

論文

高等学校における実用的プログラミングの教育実践

高岡 詠子^{1,a)} 山内 崇裕¹ 滑川 敬章^{2,†1}

受付日 2015年4月18日, 再受付日 2015年9月30日/2016年3月14日,
採録日 2016年7月9日

概要: 本研究では, 高等学校において, 短期間で実用的プログラミングスキルを習得させることを目的に教育実践を行った. 講座の学習目標を「実用的なプログラムを作る」ことに置き, 講座の最後に, 生徒にプログラムを作らせることで, 実用的プログラミングスキルが身についたかどうか確かめた. グループでプログラム作成に取り組ませたこと, Web プログラミングへの興味付けを行ったことにより, 学習意欲を維持させることができたと考える. また, 教材コンテンツの修正, 講義回数を増やしたことによる学習時間の増加, 早くできた生徒が遅い生徒に教えること, 学習意欲を維持できたことが, 理解度向上に影響を与えたと考える. これらの工夫により, 自らプログラムを作りたいという意欲のある生徒に短期間で実用的プログラミングスキルを習得させるための教育効果が得られた. 3年間の実践を通じて, 実用的プログラミングスキルの習得には, 教材(コンテンツ)の工夫・改善も作用するが, 学習形態や目標の持たせ方が大きく影響することが導かれた. 一般的な教科の学習と同じように, プログラミング学習においても, 知識を受動的に教わるような学習形態よりも, アクティブ・ラーニングのような能動的な学びの形態が, 実用的プログラミングスキルの習得に大きな影響を与えたと考えられる.

キーワード: プログラミング教育, PHP プログラミング, 高大連携

Practical Programming Education at a High School

EIKO TAKAOKA^{1,a)} TAKAHIRO YAMAUCHI¹ TAKAFUMI NAMEKAWA^{2,†1}

Received: April 18, 2015, Revised: September 30, 2015/March 14, 2016,
Accepted: July 9, 2016

Abstract: We have designed, developed, and evaluated computer programming education at high schools since 2012 to offer students who are interested an opportunity to experience practical programming during the summer vacation. In order to generate motivation for learning in students, we set “to create practical applications” as the goal of this course. Encouraging them to try to make programs in a group and getting them interested in web programming enhanced the students’ motivation for learning. Improving the learning materials and increasing learning time effected improving students’ comprehension. The development that students who progress rapidly taught those whose progressing is slower also effected their comprehension. Through our three year practice, learning style and providing the appropriate goal as well as improving course materials influence to acquire the practical programming skills for students. We provided the course which students who have motivated could acquire the practical programming skills for the short period.

Keywords: programming education, PHP programming, coordination between high schools and universities

1. 研究の背景と目的

プログラミング教育の手段として, C や Java などの一般的なプログラム言語のほかに, 視覚的・感覚的にプログラミングを学ぶことができるビジュアルプログラム言語が提案されている. ビジュアルプログラミングはプログラム

¹ 上智大学
Sophia University, Chiyoda, Tokyo 102-8554, Japan
² 千葉県立柏の葉高等学校
Chiba Prefectural Kashiwanoha Senior High School,
Kashiwa, Chiba 277-0882, Japan
^{†1} 現在, 千葉県総合教育センター
^{a)} m-g-eiko@sophia.ac.jp

言語へのハードルが低いという利点があり、採用している講義も多い。しかし、ビジュアルやブロック形式のプログラム言語から、テキストベースのプログラム言語の学習へ移行する際のギャップが大きいという問題点がある [1]。またそのほか、プログラミング教育においては以下のような問題も存在する。

1. 問題解決のためのプログラムを書く能力を身につけるのが難しい [2], [3], [4], [5].
2. プログラミング教育の目的が、生徒にとって本当の意味でのプログラミングスキルを身につけるのではなく、文法的に正しいプログラムを書く方法を身につけることにとどまっている [5], [6].
3. 中・高校生にとってはプログラム作成の対象がゲームであることが多い [7].

中高生を教える現場の教員が、日頃生徒を見ていると、プログラミングから連想される事柄としてゲームという答えはすぐに出てくるが、それ以外への応用となると、なかなか答えが出てこない。自分たちの周りに存在するいろいろなシステムなどがプログラムで作られているということに、すぐに結びつかず、気づかないことが多い。ゲームのほかにコンピュータで何ができるのかについて、もっと広く考えさせたい。

我々はこのような問題に対応するために、高校生が実用的なプログラムを書けるようになることを目的として、高校におけるプログラミング教育を設計し、開発し、評価するという試みを 2012~2014 年度に行った。我々は「誰がどのような目的で使うのかということのを考慮に入れて自らプログラムを設計、実装できる」ことを、「実用的プログラムを作る」と定義する。

2. 取組内容とプログラミング環境

2.1 千葉県立柏の葉高等学校

千葉県立柏の葉高等学校は 2007 年に千葉県立柏北高等学校と千葉県立柏西高等学校が統合してできた高校である。普通科と情報理数科があり、普通科は幅広い教養を身につけることを目標にしている。情報理数科は大学進学に必要な普通教科の学びを確保しつつ、情報を活用する力、分析する力、課題を解決する力を身につけることを目標に、理工系・情報系大学への進学に対応したカリキュラムで授業を行っている。情報理数科では、生徒の視野を広げ専門性を高めるために大学との連携（高大連携）を積極的に実施している。

2.2 取組内容とねらい

柏の葉高等学校の情報理数科には、理工系・情報系に興味関心のある生徒が集まっている。高等学校の教諭によれば、日頃生徒を見ていると、特に 1 年生のときはプログラム作成に興味を持っていてもその対象がゲームであること

が多く、もっと興味の範囲を広げさせ、ゲーム以外のプログラミングに興味を持たせることの必要性を感じているという [8]。我々は 2012 年度から高校生を対象にプログラミング講座を実施し、2012 年度は、『生徒が実際にやりたいことの実現のためにプログラム言語を学ぶ』というコンセプトのもと講義を行った [7], [8]。2013 年度ではアニメーションコンテンツを作成し、それらのコンテンツを用いて実用的な Web アプリケーションを作成することを目標とした講義を行った [8]。特にプログラム作品の設計に時間をとることを意識させた。そのために、“Live E!プロジェクト” [9] の提供する気象センサのデータを処理・活用するプログラムの作成を目標とした講座を実施した。役に立つ実用的なプログラムの作成を経験させることや、完成したプログラムを実際に使って計測させることで学んだことへの達成感を得られるように配慮した。

このような背景をふまえ、我々は 2014 年度も生徒が「実用的なプログラムをつくるプログラミングスキルを身につける」ということを目標として、高校生に対しプログラミング教育を行った。

2.3 Live E! プロジェクト

Live E!プロジェクトでは、IP ネットワークを介して数秒間隔で気象情報を収集することができる気象データ収集装置として、「デジタル百葉箱」を各地に設置し、独自の気象観測を行っている。デジタル百葉箱から得られたデータの収集・解析を行うことによって、各地の気象、環境の変化や異常気象などを把握し、その情報を電子的に共有する。その共有網を発展させていくことで、地球上のリアルタイムの気象情報を把握し、起こりうる環境の変化に対応して人類が安全に過ごせるようにしていくことを目指す組織である。地球温暖化対応のような環境保護対策での利用はもちろんのこと、教育、公共サービス、ビジネスアプリケーションなどの分野での自由で自律的な利用法について模索している。

本研究では、Live E!プロジェクトが行っているサイエンスコンテストのプログラミング部門への応募も視野に入れて講座を実施した。

サイエンスコンテストは、Live E!プロジェクトに参加している株式会社ユビテック協賛*1による Live E!のセンサデータの有効活用を目的としたコンテストである。コンテストは高校生、大学生、若手研究者を対象としており、2012 年から実施している。コンテストは、以下の 3 つの部門からなっている。

- センサ部門：Live E!プロトコル (IEEE1888 [10] として標準化されているもの) に対応したインタフェースを持ち、インターネットを通じてデータをアップロー

*1 2015 年からは株式会社ユビテック・株式会社創夢両社協賛、それに加えて 2016 年からは情報処理学会の後援もいただいている。

ドできるようなセンサを開発

- データ解析部門：Live E!で収集している環境情報，または独自で観測したデータを解析し，得られたものを発表
- プログラミング部門：Live E!で提供している API を用いたアプリケーションを開発

2.4 プログラミング環境

Live E! プロジェクトは，データ取得やアップロードのための API (Application Program Interfaces) を提供している．この API は Java, PHP, Ruby によってプログラミングを行うことができるものである．この3つの言語の中から我々は PHP を選択した．その理由は2点ある．1点目は，Web アプリケーション作成 (サーバーサイドプログラミング) を行ううえで，現在最も使いやすい言語の1つであることがあげられる．Ruby や Java, C++ などでもつくことも当然可能ではあるが，Java や C++ などではアプリケーション自体が大きくなる可能性があり，高校生が1人でサーバーサイドプログラミングを行うには少し負担が大きい場合がある．2点目は PHP が HTML 言語の中に組み込むことができ，HTML 言語をある程度知っている高校生*2には非常に取り組みやすいということである．

3. 先行研究

プログラミング教育に関する研究は国内外問わず数多く行われており，コンピュータ科学を学習するときの教育効果の有効性についても多くの報告がされている [11], [12], [13], [14], [15]．海外ではドラッグ&ドロップ型の Alice [11] や Scratch [12] というプログラム言語の報告が多く出ている．これらのプログラム言語は視覚的にブロックを組み合わせる形のプログラム言語であり，初心者にとっては難しい文法エラーなどがなく，プログラムの基礎を楽しく学べる．日本ではドリトル [16] などの日本語プログラム言語なども，プログラミング初心者のための言語として注目を浴びている．上智大学のオープンキャンパスや高校ビジターへのプログラミング講義などで多く使われており，高校生も楽しんで学習している実績がある．

