

修士論文 2008 年度（平成 20 年度）

教養としてのプログラミング教育における
新しい導入教材の試み

慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科

荒木恵

修士論文 2008 年度（平成 20 年度）

教養としてのプログラミング教育における 新しい導入教材の試み

論文要旨

現代社会では、論理的思考力、論理的コミュニケーション力を持った人材が求められている。このような能力を育成することを目的としたプログラミング教育を、本論文では教養としてのプログラミング教育と呼ぶ。このような能力はこれからの社会を生きていく学生にとって、読み書きと同じように、必要な教養である。

本論文では、主に初等中等教育課程を対象としたプログラミング教育の導入教材を 2 種類提案し、教材を用いた実験授業を行い、提案した教材を評価する。

プログラミングの初学者の多くは、プログラミングに間違った、ネガティブなイメージを抱いており、プログラミングの学習に不安を抱いている。本教材の目的は（1）プログラミングとは手順を論理的に記述することであるということを理解させること、（2）プログラミングの学習への意欲を増すこと。である。

この目的に沿って、本論文では 2 種の教材を提案する。小学生～中学生に適用可能な教材「パンチカードの歴史」と、高校生～大学生に適用可能な教材「お絵かきプログラム開発演習」である。

「パンチカードの歴史」は、オルゴールを題材とし、オルゴールをコンピュータ上に再現することで、実行機械とプログラムの関係を学ぶ教材である。

「お絵かきプログラム開発演習」教材は、プログラミング初学者がソフトウェア開発におけるプログラミングの位置づけを理解し、ソフトウェア開発の過程でおきるコミュニケーションの問題を体験し、ソフトウェア開発プロセスの概要に触れる教材である。

これら 2 種の教材を用いて、それぞれ 3 回の実験授業を行った結果、これらの教材には学習者の「プログラミング」という語に対する概念を広げ、プログラミングの学習に対する不安感を減少させ、プログラミングの学習への意欲を増す効果があることが分かった。

キーワード: 情報教育, アンブラグド, 動機付け, プログラミング教育, Squeak
導入教育, 教材作成

慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科
荒木 恵

Abstract of Master Thesis Academic Year 2008

Teaching Materials for Introducing the Notion
of Programming as a Cultural Study

Summary

The society needs person who can think and communicate logically. The programming educations are suitable to promote these abilities. In this thesis we call the programming education aimed to promote these abilities “ Programming as a Cultural Study” .

I propose two ”Teaching Materials for Introducing the Notion of Programming” for a person who learns the programming for the first time. I evaluate the teaching materials by doing the experiment, and report the result.

Most of persons who learn the programming for the first time holds the wrong and negative image for programming. They also hold uneasiness in the study of the programming. The purpose of the teaching material is two. 1) To make students understand that a programming is a logical procedure. 2) To increase the student’s desire for learning.

I propose the two teaching materials. One is named ”Describing an Illustration with a Language”, developed for Higher education course . The other is named ”History of punched card” , Developed for Elementary and primary education course.

”History of the punched card” is a teaching material to understand the relation between the execution machine and the program by reproducing the music box on a computer.

”Describing an Illustration with a Language” is a teaching material to have an experience of the difficulty of logical communications.

We did three experiments for these two teaching materials. By using these teaching materials, student expanded the concept to ”Programming ”, decreases the anxiety to the study of programming and increases the motivation for the study of programming.

From these result of the experiment class, I concluded that these teaching materials are effective.

Keywords: Information education, unplugged, motive putting, programming education, Squeak, introduction, and teaching material making

Megumi Araki
Graduate School of Media and Governance
Keio University

目次

第1章	研究の目的と意義	1
1.1	研究の背景：教養としてのプログラミング教育の現状	1
1.2	研究の主題：プログラミング教育導入教材の開発	2
1.3	研究の方法：実験授業実施と授業評価	2
1.4	本論文の構成	3
第2章	研究の背景	5
2.1	教育者の視点から：プログラミング教育への批判	5
2.1.1	プログラミング不要	6
2.1.2	指導者不足	6
2.1.3	時間不足	7
2.2	学習者の視点から：プログラミング学習への不安	7
2.2.1	未定義用語ばかりの授業	7
2.2.2	プログラミング学習の意義が分からない	7
2.2.3	プログラミング学習への不安	8
2.3	「教養としてのプログラミング」教育	8
2.3.1	教養としてのプログラミングとは何か	8
2.3.2	「教養としてのプログラミング」教育を目指す試み	9
2.3.3	本研究の位置づけ	11
第3章	教材の提案	13
3.1	教材の枠組み	13
3.2	初等中等教育課程向け教材：パンチカードの歴史	13
3.2.1	目的	13
3.2.2	教材『パンチカードの歴史』の学習目標	13
3.2.3	教材の概要	14
3.3	高等教育課程向け教材：お絵かきプログラム開発演習	23
3.3.1	目的	23
3.3.2	学習目標	23
3.3.3	教材の概要	23

3.3.4	お絵かきプログラム開発プロジェクト	25
3.3.5	教材の運営方法	27
3.3.6	成果物・受講者による評価の例	29
第4章	実験授業	31
4.1	初等中等教育課程向け教材：実験授業概要	31
4.2	初等中等教育課程向け教材：第1回実験授業	31
4.2.1	実施概要	31
4.2.2	教材設計	32
4.2.3	第1回：Squeakで電子ピアノを作ろう	32
4.2.4	第2回：オルゴールの仕組みを調べて、Squeakでオルゴールを作ってみよう	33
4.2.5	第3回：自分の好きな曲でオルゴールを作ってみよう	35
4.2.6	第4回：オルゴールをアレンジしてみよう	36
4.2.7	第5回：オルゴールと同じ仕組みでアニメーションを作ってみよう	39
4.2.8	児童による成果物	41
4.3	初等中等教育課程向け教材：第2回実験授業	44
4.3.1	実施概要	45
4.3.2	教材設計	45
4.3.3	1日目	46
4.3.4	2日目	47
4.3.5	児童による成果物	49
4.4	初等中等教育課程向け教材：第3回実験授業	49
4.4.1	実施概要	49
4.4.2	教材設計	49
4.4.3	1日目	51
4.4.4	2日目	52
4.4.5	児童による成果物	52
4.5	高等教育課程向け教材：実験授業概要	53
4.6	高等教育課程向け教材：第1回実験授業	53
4.6.1	実施概要	53
4.6.2	カリキュラム内での位置づけ	53
4.6.3	学生のような観察	54
4.7	高等教育課程向け教材：第2回実験授業	55
4.7.1	実施概要	55

4.7.2	カリキュラム内での位置づけ	55
4.7.3	学生のような観察	55
4.8	高等教育課程向け教材：第3回実験授業	57
4.8.1	実施概要	57
4.8.2	カリキュラム内での位置づけ	57
4.8.3	学生のような観察	57
第5章	提案教材の評価	61
5.1	評価の概要	61
5.2	パンチカードの歴史教材の評価	61
5.2.1	評価の観点	61
5.2.2	評価の概要	62
5.2.3	第1回の試行	62
5.2.4	第2回の試行	62
5.2.5	第3回の試行	69
5.2.6	まとめ	70
5.3	お絵かきプログラム開発演習の評価	70
5.3.1	評価の観点	70
5.3.2	評価の概要	70
5.3.3	アンケート結果	71
5.3.4	学生の感想・様子の観察からの本教材の効果の考察	76
5.3.5	ソフトウェア開発プロセスの概要が分かる	78
5.3.6	まとめ	79
第6章	今後の課題と発展とまとめ	81
6.1	まとめ	81
6.1.1	プログラミングとは手順を論理的に記述することであることを理解させることができるか	81
6.1.2	プログラミングの学習への意欲を高めることができるか	82
6.1.3	情報科教員程度の能力があれば、実施可能であるか	82
6.1.4	プログラミング授業の導入として実施可能か	83
6.2	今後の課題と発展	83
	参考文献	85

目次

3.1	現実のオルゴールと Squeak 上のオルゴール	14
3.2	大きさがちぐはぐな指と鍵盤	15
3.3	大きさをあわせた指と鍵盤	15
3.4	プログラミングをはじめる状態	16
3.5	条件分岐のプログラミング	16
3.6	複数の条件分岐を用いたプログラミング	17
3.7	拡大模型を使っている様子	18
3.8	配布したオルゴール	18
3.9	オルゴールの紙模型	18
3.10	Squeak 上のオルゴール	19
3.11	Squeak 上のオルゴールのプログラム	19
3.12	聖者の行進のオルゴール	20
3.13	シート式オルガニート	20
3.14	円盤式オルガニート	21
3.15	からくりオルゴール	21
3.16	ブランコの漫画	24
3.17	プロジェクトのプロセス	25
3.18	成果物例：三日月プロジェクト	26
3.19	プロジェクトと学生の関係	28
3.20	学生とプロジェクトの関係	28
3.21	成果物例：メロンが量りに	29
4.1	宿題プリント	34
4.2	拡大模型を使っている様子	35
4.3	音の鳴り方比較の様子	36
4.4	重さ対策を終えたオルゴール	38
4.5	「We wish Your Merry X'mas」のオルゴール	38
4.6	虫退治の世界	40
4.7	メロディーカードの世界	41

4.8	キラキラ星のオルゴール	42
4.9	聖者の行進のオルゴール	42
4.10	クリスマスカード	43
4.11	仲間を倒されて逃げる虫	44
5.1	1日目：楽しかったか	63
5.2	1日目：分かったか	63
5.3	2日目：楽しかったか	64
5.4	2日目：分かったか	64
5.5	自分でオルゴールを作れそうか	65
5.6	コンピュータに関する新しい発見があったか	66
5.7	オルゴールの仕組みが作品に使われていたか	67
5.8	からくりオルゴールの仕組みが作品に使われていたか	68
5.9	受講者の構成：学年	71
5.10	受講者の構成：文理	72
5.11	受講者の構成：学部	72
5.12	受講者の構成：プログラミング経験の有無	73
5.13	受講者の構成：男女	73
5.14	文理別不安度	74
5.15	文理別楽しさ	75
5.16	文理別不安感を払拭する効果	75

表 目 次

2.1 狭義のプログラミングと広義のプログラミング	8
3.1 お絵かきプログラム開発の各工程とその詳細	26
4.1 ICT スクール 2007 夏時間割	56
4.2 論理思考とプログラミング前半シラバス	58
4.3 論理思考とプログラミング後半シラバス	59
5.1 第 3 回アンケート結果	69
5.2 プログラミングのイメージの変化	76

第1章 研究の目的と意義

1.1 研究の背景：教養としてのプログラミング教育の現状

現代社会では、自ら仕事の手順を考え、実行し、仕事の効率化ができる人材が求められている。仕事を効率化するためには、仕事を自分で実行するだけでなく、機械、他人などに、必要に応じて仕事を任せる必要がある。仕事を機械や他人に任せるためには、まず、仕事の手順を考え、それを論理的に伝える能力、つまり、論理的思考能力と論理的コミュニケーション能力が必要である。

しかし、2003年以前の日本の教育課程では、このような論理的思考力、論理的コミュニケーション力の教育は、国語科の論述文読解、数学の証明、数学の論理学を除いて、ほとんど扱われていなかった。

現在は、これらの能力の育成を目指して、高等学校の情報科において、プログラミング教育が指導要領に含められている。文系、理系問わず、プログラミング教育は、論理的思考能力、論理的コミュニケーション力を養うために有効である。

論理的思考力、論理的コミュニケーション力を育成することを目的としたプログラミング教育を、本論文では教養としてのプログラミング教育と呼ぶ。このような能力はこれからの社会を生きていく学生にとって、読み書きと同じように、必要な教養である。以下に、情報処理学会の情報教育に関する提言、UNESCO、久野の論文からの引用を示す。

情報処理学会情報処理教育委員会が発表した「日本の情報教育・情報処理教育に関する提言2005」[1]においては、「手順的な自動処理の構築」を全国民に体験的に理解させるとともに、高等教育や社会人に対しても、「手順的な自動処理の構築」の理解に基づく高度なICT教育をし、人材を供給する必要がある、としている。

UNESCOの情報教育に関する勧告では、「自分ができる何らかのタスクを他人（または装置）がやれるように、十分に詳細に、完全にその手続きを記述する」[2]ことを、大学に進学するすべての高校生が高校において学習するべきとしている。

久野 [3] は、プログラミングを教える理由として次の3点を挙げている。

理由1: コンピュータの構造・原理・特性を学ぶにはプログラミングを「体験」することが必要

理由 2: コンピュータや情報システムに対して「こうしたらどうなるか」が予測できるようになる

理由 3: 関心と適性を持つ児童・生徒に対し初等中等教育段階でそのことを見出す機会を与える

これらを踏まえて、初等中等教育過程においても Squeak[4][5][6][22], ドリトル [7]をはじめとするさまざまなプログラミング教育が行われている。これらの試みについての詳細は、2章で紹介する。

しかし、プログラミング初学者の多くは、プログラムとは何か、プログラミングとはどのような行為なのかのイメージがもてないままプログラミングの学習を始めており、プログラミングの学習への不安感がある。プログラミング初学者の持つプログラミング学習の不安感については、本論文の5章で述べる。

1.2 研究の主題：プログラミング教育導入教材の開発

プログラミングの「体験」を初等中等教育段階で得ることは有益である [3][8]。しかし、これには次の2つの危険性がある。

まず、プログラミングの初学者はプログラミングのイメージが無いため、プログラム = 特定の言語や開発環境のことである、という誤った認識を植えつけてしまう可能性がある。教養としてのプログラミング教育は、特定の言語の文法や開発環境の操作を教えることを目的としていない。このような誤解は避けなければならない。

次に、プログラミングの学習への不安感がある状態でのプログラミング教育は、児童・生徒のプログラミングへの興味を逆に奪ってしまう可能性がある。プログラミング教育が原因で「プログラミング嫌い」を作ることは避けなければならない。

プログラミング初学者のプログラミング教育の意義の理解を助け、プログラミングの学習への不安感を払拭する導入教育が必要である。

本論文では、プログラミング初学者のための、プログラミング教育への導入のための教材を提案する。

1.3 研究の方法：実験授業実施と授業評価

本研究では、プログラミング初学者を対象とした、プログラミング教育への導入教材を提案とする。教材の目的は次のとおりである。

- プログラミングとは手順を論理的に記述することであることを理解させること。
- プログラムが変わると動作が変わるということを理解させること。

- プログラムは正しく書かなければ正しく動かないということを理解させること。
- プログラミングの学習への意欲を高めること。
 - プログラミングへの不安を取り除くこと。
 - プログラミングのイメージをポジティブにすること。
 - プログラミングの学習に，論理的思考能力を伸ばす効果があることを示すこと。

本研究のリサーチクエスチョンは次のとおりである。

- RQ1: 提案する教材で，プログラミングとは手順を論理的に記述することであることを理解させることができるか。
- RQ2: 提案する教材で，プログラミングの学習への意欲を高めることができるか。
- RQ3: 提案する教材は，情報科教員程度の能力があれば，実施可能であるか。
- RQ4: 提案する教材はプログラミング授業の導入として実施可能か。

1.4 本論文の構成

本論文では，まず2章で初等中等過程におけるプログラミング教育の現状と，先行研究について述べる。これらの議論をふまえて，3章では教育教材を提案する。4章では，提案した教育教材を用いた実験授業の結果について述べる。5章で，実験授業の結果をもとに，提案した教育教材の評価を行う。6章では結論を述べ，今後の課題と発展について論じる。

第2章 研究の背景

日本では、2005年の提言 [1] を踏まえて、各地でプログラミング教育の取り組みが見られる。しかし、プログラミングの初学者は、プログラミングの学習にあまり興味を抱かず、また、不安を抱いている。同時に、教育者の側からも、プログラミング教育には根強い批判がある [3]。

筆者は、プログラミング初学者がプログラミング学習に不安を感じ、意欲的になれない原因と、およびこれらの批判の原因は、「プログラミング」という語に対するネガティブなイメージであると考えている。

本章では、既存の「プログラミング」という語に対するネガティブなイメージを「狭義のプログラミング」「広義のプログラミング」という、2種類の概念を使って説明する。まず、「狭義のプログラミング」「広義のプログラミング」とは何かを定義し、プログラミング教育への批判に応える。次に、「教養としてのプログラミング」とは何かを定義し、2種類のプログラミングとの関連を明らかにする。そして、学習者の「教養としてのプログラミング」教育への興味を喚起し、不安を取り除く方法について論じる。

2.1 教育者の視点から：プログラミング教育への批判

プログラミング教育には根強い批判がある。次にその代表例を挙げる ([3] より引用)。

- (a) コンピュータを使うのにプログラミングは不必要である。
- (b) 国民全員がプログラマになる必要はないではないか。
- (c) プログラミングは難しすぎて教えるのが困難である。
- (d) プログラミングを教えるだけの時間的余裕がない。
- (e) 「情報」教員の多くはプログラミングを教える力がない。

ここでは、これらのうち、(a)(b)を「プログラミング不要」、(c)(e)を「指導者不足」、(d)「時間不足」と略記してまとめて、それぞれに関して筆者の意見を述べる。

2.1.1 プログラミング不要

プログラミング不要という批判のうち，(a) コンピュータを使うのにプログラミングは不必要である，ということは，ユーザインターフェースが発達した現在のコンピュータにおいては，そのとおりである．

(b) 国民全員がプログラマになる必要はないではないか，という批判も，もっともである．国民全員が IT 技術者や，プログラマになる必要はない．

しかし，ここで取り上げられている「プログラミング」とは，コンピュータで動くソフトウェアを作る，という「狭義のプログラミング」である．プログラミング教育におけるプログラミングの定義は，「手順的な自動処理の構築」[1] すなわち「仕事の手順をを理解し，論理的に記述すること」である．

これは日本で一般的な概念でないため，多くのプログラミング教育批判者は，プログラミング教育とは「狭義のプログラミング」を教えることだと思い込み，このような批判を行っていると考えられる．

「仕事の手順を理解し，論理的に記述する」能力は，文系理系を問わず必要であることは明らかである．プログラミング教育で扱う内容がこのような「広義のプログラミング」であることを知らせることで，この批判は退けられる．

2.1.2 指導者不足

指導者不足という批判のうち，(e) の「情報」教員の多くはプログラミングを教える力がない．に関しては「情報」教員の養成課程においてプログラミングを重視しない場合があることから，現時点では退けることができない．

しかし，(c) のプログラミングは難しすぎて教えることが困難である，ということに関しては，特定の言語に依存しない（日本語の）環境で，ソフトウェア操作自体を目的としない教育ならばほとんどの教員は可能だと考えられる．

日本語によってアルゴリズムを考え，書き記すということは誰もが日常的に行っている．複雑なアルゴリズムを扱わなくとも「仕事の手順を理解し，論理的に記述する」ことを教えることは可能である．

たとえば，音楽における楽譜，料理におけるレシピなどもプログラムの一種である．文化祭や体育祭のプログラム，生徒の移動の指示書などもプログラムである．このような広義の「プログラム」への興味を喚起させ，よりよいプログラムとは何かを生徒と共に考える授業は，ほとんどの教員に可能であると思われる．

2.1.3 時間不足

(d) のプログラミング教育には時間がかかる，という批判に関しては，プログラミング教育にはまず「ハードウェアのセットアップ」「ソフトウェアのセットアップ」「ネットワークの準備」「ソフトウェアの動作確認」という長い準備時間が必要であるというイメージがあると思われる．

また，受講者のコンピュータ利用経験から，前提知識，スキルに差が出やすく，コンピュータの操作に関する個別対応が必要になり時間がかかる，という面もある．

これらの理由から，コンピュータを使った授業に，多くの準備とテストが必要であることは事実である．しかし，「広義のプログラミング」教育を行う場合，すべての授業にコンピュータが必要なわけではない．

コンピュータは，あくまで，プログラミング教育のツールである．コンピュータを使わないプログラミング教育を考えることで，時間不足の問題は解消できると考えられる．

2.2 学習者の視点から：プログラミング学習への不安

2.2.1 未定義用語ばかりの授業

プログラミングの授業は，はじめに環境構築と HelloWorld から始まる．プログラミングの授業の最初に行うことは，コンピュータを操作し，文字を打ち込み，HelloWorld をコンソールに出力することであり，考えることが必要のない作業である．

多くのプログラミング入門授業では「プログラムとは何か」についての演習の前に，HelloWorld の演習を設けている．学習者は，プログラミングとは何か，プログラムとは何かを理解する前に，煩雑な操作を覚えさせられる．

自分が何をしているか分からないまま，煩雑な作業を行うことは，学習意欲を妨げる．このような授業の形態は「プログラミング嫌い」を生み出すと筆者は考える．

2.2.2 プログラミング学習の意義が分からない

プログラミング初学者は，プログラミング＝手順を書くというイメージはない．手順を書くという必要にせまられたことがなく，経験もないため，手順を論理的に書くことが難しいということが分からない．筆者が TA をしていた，文系向けプログラミング授業の履修生は，次のような発言をしている。「自分は日常生活で困っていないし，日本語が使える．どうしてコンピュータ語を覚えなければならないのか分からない」

「手順なんかを書かなくても、つうかあで仕事はできる」つまり、彼らは仕事は手順化しなくても出来る、日本語で論理的に手順を記述することができる、と考えている。

同時に「狭義のプログラミング」のイメージとして、ひたすらパソコンに向かってタイピングをする、作業をする、オタクのやるもの、といったマイナスイメージがある。

このため、学習者は「なぜ自分がやらなければならないのか、細かい作業や画面に向かうことが好きな人がやればよいことだ」と考え、学習意欲を失ってしまう。

2.2.3 プログラミング学習への不安

プログラミングのイメージとして「理系、数字、英語、意味の分からない記号の羅列」といったイメージがある（5.3.3.5を参考）「狭義のプログラミング」が、CやJavaなどのプログラミング言語によるプログラム作成のことを指すため、そのイメージを引き継いでいるものと思われる。

このイメージから、文系のプログラミング学習者は、理系のプログラミング学習者よりもプログラミングの学習に不安を感じやすい（5.3.3.2を参考）。

2.3 「教養としてのプログラミング」教育

2.3.1 教養としてのプログラミングとは何か

「狭義のプログラミング」とは、JavaやCなどのプログラミング言語を使って、コンピュータ上にアルゴリズムを構築することである。

「広義のプログラミング」とは、「手順的な自動処理」を可能にするための論理的な手順の記述方法であり、「自分ができる何らかのタスクを他人（または装置）がやれるように、十分に詳細に、完全にその手続きを記述する」[2] ことである。

	狭義のプログラミング	広義のプログラミング
言語	人工言語	自然言語
プログラム解釈者	機械	人間
実行結果	いつも同じ	実行者の解釈によって異なる場合がある

表 2.1: 狭義のプログラミングと広義のプログラミング

教養としてのプログラミング教育とは、UNESCOの定義「自分ができる何らかのタスクを他人（または装置）がやれるように、十分に詳細に、完全にその手続きを記述する」[2]を、体験的に理解することである。本論文では、次のように、教養としてのプログラミング教育の学習目標を定義した。

- プログラミングとは手順を論理的に記述することであることを理解させること。
 - プログラムが変わると動作が変わるということを理解させること。
 - プログラムは正しく書かなければ正しく動かないということを理解させること。

表 2.1 にあるように、「広義のプログラミング」は自然言語による，人間をプログラム解釈者としたプログラミングを含む。「狭義のプログラミング」は，機械に対するプログラミングである。「狭義のプログラミング」教育は理系大学や企業の社員研修などを中心に，文系大学の情報の授業などでも広く行われている。

「狭義のプログラミング」教育の中には，実務を目的とする教育と，教養としてのプログラミングを目的とする教育がある。プログラムがもたらす実行結果を目的とするプログラミング教育，たとえばデータ処理を行うプログラムの書き方の授業，企業の社員研修などは前者である。文系学生に対して，論理的思考力の育成を目的としてプログラミング教育を行う場合は，後者である。

