

も く じ

■開催日時：2019年3月16日（土）9:30(会場)～16:30頃

於：武蔵野大学 有明キャンパス（東京都江東区有明三丁目3番3号）

■テーマ：「人工知能，IoT がもたらす新たな学習・教育・管理の促進」

- 1) Computer Based Test and Training を活用した反転授業における授業進度調整方法の実践と評価 -----1
●山川 広人(千歳科学技術大学)，上野 春毅(千歳科学技術大学大学院)，
小松川 浩(千歳科学技術大学，千歳科学技術大学大学院)
- 2) 初等中等学校での利用を想定した IoT 教材基盤の提案-----9
●等々力 崇史(信州大学大学院)，香山 瑞恵(信州大学工学部)，
館 伸幸(名古屋大学組込みシステム研究センター)，永井 孝(ものづくり大学技能工芸学部)，
二上 貴夫(東陽テクニカ)，足助 武彦(伊那市立東部中学校)
- 3) 教育システムと「倫理的に配慮されたデザイン」 -----17
○武田 俊之(関西学院大学)
- 4) システム要求分析能力向上のための分析観点を習得させる学習設計-----21
●石井 俊也(千葉工業大学大学院)，仲林 清(千葉工業大学)
- 5) ライブラリを用いた足場かけに基づくデータ利活用人材育成プログラムの開発と
市民講座における実践-----29
●米谷 雄介(香川大学)，米丸 浩一郎(日本電気)，樋川 直人(かがわ県民情報サービス)，
高橋 亨輔(香川大学)，後藤田 中(香川大学)，國枝 孝之(香川大学)
- 6) 省察的思考と研究資料作成の往還による自己内対話支援システム-----37
○松岡 知希(大阪府立大学)，林 佑樹(大阪府立大学)，瀬田 和久(大阪府立大学)
- 7) P300の潜時の違いによる Model Human Processor の検証-----43
●東野 利貴(大阪大学大学院)，清水 菜々子(和歌山大学)，曾我 真人(和歌山大学)，
若宮 直紀(大阪大学大学院)
- 8) 問題文に合わせたプログラムコメントの自動生成-----51
○高橋 明義(岡山理科大学大学院)，椎名 広光(岡山理科大学)，小林 伸行(山陽学園大学)

- 9) A0・推薦入試合格者の学習習慣の改善と学力向上を目的としたeラーニングの活用に関する経年比較-----57
●菅原 良(明星大学), 福山 佑樹(明星大学), 奥原 俊(藤田医科大学), 佐藤 喜一(九州大学)
- 10) 社会ネットワーク分析を用いて相互評価を学習状況に応じて支援するシステムの開発と評価-----63
●間瀬 皓介(東京学芸大学), 森本 康彦(東京学芸大学), 宮寺 庸造(東京学芸大学)
- 11) 音読時間とポーズ時間の特徴に基づく読みの得意・不得意児童の音読流暢性評価-----69
○丸山 裕也(信州大学大学院), 香山 瑞恵(信州大学)
- 12) ソフトウェア開発PBLにおける開発履歴データによるチーム活動評価手法-----75
●松原 克弥(公立はこだて未来大学), 伊藤 恵(公立はこだて未来大学),
木塚 あゆみ(公立はこだて未来大学)
- 13) BLE ビーコンを活用した地域課題解決型PBLの実践-----83
●中田 裕貴(公立はこだて未来大学), 松原 克弥(公立はこだて未来大学)
- 14) 遠隔地におけるものづくりPBL指導支援のためのIoT型事例データ収集システムの開発-----91
○千田 和範(釧路工業高等専門学校), 稲守 栄(釧路工業高等専門学校),
野口 孝文(釧路工業高等専門学校)
- 15) 教育活動映像からの子どもの関心推定システム開発の試み-----95
●山田 徹志(玉川大学 脳科学研究所, 慶應義塾大学大学院 システムデザイン・マネジメント研究科)
- 16) 安全・安心まちづくりの観点の学習に向けた防犯ウォーキングアプリ「歩いてマイマイ」の開発-----101
●米谷 雄介(香川大学), 磯野 友亮(香川大学), 矢部 智暉(香川大学), 大久保 智生(香川大学),
竹下 裕也(テリムクリ), 八重樫 理人(香川大学)

Computer Based Test and Training を活用した 反転授業における授業進度調整方法の実践と評価

山川 広人^{*1}, 上野 春毅^{*2}, 小松川 浩^{*1*2}

^{*1} 千歳科学技術大学 情報システム工学科

^{*2} 千歳科学技術大学 大学院 光科学研究科

Developing Practice of Formative and Flipped Classroom Using Computer Based Test and Training

Hiroto Yamakawa^{*1}, Haruki Ueno^{*2}, Hiroshi Komatsugawa^{*1*2}

^{*1} Information Systems Engineering, Chitose Institute of Science and Technology

^{*2} Graduate School of Photonics Science, Chitose Institute of Science and Technology

本研究グループでは、授業に必要な知識について、学生の予習段階での習得・トレーニングと、授業開始段階での知識習得度の形成的評価の両面を狙った Computer Based Test & Training 機能を持つ e ラーニングシステムを開発し、この活用を前提とした形成的反転授業モデルを提案してきた。本稿はこの実践事例を動的な授業進度の調整が行えるようにさらに発展させた上で、他のプログラミング言語の授業に授業モデルを適用し、その有用性を議論する。

キーワード: 反転授業, e ラーニング, 完全習得学習, 高次能力学習, プログラミング教育

1. はじめに

プログラミング教育では、プログラミング言語の文法や、プログラミング言語特有の指向や設計手法を学びながら、それらを活用できるスキルとして身につけられることが重要である。このため情報系のカリキュラムのプログラミング科目では、復習回の授業で単元の習得を狙う構造的な授業展開の中で、講義部分で知識を学び、実習・演習部分で学んだ知識を活用し身につけることを狙った授業スタイルが基本的なものとして用いられている。その一方で、プログラミング科目に反転授業を導入する実践も報告されている⁽¹⁻²⁾。反転授業では、本来講義部分の役割であった基礎的な知識の取得やトレーニングを予習部分に移した上で、その知識を活用し身につけるための実習・実践・アクティブラーニングの時間を授業内で確保する授業スタイルを導入できる⁽³⁾。これにより、一度の授業で講義・実習を行う授業スタイルに比べ、学生のより深い知識の理解・より高度なスキルの獲得(高次能力学習)や、授

業進度の中で取り残された学生の挽回・一定水準までの引き上げ(完全習得学習)につながることを期待されている。ただし反転授業は、単に予習を課せばこれらの効果が得られるものではなく、効果を導くための授業内の進め方の工夫も行うことが肝要となる。

こうした背景の中で、本研究グループは e ラーニングを活用した反転授業モデルを提案してきた⁽⁴⁾。この提案では、学生の事前学習段階での知識の習得・トレーニングと、授業開始段階での知識習得度の形成的評価の両面を狙った Computer Based Test & Training 機能を持つ e ラーニングシステムを開発した。さらにこのシステムの活用を前提とした形成的反転授業のモデル (Formative and Flipped Classroom) を提案し、プログラミング言語の授業実践を通じて、定期試験結果の得点分布が高得点側に推移する効果などを示した。本稿はこの実践事例をさらに発展させ、他のプログラミング言語の授業に授業モデルを適用し、その効果を評価するものである。授業モデルの適用では、授業開

始時の形成的評価による知識習得度の判定結果と各回の授業の課題達成状況に基づき、教員が学生の授業内での状況を量的に把握・判断しながら授業進度の調整を狙う工夫を施す。これにより、授業モデルとその有効性を議論する。

2. 本研究の位置づけ

高井, 水谷 (2016) ⁽¹⁾は, Java プログラミングの授業時間中に確保していた講義時間を, 講義ビデオによる事前学習に置き換えることを狙い, その教材の作成・配信環境を整備した。受講者および教授者に対するメリットとして, 受講者が予習をしやすい環境となったことを歓迎する声や, 受講者が分からない部分をビデオ教材で指し示しながら教授者がピンポイントで指示を行う適応的な指導を行えたメリットのほか, 講義ビデオだけでは十分な事前学習が行えない懸念を述べている。鈴木, 廣川 (2017) ⁽²⁾は, コンピュータシミュレーションを題材とする科目でペアプログラミングとともに反転授業を導入した。この中で事前学習を行う LMS 上のログと成績の相関について述べている。

これらに対し本稿は, これまでに提案してきた e ラーニングを活用した形成的反転授業モデル⁽³⁾の実践事例をさらに発展させ, 他のプログラミング言語の授業に授業モデルを適用する。さらに反転授業の完全習得学習への効果に着目し, この視点から提案モデルの有効性を議論する。

3. 形成的反転授業モデル

本研究チームでは授業に取り組む単元について形成的テスト・事前学習を可能とするシステムを開発し, これを活用する形成的反転授業モデルを提案してきた。本章でこのシステムおよび提案モデルについて述べる。

3.1 Computer Based Test & Training システム

反転授業を実現するためには, 学生が授業内で求められる知識の習得やトレーニングを予習段階で十分に進められることが望ましい。この予習段階の支援には, e ラーニングを中心とした ICT システムが効果を発揮

するであろう。本研究チームは先行研究において, 学生が予習段階で到達すべき目標 (知識の習得度合い) にむけ, 習得度を確認しながら段階的・反復的に知識を学べることを狙った **Computer Based Test and Training** 機能をもつ e ラーニングシステムを開発した。システム概要を図 1 に示す。Test 機能は, 学生の知識習得度を形成的に判定する (以後, これを形成的テストと表記する) 機能である。Training 機能は, 学生が課せられた水準や学生自身の目標にむけて, 知識習得に繋がる教材を学ぶ (以後, これを事前学習と記載する) 機能である。形成的テストと事前学習のための教材は単元ごとに複数の難易度レベル⁽⁴⁾に分けられ, 教材集に整備される。形成的テストでは最尤推定法を用いた項目反応理論 (IRT) をベースとした出題モジュール⁽⁵⁾を実装している。教材集から出題を行い, 正解・不正解の状況から常に受験者の能力値 (回答可能と推測される難易度) を推定し, 適応する難易度から新たに出題を行う。これを繰り返すことで, テスト終了時に受講者の能力値が判定される。本研究ではこの判定された能力値を予習段階の知識の習得度合いとみなしている。事前学習では, 学生は難易度を指定して問題群を演習できる。また, 形成的テストを模擬受験し, 能力値の判定や不正解となった問題の確認もできる。また解説として用意された教科書を用いて背景知識の確認も行える。これにより, 学生は授業で求められる知識の習得度合いを目標として, 自らの能力値を確認し, 反復的に学習できることを狙っている。

3.2 システムを活用する形成的反転授業モデル

3.1 節で述べたシステムにより, 授業で取り組む単元について, 学生の予習段階での知識習得度が可視化された形での反転授業が可能となる。本研究チームはこれを活用し, プログラミング教育に代表されるような, 複数回の授業で単元の学習の達成を目指す構造的な授業展開を行う科目への反転授業の適用を意識した, 形成的反転授業のモデルを提案してきた。提案モデルを図 2 に示す。このモデルは, ひとつの単元の習得を 3 回 (3 週) 分の授業進度で狙うことを想定している。

¹ 本研究では, 3.2 に後述する形成的反転授業モデルの単元の授業進度にあわせ 7 段階 (レベル 1~7) に分けている。

² モジュール内の出題方法や実画面等は参考文献 (7) に詳細を述べており, これを参照されたい。

1 週目は用語の理解などを狙った入門部分であり、形成的テストの難易度 1,2 段階の教材で得られる知識の活用や実習を通じてスキルとしての習得を狙う。同様に 2 週目は単元の基軸となる基本部分（難易度 3~5 の教材に対応**）、3 週目は単元の応用部分（難易度 6,7 の教材に対応）に定めている。3 週目はその単元の習得のゴールとなる。予習部分と授業開始時に 3.1 に示したシステムを用いる。予習部分では、学生は受講する週の難易度にあわせて、解説やトレーニング機能を用いて必要な知識の事前学習を行う。授業部分では、学生はまず形成的テスト機能を用いて、必要な知識の習得度を判定する。受講者全体の判定結果は教員も確認し、グループワーク（実習）や個人の到達度を確認する課題の実施にむけて授業内の動きを工夫できる。これにはグループワークを行う際の受講者の配置や、全体的に習得が不足していると思われる部分の補足が挙げられる。また単元全体としても、1 週目をプレ段階、3 週目をポスト段階として考え、学生が各週のテストの判定結果を振り返りながら、必要な復習や反復学習を行うように促すことも可能となる。

先行研究ではこの授業モデルを C プログラミングの授業に適用した上で、学習効果を検討した。その結果、授業モデルの適用前と比較し、適用後は定期試験の平均点の上昇に有意な差がみられた。また形成的テストの判定結果の人数推移（1 週目は能力値が低い判定の学生が多く、3 週目は能力値が高い判定の学生が多い）と同期するように学生の反復的な事前学習が進む点、学生アンケートでは形成的テストの実施で能力値が可視化されることに肯定的な意見が多数集まった点から、システムの利用や提案授業モデルが知識定着を伴う実効的な反転授業の実現につながる可能性を示した。

4. 新たな授業への授業モデルの適用

本稿は、3.2 節で述べた形成的反転授業モデルをさらに発展させ、他のプログラミング言語の授業に授業モデルを適用する。対象にはある大学の情報系学科の Java プログラミングの授業を選択した。この授業は、Java 言語の基本文法や標準ライブラリの利用法を学び、オブジェクト指向のコンセプトを意識したプログ

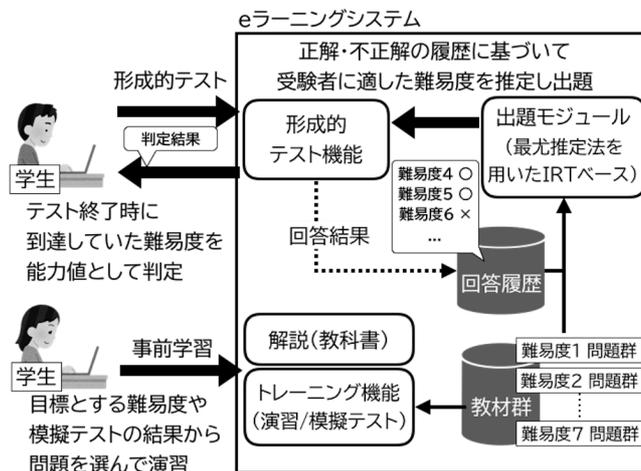


図 1 Computer Based Test and Training の概要図



図 2 形成的反転授業のモデル

ラミングスキルの習得を狙いとしている。この授業は一度の授業で講義・実習を行う従来型のスタイルで実施されていた。しかしながら授業が進むにつれ単元の理解や習得につまずき、新たな単元の内容の理解が進まない受講者が増加することや、教員による受講者個々の経過の把握や支援、受講者自身による挽回も難しい問題があった。そこで提案モデルを適用するにあたり、つまずいた学生を一定の水準にまで引き上げる、いわゆる完全習得学習の効果を狙い、提案モデルに動的な授業進度調整の工夫を行うこととした。工夫を行ったモデルと適用方法は 4.1 節に、モデルを適用する授業の計画と準備は 4.2 節に示す。モデルの適用および授業の計画と準備、および 5 章に述べる実践は、主となる教授者を先行研究の実践事例とは別の教員に変更した。これにより提案モデルのさらなる有効性を示すことを狙っている。

4.1 動的な授業進度調整方法を加えた授業モデル

Java プログラミングへの導入を想定した授業の進

**基軸となる内容では学習・利活用する知識量が多くなると仮定し、2 週目のみ 3 段階分の教材を割りあてている。

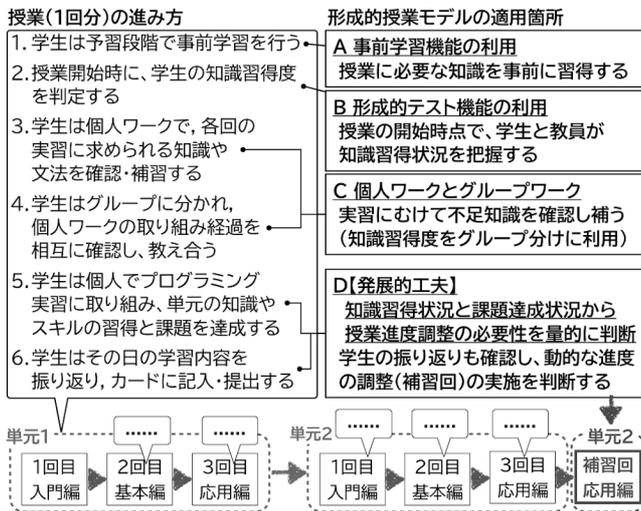


図3 授業の進み方と形式的反転授業の適用箇所

み方と授業モデルの適応箇所を図3に示す。図中左側の「授業(1回分)の進み方」の1~6は、形式的反転授業モデルを適用した上での授業の流れを箇条書きにしたものである。図中右側は、進み方1~6に対応する授業モデルの適用箇所A~Dを表している。図中下側は、単元ごとの授業回数を表している。ひとつの単元に3回(3週)分の授業の割り当てを基本としている。

進み方1の事前学習には、3.1節の事前学習機能を利用する(図3のA)。同じく、進め方2の知識習得度の判定には、3.1節の形成テスト機能を用いる(図3のB)。これにより受講者は予習段階で授業に必要な知識を事前に習得し、授業開始時にその成果を表す知識習得度を判定・確認する。また教員もシステムの管理機能を用いて、受講者全体の習得度を把握する。

進み方3, 4の個人ワークおよびグループワークは、実習の準備となる部分である。具体的には、実習に必要な知識・文法・概念を穴埋め・記述・作図などで問うワークシートを用意し、受講者はこれを個人で達成できるように取り組む。わからない部分には事前学習用の解説教材などを用いて、知識の補習を図るよう促す。次に、受講者はグループに分けられ、グループ内の全員がワークシートの内容を正答し説明できることを目標に、答え合わせやわからない部分の相互の教え合いをグループワークで行い、TAや教員のチェック

を受ける。グループ分けには、その日の形式的テストの判定結果を用いて、習得度が高い・低い受講者の人数がグループ間で偏らないように配慮する(図3のC)。個人ワーク・グループワークを通じて、事前学習が足りない受講者が知識を補うことや、知識を十分に習得した学生のより深い理解を期待している。

進み方5は、授業の達成段階となるプログラミング実習となる部分である。受講者は事前学習で得た知識や個人ワーク・グループワークで補った知識を用いて、課せられたプログラム課題の完成にむけて個別に取り組む。課題を達成した学生は、進み方6に移り、その日の学習内容の振り返りを文章としてカードにまとめ、提出する。本研究における提案モデルへの発展的工夫として、教員が形式的テストによる受講者全体の知識習得状況と課題の達成状況を量的に確認し、動的な授業進度の調整の実施を判断することを追加した(図3のD)。この工夫は、受講者全体の知識習得度や実習の進捗を測定できるようにすることで、授業進度や単元の難易度の上昇に応じて学生が置かれている状況を察知し適応する形で、受講者の安全網となる対応策を設けられることを狙っている。具体的な授業進度の調整方法には、進み方6の学生の振り返りも参照しながら補習が必要と思われる知識・スキルを見定めた上で、次のワークシートや課題内容にフィードバックすることや、単元に割り当てられた授業回数を超えて重点的な補習を扱う授業を追加するといった進行速度自体の調整が挙げられる。

4.2 授業計画と事前準備

4.2の提案モデルを実践するには、授業計画(授業モデルに沿った単元の中での段階分け・授業日の割り当て)を定め、対応する事前学習用の教材準備を行う必要がある。本研究で定めた単元・段階・教材の難易度の対応を表1に示す^{††}。各単元の入門部分は単元の内容の語句・文法の確認(教材難易度3程度)、基本部分は単元の内容を使うプログラミングの練習(教材難

^{††} 表1に示す各単元の内容は次の通りである。単元①はJava言語で変数、条件分岐、繰り返し、演算処理等のプログラミングの概念を記述するための文法・キーワードと、Java仮想マシンでプログラムを動作させるコンパイル・実行方法を身につける。単元②はクラスとインスタンスの関係、フィールド、メソッドの記述と利用方法を学び、オブジェクト指向の基本的なコンセプトを身につける。単元③はクラス図の書き方を学んだ上で、カプセル化、継承、多様性を用いたより高度なオブジェクト指向のプログラミングスキルを身につける。単元④は例外処理やクラスメソッドについて学んだ上で、標準ライブラリの使い方として可変長配列の操作やファイル操作を身につける。

易度 5 程度)、応用編は単元の内容を用いて自らプログラミングを考えた実装(教材難易度 7 程度)ができることが目標となるようにした。図 2 に示した先行研究段階の授業モデルでは、入門編は 2 段階の教材と定めている。この授業では受講者にとってオブジェクト指向に関わる新出の語句や文法を学ぶ分量が多いことから、入門編に 3 段階分の教材を割りあてた。また提案モデルの工夫部分には、授業進度の調整の必要が生じたときの予備となる授業回が必要である。これを 13～15 回分に確保している。仮に授業進度を調整しない場合も、発展的な授業内容が導入できる。

事前学習用の教材について、解説(教科書)となる部分は、教員が単元の内容を説明するスライドと動画を用意した。スライドは従前の授業で、対面での解説に用いたものである。動画はこのスライドに教員の音声吹き込み、再生できるようにしたものである。動画は 1 つあたり 3～5 分の内容で、単元ごとに 10～15 個程度準備した。音声は、従来の対面型での解説が動画で代替できるものになるよう意識した。形成的テストとトレーニング機能の問題を兼ねる部分は、ひとつの難易度ごとに 10 問程度を目安として、単元で約 60 問～80 問となるように整備した。これは、先行研究の形成的テストの仕様にそったものである。

提案モデルの下で授業を進めるには、授業で必要とされる知識習得度を目標として、きちんと事前学習を行うことが前提となる。今回の実践では、履修前の学生に表 1 の初期スケジュールを予め提示した上で、「各単元の応用編の形成的テストまでに、知識習得度が 7 と判定されるように予習する」こと、「判定されたレベルは最終的な成績の配点に組み込む」ことを伝え、学生にとっての予習の意義を持たせている。

5. 実践とその結果

4 章で述べた授業モデルの工夫と事前準備を行った上で、2017 年度(履修者 75 名)および 2018 年度(履修者 96 名)の 2 期にわたり、実際の実践を行った。本章では形成的テスト、授業進度調整、期末テストのそれぞれの結果について述べる。

5.1 形成的テストの結果

提案モデルでは形成的テストを用いることで、毎回

表 1 授業の初期スケジュールと知識習得度の対応

| # | 単元 | 段階 | 必要な知識習得度 (教材難易度) |
|---------------------|-----------------|-----|---------------------|
| 1 | ①基本文法と 実行方法 | 入門編 | 難易度 3 程度 |
| 2 | | 基本編 | 難易度 5 程度 |
| 3 | | 応用編 | 難易度 7 程度 |
| 4 | ②クラス構造 | 入門編 | 難易度 3 程度 |
| 5 | | 基本編 | 難易度 5 程度 |
| 6 | | 応用編 | 難易度 7 程度 |
| 7 | ③クラス設計 | 入門編 | 難易度 3 程度 |
| 8 | | 基本編 | 難易度 5 程度 |
| 9 | | 応用編 | 難易度 7 程度 |
| 10 | ④ライブラリ と例外処理 | 入門編 | 難易度 3 程度 |
| 11 | | 基本編 | 難易度 5 程度 |
| 12 | | 応用編 | 難易度 7 程度 |
| 13～15 は、授業進度の調整用の予備 | | | |

の授業の開始時点で受講者自身と教員が知識習得状況を把握できることを狙っている。各単元での形成的テスト判定結果について、図 4 には 2017 年度、図 5 には 2018 年度の結果を示す。どちらの年度も、単元の中で 1 回目は習得度が低い学生が目立ち、3 回目は習得度が高い学生が目立っている。これは表 1 でも示した単元ごとの段階に必要な知識習得度にあわせて、多くの受講生は事前の準備を行った上で授業に参加していると見なすことができる。一方で単元②に目をむけると、その他の単元と比べ、2 回目・3 回目に段階が進んでも高い難易度の判定に到達できず、習得度が 1～3 と判定されている学生が多く見受けられる。これは単元①から②に授業が移り変わる段階で理解や習得につまずき、各回の課題の達成のための前提となる知識・スキルが不足している学生が増加している可能性を考えることができる。診断結果を各回に必要な知識習得度と照らし合わせて示すことで、受講者には、自身にとっての授業の難易度、挽回のための授業や次回以降の事前学習への取り組み方・心構えの改善を促せる。さらに教員が全体の判定度合いの分布から、各回の授業の中での工夫や立ち回り方だけでなく、授業進度の調整の必要性を判断する指標に用いることができるようになる。

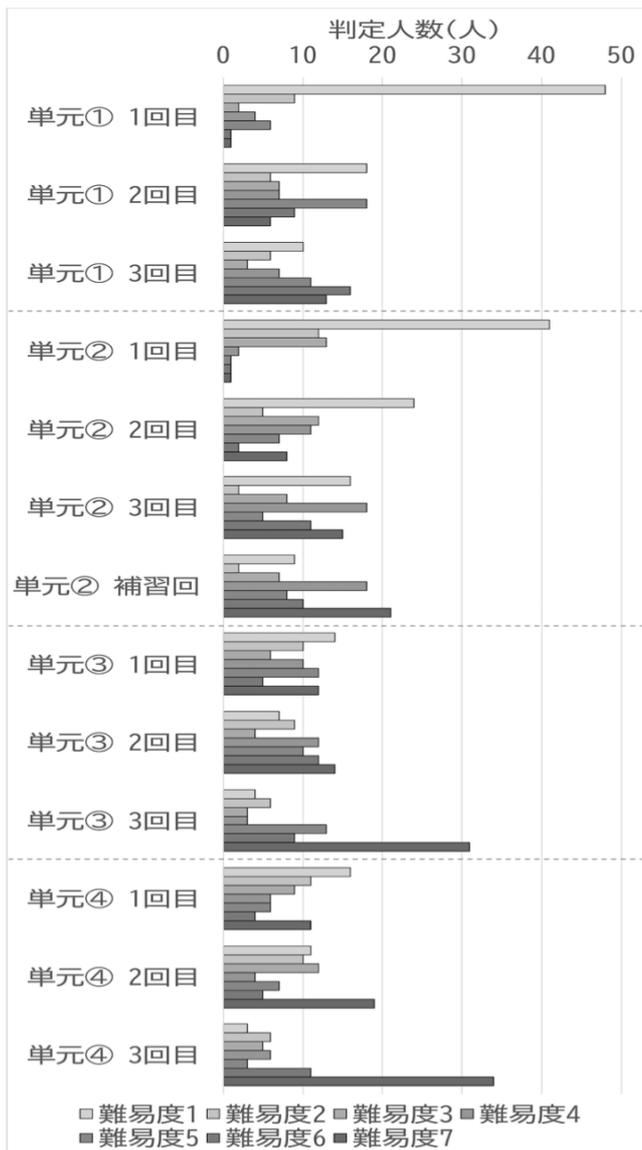


図4 各単元での形成的テスト判定結果(2017年度)

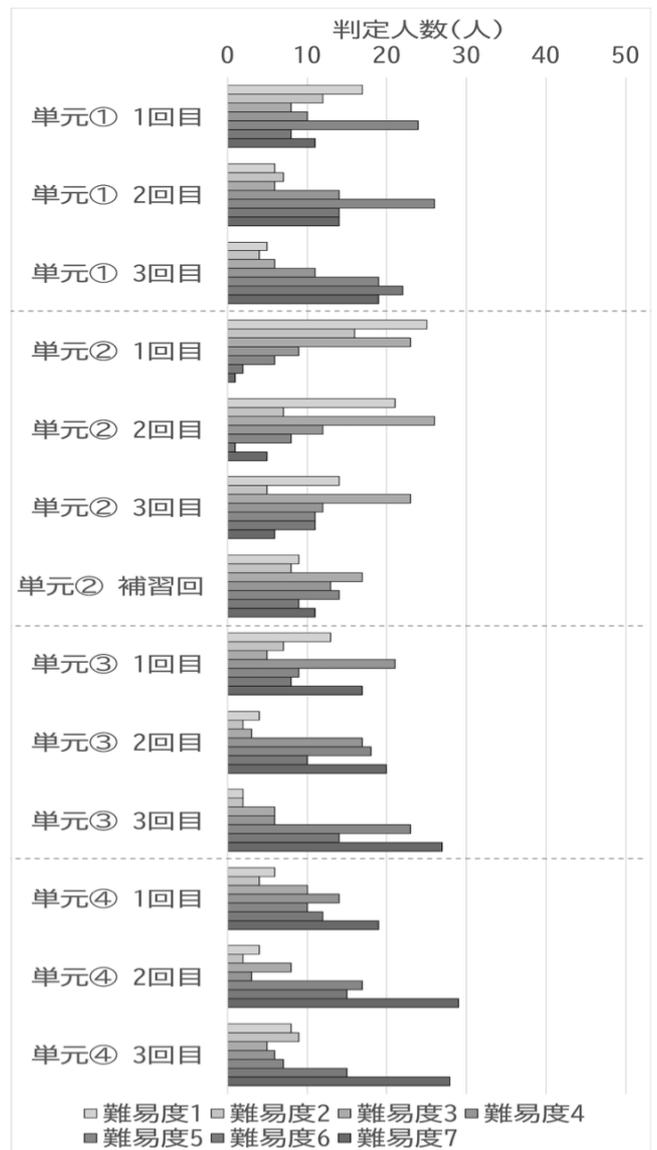


図5 各単元での形成的テスト判定結果(2018年度)

5.2 授業進度調整の結果

提案モデルでは形成的テストと課題の達成状況から、教員が動的な授業進度調整の実施を判断できることを狙っている。これを判定するための指標となる各単元の知識習得状況と課題の達成状況について、表2に2017年度のもの、表3に2018年度のものを示す。表の中で指標Aは、形成的テストの習得度の判定結果が難易度3以下の受講生の割合である。入門編を難易度3程度としているため、指標Aは基本編・応用編にむけた事前学習段階の知識習得が十分でない者の割合と捉えられる。指標Bは各回の授業の達成条件となる課題を完了できた受講生の割合である。これは、事前学習段階の知識習得が十分でなかったとしても、個人ワークやグループワークを通して課題達成に必要な知

識を補い、各回の目標を到達できた者の割合と捉えることができる。2017年度、2018年度はともに、単元②の3回目で、指標Aは3割以上と大きく、指標Bの数値が9割から8割に低下している。これは言い換えれば、単元②の完了予定の授業進度の段階で、その単元の知識の習得度が入門編にとどまっておき、かつ課題達成に至っていない者が多く残っていると見える。実際の授業では、学生がグループワークとプログラミング課題に多くの時間をとられており、授業時間が終了してから1時間程度残って演習を完了した例も多数見られた。この回の学生の振り返りコメントでは、「難しい」「理解できない」といったネガティブな趣旨が目立った。教員は単元の中でまさにつまずいている学生が発生していると判断し、7回目にあたる授業は課題②について補習回を予備回から補填する形で実施した。

補講回の内容は、単元②の基本編までは指標 B も順調であったことから、ワークシートに基本編から応用編の中で段階的な確認内容や類題を用意し、また単元の追加課題を用意することで知識定着の重点化を図った。この補習回の結果では、指標 A, B が改善し、受講者の振り返りも「前回よりも理解できた」「流れがわかった」「インスタンス化（単元②の語句）が理解できた」といった前向きな趣旨のコメントが増えた。これを確認した上で教員は、通常の授業進度に戻し、単元③の開始を 8 回目から戻す行うことにした。このように受講者の形成的テストの結果（指標 A）と、課題の達成状況を量的に把握し、現場での受講生の様子もあわせることで、授業進度の調整の必要性に気づく・判断を行うきっかけに活用できる事例となった。

ただし、この指標だけでは必ずしも判断基準に十分ではない場合もあった。具体的には 2017 年度の単元③にも補講回を実施した。これは指標 A, B では大きな問題はみられなかったものの、グループワークや課題達成の確認において、多くの TA から「受講者が自ら考えてカプセル化する部分がうまく行われていない」と報告があったためである。受講生の振り返りも単元③の知識の語句を使い「public, private の使い分けが難しい」「カプセル化の利点がわからない」といったコメントが見られた。指標 A, B はあくまで判断項目の一つであり、より多くの情報を判断基準に吸い上げられる工夫や、授業進度を調整すべき具体的な基準値の確立は今度の課題である。

5.3 期末テストの結果

提案モデルの学習効果を確認すべく、表 4 に提案モデル導入前後の定期テスト結果を示す。2016 年度は従来型、2018 年度は提案モデルを導入した授業である。試験内容は同一であるが、従来型は 61～70 点に人数が集中している。提案モデル導入後は、81～90 点、91～100 点にそれぞれ人数が集中している。これは提案モデルの手法が従来型に比べ、特につまずいた学生を一定の水準にまで引き上げる、いわゆる完全習得学習にむけた効果が大きいことの一面と考えられる。この定期試験での得点底上げの結果は、主となる教授者や学習内容が異なる先行研究の C プログラミングでも同様の効果が得られている。これは提案モデルが、授業

表 2 各単元の授業進度を判定するための形成的テスト結果と課題の達成状況(2017 年度)

| 単元 | 回数 | 指標 A | 指標 B |
|-----------------------------|------|------|------|
| 単元① | 1 回目 | 83% | 99% |
| | 2 回目 | 44% | 93% |
| | 3 回目 | 29% | 97% |
| 単元② | 1 回目 | 93% | 93% |
| | 2 回目 | 59% | 99% |
| | 3 回目 | 35% | 85% |
| | 補習回 | 24% | 96% |
| 単元③ | 1 回目 | 43% | 100% |
| | 2 回目 | 29% | 100% |
| | 3 回目 | 19% | 100% |
| | 補習回 | 実施なし | 100% |
| 単元④ | 1 回目 | 57% | 100% |
| | 2 回目 | 49% | 94% |
| | 3 回目 | 21% | 実施なし |
| 指標 A 形成的テストで 3 以下の判定の受講生の割合 | | | |
| 指標 B 各回の課題を達成した受講生の割合 | | | |

表 3 各単元の授業度を判定するための形成的テスト結果と課題の達成状況(2018 年度)

| 単元 | 回数 | 指標 A | 指標 B |
|-----------------------------|------|------|------|
| 単元① | 1 回目 | 41% | 99% |
| | 2 回目 | 22% | 100% |
| | 3 回目 | 17% | 99% |
| 単元② | 1 回目 | 78% | 99% |
| | 2 回目 | 68% | 100% |
| | 3 回目 | 51% | 85% |
| | 補習回 | 42% | 93% |
| 単元③ | 1 回目 | 31% | 98% |
| | 2 回目 | 12% | 96% |
| | 3 回目 | 13% | 100% |
| 単元④ | 1 回目 | 27% | 99% |
| | 2 回目 | 18% | 96% |
| | 3 回目 | 28% | 実施なし |
| 指標 A 形成的テストで 3 以下の判定の受講生の割合 | | | |
| 指標 B 各回の課題を達成した受講生の割合 | | | |

内容や教授者に依存せず、復習回の授業で単元の習得を狙う構造的な授業展開の中で完全習得学習の学習効

果を発揮することの示唆につながる。

6. 考察

本研究グループでは **Computer Based Test & Training** 機能を持つ e ラーニングシステムを開発し、これを用いた形成的反転授業モデルを提案してきた。本稿では 4.2 節に示した工夫部分を発展させ、形成的テストの判定結果と課題の達成状況を量的に把握し、これをアラート情報として捉えて動的な補講回を組み立てる工夫を行った。提案モデルと工夫の有効性について考えると、5.2 節の実践事例では、特に単元②の 3 回目につまずいた学生達を補習回で挽回させ、次の単元に移る体制を整えることができることを示した。ここで重要な鍵となったのは指標 A、指標 B の量的データではあるが、学生の振り返りコメントも大きな貢献を果たしている。学生が身につけていないと自覚している部分は、教員の具体的な補習内容の判断につながる。また、指標 A、B が良好であっても、実際に授業の中で学生が理解に不安がある（補習を考慮すべき）部分の把握も可能となる。このように、提案モデルの有効性は、受講者の状況を量的・内容的に拾い上げられるセンサー役の仕組みを、授業開始・終了時、単元の開始・終了時の両面に組み込み、都度、授業進行へのフィードバックを可能とするサイクルを実現できる部分にあると考えられる。センサー役を果たす仕組みの知見は、学生の授業の開始段階の理解度をテスト等で量的に把握する一般の反転授業に導入しやすいものとも考えている。

次に、提案モデルの課題について述べる。提案モデルでは、毎回の中で知識習得度の判定結果が優れない受講者は、個人ワーク・グループワーク等で知識を補填することを前提としている。この効果は個人ワーク・グループワーク自体の質にも左右され、ワークの質や効果を高めるための工夫などは議論できていない。授業内での受講者の動きに着目した学習効果へのつながりの詳細な分析や、これに伴う提案モデルの改善・新たな判断指標の検討なども課題である。

7. おわりに

本稿では、先行研究で提案した形成的反転授業モデ

表 4 モデル導入前後の定期テスト結果の人数分布

| | 2016 年度 (人) | 2017 年度 (人) | 2018 年度 (人) |
|----------|----------------|----------------|----------------|
| 51～61 点 | 2 | 1 | 1 |
| 61～70 点 | 19 | 2 | 3 |
| 71～80 点 | 14 | 20 | 21 |
| 81～90 点 | 16 | 20 | 32 |
| 91～100 点 | 16 | 29 | 25 |

注) 受験者数: 2016 年度 67 名, 2017 年度 72 名, 2018 年度 82 名. 50 点未満はどの年度も該当者なし.

ルを発展させ、他のプログラミング言語の授業に授業モデルを適用し、その効果を評価した。提案モデルには完全習得学習を狙った工夫を行った上で授業の計画・準備を実施し、2 年間での実践を行った。これにより形成的テストの結果と各回の課題達成状況の量的に把握と、学生の振り返りコメントを参考とすることで、授業進度の調整（動的な補講回の実施）の判定に活用できることを示し、その有用性を議論した。

謝辞

本研究は JSPS 科研費基盤研究(C)17K00492 の助成を受けたものである。

参 考 文 献

- (1) 高井久美子, 水谷晃三: "プログラミング教育における反転授業の試み", 情報処理 Vol.57, No.9, pp.916-919 (2016)
- (2) 鈴木聡, 廣川佐千男: "ペアプログラミングと反転授業を導入したコンピュータシミュレーション実習における履修者の学習活動の分析", 日本教育工学会論文誌 Vol.41, No.3, pp.255-269 (2017)
- (3) ジョナサン・バーグマン (著), アーロン・サムズ (著), 山内祐平 (監修), 大浦弘樹 (監修), 上原裕美子 (訳): "反転授業: 基本を宿題で学んでから, 授業で応用力を身につける", 株式会社オデッセイコミュニケーションズ, 東京 (2014)
- (4) 上野春毅, 加藤翼, 深町賢一, 立野仁, 光永悠彦, 山川広人, 小松川浩: "Computer Based Test and Training を活用した反転授業モデルの提案とプログラミング実習科目での評価", 教育システム情報学会誌(採録審査中)

初等中等学校での利用を想定した IoT 教材基盤の提案

等々力 崇史^{*1}, 香山 瑞恵^{*2}, 舘 伸幸^{*3}, 永井 孝^{*4}, 二上 貴夫^{*5}, 足助 武彦^{*6}

^{*1} 信州大学大学院総合理工学研究科, ^{*2} 信州大学工学部,

^{*3} 名古屋大学組込みシステム研究センター, ^{*4} ものづくり大学技能工芸学部,

^{*5} 東陽テクニカ, ^{*6} 伊那市立東部中学校

Proposal of IoT based Learning Material and its Management System for Primary/Secondary Education

Takafumi TODORIKI^{*1}, Mizue KAYAMA^{*2}, Nobuyuki TACHI^{*3}, Takashi NAGAI^{*4},
Takao FUTAGAMI^{*5}, Takehiko ASUKE^{*6}

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

^{*2} Shinshu University Faculty of Engineering,

^{*3} Nagoya University, Center for Embedded Computing Systems,

^{*4} Institute of Technologists Department of Mechanical and Production Engineering,

^{*5} TOYO Corporation, ^{*6} Ina City Toubu Junior Highschool

本研究の目的は、初等中等学校の正課授業での利用を想定した IoT 教材基盤の構築および IoT 教材の利用による授業支援である。これまでに計測を伴う実験に利用される教材の IoT 化と、教材を統合管理する管理基盤のプロトタイプ構築を行い、中学校での正課授業への適用をし、評価を行った。本稿では、初等中等学校における授業を想定した IoT 教材基盤の概要、および運用成果に基づく問題点の整理について述べる。

キーワード: IoT, タブレット, 教材評価, 基盤設計, 授業評価

1. はじめに

近年 IoT(Internet of Things)への注目が高まっている。IoT とは身の回りの様々な「モノ」がインターネットに繋がることで情報の発信主体が「モノ」となる仕組みであり、観光や医療をはじめ様々な分野への IoT 活用が進んでいる。

教育分野では、学習指導要領の改定により、文部科学省の「教育の情報化の推進」⁽¹⁾や総務省の「教育クラウドプラットフォーム」⁽²⁾で提唱されるように、初等中等教育において情報活用能力の育成やクラウドを利用した学習の効率化および高度化が図られている。また N 県 I 市では ICT を活用し地域による学習格差の解消を図る取り組みが進められている⁽³⁾。

本研究では、初等中等学校において、IoT を活用して学習の効率化および効率化を図ることを目的として

いる。本稿では、IoT 教材基盤の概要および運用実績に基づく基盤評価について述べる。

2. IoT 教材基盤について

図 1 に IoT 教材基盤の概要を図 1 に示す。本研究で提案する教材基盤では、センサで計測された値は、制御デバイスによって Wi-Fi あるいは 3G を介してクラウドへ格納される。クラウド内のデータは CMS(Contents Management System)で構成されたデータ管理システムに取り込まれ、管理される。CMS 内では教育用途に利用することを前提とし、関連情報と計測データの管理方法が工夫される。CMS 内の情報は計測結果を可視化するツールから参照され、学習活動に利用される。

スマネージャを実装した。クラウドには Milkcocoa⁽⁵⁾を使用した。CMS ではデバイススマネージャで登録された計測機器を選択することでクラウドのデータストアからデータを取得し、可視化ツール上に表示する。利用者に対して、シラバスで登録された単元に対応する計測データの保存と保存後データの参照をポートフォリオで行う。

図 4 に可視化ツールの画面例を示す。これらの画面を用いて、提案基盤の利用フローを以下に示す。

1. シラバスに登録された単元の実験ページにおいて、図 5(a)に示すグラフ表示のための選択画面で、行う実験名、生徒が所属する班、班で扱う計測機器を選択する。
2. 1.で選択された計測機器で計測された温度がリアルタイムグラフ表示される。
3. リアルタイムのグラフ表示画面を図 5(b)に示す。グラフ表示画面において、計測開始を選択することで、選択した時間からの計測温度の記録が始まる。
4. 3.で計測開始を選択すると、計測開始ボタンが計測停止ボタンに変わる。計測停止を選択することで、選択した時間までの計測温度を記録し、保存ができるようになる。保存するときメモを記述することで、実験の様子などのメモをグラフと一緒に保存される。

5. 保存したグラフの閲覧画面を図 5(c)に示す。グラフとともにメモも閲覧できる。グラフの上にカーソルを合わせることで、プロットされた温度を確認できる。保存されたグラフが複数存在する場合、図 5(c)中の矢印で指し示している部分を選択することでグラフの重ね合わせ表示ができる。

4. IoT 教材基盤の評価

4.1 評価運用

IoT 教材基盤を評価するために、3章で示したプロトタイプを用いて、中学校理科「状態変化」単元を対象として、2017年3月から2018年7月までの4ヶ月間にわたり、提案基盤を運用した。実施校は I 市立中学校3校11クラスである。3校共、従来の実験手法による沸点計測を実施後に、提案基盤を用いた実験を行わせた。実施された実験は以下の4種である。

- 水の沸点の計測
- エタノールの沸点の計測
- 水とエタノールからなる混合物の沸点の計測
- 混合物の蒸留

「状態変化」単元のねらいは、「物質は融点や沸点を境に状態が変化することや、融点や沸点は物質によって決まっていること、融点や沸点の測定により未知の物質を推定できることを理解させるとともに、混合

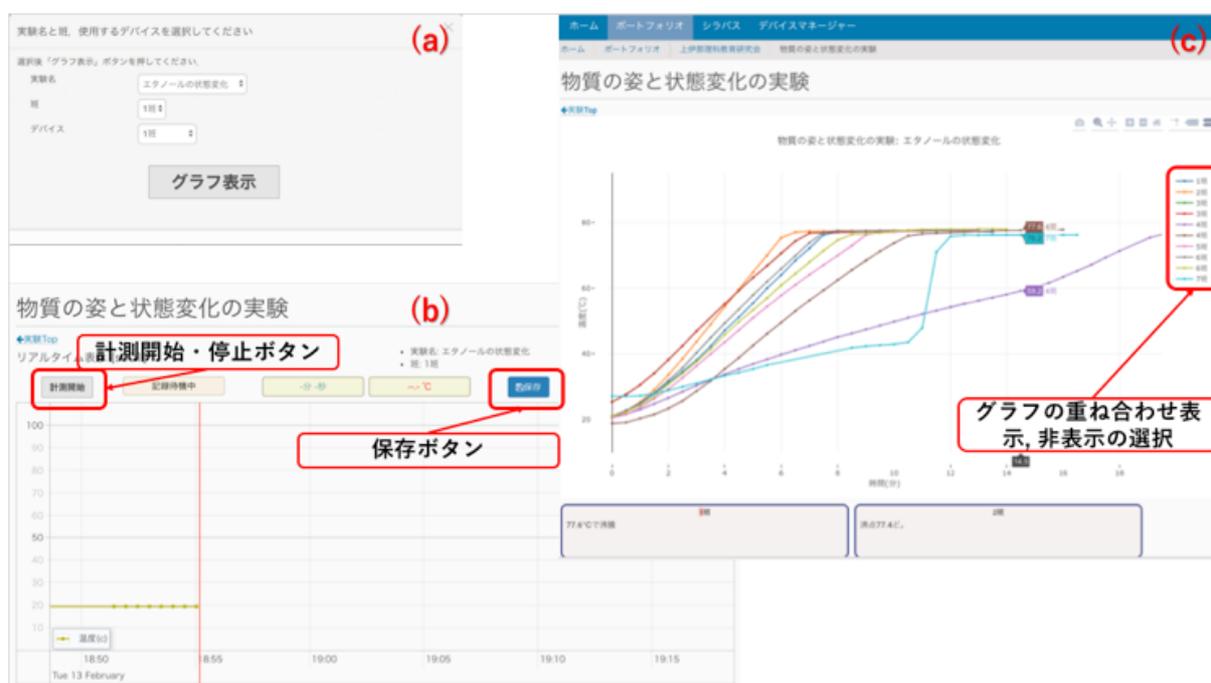


図 4 可視化ツールの画面例



図5 IoT教材基盤を用いた授業の指導案と実際の授業の様子

物を加熱する実験を行い、沸点の違いを利用して混合物から物質を分離できることを見いだして理解させること⁽⁶⁾である。一般に複数名で構成される実験グループにおいて、従来の実験手法では個々の生徒は以下の役割を担う。

- 時間を計測する
- 温度計の数値を読み取る
- 読み取られた数値からグラフを作成する
- 物質の様子を観察する

提案教材基盤を利用した理科教員へのヒアリングの結果、従来の実験手法では以下のような問題があるとのコメントが複数寄せられた。

- 実験中に分担する作業が多く、生徒は物質の変化の観察に集中できない、
- 目視で温度測定をするため、読取データが不確かであることが多い
- 計測結果のグラフは紙媒体に記述されるため、他の実験・班との比較が容易でない

提案教材基盤を利用することでこれらの問題の解決を期待される。

4.2 授業構成

今回、提案基盤を利用した学校では、従来の実験手法を用いる場合、1種の実験に対して、実験1時限と考察1時限の2時限が割り当てられることが一般的であったという。提案基盤を用いることで、1種の実験に割

状態変化:

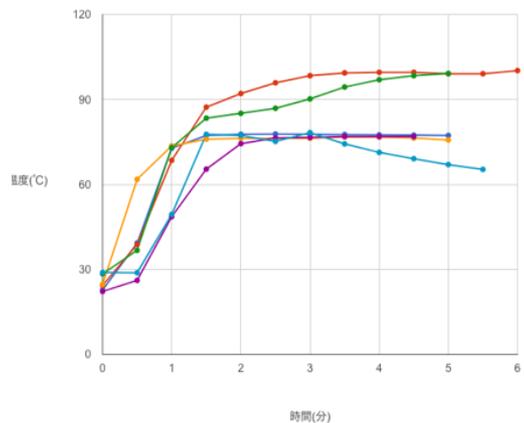
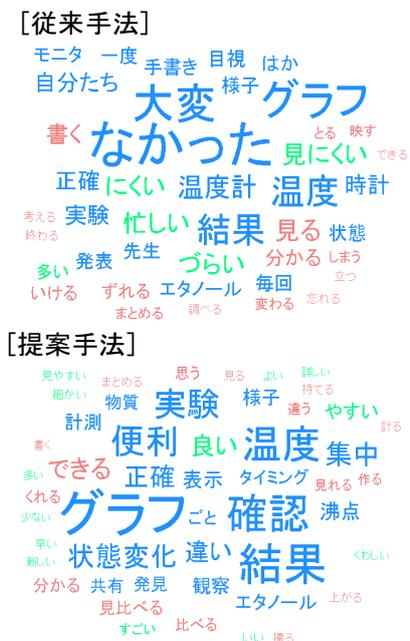


図6 温度変化グラフの重ね合わせ結果

り当てる時限数は1時限となった。提案基盤を用いた授業の指導案と実際の授業の様子を図5に示す。図左が指導案、図右部が実際の授業の様子である。

この授業では、エタノールと、エタノールと水の混合物の沸点計測が行われた。指導案によれば、導入部では水やエタノールを加熱したときの温度変化を表したグラフの特徴を想起し確認する。プロトタイプ教材を使用することによって「温度変化のグラフと物質の状態」に着目した実験を行うことを伝える。展開部では、液体の状態と温度変化を関連させて観察する。この時、タブレット端末での液体の状態の撮影やメモの記述しながら観察を行う。実験後に自分の班の実験結果をもとに考察を行う。さらに他の班の実験結果を共有し考察を行う(図6参照)。まとめ部では、考察した内容をクラス全体に発表する。展開時にまとめた考察



| 名詞 | | | 動詞 | | | 形容詞 | | |
|--------|-------|-------|--------|------|-------|--------|------|-------|
| before | 単語 | after | before | 単語 | after | before | 単語 | after |
| 50 | グラフ | 50 | 11 | できる | 89 | 95 | 多い | 5 |
| 46 | 結果 | 54 | 87 | 見る | 13 | 100 | 見にくい | 0 |
| 50 | 温度 | 50 | 88 | 書く | 12 | 100 | づらい | 0 |
| 100 | なかった | 0 | 57 | 分かる | 43 | 100 | くわしい | 0 |
| 39 | 実験 | 61 | 100 | いける | 0 | 100 | 忙しい | 0 |
| 100 | 大変 | 0 | 100 | ずれる | 0 | 0 | 悪い | 100 |
| 48 | 正確 | 52 | 63 | まとめる | 37 | 0 | やすい | 100 |
| 0 | 確認 | 100 | 0 | 見比べる | 100 | 0 | すごい | 100 |
| 89 | 自分たち | 11 | 0 | 思う | 100 | 0 | 細かい | 100 |
| 89 | 時計 | 11 | 0 | 比べる | 100 | 0 | いい | 100 |
| 0 | 便利 | 100 | 0 | くれる | 100 | 0 | 早い | 100 |
| 53 | 様子 | 47 | 81 | みれる | 19 | 0 | 見やすい | 100 |
| 74 | 状態 | 26 | 100 | 映す | 0 | 0 | よい | 100 |
| 53 | エタノール | 47 | 81 | 忘れる | 19 | 0 | 詳しい | 100 |
| 100 | 温度計 | 0 | 100 | とる | 0 | 0 | くわしい | 100 |
| 0 | 集中 | 100 | 81 | 終わる | 19 | 0 | 少ない | 100 |
| 0 | 状態変化 | 100 | 100 | 変わる | 0 | 0 | 新しい | 100 |
| 36 | 計測 | 64 | 66 | 調べる | 32 | --- | --- | --- |
| 36 | 観察 | 64 | 81 | 考える | 19 | --- | --- | --- |
| 41 | 沸騰 | 59 | 81 | かかる | 19 | --- | --- | --- |
| 0 | 違い | 100 | 81 | 立つ | 19 | --- | --- | --- |
| 0 | 沸点 | 100 | 100 | しまう | 0 | --- | --- | --- |
| 0 | 表示 | 100 | 0 | 違う | 100 | --- | --- | --- |
| 74 | 全て | 26 | 0 | 作る | 100 | --- | --- | --- |
| 74 | 作業 | 26 | 0 | 見れる | 100 | --- | --- | --- |
| 100 | 毎回 | 0 | 0 | 増える | 100 | --- | --- | --- |
| 100 | モニター | 0 | 0 | 撮る | 100 | --- | --- | --- |
| 100 | 先生 | 0 | 0 | 計る | 100 | --- | --- | --- |
| 100 | 目視 | 0 | 0 | 持てる | 100 | --- | --- | --- |
| 100 | 一度 | 0 | 0 | 上がる | 100 | --- | --- | --- |

