

博士論文

**学習者のモチベーション解析に基づく
プログラミング教材の改善**

塚本 英邦

2014 年 2 月 17 日

奈良先端科学技術大学院大学
情報科学研究科 情報科学専攻

本論文は奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科に
博士(工学) 授与の要件として提出した学位論文である。

塚本 英邦

審査委員：

松本健一 教授	(主指導教員)
関 浩之 教授	(副指導教員)
門田暁人 准教授	(副指導教員)

学習者のモチベーション解析に基づく プログラミング教材の改善*

塚本 英邦

内容梗概

本論文では、学習者のモチベーション維持・向上を目的とした、プログラミング教材の改善法を提案する。プログラミングの学習では、プログラミング言語だけでなく、アルゴリズムやプログラミング環境についても理解し、それらを活用することが求められる。これらの修得までには相応の時間と期間が必要となるが、修得までの期間、学習者のモチベーションを維持・向上させることが重要な課題となっている。提案法は、学習者の専攻分野や教授者の経験・知見の差異に影響されることなく、プログラミング教材の漸次的・継続的な改善を目指すものである。

提案法では、まず、受講生に対してSIEM (Systematical Information Education Method) アセスメント尺度に関するアンケートを実施し、その回答結果に基づいて、モチベーション・レベルを4つの因子（注意 (Attention) , 関連性 (Relevance) , 自信 (Confidence) , 満足感 (Satisfaction) ）に分けて測定する新たな尺度を開発した。これら4つの因子は、J. M. Kellerが提唱する「ARCS動機づけモデル」に基づくものである。モチベーションを4つの因子に分け、教育プロセスの進行に伴う遷移を数値化することで、教材改善に役立つより詳細な情報を提供できる。測定の基となる新たな尺度は、13のプログラミング演習等における約1700件の学習者への適用実験に用いた。

次に、モチベーション・レベルの測定結果に基づき、「ARCS動機づけモデル」で定義されている「動機づけ方略見本」を用いてプログラミング教材の改善を行う。

* 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科博士論文, NAIST-IS-DD1261203, 2014年 2月17日.

具体的には、教育プロセスの進行に伴いレベルが有意に変化しているモチベーション因子、および、その下位カテゴリーを特定し、それぞれの下位カテゴリーに定義された2-5個の方略見本の中からモチベーション向上に有効な方略を適用して教材の具体的な改善要素を提示する。提示された5つの改善要素に基づいて改善を施したプログラミング教材によって、プログラミング教育を試行してモチベーションを測定し、3つの改善要素において教材改善の効果が有意に認められた。

キーワード プログラミング教育, モチベーション, ARCSアセスメント尺度, ARCS動機づけ方略, 教材改善

Amelioration of Programming Teaching Materials Based on the Analysis of Learners' Motivation*

Hidekuni Tsukamoto

Abstract

This thesis proposes a method for improving teaching materials of computer programming which aims to maintain and raise the motivation of the learners. In programming education, it is required not only to understand the programming languages but also to understand the algorithms and programming environment and to be able to apply them. Considerable time and lessons are required to acquire the skill of programming; and thus, instructors face the challenge to maintain and raise the motivation of learners during the lesson. The goal of the proposed method is to improve programming education incrementally and continuously without limiting the learners' major area or requiring the experiences and knowledge of the instructors.

In the proposed method, first of all, a questionnaire survey related to the SIEM (Systematical Information Education Method) assessment metric was conducted on the learners. Based on the results, a new assessment metric which can measure the four motivation factors (Attention, Relevance, Confidence, and Satisfaction) separately was developed. These four factors are based on the "ARCS motivation model" proposed by J. M. Keller. By dividing motivation into four factors and by quantifying the change of motivation associated with the progress of the teaching process, useful and detailed information for improving

.*Doctoral Dissertation, Graduate School of Information Science,
Nara Institute of Science and Technology, NAIST-IS-DD1261203, February 17, 2014..

teaching materials can be provided. The proposed assessment metric has been used to measure learners' motivation in 13 programming courses and about 1,700 sets of data from learners have been collected.

Next, the teaching materials were improved using the "Motivation strategy samples" defined in the "ARCS motivation model", based on the results of the motivation measurement. Specifically, the motivation factors and the sub-factors that had changed significantly with the progress of the teaching process were identified, and the effective strategies that had been selected from the 2 to 5 motivation strategy samples associated with each of the identified sub-categories as the improving elements. Five improving elements had been selected, and they were applied to improve the teaching materials. The improved teaching materials were used in a trial course, and the motivation of the students in the course was assessed again. As a result, motivation levels were significantly improved in three improving elements.

Keywords:

Programming education, Motivation, ARCS assessment metric,
Motivation strategies, Teaching material amelioration

関連発表論文

学術論文誌

1. 塚本英邦, 南雲秀雄, 門田暁人, 松本健一. ARCS 動機づけ方略と統計的検定に基づくプログラミング教材の改善とその評価. 日本産業技術教育学会誌, 第 55 巻第 4 号, pp307-315, 2013. (第 5 章に関連する)
2. 塚本英邦. 情報通信産業の新人研修におけるモチベーションの解析による効果的なプログラミング教育の考察. 日本産業技術教育学会誌, 第 53 巻第 4 号, pp273-280, 2011. (第 4 章に関連する)
3. 塚本英邦, 南雲秀雄, 武村泰宏. 芸術系技能を必要とする IT 作業を考慮したプログラミング教育のモチベーションの解析. 日本産業技術教育学会誌, 第 52 巻第 3 号, pp177-185, 2010. (第 3 章に関連する)
4. H. Tsukamoto, H. Nagumo, Y. Takemura, K. Huang and K. Matsumoto. Analyzing the Motivation Factors of the Students in the Art and Design Faculty to Learn Programming. Journal of Information and Systems in Education, Vol.7, No.1, pp. 67-75, Dec. 2008. (第 2 章に関連する)

国際会議発表

1. H. Tsukamoto, H. Nagumo, Y. Takemura, A. Monden and K. Matsumoto. The Effects of Teaching Material Remediation with ARCS-Strategies for Programming Education. In Proceedings of the 39th Annual Frontiers in Education (FIE) Conference, pp. 717-723, Oklahoma, U.S.A., Oct. 2013. (第 5 章に関連する)
2. H. Tsukamoto, H. Nagumo, Y. Takemura and K. Matsumoto. Analysis of the Motivation of Learners in the In-House Training of Programming in Japanese ICT Industries. In Proceedings of the 24th IEEE-CS Conference on Software Engineering Education and Training (CSEE&T), pp. 121-128, Honolulu, U.S.A., 22-24 May. 2011. (第 4 章に関連する)
3. H. Tsukamoto, H. Nagumo, Y. Takemura and K. Matsumoto. Comparative Analysis of 2D Games and Artwork as the Motivation to Learn Programming. In Proceedings of the 39th Annual Frontiers in Education (FIE) Conference, pp. W2J1-W2J6, Texas, U.S.A., 18-21 Oct. 2009. (第 3 章に関連する)

4. H. Tsukamoto, H. Nagumo, Y. Takemura and K. Matsumoto. Analyzing the Transition of Learners' Motivation to Learn Programming. In Proceedings of the 38th Annual Frontiers in Education (FIE) Conference, pp. S4B6-S4B11, New York, U.S.A., 22-25 Oct. 2008. (第 3 章に関連する)
5. Y. Takemura, H. Nagumo, H. Tsukamoto and K. Matsumoto. The Transition of the Motivation of the Students in the Art Faculty to Learn Programming. In Proceedings of the 8th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2008), pp. 894-896, Jul. 2008. (第 3 章に関連する)
6. Y. Takemura, H. Nagumo, K. Huang and H. Tsukamoto. Analyzing the Motivation of the Students in the Art Faculty for Learning Programming. In Proceedings of the 7th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2007), pp. 244-246, 2007. (第 2 章に関連する)

目次

第1章 序章	1
1.1 研究の背景.	1
1.2 研究の目的とアプローチ.	4
1.3 論文構成.	7
第2章 SIEM アセスメント尺度による IT 非適用領域のプログラミング教育におけるモチベーションの測定	11
2.1 あらまし.	11
2.2 IT 非適用領域におけるプログラミング教育の考え方.	12
2.3 プログラミング教育の環境.	15
2.4 教材とクラス.	16
2.4.1 プログラミング教育の教材.	16
2.4.2 2つのクラスにおけるプログラミング教育.	18
2.5 SIEM アセスメント尺度.	18
2.6 モチベーションの分析方法.	21
2.7 実験結果の解析と考察.	22
2.8 まとめ.	26
第3章 ARCS アセスメント尺度の開発と IT 非適用領域におけるモチベーションの解析	29
3.1 あらまし.	29
3.2 ARCS アセスメント尺度の開発経緯.	29
3.3 ARCS 動機づけモデル.	30
3.4 ARCS アセスメント尺度の開発.	32
3.5 Processing を用いたプログラミング教育.	34
3.6 実験結果の分析.	36
3.6.1 ARCS アセスメント尺度による因子の分析.	36
3.6.2 ARCS アセスメント尺度による下位カテゴリーの分析.	38

3.6.3	IT 非適用領域におけるプログラミング教育の考察.	40
3.7	3D バブルグラフによる視覚的な分析.	41
3.7.1	3D バブルグラフの基本概念.	41
3.7.2	3D バブルグラフによる分析.	44
3.8	まとめ.	46
第4章	情報通信産業の新人研修におけるモチベーションの測定	49
4.1	あらまし.	49
4.2	情報通信産業におけるプログラミング教育の状況.	49
4.3	調査対象の情報通信産業におけるプログラミング教育.	51
4.4	ARCS アセスメント尺度による解析.	52
4.4.1	学習者の全体的な傾向.	52
4.4.2	理工系グループと非理工系グループの比較.	54
4.4.3	4 グループの比較.	56
4.5	IT 非適用領域におけるプログラミング教育への対処.	59
4.6	まとめ.	60
第5章	ARCS動機づけ方略に基づくプログラミング教材の改善	61
5.1	あらまし.	61
5.2	プログラミング教材改善の背景.	61
5.3	プログラミング教育の環境.	63
5.4	プログラミング教材の改善法.	65
5.5	改善前グループにおける有意な遷移の導出.	66
5.6	プログラミング教材の改善.	69
5.6.1	減少フェーズ①の教材改善.	69
5.6.2	減少フェーズ②の教材改善.	70
5.7	教材改善の効果と考察.	72
5.8	まとめ.	74
第6章	結論	77

謝辭	81
参考文献	83

目 次

2.1	教育項目の出力画像例.	13
2.2	Processingのインタフェース.	15
2.3	大学Aと大学BのMVの遷移.	23
3.1	Processingの教育項目を用いた作品例.	36
3.2	ARSCモデルの主要な因子の推移.	37
3.3	ARSCモデルの下位カテゴリーの推移.	38
3.4	3Dバブルグラフの基本概念.	42
3.5	学習フェーズにおける主要な因子の遷移.	44
4.1	学習フェーズにおけるモチベーションの遷移.	53
4.2	因子におけるモチベーションの比較.	53
4.3	学習フェーズごとのモチベーションの比較.	54
4.4	因子ごとのモチベーションの比較.	54
4.5	学習フェーズにおけるグループの平均スコア.	57
4.6	因子におけるグループの平均スコア.	57
5.1	改善前グループにおける4因子の遷移.	68
5.2	4因子の下位カテゴリーにおける有意な遷移.	68
5.3	配列の概念と役割の説明.	71

表 目 次

2.1	プログラミング教育の内容.	17
2.2	ARCS 下位カテゴリーと教育項目の関連.	17
2.3	SIEM アセスメント尺度.	20
2.4	MV 値によるグループの比較.	22
2.5	t 検定による学習フェーズ間の MV の遷移.	24
2.6	因子 1-2 および Processing 評価項目の平均値.	24
2.7	大学 A における因子 1-2 と MV 評価項目の相関.	25
3.1	ARCS 動機づけモデルの主要な因子と下位カテゴリー.	33
3.2	ARCS アセスメント尺度.	34
3.3	プログラミングの教育項目.	35
3.4	主要な因子の推移の t 検定.	37
3.5	学習フェーズ間における下位カテゴリーの推移の検定.	38
3.6	主要な因子に属する下位カテゴリーの相関.	43
4.1	プログラミング教育の概要.	52
4.2	学習者の分類.	52
4.3	理工系／非理工系グループの下位カテゴリー における平均値の t 検定.	55
4.4	4 グループの因子における推移の t 検定.	56
4.5	4 グループの下位カテゴリーにおける 平均値の一元配置分散分析.	58
5.1	プログラミング教育の授業と教育項目.	64
5.2	改善前グループにおけるモチベーションの有意な遷移.	68
5.3	方略 S2-2 に適応した肯定的なコメント例.	71
5.4	改善前グループから改善後グループへの 下位カテゴリーの有意な遷移.	73

第 1 章 序論

1.1 研究の背景

近年の情報化社会の発展に伴いコンピュータが多様な分野で活用されている。絵画、キャラクター、デザイン、音楽などの制作においてもコンピュータが用いられ、芸術系技能を必要とする IT 作業が増える傾向にある。例えば、Adobe 社製の Illustrator を用いたポスター／ロゴ制作、Photoshop による孔版画の原画制作、Premier での映像編集、Finale 社製の Note Pad による音楽編集、Autodesk 社製の Maya を用いた 3D モデリング、3D プリンタによるフィギュア制作などである。しかしながら、情報通信を主専攻としない領域（以下、IT 非適用領域 と呼ぶ）の教育機関において、芸術系技能の習得過程にある学生の関心事は、社会の趣向・傾向、テーマ、素材、高機能な描画ツールなどにあり、素材の成分・特性、描画ツールの仕組みなどに関する情報通信技術は、ブラックボックスのように扱われる傾向がある。Andersen は、IT 非適用領域におけるプログラミング教育の教授者は、学習者の主要な興味が専攻分野に集中し、プログラミングに関する興味が小さくなる傾向にあるため、学習者への動機づけの困難さに直面していると報告している[1]。

芸術系技能を必要とする IT 作業においては、ハードウェアの陳腐化による更新、ソフトウェアのバージョンアップなどにより作業環境を充実させて、効率的な制作活動を展開する必要性が生じる。そのため、作業環境の充実には、コンピュータ本体などのハードウェアや、アプリケーション、その汎用的な利用方法、アルゴリズムなどのソフトウェアに関する知識・技能の修得が必要になる。プログラミングは、ハードウェアおよびソフトウェアの両者の知識・技術の理解を必要とすることから、プログラミング教育がこれら要素技術の基礎的理解の促進に有用である[2]。また、Processing[3]や Design By Numbers[4]のように、数式表現図形を比較的簡単なソースコードによって直接制作することができる幾つかのプログラミング環境が提供されている。ただし、学生がプログ

プログラミングに関する知識・技術を持たない場合、彼らは芸術活動における重要な手段を逃すことになる[1]。本論文では、IT 非適用領域における効果的なプログラミング教育が実現できれば、芸術系技能を必要とする IT 作業への貢献が期待できることに鑑み、IT 非適用領域の教育機関におけるプログラミング教育を対象にする。

今日、プログラミングは、情報システムや組込みシステムなどの開発・運用・保守のためのソフトウェア技術者育成の重要性がさらに高まっている企業活動において、産業が発展するための重大なスキルとみなされている[5]。また、日本経済の成長戦略として 2013 年 6 月に閣議決定された「日本再興戦略－JAPAN is BACK－」において、IT を活用した 21 世紀型スキルの修得の一環として、産学官連携による実践的 IT 人材を継続的に育成するための仕組みを構築し、義務教育段階からのプログラミング教育等の IT 教育を推進する、としてプログラミング教育の重要性が示されている[6]。

学習者の立場からは、プログラミングは知識の単なる暗記によって学習できる科目ではなく、学習者自身による創意工夫が必要な参加・実践型の科目であると言える。学習者は、プログラムのアルゴリズムを理解し、実際に PC を操作してソースコードを入力し、構文／実行エラーを修正しながら正しい出力が得られるように学習する。これら学習プロセスでは、一つの事象を中心として学習が展開される教科と比較すれば、幾つものスキルや適切な指導が必要になるため、プログラム教材が学習者の理解レベルより高ければ、学習者のモチベーションの喪失に繋がる[7]。また、プログラミング教育では、実際のプログラムの実行を繰り返すことによってそのスキルが修得されることから、他の教科の学習と比較して修得が困難であり、自発的な学習が必要とされる[5]。このような状況から、学習者のモチベーションの維持・向上が、他の科目と比べて極めて重要となる。

加えて、IT 非適用領域の教育機関では、将来、多くの学生がプログラマーになることを目指している訳ではないため、モチベーションの維

持・向上が特に重要となる。また、趣味の活動としてプログラムを楽しんでいるプログラマーも多数いることから、プログラミングを楽しんでいると感じてもらうことが、プログラミング技術修得の最も重要な要素となる。

従来、教育機関においてもプログラミング教育は、教材の開発、学習効果の解析、学習者モデルなどについて、理論面・実証面の双方から研究が進められてきた。例えば、伊藤らによるプログラムと計測・制御のためのロボット学習教材の開発・評価[8]、紅林らの制御プログラムにおける学習効果の解析[9]、大塚らの Java 言語による設計支援システムの開発[10]などの研究が展開されている。さらに情報通信の分野では、河野らが概念地図法によって中学生の情報通信の概念を解析している[11]。初中等教育におけるプログラミング教育では、兼宗らがプログラミングを体験することは計算機の動作原理を学ぶうえで効果的である、といった考えから初中等教育に活用できるプログラミング環境として「ドリトル」を開発し、オブジェクト指向プログラミングの実践と評価を行っている[2]。このようにプログラミング教育に関する研究が展開されているにも関わらず、プログラミング教育における学習者のモチベーションが考慮されていない。

モチベーションに関する研究では、Pekrun が学習者の学習への取り組みを分析し、学生の学術的感情と3つの要因（達成感、学習のモチベーション、学習のための自己制御）の間に相関があることを示している[12]。しかしながら、学術的な感情に着目した学術的感情アンケート(AEQ: Academic Emotions Questionnaire)による学習者の学習への取り組みの分析では、教育環境全体を分析の対象としているため、教科におけるモチベーションが扱われていない。Feldgen らは、プログラミング教育における学生の自学自習の調査により、微積分学、エンジニアリング、ビジネス、ゲームの中から学生が好むテーマの分析によって、プログラミングに対する学習者の理解がゲームや Web システムのような刺激的なヒューマン・インタフェースを備えたプログラムであることを示し、能動的な学習を必要とするプログラミング教育におけるモチベーシ

ョンの重要性を示しているが[5],プログラミング教材の全体を捉えていない。Turner らによって理論的および実証的な立場から,学習への取り組み姿勢とそのモチベーションの関係も研究され[13],数学における学習者の達成ゴール学習への取り組み姿勢とそのモチベーションの関係を示しているが,モチベーションのレベルに関する議論がなされていない。さらに,Weinberg は,コンピュータプログラミングの心理学といった観点から,プログラミングの分野を人間の行動,社会活動,個人の行動の3つに分類し,その中の個人の行動の分野で,プログラマーのモチベーションに影響を及ぼす外部要因をインタビューによって調査している[14]。このようなモチベーションの調査・研究が行われているにも関わらず,プログラミング教育におけるモチベーションを測定し,解析するためのアセスメント尺度や解析方法に関するアプローチが少ない状況である。

以上の背景から,IT 非適用領域の教育機関において効果的なプログラミング教育を実現するため,プログラミング教育における学習者のモチベーションを測定し,その結果に基づいてプログラミング教材を改善することが重要な課題となる。

1.2 研究の目的とアプローチ

本論文は,IT 非適用領域の教育機関において効果的なプログラミング教育を実現するため,学習者のモチベーションを測定して解析し,学習者のモチベーションを維持できるようなプログラミング教材の改善法の確立を目指す。

本研究のアプローチは,IT 非適用領域に適応した新たなアセスメント尺度を開発するため,既存のアセスメント尺度を使用して,プログラミング教育におけるモチベーションを測定する。そして,その解析結果と知見を基にして,4つの因子(注意(Attention),関連性(Relevance),自信 (Confidence),満足感 (Satisfaction))に分けてモチベ

ンを測定できる新たなアセスメント尺度（以下，ARCS アセスメント尺度と呼ぶ）と，アンケート（以下，ARCS アンケート と呼ぶ）を開発し，IT 非適用領域のプログラミング教育においてそのモチベーションを測定する．なお ARCS アンケートは，実際のプログラミング教育のモチベーションを測定する際のアンケートとして，ARCS アセスメント尺度をアンケート形式にまとめたものである．これら因子は，J. M. Keller が提唱する「ARCS 動機づけモデル」に基づくものである[15], [16]．次に，ARCS アセスメント尺度の汎用性を検証するため，情報通信産業の新人研修におけるプログラミング教育のモチベーションを測定して解析する．これらの知見を基に，ARCS 動機づけ方略に基づくプログラミング教材の改善法を提案する．

具体的には，IT 非適用領域の教育機関においてプログラミング教育を試行し，ARCS 動機づけモデルを背景理論として土肥らによって開発された SIEM（Systematical Information Education Method）アセスメント尺度を用いて[17], [18]，IT 非適用領域におけるプログラミング教育のモチベーションを測定する．

SIEM アセスメント尺度は，プログラミング教育におけるモチベーションを分析するためのアセスメント尺度で，授業構成因子(7 項目)，自発性因子(4 項目)，双方向性因子(3 項目)，参加性因子(2 項目)の 4 因子と，モチベーション評価項目(3 項目)で構成されている．本アセスメント尺度におけるモチベーション・レベルの測定は，J.W. Atkinson の達成行動理論の動機づけモデルを用い[19]，上述の尺度とは別に重要度と期待度の 2 つの尺度を設定し，その積で算出している．[17], [18]で提案されている SIEM アセスメント尺度では，ARCS 動機づけモデルの 4 因子をモチベーション・レベルの算出に使用していないことから，モチベーション全体の傾向を把握することが難しい．また，改善が必要な本アセスメント尺度の項目が抽出された場合，その項目に対応した汎用的な改善法を客観的に見出すことができない．そこで，本研究では IT 非適用領域のプログラミング教育に適応してモチベーションの遷移を総