文献 [17], [18] をはじめ，初心者向けのプログラム言語以外の C や Java プログラミング教育の例は多く存在し，ビジュアル言語とテキスト型言語 (Java) の相互変換ができるプログラミング教育環境の研究 [19] などでも存在している

*2 本実践の対象となっている生徒については，1年生は HTML についてまだ知識が少ないが，2, 3年生は HTML について多少の知識を持っていた．一般的な高校生の場合でも，教科「情報」を学習する中で，HTML 言語を学ぶ機会もあると考えられる．そのような生徒たちには，PHP は画面設計が HTML ができる，Web ブラウザ上で動作し，誰でも利用しやすい，外部から取得したデータを利用しやすい (Live E!のデータ)，などのメリットがあり，学習の障壁となる部分を引き下げ，短期間で実用的なプログラムを作成するのに適していると考えられる．

が，PHP を用いたプログラミング教育例は少ない．本研究ではプログラム言語として PHP を取り入れているところがこれらの研究と異なる点である．

本研究同様，プログラム言語として PHP を取り入れた高大連携の事例として文献 [20] がある．この文献で紹介されている取り組みは，商業高校との高大連携に PBL を取り入れて，要求分析から始まる過程を経て約1年かけて1つのプログラムをプロジェクト体制でつくるという大掛かりなものである．本研究は，短期間にグループあるいは個人単位で実用的なプログラムを作るという視点からの取り組みであることがこの文献との相違になる．

実用的なプログラムを作るという例はいくつか提案されている．たとえば文献 [21] では，大学と，地方自治体の連携における実システム開発を通じた PBL (Project Based Learning) アプローチを提案している．また文献 [22], [23] では 2004 年から 2006 年にかけて産学協同実践的 IT 教育の取り組みを紹介している．30 以上のプロジェクトが紹介されているが，高校における実践例は少なく1割未満である．ほかにも，初等中等教育におけるこのような試みの例としては，100 校プロジェクトや E-Square Project といったものがあげられる [24], [25], [26], [27], [28], [29], [30]．しかしこれらの試みではインターネットを使って調査し，Web サイトを構築するなどの範囲にとどまっている．本研究は調査や Web サイト構築にとどまらず，プログラム言語として PHP を用いてプログラミングを行っているところがこれらの文献と異なる点である．

文献 [31] に掲載されている「学校教育—プログラミング教育実践ガイド」にも，いくつかの高校でのプログラミング教育の取り組みが紹介されている．この中の「C 言語と電子工作・センシングの基礎学習」[32] では，理数科の2年生を対象に正式な授業としてのプログラミング教育例が紹介されている．温度センサを作るところから始め，センサからの出力値を読み取ってモニタに表示するプログラムを作成するというものである．本研究に最も近い取り組みであり，扱う内容については類似している部分があるが，この文献では「生徒が自ら考えて作る」のではなく，「提示されたプログラムの説明を受け，その説明を頭の中で反すうしながらプログラムを入力し，実行に移す」という流れをとっている．本研究では，「自らプログラムを設計，実装する」ことを重視している点がこの文献とは異なる．

4. 2013 年度までの柏の葉高等学校での実践

4.1 SPP (Science Partnership Program)

SPP は独立行政法人科学技術振興機構 (JST) が実施している，科学技術・理科・数学に関する観察・実験・実習などの体験的・問題解決的な学習活動を支援する事業である．応募・採択された優れた企画に対して JST が 20 万～50 万円の経費を支援している．受講対象者は小学校，中学

表 1 使用したコンテンツリスト
Table 1 Learning materials.

学習單元	内容
Web ページの仕組み	Web ページの仕組みを説明したアニメーションコンテンツ
静的と動的って何?	静的なページと動的なページの違いについて説明したアニメーションコンテンツ
PHP の手引き	PHP 言語の基本を記載した PDF
PHP 教材・演習問題について	生徒向けの演習問題の注意書き
PHP 教材・演習問題	文章記述 定数と変数 算術演算子 配列 条件分岐 繰り返し処理 関数 (定数と変数, 条件分岐, 繰り返し処理にはアニメーションあり)
アンケートフォームの作り方	PHP 言語を用いたアンケートフォームのソース解説 実際のアンケートフォームサンプル
IEEE1888 [10] を利用して Live E! 気象センサの値を取得するプログラム例	IEEE1888 の基本的な知識 サンプルプログラムのソース解説

校, 高等学校, 中等教育学校, 特別支援学校, 高等専門学校 (第 1~第 3 学年) の児童生徒で, 応募できる機関は上記学校, 大学, 科学館などである. 本研究の実践は 2011 年度から JST の SPP 事業に採択され, その支援を受けた千葉県立柏の葉高等学校で『気象センサと Web プログラミング講座』の一部として行われたものである.

4.2 学習コンテンツ

2012 年度から作成を始めた PHP 学習コンテンツを表 1 に示す. 2012 年度に用意したコンテンツは, このうちの左側の列の 3~5 行目に記載している「PHP の手引き」から「PHP 教材・演習問題」のみであった. このコンテンツを PDF の形で高校の Web サイトにアップロードし, 著者の 1 人である高校の教員が第 1 回の講義の前までに事前学習を行うように生徒に指導した. 2012 年は高校の Web サイトを利用していただけ, 提供できるコンテンツの種類を増やせること, 修正などが容易に行えることなどから 2013 年度からは表 1 のコンテンツをすべて整備し, 著者である大学教員の Web サイト上に公開した [8]. 高校教員側で, あらかじめ XAMPP の設定や Web プログラミングについての基礎知識を, コンテンツ「Web ページの仕組み」から「PHP の手引き」を使って説明を行い, 演習問題を事前学習とし

表 2 2012 年度の出席者数の学年ごとの内訳人数
Table 2 The number of attendees for each grade in 2012.

	合計	1 年生	2 年生	3 年生
7/27	19	13	4	2
8/8	12	6	5	1
8/28	12	7	3	2
8/29	11	8	2	1

表 3 2012 年度の講義日程と内容
Table 3 2012 course schedule.

日程	内容
7/27	文章記述から配列まで
8/8	条件分岐, 繰り返し処理, 関数, 気象データの取得
8/28	1 年生: PHP 基礎演習 2~3 年生: コンテスト応募作品制作
8/29	1 年生: 簡単なフォーム作成と数当てゲーム作りと図形描画 2~3 年生: コンテスト応募作品制作

て各自で Web サイトにアクセスしてもらう形をとった.

4.3 2012 年度と 2013 年度の取り組み

2012 年度は 4 日間を利用して高校 1~3 年生の希望者を対象に PHP プログラミングの講座を実施した [8]. SPP の企画名は『気象センサのデータ解析と Web プログラミング—環境情報の可視化—』であった. 4 日しか講義がないため, 高校の Web サイト (NetCommons) に事前課題をアップロードしたが, 期末試験などもあって取り組み率は低かった. 出席人数, 日程, 内容を表 2, 表 3 に示す. 2012 年度から, 教える側としては「実用的プログラミング」を目指して実践を行っていた. しかし, PHP プログラミングに関してはこの年度が初めての実施であり, 県立高校のネットワーク制限を回避するなど, ネットワーク環境のトラブルも続出した. そのため, 初心者である 1 年生にとっては, 最後の日に簡単なフォームの作成や数当てゲーム, 図形の描画などのプログラムを記述するのがやっとなで, プログラミングスキルを得るためには十分な時間とはいえなかった. しかし, 2 年生 2 名と 3 年生 3 名の作品は, サイエンスコンテストでそれぞれプログラミング努力賞およびプログラミング賞を受けた. 特に 3 年生の作った作品は, センサから取得した値をサイト上で地図やグラフで可視化し, さらに Twitter 上につぶやくという機能も備えていた. 第 2 回講義と第 3 回講義の間隔が開いていたことで, 2~3 年生にとってはコンテストに応募する作品を作る時間が与えられた形になったが, 一方で, 1 年生にとっては前回学習したことを忘れてしまい, プログラミングスキルの獲得を妨げてしまったと考えられる.

2013 年度は事前課題として研究室の Web サイト上に公

表 4 2013 年度の出席者数の学年ごとの内訳人数 () 内は女子

Table 4 The number of attendees for each grade in 2013 (The number inside the parentheses shows the number of girl students).

	合計	1 年生	2 年生	3 年生
7/18	29 (2)	19	10	0
7/25	24 (2)	15	9	0
8/1	25 (2)	11	8	6
8/30	12	3	7	2

表 5 2013 年度の講義日程と内容

Table 5 2013 course schedule.

