

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

荒木 恵† 岡田 健†† 大岩 元†††
(慶應義塾大学総合政策学部† 慶應義塾大学政策・メディア研究科††
慶應義塾大学環境情報学部†††)

概要

我々は小学校におけるプログラミング教育では、1)現実世界にある仕組みに触れ、その仕組みをコンピュータでシミュレートすること、2)児童が意欲的に取り組む例題を学習の初期段階で用いること、3)基本的なプログラミングの概念を学ぶこと、以上の3点が必要であると考え、「オルゴールを Squeak 上でシミュレートする」という授業を行った。結果、ほぼすべての児童が第3回の授業までにオルゴールをシミュレートできた。また、オルゴールという題材には女子が意欲的に取り組み、男子はあまり興味を示さないことがわかった。

授業は初心者向け日本語プログラミング環境「ことだま on Squeak」を用いて、藤沢市の小学校において、6年生36名（うち女子18名、男子18名）に対して全5回（週2コマ、うち1回は1コマ）行われた。本稿では授業結果を報告し、考察する。

The programming education in elementary school using music box as a theme with using programming system “Kotodama on Squeak”

Abstract

We think that 1) “to touch mechanisms of the real world and simulate it by computer”, 2) “to give interesting exercises to motivate students in early learning process” and 3) “to learn the basis of programming” are the important points for programming education in elementary school, therefore we held a class to “simulate music box on programming system “Kotodama on Squeak””. As a result, most students succeed to simulate music box before the third class. Moreover, we could find that girls were enthusiastic for the theme “music box”, on the other hand boys weren’t interested in the theme. In this report, we report and give a consideration to the result.

1. はじめに

社会の情報科の流れを受けて、情報教育への需要が高まっている。現在、高校、大学では情報教育が既に行われており、小中学校においても情報教育の需要が高まっている。

現在、小学校の情報教育では調べ学習や、絵を描くなどの表現活動にコンピュータを利用してはいる。しかし、多くの小学校ではコンピュータを用いたシミュレーション、及びプログラミングの授業は行われていない。したがって、これらを教える授業を行うことには意味があると考えた。

我々は、小学校におけるプログラミング教育では、1)現実世界にある仕組みに触れ、その

仕組みをコンピュータでシミュレートすること、2)コンピュータを楽しんで使うこと、3)基本的なプログラミングの概念を学ぶことが重要であると考えた。

また、Squeak の初心者向けの題材として「Drive a car」という題材があるが、この題材は男子の興味を引くが、女子の興味をあまりひかないと考えた。コンピュータを楽しんで使うためには、男女ともに楽しめる題材が必要である。

そこで我々は、「オルゴールを Squeak 上でシミュレートする」という授業を藤沢市の小学校で行った。その際プログラミング環境として、Squeak の日本語版であり自然な日本語によるスクリプト作成が特徴の「ことだま on

Squeak」を用いた。

オルゴールと Squeak を題材とした授業として、すすくスクイーク[1]における吉正[2]や白井による活動がある。

本稿では、授業運営スタッフとして参加した学生の立場から、授業の結果を報告し、授業結果について考察する。

2. 授業計画

2.1. テーマの選定

今回の授業では「オルゴールを Squeak 上でシミュレートする」という題材を採用した。この題材を採用した理由を以下に述べる。

2.1.1. シミュレーションが容易である仕組み

今回の授業では単に教師の提示するプログラムを模倣してプログラミングを行うのではなく、現実世界にあるオルゴールの仕組みを児童が自分なりに理解したうえで、プログラムを書き、シミュレーションを行うことを目的とした。

我々は、シミュレーションをするためには 1) 仕組みを理解することと仕組みをコンピュータ上に表現することが必要であると考えた。

なぜならば、仕組みを理解するのみでは、コンピュータ上に仕組みを記述することができず、シミュレーションができない。そして仕組みをコンピュータ上に表現するだけでは、講師が解説し、それを真似るだけのプログラミングとなり、操作教育になってしまう。