黄色：従来手法のみ、あるいは従来手法に多い単語
 紫色：提案手法のみ、あるいは提案手法に多い単語
 白色：両方に同程度出現している単語

図7 2017年度の生徒評価(図左：ワードクラウド、図右：頻出語のリスト)

結果をプレゼンテーションツールを用いて3ページ程度のプレゼン資料として作成する。その資料をモニターに映し出しながら発表する。

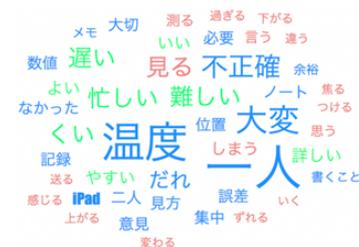
4.3 生徒による評価

提案基盤を用いた授業後に本教材の評価のための質問紙調査を実施した。アンケート内容は「タブレット端末で温度を測定してみて感じたこと、普通の温度計を使って測定した授業と比べて感じたことなど実験について記入してください」であり、個々の生徒に自由記述で回答させた。調査実施対象は2017年度1クラス29名、2018年度1クラス35名である。

図7に2017年度実施クラスの評価のテキストマイニングした結果を示す。分析にはWeb上のテキストマイニングツールを使用した。図左は実験に対する感想のワードクラウドであり、図右が文中の頻出単語割合を示したものである。生徒の記述から従来の実験手法(従来手法)に対する内容と、提案基盤を用いた教材での実験手法(提案手法)に対する内容とに分けたテキストマイニングの結果から両者の違いを考察する。

従来手法の実験では、「大変」や「忙しい」「ずれる」の単語が多く見られた。提案手法での実験では、「集中」や「見比べられる」「正確」の単語が多く見られた。頻出単語に関しては、従来手法と提案手法の両方に

[従来手法]



[提案手法]



図8 2018年度の生徒評価

出現する単語は、名詞では「グラフ」「結果」「温度」「実験」「正確」「様子」「状態」「エタノール」「計測」「観察」「沸騰」「全て」「作業」であり、動詞では「分かる」「調べる」であった。形容詞に両者に共通して現れる単語はなかった。従来手法に多く出現する単語は、名詞では「なかった」「大変」「自分たち」「時計」「温度計」「毎回」「モニター」「先生」「目視」「一度」であり、動詞は「見る」「書く」「いける」「ずれる」「みれる」「映す」「忘れる」「とる」「終わる」「変わる」「考える」「かかる」「立つ」「しまう」、形容詞は「多い」「見

くい」「づらい」「にくい」「忙しい」であった。提案手法に多く出現する単語は、名詞では「確認」「便利」「集中」「状態変化」「違い」「沸点」「表示」であり、動詞は「見比べる」「思う」「比べる」「くれる」「違う」「作る」「見れる」「増える」「撮る」「計る」「持てる」「上がる」、形容詞は「よい」「やすい」「すごい」「細かい」「いい」「早い」「見やすい」「よい」「詳しい／くわしい」「少ない」「新しい」であった。

また、図 8 に 2018 年度実施クラスの評価をテキストマイニングした結果を示す。従来手法では、「誤差」や「不正確」「忙しい」「大変」の単語が見られた。提案手法では、「正確」や「できる」「分かる」の単語が見られた。さらに「比較」という単語が提案手法に対する記述にのみ出現していた。

2017 年度と 2018 年度の調査結果において、従来型実験には肯定的な意見はなかった。従来手法に対する生徒の具体的なコメントには、温度計測時間を気にしていたという意見が回答者の 38%であった。余裕がなかったという意見は 17%であった。すなわち、従来手法では時間に追われており、作業の多さにより物質の観察に集中できていなかったことが推察される。また目視による計測のため計測に誤差が含まれることを懸念していたこともうかがえる。しかし提案手法では、計測及びグラフ作成の自動化により生徒は物質の観察に集中出来ており、実験結果をすぐ比較することで他班や他の実験との比較ができたことが考えられる。

4.4 教員の評価

本提案教材を用いた実験を担当した教員 5 名に対し、ヒアリング調査を行った。主な意見を以下に示す。

- 本単元ではグラフから読み取ることではなくグラフに書くことに集中してしまう。その問題点を本教材では解決できている
- 実験時間が短縮され、考察の時間が増えたことにより、理解の深化につながる
- 今までは 1 時間実験を行い、もう 1 時間で実験結果の考察を行っていたが、1 時間の中で実験・まとめ・議論ができた
- グラフの読み取りができないことが防げた
- 本単元でグラフ描画を学ぶため、別にグラフ描画に関する授業をする必要がある

- グラフの比較やスクリーンに結果を映し出すなどの技術が難しく、アシスタントやコーディネーターが必要
- IoT 教材を使用することで指導内容が変わるので、教員の課題の与え方の変更など考えなければならない

温度計測及びグラフの作成を自動化しグラフの重ね合わせ表示が容易になったことで考察の時間が増えたこと、物質の観察に集中出来ていたことに対する好意的な意見が得られた。一方で運用に関する教員の技術的不安や、グラフ描画技術の取得を他で行う必要性などの意見も得られた。

5. IoT 教材の問題点と教材基盤の汎用性

4 ヶ月間の継続運用を経て、IoT 教材のプロトタイプに問題点及び改善点が確認された。

1 点目はクラウドの問題である。プロトタイプでは Milkcooa をクラウドとして使用していた。本提案教材ではデータを格納するためのデバイス、データを抽出する際のコンテンツ・マネジメント・システムが同時に接続するため、教材 1 セットを動作させるとクラウドへの接続数は 2 となる。Milkcooa では 1 つのアプリケーションに対し、同時接続制限が 20 までであるため、学校での運用に関して制約が厳しいことがわかった。またサービス面で安定したサービスが受けられない可能性もあった。そこで、今後はクラウドサービスを Firebase へ移行することとした。Firebase は Google が提供するモバイルプラットフォーム⁽⁸⁾であり、また、データベースの同時接続制限が 100,000 であるので学校のような多数の利用場面で同時に使用される可能性がある場面に適しているためである。

2 点目はグラフ保存に関する問題である。計測時に操作ミスがあった場合、計測データが消失してしまうことがあった。破壊的アクションを伴う操作には確認画面を表示させる等の工夫を検討する。

3 点目はログイン操作に関する問題である。あるクラスの実験で本教材を使用した後、サイト内でログアウトをし、次に使用するクラスは自分のクラスを選択する必要がある。しかし前のクラス情報を維持したまま実験を行なってしまう、実験結果の参照時に自分の

実験結果の表示が正常に行われなかったことがあった。この問題に関して、図 4(b)において実験中のクラス情報の表示をしたり、クラスの選択をより意識させるようなユーザーインターフェースの改善を検討する。

4 点目はデバイスに関する改善である。現在、小学校でプログラミング教育の必修化がされた。それに伴いビジュアル型プログラミング言語が発展している。イギリスの BBC が中心となり開発した小型マイコンボード **micro:bit** はブロックプログラミングによる開発が可能であり、小中学校で導入がされている場面もある。プロトタイプには **Arduino Leonardo** を使用したが、**micro:bit** に変更することで生徒は計測機器に対して違和感を感じず、さらに学外で自主的にプログラミングを学びたい場合に、容易に取り組むことができる。そのため今後、教材の汎用化を進めていく際にデバイスを **micro:bit** に変更することを検討している。

上記の問題点及び改善点を解決する際、図 2 に示した教材基盤のモデル図に変更点は生じない。そのため本稿で提案する教材基盤には汎用性があると考えられる。本稿では「状態変化」単元を対象としたが、センサ部分を変更することで他の単元への適用を見込める。

6. まとめ

本稿では、初等中等学校での利用を想定した IoT 教材基盤の概要と、プロトタイプの運用成果に基づく問題点について述べた。中学校理科「状態変化」単元を対象とした IoT 教材のプロトタイプでは生徒の評価から、物質の観察に集中でき、他班や他の実験のグラフと比較することで考察が深まったことが示唆された。また、教員の評価では、実験時間の短縮による考察時間の増加や、従来手法での問題点を解決している等の意見があった。これらより提案教材の適用により、学習の効率化の示唆がされた。しかし運用に関して操作性の問題や授業内容の変更の必要があり、支援体制の整備が必要であるとわかった。

今後は、5章で述べた問題点の解決をし、教材の改善を進めていく。また、教材の汎用化についても検討していく。汎用化に関しては、中学校理科「植物のからだのつくり」を対象とし、可視化手法の検討および計測機器を **micro:bit** に、二酸化炭素・酸素濃度センサー

および照度センサーを取り付けたものを使用し、教材の汎用化を進めている。

謝辞

提案教材に対してご指導をいただきました上伊那理科教育研究会の先生方と、伊那市立東部中学校理科教科会の先生方に感謝申し上げます。本研究は JSPS 科研費 22300286 と 16H03074 の助成を受けた。

参考文献

- (1) 文部科学省，“教育の情報化の推進”，
http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyouhou/detail/1369603.htm (2019/02/03 確認)
- (2) 総務省，“教育クラウドプラットフォームについて”，
http://www.soumu.go.jp/main_content/000411858.pdf (2019/02/03 確認)
- (3) 竹生秀之，足助武彦：“伊那における遠隔授業”，日本デジタル教科書学会発表原稿集，6(0)，pp63- 64 (2017)
- (4) 鈴木たかのり，寺田学，永井孝，中西直樹，堀田直孝，本多重夫，本多誉子，間中宏修，安田善一郎，“Plone 4 Book”，有限会社 Talpa-Tech，東京，(2011)
- (5) Milkcocoa，
<https://mlkcca.com/> (2019/02/07 確認)
- (6) 文部科学省，“中学校指導要領解説 理科編”
http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2018/06/12/1387018_5_2_2.pdf (2019/02/03 確認)
- (7) テキストマイニングツール，
<https://textmining.userlocal.jp/> (2019/02/03 確認)
- (8) Firebase，
<https://firebase.google.com/?hl=ja> (2019/02/07 確認)

教育システムと「倫理的に配慮されたデザイン」

武田俊之、 高等教育推進センター
関西学院大学

Issues for Educational Technologies in IEEE Ethically Aligned Design

Toshiyuki Takeda
Kwansei Gakuin University

IEEE Ethically Aligned Design(「倫理的に配慮されたデザイン」)は、知的で自律的なシステム(人工知能)が人間や社会の価値観や倫理原則と適合するよう、潜在的な有害性と望ましさに関する対話、議論、ポリシーを促進するために作成された報告書である。この報告では教育システムや教育データに関する「倫理的に配慮されたデザイン」の論点について整理、検討をおこなう。

キーワード: 人工知能、 自律知能システム、 Ethics by Design、 パーソナルデータ

1. はじめに

ビッグデータと人工知能の進展の社会への影響に関する議論が、アシロマ会議や人工知能学会など組織横断的な会議体においておこなわれている⁽¹⁾⁽²⁾。

そのうち、The IEEE Global Initiative on Ethics of Autonomous and Intelligent Systems (The IEEE Global Initiative)は、数百人の学術研究、産業、市民、行政などの領域の関係者をグローバルに集めて、IEEE Ethically Aligned Design(EAD、倫理的に配慮されたデザイン)を作成した⁽³⁾。これは人工知能に関連する技術のうちロボット、IoT、エージェントのような自律知能システム(Autonomous and Intelligent System、以下 A/IS)の設計、技術などについての課題と対応策を整理したものである。日本でも EAD の論点について異分野・異業種によるワークショップがおこなわれている⁽⁴⁾。

教育分野では早くから人工知能が使われており、技術の発展の影響は大きいと思われるが、ヘルスケアなど他領域とくらべて技術の適用への倫理的検討が十分であるとはいえない。この報告では EAD を元に教育システムや教育データに関する「倫理的に配慮された設計」の論点について整理、検討をおこなう。

2. IEEE Ethically Aligned Design

2.1 IEEE Ethically Aligned Design の概要

EAD は、人工知能に代表される知的で自律的なシステム(Autonomous and Intelligent System=A/IS)が人間や社会の価値観や倫理原則と適合するよう、潜在的な有害性と望ましさに関する対話、議論、ポリシーを促進するために作成された報告書である。EAD の第1版(EADv1)は2016年12月に、第2版(EADv2)は2017年12月に公開された。

EADv2 では v1 からの継続を含めて、以下の13のトピックについての議論が委員会を組織して進められた。

1. 一般原則 (General Principles)
2. 自律知能システムへの価値観の埋め込み (Embedding Values into Autonomous Intelligent Systems)
3. 倫理的研究と設計をガイドする方法論 (Methodologies to Guide Ethical Research and Design)
4. 汎用人工知能の安全性と便益 (Safety and Beneficence of Artificial General Intelligence (AGI) and Artificial Superintelligence (ASI))

5. パーソナルデータとアクセスコントロール (Personal Data and Individual Access Control)
6. 自律兵器システムのりフレーム (Reframing Autonomous Weapons Systems)
7. 経済、人道上の課題 (Economics/Humanitarian Issues)
8. 法律 (Law)
9. Affective Computing
10. 政策 (Policy)
11. A/IS における伝統的倫理 (Classical Ethics in A/IS)
12. 複合現実 (Mixed Reality in ICT)
13. ウェルビーイング (Well-being)
9. ロボット Standard for Ethically Driven Nudging for Robotic, Intelligent, and Automation Systems (P7008)
10. 自律的および半自律的システムのフェイルセーフなデザインに関する標準規格 (P7009)
11. 倫理的な AI と知能システムのためのウェルビーイング・メトリクスの標準規格 (P7010)
12. ニュースソースの信頼性を特定し評価するプロセス標準(P7011)
13. 機械可読なプライバシー条項の標準規格 (P7012)
14. 自動化された顔分析技術の組み込みと適用の基準 (P7013)

EAD には多分野から産官学民メンバーの参加者内での共有と、今後の議論の多様性の確保や社会的な展開のために、使用するキーワードの定義した用語集 (Glossary) が作成された。用語集においては、各キーワードについて、一般用語、コンピューター関連領域、工学領域、政策・社会科学領域、倫理・哲学で使用されている定義を整理している。

2.2 標準化

IEEE は EADv1 および EADv2 の議論を元に P7000 シリーズとして標準化を目指している。P7000 シリーズは最終版の EAD に反映される予定である。現在、現在以下のオープンなワーキング・グループが P7000 に存在する。

1. システムデザインにおいて倫理的問題を取りあつかうモデルプロセス (P7000)
2. 自律システムの透明性 (P7001)
3. データプライバシープロセス (P7002)
4. アルゴリズムによるバイアスの考慮 (P7003)
5. 子どもと学生のデータガバナンスに関する標準規格 (P7004)
6. 透明性のある雇用者のデータガバナンスに関する標準規格 (P7005)
7. パーソナルデータ人工知能に関する標準規格 (P7006)
8. 倫理的に動作するロボットおよび自動システムに関するオントロジックの標準規格 (P7007)

3. 教育システムに関連した EADv2 の論点

教育システムにおける AI の研究開発は、ICAI (Intelligent Computer Assisted Instruction) や ITS (Intelligent Tutoring System) として活発におこなわれてきた。これらの自律知能システムは、学生・教師のインタラクション (の一部) を、事前の知識を使って代替または強化するものである。また、これらの研究と関連して (あるいは並行して)、テストの結果から推定した学生の能力にもとづいて、個々の学習者に応じたインストラクションやテストを提示するパーソナライズド・ラーニングや適応的テストの研究も盛んである。このようなパーソナライズド・ラーニングは、学術研究以外の教育産業等に多数の事例がある。

このように教育分野においても自律知能システム (A/IS) の研究は豊富である。また、教育において知識とデータは本質的に重要であり、教室等の教育場面に導入されるロボット、ソフトウェアエージェント、IoT デバイス、VR デバイスなど A/IS のもたらすインパクトは大きいであろう。しかし、そのインパクトの評価や倫理上の課題について十分に検討されているとはいえない。EADv2 においても A/IS 開発者の教育は言及されているが、教育そのものへの A/IS の影響については取りあげられていない。

教育システムにおける倫理的に配慮されたデザインを検討する手がかりとするために、EADv2 において、教育システムに関連するトピックとその論点を表 1 に

整理した。以下では教育分野で特に独自の検討を要するトピックと思われる「5. パーソナルデータ」と「4. 汎用人工知能」「9. Affective Computing」「12. 複合現実」について述べる。

パーソナルデータ: 教育においてさまざまなシステムが生成するデータは教育の改善や学生自身の学習のリフレクションに有用である。その一方で、データの取り扱いにはさまざまな課題が存在しており⁵⁾、今後教室等での A/IS の実用とともにさらに検討課題が増加するであろう。学生（教師も）は A/IS によって自動的に個人のデータが収集されていることをおそらく明確に理解していない。もし、データの利用目的や分析方法、分析結果の利用者について同意があったとしても、それが抽象的で包括的な形式的なものである可能性も高いであろう。また、学校内の関係性や教育への影響によって事実上同意を拒否できない問題もある。未成年、高齢者、障害者の場合の同意の方法も課題である。

個人データに関する議論では、個人がパーソナルデータの利用管理、制限をおこなう方向で望ましいという意見がある。しかし学生にそれが可能であるか。また、過去のパフォーマンスのデータからのプロファイリングの共有と誤る可能性や、そしてプロファイリングから選択された教授法の適切性など、今後の研究が必要であろう。

汎用人工知能/Affective Computing/複合現実:

教育分野において、これらの開発は学術研究よりも産業が先行している。複合現実への没入は学習を向上させる可能性はあるものの、健康上の懸念や仮想的な経験の現実への影響は未知である。また、このようなシステムが教員を代替する、あるいは教員が利用、連携する際の方法については研究が必要である。

4. 今後の課題

この報告では EADv2 の論点の中で、教育システムに特に関連したトピックと論点を抽出した。しかし、これは人工知能の教育への応用における倫理上の課題の一部にすぎない。

EADv2 は自律知能システムに関する報告書であって、人工知能領域すべてをあつかうものではない。教育分野に影響の大きい機械学習やディープラーニング

などの問題はパーソナルデータの論点として触れられるだけである。教育におけるデータからの個人のプロファイリングは、評価・選別、人権、差別、プライバシーなどへの長期的な影響がある。

また、教育は公教育から生涯教育、さらにフォーマル、インフォーマルを含む長期的な営みである。影響が長期に渡ることは、ヘルスケア等と比べたときの教育データの特徴であり、教育研究を踏まえたうえでのデータの倫理的な取り扱いが必要であろう。

これらのトピックを含めた教育の目的、方法、システムなどへの AI の影響は、AI に関する諸議論を踏まえて、広範囲なステークホルダーのさまざまな立場から議論が必要であろう。EADv2 は議論のための基礎資料として有用である。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 16K12564 の一部の助成を受けている。

参 考 文 献

- (1) 村上祐子: “人工知能の倫理の現在”、IEICE Fundamentals Review、Vol. 11、No. 3、pp. 155–163 (2018)
- (2) AI ネットワーク社会推進会議: “報告書 2018—A I の利活用の促進及び A I ネットワーク化の健全な進展に向けて—” (2018)
http://www.soumu.go.jp/main_content/000564147.pdf (2019 年 2 月 7 日確認)
- (3) The IEEE Global Initiative on Ethics of Autonomous and Intelligent Systems: “Ethically Aligned Design: A Vision for Prioritizing Human Well-being with Autonomous and Intelligent Systems Version 2”, http://standards.ieee.org/develop/indconn/ec/ead_v2.pdf (2019 年 2 月 7 日確認)
- (4) 江間有沙, 長倉克枝: 「倫理的に調和した設計」の論点整理—異分野・異業種によるワークショップからの示唆—、情報法制研究、第 4 号、pp. 3-14 (2018)
- (5) Ho, A.: “Advancing Educational Research and Student Privacy in the ‘Big Data’ Era” Washington, DC: National Academy of Education (2017)

表 1 教育システムに関連した IEEE Ethically Aligned Design の論点と課題

| トピック | 論点 (issue) |
|------------------------|---|
| 1. 一般原則 | 人権侵害の防止、ウェルビーイング、アカウントビリティ、透明性、技術の誤用の認識、規範 |
| 2. 価値観 | 規範の識別、更新、コンフリクトとその解消、多種多様な規範の実装、実装と展開の透明性、失敗の可能性、規範が実装されないコミュニティの存在、特定のグループに不利なバイアス、第三者による評価 |
| 3. 研究と設計の方法論 | 研究者への倫理教育、倫理的課題に関する学際的な共同研究、ステークホルダーの関与、倫理委員会のための組織内リソース、ドキュメンテーション、アルゴリズムの一貫性、監視の欠如、独立した審査機関の不在、ブラックボックスコンポーネントの使用 |
| 4. 汎用人工知能 | 汎用人工知能の領域横断性と予期しない動作の危険性、安全性の設計を組み込む困難さ、倫理的技術的な安全上の課題の複雑化、世界的で大規模なインパクト |
| 5. パーソナルデータ | デジタルと現実の人格の差異、パーソナルデータの定義とその識別、法律と個人の価値の矛盾、個人を識別する情報 (PII) と個人データのコントロールの定義、収集された情報へのアクセス、訂正、修正、管理、プライバシーインパクト評価の作成、政府による情報の収集、パーソナライズ化された AI によるプライバシー保護、同意の再定義、共有を望まない情報のプロファイリング、利用していない A/IS による個人情報の取得、同意のベストプラクティス、個人情報の同意を理解できない場合 |
| 7. 経済 | SDGs、発展途上国における A/IS、雇用構造と A/IS、市場以外への自動化の影響、従業員訓練の技術的变化への対応、個人情報の理解の欠如、A/IS 分野の大学教育におけるグローバルな側面、AI と自律技術の国際格差 |
| 8. 法律 | 法的地位または法的分析の枠組み、行政による権利侵害の可能性、A/IS の法的責任を保証する設計、アカウントビリティと検証可能性の改善 |
| 9. Affective Computing | 適切な規範、長期利用の影響、文化・社会・宗教的価値へのマイナスの影響、ユーザーとの親密な関係の道徳的倫理的影響、ナッジの利用の倫理的懸念と意図しない結果、アフェクティブ・システムの欺瞞の可能性、個人の自律性への影響 |
| 10. 政策 | A/IS が法的基本を理解することの保証、A/IS 人材の育成、AI 産業の育成と公共の安全と責任のための規制の両立、A/IS の利益とリスクに関する国民の理解の醸成 |
| 11. 伝統的倫理 | 道徳、自律、知性についての基本的知識、agent と patient の区別、伝統的な倫理学の語彙、開発者への倫理の提示、企業による倫理学へのアクセス、職場でのインパクト、人間の自律性の維持、プログラミングのためのルールベース倫理学の要件 |
| 12. 複合現実 | フィジカルな現実への影響、社会との関係、社会規範、健康への影響およびその評価、仮想の経験の問題、トレーニングや業務の有効性とそれがもたらす変化、子どもや未成年者の利用上の問題、専門的仕事の自動化への影響、データの収集と制御の法的倫理的課題、公共の場での AR/VR に関連したデータとプライバシーの法律や規制 |
| 13. ウェルビーイング | ウェルビーイングのメトリクスと A/IS がもたらすシナリオやインパクトのモデル化、評価の A システムへの組み込み、ウェルビーイングが人権とコンフリクトする可能性 |

システム要求分析能力向上のための 分析観点を習得させる学習設計

石井 俊也^{*1}, 仲林 清^{*2}

^{*1} 千葉工業大学大学院, ^{*2} 千葉工業大学

Learning Design to Acquire the Analysis Viewpoints to Foster System Requirements Analysis Ability

Shunya Ishii^{*1}, Kiyoshi Nakabayashi^{*1}

^{*1} Graduate School of Chiba Institute of Technology, ^{*2} Chiba Institute of Technology

This paper describes a design of learning method aiming to promote analysis skills by making learners aware of the analysis viewpoints in system requirements analysis. We provided learners with three viewpoints, "Functional defects", "Operability" and "Users". By doing this, we intended to promote learners to predict the problems about system as lack of functions and ambiguity of requirements. In addition, we tried to make learners focus on the viewpoint "employees" by breaking down "Users" into customers and employees, resulting the acquisition of new viewpoint concerning business knowledge. As a result of experiment, we found that the learners without work experience improved problem-predictions by being aware of viewpoints. However, they did not acquire viewpoint about business knowledge.

キーワード: 分析観点, システムに関する問題予測, 課題の再分析, 新たな観点の獲得

1. はじめに

システム開発において要件定義に起因する問題は、開発全体の手戻りコストのうち 70%以上の原因となることもあり重要視されている⁽¹⁾。要件定義における問題として、要求の抜け漏れ・要求の曖昧性・開発中の要求変化などが指摘されており⁽²⁾⁻⁽⁵⁾、設計以降の工程から要件定義へ手戻りする原因として知られている。これらの問題を解決するため、システム開発の上流工程に対する様々な支援研究が行われており⁽⁶⁾⁻⁽¹²⁾、その多くは要求工学プロセス⁽¹³⁾における要求獲得や要求分析に着目している。また、W字型開発モデル⁽¹⁴⁾のように要件定義工程でのテストも重要視されており、上流工程における設計レビューの支援研究もある⁽¹⁵⁾。

要件定義の中でも、特に要求分析工程を支援する主な研究には、仕様内容からのプロトタイプ自動生成により機能定義の自己検証を促す試み⁽⁷⁾や、限定した

UML(Unified Modeling Language)において過去の類似事例を提示することで見落としを減らす試み⁽⁸⁾が挙げられる。また、分析の視点を定めることで要求分析を促す視点指向アプローチも提唱されている⁽⁹⁾⁻⁽¹²⁾。視点の概念はソフトウェアの品質管理でも活用されており、テスト観点⁽¹⁶⁾やソフトウェア品質特性 JIS X0129⁽¹⁷⁾を用いて熟達者の暗黙知を引き出し、上流工程での設計レビューを促す試みもある⁽¹⁵⁾。しかし、これらの先行研究は多くが実務支援を目的としており、要求分析の学習を促す研究は少ない。

一方で、要求分析における視点指向アプローチのように「観点を定めて分析する考え方」は、一般の問題解決や教育においても有効であることが知られている⁽¹⁸⁾⁻⁽²⁰⁾。問題解決においては観点の意識や階層構造化によって解くべき問題を絞り込みやすくなり⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾、教育においては自分にはない他者の観点を取り入れることで理解を深める効果がある⁽²⁰⁾。

そこで本研究では大学生の学習者に着目し、システム要求分析能力の向上を目的として分析観点を意識させる学習設計を行った。分析観点の概念や要求分析について初学者と想定される学習者に対し、観点から課題分析する考え方を習得させ、要求分析を促進するねらいがある。開発手戻りやシステム稼働後の問題を要求分析時に抽出させるため、機能定義の不足や曖昧性を「システムに関する問題」として予測させる。ここで分析観点として機能欠陥・操作性・利用者の3つを学習者に意識させることで、上記の問題予測を促す。また、利用者の中でも発注企業の従業員に注目させることで、従業員の立場から課題情報に埋め込まれた業務知識と自身の問題予測を結びつけさせ、業務知識に関する新たな観点を学習者が自ら獲得できるよう促す。

以下、第2章で本研究における学習領域と位置づけを明らかにし、第3章で分析観点について解説する。第4章では観点の習得と要求分析を促すための学習設計について述べ、第5章で実験結果を示す。第6章では実験結果に対する考察を述べ、第7章でまとめを行う。

2. 研究の位置づけ

2.1 学習の領域

本研究では次の2つを要求分析能力と定め、これらを学習領域とした。

- (1) 課題文の情報から対象システムの要求を整理し、機能要件を把握できる
- (2) 対象システムの設計・開発時や稼働後を想定し、機能の不足や要求の曖昧性に起因するシステム稼働後の問題を予測できる

上記のうち(1)は、システム要件定義に関して一般的に定義された能力⁽²¹⁾から機能要件に関するものを抽出し、(2)は本研究で独自に定義した。機能定義に曖昧性が含まれていれば開発時に手戻りが生じ、機能定義が不足していればシステム稼働後に問題が発生する。これらの「システムに関する問題」を予測するためには、システムの動作を想定し、学習者の知識・経験と結びつける必要がある。本研究では学習者に分析観点を意識させることでシステムに関する問題予測

を促し、要求分析能力の向上をねらう。

2.2 先行研究との違い

分析観点の概念を要求分析に用いた関連研究として、視点指向アプローチが挙げられる。MulleryのCORE (COntrolled Requirement Expression) 法では開発ライフサイクルや信頼性などの視点をを用いる手法が提唱され⁽⁹⁾、KotonyaらのVORD (Viewpoint-Oriented Requirements Definition) 法では組織や環境など非機能要件の視点を明示的に加える手法が提唱された⁽¹⁰⁾。また、Sommervilleらは産業アプリケーションを対象に視点の管理と分析を促すPREview法を提唱している⁽¹¹⁾⁽¹²⁾。これらの先行研究は抽象的な観点(組織など)を下位観点(顧客、従業員、開発者、警備員など)に分解することで要求分析を促せることを示している。しかし、これらは熟達者の実務領域を想定した支援であり、要求分析や分析観点に関する学習効果を調べたものではない。

これらに対して、本研究は要求分析の初学者である大学生の学習者に着目し、分析観点の概念を習得させることで要求分析能力の向上をねらったものである。これまで熟達者に対して有効にはたらいっていた分析観点の概念を初学者が理解・納得するための学習設計を組み立て、学習者が観点を意識することによる要求分析能力への促進効果を調べる。また、学習者が分析観点の概念を応用し、新たな観点を自ら獲得して要求分析に利用することを目指す。

3. 学習者に意識させる分析観点

3.1 分析観点の効果

本研究で扱う2つの開発課題から、表1のように分析観点を定めた。ソフトウェア品質特性の国際規格SQuaRE⁽²²⁾で挙げられる機能適合性や保守性など8つの観点を参考に、「システムの詳細設計やコーディングに関わらず、要求分析の段階でシステムに関する問題を予測できる」ための観点として抽出し、名称・要素・概要の3つで構成した。例えば観点「機能欠陥」の要素として「機能の不足」があり、その概要は「要求を満たすための機能やデータに不足があるか」である。

表 1 本研究で扱った分析観点

| 名称 | 要素 | 概要 |
|------------------|-------------|---|
| 機能欠陥 | 機能の不足 | 要求を満たすための機能やデータに不足はあるか |
| | システム不成立 | システムが途中で動作しなくなる部分はあるか |
| 操作性 | 把握困難 | 画面が見づらい部分はあるか。 操作方法が伝わりにくい部分はあるか |
| | 非効率な操作 | 省略できる操作はあるか（無駄や複雑さ） |
| 利用者 | 顧客（課題 2 のみ） | 発注企業の利用者である顧客が困ることはあるか |
| | 従業員 | 発注企業で働く従業員が困ることはあるか |
| 業務知識 （獲得をねらう） | 業務フロー | 発注企業における業務の流れと結びつけたとき、システムが対応できない部分はあるか |

学習者に意識させる観点は、表 1 のうち機能欠陥・操作性・利用者の 3 つである。学習者が観点を意識することで図 1 のように、課題の情報や学習者の既有知識から結びつけるべき情報を絞り込み、システムに関する問題を予測しやすくなることが期待できる。

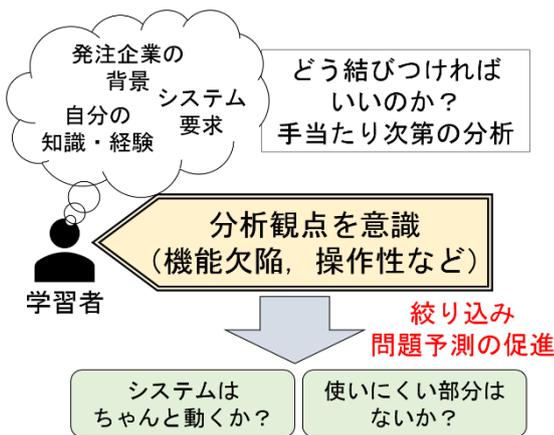


図 1 分析観点による情報の絞り込み

学習者が分析観点を意識することで予測できる問題の例を図 2 に示す。本研究で扱う 2 つの課題はシステム内で画面遷移を行うが、例えば課題 2（題材は居酒屋の注文システム）に対して機能欠陥の観点から分析することで、「定額の宴会コースがあるのに定額を表示する機能が不足している」問題や、「宴会コース用の定額を扱うためには、やり取りするデータが不足している」という問題を予測できる。

学習者に分析観点を意識させる際、機能欠陥と操作性については名称・要素・概要を全て与え、利用者については名称だけを与える。利用者観点にどのような要素があるか学習者に分解させることで、学習者が馴染みの薄い従業員に注目し、その業務フローを考えることで業務知識に関する観点獲得を促すねらいがある。

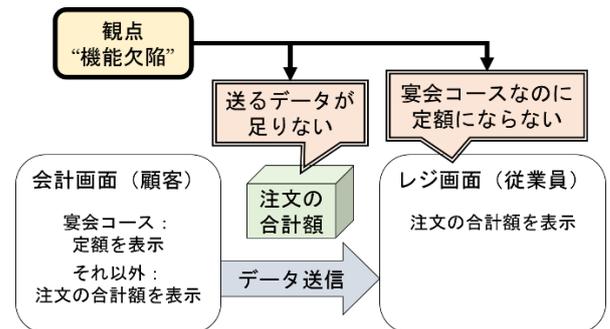


図 2 分析観点から予測できる問題例

3.2 分析観点をを用いる考え方の習得

学習者に分析観点の概念を理解させるため、観点の解説時には「観点から予測できる問題の具体例」を与え、開発課題への応用を促す。一方で、対象者である大学生は分析観点をを用いた考え方を未習得であり、解説だけでは観点を使いこなせないことが想定される。観点の効果検証を目的として行った実験⁽²³⁾では、観点を意識することで問題予測の増加傾向を確認したが、与えられた観点をうまく意識できない学習者も見られた。

そこで、本研究では学習者に対して分析観点の概念理解を促すため、観点と問題予測の結びつけを行わせる。学習者に、まず問題予測を行わせ、その後、観点を与えて自身が予測した問題を再分析させることで、観点と問題予測のつながりを納得させ、観点から分析する考え方を習得させるねらいがある。

3.3 学習者による新たな分析観点の獲得

対象者である大学生のうち、課題に関する業務経験がない者は、企業の業務に関する分析観点を意識する

ことが難しいと想定できる。学習者による観点の理解を促進した上で観点の効果検証を目的として行った実験⁽²⁴⁾では、学習者に機能欠陥・操作性・業務規則の3観点を意識させたところ、課題に関する業務経験がない学習者は業務規則の観点を意識しにくい傾向が見られた。学習者に与えた課題は「業務経験がなくても課題中に埋め込まれた業務知識から業務フローを想定することで問題予測できる」ことを意図していたが、学習者の一部は「発注企業の業務がわからない」と回答しており、業務に関する観点を納得しにくいことが想定できた。

そこで本研究では図3のように、課題に埋め込まれた業務知識と問題予測の関係を学習者自身に気づかせ、業務知識に関する観点を学習者が自ら獲得することをねらう。学習者に利用者の観点を意識させ、それを顧客と従業員の要素に分解させることで学習者に馴染みの浅い従業員に注目させ、自身の問題予測や開発課題から共通点を結びつけて「業務知識に注目することで問題を予測できる」という観点を自ら獲得できるように促す。

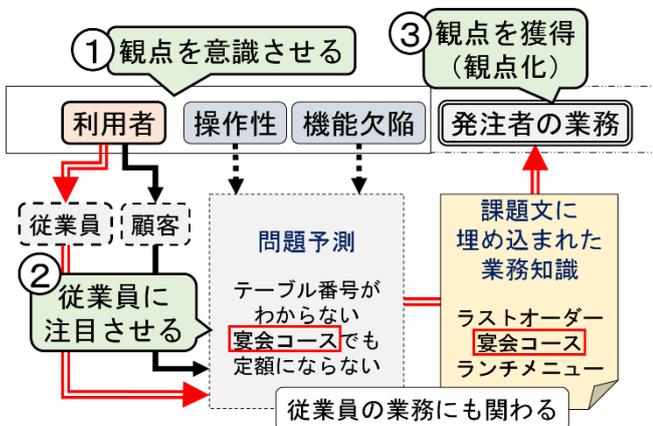


図3 新たな分析観点を獲得する流れ

一方で、学習者は自身の予測した問題を抽象化・観点化する概念についても未習得だと想定できる。学習者自身による観点獲得への効果検証を目的として行った予備実験⁽²⁵⁾では、学習者は利用者観点を顧客と従業員に分解できたものの、新たな観点を獲得することはできなかった。この実験において、学習者は新たな観点を発見・作成する考え方について馴染みがなく、意識しにくかったことを確認した。

そこで本研究では図4のように、観点から具体的な問題を予測する考え方だけでなく、予測した問題の共

通点を見つけて観点化する考え方があることも解説し、観点の発見や作成ができるように促す。例えば居酒屋の注文システムに対して学習者が「商品を1個ずつしか注文できない」や「150品をただ並べてあるだけでは探しにくい」問題を予測した場合、「これらの問題群は使いやすさ・見やすさに関係している」という共通点を見出して観点化することが期待できる。

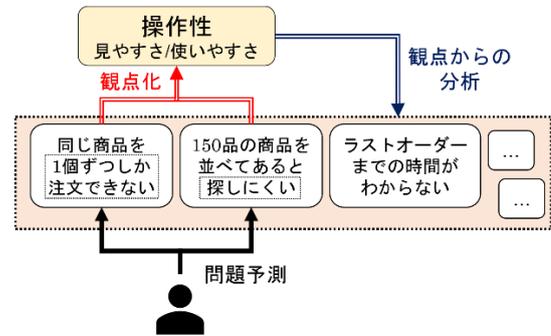


図4 観点からの問題予測と観点化の関係

4. 学習設計

4.1 学習の流れ

本研究では図5のように学習者を2群分けし、システム開発課題を2度与えた。2群分けでは、課題1の成績や課題2に関する業務経験の有無について分布が等しくなるように考慮した。2つの課題では機能要件の整理・把握と、システムに関する問題予測を行わせた。また、課題2実施後に分析観点の意識などに関するアンケートを実施した。

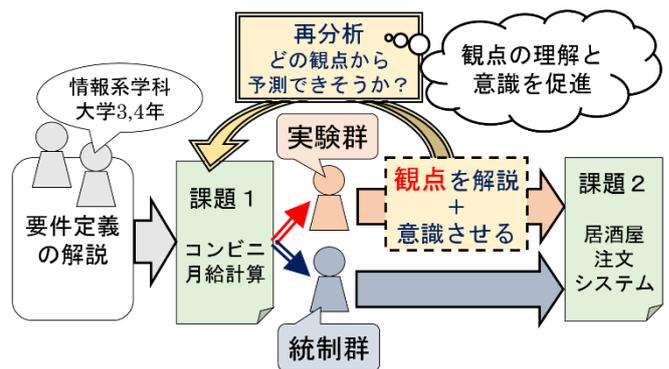


図5 実験の流れ

実験群の学習者には、課題1実施後に分析観点の解説を行った。学習者には機能欠陥・操作性の観点を提示し、実施済みの課題1を用いて「観点から予測できる問題の具体例」と「予測した問題群から共通点を見出して観点化する具体例」を示した。その上で、学習者が課題1で分析した内容を再分析させた。再分析で

表 2 課題文の一部抜粋（題材は居酒屋の注文システム）

| 項目 | 内容 |
|-----------|--|
| 発注企業の背景情報 | <p>居酒屋の B 店は、11:00 から 13:30 まではランチメニューも提供している。合計 150 品もの豊富なメニューがあり、その内 5 品の看板商品と 4 品の季節限定商品は人気商品群である。しかし繁忙時には注文の受付が遅くなり、聞き取りミスをする問題があった。また、ラストオーダー時間（顧客からの注文を受け付ける最終時刻）の直前注文を聞き切れないこともある。宴会コースにもラストオーダー時間があり、こちらは特に注文が集中しやすい。</p> <p>注文時間ロスと聞き取りミスを改善するため、顧客の注文受付システム導入を決めた。各テーブルにはベルの代わりにタッチ式端末（A4 サイズ、テーブル番号と対応）を取り付け、キッチンとレジにも従業員用として同様の端末を設置する。店はこれまで使っていた紙のメニュー表を廃止し、端末のみで運用する予定である。</p> |
| 要求事項 | <p>① システムは顧客側のテーブル端末と従業員側のキッチン端末・レジ端末で連携する。顧客はテーブル端末で「選択画面、注文画面、履歴画面、会計画面」の 4 つを扱う（選択画面から始まる）。従業員はキッチン端末で「注文受付画面」を扱い、レジ端末で「レジ画面」を扱う。キッチン端末とレジ端末はそれぞれ 1 つずつである。</p> <p>② 選択画面：全商品の一覧を見せたい。複数ページ構成で 1 ページに 6 品ずつ商品データ【名称・画像】を見せ、これをタッチすることで注文画面へ遷移させたい。また、別途にボタンを押すことで履歴画面にも遷移させたい。</p> <p>③ 注文画面：顧客が選んだ商品の商品データと説明（味の解説と原材料の産地）を見せたい。この画面で改めて確認のボタンを押すことで、注文を確定させたい。その時、注文データ【商品名・単価(税抜き)・個数】を注文受付画面と履歴画面に自動送信する。</p> |

は学習者が予測した問題に対して、どの観点から予測できそうかを結びつけさせることで、分析観点の概念を使いこなせるよう促した。その後、学習者に利用者観点を意識させ、課題 2 を行わせた。

4.2 課題設計

課題 1 の題材はコンビニエンスストア従業員の月給計算システム、課題 2 の題材は居酒屋の商品注文システムとした。課題文は表 2 に示すように、発注企業の背景情報と発注企業からの要求事項で構成した。学習者は課題分析の中で対象システムの機能を把握し、システムがどのような動きをするか想像することで問題予測を行う。なお課題の制限時間は特に定めず、学習者には所要時間の目安として 1 時間程度であることを伝える。

課題文には発注企業に関する業務知識が埋め込まれており、学習者はこれらの情報から問題予測を行うことができる。例えば表 2 においては発注企業の背景情報としてラストオーダーやランチメニューなどの業務知識が埋め込まれており、これらを結びつけることで「ラストオーダー時間を過ぎてもシステムが注文を受けつけてしまう」などの問題を予測できる。

4.3 課題の再分析による分析観点の理解促進

実験群の学習者には、課題 1 実施後に分析観点の概念を解説して意識させ、課題 1 を再分析させる。再分析では学習者自身が予測した問題に対して、どの観点から予測できそうかを結びつけさせることによって、分析観点の理解と意識を促す。学習者がそれぞれ予測した問題は「観点から予測できる問題の具体例」であるため、学習者自身が観点と問題予測のつながりを納得しやすく、分析観点の理解と意識を促すことが期待できる。

5. 実験結果

5.1 学習者による課題分析例

情報系学科の大学 3・4 年生 21 名を対象に実験を行った。学習者による問題予測を表 3 に、学習者が行った課題 1 の再分析例を表 4 に示す。

5.2 分析観点の主観的な意識

学習者 21 名のうち実験群 11 名には、分析観点を意識させて要求分析を促した。課題 2 実施後に行ったアンケートの結果、図 6 のように、実験群は機能欠陥・操作性・利用者の観点を主観的に意識できたといえた。アンケートでは全ての観点について全員が「意識した」、「どちらかといえば意識した」と回答した。

表 3 学習者による問題予測（課題 2）

| |
|---|
| 会計画面から他の画面に遷移することができない。 |
| ラストオーダーが終わってからの注文を受け付けないようにする機能が設けられていない。 |
| 商品が売り切れていたときの画面表示設定がない。 |
| 注文受付画面での調理・提供済みの注文がわからない。 |

表 4 学習者による課題 1 の再分析

| | |
|------|---|
| 機能欠陥 | 画面遷移が途中で止まる。従業員画面からデータ編集画面へ遷移された後、ページが止まってしまう。また、シフト表画面からシフト編集画面へも同様。 |
| 操作性 | シフト表示画面の時刻が 12 時間表記である。もし、12 時間より少なかったり、多かったりした場合、対応できない。 |
| 機能欠陥 | 従業員の名字が同じ人がいた場合、同じ名字の人の情報が混ざってしまう恐れがある。 |

設問：分析の観点を意識しましたか[実験群11名]

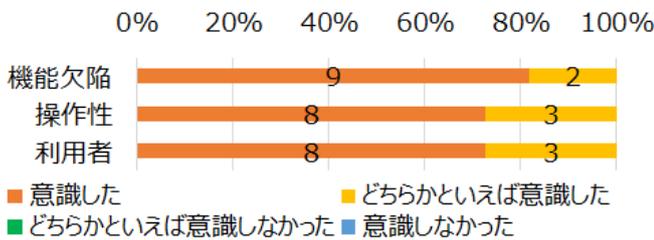


図 6 学習者による分析観点の意識度合い

5.3 問題予測数

学習者 21 名による問題予測の結果を表 5 に示す。予め課題 1 での問題予測数について t 検定の有意差が表れないように、学習者を実験群 11 名と統制群 10 名に振り分けている。実験群の学習者には図 7 のように、分析観点を意識することで問題予測の増加傾向が見られた。

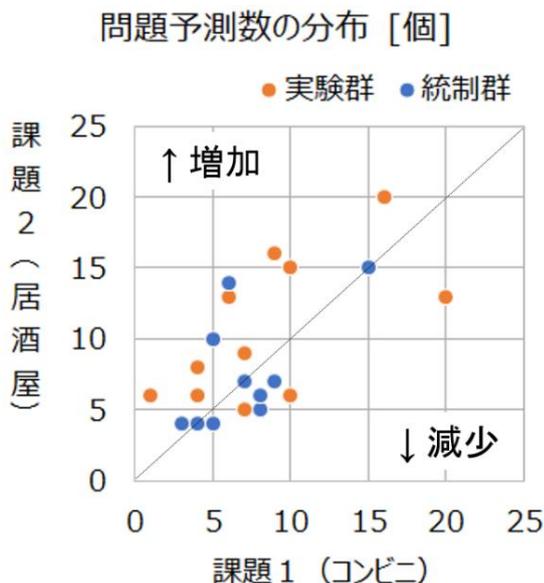


図 7 学習者ごとの問題予測数分布

表 5 学習者が予測した問題の個数

| | 課題 1 | 課題 2 |
|----------|-----------|------------|
| | 平均 (SD) | 平均 (SD) |
| 実験群 11 名 | 8.5 (5.5) | 10.6 (5.0) |
| 統制群 10 名 | 7.0 (3.4) | 7.6 (4.1) |

※課題 1 は両群で t 検定の有意差なし

分析観点ごとの問題予測数を表 6 に示す。学習者による問題予測は、機能欠陥と操作性の 2 つに分類できる。また、それらの問題には、業務知識に関する問題が含まれている。

表 6 分析観点ごとの問題予測数

| | 分析観点 | 課題 1 | 課題 2 |
|----------|------|-----------|-------------|
| | | 平均 (SD) | 平均 (SD) |
| 実験群 11 名 | 機能欠陥 | 6.2 (4.9) | 3.9 (2.4)</ |

有意 ($F(1, 17)=7.44, p<.05$) だった。これは分析観点を意識させた実験群のうち、課題 2 に関する業務未経験者の問題予測が増加したことを意味する。

表 7 学習者の 3 要因における問題予測数

| | 業務 経験 | 課題 1 | 課題 2 | 課題の 主効果 |
|-------------|-----------|------------|------------|------------|
| | | 平均 (SD) | 平均 (SD) | |
| 実験群 11 名 | あり 4 名 | 11.5 (5.0) | 10.0 (4.6) | n.s. |
| | なし 7 名 | 6.9 (4.5) | 11.0 (4.8) | $p<.05$ |
| 統制群 10 名 | あり 4 名 | 5.5 (1.8) | 8.5 (3.6) | n.s. |
| | なし 6 名 | 8.0 (3.6) | 7.0 (3.8) | n.s. |

5.5 観点獲得への効果

実験群の学習者に「新たに発見した分析観点」を尋ねたアンケート結果を表 8 に示す。学習者は「セキュリティ」、「製品の利用経験者」、「開発者」などの観点を回答した。また、1 名は利用者観点の下位観点として顧客と従業員の要素を回答した。しかし、本研究でねらった「発注企業の業務知識に関する観点」を回答した学習者はいなかった。

表 8 学習者が獲得した分析観点

| |
|---|
| 使っている側の立場になれば問題を見つけやすそう |
| 矛盾が起こる事柄 |
| セキュリティ (食べた食品の履歴を次の客に見られないようになど) |
| 既存の製品の利用経験者の観点 |
| 実際の開発者 |
| 「利用者」という観点を「居酒屋で働く側」と「客側」のように、さらに分けて考える |

6. 考察

6.1 学習者に対する分析観点のはたらき

第 5 章 4 節より、課題 2 (居酒屋の注文システム) に関する業務未経験者に分析観点を意識させることで、システムに関する問題予測を促す効果が確認された。観点が分析の切り口としてはたらき、学習者の知識や経験を結びつけやすくしたと考えられる。また学習者は観点を概ね意識していることから、本研究の学習設

計によって観点の概念を習得させたと考えられる。

6.2 業務知識の観点を獲得しなかった原因

第 5 章 5 節では、学習者がセキュリティや開発者などの分析観点を獲得した一方で、本研究がねらった「発注企業の業務知識に関する観点」の獲得には至らなかった。原因として、学習者による利用者観点の分解が十分に行われなかったことが考えられる。

本研究の想定では学習者に対して、利用者観点を顧客と従業員の要素に分解させることで、学習者に馴染みの浅い「発注企業の従業員」に注目させ、従業員の業務フローや課題文に埋め込まれた業務知識を問題予測と結びつけるよう促すことで「業務知識に注目すれば問題を予測できる」という観点の獲得をねらっていた。しかし学習者は利用者観点の要素として見やすさや使いやすさなど操作性に関する回答をしており、従業員の観点を明示的に意識させることができなかった。

7. まとめと課題

本研究ではシステム要求分析において大学生の学習者に着目し、要求分析能力の向上を目的とした学習設計を行った。機能定義の不足や曖昧性をシステムに関する問題として予測させ、開発課題に対する分析観点 (機能欠陥, 操作性, 利用者) を学習者に意識させることで、課題の情報や学習者の既有知識を結びつけやすくし、問題予測を促した。また、利用者観点を意識させることで顧客と従業員の要素に分解させ、学習者が従業員の立場から「発注企業の業務知識に関する観点」を自ら獲得できるよう促した。

学習設計においては本実験までに 3 度の実験・予備実験を通して、分析観点をを用いる考え方を体系的に学んでいない学習者に観点の概念を習得させるための要因を探った、本研究では「観点からの問題予測」や「予測した問題群からの観点化」の考え方を学習者に解説し、学習者自身に開発課題を再分析させた。再分析では学習者が予測した問題に対して、どの観点から予測できそうかを結びつけさせることで観点と問題予測の関係を納得させ、観点の理解と意識を促した。

情報系学科の大学 3・4 年生 21 名を対象に実験を行った結果、実験群の学習者 11 名は与えられた分析観点を主観的に概ね意識し、問題予測の増加傾向が見ら

れた。特に、課題 2 (題材は居酒屋の注文システム) に関する業務未経験者 7 名については観点を意識することで問題予測が増加することを確認した。また観点を意識した学習者は、新たな観点としてセキュリティ・開発者などを獲得した。しかし、本研究でねらった「発注企業の業務知識に関する観点」を獲得した学習者はいなかった。学習者は与えられた利用者観点の要素を顧客と従業員に分解しなかったため、発注企業側の観点を明示的に意識できなかつたと考えられる。以上の結果を受けて今後の課題として、学習者が課題分析において従業員や課題文に埋め込まれた業務知識に注目するための要因を調査することが挙げられる。

参 考 文 献

- (1) Leffingwell, D.: "Calculating Your Return on Investment from More Effective Requirements Management", Rational Software Corporation (1997)
- (2) 山本 修一郎: "要求を可視化するための要求定義・要求仕様書の作り方", ソフト・リサーチ・センター, 東京 (2006)
- (3) 佐川 博樹: "よくわかる最新システム開発者のための要求定義の基本と仕組み", 秀和システム, 東京 (2010)
- (4) 大森 久美子, 岡崎 義勝: "ずっと受けたかった要求分析の基礎研修", 翔泳社, 東京 (2011)
- (5) 飯村 結香子, 山田 節夫, 小林 伸幸: "企画・要件定義プロセスの改善", NTT 技術ジャーナル, Vol.25, No.10, pp.15-18 (2013)
- (6) 海谷 治彦, 北澤 直幸, 長田 晃, 海尻 賢二: "類似既存システムの情報を利用した要求獲得支援システムの開発と評価", 電子情報通信学会論文誌, Vol.J93-D, No.10, pp.1836-1850 (2010)
- (7) 小形 真平, 松浦 佐江子: "プロトタイプ生成可能なモデル駆動要求分析手法の要求工学教育への適用", 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.110, No.468, pp.37-42 (2011)
- (8) 工藤 隆司, 中須賀 真一, 堀 浩一: "ソフトウェア開発の上流工程を支援する SpecRefiner", 電子情報通信学会論文誌, Vol.J84-D-I, No.6, pp.702-712 (2001)
- (9) Mullery, G. P.: "CORE - A Method for Controlled Requirement Specification", Proc. of the 4th International Conf. on Software Engineering, pp.126-135 (1979)

- (10) Kotonya, G. and Sommerville, I.: "Requirements engineering with viewpoints", Software Engineering Journal, Vol.11, Issue.1, pp.5-18 (1996)
- (11) Sommerville, I., Sawyer, P. (著), 富野壽 (訳): "要求定義工学プラクティスガイド", 共立出版, 東京 (2000)
- (12) Sommerville, I., Sawyer, P. and Viller, S.: "Viewpoints for requirements elicitation: a practical approach", Proc. of IEEE International Symposium on Requirements Engineering, pp.74-81 (1998)
- (13) 情報サービス産業協会 REBOK 企画 WG: "要求工学知識体系", 株式会社近代科学社, 東京 (2011)
- (14) Spillner, A.: "The W-MODEL - Strengthening the Bond Between Development and Test", STAREAST, Software Testing Conference (2002)
- (15) 羽田 裕, 青木 教之: "テスト視点による上流工程での予防活動と検知活動の成熟度向上", 組込みシステムシンポジウム 2013 論文集, pp.66-74 (2013)
- (16) IPA (情報処理推進機構), SEC (ソフトウェア・エンジニアリング・センター): "高信頼化ソフトウェアのための開発手法ガイドブック—予防と検証の事例を中心に—", IPA, SEC, 東京 (2011)
- (17) 日本工業規格: "JIS X 0129-1 (ISO/IEC 9126-1)" (2003)
- (18) 水田哲郎, 松本隆夫: "SEの参考書「なぜ」で始める要件定義", 日経 BP 社, 東京 (2015)
- (19) 内田和成: "論点思考", 東洋経済新報社, 東京 (2010)
- (20) 稲垣佳世子, 波多野誼余夫: "人はいかに学ぶか", pp.128-131, 中公新書, 東京 (2009)
- (21) 情報処理推進機構(IPA): "共通キャリア・スキルフレームワーク CCSF" (2014), <http://www.ipa.go.jp/jinzai/itss/ccsf/download.html> (参照 2019.1.10)
- (22) 日本工業規格: "JIS X 25010 (ISO/IEC 25010)" (2011)
- (23) 石井 俊也, 仲林 清: "システム要件定義における要求分析能力向上のための学習手法", 教育システム情報学会研究報告, Vol.32, No.1, pp.13-20 (2017)
- (24) 石井 俊也, 仲林 清: "システム要求分析における分析の観点を意識させる学習手法の評価", 教育システム情報学会研究報告, vol.33, no.1, pp.19-26 (2018)
- (25) 石井 俊也, 仲林 清: "システム要求分析における分析観点の獲得をねらう学習手法の検討", 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.118, No.294, pp.23-28 (2018)

ライブラリを用いた足場かけに基づくデータ利活用人材

育成プログラムの開発と市民講座における実践

米谷雄介^{*1}, 米丸浩一郎^{*2}, 樋川直人^{*3}, 高橋亨輔^{*1}, 後藤田中^{*1}, 國枝孝之^{*1}, 八重樫理人^{*1}

^{*1} 香川大学, ^{*2} 日本電気株式会社, ^{*3} かがわ県民情報サービス株式会社

Data utilization skill development program based on scaffolding using libraries, and its practice in citizen lecture

Yusuke Kometani^{*1}, Koichiro Yonemaru^{*2}, Naoto Hikawa^{*3},

Kyosuke Takahashi^{*1}, Naka Gotoda^{*1}, Takayuki Kunieda^{*1}, Rihito Yaegashi^{*1}

^{*1} Kagawa University, ^{*2} NEC Corporation, ^{*3} Kagawa Information Service Co., Ltd.

