

SIEM によるプログラミング教育の客観的評価

An Objective Evaluation of the Computer Programming Education using the SIEM

土肥 紳一† 宮川 治† 今野 紀子†
Shinichi Dohi Osamu Miyakawa Noriko Konno

1. まえがき

情報を対象とした教育は、文系・理系を問わず多くの大学で取り入れられており、リテラシーを中心とした内容やプログラミング等の授業が実施されている。一般的にプログラミング教育の現場では、授業時間内で多くのプログラム課題を学生に提示し、いかにたくさんのプログラムを作らせるかといった「質より量をこなす教育」が重視されているようである。同時に、簡潔な(短い)プログラムを一つのユニットとしてその組み合わせにより高度なものをつくりあげるといった考えよりも、長いプログラムが高度なものであるといった考え方も見受けられる。その弊害として、学生がプログラムをじっくり考えるといった過程が軽視され、機械的に作業をさせるだけ、あるいはついていけない学生が多く出てしまうといった危険性が示唆される。また、教員が指示したモデルに沿って、画一的なプログラムを学生が完成させることが第一の目的となっており、それが評価される傾向にある。そのため、学生が自分でプログラムの課題を考えず、誰かの解答をコピーするだけで提出して終わっているといったことが少なからず起こっており、教育現場では大きな問題となっている。これらの原因として一つには教材自体の問題が指摘されるが、このような教育ばかりを続けていけば情報教育の発展性はなく、学生の個性、創造性を否定する教育となってしまうだろう。

我々は、このような問題点に着目し、効果的な情報教育のあり方についての研究を行ってきた。具体的には学生の学習意欲(モチベーション)の向上に有効な教育方法について実践を含めての継続的な研究である。学生のモチベーションを高めることを目的に、認知心理学に基づいた学習理論によるシステムティックな情報教育メソッド(SIEM: Systematical Information Education Method)を提案し、Java 言語を対象としたプログラミングの入門教育に適用している。教育効果の測定を始めて、約2年が経過した。本論文では、SIEMの開発背景、客観的な評価方法、SIEM(ゲーム)によって期待できる効果について述べる。

2. SIEMの誕生について

2.1 背景

SIEMの本質は、本大学情報環境学部独自の教育思想が、根底に存在する。情報環境学部は、2001年4月に開講した学部であるが、これまで日本の大学で実施されて来なかった独創的な教育制度を導入している。その主なものは、新入生に対する約2週間の導入教育の実施、学年制の廃止、必修科目の廃止、事前履修条件の導入、単位従量制の導入、GPAの導入、セメスター制の導入などがあげられる[1]。これらの教育制度を基盤として、プログラミング教育のあ

り方について、今までの実施方法およびその内容について抜本的な見直しを行った。一方的な講義を実施することは極力避け、5分程度説明を行った後、即実習を行うことによって、理解を深める工夫を行っている。1コマ50分の授業時間を2コマ連続で1週間に複数回開講する授業形態をとっているが、このことに関して、学生諸君および父母から高い評価を得ている。このような教育システムにしたがって教育を実施する過程で、授業評価に関するアンケート調査を毎時間実施し、講義ノートをWebによって閲覧することを前提に例題を可能な限り短くする、プログラムの入力に関してはその構造を意識しながら段階的に入力させる等、独自の工夫を実施してきた。このような教育効果を把握するために、大学入学以前のプログラミングの経験と定期試験の成績等の相関を分析することで、教育効果の評価も行った[2]。

2.2 教育効果の評価

教育効果を客観的に評価することは、非常に難しい。学生の成績は定期試験やレポートの点数をもとに評点を付けるが、評点の高い学生が本当にプログラミングの能力が高いといえるのか、いつも疑問に陥る。学生時代にプログラミングに興味を持ちながらも成績が不良であった卒業生が、社会人になってプログラミングの仕事を立てた例は多い。このような現実を考えると、プログラミングに対する興味を持たせることが、広い意味で教育効果を向上するための本質であると考えようになった。また、学生にはそれぞれ個性や能力の差異があり、その背景には学習経歴の違いも存在する。特に情報教育では、工業高校等で専門的教育を受けてきたレディネスの高い学生とそうでない学生との差は歴然であり、単に教育効果と成績評価の視点だけでは問題がある。そこで我々は教育の効果の計る指標として「学習意欲(モチベーション)」に着目し、モチベーションを高める情報教育を目指してSIEMの構築を試みた[3,4]。

