

第 5 回 実践的 IT 教育シンポジウム (rePiT2019) 論文集

まえがき

本書は、日本ソフトウェア科学会「実践的 IT 教育」研究会 (rePiT: Research on Education of Practical Information Technologies) が主催する第 5 回シンポジウム (rePiT2019) の論文集です。rePiT は、「実践的 IT 教育に関連する様々なコトやモノを公の場で議論し、知や経験を共有する場を提供すること」を目的として 2014 年に設立されました。設立のきっかけとなったのが、2012 年からスタートした文部科学省の人材育成事業「分野 地域を超えた実践的 IT 教育協働ネットワーク (enPiT: Education Network for Practical Information Technologies)」です。また、第一期 enPiT で得られた知見やノウハウを踏まえ、2016 年からは新たに学部生向けの事業「高度 IT 人材を育成する産学協働の実践教育ネットワーク」が始まりました。enPiT では、第一期 第二期とも実践的な方法で教育を行うフレームワークが定められておりますが、具体的な教育カリキュラムの実践は各分野の担当教員に任されており、何をどのように教育するべきか、その教育体系や経験が十分に蓄積・共有されているわけではありません。rePiT では、コミュニティを enPiT に限定することなく、様々な組織で取り組みが行われている実践的 IT 教育について広く議論できる場を提供し、知識やノウハウの蓄積・共有を目指しております。

rePiT では、過去 4 回のシンポジウムを名古屋大学、慶應義塾大学、大阪大学、岡山大学で開催してまいりました。5 回目を迎える本年は愛媛大学で開催いたします。rePiT2019 では、クラウドコンピューティング、ビッグデータ、人工知能、セキュリティ、組み込みシステム、IoT、ビジネスアプリケーションなどの先端的な分野に関して PBL(Project Based Learning) 等の実践的な情報教育に関するカリキュラムの設計、取り組みの現状、開発した教材、合宿・PBL の運用計画等、大学内外で共有すべき内容に関する議論を行います。また、教育法、ツールやニーズ調査、運用上の工夫等、取り組みの推進を助ける内容も議論し、情報を共有します。

第 2 回までは招待ベースの講演でしたが、第 3 回からは幅広く論文を募集しております。第 5 回では一般講演論文にそれぞれ 2 名のプログラム委員による並列査読、および、プログラム委員会での厳正な審議を経て、フルペーパー 5 編、ショートペーパー 1 編が採録となりました。

最後に、本シンポジウムのプログラム委員の皆様ならびに enPiT 事業関係者の皆様に感謝いたします。

2019 年 1 月

プログラム共同委員長
田原 康之 (電気通信大学)
吉岡 信和 (国立情報学研究所)

プログラム委員会

シンポジウム共同委員長

田原 康之 （電気通信大学）
吉岡 信和 （国立情報学研究所）

プログラム委員

井垣 宏 （大阪工業大学）
伊藤 恵 （公立はこだて未来大学）
鵜林 尚靖 （九州大学）
大久保 隆夫 （情報セキュリティ大学院大学）
大場 みち子 （公立はこだて未来大学）
桑野 文洋 （日本工業大学）
館 伸幸 （名古屋大学）
藤原 賢二 （豊田工業高等専門学校）
本田 澄 （早稲田大学）
峯 恒憲 （九州大学）
森本 千佳子 （東京工科大学）
吉田 則裕 （名古屋大学）

目次

自動発注問題を題材とした実践的人材育成コースにおける授業改善の報告	1
佐伯 幸郎, 福安 直樹, 神田 哲也, 市川 昊平, 吉田 真一, 中村 匡秀, 楠本 真二	
情報系学部において企業提供の実問題解決を行う PBL に関する多様な期待実現の分析	11
後藤 裕介, 市川 尚, 松田 浩一, 羽倉 淳	
形式的安全性検証ツールを用いた暗号教育の実践とその e-Learning 教材化の課題について	21
紫村 彰吾, 岡崎 裕之, 宮本 樹, 渡邊 樹, 布田 裕一, 村上 恭通	
アジャイルソフトウェア開発 PBL のための CMMI に基づいた定量的学習評価手法とその効果	31
日戸 直紘, 伊藤 恵, 大場 みち子	
単位不認定者の早期発見に向けた合格予測モデルの構築	41
芳野 洸太, 竹川 佳成, 平田 圭二, 富永 敦子	
enPiT における PBL 型教育に携わる教員が参加する FD 合宿の取り組み	50
中鉢 欣秀	

自動発注問題を題材とした実践的人材育成コースにおける授業改善の報告

佐伯 幸郎 福安 直樹 神田 哲也 市川 昊平 吉田 真一
中村 匡秀 楠本 真二

AiBiC 関西では、社会の要請に応え、ビッグデータ処理技術、人工知能技術、クラウド技術などを用いて、新しいビジネスや価値を創出するといった社会の具体的な課題をチームで解決できる人材の育成を目的とした教育コース、AiBiC Spiral を行っている。本稿では、2017 年度の実施において明らかになった受講生が期待する教育内容と本教育コースとのミスマッチや演習環境に対する課題と、これに対し 2018 年度に改善活動として行った自己評価シートによる教育目的に対する内的動機づけの啓発、演習環境の改善に対する取り組み、またアンケートの結果にもとづく改善の確認について報告する。

AiBiC Kansai offers an education course, AiBiC Spiral designed to develop abilities to solve individual social issues such as creating new business and values by using Big Data, artificial intelligence, and Cloud technologies in team work. In this paper, we describe the mismatch between the actual contents of our course and the student expectations, and point out the problems of the class environment from the results of 2017. And then, we report our efforts to encourage the intrinsic motivation of the students towards the educational goal using self-assessment sheets and the efforts to improve the class environment, and verify the improvements of the course of 2018 based on the student questionnaires.

1 はじめに

enPiT「成長分野を支える情報技術人材の育成拠点の形成」は文部科学省が推進する産学協働の実践教育によって高度 IT 人材を育成する取り組みであり、ビッグデータ・AI 分野、セキュリティ分野、組込み

システム分野、ビジネスシステムデザイン分野の 4 分野において実践的な人材教育を行っている [10] [9].

我々は、ビッグデータ・AI 分野 (通称:enPiT AiBiC) [3] の取り組みの一つとして、関西圏を中心に、2018 年度現在 14 の大学・高等専門学校 (以下、高専) および 22 の連携企業との協働で **AiBiC 関西** を構成し、教育コース **AiBiC Spiral** を実施している [1]. AiBiC Spiral ではビッグデータ処理、人工知能、クラウド技術を融合した現実的な課題の一つとして、スーパーマーケットにおける自動発注問題を題材とした PBL を実施している。自動発注問題は長期間に渡る小売の販売のビッグデータ処理、データの解析、機械学習による予測モデル構築という人工知能の基礎、それらを結合したプログラムの実装とクラウド上のサービス活用といった技術を必要とし、全体の規模から PBL 課題として適しているため採用している。

AiBiC 関西では 2017 年度に 52 名の学生を受け入れて AiBiC Spiral を実施したが、1 年間の実施を通

An empirical report of nurturing practical engineer course based on questionnaire results for students
Sachio Saiki, Masahide Nakamura, 神戸大学大学院システム情報学研究所, Graduate School of System Informatics, Kobe University.

Naoki Fukuyasu, 和歌山大学システム工学部, Faculty of Systems Engineering, Wakayama University.

Tetsuya Kanda, Shinji Kusumoto, 大阪大学大学院情報科学研究科, Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University.

Kohei Ichikawa, 奈良先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科, Graduate School of Science and Technology, Nara Institute of Science and Technology.

Shinichi Yoshida, 高知工科大学情報学群, School of Information, Kochi University of Technology.

して受講生が期待する教育内容と本教育コースとのミスマッチや演習環境に対する課題が明らかとなった[7]。そこで、2018年度の実施では、教育コースの継続的な改善活動の一環として自己評価シートによる教育目的に対する内的動機づけの啓発、演習環境の改善に対する施策などを試みた。本稿では教育コースの改善に向けた2018年度のこれらの取り組みとその結果について報告する。本稿が今後のPBLを用いた教育の一助となることを期待する。

2 AiBiC 関西の教育コース

2.1 教育目標

現代社会の課題解決においては、ビッグデータ・AI・クラウド技術の活用は欠かせない。世の中には処理しきれない大量のデータがあふれ、これらを活用して新たな価値を創出することが喫緊の課題となっている。一方で、多くの課題は個人の力で解決できるものではなく、チームによる解決が求められている。そこでAiBiC 関西ではそのような社会の要請に応えるため、ビッグデータ処理技術、人工知能技術、クラウド技術などを用いて、新しいビジネスや価値を創出するといった社会の具体的な課題をチームで解決できる人材の育成を目的とした教育を行う。

技術に対する知識は、座学・演習を通じ修得できるが、チームで課題を解決するためには、コミュニケーション力やリーダーシップが必要となり、そのような力は座学だけを通じて修得することは難しい。そのため、我々はファシリテーション演習やPBLを通じて実際にチーム活動を体験することによりチーム活動に関する力の修得を目指している。

2.2 カリキュラム概要

AiBiC 関西の教育プログラムは、enPiTにおける教育方針のフレームワーク[4]に基づき、各校で実施されるビッグデータ・AI・クラウド技術に関連する**基礎知識学習**、夏季の集中講義から後期にかけて実施される**基礎PBL**、各校で実施され、PBLで培った知識を活用する**発展学習**から設計されている。AiBiC Spiralは**基礎知識学習補助**・**PBL基礎**、**PBL発展**を実施し、この教育プログラム中の**基礎PBL**、**発展学**

習に相当するコースである。対象学年は大学3年または4年、高専専攻科1年または2年とし、所属する学部・学科などには制限を設けず、幅広く学生を受け入れている。PBLの題材として我々は、ビッグデータ処理技術、人工知能技術、クラウド技術の融合した現実的な課題である、スーパーマーケットにおける自動発注問題を題材として設定し、本課題の解決を通して、ビッグデータ処理技術、人工知能技術、クラウド技術の応用技術を効率的に身につけることを目指す。以下、AiBiC Spiralの各項目の概要を述べる。

2.2.1 基礎知識学習補助

各校で行われる基礎知識学習は、主にPBL基礎に必要な前提知識の習得を目的とするが、各校の実施内容は厳密には同一とならない。そのため、PBL開始時の前提知識の共通化を目的とし、前期期間中にひと月に1度の割合でビッグデータ・AI・クラウド技術に関してそれぞれ集中講義として5コマの基礎知識学習補助を開講する。本講義は、3コマの座学・演習、2コマの企業セミナーから構成され、前半の座学・演習ではそれぞれの分野に対する俯瞰的な知識を身に付けることを目的とし、幅広いトピックを演習を中心とし学習する。また、後半の企業セミナーでは、それぞれの分野に関する技術を先進的に取り入れている連携企業により、実際の企業での利活用例やその技術説明などについての講演を行い、受講生が学ぶ知識が今後どのように役立つかの理解を促す。また、基礎知識学習補助の最後にこれまでそれぞれ独立で学んだ各分野がどのように連携しているか、またPBLで具体的にどのように利用されるのかを学習するため総合演習を行う。

2.2.2 PBL基礎

PBL基礎では基礎知識学習および補助講義で修得した技術をもとに、チームで課題解決を行う。PBL基礎の主な目標は、チームでの進め方を体験し、一通りのPBL遂行に必要なシステムを構築できるようになることである。PBL基礎では、具体的なチーム活動に先駆け今後の活動を円滑に進めるために必要となるファシリテーションに関する講義を1日行う。本講義は会議やプロジェクトを円滑に進めるための様々な手法について修得するものであり、実際のチーム活

動におけるコンセンサスのとり方、タイムマネジメントの重要性など PBL 遂行において重要なスキルとなる。受講生はファシリテーションスキルの修得後、PBL に取り組むことになる。

2.2.3 PBL 発展

PBL 発展は PBL 基礎の課題をもとに、より大規模に拡張された課題を対象とする。PBL 発展では PBL 基礎で行っていたような対面でのチーム活動と併せ、講義時間外での遠隔によるチーム活動による課題への取り組みを行う。ここでの主な目標は、受講生チーム自身によるプロジェクトマネジメントの体験とその重要性の認識である。PBL 基礎では、あらかじめ規定された講義時間の枠内で教員によりスケジュール管理がされたチーム活動を行っていた。PBL 発展では活動に関する制約は講義時間ではなく、最終的な成果物の完成になる。そのためチーム活動に利用可能な時間がチームの裁量で決められるようになり、より自由度の高いチーム活動が実施可能となる。一方で教員に管理されないチーム活動はタスクやスケジュール管理などのプロジェクトマネジメントにプロジェクトの成否が大きく支配される。このような体験を通じプロジェクトマネジメントの重要性に受講生自身が自発的な気付きとして身につけることによる本教育コースの目指すチーム活動に関する力の修得を目指す。

3 2017 年度におけるカリキュラムの実施

3.1 2017 年度の実施概要

AiBiC 関西では、2017 年度は、情報系の学部にも所属する 7 大学・1 高専から 52 名の受講生（大学 3 年生 44 名、4 年生 4 名、専攻科 2 年 4 名）を受け入れて実施した。5 月～8 月に月に 1 度基礎知識学習補助の後、9 月に 5 日間の PBL 基礎を連続して行い、10～12 月に PBL 発展と最終成果発表会を行った。受講生は、大阪大学中之島センターに集まり、個別技術の習得や 5～6 名の 9 チームに分かれて PBL を実施した。

3.1.1 基礎知識学習補助

クラウド技術

クラウド技術の講義では、クラウド技術の発展に関してその歴史的な背景を含めて解説した。特に、クラ

ウドサービスを実現する上で要素技術となる仮想計算機技術に関して詳しく解説し、クラウドサービスが有する柔軟さや、迅速な拡張性などの特徴が仮想計算機技術によってどのように実現されるのかを学習した。また、この講義の後に実施されるビッグデータや機械学習の講義で使用する Amazon Web Services (AWS) [2] の Elastic MapReduce (EMR) や、Azure Machine Learning Studio [5][8] (Azure ML) などのクラウド上のビッグデータおよび機械学習プラットフォームサービスに関して概説した。演習では、クラウドを構成する仮想計算機がいかに容易かつ迅速に生成できるのか、計算機リソースを制御するソフトウェア技術に関して理解を深めるため、AWS 上の EC2 サービスを利用した仮想計算機環境構築の演習を実施した。演習環境としては、OS 標準のブラウザ (Microsoft Edge) と各受講生の端末にあらかじめ導入を行った RLogin を利用した。

クラウド技術に関する企業セミナーは、株式会社 NTT データ・楽天株式会社により開催され、自社内で開発されたクラウドを活用した設計ツールの紹介や、自社サービスを開発する際にクラウドを活用することによる利点などについて講演が行われた。

ビッグデータ処理技術

ビッグデータ処理技術の講義では、ビッグデータの定義や活動事例を紹介した後、MapReduce の考え方について解説した。データ処理の流れを理解し実践するために、基礎部分の説明の後は演習中心の設計となっている。演習では、コーディングの前に MapReduce の考え方を身に着けるため、まずアナログなチーム演習として、チームメンバーをワーカノードに見立てた記号計数ゲームを実施する。その後、使用するツールをローカル環境の Apache Hadoop, EMR へと順次移行し、本格的なビッグデータ処理の演習を行った。演習環境としては各受講生の端末にあらかじめ導入を行った eclipse 上で Java によるコーディングを行った。

ビッグデータ技術に関する企業セミナーでは、富士フイルムホールディングス株式会社により、自社・グループ会社でのビッグデータ分析基盤構築やビジネスへの展開例などについて講演が行われた。

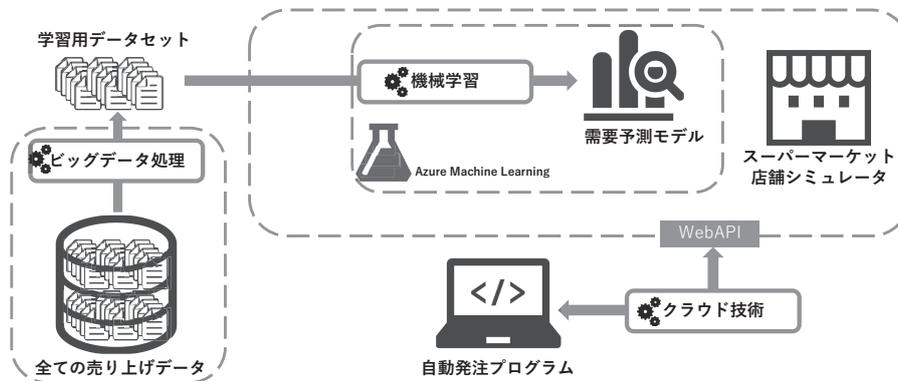


図1 PBLで開発する自動発注システムの概要

AI技術

AIの講義は、人工知能に関する包括的な知識習得を目的とした講義である。講義では、近年注目されている機械学習に基づく人工知能だけに限らず、旧来のエキスパートシステムによる人工知能や人工知能分野発展の歴史的な解説、さらにディープラーニングなどの先進的な内容について理解できるように講義設計を行った。特に考慮した点として、なるべく平易に理解を進め、かつ実践的に活用できるように、概念としての理解を主目的として、アルゴリズムやその計算式、導出法などについては意図的に内容から排除している。AI技術に関する演習として、不動産オープンデータを用いた予測・分類問題を行った。演習環境としてはクラウド上に展開されたプログラミング環境であるJupyter[6]を用い、pythonによるコーディングを行った。

AI技術に関する企業セミナーは、日本アイ・ピー・エム株式会社・株式会社日本総合研究所により開催され、IBM Watson やそのシステムの実例の活用例について講演が行われた。

3.1.2 総合演習

総合演習では、これまで学習したクラウド・ビッグデータ・AI技術のPBLでの活用を目的とし、EMRを利用したビッグデータ処理結果を用い、Azure ML上で機械学習によるモデル構築を行った。講義では予測モデルの評価指標についての説明を行った後、Azure ML上でのモデル構築と評価手順を説明する。

その後、各自でモデル構築を工夫する演習を行った。

3.1.3 PBL基礎

PBL基礎では小売店における商品発注業務を自動化する自動発注プログラムの開発を題材としている。

我々が設定した自動発注問題は、POSデータ（スーパーマーケットの日別販売実績データ）から得られる過去の販売実績や、天気などから機械学習により需要予測モデルを構築し、そのモデルに基づいて小売店の利益ができるだけ大きくなるように自動的に発注業務を行うシステム（図1）の開発である。

PBLでは、チーム対抗による自動発注システムの能力向上を一つの達成目標とした（自動発注コンテスト）。ここで自動発注システムの能力とは、指定された期間で発注業務を行った際の店舗の利益であり、期間中の総売り上げ額から総仕入れ額を引いたものとする。各チームは、Azure MLを利用して需要予測モデルを作成する。小売店の振る舞いを再現する店舗シミュレータ上で、作成した需要予測モデルに基づいて発注業務を行う自動発注プログラムを作成することによって、システムの性能評価を行う。

PBL基礎では、最初に個人の演習として店舗シミュレータを操作するためのAPIを一通り説明した後、チームごとに自動発注システムを実装する。練習として、ヨーグルトの販売実績データを対象に機械学習アルゴリズムの選定やパラメータチューニングなどの工夫ポイントをチームで相談しながら実装を進める。機械学習の教師データには、用意した2009～2013年

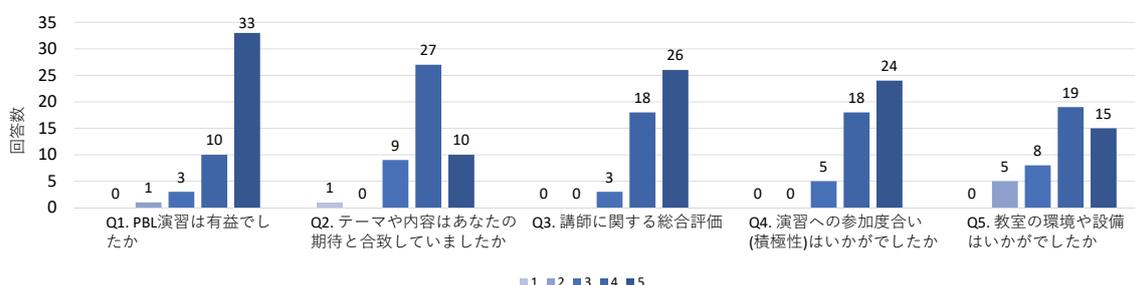


図 2 2017 年度授業アンケート結果

の 5 年間のデータのうち 1～3 年目のものを利用する。チーム作業では、フリーライダー（チームの他のメンバーに任せて積極的に作業に参加しない学生）の出現がしばしば問題となるが、これを回避するため、ジグソー法による知識の共有やリレーコーディングを行った。ジグソー法では、機械学習のアルゴリズムを指導者から 6 つ指定し、チームのメンバー各人がそれぞれのアルゴリズムを調査した上で、同じアルゴリズムを調査した他のチームのメンバーと議論を行い、その結果を各チームに持ち帰って共有させた。リレーコーディングでは、チームのメンバー全員が一つの画面を共有し、一人のメンバーがドライバーとなってキーボードを操作する。これを、全員がドライバーとなるように短時間でドライバーを交代しながら実装を進めることを PBL 基礎の初日に実施した。

一通りチームで実装したところで、中間報告会として、各チームの工夫点を発表してもらおう。また 4 年目のデータを利用して実際に店舗シミュレータを実行し、各チームの自動発注システムの性能を共有した。

3.1.4 PBL 発展

PBL 発展では、販売実績の傾向の異なる複数の商品に予測対象を広げて総合的な結果の向上を目指す。また、結果が偶然に左右されにくいように、試行の過程を記録として残すことを各チームの課題として設定する。予測精度の指標には、売上金額から仕入金額を差し引いた利益の数値を用いる。PBL における自動発注システムの開発では、この利益を最大化することが一つの達成目標である。しかしながら、利益を追求するあまり、特定のメンバーだけが作業をするようになっては我々の教育目標から考えると本末転倒であ

る。そこで、一定水準以上の自動発注システムを開発し、かつ全員がチーム活動を経験することを PBL の目的であると受講生に認知させるため、最終成果発表会では、各チームごとに PBL 発展を通じどのような活動をどのように分散された状況で行ってきたかなど、チーム活動に対する報告と、予測に対しチームが取った戦略などの報告を受講生に求めた。また、教員により 5 年目のデータを対象として店舗シミュレータを実行し、商品ごとの順位やチャンスロス率・廃棄率などの分析結果と、総合順位の発表などを行った。

3.2 2017 年度の実施結果

2017 年度の我々の取り組みを評価するため、本年度受講生に対し終了後にアンケートを行った。アンケートは受講生 52 名中 47 名から回答を得た。アンケートの設問と回答の一部を図 2 および以下に示す。

Q1: 43 名が有益である（4 以上）と回答した。一方で、2 と回答した学生が 1 名おり、基礎的な講義の不足を指摘していたが、本演習は多くの学生にとって有益なものであった。

Q2: 37 名が合致していたと回答した一方、9 名はどちらともいえない、1 名は合致していなかったと回答した。Q1 ではより多くの学生が PBL 演習を有益と感じていたことから、技術を深く追うことを期待していた学生も本講義には満足したと考えられる。

Q3: 44 名が 4 以上の評価を付けており、講師に対する評価は高い。したがって、本 PBL 演習運営において、講師のスキルは十分であったと考えられる。

Q4: 積極的に参加した（4 以上の評価）と回答した受講生は 42 名であった。PBL は受講生の主体的な活

表 1 2017 年度アンケート分析

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
平均値	4.60	3.96	4.49	4.40	3.94
中央値	5	4	5	5	4
分散	0.50	0.59	0.38	0.45	0.91

動を前提としており、89%の受講生から積極的に参加したとの回答を得たことは本演習の有用性を示す一つの指標となる。これはチーム作業において問題となるフリーライダーの出現を回避するため、PBL 基礎において行ったジグソー法による知識の共有やリレーコーディングによって、全員が開発に参加することを意識づけたことも要因の一つと考えられる。一方で、本設問は受講生の主観による評価であり、特に自身が関与したものに対しては一般的に積極性に対し高い評価を付けがちであることも留意する必要がある。また、本教育コースの参加学生はあらかじめ各大学内での説明会や選抜などを自発的に受けた者であり、そもそものモチベーションが高い学生が多いという傾向も本結果に寄与していると考えられる。

Q5: 4 以上の評価を付けた学生が 34 であり、72%の受講生が良いと感じていた。一方で 2 を付けた学生は 5 名おり、教室の環境や設備に対し改善点があることがわかる。2 を付けた学生のコメントとしては全員が演習に用いた部屋の通信環境を挙げている。これは演習に用いた環境がブラウザベースでありネットワーク接続を必須であったが、多人数が 1 カ所に集まることにより無線通信の品質が低下することで演習環境へのアクセスが出来ないことが講義序盤では発生していたため、これに起因したアンケート結果であると考えられる。この問題に対しては、問題の発生を認識後、機器の入れなどを行った。