2.3.2 「教養としてのプログラミング」教育を目指す試み

「教養としてのプログラミング」を目指し，各地で取り組みが行われている。取り組みの中には，大きく分けて「狭義のプログラミング」への抵抗感を減らす試みと，「広義のプログラミング」に焦点を当てた試みがあり，さらに，それらを活用して，教養としてのプログラミングを広めるために実際にワークショップや授業を行う，実践の試みがある。前者の試みとしては，自然言語に近い人工言語の開発，開発環境のインターフェース改善などがあり，後者には，コンピュータを使わず，紙や身体を使ってコンピュータの動作を再現するカリキュラムがある。

以下に，日本における特徴的な試みを取り上げて解説する。

2.3.2.1 Unplugged

「アンプラグド」(Computer Science Unplugged) [9] は，NZ カンタベリー大学の TimBell 博士が小学生の娘にコンピュータサイエンスを教えたカリキュラムをもとに作られた，コンピュータサイエンスを，コンピュータを使わずに，体験的に理解するための小学生向けの教材である。

圧縮やソートなどの基本的なコンピュータサイエンスの原理を，言葉遊びや，身体を使ったワークショップで再現することで，楽しみながら学ぶことができる。日本では 2007 年に，イーテキスト研究所から訳本が出され，各地で実践 [10][11] が行われている。

2.3.2.2 「ことだま on Squeak」

「ことだま on Squeak」は、慶應義塾大学大岩研究室が開発した、Squeak[5]の日本語表現をより読みやすいように改良した、Squeakの改良版亜種[12][?]である。大岩研究室では、これを用いて、小学校、中学校、高等学校、大学で「広義のプログラミング」教育を行っている。ITクラフトマンシップ[13]に採択され、小学校では、オルゴールを題材としたカリキュラムの実践[14]を行い、中学、高校では専用カリキュラム[15]を開発し、ゲームの作成を題材としたプログラミング教育[16]を行った。

本論文で提案する教材は、大岩研究室で2006年に藤沢市の小学校で行われた試みと、大岩研究室の主催する授業「オブジェクト指向プログラミング」で行われた試みが元になっている。

2.3.2.3 ドリトル

「ドリトル[7]」は一橋大学の兼宗進博士が開発したオブジェクト指向の日本語プログラミング言語で、音楽製作、タートルグラフィックス、ロボット操作などを行うことができる。

ドリトルは、小学校、中学校、高等学校、大学で実践が行われている[17]。豊富な機能を生かして、ロボット操作のカリキュラム[18]、音楽を題材とした情報教育[19]などを行っている。

2.3.2.4 ALAN-K プロジェクト

「ALAN-K プロジェクト」[4][20]とは、京都大学を中心としたSqueakを利用した情報教育カリキュラム作成プロジェクトである。京都大学の吉正健太郎氏が中心となり、「すくすくスクイーク[21]」というページを開設し、Squeakの教材を開発、配布している。

本論文で提案する教材「パンチカードの歴史」は、すくすくスクイークに掲載されているALAN-Kプロジェクトの教材「オルゴール」を元に、筆者を含む、慶應義塾大学大岩研究室のグループが改良を加え、開発したものである。

2.3.2.5 みんなでたのしくスクイーク

デジタルハリウッド大学大学院の「みんなでたのしくスクイークプロジェクト[22]」は、小学生を対象に、Squeakワークショップを実施するプロジェクトである。「楽しい、ものづくり体験としてのプログラミング」を、ワークショップを通じて提供している。ゲーム作成ワークショップと、デジタル絵本作成ワークショップを中心に、LOGO

カリキュラムの実施などにも取り組んでいる。2008年度から、Squeakだけでなく、Scratch[23]を用いたワークショップも開催している。

2.3.3 本研究の位置づけ

2.3.1項で、教養としてのプログラミング教育の学習目標を定義した。「広義のプログラミング」を実際に体験することで、プログラミングとは手順を論理的に書くことであることが理解できる。しかし、解釈者が人間であるため、同じプログラムでも実行結果が違ふ、正しくないプログラムでも「つうかあ」で意図どおりに実行されてしまう、など、教養としてのプログラミング教育の意図に反する教育効果が得られてしまう可能性がある。

「狭義のプログラミング」を実際に体験すれば、正しくないプログラムは動かず、プログラムは常に同じ動作を示す。しかし、プログラミング初学者にとって不安感があり、人工言語の文法を覚えなければならない、環境構築をしなければならないといった手間もある。

このため筆者は、教養としてのプログラミング教育では、まず、プログラミングへの興味を喚起するため、プログラミング初学者にとって抵抗の少ない「広義のプログラミング」を扱い、その後、論理的な手順構築、手順記述を学ために、「狭義のプログラミング」の実習を行うことが望ましいと考えた。「狭義のプログラミング」のカリキュラムは、世の中に多くあるため、筆者は教養としてのプログラミング教育の導入となる「広義のプログラミング」のカリキュラムに着目した。

3章では、教養としてのプログラミング教育の導入のための教材を提案する。

第3章 教材の提案

本章では，2章での議論を踏まえ，プログラミングの導入として利用できる教材を，初等中等教育過程向けと，高等教育課程向けの2つに分けて提案する．

3.1 教材の枠組み

本節では，上記を踏まえ，2種類の教材を提案する．ひとつは「パンチカードの歴史」という，主に小学4年生～中学生を対象とした教材である．もうひとつは「お絵かきプログラム開発演習」という中学生～大学生を対象とした教材である．

初等中等教育課程は，小学校～高校までを含む．小学生と高校生では，前提とする知識，能力があまりにも違うため，2種類の教材を提案した．本論文では便宜的に小学4年生～中学生対象の教材を「初等中等教育課程向け教材」，中学生～大学生対象の教材を「高等教育課程向け教材」と呼ぶことにする．

なお，対象学年はあくまで目安であり，その他の学年に適用できる可能性がある．

3.2 初等中等教育課程向け教材：パンチカードの歴史

本教材の目的は，オルゴールを題材とし，オルゴールをコンピュータ上に再現することで，実行機械とプログラム（パンチカード）の関係を学ぶことである．

本教材は，すくすくスクイーク [21] に掲載されている「オルゴール」の教材をもとに，大岩研究室が改良を加えたもの [14] である．

3.2.1 教材『パンチカードの歴史』の学習目標

- オルゴールのシミュレータを Squeak 上に実装するという，Squeak 上のプログラミングを体験すること
- オルゴールのシリンダーを書き換えるとオルゴールの動作が変わるということを理解すること
- オルゴールのプログラムを書き換えるとオルゴールの動作が変わるということを理解すること

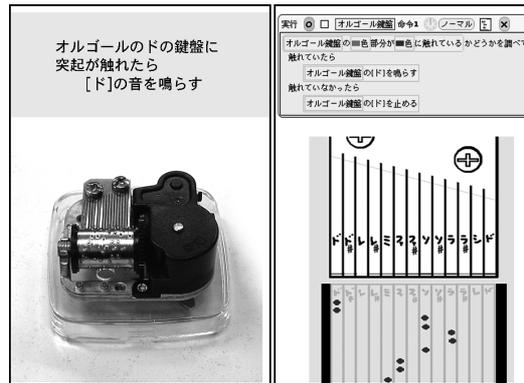


図 3.1: 現実のオルゴールと Squeak 上のオルゴール

- オルゴールとコンピュータの類似性を知り、「楽譜」「パンチカード」「Squeak のスクリプト」のいずれも「プログラム」であることを知ること

3.2.2 教材の概要

本教材では、オルゴールを題材とし、オルゴールをコンピュータ上に再現することで、実行機械とプログラムの関係学ぶ。

受講者はまず、オルゴールの鍵盤（実行機械）とシリンダー（プログラム）からなるオルゴールの仕組みを理解し、その仕組みをコンピュータ上で再現する。

次に、コンピュータ上で再現したオルゴールの、シリンダーを書き換えることによって、オルゴールの曲が変化することを体験する。

そして、オルゴールの鍵盤のプログラムを書き換えることによって、同じシリンダーでも違う動作をすることを体験する。

最後に、オルゴールの仕組みを応用して、音だけでなくオブジェクトの動きを制御することができることを学び、オルゴールの仕組みを応用して作品製作を行う。

以下に、各段階の詳細を記す。

3.2.2.1 Squeak で電子ピアノを作ろう

Squeak の基本操作・色による条件分岐のスクリプト作成ができるようになることを目標とする。この段階では、電子ピアノの作成を課題とし、拡大図を用いて色による条件分岐を用いてドレミファが鳴る鍵盤の作成方法の講義を行い、生徒は電子ピアノを作成する。

単純に操作を教えても、児童にはその意味が分からないため、操作を必要とする環境を用意し、基本操作の実習を行う。次に、環境の実例と、教師が与える指示を示す。



図 3.2: 大きさがちぐはぐな指と鍵盤

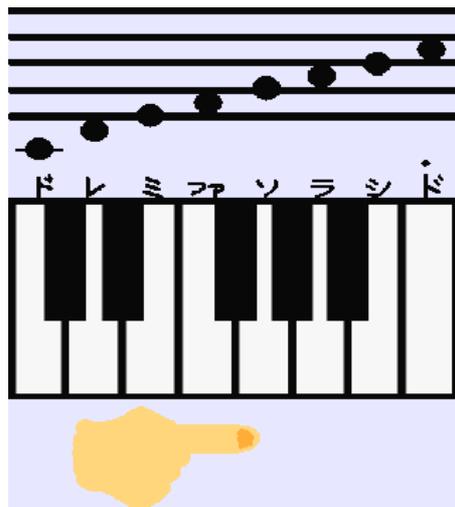


図 3.3: 大きさをあわせた指と鍵盤

拡大縮小 まず、明らかに大きさがちぐはぐな鍵盤と指を提示し、鍵盤の大きさをゆびにあわせるように指示する。

回転 次に、指が横を向いてはピアノを弾けないので、縦にするように指示する。

条件分岐のプログラミング 条件分岐のタイルを用いて、「指が鍵盤に触れたら音が鳴る」というスクリプト作成を指示する。

ペイントツール ピアノは、ドの音だけでなく、さまざまな音階が鳴る。ドレミを鳴らすために、Squeak では色を使って触れている鍵盤がどこかを区別する、と教え、鍵盤に色を塗るように指示する。

複数の条件分岐を用いたプログラミング 色分けした鍵盤で、それぞれ正しい音が鳴るようにプログラムを書くように指示する。

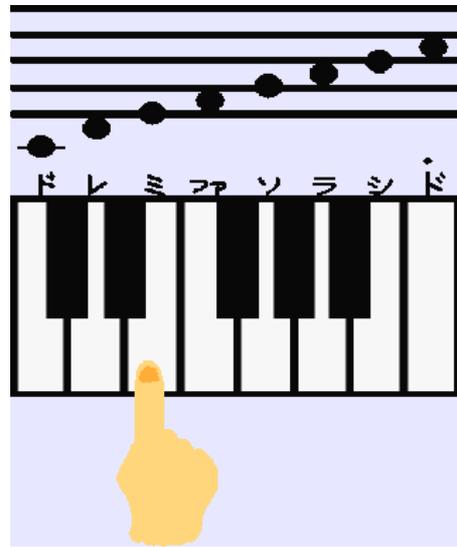


図 3.4: プログラミングをはじめる状態



図 3.5: 条件分岐のプログラミング



図 3.6: 複数の条件分岐を用いたプログラミング

3.2.2.2 オルゴールの仕組みを調べよう

この段階では、生徒にオルゴールの「鍵盤にシリンダーの突起が触れると音が鳴る」という仕組みを理解させることを目標とする。オルゴールの実物、及び紙でできたオルゴールの拡大模型を各班に配布し、仕組みを観察してプリントに記入するよう指示する。生徒は紙でできた拡大模型を使い、1人がシリンダー役になり、シリンダーを回転させ、1人が鍵盤役になり、突起があたったときに音を読み上げる、という方法で何の曲が書かれているかを当てる曲当てゲームを行う。音の鳴る仕組みに関しては、プリントに書き込み後、何名かの児童に発表をさせ、理解度確かめる。

3.2.2.3 Squeak でオルゴールを作ってみよう

生徒が Squeak で、紙でできた拡大模型のオルゴールをシミュレートできるようになることを目標とする。生徒は紙でできた拡大模型に書かれている曲を、Squeak 上のシリンダーに再現し、予想通りの曲が鳴ることを確かめる。

3.2.2.4 自分の好きな曲でオルゴールを作ってみよう

生徒が Squeak でオルゴールをシミュレートできるようになることを目標とする。生徒は Squeak 上のシリンダーを書き換えることで、違う曲が演奏できることを確かめる。



図 3.7: 拡大模型を使っている様子



図 3.8: 配布したオルゴール

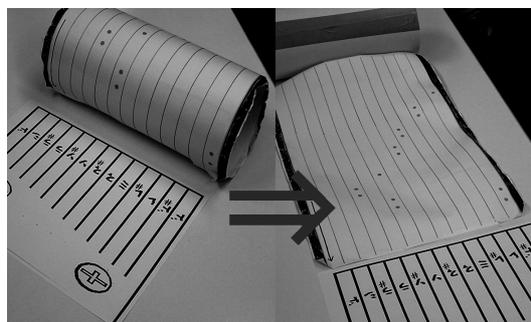


図 3.9: オルゴールの紙模型

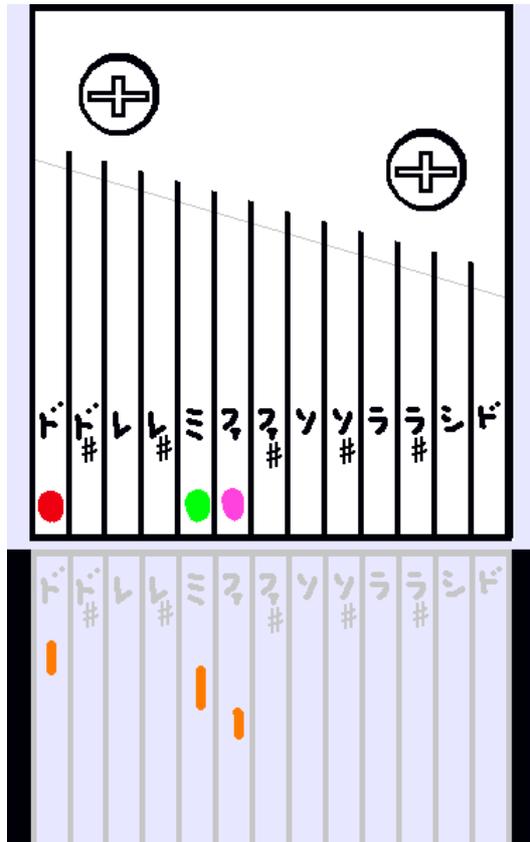


図 3.10: Squeak 上のオルゴール

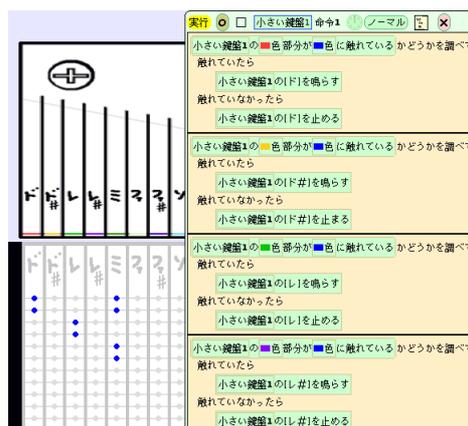


図 3.11: Squeak 上のオルゴールのプログラム

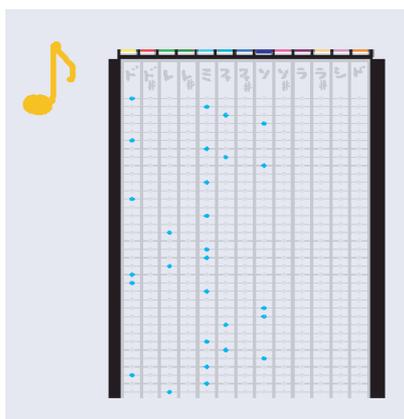


図 3.12: 聖者の行進のオルゴール

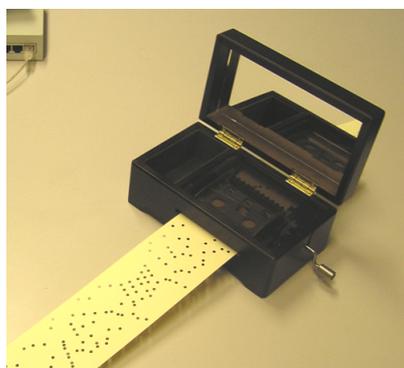


図 3.13: シート式オルガニート

3.2.2.5 オルゴールをアレンジしてみよう

生徒が Squeak でからくりオルゴール、和音などのオルゴールの機能をシミュレートできるようになることを目標とする。ここで教師は、オルゴールのアレンジのイメージを膨らませるため、からくりオルゴールや、シート式オルガニートなどのオルゴールを提示する。生徒は Squeak 上の鍵盤のプログラムを書き換えることによって、違う楽器の音を奏でるオルゴールを作成することができることを確かめる。

3.2.2.6 オルゴールと同じ仕組みでからくりオルゴールを作ってみよう

生徒が Squeak でオルゴールの仕組みを用いて、からくりオルゴールを作成できるようになることを目標とする。生徒は Squeak 上の鍵盤のプログラムを書き換えることによって、音だけでなく、動きも制御できることを確かめる。



図 3.14: 円盤式オルガニート



図 3.15: からくりオルゴール

3.2.2.7 コンピュータとオルゴールは兄弟

生徒にコンピュータとオルゴールの類似性について理解させることを目標とする。教師はコンピュータ用のパンチカードと、シート式オルガニートのパンチカードを提示し、その2つの類似性について授業を行う。コンピュータとオルゴール双方に実行機械とパンチカード（プログラム）があること、同じ実行機械に違うプログラムを入力すると違う動作をすることを説明する。同時に、オルゴールのアレンジやからくりオルゴール作成に触れ、実行機械を改良することで、自動化できる作業が増えることにも触れる。

3.3 高等教育課程向け教材：お絵かきプログラム開発演習

お絵かきプログラム開発演習の目的は、プログラミング初学者がソフトウェア開発におけるプログラミングの位置づけを理解し、ソフトウェア開発の過程でおきるコミュニケーションの問題を体験し、ソフトウェア開発プロセスの概要に触れることである。

本教材は、大岩研究室の主催する授業「オブジェクト指向プログラミング」の初回授業で行われていた演習に改良を加えたもの [?][26] である。

3.3.1 学習目標

- プログラミングの授業で学ことの全体像を理解すること。
- 手順を論理的に記述することへの意識を高めること。
- 論理的な思考プロセスを踏むことへの意識を高めること。
- プログラミングへの不安感を取り除き、イメージをポジティブにすること。

3.3.2 教材の概要

「お絵かきプログラム開発演習」とは、学生が「お絵かきプログラム開発プロジェクト」を通じて、楽しみながら論理的コミュニケーションの難しさを体験できる、コンピュータを使わない演習である。

多くのプログラミング初学者は、プログラミングとは「コーディングをすること」や「プログラミング言語の文法を覚えること」というイメージを持って、授業を履修する。はじめに、授業で行うことの全体像を示し、「教養としてのプログラミング教育」とは何かを学生に伝える必要がある。

我々はこのことを説明する導入授業を、過去に講義形式で行っていた。講義は、プログラミングのプロセスの解説や、ソフトウェア開発におけるコミュニケーションの問題を皮肉った「ブランコの漫画」(図 3.16) [24][25] の解説を交えながら、シラバスを紹介するという形で行ってきた。ブランコの漫画とは、30 年前に書かれた、発注者の「3つの遊び方ができるブランコを作ってほしい」という要求が、設計、実装の工程に誤って伝えられて、ユーザの要求に合わないものを作ってしまう、という、ソフトウェア開発におけるコミュニケーションの問題を皮肉った漫画である。この漫画ではユーザが本当に欲していたものは「タイヤを木にぶら下げただけのブランコ」であった、という落ちをつけている。このような、コミュニケーションの問題から使われないソフトウェアが完成する、余計なコストがかかる、といった問題はソフトウェア工学が発展した今もなお健在である。

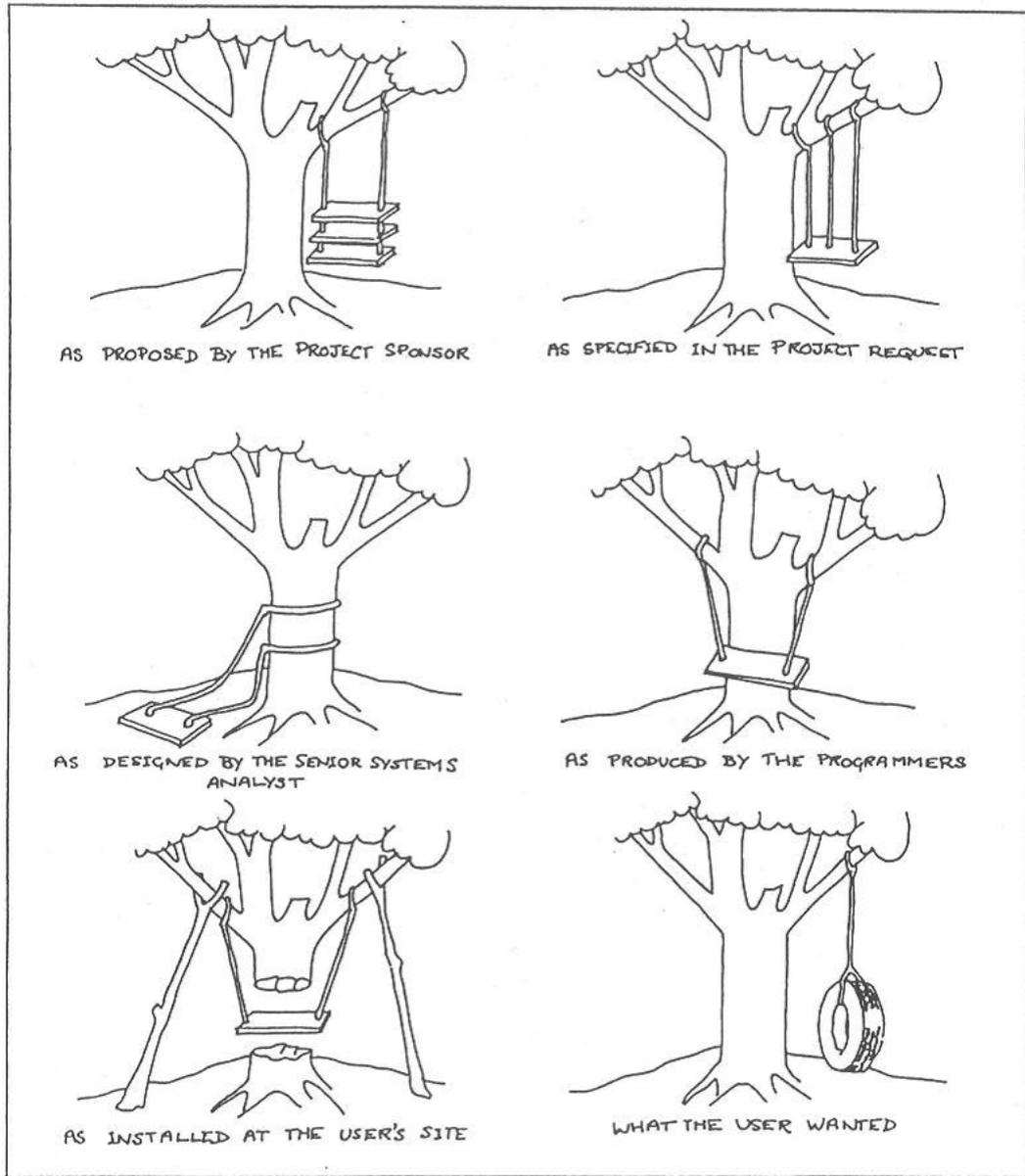


図 3.16: ブランコの漫画

しかし、このような解説は、プログラミング初学者には理解できない。このような問題が何故起こるのかを理解するためには、実際にコミュニケーションの問題を体験する必要がある。学生が楽しみながら、体験的に「十分に詳細に、完全にその手続きを記述する」ことを学ぶ意欲を高めるための導入授業が必要である。