2.3 SIEMの誕生

SIEMの特徴は、継続的測定法(モニタリング)とその教授システムにある。教員は日々、プログラミング教育について専念しているが、学生にとって適切な指導となっているのか否かを客観的に分析する必要がある。継続的測定法は、学習者のモチベーションに影響を与える要因を明らかにしたJ.M.Keller(1983)のARCSモデル[5]の枠組みを理論背景とした測定法である。プログラミング教育の客観的な評価を測定するために、このARCS理論をもとに独自の項目を追加し、学生のモチベーションの時系列分析を行うことによって、教育効果の測定を行うのである[6]。その結果から教授システムをアレンジしていく。教授システムの主なものは、「スモールステップ」、「ティームティーチング」、「即時フィードバック」である。

SIEMは、今まで教員側が経験知により判断していたものを定量的に分析することでその問題点を明らかにするこ

†東京電機大学 情報環境学部, Tokyo Denki University, The School of Information Environment

とを可能にし、学習者の個性・能力に合わせ動的に対応する教育を目指したメソッドといえる[7]。

3. 評価因子について

評価項目は、モチベーションに関連する4因子、「注意因子」、「関連因子」、「自信因子」、「満足因子」を含む質問項目を学習者が5段階リッカート尺度により自己評価するものである。各項目の評価尺度は、「1:まったくそう思わない」、「2:あまりそう思わない」、「3:どちらともいえない」、「4:ややそう思う」、「5:強くそう思う」とした。以下に因子の内容について述べる。

3.1 注意因子

注意因子は、好奇心の喚起を示す因子である。さらに、3つの下位尺度に分類される。

(1) 知覚的喚起

コンピュータの視覚的機能を使い、注意を喚起するものである。新鮮な、動きのある、あるいは視覚的に興味を引く内容を使って注意を刺激する。これを測定する項目として、「自分が入力したプログラムの動作結果を見るのは楽しいですか」を設定した。

(2) 探求心の喚起

学習者に自分で解く問題を自分で作らせて、コンピュータに答えを判断させたり結果を示させたりすることによって、学習者の興味をひかせる。探検的な局面において問題解決の状況を示し、段階的に新しい知識を暴いていくことができる。これを測定する項目として、「授業では好奇心を刺激されますか」を設定した。

(3) 変化性

授業の区分を短く押さえ、解釈を助けるような画面の効果的な利用法を考える。画面のフォーマットに一貫性を持たせ、時折変化を取り入れる。これを測定する項目として、「授業の内容はマンネリであると思いませんか」(逆転項目)を設定した。

3.2 関連因子

関連因子は、学習意義を示す因子である。さらに、3つの下位尺度に分類される。

(1) 親しみやすさ

学習者がよく知っている教科領域や状況からの例を取り入れる。グラフィックス等で抽象的な、あるいは未知の概念を親しみのある場面にはめ込む。これを測定する項目として、「授業の内容は親しみやすいですか」を設定した。

(2) 目的指向性

目標を授業の重要性や有用性に関連させて明確に示す。ゲームやシミュレーションを使って、目的意識を与える。これを測定する項目として、「授業の意義や目的がはっきりしていますか」を設定した。

(3) 動機との一致

達成動機を刺激するために、難易度の異なる問題を与え、学習者に選択させる。得点記録システムを設け、事項状況に関するフィードバックを与える。また、数名のグループが協同して取り組めることも効果的である。これを測定する項目として、「将来に役立つと思いませんか」を設定した。

3.3 自信因子

自信因子は、自己効力感を示す因子である。さらに、3つの下位尺度に分類される。

(1) 学習欲求

目標の全体構造を明確に示す。課題に成功する手助けになる前提知識、技能について述べる。評価基準を示して、フィードバック付の練習機会を与える。これを測定する項目として、「自分の到達すべき学習の目標がはっきりしていますか」を設定した。

(2) 成功の機会

容易な課題から難しい課題へ導く。また、偶発的な事象を取り入れることによって、ある程度の制御不能な挑戦を加える。これを測定する項目として、「授業中にできた・わかったという実感がありますか」を設定した。

(3) コントロールの個人化

学習者がいつでもメニューに戻れるようにする。これを測定する項目として、「授業で学習したことを基にして、自分で工夫し勉強してみようと思いませんか」を設定した。

3.4 満足因子：期待に合った結果

満足因子は、期待に合った結果を示す因子である。さらに、3つの下位尺度に分類される。

(1) 自然な結果

新しく学んだ知識や技能の応用が必要な課題を設ける。学んだ知識や技能を応用するゲームやシミュレーションなどが該当する。これを測定する項目として、「努力すればただけの学習成果(できるようになる)がありますか」を設定した。

