

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 8 月 23 日現在

機関番号：14501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2017

課題番号：26560089

研究課題名(和文)論理的思考能力育成のための次世代数理科学教育の研究

研究課題名(英文)Research on next generation mathematical science education for logical thinking ability development

研究代表者

高橋 真 (Takahashi, Makoto)

神戸大学・人間発達環境学研究科・教授

研究者番号：50154860

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では学習者が概念理解のための教材を自ら作成して学ぶことが可能となる環境を利用して、論理的思考能力の育成を図る数理科学教育のシナリオ作成を試みた。シナリオ作成のプラットフォームとしては主としてビジュアルプログラミング環境でありながらJavascriptのプログラムを実行できるSnap!を採用した。本研究では計算論、ホア理論およびモデル検査のシナリオを作成するとともに、定理証明支援系のCoqを利用した論理教育についても調査した。以上の成果は「論理的思考能力育成のための次世代数理科学教育の研究」資料集 Snap!(BYOB)による計算機数学入門としてまとめ公開した。

研究成果の概要(英文)：In this research, we attempted to create scenarios of mathematical science education aimed at training logical thinking skills by utilizing the environment in which learners can create and learn materials themselves for concept understanding themselves. As a platform for scenario creation, we adopted Snap!, which is a visual programming environment but capable of running Javascript programs. In this research, we created scenarios of recursion theory, Hoare logic and model checking, and also investigated logical education using Coq which a formal proof management system. The above results were published as "An introduction to computer mathematics by Snap! (BYOB)".

研究分野：情報論理学

キーワード：数理科学教育 論理的思考能力 ビジュアルプログラミング Snap!

### 1. 研究開始当初の背景

数理科学教育において、基本的な概念の理解を進めるには、具体的な例を考察してそれを理解することが有効であり、それは物理実験や化学実験が物理や化学の理解に有効であるのと同じである。しかしながら、実際の教育現場でテーマに応じた数学用の教具を用意することは困難であり、その代替として計算機上で数学的なモデルを作成して仮想実験を行うプログラムが使われている。ところが従来のソフトでは学習者はただプログラムを実行して結果を見るだけで、その内容を理解するための実験としては不十分な場合が多い。このような環境で数学的な概念をよりよく理解するためには、学習者が自らプログラミングを行い、その背後にある数学的な考え方を同時に身につけることが求められる。しかしながら、このような教育を実現するためには十分なプログラミング教育が必要であり、従来の数学の講義の枠組みで行うことは困難である。本研究で目指すものは、その困難な部分をビジュアルプログラミング環境により解決する方法である。これにより学習者はプログラミングの技術的障害を乗り越え、本質的な概念の理解に集中することが可能となる。

### 2. 研究の目的

グローバル化する知識基盤社会において、学士レベルの資質能力を備える人材養成は重要な課題であり、学士力として論理的思考能力が求められている。また、グローバル人材に求められる基礎的能力としても、論理的思考能力が求められている。本研究は、このような社会的な要請に対応し、論理的思考能力の育成を図る次世代の数理科学教育の解明を目的とする。現在、高校から大学の初年時における数学教育では、定理の証明の理解を通して論理的思考能力の育成を図る観点では十分な成果を挙げているとはいえない。本研究では、学習者が概念理解のための教材を自ら作成して学ぶことが可能となる環境を利用して、論理的思考能力の育成を図るシナリオ作成を行う。

### 3. 研究の方法

(1) 本研究では、最初に学習者が概念理解のための教材を自ら作成して学ぶことが可能となる環境(以下、プラットフォームとよぶ)の整備を行い、それを利用した論理的思考能力の育成を図るシナリオの作成を、「準備と作成」「検証と改善」「完成と発表」の3段階にわけて行った。プラットフォームの整備では当初 iPad 上の環境を使用することで計画したが、研究期間中にシナリオ作成に利用する予定であったソフトウェアの iPad 対応が停止されたため、Raspberry Pi を使用したシナリオへ転換した。また、プラットフォームとして BYOB3.0 を候補としていたが、カスタマイズができない仕様であり、BYOB の開発も