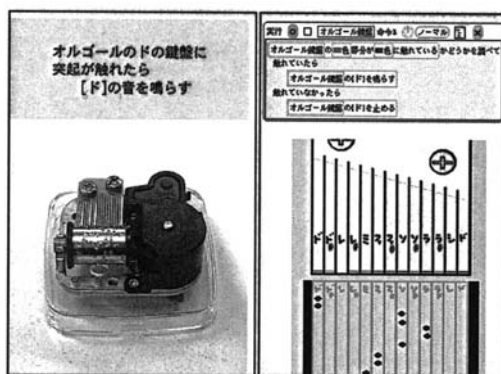


図 1: 実際のオルゴールと Squeak 上のオルゴール

したがって、授業に用いる題材は小学生にも仕組みが理解しやすく、また、Squeak 上でその仕組みを表現しやすいものである必要がある。

「鍵盤が突起に弾かれて音が鳴る」という単純な仕組みを持つオルゴールは、Squeak 上でも色による分岐と音を鳴らす命令によって簡単に表現可能であり、題材として適当だと考えた。

2.1.2. 男女ともに楽しめる題材

Squeak には「Drive a car」という有名な初心者向けの題材がある。この題材は物理法則をシミュレートする発展課題を備えているが、初心者には Squeak の基本操作や色による分岐のスク립トを学ぶために使われることが多い。

しかし、大岩研究室で Squeak のテキスト編集に関わった女子学部生らから、「車」という題材、そして車を競争させるといった発展課題は男子向けであり、女子の興味を引かないという意見があった。

したがって、「車を走らせる」以外の、女子も楽しめる、同程度の内容を扱った初心者向けの題材およびその授業案が必要である。

Squeak の基本操作と色による分岐を扱うことができ、かつ、女子が意欲的に取り組む題材として我々はオルゴールが適当であると考えた。

2.1.3. 順次実行と条件分岐

小学生は「プログラム」あるいは「プログラミング」という言葉は知っているが、それが具体的にどのようなものかは知らない。

今回の授業では、プログラムの基本概念として、順次実行と条件分岐を教えることを目的とした。

オルゴールのシリンダー（楽譜）部分は、直線的に動き、鍵盤に突起が触れた瞬間に音が鳴る。この様子は、用意された命令（シリンダーの突起）が順番に実行される（音が鳴る）様子が視覚的に見えるため、順次実行を説明するのに適している。

また、オルゴールの鍵盤には音階があり、ドの鍵盤に突起が触れることによってドの音が鳴り、レの鍵盤に突起が触れることによってレの音が鳴る。これは、条件分岐を教えるのに適している。

よって、プログラミングの基本概念を教える題材として、オルゴールは適していると考えた。

2.1.4. プログラムと翻訳系

オルゴールにおけるシリンダーが鍵盤に触れて音が鳴る仕組みは、プログラムが翻訳系

によって読み込まれて実行されるという仕組みに近い。オルゴールと、昔のパンチカード式コンピュータは見た目も仕組みも類似している。

そしてオルゴールを Squeak 上でシミュレートする際には、オルゴールのシリンダーと、鍵盤内部の音を鳴らす命令の両方を書く必要がある。したがって読み込まれるシリンダーには点を打って命令を書き、シリンダーを読み込む鍵盤にはシリンダーを解釈して音を鳴らすスクリプトを書く。

オルゴールという例を用いてプログラムと翻訳系の概念を説明することによって、コンピュータの仕組みについて興味を持たせることができるのではないかと考えた。

2.2. 実施環境

この授業は、藤沢市の小学校の6年生に対して、小学校のコンピュータルームにおいて全5回の授業として行われた。

児童は Squeak に触れたことがないが、コンピュータ利用経験者であり、マウス操作はできる。キーボードの使用経験は、ほぼすべての児童がない。

全5回の授業は週1回、火曜日に行われ、1回は2コマ（1コマは45分）（第3回のみ1コマ）であった。

授業者は大学の講師である。TAは9名で、Squeakでの作品制作経験がある大学生である。

また、担任の先生が授業に立会い、アドバイスを行ってくださった。

2.3. 学習環境構築

2.3.1. プログラミング環境「ことだま on Squeak」

ことだま on Squeak[3]は、初心者向けプログラミング環境 Squeak e-Toy の日本語版であり、プログラムを自然な日本語として読めることが特徴である。Squeak e-Toy ののは多くの機能をそなえており、本格的なプログラミングを行うことも可能である。

私たちは、多くの機能をもつプログラミング環境は、コンピュータでのプログラミングにはじめて触れる小学生を混乱させると考えた。

よって、

- ・小学生に分からない言葉を表示しない
- ・使わない部品を表示しない

- ・使わないボタンを表示しない
- という方針に基づき、小学生向けに「ことだま on Squeak」環境を用意した。

2.3.2. 教材の用意

各回の授業に、Squeak 上の教材、仕組みの理解を助けるための模型教材及びプリントを用意した。

電子ピアノとゆび

Squeak 上に電子ピアノと指の画像を用意し、Squeak の基本操作（拡大・縮小・回転・ペイントツール）と、色による条件分岐のスク립ト作成を教えるために使用した。

