

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 14 日現在

機関番号：62601
 研究種目：挑戦的萌芽研究
 研究期間：2011～2012
 課題番号：23650523
 研究課題名（和文）数学におけるアルゴリズム理解のための直観的入力手法による支援システム開発
 研究課題名（英文）Development of a learning tool for mathematical algorithms using intuitive input methods
 研究代表者
 安野 史子（YASUNO FUMIKO）
 国立教育政策研究所・教育課程研究センター 基礎研究部・総括研究官
 研究者番号：00370081

研究成果の概要（和文）：アルゴリズムは、コンピュータを使ってある特定の目的を達成するための処理手順であるばかりでなく、数学などにおいて、問題を解くための効率的な手順を定式化した形で表現したものであるため、その理解は数学において非常に重要なことである。そこで、本研究課題では、複数のポイントに指などで同時に触れて直観的入力ができるマルチタッチ機能の利点を生かした数学におけるアルゴリズム理解のための支援ツールの開発を行った。そして、それを用いて大学生を対象にした実証実験を実施し、その学習効果及び有効性の検討を行った結果、その有効性が示された。

研究成果の概要（英文）：Algorithms are not only procedures to achieve certain goals using computers, but also the formalization of effective procedures to solve some mathematical problems. Understanding the concept of algorithms is very important in mathematics.

In this research, we developed a tool to assist in the understanding of algorithms utilizing a multi-touch screen, which allows users to simultaneously input at ease. Using this tool, we taught a course for university students experimenting with the effectiveness of our tool. We have examined the learning effectiveness and potency of our tool. The effectiveness of the tool was proved.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,600,000	735,000	3,335,000

研究分野：科学教育

科研費の分科・細目：科学教育 教育高額・科学教育

キーワード：科学教育，アルゴリズム，チューリングマシン

1. 研究開始当初の背景

数学において、平成 11 年告示の高等学校学習指導要領の「数学 B」の学習内容である「数値計算とコンピュータ」は、平成 21 年告示の高等学校学習指導要領においては、削除内容となり、「数学 A」での「整数の性質」で、ユークリッドの互除法を中心にアルゴリズム理解を取り扱うこととなる。これにより、

プログラミングの取扱いがなくなり、アルゴリズムの学習機会も減少すると思われる。

アルゴリズムは、コンピュータを使ってある特定の目的を達成するための処理手順であるばかりでなく、数学などにおいて、問題を解くための効率的な手順を定式化した形で表現したものである。したがって、アルゴリズムの理解は、平成 21 年告示の高等学校学

習指導要領の数学の目標に示されている「数学的活動を通して、数学における基本的な概念や原理・法則の体系的な理解」を深めるためや、「事象を数学的に考察し表現する能力」を高めるために、非常に重要なことである。

一方、情報技術の面では、近年、高解像度のマルチタッチ画面が装備されたタブレットが急速に普及しており、従来の同時に一ヶ所だけの入力ということに縛られないツールの開発が可能となった。そこで、本研究課題では、複数のポイントに指などで同時に触れて直観的入力ができるマルチタッチ機能の利点を生かし、アルゴリズム理解のための支援ツールの開発を目指すことを考えた。

そして、本研究で開発するツールは、将来的にはマルチタッチ画面を具備した安価な携帯端末へ実装されることにより汎用性が期待でき、今後の教育用ソフトの技術向上に貢献できると考えた。

2. 研究の目的

アルゴリズムの概念を定式化するための数学モデル(計算モデル)はいくつか提案されてきているが、本研究課題ではチューリングマシン(計算を行う機械のモデル)を取り上げ、チューリングマシンの状態遷移図をアルゴリズムと定義する。

ある命令処理に対する状態遷移は一意的に決まるとは限らないことから、オープンエンド問題としてとらえることができ、学習者の思考過程の履歴を保持したり、他者と共同作業したりすることでその効率性を検討したりし、シュミレーションベースで個々の問題解決を支援することが可能であると考えた。