合的に測定できる新しいアセスメント尺度が必要になったため、ARCS アセスメント尺度 と ARCS アンケートを開発する。

ARCS 動機づけモデルは、インストラクショナルデザイナーが学習意欲の問題に取り組む際の支援モデルとして、1983 年に J. M. Keller によって提唱されている。本モデルでは、注意（Attention）、関連性（Relevance）、自信（Confidence）、満足感（Satisfaction）の 4 つの主要なモチベーション因子を定義し、それぞれの因子に 3 つの下位カテゴリーが設定され、各因子の下位カテゴリーに対応した動機づけ方略が示されている[15], [16]。 “ ARCS ” は 4 因子の頭文字をとっている。ARCS アセスメント尺度は、12 の下位カテゴリーに対応させた項目で構成され、それぞれの項目では ARCS 動機づけモデルの下位カテゴリーにおける解説用語[15], [16]の要素を基に、それが充足されているかを尋ねている。本モデルは、関連諸分野の研究成果を簡潔にまとめた実用性の高さにより、米国を中心に高い評価を受けている[20]。ARCS 動機づけモデルおよび ARCS アンケートは 3.3 節で詳述する。

次に、ARCS アセスメント尺度の汎用性を検証するため、情報通信産業の新人研修のプログラミング教育において、そのモチベーションを ARCS アセスメント尺度によって測定する。モチベーションの解析は、ARCS アセスメント尺度を構成する 4 つの因子および、その下位カテゴリーの遷移状態を、数値およびグラフによって行う。13 の実証研究において約 1700 件の ARCS アンケートを実施してモチベーションを測定し[21], [22], [23], [24], [25], [26], [27], [28], [29], プログラミング教育の学習者モデル、プログラミング教材や専攻領域が及ぼすモチベーションを解析する。

ARCS アセスメント尺度で測定したモチベーションを基に、効果的なプログラミング教育を実現するための教材の改善法を提案し、教材改善を施してその効果を評価する[30], [31]。プログラミング教材の改善は、 $P1$:モチベーションの測定、 $P2$:有意な遷移の導出、 $P3$:遷移の分類、 $P4$:改善要素の設定、によって行う。 $P1$ では、プログラミング教材の

改善前グループにおいて、授業の終了時毎に、ARCS アセスメント尺度によってモチベーションを測定する。P2 では、改善前グループのプログラミング教育終了後、 $(n-1)$ 回目の授業と n 回目の授業において、有意な遷移が生じる下位カテゴリーを t 検定によって特定する。P3 は、P2 のプロセスで導出した $(n-1)$ 回目の授業と n 回目の授業の教育プロセスを、下位カテゴリーの減少／増加フェーズに分類する。本論文では、モチベーションの減少フェーズにおける n 回目の授業で、有意な遷移が生じた教育項目を教材改善の対象にする。P4 は、ARCS 動機づけモデルの“動機づけ方略”における方略見本から、プログラミング教育の知見を参照して、 n 回目の授業で有意な遷移が生じた下位カテゴリーに適應する方略見本を参照して選択する。そして、方略見本を適用して教材改善するための改善要素を設定する。

本改善法によるプログラミング教材の改善は、ARCS 動機づけモデルの“動機づけ方略”を参照することから、教授者の経験や知見の差異による影響が小さく、多様なプログラミング教育環境で利用できる。また、本法は同じプログラミング教材に繰り返して適用できることから、プログラミング教材の改善効果が高く、効果的なプログラミング教育を実現させるプログラミング教材の作成が期待できる。

1.3 論文構成

本論文では、プログラミング教材の改善法を確立するため、IT 非適用領域におけるプログラミング教育のモチベーションを、SIEM アセスメント尺度を用いて測定し、その解析結果と知見によって IT 非適用領域のプログラミング教育に適應した新しいアセスメント尺度を開発する。次に、新しいアセスメント尺度によって IT 非適用領域におけるプログラミング教育のモチベーションを測定し、その汎用性を検証するため、情報通信産業の新人研修におけるプログラミング教育のモチベーションを測定する。そして、ARCS アセスメント尺度で測定したモチベ

ションを基に、効果的なプログラミング教育を実現するための教材の改善法を提案し、教材改善を施してその効果を評価する

第 1 章では、ポスター／ロゴ制作、3D モデリング、孔版画の原画制作、映像編集、音楽編集などの IT 非適用領域の技能を必要とする IT 作業において、作業環境を充実させて効率的な制作活動を展開するには、プログラミング教育が有効であることを示す。次に、IT 非適用領域におけるプログラミング教育の有用性および、プログラミング教育におけるモチベーションの重要性と、効果的なプログラミング教育を実現させるための教材改善の必要性を述べる。

第 2 章では、まず IT 非適用領域におけるプログラミング教育の考え方および、教育項目の設定趣旨を述べる。次に、Processing[3]を用いて数式表現図形を教材としたプログラミング教育を、芸術系の 2 つの教育機関で試行し、SIEM アセスメント尺度を用いてプログラミング教育における学習者のモチベーションを測定し、その解析方法を提案する。また、数式表現図形に関わる美しさへの関心とモチベーションとの関連も解析する。

第 3 章においては、モチベーションを注意（Attention）、関連性（Relevance）、自信（Confidence）、満足感（Satisfaction）といった 4 つの因子に分けて測定する新たな ARCS アセスメント尺度と ARCS アンケートについて述べる。また、ARCS アセスメント尺度の開発経緯および ARCS 動機づけモデルについて詳述する。本章では、IT 非適用領域の技能を必要とするプログラミング教育におけるモチベーションの遷移を、ARCS アセスメント尺度を用いて測定する。また、ARCS アンケートの信頼性を Cronbach の α 係数[32], [33]を用いて評価する。そして、その測定結果を詳細に解析するため、ARCS 動機づけモデルの主要な因子を構成する下位カテゴリーに着目した 3D バブルグラフによる解析方法を提案し、下位カテゴリーの遷移とその遷移要因を解析する。下位カテゴリーの遷移要因の解析は、ARCS 動機づけモデルの一つの因子に属する 3 つの下位カテゴリーを 3D バブルグラフの 3 軸に

対応させて描画した 3D バブルグラフを視覚的に評価する。本提案法は、一つの因子の下位カテゴリー間の関係や、学習フェーズの進行による遷移要因の総合的な把握に適用できる。

第 4 章では、ARCS アセスメント尺度の汎用性を検証するため、情報通信産業における新入社員のプログラミング教育に着目し、そのモチベーションを測定して解析する。その結果、本アセスメント尺度が IT 非適用領域以外でも、モチベーションを測定できることを確認した。またモチベーションの解析から、因子レベルにおいては注意（Attention）と満足感（Satisfaction）の平均スコアが、関連性（Relevance）と自信（Confidence）の平均スコアより高く維持される傾向が示された。本解析結果を参照し、IT 非適用領域の教育機関におけるプログラミング教育を効果的に実践するための要因も考察する。

第 5 章は、プログラミング教育における教材の改善法を提案する。本改善法は、学習者のモチベーションを定量的に測定し、ARCS 動機づけ方略と統計的検定に基づいてプログラミング教材の改善を行う。具体的には、学習者のモチベーションを、ARCS アセスメント尺度によって測定し、統計的に有意な減少が生じる授業回の下位カテゴリーを特定する。その下位カテゴリーに対応するモチベーションを向上させる方略を、ARCS 動機づけモデルの“動機づけ方略”における方略見本から選択する。方略見本に基づいて教材の改善要素を設定し、プログラミング教材の改善を行う。ケーススタディとして、本改善法によって 5 つの改善要素を設定して教材改善を行ってプログラミング教育を試行し、特徴的な 3 つの改善要素における教材改善の効果を検討する。

最後に第 6 章で、論文で行った研究のまとめ、今後の研究の展開について述べる。

第2章 SIEM アセスメント尺度による IT 非適用領域のプログラミング教育におけるモチベーションの測定

2.1 あらまし

本章では、まず IT 非適用領域におけるプログラミング教育の考え方を述べる。次に、SIEM アセスメント尺度[17], [18]を用いて、IT 非適用領域のプログラミング教育におけるモチベーションを測定し、そのモチベーションの分析方法を提案して解析する。IT 非適用領域の一つである芸術系を対象として、数式表現図形の教材によってプログラミング教育を試行し、その美しさへの関心とプログラミング学習におけるモチベーションとの関連を解析する。

本研究では、数式表現図形を出力できるプログラミング環境として、Processing[3]を使用する。Processing は、MIT (Massachusetts Institute of Technology)の Media Lab において Reas と Fry によって開発され、視覚的な作品を通じてプログラミングの基礎を学ぶためのプログラミング環境である。そのため、比較的簡単なソースコードでアニメーション等も含めた出力が得られることから、モチベーションの分析には適切な環境である。Processing を用いたプログラミング教育を、芸術系の2つの教育機関で試行し、ARCS 動機づけモデルを背景理論とする SIEM アセスメント尺度[17], [18]によってプログラミング教育における学習者のモチベーションを測定する。そして、統計的な分析方法を提案してプログラミング教育におけるモチベーションとその関連を解析する。

2.2 IT 非適用領域におけるプログラミング教育の考え方

本プログラミング教育の目的の一つは、プログラムによる図形描画、アニメーション処理、インタラクティブ処理、画像処理を体験して修得させ、プログラムによって芸術作品を制作できるようにすることである。また、日常的に芸術活動のツールとして使用しているソフトウェアの仕組みを理解させることである。さらに、情報通信技術が進展した情報化社会の芸術活動を鑑みて、プログラムもできるアーティストを育成し、MIT (Massachusetts Institute of Technology) の Media Lab のような芸術活動[34]を展開できることを目指している。プログラムに関する知識・技能は、芸術系技能を必要とする IT 作業に関わった状況において有効である。

主な教育項目は、IT 非適用領域におけるプログラミングを考慮し、プログラムの出力を本領域における作品制作と関連付けるため、数式表現図形、アニメーション、画像処理、インタラクティブ処理を設定した。教育項目全体では、プログラミングの基礎的技能を修得させるため、プログラムの3つの基本構造（逐次処理、繰返し処理、条件分岐処理）をプログラミングに取入れた。プログラムの繰返し処理は、非日常的な動作あるいはアルゴリズムであるため、学習者にとって理解しづらい場面も予想されたが、数式表現図形の描画に必須であることから、本処理を教育項目に取入れている。

数式表現図形では、1つのステートメントを繰返すことによって、その規則に従った図形を複数描画でき、その規則性がリズムカルで心地よい芸術的作品を作り出すことができる。また、奇数列や等差数列にある図形の位置を少しだけ逸脱させて“ゆらぎ”を表現できることで、幻想的な作品を制作できる。アニメーションでは、移動物体の壁反射などのプログラムのカスタマイズによってゲーム制作の一部を体験させ、実際の2Dゲームの仕組みを理解させられる。また、アニメーションのプログラムによって、芸術的なアニメーション作品が制作できることも認識

させられる。インタラクティブ処理では、マウス操作などのイベントに反応できるインタラクティブ機能の基本的な仕組みを修得でき、その機能を用いたインタラクティブ・アートの制作に繋げることが期待できる。また、画像処理では、アルファチャンネルを用いた画像の不透明度および、画像マスク、複数画像の合成などをプログラムによって処理することで、画像処理ツールの基本的な仕組みを理解させられ、画像処理のプログラムによる芸術的な作品の制作が期待できる。

教育項目の順序は、まず数式表現図形を描画するための図形描画のステートメント（基本図形（直線、四角形、円など）、線の太さ、線や図形の塗りつぶし）を、逐次型プログラムによってプログラミングさせ、基本図形の描画処理を修得させる。そして、基本図形の1つのステートメントを繰返して複数描画するためのアルゴリズムを修得させる。ここでは、直線、四角形、円などを繰返して描画するステートメントとして“for”を用い、繰返し処理のプログラムによる教育項目を設定している。次に“if”ステートメントを用いて、図2.1(a)のような図形の“ゆらぎ”を表現するためのアルゴリズムを修得させ、条件分岐型プログラムをプログラミングするように教育項目を設定している。逐次型、繰返し型、条件分岐型プログラムといったプログラムの3つの基本構造を学習した後、アニメーションのプログラムを体験させて、そのアルゴリズム

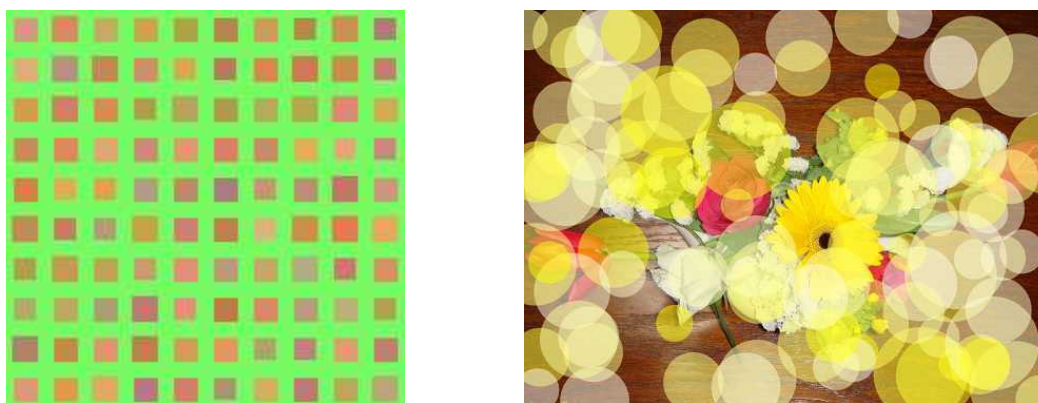


図 2.1 教育項目の出力画像例

ムとステートメントを修得させるように教育項目を設定している．さらに、アニメーションをインタラクティブな作品にするためのアルゴリズムを理解させて、マウスイベントによるプログラムを体験させ、実際のゲーム制作におけるインタラクティブな仕組みを理解させるように教育項目を設定している．そして、画像処理ツールの仕組みを理解させるため、プログラムによる画像表示、フィルタ、図形／画像の合成といった画像処理のアルゴリズムとステートメントを修得させるように教育項目を設定している．本教育項目における出力画像例として図 2.1(a)に“ゆらぎ”，図 2.1(b)に図形／画像合成の画像を示す．教育項目の詳細は 2.4 節で述べる．

次に、IT 非適用領域におけるプログラミング教育の必要性について述べる．Andersen らは、IT 非適用領域におけるプログラミング教育の教授者は、学習者の主要な興味は学習者の専攻分野に集中し、プログラミングに関する興味が小さくなる傾向にあるため、学習者への動機づけの困難さに直面している、と報告している[1]．例えば、プログラミング教育における動機づけが、学習者の能動的な学習にとって重要な要素であると考えられているが、芸術的な作品制作を目指している IT 非適用領域においては、プログラミング教育における体系的な対応が見当たらない．さらに、数式表現図形を含む計算のためのプログラミングは、近年の情報通信技術の進展と普及により、あらゆる専門領域で適用されるようになり、プログラミング教育はますます重要な事項となっている．IT 非適用領域におけるプログラミング教育は、次の2つの事項から学習者にとって重要である．

- ① 近年、アーティストやデザイナーの多くが、画像作成・編集等のためのソフトウェアやハードウェアを活用して作品制作を行っている．プログラミング教育によってプログラミングの仕組みを理解できれば、アプリケーションのメカニズムや処理データの構造を把握でき、画像制作・編集等のための情報環境を改善が可能になり、制作プロセスをより効率的にすることができる[35]．

- ② Processing[3]や Design By Numbers[4]のように、数式表現図形をソースコードによって直接制作することができる幾つかのプログラミング環境が提供されている。したがって、1.1 節で述べたようにプログラミングに関する知識・技術がなければ、芸術活動における重要な手段を逃すことになる[1]。

2.3 プログラミング教育の環境

本プログラミング教育におけるプログラミング環境として用いている Processing のインタフェースを図 2.2 に示す。ソースコードはテキストエディター・エリアに入力され，“Run”ボタンによって別ウィンドウが開いてプログラムの出力結果を表示する。また，Java 言語のようなコンパイル処理が不要である。Processing を用いたプログラミング教育は，日本と台湾の 2 つの大学(日本は大学 A，台湾は大学 B)で実施した。本章では大学 A のモチベーションの減少に注目し，大学 A と大学 B との解析結果の比較によって，その要因を導出する。



図 2.2 Processing のインタフェース

2.4 教材とクラス

2.4.1 プログラミング教育の教材

本プログラミング教育で使用する教材は、学生が十分に動機づけられるように ARCS 動機づけモデル[15], [16]に基づいて設計・作成した。本プログラミング教育は、2.2 節のプログラミング教育の考え方に基づいて 14 の教育項目で構成され、それぞれの教育項目は独立して前後の教育項目には継続しない。プログラミングの教育項目を表 2.1 に示す。

具体的には、授業開始時の教育項目 1-2 において、コンピュータのハードウェア構成、その仕組みを解説し、プログラミング環境として使用する Processing の概要を説明して操作方法を修得させる。そして、教育項目 3-5 においては、プログラミングの基礎を取得させるため、変数の扱い方、繰返しと条件分岐のアルゴリズムを用いた基礎的なプログラムを扱う。教育項目 6 では、基礎的プログラムの応用を目的として、学習者の構想による 2D 図形の制作を課題として処理させる。その後、教育項目 7-8 において、3D 図形と静止画イメージの出力ステートメントおよびアルゴリズムを修得させる。教育項目 9-10 では、アニメーションのアルゴリズムおよび、マウスイベントによるインタラクティブなプログラム処理を修得させる。教育項目 11-12 は、アニメーションの基礎的なプログラムを用いて、ベジェー曲線およびフラクタル・ツリーを修得させる。教育項目 13 は、静止画像の出力、マウスイベント、ベジェー曲線およびフラクタル・ツリーのプログラムを応用し、学習者が構想したアニメーションをプログラミングさせる。

次に、表 2.2 に ARCS 動機づけモデルの下位カテゴリーと教育項目との対応および、教育項目の目標を示す。プログラミング教育におけるモチベーションは、SIEM アセスメント尺度によって測定し、そのための SIEM アンケートは授業期間の初期、中期、終期において実施した。

表 2.1 プログラミング教育の内容

トピック番号	タイトル	内容
1	コンピュータとProcessing	ハードウェアとソフトウェア, Processingの概要
2	Processingの基本操作	基本コマンド, 色
3	変数	変数宣言, 配列
4	繰り返し	for, 多重for, while 文
5	条件分岐	if 文
6	2D図形制作	2D図形の応用と制作
7	3D図形の概要	3D図形描画コマンド
8	画像イメージ出力	images文
9	アニメーション	アニメーションのアルゴリズム
10	マウスインプット	mouseX, mouseY文
11	ベジエ曲線	bezier関数
12	フラクタル図形	フラクタル図形のアルゴリズム
13	アニメーション制作	アニメーションの制作
14	まとめ	Processingのまとめと課題評価

表 2.2 ARCS 動機づけモデルの下位カテゴリーと教育項目の関連

ARCSの下位カテゴリー	教育項目	教育項目の目標
A.1. 知覚的喚起: Perceptual arousal	1 - 13	プログラム出力の美しさへの満足: Aesthetical satisfaction on the resulting art work.
A.2. 探究心の喚起: Inquiry arousal	6	美しいプログラム出力のためのソースコードの加筆修正: Asking the students to guess the codes of artwork.
A.3. 変化性: Variability	1 - 13	マウス移動などによる2D図形の変化: Moving from still images to moving images, and to receiving mouse input.
R.1. 親しみやすさ: Familiarity	4, 5	繰り返し・条件分岐等アルゴリズムと美しい2D図形制作の関連: Relating repetition and conditional branch to 2D design.
R.2. 目的指向性: Goal orientation	1 - 13	非IT適用領域における芸術系に意識: The students are in the art and digital design faculty.
R.3. 動機との一致 Motive matching	6, 13	自由課題による美しい2D図形の制作: Creating their own artwork in free assignments.
C.1. 学習要求: Learning requirements	1 - 13	制作可能な美しい2D図形の提示: Showing examples.
C.2. 成功の機会: Success opportunities	4 - 13	ソースコードの記述による2D図形の出力: Changing some parameters can make the artwork much more attractive.
C.3. コントロールの個人化: Personal control	6, 13	学習者によるソースコードの加筆修正: The students use their own creativity to create their original artwork.
S.1. 自然の結果: Natural consequences	1 - 13	非IT適用領域における制作活動へのプログラミング知識・技術の適用: The students will be able to use the knowledge in their own work.
S.2. 肯定的な結果: Positive consequences	4 - 13	プログラム出力した2D図形制作への肯定的な評価: Expressing appreciation of students' artwork.
S.3. 公平さ: Equity	14	全ての学習者へプログラミング学習の促進: Encouraging the students to continue learning Processing.