世界のデータ利活用スマートシティは、分野横断型、課題解決型、進化型、市民中心設計といった観点を組み入れ持続的な都市経営に資する方向へと動いている。我々は、分野横断型のデータ利活用プラットフォームを基盤として市民中心設計を支援するデータ利活用人材育成プログラムを開発した。ライブラリを提供し、プログラミングの学習経験を持たない学習者にもプロトタイピングを可能にさせる。本稿では、本手法の市民講座における実践結果を報告し、本人材育成プログラムの有用性を議論する。

キーワード: スマートシティ, データ利活用, FIWARE, 市民中心設計, プロトタイピング

1. はじめに

世界のデータ利活用スマートシティは、分野横断型、課題解決型、進化型、市民中心設計といった観点を組み入れ持続的な都市経営に資する方向へと動いている⁽¹⁾。分野横断型とは、交通、防災、観光、ヘルスケアなどの異分野のデータを統合して活用する形態であり、データの多様性を価値創出の根拠としている。課題解決型とは、解決手段にこだわらず課題解決を第1義とする考え方である。進化型とはサービスの利用実績に基づきサービスそのものが成長していく形態である。最後に市民中心設計とは、課題解決による都市経営や、都市サービスの進化に市民が積極的に関与することを意味する。本研究ではデータを利活用した課題解決や都市サービスの進化に貢献できる人材をデータ利活用人材と呼ぶ。豊かなスマートシティを実現するために、データ利活用人材の育成が重要である。

サービス創出に関与する人材の多様性がサービスの価値を高めるといわれる。また、アイデア発想を促すためにサービスのプロトタイプを作ることは有効である。

したがって、多様な背景を持つ学習者がデータ利活用サービスのプロトタイプを作成できそれらに基づくアイデア発想を可能にする教育システムを整備することがデータ利活用人材育成に対し効果的である。

データ利活用サービスは Web やスマートフォンなどのアプリとして提供され、その開発には ICT や IoT の活用が前提となる。そのため、プロトタイプの作成には、プログラミング・センサに関する知識・スキルが必要となる。多様な背景をもつ学習者に対し教育システムが備えるべき機能は以下の2種類である：

学習支援機能: プロトタイプ作成の前提となる知識・スキルの獲得を教育システムが支援する

知識補完機能: プロトタイプ作成の前提となる知識・スキルを教育システムが補完する

機能の妥当性は、人材育成の目的に依存する。例えば、高度な機能を有するアプリ開発ができる人材育成であれば、基礎を固めることが重要であり、学習支援機能が必要である。一方、データ利活用への興味関心を高めたり、アイデア交換の場を設けコミュニティを活性

化したりするなど、普及・啓発が目的であれば、障壁を下げる知識補完機能が効果的であるといえる。

本研究は、データ利活用人材の裾野を広げ、その後、より高度なスキルを持った人材を育成するという順序が妥当であると考え、第1段階の普及・啓発を目的とする。したがって知識補完機能を有する人材育成プログラムを設計・実装・評価する。

本稿は、まず人材育成プログラムのデザイン指針を提案する。分野横断型のデータ利活用プラットフォームを活用し、プログラミングやセンサなどデータ利活用アプリを開発するための知識・スキルをライブラリにより補完する。続いて、デザイン指針に基づき人材育成プログラムを開発する。最後に、本プログラムを市民講座で活用した実践結果を報告し、本プログラムの有用性を議論する。

2. 人材育成プログラムのデザイン指針

デザイン指針を定め、指針に基づく人材育成プログラムの開発を可能にする。

2.1 人材育成プログラムの要件

2.1.1 基本要件

基本要件は、1章において述べたとおり、学習者がデータ利活用アプリのプロトタイプを作成する際の知識・スキルを補完することである。ただし、学習者に要求される最低限の知識・スキルを定めることが必要である。

アプリはパソコンを用いて開発することを前提とすると、パソコンの基本操作や文書作成やデータ入力などの事務作業能力は必要である。そこで、最低限のスキルとして普段からOfficeソフトを活用していることを学習者の条件とした。

2.1.2 IoTソフトウェアプラットフォーム

分野横断型のデータを扱える環境を要件とする。スマートシティの実装として SmartSantader, City of Things, IoT-LAB, Bristol Is Open などがあり、それぞれが基盤となるIoTソフトウェアプラットフォーム上に構築されている⁽²⁾。本研究では、分野横断型データを扱うことが可能なソフトウェアプラットフォームを活用する。

また、オープンデータの利活用を前提とする。オー

ペンデータは、中国語では“開放資料”と記述され、オープンなライセンス(著作権)、オープンなアクセス(入手方法)、オープンな形式という特徴を持ったデータである⁽³⁾。オープンデータは、データの生成者とデータの利活用者が異なることが前提である。以下、“データ”はオープンデータを指すものとする。

2.2 データ利活用アプリ開発における設計要素

図1にデータ利活用アプリの動作を構成する要素を示す。構成要素は、(1)現実のモノ・コト、(2)モノ・コトをデータに変換するプロセス(データ生成プロセス)、(3)蓄積されるデータ、(4)蓄積されたデータを利活用し情報に変換するプロセス(データ利活用プロセス)、(5)ユーザに提供される情報の5種類である。このうち、(2)(4)の変換機能はアプリが提供し、(3)の蓄積機能は2.1に述べたデータ利活用基盤サービスが提供する。

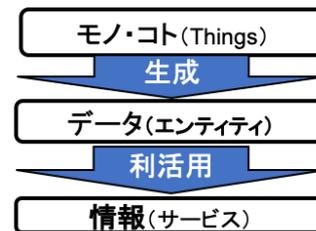


図1 データ利活用アプリの動作を構成する要素

これらのプロセスのうち、(2)(4)では、センサによる周辺環境データの取得、アプリとデータ利活用基盤サービスとの間のデータのやり取り、アプリにおけるデータ加工といった処理のためにプログラミングが必要である。これを補完するため、(2)(4)のプロセスでは、機能群を定義し、学習者が機能を利用できるようパッケージ化する。本研究ではそれらパッケージ群をライブラリと呼ぶ。これにより、学習者は、(1)の「どのようなモノ・コトを対象とするのか」、(3)の「どのようなデータによりモノ・コトを表現するのか」、(5)の「どのような情報を提供するのか」、ならびに(2)(4)のライブラリの組み合わせ方の4点を考慮すればプロトタイプを開発できる。

3. 人材育成プログラムの開発

2章におけるデザイン指針に基づき、人材育成プログラムを開発した。

3.1 利用するソフトウェアプラットフォーム

日本電気株式会社の提供するデータ利活用基盤サービスを活用する。本サービスの実体は、オープンソースソフトウェアである IoT データ利活用プラットフォーム FIWARE⁽⁴⁾である。FIWARE は欧州の官民連携プロジェクトで開発／実証された。

FIWARE は、現実のモノ・コトをデータで表現する標準形式 (NGSI データモデルと呼ぶ) を定めている。標準形式を定めることにより異分野のデータ統合が可能となっている。図 2 に NGSI データモデルを示す。NGSI データモデルは、現実中存在するモノ・コト (例えば、特定の病院や ID 管理されている特定のレンタルサイクルなど) を “Context Entity” として定義し、そのモノ・コトがもつ特徴を “Context Entity Attribute” (属性と呼ぶ) として定義する。さらに個々の属性には、その属性を説明するデータとして “Meta-data” (メタデータと呼ぶ) を付与する形式である。

NGSI データモデルに基づき特徴を抽出したものをそのモノ・コトのデータモデルと呼ぶ。また具体物をデータモデルに当てはめて属性の値を決めたものをエンティティと呼ぶ。図 3 に、NGSI データモデルに基づいて表現された病院のデータモデル、エンティティおよび変換プロセスを示す。なお、エンティティは香川県・高松市のオープンデータカタログサイト^{(5) (6)}において実際に公開されているデータを用いている。

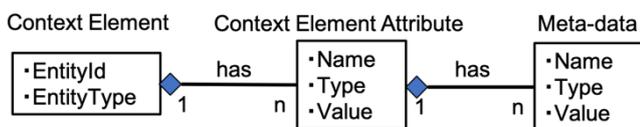


図 2 NGSI データモデル

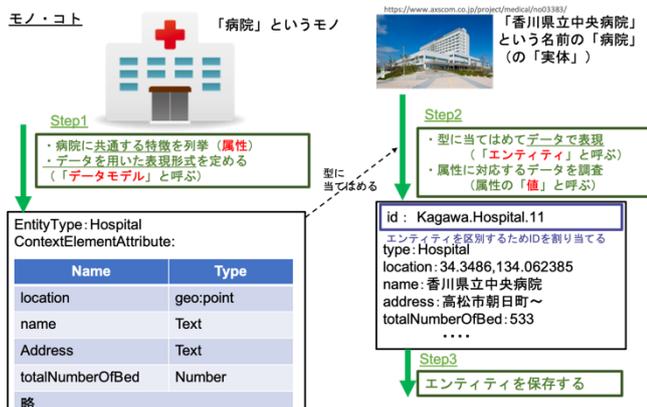


図 3 データモデル／エンティティの抽出例

3.2 開発したライブラリの概要

図 4 は、本研究において開発したアプリの動作を構成する要素である。図 4 のデータ生成／利活用のプロセスにおいてライブラリを提供する。データ生成プロセスにおいて、ライブラリはエンティティの値を入力するためのインターフェースを意味する。図 2 の NGSI データモデルに則り、任意のデータモデルを定義でき、エンティティとして登録することができる。

データ利活用プロセスにおいては、プログラミングにおける関数群をライブラリとして提供する。学習者はまずビュー (可視化の基盤となる表現方法) を選択する。「地図」を選択した学習者は、地図上に表示されるオブジェクトとエンティティとの「対応関係」、オブジェクトの「種類」(「マーカー」「ポリライン」「ポリゴン」), 「属性可視化」の表現方法 (「テキスト」「色」「大きさ」「アイコン」), データの自動同期の有無を関数のパラメータとして指定することができる。破線は学習者が選択できる箇所を示している。

図 5 は、学習者によるアプリデザインのシナリオ例を示す。データ生成プロセスにおける「移動体エンティティ化」とデータ利活用プロセスにおける「AR」を組み合わせることで、特定の移動体の位置をユーザに示すアプリが可能である。例えば、前者を観光ボランティアに持たせ、後者を観光者に持たせる前提とすることで、観光ボランティアと観光者との交流の機会を生み出すアプリのプロトタイプが開発できる。

図 4 のデータ生成プロセス、データ利活用プロセスにおいて、「Web アプリ」とラベルが付与されている箇所は HTML / CSS / JavaScript を用いている。「Android アプリ」とラベルが付与されている箇所は、Java を用いている。現時点では、Android6.0 に対応しており、本プログラムの学習者が保有する端末にもインストールすることができ、動作を試すことができる。最後に「Raspberry Pi アプリ」と記述されている箇所は、JavaScript を用いており、実行環境には Node.js を用いている。

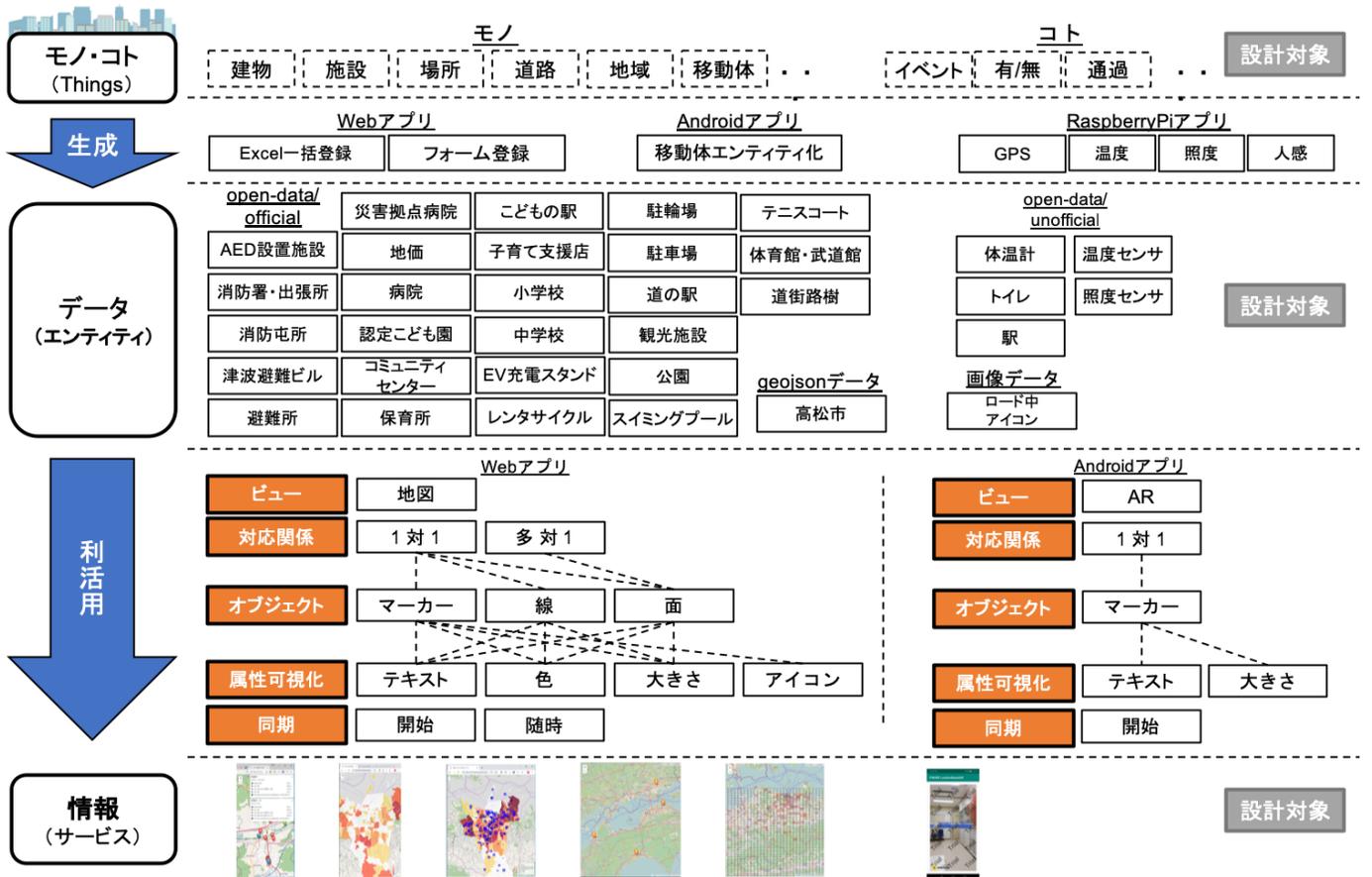


図 4 データ利活用アプリの動作プロセスと開発したライブラリ

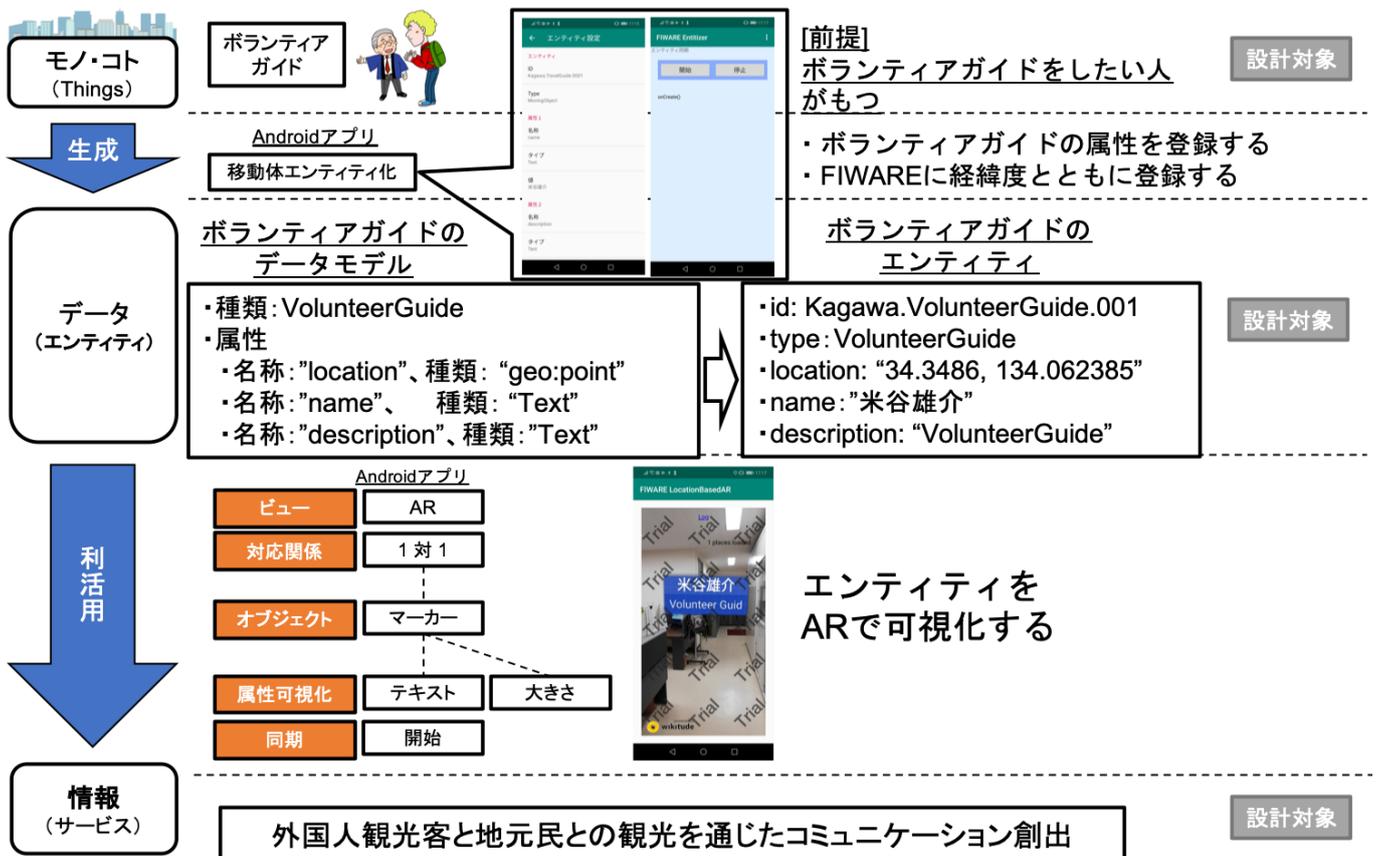


図 5 ライブラリを活用したデータ利活用アプリ設計プロセスの具体例

3.3 データ生成プロセスにおけるライブラリ

データ生成プロセスにおけるライブラリは、Web アプリ、Android アプリ、Raspberry Pi アプリの3種類を実装した。図6はWebアプリの例を示す。図2のNGSIデータモデルは、表形式に変換できる。列方向にデータモデルの属性を取り、行方向にエンティティを追加していく。ExcelファイルをWebアプリにドラッグ&ドロップすることで、修正内容がFIWAREに反映される。本アプリでは登録したエンティティを地図上に布置して確認することができる。また、Excelによる一括登録だけでなく、1つ1つ個別にエンティティを追加できるフォーム機能も用意されている。

さらに、現在地における経緯度を属性としてもつ任意のエンティティを一定時間間隔で生成するスマートフォンアプリを開発し、ライブラリとして提供した。図7に画面を示す。本アプリを動作させながら、スマートフォンを任意の移動体に付与することで、移動体の経緯度の変化を捉えることができる。学習者が、入力フォームの EntityId, EntityType および各属性の名称、種類、値を入力し、「通信開始」ボタンを押すと、アプリは、学習者が入力したデータと自動取得した現在地の経緯度とを合わせて FIWARE に登録する。エンティティの送信内容は「ログ確認」ボタンで確認することができる。

図8に、Raspberry Pi を用いたライブラリを示す。Raspberry Pi の電源を入れると、接続された各センサの値もつエンティティが生成される。学習者は、EntityType や属性（固定値）、および更新時間間隔を追加指定することができる。これにより学習者は環境センシングデータを併せ持つ「乗り物」や「部屋」などのエンティティを収集できる。

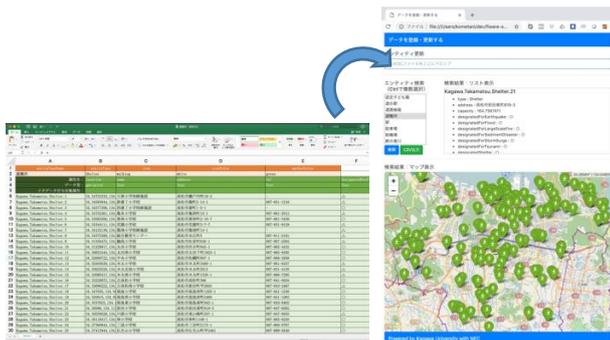


図6 Excelファイルを用いた一括データ更新機能

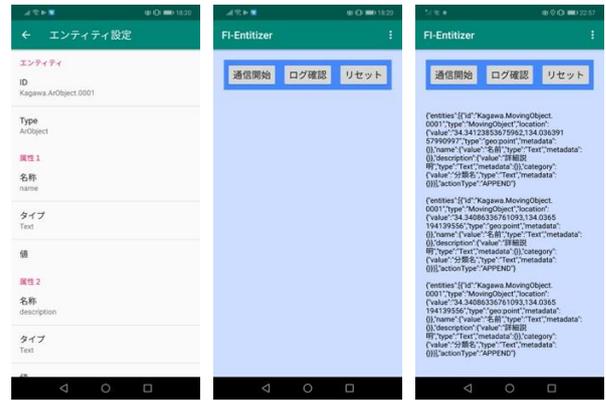


図7 Android端末を用いたライブラリ

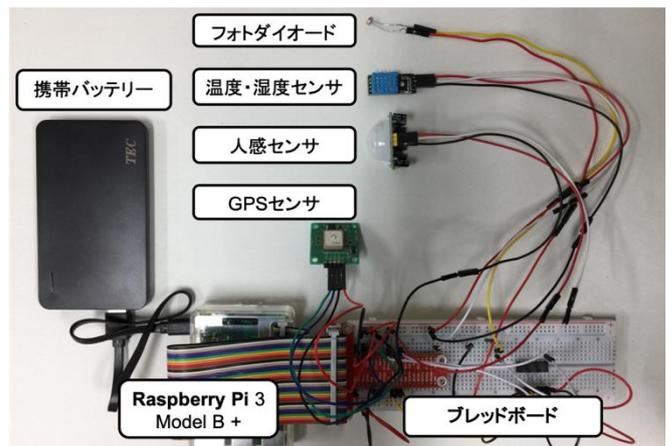


図8 Raspberry Pi を用いたライブラリ

3.4 データ利活用プロセスにおけるライブラリ

データ利活用プロセスにおけるライブラリは、地図表示およびAR表示を選択肢として設けた。図9に、ライブラリを用いたWebアプリ開発の例を示す。ソースコードの例、およびそれにより実現されるアプリの画面を示している。「対応関係」「オブジェクト」「属性可視化」「同期」の設定を関数の引数に与えることで、コード1文で1つの機能を実現できるようになっている。また、異なる設定のコードを追記することにより、情報の重畳表示ができる。例えば、図9はマーカー表示にさらに「面」表示を追加している様子である。これにより学習者は利用可能なデータモデルと表現方法の中から任意の選択肢を組み合わせ、プロトタイプを試行錯誤により開発できる。

図10にAR表示機能を示す。任意のEntityTypeを入力するとそのEntityTypeを値としてもつエンティティをカメラ上に可視化できる。より具体的には、エンティティの持つ経緯度データと、Android端末の現在地の経緯度との比較により、対象が存在する方向を割

り出し、カメラに重畳表示する仕組みである。本機能の実現にあたっては、Wikitude⁽⁷⁾という AR 表示機能を付与するためのサードパーティライブラリを活用した。AR 表示を選択した学習者は、地図表示のような表現上ではなく、AR 表示したい対象物やそのデータ・モデルの設計において工夫ができるようになっている。

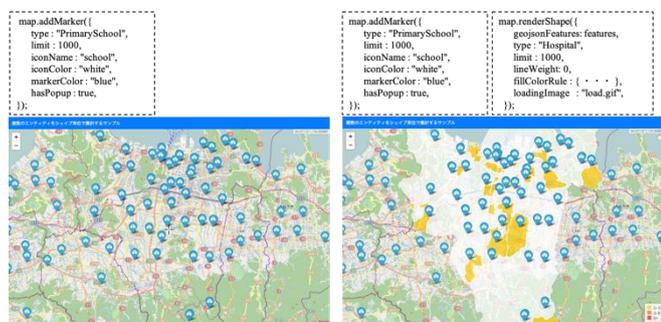


図 9 データ利活用プロセスにおける地図表示機能



図 10 データ利活用プロセスにおける AR 表示機能

3.5 本プログラムにおける学習プロセス

学習者は、以下のプロセスに沿って学習を進める：

(1) ハンズオン (ライブラリの利用を体験してみる)

学習者は、既存のオープンデータとデータ利活用プロセスにおけるライブラリとを組み合わせ、アプリを実装する。図 9 のようなサンプルアプリを提供し、EntityType やパラメータを修正し、アプリ開発の仕方 (テキスト編集および Web ブラウザ表示など) やライブラリの使い方に慣れてもらう。

(2) カスタマイズ (既存の道具を応用してみる)

学習者はデータモデルおよびデータ生成プロセスのライブラリを用いてデータを入力する。またデータ利活用プロセスにおけるライブラリのパラメータを変更し、アプリを修正する。

(3) デザイン (知識に基づき新たな要素を加える)

学習者は、生成プロセス/利活用プロセスともに既

存のライブラリを組み合わせる前提で、それ以外の構成要素である「対象とするモノ・コト」「データモデル」「サービス」を設計する。

4. 市民講座における実践

人材育成プログラムを市民講座において実践し、デザイン指針および本プログラムの有用性を検討した。

4.1 本講座の概要

人材育成プログラムの実践を市民講座「まちのデータ研究室」⁽⁸⁾において行った。本講座は香川県・香川大学により共同運営されている。場所は、香川県の JR 高松駅前、ICT の参加体験型施設である e とぴあ・かがわである。表 1 に本講座のスケジュールを示す。1 回あたり 90 分、計 12 回の授業で構成されている。3 章において定義した各学習プロセスは、さらに 4 回ずつに分かれている。

2018 年度の参加者は 22 名である。平均年齢は 31.9 歳 ($S.D.=11.9$ 歳) である。職業の内訳は、社会人 15 名、大学生 2 名、高校生 5 名である。男女比率は、男性 15 名、女性 7 名である。

本講座の講師は第 1 著者が務めた。毎回、3～4 名のアシスタントがトラブルシューティング支援のため参加した。アシスタントは香川大学大学院工学研究科情報情報システム工学専攻の大学院生が担当した。

表 1 本講座のスケジュール

| Step | # | 開講日 | トピック |
|--------|----|-----------|--------------------|
| ハンズオン | H1 | 8/18 (土) | 30 分で作れる地域情報可視化アプリ |
| | H2 | 9/8 (土) | データの関連性を探ろう (地域比較) |
| | H3 | 9/22 (土) | データの関連性を探ろう (時点比較) |
| | H4 | 10/6 (土) | データの関連性を探ろう (異種比較) |
| カスタマイズ | C1 | 10/20 (土) | データ取込・蓄積過程を理解しよう |
| | C2 | 11/3 (土) | 様々なデータ加工法を試そう |
| | C3 | 11/17 (土) | 様々な可視化パターンを試そう |
| | C4 | 12/1 (土) | データモデルをカスタマイズしよう |
| デザイン | D1 | 1/12 (土) | 課題設定とダーティプロトタイプ |
| | D2 | 2/2 (土) | データモデル設計・入力実装 |
| | D3 | 2/23 (土) | 出力実装 |
| | D4 | 3/9 (土) | 成果発表会 |

4.2 講座の運営

4.2.1 FIWARE へのオープンデータ登録

本講座において最終的には参加者自身がデータモデルを設計し、データ入力を行うが、例示のため既存のオープンデータを FIWARE に登録する必要がある。香川県・高松市のオープンデータカタログサイト⁽⁶⁾にオープンデータが掲載されている。しかし、講座実施時点においては、データは EXCEL ファイルとして公開されており、FIWARE では活用できない。

データは Excel 形式でダウンロードし、NGSI データモデルに基づき整形を行い、FIWARE に登録した。変換作業は講師およびアシスタントが行った。経緯度データを属性として持ち、利用可能であったデータモデルは図 4 に示した 26 種類である。これら以外に仮想的な（非公式な）データとして既存のカタログサイトには存在していなかったトイレ、駅や各種センサのデータモデルを作成しサンプルとして登録した。

4.2.2 毎回の授業の流れ

授業は、講義、アプリ開発デモ、演習、グループワークで構成される。回によってこれらの時間配分は異なっているが、およそ講義 30 分、アプリ開発デモおよびグループワークを合わせて 30 分、演習 30 分を目安とした。また土曜日の開講であるため、時間に余裕のある参加者が、授業後、引き続き残って作業を行えるように場所を確保した。

授業を休んでも、後から復習できるように、対面講義・アプリ開発デモの様子はビデオ収録し、後刻、参加者に提供した。収録機の不具合によりビデオ収録できないケースも存在したが、その場合には、パソコンの画面収録ソフトを用いて、対面講義と同じ内容を説明しビデオ収録・配信した。

毎回の授業の最後には、アンケートを実施した。質問項目は、「Q1. 講座内容の楽しさ」「Q2. 講座内容の適切さ」「Q3. 受講して得たもの」「Q4. 教材・資料のわかりやすさ」「Q5. 講師・アシスタントの説明のわかりやすさ」の 5 観点に加え、感想・要望（自由記述）であった。選択肢は、Q1 は 3 段階（楽しい、普通、楽しくない）、Q2 は 2 段階（適切だった、適切でなかった）、Q3 は 5 段階（あった～なかった）、Q4、Q5 は 5 段階（非常に良い～良くない）であった。

4.3 本講座の結果と考察

「Q2: 内容の適切さ」は、いずれの回においても全ての参加者が適切と回答していた。表 2 に本講座における参加人数および Q2 以外の評価の変化を示す。H2 は、講師である著者が出張先で被災したため休講とし、H3、H4 に振り分ける処置を行った。いずれの項目でも高評価を得ており、開発した人材育成プログラムは参加者に受け入れられているといえる。

参加人数は回によって変動した。H4、C1 では一旦減少が見られたものの、C2、C3 では、再度上昇が見られる。これは、講義の様子をビデオ収録し、Web 上で配信したことが効果的に働いたものであると思われる。ただし、参加者の仕事の都合や病気等により参加できなくなるケースも見られている。高松市外から通う参加者も存在し、通い続けることの負担を考慮することが必要である。また、実践の結果、大半の参加者は、授業後に残り作業を行っていた。このことから、学習プロセスを短期集中型で行うなど、通学日数を少なくすることが運営上の改善になると考えている。

表 3 に自由記述内容を集約した。自由記述文章を形態素に分割し、各形態素を記述した回答者数を調べ、回答者数が 2 名以上のものを抽出した。H1～H4 では、データ利活用プロセスのライブラリの使い方を主に学び、C1～C4 では、データ生成プロセスのライブラリを中心に扱った。また、C3 と C4 では学習内容を踏まえたアイデア発想のため、グループワークを取り入れた。D1 から個々のアプリ設計を開始した。これらの流れは表 3 と概ね対応している。

表 3 から、C3、C4 でのグループワークや意見交換が肯定的な印象を与えた可能性が読み取れる。H1～C4 において、アプリというキーワードはあまり見られていない。個別に意見聴取したところ、「アプリの作り方を学べると思って参加したが、データの利活用が中心となっている印象だった」という回答が得られた。データ利活用が中心となることはねらいの一つとして問題ないが、プロトタイプを作成しつつアイデア発想するという経験が少なかったことが懸念される。

その一方で、D1 において、「いよいよアプリを作っていく感じがする」という意見が得られた。D4 の成果発表会に向け、D1 では、アプリを Web 公開する仕組みを導入した。表 3 におけるグループワークに対する

肯定的な態度も踏まえると、早い段階から開発したアプリを参加者間で見せ合うことのできる仕組みを導入することが効果的であったと推察される。D1, D2に参加している学習者たちがなおアプリ開発に対して肯定的であることを踏まえると、プロトタイプ作成に対しライブラリの内容面は問題なかったが、開発したアプリを体験し意見交換する場というプロセス面に対する支援が不足していたことを示唆している。今後、デザイン指針に明示的にアプリ公開・共有のプロセスを含め、人材育成プログラムの改善を行ってきたい。

表 2 各回の参加者数および評価

| # | 人数 | | Q1 | Q3 | Q4 | Q5 |
|----|----|------|------|------|------|------|
| H1 | 19 | Ave. | 2.63 | 4.53 | 4.16 | 4.21 |
| | | S.D. | 0.48 | 0.60 | 0.59 | 0.77 |
| H3 | 18 | Ave. | 2.71 | 4.47 | 4.18 | 4.18 |
| | | S.D. | 0.46 | 0.50 | 0.62 | 0.62 |
| H4 | 12 | Ave. | 2.92 | 4.33 | 4.33 | 4.33 |
| | | S.D. | 0.28 | 0.47 | 0.47 | 0.62 |
| C1 | 9 | Ave. | 2.67 | 4.78 | 4.22 | 4.22 |
| | | S.D. | 0.47 | 0.42 | 0.63 | 0.63 |
| C2 | 13 | Ave. | 2.92 | 4.46 | 4.38 | 4.31 |
| | | S.D. | 0.27 | 0.50 | 0.49 | 0.46 |
| C3 | 15 | Ave. | 2.87 | 4.67 | 4.33 | 4.40 |
| | | S.D. | 0.34 | 0.47 | 0.60 | 0.49 |
| C4 | 12 | Ave. | 3.00 | 4.83 | 4.33 | 4.42 |
| | | S.D. | 0.00 | 0.37 | 0.62 | 0.49 |
| D1 | 6 | Ave. | 3.00 | 4.67 | 4.67 | 4.67 |
| | | S.D. | 0.00 | 0.47 | 0.47 | 0.47 |
| D2 | 7 | Ave. | 2.86 | 4.71 | 4.43 | 4.29 |
| | | S.D. | 0.35 | 0.45 | 0.73 | 0.70 |

5. おわりに

本研究では、データ利活用人材の育成を目的とし、ライブラリを用いた足場かけ機能を有する人材育成プログラムを開発した。学習者はライブラリを用いて開発を進めており、内容面としては有用であったと思われる。一方、プロセス面については、プロトタイプを共有し他者の体験に基づく意見交換を明示的にデザイン指針に含めることで改善が可能であることが示唆された。

今後はデザイン指針に明示的にプロトタイプ共有のプロセスを含め、プログラムの実装を改善したい。また、運営面では、スケジュールの改善点がわかった。年末年始をはさんで参加者が減少する傾向(表2)も踏まえ、デザイン指針のプロセス改善、短期集中型スケジュールへの再編、参加人数、授業時間等を検討したい。加えて、ライブラリ・マニュアルを充実させ、様々な実施

者により利活用可能な人材育成プログラムとして洗練していきたい。

表 3 自由記述における形態素(括弧は回答者数)

| # | 名詞 | 形容詞 |
|----|--|-----------------|
| H1 | オープンデータ(4), 今後(2), 楽しみ(2), データ(2) | よい(2) 楽しい(2) |
| H3 | イメージ(3), 今回(3), 情報(3), 参加(2), 変化(2), 勉強(2), 講座(2), 実践(2), 理解(2) | よい(4) 面白い(3) |
| H4 | データ(3), アプリ(3), バランス(3), 改善(2), ごみ箱(2), 必要(2), 需要と供給(2), イメージ(2) | よい(2) 難しい(2) |
| C1 | データ(6), FIWARE(3), 自分(2), 楽しみ(2), 以降(2) | よい(2) |
| C2 | チーム(3), FIWARE(2), 具体(2), 防災(2) | よい(2) |
| C3 | グループワーク(4), 意見(2), アイデア(2), 交流(2), サロン(2), 講座(2), イメージ(2) | よい(6) |
| C4 | 意見(4) | よい(5) |
| D1 | アプリ(2) | |

参考文献

- (1) 日本電気株式会社: “世界のデータ利活用型スマートシティ開発動向”, <https://jpn.nec.com/techrep/journal/g18/n01/180103.html> (2019年2月11日確認)
- (2) Juan Ramón SANTANA, Martino MAGGIO, Roberto DI BERNARDO, Pablo SOTRES, Luis SÁNCHEZ, Luis MUÑOZ: “On the Use of Information and Infrastructure Technologies for the Smart City Research in Europe: A Survey”, *IEICE Transactions on Communications*, Vol.E101.B, No.1, pp.2-15(2018)
- (3) 庄司昌彦: “オープンデータの動向とこれから”, *情報の科学と技術*, 第65巻, 第12号, pp.496-502 (2015)
- (4) FIWARE foundation: “FIWARE”, <https://www.fiware.org/> (2019年2月11日確認)
- (5) 香川県: “香川県オープンデータカタログサイト”, <http://opendata.pref.kagawa.lg.jp/> (2019年2月11日確認)
- (6) 高松市: “オープンデータ”, <http://www.city.takamatsu.kagawa.jp/kurashi/shinotorikumi/opendata/index.html> (2019年2月11日確認)
- (7) Wikitude: “Wikitude SDK”, <https://wikitude.grapecity.com/downloads/wikitudesdk> (2019年2月11日確認)
- (8) 情報通信交流館 e-とびあ・かがわ: “まちのデータ研究室”, <https://www.e-topia-kagawa.jp/kouza/towndata2018.asp> (2019年2月11日確認)

省察的思考と研究資料作成の往還による

自己内対話支援システム

松岡 知希^{*1}, 林 佑樹^{*2}, 瀬田 和久^{*2}

^{*1} 大阪府立大学 現代システム科学域

^{*2} 大阪府立大学大学院 人間社会システム科学研究科

Internal Self-Conversation Support System by Iteration on Reflective Thinking and Research Documentation

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

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

^{*2} Graduate School of Humanities and Sustainable System Sciences, Osaka Prefecture University

他者と創造的な議論を行う場においては、話し手は伝えるべき内容を自身で正確に理解しておくことだけでなく、聞き手に分かるように知識を表現し直すことが重要となる。自身の話す内容について考える「省察的思考」(知識の再構造化)と他者を意識した思考である「理路の言語化」は、相互に影響し合い話す内容についての理解を深める。そこで本研究では、創造的議論への発展が期待される場としての学術研究ミーティングと、知識伝達を意識した理路の言語化の成果物である研究資料の作成活動に着目し、2つの活動の往還を支援する自己内対話支援システムを提案する。

キーワード: 自己内対話, 省察的思考, 理路の言語化, 知識の再構造化, 研究資料作成, 往還

1. はじめに

他者と創造的な議論を行う場において、話し手自身が伝えるべき内容、論点を正確に理解しておくことが必要である。特に、話し手自身でさえ暗黙的になりやすい判断基準や意図を意識的に考え、十分に吟味しておくことが重要である。

また、知識を他者へ伝達する状況では、話し手は聞き手に分かるように知識を表現し直すことが必要となる。特に知識を理解する順序(知識の順序性)と、知識の構成要素間の関係や知識全体の構造(知識の関係性)を明確にすることが求められる⁽¹⁾。本研究では、後者の知識構造の明確化に焦点をあてて議論することにする。

他者を意識した思考において「理路の言語化」と「知識の再構造化」は、相互に影響し合い自身が話そうとする内容についての理解を深める。本研究では、これらの自身の行為・思考の論理性を考え、それを相対的

に捉えて頭の中で対話する知識創造のプロセスを「自己内対話」と呼ぶ。自己内対話を意識的に実践することにより、伝達内容に関する知識の整理が促され、より良い他者対話へと発展していくことが期待される。

本研究では、創造的議論への発展が期待される場として、学術研究ミーティング(以下、研究MT)に着目し、他者への論理的説明を意識した研究ミーティング資料(以下、研究資料)の作成活動に着目する。本稿では、論理構造を反映した研究資料作成と、他者への論理的説明を意識することでの知識再構成との往還を促すことによる自己内対話支援システムについて述べる。

2. 関連研究

2.1 他者対話の困難性

一般に他者と議論する状況下では、時間的制約の中で時々刻々と変化する議論内容をタイムリーに把握し、

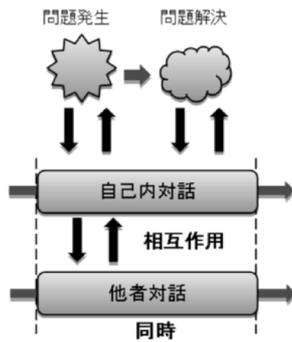


図 1 他者対話で求められる並列思考スキル
(2)より引用)



図 2 思考スキルの直列化モデル (2)より引用)

他者の思考や既有知識といった複雑に絡み合う要因を
与しながら対話するスキルが求められる。しかし、議
論経験の浅い初学者にとって、暗黙的で姿形がない自
己内対話の思考と他者対話の思考を意識しながら議論
することは認知的負荷が大きく、2つの思考を同時並
行的に働かせることには困難性が伴う(図1)。

この他者対話にみられる認知的負荷を低減するた
めのアプローチとして、並行する自己内対話と他者対
話の認知活動を直列化する思考スキルの直列化モデル
が提案されている(2)(図2)。研究MTにおいても、他
者対話に先立って事前に自己内対話で思考を整理し議
論へのレディネスを高めることにより、他者対話を有
意義なものとすることができると考えられる。

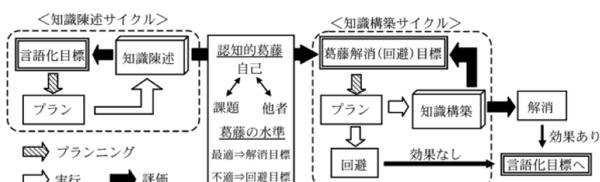


図 3 学習方略としての言語化の目標達成モデル
(3)より引用)

2.2 言語化と文章産出活動の役割

伊藤は、学習方略としての言語化の目標達成モデル
を提案している(3)(図3)。言語化目標に対して、既有
知識を述べる言語化である知識陳述によって、自身の
思考の振り返りと想定する他者の思考との間で認知的
葛藤が生じ、それを乗り越える知識の調整・修正・再
構成や知識間の統合が知識構築サイクルによりなされ
ることを表すモデルである。学習者の言語化には、言
語化目標を定める必要があり、定めた目標によって学
習者のプランがどのようなものになるかが定まる。そ
して、他者への説明を意識した知識陳述によって生起
する認知的葛藤が、学習の促進に必要な知識構築へと
繋がるとされる。

文章産出活動では、自身が言語化した文章に対する
メタ認知的モニタリングとコントロールを働かせ、内
容の精緻化を目指すことが求められる。崎濱は、既有
知識を整理し、これを並び替えて文書化する活動によ
る知識の構造化が、産出文章の質に影響を与えること
を指摘している(4)。

以上のことから、言語化においては、他者を意識し
た際に生じる認知的葛藤を乗り越えることが重要であ
るが、単に知識を言語化するだけでは他者との創造的
議論に備える準備として不十分であり、認知的葛藤を
乗り越える自身の思考プロセスを論理的に系統立てる
活動が重要であると考えられる。

2.3 批判的思考を伴う思考整理活動

批判的思考は、意識的な省察をとまなう熟慮的な思
考であり、自分の思考について吟味するメタ認知的思
考である(5)。道田は、議論と批判的思考の関係につ
いて、その評価を下すにあたって自分がどのような前提
を想定したのか、それとは異なるどのような前提があ
りうるのかを考える「ある議論に対して何らかの評価
を下している自分の思考」自体を対象とした批判的思
考の必要性を述べている(6)。

研究MTの準備においても、自分の取り組みを十分
に理解できていないまま研究資料を準備するのではな
く、批判的思考を発揮させながら自身の研究活動を整
理できることが重要である。この思考活動を活性化さ
せ、研究MTにおける話し手の発言意図の質を高める
ことに焦点をあてた支援として、森らは、学習者に研

究遂行時の思考の深掘りを促す「問い」を用意することによる自己内対話活性化の仕組みを提案している(7)。そこでは、研究遂行時に自問自答する問いが思考活動オントロジーに対応づく形で整備され、問いとその答えの連鎖構造としてマインドマップ形式で思考構造を表現できる思考整理支援システムを提案している。学習者は問いとそれに対する回答を繰り返すことで、自身の思考構造を洗練していけるようになっている。

3. 理路の表出と省察的思考の往還支援の方針

2章の議論より、他者対話における知識伝達を目掛けた準備として、学習者の批判的思考が重要であると考えられる。研究資料作成を機会とする理路の言語化を通じて学習者の省察的思考(知識の再構造化)を促すことができれば、他者対話へのより良い準備に繋がると考えられる。このためには、実りある創造的議論の土台となる研究資料の産出を指向する言語化目標として、「自分の思考の理路とその前提が明快で論理的であり、自分の思考文脈への他者の追従を容易にすること」を設定し、言語化目標到達への鍵となる認知的葛藤の超越を意識させることが重要である。

研究という到達点が曖昧で不鮮明な対象を他者に伝える研究 MT では、研究遂行者しか知りえない、意思決定の指針や根拠といった研究プロセスを明示化することが重要となる。他者への説明を意識することは、①これらの表出化を促す刺激となり、研究資料作成活動はこの明示的な実施を要請しているはずである。さらに、「書く」ことは暗黙知を形式知に変換する行為であるが、しばしば不適當、不十分であり、一貫していない言語化がなされることが少なくない。そのようなイメージ表現の不一致やギャップは人間の思考や相互作用を促すとされている(8)。したがって、研究資料作成活動は、②不鮮明な自分の思考を省察、再構成する格好の機会ともなるはずである。

しかし、研究初学者にとっては、研究活動という曖昧で不鮮明な思考の遂行とともに、それを俯瞰して自身の研究遂行活動での意思決定の指針や根拠、前提を表出化することが困難であるため、創造的な研究 MT 実施のための自己の意思決定プロセスへの文脈共有度

が高い研究資料を作成することは難しいという問題がある。

そこで本研究では、以下の2つのアプローチによって、学習者の研究資料作成を機会とした理路の表出化と省察的思考(思考の再構成)の往還を促す自己内対話支援システムを提案する。

3.1 認知的負荷の軽減

研究遂行活動において、自身の研究を省察し俯瞰的に捉えることが重要であるが、問題解決に試行錯誤的に取り組みながら、頭の中でそれを俯瞰することは研究初学者にとっては困難である。

本研究では、研究 MT へ向けた省察的思考の支援として、2.3節で述べた森らの思考整理支援システムを活用し、この認知的負荷を軽減する。

3.2 理路の言語化と思考の再構成支援

研究 MT の限られた時間で自身の研究の進捗につながる創造的議論に至るためには、自分の思考文脈への他者の追従を容易にするための情報を明確な形で言語化することが求められる。

このような情報が明示された研究資料作成に向けて、研究プロセスの論理構造を明示化するためには、自身の思考活動を方向付ける意思決定指針やその活動を実施する前提を明らかにして共有する必要がある。さらに、その思考活動の妥当性を吟味する上で必要となる情報を考えることも重要である。

