下における授業実践にて、一定の学習効果が確認された。その一方で、本研究の重要視するレベルの近いコードのみ

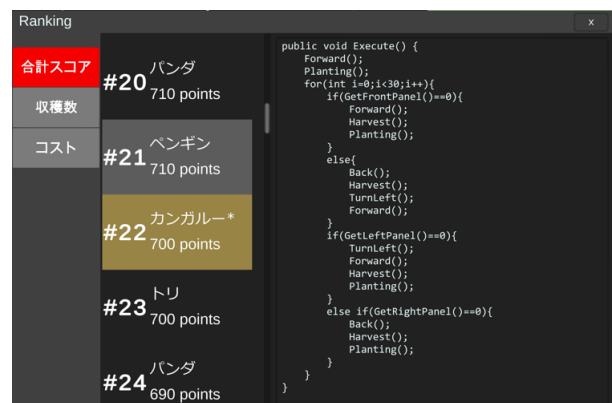


図 2 ランキング機能の画面の例

共有する仕組みに関して、未だ改善の余地があると考ええる。具体的には、レベルの近いコードとして学習者に共有する際に、「戦略」を考慮する必要があるのではないかと考えた。

戦略の重要性について図3のロボットの移動に関する戦略を例に説明する。図の例では、Aさんは、畑の外縁をロボットが移動するような戦略をとっており、Bさんは、敷き詰められたすべての畑をロボットが移動するような戦略をとっている。このとき、例のようなロボットの移動方法について思考途中であるCさんに対して、例えば、Aさんのコードを共有したとしても、Cさんは自身の戦略と異なることから、学習につながらない恐れがある。その一方で、Bさんの戦略はCさんの戦略に類似していることから、BさんのコードをCさんへ共有することはBさんにとって、有益な学習につながるのではないかと考える。つまり、このような戦略を考慮することで、よりレベルの近さを考慮したコード共有が実現できる。

また、一般的なプログラミングにおける戦略の例として、ソートアルゴリズムがあげられる。ソートアルゴリズムは、あるデータの集合を昇順などに並び替えることであるが、この並び替える方法が戦略に値すると考える。例えば、一次元配列のデータにおいて、隣接する値同士を比較し、入れ替える処理を繰り返すことによりソートを実現するバブルソートや、ある値から最後の値まで順に照らし合わせて、最小値を見つけた際に先頭の要素と交換する選択ソートなど、要素を並び替えるソートアルゴリズムに対して複数の戦略が

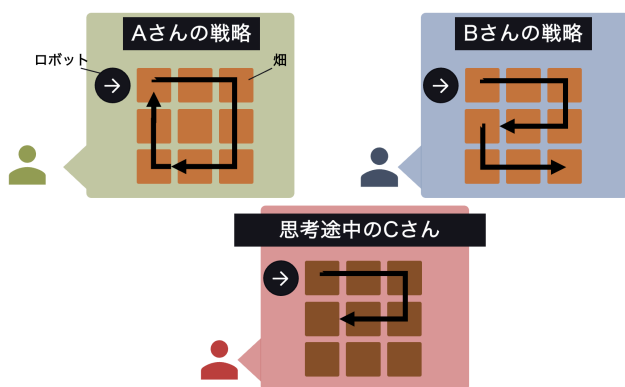


図3 学習者ごとに異なる戦略の例

存在する。このように、開発してきたシステムの課題設計のみならず、一般的なプログラミングにおいてもある目的に対して複数の戦略が考えられる。

そこで本研究では、戦略の重要性に着目して、その戦略を考慮した評価機構の提案とその評価を自身と他者と比較し、類似度を評価する仕組みを提案する。類似度を評価することで、学習者の得点の近さに加えて戦略的な近さも考慮したレベルの近いコードを共有することができる。これにより、学習者は従来のシステムと比べてより高い学習効果を生み出すことが期待される。

4.2 提案手法

学習者の記述したコードの戦略を評価することは、そのコードのアルゴリズムを用いることが適切だと考える。本研究では戦略を評価する手法として、コードの実行時の動作から生成される、振舞いを用いることを提案する。具体例を図4に示す。図の例では、ある学習者の記述したコードに対して、そのコードの振舞いをデータ系列のような形で示している。図のように、コードが `Forward0; Forward0; Forward0; Planting0;` であった場合、生成される振舞いとしては $F \rightarrow F \rightarrow F \rightarrow P$ となる。

本研究では、コードの戦略を評価する観点として、コードの構造（記述したコード）ではなく、コードの意味や機能（生成された振舞い）に近い。つまり、図の例では `Forward0;` が複数回呼ばれているが、`for` による繰り返し処理に置き換えたとしても、同じ振舞いであることから、異なる戦略として評価しない。

図5のコードAでは、関数を一種のベタ書きのよう

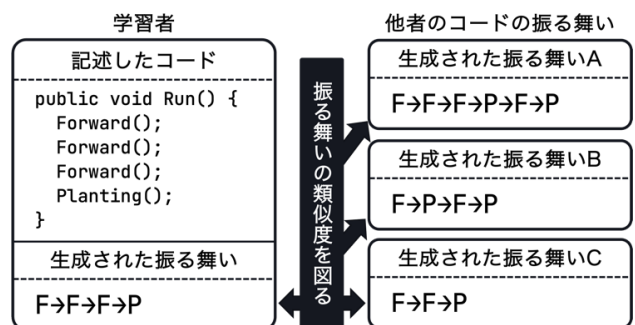


図4 類似度を図る具体例

に呼び出しているが、Bコードでは、for を用いてより簡潔に仕上げている。このように、コードの構造上ではコードAとコードBでは大きく異なっているが、振舞いを比較すると、同一となっている。このとき、戦略を評価する手法としてコードの構造を比較するような手法を用いた場合では、同一の振舞いに関わらず、戦略の異なるコードとして評価されてしまう。よって、本研究では、ある機能をどのように達成しようとしているかを測ることができる振舞いを用いて戦略の評価をする。自身と他者との振舞いを比較することで、どのくらいそれぞれの戦略が近いかを類似度として算出する。類似度の算出には、自身の振舞いと他者の振舞いの中にある一つ一つの処理を比較し、一致する回数を用いる。比較の際には、一回の探索による一致数で終わらずに、直近の組み合わせを外した状態で再度探索する、バックトラック法を用いる。バックトラック法により、複数回探索し、最も多く振舞いの処理が一致した回数を類似度の算出に採用する。一致した回数が定まると次に、自身の振舞いの数/一致した回数で適合率、他者の振舞いの数/一致した回数で再現率をそれぞれ算出する。そして最後に、適合率と再現率の調和平均としてF値を算出する。このF値を本研究では、類似度として定義する。

図6に類似度の算出例を示す。図の例では、AさんとBさんの振舞いを比較している。まず、2つの振舞

いの一致する数を調べるために、バックトラック法を用いて複数回探索を行っている。探索の結果から、一致した振舞いの数は5個であることから、適合率は5/5、再現率は12/5という結果となった。最後に、適合率と再現率の調和平均として、F値は0.59という結果となった。つまり、AさんのコードはBさんのコードに0.59、類似していることになる。このような流れで本研究では自身と他者との振舞いの類似度を測る。

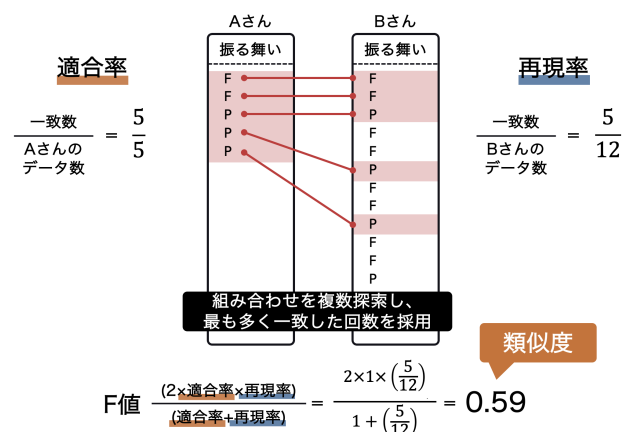


図6 類似度の算出方法の例

5. ケーススタディ

5.1 検証概要

本研究では、4章にて提案した類似度の算出手法をシステムに実装および評価する。今回はケーススタディとして、これまでの予備評価実験と授業実践にて学習者が記述したコードを用いて、水たまりパネルを回避するアルゴリズムが求められる問題3を対象とする。評価方法としては、ある無作為に選択した学習者のコードを基準にランキングを生成する。ランキングは、従来の戦略を考慮しないランキングと提案手法による類似度を用いた戦略を考慮するランキングの2つである。戦略を考慮するランキングでは、一定の類似度(0.3以上)が満たされないとランキングに表示されない制約を設定する。この2つのランキングを比較し考察する。

5.2 考察

図7は無作為に選択した実験時に学習者が作成したコードである。このコードを基に、2つのランキング

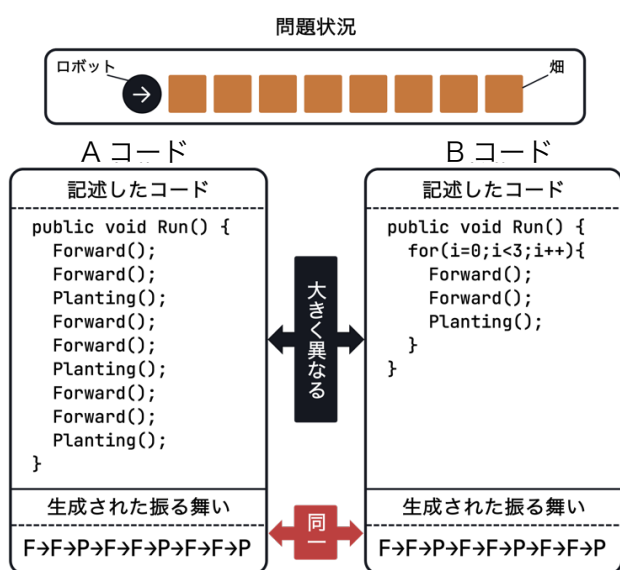


図5 コードの構造と振舞いの比較の例

を繰り返し行っていることから、提案手法のシステムは適切に戦略を考慮したランキングが生成できていると考える。

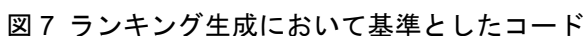
以上，考察から，提案した類似度の算出方法および類似度を用いて生成したランキングは，学習者の記述したコードの戦略を適切に評価できていることがわかった．

本研究では、コードの振舞いを戦略として、自身と他者との振舞いを比較することにより、類似度を算出する仕組みを提案した。

7. おわりに

そこで本研究では、学習者は高得点を目指そうとする際に戦略が存在することに着目して、戦略を考慮したランキング機能を提案した。具体的には、学習者の記述したコードの振舞いを他者との比較を行い、類似度として算出する。本稿ではケーススタディとして、これまでに実施した実験にて学習者が作成したコードを用いて、従来のランキングのコード群と提案手法による類似度を考慮したランキングを比較および考察した。

考察から，従来のランキングでは，全く異なるロボットの動作をするコードが集まった結果に対し，類似度を考慮したランキングでは，ロボットの動作が類似



したコードが集まる結果となった.

今後の課題として, プログラミング熟達者による評価実験が挙げられる.

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 JP22K12322, JP21H03565, JP20H01730 の助成による.

参 考 文 献

- (1) 前田新太郎, 古池謙人, 東本崇仁: “ロボットプログラミングを題材にした競争型知識共有プラットフォームの提案と実装”, 人工知能学会第 91 回先進的学習科学と工学研究会, pp.87-92 (2021)
- (2) 前田新太郎, 茂木誠拓, 古池謙人, 東本崇仁: “仮想ロボットプログラミングを用いたコード共有プラットフォームの開発と評価”, 教育システム情報学会誌, Vol. 40, No. 3, in press, (2023)
- (3) 前田新太郎, 古池謙人, 東本崇仁: “仮想ロボットプログラミングを対象としたコードの洗練活動を促す知識共有プラットフォームの実践利用の分析”, 人工知能学会第 95 回先進的学習科学と工学研究会, pp.1-6 (2022)
- (4) 東本崇仁, 赤倉貴子: “提案するプログラムトレース課題のための学習支援システムの開発とその実践”, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. 101, No. 6, pp. 810–819, (2018)
- (5) Teresa, B. and Carsten, S.: “The use of code reading in teaching programming”, In Proceedings of the 13th Koli Calling international conference on computing education research, pp. 3–11 (2013)
- (6) Iwona, M. and Grace, T.: “Befriending computer programming: A proposed approach to teaching introductory programming”, Informing Science: International Journal of an Emerging Transdiscipline, Vol. 4, No. 1, pp. 277–289 (2007)

従来のランキング

1位 合計スコア: 580 類似度: 0.15 適合率: 0.16 再現率: 0.14

1	public void Execute() {	
2	Forward();	
3	Planting();	
4	while(true){	
5	for(int i=0; i<2;i++){	自身の振舞い
6	if (GetFrontPanel()==1){	前進→種植→前進→種植→前進→種植→左回→左回→左回→左回→
7	TurnLeft();	左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→前進→
8	}	収穫→前進→収穫→種植→前進→種植→前進→種植→左回→左回→
9		左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→
10	収穫→前進→収穫→前進→収穫→種植→前進→種植→前進→種植→	左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→
11		左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→
12	Forward();	左回→左回→左回→前進→収穫→前進→収穫→種植→前進→種植→
13	if (GetGrowthLevel()==0){	左回→種植→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→
14		左回→左回→左回→左回→左回→左回→前進→収穫→前進→収穫→
15		他者の振舞い
16		前進→種植→G前→前進→G成→種植→G成→G前→前進→G成→
17		種植→G成→左回→G前→前進→G成→種植→G成→G前→前進→
18	Planting();	G成→種植→G成→左回→G前→前進→G成→種植→G成→G前→
19	}	前進→G成→種植→G成→左回→G前→前進→G成→種植→G成→
20	if (GetGrowthLevel())>=5){	G前→前進→G成→G成→収穫→種植→左回→G前→前進→G成→
21		G成→収穫→種植→G前→前進→G成→G成→収穫→種植→左回→
22	Harvest();	G前→前進→G成→G成→収穫→種植→G前→前進→G成→G成→
23	Planting();	収穫→種植→左回→G前→前進→G成→G成→収穫→種植→G前→
24		前進→G成→G成→収穫→種植→左回→G前→前進→G成→G成→
25	}	収穫→種植→G前→前進→G成→G成→収穫→種植→左回→G前→

2位 合計スコア: 579 類似度: 0.15 適合率: 0.13 再現率: 0.18

1		
2		
3	public void Execute()	
4	{	
5	turnleft();forward();	
6	forward();	
7	turnright();forward();planting();	
8	turnright();forward();planting();	
9	forward();planting();	自身の振舞い
10	turnleft();planting();	前進→種植→前進→種植→前進→種植→左回→左回→左回→左回→
11	forward();planting();	左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→
12	forward();planting();	収穫→前進→収穫→種植→前進→種植→前進→種植→左回→左回→
13	turnleft();forward();planting();	左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→
14	forward();planting();	収穫→前進→収穫→前進→収穫→種植→前進→種植→前進→種植→
15	forward();planting();	左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→
16	turnright();forward();planting();	左回→左回→収穫→前進→収穫→前進→収穫→種植→前進→種植→
17	turnleft();forward();	前進→種植→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→
18	turnleft();forward();	左回→左回→収穫→前進→収穫→前進→収穫→種植→前進→種植→
19	turnleft();forward();	他者の振舞い
20	turnright();forward();	左回→前進→前進→右回→前進→種植→右回→前進→種植→前進→
21	turnright();forward();	種植→左回→種植→前進→種植→前進→種植→左回→前進→種植→
22	turnright();forward();	前進→種植→前進→種植→右回→前進→種植→右回→前進→種植→
23		左回→前進→左回→前進→右回→前進→右回→前進→右回→前進→
24	forward();harvest();	前進→収穫→右回→前進→収穫→左回→前進→収穫→左回→前進→
25	turnright();forward();harvest();	収穫→前進→収穫→前進→収穫→右回→前進→収穫→前進→収穫→
26	turnleft();forward();harvest();	前進→収穫→右回→前進→収穫→左回→前進→収穫→左回→前進→
27	turnleft();forward();harvest();	前進→収穫→右回→前進→収穫→左回→前進→収穫→左回→前進→
28	forward();harvest();	前進→収穫→右回→前進→収穫→左回→前進→収穫→左回→前進→
29	forward();harvest();	前進→収穫→右回→前進→収穫→左回→前進→収穫→左回→前進→
30	turnright();forward();harvest();	前進→収穫→右回→前進→収穫→左回→前進→収穫→左回→前進→

3位 合計スコア: 573 類似度: 0.13 適合率: 0.10 再現率: 0.18

1	public void Execute() {	
2		
3	Forward();	
4	Planting();	
5		
6		
7	Forward();	
8	Planting();	
9		
10		
11	Forward();	自身の振舞い
12	Planting();	前進→種植→前進→種植→前進→種植→左回→左回→左回→左回→
13		左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→
14	TurnLeft();	収穫→前進→収穫→種植→前進→種植→前進→種植→左回→左回→
15		左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→
16		収穫→前進→収穫→前進→収穫→種植→前進→種植→前進→種植→
17	Forward();	左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→
18	Planting();	収穫→前進→収穫→前進→収穫→種植→前進→種植→前進→種植→
19		左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→
20		左回→左回→収穫→前進→収穫→種植→前進→種植→前進→種植→
21	Forward();	前進→種植→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→
22	Planting();	左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→
23		他者の振舞い
24		前進→種植→前進→種植→前進→種植→左回→前進→種植→前進→
25	Forward();	種植→前進→種植→前進→前進→前進→前進→前進→前進→前進→
26	Planting();	前進→前進→前進→前進→左回→左回→前進→前進→前進→前進→
27		前進→前進→前進→前進→前進→前進→前進→収穫→前進→収穫→
28	Forward();	前進→収穫→前進→収穫→右回→前進→収穫→前進→収穫→
29	Forward();	前進→収穫→前進→収穫→右回→前進→収穫→前進→収穫→
30		前進→収穫→前進→収穫→右回→前進→収穫→前進→収穫→

類似度を考慮したランキング

1位 合計スコア: 720 類似度: 0.36 適合率: 0.38 再現率: 0.34

1	public void aExecute() {	
2	bool isLeft = true;	
3	while(true) {	
4	Forward();	
5	Planting();	
6	if (GetFrontPanel() != 0) {	
7	if (isLeft) {	自身の振舞い
8	TurnLeft();	前進→種植→前進→種植→前進→種植→左回→左回→左回→左回→
9	Forward();	左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→
10	TurnLeft();	収穫→前進→収穫→種植→前進→種植→前進→種植→左回→左回→
11	Planting();	左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→
12	isLeft = false;	収穫→前進→収穫→前進→収穫→種植→前進→種植→前進→種植→
13	} else {	左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→
14	TurnRight();	左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→
15	Forward();	前進→種植→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→
16	TurnRight();	左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→
17	Planting();	他者の振舞い
18	isLeft = true;	前進→種植→前進→収穫→種植→前進→収穫→左回→左回→種植→
19	}	前進→収穫→種植→前進→収穫→左回→左回→種植→前進→収穫→
20	}	種植→前進→収穫→左回→左回→種植→前進→収穫→種植→前進→
21	if (GetBackPanel() == -1) {	収穫→左回→左回→種植→前進→収穫→種植→前進→収穫→左回→
22		左回→種植→前進→収穫→種植→前進→収穫→左回→左回→種植→
23	}	前進→収穫→種植→前進→収穫→左回→左回→種植→前進→収穫→
24	}	種植→前進→収穫→左回→左回→種植→前進→収穫→種植→前進→
25	}	収穫→左回→左回→種植→前進→収穫→種植→前進→収穫→左回→
26		左回→種植→前進→収穫→種植→前進→収穫→左回→左回→種植→
27	public void Execute() {	
28	Forward();	
29	while (true) {	
30	for (int i = 0; i < 2; i++) {	

2位 合計スコア: 717 類似度: 0.74 適合率: 0.75 再現率: 0.74

1	public void Execute() {	
2	//Your code here!	
3	Forward();	
4	Planting();	
5	Forward();	自身の振舞い
6	Planting();	前進→種植→前進→種植→前進→種植→左回→左回→左回→左回→
7	Forward();	左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→
8	Planting();	収穫→前進→収穫→種植→前進→種植→前進→種植→左回→左回→
9		左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→
10	for (int i=0; i<19; i++) {	収穫→前進→収穫→前進→収穫→種植→前進→種植→前進→種植→
11	TurnLeft();	左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→
12	}	左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→
13		左回→左回→収穫→前進→収穫→種植→前進→種植→前進→種植→
14	Harvest();	前進→種植→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→
15	Back();	左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→
16	Harvest();	他者の振舞い
17	Back();	前進→種植→前進→種植→前進→種植→左回→左回→左回→左回→
18	Harvest();	左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→
19		左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→
20	Planting();	収穫→種植→前進→種植→前進→種植→左回→左回→左回→左回→
21	Forward();	左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→
22	Planting();	左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→
23	Forward();	左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→
24	Planting();	収穫→種植→前進→種植→前進→種植→左回→左回→左回→左回→
25		左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→
26		収穫→種植→前進→種植→前進→種植→左回→左回→左回→左回→
27	for (int i=0; i<19; i++) {	左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→
28	TurnLeft();	左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→
29	}	収穫→

3位 合計スコア: 630 類似度: 0.36 適合率: 0.38 再現率: 0.34

1	public void Execute() {	
2	//Your code here!	
3	while(true){	
4		
5	Forward();	自身の振舞い
6	Harvest();	前進→種植→前進→種植→前進→種植→左回→左回→左回→左回→
7	Planting();	左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→
8		収穫→前進→収穫→種植→前進→種植→前進→種植→左回→左回→
9	Forward();	左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→
10	Harvest();	収穫→前進→収穫→前進→収穫→種植→前進→種植→前進→種植→
11	Planting();	左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→
12		左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→
13	Forward();	左回→左回→収穫→前進→収穫→前進→収穫→種植→前進→種植→
14	Harvest();	前進→種植→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→
15	Planting();	左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→左回→
16		他者の振舞い
17	TurnLeft();	前進→収穫→種植→前進→収穫→種植→前進→収穫→種植→左回→
18	TurnLeft();	左回→前進→収穫→種植→前進→収穫→種植→前進→左回→左回→
19		前進→収穫→種植→前進→収穫→種植→前進→収穫→種植→左回→
20	Forward();	前進→収穫→種植→前進→収穫→種植→前進→収穫→種植→左回→
21	Harvest();	左回→前進→収穫→種植→前進→収穫→種植→前進→左回→左回→
22	Planting();	前進→収穫→種植→前進→収穫→種植→前進→収穫→種植→左回→
23		前進→収穫→種植→前進→収穫→種植→前進→収穫→種植→左回→
24	Forward();	左回→前進→収穫→種植→前進→収穫→種植→前進→左回→左回→
25	Harvest();	前進→収穫→種植→前進→収穫→種植→前進→収穫→種植→左回→
26	Planting();	前進→収穫→種植→前進→収穫→種植→前進→収穫→種植→左回→
27		前進→収穫→種植→前進→収穫→種植→前進→左回→左回→
28	Forward();	前進→収穫→種植→前進→収穫→種植→前進→収穫→種植→左回→
29		左回→前進→収穫→種植→前進→収穫→種植→前進→左回→左回→
30	TurnLeft();	

図 7 生成されたランキングの結果

Web 調べ学習におけるリフレクション支援のための コンテキストアウェアな問題生成手法の評価

加藤 慎融^{*1}, 柏原 昭博^{*1}

^{*1} 電気通信大学大学院

Generating Context-Aware Problems for Reflection in Web-based Investigative Learning and Its Evaluation

Shinyu Kato^{*1}, Akihiro Kashihara^{*1}

^{*1} The University of Electro-Communications

Web 調べ学習では、学習課題の関連項目を部分課題として展開し、学習シナリオを作成することで網羅的・体系的な学びを可能とする。先行研究では、学習シナリオの作成は困難であるという問題に対して認知ツール iLSB を開発した。一方、iLSB を用いても不十分な学習シナリオとなる場合がある。これは学んだ内容に対するリフレクション不足が主な原因である。そこで、本稿ではリフレクションを促すためのコンテキストアウェアな空欄補充問題を生成する手法を提案する。この問題生成機能は iLSB に実装されている。また、その有効性を図るために行った評価実験についても述べる。実験の結果、生成された問題を解くことは、新たな課題展開を促進させることが分かった。

キーワード: Web 調べ学習, 主体的学習, コンテキストアウェア, 問題生成

1. はじめに

Web 調べ学習では多種多様な Web リソースを活用することで、与えられた学習課題（初期課題）に関して網羅的・体系的な知識構築が可能である。しかし、テキスト教材の目次のような学習項目と学習順序を表す学習シナリオが設定されていない⁽¹⁾。そのため、学習者は初期課題に関して学んだ知識を構築しながら、次に学ぶべき項目（部分課題）の展開を行うといったプロセスを経て、学習シナリオを作成する必要がある。このプロセスでは知識構築と課題展開を同時並行で行うため、認知的負荷が高く⁽²⁾、学習者が知識構築に意識を集中してしまうと、課題展開が暗黙的になるという問題がある。

この問題に対して、先行研究⁽³⁾では Web 調べ学習モデルを提案し、そのモデルに沿った支援ツールとして interactive Learning Scenario Builder (iLSB) が開

発された。また、多角的・多面的な課題展開を促すために、学習課題間の関係を表す属性を付与することのできる機能が iLSB に実装されている⁽⁴⁾。

一方、iLSB を使用しても、課題展開の不足により、不十分な学習シナリオとなる場合がある。これは初期課題について学んだ内容が十分であるかどうかのリフレクションが不足しているからである。よって、学んだ内容に対するリフレクションを促し、課題展開を促すことが必要となる。

そこで、本稿では学習者の学習状況に応じたコンテキストアウェアな空欄補充問題を自動生成する手法を提案する。学習者が生成された問題を解くことを契機に、学んだ内容へのリフレクションが促され、新たな部分課題が展開されることが期待される。また、学んだ内容から問題生成・提示を行う機能を iLSB に実装した。本稿では、問題生成・提示機能を持つ iLSB を

用いて実施したケーススタディについても述べ、有効性を評価する。

2. Web 調べ学習

2.1 Web 調べ学習について

Web 調べ学習とは、与えられた学習課題（初期課題）について作成者が異なる多種多様な Web リソースを探究ながら、課題に関連する項目を網羅的・体系的に学ぶことであり、課題に関して幅広くかつ深い知識を構築することができる。

一方、Web 調べ学習では一般的なテキスト教材の目次のように学習順序と学習項目（学習シナリオ）が事前に定まっているわけではない。そのため、学習者は、膨大な Web リソース空間から学べきリソースを探索して、学んだ項目の抽出とその関係付けを行うと同時に、次に学べき項目を部分課題として展開し、学習シナリオを自分で作成する必要がある。この一連の学習プロセスは認知的負荷が高い⁽²⁾。そのため、しばしば課題展開が十分に行われないことが起こる。また、初期課題について学んだ内容の十分性が保証されない。これは、Web 調べ学習支援での重要な課題の一つとなっている⁽⁵⁾。

2.2 Web 調べ学習モデル

先行研究⁽³⁾では、十分な課題展開が行えないという問題に対して、図 1 に示す 3 フェイズからなる Web 調べ学習モデルを提案した。まず、Web リソース探索フェイズでは、課題キーワード（初期課題を端的に表すキーワード）を検索エンジンで検索し、その検索結果画面に表示される Web リソースから、課題に関する学習リソースを探索・収集する。

Navigational Learning フェイズでは、Web リソース探索フェイズで収集した Web リソース群をナビゲーションし、課題について学ぶ。その際に学習項目をキーワードとして抽出、またキーワード間の関係付けをすることで、学んだ知識を構築する。

課題展開フェイズでは、Navigational Learning フェイズで構築した知識から、初期課題をより深く広く学ぶために、学習が不十分な項目、もしくは更に調べ

るべきだと判断した項目を、部分課題として展開する。そして、展開した各部分課題に対して同様に 3 フェイズでの学びを進める。学習者は、部分課題が展開されなくなるまで、3 フェイズを再帰的に繰り返すことで、図 2 で示すような課題キーワードで構成された木構造を作成する。この木構造が学習シナリオを表現するものとなる。

学習シナリオでは、根ノードが初期課題を表し、展開元の課題キーワードを表す親ノードとし、展開先の部分課題キーワードを表す子ノードとがリンク付けされる。部分課題は、基本的に中間ノード（親ノードと子ノードを持つ）と葉ノード（子ノードを持たない）で表現される。

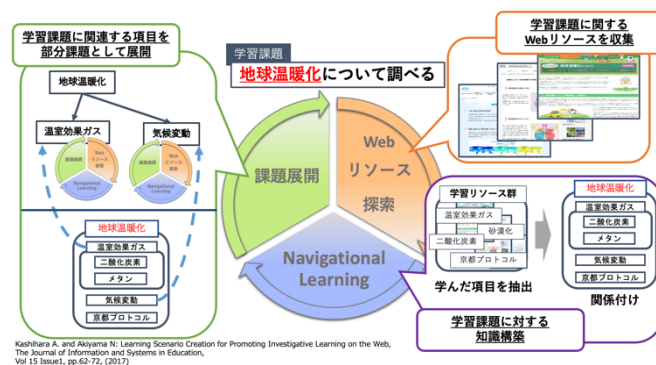


図 1 Web 調べ学習モデル

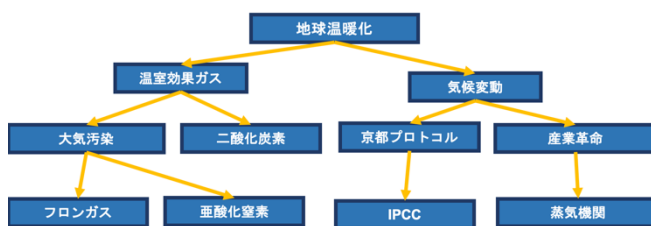


図 2 学習シナリオ

2.3 Interactive Learning Scenario Builder (iLSB)

iLSB は Firefox⁽⁶⁾ のアドオンとして開発された認知ツールであり、Web 調べ学習モデル通りに学ぶことができる足場を築く。具体的には、次に示す 3 つの支援機能が実装されている。

(a) 検索エンジン機能

Web リソース探索フェイズを支援する機能である。課題キーワードが検索エンジンに入力され、図 3 のような検索結果画面から、学習課題について学ぶための

Web リソースを収集する。

(b) キーワードリポジトリ機能

Navigational Learning フェイズを支援する機能である。収集した Web リソースをナビゲーションしながら、課題に関して学んだ項目をキーワードとし抽出し、図 3 の画面サイドのキーワードリポジトリに格納する。また、抽出したキーワード同士の関係付けを視覚化できる。現在、包含関係のみに限定して、キーワードの関係づけを可能にしている。

(c) 課題キーワードマップ機能

課題展開フェイズを支援する機能である。学習者はキーワードリポジトリに格納されているキーワードから、初期課題をより広く深く学ぶために調べるべきキーワードを、図 4 に示す課題キーワードマップ上にドラッグアンドドロップすることで、部分課題として展開できる。また、課題キーワードのタイプを表す課題タイプと、課題間の関係を表す属性を付与することのできる機能が実装されている⁽⁴⁾。



図 3 iLSB（検索エンジンとキーワードリポジトリ）

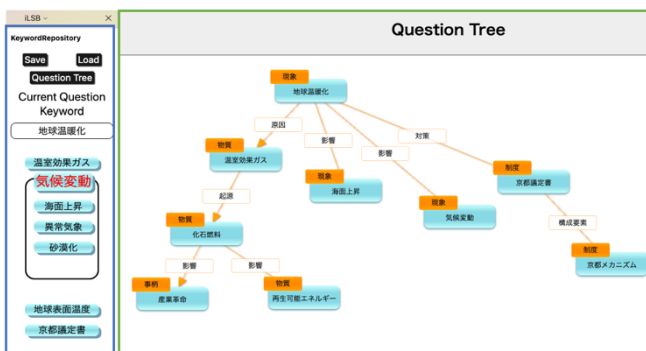


図 4 iLSB（課題キーワードマップ）

2.4 問題点

先行研究⁽³⁾⁽⁴⁾では、課題展開が暗黙的になってしまうという問題に対して iLSB を提供したが、iLSB を使用しても課題展開が促されず、不十分な学習シナリオとなる場合がある。これは、学んだ内容が初期課題を十分に満たすかどうかのリフレクション不足が原因である。つまり、課題展開を促すためには、構築した知識や学習シナリオに対するリフレクション支援が必要である。

リフレクション支援として、学習した内容のリフレクションを促すような問題を与える方法が考えられる。しかし、非構造、かつ膨大な Web リソースが存在する Web 空間での主体的学習では、学んだ内容は学習者によって様々である。そのため、事前に学習者に適応的な問題を用意するのは簡単ではない。

そこで、本研究では学習者の学習状況に応じたコンテキストウェアな空欄補充問題を生成する手法を提案する。学習者が生成された問題の空欄部分を埋めようとすることで、学んだ内容へのリフレクションが促され、新たな課題展開への気づきにつながる事が期待される。

3. コンテキストウェアな空欄補充問題

コンテキストウェアシステムとは、収集されたコンテキストデータに基づいてシステムの動作を変更するシステムのことであり⁽⁷⁾、個々のユーザに対して適応的な支援を可能とする。本研究では、コンテキストデータとして iLSB に蓄積された学習データを使用し、コンテキストウェアな空欄補充問題の自動生成を行う。

ここでは、iLSB に蓄積された学習データを用いた空欄補充問題生成の枠組みについて述べる。

3.1 問題生成の枠組み

図 5 に問題生成の枠組みを示す。学習者は iLSB を用いて Web 調べ学習を終えた後、iLSB のユーザインタフェース上の問題生成のボタンを押す。そうすると、学んだ Web ページ、キーワードリポジトリ、学習シナリオからなるコンテキストデータを用いて、以下の 3

ステップを踏んで問題生成が行われる。

Step①：問題生成するノードの選択

Step②：空欄部分となるキーワードの選択

Step③：問題文の抽出

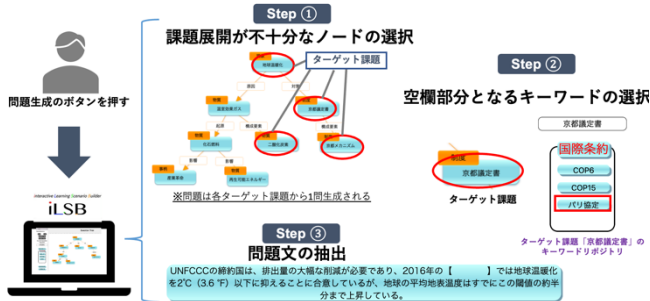


図5 問題生成の枠組み

3.2 問題生成するノードの選択

空欄補充問題は学習シナリオのノードことに生成される。課題展開が十分なノードに対して無理にリフレクションを促す必要はない。またノードは初期課題から遠い位置、つまり深い位置であればあるほど、初期課題と関係の薄い部分課題となる可能性がある。そのため、iLSBは展開が不十分なノードや深さの浅い位置のノードを、問題とするターゲット課題として選択する。

本枠組みでは、以下に述べるような条件を満たすノードをターゲット課題として選択する。

各ノードから展開されている部分課題の数を N 、根ノードからの深さを D とする（根ノードの深さ $D=0$ ）。

(1) 根ノードの選択（ N の閾値：4）

根ノードからの展開数 $N < 4$ のとき

(2) 中間ノードの選択（ N の閾値：2、 D の閾値：3）

中間ノードからの展開数 $N < 2$ 、かつ中間ノードの深さ $D < 3$ のとき

(3) 葉ノードの選択（ D の閾値：3）

葉ノードの深さが $D < 3$ のとき

N と D の閾値は過去の iLSB を利用した調べ学習の結果、得られた学習シナリオの分析に基づいて筆者らが設定したものである。分析を行なったところ、初期

課題からの展開数 N の平均値は 4 より高く、中間ノードからの展開数 N の平均値は 2 より高かった。また、深さ D の最大深度の平均値は 3 より高かった。そのため、最低でも平均値の小数点部分を切り下げた値の閾値を満たさない課題キーワードに対してリフレクションを促し、展開を行わせたいと考え、上記の閾値を設定した。

3.3 空欄部分となるキーワードの選択

各ターゲット課題のキーワードリポジトリから空欄部分となるキーワードを選択する。学習者は問題を解いた後、空欄部分のキーワードを展開する可能性が高いと考えられる。展開する課題は初期課題を学ぶ上で重要なキーワードである方が学びの質としては高い。そこで、本研究では、初期課題、ターゲット課題と関係ある妥当性の高いキーワードを空欄部分として設定する。空欄部分のキーワードの選定では、佐藤らが提案した妥当性診断アルゴリズムを用いる⁽⁸⁾。

ターゲット課題のリポジトリ内のあるキーワード A を例に妥当性の求め方について述べる。まず、キーワード A に対して初期課題とターゲット課題の関連度・類似度を、LOD である DBpedia Japanese⁽⁹⁾を用いて求める。関連度は DBpedia Japanese から取得した距離と経路数に応じて、3段階で決定される。類似度は、DBpedia Japanese で取得した関連語句から、単語集合を作成し、Simpson 係数を求める。次に、求めた Simpson 係数に応じて、類似度が3段階で決定される。

次に、キーワード A と初期課題、キーワード A とターゲット課題、それぞれのキーワード間で求めた関連度と類似度を用いて、診断アルゴリズムに従って計算を行う。その結果、妥当性の高さが3段階で求められる。

上記のアルゴリズムで、ターゲット課題のキーワードリポジトリのキーワードすべての妥当性を計算し、最も妥当性の高いキーワードを空欄部分のキーワードとして選択する。

3.4 問題文の抽出

ターゲット課題のあるキーワード A を空欄部分とし

た問題文を抽出する。まず、ターゲット課題の Web 検索結果上位 10 件から、学習者が未学習の Web ページのテキストデータを取得する。そのテキストデータを 1 文ごとに分割し、その中からキーワード A を含む文を抽出する。抽出した文は複数ある場合があるため、文の中に初期課題とターゲット課題を含む文が優先的に問題文として選ばれる。

4. 問題生成・提示機能を実装した iLSB

本研究では問題生成・提示機能を実装した iLSB を開発した。本章では、問題生成後の iLSB のユーザインタフェースについて述べる。

4.1 問題表示画面

問題生成後、表示される画面を図 7 に示す。問題に回答する時は各課題キーワードをクリックし、キーワードドリボジトリを切り替えて、答えとなるキーワードが見つかったら、問題文の上にキーワードをドラッグアンドドロップすることで行う。

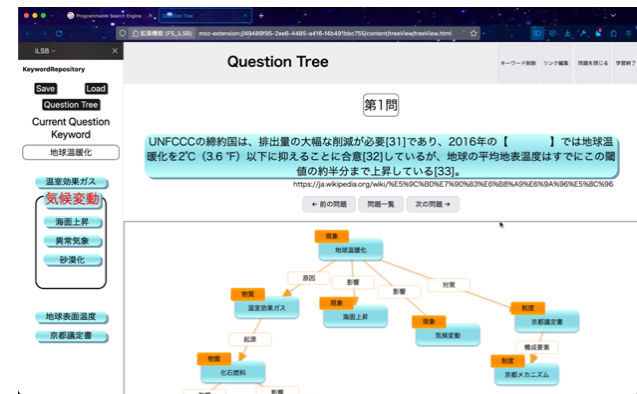


図 7 問題表示画面

4.2 問題正解時のユーザインタフェース

問題に正解した場合、図 8 のようなユーザインタフェースとなる。問題文の空欄部分が埋まり、初期課題と空欄部分のキーワード、ターゲット課題と空欄部分のキーワードそれぞれの and 検索ボタンが表示される。

4.3 問題に間違えた時のユーザインタフェース

問題に間違えた場合、図 9 のようなユーザインタフェースとなる。問題文の空欄部分は空いたままで、

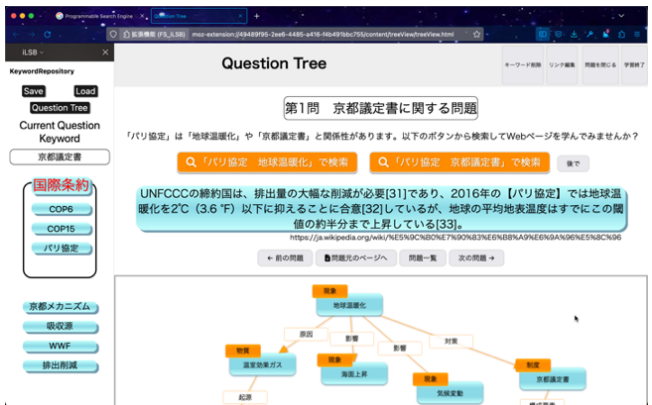


図 8 問題正解時のユーザインタフェース

問題文の背景が赤くなる。また、空欄部分は埋めることができる。問題に間違えた後は、どのターゲット課題から生成した問題かは問題表示画面に明記される。学習者は改めてそのターゲット課題のキーワードドリボジトリから答えとなるキーワード A を探す。

次に、キーワード A が抽出された Web ページを見直して、課題キーワードとして展開する。次に課題タイプと属性を付与、キーワードドリボジトリにキーワードを格納する。もし、キーワード A が答えならば、空欄部分が埋まる。

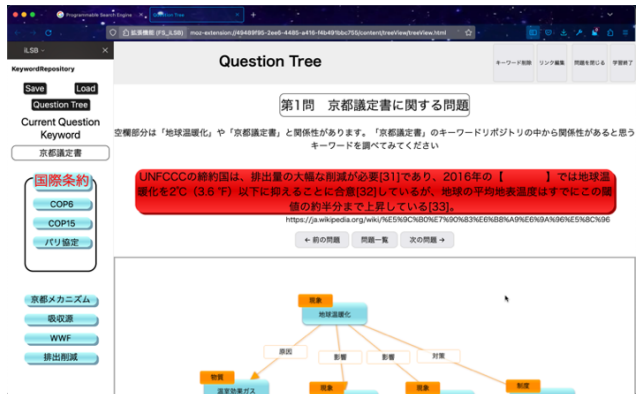


図 9 問題に間違えた時のユーザインタフェース

5. 評価実験

5.1 実験目的

本評価実験の目的はコンテキストウェアな空欄補充問題を用いてリフレクションを行うことで、学んだ内容の不十分な点に気付く、課題展開が促されるかどうかを確かめることである。

5.2 実験手順

評価実験は理工系の大学生及び大学院生 8 名を実験群，統制群の 2 群に 4 名ずつ振り分けて実施した。

まず，両群とも iLSB の利用方法について説明を行った後，「財政」を初期課題として与え，従来の iLSB を用いて，40 分以内で Web 調べ学習を行わせた。学習者が十分に学習したと判断した場合，40 分経たずとも，学習を終了しても良いということにした。

次に，統制群ではリフレクションを行うかどうかは学習者の任意として，行う場合のみ，30 分以内で問題を使わずにリフレクションを行なわせた。最後に，両群共通アンケートに答えてもらった。

実験群では，問題生成機能を持つ iLSB の使い方について説明した後，生成された問題を解いて，学んだ内容の見直しと，必要に応じた再学習を行なってもらった。問題は根ノードから 0 問または 1 問，中間ノードからは 2 問，葉ノードからは 2 問の計 4，5 問を解かせた。最後に両群共通のアンケートと実験群を対象としたアンケートに答えてもらった。

5.3 仮説

本評価実験では，以下の 2 つの仮説を立てた。

H1：空欄補充問題を解くことで，学んだ内容（Web リソース，キーワードリポジトリ，学習シナリオ）のリフレクションが促される。

H2：空欄補充問題を解くことで，新たな課題展開を促すことができる。

5.4 評価方法

本実験では H1・H2 を示すために，学習シナリオの構造に着目して，図 10 に示すように課題キーワード数，根の次数，最小分割詳細度，葉の数，葉の最大深度，葉の平均深度の 6 つの項目で評価を行なった。

両群共通のアンケートと実験群アンケートの結果は H1 の評価に用いる。両アンケート共に，5 件法で行い，1 が最も評価が悪く，5 が最も評価が良いとした。

また，以下の式(1)～(4)のように，適合率，再現率①，再現率②，正答率を求め，H2 の評価に用いた。

$$\text{適合率} = \frac{\text{問題を与えかつ，展開されたノード数}}{\text{新たに展開が行われたノード数}} \quad (1)$$

$$\text{再現率①} = \frac{\text{問題を与えかつ，展開されたノード数}}{\text{生成された全問題数}} \quad (2)$$

$$\text{再現率②} = \frac{\text{間違えた問題をきっかけに展開されたノード数}}{\text{間違えた問題数}} \quad (3)$$

$$\text{正答率} = \frac{\text{正解した問題数}}{\text{生成された全問題数}} \quad (4)$$

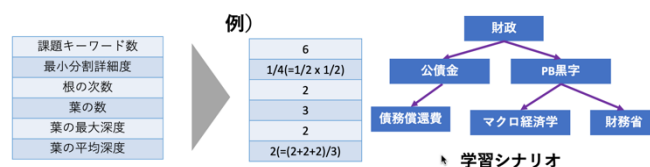


図 10 学習シナリオの構造の評価項目

5.5 実験結果

5.5.1 学習シナリオの構造比較

まず，学習シナリオの各評価項目におけるリフレクション前後の群内比較の分析結果を述べる。図 11 から統制群では被験者の全員がリフレクションを行わなかったため，差は生じなかった。実験群において両側 t 検定を行なったところ，図 12 に示すように，課題キーワード数に有意差 ($t(3)=-4.90$, $p<.05$, $d=1.24$)，最小分割詳細度には有意傾向 ($t(3)=2.92$, $p<.10$, $d=0.30$)，葉の数に有意傾向 ($t(3)=-2.45$, $p<.10$, $d=0.53$) が見られた。根の次数 ($t(3)=-1.00$, $p>.10$, $d=0.28$)，葉の最大深度 ($t(3)=-1.00$, $p>.10$, $d=0.28$)，葉の平均深度 ($t(3)=-0.90$, $p>.10$, $d=0.24$) では有意差が見られなかったが，リフレクション後に平均値は増加していた。

次に，リフレクション前後の群間比較の分析結果を述べる。図 13 から，統制群においては変化量が見られなかったが，実験群では変化量が見られた。両側 t 検定を行なったところ，課題キーワード数に有意差 ($t(3)=-4.90$, $p<.05$, $d=3.46$)，最小分割詳細度には有意傾向 ($t(3)=-2.94$, $p>.10$, $d=2.08$)，葉の数に有意傾向 ($t(3)=-2.45$, $p<.10$, $d=1.73$) が見られた。根の次数 ($t(3)=-1.00$, $p>.10$, $d=0.71$)，葉の最大深度 ($t(3)=-1.00$, $p>.10$, $d=0.71$)，葉の平均深度 ($t(3)=-0.90$, $p>.10$, $d=0.64$) では有意差が見られなかったが，中程度の効果量は見られた。

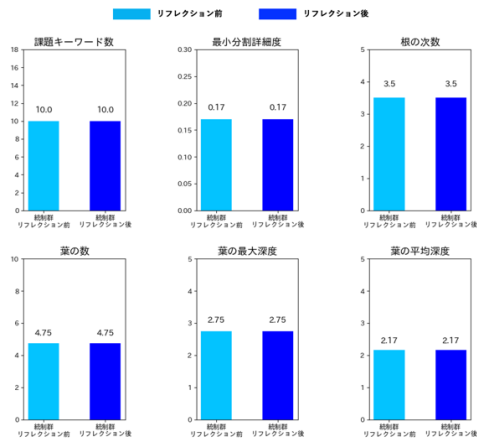


図 11 学習シナリオの評価項目の群内比較（統制群）

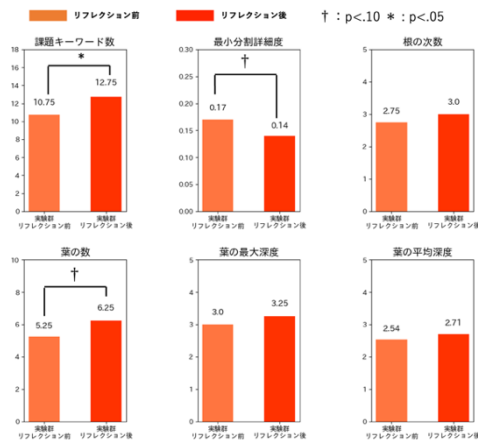


図 12 学習シナリオの評価項目の群内比較（実験群）

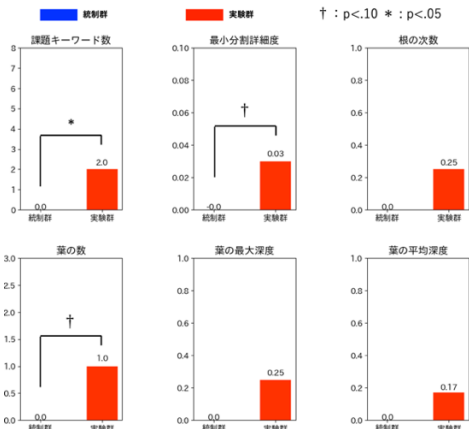


図 13 学習シナリオの評価項目の群間比較

5.5.2 アンケート分析結果

両群共通のアンケート結果を表 1 に示す。各質問に対して、両側 t 検定を行なったところ、Q1 では有意差 ($t(3)=-1.96$, $p>.10$, $d=1.39$) はなかったが、効果量は 1.39 と高い値を示していた。Q2 では有意差 ($t(3)=0.00$, $p>.10$, $d=0.00$) は見られなかった。Q3 では実験群の

方が有意に高かった ($t(3)=-4.58$, $p<.01$, $d=3.24$)。Q4 では有意差こそなかったものの、実験群の平均値は統制群よりも高い結果となった。

実験群アンケートの結果を表 2 に示す。Q1 の結果より、生成された問題を解くことは、学んだ内容のリフレクションを促す有効性が高いことが分かった。Q4 の結果から、問題が新たな課題展開を促進させるきっかけとなっていたことが分かる。Q6 の結果からは、生成された問題が比較的容易であったことが伺える。

表 1 両群共通アンケート結果

質問	統制群		実験群	
	平均	SD	平均	SD
Q1. キーワードを抽出したWebページの見直しは行えましたか？	3	1.41	4.5	0.58
Q2. キーワードリポジトリの見直しは行えましたか？	3.75	1.26	3.75	1.26
Q3. 学習シナリオの見直しは行えましたか？	2.5	0.58	4.25	0.5
Q4. 本システムを使用することで、初期課題に関して広く深く学びましたか？	4	0.82	4.25	0.96
Q5. 学習前の段階で、「財政」についてどれくらい知識がありましたか？	1.75	0.96	1.75	0.96

表 2 実験群アンケート結果

質問	平均値	SD
Q1. 空欄補充問題を解くことで、学んだ内容（Webページ、キーワードリポジトリ、学習シナリオ）の見直しが促されましたか？	4.5	0.58
Q2. 空欄補充問題を解いた後、さらに調べ学習を続けようと思いましたか？	4.25	0.96
Q3. 空欄補充問題を解いた後、新たにWebページで学習を行えましたか？	4.75	0.5
Q4. 空欄補充問題を解いた後、新たに展開すべき課題に気づけましたか？	4.25	0.5
Q5. 空欄補充問題を解いた後、キーワードリポジトリに新たなキーワードを追加できましたか？	3.75	0.5
Q6. 空欄補充問題を解くことは難しかったですか？	2.5	1.29
Q7. 空欄補充問題は自分が調べた内容の見直しに適した問題だと感じましたか？	4	0.82

5.5.3 適合率・再現率・正答率

適合率、再現率①、再現率②、正答率のそれぞれの算出結果を表 3 に示す。適合率が 100%であることから、新たに展開が行われたノードは問題を解くことに起因していたことが分かる。また、再現率①は 43%であることから、問題を与えたノードのおよそ半分からは展開が行われていることを示している。再現率②は 100%であることから、問題に間違えさえすれば、新たに課題展開が行われることが分かった。また、正答率の結果から問題が容易であったことが伺える。

表 3 適合率・再現率・正答率

適合率	100%
再現率①	43%
再現率②	100%
正答率	75%

5.6 考察

図 12、図 13 に示した学習シナリオの構造比較の結果より、課題展開が促されたことが分かる。また、両群共通アンケートにおける Q1、Q3 に関しては実験群

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP17H01992, 26282047 の助成による。

参考文献

- (1) Henze, Nicola, and Wolfgang Nejdl: "Adaptation in open corpus hypermedia. " *International Journal of Artificial Intelligence in Education* Vol. 12, No. 4, pp.325-350(2001)
- (2) Zumbach, Joerg, and Maryam Mohraz: "Cognitive load in hypermedia reading comprehension: Influence of text type and linearity. " *Computers in Human Behavior* Vol. 24, No. 3, pp875-887(2008)
- (3) Kashihara, Akihiro, and Naoto Akiyama: "Learning Scenario Creation for Promoting Investigative Learning on the Web" *The Journal of Information and Systems in Education* Vol.15, No.1, pp.62-72(2016)
- (4) Keita Kinoshita, and Akihiro Kashihara: "Scaffolding Topic Decomposition in Investigative Learning with Web Resources." *Work-in-Progress Poster (WIPP) Proc. of the 22nd International Conference on Computers in Education (ICCE2014)*, pp. 4-6(2014)
- (5) 柏原昭博: "非構造な情報空間における主体的学習支援の難しさ", 教育システム情報学会, 第 47 回全国大会, pp.291-292(2022)
- (6) FireFox, <https://www.mozilla.org/ja/>
- (7) Schahram, D. , Florian, R: "A survey on context-aware systems. " *Int. J. Ad Hoc Ubiquitous Comput.* Vol.2, No.4, pp263-277(2007)
- (8) Yoshiki Sato, Akihiro Kashihara, Shinobu Hasegawa, Koichi Ota, Ryo Takaoka: "Promoting Reflection on Question Decomposition in Web-based Investigative Learning" *Proceedings of the 27th International Conference on Computers in Education. (ICCE)*, vol 1, pp. 75-80(2019)
- (9) DBpedia Japanese, <http://ja.dbpedia.org/>

が高い平均値を示し, Q1 では高い効果量, Q3 では 1% 水準で有意差が見られ, 表 2 の Q1 で高い平均値を示している. よって, 学習者は問題を解くことで, 学んだ内容に対するリフレクションが促されたと認識していることが分かる. これらの結果は H1 を支持する.

また, 表 3 より再現率②が 100%だったことから, 問題に間違えさえすれば, 新たに課題展開が行われることが示唆された. これは, 今よりも問題の難易度を上げれば, さらに課題展開が促されると推測することができる. また, 適合率は 100%を示しており, リフレクション時における新たな課題展開は問題を解くことをきっかけに行われることが分かった. よって, 先述した学習シナリオの定量的データの分析結果と合わせて, 空欄補充問題を解くことが新たな課題展開を促す効果があることが確認された. これは H2 を支持する.

一方で, 正答率が 75%, 表 2 の Q6 の平均値が低いことから, 問題が比較的容易であったことが分かる. また再現率②に対して, 再現率①が 43%と比較的低いことから, 正解した問題が生成されたノードからはほとんど課題展開が行われなかったことが分かる. これは, 学習シナリオのすべての評価項目で有意差が見られなかった原因であると考えられる.

6. おわりに

Web 調べ学習における課題展開の促進のために, 先行研究^③では iLSB が開発され, その有効性が示されてきた. 一方, iLSB を用いても, 初期課題について学んだ内容に対するリフレクション不足のため, 不十分な学習シナリオとなる場合がある. そこで, 本研究では学んだ内容に対するリフレクションを促すための, 学習状況に応じたコンテキストアウェアな空欄補充問題の生成方法を提案した. また, 問題生成機能を持つ iLSB の開発を行なった. この iLSB の有効性を確かめる評価実験を行なった結果, 問題を解くことで, 学んだ内容に対するリフレクションが促され, 新たな課題展開への気付きを促すことが分かった.

今後の課題として, 問題の難易度の向上と問題に正解したとしても, さらに新たな課題展開を促せるユーザインタフェイスの開発が必要である.

学術文献におけるテキスト分析タスクのためのデータセット 自動構築システムの開発

Li Jinghong^{*1}, 太田 光一^{*1}, 谷 文^{*1}, 長谷川 忍^{*1}

^{*1} 北陸先端科学技術大学院大学

Development of an automatic dataset construction system for text analysis tasks in academic literature

Jinghong Li^{*1}, Koichi Ota^{*1}, Wen Gu^{*1}, Shinobu Hasegawa^{*1}

^{*1} Japan Advanced Institute of Science and Technology

In machine learning tasks for text analysis of academic literature, collection and preprocessing of literature files are essential. However, it is not easy to process a large amount of data manually. Therefore, this study focuses on web-scraping of academic literature from JALC (Japan Link Center) and develops a system that automatically builds a dataset for machine learning tasks.

キーワード: テキストマイニング, ウェブスクレイピング, PDF 構造解析, 文章分割, データセット
自動構築

1. はじめに

インターネットの普及により膨大な情報が溢れている現在, 大量のテキストデータから重要な情報を把握することが我々にとって重要なスキルとなっている. その一例として, 本研究では研究初学者の大学院生を対象とする. 研究初学者が研究分野の全体像や研究の方向性を把握するために, 出版されている学術論文を読み・活用することが不可欠である⁽¹⁾. しかし, 電子化された大量の学術論文が日々出版・公開される今日では, それら全てに目を通すことさえもままならない. また, 研究の方向性が定まっていない研究者にとって, 学術論文から研究目的や研究方法, 評価, 結果, 考察などに代表される論文の構成要素を効率よく把握することは困難である. さらに, 異なる著者による様々な構造を持つ論文から得られた多様な情報を適切に構造化することは研究初心者にとって複雑なタスクであり, 容易ではない. これらの問題を解決するために, 学術論文におけるテキスト分析が使用される. 筆者らは機械学習を用いた自動要約システムを提案した⁽¹⁾. しかしながら, 小規模なデータだけでトレーニングすると

過学習になりやすい. 汎用性を向上するためには, 大量の文章データやメタデータを機械学習モジュールに入力することが不可欠である. そのため, 効率的な論文関連データの収集手段としてウェブスクレイピング技術がよく使用されている.

日本語を対象としたスクレイピング技術として, 中智らはWeb上から自動で表データを抽出するスクレイピングWeb APIを開発した⁽²⁾. 石井らは, 医療関連のデータや情報を収集するためにウェブスクレイピングを使用した⁽³⁾. しかし, 上記の研究では一般にPDFで公開されている学術論文内に含まれるデータは扱われていなかった.