すでに Snap!(BYOB4.0)に移行していたため、今後成果物を利用するためには Snap!へ移行することが望まれた。そのため本研究では Snap!をプラットフォームの候補としてその整備を行った。次に、シナリオ作成に利用する Snap!以外のアプリケーションの対応を調査し、不都合がある場合はその改善を試み、不十分な場合は代替のアプリケーションを選定しシナリオ作成を行うこととした。シナリオの作成にあたっては、作成後講義などで利用することでその有効性などの検証を行うこととした。

(2) 論理的思考能力の定義については数学教育や国語教育における先行研究を調査して本研究で育成を図る論理的思考能力とは何かを明確にして、作成したシナリオの有効性を検証することとしていたが、研究期間中に文部科学省大学入学者選抜改革推進委託事業「情報学的アプローチによる「情報科」大学入学者選抜における評価手法の研究開発」において定義された内容が本研究で目指すものに適していると考え、論理的思考能力の定義については、ここで定義されたものを使用して検証を行うこととした。

### 4. 研究成果

#### (1) プラットフォームの整備

##### Snap!の日本語入力機能

Snap!(BYOB 4.0)は Scratch と同様のビジュアルプログラミング環境で、リストやスプライトが First Class であるという特徴をもっている。UCB(University of California, Berkeley)では、計算機科学を専攻ではない学生へのプログラミング教育として、Snap!を利用している。しかし、現在公開されている Snap!では IME を使用した日本語入力(多バイト文字入力)がまだできないため、Snap!を日本で利用するには若干敷居の高いものになっている。その点は開発者の間でも議論されており、多バイト文字入力を可能にするプルリクエストが行われているが、現時点で日本語入力はできない状況である。そこで、本研究ではプルリクエストとして提案されている方法を changeset ファイルとしてまとめ公開した。Snap!のサイトで日本語入力を行うためには、このファイルの内容を javascript のブロックに入れて実行すれば良い。



Snap!のソースをダウンロードしてローカルで使用する場合は、changeset の javascript ファイルを読み込むように html ファイルを書き換えれば良い。

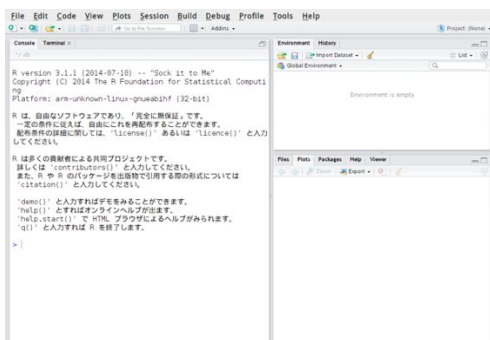
### Snap!の固定小数点对応

Snap!における四則演算のブロックは浮動小数点による計算のため、例えば $0.1+0.2$ と $0.3$ は等しくならない。また、変数を0から0.1ずつ増やして10回繰り返した場合の値も1とは一致しない。これらは初等教育などでSnap!を利用する場合に(Scratchでも同様であるが)気をつける必要がある。本研究では、Snap!の四則演算のブロックの計算部分などを、javascriptで固定小数点を扱うためにGithubで公開されているライブラリーJSDecimalを用いて変更して、四則演算を浮動小数点計算から固定小数点計算に変更する方法を公開した。



### RStudioのRaspbian対応

Raspberry Piの標準的なOSであるRaspbian Jessie with PIXELには、R3.1.1がインストールされているが、統合開発環境のRStudioはインストールされていない。また、Advanced Packaging Toolでも提供されていない。そのため、RStudioのソースコードからビルドする必要があるが、サーバー版についてはビルド情報があるが、デスクトップ版については全くビルド情報がなく、ソースファイルをデバックしながらビルドする必要があった。本研究では、RStudioのソースコードからRStudioのデスクトップ版とRStudio Serverをビルドしてインストール方法について、具体的な手順を日本語版と英語版で公開した。