4 問題点の分析

本教育プログラムの継続的な改善活動の一環として、2017 年度のアンケート結果に基づいて改善点の抽出を行った。Q1～Q5 について、それぞれ平均値、中央値、分散を表 1 に示す。

表 1 によると、5 段階評価の 5 つの質問において中央値が 5 ではなかったのは Q2 と Q5 であった。また

平均値も相対的に低いことからこれらの項目について、平均的に受講生からの評価が他の項目に対し低いことが明らかになった。また Q5 に関しては分散が大きいいため、環境に対する不満の大小には個人差が大きいことが分かった。そこで、これらの項目について、特に低スコアをつけた受講生の自由記述について精査を行い、2018 年度の実施における改善に向けて詳細に分析した。

4.1 Q2. テーマや内容はあなたの期待と合致していましたか

本項目は受講生が期待する教育内容と本教育プログラムとのミスマッチを問う設問である。回答者の 21% (10 名) が 3 以下の評価であり、期待とのミスマッチが少なからず発生していたことがこの結果から伺える。それらの受講生の自由記述による回答では、演習時間に比べて座学での講義時間が短いといった意見が見られた。

AI やビッグデータ、クラウドの最新技術については、主に基礎知識学習補助の各講義の中で扱うようにしているが、PBL においては、AI・ビッグデータ・クラウドの各技術をいかに組み合わせてチームとして成果を出すかという点を重視しているため、最新技術よりむしろ枯れた技術の利用が中心となっている。そのため、受講動機が最新技術に触れたい・知りたいという部分にある一部の受講生にとって、期待とのミスマッチが発生したものと考えられる。受講生の募集は、各大学・高専において行われるが、その説明は各担当教員に任せられているため、本教育コースの目指すところが受講希望者に十分に伝わっていない可能性は否定できない。一方で、最新技術を知り受講生自身がより深く探求するきっかけになったという意見も得られており、講義・演習の中で受講動機とのミスマッチを軽減できる可能性もあると考えられる。

4.2 Q5. 教室の環境や設備はいかがでしたか

本項目は本質的には講義・演習を実施する教室の環境や設備などの不満・不足などを問う設問である。実際には設問に対するコメントには演習で利用する開発環境や、動作速度などに対する言及が多く、受講生

からの低評価の要因になっている。以下に授業評価アンケートから得られたコメントより多く見られた問題点について述べる

4.2.1 ネットワーク接続に関する問題

我々の講義環境は、講義時に受講生全員に対し1台ずつノートPCを貸与し、無線LANでのネットワーク接続を行い、Google Driveによる講義資料の配布や演習を行っている。無線LANの接続は円滑な講義遂行に向け重要な事項であると当初より認識していたため、問題が発生後すぐに、大規模な環境構築にも対応可能な設備を準備した。具体的には約60台の端末に対し、4台のアクセスポイント（AP）を設置し、APごとの最大接続数制限、APごとのチャンネル分離、電波強度にもとづくAP切り替えを用いたロードバランシングの実施などを設定した。当初の想定では先に挙げた設備更新により講義遂行に対し十分な帯域を実現できていると考えていた。しかし実際の演習時には外部への接続に対し時間がかかる、接続ができないなどの問題が起きた。この問題に対し問題が発生するタイミング、作業内容などからその問題の多くがバックグラウンドで行われるOS(Windows 10)の自動更新であることが判明した。特に月1度程度の講義間隔があるため、講義開始時には全端末が更新を始め、無線LANの特性上多くの輻輳が発生し、結果としてネットワーク接続が不安定になる問題が顕著に出る傾向が強いことが明らかになった。

4.2.2 演習環境・言語の分散

2017年度の実施では、基礎知識補助で行った演習環境は、ブラウザとRLoginを用いたAWSの操作、eclipseを用いたJavaによるHadoop演習、ブラウザ上のJupyterを用いたPythonによる機械学習演習であった。またPBLはブラウザを用いたAzureMLとJupyterを用いたPythonによる自動発注プログラムを行っている。アンケートのコメントではこのような講義設計に対し、利用言語・開発環境の分散による学習のし辛さが多く挙げられていた。事前に講義に必要となるプログラミング言語に対しての言及がなかったため、講義当日に初めてJavaを使う、Pythonを使うといった事態が発生していた。

4.2.3 サーバ過負荷の問題

AIに対する講義は、機械学習への理解を深めるため、予測、分類などの初歩的な内容について実際にプログラミングの演習を行っている。演習は予習・復習などを効率的に行えるよう外部からアクセス可能なJupyterサーバに対しブラウザでアクセスし行う。2017年度の実施ではIntel Xeon E5649 × 2（計12物理コア）、メモリ96GBのサーバ上で受講生全員のJupyterを動作させていた。実行が分散されるような比較的実行時間の小さなコードで演習を行う場合には大きな問題とはならないが、機械学習のアルゴリズムのような実行が長いコードを同時に受講生が実行する状況下においては過負荷の状態になり、結果として本スペックのサーバでは大多数の受講生のコードが実行待ちの状況となり、円滑に演習を進めることができなかった。

5 2018年度におけるカリキュラムの実施

2018年度は情報系の学部にも所属する9大学・2高専（大学3年生50名、4年生8名、専攻科1年5名）から63名の受講生を受け入れ、各チーム7名の9チームで実施した（2017年度比、2大学1高専の追加、受講生11名の増加）。基本的なカリキュラム設計は前年度と同様であるが、5.2.2で後述する使用言語の統一に合わせ、データ処理入門を初回に行い、また総合演習を夏季集中へと移動しPBL基礎の前に行った。また、大きな変更点として2017年度には後期に行っていたPBL発展相当の一部を夏季集中の翌週に合宿として実施し、その後の分散期間を1か月としたことが挙げられる。

5.1 Q2についての施策とその結果

我々が設定するPBLの目的においては、最新技術を学ぶことは必ずしも本質ではなく、それだけを目的とする受講動機とのミスマッチを改善するために2018年度は以下の施策を行った。

- 受講生募集のための統一資料の用意
- 自己評価シートによる振り返り
- 最終成果発表会での報告項目の指定

S1.	作業を始める前に計画を立てましたか
S2.	計画では作業の成果物を具体的に定義できましたか
S3.	計画は必要なタイミングで見直すことができましたか
S4.	計画にそって開発を進めることができましたか
S5.	計画した目標は達成できましたか
S6.	振り返り時に他のメンバの作業内容に関して情報共有できましたか
S7.	議事録・実験ノートは適切に作成できましたか
S8.	自分はチームに何らかの貢献ができましたか
S9.	自分の作業はチームのコンセンサスを得て実施しましたか
S10.	自分の意見をチームに表明できましたか
S11.	特定のメンバに依存せずにチームとして活動できましたか

図 3 自己評価シート

5.1.1 受講生募集のための統一資料の用意

2017年度は本教育コースを本格的に実施した初年度であり、受講生の募集も初めてであった。そのため、受講生の募集は各大学の担当教員等に一任されていたが、初年度で授業の事例がまだなかったこともあって、担当教員によってニュアンスの異なる説明が行われていた可能性は否定できない。そこで、2018年度の募集にあたっては、各大学の担当者が共通に利用できるような統一の説明資料を用意した。資料では、グループワークを中心としたコースであること、技術の習得ではなく技術を利用したシステム開発のPBLであることなどを明記した。これにより受講する段階でのミスマッチの減少を目指した。

5.1.2 自己評価シートによる振り返り

PBLにおける活動の振り返りの手段として自己評価シートを用意した。自己評価シートの評価項目として列挙したものを図3に示す。これらの項目について、PBL発展の実質の初日である9月12日と、翌13日の2日間において、各日終了時に各自5段階で評価した上で自己評価シートとして提出させた。項目S1～S5は作業の計画性に関する質問である。チームとして活動するためには、計画に基づいてメンバーが作業を行うことが重要であり、また必要に応じて見直すというプロセスを認識させるためにこれらの項目を最初に列挙している。項目S6～S7は情報共有に関する質問である。他のメンバーが何をしているかということ把握しながら作業を進めることはチーム活動において重要である。項目S8～S11は自分の活動

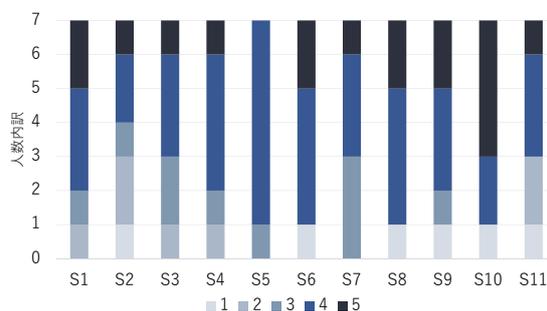


図 4 チームに対する自己評価結果のフィードバック事例

に対する振り返りである。各自が能動的にチーム活動に参加することを促すためにこれらの項目を設定している。自己評価は、それを行った本人が自分の状況をあらためて認識するだけでなく、チームの中での意識の違いを認識することも重要であると考えられる。そこでチームごとに集計した結果を、翌日の演習の最初にそのチームにフィードバックし、その日以降の計画に役立ててもらおうようにした。図4に学生に対し提示したフィードバックの例を示す。図4は、それぞれの評価項目に対して1～5の評価を付けたメンバーがそれぞれ何人いたかを積み上げ棒グラフで表したものである。

5.1.3 最終成果発表会での報告項目の設定

PBLで実装する成果物の一つの目標として、利益の最大化を設定しているが、このことは最終成果発表会での報告内容が、いかに最終成果物の実装を工夫したかという一点に陥ってしまうという危険をはらむ。一方で、PBLの目的をチーム活動だけに焦点を当てて設定すると、コミュニケーションの取り方や情報共有の仕方を工夫するそもそもの動機を失いかねない。理想は、チーム活動の方法を工夫したその結果によって最終成果物の質が向上することであるが、これまでのPBLの実施においては、成果物の質の向上ばかりに着目されて、負荷の高いコミュニケーションを避ける傾向も少なからず見られた。そこで2018年度の実施においては、最終成果発表会での各チームからの報告内容として、以下を含めることを前提にPBLを進めるように指示を行った。

- 最終提出プログラムの概要
- 最終プロダクトに至るまでの経緯

- チーム活動に関する工夫
- 計画と実態の差, 計画の修正

結果として, 最終成果発表会では, どのチームからも, 実装したシステムのアルゴリズムやパラメータ設定の説明に偏らず, チーム活動におけるコミュニケーションの取り方の工夫点や開発のプロセスに関する報告が得られた。

5.2 Q5 についての施策とその結果

5.2.1 ネットワーク接続に関する問題

OSの自動更新によるネットワークへの過負荷が明らかになったため, 2018年度の実施に向けOSの自動更新を停止する施策を行うことを検討した。しかしながら我々が演習端末として用意していたノートPCに搭載されているOSであるWindows10では, OSの自動更新に対する方針の変更が多く, 一定期間の停止は行えるが再度設定が必要になる, レジストリの変更やサービスの停止などを行った場合にも挙動が安定せず自動更新の設定が戻っている, など利用者側での制御が困難であった。最終的には, 講義時に接続する無線LANをOS側の設定で従量課金ネットワークとすることで, 安定して講義開始時の自動更新を停止することができた。

5.2.2 演習環境・言語の分散

演習環境と使用言語の統一をはかるため, 教材の見直しを行った。学生が最も長い期間触れることになるPBL発展での演習環境ではJupyterを用いてPythonで開発を行うため, 基礎知識補助で利用する演習環境もJupyter環境へ移行することとした。具体的には, クラウド演習ではSSHクライアントをRloginからJupyterのTerminal機能からの利用へ変更し, Pythonを用いた外部APIの利用演習の追加を行った。ビッグデータ演習ではHadoopをJavaではなくPythonから利用する演習への変更を行い, Jupyter上から行えるよう変更した。さらに, 開発環境(Jupyter), 言語(Python)への理解を深めるよう事前課題として簡単なJupyter上でのPythonプログラミングを受講生へ予習として課すことで, 事前にこれらの環境に慣れてもらった。また, 予習課題の確認とアイスブレイクを兼ね, 初回講義の前にデータ処

表2 2018年度アンケート分析

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
平均値	4.57	4.19	4.67	4.40	4.42
中央値	5	4	5	5	5
分散	0.71	0.65	0.29	0.73	0.77

理入門として, 受講生同士がグループで補問しあえるPython演習を実施した。

5.2.3 サーバ過負荷の問題

2018年度は5.2.2で述べた通り, 全ての演習環境をJupyterサーバ上での実行を前提とした。そのためより一層のサーバ負荷に対する対応が必要となり, 利用サーバの分散化, 高スペックサーバへの変更などを検討した結果, 管理のコスト, 受講生への利便性などからIaaSのクラウドサービスであるAmazon Web ServiceのEC2を利用することとした。必要となるスペックを検討しvCPU72, メモリ144GBのc5.18xlargeで演習サーバを構築した。なお, 本スペックのEC2インスタンスは\$3.06が時間当たり発生するため, AiBiC Spiral期間中全てを賄うことは現実的でない(1か月あたり約\$2200)と考え, 負荷が集中する中之島での講義日にはAWSのサーバを, それ以外の予習・復習課題をおこなう期間では昨年度と同様のサーバを利用した。

6 考察

2018年度の実施結果を評価するため, 2017年度に実施したのと同じ項目で受講生に対して5段階評価によるアンケートを最終成果発表会終了後に実施し, 57名から回答を得た。結果を図5および表2に示す。

2018年度の改善点として挙げたQ2, Q5の各質問項目については, 平均値がそれぞれ4を超えるなどわずかではあるが改善が見られた。特にQ5に対しては回答者の63%が5の評価を付けており, 演習環境に関する課題は2018年度の施策によりおおむね克服できたと考えられる。Q2については, 2018年度は受講生が増えたにもかかわらず3以下の評価を付けた受講生の人数は2017年度から横ばいの一方で, 5を付けた受講生が大幅に増えた。受講生募集時の説明の改善や自己評価シートによる振り返りの実施に

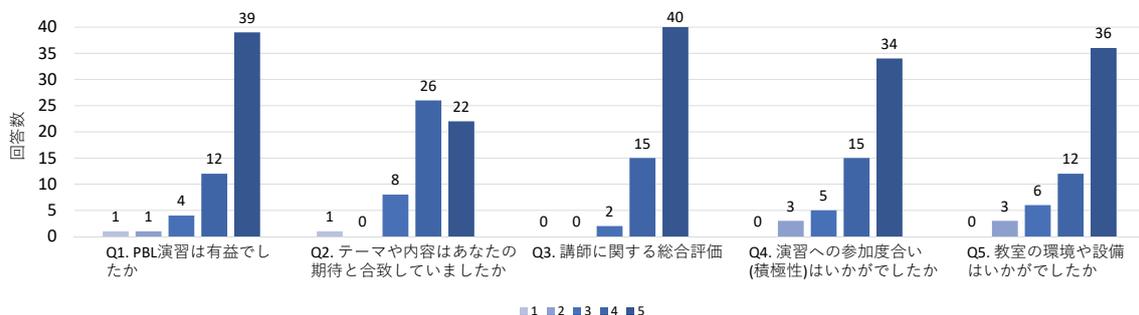


図5 2018年度授業アンケート結果

より、指導者側の意図はある程度は伝わったのではないかと考えられる。また、その上で Q1, Q3, Q4 についての評価が、2017 年度から大きな変化は見られず、2018 年度においても受講生にとって有益な教育コースが実施できていると考えられる。一方で、期待とのミスマッチを指摘する受講生は、少数ではあるが依然として存在する。Q2 は Q1 や Q4 との相関が高く (Q1-Q2 の相関係数: 0.60, Q2-Q4 の相関係数: 0.52), PBL への参加意欲や満足度にも大きく影響している。PBL ではチーム活動が主となるため、チームの他のメンバーへの影響も少なからずあり、ミスマッチの軽減は今後も継続的に検討する必要がある。自由記述による回答では、より高度な技術を駆使したかったという意見がいくつか見られたが、PBL の内容に取り込むことは現状では難しいため、基礎知識学習や企業セミナーなどの中でそれらの受講生に対する対応ができればと考えている。

7 まとめ

本稿では enPiT 「成長分野を支える情報技術人材の育成拠点の形成」ビッグデータ・AI 分野における AiBiC 関西で行っている教育コース AiBiC Spiral について、2017 年度、2018 年度の 2 年間の実施に関する報告を行った。2017 年度の実施後に行った受講生アンケート結果の明らかになったいくつかの問題点について詳述し、これらの問題に対し 2018 年度に実施した改善について述べ、その施行結果について報告を行った。アンケートの結果から、演習環境に関する受講生の満足度の低下は、運営側の工夫により改善できたことが分かった。一方で受講生の受講動機に直結

するテーマや内容に関する期待とのずれについては、一定の改善は見られたものの、依然として大きなずれが残った学生もいることが明らかになった。今後は、受講者数増加に対しても安定して利用可能な環境の設計や受講生とのミスマッチが明らかになった際の対応などについて検討を進める必要がある。

謝辞 本教育コースの実施にあたりご尽力頂いた AiBiC 関西参画校、連携企業の関係者各位ならびに本教育コースの受講生各位に感謝します。

参考文献

- [1] AiBiC 関西: <https://aibic-spiral.enpit.jp/>.
- [2] Amazon Web Services: <https://aws.amazon.com/jp/>.
- [3] enPiT AiBiC: <https://aibic.enpit.jp/>.
- [4] enPiT2 成長分野を支える情報技術人材の育成拠点の形成: <http://www.enpit.jp/>.
- [5] Microsoft Azure Machine Learning: <https://azure.microsoft.com/ja-jp/services/machine-learning/>.
- [6] Project Jupyter: <https://jupyter.org/>.
- [7] Saiki, S., Fukuyasu, N., Ichikawa, K., Kanda, T., Nakamura, M., Matsumoto, S., Yoshida, S., and Kusumoto, S.: A Study of Practical Education Program on AI, Big Data, and Cloud Computing through Development of Automatic Ordering System, 07 2018, pp. 31–36.
- [8] 脇森浩志, 杉山雅和, 羽生貴史: クラウドではじめる機械学習: *Azure ML* でらくらく体験, リックテレコム, 2015.
- [9] 井上克郎, 楠本真二, 後藤厚宏, 鶴林尚靖, 北川博之: 実践的情報教育協働ネットワーク enPiT, 情報処理, ペタ語義, 2 2014, pp. 194–197.
- [10] 春名修介, 楠本真二, 井上克郎: 実践的情報教育協働ネットワーク: enPiT, *SEC journal*, Vol. 10, No. 2(2014), pp. 54–57.

情報系学部において企業提供の実問題解決を行う PBL に関する多様な期待実現の分析

後藤 裕介 市川 尚 松田 浩一 羽倉 淳

本稿では情報系学部において企業提供の実問題解決を行う PBL に関して、企業と大学が抱く多様な期待実現の分析を行った。岩手県立大学ソフトウェア情報学部の PBL「プロジェクト演習」を題材として、予備調査を実施した上で企業担当者と教員を対象とするインタビューデータを用いて M-GTA による分析から理論生成を行った。44 個の概念が生成され、17 個のサブカテゴリー、5 個のカテゴリーが抽出された。情報系学部において企業提供の実問題解決を行う PBL では《授業を超えた「欲張りな」期待》と《授業が本来意図する期待》からなる多様な連携期待に関して、何が達成され何が達成されないかは、《想いが先行する企業》と《「踏み出せない」大学》に関する要因が影響しており、両者に関わり達成水準を上下させる作用の均衡により決定されるメカニズムが明らかになった。

In this paper, we analyzed various expectations of companies and teachers about a PBL course for students majoring in Information Science which intends to solve actual problems provided by the companies. We conducted a M-GTA analysis on our PBL course after preliminary interviews. We identified a hypothetical mechanism of what are the expectations, how the expectations formed, and which factors have influences on the expectations. This hypothetical mechanism would have a balancing structure operated by companies and teachers.

1 はじめに

近年、高等教育における実践的教育が注目されており、その代表的な方法論の 1 つはプロジェクト型学習 (PBL: Project Based Learning) である [2]。PBL は産学連携による実施が多く [8]、情報系学部では実際の企業のシステム開発を行うもの [4][7] や、企業が提供する実問題に取り組むものなどが見受けられる。後者の問題解決プロセスは「(1) 問題発見, (2) 原因分析, (3) 解決案立案 (提案), (4) 解決案実行, および (5) 解決案評価」からなる [1][6]。このとき、(1) から (3) のように問題発見も学生が行うものと、問題発見と原因分析が事前に行われ定義済みの問題に対し (3)

に学生が取り組むものの 2 つに類型化できる^{†1}。

企業提供の実問題解決を行う PBL 実践は盛んに行われているが、すべてが成功しているわけではない。関連研究 [9] によれば、企業や団体が PBL の枠組みで連携する際の関心として、提供する問題解決自体にとどまらず、CSR、新規市場開拓、ブランド価値向上、採用など多様な期待が存在しうることが示唆されている。また、大学は企業との連携を通じて、学習した理論・研究の実践に加え、既存の枠組みで不可能な学びの実現を期待していることが示唆されている。

企業の実問題解決を行う PBL が問題提供者および大学側に対してどのような意義がありうるのかを明らかにすることは、双方が意義を正しく理解し連携することにつながり、産学連携型の PBL を単なる一過性の賑やかしにとどまらず持続可能なものにするであろう。しかしながら、連携の意義には各企業や大学に固有の状況や授業設計などの諸要因が関連しており、

Analysis of Expectation and Disappointment in Real World Collaborated PBL

Yusuke Goto, Hisashi Ichikawa, Koichi Matsuda, Jun Hakura, 岩手県立大学 ソフトウェア情報学部, Faculty of Software and Information Science, Iwate Prefectural University.