2.4.2 2つのクラスにおけるプログラミング教育

本プログラミング教育は、大学 A、大学 B の授業において実施した。大学 A のクラスでは、1 授業時間 90 分を 6 回実施した。本クラスの学習者は、IT 非適用領域における芸術系 2 回生が 84 名である。大学 B におけるプログラミング教育は、4 日間の集中講義で実施した。本クラスの授業時間は 50 分で、総授業時間が 18 授業時間（第 1 日目 3 時間、第 2 日目 3 時間、第 3 日目 6 時間、第 4 日目 6 時間）である。本クラスの学習者は、IT 非適用領域の学部生と大学院生で 53 名である。また本プログラミング教育の教材は、十分な動機づけが得られるように ARCS 動機づけモデルに基づいて作成した。

2.5 SIEM アセスメント尺度

学習者のモチベーション・レベルの測定は、土肥らが開発した SIEM アセスメント尺度[17], [18]を使用した。[17], [18]では、ARCS 動機づけモデルを背景理論としてプログラミング教育に特化して開発されており、プログラミング教育におけるモチベーション・レベルを定量的に測定するための尺度である。本尺度を使用してプログラミング教育におけるモチベーション・レベルを測定するため、評価要素を含んだアンケート（以下、SIEM アンケート と呼ぶ）を教育フェーズの初期、中期、終期において実施した。SIEM アンケートの質問項目は、ARCS 動機づけモデルの下位カテゴリーに基づく 12 項目の質問と、他の 7 項目が追加された 19 項目の質問で構成されている。本章では、Processing による出力図形の“美しさ”をプログラミング教育の成果の一つとして捉え、出力図形の“美しさ”に関する 2つの質問項目として項目 20、項目 21 を加えた。SIEM アンケートにおける“美しさ”の意味を学習者に理解させるため、本アンケートにおける“美しさ”を次のように定義して説明した。The Concise Oxford Dictionary of Current English に表された”beauty”の “a combination of qualities, as shape, proportion, color,

in human face or form, or in other objects, that delights the sight” から[36], 「コンピュータ・スクリーン上で一目見て楽しませることができる形, 色, アニメーションを複合した画質」とした。

項目 20 は, 項目 5, 6 の一般的なプログラミングに対する質問とは異なり, Processing のプログラミングによる出力結果と“美しさ”に関連する質問で, プログラミングと出力結果との関係をより明確に調査している。上述の事項から, これら 2 つの質問項目は一般化された質問より正確にプログラミングとその成果の関係を導出できる。

質問への回答には, 次の 5 段階のリッカートスケールを使用し, モチベーションの高さを示すスコアを次の回答番号に対応させている。表 2.3 に SIEM アセスメント尺度および追加項目を示す。

- 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

SIEM アセスメント尺度を表 2.3 に示す。本アセスメント尺度は, 7 項目の授業構成因子, 4 項目の自発性因子, 3 項目の双方向性因子, 2 項目の参加性因子といった 4 因子で構成されている。本アセスメント尺度における項目 1-16 は, 授業に影響しているモチベーションを分析するための評価項目である。項目 17-19 がモチベーション・レベルの評価項目で, 学習者のモチベーション・レベルの算出に使用する。ただし, 項目 18 は「現状認知度」で, 学習者の主観的な学習状況の現状認知になることから, モチベーション・レベルの算出には使用していない。

SIEM アセスメント尺度におけるモチベーション・レベルの算出は, J.W. Atkinson の達成行動理論の動機づけモデルを用いている[17], [18]。Atkinson のモデルでは, 個人が目標達成の可能性を考慮しながら, 価値が最も高い目標状態を目指した行動を選択するとし, 行動の決定レベルは目標達成への期待と目標の価値によると仮定している[19]。Atkinson の達成行動理論における達成行動レベル T の算出を式(1)に示す。達成行動レベルは, 成功達成要求や成功確率といった課題達成のた

表2.3 SIEMアセスメント尺度

	因 子	因子項目	質問項目
評 価 項 目	因子1： 授業構成因子	(1) 成功機会度 (2) 親性度 (3) 愉楽度 (4) 理解度 (5) 知覚的喚起度 (6) 意義の明確度 (7) 好奇心喚起度	授業中にできた・わかったという実感がありますか。 授業の内容は親しみやすいですか。 このプログラミングの授業は楽しいと思いますか。 このプログラミングの授業は理解しやすいですか。 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。 授業の意義や目的がはっきりしていますか。 授業では好奇心を刺激されますか。
	因子2： 自発性因子	(8) 将来への有用度 (9) 向上努力度 (10) 自己コントロール度 (11) 自己目標の明確度	将来に役立つと思いますか。 もっとプログラミングの勉強を努力しようと思いますか。 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すか。 自分の到達すべき学習の目標がはっきりしていますか。
	因子3： 双方向性因子	(12) コミュニケーション度 (13) 所属集団の好意的反応度 (14) コンテンツの合致度	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。 教員やクラスのメンバーは好意的ですか。 演習問題などは授業内容と一致していますか。
	因子4： 参加性因子	(15) 参加意欲度 (16) 参加積極度	休まずに出席しようという意欲が起こる授業ですか。 授業での自分の参加態度は積極的ですか。
モチベーション・レベル 評価項目		(17) 重要度 (18) 現状認知度 (19) 期待度	プログラミングを学習することは重要だと思いますか。 現在の時点で、プログラミングの知識・技術は身につけていると思いますか。 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すか。
”美しさ”に関する 評価項目		(20) 数式表現図形の美しさへ (21) 数式表現図形を美しくするための向上努力度	Processingのプログラミングの結果を見るのは楽しいですか。 Processingで、より美しい作品を作るために努力しようという気持ちになりますか。

めの認知的要因（期待度）と、個人の価値や重要性といった個人における要求（重要度）の相乗作用によって算出される。

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

ただし、 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）

土肥らも SIEM アセスメント尺度において、「期待度」と「重要度」に適応した表 2.3 のモチベーション評価項目 17, 19 を用い、学習者のモチベーション・レベル（以下、MV と呼ぶ）を算出している。モチベーション評価項目 17, 19 を用いた MV の算出を式(2)に示す[17], [18]。これら質問項目への回答が、1～5 の 5 段階リッカートスケールであることから、MV の範囲は最小値 1 から最大値 25 になる。

$$MV = (17)重要度 \times (19)期待度 \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (2)$$

2.6 モチベーションの分析方法

SIEM アンケートは、大学 A、大学 B の 2 つの教育機関のプログラミング教育において 3 回実施した。大学 A における SIEM アンケートは、教育項目 4、教育項目 6、および教育項目 11 の実施後に行なった。大学 B では、教育項目 6、教育項目 11、および教育項目 14 の実施後に行なった。SIEM アンケートの結果を、次の分析方法 $P1$ 、 $P2$ 、 $P3$ を提案して解析した。

$P1$: SIEM アンケートの全データを、教育機関ごとに平均値、最大値、最小値、分散といった基礎統計処理を行う。次に学習者の MV 値によって、20 以上の High グループ、20 未満 10 以上の Middle グループ、10 未満の Low グループに分類し、その特徴を導出する。（表 2.4, 図 2.3）

$P2$: 学習フェーズ間における因子項目スコアの有意な遷移を t 検定で判定し、MV の変化に影響を及ぼしていると推測される因子を導出し、Processing 評価項目のスコアと比較する。

$P2.1$: 学習フェーズ間の因子項目スコアの有意な遷移を t 検定によって判定する。MV の変化は、これら因子項目スコアが遷移することによって生じると仮定して、その因子を特定する。（表 2.5）

$P2.2$: $P2.1$ で導出された因子項目と Processing 評価項目 20, 21 のスコアを比較する。（表 2.6）

$P3$: $P2$ で導出された因子項目と MV 評価項目との相関を導出する。その際、強い相関を示す相関係数 0.7 を閾値とした[37]。（表 2.7）

分析方法 $P1$ においては、2 つの教育機関におけるプログラミング教育全体の傾向を分析する。 $P2$ では、要因項目スコアの有意な遷移が MV の変化に影響を与えていると仮定し、有意な遷移を表す因子項目を導出し、Processing 評価項目は、動機づけレベルの変化に影響した要因と比較する。 $P3$ では、MV に影響した因子項目を抽出する。

表 2.4 MV 値によるグループの比較

	教育機関	大学 A			大学 B		
	学習フェーズ	初期	中期	終期	初期	中期	終期
Total	Mean	17.1	13.9	12.7	17.0	17.7	18.9
	Maximum	25	25	25	25	25	25
	Minimum	6	1	1	8	8	9
	Variance	25.0	37.0	31.7	18.4	23.2	23.5
	Total	484	391	357	611	638	679
Highグループ	Ratio	37.9%	10.3%	10.3%	38.9%	47.2%	50.0%
20 ≤ MV	MV mean	21.8	25.0	23.3	21.4	22.1	23.1
Middleグループ	Ratio	51.7%	62.1%	48.3%	52.8%	50.0%	47.2%
10 ≤ MV < 20	MV mean	14.7	15.1	14.2	14.4	14.2	15.0
Lowグループ	Ratio	10.3%	27.6%	41.4%	8.3%	2.8%	2.8%
MV < 10	MV mean	8.0	5.6	7.3	8.0	8.0	9.0

2.7 実験結果の解析と考察

SIEM アンケートの測定データを分析方法 $P1$, $P2$, $P3$ によって解析した。大学 A では、学習フェーズの初期、中期、終期の 3 回のアンケート全てに回答した学習者は 29 名である。同様に大学 B では 36 名である。 $P1$ による分析結果を表 2.4, それぞれの教育機関における因子の遷移を図 2.3, に示す。図 2.3 では、それぞれの教育機関における学習環境の差異を調整するため、MV 値を対数変換して表している。

大学 A における学習フェーズ初期の MV が 17.1, 大学 B では 17.0 となり、大学 A がやや高い傾向にある。しかしながら、学習フェーズの進行によって大学 A は MV が低くなり、大学 B では MV が高くなっている。大学 A のような学習フェーズの進行による MV の低下傾向は、土肥らの研究によっても報告されている[17], [18]。本要因の一つとして、学習フェーズの進行によってプログラミング教材が難しくなり理解しづらくなるため、MV が低くなる傾向が表れる。一方、大学 B においては MV が高くなる傾向が表れている。

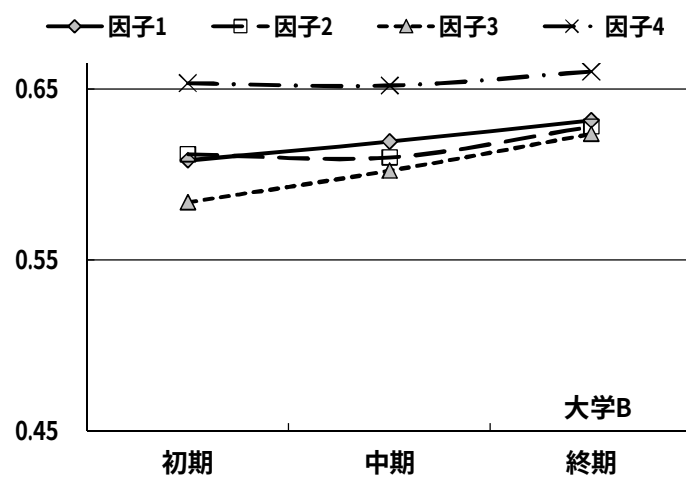
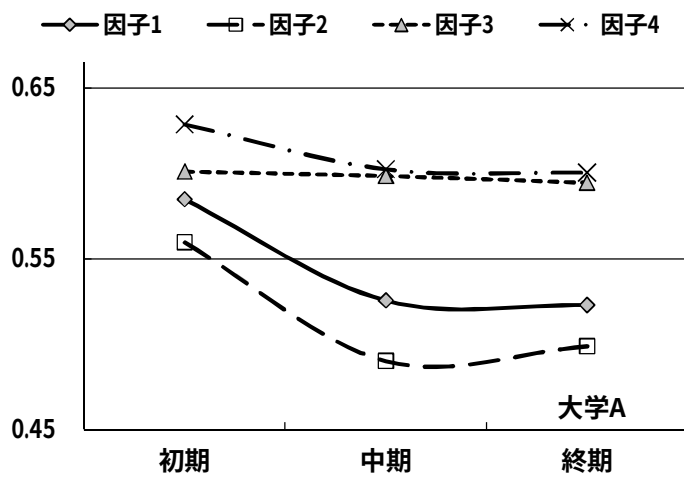


図 2.3 大学 A と大学 B の MV の遷移

表2.5 t 検定による学習フェーズ間のMVの遷移

大学	学習フェーズ	因子1							因子2			
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
A	初期－中期	0.02	0.06	0.01	0.00	0.18	0.05	0.01	0.00	0.00	0.01	0.66
	中期－終期	0.49	0.60	0.61	0.77	0.41	0.57	1.00	0.86	0.17	0.87	0.92
B	初期－中期	0.49	0.66	0.83	0.15	0.82	0.80	0.62	0.70	0.30	0.21	0.05
	中期－終期	0.32	0.01	0.09	0.15	0.05	0.04	0.03	0.21	0.34	0.13	0.64
大学	学習フェーズ	因子3			因子4		MV 評価項目			Processing評価項目		
		(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	
A	初期－中期	0.64	0.56	0.25	0.01	0.26	0.00	0.26	0.00	0.06	0.00	
	中期－終期	0.86	0.60	0.85	1.00	0.74	0.63	0.46	0.39	0.27	0.71	
B	初期－中期	0.47	1.00	0.74	0.28	0.29	0.05	0.10	0.80	0.06	0.64	
	中期－終期	0.00	0.10	0.42	1.00	0.21	0.25	0.47	0.10	0.77	0.77	

灰色のセルが有意な差を表す ($p=0.05$)

表2.6 因子1-2およびProcessing評価項目の平均値

大学	学習フェーズ	因子1 mean	因子2 mean	Processing評価項目	
				(20)	(21)
A	初期	3.84	3.63	4.36	4.07
	中期	3.35	3.09	4.00	3.54
	終期	3.33	3.15	3.71	3.64
B	初期	4.06	3.94	4.19	4.14
	中期	4.12	4.00	4.44	4.19
	終期	4.29	4.15	4.42	4.22

次に因子スコアが遷移する詳細な要因を導出するため、 t 検定を用いた P2.1 の分析方法によって解析した。ここでは、学習フェーズ間の因子項目スコアの有意な遷移を、 t 検定によって判定する。SIEM アンケートのデータにおける t 検定の P 値を表 2.5 に示す。表 2.5 における灰色のセルは、有意水準 5% で有意な差を表している。

大学 A では、学習フェーズ初期-中期の因子 1 において、7 つの因子項目のうちで 5 つの因子項目が有意な遷移を表している。また因子 2 においても、4 つの因子項目のうちで 3 つの因子項目が有意に遷移している。この傾向から、因子 1 および因子 2 が MV の変化に影響を及ぼしている。

表2.7 大学Aにおける因子1-2とMV評価項目の相関

大学	学習フェーズ	MV 評価 項目	因子1							因子2			
			(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
A	初期	(17)	0.12	0.36	0.52	0.58	0.52	0.31	0.46	0.28	0.43	0.39	0.39
		(19)	0.38	0.25	0.52	0.56	0.55	0.33	0.44	0.51	0.72	0.64	0.34
	中期	(17)	0.67	0.66	0.59	0.46	0.58	0.51	0.67	0.72	0.75	0.71	0.50
		(19)	0.77	0.74	0.66	0.62	0.55	0.68	0.77	0.67	0.77	0.77	0.47
	終期	(17)	0.52	0.44	0.53	0.43	0.54	0.65	0.64	0.64	0.72	0.66	0.58
		(19)	0.43	0.37	0.66	0.45	0.67	0.53	0.83	0.43	0.75	0.75	0.59

灰色のセルが0.7以上の相関係数を表す

次に、P2.1によって導出されたMVの変化に影響を及ぼす因子1、因子2とProcessing評価項目20,21のスコアを比較した。Processing評価項目20は、Processingによるプログラミング結果としての出力に対する感想を尋ねており、学習者がProcessingによる出力結果を楽しく眺めていれば、プログラミングに満足している状況にある。したがって、Processing評価項目が学習者のプログラミングに対する肯定的な態度を表していることから、本評価項目に注目した。2つの教育機関における因子1、因子2およびProcessing評価項目の平均値を表2.6に示す。表2.6において、因子1、因子2と比較してProcessing評価項目の平均値が高い。これよりIT非適用領域における学習者が、“美しさ”へ興味を抱くことで、2つの因子に影響を及ぼしてMVが変化する。

大学AにおいてMVが低下した要因を詳細に調査するため、P3による解析を行った。P3では、因子1、因子2とMV評価項目17,19との相関を求めるため、その相関係数を算出した。大学Aにおける因子1、因子2とMV評価項目との相関を表2.7に示す。表2.7において強い相関を示す0.7以上の相関係数を灰色のセルで表している。表2.7の因子項目9-10では、学習フェーズ初期から終期までの6つのMV評価項目のうち5つの評価項目が強い相関を表しており、他の因子項目よりMVの変化に影響を及ぼしている。また因子項目7も、学習フェーズの中期、終期においてMV評価項目19との強い相関を表している。

これら解析結果からMVの変化を次のように考察した。2つの教育機

関において、Processing 評価項目の平均値が因子の平均値よりも高かったことから、IT 非適用領域における芸術系の学習者は、プログラミングの出力結果と“美しさ”に関連を設定することが重要である。因子 1、因子 2 と MV 評価項目における相関の分析では、因子項目 7、9、10 が MV の変化に影響している。したがって、因子項目 7 の好奇心喚起、因子項目 9 の向上努力、因子項目 10 の自己コントロールといった 3 つの要因への対処がなされれば、MV の低下を抑えられることが期待できる。

土肥らの研究においても、学習フェーズの進行による MV の低下は、プログラミング教育の一般的な傾向であると報告されているが、大学 B においては学習フェーズが進行しても MV がわずかに高くなっている。本傾向の一要因として、大学 B でのプログラミング教育が集中講義であったため、学習者はプログラミング教育における教育項目の修得に専念できたと言える。

2.8 まとめ

本章では、Processing をプログラミング環境としたプログラミング教育を IT 非適用領域の 2 つの教育機関で試行し、SIEM アセスメント尺度によってモチベーション測定し、その分析方法を提案してモチベーションを解析した。2 つの教育機関において、Processing 評価項目の平均値が因子の平均値よりも高かった。したがって、IT 非適用領域におけるプログラミング教育では、プログラミングの出力結果と“美しさ”の関連が重要であると考えられた。モチベーションの解析では、MV が大学 A において低下したが、大学 B ではわずかに高くなった。

大学 A における MV の低下に注目し、その傾向が因子 1、因子 2 に影響されていることを解明した。さらに、この傾向の詳細な解析によって、因子項目 7、9、10 が MV の変化に影響していることを解明した。これより、因子項目 7 の好奇心喚起、因子項目 9 の向上努力、因子項目 10 の自己コントロールといった 3 つの要因への対処が MV の低下を抑える

ことが期待できる。

一方、SIEM アセスメント尺度におけるモチベーション・レベルは、モチベーション評価項目の 2 項目によって算出され、注意(Attention)、関連性 (Relevance)、自信 (Confidence)、満足感 (Satisfaction) といった 4 因子をモチベーション・レベルの算出に使用していない。そのため、モチベーション全体の傾向を把握することが難しく、改善が必要な項目が抽出された場合、その項目に対応した汎用的な改善法を客観的に見出すことができない。そこで、モチベーション全体の傾向を把握できる新たなアセスメント尺度が必要になった。これについて次章で述べる。

第3章 ARCS アセスメント尺度の開発と IT 非適用領域におけるモチベーションの解析

3.1 あらまし

本章では、SIEM アセスメント尺度の研究成果と知見を基にし、モチベーションレベルを4つの因子(注意(Attention), 関連性(Relevance), 自信 (Confidence), 満足感 (Satisfaction))に分けて測定する新たな ARCS アセスメント尺度と ARCS アンケートを開発した。これら因子は、J. M. Keller が提唱する「ARCS 動機づけモデル」に基づくものである[15], [16]。また本アンケートの信頼性は、Cronbach の α 係数を用いて評価している[32], [33]。

IT 非適用領域のプログラミング教育におけるモチベーションの遷移を、ARCS アセスメント尺度を用いて測定する。そして、その測定結果を解析するため、ARCS 動機づけモデルの主要な因子を構成する下位カテゴリーに着目した 3D バブルグラフによる解析方法を提案し、下位カテゴリーの遷移とその遷移要因を解析した。下位カテゴリーの遷移要因の解析は、ARCS 動機づけモデルの一つの因子に属する3つの下位カテゴリーを、3D バブルグラフの3軸に対応させて描画した 3D バブルグラフによって評価する。本提案方法は、一つの因子の下位カテゴリー間の関係や、学習フェーズの進行による遷移要因の総合的な把握に適用できる。

3.2 ARCS アセスメント尺度の開発経緯

第2章で述べたように、Processing プログラミング環境を用いた数式表現図形のプログラミング教育を、これまで国内と海外の芸術系領域の学部において実践してきた。そして、J. M. Keller によって開発された ARCS 動機づけモデル[15], [16]を背景理論として土肥らによって開発された SIEM アセスメント尺度[17], [18]を用いたアンケートによってモ

モチベーション・レベルを測定した。さらに、モチベーション・レベルとその評価項目の関連を関連構造グラフによって解析し、異なる教育機関におけるモチベーションの比較も行い[22], [23], [24], 学習フェーズの進行によるモチベーションの遷移を、モチベーションを構成する因子間の関係によって説明できることを明らかにした。しかし、SIEM アセスメント尺度は、ARCS 動機づけモデルの全ての 4 因子をモチベーション・レベルの算出に使用していないことから、モチベーション全体の傾向を把握することが難しい。また、改善が必要な SIEM アセスメント尺度の項目が抽出された場合、その項目に対応した汎用的な改善法を見出すことが難しかった。そこで、モチベーションの遷移を詳細に解析するため、SIEM アセスメント尺度の研究結果と知見を基にし、注意（Attention）、関連性（Relevance）、自信（Confidence）、満足感（Satisfaction）の 4 因子に分けてモチベーションを測定できる新たなアセスメント尺度と ARCS アンケートを開発するに至っている。これらの 4 因子は「ARCS 動機づけモデル」に基づくものである。

3.3 ARCS 動機づけモデル

ARCS 動機づけモデルは、J.M.Keller によって開発された。Keller は、教授者が動機づけに関わる領域を、①教室での学習者の肯定的な態度の管理、②学習意欲、③学習者の自己認識力とし、本モデルの開発において、②学習意欲を対象にして動機づけの概念／理論を包括的に取りまとめとめている[38]。また本モデルにおいては、問題が生じた動機づけに対応した解決策を、動機づけ方略として提唱している[39], [40]。

例えば、教育フェーズにおける動機づけに関する問題を、4 因子を用いて分析／評価して問題の因子を見つけ出し、その因子に適応した教育項目／教材を設計／再設計することで、より効果的な授業が構築できる。したがって、学習者のモチベーション維持・向上を目的とした、プログラミング教材を改善するためのモチベーションの測定には適切なモデ

ルである。

本モデルは、学習意欲に影響を及ぼす 4 因子（注意（Attention）、関連性（Relevance）、自信（Confidence）、満足感（Satisfaction））と、それぞれの因子における 3 つの下位カテゴリーによって構成されている。本モデルの 4 因子とそれに属する下位カテゴリーを表 3.1 に示す。

注意（Attention）は、教育項目が“おもしろそう”と学習者が感じる因子で、動機づけの対処において比較的簡単なプロセスとされ、好奇心や感覚探求心を喚起して持続させるのに有用である。本因子の下位カテゴリーには、A1：知覚的喚起、A2：探求心の喚起、A3：変化性、が設定されている。IT 非適用領域におけるプログラミング教育の初期においては、学習者が初めて体験する事項が多いため、本因子による影響が大きい。

関連性（Relevance）は、教育項目が学習者の将来に役立つかもしれないといった“やりがい”に関する因子で、R1：親しみ易さ、R2：目的指向性、R3：動機との一致、といった下位カテゴリーが設定されている。本領域のプログラミング教育の初期では、プログラムの有用性を理解していないため、2.2 節のようなプログラミングスキルの重要性の説明がなければ、本因子によるマイナスの影響が大きい。

自信（Confidence）は、教育項目の理解や処理が“できそう”といった因子で、下位カテゴリーに C1：学習要求、C2：成功の機会、C3：コントロールの個人化が設定されている。本因子はプログラミング教育全体において、学習者が把握している自身の能力や制御力、教材から受ける成功への期待感といった影響が大きい。

満足感（Satisfaction）は、教育項目を“学習してよかった”と感じる因子で、モチベーションを持続させるのに有用である。下位カテゴリーには、S1：自然の結果、S2：肯定的な結果、S3：公平さが設定されている。