(2) 肯定的な結果

正解に対して外的な報酬を使い、少しでもよいところがあれば肯定的なフィードバックを行う。これを測定する項目として、「教員やクラスのメンバーは好意的ですか」を設定した。

(3) 公平さ

課題と教授内容に一貫性を持たせ、学習目標とも一致させる。これを測定する項目として、「演習問題などは授業内容と一致していますか」を設定した。

4. プログラミング教育

モチベーションの時系列評価は、授業の前期、中期、後期の3回に分けて実施した。評価対象のクラスは、コンピュータプログラミングAの授業で、Java言語を学習するクラスである。この授業は、主に新入生を対象にプログラミングの入門教育を実施している。この授業は秋semesterに開講しており、Java言語の1クラス以外にC言語を2クラス開講している。受講者数は、各クラス70~80名である。Java言語のクラスを対象に授業の初期に実施したアンケート調査結果によると、プログラミングを初めて学習する学生の割合は、2002年度が88.8%、2003年度が80.2%と大半が初心者であった。Java言語のクラスでは、毎回、授業の最後に当日締切りの課題を出題し、課題を満足するプログラムの提出を要求している。さらに課題の提出に合わせて、授業に対する学生の理解度をアンケート調査している[8]。調査結果はWebで公開し、次回の授業の冒頭に解説を行う。このような授業を毎回実施することによって、学生は授業に参加している意識を高めることができた。授業毎のアンケート調査自体について「今後も続けた方がよい」と回答した学生は、2002年度が95.5%、2003年度が92.9%であった。同様に、学生の意見を率直に述べることのできる「授業に対する要望感想」の項目について、役立っていると回答した学生は、2002年度が91.0%、2003年度

が 89.4%と高い値を示しており、この調査が授業の一部として定着していることが窺える。モチベーションの時系列評価は、アンケート調査の中に必要な調査項目を含めることによって、学生に特別な意識をさせることなく実施した。

5. モチベーションの時系列評価

5.1 評価項目

時系列評価に用いた質問項目は、以下の 21 項目である。(13)から(21)の項目は、独自に追加した項目である。

- (1) 自分が入力したプログラムの動作結果を見るのは楽しいですか。
- (2) 授業では好奇心を刺激されますか。
- (3) 授業の内容はマンネリであると思いませんか。
- (4) 授業の内容は親しみやすいですか。
- (5) 授業の意義や目的がはっきりしていますか。
- (6) 将来に役立つと思いませんか。
- (7) 自分の到達すべき学習の目標がはっきりしていますか。
- (8) 授業中にできた・わかったという実感がありますか。
- (9) 授業で学習したことを基にして、自分で工夫し勉強してみようと思いませんか。
- (10) 努力すればただだけの学習成果(できるようになる)がありませんか。
- (11) 教員やクラスのメンバーは好意的ですか。
- (12) 演習問題などは授業内容と一致していますか。
- (13) 休まずに出席しようという意欲が起こる授業ですか。
- (14) 授業での自分の参加態度は積極的ですか。
- (15) もっとプログラミングの勉強を努力しようと思いませんか。
- (16) 授業中、学生・教員などとのコミュニケーションはありますか。
- (17) このプログラミングの授業は楽しいと思いませんか。
- (18) このプログラミングの授業は理解しやすいですか。
- (19) 現在、プログラミングを学習することは重要だと思いませんか。
- (20) 現在、プログラミングの知識・技術は身につけていると思いませんか。
- (21) 現在、もっとプログラミングの知識や技術を高めたいと思いませんか。

5.2 モチベーションの算出

モチベーションの算出は、Atkinson.J.W の達成行動の動機付けモデルを使っている。個人の持つ要求(価値=重要度)と課題達成に関する認知的要因(期待度)が達成行動の生起を決定する理論である。達成行動の強さ(T)は(1)式で推測される。

$$T = M \times P \times I \quad (1)$$

M: 成功達成要求(期待度 1)

P: 成功確率(期待度 2)

I: 誘因価(重要度)

