

情報系学部教育の実質化のためのICTを活用した 導入科目の達成度保証

Ensuring the Attainment of Educational Targets for Introductory Courses Using ICT to Realize Computer Science Education

佐々木 晃 伊藤克巨
法政大学情報科学部

Abstract: This paper proposes ICT-centered methodologies to ensure the attainment of educational targets for introductory programming courses which aim to add substance to education in computer science courses. Since our faculty started to reconstruct its CS1 curriculum in FY2010, we have tried to fulfill our aim by employing online materials and integrating actual lectures and ICT, using learning management systems. This paper discusses the use of ICT and course structuring as novel methods to attain our goals. An average of 87% of the students has completed the pre-study assignments, which shows an improvement in their learning attitude. The answers to the pre-assignment, tallied on-time using ICT, have been used effectively as a feedback tool in lectures. A web test using LMS was conducted to determine whether a student qualifies for a credit, and was found to be as effective as paper tests. Owing to the low running cost of the test, it was easily performed multiple times. The overall level of the students has been effectively measured and ensured, and there have been improvements in the level of the low-ranking students.

Keywords: introductory programming courses, pre-lesson preparation, assessment of learning attainment

1. はじめに

理系の学部においては、伝統的に積み上げ式のカリキュラムが採用されてきた。理系の情報系学部において、プログラミングはそのカリキュラムの基盤となる重要科目である。また、専門科目の導入科目として初年次に配当されていることも多い。

したがって学士力の保証など、学部のカリキュラム全体を通して十分な学修を保証し、実質化するためには、次の項目を満たすべきである。

- ① カリキュラム設計者は、学生に対し慎重に動機付けすべきである。プログラミングは、他の理系学部の基盤である数学・理科などと違って、多くの学生が入学前に本格的には学んでいない。したがって、学生は学び方が分かっていない。
- ② 学習の方法、学業に対する態度の涵養

が必要である。2000年代以降、高等学校における中間層の学習時間が低下している^[1]。特に、体系的な学問を修得するには、自主的な学びの姿勢が重要である^[2]。

- ③ 後続の科目の学修に支障を来さないために必要な一定の達成度を保証すべきである。

本学部でこのような役割を果たすべき導入科目が、1年春の「プログラミング入門1」である。対象言語はJavaである。学部全員（定員156名）向けの必修科目であり、4クラス（1クラス40名程度）で実施される。クラスごとに担当教員は異なる。また、基礎科目であるため専任教員がローテーションで担当することになっている。したがって、次の項目も満たすべきである。

- ④ 教員の個性を生かしつつ一定の教育効果が得られる。

本学部では、2007年度に、入学者の

Akira Sasaki* and Katunobu Itou
Hosei University
*E-mail: asasaki@hosei.ac.jp

増加を主たる原因として、1年次の留年率が10%を越えてしまい改善が急務となった。成績不振者向けの個人面談などで、これらの留年者の一部から聞き取り調査した結果、学習意欲を失った原因の一つに「プログラミング入門1」で自信を失ったことがあった。そこで、2009年度より上記の要求を満たし改善するために次節で述べるように科目設計を行い、2010年度より改善を継続してきた。

2. ICTを活用する科目設計

カリキュラムの導入科目としての設計には、その科目のカリキュラムへの貢献が明確でなければならない。つまり、何を教えるかだけでなく、その科目の合格者は何を修得できたかを重視すべきである。特に、合格者が共通して修得できたことを保証する項目(MR: Minimum Requirements)が重要である。

この項目を策定するにあたって、次にあげる五つのステークホルダの視点を考慮した。

カリキュラム作成者：

カリキュラム全体で学生に何を達成させるかを具体的に策定する。

教材作成者・授業担当者：

1回の講義当りのMRの個数などをチェックする。

学生：

シラバス、教材の理解度を仮定する。過去の授業時の経験などから教員が想定した。具体的には、シラバスでの目標提示や授業だけで共有できるとは限らないと仮定。

ただし、様々な機会を通じて、自分が何を学んでいるのか自覚するように、メタ認知に積極的に働きかけるように配慮した。

外部評価実施者：

企業で必要となる人材が身に付けるべき能力という観点を考慮。また、情報処理学会が制定したカリキュラム標準 J07^[4]や、情報処理技術者試験のシラバス^[5]なども参