3.4 ARCS アセスメント尺度の開発

ARCS 動機づけモデルでは、モチベーションを把握するための指標やワークシートを示しているが、具体的な測定方法やモチベーション測定のためのアセスメント尺度の例は示されていない。このような前提において本研究では、モチベーション測定のための ARCS アセスメント尺度を表 3.1 の 12 の下位カテゴリーに対応させて作成した。それぞれ項目は、先行研究[23], [28]の結果と知見および、ARCS 動機づけモデルの下位カテゴリーにおける解説用語[15], [16]の要素を基に、それが充足されているかを尋ねている。本アセスメント尺度の項目は、出力結果が数式表現図形であるため“出力結果”を“美しさ”，“プログラム”を“作品”と示し、Processing を用いた IT 非適用領域のプログラミング教育に適応させている。表 3.2 では、それぞれの因子の下位カテゴリーごとに質問項目が示されているが、実際の ARCS アンケートでは質問項目の提示順序が偏らないように分離した。また本アンケートは、前述の事項を置き換えれば一般的なプログラミング教育にも適用が可能である。

質問への回答には、次の 5 段階のリッカートスケールを使用し、モチベーションの高さを示すスコアを回答番号に対応させている。

- 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

ARCS アンケート項目の信頼性は、Cronbach の α 係数を用いて評価した[32], [33]。その結果、それぞれの学習フェーズ及び全ての学習フェーズのアンケートにおいて、 α 係数が 0.83, 0.84, 0.88, 0.82 であったので、その信頼性が確認できた。また、SIEM アセスメント尺度と ARCS アセスメント尺度を併用したモチベーションの解析によって本アンケートの評価を行っている[22], [24], [25]。ARCS 動機づけモデルを基にした調査・研究においても類似的な内容のアンケートが用いられている[41]。本アンケートにおける学習者の回答状況は、教育項目の説

明後にプログラミング教材を参考にして作品を制作するので、C2, C3, S2 の作品に関する質問項目に関しても回答が可能である。また、作品の提出順にコメントを添えて学習者全員に作品を提示し、そのコメントと作品を Web ページで公開するので、S3 の評価に関する回答も可能である。これら事項から本アンケート項目は、学習フェーズの初期、中期、終期を通して使用できる設問である。

表 3.1 ARCS 動機づけモデルの主要な因子と下位カテゴリー

因子	下位カテゴリー	
注意: Attention	A-1	知覚的喚起: Perceptual arousal
	A-2	探究心の喚起: Inquiry arousal
	A-3	変化性: Variability
関連性: Relevance	R-1	親しみ易さ: Familiarity
	R-2	目的指向性: Goal orientation
	R-3	動機との一致: Motive matching
自信: Confidence	C-1	学習要求: Learning Requirements
	C-2	成功の機会: Success opportunities
	C-3	コントロールの個人化: Personal control
満足感: Satisfaction	S-1	自然の結果: Natural consequences
	S-2	肯定的な結果: Positive consequences
	S-3	公平さ: Equity

表 3.2 ARCS アセスメント尺度

アンケート項目		質問内容
注意： Attention	A-1	プログラムの学習中に美しさが新規で驚きのある刺激を与えましたか？ Perceptual arousal: Did the visually stimulating artwork (learning content) give you new and surprising incentives to learn during the programming education?
	A-2	プログラムの学習中にもっと知りたいと思いましたか？ Inquiry arousal: Did you feel that you wanted to learn more during the programming education?
	A-3	学習内容に変化があり、飽きることなく学習できましたか？ Variability: Could you study without getting bored because there were variations in the learning content?
関連性： Relevance	R-1	学習内容は親しみやすいと感じましたか？ Familiarity: Did you feel that the learning content was familiar?
	R-2	学習の目標とその重要性を理解しましたか？ Goal orientation: Did you understand the goal and the importance of the learning?
	R-3	自分の好みに合った学習方法を選択する機会がありましたか？ Motive matching: Did you have chances to select the learning methods that were suitable to you?
自信： Confidence	C-1	自分の到達すべき目標がはっきりしていますか。 Learning requirements: Is the goal you should reach clear?
	C-2	良い作品ができたと感じることがありましたか？ Success opportunity: Did you feel that you had created visually stimulating artwork (written your programs well)?
	C-3	良い作品ができたのは自分自身の能力や頑張りのためだという実感がありましたか？ Personal control: Did you feel that you created visually stimulating artwork (wrote your program well) because of your efforts and ability?
満足感： Satisfaction	S-1	新しく習得した知識や技能を応用する機会がありましたか？ Natural consequence: Did you have occasions to use your newly acquired knowledge?
	S-2	良い作品ができたとき、嬉しいと感じることができましたか？ Positive consequence: Were you happy when you created visually stimulating artwork (did well)?
	S-3	やり遂げたことに対して、一貫した基準で適正に評価がなされましたか？ Equity: Was your accomplishment fairly evaluated with a consistent standard?

3.5 Processing を用いたプログラミング教育

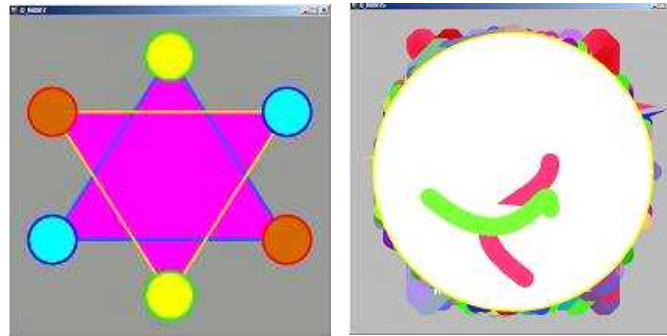
第2章で述べたように、芸術系技能を必要とする IT 作業の増加傾向、情報通信技術のブラックボックス化、要素技術の理解のためのプログラミング教育の効果性といった状況に鑑み、大阪芸術大学においても2006年度より Processing[3]を用いたプログラミング教育を実践している。Processing を用いたプログラミング環境では、比較的単純なソースコードによって 2D や 3D の美しい作品を制作することができる。IT 非適用領域の学習者は、プログラミング教材のサンプルプログラムによって視覚的な作品を制作・閲覧し、そのソースコードを教授者の説明によって理解する。そして、学習者自身の構想に応じてサンプルプログラム

を改造して新たな作品を制作することで、プログラミング教育におけるモチベーションが高まる。

大阪芸術大学において、Processing プログラミング環境で数式表現図形を制作するプログラミング教育の授業を実践した。本プログラミング教育では、1 授業時間が 90 分の授業を 6 回（2 回／週）行い、履修者は 56 名である。教育項目と教材は、学習者のモチベーションが高められるように ARCS 動機づけモデルを参照して作成している。本プログラミング教育の教育項目と授業回数を表 3.3 に示す。学習者は、それぞれの授業における教育項目の説明後、プログラミング教材を参考にし、教育項目で取り上げた関数を用いて作品を制作して提出する。例えば、第 1 回目の授業では教育項目の説明後、point, line, rect, ellipse, triangle などの基本関数を用いてソースコードが 15-20 LOC 程度の作品を制作する。Processing のプログラミング環境を 2 章の図 1 に、第 1, 4 回目の授業における Processing の教育項目を用いた作品例を図 3.1 に示す。

表 3.3 プログラミングの教育項目

授業回数	教育項目	授業回数	教育項目
1	Processingの仕組み	3	静止画の表示
	Processingの操作方法		アニメーションのアルゴリズム
	変数と基本関数による描画	4	マウス入力
2	繰り返し処理		ベジェー曲線の描画
	条件分岐	5	フラクタル図形の描画
	2D図形の制作		アニメーションの制作
3	3D図形の関数と描画	6	作品制作とまとめ



1 回目

4 回目

(4 回目の作品はベジェー曲線のアニメーションで描画)

図 3.1 Processing の教育項目を用いた作品例

3.6 実験結果の分析

ARCS 動機づけモデルにおいて 4 つの主要な因子が仮定されており、これら因子に属する下位カテゴリーの関連による影響に関しては言及されていない。下位カテゴリーは、動機づけの心理学的研究や実践の知見を基に主要な因子から導出されていることから、一つの因子における幾つかの下位カテゴリーに関連性がある。そこで、モチベーションの遷移を解析する一方法として、これら因子ごとの下位カテゴリーの遷移要因を分析する。本章では、学習フェーズの進行によるモチベーションの変化を詳細に分析するため、ARCS 動機づけモデルにおけるそれぞれの因子に属する下位カテゴリーの遷移に着目した。

3.6.1 ARCS アセスメント尺度による因子の分析

ARCS アンケートは、本授業期間の初期（1 回目の授業終了時）、中期（4 回目の授業終了時）、終期（6 回目の授業終了時）の 3 つの学習フェーズで実施した。初期のアンケートでは、学習者が教育項目の説明を理解した後、point, line, rect, ellipse, triangle の基本関数によって制作した作品の提出後に SRCS アンケートに回答する。中期、終期においても学習者は同様にアンケートに回答する。SRCS アンケートに回答し

た学習者数は、初期 36 名、中期 34 名、終期 28 名で、これら学習者の中で 3 回の ARCS アンケート全てに回答した学習者は 21 名である。本章では、この 21 名の ARCS アンケートを解析の対象にする。

3つの学習フェーズにおける 4 因子のスコアの推移を図 3.2 に示す。一つの学習フェーズにおける一つの因子のスコアは、その因子に属する 3つの下位カテゴリーにおけるスコアの平均値として算出した。

図 3.2 において学習フェーズの進行に伴い、“注意”因子のスコアが減少，“満足感”因子のスコアに増加の傾向が見られたが，“関連性”因子と“自信”因子のスコアに関しては一貫した変化が見られない。これら因子の遷移状態を詳細に分析するため、学習フェーズ間におけるスコアの t 検定を行った。その結果を表 3.4 に示す。

t 分布パーセント表において、自由度 20 で有意水準 5% のパーセント点が 1.725 である[42]。表 3.4 において全ての値が 1.725 未満なので、学習フェーズの進行による有意な差が見られない。

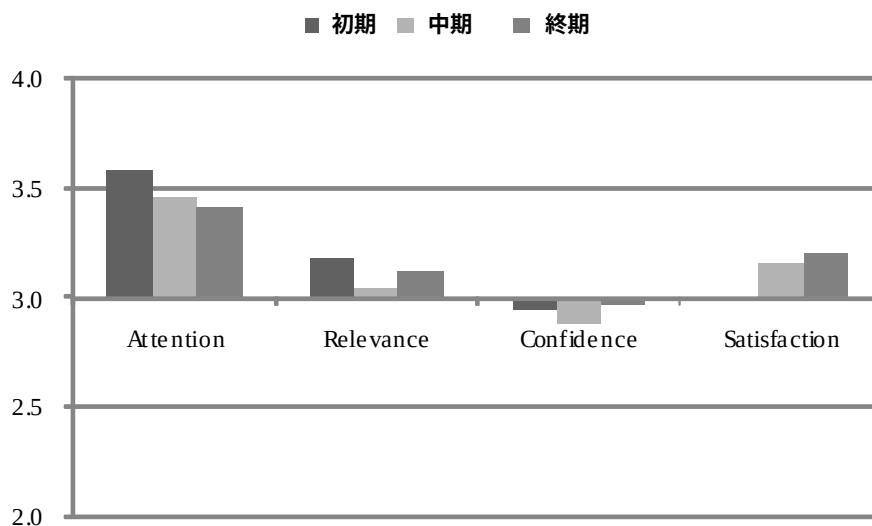


図 3.2 ARSC モデルの主要な因子の推移

表 3.4 主要な因子の推移の t 検定

	注意： Attention	関連性： Relevance	自信： Confidence	満足感： Satisfaction
初期から中期	0.61	0.59	0.3	0.74
中期から終期	0.22	0.45	0.45	0.19
初期から終期	0.86	0.27	0.14	0.84

$t_{20}(0.05) = 1.725$

3.6.2 ARCS アセスメント尺度による下位カテゴリーの分析

ARCS 動機づけモデルの 4 因子におけるスコアの分析では、有意な差異が見られなかったため、各因子における下位カテゴリーのスコアの推移に着目した。それぞれの学習フェーズにおける下位カテゴリーの推移を図 3.3 に示す。本図において、一つの学習フェーズにおける一つの下位カテゴリーのスコアは、学習者 21 名の平均値を用いている。

図 3.3 の各因子における複数の下位カテゴリーにおいて、顕著な増減傾向が見られる。これを詳細に分析するため、学習フェーズ間におけるスコアの t 検定を行った。その結果を表 3.5 に示す。図 3.3 および表 3.5 から、学習フェーズの進行による下位カテゴリーのスコアの遷移を次の①～⑤に考察する。

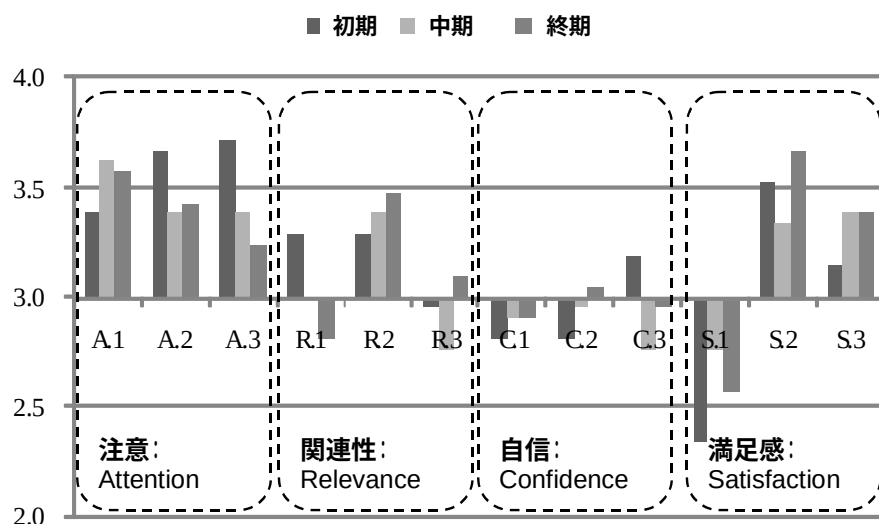


図 3.3 ARSC モデルの下位カテゴリーの推移

表 3.5 学習フェーズ間における下位カテゴリーの推移の検定

	注意: Attention			関連性: Relevance		
	A-1	A-2	A-3	R-1	R-2	R-3
初期から中期	1.16	1.30	1.78	1.30	0.44	0.89
中期から終期	0.20	0.20	0.72	1.28	0.46	2.09
	自信: Confidence			満足感: Satisfaction		
	C-1	C-2	C-3	S-1	S-2	S-3
初期から中期	0.53	0.72	1.75	1.57	0.94	1.75
中期から終期	0.00	0.38	0.94	0.72	1.20	0.00

$t_{20}(0.05) = 1.725$

① 学習フェーズ初期から中期の“注意”因子

下位カテゴリーA3（変化性）に有意な差が生じている。また図 3.3 においても、下位カテゴリーA3 のスコアは学習フェーズの進行に伴って減少している。本結果から、プログラミングといった今までとは異なる制作ツールを用いた学習環境であったことが、下位カテゴリーA3（変化性）を減少させる要因の一つになっていると言える。

② 学習フェーズ中期から終期の“関連性”因子

下位カテゴリーR3（動機との一致）に有意な差が生じている。図 3.3 においても、この下位カテゴリーのスコアは中期から終期への学習フェーズの進行に伴って増加している。本結果から、学習者はプログラミング学習においても、学習フェーズの進行に伴って修得した知識・技術を基にし、学習者自身の興味に適合した学習を展開できるようになってくると言える。

③ 学習フェーズ初期から中期の“自信”因子

下位カテゴリーC3（コントロールの個人化）が減少して有意な差が生じている。この要因の一つが、プログラミング教材による作品の制作において、学習者が芸術的な作品に展開する構想の適用方法が分からなかった事が挙げられる。

④ 学習フェーズ初期から中期の“満足感”因子

下位カテゴリーS3（公平さ）が増加して有意な差が生じている。この要因は、教授者のプログラミング教育の経験によって、学習者が理解しづらいステートメントなどを把握していたことで、学習者の理解状態に応じた補足説明をしながら、学習者への励ましを行っていた事が挙げられる。一方、下位カテゴリーS1（自然の結果）では有意な差が生じていないが、スコアが低い傾向にある。これは、学習者の学習活動の主たる目的が芸術作品の制作にあるため、プログラミング技術を適用する授業が少なかったことが本傾向として表れている。

⑤ 学習フェーズ初期から中期、中期から終期における傾向の考察

初期から中期の学習フェーズにおける“注意”因子に属する下位カテ

ゴリーA3（変化性），“ 自信 ” 因子に属する下位カテゴリーC3（コントロールの個人化）および“ 満足感 ” 因子に属する下位カテゴリーS3（公平さ）に有意な差が生じている．これより，3つの因子の下位カテゴリーに有意な差が生じていることを示している．一方，中期から終期の学習フェーズにおいては，“ 関連性 ” 因子に属する下位カテゴリーR3（動機との一致）だけに有意な差が生じている．したがって，本章のプログラミング教育におけるモチベーションの変化は，学習フェーズ初期から中期において，その変化が顕著に表れ，学習フェーズ中期から終期においてはその変化が小さいといった傾向にある．

3.6.3 IT 非適用領域におけるプログラミング教育の考察

3.5.2 小節の解析結果を基に IT 非適用領域におけるプログラミング教育を考察する．

①の結果から，芸術作品の制作を中心とした IT 非適用の学習においては，作品制作のための学習と，その知識・技術と学習者自身の構想を加えた制作活動が展開されている．そのため学習者が経験している学習環境においては，学習者自身の構想が付加されるために「学習内容に変化があり」，「その内容に飽きない」といった学習状況が展開されている．しかしながら，プログラミングといった今までとは異なる制作ツールを用いた学習環境では，それが容易に実現されなければ下位カテゴリーA3（変化性）が減少する．

②の結果は，IT 非適用領域の学習者が芸術作品の制作を通して，その制作活動に習熟していく傾向と類似している．したがって，IT 非適用領域のプログラミング教育においては，数式表現図形のような芸術作品に関連したプログラミング教材を用いれば，下位カテゴリーR3（動機との一致）を向上させることができる．

③の結果から，IT 非適用領域の学習者にとっては，学習活動の主な目的が芸術作品の制作にあるため，創造的な構想を取り入れた学習が中

心になっている。そのため、プログラミング教材による作品の制作において、その構想の適用方法が分からなければ下位カテゴリー *C3* (コントロールの個人化) を減少させる。

3.7 3D バブルグラフによる視覚的な分析

3.7.1 3D バブルグラフの基本概念

3.5 節では、ARCS アセスメント尺度による分析によってその傾向を解析した。このような数値データによる解析では、一つの因子の遷移要因を総合的に把握することが難しい。そこで、統計的分析で得られた結果を基にし、下位カテゴリーのスコアを 3D バブルグラフに描画して視覚的に分析することで、下位カテゴリーの状態遷移を詳細に解析する方法を提案する。本提案方法では、ARCS 動機づけモデルの各因子に属する 3 つの下位カテゴリーを 3 軸とした 3D バブルグラフを描画して、各因子の遷移要因を解析する。3D バブルグラフの視覚的な解析における指標の一つとして、有意な相関が示された下位カテゴリーの 2 軸を基調とする平面を用いる。表 3.6 に各因子に属する下位カテゴリー間の相関を示す。表 3.6 中の網掛けのセルは、かなりの相関がある 0.55 以上の相関係数を表している[37]。

本提案方法の基本概念を、学習フェーズの中期における“注意”因子を用いて図 3.4 に示す。本章では、3D バブルグラフにおいて 3 つの下位カテゴリーの座標を示す球体をバブルと呼ぶ。同一座標にバブルが重なる場合、重なりがないバブルを 3.5 とし、6 つの重なりがあるバブルを 10.0 として段階的に拡大して描画している。

図 3.4 では、X 軸が第 1 番目の下位カテゴリー、Y 軸が第 3 番目の下位カテゴリー、Z 軸が第 2 番目の下位カテゴリーに対応し、ARCS 動機づけモデルの一つの学習フェーズにおける一つの因子に属する下位カテゴリーの状態を表している。したがって、重なりのない一つのバブルは、一人の学習者における一つの因子の状態を表している。図 3.4 に

における波線・太矢印は，統計的分析によって有意な差が生じた下位カテゴリーの遷移方向を表している．また，実線・直線矢印は下位カテゴリーのスコアの増加，点線・直線矢印がスコアの減少を表している．

次に，有意な相関が示された下位カテゴリーの 2 軸を基調とする平面は，点線の四角形で表している．この平面を用いた考え方を次に述べる．2 つの下位カテゴリー間に相関が生じれば，2 軸を基調とした平面においてバブルが一定の規則で分布することになる．しかし，他の軸方向への分散や収束が生じていれば，3D バブルグラフの視覚的な解析ではバブルの分布が全体的に分散する．そこで，3D バブルグラフにおけるバブルの遷移の全体像を視覚的な解析から総合的に捉え，この平面を用いてバブルの遷移を解析すれば詳細な分析が可能になる．