例えば、「表出化した自分の思考ではなく、システムから提示される誤りを含んだ知識構造を修正する学習形態を採用する」という思考結果を「提案」として記述する場合は、その意思決定に至る「前提」や「指針」である『小説の読解活動を題材とした開いた学習空間での学びの実現(閉世界仮説を前提に動作する計算機システムの可読性担保の困難性)』と「学習者の理解モデルに基づく適応的支援の実現」を両立する』を明示化することが望ましい。また、その思考結果に対して、「他の選択肢はないのか?」、「メリット・デメリットは何か?」、「どのような近似が入っているか?」というような、思考活動の妥当性を吟味する上で必要となる内容を研究資料に記述するかを考えることは重要である。

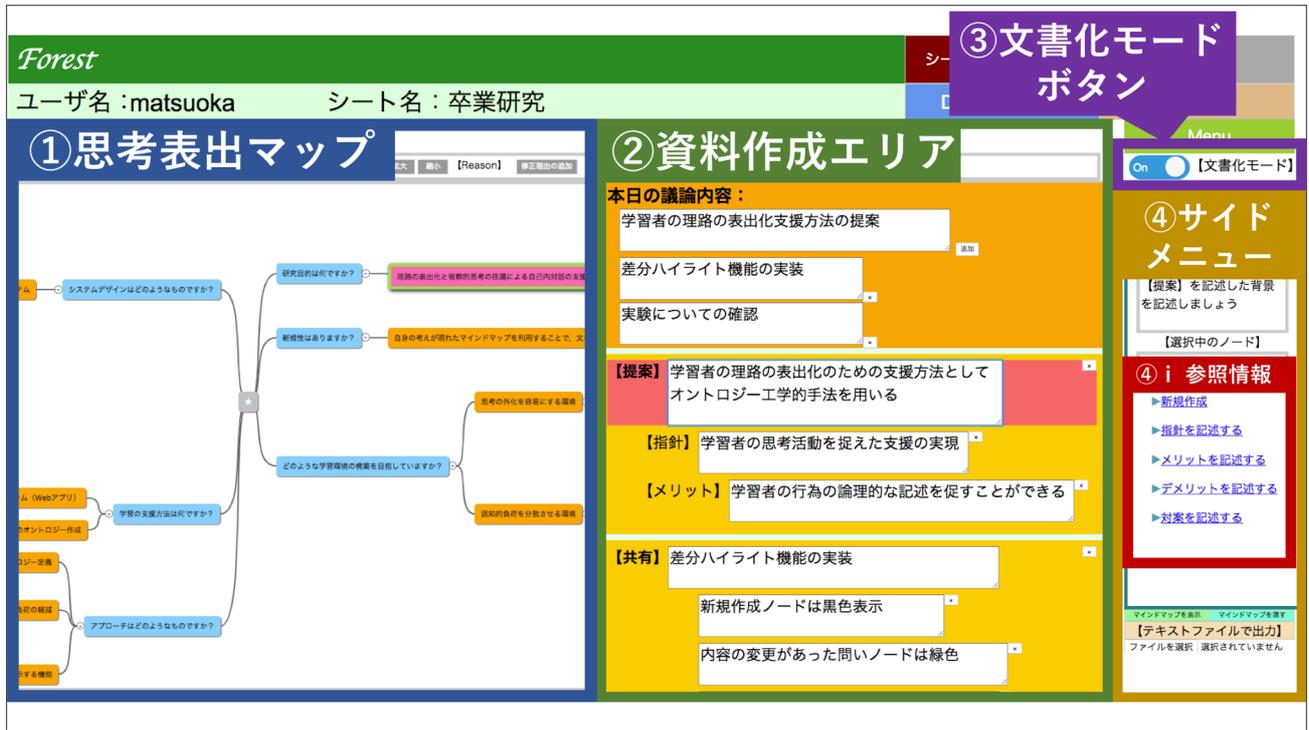


図4 理路の表出化と省察的思考（知識の再構造化）の往還を促す自己内対話支援システム

本研究では、オントロジー工学的手法⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾を用いて、思考結果（議論対象）の産出に必要な思考活動概念を定義する。この研究活動オントロジーがあることを前提とすることで、計算機が概念間のつながりを捉え、思考活動の論理的な記述に必要な参照情報を学習者に提示できるようになり、マインドマップに表出された思考結果の産出過程（理路）の言語化を促す。

具体的には4章で述べる資料作成エリアに表示されるスレッドでこれを支援することになるが、思考結果の妥当性を議論する上で他者と共有すべき事項として言語化すべき項目（例：提案における「指針」、「メリット」、「デメリット」、「対案」）を提示することで、考えの産出過程（理路）の言語化を促すことになる。

このとき、自身の思考においてこれが曖昧であったり、考えが至っていない場合には、それらの項目に回答できない（マインドマップ上でこれが明示されていない）ことをきっかけとして（認知的葛藤の誘発）、これへの回答にめがけた思考の再構成を促すことで、研究資料作成を機会とした理路の表出化と思考の再構成活動の往還を支援することを狙う。

4. 自己内対話支援システム

3章で述べたアプローチを具体化し、理路の表出化

と省察的思考（知識の再構造化）の往還を促す自己内対話支援システムを開発した(図4)。本システムは、森らの思考整理支援システムを基礎として、図4①の思考表出マップに表出された思考結果の論理構造を研究資料に反映する機能と、この理路の言語化に誘発される認知的葛藤をきっかけとした知識の再構造化を支援する機能を備えている。

本システムはサーバ・クライアント型の構成を採っており、場所や時間に捕らわれることなく使用でき、システム上で作成した研究資料の記述内容をxmlファイル形式で入出力可能としている。

4.1 差分の視覚化による思考の焦点化

理路の表出化、知識の再構造化で喚起される思考活動の焦点化を志向し、以前の研究MTで共有した思考結果の変更に至る思考整理マップの変化を意識の俎上に上げるための支援機能である。研究MTの時点情報と、思考表出マップの編集履歴に基づき、以前のMT時点からのノード変化をハイライトすることにより実現している(図5)。

具体的には、思考整理支援システム上の「問いノード（青色）」と「答えノード（橙色）」について、「内容変更を伴う問いノード（緑色）」、「内容変更を伴う答えノード（黄色）」、「新規追加されたノード（黒色）」の

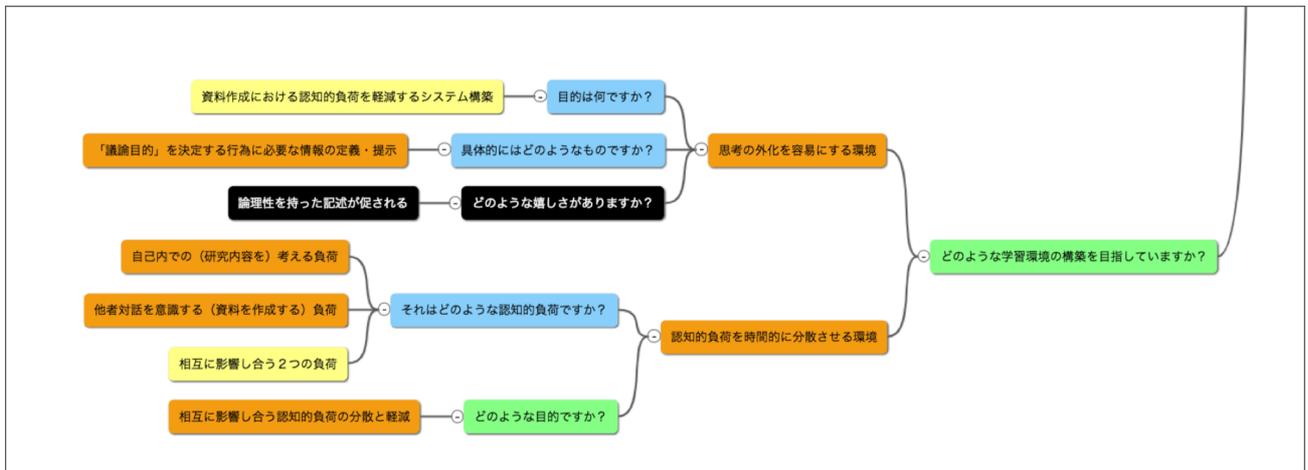


図5 差分ハイライト機能

3種の変化が強調表示される。また、あるMT時点の思考表出マップを再現し、現在時点のマップと並列表示する機能も備えている。

4.2 理路を反映する言語化支援

思考結果に至る理路を研究資料として言語化する活動を支える機能である。「文書化モード」ボタン(図4③)を押下することで、資料作成エリアが表示される(図4②)。思考表出マップ上のノードには、学習者の思考結果の産出に関わる研究活動オントロジーの概念が紐づいている。研究遂行活動における思考活動の一部が計算機可読な形式で定義されており、自由記述による内容の定義・作成も可能となっている。

学習者によってサイドメニュー(図4④)のセレクトボックスから、もしくは思考表出マップ上のノード上で、産出過程(理路)の言語化となる思考活動が選択されることにより、その活動に対応する論理的な道筋を記述するためのスレッドが資料作成エリアに作成される。選択された思考活動に対して、上述のオントロジーで定義された当該思考活動の文脈を他者と共有するために記述すべきと考えられる情報が、サイドメニュー内の図4④iに参照情報として提示される。

例えば、3.2節でも述べた思考結果を「提案」として記述する場合、サイドメニュー上で「指針を記述する」、「メリットを記述する」、「デメリットを記述する」、「対案を記述する」という入力情報が提示される。これらの項目に学習者が合意し選択することで、選択された内容の記述を促すステートメントがスレッド内に追加される。学習者は作成されたスレッド及びステ-

ートメントに内容を記述することで資料作成に取り組む。各スレッド、ステートメント単位での削除や位置の入れ替え、自由記述によるステートメント追加も可能となっており、思考表出マップ上のノードからスレッドが作成された場合は当該ノードにフォーカスがあたり、学習者自身の記述内容とその論理性についての省察を促す。

このように、思考結果の産出過程に対応するモジュール単位の資料作成⁽¹⁾を行うことで、思考表出マップに現れている論理構造に即した資料作成を支援する。

4.3 知識再構成を促す文書化の支援

4.2節で述べた、理路の言語化において記述すべき内容を研究活動オントロジーでの対応する定義に基づいて提示することにより、学習者は思考表出マップ上の論理構造と対応付けながら資料を作成できる。当該思考活動の実施において、それを方向付ける考慮すべき内容が思考表出マップには陽に記載されていない場合には、それが他者と思考文脈を共有する上で重要な内容として学習者に提示される。

この思考活動において暗黙なままの論理構造の欠落を認識することをきっかけとした認知的葛藤を、文章産出活動を起点に超越する(知識の再構造化が行われる)ことは、行為に至る論旨が明瞭な研究資料を作成するために重要となる。この思考活動への刺激を与えるために、資料作成エリアにおけるスレッド・ステートメントの記述内容をマインドマップ上のノードへ反映させる機能を備えている。

そもそも、思考表出マップには、思考結果に至る指

針や根拠，前提が予め表出化されていることが望ましい。暗黙的となっている内容を意識させるために，マインドマップ上のノードの繋がりから，指針や根拠，前提を成すノード内容をサイドメニューに表示する機能は，学習者に自身の論理構造を(再)確認させ，問題解決に向けて何らかの評価を下した自身の思考結果に対する省察を喚起させる狙いを持つ。

これらの機能によって，学習者の省察的思考と研究資料作成の往還に掛かる負荷を軽減し，自己内対話の活性化が促されると考える。

5. まとめ

本研究では，他者対話に向けて自身の発言内容をより精緻にするため，研究資料作成を機会とした，省察的思考（知識の再構造化）と研究資料作成（理路の表出化）の往還による自己内対話支援システムの開発を行なった。2つの活動の往還を支援するため，森らの思考整理支援システムを基礎として，以前のMT時点からの差分を表示する機能や，マインドマップ上の論理構造の研究資料への反映を支援する機能，資料作成の際に起きる知識の再構造化を支援する機能を組み込んだ。

今後の課題として，実践を通じてシステムの有用性を評価する必要があると考える。また，研究資料に載せるべき情報の精査を通じて，研究資料作成活動を捉えるオントロジーを精緻化していく。

謝辞

本研究にご協力いただいたすべての方々に，深く感謝申し上げます。

参 考 文 献

- (1) 柏原昭博，加茂下泰広：“知識発信によるリフレクション支援”，人工知能学会 第49回先進的学習科学と工学研究会資料，pp. 53-58 (2007)
- (2) 瀬田和久，崔亮，池田満，松田憲幸，岡本真彦：“思考外化と知識共創によるメタ認知スキル育成プログラム—大学初年次生を対象として—”，教育システム情報学会誌，30(1)，pp. 77-91 (2013)
- (3) 伊藤貴昭：“学習方略としての言語化の効果—目標達成モ

- デルの提案—”，教育心理学研究，57，pp.237-251 (2009)
- (4) 崎濱秀行：“書き手のメタ認知的知識やメタ認知的活動が産出文章に及ぼす影響について”，日本教育工学雑誌，27(2)，pp. 105-115 (2003)
- (5) 楠見孝：“批判的思考への認知科学からのアプローチ”，日本認知科学会，25(4)，pp.461-474 (2018)
- (6) 道田泰司：“メタ認知の働きで批判的思考が深まる”，現代のエスプリ，497，pp. 59-67 (2008)
- (7) Mori, M., Hayashi, Y., and Seta, K.: “Ontology Based Thought Organization Support System to Prompt Readiness of Intention Sharing and Its Long-term Practice, The Journal of Information and Systems in Education”, 18(1) (2019 掲載予定)
- (8) 野中郁次郎，竹内弘高，梅本勝博：“知識創造企業”，東洋経済新報社 (1995)
- (9) 溝口理一郎：“オントロジー工学入門”，人工知能学会誌 11(1)，pp. 50-59 (1996)
- (10) 溝口理一郎，来村徳信，古崎晃司：“オントロジー構築入門”，オーム社 (2006)
- (11) 高田貴久：“ロジカル・プレゼンテーション”，英治出版 (2004)

P300 の潜時の違いによる Model Human Processor の検証

東野 利貴^{*1}, 清水 菜々子^{*2}, 曾我 真人^{*2}, 若宮 直紀^{*1}

^{*1} 大阪大学大学院情報科学研究科, ^{*2} 和歌山大学システム工学部

Validation of Model Human Processor due to difference latency of P300

Toshitaka Higashino^{*1}, Nanako Shimizu^{*2}, Masato Soga^{*2}, Naoki Wakamiya^{*1}

^{*1} Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

^{*2} Faculty of Systems Engineering, Wakayama University

Skill learning support repeats recognition, judgment and action interaction. The Model Human Processor (MHP) by Cardard et al. is modeled to predict the reaction time of this cycle. However, MHP predicts reaction time according to heuristics, not predicted from the aspect of brain activity. In this study, we investigated the validity of the prediction model of MHP reaction time from the aspect of brain activity by focusing on the difference latency of P300 by EEG. As a result of the experiment, the same trend as the prediction model of reaction time of MHP was obtained in the reaction time obtained in the experiment. As a result of EEG analysis, P300 was observed in all experiments, and it was found that the latency difference has the same tendency as the prediction model of reaction time of MHP. Therefore, the prediction model of reaction time of MHP is also appropriate from the aspect of brain activity was revealed.

キーワード: Model Human Processor, 反応時間, 脳波, 事象関連電位, P300

1. はじめに

スポーツスキルや芸術スキルといったスキルの学習支援では、認識、判断、行動のインタラクションサイクルを繰り返す。このサイクルの反応時間を予測できるようモデル化したものに、Card らによる Model Human Processor (MHP)がある⁽¹⁾。これは、被験者に刺激を提示し、刺激を認識してボタンを押すかどうかを判断し、ボタンを押すという行動を実行するまでの反応時間について予測が可能なモデルである。

しかし、この MHP は、行動を伴う多数の研究で報告されている反応時間をもとに、平均反応時間を割り出し、経験則から反応時間を予測したものであり、脳活動の側面から反応時間を予測したのではない。また、実際に脳活動の側面から検証を行っている研究は少ない。

以上より、脳活動の側面から MHP の反応時間の予

測モデルを検証するために、本研究では、MHP でモデル化されている 4 つの基本的ユーザーパフォーマンスに準じた 4 つの実験を行うと同時に脳波を計測し、脳波計測の結果から MHP の反応時間の予測モデルの妥当性を検証する。

本研究では、MHP で挙げられている 4 つの基本的ユーザーパフォーマンスであり、認知プロセッサの周期回数が異なる単純反応、物理的照合反応、名称照合反応、カテゴリー照合反応に対応したそれぞれの実験を設計し、視覚刺激呈示から反応（マウスクリック）までの反応時間を計測すると同時に、脳波計測を行った。

被験者 10 名に実験を行った結果、反応時間において、単純反応、物理的照合反応、名称照合反応、カテゴリー照合反応の順に反応時間が有意に長くなることがわかった。この結果は、MHP で挙げられている反応時間の予測モデルの傾向と一致している。よって、本

研究の実験で得られた反応時間から、MHP の反応時間の予測モデルを再認することができた。

次に、脳波計測において、実験ごとに解析を行った結果、4つの実験で、特徴的な脳波である N200, P300 が観測された。P300 は、オドボール課題でよく観測されるが、その心理的過程として、刺激に対する比較、評価、判断、選択的注意、認知文脈の更新に関与しているといわれている²⁾。MHP の反応時間の予測モデルでは、認知プロセッサにおいて認識、判断等のプロセスが含まれているため、この P300 に注目することで予測モデルの妥当性を検証できるのではないかと考えた。4つの実験で観測された P300 を比較した結果、単純反応、物理的照合反応、名称照合反応、カテゴリー照合反応の順に P300 のピークまでの時間（潜時）が長くなっていることがわかった。この傾向は、MHP で挙げられている反応時間の予測モデルの傾向と一致している。よって、MHP の反応時間の予測モデルと本研究で行った実験で得られた P300 のピークまでの潜時が対応していることから、MHP の反応時間の予測モデルは脳活動の側面からも妥当性を持つことが明らかとなった。

2. Model Human Processor (MHP)

Model Human Processor とは、人間に感覚情報が入力され、それが処理され、運動系に対して出力指示がなされるという一連の流れを情報処理の観点からモデル化したものである¹⁾³⁾。そして、各処理の処理時間やメモリの記憶容量の目安を提示し（図1）、感覚情報の入力から運動系の出力までの反応時間を予測できる（図2）。具体的には、感覚情報が提示されてから運動を行うまでに、知覚プロセッサ、認知プロセッサ、運動プロセッサの3つのプロセッサを経ながら情報処理が進むとモデル化されている。

知覚プロセッサは、外界から感覚器に刺激が入力され、その刺激情報を作業記憶（WM）、短期記憶（STM）に保存するまでの処理に相当する。MHP では、知覚プロセッサの処理時間は 100 [50 ~ 200] ms 要としている。なお、○[▲~△]ms という表記は、平均時間が○ms であり、その時間の範囲が▲ ~ △ms であることを表している。

認知プロセッサは、知覚プロセッサで脳に保存された記憶から、情報の照合・再認・分類などの処理や運動反応を行うか否かを決定するなど、人間情報処理モデルにおいて中心的な役割を果たしている。認知プロセッサは、必要な情報を獲得するまで何周期も繰り返される。また、認知プロセッサの1周期は、作業記憶の内容が長期記憶内の情報を活性化し、処理が行われ、その結果、作業記憶の内容が変更されるといった一連の処理である。MHP では、認知プロセッサの1周期の処理時間は、70 [25 ~ 170] ms 要としている。

運動プロセッサは、認知プロセッサにおいて、キーボードの打鍵やマウスの操作などの運動反応の実行が決定された場合に、その実行に携わる処理である。認知プロセッサによる反応決定から筋肉が活動し実際に運動を行うまでの時間が運動プロセッサの処理時間である。MHP では、運動プロセッサの処理時間は、70 [30 ~ 100] ms 要としている。

MHP では、認知プロセッサを周期回数によって、人間の反応を4つの基本的ユーザーパフォーマンスに分類している。それぞれ、単純反応、物理的照合反応、名称照合反応、カテゴリー照合反応である。

単純反応は、ディスプレイに何らかの刺激が呈示されたらマウスクリックを行うといった行動である。処理過程の例としては、

1. ディスプレイに呈示された文字や記号は感覚器によって知覚されたのち WM に保存される。（知覚プロセッサ）
2. 情報が呈示されたら反応を行うという「反応決定」を行う。（認知プロセッサ）
3. 認知プロセッサで反応決定に従い、反応実行を行う。（運動プロセッサ）

である。この処理にかかる処理時間は、認知プロセッサ+認知プロセッサ+運動プロセッサ = 100 + 70 + 70 = 240 [105 ~ 470] ms 要する。

物理的照合反応は、ディスプレイなどに複数の種類の刺激が継続的に呈示され、事前に教示された刺激と呈示された刺激が同じであると判断されたときに、マウスクリックを行うといった行動である。物理的照合反応は、単純反応で挙げられている反応決定処理に加えて、教示された刺激と呈示された刺激が同一か照合する処理が必要である。よって、単純反応と比較して、

認知プロセッサの「照合」処理が反応時間に付加される。ゆえに、物理的照合反応にかかる処理時間は、310 [130 ~ 640] ms 要する。

名称照合反応は、ディスプレイなどに複数の種類の刺激が継続的に呈示され、事前に教示された刺激の名称（読みなど）と呈示された刺激の名称が同じであると判断されたときに、マウスクリックを行うといった行動である。名称照合反応は、物理的照合反応で挙げられた物理的「照合」の処理に加えて、記号の名称を LTM から「再認」する処理が必要になる。ゆえに、物理的照合反応の認知プロセッサの処理時間に、「再認」の処理の認知プロセッサの処理時間が付加される。よって、名称照合反応の処理時間は、380 [155 ~ 810] ms 要する。

カテゴリ照合反応は、ディスプレイなどに複数の種類の刺激が継続的に呈示され、事前に教示された刺激のカテゴリと呈示された刺激のカテゴリが同じであると判断されたときに、マウスクリックを行うといった行動である。カテゴリ照合反応は、名称照合反応で挙げられた「再認」の処理に加えて、呈示された刺激がどのようなカテゴリに含まれているかという情報を「分類」する処理が認知プロセッサで行われる。ゆえに、名称照合反応の認知プロセッサの処理時間に、「分類」の処理の処理時間が付加される。よって、カテゴリ照合反応の処理時間は、450 [180 ~ 980] ms 要する。

以上のように、呈示された刺激に対して、どのような比較判断が求められているかによって、認知プロセッサに要求される周期回数が異なり、最終的な反応時間が異なる。

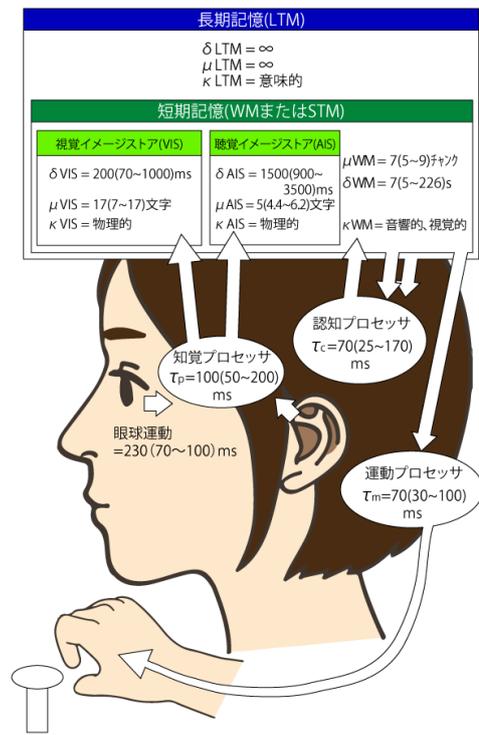


図 1 Model Human Processor

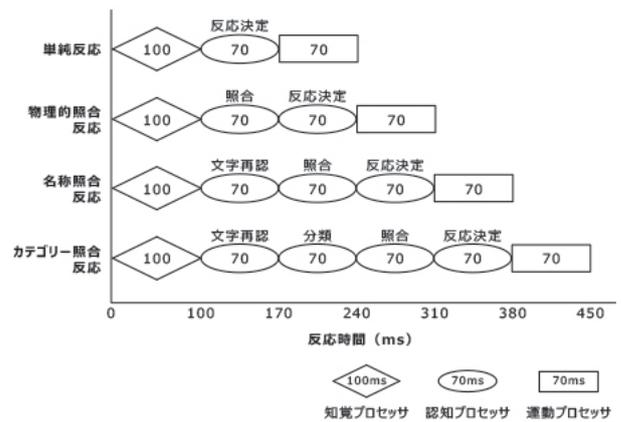


図 2 4つの基本的ユーザーパフォーマンスの反応時間

3. 先行研究

Card, Moran, Newell によって提唱された Model Human Processor (MHP)は、その予測モデルの妥当性の検証を含め様々な研究で取り上げられている(4)(5)(6)。また、この MHP を利用し、改良した研究も行われている(7)(8)。

しかし、多くの研究では、反応時間などの観点で MHP を採用しており、脳活動の側面から検証、議論している研究は少ない。我々の先行研究では、MHP に準じた4つの実験を行い、同時に脳波計測を行うことで、

MHP の反応時間の予測モデルの妥当性の検証を試みた⁹⁾。その結果、一部の被験者において、N200, P300 といった特徴的な脳波が観測された。しかし、先行研究では、単純反応課題において P300 が明確に観測できなかった。また、カテゴリー照合反応課題において、課題が易しく物理的照合反応課題に帰結してしまったため、P300 のピークまでの潜時に差が認められなかった。以上の問題から MHP の反応時間の予測モデルの妥当性を検証することができなかったが、脳波による MHP の反応時間の予測モデルの妥当性の検証の可能性を示した。本研究では、我々の先行研究の課題を改善する形で実験手法を再設計し、特徴的な脳波である P300 を用いた MHP の反応時間の予測モデル妥当性の検証を試みる。

4. 実験手法

4.1 実験目的

本研究では、MHP でモデル化されている 4 つの基本的ユーザーパフォーマンスの反応時間の予測モデルを脳活動の側面から検証するために、4 つの実験を行うと同時に脳波計測を行った。

4.2 実験環境

本実験は、脳波計測を行うため、蛍光灯等の電源ノイズの影響を考慮して暗室で行われた。実験の刺激は、視覚刺激としてコンピュータディスプレイに呈示された。被験者は、ディスプレイを正面に 1m 離れて座位にて実験を行った。また、被験者には、実験中のタスクに回答するために、利き手にマウスを握ってもらい、タスクに合わせてマウスクリックを行ってもらった。

4.3 実験設計

実験設計は、4 つの実験を通して、脳波計測でよく用いられるオドボール課題をベースに構成した。オドボール課題とは、頻度の異なる 2 種類以上の刺激をランダムな順で被験者に呈示し、被験者は低頻度の刺激 (Target 刺激) に対してのみ意識を集中し、マウスクリックを行うといった反応を行う課題である。このオドボール課題では、低頻度の刺激に意識を集中すると、事象に関連して生じる電位変化を捉えた事象関連電位 (Event-Related Potential: ERP) の 1 つである P300

と呼ばれる脳波が出現することが知られている。P300 とは、Target 刺激の約 300~600ms 後に陽性の電位変化を伴う脳波のことである。P は Positive (陽性) の頭文字である。P300 は、上述のオドボール課題で観測されることが多いが、選択や理解など、何らかの心的な判断を求めるほとんどの課題で観測され¹⁰⁾、その心理的過程として、刺激に対する比較、評価、判断、選択的注意、認知文脈の更新に関与しているといわれている²⁾。MHP の反応時間の予測モデルでは、認知プロセッサにおいて認識、判断等のプロセスが含まれているため、本研究では、この P300 に注目する。

被験者に呈示した視覚刺激は、4 つの実験を通して、注視点 (+) と刺激を交互に呈示した。注視点と刺激の呈示を 1 試行とする。刺激を呈示した回数は、Target 刺激が 30 回ずつ呈示されるように設計した。注視点 は、1000~2000ms の間隔でランダムに呈示し、刺激は、600ms に固定して呈示した (図 3)。

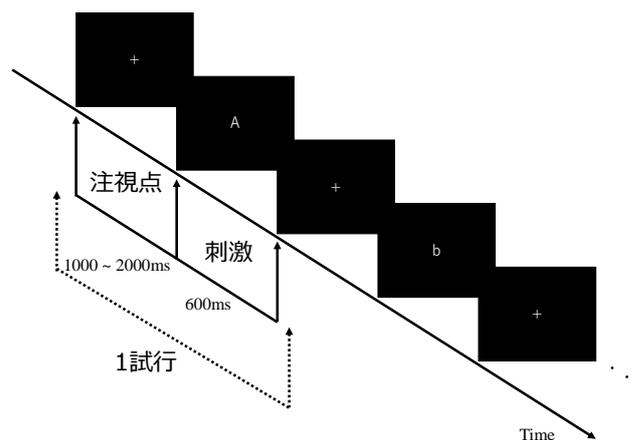


図 3 視覚刺激の流れ

実験は、MHP の 4 つの基本的ユーザーインターフェースに準じた 4 つの実験を行い、刺激呈示からマウスクリックまでの反応時間と脳波計測を行った。行った実験は以下である (表 1)。なお、実験順序の偏りによる慣れや疲労の影響を考慮して、カウンターバランスをとるために、被験者ごとに実験順序をランダムとした。

4.3.1 単純反応時間課題 (実験 1)

単純反応課題では、刺激として、ディスプレイに「●」を提示した。Target 刺激は「●」として、被験者には「●」が呈示されたらできるだけ早く左マウスクリックを行ってもらうように教示した。

4.3.2 物理的照合反応課題（実験 2）

物理的照合反応課題では、刺激として、ディスプレイに「A, B, C, a, b, c, 1, 2, 3」の中からランダムに1つの文字を呈示した。Target 刺激は「B」として、被験者には「B」が呈示されたらできるだけ早く左マウスクリックを行ってもらうように教示した。同時に、Target 刺激でない刺激の場合は、右クリックを行ってもらった。

4.3.3 名称照合反応課題（実験 3）

名称照合反応課題では、刺激として、ディスプレイに「A, B, C, D, E, a, b, c, d, e, 1, 2, 3, 4, 5」の中からランダムに1つの文字を呈示した。Target 刺激は、「/di:/と読む記号（正解は D, d）」として、被験者には「/di:/と読む記号」が呈示されたらできるだけ早く左クリックを行ってもらうように教示した。同時に、Target 刺激でない刺激の場合は、右クリックを行ってもらった。

4.3.4 カテゴリー照合反応課題（実験 4）

カテゴリー照合反応課題では、刺激として、ディスプレイに「A, B, C, D, E, a, b, c, d, e, 1, 2, 3, 4, 5」の中からランダムに1つの文字を呈示した。Target 刺激は、「アルファベットの子音（正解は B, C, D, b, c, d）」として、被験者には「アルファベットの子音」が呈示されたらできるだけ早くマウスクリックを行ってもらうように教示した。同時に、Target 刺激でない刺激の場合は、右クリックを行ってもらった。

表 1 刺激の種類

| | 刺激 | Target刺激 |
|-------------|---|-----------------------|
| 単純反応課題 | ● | ● |
| 物理的照合反応課題 | A, B, C, a, b, c, 1, 2, 3 | B |
| 名称照合反応課題 | A, B, C, D, E, a, b, c, d, e, 1, 2, 3, 4, 5 | /di:/と読む記号 (D, d) |
| カテゴリー照合反応課題 | A, B, C, D, E, a, b, c, d, e, 1, 2, 3, 4, 5 | 子音 (B, C, D, b, c, d) |

4.4 脳波計測

本実験では、マウスクリックタスク実験と同時に脳波計測を行った。実験で使用した脳波計は、BIOSEMI Active Two システムを使用した。計測箇所は、国際 10-20 法⁽¹¹⁾に基づいて電極を配置した（図 4）。サンプリング周波数は、512Hz として計測を行った。

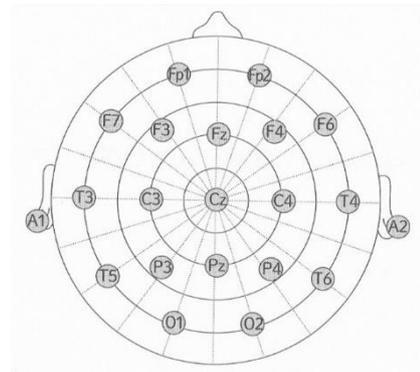


図 4 国際 10-20 法の電極位置

5. 実験結果

5.1 被験者

実験に参加した被験者は、10名の健康な大学生（男性 9名、女性 1名、平均年齢 22.4 歳、標準偏差 1.0 歳）である。すべての被験者は、実験内容について十分に理解しており、参加の同意を得た上で実験を行った。なお、本実験は、和歌山大学研究倫理審査委員会の承認を受け行われた。

5.2 反応時間

4つの実験で、Target 刺激呈示からマウスクリックを行うまでの時間を反応時間として計測した。その結果が図 5 である。反応時間の解析にあたり、各実験の Target 刺激に対して正しいマウスクリックを行った試行のみを採用した。また、標準偏差の 2 倍以上離れた反応時間は外れ値として解析から除外した。解析された反応時間は、実験の種類ごとにほぼ線型的に伸びており、単純反応課題である実験 1 が最も短く、対して、カテゴリー照合反応課題である実験 4 が最も長い結果となった。得られた反応時間から分散分析を行った結果、すべての実験の反応時間間で有意水準 5% 以下として有意差が認められた。

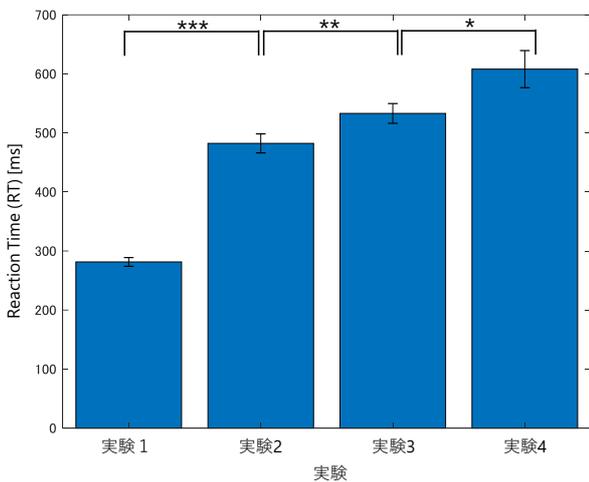


図 5 実験ごとの反応時間の結果

(エラーバーは標準誤差, $p^* < 0.05$, $p^{**} < 0.01$, $p^{***} < 0.001$)

5.3 脳波

4 つの実験で、マウスクリックタスク課題中の脳波計測結果について報告する。脳波解析対象として、各実験の Target 刺激に対して正しいマウスクリックを行った試行のみを採用した。また、5.2 の反応時間で外れ値として除外された試行や、 $100 \mu V$ 以上の電位を計測した試行は解析から除外した。脳波解析に使用した電極位置は、P300 がよく観測される Cz (頭頂部) である。

脳波解析の準備として、1~30Hz のバンドパスフィルタを適応し、電源ノイズなどのノイズを除去した。また、眼球運動に伴うアーチファクトの除去も行った。脳波解析は、上述の理由で除外された試行を除いた Target 刺激の試行中に得られた脳波を刺激呈示のタイミングをオンセット (0ms) として、被験者ごとに加算平均を行った。P300 を含む事象関連電位は 1 試行あたりではそれほど大きく観測されないため、試行の加算平均を行う必要がある。次に、被験者ごとに加算平均で得られた脳波を被験者ごとの個人差の影響を小さくするために、すべての被験者の加算平均済の脳波を加算する総加算平均を行った。最後に、刺激呈示前 100ms から刺激呈示までの平均脳波を用いてベースライン補正を行った。その結果が図 6 である。なお、緑色の矢印は P300 のピーク位置を表している。

脳波解析の結果、すべての実験で、刺激呈示後 300~600ms の間に P300 が観測された。実験ごとの

P300 のピークまでの時間 (潜時) を比較すると、単純反応課題である実験 1 が最も短く、カテゴリ照合反応課題である実験 4 が最も長い結果となった。

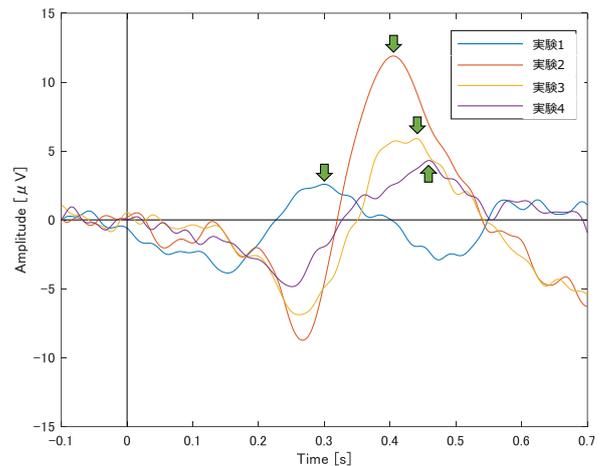


図 6 実験ごとの脳波計測の結果

(オンセットは刺激呈示のタイミング。緑色の矢印は脳波 P300 のピークを表す)

6. 考察

本研究の目的は、MHP でモデル化されている 4 つの基本的ユーザーパフォーマンスの反応時間の予測モデルを脳活動の側面から検証することである。これを明らかにするために、MHP に準じた 4 つの実験を行うと同時に脳波計測を行った。本研究で行った実験結果から考察を行う。

まず、実験で得られた反応時間について考察を行う。得られた反応時間は、図 5 より実験 1 < 実験 2 < 実験 3 < 実験 4 の順で有意に長くなっている。MHP でモデル化されている反応時間も単純反応 < 物理的照合反応 < 名称照合反応 < カテゴリ照合反応の順で長くなっている。本実験の結果は、MHP の反応時間の予測モデルの傾向と一致する。また、反応時間が長くなるという傾向だけではなく、本研究の各実験における反応時間は、MHP でモデル化されている反応時間 (2 章) の範囲に収まっている。よって、MHP の反応時間の予測モデルを再認することができ、本研究の各実験が、MHP の予測モデルを反映した実験設計が行えていたことが確認できた。

次に、実験で得られた脳波から考察を行う。図 6 より、本研究のすべての実験で、刺激呈示後 300~600ms の間に P300 が観測された。観測された脳波が P300 で

参 考 文 献

あると示す根拠は、本研究の実験が P300 の観測でよく用いられるオドボール課題をベースに設計したことに起因する。また、P300 が観測される場合、同時に N200 と呼ばれる陰性の脳波が観測される⁽²⁾。本研究の各実験で得られた脳波は、P300 の観測前に陰性の N200 が観測されている。ゆえに、観測された大きな陽性の脳波は P300 であるといえる。実験の結果から P300 のピークまでの潜時は、実験 1 < 実験 2 < 実験 3 < 実験 4 の順に長くなっていることが分かった。この傾向は、図 5 の計測された反応時間の傾向と一致している。ゆえに、本研究の実験で計測された P300 は、実験内容と無関係ではなく、実験内容に対する脳活動を計測できていると考えられる。また、P300 のピークの潜時が実験ごとに長くなる傾向は、MHP でモデル化されている反応時間の傾向とも一致する。よって、各実験の P300 のピークまでの潜時が実験ごとに長くなっている傾向と、MHP でモデル化されている反応時間も反応の種類ごとに長くなっていることから、脳活動の側面から MHP の反応時間の予測モデルは妥当であることがわかった。

7. まとめ

本研究の目的は、MHP でモデル化されている 4 つの基本的ユーザーパフォーマンスに準じた 4 つの実験を行うと同時に脳波を計測し、脳波計測の結果から MHP の反応時間の予測モデルの妥当性を検証することである。MHP の反応時間の予測モデルに対応した 4 つの実験を行った結果、反応時間において MHP の反応時間の予測モデルを再認する結果が得られた。同時に、脳波計測を行った結果、すべての実験で特徴的な脳波である N200, P300 が観測された。また、P300 のピークまでの潜時は、認知プロセッサの周期回数が増える反応になるごとに長くなっていくことがわかった。よって、各反応に対応した実験で得られた P300 のピークまでの潜時が長くなっている傾向と、MHP でモデル化されている反応時間も反応の種類ごとに長くなっていることと対応することから、脳活動の側面から MHP の反応時間の予測モデルは妥当であることがわかった。

- (1) Card, S. K., Moran, T. P., & Newell, A., "The psychology of human-computer interaction", Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates (1983)
- (2) 加賀 佳美, 相原 正男, "P300 基礎", 臨床神経生理学, 41 巻 2 号(2013)
- (3) 古川康一, 溝口文雄共編, "インタフェースの科学", 共立出版, pp.50-74(1987)
- (4) Jastrzembski, T. S., & Charness, N., "The Model Human Processor and the older adult: Parameter estimation and validation within a mobile phone task.", *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 13(4), 224-248(2007)
- (5) Bonnie E. John, Allen Newell, "Toward an Engineering Model of Stimulus-Response Compatibility", *Advances in Psychology*, Volume 65, Pages 427-479(1990)
- (6) Muneo Kitajima and Makoto Toyota, "Simulating navigation behaviour based on the architecture model Model Human Processor with Real-Time Constraints (MHP/RT)", *Behaviour & Information Technology*, 31:1, 41-58(2012)
- (7) Liu, Yili and Feyen, Robert and Tsimhoni, Omer, "Queueing Network-Model Human Processor (QN-MHP): A Computational Architecture for Multitask Performance in Human-machine Systems", *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.*, Volume 13 Issue 1, Pages 37-70(2006)
- (8) Wu, Changxu, and Yili Liu., "Modeling Human Transcription Typing with Queuing Network-Model Human Processor (QN-MHP)." *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* 48, no. 3, 381-85(2004)
- (9) Toshitaka Higashino, Yudai Asano, Masato Soga, "Investigation of Model Human Processor by EEG Measurement", *Procedia Computer Science*, Volume 112, Pages 2040-2047(2017)
- (10) 開 一夫, 金山 範明, 河内山 隆紀, 松本 敦, 宮腰 誠, "脳波解析入門: EEGLAB と SPM を使いこなす", 東京大学出版会, p.102(2016)
- (11) Jasper H. H., "The ten twenty electrode system of the international federation", *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* 10, 371-375(1958)

問題文に合わせたプログラムコメントの自動生成

高橋明義^{*1}, 椎名広光^{*2}, 小林伸行^{*3}

^{*1} 岡山理科大学大学院, ^{*2} 岡山理科大学, ^{*3} 山陽学園大学

Automatic Generation of Comments for Programs using Question Description

Akiyoshi Takahashi ^{*1}, Hiromitsu Shiina ^{*2}, Nobuyuki Kobayashi ^{*3}

^{*1} Graduate School of Informatics, Okayama University of Science,

^{*2} Faculty of Informatics, Okayama University of Science

^{*3} Faculty of Regional Management, Sanyo Gakuen University

To aid understanding of programs and understanding of procedures, it aims at automatically generating comments from source code. As a method, we learn the program list and comment pair by Encoder-Decoder model using LSTM, thereby generating comments of the program that was the target of learning. Also, since it is difficult to increase the amount of learning data, we use program problem sentences to generate comments for programs more suitable for users.

キーワード: コメント生成, アルゴリズム理解, ニューラルネット翻訳

1. はじめに

新学習要領が導入され小学校のプログラミング教育が必修化され, 2020 年から実施される. その背景から小学校, 中学校でプログラミング教育について話題になることが多い. また, 新学習要領ではプログラミングそのものではなくプログラミング的思考が重要視されている. プログラミング教育については, いろいろな試みがなされており, Web を利用した支援システム⁽¹⁾やプログラムの処理をカード型での学習⁽²⁾などが提案されている. プログラミング教育のカリキュラムに関しては, ルーブリック⁽³⁾が提案されている. また, プログラミング的思考については, プログラムそのものではなく手続きの記述と組み立てが重要になると考えられ, 新開⁽⁴⁾は手作業によるアルゴリズムの学習についての研究を行っている.

本研究では, プログラムの理解や手順の理解を助けるために, ソースコードから手続きを自動生成することでプログラムの理解の補助となることを目的としている.

一方, ニューラルネットワークを利用した手法の発展により, 自然言語の翻訳や文生成が行われている.

特に LSTM⁽⁵⁾を用いた Encoder-Decoder 翻訳モデル⁽⁶⁾が提案されてきており, 翻訳精度が向上している. 本研究では, その手法を利用してソースコードとコメントのペアをニューラルネットワークの LSTM を用いた Encoder-Decoder モデルで学習することで, 新しいソースコードのコメントや手続きの生成を行っている.

しかしながら, 単純に LSTM をソースコードとコメントの学習を適用するだけでは, 生成コメントが適切でないことがある. その原因としては, 機械学習では学習データの質と量がそのあとの精度に影響を及ぼす. 適用範囲の限られた範囲での応用においては, 学習データの量を確保するのが難しいが, 質については工夫の余地があると考えられる. 言い換えると, 手軽なデータ量でのニューラルネットワークの利用を想定すると逆に学習データ量をあまり多く取得できなくても補強または関連するデータによって目的達成を目指している.