^{†1} いずれの類型においても実際に解決案を実行して評価することは授業内では難しいため、(3) の提案に対して、(5) 解決案評価が行われることが多いと思われる。

これらの要因と合わせて理解することが必要となる。

本研究では、情報系学部において企業の実問題解決を行う PBL で連携先として典型的に想定される地域企業を対象として、企業と大学が連携効果として期待していることはなにか？、そしてその期待はどのようにして形成されるのか？、期待したことで実現できていないことはなにか？、そしてそれはなぜか？を説明する仮説を生成することを目的とする。第 2 節では、分析対象 PBL の岩手県立大学ソフトウェア情報学部「プロジェクト演習」について概要を説明し、問題提供と解決案提案を含む連携の枠組みの説明を行う。第 3 節では、企業および担当教員を対象として本分析に先立ち実施した予備調査について説明する。第 4 節では、企業および担当教員へ実施したインタビューデータを使って、仮説生成を目的として修正版グランデッド・セオリー・アプローチ（以下、M-GTA）により分析を行った結果を示す。第 5 節では、多様な連携期待実現のメカニズムと連携時の留意点について考察を行う。第 6 節はまとめと今後の課題である。

2 プロジェクト演習

2.1 概要

岩手県立大学ソフトウェア情報学部「プロジェクト演習」は 1～3 年生時の後期必修科目であり、各学年約 160 名（合計 500 名弱）が受講する。3 学年が同じ科目を同時に受講し、学年混成のグループにより PBL を行う点特徴的である。繰り返し学ぶことと学年に応じた役割を果たすことから、高い学習効果が報告されている [5]。

プロジェクト演習の 3 学年に共通する学修目標は「他者と協働しながら、現実的な問題を分析して解決すべき問題を明らかにし、ICT を活用した説得的な解決策を提案できる」ことであり、利用者視点および技術者視点から問題解決プロセスを実践的に学ぶ PBL である。現実的な問題を取扱い、自分たちの独りよがりな提案ではなく相手のニーズ・価値観に沿った提案ができるようにするために、地域企業・団体から実際に抱えている問題を提供していただき、学生が問題発見・分析を行い解決案を提案するという形式を採用している。2014 年度よりこの形式での授業実施

となり、4 年間で 16 の実問題が提供されてきた。

2.2 実問題提供と解決案提案の枠組み

図 1 は、プロジェクト演習における実問題提供と解決案提案の枠組みを各立場での作業の観点から整理したものである。企業担当教員による実問題提供の募集に対して、問題提供者は応募する。企業担当教員は問題提供者と事前の打合せを経て、問題提供者が企業の実問題を提出する。授業の初回で、問題提供者は学生に対して問題の説明を行い、説明を受けた学生は企業担当教員へ質問を提出し、取りまとめた後、問題提供者へ提出する。問題提供者は提出された質問を受けて、回答を行い、必要に応じ追加資料を学生に提示する。科目担当教員は毎回の授業で学生を指導する。

問題発見・分析、解決案の考案を経て、学生は科目担当教員へ提案書を提出する。科目担当教員は授業の学修目標に沿って、提案書が妥当な分析に基づき、説得的なものになっているかの観点から、共通に定義された評価基準で提案書を評価する。

発表会において学生は提案内容をポスターやデモを用いて発表し、問題提供者が提案を評価する。このとき、問題提供者は、問題を抱えている当事者として、提案内容の質の観点から事前に提示した評価基準に基づいて提案を評価する。教員による提案書に対する評価と問題提供者による提案の評価を総合して、企業担当教員が学生を表彰する。図からも明らかのように、プロジェクト演習における連携上のやりとりは、主に問題提供者と大学側のインターフェイスである企業担当教員により行われている。

2.3 問題提供者が示す情報

図 1 の中でも重要な作業は企業の実問題提示である。問題として (1) 問題説明資料、(2) 評価基準、(3) 参考情報の 3 種類を問題提供者は提示する。学生は示された情報に従って問題発見、原因分析、解決案立案（提案）の手順で取組む。

(1) 問題説明資料は A4 版 1 ページで問題を説明する。問題のタイトル、提供者名、問題の背景、問題の達成目標、指定する成果物、制約条件、副賞、参考文献が含まれる。(2) 評価基準は A4 版 1 ページで問題

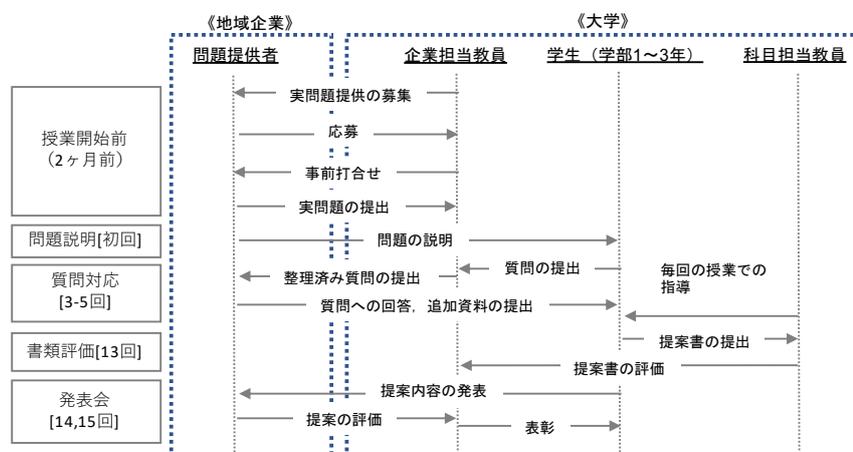


図1 実問題提供と解決案提案の流れ

提供者の視点から提案の成果物をどのように評価するか説明するものであり、評価したいことを説明する「評価基準」(複数可)と、各評価基準において評価する観点を説明する「評価観点」が示される。参考情報として問題分析に必要なデータが示される。

2.4 取組む実問題の性質とそのねらい

プロジェクト演習は地域企業から発注を受けてシステムを開発する連携とは異なり、問題発見、原因分析、解決案立案(提案)までのプロセスを対象として、ICTを活用して企業が抱えている問題を解決する提案を行うものである。このため、問題発見や原因分析にあたっては、必要なデータの提供が欠かせない。また、「発注」で想定される間口の狭い問題ではなく、原因分析を経て解決案を検討できる間口の広い問題である必要がある。対象学生は学部1~3年生であるため、研究をしているわけではなく、専門性は高いとは言えない。以上の懸念点から、2016年度以降、以下の6条件を満たすものが望ましいと考えている旨を説明し、理解していただいた上でご提供いただいている。

- (i) 提供者がその事業を担っていること。
- (ii) 提供者が問題分析に必要な水準のデータを提供可能であること。
- (iii) 提供される問題は、いわゆるオープンな問題であり、問題分析を経て、解決案が初めて検討で

きるタイプのものであること(やるべきことが決まっていないもの)。また、解決策は多様なものが考えられる間口の広い問題であること。

- (iv) 提案される問題はICTの活用が想定可能であり、解決には技術的な工夫を要するものが望ましい。単にSNSやweb構築という水準ではないもの。
- (v) 一般的に利用できる(知られている)技術の組み合わせで取組むことができるもの。
- (vi) 提案資料作成、問題紹介、質問対応、発表会での評価など授業へ携わっていただけること。

表1は過去に提供された企業の実問題に関する提案募集タイトルの一部を示したものである。提案募集タイトルは学生に向けて提案してもらいたいことを説明するものであるが、提案にあたっては解決する具体的な問題を発見し、問題の原因を分析した上での提案が必要になるような形で提供がなされている。

3 予備調査

研究関心の明確化とインタビューガイド作成を目的として、企業の実問題提供者および科目担当教員を対象として予備調査を行った。

問題提供者を対象に(1)授業への課題提供の動機、(2)期待する授業の改善方向性に関し聴取りを行なった。2017年1月に問題提供者3名へグループインタビューの形式で半構造化インタビューを行った。面接

表 1 過去に提供された企業の実問題に関する提案募集タイトル (一部)

No.	提案募集タイトル
1	ぐるっと!!MORIOKA まちなかラリーを集客・運営面で支援するための ICT 活用方法の提案
2	鉄骨製造における生産性の向上を目指す施策の提案
3	岩手県内周遊・観光をより豊かにするためのオブジェクト群と連携する O2O 施策の提案
4	従業員が心身共に生き活きと活躍するための人事部施策を支援するシステムの提案
5	被災地での買い物難民対応の移動販売を支援するシステムの提案
6	街頭設置型 KIOSK 端末とポータルサイトとの循環による盛岡地域ポイントカード「MORIO-J カード」活性化施策の提案
7	南部せんべいのコア顧客拡大支援システム・サービスの提案
8	岩手県の訪日外国人宿泊者数増加に導くシステムの提案

時間は約 45 分である。インタビューの結果、(1) 問題提供の動機に関して、問題提供者は「IT の専門家による問題解決のヒントを得たい」「将来顧客との接点を実現したい」「学生に地域について学んでもらいたい」「人材確保のための継続的な関係性構築をしたい」など多様な動機があることが明らかになった。(2) 期待する授業の改善方向性に関して、「大学生らしい発想を参考にしたい」、「ビジネスアイデアとして完成した提案がほしい」、「実際の問題・ニーズをきちんと掴んだ提案ができる」とよい」など主に学生による提案内容について多様な期待があることが明らかになった。

担当教員を対象として、授業実施後のふりかえり(2018年3月に実施。約60分。対象22名中14名出席)の機会に(1)企業との連携上の課題、(2)学生による提案内容についての意見を募った。(1)企業との連携上の課題に関して、「問題提供企業との問題説明資料準備に関して苦勞する」ことが挙げられ、(2)学生による提案内容については「似たような提案ばかりである」ことや「独創的なアイデアが出てこない」ことが挙げられた。

4 連携期待の分析

4.1 研究方法

情報系学部において企業提供の実問題解決を行う PBL における多様な連携期待実現の分析に関する理論生成を目的として、M-GTA [3] と半構造化面接を用いた質的帰納的研究を行う。本研究は、情報系学生

を対象とした企業提供の実問題解決を行う PBL という限定された範囲での理論生成を志向し、問題提供企業と企業担当教員との間で社会相互作用が生じている現象であるため M-GTA が適当であると判断した。

問題提供者 3 名と企業担当教員 2 名を調査協力者としてデータを収集した。データは 2017 年 2 月から 2018 年 11 月の間に収集され、1 件の面接時間は 50 分から 90 分である。インタビュー依頼時に本研究の目的を文書で説明した後、インタビュー開始時に改めて本研究の目的を口頭で説明し、内容の研究目的使用と IC レコーダーによる録音について同意を得た。

インタビューガイドは予備調査の結果を反映し、問題提供者(企業)向けと企業担当教員(大学)向けのそれぞれを作成し使用した。問題提供者へのガイドは(1)担当者と企業について、(2)問題提供の「経緯」と「期待・ねらい・動機」、(3)連携結果について、(4)連携時に苦勞した点、(5)本授業の改善点である。企業担当教員へのガイドは(1)担当教員について、(2)企業担当教員を務めての感想、(3)連携時の支援内容、(4)企業との連携時に感じたギャップ、(5)企業との連携に関しての期待、(6)本授業の改善点である。

4.2 全体のストーリーライン

本稿では M-GTA により生成したコアカテゴリーを【○○】、カテゴリーを《○○》、サブカテゴリーを〈○○〉、概念を [○○] で示す。図 2 は結果図である。情報系学部において企業提供の実問題解決を

行う PBL では、《授業を超えた「欲張りな」期待》と《授業が本来意図する期待》からなる多様な連携期待に関して、何が実現され何が実現されないかは、《想いが先行する企業》と《「踏み出せない」大学》に関する要因が影響しており、両者に関わり達成水準を上下させる作用の均衡により決定されるメカニズムであった。そして、達成水準を下げる要因や《授業を超えた「欲張り」な期待》に変容をもたらすのは《企業と大学の深い相互理解》であった。このメカニズムを「情報系学部において企業提供の実問題解決を行う PBL に関する多様な連携期待の実現モデル」と命名した。モデルの全容は以下のようである。

企業側と大学側がそれぞれ抱えている多様な連携期待には《授業を超えた「欲張りな」期待》と《授業が本来意図する期待》が存在した。調査対象については、前者の中に一部達成されているもの、後者の中に一部達成されていないものがあった。《授業が本来意図する期待》には企業側として〈問題解決の参考〉にしたいという期待が存在した。大学側には地域企業から実問題を提供していただき既習技術を応用する演習であることから、〈地域を知るきっかけ〉と〈問題解決技術の現実への適用〉の機会としての期待が存在し、これらは達成されていた。しかしながら、大学側は企業から〈定式化された問題〉の提供を期待しているが、必ずしも達成されていなかった。

一方、《授業を超えた「欲張りな」期待》として、両者は〈実際の問題解決実現〉とその実現に関わる学生の〈豊かな創造性・発想〉に関して期待しているが、達成されていない。また、大学は地域との連携であることため〈地域貢献〉したいと期待しているが、達成されておらず、むしろ大学は地域で学ばせていただいていたのであった。なお、企業は先進的な存在として〈企業の PR〉を望んでおり、結果として達成されていた。

《想いが先行する企業》と《「踏み出せない」大学》に関する要因がこれらの多様な連携期待の達成水準を上下させていた。大学との連携を突破口にしたいと考えている《想いが先行する企業》に関して、連携にあたって授業の中で果たす役割についての〈企業による誤解〉、連携にあたって問題を解決する以外の〈混

在する企業の思惑〉、十分な量・質の連携活動の実施に関する〈企業資源の制約〉によって達成水準が下がりうる。一方で企業側が大学との〈接点の増加〉を図ることは達成水準を上げうる。

《「踏み出せない」大学》は地域企業と連携することで既存の枠組みでは不可能な学びの実現などを狙っている一方で、〈教員の遠慮〉、〈授業設計の制約〉、〈学生の限界〉が存在することで達成水準が下がりうる。しかしながら、適切な〈企業への支援〉は達成水準を上げうる。

《企業と大学の深い相互理解》は多様な連携期待の構成と達成に影響を与える。《企業と大学の深い相互理解》により、《授業を超えた「欲張り」な期待》の構成は変容するとともに、期待の達成水準を下げる〈企業による誤解〉、〈混在する企業の思惑〉、〈教員の遠慮〉にも変化をもたらすと考えられる。

4.3 概念、サブカテゴリーおよびカテゴリー

M-GTA により 44 個の概念を生成し、17 個のサブカテゴリー、5 個のカテゴリー、1 個のコアカテゴリーを抽出した（表 2）。ヴァリエーションは紙面の制約から最小限の記述に留める。

4.3.1 《授業が本来意図する期待》

PBL は授業であることから、設計時点で授業として意図している期待がある。企業が実問題を提供することにあたって、企業としては〈問題解決の参考〉にすること、大学としては企業から実際に解決したいと考えている〈定式化された問題〉を提供していただき、学生が授業で座学として学習している〈問題解決技術の現実への適用〉を期待している。また、地域の企業から実問題を提供していただくことで、問題に関連する調査・分析の中から〈地域を知るきっかけ〉ができることを大学は期待している。このような期待の中、〈定式化された問題〉については現状では必ずしも達成されているわけではないことがわかった。

〈問題解決の参考〉を具体的にすると、今すぐそのまま実装可能でなくても〔修正を経て実装可能な提案〕や情報に関する〔専門性が反映された提案〕を企業が期待していることがわかった。

大学は企業により〈定式化された問題〉を提供して

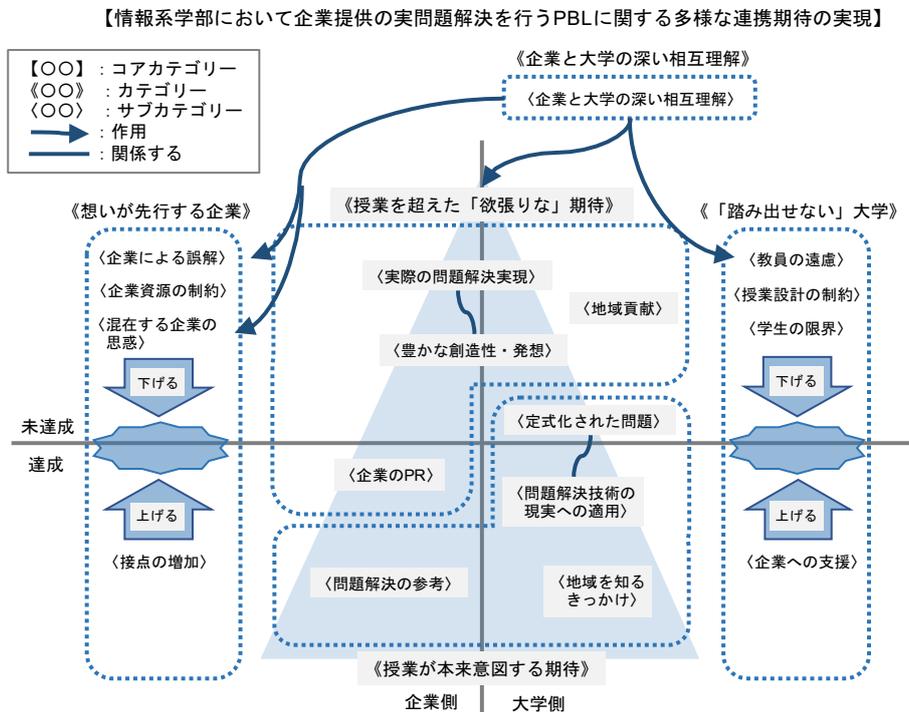


図2 情報系学部において企業提供の実問題解決を行うPBLに関する多様な連携期待の実現モデル

いただくことを期待していた。具体的には実問題提供にあたって「問題分析が可能なデータ提供」や「提案者の価値観が反映された評価基準」、問題分析の結果初めて解決案が検討できるような「問口の広い問題設定」がなされることを期待していた。これらの期待実現のためには大学は「提案者自身の問題理解深化をふまえた問題設定」が必要であると考えていた。これは提案者である企業は実問題提供にあたって事前に問題の定式化ができていくのではなく、問題関心があり問題状況を認識している段階に留まっていることを示唆している。

〈問題解決技術の現実への適用〉を具体的にすると、PBL以前に大学の授業で学習した「座学知識である問題解決技術の適用」および仮想的な事例ではなく「企業の実問題への取組み」の機会としての期待があることがわかった。

4.3.2 《授業を超えた「欲張りな」期待》

授業として本来意図している期待の他に、企業と大学は《授業を超えた「欲張りな」期待》を抱いてい

ることがわかった。企業と大学はともに〈実際の問題解決実現〉とその実現に関わる学生の〈豊かな創造性・発想〉に関して期待している。大学はこのPBLを通じて〈地域貢献〉することを期待しており、企業は〈企業のPR〉になることを期待している。これらの期待のうち〈企業のPR〉は結果として達成されていたが、他の期待は未達成であった。

〈実際の問題解決実現〉に関し、大学は「共同研究や実解決につながる提案が出てほしい」と期待していた。企業は「今すぐに実装可能な提案がほしい」と期待していた。企業は《授業が本来意図する期待》として〈問題解決の参考〉程度で良いとしながら、本音では「今すぐに実装可能な提案がほしい」という想いを抱いていた。〈実際の問題解決実現〉には学生の〈豊かな創造性・発想〉が必要であると考えられる。具体的には、企業の実務担当とは異なり常識にとらわれなかったり、事業の潜在顧客としてのインサイトが含まれる「大学生らしいアイデア」や「ユニークな発想」が期待されている。そして、同時に相矛盾する

表 2 情報系学部において企業提供の実問題解決を行う PBL に関する多様な連携期待の実現についてのカテゴリー

コア カテゴリー	カテゴリー	サブカテゴリー	概念	
【 情報 系学 部 にお いて 企業 提供 の 実問 題解 決を 行う PBL に関 する 多様 な連 携期 待の 実現 】	《授業が本来意図する期待》	〈問題解決の参考〉	[修正を経て実装可能な提案] [専門性が反映された提案]	
		〈地域を知るきっかけ〉	[企業との交流を通じた企業理解] [調査・分析を通じた事業の理解]	
		〈問題解決技術の現実への適用〉	[座学知識である問題解決技術の適用] [企業の実問題への取組み]	
		〈定式化された問題〉	[問題分析が可能なデータ提供] [提案者の価値観が反映された評価基準] [提案者自身の問題理解深化をふまえた問題設定] [問口の広い問題設定]	
			〈実際の問題解決実現〉	[共同研究や実解決につながる提案が出てほしい] [今すぐに実装可能な提案がほしい]
			《授業を超えた「欲張りな」期待》	[「大学生」らしいアイデア] [事業理解に基づく実装可能なアイデア] [ユニークな発想]
	《授業を超えた「欲張りな」期待》	〈地域貢献〉	[企業の問題解決を行えるというアピール] [先進的イメージの社会へのアピール] [就職先としての認識] [企業や事業の学生への浸透]	
		〈企業のPR〉	[企業による誤解] [「後はんとかして」]	
		《想いが先行する企業》	〈混在する企業の思惑〉	[事業に実装したい] [事業の参考にしたい] [事業のPRにつなげたい] [採用活動につなげたい]
			〈企業資源の制約〉	[客観化する機会の不足] [現場での情報系人材の不在] [多忙感のある現場]
			〈接点の増加〉	[駆け込み寺としての大学] [学生による事業理解の深化]
		《「踏み出せない」大学》	〈教員の遠慮〉	[踏み込んだ助言の遠慮] [教員自身の資源制約]
	〈授業設計の制約〉		[グループで取組むことによる平均化] [アイデア発想を支援する枠組みの欠如] [対象問題解決範囲による必然] [多数の受講者に起因する企業との接点の限定] [必修授業に起因する能力・意欲の「ばらつき」の存在]	
			〈学生の限界〉	[経営知識の不足] [事業知識の不足] [情報の専門性は未熟である実態]
			〈企業への支援〉	[役割を意識させる仕掛けの整備] [問題定式化の共同実施]
	《企業と大学の深い相互理解》		〈企業と大学の深い相互理解〉	[企業は必ずしも「研究者」ではないという理解] [「教育の場」としての授業という理解]

ようにも思われるが、完成度の高い[事業理解に基づく実装可能なアイデア]も期待されていた。

大学はPBLを通じて〈地域貢献〉として[企業の問題解決を行えるというアピール]をしたいと考えている。しかしながら、実際にはこの期待は達成されておらず、このPBLは〈地域貢献〉というよりは地域

で学習をさせていただいているという状況であった。

企業はPBLを通じ〈企業のPR〉として、大学との連携を行っているという[先進的イメージの社会へのアピール]や、受講学生に対して[就職先としての認識]を浸透させたい、また[企業や事業の学生への浸透]を通じて事業自体を成功に導きたいと期待して

いた。そして、これらの期待は、PBL が本来意図するものではないが、報道や学生が就職先として選択することなどにより、結果として達成されていた。

4.3.3 《想いが先行する企業》

大学に実問題の提供を行おうとする企業は当然に何らかの悩みを抱えており、とくに大学との連携による問題提供を突破口としたいと考えている。しかしながら、〈企業資源の制約〉があり、企業自身のねらいも一筋縄ではない（〈混在する企業の思惑〉）。さらに、連携にあたって〈企業による誤解〉が存在し、期待の達成水準は下がってしまう恐れがある。

〈企業資源の制約〉は連携にあたって企業が十分な質・量の活動ができないことを表しており、[客観化する機会の不足]、[現場での情報系人材の不在]、[多忙感のある現場]の3つの概念で構成されていた。[現場での情報系人材の不在]であることは問題提供の動機につながりうるが、ICT に関しての目利きが利かないがゆえに、問題定式化にあたって ICT 活用による解決が困難な問題になってしまうことや学生からの提案を技術的に正しく評価できないことがあり得る。また、[多忙感のある現場]により必要な資料がタイムリーに適切な形で提供されないことにより、学生がスムーズに問題分析に取り組むことができないことがありうる。加えて、問題提供を行う企業の担当者は日々の業務の中で漠然とした問題関心を持っているが、あいまいな問題状況の記述をすることができても、問題状況を客観化して、状況を整理し、必要に応じて問題分析を行った後に、問題として定式化する機会が不足している（[客観化する機会の不足]）ことが語られていた。

何となくここが全然駄目だなというのは認識してたんですけども、どれくらい駄目なのかが分かってなかったし、それをどうすれば0になるのかも分からなかったしというところがあって（問題提供者 A）

〈混在する企業の思惑〉は、企業が実問題を提供するにあたっては、純粋に自身の問題解決の参考にした（[事業の参考にしたい]）という授業意図と整合するものだけではなく、[事業に実装したい]、[事業の PR につなげたい]、[採用活動につなげたい]という

本来副次的である想いから構成されていた。表明されている[事業の参考にしたい]という想いに加えて、本音として提案を直接[事業に実装したい]という想い、企業が問題を提供することで参加する学生に事業を知ってもらうことや報道されることで[事業の PR につなげたい]という想い、更には学生との接点を持つことで将来的な[採用活動につなげたい]という想いが混在して存在することがわかった。

〈企業による誤解〉について、企業が実問題を提供することは教育の場への参画であり、教育上の役割を期待されているが、[評価者と実務意思決定の役割混同]や[「後はなんとかして」]のような役割の誤認識があることがわかった。学生からの提案に関しては、教育的立場として事前に定めた評価基準に沿って評価を行い、その評価基準の観点から意見交換、表彰や講評がなされる「評価者」の役割を果たすことが望ましいと考えられる。しかし、実際には、普段業務でなされているように、案に対する決定者として事前に定めた評価基準とは異なりうる現在の関心に沿って評価が行われていることがわかった（[評価者と実務意思決定の役割混同]）。さらに、問題定式化やデータ提供にあたって、〈企業資源の制約〉も相まって、大学に[「後はなんとかして」]と作業を依頼されることがあり、これは結果的に問題の定式化を適切に行うことの妨げにつながる恐れがあることがわかった。

一方で、期待の達成水準を高めるためには〈接点の増加〉が重要であることが示唆された。企業が[学生による事業理解の深化]を目的として、企業見学を開催することや、質問への適宜対応などを含めた従来定めている範囲より踏み込んだ関わりについて、企業も大学も期待していることがわかった。また、その発展として、本 PBL にかかわらず常に相談にいけないような関係性があること（[駆け込み寺としての大学]）が、大学による企業理解やスムーズな問題の定式化につながることを示唆された。

4.3.4 《「踏み出せない」大学》

地域の企業と連携を試みる大学は、このような形式の PBL 実施にあたって通常の授業とは異なる学習効果を実現したいと考えている。その一方で、〈教員の遠慮〉や〈授業設計の制約〉および学生が授業で取組

むことによる〈学生の限界〉があり、もう一步踏み込んだ連携に至っておらず（《「踏み出せない」大学》）、すべての期待が達成されるとは限らない。

〈教員の遠慮〉は、企業担当教員が必ずしも事前に企業との関係があるわけではないため、本音でのコミュニケーションができず〔踏み込んだ助言の遠慮〕をしたり、〔教員自身の資源制約〕に起因して十分な質の問題に仕上げるための労力を投入することが困難な状況もありうることも示唆された。

〈授業設計の制約〉は、本PBLがグループワークを通じた学習も意図しているため提案が〔グループで取り組むことによる平均化〕の影響を受けることがわかった。また、関連するカリキュラムでアイデア発想に関する授業配置が十分になされていない〔アイデア発想を支援する枠組みの欠如〕により、学生がユニークなアイデアを発想できないという懸念があることがわかった。加えて、必修授業として学部1～3年生が全員受講するため、〔多数の受講者に起因する企業との接点の限定〕が懸念されていた。また、必修授業であるため学生間の能力・意欲にも大きなばらつきがみられる（〔必修授業に起因する能力・意欲の「ばらつき」の存在〕）ことから、能力や意欲が十分でないために企業理解を十分に深められないことや良いアイデアを出すことへの影響が懸念されることがわかった。

また、〈学生の限界〉として、実務に携わっているわけではないことから〔経営知識の不足〕〔事業知識の不足〕があるため、すぐに実装可能でそのまま解決可能な提案を考えるには至らないことがわかった。同時に、ソフトウェア情報学を学んでいるとはいえ学部1～3年生であり研究活動の経験はないため、〔情報の専門性は未熟である実態〕から提案は高度なものにはならず、すぐに実装可能でそのまま解決可能な提案まで詰めて考えることも難しいことがわかった。