本研究では, JALC(Japan link center)の一般向けデータ提供サービス利用規約に従い⁽⁴⁾, JALCからのスクレイピングを行う. JaLC に登録されているプレフィックスリスト, DOIリスト, および書誌データや URI, 引用情報等⁽⁵⁾を取得できるサービス - 「JaLC REST API」を利用し, 日本語文献ファイルを収集する. また, 本研究の文献ファイルデータ収集については, 著作権法改正(2021年1月施行)により, 著作権法第30条の4^(6,7)

に従い、収集した著作物に対する人工知能の開発に関する情報解析の為に利用する。著作物に表現された思想又は感情の享受を目的としない行為であると考えられる。こうした収集した日本語文献ファイルを対象に、論文構造を含むテキスト情報を抽出し、論文データマイニングを行うためのデータセット自動収集システムを開発する。これにより、学術論文を対象としたデータマイニングや機械学習のための前処理に費やす時間が大幅に短縮できると期待される。

2. 関連研究

2.1 学術論文を対象としたウェブスクレイピング

Wahaj らは英語対応の科学ジャーナルからデータを抽出するためのスクレイピングアプリケーションを開発した⁽⁸⁾。日本語の学術論文を対象とするウェブスクレイピングの既存研究として、久保らは J-STAGE（国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）が運営する電子ジャーナルプラットフォーム）に対し、Web スクレイピングを通じて論文の書誌情報や著者情報を機械的に取得することを検討した⁽⁹⁾。スクレイピングの対象は Web ページに書かれたメタ情報のみであり、論文内容は扱われていない。

2.2 文献ファイルに対するテキストマイニング

文献ファイルに対するテキストマイニングの関連研究として、Clark らは、広く適用可能な英文文献ファイルを対象とするテキスト分類を試行し、図領域、セクション、タイトルの検出のためのクラスタリングメカニズムを開発した⁽¹⁰⁾。Yang らは研究者が論文データの関係を理解し、迅速に洞察を得ることを支援することを目的として、材料科学論文から手順情報（レシピステップ）、図、表を抽出し、機械学習に基づき検索および可視化の機能を持つ手順型情報抽出・知識管理システム（PIEKM）を開発した⁽¹¹⁾。

しかし上記の関連研究では、日本語を対象としておらず、構造が異なる日本語文献に適用するのが困難である。

2.3 本研究の位置づけ

(1)データ収集の効率化：本研究では、特定の学術論文誌を初期の対象としてウェブスクレイピングを通じ

て日本語の学術論文 PDF ファイルを効率的に収集する方法を提案する。さらに、研究分野の特徴に応じたメタデータの整備を行う。

(2)テキストの前処理部分：PDF から取得されるテキストデータにはノンブルや不要な改行などのノイズや図表などのデータが含まれており、そのままでは後の解析が難しい。本研究では、学術論文特有の特徴を反映した前処理を行うことで、論文構造分析の精度向上を目指す。

(3)階層化された論文構造データセット：本研究では、論文の章節構造を反映し、文章単位まで分割されたデータセットを自動で生成する。こうして生成されたデータセットは、機械学習のタスクで使いやすくと考えられる。

3. データセット自動構築システム

本研究では、学術論文を対象とした機械学習タスクで利用可能なデータセットを自動的に構築するシステムを開発する。システムの全体の構成を図 1 に示す。

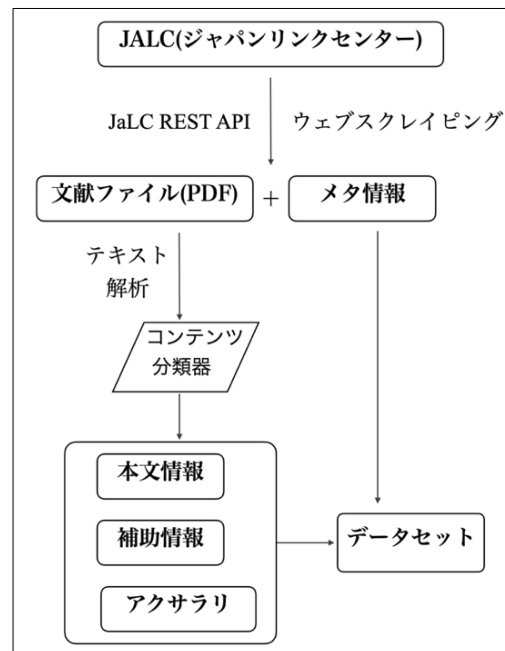


図 1 システム全体像

データセット自動構築の流れとしては、まず JALC（日本リンクセンター）と呼ばれる学術文献データベースから、論文誌の文献収集に特化したウェブスクレイピングを適用して、論文誌毎の文献ファイルとその

メタデータを一括で取得する。そして、データセットを構築するために、表 1 で定義した文献内部のコンテンツの分類抽出を目指す。具体的には、PDF 解析ツールによって得られた各テキストブロック領域に対応するコンテンツ内容を自動的に判断する。最後に、ウェブスクレイピングで収集したメタ情報と文献内部コンテンツを組み合わせて論文構造を反映したデータセットを構築する。

表 1 学術論文内部コンテンツ定義

種類	明細
本文情報	本文文章群
補助情報	章節, 図, 表, 数式, 引用マーク
アクセサリ	タイトル, アブストラクト, キーワード, 脚注

3.1 論文誌の文献収集に特化したウェブスクレイピング

学術論文のデータにアクセスするため、DOI 識別子が使われる。DOI の機能はシンプルで、個別のコンテンツに割り振られた ID (DOI)とその所在 URL 情報をペアで保管し、DOI への問い合わせに対して所在 URL を返すというものである⁽¹²⁾。つまり、DOI 情報さえあれば、Web ページ操作の代わりに DOI リンクにアクセスして、学術論文データが含まれるページに遷移することができる。そのため、DOI 番号や DOI リンクの取得を中心とするウェブスクレイピング技術が使用できる。本研究では、ウェブスクレイピングの対象となるウェブサイトは JALC とする。JALC とは、電子化された学術論文、書籍、論文付随情報、研究データなどに DOI を登録し、コンテンツの所在情報(URL)等とともに管理している論文データベースである。そのデータベースに直接アクセスするために、2021 年末に公開された JALC REST API^(13,14)を利用し、サーバーへリクエストメッセージを発信して、そのレスポンスから検索したい情報を一括取得することができる。本研究で主に使用した情報は文献ファイルにアクセスできる DOI リンクや論文のメタデータであり、スクレイピング部分の全体像を図 2 に示す。次は各部分におけるスクレイピングの方法を紹介する。

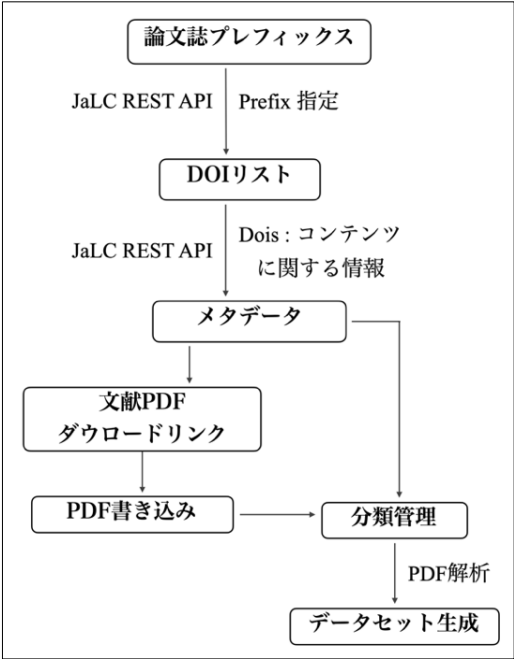


図 2 スクレイピングの流れ

3.1.1 DOI リストの取得 (プレフィックス)

図 3 に示した DOI の構造では、赤い枠に囲まれた部分はプレフィックスと呼ばれ、論文誌ごとに特定のプレフィックスが付与される。



図 3 DOI 構造やプレフィックス

本研究で使用した JSiSE 論文誌のプレフィックスは 10.14926 である。プレフィックスが指定されると、サーバーへのリクエスト：

[https://api.japanlinkcenter.org/doi/\\$10.14926](https://api.japanlinkcenter.org/doi/$10.14926) を発信し、json フォーマットの DOI リストが返信される。その DOI リストの解析には、python の「ast」モジュールを用い、テキストを辞書の型(dict)に変換してから、DOI 番号を取得する。

3.1.2 メタデータ情報整合

DOI リストに格納された DOI 番号の値をサーバーへのリクエストとして発信すると、DOI 番号に対応する論文メタ情報がレスポンスされ、詳しい関連情報を取得することができる。図 4 はメタデータの一部である。

```

{"status": "OK", "apiType": "doi", "apiVersion": "1.0.0", "message":
{"total": 1, "rows": 1, "totalPages": 1, "page": 1}, "data":
{"sited": "SJ/JST_STAGE", "content_type": "JA", "doi": "10.14926/jise.38.305", "url": "https://doi.org/10.14926/jise.38.305", "ra": "JALC", "prefix": "10.14926", "site_name": "J-STAGE", "publisher_list":
{"publisher_name": "Japanese Society for Information and Systems in Education", "lang": "en"},
{"publisher_name": "教育システム情報学会", "lang": "ja"}, "title_list": [{"lang": "en", "title": "Common Story of DX or Barriers of DX"}, {"lang": "ja", "title": "DXあるあるあるはDXの壁"}], "creator_list":
{"sequence": 1, "type": "person", "names": [{"lang": "en", "last_name": "Hasegawa", "first_name": "Shinobu"}, {"lang": "ja", "last_name": "長谷川", "first_name": "忍"}], "affiliation_list": [{"affiliation_name": "Japan Advanced Institute of Science and Technology", "sequence": 1, "lang": "en"}, {"affiliation_name": "北陸先端科学技術大学院大学", "sequence": 1, "lang": "ja"}], "publication_date":
{"publication_year": "2021", "publication_month": "10", "publication_day": "01"}, "relation_list":
{"content": "https://www.jstage.jst.go.jp/article/jise/38/4/38_380401/_pdf", "type": "URL", "relation": "fullTextPdf"}, "content_language": "ja", "updated_date": "2021-09-30", "article_type": "pub", "journal_id_list":
{"journal_id": "1341-4135", "type": "ISSN", "issn_type": "print"}, {"journal_id": "2188-0980", "type": "ISSN", "issn_type": "online"}, {"journal_id": "jise", "type": "JID"}, {"journal_title_name_list":
{"journal_title_name": "Transactions of Japanese Society for Information and Systems in Education", "type": "full", "lang": "en"}, {"journal_title_name": "教育システム情報学会誌", "type": "full", "lang": "ja"}], "journal_classification": "01", "journal_txt_lang": "ja", "recorded_year": "2013-2014", "volume": "38", "issue": "4", "first_page": "305", "last_page": "306", "article_number": "380401", "date": "2021-10-01", "citation_list": [{"sequence": 1, "original_text": "(1) 文部科学省デジタル化推進本部:「文部科学省におけるデジタル化推進プラン」https://www.mext.go.jp/content/20210412-mxt_jyohoka01-000014099_13.pdf(参照2021.8.2)"}]}}

```

図 4 メタデータ取得例

3.1.3 文献ファイルの書き込み

本節では文献ファイルをローカル環境に保存する手順を説明する。まず、節 3.1.2 の説明の通りに取得した json ファイルを解析する。json ファイルで、属性「url」に登録された値は論文のコンテンツリンクであり、そのリンク先のウェブページに対して、HTML 文字列からデータを抽出し解析する Python 言語パッケージ Beautiful soup⁽¹⁵⁾を利用して HTML 解析を行う。次に、HTML ファイル内のテキストから、属性「class_paper_pdf」の値を取得して、文献 PDF ファイルのページにアクセスする。最後に、その文献 PDF ファイルをローカル環境に保存すれば、スクレピング作業を完了する。なお、JALC サーバーに負担をかけないように、一定の時間間隔を設定してデータを収集する。

3.2 文献ファイルの前処理

本章では、ルールベースに基づくテキストブロック解析や論文コンテンツ分類により洗練されたデータセットを構築する方法を紹介する。その全体像は図 5 の通りである。

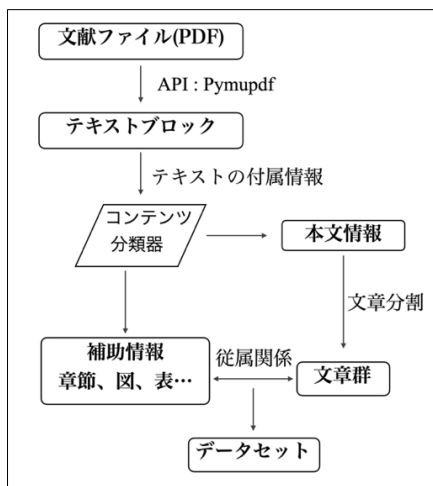


図 5 文献ファイル前処理の流れ

3.2.1 論文構造解析

Python では外部ライブラリ「pymupdf」⁽¹⁶⁾を使用することで、PDF 操作を自動化することができる。また、学術論文の RAW 構造を見ると、行間隔や列間隔の特徴が把握でき、PDF ファイルのテキストを複数のサブテキストブロックに分けることができる。各テキストブロックには特定のコンテンツが含まれ、それらの組み合わせがページのレイアウトになる。「pymupdf」の「get_text_block」メソッドを使用して、各ページのテキストブロックを抽出することができる。

3.2.2 正規表現に基づく領域分割

学術論文の内部コンテンツ領域は、基本情報領域、本文領域、参考文献領域、付録領域に大きく分類することができる。本稿では、付録以外の領域に正規表現で領域の先頭部分の文字列をマッチすることで領域の分割を行う。例えば、章節「はじめに」との類似表現は「まえがき」、「諸言」、「序論」である。各学会誌の書き方が異なっているが、JSiSE の構造を特化した正規表現を使用すれば、領域分割が可能になる。具体的な領域分割方法については、表 2 に記載する。

表 2 学術論文の領域分割方法

パターン	分割方法
基本情報領域	・ 本文`はじめに`前のテキスト
本文領域	・ 正規表現: 章節番号 1 and 文字列パターン $\wedge(1)\%s*(は\%s*じ\%s*め\%s*に)\%s*$ (1)\%s*(ま\%s*え\%s*が\%s*き)\%s*$ \wedge(1)\%s*(諸\%s*言)\%s*$ \wedge(1)\%s*(序\%s*論)\%s*$$
参考文献領域	・ 正規表現: 文字列マッチ $\wedge(文\%s*献)\%s*$ \wedge(参\%s*考\%s*文\%s*献)\%s*$$

3.2.3 文字列のフォントやサイズ特徴によるコンテンツ分割

節 3.2.2 に従って領域を分割した後、領域内のテキストコンテンツに対する階層分類を行う。そのため、テキストの付属情報を取得することが前提となる。

Pymupdf でテキストブロックを抽出すると同時に、フォント、サイズ、書体、カラーなどのテキスト付属

情報が得られる．次は，その付属情報を利用して，文章群，章節，図表などの論文内部コンテンツを分割するため，表3のようにコンテンツ分類器を構成する．

表 3 JSiSE 論文向けのコンテンツの認識方法

情報種類	コンテンツ種類	認識方法
本文情報	文章群	・フォント指定 <i>KozMinPro-Light</i>
補助情報	章節	・大項目，中項目：フォント指定 <i>KozGoPro-Medium</i>
		・小項目 ①フォント指定 <i>KozMinPro-Light</i> ②正規表現 <code>^[0-9]{1}(\. [0-9]{1,2}){2,}¥s+.*\$</code>
補助情報	図	・図タイトル： ①正規表現 <code>^図¥s*¥d+¥s*</code> ②フォント指定 <i>KozMinPro-regular</i>
		・図内容：図ブロックパターン <code>^<image:.*width:.*height:.*>\$</code>
補助情報	表	・表名： ①正規表現 <code>^表¥s*¥d+¥s*</code> ②フォント指定 <i>KozMinPro-regular</i>
		・表内容：組み合わせて判定 ページの末尾には表領域が配置されている．ページに複数の表が存在する場合は，正規表現を組み合わせて，表領域を抽出することができる．

3.2.4 文章分割

機械学習タスクで使用される文章データを自動構築するため，本節では，節 3.2.3 の流れの通りに収集した本文テキストを対象とする文章分割処理を行い，文

章群データの構築方法を紹介する．基本的な方法としては，句点パターン「.」をマッチして文章分割を行うが，句点が混在する複数のパターンがあるため，正規表現を使って個別に認識し処理する必要がある．これらのパターンは，メールアドレス，URL，複数の句点，項目リストである．

文章分割処理の流れを図6に示す．最初に特殊なパターンに対するフィルタリングを行い，特殊なパターンに対応する文字列にマスクを付け，記憶する．その後，単一の句点パターンで文章分割を行う．最後に，記憶した文字列を元の位置に復元して処理を終了する．

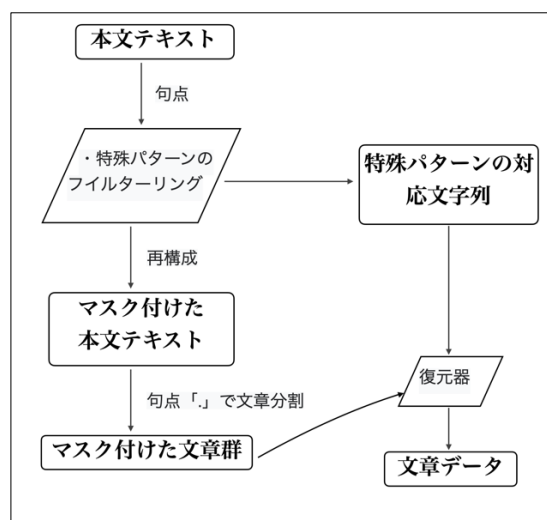


図 6 文章分割の流れ

3.3 データセットの構成

本節では，論文構造を反映したデータセットの構築について述べる．論文構造を反映するために，論文コンテンツ情報とメタ情報を組み合わせて，文章単位までの階層化を行う．また，コンテンツ間の所属関係を明示することで，最終的なデータセットを構築する．データセットの構成は図7に示す．

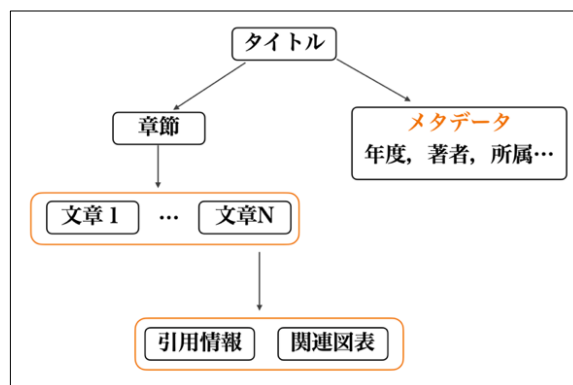


図 7 データセットの構成

4. 評価実験

4.1 実験方法

本研究では、スクレイピングで収集された 511 個の文献 PDF ファイルから 452 編の研究論文、実践論文、解説、ショートノートを実験対象とした。2012 年から 2021 年までの年度毎に 2 編の論文をサンプリングし、合計 20 編の PDF ファイルを実験用の文献ファイルとして設定した。テキスト前処理の有効性を検証するために、章、本文、図表の抽出に向けて、英文向けの科学論文から構造化メタデータを抽出するためのモジュール Cermin⁽¹⁷⁾、GROBID^(18,19)、を比較対象として実験を行った。実験の評価基準は Horacio らがまとめた「科学出版物の構造化分析」⁽²⁰⁾を参考にして以下の 4 段階評価とした。

レベル 1：利用可能なファイルである (PDF を入力できる)

レベル 2：テキストが再現できる

レベル 3：ある程度論文構造解析できる

レベル 4：ほぼノイズなしに論文構造解析できる

上記の 4 段階レベルの設定に基づいて、手法ごとに各レベルの割合を算出する。

4.2 実験結果

サンプリングした 20 編の文献 PDF に対する比較実験の結果は表 4 に示す通りである。

表 4 比較実験の結果

手法	レベル評価	割合
提案手法	レベル 1：0 編	レベル 1：0%
	レベル 2：0 編	レベル 2：0%
	レベル 3：1 編	レベル 3：5.0%
	レベル 4：19 編	レベル 4：95.0%
Grobid	レベル 1：0 編	レベル 1：80.0%
	レベル 2：2 編	レベル 2：10.0%
	レベル 3：18 編	レベル 3：90.0%
	レベル 4：0 編	レベル 4：0%
Cermin	レベル 1：16 編	レベル 1：80.0%
	レベル 2：1 編	レベル 2：5.0%
	レベル 3：3 編	レベル 3：15.0%
	レベル 4：0 編	レベル 4：0%

上記の結果から見ると、本提案手法がレベル 4 に対して最も高い割合を示している。このことから JSiSE 論文誌を対象とした日本語論文に対する前処理の構造化解析の有効性が確認された。その原因としては、Pymupdf ライブラリが日本語論文 PDF に対応していることや、日本語向けの正規表現が適切に使用されることが考えられる。

4.3 考察

4.3.1 ウェブスクレイピングの問題点

511 個の収集した PDF ファイルのうち、59 個は学術論文の原稿ではなく、学会誌の表紙、通知、査読者情報などのファイルである。これらのファイルは評価の際に手作業で除外したが、今後はウェブスクレイピングの改善のポイントとして、論文原稿ではないファイルを自動的に判別する手法の検討が必要である。

4.3.2 テキスト前処理の問題点

(1) アンケート文の混在

図 8 に示すように、本文テキスト内には本文と異なるアンケートデータが混在している。そのような本文らしくないコンテンツを正確に処理できていないことがわかる。

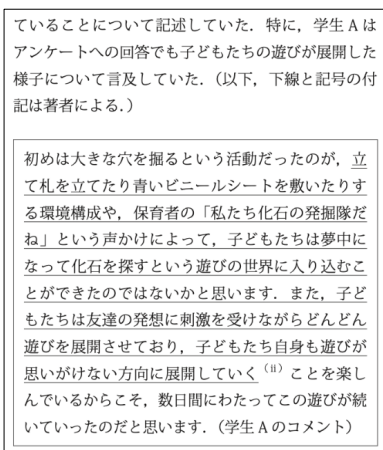


図 8 アンケート文の混在⁽²¹⁾

(2) 文章分割の際に不規則の箇条書き

節 3.2.4 で述べた句点が混在している特殊なパターンに対する正規表現でのノイズ認識や解除を行ったが、逆順の箇条書き（最初のパターンが「1.」ではない場合）などのレアなパターンには対応していない問題があった。

5. おわりに

本稿では、JALC データベースに掲載された学術論文を対象に、DOI の番号ルールに基づいて JSiSE 論文誌を選定し、論文毎のメタデータや文献ファイルを自動収集するためのウェブスクレイピングを行った。加えて、機械学習タスクで利用可能なデータセットを自動的に構築するため、データセット自動収集システムを開発した。これにより日本語文献ファイルの前処理の作業量を大幅に削減することができた。最後に前処理の効果を検証するための比較実験を行った結果、本手法は日本語文献ファイルに対する前処理の効果により、本システムの有効性が示された。

今後の課題は以下の通りである。

- ① ウェブスクレイピングの機能を拡張するために、新しい論文の更新に対する同期や通知機能を開発する。
- ② 本研究では、JSiSE 文献ファイルのコンテンツの自動分類のために、PDF 解析の段階では Pymupdf を使用したが、他の論文誌に対する前処理では、その論文誌の共通構造や書体に応じたテンプレートを構築することが必要である。そのため、汎用性の向上を目的とした統合テンプレートの設計・開発が今後の課題となる。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP20H04295 の助成を受けた。

参考文献

- (1) Li Jinghong, 太田光一, 長谷川忍: 観点を反映した深層学習および強化学習による学術論文の自動要約生成, 教育システム情報学会研究報告, Vol36, No.1, pp.68-73, 2021.
- (2) 中智宏, 漆原宏丞, 本多佑希, & 兼宗進. (2021). オープンデータを授業利用するためのスクレイピング WebAPI の開発. 情報処理学会第 83 回全国大会, 1, 07.
- (3) 松延千春, 石井起弥, 井上寛, & 白谷智宣. Web スクレイピングを利用した医薬関連情報の収集と入手データの活用. 第一薬科大学研究年報, (38), 51-64.
- (4) 一般向けデータ提供サービス利用規約 - ジャパンリンクセンター :
https://japanlinkcenter.org/top/doc/JaLC_general_riyoukiyak_u.pdf
- (5) ジャパンリンクセンター (JALC) との連携強化, JALC, DOI について:
<https://www.jstage.jst.go.jp/static/files/ja/JaLCrenkeikyoku.pdf>
- (6) 著作権法の一部を改正する法律 概要説明資料
https://www.bunka.go.jp/seisaku/chosakuken/hokaisei/h30_hokaisei/pdf/r1406693_02.pdf
- (7) 上野達弘. (2021). アーティクル: 情報解析と著作権—「機械学習パラダイス」としての日本. 人工知能, 36(6), 745-749.
- (8) Wahaj Salem Alkaberi, Reem Hamed Aljuhani, and Huda Mohamed Alamoudi. 2022. Web Scraper Application for Extracting Scientific Journals Data. In The 5th International Conference on Future Networks & Distributed Systems (ICFNDS 2021). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 220-224.
<https://doi.org/10.1145/3508072.3508106>
- (9) 久保琢也, 伊藤広幸. J-STAGE を活用した日本の学術論文データの整備. 情報誌「大学評価と IR」第 12 号 令和 3 年(2021 年)9 月. [事例報告](大学評価コンソーシアム)
- (10) C. Clark and S. Divvala, "PDFFigures 2.0: Mining figures from research papers," 2016 IEEE/ACM Joint Conference on Digital Libraries (JCDL), Newark, NJ, USA, 2016, pp. 143-152.
- (11) Yang, H. (2022, November). PIEKM: ML-based Procedural Information Extraction and Knowledge Management System for Materials Science Literature. In Proceedings of the 2nd Conference of the Asia-Pacific Chapter of the Association for Computational Linguistics and the 12th International Joint Conference on Natural Language Processing: System Demonstrations (pp. 57-62).
- (12) 武田英明. (2021). 学術における永続的識別子としての DOI のこれまでと今後について. 情報の科学と技術, 71(4), 177-180.
- (13) 三村のどか. (2022). JaLC メタデータのオープン化.
- (14) REST API 情報提供機能の説明:
https://japanlinkcenter.org/top/doc/REST_API_Functional_Description.pdf
- (15) N. A. Sultan and D. B. Abdullah, "Scraping Google Scholar Data Using Cloud Computing Techniques," 2022 8th International Conference on Contemporary Information Technology and Mathematics (ICCITM), Mosul, Iraq, 2022, pp. 14-19, doi: 10.1109/ICCITM56309.2022.10032044.
- (16) PyMuPDF Documentation :
<https://pymupdf.readthedocs.io/en/latest/toc.html>
- (17) Tkaczyk, D., Szostek, P., Fedoryszak, M. et al. CERMINE:

- automatic extraction of structured metadata from scientific literature. *IJDAR* 18, 317–335 (2015).
<https://doi.org/10.1007/s10032-015-0249-8>
- (18) Lopez, P. (2009). GROBID: Combining Automatic Bibliographic Data Recognition and Term Extraction for Scholarship Publications. In: Agosti, M., Borbinha, J., Kapidakis, S., Papatheodorou, C., Tsakonas, G. (eds) *Research and Advanced Technology for Digital Libraries. ECDL 2009. Lecture Notes in Computer Science*, vol 5714. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-04346-8_62
- (19) GROBID Documentation :
<https://grobid.readthedocs.io/en/latest/>
- (20) Horacio Saggion and Francesco Ronzano. 2016. Natural Language Processing for Intelligent Access to Scientific Information. In *Proceedings of COLING 2016, the 26th International Conference on Computational Linguistics: Tutorial Abstracts*, pages 9–13, Osaka, Japan. The COLING 2016 Organizing Committee.
- (21) 藤原伸彦, 田村隆宏, & 木下光二. (2012). 「遊誘財データベース」を活用した保育者養成. *教育システム情報学会誌*, 29(1), 80-85.

学修活動に応じた視覚的アプローチによる 子ども向けリフレクション支援システム

後藤 由翔^{*1}, 河野 義広^{*1}, 河野 由香^{*2}

^{*1} 東京情報大学

^{*2} Candy

A Visual Approach to Academic Activities Reflection Support System for Children

Yoshiha GOTO ^{*1}, Yoshihiro KAWANO^{*1}, Yuka KAWANO^{*2}

^{*1} Tokyo University of Information Sciences

^{*2} Candy

先行きが不透明で、将来の予測が困難な時代において、子ども達は「豊かな創造性を備え持続可能な社会の創り手」となることが期待されている。子ども達自身が社会課題を発見するための地域や情報社会に対する高い視座と多様な価値観を理解する姿勢に加え、答えのない課題に挑み続けるための資質・能力の育成が課題となる。本研究では、主体性発揮への働きかけを目的とし、学修活動に応じた視覚的アプローチによる子ども向けリフレクション支援システムを開発した。具体的には、学修後の講師メモのテキストマイニング結果提示、およびゲーミフィケーション活用による達成度グラフや主体的行動に基づく称号の付与の機能を実装した。

キーワード: 主体的な学び, リフレクション支援, ゲーミフィケーション, 地域活動

1. はじめに

近年では、グローバル化や情報通信技術の急速な進展により、Society5.0をはじめ、社会の在り方が非連続的といえるほど劇的な社会の変革が起こっている。Society5.0では、人工知能、ビッグデータ、IoT、ロボティクスなどの先端技術が教育や学びの在り方に変革をもたらすことが予見されている⁽¹⁾。2010年代以降はVUCA（Volatility：変動性，Uncertainty：不確実性，Complexity：複雑性，Ambiguity：曖昧性の頭文字）時代とよばれ先行きが不透明で、将来の予測が困難な時代といわれており、子ども達は「豊かな創造性を備え持続可能な社会の創り手⁽²⁾」となることが期待されている。子ども達自身が社会課題を発見するための地域や情報社会に対する高い視座と多様な価値観を理解する姿勢に加え、答えのない課題に挑み続けるための資質・能力の育成が課題となる。

加えて、コロナ禍で子ども達の学びの環境はオンライン化へと変革を余儀なくされ、同時期に日本では小学校でのプログラミング教育が始まり全国各地で多くのプログラミング教室が盛況である⁽³⁾。プログラミング教育は、分野横断的・総合的な探究型学習による論理的思考力の育成やプログラミングを通じた社会課題解決に向けた態度・技能習得が期待される⁽⁴⁾。初等教育段階のプログラミング教育における地域連携・協働の観点からメンター人材の安定確保、地域全体での指導体制、子ども達の発想力や自発性などの創造力育成を重視し、地域のプログラミング教育の中核を担うプラットフォーム的機関の必要性、資格認定制度を含むメンター育成の仕組み作りを提唱した報告がある⁽⁵⁾。

筆者らは、子どもの主体的な学びの促進に向けた学修支援システムの研究開発を推進している。主体的な学修に必要な能力要素として、「計算論的思考」「ICT

リテラシー」「社会的な見方や考え方」の 3 つを定義し、それぞれに対応した学修活動の実践に加え、子どもの発達段階と学修活動に連動した学修データ収集システム（以下、収集システム）を既に開発した⁽⁶⁾。

本研究では、プログラミング教育を通じた子ども達の主体性育成を目指し、学修活動の振り返りと次の行動計画を支援するシステム（以下、リフレクション支援システム）を開発する。具体的には、学修活動に応じた視覚的アプローチを実現するため、学修後の講師メモのテキストマイニング結果提示機能に加え、ゲーミフィケーションの 6 要素⁽⁷⁾を参考に「称賛演出」

「即時フィードバック設計」「独自性歓迎」「成長可視化」を導入したシステムを開発し、学修と振り返りの繰り返しによる達成度や学習意欲を評価する。本研究で対象とするリフレクション支援とは、主体的な学修課題の選択を目的とし、学修活動後の内省を促す仕組みである。本研究の問いは、子ども達の志向に適応したリフレクション支援が次の主体的な行動に好影響を与えるかである。

2. 子ども達の主体的な学び

2.1 主体的な学びを促す能力要素

子ども達が主体的に学修課題を選択するためには、自身の志向および社会における役割を理解する必要がある。子ども達自身が何に対して興味を抱くか、他者との関わりにおいて貢献できることは何であるかを認識するには、学修とフィードバックを繰り返す経験学習により視野を広げることが効果的である。このような能力と態度を身に付けるため、本研究では「計算論的思考」「ICT リテラシー」「社会的な見方や考え方」を必要な能力要素として定義した⁽⁶⁾。計算論的思考とは、コンピュータ科学に基づき問題解決の思考法を体系化した技術であり、コンピュータと人間の双方が理解可能な解決策を提示する際に役立つ⁽⁸⁾。ICT リテラシーを身に付けることで、多様な情報のカスタマイズや時間的・空間的制約を超えた情報共有⁽⁹⁾が可能となり、他者との協調作業やオンラインでの意思疎通に必要な協働性を養うことができる。社会的な見方や考え方とは、課題解決型学習において、社会的事象の意味や意義、相互関係を考察する際の追求の視点や方法と

され⁽⁹⁾、地域活動を通じた人間の営みと関連付けて身に付けることができる。以上より、社会課題に対して子ども達自身が貢献できる分野を見出せることを目指し、自らが意図したものを実現するための計算論的思考、他者との協働に不可欠な ICT リテラシー、社会に対する多様な視点や価値観などを涵養する社会的な見方や考え方の 3 点が必要である。上記能力要素に対応した学修活動を繰り返し実行することで、社会課題に対応できる学修成果物の創出が期待される。

2.2 能力要素に対応する学修活動

図 1 は、計算論的思考、ICT リテラシー、社会的な見方や考え方の 3 つの能力要素に対応する学修活動として、筆者らが活動を推進するプログラミング教室、IT 大学、こどものまち、ウォークアドベンチャーの関連性を示している⁽⁶⁾。本稿では、プログラミング教室を対象とした学修活動の実践、リフレクション支援システムの開発・評価について報告する。



図 1 主体的な学修課題の選択に必要な能力要素

3. 子ども向け学修支援システム

3.1 システム設計

本システムは、子どもの発達段階と活動内容に応じた質問項目を生成する収集システム、回答結果に基づいた分析結果を提示するリフレクション支援システムで構成される。毎回の学修活動時に振り返りの機会を設け、収集システムを用いて子ども達の活動の達成度や満足度などを記録する。続いて、統計的手法により学修データを分析し、次の主体的な行動を促すリフレクション支援を目的としたフィードバックシステムを開発する。学修活動の内容に応じたリフレクション支援が必要であるため、ゲーミフィケーションの 6 要素を参考に「称賛演出」「即時フィードバック設計」「独自性歓迎」「成長可視化」の 4 点を導入した。

3.2 学修データ収集・リフレクション支援システム

収集システムは、アンケートの質問表示と入力受付を行うクライアントサイド、アンケート構成情報及び解答データを記録・提供するサーバサイドで構成される。開発した収集システムの実行画面を図 2 に示す。学修活動と学年、個人識別用の番号を入力すると、アンケート回答画面に切り替わり学修活動で楽しかったこと、できたことなどを回答する。

図 2 収集システム回答画面



図 3 プログラミング教室リフレクション支援画面

先行研究にて、プログラミング教室における学修データ分析により、学修頻度の高い受講生は「プログラムを工夫した」「どうやればできるか考えた」「絵が描けた」の 3 項目と達成度に相関が見られた⁽⁶⁾。そこで、上記 3 項目をプログラミング教育における主体的行動と判断し、それらの行動に対応する称号付与（称賛演出）、達成度（できたことの個数）のグラフ表示（成長の可視化）、学修後の講師メモのテキストマイニング結果提示により、リフレクション支援を実現した（図 3）。

4. 被験者実験

4.1 実験の目的と各種学修活動の実施

本研究の目的は、学修活動時にゲーミフィケーションに基づく子ども達の志向に応じたリフレクション支援を繰り返し行うことで、次の主体的な行動に好影響を与えるかを明らかにすることである。そこで被験者実験の評価項目として、以下の 3 点を調査する。

- 1) リフレクション支援の提示内容に対する印象
- 2) 活動回数毎の達成度推移
- 3) 講師メモのテキストマイニング分析

上記 1) では、リフレクション支援における達成度のグラフ提示や称号付与による次回の行動意欲を主観評価で調査する。上記 2) については、収集システムで記録した「できたこと」の回答数（0～9 個程度）を主体的行動の達成度として評価する。上記 3) については、講師メモの形態素解析により出力されたワードクラウドのうち、特徴的な結果を取り上げ受講生の傾向を分析する。

プログラミング教室は、定期開催（週 1、月 1 クラス）のプログラミング教室、短期開催の提携小学校でのプログラミング授業の 2 つがある。以下にそれぞれの実施概要を示す。本調査に関して、子ども達が被験者となるため、本学倫理審査委員会の審査・承認を経て調査を実施した。

＜プログラミング教室：定期開催＞

- ・開催日程：週 1 クラス、月 1 クラス×4 教室
 - 週 1 クラス：市川市内、オンライン
 - 月 1 クラス：市川市内 3 箇所、浦安市内 1 箇所の計 4 教室
- ・参加者：35 名
 - 週 1 回クラス：4 名
 - ◇ 小学校 1 年生～3 年生：1 名
 - ◇ 小学校 4 年生～6 年生：1 名
 - ◇ 中学生以上：2 名
 - 月 1 回クラス：31 名
 - ◇ 小学校 1 年生～3 年生：5 名
 - ◇ 小学校 4 年生～6 年生：18 名
 - ◇ 中学生以上：8 名
- ・実験期間：2021 年 8 月 7 日から 2022 年 3 月 19 日
- ・収集データ数：303 件

- ・実施内容：Scratch またはプログラミング言語
 - Scratch テキスト課題，独自課題
 - Python テキスト課題，独自課題
 - JavaScript 独自課題
- ＜提携小学校でのプログラミング授業：短期開催＞
- ・開催日程：2022 年 8 月 16，17，19 日の計 3 日間
- ・参加者：提携小学校の 1～4 年生の計 20 名
 - 1～2 年生：15 名
 - 3～4 年生：5 名
- ・収集データ数：56 件（のべ 4 名欠席）
- ・実施内容：Scratch によるゲーム制作
 - 1 日目：Scratch の基本操作理解
 - 2 日目：ゲームの設計・制作
 - 3 日目：制作ゲームの発表会

4.2 結果と考察

評価項目 1)について，定期開催のプログラミング教室では，教室運営と並行してリフレクション支援システムを導入する際に，研究協力者に対して事前の説明や承認が必要となる．そこでまずは，プロトタイプ版を短期開催の提携小学校でのプログラミング授業で利用する方針とした．同様に，評価項目 2)の達成度についても，プロトタイプ版で達成度のグラフ表示を実装していることから，短期開催のプログラミング授業で調査した．収集システムにより得られた達成度および主体的行動の推移，最終日に実施した主観評価アンケートの結果を図 4～6 に示す．

結果は自分に合っていると思ったか？

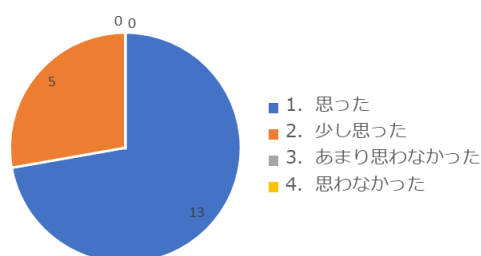


図 4 リフレクション支援による印象

図 4, 5 より，ほとんどの児童がリフレクション支援の結果が自分に合っている，グラフやバッジの提示により行動意欲に繋がったと回答した．称号付与や達成度のグラフ表示などのゲーミフィケーションを活用した視覚的アプローチが行動意欲の向上に寄与したと考

えられる．図 6 より，達成度推移は上昇傾向にあったものの，主体的行動にはほとんど変化が見られなかった．今度の継続調査が必要である．

結果のグラフやバッジが見えると、
次も頑張ろうと思ったか？

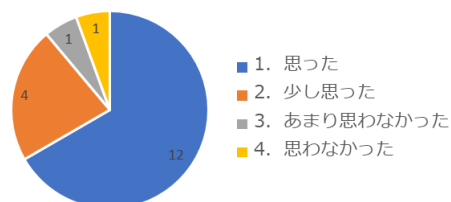


図 5 グラフやバッジ提示による次回の行動意欲

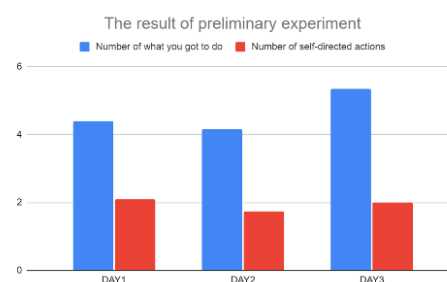


図 6 達成度および主体的行動の推移

評価項目 3)について，学修後の講師メモを可能な限り長期間の収集する必要があるため，定期開催のプログラミング教室の受講生を対象とする．教室での実施内容が異なる特徴的な 3 名のワーククラウドの結果を図 7～9 に示す．図 7 は，1 年以上受講している月 1 コース 5 年生で，Scratch のテキストに沿った課題を進めている．作成したシューティングゲームや電卓アプリ，魔物やトラップなどのキャラクタに関するメモが記録されており，初歩的なプログラミングに取り組んでいる様子が分かる．図 8 は，3 年以上受講している月 1 コースの中学 2 年生で，五目並べやチャットアプリなどの Python の独自課題に挑戦している．オブジェクト，管理，通信，GUI など，比較的高度な内容に取り組んでいる様子が分かる．図 9 は，3 年以上受講している週 1 コースの中学 2 年生で，JavaScript でカレンダーアプリの開発に挑戦している．ライブラリ，モーダルウィンドウ，Vue，JSON，CSV など，Web アプリケーションフレームワークを駆使した課題に取り組んでいる様子が分かる．このように，ワーククラウドが提示されることで，これまでの学修で取り組んだ内容を講師や受講生が容易に確認できるようになり，

- (6) Kawano, Yoshihiro and Kawano, Yuka:
“Development of Learning Systems for Children to Promote Self-Directed Choosing of Learning Tasks”.
International Journal of Mobile Computing and Multimedia Communications (IJMCMC), 12(3), 60-77, (2021)
<http://doi.org/10.4018/IJMCMC.20210701.oa1>
- (7) 岸本好弘, 三上浩司: “ゲーミフィケーションを活用した大学教育の可能性について”, 日本デジタルゲーム学会 2012 年年次大会, 2013.
- (8) Andrian, R., Hikmawan, R.: “The Importance of Computational Thinking to Train Structured Thinking in Problem Solving”, Jurnal Online Informatika, Vol. 6, No. 1, pp. 113-117, 2021.
- (9) 文部科学省: “社会的な見方や考え方 (追究の視点や方法) の例 (案)”, 教育課程部会・地理歴史・公民 WG, 2016.
https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/071/siryo/_icsFiles/afieldfile/2016/06/10/1371282_17.pdf
(2022 年 6 月 1 日確認)

勉強無効感尺度の開発に向けた因子構造と妥当性の検討

白澤秀剛^{*1}, 岩屋裕美^{*2}

^{*1} 東海大学, ^{*2} 川崎市立看護大学

Factor Structure Validation for the development of Study Invalidity Scale

Hidetaka SHIRASAWA^{*1}, Hiromi IWAYA^{*1}

^{*1} Tokai University, ^{*2} Kawasaki City College of Nursing

遠隔授業において、教員から見て不適切と思われる行動をおこなっている学生が少なからず存在しており、不適切学習行動の頻度を抑制するためには学習に対する自己決定性（自律性）を高めることが有効であることを示唆する結果を得ている。一方で、日本社会の中で「大学の勉強は役に立たない」とする言説が存在しており、これが学習に対する自己決定性（自律性）を低下させる要因になっている可能性が示唆される。「大学の勉強は役に立たない」という言説をどの程度大学生が信じているのかを定量的に調査した結果はほとんどなく、今回、大学での勉強が役に立たないと感じている割合を測定する尺度作成を試みた。調査結果から「大学の勉強は役に立たない」と考えている学生が一定数存在することが明らかになり、また尺度得点と動機づけや不適切学習行動頻度との関連を示唆する結果を得た。

キーワード: 学習行動, 自己効力感, 遠隔授業

1. はじめに

我々のこれまでの調査で、遠隔授業において、教員から見て不適切と思われる行動を行なっている学生が少なからず存在することが明らかになった⁽¹⁾。不適切学習を行う頻度が低い群と高い群の2群に分けて動機づけ尺度との関連を調べたところ、高群は同一化的調整と内発的調整が優位に低いことがわかった。これは、学習することの価値の内在化が低いほど不適切学習行動は起こりやすく、価値が内在化されるほど不適切学習行動は抑制されることを示唆している。

自己決定理論の中の有機的統合理論では、外発的動機づけを自律性の低い順に「外的調整」「取り入的調整」「同一化調整」「統合的調整」の4つの区分が一軸上に並ぶものとしている⁽²⁾。この中の「同一化的調整」は「自分にとって重要なことだから勉強する」など、学習活動を行う価値を認め、自分のものとして受け入れている状態の動機づけである。

一方、近年の大学入学者の多様化に伴い、学生の学

習に対する否定的価値観に着目した研究が見られ、学習「しない」動機づけに内的要因として否定的な学習価値観が関わるようだと報告がある⁽³⁾。動機づけ理論における期待価値モデルでは、「期待」と「価値」の積が動機づけのあり方を規定するとされ、価値を感じているほどその実現や獲得に向かっていこうとする動機づけが高まる一方で、価値を一切感じていなければ動機づけは生じない⁽⁴⁾。学習への接近行動を促すプラスの価値だけではなく、学習からの回避行動を動機づけるマイナスの価値があるとされており、学習に対する否定的な価値は、学習に対する回避行動を促す可能性がある。このことは、不適切学習行動頻度と同一化的調整との関連とも整合性がある。

近年の若者はネットから情報を入手することが多く、ネットの言説が価値観に影響を与えることが想定される。google 検索において「大学は意味ない」のヒット件数が約2億件、「大学無駄」のヒット件数が約2400万件となっている(2022年2月調べ)。これらは本当に無駄と書かれているものと、実際には無駄ではないと

書かれているものが入り混じっているが、「大学の勉強は役に立たない」という言説が半ば常識のように言われていることを示唆している。そこで、本研究では「大学の勉強は役に立たない」と感じる度合い、言い換えると、大学で勉強しても成長が見込めないと感じる、または大学で勉強しても将来に役立つ効果が得られないと感じる度合いを測定する質問項目を作成し、勉強無効感尺度の作成を試みた。勉強無効感尺度項目の調査の際、同時に学習動機づけ尺度及び不適切学習行動頻度も調査した。勉強無効感尺度の因子分析結果における因子構造の検証及び、学習動機づけや不適切学習行動頻度との関連を調べることで、勉強無効感という概念が成立しうるのかどうかについて検討した結果について述べる。

2. 調査

2.1 質問項目

「大学の勉強が役に立たない」と感じる理由として、勉強による自己効力感が不足している場合と、勉強に対する自己効力感が不足している不安を埋め合わせるための心理的方略として勉強は役に立たないと思っていきたいという場合があると仮定した。表1に示すように6つの要素に対して無効感に該当する質問項目を各2～3項目ずつ作成した。質問項目はランダムに並べ替えを行い、回答は「あてはまらない」から「当てはまる」までの5件法とした。

表1 学習無効感尺度質問項目

分類	番号	項目	m±SD
勉強量	Q1	勉強は多くやればよいというものではないと思う	3.4±1.2
	Q2	勉強は最低限やっておけば十分だと思う	2.5±1.1
	Q3	勉強よりも大事なことに時間を使うべきだと思う	3.0±1.0
成長	Q4	勉強をしても頭の悪さは変わらないと思う	2.5±1.2
	Q5	苦手分野は勉強しても成績は上昇しないと思う	2.2±1.0
	Q6	勉強するのは元々頭のいい人だと思う	2.1±1.1
方略	Q7	理解できないものは勉強方法を工夫しても理解できないと思う	2.3±1.1
	Q8	勉強方法を変えても成績	2.2±0.9

		は変わらないと思う	
短期的評価	Q9	勉強を一生懸命やっても報われない	2.7±1.1
	Q10	勉強ができていても良いことはない	1.8±1.0
	Q11	勉強で評価されるのは学校の中だけだと思う	2.6±1.2
長期的評価	Q12	勉強ができることとえらいことは関係がない	3.6±1.1
	Q13	人間を勉強で評価するのは間違いだと思う	3.3±1.2
社会	Q14	勉強以外にも大切なことはたくさんある	4.3±0.9
	Q15	勉強は社会では役に立たない	2.0±1.1

2.2 調査方法

文系・理系・体育系など多くの学部を含む総合大学Aの情報系と語学系の自由選択科目履修者に対して、成績や単位取得には影響のないことを説明した上で、任意での回答協力者を募集した。調査はWebフォームで行い、回答欄末尾に研究利用を拒否する項目を設け、この項目にチェックを入れた回答についてはデータを削除した。

表1の質問項目と同時に、岡田らの大学生用学習動機づけ尺度⁵⁾、不適切学習行動頻度¹¹⁾の質問項目を加えて調査を行った。

調査は2022年度春学期及び秋学期の学期中盤に行い、有効回答数106件を得た。回答者の学年は1年次～6年次となっており、3年次生の回答がやや多く、5、6年次生は計5件であった。

2.3 倫理承認

本調査は東海大学「人を対象とする研究」に関する倫理委員会の承認(承認番号22105)を得て実施した。

3. 結果

単純集計を行い質問項目の天井効果・床効果の有無について検証した。1項目において天井効果、2項目において床効果が見られたが、質問内容的に妥当性があると判断し、項目を残したまま因子分析を行った。続いて、尺度得点と動機づけ尺度との相関、不適切学

習頻度との相関について検証を行った。

3.1 単純集計結果

表 1 に示したように、Q14 には天井効果が、Q10、Q15 には床効果が見られた。Q14 を当てはまると感じる割合が多いこと、Q10、Q15 に当てはまらないと感じる割合が少ないことには一定の妥当性があり、また標準偏差も 0.9～1.1 と他の項目と同程度のバラツキがあるため、項目を削除せずに因子分析を行うこととした。

「大学の勉強は役に立たない」に対して、直接的なワーディングの項目 Q9 と Q15 の回答分布ヒストグラムを図 1 と図 2 にそれぞれ示す。Q9「勉強を一生懸命にやっても報われない」に「ややあてはまる」「あてはまる」と回答した割合の合計は 20%、Q15「勉強は社会では役に立たない」に「ややあてはまる」「あてはまる」に回答した割合の合計は 10%との結果を得た。この結果から「大学の勉強は役に立たない」と感じている学生が一定数存在することが確認できた。

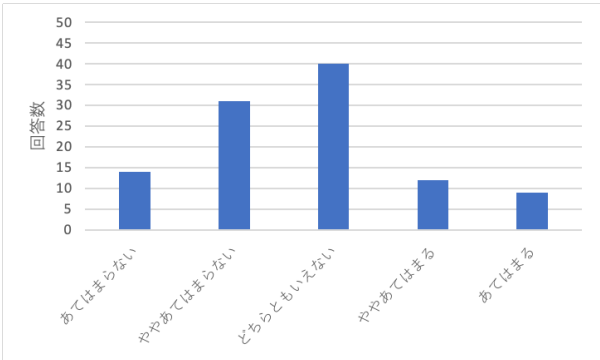


図 1 Q9「勉強を一生懸命やっても報われない」の回答分布

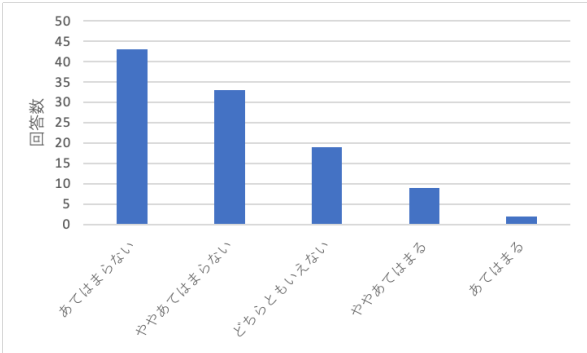


図 2 Q15「勉強は社会では役に立たない」の回答分布

3.2 因子分析結果

全 15 項目で最尤法、プロマックス回転による因子

分析を行った。図 3 に示すスクリープロットにより、因子数を 2 因子と決定した。因子パターン行列を表 3 に示す。クロンバックの α 係数は第 1 因子が 0.831、第 2 因子が 0.734 であり、内的整合性も十分高いことを確認した。

第 1 因子は Q8「勉強方法を変えても成績は変わらないと思う」や Q15「勉強は社会では役に立たない」など、勉強に対する無力感及び無力感に対する埋め合わせ戦略による認識を示しているため「勉強無力感因子」と名付けた。第 2 因子は Q3「勉強よりも大事なことに時間を使うべきだと思う」や Q13「人間を勉強で評価するのは間違いだと思う」など、勉強に絶対的な価値を置かないことを示しているため「勉強価値の相対化因子」と名付けた。

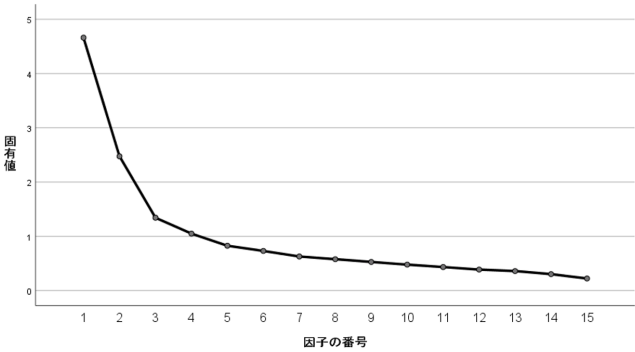


図 3 スクリープロット
表 3 パターン行列

項目番号	因子 1	因子 2
Q8	0.734	-0.055
Q6	0.675	0.084
Q15	0.662	0.047
Q7	0.655	0.020
Q4	0.632	-0.099
Q5	0.622	-0.035
Q10	0.595	-0.104
Q9	0.328	0.217
Q3	0.199	0.710
Q13	-0.054	0.662
Q12	-0.149	0.633
Q14	-0.524	0.559
Q11	0.322	0.460
Q2	0.394	0.439
Q1	-0.047	0.360

3.3 尺度得点と動機づけ尺度との相関

下位尺度得点及び尺度全体の得点と動機づけ尺度の下位尺度得点との相関を表4に示す．因子1と内発的調整，同一化的調整に弱い負の相関が見られ，外的調整と正の相関が見られる．一方，因子2とはいずれの動機づけとの相関も見られなかった．

表4 尺度得点と動機づけとの相関

動機づけ	因子1	因子2	全因子
内発的	-0.304**	0.040	-0.182
同一化的	-0.341**	-0.034	-0.250**
取り入れ的	0.073	0.040	0.072
外的	0.516**	0.105	0.408**

** p<.01

3.4 尺度得点と不適切学習頻度との相関

遠隔授業不適切学習行動の中でも，遠隔授業に特徴的な不適切学習行動を抜き出して比較を行った．因子1と不適切学習行動とはいずれも正の相関が見られ，因子2とは相関が見られなかった．

表5 比較した不適切学習行動

行動番号	内容
(1)	ライブ授業にアクセスはしているが視聴していない（寝る・離席するなど）
(2)	ライブ授業にアクセスはしているが，その授業とは関係のない作業をしている（別の授業の課題・ネット閲覧・スマホ操作、移動中など）
(3)	オンデマンド動画の再生はするが，視聴はしない（寝る・離席するなど）
(4)	オンデマンド動画の再生をしながら，その授業とは関係のない作業をしている（別の授業の課題・ネット閲覧・スマホ操作、移動中など）
(5)	ライブ授業では冒頭だけアクセスして途中で退室する
(6)	課題実施にライブ授業録画やオンデマンド動画の視聴が必要であっても，見ずに課題を実施する

表6 尺度得点と不適切学習行動との相関

不適切学習	因子1	因子2	全因子
(1)	0.490**	-0.062	0.295**
(2)	0.337**	0.068	0.266**
(3)	0.467**	0.054	0.346**
(4)	0.467**	0.124	0.282**
(5)	0.349**	-0.024	0.222*
(6)	0.332**	-0.084	0.177

* p<.05 ** p<.01

4. 考察

「大学の勉強は役に立たない」との言説をある程度信じている，またはそのように感じている学生の割合が少なくとも1割から2割程度は存在することが今回の調査から明らかになった．また，役に立たないという概念が自分は勉強しても無駄と感じる無効感と，勉強の価値は絶対ではないと感じる，ある意味，勉強に対する健全な評価の2つによって構成されていることがわかった．累積寄与率は47.574%とやや低い，勉強無効感という概念はある程度の妥当性を持って成立していると言える．

第1因子である勉強無力感因子は内発的調整や同一化的調整と負の相関があり，学習に対する価値の内在化を阻害する要因になっていることが示唆される．第1因子は不適切学習行動とも正の相関があることから，勉強無力感が高いと適切な学習行動を維持することができずに，不適切学習行動を行なってしまうと考えられる．加えて，第1因子の質問項目の言葉は，勉強をしないことに対する言い訳の言葉，すなわち心理的な埋め合わせ戦略として作用して，より一層不適切学習行動を促進させてしまうことが危惧される．

先行研究で教員が価値を伝達することによって学習行動に影響を与えるとの報告がある⁶⁾．すなわち，遠隔授業で学生の効果的な学習を促すには，システム面での使いやすさなどを含めた遠隔学習環境の向上のみならず，学習に入る前に学習無効感尺度による調査を行なって状況を把握し，学習に入る前に「大学の勉強は役に立たない」という認識を変化させるような介入が重要と言える．

5. 今後の課題

「大学の勉強は役に立たない」と感じている学生が一定数存在することは確認できたが、今回は1大学の有効回答数106件での分析のため、この結果をもって大学生全体に対する傾向を述べることはできない。大学生全体としての傾向を知るには複数大学での調査を踏まえた尺度開発が必要と考える。また、学年による差異や変化などについて検討するためには、調査件数を増やしたり、追跡調査を実施したりするなどの必要がある。併せて、大学の勉強の価値を変化させるような介入が不適切学習行動の減少に繋がるかについて、今後の実践及び調査が必要といえる。

参 考 文 献

- (1) 白澤秀剛, 岩屋裕美: “遠隔授業不適切学習行動と学習動機づけとの関係分析”, 教育システム情報学会誌, Vol.40, No.1, pp.77-81 (2023)
- (2) 櫻井茂男: “夢や目標を持って生きよう! (自己決定理論)”, モティベーションをまなぶ12の理論, 金剛出版, 2012
- (3) 松岡陽子: “大学生の学習回避と否定的学習価値観”, 日本パーソナリティ心理学会発表論文集, No.18, pp.74-75 (2009)
- (4) 鹿毛雅治: “学習意欲の理論—動機づけの教育心理学—”, 金子書房, 東京 (2013)
- (5) 岡田涼, 中谷素之: “動機づけスタイルが課題への興味に及ぼす影響 -自己決定理論の枠組みから-”, 教育心理学研究, 第54巻, 第1号, pp.1-11 (2006)
- (6) 解良優基, 中谷素之: “認知された課題価値の教授と生徒の課題価値評定, および学習行動との関連”, 日本教育工学会論文誌, Vol.38, No.1, pp.61-71 (2014)

工業高等専門学校における 障害者支援装置開発と7年間一貫実践教育

片山英昭^{*1}, 丹下裕^{*1}, 船木英岳^{*1}, 竹澤智樹^{*1}

^{*1} 舞鶴工業高等専門学校 電気情報工学科

Development of Support device for the people with disabilities and Seven-consecutive-year practical engineering education in National Institute of Technology (KOSEN)

Hideaki Katayama^{*1}, Yutaka Tange^{*1}, Hidetake Funaki^{*1}, Tomoki Takezawa^{*1}

^{*1} National Institute of Technology (KOSEN), Maizuru College

地域貢献を大きな目的とした実践的工学教育を、舞鶴工業高等専門学校における7年間一貫教育として実施している。高等専門学校における本科5年間、専攻科2年間を一貫教育とすることにより、より高度な実践的工学教育を基礎から系統的に実施できる。長期間に及ぶ実践的工学教育において、課題解決型授業と研究活動では特にらせん型教育としている。より高度な実践的工学教育の成果は、実社会で利用できる装置、ソフトウェアの開発となる。これらの成果は実際に地域の課題解決に貢献する。このようなより実際の地域貢献は地域の自治体等との連携を強化し、さらに具体的でその解決が有意義である課題を、連携を通じて実践的工学教育に導入できることになる。具体的な成果の一例は、障害者支援装置開発を目的とした実践的工学教育と、その地域貢献である。

キーワード: 工業高等専門学校, 実践的工学教育, 障害者支援, 地域貢献, 地域連携, らせん型教育

1. はじめに

高等専門学校（以下、高専と呼ぶ）は、中学校卒業後の生徒を中心に受け入れ、本科5年間と専攻科2年間の教育を行う高等教育機関である。全国に51校の国立高専と、その他に公立、私立の高専が存在し、多くの高専では工学教育を行っている。舞鶴工業高等専門学校（以下、本校と呼ぶ）は国立高専の1校であり、機械、電気情報、電子制御、建設システム工学科の4学科で構成され、一学年の定員は160名である。また専攻科は、総合システム工学専攻の電気電子システム工学、機械制御システム工学、建設工学コースの3コースで構成され、一学年定員16名である。専攻科の入学者は、選抜試験により決定される。

本科における中学校卒業後からの工学を中心とした教育は、工学分野においては大学レベルに近い成果が

期待できる。さらに専攻科においては、本科との連携により、特に研究活動の充実が図られている。本校の電気情報工学科では、本科の第4学年より研究室配属を行っているので、専攻科との連携で、学生は約4年間の研究活動に取り組める。高度な工学教育と、長期間の一つの分野における研究活動により、学生に高い研究成果を期待できる。

本校の教育においては、「ものづくり」が重視される。電気情報工学科では、実際の電気・電子装置やソフトウェアの開発が行える知識や技術の教育にも重点が置かれている。低学年から実験・実習を中心に、基礎から系統的に電気・電子装置やソフトウェアの開発につながる実践的工学教育を実施している。課題解決型授業や研究活動の成果として、実際の電気・電子装置やソフトウェアの開発を要求することも多い。これらの

教育において、特に、らせん型教育としている。どの段階においてもエンジニアリングデザイン能力や、後述する高等専門学校のモデルコアカリキュラムで定められる「技術者が備えるべき分野横断的能力」の育成を重視している。

実践的工学教育において、地域の課題に取り組むことは効果的である。課題解決型授業で取り組む課題や研究活動のテーマは、実践的で、その成果が実社会に還元されることを目指している。課題発見、解決策の提案、開発計画の策定、開発などの教育過程においても実社会とのつながりを重視している。地域の課題に、課題解決型授業や研究活動で取り組むためには、地域の自治体、公共機関などとの連携が密接であることが重要となる。本校の電気情報工学科における7年間一貫の実践的工学教育の成果は、実際に社会で利用できる電気・電子装置やソフトウェアとして実現される。これらの成果により、課題解決策として地域からの評価も高まり、さらに密接な連携へとつながる。実践的工学教育の教育効果の評価も、その成果が実社会でどのように評価されるかで決まる。

本校の電気情報工学科における実践的工学教育、地域連携、その成果としての地域貢献の詳細について以下に報告する。

2. 高専における実践教育

2.1 高等専門学校の教育

全ての国立高専で育成する技術者が備える能力とその到達レベルは、モデルコアカリキュラム⁽¹⁾で示されている。51校の国立高専は、各校がさらに特色ある教育をモデルコアカリキュラムに追加することになる。モデルコアカリキュラムにおいては、その育成する能力を、「技術者が分野共通で備えるべき基礎的能力」、「技術者が備えるべき分野別の専門的能力」、「技術者が備えるべき分野横断的能力」の3つに大別している。さらにそれぞれの能力は9能力分野に細分化される。

「技術者が分野共通で備えるべき基礎的能力」は、数学、自然科学、人文・社会科学、工学基礎、「技術者が備えるべき分野別の専門的能力」は、分野別の専門工学、分野別の工学実験・実習能力、「技術者が備えるべき分野横断的能力」は、汎用的技能、態度・志向性（人

間力）、総合的な学習経験と創造的思考力に細分化される。「技術者が備えるべき分野横断的能力」における汎用的技能には、コミュニケーションスキルや課題発見などが含まれる。また、態度・志向性（人間力）ではチームワーク力、総合的な学習経験と創造的思考力ではエンジニアリングデザイン能力などが含まれる。「技術者が備えるべき分野横断的能力」は、いくつかの授業科目で教育されるものではなく、教育課程全体に係る。これらの能力を備える実践的な技術者教育が高専教育の目標となっている。

2.2 電気情報工学科の実践教育

分野横断的能力の育成や、「ものづくり」の基礎となる技術の教育に特に関連する授業科目を以下に示す。早い段階から「ものづくり」の基礎技術を教育し、最終的には高度な技術の習得につなげている。また、らせん型教育として、課題発見、情報収集・発信、チームワーク力などの能力育成は低学年から繰り返し教育していることも特徴である。学生は繰り返し課題に取り組む、その都度、課題発見から成果発表までの一連の過程を学習する。分野横断的能力（エンジニアリングデザイン能力）の高い学生の育成を目指している。さらに研究室配属を本科4年生から行い、約4年間という長期間の研究活動が行えることも特徴である。

2.2.1 電気情報工学実験（本科2～5年生）

座学と連携した電気・電子、情報・通信技術の実験的な学習が中心であるが、電気・電子装置やソフトウェアの開発の基礎となる技術の教育に加え、習得した技術を活用した課題解決提案にまで教育を行う場合がある。例えばプログラマブルロジックコントローラ（PLC）の実験においては、PLCによる制御をおこなう機器をグループで提案し、サンプルラダープログラムの作成、成果発表を行う。SDGsの具体的な理解のため、その目標を達成する電気・電子機器の開発を課題とすることもある。

2.2.2 回路実習（本科3年生）

マイコンを中心とした電子回路を実際に製作し学習する。マイコンに対する入力や、その出力のための電子回路に加え、汎用性が高く高機能なマイコンのプログラミングまでを学習する。

2.2.3 創造工学⁽²⁾ (本科4年生)

半年間のプロジェクトとして実施する実習科目である。いくつかの地域の課題などを学生に提示し、学生のグループで課題解決につながる電気・電子装置やソフトウェアの開発に取り組む。課題発見や解決提案に加え、プロジェクトマネジメントについても学習する。成果は、開発した装置やソフトウェアの展示をともなうポスター発表により評価される。