本研究は、生成したいコメントも学習するソースコードとコメントのうち、特にコメントの記述が重要と考えて、学習データ用のコメント作成には揺らぎを少なくするために大学の情報系学科1年生での講義に使用されたC言語の例や課題のソースコード53個を利用し、コメント部分は一人の教員のチェックを行っている。加えて、単純にニューラルネットワークの手法では、別な場所にある類似した部分に一致したコメントを部分的にコピーしてくると考えられるが、課題の問題文に少しでもすり合わせをしたコメント生成を行うことを目的としている。これによって、対象に合わせたコメントを生成の精度が上がると考えられる。また、本研究が対象とした、大学の講義ではプログラムの説明を行うが、対象を考慮して説明を行っていると考えている。よって、講義で使用されている説明を学習に利用すれば、それから生成されるコメントは、学習対象者に適合しやすいと想定している。加えて、そこで扱われる課題の問題文や講義資料の記述を生かしたコメント生成も重要であると考えられる。

より学習対象を考慮するという面では、単純にLSMTによって生成されたコードでは不十分で、特に初学者レベルにおいては、変数の変化について知る必要がある。しかしながら、もともと学習用に使われているソースコードだけでは、変数に関する情報が不足気味なるため、ソースコードの変数に関する流れが分かりにくい傾向にある。

これらのことから本研究では、

(1)外部情報の利用として、課題の問題文の重要語を生成結果に影響を与える処理

(2)変数情報をコメント生成に反映させる処理を追加することで、課題の問題文に近くてより良いコメントの生成を試みている。

2. LSTM によるソースコードからコメント生成

2.1 ソースコードとコメントの学習とコメント生成の概要

コメント生成に対する Encoder-Decoder モデルの学習とコメント生成の処理は、次の4つの処理からなる。

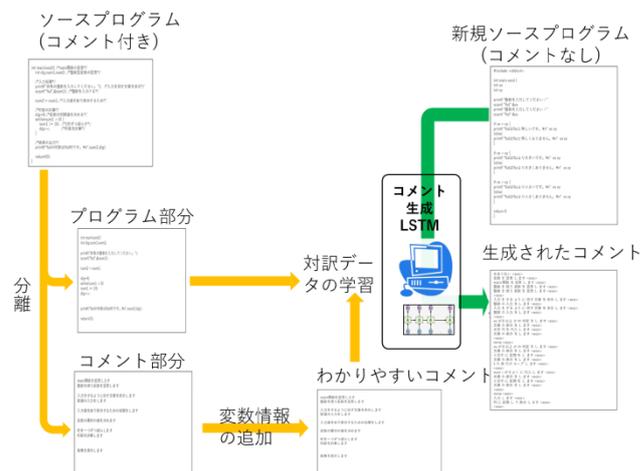


図1 コメント生成の流れ

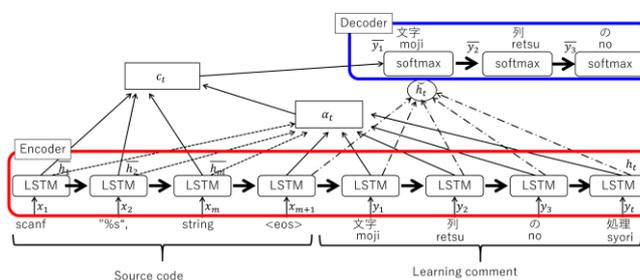


図2 Encoder-Decoder モデルによるソースとコメントの学習

- (1)学習：コメントが付きしたソースコードと教師データを分離し、ソースコードの変数名の整理を行った後、ソースコードの1行とそのコメントのペアを Encoder-Decoder モデルの学習を行う。
- (2)コメントの生成確率：コメントの付いていないソースコードに対して Encoder-Decoder モデルを利用してコメント生成での単語接続確率を生成する。
- (3)コメントが付されていないソースコードの課題の問題文の重要語に対して、コメント生成の単語接続確率を高くなるように変更し、学習データ以外の情報の影響を大きくする。
- (4)コメントの修正：生成したコメントについては、変数情報を補完して最終的な生成コメントとする。

2.2 Encoder-Decoder モデルの学習と生成

本研究で用いた LSTM の学習については、次の3つ変換処理を組み合わせている。

- (1) ソースコードとコメントをそれぞれ単語単位に分割し、単語のつながりの関係性を学習する。単語に

分割したソースコードを1単語ずつLSTMに入力し、文脈情報を蓄積する。その後コメントを1単語ずつLSTMに入力し、文脈情報を蓄積しながら単語を生成して学習を行う。入力単語 x_t に対しては、中間層の出力 h_t を保持しておき、出力単語 y_t と x_t の類似度を正規化し α_t とする。この α_t と h_t を使い文脈ベクトル c_t を作り、線形作用素 W で重みをつけて活性化関数 \tanh により中間層の出力 \tilde{h}_t を作る。 \tilde{h}_t を入力としてsoftmax関数による変換 y_t を作る。

(2) (1)で行った学習をもとに新たなソースコードに対するコメントを生成する。ソースコードを単語ごとに分割してLSTMに入力していき、最後まで入力を行った後に文脈情報をもとにコメントの1つ目の単語を出力し、出力された単語と文脈情報をもとに次の単語を生成する。

2.3 外部情報を利用したコメント生成

前節では、プログラムのソースコードとそのコメントの行単位のペアを学習し、新しいソースコードに対してコメントを生成している。この場合、利用できる情報が、類似するソースコードに対応するコメントの生成を行うと考えられる。しかし、それだけでは課題に対応するソースコードのコメントを生成することが難しい。単純なEncoder-Decoderモデルでは話題が一致しなくても類似したソースコードのコメントをコピーするので、生成したいコメントに関する話題に少しでも関連するようには、情報が不足している。

本研究では、課題の問題文に関連する情報をコメント生成に生かすように、外部情報の利用として課題の問題文の重要語を生成結果に影響を与えるようにした(図3)。特に、課題の問題文の中で影響の大きい重要語の抽出には、TF-IDFを利用している。重要語によるコメント生成の手続きを次に述べる。

(1) はじめに元となる問題全体の文書を読み込んでおく。その後入力するプログラムの問題文を入力し、TF-IDFにより文書全体に対する問題文中の各単語の重要度を求める。

(2) ソースコードをLSTMに入力し、単語の出力時に問題文中の重要語に一致する単語がある場合、生成確率に対してTF-IDFの α 倍を掛け、その中の数値の一

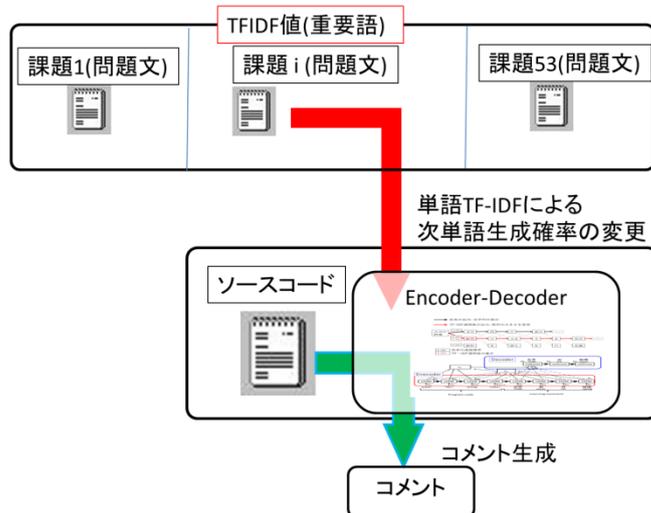


図3 問題文とコメント生成の関係

表1 問題文中の単語のTF-IDF

| 単語 | TF-IDF | 単語 | TF-IDF |
|-------|---------|-----|---------|
| 最小 | 0.45541 | ただし | 0.22770 |
| 最大 | 0.40027 | いる | 0.22770 |
| 格納 | 0.38594 | 用い | 0.16841 |
| 配列 | 0.32545 | 求める | 0.16272 |
| 数値 | 0.24959 | 整数 | 0.13100 |
| scanf | 0.24959 | せよ | 0.09828 |
| 添字 | 0.24959 | 出力 | 0.09667 |

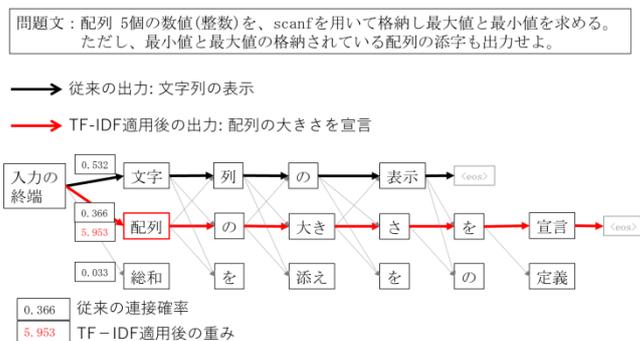


図4 TF-IDFの適用によるコメント生成の違い

番高いものをLSTMの出力とする。学習に利用している課題53個の問題文を全体として、問題文「配列5個の数値(整数)を、scanfを用いて格納し最大値と最小値を求める。ただし、最小値と最大値の格納されている配列の添字も出力せよ。」の単語TF-IDFを表1に示す。また、次に示す問題文に対するソースコードからコメントを生成する時、TF-IDF値の高い「配列」をコメント生成に利用している様子を図4に示す。

| 行 | プログラム | Encoder-DeCoder のみの単純生成コメント | 問題文を利用した生成コメント | 変数情報を付加した生成コメント | 評価 (6人の平均) | | |
|----|--|-----------------------------|---------------------|-----------------------|------------|-------|------|
| | | | | | 単純生成 | 問題文利用 | 変数 |
| 1 | #include <stdio.h > | 入出力を行うための宣言 | 入出力を行うための宣言 | 入出力を行うための宣言 | 5.83 | 5.83 | 5.83 |
| 2 | #define NUMBER 5 | 文字列を表示する | 配列の大きさを宣言 | 配列の大きさを定義づける | 1.50 | 4.83 | 5.17 |
| 3 | int main(void){ | main 関数の宣言 | main 関数の宣言 | main 関数の宣言 | 5.83 | 5.83 | 5.83 |
| 4 | int i, j; | 整数型変数の宣言 | 整数型変数の宣言 | 整数型変数 (i)(j) の宣言 | 4.00 | 4.00 | 6.00 |
| 5 | int min, max ; | 整数型変数の宣言 | 整数型変数の宣言 | 整数型変数 (min)(max) の宣言 | 4.00 | 4.00 | 6.00 |
| 6 | int min_loc, max_loc ; | 整数型変数の宣言 | 整数型変数の宣言 | 整数型変数 (min) の宣言 | 4.17 | 4.17 | 2.67 |
| 7 | int vx[NUMBER]; | 整数型の配列の宣言 | 整数型の配列の宣言 | 整数型変数 (vx) の宣言 | 4.50 | 4.50 | 3.17 |
| 8 | for(i=0;i < NUMBER; i++){ | 定義づけた回数分ループ | 配列内の添え字すべてに数値を入力させる | 配列内の添え字 (i) すべてに数値を入力 | 4.67 | 3.00 | 3.33 |
| 9 | printf(" vx[%d]=",i); | 配列のすべての添え字内に数値を入力 | 配列のすべての添え字内に数値を入力 | 配列の表示 | 2.67 | 2.67 | 4.33 |
| 10 | scanf("%d",&vx[i]); | 整数を入力 | 整数を入力 | 整数を入力 (i)(vx) | 4.17 | 4.17 | 4.00 |
| 11 | } | そうでない場合 | そうでない場合 | None | 1.33 | 1.33 | 3.5 |
| 12 | min=vx[0]; | min の初期値を vx[0] とする | 最小値の値を記憶 | 配列の文を表示 | 5.0 | 4.17 | 1.67 |
| 13 | min_loc=0; | min のあり場所を 0 | min のあり場所を 0 | 最小値の定義づけ | 3.67 | 3.67 | 2.33 |
| 14 | max=vx[0]; | max の初期値を vx[0] とする | max の初期値を vx[0] とする | x の計算 | 5.00 | 5.00 | 1.67 |
| 15 | max_loc=0; | max のあり場所を 0 | max のあり場所を 0 | 最大値 (max) の文章を表示 | 3.83 | 3.83 | 1.17 |
| 16 | for(i=1;i< NUMBER; i++){ | 定義づけた回数分ループ | 定義づけた回数分ループ | 配列内の添え字 (i) すべてに数値を入力 | 4.50 | 4.50 | 2.50 |
| 17 | if(min > vx[i]){ | min の方が大きい場合 | min の方が大きい場合 | min の方が大きい場合 | 4.17 | 4.17 | 1.33 |
| 18 | min=vx[i]; | 最小値の値を記憶 | 最小値の値を記憶 | 計算を行う (i)(min) | 4.83 | 4.83 | 1.50 |
| 19 | min_loc=i; | 最小値の場所を記憶 | 最小値の場所を記憶 | 最小値の場所 (i) を記憶 | 4.17 | 4.17 | 4.50 |
| 20 | } | None | None | None | 4.00 | 4.00 | 3.50 |
| 21 | if(max < vx[i]){ | max の方が小さい場合 | max の方が小さい場合 | max の方が小さい場合 | 4.33 | 4.33 | 1.33 |
| 22 | max=vx[i]; | max はいつも一番大きく | 最大値の値を記憶 | 計算を行う (i)(max) | 1.50 | 4.50 | 1.83 |
| 23 | max_loc = i; | max のあり場所を 0 | 最大値の場所を記憶 | 最小値の場所 (i) を記憶 | 2.00 | 4.50 | 2.83 |
| 24 | } | 行内の繰り返し | None | None | 1.17 | 1.17 | 4.00 |
| 25 | } | そうでない場合 | 数値を入力する | None | 1.17 | 1.17 | 4.00 |
| 26 | printf("最小値%d, 添え字 %d \n ", min, min_loc); | 最小値と添え字を表示 | 最小値と添え字を表示 | 最小値 (min) と添え字を表示 | 4.00 | 4.00 | 4.67 |
| 27 | printf("最大値%d, 添え字 %d \n ", max, max_loc); | 最大値と添え字を表示 | 最大値と添え字を表示 | 最大値 (max) と添え字を表示 | 4.00 | 4.00 | 4.67 |
| 28 | return(0); | 関数を終了させる | 関数を終了させる | 関数を終了させる | 5.50 | 5.50 | 3.00 |
| 29 | } | そうでない場合 | 数値を入力する | None | 1.17 | 1.17 | 4.00 |

図 5 1 行ごとの生成コメントとアンケート評価

2.4 生成コメントへの変数情報の補完

ソースコードからのコメント生成については、学習段階を考慮すべきで、文法を学習している段階では、変数の変化について知る必要がある。しかし、通常のコメントでは、変数の変化まで含めてコメントを記述していない。そのため、変数に関する情報が不足気味なるため、プログラムの変数に関する流れが分かりにくい傾向にある。変数名の補完の処理について、コメント学習時の変数処理と、コメント生成時の処理に分けて述べる。

2.4.1 コメント学習時の変数処理

(1)ソースコードの変数名の変更処理として、ソースコ

ードの変数を同じものに統一する。例えば、変数 min を x、変数 vx を 仮の変数 x に置き換える。

(2)ソースコードに対応するコメントに変数情報として、(x)を付加する。

(3)Encoder-Decoder 翻訳モデルに変数補完処理を行ったデータを学習させる。

2.4.2 コメント生成時の処理

(1)コメントを生成するソースコードに対して、変数名補完処理として、学習データと同じように変数の統一を行う。

(2)コメント生成時に変数情報を適用するために、テストデータから各行の変数情報を取得しておく。

(3)学習済みの Encoder-Decoder 翻訳モデルによって

コメントを生成する。

(4)コメント生成後、コメント内の仮変数(x)をもとのソースコードの変数に戻す。

3. 生成コメントの評価

3.1 1行ごとのコメント生成

LSTM だけで生成したコメント、問題文の単語の TF-IDF を考慮して生成したコメント、変数情報の補完処理をしたコメントの3つを図5に示す。また、研究室の学生6人による6段階評価(悪い)1~6(良い)の平均ランクについても示す。

- 3種類のコメントの平均ランクの平均については、Encoder-Decoder のみが 3.68、問題文を加味が 3.99、変数情報の付加が 3.52 となっており、問題文を加味した方が総合すると良いと評価されている。
- 12行目については、Encoder-Decoder モデルが良い評価を受けているが、著者たちは問題文を加味した方が良いと考えており、アンケートとの違いが出ている。そのほかの行に土江は、Encoder-Decoder のみより問題文加味が各行でも同等か良い評価となっている。
- 変数情報については、4, 5行目など正しい変数情報が適用されたが、6, 7行目などは変数情報の取り出しがうまくいかず付与された変数情報が間違っている。また、変数を利用している12~18行目が良い評価を受けていない。生成のされ方が良くないと考えられる。一方、変数を定義しているところについては、用意評価を受けている。変数の情報については、改悪されたものもあり適用個所の工夫の必要があると考えられる。

4. まとめと今後の課題

本研究では、ソースコードとコメントのペアを対訳データとして学習することで、アルゴリズムの手順を理解するために、手順生成を行った。特に、外部情報としての課題の問題文の利用によって、コメントの生成が関係のない内容を取り出してくることが少なくなったと考えられる。

本研究では、外部情報としては課題の問題文を利用しているが、講義資料などの関連する情報を利用することで、より適切なコメントを生成することができると考えられる。

謝辞

本研究は岡山理科大学プロジェクト研究推進事業(OUS-RP-29-2)の助成を受けたものです。

参考文献

- (1) 宇野健, 畝川みなみ: “C 言語学習支援のための Web 上でのプログラミング環境の開発”, Journal of the Faculty of Management and Information System Prefectural of University of Hiroshima, No. 5, pp. 77-84 (2013).
- (2) 松本慎平, 林雄介, 平島宗: “部分間の関係を考えることに焦点を当てたカード操作によるプログラミング学習システムの開発”, 電気学会論文誌 C, Vol.138, No.8, pp.999-1010 (2018)
- (3) 松永賢次, 萩谷昌己, 共通教科情報科ルーブリックにおける思考・判断・表現の位置づけ, 第10回全国高等学校情報研究会発表会全国大会(東京大会)(2017)
- (4) 新開他: “手作業の学習教材を活用したアルゴリズム教育の試み”, 日本教育工学会第31回全国大会, pp.407-408 (2015).
- (5) Greff, K. et al.: “LSTM: A Search Space Odyssey”, IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, Vol. 28, Issue10, pp. 2222-2232 (2017).
- (6) Wu, Y. et al.: "Google's Neural Machine Translation System: Bridging the Gap between Human and Machine Translation", arXiv, pp. 1-23(2016)
<https://arxiv.org/abs/1609.08144> (2019年2月6日確認)

AO・推薦入試合格者の学習習慣の改善と学力向上を 目的とした e ラーニングの活用に関する経年比較

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

^{*1} 明星大学, ^{*2} 藤田医科大学, ^{*3} 九州大学

Aging Comparison of Utilization of e-Learning for Improve Learning Habits and Academic Ability: the Case of the Successful Applicants about Early College Entrance Examination

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

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

By having a successful candidate who passed the early college entrance examination take the placement test at the stage before enrollment, it is possible to grasp the academic achievement as soon as possible. We confirmed that the academic ability of successful applicants can be grasped from the comparison of the average points of placement tests of successful applicants of the early college entrance examination in FY 2015 to FY 2017. From the learning history of e-learning, it was revealed that about half of the learning tendencies of successful applicants for the early college entrance examination were classified as long - term completion type and medium term completion type.

キーワード: AO・推薦入試 学習習慣 e ラーニング 学習効果 経年比較

1. はじめに

減少し続ける 18 歳人口が大きな問題を提起するなかで、優秀な学生を安定的に確保し続けていくことは大学にとって重要な課題のひとつである⁽¹⁾。明星大学では、毎年約 1,000 人が AO・推薦入試で合格するが、学校教育法第 30 条の第 2 項にも示される学力の三要素のひとつである、基礎的・基本的な「知識や技能」が不足している生徒が相当程度含まれていることが推察されており、入学前教育を通じてこれらの生徒の基礎的・基本的な学力をいかに伸ばさせるかが喫緊の課題になっている⁽¹⁾。

この課題に対処することを目的として、明星大学では、全学部の AO・推薦入試（指定校、公募制、卒業生子女、スポーツ文化、明星高校特別）合格者を対象として、共通の入学前教育プログラムを実施している（表

1). 本稿では、2015 年度、2016 年度、2017 年度（2016 年度、2017 年度、2018 年度入学予定者対象）入学前教育において実施したプレースメントテスト（以下、プレテストとする）（自宅学習における学習内容の難易度を定めることを目的としてスタートアップ講習時に実施）得点により、合格者の基礎学力の経年比較と e ラーニングによる自宅学習の学習傾向について検討する。

2. プレースメントテストの結果による基礎学力の経年比較

2015 年度から 2017 年度に AO・推薦入試で合格し、入学前教育の e ラーニングを受講した生徒（2016 年度から 2018 年度までの入学予定者）のうち、国語、英語

表1 入学前教育プログラム日程（2017年度）

| | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 1月 | 2月 | 3月 |
|------------------------------|---------------|-----|-----------------------|------------------------|----|----|----|
| AO入試 | ○ | ○ | ○ | | | | |
| 推薦入試 | | ○ | | | | | |
| スタートアップ講習 (全合格者対象集合講習) | | | ○ A09・10月 合格者対象 | ○ A011月, 推薦合格者対象 | | | |
| プレースメントテスト | | | ○ | ○ | | | |
| 自宅学習 | 通信教育(eラーニング等) | | ● | ● | | | |
| | 修了テスト | | | | | | ○ |
| フォローアップ講習 (eラーニング取組不良者対象) | | | | | | | ○ |
| スクーリング ¹⁾ | | | | | | ● | |
| 特別講座 ²⁾ | | | | | | | ○ |

- 1) 希望者を対象として実施（TOEIC講座など）
 2) 主に一般入試合格者（一般前期，一般中期，センター試験利用合格者など）を対象として実施した（表3）。

表2 プレテスト科目得点間の相関係数

| | 2015年度 | 2016年度 | 2017年度 |
|-------|--------|--------|--------|
| 国語・英語 | .35** | .39** | -.85** |
| 英語・数学 | .37** | .07 | .31** |
| 数学・国語 | .44** | .06 | -.30** |

** $p < .01$

および数学の3科目のプレテストをすべて受験した生徒を対象に分析を行った。なおプレテストは、年度にかかわらず同じ問題を使用している。

英語，国語，数学のプレテスト得点間の相関係数を算出したところ，国語・英語，英語・数学，数学・国語の組み合わせにおいて，2017年度は国語・英語で強い相関が示された（表2）。また，英語・数学，数学・国語では弱い相関が示された（表2）。2015年度および2016年度では，弱い相関が示される組み合わせがほとんどだった（表2）。

次に，プレテスト（2015，2016，2017年の各年度）の平均得点と標準偏差を比較したところ，国語では2015年度は平均得点58.78，標準偏差15.36，2016年度は平均得点61.84，標準偏差15.53，2017年度は平均得点69.38，標準偏差14.19となった。国語の学力（平均点）は，2015年度から2017年度まで大きく上昇した（10.60点の伸び）。2016年度と2017年度のプレテスト得点についてt検定を行ったところ有意差（ $t = -10.46$, $p < .01$ ）が認められ，学力の伸びがみられ

英語では2015年度が平均得点42.34，標準偏差29.23，2016年度は平均得点42.21，標準偏差13.97，2017年度は平均得点44.34，標準偏差14.87となった。2017年度は2016年度と比較して学力（平均点）の伸びが認められた（2.13点の伸び）。2016年度と2017年度のプレテストの得点についてt検定を行ったところ有意差（ $t = -3.06$, $p < .01$ ）が認められ，2015年度以降，基礎学力は緩やかに上昇している（表4）。

数学では，2015年度が平均得点54.04，標準偏差20.96，2016年度は平均得点58.95，標準偏差27.63，2017年度は平均得点60.05，標準偏差22.85となった。2017年度は2016年度と比較して平均得点が1.10点上昇しているが，t検定を行ったところ有意差は認められなかった（表5）。

表3 プレテスト得点の経年比較（国語）

| 国語 | | | |
|----------------|-------|----------------|-------|
| 2015年度 (N:732) | | 2016年度 (N:858) | |
| \bar{x} | SD | \bar{x} | SD |
| 58.78 | 15.36 | 61.84 | 15.53 |
| 2017年度 (N:844) | | | |
| \bar{x} | SD | | |
| <u>69.38</u> | 14.19 | | |

2016:2017 t値 -10.46**

** $p < .01$

74>, ≥65) と, LTrf および MTrf タイプの割合が, 国

表 4 プレテスト得点の経年比較 (英語)

| 英語 | | | |
|-----------------------|-------|-----------------|-------|
| 2015 年度 (N:812) | | 2016 年度 (N:872) | |
| \bar{x} | SD | \bar{x} | SD |
| 42.34 | 29.23 | 42.21 | 13.97 |
| 2017 年度 (N:849) | | | |
| \bar{x} | SD | | |
| 44.34 | 14.87 | | |
| 2016:2017 t 値 -3.06** | | | |
| ** $p < .01$ | | | |

表 5 プレテスト得点の経年比較 (数学)

| 数学 | | | |
|--------------------|-------|-----------------|-------|
| 2015 年度 (N:679) | | 2016 年度 (N:775) | |
| \bar{x} | SD | \bar{x} | SD |
| 54.04 | 20.96 | 58.95 | 27.63 |
| 2017 年度 (N:763) | | | |
| \bar{x} | SD | | |
| 60.05 | 22.85 | | |
| 2016:2017 t 値 -.89 | | | |

3. e ラーニングの学習履歴を用いた学習傾向の分析

入学前教育の課題として課した e ラーニングの学習傾向を, 探索的に分類した学習タイプ別に検討する(表 6)。2015 年度では, AO (12 月), スポーツ・文化活動特別推薦入試で非習慣 (N) タイプが最も高くなっているが, それ以外の区分では長期完了 (LTrf) タイプの割合が最も高くなっている (明星高校特別では, MTrf と同率)。2016 年度では, スポーツ・文化活動特別推薦で非習慣 (N) タイプが最も高くなっているが, それ以外の区分では長期完了 (LTrf) タイプの割合が最も高くなっている (表 7)。

プレテストの得点と学習タイプとの関連について, 2015 年度では, 成績上位層 (国語: ≥90, 英語: ≥74) は, ほとんど (国語 77.8%, 英語: 88.2%) が, LTrf および MTrf タイプのいずれかの学習タイプに分類される。しかし, 得点が低くなる (国語 90>, ≥80, 英語

表 6 学習タイプの分類

| 学習タイプ | e ラーニング 完了率 | ログイン回数 (Trf) |
|--------------------|-----------------|---------------------------------|
| 長期完了 (LTrf) | 100.0% | 30 ≤ |
| 中期完了 (MTrf) | 100.0 | <30 |
| 短期終了未達 成 (STrf) | <100.0 | 前後半共 10 ≤ Trf < 30 |
| 前半集中未達 成 (FHaf) | <100.0 | 前半 10 ≤ Trf < 30 後半 Trf < 10 |
| 後半集中未達 成 (LHaf) | <100.0 | 前半 Trf < 10 後半 10 ≤ Trf < 30 |
| 非習慣 (N) | <100.0 | 前半 Trf < 10 後半 10 < Trf |
| 無学習 (NS) | ログイン (学習) していない | |

語 (64.9%) で 12.9 ポイント, 英語 (63.6%) で 24.6 ポイント低下する (表 8)。2016 年度では, 成績上位層 (国語: ≥90, 英語: ≥74) は, ほとんど (国語 82.8%, 英語: 46.1%) が, LTrf および MTrf タイプのいずれかの学習タイプに分類される。しかし, 得点が低くなる (国語 90>, ≥80, 英語 74>, ≥65) と, LTrf および MTrf タイプの割合が, 国語 (75.5%) で 7.3 ポイント低下したが, 英語 (70.4%) では 24.3 ポイント上昇した (表 9)。

4. 考察

AO・推薦入試合格者の入学前段階における学力 (基礎的・基本的な「知識や技能」, 文部科学省) は, 高等学校から提出される資料でしか把握することができない。また, 高等学校により資料の信頼性が異なることから, これらの資料によって生徒の学力を入学前段階において, 同一尺度上で把握し比較することは困難である¹⁰⁾。しかし, プレテストを受験させることにより, 入学前段階においていち早く学力を把握することができ, 学力に応じた入学前教育を提供することができる

表7 入試区別の学習タイプ

| 入試区分 | 人数 (N) | LTrf | MTrf | STrf | FHaf | LHaf | N | NS |
|-------------------|-----------|-----------------|-------------|--------|---------|--------|-------------|--------|
| AO9・10月 | | | | | | | | |
| 2015 | 365 | <u>35.9</u> (%) | 19.2(%) | 9.0(%) | 10.1(%) | 3.8(%) | 18.4(%) | 3.6(%) |
| 2016 | 397 | <u>48.9</u> | 25.4 | 6.5 | 2.3 | 4.8 | 10.3 | 1.8 |
| 2017 | 385 | <u>51.4</u> | 27.0 | 4.7 | 2.1 | 8.1 | 6.8 | 0.1 |
| AO12月 | | | | | | | | |
| 2015 | 95 | 16.8 | 18.9 | 5.3 | 6.3 | 11.6 | <u>34.7</u> | 6.3 |
| 2016 | 76 | <u>36.8</u> | 23.7 | 6.6 | 2.6 | 9.2 | 18.4 | 2.6 |
| (2018年度は11月) 2017 | 63 | <u>40.6</u> | 25.0 | 7.8 | 1.6 | 7.8 | 15.6 | — |
| 公募制 | | | | | | | | |
| 2015 | 67 | <u>35.8</u> | 19.4 | 7.5 | 7.5 | 11.9 | 13.4 | 4.5 |
| 2016 | 60 | <u>55.0</u> | 28.3 | 6.7 | 1.7 | 5.0 | 3.3 | — |
| 2017 | 36 | <u>63.9</u> | 33.3 | — | — | 2.8 | — | — |
| 指定校 | | | | | | | | |
| 2015 | 388 | <u>34.8</u> | 20.9 | 7.7 | 3.4 | 9.8 | 20.4 | 3.1 |
| 2016 | 366 | <u>47.3</u> | 29.5 | 6.3 | 2.5 | 4.9 | 8.7 | 0.8 |
| 2017 | 399 | 42.1 | <u>44.4</u> | 3.3 | 2.5 | 4.8 | 5.0 | 0.3 |
| 卒業生子女 | | | | | | | | |
| 2015 | 6 | <u>66.7</u> | — | 16.7 | — | 16.7 | — | — |
| 2016 | 3 | <u>100.0</u> | — | — | — | — | — | — |
| 2017 | 9 | <u>66.7</u> | — | — | 11.1 | 22.2 | — | — |
| スポーツ・文化 | | | | | | | | |
| 2015 | 38 | 10.5 | 13.2 | 18.4 | 2.6 | 2.6 | <u>34.2</u> | 18.4 |
| 2016 | 44 | 15.9 | 20.5 | 11.4 | 9.1 | 9.1 | <u>31.8</u> | 2.3 |
| 2017 | 45 | 15.6 | 40.0 | 8.9 | 2.2 | 11.1 | <u>22.2</u> | — |
| 明星高校 | | | | | | | | |
| 2015 | 23 | <u>34.8</u> | <u>34.8</u> | 4.3 | — | 8.7 | 17.4 | — |
| 2016 | 22 | <u>45.5</u> | 13.6 | 9.1 | 9.1 | 4.5 | 13.6 | 4.5 |
| 2017 | 20 | 35.0 | <u>50.0</u> | — | — | — | 5.0 | 10.0 |
| 全 体 | | | | | | | | |
| 2015 | 982 | <u>33.6</u> | 18.1 | 9.8 | 4.3 | 9.3 | 19.8 | 5.1 |
| 2016 | 968 | <u>46.3</u> | 26.4 | 6.7 | 2.8 | 5.4 | 11.0 | 1.4 |
| 2017 | 958 | <u>45.4</u> | 35.3 | 4.2 | 1.1 | 6.6 | 7.0 | 0.4 |

メリットがある。また、eラーニングの学習履歴から、プレテスト成績上位者の多くが、LTrf または MTrf タイプに分類されることがわかった。

また、プレテストとの得点が高いことと、eラーニングの学習期間を通して偏ることなく学習を継続ことに関連があることが示唆された⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾。

表 8 学習癖とテスト得点の関連 (2015 年度)

| | プレースメントテスト得点 | | | |
|-----------|---------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | 国語 | | 英語 | |
| 学習 タイプ | ≥90 | 90>, ≥ 80 | ≥74 | 74>, ≥ 65 |
| | N:27 | N:37 | N:17 | N:33 |
| LTrf | 37.0 ^(%) | <u>46.0^(%)</u> | <u>52.9^(%)</u> | <u>45.4^(%)</u> |
| MTrf | <u>40.8</u> | 18.9 | 35.3 | 18.2 |
| STrf | 7.4 | 8.1 | — | 9.1 |
| FHaf | 11.1 | — | 5.9 | — |
| LHaf | 3.7 | 16.2 | 5.9 | 12.1 |
| N | — | 8.1 | — | 15.2 |
| NS | — | 2.7 | — | — |
| Total | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |

表 9 学習癖とテスト得点の関連 (2016 年度)

| | プレースメントテスト得点 | | | |
|------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | 国語 | | 英語 | |
| 学習 タイプ | ≥90 | 90>, ≥ 80 | ≥74 | 74>, ≥ 65 |
| | N:35 | N:212 | N:13 | N:44 |
| LTrf | <u>57.1^(%)</u> | <u>50.5^(%)</u> | <u>38.4^(%)</u> | <u>56.8^(%)</u> |
| MTrf | 25.7 | 25.0 | 7.7 | 13.6 |
| STrf | 2.9 | 3.8 | 7.7 | 6.8 |
| FHaf | — | 2.8 | — | 2.3 |
| LHaf | 8.6 | 6.1 | 23.1 | 9.1 |
| N | 5.7 | 11.8 | 23.1 | 11.4 |
| NS | — | — | — | — |
| Total 1 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |

参 考 文 献

- (1) 菅原良: “AO・推薦入試合格者の学力推移と学習傾向～入学前教育におけるプレースメントテスト及び修了テストの統計分析から～”, 明星－明星大学明星教育センター研究紀要, 第7号, pp.49-56 (2017)
- (2) 菅原良, 榎本達彦, 落合一泰, 太田昌宏, 鈴木浩子, 高橋南海子, 平塚大輔, 南愛, 百木英明, 新村聡, 御厨ま

り子, 尼岡利崇, 菊地滋夫: “AO・推薦入試合格者の学習習慣の改善と学力向上を目的とした e ラーニングの活用”, 日本教育工学会研究会報告集, 17(1): 403-406 (2017)

- (3) 菅原良: “e ラーニングにおける学びと学習タイプの適性処遇交互作用に関する考察～e ラーニングはなぜ学ぶ行為を満足させることができないのかへの言承～”, 国際 ICT 利用研究学会論文誌, Vol.1, No.1, pp.16-22 (2017)
- (4) 菅原良: “AO・推薦入試合格者の学力推移と学習傾向～入学前教育におけるプレースメントテスト及び修了テストの時系列データの統計分析から～”, 明星－明星大学明星教育センター研究紀要, 第8号, pp.17-25 (2018)

社会ネットワーク分析を用いて相互評価を 学習状況に応じて支援するシステムの開発と評価

間瀬 皓介*¹, 森本 康彦*¹, 宮寺 庸造*¹

*¹ 東京学芸大学

Development and Evaluation of an Intelligent System for Supporting Peer Assessment by Using Social Network Analysis

Kosuke Mabuchi*¹, Yasuhiko Morimoto *¹, Yozo Miyadera *¹

*¹ Tokyo Gakugei University

近年、社会構成主義に基づく学習・評価が求められている。このような学習として、相互評価が注目されており、学習動機を高めるといった効果が期待されている。しかし、相互評価において、たとえば、相互評価の対象が偏っているといった状況があり、相互評価を促進させるための支援が求められる。そこで、本研究では、相互評価を促進することを目的とする。具体的には、社会ネットワーク分析を用いた学習者の活動状況に応じた支援方法を提案した。そして、その方法に基づき相互評価を支援するシステムを開発し、その評価実験を行った。評価実験の結果、本システムを利用することで、相互評価を活性化できる可能性が示唆された。

キーワード: 相互評価, 相互評価支援システム, ラーニング・アナリティクス, 社会ネットワーク分析

1. はじめに

近年、社会構成主義に基づく学習・評価が求められている。このような学習・評価として、学習者同士で相互に学習プロセスや学習成果などについて評価しあう相互評価が注目されており、相互評価には、次のような効果が期待される⁽¹⁾。

- ・学習者をより自律的にさせ、学習動機を高める。
- ・他者からの意見は、単なる点数以上に学習者の内省を促進する。
- ・他者を評価することにより、他者の成果から学んだり、自己の内省を促したりすることができる。
- ・経歴が似た学習者同士からのフィードバックは理解しやすい。

このことから、相互評価は、学習を促進させるために重要な役割を担っていると考えられる。

しかし、相互評価を行う際、自分から行っていない状況や、特定の学習者に偏ってしまう状況があり、相

互評価が活性化されない傾向などがみられる。そのため、相互評価が促進されるように、学習者の学習状況を把握して、適切に支援することが必要であるが、教員などの支援者が、学習者ひとりひとりの学習状況を把握し、その状況に応じた適切な支援を行うことは困難が伴う。

相互評価を支援している研究として、たとえば、藤原らは、評価する相手を合理的に選択し、相互評価を容易にできるシステムを開発することで、より公平に相互評価を行えるように支援している⁽²⁾。金子らは、授業者の多様な授業方針に応じて、柔軟に対応可能なシステムを開発し、授業において、課題に対して評価することや、フィードバックを即時に行うことを支援している⁽³⁾。倉田らは、評価者がドラッグ&ドロップで簡単に返る機能を実装したシステムを開発し、モバイル端末によるビデオプレゼンテーションにおいて、簡単に相互評価できるように支援している⁽⁴⁾。

このように、評価を簡易的に行うための支援など、

相互評価の促進に向けた支援は行われてきているが、相互評価における学習状況に着目して、その状況に応じて支援している研究や事例は稀である。

一方、近年、学習者のあらゆる学びの記録（学習記録データ）を蓄積、分析して学習支援に生かす取組として、ラーニング・アナリティクス（以下、LA）が注目されている。LAとは、「学習状況を把握し最適化させるために、学習者とそれを取りまく文脈に関わるデータを測定、収集、分析、報告する方法」であり⁽⁶⁾、LAを活用して、学習状況を適切な形で学習者に可視化することで、学習者の学びを支援することなどが可能になる⁽⁶⁾。

以上より、LAを活用して、相互評価における学習者の学習状況を、学習者に上手く可視化することで、相互評価を促進することができるようになると考えた。

そこで、本研究では、相互評価を促進することを目的とする。具体的には、社会ネットワーク分析を用いた学習者の活動状況に応じた支援方法を提案し、その方法に基づき相互評価を支援するシステムを開発した。そして、その評価実験を行った⁽⁷⁾。

本論文では、本システムが相互評価に与えた効果について検証する。

2. 研究のアプローチ

本研究の目的を達成するための要件として、以下の2点を満たすことが求められる。

要件①：相互評価において、学習者ひとりひとりに対し、学習者の活動状況に応じて適切な支援を行うことができる。

要件②：学習者に応じた支援が行われることで、相互評価を活性化することができる。

上記の要件を満たすために、組織内のコミュニケーションなどの様々な関係構造を定量的に評価する手法である社会ネットワーク分析⁽⁸⁾に着目する。社会ネットワーク分析を活用することで、誰が誰にコミュニケーションを行ったかを示すログデータから、学習者の活動状況などを把握することが可能になる⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾。

そこで、本研究では、誰が誰にどのくらい相互評価を行ったかの関係を、相互評価の回数を重みとするネットワーク構造として捉え、社会ネットワーク分析に

よって分析することで、活動状況を測定する。そして、その測定結果から、支援が必要な状況を特定し、適切な支援を自動的に行うことを目指す。これにより、学習者が相互評価を行う際、その状況に応じた支援を行うことができ、学習者は、積極的に相互評価を行うようになると考えられ、要件①、②の達成が期待される。

3. 社会ネットワーク分析を用いた学習者個人に応じた支援方法の提案

3.1 支援が必要な学習者の活動状況の分類

相互評価において学習者の活動状況は、それぞれ異なると考えられる。そのため、過去のA大学における教育のICT活用に関する授業における相互評価活動3件から支援が必要な学習者の活動状況を抽出し、分類した。その結果、以下の活動状況が明らかになった。

状況1) 相互評価活動において孤立している状況
状況2) 相互評価を極端に行っていない状況
状況3) 相互評価が特定の学習者やグループに偏っている状況

状況4) 相互評価を極端に受けていない状況

これらの状況のうち、状況4)については、相互評価における偏りが解消され、相互評価が活発に行われることで、改善されると考えたため、本研究では、状況1)から状況3)を自動的に特定し、その状況に適した支援を行うことを目指す。

3.2 相互評価の活動状況を把握するための社会ネットワーク分析における評価指標の検討

本研究では、一般的に、社会ネットワーク分析で用いられる指標のうち、3.1の状況1)から状況3)を特定するため、相互評価がどのくらい行われているかを把握することができると考えられる「次数中心性」、相互評価が特定の学習者やグループへ偏っているかを把握することができると考えられる「媒介中心性」に着目した。また、相互評価において、全体的な状況や学習者間の関係性を把握するため、学習グループの構成状況を把握することができると考えられる「凝集性」に着目することにした(表1)。

3.3 学習者個人に応じた支援方法の提案

3.2で決定した指標の閾値や条件を暫定的に設け、

表1 相互評価の活動状況を把握するための指標

| 指標 | | 活動状況 |
|-----------|-----|--|
| 次数 中心性 | 入次数 | ピア・アセスメントを多くされた学習者、あまりされなかった学習者を抽出することができる |
| | 出次数 | ピア・アセスメントを多く行っている学習者、あまり行っていない学習者を抽出することができる |
| 媒介中心性 | | 複数のグループに対してピア・アセスメントを行っている、されている学習者または、行っていない、されていない学習者を抽出することができる |
| 凝集性 | | ピア・アセスメントの学習コミュニティを抽出することができる |

表2 学習者個人に応じた支援方法

| 支援が必要な学習者の状況 | 指標とその閾値および条件 | 支援 |
|------------------------|---------------------|--|
| 相互評価活動において、孤立している | 入次数 = 0 かつ 出次数 = 0 | ① 相互評価を行うように促す |
| 相互評価を極端に行っていない | 出次数 < 出次数の平均値/2 | ② 凝集性に基づき学習グループ内のメンバーに対して、相互評価を行うように促す |
| 相互評価が特定の学習者、グループに偏っている | 媒介中心性 < 媒介中心性の平均値/2 | ③ 凝集性に基づき他の学習グループ内の学習者へ相互評価を行うように促す |

3.1 で明らかにした支援が必要な学習者を特定し、その状況に適した支援の方法について提案した。具体的には、「支援が必要な学習者」を、どの「社会ネットワーク分析の指標」で、どの「閾値や条件」によって特定し、特定した「学習者の状況」に応じた適切な「支援」は何かを軸に、検討、対応づけを行った(表2)。ここで、提案した支援方法において、支援が必要な学習者を特定する条件が重複していた場合、支援①から順に、優先的に提供される。

4. 支援方法のシミュレーション

4.1 シミュレーションの概要

3章で提案した支援方法の有効性を明らかにするため、実践を通して、手作業により、支援方法のシミュレーションを行った。実践は、A大学における「授業におけるICT活用」の講義で行い、対象は、その受講者29名とした。

本実践では、支援が提供される順番を踏まえ、支援①の実践(実践1)、支援②の実践(実践2)、支援③の実践(実践3)の順に行った。以下に、支援方法のシミュレーションの手順を示す。

- 1) 学習者同士で自由に相互評価を行ってもらう。
 - 2) Rのパッケージigraphを用いて、社会ネットワーク分析を用いて、表1の各指標の値の算出を行う。
 - 3) 2)で算出された値から表2の方法に基づき、支援が必要な学習者を特定し、その学習者の状況に応じたメッセージを支援として提供する。なお、このメッセージは、eメールで提供する。
- 実践1に関して、学習者が自由に相互評価を行った

後、算出した各指標の値に着目すると、入次数が0かつ出次数が0の学習者が29人中2名確認された(表3)。したがって、表2の方法に基づき、「相互評価を行ってはどうですか」という内容のメッセージを支援①として提供した。提供後、期間をおき、算出した各指標の値を表4に示す。

実践2に関して、実践1の後、算出した各指標の値に着目すると、出次数が平均値の1/2未満(平均値 = 3.66)の学習者が29人中4名確認された(表5)。したがって、表2の方法に基づき、「同じグループや自分が相互を受けた相手に、相互評価してみてもどうですか」という内容のメッセージを支援②として提供した。提供後、期間をおき、算出した各指標の値を、表6に示す。

実践3に関して実践2の後、算出した各指標の値に着目すると、媒介中心性が平均値の1/2未満(平均値 = 8.76)の学習者が29人中21名確認された。表7(一部抜粋)に各指標の値を示す。したがって、表2の方法に基づき、「他の学習グループに所属する学習者相互評価をしてみてもどうですか」という内容のメッセージを支援③として提供した。提供後、期間をおき、算出した各指標の値を、表8(一部抜粋)に示す。

4.2 結果と考察

実践1について、支援①の提供前(表3)と提供後(表4)を比較すると、支援①を提供した2人とも、出次数の値の上昇が認められ、相互評価活動における孤立状態が解消された。つまり、支援①が有効に働いたと考えられる。

実践2について、支援②の提供前(表5)と提供後(表6)を比較すると、支援②を提供した4人とも、出次数の値の上昇が認められ、以前より相互評価が活発になった。つまり、支援②が有効に働いたと考えられる。

実践3について、支援③の提供前(表7)と提供後(表8)を比較すると、支援③を提供した21人中16名の媒介中心性の値の上昇が認められ、相互評価の偏りが解消された。つまり、支援③が有効に働いたと考えられる。

以上の結果から、相互評価において、学習者のひとりひとりの活動状況に応じて支援する枠組みが確立で

表 3 支援①提供前の各指標の値

| ID | 入次数 | 出次数 | 媒介中心性 | 凝集性 |
|----|-----|-----|-------|-----|
| 22 | 0 | 0 | 0.00 | 6 |
| 25 | 0 | 0 | 0.00 | 7 |

表 4 支援①提供後の各指標の値

| ID | 入次数 | 出次数 | 媒介中心性 | 凝集性 |
|----|-----|-----|-------|-----|
| 22 | 2 | 2 | 0.00 | 4 |
| 25 | 2 | 1 | 0.00 | 1 |

表 5 支援②提供前の各指標の値

| ID | 入次数 | 出次数 | 媒介中心性 | 凝集性 |
|----|-----|-----|-------|-----|
| 1 | 3 | 1 | 0.00 | 1 |
| 9 | 2 | 0 | 0.00 | 1 |
| 24 | 3 | 1 | 0.00 | 1 |
| 25 | 2 | 1 | 0.00 | 1 |

表 6 支援②提供後の各指標の値

| ID | 入次数 | 出次数 | 媒介中心性 | 凝集性 |
|----|-----|-----|-------|-----|
| 1 | 4 | 2 | 0.00 | 1 |
| 9 | 2 | 1 | 0.00 | 1 |
| 24 | 3 | 3 | 0.00 | 1 |
| 25 | 3 | 2 | 0.00 | 1 |

表 7 支援③提供前の各指標の値 (一部抜粋)

| ID | 入次数 | 出次数 | 媒介中心性 | 凝集性 |
|----|-----|-----|-------|-----|
| 1 | 4 | 2 | 0.00 | 1 |
| 2 | 2 | 2 | 0.00 | 1 |
| 5 | 4 | 5 | 0.00 | 2 |

表 8 支援④提供後の各指標の値 (一部抜粋)

| ID | 入次数 | 出次数 | 媒介中心性 | 凝集性 |
|----|-----|-----|-------|-----|
| 1 | 5 | 2 | 60.83 | 1 |
| 2 | 4 | 2 | 30.37 | 1 |
| 5 | 4 | 6 | 3.73 | 2 |

きたと考えられ、要件①が達成されたと考えられる。

5. 相互評価システムの開発⁽⁷⁾

5.1 開発の概要

本研究では、表 2 の支援方法に基づき、学習状況に応じてメッセージを表示するシステムを Web アプリケーションとして開発した。インターフェースは HTML, CSS, JavaScript, エンジンには Java, 社会ネットワーク分析を行う演算部は R のパッケージ igraph, データベースは MySQL を用いて開発した。

5.2 相互評価システムの機能

開発したシステムの機能について、以下に示す。

機能 1 : 学習記録蓄積機能

学習者は、学習過程で生成された成果物などの学習記録を蓄積することができる。加えて、学習過程において記録された振り返りの記録をコメントとして入力することができる。

機能 2 : 相互評価機能

学習者は、相互評価を行う相手を選択し、選択した相手が機能 1 により蓄積した学習記録を確認しながら、学習プロセスや学習成果に対するコメントをテキスト

として入力できる。また、自分が受けたコメントも確認することができる。ここで、システム上では、どの学習者がどの学習者に対して、どのくらい相互評価を行ったかをログデータとして蓄積する。

機能 3 : 相互評価支援機能

学習者が相互評価の対象を選択する際に、表 2 の方法に基づき支援を行う。具体的には、機能 2 により得られたログデータから、社会ネットワーク分析に基づき各指標の値を算出する。算出された値から、支援が必要な学習者を特定する。次に、特定した学習者の状況に応じた支援として、表 2 の方法に基づくメッセージを学習者に可視化する。加えて、学習者が相互評価における学習者間の関係を俯瞰的に把握できるようにするため、その関係を、ネットワーク図を用いて可視化する。ここで、各頂点は学習者を示し、有向辺は誰が誰に対して相互評価を行ったかを示す (図 1)。

機能 1 から機能 3 により、学習者個人に応じて支援でき、学習者は、相互評価における指針を得て、自ら進んで相互評価を行うようになることが考えられ、要件②の達成が期待される。



図 1 相互評価の支援を行う画面

6. 開発したシステムを用いた評価実験

6.1 評価実験の概要

評価実験は、A 大学の大学生、大学院生 20 名対象に行い、5.2 の機能 3 を用いた場合で事前実験、用いない場合で事後実験を行った。期間は、事前実験を 2018 年 8 月 7 日から 2018 年 8 月 17 日までの 10 日間とし、事後実験を 2018 年 8 月 19 日から 2018 年 8 月 29 日までの 10 日間とした。

実践において、学習者は 1) から 3) を繰り返し行う。

1) 学習者は、レポート課題に取り組み、作成したレ

表 9 質問紙調査の結果

| 観点 | 項目 | 事前 | | 事後 | | t 値 |
|----------|---|------|------|------|------|--------|
| | | M | SD | M | SD | |
| 自律性 | 1. 課題に取り組むとき、その質を高めるところまでやり抜くことは大切だと思う。 | 4.60 | 0.60 | 3.75 | 0.56 | 5.10** |
| | 2. 課題に取り組むとき、自ら進んで取り組むことは大切だと思う。 | 4.55 | 0.51 | 3.90 | 0.91 | 3.32** |
| | 3. 課題に取り組むとき、自分で考えることは大切だと思う。 | 4.20 | 0.62 | 3.95 | 0.69 | 1.31 |
| | 4. 学んだことについて、自ら関連する知識や情報を調べることは大切だと思う。 | 4.50 | 0.51 | 3.70 | 1.03 | 3.39** |
| 振り返り | 5. 自分の考えを深めるために、自分が作成したレポートに対して他人から意見をもらうことは大切だと思う。 | 4.80 | 0.41 | 3.85 | 0.93 | 4.25** |
| | 6. 自分の考えを深めるために、自分が作成したレポートに対して仲の良い友人だけでなく、なるべく多くの人から意見をもらうことは大切だと思う。 | 4.80 | 0.52 | 3.65 | 0.81 | 4.72** |
| | 7. 新たな気づきや発見を得るために、他人が作成したレポートを見ることは大切だと思う。 | 4.65 | 0.49 | 3.60 | 0.94 | 4.97** |
| | 8. 新たな気づきや発見を得るために、仲の良い友人だけでなく、なるべく多くの人が作成したレポートを見ることは大切だと思う。 | 4.65 | 0.59 | 3.70 | 0.87 | 4.50** |
| 他者から学ぶ意識 | 9. 自分が作成したレポートをよりよくするために、他人が書いたレポートを見ることは大切だと思う。 | 4.55 | 0.69 | 3.85 | 0.99 | 3.91** |
| | 10. 自分が作成したレポートをよりよくするために、他人の意見を取り入れることは大切だと思う。 | 4.70 | 0.58 | 3.90 | 0.85 | 4.30** |
| | 11. 自分が作成したレポートをよりよくするために、仲の良い友人だけでなく、なるべく多くの人が書いたレポートを見ることは大切だと思う。 | 4.60 | 0.50 | 3.50 | 0.89 | 5.77** |
| | 12. 自分が作成したレポートをよりよくするために、仲の良い友人だけでなく、なるべく多くの人々の意見を取り入れることは大切だと思う。 | 4.55 | 0.60 | 3.75 | 0.85 | 4.00** |

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

ポートを蓄積する。

- 2) 1)で作成したレポートに対して、学習者同士で相互評価を行う。
- 3) 学習者は、2)で自分が受けた相互評価を参考にし、レポートを改善する。

なお、事前実験においては、2)で相互評価の対象を選択する際に、5.2の機能3により、学習者に応じたメッセージと学習者間における関係図を表示し(図1)、事後実験においては、これらを表示しないこととした。

6.2 評価方法

本システムの有効性を評価するため、相互評価の活動状況の分析と事前・事後で共通の質問紙調査を行う。

相互評価の活動状況の分析では、学習者の相互評価の件数と、相互評価における学習者間の関係を確認・調査した。また、質問紙の質問項目は、学習者が相互評価を行った際の効果を参考に、「主体性・自律性(4項目)」、「振り返り(4項目)」、「他者から学ぶ意識(4項目)」の計12項目を、5件法(5が高い)で作成した。加えて、事後の質問紙調査において、「実践を通して感じたこと」について自由記述での回答を求めた。

6.3 結果

6.3.1 相互評価の活動状況

事前実験後と事後実験後の相互評価の件数に着目すると、事前実験では、87件、事後実験では、41件が記録され、相互評価がより多く行われていることが確認された。学習者間の関係について比較すると、事前実験において、相互評価活動において、一度も相互評価

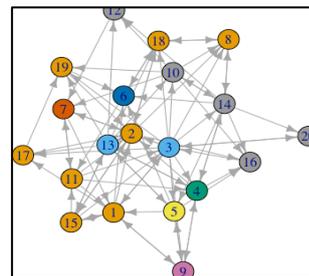


図2 事前実験後

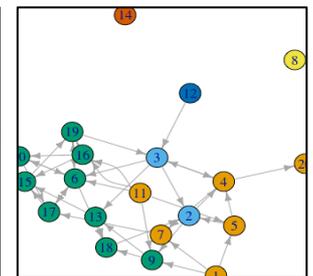


図3 事後実験後

を行っていない/されていない学習者がいない状況、偏りが少ない状況が確認された。図2、図3に事前と事後における学習者の関係図を示す。

6.3.2 質問紙調査

事前、事後で共通の質問紙調査の結果を、t検定(対応あり)で分析した結果、12項目中11項目で有意差が認められ、全ての項目で事後よりも事前の方が、平均値が高いことが明らかになった(表9)。

「主体性・自律性」に関して、4項目中3項目で有意差が認められた。このことから、本システムを利用することで、課題に取り組む際、その質を高めるところまでやり抜くようになる、自ら進んで取り組むなど、学習者が学習に主体的に取り組む可能性が示唆された。

「振り返り」に関して、全項目で有意差が認められた。このことから、本システムを利用することで、自らの考えを深めるなど、学習者の内省を促す可能性が示唆された。

「他者から学ぶ意識」に関して、全項目で有意差が認められた。このことから、本システムを利用することで、学習者が他者の成果から学ぶ、他者の意見を取り入れるようになど、より他者と学び合う可能性が示唆された。

7. 考察

相互評価の活動状況の分析と質問紙調査の結果と、事後において回答が得られた自由記述を踏まえ、本システムが相互評価に与えた効果を検証する。

質問紙調査で得られた自由記述において、「メッセージにより相互評価を行うきっかけになる」、「支援により、相互評価を積極的にしようと思った」、「自分に対して相互評価をした人や、相互評価が多く集まっている人に対しては、自分からも相互評価してみようと言う気持ちになった」などの相互評価をする際のモチベーションに関する記述が得られた。これらの回答は、項目 5($t(19)=4.25, p<.01$), 7($t(19)=4.97, p<.01$), 9($t(19)=3.91, p<.05$), 10($t(19)=4.30, p<.01$)で、事後よりも事前の方が、平均値が有意に高いことを裏付けている。さらに、これらの質問紙調査と自由記述の結果は、7.2の事前実験の相互評価活動において、より多く相互評価が行われている状況や、一度も相互評価を行っていない状況が確認できたことを支持している。

また、質問紙調査で得られた自由記述において、「支援あることで、誰に相互評価すべき考えやすかった」、「相互評価が来てない人を相手に選択するなど、相互評価の相手を選択するときに役立った」、「自分と関係あると判断された人に相互評価しようと思った」などの、相互評価の対象の選択に関する記述が得られた。これらの回答は、項目 6($t(19)=4.72, p<.01$), 8($t(19)=4.50, p<.01$), 11($t(19)=5.77, p<.01$), 12($t(19)=4.00, p<.01$)で、事後よりも事前の方が、平均値が有意に高いことを裏付けている。さらに、これらの質問紙調査と自由記述の結果は、7.2の事前実験の相互評価活動において、偏りが少ない状況や、相互評価を受けていない学習者がいない状況が確認されたことを支持している。

以上より、5.2の機能3により支援が行われることで、相互評価が活性化されたことがうかがえ、要件②が達成されたと考えられる。

8. おわりに

本研究では、学習者の相互評価を促進させることを目的に、社会ネットワーク分析を活用して学習者の活動状況に応じて相互評価を支援するシステムを開発し、

評価実験を行った。その結果、本システムを利用することで、相互評価を支援できる可能性が示唆された。

今後は、開発したシステムを実際の授業等で継続的に実践し、本システムの妥当性や教育的効果、及び、本システムの活用方法について検証していきたい。

謝辞

本研究の一部は、科研費(17K01074), (15H01772)の助成を受けたものである。

参考文献

- (1) 植野真臣: “知識社会における e ラーニング”, 培風館, pp.140 (2007)
- (2) 藤原康宏, 大西仁, 加藤浩: “公平な相互評価のための評価支援システムの開発と評価-学習成果物を相互評価する場合に評価者の選択で生じる「お互い様効果」-”, 日本教育工学会論文誌, Vol31(2), pp.125-134 (2007)
- (3) 金子大輔, 登リ口泰久: “相互評価やグループ学習を支援するシステムの開発と基礎的情報教育での利用”, Vol31(Suppl.), pp.33-36, (2007)
- (4) 倉田伸, 藤木卓, 室田真男: “携帯型モバイル端末によるビデオプレゼンテーション相互評価支援システムの開発”, 日本教育工学会論文誌, Vol41(Suppl.), pp.201-204 (2017)
- (5) About the 1st International Conference on Learning Analytics and Knowledge. <https://tekri.athabasca.ca/analytics/> (2019年1月30日確認)。
- (6) 森本康彦: “学習履歴/学習記録を活用した教育の今とこれから-期待される「eポートフォリオ/学習記録データ」の活用とは-”, 学習情報研究, Vol. 5, pp.38-43 (2018)
- (7) 間瀬皓介, 森本康彦, 宮寺庸造: “社会ネットワーク分析に基づくピア・アセスメント活動の評価”, 情報処理学会研究報告, Vol26, No13 (2018)
- (8) International Network for Social Network Analysis. <https://www.insna.org/> (2019年1月30日確認)
- (9) Rosen, D., and Miagakikh, V., and Suthers, D.: “Social and semantic network analysis of chat logs ” Proceeding of the 1st International Confererce on Learning Analytics and Knowledge (2011)
- (10) Chris, T., and Nobuko, F., and Ravi, K.: “Generating Predictive Models of Learner Community Dynamics” Proceedings of the 1st International Conference on Learning Analytics and Knowledge (2011)