日程	内容	講義時間
7/18	文章記述から気象データの取得まで (事前学習の復習)	3
7/25	1 年生: PHP 基礎演習 2~3 年生: コンテスト応募作品制作	3
8/1	1 年生: アンケートフォーム作成 2~3 年生: コンテスト応募作品制作	3
8/30	1~3 年生の有志: プログラム作品発表会	2

開した表 1 のコンテンツにアクセスをしてもらう形をとった。SPP の企画名は『環境センサの活用と Web プログラミング—センサネットワークを活用した環境情報の可視化—』であった。出席人数、日程、内容を表 4、表 5 に示す。

高校教員側で、あらかじめ XAMPP の設定や Web プログラミングについての基礎知識を、コンテンツ「Web ページの仕組み」から「PHP の手引き」を使って説明を行い、演習問題を事前に学習をするように指導していた。しかし、事前学習については、前年度に経験のある 2 年生は手がつけられたようだったが、1 年生にとっては難しかったようである。2013 年度は、2012 年度の反省を踏まえ、実用的プログラムを作ることを前年度より生徒に意識させるために、作品を作って最終日に発表するという目標を生徒に持たせることにした。そのために「誰がどのような目的で使うのか」ということを作品作りの設計段階から生徒に意識させるようにした。具体的なイメージが湧くように前年度までに先輩がつくった作品を見せたり、誰がどのような目的で使うのかを具体的にイメージさせるように書かせたりするなどの工夫を行った。第 3 回と第 4 回の日数が大幅に開いていたので、この間に作品を作成できた生徒が最後の第 4 回の発表会で作品を発表した。最後の日の出席人数が減ってしまったのは、作品を作れなかった生徒は発表を行わなくてもよいと勘違いしたため出席しなかったからである。この年は第 3 回目の講義で 2、3 年生は作品を作り始めることができたが、1 年生にはそこまでのプログラミングスキルがつかないようであった。

3 年生は 2012 年度の 2 年生のときに参加しており初期知識があったため第 3 回から出席し作品を作っていた。2013

年度のサイエンスコンテストには 2 年生が「気象リアリンク」という作品を、また 3 年生が「Android 端末を利用した気象データの可視化アプリケーション」という作品を応募し、気象リアリンクはプログラミング賞を受賞した。気象リアリンクは、マップで指定した場所の気象情報を数値、文字、色で表現するほか、気象情報を背景画像に反映し、窓から外を見ているような感覚で表示するプログラムで、非常にユニークな作品であった。サイエンスコンテストに応募した作品の質は非常に高く、実用的プログラミングスキルは十分ついたといえる。またコンテストに応募しなかった生徒も、それぞれ作品を自ら設計し、実装することができたので、実用的プログラミングスキルを習得できたと思われる。しかし、そこまでのスキルが十分つかず、作品を作れなかった生徒が半数ほどいたことは次年度への課題となった。また、最初は女子生徒が 2 名いたが、作品作りまでには至らなかった。これらの原因の 1 つとして、第 3 回と第 4 回の日数が大幅に開いていたことが考えられる。作品作りの時間を確保することにはプラスの効果があったかもしれないが、前回学習したことを忘れてしまう生徒も多く、モチベーションが下がってしまった可能性がある。

5. 2014 年度の講義実践

5.1 講義実践

5.1.1 講義構成

2014 年度は 6 月中旬~8 月上旬のうち 5 日間を利用して、高校 1~3 年生の希望者を対象に PHP プログラミングの講座を実施した。SPP の企画名は『Web プログラミングの技術を学び、人の役に立つソフトウェアを作成する—環境センサのネットワークとデータを活用した情報の可視化—』である。2012 年度、2013 年度の反省を踏まえ、2014 年度は実用的プログラミング教育の実践のために以下の工夫を行った。

(1) 学習形態や目標の持たせ方の工夫

筆者らは、「実用的プログラムを作る = 誰がどのような目的で使うのかということ考慮に入れて自らプログラムを設計、実装できる」と定義したが、そこに行き着くまでに、「理解できないことを防ぐ」「グループで取り組むことを推奨する」「学習意欲を維持する」ことに着目した。前年度までの反省をふまえて「理解できないことを防ぐ」ために講義の回数を増やし自ら取り組む時間も増やした。また、「学習意欲を維持する」ために、講座の最後に発表会を設定し、サイエンスコンテストでの先輩の作品例や作品が評価された事例を紹介した。

(2) 講義日程の変更

さらに、講義の間隔を狭めることも行った。大学側の講師の講義スケジュールと高校側の行事のスケ

ジュールを合わせる都合上、2012、2013年は高校が7月の期末試験を終えた後から講座を開始せざるをえなかった。加えて2014年度はサイエンスコンテストの締め切りが過去2年間より早まったため、講座自体も早く始める必要があった。2014年度は6月に2回講義を行うことができたため講義回数も増やすことができ、講義間隔も大きく開かなかった。

(3) グループによる実用的プログラミング学習の工夫

「グループで取り組むことを推奨する」ことに着目した理由として、文献 [33], [34], [35] を始め、グループ学習が学習者の能力育成に効果的であるとの先行研究が存在することに加え、これまでの指導の経験から、以下のような傾向が見られたからである。

- 1年生が多いことから、基本的知識や技術が不足していること
- 1人だと、アイデアや技術的な壁にぶつかって、あきらめてしまう生徒が多いこと
- 複数人のディスカッションからアイデアが生まれること

これらのことを踏まえ、今の社会では、チームで協力して課題を解決する力が必要なことを説明し、グループで作品づくりを行うことを推奨した。

「誰がどのような目的で使うのかということも考慮に入れて」の部分達成するために、「他人が使うことを前提に考えさせる」ことを行った。これは、高校教員の今までの指導経験から、生徒たちは、自分が使いたいもの・ほしいもの、プレイしたいゲームなどをつくってみたいという意識が強いという傾向が見られたことから考えたことである。2014年度の講座では、この「自分が使う」という視点から「他人が使う」という視点に切り替えさせることとした。自分がつくったプログラムを他人に使ってほしいという気持ちや、自分がつくったプログラムでも他人に使ってもらえそう、という気持ちを持たせることが必要と考え、そのために、以下の指導を行った。

- 実用的なプログラムの例や先輩の作品などを示すことにより、実用的で他の人が使って便利になりそうな、役に立つプログラムが自分でも作れるという感覚を持たせる。
- 何をどのくらい学べばよいのか、どのくらいコードを書けば動きそうか、といった目処が立つように事例やプログラム例を示して指導する。
- 他者が使う、人に使ってもらい、喜んでもらう、役に立ってもらい、プログラムをみんなでつくってみようという方向性を示す。

指導のポイントとして、今までなかった視点に気づかせること、プログラムの中の仕組みを見せること、そして、手が届きそう、作れそうという感覚を持たせ

表 6 2014 年度の出席者数の学年ごとの内訳人数 (() 内は女子)
Table 6 The number of attendees for each grade in 2014 (The number inside the parentheses shows the number of girl students).

	合計	1 年生	2 年生	3 年生
6/13	26 (5)	22	4	0
6/20	21 (3)	17	4	0
7/10	12 (4)	12	0	0
7/24	13 (3)	12	1	0
8/1	19 (4)	16	3	0

表 7 2014 年度の講義日程、内容、講義時間
Table 7 2014 course schedule.

日程	内容	講義時間
6/13	PHP の基礎知識取得	2.5
6/20	PHP の基礎知識取得	2
7/10	PHP の基礎知識取得・IEEE1888 について	3.5
7/24	プログラム作成・小テスト	2.5
8/1	プログラム発表会	2

ることで作ってみたいという方向へ向けさせることを重要視した。

(4) 演習問題の内容の改善

2013 年度に理解度が低かった『演算子』『繰り返し処理』の演習問題では、最大公約数の計算というテーマを扱っていた。難しいテーマを扱うという学習課題自体の複雑性による「本質的な認知的負荷」や、不適切な教材を利用することなどによる「非本質的な認知的負荷」[36] が生じていた可能性があると考え、演習問題で扱うテーマを、平均を計算する演習問題などの簡単なものに変更した。『文章記述』や『定数』の單元では、説明に未定義の項目が前後して記述されていたものを修正した。

2014 年度の出席人数、日程、内容を表 6、表 7 に示す。20 名前後の参加者のうち、女子生徒が 4、5 名いたこと、また、3 年生は 0 名、2 年生が 3、4 名、その他は 1 年生であったことが 2014 年度の特徴である。なお、本研究を行うにあたっては、上智大学「人を対象とする研究」に関する倫理委員会の承認を得ている (受付番号 2014-33)。

講義の日数不足を補うため、事前学習として高校側の教員が講義とは別の対面授業を設けて、生徒に PHP を動かす環境 (XAMPP) の使用方法などの基本的内容を説明した。大学側の教員が表 1 に示した内容の Web サイトを 6 月 9 日に公開し、高校側の教員が第 1 回の講義である 13 日までの間に 2 回そのサイトを生徒に閲覧させながら事前課題に取り組み、生徒の進捗を確認した。

5.1.2 第 1 回～第 4 回の講義

第 1 回 (6/13) の講義は、事前課題を少なくとも『定数と変数』までは学習していることを前提として行った。ア

アンケートの結果 (5.2.1 項に詳細を記述) から分かったことであるが, 62%の生徒が事前課題に取り組んでおり, 充実した講義が行えた。2014年度は, 例年とは違って, 参加者の8割以上が1年生で, なおかつ女子生徒も2割いた。プログラミング知識が乏しい生徒が7割いたが, その生徒たちの9割近くがプログラミングに興味があってこの講座に参加しており, 講義中, 手を休めたり退屈そうにしたりする生徒はまったくいなかったことなどから, 学習に取り組む意欲はとても積極的に感じられた。講義は『Webページの仕組み』~『算術演算子』の項目まで進んだ。講義時間は, アンケート記入(後述)も含め約2時間半であった。

第2回(6/20)の講義は, 初回同様全体的に学習意欲が高く, 講義の始まる前に予習状況を確認したところ, 約8割の生徒が予習を行ってきていた。またお互いに生徒間で教え合うなど, 良い雰囲気を感じることができた。一方で, タイピング速度や予習に個人差があるため, 講義中に進捗確認を何度か行ったところ, 3分の1の生徒の進捗が少し遅れていて, 個人差が生まれていた。進捗の遅い生徒にはTAや教員が積極的にアプローチし, 進捗の速い生徒が遅い生徒に教える姿も見られた。講義は『配列』~『繰り返し処理』の項目まで進み, 『関数』を宿題とした。前回同様, 進んだ單元までのコンテンツの理解度に関するアンケートを実施した。講義時間は, アンケート記入も含め約2時間半であった。