照した。

また、ICTの活用方法としては次の3点を中心とした。利用基盤として、全学生に同一スペックのPCを貸与し、常時同じ環境で学べる場が整備されていることを前提とする。

参照容易性：

学生の学修過程を記録し、常に参照できるようにする。特に、授業期間終了後も参照できるようにし、経年での授業改善に活用する。

インタラクティブ性：

即時フィードバックにより、期中での授業改善に活用する。学年によって、学生の気質・能力は変動するが、新入生の場合、教員側が把握できていないため、初年次教育において、期中での対応は重要である。

自動化：

授業改善には、評価の厳密化、学生の学修活動のデータ化、教授法の改善、教材の改善、など多岐にわたる要素がある。同一科目に関しても、教員間で、どの点を重視すべきか異なる。そのような場合に、予習や認定試験など特定の要素の負担が重くなりすぎると、多数の教員の積極的な協力を得にくくなり、改善の進捗が遅くなってしまふ。そこで、ICT活用により、採点の自動化、課題や答案回収・返却の自動化により、できる限り、新たな取り組みの負担を軽減することで、教員はより質の高い改善に注力できるようにする。

これらを踏まえて、1節で述べた項目を満たすために、次のように対処した。前記の①の問題を解決するため、一斉授業において学生が各自の興味に基づいて演習課題を選択できる仮想小人数クラス(VSC)を導入し、動機づけを改善する^[3]。

④の問題に対処するために、共通で利用する各種教材を整備した。共通教材は、オンラ

インで学生がいつでもどこでも閲覧できるようにする¹³⁾。教員は、教授方法を個別に工夫することで独自の教育効果を狙う。

②の問題に対処するためには、事前に、教材を読み、例題を書写することを促す予習課題を課すことで、予習や授業の準備の方法を学ばせ、習慣化させる。

③に対処するためには、MRの達成度だけを評価する認定試験(MT: Mastery Test)を導入する。

10回終了後にMTを実施することを念頭に、MRは、全て9回目までに上げるようになっていく。その10回までに手続型プログラミングの基礎的な構造を学び、11回目以降は、それらを利用した実用的なプログラムの記述や発展的なトピックを学ぶ。

90分を2コマ連続して行う授業が15回から構成される。最初の90分は、プログラミングに関する知識を教える講義形式の授業である。後半の90分は演習であり、学生は各自VSCの発展的な課題に取り組む。

本稿では、②③の問題に対して、オンライン教材、授業支援システムを中心としたICT技術と授業を融合して授業実施時のコストを増やさず解決するための方法を詳述する。

3. 授業の質の均質化と、授業外学習の定着を目的とした予習課題

本科目においては、予習で達成すべき目標を次のように定めた。

受講時における学生の理解度の向上:

各種アンケートや、以前の中間試験、さらに課題などの各種提出物を分析する限り、2/3程度の学生の授業中の授業内容の理解度は期待より高くなかった。学生への聞き取り調査などで、その主たる原因は、新しい概念に対する適応度の低さと受講時の集中力の低さであることがわかった。そこで、特に重要なキーワードを明示的に意識させて、新規内容に対する理解を補強し、

さらに受講時の集中力を制御する技能を身につけさせる。予習課題のシートは選択式、記述式の回答フォームで構成され、期日までに電子的に提出(アップロード)させる。予習問題は即時集計され、教員は、授業開始前にそれぞれの授業項目の理解度を把握し、学生の理解できていない項目に注力するなど、学生の理解度に適応できる。

授業時間の調整:

2010年度の同講義において、学生が例題等を書写する能力(主にタイピング速度)に大きなばらつきがあることが確認された。予め書写させ、これまで転写に費やしていた授業時間を活用する。

資料読解力の向上:

各種アンケートの結果、学生は教科書などの形式的な資料を読解する能力に著しく欠ける。予習ではスライドなどの要約資料を提示せずに、少し長い文書を読解させることで、資料読解力の向上を図る。

この目標を達成するため、次のように具体化した。

明示的にインストラクションを提示した予習課題の構築:

学生が予習のやり方を知らないという前提にたち、予習の方法をある程度明示し、クリアすべき課題とともに提示する。

平常点へ計上しない:

インセンティブを与えてしまうと、後続科目に悪影響を及ぼす可能性がある。また、平常点は単位の実質化(達成度の保証)を行う上で、取り扱いが難しい。

キーワードの明示:

重要部分(キーワード)を意識して資料を読み進めさせる。

解答しやすさへの配慮:

資料を書写して実行するだけで得られる問題を提示し、理解できていなくてもインストラクションを実施する動機付けを与える。

実践的な問題の提示：

学生の理解度で所要時間が大きくばらつき授業時間中に問いにくい問題を予習課題として積極的に盛り込んだ。

予習課題と対応する資料の例を示す。第3回（条件分岐）の予習課題の一部である。

キーワード：「順次 条件分岐 条件が成立する if文 値の比較 ブロック 条件式」

1. 予習問題

キーワードの確認 解説をよく読み、解答を選択せよ。
 - 条件分岐を使うと、ユーザーが入力した値に応じて処理を切り替えられる(わからない、正しい、間違い)(選択肢は以下省略)
 - 「a = 100」のように書いた場合、変数aに記憶させた値が100の場合に条件が成立する(中略)

例題の確認 以下は今回の資料の例題に関する問題である。指定する例題を書写し、それぞれの問題に答えよ。

2-1 例題「MathQuiz」を書写し、次の問題に答えよ。(後略)

これらの予習課題で期待する効果は次の2点である。一つ目は、授業外学習の習慣化である。復習課題（授業中に完成しなかった課題の作成）とあわせて、平均的な学生は2時間程度となるように設計した。二つ目は、予習の習慣の定着である。初年次に予習を前提とした授業を実施することで、本学部の学修には予習が欠かせないと思わせ、学習習慣を身に付けさせる。

4. オンライン認定試験

(1) 認定試験の設計

大学の教科で多く採用されている60%という正解率では、中級層以下では、項目ごとの正解率が50%を下回る項目が多数生じてしまう。そのような項目は、後続科目で再度取り上げなければならず、「積み上げ」が困難になる。

そこで、成績判定のための試験を後続科目に必要な最低限の項目を当該科目で達成したことを保証する「認定試験」と能力を判定

するための「認定試験」(期末試験)に分離した⁶⁾。

MTの実施はMRを習得した上で、認定試験が受験できるよう留意が必要である。2011、2012年は次のように実施した。全クラスが第10週の講義を終えた後に、1回目のMTを実施した。講義時間帯がクラスごとに異なるため、公平性を考慮して授業時間外に一斉に実施した。不合格者が達成できていない部分を習得するために、12週目に2回目を実施した。13週目に実施した3回目で合格基準に達しなかった数名に関しては、追加課題を課した上で基準を緩和して合格と見なした。

このような運用方法では、通常の講義の教育負担以外に、複数回分の問題作成、MT実施のための教室の確保、試験監督、採点、不合格者への補習など多大な物理的、人材的必要性が生じる。2011、2012年は、幸い半数以上が1回目で合格したため対応できた。しかし、想定よりも不合格者が多く、MTの実施度の自由度が低くなってしまうと、学生が期末試験までにMTに合格できないという事態に陥る可能性がある。そこで、2013年度は、MTのオンライン化により、学生の十分な受験機会の確保を図った。

(2) オンライン化

オンライン化するにあたり、満たさなければならない制約は以下の通りである。

- ・ 昨年まで実施した筆記試験と同等の合格率
- ・ 授業支援システム(sakai)で自動採点するために選択式とする
- ・ 複数回の実施を見据えたランダム出題
この方針を踏まえて以下のような仕様とした。
- ・ ランダム出題時にも、内容、難易度を制御できるように内容と難易度を揃えた問題プールを作成
- ・ 10問の独立した問題で構成
- ・ 単一回答法の多岐選択形式

- ・合格ラインは9問正解

選択式の試験では、選択肢がヒントになってしまい、記述式の試験よりも正答率が高くなるおそれがある。それらに対処するためには、不正解の選択肢にどのようなものを列挙するかが重要である。それに対し、以下のような方針をとった。

- ・消去法による正解を可能な限り排除する
- ・十分に理解できている学生を無用に混乱させないために、枝葉についてではなく、本質について正しくない選択肢を用意する
- ・すべての不正解の選択肢に対し、それを選択してしまう理由を与える。個々の選択肢それ自身がわかりやすい矛盾を内包しないもってもらいたいものとする
- ・部分的な理解であっても、選択肢に含まれる文脈が部分的な理解を補完して正解にたどり着けてしまう可能性をできる限り排除する。認知心理学の知見^[7]を利用して、あやふやな理解に干渉するような不正解の選択肢を作成する
- ・過去5年以上の解答傾向を分析し、対象とするレベルの学生の理解への透察を踏まえて選択肢を用意する

以下に問題例を示す。この問題は、第7週(配列)、第8週(繰返)の以下に示すMRに対応している。

- ・配列変数と配列参照を利用したプログラムを書ける
- ・配列を引数に取るメソッドを宣言し、それを起動するプログラムを書ける
- ・(以下略)