音読時間とポーズ時間の特徴に基づく 読みの得意・不得意児童の音読流暢性評価

丸山 裕也^{*1}, 香山 瑞恵^{*2}

^{*1} 信州大学大学院総合理工学研究科, ^{*2} 信州大学工学部

Oral Reading Fluency Assessment for Pupils Good/Not-good at Reading Aloud based on Poses & Aloud Periods related Metrics

Graduate School of Science and Technology, Shinshu University^{*1},
Faculty of Engineering, Shinshu University^{*2}

本研究の目的は、読み困難児童を対象とする音読の流暢性自動評価ツールの開発である。これまでに、ポーズ特徴量に着目した音読の流暢性評価指標を提案してきた。本稿では、これらの指標を用いた読み評価方法を示し、この評価方法による読みの得意・不得意児童の音読データ評価の結果を示す。また、評価指標の自動算出機構の設計と、ヒートマップによる音読評価インタフェース設計の成果を示す。

キーワード: 音読, 流暢性, 音読時間, ポーズ, 評価指標, 可視化, ヒートマップ

1. はじめに

学校教育においては、読み書き困難児童に対する認知度が低く、特別な支援が受けられない現状が見受けられる⁽¹⁾。家庭でも保護者は経験や専門知識が乏しく、児童の音読を適切に評価することは困難である。しかし、児童による反復的な読み書き練習に対して他者が流暢性を評価・アセスメントすることで学習効率が高められることが示唆されている⁽²⁾。

本研究では、“自然な読み”に着目し流暢性評価を試みている。速さや正確さといった単一項目による評価ではなく、聞き手の印象を反映させた複数指標での評価方法の開発を目指す。これまでに、文章音読に挿入されたポーズ情報を利用した多面的評価指標⁽³⁾を提案してきた。そして、これらの評価指標により読みの流暢性を自動的に評価するツール⁽⁴⁾を開発した。この流暢性評価ツールを用いて外国にルーツを持つ児童の音読を評価した結果、滞在年数の長短の違いによる統計的有意差が示された⁽⁵⁾。また、提案指標に基づくヒートマップ式音読結果の可視化グラフを教育現場にフィードバックし、その効果について担当教員に対してヒヤリングを行った。その結果に基づき、ヒートマッ

プの色構成を改良することとした。

本稿では、まず、評価指標の算出からヒートマップ表示までの一連の処理を行える web アプリケーションの設計の成果を示す。そして、提案指標による音読評価方法を整理する。児童の音読に対して音読時間とポーズ時間とポーズの位置種類の特徴を考慮した評価方法を示し、この方法を用いた読みの得意・不得意児童の音読データに対する評価結果を示す。

2. 流暢性評価

2.1 流暢性の評価指標

本研究では、流暢性を「適切な間を取りながら、すらすら読めて言い淀みが無く逐次読みではない様子」と定義する。本研究で読みの流暢性評価指標としている特徴量は以下の5つである⁽³⁾。

- (1) ポーズの平均時間
- (2) 1 モーラあたりの音読時間
- (3) 音読中のポーズ回数
- (4) 全音読時間に対するポーズ割合
- (5) ポーズの位置種類

(1)は、音読中に出現したポーズの総和時間をポーズ回数で割った結果である。以降、ポーズ時間と称す。

(2)は、結果文章を単語ごとに分解し、各モーラ数で割った結果である。以降、モーラ時間と称す。(3)は、音読中のポーズ回数である。以降、ポーズ回数と称す。(4)は、音読中に出現したポーズの総和時間を音読所要時間で割った結果である。以降、ポーズ割合と称す。(5)は、ポーズに対して挿入された文章位置の種類である。ポーズの種類は、「句点」「読点」「改行位置」「文節途中」の4種類である。

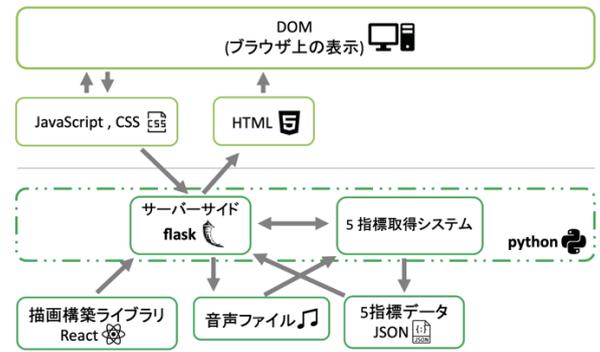


図1 web アプリケーション概要図

2.2 5 指標自動取得ツール

2.1 節で示した音読評価指標を、音読音声より自動取得するツールを作成した⁽⁴⁾。本ツールでは音声認識エンジンとして Google Cloud Speech API(Google 社)⁽⁶⁾ を用いる。Google Cloud Speech API では、ポーズ情報を取得できない。そのため、本ツールではポーズ情報を追加する処理を行っている。評価指標算出のための入力音声は、wav 形式のサンプリングレート 16kHz、ビット数 16bit、チャンネル数 1ch とする。

この自動取得ツールを web アプリケーションとして実装した。開発言語は python である。ここでは、音読音声からヒートマップ表示までを一貫して処理できる。web アプリケーションのフレームワークには、Flask⁽⁷⁾を採用した。web アプリの記述には、JavaScript の描画支援ライブラリ React⁽⁸⁾を利用した。web アプリケーションの概要を図1に示す。ここでの5 指標取得手順を以下に示す。

1. 音読ファイルを選択する
2. 課題文章を選択する
3. 課題文章の書式(横縦書き)を選択する
4. ポーズ区間の音圧閾値の設定をする
5. 5 指標取得し json ファイルとして出力する
6. json ファイルからヒートマップを表示する

2.3 ヒートマップによる音読結果の可視化

2.3.1 これまでに提案した可視化方法

音読の流暢性を評価する指標での解析結果をグラフで示すと、音読に対する読みの傾向は明らかにできるが、児童にとっての困難箇所や困難理由を明らかにすることができない。そのため、困難箇所や困難理由を明らかにするための可視化方法を検討する必要がある。

本研究では、利用者を音読指導教員と想定し、5 指標に基づく評価結果を可視化するインタフェースで、改善が望まれる音読箇所の効率的な発見を支援する。

本研究で提案する音読可視化方法は、モーラ時間とポーズ時間を表示色の特徴に対応付けたヒートマップを採用している。モーラ時間では、相対音読時間をカラーマップと対応させた。赤に近い箇所は音読時間が長く、緑に近い箇所は音読時間が短いことを表している。中間色には橙色、黄色、黄緑がある。相対化としているため、1 音読においては赤色と緑色は少なくとも1箇所ずつ出現する。このカラーマップでは赤から緑の間における色ムラが多いと音読の流暢さに問題が生じている可能性があることを示す。また、ポーズ時間でも、相対時間を明度スケールに対応させていた。黒いほど長いポーズで、白いほど短いポーズとなり、中間色は灰色である。相対化としているため、黒色と白色は少なくとも1箇所ずつ出現する。ポーズが句読点以外で生じた場合に、音読の流暢さに問題が生じている可能性を示す。

2.3.2 問題点

提案ヒートマップに基づいた主観的な音読評価を教育現場に対してフィードバックした。その際、提案フィードバックに対する肯定的な意見として「具体的に児童に対して評価を示せて良い」があった。一方、改善を求める意見として「全体的な色によって音読評価の良し悪しを勘違いする」があった。

現状システムでは、1 音読における最短と最長のモーラを基準に線形的にカラーマップを割り当てている。しかし、この方法だと配色が外れ値に影響を受ける。外れ値の影響を受けると、ヒートマップの表示に用いるカラーマップの範囲が小さくなり全体的に色相が偏ることが確認された。また、教育現場でのヒートマップ読取の際に、「ヒートマップ全体における主色相がオレンジの場合には良い音読で、緑の場合には良くない

3. 読みの得意・不得意の児童の音読解析

読みが得意な児童と不得意な児童の音読データを 2.2 節に示した本ツールを用いて解析した。そして、その結果を 2.4 節で示した提案方法と 2.3 節に示したカラーマップでのヒートマップで評価した。

評価対象の児童は 44 名である。読みの得意な児童は、公立小学校 1~6 学年の通常の学級に在籍する計 26 名である。読みの不得意な児童は、公立小学校 1~6 学年の計 18 名である。「特異的発達障害診断・治療のための実践ガイドライン」に含まれる「特異的読字障害」の「単文音読検査」⁹⁾を実施し、ガイドラインの判定基準に基づき、音読時間の結果が健常児の+2SD 以上を「読みの不得意な児童」とした。解析対象とした音読データは計 86 データである。

3.1 対象音読データと音読データのグループ分け

今回の解析では、児童を読みの得意・不得意及び音読課題の提示方法(ハイライト有り・ハイライト無し)で 4 グループに分けた。各グループの特徴を表 1 に示す。括弧内は音読データ数である。group1 は音読が得意かつハイライト有りの音読群であり、解析対象は 24 データである。group2 は音読が不得意かつハイライト有りの音読群であり、解析対象は 23 データである。group3 は音読が得意かつハイライト無しの音読群であり、解析対象は 19 データである。group4 は音読が不得意かつハイライト無しの音読群であり、解析対象は 20 データである。

表 1 各グループの特徴

| | 得意 | 不得意 |
|---------|-------------|-------------|
| ハイライト有り | group1 (24) | group2 (23) |
| ハイライト無し | group3 (19) | group4 (20) |

音読に用いた課題文章は 2~4 文の 14 種類であり、うち 5 種類が分かち書き文章である。これらの文章はすべて縦書きである。音読文章は DAISY 規格の ePUB としてタブレット端末に表示された。音読に用いた課題文章のモーラ数の平均は 100.57 (最大 136, 最小 76) であり、句読点数の平均は 3.57(最大 12, 最小 4) である。本ツールでは、音読文章の最終文の文末の句点は処理対象とはしない。

児童の音読時間は、得意グループで平均 23.61[s] (最大 39.84[s], 最小 11.83[s]), 不得意グループで平均で

36.01[s] (最大 53.29[s], 最小 13.77[s]) であった。

3.2 解析結果

解析結果を図 3 と図 4 に示す。

3.2.1 ポーズ時間とモーラ時間の特徴

図 3 の横軸はポーズ時間、縦軸はモーラ時間である。全被験者のポーズ平均時間の平均値±1σは 0.58±0.18[s], モーラ時間の平均値±1σは 0.18±0.08 [s] である。

得意グループ(濃灰色のマーク)ではモーラ時間に個人差が小さく、ポーズ時間に個人差が現れている。このグループでは、モーラ時間が平均値以下、かつポーズ平均時間が±1σ区間に 85% (47 データ中 40 データ)の音読が対応している。

不得意グループ(淡灰色のマーク)では、モーラ時間とポーズ時間が共に平均値を超える音読が 46% (39 データ中 18 データ) であった。このグループではポーズ時間とモーラ時間が共に、全体の平均よりも長めになる傾向にある。また、不得意グループでは、ポーズ時間が 0 のデータが 8% (39 データ中 3 データ) 存在している。これらの 3 データはモーラ時間が全被験者平均値+1σを超えているため、ポーズは挿入されないが、1つ1つのモーラを長めに音読をしていることが想定される。

各グループのポーズ時間とモーラ時間の特徴を表 2 に示す。得意グループは、ハイライト有りが無しに比べてモーラ時間の平均時間が短い。不得意グループは、ハイライト有りが無しに比べポーズ時間、モーラ時間共に平均値が小さい。

表 2 ポーズ時間とモーラ時間の特徴

| | ポーズ時間[s] | モーラ時間[s] |
|--------|-----------|-----------|
| group1 | 0.59±0.14 | 0.15±0.05 |
| group2 | 0.56±0.13 | 0.13±0.02 |
| group3 | 0.54±0.25 | 0.22±0.07 |
| group4 | 0.61±0.18 | 0.24±0.09 |

3.2.1 句読点欠如割合と文節途中過剰割合の特徴

図 5 の横軸は句読点欠如割合、縦軸は文節途中過剰割合である。全被験者の句読点欠如割合の平均値±1σは 36.74±24.33[%]である。文節途中過剰割合の平均値±1σは 9.41±9.03[%]である。

得意グループにおいては、理想的な音読に近い範囲、すなわち、句読点欠如割合が平均値-1σ以下で、文節

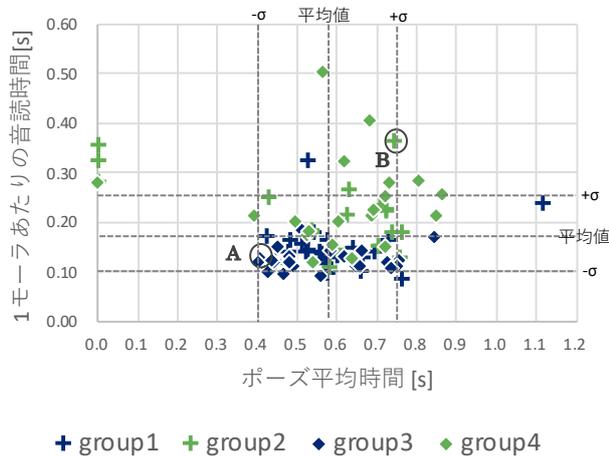


図3 ポーズ時間とモーラ時間

表3 句読点数欠如割合と文節途中過剰割合の特徴

| | 句読点欠如割合[%] | 文節途中過剰割合[%] |
|--------|-------------|-------------|
| group1 | 31.74±19.72 | 6.07±4.69 |
| group2 | 47.6±25.21 | 13.9±11.97 |
| group3 | 27.29±23.42 | 5.11±4.48 |
| group4 | 43.29±23.58 | 14.11±9.44 |

表4 ハイライト条件ごとの検定結果

| | ポーズ時間 | モーラ時間 | 句読点欠如割合 | 文節途中過剰割合 |
|----|----------|----------|---------|----------|
| g1 | p=0.4306 | p < 0.1% | p < 5% | p < 5% |
| g2 | | | | |
| g3 | p=0.1170 | p < 0.1% | p < 5% | p < 0.1% |
| g4 | | | | |

途中過剰割合が平均値以下の範囲に 17% (47 データ中 8 データ) が存在する。この範囲に不得意グループは存在しない。

句読点欠如割合が平均値以上の範囲では、不得意グループは 62% (39 データ中 24 データ) であり、得意グループは 28% (47 データ中 13 データ) である。得意グループは、不得意グループに比べて適切な位置でポーズが挿入できていることを示している。また、文節途中過剰割合が平均値以上の範囲では、不得意グループは 64% (39 データ中 25 データ) であり、得意グループは 17% (47 データ中 8 データ) である。不得意グループは、得意グループに比べて文節途中で多くポーズが挿入されていることを示している。

これらの結果より、得意グループの読みは、「句読点で適切な間を取りながら、すらすら読めて言い淀みが無い」理想的な読みに近いことが示唆される。

各グループの句読点欠如割合と文節途中過剰割合の特徴を表3に示す。ハイライト有無で比較した場合に得意グループは、不得意グループに比べ2項目とも

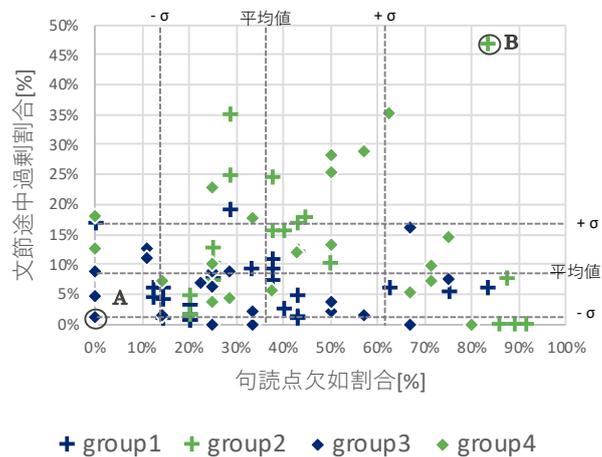


図4 句読点欠如割合と文節途中過剰割合の特徴

に値が小さい。得意グループではハイライト有りの方が2項目ともに値が大きい。不得意グループでは、ハイライト有りの方が文節途中過剰割合の値が小さい。

3.3 考察

全グループでのポーズ時間とモーラ時間、句読点欠如割合と文節途中過剰割合に対する Shapiro-Wilk 検定の結果、全ての指標で正規性が確認できなかった。そこで、対応のないノンパラメトリック検定の手法である Wilcoxon の順位和検定を用いて、4項目の平均値の差を検定した。

ハイライト条件ごとに読みの得意・不得意間 (group1 vs. group2 及び group 3 vs. group4) で検定した結果を表4に示す。ポーズ時間では、有意差が見られなかった。モーラ時間では、ハイライト有り・無しいずれにおいても 0.1%水準での有意差が示された。これらの結果より、モーラ時間に音読の得意・不得意の特徴が顕著に現れることが示唆される。

句読点欠如割合では、ハイライト有り・無しいずれにおいても 5%水準での有意差が示された。文節途中過剰割合では、ハイライト有りにおいて 5%水準で有意差が示され、ハイライト無しにおいては 0.1%水準での有意差が示された。

これらの結果より、今回提案した新しい評価指標である句読点欠如割合と文節途中過剰割合は、読みの得意・不得意を判別可能な指標であることが示唆された。

一方、音読の得意・不得意別のハイライト有り・無しでの比較では、得意グループ (group1 vs. group3) でのモーラ時間のみに 5%水準で有意差が示された。

ソフトウェア開発PBLにおける 開発履歴データによるチーム活動評価手法

松原 克弥^{*1} 伊藤 恵^{*1} 木塚 あゆみ^{*1}

^{*1} 公立はこだて未来大学

A Method of Evaluating the Team Activities in Software Development PBL with Their Code Update History

Katsuya Matsubara^{*1} Kei Ito^{*1} Ayumi Kizuka^{*1}

^{*1} Future University Hakodate

There are many dimensions of student achievement that we need to evaluate in PBL; not only individual learning and final product, but also collaborative process in team activities. Unfortunately, it could be hard to have an enough grasp of the team activities for PBL teachers because the team members may be geographically dispersed, especially in distributed PBL. This paper proposes a method to evaluate the team activity process in software development PBL using Git as a management tool of their outcomes such as program code and then visualizing update history of files in the Git repository.

キーワード : PBL, プロセス評価, Git

1 はじめに

大学等の高等教育機関における実践的な教育の取り組みとして、情報教育の分野を中心に、PBL(Project-Based Learning)を用いた授業の導入が進んでいる⁽⁵⁾。また、2012年度に15の大学が連携して開始された実践的情報教育ネットワーク enPiT⁽¹²⁾では、PBL主催大学の学生に加えて、異なる複数の機関の学生との混成チームを構成して、テレビ会議システム等を通して遠隔から参加するPBL(以下、分散PBL)が実施されている⁽⁶⁾。

新たな授業形式であるPBLでは、個々の学生の学びを評価するこれまでの学習評価に加えて、チーム毎のプロジェクトの最終成果物や成果発表、さらには、プロジェクトの運営や管理といったチーム活動過程を評価することが重要となる。しかし、分散PBLのように、PBL実施教員がメンバ全員の活動状況を目視等で常に確認することが容易ではないため、チームの活動過程に対する評価が難しいという課題がある。

本研究では、ソフトウェア開発を主体としたPBLにおける開発支援ツールの利用に着目し、ツールが管理

するプログラムコードの更新履歴情報からチームの活動状況を把握することを試みる。従来行われてきたチームメンバへのアンケートやヒアリング、報告書や議事録等のドキュメントを介した状況把握では、個々の説明能力やドキュメント記述能力の違いの影響を受ける可能性がある。ツールの利用履歴を用いる本手法では、数値という客観性のあるデータに基づいてチーム活動推定を行うことにより、一貫性のある評価が可能となる。解析対象とするツールは、近年、分散ソフトウェア開発を支援するツールとして導入が進んでいるGitコード管理ツールを用いる。Gitリポジトリの利用履歴を可視化することにより、分散したメンバで活動しているチーム状況の把握を容易にすることを目指す。

2 Gitコード管理ツールを用いた開発プロセス

Gitは、ソースコード・バージョン管理システム(以下、VCS)に分類されるツールである。Subversionのような、1つのリポジトリを共有する集中型VCSと異なる

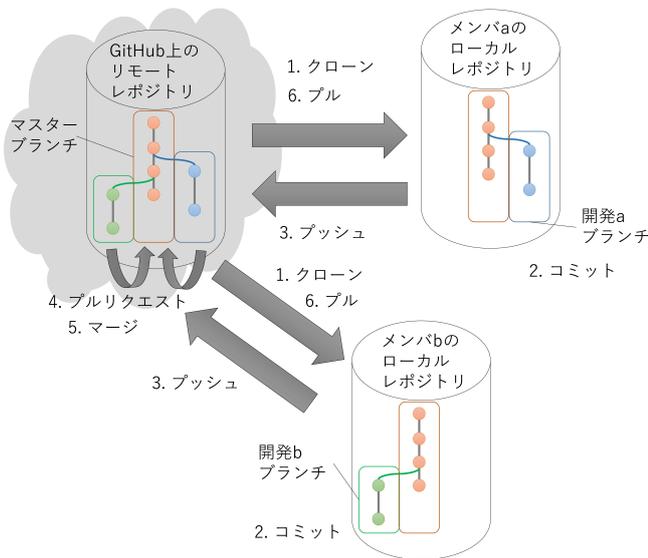


図 1: GitHub Flow に沿った Git リポジトリ運用プロセス

り、Git は、各開発者がソースコードのリポジトリを所有し、リポジトリへの変更内容のみをやりとりするという分散型の VCS となっている⁽⁷⁾。各開発者が独立したリポジトリを用いて開発を進められることや、ソースコードの変更の責任所在とその履歴管理が容易であるという特徴から、多くのオープンソース開発プロジェクトで Git が利用されている。

Git では、コミットと呼ばれる作業でソースコードをリポジトリへ登録する。コミットで登録される情報には、ソースコードの内容に加えて、コミットを行ったユーザの名前、コミット日時、コミット内容を示す文章が含まれる。各開発者により登録されたコミットは、プロジェクトのリポジトリへコミットを組み入れることにより、分散開発されたコードがひとつのソフトウェアとして統合される。リポジトリに登録されたコミットは、その登録順に整列したリスト¹として管理される。一連のコミット列の途中から異なるコミット列を適用するバージョンを作ることができる。この分岐操作をブランチと呼ぶ。リポジトリ作成時に存在するブランチをマスターブランチと呼び、マスターブランチ以外のブランチは、主に開発中の一時的な用途として作成される。ブランチに登録されたコミットは、マージと呼ばれる操作により最終的にマスターブランチへ組み入れる運用が一般的である。

現在では、クラウド上で Git リポジトリを提供する

サービスが登場しており、GitHub²は、Git リポジトリのホスティングサービスとして広く採用されている。GitHub を用いた分散開発では、GitHub Flow と呼ばれる Git 運用プロセスが推奨されている^(1,4)。クラウド上のリポジトリ (以下、リモートリポジトリ) を開発者間で共有し、各開発者の環境にリモートリポジトリの複製 (以下、ローカルリポジトリ) を作成する (図 1 参照)。ローカルリポジトリに作成した開発者別のブランチへ開発成果のコミットを登録していき、適宜、リモートリポジトリへ反映 (プッシュ) する。ビルドや動作可能な状態まで各開発が進んだ適切なタイミングで、プルリクエストと呼ぶ方法によりリモートリポジトリにプッシュした開発者別ブランチからマスターブランチへのマージを要求する。プルリクエストされた開発者別ブランチ上のコミットは、共同開発者間での適切なレビューを経て、マスターブランチへマージされる。マージによりリモートリポジトリのマスターブランチの内容が更新されると、各開発者のローカルリポジトリのマスターブランチへリモートリポジトリの更新を反映 (プル) する。各開発者が開発を継続する場合は、この更新されたマスターブランチの内容を開発者別ブランチへも反映することで、次のプルリクエスト時のマージが円滑に行われるよう備える。以上の Git 運用プロセスに沿った分散開発では、リモートリポジトリのマスターブランチに統合されたコードが最終成果物となる。

3 Git 利用履歴を用いたチーム活動過程の評価メトリクス

本研究では、PBL におけるチーム活動過程を評価する方法として、成果物を管理する Git リポジトリに対するコミット履歴に注目する。プロジェクトの開発過程で行われるコミットの数や頻度、コミットの作成者によって、ソフトウェア開発におけるチーム活動の進捗や役割分担などの状態を評価することを試みる。

3.1 Git 利用履歴の可視化

本手法では、Git リポジトリのコミット履歴の可視化のためのツールとして、GitStats³を用いた。GitStats は、対象リポジトリのマスターブランチに登録されているコミットを多角的な視点で分析して、表やグラフ等を

¹変更したソースコードは、スタックのように、登録の古いものから順番に上に重ねて適用される。

²<https://github.com/>

³<http://gitstats.sourceforge.net/>

表 1: チーム活動過程の評価メトリクスとその推定方法

| 評価メトリクス | 評価内容 | メトリクスデータ | 推定方法 |
|-----------|--|-----------|--|
| 情報共有 | チームメンバー間での開発成果や進捗の共有頻度が適切か | 日別コミット数 | 開発期間中のマスターブランチのコミット数の増加タイミングから、マージが行われた回数や頻度により推定する |
| スケジュール管理 | 期間中の開発ペースに偏りがないか | 日別コミット数 | 開発期間中の日別の総コミット数を比較することで、開発のペースを推定する |
| | 開発作業が適切な時間帯に行われているか | 時間帯別コミット数 | コミット時間から、作業を行っている時間帯を推定する |
| 開発分担とタスク量 | 特定の開発者にタスクが集中していないか、各メンバーが適切な作業量を分担しているか | 著者別コミット数 | 各著者のコミット数を比較して、特定の著者のコミットが多くないか、コミット数の増加割合がメンバー間で差が大きくないかで推定する |

用いた可視化を行うツールである。集計結果を HTML ページとして出力するため、Web ブラウザにより容易に確認することができる。

3.2 GitStats を用いたチーム活動過程の評価メトリクス

本節では、GitStats による Git リポジトリ利用履歴の可視化結果からチーム活動過程を評価するメトリクスについて定義する。表 1 は、本評価手法におけるチーム活動過程の評価メトリクスとその評価のためのデータ、および、そのデータから活動推定方法をまとめている。以下に、Git 利用履歴からの各メトリクスの評価アプローチについて述べる。

3.2.1 情報共有

チーム活動では、各メンバーの状況の共有が重要となる。各メンバーがリポジトリを所有する分散開発では、各メンバーの開発成果を頻繁にマスターブランチへマージするほうが、他メンバーの状況把握につながる。また、マスターブランチへのマージ頻度が低いと、マージの際にメンバー間の変更が衝突する可能性が高まり、マージのオーバーヘッドが増加する。GitHub Flow に沿った開発では、通常、マージ以外にマスターブランチへのコミット登録が行われない（図 1 参照）ことを利用して、マスターブランチにおける著者別のコミット数が増加しているときに、マージが行われている可能性が高いと評価する。マージと推測できるコミット数増加のタイ

ミングと回数を観察することで、チームメンバー間での開発成果や進捗の共有頻度を評価することができる。

3.2.2 スケジュール管理

PBL におけるチーム活動では、プロジェクト遂行能力として、スケジュールの管理が重要である。特に、開講期間の限られている PBL では、授業時間外での活動状況が成果に影響を与える。コミットが行われた時間帯を集計し、休日や深夜にコミット数が多いプロジェクトは、スケジュール管理に問題があるという評価を下すことができる。

3.2.3 開発分担とタスク量

PBL によるチーム開発では、全メンバーへ役割を割り当て、学習機会を等しく与えることが重要となる。特定のメンバーのみで開発の負担が偏っていないことは、PBL におけるチーム活動評価の重要な指標となりうる。コミットを著者別にカウントし、メンバー間で偏りがないかを見ることで、適切な役割分担と平等な貢献度合いを評価することができる。

4 分散 PBL に対する試行

本チーム活動過程評価手法の有効性を評価することを目的として、2016 年 8 月に実施された分散 PBL に対して試行した結果について述べる。対象とした分散

⁵<https://slack.com>

表 2: チーム内のメンバ構成

| | X 大学 | Y 大学 | Z 大学 |
|-------|------|------|------|
| A チーム | 3 名 | 2 名 | |
| C チーム | 3 名 | | 2 名 |
| F チーム | 2 名 | | 2 名 |

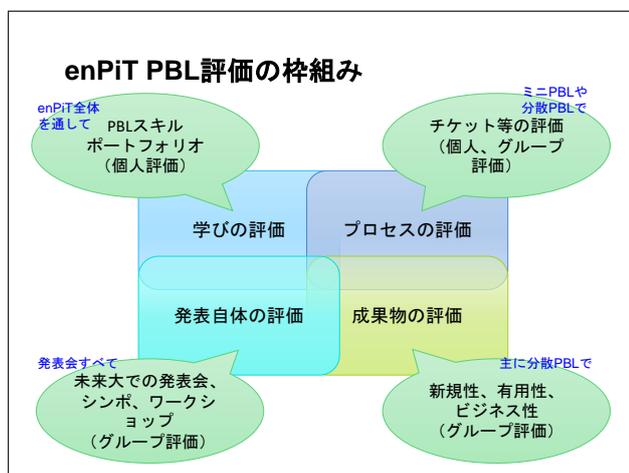


図 2: ガイダンスで使用した PBL 評価に関する資料

PBL は、地理的に分散した 4 つの大学の大学院学生が参加し、共通の課題に対してシステム提案とプロトタイプ実装を行う内容で、5 日間（月曜日から金曜日）の集中形式で行われた。初日（月曜日）に行った 30 分程度のブリーフィングを除いて、月曜日から木曜日までは 9 時から 17 時半頃迄、最終日の金曜日は 9 時から 12 時迄を各チームが共同作業できる時間とした。各日の最後には、チーム毎の進捗報告を行い、PBL 全体への情報共有を図った。最終日（金曜日）午後には、成果に関するプレゼンテーションをチーム毎に行い、PBL 参加学生と教員による相互評価を行った。実在する保育園に対して担当教員が事前にヒアリングした結果を基にして、現在手作業で行っている卒園児向け情報発信の IT 化による支援をテーマとした。卒園児家族向けのハガキ作成と郵送による情報発信作業に対して、IT 技術で支援が可能な部分の検討からその解決法までを各チームで検討し、ソフトウェアとして実装することを課題として取り組んだ。表 2 に示すように、複数の大学の学生が混在する 4-5 名のチームを 6 つ編成した。各チーム活動におけるコミュニケーションは、開発成果の管理と共有を行うための Git リポジトリのクラウドサービス GitHub、文字によるチャットやファイル交換のためのコミュニケーションアプリ Slack⁵、Polycom

2016 ミニPBLスケジュール

| | 1限 | 2限 | 昼 休 み | 3限 | 4限 | 5限 |
|------|-------------------|------|-------------|---|-----------|----|
| 8/22 | ガイダンス、開発計画 | | | 計 画 発 表 、 開 発 作 業 | 計画発表、開発作業 | |
| 8/23 | 朝 会 | 開発作業 | 開発作業、振り返り | | | |
| 8/24 | | 開発作業 | 開発作業、振り返り | | | |
| 8/25 | 予備日（どう使うか各チームで判断） | | | | | |
| 8/26 | 準備 | | | 発表会 | | |

毎日、朝と昼休み後と進捗・振り返り発表時は全員同室に集合
作業時は他の教室使用可（493, 494, 495, 484）

図 3: ガイダンスで使用したスケジュールに関する資料

テレビ会議システムを用いた。

実装に際して、GitHub 上にチーム毎に 1 つのリモトリポジトリを作成し、各自の PC 上のストレージへリモトリポジトリをクローンしたローカルリポジトリを作成した（図 1 参照）。各メンバは、開発したプログラム等の成果物をローカルリポジトリに作成したブランチ上でコミットとして登録していき、適宜、GitHub 上のリモトリポジトリの対応ブランチへプッシュすることでメンバ間での開発内容と進捗の共有を行った。プッシュされたコミットは、GitHub 上でマスターブランチへマージした後、他メンバのローカルリポジトリからプルすることで反映を行う。

本 PBL における評価に際して、初日のガイダンス時、図 2 に示す資料を用いて、PBL の評価にプロセス（チーム活動）の評価があることを説明した。加えて、最終日に実施する相互評価の評価項目（表 3 参照）をあらかじめ示したうえで、成果プレゼンテーションを準備するよう指示した。また、Git および GitHub Flow を説明した書籍⁽⁴⁾とアジャイル開発に関する書籍⁽³⁾を複数冊用意して、事前に各大学拠点へ貸与することで、PBL 開始前にチーム開発に関する自習を行うことを促した。加えて、初日ガイダンス時にも、チーム開発におけるタスク管理や成果物のバージョン管理の重要性を指摘した。開発スケジュールに関しては、初日のガイダンス時に図 3 の資料を用いて、PBL 期間内の開発作業時間帯を示した。PBL 期間中は、定期的に更新した GitStats の統計情報と各チームリポジトリの総コミット数を示すグラフを公開することで、Git リポジトリを観察していることを明示した。

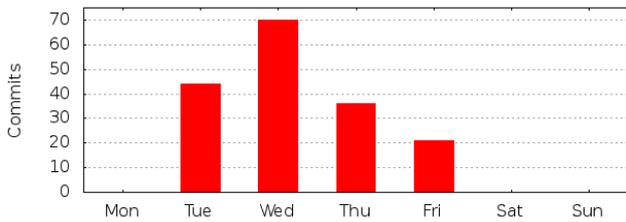


図 4: A チームのマスターブランチにおける日別コミット数

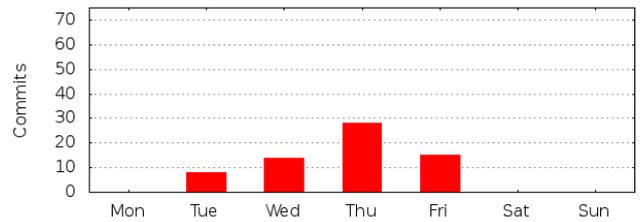


図 6: F チームのマスターブランチにおける日別コミット数

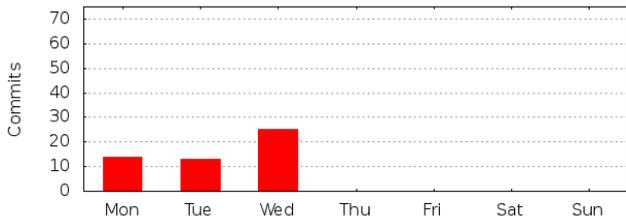


図 5: C チームのマスターブランチにおける日別コミット数

以降では、それぞれのチームについて、コード開発履歴の可視化結果と前章で述べた方式に基づいて推定したチーム活動について述べる。

4.1 マスターブランチのコミット数推移

チーム別のマスターブランチのコミット数の曜日別に集計したグラフを図 4、図 5、図 6 に示す。各グラフの横軸は PBL を実施した期間の各曜日、縦軸が各日におけるコミットの数である。

図 4 のチーム A の結果では、初日にコミットはないものの、2 日目から 40 を超えるコミット数があり、最終日の午前まで積極的なコミットが行われていることが読み取れる。チーム A のマスターブランチにおける総コミット数は 171 で、全チームのなかで最も多い。3 日目のコミット数が最も多く、その翌日からコミット数が減っている。Git リポジトリのコミットメッセージを確認してみると、3 日目から修正に関するコミットの割合が増えていっている。このことから、3 日目から実装から動作確認やデバッグへ作業のフェーズが移行していっていることが読み取れる。

図 5 のチーム C は、初日からコミットがあり、3 日目に最大数のコミットが行われていることから、早期に実装を始めて、3 日目で開発を完了させようとしている意図が読み取れる。

図 6 のチーム F は、他チームと比べて、最終日のコ

| Weekday | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | |
|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|
| Mon | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tue | | | | | | | | | | 1 | 7 | 4 | 2 | 6 | 11 | 9 | 3 | | | | | | | | |
| Wed | | | | | | | | | | 10 | 10 | 10 | 9 | 12 | 1 | 8 | 8 | | | | 1 | 1 | | | |
| Thu | | | | | | | | | | | 2 | 14 | 8 | 3 | 1 | 6 | 2 | | | | | | | | |
| Fri | | | | | | | | | | | 7 | 8 | 6 | | | | | | | | | | | | |
| Sat | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sun | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

図 7: A チームの時間帯別コミット数

ミット数が最も多く、成果プレゼンテーション直前まで開発を行っていたことが推測できる。

4.2 時間帯別のコミット数

図 7、図 8、図 9 は、マスターブランチに登録されたコミットをその登録時間帯に沿って集計した結果である。各マトリックスにおける行は PBL 実施期間の曜日、列がコミットを登録した時間帯を示している。コミットの曜日および時間帯は、各メンバーのリポジトリに登録したときのもので、主リポジトリのマスターブランチへマージする際も変更されない。マス目の数字は、対応する行の曜日と列の時間帯に登録されたコミット数である。空欄のマス目は、コミットの登録がひとつもなかったことを示している。

図 7 の結果から、A チームのコミット時間が 2 日目 (火曜日) から最終日 (金曜日) 午前に渡って平均的に分布していることがわかる。また、すべてのコミットが 9 時から 18 時の間に行われており、与えられた授業時間内でのみ活動で計画的に開発を進めていたことが推測できる。

一方、図 8 の C チームでは、4.1 節のチーム C の活動推測で述べた通り、3 日目までで開発を完了させようと計画しているために、初日から 3 日目まで 18 時以降の授業時間外も開発を継続していたことが読み取れる。

図 9 では、4.1 節で述べた F チームの活動推測を裏付けるように、4 日目の授業時間後から最終日の朝までの

| Weekday | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | |
|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|
| Mon | | | | | | | | | | 1 | | | | | 1 | 4 | 2 | | | | | 5 | 1 | | |
| Tue | | | | | 1 | | | | | 1 | 5 | | | | 2 | 2 | 1 | | | 1 | | | | | |
| Wed | | | | | | | | | | 2 | 2 | | | | 1 | 5 | | | 2 | 2 | 3 | 5 | 2 | 1 | |
| Thu | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fri | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sat | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sun | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

図 8: C チームの時間帯別コミット数

| Weekday | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | |
|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|
| Mon | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tue | | | | | | | | | | | 1 | 2 | | | 1 | 3 | | | | | | | | | 1 |
| Wed | 2 | | | | | 1 | | | | | 1 | | | 2 | 2 | 1 | 1 | 3 | 1 | | | | | | |
| Thu | 2 | 1 | | | | | | | | | | 5 | 1 | | | 1 | | | 2 | 4 | 3 | 2 | 2 | | 5 |
| Fri | 6 | 5 | 1 | 2 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sat | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sun | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

図 9: F チーム時間帯別コミット数

コミット数が一番多い。この時間帯別コミット数の統計から、成果プレゼンテーションに間に合わせるために、最終日前日に徹夜で開発を進めたことが読み取れる。

また、どのチームも、金曜日の 13 時以降、土曜日および日曜日にコミットがない。金曜日の午後に行った成果プレゼンテーションでは、全チームが開発したソフトウェアのデモンストレーションを実施している。このことから、すべてのチームが予定通りの開発を期限までに完了しており、プレゼンテーション開始以降に実装の改善や残実装の着手など行われていないことがわかる。

4.3 著者別コミット数の推移

図 10, 図 11, 図 12 は、マスターブランチに登録されたコミットをその著者別に集計し、その推移を可視化したグラフである。各グラフの横軸が PBL 実施期間の各日、縦軸が累積コミット数を示している。各ラインがコミットの著者を示しており、GitStats が出力する結果に含まれる著者名の記載を削除している。なお、図 10 のグラフの基データでは、開発中に Git の著者設定の誤りを訂正したことにより、チームメンバ数よりもコミット著者数が多くなっているが、グラフ生成前に基データに対して手動で名寄せを行っている。

図 10 の A チームでは、メンバ全員のコミット数が毎日平均的に増えており、均一的な開発分担により、チームメンバ全員が開発に貢献できていることが読み取れ

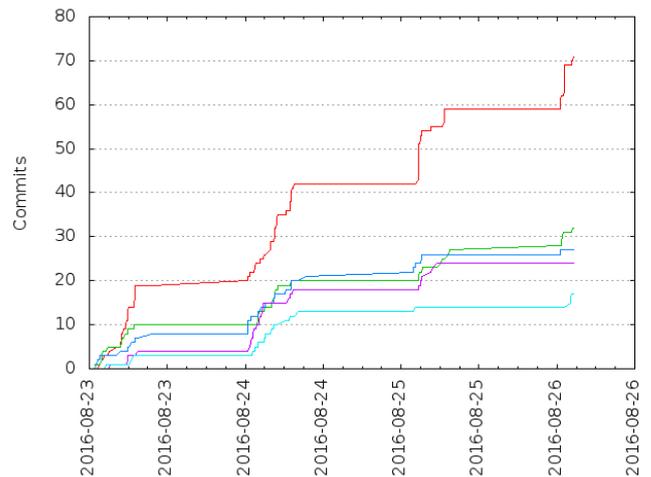


図 10: A チームの著者別コミット数の推移

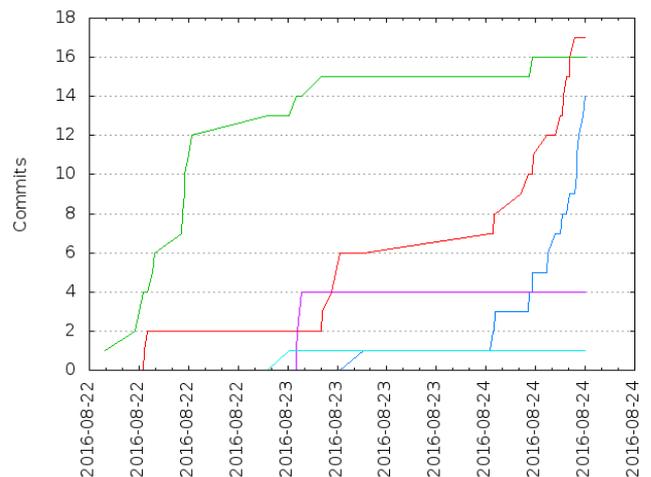


図 11: C チームの著者別コミット数の推移

る。また、コミット数が増加するポイントが毎日存在し、各メンバのコミットがマスターブランチに統合され、メンバ間での共有が行われていることが推測できる。

図 11 の C チームでは、期間前半のコミット数が特定のメンバに対してのみ増加しており、前半の開発を主導しているメンバが存在していることが推測できる。期間後半は、他のメンバのコミットが増えていっているが、コミット数が増加しないメンバも 2 名存在することから、開発に関する分担に均一性がないことが示されている。

F チームの図 12 からは、4.2 節で述べた 4 日目授業時間後からの翌日朝にかけて、4 名中 3 名のコミットが大きく増加している。このことから、4 日目夜からの徹夜での開発は、主に 3 名で行われていたことが推測できる。

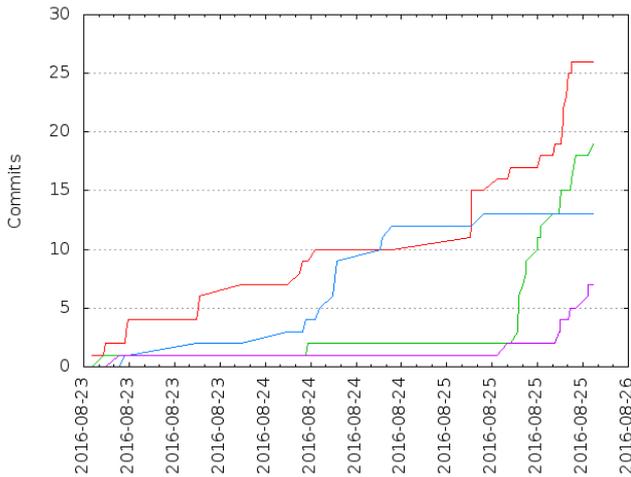


図 12: Fチームの著者別コミット数の推移

4.4 最終成果物による相互評価結果との比較

本学におけるこれまでの分散 PBL では、最終プレゼンテーションによる相互評価結果を総合評価のための指標として参照してきた。本節では、本手法による Git 変更履歴可視化結果から推測したチーム活動評価と従来の相互評価結果との比較を行う。最終プレゼンテーションによる相互評価では、分散 PBL 最終日において、開発した成果物のデモンストレーションを含めたプレゼンテーションをチーム毎に行い、他のチームの学生や PBL 担当教員により複数の評価項目に関して各 5 段階⁴で採点を行った。なお、総合評価としては、評価項目毎の平均点を算出した結果を合計した得点が高いチームを優秀チームとして表彰した。

分散 PBL におけるチーム開発の進め方に関する相互評価結果を表 3 に示す。前節までのコード更新履歴による評価では、A チームの活動が優れているという結果が得られていたが、相互評価の結果においても同様に、高い評価点が得られている。また、C チームの相互評価結果が A チームと比べて低い。しかし、前節までに示したコミットの推移からのチーム活動の評価では、A チームと C チームの開発活動の傾向は大きく異なる。本相互評価は、チーム活動を観察していた担当教員も参加していたが、分散 PBL におけるこれらのチーム活動の違いが相互評価では十分に反映されない場合があることが読み取れる。F チームに対する相互評価結果は、かなり低い点となっている。前節までで示した GitStats の可視化統計情報に基づいたチーム活動推

表 3: チーム開発の進め方に関する相互評価結果

| A チーム | C チーム | F チーム |
|-------|-------|-------|
| 4.41 | 4.04 | 3.43 |

定においても、計画的な開発進捗や開発分担などの点で課題があることを指摘しており、相互評価においても同様の結果となった。

5 関連研究

文献⁽¹¹⁾の研究は、能力度成熟度モデル統合 (CMMI) に基づいて、PBL におけるプロジェクトのプロセスを評価する手法を提案している。チーム活動のプロセスを評価する手法として関連しているが、本提案手法では、プロジェクトの作業過程で生成される定量的なメトリクスのみで評価を行うため、評価項目毎の議論や振り返りなどの追加作業を必要としない。

文献⁽⁶⁾では、分散 PBL 等の異なる大学のカリキュラムを履修する受講生に対して、共通の評価指標によって客観的な評価を行う手法を提案している。開始前と終了後に実施する PROG テストが共通の評価指標となっているが、本提案手法では、評価のための作業を追加せず、プロジェクト内の開発で使用するリポジトリを共通のメトリクスとして利用する点が異なる。

本提案手法と類似して、ソフトウェア開発型の PBL における Subversion リポジトリやプロジェクト管理ツールに着目して、チーム進捗を把握する研究も行われている^(2, 7, 8, 9, 13)。PBL の運用支援や管理情報の記録・可視化などを目的とするこれらの研究と比較して、本研究では、特に、Git リポジトリが持つ著者別のコミット日時やその登録順、および、マスターブランチの運用に着目して、教員が直接把握することが難しい分散 PBL のチーム開発活動状況を把握することを目的としている。

文献⁽¹⁰⁾は、PBL の評価に関する研究ではないが、ソフトウェアの品質を評価するレビューの効率化を目的として、プロジェクトやプロダクトの状態を間接的に表すメトリクスを計測することで、欠陥の偏在箇所や種類を予測する手法を提案している。用いるメトリクスとして、ファイル更新時間や設計書の更新回数のようなソフトウェアに直接関連するものから、飲み会の頻度やディスプレイの大きさなど、ソフトウェア開発

⁴最低点を 1、最高点を 5 とした。

プロジェクトの環境に関するものまで幅広い範囲の定量的な値からの予測を行っている。ソフトウェア等の成果物を直接評価するのではなく、間接的で定量的なメトリクスを用いてプロジェクトの状態を推定して評価する点で、本提案手法と関連が深い。

6 おわりに

本論文では、分散 PBL におけるチーム活動状況の把握を目的として、Git リポジトリに対するコミット履歴の可視化を提案した。Git は、ソフトウェアの分散開発で広く用いられているコード管理ツールであり、その関連ツールも数多く存在している。本手法では、オープンソースの Git リポジトリ状況可視化ツール GitStats を用いて、コミットの登録日時や数、コミットを行ったメンバに関する統計情報を可視化する。その可視化結果から、PBL におけるチーム活動の状況や経過の把握を試みる方法について提案した。さらに、実際の分散 PBL において、Git リポジトリへのコミットを可視化し、その特徴からチーム活動過程を推定する試みの結果について述べた。

今回の試行では、チーム構成メンバの Git 習熟度の違いから発生する影響について考慮できていない。Slack を使った学習の振り返り記録では、A チームの 2 名のコメントに Git の習得や活用に苦労した旨の内容が含まれていた。本手法を用いてチーム間やメンバ間の比較評価を行うためには、事前講習会や自主学習を課すことで、Git 習熟度の影響を小さくした状態で PBL を実施する必要がある。また、今回の試みでは、チーム活動過程が個々の学びに与える影響について評価できていない。円滑なチーム活動が個々の学びに対しても良い影響を与えることが期待されるが、本アプローチにより把握したチーム活動過程と個人の学びとの関係性について評価を行いたい。さらに、本手法が解析対象とした Git リポジトリのコミット履歴では、開発以外のチーム活動過程を把握することが難しい。今後、Slack や GitHub の issue 機能などの履歴を組み合わせて、設計や最終方向などの開発以外の活動についての評価方法を検討する。

参 考 文 献

- (1) GitHub.com. Understanding the github flow. <https://guides.github.com/introduction/flow/>, last accessed on Jan. 15, 2018.
- (2) U. Kohichi, H. Igaki, Y. Higo, and S. Kusumoto. A study of student experience metrics for software development pbl. In *2012 13th ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing*, pp. 465–469, Aug 2012.
- (3) 西村直人, 永瀬美穂, 吉羽龍太郎. SCRUM BOOT CAMP THE BOOK — スクラムチームではじめるアジャイル開発. 翔泳社, 2013.
- (4) 大塚弘記. GitHub 実践入門 — Pull Request による開発の革新. WEB+DB PRESS plus. 技術評論社, 2014.
- (5) 美馬のゆり. 大学における新しい学習観に基づいたプロジェクト学習のデザイン. 工学教育, Vol. 57, No. 1, pp. 45–50, 2009.
- (6) 山本雅基, 小林隆志, 宮地充子, 奥野拓, 桑野文洋, 櫻井浩子, 海上智昭, 春名修介, 井上克郎. enpit における教育効果測定の実践と評価. コンピュータ ソフトウェア, Vol. 32, No. 1, pp. 213–219, 2015.
- (7) 伊藤恵, 木塚あゆみ, 奥野拓. 過去の PBL の開発履歴を活用した PBL 運用支援. 日本ソフトウェア科学会大会論文集, Vol. 31, pp. 249–260, 2014.
- (8) 井垣宏, 柿元健, 佐伯幸郎, 福安直樹, 川口真司, 早瀬康裕, 崎山直洋, 井上克郎. 実践的ソフトウェア開発演習支援のためのグループ間比較にもとづくプロセスモニタリング環境. 日本教育工学会論文誌, Vol. 34, No. 3, pp. 289–298, 2010.
- (9) 梅川晃一. ソフトウェア開発 pbl におけるオンラインストレージを用いた学生評価メトリクスの提案. 学位論文, 大阪大学基礎工学部情報科学科, 2012.
- (10) 細川宣啓, 永田敦, 森崎修司, 中谷一樹, 諏訪博紀, 田邊哉好, 森崎一邦, 末次努, 小田部健, 山本浩之, 牧野将治, 小原美帆, 奥山剛. 間接的メトリクスを用いて欠陥予測を行うレビュー方法の提案. ソフトウェア品質シンポジウム 2011 発表報文集, pp. 1–8, 2011.
- (11) 日戸直紘, 伊藤恵, 大場みち子. 能力成熟度モデル統合に基づいた pbl における定量的学習評価手法の提案. 日本ソフトウェア科学会大会講演論文集, Vol. 34, pp. 1–7, 2017.
- (12) 文部科学省. 情報技術人材育成のための実践教育ネットワーク形成事業：分野・地域を越えた実践的情報教育ネットワーク, 2012. <http://www.enpit.jp>.
- (13) 矢ヶ崎隆磨, 井垣宏, 田胡和哉. チケット駆動開発を適用したグループ並行型 pbl のための開発履歴可視化・分析システム. 情報処理学会第 73 回全国大会講演論文集, Vol. 2011, No. 1, pp. 539–540, mar 2011.