学習支援ツール開発からの側面としては、入力装置が、従来は同時に一ヶ所だけを指示であったが、マルチタッチ機能により複数のポイントに同時に指示することが可能となり、その特性を生かして、直観的入力と共同作業を可能にすることにより教育効果が上がることが期待できる。

そこで、本研究課題での研究目的は、以下(1)～(7)の手法を具備したチューリングマシン(計算を行う機械のモデル)の仕組みについての理解を支援するシステムツールの開発を行うことを主とする。そして、開発したツールを用いて大学生を対象にした実証実験を実施し、その学習効果及び有効性の検討も行う。

- (1) 画面上に状態遷移図を簡単にデザインすることが可能
- (2) ツールパレット及び読み書き可能な左右に動くヘッドがついた無限に長いテープを具備する

- (3) (2)における入力テープ上の記号と、(1)における状態遷移図が与えられたとき、状態遷移図の動作命令に従って、入力テープに対する操作、ヘッドの動き、次状態を仮想的に実行することが可能
- (4) 移動や回転、ズームなどの動きも含め、指での直観的な入力が可能
- (5) 画面に複数人が触れての共同作業が可能
- (6) 試行錯誤しながら経験的な学習を通して数学的活動を支援できる
- (7) 学習者が作成したプログラムをメール添付機能にて即座に指導者に配信可能とし、他者とのプログラムのやり取りが容易に行える

3. 研究の方法

[平成 23 年度]

平成 23 年度はアプリケーションの設計及び開発を中心に以下の(1)～(3)を行った。

- (1) システム設計及び開発：Jon Barwise による先行研究¹及びそれを用いた実践事例の調査・検討をするとともに、具体的なシステム設計を行った。
- (2) プログラミング：(1)の結果に基づいて、シュミレーションを行いながら具体的にプログラミングを進めるとともに、並行して実証実験端末にアプリケーションの実装を行った。
- (3) 実践研究：実践的な利用を通して、(2)で作成したプロトタイプの不具合やGUIの改良点などの検討を行った。

[平成 24 年度]

平成 24 年度は、平成 23 年度の成果を受けて、実証実験を行い、開発アプリケーションの完成を目指すとともに、実践結果の評価・分析を行った。

- (1) システム設計及び開発：平成 23 年度の成果を受けて、開発アプリケーションの完成版の基となるシステム設計を行った。
- (2) プログラミング：(1)の結果をもとに、平成 23 年度に作成したプログラムの改修を行った。
- (3) 実践研究：半年にわたる長期的な利用による実証実験講義演習を名古屋大学情報文化学部を学生を対象に行った。
- (4) 分析・評価：実践研究を通して、本研究課題の学習支援システムを利用することによる教育効果の分析・評価を行った。

¹ "Turing's World 3.0 : An Introduction to Computability Theory", Jon Barwise & John Etchemendy, CSLI (1993).

4. 研究成果

研究成果として、本研究課題で開発を行ったシステムツールについて報告する。

(1) 状態遷移図の入力

図 1 (動画)に示すように、キャンパス(画面)をダブルタップすることによって、Node あるいは Note を選択し、それらを容易に作成することができるようにした。さらに、Node をシングルタップするとサブウィンドウがポップアップし、詳細設定を行いながら Arc や Submachine を作成することができるようにした。

設定の変更についても、作成した Node や Arc に付した半透明の円形のコントロールポイントをシングルタップするとサブウィンドウがポップアップし、再設定可能となるようにした。

また、作成途中の図も、ボタンをタップして、随時保存可能とした。

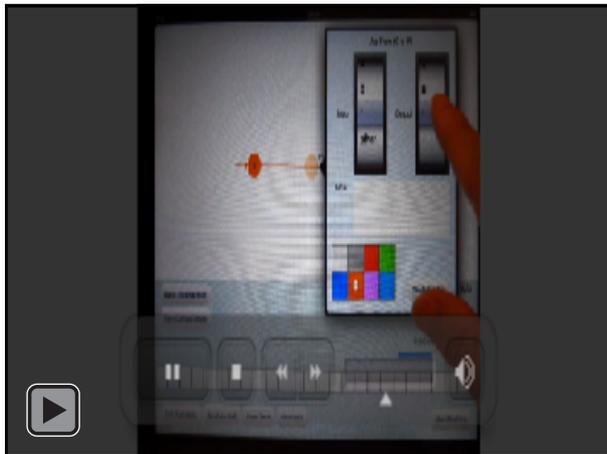


図 1 操作の動作例 (動画 : 30 秒)