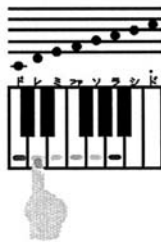


図 2 : Squeak 画面上の電子ピアノと指

オルゴール

オルゴールの仕組みを観察するために、3～4人の班にひとつ小型オルゴールを用意した。

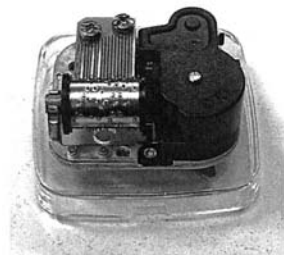


図 3 : 配布したオルゴール

オルゴールの拡大模型

班にひとつオルゴールの拡大模型を配布した。拡大模型のシリンダーには点が打たれている。曲当てゲームに使用した。

その後 Squeak 上の平面シリンダーを理解させるため、このシリンダーを切り開いて平面化するという実習を行った。

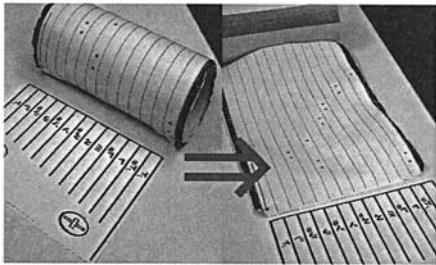


図 4：オルゴールの拡大模型

曲書き入れプリント

シリンダー、音階を書く部分、曲名を書く部分、氏名を書く部分のあるプリントである。曲当ての実習の際には、シリンダーに書いてある点を読み取り、曲を書き入れるために使用し、宿題では、自分の好きな曲を音階で記述し、シリンダーに書いてくるために使用した。

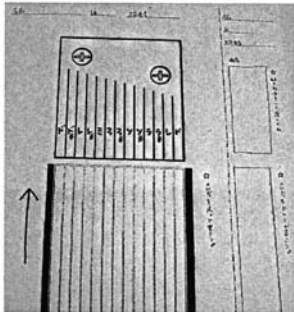


図 5：曲書き入れプリント

各種オルゴール

オルゴールのアレンジのヒントとして、からくりオルゴール、シート式オルガニート等の珍しいオルゴールを提示した。

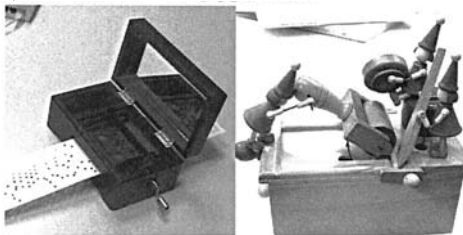


図 6：授業で提示した各種オルゴール

オルゴールの仕組みを用いたアニメーション制作ツール

a) 虫退治

虫、砲弾の動きを制御するシリンダーが2つ用意され、シリンダーを編集することによって虫退治のアニメーションが作成できる。絵の変更も可能である。

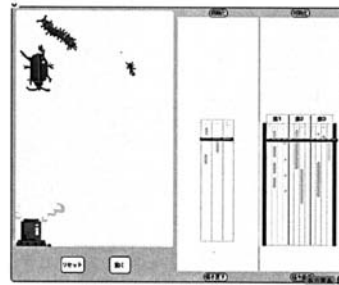


図 7: 虫退治アニメーション制作ツール

b) クリスマスカード

オルゴール用シリンダーとアニメーションカードシリンダーが用意され、メロディーが鳴り、飾りが動き、電飾が光るカードを作成することができる。

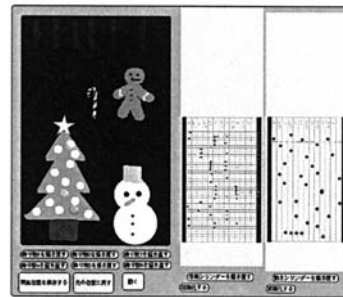


図 8: アニメーションカード制作ツール

3. 実施内容

今回の授業は、小学校では初めての試みであったため、小学生の理解の早さなどが分からなかった。このことから、私たちは1回授業を行うごとに、予定と学習環境にも修正を加えるという形をとった。結果、実際に実施された授業内容は以下の表1：授業内容の通りである。