以下のメソッドfの引数にある配列を指定して起動したところ、戻り値は「3」であった。

```
int f(int[] array) {
    int x = 0;
    for (int i = 0; i < array.length; i++) {
        if (array[i] > 1) {
            x = x + array[i];
        }
    }
    return x;
}
```

このプログラムは、受理できる入力が一意に定まるものではない。これに対し、正解の選択肢として「配列の内容として適切なものは選択肢に一つも含まれていない」を用意した。また、「配列の内容として適切なものは選択肢に二つ以上含まれている」という選択肢も用意した。これらが消去法による正解を排除するための選択肢である。不正解の選択肢としては、「順に『-2,2,1』」のような間違っただけの内容のものを四つ用意した。他の問題に対する選択肢のタイプとしては、プログラムの断片などがある。

このような問題を同一内容、同一難易度の10テーマについて、各々数問ずつ用意した問題プールを作成した。

試験の実施環境としては、授業支援システムのみアクセスを制限した仮想マシンを用意した。1回目は、授業時間外に予め確保しておいた教育改善のための時間を使って、一斉に同一問題を情報教室のマシンでネットブートした環境で受験させた。2回目以降は、それぞれのクラスごとに授業時間の演習時間なども活用して受験させた。その際、合格した学生は、通常授業の進行にしたがって、発展課題の演習問題に取り組みさせた。また、2回目以降はランダム出題を利用した。このような運用体制で、4回目で全員が合格基準に達するまで実施できた。

5. 評価と考察

授業外学習時間は、全学で実施している授業改善アンケート(2012年度、当該授業の回収率95%)の自己申告値では、平均2.4時間となっている。また、科目担当教員独自のアンケートによると、授業外に平均で復習2時間、予習40分取り組んでいることが明らかになった。

予習の提出率は0.87であった。予習の正解率と課題の取り組み、MTや評定試験の結果には相関は見られなかった。

授業担当者の観点では、これまで、授業で

行っていた作業の一部を予習に移行させたことで、学生が予習でつまづくところに重点を置いたり、授業中に学生に課題を発表させる機会を設けるなどの工夫ができるようになった。また、予習課題の電子化により、即座に集計して直後の授業内で回答状況を考慮した授業運営を行えた。

MTに関しては、昨年の1回目と今年の1回目の点数の分布についてコルモゴロフ-スミルノフ検定を行ったところ、有意水準0.01以下で同等の分布であることがわかった。また、MTのクラスごとの分布はクラスカル-ウォリス検定により中央値が等しい分布ではあるという仮説は優位水準0.05で棄却されなかった。このことより、MRの範囲では、教員によるばらつきがない可能性があることが示された。

6. おわりに

情報系のプログラミング入門科目において、授業外学習の習慣化のための予習課題の設計方法、および、達成度を保証するための評定試験(MT)の設計方法について提案した。特に、これらの取り組みを学部全体で共有、持続可能なものとし、かつ質の高い授業改善を目的としたMTのオンライン化について報告した。認知心理学の知見と過去の学生の理解状況に基づく設計で、オンライン化しても筆記試験と同等の合格率に制御できることを示した。

また、予習課題は学生に授業外学習を促し、単位の実質化につながるということがわかった。

謝辞

株式会社ノーチラス・テクノロジーズの荒川傑氏からは、本研究の全般に渡って多大の貢献を受けました。ここに感謝の意を表します。

参考文献および関連URL

- [1]ベネッセ教育総合研究所: 第4回 学習基本調査・国内調査 高校生版.
http://benesse.jp/berd/center/open/report/gakukihon4/hon/index_kou.html 2006. (2013年7月16日参照)
- [2]エドワード・F・レディッシュ: 科学をどう教えるか. 丸善出版, 2012.
- [3] S. Arakawa, et al. : A MASTERYLEARNING APPROACH: AN INTRODUCTORY PROGRAMMING COURSE DESIGN FOR DIVERSIFIED STUDENTS' INTERESTS. INTED 2012 Proceedings, pp. 973-979, 2012.
- [4] 疋田輝雄: コンピュータ科学領域 (J07-CS) . <特集> 情報専門学科カリキュラム標準 (J07) , 情報処理, Vol.49, No.7, pp.728-735, 2008.
- [5]情報処理推進機構: 情報処理技術者試験シラバス.
https://www.jitec.ipa.go.jp/1_04hanni_sukiru/_index_hanni_skill.html (2013年9月1日参照)
- [6] 佐々木晃他: 動機づけと達成度を保証するためのプログラミング入門科目の設計. 情報処理学会論文誌 (2014年1月掲載予定)
- [7] 箱田裕司他: 認知心理学. 有斐閣, 2010.