この演習ではブランコの漫画(図 3.16)で示されているような、様々なコミュニケーションの問題が再現されるので、その後の授業において、手順を論理的に記述することと、論理的な思考プロセスを踏むことへの意識を高める効果がある。コンピュータを使わないことから、プログラミング初心者や文系学生にも好評で、プログラミングに対する不安感を取り除く効果や、その後のクラスの雰囲気が変わり、受講者同士のコミュニケーションが円滑に進むようになるアイスブレイキングの効果もある。

3.3.3 お絵かきプログラム開発プロジェクト

お絵かきプログラム開発プロジェクトは、5名のメンバーで構成される。お絵かきプログラム開発プロジェクトに与えられる「問題」は「魅力的な絵を、誰でも、正確に、期限内に描けるような日本語プログラムを開発する」ことである。

プロジェクトは要求分析、設計、実装、テストの4つのフェーズで構成される。これらのフェーズは、施主(発注者)、設計者、プログラマー、テスター(2名)が担当するが、すべて異なる人が作業を行う。各フェーズ間のコミュニケーションは書面でのみ行われる。それぞれのフェーズにおいては、時間期限も定められている。

プロジェクト終了後には、メンバー全員がそれぞれの立場からプロジェクトの評価を行い、プロジェクトの成功や失敗とその原因について議論する。議論では、手順を正確に書く必要性や、要求の中小度とプロジェクトの成否のかかわり、手順を目的と手段の構造で書くことの効果などが議題に上る。

3.3.3.1 お絵かきプログラム開発プロジェクトのプロセス

お絵かきプログラム開発プロジェクトは(図 3.17)に示したプロセスで進行する。ここでは「三日月」を描く日本語プログラムを開発するプロジェクトを例にとって、実際の成果物例(図 3.18)を挙げて説明する。

3.3.4 教材の運営方法

筆者は、お絵かきプログラム開発演習を授業内で効率的に実施する運営方法を開発した。この運営方法では、次の点を重視している。

要求仕様書の作成	施主が、日本語でどのような絵を描くプログラムが欲しいかを要求仕様書に書く。
要求分析・設計	設計者が施主から要求を受け取り、要求を満たす絵を設計し、設計書に描く。必ず絵を描くことが条件である。日本語による説明などを加えてもよい。
実装	プログラマーが設計者から設計を受け取り、設計された絵を誰でも、正確に、期限内に描けるようなプログラムを記述する。使用言語は日本語である。ここでは、日本語しか用いてはならない。
テスト	テスターが、プログラマーが記述した日本語プログラムを解釈し、絵を描く。プログラマーによるプログラムの記述のよしあしと、テスターによるプログラムの解釈のよしあしを区別するために、2名のテスターが一つのプログラムを検証する。人間がテストを行うため、同じプログラムでも解釈や読解力の差によって違う実行結果を得ることがある。
評価	プロジェクトメンバー全員がそれぞれの立場からプロジェクトの評価を行う。施主は要求を満たすものができたかを中心に評価し、それ以外のメンバーは成功や失敗の原因、改善点を考察する。評価の際にはプロジェクトの成果物をすべてまとめ、プロジェクトの全体像を見られるようにしてから評価を行う。

表 3.1: お絵かきプログラム開発の各工程とその詳細

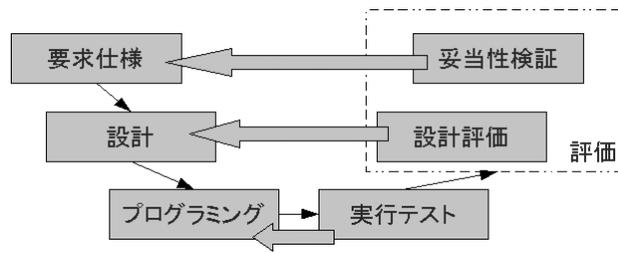


図 3.17: プロジェクトのプロセス

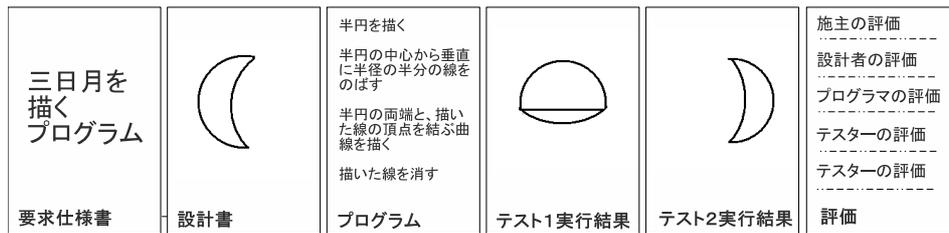


図 3.18: 成果物例：三日月プロジェクト

- 学生が複数の立場を体験できるようにする。
- 複数のプロジェクトの比較ができるようにする。
- 短時間で実施できるようにする。
- 誰でも実施できるようにする。

この運営方法はパッケージ化されており、説明書図??・ワークシート図??はお絵かきプログラム開発演習のホームページ¹からダウンロードできる。以下に、本教材パッケージを用いた具体的な演習の運営方法を示す。

3.3.4.1 お絵かきプログラム開発演習：導入

授業のはじめに、コンピュータを使わないプログラミングワークショップを行うことを伝える。その後、ソフトウェア開発のプロセス（要求・設計・実装・テスト・評価）について簡単な紹介を行い、ワークショップで使う語句について説明する。

このワークショップでは発注者を「施主」と呼ぶ。多くの場合、「発注」という行為の具体的なイメージが湧かない。学生に「高いお金をかけて自分の欲しいものを注文し、多くの人に関わって完成する」ことをイメージしてもらうには、「マイホーム」などの建物の例を用いるのが適当と考え、「施主」という言葉を用いている。この演習における「設計者」は、要求を、実装の観点から検討し、要求を満たしかつ実現可能な

¹<http://www.crew.sfc.keio.ac.jp/projects/2007DrawingProject>

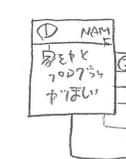
<p>もらった①をもとに、②の設計仕様書に設計を描きます。<u>絵を必ず描くこと</u>。時間が来たら、②を隣の人にわたします。</p>	 <p>② ①をもとに 設計を描く</p>
<p>プログラマーになる時間（10分） もらった②をもとに、②を描くプログラムを日本語で書きます。絵や図は使ってはいけません。日本語のみです。時間がきたら、③を隣の人にわたします。</p>	 <p>③ ②をもとに プログラムを書く</p>
<p>プログラムの実行テストをする時間（5分） ③のプログラムをもとに④のテスト結果用紙に絵を描きます。時間がきたら、③のプログラムを隣の人にわたします。</p>	 <p>④ ③をもとに (1) 実行し始める</p>
<p>プログラムの実行テストをする時間（5分） ③のプログラムをもとに④のテスト結果用紙に絵を描きます。時間がきたら、③のプログラムと④の絵を施主に渡します。</p>	 <p>④ ③をもとに (2) 実行し終わる</p>
<p>評価の時間（3分×5） 施主が、自分が施主になっている紙をすべて集め、評価用紙をかさねてクリップで留めます。書き込みます。3分たったら、紙の束を隣の人に渡します。これを5回繰り返します</p>	 <p>⑤ 施主の手元に</p>
<p>ディスカッションの時間（10分） 結果についてディスカッションを行います</p>	

図 3.19: お絵かきプログラム開発演習説明書

<p>① 要求仕様書 施主：</p> <hr/>	<p>② 設計仕様書 施主： (絵を描く) 設計者：</p> <hr/>	<p>③ プログラム 施主： (日本語で書く・語や絵はNG) プログラマー：</p> <hr/>
<p>④ テスト結果 (1枚目) 施主： (隣の人にまわさない・見せない) テスター：</p> <hr/>	<p>④ テスト結果 (2枚目) 施主： (隣の人にまわさない・見せない) テスター：</p> <hr/>	<p>⑤ 評価用紙 施主：</p> <hr/> <p>施主の評価</p> <hr/> <p>設計者の評価</p> <hr/> <p>プログラマーの評価</p> <hr/> <p>テスター1の評価</p> <hr/> <p>テスター2の評価</p> <hr/>

図 3.20: お絵かきプログラム開発演習ワークシート

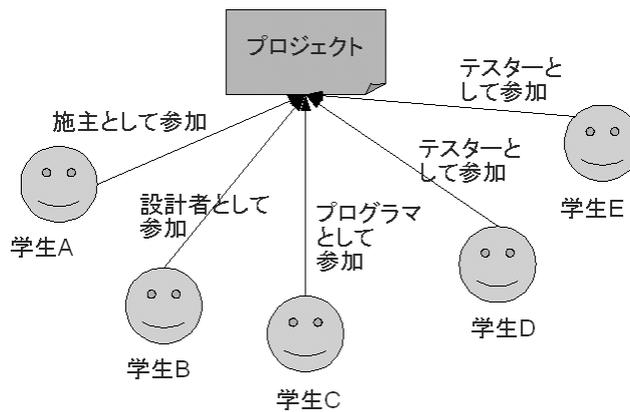


図 3.21: プロジェクトと学生の関係

設計を作る者として、「テスター」は手順を解釈し、実行する者として抽象化し、これらの名称を用いている。

実際のソフトウェアの設計は絵を描くことではなく、実際のテストでは実行のたびに結果が変わることはない。用語説明ではこの点に触れる必要がある。

3.3.4.2 ワークショップの準備

次に、お絵かきプログラム開発演習の実施方法を学生に解説する。授業でお絵かきプログラム開発演習を行う場合、効率よく（60分で）進めるために、演習の説明書を作成した。説明書は本論文の付録に含めてある。

この説明書に従うと、プロジェクトのメンバー全員が施主になる時間、設計者・プログラマー・テスターになる時間があり、時間単位でプロセスが進行する。その結果、1プロジェクトには5名が参加し（図 3.19）、1人は5プロジェクトにそれぞれ違った立場で参加することになる（図 3.20）。

この方法で演習を行うことにより、全員がすべての役割を体験することができ、グループ内で複数のプロジェクトの実施されるため、立場の違いやプロジェクトの比較などの議論ができる。

手順は説明書にすべて書かれている。説明書を学生に5分ほどで読ませ、分からないところがあったら質問をするように指示する。

3.3.4.3 ワークショップの実施

お絵かきプログラム開発演習を行う。演習の実施方法は2.2節で述べたとおりである。演習時間のあいだは、指導者は説明書に書かれたタイムテーブルにしたがって時

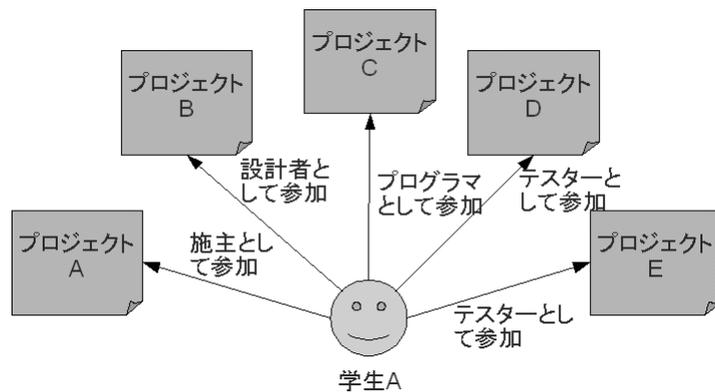


図 3.22: 学生とプロジェクトの関係

間管理を行う。指導者は議論の時間になったら、各グループを巡回し、グループごとの面白い失敗や、成功について考察を促すように促す。

3.3.4.4 全体討論・まとめ

議論の時間終了後に、クラス全体で失敗や考察、成功例などについて共有する全体討論の時間を設ける。ここで、お絵かきプログラム開発演習で実際に起こった失敗に関連付けて、ソフトウェア開発で頻出する問題（あいまいな要求・非現実的な設計・プログラムのバグ・目的の共有）を取り上げ、事例を紹介する。最後に、ソフトウェア開発のプロセスについてももう一度紹介し、ブランコの漫画を見せる。ブランコの漫画で描かれているような問題が実際のソフトウェア開発プロジェクトでも起きていることを説明する。

3.3.5 成果物・受講者による評価の例

お絵かきプログラム開発演習を行うと、単純な言葉遣いのミスや、背景知識の違いにより、意図と異なるものになるプロジェクトが多い。これは受講者には意外であり、結果の評価は大いに盛り上がり、指定された時間内に議論が終わらないことも多く、全体討議では積極的に面白い失敗例が発表される。

次に、失敗例を挙げる。ほかにもいくつかのプロジェクト例を付録に含めてある。

3.3.5.1 メロンが量りに

実際の成果物例は（図 3.21）のようになった。このプロジェクトでは、施主は「メロン」を発注した。設計者はマスクメロンを設計した。プログラマーはこの絵を「円

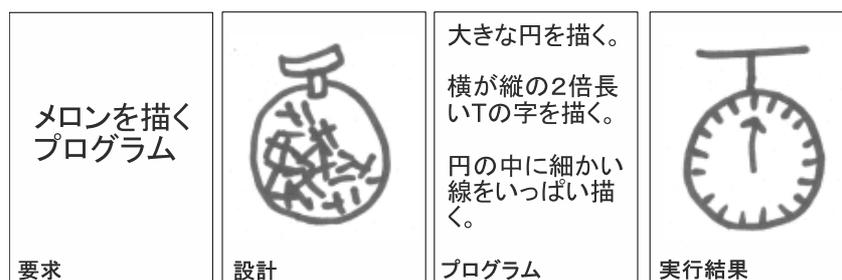


図 3.23: 成果物例：メロンが量りに

と、T字と、細かい線でできている図形」と分析して、プログラムとして記述した。このプログラムをテスターが実行したところ、1人のテスターは「細かい線」の意味が分からず、独自の解釈で「はかり」だと考え、「はかり」を描いた。もう一人のテスターは、メロンを描くことができていた。テスターは「メロンならば、メロンだとプログラムに書いてほしかった」と評価した。プログラマーはこれに対して「メロンと書けば、すぐに分かったはずだった」と反省した。

3.3.5.2 美しい日本

このプロジェクトの結果は図??のようになった。このプロジェクトでは、要求が「美しい日本」という抽象的なものが設定されている。設計者はその要求に困ってしまい、制限時間内で設計を済ませるために「日本列島を輝かせる」という設計を行っている。設計を受けとったプログラマーは、これを「日本列島と、小さな島と、いくつかの十字型のもの」と解釈してプログラムを書いている。

そのプログラムの実行結果は、日本列島の周りに、小さな丸い島と十字型が配置された絵になっている。このプロジェクトの評価として、施主は「美しい日本とは、紅葉や富士山、海など、旅行パンフレットに出てくるような美しい日本の景色のことだった」とコメントし、結果に満足していないと評価している。これに対して、設計者は「そんな要求だとは分からなかった、分かったとしても、5分でその絵を描くことはできない」と反論している。こうしたあいまいな要求による問題は、実際のソフトウェア開発現場でも起きている。

3.3.5.3 かわいいキャラクター

プロジェクトの結果は図??のようになった。このプロジェクトでは、施主は「かわいいキャラクター」を要求している。しかしながら、設計者の画力不足により、すでに設計の時点で、キャラクターはかわいいとはいえないものになっている。

<p>美しい日本</p> <p>要求</p>	 <p>設計</p>	<p>日本列島を描く。</p> <p>千葉と北海道のあたりに並べて島をいくつか描く。</p> <p>十字架を2つ飛ばす。十字架のまわりに点がある。</p> <p>プログラム</p>	 <p>実行結果</p>
------------------------	---	--	---

図 3.24: 成果物例：美しい日本

<p>かわいいキャラクターを描くプログラム</p> <p>要求</p>	 <p>設計</p>	<p>タヌキ(?)を描く。まず顔になる丸。目はスライムの目より縦長。丸をけずって三角形の鼻を伸ばす。ひげ。耳は2つ。半円。胴はずんぐり。しっぽ。前足、後ろ足。かかとはしっかり描く。</p> <p>プログラム</p>	 <p>実行結果</p>
-------------------------------------	---	---	---

図 3.25: 成果物例：かわいいキャラクター

このプロジェクトの失敗原因は、設計者が「かわいい」ものを描くための知識がなかったためだと思われる。かわいい絵を描くためには、「顔の要素を顔の下半分に集め、3頭身以下にする」というパターンがある。設計者がこのパターンを知っていれば、「かわいい」という要求から、適切な絵を設計することができたであろう。施主は「ぜんぜんかわいくない」と、この結果を不満足と評価している。しかしながら、要求記述という観点からは、設計者の前提知識を考慮せず「かわいい」というあいまいな要求をした発注者にも問題があるだろう。

第4章 実験授業

3章で提案した教育方法の有効性を検証するため、実験用の教材を作成して授業を実施した。本章では、実験授業の全体設計と、各回の実験授業の内容を解説する。

4.1 初等中等教育課程向け教材：実験授業概要

3章で提案した初等中等教育課程向け教材「パンチカードの歴史」の有効性を検証するため、実験用の教材を作成して実験授業を3回行った。

1回目の実験授業では、本教材を初めて提案し、本教材が小学生に対して実施可能であるかを検証した。

2回目の実験授業では、本教材の時間短縮、対象年齢引き下げを、使用するソフトウェア環境の変更を試みた。

3回目の実験授業では、使用したソフトウェア環境「Squeak」の操作熟練者に対して、より踏み込んだ内容の授業を試みた。

以下に各試行の詳細を述べる。

4.2 初等中等教育課程向け教材：第1回実験授業

筆者は、2006年9月に初めて、「オルゴールの仕組みを理解し、Squeak上に自分のオルゴールを作ってみよう」という教材を作成し、藤沢市の小学校の6年生に対して実施した[14]。この授業は、ITクラフトマンシップ[13]の支援を受け、藤沢市の小学校の協力のもと行われた。本節では、この第1回の実験授業で実施した教材の詳細を示し、実施結果を報告する。

以下に、実施概要(表??)とスケジュール(表??)を示す。

授業では、次の内容を扱った。

- Squeakの基本操作(モーフの回転, 拡大縮小, ペイント機能, スクリプト作成機能)。
- オルゴールの実物の観察・仕組みの理解。
- プログラミングによるSqueak上でのオルゴール作成。

対象	藤沢市の小学校の6年生36名(男子18名,女子18名. 希望制ではなく,通常の授業として実施)
期間	2005年10月24日~11月28日
授業日	毎週火曜日,2コマ(1コマは45分.ただし,第三回のみ1コマ)
講師	大学の講師
授業アシスタント	9名
場所	授業は小学校のコンピュータールームで行われた(担任の先生が同席)

表 4.1: 初等中等教育課程向け教材：第1回実験授業実施概要

第一回	Squeakで電子ピアノを作ろう.
第二回	オルゴールの仕組みを調べて,Squeakでオルゴールを作ってみよう.
第三回	自分の好きな曲でオルゴールを作ってみよう.
第四回	オルゴールをアレンジしてみよう.
第五回	オルゴールと同じ仕組みでアニメーションを作ってみよう.

表 4.2: 初等中等教育課程向け教材：第1回実験授業スケジュール

- メロディーが正確に鳴らないオルゴールの修正作業（デバッグ）。
- オルゴールの仕組みを用いたアニメーション作品の制作。

4.2.1 第1回：Squeakで電子ピアノを作ろう

Squeakの基本操作・色による条件分岐のスク립ト作成の授業を行った。電子ピアノの作成を課題とし、拡大図を用いて色による条件分岐を用いてドレミファが鳴る鍵盤の作成方法の講義を行い、電子ピアノを作成した。

4.2.1.1 授業の大まかな流れ

スタッフの自己紹介

授業では、まず、講師と、9名のアシスタントの紹介を行った。それぞれのスタッフがあだ名を書いた名札をつけ、あだ名で自己紹介をした。そしてそれぞれのスタッフは、班（今回授業を行った小学校のコンピュータールームは、3から4名で1つのデスクを使用するようになっており、1つのデスクには3台のPCが設置されている。今回は、そのひとつひとつを班とした。）をそれぞれ担当した。

電子ピアノの作成（実習）

第一回の授業では、電子ピアノの作成を題材として、Squeakの基本操作の習得を行った。

4.2.1.2 児童のようすの観察

児童の作業をかなり制限した結果、第一回授業終了時の児童の進度はほぼ一定となった。また、実際に講義・実習を行ったところ、私たちが予想していたよりも、小学生の理解・作業のスピードは速いということが分かった。たとえば、私たちが5から10分かかると考えていた、「色に触れると音が鳴るスク립トの作成」などは、ほとんどの児童が5分以内に完了してしまい、手持ち無沙汰になる児童もいた。この結果から、第二回授業では児童の作業時間を増やし、また、1項目ごとに講義、実習をはさむのではなく、一連の作業の流れを示し、その後実際に作業をしてもらうことにした。

4.2.2 第2回：オルゴールの仕組みを調べて、Squeakでオルゴールを作ってみよう

オルゴールの仕組みの理解・コンピュータ上でのオルゴールの作成を行った。オルゴールの実物、及び紙でできたオルゴールの拡大模型を各班に配布し、仕組みを観察してプリントに記入するよう指示した。また、紙でできた拡大模型には、何の曲が書かれているかを当てる曲当てゲームを行った。宿題として、オルゴールで作ってみたい曲をプリントに書き込んでくるよう指示した。

4.2.2.1 授業の大まかな流れ

オルゴールの仕組みをしらべよう（観察）

各班に1つずつオルゴールと、オルゴールの拡大紙模型、曲当てプリント、音の鳴るしくみの書き込みプリントを配布した。

各班の観察結果の発表

各班の児童に、「どこから音が鳴っているか」を発表してもらった。発表内容はおおむね、「鍵盤にオルゴールの突起が触れて、音が鳴る」というものだった。

各自オルゴール制作（実習）

休み時間後、各自オルゴール制作に入った。第一回目のピアノの作り方を参考に、各児童が作業に取り組んだ。児童の作業スピードには差があり、授業アシスタントが作業の指導を担当した。

宿題の指示

最後に、第三回では自分の好きな曲でオルゴールを作るということを伝え、そのための準備として、曲の音階やリズムを調べ、シリンダーに書き入れてくることを宿題とすることを伝えた。

4.2.2.2 児童のようすの観察

授業前半の「オルゴールの観察」では、児童はオルゴールを見る、各班に配布したオルゴールの拡大模型を動かしてみるなどして、議論しながらプリントに意見を書き入れていた。男子児童の中には、オルゴールの仕組みを考えることよりも、オルゴー

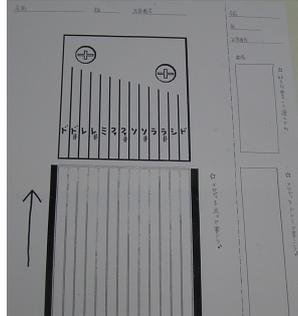


図 4.1: 宿題プリント



図 4.2: 拡大模型を使っている様子

ルを分解することに熱中している児童もいた。「どこから音が鳴っているか」という問いかけを行ったところ、「(鍵盤とシリンダーが触れている部分を指差して)ここで鳴っている」という答えが多く、ねらいどおりの「鍵盤が振動して音が鳴っている」という答えにたどりつくまでに予想よりも多くの時間がかかった。実習はスムーズに進行したが、1度に教える作業の単位を大きくしたことで、児童の進度にばらつきが出てきた。ドレミファソラシドのすべての音を出すことができる鍵盤を作り終わった児童もいれば、ドレミのみしか作れなかった児童もいた。進度のばらつきの原因は、マウス操作、集中力の低下が主な原因だった。進度のばらつきはあったものの、児童全員が鍵盤とオルゴールのシリンダーを作り、音を鳴らすことができた。