第3回(7/10)の講義は, 期末試験の翌日で, 他の学内活動や海外研修といった行事と日程が重なったため, 参加人数が少なかった。進捗は個人差が目立つようになってきたので, 速い生徒は『IEEE1888』まで学習し, 遅い生徒は『アンケート作成』まで進むことを目標とした。前回同様進んだ單元までのコンテンツの理解度に関するアンケートを実施した。講義時間は, アンケート記入も含め約3時間半であった。

第4回(7/24)の講義も, 学校行事の関係で出席人数がとて少なかったが, それぞれグループを作り, コンテストを目標にプログラム作品制作に取り組んだ。TAや教員が直接生徒に, 「誰が使うのか」, 「何のために使うのか」を聞きながら助言を行い, 誰がどのような目的で使うのかということを考慮に入れて設計・実装を行うように指導した。その結果, 仕様書には使用目的や利用者を想定して, 画面遷移図を中心に具体的にどうするかということを記載することができた。メンバーが全員そろわないグループもあったが, 全グループが仕様書を提出し, 講義中に開発を始めたグループもあった。講義の最後に, 最終日までにグループで作品を完成させるように指示した。小テストも行った。講義時間は, 仕様書および小テスト記入も含め約2時間半であった。

5.1.3 最終講義 (作品発表)

第5回(8/1)の講義は, 各グループで制作した作品の

発表会とした。欠席した生徒はいたものの, 19人の生徒が各グループで作品発表を行った。発表された作品は講義の参加者で相互評価を行い, 教員の評価と合わせて, 最も良い評価を得た生徒を表彰した。発表では作品のデモンストレーションも行い, 誰がどのような目的で使うのかということを説明できていた。

5.1.4 評価方法

第1回の講義の後, プログラミング経験について, 以下の質問を行った。

- Q1. プログラミング経験はありますか?
- Q2. 経験のあるプログラミング言語*3は何ですか?
- Q3. 講義前, プログラミングの苦手意識はありましたか?
- Q4. 講義後, プログラミングに苦手意識がありますか?
- Q5. 講義を経て, PHPに対する印象はどのように, 変化しましたか?
- Q6. なぜ今回の講座を受講しようと思ったのですか?
- Q7. 事前にWebサイトのコンテンツを見て勉強しましたか?

Q1, 3, 4に関しては「かなりある」「少しある」「あまりない」「まったくない」の4肢選択で行った。Q2, 5, 6は自由記述, Q7は「見た」「見ていない」の2択である。

また, 進んだ單元までのコンテンツの理解度に関するアンケートを第1回~第3回まで実施した。表1の内容に示されている学習単元のうちWebページの仕組み, 静的と動的って何?, PHP教材・演習問題の「内容」の各單元, アンケートフォーム, IEEEの基本知識, サンプルプログラムの計15コンテンツの理解度に関して設問した。アンケートは5)よく理解できた, 4)やや理解できた, 3)どちらともいえない, 2)あまり理解できなかった, 1)まったく理解できなかった, の5段階評価で行った。理解できなかった箇所については具体的にどこが理解できなかったのか單元ごとに自由記述の調査も行った。

講義の理解度を図るために第4回終了時に小テストを実施した。内容はPHPでの文章記述の仕方, 定数・変数, 演算子, 配列, 条件分岐, 繰り返し処理である。

また, 各講義の後, その日に起きたトラブルやエラー(コンパイルエラーやネットワークのエラーなど)と感想を, 自由形式で教員にメールで送るように指示した。

5.2 実践結果と考察

5.2.1 プログラミング経験に関するアンケート

(1) プログラミング経験に関するアンケートの結果

表8に各質問への学年ごとの回答数と総数を示す(3年生は0人であるので記載しない)。表9にQ1~

*3 本稿では「プログラム言語」で統一しているが, 生徒に対してのアンケートには「プログラミング言語」と記載してあるためここではそのままの表記を使用する。

表 8 アンケートの各質問への学年ごとの回答者数と総数

Table 8 The number of answerers to each question for each grade and total number.

質問	1年	2年	計
Q1, 3, 4	22	4	26
Q2	8	4	12
Q5	19	4	23
Q6	20	4	24
Q7	22	4	26

表 9 Q1~Q4, Q7 の回答結果

Table 9 Questionnaire result: Q1 ~ Q4, Q7.

回答	1年	2年	
Q1	少しある	5	3
	あまりない	5	1
	まったくない	12	0
Q2	複数回答あり		
	Java	5	2
	Ruby	0	4
	Visual Basic	3	0
	HTML	3	0
	C	2	1
	Processing	1	1
	JavaScript, PHP, C#	0	1
Q3	objectiv-C	1	0
	かなりある	2	0
	少しある	10	0
	あまりない	9	4
Q4	まったくない	1	0
	かなりある	1	0
	少しある	8	0
	あまりない	11	4
Q7	まったくない	2	0
	見た	15	1
	見ていない	7	3

Q4, Q7 の結果, また以下に Q5, Q6 の結果を示す.

() 内は回答者数.

● Q5 の回答結果

< 1 年生 >

- ・難しいが, できたときはとてもうれしい (4).
- ・とても役に立つ (2).
- ・簡単・分かりやすい (4).
- ・自分にもできそう (2).
- ・もっと勉強していく必要がある (2).
- ・きちんとしたプログラムでびっくりした (2).
- ・関数の組合せで演算や表示ができるという魅力 (1).
- ・難しそう (3).

< 2 年生 >

- ・使いにくい (1).
- ・変化なし (1).

- ・初心者向けの分かりやすい言語 (1).
- ・思ったよりも簡単にできると感じた (1).

● Q6 の回答結果

< 1 年生 >

- ・プログラミングに興味があったから, プログラミングの勉強のため (16).
- ・PHP 言語の学習目的 (3).
- ・先輩の勧め (1).

< 2 年生 >

- ・経験として (2).
- ・去年の復習のため (1).
- ・友達付き添い (1).

(2) アンケート項目に関する考察

2 年生 4 名, 1 年生 22 名の受講者の中で, Q1 の回答では, プログラミング経験が少しあると答えた生徒が 8 名であった. 2 年生は少しある 3 名, あまりないが 1 名. まったくないと答えた 1 年生は 12 名であった. Q2 の回答で, 2 年生 4 人が授業などで学習する Java, C, Processing などあげているほか, 1 年生の中でも Java や C 言語や HTML の学習経験がある生徒も 4 割近く見受けられた. プログラミングに対する苦手意識に関しては, 第 1 回の講義前にはほぼ半数の生徒が苦手意識を持っていた (Q3). 2 年生は全員あまりないと答えており, その他はすべて 1 年生である. 1 年生はプログラミングにまだ慣れていないことや, 本講義以外での学習がない生徒が多いことから苦手意識があったもの考えられる. 第 1 回講義前 (Q3) に比べて第 1 回講義後 (Q4) の方が, 苦手意識を持った生徒が少なくなっている. 2 年生の回答は講義前後で変わらないが, 1 年生については, 苦手意識が「まったくない」が 1 名から 2 名に 1 名増え, 「あまりない」が 9 名から 11 名に 2 名増えた. これは第 1 回の講義を通じて, 自分でプログラムを書いて動かすことで達成感や喜びを感じてもらえたことが大きな理由だと考えられる. 1 年生の苦手意識が講義を通じて減ったことは成果の 1 つである. 一方で第 1 回の講義後も苦手意識があったのは 1 年生であった. 講座全体の最後にもう一度同じ質問をしなかったのは残念であった.

PHP に対する印象についての質問 (Q5) への回答においては, 回答者の 82% が 1 年生であり, プログラミング経験が乏しいということから, 難しく感じた生徒が 3 名いた. 一方で, 23 名中 19 名が「難しいが, できたときはとてもうれしい」「とても役に立つ」「簡単・分かりやすい」など, プログラムが動いたときの達成感や喜びを感じたという記述をしていた.

なぜ今回の講座を受講しようと思ったか (Q6) の回答からは, 生徒の学習意欲の高さが分かる. また, プログラミングに興味を持ったという回答の中の「少し

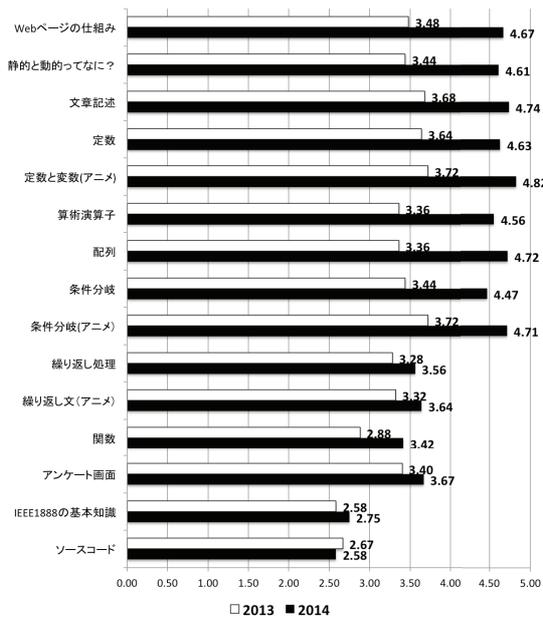


図 1 単元ごとの理解度

Fig. 1 Comprehension level for each lesson unit.