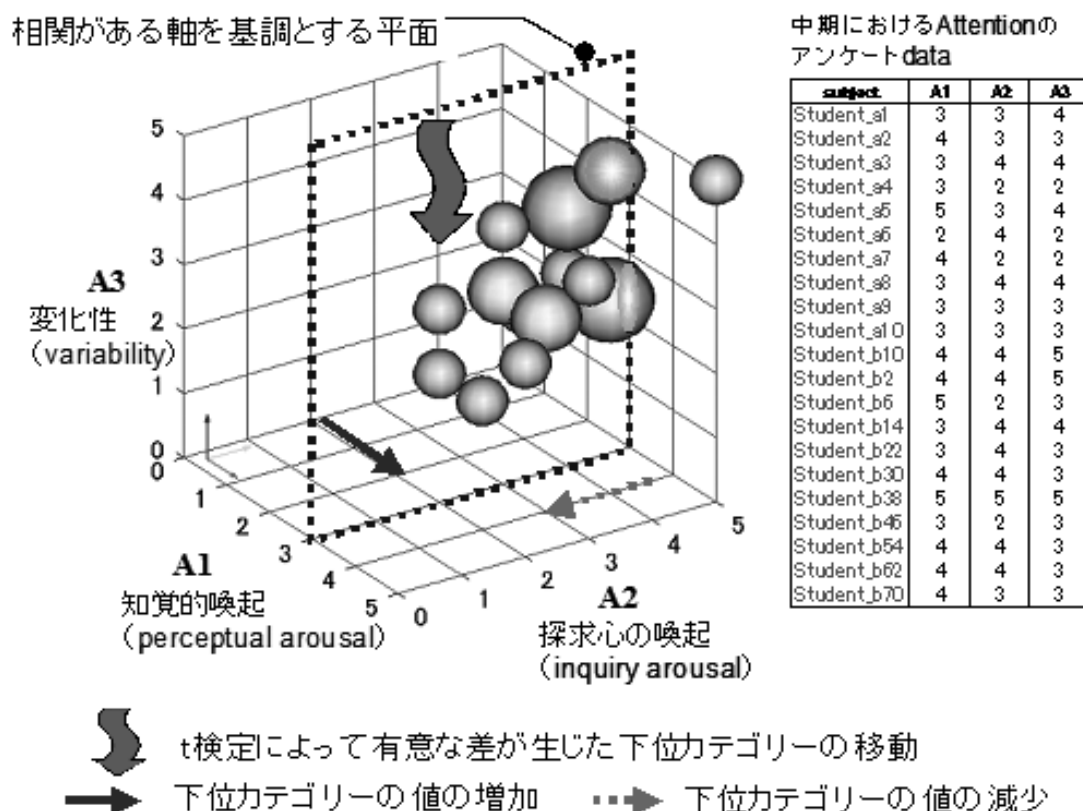


図 3.4 3D バブルグラフの基本概念

表 3.6 主要な因子に属する下位カテゴリーの相関

		注意: Attention			関連性: Relevance			自信: Confidence			満足感: Satisfaction		
		A1	A2	A3	R1	R2	R3	C1	C2	C3	R1	R2	R3
初期	注意	A1	1.00										
		A2	0.41	1.00									
		A3	0.21	0.10	1.00								
	関連性	R1	0.06	0.00	0.09	1.00							
		R2	0.06	0.26	0.08	0.14	1.00						
		R3	0.21	0.11	0.55	-0.14	-0.13	1.00					
	自信	C1	0.43	0.39	0.09	0.64	0.48	-0.03	1.00				
		C2	0.22	0.38	0.16	0.18	0.46	-0.17	0.38	1.00			
		C3	0.35	0.45	-0.09	0.50	0.54	-0.14	0.69	0.56	1.00		
	満足感	R1	0.02	0.24	-0.36	0.27	0.24	0.05	0.34	0.34	0.44	1.00	
		R2	0.21	0.35	0.01	0.22	0.60	-0.31	0.46	0.84	0.71	0.30	1.00
		R3	0.14	0.00	0.19	0.25	0.22	0.05	0.29	0.54	0.45	0.16	0.46
中期	注意	A1	1.00										
		A2	0.00	1.00									
		A3	0.34	0.56	1.00								
	関連性	R1	0.28	0.42	0.59	1.00							
		R2	0.51	0.26	0.31	0.53	1.00						
		R3	0.08	0.48	0.52	0.66	0.34	1.00					
	自信	C1	-0.05	0.37	0.29	0.77	0.31	0.71	1.00				
		C2	0.29	0.50	0.42	0.68	0.35	0.74	0.79	1.00			
		C3	0.11	0.61	0.57	0.48	0.25	0.78	0.62	0.83	1.00		
	満足感	R1	0.16	0.37	0.35	0.79	0.42	0.73	0.72	0.71	0.57	1.00	
		R2	-0.17	0.69	0.38	0.53	0.16	0.74	0.74	0.78	0.76	0.57	1.00
		R3	0.59	0.47	0.44	0.56	0.70	0.40	0.36	0.64	0.53	0.44	0.41
終期	注意	A1	1.00										
		A2	0.70	1.00									
		A3	0.76	0.68	1.00								
	関連性	R1	0.63	0.67	0.73	1.00							
		R2	0.46	0.54	0.37	0.24	1.00						
		R3	0.57	0.59	0.49	0.61	0.36	1.00					
	自信	C1	0.50	0.42	0.41	0.68	0.39	0.70	1.00				
		C2	0.64	0.62	0.76	0.57	0.49	0.59	0.50	1.00			
		C3	0.48	0.30	0.64	0.57	0.09	0.70	0.62	0.73	1.00		
	満足感	R1	0.49	0.39	0.28	0.42	0.38	0.73	0.73	0.46	0.57	1.00	
		R2	0.67	0.59	0.80	0.54	0.37	0.58	0.36	0.89	0.72	0.36	1.00
		R3	0.52	0.72	0.75	0.62	0.41	0.64	0.39	0.74	0.55	0.35	0.80

3.7.2 3D バブルグラフによる分析

図 3.5 に、それぞれの学習フェーズにおける 4 つの因子の遷移を示す。図 3.5 中の一つの行は一つの因子を表し、その行の 3 つの 3D バブルグラフは学習フェーズ初期、中期、終期における一つの因子の状態を示している。

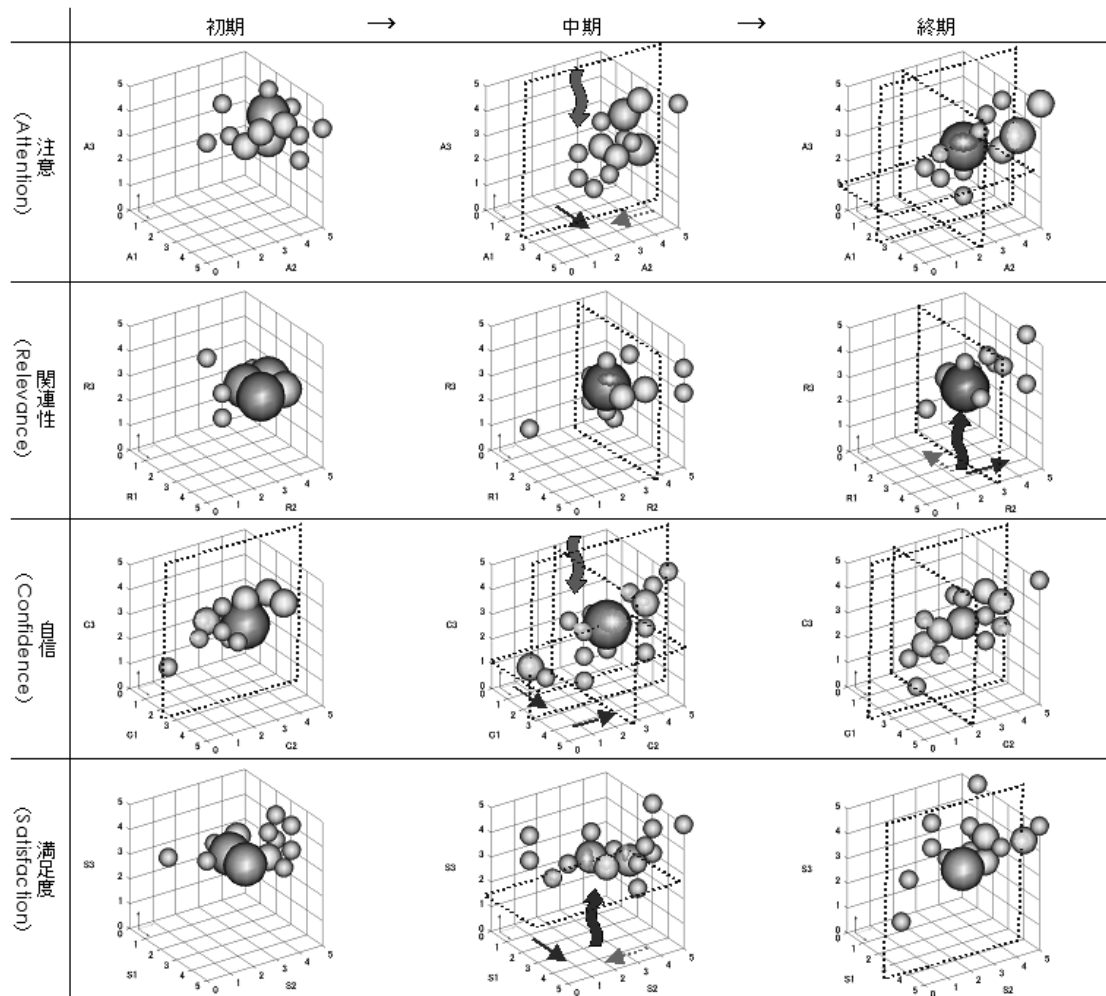


図 3.5 学習フェーズにおける主要な因子の遷移

① “注意” 因子の遷移

学習フェーズ初期から中期において、下位カテゴリー A3 (変化性) のスコアの遷移に有意な差が生じている。図 3.5 の 1 行目の学習フェーズ中期に示された 3D バブルグラフでは、バブルが Z 軸のマイナス方向に

移動してバブルの分布が分散している。学習フェーズ中期における下位カテゴリーの相関が、 $A2$ （探究心の喚起）と $A3$ （変化性）に表れている。そこで、この 2 軸で構成される平面を用いれば、バブルがこの平面の対角線上に沿って遷移したことが分かる。これより学習フェーズ初期においては、 $A1$ （知覚的喚起）、 $A2$ （探究心の喚起）、 $A3$ （変化性）が共に、強い相関がないため、それぞれの下位カテゴリーが独立して分布し、バブルの分布状態が収束している。学習フェーズ中期では、 $A2$ （探究心の喚起）と $A3$ （変化性）の下位カテゴリーに強い相関が生じ、この平面上でバブルの分布状態が分散している。そのため、この 2 つの下位カテゴリーの相関が、下位カテゴリー $A3$ （変化性）のスコアを減少させている。したがって、学習フェーズの中期になれば、 $A2$ （探究心の喚起）と $A3$ （変化性）の影響が学習者自身の個性になって表れてくる。

② “ 関連性 ” 因子の遷移

学習フェーズ中期から終期においては、バブルが Z 軸のプラス方向へ移動するが、その分布状態に変化が見られない。これは、学習フェーズ中期と終期における下位カテゴリーの相関が、 $R2$ （目的指向性）と $R3$ （動機との一致）に表れている。この 2 つの学習フェーズにおいて同じ平面に沿ってバブルが分布しているため、分布状態の変化が生じなかった。これより、“ 関連性 ” 因子は、 $R2$ （目的指向性）と $R3$ （動機との一致）に影響され、 $R1$ （親しみ易さ）の要因の影響が小さい。したがって、学習フェーズ中期から終期においては、芸術的な作品制作とプログラミング学習への目的と動機が一致してくる。

③ “ 自信 ” 因子の遷移

学習フェーズ初期から中期において、下位カテゴリー $C3$ （コントロールの個人化）に有意な差が生じている。3D バブルグラフにおいても、 Z 軸のマイナス方向にバブルが移動して分布状態が遷移している。そして、 Y 軸（ $C2$ ：成功の機会）と Z 軸（ $C3$ ：コントロールの個人化）の 2 軸を基調とした平面に沿って収束していたバブルが、3 軸を基調とする 3 つの平面に沿ってバブルが広範囲に分散するようになる。これより、学

学習フェーズ中期における“自信”因子は、 $C1$ （学習要求）、 $C2$ （成功の機会）、 $C3$ （コントロールの個人化）の全ての下位カテゴリーの影響を受けながら、学習フェーズ中期で学習者自身の学習特性が顕著に表れてくる。

④ “満足感”因子の遷移

学習フェーズ初期から中期において、下位カテゴリー $S3$ （公平さ）のスコアの遷移に有意な差が生じている。3D バブルグラフでも、バブルがZ軸のプラス方向に移動してバブルの分布が分散している。学習フェーズ中期の下位カテゴリーにおいて、 $S1$ （自然の結果）と $S2$ （肯定的な結果）に強い相関が表れている。この2軸を基調とした平面から見れば、バブルがこの平面に沿って分散していることが分かる。したがって、学習フェーズ中期では、学習者自身が修得した知識・技術を作品に適用し、その結果として制作された作品への充実感に個人差が生じてくる。

3.8 まとめ

Processing プログラミング環境を用いて IT 非適用領域におけるプログラミング教育を実践し、ARCS アセスメント尺度によってそのモチベーションの変化を測定した。そして、今までの知識・技術を基にした創造的な制作活動が中心となっている IT 非適用領域の教育環境を考慮して、本領域のプログラミング教育における学習者のモチベーションを解析した。モチベーションの解析においては、ARCS 動機づけモデルの一つの因子における3つの下位カテゴリーを3軸とした3D バブルグラフに描画し、その遷移要因を視覚的に解析する方法を提案した。本方法によって、数値データによる分析だけでは難しい、一つの因子における下位カテゴリー間の関係や、学習フェーズの進行による遷移要因を総合的に把握できる。

本章の解析によって、学習フェーズ初期から中期においては、学習者自身の創造的な構想を取り入れることが可能なプログラミング教材や、

その構想をプログラムに反映させるための支援／指導が必要であるといった知見も得られた。また、モチベーションの測定に ARCS 動機づけモデルの構成因子に直接対応した ARCS アセスメント尺度を使用しているので、本モデルの動機づけ設計方略を参照した学習環境の改善が可能である。

第 4 章 情報通信産業の新人研修におけるモチベーションの測定

4.1 あらまし

新たに開発した ARCS アセスメント尺度の汎用性を検証するため、情報通信産業の新人研修のプログラミング教育において、そのモチベーションを ARCS アセスメント尺度によって測定する。モチベーションの解析は、ARCS アセスメント尺度を構成する 4 つの因子および、その下位カテゴリーの遷移状態を数値およびグラフによって行う。

本章では、情報通信産業における新入社員のプログラミング教育のモチベーションを ARCS アセスメント尺度によって専攻分野の観点から解析する。そして IT 非適用領域の教育機関におけるプログラミング教育を、効果的に実践するための対処策も考察する。情報通信技術を扱う多くの企業では、新人技術者へのプログラミング教育が短期間で効率的に行われていると言われている。このようなプログラミング教育の内容や効果の解析結果および知見は、プログラミングを学習する社会人を受入れている教育機関においても適用できて有用である。

4.2 情報通信産業におけるプログラミング教育の状況

国内の情報通信産業における特徴の一つは、情報通信領域の出身者だけでなく、その技術的背景がない人々も将来のプログラマーとして雇用していることである。そして、新入社員にプログラミングに関する企業内訓練を実施し、ソフトウェア開発などを担当させる技術者を養成している。このような状況からプログラミングに関する企業内訓練が、企業業績を向上させるための重要な要因となっている。そのため、これら企業においてはプログラマーとして活躍できる人材を育成するため、新入社員へのプログラミング教育が短期間で効率的に行われていると言われている。

近年、企業内訓練におけるプログラミング教育の調査・研究が展開されている。例えば Sivananda らが、インターンシップが新人の才能を早い時期に認識し、彼らの技術的なスキルを高め、必要とされている分野の知識を育成し、結果的に有能な人材を採用する有効なアプローチであることを示している。そして、企業が求める人材像と高等教育機関が供給する人材のスキルの差異を解消することができる Internship model を提唱し[43]、企業と教育機関のコラボレーションによる教育効果の向上を図っている。また、Subrahmanyam らは、企業が最適な人材を得て、ソフトウェア技術者が就業できる適切な機会が得られるような、カリキュラム・メカニズムを強化するための7つの Intelligence module を提唱している[44]。教育機関におけるプログラミング教育に関しては、伊藤らのロボット学習教材[8]、紅林らの制御プログラムの学習効果[9]、大塚らの Java 言語の設計支援[10]などの研究が行われている。

情報通信産業におけるプログラミング教育の内容や効果の解析結果は、教育機関におけるプログラミング教育にも適用できて有用である。また、プログラミングを学習する社会人を受入れている教育機関においても、本結果を適用することが可能である。上述の状況を勘案して本章では、ARCS アセスメント尺度の汎用性を検証する領域として、企業内訓練におけるプログラミング教育に注目した。プログラミングが知識の運用を必要とする能動的な学習であることから、情報通信産業のプログラミング教育においても、学習者のモチベーションは重要である。情報通信産業における新入社員のプログラミング教育のモチベーションを、ARCS アセスメント尺度によって測定し、学習者の専攻領域の観点からプログラミング教育のモチベーションを解析した。そして、本解析結果を基にして IT 非適用領域の教育機関におけるプログラミング教育を効果的に実践するための対処策も考察した。

4.3 調査対象の情報通信産業におけるプログラミング教育

調査対象の情報通信産業は、資本金 25 億円以上、従業員数約 1,100 名（2011 年 4 月現在）、売り上げの 30%が IT アウトソーシングで、本社所在地が東京都である。主な事業内容は、システム開発関連、業務アプリケーション関連、ネットワーク運用・構築関連、運用管理関連、オープンソース関連、プロダクト関連、ソリューション関連、EDI/EC 関連、キャンパスソリューション関連である。解析対象としたプログラミング教育は、本企業の新人技術者研修で、48 名の新人技術者に 16 日間（8 時間／日）実施された。本プログラミング教育の概要を表 4.1 に示す。プログラミング教育では、IDE(統合開発環境)の Eclipse を用いて Java 言語で、数値、変数、四則演算・引数から、インタフェース、ファイル操作までのプログラミングを学習する。

本章では新人技術者（以下、学習者 と呼ぶ）を、理工系技術を専門とするグループを理工系グループとし、本技術を専門としないグループを非理工系グループとして分類した。そして学習者の詳細な専攻領域によって前者を、情報通信技術を専攻領域とするグループ a（情報系）と、その技術を専門としないグループ b（非情報系）に分類した。後者は、理工系技術を専門としないが情報通信技術に関連する教育を受けたグループ c（経済・経営系）と、情報通信技術に関連する専門知識が少ないグループ d（人文系）に分類した。

これらのグループのモチベーションは、ARCS アセスメント尺度によって測定した。ARCS アンケートは、新人技術者研修の期間で 3 回実施し、48 件のアンケートから 36 件の有効な回答を得た。学習者は、理工系グループではグループ a（情報系）が 11 名、グループ b（非情報系）の 7 名、非理工系グループではグループ c（経済・経営系）が 6 名、グループ d（人文系）の 12 名である。これら学習者の分類を表 4.2 に示す。

表 4.1 プログラミング教育の概要

項目	時間(H)	教育内容
session 1	6	コンパイルと実行, 規約, 文字列表示
session 2	8	数値、変数, 四則演算, 引数
session 3	8	分岐, 比較, ループ, 配列
exercises 1	12	複利計算
session 4	12	関数, 例外, 単体テスト
session 5	12	型, 文字列, 論理型, ビット演算
session 6	12	入力, 例外処理
exercises 2	12	さいころ問題
session 7	16	簡単なクラス, 集約, 継承, 多態
session 8	16	インターフェース, ファイル操作
exercises 3	12	名簿作成

表 4.2 学習者の分類

	理工系		非理工系	
専攻領域	a : 情報系	b : 非情報系	c : 経済・経営系	d : 人文系
専攻領域の人数	11	7	6	12
理工系／非理工系の人数	18		18	

4.4 ARCS アセスメント尺度による解析

4.4.1 学習者の全体的な傾向

学習者の全体的な傾向を把握するため, 学習フェーズと因子レベルにおけるモチベーションの遷移に着目した。前者は, 一つの学習フェーズにおける全アンケート項目の平均スコアから, その傾向を解析した。学習フェーズ初期, 中期, 終期における平均スコアを図 4.1 に示す。図 4.1 における平均スコアの範囲は, 12 のアンケート項目の回答レベルが 1 ～5 であることから, 学習フェーズでの平均スコアの範囲は 12～60, 中央値が 36 になる。それぞれの学習フェーズにおける平均スコアが, 初期: 42.3, 中期: 42.1, 終期: 42.7 となり, 学習フェーズ間の平均スコアに大きな差異が見られない。

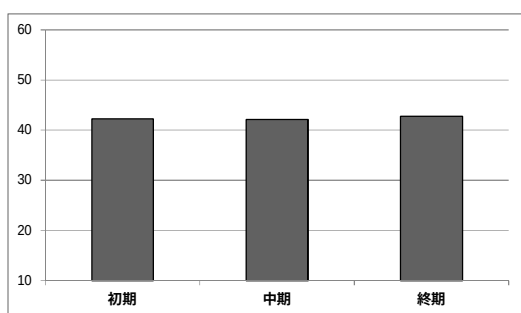


図 4.1 学習フェーズにおけるモチベーションの遷移

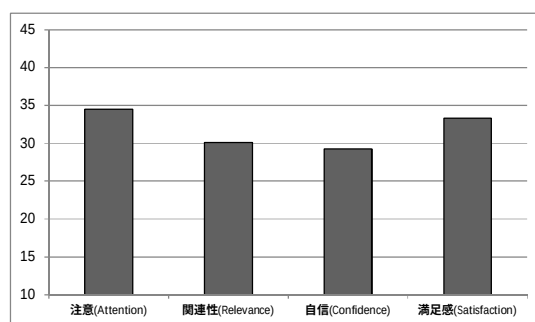


図 4.2 因子におけるモチベーションの比較

次に、学習フェーズ間の差異を t 検定によって判定した結果[45]、有意水準 5% で有意な差が生じていない。これより、学習フェーズごとのモチベーションが中位より高く維持され、積極的で真摯な学習態度を有する学習グループであると考察される。また、学習フェーズごとのモチベーションでは、学習フェーズの進行による変化がないと言える。

後者では、一つの因子において 3 つの下位カテゴリーに対応した 3 つのアンケート項目が設定されている。そこで、全学習フェーズにおける 3 つのアンケート項目の平均値から、その傾向を解析した。4 つの因子のスコアを図 4.2 に示す。図 4.2 の平均スコアは、回答レベルが 1～5 であるのでスコアの範囲が 9～45 になる。それぞれの因子におけるスコアが、注意 (Attention) : 34.5、関連性 (Relevance) : 30.1、自信 (Confidence) : 29.3、満足感 (Satisfaction) : 33.3 となっている。スコアの中央値が 27 であることから、因子全体のスコアは高くないが、中位よりは高く維持されている。次に、4 つの因子の差異を一元配置分散分析によって検定した。その結果、 p 値が $9.170\text{e-}5$ となり有意水準 5% で有意な差を生じている[46], [47]。

これより、注意 (Attention) と満足感 (Satisfaction) のスコアが、関連性 (Relevance) と自信 (Confidence) のスコアより高く維持されていることを示している。この傾向は、IT 非適用領域のプログラミング教育におけるモチベーション[26], [48]と同様で、プログラミング教育の一つの傾向である。