2.2.4 工学基礎研究 (本科4年生)

研究活動の始まりとして学生の研究室配属を行っている。1名の教員に4名程度の学生を配属させる。学生は個人の研究テーマを設定し、研究活動を行う。卒業研究の事前準備となるような研究テーマを設定し、なるべく長期間同一テーマで研究し、より高度な成果が得られるようにしている。学生には成果概要の作成、成果発表が要求される。

2.2.5 卒業研究 (本科5年生)

本科4年生の授業科目「工学基礎研究」で決定した研究室配属を、原則として変更せずに学生の研究指導を行う。学生は、研究の基礎となる装置開発、実験手法、シミュレーション手法についてすでに学んでいるので、より高度な研究活動を行うことが可能である。学生には成果概要と研究論文の作成、成果発表が要求される。

2.2.6 特別研究 (専攻科)

多くの学生は、本科における研究活動の継続を希望し、専攻科へ進学している。本科と比較して研究時間も長時間となる。教員は一学年で1名程度の学生を指導するので、非常に手厚い研究指導となる。本科から継続される長期間の研究の成果は高度で、その多くが学会等で発表されている。また、地域貢献を目的とした研究の成果としての電気・電子装置やソフトウェアは、実際に社会で試験的使用に至る。地域連携と、これにより開発される電気・電子装置やソフトウェアの例は以下の章で示す。

3. 高専における教育と地域との連携

本校は、地域貢献を本校の使命として掲げている。電気情報工学科では、教育や研究の成果がより多くの地域貢献につながるように、多くの地域の自治体、団

体、企業等との連携を模索している。以下に連携している地域の自治体、団体、企業等と、その連携について説明する。

3.1 舞鶴市との連携

舞鶴市には、人口減少、観光産業の活性化などいくつかの課題がある。本校の電気情報工学科が貢献できる課題として、特に観光産業の活性化を支援する目的で、電子スタンプラリーやプロジェクションマッピングの研究・開発を行っている。⁽³⁾

3.2 京都府立舞鶴こども療育センターとの連携

京都府立舞鶴こども療育センターは、手足や体幹に障害のある18歳未満の子供たちを対象に、社会的自立の支援を行う医療型障害児入所施設である。施設の子供たちが使用する電動車椅子を改造し、手の不自由な子供による操作も容易となる操作部の研究・開発を行っている。⁽⁴⁻⁸⁾

3.3 舞鶴市身体障害者団体連合会との連携

舞鶴市身体障害者団体連合会は、身体障害者団体の組織活動を増進し、障害者の自立と社会参加並びに福祉の向上等を実現することを目的とした団体である。電気・電子センサによる障害物検出デバイスや、周囲の画像を解析するシステムを備えた視覚障害者のための白杖の研究・開発を行っている。⁽⁹⁻²⁵⁾

3.4 京都府立舞鶴支援学校との連携

京都府立舞鶴支援学校は、文部科学省の定義する特別支援学校である。支援学校教員の教育技術に関する支援、支援学校生徒のための視線等による電子入力装置、漢字学習ARソフトウェアの研究・開発を行っている。⁽²⁶⁻³⁵⁾

3.5 舞鶴引揚記念館との連携

舞鶴引揚記念館は、戦後の引き揚げやシベリア抑留を後世に継承し、平和の尊さを広く発信する施設である。引揚船の模型を3Dプリンタにより作製し、視覚障害者の方が触って船の形状を理解できるように工夫する研究・開発を行っている。^(36,37)

3.6 福井県立盲学校との連携

福井県立盲学校は、福井県に1校しかない視覚障害者のための学校である。触って位置や地形が理解できる触地図や指点字デバイスの研究・開発を行っている。
(38-43)

3.7 舞鶴医療センターとの連携

舞鶴医療センターは、独立行政法人、国立病院機構が運営する医療施設である。近赤外分光（NIRS）と呼ばれる方法により得られる脳活動データの解析・研究を行っている。⁽⁴⁴⁾

3.8 舞鶴市子育て交流施設「あそびあむ」との連携

舞鶴市子育て交流施設「あそびあむ」は、“あそび”をテーマに、子どもと大人が一緒にあそぶ、場所・ところとされている。子供たちのためのデジタル遊具の研究・開発を行っている。

4. 障害者支援装置開発と地域貢献

どの地域にも障害者の方々を支援する施設や団体は存在する。また多くの施設や団体では障害者支援に関する課題が山積している。その1つが支援に必要な電気・電子機器やソフトウェアの開発である。一般にこれらの電気・電子機器やソフトウェアに対して、その需要は少なく、求められる高い安全性や特殊な操作性など、その仕様を満足することも難しい。器具や簡単な機械であれば、施設や団体で業務を行う方々の提案も可能である。しかしながら現在の電気・電子センシングやソフトウェアの技術は高度で、その存在や機能を知って、施設や団体で業務を行う方々が支援装置を提案することは難しい。このような状況において、近畿北部地域に存在する数少ない工学系の高等教育機関として、本校に地域への貢献が期待される。本校にとっても障害者支援用の電気・電子機器やソフトウェアの開発は、課題解決型授業や研究活動において、実社会と直接につながる非常に効果的なテーマとなる。以下では、学生が開発した電子白杖について、課題発見・解決などの開発過程、その成果について教育的な観点から説明する。

4.1 電子白杖の開発

白杖とは、身体障害者福祉法では『盲人安全つえ』と記されており、視覚障害者のための白色の杖である。道路交通法にも白杖の携行が、『目が見えない者（目が見えない者に準ずる者を含む）は、道路を通行するときは、政令で定めるつえを携え、又は政令で定める盲導犬を連れていなければならない。』と定められている。その機能は以下の通りである。

- (1) 視覚障害を持つことを周囲に知らせる。
- (2) 触覚を通じて路面の情報を収集する。
- (3) 路面上にある障害物を検知する。

一般に白杖に電子機器は付属せず、視覚障害者は杖から手に伝わる触感、振動、衝撃から道路等の状況や障害物の情報を得る。白杖の機能をサポートする電子機器や付随するソフトウェアの開発は、本校の電気情報工学科における専門分野教育の成果を生かす適切なテーマである。

課題発見・解決、試作装置の試用、改良のためのフィードバックの全ての過程で、連携する自治体や団体、施設等との関係が密になるよう配慮している。課題調査、課題解決の提案、開発計画の策定、開発した装置やソフトウェアの試用、その改良、成果報告など、多くの機会を学生に対して設け、学生が実社会との連携を意識することに努めている。

4.2 学生により開発された電子白杖

学生は、舞鶴市身体障害者団体連合会への調査や、文献調査等により、本校電気情報工学科で学んだ知識を生かす方法として、電気・電子センサや画像解析を利用した電子白杖を提案した。低学年から始まるマイコンや画像処理のソフト・ハードのバランスのよい実習を基礎にしている。また、2.2節で示すそれぞれの段階で学生は開発を行い、成果を学会等で発表している。専攻科の特別研究においては、より高度な開発を実現している。以下にそれぞれの段階における開発の概要を説明する。

4.2.1 電気・電子センサにより障害物を検出する白杖

電気・電子センサにより障害物を検出し、振動等でその情報を視覚障害者に知らせる電子デバイスを学生が開発した。現在、図1で示すように、スマートフォンの深度センサを利用するアプリケーションを開発し、

スマートフォンを白杖のように利用することを提案している。現在の提案に至るまでに学生は、異なる専用装置やそのソフトウェアの開発など多くの段階を経ている。

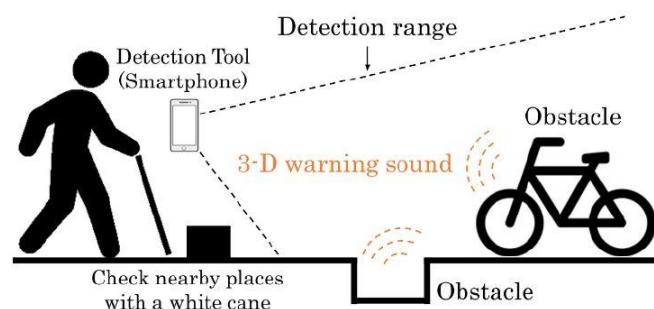


図1 スマートフォンの深度センサを利用した電子白杖

<電気情報工学実験（本科2～5年生）>

電気・電子計測装置の使用法、PIC（Peripheral Interface Controller）を含む様々なマイコンの活用、回路シミュレータの利用法など、「ものづくり」のための技術を広く習得する。またグループワークにより、チームとしての活動、プレゼンテーションなどの分野横断的能力を習得する。

<回路実習（本科3年生）>

マイコンやPCによる機器の制御方法、電気・電子センサの利用法、周辺機器のための駆動回路の設計方法などを習得する。

<創造工学（本科4年生）>

・視覚障害者に対する歩行者支援デバイスの製作

学生は、グループによる課題解決型授業において、超音波センサの出力により振動モータが駆動される装置を開発した。また、開発計画のプレゼンテーション、製作物を展示したポスター発表を行った。課題発見や、解決方法の考案、開発計画の策定、チームワークなど、製作物も含めて基礎的な学習となっている。

<工学基礎研究（本科4年生）>

学生は個人による研究活動として、下に示す卒業研究のための準備的研究や開発を行う。プレゼンテーションによる成果発表に加えて、研究・開発概要の作成が求められる。

<卒業研究（本科5年生）>

学生はさらに以下のようなテーマで開発を発展させる。2回のプレゼンテーションによる成果発表、

研究・開発概要の作成に加えて卒業論文の提出が求められる。いくつかの成果が学生により、学会等で報告されている。

- ・スマートフォンを用いた超音波白杖の開発
- ・視覚障がい者の歩行支援を目的とした

障害物検知システムの開発

- ・電子マップを利用した障害物事前通知システムの改良と運用

- ・視覚障がい者の単独歩行を支援する

歩行支援システムの開発

<特別研究（専攻科）>

卒業研究からさらに開発を進め、以下で示すテーマで、より実用性のあるデバイスを開発している。専攻科2年間で4回のプレゼンテーションによる成果発表、研究・開発概要の作成に加えて卒業論文の提出が求められる。より高度な研究として、ほとんどの学生がその成果を学会等で報告している。（9-25）

- ・深度センサ搭載のスマートフォンを活用した視覚障害者向け障害物検出システムの開発

4.2.2 画像解析により道路状況を検出する白杖

4.2.1 と重複する内容を除き、画像解析を利用した電子白杖の開発について、それぞれの教育段階における学生の成果を以下に示す。現在、図2で示すように、画像解析に機械学習の技術を利用することを提案している。学生は低学年からプログラミングや画像処理の技術について学んでいる。そして研究の基礎として本科4年生から機械学習の手法についても学び、最終的に機械学習を画像処理に適用するまでに研究・開発を発展させている。

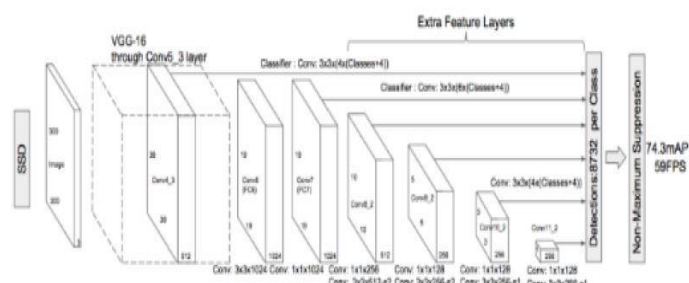


図2 画像解析を利用した電子白杖

<電気情報工学実験（本科2～5年生）、回路実習（本科3年生）、創造工学（本科4年生）>

4.2.1 と同様

<工学基礎研究（本科4年生）>

- ・歩行者用信号機の物体検出における

アノテーションの影響調査

- ・二値化画像におけるコーナー検出法の比較

<卒業研究（本科5年生）>

- ・点字ブロック上の放置自転車検出

<特別研究（専攻科）>

- ・深度データを用いた視覚障害者のための

水災害時避難誘導

5. おわりに

舞鶴工業高等専門学校、電気情報工学科の7年間一貫教育による実践的工学教育について報告した。7年間一貫教育の利点を生かした、学生の高い研究活動の成果が、教育システムの基礎となっている。工業高等専門学校の教育の特徴の1つは、早期の工学教育とその高いレベルへの到達である。さらに本校では地域貢献、「ものづくり」を重視し、その教育成果が実際に地域に還元されることを目指している。実際に地域や近隣の多くの自治体、団体、施設等との研究活動等における協力・連携がある。7年間一貫の実践的工学教育の成果は、学生の研究活動や課題解決型授業における地域の課題解決に寄与する電気・電子装置やソフトウェアの開発として具体化される。開発される装置やソフトウェアの完成度は、7年間の長期間の教育期間の教育内容の連携に大きく依存する。分野横断的能力（エンジニアリングデザイン能力）の育成は、らせん型教育により実施し、特に重要と考えている。開発された電気・電子装置やソフトウェアの完成度が高ければ、地域の自治体、団体、施設等からの評価が高まり、さらなる連携の強化につながる。連携の強化は、地域の課題をテーマにする教育指導をより一層具体的で実践的にする。教育システムとしての評価は、連携先の自治体、団体、施設等の課題を、学生の開発した電気・電子装置やソフトウェアがいかに効果的、効率的に解決したか、また自治体、団体、施設等との連携が強化、継続されるかによっても決まる。現在、地域や近隣の自治体、団体、施設等との連携は進んでいるので、教育システムとして一定の評価はあると考える。今後、教育システムとしてのより効率的な運用や、教育シス

テムとしての具体的な評価に取り組む。

謝辞

3章で報告したとおり、京都府舞鶴市やその近隣地域の施設や団体等と連携のもと、本研究・教育を実施した。これらの自治体、団体、施設等に感謝します。また、実際の教育実施における本校電気情報工学科教職員の支援にも感謝します。

本研究は、科研費による支援のもと実施しました。

参考文献

- (1) 国立高等専門学校機構モデルコアカリキュラム,
https://www.kosen-k.go.jp/about/profile/main_super_kosen.html (2023年2月10日確認)
- (2) Katayama, H., Takezawa, T. and Tange, Y.: “Education of Practical Engineering Skills aiming for Solving Real Problems related to Local Area”, IEEE International Conference on Teaching, Assessment and Learning for Engineering 2015, Page 138-143, (2015.12)
- (3) 舞鶴市広報誌
- (4) 坂本舜亮, 七森公碩, 福井繁雄, 丹下裕, 片山英昭: “指一本で自由自在に操作できる着脱可能な電動車いすの操作部の開発”, JapanAT フォーラム 2019 講演論文集, pp. 35-36 (2019)
- (5) Fukuda, Y. and Tange, Y.: “Manufacture of Input Support Device for Livelihood Support of ALS Patients”, The 6th IIAE International Conference on Intelligent Systems and Image Processing 2018, pp.171-176 (2018)
- (6) 福田裕輝, 丹下裕: “視覚障害者の単独歩行を実現する歩行者支援システムの開発”, 第27回視覚障害リハビリテーション研究発表会抄録集, p. 56 (2018)
- (7) 尾内亮太, 丹下裕, 福井繁雄, 竹澤智樹, 片山英昭: “人の重心移動を利用した電動車いすの操作装置の開発”, 第23回高専シンポジウム講演要旨集, PI-010 (2018)
- (8) 尾内亮太, 丹下裕, 福井繁雄, 片山英昭, 竹澤智樹: “人の重心移動によって操作する電動車椅子の操作部の開発”, Japan AT フォーラム 2017 in 函館・講演論文集, pp.29-30 (2017)
- (9) Tange, Y., Konishi, T. and Katayama, H.: “Development of Vertical Obstacle Detection System”,

- 7th ACIS International Conference on Applied Computing & Information Technology, pp. 93-98 (2019)
- (10) 丹下裕, 片山英昭: “視覚障害者の単独歩行を支援する静止障害物検出のための超音波白杖の開発”, 地域ケアリング 22(1), pp. 82 - 85 (2020)
- (11) Hatano, K., Watanabe, S., Tange, Y. et al.: “Improvement of Walking Support System for Visually Impaired Person”, The 6th IIAE International Conference on Industrial Application Engineering 2018, pp. 72-75 (2018)
- (12) Takeno, S., Tange, Y., Hori, J.,: “Development of the Obstacle Detection System Combining Orientation Sensor of Smartphone and Distance Sensor”, The 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, pp.6696-6699 (2015)
- (13) 中島滉太, 片山英昭, 丹下裕, 森健太郎: “スマートフォンによる歩行者用信号機検出の基礎研究”, 第 29 回視覚障害リハビリテーション研究発表大会 in 岡山一般演題抄録集, p.23 (2021)
- (14) 森田光明, 丹下裕: “スマートフォンを活用した視覚障害者向け障害物検出システムの開発”, 第 6 回日本福祉工学会九州支部大会講演論文集, pp. 14-15 (2021)
- (15) 小西智裕, 丹下裕: “人転倒防止システムのための足関節角度に基づくつまずきの検出”, 日本福祉工学会第 25 回学術講演会講演論文集, pp. 39-40 (2021)
- (16) 小西智裕, 丹下裕, 木村健二: “筋電位と膝関節角度を用いた人の歩行状態の事前推定”, 日本福祉工学会九州支部大会熊本 2020 講演論文集, pp. 36-37 (2020)
- (17) 小西智裕, 丹下裕: “歩行者の転倒を防ぐ支援装置に関する研究-筋電位を利用した膝関節角度の推定の検討-”, 第 3 ブロック専攻科研究フォーラム, ポスター番号 P-8 (2020)
- (18) 片山英昭, 小柴雄輝, 杉山聡一郎, 丹下裕: “小型デバイスを用いた歩行者支援システムの性能評価”, 第 28 回視覚障害リハビリテーション研究発表大会抄録集, p. 36 (2019)
- (19) 丹下裕, 小西智裕, 片山英昭: “視覚障害者の 2 つの歩行パターンにおける障害物検出の評価”, 平成 31 年第 1 回福祉用具機器・福祉情報合同研究会 (2019)
- (20) 小西智裕, 丹下裕, 片山英昭: “視覚障害者のための上方向障害物検出システムの開発”, 2019 年電子情報通信学会総合大会講演論文集, p. 170 (2019)
- (21) 丹下裕, 波多野克信, 片山英昭: “視覚障害者の単独歩行を実現する歩行者支援システムの開発”, 第 27 回視覚障害リハビリテーション研究発表会抄録集, p. 56 (2018)
- (22) 佐藤光, 丹下裕, 七森公碩, 福井繁雄, 竹澤智樹, 片山英昭: “視覚障がい者の横断歩道の歩行を支援するウェアラブルデバイスの開発”, Japan AT フォーラム 2018 in 徳山・講演論文集, pp. 25-26 (2018)
- (23) 波多野克信, 丹下裕, 片山英昭: “視覚障害者の単独歩行を支援する静止障害物検出システムの改良”, 2018 年電子情報通信学会総合大会講演論文集 (2018)
- (24) 丹下裕, 波多野克信, 渡部翔太: “視覚障害者の歩行支援を目的とした障害物検出システムの開発とその可能性”, 第 26 回視覚障害リハビリテーション研究発表大会抄録集, p. 50 (2017)
- (25) 渡部翔太, 丹下裕, 高間良介: “視覚障がい者の歩行支援を目的とした障害物検出システムの開発”, 平成 27 年度電気学会関西支部高専卒業研究発表会, pp.33-34 (2016)
- (26) 平沼清一, 櫻井幸子, 廣木聡, 宮山敬子, 丹下裕, 中川重康, 榊守: “発達障害者支援のための iOS 端末外付けスイッチデバイスの開発”, 茨城大学教育実践研究, Vol.35, pp.127-135, pp.33-34 (2016)
- (27) 船木英岳, 丹下裕, 福井繁雄, 畑亮次, 井谷武史, 土出隆之, 金森克浩: “特別支援学校教員を対象としたビジュアルプログラミング教育の実践と教育効果”, 第 46 回教育システム情報学会全国大会論文集, C2-3 (2021)
- (28) 船木英岳, 丹下裕, 福井繁雄, 畑亮次, 井谷武史, 金森克浩: “特別支援学校教員を対象とした高専のモノづくり教育を通じた教育の実践と教育効果”, 第 45 回教育システム情報学会全国大会論文集, pp. 229-230 (2020)
- (29) 船木英岳, 丹下裕, 福井繁雄, 畑亮次, 井谷武史, 土出隆之, 金森克浩: “特別支援学校教員を対象としたスイッチ教材の IoT 化を目指したプログラミング教育”, 第 45 回教育システム情報学会全国大会講演論文集, pp. 315-316 (2020)
- (30) 船木英岳, 丹下裕, 福井繁雄, 畑亮次, 井谷武史, 平井慎一, 金森克浩: “出前授業で製作したスイッチ類とその実践例の紹介”, ATAC カンファレンス 2019 京都, ポスター番号 05 (2019)
- (31) 下新祥汰, 藤本雄生, 船木英岳, 丹下裕: “AR 技術を用いた漢字学習教材の開発”, Japan AT フォーラム 2017 in 函館・講演論文集, pp.21-22 (2017)
- (32) 船木英岳, 藤本雄生, 丹下裕: “複数の AR マーカを用い

- た漢字学習ソフトウェアの開発”，第 42 回教育システム情報学会全国大会講演論文集，pp.153-154 (2017)
- (33) 船木英岳，大中優輝，古林達哉，木下博美，丹下裕：“AR 技術を用いた視覚的指示を取り入れたソフトウェアの開発”，第 40 回教育システム情報学会全国大会，D1-1，pp.67-68 (2015)
- (34) 船木英岳，山本創，古林達哉，木下博美，丹下裕：“自閉症児童のための AR 技術を用いた視覚的指示を取り入れたソフトウェアの開発”，2014 年度教育システム情報学会第 5 回研究会研究報告，vol.29, no.5, p.69-70 (2015)
- (35) 風間郁人，堀潤一，丹下裕：“タブレット型端末を用いた眼電図計測による入力インタフェースの開発”，生体医工学シンポジウム 2014 概要集，p.153 (2014)
- (36) 朝日新聞【丹後・丹波】2022 年 3 月 10 日：“引き揚げの記憶 触れて”，朝日新聞社 (2022)
- (37) 読売新聞 京丹後 丹波 2022 年 3 月 10 日：“引き揚げ船模型 触れて”，読売新聞社 (2022)
- (38) 丹下裕，尾内亮太，山本のどか：“盲ろう者のための入出力一体型の指点字デバイスの開発－入出力部に低電圧で駆動する圧電素子を用いた場合－”，日本福祉工学会第 23 回学術講演会講演論文集 (2019)
- (39) 丹下裕，荒木雄斗，吉田海斗，片山英昭：“地図情報によって即時に変化する小型触地図システムのための触地図情報の生成”，第 28 回視覚障害リハビリテーション研究発表大会抄録集，p. 47 (2019)
- (40) 荒木雄斗，吉田海斗，丹下裕，片山英昭：“視覚障害者のための小型触地図システムの開発”，平成 30 年度高専卒業研究発表会講演論文集，pp. 23-24 (2019)
- (41) 尾内亮太，丹下裕：“入出力一体型の指点字システムの開発”，平成 31 年第 1 回福祉用具機器・福祉情報合同研究会 (2019)
- (42) 吉田海斗，荒木雄斗，島田蒼夜，丹下裕，片山英昭：“地図情報によって可変する触地図システムの試作”，2018 年電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集，p. 170 (2018)
- (43) 中口卓弥，丹下裕，片山英昭：“電子マップを利用した障害物事前通知システムの改良”，第 23 回高専シンポジウム講演要旨集，PJ-020 (2018)
- (44) 中越篤，竹澤智樹：“NIRS 脳機能計測信号のウェーブレット解析”，第 24 回 高専シンポジウム in Oyama，PF-02 (2019)

ビジュアルコンテンツ比較による協調型プログラミング学習の

試み : 中小 IT 企業における社内リカレント教育を例に

ゲン タン ハ, 清光 英成, 大月 一弘

神戸大学大学院国際文化研究科

Trial of Collaborative Learning in Programming Education with the Programed Visual Contents Comparison Method

Thanh Ha Nguyen , Hidenari Kiyomitsu, Kazuhiro Ohtsuki

Graduate School of Intercultural Studies, Kobe University

In a prior study, we proposed the Programmed Visual Contents Comparison Method (PVCC) to assess this panoramic understanding of programming, and developed a testing system based on this method. We confirmed that the PVCC method worked well to find programming abilities related with PUP. In this paper, we discuss the effectiveness of the PVCC method for collaborative learning in computer programming education. We carried out an experiment in an IT company. Employees with diverse occupations and diverse programming backgrounds participated the collaborative learning. From this experiment, we found that collaborative learning using our method is useful for employees of all levels in an IT company.

キーワード: 研究報告, 書式, 執筆要領

1. はじめに

近年のソフトウェア開発においては、サンプルプログラムのコピーペースト・開発ツールの利用・既存のライブラリの利用など、プログラムの一部がブラックボックス化された状況でプログラムを作成することが多くなっており^{(1),(2)}, コードが書けないソフトウェア開発者も増加していることが指摘されている⁽³⁾. このような状況においては、プログラミング言語の文法を完全に記憶していることよりも、プログラムの文脈を理解する力、つまりプログラムの俯瞰的な理解する能力が大切であると考えている. ここでいう文脈とは、アルゴリズムや、それよりもう少し大きな見地からのプログラム構成力や設計力のことをいう.

著者らは、プログラムに対する俯瞰的な理解力を測定するためのビジュアルコンテンツ比較法を提案し、Web 上で個別にテストを受けることができる自律型のプログラミング能力測定システムを作成している

(4),(5). 同方法は、プログラムにより作成された2つのビジュアルコンテンツを眺め、どちらのコンテンツを作成する方が難しいか回答するものである. 著者等⁽⁶⁾は、ソフトウェア開発を業務とする IT 企業（以下では単に IT 企業という）における社員の理解度測定に同システムが適応できるかを調べ、プログラマならびにそれ以外の社員に対しても、俯瞰的な理解力を測ることができることを示した. また、同能力測定テストの持つ、「画面を眺めてどちらが難しいかの単純な回答をするだけであるため、ペーパーテストのような重たい気持ちではなく、クイズをやっているような楽しい気持ちで気楽にテストができる」という特性を利用して、社員が気楽に参加できる協調学習にも利用可能性が高いことを示した.

中小規模の IT 企業では、ソフトウェア開発者はプログラミング経験者、つまり、即戦力を採用し、入社後は実際の業務の中でスキルアップを OJT のみ学ぶことが多いと思われる. また、営業など非開発系の従

事者はコードそのものを書くような学習をすることは稀であると考えられる、これに対して、中規模以上のIT企業では、プログラミング経験のない人もソフトウェア開発者として採用し、入社後に新入社員研修でプログラミング教育を行っている場合も多い。塩崎等⁽⁷⁾は、新入社員研修の事例を紹介しているが、OJTなどにおいては、学習の方法が悪いと、「表面上だけ理解した気になって、一応動くものは作成可能だが、内容をきっちりと理解していないプログラマが生まれる。」ことを指摘している。また、学生時代にプログラミング教育を受けた者の中にも、「文法は知っているが、プログラミングに対する基本的な考え方が身についていない」場合があることも述べており、プログラミング言語に依存しないプログラミングの考え方を身にけることの重要性を指摘している。

本研究では、IT企業における社内リカレント教育に焦点を絞り、ビジュアルコンテンツ比較法に基づく協調学習の可能性を探ることを目的とする。IT企業において、職種やプログラミング経験の異なる様々な社員が集まり、同方法に基づく協調学習を試行する。試行実験を観察し、プログラミング言語に依存しないプログラミングの考え方を身にける可能性について議論する。さらに、同法をより効果的に行うための、教材の充実や学習用システムの改善について議論する。

2. ビジュアルコンテンツ比較法

ビジュアルコンテンツ比較法は、図1のような、比較的似通ったプログラムによって作成された2つのビジュアルコンテンツ（静止画、アニメーション、マウス操作によって変化する画像）を閲覧し、プログラムで作成することを想像してもらい、どちらのプログラムがより難しいか、あるいは、同程度の難しさであるかの3択の判定してもらうものである。1つのビジュアルコンテンツ全体のプログラミング構成を想像することはかなりの知識を要し、初中級者にとっては理解が難しいが、違いを比べる場合、全体像はわからなくても違いの部分のみに焦点をあてることができる。

図1は、いずれもサンプルも小さな正方形を画面上がランダムに描くものである。左図（サンプル1）は、正方形が重なっていない。プログラミングの知識のない

人でもこの違いは気づくことができると思われる。プログラミングの知識がある程度ある人であれば、「いずれの図も乱数を用いて作画しているであろうが、左図は正方形が重ならないようにするための処理をしている」と判断できる。つまり、自分ではソースコードが書けない人であっても、プログラミングに対する俯瞰的な知識を持っていたら、正しく回答することができる。

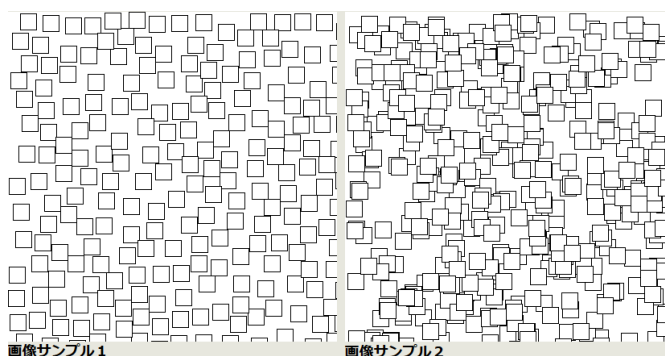


図1 ビジュアルコンテンツ比較法の教材

3. IT 中小企業の状況（事例紹介）

著者の一人は、ソフトウェア開発を行う中小IT企業を何社か経験してきた。ここでは、これらの会社の社員の学校教育時代のプログラミング経歴や入社後のプログラミングに関する技術習得について述べる。ソフトウェア開発部門以外の営業、管理に所属している人も対象にした。

(1) 教育機関での学習経験

ソフトウェア開発部門の多くは、情報系の学部や専門学校出身でプログラミング教育を受けている。情報系の出身でない者は、オンライントレーニングコースなどで一定のプログラミング能力を習得していることが条件となる。営業系部門には、情報系出身と他の学部出身者が混ざっている。土木工学科や経済学部出身者などがいる。事務系部門には、ほとんど情報系出身者はいない。

(2) 入社後のスキル向上のための学習

入社後は、開発部門では、OJTが基本である。実際の業務を通しての既存のプログラムを参考にする、または同僚やチームリーダーからの指導を受ける、プロジェクトを遂行しながらプログラミング能力のスキルアップを行っていく場合が、ほとんどである。また、

オープンソースコミュニティは、開発者のほとんどが利用しているが、現在抱えている課題を解決するために検索する場合が、ほとんどで OJT の域を超えない。営業部門では、社内勉強会で学習することがあるが、専門用語や新しいトピックの解説を学ぶ程度である。営業部門は、顧客との応対のためにプログラミングの知識を増やしたいと考えている人が多いが、スキルアップのチャンスが少ない。中には、個人的に社外で提供されるオンラインコースのプログラミング教育を受講し、本で独習しながらプログラミングの学習をしている者もいた。

4. 実験の概要

中小 IT 企業に 7 名を対象会として、社内研修会という形式で開催した。参加者は、表 1 に示すように、上級のプログラマであるソフトウェア開発部門のマネージャーから、まったくプログラミング経験の無い者までさまざまであり、業務内容も異なる。

参加者は、画面に映し出された問題を閲覧し、全員で協議しながら回答を決定する。出題は例題を除いて 10 問である。研修会の時間は 60 分程度であった。

著者らは当該企業の代表取締役と共に議論を観察し、終了後にインタビューを行なった。

5. 結果と考察

(1) 初心者でも学べる

図 2 は、コンテンツ比較法の説明をするために示した例題である。このサンプル画面に対し、マネージャーが事務に回答を求めたところ、「右の方が難しい。だってたくさん四角をかかないといけないもの」と回答

した。他の参加者は、全員答えがわかっており、同じプログラムでパラメータを変更するだけでどちらも図も作成できることを説明していた。

本比較法は、ビジュアルコンテンツ間の差異に気づき、それがプログラム作成上でどのように異なるかを考えるものである。「同じ図形を複数書くことは、プログラムでは（繰り返し技法を使えば）図の個数は関係しない」ということは、初心者でも理解できたものとする。

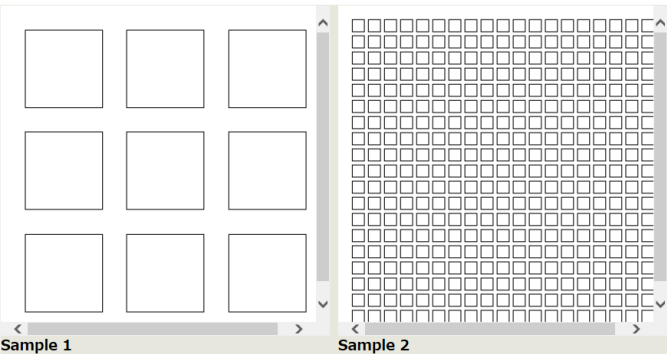


図 2 繰り返しの教材

(2) プログラミング技法を学ぶ

図 3 は、画面上でマウス操作をしてクリックを行うたびに、線が引かれていくコンテンツである。右図が常に左上の頂点からクリックした位置へ直線を引くのに対して、左図は、前回クリックした位置から今回のクリック位置に直線を引く。

本問題に対して、事務、営業とシスオペが、「差がないように思える」と言ったところ、マネージャーが「直線を始点が変化しているよね。」とヒントを与えた。シスオペは、「あつ、左は、前にクリックした場所を記憶しておかないといけないのですね。」と回答した。続い

表 1 実験参加者の概要

文中の略語	業種	プログラミング経験
マネージャ	ソフトウェア部門マネージャー	プログラミング経験20年以上
プログラマ1	プログラマ	プログラミング経験10年程度
プログラマ2	プログラマ	プログラミング経験は学生時代を含めて数年
上級シスオペ	上級システムオペレータ	若いころはプログラマをしていたが20年ほどプログラミング業務は行っていない。
シスオペ	システムオペレータ	プログラミングは学生時代に少し習った程度
営業	営業担当	数行程度のソースを書くことはあるが、プログラミングを習ったことはない
事務	事務担当	プログラミング経験なし、ワープロ、エクセルが使える程度

て、マネージャーがプログラマ2に対して、「どうやって記憶させる？」と質問したところ、「クリック位置を配列かリストに記憶されるのですか？もっといい方法あるのですよね。」と回答した。「配列やリストもある

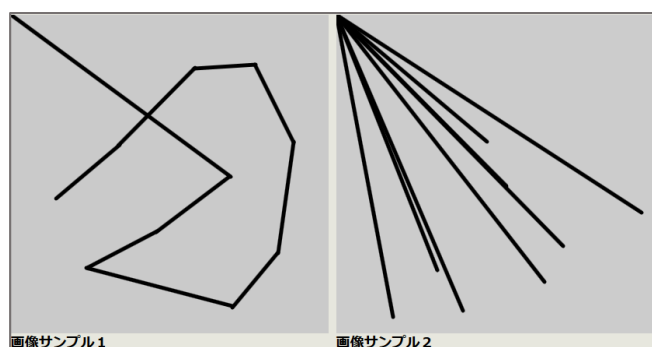


図 3 マウス操作による直線の描画の教材

が、この場合は、前のデータという変数を作っておいて、そこのデータを毎回書き換えていくのが定番である」とプログラマ1が答え、プログラマ2は、そのようなソースコードの記述方法については知っていて、プログラマ1の話により思い出したようであった。事務、営業は、プログラムの書き方までは、よくわからないようであったが、プログラムを作成する際の難しさに違いがあることは理解したようであった。このように、同じ題材に対して、学習者の学習レベルには差が出るが、技法について学習することができる。また、プログラミングの中上級者であれば、ソースの書き方についても、議論できることがわかった。

(3) レベルに応じて学習できる

図3のビジュアルコンテンツは、円を描いただけの単純な静止画である。この課題に対する「難しさ」の回答が2つに割れた。マネージャー・上級シスオペ・事務は、右図が難しいと回答し、他の4人はどちらも同じと回答した。それぞれが、自分の判断理由について、次のように回答した。

事務:「図を書くとき、重なる部分の線を書かないようにしないといけないので難しそう」

営業:「作画ツールで書く場合、どちらも「円」の図形をコピーするだけなので同じ作業でできるので、プログラムで書いても同じかと想像した。」

シスオペ:「ソースを書くための文法はちゃんとわからないけど、図1の時と同じ繰り返しの問題ですよ

ね。」

プログラマ2:「円を書く関数のパラメータを変えるだけで書けます。」(プログラマ1も同意)

このように、プログラムに対する知識が異なる場合でも、それぞれの知識・経験をもとに判断をし、一緒に議論ができ、各自のレベルに応じて学習できることが確認できた。

(4) 関数やライブラリの裏側を考える

前述の図3においては、「関数を利用する場合は、関数を記述するプログラムの複雑さも考慮してください」という前提を伝えていた。上級シスオペは、「そうか、プログラマ2さんは、同じ関数のパラメータが違うだけと考えるのですね。私ら昔の人間は、(隠れた部分の線を消す)陰線処理というテクニックを学んだものです。」と述べた。マネージャーは、「これは、技術レベルというより世代を調べる問題だね」と笑って言った。続けて、「事務さんの言うように、重なって隠れる部分に線を書かないということは難しいことです。人間は手で書く場合は円弧の始点を目で確認しながら書くことができるが、プログラムの場合だとそれを数値的に表現する必要がある。」と説明していた。プログラマ等は、同じ関数でもパラメータが違くと使用する内部プログラムが変わることを理解したようであった。上級シスオペは、「今のプログラムは、ライブラリやAPIが豊富なのでブラックボックス部分が多いですものね。特に、ビジュアル表現はライブラリがないと大変だ。」と述べていた。この問題については、どちらの回答が正解かは判断しにくいという結論に至った。

このように、ライブラリや関数の裏側に隠れているプログラムについても理解を深めることができる。

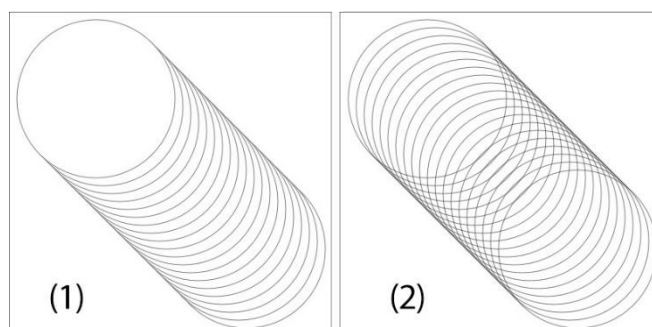


図 4 図形の重ね書き(陰線処理)の教材

(5) 上級者も学習できる？

図5は、マウス操作を伴うコンテンツである。両図とも中央にある円は固定されており移動しない。左図は、画面上でマウスを移動していき、マウスが円内に入ると、図の黒と白の部分が反転する。右図では、マウスの位置を中心とした円がもう一つ描かれており、マウスの移動とともに円（例では、右側の円）が移動し、2つの円が重なると色が反転する。

このコンテンツに対して、最初は、全員が右図の方が難しいとの判断であった。右図は重なりを判定しなければならぬのでプログラムが難しくなると判定を下そうとしたとき、上級シスオペが、「あれっ、右の図の場合、マウスの位置が中央の円の半径の2倍以内にはいれば、いいのですよね。だったら左図の判定基準の半径を2倍にするだけでいい。」と発言した。マネージャーをはじめ全員がそれに納得した。マネージャーは「普段はデータ処理関係のプログラムばかり書いているので、気づかなかったわ。久々の幾何学の勉強だな」と答えていた。このように、本方法で出される問題は、単純にプログラムを書く技術だけでなく、問題に対する着眼点を見つけるといった、文法・アルゴリズム以外の要素を含む問題も含まれており、上級者でも「頭を使う」ことができると思える。

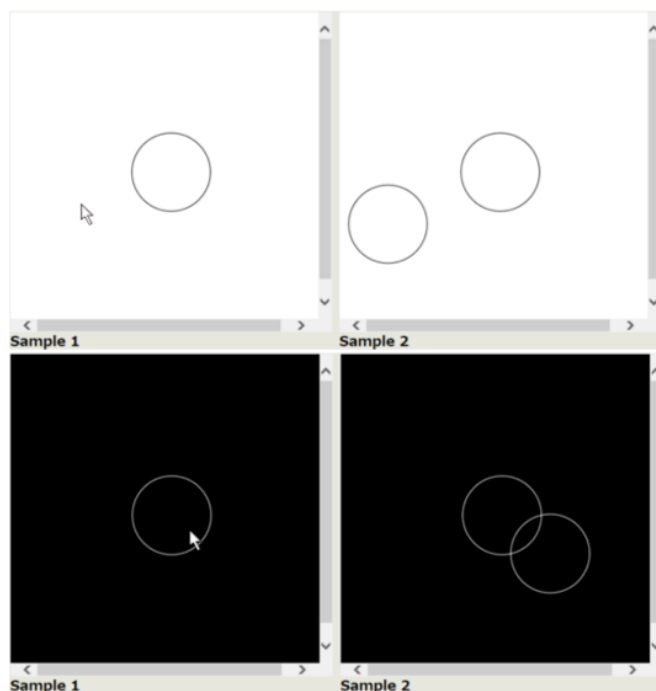


図5 条件によって色が反転する教材

(6) 学習成果

実験終了後に、参加者に今回の研修がプログラミングのレベルアップに役立ちそうかをインタビューした。事務は、高度な問題の際には、他者の議論を聞いているだけのことが多かったが、「今まで、皆さん同士の会話を横から聞いていても、難しくてさっぱり意味が分からなかったが、今日は、皆さんの議論の内容がわかりやすかった。話を聞いていて、どんなところに目をつけているのか少しわかった気がする。」と答えていた。コンピュータ技術者間の会話は専門用語を多用するため、素人からみれば、何を話しているのかさっぱりわからない、ということはよく聞く話である。今回の議論は、コンテンツを観ながらの会話であるため視覚的に違いをできること、細かな文法を議論するのではないため比較的専門用語が少ないこと、などがあり、技術用語をよく知らない初心者であっても、議論の内容が理解しやすいのではないかと考える。

また、他の者も「上級技術者の説明や議論を聞くことで、プログラミングに関する知識を深めた（シスオペ）」「私は10年以上プログラムコードを書いています。ソースコードを書くことを想像することは楽しかった。自分の知識レベルを確認できて嬉しかった（上級シスオペ）」など全員が勉強になったとの感想であった。

このように、本方式を用いた学習は、それぞれのレベルに応じてプログラムの考え方を俯瞰的に理解することに役立つと考える。

また、マネージャーは、「私にとっては、議論を通して他の人々のおおよその能力を把握できたことが一番役に立った。今までは、なかなか個々の人々の能力を知る機会がなかった。彼らと共同作業としたし、指示・指導をするときに役に立つ気がする」と答えていた。社内における業務を円滑に行う上でも本手法は役立つ可能性がある。

(7) 楽しく学ぶ

今回の協調学習においても、楽しみながら学習できたようであり、以下のような発言があった。

プログラマ1：「プログラムコードを見るととき通常ストレスを感じますが、このテストは2つのビジュアルコンテンツを比較するだけ良いので、ストレスを感じることはありませんでした」

プログラマ2「このテストはクイズの答え探しをして
いるような感じで、間違っても大丈夫と思えました」
営業：「一緒に議論に参加している感じがして、楽しか
った」

マネージャー：「プログラミングのスキルについて、こ
れほど多くの人々と楽しい方法で議論したことが
ありません」

このように、職場全体で一緒に楽しみながら気楽に
学習できることがわかった。

これらのことより、本学習方法は、社内におけるリ
カレント学習の一方法として十分に効果を発揮できる
ように思える。研修会を観察していた代表取締役から
は、「年に 1, 2 度、このような研修会をしてみたい。
教材の種類と数の準備が必要になりますかねです。」と
の感想を得た。

6. 学習用システムの改善にむけて

今回の実験においては、教材の表示に、著達が開発
した Web ベースの能力測定システムを使用し、出題画
面をプロジェクトに投影した。同システムは、個々人
が自律的にテストを受験し、受験後に正解や解説が提
示されるようになっている。ここでは、同システムを
協調学習用のシステムとして使用する場合は、システ
ムの改善の方向性について述べる。

(1) 正解や解説の表示

この機能は、現在のシステムにすでに、準備されて
いる。今回の実験においても、全員で協議して正解を
決定した後に、システム側に準備された回答や解説を
みて確認を行っていた。教師役となる中上級プログラ
マがいない場合に備えて、解説内容を充実させること
が重要かと思える。

(2) 類似問題の準備

前述の図 5 の問題の場合、左図も右図もプログラ
ムの難しさはそれほどなかった。しかし、描いていた「円」
が、別の図形の場合は、重なるの判定方法が今回の場
合とは異なり難くなる。今回の実験中には、図形が
変わった場合の判定法の違いについて議論が進展する
ことを期待したが、議論は進まなかった。新しい論点
に気づいてもらい議論の幅を広げる、議論を深める、
議論した内容を再確認する、といった学習ことを支援

するために、類似問題をいくつか準備しておくことが
重要であると考ええる。

(3) 正解の判断が難しい問題の利用

本システムは、もともと能力判定用の試験(テスト)
用に開発していたため、プログラミング教育に携わる
大学教員やプログラミング能力の高い大学院生に出題
する問題に関してコメントしてもらい、正解がはつき
りしない問題は出題の候補から省いていた。例えば、
「この 2 つのコンテンツは、2 重ループで作成できる
か 1 重のループで作成できるかの違いであると思える
が、文法的には、繰り返しを使っているだけなので、
図形を描くことのプログラムの大変さからみたら軽微な
差であり、難しいという回答を差がないという回答の
どちらが正解であるか判断できない。」とコメントされ
た問題もあった。「初級者にとっては、差があると判断
した方がいいが、中級者以上であれば、差にはならな
い」、「出題者が意図する違いの部分以外にも違いがあ
る。」とコメントされた問題もあった。例えば、図 1 に
示した問題は、左図は重ならないような処理をしてい
るが、右図は陰線処理をしていると考えられる、(テス
ト問題として使用する場合は、陰線処理をしない作図
に変更した。)

これらの出題から外した問題についても、協調学習
の場合であれば、利用することができると考えている。
例えば、2 つのコンテンツ間に複数の違いがある問題
は、「2 つのコンテンツ作成における違いがいくつある
かを考える」といったテーマで議論を行う教材として
利用できる。特に、中級者レベルの学習には、このよ
うな問題の方が学習に有効かもしれない。これらの問
題を採用することで、学習に使用できる教材を増加さ
せることができる。

7. おわりに

本研究では、ビジュアルコンテンツ比較法を用いた
協調学習の効果について検討した。IT 企業において、
職種やプログラミング経験の異なる様々な社員が集ま
り社内研修を試行した。試行実験の結果、本方式を用
いた協調学習がすべての社員にとって、それぞれのレ
ベルに応じた学習効果をあげることができるがわかつ

た.

謝辞

本研究を遂行するにあたり，快く本研究の社員研修実験を実施していただいた株式会社アイクラフトの山本裕計代表取締役ならびに社員の皆様に感謝いたします.

本研究の一部は科研費(19K03030)「コピペ時代のプログラミング学習方法の開発」の支援による.

参 考 文 献

- (1) M. Burnett, Margaret and B. Myers, "Future of End-user Software Engineering: Beyond the Silos", Proceedings of the Future of Software Engineering Conference (FOSE 2014), pp. 201-211, (2014)
- (2) J. Brandt, P. J. Guo, J. Lewenstein, and S. R. Klemmer, "Opportunistic Programming: How Rapid Ideation and Prototyping Occur in Practice", Proceedings of the 4th international workshop on End-user software engineering (WEUSE '08), pp.1-5, (2008)
- (3) T. D. LaToza, B. Myers, "Hard-to-answer questions about code", Proceeding of PLATEAU '10, Article No.8, pp.1-6, (2010)
- (4) Martinez Calderon, D., Man, K., Kiyomitsu, H., Ohtsuki, K., Miyamoto, Y. and Sun, Y., "An evaluation method for panoramic understanding of programming by comparison with visual examples", IEEE Frontiers in Education Conference (FIE 2015), pp.1-8, (2015)
- (5) Martinez Calderon, D., Man, K., Kiyomitsu, H., Ohtsuki, K., Miyamoto, Y., Sun, Y. and Hirabayashi, M., "Measurement range increment in a method for evaluating Panoramic Understanding of Programming", IEEE Frontiers in Education Conference (FIE 2015), pp.1-8, (2016)
- (6) 清光 英成, ディック マルチネス, 孫 一, 大月 一弘, "ビジュアルコンテンツ比較法の法人利用の可能性とアプローチ", 第11回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム論文集, E2-5, pp.1-7, (2019)
- (7) 塩崎正人, 敦賀誠一, 中川宙, 古谷芳康, 吉田典弘, "企業の新入社員研修におけるプログラミング教育の実践例", 情報処理学会研究報告, Vol.2020-CE-153 No.8, pp.1-9, (2020)

授業アーカイブに対する映像分析フィードバックの 半自動化を活用した SCOT 支援の提案

土屋 琴未^{*1}, 後藤田 中^{*1}, 小林 雄志^{*2},
米谷 雄介^{*1}, 國枝 孝之^{*1}, 八重樫 理人^{*1}, 林 敏浩^{*1}
^{*1} 香川大学, ^{*2} 東京大学

Proposal of SCOT support using semi-automated video analysis feedback for class archives

Kotomi Tsuchiya^{*1}, Naka Gotoda^{*1}, Yuji Kobayashi^{*2},
Yusuke Kometani^{*1}, Takayuki Kunieda^{*1}, Rihito Yaegashi^{*1}, Toshihiro Hayashi^{*1},
^{*1} Kagawa University, ^{*2} The University of Tokyo

e-learning など授業形態の多様化により、授業改善においてもオンライン環境を考慮した支援が求められる。本研究では、対面で評価する授業コンサルティングの SCOT を拡張し、オンラインに蓄積される授業アーカイブから会話頻度や内容を分析し、その結果をフィードバックする仕組みを提案する。同期的な授業では、Azure Video Indexer を用いて授業映像中の学生や教員の出演時間を観察するリソースを得る。授業映像の撮影後に蓄積した映像の分析は Microsoft Power Automate を用いて自動化する。非同期型の授業では、Teams と Power BI を用いた活動状況レポートを活用して、Teams 上で学生が行う発言の頻度等を取得する。以上の仕組みに対し、同期・非同期型で行われる授業にて評価実験を行い、定量的なデータで教員やその他の教員に提示できる可能性を示唆した。

キーワード: SCOT, プラットフォーム, 授業評価支援

1. はじめに

SCOT (Students Consulting on Teaching) とは、教員が授業を改善し向上するための組織的な取り組みである FD (Faculty Development) の一部であり、学生目線で授業を観察し、記録やフィードバックを行う活動である⁽¹⁾⁽²⁾。一般的に、学生が授業を評価する取り組みは授業アンケートを用いて行われているが、SCOT のような FD に学生が参加する取り組みは全国的に少ないとされている⁽³⁾。

また、令和元年度末から遠隔授業の活用が進められていることも含め、授業の多様化が広がっている⁽³⁾。遠隔授業配信等授業映像を撮影する取り組みが行われていることから⁽³⁾、SCOT で活動する学生（以下、SCOT 学生と呼ぶ）による授業評価では撮影された授業アーカイブを用いて聴講者の状態推定する必要がある。撮影された授業映像から、畳み込みニューラルネットワ

ークを活用した聴講者の状態推定システムを開発した研究事例⁽⁴⁾もあることから、授業アーカイブを授業改善に繋げるデータとして定量的に取得した人手によらない分析を検討することで、SCOT 学生への評価負担の軽減が期待できる。

本研究では、蓄積される授業アーカイブから会話頻度や内容を分析し、教員へフィードバックを行う半自動的なシステムを利用した SCOT 支援の仕組みを提案する。授業アーカイブの記録からフィードバックを行うまでのプロセスを同一のプラットフォーム上で行うために Microsoft Teams⁽⁵⁾（以下、Teams と呼ぶ）をした。また、Teams に保存された授業アーカイブは Power Automate⁽⁷⁾を用いて自動的に Azure Video Indexer へ分析させるフローを作成した。

2. SCOT 学生が評価するための要件

本研究では、リアルタイムで行われている授業を同期型の授業、授業外で学生が参加する授業を非同期型の授業、同期型と非同期型を組み合わせた授業をブレンド型授業と定義する。また、これらの授業形態の中でも講義型の授業やグループワーク等様々な授業形態がある。SCOT 学生がオンライン授業を考慮した評価をすることから、同期型の授業では、「授業映像を撮影し保存されたものを見ながら振り返る状況⁽⁴⁾」が、非同期型の授業では、「授業外の学生の様子を人がいない状態でも観察・分析を行う状況⁽⁵⁾」がある。これらの状況から、教員は SCOT 学生からの定量的に評価したフィードバックを受け取ることで、教員自身の言動や授業構成を把握して次の授業への計画が立てやすくなると考えられる。また、他の教員は評価された教員の指導方法と今後の授業に対する課題を理解することで、自身の授業でも活用することが可能である。本研究では、SCOT 学生が授業分析を行う負担を軽減し、授業に関わる教員に授業状況共有できるシステム環境を目指す。

3. 分析を促す支援の仕組み

3.1 同期コミュニケーションにおける評価手法

同期型の授業では、図 1(a)で示す環境にて評価を行う。授業内の様子を撮影しその授業アーカイブを SCOT 学生が振り返る場合、評価する授業内の様子とは、担当教員や授業を受ける学生の発話内容やその頻度、振る舞いである。これらの分析する負担を軽減するためには、授業アーカイブから発話内容や顔を分析するシステムを活用することが望ましい。また、授業の様子を録画した映像を自動的に分析することで、SCOT 学生の観察や評価時間の短縮へと繋がる。

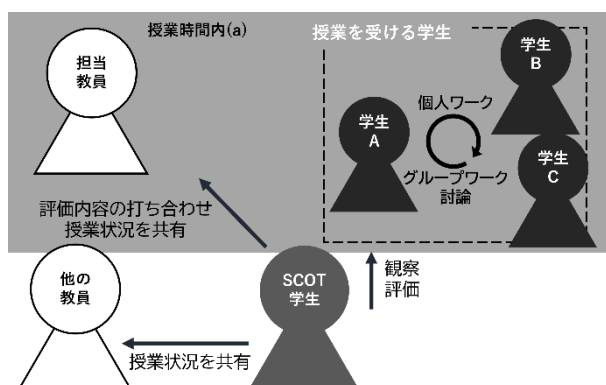


図 1 同期型授業でのやり取り

3.2 非同期コミュニケーションにおける評価手法

非同期型の授業では、図 2(b)で示す環境にて評価を行う。授業外で行われている学生の会話を観察する場合、SCOT 学生は、教員からの指示で授業外に学生がどのような動きをするのか観察する必要がある。授業外で評価する場合は学生の発話頻度や発話状況を観察・分析するためのリソースが必要であり、分析した結果を見やすく可視化することで、担当教員やその他の教員も授業状況を把握しやすくなると考えられる。

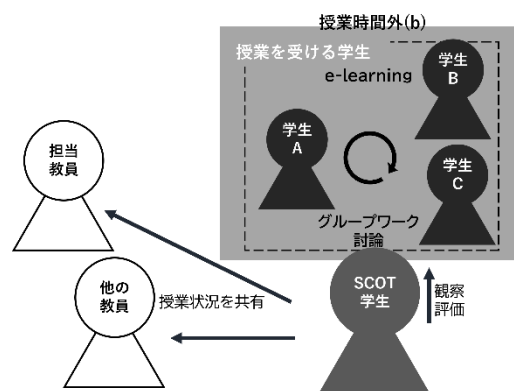


図 2 非同期型授業でのやり取り

3.3 半自動的に評価が行われる環境

担当教員の授業風景を SCOT 学生が記録し、フィードバックを得るまでのプロセスを、同一のプラットフォームが容易に利用できる環境を実現する。同期的な授業では SCOT 学生が担うとされる映像分析の段階を、プラットフォーム上で記録映像の分析を行う関連 API を用いて自動的に処理を組み込む。非同期的な授業では授業を受ける学生の発言内容や頻度等の活動状況をプラットフォーム上で可視化する。本研究では、このように映像を分析処理する業務や発話状況を可視化する業務を自動化し、他の業務は SCOT 学生自身が行う流れを半自動化するシステムとした。SCOT 学生は得られた分析情報を見ながら担当教員に対して評価し、その教員や他の教員へプラットフォーム上で共有する。本研究で提案するシステムでは、プラットフォーム上の会話や記録に基づき、これらの一連の評価環境を包括的に準備する。

4. SCOT 評価支援のためのシステム

4.1 全体のシステム動作と分析情報の受け渡し

記録からフィードバックを行うまでのプロセスを同

一のプラットフォーム上で行う際、Teams を利用する。Teams は授業映像の録画保存から、日々の活動記録、Microsoft 製品の様々なツールと繋ぐことが可能である。図 3 の上段に示したように、同期型の授業では、SCOT 学生が対象授業を撮影し、その授業アーカイブを Teams 内に保存したことをきっかけに、Azure Video Indexer で分析を始める。分析結果を SCOT 学生が評価し、担当教員やその他の教員に Teams 上で評価の共有を行う。図 3 の下段で示したように、非同期型の授業では、SCOT 学生が授業外の学生の Teams 利用状況を Power BI や Teams で定期的に観察しながら、教員やその他の教員に授業状況を共有する。また、評価後は、同期型・非同期型授業で共有された評価結果から、SCOT 学生や担当教員、その他の教員が Teams 内で授業改善方法を議論することができる。

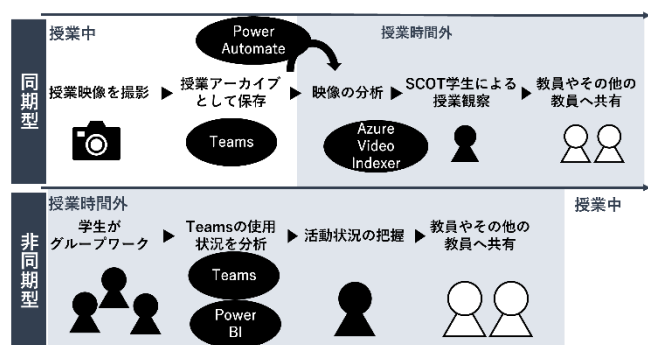


図 3 SCOT 評価支援システムのフロー

4.2 授業アーカイブの自動処理に用いた技術

4.2.1 Azure Video Indexer を用いた映像分析の取得

担当教員や授業を受ける学生がどのシーンで活動していたか SCOT 学生が判断できるよう可視化するために、Azure Video Indexer を活用する。Azure Video Indexer は、保存された映像から AI を使用して分析情報を抽出する映像分析サービスであり⁽⁶⁾、顔認識を活用することで誰が活動的に話しているか可視化される。

4.2.2 Power Automate を用いた映像分析の自動化

Power Automate では、オンライン上で行われる定型業務を、人の代わりにサービスに実行させることで自動化・省力化するアプリを開発できる⁽⁷⁾。Teams で録画した映像を投稿すると、自動的に Azure Video Indexer に受け渡す流れを作成した。

4.3 Teams と Power BI を用いた授業外活動の可視化

蓄積している様々なデータを収集、変換、可視化し、

リアルタイム分析をサポートするサービスである Power BI⁽⁷⁾を Teams 内に組み込むことで、チーム内の発言回数等のアクティビティを可視化することを可能とする。また、SCOT 学生は、Teams にあるチャンネルごとの使用状況を利用した観察を行う。

5. 実験

5.1 実験環境

香川大学生 54 名が参加している、同期型・非同期型、グループワークを含んだ授業で実験を行った。グループワークは、対面授業で Teams の Web 会議システムを活用して行われ、授業外でチャンネル内のチャットを通じて行われる。対面授業中のグループワークでは、Web カメラで映像録画するグループと 360° カメラで録画するグループに分けた。360° カメラはソースネクスト社の Meeting OWL⁽⁸⁾を利用した。カメラ、マイク、スピーカーが一体型となった会議システムであり⁽⁸⁾、話している人のほうへカメラが向くようになっている。Azure Video Indexer の顔認識のノイズを 360° カメラを利用して軽減できると仮定し検証した。

5.2 授業アーカイブの分析結果

5.2.1 Azure Video Indexer を用いた映像分析結果

結果は、Web カメラよりも 360° カメラで撮影された授業アーカイブの方がより人物を特定する顔認識を行っていたことが分かった。また、図 4(c)の部分を切り取ることでより精度が増した。さらに、教員がグループワークに介入するタイミングを観察する必要がある場合を想定し、顔検出のマーカーを観察したところ、グループワークの途中で介入したタイミングでマーカーが黒く密集していることが分かった。



図 4 Azure Video Indexer を用いた映像分析

5.2.2 Power Automate による映像分析自動化の結果

Power Automate のフローで正常に映像分析が開始

するか動作実験した。結果として、全授業アーカイブのような容量の大きな動画は、Share Point でコンテンツを取得することができず、フローの実行はできなかった。容量を小さくトリミングした映像は、映像保存から分析まで正常にフローを実行できた。成功したテストはフローが完了するまでに 4 分 18 秒の時間を要した。

5.3 Teams と Power BI を用いた分析結果

講義全体の使用状況を Power BI で提示し、グループワークのチームごとの Teams の使用状況レポートを用いて比較した。講義全体の使用状況では、授業時間内に活動が多く、授業時間外では Teams の利用回数が 0 に近い値であることが分かった。また、グループごとの使用状況では、活発に発言しているグループとそうでないグループがあることを可視化できた。

6. 考察

同期型の授業では、360° カメラで撮影されたグループワークの授業アーカイブを Azure Video Indexer で分析した結果から、教員がグループワークに介入するタイミングを観察するための要素として顔認識の黒マーカーを見ることが有効である可能性が考えられる。非同期型の授業では Teams や Power BI で使用状況をレポート化することで、定量的なデータで教員やその他の教員にも提示できることが示唆される。本研究で提案した評価の枠組みはどのような授業形態においても活用することが可能であると考えられる。SCOT 学生が授業を観察・評価するためのリソースを提示した一方で、システムが SCOT 学生にどのような影響を与えるか検証を行う必要がある。

7. 結論

本研究では、授業コンサルティングである SCOT が対面で評価する従来の方法を拡張し、オンラインに蓄積される授業アーカイブから会話頻度や内容を分析して、教員へフィードバックを行う半自動的なシステムを利用した授業評価支援を提案した。