4.2.3 第3回：自分の好きな曲でオルゴールを作ってみよう

自分の好きな曲を鳴らせるオルゴールを作成する実習を行った。その際、鍵盤を大きく塗ると音が鳴り続けてしまいメロディーに聞こえないため、なぜうまくメロディーが鳴らないのかを考える授業を行った。宿題を忘れてきた児童が多かったため、実習の際あらかじめ用意した曲を使用するよう指示した。

4.2.3.1 授業の大まかな流れ

宿題の確認

まず、宿題の確認を行った予想外だったのは、宿題をやってきた児童の少なさである。自分でシリンダーを作ってきた児童は10人ほどで、そのほとんどが女子だった。宿題を忘れた児童のために、こちらで5種類の曲のプリントを用意したが、自分の好きな曲ではないため、宿題を持ってきた児童にくらべて授業に対するモチベーションは低かった。

Squeak 上のオルゴールの音の鳴り方について

宿題の確認をし、宿題を持っていない児童にプリントを渡した後、「作ったオルゴールがうまく鳴らない原因を考える」という講義を行った。講義では、塗りつぶした鍵盤、大きく塗った鍵盤、線状に細く塗った鍵盤を示し、そのそれぞれに対して、2つのシリンダーの突起が触れたときにどのように音が鳴るかを児童に問いかけた。この3つを比較することによって、「色と色が触れ続けている間は音が鳴る」ということと、「音をシリンダーで指定したとおりに鳴らすためには、鍵盤を細く線状に塗ればよい」ということを説明した。

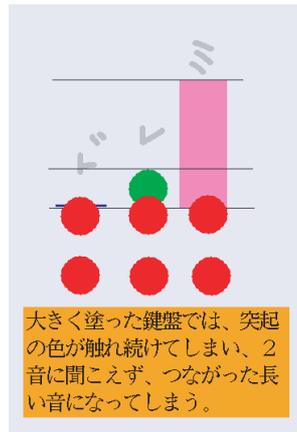


図 4.3: 音の鳴り方比較の様子

自分の好きな曲でのオルゴール制作

講義が長引いたため、一部の児童を除いては、好きな曲でのオルゴール作成の実習を十分に行うことができなかった。

4.2.3.2 児童のようすの観察

この回では、「音の鳴り方を考える」という講義を行い、鍵盤を線状に塗るように指導した。Squeak 上で作成した鍵盤を一旦消し、再び書き直すという作業は、コンピュータの操作が苦手な児童にとっては苦痛であり、コンピュータが得意な児童にとっても、一度作った自分の「作品」を消さなければならないということによるモチベーションの低下が見られた。

4.2.4 第4回：オルゴールをアレンジしてみよう

第三回の授業から2週間たっていたため、まず基本操作の復習をし、作ったオルゴールにアレンジを加える実習を行った。第三回授業で曲の鳴るオルゴールを作れなかった児童は、曲として聞こえるオルゴールを作る作業を続けた。オルゴールにアレンジを加えるにあたって、シート式オルガニート、円盤オルゴール、からくりオルゴール等の実物を提示した。アレンジの実習では、授業アシスタントがそれぞれ違ったアレンジ方法を教える講師（授業内呼称は「技マスター」）となり、児童はそれぞれ加えたいアレンジを聞きに行く、という形式をとった。

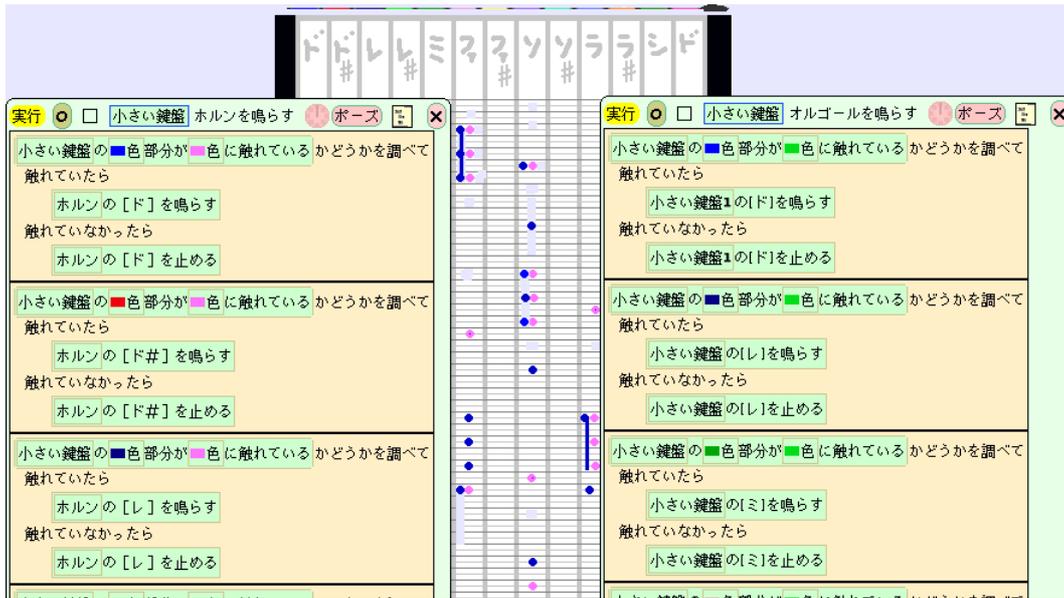


図 4.4: 重さ対策を終えたオルゴール

4.2.4.1 授業の大まかな流れ

Squeak の操作の復習

小学校の都合により、第三回授業と第四回授業の間が二週間あいてしまったため、操作を思い出してもらうために、まずひとつおりの操作の復習を行った。講師が前で基本操作を例示し、分からなくなったら、班にひとつマニュアルがあるので、参考にするように、と伝え、その後実習に入った。

Squeak の動作の重さ対策

事前のテストにより、画像の色判定を行う処理が重く、Squeak の動作が不安定になることが分かった。これを解決するためには、鍵盤の画像サイズを小さくする必要があった。そのため、事前に児童に、パソコンのスペックが足りないことを説明し、鍵盤の画像の不要な部分を削るように指示した。自分の作った鍵盤の画像サイズを小さくする作業は、細かなマウスの操作を必要とするため、授業アシスタントと講師が児童のかわりに操作を行った。この作業に、15 分ほどの時間を要した。

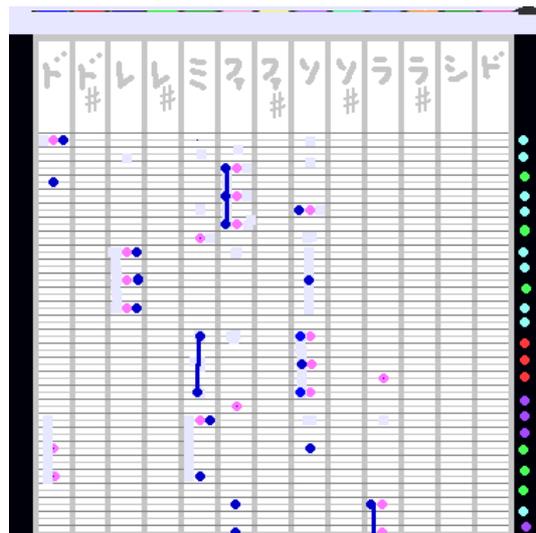


図 4.5: 「We wish Your Merry X'mas」のオルゴール

オルゴールをアレンジしてみよう（実習）

「技」をそれぞれの授業アシスタントが担当し，希望する児童に教えて回った。「技」を教えるアシスタントそれぞれに次のような名前をつけた．

- からくりオルゴールマスター
- 和音マスター
- リズム調整マスター
- 他の楽器マスター

第三回の授業で自分の好きな曲を鳴らすオルゴールを作成する時間がなかった児童が多かったため，ほとんどの児童はまず，自分の曲を鳴らすことができるオルゴールの作成をした．その後，2コマ目になって技を聞きにくる児童が増えた．

4.2.4.2 児童のようすの観察

実習を中心に据えた結果，児童のモチベーションの差が顕著に現れた．とくに，第三回授業から二週間たったことで，操作を忘れている児童や，第三回の宿題を忘れ，自分の好きな曲で作業をしていなかった児童にモチベーションの低下が見られた．また，自分で塗った鍵盤のサイズを小さくしなければならない，ということも，モチベーションの低下につながった．児童はそれぞれオルゴール制作に取り組んでいたが，「とりあえず鳴るものができた」というだけで課題が終わったと満足してしまった児童もいた．そのような児童にはこちらから，Squeak の「すすめる」「まわす」を用いた動

きの作り方などを教えて、オルゴールでなくてもよいので、作品制作を行うようにすすめた。

4.2.5 第5回：オルゴールと同じ仕組みでアニメーションを作ってみよう。

曲の作成にあたって、鍵盤とシリンダーの両方を作成することが時間的に困難だと思われたため、シリンダーのみを作成して作品制作を行うことができる「虫退治」「クリスマスカード」「音楽ゲーム」の2つの環境を用意し、オルゴールと同じしくみで動くアニメーションを作成した。

4.2.5.1 授業の大まかな流れ

ツールを用いた作例の提示

第四回授業で、オルゴール制作に意欲のある児童と、そうでない児童の差が顕著にあらわれたため、私たちはオルゴールと同じ仕組みを用いて、オルゴール制作に対して意欲のない児童も楽しんで取り組める題材はないか検討した。結果、3つの題材を用意した。

虫退治 虫を退治するシューティングゲームである。オルゴールのシリンダーと同一のシートで、虫の動き、および、砲台の動きを制御する。虫の動きを変更しなければシューティングゲームとして遊べるが、実際には虫の動き、砲台の動きともに変更可としたので、題材としてはアニメーション制作に近い。

もみじ オルゴールに動きをつけるための題材である。オルゴールのシリンダーと同じように曲を書くと、音に対応した木の葉が舞い上がり、それに触れることによって音を鳴らすことができる。

クリスマスカード クリスマスカードを作るツールである。曲を作るためのシリンダーとクリスマスカードの絵を動かすシリンダーの2つが用意され、シリンダーに点を書き込むことによって曲の制作と、アニメーションカードの制作ができる。

これらの作品を例示し、実習に入った。

ツールを用いた作品制作（実習）

上記ツールを用いた作品制作を行った。男子児童はすべて、虫退治制作用環境を使って自分なりのアニメーションを作成し、女子児童はすべてクリスマスカード作成用の環境を使ってアニメーション、曲の作成を行った。

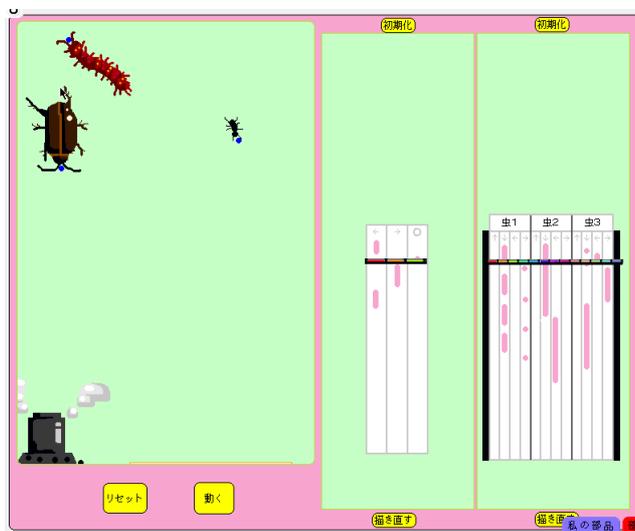


図 4.6: 虫退治の世界

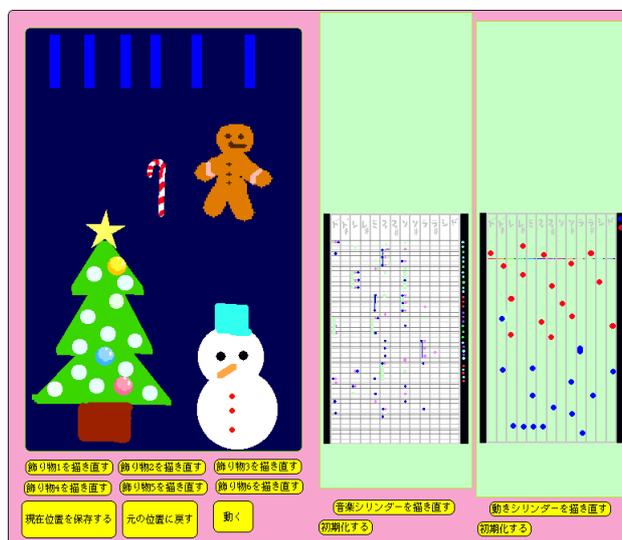


図 4.7: メロディーカードの世界

まとめ

実習後に、簡単なまとめの授業を行った。まとめでは、オルゴールの仕組みからいろいろなものが制作可能であること、昔のコンピュータも同じ仕組み（パンチカード）で動いていたことなどを示した。

4.2.5.2 児童のようすの観察

男子児童はすべて、虫退治制作用環境を使って自分なりのアニメーションを作成し、女子児童はすべてクリスマスカード作成用の環境を使ってアニメーション、曲の作成を行った。男子児童はシリンダーを書き換えて、アニメーションに自分なりの「動き」を持たせることに興味を持って実習に取り組んでいた。対して女子児童は、クリスマスカードの動きを制御したり、曲を作るよりも先に、絵を描くことに集中していた。

4.2.6 児童による成果物

4.2.6.1 キラキラ星のオルゴール（第3回）

第三回授業で出題した曲当てゲーム用の曲「キラキラ星」をそのままオルゴールにしたものである。鍵盤の色塗り、スクリプトの作成、シリンダーの作成ともに児童が行っている。ほとんどの児童が、Squeak上でこのようなオルゴールを作成することができた。

4.2.6.2 聖者の行進のオルゴール（第4回）

第四回授業の課題「好きな曲を作ってみよう」で制作された「聖者の行進」のメロディーを奏でるオルゴールである。「聖者の行進」のほかにも、「たらの歌」「涙そうそう」などの曲を制作している児童がいた。熱心な児童は、持参した楽譜を見ながら、正確なメロディーを鳴らそうと努めていた。

4.2.6.3 アニメーションカード（第5回）

第五回授業の課題「オルゴールと同じ仕組みでアニメーションを作ろう」で、ツールを用いて児童が作成したクリスマスカードである。左のシリンダーが曲を鳴らすシリンダーであり、こちらは大学生による作例をそのまま用いているが、絵と動きは児童のオリジナルである。曲にあわせて、一斉に電飾が光り、飾り物が回転する、という華やかな動きをする。

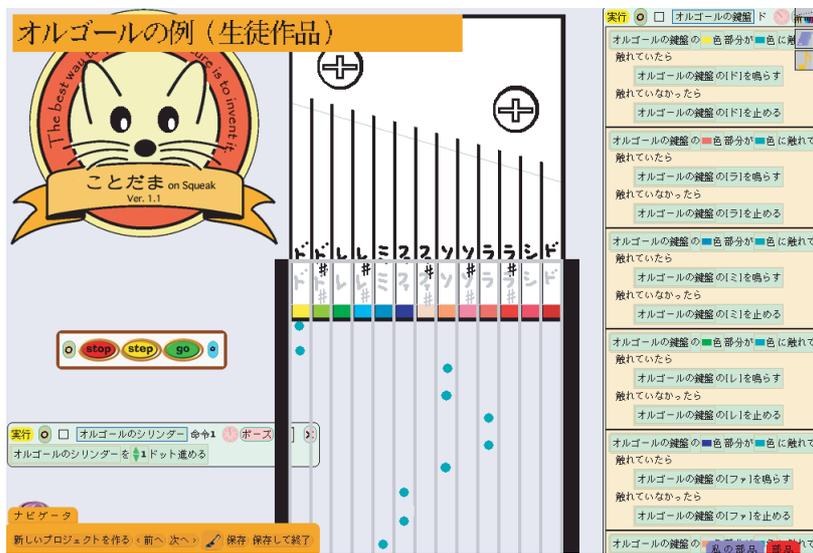


図 4.8: キラキラ星のオルゴール

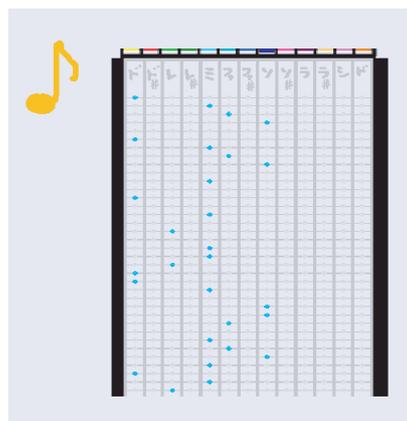


図 4.9: 聖者の行進のオルゴール



図 4.10: クリスマスカード

4.2.6.4 虫退治アニメーション（第5回）

第五回授業の課題「オルゴールと同じ仕組みでアニメーションを作ろう」で、虫退治ゲームをもとに児童が作成したアニメーションである。左のシリンダーで砲台の動き（左右の移動，弾の発射）を制御しており，右のシリンダーで3匹の虫の動きを制御している。2匹の仲間を倒されてしまった虫（ゴキブリ）が砲台から遠ざかろうとするが，ついには撃たれてしまう，というストーリー性のある動きがある。このほかに，3匹の虫を1点に集め，一発の弾丸のみで3匹を同時に倒す，等，動きに工夫のある作品があった。

4.3 初等中等教育課程向け教材：第2回実験授業

第1回の実験授業の結果から，本教材は小学6年生に対して，十分実施可能であることが分かった。同時に，小学生の理解が予想以上に早かったこと，早く作業を終えた児童にモチベーションの低下が見られたことなどから，より短い時間で，より低い学年の児童にも本教材を適用可能ではないかと考えた。対象を4年生まで引き下げ，期間を2日間に限定した新教材を作成し，第2回の実験授業を行った。この授業は，みんなでのしくスクイークプロジェクト [22] と，東芝科学館の協力のもと，みんなでのしくスクイークプロジェクトの夏休み講座として行われた。

なお，新教材では，第1回の試行で使用した教材を，以下の方針に従って一部改定した。

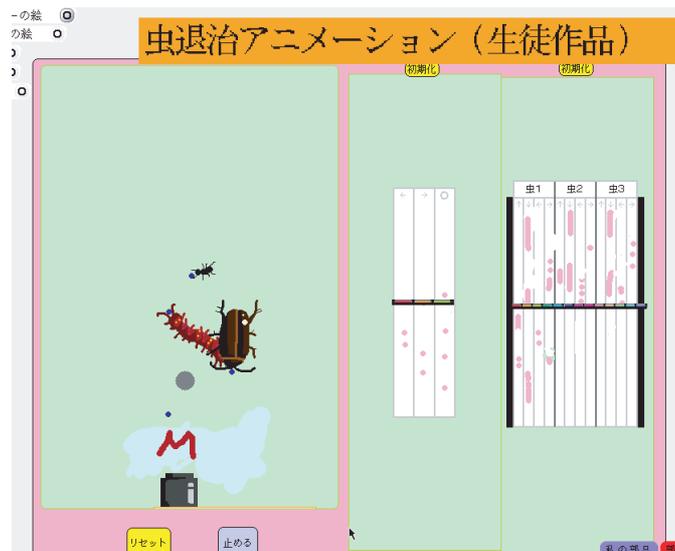


図 4.11: 仲間を倒されて逃げる虫

- 「Squeak2005J」で実施可能なものにすること
- 鍵盤を塗りつぶすことによって音がうまく鳴らないという問題が起きないようにすること
- 例示用の教材のうち、パワーポイントで代用可能なものは代用すること
- 配布プリントの書き込み欄を選択式にし、学年が低くともすぐに回答できる形式にすること

オルゴールの実装環境として「ことだま on Squeak」ではなく「Squeak2005J」を用いることにしたのは、「Squeak2005J」のほうがより一般的な環境であること、「ことだま on Squeak」ではインターネットに作品を公開できないことが理由である。

以下に、実施概要（表??）とスケジュール（表??）を示す。

各回の授業で扱った内容は、以下のとおりである。

- Squeak の基本操作（モーフの回転，拡大縮小，ペイント機能，スクリプト作成機能）
- オルゴールの実物の観察・仕組みの理解
- プログラミングによる Squeak 上でのオルゴール作成
- オルゴールの仕組みを用いたアニメーション作品の制作

対象	「コンピュータ・オルゴールを作ろう」ワークショップ参加希望児童 11 名（小学 4 年：4 名，小学 5 年：3 名，小学 6 年：2 名，中学 3 年：1 名，アンケート回収ミスのため不明：1 名．東芝科学館のワークショップ受講者メンバー．Squeak 経験者と未経験者を含む．マウスとキーボードが使えること，という条件で募集．)
期間	2008 年 8 月 4 日・8 月 6 日
授業時間	13 時～17 時
講師	荒木恵
授業アシスタント	1 名
場所	授業は東芝科学館の，定員 15 名のコンピュータ自習室で行われた．

表 4.3: 初等中等教育課程向け教材：第 2 回実験授業実施概要

1 日目	2 日目
Squeak の基本動作 Squeak とは Squeak でピアノを作ってみよう	オルゴールとコンピュータは兄弟！ 前回の振り返り 「楽譜」と「算譜」と「鍵盤」と「計算機」 「音楽」だけじゃないオルゴールの仕組み
オルゴールの仕組み オルゴールの仕組み 鍵盤とシリンダー 曲当てゲーム-この楽譜はなんの曲かな？-	オルゴールの仕組みで動く「からくりオルゴール」の紹介 アニメーション ゲーム
Squeak で動くオルゴールを作ってみよう ドレミだけのオルゴールを作ろう ドレミファソラシドがそろったオルゴールを作ろう 「曲当てゲーム」の曲を奏でてみよう	からくりオルゴールの作り方 絵を左右に動かす鍵盤を作ってみよう 絵をまわす鍵盤を作ってみよう
	作品制作 企画書を書こう 自由に作品を作ろう

表 4.4: 初等中等教育課程向け教材:第 2 回実験授業スケジュール

4.3.1 1日目

1日目は、こちらで指定した曲「きらきら星」を演奏できるオルゴールの作成を目標に授業を行った。

4.3.1.1 授業の大まかな流れ

Squeakの基本操作

まず授業のはじめに、Squeakの起動と終了、基本操作の授業を行った。題材は電子ピアノの作成である。1名の児童(4年生)をのぞいて、ドレミの音が鳴る電子ピアノを作成することができた。1名の児童は、マウスの操作に慣れておらず、マウスでオブジェクトやタイルをうまくつかむことができなかつたため、時間内に作業を終えることができなかった。

オルゴールの仕組み

2名に1つのオルゴールを配布し、オルゴールの仕組みを観察させ、観察結果を配布プリントに書き込ませた。

第1回実験授業では「シリンダーの突起が鍵盤に触れて音が出る」という正しい理解が大半を占めたが、今回は選択式だったにもかかわらず「スプリングモーターのばねがけんぱんの短い方にあたると低い音が出て、長い方にあたると高い音が出る」などの間違いが多く見られた。

このため、一度児童の意見を聞いた上で、もう一度、隣同士で話し合いながら観察をするように促したところ「シリンダーの突起が鍵盤の長いほうにあたると低い音が出て、短い方にあたると高い音が出る」という正しい理解を引き出すことができた。

Squeakで動くオルゴールを作ってみよう

オルゴールの観察結果を踏まえて、電子ピアノのプログラムを参考にしながら、Squeakで動くオルゴールを作成するように指示した。

児童は、鍵盤を塗りわけ、条件分岐のプログラムを作るということは理解していたが、条件分岐のタイルの作り方を忘れていた児童や、条件分岐のタイルをうまく組み合わせられない児童も目立った。Squeakの経験者ではこのような操作でのつまづきは見られなかった。