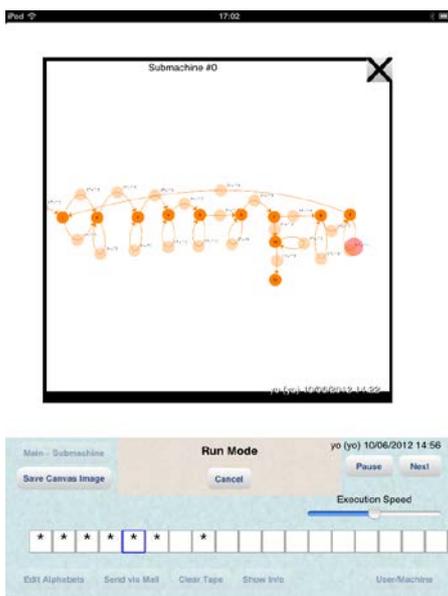


図 2 Submachine

(2) Submachine の入力

何度も必要とされるような定型的な処理を一つにまとめて呼び出すことができるように、Submachine (図 2) の機能を有し、Submachine はコピーや貼り付けによって容易に再利用が可能になるようにした。

(3) 文字の入力

利用する文字を一覧 (図 3) からタップして選び出し、「空白」及び「選び出した文字」を、状態遷移図の作成画面での入出力の指示や、テープ上へ記号の入力の際に、ダイアログや一覧によって容易に選択 (図 4) できるようにした。

(4) テープの設定

チューリングマシンのテープに相当するものを具備し、テープへの記号の書き入れ及び書き入れた記号の消去、テープの左右への移動、ヘッド (青い四角形の囲み) の移動を容易に行うことができるように配慮した。