同期型の授業では授業アーカイブを分析することで、より精度の高い分析結果が得られることが示された。

非同期型の授業では授業全体やグループごとの活動状況では、どのグループが授業外での活動が活発だったかを確認することが可能となった。これにより、SCOT 学生が教員を観察するための材料の一つとなる可能性が示唆された。今後は、分析の自動化を進めるとともに提案した評価のための枠組みに効果があるのか、SCOT 学生への検証を試みる予定である。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP22K02801, JSPS 科研費 JP19K12270 の助成を受けたものである。

参 考 文 献

- (1) 村上正行, 山田政寛: “大学教育・FD に関する研究における教育工学の役割”, 日本教育工学論文誌, Vol.36, No.3, pp.181-192 (2012)
- (2) ホートン広瀬恵美子, 榊原暢久: “芝浦工業大学における学生参画型 FD 活動 SCOT プログラム”, 京都大学高等教育研究, No.20, pp.31-38 (2014)
- (3) 令和 2 年度の大学における教育内容等の改革状況について, https://www.mext.go.jp/content/20230117-mxt_daigakuc01-000025974_1r.pdf (2023 年 2 月 5 日確認)
- (4) 島田大樹, 彌富仁: “畳み込みニューラルネットワークを使った授業映像中の聴講者の状態推定システムの構築と特徴量に関する検討”, 知能と情報(日本知能情報フェジ学会), Vol.29, No.1, pp.517-526 (2017)
- (5) 阿部真由美, 森谷祐介: “大学におけるブレンド型授業の実態調査”, 日本教育工学会論文誌, Vol.2021, No.4, pp.116-119 (2021)
- (6) ビデオ会議、ミーティング、通話 | Microsoft Teams, <https://www.microsoft.com/ja-jp/microsoft-teams/group-chat-software> (2023 年 2 月 5 日確認)
- (7) Microsoft Azure Video Indexer - ビデオの分析情報を解明する, <https://vi.microsoft.com/ja-jp/> (2023 年 2 月 5 日確認)
- (8) 株式会社 FIXER: “Microsoft Power Platform ローコード開発[活用] 入門・現場で使える業務アプリのレシピ集”, 技術評論社, 東京(2022)
- (9) 会議室用 web カメラ「MeetingOwl Pro (ミーティングオウル プロ)」/リモート会議に, <https://meetingowl.jp/> (2023 年 2 月 5 日確認)

メタ学習スキル育成プログラムのデザイン原則の検討

油谷知岐^{*1}, 瀬田和久^{*2}, 林佑樹^{*2}

^{*1} 大阪府立大学大学院 人間社会システム科学研究科

^{*2} 大阪公立大学大学院 情報学研究科

Design Principles of Meta-Learning Skill Training Program

Tomoki ABURATANI^{*1}, Kazuhisa SETA^{*2}, Yuki HAYASHI^{*2}

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

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

教材に必ずしも陽には書かれていない事柄も読み取る学びの態度を醸成するためには、「技術には一般に、様々なステークホルダがおり、それぞれの観点から解決策の設計者の思考を追想し、技術設計の背景を読み取る」といった学び方の知識（メタ認知知識）を学ぶことが重要である。一方で、そうしたメタ認知知識をいつ何をトリガとして使うかについては学習者毎の多様性があり、そのとき用いるべきメタ認知知識についてもオーソライズされた有限解があるわけではない。本研究では、そうした一意な正解のないメタ認知知識の学びを支えるメタ学習スキルの育成に目掛けた教育プログラムのデザイン原則を検討する。

キーワード:メタ学習スキル, デザイン原則, 教育プログラム, メタ認知知識

1. はじめに

教材に陽に記述された知識の理解に加え、必ずしも陽には書かれていない事柄を読み取り、対象領域の構造的理解の掘り下げを志向する創造的学びへの転換が、高等教育現場において重要視されている^(1,2,3)。こうした創造的学びのプロセスは、暗黙性が高く正解を規定することもできない。それゆえ、学習者にはメタ認知を発揮しながら学習目標を適応的に設定して理解を深めていくことが求められる。

例えば、計算機による意味理解が可能な Web の実現を目指す Semantic Web（以後、SW）技術では、「異なる表記が同じ概念や物事を示すことや同一表記でも異なる概念や物事を指すことがあり、表記と概念や物事の対応を情報システムが判断することは困難である」という問題（以後、同一性問題）に対して、概念や物事の識別子である URI と、それらの同一性を示す sameAs リンクを導入するアプローチが採られている

(4)。この URI や sameAs リンクについて、「その技術仕様や利用方法は？」といった教材に明示されたことに加えて、「一般に複数の解決策があり得る中、他の問題解決策ではないアプローチを採用する判断の意図は？」や、「ステークホルダを考慮して人工物や技術は設計されるので、同一性問題解決の指針を方向づけるステークホルダは？」といった問いを適応的に自己産出し、教材に明示されていないことを学習目標化することができれば、相対的により深い理解を構成する契機になる。

一方、メタ認知知識が未熟な学習者は、自身の既有知識に位置づける自己内対話が活性化しないため、教材に書かれたことを頭に入れることでわかったつもりになってしまう⁽⁵⁾。

このような学習経験をメタ認知知識の学びに繋げる教育プログラムの系統的なデザイン原則は何か？に1つの解を与えることが本研究の目的である。というのも、「技術の設計指針を読み取るためにステークホルダ

の観点から考える」といった抽象的なメタ認知知識を一般則として教えるトップダウンな教示では、それを実際の学習文脈で適用することは難しいからである^(6, 7)。

この問題に対して、自身の学びのプロセスを起点として、それと接続するメタ認知知識の構成を促すボトムアップな学びのデザイン原則と、それに基づいた教育プログラムの具体化は筆者らの知る限りない。

そこで本研究では、学習者自身の学習文脈を題材に、理解を深める学びの設計に貢献するメタ認知知識の発見的構成を指向したボトムアップなアプローチにより、具体的な適用場面と接地したメタ認知知識の学び（メタ学習）の経験を与えるメタ学習スキル育成プログラムのデザイン原則を検討し、これに基づき教育プログラムを開発することを着想した。

本稿では、メタ学習活動の困難性を整理し、その低減を指向するプログラムのデザイン原則を検討する。

2. 学習目標

創造的な学びでは、領域知識を獲得しながら自身の理解状態を観測（メタ認知モニタリング）し、さらなる読み取りに目掛けた学習目標を適宜設定しながら学びを進めていく（メタ認知コントロール）ことが学習者に求められる⁽⁸⁾。主体的にメタ認知を駆動しながら理解を深めていくことができるよう、自身の学習経験から学び方（メタ認知知識）を学ぶことの重要性を体感させるプログラムを設計することが本研究の目標である。通常は課題化されないメタ学習の機会を与えることでこれへの意識を高め、学習者が自らの学びを熟慮的に遂行していく学習態度の涵養のきっかけを与えることを目指す。

こうした態度の涵養には、実際の知識獲得活動の中で、理解の深まりに貢献した学習系列の有効性を実感し、そこからメタ認知知識を学んでいくことが求められる。

一方、さらなる読み取りの必要性に気づかないがゆえに自分なりに「わかったつもり」になるので、学習活動の中でこうしたメタ認知的気づきは起こりにくい。

この困難性に対し、自分では「わかったつもり」で

あったことについて、学びを設計し、理解の深まりに資するメタ認知知識の有効性を実感するとともに、その学習経験からメタ認知知識を構成するメタ学習活動を着想した。

そこで本研究では、学習者自身の学習文脈で「わかったつもり」の自覚を促し、読み取ろうと意識できなかったこと、読み取ろうとしてもできなかったことを読み取るメタ認知知識の構成を課題化することで、メタ学習の機会を与える教育プログラムを検討する。

具体的には、以下の3つを連続的に接続するよう構成させるメタ学習スキル育成プログラムを検討する。

(G-1) 教材に陽には書かれていないことを読み取る

学習設計の構成

SW など具体的な学習領域において、教材に書かれていないことも読み取って、理解を深めていく学習設計を構成する。

例えば、「同一性問題の解決に URI と sameAs リンクが用いられる」といった教材に記述されたことを頭に入れることでわかったつもりになっている場合に、

「他の解決策として、情報発信者に表記を統一させることで問題そのものをなくす手段も考え、さらに進んで表記の統一は情報発信者に大きな負担を与え、SW 普及の障害となってしまうためこの方法は現実的な手段ではないことを考えたことで、情報発信者にも優しい URI と sameAs リンクによるアプローチが採用されたことの読み取りに至った」といった自身の学びの再構成により、意思決定指針にも目を向けてより深い理解に至る学習設計を構成する。

(G-2) 学習領域の用語で記述されたメタ認知知識の構成

教材に書かれていないことを読み取るための具体的な学習設計の知識を、(G-1) と接続する形で、学習領域レベルの用語を用いたメタ認知知識として構成する。

例えば、「同一性問題の解決策について、SW そのものを実現しようとする SW 技術の仕様規定者の視点からも、SW の利用者である情報発信者の視点からも考えたことで、URI と sameAs リンクによる解決の合理性を読み取ることができたことから、SW の情報発信者に目を向けたことがより深い理解に繋がった」といった SW などの具体的な学習領域における学習設計の

知識（学習領域の用語で記述されたメタ認知知識）を構成する。

(G-3) 技術領域の用語で記述されたメタ認知知識の構成

SW などの 1 つの技術学習領域における (G-2) と接続する形で、技術一般の学びに共通する汎用レベルのメタ認知知識を構成する。

例えば、「技術には一般に、様々なステークホルダがあり、ステークホルダそれぞれの観点から解決策の設計者の思考を追想し、合理的な技術設計に至った背景を読み取ることで理解がより深まる」といった技術の学びで理解すべき共通の知識構造を構成する。

以降、(G-1)から(G-3)を連続的に繋げることで別の技術領域の学びに展開可能な抽象性と適用文脈の具体性を両立したメタ認知知識を構成するメタ学習スキル育成プログラムのデザイン原則を整理する。

3. プログラムのデザイン原則

3.1 基本思想

本研究では、学習経験と接地したメタ認知知識を獲得するメタ学習スキルの育成を目的としたプログラムの設計指針となるデザイン原則を明示化して、教育プログラムを開発するアプローチを採る。原則を明示し、これに従うよう系統的にプログラムを構成することは、メタ学習スキル教育のデザインに共通概念を提供することに繋がり、情報システムを活用した学習支援などの関連する分野への展開や知見を積み上げる基盤の形成に資すると考えるからである。

以下に、メタ学習の困難性とその軽減を指向したプログラムのデザイン原則を述べる。

3.2 デザイン原則

表 1 に本研究で提案するメタ学習スキル育成プログラムのデザイン原則を示す。

原則 1：シーケンス化(図 1)

メタ学習では、具体的な学習領域（オブジェクトレベル）の知識獲得活動に取り組む中で、書かれていないことも読み取る学習を設計（学習目標 G-1）して読み取っていくこと、書かれていないことの読み取り方である学習領域の用語で記述されたメタ認知知識を構成（学習目標 G-2）すること、そして、その読み取り方を汎化して技術領域の用語で記述されたメタ認知知識（学習目標 G-3）を獲得することを同一時間軸内で並行的に実行することが求められる⁽⁹⁾。

そこで、メタ学習に求められる一連のタスクを時間的に分離し、認知活動の並行実行性を低減することをシーケンス化原則として概念化する。

原則 2：段階的抽象化(図 2)

学んだ知識を転移するためには、抽象化することが重要である。鈴木は、この抽象化において、抽象化された知識だけでなく、特定の領域を題材としてある程度具体化する適度な抽象化（準抽象化）の重要性を説いている⁽¹⁰⁾。知識は一般に、性質を捨棄していくことでいくらかでも抽象化できてしまうため、別文脈で具体化するとき適用可能場面がわからなくなならないよう、転移の手掛かりとなる準抽象化された知識が必要であるという主張である。

このことはメタ学習を通じて構成するメタ認知知識にも当てはまる。技術領域一般に共通するメタ認知知識として「ステークホルダそれぞれの観点から技術設計の合理性を考える」といった学習設計の知識（メタ認知知識）は、汎用的で有用である。こうした技術汎

表 1 メタ学習スキル育成プログラムのデザイン原則

	デザイン原則	内容	狙い
原則 1	シーケンス化	メタ学習活動の時間的分離	認知活動の並行実行性の軽減
原則 2	段階的抽象化	学習経験と接続するメタ認知知識の連続的構成	有効性の実感を伴うメタ認知知識の構成
原則 3	オブジェクトレベル化	メタレベル自己内対話活動のオブジェクトレベル課題への変換	メタレベル活動の課題化
原則 4	思考部品の提供	メタ認知知識を構成していく上での思考の観点を表す語彙と表現形式の提供	メタレベル活動の活性化と抽象化
原則 5	抽象化活動の例示	メタ認知知識の抽象化活動の例示	抽象化活動実施の暗黙知の顕在化

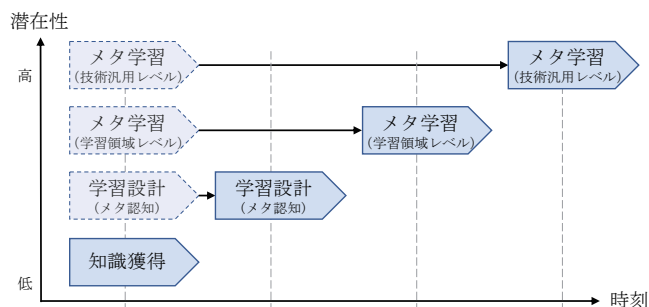


図1 シーケンス化（原則1）

用レベルのメタ認知知識を、具体的な学習領域、SWの学びで「SW技術の仕様規定者、情報発信者、サービス開発者がステークホルダであることを読み取り、それぞれの観点から同一性問題の解決策の合理性を考える」といった準抽象化レベルの学習設計知識（メタ認知知識）として具現化できると認知することで、汎用レベルのメタ認知知識の適用文脈を条件づける必要がある。そして、この準抽象化レベルの学習設計知識が実際に自分の理解を深めることに貢献したという学習経験と接合することでメタ認知知識の有効性認知に繋がる。したがって、学習経験、準抽象化レベルのメタ認知知識、抽象レベルのメタ認知知識を連続的に接合させる学びの課題化が不可欠である。

そこで、自分の学習経験から学習設計を構成（図2 観察による抽象化①）し、学習領域の用語で記述されたメタ認知知識を構成（図2 観察による抽象化②）することで、それをさらに抽象化して技術領域の用語で記述されたメタ認知知識を構成（図2 観察による抽象化③）に繋げていくことで、学習経験と連続的に接続するメタ認知知識を段階的に抽象化して構成していくことを段階的抽象化原則として概念化する。

原則3：オブジェクトレベル化（図3）

自身の学びをメタ認知し、学習設計を再構成する学習設計活動や学習系列を観察してメタ認知知識を構成していくメタ学習は、通常陽に課題化されない潜在的な学習タスクである。

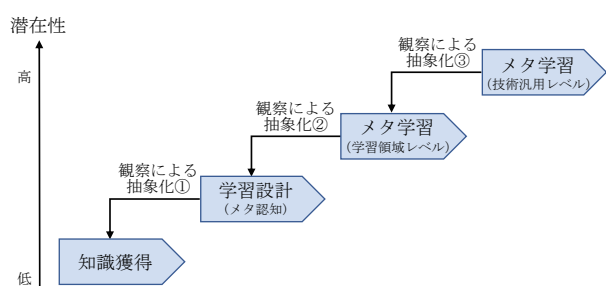


図2 段階的抽象化（原則2）

読み取り活動やメタ認知知識の構成状況を外在化し、その観察と操作を課題化することで、メタレベルのタスクをオブジェクトレベルのタスクへと変換し、陽に課題化することをオブジェクトレベル化原則として概念化する。

原則4：思考部品の提供（図4）

「ステークホルダの観点から考える」といったメタ認知知識を構成していくためには、SWなどの実際の学びの中で自己内対話を行い、「SW技術の仕様規定者、情報発信者、サービス開発者がステークホルダである」といった観点を見出し、抽象化していくことが求められる。こうした思考の観点は教材に陽に書かれていないことを読み取るものであるため、学習者が自ら見出すことは必ずしも容易ではない。

そこで、抽象化の観点として、学習設計やその指針となるメタ認知知識を表す語彙と、これらを用いた学習プロセスの表現の提供をデザイン原則として概念化する。

原則5：抽象化活動の例示（図5）

教材に書かれていないことの読み取り活動は一意ではない試行錯誤的活動である。メタ認知的に統制された試行錯誤からではなく、混沌とした試行錯誤を対象とすることには困難が伴うとともに、有用なメタ認知知識を導くことも難しい。したがって、学習経験からメタ認知知識への持ち上げについても唯一の正解を教えるアプローチを採用することはできず、一義的には自身の試行錯誤経験を内省的に抽象化する必要がある。

そこで、学習経験から段階的にメタ認知知識を構成していく一連のプロセスそれぞれについて、1つの構成事例を例示することで、メタ学習における抽象化活動を実施するための暗黙知を顕在化して与えることを、

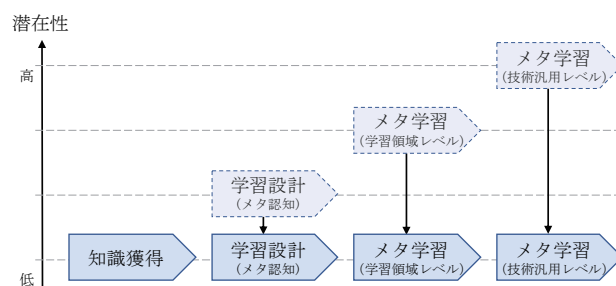


図3 オブジェクトレベル化（原則3）

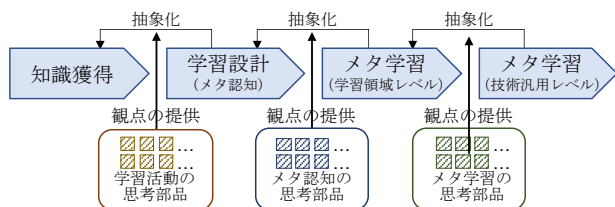


図4 思考部品の提供（原則4）

メタ学習タスクにおける抽象化活動の例示原則として概念化する。

4. メタ学習スキル育成プログラム

VanLehn は、知的学習支援システムのデザインとして、学習活動全体に対して、ある程度のまとまった学習活動(Task)を支援する機能を Outer Loop (O-Loop)、その学習活動の中での個別の認知活動(Step)の実行を支援する機能を Inner Loop (I-Loop)として2層構造で捉えるモデルを提案している⁽¹¹⁾。

このモデルに照らすと、シーケンス化、オブジェクトレベル化、段階的抽象化は、学習活動、メタ認知、メタ学習の3つの学習タスク(Task)からなる O-Loop 構成のデザイン原則と捉えられる。

そして、段階的抽象化、思考部品の提供、モデルの例示は、各学習タスク内の取り組み(Step)内容に関する I-Loop 構成のデザイン原則と捉えられる。

表2に、デザイン原則に基づくメタ学習スキル育成プログラムの概要を示している。以下、4.1でO-Loopの原則に基づく学習設計、4.2でI-Loopの原則に基づく学習設計について述べる。

4.1 Outer Loop の学習設計

4.1.1 シーケンス化（原則1）に基づく設計

メタ学習活動を分離し、それぞれを個別のタスクとして課題化する。

具体的には、自分なりに十分理解したと思えるまで学ぶ知識獲得活動、教材に書かれていないことも読み取る学習設計の構成とその有効性の実感、それを学習トピックレベルのメタ認知知識として構成するメタ学習、さらにそれを抽象化して技術汎用レベルのメタ学習を時間的に分離し、それぞれ個別のタスクとする学習設計としている。

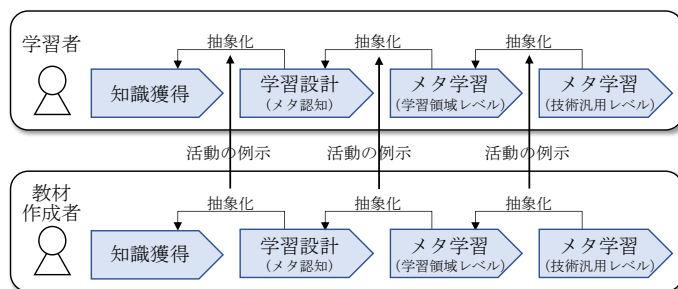


図5 抽象化活動の例示（原則5）

4.1.2 段階的抽象化（原則2）に基づく設計

シーケンス化により分離したメタ学習活動を段階的に抽象化するよう順序立てた学習設計とすることで、学習経験と連続的に接地したメタ認知知識の構成を課題化する。

具体的には以下の4つの学習タスク（表2タスク）を順序立てて課題化し、学習経験を段階的に抽象化していくプログラムとする。

- 事前学習（タスク0）：学習トピックについて自分なりに理解したと思えるまで学ぶ。教材から読み取れたことと読み取れなかったことがある状態を作り出し、わかったつもりの自覚への準備性を高める役割を担う。
- 学習活動（タスク1）：タスク0での自身の学びの内省的分析により、わかったつもりの状態であることを自覚し、教材に書かれていないことも読み取る学習設計を構成する。メタ認知知識の構成への準備性を高める役割を担う。
- メタ認知（タスク2）：タスク1で構成した学習設計に対し、学習領域固有の用語を用いて理解深化に資する実感を伴ったメタ認知知識を構成する。準抽象化レベルのメタ認知知識の構成を陽に課題化する役割を担う。
- メタ学習（タスク3）：タスク2で構成した学習トピックレベルのメタ認知知識を抽象化し、技術領域一般に共通するメタ認知知識を構成する。技術領域レベルに抽象化したメタ認知知識の構成を課題化する役割を担う。

これらを独立した個別のタスクとすることで学習経験から連続的に接地したメタ認知知識を構成する段階的抽象化を指向した学習設計としている。

表 2 デザイン原則に基づくプログラムの概要

	メタ学習全体の 学習目標	デザイン 原則	タスク		タスクの 学習目標	デザイン 原則	ステップ(具体的活動内容)	
O-Loop		オブジェクトレベル化 シーケンシ化・段階的抽象化	事前学習 (タスク 0)	I-Loop	学習者自身による 知識獲得	—	学習者自身が十分理解したと 思えるまで学習領域について学ぶ 知識獲得	
	(G-1) 教材に陽には 書かれていない ことを読み取る 学習設計の構成		学習設計 (タスク 1)	I-Loop	教材に陽には 書かれていない ことを読み取る 学習経験を通じた 学習設計の構成	段階的 抽象化	思考部品 の提供	学習目標語彙を用いた 学習設計 (プレゼン設計)
						抽象化活動 の例示	目標化ギャップ指摘, 学習設計の構成 例, その解説に基づく学習設計の構成	
	(G-2) 学習領域の用語 で記述された メタ認知知識 の構成		学習領域 レベルの メタ学習 (タスク 2)	I-Loop	学習設計の 内省を通じた 学習トピックレベル のメタ認知知識 の構成	段階的 抽象化	思考部品 の提供	学習領域の用語で記述された メタ認知語彙を用いた 学習設計指針 (メタ認知知識) の構成
						抽象化活動 の例示	学習領域の用語で記述された メタ認知知識の構成例とその解説に 基づくメタ認知知識の構成	
	(G-3) 技術領域の用語 で記述された メタ認知知識 の構成		技術汎用 レベルの メタ学習 (タスク 3)	I-Loop	汎化を通じた 技術汎用レベル のメタ認知知識 の構成	段階的 抽象化	思考部品 の提供	技術領域の用語で記述された メタ認知語彙を用いた メタ認知知識の構成
						抽象化活動 の例示	技術領域の用語で記述された メタ認知知識の構成例とその解説に 基づくメタ認知知識の構成	

4.1.3 オブジェクトレベル化 (原則 3) に基づく設計

タスク 1～3 における学習設計とメタ認知知識の構成タスクをオブジェクトの編集タスクとして具現化することで, メタレベルの思考タスクを明示的な課題としてオブジェクトレベル化する。

具体的には, 筆者らがこれまで開発してきた他者理解の形成を目指したプレゼン設計課題⁽¹²⁾を発展的に利用することでアプローチする。学習領域について自分と同等他者に理解させることを目指したプレゼンの目標構造を明示的に設計することを課題化するプレゼン設計課題により, 学習設計を検討するメタレベルのタスクを他者理解を構成するプレゼン設計活動としてオブジェクトレベル化することを意図している。

タスク 0 で十分理解したと思えるまで学んだ学習者に対し, タスク 1 でプレゼン設計 (学習設計) を構成する課題を与え, タスク 2 で自身のプレゼン設計と対応づける形で学習設計の指針 (何を読み取るべきと考え学習を設計したか) を学習領域の用語で記述されたメタ認知知識として言語化する課題を与える。そして, 言語化したメタ認知知識をタスク 3 で技術領域の用語を用いて抽象化し, メタ認知知識を構成することを課題化することで, メタ学習活動のタスクそれぞれをオブジェクトレベル化する学習設計としている。

4.2 Inner Loop の学習設計

特別な支援を想定しない事前学習を除く 3 つのメタ学習タスクについて, I-Loop のデザイン原則に基づく具体的な活動内容 (表 2 ステップ) を図 6 に示す。

4.2.1 タスク 1 : 教材に陽には書かれていないことを読み取る学習設計の構成 (図 6(1))

4.2.1.1 思考部品の提供 (原則 4) に基づく設計

対象の学習領域について事前に十分理解したと思えるまで学んだ学習者に対し, 自身の学びの設計を表出化する構成部品を与え, これを用いたプレゼンの設計を課題化する。

具体的には, 「SW の技術課題を理解させる」や「ウェブ空間上の表記と実世界のモノとの対応を表す URI と, 異なる URI でも同じモノを表していることを示す意味リンク (sameAs) により, 情報システムが同一性を判定できるようになることを理解させる」といったプレゼンの目標を表す語彙 (学習目標語彙) を思考部品として提供し, この中から自身が必要と思うものを選択・系列化することで, プレゼン設計を構成する課題を与える。

4.2.1.2 抽象化活動の例示(原則 5)に基づく設計

プレゼンを十分に再構成できたと思った学習者には,

者が構成した学習領域の用語で記述されたメタ認知語彙とその構成過程を解説し、自身の学習設計構成指針を再構成する課題を与える。

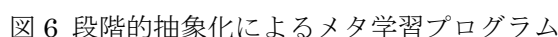
4.2.3.1 思考部品の提供（原則 4）に基づく設計

具体的には、「問題解決の手段」や「手段の合理性」、「ステークホルダ」といった技術一般で理解すべきことの構成部品となる語彙（技術一般の用語で記述されたメタ認知語彙）を与え、これを参考に、「技術について学ぶときには、問題解決手段の合理性について、複数のステークホルダの観点から考えることが大切である」といった技術領域の学びに共通する学ぶべきことの構造をメタ認知知識として構成する課題を与える。

十分に構成できたと思った学習者には、教材作成者によるメタ認知知識への抽象化活動を例示し、これを参考にしたメタ認知知識の再構成を課題化する。

具体的には、教材作成者が学習領域の用語で記述されたメタ認知知識語彙から技術汎用レベルに抽象化したメタ認知知識の構成例と、その構成プロセスを解説し、これを参考に自身のメタ認知知識を再構成する課題を与える。

デザイン原則に基づいて設計したこれらの課題により、学習者自身の学習経験から技術汎用レベルのメタ認知知識へと段階的に抽象化し、自分の学習経験と連



続的に接地したメタ認知知識を構成するメタ学習経験を与えるプログラムとしている。

5. おわりに

本研究では、教材に必ずしも陽には書かれていないことも読み取る創造的な学びを駆動していくためのメタ認知知識を学ぶメタ学習スキルの育成に目掛け、メタ学習の困難性を整理し、その低減を指向するプログラムの5つのデザイン原則を検討した。そして、それらの原則に基づくメタ学習スキル育成プログラムとして、学習者自身の学習経験から発見的にメタ認知知識を構成していくことで適用文脈と接地したメタ認知知識を学ぶメタ学習スキル育成プログラムを検討した。

学習科学や教育学の分野では、例えば「何度も繰り返し思い出すことで記憶が定着しやすい」や「読解する文章の意味をよく理解するために読み戻す」といった学習領域から独立した一般的なメタ認知的活動に関する知識やその教授法が盛んに研究されている^(13, 14)。こうした文脈非依存なメタ認知知識は、学習対象領域の構造に立ち入らないことで、さまざまな場面で再利用可能な有意義な知識とすることを指向している。これに対し、本研究で対象とするメタ認知知識は、教材には陽には書かれていないことも読み取る手掛かりとして、技術領域やより具体的なSW領域など、具体的な学習領域の構造に立ち入るものである。

本研究で提案したデザイン原則は、こうした学習領域の構造に立ち入ったメタ認知知識の学びを指向したメタ学習スキル教育のインストラクショナルデザインの研究に共通概念を提供することで、系統的なプログラム構成やその洗練に繋げる基盤の形成に資すると考えている。また、こうした原則は、メタ学習スキル育成に目掛ける新しい学習支援システムへの設計指針となり、知的学習支援システム研究のさらなる展開に繋がる学術的基盤としての意義があると考えている。

現在、プログラムの実践準備を進めている。第一義に、これまでにないメタ学習機会を提供するプログラムの実行可能性を確認する。そして、その上で、狙いとする適用文脈と紐づいたメタ認知知識の学びに対する学習効果を評価していく予定である。

参 考 文 献

- (1) 三宅なほみ: “学習プロセスそのものの学習: メタ認知研究から学習科学へ”, 日本認知科学会 2005 年冬のシンポジウム (2005)
- (2) 白水始: “認知科学と学習科学における知識の転移”, 人工知能学会誌, Vol.27, No.4, pp.347-358 (2012)
- (3) 松下佳代: “ディープ・アクティブラーニング”, 京都大学高等教育研究開発推進センター 勁草書房 (2015)
- (4) Ferrara, A., Nikolov, A., Scharffe, F.: “Data Linking for the Semantic Web”, International Journal on Semantic Web and Information Systems, Vol.7, No.3, pp.46-76 (2011)
- (5) 西林克彦: “わかったつもり”, 光文社, 東京 (2005)
- (6) Bransford, J. D., Brown, A. L. and Cocking R. R.: “How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School”, National Academies Press, Washington, DC (1999)
- (7) Tiruneh, D. T., Verburgh, A., Elen, J.: “Effectiveness of critical thinking instruction in higher education: A systematic review of intervention studies”, Higher Education Studies, Vol.4, No.1, pp.1-17 (2014)
- (8) Zimmerman, B. J.: “Becoming a Self-regulated Learner: An Overview”, Theory into Practice, Vol.41, No.2, pp.64-70 (2002)
- (9) 茅島路子, 稲葉晶子, 溝口理一郎: “メタ認知活動の困難さに関するフレームワークの提案”, 教育システム情報学会誌, Vol.25, No.1, pp.19-31 (2008)
- (10) 鈴木宏昭: “類似と思考 改訂版”, 共立出版 (2020)
- (11) VanLehn, K.: “The Behavior of Tutoring Systems”, International Journal of Artificial Intelligence in Education, Vol.16, No.3, pp.227-265 (2006)
- (12) 油谷知岐, 瀬田和久, 林佑樹, 池田満: “学習目標の内省を促すセマンティックスアウェアな知的学習支援システム”, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J104-D, No.8, pp.636-649 (2021)
- (13) Flavell, J. H.: “Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive-developmental inquiry”, American Psychologist, Vol.34, pp.906-911 (1977)
- (14) 岡本真彦: “教科学習におけるメタ認知 -教科学習のメタ認知知識と理解モニタリング-”, 教育心理学年報, Vol.51, pp.131-142 (2012)

教材化のための身体動作映像に対する アノテーション付与の検討

近藤 愛鈴, 田中 凌太, 後藤田 中, 李 セロン, 林 敏浩
香川大学

Consideration of adding annotations to videos including body motion for teaching annotation

Marin Kondo, Ryota Tanaka, Naka Gotoda, Saerom Lee, Toshihiro Hayashi
Kagawa University

身体動作の習得を目的とした映像視聴学習においてのアノテーションを付与による映像教材の作成支援を提案する. 指導者と学習者の身体動作データを動的時間伸縮法で処理した上で, 類似性を検討する. この時, 身体動作データにオノマトペを紐付けし, 姿勢の違いを言語化する. このシステムを用いて, 身体動作の姿勢の違いを学習者が認識することで, 指導者のオノマトペをイメージしながら動作練習を行うことが可能になる.

キーワード: アノテーション, 映像視聴学習, スポーツオノマトペ, 姿勢推定, 動的時間伸縮法

1. はじめに

平成 20 年度の新学習指導要領により, 中学校でのダンスの授業が必須となった⁽¹⁾. ダンスの練習に伴う集団的活動や身体表現を通じてコミュニケーション能力を育成することや, 集団での練習では筋道を立てて作戦を考え, 改善を目指してお互いに話し合うことで論理的思考力を育む狙いがある. しかし教育現場では指導者のダンス技術の習得や, 評価・評価方法の不明瞭な点より, 知識のあるダンス指導者が急務となっている. そこで一般社団法人 ダンス教育振興連盟 JDAC (ジェイダック) は, スポーツ庁・厚生労働省の後援を受けて, 全国各地で指導者, インストラクター育成の研修会を行なっている⁽²⁾. 研修会は, 「ダンスの指導方法」に重点をおき, 授業の進め方, ダンスの理論, 安全対策, 声掛けなど, 「ダンスが上手く踊れなくてもダンスの指導ができる」講習を行なっている.

一方で, 指導者にかかる負担や指導者の定性的な評価を課題とした上で, エイベックス株式会社はダンス

を定量評価し, スコア化するスキルチェックアプリ「Dance COMMUNE」をダンスクラスで導入した⁽³⁾. このアプリケーションはエイベックス独自のダンス育成ノウハウをもとに, 姿勢推定 AI エンジンである VisionPose での骨格情報を取り入れることで身体ダンスのスキルチェックが可能となっている.

周ら⁽⁴⁾はカリキュラムや育成スキルと学習者の比較からスキルチェックをするのではなく, 姿勢推定を用いて学習者と複数のダンサーを比較することでダンススキルの向上を狙った練習の支援方法である SyncUp を提案している. このシステムでは, ダンス動画から複数のダンサーのポーズを推定結果し, 体の各部位でのユークリッド距離を計算し, 人間が感じる同期度の高さを機械学習によって推定することで, どの場面にダンスのズレが生じているのかをユーザに提示する. ここでは骨格情報を Alpha pose を用いて骨格情報を推定し, その推定結果に Body-part Pose Similarity (BPS) でヒートマップを用いて体の部位別のポーズ類似度を可視化している. この研究において, ポーズ類似度手法の

比較評価が行われており、有用であることが示された。しかし、ポーズの類似度による指導方法というのは提唱されていない。

そこで本研究では、よさこいを例として、学習者の技能向上を目的としたポーズ類似度に基づくアノテーションによる支援を行う。今回は、アノテーションとして取り扱うオノマトペについて、骨格情報とオノマトペの印象について関連性があるかを検証した。

2. スポーツオノマトペの検討

今回、アノテーションとして学習者に提示する情報はスポーツオノマトペを用いる⁽⁵⁾。スポーツオノマトペとは、運動のコツである「パワー」「スピード」「持続性」「タイミング」「リズム」を表現する。短い言葉で絶妙な感覚印象やイメージを端的に表すことができることで、運動者にとっての行動調整に役立ち、指導者から運動者への意思の伝達に貢献している。実際に運動・スポーツ活動で使用されているスポーツオノマトペは、運動のコツを表現しており、呼吸のタイミングや部位に注目している。そのため、主に指導者と学習者の教授の関係や、選手同士であるという、スポーツオノマトペで表す対象の動作を理解しているもの同士での間で使われると考える。また、舞踊に関するオノマトペが少ない。身体動作を行わない、観客から見たオノマトペを収集し、図1のような骨格情報に紐づけ舞踊の教材としたい。

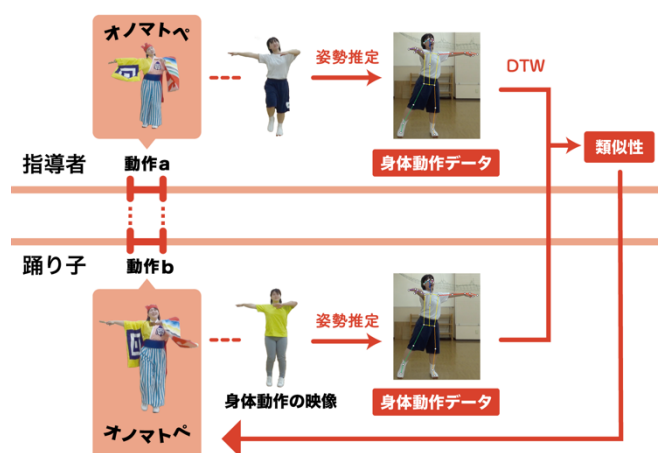


図1 舞踊学習でのオノマトペ付与

指導者の身体動作に対して踊り子の身体動作がどの

ような要素をもった動きであるかを初学者に認識させるためにスポーツオノマトペによる身体動作の言語化を行う。この時、指導者と踊り子の部位からなる身体の動作の違いをもとに付与するスポーツオノマトペを決定した。この時、身体動作の違いは、DTWでの処理の結果として可視化した波形を参考に目視で判断した。



図2 今回の検証方法（もしくは本システムの主たる特徴）

2.1 よさこいで動作の姿勢推定

本研究ではVisionPose⁽⁶⁾では、図1のように人体の各部位の関節と顔パーツの合計30箇所の骨格を検出することができ、各部位のX座標・Y座標を取得することで位置情報を取得することも可能である。図3に骨格推定部位とX座標・Y座標の正の方向を示す。なお、図2のモデルはこちらに顔向けているものとして、読者から見て左手にあるのが左で鏡写りになっている。

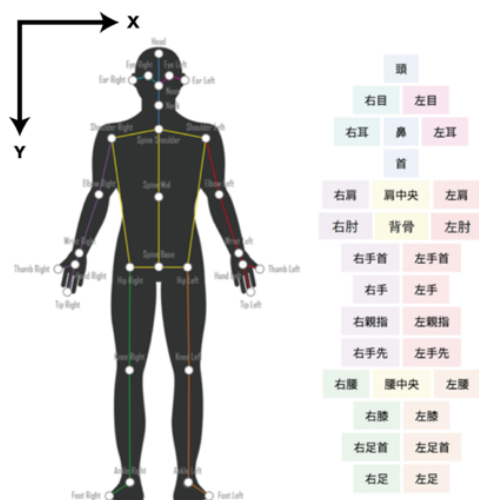


図 3 VisionPose の骨格推定部位 ((6)「体の各部位の関節と顔パーツの測定箇所」より抜粋・

改変)

2.2 よさこいの DTW での分析

骨格推定を行った指導者と踊り子のデータについて、動的時間伸縮法(以下「DTW」と定義する)で処理した上で、類似性を検討する。図 3 にシステムの流れを示す。まず指導者の身体動作映像において教授対象の身体動作を「動作 a」とし、団体練習で指導者により定性的に決定されているスポーツオノマトペを付与する。

次に踊り子の身体動作映像において身体動作のうち動作 a に対応した「動作 b」を決定する。そして、動作 a と動作 b に対して姿勢推定と動的時間伸縮法から検討された類似度を基に動作 b に付与するオノマトペを決定する。DTW から類似性が読み取れるが見られた動作については、同じ印象を受けるオノマトペを付与する。

3. 評価実験

3.1 実験対象となるよさこいの動作

次に、DTW による伸縮軌跡を用いて類似性を検討する。このとき身体動作の着衣を想定し、印象つけられている可能性のある「部位」に注目して類似度を検討する。図 7 に指定した部位を示す。これは指導者と学習者に共通する。指導者と学習者の骨格推定を右中指の先端にあたる Tip Right から左中指の先端にあたる Tip Left の全 11 箇所を指定して DTW を行った。その様

子を図 4 に示す。

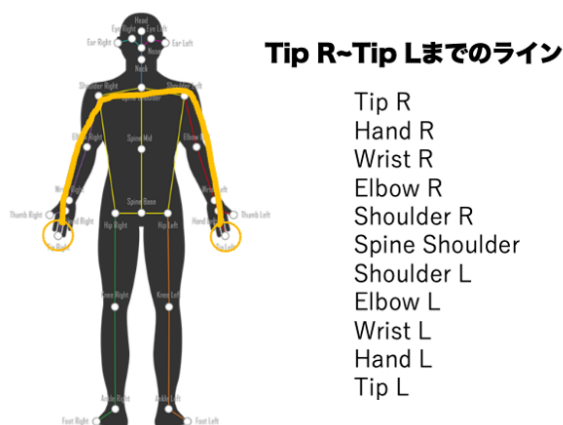


図 4 DTW の際に指定した部位



図 5 分析の対象とした動作

	Q1.4	Q2.4
よさこい経験者	によきによき	によきによき
	どんぶらこ〜どんぶらこ〜	ゆらゆら
	ズンズン	ズンズン
	ホイ	ホイ
	シャキッ	チャョッ
	シュー	シュー
	シュッシュッ	ズンズン
	ユラユラ	ユラユラ
	スー	トン
	ズン	ズン
よさこい未経験者	ウーウーウー ガーラガーラ	ウーウーウー ガーラガーラ
	スイスイ	ずっずっ
	よいしょ	えっはい
	ぐわんぐわん	ゆらゆら
	どどん	どどん
	スー	ハッ
	フワ	タンタン
	うんしょうんしょ	ずんずん
	グワッ	スイッ

図 6 調査対象の動作から得られたオノマトペ

図 5 は、実際に分析した動作である。この動作を図 1 における、動作 a とする。肩の前で手を組み、足場はそのまま、重心ごと左右に揺れる。この時に、視覚的に重要なことは、衣装の袂がピッタリとあっていることである。

3.2 対象の動作に対する印象

図 5 の動作に対するスポーツオノマトペのは計 21 人、うちよさこい経験者 13 人、よさこい未経験者 8 人からのアンケートを行った。最終的に付与するオノマ

トペは、ひとりのよさこい経験者が選択した。

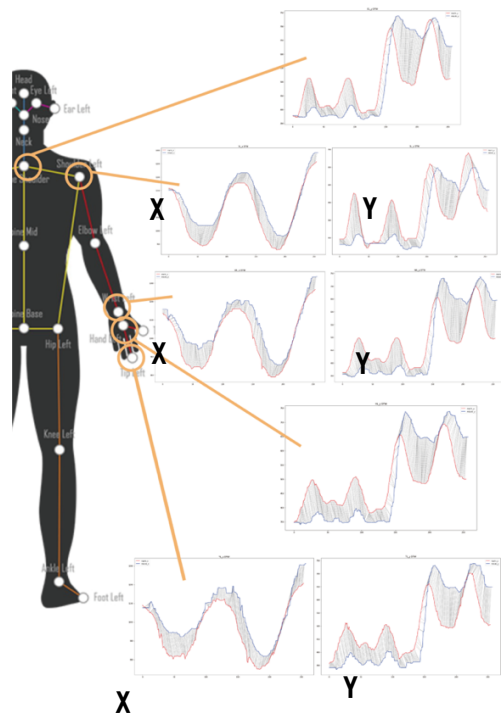


図 7 DTW での処理結果

3.3 実験結果

図7に実際のDTWでの処理結果を指定部位とともに示す。これらの波形を見ると、X軸はX軸で、Y軸はY軸同士で同じ形であると判断できる。これより、アンケートで支持者の多かったスポーツオノマトペを付与することを決定する。アンケートの回答として目立ったリズムを表すオノマトペは、「ゆらゆら」「ぐわんぐわん」など、同じ動作を繰り返してリズムを表す言葉が多かった。このことから、オノマトペとして付加される観客としてよさこいを見ている人の印象と、骨格情報としての可視化できる動作の波長は、関連性があるかを検証した。

4. 考察

よさこいなどの伝統的な舞踊ではなく、おおらかな舞踊においてはオノマトペもさまざまな表現方法がされている。実験結果に用いたオノマト以下にも、図6には表現がたくさん存在する。このような表現は、観客、振り付けを考える演出家、踊りを教える指導者、踊り子ではどのようによさこいを意識しているか分析するこ

とで舞踊の表現の幅を増やすことができると考える。踊を演出できると考える。

5. 結論

スポーツにおいて、指導者が学習者に対して指導を行う場合、直感的な感覚を享受するために、スポーツオノマトペを用いる。また、直感的な指導だけではなく、姿勢推定を用いて技能習得や団体での動きを揃える指導を行う場合もある。しかし、よさこいのような身体の動きだけではなく、衣装を着用してパフォーマンスする身体運動は、踊りのコツだけではなく、着衣を考慮したオノマトペを付加する必要がある。本研究では、観客が受けた印象と実際の身体の動きを比較し、直接的な連動関係にあるのかを検討した。その結果、関係はあるとされるが、該当しないオノマトペもたくさん見られたため、与える印象の振れ幅が大きいことがわかった。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP19K12270 の助成を受けたものである

参 考 文 献

- (1) 中学校学習指導要領解説 保健体育編, https://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2011/01/21/1234912_009.pdf, (2023年2月10日確認)
- (2) 一般社団法人 ダンス教育振興連盟 JDAC(ジェイダック), <https://www.jdac.jp/information>, (2023年2月10日確認)
- (3) エイベックス・マネジメント株式会社, <https://www.next-system.com/visionpose/recent-case/dance-commune>, (2023年2月10日確認)
- (4) 周中一, 矢谷浩司: “人体ポーズ分析を応用したシンクロダンス練習支援システム”, 情報処理学会研究報告, Vol. 2020-HCI-190, No. 7, 1-8 (WEB ONLY), (2020)
- (5) 吉川政夫: “運動のコツを伝えるスポーツオノマトペ”, バイオメカニズム学会誌, Vol. 37, No. 4, (2013)
- (6) VisionPose, <https://www.next-system.com/visionpose>, (2023年2月10日確認)

ビデオ視聴と自他レポート吟味による 批判的思考力育成のための授業設計評価

仲林 清^{*1, 2}

^{*1} 千葉工業大学 ^{*2} 熊本大学

Evaluation of Course Design to Promote Critical Thinking Skills by Documentary Video Viewing and Mutual Essay Review

Kiyoshi Nakabayashi ^{*1, 2}

^{*1} Chiba Institute of Technology ^{*2} Kumamoto University

講義型の多人数授業で批判的思考を促すための授業設計と評価を行う。学習者が既有知識を有すると想定される問題領域の知識体系を説明し、その観点に基づいて具体事例のビデオ視聴、分析レポート提出を行う。次回授業で全員のレポートを配布、適宜紹介し、自他の考えを比較・吟味させる。この過程で、批判的思考の「規準に従う論理的・合理的思考」、「推論プロセスを意識的に吟味する内省的思考」、「文脈に応じた目標志向的思考」という観点を意識させる。企業のビジネスモデルを扱った授業実践にこの設計を適用した内容と結果を述べる。

キーワード: 批判的思考, ドキュメンタリービデオ, 理論と経験の対比, 既有知識活用, ビジネスモデル

1. はじめに

批判的思考力は、21世紀型スキル⁽¹⁾の中に位置づけられるなど、多くの論考や教育実践が存在し、その重要性は論をまたない⁽²⁾⁻⁽⁴⁾。批判的思考には様々な定義が存在するが、道田⁽⁴⁾は、「何を信じ何を行うかの決定に焦点を当てた合理的で反省的な思考」を批判的思考の基本イメージとし、「合理的」、「反省的」が鍵概念である、としている。また、楠見⁽⁵⁾は、「規準に従う論理的・合理的思考」、「推論プロセスを意識的に吟味する内省的思考」、「文脈に応じて実行される目標志向的思考」という3つの観点で批判的思考を定義している。

批判的思考の教育方法・実践も数多く存在するが、それらは大きく、「一般原則を教えるジェネラルアプローチ」、「特定科目の中で批判的思考を明示的に教えるインフュージョンアプローチ」、「特定科目の中で批判的思考を誘発させるイマージョンアプローチ」に分類される⁽²⁾⁻⁽⁴⁾。大学での教育実践では、学生の基礎学力低下に対応して、大学教育に適応させるために初年次教育でジェネラルアプローチが用いられる場合が多く、一方、既存の専門科目では、学問リテラシー育成を目的としたイマージョンアプローチが一般的であると言われている⁽⁴⁾。扱う問題領域としては、メディアリテ

ラシー、社会問題（原発事故、消費者教育、など）、科学リテラシー（疑似科学、超常現象、など）を扱った例が見られる⁽⁴⁾⁻⁽⁵⁾。

批判的思考を促進する教育に共通の特徴としては、「能動的学習」、「問題中心のカリキュラム」、「学生の相互作用の刺激」が挙げられる⁽⁴⁾⁻⁽⁶⁾。しかし、学習者の相互作用促進のためグループワークなどを取り入れる形態が多く⁽⁴⁾、多人数授業への拡張が難しいという問題がある。また、学習者の協同が必ずしも効果を産まないというメタ分析も存在する⁽³⁾。

これに対して、本研究では、批判的思考を明示的に教えるインフュージョンアプローチを採用し、目的も、学問リテラシーの育成などではなく、組織における問題解決や企業のビジネスモデルなどを取り上げる。学習者が関連する経験・既有知識を有しており、企業活動など社会に出てからも直面すると考えられる文脈で、メンバーが日々直面すると想定される真正な課題を取り上げる。「学生の相互作用」として、グループディスカッションなどでなく、自他レポートの比較・吟味と教員によるレポート紹介を行っており、大規模授業へ適用可能で再現性の高い学習効果が期待される。

以下、第2章で、本研究で提案する批判的思考学習の枠組みについて、第3章でドキュメンタリービデオ

の視聴と自他レポート吟味を行う授業設計について述べる。第4章で授業実践の結果、第5章で考察を行う。

2. 授業設計の枠組み⁽⁷⁾⁽⁸⁾

本授業実践では、批判的思考の定義として、前章で述べた「規準に従う論理的・合理的思考」、「推論プロセスを意識的に吟味する内省的思考」、「文脈に応じて実行される目標志向的思考」という3つの観点⁽⁹⁾を用いる。道田⁽⁴⁾は、批判的思考の鍵概念は「合理的（論理的）」な推論を行う「技能」と「反省的（内省的）」な「態度」で、「批判的（懐疑的）」という側面は前面には出ていないと述べている。これは上記の3つの観点にも共通している。また、自身のこれらの思考プロセスをモニタリング・コントロールするメタ認知も重要な要素となる⁽⁹⁾。

本授業実践では、このような批判的思考を「特定科目の中で明示的に教えるインフュージョンアプローチ⁽²⁾⁽⁴⁾」を採る。授業設計の枠組みを図1に示す。学習者が経験・既有知識を有すると想定される対象問題領域の理論・知識体系を説明し、知識体系の観点に基づいて具体事例のビデオを視聴させ、分析レポートを提出させる。次回授業で全員のレポートを配布し、教員が適宜紹介して、自他の考えを比較・吟味させる。必要に応じてこれを繰り返す。

この枠組みは、筆者がこれまで「組織における問題解決」⁽⁹⁾、「企業のビジネスモデル」⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾などを対象問題領域とする授業実践に適用してきたものである。問題解決に関する授業アンケート⁽⁹⁾では、「（1回目のビデオ視聴では）仮説的思考については思いつきもしなかったのですが、2回目の視聴でそこを重点的に観察し、（略）（主人公が）ロジカルに考えた結果の行動であることがわかるようになった。」、「（他者レポートで）自分では気づかない点が挙げられるとそこに至るにはどんな視点で観察すべきかということを考えることができた。」といったように、受講者が批判的思考を行っていると考えられるコメントが得られている。

そこで、本授業実践では、図1のような枠組みにおいて、上記の批判的思考の3つの観点を明示的に伝えることで、以下のように批判的思考を促進する。

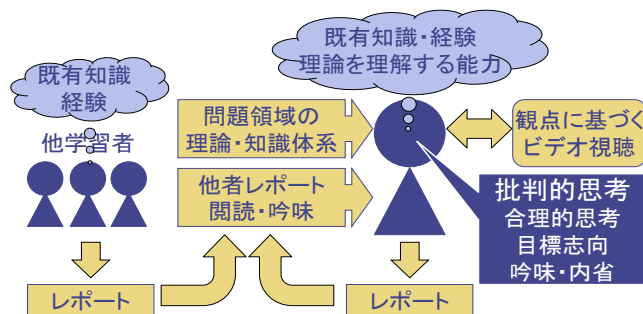


図1 授業設計の枠組み

(1) 規準に従う論理的・合理的思考

対象問題領域として、前期のように「組織における問題解決」⁽⁹⁾、「企業のビジネスモデル」⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾などを取り上げる。これらの領域では、明確な正解はないが、経験から導かれた体系的な理論や知識が存在する。これらの理論・知識を現実の場面に適用したレポートを作成させることで、状況の論理的な分析が可能となり、合理的な解決策の見通しが得られる、という思考を促進する。

(2) 推論プロセスを意識的に吟味する内省的思考

批判的思考において、自身の思考をメタ認知的にモニタリング・コントロールすることは非常に重要である⁽⁹⁾。これを促進するため、他者レポートの読読を活用する。同じビデオを視聴してこれを体系的知識を適用して様々に解釈していると考えられる他者のレポートを読読させ、自身の解釈・分析と比較させることで、自身の思考プロセスを内省的に振り返らせる。

(3) 文脈に応じて実行される目標志向的思考

批判的思考は、現実の目標に照らして適切な状況で発揮することが重要である⁽⁹⁾。ビデオでは、学習者が経験・既有知識を有すると想定される対象問題領域における登場人物の問題解決行動が描かれる。そこで、学習者が登場人物の問題解決行動を、自身の経験や既有知識の文脈に結び付け、その妥当性や意味を吟味する目標志向的思考を促進する。

3. 対象問題領域の学習主題と題材

3.1 学習主題

本実践で取り上げる対象問題領域は、ネットワーク外部性⁽¹²⁾⁽¹³⁾に関する企業のビジネスモデルである。ネットワーク外部性は経済学の抽象的な概念であるが、

学習者に身近な事例を取り上げ、ネットワーク外部性の知識体系から検討・考察させることで理解の促進を図る。さらにこの過程で、2章に述べたように批判的思考を促す介入を行う。筆者が従来からネットワーク外部性について実践してきた授業⁽¹⁰⁾の学習主題を以下に説明する。

(1) ネットワーク外部性の性質と技術標準化の関係

ネットワーク外部性には直接的ネットワーク外部性と間接的ネットワーク外部性がある⁽¹³⁾。前者は電話やメールのように利用者が直接やりとりをする場合で、利用者数がそのままサービスの価値となる。後者はビデオデッキとビデオコンテンツのように、製品（ビデオデッキ）だけでは価値が無いが、補完財（ビデオコンテンツ）が増えると製品の価値も増えていくような場合である。これらのネットワーク外部性を成り立たせるためには、利用者が使用する機器やソフトウェアが互いに情報をやりとりするインターフェースの標準化が必要である^{(13)・(15)}。直接的ネットワーク外部性の場合にはネットワークに接続される機器同士のプロトコル、間接的ネットワーク外部性の場合には製品と補完財の間のインターフェースが該当する。このようなネットワーク外部性の性質や技術標準化との関係を第一の学習主題とする。

(2) ネットワーク外部性を持つ製品の普及モデル

ネットワーク外部性をもつ製品やサービスには、(1)で述べた性質から、利用者や補完財が増えるほどその価値が向上し、これによってさらに利用者や補完財が増える、という正のフィードバックが働く^{(12)・(13)}。しかし、フィードバックが働くためには、製品が一定数普及する必要がある。初期に普及率をいかに引き上げるかという「スタートアップ問題⁽¹²⁾」が存在する。また、互換性のない類似製品が複数存在すると利用者が製品の選択・購入を躊躇して普及が妨げられる、という現象や、類似の複数製品のいずれかひとつが普及しだすと、その製品に対して正のフィードバックが働き、他の製品はまったく使われなくなるという「ひとり勝ち」の現象が発生する。このようなネットワーク外部性を持つ製品・サービスに特有の普及モデルを第二の学習主題とする。

(3) プラットフォームビジネスの意味

間接的ネットワーク外部性を有する近年のITサービスは、しばしばプラットフォームビジネスと呼ばれる^{(16)・(17)}。ゲームビジネスやネット通販は、その典型例であり、コンテンツなどの補完財を共通の製品（プラットフォーム）上で流通させることで収益を得ることからこのような呼び名がある。これらのビジネスでも、スタートアップ問題や、プラットフォームとコンテンツのいずれから収益を上げるのか、といった問題が存在する。このようなプラットフォームビジネスの概念や、その中での収益モデルを第三の学習主題とする。

3.2 ドキュメンタリービデオの内容と事例の解釈

授業では、家庭用VTRと電子マネーという2種のネットワーク外部性を有する製品を対象とし、それぞれに関するドキュメンタリービデオを使用した。以下では、レポートの主要な対象であるSuica^{(18)・(19)}の事例について、ビデオの概要と学習主題との関係を述べる。

(1) ビデオの概要

用いたビデオは、「プロジェクトX 挑戦者たち 執念のICカード 16年目の逆転劇（以下PJX-Suica）」である。JR東（開発当初は国鉄）が、1985年ごろICカード乗車券の開発を開始してから、2001年にSuicaとして実用化されるまでの経緯を描いている。当時の国鉄は赤字に苦しんでおり、紙の切符で手作業の改札を行っていた。これを解決するために、研究所の研究者がICカード乗車券を着想し、ソニーの協力を得てICカード技術（現在のFelica^{(20)・(21)}）を完成させる。旅客部門の担当責任者の協力を得て導入を推進しようとするが、JR東は数年前に磁気式改札機を導入していた。旅客部門の責任者は、ICカードを導入するため、1) 磁気式改札機のコストを徹底的に調べ、ICカードの方がランニングコストの削減になり、首都圏400以上の駅に一気に導入する経費を回収できること、2) ICカードは電子マネーとして駅の売店や一般の買い物にも利用できる付加価値があること、を上層部に訴求する。これによってJR東はICカード（Suica）の導入を決定し、乗車券だけでなく、電子マネー機能に着目した駅ナカ・街ナカビジネス⁽²²⁾を展開していく。

(2) 事例の解釈

Suica の開発・普及はネットワーク外部性の観点から以下のように解釈できる。まず、電子決済の手段として Suica はプラットフォームに相当する。乗車券や商品購入という用途は補完財であり、補完財の種類が増えれば増えるほど Suica の価値は高まっていく。したがって、ここに間接的ネットワーク外部性が働く。実際に Suica が使える店舗数は 2010 年 10 万店、2015 年 31 万店、2022 年 130 万店と増加し、月間決済件数も 5 千万件、1 億 2 千万件、2 億 4 千万件と増えている⁽²²⁾。乗車券としても、当初は首都圏だけであったが、JR 他社や私鉄各社の IC 乗車券との相互利用の促進により現在は全国の主要な交通機関で利用できる⁽²²⁾。

このようなネットワーク外部性が生じるためには、スタートアップ問題の克服が必要であるが、Suica の場合、当初に首都圏 400 以上の駅に一気に改札機を導入することでこの問題を克服している。すなわち、磁気式改札機のコスト削減で初期投資を回収しつつ、顧客に首都圏一円で乗車券として利用できる利便性を提供して普及率を向上している。Suica の普及率が高まれば、店舗にとって電子マネーとしての価値が向上するため加盟店が増加し、これによってさらに Suica 利用者が増えるという正のフィードバックが働く。

電子マネーという分野で見ると、Suica 以外にも nanaco, WAON などが存在し、必ずしも Suica が一人勝ちの状態にはなっていない。これは、図 1 に示すように、いずれの電子マネーもソニーが開発した Felica という共通の技術標準を用いていることによる。このため、店舗に Felica 対応の読み取り機を設置すれば、ソフトウェアの切り替えで複数種の電子マネーが利用でき、特定の電子マネーが一人勝ちになる状態は起きない。別の見方をすれば、Suica などは Felica に対する補完財になっている。

ソニー自身も Edy⁽²³⁾で電子マネーへの参入を図ったが、普及は伸び悩み 2009 年にビジネスを楽天に売却している。これは、表 1 のように、Suica, nanaco, WAON がそれぞれ、乗車券改札機や自社店舗レジという、スタートアップ問題を克服するためのインフラを当初から持っていたのに対し、ソニーにはそのような

インフラが無く、自力でゼロから加盟店を増やさなければならなかったためと考えられる。すなわち Edy はスタートアップ問題を解決できず、ネットワーク外部性を享受するに至らなかった事例といえる。

補完財	乗車券	商品購入	商品購入	
プラットフォーム 1	Suica		他の電子マネー Edy, nanaco など	他の用途 IDカード など
プラットフォーム 2	Felica			

図 2 電子マネーのネットワーク外部性

表 1 電子マネーの比較

	Suica	nanaco WAON	Edy
物理媒体	Felica		
用途	乗車券 商品購入	商品購入	商品購入
初期 インフラ	改札機	自社店舗 レジ	なし

4. 授業の進め方

4.1 批判的思考の学習

2 章で述べたように、授業では

- (1) 対象問題領域の理論・知識体系の説明
- (2) 具体事例のビデオ視聴、分析レポートの提出
- (3) 次回授業でレポート紹介、自他の考えの比較・吟味を行う。今回の授業は 4 コマの構成で、2～3 コマ目にレポートを提出させる。レポートの提出と次のコマでの紹介の際に、図 3 を用いて批判的思考における、論理的思考（問題解決過程）、態度、メタ認知の関係を説明する。

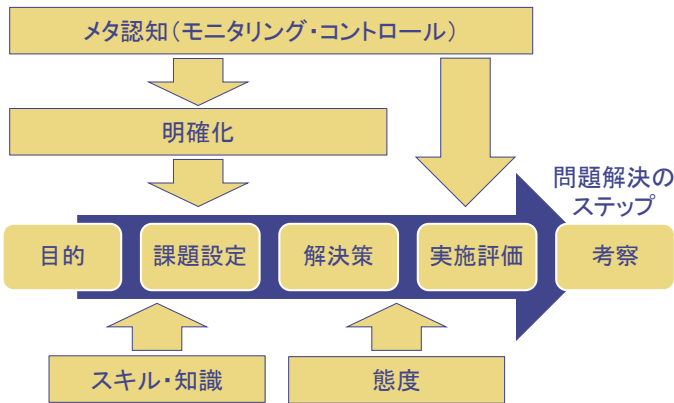


図 3 批判的思考と問題解決過程

また、レポート作成・比較・吟味の際に1章で述べた3つの観点を以下のように意識させる。

- 規準に従う論理的・合理的思考
主人公の行動は合理的か不合理か？
- 文脈に応じて実行される目標志向的思考
主人公のやっていたことは、自分の経験した Suica の利便性と合っているか？
- 推論プロセスを意識的に吟味する内省的思考
上記2点について、自分と他者の着目点・論理的なつながりの違いは何か？