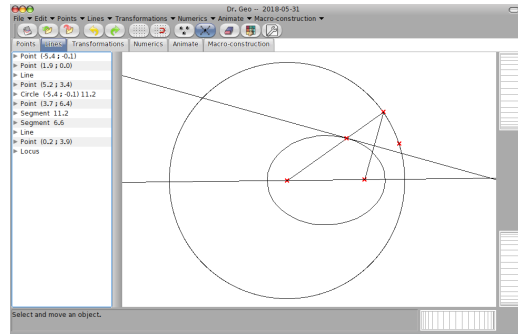


英語版のWebページは2018年1月から4月までに1200件のHitがあり、他のサイトでも紹介されているためRaspbian上のRStudioデスクトップ版の潜在的な需要はあったと考えられる。

### Dr.GeoのRaspberry Pi対応

Dr.GeoはWindows, Mac OS X, LinuxのいずれのOSでも動かすことができるが、ARMプロセッサを搭載したRaspberry Piでは公開されているDr.Geoを動かすことができない。

Dr.GeoはPharoをベースに作られているが、Raspberry Pi(Raspbian)で動作するPharoのVMが公開されている。このVMで現在公開されているDr.Geoのイメージを動かすと起動はするがNativeBoost関係のエラーが出る。2013年頃よりDr.GeoはAthen graphic vector canvasを採用していて、Raspbian用のPharo VMがNativeBoostに対応していないためと思われる。そこでDr.Geoの古いバージョン(13.10)を試すとRaspbianで起動することが確認できた。



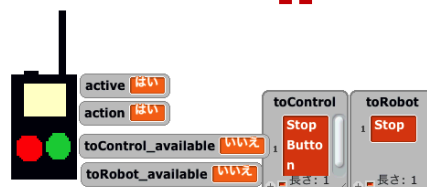
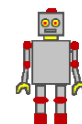
なお、日本語環境で動かすと配布されているPharo VMのファイル群にはlibFT2Plugin.soがないことからFreeTypeに対応していないのが原因で日本語表示ができない。そのためdrgeo.shにLC\_ALL=en\_GB.UTF-8を追加し、英語環境で動かす必要がある。起動させるために必要な準備と方法など詳細を公開した。

### (2) シナリオ作成

本研究を開始する以前にBYOBで作成していた計算論、ホーア論理、モデル検査分野のシナリオの内容を、内容をよりよく理解するために他のアプリケーション(Frama-CやSpin)との連携を充実する内容を追加し、さらにSnap!対応にして、次のように授業資料としてまとめ公開した。

- Snap!(BYOB)による計算論入門
- Snap!(BYOB)とFrama-Cによるホーア論理入門
- Snap!(BYOB)とSpinによるモデル検査入門

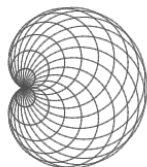
これらについては、研究代表者が学部講義において使用し、その効果を検証している。特に、モデル検査分野においては並行処理を行う際に問題となる事象を手軽にSnap!で実現できるため、システムの動きを論理的挙動をと捕らえやすく、教育的効果も大きいと考える。