4. 観察と考察

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。

表 1：授業内容

授業回	授業日	授業テーマ	授業内容	使用教材
第一回	10月24日	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。	鍵盤と指の画像、講義用の鍵盤と指の模型
第二回	10月31日	オルゴールの仕組みを調べよう 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。	中身の見える小型オルゴール オルゴールの拡大模型 オルゴールの仕組み記入用プリント 宿題記入用プリント 曲当てプリント
第三回	11月14日	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、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。宿題を忘れてきた生徒が多かったため、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。	色の触れ方と音の長さの関係を説明する講義用教材
第四回	11月21日	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。第三回授業で種の鳴るオルゴールを作れなかった生徒は、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、TA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、生徒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。	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
第五回	11月28日	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、鍵盤とシリンド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、シリンド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。	虫退治アニメーション制作ツール アニメーションカード制作ツール

以下に観察と考察を述べる。

4.1.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。

4.1.1.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、紙のシリンド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ド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、紙のシリンド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。

教材設計の正確性

今回の授業において、オルゴールの仕組みを理解するために模型教材は有効であることが分かった。

しかし、「曲にならない」と訴えた児童のように、紙模型と実際のオルゴールの動きが一致せず混乱した児童もいた。TAのアドバイスによりこの児童の疑問は解消したが、紙模型の鍵盤のネジの絵の裏表が逆であったことが、混乱を招いた要因であると考えられる。

教材の作成にあたっては、小学生の鋭い観察に耐えうるだけの正確さを持った教材設計が必要である。

4.1.2. プログラミングによる仕組みの深い理解

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。

4.2. 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。

4.2.1. 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。

4.2.2. 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、作品制作への取り組み方に性差が見られた。

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。

4.3. プログラミングの基本概念の理解

第三回の授業まででは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ける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ド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、ほとんどシリンド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、「シリンドーの作成(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、小学生にはシリンド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、まずシリンド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. まとめ

今回の授業実践により、小学生に対して、1)現実世界にある仕組みに触れ、その仕組みをコンピュータでシミュレートすること、2)児童が意欲的に取り組む例題を学習の初期段階で用いること、3)基本的なプログラミングの概念を学ぶことという目的を満たしたプログラミング教育は、オルゴールを題材として行うことができるということがわかった。

そして、第五回の実習のように、アニメーション制作などにも応用でき、児童はそれを楽しむということも分かった。

しかし、Squeak上のシミュレーションの手順について、シリンドーの編集により順次実行を学ぶ、その後鍵盤の作成によって条件分岐を学ぶという順番のほうがよい、という反省があった。

そして題材による性差については、音を鳴らすオルゴールのみでは男子児童は飽きてしまうため、からくりオルゴールなどを提示して、動きと音の両方があるオルゴールを題材としたほうがよいという反省があった。

オルゴールは昔のコンピュータとほぼ同じ仕組みを持っているという話を児童にしたところ、児童は驚きの表情を見せていた。この授業は、児童にとって「よく分からないけれど便利な箱」であるコンピュータを身近に感じ、興味を持つきっかけになったと思う。

参考文献

[1] すくすくスクイーク : <http://squeakland.jp/sqsqsqueak/>

[2] 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 SqueakToys による教育実践”, 日本教育工学会第20 回全国大会 14-1a611-2, pp.737-738, Sep. 2004.

[3] 岡田 健, 杉浦 学, 松澤 芳昭, 大岩 元, “プログラミングの諸概念を初歩概念を学ぶための日本語プログラミング環境”, 情報教育シンポジウム 論文集, No.8, pp109-112, 2006 年

[4] 杉浦 学, 松澤 芳昭, 大岩 元, “Squeak を利用した“ものづくり”プロジェクトによる [生きる力] の育成”, 情報処理学会 コンピュータと教育 研究報告, No.123, pp101-107, 2003 年

[5] 松澤 芳昭, 杉浦 学, 大岩 元, “Squeak を利用したプログラミング教育環境の構築と実践”, 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) pp36-39, 2004 年

[6] スクイークランド : <http://www.squeakland.jp/>

[7] Dan Ingalls, Ted kaehlei, John Maloney, Scot Wallace, and Alan Kay (1997)., “Back to the Future: The Story of Squeak, A Practical Smalltalk Written in Itself”, Rroc. of ACM OOPSLA, pp318, 1997

[8] Steinmetz, J, “Computers and Squeak as Environments for Learning Squeak. Open Personal Computing and Multimedia, Prentice Hall”, 2001