BLE ビーコンを活用した地域課題解決型 PBL の実践

中田 裕貴^{*1} 松原 克弥^{*1}

^{*1} 公立はこだて未来大学

A Report on the PBL Experiences Toward Resolution of Local Issues By Utilizing BLE Beacons

Yuki Nakata^{*1} Katsuya Matsubara^{*1}

^{*1} Future University Hakodate

The PBL promotes active collaborative learning to realize concrete solutions means for real issues. Many of recent PBLs deal with local issues as a reality subject. Utilizing the BLE beacon, which is an IoT device, could be much effective as a tool for realizing situational grasp and visualization of target local areas. Moreover, since the devices are inexpensive and easy to install, there are few barriers to verifying the implemented services on the field, and feedback of the results of the field verification to the problem solving method and service implementation can be expected. In this paper, we report the process and experiences of PBL which is toward resolution of local issues by utilizing BLE beacons.

キーワード：PBL, 地域課題, IoT, ビーコン, アジャイル開発

1 はじめに

現在, 高等教育機関において, ICT 分野における実践力を育成することが求められており, そのカリキュラムとして, Project-Base-Learning(PBL) の導入が増えている^(1,2). 特に, 情報系大学では, ソフトウェア開発をともなう PBL が多く実施されている. PBL は, 複数の学生でプロジェクトチームを組み, 与えられたテーマや課題に関する調査から具体的な解決手段の提案, 実現までを目的として, 学生が主体的に活動するアクティブラーニングの一種である. これまで, 実践力育成の観点から実在する課題の設定が効果的であるという考えのもと, 実施機関が属する地域の課題解決をテーマとする PBL がいくつも実施されている^(3,4).

地域課題解決型 PBL では, 課題解決の手段として IT 技術を用いるために, 対象地域のヒトやモノの状況をデータ化することが必須となる. IoT デバイスは, ヒトやモノをインターネットに接続して, 状況などの情報を発信する手段を実現する. 実際, IoT デバイスを用いた PBL の実施例も報告されるようになってきた⁽⁵⁾.

BLE ビーコンは, 数センチから 100 メートル程度の比較的狭い範囲に電波を発信できる機器であり, 通信規格に Bluetooth Low Energy (BLE) を用いている. スマートフォンなどの Bluetooth に対応したデバイスを所持していれば, BLE ビーコンが発信する電波を受信でき, 受信したデータに含まれる ID や受信強度に応じて様々なアクションを起動するサービスを実現できる. BLE ビーコンは, 機器が安価であること, 電源やネットワーク接続を必要とせず, 屋内外問わず設置場所に制約が少ないこと, 常時稼働でも 1~2 年はメンテナンスも必要ないことから, 地域課題解決型 PBL が対象とする様々な地域への設置・導入が容易である.

本稿では, 筆者らの所属大学で実施している PBL 科目において, 地域の課題を発見して BLE ビーコンを活用して解決することをテーマとしたプロジェクトの活動報告について述べる. また, 設置が容易な BLE ビーコンを活用したことにより実施できた, 第三者利用による実地検証についても報告する. さらに, 本プロジェクト活動の評価において, 課題解決型 PBL における BLE ビーコンの有効性についても議論する.

2 BLE ビーコンと地域課題解決

2.1 BLE ビーコンの概要

BLE ビーコンは、BLE 規格に準拠した電波を数センチから 100 メートル程度の範囲内に発信できるため、ヒトやモノの近接通知として利用されることが多い。デバイスの多くは、数センチ四方程度の大きさで、乾電池やボタン電池で 1~2 年稼働する省電力性を備える。サイズが小さく電源コンセントやネットワーク接続も必要ないため、屋外では街灯柱や看板、屋内では天井裏やカウンタ下など、様々な場所に容易に設置できる。

BLE ビーコンが送信する電波は、Bluetooth4.0 に対応する機器で受信することができる。また、マウスなど他の Bluetooth 機器と異なり、通信のための機器同士での認証（ペアリング）は不要である。最もよく利用されている BLE ビーコン受信機はスマートフォンで、Bluetooth 機能を有効にしたスマートフォンが BLE ビーコンの電波送信範囲に入ることによって受信できる。BLE ビーコンが登場した当初、スマートフォンの Bluetooth 機能を無効化しているユーザが多く、連携サービスの利用が進まないという課題があった。しかし、スマートウォッチやワイヤレスヘッドホン等の BLE 対応機器が普及するにともなって、Bluetooth 機能を常時有効にするユーザが増えたため、この課題は解消されつつある。

BLE ビーコンで送信できるデータ量は 10 オクテットから 47 オクテットで、その通信プロトコルとして iBeacon, Eddystone, LINE Beacon の 3 種類が広く用いられている。iBeacon は、Apple 社が標準化したプロトコル仕様で、端末固有の UUID、任意に設定可能な major 値と minor 値、送信出力の 3 つを送信することができる。Eddystone は、Google 社が定義したプロトコルで、iBeacon と同様のデータに加えて、URL 文字列を送信できる Physical Web 機能をもつ。LINE Beacon は、スマートフォンアプリ LINE と連携することを目的に LINE 社が規定した仕様である。LINE アプリに対して、広告配信や Push 通知などを起動する手段として用いられている。

前述の 3 つのプロトコルに対応した専用アプリケーションをインストールしたスマートフォンでは、受信した URL や ID 情報などをもとに対応するサービスやイベントを起動することができる。加えて、BLE ビーコンから受信した電波強度から、BLE ビーコンとの相

対的な距離を「Immediate」（近接）、「Near」（近い）、「Far」（遠い）のような近接の度合いで判別することができる。位置情報に関連するデバイスとして GPS があるが、近接度合いに応じてアクションを切り替えるといったサービスには BLE ビーコンが適している。また、GPS は屋外での利用に限られるが、BLE ビーコンは屋内と屋外両方での利用が可能である。

2.2 地域課題解決に対する BLE ビーコンの適応性

ソフトウェア開発型 PBL における地域課題の解決には、対象とする地区やスポットなどのヒトやモノの状況をデータ化し、アプリケーションやサービスで処理したり、情報発信を行ったりできることが求められる。ヒトやモノの位置や動きを把握する際、センサや GPS を用いる方法が考えられる。しかし、センサを用いた検出では、センサ出力をサーバやスマートフォンに送るためにセンサデバイスをネットワーク接続する必要がある。また、センサ種別によっては消費電力が大きい場合やデバイスが高価であるなど、設置場所や設置数が限られる状況も考えられる。GPS による位置情報取得の場合、対応範囲が屋外に限られたり、GPS 機能を稼働しているスマートフォンの消費電力量が大きいなどの課題がある。BLE ビーコンは、前述のセンサや GPS におけるコストや設置場所の制約に関する課題も少なく、PBL で設定する任意の地域を対象とすることができる。また、ユーザ所有のスマートフォンを受信機とすることを想定できるため、アプリケーション開発による自由なサービス実現が可能となる。加えて、安価であるため数十から千数百個のビーコンを設置することで、建物や部屋毎、車両毎など細かい範囲で発信する情報やサービスを切り替えることができる。また、ビーコン受信履歴をスマートフォンからサーバへ送信して蓄積することで、人流の把握やホットスポットの検知などにも応用でき、地域の状況の可視化など高度なサービスも実現可能となる。

3 PBL 実施報告

3.1 公立はこだて未来大学における PBL

公立はこだて未来大学では、開学当初からシステム情報科学実習（以下、プロジェクト学習）と呼ばれる学部 3 年生向けに必修通年型の PBL を実施している⁽⁶⁾。

プロジェクトのテーマは、現実社会との繋がりを意識したものを選ぶ。教員がテーマ設定を行い、プロジェクト毎に受講学生を募集する。毎年20程度のプロジェクトが発見し、各プロジェクトは最大15人程度の学生と、担当教員により構成される。また、学生と教員だけではなく、外部の協力企業による指導などの協力体制を持った産学連携プロジェクトも存在する。

プロジェクト学習では、通常の授業とは異なり、解のない課題に対して学生らが自発的に課題を発見し、チームで解決を目指す。学生らは1年間チームで活動することで、解決すべき課題を発見する能力、複数のメンバーで課題を解決する能力、システム開発や制作を通して問題解決を行う能力、第三者に伝えるための発表能力を自発的に身につけることができる。また、美馬らは、プロジェクト学習の最終的な目標として、学びや経験を振り返り、概念化、言語化し、別の課題に応用していくための力をつけることであると述べている⁽⁷⁾。

3.2 プロジェクトの概要

2018年度プロジェクト学習テーマのひとつとして、BLEビーコンを活用して地域課題を解決するサービスの考案と実装を行うプロジェクトを設定した。地域課題解決の対象とする地域は、函館市とその周辺の市町村で、連携企業により函館市内に設置された50個のビーコンを使用することを想定した。「ビーコンを使って街の状況を可視化し、函館の街や観光の課題を解決することで、新たな価値を創造して街に還元するIoTサービスの実現を目指す」ことをPBLの目的と設定して、15人の学生と5人の教員で構成したプロジェクトにより5月から12月まで活動を行った。

3.2.1 フィールドワーク

地域課題解決をテーマとして扱うシステム開発を行うPBLでは、予め使用する技術がテーマの中に定められている場合がある。このようなテーマのPBLでは、使用する技術に焦点を当てすぎてしまい、地域課題の解決からかけ離れてしまうことがある。そこで、本プロジェクトでは、地域の課題を発見するためにフィールドワークを実施することにした。また、学生らが自ら現地の調査を行い、自分たちの視点で未知の課題を探することで課題発見能力の育成を目指した。新垣らによると、フィールドワークには「問題発見型」と「問題

解決型」の2つが存在する⁽⁸⁾。課題発見型は、聞き取り調査や観察により対象の地域の課題や文化、事象などを発見するフィールドワークである。問題解決型は、対象の地域で既に発見されている課題や事象を解決するために実施されるフィールドワークである。そこで、本プロジェクトでは、既知の課題を解決するためではなく、新しい課題を発見するために問題発見型のフィールドワークを実施することにした。

フィールドワークを実施するにあたり、フィールドワークに関する講義を受講し、記録の方法や着眼点などについて学んだ。その後、フィールドワークする箇所を選定し、函館市周辺の4箇所ですべて3日間のフィールドワークを実施した。初日のフィールドワークでは、学生がフィールドワークに不慣れであったこともあり、インタビューなどを用いた効果的なフィールドワークが実施できていなかった。また、フィールドワーク終了後の意見出しにおいても、その場所に対する感想が多く、その地域の課題を多く発見することができなかった。そこで、次のフィールドワークまでの期間で初回フィールドワークの反省を行い、課題と改善を議論する場を設けた。インタビューの方法や着眼点などを議論し、事前準備などの改善策を考案した。二日目以降のフィールドワークでは、事前準備の時間を用意することで、インタビューを含めた効果的な調査を実施できた。その際、インタビューから、地域の実態や課題を把握することができた。インタビュー結果は、その後のアイデア出しの際の参照資料とした。

3.2.2 アイデア出し

本プロジェクトでは、フィールドワークで出た意見や発見した課題をもとに、地域課題を解決するサービスのアイデアを考案するフェーズを設けた。フィールドワークからアイデア出しによるサービスの考案までの一連の流れを実施することにより、課題発見能力と課題解決能力の育成を目指した。アイデア出しでは、ブレインストーミングとKJ法と呼ばれる2種類の手法を採用することにした。ブレインストーミングとは、ある課題についてグループが自由に議論し、アイデアを出し合う手法である。KJ法は、ブレインストーミングなどで出された意見やアイデアをグループ化により整理し、図解することで課題解決の道筋を立てる手法である。この2種類の手法を用いることで、自由な議論



図 1: アイデア考案中の模造紙

によるアイデアの創出と、発散したアイデアの収束を行うことを目指した。

アイデア出しでは、25分で5人1グループを3グループ作り、ブレインストーミングとKJ法を行う流れを3回行った。この際、特定の学生のみが議論することを防ぎ、新しい意見によるアイデアの創出を狙うために、毎回各グループのメンバ構成が異なるように調整した。アイデアのアウトプットの方法としては、初めの3つのグループに模造紙を1枚ずつ配布し、図1のように、アイデアを付箋で貼り付けて行った。付箋を利用して模造紙に貼り付けることで、他の学生のアイデアへの便乗や意見などを書き出しやすくすることを狙った。そして、グループが変わった後も以前の意見を参考にできるように共通の模造紙を使用した。このアイデア出しの結果、合計で256個のアイデアが創出された。

ブレインストーミングとKJ法によるアイデア出しを行った後、アイデアのブラッシュアップと絞り込みを実施した。ブラッシュアップと絞り込みには、オープンスペーステクノロジー(以下、OST)と呼ばれる手法を用いた。OSTとは、参加者自身が議論のテーマを設定し、そのテーマについて興味を持つ人が自由に集まり、議論する手法である。OSTを採用することで、学生らが各自興味を持っている課題やアイデアを議論することで、更にアイデアを洗練させることや、有用なアイデアの絞り込みを目指した。実施の際は、特に時間を区切らず各々が関心を持ったアイデアについて考え、議論が終了したときや興味関心が薄れた際は、他のアイデアに移り議論を行うようにした。OSTを用いて更にアイデアのブラッシュアップと絞り込みを行った結果、7つのアイデアに絞られた。

3.2.3 アイデアコンテスト

開発するサービスを決定するために、7つのアイデアをさらに議論を行い、5つのアイデアに絞られた。そして、その5つアイデアから開発するサービスを決定するために、アイデアコンテストを実施した。5つのアイデアは「@ハナセル」、「Becoma」、「いさりび Graffiti」、「B-Haunted」、「Telepath」というサービスであった。「@ハナセル」はLINEを使用し銅像と会話することを可能にし、新たな体験として提供することで銅像に対して関心や興味を持たせるサービスである。「Becoma」は簡単に取引したい人同士をマッチングさせ、気軽に取引を行うことができるサービスである。「いさりび Graffiti」は道南いさりび鉄道の車内にARを用いて旅の想いを貼り付けることで他の人と想いを共有することができるサービスである。「B-Haunted」はお化け屋敷の中でビーコンを用いることで従来とは違う新たな恐怖感を与えることができるサービスである。「Telepath」はビーコンの検知範囲内においてチャットルームを作成し、匿名チャットにより気軽に質問等を行うことができるサービスである。

アイデアコンテストには、学生以外の客観的な視点による評価を行うために、教員、TA、外部の協力企業も参加した。アイデアの評価の方法として、各アイデアについてのプレゼンテーション後、「新体験」、「オリジナリティ」、「函館らしさ」、「ビーコンの特徴」、「継続性」の観点について、0~5点の6段階で点数を付けるようにした。「新体験」と「オリジナリティ」は、本プロジェクトの目的にである新たな価値を創造する観点、「函館らしさ」と「継続性」は地域の課題を解決する観点、「ビーコンの特徴」はテーマに含まれているビーコンを有益に使用できるかという観点で評価をするために設定した。これらの観点からアイデアコンテストを実施することで、地域の課題解決が達成でき、PBLのテーマを満たすことができるのか評価することを目指した。各アイデア毎の獲得点数について、表1に示す。これらのサービスについて得られた評価と各サービスに必要な人数や開発期間を考えた結果、評価点の平均値が高い上位4つのアイデアである、「@ハナセル」、「Becoma」、「いさりび Graffiti」、「Telepath」を今年度の本プロジェクトで開発することを決定した。

表 1: 各アイデアと評価の平均

| | 新体験 | オリジナリティ | 函館らしさ | ビーコンの特徴 | 継続性 | 平均 |
|---------------|-----|---------|-------|---------|-----|-----|
| @ハナセル | 4.1 | 3.8 | 3.1 | 3.6 | 2.9 | 3.5 |
| Becoma | 3.5 | 3.4 | 2.2 | 4.2 | 3.9 | 3.5 |
| いさりび Graffiti | 4.1 | 3.8 | 4.7 | 4.4 | 3.8 | 4.2 |
| B-Haunted | 4.2 | 3.7 | 1.2 | 3.6 | 2.9 | 3.1 |
| Telepath | 3.4 | 3.6 | 2.2 | 3.7 | 3.7 | 3.3 |

3.3 サービス開発

開発を決定したテーマごとに4人または3人の開発チームを組んで開発を進めることにした。開発の際に、ウォーターフォール型ソフトウェア開発のように要件定義から設計、実装、テストと段階的に行うと、PBLの期間内にサービスの開発が完了しない事が考えられた。また、地域の課題解決を目標として開発を行う場合、検証と評価から課題解決が出来ないと判断した時に、大きくサービスを修正する必要が生じる可能性がある。この場合、ウォーターフォール型開発手法では大きな後戻りが難しくなることが考えられた。そこで、本プロジェクトでは、設置が容易なBLEビーコンを用いて、開発と検証による評価、改善という一連の流れを継続的に行うことで地域課題の解決を目指した。そして、開発初期から継続して動くソフトウェアを作り続け、実装と検証による評価、改善を繰り返す行うために、ソフトウェア開発手法の一つであるアジャイルソフトウェア開発手法を導入した。

3.3.1 アジャイルソフトウェア開発手法とスクラム

アジャイルソフトウェア開発手法とは、包括的なドキュメントよりも動くソフトウェアを重視した開発手法である。短い期間で反復的に計画・設計・実装・テストを繰り返すことにより、価値のあるソフトウェアを継続的に提供することが目標である。本プロジェクトでは、この手法を採用することで開発初期から継続して動くソフトウェアを作り続け、実装と検証による評価を繰り返す行うことを目指した。

本プロジェクトでは、アジャイルソフトウェア開発を実施するにあたり、アジャイルソフトウェア開発手法の1つであるスクラム⁹⁾を採用した。スクラムでは、1ヶ月以下の短いタイムボックスをスプリントという名前で定めている。この期間で開発が完了した動くソフトウェアを出すことが求められる。また、イベントス

プリントプランニング、デイリースクラム、スプリントレビュー、スプリントレトロスペクティブという4種類のミーティングを用意している。スプリントプランニングとは、スプリントで実装する機能を決めるなど、作業を計画するミーティングである。デイリースクラムとは、スプリント期間中毎日15分程度で行うミーティングのことであり、各メンバーが「昨日行ったこと」、「今日行うこと」、「困っていること」を議論することでスプリント終了日までゴールを達成できるかを確認できる。スプリントレビューとは、スプリント終了時に開発した機能のデモとプロダクトバックログの修正を行うイベントのことである。スプリントレトロスペクティブとは、チーム全体を振り返り、次のスプリントの改善計画を考えるミーティングのことである。

3.3.2 開発フロー

本プロジェクトでは、スプリント期間を1週間とした。スプリント期間を1週間にするすることで、開発と評価によるフィードバックの回数を増やすことで、改善を行う機会を増やすことが目論みである。また、開発を開始する前に、各サービスのユーストリーを考案することで、開発するサービスに必要な機能を洗い出した。ユーストリーとは、サービスを利用するユーザが実現したいと考えている機能を記述したものである。ユーストリーを用いて機能の洗い出しをすることで、必要な機能を見極め、サービスの目的を達成するには何が必要か議論することを目的として導入した。水曜日をスプリント開始日としてスプリントプランニングを行い、翌週の火曜日にスプリント最終日としてスプリントレビューとスプリントレトロスペクティブを行った。デイリースクラムを毎日午後実施した。スプリント中は、スプリントプランニングで決めた内容の開発を行った。そして機能が完成した際に、自動テストとツールによる静的コード解析、メ

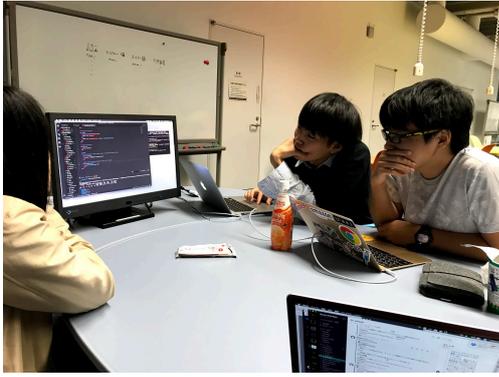


図 2: モブプログラミング

ンバーによるコードレビューにて品質確認を行うようにした。自動テストと静的コード解析を導入することで、開発の際の完了の定義として用いることで、意図しない箇所の不具合を減らすことを目指した。品質確認を終了後、問題がない場合その機能の開発を完了とした。この流れを、スプリント最終日まで継続して行った。また、隔週金曜日の開発時間にモブプログラミングと呼ばれる開発方法を実践した。モブプログラミングとは、図 2 のように複数人で行うプログラミングのことで、コードを書く人をドライバー、それ以外をナビゲーターと呼ぶ。本プロジェクトでは、すべてのサービスが BLE ビーコンを使用する。しかしながら、BLE ビーコンは近年普及し始めたデバイスであり、学生らにとっては BLE ビーコンを用いた開発は初体験であった。そこで、モブプログラミングを導入することで、複数人で議論しながら実装することで、効率的な技術習得や知見の共有を目指した。スプリント最終日は、スプリントレビューとスプリントレトロスペクティブを行った。スプリントレビューでは、各メンバーが開発した機能のデモを行ったほか、不定期に他チームと合同でスプリントレビューを行うことで機能の品質を確認した。スプリントレトロスペクティブでは、「今後も続けたいことや良かったこと」、「うまく行かなかったこと、課題」、「今後行うこと」をこの 3 つを議論し、改善計画を立てることでスプリントの振り返りを行った。この一連の流れを約 2ヶ月間繰り返し実施した。

3.3.3 BLE ビーコンの設置

連携企業の協力によって、iBeacon 規格の BLE ビーコン機器約 50 個が、函館空港や函館朝市、金森レンガ倉庫、五稜郭タワーなど函館市内主要箇所を設置済み



図 3: 道南いさりび鉄道車両での検証

であった。今回、本プロジェクトで実装したサービスのために、道南いさりび鉄道線の車両内に iiBeacon 対応ビーコン機器、市内の銅像 3 体に LINE Beacon 対応の BLE ビーコン機器を追加設置した。追加設置は、各箇所 30 分程度の作業で完了した。これらの BLE ビーコンを設置する際、開発と検証を頻繁に行うために、図 3 のように設開発途中のサービスの機能検証も行った。本事前検証により、BLE ビーコンが送出する情報を車両内でアプリケーションが検出できるかといった機能が、実際の環境で正しく動作するかを確認できた。この検証を行うことで、実際にサービスをユーザーに使ってもらうテストを実施する前に機能が正しく動作するか、確認することができた。本事前検証で発見した不具合は、次のスプリントで修正を行った。

3.4 実地検証とユーザビリティテストによる評価

課題解決型の PBL では、実装サービスを実際に第三者が利用することで、課題解決に繋がっているのかを評価し、改善点を探ることが学びの観点からも有用である。本プロジェクトでは、2018 年 11 月 24、25 日の 2 日間を通して、開発しているサービスの実地検証とユーザビリティテストによる評価を、青森公立大学学生の協力のもとで実施した。本ユーザビリティテストでは、他大学学生に観光客や地元民としての目線でサービスを利用してもらい、評価を行う形式で進めた。初日は、開発中サービスの 1 つである Telepath のユーザビリティテストを金森赤レンガ倉庫付近で行った。青森公立大学の学生は、スマートフォンの Telepath を用いて本学学生と会話をしつつ、店内を散策するウインドウショッピングを行った。その際、利便性や有効性などの気づきを写真やスケッチ、メモで記録した。2 日目は、Becoma と @ハナセルを担当するグループ、いさりび Graffiti を担当するグループの 2 つに分かれてテストを実施した。



図 4: いさりび Graffiti のユーザビリティテスト

前者のグループは、西部地区、五稜郭タワー、函館朝市において、お土産を探して交換するというストーリーに沿ってアプリケーションを利用し、後者のグループは列車内に写真や思い出を残す(図4)という行動を通して、各実装サービスのユーザビリティを評価した。

各テスト実施後は、サービスの良かった点・悪かったなどの気づきを付箋を用いてまとめ、発表形式で共有を行った。その結果として、複数人数が同時に使用した際に動作が安定しない場合があるバグや、GUIが直感的に分かりづらいなどの課題が発見できた。このユーザビリティテストにより、3.2.3節のアイデアコンテストの評価項目1にある「新体験」、「オリジナリティ」、「継続性」の3つ観点の評価できた。また、このユーザビリティテストで得た要改善点のほとんどは、プロジェクトの最終成果発表までのスプリントで修正を行った。

4 活動評価

4.1 チーム開発の評価

本プロジェクトでは、BLEビーコンを使用して容易にデバイスを設置することで実地検証によるフィードバック、アジャイルソフトウェア開発手法を実装と検証による評価を繰り返すことを期待して導入した。アジャイルソフトウェア開発手法には、ベロシティと呼ばれる1週間にこなせる作業量の指標がある。ベロシティは、実装予定の機能全てを相対的に見積もったポイントのうち、1スプリントで完了させることができたポイントの合計である。この指標を見積もりを用いることで、1スプリントで実装できる量を予測することができる。各サービスのスプリントごとのベロシティは図5に示す。本プロジェクトで開発を行った、「@ハナセル」と「いさりび Graffiti」、「Telepath」では、サービス開発期間中のベロシティが安定していた。そのため、毎スプ

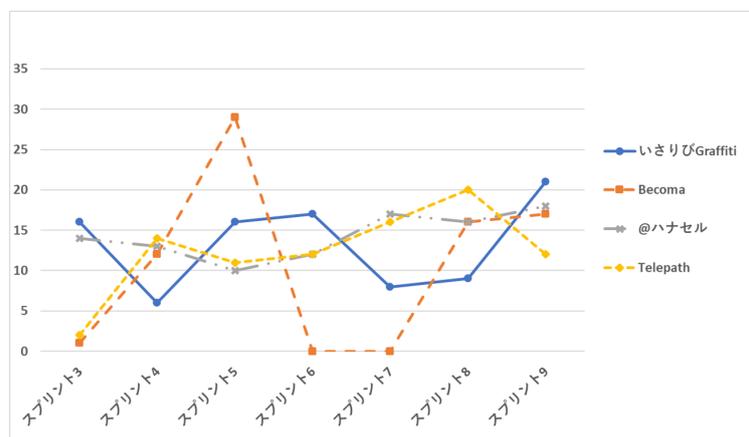


図 5: 各サービスのベロシティ

リントごとに継続して動く機能を作ることができたと考えられる。また、実際にビーコンを設置する際や開発中に、継続して動く機能を随時検証して評価することで、修正が容易であった。しかし、「Becoma」ではベロシティが0の週が存在し、安定していなかった。これは、スプリントごとに機能を完成できず、次週に持ち越しとなっていたことが原因である。ベロシティが不安定で、安定した開発が行えなかったため、「Becoma」は唯一ユーザビリティテストの際に機能に不具合が生じ、予定の検証が実施できなかった。このように、本プロジェクト全体で導入したアジャイル開発であったが、継続的にソフトウェアを作り続ける事ができたチームとそうでないチームの両方が存在した。しかしながら、BLEビーコンとアジャイルソフトウェア開発手法を組み合わせることで、実地検証によるフィードバックと継続的な検証による評価を得ることができた。

4.2 学び

4.2.1 課題発見能力

本プロジェクトでは、まず最初に自ら地域の課題を発見するために、フィールドワークを実施するところから始まった。フィールドワークで学生は、地域にどのような課題があるか、観光客としての目線や地元民としての目線で多くの場所を調査しようとした。しかし、初めは場所に対する感想しか出ず、フィールドワークとして有益なものであるとは言えなかった。そこで、学生たちはフィールドワークごとに反省と改善を繰り返し、回数を重ねることで多くの目線による課題発見や住民へのインタビューの実施などのフィールドワー

クの質を向上させてきた。また、PBLとして予めBLEビーコンを用いることが決まっていたため、学生らはBLEビーコンを設置することを想定して地域や地区に特化して課題を探ることが出来た。最終的には、自ら課題を発見することが可能になり、課題を発見する能力を向上させることができた。

4.2.2 課題解決能力

本プロジェクトでは、「ビーコンを使って街の状況を可視化し、函館の街や観光の課題を解決することで、新たな価値を創造して街に還元するIoTサービスの実現を目指す」を目標として活動を行った。アイデア出しによって考案されたアイデアを実現するために、学生たちでシステム構成を考え、技術選定を行った。また、技術選定によって使用を決定した技術の習得は、学生らが自主的に夏季休業期間中に勉強を行った。BLEビーコンは仕様がオープンであり、ドキュメントが豊富である。また、導入コストが低く、身近なスマートフォンと連携を行うため、他のIoTデバイスに比べ、独学での勉強が行いやすい。システム開発も学生らが主体となり率先して開発を行った。学生らは、このPBLによってシステム開発による課題解決能力を向上することができた。

4.2.3 プレゼンテーション

プロジェクト学習では、外部の企業などが参加できる中間発表会と成果発表会をはじめ、多くの外部発表の機会が存在する。中間・成果発表会では、ポスターとスライドを作成してプロジェクトの概要や目的、開発するシステムやサービスの説明を行う。また、サービスについての評価を10点満点でアンケートとして回収した。アンケートは中間発表会では59名、成果発表では80名から回収した。BLEビーコンは設置が容易であり、プレゼンテーションにおいてデモが行いやすい。また、地域課題を解決する事が目的であるため、聴衆が当事者意識を持ちやすい。そのため、成果発表会では実際に開発したサービスのデモや利用風景の動画を用いた発表を行った。その結果、表2のように、どのサービスにおいても中間発表会に比べ、成果発表のほうがサービスについての評価点が向上していた。学生たちは、外部発表を通じてデモを用いた発表の重要性などを学び、発表能力を向上させることができた。

表 2: 各サービスについての評価点

| | 中間発表会 | 成果発表会 |
|---------------|-------|-------|
| @ハナセル | 7.96 | 8.6 |
| Becoma | 7.35 | 8.5 |
| いさりび Graffiti | 7.9 | 8.4 |
| Telepath | 7.56 | 8.27 |

5 おわりに

本稿では、BLEビーコンを活用して地域課題を解決するPBLの実施を報告した。BLEビーコンは、設置容易性や100メートル程度の狭い範囲毎の情報提供など、地域課題の解決に必要な機能や特徴を備えている。また、ビーコンを用いたテストや検証も容易なため、PBLにおけるアジャイル開発との親和性も高い。街なかで常設したビーコンを用いることで実地検証の実施も可能となり、実在する環境と課題を題材にすることで、実践力育成にも有効である。今後のPBLにおいても、BLEビーコンを活用して対象地域の状況をデータ化し、IT技術を適用して課題の解決を試みるサービスの考案を進めていきたい。

参 考 文 献

- (1) 情報処理推進機構:教育機関におけるIT人材育成の動向, IT人材白書2017, pp.232-234 (2017)
- (2) 文部科学省:成長分野を支える情報技術人材の育成拠点の形成(enPiT), "http://www.enpit.jp/"(2017)
- (3) 糸野文洋, 辻村泰寛, 大木幹雄, 山地秀美:現実の地域課題解決を対象としたソフトウェア開発PBLの実践, 情報処理学会論文誌教育とコンピュータ(TCE), 2(1), pp.25-40(2016).
- (4) 市川尚, 後藤裕介, 松田浩一, 羽倉淳:学年混成によるプロジェクト型学習の実践と評価, コンピュータソフトウェア, 36(1), pp.3-13(2019)
- (5) 井垣宏, 武元貴一, 上田悠貴:基礎的なIoT教育のためのチーム開発を重視したPBL授業の提案, コンピュータソフトウェア, 35(1), pp.54-66(2018)
- (6) 公立はこだて未来大学:プロジェクト学習,"https://www.fun.ac.jp/edu_career/project_learning/"
- (7) 美馬のゆり, 富永敦子, 田柳恵美子:未来を創る「プロジェクト学習」のデザイン, 公立はこだて未来大学出版会, pp.12-13(2018)
- (8) 板垣順平, 大坪牧人:講義科目「デザイン人類学」の構想と実践-2:授業の成果と今後の展望, 日本デザイン学会研究発表大会概要集, 61, 161(2014)
- (9) Ken Schwaber, Jeff Sutherland:スクラムガイド(2017).

遠隔地におけるものづくり PBL 指導支援のための IoT 型作例データ収集システムの開発 Development of IoT-Driven Student's works data acquisition system for Teaching Support of Manufacturing PBL in Remote Locations

千田 和範^{*1}, 野口 孝文^{*1}, 稲守 栄^{*2}
Kazunori CHIDA^{*1}, Takafumi NOGUCHI^{*1}, Sakae INAMORI^{*1}

^{*1} 釧路工業高等専門学校 電気工学科

^{*1} Department of Electrical Engineering, National Institute of Technology, Kushiro College
Email: chida@kushiro-ct.ac.jp

あらまし：近年，様々な教育機関において，課題の発見と解決に向けて主体的・協働的に学ぶ学習が取り入れられてきており，筆者らも関連学会で実践報告を行ってきた．この取り組みの中でもものづくり系 PBL を遠隔地の学校で実施する場合，作業過程において効果的なアドバイスを行うには，その過程がリアルタイムで把握する必要がある．本研究は作業過程の作例データを新たに開発した IoT 型収集システムによって効率よく集め，指導支援に役立てる手法について説明する．

キーワード：協働学習，指導支援，問題解決型学習，IoT 活用，遠隔教育

1. はじめに

近年，様々な教育機関において，課題の発見と解決に向けて主体的・協働的に学ぶ学習が取り入れられてきている．本校の授業においても「動機づけ」，「満足感」などを考慮し，問題解決型学習を拡張した取り組みを関連学会で成果報告を行ってきた⁽¹⁾．同時に地域の複数校で授業を同時展開することでクラス単位では得られなかった学習の広がりを目指し，ものづくりを主体とした小学校向け理科教育用グループ学習プログラムを 2013 年度から行なってきた⁽²⁾．その結果，いくつかの課題が見えてきた．

一つ目は，本プログラムは小学校に出向いて指導する講師派遣型のものづくり PBL が主な活動となっている．ものづくり PBL は試行錯誤に多くの時間が必要となるため，講師派遣型の場合は，あらかじめ設定された講義時間以外の直接指導が難しい．特に遠隔地での実施となると訪問回数も制限せざるを得ない．また TV 会議システムなどの対応も考えられるが，ものづくり PBL はグループ毎に進度が異なるため，時間調整が難しい．二つ目には，地方では過小規模校も増加しているため，学習時のグループが少数となってしまふ．これにより，限られた人員で活動するため仮説の総数自体が少なく，また検証のための試行の回数も十分確保できず局所解に留まってしまう問題がある．そのため最初の仮説から派生することなく模倣で終わってしまう事例が多い．また初回に最適解から離れた仮説が立案されてしまうと，その後の協働学習で適切でない知識を習得してしまうことになる．ゆえに，複数校の同時展開も視野に入れた教育システムの開発が重要となってくる．

そこで本研究では過小規模校でもものづくり PBL 教育を展開可能で，遠隔地でも十分な指導を実現するための支援システムの開発を行った．ここではその開発したシステムについて報告する．

2. 複数校横断型理科教育プログラム概要

まず提案システムを運用する複数校横断型理科教育プログラムについて説明する．本教育プログラムは小学校 5 年生を対象として構成されており，試行錯誤による電磁石製作を通して，電磁石の特徴や性質を深く学んでいく．なお，このプログラムは図 1 に示す 3 つの活動によって構成されている．

第1回 学習指導要領に沿った電磁石の基本特性に関する全員体験型実験（1 回 90 分）

第2回 コンテストに向けた試行錯誤型グループ学習（高専対応 90 分，小学校対応 2 週間程度）

第3回 複数校／クラス参加による電磁石の引張り力コンテスト（1 回 120 分）

1 回目の実施目的は比較実験に慣れさせることと，授業で学んだ知識の再確認にある．特に知識の再確認は，試行錯誤させる際のアイデアの下地となるため重要である．2 回目は自発的な試行錯誤を促すために競争原理とトレードオフ課題を導入した実習となる．ここではクラスや学校対抗のコンテストを意識させることで，グループ間の相談を活発化させる．それと同時に，実験用材料に材質や寸法形状などにトレードオフ条件を導入することで多様な発想を促

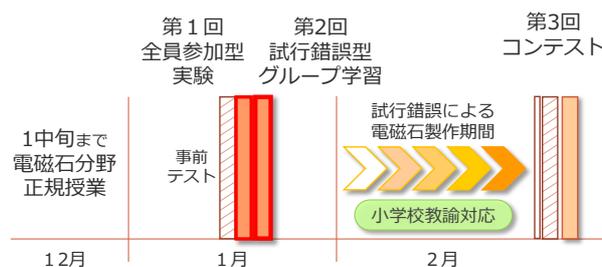


図 1. 現在実施中の 2018 年度教育プログラムのスケジュール



図 2. 第 2 回目以降のものづくり PBL の流れ

し、競争原理と同様にグループ活動を活性化させることができる。なお、この 2 回目の講義から 3 回目のコンテストまでは提案システムを用いて生徒や教師の活動を支援することになる。まずは学習者の学習・作業の流れについて簡単に説明する。

始めにクラスを複数のグループに分割し、図 2 の様に、各グループでコンテスト目標を満たす電磁石の製作仕様について検討させる。ついで、その仕様で実際に電磁石を作成する。電磁石の製作後は性能試験を行い、試験結果などを記入した記録カードを、図 2 左下図に示す表に貼り付けていく。ただし表は横軸に磁力の強さ、縦軸に引張り力をとった 2 軸としている。これらの作業を繰り返していくと、2 軸表にクラスターが現れてくる。最後に、一番性能のよいクラスターに見られる共通仕様を推測し、最終的にクラスで作成する電磁石の仕様を決定する。

3 回目は 2 回目以降の成果物を用いたコンテストとなる。このコンテストを実施することが 2 回目の活動の動機付けにも繋がっている。またコンテストの最後には総評を行い、参加した学習者に対して知識の共有を促している。

2018 年度は市外の K 小学校 16 名の協力のもと図 1 の日程で本プログラムを運用している。なお当該小学校では本プログラムの開始前となる 1 月中旬までに参加児童は電磁石の単元を簡単に学習していたが、従来型の講義との間で知識の定着度などを対比して検証することも可能である。

3. ものづくり PBL 指導支援のための IoT 型作例データ収集システム

3.1 作例データ収集システムの全体構成

本システムは 2 章で述べた様に、遠隔地から PBL の指導支援に活用するための機能がある。作例データ収集システムは学習者が図 3 に示す様に作成した作例とその実験結果や緒元を作例データとして記録する。記録された作例データはサーバに送信される。遠隔地にいる講師（ものづくり教育プログラムの統括者）はサーバに送信されてきたデータを適宜確認して、指導用の資料を作成する。そして資料を基に現地で指導を行っている小学校教諭にアドバイスを

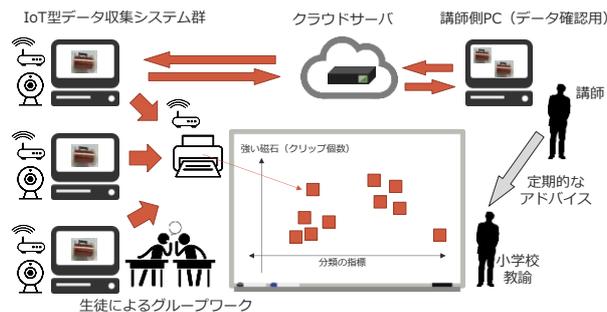


図 3. 作例データ収集システムの全体構成



図 4. 作例データ収集システムと印刷サブシステム

行う。小学校教諭はアドバイスや資料を基にグループワークを行っている生徒に対し適切なタイミングで支援を行う。なお作例データ収集システムからのデータをクラウドサーバに保存することで、小学校教諭や生徒が関係するクラスだけではなく、他校の作例データを参照し、PBL 授業での試行錯誤の参考とすることも期待できる。

3.2 作例データ収集システムの機器構成

次に実際に開発した作例データ収集システムの機器構成を図 4 に示す。まず作例データ収集システムは、可搬性を考慮し、30cm 四方のサイズに収まる様にフレームを製作した。このフレーム内にシステムを統括するマイコンとして RaspberryPi 3B+, データ表示用の 10inch HDMI モニタ、作例を画像として取り込むための WEB カメラ、そして実験値を入力するためのテンキーパッドを組み込んでいる。なお、本システムの従来モデル⁽³⁾では実験条件の取得には RFID を用いていたが、小学生には作業が分かりにくいということがわかった。今回は入力方法を一つにまとめテンキー入力のみとした。印刷サブシステムは実験値や製作条件を記した記録カードを印刷するために用いており、RaspberryPi ZeroW と POS 型サーマルプリンタの POS-5890K によって実現している。なお POS 型サーマルプリンタを採用したのは、メンテナンスのしやすさとランニングコストを考慮した結果である。加えて印刷機能を作例データ収集システムから分離したのは、プリンタも作例データ収集システムに組み込むと可搬性が低下すること、また作例データ収集システムをクラス内の班ごとに作例データ収集システムを設置してもプリンタは 1 台で十分対応できるためである。

3.3 作例データ収集システムの実装方法

作例データ収集システムを運用するには外部から管理するための方法、データの出入と保存に関するルールの設定、作例データを外部のクラウドサーバとやり取りする方法の決定、そして印刷に関する機能の実装が必要になる。実施場所が遠隔地にある場合、記録項目の設定が変更となるたびに現地に赴いて修正するのは困難が伴う。よって、設定変更は遠隔地から修正できる機能を有するのが望ましい。ただし、相手先にある作例データ収集システムにネットワーク接続し直接ログインして修正する方法はセキュリティなど管理運営上の問題が生じやすい。そこで今回はシステムの起動時にクラウドサーバから設定ファイルを取得し記録項目を容易に変更できる仕組みとした。図5はその記録項目を決定する初期設定ファイルの内容である。初期設定ファイルのデータ形式は昨今のIoTクラウドサーバでよく用いられるJSON形式とした。また設定データと作例データを混同しないよう、設定ファイルには先頭のタグはconfigとした。次にtagNNは作例データの保存項目および作例収集システムの画面に表示する項目を表している。タグnameは項目名、タグvalはデータの型式である。例えば整数型であればタグvalの値として”Int”を設定する。また値を入力する必要がなければ空欄とする。この場合はタグnameの値が画面に表示されるだけとなる。タグUnitは値の単位を表し、主にシステムの情報提示画面に用いている。最後にタグcheckは入力必須データか否かを表し、値がTrueの場合のみ、値の入力の有無によるエラー表示を行うものとした。なお、初期設定ファイルはIoTクラウドサーバに保存し、起動時にサーバから読み出すことを想定している。ただし、IoTクラウドサーバの準備の問題から今回はサーバ読み出し機能を省略し、起動時にあらかじめシステム内に保存された設定ファイルを読み出すことにしている。

図6は図7の初期設定ファイルを元に生成した作例データ収集システムの情報提示画面となる。これはRaspberry Pi用のprocessing-3.5により実装を行った。画面右側は初期設定ファイルによって生成される入力項目が表示される。このとき、checkタグがTrueであれば、項目名の左にチェックボックスが表示され、入力済みか確認出来るようになる。画面左側はWEBカメラの画像、およびテンキーからの入力欄、エラーメッセージ表示欄、記録カードのプレビューで構成されている。なおWEBカメラは作例の画像情報を取得することを目的としている。この作例データ収集システムはテンキーパッドのTabキーを押すことで作例画像データと入力項目が記録されたテキストデータを作成する。ここで作成される記録データの各項目は先ほど説明した初期設定ファイルを元にJSON形式で自動生成される。すなわち、初期設定ファイルのタグnameの値が記録データのタグに新たに設定され、テンキーパッド

```

{"config": [
  "title": "電磁石パラメータ表",
  "tag01": [{"name": "班番号", "val": "Int",
    "Unit": "", "Check": "True"},
  "tag02": [{"name": "クリップ個数", "val": "Int",
    "Unit": "個", "Check": "True"},
  ....
  "tag07": [{"name": "鉄心材料", "val": "",
    "Unit": "", "Check": ""}],
  ....
]}

```

図5 記録および画面表示項目の初期設定ファイル



図6 実際の作例データ収集システムの情報提示画面

```

{
  "data": [
    "班番号": 1.0,
    "クリップ個数": 596.0,
    "巻き数": 1200.0,
    "電圧": 3.0,
    ....
    "date": "20180823@141753",
    "jpg": "/9j/4AAQSkZJRgABAQAAQABAAD/2wBDAAZnflHPFOEIBOTOjE3ajFd6rpF5cQ2.....
  ]
}

```

図7 生成されたクラウドサーバ送信用データ例

から入力した値がそのまま記録データのタグに対応する値となる。またタグdate、タグjpgは強制的に追加される項目で、dateは撮影日時を記録し、タグjpgは作例の画像データとなる。なお作例データ収集システムはIoTクラウドサーバを介した運用を考えている。そのため、画像データはjpgなどのバイナリデータではなく、Base64エンコード方式によりテキストデータ化している。ただし今回はIoTクラウドサーバの準備の問題から、googleメールサーバを介して教育プログラムを統括する講師にメールを送信する方式とした。また画像は640×480pixelのサイズとしたため、記録データの一件あたりのサイズは約80KB程度となっている。なお現在は実施校を識別するタグを含めていないが、将来的には配布機材のMACアドレスなどで分類することを考えている。

作例データのサーバへの送信と同時に、記録データをカード化したものを印刷する処理も行っている。これは図7の情報提示画面の印刷プレビュー部分を



図 8. データ収集システムの使用例と実験データを示した実験記録カードの印刷例

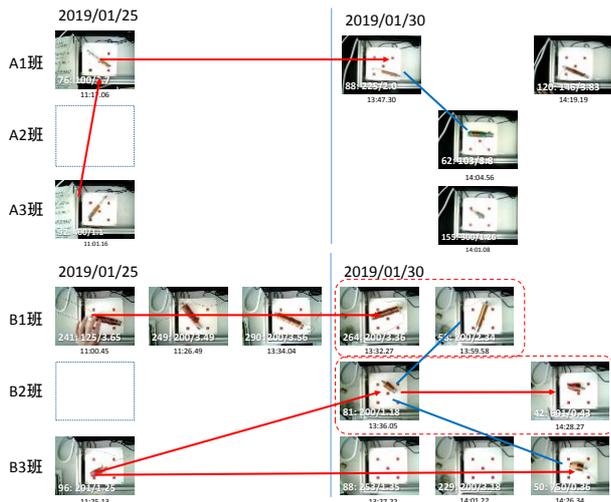


図 9. 保存された作例データから抽出した指導用データ

PNG 形式の 200×200pixel の画像データとして、LTE ルータ経由で wifi 接続された印刷サブシステムの RaspberryPi zero W に送信している。データを受信した印刷サブシステムは POS 型サーマルプリンタで即座に印刷を行う。印刷された実験記録カードは図 2 左下に示す記録カードとして生徒の比較検討の資料として利用される。なお、画像サイズは POS 型サーマルプリンタからの出力が読みとることが出来る最小サイズとなっている。図 8 はその時の利用状況と実験記録カードの参考例となっている。

4. 作例データ収集システムから得られるデータを用いた指導支援

作例データ収集システムによって作例画像を含む JSON 形式の実験値データは自動的に教育プログラムを統括する講師に送信されてくる。講師はその JSON 形式のデータをデコードし、画像と実験値を抽出する。次に実験日時と班ごとにデータを分別し、時系列ごとに配置する。そして実験値や作例の諸元をもとに関連性などを図に示す。図 9 は 2018 年度に実施中の作例データの例である。

1 回目の作業実施日となった 1 月 25 日には B1 班が 3 例、B2 班が作例無し、B3 班が 1 例作成したことがわかる。また B1 班は実験値や諸元から類似度が高いものを作っていることが確認できた。2 回目

表 1. 作例データに基づく指導用アドバイスの概要

| | |
|--------|----------------------------------|
| 1/26 | |
| A全体 | A1,A3の作例を元に、行き詰っている場合の条件設定例 |
| B1班 | 条件がほぼ同じでも結果に差が現れた原因として考えられる理由 |
| | |
| 1/31 | |
| A全体 | 未使用の条件があるため、比較検討時に局所解に陥る可能性の指摘 |
| B1班 | 比較を促す際の着目点 |
| B2班 | 比較を促す際の着目点 |
| B2,B3班 | 班間で類似傾向が出てきたため、条件の分散についての指摘 |
| | |
| 2/1 | |
| B2班 | 実験値が異常値を示したため、作例の諸元確認と対処法についての指摘 |

の作業実施日となる 1 月 30 日には B1 班が 2 例、B2 班が 2 例、B3 班が 3 例作成している。B1 班は 1 回目の作例と類似のもの、条件を変えたものを作成した。B2 班は比較しやすい条件で 2 例作成しているが、基本は B3 班の 1 回目の作例と類似していることが確認できた。B3 班は 1 回目から 2 回目の 3 例までほぼ同じ条件で作りを続けていることが確認できた。また 2 回目では図中の青線で示す班を超えて比較しやすい作例も現れたことが確認できた。また A グループは全体的に作例が少ないことがわかる。

作例データに基づく指導支援は基本的に実施日ごとに行い、図 9 の作例データ一覧とそれに基づくコメントをまとめ、メールで小学校の担当教諭に送信することとした。表 1 は送付したコメントの概要である。たとえば 1 月 25 日の作例において、A グループは作例が少ないため、特に A1, A3 班と重複しない条件をコメントした。また B1 班の結果から、諸元などの条件はほぼ同じながら、2 回目と 3 回目の実験結果に比較的大きな違いが出ていることがわかった。そこで生徒から質問を受けた場合の対応として違いが現れた原因となる理由について提示し、詳しく調べる場合の適切な条件などを提示している。また 1 月 31 日の作例では B2,B3 班が同じ形状となり始めた。これは局所解となる可能性を考慮して、その指摘と条件を変える場合のコメントを行った。

5. まとめ

本研究では、ものづくり系 PBL において作例データから指導支援を可能とするためのシステムを提案した。2019 年 2 月現在、本教育プログラムが進行中ではあるが、得られた結果を元に教育プログラムとそのシステムの評価と改良を継続する予定である。

謝辞

本研究は科学研究費基盤研究 (C) 課題番号 16K01151 の助成を受けたものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- (1) 千田和範, 佐藤英樹, 野口孝文, 稲守栄, 荒井誠, 梶原秀一, 風力発電用翼設計を通じた試行錯誤型実験における課題設定とその作品との関係, 工学教育, 56-5, pp.103-110, (2008)
- (2) 千田和範, 稲守栄, 野口孝文, コンテストを用いた多角的な試行錯誤から学ぶ理科実験実習プログラム, 教育システム情報学会第 39 回全国大会, G3-1, p.245-246 (2014)
- (3) 千田和範, 稲守栄, 野口孝文, 試行錯誤型理科教育プログラムにおける知識伝播の可視化のための教育支援システムの開発, 教育システム情報学会第 43 回全国大会, E1-4, p.91-92 (2018)

教育活動映像からの子どもの関心推定システム開発の試み

山田 徹志*1, 浅利 恭美*2, 青柳 燎*3, 宮田 真宏*2, 大森 隆司*3

*1 玉川大学脳科学研究所 *2 玉川大学大学院工学研究科 *3 玉川大学工学部

Trial of child's interest estimation system development from educational activity image

Tetuji Yamada*1, Yukimi Asari*2, Ryo Aoyagi*3, Masahiro Miyata*3, Takashi Omori*2

*1 Tamagawa University, Brain Science Institute, *2 Tamagawa University, Graduate School of Engineering, *3 Tamagawa University, School of Engineering

幼児教育学分野では、子どもの心の状態の記述が「子どもの育ち」を議論する指標の一つとなっている。中でも、心情・意欲・態度の基礎を培う上で「関心」は、子どもの自立能動的な学習の理解に寄与する重要な要因である。一方、心の状態（関心）の記述は現状では人（実践者・研究者）の経験知で解釈する他ない。さらに、その客観性の確保は難しく、その記述作業に膨大な時間と労力を要する。そこで我々は、人工知能を用いて子どもの教育活動映像を解析し、物理的な活動量から半自動的に個々の関心を推定するシステム開発を試みているのでその進捗を報告する。

キーワード: システム開発, 関心推定, 教育支援, 画像認識

1. はじめに

近年、乳幼児期からの早期段階での教育環境整備が大きな社会投資効果を有することが明らかとなっている(1)。さらにこれらの投資効果は、「非認知能力」という人生を生きる上で重要な人間性に関わる能力・個性の醸成へ影響を及ぼすことも示唆されている(2)。これを受け、乳幼児の教育の重要性が再認識され、「幼児教育（保育）の質」の向上に関する研究・調査が国内でも本格的に進められている(3)。

一方で、教科教育ではない幼児教育は、特定の教科の学習習熟度の向上から「子どもの育ちの状態」を評価することが難しい。その為、教育現場（幼稚園・認定こども園等）では、子どもの「遊び」・「生活」における姿の変容を日誌等の記録により記述し、教員が評価を行う。また、この手法は幼児教育研究分野においても同様で、多くは質的分析手法により育ちの状態（子ども個々の発達の状態）を評価することで「幼児教育の効果」の向上を計ろうとしている。これらの研究手法は、研究者や教育実践者（幼稚園教諭・保育士）の

経験知からの主観的解釈による子どもの心の状態の記述を基に行われている。この手法は幼児教育において、「遊び」・「生活」から子どもの育ちを解釈する上で有効であるが、その記述・解釈には人手による多大な作業と時間が必要であり、教育現場での事例収集にも制限がある。さらに、分析における結果は定性的なものになりがちで客観性を保つにも限界がある。

この問題に対しいくつかの幼児教育研究・実務支援技術はすでに存在している(4,5)。しかし、これらは、事前に記録されている保育映像や事務記録の保管・管理の機能が主であり、教育実践の振り返りや教育研究において保管された記録を人が見直し解釈するためのツールとして使用されているが、人手による質的分析に替わるものではない。そのため、記録されたデータの解釈はやはり人の経験知に依存し、解釈のための労力・時間は記録の量に比例して増加する傾向にある。これは、現行の幼児教育支援技術の限界である。

そこで我々は、幼児教育研究・実践を支援する新たな分析システムとして、映像情報から子どもの心の状態（関心）を機械的手段で「見える化」する分析技術

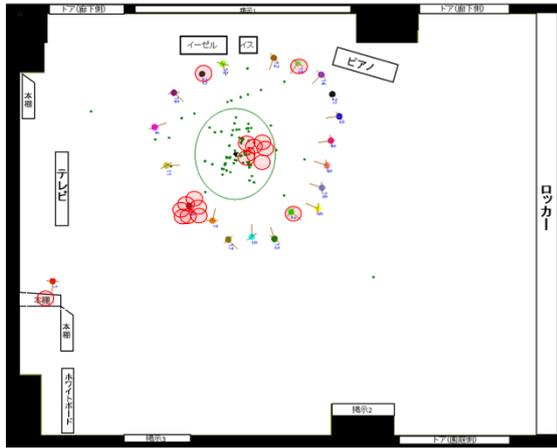


図1 ある瞬間（1秒）の個々の関心対象と行動特徴量（位置・向き）

図1 ある瞬間（1秒）の個々の関心対象と行動特徴量（位置・向き）

を開発し、ビッグデータを用いた定量的な幼児教育支援システムの構築を目指している(6.7.8).