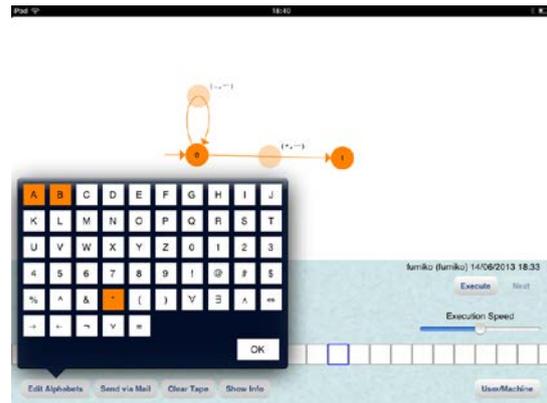


図 3 文字の編集

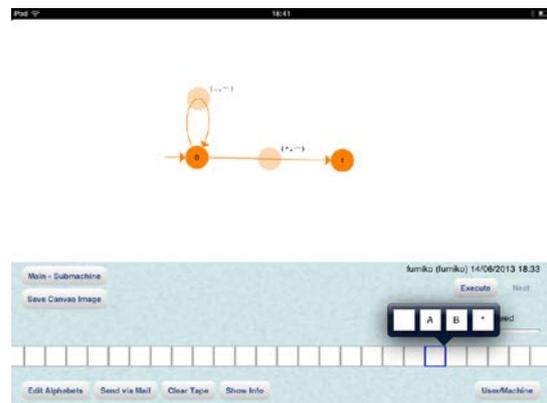


図 4 文字の一覧選択

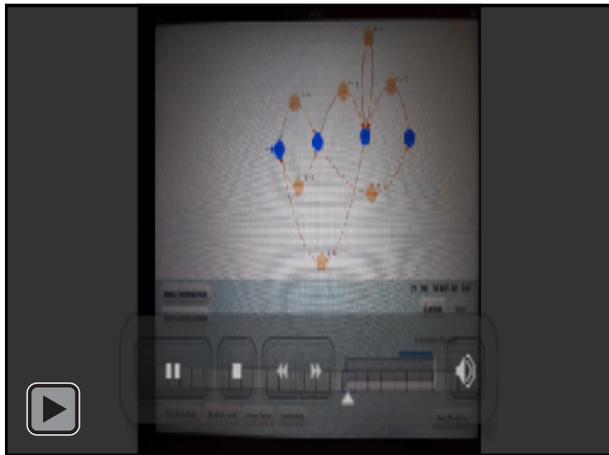


図 5 具体的な動作例 1 (動画 : 13 秒)
—busy beaver 関数—

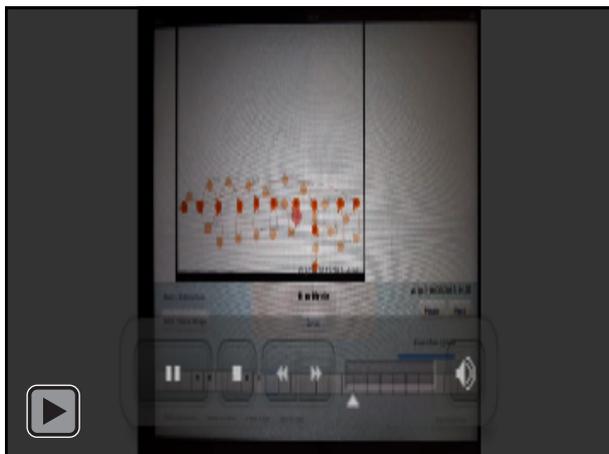


図 6 具体的な動作例 2 (動画 : 86 秒)
—4 times—

(5) 実行機能

作成した状態遷移図と書き込んだテープの初期状態によって、チューリングマシンを実行させることができ、状態が遷移していく様子をアニメーションで表示されるよう工夫した。また、実行速度は任意に設定できるようにした。具体的な実行例を図 5 及び図 6 (動画)に示す。

(6) その他の機能

実行後のテープの状態を表示する機能を持たせた。図 7 は図 5 の例を実行後の、図 8 は図 6 の例を実行後のテープの状態を示したものである。

また、メールの送受信機能を具備し、作成したマシン(作成した状態遷移図と書き込んだテープの初期状態のセット)を添付ファイルで容易に送信したり、受信した添付ファイルをタップしただけで、マシンを取りこんだりする機能を持たせ、学習者と指導者、あるいは学習者同士での受け渡しを容易にし、数学的活動を支援できるようにした。

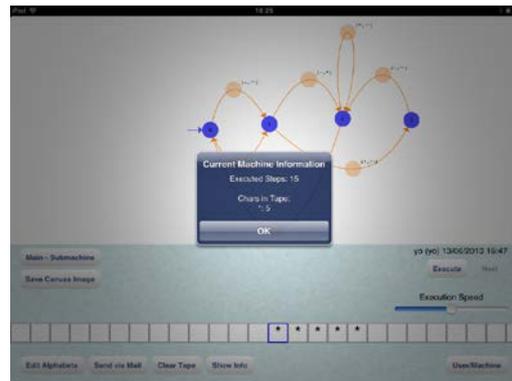


図 7 実行後のテープの状態の表示例 1
—busy beaver 関数—



図 8 実行後のテープの状態の表示例 2
—4 times—

そして、開発した本システムツールを用いて、名古屋大学情報文化学部の学生を対象に、平成 24 年度 4 月～9 月までの半年間、実証実験を実施し、その学習効果及び有効性があることが分かった。

〔その他〕

アプリケーションダウンロード先

<https://itunes.apple.com/jp/app/turing-the-universe/id499504150?mt=8>

5. 研究組織

(1) 研究代表者

安野 史子 (YASUNO FUMIKO)

国立教育政策研究所・教育課程研究センター 基礎研究部・総括研究官

研究者番号 : 00370081

(2) 研究分担者

松原 洋 (MATSUBARA YO)

名古屋大学・情報科学研究科・教授

研究者番号 : 30242788

黒田 覚 (KURODA SATORU)

群馬県立女子大学・文学部・准教授

研究者番号 : 30242788