4.4.2 理工系グループと非理工系グループの比較

学習者を，理工系グループと非理工系グループに分類してモチベーションの差異を比較した．

それぞれの学習フェーズにおける前者と後者のモチベーションを図 4.3 に示す．4.1 節と同様，平均スコアの範囲は 12~60 になる．学習フェーズ初期では前者が 41.83 で後者が 42.78，中期では前者が 41.89 で後者が 42.39，終期では前者が 41.33 で後者が 44.17 となり，大きな差異が見られない．さらに， t 検定によって学習フェーズにおける両者の差を検定した結果，全ての学習フェーズにおいて有意水準 5% で有意な差が生じていない．

次に，それぞれの因子における前者と後者のモチベーションを図 4.4 に示す．注意（Attention）では前者が 33.00 で後者が 36.00，関連性（Relevance）では前者が 29.78 で後者が 30.44，自信（Confidence）では前者が 29.50 で後者が 29.06，満足感（Satisfaction）では前者が 32.78 で後者が 33.83 となり，大きな差異が見られない．さらに t 検定によって因子ごとに両者の差異を検定した結果，すべての因子において有意水準 5% で 2 つのグループ間に有意な差が生じていない．これより，因子レベルのモチベーションにおいては，理工系グループと非理工系グループに差異が生じない．

次に，因子において理工系グループと非理工系グループに有意な差が見られなかったため，下位カテゴリーにおける両者の差異を解析した．

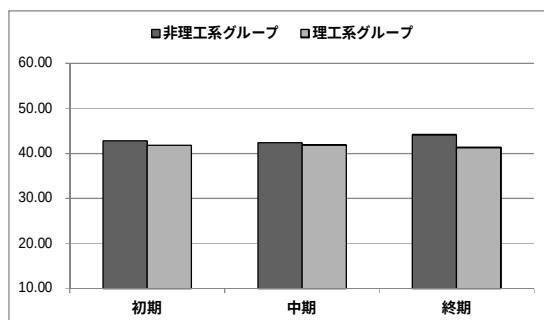


図 4.3 学習フェーズごとのモチベーションの比較

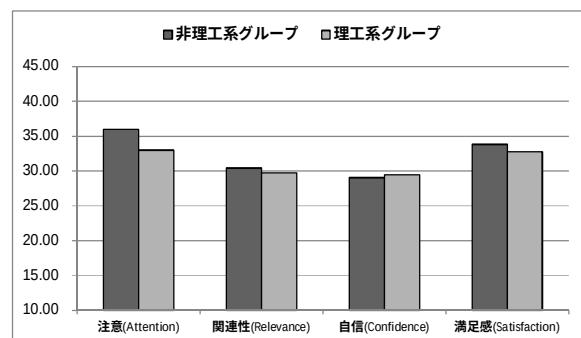


図 4.4 因子ごとのモチベーションの比較

表 4.3 理工系／非理工系グループの下位カテゴリーにおける平均値の t 検定

		A1_1	A2_1	A3_1	R1_1	R2_1	R3_1	C1_1	C2_1	C3_1	S1_1	S2_1	S3_1
初期	非理工系	3.72	4.33	3.78	3.00	4.28	3.28	3.61	2.61	3.11	3.17	4.06	3.83
	理工系	3.22	4.06	3.22	3.33	4.06	3.11	3.50	3.17	3.28	3.11	4.22	3.56
	p 値	0.158	0.338	0.096	0.242	0.397	0.551	0.736	0.137	0.594	0.882	0.519	0.389
		A1_2	A2_2	A3_2	R1_2	R2_2	R3_2	C1_2	C2_2	C3_2	S1_2	S2_2	S3_2
中期	非理工系	4.11	3.94	3.78	2.44	3.94	3.22	3.83	2.94	3.00	3.06	4.22	3.89
	理工系	3.78	4.06	3.39	2.94	3.83	3.22	3.50	3.39	3.11	3.44	4.17	3.06
	p 値	0.269	0.748	0.186	0.183	0.677	1.000	0.317	0.276	0.754	0.349	0.868	0.002
		A1_3	A2_3	A3_3	R1_3	R2_3	R3_3	C1_3	C2_3	C3_3	S1_3	S2_3	S3_3
終期	非理工系	4.17	4.39	3.78	2.89	4.00	3.39	3.72	3.33	2.89	3.61	4.28	3.72
	理工系	3.61	4.17	3.50	2.78	3.39	3.11	2.94	3.33	3.28	3.83	4.06	3.33
	p 値	0.089	0.458	0.362	0.729	0.037	0.397	0.012	1.000	0.169	0.537	0.456	0.171

表 4.3 に下位カテゴリーにおける平均スコアと t 検定の結果を示す。表 4.3 の下位カテゴリーの名称において、添え字の 1, 2, 3 は学習フェーズ初期, 中期, 終期を表している。例えば, “R2_3” は下位カテゴリー R2 の学習フェーズ終期を表している。表 4.3 において, 学習フェーズ終期の R2 (目的指向性) と C1 (学習要求), 学習フェーズ中期の S3 (公平さ) に有意水準 5% で有意な差が生じている。学習フェーズ終期の R2 (目的指向性) の平均スコアは理工系グループが 3.39, 非理工系グループが 4.00, C1 (学習要求) では前者が 2.94, 後者が 3.72, 学習フェーズ中期の S3 (公平さ) においては前者が 3.06, 後者が 3.89 となり, 有意な差が生じた 3 つの下位カテゴリーで非理工系グループのモチベーションが高くなっている。

上述の結果から, 理工系領域を専門としない非理工系グループにおける学習者の傾向を次のように考察した。R2 (目的指向性) において非理工系グループの平均スコアが理工系グループより高く, 学習フェーズ終期に至ってその差異が大きくなっている。これより非理工系の学習者は, 教授者から示された学習目標とその重要性を, 学習フェーズの進行にしたがって理工系グループよりも深く理解している。

表 4.4 4 グループの因子における遷移の t 検定

	学習フェーズ		
	初期-中期	中期-終期	初期-終期
a	0.753	0.480	0.546
b	0.558	0.790	0.795
c	0.033	0.763	0.280
d	0.239	0.040	0.752

$C1$ （学習要求）においても $R2$ （目的指向性）と同様の傾向にある。これより学習フェーズ終期に至り、非理工系グループの学習者は、プログラミングの技術・知識の修得が進んだことで、学習の到達目標を理工系グループよりも明確に把握できている。

$S3$ （公平さ）においては、非理工系グループの平均スコアが理工系グループより高く、学習フェーズ中期でその差異が大きくなっている。これより非理工系グループの学習者は、学習フェーズ初期の提出課題に対する評価を受けたことで、学習フェーズ中期に至って専攻領域によって評価に差異がないことを認識している。

4.4.3 4 グループの比較

4 グループごとのモチベーションの差異を比較した。それぞれの学習フェーズにおけるグループごとの因子の平均スコアを図 4.5 に示す。前節と同様に、平均スコアの範囲は 12～60 になる。それぞれの学習フェーズにおいてグループごとの平均スコアに大きな差異は見られない。学習フェーズにおけるグループ間の差異を詳細に分析するため、一元配置分散分析によって検定した。その結果、全ての学習フェーズにおける 4 グループの平均スコアに有意な差が生じていない。

さらに、グループにおける学習フェーズ間の遷移を t 検定によって検定した。その結果を表 4.4 に示す。表 4.4 では、学習フェーズ初期から中期にかけてグループ c（経済・経営系）、学習フェーズ中期から終期にかけてグループ d（人文系）に、有意水準 5% で有意な差が生じてい

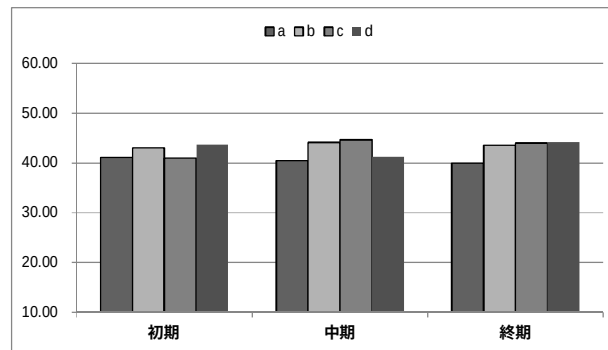


図 4.5 学習フェーズにおけるグループの平均スコア

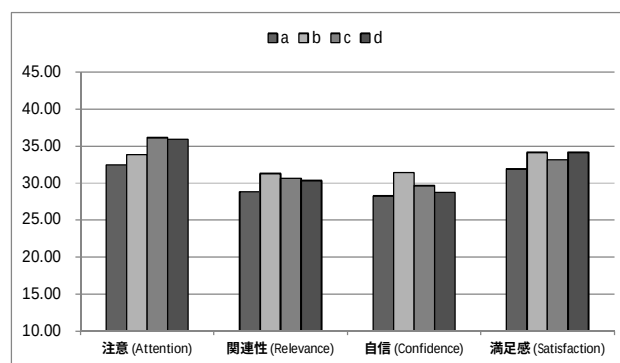


図 4.6 因子におけるグループの平均スコア

る。学習フェーズ初期から中期にかけてグループ c（経済・経営系）では因子の平均スコアが 41.00 から 44.67 に遷移し、学習フェーズ中期から学習フェーズ終期にかけてグループ d（人文系）の因子の平均スコアが 41.25 から 44.25 へと遷移している。図 4.6 に因子ごとのグループの平均スコアを示す。前節と同様に平均スコアの範囲は 9～45 になる。4 グループの平均スコアを、因子ごとに一元配置分散分析を行った。その結果、因子におけるグループごとの平均スコアに有意な差が見られない。

これより、因子におけるグループ間の平均スコアには差異がないが、非理工系グループであるグループ c（経済・経営系）とグループ d（人文系）においては、学習フェーズの進行によってモチベーションが上昇する。

次に、下位カテゴリーにおける 4 グループごとの平均スコアの差異を比較するため、それぞれの下位カテゴリーについて一元配置分散分析を

表 4.5 4 グループの下位カテゴリーにおける平均値の一元配置分散分析

		A1_1	A2_1	A3_1	R1_1	R2_1	R3_1	C1_1	C2_1	C3_1	S1_1	S2_1	S3_1
初期	a	3.09	4.00	3.18	3.18	4.09	3.18	3.82	2.64	3.09	3.27	3.91	3.64
	b	3.43	4.14	3.29	3.57	4.00	3.00	3.00	4.00	3.57	2.86	4.71	3.43
	c	3.17	4.50	3.67	3.17	3.83	3.33	3.83	2.00	2.83	2.83	4.00	3.83
	d	4.00	4.25	3.83	2.92	4.50	3.25	3.50	2.92	3.25	3.33	4.08	3.83
	p 値	0.175	0.721	0.416	0.463	0.296	0.901	0.312	0.005	0.534	0.709	0.152	0.822
		A1_2	A2_2	A3_2	R1_2	R2_2	R3_2	C1_2	C2_2	C3_2	S1_2	S2_2	S3_2
中期	a	3.64	3.91	3.55	2.73	3.82	2.91	3.73	2.91	2.91	3.55	3.82	3.00
	b	4.00	4.29	3.14	3.29	3.86	3.71	3.14	4.14	3.43	3.29	4.71	3.14
	c	4.00	4.17	4.17	3.00	4.17	3.17	4.17	3.67	3.00	2.67	4.50	4.00
	d	4.17	3.83	3.58	2.17	3.83	3.25	3.67	2.58	3.00	3.25	4.08	3.83
	p 値	0.569	0.785	0.218	0.163	0.835	0.299	0.322	0.023	0.776	0.591	0.232	0.021
		A1_3	A2_3	A3_3	R1_3	R2_3	R3_3	C1_3	C2_3	C3_3	S1_3	S2_3	S3_3
終期	a	3.55	4.09	3.45	2.73	3.27	2.91	3.00	3.09	3.09	3.82	3.73	3.18
	b	3.71	4.29	3.57	2.86	3.57	3.43	2.86	3.71	3.57	3.86	4.57	3.57
	c	4.00	4.33	4.17	2.83	4.00	3.17	3.83	3.50	2.83	3.67	4.33	3.33
	d	4.25	4.42	3.58	2.92	4.00	3.50	3.67	3.25	2.92	3.58	4.25	3.92
	p 値	0.362	0.858	0.471	0.974	0.193	0.501	0.098	0.621	0.350	0.940	0.209	0.194

行った。その結果を表 4.5 に示す。表 4.5 の下位カテゴリーの名称における添え字は、表 4.3 と同様である。

学習フェーズ初期の C2（成功の機会）、学習フェーズ中期の C2（成功の機会）および S3（公正さ）の下位カテゴリーに有意水準 5%で有意な差が生じている。学習フェーズ初期の C2（成功の機会）においてはグループ b（非情報系）の平均スコアが 4.00、学習フェーズ中期の C2（成功の機会）ではグループ b（非情報系）が 4.14、グループ c（経済・経営系）が 3.67、学習フェーズ中期の S3（公正さ）はグループ c（経済・経営系）で 4.00、グループ d（人文系）が 3.83 となり、他のグループより高くなっている。

これより、情報通信技術を専攻領域とするグループ a（情報系）では、他のグループより高い平均スコアが表れていない。グループ a（情報系）では、就職前のプログラミング教育によってプログラムに馴染んでいたことが、プログラミングへの安心感を与え、それが緊張感を減少させて、他のグループより高い平均スコアが表れない要因の一つになっている。したがって、情報通信技術を専攻領域とする学習者のモチベーションを向上させるには、教育機関とは異なった教材が必要になる。

4.5 IT 非適用領域におけるプログラミング教育への対処

情報通信産業におけるプログラミング教育のモチベーションの解析結果を基にして、IT 非適用領域におけるプログラミング教育を効果的に実践するための対処を考察する。プログラミング教育の特徴の一つとして、関連性（Relevance）と自信（Confidence）に関するモチベーションが低くなる傾向を確認した。そこで、ARCS 動機づけモデルで提唱されている“動機づけ方略”を基にして[15], [16], これら2つの因子に関するモチベーションを向上させるための対処を考察した。

関連性（Relevance）に関する対処を次のように考察した。①プログラミングの用語を、学習者の専攻領域に適合した例や概念を用いて説明する。②専攻領域におけるプログラミングの有効性を説明するための教材を作成し、具体的な達成目的を提示する。③学習者の動因の背景を考慮した教授方法を工夫する。

自信（Confidence）に関しては、次のように考察した。①学習者自身がプログラミングの完成レベルを予測できるように、プログラミングに必要なスキルと、専攻領域に適応した評価基準を示す。②プログラムの出力結果を、専攻領域の学習などに有用な形式に修正できるプログラミング教材を準備する。③プログラムの間違いへのフィードバックによって、プログラミング学習を支援し、学習者自身の努力によってプログラミングが修得できたことを認識させる。

非理工系グループでは、学習フェーズ初期において学習到達目標を理解できることが確認された。そこで、非理工系の教育機関の専攻領域に関連した出力ができるプログラミング教材を作成し、学習フェーズの早い時期に学習者へ学習目標の一つとして伝えることが、モチベーションの向上に繋がる。

さらに非理工系グループでは、学習フェーズの進行にしたがってプログラミングの技術・知識の修得が進むことで、プログラミングの重要性を理解できるようになることが確認された。そこで、IT 非適用領域に

におけるプログラミングの有用性を、学習者の理解状態に応じて繰り返して示すことが、効果的なプログラミング教育に繋がる。

また非理工系グループにおいて、学習フェーズの進行によるモチベーションの上昇が確認された。これより、非理工系の教育機関におけるプログラミング教育では、学習者の自発的なモチベーションの向上が期待できる。そして、プログラミングと専攻領域の関連を、教授者が詳しく丁寧に説明することが重要である。

4.6 まとめ

本章では、情報通信産業における新人技術者のプログラミング教育のモチベーションを ARCS アセスメント尺度によって測定し、専攻領域の観点からそのモチベーションを解析した。その結果、ARCS アセスメント尺度および ARCS アンケートによって、IT 非適用領域以外でもモチベーションを測定できたことで、本尺度およびアンケートの汎用性が確認できた。

解析結果から注意 (Attention) と満足感 (Satisfaction) の平均スコアが、関連性 (Relevance) と自信 (Confidence) の平均スコアより高く維持される傾向が、プログラミング教育の一つの現象であることを解明した。また、理工系グループと非理工系グループのモチベーションに差異がないことも確認できた。プログラミングの学習目標とその重要性の理解に関しては、理工系技術を専門としない非理工系グループが、プログラミングの技術・知識の修得が進むことで、学習目標とその重要性を、理工系グループよりも深く理解することを解明した。次に、専攻領域に分類した 4 グループの比較では、因子におけるグループ間の平均スコアには差異がないが、非理工系の 2 グループにおいて、学習フェーズの進行によってモチベーションが上昇することを解明した。また、情報通信技術を専攻領域とするグループ a (情報系) だけに、他のグループよりも高い平均スコアが表れないことも確認できた。さらに、本解析結果と ARCS 動機づけモデルの“動機づけ方略”を基にして、IT 非適用領域における効果的なプログラミング教育を考察した。

第 5 章 ARCS 動機づけ方略に基づくプログラミング教材の改善

5.1 あらまし

本章では，プログラミング教育における教材の改善法を提案する．本法は，学習者のモチベーションを定量的に測定し，ARCS 動機づけ方略と統計的分析に基づいてプログラミング教材の改善を行う．具体的には，学習者のモチベーションを，ARCS アセスメント尺度によって測定し，統計的に有意な減少が生じる授業毎の下位カテゴリーを特定する．その下位カテゴリーに対応するモチベーションを向上させる方略を，ARCS 動機づけモデルの“動機づけ方略”における方略見本から選択する．方略見本に基づいて教材の改善要素を設定し，プログラミング教材の改善を行う．ケーススタディとして，本法によって5つの改善要素を設定して教材改善を行ってプログラミング教育を試行し，特徴的な3つの改善要素における教材改善の効果を検討する．

5.2 プログラミング教材改善の背景

より良いプログラミング教材の作成・改善は，効果的なプログラミング教育を実現する上で重要な事項である．例えば，初中等教育において全ての中学校でプログラムと計測・制御の総合的な学習を履修させることが必要となり，プログラムによる計測・制御に関する教材の研究開発が行われている．そこでは，菊地らの計測・制御学習のための GUI プログラミング環境の構築[49]，伊藤らによるプログラムと計測・制御のためのロボット学習教材の開発[8]，紅林らの制御プログラム学習における学習効果[9]，大塚らの Java 言語による設計支援システムの開発[10]，川田らの二足歩行を題材としたロボット制御学習[50]，樋口らのコンピュータによる計測・制御学習のための基板開発[51]，針谷らのプログラムによる計測・制御学習の学習効果[52]，などがある．

一方、学習者の立場に着目すると、学習者のモチベーションを維持できるような教材を開発することが、教育効果を上げるうえで重要となる。e-Learning の形態や規模が進展した MOOC (Massive Open Online Courses)のような e-Learning においても、学習者のモチベーションの維持・向上が重要になると言われている[53]。従来研究として、ARCS 動機づけモデル[15], [16]を基調にした土肥らの SIEM アセスメント尺度による要因分析[17], [18], 王らのプログラミング教育における動機づけのための教授方法[41]などがある。ただし、これらの研究では、教材の改善や評価には焦点が当てられていない。現状のプログラミング教材の改善は、教授者の知見や経験によって行われる傾向にあり、教授者の差異が教材改善に影響を及ぼしている。また、学習者のモチベーションの維持という観点からの改善が必ずしも行われていない。そこで、本研究では、学習者のモチベーションの定量的な計測に基づく、プログラミング教材の改善法を提案する[54], [55]。

これまでに IT 非適用領域の教育機関においてプログラミング教育を試行し、ARCS アセスメント尺度[26], [31]によってモチベーションの遷移を測定している。3.3 節に示したように ARCS 動機づけモデルでは、4つのモチベーションの因子（以下、因子 と呼ぶ）と、因子ごとに3つの下位カテゴリーが設定されている。これら下位カテゴリーには、それぞれの動機づけ要素を刺激・維持するための効果的な方法が、“動機づけ方略”として提唱されている。

先行研究[29]では、プログラミング教育プロセスの開始時・中間時・終了時において、ARCS アセスメント尺度によってモチベーションを測定してその遷移を解析している。その結果、学習者の専門領域がモチベーションに及ぼす影響の差異が小さい、関連性(Relevance)因子および自信(Confidence)因子が他の因子と比較してモチベーション・レベルが低い、などの知見が得られている。また、プログラミング教育プロセスの進行によってモチベーションに有意な遷移が生じることが認められている。これら結果より、モチベーションは一連の授業を通して変化して

おり、授業毎の詳細なモチベーションの測定が望ましいことが分かっている。

本論文において、ある授業におけるモチベーションの低下は、その授業で使用された教材によって引き起こされるものと仮定する。そして、モチベーションが低下した授業の教材を改善することで、一連の授業において学習者のモチベーションを維持できる。以上の考えに基づいて、本論文では、IT 非適用領域の教育機関のプログラミング教育におけるモチベーションの遷移を、授業毎の ARCS アセスメント尺度によって下位カテゴリーごとに測定し、有意な減少が生じる授業の下位カテゴリーを特定する。特定した下位カテゴリーに対応するモチベーションを向上させる方略を、プログラミング教育の知見を参照して、ARCS 動機づけモデルの“動機づけ方略” [15], [16]における方略見本から選択する。そして、方略見本に基づいて教材の改善要素を設定して教材改善を行う。本改善法によって5つの改善要素を設定して教材改善を行い、その教材を用いたプログラミング教育の試行によって、3つの改善要素で教材改善の効果を検討する。

5.3 プログラミング教育の環境

本プログラミング教育のプログラミング環境として Processing[3]を用いる。2012 年度前期と後期の2つの学習者グループにおいて、Processing で数式表現図形を描画するプログラミング教育を試行する。2つの学習者グループは、前期と後期の履修によって振り分けられている。前者を改善前グループ、後者を改善後グループと呼ぶ。改善後グループのプログラミング教育では、改善前グループにおけるモチベーションの解析によって改善した教材を使用する。本プログラミング教育では、1名の教授者が2つのグループを担当する。学習者は同一学科の2回生で、それぞれのグループごとに学習者が異なる。改善前グループでは学習者60名で2授業時間／週（1授業時間：90分）を9回、改善後グル