これらに対し、達成水準を上げる施策として〈企業への支援〉が挙げられた。特に〈企業による誤解〉に対しては、事前の文書や口頭による説明にとどまらず、企業による説明時のスライドや評価時の評価票に関して、説明する項目を必ず記載させることや提示した評価基準についてチェックする形式にするなど、〔役

割を意識させる仕掛けの整備〕を行うことでシステムティックに本来期待されている役割実現を保証できるのではないかという考えが挙げられた。また、提案企業が単独で問題定式化を行うことは実質的に困難であるため、教員が寄り添って問題関心や問題状況を整理しながら、間口が広く、ICT活用により解決可能であろう問題定式化を行うサポートが必要（〔問題定式化の共同実施〕）であるという考えが挙げられた。

4.3.5 《企業と大学の深い相互理解》

企業と大学との連携による期待の達成水準を上下させる要因として〈企業と大学の深い相互理解〉が挙げられた。〈企業と大学の深い相互理解〉は〈企業による誤解〉、〈混在する企業の思惑〉、〈教員の遠慮〉に作用し期待の達成水準を下げることを防ぎうる。また、《授業を超えた「欲張りな」期待》を構成する期待群が変容しうる。

〈企業資源の制約〕に起因して、問題定式化や学生への問題の説明が十分に行えない状況に関して、企業担当教員が自身とは異なり〔企業が必ずしも「研究者」ではないという理解〕をすることが〈企業への支援〉にもつながり、結果として達成状況を改善することが示唆された。加えて、双方が改めてそもそも〔「教育の場」としての授業という理解〕を確認することで、〈地域貢献〉や〈実際の問題解決実現〉など教育の場においては必須ではない《授業を超えた「欲張りな」期待》を構成する期待群に変容が現れる可能性があること示唆された。

5 考察

5.1 多様な連携期待実現のメカニズム

情報系学部において企業提供の実問題解決を行うPBLに関する多様な期待実現として生成されたメカニズムについて、(1)企業と大学の期待、(2)期待の形成、(3)期待の達成状況とその原因について考察する。

企業と大学は双方《授業が本来意図する期待》に加え《授業を超えた「欲張りな」期待》を抱いていた。関連研究 [9] で示唆されている期待に加えて、〈地域貢献〉を行いたいという期待が明らかになった。また、問題解決に関して〈問題解決の参考〉にしたいという水準の期待はもちろんながら、企業も大学も本当は

〈実際の問題解決実現〉を期待していることが明らかになり、期待概念がより精緻に説明された。

多様な連携期待の一部は〈混在する企業の思惑〉に起因して形成されていた。[事業の参考にしたい]という建前と同時に本音として[事業に実装したい][事業のPRにつなげたい][採用活動につなげたい]という思惑があり、これが《授業を超えた「欲張りな」期待》である〈実際の問題解決実現〉〈豊かな創造性・発想〉〈企業のPR〉につながっていた。

このように、分析からは授業が意図するという意味での期待に関しては一定程度達成できている一方で、本音として達成したい期待は実現されていないものもあるという、ある種のもどかしさが見られた。これは、大学が〈教員の遠慮〉により、もう一步踏み込んだ支援を行っていないことや、企業が「本音と建前」を使い分けながら、「本音」の部分は《授業を超えた「欲張りな」期待》であるため、現在の授業枠組みでは本来的に達成が保証できないことと関連していると思われる。

5.2 連携時の留意点

連携時の留意点に関して、本研究で生成した実現モデルが示唆することは《企業と大学の深い相互理解》の実現であると考えられる。現状のある種の「もどかしさ」「噛み合わなさ」への処方箋は、企業と大学が本音をさらけ出した上で、連携期待について合意を形成しながら連携事業を実施していくことではないかと考えられる。関連研究 [2][7] では有効な連携のために連携先との打合せ・調整の重要性を示唆しているが、本分析からはこれらの重要性に加えて、《企業と大学の深い相互理解》を実現する具体的な手段として[役割を意識させる仕掛けの整備]や日常的な〈接点の増加〉の重要性が示唆された。

6 おわりに

本研究では、情報系学部において企業提供の実問題解決を行うPBLに関する多様な期待実現の分析を行った。予備調査をふまえたM-GTAによる分析か

ら、《授業を超えた「欲張りな」期待》と《授業が本来意図する期待》からなる多様な連携期待について、何が実現され何が実現されないかは、《想いが先行する企業》と《「踏み出せない」大学》に関する要因が影響しており、達成水準を上下させる作用の均衡により決定されるメカニズムであったことがわかった。また、達成水準を下げる要因や《授業を超えた「欲張りな」期待》に変容をもたらすのは《企業と大学の深い相互理解》であったことがわかった。

今後の課題は、現時点では理論的飽和に到達していると判断しているが、必要に応じインタビューを追加実施して分析を精緻化することである。

謝辞

本PBLは実問題を提供いただいた企業様および岩手県立大学ソフトウェア情報学部の担当教員約20名のご尽力により実現しています。感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 岩下基: システム方法論 – システム的なもの見方・考え方, コロナ社, 2014.
- [2] 坂本憲昭, 深瀬光聡, 峯恒憲, 日下部茂, 中西恒夫, 大森洋一, 北須賀輝明, ウッディンモハマッドメスバ, 荒木啓二郎, 福田晃, 安浦寛人: 大規模な産学連携による高度ICT人材育成に向けての取り組み, 情報処理学会論文誌, Vol. 49, No. 8(2008), pp. 2830–2842.
- [3] 木下康仁: ライブ講義 M-GTA – 実践的質的研究法 修正版グラウンデッド・セオリー・アプローチのすべて, 弘文堂, 2007.
- [4] 金田重郎: 実社会連携型PBLの実践と課題, 情報システム学会誌, Vol. 6, No. 1(2010), pp. 40–50.
- [5] 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, Vol. 36, No. 1(2019), pp. 1–11.
- [6] 高橋真吾: システム学の基礎, 培風館, 2007.
- [7] 桑野文洋, 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), Vol. 2, No. 1(2016), pp. 25–40.
- [8] 松澤芳昭, 杉浦学, 大岩元: 産学協同のPBLにおける顧客と開発者の協創環境の構築と人材育成効果, 情報処理学会論文誌, Vol. 49, No. 2(2008), pp. 944–957.
- [9] 春木良且, 齊藤義明, 道幸俊也, 古川和年, 田中弥生: PBLにおける学びのコミュニティと弱い紐帯, 経営情報学会 2017年春季全国研究発表大会, (2017), pp. 135–138.

形式的安全性検証ツールを用いた暗号教育の実践とその e-Learning 教材化の課題について

紫村 彰吾 岡崎 裕之 宮本 樹 渡邊 樹 布田 裕一 村上 恭通

暗号技術は情報セキュリティを実現するための基盤要素である。暗号を専門とする研究者や技術者のみならずネットワークエンジニアや運用者等にとっても暗号技術に関する知識の習得は必須である。実際のシステムでは、公開鍵暗号や電子署名等の複数の要素技術を組み合わせる必要があるため、様々な攻撃について必要な対策を施しつつ安全性要件を満たすように実現しなければならない。しかしながら、このことを座学だけでは初学者に学ばせることは困難である。この課題を克服するために、報告者等は計算機援用による形式的暗号プロトコル安全性検証ツールを利用した暗号技術の基礎知識と利用方法を学習する教材を作成し、演習形式による授業を実践した。形式的暗号プロトコル安全性検証ツールの利用により、既存の教材では学習困難な実際の暗号技術の動作や攻撃を、学習者が設定した暗号システム上でシミュレーションしてインタラクティブに学ぶことが可能となった。本論文では、まず、実践した教育内容の概要とその成果を報告し、更に、現在進めている本教材を元とする CAI 教材開発方針の紹介と、その課題について報告する。

Cryptographic technology is a fundamental element used to realize information security. Learning about cryptography and training in cryptographic techniques are processes that are indispensable to not only researchers and engineers specialized in cryptography but also to information and communications technology (ICT) engineers, such as network engineers and operators. However, the educational environment and teaching materials on the topic of cryptographic technology for ICT engineers are not sufficient to provide practical knowledge. There are also not enough teachers who can teach the theoretical foundations as well as the technological applications of cryptography. In this report we present the trial performed to teach the basics of cryptographic technology using ProVerif, one of the most successful automatic cryptographic protocol verifiers. Moreover, we propose a plan to develop an e-learning system for topics in cryptographic technology using ProVerif.

1 はじめに

我が国の情報セキュリティ向上は急務であるが、それを担う情報セキュリティ人材の不足が叫ばれている。情報セキュリティはウイルスやネットワーク不正侵入、情報漏洩の防御等の様々な分野での対策が必要であるが、暗号技術はそれらの対策を実現する基盤技術に位置づけられる。さらに暗号技術は、フィン

テックや IoT 等の次代の産業を興すための要素技術としても期待されている。しかし、暗号の専門家以外のネットワーク技術者等の暗号技術を利用する立場の ICT 技術者には十分に暗号技術に関する知識が共有されているとは言い難い。例えば、インターネットの標準暗号プロトコルである SSL/TLS の実装において、POODLE, HeartBleed 等のセキュリティホールが相次いで発見されたが、これらのほとんどは実装した者が暗号技術を正しく理解していなかったことに起因する。暗号学の成り立ちが計算機科学、数学、通信工学等の様々な研究分野の境界領域上にあるために、暗号技術の技術文書が非常に難解なテクニカルタームを利用したり、学術的、あるいは技術的に厳格な書式を取ったりして難解に記載されていることが一因である。さらにセキュリティ技術の特性上、攻撃者は取

Educating Cryptography using Formal Security Verification tool for Cryptographic Protocols

Shogo Shimura, Hiroyuki Okazaki, 信州大学, Shinshu University.

Tatsuki Miyamoto, Tatsuki Watanabe, Yasuyuki Murakami, 大阪電気通信大学, Osaka Electro-Communication University.

Yuichi Futa, 東京工科大学, Tokyo University of Technology.

り得る限りの攻撃手法をさまざまな組み合わせで試みるため、たとえ学習者にわかりやすい暗号技術の入門書が執筆されたとしても座学での暗号技術の教育を行うことは暗号の専門家以外にとっては困難であろう。この問題に対し、一般の ICT 技術者への説明責任を果たしていないということが、暗号研究者の間でしばしば議論されるようになっていく。

現状のような難解な表現を用いずに暗号研究者以外にも理解しやすく、かつ厳密性を失わずに正しく説明を行うためには何らかの革新的な表現方法を用いる必要があり、形式検証技術はその有力な表現方法の一つとして期待されている。暗号学において、形式検証技術は主に計算機援用による安全性検証に利用されている。形式的安全性検証では暗号に関する概念や定理の証明のライブラリ化、あるいは要素技術や安全性要件のモデル化を形式記述言語を用いて研究者が行い、計算機を用いて安全性を検証する。形式化されたモデルは形式化記述言語の文法さえ習得すれば理解しやすく、暗号技術の概念を説明することも比較的容易であり、一度ライブラリ化、モデル化された技術要素は誰もが再利用可能である。そのため、形式化されたモデルや技術要素は、安全性検証のみならず、暗号に関する専門知識を有しない ICT 技術者や情報系の学生を対象とした、暗号技術のドキュメント化や CAI 教材としても利用することも可能となる。特にモデル探索による形式的暗号プロトコル安全性検証ツールでは、与えられた形式モデル上で、攻撃者が行える処理を組み合わせることで、攻撃が成功する手順を網羅的に探索し、もし攻撃が発見されれば具体的にその攻撃方法を表示する。

そこで報告者等は、計算機援用による形式的暗号プロトコル安全性検証ツール ProVerif[1] を利用した暗号技術の基礎知識、利用方法を学習する演習形式での授業を行った。形式的暗号プロトコル安全性検証ツールの利用により、既存の教材では実現しえない実際の暗号技術の動作や攻撃を、学習者が設定した暗号システム上でシミュレーションしてインタラクティブに学べる、より学習効果の高い演習を行えた。本報告では報告者等が信州大学工学部電子情報システム工学科 3 年生を対象に行った形式的暗号プロトコル安全性検証

ツールの利用による暗号技術に関する演習授業の紹介とその評価を行い、さらに現在進めている本演習の Moodle 上での CAI 教材化方法の概要説明と、その課題について報告する。

2 背景

本研究では、計算機援用による形式的暗号プロトコル安全性検証ツールを利用した暗号技術の基礎知識、利用方法を学習する演習授業の実践と、その成果を基にした CAI 教材の開発を行っている。既存の教材や解説書のほとんどは暗号機能やその理論を対象としており、暗号研究者や暗号技術者向けに書かれている。そのため、暗号を利用する ICT 技術者の大半を占めるネットワーク技術者や、暗号技術を利用したシステムやアプリケーション開発者等の暗号利用者、あるいはそれらの技術者を志す学生を対象としたものは少ない。ICT 技術者にとっては個々の暗号技術（ハッシュ関数、公開鍵暗号、電子署名等）の実装方法や基礎理論は必要なく、それらを利用する目的（どのような攻撃を防ぐか）と利用する際の入力データの管理方針（どのようなデータを入力すると安全性を保てなくなるか）、どのように暗号技術を組み合わせれば目的の安全性を達成できるからである。学習者がこのような暗号の利用方法を学ぶ際には、目的（データの秘匿、相手認証、改竄検知等やその組み合わせ）を実現するために暗号技術を用いたシステムやアプリケーションを実現するための暗号プロトコルを実際に設計し、攻撃をシミュレーションすることが効果的であろう。しかしながら学習者が設計した暗号プロトコルの安全性検証、即ち暗号プロトコルに対して攻撃が可能であるか否かを判断し、もし攻撃が可能であればその解決方法を指摘するために理論的な検証が必要であり、専門家以外には困難であろう。さらに、たとえ指導者が暗号の専門家であったとしても、多人数を対象とした演習授業において全ての学習者の設計した暗号プロトコルを評価し、指導を行うことは困難である。そこで、形式的暗号プロトコル安全性検証ツールを適切に利用すれば、どのようなプロトコルを設計しても、もし攻撃が成功するのであれば具体的な攻撃手順を導出するため直観的に理解しやすく、さらに学習者自身

で暗号プロトコルの安全性検証を行えるので、指導者は形式的暗号プロトコル安全性検証ツールが導出した攻撃に対する解決策について学習者に解説すればよく、多人数対象の演習を行うことも可能となる。

3 ProVerif

ProVerif [1][2] は Dolev–Yao モデルに基づく暗号プロトコルの形式的安全性検証ツールである [3]。ProVerif では暗号プロトコルを形式モデルで記述し、そのプロトコルの秘匿、認証をはじめとする安全性要件を検証することが可能である。実際の暗号プロトコルでは秘密鍵暗号は AES、暗号学的ハッシュ関数は SHA-256 というように具体的な暗号スイーツを選択して構成するが、ProVerif による形式検証では個々の要素技術は公開鍵暗号モデル、電子署名モデルというように理想化された形式モデルを用いて暗号プロトコルを構成し、その安全性を ProVerif の検証器がサポートするクエリを用いて検証する。この時、個々の暗号技術は理想化されている、即ちそれ自身が破られることは無いとの仮定の下で安全性検証を行うことに注意されたい。実際の攻撃においても個々の暗号スイーツを破ることはまれであり、ほとんどの場合、暗号スイーツの不適切な利用、組み合わせ方の不備や安全でないデータの利用が脆弱性の原因となっている。本演習の目的は要素技術それぞれの安全性に関する機能と、適切な利用方法および組み合わせ方を学習することを目的としている。

3.1 ProVerif による検証概要

ProVerif の検証ファイル (*.pv) は、宣言部、クエリ、実行部で構成される。暗号プロトコルは攻撃者による傍受が可能である公開通信路を介したプロセス間の通信手順として形式化する。宣言部ではプロトコルの構成に必要な項（変数）や関数、およびプロセスの定義を行う。暗号技術は宣言した項と変数に関する書き換えルールを定義することによって形式モデル化する。

実行部では宣言部で定義したプロセスの呼び出し方法を記述することで、検証対象となる暗号プロトコルを定義する。プロトコル実行時に攻撃者には公開通信路より入手可能な項と、private 属性を付されてい

ない関数を利用したあらゆる操作が許される。検証器はクエリで指定された攻撃が成功する手順があるか否かを、攻撃者がとり得る操作を網羅的に探索することによって判定し、もし攻撃が発見されればその具体的な手順を表示する。

3.2 宣言部

宣言部では暗号プロトコルで利用する項（変数）や通信路、関数の定義を行う。これらはそれぞれ `private`、`public` の属性を付することが可能であり、攻撃者による利用の可否を指定できる。さらに項や関数に関する書き換えルールを定義することによって、暗号技術のモデル化を行う。書き換えルールによる暗号技術の具体的な形式モデルについては 4.1 節で解説する。宣言部ではさらに実行部で実行するプロセスの定義も行うが詳細は 4.1 節で解説する。

3.3 実行部

実行部では検証対象となる暗号プロトコルの実行方法を定義する。暗号プロトコルは並列に実行されたプロセスが指定された通信路を介してデータの送受信を行うことにより実行される。本節では宣言部で定義したプロセスもしくは実行部に直接記述されたメインプロセスの呼び出し方法を解説する。

並列実行するプロセスを以下のように `|` で区切って記述する。

$$\text{Initiator} \mid \text{responder}_2 \mid \text{responder}_1 \mid \dots$$

`!P` は プロセス `P` を以下のように実行回数を制限することなく並列実行する。

$$P \mid P \mid P \mid \dots$$

各プロセスは通信路を介して項を送受信するが、`public` 属性を付された通信路を通過する項は攻撃者に傍受されるものとする。詳細なシンタックスは [2] を参照されたい。

3.4 クエリ

ProVerif は暗号プロトコルの秘匿性、認証等の安全性要件を検証するためのクエリをサポートしている。ProVerif のクエリはあくまで検証技術に基づいたものであり、暗号学的な安全性要件を必ずしも直接検証

可能であるわけではない。したがって、暗号学的に興味のある検証を行うためには工夫が必要であり教材として利用する場合には直観的に理解することが困難である。筆者等は ProVerif での検証と暗号学における安全性検証とのギャップを埋めるための ProVerif における形式化方法 [5] を提案しており、本演習の教材ではその成果を利用している。詳細は 4.1 節を参照されたい。本節では本演習で利用した基本的なクエリの紹介を行う。

[query attacker(X)]

攻撃者が秘密の項 X を完全解読するか否かを判定する。not attacker (X) の判定結果が true であれば、項 X はプロトコル終了まで秘密裏に保たれる。

[query event(X(v)) ==> event(Y(v))]

プロセス内に設定したイベントの到達可能性を判定する。event(X) ==> event(Y) の検証結果が true であるならば、 X が実行されるには必ず事前にイベント Y が実行される。検証器はイベント Y を経ずにイベント X に到達する方法を探索することにより判定を行う。本クエリはイベント間の依存関係の判定を行っており、ユーザ認証等の安全性要件の判定に利用される。オプションとして event(X(v)) ==> event(Y(v)) のように同一データを利用したイベントの依存関係も判定可能である。例えば、 v をユーザ ID とした場合、サーバによるユーザ v の認証が成功 (イベント $X(v)$) するのであれば、事前に必ずユーザ v によるユーザ証明 (イベント $Y(v)$) が実行されているというように対応する項を限定した検証を行うことが可能である。さらに inj-event(X(v)) ==> inj-event(Y(v)) とすることで、イベントの 1 対 1 対応性の検証、即ち再送攻撃耐性の判定も行える。また、query event(Z) とすると単独のイベント Z の到達可能性の判定も可能である。

4 実践した演習概要

筆者の岡崎は暗号理論の専門家であり、自身の研究に形式的暗号プロトコル安全性検証ツール ProVerif を利用している。そこで岡崎は ProVerif を利用した暗号技術に関する教材を作成し、信州大学工学部電子情報システム工学科 3 年生を対象とした演習形式によ

る授業を実践した。本演習は必修の実験・演習科目の 1 テーマとして、3 コマ (90 分×3) 連続の演習を 2 週に行い、1 週目に ProVerif の利用方法と、ProVerif を利用した暗号技術とその形式化モデルについての解説、および比較的簡単なプロトコルの形式化演習問題を行う。2 週目には前週に学習した暗号技術の形式化モデルを利用して応用的な暗号プロトコルの設計演習を行った。1 クラスにつきそれぞれ 24-25 名の演習を 5 クラス、合計 124 人に行った。2 週目の暗号プロトコル設計では、学生を 4-5 名ごとのグループに分けてグループごとに協力して 1 つの暗号プロトコルの設計、安全性検証を行い、そのプロトコルの解説と安全性検証結果についてレポート提出を課し評価を行った。本演習では岡崎のほかに、筆者の紫村をはじめとする 3 名の大学院生が TA として指導の補助を行った。

本学科では学生に個人用ノート PC を持参させているので、本科目においても各自で ProVerif をダウンロードさせ、筆者等が準備したサンプルコードを含む教材を用いて演習を行った。

4.1 1 週目：ProVerif の利用方法と暗号技術形式化モデル

演習 1 週目には ProVerif を利用して暗号技術についての学習を行う。ProVerif 本体に付属するサンプルコードや [5] で筆者等が開発した形式モデルを利用して以下の暗号技術についての理解と、それらを利用して暗号プロトコルの形式記述を行う方法を習得する。1 週目に学習する暗号技術は以下のとおりである。

- 秘密鍵暗号・公開鍵暗号 (秘匿性)
 - 暗号学的ハッシュ関数・MAC・電子署名 (認証)
- それぞれの要素技術には利用目的とそれを実現するための安全性要件があり、ProVerif の形式化モデルを利用して実際に検証を行いながら学習することで理解を促す。その際、筆者の岡崎が理論的解説と ProVerif での形式記述方法を解説するとともに ProVerif の利用方法について TA が補助的指導を行った。特に初学者が陥り易い誤った暗号技術の利用方法に基づく暗号プロトコルの記述を行い、ProVerif の検証器に具体的な攻撃手順を導出させることで、要素技術の安全性要件や技術的限界の理解を促した。例えばパスワード認

証に対する再送攻撃や公開鍵暗号に対する中間者攻撃の手順を示すことで、それぞれの対策となるチャレンジアンドレスポンス認証や PKI についての解説等を行った。

4.1.1 例 1：秘密鍵暗号

秘密鍵暗号は比較的単純であるため初学者にも理解しやすい。そこでまず秘密鍵暗号の ProVerif 検証コードを利用して秘密鍵暗号の形式モデル化方法と、安全性要件（秘匿性）の検証方法および、プロセスの記述方法について解説した。形式モデルは筆者等によるサンプルコード内で既に記述されており、学習者は主に形式モデルの読み方と、実行プロトコルの記述方法、即ちプロセス定義とその実行方法についての理解を目的とする。以下に秘密鍵暗号のサンプルコードを明記する^{†1}。

```

1. (*begin 秘密鍵暗号形式モデル*)
2. (*宣言部*)
3. (*項の宣言*)
4. free c:channel. (*通信路 c*)
5. free m:bitstring [private]. (*m を秘密とする*)
6. free sk:bitstring [private]. (*秘密鍵*)
7. (*秘密鍵暗号形式モデル*)
8. fun enc(bitstring, bitstring): bitstring.
9. fun dec(bitstring, bitstring): bitstring.
10. equation forall x: bitstring, s: bitstring;
11.     dec(enc(x,s),s) = x.
12. (*受信プロセスの定義*)
13. let RESP =
14.     in (c, chip:bitstring);
15.     let p = dec(chip,sk).
16. (*クエリ*)
17. query attacker(m).
18. (*実行部*)
19. process
20.     out (c,enc(m,sk)) | RESP
21. (*end 秘密鍵暗号形式モデル*)

```

宣言部

宣言部では 8-9 行目でそれぞれ暗号化、復号関数、`enc,dec` を宣言している。このままでは両関数とも単なる 1 対 1 写像の関数となるため 10-11 行目で項の書き換えルール `forall x: bitstring, s: bitstring; dec(enc(x,s),s) = x` を導入し秘密鍵暗号 (`enc,dec`) の満たすべき性質、即ち秘密鍵 `s` によって暗号化された暗号文は同じ秘密鍵 `s` を用いる

ことよってのみ復号されることを形式化している。この形式化モデルは直観的で学習者にとって理解しやすいが、秘密鍵暗号の満たすべき安全性要件「秘匿性」を満たすためには `enc,dec` の両関数を適切に利用する必要がある。

一方 13-15 行目では受信プロセス `RESP` の定義を行っている。14 行目で通信路 `c` より受信した値で `bitstring` 型の項 `chip` を初期化し、15 行目で事前に共有済の秘密鍵 `sk` を用いて復号を行っている。ここではあくまでプロセスの定義を行っているのみであり、プロトコル内での呼び出しは実行部にて記述する必要がある。

クエリ

17 行目では検証器に検証させるクエリを記述している。ここでは `private` 指定された項 `m` の秘匿性、すなわち攻撃者が項 `m` を知り得る方法があるか否かの検証を行わせる。