これは、行動の生起は目標達成への期待と目標の価値(誘因価)との関数であると仮定した理論である。つまり、人は目標達成の可能性の高低を考慮しつつ、自分にとって最も高い価値を持った目標状態を有する行動を選択するとしたものである。J.M.Keller もモチベーションを直接左右する因子として「価値」と「期待感」を挙げており、主観的な課題達成への見通し(期待感)と課題に取り組み、それを達成することが持つ意義(価値)との相乗作用であると「期待度」×「価値理論(重要度)」の枠組みを採用している。本研究でも、この「期待度」と「重要度」に評価項目(19)と(21)を採用しモチベーションを算出した。

5.3 評価結果

2002 年度と 2003 年度のモチベーションの時系列評価結果を表 1 と表 2 に示す。2002 年度では全体のモチベーションが中期で上昇したが後期になって低下した。その要因は後半、成績下位群に焦点をあてた SIEM であったため、結果的に全体の教育効果は上げられたが、成績上位群の中にはモチベーションを下げた学生がいたことが判明した。2003 年度は前期、非常に高いモチベーション値であったが、中期で低下し、後期に持ち直しを見せた。問題要因および改善要因分析からこの学生集団においては授業の「理解しやすさ」、「成功機会の多さ」、「変化性」の要因がポイントになることが判明したため、それに SIEM を適合していった。

6. SIEM によって期待される効果

評価項目について、モニタリングを定期的実施することで学生のモチベーションの程度、どのような因子が学生のモチベーションに対して問題になっているのか(問題要因の発見)、モチベーション向上のために改善すべき因子は何なのか(改善要因の分析)を具体的に把握することが可能となっている。図 1 は、2003 年度の中期におけるモチベーションの上位、中位、下位群について、重回帰分析を用いて、その要因分析を行った結果である。説明変数は(1)~(12)、(16)~(18)の評価項目を、目的変数は(19)と(21)の積とした。縦軸は t 値を示しており、絶対値が大きい要因がモチベーションへの影響度が大きい。したがって、t 値の負の要因を減らす教授方法と教授内容を与えることができれば、モチベーションを向上できると考えられる。

図 2 に示すように、授業に関する時系列評価を前期、中期、後期の 3 段階でモニタリングすることによって、因子の相関・モチベーションへの影響度を分析し、モチベーションを低下させる要因の分析を行い、この要因を

表 1 モチベーションの推移(2002 年度)

		前期 9月	中期 11月	後期 12月
全体	平均	14.4	17.7	15.7
	標準誤差	0.99	0.83	1.01
	中央値	12	20	16
	最頻値	25	25	25
	標準偏差	7.52	6.27	7.63
	分散	56.54	39.28	58.2
	尖度	-1.18	-1.05	-1.13
	歪度	0.078	-0.35	-0.23
	範囲	24	21	24
	最小	1	4	1
	最大	25	25	25
合計	823	1009	896	
上位群	人数	19	30	24
20 MV	MVの平均	18.2	21.9	23.3
中位群	人数	19	17	17
10 MV < 20	MVの平均	12.2	16.3	13.9
下位群	人数	19	10	16
MV < 10	MVの平均	11.2	12.9	6.2

MV: モチベーション = 重要度 × 期待度, 標本数 = 57

表 2 モチベーションの推移(2003 年度)

		前期 9月	中期 11月	後期 12月
全体	平均	19.5	14.8	15.5
	標準誤差	0.62	0.96	0.96
	中央値	20	15	16
	最頻値	25	25	25
	標準偏差	5.2	8.1	8.1
	分散	27.3	65.1	65.5
	尖度	-1.02	-1.18	-1.27
	歪度	-0.45	-0.15	-0.2
	範囲	17	24	24
	最小	8	1	1
	最大	25	25	25
合計	1387	1047	1097	
上位群	人数	45	25	29
20 MV	MVの平均	23	23.8	23.8
中位群	人数	23	24	18
10 MV < 20	MVの平均	14.2	14.3	14.6
下位群	人数	3	22	24
MV < 10	MVの平均	8.7	5	6.04

MV：モチベーション = 重要度 × 期待度，標本数 = 71

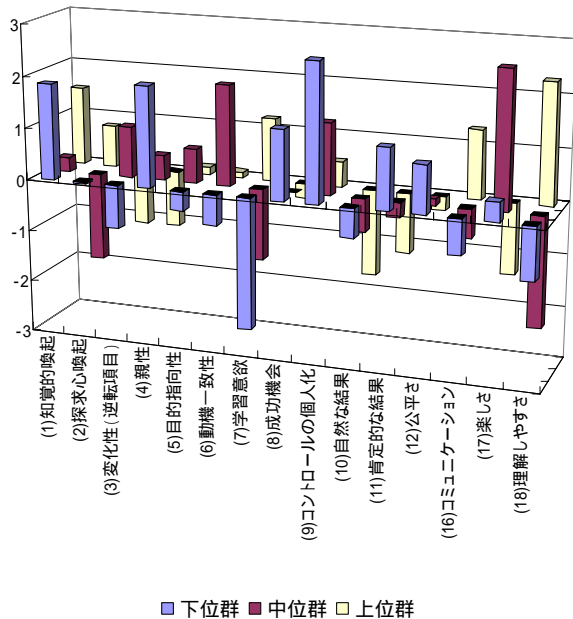


図 1 モチベーションの要因分析結果(2003 年度中期)