4.3.1.2 児童のようすの観察

5年生以上の児童は、とくに問題なく電子ピアノとオルゴールを作成することができていた。うち1名はSqueakのマウス操作に若干のつまづきが見られた。マウスとキーボードが使えること、という条件での募集であったが、3名の児童が、マウス操作につまづいていた。それ以外の児童も、タイルがうまく入らない、およそ13ピクセル×18ピクセルの、色を選択するためのボタンがクリックできない、などの問題を訴えた。

また、4年生の児童に友人同士が居たため、長い作業時間をとると、けんかやじゃれ合いなどが起きた。そのため、後半は作業時間をできるだけこまめに区切って対応した。

4.3.2 2日目

2日目は、オルゴールの仕組みを応用した、からくりオルゴールの作成を目標に授業を行った。オルゴールの仕組みが音を鳴らすことだけでなく、動きにも応用できることを例に、パンチカードを使って計算をする機械も存在すること、それがコンピュータの原型になったことをまとめた授業で解説した。

4.3.2.1 授業の大まかな流れ

オルゴールの仕組みで動く「からくりオルゴール」の紹介

シート式オルガニートとからくりオルゴールを提示し、前日に作成したオルゴールと同じ仕組みで動くオルゴールが存在すること、動きのあるオルゴールも存在することを示した。

次に、からくりオルゴールの作品例を提示した。

オルゴールとコンピュータは兄弟

オルゴールは音をシリンダーによって制御し、からくりオルゴールは動きをシリンダーによって制御している。これと同じ仕組みで動きを制御している機械があることを説明した。

パンチカードの歴史、というテーマで、パンチカードによって織物の柄を制御するジャガード織機、計算を制御する計算機、演奏を制御するオルゴール、という3つの例を紹介する、5分ほどの短い授業を行った。

からくりオルゴールの作り方・作品制作

最後に、からくりオルゴールの作り方を簡単に解説し、企画書シートを配布し、作品制作の時間とした。

4.3.2.2 児童のようすの観察

実際にオルゴールの仕組みを利用して作品制作を行った児童は9名である。

プログラミングが苦手な児童2名は、絵のみを描き、プログラムは行わなかった。

Squeak 経験者である児童2名は、オルゴールのプログラムを残したまま、アニメーションのプログラムを書き足していた。この2名は実物のオルゴールに興味を示し、作業時間の半分ほどをシート式オルガニートや実物のオルゴールで遊ぶことに使った。

1名の児童は、はじめはからくりオルゴールを作成していたが、演奏ゲームを作りたいくなり、演奏ゲームをつくりはじめた。この演奏ゲームは、仕様が巨大だったため、完成しなかった。

4.3.3 児童による成果物

児童による成果物のうち、オルゴールの仕組みを独自に応用して作品作りを行った例を示す。

4.3.3.1 おばけの音楽祭

「おばけの音楽祭」は、きらきら星の曲にあわせておばけが踊るアニメーションカードである。小学6年生の女子による作品である。シリンダーは1つだが、1つのシリンダーに、音を鳴らす機能とからくりの機能の両方を持たせている。シリンダーによる動きのプログラム以外にも、夜空の星がくるくると回る、伴奏をするための電子ピアノがついている、などの特徴がある。

4.3.3.2 ドライブ音楽

「ドライブ音楽」は、ロンドンデリーの歌にあわせて、車が左右に動くアニメーションカードである。小学5年の男子の作品である。ロンドンデリーの歌は音域が広いいため、2つのシリンダーを並べている。これも、おばけの音楽祭と同様、音を鳴らす機能とからくりの機能の両方を、1つのシリンダーに持たせている。

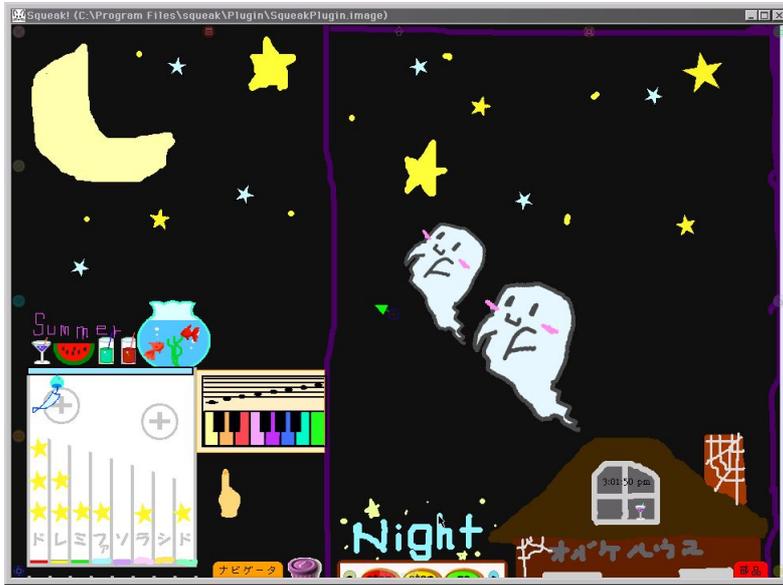


図 4.12: おばけの音楽祭

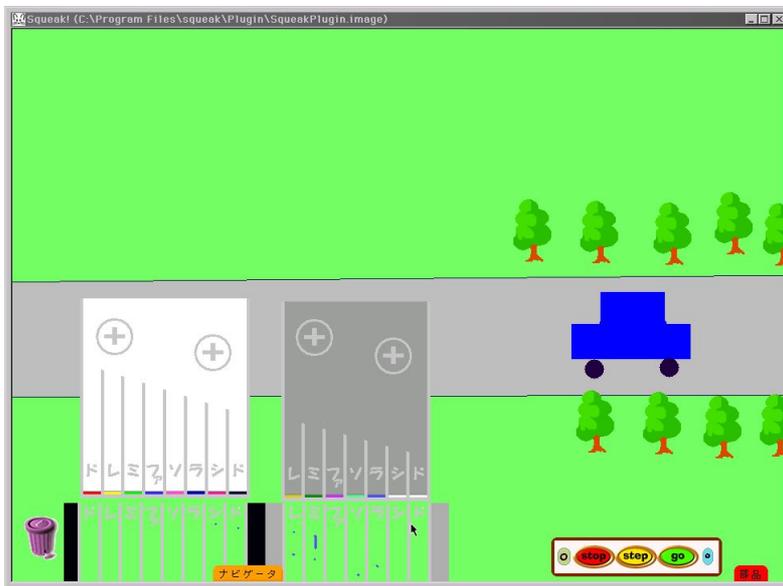


図 4.13: ドライブ音楽

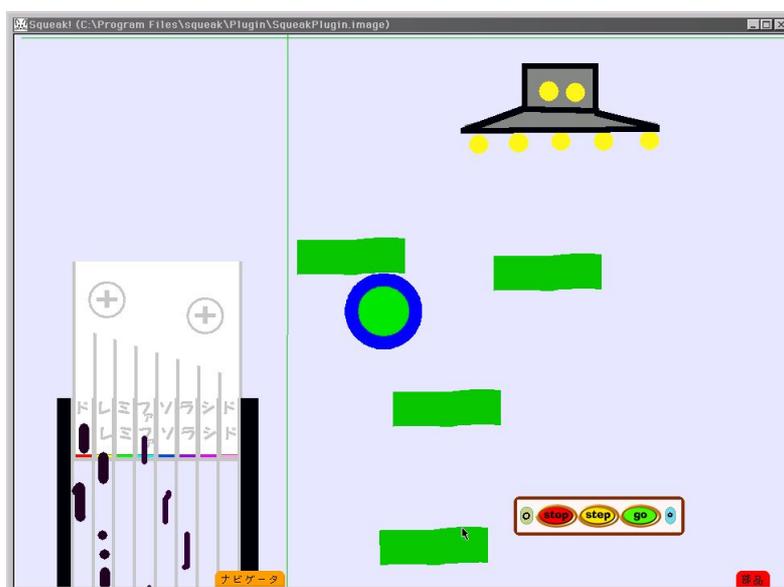


図 4.14: UFO

4.3.3.3 U.F.O.

「U.F.O.」は、シリンダーでUFOの動きと緑のバーを操作して、自動実行のゲームのようなアニメーションをする、アニメーションゲームである。中学3年の男子の作品である。ボールが緑のバーに跳ね返り、シリンダーを書き換えることで、緑のバーの動きを制御し、ボールが落ちないようにすることが目的である。

4.4 初等中等教育課程向け教材：第3回実験授業

第2回の実験授業の結果から、本教材はSqueakの操作に習熟している5年生以上の児童に適用可能であることが分かった。第3回の実験授業は、第2回と同様の教材を行う予定であったが、参加希望者が偶然、Squeakにかなり習熟している児童であったため、内容を少し変更し、より、「オルゴールの仕組み」「オルゴールとコンピュータの類似性」に目を向けさせる授業を心がけた。

この授業は、みんなでのしくスクイークプロジェクト [22] の協力のもと、みんなでのしくスクイークプロジェクトの夏休み講座として行われた。

以下に、実施概要(表??)とスケジュール(表??)を示す。

- Squeakの基本操作(モーフの回転, 拡大縮小, ペイント機能, スクリプト作成機能)
- オルゴールの実物の観察・仕組みの理解

対象	「コンピュータ・オルゴールを作ろう」ワークショップ参加希望児童（小学3年～中学2年）
期間	2008年8月9日・8月10日
授業時間	13時～17時
講師	荒木恵
授業アシスタント	1名
場所	授業はデジタルハリウッド大学の、八王子キャンパスで行われた。

表 4.5: 初等中等教育課程向け教材：第3回実験実施概要

- プログラミングによる Squeak 上でのオルゴール作成
- オルゴールの仕組みを用いたアニメーション作品の制作
- 実行機械とパンチカードの関係

4.4.1 1日目

1日目は、第2回実験授業と同様に、こちらで指定した曲「きらきら星」を演奏できるオルゴールの作成を目標に授業を行ったが、受講者のレベルが高かったため、急遽、2日目に予定されていた「オルゴールとコンピュータは兄弟」「からくりオルゴールの紹介・作り方」の授業も1日目に行うことにした。

4.4.1.1 授業の大まかな流れ

Squeak の基本操作

Squeak の基本操作を習得するための「電子ピアノ作り」を予定していたが、いずれの児童も Squeak の習熟度が高かったため、見本を示しただけでそれぞれ仕様を理解し、すぐに電子ピアノを作成することができた。

オルゴールの仕組み

電子ピアノの作成に時間がかからなかったため、オルゴールの仕組みに関する授業を長めに行った。第2回実験授業では、各部名称はこちらから教え、書きうつさせるだけであったが、オルゴールの仕組みを考えさせ、それぞれどのような名称か、どのような働きをするかを考えて発表するように指示した。

児童の書いたプリントは図??図??のようなものである。

1 日目	2 日目
<p>Squeak の基本操作 Squeak とは Squeak でピアノを作ってみよう</p>	<p>作品制作 企画書を書こう 自由に作品を作ろう</p>
<p>オルゴールの仕組み オルゴールの仕組み 鍵盤とシリンダー 曲当てゲーム-この楽譜はなんの曲かな?-</p>	
<p>Squeak で動くオルゴールを作ってみよう ドレミだけのオルゴールを作ろう ドレミファソラシドがそろったオルゴールを作ろう 「曲当てゲーム」の曲を奏でてみよう</p>	
<p>オルゴールとコンピュータは兄弟! 前回の振り返り 「楽譜」と「算譜」と「鍵盤」と「計算機」 「音楽」だけじゃないオルゴールの仕組み</p>	
<p>オルゴールの仕組みで動く「からくりオルゴール」の紹介 アニメーション ゲーム</p>	
<p>からくりオルゴールの作り方 絵を左右に動かす鍵盤を作ってみよう 絵をまわす鍵盤を作ってみよう</p>	

表 4.6: 初等中等教育課程向け教材:第 3 回実験授業スケジュール

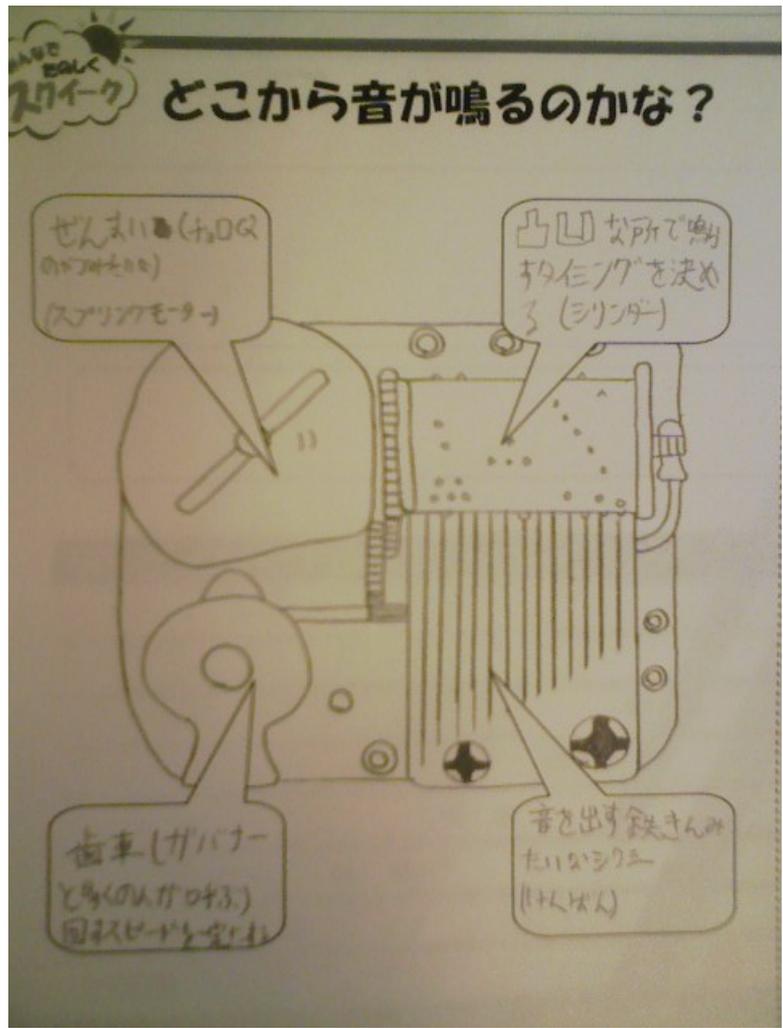


図 4.15: オルゴールの音が鳴る仕組み

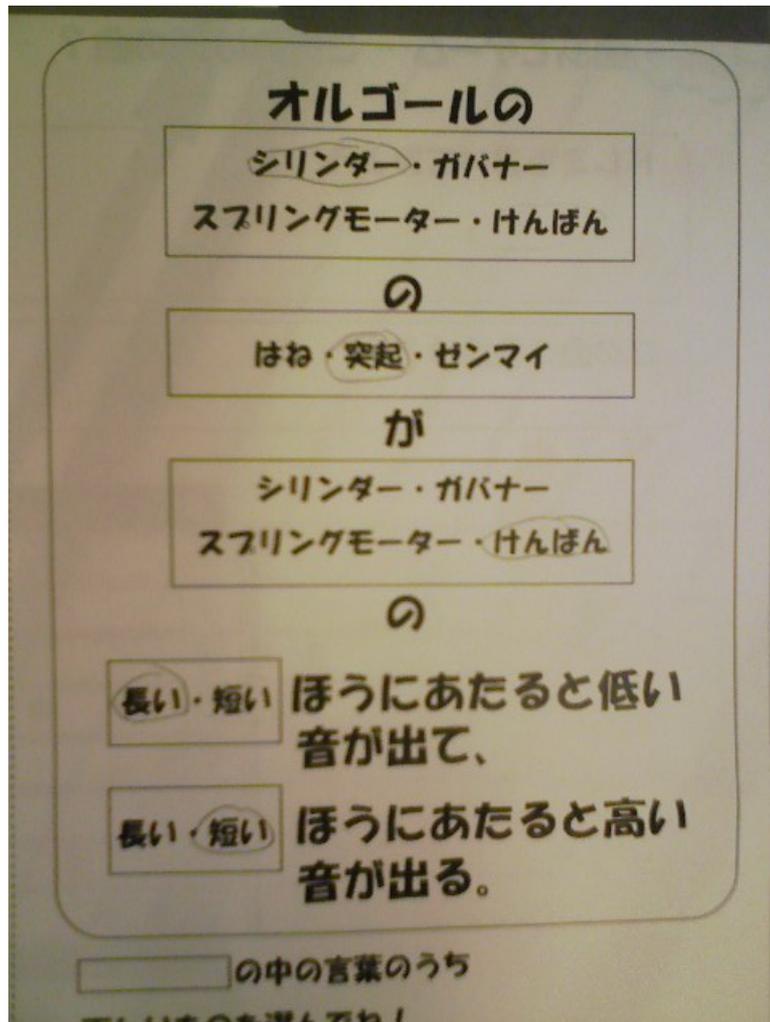


図 4.16: オルゴールの仕組みと各部名称

Squeak で動くオルゴールを作ってみよう

オルゴールの仕組みの理解の後、オルゴールを Squeak 上に再現するように指示した。こちらでも、電子ピアノと同様、すぐに仕様を理解し、オルゴールを作成することができた。

オルゴールとコンピュータは兄弟

Squeak の操作でまったく問題が出ず、授業が非常にスムーズに進んだため、オルゴールとコンピュータは兄弟、という授業を 1 日目に行った。

行った授業は、第 2 回実験授業と同様である。

オルゴールの仕組みで動く「からくりオルゴール」の紹介・作り方

時間が余ったため、からくりオルゴールの紹介・作り方の紹介を行った。

こちらでも、からくりオルゴールの作例を見せることで、すぐに作り方を理解し、それぞれの企画に入った。ここから、企画書を書くように指示し、翌日の作品制作に備える時間とした。

企画書を書くと同時に、それぞれの作品に存在する「実行機械」と「パンチカード」の名前を考えてくるように指示した（例：「鍵盤」と「楽譜」など）

4.4.1.2 児童のようすの観察

参加した児童が 3 名とも、Squeak の操作に非常に熟練していたため、当初考えられた操作の質問などはまったく寄せられず、授業内容も非常によく理解できていた。

4.4.2 2 日目

2 日目は、オルゴールの仕組みを応用した、独自のオルゴール作成を目標に授業を行った。

参加者が熟練者であったため、オルゴールの仕組みだけでなく、アニメーションのプログラムなども組み合わせた高度な作品が制作された。

4.4.2.1 授業の大まかな流れ

企画書作成・企画発表

前日の課題であった「プログラム」と「実行機械」の名称を考えてくること、という課題の結果を発表する時間を設けた。それぞれ、「CP (Culculate PunchCard) と CP 読み取り機」「魔法のじゅもんと魔法の本」「かえるの歌と輪唱オルゴール」という名前をつけ、それぞれの企画を口頭で発表し、作品製作に入った。

作品制作

小学3年生の女子はかえるの歌の輪唱を、小学6年生の男子は、魔法使いが星をあやつるアニメーションを、中学2年生の男子は星をロケットが打ち落とすというゲームを作成した。

4.4.2.2 児童のようすの観察

参加した児童3名は、この日も操作に関する質問はなく、自分の企画を完成させていた。自分の企画を完成させた後、さらなる改良に取り組むために、どのような改良を加えたらいいか、という質問が寄せられた。筆者は、シリンダーが上まで行ったら戻るようにし、ずっとアニメーションをしつづけるようにすること、飾りが動くようにすること、などを提案し、児童はそれを実装した。

4.4.3 児童による成果物

4.4.3.1 かえるの歌

「かえるの歌」は、かえるの歌を演奏するオルゴールが2台用意され、かえるの歌の輪唱を演奏する。小学3年生の女子の作品である。かえるが歌にあわせてドラムをたたくアニメーションをしたり、音譜マークの色がチカチカと点滅するといった凝った作品になっている。

4.4.3.2 魔法の本

「魔法の本」は、シリンダーに合わせてきらきら星の曲が鳴り、その曲にあわせて星がくるくると回ると回るというアニメーションである。小学6年の男子の作品である。魔法使いが画面に描かれ、魔法使いの杖も動く。この児童の構想は、魔法使いの杖が星を動かしているように見えるようにアニメーションを作るという構想だったが、途中

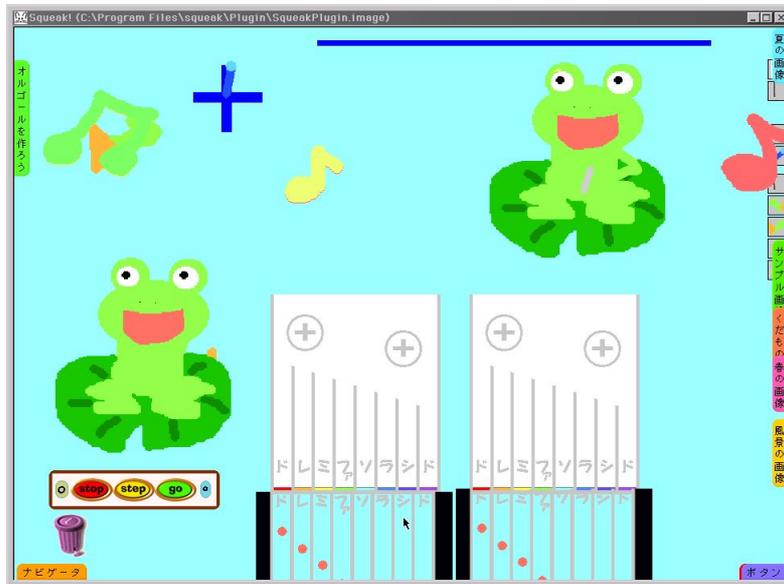


図 4.17: かえるの歌

でコンピュータがフリーズし、時間切れになってしまったため、そこまでの実装には
 いたらなかった。

4.4.3.3 ロケットゲーム

「ロケットゲーム」は、シリンダーが3つ用意され、それぞれのシリンダーが音楽、
 星1の動き、星2の動き、星3の動きを担当する。中学2年の男子の作品である。こ
 のロケットを操作レバー（ジョイスティック）で操作し、不規則な動きをする星をよ
 けるといゲームである。星にロケットがあたると、初期位置に戻ってしまう。