実行部

実行部では検証対象なるプロトコルの記述を行う。19-20 行目ではメインプロセスにおいて秘密の項 `m` を事前に共有済の秘密鍵 `sk` を用いて暗号化を行い、暗号文 `enc(m,sk)` を通信路 `c` に送信する。さらにメインプロセスと並列して受信プロセス `RESP` を実行している。

検証演習

本演習では秘密鍵暗号等の暗号技術の形式モデル化は筆者等が行い、学習者は主にプロセスの定義と実行部を編集することにより学習を進めている。本コードはプロセスの記述方法と暗号学的な秘密鍵暗号の性質を学習させるために作成した。本コードをそのまま ProVerif で検証した結果は `true`、即ち項 `m` はプロトコル終了まで秘密裏に保持されると判定され、秘密鍵暗号の形式化モデル (`enc,dec`) は安全性要件「秘匿性」を有すると確認できた。

ここで、学習者に実行部の記述を変更させて検証結果が `false`、即ち攻撃者が項 `m` を知り得る、安全性要件「秘匿性」を有さないプロトコルを作成させる。例えばメインプロセスを `out (c,(sk,enc(m,sk)))` のように変更すると通信路 `c` に暗号文とともに秘密鍵を送信することになり、攻撃者は傍受した秘密鍵を用

^{†1} 注：実際のコードには行番号は記述しない。(**) はコメントアウト

いて暗号文を復号関数 `dec` を用いて項 `m` を計算する。以上より学習者は ProVerif を用いて秘密鍵暗号は秘密鍵を秘密裏に保持することにより安全性要件「秘匿性」を満たすことが出来ると理解を深めることが出来る。秘密鍵暗号の場合はこのように安全性要件を満たすための条件は自明のように思えるが、複数の暗号技術を組みあわせて応用的な暗号プロトコルの設計を行う 2 週目の演習では慎重に設計しなければ思わぬ攻撃手順を ProVerif の検証器に指摘されることになり、より深く暗号プロトコルについて学習することが可能となる。

4.1.2 例 2 : パスワード認証

認証は秘匿と並ぶ暗号技術の主要な用途の一つである。実用的な暗号プロトコルのほとんどは秘匿機能と認証機能を適切に組み合わせることによって実現されている。認証にはユーザ認証、メッセージ認証等のアプリケーションがあり、その実現方法もさまざまであるが、本演習ではまず最も典型的なユーザ認証方式であるパスワード認証の ProVerif での形式モデルを用いて認証機能の実現方法について学習した。パスワード認証にはパスワードを平文で送信するベーシック認証や、パスワードを秘匿するためにパスワードのハッシュ値を送信するダイジェスト認証等さまざまな認証方式がある。以下にまずダイジェスト認証のサンプルコードを明記する。ただし、パスワード認証では通常 ID とパスワードを送信するが、簡単のために ID 無しでパスワードのみの認証として形式化した。

```

1. (*begin ダイジェスト認証モデル*)
2. (*宣言部*)
3. (*項の宣言*)
4. free c:channel. (*通信路 c*)
5. free s:bitstring [private]. (*パスワード*)
6. fun hash(bitstring): bitstring. (*ハッシュ関数*)
7. (*イベントの宣言*)
8. event PROB. (*パスワードのダイジェストを送信*)
9. event ACC. (*ユーザ認証受理*)
10. (*認証プロセスの定義*)
11. let AuthS (PPW:bitstring) =
12.   in (c, (pw:bitstring));
13.   if ( hash(PPW) = pw)then event ACC.
14. (*クエリ*)
15. query event(ACC) ==> event(PROB).
16. query attacker(s). (*パスワードの秘匿も検証*)
17. (*実行部*)
18. process

```

```

19.   (event PROB;out(c, hash(s))) | !AuthS(s)
20. (*end ダイジェスト認証モデル*)

```

宣言部

ProVerif では認証の安全性検証をプロセス内に設定したイベントの到達可能性を判定することによってチェックする。宣言部 11-13 行目で認証プロセス `AuthS` を形式化した。11 行目のようにプロセスに実行時に引数を指定して定義することが出来、引数としてプロセスに与えるユーザのパスワード、項 `PPW` は `private` に保たれる。13 行目では通信路より受信したダイジェスト `pw` と事前に共有したユーザパスワードのハッシュ値 `hash(PPW)` が一致した場合に限りユーザ認証イベント `ACC` が実行^{†2}される。

クエリ

15 行目は認証イベントの到達可能性を検証させるクエリである。 `event(ACC) ==> event(PROB)` の検証結果が `true` であるならば、ユーザ認証イベント `ACC` が実行されるには必ず事前にユーザがパスワードのダイジェストを送信するイベント `PROB` が実行される。

つまりユーザがパスワードのダイジェストを送信しない限り認証プロセスがユーザを受け入れることが無いことを意味する。また、16 行目のように複数のクエリを同時に指定することもできる。

検証演習

ProVerif の検証器は 15 行目、16 行目の 2 つのクエリともに `true` と判定する。これはパスワードによるユーザの認証、パスワードの秘匿性ともに実現していることを意味する。しかし実際のサービスでは同じユーザが何度も繰り返しパスワード認証を行うため、一度ユーザがダイジェスト認証に成功すれば、能動的な攻撃者はその際に送信されたパスワードのダイジェストを利用する再送攻撃を行うことが可能である。ProVerif ではイベントの対応付けが 1 対 1 であることも判定可能であり、15 行目のクエリを `inj-event(ACC) ==> inj-event(PROB)` に変更することにより再送攻撃を検出する。以下は再送攻撃を指摘した ProVerif の出力の一部抜粋である。

```

(*begin replay attack*)
1. The event PROB (with environment @occ1 = @occ_cst)
may be executed at {1}. So the message hash(s[]) may be
sent to the attacker at output {2}. attacker(hash(s[])).
2. The message hash(s[]) that the attacker may have
by 1 may be received at input {4}. So event ACC may
be executed at {6} in session endsid_112.

```

^{†2} イベント `ACC` はラベルであり、ここでの実行とはイベントに実行パスが到達することを意味する。

```
end(endsid_112,ACC).
```

```
(*end replay attack*)
```

認証プロセスが毎回ランダムなチャレンジコードを送信し、ユーザはチャレンジコードとパスワードを用いてダイジェストを計算する事によって再送攻撃を防ぐチャレンジアンドレスポンス認証が知られている。以下のようにダイジェスト認証サンプルコードの一部を変更することによってチャレンジアンドレスポンス認証の学習を行った。

```
1. (*begin チャレンジアンドレスポンス抜粋*)
2. (*認証プロセスの定義*)
3. let AuthS (PPW:bitstring) =
4.   new challenge:bitstring;
5.   in (c, (pw:bitstring));
6.   if (h(PPW,challenge) = pw)then event ACC.
7. (*実行部*)
8. process
9.   in (c,rchallenge:bitstring);
10.  (event PROB;out(c, h(s,rchallenge))) | !AuthS(s)
11. (*end チャレンジアンドレスポンス抜粋*)
```

同様に公開鍵暗号方式に対する中間者攻撃を ProVerif の検証器に導出させ、PKI に関する解説を行った。ただし PKI については 2 週目の演習例題の 1 つとしたため具体的な形式化サンプルコードを提示することはしなかった。

4.2 2 週目：ProVerif を用いた暗号プロトコル設計演習

2 週目の演習では 1 週目に学習した、秘密鍵暗号・公開鍵暗号・暗号学的ハッシュ関数・MAC・電子署名の 5 つの形式化モデルを利用して応用的な暗号プロトコルの設計演習を行う。グループごとに 1 つの暗号プロトコルを設計、ProVerif を用いて安全性検証を行いその成果をレポートにて報告させた。設計する暗号プロトコルは自由に提案してよいとするが、実際には初学者にとって実用的なプロトコルを提案することは困難であろう。そこで本演習では以下のようないくつかの例題を与え、その中から形式化するプロトコルを選択させた。

- PKI
- ハイブリッド暗号
- ネット決済
- S/KEY

この演習において選択された暗号プロトコルは図 1 のようであった。特に DH 鍵交換プロトコルにおいて

は書き換えルール `equation` を自ら作成し、DH 鍵交換プロトコルの形式化が出来ているグループが一組あり、この点においては特筆したものであった。

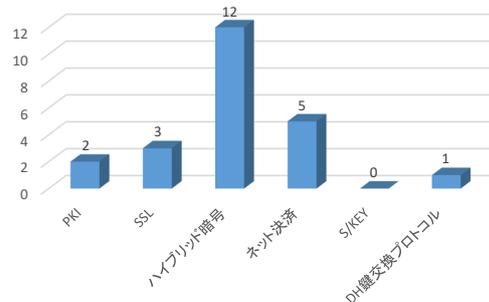


図 1 選択された暗号プロトコル

筆者らはこれらのプロトコルについて詳細の解説は行わず、利用目的と満たすべき安全性要件のみを提示することにより、グループ内で相談して暗号プロトコルの仕様を設計させた。3 コマ連続の演習中に暗号プロトコルの設計と ProVerif による安全性検証を行い、全てのグループが安全なプロトコルを完成させることが出来るまで教員及び TA が補助的な指導を行った。ハイブリッド暗号は秘密鍵暗号と公開鍵暗号、PKI は公開鍵暗号と電子署名の組み合わせによって実現できるため、1 週目で学習した形式化モデルのみを利用して設計可能である。

本演習の学習効果は事前に筆者らが予想していたよりも高く、学習者等は各グループで熱心に討論し暗号プロトコルの設計と ProVerif による安全性検証を行っていた。中にはよりインターネットの標準暗号である SSL/TLS と本質的に等価な暗号プロトコルの設計を行ったグループもあった。これは上述の PKI とハイブリッド暗号を組み合わせることにより実現したものであり、非常に完成度の高い優秀なレポートが提出されたと評価した。

5 演習の評価と議論

5.1 学習者による演習のアンケート結果

授業の終了後に下記のアンケートを取り、ProVerif を用いた暗号技術教育の効果について確認した。

アンケート 1: 従来型の講義形式だけの授業に比べて、暗号プロトコル自動検証ツール ProVerif を用いた授業は個々の暗号技術（共通鍵暗号、公開鍵暗号、デジタル署名等）の理解が高まったと思う。

アンケート 2: 従来型の講義形式だけの授業に比べて、暗号プロトコル自動検証ツール ProVerif を用いた授業は暗号プロトコルの理解が高まったと思う。

アンケート 3: 暗号プロトコル自動検証ツール ProVerif の使い方は習得しやすい。

アンケートの集計結果は図 2 のようになった。この結果より、学生は ProVerif を用いることで暗号技術を効果的に学ぶことができた。しかしながら、ProVerif の使い方を習得することは学生にとって難しいものであった。

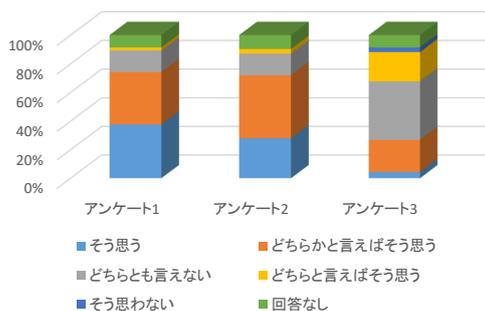


図 2 アンケートを集計したグラフ

5.2 教員による授業の評価

レポートの評点分布を図 3 に示す。本演習は信州大学工学部電子情報システム工学科 3 年生を 124 名を対象に行った。本学科は 2 年次より電子、通信、情報の 3 プログラムに分かれ専門性の異なるカリキュラムでの教育を行っている。本演習は通信、情報プログラムの学生に開講されているがプログラム間で既習科目が異なるため図 3 では情報プログラム 99 名の評点のみを対象とした。A より順に高評価とし、C まだが合格点とした。ただし D7 名にはレポート未提出、欠席を含んでいる。図 3 から分かるように提出されたレポートは充実した内容のものが多く、本演習の学習効果は筆者等の予想を上回るものであったと考える。

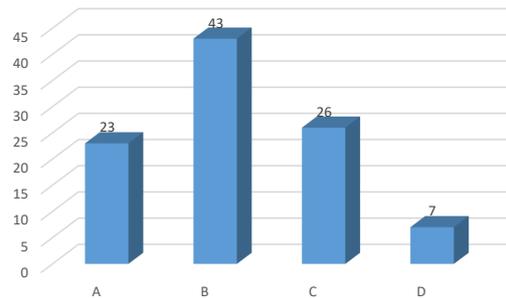


図 3 学生の理解度

4.2 節で述べたように、2 週目のグループ演習は筆者等の予想よりはるかに有効で、グループ内で活発に相談をしながらプロトコルの設計と安全性検証を行っていた。当初の予定では学習者等が自ら暗号プロトコルの仕様について検討して設計を行うことを期待していたが、多くのグループが例示したプロトコルについて Web サイトや書籍等の詳細な解説を参考にして ProVerif での形式モデル化、安全性検証を行っていた。しかし ProVerif による安全性検証を行うため、暗号プロトコルについての解説内容を誤って理解していた場合には形式モデル化したプロトコルに対する具体的な攻撃手順を ProVerif によって導出出来るため問題点を直観的に理解し易く、効果的に暗号技術についての学習を行えたと考える。これは 5.1 節のアンケート結果、「座学の講義よりも本演習による暗号技術について理解しやすい」との結果と一致する。

グループ演習の際に教員及び TA に対する質問の多くは ProVerif の文法、記述方法に関するものであった。これは 1 週目の解説及び演習で暗号技術に関する理解が深まっていたからであると考えられるが、複雑なプロトコルの形式モデルを記述しようとする構文エラー等が頻繁に起こっていた。これは 5.1 節のアンケート結果、「ProVerif は難しい」との結果と一致する。本演習では ProVerif に習熟した教員及び TA3 名の合計 4 名が指導を行っていたのですぐに対応し、円滑に演習を行うことが可能であったが、本演習教材を公開し、他の教員に利用してもらうためには改善が必要である。

6 CAI 教材化計画とその課題

5.1 節の議論により本研究の教育効果は確認された。ただし、これは筆者等のような暗号理論、形式検証技術に関する専門知識を有する者が指導した場合に限られる。2 章で述べたように本研究の目的は暗号技術に関する初学者向けの教材不足、さらには指導者不足を解決するためのインタラクティブな教材を開発することにあった。本演習の暗号技術の内容自体に関する教育効果は高いと考えるため、ProVerif の習熟を容易にする、あるいは ProVerif の習熟度が必ずしも高くなくても、ユーザインタフェースの工夫等で暗号プロトコルの形式化モデル記述および安全性検証を行える CAI 教材を開発することが望ましいと考える。

6.1 CAI 化方針

筆者等は科研費研究課題 [6] において数学証明問題学習用 CAI 教材 [7] 開発に参加した。[6] では証明問題の成否判定に形式的定理証明システムの一つである Mizar [8] を用いる CAI 教材を開発した。Mizar を用いた証明問題 CAI 教材システムはフリーの LMS として有名な moodle [9] 用のアドインとして開発した。この moodle 用 Mizar アドインを用いれば moodle 上で教師権限を持つユーザは比較的容易に証明問題を作成することが可能であった。本研究では moodle 用のプログラミング言語教育用アドインである VPL [10] を利用して moodle 上で ProVerif を実行する環境を構築することとした。VPL は標準で C 言語、Perl 等をはじめとする多数のプログラミング言語をサポートしており、学習者は moodle 環境の Web ブラウザ上でプログラムコードの編集を行い、そのコンパイルや作成した実行形式ファイルの実行は専用の jail サーバ上に隔離して行うことが出来る。また、標準でサポートされていないプログラミング言語であっても、Linux 上で動く、入力ファイルはテキスト形式である、出力はテキスト形式ファイルまた標準出力である等の条件を満たせば jail サーバ上に導入して VPL 環境で利用可能である。ProVerif や Mizar はプログラミング言語ではなくあくまで検証ツールではあるが、前述の条件を満たしているため導入を試みたところ問題

なく VPL 環境で利用可能であった。さらに、jail サーバ上でのプログラムの実行方法をシェルスクリプトにより指定することが可能であるのでユーザによる出題方法のカスタマイズは比較的自由にすることが可能であろう。

そこで、以下では現在開発中の moodle VPL 環境上での ProVerif による暗号技術教材の概要を紹介する。

著者等は、以前に VM 上に moodle と VPL を利用した C 言語プログラミング教育支援システムを開発した [11]。更に、開発した教育支援システムに ProVerif を導入した [12]。図 4 は、開発した教育支援システムの動作環境概念図である。

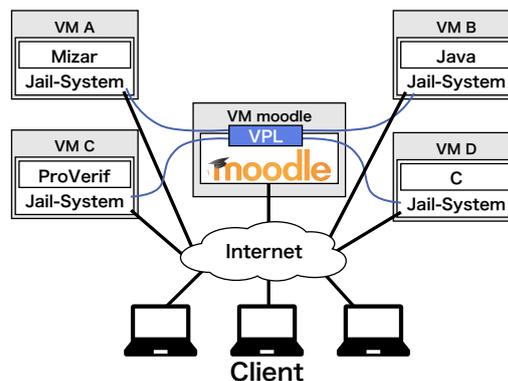


図 4 教育支援システムの動作環境概念図

VM 上に教育支援システムを開発することより、システム管理者は、仮想マシンイメージを仮想化ソフトウェア上に転送し、IP アドレス等を環境に合わせて設定することにより、比較的容易にシステムを利用可能になる。仮想マシンイメージは、ホスト OS を問わずに利用することが可能であり、Window や Mac, Linux が稼働しているコンピュータ上にも導入することが可能である。moodle VPL 環境上では、学生は ProVerif をインストールする必要がなく、ブラウザのみで動作するため、タブレットやスマートフォンで利用可能である。また、学生は moodle 上のテキストエディタに ProVerif のコードを記述するので、ファイルのアップロードの必要がない。教師は生徒の ProVerif コードを採点する際、コードをダウンロードすること

なく, moodle 上で ProVerif コードの確認が可能である。図 5 は moodle 上で ProVerif を動作させた例である。

```

11 query attacker(hirabun).
12
13
14 (*共有鍵暗号*)
15 fun enc(bitstring, bitstring): bitstring.
16 fun dec(bitstring, bitstring): bitstring.
17 equation forall k: bitstring, s: bitstring; de(enc(s,
18
19 (*公開鍵暗号*)
20 fun pk(skey): pkey.
21 fun encrypt(bitstring, pkey): bitstring.
22 fun decrypt(bitstring, skey): bitstring.
23 equation forall k: bitstring, sk: skey; decrypt(encrypt
24
25
26 let n =
27   in(c, (m1:bitstring, m2:bitstring)); (* m1 = encrypt(
28   let sk = decrypt(m1, Rsk) in
29   if(isdecid, sk) = hirabun then event DECSUCC.
30
31 process
32   (event SEND;
33   new randk: bitstring;
34   let ctxt = enc(hirabun, randk) in
35   out(c, (encrypt(randk, pk(Rsk)), ctxt)))
36   | n
  
```

```

5: The message [encrypt(randk[1],pk(Rsk[1])),enc]
So event DECSUCC may be executed at {8}.
end(DECSUCC).

A more detailed output of the traces is available
set traceDisplay = long.

event SEND at {1}

new randk: bitstring creating randk_404 at {2}

out(c, (~M_410,~M_411)) with ~M_410 = encrypt(r
in(c, (~M_410,~M_411)) with ~M_410 = encrypt(rar
event DECSUCC at {8} (goal)

The event DECSUCC is executed.
A trace has been found.
RESULT not event(DECSUCC) is false.
  
```

図 5 moodle 上での ProVerif の動作例

6.2 今後の課題

前節で紹介した moodle VPL 環境上での ProVerif による暗号技術教材を開発, 改善することにより, 本研究の問題点の一つである ProVerif の習熟が必ずしも容易ではなことは解決可能であると考えられる。

しかし, 本研究の主たる目的は教育効果の高い暗号技術に関する CAI 教材の開発である。5.1 節で述べたように, 暗号技術および ProVerif に関する専門知識を有するものが指導を行う場合には本教材は高い教育効果を発揮すると期待できる。指導者が専門家でない場合, あるいは CAI で独習する場合であっても高い教育効果を有する教材を作成する方針を模索することが今後の課題である。そのためにはまず教育効果を客観的に調べる方法を検討する必要がある。

7 まとめ

本研究では, 学生に対して形式検証ツールを用いた暗号教育を行った。図 2 や図 3 から形式検証ツールを用いた暗号教育は従来型の座学だけの授業に比べて効果的であることが判明した。よって, 今後, 形式検証ツールを用いた暗号教育支援環境を構築し, 暗号技術教材を開発することで学習者が e-Learning 上で暗号技術をより簡単に学べるようにしたい。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 JP17K00182, JP18K02917 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] B.Blanchet(Project leader), “ProVerif: Cryptographic protocol verifier in the formal model,” Available at <http://prosecco.gforge.inria.fr/personal/bblanche/proverif/>.
- [2] B.Blanchet, B.Smyth, and V.Cheval, “ProVerif 1.96: Automatic Cryptographic Protocol Verifier, User Manual and Tutorial,” Available at <http://prosecco.gforge.inria.fr/personal/bblanche/proverif/manual.pdf>.
- [3] D.Dolev and A.Yao, “On the Security of Public Key Protocols,” IEEE Transactions on Information Theory, Vol.29(2), pp.198–208, 1983.
- [4] E.Rescorla, “The Transport Layer Security (TLS) Protocol Version 1.3. Internet-Draft (work in progress),” 2017. <https://tls.wg.github.io/tls13-spec/>.
- [5] Hiroyuki Okazaki, Yuichi Futa, Kenichi Arai, “Suitable Models for Formal Security Verification of Cryptosystems in ProVerif,” The International Symposium on Information Theory and Its Applications (ISITA2018), pp.326-330, Oct. 2018.
- [6] 師玉康成(代表), “M I Z A R 数学ライブラリの構築と大学数学向け高度遠隔教育用コンテンツ開発,” 科研費 基盤研究 (B), 22300285, 2010–2014. <https://kaken.nii.ac.jp/ja/grant/KAKENHI-PROJECT-22300285/>.
- [7] Takaya Ido, Hiroyuki Okazaki, Hiroshi YAMAZAKI, Pauline Naomi KAWAMOTO, Katsumi WASAKI, Yasunari Shidama, “Content Development for Distance Education in Advanced University Mathematics Using Mizar,” The 2013 International Conference on e-Learning, e-Business, Enterprise Information Systems, and e-Government, pp.312-326, 2013.
- [8] Mizar, Available at <http://mizar.org/>.
- [9] moodle, Available at <https://moodle.org/>.
- [10] VPL Virtual programming lab, Available at https://moodle.org/plugins/mod_vpl.
- [11] 中村雅宏, 渡邊樹, 金田益典, 岡崎裕介, 村上恭通, “moodle を用いたプログラミング教育支援システム,” Poster session, SITA2017, Nov. 2017.
- [12] Tatsuki Miyamoto, Shogo Shimura, Tatsuki Watanabe, Hiroyuki Okazaki, Yuichi Futa, Yasuyuki Murakami, “e-Learning System for Cryptography on Moodle,” Poster session, IC2018, Nov. 2018.

アジャイルソフトウェア開発 PBL のための CMMI に基づいた定量的学習評価手法とその効果

日戸 直紘 伊藤 恵 大場 みち子

高度 IT 人材を育成する為の実践的教育手法として、Project-Based Learning(PBL) を実践する大学が増加し、その有効性が多数報告されている。ソフトウェア開発を行う PBL では、スクラム手法に代表されるアジャイル開発方法論を採り入れた講義設計を行う大学が増加しており、アジャイルコーチといった業界人が学生を支援している場合も少なくない。一方で、PBL には複数の課題が報告されている。スクラム手法では、透明性・検査・適応の 3 本柱を意識しながらの実践が求められるが、チーム開発・マネジメント経験の少ない学生が自分たちのプロジェクトの状況を検査し、適応することは困難である。また、PBL の学習評価を実施することは困難などの報告が多数あり、学生主体の教育手法である為、講義や学び獲得の流れを改善するための形成的評価も難しい。これらの課題解決を目指し、プロジェクトの各プロセスを評価し改善するモデルである能力成熟度モデル統合 (CMMI ®) に着目した。本稿では CMMI に基づき、チーム開発・マネジメント経験の少ない学生でもプロジェクトの状況を検査可能であり、教育者が形成的評価可能なアジャイルソフトウェア開発 PBL における定量的評価手法の提案とその効果について報告する。

As practical educational methods to train advanced IT human resources, the number of universities that practice Project-Based Learning (PBL) has increased, and many of its effectiveness has been reported. In the software development PBL, the number of universities that design lectures incorporating the Scrum method typified by agile development methodology began to increase, and there are many cases where industry people such as agile coaches are supporting students. On the other hand, there are multiple problems reported in the PBL. The Scrum method requires practice while conscious of the three pillars of transparency, inspection and adaptation, but it is difficult for students with little team development / management experience to inspect and adapt their project situation is there. There are also many reports that it is difficult to conduct learning assessment of PBL, and it is difficult to formally evaluate lectures and to improve the flow of learning. In order to solve these problems, we focused on the Capability Maturity Model Integration (CMMI ®) which is a model to evaluate and improve each process of the project. In this paper, based on CMMI, we describe the proposal of PBL evaluation method which educators can evaluate formatively and their effects, even students with little team development / management experience can inspect project situation.