1 点目はビデオの登場人物の行動の合理性を、ネットワーク外部性や企業の収支という「規準」から考えさせる意図がある。2 点目は、自分たちが経験している Suica の利用経験の文脈に、登場人物の行動・目的を意味付けて確認させる意図がある。3 点目は自他レポートの比較吟味によって自身の考えを「内省」させる意図がある。

4.2 対象問題領域の学習

対象問題領域のネットワーク外部性のビジネスモデルに関する授業内容は以下の通りである⁽¹¹⁾。

1 コマ目では、ネットワーク外部性の概念を家庭用 VTR の事例を用いて解説する。直接的ネットワーク外部性と間接的ネットワーク外部性、ネットワーク外部性によるひとり勝ちの発生、プラットフォームビジネスの概要を、ビデオ視聴を交えて解説する。

2~3 コマ目がこの授業の中核となる。2 コマ目では、1 コマ目の復習の後、ネットワーク外部性と技術標準化の関係を説明する。さらに、Suica の普及状況、Suica の基本技術が Felica であり他の電子マネーも同じ技術を用いていることなどを説明する。授業後半で以下のレポート課題を示して PJX-Suica を視聴させる。

- Suica の開発・普及過程は、情報技術の進化のパターン 1 (ニーズ主導)、パターン 2 (シーズ主導) のいずれに該当すると考えられるか？理由とともに説明せよ
- Suica の普及においてどのようなネットワーク外部性が働いていると考えられるか？プラットフォーム、コンテンツに相当するものはそれぞれ何か？Suica が使える具体的な状況を挙げて説明せよ。

最初のポイントは、PJX-Suica を視聴する観点を持たせるためのものである。前節の PJX-Suica の説明で述べたように、JR 東は Suica を導入する際、(1) 磁気式改札機のコストの削減(ニーズ)、(2) 電子マネーとして付加価値(シーズ)という二つの意図を持っていた。また、それ以前に紙の切符が改札で混雑を招いていたことはニーズの視点、磁気式改札機のコストの議論の前に並行して IC 乗車券の開発が進められたことはシーズの視点である。したがって、学生がビデオのどの部分に着目するかによって、レポートの内容は多様なものになると想定される。2 番目のポイントは、Suica の利用形態に関する学習者の既有知識とネットワーク外部性の概念を結び付けさせることを意図したものである。Suica が乗車券はもちろん、電子マネーとして利用でき、PJX-Suica では Suica が駅ナカ⁽²²⁾の売店で利用できる場面が紹介されている。これは、学習者の既有知識にも合致していると思われる。一方、図1のように、Suica は Felica から見れば補完財であり、何をプラットフォームと考えるかによって、レポートの内容は異なったものになると想定される。

3 コマ目では、2 コマ目のレポートを配布して上記のポイントに関連する内容のものを紹介し、ネットワーク外部性の概念を簡単に振り返ったあと、以下のレポート課題を示して PJX-Suica を再度視聴させる。さらに、Suica の開発に関わる JR 東、ソニー、および、技術標準化の動向などをまとめた年表を提示する。

ビデオを再度視聴し、他のレポートも参考にして、以下のレポートを提出せよ(1000~1500字程度)

- Suica は、どのような課題の解決・従来技術の代替を目的に開発・導入されたか？技術的・組織的障壁は何だったか？
- ネットワーク外部性の観点で、Suica は従来技術とどのような違いがあるか？それにより、企業や利用者にもたらされた価値は何か？そのためにどのような技術標準が使用されているか？
- JR が各駅に一斉に Suica 改札を導入したことはネットワーク外部性の観点でどのような効果があったか？Edy が失敗して nanaco や WAON が普及したことと、この効果はどのような関係があるか？

最初の2つのポイントは、プラットフォームとしての Suica の開発・導入における障壁と、生じた価値を考えさせるためのものである。2 番目のポイントでは、磁気式乗車券との比較で Suica には電子マネー機能が加わり、これによってネットワーク外部性の観点で新たな価値を産んでいることや、技術標準化との関係を考えさせる。3 番目のポイントはスタートアップ問題に関するもので、磁気式改札機のコスト削減で初期投資を回収し、首都圏 400 以上の駅で利用できる利便性を実現してスタートアップ問題を克服していることや、おなじソニーの Felica を用いている nanaco や WAON が普及し、ソニー自身も表 1 のように Edy で電子マネーに参入したが普及がうまくいかなかったこと、その原因として他の電子マネーのような初期インフラがなかったこと、などを考えさせるねらいがある。

4 コマ目では、3 コマ目のレポートを配布して上記のポイントに関連する内容のものを紹介し、振り返り、補足の解説を行う。さらに受講後に後述するアンケートを提出させる。

5. 評価

2021・2022 年度後期の大学 3 年生向けの科目でオンデマンド授業を行った。2021 年度には批判的思考に関する説明をせず、2022 年度は 4.1 で述べた説明を行った。4.2 で述べた 2 回のレポートを両方提出した受講者の、授業後アンケートの回答結果を以下に示す。

表 2 は 7 件法アンケートの結果の一部である。両年度とも多くの質問項目で、平均値が 5 点台後半から 6 点台の高い値になっている。両年度で大きく目立った差異は見られないが、「他の人のレポートを参考に様々な観点でビデオを視聴できた」、「授業のはじめにレポートの紹介とコメントがあり理解を深めることができた」など、自他のレポートの比較・吟味に関わる項目では有意差が見られた。

表 3～8 に「ドキュメンタリービデオの使用」、「レポートの提出・相互閲覧」、「授業全般」の 3 つの質問に対する任意の自由記述の結果をまとめたものを示す。いずれの質問に対しても、2022 年度の方が、記述者数・文字数とも有意に多かった。

表 3、表 4 にビデオに関する回答の年度比較と例を示す。表 4 の例のように授業内容との関連付けを「ネットワーク外部性」などの概念をあげて記述した回答が、2022 年の方が有意に多かった。

表 2 7 件法アンケート結果

	年度 回答者数	平均 (SD)		p 値
		2021 97	2022 89	
内容は理解できた		5.70 (0.87)	5.93 (0.74)	.05 ⁺
このような内容を今後も学んでみたい		5.65 (1.00)	5.81 (1.01)	.29
Suica を使った経験やサービスに関する知識は、授業の内容と結びついた情報技術を活用する意義を深く考えることができた		5.96 (0.84)	5.88 (0.96)	.53
Suica は、ネットワーク外部性を合理的に活かしていることが理解できた		5.77 (0.91)	5.88 (0.81)	.42
Suica の開発・普及において、企業経営の観点が重要だったことが理解できた		5.77 (0.88)	5.94 (0.81)	.17
Suica の普及方針がわかると、多くの場所で利用できる意味がわかったと思った		5.85 (0.86)	5.80 (0.81)	.70
ビデオを視聴する観点を指示されたのでより理解を深めることができた		6.08 (0.81)	6.06 (0.84)	.83
ドキュメンタリービデオを二度視聴したことで、より理解が深まったと感じた		5.67 (0.85)	5.76 (0.81)	.44
他の人のレポートを参考に様々な観点でビデオを視聴できた		5.38 (1.16)	5.55 (1.02)	.29
他の人と自分のレポートの共通点や相違点を考えた		5.71 (1.03)	6.05 (0.75)	.01 [*]
授業のはじめにレポートの紹介とコメントがあり理解を深めることができた		5.66 (1.03)	5.85 (0.97)	.19
他の人のレポートを見て理解を深めることができた		5.54 (1.00)	5.92 (0.77)	.00 ^{**}
他の人のレポートの筋道の立て方を自分の考え方と比較した		5.58 (1.03)	5.85 (0.77)	.05 ⁺
		5.42 (1.04)	5.47 (1.19)	.76

+ $p < .1$, * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

表 3 ビデオに関する自由記述

年度	受講者数	記述者数	文字数	授業内容 関連付け
2021	97	44 (45.4%)	50.6	11 (11.3%)
2022	89	59 (66.3%)	73.5	21 (23.6%)
p 値		.004 ^{**}	.005 ^{**}	.03 [*]

表 4 ビデオに関する回答例

(21 無) 具体的に開発の際の流れを見るとできて、ためになった。
(22 無) ドキュメンタリーは飽きさせない工夫が凝らされているので楽しみながら学習できて良い試みだと思う
(21 有) (略) ネットワーク外部性や情報の進化パターンなどの理解を深めるのにとっても役に立った。
(22 有) (略) 具体例を知ることができ、ネットワーク外部性などの抽象的な概念の理解が進んだ。

() 内は年度と授業内容関連付けの有無

表 5、表 6 にレポートに関する回答の比較と例を示す。両年度とも他者のレポートを参照している回答が多く見られたが、表 6 の例のように「自分と異なる他者の視点・着目点」を記述している回答は、表 5 のように 2022 年の方が有意に多かった。また、表 5 には記載していないが、表 6 の 2022 年度の例のように、「他者の視点を自分の考えに取り入れて新たな考えが生まれた」といったメタ認知的に踏み込んだ記述は、2021 年にはほとんどみられず、2022 年には 20 名弱が記述していた。

表 7、表 8 は授業全般に関する回答の比較と例である。両年度とも多くの回答に「身近に使っているものが題材でわかりやすかった」、「興味が湧いた」という主旨の記述がみられた。これは 7 件法アンケートの結果とも整合している。また、表 8 の例のように、「ネットワーク外部性」の概念を Suica 以外の他のサービスの利用経験に当てはめて意味を考えたり、日常の Suica の利用経験を授業で学んだ観点から見直して確認した、といった批判的思考に関連すると思われる回答が見られた。このような回答は、表 7 のように 2022 年の方が有意に多かった。

表 5 レポートに関する自由記述

年度	受講者数	記述者数	文字数	他者視点参照
2021	97	36 (37.1%)	58.9	12 (12.4%)
2022	89	62 (69.7%)	82.3	35 (39.3%)
p 値		<.001***	.07+	<.001***

表 6 レポートに関する回答例

(21 無) レポートはスムーズに書けた。他の人のレポートも参考にできたため、理解が深まった。
(22 無) 自分の意見が、他の人が考えている意見と似ている事が分かり、レポートに自信が持てた。
(21 有) (略) 他の人のレポートと自分のレポートを比較することで、異なる視点からの考え方などを知ることが出来て内容への理解が深まったと感じた。
(22 有) 自分と異なる意見を持つ人がどのような点に着目してビデオを視聴しているのかが分かり、次に視聴する時にその点に着目することで新たな考えが生まれたと感じた。

() 内は年度と他者視点参照の有無

表 7 授業全般に関する自由記述

年度	受講者数	記述者数	文字数	授業内容・設計言及
2021	97	62 (63.9%)	74.2	19 (19.6%)
2022	89	73 (82.0%)	91.9	32 (36.0%)
p 値		.006**	.098+	.012*

表 8 授業全般に関する回答例

(21 無) 日常的に使っているものなので、非常にわかりやすく想像しやすい題材でした。
(22 無) 通学で使っている身近な存在だからこそ興味を持って意欲的に学ぶことができて良かった
(21 有) Suica という普段から使用している身近なもの開発や普及について、ネットワーク外部性などの観点から学ぶことが出来て面白く感じた。また自分の身の回りに Suica の他にもネットワーク外部性が働いているものがないかなどについて興味が湧いた。
(22 有) 今では当たり前のように使っているものがここまで普及した背景には何があるのかを、自分の経験と結びつけながら考えられて納得する部分が多かった。また、授業を受けてから Suica を利用していると、改札のタッチパネルの下に「しっかりタッチ」というシールが貼られていたり、駅の外でもほとんどの店が IC カードに対応しているなどに気づき、ビデオで見た工夫やネットワーク外部性について考えられるようになった。

() 内は年度と授業内容・授業設計言及の有無

6. 考察とまとめ

5 章の結果から、Suica という身近な題材を取り上げることで、学習者が授業に興味を持って取り組み、他者レポート閲覧という設計も有効に働いていることが示唆された。特に、2022 年度にアンケート自由記述数が増えており、批判的思考に関する働きかけを行うことで、学習者の興味関心がより高まったことがうかがえる。批判的思考の三つの観点については、他者レポートの参照に関する記述が増えていることから、「態度」に関する「推論プロセスを意識的に吟味する内省的思考」を促す効果が示唆された。「規準に従う論理的・合理的思考」、「文脈に応じて実行される目標志向的思考」については、自身の Suica の利用経験をネットワーク外部性の概念と結び付けて解釈していると思われる記述が見られた。

今後、レポートなどの分析も行ってこれらの観点に関する効果を確認する必要がある。また、観点に沿った思考を促進するために、より明示的な教示の検討を行う。さらに、授業のもともとの対象問題領域の学習主題であるネットワーク外部性に関する理解の評価、他の対象問題領域を扱った場合の批判的思考の理解の評価などを行い、最終的に、批判的思考の教示が対象問題領域の理解促進につながる可能性について確認することが今後の課題である。

参 考 文 献

- (1) グリフィン, P., 他 (編), 三宅なほみ, 他 (監訳): “21世紀型スキル: 学びと評価の新たなかたち”, 北大路書房 (2014)
- (2) Ennis, R.H.: “Critical Thinking and Subject Specificity: Clarification and Needed Research”, *Educational Researcher*, Vol.18, pp.4-10 (1989)
- (3) Abrami, P.C.: “Instructional Interventions Affecting Critical Thinking Skills and Dispositions: A Stage 1 Meta-Analysis”, *Review of Educational Research*, Vol.78, pp.1102-1134(2008)
- (4) 道田泰司: “批判的思考教育の展望”, *教育心理学年報* 52, pp.128-139 (2013)
- (5) 楠見 孝: “批判的思考力を育む一学士力と社会人基礎力の基盤形成一”, 有斐閣 (2011)
- (6) Ten Dam, G., and Volman, M.: “Critical Thinking as a Citizenship Competence: Teaching Strategies, Learning and Instruction”, Vol.14, pp.359-379(2004)
- (7) 仲林 清, 田中孝治, 池田 満: “ビデオ視聴と自他レポート吟味による批判的思考力育成のための授業設計”, *教育システム情報学会第 46 回全国大会論文集*, pp.159-160 (2021)
- (8) 仲林 清: “ビデオ視聴と自他レポート吟味による批判的思考力育成のための授業設計評価”, *教育システム情報学会第 47 回全国大会論文集*, pp.257-258 (202)
- (9) 仲林 清: “組織における問題解決を主題とするビデオとオンラインレポートを活用した授業実践”, *教育システム情報学会誌*, Vol.32, No.2, pp.171-185 (2015)
- (10) 仲林 清: “ビジネスモデルにおける IT の活用を主題とするビデオとオンラインレポートを活用した授業実践ーコンビニエンスストアの事例を題材にー”, *教育システム情報学会誌*, 34(2), pp.131-143 (2017)
- (11) 仲林 清: “ネットワーク外部性を主題とするビデオとオンラインレポートを活用した授業の設計と試行評価”, *教育システム情報学会研究報告*, 32(1), pp.39-46 (2017)
- (12) Rohlfs, J. H.: “Bandwagon Effects in High Technology Industries”, MIT Press (2003). 情報通信総合研究所 (編), 佐々木 勉 (訳): “バンドワゴンに乗るーハイテク産業 成功の理論”, NTT 出版 (2006)
- (13) 山田英夫: “デファクト・スタンダードの競争戦略”, 白桃書房 (2004)
- (14) Baldwin, C. Y. and Clark, K. B.: “Design Rules, Vol. 1: The Power of Modularity”, The MIT Press (2000). 安藤晴彦 (訳): “デザイン・ルールーモジュール化パワー”. 東洋経済 (2004)
- (15) 橋本毅彦: “〈標準〉の哲学 スタンダードテクノロジーの 300 年”, 講談社 (2002)
- (16) Gawer A. and Cusumano M.A.: “Platform Leadership: How Intel, Microsoft, and Cisco Drive Industry Innovation”, Harvard Business School Press (2002). 小林敏男 (訳): “プラットフォーム・リーダーシップーイノベーションを導く新しい経営戦略”, 有斐閣 (2005)
- (17) マカフィー, A., ブリニョルフソン, E.: “プラットフォームの経済学 機械は人と企業の未来をどう変える?”, 日経 BP (2018)
- (18) 椎橋章夫: “Suica が世界を変える”, 東京新聞出版局 (2008)
- (19) 高井利之: “IC カード出改札システム Suica 開発記”, *JR EAST Technical Review*, No.4, pp24-31 (2003)
- (20) 青島矢一, 鈴木修: “非接触 IC カード技術「FeliCa」のイノベーション”, *一橋ビジネスレビュー*, Vol.55, No.4, pp.108-127 (2008)
- (21) 立石泰則: “フェリカの真実”, 草思社 (2010)
- (22) JR 東日本: “2022 Fact Sheets”, <https://www.jreast.co.jp/investor/factsheet/pdf/factsheet.pdf> (2023 年 1 月 16 日確認)
- (23) 青島矢一, 鈴木修, 長内厚: “ビットワレット 電子マネー市場の創造と事業戦略の構築”, *一橋ビジネスレビュー*, Vol.57, No.1, pp.82-105 (2008)

創造的問題解決における他者との協調による 創造性の発揮の検証 ―グループ（3人組）と個人の比較―

高津 遥^{*1}, 後藤 崇志^{*1}
^{*1} 大阪大学大学院 人間科学研究科

Generating a creative idea through collaboration with others.

You Takatsu^{*1}, Takayuki Goto^{*1}
^{*1} Graduate school of Human Science, Osaka University

It is an important issue how we can generate creative products through the collaboration with others. We conducted an experiment to address whether and how individuals can actualize it. We tested whether products were evaluated as creative when they were generated by collaborative group rather than by individual or non-collaborative group. In addition, we tested whether providing some guide for collaborative dialogue can facilitate creative performance through collaboration. Results showed that group products were evaluated as more unique, but less useful, than individual products. Furthermore, our intervention has little impacts for collaborative performances. We discuss the future direction for the research about collaboration for creative products.

キーワード: 創造性, 創造的問題解決, 協調, 創発, ブレインストーミング

1. はじめに

グローバル化や社会構造の変容, それに伴う生き方の多様化など, 変化の激しい現代社会において, 人々の創造性を発揮することは重要なトピックの1つである. ここでの創造性とは, 独創性と有用性の2つの要素を兼ね備えたものを生み出すことを指す^[1]. こうした創造性の発揮は, 複雑な現代社会の諸問題を解決する一助になると考えられる. また, 創造性は私たちの文明が進歩するための1つの重要な要因であるとも考えられている^[2].

これまでの創造性研究では, 心理学や認知科学において, 個人の高次認知過程や特性に焦点を当てたアプローチで営まれてきたが, 近年では, 創造性を個人・環境・社会との関係性の中から生じるものと捉えて検証する試みもある^[3]. また, その中でも特に, コラボレーションの重要性の認識が高まっている. 例えば, Sawyer^[4]は, 1人の発明家が生み出したとされている

たあらゆるイノベーションが, 目に見えないコラボレーション, つまり協調から成り立っていたことを概説している.

従って, 現代の多くの創造的な所産が個人によるものではなく, 人々の相互作用, あるいは協調によるものだとなると, どのような協調によって創造性を最大限発揮できるのかという問いに答えることは, そうした新たなイノベーションを引き起こすことにも繋がるため重要である. この問いに対して, 先行研究は様々な検討を試みてきているが, 創造性を促す協調プロセスについての体系的な説明は十分になされていない.

そこで本研究では, 創造性を「問題解決的に独創的かつ有用なアイデアを創出・具体化すること」と定義し, 協調的相互作用のない仮想集団との比較, および集団に対して協調プロトコルを教示する介入により, 創造性が促される協調プロセスの検討を試みた.

2. 先行研究の概観

2.1 他者との協調による創造性

先行研究は創造性を促す協調プロセスについて様々な検討を試みている。協調が集団での創造性の発揮に寄与すると考えられるのは、協調の利得の効果として、創発の出現が期待されるためである。創発とは、メンバーの持つ知的資源の単なる総和以上のものがグループのレベルで新たに創出されることである^[5]。これを創造性の文脈で言い換えれば、「1人で考えるだけでは生み出せない創造的なアイデアが誰かと一緒に考えることによって生みだせること」と捉えることができる。

しかしながら、これまで最も頻繁に検討されてきたアイデアの創出に着目したブレインストーミング研究によれば、現実には相互作用のある集団は、それと同じ人数が個別に作業を行った集団（名義グループ）よりも生産性が低く、協調的相互作用はプラスの効果を持つとは限らないことを示している^[6]。こうした協調が創造性に寄与しなくなる要因のひとつとして、協調の失敗（プロセス・ロス）が挙げられる。プロセス・ロスとはグループサイズが大きくなることに伴うメンバーの動機づけの低下、相互調整の失敗^[7]や、生産性の妨害、評価懸念^[8]などによって、グループのメンバーの潜在的な能力が上手く発揮されないことを示す。従って、協調により集団での創造性の発揮に繋げるためには、プロセス・ロスの低減と、協調的相互作用の促進が必要である。

多様に生成されたアイデアにおける量的な側面を主に扱うブレインストーミング研究では、一貫してこのような創発は確認されていないが、1つの生成されたアイデアの質的な側面に着目することで、これまで見えてこなかった創発を捉えられる可能性がある。石井・三輪^[9]は、紙とペンを使って、与えられた図形から「新しい公園の遊具をデザインする」という課題を個人で行う場合とペア（2人組）になって行う場合を比較した。その結果、ペアの方がアイデアの独創性が高いことを明らかにした。さらに、1人で課題を行った人から、架空のペアをランダムに構成し、それぞれのペアの作品のうち「評価の高い方をそのペアの作品として採用する」場合を想定した名義ペアのパフォーマンスを仮想的に構築した。それを実際のペアと比較した結

果、実際のペアが名義ペアの作品の評価を上回り、協調による利得の効果（創発）が確認された^[9]。

しかし、同様にアイデアの質的な側面に着目した研究で、協調による利得の効果（創発）が見られない研究も存在する。McMahon et al.^[10]は、新しい言語学習ゲームを制作する課題を題材に、はじめに個人でアイデアを生成し、その後、そのアイデアの改良を3人組のグループで行う場合と個人で行う場合に分けて、アイデア改良におけるグループレベルの創発を検証する実験を行った。その結果、個人、グループ（3人組）、そして名義グループのパフォーマンスの間に有意な差はみられなかった。アイデアの質的な側面に着目した時に、2名のペアで起こった創発が3名のグループでは見られなかったことは、3名のグループにおいては何らかのプロセス・ロスが生じたと考えられる。

しかし、両者の研究はグループサイズや課題設定などが異なるため、追加の検証が必要である。McMahon et al.^[10]は、あらかじめ個人で考えたアイデアを持ち寄ってそれを改良するというもので、石井・三輪^[9]の課題構造とは異なっている。また、グループサイズが大きくなるとプロセス・ロスが発生しやすくなること^[6]を考えると、両研究の違いは人数の違いにある可能性も考えられる。従って、創造性の発揮が求められるような日常設定に近い協調場面において、集団での協調は促進的にのみ作用するのか否かは知見が十分でない。そこで、本研究では、より日常の集団合議場面に近いと考えられる石井・三輪^[9]の課題と類似した構造において、3名以上の集団で協調する場合に、協調的相互作用があることが創造性の発揮、すなわち創発を引き起こすことに繋がるのかを検証する必要があると考えた。

加えて、創造性の発揮につながる協調プロセスを明らかにするためには、いかなる介入手法によって協調的相互作用が促進されるかを検討することも必要である。そこで本研究では、石井・三輪^[9]のペアでの創造的活動の発話プロトコルの知見を利用した介入の有効性を検討することにした。発話プロトコルの分析より、協調の利得に繋がると考えられる要因として、「課題を進めるにあたって生成したアイデアの解釈活動および評価活動が積極的に行われるようになる」ことや、「アイデアの追加・修正といった活動が多く行われるよう

になる」こと、そして、「高い独創性を発揮したペアは低かったペアよりアイデアの見直しと・合成を多く行っている」ことが明らかになっている⁹⁾。本研究ではこのような創造的パフォーマンスが高いペアでのコミュニケーションの特徴を創造的活動の指針としてグループに提示する。もし石井・三輪⁹⁾で見られた特徴が創造性を発揮する協調プロセスの重要な要素であるならば、この介入によって「自分とは異なる立場や視点を持った他者が同じ課題を別の観点から再解釈したり、問題を多角的に捉え直したりしてくれること¹¹⁾」を促進し、創造的パフォーマンスが向上すると予測される。

2.2 研究の目的

以上の問題意識と先行研究の概観より、本研究の目的は、先行研究において2人組のペアで確認された創発が、3人組のグループにおいても同様に発生するのかを検証することとした。さらにグループの創造的活動を促進する協調的な発話の指針を提示する介入が、グループの創造的パフォーマンスに与える効果も検討した。

2.3 研究の仮説

本研究で検証した仮説は以下の3つである。

仮説①：創造的問題解決（創造的な成果物を制作する課題）において、個人よりも3人組のグループの方が高い創造的パフォーマンスを生み出す。

仮説②：創造的問題解決（創造的な成果物を制作する課題）において、創造的活動を促進するような協調的な発話を提示する介入を行うことで、グループの創造的パフォーマンスが高くなる。

仮説③：創造的問題解決（創造的な成果物を制作する課題）において、3人組のグループよりもランダムに寄せ集められた名義グループの方が高い創造的パフォーマンスを生み出す。

3. 研究の方法

3.1 実験の日時と対象

2022年の7月から10月の期間に、関西地方のある私立大学において、同一の学部3、4回生の学生101

名（男性57名、女性44名、平均年齢21.1歳、 $SD = 1.2$ ）を対象に実験を行った。参加者は、創造的な成果物を制作する課題を1人で行う個人条件、同様の課題を介入なしで行うグループ条件、追加の教示による介入ありで行うグループ条件のうち1つに割り当てられた。ただし、実験を実施するにあたって、実験機材や教室確保に限りがあったため、各実験は1・2条件ずつ行った。一方、実験当日の条件割り当て及び、グループ構成はランダムに行った。グループメンバーはお互い顔見知りである。収集されたデータのうち、途中離脱やグループサイズなどの理由から、介入なしグループ条件の4作品、介入ありグループ条件の3作品は分析の対象から除外した。よって、分析の対象となる作品数は、各条件12作品である。なお、本実験は大阪大学大学院 人間科学研究科 教育学系の倫理審査の承認（受付番号：22010）を受けた上で実施した。

3.2 実験の状況と手続き

実験状況はレゴブロック、成果物説明シート、実験説明書をテーブルに配置した教室である。グループ条件には、ICレコーダーとビデオカメラを設置した。実験の手続きとして、まず入室した参加者は、その日に実施される条件とグループがランダムに割り当てられ、各条件別室で次のような実験課題の教示を受けた。

「本実験では、レゴブロックを使って、皆さんに子どもたちが遊びたくなるような公園の新しい遊具を1つデザインしてもらいます」

加えて、①できるだけ創造的な作品を目指すこと、②レゴブロックを制作するプレートの一定の範囲を超えないように制作すること、③成果物説明シートは指示があってから記入すること、という予備実験を踏まえたルールも提示した。その後、成果物の制作の課題を50分間で行ってもらった。その際、残り10分と5分のタイミングで成果物説明シートを記入するように促した。このシートはレゴを用いて成果物を制作してもらうときに、その機能や意味付けを記入してもらい、成果物の評価で利用するためのものである。制作の終了後、事後アンケートを行い、実験を終了した。

3.3 実験の課題

実験の課題は、先行研究の石井・三輪⁹⁾を参考に構成した。ただし、異なる点としてレゴブロックを用いた。その理由は2つある。1つは、アイデアを創出する段階だけでなく、創出したアイデアを具体化する段階も取り入れるためである。石井・三輪⁹⁾では、紙とペンによって、与えられた図形から新しい公園の遊具をデザインするため、成果物がアイデアベースで留まっている。そこで、レゴブロックを用いることで、アイデアを具体化して形作るという段階も取り入れ、創造的活動としての現実性をより保つようにした。2つ目は、レゴブロックを用いることで、協調作業の認知的なメリットを持つ状況を構築した。三宅¹⁰⁾は、お互いのやっていることを、局所的な正誤判断にとらわれることなく、各自がおのおのの視点から吟味の対象として「見る」ことができる、という2つの条件が協調作業を進める上で重要であると指摘している。このような状況下を作るために、レゴブロックを用いることが最適であると考えた。

3.4 グループへの介入

介入ありグループ条件に対しては、グループの創造的活動を促進するような指針を提示した。具体的には、実験課題とルールを教示した後、以下の指針に基づいて課題を進めることを追加で教示した。

①グループメンバーの誰かがアイデアを出したら、そのアイデアに乗っかって、アイデアを修正・追加してみよう！

②グループの中で、ある一連のアイデアが出たら、それまでに出了た別のアイデアと比較したり、アイデア同士を組み合わせたりしてみよう！

③グループメンバーでアイデアを意思決定するとき、積極的に賛成・反対・中立を表明しよう！

これらの指針は、石井・三輪⁹⁾のペアの協調プロセスの分析を参考に構築したものである。特に、①と②は、アイデアの「追加・修正」、「見直し・合成」を促進するためのものである。③は、①や②を踏まえた話し合い全体がうまく進むために追加したものである。

3.5 作品の評価の方法

各成果物の創造性は、先行研究に基づき「独創性」と「有用性」の視点から評価した。この評価には実験に関与していない大学生・大学院生の15人が参加した。うち日本語が母語ではない2人は、成果物説明シートが日本語で記載されていたことと、公園の遊具に対して持つ国ごとのイメージの違いが評価観点の識別に影響すると考え、分析からは除外した。よって、分析には13人の各作品のデータを用いた。評価者は評価基準の詳細な説明を受けてから、ランダムな順番でモニターに映し出された成果物の写真と成果物説明シートをもとに評価を行った。その例を図1,2に示す。



図1 最も独創的と評価された作品の写真

・遊具の名前
ミュージックステア

・遊具の説明（※できるだけ具体的にお願いします）
①この遊具の遊び方
①④の型でジャングルジムを鳴らす音がする。
最後は上向きに音がなる。
②上向きに音がなるように音がなる。
③鍵盤の音は日々変化するが毎日違う音が
出る。（ピアノ、ギター等...）

②この遊具が一般的な遊具に比べて異なる点・特徴
①毎日変化する鍵盤の音が変化するので
面白い。
（見るだけでも楽しい）
②上向きに音がなるので音感が身に付く。
（和音的なリズム）

図2 上記の作品の成果物説明シート

また、各指標に対する質問項目は5件法による尺度構成にした。独創性の評価は「日常的に公園で目にする遊具と比較して、どれほど見たことがあるか」（1. よく見たことがある～5. 全く見たことがない）という遊具の外見に関わる外的な独創性と、「日常的に公園で目にする遊具の機能（遊び方）と比較して、この遊具の

機能（遊び方）はどれほど新しいものか」（1. 全く新しい遊び方でない～5. 非常に新しい遊び方である）という遊具の機能に関わる内的な独創性の2つに分けて評価した。有用性の評価は「この遊具は公園に実際に配備できるか」という実現可能性（1. 全くそう思わない～5. 非常にそう思う）としての有用性と「この遊具は子どもたちがあそびたくなるようなものか」（1. 全くそう思わない～5. 非常にそう思う）という課題に対する適切性としての有用性の2つに分けて評価した。

4. 結果

4.1 個人と介入なし・介入ありグループの比較

創造的問題解決における個人条件と介入なしグループ条件、介入ありグループ条件の成果物の創造性の各指標を群別に示したものが表1である。

表 1 個人と介入なし・ありグループの各指標

		個人 (<i>n</i> =12)	介入なしグループ (<i>n</i> =12)	介入ありグループ (<i>n</i> =12)
外的な独創性	<i>Mean</i>	2.80	3.61	3.56
	(<i>SD</i>)	(0.74)	(0.77)	(0.75)
内的な独創性	<i>Mean</i>	2.41	3.08	2.89
	(<i>SD</i>)	(0.78)	(0.76)	(0.76)
実現可能性	<i>Mean</i>	3.58	2.90	3.09
	(<i>SD</i>)	(0.71)	(0.89)	(0.54)
課題に対する 適切性	<i>Mean</i>	3.68	3.96	4.07
	(<i>SD</i>)	(0.47)	(0.52)	(0.35)

仮説①②を検証するために、個人と介入なしグループ、介入ありグループの成果物の外的な独創性の平均の差を1要因分散分析で比較した結果、条件間に有意な差が見られた（ $F(2, 33) = 4.35, p = .02$ ）。

主効果が有意であったため、次にTukey法による多重比較を行った。その結果、個人と介入なしグループ、個人と介入ありグループの間に有意な差が見られた。しかし、介入なしグループと介入ありグループの間には有意な差が見られなかった。また、内的な独創性の平均値の差の比較では、条件間に有意な差は見られなかった（ $F(2, 33) = 2.43, p > .10$ ）。

次に、個人と介入なしグループ、介入ありグループの成果物の実現可能性の平均の差を1要因分散分析で比較した結果、条件間に有意な傾向が見られた（ $F(2, 33) = 2.83, p = .07$ ）。Tukey法による多重比較を行った結果、個人と介入なしグループの間にのみ有意な傾

向が見られた。また、課題に対する適切性の平均値の差の比較では、条件間に有意な差は見られなかった（ $F(2, 33) = 2.33, p = .11$ ）。

したがって、個人よりもグループの方が成果物の外的な独創性が高く、仮説①を支持する結果が得られた。しかし、成果物の実現可能性としての有用性については、グループよりも個人の方が高い可能性が示唆された。また、介入なしグループと介入ありグループの間には差がなく、仮説②を支持する結果は得られなかった。

4.2 名義グループと介入なしグループの比較

次に仮説③を検証するために、12人の個人条件から3人をランダムに寄せ集めた架空のグループを12グループ生成した。そして、それぞれのグループのメンバーの中で「最も評価の高いスコア（最大値）」を選び、それを各グループのパフォーマンスとしたデータセットを名義グループ条件として構築した（表2）。なお、どの指標においても各名義グループのメンバーの構成は同じにした。

表 2 介入なしグループと名義グループの各指標

		介入なしグループ (<i>n</i> =12)	名義グループ (<i>n</i> =12)
外的な独創性	<i>Mean</i>	3.61	3.54
	(<i>SD</i>)	(0.77)	(0.23)
内的な独創性	<i>Mean</i>	3.08	3.00
	(<i>SD</i>)	(0.76)	(0.16)
実現可能性	<i>Mean</i>	2.90	4.18
	(<i>SD</i>)	(0.89)	(0.36)
課題に対する 適切性	<i>Mean</i>	3.96	4.16
	(<i>SD</i>)	(0.52)	(0.08)

そして、名義グループと介入なしグループの成果物の各指標の平均値の差をウェルチの t 検定で比較した結果、実現可能性としての有用性にのみ有意な差がみられた（ $t(14) = 3.69, p < .01$ ）。その他の指標では、名義グループと介入なしのグループにおいて有意な差は見られなかった。

したがって、介入なしグループよりも名義グループの方が成果物の実現可能性としての有用性が高く、仮説③を部分的に支持する結果が得られた。

4.3 名義グループの探索的分析

名義グループを用いた分析では、12人の個人データ

のみからデータを構成しているため、それらによる結果の偏りが生じる可能性がある。例えば、12 人の個人データから 12 個の名義グループを構成する場合、抽出する際に名義グループのデータはメンバーが重複している。そのため、本来は 36 人のデータからメンバーが重複しない 12 個の名義グループを構成する必要がある。また、ランダムにメンバーを寄せ集めるという性質から、生成されるたびに名義グループ条件のデータが異なることが結果にもたらす影響を考慮できていない。

そこで、各指標において、個人条件のデータの平均値、標準偏差を母数にもつ個人条件の仮想の分布を設定し、その分布から個人の疑似データを 36 人分抽出した。そこから 12 個の名義グループを再構成するという仮想の実験状況を構築した。つまり、個人条件のデータをもとに仮想的な実験を行った。この手順を 10 万回繰り返した時に、名義グループと介入なしグループの各指標の t 検定が有意 ($p < .05$) になる確率を算出した。これにより創発の追加検証を探索的に行うことができる。その結果が表 3 である。

表 3 有意な差が得られる確率

	外的な独創性	内的な独創性	実現可能性	課題の適切性
10万回試行				
確率	0.9%	0.1%	99.9%	0.6%

仮想の実験状況から生成された名義グループと介入なしグループの平均値の間における統計的な比較を 10 万回試行した場合、外的な独創性と内的な独創性、さらに課題の適切性においては、有意な差が得られる確率は 1%未満であることが明らかとなった。つまり、これらの指標においては、名義グループと介入なしグループでパフォーマンスの間に違いがない可能性を示唆している。

一方で、実現可能性については、同様に試行した場合、有意な差が得られる確率は 99.9%であることが明らかとなった。つまり、実現可能性における名義グループと介入なしグループのパフォーマンスの間には明確な差がある可能性を示している。特に、名義グループの方が、実現可能性の高いアイデアを創出することが推察される。したがって、前節で行った名義グループとの比較の分析は、データの極端な偏りの恐れはな

く、妥当なものであることが示唆される。

4.4 事後アンケートによる介入の分析

本研究では、グループのプロセス・ロスを軽減するために、グループの創造的活動を促進する協調的な発話の指針を提示する介入を行ったが、その効果は見られなかった。これを追加で検討するために、表 4 にあるような事後アンケートを行った。

表 4 事後アンケート

項目①	アイデアに対して、別のアイデアを付け足すことはどれくらいできましたか？ (5 件法)
項目②	あるアイデアと別のアイデアを組み合わせて、新しいアイデアを生み出すことはできたと思いますか？ (3 件法)
項目③	あるアイデアを考えると、前に出た (それまでに) アイデアをどれくらい見直しましたか？ (5 件法)

アンケートの回答結果を介入ありグループと介入なしグループにおいて、対応のない t 検定で比較したところ、①にのみ有意な傾向が示され ($t(69) = -1.956$, $p = .054$)、②③では有意な差は得られなかった (表 5)。

表 5 事後アンケートの結果

		介入なしグループ ($n = 36$)	介入ありグループ ($n = 36$)
項目①	Mean	3.64	4.08
	(SD)	(1.02)	(0.91)
項目②	Mean	1.81	1.86
	(SD)	(0.47)	(0.35)
項目③	Mean	2.97	3.11
	(SD)	(1.00)	(0.98)

つまり、協調的な発話の指針を提示する教示のみでは、創造的活動を促進することに十分でない介入であった可能性がある。

5. 考察

創造的問題解決におけるグループ (3 人組) と個人の創造的パフォーマンスを比較した結果、石井・三輪⁹⁾における個人とペアの比較と同様に、個人で考えるよりグループ (3 人組) で話し合っ考える方が独創的なアイデアが創出されることが明らかとなった。有用性については、グループと個人において有意な差は

見られなかった。しかし、実現可能性については有意な傾向が見られ、個人の方が実現可能性の高いアイデアを創出する可能性が示された。そして、個人の結果から仮想的に構築された基準値である名義グループと介入なしのグループの比較においては、石井・三輪⁹⁾と異なり、名義グループと介入なしグループの独創性に有意な差は見られず、名義グループの方が、有意に実現可能性が高いという結果になった。このことから、ペア(2人組)やグループ(3人組)で協調することは、平均的な個人よりも高い創造的パフォーマンスを生み出すことに繋がるが、そうしたペアやグループのメンバーが独立して問題解決を行った場合、グループでは上回らない、あるいは、観点によっては下回る可能性が示された。これはブレインストーミング研究で一貫して発見されている結果と一致している⁶⁾。また、創造的パフォーマンスの質的特徴を検討した研究の中では、石井・三輪⁹⁾の結果よりも McMahon et al.¹⁰⁾の結果を支持するものである。

他者と協調することで個人よりもグループの方が成果物の独創性が高くなるが、実現可能性は低くなったのは、参加者の焦点の違いが結果に影響した可能性がある。例えば、本実験の指標のうち、有意な負の相関が、外的な独創性と実現可能性の間($r = -.77, p < .001$)と内的な独創性と実現可能性の間($r = -.67, p < .001$)に見られた。つまり、これらの指標がトレードオフの関係になっていることがうかがえる。特に、本実験の教示では「できるだけ創造的な作品を目指す」ということを提示しており、創造性の評価の指標である「独創性と有用性(実現可能性)」については言及しなかった。このため参加者の中で創造性の焦点が独創性に偏り、トレードオフの関係が見られた可能性がある。こうした焦点の違いによる結果の影響について、Baruah¹³⁾は、独創性と実現可能性の両方に焦点を当てることが最も質の高いアイデアを生み出すことに繋がることを明らかにしている。このようなグループメンバーの焦点の違いが協調による創造性の発揮にもたらす影響も今後検討する余地がある。

また、グループの協調的な発話を促進するために、グループに協調的な発話の指針を提示する介入を行ったが、その効果は見られなかった。このことは、石井・三輪⁹⁾で報告された創造性の高いペアに特徴的だった

発話プロトコルが、創造的なパフォーマンスを発揮するための協調プロセスの重要な要素ではなかった可能性を示唆している。しかし、本研究において介入の効果が見られなかったのは、事後アンケートの結果より、参加者が介入に十分には従うことができていなかったためである可能性もある。

さて、本研究で取り扱った創造的問題解決の課題構造は、アイデアの生成、選択、評価、実装などの創造的なプロセス¹⁴⁾を分離して行うものではなく、それらを包括した課題構造であった。そのため、協調の利得や損失がどの段階で生じたのかが疑問のままである。例えば、アイデアの最終的な新奇性や有用性は、創造的タスクの最初に考えた内容に依存すること¹⁵⁾や、名義グループよりも相互作用グループはパフォーマンスが低いというブレインストーミング(アイデア生成)の研究を考慮すると、創造的活動の初めにどのようなアイデアを生成したのかが、後のアイデア改良過程に関係なく、創発の出現の有無に影響した可能性がある。あるいは、初めに生成したアイデアをどのように変容させるかというアイデアの改良自体が重要だったという可能性も考えられる。したがって、創造的プロセス(アイデアの生成、評価、改良、実装)を包括した課題構造を設定するのではなく、段階ごとに分離・構造化した課題を設定することで、アイデアの量的側面から質的側面にかけての経時的変化と協調活動の実態を合わせて考え、協調の利得・損失を緻密に特定することが今後求められる。

6. まとめ

本研究では、社会的相互作用のない仮想集団との比較、および集団に対して協調プロトコルを教示する介入により、創造性が促される協調プロセスの検討を試みた。分析によって得られた知見から、私たちが創造性を発揮しやすい環境を構築するための他者との協調がプラスの効果を持つのは、どれほどの範囲までなのかを特定する1つの手がかりとなった。考察で得られた疑問をもとに、グループで得られた発話プロトコルを分析し、創発を引き起こすための介入を今後も検討する。

謝辞

本研究を遂行するにあたり多大なご助言、ご協力を賜りました方々に深く御礼を申し上げます。

参考文献

- (1) Runco, M. A., and Jaeger, G. J.: “The standard definition of creativity”, *Creativity Research Journal*, Vol.24, No. 1, pp.102-127 (2012)
- (2) Hennessey and Amabile.: Creativity. “Annual Review of Psychology”, Vol.61, pp.569-598 (2010)
- (3) 清水大地: “創造性の枠組み・測定手法に関するレビュー論文の紹介”, *認知科学*, 第 64 巻, 第 2 号, pp.181-190 (2019)
- (4) Sawyer, R.K.: “Group Genius: The Creative Power of Collaboration. Basic Books”(2008) (金子宣子訳: “凡才の集団は孤高の天才に勝る「グループジーニアス」が生み出すものすごいアイデア”, *ダイヤモンド社*, 東京 (2009))
- (5) 亀田達也: “合議の知を求めてーグループの意思決定”, *共立出版*, 東京 (1997)
- (6) Mullen, B., Johnson, C., and Salas, E.: “Productivity loss in brainstorming groups: a meta-analytic integration”, *Basic and Applied Social Psychology*, Vol. 12, No. 1, pp.3-23 (1991)
- (7) Steiner, I. D.: “Group Process and Productivity” *Academic press*, New York (1972)
- (8) Diehl, M. and Stroebe, W.: “Productivity loss in brainstorming groups: toward the solution of a riddle” *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol.53, No. 3, pp.497-509 (1987)
- (9) 石井成郎, 三輪和久: “創造的問題解決における協調プロセス”, *認知科学*, 第 8 巻, 第 2 号, pp.151-168 (2001)
- (10) McMahon, K., Ruggeri, A., Kämmer, J. E., and Katsikopoulos, K. V.: “Beyond idea generation: the power of groups in developing ideas”, *Creativity Research Journal*, Vol.28, No. 3, pp.247-257 (2016)
- (11) 阿部慶賀: “越境する認知科学 2 創造性はどこからくるのか”, *共立出版*, 東京 (2019)
- (12) 三宅なほみ: “建設的相互作用を引き起こすために”, (2000) (植田一博, 岡田猛編: “協同の知を探る: 創造的コラボレーションの認知”, *共立出版*, 東京, pp.40-45 (2000)
- (13) Baruah, J., Paulus, P. B., and Kohn, N. W.: “The effect the sequence of creative processes on the quality of the ideas: The benefit of a simultaneous focus on originality and feasibility”, *The Journal of Creative Behavior* (2021)
- (14) Mumford, M. D., Medeiros, K. E., and Partlow, P. J.: “Creative Thinking: Processes, Strategies, and Knowledge”, *The Journal of Creative Behavior*, Vol.46, No. 1, pp3-23 (2012)
- (15) Berg, J. M.: “The primal mark: How the beginning shapes the end in the development of creative ideas”, *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, Vol.61, pp.569-598 (2014)

音楽の授業の効果を日常的に測定する ICT ツールの利用法の 開発

沖林洋平^{*1}, 石田千陽^{*2}, 高橋雅子^{*1}, 阿濱茂樹^{*1}

^{*1} 山口大学教育学部

Developing the use of ICT tools to routinely measure the effectiveness of music classes

Yohei Okibayashi ^{*1}, Chiharu Ishida^{*2}, Masako Takahashi^{*1}, Shigeki Ahama^{*1}

^{*1} Faculty of Education, Yamaguchi University ^{*2} Yamaguchi Elementary School Affiliated with
the Faculty of Education

In this study, we developed a easy method of recording reflections by using a tablet device for elementary school students. In this study, the students were required to answer a set of questions at the end of a music class. The relationship between the image of the length of the class time and the answers to the questions was analyzed using a generalized linear model. The results showed that there was a relationship between the image of the length of class time and the feeling of immersion in the class. An interaction effect between immersion and learning efficacy, and between immersion and skill improvement were found.

キーワード: 小学生, Google Classroom, 一般化線形モデル

1. はじめに

2020 年から小中学校でも児童生徒が 1 人一台のタブレット端末を持ち、毎日の授業での学習活動で活用するようになった。研究報告原稿は学会誌執筆要領に従って作成することとされていた。これに伴い、タブレット端末を授業の中で効果的に利用する方法について開発が進められている。大規模データを用いた学修状態のモデル化(近藤・畠中, 2016)や、いわゆる e ポートフォリオ作成システムの開発研究(根本・竹岡・高橋・鈴木, 2016)は本会でも発表されている。本研究は、コンピュータの扱いに慣れていない教員が毎日の授業での学習を簡便に記録できるような使い方に関する開発的研究である。

山口大学教育学部附属山口小学校では、Google Classroom という環境が導入されている。本研究では、

Google forms を用いて 5 問程度のアンケートに回答するという方法の効果を検討した。

一般的な授業における振り返り活動は、授業時に配布されたワークシートや各自のノートに、その授業回の感想を自由記述として記述する方法が採られることが多い。この方法の利点としては、授業のワークシートやノートに直接記入するという手軽さがあげられる。その一方で、学習者個別の学習ログの解析は日常業務を遂行しながら教師一人で行うことができないことが指摘される。本研究では、同じフォームに継続的に入力する方法を用いた。

2. 方法

2.1 調査時期

本研究の調査は、2023 年 1 月から小学校の音楽の

授業時に実施された。

2.2 調査参加者

本文は、本研究の調査参加者は、山口大学教育学部附属山口小学校 5 年生 65 名であった。

2.3 調査項目

本研究では、授業に対する実感を SD 法によって測定した。調査に用いた項目は、表 1 に示す。1 から 9 までの 9 件法とした。1 がネガティブ、9 がポジティブになるように設定した。

授業時間の長さイメージは、「今回の授業の長さの感覚について教えてください。いつもの 45 分の授業の長さを 100 とした場合、今回の授業の長さはどれくらいに感じたかを数字で教えてください。」という項目内容で尋ねた。

2.4 調査手続き

調査は授業中に行われた。授業終了時に各自が個別のタブレット端末から Google forms にログインして回答した。調査に要した時間は、2 分程度であった。

3. 結果と考察

3.1 回答の要約統計量

得られた結果の要約統計量を表 1 に示す。

項目	N	平均	中央	SD
1_つまらないー面白い	163	8.5	9	1.07
2_さばったー頑張った	163	8.29	9	1.24
3_没頭しなかったー没頭した	163	8.3	9	1.24
4_ぼんやりしたーはっき りした	163	8.34	9	1.13
5_消極的ー積極的	163	8.15	9	1.38
6_勉強できなかったー勉 強できた	163	8.43	9	1.07
7_上手にならなかったー 上手になった	163	7.81	9	1.76
8_授業時間長さイメージ	157	32.95	25	29.92

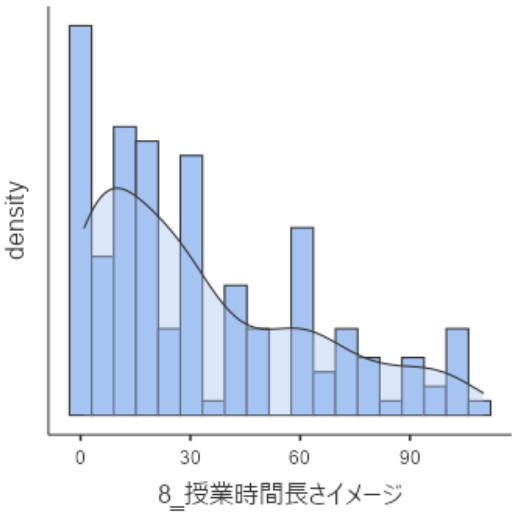


図 1 授業時間の長さイメージのヒストグラム
項目間の相関係数を表 2 に示す。

3.2 授業時間の長さイメージと授業の実感との関連

授業時間の長さイメージと授業の実感との関連を検討した。「面白い」「上手になった」という項目以外で、授業時間の長さイメージと有意なネガティブな関係が示された。これは実感に関する評定値が高くなると授業時間の長さイメージが短くなることを意味する。

先行研究(沖林, 2022)では、大学生を対象として、対面授業に対する授業時間の長さイメージと没入感にネガティブな関係があることが示されている。音楽の授業では、音楽の価値や楽しさを実感するだけでなく、合唱や演奏する教材の内容を正しく理解することや、合唱や演奏するスキルを高めることも目標とされる。そこで、授業時間の長さイメージに対する没入感とその他の要因との交互作用を一般線形モデルによって検討した。

授業時間の長さイメージを従属変数、「没頭した」「勉強できた」を共変量とする一般化線形モデルを行った。2 要因の交互作用が有意であった($b = -3.70$, $SE = 1.41$, $95\%L = 0.00$ $95\%U = 0.39$, $p < .01$)。単純傾斜分析の結果、「勉強できた」高群では、「没頭した」との交互作用における授業時間の長さイメージに対する有意な

表 2 変数間の相関係数

	1	2	3	4	5	6	7	8
1_面白い	—							
2_頑張った	0.71 ***	—						
3_没頭した	0.7 ***	0.64 ***	—					
4_はっきりした	0.71 ***	0.74 ***	0.65 ***	—				
5_積極的	0.66 ***	0.66 ***	0.58 ***	0.74 ***	—			
6_勉強できた	0.62 ***	0.73 ***	0.66 ***	0.7 ***	0.61 ***	—		
7_上手	0.49 ***	0.54 ***	0.44 ***	0.55 ***	0.52 ***	0.65 ***	—	
8_長さイメージ	-0.15	-0.16 *	-0.3 ***	-0.2 **	-0.3 ***	-0.2 **	-0.1	—

注. * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

単純主効果が見られた($b = -16.28$, $SE = 4.16$, $95\%L = 0.00$ $95\%U = 0.00$, $p < .001$).

次に、授業時間の長さイメージを従属変数、「没頭した」「上手になった」を共変量とする一般線形モデルを行った。その結果、($b = -2.58$, $SE = 0.93$, $95\%L = 0.01$ $95\%U = 0.47$, $p < .01$)。単純傾斜分析の結果、「上手になった」高群では、「没頭した」との交互作用における授業時間の長さイメージに対する有意な単純主効果が見られた($b = -17.16$, $SE = 3.77$, $95\%L = 0.00$ $95\%U = 0.00$, $p < .001$)。

4. まとめ

著者らは、授業中に簡便に利用できる Google Classroom の機能について開発的な研究を進めている。本研究では、小学校の音楽の授業をフィールドとして、簡便に利用できる振り返り機能の開発に関する経過報告を行った。本研究では、児童や学習者が学習活動に対して抱いたポジティブなイメージを授業時間に対する長さイメージとして測定している。本研究に対応するような先行研究は見られないが、著者らの実施した先行研究では、大学生を対象とした同様の調査において、没入感と授業時間の長さイメージにはネガティブ

な関連が見られることが明らかにされている。本研究は、小学校の音楽の授業でも同様の現象が見られることを示している。

本研究では、その授業に没頭したという項目内容で授業に対するイメージを測定した。近年、心理学や文学、コミュニケーション学などの領域で物語を読むという行為やその世界に入り込む体験が、個人の態度変化や対人スキルの獲得などにおいて大きな役割を果たしていることが指摘されている(Mar & Oatley, 2008)。小山内・楠見(2013)は、物語を読む行為とその内容とに集中し物語世界に入り込む体験のことを「物語世界への没入」と定義し、物語への没入体験の心理的機能についてモデルを提案している。小山内・楠見(2013)では、物語読解においては状況モデル構築と没入体験が相互に影響しあいながら楽しみや喜び、満足感といった感情の生起を促進することや、自身に対する洞察や内省、自己意識の変化、態度や信念の変化といった読者自身の思考や信念の変化に影響するという没入に関するモデルが提案されている。

また、小山内・楠見(2013)は、没入が物語のシミュレーションとして機能している可能性や身体化認知が没入体験の基盤となっている可能性を指摘している。本研究の結果は、没入と音楽的体験との関連を指摘するものである。また、児童が音楽の授業に没入するこ

とで一般的な授業よりも時間を短くイメージすること、学習したという認知がこの効果を促進するという結果は、没入が与えるポジティブな心理的影響は物語理解に限定されるものではなく、音楽の授業での学習にも適用して考えることができる可能性がある。

また、没入に関連する概念として「フロー体験」(Csikszentmihalyi, 1990)があげられる。フロー体験の

わゆる教育ビッグデータ(緒方・殷・毛利・大井・島田・大久保・山田・小島, 2016)には、教材の閲覧、メモ、成績、学生間の交流など様々なものがあり、本研究でデータの蓄積を目指す児童の毎日の授業の振り返りもその一つであると考えられる。

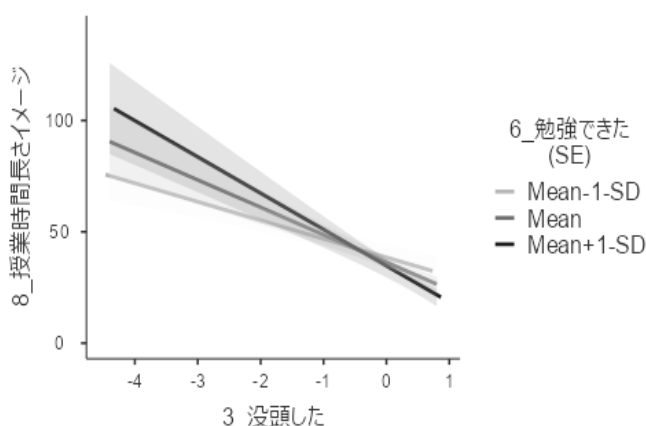


図2 授業時間の長さイメージと「没頭感」「勉強できた」の関係

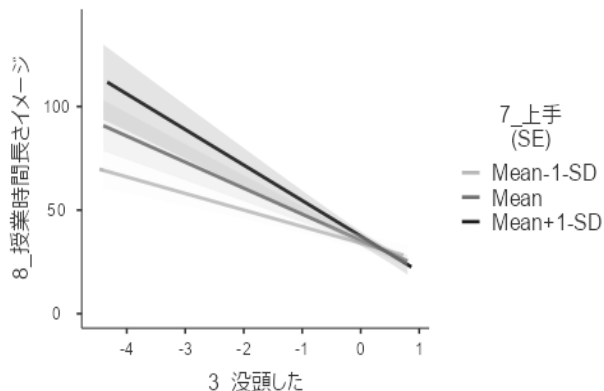


図3 授業時間の長さイメージと「没頭感」「上手になった」の関係

特徴として、その対象となる活動からもたらされる喜びや楽しみと関連することが指摘されている。本研究で取り上げる没入感や授業時間の長さイメージも、授業などの学習におけるポジティブな体験や感情と関連すると考える。

本研究では、コンピュータの利用に慣れていない教員が毎日の授業で簡便に利用できるタブレット端末を用いた授業の振り返り方法に関する開発を行った。い

謝辞

本研究に協力してくださった山口大学教育学部附属山口小学校の児童の皆さんに感謝いたします。

参考文献

- (1) 近藤伸彦, 畠中利治: 学士課程における大規模データに基づく学修状態のモデル化, 教育システム情報学会誌, Vol33, No.2, pp.94-103 (2016)
- (2) 根本淳子, 竹岡篤永, 高橋暁子, 鈴木克明: eラーニング専門家養成大学院におけるコンピテンシーに基づいたポートフォリオ作成活動の試行, 教育システム情報学会誌, Vol33, No.2, pp.114-119 (2016)
- (3) 沖林洋平: 授業に対する没入感や授業態度と授業時間の長さイメージの関係, 中国四国心理学会第78回発表論文集, pp.14 (2022)
- (4) 小山内秀和, 楠見孝: 物語世界への没入体験—読解過程における位置づけとその機能—, 心理学評論, Vol.56, No.4, pp.457-473 (2013)
- (5) Mar, R. A. and Oatley, K.: The function of fiction is the abstraction and simulation of social experience, Perspectives on Psychological Science, Vol.3, No.3, pp.173-192 (2008)
- (6) Csikszentmihalyi, M.: Flow: the psychology of optimal Experience, Harper & Row, New York
- (7) 緒方広明, 殷成久, 毛利考佑, 大井京, 島田敬士, 大久保文哉, 山田政寛, 小島健太郎: 教育ビッグデータの利活用に向けた学習ログの蓄積と分析, 教育システム情報学会誌, Vol33, No.2, pp.58-66 (2016)

会話に関する情報を利用した 相手の主張の推理スキルの育成を目指した 会話形式学習支援システム

乙成 仁未*1, 東本 崇仁*1

*1 東京工芸大学工学部

Conversation-based Learning Support System

Aimed at Developing the Reasoning Skills of the Other Party's Arguments Using Information About the Conversation

Hitomi OTSUNARI*1, Takahito TOMOTO*1

*1 Tokyo Polytechnic University

会話を行う際にお互いの主張の違いからすれ違いが発生することがある。このすれ違いの解消には自身が持つ会話に関する情報を用いた相手の主張の推理を行うことが必要である。そこで本研究では、学習者に提示した「事前に知っている情報」と「会話を通して新規に得られた情報」を利用した、相手の主張を推理するシステムの開発と評価実験を行った。実験の結果から、会話に関する情報を利用した相手の主張を推理する能力の向上が示唆された。

キーワード: 経験知, すれ違い, 学習支援システム, 背景知識, 会話形式

1. はじめに

我々は普段、会話を通して相手とコミュニケーションを取っている。しかし、必ずしも聞き手は話し手の主張を正しく汲み取ることができないため、会話のすれ違いが発生してしまう。平嶋らは、ある2人が同じ事実（根拠）から導き出す結論（主張）に違いが生じる理由について、互いが非論理的な推論をすることにより差が生じているわけではなく、互いが前提としている背景知識の差により生じていると述べ、認知的共感的理解の枠組みを用いて説明している⁽¹⁾。背景知識とは、根拠から主張を導くまでに利用する過去の経験のことであり、根拠から導かれる新たな根拠を導くための論理規則であるといえる。背景知識が違う場合は、同じ根拠から推論を開始しても、導かれる新しい根拠が異なるため、異なる主張を導いてしまいすれ違いが発生すると考えられる。また、茂木らは、異なる主張を導いている2人のキャラクターを提示し、その背景

知識の違いを推定させることで、すれ違いを解消するスキルの育成を支援するシステムを開発した⁽³⁾。茂木らのシステムでは、2人のキャラクターの主張を第三者として確認するシステムであり、かつ、主張は明示的に与えられていた。しかし、通常は、自分が話し手・または聞き手のどちらかの立場であり、ほとんどの場合、相手の主張がなんであるかが推定できない。そのため、自分が事前に相手に対して所持している情報と、会話を通して相手から引き出した情報から、相手の主張を推定する必要がある。

そこで本稿では、自身が所持している「事前に知っている情報」と「会話を通して新規に得られた情報」を用いた相手の主張を推理する活動を提案し、その学習支援システムを開発した。さらに、その評価実験を行った。

2. 先行研究

2.1 知識的共感的理解

会話を行う際に話し手は自身の持つ背景知識と聞き手の持つ背景知識が一致していることを前提として会話を進める。しかし、背景知識は必ずしも一致しているとは限らない。そのためお互いの背景知識が不一致であった場合に聞き手は話し手の主張を正しく汲み取れず会話のすれ違いが発生してしまう。そこですれ違いを解消するために、聞き手は「話し手は背景知識から主張を論理的に導いている」と仮定し、その仮定と整合性が取れるような背景知識を推理することが重要である。このように「共感的理解の「自分の主張を相手の主張と辻褃が合うように解釈」できる状態に導くこと」を定式化したもの」を知識的共感的理解という⁽¹⁾。通常の会話においては、話し手と聞き手の立場は常に入れ替わる。

知識的共感的理解の図式を図 1 に示す。聞き手あるいは話し手は、①両者の主張を比較し、両者の主張が不一致であった場合、②自身の主張を論理的に導いたように、③「相手の背景知識から相手の主張は論理的に導かれている」と仮定する。これにより、④「自身の背景知識とは似た背景知識を所持している」と仮定することができる。この仮定を用いて相手の背景知識の推理を行う。