でもいろいろなことに触れて、視野を広げていこうと思った」や「経験として知っておきたい」という記述から将来のことを見据えてプログラミング知識を身につけようとしていると考えられる。また、1年目に理解できなかった内容を次年度に再学習する生徒がいたことから、毎年講座を実施する価値があるといえる。

5.2.2 コンテンツ各単元の理解度に関するアンケート

(1) 理解度アンケート結果

2014年度の取り組みでは、生徒に自信を持たせるために行ったうちの「理解できないことを防ぐ」ことができたかどうかを調べるために、5.1.4項で説明した評価方法を使って理解度の年度別比較を行った。なお、2013年度も同様のアンケートを行っている。コンテンツの単元ごとの理解度評価を図1、表10に示す。5)よく理解できた、4)やや理解できた、3)どちらともいえない、2)あまり理解できなかった、1)まったく理解できなかった、の5段階評価の平均値を理解度と表現している。

2013年度と単元ごとの理解度を比較すると、2014年度は、ソースコード以外のどの単元においても理解度が高いということが分かった。

これらの2群の母集団が正規分布に従っていなかったため、Wilcoxonの検定を行ったところ、2013年度と2014年度の比較について、「Webページの仕組み」から「条件分岐アニメーション」までの前半に行った単元と「関数」において有意差 ($p < .05$) が見られた。

(2) 理解度アンケート結果の考察

4.1.1項で記述したとおり2013年度に理解度が低

表 10 単元ごとの理解度

Table 10 Comprehension level for each lesson unit.

単元名	2013		2014	
	平均	SD	平均	SD
Web ページの仕組み	3.48	0.77	4.67	0.59
静的と動的ってなに?	3.44	0.77	4.61	0.70
文章記述	3.68	1.07	4.74	0.45
定数	3.64	1.04	4.63	0.60
定数と変数 (アニメ)	3.72	0.84	4.82	0.39
算術演算子	3.36	0.99	4.56	0.62
配列	3.36	0.91	4.72	0.75
条件分岐	3.44	0.92	4.47	0.87
条件分岐 (アニメ)	3.72	0.98	4.71	1.07
繰り返し処理	3.28	0.84	3.56	1.50
繰り返し処理 (アニメ)	3.32	0.90	3.64	1.60
関数	2.88	0.78	3.42	0.90
アンケート画面	3.40	0.91	3.67	1.30
IEEE1888 の基本知識	2.58	0.72	2.75	1.22
ソースコード	2.67	0.92	2.58	1.31

かった単元の演習問題の修正は一定の効果があったと思われる。しかし、修正を行わなかった「配列」や各アニメーションの単元でも理解度は上がっている一方で、コンテンツを修正した『繰り返し処理』の単元の理解度は上がっていないなどの結果から、コンテンツの修正を行ったことだけが“理解度向上”の結果に影響を与えているわけではないことが導かれる。理解度の向上によって生徒に自信が生まれたと考えられるが、その理由として以下の2点をあげる。

- (a) 1人ではあきらめてしまいそうな場面でも、早くできた生徒が遅い生徒に教える姿が見られたこと
- (b) Webプログラミングに興味を持てたこと

サイエンスコンテストでの先輩の作品例や、作品が評価された事例を紹介したり、講座の最後に発表会を設定したりすることで、短期的に具体的な目標を持つことができ、学習意欲を維持できたと考えられる。これは、最初、学習意欲を維持するという観点から行ったことであるが、結果的に理解度向上にもつながったと考える。

毎回の講義後に教員に送られてくるメールの内容で、第1回の頃は、「syntax error や打ち間違いが多く頑張らねば」という記載が多く見られたが、回数を追うごとに「今回は、とても深い部分までいけたので、おもしろかった」「課題を今日考えたことで前よりもやる気が上がった」「最初はあまり積極的でなかったLIVE-Eに参加したいと思った」「まったく知らない状態から、徐々に勉強することができてよかった。もっといろいろな講座を受けてみたい」「最初は難しいと思ったがしっかり予習や復習をしたら少しずつ理解できるようになってきた。このペースでがんばっていき

表 11 理解できなかった点
Table 11 Difficult points for each lesson unit.

単元 (括弧書きは理解できた点・理解できなかった点・双方の回答人数)	理解できなかった点 (括弧書きはその項目を記載した人数・括弧書きがないのは回答数が1人であることを示す.)
算術演算子 (17)	・ 連結代入 ・ 代入演算子 (2)
配列 (14)	・ 連想配列 ・ 全体的に理解できなかった
条件分岐 (17)	・ 入れ子構造 (2) ・ If, else, elseif の使い方, 順番 (7)
繰り返し処理 (15)	・ 演習問題 1 ・ ソースコードに対する実行結果になる理由 ・ 入れ子の部分 (2) ・ for 文と while 文の使い方 (3) ・ 仕組み
繰り返し処理アニメーション (13)	・ for 文と while 文の違い, 使い分け ・ 文の仕組み, 作り方 ・ 演習問題への応用の仕方
関数 (12)	・ 演習問題 ・ 引数と戻り値 ・ 文法 ・ 代入のやり方 ・ プログラムコードの意味

たい]「web のプログラムにあまり興味はなかったけど、講座を受けて自分でも実際に作ってみたい」「最初は、書けるようになればいいなとしか思っていなかったが、講座を受けてもっと深く知りたくなりやるからには一番を目指したい」という感想が書かれるようになった。

第 1 回の講義では未知の世界でエラーを起こすことにもビクビクしながらキーボードを打っていたという印象があるが、少しずつエラーを自分で取ることができるようになり、理解ができたことでキーボードの入力もおっかなびっくりではなく、自信を持ってできるようになった。また、予習をよくすることで理解が深まったという感想が 5 件ほどあった。予習復習をすることで理解が深まり自信を持ってプログラミングできるようになったと考えられる。

(3) 理解できなかった点に関する記述

理解できなかった点についての調査も行ったので以下に詳細を述べる。

単元ごとに理解できた点・理解できなかった点を自由記述で記載してもらったもののうち、理解できなかった点について表 11 に示す。単元『Web ページの仕組み』から『定数と変数アニメーション』までと『条件分岐アニメーション』に関しては、理解できなかった点としての自由記述はなかった。表には記載していないが『アンケート画面』『IEEE1888』『IEEE1888 のソースコード』に関しては、「全体的に理解できない」という記述があった。

(4) 理解できなかった点に関する記述の考察

『アンケート画面』『IEEE1888』『IEEE1888 のソースコード』に関しては、「全体的に理解できない」という記述があったが、複雑であり取り扱う内容そのものが難しく、初心者これらの単元を理解させることは目標においていないので、その他の単元について考察する。『算術演算子』『配列』に関しては、PHP に特有の連結代入や連想配列が難しいという記述がある。全体的に理解できなかった生徒もいた。『配列』前後から理解するのが難しくなってくるのが分かる。『条件分岐アニメーション』は理解できなかった点があったが、『繰り返し処理アニメーション』はまだ理解できないということは、それだけ繰り返し処理は理解が難しいと考える。

繰り返し処理については、文献 [37] が「for 文が難しい理由はすでに得ている知識の中に for 文の構造と類似なものがないこと、for 文構造の複雑さが深いことがあげられる」としている。その上で、for 文理解のためには添字追跡のための練習シートなどを用いて計算式の結果を調べてみることで理解が深まるという結論を出している。

しかし、すでに本コンテンツの『繰り返し処理アニメーション』では、添字が変化していくと中身も変化するという追跡を盛り込んでアニメーションを作っているにもかかわらず、まだ理解が難しいという結果になっている。これについて作成したアニメーションを検討したところ、添字の『過去の情報』が残っていない（つまり表形式にするなどしてすべての添字の情報を残していない）ことが原因と考えられた。今後、教材の中にこのような工夫を盛り込むことで理解度は高まると考えられる。

その他、入れ子構造が難しいという意見が『条件分岐』『繰り返し処理』で見られる。入れ子は複雑さを含む構造であるので丁寧な説明が必要である。その他、演習問題が難しいという意見が『繰り返し』『関数』に見受けられる。以下に演習問題を記す。

繰り返し処理

- 0~10 の乱数を発生、表示し続け、5 が表示されたら処理を停止させるプログラムを作成する。
- 配列を用いて、1~10 の数字で 6 までの偶数を表示させるプログラムを作成する。

関数

- 講義内で使ったサンプルプログラム（円の面積を求める関数）を作ってメイン関数で計算結果を

表 12 単元理解度平均と小テストの点数

Table 12 The average comprehension level and quiz score.

理解度平均	点数
4.47	8.5
4.20	11.5
3.47	12
2.87	9

表示させる)を円周を求める関数に変更する。

- 0~100の乱数を5つ発生させ、評価基準に従ってA~Dの成績をつけるプログラムを作成する。ただし、評価を行う部分は関数により定義する。

演習問題はごくごく普通に見えるが、単元以外の知識がそれぞれ入っていることが理解しにくい原因の1つと考えられる。繰り返し処理の演習問題では、for文以外に偶数の概念やif文を入れるなどの処理が必要であるし、関数の演習問題では、関数そのものを理解する前に配列や、if、else構文を使わなければならないことが理解しにくさを生じさせたと考えられる。短時間の学習を目標に教材を作ったため、1つの演習問題に学ばなければならないことが多く含まれてしまっている可能性がある。今後これらの点を改善するべきである。

5.2.3 小テスト

(1) 小テスト結果

講義の理解度を図るために第4回終了時に行った小テストは12人の生徒が受験した。内容はPHPでの文章記述の仕方、定数・変数、演算子、配列、条件分岐、繰り返し処理である。1問1点とし、17点満点で採点した結果、平均点は9.92点、最高点は12.5点*4、最低点は8点であった。

学校行事の関係で出席人数がとても少なかったため、有用な結果は得られなかったが、参考のために単元ごとの理解度と小テストの点数との比較について、および小テストに与える事前学習の影響について記述する。15単元すべての理解度アンケートに回答し、かつ小テストを受験した人数は4名であったためその4名に関する単元理解度平均と小テストの点数を表12に示す。また、受験者12名の点数と事前学習の有無を表13に示す。

(2) 小テストに関する考察

単元の理解度と小テストの点数の間に関連性は見られなかった。事前学習が小テストに影響があるかどうか、事前学習の有無別に平均点の有意差があるかどうかの比較を行ったところ、対象人数が少ないが、事前学習有については正規性も認められた。また両者とも

表 13 小テストの点数と事前学習の有無

Table 13 The quiz score and presence of prior learning.