1 はじめに

文部科学省は、IT 人材の不足が今後一層深刻化する可能性が高いなどから、高度 IT 人材の育成を日本の極めて重要な課題としている [1]。高度 IT 人材と

は、異分野と IT の融合領域においてイノベーションを創出し、新たな製品やサービスを自ら生み出すことができる人材のことである [2]。高度 IT 人材育成を強化するための試みの一つとして、文部科学省は、実践的な教育を実施する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 (通称: enPiT) を推進している [3]。enPiT では実践的な教育法として、PBL(Project-Based Learning) を広く実施しており、100 を超える高等教育機関が参加する人材育成ネットワークとなっている [4]。

enPiT に参加する大学を中心にソフトウェア開発 PBL にスクラム手法に代表されるアジャイル開発方

Quantitative Learning Evaluation Method Based on CMMI for Agile Software Development PBL and Effect

Naohiro Hinoto, 公立はこだて大学 大学院 システム情報科学研究科 情報アーキテクチャ領域, Graduate School of Systems Information Science Information Architecture Area, Future University Hakodate.

Kei Ito, Michiko Oba, 公立はこだて未来大学, Future University Hakodate.

法論を採り入れる大学が増えている。一方で、学生が主体的に学ぶ PBL においてアジャイル開発の実施は難易度が高い。経験や知識不足などから中途半端なアジャイル開発になってしまうことや、透明性・検査・適応の 3 本柱を遵守するのが困難といった課題がある。アジャイル開発経験の無い教員が多いことや、アジャイル開発の講義が無いなどからコーチングが難しいといった教育者側の課題も存在する。アジャイルコーチが企業人として、コーチングする事例もあるがプロジェクト数や資金面の課題などから、一部の高等教育機関のみが実施しているのが現状である。

また、PBL の学習評価を実施することは困難であるとの報告が多数あげられており [5]、PBL の評価は PBL 運営の一つの課題となっている。PBL の担当教員は、専任ではなく通常の教員業務との兼任がほとんどのため、常に学習者を観測することは難しい。獲得した学びの質や量の計測はもちろん、授業改善のための形成的評価を量的に行うのは教員、学習者双方に負担が大きく、時間等の制約も重なり困難である。

現状のアジャイルソフトウェア開発 PBL として、学生がプロジェクトの状況を検査・適応することが困難、PBL にアジャイルを取り入れる際の課題、PBL の形成的評価も含めた学習評価が困難であるという課題が存在することが考えられる。

本研究では、学生がプロジェクトの状況を検査・適応することが困難であるという課題を解決するための定量的な評価手法の実現を行う。また、可能な限り PBL にアジャイルを取り入れる際の支援となり、形成的評価にも活用可能な PBL の学習評価手法を目指す。そこで筆者らは、能力成熟度モデル統合 (CMMI®) [6] [7] に着目し、CMMI のいくつかの領域と独自に開発した領域を用いた評価手法を提案する。プロジェクトの各プロセスを評価し改善するモデルである CMMI に着目し、学生が自身のプロセスを自己評価することにより、プロジェクトの状況を検査、適応や形成的評価に応用可能な手法を目指す。これらの有効性を各チームのスプリントごとの評価結果の推移や、振り返り内容、ツール上のやりとり、ヒアリングなどの特性から多角的に検証していく。

本稿では以降、2 章で公立はこだて未来大学におけ

る PBL 環境や課題について述べ、3 章では本研究の主軸となるプロセス評価モデルについて概説する。4 章では我々が提案する評価手法、対象プロセス領域と評価項目について述べ、5 章では提案手法による実験概要と実験結果を述べる。6 章では評価結果を考察していき、7 章で本研究の結論と今後の課題について述べ、まとめる。

2 公立はこだて未来大における PBL

公立はこだて未来大学 (以下、未来大) では、開学初期から講義カリキュラムに PBL を採り入れ、コース・分野を超え、様々な内容の PBL を実践してきた [8] [9]。未来大では、学部 3 年次に全学科必修の科目であるシステム情報科学実習の他に、高度 ICT 演習と呼ばれる単位認定の無い自由参加型の PBL を行っている。

以降、システム情報科学実習と高度 ICT 演習の概要について解説し、各演習が抱える課題などについて整理する。

2.1 システム情報科学実習の概要

システム情報科学実習 (通称: プロジェクト学習) は、未来大の学部 3 年次の全コースに開講されている必修通年型の PBL である。情報システムコース・高度 ICT コース・情報デザインコース・知能システムコース・複雑系コースの垣根を超え、学生に向けプロジェクトテーマを教員自らがプレゼンし、受講生を募る形式をとっている。毎年 20~30 プロジェクトが開講され、1 プロジェクト辺り 10~15 名程度の学生が参加する。毎週水・金曜の 4・5 限 (14:50~18:00) が講義時間に設定されており、ソフトウェアだけでなくハードウェアやワークショップ等のイベントなど様々なテーマに 1 年間取り組む。ゴールとして、企業や自治体向けにプレゼンテーションを行うプロジェクトも多く、未来大の中心的な講義となっている。

2.2 高度 ICT 演習の概要

高度 ICT 演習は、実社会の課題やニーズを理解し、問題解決につなげるシステムの提案から実装までを行う単位認定のない自由参加型の演習である。本演

習は、学部生・大学院生を交えたコース/学年の壁がない学年混成型 PBL であり、学部 1 年から修士 2 年まで様々な学年・コースの学生がプロジェクトを組み活動している。演習のテーマは、高度 ICT コース/領域に所属する学生が主体となり、学生自らがテーマ設定を行い活動しており、年度を超え継続して同テーマに取り組むチーム・学生も多い。

3 能力成熟度モデル統合：CMMI

3 章では、筆者らが着目した CMMI について概説し、本研究で扱う領域について述べる。

企業におけるソフトウェア開発では、品質・生産性の向上、納期短縮を目的とした、プロセス評価・改善活動が盛んに行われている。プロセス評価・改善活動とは、組織やプロジェクトの有効性を評価し、SWOR(Strength:強み・Weakness:弱み・Opportunity:改善の機会・Risk:リスク)などの様々な情報を総合的に分析し、プロセス改善に有効な改善策を展開していく活動のことである。プロセス評価・改善を行う際に、用いられるのがプロセスのベストプラクティスをまとめたお手本となるモデルである CMMI といったアセスメントモデルである。

以下に、CMMI を解説し、本稿で提案する手法について述べる。

3.1 CMMI とは

CMMI の前身である CMM(Capability Maturity Model) は、1989 年にソフトウェア開発の企業を客観的に評価できる指標として、米国国防総省とカーネギメロン大学 (CMU) により設立されたソフトウェア工学研究所 (SEI) によって誕生した。現在は、複数の改善モデルや知見を加えながら、能力成熟度モデル統合 (Capability Maturity Model Integration: CMMI) となり、世界中の企業で採用されている。CMMI は、現在も CMU/SEI で開発管理されており、2018 年度現在の最新バージョンは、CMMI-Version 1.3 である [6]。日本では、日本 SPI コンソーシアム (JASPIC) が翻訳研究会を組織し、CMMI の日本語翻訳版を開発、Web 上で公開している [7]。

CMMI は組織の成熟度に基づき、「高品質」・「生産

性の向上」・「競争力向上」の実現を狙った改善活動のためのモデルである。組織成熟度のレベルに応じて、改善活動で取り組むべき内容が具体的に定義されており、適切な改善活動を行うことで、組織成熟度のレベルを向上させていく。

世界では、CMMI 以外にも多くのプロセス改善のフレームワークやモデルがあるが、米国・中国・インドを中心に、国が発注する際の判断条件に利用されていることから、世界の多くの企業が採用している。

CMMI が採用されている主な理由としては、ハードウェア・ソフトウェアの開発/生産を包括した改善モデルであり、トレーニングコースや改善活動に関する多くの情報提供がされているためだと考えられる。その為、CMMI は事実上、プロセス改善の業界標準として採用されている。

3.2 CMMI における評価レベル

CMMI の中には、各活動内容に応じて分類されたプロセス領域と呼ばれる分類が存在し、CMMI-DEV, V1.3 では全 22 のプロセス領域が存在している。各プロセス領域名と区分は、表 1 に示す通りである。

表 1 CMMI-DEV プロセス領域一覧

区分	プロセス領域
プロセス管理	組織プロセス重視
	組織プロセス定義
	組織トレーニング
	組織プロセス実績
	組織改革と展開
プロジェクト管理	プロジェクト計画策定
	プロジェクトの監視と制御
	供給者合意管理
	要件管理
	リスク管理
	統合プロジェクト管理
エンジニアリング	定量的プロジェクト管理
	要件開発
	技術解
	検証
	妥当性確認
支援	成果物統合
	構成管理
	測定と分析
	プロセスと成果物の品質保証
	決定分析と解決
	原因分析と解決

全 22 のプロセス領域は 4 つの区分に分けられており、重複はない。「区分」は、組織および組織内のプ

プロジェクトが実施する活動内容を「プロセス管理」・「プロジェクト管理」・「エンジニアリング」・「支援」の4つに分類したものを示している。

これらプロセス領域は、各領域に関連した固有ゴールと固有プラクティスの集合である。

3.2.1 固有ゴールと固有プラクティス

プロセス領域と固有ゴール・固有プラクティスの関係性を図に表したものが図1である。

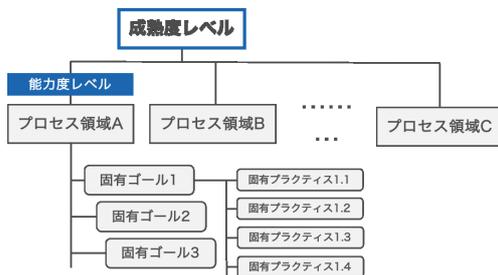


図1 固有ゴールと固有プラクティス

図2からもわかる通り、各プロセス領域には固有ゴールと固有プラクティスが存在している。固有ゴールはプロセス領域の目的を達成する為のもの、固有プラクティスは固有ゴールを達成する為の具体的な作業のことである。

つまり、作業である固有プラクティスを評価することで固有ゴールの評価が、固有ゴールを評価することでプロセス領域の評価に繋がる構成になっている。

3.2.2 CMMIにおける成熟度の指標

CMMIには、組織の現在の成熟度を表す指標として、次の2つの表現方法がある。1つ目の段階型表現(成熟度レベル)が組織全体を判定するのに対して、2つ目の連続型表現(能力度レベル)は、プロセス領域ごとにレベルを判定する。また、段階型表現では成熟度レベルが「1~5」の5段階、連続型表現では能力度レベルが「0~3」の4段階で評価される。CMMIを用いたプロセス改善では、組織の目的によって、段階型表現または連続型表現のどちらかを選択する。

段階型表現では、図2のような構造で、組織全体のプロセス成熟度を5段階で表現する。領域が確立されるため、改善方法が理解しやすいなどのメリットが

考えられるが指定されたプロセス領域に従わなければならないという制約もある。

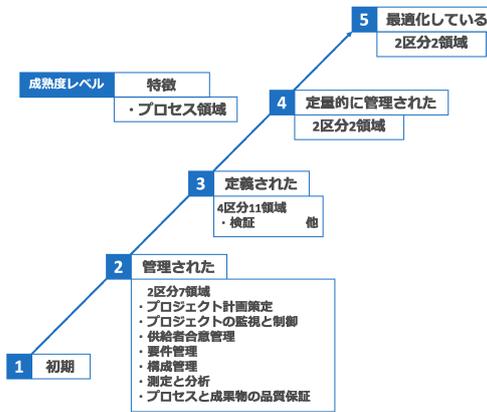


図2 CMMI 段階型表現の構造

連続型表現では、図3のような構造で、4区分全22プロセス領域それぞれに能力度レベルを判定していく。領域を自由に選択することができ、組織の成熟度レベルに依存しない。これにより特に問題のあるプロセスや、その組織の目標と関連の強い領域など、特定のプロセス領域において顕著な改善を期待できる。

区分	プロセス領域	能力度レベル: 特徴
プロセス管理	組織プロセス重視	プロジェクト計画策定
	組織プロセス定義	
	組織トレーニング	
	組織プロセス実績	
プロジェクト管理	組織改革と展開	3: 定義された 2: 管理された 1: 実施された 0: 不完全な
	プロジェクト計画策定	
	プロジェクトの監視と制御	
	供給者合意管理	
	要件管理	
	リスク管理	
エンジニアリング	統合プロジェクト管理	測定と分析
	定量的プロジェクト管理	
	要件開発	
	技術解	
支援	検証	3: 定義された 2: 管理された 1: 実施された 0: 不完全な
	妥当性確認	
	成果物統合	
	構成管理	
	測定と分析	

図3 CMMI 連続型表現の構造

本研究では、チーム全体のレベルを判定することが目的ではなく、チームのプロセスにおける良いところ

や問題・改善点のあるプロセス領域を示したい。また、CMMIの一部の領域のみを抽出して評価を行いたいため、連続型表現を選択する。

3.3 CMMI と教育

多くの企業が用いる CMMI の評価項目・基準を PBL に取り入れることにより、より実践的な経験や教育を行うことができる可能性が高いと筆者らは考える。

CMMI を用いた本手法を用いて評価することで、自分たちのプロセスを客観的な評価項目・基準で検査することが可能となる。客観的な目線から自分たちのプロセスを評価することで、良いところ、改善の必要なところを発見することができる、そして、どうすればさらに良くなるか、改善できるかを学生自らが考えるよう支援することで、学びにつなげることができると考えた。

一方で、評価基準が厳密であることや、外部のアセスメントチームが評価を行うこと、資金調達やトレーニングの領域など PBL に適さない面も存在する。いくつかの調整や検討を行いながら、PBL・教育に CMMI を活用していく。

4 提案手法

以下、3章で概説した CMMI に基づいた提案手法について述べていく。

4.1 対象領域と独自領域

本手法では CMMI の成熟度レベル 1~2 の 5 領域と独自に開発した 1 領域の計 6 領域を利用し、評価を行っていく。表 2 は、それら 6 領域の CMMI 該当レベルとプロセス領域名、領域概要についてまとめたものである。

プロジェクトに必要なデータ収集・分析、定期的なスケジュール等の計画・確認、プロセス実施などの領域を対象として CMMI の全 22 領域から 5 領域を選定した。選定理由は次の通りである。

表 2 対象領域と独自領域の名称と概要

No.	Level	プロセス領域名	概要
1	独自	スクラム遵守	スクラムガイドに記載されたイベントやロール等の遵守に関する領域
2	CMMI Lv.1	プロジェクト計画策定	プロジェクト計画(スケジュール等)を立案、確立・保守することに関する領域
3	CMMI Lv.1	プロセスと成果物の品質保証	メンバーや教員などに対し、プロセス及び作業成果物に対する客観的評価や見直しを確認する領域
4	CMMI Lv.2	検証	スプリントレビューに関する領域 レビューの準備、遂行、是正処置の特定
5	CMMI Lv.1	測定と分析	プロジェクト活動の進捗・テスト/検証の網羅性、データ収集分析などの測定能力を開発する領域
6	CMMI Lv.1	プロジェクト監視と制御	プロジェクトを適切な頻度で定期的に確認し、進捗を把握・是正処置を行うための領域

プロジェクト計画策定 多くの PBL で学生が課題とするプロジェクト計画(スケジュール等)を扱うため

プロセスと成果物の品質保証 プロセスや作業成果物などを客観的に評価あるいは見直しを確認する領域であるため

検証 スプリントレビューなどスクラムイベントとの親和性が高い

測定と分析 あらゆるデータの収集・分析・測定に関する領域のため

プロジェクト監視と制御 プロジェクトの状況を把握・是正処置を行うまでを追跡する領域であるため

CMMI はアジャイル/スクラムとの親和性は高いが、各領域にそれら进行评估する要素が分散していたり、スクラムのロールなどの直接的な項目は存在しなかったりするため、“スクラム遵守領域”としてスクラムガイドに定義されたイベントやロールに関する独自領域を開発した。

4.2 固有プラクティスに対応したルーブリック

4.1 節で解説した各領域には、4~14 項目の CMMI に基づいた各領域に関する評価項目が存在している。各領域における固有ゴール・固有プラクティス(評価項目)数の小計と全領域の合計数を表 3 に示す。

表 3 各領域の固有ゴール・固有プラクティス数

No.	プロセス領域名	固有ゴール数	固有プラクティス数
1	スクラム遵守	3	9
2	プロジェクト計画策定	3	14
3	プロセスと成果物の品質保証	2	4
4	検証	2	6
5	測定と分析	2	8
6	プロジェクト監視と制御	2	10
	合計	14	51

学生が定量的かつ明確な基準で評価を行えるよう各固有プラクティスに対応したルーブリックを作成した。できる限りPBLの教育に沿った、わかり易い表現を用いることで、CMMIの知識等に依存しないルーブリックを目指した。

全6領域の各固有ゴールに含まれる固有プラクティスそれぞれに対して、Lv.0(0%)～Lv.3(100%)の4段階のルーブリックを作成する。

図4は、領域と固有ゴール、固有プラクティスと作成したルーブリックの関係性を示したものである。測定と分析の領域には、固有ゴールが2つあり、固有ゴール1には固有プラクティスが4つ含まれている。この固有プラクティス1つ1つに対して、Lv.0(0%)～Lv.3(100%)の4段階の評価基準であるルーブリックを作成する。

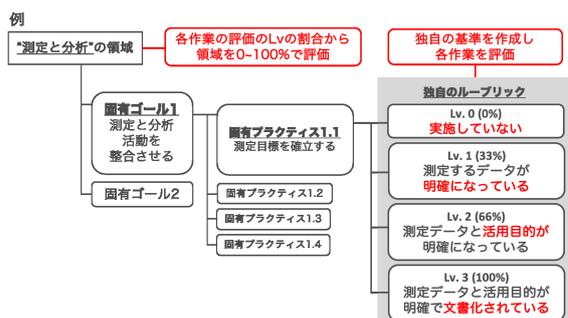


図 4 ルーブリックの位置付け

領域内の全固有プラクティスの%の平均値を算出した値を領域全体の評価結果とする。

4.3 評価結果の分析と活用

評価者である学生は、自分たちのプロセスの良いところ悪いところを評価結果から自ら分析し、改善活動に繋げることで、学びを獲得する。

スプリントごとに1度評価、それらを複数のスプリントにかけて行う。その結果、学生の振り返りや学びを阻害せず、PBLの現状や学びを測定することができる。学びの測定は、スプリントごとの評価結果を比較することで算出し、初回と最終の評価結果を比較することで、PBL全体の学びを測定することも可能である。

5 実験と評価結果

本章では、実施した実験とその結果について述べる。

5.1 実験概要

各スプリントのスプリントレトロスペクティブ時の通常の振り返りに加えて、提案手法による評価を実施してもらった。手順は以下の通りである。

1. 各チームに用意された専用の評価シート (Google Spreadsheet) を参照してもらう
2. 各評価項目に対し、自分たちがどのレベルに当てはまるのかルーブリックを基に議論
3. 当てはまるレベルを Lv.0～3 から選択
4. 2～3 を全評価項目分実施
5. 必要に応じて評価結果を振り返りに活用
6. 1～4 をスプリントごとに実施する

実験対象は、2プロジェクト18チーム、計50名とし、2018年10月～12月の3ヶ月間のプロジェクト活動期間に実施した。

5.2 実験対象

5.2.1 ミライケータイプロジェクト

ミライケータイプロジェクトは、システム情報科学実習の1プロジェクトであり、数年後当たり前となっているサービスのアプリケーション開発を通して、企画から開発、企業への提案を行う実践的な開発プロジェクトである[9]。毎年新たなサービスを企画・開発しており、その規模は連携大学もあわせ40名前後にも及び、PBLとしては、大規模なプロジェクトで

ある。

2018年度は学部3年生計38名がプロジェクトに参画しており、スクラム手法を取り入れ、プロジェクトを進めている。プロジェクト内に3サービスが設置されており、各サービス4チームにわかれているため、計12チームを本実験の対象としている。

5.2.2 FinTech プロジェクト

FinTech プロジェクトは、高度 ICT 演習にて2017年度発足された、学内向け仮想通貨を企画・開発するプロジェクトである。ブロックチェーンなどの仮想通貨そのものを開発する R&D チームと、仮想通貨を利用する際の取引所の様な役割を果たす仮想通貨アプリを開発する応用開発チームの2チーム構成になっている。本実験では、スクラムを取り入れている応用開発チーム内の6開発チーム計12名を本実験の対象としている。応用開発チームは学部1~3年生までが混成しており、学部1年生2名、学部2年生5名、学部3年生5名といった構成となっている。

5.3 評価結果

システム情報科学実習のミライケータイプロジェクト、高度 ICT 演習の FinTech プロジェクトにおいて実施した定量的評価手法の評価結果を各領域/スプリントごとに示す。

5.3.1 システム情報科学実習

チーム数が多い関係上、システム情報科学実習の評価結果は、4チームの平均値を各サービスの評価結果として、Service1~3に示した。1スプリント/2週間であるなどプロジェクト計画上の理由から、3スプリント分のみの計測となった。

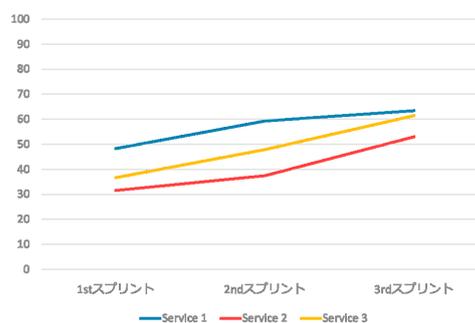


図5 “スクラム遵守”領域の評価結果

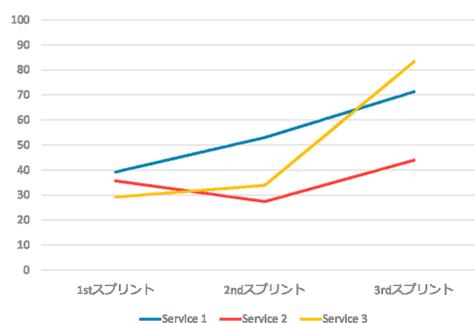


図6 “プロジェクト計画策定”領域の評価結果

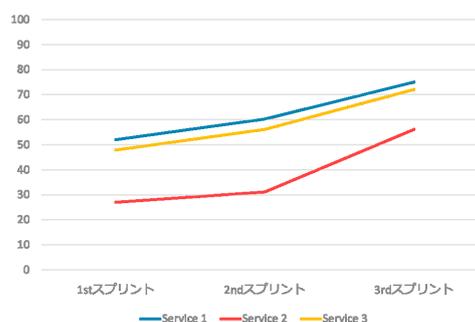


図7 “プロセスと成果物の品質保証”領域の評価結果

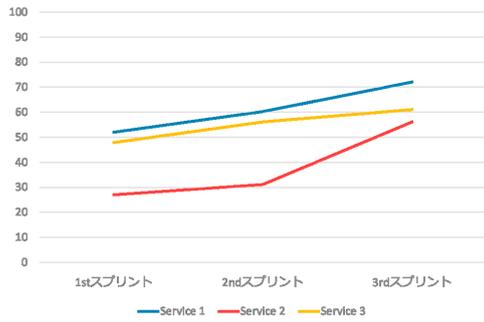


図 8 “検証”領域の評価結果

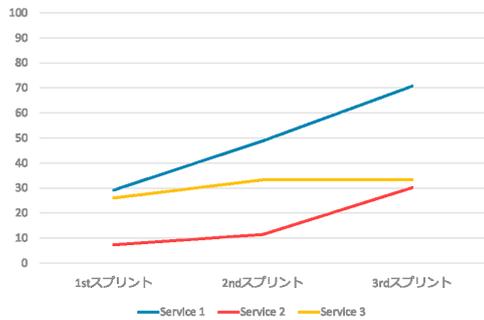


図 9 “測定と分析”領域の評価結果

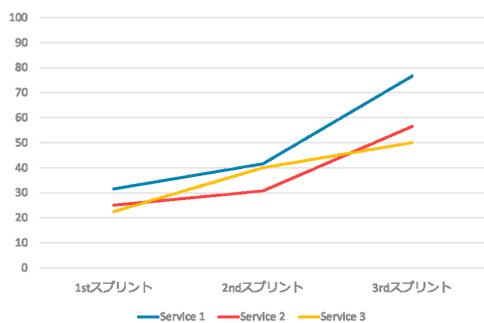


図 10 “プロジェクトの監視と制御”領域の評価結果

5.3.2 高度 ICT 演習

6 開発チームの評価結果を Team A ~ Team F として示した。FinTech プロジェクトでは、1 スプリント/週間であったため、6 スプリント分の計測を行った。