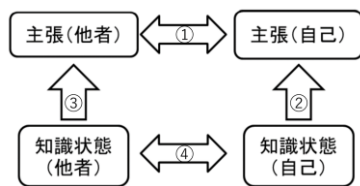


図 1 知識的共感的理解の図式

2.2 Toulmin の三角ロジック

会話を行うときは相手の発話をもとにした根拠から背景知識を利用して自身の主張を導いている。この流れを論理的な構造として表現したモデルの一つに Toulmin モデルがある⁽²⁾。Toulmin モデルを構成する主要要素は「Claim」、「Data」、「Warrant」であり、本稿ではそれぞれ「主張」、「発話」、「背景知識」と呼ぶことにする。「主張」は相手に伝えたいこと、「発話」は相手が発した言葉、「背景知識」は自身が持つ過去の経験からえられた情報である。

例として、「ケーキを買ってきた」という話し手の発話があるとする。聞き手はその発話に対し「ケーキを買ってきたならばケーキを食べたい」と背景知識を導き出し、その背景知識から「ケーキを食べたい」という主張を導く。このような発話から主張を導くまでの流れを論理的に表した構造が Toulmin モデルである。

2.3 すれ違いの解消を指向した背景知識を推定する能力を育成する学習支援システムの開発

2.3.1 対話の三角モデル

茂木ら⁽³⁾は会話のすれ違いの解消に着目し、話し手と聞き手の会話の様子を表した三角モデルを作成した(図 2)。「発話」は主張を相手に伝えるために利用する言葉、「背景知識」は過去の経験をもとに主張を導くもの、「主張」は自身が伝えたい意図である。この図では左が話し手、右が聞き手をあらわしている。

例として、「ケーキを買ってきた」という発話を話し手が行い、聞き手はそれを聞いたとする。この発話が図 2 の「発話」に該当し、両者が共通して理解している「(Toulmin モデルにおける) 事実」に該当する。この際、話し手は「ケーキをプレゼントしたい」という主張に基づいて発話を生成しているが、聞き手は「(話し手が) ケーキを食べたいのだろう」という主張を推定したと仮定する。このような主張のすれ違いは、話し手は「ケーキを買ってきた→ケーキをプレゼントしたい」という背景知識を有しており、聞き手は「ケーキを買ってきた→ケーキを食べたい」という背景知識を有していることが原因であると述べられている。

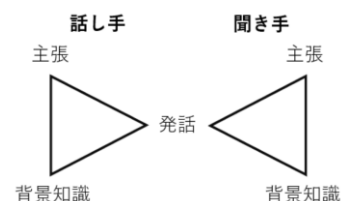


図 2 対話の三角モデル

2.3.2 システム開発と評価実験

茂木らは、主張を導くために利用する背景知識に着目し、話のすれ違いの解消を目的とした相手の背景知識を推理する学習支援システムの開発を行った。

開発したシステムにおいては、異なる主張を持った

話し手と聞き手が可視化され、学習者は提示されている主張と発話（根拠）をもとに両者の背景知識を推定するものである。学習者は、発話と背景知識を組み合わせ、話し手と聞き手の主張を導く論理展開を先制する活動を要求される。学習者が解答すると、システムは学習者の構築した論理展開を評価して正誤判定を行うとともに、学習者が構築した論理展開を三角モデルとして可視化する（複数回の論理展開が入る場合、三角モデルは複数生成される）。これらを行うことにより、相手の背景知識を推定する能力の向上を狙った。

実験結果から、開発したシステムを使用することで相手の背景知識を推定する能力が向上することが示唆された。また、学習者に聞き手と話し手の背景知識に差異があることから導かれる主張が異なり、すれ違いが発生してしまうことを認識させることができた。

3. 提案手法

3.1 概要

茂木らの研究では、相手の主張や相手の有する可能性のある背景知識はすべてあらかじめ提示され、それらを論理的に構築する活動に焦点が当てられていた。しかし、通常の会話においては、相手の発話（事実）を知ることではできても、相手の主張や背景知識は直接相手から与えられないことが多い。通常はこれまでの相手のコミュニケーションにより獲得している「事前知っている情報（以降事前情報と呼ぶ）」と「会話を通して新規にえられた情報（以降新規情報と呼ぶ）」を組み合わせ、相手の背景知識や主張を推定することになる。そこで、本研究では、背景知識を推定するための情報が十分に与えられておらず、相手の主張が何であるかが不明な状態において、「会話を通して情報を引き出しながら」相手の背景知識や主張を推定する学習活動を提案する。

例として、話し手が「ケーキを買ってきた」という発話を行ったとする。聞き手は、話し手の主張や背景知識を推理するために「話し手はケーキが好き」「話し手は私を喜ばせることが好き」などの「事前情報」から相手の主張や背景知識を推定する。今回、聞き手が「話し手はケーキが好き」という事前情報と、「ケーキを買ってきた」という発話を組み合わせ、「ケーキを

買ってきた→ケーキを食べたいと思っている」という背景知識と「ケーキを食べたい」という主張を推定したとする。この際、聞き手は「生クリームが載っていて（話し手）あなたが好きそうなケーキだね」と応答し、相手の「食べたい」という主張が正しかったかを確認する。しかし、ここで話し手が「イチゴ載っていておいしそうですよ？（聞き手）あなたはイチゴ好きだったよね」と応答した場合、「話し手は私が好きなケーキを買ってきた」という「新規情報」をえることになる。この新規情報により、聞き手は相手の背景知識を「ケーキを買ってきた→ケーキを食べたい」から、「ケーキを買ってきた→ケーキをプレゼントしたい」に修正し、「ケーキをプレゼントしたい」という主張を話し手が有していると修正する。通常の会話においてはこのような情報を入手しながら、相手の有する背景知識を推定し、主張を推定する活動を行っている」と著者らは考える。

本研究では、このような活動を学習活動とするために、2つのステップを通した活動を提案する。1つ目は相手の発話と入手している情報を用いて、相手の主張を推理するステップである。会話の最初の段階では会話による情報はほぼえておらず、相手との関係性においてえている事前情報のみをもとに推理を行うこととなる。このステップでは、学習者がえている情報を提示し、相手の主張を推理させることで情報を用いた背景知識の選択を意識的に行わせることを促す。

2つ目は1つ目のステップで推理した相手の主張に基づいて会話を行い、新規に情報をえるステップである。実際の会話では、聞き手は話し手との会話を繰り返し行いながら相手の主張を推理するために必要な情報（新規情報）を入手している。そこで、会話により、新規情報を入手することを意識的に行わせることを促す。さらに、新規情報を入手後は、ステップ1に戻り、事前情報と新規情報を組み合わせながら相手の主張を推理させるというサイクルを回すこととなる。

3.2 先行研究と本研究との差異

先行研究における学習活動と本研究で提案する学習活動についての違いを図3に示す。先行研究で提案した手法は、はじめに与えられている情報である「発話（根拠）」と「主張」を用いて背景知識の推理を促す手

法である。この手法では、話し手と聞き手それぞれの主張を可視化することで同じ根拠から別の主張が導かれているすれ違いが発生している状況を提示し、背景知識に差異があることを認識させることを目的とする。これにより、会話のすれ違いが発生した際に相手の背景知識を推定し、すれ違いを解消する能力の向上を狙った。

本研究で提案した手法は、はじめに与えられている「発話（根拠）」と「事前情報」を用いて相手の主張を推理することとなる。本手法は、相手の主張を推理するために情報が必要である状況を作りだし、相手の主張の推理に有している情報が必要であることを認識させることを目的とする。また、本手法では、その後、推定した主張をもとに会話を進め、「新規情報」を入手させることとなる。ここでは、会話の中でえられる情報を入手し、相手の主張の推理に必要な要素を増やすことを意識させることを目的とする。この2つのステップにより、会話のすれ違いが発生した際に、相手との会話の中でえられた新規情報と事前に自身が有している事前情報を用いて相手の主張を推理し、必要に応じて情報を入手しながら、すれ違いの解消を行える能力の向上を狙う。

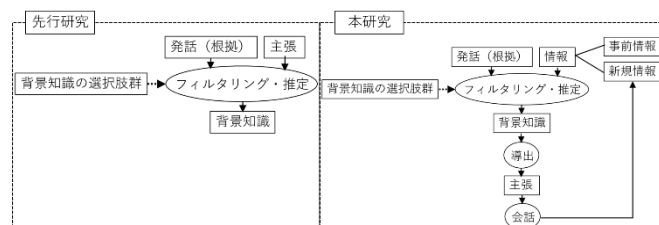


図 3 先行研究と本研究の手法

4. 提案システム

会話のすれ違いを減らすためには、自身が有している情報から相手の主張を推理することが重要である。そこで本研究では、実際の会話を想定したシステムと学習者が会話を行う支援システムを提案する。学習者ははじめに提示されている情報（事前情報）をもとに相手の主張を推理し、システムとの会話を行う。そして会話の中でえられた情報（新規情報）をもとに相手の主張の推理を行う。会話終了後、フィードバックとして学習者が事前情報と新規情報を用いて相手の主張の推理を行っている様子を可視化したものを提示する。

これにより、会話のすれ違いの解消を目的とした会話の中でえられる新規情報と自身が有している事前情報を用いた相手の主張を推理する能力を育成する。

はじめに図4の初期状態の画面を提示する。この画面で学習者は左下のシステムの関係性、左のシステムの発話、中央下の情報欄に提示されている事前情報の確認を行う。今回の例では、システムの立場を友人と想定した会話である。学習者はシステムが「甘いものを食べに行きたいな」と話しかけている様子を確認し、相手の主張を推理するために必要である事前情報を確認する。事前情報には「以前、友人は『近場で遊ぶ方が楽で好きだ』と言っていたことを覚えている」、「昨日、友人は携帯で何かを調べていた光景を覚えている」、「以前、友人がパフェを食べていたことを覚えている」が記載されている。初期状態の画面右上は相手の主張の推理を行うために使用する背景知識整理画面、背景知識整理画面右下は相手の主張の候補が選択肢として用意されている。選択肢をクリックすることにより、自動的に背景知識整理画面に描画される仕組みとなっている。相手の主張を推理した画面を図4の新規情報取得前に示す。学習者は、用意された相手の主張の候補の中から根拠である相手の発話と事前情報を用いて相手の主張の推理を行う。今回の例では、学習者は「甘いものを食べに行きたい」という相手の発話をもとにした根拠から「甘いものが好きなのだろう」と「美味しそうな食べ物を見つけたのだろう」という相手の主張を2つ推理した。

相手の主張の推理が終わると、根拠から主張まで正しく導けている主張の色が緑色に変化する。学習者は緑色に変化した主張の中から最も相手の主張に近いと考えるものを選択する。選択後、選択した主張に対応する返事が自動的に行われ、システムからの発話が返される。選択した主張と相手の主張が一致しなかった場合には、相手の返事からえられた情報（新規情報）が自動的に情報欄に記録されもう一度相手の主張の推理を行う。選択した主張と相手の主張が不一致かつ、選択した主張が「所持している情報から相手の主張だと考えられない主張」である場合には会話が強制終了し、もう一度はじめから取り組むこととなる。選択した主張と相手の主張が一致した場合は会話が終了し、フィードバック画面へと移行する。今回の例では、「甘

「甘いものが好きなのだろう」を選択し、「甘いものが好きなの？」と自動的に返事が行われている。その返事に対してシステムから「前にパフェを食べてたし甘いものは好きだけど、別のことを伝えたかったんだ」という発話を確認することができる。今回推理した主張は相手の主張を一致しなかったため、新規情報が記録された画面へ移行する。

情報欄に新規情報が記録され、再び相手の推理をした様子を図4の新規情報取得後に示す。学習者は新規情報が記録された情報欄をもとに再び相手の主張の候補の選択肢から相手の主張を推理する。今回の例では、新規情報として「パフェを食べていて甘いものは好きだが、伝えたかったことは『甘いものが好きなのだろう』ではない」が記録されている。学習者は、情報欄をもとに「甘いものを食べに行きたい」という根拠から「ストレスが溜まっているのだろう」と「美味しそうなものを見つけたのだろう」という相手の主張を2つ推理した。そして推理した主張の中から「美味しそうなものを見つけたのだろう」を選択し、「美味しそうなものを見つけたの？」と自動的に返事が行われている。その返事に対してシステムから「昨日携帯で調べてたら、美味しそうなおやつを見つけたんだ」という発話を確認することができる。今回推理した主張は相手の主張と一致していたため、フィードバック画面へと移行する。

フィードバック画面を図5に示す。左は会話であつかった事前情報と新規情報と推理した主張を可視化した図、右は事前情報と新規情報と選択した主張の関係性についての説明文である。学習者は、自身が事前情報と新規情報を用いて相手の主張を推理している様子を確認する。今回の例では、学習者が「甘いものが好きなのだろう」という主張を選択した際に表示されるフィードバック画面である。事前情報と新規情報と推理した主張を可視化した図には、「甘いものを食べに行きたい」という根拠から「以前、友人がパフェを食べていたことを覚えている」という事前情報を用いて「甘いものが好きなのだろう」という主張を推理している。そしてこの主張を選択した際に表示される会話から「パフェを食べていて甘いものは好きだが、伝えたいことは『甘いものが好きなのだろう』ではない」という新規情報がえられた様子が確認できる。これにより、

事前情報と新規情報を用いた相手の主張を推理する能力の向上を狙う。

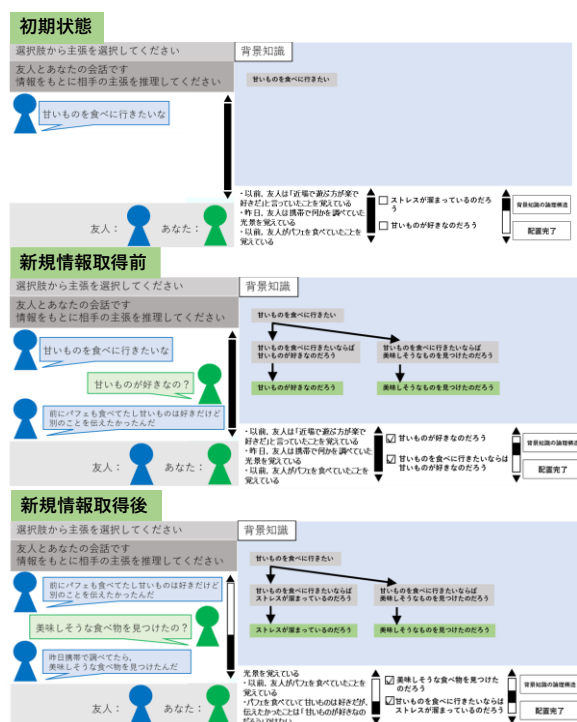


図4 システム画面

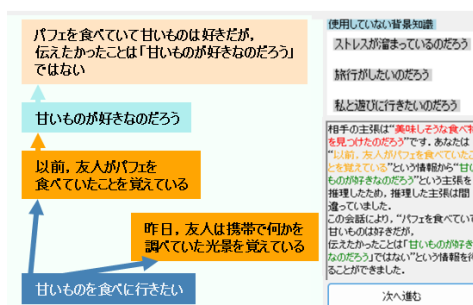


図5 フィードバック画面

5. 評価実験

5.1 実験概要

本実験は開発したシステムにおける事前情報と新規情報を用いた相手の主張を推理する能力を向上させる効果について確認する。参加者は工学部の大学生を対象とした実験群9名と統制群7名の計16名である。実験群は提案したシステム、統制群は実験群と活動内容自体に差はないが、フィードバック機能を正誤判定のみにしたシステムを使用する。除いた機能は、「学習者が選択した主張とシステムが持つ主張が不一致だった場合に相手の返事からえられた新規情報を自動的に

情報欄に記録する機能」,「学習者が選択した主張が事前情報から相手の主張と考えられない場合の強制終了機能」,「システムとの会話であつかった事前情報と新規情報と推理した主張の関係性を表す図の提示機能」である。

評価実験は,事前テスト(24分)→システム使用(60分)→事後テスト(24分)→アンケートの流れで行った。事前/事後テストでは,選択式問題と記述式問題の2種類の問題を用意した。選択式問題では,提示されている事前情報をもとに用意された相手の主張の候補を「情報に当てはまるものがあり,考えられる背景知識である」,「情報に当てはまるものはないが,考えられる背景知識である」,「情報に当てはまるものがあり,考えられない背景知識である」のいずれかの項目に分ける問題である。この問題の目的は,事前情報をもとに相手の主張の推理を正しく推理できているか判断をすることである。記述式問題では,選択式問題で「情報に当てはまるものがあり,考えられる背景知識である」,「情報に当てはまるものはないが,考えられる背景知識である」に分類した主張の中から相手の主張をさらに推理するために相手の発言に対して必要な返事を考える問題である。この問題の目的は,相手の主張の推理を行うために必要な新規情報を相手との会話から集めることの意識度を確認することである。

アンケートでは,6件法(1.全くそう思わない・6.とてもそう思う)を採用し普段の生活に関する質問を3種,システムでの活動に関する質問を実験群12種,統制群10種の質問を行った。実験群にはシステムに搭載されている会話で使用した事前情報と新規情報の可視化機能に関する質問を行ったため,統制群に比べ2種多い質問となっている。

5.2 実験結果

5.2.1 テスト結果

表1に事前/事後テストであつかった選択問題のテスト結果の平均点とその差,標準偏差と効果量を示す。事前/事後テストの選択問題では,表1の平均点の差が統制群より実験群の方が上回っている。また,実験群の効果量が0.89で目安が大,統制群の効果量の目安が0.65で中程度であることから,どちらも効果量が高いことがわかる。実験群・統制群共に一定の効果をえら

れたことから,「事前情報や新規情報」をもとに相手の主張や背景知識を推定し,さらに新規情報を引き出していくというサイクルを回す本提案手法そのものにより,事前情報と新規情報を用いた相手の主張を推理する能力の向上が示唆された。また,統制群より実験群の効果量が高いことから実験群のみに実装した本提案システムのフィードバックの効果があることが示唆された。

表2に事前/事後テストの筆記問題の質問数とその差,効果量を示す。表2から実験群の効果量が0.48で目安が小,統制群の効果量が0.47で目安が小であることから会話形式による与えられた情報から相手の主張を推理する手法の有効性が示唆された。

表1 選択問題の結果

	事前	事後	差	効果量
実験群	1.85 (1.77)	3.22 (1.28)	1.37	0.89 (大)
統制群	2.43 (1.48)	3.26 (1.08)	0.84	0.65 (中)

表2 記述問題の結果

	事前	事後	差	効果量
実験群	0.67 (0.94)	1.15 (1.08)	0.48	0.48 (小)
統制群	0.33 (0.47)	0.62 (0.72)	0.29	0.47 (小)

5.2.2 アンケート結果

表3にアンケートの結果を示す。上2問の質問は事前情報と新規情報に対する意識を問う質問,下2問は可視化機能に関する質問である。なお,統制群が使用したシステムには可視化機能が実装されていないため実験群のみ実施した。

事前情報と新規情報に関する質問では,どちらの質問も統制群より実験群が上回っていることがわかる。これにより,実験群が使用したシステムの方が事前情報と新規情報に対する意識の向上が示唆された。また,実験群のみに搭載された可視化機能に関する質問では,4.89と4.44とどちらの質問も高い評価が得られた。これらの結果から,開発したシステムの利用により事

前情報と新規情報に対する意識の向上が示唆された。

表 3 アンケート結果

質問内容	実験群	統制群
システムでの活動ではじめから所持していた情報をもとに相手の主張を推理することを意識しましたか	4.00	3.14
システムでの活動で会話を通して得られた情報をもとに相手の主張を推理することを意識しましたか	4.67	4.29
可視化機能により「はじめから所持している情報」と「相手の主張」の関係性の理解が促進されていると思いますか	4.89	-
可視化機能により「会話から得られた情報」と「相手の主張」の関係性の理解が促進されると思いますか	4.44	-

6. おわりに

本稿では、会話のすれ違いの解消に着目し、自身が所持している情報と会話を通してえられた情報を用いた相手の主張を推理することが必要であると考えた。そこで、相手の主張と主張を推理するために必要な情報が十分に与えられていない状態で会話を通してえられる情報を用いた相手の主張を推理する学習活動を提案し、この活動を行う相手の主張を推理する支援システムを開発した。学習者は、相手の発話（根拠）とはじめから提示されている情報（事前情報）から相手の主張を推理し、推理した主張をもとに会話が自動的に行われる。推理した主張と相手の主張が不一致の場合はその会話からえられた情報（新規情報）が自動的に情報欄に記録され、再度学習者は相手の主張を推理する。推理した主張と相手の主張が不一致かつ推理した主張が事前情報からは考えられない主張である場合は会話が強制的に終了し、はじめからやり直す機能を実装した。推理した主張と相手の主張が一致した場合はフィードバックとして自身が有している事前情報と新規情報を用いて相手の主張を推理している状態を可視化した図を提示する。これにより、会話のすれ違いの解消を目的とした事前情報と新規情報を用いた相手の主張を推理する能力を育成する。

このシステムの有効性を確認するために、被験者を開発したシステムを使用する実験群と開発したシステムから一部機能を除いたシステムを使用する統制群に分けて評価実験を実施した。統制群で使用するシステムは、学習活動は実験群と差異はなく、正誤判定以外

のフィードバック機能 3 種を除いたシステムである。評価実験は事前テスト→システム利用→事後テスト→アンケートの順で実施した。

評価実験の結果、事前/事後テストであつかった選択問題ではどちらの群も効果量が高いことから与えられた情報を用いた相手の主張を推理する能力の向上が示唆された。また、実験群の効果量が統制群の効果量を上回っていることから実験群のみに実装したフィードバック機能の効果があることが示唆された。また、事前/事後テストであつかった筆記問題ではどちらの群も効果量が高いことから会話形式による与えられた情報から相手の主張を推理する手法の有効性がやや示唆された。

アンケートの結果、事前情報と新規情報に関する質問では実験群の値が統制群の値より高い評価がえられ、可視化機能に関する質問では実験群から高い評価がえられたことにより開発したシステムの利用による事前情報と新規情報に対する意識の向上が示唆された。

今後の課題として、学習者自身が推理した主張を記述式で行い、自身が推理した主張をもとに相手の発話に対する返事を全て学習者が考えて会話を進め、会話から相手の主張を推理するために必要な有益な情報をえられるシステムを開発することがあげられる。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 JP22K12322, JP21H03565, JP20H01730 の助成による。

参 考 文 献

- (1) 平嶋宗: “共感的理解を通じた学習の設計: 「学習者による共感的理解」のタスク化”, 第 45 回教育システム情報学会全国大会講演論文集, pp.169-170 (2020)
- (2) Kneupper, C. W.: “Teaching argument: An introduction to the Toulmin model”, College Composition and Communication, Vol.29, No.3, pp.237-241 (1978)
- (3) 茂木誠拓, 古池謙人, 東本崇仁, 堀口知也, 平嶋宗: “すれ違いの解消を指向した背景知識を推定する能力を育成する学習支援システムの開発”, 人工知能学会第 92 回先進的学習科学と工学研究会, pp.31-36 (2021)

力学の立式に用いる力の要素に着目した 物理現象の可視化による学習支援システム

関川 千紗子^{*1}, 相川 野々香^{*2}, 東本 崇仁^{*1}

^{*1} 東京工芸大学工学部

^{*2} 東京工芸大学大学院工学研究科

Learning Support System by Visualization of Physical Phenomena Focusing on the Elements of Forces Used in Mechanics Equations

Chisako SEKIKAWA^{*1}, Nonoka AIKAWA^{*2}, Takahito TOMOTO^{*1}

^{*1} Faculty of Engineering, Tokyo Polytechnic University

^{*2} Graduate School of Engineering, Tokyo Polytechnic University

Email: e1913079@st.t-kougei.ac.jp

力学においては、問題で与えられた現象に対して働く力を考え、運動方程式を立式することで要求された値を求めるという解決過程を踏むことがある。このような過程においては、現象に対して働く力を適切に考えられること、各力より適切な運動方程式を立てられることが必要となる。力から運動方程式を立式するには、力を構成する要素を理解する必要がある。そこで、本研究では、力を構成する要素に着目した **Error-based Simulation** による学習支援の実現を目指す。

キーワード: リフレクション支援, **Error-based Simulation**, 学習支援システム

1. はじめに

力学においては、現象やその現象で既知の属性が問題として与えられ、学習者は物理の公式などの属性間の関係式に基づいて要求された値を導くことにより学習を進めることが多い。この際、学習者はその物理現象において(0)成立する力を図に作図したのち、(1)力の関係性（水平方向の力 $F_x = F_1 + F_2$ ）を考え、(2)各力を構成している要素（例えば、 $F_2 = \mu mg$ など）を考えることで、問題を解くことが多い。このような過程においては、現象に働く力を作図できること、作図した力から力の関係性を表す式を立式できること、各力を構成する要素を構成できることが重要となる。本研究ではこのような一連の過程を「力の作図に基づく運動方程式の立式過程」と呼ぶ（以降単に立式過程と呼ぶ）。

ある現象において働く力の学習を支援するシステム

に、力学 **Error-based Simulation**（以下 **EBS**）システムがある⁽¹⁾。力学 **EBS** は、学習者の入力をもとに物理現象を可視化する。したがって、学習者が誤った場合、誤った解答に応じた誤った物理現象を可視化することになる。学習者は誤ったおかしい物理現象を観察することで、自分の解答が誤りであることに気づき、誤りを修正するモチベーションをえることになる。力学 **EBS** は運動方程式を選択・入力させるもの⁽²⁾⁽³⁾や、力を作図させるもの⁽⁴⁾など多くの入力方式が存在するが、著者らの知る限り力の作図から運動方程式の記述までの過程をすべて含むものは存在しない。そこで本研究では、多くの授業実践を通してその効果が検証されている力を作図させる力学 **EBS** により力の作図までは正しく理解できるようになるという前提で、残りの力の立式過程を支援する学習支援システムを開発する。

本研究では、正しい力が既に作図されている状況に

において、残りの立式過程を、(1)式選択（力の関係性を表す式の立式）と、(2)変数選択（各力を構成する要素の構成）の2つにわけて、学習者に入力させる。これにより学習者は段階的に物理の立式過程を学ぶことができる。さらに、(1)と(2)の各段階でEBSによるフィードバックを与えることで、各段階における誤りへの気づきを促す。本研究では、これらの手法を用いて、力学における現象から運動方程式を立式できる能力の育成を支援する学習支援システムの開発と評価を行う。

2. 先行研究

2.1 力の作図を対象とした力学 EBS

Error-based Simulation⁽¹⁾とは学習者の誤答をもとにおかしな振る舞いとして誤りを可視化し、学習者に誤りの気づきを促す手法である。物理の学習において学習者が誤答した場合に、正しい物理現象によるフィードバックを行うだけではその誤りを修正する効果が少ない。学習者の誤りを修正するためには学習者自身が誤りを認識し、フィードバックから誤りを修正する学習に自ら移行する必要がある。

例えば、地面に静止している1つの物体に働く力を記述する問題がある。この問題について、学習者は提示された問題の物体に働く力を考えて下向きの力を記述したとする。この解答をもとに、EBSは物体が沈む挙動を学習者に提示する（図1）。このとき学習者は物体が静止すると考え下向きの力を記述したため、誤りであることに違和感を覚える。そしてその違和感を解消するために誤りを修正する学習を行う。このようにEBSは学習者の誤りを学習者自身に認識させることで、誤りを修正するための学習を促す。本EBSは中学校等多くの授業実践により効果が検証されている⁽⁴⁾。

2.2 運動方程式の入力を対象とした力学 EBS

2.1では力の作図を対象とした誤りの可視化を行う力学EBSについて紹介した。しかし、既存の力学EBSでは式を入力させることによるEBSも存在する。図2は運動方程式の選択を対象とした力学EBSの例である。学習者はある現象に働く運動方程式のうちから正しいものを選択する。学習者が誤っていた場合は、学習者の誤選択肢に応じたおかしな振る舞いを可視化する。さらに、学習者に運動方程式を入力させ、現象を

可視化するEBSも存在する（図3）。本EBSでは学習者の入力した式をシステムが解析し、システムが適切な誤りの可視化を選択し、可視化する。

これらの運動方程式の選択・入力を対象としたEBSでは、学習者に運動方程式そのものを入力させるため、本研究で目的とする立式過程の理解の支援になる可能性があるが、作図された力をもとに、力の関係性を立式したり、運動方程式を入力させるといった一連の立式過程をあつかっているものは著者らの知る限り存在しない。

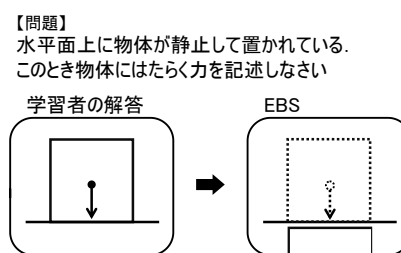


図1 EBSの例

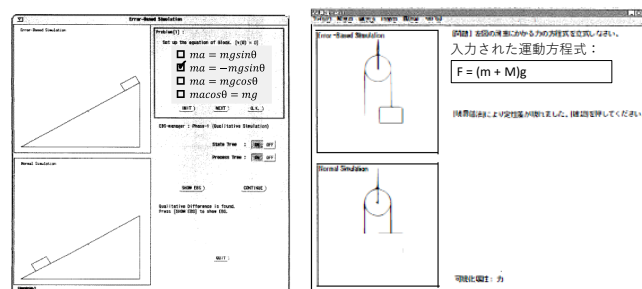


図2 力学EBS(選択)⁽²⁾

図3 力学EBS(記述)⁽³⁾

3. 提案手法

学習者が力学において問題から運動方程式を立式する過程は、問題で対象とする現象に(0)働く力を作図し（図1のEBSの例の左側のように）、(1)各力の関係性を立式し（ $F = F_1 + F_2$ のように）、(2)最後に各力を構成する要素を記述する（ $F_2 = \mu mg$ のように）という流れを踏むことが多い。このうち、(0)の過程は、2.1で述べた力の作図を対象とした力学EBSの授業実践を通してその効果が十分に検証されている。そこで、本研究では力の作図を正しく行える学習者に対して、残りの立式過程を支援することを目指す。

本研究では、(0)力の作図までは行えている学習者を対象とするため、現象に働く正しい力の作図は問題として提示する。その後、学習者は作図された力を確認

しながら、(1)力の関係性を表現するための式選択と(2)各力を構成する変数選択の解答が求められる。

3.1 式選択

式選択では、物体に働く力の関係を表現するために存在する力の関係を正負の符号を用いて立式する。

例えば、粗い地面に質量 $m[\text{kg}]$ の物体 A が置かれており、物体 A を右向きに引き運動させる状況について、物体 A に働く縦方向の力について立式をする問題があるとすると（図 4）。

この問題に対して、まず式選択とそれに対するフィードバックについて具体的に説明する。学習者には図 4 に示すように作図された力が問題の一部として提示される。学習者は図中に描画された力を表す記号（ $F_1 \sim F_4$ ）を、符号を用いて組み合わせて立式することを要求される。例えば、図 4 の物体に働く縦方向の力 F_y （鉛直下向きを正とする）については、 $F_y = F_1 - F_2$ という式が成立し、横方向の力 F_x （右方向を正とする）については、 $F_x = F_4 - F_3$ が成立する。

学習者が解答した後は、通常の力学の EBS のように学習者の解答に基づいて振る舞いを可視化する。例えば図 5 の問題の物体 A の縦方向に働く力として、「 $F_1 + F_2$ 」と立式した場合、物体 A に働く縦方向の力は、 F_1 の力と F_2 の力が同じ方向に働く状況になる。このとき、図 4 の問題では鉛直方向下向きを正としているため、同じ大きさの 2 つの力が下向きに働くこととなり、物体 A は鉛直方向の振る舞いとして、地面に沈む振る舞いが可視化される。このとき学習者に立式させる対象以外は正しい力が記入されているという前提で可視化を行う。例えば、鉛直方向への式を立式させる際は、水平方向については正しい式が入力されているとして可視化する。したがって、この問題の場合では、縦方向には誤答に応じて地面をすり抜けて落下し、横方向には右向きに加速する物体が可視化される（図 5）。学習者が式選択を適切に行えた場合、その式を構成する変数の選択に移る。

3.2 変数選択

変数選択では、式選択の解答で用いた力がどのような要素（変数）で構成されているかを記述する。例えば図 4 の問題では、 $F_1 = mg$ や、 $F_3 = \mu mg$ を立式す

る過程をここで行うこととなる。学習者の解答後は、学習者が選択した力の要素をもとに、物体の挙動をフィードバックとして返す。

図 6 を例として、鉛直方向の力については式選択の過程で $F_y = F_1 - F_2$ と正しく立式された後に、学習者が変数選択で間違えた状況を説明する。変数選択では、学習者は F_1 と F_2 のそれぞれについて構成する要素（変数）を記述することが求められる。正解は、 $F_1 = mg$ 、 $F_2 = mg$ である。この際、 F_1 と F_2 の力を表す矢印の長さは等しく、物体は鉛直方向に釣り合い、鉛直方向については静止する。しかし、学習者がここで誤って、 $F_1 = mg$ 、 $F_2 = \mu mg (0 < \mu < 1)$ と入力したとする。このとき、 $mg > \mu mg$ であるため、本提案手法では F_1 を表す矢印の長さより F_2 を表す矢印の長さを短く可視化するとともに、 $F_y = F_1 - F_2$ の式に基づく $F_y > 0$ となるため、物体 A は鉛直方向において地面に徐々に沈む様子を可視化する（図 6）。

粗い水平面上に質量 M の物体 A が置かれている。
物体 A を力 F で右向きに引いて運動させた。
力の向きは水平方向右向きと鉛直方向下向きを正とし、
重力加速度を g 、物体の加速度を α 、物体と地面の間の
動摩擦係数を μ とする。

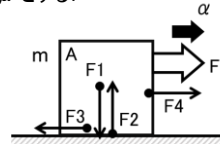
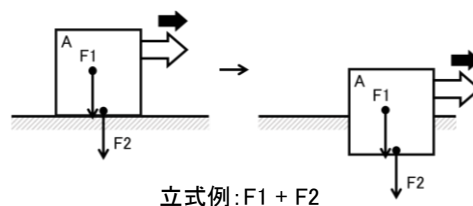
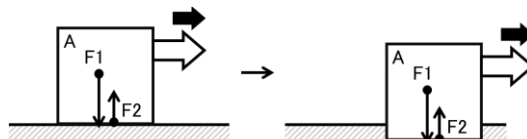


図 4 問題文と物体に働く力の図



立式例: $F_1 + F_2$

図 5 式選択時のフィードバック誤答例



立式例: $mg - \mu mg$

図 6 変数選択時のフィードバック例

4. 提案システム

提案手法を用いて、物理現象と式の関係について理解を促すシステムを提案する。システムの流れとして、最初に式選択の画面を提示する（図 7）。次に式選択の解答をもとにフィードバックを行う（図 8）。次に変数選択の画面を提示する（図 9）。そして最後に式選択の解答をもとにフィードバックを行う（図 10）。

最初の問題解答画面を図 7 に示す。この画面は式選択にあたる。このとき、学習者は、与えられた問題の図（正しい力が書き込まれた図）と文章から、図の力を表す記号を用いて式を作成することが要求される。図 7 では、粗い水平面上に質量 $M[\text{kg}]$ の物体が置かれており、その物体を右向きに引き運動させるという状況について、物体に働く横方向の力について立式をする問題が与えられている。このとき、学習者は図中の力である F_4 と F_3 を、符号を用いて組み合わせて、水平方向の力 $F_x = +F_4 - F_3$ を立式している。

次に図 8 に解答のフィードバック画面を示す。この画面では、フィードバックとして学習者の立式をもとに図を描画する。図 8 では「正解の動作」を提示する画面（図 8 左側）に正答の図が描画され、「あなたの解答の動作」を提示する画面（図 8 右側）に学習者の立式に基づいた図が描画される。このとき、 F_3 の符号が“-”， F_4 の符号が“+”となるため、 F_3 の矢印は左向き、 F_4 の矢印は右向きに描画される。

次に変数選択にあたる画面を図 9 に示す。この画面は変数選択にあたる。このとき、学習者は与えられた文章と変数から、最初の解答で用いたそれぞれの力を構成している要素を学習者に選択させて解答させる。図 9 では図 7 と同様の問題が与えられる。このとき、学習者は文章中にある変数の質量 M と重力加速度 g 、動摩擦係数 μ' を用いて、立式に用いたそれぞれの力について $F_3 = \mu' * M * +g (0 < \mu < 1)$ 、 $F_4 = M * +g$ と立式している。

最後に図 10 に解答のフィードバック画面を示す。図 8 の画面と同様に、「正解の動作」の画面（図 10 左側）に正答の図が描画され、「あなたの解答の動作」の画面（図 10 右側）に学習者の解答に基づいた図が描画される。このとき、正答は $F_3 = \mu' * M * +g (0 < \mu < 1)$ 、 $F_4 = F$ となるため「正解の動作」の画面に描画

される矢印は F_4 が F_3 より大きくなる。そして学習者の解答が $F_3 = \mu' * M * +g (0 < \mu < 1)$ 、 $F_4 = M * +g$ であるとき、 $\mu' Mg < Mg$ となるため、 F_3 の力の大きさが F_4 より大きくなる。これにより、「あなたの解答の動作」の画面に描画される矢印の大きさは F_3 が F_4 より大きくなる。このフィードバックから、学習者の選択した要素は力と関係していることが示唆される。

図 7 式選択時の解答入力画面

図 8 式選択のフィードバック画面

図 9 変数選択時の解答入力画面

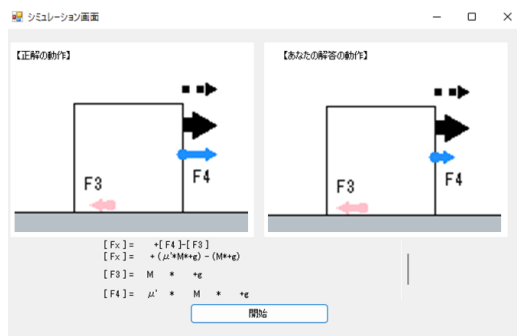


図 10 変数選択時のフィードバック画面

5. 評価実験

5.1 実験概要

本提案システムの学習効果をはかるために、大学生 10 名を対象に評価実験を行った。本提案システムでは、立式過程そのものを学習者に行わせることによる効果と、フィードバックを与えることによる効果が期待されるが、立式過程そのものは紙面上でも行えるため、主に立式過程に対してフィードバックを与えることによる効果を検証する。そのため、実験群も統制群も同じ立式過程をシステム上で入力させ、実験群では誤りの可視化によるフィードバック機能を有する本提案システムを使わせ、統制群では誤りの可視化機能を除いた正誤判定と正解の情報を提示するのみのフィードバックを与えるシステムを使わせた。以上の二つのフィードバック方法の比較により、学習効果を調査した。

実験は、事前テスト (40 分) → システム利用 (45 分) → 事後テスト (40 分) → アンケートの順に行った。テストは以下の 3 つを実施した。一つ目は、物体に働く力を図示する作図テストである。本テストは被験者がどの程度作図できるかをはかる。本実験では被験者が作図できることを前提としてシステムを利用するため、作図能力をはかる必要がある。二つ目は、問題に対して式を立てる記号テストである。本テストでは、物体に働く力のみ用いて立式する問題と力を構成する要素のみを用いて立式をする問題を出題する。問題はシステムに実装された問題と同様のものとなる。このテストの結果からシステム利用後の学習効果をはかる。三つ目は、与えられた問題から数値を導出する計算テストである。本テストでは、システムでの学習により立

式から計算まで行うことができるかをはかる。

5.2 テスト結果

はじめに、作図テストの事前・事後テストの平均点と標準偏差、平均点の差を表 1 に示す。作図テストの問題は 10 問中 10 点満点である。作図テストの平均点と標準偏差から算出した効果量を表 2 に示す。実験群の効果量は 1.21 で効果量大、統制群の効果量は 0.75 で効果量中となった。この結果から、実験群の方が統制群より効果量が大きかったことがわかった。これにより、誤りの可視化機能を有する本システムでの学習によって、物体に働く力の作図そのものについての理解も促進できたことが示唆された。

表 1 作図テストの平均 (標準偏差)・差

	事前	事後	差
実験群	3.17(2.67)	6.17(2.27)	3.00
統制群	2.75(3.27)	5.00(2.74)	2.25

表 2 作図テストの効果量

	効果量	効果量の目安
実験群	1.21	効果量大
統制群	0.75	効果量中

次に、記号テストの事前・事後テストの平均点と標準偏差、平均点の差を表 3 に示す。記号テストの問題は大問が 8 問、小問が 48 問の 48 点満点である。記号テストの平均点と標準偏差から算出した効果量を表 4 に示す。実験群の効果量は 3.68 で効果量大、統制群の効果量は 1.10 で効果量大となった。この結果から、実験群の方が統制群より効果量が大きかったことがわかった。これにより、本システムでの学習によって物体に働く力の関係性の立式と、各力を構成する要素を用いて運動方程式を立式できることが示唆された。

表 3 記号テストの平均 (標準偏差)・差

	事前	事後	差
実験群	15.67(5.44)	34.50(4.79)	18.83
統制群	14.00(7.35)	26.75(14.64)	12.75

表 4 記号テストの効果量

	効果量	効果量の目安
実験群	3.68	効果量大
統制群	1.10	効果量大

最後に、計算テストの事前・事後テストの平均点と標準偏差、平均点の差を表 5 に示す。計算テストの平均点と標準偏差から算出した効果量を表 6 に示す。実験群の効果量は 2.56 で効果量大、統制群の効果量は 1.93 で効果量大となった。この結果から、実験群は統制群より効果量が大きいことがわかった。このことから、本システムでの学習により学習者は立てた式を正しく計算し、答えを求めることができると示唆された。

表 5 計算テストの平均（標準偏差）・差

	事前	事後	差
実験群	4.67(3.04)	10.33(0.75)	5.67
統制群	3.25(3.11)	7.75(1.09)	4.50

表 6 計算テストの効果量

	効果量	効果量の目安
実験群	2.56	効果量大
統制群	1.93	効果量大

5.3 アンケート結果

表 7 にアンケート結果の一部を示す。アンケートは 6 件法（6.とてもそう思う - 1.全くそう思わない）で行った。表 7 の項目は二つの群がそれぞれのシステムを利用したことによる、物体に働く力についての理解を問う質問である。この結果から、式と現象の理解の促進について、本システムでの学習効果に有効性があることが示唆された。

表 7 アンケート結果

アンケート項目	実験群	統制群
システム利用時に、図中の力を選択することで、式を立てるときにどのような力が必要か考えることが出来たと思いますか。	5.00	4.25
システム利用時に、力の方向について考えて式を立てることが出来たと思いますか。	5.25	4.25
システムを用いた学習で、選択した力はどうような力か説明できるとと思いますか。	5.38	2.75

6. おわりに

本稿では、力を構成する要素に着目して物体に働く力の立式過程を支援する学習支援システムを開発し、

学習効果を検証した。従来の力学 EBS システムには式を選択・入力させるもの⁽²⁾⁽³⁾や力を作図させるもの⁽⁴⁾などの入力方式がある。しかし、働く力の作図から式の入力までの過程を行わせるものは、著者らの知る限り存在しない。そして物体に働く力を作図させる力学 EBS システムはすでに授業実践を通して学習効果が検証されている⁽⁴⁾。そのため、本研究では従来の力学 EBS システムにより物体に働く力について正しく理解できるとして、物体に働く力の関係性を表す式選択を行ったのちに各力を構成する変数選択を行うことで立式過程を学習する支援システムを開発した。

そして本システムの学習効果をはかるために、実験を行った。立式過程は紙面上でも行えるため、立式過程に対して与えるフィードバックの違いによる学習効果を比較し検討した。実験結果から本システムによる学習は力の構成要素の学習に効果があると示唆された。このことから、学習者に物理現象と式の関係の理解を促すことができたと考えられる。今後の課題は、従来の力学 EBS と本システムの学習効果を比較すること、学習内容を効果的に移行するために段階的な学習内容の移行方法を検討し、システムに実装することである。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 JP22K12322, JP21H03565, JP20H01730 の助成による。

参 考 文 献

- (1) 平嶋宗, 堀口知也: “「誤りからの学習」を指向した誤り可視化の試み”, 教育システム情報学会誌, Vol.21, No.3, pp. 178-186 (2004)
- (2) 堀口知也, 平嶋宗, 柏原昭博, 豊田順一: “定性推論技法を用いた誤り可視化シミュレーションの制御”, 人工知能学会誌, Vol.12, No.2, pp.285-296 (1997)
- (3) 堀口知也, 平嶋宗: “誤りへの気づきを支援するシミュレーション環境・表現手法と視覚効果を考慮した Error-Based Simulation の制御-”, 教育システム情報学会誌, Vol.18, No.3・4 (秋・冬合併号) (2001)
- (4) 今井功, 東本崇人, 堀口知也, 平嶋宗: “中学における Error-based Simulation を用いた授業実践-「ニュートンに挑戦」プロジェクト-”, 教育システム情報学会誌, Vol.25, No.2, pp.194-203 (2008)

誤りの可視化システムのフィードバックに対する 発話プロトコル分析と考察

中村 祐希人^{*1}, 東本 崇仁^{*1}

^{*1} 東京工芸大学工学部

Thinking Aloud Protocol Analysis and Considerations for Feedback of Error-Visualization System

Yukito Nakamura^{*1}, Takahito Tomoto^{*1}

^{*1} Faculty of Engineering, Tokyo Polytechnic University

学習では自身の解答を振り返り、誤り原因を理解することが重要である。振り返りの支援として誤りの可視化が存在する。本研究ではこれまで開発されてきた誤りの可視化システムのフィードバックが学習者に正しく伝わるのかを発話プロトコル分析により評価した。その結果、一部のフィードバック内容について、学習者が適切に認識できていないことが判明したため、その原因について考察した。

キーワード: 適応的支援, リフレクション支援, 発話プロトコル分析, Error-based Simulation

1. はじめに

学習をするうえで、学習者が誤った解答をした場合、自身の解答を振り返ることは重要である。学習者が解答を振り返ることで学習者は自身の解答がなぜ誤りなのかを考えることができ、それによって誤り箇所や誤り原因を特定することなどの問題の理解につながる。そのため、学習者が誤った解答をした際、自分の解答を振り返ることは重要であるといえる。

学習者に自身の解答の振り返りを促す方法として、誤りの可視化という支援方法がある。誤りの可視化とは学習者の誤った解答に基づいた時、どのような結論が導かれるのかを示すことで学習者に誤りへの気づきを与える支援方法である。この誤りの可視化を用いた手法の1つに Error-based Simulation (EBS)⁽¹⁾がある。EBSとは、学習者の解答を正しいと仮定したときの現象をフィードバックとして学習者に提示する手法である。提示されたシミュレーションと実際の挙動との差から学習者は自身の誤りに気づくことができる。

本研究では、誤りの可視化を用いた場合の数システム⁽²⁾、Error-based Problem Posing (EBPP)システム⁽³⁾のフィードバックが学習者にどのように伝わっている

のかを実験から調査する。実験では発話プロトコル分析を用いた。発話プロトコル分析とは、頭の中に思い浮かんだことをそのまま声に出す手法である。そして、調査した結果から現状のシステムの問題点を洗い出し、そのような問題が発生する原因を考察した。

2. 誤りの可視化

誤りの可視化とは、誤った解答をした際、学習者の解答を正しいと仮定した場合の状況を学習者に見せることで、学習者が自身の解答では誤りであると内発的に気づかせるための支援方法である。誤りの可視化を用いた手法の1つに Error-based Simulation (EBS)⁽¹⁾がある。EBSとは、学習者の誤った解答に基づいて、学習者の入力した式を正しいと仮定した場合、このような結果になるという現象を学習者に提示する手法である。

EBSによる誤りの可視化の具体例を図1に示した。図1は、「物体が床に静止している」という問題を解いたときのEBSによる誤りの可視化の例である。正解の場合は物体が床の上に静止している正しい様子がシステムによりシミュレーションされる。対して、誤答の場合、物体が床に沈んでいくという現実ではおこり

えない現象がシステムによりシミュレーションされる。上記のように、学習者が想定していないシミュレーション結果が提示されることで、学習者は自身の誤りに気づくことができる。このように、EBSは学習者の解答をもとにシミュレーションを提示することで、学習者が自身の解答の誤りに気づくように促している。

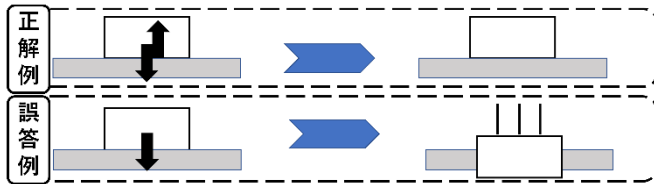


図 1 EBS における誤りの可視化の具体例

誤りの可視化を実現するために EBS ではシミュレーションに対して顕在性、もっともらしさ、示唆性という3つの重要な要素を用いている。顕在性とは、EBSにより生成されたシミュレーションと正しい挙動の差の程度を示している。次にもっともらしさとは、生成されたシミュレーションの妥当性を示している。最後に示唆性とは、EBSによって顕在化された誤りが、学習者が修正すべき点を適切に示唆しているかどうかを示したものである。顕在性、もっともらしさ、示唆性が高いフィードバックは、学習者に自身の解答ではどのようなものかを考えさせ、試行錯誤を促すことができる。上記より、EBSでは顕在性、もっともらしさ、示唆性の3要素を高くすることが重要である。EBSは誤りの可視化を用いた手法であることから、誤りの可視化でも同様にこれら3つの要素を高くすることが重要であるといえる。

3. 誤りの可視化を用いたシステムの調査

本研究では、調査のために誤りの可視化を応用した場合の数システムとEBPPシステムを用いた。

3.1 場合の数システム

この節では場合の数システムのフィードバックについて説明する。場合の数システムは、場合の数の文章問題の解き方を支援したシステムである⁽²⁾。場合の数システムのフィードバック例を図2に示す。学習者に与えられるフィードバックとして、以下の3つが与えられている。1つ目は学習者が選んだ式に基づいてカードの並びが可視化される「あなたの解答の可視化」

である。2つ目は学習者が正解を入力した場合のカードの並びを可視化する「正しい解答の可視化」である。3つ目は組合せ・順列式の可視化と階乗式の可視化をあわせた「結果可視化」である。

今回は組合せ式 $7P1$ 、階乗式 $3!$ を選択した場合を例にして説明する。図2より、組合せ・順列式、階乗式において「あなたの解答の可視化」と「正しい解答の可視化」に並んでいるカードの数字と色、並んでいるカードの枚数が異なっていることがわかる。この違いにより、学習者は組合せ・順列式、階乗式の選択は誤りであるとわかる。結果可視化についても「あなたの解答の可視化」と「正しい解答の可視化」でカードの数字と色、カードの並んでいる枚数が異なっており、この違いから学習者は自身の選択した式が誤っていることを理解できる。このように「あなたの解答の可視化」と「正しい解答の可視化」の違いから、システムは学習者に自身の誤りへの気づきを促している。

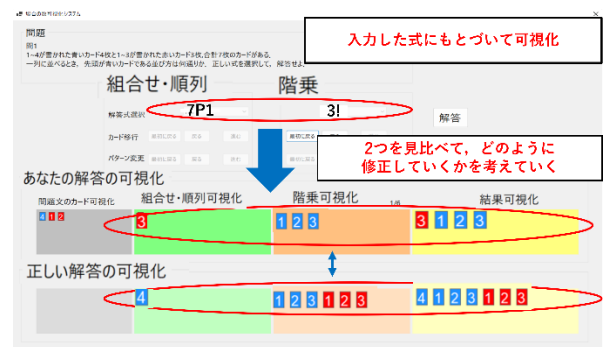


図 2 場合の数システムの可視化例

3.2 EBPP システム

この節ではEBPPシステムのフィードバックについて説明する。EBPPシステムは、システムが学習者の入力した誤った解答に対して、「あなたの入力した解答は提示された問題ではなく、この問題を解いていることになる」と別の問題を学習者にフィードバックとして提示するものである⁽³⁾。

EBPPシステムのフィードバック例を図3に示す。図3より、EBPPシステムでは、問題に対して学習者が入力した力が誤っていた場合、入力された力に基づいて別の問題を提示する。学習者が入力した力が元の問題と一致していた場合は、システムが元の問題と同じ問題設定を可視化する。対して、学習者が誤った力を入力した場合は、システムが元の問題設定とは違う

状況を可視化する。

具体例を図 4 に示す。「物体が床の上に静止している」という問題に対し、学習者が上向きの力を加えるなどの誤った力を入力した場合は、「物体が床の上で静止している」という問題ではなく、「紐に引っ張られている」や「磁石に引っ張られている」「1つの壁に押されている」といった問題がシステムによって生成される。学習者が重力を入力しなかった場合は、「重力のない空間にある」といった問題設定がシステムからのフィードバックとして学習者に与えられる。これにより学習者は、自身の入力した力がどのような問題設定になるのかをフィードバックから読み取り、誤りに気づくことができる。

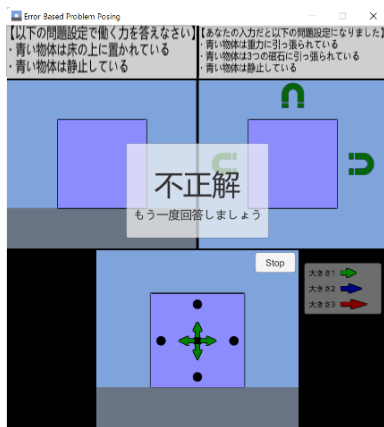


図 3 EBPP フィードバック例

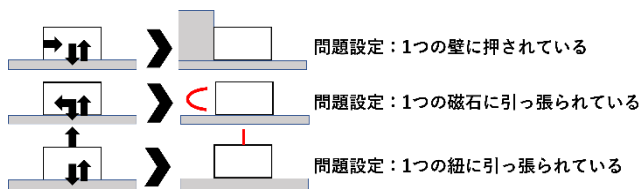


図 4 EBPP システムのフィードバック例

4. 発話プロトコル分析

実験では発話プロトコル分析を用いた。発話プロトコルを用いた理由として、発話内容を記録することで、繰り返し実験内容を確認できるためである。

発話プロトコル分析とは、実験を行う際、被験者が課題を遂行中に頭に浮かんだ言葉や考えたことをそのまま即座に口に出し、それを動画などで記録する手法である⁽⁴⁾。その際の注意点として、観測者は被験者の思考に関与してはならないため、被験者にヒントを与えてはいけない点がある。さらに、プロトコルとそのときの行動からのみわかることの理由を考えるため、

観測者が勝手に想像して記録してはいけない点がある。

発話プロトコル分析では、頭の中で思い浮かんだことや考えたことを声に出しながらシステムを触ってもらい、その発話内容からわかることを分析していく。発話プロトコル分析の具体例を図 5 に示した。この具体例であげた発話内容からわかることとして、「あれ！？自分のカードの可視化と正しいカードの可視化の結果が違う。てことは、何かが違うってことだよな…」という発話から、学習者は自身の解答が誤っていることに気がついていないが、どこで誤っているのかには気がついていないことがわかる。このように学習者の発話内容からわかることを分析していく。

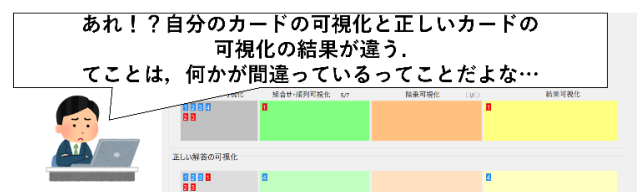


図 5 発話プロトコル分析具体例

5. 評価実験

5.1 評価実験方法

本実験では工学部学生 11 名を対象に、被験者を A 群 6 名と B 群 5 名に分けて調査を行った。調査対象である 2 つのシステムのフィードバックがどのように学習者に伝わっているのか、上記 2 つの群の発話内容とアンケート結果から計測する。また、学習者がシステム使用中、誤った解答をした際、なぜ自分の解答では誤りなのかということを考えているかを計測する。さらに、2 つのシステムのフィードバックの妥当性や示唆性を測定する。以上の 3 つを目的に実験を行った。

A 群は場合の数システム→EBPP システムの順番で、B 群は EBPP システム→場合の数システムの順番で発話プロトコルを用いて発話内容を記録した。これは、2 つのシステムに取り組む順番を固定することによって、発話プロトコル法での発話が初めての被験者の発話量がシステム間で偏ること、そして 1 つ目のシステムの効果が 2 つ目に取り組んだシステムに影響してしまうこと、これらの影響がある危険性があるからである。順番を入れ替えた 2 群を設けることにより、ある結果がシステムのフィードバックによるものか、順番によるものかを推測することができると考えた。

5.2 発話分析方法

本節では記録した発話の分析方法について説明していく。今回の分析では、被験者の発話の中でも、特に被験者がシステムからフィードバックをうけた後の発話に注目した。それらの発話から(1)「フィードバックの解釈」と「修正の検討」に言及しているものをピックアップし、その中から(2)「～だから～である」という理由に言及している発話をピックアップした。そして、(3)ピックアップした発話に属性を付与し、その属性をもとに(4)顕在性、もっともらしさ、示唆性に発話を分類した(図 6)。これらについて順に説明していく。

(1)として、発話について「フィードバックの解釈」と「修正の検討」に言及しているものをピックアップした。被験者はシステムからのフィードバックをうけた後、フィードバックの内容を認識し、(A)被験者なりにフィードバックの内容を解釈する。そして、(B)被験者はフィードバックの解釈に基づいて修正を行う。このことから被験者の発話の「(A)フィードバックの解釈」と「(B)修正の検討」に言及しているものをピックアップした。具体例として「人は重力に引っ張られていて、えーと、人は一つの紐に引っ張られている、初速がかかっている」という発話を、フィードバックに言及しているため「フィードバックの解釈」とした。また、「あと、初速してんのは足元がいちばん初速の大きさとして大きいからこうなる」という発話を、解答の修正に言及しているために「修正活動」とした。

次に、(2)として「～だから～である」という理由に言及している発話をピックアップした。さらに「修正の検討」に言及した発話については、理由に言及していてもフィードバックに言及せずに修正をしている発話もあったため、フィードバックに言及した上で理由を述べた発話に限定した。具体例として「下向きの力のみだと地面に落下した。地面を突き破るのはおかしいから下向きの力を消してみよう」というものがある。

次に(3)として、ピックアップした発話に属性を付与した。ピックアップした発話はすべて「理由(～だから)と結果(～である)」のセットになっており、属性は理由と結果のそれぞれに付与した。付与する属性は4種類ある。1つ目は「地面に落下した」のようなシステムから与えられたフィードバック(自分の解答にそったふるまい)について言及しているものを「フィー

ドバック」とした。なお、(2)までの工程でピックアップされた発話は「理由と結果のセットである」かつ「フィードバックに言及している」発話となっているので、全ての発話のセットには、「フィードバック」の属性を持つ発話が含まれる。2つ目は「下向きの力のみだと」のような被験者自身の今の解について言及しているものを「自分の解」とした。3つ目は「地面を突き破るのはおかしいから」のようなふるまいの正しさやおかしさについて言及しているものを「正しいふるまい」とした。4つ目は「下向きの力を消してみよう」のような解答をどうすべきか(どのように修正するのか)について言及しているものを「修正」とした。

そして最後に、被験者の発話を以上の4つに属性に付与した後、(4)としてこの属性をもとに顕在性、もっともらしさ、示唆性に分けていく。顕在性、もっともらしさ、示唆性についての関係を図7に示した。

まず、顕在性の分類方法について説明する。顕在性とは、EBSのフィードバックと正しいふるまいの差の程度を示したものであり、これが十分でないと学習者は誤りに気づくことができない。そのため、システムのフィードバックと正しいふるまいと比較して誤りを認識している発話は顕在性についての発話といえる。よって本研究では、「フィードバック」と「正しいふるまい」のセットの発話を顕在性の発話とした。

次に、もっともらしさの分類方法について説明する。もっともらしさとは、EBSのフィードバックが学習者自身の解答に基づいているものだと納得できるかどうかをあらわしたものである。そのため、システムのフィードバックと学習者の解答に言及した発話はもっともらしさについての発話といえる。よって本研究では「フィードバック」と「自分の解答」のセットの発話をもっともらしさの発話とした。

最後に、示唆性の分類方法について説明する。示唆性とは、EBSのフィードバックが学習者の修正すべき点を適切に示唆しているかどうかを示したものである。そのため、EBSのフィードバックに基づいて修正を行っている発話は示唆性についての発話といえる。よって本研究では、「フィードバック」と「修正」のセットの発話を示唆性の発話とした。

このように発話を分類することで、本研究では調査対象のシステムの顕在性、もっともらしさ、示唆性に

ついて分析を行った。また、本来は分類分けを行った後、顕在性やもっともらしさ、示唆性について正しい認識や正しい修正を行えているのかを分析する必要がある。しかし、今回は分類分けまでを行った。

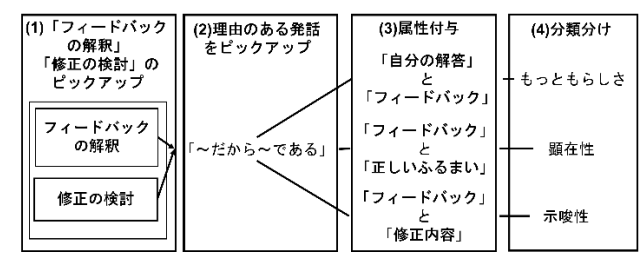


図 6 発話分析方法

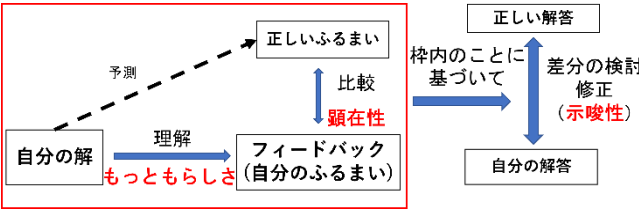


図 7 顕在性、もっともらしさ、示唆性の関係

6. 発話の分析結果

6.1 場合の数の発話の分析結果

本節では、場合の数システムを使用している際の発話の問題箇所を説明する。学習者が詰まる様子を見せた問題として、カードの組合せにおいて隣り合わない並び方があった。

この問題の正解時、被験者から見られた発話として、「赤色を設置できるのが 5 か所あって、その中から 3 つ選ぶのか」のように正しい認識ができていたものが見られた。しかし、「さっき 5C3 でダメだったから、次 5P3 でやってみよう。正解と回答がおなじっぽいから」、「えーと、あれ、隣、5P3 だとそうっぽい」のような解答に理由が見られない発話も被験者から見られた。

このように理由もなく解答する原因として、被験者が選択できる式の数が少ないことがあげられる。実際に被験者からも「なんか赤いカード 3 枚あって、そのそれを取りあえず順番決めてからできるのかなと思って 3P いくつとかの選択数があるかなと思ったけど、なくて」や、「あ、これ、学習として考えた場合に選択肢がちょっと少なすぎるかとは思いますが」のように選択式に関する発話が見られた。上記より、選択肢が少ないことで、被験者の解答が誤っていた場合も被験者の考えを反映できる式が存在せず、総当たりを行わせ

てしまったのではないかと考えられる。

また、5 章述べた発話の分析方法をもとに被験者の発話を顕在性、もっともらしさ、示唆性に分類した。実際に被験者の発話で分類したものを表 1 に記載する。

顕在性と分類できる発話として、「そこまではあって赤のカードもあってる。パターン変更何回か押してみ、特に違いがなさそうだし」というものがある。もっともらしさと分類できる発話として、「その時点でもうすでに違うから、4C3 は違うとして」というものがある。示唆性と分類できる発話として「まあでもこの時点で足されてる数が違うから、じゃあ違うってことか。階乗さっき 3 枚だけだったから全部の枚数を選んでみるかな」というものがある。

表 1 場合の数システム被験者の発話の属性と分類

被験者の発話	属性	分類
そこまではあって赤のカードもあってる	フィードバック	顕在性
特に違いがなさそうだし	正しいふるまい	
その時点でもうすでに違うから	フィードバック	
4C3 は違うとして	自分の解答	もっともらしさ
まあでもこの時点で足されてる数が違うから	フィードバック	示唆性
階乗さっき 3 枚だけだったから全部の枚数を選んでみるかな	修正	

6.2 EBPP 発話の分析結果

被験者の多くが誤った問題として、「人には初速がかかって。人は滑らかな床の上を滑っている」時の力を入力するというものがあった。誤答例として、中央から右方向に力を伸ばす誤答を行っていた。フィードバックを受けた後、このような発話を行っていた。「磁石に引っ張られてるっていうとこだけ違うから、やっぱり右向きの矢印にするのはあってるってことだから、場所が違うのか」や「磁石に引っ張られている。重力が無い空間にいる。右上のところに書かれている。しかし、初速がかかっている。磁石に引っ張られている。人は右に移動している。ということから、右向きの矢印では正しいのだろう」このように右向きに力を入れることが正しいとフィードバックをうけた後も学習者は考えている。さらに、右向きへの力に関する発話はこれ以外にも正解後で見られた。「正解、あっそうなんだ。上と下。床から押す力と重力の 2 つだけで右に進むんだ。へー」や「えっどうということ。右に移動するだから、右に書かなくてもいいのか。よくわからん」というように正解に右向きの力がないことに違和感や

納得のいっていない様子が見られた．このように右向きに力を入れていた被験者は 7 人中 6 人だった．

上記のように，右向きに力がないことに被験者が納得できない理由として，以下のことが考えられる．生成された問題設定と提示された問題設定どちらにも「人は右に移動している」というフィードバックが与えられている．このことから被験者は，右向きに力を入れることは正しいと誤った認識をした可能性がある．

また，被験者から正解に違和感を覚えている様子や，「これだと多分．これでいいんだ」という発話から，誤り前提で解答をしている様子が見られた．被験者が誤り前提で問題を解いていることから，被験者はフィードバックの内容を正しく理解できていない．そのため，被験者はどのように修正すれば正解になるのかを考えずに解答を行っているといえる．

また，5 章で述べた発話の分析方法をもとに被験者の発話を顕在性，もっともらしさ，示唆性に分類した．実際に被験者が問 2 に取り組んでいる際の発話で分類できたものを表 2 に記載する．

表 2 EBPP システム被験者の発話の属性と分類

被験者の発話	属性	分類
重力に従って右下に引っ張られていたから	フィードバック	顕在性
ふつうは床があれば下に行くことはないから	正しい ふるまい	
宇宙に行くわけか，これだと一つのひもに引っ張られている．人は一つの磁石に貼られている．能力は重力がない空間にいる．初速がかかっている．人は減速しながら右向きに移動している．人には初速がかかっている	フィードバック	もっともらしさ
そうなら摩擦の大きさがたりなかったのか	自分の 解答	
重力に従って右下に引っ張られていたから	フィードバック	示唆性
床が重力に反作用して床が重力に反発する作用がある	修正	

顕在性と分類できる発話として，「重力に従って右下に引っ張られていたから，ふつうは床があれば下に行くことはないから」というものが見られた．もっともらしさと分類できる発話として，「宇宙に行くわけか，これだと一つのひもに引っ張られている．人は一つの磁石に引っ張られている．能力は重力がない空間にいる．初速がかかっている．人は減速しながら右向きに移動している．人には初速がかかっている．そうなら摩擦の大きさがたりなかったのか」というものが見られた．示唆性と分類した発話として，「重力に従って右下に引っ張られていたから，ふつうは床があれば下に

行くことはないから，床が重力に反作用して床が重力に反発する作用がある」というものが見られた．

被験者の多くが示唆性の発話において，誤った修正を行っている様子が見られた．このことから示唆性に問題がある可能性が示唆された．

7. おわりに

本稿では，誤りの可視化を応用したシステムを用いて評価実験を行い，学習者の発話から問題点を分析した．分析結果から学習者がフィードバックの内容を正しく理解できない，誤り前提で解答を行ってしまう，根拠のない解答を行ってしまう，理由なく解答の修正を行ってしまうという問題点が見つかった．今後の課題として，被験者の発話からえた顕在性，もっともらしさ，示唆性に関して，正しい認識や修正を行っているものを計測することが挙げられる．さらに計測の結果からどのような誤りに対して誤った認識をしているのかを分析することが必要である．

さらに，この問題点を解決する手法を提案することがあげられる．また，提案した手法をシステムに実装することと，提案した手法が学習者の能力向上に繋がっているのかを調べるために評価実験を行っていく．

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 JP22K12322，JP21H03565，JP20H01730 の助成による．

参 考 文 献

- (1) 平嶋宗，堀口知也：“「誤りからの学習」を指向した誤り可視化の試み”，教育システム情報学会誌，Vol.21，No.3，pp.178-186 (2004)
- (2) 白戸晟真，東本崇仁：“問題解決過程の可視化による場合の数学学習支援システム”，電子情報通信学会技術研究報告(ET)，Vol.121，No.406，pp.25-30，(2022)
- (3) 相川野々香，齊藤寛，古池謙人，東本崇仁：“力学における学習者の誤りに基づいた問題提示（Error-based Problem Posing）システムの開発”，電子情報通信学会論文誌 D，Vol.J106-D，No.2，in press，(2023)
- (4) 加藤隆：“認知インターフェース”，オーム社出版局 (2002)

ICT 活用型防災フィールドワークが 地域の特徴の理解に与える効果の検討

畠山 久^{*1}, 永井正洋^{*2}, 室田真男^{*3,1}

^{*1} 東京工業大学 教育革新センター

^{*2} 東京都立大学 大学教育センター

^{*3} 東京工業大学 リベラルアーツ研究教育院

A Consideration of the Effect of ICT-based Disaster Prevention Fieldwork on the Understanding of Regional Characteristics

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

^{*1} Center for Innovative Teaching and Learning, Tokyo Institute of Technology

^{*2} University Education Center, Tokyo Metropolitan University

^{*3} Institute for Liberal Arts, Tokyo Institute of Technology

In this study, we designed a learning activity to learn about regional characteristics through disaster prevention fieldwork using tablet devices. We conducted this learning activity at a high school and examined its effectiveness of the learning activity. The worksheets used in the study indicated that the students could acquire knowledge about the characteristics of the community based on the assumption that a disaster had occurred, even though the fieldwork was conducted under normal circumstances. In addition, the subjective survey suggested that the elements of the learning activities in this study were useful.