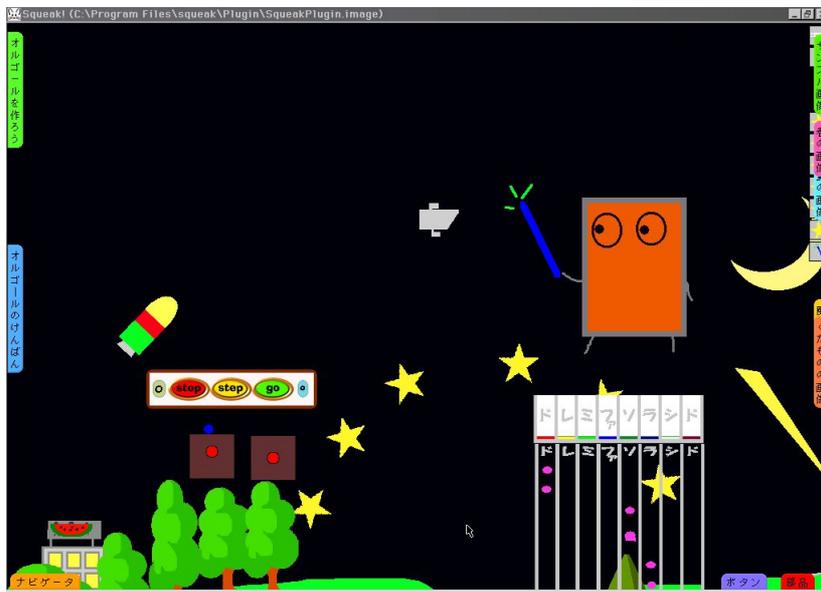


図 4.18: 魔法の本

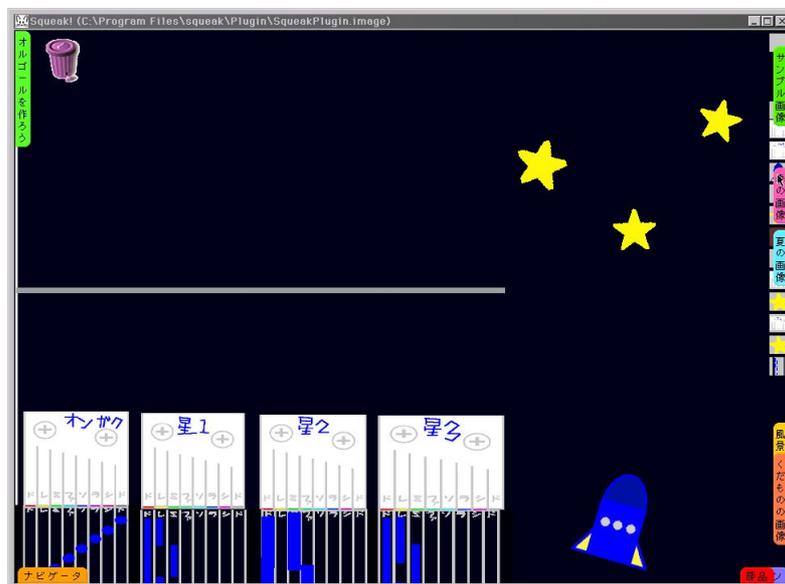


図 4.19: ロケットゲーム

4.5 高等教育課程向け教材：実験授業概要

3章で提案した高等教育課程向け教材「お絵かきプログラム開発演習」の有効性を検証するため、実験用の教材を作成して実験授業を3回行った。

1回目の実験授業では、本教材および教材パッケージを提案し、オブジェクト指向プログラミング履修者（学部1～4年）に対して実施し、教材が実行可能であることを確認した。

2回目の実験授業では、ICTスクール2007参加者（高校1～3年生）に対して本教材を実施し、本教材が高校生に対しても実施可能であることを確認した。

3回目の実験授業では、教材パッケージの改定を行い、若干の時間短縮を図り、大学の情報科目担当者であれば誰でも本教材が実施できるようにした。

以下に各試行の詳細を述べる。

4.6 高等教育課程向け教材：第1回実験授業

提案した教材が実行可能であることを確認するため、慶応SFCの授業「オブジェクト指向プログラミング」において第1回の実験授業を行った。

4.6.1 実施概要

対象	慶応SFC「オブジェクト指向プログラミング」受講者（学部1年～学部4年．プログラミング初心者～中級者を含む）
実施日	2008年4月21日（オブジェクト指向プログラミング初回授業）
授業時間	1限（9時25分～11時10分）
講師	荒木恵
利用した教材	timer.jar，指示パワーポイント，配布資料パッケージ

表 4.7: 高等教育課程向け教材：第1回実験授業実施概要

4.6.2 カリキュラム内での位置づけ

この授業は「オブジェクト指向プログラミング」の初回授業として行われた。オブジェクト指向プログラミングは、プログラミング入門を履修済みの学生に対して行わ

れる，プログラミング初心者～中級者向けに行われる授業である．以下に，オブジェクト指向プログラミングのシラバスを引用する．

情報技術の社会への浸透に伴って，先進国では Computer Science が大学生の一般常識になりつつある．コンピュータの使い方を覚えただけでは，その本質を理解するには至らない．自分がしたい仕事をコンピュータに実行させる方法であるプログラミングを学んで初めてコンピュータの何たるかが理解される．コンピュータの正しい理解は，コンピュータを使った新しい情報システムを創造する時に必要である．プログラミングを自己表現の道具としてマスターしたい学生が，その能力を獲得出来るようにすることが，本講義・演習の目標である．自己表現の道具としてのプログラミングとは言語を覚えることではない．仕事の手順を自分で考えることである．これには，自分のしたい事を明確化すること，それを手順に分解すること，手順をコンピュータで実行可能な形式に具体化すること（ここで初めて，プログラミング言語が登場する），完成したプログラムが当初の目的を達成しているかを評価すること，が含まれる．本講義では，プログラミングをこのような総合的な作業としてとらえる．従って，プログラミング入門では扱わなかった仕様の明確化や設計を中心に議論を進める．設計言語として HCP チャートと UML(Unified Modeling Language)，プログラミング言語として Java 言語を用いる．

初回授業では，本教材のほかに，成績評価方法や，課題の量，授業ページの提示など，授業に関する諸連絡を扱った．

4.6.3 学生のような観察

本教材を使った授業で，学生から次のような質問が出た

- 要求はどのように書いたらよいのか
- 設計には絵だけでなく日本語を書いてもよいのか
- 評価用紙の書き方が分かりにくい(一人で全員に対する評価を書くのかと思った)

要求，設計に関しては，「指示をよく読んで，解釈するように」「相手に伝わり，指示を守っていれば，方法は問わない」と応えた．評価用紙の書き方に関しては，こちらの指示が不十分で，書き方を間違えてしまった学生が居たため，次回から評価の時間の前に説明を行うことで対応することにした．

議論の時間には，各プロジェクトとも失敗例を見て盛り上がる様子が見られた．

しかし、議論の軸が無いと、ただ失敗例を見て笑うだけになってしまうグループもあったため、各グループでひとつずつ、「失敗プロジェクト」と「成功プロジェクト」を選び、その原因を述べよ、という指示を出した。この指示があつてからは、何を失敗とするか、失敗原因はなにか、成功プロジェクトとの差は何かなど、「論理的な手順記述とは」「よい要求の書き方とは」という議論が行うようになった。

4.7 高等教育課程向け教材：第2回実験授業

第1回の実験授業の結果から、本教材が大学生に対して、1時限内で実行可能であることが分かり、学生に対してアイスブレイキングの効果があり、プログラミングのイメージをポジティブにするのではないかという感触を得た。

第2回実験授業では、本教材が高校生にも適用可能であるかどうかを検証した。

4.7.1 実施概要

対象	ICT スクール 2007[?] 参加学生（高校1年～高校3年、33名。各都道府県からのプログラミング合宿応募者。プログラミング未経験者～ネットワークプログラミング経験者を含む。）
実施日	2007年8月6日（ICTスクールの初回授業として実施）
授業時間	ICTスクール初日第4限（14時40分～16時10分）
講師	荒木恵
利用した教材	timer.jar, 指示パワーポイント, 配布資料パッケージ

表 4.8: 高等教育課程向け教材：第2回実験授業実施概要

4.7.2 カリキュラム内での位置づけ

この授業は「ICTスクール2007」の初回授業として行った。ICTスクール2007のカリキュラムは以下のとおりである。

初回授業では、本教材のほかに Squeak の基本操作と、Squeak による簡単なゲーム作りの方法を提示した。

	8月6日	8月7日	8月8日	8月9日	8月10日	8月11日
1 時間目 (9:00-10:30)		『タイピング』 『Squeakミニ作品制作』	『タイピング』 『ソートアルゴリズム』	『タイピング』 『最終作品について』	『タイピング』 『最終作品制作』	『最終作品発表』
2 時間目 (10:40-12:10)		『Squeakミニ作品制作』	『ソートアルゴリズム』	『電卓とコンピュータ』	『最終作品制作』	『最終作品発表』
昼食	—	—	—	—	—	—
3 時間目 (13:00-14:30)		『Squeakミニ作品ミニ発表会』	『ソートアルゴリズム』	『最終作品制作』	『最終作品制作』	
4 時間目 (14:40-16:10)	『お絵かきプログラム開発演習』	『ソートアルゴリズム』	『電卓とコンピュータ』	『最終作品制作』	『最終発表準備』	
5 時間目 (16:20-17:50)	『Squeakの基本』	『ソートアルゴリズム』	『電卓とコンピュータ』	『最終作品制作』	『最終発表準備』	

表 4.9: ICT スクール 2007 夏時間割

4.7.3 学生のような観察

第2回実験授業の受講生は全国から集まった高校生であり、ほぼ全員が初対面であった。そのため、授業開始時点では、会話も少なく、皆緊張していた。

本教材を実施することで、受講生同士の議論は大いに盛り上がり、アイスブレイキングの効果が明らかに認められた [26]。受講生の感想など、詳しくは5章で述べる。

4.8 高等教育課程向け教材：第3回実験授業

第2回実験授業結果から、本教材は高校生にも適用可能であること、プログラミングへの不安感を払拭し、受講者同士のコミュニケーションを促進するアイスブレイキングの効果があることが分かった。

第3回実験授業では、本教材を、情報科目を教える教員であれば誰でも実施可能な教材パッケージにし、その教材パッケージにより、授業者が変わっても本教材が実施できるかどうかを検証した。

同時に、第2回授業までは、本教材の評価は受講者の様子の観察、感想文の分析のみによって行っていたが、第3回実験授業では定量的な評価を行うため、アンケートを実施した。アンケートを実施したクラスは、3クラスである。

新しい教材パッケージには、自動でページ送りがされるパワーポイントを追加し、タイマーや、授業者による声かけがなくとも本演習を実施できるようにした。また、評価の時間を1人あたり3分から2分に短縮した。

対象	「論理思考とプログラミング」受講者（学部1年～学部4年、約300名、プログラミング経験者・未経験者を含む。）
授業日	初回授業日（全12クラス開講のため）
授業時間	初回授業日1限（全12クラス開講のため）
講師	岡田 健，玉川 直世，栗原 聡，根本 潤，坂田 洋幸，榊原 寛，秋山 優，上地 宏一，森田 正彦，杉浦 学，樋口 文人，箕原 辰夫
利用した教材	お絵かきプログラム開発演習パワーポイント，配布資料パッケージ

表 4.10: 高等教育課程向け教材：第3回実験授業実施概要

4.8.1 カリキュラム内での位置づけ

この授業は「論理思考とプログラミング」[27]の初回授業として行われた。論理思考とプログラミングのカリキュラムは以下のとおりである。前半は Squeak、後半は Java を実装環境として利用する。

授業回	環境	テーマ	内容
第1回	Squeak	イントロダクション, 初めてのプログラミング	授業の主題と目標, カリキュラムの概要を説明します!「ことだま on Squeak」の導入(インストール)を行います。Squeakの基本的な操作方法を習得し, 命令の組み合わせと繰り返しを利用して簡単な図形を書いてみます。
第2回		制御構造を理解する	場合わけタイルを使ったプログラムを作ってみます。場合わけタイルを利用した場合, 入れ子になった場合に処理が行われる順序について考察します。制御構造を構成する3つの構造(順次, 分岐, 繰り返し)の概念を説明します。
第3回		記憶装置(変数)を理解する	数や文字列を記憶するための「変数」を使います。変数の読み込み, 書き込みプログラムを作ってみます。数の計算や文字列(テキスト)変数も使ってみます。
第4回		記憶装置(変数)を使いこなす	変数を定義することに挑戦します。プログラムによる目的達成のために何を記憶すればよいのか考察します。例題として, 車の速度のシミュレーションを扱います。
第5回		アルゴリズム概念の理解と構築	「並び替え問題」を題材として, アルゴリズム概念を理解します。まず手作業によるシミュレーションをしてみても, アルゴリズムがどのように機能することで最終目的を達成するのか考察します。手作業と同様のアルゴリズムを Squeak 上に構築し, 計算機に実行させてみて, 結果が同様となることを確認します。
第6回		アルゴリズムの発明と構築	アルゴリズムを自ら発明し, 構築することに挑戦します。「並び替え問題」を前回とは別の解法で解いてみます。辞書アルゴリズムを発明し, 簡単なクイズプログラムを作ってみます。Squeak 編で学習したことをまとめた中間レポート課題が課されます。

表 4.11: 論理思考とプログラミング前半シラバス

初回授業では, 本教材のほかにシラバスの説明, Squeak のインストールと基本操作を扱った。

授業回	環境	テーマ	内容
第7回	Java	Java プログラミング入門	Javaの開発環境を導入(インストール)します。Javaプログラミングの基本プロセス(ソース記述, コンパイル, 実行)を習得します。タートルグラフィックスを使って, Squeak で書いたものと同様の図形を書いてみます。
第8回		Java による制御構造の表現	Squeak で扱った制御構造の Java による表現について説明し, Squeak と Java の違いを考察します。特に Squeak ではできなかった, 繰り返しの入れ子について考察します。CUI(Character User Interface) のプログラムも作ってみます。
第9回		オブジェクトの概念習得とゲーム作成	オブジェクトの概念を学習し, 簡単なアニメーションを作ってみます。マウス/キーボードの入出力, 当たり判定を行うことでゲームも作成できるようになります。
第10回		プログラムの部品化(1)	メソッドの定義と呼出しを利用して, これまでに作ったプログラムを部品化されたプログラムに作り変えます。構造を整理することで重複がなくなり, プログラムがすっきりします。引数を使うと部品の抽象度を高めることもできます。
第11回		プログラムの部品化(2)	メソッドの戻り値を使ったプログラムを作ります。これでメソッドの機能がすべて使えるようになり, 情報処理は「入力-処理-出力」のモデルで抽象化できることを考察します。発展として, 再帰を利用したフラクタル図形の製作に挑戦します。
第12回		Java の入れ物を用いたデータ構造とアルゴリズム構築	Squeak で行った「並べ替え」のシミュレーションが Java でも実現できることを確認します。また, 第6回で扱った辞書プログラムを Java のタートルグラフィックス上で再現してみます。
第13回		プロジェクト成果発表とまとめ	最終プロジェクト(個人成果)の発表会を行い, この授業で学習したことを総括します。この授業で学習したことをまとめた最終レポートが課されます。

表 4.12: 論理思考とプログラミング後半シラバス

4.8.2 学生のような観察

論理思考とプログラミングの授業時間は 90 分であるが、初回授業では出欠、クラス登録の確認などを行うため、実質の授業時間は 70 分ほどになり、少し議論・発表の時間を短くする必要があった。

自動送りパワーポイントでの授業は、学生がすべき作業内容が分からなくなり混乱するのではないかという懸念があったが、そのようなことはなかった。

しかし、自動送りパワーポイントの送り時間が早かったため、学生が紙を回せず、途中でパワーポイントを止めなければならない場面があった。すべてを自動送りにするのではなく、学生の動作を待たなければならない場合は、手動で送るようにする、という改善が必要であることが分かった。

第5章 提案教材の評価

本章では、3章で提案し、4章で実験授業を行った2種類の教材が、1章で述べた目的に沿って機能したかどうかの評価を行う。

5.1 評価の概要

それぞれの教材に対して、3回の実験授業を行った結果、「パンチカードの歴史」「お絵かきプログラム開発演習」の双方に、プログラミングの概念を広げる効果と、プログラミング学習への意欲を高める効果があることが分かった。

パンチカードの歴史教材は、オルゴールの仕組みのシミュレートを通じて、プログラムが変わると動作が変わるということを理解させ、プログラミングのイメージを広げる効果があることが分かった。

お絵かきプログラム開発演習教材は、絵を描くプログラムを日本語で書き、それを自ら実行することによって、プログラムは正しく書かなければ正しく動かないということを理解させ、プログラミングへの不安を取り除き、プログラミングへのイメージをポジティブにする効果があることが分かった。同時に、学生はプロジェクトの成功と失敗の議論を通じて、よいプログラムとはどのようなものか、プログラムを書く際に気をつけなければならないことは何か、といった視点を得て、その後のプログラミング学習により効果を及ぼすことが分かった。

以下が、1章で述べた本教材の目的である。

- プログラミングとは手順を論理的に記述することであることを理解させること
 - プログラムが変わると動作が変わるということを理解させること
 - プログラムは正しく書かなければ正しく動かないということを理解させること
- プログラミングの学習への意欲を高めること
 - プログラミングへの不安を取り除くこと
 - プログラミングのイメージをポジティブにすること
 - プログラミングの学習に、論理的思考能力を伸ばす効果があることを示すこと

本章では、各教材がこの目的を達成できたかどうかを中心に、教材の評価を行う。

5.2 パンチカードの歴史教材の評価

本教材は、3回の実験授業を行った。それぞれの実験で、時間の短縮、使用するソフトウェア環境の変更、対象者の変更を行った。教材自体に変更があること、対象者が少人数の小学生であり、データが少ないことから、本教材の評価は各実験授業ごとに、個別の事例の考察を中心に行う。

第1回実験授業ではオルゴールのシミュレーションに重点を置いていたが、コンピュータとオルゴールの類似性に注目することで、プログラムとは何か、という授業を行えるということ、その授業内容は小学校6年生にも理解可能で、コンピュータの歴史や仕組みへの興味を喚起するということが分かった。

第2回実験授業では、一般のSqueakで、2日間6時間、TA1名/児童10名の体制で本教材が実施可能であることが分かった。しかし同時に、マウス操作が苦手な自動のSqueakの基本操作習得にコストがかかるという問題が明らかになった。

第3回実験授業では、Squeak経験者ならば、授業内容に集中することができ、コンピュータとプログラムの関係について中学生にも興味深い授業ができることがわかった。

5.2.1 評価の観点

以下に本教材の学習目標を記す。

- オルゴールのシミュレータをSqueak上に実装するという、Squeak上のプログラミングを体験すること
- オルゴールのシリンダーを書き換えるとオルゴールの動作が変わるということを理解すること
- オルゴールのプログラムを書き換えるとオルゴールの動作が変わるということを理解すること
- オルゴールとコンピュータの類似性を知り、「楽譜」「パンチカード」「Squeakのスクリプト」のいずれも「プログラム」であることを知ること

学習目標の他に、重要な点として「プログラミングへのイメージをネガティブにしない」ことを挙げる。

これらの5項目を、本教材の評価の観点として使用する。

5.2.2 第1回の試行

授業の結果、現実世界にある仕組みを理解した上でのシミュレーションにおいて模型教材の活用が有効であったこと、Squeak 上でのシミュレーション体験はオルゴールという対象をより深く理解するために役立ったことが分かった。そしてテーマによる児童の意欲、同一内容の題材への取り組み方に性差が見られた。そして授業内の実習では、児童がプログラミングの基本概念を理解し、応用している様子が見られたル以下に観察と考察を述べる。

現実世界にある仕組みを理解した上でのシミュレーション 36 名中 35 名の児童は模型教材を用いて現実世界にある仕組みを理解し、Squeak 上で表現しシミュレーションすることができた。また、Squeak 上でシミュレーションをすることによって、オルゴールの仕組みへの理解を深めていた。以下に観察と考察を述べる。

5.2.2.1 教材の活用

現実世界にある仕組みを理解した上でのプログラミング教育を行うためには、模型教材の活用が有効であった。しかし、今回の模型教材には正確でない部分があったという反省点もあった。以下に考察を述べる。

模型教材の活用の様子現実世界にある仕組みの理解において模型教材を活用することは有効である。第二回の授業において、多くの児童が紙製のオルゴールの拡大模型を手で動かし、紙のシリンダーに描かれたオレンジ色の点が鍵盤に触れるたびに「ド、ド、ソ…」とひとつひとつ発声しながらメモをし、自らオルゴールの仕組みをシミュレートすることで曲当てを行っていた。

また、オルゴールの実物と拡大模型を見比べて動かしていた児童から「動かしてみても曲にならない」という苦情があった。その児童はオルゴールのシリンダーの突起が鍵盤を下から上に向かって弾いていることに着目し、拡大模型を下から上に回していた。しかし、筆者らは拡大模型を児童が鍵盤の音階を見やすいように、紙のシリンダーを逆向きに動かすよう設計していたため、実物と同じ動かし方では曲にならなかった。鍵盤の長さをもとに、鍵盤の向きを見比べることようにアドバイスをし、オルゴールを裏から見せることによって、児童は模型の動かし方に納得した。

これらの児童の様子から、児童はオルゴールや拡大模型といった模型教材を用いて、今回のテーマであるオルゴールの仕組みを深く観察していることが分かる。また、オルゴールの実物と拡大模型を見比べて動かしていた児童から「動かしてみても曲にならない」という苦情があった。その児童はオルゴールのシリンダーの突起が鍵盤を下から上に向かって弾いていることに着目し、拡大模型を下から上に回していた。しかし、筆者らは拡大模型を児童が鍵盤の音階を見やすいように、紙のシリンダーを逆向

きに動かすよう設計していたため、実物と同じ動かし方では曲にならなかった。鍵盤の長さをもとに、鍵盤の向きを見比べることようにアドバイスをし、オルゴールを裏から見せることによって、児童は模型の動かし方に納得した。これらの児童の様子から、児童はオルゴールや拡大模型といった模型教材を用いて、今回のテーマであるオルゴールの仕組みを深く観察していることが分かる。

5.2.2.2 Squeak でのプログラミングによる「デバッグ」

児童は、プログラムを書き、Squeak 上にオルゴールを作成することで、オルゴールの仕組みへの理解を深めていた。

「たらこの歌」を作っていた児童は、音がうまく鳴らないと言い、TA に質問した。そこで TA は鍵盤の中のスクリプトを見えるように促した。スクリプトには「鍵盤の緑色（ミの鍵盤の色）に青色が触れていたら【ド】の音を鳴らす」と記述されていた。児童はスクリプトを見て間違いに自ら気づき、「鍵盤の緑色に触れていたら【ミ】の音を鳴らす」というスクリプトに修正した。

また、曲のテンポがおかしいと悩んでいた児童は、TA からアドバイスを受け、シリンダーの点の間隔や長さを修正することによって、自分の作りたい曲のメロディーに近づけていた。このような試行錯誤を通して、児童はオルゴールの仕組み、及び曲が成り立つ仕組みを理解していた。

5.2.2.3 テーマによる児童の意欲の性差

授業結果により、テーマによって女子児童と男子児童の意欲に明らかに差があることが分かった。また、同一内容を扱う実習でも、取り組み方に性差があることが分かった。

オルゴールという題材への意欲の性差

オルゴールというテーマを用いることで、児童の意欲に性差が表れた。女子は音楽の授業で扱っている「涙そうそう」などの楽譜をシリンダーに起こし、Squeak 上で演奏してみて修正することを楽しんでおり、意欲が高かった。しかし男子児童の意欲は低く、第三回授業で宿題を忘れた児童のほとんどは男子であり、授業途中で作業をやめてしまう児童もいた。このような児童への対策として、オブジェクトの動きを操作するスクリプトの書き方を教えたところ、ポケモンのキャラクターを描き、回転させて他のキャラクターを攻撃させたい、など、興味を持って取り組んだ。

アニメーション制作への取り組み方の性差

そして、第五回の授業では、シリンダーに点を書き込むことによってアニメーションを作成する、という同一の仕組みを扱っているにもかかわらず、男子児童は全員「虫を退治するアニメーション」の制作を選び、女子児童は全員「クリスマスカード」の制作を選び、作品製作への取り組み方にも性差が見られた。

作品制作のテーマが違うため、取り組み方の違いが性差によるものと断定はできないが、男子児童はまずシリンダーに点を打って、動きを変更することに取り組んだが、女子児童はまずカードの絵を描くことに取り組み、シリンダーの編集をほとんど行わなかった。対して、自分で絵を描くことに興味を持った男子児童はほとんどおらず、絵を描いていた児童も絵に時間をかけることはなかった。この様子から、女子児童は自分のイメージを表現することが好きであり、そのようなテーマに意欲的に取り組むことが分かった。絵にこだわり、多くの時間をかけるということが分かった。また、男子児童はゲームのように勝ち負けのあるもの、他の児童と競争するもの、スピード感のある動きをするものが好きであり、動きを作るようなテーマに意欲的に取り組むということが分かった。

5.2.2.4 プログラミングの基本概念の理解

第三回の授業まででほぼすべての児童がオルゴールの仕組みのシミュレーションを Squeak 上でできていた。したがって、オルゴールの仕組みにおいての条件分岐と順次実行を理解できたと考えられる。そして第五回の授業で、同じ仕組みを用いてアニメーション制作を行った。