表 5.1 プログラミング教育の授業と教育項目

授業回		教育項目	プログラムコマンド	処理およびアルゴリズム
改善後 グループ	改善前 グループ			
1回目	1回目	1. Processingとは 2. 図形を描く 3. 変数と計算	Processing概要・基本操作, size, background, point, line, ellipse, rect, triangle, println, stroke, fill, smooth, strokeWeight, int, float, width, height, void setup,	スケッチ, 座標, コメント, 変数, コンソール
2回目	2回目	4. 繰り返し	for	for文, ネスティング
3回目	3回目	5. 色	colorMode, RGB, HSB	RGB処理, HSB処理
4回目	4回目	6. 入力	void draw, frameRate, mouseX, mouseY, save, mouseClicked	マウス入力, イベント処理
5回目	5回目	7. 条件分岐 8. ランダム 課題作成(1)	if, random, mousePressed, rectMode, ellipseMode	If文, 論理演算
6回目	6回目	9. 画像 10.3 フォント	Pimage, Image, image, filter text, textSize, textAlign, Pfont, textFont,	ランダム関数, フィルター
	7回目	10.4 フォント 課題作成(2)	rotate, translate	フォント表示処理, 座標変換
7回目	8回目	11. 動き 12. 配列	frameRate, 配列の宣言	動きのアルゴリズムとバリエーション, 配列の利用
	9回目	課題作成(3)		2Dアニメーション

ープでは学習者 28 名で 2 授業時間／週を 7 回行う。本研究では、プログラミング教育全般におけるモチベーションの遷移を分析するので、本プログラミング教育の全ての授業に出席した学習者の ARCS アンケートを用いたため、有効な ARCS アンケートの総数は前者が 90 件、後者が 49 件である。

本プログラミング教育における教材は 12 章で構成され、解説・例題・練習問題・プログラム課題が設定されている。学習者は、教材全体の pdf ファイルを学習者自身の演習用 PC で閲覧できる。教授者は授業における教育項目の説明を行い、学習者はプログラミング教材の例題をプログラミング処理し、教育項目で取り上げた練習問題をプログラミングして提出する。

改善前／改善後グループにおけるプログラミング教育の授業と教育項目を表 5.1 に示す。1 回目の授業では教育項目の説明後、point, line, rect, ellipse, triangle などの基礎的なステートメントを用いて 10-15 LOC (Line of Code) のプログラムを作成し、四角形、三角形、円などの基礎的な数式表現図形を出力する。2 回目の授業では、繰り返しのア

ルゴリズムを説明し、for 文によって四角形、円を rect, ellipse などの 1 つのステートメントによって複数の数式表現図形を出力する。

1-5 回目の授業は、改善前／改善後グループが同じ授業回数で実施する。改善前グループの 6 回目の授業では、9 章の画像処理、10 章 3 節の“textFont”によるフォント処理を教授し、7 回目の授業で 10 章 4 節の“translate”によるフォント処理を行う。一方、改善後グループでは、6 回目の授業において、フォント処理の 10 章 3 節、4 節を 1 回の授業で実施することができるので、改善前グループの 6-7 回目の授業内容を改善後グループの 6 回目の授業で実施する。また改善前グループの 8 回目の授業では、11 章のアニメーション処理、12 章の繰り返しやアニメーション処理を例題とした配列を教授し、9 回目の授業で課題制作だけを行う。一方、改善後グループでは、11 章のアニメーション処理、12 章の配列に加えて課題制作が 1 回の授業で実施できるので、改善前グループの 8-9 回目の授業内容を改善後グループの 7 回目の授業で実施する。このような授業の対処によって、改善前グループでは授業回数が 9 回、改善後グループは 7 回になる。

5.4 プログラミング教材の改善法

本節では、J. M. Keller の ARCS 動機づけモデルにおける“動機づけ方略”と統計的分析に基づくプログラミング教材の改善法の基本概念を、教材改善プロセス *P1-P4* に示す。本プログラミング教育の教材および教育項目は、学習者のモチベーションの変化に対応できるように ARCS 動機づけモデルを参照して作成している。したがって、ARCS 動機づけモデルの“動機づけ方略”に基づいた教材改善が可能である。

P1: モチベーションの測定

改善前グループにおいて、2 授業時間／週の終了時毎に、ARCS アセスメント尺度によってモチベーションを測定する。

P2：有意な遷移の導出

改善前グループのプログラミング教育終了後、 $(n-1)$ 回目の授業と n 回目の授業において、有意水準 5% で遷移が生じる下位カテゴリーを t 検定によって特定する[45], [46]. n 回目の授業で有意な遷移が生じた下位カテゴリー k を下位カテゴリー k_n と表す.

ただし、 $k: A1$ などの一意の下位カテゴリー、 n : プログラミング教育の n 回目の授業である. 例えば、下位カテゴリー $R1$ において、2 回目の授業で有意な遷移が生じれば下位カテゴリー $R1_2$ と表す.

P3：遷移の分類

P2で導出した $(n-1)$ 回目の授業と n 回目の授業の教育プロセスを、下位カテゴリーの減少／増加フェーズに分類する. 下位カテゴリーの減少フェーズは、上述の教育プロセスにおいて、後者の下位カテゴリー k_n の値が前者と比較して低い. また、増加フェーズでは、後者の下位カテゴリー k_n の値が高くなっている. 本章では、モチベーションの減少フェーズにおける n 回目の授業で、有意な遷移が生じた教育項目を教材改善の対象にする.

P4：改善要素の設定

ARCS 動機づけモデルの“動機づけ方略”における方略見本から、プログラミング教育の知見を参照して、下位カテゴリー k_n の改善に寄与する方略見本を選択して特定する. そして、方略見本を適用して教材改善するための改善要素を設定する[54].

5.5 改善前グループにおける有意な遷移の導出

本節では、教材改善プロセス P2 および P3 にしたがって、改善前グループにおける下位カテゴリーに有意な遷移が生じる n 回目の授業を導出し、その遷移を減少／増加フェーズに分類する.

改善前グループにおける全体傾向を把握するため、4 因子の平均値の

遷移を図 5.1 に示す．ここでは，2 回目，7 回目，8 回目の授業における因子の遷移が著しい．2 回目の授業の関連性(Relevance) 因子，8 回目の授業における注意(Attention)，関連性(Relevance)，満足感(Satisfaction)因子が，他の因子と比較して減少が著しい．一方，7 回目の授業の満足感 (Satisfaction) 因子が，他の因子と比較して増加が著しい．

プログラミング教育全般における下位カテゴリーの有意な遷移を t 検定によって判定した．表 5.2 に，改善前グループにおける下位カテゴリーの平均値を示す．表 5.2 の星印は， $|t_{n-(n-1)}| > t_{18}(.05)$ において有意水準 5%で遷移が生じた項目を表している．実線・角丸四角形の項目は下位カテゴリーの減少フェーズ，二重線・角丸四角形の項目が下位カテゴリーの増加フェーズを表す．1 回目の授業から 2 回目の授業（以下，減少フェーズ① と呼ぶ）および，7 回目の授業から 8 回目の授業（以下，減少フェーズ② と呼ぶ）における下位カテゴリー $A1$ ， $R1$ ， $R3$ ， $S2$ の減少に有意な遷移が生じている．一方，6 回目の授業から 7 回目の授業（以下，増加フェーズ① と呼ぶ）においては，下位カテゴリー $S2$ が有意に増加している．図 5.2 に，4 因子の下位カテゴリーにおける有意な遷移を矢印で示す．下向き矢印が有意な減少，上向き矢印が有意な増加を表している．

減少フェーズ①は，下位カテゴリー $R1$ ， $R3$ が減少している．ここでの $R1$ ， $R3$ を，下位カテゴリー $R1_2$ ， $R3_2$ と表す．減少フェーズ②においては，下位カテゴリー $A1$ ， $R1$ ， $S2$ が減少している．ここでの $A1$ ， $R1$ ， $S2$ を，下位カテゴリー $A1_8$ ， $R1_8$ ， $S2_8$ と表す．

一方，増加フェーズ①の改善前グループにおける 7 回目の授業で，下位カテゴリー $S2$ が増加している．ここでは，2 授業時間／週の 1 授業時間を課題作成だけに設定している．学習者自身が，この授業時間に今まで学習したプログラミングの知識・技術の確認・応用ができたことで，下位カテゴリー $S2_7$ が増加している．

表 5.2 改善前グループにおけるモチベーションの有意な遷移

授業	注意(Attention)			関連性(Relevance)			自信(Confidence)			満足感(Satisfaction)		
	A1	A2	A3	R1	R2	R3	C1	C2	C3	S1	S2	S3
1回目	4.10	3.60	4.10	4.10	3.80	3.30	3.20	3.00	3.10	2.70	4.30	3.70
2回目	3.90	3.40	3.70	*2.60	3.50	*2.90	3.00	2.50	2.70	2.80	3.70	3.30
3回目	3.90	3.50	3.60	3.10	3.40	3.00	3.00	2.70	3.10	3.20	3.70	3.30
4回目	3.60	3.50	3.60	3.00	3.50	3.20	3.20	2.70	2.90	3.60	4.10	3.50
5回目	3.70	3.70	3.30	3.40	3.50	3.20	3.20	2.90	2.90	3.40	3.90	3.50
6回目	3.70	3.70	3.60	3.30	3.50	3.40	3.10	3.10	3.00	3.30	3.60	3.40
7回目	4.00	3.80	3.80	3.70	3.50	3.60	3.50	3.50	3.40	3.70	*4.10	3.70
8回目	*3.60	3.70	3.70	*3.10	3.50	3.40	3.40	3.00	3.10	3.40	*3.60	3.60

$t_{18}(0.05)=1.734$, $*p < .05$

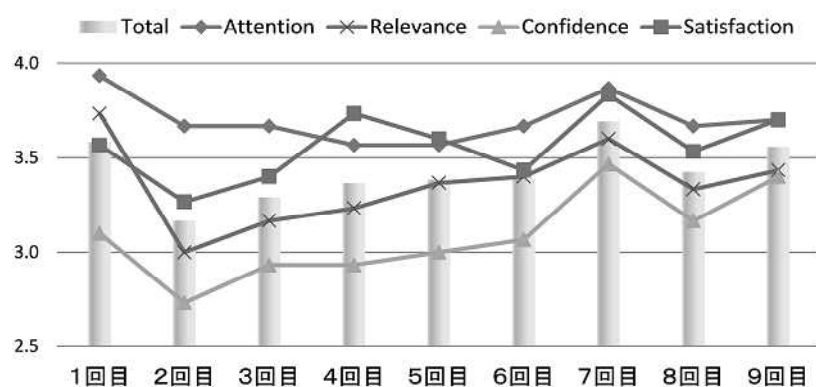


図 5.1 改善前グループにおける 4 因子の遷移

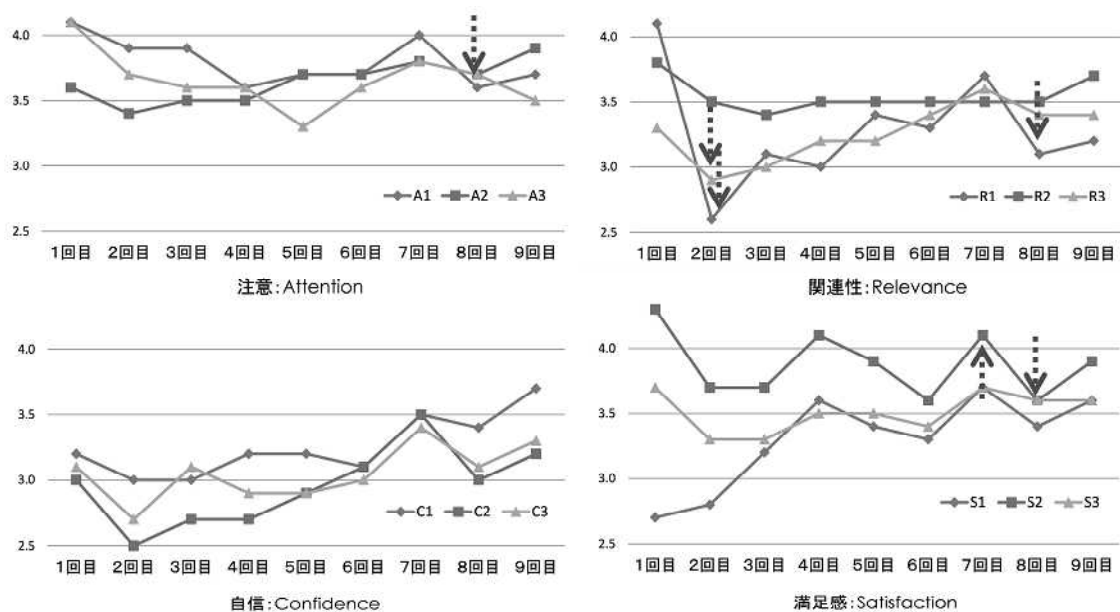


図 5.2 4 因子の下位カテゴリーにおける有意な遷移

5.6 プログラミング教材の改善

本節では教材改善プロセス $P4$ にしたがって、減少フェーズ①の下位カテゴリー $R1_2$, $R3_2$ および、減少フェーズ②の下位カテゴリー $A1_8$, $R1_8$, $S2_8$ に対処した教材改善を行う。下位カテゴリー $A1$, $R1$, $R3$, $S2$ に対応した“動機づけ方略”を、方略 $A1$, 方略 $R1$, 方略 $R3$, 方略 $S2$ と呼ぶ。

5.6.1 減少フェーズ①の教材改善

減少フェーズ①における下位カテゴリー $R1_2$, $R3_2$ に適応した改善要素を導出する。減少フェーズ①の2回目の授業における教育項目は“繰返し：for”である。ここでは、単一ステートメントによる単一図形の描画処理から、複数ステートメントを用いた複数図形の描画処理を扱うため、“繰返し”アルゴリズムとプログラムステートメント“for”を用いた繰返し処理プログラムを学習している。そこで、学習者は“繰返し”アルゴリズムといった新しい概念の理解が必要になったため、今までの知識や経験と関連付けて理解しづらかったことが、下位カテゴリー $R1_2$ を減少させたと考える。そしてプログラミング教育における、学習内容への親しみやすさ、学習者自身の学習方法の選択、といった対処に不慣れであったことが、下位カテゴリー $R3_2$ を減少させたと考える。

方略 $R1$ では、具体的な用語、学習者の経験・価値観に関連する例や概念の適用、が挙げられている。その方略見本は、 $R1-1$ ：人称代名詞や適所でのキャラクター、 $R1-2$ ：具体性のある図解、 $R1-3$ ：既知の例と文脈、がある。

方略 $R3$ は、学習者の動因プロフィールに適合した教授方略の適用が挙げられ、その方略見本として $R3-1$ ：目的レベルに応じた難易度の選択、 $R3-2$ ：得点記録システム、 $R3-3$ ：非競争的なオプション、 $R3-4$ ：複数参加者の機会、がある。

下位カテゴリー $R1_2$ の減少が、教育項目の理解に学習者自身の知識や

経験を関連付けられなかったことから、教育項目に適応した既知の例などが必要である。そこで、方略 R1 の方略見本から R1-3：既知の例と文脈を選択する。下位カテゴリー $R3_2$ の減少が、学習内容への親しみや学習方法の選択への対処に不慣れなことから、学習者の理解レベルに応じた教材が必要である。そこで、方略 R3 の方略見本から R3-1：目的レベルに応じた難易度を選択する。これら方略見本に基づいて、プログラミング教育の知見を参照し、教材改善するために設定した改善要素を、改善要素 R1-3 および、改善要素 R3-1 と呼ぶ。

改善要素 R1-3 では、プログラムステートメント “for” の概念を分かりやすく説明した図解を挿入した。改善要素 R3-1 では、“for” に関するプログラミングの練習問題を 2 問から 6 問に増やし、学習者が理解状態に応じて練習問題を選択できるように改善した。

5.6.2 減少フェーズ②の教材改善

減少フェーズ②の 8 回目の授業における教育項目は、動き（アニメーション）と配列である。学習者は、これらの教育項目に関するプログラムを学習している。日常生活で高度なゲームに慣れ親しんでいる学習者にとっては、単純なアニメーションや配列を用いたプログラムから、知覚的な喚起やプログラミング学習への親しみを体感しづらかったために、下位カテゴリー $A1_8$ 、 $R1_8$ が減少した。また学習者は、例題で本教育項目のプログラミングを学習し、練習問題のプログラムを完成させているにも関わらず、プログラムが複雑なためにプログラミングが難しいと感じている。そのため、完成させたプログラムの出力結果が学習者自身の修得したプログラミング能力に依存していると認識できなかったことが、下位カテゴリー $S2_8$ を減少させる一要因になった。

方略 A1 は、学習者の注意を引付け、それを持続する新規な驚き、不調和や不確定な事象の適用が上げられている。その方略見本として A1-1：聴覚的效果、A1-2：見慣れない内容や事象、A1-3：邪魔の削除、

がある。方略 S2 では、望まれる行動を維持するためのフィードバックや強化が挙げられ、その方略見本として S2-1：適切な強化スケジュール，S2-2：有意味な強化，S2-3：正答への報酬，S2-4：控えめな報酬，S2-5：報酬一式のオプション，がある。

下位カテゴリ $A1_8$ ， $R1_8$ の減少が，単純なアニメーションや配列を用いたプログラムによることから，教育項目の具体的な表現を視覚的に把握できる教材が必要である。そこで，方略 A1 の方略見本から A1-1：聴覚的効果，方略 R1 の方略見本から R1-2：具体性のある図解を選択する。下位カテゴリ $S2_8$ の減少が，修得したプログラミング能力を認識できないことから，学習者自身に学習成果を認識させる教材が必要である。そこで，方略 S2 の方略見本から S2-2：有意味な強化を選択する。これら方略見本を適用した改善要素を，改善要素 A1-1，改善要素 R1-2，改善要素 S2-2 と呼ぶ。

減少フェーズ②における“動き”と“配列”の教育項目の教材に，上述の改善要素を適用させて次のように改善した。改善要素 R1-2 では，配列の概念を図 5.3 のような引出し付きの箱で説明した。改善要素 A1-1

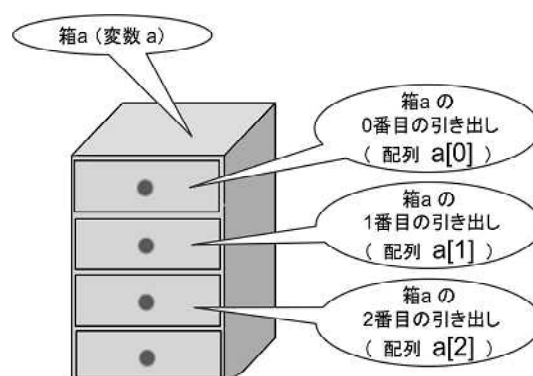


図 5.3 配列の概念と役割の説明

表 5.3 方略 S2-2 に適応した肯定的なコメント例

絵柄として	： 楽しそう／美しい／ファンタスティック
アニメーションとして	： 楽しそう／美しい／ファンタスティック
ソースコードとして	： 拡張性／プログラミング書法に適合／明瞭
作品の応用分野として	： CMに使える／ゲームに利用できそう

は、図 5.3 中に吹出しを挿入し、配列の概念を補足して説明した。改善要素 S2-2 では、提出課題を全員で閲覧した後で、表 5.3 のような学習者に称賛を与える肯定的なコメント例を補助教材として作成した。

5.7 教材改善の効果と考察

教材改善プロセス P4 で改善したプログラミング教材を、改善後グループのプログラミング教育において使用し、モチベーションを 2 授業時間／週の終了時毎に ARCS アセスメント尺度によって測定した。教材改善プロセス P2 で導出した n 回目の授業における改善前／改善後グループの下位カテゴリーの有意な差を、 t 検定によって判定する。具体的には、減少フェーズの下位カテゴリー k_n において、改善後グループの下位カテゴリーの平均値が改善前グループと比較して高く、改善前／改善後グループで有意な差が生じていれば効果があったと判定する。また、有意な差が生じない下位カテゴリー k_n においても、改善後グループの下位カテゴリーの平均値が改善前グループと比較して高ければ、モチベーションが維持された状態で、教材改善のマイナス効果が生じていない。

改善前／改善後グループの授業毎の下位カテゴリーの平均値および、 t 検定の判定を表 5.4 に示す。ここでの“授業”項目における n 回目は、改善後グループの授業回を示している。表 5.4 において、実線・角丸四角形と二重線・角丸四角形は、 $(n-1)$ 回目の授業と n 回目の授業の下位カテゴリーで有意な遷移が生じた項目を表している。前者は下位カテゴリーの増加フェーズ、後者が減少フェーズを表している。星印は、改善前／改善後グループの下位カテゴリーの比較において、有意な差が生じた項目を表している。点線・角丸四角形は、改善後グループの下位カテゴリーの平均値が改善前グループと比較して低い項目を表している。

改善前グループの減少フェーズ①における下位カテゴリー $R1_2$, $R3_2$ および、減少フェーズ②の下位カテゴリー $A1_7$, $R1_7$, $S2_7$ への教材改善の効果を評価する。

表 5.4 改善前グループから改善後グループへの下位カテゴリーの有意な遷移

授業	グループ	注意(Attention)			関連性(Relevance)			自信(Confidence)			満足感(Satisfaction)		
		A1	A2	A3	R1	R2	R3	C1	C2	C3	S1	S2	S3
1回目	改善前	4.10	3.60	4.10	4.10	3.80	3.30	3.20	3.00	3.10	2.70	4.30	3.70
	改善後	4.43	4.26	4.57	4.29	4.14	*4.00	3.14	3.57	3.43	3.29	4.86	4.00
2回目	改善前	3.90	3.40	3.70	2.60	3.50	2.90	3.00	2.50	2.70	2.80	3.70	3.30
	改善後	4.29	3.86	3.86	*3.71	4.00	3.29	3.14	3.29	*3.43	3.00	4.57	3.86
3回目	改善前	3.90	3.50	3.60	3.10	3.40	3.00	3.00	2.70	3.10	3.20	3.70	3.30
	改善後	3.86	3.86	3.71	3.86	*4.14	*4.00	*3.86	3.29	3.57	*4.14	4.26	3.71
4回目	改善前	3.60	3.50	3.60	3.00	3.50	3.20	3.20	2.70	2.90	3.60	4.10	3.50
	改善後	*4.57	*4.71	*4.29	*4.14	4.00	*4.14	3.86	*3.86	*4.14	4.00	4.71	*4.29
5回目	改善前	3.70	3.70	3.30	3.40	3.50	3.20	3.20	2.90	2.90	3.40	3.90	3.50
	改善後	3.57	3.33	3.00	3.26	3.43	3.29	3.14	3.57	3.29	3.43	3.14	3.43
6回目	改善前	4.00	3.80	3.80	3.70	3.50	3.60	3.50	3.50	3.40	3.70	4.10	3.70
	改善後	3.86	3.43	3.57	3.57	3.57	3.43	3.29	3.43	3.29	3.43	3.86	3.43
7回目	改善前	3.60	3.70	3.70	3.10	3.50	3.40	3.40	3.00	3.10	3.40	3.60	3.60
	改善後	4.14	3.86	3.71	*3.86	3.43	3.71	3.86	*3.86	3.86	3.86	*4.57	*4.14