キーワード: 防災学習, フィールドワーク, 防災マップ, 学習支援システム

1. はじめに

1.1 背景

東日本大震災以降, 災害発生時に備えた教育の必要性が再注目されている. 特に, 将来様々な立場で社会を担っていく人が最低限の防災力を身につけるために, 学校教育に防災教育を取り入れることは重要であると考えられる(岸田ほか 2009). 学校教育における防災の方向性の一つとして, 児童・生徒の「自らの命を守り抜くための主体的に行動する態度の育成」が文部科学省の有識者会議によって挙げられている. 同時に, 基本的な防災知識の習得や, 地域に応じた過去の災害・起きうる災害についての理解など, 防災教育の基礎となる基本的な知識に関する指導の充実が必要とされている⁽²⁾. また, 同年に文部科学省が策定した「学校安全

の推進に関する計画」⁽³⁾でも, 学校における安全教育で「知識と共にそれに基づいた適切な判断と行動する力」を育てるため, 指導時間の確保や教育手法の整理が必要であるとされている.

1.2 防災マップの活用

防災教育は様々な手法で実施されているが, その手法の一つとして地域の防災情報を集約した地図を作成する「防災マップ作成活動」がある. 防災マップとは, 地域における防災情報を地図に集約したものを指す. 防災マップに記載する情報の決まりはないが, 多くの場合は危険箇所や地域の避難場所, 災害時に役立つ施設・物品などが挙げられる. 類似するものとしては, 行政が発行するハザードマップが挙げられる. ハザードマップは行政が災害発生を想定して調査した結果を

整理・地図化したものだが、行政によってはハザードマップに「防災マップ」の名称を利用していることもあり、両者が混同されるケースも多い。このため本論では、瀧本の考え方⁽⁴⁾を参考に、児童生徒を含む住民が災害対策やその対応に直結した情報を記載したものを防災マップと定義する。学校現場においては地域学習の一環として広く行われており、小学生を対象とした模造紙を使って作成された防災マップのコンクールも開催されている⁽⁵⁾。高等学校でも教科の内容を踏まえてフィールドワークを行い、防災マップとして図化する学習活動の事例が報告されている⁽⁶⁾。

防災マップの作成・共有を容易にするため、ICT活用型防災教育としての側面からシステム開発を中心に研究がなされている⁽⁷⁾。例えば、田島ら⁽⁸⁾は、スマートフォン向け防災マップ作成支援システムを開発し、その実践を通じて主観調査から危険箇所・防災設備の認知や防災意識の向上への効果を報告している。このほか、メディア主導で自治体や地域コミュニティなどが参加し共有する取り組み⁽⁹⁾などが行われている。これらの研究では防災意識の向上が報告されており、ICTを活用した提案システムの有効性が論じられている。一方で、多くは成果物としての防災マップの作成とその支援に主眼が置かれており、作成の過程における学習活動や知識の獲得・理解については検討されていない。

ここで、防災における地域の影響を考える。本研究では、災害発生時に地域で実際に起こりうること、すなわち災害リスクやその備えといった地域特有の事柄を防災教育の観点からの「地域の特徴」と呼ぶこととする。前述の防災マップ作成活動も、地域の特徴の理解に繋がる学習活動と考えられる。

2. 目的

本研究では、ICTを活用した防災マップ作成活動を通じた学習活動の効果を検討する。このため、地域の特徴の理解を学習目標に設定し、フィールドワークを中心とした授業をデザインする。学習者は防災の観点で地域の情報を防災マップにまとめる。この活動を通じて、地域の様子・災害リスク・災害への備えを知り、地域の特徴として理解する。同時に、災害発生時の地

域の様子が想定できるようになることを目指す。

このために、デザインした授業を高等学校において実践し、主観調査と学習記録の分析から学習の効果を検討する。

3. 学習活動のデザイン

3.1 学習目標の設定

学校防災の指針として、文部科学省が作成した参考資料がある⁽¹⁰⁾。ここでは、防災教育のねらいとして「知識、思考・判断」、「危険予測・主体的な行動」、「社会貢献、支援者の基盤」の3点が挙げられ、幼稚園から高等学校までの発達段階に応じた防災教育の目標が示されている。この指針に対応するように、学習指導要領においても防災教育に関する内容が明文化されている。平成30年改訂の高等学校学習指導要領⁽¹¹⁾では、新設された「地理総合」の単元「自然環境と防災」において防災が扱われており、災害の特徴、地域性を踏まえた備えや対応の重要性の理解に加え、地域性を踏まえた防災について検討するといった思考力・判断力の育成が示されている。これを参考に、本研究における授業では学習者として高校生を想定し、地域の様子・災害リスク・災害への備えといった地域性を踏まえた防災知識を獲得し、これらをもとに地域の特徴として理解することを学習目標とした。なお、本研究では対象とする災害として地震や大雨・長雨、強風といった自然災害を設定した。

3.2 基礎的な防災知識の学習

防災を考える上で、基礎となるのは全般的な災害・防災の知識である。例えば地震災害であれば、地震のメカニズムや発生場所、震度に応じた被害規模、過去に発生した事例などが挙げられる。小学校から高等学校までの学校教育においては、社会科・理科といった教科教育のほか、総合的な学習の時間や教科外活動において、これらの災害・防災の知識を学ぶ機会がある。

本研究における授業では、各学習者がこれまでの学校教育で学んできた内容を振り返ることを目的に、防災知識の学習を実施する。地震によって引き起こされる災害の種類を確認し、地域における過去の地震災害の事例と、ハザードマップに代表される自治体による想定を学ぶこととした。

3.3 防災マップ作成のためのフィールドワーク

地域を踏査する活動であるフィールドワークは、地理教育や地学教育を中心に学校教育でも実施されている。井手・山下⁽¹²⁾は、中学校における地理的分野の学習「身近な地域」において地域を歩き観察するフィールドワークを実施し、その効果として地域を見る視点の変化などを報告している。この活動は現実性や地域性を踏まえた体験的な活動といえる。

本研究では防災マップ作成を目的としたフィールドワークを取り入れる。地域を踏査し、防災の観点で観察したものを記録する学習活動を通じて、学習者は地域の様子・災害リスク・災害への備えを知識として獲得する。観察できる地域の様子には、地形などの自然面だけでなく、施設の立地や地域コミュニティの年齢構成など社会面も含まれる。ここで学習者が基礎的な防災知識に基づき地域の特徴を考えることで、地域の状況と対応づける学習が実現できる。

フィールドワークは一人で行うこともあるが、今回はグループでの活動とした。観察・記録の際や、フィールドワークの記録を整理する活動においてグループで話し合う機会を設け、多角的に見ることを促進することを目指す。

3.4 システムによる学習支援

授業としてのフィールドワークの実施では、安全確保の観点も踏まえると、少人数でのグループ活動が望ましい。また、全員が全ての地域をくまなく踏査することは難しいため、各グループで分担し収集・記録した上で、情報を一元的に集約・共有することで効率化が図れる。そこで、フィールドワークで得られた情報を地図上に記録・集約するために学習支援システムを用いる。

本実践では、著者らが開発した防災マップ作成支援システム⁽¹³⁾をベースとした防災学習支援システム「ソナエル」を利用した。ソナエルは Android 端末で動作するクライアントアプリと、情報を集約するサーバシステムから構成される。学習者はクライアントアプリを用いて「災害時に危険な場所」、「災害時に役に立つ場所」、そして「その他」の3つのうち適切なカテゴリを選択し、ウィザードに沿って情報を登録する。これらのカテゴリは、それぞれ「災害リスク」、「災害への

備え」、「地域の様子」に対応する。登録の際には対象物の写真に加え、どのようなものであるか、また災害時にどのようなことが想定されるか・どのように活用されるのかといった情報を入力する。順を追って各項目に入力することで、単なる観察記録ではなく、発災時を想定して学習者が考えたことが記録されるようにしている。

記録された情報はインターネット回線を通じてサーバシステムに集約される。集約された情報はクライアントアプリのほか、ブラウザからも閲覧できる。

4. 授業実践

4.1 概要

デザインした学習活動を、千葉県内の公立高等学校において、1年生の「総合的な探究の時間」の一単位として実践した。2021年11月に全3回の授業を実施した。実施スケジュールを表1に示す。

授業はA組～D組の4クラス同時に実施し、各クラスの担任・副担任が担当した。なお、システムを利用するための端末台数などを鑑み、フィールドワーク(第2回)と振り返り学習(第3回)では学習者を3人前後のグループ(計23グループ)に分けグループ学習形式とした。また、ソナエルを利用するため、第2回・第3回にはソナエル端末と、端末とペアリングしたポータブルWi-Fiを各グループにセットで貸与した。

4.2 第1回：導入

初回の授業は導入として位置づけた。はじめに、学校周辺地域が印刷された地図ワークシートを配付し、学校と通学路を中心に地域の位置関係を確認した。その上で、生徒は自らが把握している地域の様子・特徴を地図中に書き込む個人ワークを行った。生徒には、地図中の該当箇所に印を付け、コメントを書き込むよ

表1 授業実践のスケジュール

実施回	時間	学習活動の内容
第1回	45分	地図ワークシート(学習前) 基礎的な知識の学習
第2回	100分	フィールドワーク
第3回	45分	振り返りワークシート 地図ワークシート(学習後)

う指示した。

その後、基礎的な防災知識の学習として、災害に関する一般的な解説を含めてオリジナルの映像教材と小冊子で説明した。この中では、地域の災害史や学校周辺のハザードマップを用い、授業は教室における講義形式としたが、クラスごとに担当教師が異なるため、授業の内容が揃うように教師には説明項目を整理した資料を配布した。

4.3 第2回：フィールドワーク

第2回の授業では、学校周辺地域におけるフィールドワークを3～4名ずつのグループ活動形式で実施した。千葉県内房地域に位置するこの研究協力校は、海岸線から1.3kmほどの位置に立地している。学校周辺は起伏に富み、学校敷地の南側を流れる河川に沿って広がる低地に集落や田畑が集中している。このような地域概況を踏まえ、地域において発生しうる地震災害および気象災害を想定し防災マップを作成する内容とした。

学校から移動を開始し、授業時間内に再び学校まで戻ってくる必要があるため、野外調査学習を行う時間は移動時間を含め100分間とした。生徒が同じ場所に

集中すると交通の妨げなどの恐れがあるため、学校側と協議の上で、学校周辺地域全体をカバーできるようにグループごとに調査範囲を分け、生徒には向かうべき大まかな場所を指示した。そして、グループごとに調査範囲内を自由に移動し、防災の観点で見つけたこと・気になったことを「災害時に危険な場所」、「災害時に役に立つ場所」、「その他」のカテゴリでシステムに記録するよう指示した。

4.4 第3回：振り返り学習

第3回の授業では、基礎的な知識の学習とフィールドワークで学んだ知識を整理し振り返る内容とした。

はじめに、振り返りワークシートを用いてフィールドワークで収集した情報を整理し、グループでシェアする活動を行った。クラス全体の記録が集約された地図が閲覧できる状態としたソナエル端末を各グループに配付し、それぞれが記録を自由に閲覧した。そして、これらの記録を踏まえ、振り返りワークシートに「災害時に危険な場所（災害リスク）」、「災害時に役に立つ場所（災害への備え）」、「その他（地域の様子）」のカテゴリごとに分布・立地の特徴をまとめる個人ワークを実施した。記入後に、ワークシートに基づき気づい

表2 主観調査項目

学習内容に関する項目（※学習前・学習後に回答）	
知識・理解	1. 学校の周辺地域の特徴を具体的に説明できる
	2. 学校の周辺地域における災害への備えを具体的に説明できる
	3. 大きな地震によって学校の周辺地域で発生する可能性のある被害を具体的に説明できる
	4. 大雨や長雨によって学校の周辺地域で発生する可能性のある被害を具体的に説明できる
	5. 強風によって学校の周辺地域で発生する可能性のある被害を具体的に説明できる
自己効力感	6. 大きな地震が発生した時に、自分の判断で自分の身を守る行動ができると思う
	7. 台風や低気圧の接近が予想されているときに、自分の判断で自分の身を守る行動ができると思う
	8. 災害時、困っている人に声をかけたり、協力したりできると思う
防災行動	9. 災害や防災について、家族と話し合うことがある
	10. 災害時にどのように行動・連絡するかなどを家族で決めている
	11. 食料や水を備蓄するなど、家庭で災害に備えている
学習への取り組みに関する項目（※学習後のみ回答）	
学習評価	12. グループで学んだことで進んで学習に参加できた
	13. アプリを使ったことで進んで学習に参加できた
	14. 学校敷地外で活動したことで進んで学習に参加できた

表3 学習内容に関する項目の得点比較（ウィルコクソンの符号付き順位検定）

項目	項番	N	学習前		学習後		Z 値	r
			平均	S.D.	平均	S.D.		
知識・理解	1.	62	1.50	1.170	2.74	1.159	-5.784 **	.735
	2.	62	1.31	1.168	2.65	1.189	-5.724 **	.727
	3.	59	1.63	1.285	3.08	1.005	-5.774 **	.752
	4.	59	1.73	1.362	3.20	1.156	-5.400 **	.703
	5.	59	1.81	1.420	2.86	1.196	-4.524 **	.589
自己効力感	6.	59	2.93	1.496	3.63	1.143	-3.684 **	.480
	7.	59	2.73	1.412	3.63	1.081	-4.731 **	.616
	8.	59	3.05	1.224	3.54	1.222	-3.051 **	.397
防災行動	9.	59	2.64	1.529	3.15	1.448	-2.846 **	.371
	10.	58	2.19	1.605	2.78	1.568	-2.969 **	.390
	11.	59	2.53	1.590	2.98	1.480	-2.553 *	.332

たことを話し合うグループワークを実施した。

その後、初回で用いたワークシートと同じ未記入の地図ワークシートを配付し、改めて学校周辺地域の様子・特徴を地図中に記入する個人ワークを行った。

5. 結果

5.1 主観調査

研究への協力の同意が得られた 65 名の生徒を対象に、一連の学習の開始前（学習前）と終了後（学習後）に質問紙による主観調査を実施した。項目を表 2 に示す。回答方法は全くあてはまらない（0 点）～非常にあてはまる（5 点）の 6 件法である。

「地域の特徴に関する知識や理解（1・5：5 項目）」、「防災時の自己効力感（6・8：3 項目）」、「日頃の防災行動（9・11：3 項目）」の設問では、いずれも平均得点が向上していた（表 3）。ウィルコクソンの符号付き順位検定で分析したところ、いずれも有意であった。

5.2 ワークシート

学習記録として、第 1 回（学習前）と第 3 回（学習後）の学習において利用した地図ワークシートを分析した。学習前・学習後の両方の地図ワークシートを提出した 54 名分について、書き込みの件数をカウントした。学習の前後で比較したところ、学習前の平均 1.87 件に対して学習後では平均 4.31 件となり、書き込み件数の増加が認められた。ウィルコクソンの符号

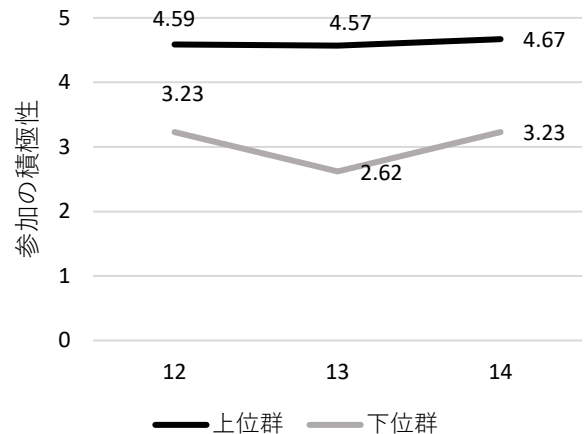


図1 各群の平均得点の比較

付き順位検定で分析したところ、有意であった（ $Z = -4.488$, $p = .000$, $r = .611$ ）。

6. 考察

6.1 主観調査

主観調査からは、生徒が地域の特徴の理解が進んだと感じており、災害に対する自己効力感や防災行動の変化からは防災意識の向上が認められた。学習の効果を検討するため、学習に積極的に参加できたかを尋ねた学習後の主観調査項目（学習評価の 3 項目：12・14）の得点で Ward 法によるクラスター分析を行い、上位群（51 名）・下位群（13 名）に分類した（図 1）。地域の特徴に関する知識や理解の 5 項目については、どちらの群も平均得点は向上していた。ウィルコクソンの

表 4 群ごとの知識・理解項目の得点比較（ウィルコクソンの符号付き順位検定）

	上位群							下位群						
	N	学習前		学習後		Z 値	r	N	学習前		学習後		Z 値	r
		平均	S.D.	平均	S.D.				平均	S.D.	平均	S.D.		
1.	48	1.54	1.202	3.04	1.031	-5.512 **	.796	13	1.38	1.121	1.69	1.032	-1.265 n.s.	.351
2.	48	1.33	1.191	2.96	1.031	-5.658 **	.817	13	1.23	1.166	1.54	1.127	-.791 n.s.	.219
3.	45	1.67	1.261	3.27	0.863	-5.402 **	.805	13	1.46	1.450	2.31	1.032	-1.933 n.s.	.536
4.	45	1.82	1.336	3.49	1.036	-5.172 **	.771	13	1.38	1.502	2.08	0.760	-1.452 n.s.	.403
5.	45	1.98	1.422	3.11	1.133	-4.247 **	.633	13	1.23	1.363	1.85	0.689	-1.515 n.s.	.420

符号付き順位検定で分析したところ、上位群は全ての項目で有意であったが、下位群は全ての項目で有意ではなかった（表 4）。グループでの学習や想定を促すアプリの利用、フィールドワークなどの要素を受けて進んで学習に参加できたと回答した生徒が特に地域の特徴の理解が進んだと感じていることから、本研究でデザインした学習活動が地域の特徴の知識習得を促したことが示唆される。

6.2 ワークシートの記録

ワークシートに書き込まれた件数が増加していたことから、生徒全体の傾向として地域の特徴の把握が進んだことが認められた。ここで、ワークシートに書き込まれた内容に着目すると、「がけがある」「道が狭い」など平常時の地域の様子が述べられているだけの記載と、「津波が起こるかも」「川があふれてくるかも」といった災害リスクまで記述されている記載の 2 つのカテゴリに分けられると考えられる。そこで、前者を「平常時」、後者を「想定」として、ワークシートに書き込

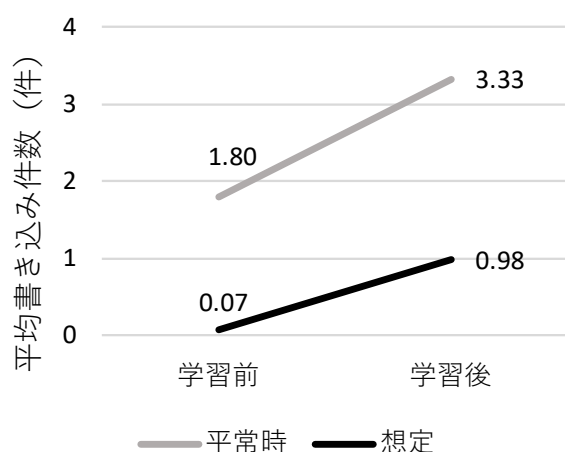


図 2 各カテゴリの平均書き込み数の変化

まれた内容を各カテゴリに分類した。生徒一人あたりの平均書き込み件数を図 2 に示す。どちらのカテゴリも学習後に平均書き込み件数が増加しており、ウィルコクソンの符号付き順位検定で分析したところ有意であった。特に「想定」については、学習前に記述していた生徒は 5 名だけであったが、学習後に記述していた生徒は 31 名と分析対象者の半数以上に増加した。本研究でデザインした学習活動によって、平常時の地域の様子を把握するだけでなく、災害発生時を想定した防災の観点から地域の特徴を捉え、知識として習得することができたと考えられる。

7. まとめ

本研究では、防災の観点からみた地域の特徴を知識として習得することを目指す学習活動をデザインし、実践を通じて学習の効果を検討した。授業を通じて、生徒が災害・防災を意識した上で地域の様子や災害リスク・災害への備えを知識として習得できたと考えられる。この学習には、アプリの利用・グループ活動・フィールドワークといった本研究における学習活動の要素が役立ったと考えられる。

今後、学習活動の各要素が、学習においてどのように影響を与えたかを検討したい。

謝辞・付記

授業実践にあたり、実践校の担任・副担任の先生方をはじめ、ご協力いただいた皆様に深謝いたします。

本研究は東京工業大学 人を対象とする倫理審査委員会の許可（第 2021119 号）を受けています。本論文は、全国大会⁽¹³⁾にて報告した内容を基に加筆したもの

です。

フィールドワークによる学習者の防災意識と地域の特徴に関する知識の習得への効果の検討”，日本教育工学会 2022 年春季大会講演論文集，pp. 67-68（2022）

参 考 文 献

- (1) 岸田幸子，大原美保，目黒公郎：“義務教育課程における防災教育カリキュラムの開発に向けた基礎的研究”，生産研究，Vol. 61，No. 4，pp. 713-716（2009）
- (2) 文部科学省：“「東日本大震災を受けた防災教育・防災管理等に関する有識者会議」最終報告”．
https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/sports/012/toushin/_icsFiles/afieldfile/2012/07/31/1324017_01.pdf（参照 2023.2.10）
- (3) 文部科学省：“学校安全の推進に関する計画”．
https://www.mext.go.jp/a_menu/kenko/anzen/_icsFiles/afieldfile/2012/05/01/1320286_2.pdf（参照 2023.2.10）
- (4) 瀧本浩一：“地域防災とまちづくり ―みんなをその気にさせる災害図上訓練―”．イマジン出版，東京（2016）
- (5) 日本損害保険協会：“ぼうさい探検隊”．
https://www.sonpo.or.jp/about/efforts/reduction/bousai_sp/（参照 2023.2.10）
- (6) 村中亮夫，谷端郷，飯塚広志，中谷友樹：“高校地理での学習内容を活用した防災教育プログラムの実践”，日本地理学会発表要旨集，2014s（2014）
- (7) 光原弘幸：“ICT活用型防災教育システムの現状と展望”，教育システム情報学会誌，Vol. 35，No. 2，pp. 66-80（2018）
- (8) 田島祥，村上祐治，内田理，梶田佳孝：“スマートフォンを活用した防災マップ作成支援システムの開発と授業実践の評価”，日本教育工学会論文誌，Vol. 41，pp. 85-88（2018）
- (9) NHK：“ぼうさいマップを作ろう”．
<https://www2.nhk.or.jp/bousaimap/>（参照 2023.2.10）
- (10) 文部科学省：“学校防災のための参考資料「生きる力」を育む防災教育の展開”．
<https://anzenkyouiku.mext.go.jp/mextshiryou/data/saigai03.pdf>（参照 2023.2.10）
- (11) 文部科学省：“平成 29・30 年改訂 学習指導要領、解説等”．
https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/1384661.htm（参照 2023.2.10）
- (12) 井手秀成，山下宗利：“フィールドワークが生徒に及ぼす影響・中学校社会科単元「身近な地域を調べよう」を事例に”，佐賀大学文化教育学部研究論文集，No. 14，pp. 237-260（2009）
- (13) 畠山久，永井正洋，室田真男：“防災をテーマとしたフ

ローコード・ノーコードツールを用いた オープンデータ／オープンIoTの構築を支援する ソフトウェアコンポーネントの開発

廣瀬雅也^{*1} 米谷雄介^{*1} 樋川直人^{*2} 長坂友則^{*3} 李 セロン^{*1} 山本高広^{*1} 高橋亨輔^{*1}
後藤田 中^{*1} 國枝孝之^{*1} 紀伊雅敦^{*1} 八重樫 理人^{*1}

^{*1} 香川大学 ^{*2} かがわ県民情報サービス株式会社 ^{*3} 日本電気株式会社

Development of Software Components to Support Construction of Open Data / Open IoT Based on Low-code / No-code Development

Masaya Hirose^{*1} Yusuke Kometani^{*1} Naoto Hikawa^{*2} Tomonori Nagasaka^{*3} Saerom Lee^{*1}
Takahiro Yamamoto^{*1} Kyosuke Takahashi^{*1} Naka Gotoda^{*1} Takayuki Kunieda^{*1}
Masanobu Kii^{*1} Rihito Yaegashi^{*1}

^{*1} Kagawa University ^{*2} Kagawa Information Service Co. Ltd. ^{*3} NEC Corp.

In recent years, open data has been promoted worldwide, and IT technologies for open data such as IoT are rapidly developing. In order to define and construct open data and information services using open data, it is essential to involve human resources who understand both local public services and IT technologies. In this study, we propose a support method that enables non-IT people to define and construct open data and create services in order to enable the participation of a wide variety of local stakeholders. Specifically, we developed software components that support the construction of open data and open IoT based on low-code and no-code. Through a design thinking practice program introducing these components, we clarified their effectiveness in supporting to define and construct open data and create services from the perspective of users of public services.

キーワード: オープンデータ, ローコード／ノーコード, オープンIoT, FIWARE, サービス創出

1. はじめに

近年, IoT などの先進的技術の活用により, 都市や地域の機能やサービスの効率化・高度化をおこない各種の課題の解決を図るとともに, 快適性や利便性を含めた新たな価値を創出することを実現するスマートシティが世界的に注目されている. また, 先進的技術によって得られたデータを二次利用可能な形で公開し, それらを活用してより良いまちづくりに役立てるオープンデータの取り組みが推進されている. デジタル庁^①によると, オープンデータの取り組みが国民参加・官民協働の推進を通じた諸課題の解決, 経済活性化, 行政の高度化・効率化等を実現することを期待され, 官民データ活用推進基本法(平成28年法律第103号)において, 国及び地方公共団体はオープンデータに取り組むことが義務付けられたため, オープンデータの

取り組みに関する研究開発は現在特に重要であるといえる.

オープンデータ推進は世界的に行われているが, オープンデータの取り組みを受け入れてもらうためには多くの課題が存在し, 簡単には進んでいない. その原因は「いままで閉じていたものをオープンにする, その移行の部分にコストがかかる」「オープンにしても直接的なリターンはなく, 判断を間違ったときに世間から責められるリスクだけが存在する」「データの取り扱いが難しく, 効果的な活用ができない」といった様々な問題点が存在するからである^②. これらの課題に立ち向かうためには, オープンデータの源泉である業務のデジタル化によるオープンデータ導入コストの削減, データをどのように使うとどのような価値が生まれるかのロジックの構築, データを扱いやすくするためのサービス充実による市民・納税者側の意識転換などが可

能な仕組みが必要である。

本研究の目的は、ローコード・ノーコードに基づいたソフトウェアコンポーネントを開発することで非 IT 人材によるオープンデータ／オープン IoT の構築、サービス創出の場や機会を創出することである。オープン IoT とは、オープンデータなどオープンなインフラを媒介として構築される IoT のことを指す。非 IT 人材の参画やアイデア創出の場や機会を増やすことによって、地域の公共サービスの知識を有する人材が新たに IT 技術に関する知識を獲得できオープンデータ／オープン IoT を用いた情報サービスの構築に貢献できると考える。

2. 関連研究

2.1 オープン IoT に向けたヘテロリソースの検討

現状の IoT の適用は特定のターゲットに合わせた垂直統合的なワンオフソリューションになりがちであり、その結果、個々の IoT サービスのコストが高くなり、多彩なサービスが十分出てきていないという問題点がある。これに対し、山登ら⁽³⁾は、デバイスとサービスを水平分離的に相互に利活用するオープン IoT に向けた、ユーザが必要なデータを持つデバイスをオンデマンドに発見して利用する Tacit Computing 技術の次のステップとして、3 レイヤーでの最適化処理を提案した。クラウドレイヤー、ネットワークレイヤー、デバイスレイヤーの 3 層からなる水平分離的な構成にすることでセンサやアクチュエータ等のデバイスとサービスをレイヤーによって分離しているので、垂直統合的な方法よりも多彩な IoT サービスをコスト低く開発、運用することが可能である。

2.2 IoT 時代におけるスマートシティ開発の進め方

東⁽⁴⁾は、現在進んでいる日本でのスマートシティの構想と現状の課題について紹介している。スマートシティ開発を進めるためには、ビジョン設計や公民連携の協議会等の運営、ガバナンス、データマネジメント等、非常に多岐にわたり全体を俯瞰的に捉えながら各地域にあった最適解を見つけ出すことが必要であり、内閣府⁽⁵⁾によって定義されているスマートシティリファレンスアーキテクチャの存在が重要であると述べている。スマートシティリファレンスアーキテクチャと

はスマートシティ開発をおこなうすべての関係者が共通の見方・理解を深め、相互に連携・協調可能な技術開発や標準化等を合理的に進めるためのフレームワークである。

2.3 FIWARE⁽⁶⁾による産業用データスペース・アーキテクチャの実現

ドイツは Industry 4.0 に直面しており、産業における製造工程に IoT の導入が始まった。自動化された生産プロセスから得られる膨大な量の生産データを効率的に管理するために、IDS(Industrial Data Space)と呼ばれる標準化された仮想データスペースが開発されたがアーキテクチャ層の具体的な実装は、リファレンスの範囲外となっており、オープンソースではなかった。そこで Álvaro Alonso ら⁽⁷⁾は、あらゆる Industry 4.0 シナリオに展開可能なソフトウェアコンポーネントを提供することを目的として、オープンソースである FIWARE を用いた IDS リファレンスアーキテクチャを実装した。このアーキテクチャを「工場のシステムから取得したデータを分析することで工場の製造プロセスを改善する」というユースケースに導入して検証したところ、FIWARE を用いた IDS は Industry 4.0 の環境に適したオープンソース・ソフトウェアを提供する IDS リファレンスアーキテクチャの要件を満たしていることが明らかとなった。

2.4 異種データ連携・可視化のための FIWARE を活用したローコード開発手法の検討

渡邊ら⁽⁸⁾は以下の課題に着目し、利用者が自身の目的に応じたデータ可視化を行えるフレームワークを提案した。

- (1) オープンデータの活用には専門知識が必要
- (2) オープンデータの様式の違いから異種データの連携が困難

提案されたフレームワークは (S1) 要求定義, (S2) データ論理設計, (S3) データ物理設計, (S4) データマッピング, (S5) データ投入, (S6) ノーコード可視化, (S7) 結果確認 の 7 ステップからなっている。データは FIWARE の構成要素の一つである Orion Context Broker (以下, Orion と略記) に集約し、コンポーネント間や外部のアプリケーションとデータをやり取り

する。提案フレームワークの有効性評価方法として、近隣の複数の自治体にまたがった広域避難所マップを作成するケーススタディをおこなったところ、提案フレームワークの適用において(S3) データ物理設計、(S4) データマッピングに注意点があることが明らかとなった。そのうち(S4) データマッピングでの注意点は、データの読み込み、マッピング、投入までの流れを Python プログラムで実装したため、これを専門知識なしでは到底できないという点であり、非 IT 人材のためのアプリケーションの支援が必須であると結論づけている。ここで非 IT 人材とは、IT 技術に苦手意識を持っている、IT 技術を活用するための知識を十分に持っていないという特徴を有する人材のことである。

3. ソフトウェアコンポーネントの設計と開発

3.1 要件定義

オープンデータにおける現状の課題として以下が関連研究⁽³⁾⁽⁸⁾から報告されている。

- (1) 垂直統合的なサービスはコストが高く多彩なサービスが十分にできない
- (2) オープンデータの活用には専門知識が必要
- (3) オープンデータの様式の違いから異種データの連携が困難

これらの課題から、本研究で開発するソフトウェアコンポーネントの機能要件は以下のようになる。

- (1) 多彩なサービスに展開ができる
- (2) 専門知識が無くてもオープンデータ／オープン IoT の構築ができる
- (3) 異種データの連携ができる

3.2 全体設計

前節の要件定義に基づき、開発するソフトウェアコンポーネントの全体設計を図 1 に示す。本ソフトウェアコンポーネントは「Microsoft 365⁽⁹⁾」「まちのデータ地図ちーず⁽¹⁰⁾」(以下、「ちーず」)の 2 つのプラットフォームの連携によって構成されている。Microsoft 365 はスマートシティアセット⁽⁵⁾の構築や IoT 共通プラットフォームである FIWARE へのデータ公開に利用する。「ちーず」は情報をジャンル分けして地図アプリとして表示できる開発プラットフォームであり、スマー

トシティサービス⁽⁵⁾の構築に利用する。FIWARE に公開されたデータを自動的に地図アプリに変換する機構を備えている。以降では、これらのプラットフォーム上で動作するコンポーネント群について説明する。

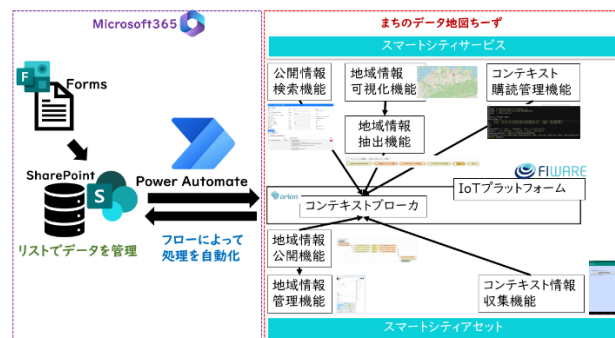


図 1 開発するソフトウェアコンポーネントの全体設計図

3.3 データモデル設計

FIWARE のコンポーネント間や外部のアプリケーションとのデータのやり取りには、すべて NGSI-v2⁽¹¹⁾形式のデータが扱われており、標準化されたデータモデルによって異種データの連携を実現している。データモデル内で定義した属性とその内容を表 1 に示す。NGSI-v2 は各データに必ず識別子 (id) と型 (type) を持ち、これによってデータを識別する。

表 1 データモデルで定義した属性と内容

属性名	内容
Id	データの識別 ID
Type	データの型
Title	地図に可視化したい場所の名称
description	場所の説明
location	可視化する場所／経路の位置情報
icon_url	アイコンの URL
photo_url	掲載したい写真／画像の URL
youtube_url	追加情報として載せたい動画の URL
additional_url	追加情報として載せたいその他の URL
App	このデータを載せたい地図アプリ名

3.4 機能設計

各コンポーネントの役割や構成について述べる。

(1) FIWARE データ管理機能

本ソフトウェアコンポーネントでは Microsoft 365 の製品である SharePoint⁽¹²⁾と Power Automate⁽¹³⁾を

利用している。本来、FIWARE のデータの登録・更新はプログラミングやコマンド実行によって HTTP リクエストを使用しておこなうため、IT に関する専門知識が必要であり、本稿で取り上げた FIWARE に関する関連研究⁽⁷⁾⁽⁸⁾でもデータの登録・更新は開発者側がプログラミング等でおこなっている。そこで、本研究では非 IT 人材の方でも FIWARE を扱えるようにするために Power Automate で以下のフローを作成した。

- ・ SharePoint のリストの内容を FIWARE に送信するフロー

- ・ FIWARE から SharePoint のリストヘデータを取り出すフロー

- ・ SharePoint のリストの内容を FIWARE に送信するフロー（「ちーず」データモデル対応）

(2) 位置情報更新機能

位置情報更新機能は、Android アプリとして開発し、Android 端末の経緯度情報を FIWARE 上の指定した id を持つエンティティの位置情報に書き込むことができる。これによって移動体の現在位置をオープンデータとして共有できる。

(3) オープン IoT 可視化機能

オープン IoT 可視化機能は、「ちーず」を用いて地図アプリとしてデータを可視化する機能である。具体的には、FIWARE の構成要素の一つである Orion から点データと線データを抽出し地図上に表示する。この時、app 属性に付与された値を検索条件に指定できる仕様であり、源泉データ（FIWARE に公開するデータ）と本機能におけるデータ取得時の検索値を修正するだけで様々な地図アプリを試作することができる。これに加えて GPS アプリと連携し、Orion 内にあるデータの位置情報を更新することが可能なため、点データは現在地のリアルタイム可視化にも応用可能となっている。点データと線データを可視化した例を図 2 に示す。また、点データには画像、動画、追加情報サイト等の追加情報を任意で登録することが可能であり、地図上に表示されている点データをクリック／タッチするとそのデータに登録されている追加情報を表示できる。

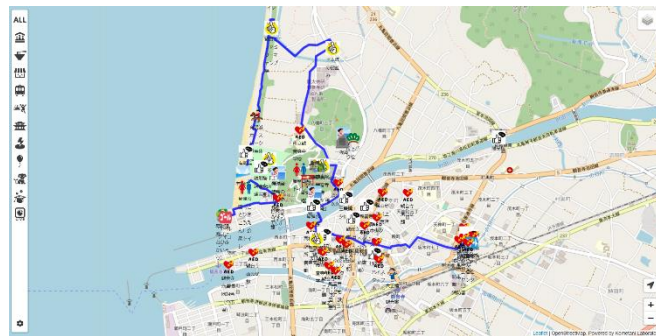


図 2 点データと線データを可視化した様子

3.5 FIWARE データ管理機能の詳細

本コンポーネントの詳細について述べる。

(1) SharePoint のリストの内容を FIWARE に送信するフロー

本フローの全体図を図 3 に示す。1 つ目の「PowerApps トリガー」は Microsoft Power Apps⁽¹⁴⁾（以下、PowerApps と略記）で作成されたアプリで指定されたボタンがタップされた時にトリガーが実行されるという意味となっている。PowerApps を介さず、任意のタイミングで実行することもできる。2 つ目の「複数の項目の取得」はアクション内で指定された SharePoint のリストの項目の内容を取得するアクションである。3 つ目の「Apply to each アクション」は FIWARE にデータを送信するための HTTP リクエストをおこなうアクションである。本アクション内には HTTP リクエストをするための情報をあらかじめ入力し、FIWARE に送信する命令文に SharePoint の内容を自動的に補完できる形のものを用意した。これにより、フロー利用者は最低限の変更で FIWARE ヘデータの送信をおこなうことができる。

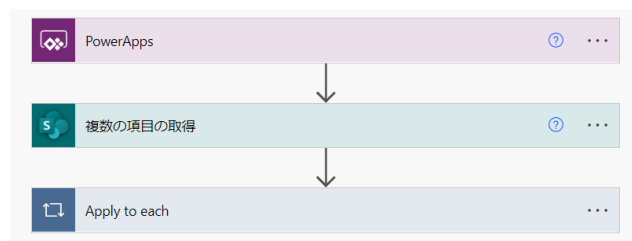


図 3 SharePoint のリストの内容を FIWARE に送信するフロー

(2) FIWARE から SharePoint のリストヘデータを取り出すフロー

本フローの全体図を図 4 に示す。1 つ目の「PowerApps トリガー」と 2 つ目の「複数の項目の取得アクション」の内容は「SharePoint のリストの内容

を FIWARE に送信するフロー」で紹介したものと
同じである。3つ目の「Apply to each アクション」の中
には SharePoint の項目を削除する処理が入っている。
FIWARE からデータを受信する前に SharePoint のリ
ストの内容を削除することでデータの重複を防ぐ。4
つ目の「HTTP アクション」は FIWARE からデータ
を受信するための HTTP リクエストをするアクショ
ンである。HTTP リクエストに必要な情報をあらかじめ
入力した状態のものを用意したので、フロー利用者は
本アクション内の「URI」の項目を必要に応じて変
更するだけでよい。5つ目の「JSON の解析アクショ
ン」は FIWARE からデータを受信するための JSON
Schema⁽¹⁵⁾を読み込むアクションである。JSON
Schema の記述は専門知識が無いと難しいため、あら
かじめ記載した状態で用意した。6つ目の「Apply to
each 2 アクション」の中には SharePoint のリストに
データを作成する処理が入っている。

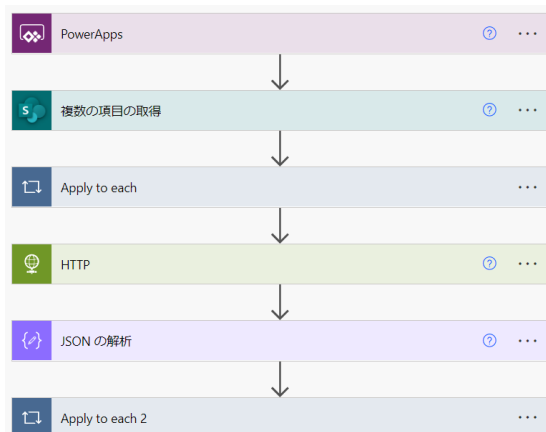


図 4 FIWARE から SharePoint のリストへ
データを取り出すフローの全体図

(3) SharePoint のリストの内容を FIWARE に送信す るフロー（「ちーず」データモデル対応）

本フローは「SharePoint のリストの内容を
FIWARE に送信するフロー」のうち、3つ目の「Apply
to each アクション」の中にある FIWARE にデータを
送信するための HTTP リクエストの内容を「ちーず」
の点データのデータモデルに対応させたフローである。
表 1 で示した属性に対応した項目を持つ SharePoint
のリストを作成してデータを準備し、フロー内でその
リストを指定することで、フロー利用者はフローを実
行するだけでオープン IoT 可視化機能を介して「ちー
ず」にデータを可視化することが可能になる。これに

より、オープンデータをノーコードで活用することを
支援する。

3.6 フローの導入手順書とマニュアルの整備

本ソフトウェアコンポーネントで開発したフローを
利用するためには、フローをダウンロードして各個人
の Power Automate にインストールした後、フローを
実行可能状態にするまでの手順がある。そこで、フロ
ーの導入手順とカスタマイズ方法をマニュアルとして
まとめた説明資料を用意した。資料に記載した内容は

- (1) 配布したフローを Power Automate にインストー
ルする手順
- (2) フロー内に存在する項目の意味の解説と入力例
の提示
- (3) 位置情報更新機能との連携方法
- (4) フローを使って「ちーず」にデータを可視化する
手順
- (5) PowerApps によるフロー実行方法

である。これにより、フローを使ったローコード・ノ
ーコードでのオープンデータの活用を支援する。

4. アイデア創出の実践におけるソフトウェア コンポーネントの試行

4.1 目的

本試行の目的は、デザイン思考実践プログラムの参
加者に本ソフトウェアコンポーネントを利用してもら
い、非 IT 人材を対象として、公共サービスの利用者視
点によるオープンデータの定義・構築、サービス創出
の支援における有効性を明らかにすることである。

4.2 方法

実践のフィールドは、香川大学、情報通信交流館 e-
とびあ・かがわ、スマートシティたかまつ推進協議会
が共同で主催する「令和 4 年度まちのデータ研究室⁽¹⁶⁾」
とした。まちのデータ研究室は 2018 年度より毎年開
催されている地域のデータ利活用を対象としたデザイ
ン思考実践プログラムであり、地域のデジタル化によ
る運営効率化、課題解決に関心のあるユーザを対象と
している。よって、本ソフトウェアコンポーネントの
実践フィールドとして妥当であると考えた。本研究で
開発したソフトウェアコンポーネントの提示は、まち

のデータ研究室を通じて結成されたチームがアプリ開発期間中（2022年12月4日～2023年1月20日）にアプリ内で「ちーず」を使用したいという意見が出たチームにのみおこなった。

デザイン思考実践プログラムを通じて本研究で開発したソフトウェアコンポーネントを利用したチームには、本ソフトウェアコンポーネントの有効性の分析に向けた意見収集をおこなうために、アンケートを実施した。アンケートでは最初に参加者の属性（年齢層、性別、職業、所属チーム、チーム内での役割、ITの活用経験、ITに関する苦手意識）を回答してもらい、どのような参加者にソフトウェアコンポーネントの需要があったかを分析する。次に、ソフトウェアコンポーネント群（3つのサンプルフロー、位置情報更新機能を搭載したGPSアプリ、まちのデータ地図ちーず）それぞれについて、どの程度役に立ったかを5段階で評価してもらい、使いやすかった点と使いにくかった点について自由記述で回答してもらう。加えて、ソフトウェアコンポーネントが各チームで考えたシステム／サービスを実現するためにどの程度役に立ったかを5段階で評価してもらい、本ソフトウェアコンポーネントの貢献度を分析する。また、役に立たないと感じた場合は今後の展望のために具体的にどのような体験からそう思ったかを自由記述で回答してもらうこととした。本アンケートは、Microsoft Forms で作成した。本アンケートは各チームでのアプリ開発が完了する前に提示するとアンケート結果やアプリ開発過程に影響が生じると考えたため、2023年1月21日に行われた研究成果発表会が終了した後に提示した。

4.3 結果

アンケート回答者は9名であった。参加者の職業は、行政職員2名、企業職員3名、高校生3名、個人事業主1名であり、現在もITを活用する仕事に関わっている人は2名であった。ITの活用経験は、1年未満が8名、1年以上～3年未満が1名であった。ITに関する苦手意識は、苦手4名、どちらともいえない4名、苦手ではない1名であった。

令和4年度まちのデータ研究室で結成されたチームのそれぞれの人数とアプリ名を表2に示す。チームAは坂出市内で出発地点、目的地、時刻を指定してバス

の予約をするオンデマンドバスアプリを開発した。アプリ開発にはPowerAppsとSharePointを使用している。チームBはスマホの操作が分からない高齢者を助けるためのスマホSOSアプリとして、SOSを発信する側である高齢者用のアプリと、SOSを受信して高齢者を助けに行く側であるボランティア用のアプリの2つを開発した。自分の現在地、SOSを出す日時や内容を入力し、オープンデータとして投稿することで、「ちーず」にSOSの情報を可視化する、これを見て、ボランティア側の人が高齢者を支援する。チームCはオープンデータとして公開された香川県内のお祭りの情報を検索するアプリを開発した。アプリ内では、お祭り情報を「ちーず」によって可視化したり、お祭り情報を入力してオープンデータとして投稿することができる。チームDは観音寺市でおこなわれる温泉ガストロノミーツアーの補助をするアプリを開発した。アプリ内では対象とするツアーのルートとその周辺の観光地などの情報が「ちーず」によって確認できる。また、位置情報更新機能と連携することで現在地も確認可能なため、ルートから外れていないかをリアルタイムで確認できる。その他、撮った写真を5段階評価でレビューしてオープンデータとして投稿することができる。

表2 チームとアプリ名一覧

チーム	人数	アプリ名
A	6人	坂出市デマンドバス ピンポンカモン！
B	5人	スマホ SOS アプリ
C	5人	マツケン！（お祭り検索アプリ）
D	10人	Kan-onji Walker～まちに訪れる誰もが安全と魅力を発見できるアプリ～

5. 本ソフトウェアコンポーネントの有効性の考察

5.1 成果物におけるソフトウェアコンポーネントの活用

今回のデザイン思考実践プログラムに参加したすべ

でのチームで **SharePoint** を活用したデータの定義・構築が行われており、「ちーず」を使用したチーム B、チーム C、チーム D は成果物として開発したアプリ内で、利用者がデータを作成しオープンデータとして投稿できる機能を実装できていた。また、チーム D は位置情報収集アプリと「ちーず」の連携によって現在地をリアルタイム表示する機能まで実装していた。さらに、チーム B では、アンケート結果で分かりづらいという意見が多かった「HTTP」アクション、**Power Automate** によるフローと「ちーず」の連携の部分において、説明資料を基に「ちーず」で使用したデータモデルについて学習して「SharePoint のリストの内容を FIWARE に送信して「ちーず」に可視化するフロー」を応用し、SOS の対応が完了すれば **SharePoint** のリストの内容を更新することで「ちーず」に表示されているデータを非表示にするフローを作成できていた。これらのことから、本研究で開発したソフトウェアコンポーネントはオープンデータ／オープン IoT の構築とサービス創出を支援できていたと考えられる。そのほか、本ソフトウェアコンポーネントによって SOS、お祭り、観光地といった様々な分野のオープンデータを取り扱うサービス創出を実現することができたことから、異種データの連携、多彩なサービスの展開において有効性があったと考えられる。

5.2 本ソフトウェアコンポーネントの利用者評価

アンケートによって得られた意見を基に本ソフトウェアコンポーネントの有効性を考察する。配布したフローについて、肯定的な意見としては、「JSON 解析など複雑な部分を記載する必要がなく便利だった」「ほぼそのまま使えた。自動でデータ連携を行えるため、手間が省け便利だった」などがあり、IT 活用歴が短い人や IT に苦手意識がある人でも活用できていたと考えられる。否定的な意見としては、ソフトウェアコンポーネントがあらかじめ整備されている故に「そのまま使える分、仕様を理解するのが難しい」「応用ができない」「エラーの対処方法が分からない」という課題があることが収集された意見から確認され、誰にでも活用できるようにするためにはさらに改善が必要であることが明らかになった。説明資料に、エラーの出る例や応用方法の例を示す等の対応を検討する必要がある。

「ちーず」について、肯定的な意見としては、「他の地図の API よりも連携しやすい」「ジャンルごとの棲み分け、各種データを一元的に表示できる点は魅力」などがあり、異種データの連携・活用において有効性があったと考えられる。否定的な意見としては、「仕様が分からない」「可視化しているデータがエラーによる不具合で消える場合がある」などがあり、データの内容が仕様上でエラーになる事象に遭遇した時の対処方法が難しいことが明らかとなった。原因の一つとしては、「ちーず」は講義中にほぼ説明が無かったため、具体的にどのような場合にエラーが出るのかを十分に把握させることができていなかった点だと考えられる。来年度のまちのデータ研究室では、説明資料を十分に準備したうえで有効性の検証を行いたい。

位置情報収集アプリについて、肯定的な意見としては、「まちのデータ地図ちーずにアプリ名とアイコンを渡していればあとは自動で連携することができる」「連携や停止を自分のタイミングで選択できるのが良い」など、連携のしやすさを言及した意見があった。否定的な意見としては、「Share Point やフローなどの作成が必要であり、手軽に使うには難しい」があり、実際に位置情報収集アプリを開発に使用していたのはチーム D のみであった。より多くの人に活用してもらうためには、説明資料の整備と具体的な活用事例の紹介が必要であると考えられる。

6. まとめ

本研究では、現在世界的に取り組まれているオープンデータ推進に関する課題点に対して求められる「多彩なサービスに展開できる」「専門知識が無くてもオープンデータ／オープン IoT の構築ができる」「異種データの連携ができる」の3つの要件を満たすために、非 IT 人材によるオープンデータ／オープン IoT の構築、サービス創出を支援することを目的としたソフトウェアコンポーネントの開発を行った。そこで、本ソフトウェアコンポーネントの有効性を検証するために、デザイン思考実践プログラム「令和4年度まちのデータ研究室」を通じて、参加者に本ソフトウェアコンポーネントを活用してもらいながらアプリ開発をしてもらい、ソフトウェアコンポーネント利用者の成果物、

アンケートによって得られた意見から、公共サービスの利用者視点によるオープンデータの定義・構築、サービス創出の支援における効果を調査した。その結果、ソフトウェアコンポーネント利用者によって開発された成果物は、アプリ利用者がデータを自ら作成しオープンデータとして投稿できる機能を有したものであり、アンケートでは「非エンジニアでも気軽に開発できる環境だった」「JSON 解析など複雑な部分を記載する必要がなく便利だった」などの意見も確認された。よって、本研究で開発したソフトウェアコンポーネントは公共サービスの利用者視点によるオープンデータの定義・構築、サービス創出の支援において一定の効果があることが示された。しかし、否定的な意見として「そのまま使える分、仕様を理解するのが難しい」「エラーの対処法が分からない」「応用ができない」という意見が多くあったため、誰にでも扱えるソフトウェアコンポーネントを目指すためにはこの課題点の対処方法について検討していく必要があることも明らかとなった。今後の対応として、本ソフトウェアコンポーネントに関するより詳細な説明資料の準備や機能設計の見直しを行い、本研究で明らかとなった課題点への対処方法を検討していきたいと考えている。

謝 辞

本研究の一部は、令和 2 年度科学研究費補助金若手研究（課題番号:20K14084）の補助によるものである。

参 考 文 献

- (1) デジタル庁：「オープンデータ」, https://www.digital.go.jp/resources/open_data/ (参照 2023.2.4)
- (2) 森嶋良子：「オープンデータはなぜ簡単には進まないのか？ | 筑波大・川島宏一教授インタビュー」, <https://weekly.ascii.jp/elem/000/001/751/1751433/> (参照 2023.2.4)
- (3) 山登庸次, 干川尚人, 野口博史, 出水達也, 片岡操：「オープン IoT に向けたヘテロリソースの最適化検討」, 信学技報, Vol.117, No.271, pp.19-24 (2017)
- (4) 東博暢, 「IoT 時代におけるスマートシティ開発の取り組みと現状の課題」, 電子情報通信学会 通信ソサイエティマガジン, Vol.16, No.2, pp.88-95 (2022)
- (5) 内閣府：「スマートシティリファレンスアーキテクチャ

とは」, https://www8.cao.go.jp/cstp/stmain/a-guidebook1_200331.pdf (参照 2023.2.4)

- (6) FIWARE Foundation：「FIWARE」, <https://www.fiware.org/foundation/> (参照 2023.2.4)
- (7) Álvaro Alonso, Alejandro Pozo, José Manuel Cantera, Francisco de la Vega, Juan José Hierro：「Industrial Data Space Architecture Implementation Using FIWARE」, Sensors 2018, Vol.18, No.7, 2226 (2018)
- (8) 渡邊 輔, 中田匠哉, 陳 思楠, 中村匡秀：「異種データ連携・可視化のための FIWARE を活用したローコード開発手法の検討」, 信学技報, Vol. 121, No. 318, pp.52-57 (2022)
- (9) Microsoft：「Microsoft 365」, <https://www.microsoft.com/en-us/microsoft-365> (参照 2023.2.5)
- (10) 米谷雄介, 米丸 浩一郎, 樋川直人, 高橋亨輔, 後藤田中, 國枝孝之, 八重樫 理人：「データ利活用人材育成プログラムの開発：データ利活用サービスのプロトタイプ作成支援環境の開発とその実践」, 教育システム情報学会誌, Vol. 37, No. 2, pp.131-142 (2020)
- (11) Let's FIWARE：「FIWARE-NGSI v2 (release 2.1)仕様」, <https://fiware-orion.letsfiware.jp/user/orion-api/> (参照 2023.2.5)
- (12) Microsoft：「SharePoint モバイル対応のインテリジェントなイントラネット」, <https://www.microsoft.com/ja-jp/microsoft-365/sharepoint/collaboration> (参照 2023.2.5)
- (13) Microsoft：「Power Automate」, <https://powerautomate.microsoft.com/ja-jp/> (参照 2023.2.5)
- (14) Microsoft：「Microsoft Power Apps」, <https://powerapps.microsoft.com/ja-jp/> (参照 2023.2.5)
- (15) JSON Schema organization：「The home of JSON Schema」, <https://json-schema.org/> (参照 2023.2.5)
- (16) 情報通信交流館 e-とぴあ・かがわ：「令和 4 年度 まちのデータ研究室」, https://www.e-topia-kagawa.jp/lecture/machino_data_kenkyushitsu_r4/ (参照 2023.2.5)

「探究とは何か」の受講高校生の傾向

宮下伊吉*1

*1 三重大学

Trends of high school students attending

“What is Inquiry-based Learning?”