子ども心の状態の「見える化」に向けて、幼児教育研究者・実践者は、子どもの日常的な「生活」や「遊び」における動作を観察して心の状態を読み取ることで、心情・意欲・態度を基礎とした子どもの育ちの度合を評価している(9.10.11). その中でも特に注目すべきは、子ども自立能動的な学習の基礎となる事象(物事)への「関心」という心的状態であろう. そして、これまでの研究成果から我々は、子どもの関心の推定(以下、関心推定)には子どもの「位置」・「向き」という物理的な行動特徴量が寄与し、その詳細な観察により関心推定は可能であると考え(6.7.8).

以上より、本報告は工学的な手法により教育活動映像から子どもの動作をセンシングし関心推定を行うシステム構築についての研究の進捗を報告し、本システムの実現の可能性について検討していく.

2. 子どもの関心推定システム

2.1 子どもの関心と行動特徴量（位置・向き）の関係

本研究では、人の感覚知による子どもの関心状態の評価の結果として、そのための定量的な指標として子どもの頭と体の位置・向きに着目している(参考文献). 我々はこれまで、子どもの関心状態の評価のため複数の保育専門職者によるのべ約 1500 時間のアノテーション(記述)を実施してきた. その結果、子どもが関心に向け対象に主体的に関わろうとするときには、関心対象と子どもの行動特徴量(本研究では位置・向き)

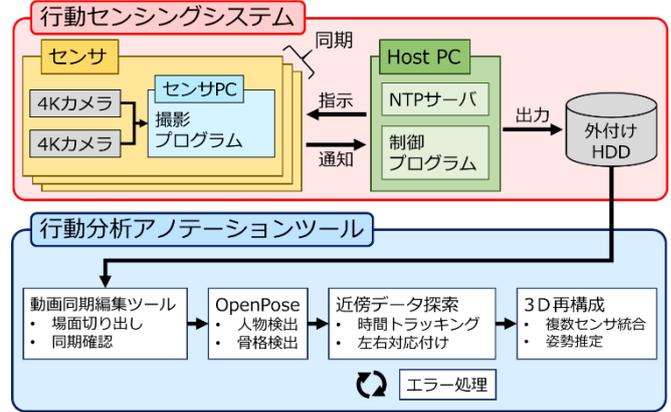


図2 関心状態推定システムの全体像

の間に強い関連があることが示された. 例えば、関心対象の方を向いて近くまで移動する、関心対象をじっと見つめる、という場面がそれにあたる.

図1は、観測・記述した教育活動データ18分53秒におけるある瞬間の幼児18名の関心対象と位置・向きの可視化した結果である. 図中で、子どもの関心対象と位置・向きは以下のように示されている.

- ・異なる色で示された点：子どもの位置.
- ・点より延びる線：子どもの頭(前方)と(両肩方向)の向き.
- ・赤色の円：関心対象の位置
- ・緑の点：子どもたちの頭の向きを直線として伸ばした場合の交点.
- ・緑の円：頭の向き方向に伸ばした直線の交点群の標準偏差 $\sigma=1$ の広がり.

このとき、ある一人の幼児(注1、以下A児)を除き、子ども達は円形に立って円の中心方向を向いている. 頭の向き方向に伸ばした直線の交点は円の中心部に集まり、その広がり標準偏差 $\sigma=1$ は小さく、子どもたちの輪の中に納まっている. そして関心対象は、A児を除いては輪の中心・保育者・仲間の子どもの示しており、子ども達が形成する輪の中に収束している. 一方で、この時のA児の関心対象は本棚である.

この場面は「輪になり次の活動を待つ」教育活動場面であり、教員はこの時は子どもたちに輪になるよう指示している. その為、記述された子どもたちの関心は、輪を作る全体の活動と教示を行う教員へ向いていた. これより、「輪になる」と「教員」という関心対象が多数となった一方で、A児は全体の関心傾向とは異なり本棚の絵本へ関心を向けていている.

記述された子どもの関心状態を関心対象に対する位置・向きと比較すると、両者の間には強い関係があることが推測される。これより我々は、全体の関心傾向や個人の関心傾向もまた位置・向きから推定可能と考える。そして、位置と向きという行動特徴量は、現在の工学技術を用いれば行動センシング環境を整備することで抽出可能であると考えられる。

2.2 関心推定システムの全体像

関心推定システムの開発は大きく「行動センシング」と「行動分析」の二つの側面で行われている（図 2）。図 2 上部の行動センシングシステムでは、まず教育活動映像を複数台のステレオ 4K カメラ（現在は教室に 3 台、4K カメラ 6 台を使用）を時間同期させて取得する。複数台で異なる方向から観察することで、人物の重なり（オクルージョン）による観察ミスを減少させる。取得された映像はセンシング装置内部のセンサ PC に一時保存され、観察終了後に HostPC を通じて外部のディスクに保存される。

図 2 下部の行動分析システムではまず、取得された教育活動の映像について、全フレームの時間同期の確認と必要な場面を切り出すカット編集を行う。その後、骨格検出ソフト OpenPose (12) により映像内の子どもの骨格を検出する。この段階で、抽出された個々の骨格について左右の映像で対応付けすることで、個々の骨格情報の 3 次元再構成が可能となる。これより、教育活動映像から関心推定に必要な子ども個々の位置・向きの検出が実現され、関心推定が可能となると期待できる。本稿では以降、関心推定システムの試作とその予備的観察による子ども個々の位置・向き情報の 3 次元再構成の結果について報告する。

3. 関心推定システム実現に向けた試み

3.1 行動センシングシステムの開発

開発を試みたセンシングシステムは、左右 2 台の 4K カメラ (Logitech 社製) を搭載した行動センサ装置で、教育活動の 4K 映像を 10fps で記録できる。制御用 PC には Linux 系 OS を使用し、HostPC を介した NTP (Network Time Protocol) で時間同期したことで、センサ装置の間では 10 ミリ秒以内の精度での同期を実

現した。複数のセンサ装置は有線 LAN を介して Host PC に接続している。

取得される教育活動場面の映像データは、センサ装置 1 機につき 1 時間の計測で約 54GB になる。さらに 1 つの教室にセンサ装置 3 台を用いるため、取得データの総量は 1 時間あたり約 162GB に及ぶ。

このデータは計測後に各センサ装置から FTP (File Transfer Protocol) を用いて HostPC に接続されたディスク装置に自動転送される。そのため、Host PC には FTP サーバを構築した。なお、データ転送に際して各センサ装置ではまず映像データを圧縮してデータ量を削減し、転送後にはセンサ装置内と Host PC の双方で圧縮データのハッシュ値を比較して転送の確実性を確認する。以上より、複数台の 4K カメラから安定的に教育活動映像を記録することが可能となった。

3.2 骨格情報からの子どもの位置・向きの検出

取得した映像データから子どもの関心を推定するには子どもの位置・向き情報の抽出が必要である。そこで本研究では、ステレオ画像処理により人物の 3 次元姿勢を連続的に検出する方法を試みる。そのため、2 次元画像から画像中の人物の骨格を検出する人工知能ソフト OpenPose を用いて、身体画像からの身体的再構成を目指した。本稿では、成人 4 人を対象とした 6 秒間のステレオ映像を題材に、人物骨格の 3 次元再構成による姿勢推定の結果を報告する。

OpenPose による画像中の人物骨格の検出は、1 画像中に複数人がいる場合には個々の人物の骨格情報の出力が順不同となり、ステレオの左右画像からの出力はそのままでは対応せず 3 次元再構成は行えない。そのため、各人物の画像中の骨格位置のずれ量より左右画像で対応する骨格を検出して両眼視差を抽出し、骨格の各関節の 3 次元位置を計算して身体姿勢の再構成を行った。

検証として、成人 3 名に対してステレオカメラ 1 台を用いて計測し、OpenPose の検出結果より 3 次元再構成を行った。その結果、ある程度の精度で 3 次元再構成が実現できた（図 3）。しかし、手足の位置が細かく揺らぎ、奥行方向への大きなズレが生じた。これは、OpenPose による骨格検出に揺らぎが生じていたことによる。この問題に対し、骨格検出後に画像処理手法

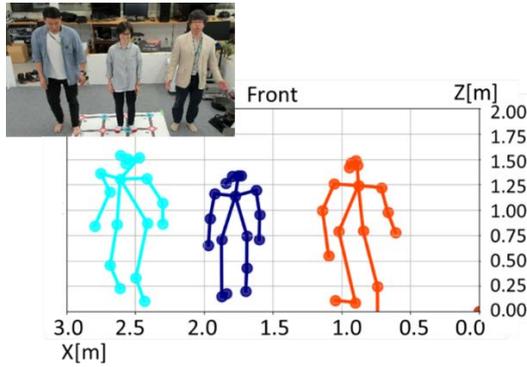


図 3 計測場面および 3 次元再構成結果

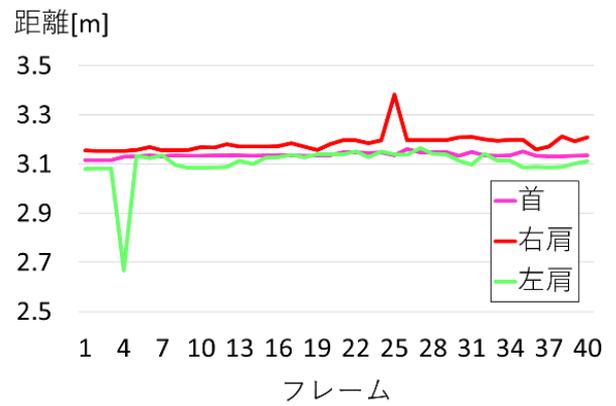


図 5 テンプレートマッチングを用いた際の肩周辺における奥行方向の揺らぎ

表 1 肩周辺の揺らぎの標準偏差 (OpenPose による 3 次元再構成)

| 特徴点 | 奥行方向 | 横方向 | 高さ方向 |
|-----|-------|-------|-------|
| 首 | 5cm | 0.6cm | 1.7cm |
| 右肩 | 5cm | 1.2cm | 1.3cm |
| 左肩 | 7.5cm | 0.7cm | 2.2cm |

表 2 肩周辺の揺らぎの標準偏差 (テンプレートマッチング後の 3 次元再構成)

| 特徴点 | 奥行方向 | 横方向 | 高さ方向 |
|-----|-------|-------|-------|
| 首 | 0.6cm | 0.5cm | 0.3cm |
| 右肩 | 1.9cm | 0.6cm | 0.6cm |
| 左肩 | 2.4cm | 0.5cm | 0.7cm |

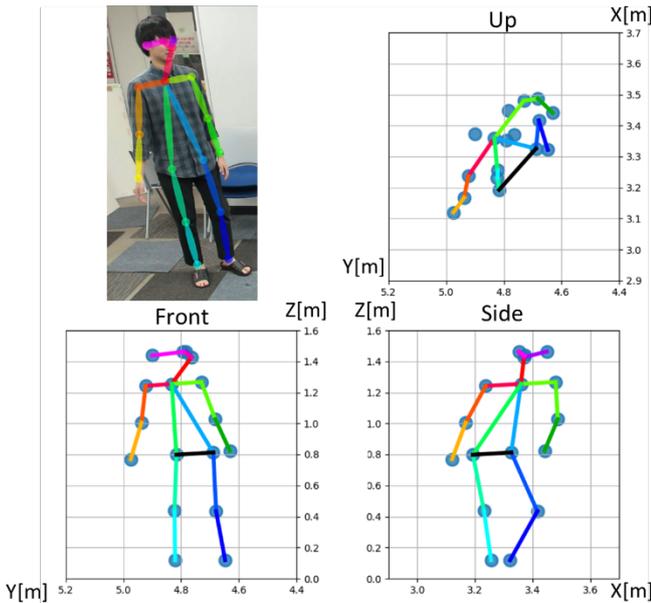


図 4 OpenPose による骨格検出およびテンプレートマッチングによる 3 次元再構成結果

であるテンプレートマッチングを用いた揺らぎの補正を試みた。これは、一方の画像の特徴点の検出位置を基準として、輝度の相関を用いてもう一方の画像の対応する位置を探索する手法である。この手法を用いて改めて関節の対応点の探索を行い、成人 1 名のある瞬間に対する 3 次元再構成を行った結果、姿勢推定の誤差が大きく減少した (図 4)。

テンプレートマッチングの効果の検証のため、4 秒間 (40 フレーム) の静止状態の人物の 3 次元再構成を行った。評価には、比較的安定して検出できる首、右肩、左肩の特徴点の奥行方向の揺らぎの傾向を見た (図 5)。4 フレーム目では左肩に約 40cm 以上、25 フレーム目では右肩に約 18cm 以上のズレが生じている。これらの原因は、4 フレーム目では基準とした画像における OpenPose の骨格検出が、対象フレームと前後フレーム間で横方向に約 10 ピクセル以上ゆらいだためと考

えられる。また、25 フレーム目では、人物の服の柄 (輝度の差分) の均一性のためにテンプレートマッチングで誤検出が生じていた。これらの外れ値を検出・除去するため、奥行きデータの標準偏差を算出した (表 1)。テンプレートマッチング後の結果については、 $\pm 2\sigma$ を超えたデータを削除した標準偏差を算出した (表 2)。その結果、外れ値を取り除くことで標準偏差 2.4cm 以下となり、これは人物の姿勢を推定し、位置・向き情報を抽出するのに十分な範囲の誤差だと考える。

以上より、記録した教育活動映像データからの関心推定分析の要となる子どもの位置・向き情報の自動抽出は、骨格検出後に 3 次元再構成の揺らぎ補正することで可能であると考えられる。

4. センサ装置開発と分析手法の確立

4.1 行動センサ装置の開発と定点観測地の確保

行動センサ装置を用いて教育現場での定点観測を行うため、行動センシングシステムの各種機器を格納した行動センサ装置を企業と共同開発した(写真1)。本行動センサ装置を複数台、幼稚園・保育園の壁に設置して4K解像度のステレオ映像で日々の教育活動を計測・記録する体制を整えた。さらに現在、定点観測地点を拡大し、小学校を含めた複数の教育施設の教室及び保育室への設置を進めている。対象の幼稚園から小学校には多くの子どもが進学しており、縦断の関係にある多様な教育活動のデータ収集が期待できる。

4.2 位置・向き情報の評価とオクルージョン問題

抽出した骨格左右の肩の位置が先述のテンプレートマッチングで正しく推定できた場合には、その人物の位置と体の向きが少ない誤差で推定できる。これより、条件が良いときには関心推定に必要な位置・向きの情報は機械的な手段で獲得できると期待できる。

しかし、ステレオ画像からの3次元再構成には避けられない問題がある。一つはオクルージョンによる左右の対応部位の遮蔽、もう一つは均質な画像テクスチャによる画像の対応検出の誤りである。OpenPoseはたとえオクルージョンで人の身体が見えなくとも身体骨格を推定する強力な道具であるが、その推定精度は決して高くない。そのため、左右の対応付け時にオクルージョンや均質画像の判定を行ない、骨格の位置情報の信頼性を評価して問題のある推定値を排除する手法の開発が必要である。

この問題を軽減するため、本研究では複数の行動センサ装置からの3次元再構成情報を統合して使用することを考える。幼稚園などでの教育活動では多くの子どもが集まるためオクルージョンが多発し、完全に解消はできない可能性は高いが、その程度を軽くすることを目指す。どの程度の推定精度があれば関心推定などの利用に資するかは、今後の評価が必要である。

欠損データの後処理として、欠損箇所を人が修正し補完できるアノテーションソフトウェアの開発もまた課題である。そもそも、最新の人工知能やICT技術でも100%の精度の姿勢推定は実現できず、人手による



写真1 開発した行動センサ装置試作機。

カメラマウント部分は上下左右に画角を調整できる。

補完が欠かせない。現在、画像から人の行動をアノテーションするツールは複数あるが、ステレオ画像処理による3次元再構成のような機能はいまだ無い。また、そのような機能を付加できるソフトウェアIFが公開されたアノテーションツールも見当たらない。アノテーションツールのシステム開発の費用・労力を考慮すれば、既存のアノテーションツールとの統合ができることが望ましい(13)。

5. 今後の課題と発展

5.1 関心推定システムの開発課題

今後の主要な課題は、複数の定点観測地における行動センサ装置の運用と分析システムによる子どもの行動特徴量(位置・向き)の抽出評価である。

行動センサ装置については、社会実装を見据え適切かつ安定的に多様な教育活動の映像を取得できることを確認していく必要がある。この時、子どもの個人情報が含まれる可能性があるため、暗号化等により安全に管理する手法についても検討を要する。また、装置自体のコストの削減もまた普及のための課題である。なお、多様な教育施設での運用を目指し、遠隔操作による行動センサ装置の稼働実験も継続していきたい。

分析システムについては、子どもの位置・向き情報を高い精度で検出する分析手法の確立が望まれる。そのためには、骨格情報のオクルージョン問題を解決する画像処理アルゴリズムの開発が必要である。今後開発するアノテーションツールで、如何にして人の作業

を軽減し、半自動化処理を実現していくか、本システムの実現に重要な課題であろう。

5.2 社会実装に向けた議論

近年の AI 技術の進展は急速であり、人の活動を高精度で認識する技術はいずれ実現されよう。教育活動場面の高度かつ長時間の記録分析もまた可能になると予想される。そうなれば、幼児教育・保育の分野でも新たな科学的発見や保育者の作業軽減、専門性の向上といった効果が期待できる。本研究はその初期の試みと位置付けられよう。

映像からの行動特徴量としての位置・向き の計測を通して関心推定が可能であるなら、教育実践現場において新しい教育支援システムの開発に繋がるだろう。特に、AI、IoT、ビッグデータは急速に我々の生活に浸透し発展し続けている。本研究は、これらの技術発展に伴い、これまで教員や研究者が行ってきた育ちの記述の作業を半自動化できる近未来を目指している。

例えば、特徴的な発達傾向を示す子どもの関心や個性の推定、さらに、教員間での関心の読み取り技能の共有や教育実践現場における子ども育ちの振り返り資料への活用など、子どもとの関わりや教員同士の相互理解を深めながら「教育の質」を議論する定量的資料がより少ない労力で得られる可能性がある。

しかし、本研究が目指す子どもの関心推定技術が実用的な教育支援システムとして社会実装されるためには、教育実践現場での有用性についての議論が求められよう。その為には、教育実践者・研究者と共にこれを如何に活用して教育の質を向上させるか、その方策と効果の議論が必要である。また、このような新しい技術の確立と実装は、社会に対し想定以上の大きな影響力を持つ可能性がある。新技術により得られる結果の解釈を誤れば、子どもの育ちの安易な評価や教員の職務評価も起こりうる。それを防ぐには、システムが現実のものとなった後での議論では手遅れであろう。そのため、技術開発のみではなく実装する教育領域の将来の姿を見据えた開発が必要である。

謝辞

本研究は、産業技術総合研究所人工知能研究センターからの委託研究として実施された。支援に感謝する。

参考文献

- (1) OECD Starting Strong 2017 Key OECD Indicators on Early Childhood Education and Care OECD (2017)
- (2) Heckman, James J. and Tim Kautz, "Fostering and Measuring Skills: Interventions that Improve Character and Cognition" NBER Working Paper Series 19656Zhe (2013)
- (3) 秋田喜代美 淀川裕美(訳)『「保育プロセスの質」評価スケール』 明石書店 (2016)
- (4) 刑部育子, 戸田真志, 植村朋弘, 佐伯胖 : 観察中の「瞬間リフレクション」記録・分析のためのツール開発, 日本認知科学会 第 26 回研究大会 研究大会発表論文集 pp3-5 (2009)
- (5) MKI 三井情報株式会社 きっずノート <https://www.mki.co.jp/solution/kidsnote.html> (2019.2.4)
- (6) 山田徹志, 肥田竜馬, 宮田真宏, 大森隆司 : AI による保育研究支援システム開発に向けた予備的調査 - 子どもの関心推定を目指して - 日本人工知能学会 第 32 回大会研究大予稿集 103-OS-15b-03 (2018)
- (7) 浅利恭美, 山田徹志, 宮田真宏, 大森隆司: "子どもの関心推定のための行動センシングシステムの開発", 日本教育工学会第 34 回全国大会講演論文集, pp.679-680, (2018)
- (8) 山田徹志, 浅利恭美, 宮田真宏, 中村友昭, 長井隆行, 岡夏樹, 大森隆司: "AI により子どもの発達・教育研究を支援する分析手法の検討- 子どもの位置・向き情報による関心の推定 -", 日本教育工学会 第 32 回全国大会, pp.51-52, (2018)
- (9) 文部科学省 『幼稚園教育要領』(2017)
- (10) 厚生労働省 『保育所保育指針』(2017)
- (11) 内閣府 『認定こども園 保育・教育要領』(2017)
- (12) Zhe Cao, Tomas Simon, Shih-En Wei, Yaser Sheikh: "Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields", cao2017realtime, (2017)
- (13) 大村廉: "ATLAYA: アノテーションと行動分析ツールの統合による行動ラベル取得労力の低減と柔軟な分析環境", 知能と情報 Vol.28, No.6, pp.899-910, (2016)

安全・安心まちづくりの観点の学習に向けた 防犯ウォーキングアプリ「歩いてミイマイ」の開発

米谷雄介^{*1}, 磯野友亮^{*1}, 矢部智暉^{*1}, 大久保智生^{*1}, 竹下裕也^{*2}, 八重樫理人^{*1}

^{*1} 香川大学, ^{*2} 株式会社テリムクリ

Development of “Aruite Mi Mai,” a Walking Application for Crime Prevention for Safe and Secure City Development

Yusuke Kometani^{*1}, Tomoaki Isono^{*1}, Tomoki Yabe^{*1}, Tomoo Okubo^{*1},
Yuya Takeshita^{*2}, Rihito Yaegashi^{*1}

^{*1} Kagawa University, ^{*2} Terimukuri Corporation

安全で安心して暮らせるまちづくりを実現するためには、(1)安全性の正しい認識の下、(2)行政、地域、企業・住民が各種のリスク情報を共有し、(3)連携して対策に取り組むことが必要である。これを受け、我々は、まちの点検活動を通じて安全性の観点を学ぶこと、ならびに点検内容をリスク情報として共有することを可能にするアプリを開発した。本稿では、実証実験データに基づき本アプリの有用性を議論するとともに、コミュニティ形成支援に向けた展望を述べる。

キーワード: 安全・安心まちづくり, 観点, 防犯, 犯罪機会論, 情報共有, コミュニティ形成

1. はじめに

我が国は、自然的条件から地震、台風、豪雨、土砂災害、津波、火山噴火、豪雪などによる災害が発生しやすい国土となっている。また、児童を対象とした連れ去りは後を立たず、防犯や交通安全等の日常における安全・安心の確保も課題に位置づけられている。災害や犯罪等による被害発生を抑制し、安全・安心を保証する社会システムを構築することが求められている。

国土交通省は、安全で安心して暮らせるまちづくりを実現するために、「安全」性の正しい認識の下、その向上が「安心」の確保につながるよう、行政、地域、企業・住民が各種のリスク情報を共有し、それぞれの役割を認識しながら、相互に連携して都市の安全性を高めるための対策に取り組んでいく必要があると述べている⁽¹⁾。すなわち、安全・安心まちづくりを推進するために必要な要件は以下の3点に整理できる：

要件(1)：安全性の正しい認識を育むこと

要件(2)：正しい認識に基づくリスク情報の共有

要件(3)：コミュニティを形成し対策に当たること

安全・安心まちづくりを推進するためには、これらの要件に対応した支援を設計し提供することが重要である。また、要件(2)を満たすためには、要件(1)が保証される必要があり、要件(3)をより効果的なものにするためには、要件(2)が満たされる必要があるといったようにこれらの要件は順序関係をもっている。

本研究は、安全・安心まちづくりの中でも、防犯まちづくりの推進に焦点を当てる。平成30年5月に新潟市で発生した児童が犠牲となった痛ましい事件等を踏まえ、安全確保に関する今後の対策として「登下校防犯プラン」が決定され、地域連携の場の強化や通学路の防犯の観点による点検の実施などの対応が盛り込まれている⁽²⁾。こうしたニーズも踏まえ、本研究では、要件(1)に対応するまちの点検活動を通じて防犯に関する安全性の観点を学習できる機能、それと同時に要件(2)の点検内容をリスク情報として共有することを可能にする機能を有するシステムを開発する。また本システムの展望として、要件(3)のコミュニティを強化す

る機能のデザインについても議論する。

本研究が目指すシステムは、若者から高齢者に至るまで多様な年齢層を防犯まちづくりに参画させることをねらいとする。そこで、より身近に使用してもらうことを意図して、スマートフォンやタブレット端末で動作するアプリケーションを用いてシステムを構成することとした。また、まちの点検は、まちを歩き回ることから、運動不足の解消など健康面におけるメリットを利用者に意識づけすることも可能である。そこで、まちの点検活動を促す方策として、将来的には、ウォーキング履歴の記録機能やフィードバック機能を付与することとし、アプリ名称を、防犯ウォーキングアプリ「歩いてミイマイ」と命名した。

本稿では、防犯ウォーキングアプリ「歩いてミイマイ」(以下、本アプリと呼称)の機能のうち、主目的である安全・安心まちづくりの観点の学習に向けた機能およびリスク情報の共有機能の設計を述べ、開発した本アプリの画面を紹介する。実証実験データから本アプリの有用性を記述し、関連研究との比較により新規性を述べる。最後に、コミュニティ形成支援機能の開発に向けた展望を述べる。

2. アプリ設計

2.1 地域安全マップづくりを通じた観点の学習

利用者はまちの点検活動を行い、安全箇所・危険箇所を報告・共有する。利用者が個別に記録した情報を共有するため地域安全マップを活用する。地域安全マップとは、犯罪が起こりやすい場所の風景写真を使って解説した地図であり、学習者自身が作成することの効果として、景色解読力(危険予測能力)の向上、他者・地域・未来との絆づくり、犯罪機会論の普及が挙げられている⁽³⁾⁽⁴⁾。本アプリでは、地域安全マップを作成可能なユーザインタフェース(以下、UIと呼称)を用意する。

利用者が安全性の観点を使いこなせるよう訓練するという目的を既に述べた。そこで、利用者は地域安全マップを作成する過程において、安全・危険箇所を記録するだけでなく、記録を行う度に明示的に、安全性の観点に基づいてその場所に潜むリスクを評価し、言語化することを繰り返し行わせることとした。

2.2 安全性の観点の選択

利用者にリスクを評価させるため、報告を行う際には、安全性の観点をキーワードとして報告に付与させる。また、情報共有の際には、どの観点に基づく報告であるかを共有することで、他者の報告を閲覧する際に自分に不足している観点に気づく機会を与える。

小宮⁽⁴⁾は犯罪を発生させる要素のうち、取り除ける可能性が最も高いのは、犯罪機会であることを主張し、誰でも、いつでも、どこでも理論を実践できるようにするため、犯罪抑止の三要素を考案した。犯罪抑止要素を個人的防犯の手法である抵抗性、集団的防犯の手法である領域性・監視性に分類し、犯罪を未然に防ぐ観点である領域性と監視性を高めることの重要性を述べた。また、小宮は領域性や監視性の観点を小学生でも使えるようにキーワード化している⁽⁵⁾。

本研究では、犯罪機会論に基づき小宮が考案したキーワードを用いることとした。安全性のキーワードは「見えやすい」「入りにくい」であり、その逆の「見えにくい」「入りやすい」場所が犯罪機会を高める場所であると捉えることができる。「見えやすい・見えにくい」が監視性を表す尺度であり、「入りやすい・入りにくい」が領域性を表す尺度である。まちの点検活動の報告の際には、利用者にその場所が安全か危険かの判断を行わせた後、その理由づけとしてキーワードを報告に付与させる。

3. アプリ実装

本アプリの全体は、より幅広い層の利用者獲得を目的としたウォーキング支援機能や、将来的な社会システムへの実装を見込んでコミュニティ形成支援までを含んだ概念を基盤としているが、本研究では、2章において述べた設計に対応する基本機能を実装し、評価することとした。実装した機能は、「安全箇所・危険箇所報告機能」(要件(1)に対応)、および「安全箇所・危険箇所共有機能」(要件(2)に対応)の2つである。本稿では、実装したアプリを用いて、これらの機能の有用性を示すとともに、コミュニティ形成支援(要件(3)に対応)については、ゲーミフィケーションの要素を加えたさらなる機能拡張を議論する。

3.1 本アプリの基本仕様

本アプリは、Android を OS として持つ、スマートフォンないし、タブレットにおいて動作する。図 1 に本アプリのログイン画面を示す。利用者はメールアドレスを登録することで自らアカウントを発行することができる。利用者は登録時に、氏名、ニックネーム、身長、体重、年齢を登録する。身長、体重、年齢はウォーキングにおけるカロリー計算に用いるためのデータである。ニックネームは報告内容に付与され、他者から閲覧できる情報である。

3.2 安全・危険箇所報告機能

安全・危険箇所報告機能は、利用者がまちの点検活動において発見した安全・危険箇所を登録できる機能である。該当箇所において風景写真を撮影し、そこに安全・危険の判断および判断理由となる観点やコメントを付与してシステムに登録することができる。図 2 に UI を示す。またアプリ利用中は GPS 機能が背後で動作しており、利用者による登録内容には、経緯度の情報が付加されてシステムに登録される。

3.2. 安全・危険箇所共有機能

安全・危険箇所報告機能において登録された報告は、安全・危険箇所共有機能において閲覧できる。経緯度を付与されて登録された報告が地域安全マップとして可視化される。図 3 は、安全・危険箇所共有機能における地域安全マップの UI である。登録機能において記録された安全・危険箇所は、本 UI において旗として可視化される。青色が安全箇所、赤色が危険箇所を表す。それぞれの旗をタッチすると、登録内容を閲覧することができる。図 4、図 5 にそれぞれ安全箇所の例、危険箇所の例を示した。登録者、登録日時、風景写真、コメントに加え、報告の際に登録者により選択された観点を閲覧できる。



図 1 ログイン画面および利用者登録画面

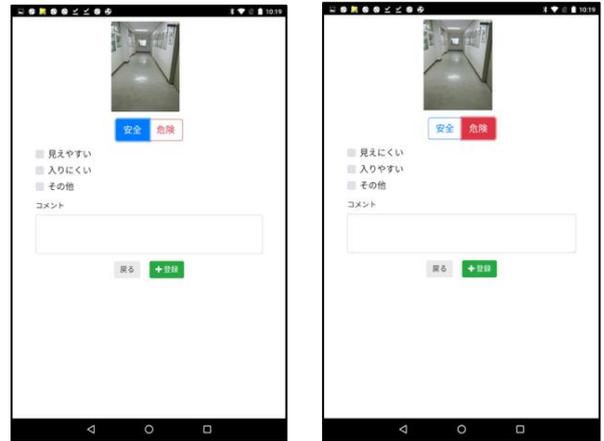


図 2 安全・危険箇所登録機能
(判断によってタグが変化)



図 3 安全・危険箇所共有機能の地図 UI

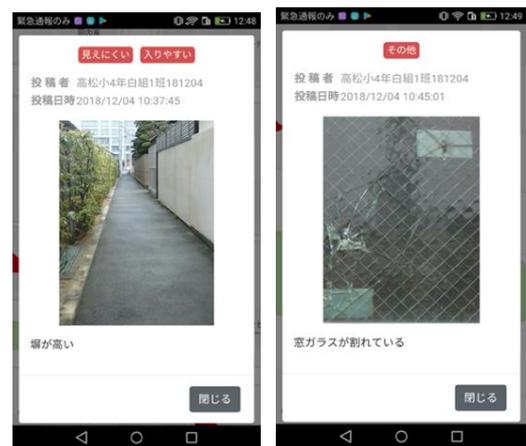


図 4 安全・危険箇所共有機能の報告確認 UI
(危険箇所の報告例)

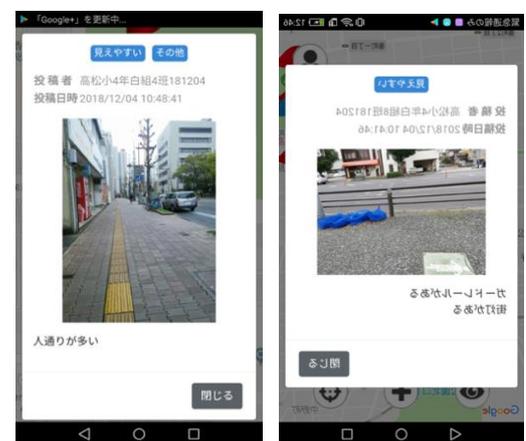


図 5 安全・危険箇所共有機能の報告確認 UI
(安全箇所の報告例)

4. 実証実験

4.1 目的

本アプリにおける観点の利用ログやアンケートに基づいて、本アプリの有用性を示す。本アプリが、教育機関における授業や地域の防犯イベント等において活用できそうかどうかを考察する。データは、これまで著者らが行ってきた大学および小学校における本アプリを用いた実践授業によるものである。これらの結果を統合的に分析することで目的を達成する。

4.2 方法

2018年6月19日に3章に記述した2つの機能を有する本アプリが完成した。これまでに、大学・小学校において3回の授業実践が行われた。表1に授業実

践の条件を示す。授業実践Bでは、本アプリの利用ログに加えて、授業実践後に実施したアンケートにより評価を行う。アンケートは記名式である。表1に質問項目を示す。Q1～Q3、Q5は、「1.当てはまらない」～「4.当てはまる」の4段階評価、Q6、Q7は複数選択式、Q4は自由記述式による回答であった。

4.3 結果と考察

表3～表5に各実験の報告数およびタグ付与数を示す。各表の報告数の合計に着目してみると、いずれの実証実験においても安全箇所の報告よりも危険箇所の報告が2倍以上の値となっており、全体的に安全箇所よりも危険箇所に注目する傾向にあることがわかった。また観点の選択数に着目してみると、「見えにくい」「入りやすい」「見えやすい」「入りにくい」の順

表1 授業実践の内容

| 実践日 | 授業 | 実践協力者 | 授業内容 |
|---------------|---|--------------------------------|--|
| 2018年7月17日 | 授業A： 香川大学授業 「主題C」 (初年次向け) | 香川大学学生 24名 | ・実践日の前の週にAndroid端末保持者についてはアプリインストール、ユーザアカウントの登録 ・授業実践当日は、安全性の観点について講義を約10分、その後、本アプリを使用したフィールドワーク 約50分、事後に地域安全マップの振り返り約10分 |
| 2018年11月16日 | 授業B： 香川大学授業 「性格心理学」 (2年次以上) | 香川大学学生 64名 | |
| 2018年12月3日～5日 | 授業C： 香川大学附属 高松小学校4年生 香川大学教育学部学生 による授業実践 | 香川大学附属 高松小学校 4年生 約30名 | ・12月3日：安全性の観点の講義 60分 ・12月4日：本アプリを使用したフィールドワーク 60分 ・12月5日：地域安全マップを利用したグループごとの成果発表 60分 |

表2 アンケート項目 (授業実践B)

| 質問項目 |
|---|
| Q1 普段、街を歩いている最中に、安全な場所を意識していますか？ |
| Q2 普段、街を歩いている最中に、危険な場所を意識していますか？ |
| Q3 アプリを利用した結果、あなたの街に対する見方や防犯に対する意識に変化はありましたか？ |
| Q4 Q3において具体的な変化は何でしたか？ |
| Q5 本アプリを利用した防犯ウォーキングは楽しかったですか？ |
| Q6 本アプリの利用中に感じた楽しさはどれですか？ |
| Q7 本アプリにあったらいいなと思う追加要素はどれですか？ |

で選択数が多く、「入りにくい」の観点を利用しているケースは相対的に少ないことがわかった。これらの値は、点検箇所の物理的な要因にも依存するため、即座に個人の認識力との関係を議論することはできない

が、これらのデータをフィードバックすることで、観
点の偏りに気づくことや、「入りにくい」に関する他
者の登録例の参照を促すなど、データに基づくさらなる支援の可能性を明らかにできたと考えている。

表3 授業 A における「歩いてミイマイ」の利用実態（大学1年生対象授業）

| グループ | 人数 | 報告数 | | 「安全」観点選択数 | | | 「危険」観点選択数 | | |
|------|----|-----|----|-----------|-------|-----|-----------|-------|-----|
| | | 安全 | 危険 | 見えやすい | 入りにくい | その他 | 見えにくい | 入りやすい | その他 |
| A | 3 | 6 | 7 | 5 | 1 | 1 | 7 | 3 | 2 |
| B | 3 | 5 | 7 | 5 | 1 | 0 | 5 | 2 | 0 |
| C | 3 | 4 | 10 | 4 | 0 | 0 | 7 | 1 | 0 |
| D | 3 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 |
| E | 3 | 2 | 8 | 2 | 0 | 2 | 8 | 4 | 8 |
| F | 3 | 2 | 4 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 |
| G | 3 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 |
| H | 3 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 9 | 5 | 0 |
| | 合計 | 20 | 52 | 19 | 2 | 3 | 42 | 17 | 13 |

表4 授業 B における「歩いてミイマイ」の利用実態（大学2年生以上対象授業）

| グループ | 人数 | 報告数 | | 「安全」観点選択数 | | | 「危険」観点選択数 | | |
|------|----|-----|----|-----------|-------|-----|-----------|-------|-----|
| | | 安全 | 危険 | 見えやすい | 入りにくい | その他 | 見えにくい | 入りやすい | その他 |
| A | 4 | 3 | 6 | 3 | 0 | 0 | 6 | 6 | 0 |
| B | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 4 | 2 | 0 |
| C | 4 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| D | 4 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 4 |
| E | 4 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 |
| F | 3 | 1 | 5 | 1 | 1 | 0 | 5 | 4 | 0 |
| G | 4 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 |
| H | 4 | 1 | 8 | 1 | 1 | 1 | 7 | 4 | 1 |
| I | 4 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5 | 5 |
| J | 5 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 |
| K | 3 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 5 | 2 | 0 |
| L | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| M | 3 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 3 | 2 | 0 |
| N | 3 | 4 | 5 | 4 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| O | 3 | 1 | 10 | 1 | 0 | 1 | 4 | 4 | 8 |
| P | 3 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 3 | 1 | 0 |
| | 合計 | 12 | 78 | 12 | 2 | 2 | 56 | 36 | 20 |

表5 授業Cにおける「歩いてマイマイ」の利用実績（小学校4年生）

| グループ | 報告 | | 「安全」観点選択数 | | | 「危険」観点選択数 | | |
|------|----|----|-----------|-------|-----|-----------|-------|-----|
| | 安全 | 危険 | 見えやすい | 入りにくい | その他 | 見えにくい | 入りやすい | その他 |
| 1班 | 1 | 5 | 1 | 0 | 1 | 3 | 4 | 3 |
| 2班 | 3 | 5 | 1 | 0 | 0 | 4 | 4 | 0 |
| 3班 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 |
| 4班 | 3 | 4 | 3 | 0 | 1 | 4 | 1 | 3 |
| 5班 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 4 | 5 | 0 |
| 6班 | 2 | 3 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 1 |
| 7班 | 1 | 4 | 1 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| 8班 | 3 | 3 | 2 | 0 | 0 | 2 | 3 | 0 |
| 9班 | 2 | 3 | 2 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 |
| 総計 | 15 | 35 | 12 | 2 | 2 | 26 | 20 | 8 |

表6 授業Bにおける利用者アンケートの結果（ $H_0: \mu=2.5$, $H_1: \mu \neq 2.5$ ）

| 質問項目 | 平均値 | 標準偏差 | t | p |
|--|------|------|-------|---------|
| Q1 普段、街を歩いている最中に、安全な場所を意識していますか？ | 2.03 | 0.77 | -4.60 | 0.000** |
| Q2 普段、街を歩いている最中に、危険な場所を意識していますか？ | 2.28 | 0.79 | -2.16 | 0.035* |
| Q3 本アプリを利用してみて、あなたの街に対する見方や防犯に対する意識に変化はありましたか？ | 3.36 | 0.61 | 10.72 | 0.000** |
| Q5 本アプリを利用した防犯ウォーキングは楽しかったですか？ | 3.16 | 0.50 | 10.10 | 0.000** |

表7 授業Bにおける利用者の意識変化（自由記述）

| 分類 | 例数 |
|-------------------|----|
| 普段の街歩きにおける意識づけ | 22 |
| 行動の振り返り・改善 | 16 |
| 安全／危険箇所の定量的な把握 | 10 |
| 危険箇所の特徴（キーワード）の利用 | 8 |
| 景色読解力の重要性に対する認知 | 1 |

（自由記述回答者：50名）

表6に、実証実験Bにおける利用者アンケートの結果を示す。実証実験Bの参加者は、普段、街を歩いている最中に、安全箇所や危険箇所を意識していないことが確認できる。実証実験Bの後、利用者は、本アプリを利用して街に対する意識に変化があったことが伺え、また参加者は、本アプリを利用した防犯ウォーキングを楽しんでいたことがわかった。

表7に、授業Bにおける利用者が感じた街に対する見方や防犯に対する意識の変化を示す。利用者の自由記述回答を分類し、カテゴリー別に集計した。変化があったか？という問いかけに対して、「3. やや当てはまる」「4. 当てはまる」と回答した利用者は54名であり、無回答者は4名であった。回答のあった50名の記述内容を、著者が分類し、アプリ利用による意識の変化を抽出した。最も多かった記述は、「普段の街歩きにおける意識づけ（N=22/50）」（例、「気付いていないだけで危険なところはたくさんあるということが分かったので気を付けようと思った」「以前よりも危険な場所に敏感になったと思う」など）である。本アプリを利用して、危険箇所の実例を把握したことが、普段の街歩きにおいても意識してみようとする動機付けにつながったのではないかと考えられる。次いで多いのは、「行動の振り返り・改善（N=16/50）」

(例、「深夜コンビニへ行くために暗くて狭い道を使っていたが、少し遠回りでも明るめな大通りで行ったほうがいいかと思った」「普段通っている道でも危険なところがあると気付いた」など)であった。普段自分が通っている場所やそれに類似する場所を点検したことが、自分の普段の行動の振り返りにつながり、行動変容の動機付けになっていることがわかる。

3番目に多かったのは、「安全／危険箇所の定量的な把握(N=10/50)」(例、「危険な場所が近所にはたくさんあるのだと知った」「安全なところの方が少ないと思えるようになった」など)であった。本アプリの安全／危険箇所共有機能によって、利用者は、チームごとに分担して報告した内容を即時、地図上において閲覧できる(図3)。そのため、利用者は定量的に地域の安全／危険箇所を把握することができる。これによって、利用者の地域全体に向けた関心も高められているのではないかと考えられる。

重要な意見として、「危険箇所の特徴(キーワード)の利用(N=8/50)」(例、「見えにくさや入りにくさ、環境の汚さにも目を向けてみようと思った」「暗い道が予想以上に危険だということ。見えにくい場所にある方が安全だと思っていたが、真逆だと知った」など)および「景色読解力⁽³⁾の重要性の認知(N=1/50)」(例、「危ない場所が分かる目を持つことは大切だと思った。もっと気を使いたいと思う」)があった。これら利用者による意見は、本アプリを利用することによって、安全性の観点をを用いて地域を捉えてみようとする態度が養成されることを示唆している。

4.4 総合考察

今回、本アプリを3つの授業実践に適用した結果を報告した。利用ログから、利用者は安全箇所よりも危険箇所に対して意識が向いている傾向や、地域の要因から利用しにくい、または認知的な要因から利用しづらい観点が存在していることが把握できた。安全性の観点に基づいて安全箇所／危険箇所を判断する訓練として捉えた場合には、利用者の利用傾向に応じて、意識の方向性を変えたり、観点の利用を薦めたりするなどのフィードバックが課題であるといえる。

アンケートの結果からは、本アプリの利用によって、街の風景に対する意識づけや、具体的な行動の振り返り、改善につながる、また地域の状況を定量的に把握できるなど、安全・安心なまちづくりを推進していく上で、本アプリの有用性を明らかにできたと考えている。また本研究の主目的である安全性の観点の学習については、本アプリを利用したまちの点検活動が観点を利用して地域を捉える態度の養成につながるこの可能性を示唆できたと考えている。ただし、効果の信頼性を高めていくためには、客観テストも含めたより多角的な利用効果の評価モデルを構築していくことも必要であると考えている。限られた実践の中でも取り入れることが可能な手法については今後検討していきたい。

5. 関連研究

5.1 本研究の新規性

オープンストリートマップを用いた地域安全マップ作成支援システムの開発や、安全・安心まちづくりの中でも防災マップ作成システムの研究がある⁽⁸⁾⁽⁹⁾。いずれもマップを作成することや情報共有に主眼がある点は、本研究と共通しているが、学習者の安全性の観点を育成しようとしている点、すなわち判断の理由を記録させ共有する仕組みをデザインとして考慮している点が本研究との差異であると考えられる。さらに、中村ほか⁽¹⁰⁾や蛭沼ほか⁽¹¹⁾は、小学校の防犯・防災・交通安全教育支援アプリケーションを開発している。地域安全マップの作成UIやグループ学習を前提としたユーザのグルーピング機能が充実している。しかし、こちらの研究も安全性の観点を学習させようとしている本研究とは目的が異なっている。以上のことから観点を登録させることにより、学習者の安全性の観点に対する意識づけを行っている点、従来の研究と比較して本研究が新規性を有する部分であると考えている。

5.2 コミュニティ形成支援機能の開発に向けて

本研究のゴールは、収集されたデータを利活用して、地域コミュニティを中心とするまちづくり推進に寄与することである。本ゴールに対して、コミュニティ形成支援機能、形成されたコミュニティの維持・発

展機能が求められる。本研究の意義は、それに向けた基盤が構築できた点にもあると考えている。今後は、オンラインコミュニティをオフラインコミュニティに転換させる研究（例えば三村ほか⁽¹¹⁾）や、ゲーミフィケーションを適用し、コミュニティにおける活動の維持・活性化を志向した研究（例えば、中澤ほか⁽¹²⁾）などを踏まえ、リスク情報を活用したコミュニティ形成支援機能のデザインを充実させたい。

実装面においては、蛭沼ほか⁽¹⁰⁾に見られるユーザをグルーピングする機能や、今回の授業実践のように任意の主催者が防犯イベントを開催することに対応したイベント単位での成果記録・共有機能など、集団活動を促進する機能を実装していきたい。

6. おわりに

本研究では、安全・安心なまちづくりを実現するアプローチとして、防犯ウォーキングアプリ「歩いてミイマイ」を開発した。現在の防犯ウォーキングアプリ「歩いてミイマイ」は「安全・危険箇所報告機能」「安全・危険箇所共有機能」の2つの機能を持つ。実証実験の結果から、本アプリの利用ログを用いて観測の利用傾向を把握できることや、アンケートから本アプリが防犯に対する意識づけとして有用であることが明らかとなった。

本研究の実証実験では、観測をどの程度使いこなせるようになったかについては評価できていない。そこで、今後は、蓄積される利用ログに基づくフィードバック手法の検討や、フィードバックによる学習支援の機能の検討しつつ、客観テストを構成するなど、多面的に評価する実践モデルも検討していきたい。

本研究は、コミュニティにおける安全・安心まちづくりのリスク情報共有が可能な基盤を形成した。今後はコミュニティ形成支援機能を提案し安全・安心まちづくりのコミュニティの成長や、成長に与える要因の分析、また個々人のパフォーマンスの長期的な変化を調べ、本アプリの有用性を高めていきたい。

謝辞

本研究は、平成30年度香川大学研究推進事業（シーズ開発・産学連携促進経費）によるものである。

参考文献

- (1) 国土交通省：“安全・安心まちづくりとは”，<http://www.mlit.go.jp/crd/city/sigaiti/tobou/1syoudo.pdf>
- (2) 国土交通省：“防犯まちづくり”，http://www.mlit.go.jp/toshi/toshi_bouhan_000001.html
- (3) 小宮信夫：“小宮信夫の犯罪学の部屋：参考資料”，<http://www.nobuokomiya.com/?page=menu3>
- (4) Komiya, N.: Community safety maps for children in Japan: An analysis from a situational crime prevention perspective, *Asian Journal of Criminology*, Vol.6, No.2, pp.131-140, 2011
- (5) 小宮信夫：“犯罪は予測できる”，新潮新書，2013
- (6) 小宮信夫：“小宮信夫の犯罪学の部屋：仮想フィールドワーク”，<http://www.nobuokomiya.com/?page=page6>
- (7) 早川知道，松田邦仁久，伊藤孝行：“OpenStreetMapを用いた協同編集可能な地域安全マップシステムの試作”，*情報処理学会論文誌*, Vol.59, No.3, pp.1095-1105, 2018
- (8) 吉野孝，濱村朱里，福島拓，江種伸之：“災害時支援システム“あかりマップ”の地域住民による防災マップ作成への適用”，*情報処理学会論文誌*, Vol.58, No.1, pp.215-224, 2017
- (9) 中村大地，蛭沼拓視，Amalia Mikromah，吉本定伸：“小学校の防犯・防災・交通安全教育支援アプリケーション—ユーザーインターフェイスの改良—”，*教育システム情報学会研究報告*, Vol.33, No.5, 2019
- (10) 蛭沼拓視，中村大地，Amalia Mikromah，吉本定伸：“小学校の防犯・防災・交通安全教育支援アプリケーション—利便性向上を目的とした機能の改善—”，*教育システム情報学会研究報告*, Vol.33, No.5, 2019
- (11) 三村洗揮，松川大仁，島田秀輝，佐藤健哉：“オンラインソーシャルネットワークからのオフラインコミュニティ形成支援システム”，*マルチメディア，分散協調とモバイルシンポジウム 2014 論文集*, pp.1400-1407(2014)
- (12) 中澤仁，佐々木航，小淵幹夫，江頭和輝，西山勇毅，大越匡，米澤拓郎，徳田 英幸：“パーソナルエリアネットワークとゲーミフィケーションを用いた高齢者の相互見守りプラットフォーム”，*電子情報通信学会論文誌 D*, Vol.J101-D, No.2, pp.306-319 (2018)