第五回の授業では実習内容をシリンダーの編集のみとし、条件分岐は扱わなかった。男子児童はシリンダーの編集に意欲的に取り組んだ。「2匹の虫が撃たれてしまい、危険を感じた最後の1匹が逃げ出すが、最後には打たれてしまう」というストーリー性のある作品を作る児童や、「1発の弾丸で3匹の虫を同時に退治する」という動きに特徴のある作品を作る児童がいた。このことから、男子児童は虫の動きとシリンダーに書かれた突起が対応していることと、それが順次実行されることを理解したと考えられる。女子児童は第五回の作品制作において絵を描くことに時間をかけ、ほとんどシリンダーを編集しなかった。

しかし、それまでのオルゴール製作の授業では音楽制作を意欲的に行っており、メロディーの鳴るオルゴールを作っている児童もいたことから、女子児童も順次実行を理解していると考えられる。今回はオルゴール作成において「鍵盤の作成(色による条件分岐のスクリプト作成)」と「シリンダーの作成(点を打つことによる曲のプログラミング)」を同時に授業で扱った。しかし、授業の結果から、小学生にはシリンダー

のほうがより分かりやすく、興味を持ちやすいということが分かった。そして、プログラミングにおいても順次実行がもっとも基本的な概念であるため、まずシンダーの編集によって順次実行を教え、その次に鍵盤の作成によって条件分岐を教えるべきだったという反省があった。

5.2.3 第2回の試行

5.2.3.1 アンケート結果

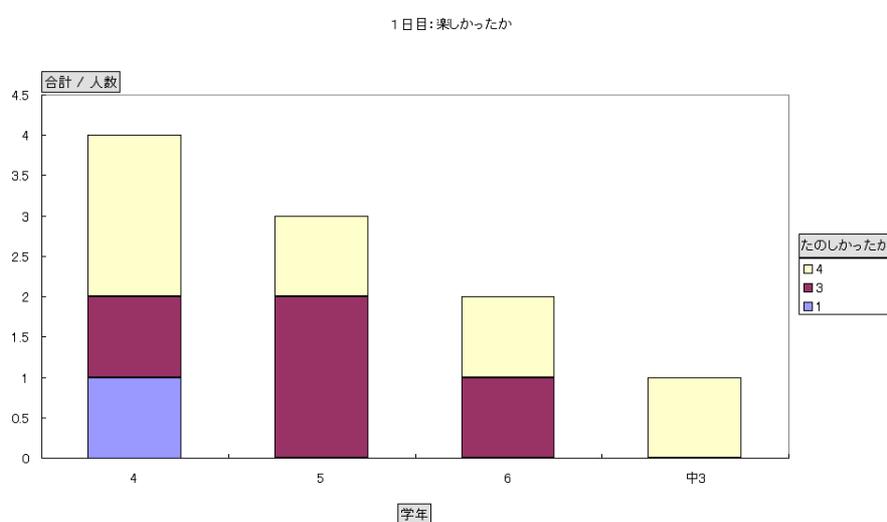


図 5.1: 1日目:楽しかったか

授業全体に関する評価は、1日目はマウス操作に不慣れな児童がいたこと、4年生への授業に授業者が慣れていなかったことなどから、あまり高くはなかった。

2日目に、児童が作品製作に使用できる画像パーツを導入し、マウス操作が不慣れな児童は Squeak でのお絵かきや基本操作から教えることで、満足度を上げることができた。

自分でオルゴールを作れそうか、という問いに関しては、すべての児童が「4:できる」「3:できそう」と回答している。

コンピュータに関する新しい発見に関しては、作品製作を中心にすえて授業を行ったためか、あまり評価は高くなかった。

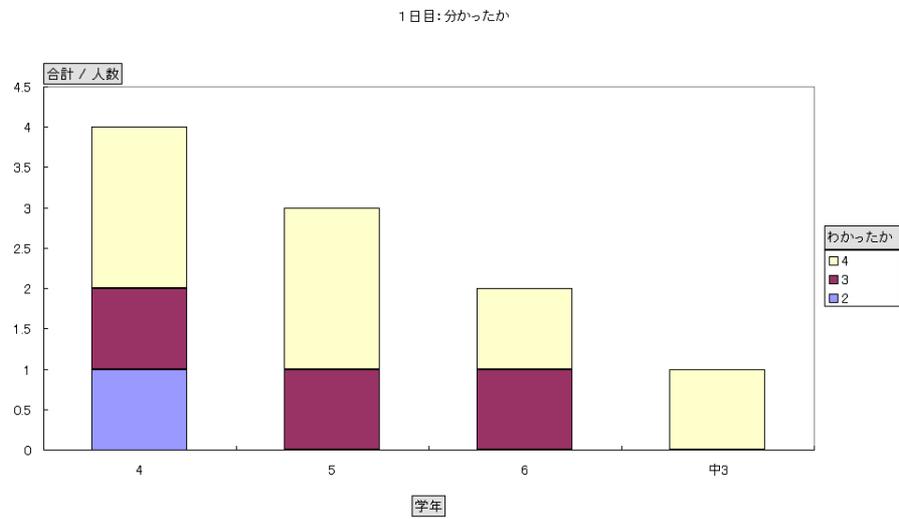


図 5.2: 1 日目 : 分かったか

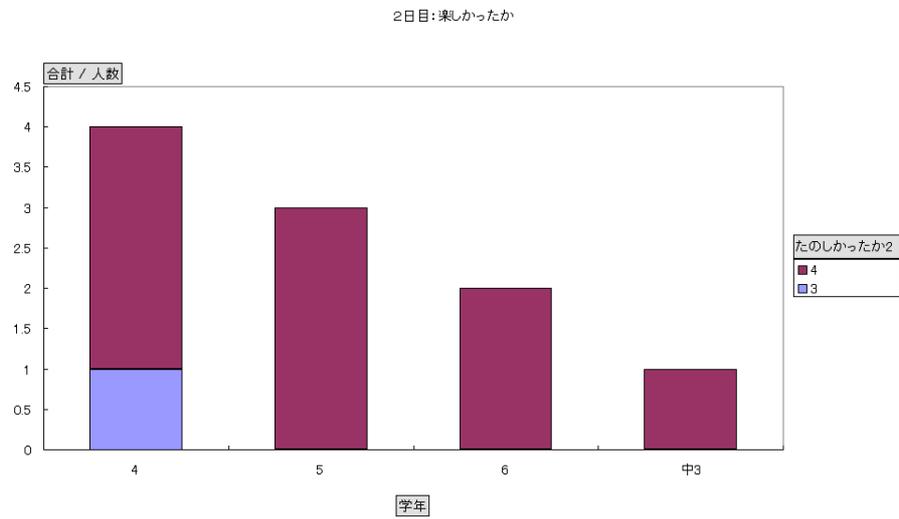


図 5.3: 2 日目 : 楽しかったか

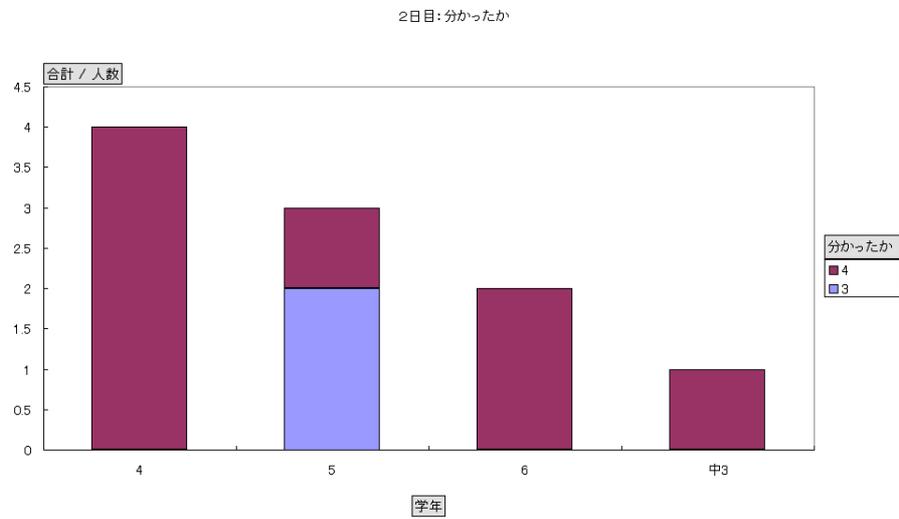


図 5.4: 2 日目 : 分かったか

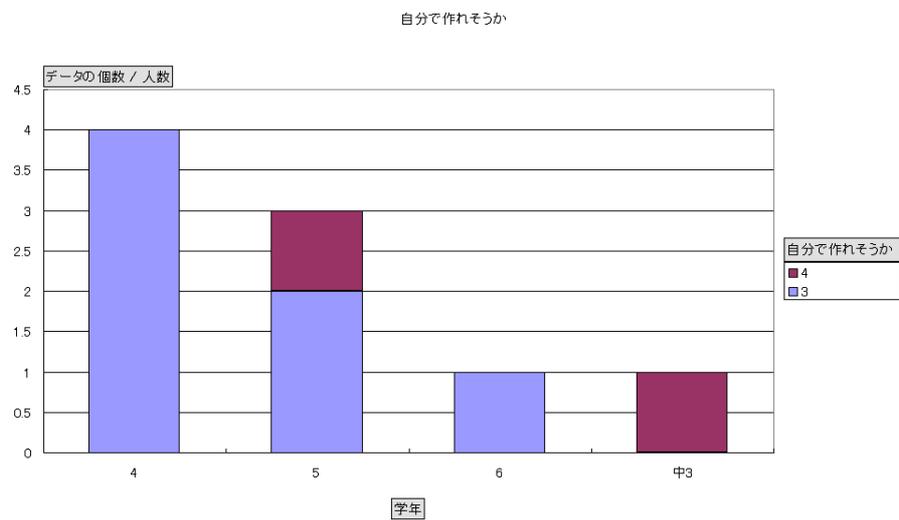


図 5.5: 自分でオルゴールを作れそうか

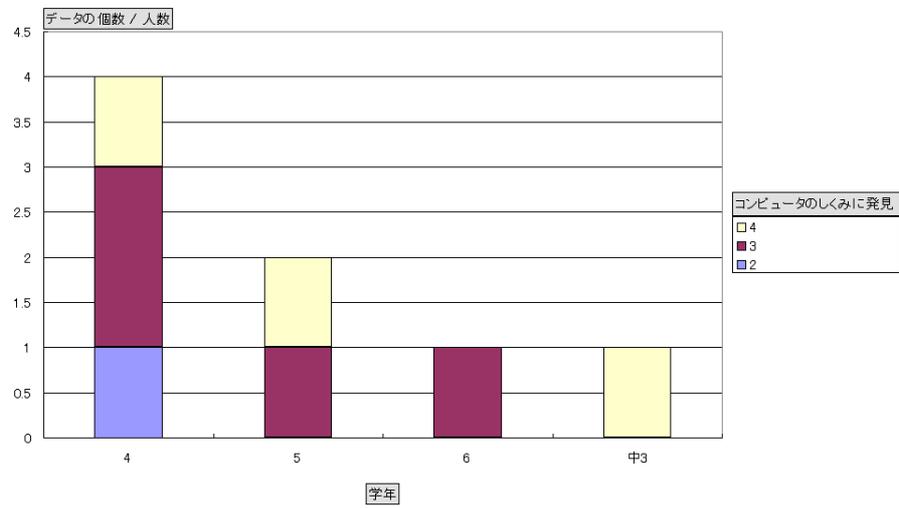


図 5.6: コンピュータに関する新しい発見があったか

5.2.3.2 作品に見られるオルゴールの仕組みの応用

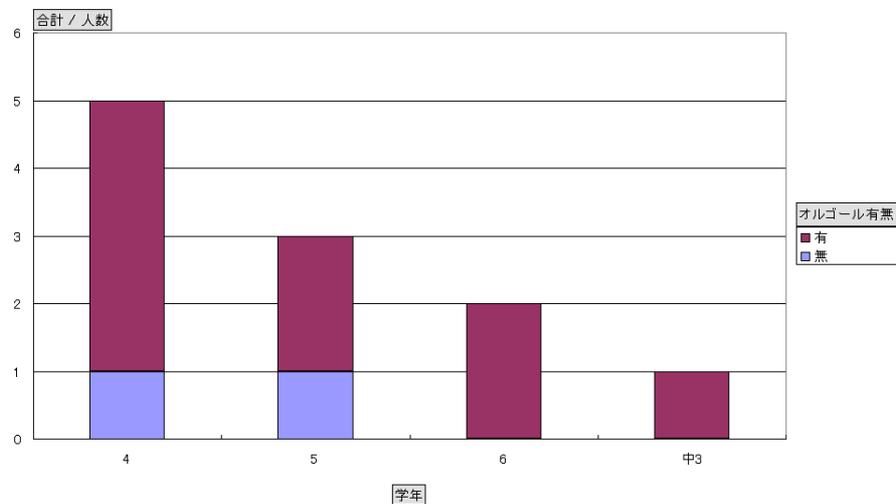


図 5.7: オルゴールの仕組みが作品に使われていたか

オルゴールの仕組みを、2名の児童以外はすべて使用して作品作りを行っていた。2名の児童は、シューティングゲームやレーシングゲーム作りに興味を持ったため、興味を最優先させ、そちらの製作をするように促したため、オルゴールの作成を行わなかった。

からくりオルゴールは半数ほどの児童が仕組みを理解し、作品製作に取り入れていた。からくりオルゴールは、高学年になるほど、簡単に仕組みを理解して取り入れる様子が見られた。

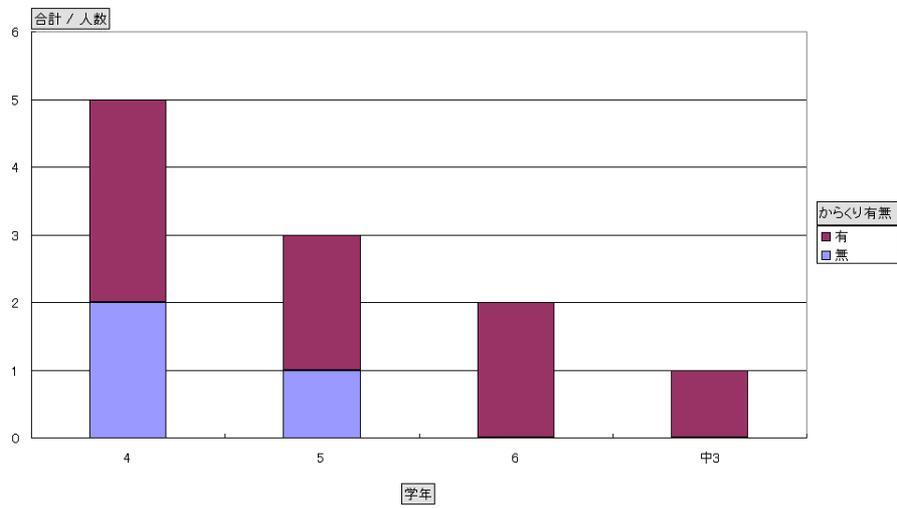


図 5.8: からくりオルゴールの仕組みが作品に使われていたか

5.2.4 第3回の試行

5.2.4.1 アンケート結果

基本情報		1日目		2日目					
学年	スク イー ク使 用経 験	た のし かつ たか	わ かつ たか	た のし かつ たか	わ かつ たか	オル ゴー ル作 りを して みた いか	オル ゴー ルを 作れ そう か	ネッ ト公 開は 嬉し いか	コン ピ ュー タの 仕組 みや 歴史 に発 見は あっ たか
中2	それ 以上	4	4	4	4	4	3	4	4
小6	それ 以上	4	4	4	4	4	3	1	4
小3	それ 以上	4	4	4	4	4	3	3	3

表 5.1: 第3回アンケート結果

第3回の試行は、受講者が3名だったため、アンケート結果を表にまとめた。

第3回の試行は受講者が少数だったため、TA体制が行き届いていたこと、全員がSqueakの熟練者だったことから、受講者が操作に戸惑うことなく、授業と作品製作に集中できたため、非常に満足度が高くなっている。

作品の完成度も、いずれの作品でもオルゴールとからくりオルゴールの仕組みを応用した上で、オルゴールの自動繰り返しの実装や、飾りとしてのアニメーションの作成など、独自の応用が多く見られた。

小6の児童の「ネットに作品が公開されたら嬉しいか」という問いに対して、回答が「1: 嬉しくない」となっている理由は、この自動のパソコンがフリーズを起こし、作品が途中で消えてしまったため、満足の行く作品が残せなかったためである。

5.2.5 まとめ

3回の実験授業を通じて、「パンチカードの歴史」教材に関して、以下のことが分かった。

- シリンダーと曲の関係は、4年生以上の児童であれば全員が理解できる。
- オルゴールのシミュレータは、4年生以上の児童であれば全員が作成できたが、自分ひとりで作れるかどうかは自信がない児童が多い
- 学年があがるほど、オルゴールの仕組みの応用であるからくりオルゴールの仕組みを理解しやすい。4年生では、理解できない、応用できない児童が相当数居ると見られる
- 本教材は、Squeak による実装を伴うため、マウスの操作スキルが必要である
- 本教材は、Squeak の基本操作を習得した児童に対して効果が高い。つまり、Squeak の基本操作を習得するための教材を別に用意し、Squeak の基本操作は前提知識として運用したほうが良い。

このことから、本教材は、オルゴールとコンピュータの類似性に気づかせ、プログラミングの概念を広げる授業としては意味があるが、Squeak の基本操作の習得に最適化されてはいないことが分かった。

実験授業においても、Squeak のマウス操作に困難を感じる児童が見られたため、今後の課題として、Scratch のように、より容易にオルゴールのシミュレータの実装が出来る環境を採用して、本教材のテストを行う必要があると考えられる。

5.3 お絵かきプログラム開発演習の評価

お絵かきプログラム開発演習の，3回の実験授業からの評価を述べる．

本教材は，3回の実験授業を行ったが，3回を通じて教材の変更がほぼないこと，対象者が高校生～大学学部教養課程の，プログラミング初学者～中級者であり，ある程度均一な対象であることから，3回の実験授業を総括した評価を述べる．とくに，第3回の実験授業で行ったアンケートに，定量的な結果が多く残っていることから，第3回実験授業の結果を中心に，評価を行う．

3回の実験授業の結果，本教材には特に，プログラミング初学者の，プログラミングへのイメージをポジティブにする効果があることが分かった．プログラミング初学者は，プログラミングに対してネガティブな「わけのわからないもの」「自分にはできない」といったイメージを抱いている．本教材を用いると，プログラミングに対するイメージが「面白そう」「自分にもできそう」「やりかたを書いた説明書」と言った，ポジティブなものに変わる．

5.3.1 評価の観点

- プログラミングの授業で学べることの全体像を理解すること
- 手順を論理的に記述することへの意識を高めること
- 論理的な思考プロセスを踏むことへの意識を高めること
- プログラミングへの不安感を取り除き，イメージをポジティブにすること

5.3.2 アンケート結果

5.3.2.1 受講者の構成

論理思考とプログラミングの受講生は，プログラミング経験の無い文系学生が中心である．学年は1～4年まで幅広いが，半数以上を1，2年生が占める．男女はおよそ半々の割合で存在する．

以下に，受講生の構成の詳細を図??示す．

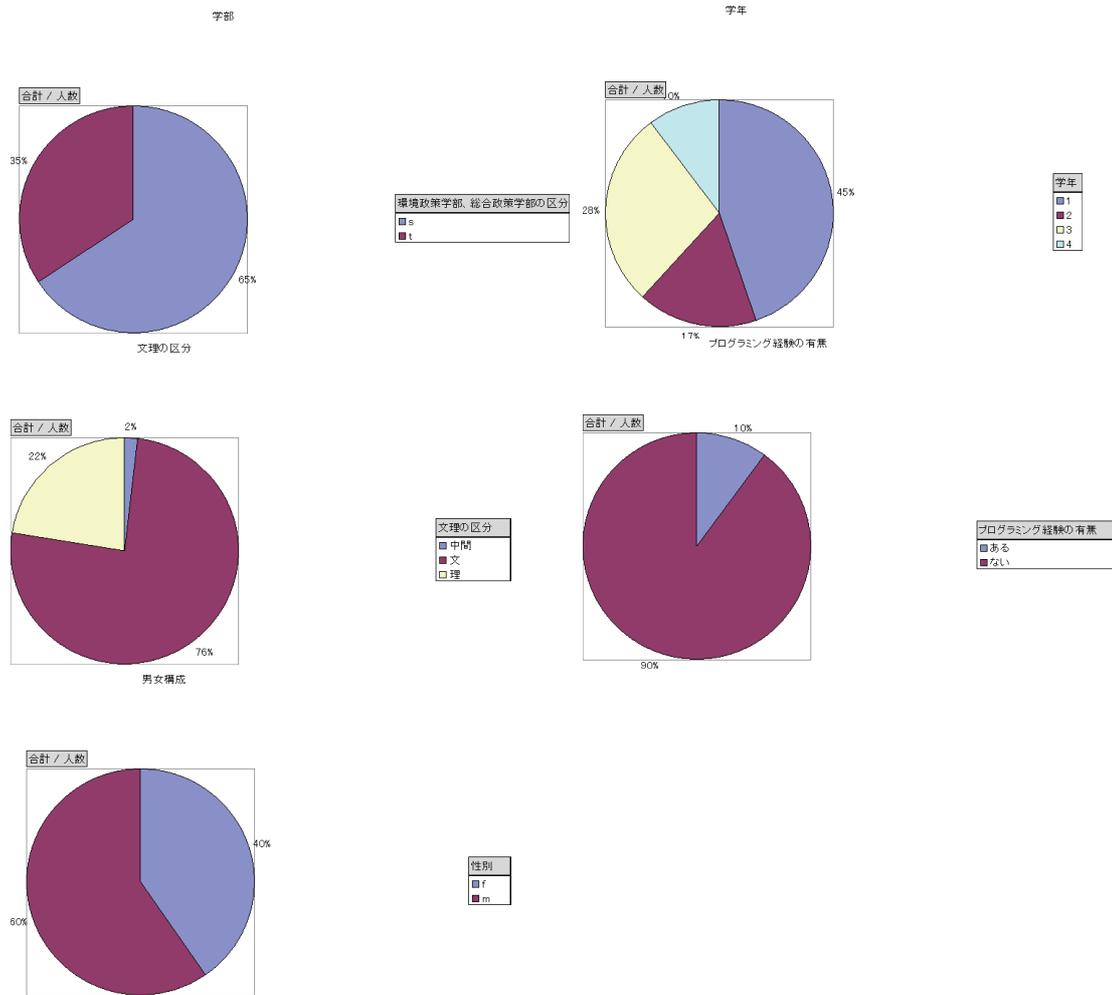


図 5.9: 受講者の構成

5.3.2.2 プログラミングの学習に対する不安感

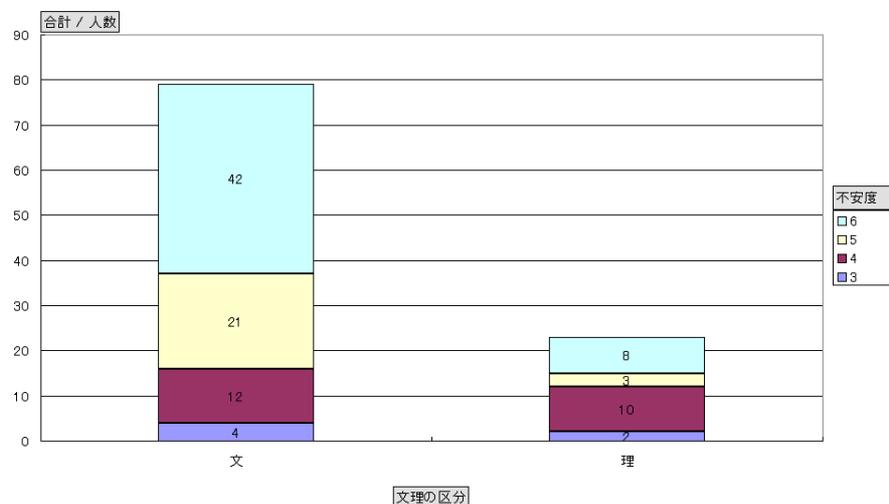


図 5.10: 文理別不安度

図 5.14 から、文系・理系ともに、プログラミングの学習に対する不安感が高いことが分かる。

とくに文系では、半数以上が「6：とても不安である」と答えている。「3：どちらかという自信がある」と答えた者は、全体で6名しかおらず、プログラミングの初学者がプログラミングの学習に強い不安を感じていることが分かる。