点数	事前学習
12.5	有
12	有
11.5	有
11.5	有
10	無
9.5	有
9.5	有
9	無
9	無
8.5	有
8	有
8	無

表 14 2014年度の作品一覧と評価平均

Table 14 List of works students produced and peer-review evaluation average in 2014.

テーマ	人数	学年	評価平均
雨や風の音を再現	1	2	4.04
Live E Weather bot	2	1	3.91
お天気チャンネル	3	1	3.87
ソラテナを使ったデータ表示	5	1	3.33
服の乾きやすさを表示	3	1	3.36
千葉県各地の天気地図	5	1	3.53

等分散性も認められたため Student の t 検定を行ったが、有意差は認められなかった。

5.2.4 作品発表

(1) 発表した作品について

各グループが制作した作品を発表した。アイデア、チームワーク、デザイン、完成度、総合評価という5項目について発表者以外の生徒全員に加え教員2名とTA1名がそれぞれ5段階で評価し、その平均値を集計して点数を出した。作品、グループの人数、評価平均を表14に示す。また、比較のために2013年度の作品、グループの人数を表15に示す。

2013年度と比較すると2014年度は作品数が一見少ないように見えるのは、2014年度はグループで協力して制作するケースが多く見られたためである。2014年度は26人中19人の生徒が作品制作を行った。2013年度が29人中11人であったのに比べると、作品制作をした人数の割合が増えている。これは、2014年度は2013年度の反省をもとに、グループによる取り組みの推奨や日数間隔を空けない工夫などを行った結果である。また、これらにより、女子生徒のグループが1つできて作品づくりまで至ったのではないかと、2013年度も積極的に2名の女子生徒にチームでの作品作りを薦めていれば最後まで作品作りができたのではないかと考えている。一番評価の高かった生徒は2年生

*4 原則1問1点であるが回答内容によって0.5点を加減点した場合もあったため。

表 15 2013 年度の作品一覧

Table 15 List of works students produced in 2013.

テーマ	人数	学年
検索お寿司システム	1	1
気象について聞いてみよう	1	2
気象リアリンク	1	2
パスワード保管所	3	2
成績まとめプログラム (仮)	1	2
Live E ! 柏の葉高校センサからの情報取得プログラム	1	3
Android 端末を利用した気象データの可視化アプリケーション	1	3
Web 上のデータを可視化するソフトウェア開発	2	3

で、とても完成度の高いプログラムを作成した。他の生徒からの評価も非常に高い作品であった。この生徒は 2013 年度もこの講座に出席していたため他の生徒より PHP の基礎的な知識がついており、その結果完成度の高い作品を作ることができた。つまり、前年度の講座から継続して出席することによりプログラミングスキルの向上ができたということになる。「意欲の高い生徒へのプログラミング教育」の効果があったという例の 1 つとしてあげたい。その他の生徒も、1 年生ながらグループで役割分担をしながらプログラムを作成していた。サイエンスコンテストにおいて、一番評価の高かったテーマ『雨や風の音を再現』の 2 年生の生徒は最優秀賞 (ユビテック賞) を、テーマ『お天気チャンネル』の 1 年生の生徒は奨励賞を受賞した。

(2) 作品発表と理解度との関係について

今までのアンケートやテスト結果も踏まえて、作品発表した生徒と、発表していない生徒で講義への理解度が異なるのではないかと考えた。また、発表した生徒の中でも表彰された生徒は理解度が高いのではないかと考え、コンテンツの単元ごとに理解度にどのような違いがあるのか、上位チームと下位チームで比較した (表 16, 図 2 参照)。

表 16, 図 2 から、プログラム作品の評価の上位 3 チームの生徒は、講義において各単元の理解度が高いことが分かる。特に講義の後半の内容になるにつれて、下位 3 チームの生徒との理解度の差が開いていることが分かった。Wilcoxon の検定を行った結果、IEEE1888 の基本知識には有意差 ($p < .05$) が見られた。この中で下位 3 チームの理解度の値自体が 3.3 より低いものは、繰り返し処理、繰り返し処理 (アニメ)、関数、アンケート画面、IEEE1888 の基礎知識である。初心者にとって、IEEE1888 は内容的に明らかに難しいが、関数や繰り返し処理の理解は 5.2.2 項で述べたとおりやはり難しいと考えられ、作品をつくるにあ

表 16 上位 3 チームと下位 3 チームの単元理解度の比較

Table 16 Comparing average comprehension level of the top three and the bottom three teams.

単元名	上位 3 チーム		下位 3 チーム	
	平均	SD	平均	SD
Web ページの仕組み	4.60	0.55	4.69	0.63
静的と動的ってなに?	4.80	0.45	4.54	0.78
文章記述	5.00	0.00	4.64	0.50
定数	5.00	0.00	4.50	0.65
定数と変数 (アニメ)	5.00	0.00	4.75	0.45
算術演算子	4.60	0.89	4.54	0.52
配列	5.00	0.00	4.62	0.87
条件分岐	5.00	0.00	4.25	0.97
条件分岐 (アニメ)	5.00	0.00	4.56	1.33
繰り返し処理	4.67	0.52	2.90	1.52
繰り返し処理 (アニメ)	4.40	0.89	3.22	1.79
関数	4.00	0.71	3.00	0.82
アンケート画面	4.20	1.10	3.29	1.38
IEEE1888 の基本知識	3.60	0.89	2.14	1.07
ソースコード	3.40	1.14	2.00	1.15

たっても関数や繰り返し処理を適切に使うことができなかつたと考えられる。毎回の講義後に教員に送られてくるメールの中でも、関数、繰り返し処理、特に入れ子の繰り返し処理は理解するのが大変であったという感想があったことから、今後は後半部分の講義の充実が課題としてあげられる。

5.3 実用的プログラミングスキルの習得ができたか

我々は、2012 から 2014 年の 3 年間を通して「実用的プログラミング」を目指して実践を行ってきた。実用的プログラムを作る = 誰がどのような目的で使うのかということ を考慮に入れて自らプログラムを設計、実装できると定義した。しかし、2012 年度はネットワーク環境などのトラブルが続出したため、プログラムの設計などに十分な時間を取ることができなかった。2013 年度は、2012 年度の反省を踏まえ、実用的プログラムを作ることを前年度より生徒に意識させるために、作品を作って最終日に発表するという目標を生徒に持たせることにした。そのために「誰がどのような目的で使うのか」ということを作品作りの設計段階から生徒に意識させるようにした。具体的なイメージが湧くように前年度までに先輩がつくった作品を見せたり、誰がどのような目的で使うのかを具体的にイメージさせたりするように書かせるなどの工夫を行った。その結果、半数ほどの生徒が誰がどのような目的で使うのかを考えた設計を行いプログラミングするスキルを身につけたが、一方でそこまでのスキルが十分つかず、作品を作れなかった生徒が半数ほどいたことは次年度への課題となった。過去 2 年間の反省を踏まえ、2014 年度は「理解できないことを防ぐ」「グループで取り組むことを推奨する」「学習意欲を維

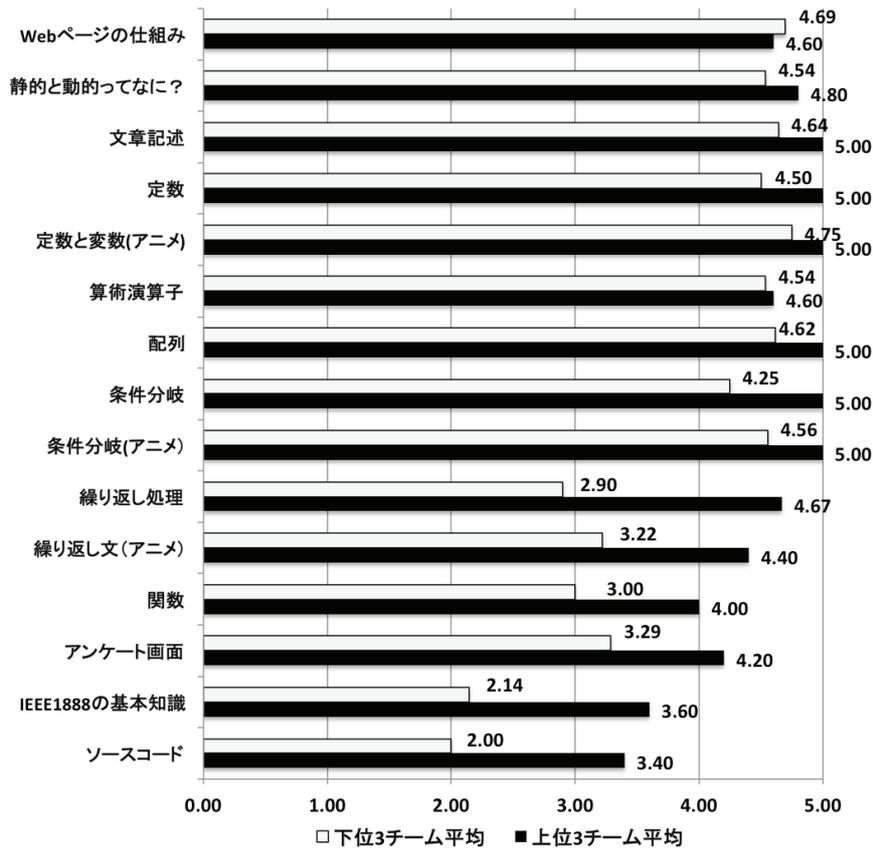


図 2 上位 3 チームと下位 3 チームの単元理解度の比較

Fig. 2 Comparing average comprehension level of the top three and the bottom three teams.