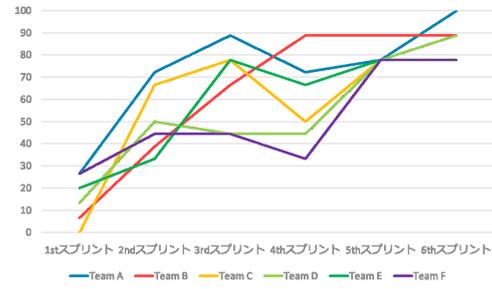


図 11 “スクラム遵守”領域の評価結果

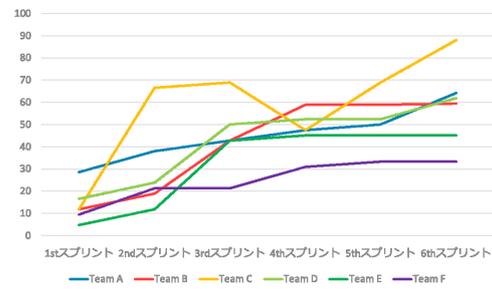


図 12 “プロジェクト計画策定”領域の評価結果

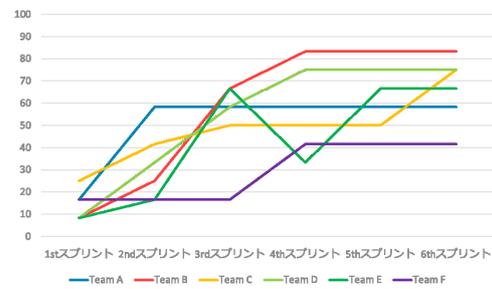


図 13 “プロセスと成果物の品質保証”領域の評価結果

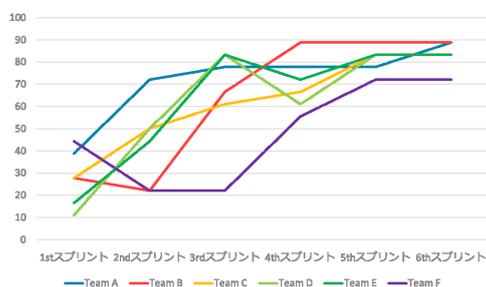


図 14 “検証”領域の評価結果

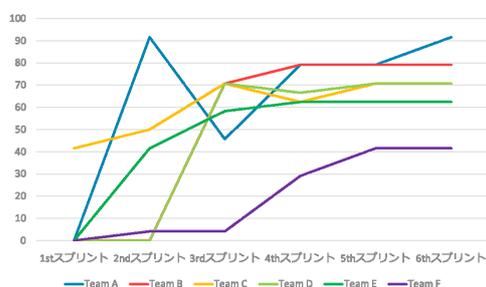


図 15 “測定と分析”領域の評価結果

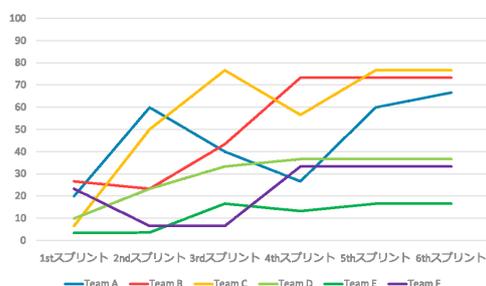


図 16 “プロジェクトの監視と制御”領域の評価結果

5.3.3 評価結果の比較

表 4 は、1st と 3rd, 6th スプリント間の評価結果を比較して、%の差を表にまとめたものである。表 5 は、評価結果を基に最も改善された領域、最も改善されなかった領域、最高数値の領域、最低数値の領域を表にまとめたものである。

表 4 1st・3rd・6th スプリントの評価結果の比較 (差)

Team	1st-3rdの評価結果の比較	1st-6thの評価結果の比較
Service1	29.5%(↑)	-
Service2	23.8%(↑)	-
Service3	26.1%(↑)	-
A	37.2%(↑)	56.5%(↑)
B	45.9%(↑)	65.3%(↑)
C	48.7%(↑)	55.6%(↑)
D	46.8%(↑)	55.8%(↑)
E	48.2%(↑)	49.9%(↑)
F	-0.9%(↓)	29.9%(↑)

表 5 領域ごとの比較

Team	最も改善された領域	最も改善されなかった領域	最高数値の領域	最低数値の領域
Service1	プロジェクトの監視と制御	スクラム遵守度	プロジェクトの監視と制御	スクラム遵守
Service2	プロジェクトの監視と制御	プロジェクト計画策定	プロジェクトの監視と制御	測定と分析
Service3	プロジェクト計画策定	測定と分析	プロジェクトの監視と制御	測定と分析
A	測定と分析	プロジェクト計画策定	スクラム遵守	プロセスと成果物の品質保証
B	スクラム遵守	プロジェクト計画策定	スクラム遵守度/検証	プロジェクト計画策定
C	スクラム遵守	測定と分析	プロジェクト計画策定	測定と分析
D	スクラム遵守	プロジェクトの監視と制御	スクラム遵守	プロジェクトの監視と制御
E	検証	プロジェクトの監視と制御	検証	プロジェクトの監視と制御
F	スクラム遵守	プロジェクトの監視と制御	スクラム遵守	プロジェクト計画策定/プロジェクトの監視と制御

6 考察

5.3 節に記載した評価結果について考察していく。

表 4 からわかる通り、ほぼ全てのチームがスプリントを追うごとに、評価結果を向上させることができた。また表 5 から、最も改善された領域の内最も多かった領域は、“スクラム遵守”領域で、最も改善されなかった領域で最も多かった領域は、“プロジェクト計画策定”領域と“プロジェクトの監視と制御”領域だった。

6.1 システム情報科学実習における本手法の効果

2つのプロジェクトの評価結果を比較して全体的に高度 ICT 演習の評価結果が低いのは、より厳密に評価を行っていたことや遠隔地間で開発しているチームもいた。コミュニケーション不足や時間が合わないなどのズレから成熟度を向上させるのが困難であったことや、評価値に差があったためと考えられる。

3 サービスとも“プロジェクトの監視と制御”領域が最も高い評価値を記録した領域である。これはチームが遠隔で開発していることや、チーム数が多いこと

からチームリーダーやメンバーが各チームの状況を把握したいなどの振り返りや思いが大きかったことに依存したと考えられる。遠隔プロジェクトの状況把握に本手法が影響した可能性は非常に高い。評価を実施した感想として、「リーダーやメンバーが他チームの評価結果を共有することで、チームの状況を透明化できたことが最もこの評価をやった効果的だった」などが多く聞かれた。そのため、学習者目線においても、各チームリーダーを中心に遠隔地/複数チームの状況把握の方法として有効であったことがわかる。

学部3年生の同学年のみで構成されているためか、評価の基準を低く解釈したり甘くつけたりはせず、客観的に自分たちを正確に検査することができていた。最も改善した領域は“測定と分析”であった。提案手法による評価を行うことで定期的にチームの状況を検査し、進捗の報告・共有や工数などの測定を行ったことが要因と考えられる。

6.2 高度 ICT 演習における本手法の効果

一度評価結果が下がり、再度向上している領域・チームが多くみられる。学部1~3年生が混成したチームであることから、当初は自分たちの状況を客観的に検査できず、評価がブレていたが、客観的に検査する力が身についたことで改善しそのような現象が起きたと考えられる。また、スプリントごとに自分たちのどの部分のプロセスに着目して、改善するかを議論する習慣がついていたことも要因として大きい。

“スクラム遵守度”の領域において、最終的に全チームが80%前後の成熟度となっていた。この結果によりスクラムについて理解し、スクラムに遵守するようになったことがわかった。FinTechプロジェクトでは、別チームの院生を始めとする上級生がスクラムの経験者であり、理解の手助けや支援を行えたことも、成熟度が高い要因と考えられる。

“検証”の領域も70~90%と成熟度が高くなっている。この結果からスプリントレビューの準備やスプリントレビュー自体の質の向上について、重要性を認識し、適応・改善していることがわかる。

評価結果を活用し下級生がどこでつまづき、どこに認識の齟齬が起きているのかを上級生が把握し支援

することができていた。それにより技術的な支援や勉強会などを的確に実施することができた。

チーム内の議論が活発になり、意思疎通や情報共有、ルール決め・改変等が頻繁に改善されるようになった。特にデイリースクラムやスプリントレビューにおいて、全員が意欲的に発言するなど顕著に効果が現れていた。

7 おわりに

本研究ではアジャイルソフトウェア開発 PBL において、CMMI に基づく評価手法を設計し、実際に行われている PBL に適用した。結果として、学生自身がプロジェクトの状況を検査することができ、それらを活用することでスプリントごとにチームの成熟度を向上可能であることがわかった。またチームの議論が活発になったことや、ルールの設定、追加の勉強会などの主体的な行動にも繋げることができた。

評価結果を形成的評価として、活用できるかを教員目線で評価する必要がある。今後は評価結果を教員にフィードバックし、形成的評価に利用してもらおう。それにより提案手法の形成的評価観点の評価を実施し、より PBL に適した評価手法を検討していきたい。

参考文献

- [1] 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)」公募要領, pp. 2, 2017.
- [2] 経済産業省商務情報政策局情報処理振興課: 次世代高度 IT 人材の人材像と能力, 平成 23 年度「高度 IT 人材キャリア形成支援計画策定事業」報告書, 2012.
- [3] 文部科学省: enPiT 成長分野を支える情報技術人材の育成拠点の形成, “<http://www.enpit.jp/>”, 2017.
- [4] enPiT: 平成 28 年度成果報告書, 技術報告, p.13, 2017.
- [5] 大隅智春, 鴻巣努, 関哲朗, 新井浩志, 西尾雅年: プロジェクトベース教育の効果に関する考察, プロジェクトマネジメント学科研究発表大会予稿集, pp. 179 - 180, 1999.
- [6] CMU/SEI: CMMI for Development-Version 1.3, Vol.1.3, 2010.
- [7] CMU/SEI and 日本 SPI コンソーシアム CMMI V1.3 翻訳研究会: 開発のための CMMI® 1.3 版, Vol. 1.3, 2010.
- [8] 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, No.57-1, pp45 - 50, 2009.
- [9] 美馬のゆり: 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, 2018.

単位不認定者の早期発見に向けた合格週予測モデルの構築

芳野 洸太 竹川 佳成 平田 圭二 冨永 敦子

近年, 学習管理システムや e ポートフォリオなどを利用し, 学習履歴をデータマイニングし分析することで, 学習者の達成度の評価や将来的な能力の予測などを行う Learning Analytics という分野が盛り上がりを見せている. 本研究では, プログラミング演習の講義を対象に Learning Analytics を実践し, 学生の成績推移を予測する. その予測結果を利用することで, 単位不認定者を早期に発見し, 学習を支援するアプリケーションの開発を目標とする. 具体的には, 理解度確認テストのデータを利用し, 学生をクラスタリングする. その後, クラスごとに重回帰分析を適用することで回帰モデルを構築し, 学生が合格する週を予測する. 提案モデルを実装し, leave-one-out 交差検証によりモデルの有用性を評価した.

In recent years, the field of Learning Analytics has been experiencing a surge in interest. Learning Analytics involves work such as evaluating a learner's achievement degree and predicting his future ability, by data mining and analyzing learning history using a learning management system or e-portfolio. In this research, we predict the transition of a student's performance in a programming exercise lecture, using Learning Analytics. Using the prediction result, we aim to develop an application that finds students who are failing a class at an early stage and supports their learning. Specifically, we cluster students using the data from a comprehension test, then build a regression model by applying multiple regression analysis to each cluster, then predict the week when the students will pass. We implemented the proposed model and evaluated its usefulness by leave-one-out cross validation.

1 はじめに

近年, 学習管理システムや e ポートフォリオなどを利用し, 学習履歴をデータマイニングし分析することで, 学習者の達成度の評価や将来的な能力の予測などを行う Learning Analytics という分野が盛り上がりを見せている [1]. Learning Analytics とは, ネットワークにつながったコンピュータシステムを利用した授業において, 学習者のシステム利用履歴を分析し, 達成度の評価や能力の予測などを行う分野のことである. 海外では, いち早く教育ビッグデータに対する Learning Analytics の研究と実践が行われ, 国内にお

いてもその必要性が急速に認知されつつある [2].

Learning Analytics は, 教育分野における課題の解決方法として利用される. 教育分野の大きな課題の 1 つとして, 大学教育における単位不認定者の存在が挙げられる. 単位不認定者とは, 出席日数の不足やテストの結果が優れないといった理由で単位を取得できない学生を指す. 特に必修科目においては, 単位不認定者が現れると次年度に再履修するため, 受講者が増えてしまう. 受講者が増加すると, 全員が教室に収まらない, 教育者の負担が大きくなるといった問題が生じる.

本学の必修科目であるプログラミング演習の講義では, 例年約 2 割の単位不認定者が存在する. 当該学年の 2 割というのは, 約 60 名であり 3 クラス分に相当する. 多数の受講者が増えると, 上記の問題の発生が懸念される. この問題を解決するためには, 単位不認定者を減らす取り組みが必要である. 単位不認定者

Construction of the Forecasting Model for Early Detection of Students Who Are Failing a Class

Kota Yoshino, Yoshinari Takegawa, Keiji Hirata, Atsuko Tominaga, 公立はこだて未来大学, Future University Hakodate.

に対処するためには、どの学生が単位不認定となる可能性があるか判断しなくてはならない。従来のように教育者が主観的に判断する場合、自身でテストの得点や提出物の成果を確認する必要がある。この方法では、学生が多くなると確認の労力が膨大になる上、単位不認定になる可能性の高低が不明瞭である。

本稿では、本学の必修科目である、プログラミング演習の講義を対象に Learning Analytics を実践し、学生の成績推移を予測するモデルの構築を目的とする。この予測結果を教育者や学生に提示し、成績の把握をサポートするアプリケーションを開発することで、不合格者の削減に貢献できると考えられる。

対象としている講義では、理解度確認テストに合格することが単位認定条件となっている。理解度確認テストとは、講義中で毎週実施される小テストである。このテストには、4種類あり、それぞれ2回ずつ全問正解することで、合格となる。本稿では、理解度確認テストのデータを利用し、個々の学生が合格する週(以降、合格週とする)を予測するモデルを提案する。

本モデルでは、合格だけではなく合格週を予測する。合格週を用いることで、合格と予測された学生でも不合格となる可能性がどの程度あるのか提示することができる。これにより、不合格と予測された学生の他に、不合格となる可能性が高い学生への対処も可能となる。また、反対に学習意欲が高く、通常の講義では物足りなく感じてしまう「浮きこぼれ」学生の発見にも貢献できる。このように個々の学生の学力を把握することができれば、ペアプログラミングにおける適切な学生の組み合わせを考えると、個々の学力に合わせた課題を与えるときなどにおいて大きな効果が期待される。

2 関連研究

伊藤ら [3] は、IC カード出欠管理システムとコースマネジメントシステムの導入により得られた、出欠データと課題の提出数、課題の提出値を利用し成績予測を行った。課題の提出値とは、課題提出の早さを表し、課題提出受付時を1とし、課題提出締め切り時を0とする、課題提出が早いほど値が高くなる手法をとっている。ただし、未提出は-1としている。この提

出値が高いほど、成績が良くなる傾向が得られているので、予測のための一つの指標として有効であると考えられている [4][5]。結果、多数の受講生の成績が予測と完全一致かほぼ一致しており、予測の有効性も確認できたと述べられている。しかし、この手法による成績予測の性能は、11回分のデータを用いた予測成績についてしか評価できない。7回分のデータを用いた予測成績については、レベル別課題を実施しなかった場合の最終的な成績データがないため評価できない。本研究では、予測に用いるデータ量に応じた予測性能の評価を行う。また、伊藤らの結果には、最終的に単位不認定となる学生を、単位認定されると予測する場合が存在した。本研究では、理解度確認テストにおける不合格者の発見を目的としているため、成績の優れない学生を見逃さないことを目指す。

また、Itoh ら [6] は、ベイジアンネットワークを用いて、大学1年次の成績データから2年次の成績を予測した。この予測結果をもとに、アカデミックカウンセリングを必要とする学生を発見することを目的としている。結果、ベイジアンネットワークは、対象学生の発見に有効であることが示された。Itoh ら [6] の研究では、利用データは成績データのみであり、出席データを追加すべきだと述べられている。予測対象については、年度単位の成績を予測しているが、本研究では1つの講義における成績の予測を行う。

3 対象講義

本稿では、本学で実施されているプログラミング演習の講義を対象とする。対象講義では、Processing 言語を扱い、プログラミングの基礎を学ぶものとなっている。講義時間は1回90分で半期に14回開講し、多くの受講生は初めてプログラミングを経験する1年生である。第2週以降には、単元ごとにカテゴリ1からカテゴリ4の4種類に分かれている理解度確認テストを実施している。対象講義では、オンライン学習システムを使用しておらず、理解度確認テストは筆記試験となっている。設問数は3、または4問から構成され、各カテゴリの内容および例題を表1、図1から図4にそれぞれ示す。

対象講義の単位認定条件は、理解度確認テストのう

表 1 各カテゴリのテスト内容

カテゴリ	テスト内容
カテゴリ 1	矩形表示, 計算, 変数定義
カテゴリ 2	条件式, if 文
カテゴリ 3	for 文, while 文
カテゴリ 4	配列, 関数の定義

○カテゴリ 1

矩形表示の問題:

システム変数を使いウィンドウ内に
そのウィンドウの対角線を二本引く
プログラムを記述せよ。

計算問題:

変数 n が int 型の場合, プログラム実行後
 n はいくらか。

```
n = 17 % 4 + 15 / 4;
```

図 1 カテゴリ 1 の例題

○カテゴリ 2

条件分岐構文の問題:

n, m が int 型の変数として宣言され, なん
らかの値をもつ。このとき, n が負の値
の場合のみ, m の値をもとの m の値の 3
倍に置き換えるプログラムを作成せよ。

図 2 カテゴリ 2 の例題

ち, カテゴリ 1 からカテゴリ 4 をそれぞれ 2 回全問正解することである。以降, 全問正解することを完答と記述する。つまり, カテゴリ 1 からカテゴリ 4 のいずれか 1 つでも 2 回完答できなかった場合, 単位不認定となる。各カテゴリの合格, 不合格の例を図 5 に示す。カテゴリ 1 を 2 回連続で完答している学生 A は, 合格である。学生 B は 2 度目の受験で完答できなかったが, 3 度目に完答し最終的に 2 度完答しているため, 合格となる。1 度も完答していない学生 C, 1 度しか完答していない学生 D は, 不合格である。図 5 はカテゴリ 1 を例にカテゴリの合否について説明したが, カテゴリ 2 からカテゴリ 4 においても同様の基準で合否が決まる。

○カテゴリ 3

繰り返し構文の問題:

以下を補い, 2, 1, 0, -1, -2 の順に変数 x
に代入するプログラムを作成せよ。

```
int i, x;
for (i = 2; [ ]; [ ]) {
    x = i;
}
```

図 3 カテゴリ 3 の例題

○カテゴリ 4

関数の定義の問題:

int 型の 2 つの引数, N と M を与えると,
 N と M の和を返す関数を定義しなさい。

配列の問題:

プログラム実行後 sum はいくらか。

```
int sum = 0, i;
int [] data = new int [100];
for (i = 0; i < 100; i = i + 1) {
    data [i] = i * i;
}
for (i = 20; i < 100; i = i + 35) {
    sum = sum + data [i];
}
```

図 4 カテゴリ 4 の例題

理解度確認テストは, 第 2 週以降の講義始めに実施しており, 1 つのテストに要する時間は, 約 7 分である。テストの設問は, すべての週において異なり, 開講年度間においても同じ問題は使用していない。理解度確認テストの実施回数は, 第 2 週から第 14 週の全 13 回となっている。しかし, 毎週すべてのカテゴリを実施するわけではなく, 変則的な実施形態をとっている。実施する週と回数をまとめたものを, 表 2 に示す。総実施回数もカテゴリごとに異なっており, カテゴリ 1 とカテゴリ 2 は 8 回, カテゴリ 3 とカテゴリ 4 は 9 回となっている。また, それぞれのカテゴリにおいて, 2 度完答することで対象カテゴリは合格となる。なお, 合格したカテゴリは, 受験しなくてもよいことになっている。

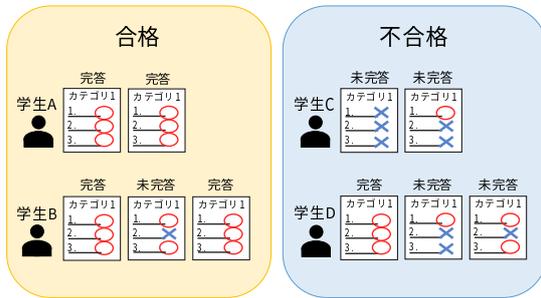


図 5 各カテゴリの合格条件

表 2 各カテゴリの実施週と実施回数

週	カテゴリ 1	カテゴリ 2	カテゴリ 3	カテゴリ 4
1	-	-	-	-
2	1 回目	-	-	-
3	2 回目	1 回目	-	-
4	3 回目	2 回目	1 回目	-
5	-	3 回目	2 回目	1 回目
6	4 回目	-	3 回目	2 回目
7	-	4 回目	-	3 回目
8	5 回目	-	4 回目	4 回目
9	-	5 回目	5 回目	5 回目
10	6 回目	6 回目	-	-
11	-	-	6 回目	6 回目
12	-	-	7 回目	7 回目
13	7 回目	7 回目	8 回目	8 回目
14	8 回目	8 回目	9 回目	9 回目

4 提案モデルについて

4.1 使用したデータ

使用したデータは、2015 年度から 2017 年度に対象講義で実施された、理解度確認テストのデータである。なお、これらのデータを研究目的として利用および公開することに関して、当該学生から許諾を得ている。学生の人数は、756 名である。説明変数は図 6 に示したように、受験回数、欠席回数、単元ごとの正答率とし、目的変数は合格週とした。

受験回数と欠席回数は、対象カテゴリを合格するまでに受験した回数、欠席した回数をそれぞれ示している。そのため、合格後の受験や欠席は含まない。単元ごとの正答率 Q とは、理解度確認テストの設問単位で分類した単元における、正答率をそれぞれ計算した

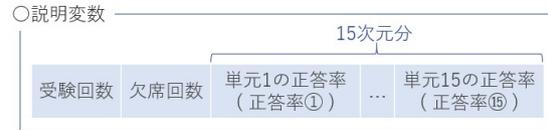


図 6 提案モデルの説明変数

表 3 分類した単元一覧

単元	内容
1	矩形表示プログラム
2	代入
3	変数宣言
4	四則演算
5	倍数判定の条件式
6	余り判定の条件式
7	範囲指定の条件式
8	if 文記述
9	while 文の穴埋め
10	for 文の穴埋め
11	for 文の穴埋め (1 カ所)
12	配列宣言
13	配列への代入
14	配列計算
15	関数定義

ものであり、以下の式 (1) で定義する。

$$Q = \sum_{i=1}^n (q_i) / n \quad (1)$$

q は設問の正誤であり、正解の場合は 1、不正解の場合は 0 となる。 n は単元の設問数であり、 Q は正解した設問の数を単元の設問数で割ることで求めている。分類した単元は全 15 種類であり、表 3 の通りである。以上より、説明変数の次元数は 17 次元となっている。目的変数である合格週は、対象カテゴリを合格した週であるため、2 度目の完答時の週となる。合格週の最大値は、講義実施回数の 14 であるから、不合格者の場合は 15 とした。なお、説明変数は使用する前に、正規化処理を適用した。



図 7 Ward 法によるクラスタリング

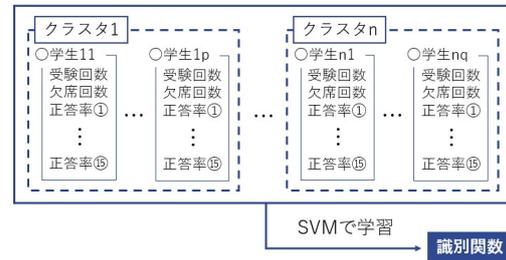


図 9 SVM による識別関数の導出

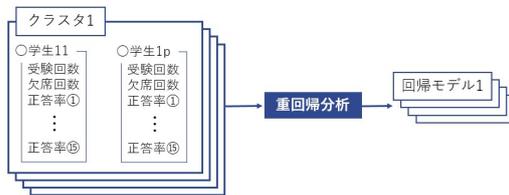


図 8 クラスタごとの回帰モデルの構築

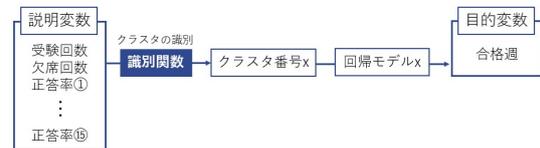


図 10 合格週予測の流れ

4.2 予測手法

提案手法による合格週予測の流れは、4段階に分けることができる。

1. 学生全体を Ward 法を用いてクラスタリングする。(図 7)
2. 分類したクラスタごとに重回帰分析を適用し、回帰モデルを構築する。(図 8)
3. 学生のデータと分類されるクラスタを特徴量とし、サポートベクターマシン (SVM) に学習させて、識別関数を導出する。(図 9)
4. 未知データの説明変数から、導出した識別関数を用いて、どのクラスタに分類されるか判断する。その後、対象クラスタの回帰モデルに当てはめ、合格週を予測する。(図 10)