$t_{15}(0.05)=1.753$, $*p < 0.05$

下位カテゴリー $R1_2$ は、改善前グループの2回目の授業で有意な遷移が生じ、下位カテゴリー $R1$ が増加している。改善前／改善後グループの下位カテゴリーの比較においては、 t 検定によって有意な差が認められ、改善後グループの下位カテゴリー $R1$ の平均値が高い。したがって、方略 R1-3 を適用した教材改善は、下位カテゴリー $R1_2$ の向上に効果がある。

下位カテゴリー $R3_2$ は、改善前グループにおける2回目の授業で有意な遷移が生じ、下位カテゴリー $R3$ が増加している。改善前／改善後グループの下位カテゴリーの比較において有意な差が見られないが、改善後グループの下位カテゴリーの平均値が高い。これより教材改善が、下位カテゴリー $R3_2$ の向上に貢献できたとは言えないが、改善前のモチベーションは維持できている。

次に、下位カテゴリー $A1_7$ は、上述の下位カテゴリー $R3_2$ と同様の傾向で、教材改善前のモチベーションが維持できている。下位カテゴリー $R1_7$ は、7回目（改善前グループの8回目に対応）の授業において有意な遷移が生じ、下位カテゴリー $R1$ が増加している。改善前／改善後グループの下位カテゴリーの比較においては、有意な差が認められ、改善後グループの下位カテゴリーの平均値が改善前グループと比較して高い。したがって方略 R1-2 を用いた教材改善が、下位カテゴリー $R1_7$ の向上に効果がある。

下位カテゴリー S2₇ も上述と同様の傾向である。したがって方略 S2-2 を適用した補助教材が、下位カテゴリー S2₇ の向上に効果がある。

本プログラミング教育の教授者の側面からも考察した。改善要素 R1-3 のプログラムステートメント “for” の概念図、改善要素 R1-2 の配列の概念図が、教授者にとって概念の説明を行いやすかった。また、改善要素 S2-2 の課題提出後の学習者へのコメント例は、複数の学習者への対応が短時間で可能になり、学習意欲を高めるのに有効であった。一方、改善要素 R3-1 練習問題の増加および改善要素 A1-1 の吹き出しによる説明は、文字を含む教材部分であったために教授支援としての効果が小さかった。これら状況から、プログラミングの概念などの解説に用いる図解および、学習者への肯定的なコメントは教授者にとっても有用であり、将来の教材改善に利用できる。

5.8 まとめ

本章では、プログラミング教育におけるモチベーションの変化の解析と、ARCS 動機づけモデルの“動機づけ方略”の参照によるプログラミング教材の改善法を提案し、その効果を評価した。実際のプログラミング教育におけるモチベーションを、ARCS アセスメント尺度によって測定し、その遷移を統計的に分析し、改善要素を設定してプログラミング教材の改善を行った。そして改善した教材を用いたプログラミング教育を試行し、教材改善の効果を検討した。

プログラミング教材の改善では、減少フェーズ①において2つの改善要素、減少フェーズ②で3つ改善要素を設定した。そして、減少フェーズ①の対処としてプログラムステートメントの概念に関する図解を挿入し、練習問題を2問から6問に増やして学習者が理解状態に応じて練習問題を選択できるようにした。減少フェーズ②の対処では、配列の概念を引出し付きの箱の図解で説明し、図中に吹き出しを挿入して配列の概念を補足して説明した。さらに提出課題の閲覧時に、学習者に称賛を与

える肯定的なコメント例を補助教材として作成した。

改善したプログラミング教材を、改善後グループのプログラミング教育で使用し、モチベーションを ARCS アセスメント尺度によって測定した。教材改善の効果は、減少フェーズの下位カテゴリーにおいて、改善後グループの下位カテゴリーの平均値が改善前グループより高く、グループ間に有意な差が生じていれば改善の効果があると判定した。その結果、減少フェーズ①において1つ、減少フェーズ②で2つの教材改善の効果が認められた。一方、他の2つの下位カテゴリーでは、下位カテゴリーに有意な増加が見られないが、教材改善前のモチベーションは維持できた。また、教育プロセスの早い時期の効果的な教材改善が、その後のプログラミング教育に効果的な影響を及ぼすことも認められた。

第 6 章 結論

本論文では、プログラミングが学習者自身の知識の運用を必要とすることから、プログラミング教育における学習者のモチベーションに注目し、IT 非適用領域におけるプログラミング教育とそのモチベーションの重要性を示した。そして効果的なプログラミング教育の実現を目指して、モチベーションを測定するためのアセスメント尺度とその解析方法を構築し、その結果を適用したプログラミング教材の改善法を提案した。

SIEM アセスメント尺度によるモチベーションの解析では、Processing をプログラミング環境としたプログラミング教育を 2 つの教育機関で試行し、そのモチベーションを測定した。そして、IT 非適用領域のプログラミング教育におけるモチベーションの解析方法を提案してモチベーションを解析した。その結果の一つとして、2 つの教育機関において、Processing 評価項目の平均値が SIEM アセスメント尺度の構成因子の平均値よりも高かった。これより、IT 非適用領域におけるプログラミング教育では、プログラミングの出力結果と“美しさ”の関連が重要であるといった知見が得られた。

一方、SIEM アセスメント尺度におけるモチベーション・レベルは、モチベーション評価項目の 2 項目によって算出され、ARCS 動機づけモデルの全ての 4 因子をモチベーション・レベルの算出に使用していないことから、モチベーション全体の傾向を把握することが難しい。そこで、SIEM アセスメント尺度の研究成果と知見を基にして、ARCS 動機づけモデルの 4 つの因子に分けて測定する ARCS アセスメント尺度と ARCS アンケートを開発した。

ARCS アセスメント尺度を用いたモチベーションの解析では、本アセスメント尺度と ARCS アンケートによって、IT 非適用領域のプログラミング教育における学習者のモチベーションを測定した。モチベーションの解析においては、ARCS 動機づけモデルの一つの因子における 3 つの下位カテゴリーを 3 軸とした 3D バブルグラフによる視覚的な解析方

法を提案した。本法によって、数値データだけの分析では難しい、下位カテゴリ間の関係や学習フェーズの進行による遷移要因を総合的に詳細に把握できる。また、ARCS 動機づけモデルのモチベーションの構成因子に直接に対応した ARCS アセスメント尺度を用いていることで、本モデルの動機づけ設計方略を参照して、対処が必要なモチベーションの構成因子に対応した学習環境や教材を改善できる。

次に、情報通信産業のモチベーションの測定では、ARCS アセスメント尺度を用いて、新人技術者研修のプログラミング教育におけるモチベーションを測定した。その結果、本アセスメント尺度が IT 非適用領域以外でも、モチベーションを測定できることを確認した。ここでは、本プログラミング教育のモチベーションを ARCS アセスメント尺度によって測定し、学習者の専攻領域に着目してそのモチベーションを解析した。その結果、因子レベルにおいては、注意（Attention）と満足感（Satisfaction）の平均スコアが、関連性（Relevance）と自信（Confidence）の平均スコアより高く維持される傾向が、プログラミング教育の一つの傾向であることを確認した。プログラミングの学習目標とその重要性の理解に関しては、理工系技術を専門としない非理工系グループが、プログラミングの技術・知識の修得が進むことで、学習目標とその重要性を、理工系グループよりも深く理解することを解明した。また、本解析結果と ARCS 動機づけモデルの“動機づけ方略”を基にして、IT 非適用領域における効果的なプログラミング教育も考察した。

最後に ARCS 動機づけ方略と統計的分析に基づくプログラミング教材の改善では、ARCS アセスメント尺度によって学習者のモチベーションを測定し、ARCS 動機づけ方略と統計的分析に基づいてプログラミング教材の改善を行う改善法を提案した。プログラミング教材の改善では、減少フェーズ①において2つの改善要素、減少フェーズ②で3つ改善要素を設定してプログラミング教材を改善した。改善を施したプログラミング教材を用いた授業において、ARCS アセスメント尺度によって学習者のモチベーションを測定し、減少フェーズ①において1つ、減少フェー

ズ②で2つの教材改善の効果を確認した。また、教育プロセスの早い時期の効果的な教材改善が、その後のプログラミング教育に効果的な影響を及ぼすことも解明できた。

本改善法によるプログラミング教材の改善は、ARCS 動機づけモデルの“動機づけ方略”を参照することから、教授者の経験や知見の差異による影響が小さく、多様なプログラミング教育環境での利用が可能である。また、本法は同じプログラミング教材に繰り返して適用できることから、プログラミング教材の改善効果が高く、効果的なプログラミング教育を実現させるプログラミング教材の作成が期待できる。

本研究の成果は、ソフトウェア工学教育におけるプログラミング教育の教材開発に貢献できると考える。また本研究の成果を、初学者を対象としたプログラミング環境の開発現場、高等学校の情報科・情報の科学の「(2) 問題解決とコンピュータの活用」および、中学校の技術・家庭科の「D：情報に関する技術」の単元におけるプログラミング教育に還元することも計画している。

謝辞

本研究を進めるにあたり、常日頃より懇切なご指導ご助言と、適切なご指摘を賜りました、奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 松本 健一 教授 に、心から深く感謝申し上げます。

本研究を進めるにあたり、丁寧なご指導ご助言に加えまして、適切なご示唆を賜りました、奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 関 浩之 教授 に、心から深く感謝申し上げます。

本研究を進めるにあたり、終始熱心に相談に応じて頂き、有益で丁寧なご指導を賜りました、奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 門田 暁人 准教授 に、心から深く感謝申し上げます。

本研究を進めるにあたり、研究開始から本稿までの道のりにおいて、懇切なご指導と暖かい激励を賜りました、奈良先端科学技術大学院大学 鳥居 宏次 名誉教授 に、心から深く感謝申し上げます。

本研究を進めるにあたり、貴重なご指導ご助言を賜りました、奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 伊原 彰紀 助教 に、心から深く感謝申し上げます。

本研究を進めるにあたり、ご協力を賜りました、奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 ソフトウェア工学講座 松本健一 研究室の皆様 に、心から深く感謝申し上げます。

本研究を進めるにあたり、貴重なご助言、ご協力を賜りました、新潟青陵大学 看護福祉心理学部 南雲 秀雄 教授 に、心から深く感謝申し上げます。

本研究を進めるにあたり、実験準備、論文執筆、学会発表まで常に適切で熱心なご指導と、細部にわたる有益なご指摘を賜りました、大阪芸術大学 芸術学部 武村 泰宏 教授 に、心から深く感謝申し上げます。

本研究を進めるにあたり，ここに書ききれなかった多くの方々から有益なご指導，ご支援を賜りましたことに，心から深く感謝申し上げます。

最後に，本稿に至る道のりにおいて，影ながら支えて励ましてくれた家族 と，暖かく見守り続けて下さった 両親 に心から感謝します。

参考文献

- [1] Andersen, P. B., Bennedsen, J., Brandorff, S., Caspersen, M. E. and Mosegaard, J. Teaching Programing to Liberal Arts Students - A Narrative Media Approach. In *Proceedings of ITiCSE'03*, pp. 109-113, 2003.
- [2] 兼宗進, 中谷多哉子, 御手洗理英, 福井眞吾, 久野 靖. 初中等教育におけるオブジェクト指向プログラミングの実践と評価. 情報処理学会論文誌: プログラミング, Vol.4, No. SIG 13, pp. 58-71, 2003.
- [3] Reas, C. and Fry, B. *Processing: A Programming Handbook for Visual Designers and Artists*. MIT Press, 2007.
- [4] Design By Numbers, <http://dbn.media.mit.edu/>
- [5] Feldgen M. and Clua, O. Games as a Motivation for Freshman Students to Learn Programming. In *Proceedings of the 34th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference*. Session S1H, pp. 11-16, 2004.
- [6] 日 本 再 興 戦 略 — JAPAN is BACK — , http://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/pdf/saikou_jpn.pdf , p.147, 2013.
- [7] 土肥紳一, 宮川 治, 今野紀子. 学生のモチベーションに着目したプログラミング入門教育における授業評価尺度の研究. 東京電機大学総合研究所年報, pp. Q6J – 13, 2008.
- [8] 伊藤陽介, 森 誉範, 菊地 章, 大泉 計. 「プログラムと計測・制御」のためのロボット学習材の開発と実践. 日本産業技術教育学会誌, Vol. 49, No. 3, pp.213-221, 2007.
- [9] 紅林秀治, 江口 啓, 兼宗 進. 制御プログラム学習における中学生の学習効果. 日本産業技術教育学会誌, Vol. 51, No. 4,

pp.301-309, 2009.

- [10] 大塚裕子, 田北晋一, 宮崎英一高井忠昌. Java 言語による木製品設計支援システムの開発. 日本産業技術教育学会誌, Vol. 52, No. 1, pp.45-53, 2009.
- [11] 河野哲志, 新地辰朗. “D 情報に関する技術” に係わる学習指導改善に向けた中学生の情報通信概念の評価. 日本産業技術教育学会誌, Vol. 53, No. 1, pp.25-32, 2011.
- [12] Pekrun, Goetz, R. T. and Titz, W. Academic Emotions in Students' Self-Regulated Learning and Achievement: A Program of Qualitative and Quantitative Research. In *Educational Psychologist*, 37(2), pp.91-105, 2002.
- [13] Turner, J. C., Thorpe, P. K. and Meyer, D. K. Students' Reports of Motivation and Negative Affect: A Theoretical and Empirical Analysis. In *Journal of Educational Psychology*, 90, pp.758-771, 1998.
- [14] Gerald M. Weinberg. *The Psychology of Computer Programming*. Dorset House Publishing, 1998.
- [15] Keller J. M. and Suzuki, K. Use of the ARCS Motivation Model in Courseware Design. In *D. H. Jonnasen (Ed.), Instructional Designs for Microcomputer Courseware*. Lawrence Erlbaum Associates, Chapter 16, USA, 1987.
- [16] Keller, J. M. Development and Use of the ARCS Model of Instructional Design. In *Journal of Instructional Development*, Vol. 10, No. 3, pp. 2-10, 1987.
- [17] Dohi, S., Miyakawa, O. and Konno, N. Analysis of the Introduction to the Computer Programming Education by the SIEM Assessment Standard. In *Proceedings of the 6th*

International Conference of Information Technology Based Higher Education and Training. Session F4A, pp. 8-13, 2005.

- [18] 土肥紳一, 宮川 治, 今野紀子. SIEM アセスメント尺度に基づいた要因分析結果のフィードバックによるコンピュータ入門教育への効果. FIT2005, pp.309-312, 2005.
- [19] Atkinson, J. W. An Introduction to Motivation. In *Van Nostrand*, pp131-133, 1964.
- [20] 坂本 昂, 水越敏行, 西之園晴夫, 日本教育工学会編集. ARCS モデル. *教育工学事典*, 実教出版, P. 2. 2000.
- [21] Takemura, Y., Nagumo, H., Huang, K. Matsumoto, K. Analysis of the Relation between the Teaching Materials and Motivation in Programming Education. In *Proceedings of the 20th Conference on Software Engineering Education and Training*, pp.317-324, 2007.
- [22] Takemura, Y., Nagumo, H., Tsukamoto, H. and Huang, K. Analyzing the Motivation of the Students in the Art Faculty for Learning Programming. In *Proceedings of the 7th International Conference on Advanced Learning*, pp.244-246, 2007.
- [23] Takemura, Y., Nagumo,H., Tsukamoto, H. and Matsumoto, K. The Transition of the Motivation of the Students in the Art Faculty to Learn Programming. In *Proceedings of the 8th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2008)*, pp. 894-896, Jul. 2008.
- [24] Takemura, Y., Nagumo,H., Huang, K. and Tsukamoto, H. Assessing the Learners' Motivation in the E-Learning Environments for Programming Education. In *Springer Berlin*

/ Heidelberg, *Lecture Notes in Computer Science Series*, ISSN 0302-9743, Vol. 4823, pp. 355-366, 2008.

- [25] Tsukamoto, H., Nagumo, H., Takemura, Y. and Matsumoto, K. Analyzing the Transition of Learners' Motivation to Learn Programming. In *Proceedings of the 38th Annual Frontiers in Education (FIE) Conference*, pp. S4B6-S4B11, 2008.
- [26] Tsukamoto, H., Nagumo, H., Takemura, Y. and Matsumoto, K. Comparative Analysis of 2D Games and Artwork as the Motivation to Learn Programming. In *Proceedings of the 39th Annual Frontiers in Education Conference*, pp. T1A1–T1A6, 2009.
- [27] Tsukamoto, H., Nagumo, H., Takemura, Y. and Matsumoto, K. Analysis of the Motivation of Learners in the In-House Training of Programming in Japanese ICT Industries. In *Proceedings of the 24th IEEE-CS Conference on Software Engineering Education and Training (CSEE&T)*, pp. 121-128, Honolulu, U.S.A., 22-24 May. 2011.
- [28] Tsukamoto, H., Nagumo, H., Takemura, Y., Huang, K. and Matsumoto, K. Analyzing the Motivation Factors of the Students in the Art and Design Faculty to Learn Programming. In *Journal of Information and Systems in Education*, Vol.7, No.1, pp. 67-75, Dec. 2008.
- [29] 塚本英邦. 情報通信産業の新人研修におけるモチベーションの解析による効果的なプログラミング教育の考察. 日本産業技術教育学会誌, Vol. 53, No. 4, pp. 273-280, 2011.
- [30] Tsukamoto, H., Nagumo, H., Takemura, Y., Monden, A. and Matsumoto, K. The Effects of Teaching Material Remediation

- with ARCS-Strategies for Programming Education. In *Proceedings of the 39th Annual Frontiers in Education (FIE) Conference*, pp. 717-723, Oklahoma, U.S.A., Oct. 2013.
- [31] 塚本英邦, 南雲秀雄, 武村泰宏. 芸術系技能を必要とする IT 作業を考慮したプログラミング教育のモチベーションの解析. 日本産業技術教育学会誌, Vol. 52, No. 3, pp. 177-185, 2010.
 - [32] 小塩真司. 践形式で学ぶ SPSS と Amos による心理・調査データ解析, 東京図書, pp. 146-149, 2007.
 - [33] 浦上昌則, 脇田貴文. 心理学・社会科学研究のための調査系論文の読み方. 東京図書, pp.49-53, 2008.
 - [34] MIT Media Lab, <http://www.media.mit.edu/events/upcoming>
 - [35] Takemura, Y., Matsumoto, K., Inoue, K. and Torii, K. A Statistical Analysis on the Order of Understanding for the Java Programming Language. In *Proceedings of the 7th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics (SCI2003)*, Vol. 16, pp. 294-299, 2003.
 - [36] *The Concise Oxford Dictionary of Current English*. Sixth Edition, Second Impression, p. 84, 1976.
 - [37] 石村貞夫. すぐわかる統計解析, 東京図書, pp.34-35, 2001.
 - [38] Keller, J. M. Motivational Design for Learning and Performance: The ARCS Model Approach. In Springer, New York Dordrecht Heidelberg London, pp. 38-39, 2009.
 - [39] 鈴木克明. 米国における授業設計モデル研究の動向, 日本教育工学会誌. Vol.13, pp.1-14. 1989.
 - [40] 川上祐子, 向後千春. ARCS 動機づけモデルに基づく Course Interest Survey: 日本語版尺度の検討. 日本教育工学会研究報告

- 集, JSET13-1, pp. 289-294, 2013.
- [41] 王文涌, 池田満, 李峰榮. プログラミング教育における動機づけ教授方法の提案と評価. 日本教育工学会論文誌, Vol. 31, No. 3, pp.349-357, 2007.
- [42] 応用統計ハンドブック編集委員会編, 奥野忠一. 応用統計ハンドブック, 養賢堂, p.763, 1999.
- [43] Sivananda, S., Sathyanarayana, V. and Pati, P.B. Industry-academia Collaboration via Internships. In *Proceedings of the 22nd Annual IEEE-CS Conference on Software Engineering Education and Training*, February, pp. 255-262, 2009.
- [44] Subrahmanyam, G. A Dynamic Framework for Software Engineering Education Curriculum to Reduce the Gap between the Software Organizations and Software Educational Institutions. In *Proceedings of the 22nd Annual IEEE-CS Conference on Software Engineering Education and Training*, February, pp. 248-254, 2009.
- [45] 芝 祐順, 渡部 洋, 石塚智一編著. 統計用語辞典. 新曜社, pp.177-178, 1999.
- [46] 奥野忠一, 応用統計ハンドブック編集委員会編. 応用統計ハンドブック, 養賢堂, pp.41-59, 1999.
- [47] 岡本敏雄, 真田克彦, 竹本宜弘編著. コンピュータ利用の統計学. 近代科学社, pp.172-188, 1999.
- [48] 塚本英邦, 南雲秀雄, 武村泰宏. 教育機関と企業のプログラミング教育を比較したモチベーションの解析. 日本産業技術教育学会第25回情報分科会, 講演論文集, pp.79-80, 2010.

- [49] 菊地章，鎮革．プログラムによる計測・制御学習のための GUI プログラミング環境の構築．日本産業技術教育学会誌, Vol. 54, No. 2, pp.59-67, 2012.
- [50] 川田浩誉，伊藤陽介．中学校における二足歩行を題材としたロボット制御学習の構築と評価．日本産業技術教育学会誌，第 54 巻，第 2 号，pp.69-77, 2012.
- [51] 樋口大輔，紅林秀治．コンピュータによる計測・制御学習のための汎用計測・制御基板の開発．日本産業技術教育学会誌，第 53 巻，第 3 号，pp.169-178, 2011.
- [52] 針谷安男，飯塚真弘，山菅和良．プログラムによる計測・制御学習の授業実践とその学習効果の検証．日本産業技術教育学会誌，第 52 巻，第 3 号，pp.205-214, 2010.
- [53] Fred Martin. Is There a MOOC in Your Future? In *Proceedings of FIE 2012*, p. xv, 2012.
- [54] 塚本英邦，南雲秀雄，武村泰宏，門田暁人，松本健一．ARCS 動機づけ方略を用いた教材改善の効果．日本産業技術教育学会第 28 回情報分科会，pp.43-44, 2013.
- [55] 塚本英邦，南雲秀雄，門田暁人，松本健一．ARCS 動機づけ方略と統計的検定に基づくプログラミング教材の改善とその評価．日本産業技術教育学会誌，第 55 巻，第 4 号，pp.307-315, 2013.