持する」ことを前年度より強く意識して実践を行った。加えて生徒に「誰がどのような目的で使うのかをはっきりさせる」ために、「他人が使う視点にたてる」ことを行った。

前年度までの反省をふまえて「理解できないことを防ぐ」ために、「コンテンツの修正」「講義回数の増加」「自ら取り組む時間の増加」を行った。また、「学習意欲を維持する」ために講座の最後に発表会を設定したり、サイエンスコンテストでの先輩の作品例や作品が評価された事例を紹介したりした。

「他人が使う視点に立たせる」ために、実用的なプログラムの例や先輩の作品などを示すことにより、実用的で他人が使っても便利になりそうな、役に立つプログラムが自分でも作れるという感覚を持たせた。また、何をどのくらい学べばよいのか、どのくらいコードを書けば動きそうか、といった目処が立つように事例やプログラム例を示して指導した。そして、他者が使う、人に使ってもらい、喜んでもらう、役に立ってもらい、プログラムをみんなで作ってみようという方向性を示した。

2014年度は第1回の出席者が26名、第2回は21名、第3、4回は学校行事の関係で12名、13名と下がり、結局19名が作品を作ったが、最後の日に発表者以外の生徒も2名

出席した。この2名は第1、2回は出席していたが、学校行事の関係で作品を作る時間が取れなかった2名である。このように出席者の7割が、表14に示すようにそれぞれ「誰がどのような目的で使うのかということ」を考慮に入れて自らプログラムを設計、実装できることを達成できた。つまり、実用的プログラムを作ることができたということが導かれる。その実現には今回行った教育実践のうち何がどのように影響したのかを議論する。

(1) 学習意欲の維持への影響

- プログラミング学習のパラダイムを変えたこと
 - 2012年度から「プログラミング言語の文法や機能をひとつと先に説明する、スキル重視型」とは学習のパラダイムを変更するという形で実践を行った。2012年度は、特に1年生にとっては難しく感じられたようで、実用的プログラミングスキルを身につけることができなかった生徒がいた。その反省で2013年度には、最後の日までに実用的なアプリケーションをつくるということを最初から意識させ、最終日に作った作品を発表する場を設けた。2014年度はさらに、このパラダイムで「グループでのプログラム作成」

に取り組むことを推奨するという形で発展させた。表 3, 表 5, 表 7 にある講義の日程以前に, 校内で担当の教員から, 講座の趣旨や概要についての説明や, Live E!プロジェクトや気象センサの概要などについて, 事前学習として 4 時間程度説明している。年を追うごとにその重要さが分かり, 次年度にはその部分にさらに力を入れてきた。その中で, プログラムを書くことでどんなものができるのかをイメージできるように先輩の作品を見せて説明した。また, 2, 3 年生については, それまでの学校の授業の中で, さまざまな実用プログラムの話をしたり, 先輩が Live E!プロジェクトのサイエンスコンテストの中で発表した作品やその成果などについても説明したりしている。自分がどのようなプログラムを作りたいか, というイメージを持った上で講座に参加することができていた。さらに基礎知識の講義の中でも, 実際に「気象データの取得」を行う際にどう応用させていくかなどをプログラムコードとして提示したり, 説明を行ったりすることでそれらの基礎知識を具体的なプログラムの中でどう使うのかということイメージさせた。

- 「プログラミングのスキルを学んでからプログラムを作成する」のではなく, 「作成したいプログラム (作成したいもの) が先にあり, そのためにプログラミングを学ぶ」という形を取ることに重きを置いた。
- プログラミングに必要な概念や構文の学習は最小限にして, 作りたいものを実現することを優先した。プログラミングに必要な概念や構文の学習を最小限にするとはいえ, 最低限のプログラミング知識は必要であり, 過去 2 年間の講座の経験から, 時間が足りないことが分かっていたため, 理解できないことを防ぐために講義時間を増やした。そしてその時間内に作りたいものを実現することを優先した内容にした。

- グループでプログラム作成に取り組ませたこと

プログラミング学習のパラダイムを変え「作成したいプログラム (作成したいもの) が先にあり, そのためにプログラミングを学ぶ」という形を遂行するために, グループでの取り組みを推奨した。これにより, 1 人ではあきらめてしまいそうな場面でも, 相談して取り組むことができた。そして, その結果「話し合い活動」が行われ, さらにグループで取り組むことで責任感も生まれ, 継続して取り組むことができた。

毎回の講義後に教員に送られてくるメールの中で,

「中学校のときに一度プログラムを書きたいと思って挑戦したが, 講座を受けてからは分からないところでは友達同士で教えあったりすることができるようになったので, もっとプログラムを学んでみたいという意欲が湧いてくるようになった」「チームで協力することの楽しさなどを改めて実感した」「グループで協力しながら, 作業が進められたので良かった」という感想があったことから裏付けられる。

- サイエンスコンテストでの先輩の作品例や, 作品が評価された事例を示したことで, また, 講座の最後に発表会を設定していることで, 短期的に「Web プログラミングを行う」という具体的な目標を持たせたこと。
- 自らプログラムを作ってみたいという意欲のある生徒を対象にした取り組みであったこと。

今回の取り組みは高校において全員が必修あるいは選択必修するというような授業ではないこと, アンケート Q6「なぜ今回の企画を受講しようと思ったか」という問いの結果からも, 意欲のある生徒が多く集まったこと。

以上が, 学習意欲の維持に影響していると考えられる。

(2) 理解度の向上への影響

2013 年度に理解度が低かった単元の演習問題の修正は一定の効果があったと思われる。しかし, 修正を行わなかった単元でも理解度は上がっていること。一方で, コンテンツを修正した単元でも理解度が上がっていないところがあることなどの結果から, コンテンツの修正を行ったことだけが「理解度向上」の結果に影響を与えているわけではなく, 講義回数増加による学習時間の増加も効果があったと考える。さらに, 早くできた生徒が遅い生徒に教えることで相互に理解度が高まったと考える。(1) 学習意欲の維持への影響に示すような, 学習意欲の維持ができたことも理解度向上へ影響を与えていると考える。これも, プログラミング学習のパラダイムを変えたことが大きく影響していると考えられる。

(3) 「誰がどのような目的で使うのかをはっきりさせる」ことへの影響

自分が作りたいものを作るという視点を, 他人が使うという視点に切り替えることで「誰がどのような目的で使うのか」ということがはっきりする。これにより, 以下の影響があったと考えられる。

- プログラムの仕様を決めやすい (特に講座という限られた時間の中で制作するために, 早く仕様を決められるということは重要と考える)。
- 視点がはっきりするために, チームでの議論もしやすい。
- 結果として限られた時間の中で作品を制作しやすい。

毎回の講義後に教員に送られてくるメールの中で「ものごとの見方が今までとは変わった」「今まではプログラミングに興味はなかったが講座をうけて自分も作ってみたいと思うようになった」「人に何かを伝える方法を考えることができるようになった」「具体的な課題を考えたことで前よりもやる気が上がった」「何かをつくるためのテーマを考え、そのテーマを考えることにいろいろな知識を使い、自分の中の視野を広げることができた」という感想が出ていたことから裏付けられる。グループでプログラム作成に取り組んだことの効果に記載したとおり、グループでの作業がこのことに強い影響を与えていると考えられる。

6. 結論と展望

本研究では、高等学校における実用的プログラミングの教育を実践した。講座の目的を「実用的プログラムを作る」ことに置き、講座の最後に生徒がプログラムを作ることで、実用的プログラミングスキルを身につけたかどうか確かめることを行った。グループでプログラム作成に取り組んだこと、Webプログラミングに興味を持てたことで学習意欲を維持できたと考えられる。コンテンツの修正・講義回数増加による学習時間の増加、早くできた生徒が遅い生徒に教えること、また学習意欲の維持ができたことが理解度向上へ影響を与えたと考える。

情報理数科には、女子生徒は数名しかいないが、その中でも、2014年度は過去2年に比べて女子生徒が多く参加した。2012年度は0名、2013年度は2名が参加したが、作品をつくるまでには至らなかった。人数が少ないと、たとえ最初2名であっても、どちらかが欠席した場合、同性の友達がいなくて出席の意欲が低下してしまうことも懸念される。2014年度のように4、5名で参加すると常に同性の友達と一緒に学べることで意欲が高まり、作品作りにも力が入ったことが見受けられた。

3年間の実践結果を通じて、実用的プログラミングスキルの習得には、教材（コンテンツ）の工夫・改善ももちろん効果があるが、学習形態や目標の持たせ方が大きく影響することが導かれた。すなわち、2014年度の取り組みで着目した、個人ではなく「グループで取り組ませる」ことや、「学習意欲を維持する」ために短期的に具体的な目標を設定したことである。これは、本研究の中でプログラミング学習のパラダイムを、「プログラミングのスキルを学んでからプログラムを作成する」のではなく、「作成したいプログラム（作成したいもの）が先にあり、そのためにプログラミングを学ぶ」という形を取ることに重きを置いたことから得られた成果であると考えられる。つまり、プログラミング学習においても、一般的な教科学習でよくある個人個人が知識を受動的に教わるような従来型の学習形態ではなく、「アクティブ・ラーニング」のようにグループで能動的

に学ぶ学習形態が非常に有効であり、このことが実用的プログラミングスキルの習得に大きな影響を与えたと考えられる。また、今後、性別からの影響（特にチームで作品を作成する上での仲間作りなど）を議論することは意義があることだと考えられ、今後の大事な視点の1つとしてあげておきたい。

なお、講座で使用したコンテンツは

<http://imbsvr102.cc.sophia.ac.jp/PHP/index.php> にて公開しており2016年7月28日現在のアクセス数は28,061となっている。

謝辞 本研究は、2012～2014年度に科学技術振興機構からサイエンス・パートナーシップ・プログラムとして支援を受けた講座の中での実践をまとめたものです。この場を借りて心からお礼申し上げます。