### Coq による定理証明入門

Coq はフランスの INRIA で開発されている定理証明支援系である。本研究では Coq が数学的な証明の運用に慣れていない学生の証明力向上につながるのと仮説をたて、Raspberry Pi 上の Coq を用いて行う大学院の数理論理学の演習講義に学部生を聴講させ、その後、学部講義における証明指導の中でその効果を調べた。一度 Coq の証明の取り扱いを学んだ学生は、数学的な証明につまんださい、それが証明の本質的なものではなく、単に論理の運用に起因するものの場合 Coq のタクティクを思い出せることで証明を続ける場面が多くなった。まだ対象者が少数であるため結論を出すにはいたらないが、従来 Coq など定理支援証明系を扱う講義は学部 3 年次以降の専門的な講義で扱うことが多かったが、本研究の仮説が正しければ、学部の 2 年次において、数学概論などの数学の基礎的な内容を扱う授業でも、初歩的な Coq の演習を行う価値があるものと思われる。ここで使用した Coq の授業資料は「Coq による定理証明入門」として研究代表者の研究室 Web ページにおいて公開している。

高等学校数学 III の「式と曲線」では様々な曲線を扱うが、現行の高等学校学習指導要領では、平面上の曲線に関して、媒介変数による表示と極座標による表示について、「描画においてはコンピュータなどを積極的に活用するものとする」とされている。また、次期の高等学校学習指導要領の数学 C でも「日常の事象や社会の事象などを数学的に捉え、コンピュータなどの情報機器を用いて曲線を表すなどして、媒介変数や極座標及び複素数平面の考えを問題解決に活用したり、解決の過程を振り返って事象の数学的な特徴や他の事象との関係を考察したりすること」を求めている。本研究では、Snap!を利用して、媒介変数表示や極座標表示された曲線を描画するシナリオを作成し公開した。



「論理的思考能力育成のための次世代数理科学教育の研究」資料集 Snap!(BYOB)による計算機数学入門

本研究で開発したすべてのシナリオ・授業資料をまとめ、『「論理的思考能力育成のための次世代数理科学教育の研究」資料集 Snap!(BYOB)による計算機数学入門』としてまとめ冊子として印刷するとともに研究室 Web ページにて全ページ公開した。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔その他〕

#### 資料集

「論理的思考能力育成のための次世代数理科学教育の研究」資料集 Snap!(BYOB)による計算機数学入門, 2018, 全 182 ページ

#### ホームページ等

- (1) Snap!(BYOB4.0)を利用した数理科学教育  
<http://herb.h.kobe-u.ac.jp/snap/>
- (2) Snap!(BYOB4.0)の日本語入力について  
[http://herb.h.kobe-u.ac.jp/snap\\_ime\\_support.html](http://herb.h.kobe-u.ac.jp/snap_ime_support.html)
- (3) Snap!(BYOB 4.0)で四則演算を固定小数点計算で扱う方法について  
[http://herb.h.kobe-u.ac.jp/snap\\_decimal.html](http://herb.h.kobe-u.ac.jp/snap_decimal.html)
- (4) Raspberry Pi 2/3 Model B (Raspbian Jessie with PIXEL)でRStudioを使う  
<http://herb.h.kobe-u.ac.jp/raspiinfo/rstudio.html>
- (5) How to install RStudio Desktop/Server on Raspberry Pi 2 or 3(Raspbian Jessie with PIXEL)-Summary  
[http://herb.h.kobe-u.ac.jp/raspiinfo/rstudio\\_en.html](http://herb.h.kobe-u.ac.jp/raspiinfo/rstudio_en.html)
- (6) Raspberry Pi で Dr.Geo を動かす  
[http://herb.h.kobe-u.ac.jp/drgeo\\_raspi.html](http://herb.h.kobe-u.ac.jp/drgeo_raspi.html)
- (7) 数学 III 「式と曲線」のコンピュータ利用に Snap!(BYOB 4.0)を用いる  
[http://herb.h.kobe-u.ac.jp/snap\\_curve.html](http://herb.h.kobe-u.ac.jp/snap_curve.html)
- (8) Coq による定理証明入門  
<http://herb.h.kobe-u.ac.jp/coq/coq.pdf>

### 6. 研究組織

#### (1)研究代表者

高橋 真 (TAKAHASHI, Makoto)  
神戸大学・人間発達環境学研究所・教授  
研究者番号：5 0 1 5 4 8 6 0