学生をクラスタリングする目的は、学生を回帰モデルにフィッティングさせるためである。単純に学生全体を回帰モデルで表現しても、個人差による影響を受け、一部の学生にしか当てはまらないモデルになってしまう。この個人差による影響を緩和するため、類似した傾向を持つ学生を同じクラスタとする。そして、クラスタごとの回帰モデルを構築することで、より対象の学生に適したモデルを構築できる。

クラスタ判別に用いた SVM のハイパーパラメー

タは、グリッドサーチを適用し決定した。カーネルには、linear, rbf, poly, sigmoid, コストパラメータは 0 から 1000 まで 10 刻みで探索し、最も正答率が高い linear カーネル、コストパラメータ 60 を採用した。

4.3 クラスタリング手法

学生のクラスタリングには、Ward 法を用いた。Ward 法は、階層的クラスタリング手法の 1 つで、偏差平方和が最小となる組み合わせを 1 つのクラスタとする結合処理を行う。この結合処理を決められた条件に当てはまる限り、繰り返す手法である。偏差平方和 S とは、平均値との差を 2 乗したものであり、以下の式 (2) で定義される。

$$S = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (2)$$

本モデルでは、偏差平方和が 4.5 以下のものを同クラスタにするという条件を設定した。閾値の設定方法は、すべてのカテゴリにおいて予測精度が最も高くなる値を探索し、採用した。

4.4 評価手法

評価手法には、leave-one-out 交差検証を使用し、合格週の予測結果の正答率を調べた。leave-one-out 交差検証とは、全データの中から取り出した1つのデータをテストデータとし、残りのデータをトレーニングデータとする。トレーニングデータを学習したモデルを用いて、テストデータの合格週を予測する。この処理をすべてのデータが1回テストデータとなるよう繰り返し、正答数を総データ数で割った値により評価する手法である。

予測結果を四捨五入した値が、正解データと一致しているものを正答とした。また、ここで予測する合格週というものは、最も早く合格可能な f 週から、最後に受験可能な第14週までの値、 f から14をとる。最も早く合格可能な週 f はカテゴリごとに異なり、カテゴリ1は第3週、カテゴリ2は第4週、カテゴリ3は第5週、カテゴリ4は第6週である。4.1項で述べた通り、予測する合格週の最大値は14であり、不合格の場合は15とした。この時、予測結果が15以上の場合は不合格と捉えられるため、予測結果が15以上の場合はすべて15とし、正答率を計算した。同様に、予測結果が f 以下の値の場合も f に変更した。

評価の際には、756人のデータから、説明変数の値が完全に一致しているものを取り除き、評価した。完全に一致しているデータが複数あると、leave-one-out 交差検証で取り出したデータがトレーニングデータにも含まれる場合がある。この方法では、正当に予測精度を評価できないと判断し、まったく同じデータは除外した。

また、本研究では理解度確認テスト不合格者の早期発見を目的としている。そのため、実施された8回もしくは9回のデータすべてを使わず、7回分のデータや6回分のデータを用いることで、履修中であると想定した予測を行う。提案モデルの評価の際には、テストの実施回数に応じた正答率を評価した。

4.5 評価結果

合格週の予測結果を図11に示す。実施回数が増えるにつれて、正答率も向上していることがわかる。すべてのデータを使った場合に注目すると、すべてのカ

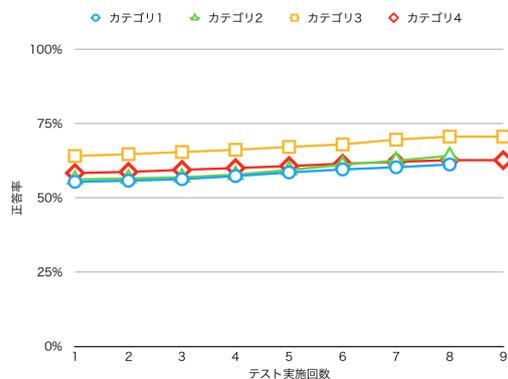


図11 合格週の予測正答率

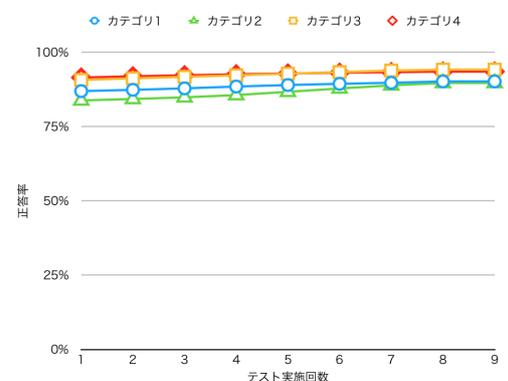


図12 1週分の誤差を許容した合格週の予測正答率

テゴリにおいて約6割の正答率となっている。カテゴリごとの正答率に注目すると、カテゴリ1の正答率が他のカテゴリと比べて低くなっている。最も高い正答率となったカテゴリは、カテゴリ3であった。

正解データ±1週分の誤差を許容した場合の、合格週の予測結果を図12に示す。許容誤差なしのときと比較すると、全体的に正答率は向上している。全11週分のデータを使った場合、すべてのカテゴリにおいて、8割を超える正答率となっている。また、過年度のデータから次年度のデータを予測するという実験においても同様の結果が得られている。

5 考察

提案モデルの予測精度の評価結果では、カテゴリ間の差がほとんど見られなかった。これは説明変数に利用した、単元ごとの正答率の性質であると考えられる。対

象講義の実施形態では、1週に複数のカテゴリのテストを実施する。受験する度に正答率は変化するが、同じ週に受けたカテゴリの予測を行う場合、説明変数の正答率は一致する。例えば、第4週のカテゴリ1(実施回数3)と第4週のカテゴリ2(実施回数2)の合格週を予測するとき、どちらの場合においても実施済みのテストは、カテゴリ1が2回、カテゴリ2が1回と一致している。これより、対象の学生がその週までに学習した情報を反映できているといえる。また、データ量を減らした場合の正答率の減少量も少なく、提案手法は単位不認定者の早期発見に有効であるといえる。

しかし、使用した単位ごとの正答率には、単元間の依存関係が反映されていない。各単元は独立なものではなく、基礎となる単元を理解していなければ、基礎を応用した単元を理解できるとは考えられない。この依存関係を明らかにし、反映することができれば、さらなる効果が期待される。予測精度の向上に加え、対象単元とその基礎となる単元の正答率を分析することで、対象単元における学生の理解度を把握できると考える。

6 提案モデルを利用したアプリケーション開発

6.1 目的

提案モデルを利用した Web アプリケーションを開発し提供することで、教育者を支援し不合格者を減らすことを目的とする。このアプリケーションの対象ユーザは、教育者を想定している。モデルの開発は、Python 言語で行なっていたため、データ送受信の容易さから Django を利用した。Django は、Python 言語で実装された Web アプリケーションフレームワークである。

6.2 機能

本アプリケーションでは、図 13 のように学生の学籍番号と、理解度確認テストの種類を選択することで、対象の学生のデータを閲覧することができるというものである。閲覧可能な 4 つのデータを、以下に示す。

1. 予測合格週 (図 14)

学籍番号: 受講回数:

対象カテゴリ: カテゴリ1 カテゴリ2 カテゴリ3 カテゴリ4

図 13 予測対象選択ページ

学籍番号: 12		予測合格週: 12	
単元ごとの理解度 ("-"は未受験)			
単元	1	2	
理解度	0.75	1.0	

学籍番号	12	学籍合格週	12												
学年全体の合格週分布 ("-"は未受験)															
単元	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
理解度	0.75	1.0	0.5	0.25	0.5	0.0	0.2	0.75	0.25	0.33	0.5	1.0	0.75	0.67	0.75

図 14 予測合格週と単元ごとの正答率の表示結果

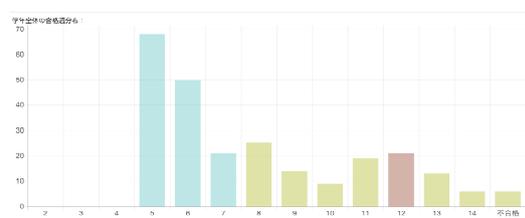


図 15 全学生の合格週分布の表示結果

2. 単元ごとの正答率 (図 14)
3. 全学生の合格週分布 (図 15)
4. テスト問題 (図 16)

データ 1 は、提案モデルを用いて、得られた合格週の予測結果である。この情報を提示することで、対象の学生が現状でどの程度合格の見込みがあるのか、瞬時に把握することができる。

データ 2 は、提案モデルに使用した特徴量の 1 つである、単元ごとの正答率である。この正答率を単元別に示すことで、対象の学生がどの単元を苦手としているか、理解する手助けとなる。

データ 3 は、全学生の合格週を分布として表したものである。分布の色には 3 種類あり、既合格者は青、対象の学生が属するラインは赤、未合格者は黄で表している。このように学年全体の状況を可視化することで、対象の学生が全学生のうち、どのレベルに位置するか視覚的に理解できる。さらに、どの学生がより対処が必要か、対処が必要な人数はどの程度か、把握可能になる。



図 16 テスト問題の表示結果

データ 4 は、実施したテストの問題である。学生の正答率が低い設問や高い設問を確認することで、単位という観点からのみでなく、学生が得意な点、不得意な点の分析を行うことができる。

以上のデータを教育者に提示することで、不合格となる確率の高い学生の発見や、対象学生への対処方法の改善に貢献できると考える。

6.3 展望

本稿で紹介したアプリケーションは、対象ユーザを教育者とし、単位不認定者の早期発見をサポートするものである。この他にも、提案モデルを利用した支援方法には、様々なものが考えられる。

教育者ではなく、学生を対象とした支援も考えられる。予測合格週や単位ごとの正答率を提示することで、自身の単位認定可能性を測れるほか、苦手な単元の分析にも貢献できる。しかし、予測合格週の提示方法は検討が必要である。例えば、合格と予測された学生がその情報を鵜呑みにし、学習意欲を低下させ最終的には不合格になってしまう可能性がある。しかし、必ずしもすべての学生の学習意欲が低下するとも限らない。これは学生の性格特性に影響されると考えられるため、性格特性を分析し個々の学生に適切な対応をすることが望まれる。

プログラミング演習講義のみならず、他の講義へ

の応用も考えられる。数学の講義においては、同様に小テストを行い、単位ごとの正答率を計算することができれば、類似した結果が得られると期待される。また、ペアプログラミングや PBL (Project-Based Learning) のような少人数のグループを作る講義に対しても、活用可能だと考える。ペアやグループ単位で取り組む講義において、メンバ構成は重要な要素である。学習意欲の低い学生が多く含まれる構成では、大きな学習効果は期待できない。このような場合に、単位認定可能性や苦手な単位という観点から構成を考えることで、各グループにおける平均学力の均一化や苦手分野を他学生で補う構成にすることができる。

7 まとめ

本稿では、本学のプログラミング演習講義における、単位不認定者の早期発見を目的とし、学生の合格週予測モデルを構築した。提案手法では、学生を Ward 法を用いてクラスタリングした後に、クラスタごとの回帰モデルを構築し、学生の合格週を予測した。

提案モデルの予測精度を評価した結果、すべてのデータを使用した場合、実施しているテストのすべてのカテゴリで、約 6 割の正答率が得られた。また、1 週分の許容誤差を設けると、すべてのカテゴリで、8 割を超える正答率が得られた。データ量を減らした場合においても、正答率は大きく減少しないため、単位不認定者の早期発見に有効であると考えられる。

今後の課題としては、予測精度の向上が挙げられる。提案モデルに求められる予測精度は、一概に決めることはできず、対象ユーザや利用方法によって変わる。提案モデルによる予測結果を学生に提示する場合、慎重に実行する必要がある。学生は教師と異なり経験や知識が乏しいため、予測ミスはできる限り小さくすべきである。特に、予測ミスの中でも不合格者を合格者と捉えてしまうフォールスネガティブをなくすべきである。

また、提案モデルを用いて開発した、アプリケーションの有用性の評価も行う予定である。

参考文献

- [1] 山川修. Learning Analytics とは. 情報処理, Vol.55, No.5, pp. 495-503, 2014.
- [2] 近藤伸彦. 大学におけるビッグデータ・アナリティクスと教学 IR. 大手前大学 CELL 教育論集, No.6, pp. 11-18, 2016.
- [3] 伊藤宏隆, 舟橋健司, 山本大介, 内匠逸, 松尾啓志. 出欠データと学習データを用いた成績予測とその教育効果の検証. 情報処理学会研究報告, Vol.2010-CLE-1, No.12, pp. 1-5, 2010.
- [4] 伊藤宏隆, 堀江匠, 舟橋健司, 内匠逸, 松尾啓志. 出欠データと学習データを用いた学生の修学傾向分析. 情報処理学会第 71 回全国大会講演論文集第 4 分冊, pp. 357-358, 2009.
- [5] 伊藤宏隆, 舟橋健司, 内匠逸, 松尾啓志. IC カード出欠データと CMS 学習データを用いたデータマイニング. 日本 e-Learning 学会誌, Vol.9, pp. 95-108, 2009.
- [6] H. Itoh, K. Itoh and K. Funahashi. Forecasting Students' Grades Using Bayesian Network Models and an Evaluation of Their Usefulness. The Journal of Information and Systems in Education, Vol.11, No.1, pp. 32-41, 2012.

enPiT における PBL 型教育に携わる教員が参加する FD 合宿の取り組み

中鉢 欣秀

enPiT(成長分野を支える情報技術人材の育成拠点の形成事業)では、高度な IT 人材を育成するために、実践的な教育ネットワークを形成し、PBL 型の教育を各大学において展開している。従来の講義や演習と異なる PBL を実施するにあたり、教員は、課題解決型、あるいは、プロジェクト型という新しい教授法に取り組むことが求められる。ところが、PBL 型教育の教授法や教材について広く認知された一般的な手法はなく、教員は自らが試行錯誤をしながらよりよい教育を実現するために努力をしている。そこで、enPiT では教員が参加し、PBL に関する広範な議論をすることができる FD 合宿を年 2 回のペースで開催している。PBL において教員が抱える課題を参加者で共有し、解決策について話し合う場として、enPiT に関連する多くの教員が参加している。本発表では、この FD 合宿について述べ、PBL を担当する教員にとっての有用性について教育ネットワークの形成という観点から考察する。

In order to nurture advanced IT human resources, a practical educational network is formed and PBL is developed at each university in enPiT program. In implementing PBLs different from conventional lectures and exercises, faculty members are required to tackle new teaching methods of problem solving type or project type. However, there is no general method widely recognized about teaching methods and teaching materials of PBL type teaching, and faculty members are making efforts to realize better education while making their own trial and error. Therefore, at enPiT, faculty members participate and hold FD camps twice a year, which can make extensive discussions on PBL. Many faculty members related to enPiT are participating as a forum for participants to share issues facing teachers at PBL and discuss solutions. In this presentation, I will discuss about this FD training camp and discuss the usefulness for teachers in charge of PBL from the viewpoint of forming an educational network.

1 はじめに

PBL は実践的 IT 人材育成のための教育手法として認知されており、enPiT (エンピット)^{†1}においても各大学が各分野の様々なテーマで取り組んでいる。様々な大学が参加しているため、PBL の「P」を「Problem (課題)」と取るか、「Project (プロジェク

ト)」と取るかは各教育機関により異なっている。本学が参加する BizSysD 分野^{†2}では、ソフトウェア開発プロジェクトをテーマとすることが主なので、PBL をプロジェクト型学習と捉えており、他分野では概ね課題解決型学習として PBL を実施しているようである。

このように、各分野ごとに PBL の意味合い異なるものの、概ね、学習者がチームを組み、あるテーマのもと課題の解決に取り組み、能動的に学習するという点では共通していよう。従来の講義や個人演習とは異なり、チームでの学習の過程において、実務に即した課題の解決手法や、チームメンバーとのコミュニケー

Faculty Development Camp for Educators who Engage enPiT PBL

Yoshihide Chubachi, 産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology.

^{†1} enPiT は日本国内の 40 以上の大学と産業界が連携して実践的な人材育成を推進する教育ネットワークである。社会的要請が強い 4 つの分野 (ビッグデータ・AI 分野、セキュリティ分野、組込みシステム分野、ビジネスシステムデザイン分野) において課題解決型学習 (PBL) などの実践的な情報教育を学部生・高専生に対して推進・普及する。

^{†2} BizSysD 分野では社会やビジネスニーズに対する実用的なソリューションとしてのビジネスアプリケーションやシステムデザインを自ら提案、開発し、顧客の潜在的な要求を満たすことのできる人材育成を目指す。

ションを通して共同作業を遂行する能力の向上が期待できる。

一方、教員にとっての課題はPBLを教育手法としていかにして活用し、望ましい学習効果を発揮していくかということになる。PBLは未だに一般的な教授法が確立されておらず、現場の教員が試行錯誤をしながら教育に取り組んでいる。PBLという新しいタイプの授業を実施するにあたり、十分な人的リソースが確保できず、教員の負担感も高まる傾向もある。

この状況を踏まえ、PBLに携わる教員が抱える課題や、有用なノウハウ、PBLにおける教育のあり方など、幅広いテーマで自由闊達に意見交換を行い、その成果を今後のPBLにおける教育に活かせるような場が必要となっている。

enPiT FD ワーキンググループ^{†3}では、2016年より年2回（6月と12月）に、PBLに携わる教員が参加し、幅広いテーマをとりあげて議論を行う「FD合宿」を開催してきた。過去の実施状況等については[1][2]で発表しているが、本稿では発表後に実施したFD合宿も含めてこの取組について紹介し、その成果について考察する。

2 FD合宿が求められる背景

2.1 FD合宿の経緯

近年、多くの大学では教員による教育力の向上のためにFD（Faculty Development）活動を実施している。アクティブ・ラーニングやブレンデッド・ラーニング等新しい教育手法が登場するなか、教員が自らの教授法について研鑽をする機会が求められていることは論をまたない。

更に、enPiTで取り組んでいるPBLのように、実践的な技術やスキルの向上をはかりつつ、チームワークやコミュニケーションを学ぶことができる授業を実施することの難易度は高くならざるを得ない。そこで、PBL型教育に取り組む教員が集まり、教育をテーマとした深い議論ができる機会があれば、教員の教育力の向上に寄与するのではないかと考えた。

^{†3} FD ワーキンググループでは、enPiTに関わる教員のFDのために、各大学で実施しているFD活動の集約や、教員交流会の開催などを実施している。

表1 FD合宿の開催時期と場所

年月	開催地	場所
2016/6	滋賀県立県民交流センター	大津
2016/12	沖縄県青年会館	那覇
2017/6	公立はこだて未来大学	函館
2017/12	沖縄船員会館	那覇
2018/6	北海道大学札幌キャンパス	札幌
2018/12	沖縄県市町村自治会館	那覇

また、大学の教員にとって、研究の場としては学会等が存在しており、発表や議論の場が提供されているが、教育については、特に学外の教員との意見交換ができる場所は限られている。

以上の経緯から、enPiT FD ワーキンググループとして1泊2日のFD合宿を企画し、運営してきた。表1に記した通り、2016年度から年2回、6月と12月に実施している。

学会での研究発表とは異なり、教育をテーマに泊りがけでじっくりと話し合うことのできる内容になっている。

2.2 自由な議論を行う場の提供

主に教員が集まり、PBLに関して自由に議論を行う方法として、FD合宿ではH.Owenが1985年に提唱したオープンスペーステクノロジー（OST）^{†4}を採用している。OSTには20人から2,000人まで参加することができ、アジェンダは参加者自身が提案する。議論はマルチトラックで行う。テーマごとに議論をする時間と場所を決め、参加者はどのトラックに参加しても良い。また、議論の途中で他のトラックに移動するのも自由である。

OSTを実施すると、参加者は自発的に議論に参加し、当事者意識をもちながら主体的に対話を行うことができる。誰かの話を一方的に聞くのではない、ディスカッションが中心の空間となる。

なお、事前準備として、参加者は合宿で議論したい課題を少なくとも1つ持ち寄るようにアナウンスし

^{†4} http://www.openspaceworld.com/users_guide.htm

表 2 FD 合宿のタイムテーブル

1 日目	
13:10 - 13:30	受付
13:30 - 14:30	インストラクション
14:30 - 15:15	セッション 1
15:30 - 16:15	セッション 2
16:30 - 17:15	セッション 3
17:30 - 18:20	セッション内容の共有とまとめ
2 日目	
09:15 - 09:30	インストラクション
09:30 - 10:15	セッション 4
10:30 - 11:15	セッション 5
11:30 - 12:30	セッション内容の共有とまとめ

ているがこれは必須ではない。当日、他の参加者の議題を聞きながらその場で発案してもよい。

3 FD 合宿の内容

FD 合宿で実施している OST のイメージを掴むために、表 2 に 2 日間のタイムテーブルを示す。両日ともに、開始時にインストラクションを行う。

初日は OST の進め方に関する説明と、参加者の自己紹介も実施する。また、全体のアジェンダの作成も行う。2 日間で 45 分のセッションを 5 つ設定し、トラックの数は参加者の人数に応じて調整する。概ね 4 つのトラックになることが多い。

図 1 に 2018 年 6 月に札幌で実施した際に参加者が作成したアジェンダを示す。予めセッションの時間割りをホワイトボードに書いておく。参加者は自分が議論したいテーマを A4 の紙に書き、他の参加者に簡単に説明した後、任意のスロットに貼る。これにより、全体のアジェンダが完成する。

図 2 は OST を実施している会場の様子である。参加者が希望するテーマごとに、グループに別れてディスカッションを行っている。

議論の結果は、模造紙を利用してポスターとしてまとめる。図 3 にある通り、壁に今までの議論の結果をポスターとして張り出し、参加者に自由に見ることができる。



図 1 作成されたアジェンダ



図 2 OST を実施している会場の様子



図 3 グループの議論と成果物

また、1 日の最後に各セッションの内容を共有する時間を設けており、ポスターに基づいて簡単なプレゼンテーションを行う。

4 考察

4.1 討論テーマの例

FD 合宿も回を重ね、非常に多くのテーマに関する議論が行われた。以下に、過去に行った議論のテーマの一部を示す。

- 学生、教員、企業人が考える PBL の学びの内容

について

- 基礎知識学習の内容とタイミング
- チーム活動における最強のコミュニケーションツールとは
- enPiT2の学生を増やすには
- PBLの省力化、効率化
- 答えを言わずに人を育てる方法
- プログラミングの教え方、学び方
- ドキュメンテーション力とプログラミング力を伸ばすには
- チーム活動の評価方法
- 学生・教員・企業人が考えるPBLの学びの内容について
- 基礎知識学習の内容とタイミング
- クラスで勉強する雰囲気環境をどのように作るか
- enPiTの教育効果はあとから出てくる
- チームワーク力を育成するには
- 学生の時間管理について
- 答えを言わずに人を育てる
- 理系女子を増やすには
- FDを活用した事例
- ドキュメンテーション力とプログラミング力を伸ばすには
- プログラミングの教え方・学び方

PBLという大きなテーマは共有しつつも、様々な具体的な課題が取り上げられ、議論されていることが分かる。

4.2 OSTの効果と今後の改善

FD合宿でOSTを実践した経験から、OSTは運営側の負担がさほどかからないにもかかわらず、実のある議論が行えることがわかった。場所と模造紙、ポストイット等を用意すればよく、運営側が事前にテーマ

を募集したり、プログラムを作成するという手間は不要である。

参加者に十分なインストラクションをすれば、誰でも容易に議論に参加することができるようになる。また、議論の結果はポスターとして作成され、参加者全体で共有することができる。

現状の課題として、これまで実施したFD合宿では議論や情報共有は行われてきたが、具体的な改善策を生み出すところまでは行っていないことがあげられる。今後の改善としては、参加者の負担をできるだけ少なくしつつも、アクションプランの作成までできるようにするよう工夫したい。

5 おわりに

本稿では、enPiT FDワーキンググループで実施しているFD合宿について述べた。

FD合宿の副次的な効果として、参加した教員同士で自然にコミュニケーションが発生し、より交流が深まるとも感じている。

そもそもenPiTは、大学の垣根を超えた教育ネットワークを構築するための取り組みである。PBLに取り組む教員同士の繋がりを構築する場として、今後共多くの皆様がFD合宿に参加して下さることを期待する。

参考文献

- [1] Chubachi, Y., Chishiro, H., Nagase, M., Saga, S., Watanabe, C., Kizuka, A., and Ito, K.: Faculty Development Camp for Project Based Learning, *Proceedings of the 6th International Conference on Information and Education Technology, ICIET '18*, New York, NY, USA, ACM, 2018, pp. 196–200.
- [2] 千代浩之, 中鉢欣秀: Faculty Development Camp for Project Based Learning in enPiT, *コンピュータソフトウェア*, Vol. 36, No. 1(2019), pp. 1–10.