参考文献

- [1] 荻野哲男：情報教育におけるプログラミング教育を支援する，*MAGE*, Vol.33, No.41 (2013).
- [2] 大岩 元：識字教育としてのプログラミング，*情報処理学会論文誌教育とコンピュータ (TCE)*, Vol.1, No.2, pp.1-6 (2015).
- [3] Bey, A. and Bensebaa, T.: *An e-Assessment Approach of Algorithmic Problem-Solving Skills*, Vol.25, No.10 (2011).
- [4] Meerbaum-Salant, O., Armoni, M. and Ben-Ari, M.: Habits of programming in scratch, *16th annual joint conference on Innovation and technology in computer science education (ITiCSE '11)*, ACM, pp.168-172.
- [5] 松永賢次：導入プログラミング教育におけるオンラインジャッジシステムの活用の試み，*情報科学研究* (2011).
- [6] 大岩 元，中鉢欣秀：母語によるプログラミング教育，*情報教育シンポジウム 2015 論文集*, pp.193-198 (2015).
- [7] 滑川敬章，落合秀也，山内正人，高岡詠子，中山雅哉，江崎浩，砂原秀樹：情報系高校における環境情報を計測・可視化する実用的なプログラミング教育の実践，*研究報告コンピュータと教育 (CE)*, Vol.2012, No.16, pp.1-8 (2012).
- [8] Takaoka, E., Yonezu, T. and Namekawa, T.: Programming Education at High Schools and Universities: Design, Development, and Assessment, *IPSJ Trans. Computers and Education*, Vol.1, No.1, pp.10-17 (2015).
- [9] Live E!協議会：Live E! ～活きた地球の環境情報～，入手先 (<http://www.live-e.org/>) (参照 2015-01-22).
- [10] Esaki, H. and Ochiai, H.: GUTP and IEEE1888 for Smart Facility Systems using Internet Architecture Framework, *1st IEEE Workshop on Holistic Building Intelligence through Sensing Systems (HOBSENSE)*, cooperating with IEEE DCROSS, Barcelona, Spain (2011).
- [11] Alice, available from (<http://www.alice.org/index.php>) (accessed 2015-03-30).
- [12] Scratch: Scratch-Imagine, Program, Share!, available from (<http://scratch.mit.edu/>) (accessed 2015-03-30).
- [13] Cooper, S., Dann, W. and Pausch, R.: *Teaching Objects-first in Introductory Computer Science*, pp.191-195 (2003).
- [14] Adams, J.C.: Alice, Middle Schoolers & the Imaginary Worlds Camps, *Proc. 38th SIGCSE Technical Symposium on Computer Science Education, SIGCSE '07*, pp.307-311, ACM (2007).

- [15] Maloney, J.H., Peppler, K., Kafai, Y., Resnick, M. and Rusk, N.: *Programming by Choice: Urban Youth Learning Programming with Scratch*, pp.367-371 (2008).
- [16] プログラミング言語「ドリトル」, 入手先 (<http://dolittle.eplang.jp/>) (参照 2015-03-30).
- [17] 高岡詠子, 大澤佑至, 吉田淳一: e-Learning 学習履歴を用いたドロップアウト兆候者早期抽出手法の提案, 検証および今後の可能性, 情報処理学会論文誌, Vol.52, No.12, pp.3080-3095 (2011).
- [18] 玄馬史也, 富永浩之: ポーカー戦略を題材とする応用 C プログラミング演習の支援と実践—大会運営サーバ WinT の提出状況とコード比較の機能の追加, 研究報告コンピュータと教育 (CE), Vol.2015, No.9, pp.1-6 (2015).
- [19] 松澤芳昭, 保井 元, 杉浦 学, 酒井三四郎: ビジュアル-Java 相互変換によるシームレスな言語移行を指向したプログラミング学習環境の提案と評価, 情報処理学会論文誌, Vol.55, No.1, pp.57-71 (2014).
- [20] 中村真二, 包 領兄, チャンチュンヒウ, 細澤あゆみ, 横山 航, 山本洗希, 湯瀬裕昭, 青山知靖, 鈴木直義: 専門高校の課外活動における PBL の実践報告, 研究報告コンピュータと教育 (CE), Vol.2010, No.7, pp.1-6 (2010).
- [21] 井上 明, 金田重郎: 実システム開発を通じた社会連携型 PBL の提案と評価, 情報処理学会論文誌, Vol.49, No.2, pp.930-943 (2008).
- [22] 経済産業省: 産学協同実践的 IT 教育レポート, 入手先 (http://www.meti.go.jp/policy/it_policy/it_jinzai/Sangakureport-honpen.pdf) (参照 2015-01-22).
- [23] 経済産業省: 個別事業詳細(資料集), 入手先 (http://www.meti.go.jp/policy/it_policy/it_jinzai/Shiryuu1.pdf) (参照 2015-01-22).
- [24] 高橋宏幸, 若曾根隆彦: グループウェアの日常的活用で育つ子どもの心, 岐阜県本巣市立糸貫中学校, 100 校プロジェクト&E スクエアプロジェクト (オンライン), 入手先 (<http://web3.cec.or.jp/jissenjirei/public/jyugyou-jissen/CEC01315.0.html>) (参照 2015-01-22).
- [25] 岩瀬町立西中学校: Web ページ作成を通して, 文学作品を読み伝える学習活動のあり方—心豊かに読み, 主体的に表現する生徒の育成を目指して—, 100 校プロジェクト&E スクエアプロジェクト (オンライン), 入手先 (<http://web3.cec.or.jp/jissenjirei/public/jyugyou-jissen/CEC00862.0.html>) (参照 2015-01-22).
- [26] 星川良紀: 人権意識を高めるためのソフト開発, 松山市立南中学校, 100 校プロジェクト&E スクエアプロジェクト (オンライン), 入手先 (<http://web3.cec.or.jp/jissenjirei/public/jyugyou-jissen/CEC01044.0.html>) (参照 2015-01-22).
- [27] 滋賀県立八幡工業高等学校: 学校図書館でインターネットを活用する, 100 校プロジェクト&E スクエアプロジェクト (オンライン), 入手先 (<http://web3.cec.or.jp/jissenjirei/public/jyugyou-jissen/CEC00785.0.html>) (参照 2015-01-22).
- [28] 佐藤好久: 授業づくりを支援する Web ページの改善・開発と活用, 秋田市立川尻小学校, 100 校プロジェクト&E スクエアプロジェクト (オンライン), 入手先 (<http://web3.cec.or.jp/jissenjirei/public/jyugyou-jissen/CEC01003.0.html>) (参照 2015-01-22).
- [29] 八木沢薫: 四次元 GIS, 目黒区立第一中学校, 100 校プロジェクト&E スクエアプロジェクト (オンライン), 入手先 (<http://web3.cec.or.jp/jissenjirei/public/jyugyou-jissen/CEC00977.0.html>) (参照 2015-01-22).
- [30] 上屋久町立金岳中学校屋久町立岳南中学校: 屋久島気象観測プロジェクト, 100 校プロジェクト&E スクエアプロジェクト (オンライン), 入手先 (<http://web3.cec.or.jp/jissenjirei/public/jyugyou-jissen/CEC00845.0.html>) (参照 2015-01-22).
- [31] 文部科学省: プログラミング教育実践ガイド, 入手先 (<http://johouka.mext.go.jp/school/programming-zirei/index.html>) (参照 2015-04-15).
- [32] 文部科学省: C 言語と電子工作・センシングの基礎学習, 入手先 (<http://johouka.mext.go.jp/school/pdf/koukou.01.pdf>) (参照 2015-04-15).
- [33] 妹尾堅一郎: 「互学互修」モデルの可能性—先端的専門職教育における「学び合い・教え合い」—, コンピュータ&エデュケーション, Vol.15, pp.24-30 (2003).
- [34] 宮地 功: グループ学習による知識構築型授業の実践: 知識工学における学習活動, 日本教育工学会大会講演論文集, Vol.19, No.1, pp.223-224 (2003).
- [35] 奥原 俊, 大塚孝信, 吉村卓也, 伊藤孝行: グループ学習における学習ネットワークのおよぼす影響とその効果に関する研究, 研究報告知能システム (ICS), Vol.2013, No.4, pp.1-8 (2013).
- [36] 岡本雅子, 喜多 一: プログラミングの「写経型学習」における初学者のつまずきの類型化とその考察, パイディア: 滋賀大学教育学部附属教育実践総合センター紀要, Vol.22, pp.49-53 (2014).
- [37] 河内谷幸子: プログラミング言語の学習法—for 文の理解に関する認知心理学的分析—, 言語と文化, Vol.3, pp.19-35 (2006).



高岡 詠子 (正会員)

慶應義塾大学理工学部数理科学科卒業, 同大学大学院理工学研究科計算機科学専攻博士課程修了, 博士(工学). 現在, 上智大学理工学部教授. 専門分野はデータベースと Web アプリケーション, コンピュータと社会(医療・

看護・福祉・介護・教育・環境). 現在, 情報処理学会教育担当理事. 情報処理学会から山下記念研究賞, 学会活動貢献賞受賞, 主な著書:『チューリングの計算理論入門』, 『シャノンの情報理論入門』(講談社ブルーバックス), 『計算事始め』('13) および『情報科学の基礎』('07). 本会シニア会員.

山内 崇裕

2015 年上智大学理工学部情報理工学科卒業.



滑川 敬章 (正会員)

1987 年, 千葉大学教育学部小学校教員養成課程卒業, 1989 年, 同大学院教育学研究科理科教育専攻修了, 修士(教育学), 千葉県立柏の葉高等学校教諭等を経て, 現在, 千葉県総合教育センター研究指導主事. 研究分野: プログラミング教育や高等学校の情報科の指導法等.