5.3.2.3 演習の楽しさ

図 5.15 から、本教材が受講者にとって楽しいものであったことが分かる。

ほとんどの受講者が「4：とても楽しかった」「3：楽しかった」と答えている。

5.3.2.4 不安感を払拭する効果

図 5.16 から、本教材にプログラミングの学習の不安感を払拭する効果があることが分かる。

受講者の半数以上が、「4：とても役立った」「3：役立った」と答えている。

「1：まったく役立たなかった」と答えている5名は、いずれもプログラミングに非常にネガティブなイメージを持っている学生であったが、プログラミングのイメージを問う質問では、プログラミングのイメージに明らかな改善が見られた学生が1名居た。

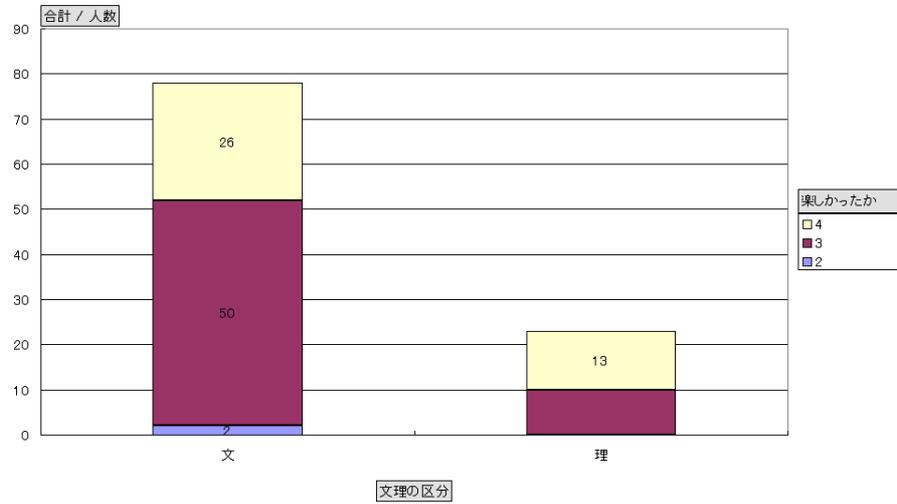


図 5.11: 文理別楽しさ

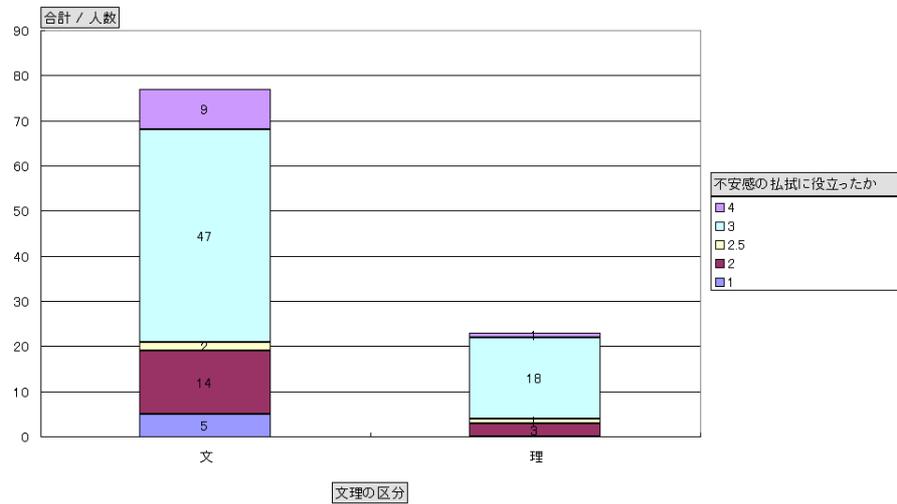


図 5.12: 文理別不安感を払拭する効果

5.3.2.5 プログラミングのイメージの変化

分類	前	後	増減	ネガティブ/ポジティブ
難しい・難解, 大変	96	43	-53	N
複雑・細かい, ややこしい,	47	20	-27	N
ネガティブイメージ・おたく,	52	10	-42	N
めがね, 理系だけ・暗記・作業 できなさそう	5	5	0	N
コンピュータ操作・英語, 数字,	42	11	-31	N
記号				
楽しい・面白い・面白そう・楽 しそう	7	40	33	P
できそう	0	13	13	P
正しい理解	11	58	47	P
できたらいいと思う	9	9	0	P
専門的・得意な人・かっこいい・ 使えそう	20	6	-14	-
中間イメージ	17	39	22	-

表 5.2: プログラミングのイメージの変化

5.2 から, 本教材に, プログラミングのイメージをポジティブにする効果があることが分かる。

このデータは, 本教材実施前後の「プログラミングのイメージを3つ箇条書きにしてください」という自由記述の問いに対する回答を11種類に分け, そのうち5種類をネガティブ, 4種類をポジティブ, 2種類を中間(判断不可能)として集計した。

本教材実施前は, ネガティブな言葉が多数出現している。しかし, 本教材実施後は, ネガティブな言葉が大幅に減少し, ポジティブな言葉「私にもできそう」「楽しそう」が出てきている。

また「プログラミングが大事」「伝わるように書くことが大事」など, プログラミングを学ぶ上で身に着けてほしい, 広義のプログラミングに対する正しい理解を得たことを示す語や文が大幅に増加している。

アンケートの生データおよび自由記述の分類表は, 付録に示した。

5.3.3 学生の感想・様子の観察からの本教材の効果の考察

演習の体験が, その後のプログラミング授業に与える効果を, (1) 論理的なコミュニケーションの難しさが分かる, (2) ソフトウェア開発プロセスの概要が分かる, の2

点に着目して考察する。

5.3.3.1 論理的なコミュニケーションの難しさが分かる

コメントの必要性がわかる

コメントは、ソースコードの可読性を高めるために必要である。しかし、学生はコメントの必要性が理解できず、何をコメントとして書けばよいのかが分からない。

演習では、「メロンがはかりに」の例のように、細かい手順を書くことに集中してしまい、目的を書かない学生が多い。演習を通じて、目的を書くと、何をやるプログラムなのかが人に伝わるといことが分かり、目的を書く必要性がわかる。

「メロンがはかりに」の事例を紹介し、コメントの必要性と、コメントにはどのようなことを書いたらいいかを教えると、学生はコメントの必要性を理解することができる。

受講者の反応の例として、ソフトウェア開発経験のある学生が、演習にプログラマーとして参加して失敗した経験から、「目的を書いていいんだ！」という感想を述べた。この学生は、演習において、プログラムには目的を書いてはいけない、と誤解しており、手順だけを詳細に記述していた。しかし、他のプロジェクトの例から、目的を書いたプログラムは読みやすく、意図が伝わりやすい、ということを知り、実際のソフトウェア開発でも、コメントに目的を書くことで、読みやすいソースコードにすることができるということを見出すことができた。

手順を正確に説明することの難しさが分かる

演習に参加する学生の多くは、仕事の手順を正確に記述するという経験がない。

演習を通じて、手順を正確に記述することは難しいということ、手順を正確に記述するためには、自分がその手順を理解していなければならないことが分かる。同時に、正確でない手順は、間違っ実行される、ということが分かる。

実際の例として、プログラムのテストを担当した学生が、「手順が正確に書かれていないと、実行できない！」と発言した。こうした発言は「プログラムは正確でないと動かない」ことを、コンピュータの立場に立って理解するきっかけになると考える。

授業で演習の失敗例を取り上げることで、プログラムは正確でなければ意図どおりに動かないということ、プログラムを書くためには、自分自身がプログラムでやりたいことの手順を理解していなければならないことを伝えることができる。

要求を表現することの難しさが分かる

学生は、要求を伝えるように表現する機会はほとんどない。プログラミング入門授業で、要求の書き方が分からず、学生が「要求って、どう書けばいいんですか？」という質問を發した。スタッフは書き方を詳しく指示せず、「読む人に伝えるように書くように」とだけ指示した。この学生にとって、自分の要求をどのように書いたら伝えるのかを考えることは初めてであった。このような学生に対して、要求分析と、要求の記述が重要である、と説いても理解は難しい。

この演習を通じて「美しい日本」プロジェクトのように、要求があいまいなプロジェクトはうまくいかない、ということを経験的に理解することができる。この事例を紹介して、冒頭にある「ブランコの漫画」や実際のソフトウェア開発の問題を論じると、学生は発注者の要求がソフトウェア開発におよぼす影響について理解しやすい。

5.3.4 ソフトウェア開発プロセスの概要が分かる

学生は「設計」「実装」「テスト」というプロセスや用語になじみがない。このようなプロセスは個人でのプログラミングにも活かせるが、プログラミングの入門教育で、設計やテストについて知る機会はあまりなく、そもそも用語すら知らない場合が多い。

要求・設計・実装・テストとは何かの概要を学生が理解した例をいくつか述べる。お絵かきプロジェクトの評価フェーズで、プログラマーから「設計が複雑すぎると、時間内に描けない」という意見が出た。設計する際に、要求だけでなく、実装（実現可能性）も考慮しなければならないことへの気づきが伺える。他にも「要求を満たしていないので、プロジェクトは失敗だと思う」「設計が良かった。ここが成功の原因だ」など、ソフトウェア開発プロセスの概要を掴み、議論に使用する姿が見られる。

この演習を通じて、学生は要求・設計・実装・テスト・評価とは何かの概要をつかめる。同時に、コーディングはソフトウェア開発のプロセスの一部に過ぎないという理解が得られる。演習の例を用いることで、学生がソフトウェアを作成する際に、自分が現在行っている作業がソフトウェア開発のプロセスのどの部分に位置付けられるのかを意識させることや、次に学ぶべきことへの興味を引き出すことが可能である。

しかし、この演習で用いている用語は、あくまで「お絵かきプログラム演習における要求・設計・実装・テスト・評価」であるので、その後の授業で、実際のソフトウェア開発プロセスで行われることはどういったものかについてや、このプロセスは個人でのプログラミングにどのように活用できるのか、といった解説が必要である。

5.3.5 まとめ

以上から、本教材に、学習者のプログラミングのイメージをポジティブにし、学習への不安感を払拭する効果、学習者同士のコミュニケーションを促進する効果、手順を論理的に記述することへの意識を高める効果、論理的なコミュニケーションの難しさを体験する効果、ソフトウェア開発プロセスの概要を理解する効果があることが分かった。

教材パッケージとしては、本教材は約 80 分で実施可能であり、教材パッケージが用意され、情報科目を指導する教員ならば実施可能である。

第6章 今後の課題と発展とまとめ

本章では，リサーチクエスチョンへの回答を示し，今後の課題と発展について述べる．

6.1 まとめ

1章で述べたリサーチクエスチョンは次のとおりであった．

RQ1: 提案する教材で，プログラミングとは手順を論理的に記述することであることを理解させることができるか・

RQ2: 提案する教材で，プログラミングの学習への意欲を高めることができるか・

RQ3: 提案する教材は，情報科教員程度の能力があれば，実施可能であるか・

RQ4: 提案する教材はプログラミング授業の導入として実施可能か・

このそれぞれについて，項を立てて論じる．

6.1.1 プログラミングとは手順を論理的に記述することであることを理解させることができるか

手順を論理的に記述すること理解させること，は次のことがらを含む．

- プログラムが変わると動作が変わるということを理解させること
- プログラムは正しく書かなければ正しく動かないということを理解させること

初等中等教育課程向け教材においては，シリンダーを変更すると曲が変わるということ全員が体験し，オルゴールのプログラムを書き換えると，同じシリンダーでも違う動作を実現できるということを約半数が体験できたことから，プログラムが変わると動作が変わる，ということは理解できたと考えている．

高等教育課程向け教材においては，プログラムを実行する立場に立って，プログラムは正しく書かなければ正しく動かないということを理解した感想が議論やレポートに多く見られること，ほぼすべてのグループが，手順を論理的に書かなかつたために失敗したプロジェクトを経験しており，その失敗の原因をプログラムの記述の不十分

さとしていることから，手順を論理的に記述することの難しさ，その必要性を理解したと考えられる．

このため，提案した2種の教材はいずれも，プログラミングとは手順を論理的に記述することであると体験的に理解させることができたと考えられる．

6.1.2 プログラミングの学習への意欲を高めることができるか

プログラミングの学習への意欲を高めることには，次の要素を含む．

- プログラミングへの不安を取り除くこと
- プログラミングのイメージをポジティブにすること
- プログラミングの学習に，論理的思考能力を伸ばす効果があることを示すこと

初等中等教育課程向け教材においては，プログラミングが楽しい体験と認識されたこと，コンピュータの仕組みや歴史について新しい発見があったというアンケート結果から，この教材がプログラミングのイメージをポジティブにし，興味を喚起するきっかけになった．

高等教育課程向け教材においては，学生のアンケート結果でほとんどすべての学生が「楽しい」と答えていること，プログラミングのイメージを示す自由記述に，ネガティブな言葉の現象とポジティブな言葉の増加が明らかに見られる．

このため，提案した2種の教材はいずれも，プログラミングの学習への意欲を高める効果があると考えている．

6.1.3 情報科教員程度の能力があれば，実施可能であるか

初等中等教育課程向け教材においては，筆者のみが講師となったため，この問いに答えることはできなかった．

しかし，実験の過程において，情報科免許取得中の学部生に，1時間ほどで教材の概要の説明を行い，30分ほど，Squeakの基本操作を解説し，Squeakによるサンプル作成を指示したところ，1時間ほどでからくりオルゴールのサンプルを作成することができた．

このことから，情報科目を担当できる教員であれば，本教材は実施可能だと思われる．

高等教育課程向け教材においては，実際に7名の講師が本教材を実施し，パワーポイントの時間送りに関する問題以外は，特に問題は出なかった．本教材は情報科教員程度の能力があれば，実施可能である．

これらの理由から，提案した2種の教材のうち，高等教育課程向け教材は，情報科教員程度の能力があれば，実施可能である．初等中等教育課程向け教材に関しては，情報科教員程度の能力があれば十分実施可能だと思われるが，筆者以外を授業者として，テストを行う必要性がある．

6.1.4 プログラミング授業の導入として実施可能か

初等中等教育課程向け教材においては，この授業をプログラミング授業の導入として実施するのは難しい．理由として，小学生のPC操作スキルにばらつきがあるため，Squeakの実装作業を含むこの教材は，前提として操作教育を行わなければならない，初めの導入として行うにはハードルが高いためである．

ただし，本教材は，Squeakに慣れている受講生が，「プログラミング」を意識する第一歩としては利用可能である．本教材は6年生であればスムーズに理解・応用ができていることから，4，5年生でSqueakの基本操作を習得し，6年生で「プログラミング」教育を行うための導入として利用するという利用方法が適切である．

高等教育課程向け教材は，プログラミング授業の導入として利用した結果，プログラミングのイメージをポジティブにする効果があったこと，その後のプログラミングの授業で初回授業の経験が役立ったというレポートが見られることから，プログラミング授業の導入として実施可能である．

これらの理由から，提案した2種の教材のうち，高等教育課程向け教材は，プログラミング授業の導入として実施可能である．初等中等教育課程向け教材は，PC操作を含むこと，時間数が多くかかることなどから，はじめの導入としては実施できない，ということが分かった．

6.2 今後の課題と発展

今回，高等教育課程向け教材は多くの実践を重ね，データを取ることができた．しかし，初等中等教育課程向け教材は対象者も少なく，十分なデータを取れたとは言えない．

今後，初等中等教育課程向け教材を，実装環境を変更し，教材パッケージの整備を行い，情報科教員程度の能力があれば実施可能な形式に整え，筆者以外の授業者による実践例のデータを取りたい．

実践を重ねることで，本教材を適用すべき年齢，その後の授業方法，前提として必要なスキル，知識などが明らかになるはずである．

謝辞

本研究を行い、修士論文としてまとめるにあたり、多くの方にお世話になりました。ここに感謝の意を述べさせていただきます。

まず、指導教官であり、主査である有澤誠先生には、毎週のミーティングで論文作成の基礎から丁寧に教えていただきました。一ヶ月前に締め切りを設けていただき、修士論文執筆を余裕を持って行うことができました。ありがとうございます。

副査であり、学部時代からお世話になっている大岩元先生には、修士論文をはじめ、論文執筆、発表に対して多くのレビューを頂き、たいへんお世話になりました。大岩先生のご指導により、私自身の情報教育に対する視野を広げることができました。ありがとうございます。

静岡県立大学の松澤芳昭さんには、プログラミングと情報教育を基礎の基礎から根気よく指導していただきました。松澤さんの発案による本研究を、修士論文のテーマにさせていただき、本当に感謝しております。ありがとうございます。

みんなでたのしくスクイークプロジェクトの宮坂俊夫さんには、小学生向けカリキュラムの実践の場を与えていただきました。スクイークを使った小学生向け授業のTAの経験もさせていただき、本当に感謝しております。ありがとうございます。

東芝科学館の細野安明さんには、ワークショップの開催にご協力いただき、ワークショップの開催方法などのご指導をいただきました。本当にありがとうございます。

大岩研究室の先輩である杉浦学さん、岡田健さん、秋山優さんには、論文の相談に乗っていただき、担当授業でのアンケートの実施を快く引き受けていただきました。ありがとうございました。

有澤研究室の先輩である大橋裕太郎さんには、子どもの教育、ワークショップの評価といった観点で、多くの助言をいただきました。ありがとうございます。

そのほかにも、大岩研究室の先輩である森岡亮一さんには、論文の最終チェックをしていただきました。同期である橋山牧人さんには、進捗管理などを助けていただきました。文教大学の小塚早希子さんには、小学生向けカリキュラムの教材のデバッグ、見本作成、データ入力などをしていただきました。ありがとうございます。

最後に、論文執筆を暖かく見守りつづけてくれた母 荒木葉子 に感謝いたします。

荒木 恵

参考文献

- [1] 情報処理学会情報処理教育委員会. 日本の情報教育・情報処理教育に関する提言 2005. <http://www.ipsj.or.jp/12kyoiku/teigen/v81teigen-rev1a.html>, 2006.
- [2] UNESCO. Ict curriculum for school / program for teacher development. .<http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001295/129538e.pdf>, 2002.
- [3] 久野靖. 情報教育におけるプログラミング利用の可能性. 情報処理, Vol. 6, pp. 594–597, 2007.6.
- [4] 軽野宏樹, 木實新一, 上林弥彦. Alan-k プロジェクト : Squeak を活用した創造的な情報教育の試み. 情報処理学会研究報告. コンピュータと教育研究会報告, Vol. 2003, No. 49, pp. 1–8, 20030516.
- [5] スクイーランド.
- [6] 澤本和憲, 菊池佑太, 山崎謙介, 伊藤一郎, 横山正. 初等教育における創造的情報教育の授業デザイン : Squeak etoys による授業実践. 情報処理学会研究報告. コンピュータと教育研究会報告, Vol. 2006, No. 16, pp. 77–83, 20060217.
- [7] 兼宗進, 御手洗理英, 中谷多哉子, 福井眞吾, 久野靖. 学校教育用オブジェクト指向言語「ドリトル」の設計と実装. 情報処理学会論文誌. プログラミング, Vol. 42, No. 11, pp. 78–90, 20011115.
- [8] 辰己丈夫. 6. 教育用プログラミング言語を利用した教科教育と情報教育 (特集: 教育用プログラミング言語と授業利用). 情報処理, Vol. 48, No. 6, pp. 612–615, 20070615.

- [9] Tim Bell, Ian H. Witten, Mike Fellows. Computer scienced unplugged. .<http://csunplugged.org/>.
- [10] 荒木恵, 松澤芳昭, 杉浦学, 大岩元. プログラミング授業の導入としての「お絵かきプログラム開発演習」. 日本教育工学会研究報告集, Vol. 8, No. 3, pp. 111–118, 2008/7/5.
- [11] 荒木恵, 松澤芳昭, 杉浦学, 大岩元. プログラミング授業の導入としての「お絵かきプログラム開発演習」. 日本教育工学会研究報告集, Vol. 8, No. 3, pp. 111–118, 2008/7/5.
- [12] 岡田健, 杉浦学, 松澤芳昭, 大岩元. 教育用プログラミング言語としての「言霊」と「ことだま on squeak」の試み. コンピュータを利用した創造・連携・強調に関する国際会議 (C5), pp. 36–39, 2006.
- [13] 経済産業省. It クラフトマンシップ・プロジェクト. .<http://www.jipdec.jp/chosa/it-craft/>.
- [14] 荒木恵, 岡田健, 大岩元. 小学校におけるオルゴールと「ことだま on squeak」を用いたプログラミング教育の試み. 情報処理学会研究報告. コンピュータと教育研究会報告, Vol. 2007, No. 12, pp. 69–75, 20070216.
- [15] 松澤芳昭, 杉浦学, 大岩元. ことだま on Squeak で学ぶ論理思考とプログラミング. イーテキスト研究所, 2008.
- [16] 岡田健, 杉浦学, 松澤芳昭, 大岩元. 教育用プログラミング言語としての「言霊」と「ことだま on squeak」の試み. 教育用プログラミング言語に関するワークショップ 2006, 2006.
- [17] 紅林秀治, 兼宗進, 佐藤和浩, 青木浩幸, 西ヶ谷浩史, 井戸坂幸男, 鎌田敏之, 原久太郎, 久野靖. It クラフトマンシッププロジェクト 小中学生によるドリトルプログラミング. 情報処理学会研究報告. コンピュータと教育研究会報告, Vol. 2006, No. 16, pp. 165–172, 2006-02-18.

- [18] 紅林秀治, 兼宗進. 制御プログラミング学習の効果について : 小学校の実践から. 情報処理学会研究報告. コンピュータと教育研究会報告, Vol. 2006, No. 130, pp. 1-8, 20061209.
- [19] 辰己丈夫, 兼宗進, 久野靖. ドリトルと「情報教育の音楽化」. 情報処理学会研究報告. コンピュータと教育研究会報告, Vol. 2005, No. 123, pp. 77-84, 20051210.
- [20] 吉正健太郎, 上野山智, 高田秀志, 酒井徹朗. 数学的・科学的概念の習得を目指した gui プログラミング環境 squeak toys による教育実践. 日本教育工学会大会講演論文集, Vol. 20, pp. 737-738, 20040923.
- [21] ALAN-K プロジェクト. すくすくスクイーク. [.http://squeakland.jp/sqsqsqueak/](http://squeakland.jp/sqsqsqueak/).
- [22] みんなでたのしくスクイークプロジェクト. みんなでたのしくスクイーク. [.http://mts-j.hiho.jp/](http://mts-j.hiho.jp/).
- [23] MIT. Scratch. [.http://scratch.mit.edu/](http://scratch.mit.edu/).
- [24] University of London Computer Center. University of london computer center newsletter. *University of London Computer Center Newsletter*, No. 53, March 1973.
- [25] 有澤誠. ソフトウェア工学. 岩波書店, 1988.
- [26] 荒木恵, 松澤芳昭, 杉浦学, 大岩元. プログラミング授業の導入としての「お絵かきプログラム開発演習」. 日本教育工学会研究報告集, Vol. 8, No. 3, pp. 111-118, 2008/7/5.
- [27] 岡田健, 杉浦学, 松澤芳昭, 大岩元. 日本語プログラミングを用いた論理思考とプログラミングの教育. 情報処理学会研究報告. コンピュータと教育研究会報告, Vol. 2007, No. 123, pp. 123-128, 20071207.