Ikichi Miyashita*1

*1 Mie University

高等学校学習指導要領改訂により 2022 年度より全国で本格的に取り組まれている探究的な学びに対し、大学はこれまでの体験学習とは異なる深い関りが求められている。本稿では高校からの依頼を受けて実施した、「探究とは何か」をテーマにした高 1 生対象の講座において、Google フォームを使った事後ワークの結果より、高校生の興味・関心や考え方等の傾向を読み取り、複数のグループに分けてその特徴をまとめた。

キーワード: 探究, 高大接続, ICT

1. はじめに (背景)

高等学校学習指導要領改訂により、探究的な学び(社会と自己との関わりから問いを見出し、自分で課題を立て、情報を集め、整理分析し、まとめ・表現でき、課題発見・解決に向けて互いの良さを生かしながら新しい価値創造とよりよい社会を実現しようとする態度を養う)の取り組みが増え始めている。一方で、「自ら問い、課題を立てられない」生徒が多い、探究的学びを推進できる諸条件(人的・予算的等)が整っていない等の高校現場の声もあり、高大連携のあり方もより深い関りが求められている。本稿では、筆者が A 高校の依頼を受け、総合的な探究の時間において、「探究とは何か」をテーマに講座を担当する機会を得たことから、「探究」に対する高校生の態度の実態を確認する。

2. 実施と結果

2.1 目的と対象

探究的な学びへの取り組みには、高校生の興味・関心や考え方等によりどのような傾向がみられるかを明らかにすることを本稿の目的とした。対象は、前述の

A 高校 1 年生全員 200 名を対象とした「探究とは何か」の講座受講者のうち、Google フォームを使った事後ワークに取り組んだ 135 名である。

2.2 方法

受講対象の高校生には、高校の探究活動担当教員を通してワークシート(事前ワーク用と当日ワーク用の記入欄、事後ワーク用の Google フォームの QR コード入り)の配布を依頼し、実施した。(図 1)

図 1 ワークシート

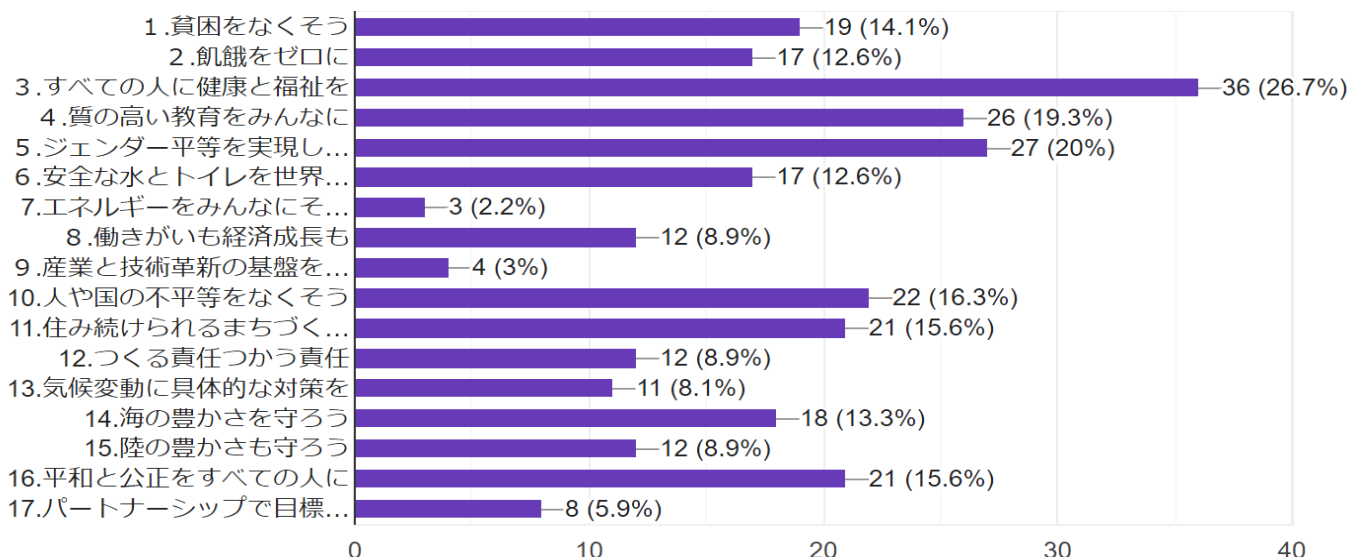


図 1 SDGs の 17 の目標に関する関心（二つ選択）

n=135

		チーム観		リーダー観		探究の傾向		解決の方向		いずれに もあては まらない
		異なる意見 や対立を 恐れず に新たな 発想を生 み出す チームが 良いと思 う	同じ意見 が多いほ うがチー ムとして のまとま りがあつ て良いと 思う	一人ひと りの特徴 を把握し 、役割を 明確にし てリーダー が良いリ ーダーだ と思う	言いたい ことを発 言しながら 全体を引 き上げる リーダー が良いリ ーダーだ と思う	自分はい ろいろな 分野から 広く考え 続けるこ とができ ると思う	自分は一 つのこと を深く掘 り下げ続 けること ができる と思う	自分は未 来（理想） をイメージ し実現し ようとする 傾向が強 いと思う	自分は現 在の疑問 をすぐに 明らかに しようとする 傾向が強 いと思う	
【高校指定の6分野】										
自然科学・環境系：										
④環境への課題										
⑤自然科学（化学・生物・数学など）への疑問										
医療福祉・教育系：										
②医療、福祉の課題										
③教育の課題										
人文・社会系：										
①まちづくりの課題										
⑥人文科学（文学・歴史・語学・心理学など）への疑問										
自然科学・環境	25	10	7	11	2	8	6	5	8	0
医療福祉・教育	46	22	10	18	3	9	8	13	13	0
人文・社会	64	25	17	21	9	11	22	17	16	4

表 1 考え方の傾向（複数選択）

Google フォームには、高校指定のこれから取り組む予定の探究活動の 6 分野や、SDGs の 17 の目標といった「興味・関心を確認する項目」のほかに、自分の考えにあてはまりそうだと思う項目「考え方を確認する項目」、「講座の満足度に関する項目（自由記述含む）」、事前ワーク後と講座受講後の振り返り（5 件法で 5 とでもあてはまる～1 全くあてはまらない）に関する「振り返り項目」の 4 種類の項目を設定した。

2.3 結果（興味・関心）

「興味・関心を確認する項目」では、高校指定の 6 分野のうち、⑥人文科学（文学・歴史・語学・心理学

など）への疑問（37.8%）と①まちづくりの課題（9.6%）の人文・社会系の分野が 47.4%。②医療、福祉の課題（18.5%）と③教育の課題（15.6%）の医療・福祉・教育系の分野が 34.1%。⑤自然科学（化学・生物・数学など）への疑問（13.3%）と④環境への課題（9.6%）の自然科学・環境系の分野が 18.5%であった。いわゆる文系志向の生徒が多いことが A 高校自体の特徴といえる。SDGs の 17 の目標（最も関心のあるものを二つ選択）のうち、関心が高い上位 2 項目が「3.すべての人に健康と福祉を（26.7%）」「5.ジェンダー平等を実現しよう（20.0%）」、関心が低い下位 2 項目が「9.産業と技術革新の基盤をつくろう（3.0%）」「7.エネルギー

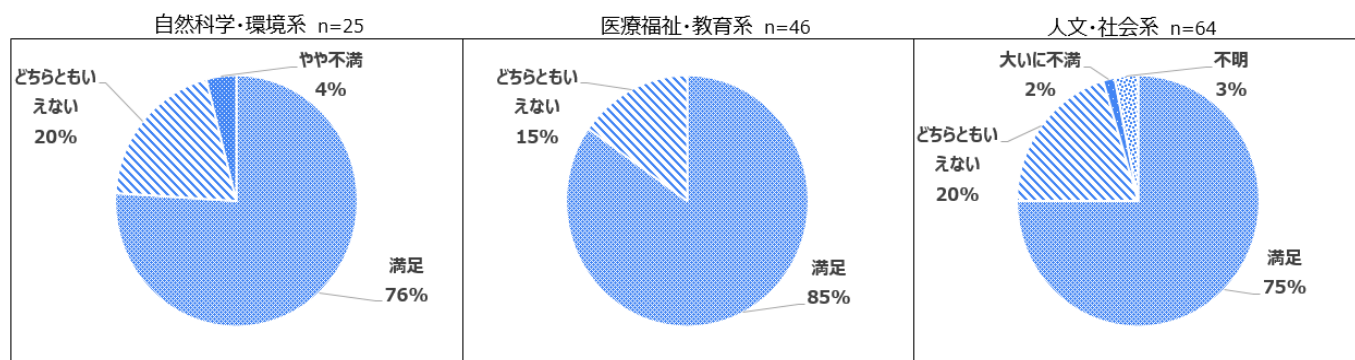


図 2 分野別の受講満足度

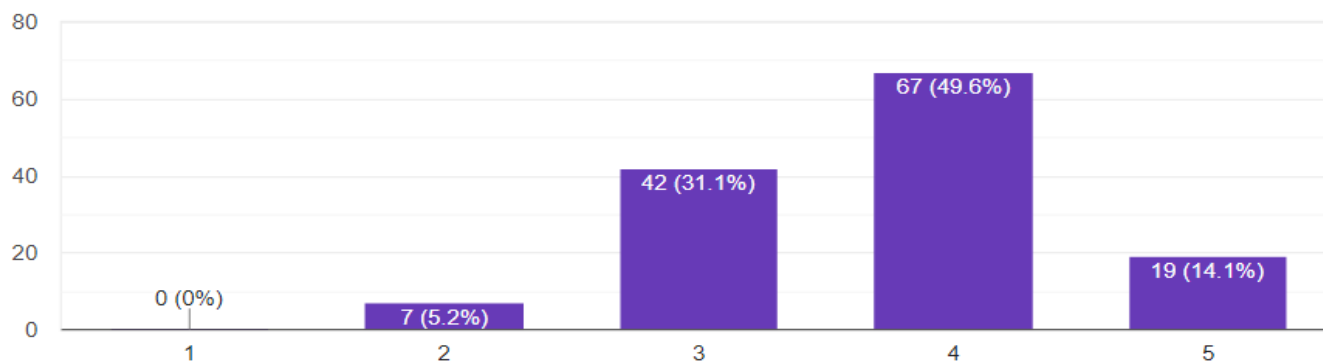


図 3 事前ワークの振り返り

n=135

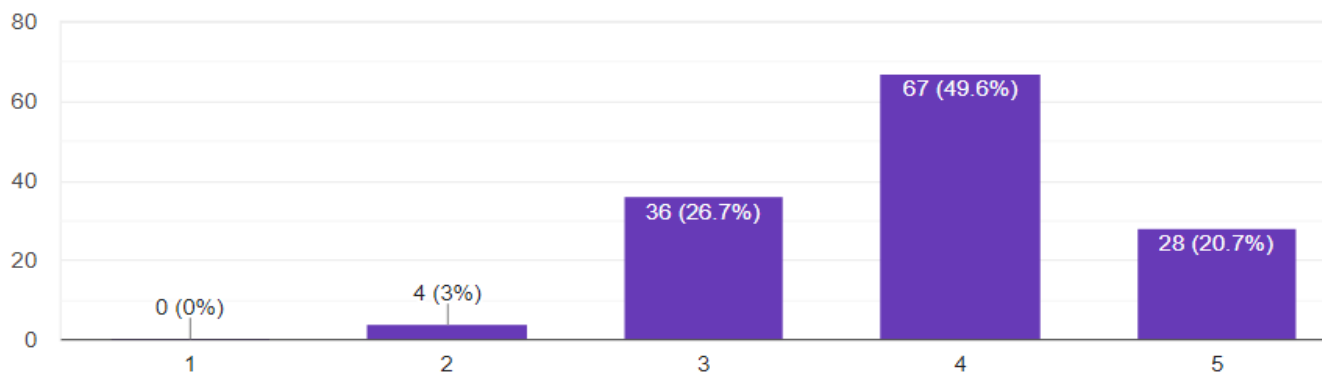


図 4 当日ワークの振り返り

n=135

ーをみんなにそしてクリーンに (2.2%)」であることから自然科学・環境系志向の生徒が少ないといえる。

2.4 結果（考え方）

「考え方を確認する項目」では、チーム観、リーダー観、探究の傾向、解決の方向の4つに分け、人文・社会系と医療福祉・教育系および自然科学・環境系の3分野で特徴を比較した。すると、最も大きな特徴を示したのが、リーダー観である。いずれの分野も「言いたいことを発言しながら全体を引っ張るリーダーが良いリーダーだと思う」よりも「一人ひとりの特徴を

把握し、役割を明確にできるリーダーが良いリーダーだと思う」を選択する傾向が強い。分野で傾向の違いが表れている項目は、探究の傾向とチーム観である。探究の傾向では、人文・社会系の分野が「自分はいろいろな分野から広く考え続けることができると思う」よりも「自分は一つのことを深く掘り下げ続けることができると思う」を選択する傾向がみられるが、他の分野ではあまり差はみられないチーム観では、全分野とも「同じ意見が多いほうがチームとしてのまとまりがあって良いと思う」よりも「異なる意見や対立を恐れずに新たな発想を生み出すチームが良いと思う」を

選択する傾向があり、特に医療福祉・教育系の分野においてはその傾向が顕著である。（表 1）

2.5 結果（満足度）

「講座の満足度」（5 件法：とても満足、やや満足、どちらともいえない、やや不満、大いに不満）を分野別で比較すると、医療福祉・教育系が満足（とても満足＋やや満足）を 85%と最も高い満足度を示し、不満（やや不満＋大いに不満）はみられなかった。ただし、「とても満足」のみでは、人文・社会系が 58%と最も高い比率を占め、医療福祉・教育系は 33%であった。（図 2）

「とても満足」と回答した人文・社会系の高校生の回答理由には、「これからの探究のため、テーマの決め方やどのように調べていったらいいのかわかりやすく聞くことができたから」との記述がみられた。一方、不満（やや不満＋大いに不満）の回答理由についての記述はみられなかったが、「どちらともいえない」と回答した理由については、「まだ明確な目的を持っていないから」「大学でのテーマが主だったので想像しづらいところが時々あったから」「少し聞き取りづらかった」との記述がみられた。

2.6 結果（振り返り）

「振り返り」のうち、事前ワークでは、「事前ワークを通して、探究活動でどのようなテーマや問いにしたいかをもっと自分でよく考えるようになったと思う」について 5 件法（5 とてもあてはまる～1 全くあてはまらない）で最もよくあてはまるもの一つを選択回答させた。その結果、5+4 の「あてはまる」の比率が 63.7%であった。2+1 の「あてはまらない」は 5.2%（1 全くあてはまらないは 0%）であった。（図 3）

一方、当日ワークでは、「当日ワークを通して、探究活動でどのようなテーマや問いにしたいかを、事前ワークの時よりも、もっと自分でよく考えるようになったと思う」について、事前ワークと同様の 5 件法で確認した結果、5+4 の「あてはまる」の比率が 70.3%であった。2+1 の「あてはまらない」は 3%（1 全くあてはまらないは 0%）であった。（図 4）

3. まとめ

今回、「探究とは何か」をテーマに高 1 生対象の講座で Google フォームを使ったワークの実施にあたり、高校生のチーム観（対立を恐れず新たな発想を生み出すか、同じ意見重視か）やリーダー観（一人ひとりの特徴を把握し役割を明確にできるリーダーか、言いたいことを言って全体をひっぱっていくリーダーか）および探究の傾向（いろいろな分野から広く考えるか、一つのことを掘り下げ深く考えるか）、解決の方向（未来の理想か、現実の問題か）という項目を設定した。設定時点では、探究的な学びに対して、「自ら問い、課題を立てられない」生徒が多い場合は、明確な傾向や特徴が表れないかもしれないと懸念していたが、しっかりしたチーム観やリーダー観を持っている印象を受けた。今後の課題は、探究の傾向であり高い傾向がみられなかった「いろいろな分野から広く考えていく」能力・スキルを高めていく機会を増やすとともに、高校生の目線に沿ったコンテンツを増やしていく必要があるのではないかと考える。

謝辞

今回ご依頼を頂きました高等学校関係者のみなさまをはじめ、何よりも事前ワークから講座当日のワークと Google フォームによる事後ワークに熱心に取り組まれた生徒のみなさんに厚く御礼申し上げます。

参考文献

- (1) 高等学校学習指導要領（平成 30 年告示）解説「総合的な探究の時間編」, https://www.mext.go.jp/content/1407196_21_1_1_2.pdf (2023 年 2 月 8 日確認)
- (2) 宮下伊吉, “高大連携における学生主体の活動による受講者満足度への影響”, 令和元年度全国大学入学選抜研究連絡協議会大会（第 14 回）研究会発表予稿集, pp252.255 (2019)
- (3) 宮下伊吉, “SDGs 探究 MAP を使った高大連携セミナー”, 日本教育工学会 2020 年春季 オンライン全国大会 発表論文集(2020)

*COVID-19 をテーマとした医療福祉情報系

分野連携遠隔 PBL 授業

片岡 竜太^{*1}, 二瓶 裕之^{*2}, 小原 眞知子^{*3}

^{*1} 昭和大学, ^{*2} 北海道医療大学, ^{*3} 日本社会事業大学

The Interdisciplinary remote PBL for Medical, Social welfare and Information communicology field students that featured the theme of the COVID-19.

Showa University ^{*1}, Health Sciences University of Hokkaido ^{*2}, Japan College of Social Work^{*3}

多分野チームで課題を発見し解決する価値創造に対応する能力を身に付けるために、6 大学の医学、歯学、薬学、看護、栄養、社会福祉、情報コミュニケーション学の学生 25 名が Web を活用して「コロナ禍時代の持続可能な医療・健康生活を考える」をテーマとする授業に参加した。授業終了後、「各分野で対応すべき課題と対応策・解決策」を学修レポートして各自提出した。課題設定と問題解決を多分野グループで実施した「2021 年度」と、分野別で実施した「2022 年度」で、終了後実施したアンケートと学修レポートのテキストマイニングの結果について比較した。2021 年度は共通の課題について、各分野の強みを活かした解決策を検討するために、いかに他分野と連携するかについて検討が行われていた。一方 2022 年度は各分野で興味深い課題を選択したために、分野間で課題が異なり分野間の連携についてはあまり検討を行わない傾向が認められた。

キーワード: 分野連携, PBL (Problem Based Learning), 遠隔授業, ICT 学修支援システム

1. はじめに

将来が予測できない時代に社会の課題を解決していくには、多分野チームで課題を見つけ出し、課題を解決する価値創造に対応する能力を身に付けることが必要である。2017 年度から 6 分野の教員が協議を重ねて、6 分野の学生が参加する遠隔 PBL 授業を 2018 年度と 2020 年度に実施した。遠隔授業を実施するための ICT 学修支援システムや PBL の進め方や学生用ガイドの改良を重ねた^{1,2)}。またアイスブレイキングや十分なディスカッションの時間を確保することが重要であることを知見として得た。

2021, 2022 年度にコロナ禍で現在社会が直面している COVID-19 の問題を多面的にとらえ、知識を統合

して解決を目指す多分野グループによる PBL (Problem Based Learning) 授業を、以下の 4 つの目標を達成するために実施した。1. チームで多面的に学びを協働し、論理的・批判的な思考力を訓練する。2. 他の専門性を理解することで自分の専門性を客観視できる。3. チーム全体の目標と動きの中で自分の役割と専門性を位置づけることができる (連携力)。4. 他の専門職に対してリスペクト (尊敬) の視点を持つことができる。

2021 年には「多分野グループ」で課題を決定し、課題解決を行う形で実施し、2022 年には「7 分野ごと」に課題を決定し、課題解決を行う形で実施した。授業終了後の学生アンケートと学修レポートについて、テ

キストマイニングによる共起ネットワークを用いて、授業成果の特徴の分析を試みたので、授業の進め方が授業成果にいかに関与するかを報告する。

2. 対象および方法

2.1 対象

2021年度は5大学の医学、歯学、薬学、栄養学、社会福祉学、情報コミュニケーション学の4,5年生の計12名、2022年度は6大学の医学、歯学、薬学、看護学、栄養学、社会福祉学、情報コミュニケーション学の3,4年生の14名が授業に参加した。

2.2 方法

2.2.1 ICT学修支援システム

グループディスカッションやグループプロダクトの作成をオンラインで共有しながら簡便に実施できることを主目的に、文書作成サービス（Google Document）をベースにビデオ会議システム（Zoom）と時差式のディスカッションを行うモバイルメッセージングアプリケーション（Line）を組み合わせ、Webシステムを構築した。学修の進め方、プロダクトの作成方法、eポートフォリオなどの提出物と提出期限などが記載されている学生用ガイド（PDF）を加えてICT学修支援システムを構築した。

2.2.2 分野連携PBL授業の進め方

医学、歯学、薬学、看護、栄養、社会福祉、情報コミュニケーション学の教員が協議して「コロナ禍時代の持続可能な医療・健康生活を考える」をテーマとする5回（各90分）の授業設計を行った。初回はオリエンテーションとテーマ認識およびアイスブレイキングを図るために、グループ内でコロナ禍の実体験を共有した。2回目授業では問題発見、整理を行い、3回目に関心点の優先順位を検討した上で、グループとしての課題を設定した。4回目は設定した課題に対する解決策を検討し、5回目に2グループが合流し、グループとしての解決策を他のグループと教員グループに説明しディスカッションを行った。授業終了後、各自「コロナ禍時代の持続可能な医療・健康生活について各分野

の視点から自分の意見や考えを加えた」学修レポートA4 2枚以内を提出した。2021年度は多分野グループとして課題を設定し解決策を検討したが、2022年度は7分野別に課題を設定し解決策を検討した。課題設定や解決策の検討の際には、各分野の教員がファシリテーターを行った。

2.2.3 分野連携PBL授業のプロダクト

1) 2021年度

多分野グループでコロナ禍の問題についてディスカッションを行い、「メディアが及ぼす影響」「食」「雇用・補償」「ワクチン」「心身の健康管理」など幅広い問題が抽出された。グループでの課題を設定する際にディスカッションが難渋したために、各分野の専門性を活かした解決策を検討するようにアドバイスを行い、グループ1では「フレイル」、グループ2では「身体機能とメンタルヘルスの悪化」を課題とした。グループで設定した課題についての解決策を多分野グループで検討し、解決策の概要を決めた上で各分野の強みを活かした解決策を立案した。

2) 2022年度

多分野グループでコロナ禍の問題についてディスカッションを行い、その後で各分野に分かれて課題設定を行った。医学分野では「予防法」「情報」「生活」「コミュニケーション」の観点から問題を把握した上で、「ワクチン」を課題として選び、解決策を検討した。看護学分野では、「看取り」「出産」「コミュニケーション不足」「食生活の変化」の具体的な問題が、「精神的な問題」や「子どもの成長発達」に影響しているという形で課題を設定し、他分野との連携も考慮しながら解決策を提案した。

2.2.4 学生アンケート

授業終了後、分野連携PBLに参加して生じた意識変化など18項目からなるリッカート尺度4件法（1. 全くそう思わない 2. あまりそう思わない 3. ややそう思う 4. とてもそう思う）のアンケートを実施した。

2.2.5 学修レポートのテキストマイニングによる解析

テキストマイニングにはフリーソフトウェアであるKH Coder³を用いて分析を行った^{3, 4}。品詞としては

「名詞」のみを選択し、特徴的な単語のみを抽出するため、単語出現回数 7 回以下と「課題、可能、機会、機関、国民、社会、自分、状況、状態、対応、人、本人、分野」の単語を除外し単語を抽出した後、抽出語を用いて学部を外部変数として共起ネットワークを作図した。

2.3 倫理的配慮

本研究は昭和大学における人を対象とする研究等に関する倫理委員会の承認（21－015－B）を受けて実施した。

3. 結果

3.1 学生アンケート結果

2021 年、2022 年ともに回答率は 100%であった。「他学部学生は、今の自分には専門的な知識を所有していた」の項目については、両年度とも 100%で「他学部学生とディスカッションをしたことは、自分にとってよい刺激だった」に関しても約 9 割以上の学生がとてもそう思うと回答した。

「今回の PBL が終了して充実した気持ちである」「グループメンバー同士で相互に支え合うことができた」「他学部（科）学生と協力してグループプロダクトを作成することができた」はいずれも、多分野グループで課題を決定して問題解決を行った 2021 年度の方が、「とてもそう思う」と回答した学生の比率が高かった。逆に「今回の PBL を通じて、自己学修や他学部（科）学生への説明に、十分な準備をする必要性が理解できた」「自分が興味深いと思ったことについて、さらに学修をしようと心がけた」に関しては、2022 年度の方が「とてもそう思う」と回答した学生の比率が高かった（表 1）。

表 1 学生アンケート結果

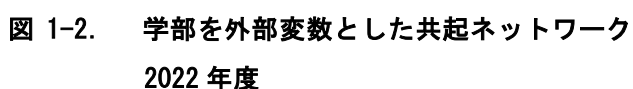
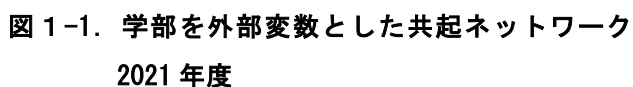
アンケート項目	「とてもそう思う」(%)	
	2021 年	2022 年
今回の PBL によって、学修意欲が高まった。	67	56
他のグループメンバーとのディスカッションで問題への興味がさらに深まった。	78	67

自分が学修した内容を他のグループメンバーに説明することで、理解が深まった。	78	67
他学部生とディスカッションをしたことは、よい刺激だった。	100	89
今回の PBL を通じて、コミュニケーションの重要性が理解できた。	89	67
自学部(科)に関連する専門的な内容について、他学部(科)学生が理解できるように説明できた。	11	11
他学部(科)に関連する専門的な内容について、他学部(科)学生からの説明で理解できた。	45	44
他学部生は、自分にはない専門的な知識を有していた。	100	100
他学部生と協力してグループプロダクトを作成することができた。	89	45
自分に必要な知識や能力を再認識することができた。	78	67
今回の PBL が終了して充実した気持ちである。	100	45
興味深いと思ったことについて、さらに学修をしようと心がけた。	22	45
今回の PBL を通じて、自己学修や他学部生への説明に、十分な準備をする必要性が理解できた。	67	100
グループメンバー同士で相互に支え合うことができた。	89	45
各グループメンバーの意見を傾聴し、尊重することができた。	78	78
各グループメンバーの意見でわからないところがあれば、その都度質問をして相互理解ができるように努めた。	78	67
グループとしての決定は、全員の合意のもとに行われた。	89	78

3.2 学修レポートのテキストマイニングによる解析結果

学修レポートからの総抽出語数は 2021 年度の 8246 語（292 文）、2022 年度は 10395 語（280 文）であった。レポートの平均文字数は 2021 年度 916 字、2022 年度は 945 字であった。抽出語の頻出語上位 10 件は、

学部を外部変数とした共起ネットワーク図を作成すると、2021年度は「コロナ」「情報」「医療」「地域」「ウイルス」「役割」など多分野で共通して使用している語句が多く、問題を多分野で共有した上で、各分野の強みを活かした解決策を提案していると考えられる（図 1-1）。一方で 2022 年度は、多分野で共通して使用されているのは「コロナ」のみ、3 分野で用いられているのが「情報」「オンライン」「高齢」「患者」で、他は分野ごとに異なる語句が用いられていた。これは多分野でディスカッションを行い、コロナ禍の健康と医療に関して幅広く問題があることは認識したが、分野ごとに異なる課題を抽出して解決策を検討したために、各分野で異なる語句が使われたと考えられた（図 1-2）。



学生アンケート結果から 分野連携 PBL における多分野学生とのディスカッションは学生にとって良い刺激となり、他学部学生の専門的な知識について、尊敬の念を抱いていることが明らかになった。PBL のプロセスの中で、問題発見や解決策の説明に関しては、多分野グループで行った方が授業の充実感やグループとしての達成感、グループ内での支え合いなどの自己評価が高かった。授業後に作成した学修レポートの記載内容についての共起ネットワークをみると、多分野グループで課題を設定した 2021 年度は、個人で記載した学修レポートにおいても、多分野に共通して使われている語句が多く、他分野と連携して自分分野の強みを活かした解決策の提案を行っているレポートが多くみられた。一方、分野ごとに課題を設定して解決策の検討を行った 2022 年度は学修レポートの記載内容について、分野独自で用いられている語句が多かった。このことはアンケート結果で、他学部生との協力や支え合いなどに関して、「とてもそう思う」と回答した学生が 2021 年度と比較して少ないことと関連していると考えられた。また 2022 年度はすべての学生が、他分野の学生に説明する難しさを痛感して、十分な準備が必要であることを理解しており、興味深いと思ったことに関してさらに学修しようと心がけた学生が、2021 年度と比較して 2 倍だった。すなわち、2022 年度は他分野から刺激を受け、他分野と自分分野について理解を深めることができたが、他分野と連携した解決策を検討するところまでは至らなかったと考えられた。分野ごとに課題設定、課題解決を行う方法は、ファシリテーターを務める教員からのアドバイスも受けやすく、アンケート結果からも「十分な準備が必要」と回答されているので、他分野を知り、自分分野を知るという授業目的に適していると考えられた。

多分野グループで共通の課題を決定する際の問題点として、テーマが大きい場合には多様な問題があがるため絞り込みが難しいことが挙げられる。各分野の特徴をよく把握した上で、それらの強みを活かした解決

策を検討しやすい課題を選択するようにすることが重要であると考えられる。

最初に掲げた本授業の4つの目標のうち、「1. チームで多面的に学びを協働し、論理的・批判的な思考力を訓練する」「2. 他の専門性を理解することで自分の専門性を客観視できる」「4. 他の専門職に対してリスペクト（尊敬）の視点を持つことができる」の3つは2021年度、2022年度とも達成できたと考えられたが、「3. チーム全体の目標と動きの中で自分の役割と専門性を位置づけることができる（連携力）」に関しては、2021年度の多分野グループで課題を設定し解決する方法でないと達成できない可能性が示唆された。

これらの結果から、まずは「自分分野と他分野を知る」ための授業を第1段階で行い、次に第2段階として連携・協働のあり方を学ぶ授業を行うのが効果的ではないかと考えられた。

謝辞

本授業は公益社団法人私立大学情報教育協会医療系フォーラム実験小員会で実施した。

本研究は文部科学省科研費基盤研究 C18K02869 の補助を受けて行った。

参 考 文 献

- 1) 片岡竜太, 二瓶裕之, 小原真知子ほか: “健康長寿の実現を目指した ICT を活用した授業の成果—保健医療福祉介護栄養6分野2年生のネットグループ学修”. 日本健康教育学会誌, 27 巻 pp. 83 (2019)
- 2) 片岡竜太, 小原真知子, 原島恵美子, 中山栄純 “Web システムを活用した医療系分野連携 PBL 実施とその成果 低学年と高学年を対象としたプログラム” 日本教育工学会 2021 年春季全国大会講演論文集 pp. 49-50 (2021)
- 3) 樋口耕一 “社会調査のための計量テキスト分析 —内容分析の継承と発展を目指して—” 第2版 ナカニシヤ出版 サポートページ Amazon (2020)
- 4) 樋口耕一 “テキスト型データの計量的分析 —2つのアプローチの峻別と統合—” 数理社会学会編 “理論と方法” 19 巻 1 号: PP.101-115 PDF File (2004)

対話モデルを用いた授業の発話分析とシーンの可視化

大西 朔永^{*1}, 椎名 広光^{*2}, 保森 智彦^{*2}

^{*1} 岡山理科大学大学院, ^{*2} 岡山理科大学

Utterance Analysis and Scene Visualization in Class using a Conversation Model

Sakuei Onishi ^{*1}, Hiromitsu Shiina^{*2}, Tomohiko Yasumori^{*2}

^{*1} Graduate School of Informatics, Okayama University of Science

^{*2} Okayama University of Science

小学校等の授業において、教員が省察に使用できる時間は少なく、短時間での省察が必要になっており、システム化が望まれている。そこで本研究では、小学校の算数の授業の発話をテキスト化し、ニューラルネットワークを用いた対話モデルによって教員と児童の発話を分析している。また、発話の分類とシーンを分析・可視化するシステムの開発を行っている。

キーワード: 対話, 深い学び, 対話分析, 対話モデル, シーンの可視化

1. はじめに

文部科学省中央教育審議会⁽¹⁾では教員に求める資質・能力として実践的指導力を挙げ、教員の探求力や学び続ける教員像の確立が必要であるとしている。続いて、平成 29 年公示の文部科学省小学校指導要領⁽²⁾で「主体的・対話的で深い学び」を実現する授業が目指されている。小学校の授業において様々な取り組みが行われてきており、教育学の実証研究における授業の分析では、教員や児童の発話の分析も行われている。その中で省察活動⁽³⁾ ⁽⁴⁾が注目されている。熟達化研究の観点では、教員は自立した学習者を育てるには、適応的熟達者であるべきであるとされている⁽⁵⁾。PCK (Pedagogical Content Knowledge) をベースとした省察による研究⁽⁶⁾では、教員の適応的熟達者は、教師中心と学習者中心の PCK の 2 面から省察を行っていることが示されており、授業中の発話について教師中心だけでなく、学習者中心の PCK に基づいた支援が求められている。教師中心や学習者中心の PCK に加えて協働的な学習を重視する省察マトリックス⁽⁶⁾が提案されている。「主体的・対話的で深い学び」の観点から省察方法のデジタル化を分析した研究⁽⁷⁾がなされており、コンピュータシステムによる発話分析⁽⁸⁾が試み

られている。その背景には日本の小中学校の教師は多忙で、研究授業や省察といった研修に使う時間が 48 か国で最も短いという調査結果⁽⁹⁾がある。多忙な教師にとって、いつでも一人で負担なく省察できる方法である機械的手法による分析手法の開発は急務である。

実際の小学校の授業では、教員は児童の状況を見ながら授業を進めており、教員が一方的に授業を行っていることはまれであると考えられる。児童の場合は授業について自分の学びの状況や意見、感想を同級生間で発話することが多くあり、児童は対話をしながら授業を進めていると考えられる。また、大学においても反転授業が進められており、学生間の対話や教員との対話が理解を深めるという意味で重要である。教員と児童や児童間では、一種の対話が成り立っており、授業の理解を促したり示したりする発話や対話を自動的に分析することができれば、教員に対して多くのフィードバックが可能となる。

機械学習を用いた自然言語処理では、Transformer⁽¹⁰⁾を用いた BERT⁽¹¹⁾等の文脈を考慮した言語処理が可能となっている。さらに、対話においてはチャットボット等の対話応答生成の研究が行われており、Transformer を用いた GVT (Global Variational

表 1 主体的・対話的で深い学びのラベル

小分類	大分類
主体的な学び	見通しを持たせる 主体的 児童の主体的な学びとは逆行している 振り返りに課題あり。教師が一方的に提示している。 正答を出すことが目的になっている
対話的な学び	対話させている 対話を促す
深い学び	深い学び 関数 数学的な見方

表 2 シーンの一覧

シーン
前回の振り返り
前回の振り返り_発表
作業の説明
作業させる
問題を解く
話し合い
答え合わせ
答え合わせ_発表
発表まとめ
授業まとめ
授業まとめ_発表
挨拶

Transformer)⁽¹²⁾が提案されている。

本研究では、事前にクラスタリングを用いて発話者の特徴を抽象化する拡張 GVTSC モデルを提案すると共に、小学校の授業の対話に対して、拡張 GVTSC モデルによる発話の分析を行っている。具体的には、小学校の算数の授業を録画し、教員と児童の発話に対して文字起こしを行った対話形式のテキスト情報を分析している。分析においては、あらかじめ授業中の発話に対して、人手でアノテーションを 2 種類付している。一種類目は、「主体的・対話的で深い学び」に関連する発話に対して、学びの種類を示すラベルを付与している。もう一方のアノテーションは、授業における場面を表すシーンを付与している。これらのアノテーション後に、その発話と近い距離にある発話を提案する拡張 GVTSC を用いて抽出している。また、授業中の発話に対して、ラベルの推定及び、シーンの推定を行っている。発話に対して、推定したラベルやシーンを見るだけでは、省察の補助としての利用は簡単ではない。そこで、授業の動画と併せて、ラベルやシーンの分布を時系列で確認できるように可視化を行うシステムの開発を行っている。

2. 主体的・対話的で深い学びの分類

「主体的・対話的で深い学び」に関する定義や具体的な発話例の整理を行った研究⁽¹³⁾では、「主体的な学

び」、「対話的な学び」、「深い学び」に大きく分けられおり、複数の分類に重複する発話の存在が示されている。本研究で用いた「主体的・対話的で深い学び」の分類 10 種類を表 1 に示す。「主体的・対話的で深い学び」の定義には、各教科・領域に共通する一般化された定義と教科固有の定義がある。本研究では小学校の算数の授業を対象としているため、「数学的な見方」等の教科固有の分類が存在している。

3. 授業の場面の分類

授業の対話データに対して、授業における場面を表すシーンをアノテーションしている。シーンは計 12 種類となっており、シーンの一覧を表 2 に示す。

4. 利用した授業の対話データ

授業の対話データは、小学校の算数の授業（45 分）を録画した上で、教員と児童の発話に対して文字起こしを行い、対話形式のテキスト情報を作成している。本研究では、あらかじめ授業中の発話に対して、人手でアノテーションを 2 種類付している。一種類目は、「主体的・対話的で深い学び」に関連する発話に対して、表 1 の学びの種類を示すラベルを付与している。もう一方のアノテーションは、表 2 の授業における場面を表すシーンを付与している。授業のデータは、4 年生の算数（比例）の授業 1 と 6 年生の算数（比例）の授業 2 を得られている。授業 1 のデータは、発話数が

193, ラベルを付与した発話数は 13 である。授業 2 のデータは、発話数が 274, ラベルを付与した発話数は 27, 全ての発話を各シーンに分類している。

5. 発話者のクラスタリングを追加した拡張 GVTSC モデル

5.1 概要

対話応答生成には、様々な対話に対しての応答と成り得る無難な応答を生成するために、応答の多様性が低くなるという課題が存在する⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾。GVT モデルは、Decoder の入力にサンプリングした潜在変数を利用する手法であるが、発話者の特徴を潜在変数で表現し、サンプリングを行うことで、応答の多様性をもたらしっていると考えられる。しかし、先行研究では潜在変数が生成された応答の一貫性を低下させる傾向があることが示されている⁽¹⁶⁾。そこで、発話者ごとの特徴を考慮するために、クラスタリングを用いて発話者の特徴を抽象化し、Encoder においてその発話者の特徴を加味することで、一貫性と多様性を向上させる。本研究では、話者の分離を行っている拡張 GVT モデルに対して、事前に発話者を分類するクラスタリングを追加した拡張 GVTSC モデルを提案し、評価を行っている。

5.2 クラスタリングによる発話者の特徴作成

拡張 GVTSC モデルの概要を図 1 に示す。GVT モデルに発話者ごとの Encoder を追加した拡張 GVT モデルに対して、クラスタリングを用いて発話者の特徴ベクトルを作成する部分(図 1 の点線部分)を追加し、コンテキストのエンコードにおいて利用している。

拡張 GVTSC モデルの処理について述べる。最初に、クラスタリングを用いて発話者の特徴ベクトルを作成する。コンテキストは対話を行う 2 者の発話をまとめたものであり、発話者ごとに分割することが可能である。そこで、対話のコンテキストを発話者ごとに分割し、発話者ごとに処理を行っている。発話者ごとの処理は同様であるため、発話者 1 の場合を述べる。Speaker1 TRS Encoder で発話者 1 のコンテキストをエンコードする。TRS Encoder では、入力系列の先頭に CLS トークンを付加しており、Transformer によって出力ベクトルが計算される。発話者 1 のコンテキストのベクトル (Speaker1 Vector) として、CLS ト

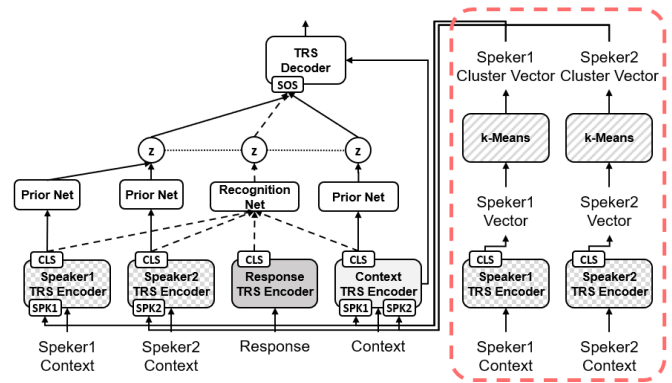


図 1 拡張 GVTSC モデル

ークンのベクトルを取得する。Speaker1 Vector に対して、クラスタリングを行う。本研究では、クラスタリングに k-Means を使用している。クラス数 k については、ハイパーパラメータ同様実験において決定する必要がある。クラスタリングの結果、Speaker1 Vector が属するクラスタを予測し、そのクラスタの中心ベクトル (Speaker1 Cluster Vector) を取得する。発話者 2 に対して、発話者 1 と同様の処理を行い、Speaker2 Cluster Vector を取得する。ここで、クラスタリングに使用している TRS Encoder は、応答生成で訓練している TRS Encoder を共有している。ただし、クラスタリングの処理では、誤差逆伝搬による訓練は行われない。

5.3 対話応答生成

対話のコンテキスト全体は、Context TRS Encoder に入力し、出力ベクトルを得る。コンテキストのエンコードでは、入力系列に発話者ごとのトークン (SPK1, SPK2) を追加し、SPK1 に Speaker1 Cluster Vector, SPK2 に Speaker2 Cluster Vector を入力する。また、発話者ごとにコンテキストを分割し、それぞれを各 Speaker TRS Encoder に入力し、出力ベクトルを得る。その際には、Speaker1 TRS Encoder には入力系列に発話者 1 のトークン (SPK1) を追加し、Speaker1 Cluster Vector を入力し、Speaker2 TRS Encoder には入力系列に発話者 2 のトークン (SPK2) を追加し、Speaker2 Cluster Vector を入力する。発話者ごとのコンテキストのエンコードにおいて、各発話者の特徴ベクトルを利用することで、より発話者の特徴を考慮したエンコードを図っている。

事前・事後分布を多層パーセプトロン (MLP) によって近似した Prior Net・Recognition Net から潜在変

数 z をサンプリングする．Prior Net は，Speaker TRS Encoder または，Context TRS Encoder の CLS トークンの出力ベクトルを基に，MLP によってコンテキストのベクトルの平均と分散を推定する．その平均と分散に従う正規分布より潜在変数 z をサンプリングする．Recognition Net では，Speaker TRS Encoder と Context TRS Encoder に加えて Response TRS Encoder の CLS トークンの出力ベクトルも用いて，MLP により対話全体のベクトルの平均と分散を推定する．Prior Net と同様に推定した平均と分散に従う正規分布から潜在変数 z のサンプリングを行う．TRS Encoder の CLS トークンの出力ベクトルは入力全体の表現したベクトルとみなすことができるため，CLS トークンの出力ベクトルから事前・事後分布を生成し，潜在変数 z をサンプリングしている．

TRS Decoder では，入力系列の先頭の SOS トークンに通常の潜在変数に加えて，応答の発話者の潜在変数を入力することで，潜在変数を応答の生成に利用している．この際，TRS Decoder は，学習時には Recognition Net からサンプリングした潜在変数を利用し，生成時には Prior Net からサンプリングした潜在変数を利用する．

5.4 拡張 GVTSC モデルの定式化

拡張 GVTSC モデルは， c をコンテキスト， c_{s1} を発話者 1 のコンテキスト， c_{s2} を発話者 2 のコンテキスト， x を応答， z を潜在変数， v_{s1} を発話者 1 のクラスタベクトル， v_{s2} を発話者 2 のクラスタベクトルとして，下記の ELBO を最大化することでモデルの最適化を行う．

$$\begin{aligned} \mathcal{L}_{ELBO}(x, c) &= \log p(x|c) \\ &\geq E_q(z|x, c, v_{s1}, v_{s2})[\log p(x|z, c, v_{s1}, v_{s2})] \\ &\quad -KL(q(z|x, c, v_{s1}, v_{s2})|p(z|c, v_{s1}, v_{s2})) \\ &\quad -KL(s(z|x, c_{s1}, c, v_{s1}, v_{s2})|r(z|c_{s1}, v_{s1})) \\ &\quad -KL(s'(z|x, c_{s2}, c, v_{s1}, v_{s2})|r'(z|c_{s2}, v_{s2})) \end{aligned} \quad (1)$$

ここで， KL は分布間の KL divergence であり，事前分布 p ， r ， r' は，下記の式で定義される．

$$p(z|c, v_{s1}, v_{s2}) \sim \mathcal{N}(\mu_p, \sigma_p^2) \quad (2)$$

$$r(z|c_{s1}, v_{s1}) \sim \mathcal{N}(\mu_r, \sigma_r^2) \quad (3)$$

$$r'(z|c_{s2}, v_{s2}) \sim \mathcal{N}(\mu_{r'}, \sigma_{r'}^2) \quad (4)$$

ここで，

表 3 自動評価指標による結果

モデル	多様性			類似性
	Dist-1	Dist-2	Dist-3	BERT
GVT	0.484	0.720	0.739	0.654
拡張 GTSC	0.640	0.950	0.975	0.672
実際の応答	0.647	0.947	0.963	-

$$[\mu_p, \log(\sigma_p^2)] = \text{MLP}_p(c, v_{s1}, v_{s2}) \quad (5)$$

$$[\mu_r, \log(\sigma_r^2)] = \text{MLP}_r(c_{s1}, v_{s1}) \quad (6)$$

$$[\mu_{r'}, \log(\sigma_{r'}^2)] = \text{MLP}_{r'}(c_{s2}, v_{s2}) \quad (7)$$

事後分布 q ， s ， s' は，下記の式で定義される．

$$q(z|x, c, v_{s1}, v_{s2}) \sim \mathcal{N}(\mu_q, \sigma_q^2) \quad (8)$$

$$s(z|x, c_{s1}, c, v_{s1}, v_{s2}) \sim \mathcal{N}(\mu_s, \sigma_s^2) \quad (9)$$

$$s'(z|x, c_{s2}, c, v_{s1}, v_{s2}) \sim \mathcal{N}(\mu_{s'}, \sigma_{s'}^2) \quad (10)$$

ここで，

$$[\mu_q, \log(\sigma_q^2)] = \text{MLP}_q(x, c, v_{s1}, v_{s2}) \quad (11)$$

$$[\mu_s, \log(\sigma_s^2)] = \text{MLP}_s(x, c_{s1}, c, v_{s1}, v_{s2}) \quad (12)$$

$$[\mu_{s'}, \log(\sigma_{s'}^2)] = \text{MLP}_{s'}(x, c_{s2}, c, v_{s1}, v_{s2}) \quad (13)$$

また，学習が進むにつれて Decoder が潜在変数 z の情報を考慮しなくなる KL vanishing 問題のため，KL アニーリング⁽¹⁷⁾，BoW (Bag-of-Words) loss^{(18) (19)}の手法を取り入れている．KL アニーリングは式1の KL divergence の値について，学習が進むに連れて 0 から 1 に線形に増加する重みをつける手法である．BoW loss は応答に含まれる単語の集合を潜在変数から推定するサブタスクを追加する手法であり，潜在変数と応答中の単語の関連性を強くすることを目的としている．

6. 対話モデルの評価

データセットには小学校の授業対話データを用いた．前処理として SentencePiece を用いてサブワードへ分割している．コンテキストの長さについては，3-turn までの対話応答を評価している．自動評価指標として，Dist-n⁽²⁰⁾と BERT Score⁽²¹⁾を用いている．Dist-N は，N-gram の総数に対して N-gram の種類数が占める割合を算出し，この比率が高いほど，多様性が高いことを示す指標である．BERT Score は，事前学習した BERT の埋め込みを使用して，モデルが生成した応答と参照応答の類似性を評価する手法である．

各モデルが生成した応答の自動評価指標による結果を表 3 に示す．なお，拡張 GVTSC モデルのクラスタ

表 4 対話応答の生成例

コンテキスト
発話 1: 12。 発話 2: 4 段の時は? 発話 3: 16。 発話 4: 5 段の時は? 発話 5: 24。24,24,24,28。えー。
応答
GVT: そうそうそう。はい,ここまでのいいかな?同じです。 拡張 GVTSC: この式,合ってそう?違ってそう? 参照: これで合ってる?

リング (k-Means) では, 予備実験における結果からクラスタ数を 8 としている。

拡張 GVTSC は, 多様性の評価では全ての N-gram において GVT モデルより高い評価を得ている。また, 実際の応答の多様性に近い評価となっている。類似性の評価においても, GVT モデルから約 0.018 向上している。Encoder におけるエンコード過程で発話者の特徴を考慮することで, 潜在変数のサンプリングや Decoder での Attention に利用する Encoder の各トークンの出力ベクトルに影響を与えていると考えられる。

小学校の授業対話データの評価において生成された応答の例を表 4 に示す。GVT モデルと比較すると, 拡張 GVTSC モデルはコンテキストに関連した応答を生成することができており, 参照応答と意味的に近い応答でもある。また, 多様性がある応答となっている。

7. 拡張 GVTSC による発話ベクトルの生成

本研究では拡張 GVTSC モデルによる対話応答生成が目的ではなく, 対話のベクトル化が目的である。最初に, 対話データを用いて拡張 GVTSC モデルの訓練を行う。次に, 訓練したモデルを用いて, 対話のベクトル化を行う。対話データを用いて, 拡張 GVTSC モデルを訓練することで, モデルは対話応答を生成するために必要なコンテキストの発話をベクトル化する能力を得ている。対話のベクトルは, 拡張 GVTSC モデルにコンテキストとして対話を入力し, 拡張 GVTSC モデルの Context TRS Encoder と Speaker TRS Encoder が出力した CLS トークンのベクトルの和を

計算することで作成している。処理手順を次に示す。

- (1) 対話を発話者ごとの発話に分割し, 発話者ごとのコンテキストと対話全体のコンテキストを作成する。
- (2) Tokenizer で各発話をトークン (単語, 単語をさらに分けたサブワード) に分割する。
- (3) 文全体を表すベクトルを生成するために, トークン系列の先頭に特殊なトークン ([CLS]) を追加する。
- (4) 拡張 GVTSC モデルにトークン系列を入力し, トークンの情報とトークンの文中の位置情報を埋め込んだベクトルに変換する。
- (5) Transformer によって他のトークンの情報を取り込み, 文脈を考慮したベクトルを生成する。
- (6) 発話文全体のベクトルとして, Context TRS Encoder と 2 個の Speaker TRS Encoder が出力した CLS トークンのベクトルの和を出力する。

8. 発話ベクトルによる発話分析

拡張 GVTSC を用いて生成した発話ベクトルによる分析では, 授業の対話データについて, 1 発話ごとと, 対話として扱うために複数の発話ごとのデータを作成し, 発話について, アノテーション付き発話との距離を求めている。距離については, ベクトルで表現できていることから Cos 類似度を用いた。比較のために, 文字の一致に関する距離であるジャロ・ウィンクラー距離 (JW 距離, 0-1 の値を取る) も求めている。

授業 1 のデータのラベルを教師データとして, 授業 2 のデータから類似発話を抽出した例を表 5 に示す。1 行目は, 1 発話単位で類似性を図っているが, 「数学的な見方」(比例の関係) や「深い学び」(他の意見を児童に聞く) のラベルに合致した類似発話を抽出できている。また, 類似発話に人手で付与されていたラベルは「数学的な見方」, 「深い学び」であり, 人間による分類とも一致する結果となっている。2 行目は, 2 発話単位の場合であり, 児童が比例する値の求め方を発表する発話を抽出しており, ラベルあり発話との表層的な類似性は 0.111 と非常に低い発話である。この類似発話には人手で付与されたラベルはなく, ラベルを付与する発話の候補を機械的に得ることができること

表 5 授業 1 のデータのラベルを教師データとした授業 2 のデータからの類似発話の抽出例

ラベルあり発話	ラベル	類似発話	Cos 類似度	JW 距離
段の数を、ありがとう。はい、書くよ。段の数を 4 倍すると、周りの長さになる。 <u>ちなみにさあ、今のは縦に見とるん？横に見とるん？</u>	数学的な見方, 関数, 深い学び	〇〇さんはこの考え方でやってやったんだよね。 <u>1 と 1 5 に目をつけて 4 倍 4 倍って考えたんですね。</u> 正しいですね。ちなみに〇〇さんさ、ここに目をつけたんだけど <u>他のところに目をつけた人いる？</u> うん。はいチャレンジャー。	0.953	0.450
うん。 <u>[SEP]じゃあ、どんな決まり見つけたん？みんな。</u> 見つけた <u>決まりを教えてください。</u> 〇〇君。	数学的な見方, 関数, 深い学び	<u>表には表には入っていない値を求めるには、1 0 のような切りの良い数字で数字から倍すればいい</u> と思いました。 <u>[SEP]どれでもいいんだけど切りの良い</u> この時に、よし。じゃああと 2 分しかなくなっちゃいました。	0.962	0.111

授業対話の分析



図 2 授業の発話分析の可視化システム

を示している。

9. 授業の発話分析の可視化システム

授業中の発話の種類や傾向を見ることで、教員により良いフィードバックができると考えられる。フィードバックについては、授業の動画と発話の分類や分布を可視化することで、より分かり易くなると考えられる。本研究では、発話の字幕を追加した授業の動画と発話の分類の分布を表示するシステムを開発している。特に、発話の分類の分布を推定するとともに、グラフとして表示している。分類分布の推定手法及び、可視化

方法を次に示す。

- (1) モデルを用いて、発話ごとに分類とその類似度を推定する。
- (2) 閾値 (0.9, 0.95) を設定し、閾値以上の類似度の分類のみを抽出する。
- (3) 類似度の平均を重みとして各分類の確率密度関数を推定する。確率密度関数の推定⁽²²⁾ ⁽²³⁾には、Python ライブラリの `scipy1.8.1`⁽²⁴⁾を用いている。
- (4) 分類ごとの確率密度関数を分布として、全ての授業時間における分布をグラフとして可視化する。
- (5) 授業動画と分類分布のグラフを並べて表示する。

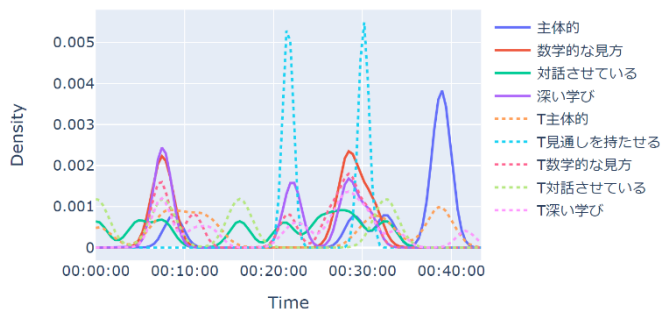


図 3 ラベルの推定と可視化（授業 2）

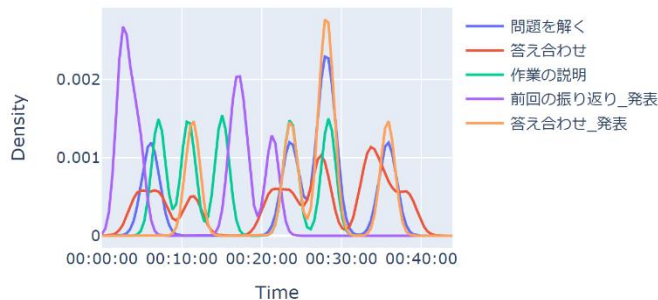


図 4 シーンの推定と可視化（授業 1）

授業動画と発話の字幕，分類分布のグラフの可視化システムを図 2 に示す．システムでは，画面の左側に授業動画を字幕付きで表示し，右側に分類分布のグラフを表示している．ただし，グラフの点線の分布は教師ラベルとしてあらかじめ分類した分布を示している．

9.1 学びに関するラベルの可視化

ラベルの可視化の例を図 3 に示す．このグラフは授業 2 にアノテーションしたラベルを用いて，授業 2 のラベルを推定・可視化している．推定においては，6 発話単位で閾値を 0.95 としている．アノテーションした発話は推定対象に含まないが，基本的に人手でアノテーションしたラベルと同様の分布となっている．人手との差異は，ラベル「対話させている」が 20 分から 30 分の間でも推定された点であり，実際の授業では児童が発表等で発話している部分と一致している．

9.2 シーンの可視化

シーンの可視化例として，授業 2 にアノテーションしたシーンを用いて，授業 1 のシーンを推定・可視化したグラフを図 4 に示す．推定では，5 発話単位で閾値を 0.95 としている．このグラフでは，全体的に「答え合わせ」関連のシーンが多く表れる結果となっているが，実際の授業においても細かく児童と対話をしながら解答と発表が行われていた．しかし，授業 2 では「前回の振り返り」は序盤に少し行われた程度であり，

その後は今回の内容の発表が行われているため，「答え合わせ_発表」と推定するべきであり，推定精度の改善が必要である．

9.3 可視化システムに対するアンケート評価

学びのラベルを時系列的分布として可視化するシステムについて，小学校の教員経験者に対する自由記述によるアンケート評価を行った．小学校の教員経験者の評価を以下に示す．

- 「深い学び」や「対話的」のラベル分布が授業全体において見られ，「主体的・対話的で深い学び」を意識した授業であることと一致している．
- 同じラベルは同じ色で教師ラベルも推定ラベルも表示した方が分かり易い．
- 可視化システムとしては，分布上のある時点における発話の内容を確認できるとより使い易い．

動画上に字幕として表示しているが，前後の発話も併せて確認できるように，アンケートの改善点である発話内容の確認機能を実装することで，分布のラベルと発話の関連性から要因の分析が可能になる．

10. おわりに

本研究では，小学校の授業を対象に，対話モデルを用いて発話の学びの分類や授業における場面を推定し，可視化を行った．省察の補助として授業の分析結果の可視化システムを開発し，小学校の教員経験者による評価では授業全体の傾向を知ることができるとされた．また，提案した発話者情報を組み込む拡張 GVTSC モデルは，対話応答生成において多様性及び類似性で改善が見られた．今後の課題は，アンケート評価で得られた可視化システムの課題の改善及び，学びの分類や授業の場面の推定精度の向上である．

参 考 文 献

- (1) 中央教育審議会：“教職生活の全体を通じた教員の資質能力の総合的な向上方策について（答申）”，https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo00/toushin/1325092.htm (2022 年 10 月 3 日確認)
- (2) 文部科学省：“小学校学習指導要領（平成 29 年告示）”，https://www.mext.go.jp/content/1413522_001.pdf (2022 年 10 月 3 日確認)

- (3) 秋田喜代美: “教師教育から教師の学習過程研究への転回—ミクロ教育実践研究への変貌—”, 変貌する教育学, 世織書房, pp.45-75 (2009)
- (4) 坂本篤史: “授業研究の事後協議会における教師の省察過程の検討—授業者と非授業者の省察過程の特徴に着目して—”, 教師学研究, Vol.9, No.8, pp.27-37 (2010)
- (5) 坂本篤史: “現職教師は授業経験から如何に学ぶか”, 教育心理学研究, Vol.55, No.4, pp.584-596 (2007)
- (6) 保森智彦: “算数の授業中と省察の発話プロトコル分析をととした教師の PCK の検討”, 日本教科教育学会誌, Vol.41, No.1, pp.59-71 (2018)
- (7) 保森智彦: “省察方法のデジタル化に関する一考察: 「主体的・対話的で深い学び」の観点から”, 学習開発学研究, 広島大学大学院人間社会科学研究科学習開発学領域, No.14, pp.3-11 (2022)
- (8) Wang, Y., 大井翔, 松村耕平, et al.: “新任教員の授業力向上のための授業振り返りシステムに関する研究”, 情報処理学会インタラクシオン, pp.753-757 (2021)
- (9) 国立教育政策研究所: “教員環境の国際比較 OECD 国際教員指導 環境調査 (TALIS)2018 調査報告書”, 国立教育政策研究所 (編), ぎょうせい (2018)
- (10) Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., et al.: “Attention is all you need”, Advances in neural information processing systems, pp.5998-6008 (2017)
- (11) Devlin, J., Chang, M.-W., Lee, K., et al., “Bert: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding”, arXiv preprint arXiv:1810.04805 (2018)
- (12) Lin, Z., Indra, W. G., Xu P., et al.: “Variational Transformers for Diverse Response Generation”, arXiv preprint arXiv:2003.12738 (2020)
- (13) 保森智彦: “「主体的・対話的で深い学び」を実現するための教師の発話の検討”, pp.45-52, No.57, B, 人文・社会科学, 岡山理科大学紀要 (2021)
- (14) Sordoni, A., Galley, M., Auli, M., et al.: “A Neural Network Approach to Context-Sensitive Generation of Conversational Responses”, In Proceedings of the 2015 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies, pp.196-205 (2015)
- (15) Csaky, R., Purgai, P. and Recski, C.: “Improving Neural Conversational Models with Entropy-Based Data Filtering”, In Proceedings of the 57th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, pp.5650-5669 (2019)
- (16) Sun, B., Feng, S., Li, Y., et al.: “Generating Relevant and Coherent Dialogue Responses using Self-Separated Conditional Variational AutoEncoders”, In Proceedings of the 59th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics and the 11th International Joint Conference on Natural Language Processing (Volume 1: Long Papers), pp.5624-5637 (2021)
- (17) Bowman, R. S., Vilnis, L., Vinyals, O., et al.: “Generating Sentences from a Continuous Space”, In Proceedings of the 20th SIGNLL Conference on Computational Natural Language Learning, pp.10-21 (2016)
- (18) Zhao, T., Zhao, R. and Eskenazi, M.: “Learning Discourse-Level Diversity for Neural Dialog Models using Conditional Variational AutoEncoders”, In Proceedings of the 55th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 1: Long Papers), pp.654-664 (2017)
- (19) Zhou, X. and Wang, Y. W.: “Mojitalk: Generating Emotional Responses at Scale”, In Proceedings of the 56th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 1: Long Papers), pp.1128-1137 (2018)
- (20) Li, J., Galley, M., Brockett, C., et al.: “A Diversity-Promoting Objective Function for Neural Conversation Models”, In Proceedings of the 2016 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies, pp.110-119 (2016)
- (21) Zhang, T., Kishore, V., Wu, F., et al.: “Bertscore: Evaluating Text Generation with BERT”, In International Conference on Learning Representation (2019)
- (22) Scott, D. W.: “Multivariate Density Estimation: Theory, Practice, and Visualization”, Wiley series in probability and mathematical statistics, Wiley, New York (1992)
- (23) Silverman, B. W.: “Density Estimation for Statistics and Data Analysis”, Chapman & Hall/CRC monographs on statistics and applied probability, Chapman and Hall, London (1986)
- (24) Virtanen, P., Gommers, R., Oliphant, T. E., et al.: “SciPy 1.0: Fundamental Algorithms for Scientific Computing in Python”, Nature Methods, Vol.17, pp.261-272 (2020)