向上するためのコンテンツや授業内容を授業にアレンジし、フィードバックすることによって、クラス全体のモチベーションを向上できる。このような効果の実証には、因子の組み合わせによって効果をもたらすコンテンツと教授方法を豊富に準備しておき、その時々々の学生集団の個性に合った内容をフィードバックすることで可能となる。これまでは、授業に対する教育効果を学生の試験結果等で判断していたが、SIEM をプログラミング教育に導入することによって、学生のモチベーションを時系列分析し、客観的な教育効果を測定できるようになる。

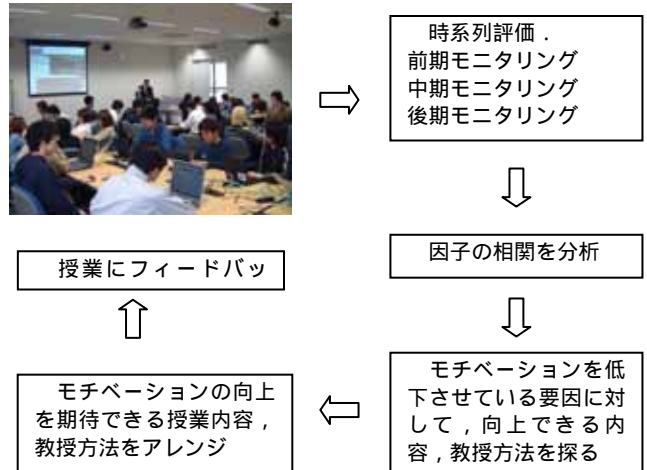


図 2 授業に対する SIEM の効果 (から を繰り返す)

7. まとめ

モチベーションを高めることは教育効果を高めることにつながる事が確認されているが、モチベーションを高める教育のあり方は、過去 2 年間の時系列評価結果からその時々々の学生集団の個性に大きく左右されることがあらためて示唆された。学生の状況を的確にモニタリングし、それに合った教授システムとコンテンツをアレンジしていく教育方法の重要性が窺われ、その意味でも SIEM の意義が確認できた。今後は、成績とモチベーションの関連等、様々な学生集団のパターンを検討し、因子マトリクスの時間的な変化を観測しながら、モチベーションの向上を期待できるコンテンツを授業にフィードバックすることによって、SIEM の効果を実証していく計画である。

参考文献

- 1) 土肥紳一, 中村尚五, 情報環境学部の教育システムの効果について, 日本工学教育協会, pp.485-488 (2003.9)
- 2) 土肥紳一, 宮川治, 情報環境学部におけるオブジェクト指向プログラミング教育, 情報科学技術フォーラム, No4, pp.283-284 (2002.9)
- 3) 土肥紳一, 宮川治, 今野紀子, 教育心理学の手法を用いたアンケート調査によるプログラミング教育の評価について, 情報処理学会, No4, pp.263-264 (2003.3)
- 4) 土肥紳一, 宮川治, 教育心理学の手法を用いたプログラミング教育効果の分析, 情報科学技術フォーラム, No4, pp.425-426 (2003.9)
- 5) Keller, J.M, & Suzuki, K. (1988). Use of the ARCS motivation model in courseware design (Chapter 16). In D.H. Jonnasen(Ed.), Instructional designs for microcomputer courseware. Lawrence Erlbaum Associates, U.S.A.
- 6) 土肥紳一, 宮川治, 今野紀子, SIEM を導入したプログラミング教育の実践効果, 情報処理学会, SSS2003, pp.199-204 (2003.8)
- 7) 土肥紳一, 宮川治, 今野紀子, SIEM を導入したプログラミング教育の効果について, 情報処理学会, No4, pp.341-342 (2004.3)
- 8) 土肥紳一, 宮川治, 大井尚一, 授業理解度のリアルタイム収集, 日本工学教育協会, pp.419-422 (2002.7)