

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 15 日現在

機関番号：14501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26750080

研究課題名(和文) 学習分析が可能な教育用プログラミング実行環境「ますめ」の開発と実践

研究課題名(英文) Implementation and Evaluation of 'MASUME': Programming and Runtime Environment for Educational Purposes

研究代表者

荻野 哲男 (OGINO, Tetsuo)

神戸大学・情報基盤センター・助教

研究者番号：70448166

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 900,000円

研究成果の概要(和文)：初等中等教育段階におけるプログラミング教育の実現を目的として、教育用プログラミング実行環境「ますめ」を開発した。「ますめ」は、ビジュアル型プログラミングの経験はあるがテキスト型プログラミングの経験のない学習者が、スムーズにテキスト型プログラミングを身に付けられるように、ビジュアル型プログラミング環境と表計算アプリケーションの融合を特徴として、対話的な実行や実行状態の可視化の実現、シンプルな言語仕様を備え、ブラウザ上で動作するウェブアプリケーションとして実装したものである。高等学校における授業実践の結果から、「ますめ」が情報科における有効なプログラミング環境であることが確認された。

研究成果の概要(英文)：The authors have developed a programming and runtime environment 'MASUME' which provides programming education for primary and secondary education. The features of MASUME are that it brings together spreadsheet applications and visual programming environments for advanced text programming by learners who have experience of visual programming. In addition, this environment is a browser application that has the functions of interactive executions, visualization of execution state, and simple language specification. The authors verified the effectiveness of the programming environments as a means of providing a transition from visual programming to text programming, through experimentation of practical education in a senior high school.

研究分野：情報科学

キーワード：プログラミング教育 情報教育

1. 研究開始当初の背景

情報技術が社会に大きな影響を与える情報化社会では、情報や情報技術の教育が特に重要であり、中でも (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 (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ことが必要 (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とが重要、といった理由より、情報教育においてプログラミング教育が果たす役割は大きいとされている。また、初等中等教育段階からプログラミング等の IT 教育を推進していくことが、世界最先端 IT 国家創造宣言の中で謳われ、産業競争力会議の成長戦略の素案では、義務教育段階からのプログラミング教育について言及されている。

そのため、プログラミング教育を初等中等教育段階で実施した実践活動も多く行われるようになり、特に小学生などを対象とした取り組みとしては、学校教育のみならず民間や NPO などの団体による活動も盛んで、その有効性についても報告されている。このような活動においては、対象者が低年齢であり、キーボードによる正確なテキスト入力が困難であることから、ビジュアル型プログラミング環境の利用が多くなっている。例えば、Smalltalk 環境のひとつである Squeak を基にして、教育用環境として開発された Squeak Etoys や、それをベースに MIT Media Lab. が開発した Scratch は、ソースコードを記述する必要がなく、視覚的にプログラミングが可能である上に、遊び心をもってプログラミングを体験できることもあり、多くの実践活動で利用されている。また、Viscuit のような、手続き型の記述ではなく宣言的に変化を表現するビジュアル型プログラミング環境も利用されるようになってい

る。このように、ビジュアル型プログラミング環境は、計算機の利用に慣れていない学習者に対し、プログラミングを体験させる環境として非常に効果的である一方、ビジュアルに注力してしまい、絵を描いたり、それを単に動かすというだけの体験に終始してしまいがちであることが指摘されている。これに対し、中学生や高校生など、抽象的な考え方ができるようになった学習者を対象として、モデル化とシミュレーションのような発展した学習内容を用いて、プログラミング教育を行っている実践も存在する。このような学習内容では、図形モデルとして状態遷移を扱ったり、数式モデルで多くの数値演算を行ったりする際、ビジュアル型のプログラミングでは表現が冗長になりがちなため、テキスト型のプログラミングが必要となることがある。そのため、学習内容の発展段階に応じて、ビジュアル型プログラミング環境からテキスト型

プログラミング環境への移行を考慮したプログラミング環境が求められると考えている。

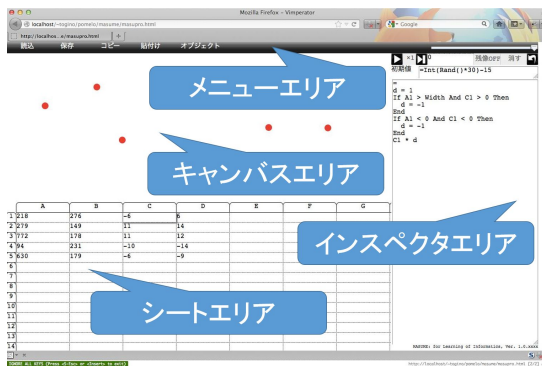
2. 研究の目的

初等中等教育段階での利用を想定した初学者向けのテキスト型プログラミング環境に求められる性質としては (1) プログラミング言語の仕様が分かりやすく簡潔であること (2) 対話的な実行が可能であり、その実行状態が可視化されること (3) 非専門家の教師を想定し、導入や利用が簡易な環境であること、が少なくとも必要であると考えられる。加えて、モデル化とシミュレーションのような学習内容では、例えば人や物のような、シミュレーションの対象である要素を複数用意し、それらを並列的に変化させる場合がある。ビジュアル型のプログラミング環境では、これらの要素はすべて視覚化されたオブジェクトとして表現され独立しているため、要素の数が多くなるとまとめて操作するのが難しい。一方、テキスト型のプログラミング環境では、オブジェクトを抽象的に表現した「クラス」という概念や、要素をまとめて扱うための「配列」や「反復」という考えを理解した上で、並列処理させるプログラミングが要求される。関連研究であげたドリトルや PEN は、手続き型プログラミングによる単一の制御プログラムから、それぞれのオブジェクトに対し命令を実行するため、複数のオブジェクトを並列して動かすことを学習者にプログラミングさせるのは難しい。

そこで、筆者らは、オブジェクトの状態を表す属性に着目して、ビジュアル型のプログラミング環境とテキスト型のプログラミング環境を融合させることを考えた。つまり、属性の値を視覚化するビジュアル型のプログラミング環境の特徴と、属性の値に対して変化や振る舞いをテキスト型のプログラムとして記述する方法を組み合わせることである。このように、オブジェクトの属性を独立させることで、属性の値を表の形でコンパクトに並べて表現することができ、その結果、並列処理の実行や配列などの概念についてプログラミング言語の仕様や記法として学ぶことなく、直観的にプログラムすることが可能になると考えられる。

3. 研究の方法

初等中等教育段階における初学者向けのプログラミング教育を実現する環境として、ウェブベースの教育用プログラミング実行環境「ますめ」を開発した。「ますめ」の特徴は、表計算アプリケーションとビジュアル型プログラミング環境を融合させ、それをウェブアプリケーションとして実装した点にある。



(1) 表計算アプリケーションとビジュアル型プログラミング環境の融合

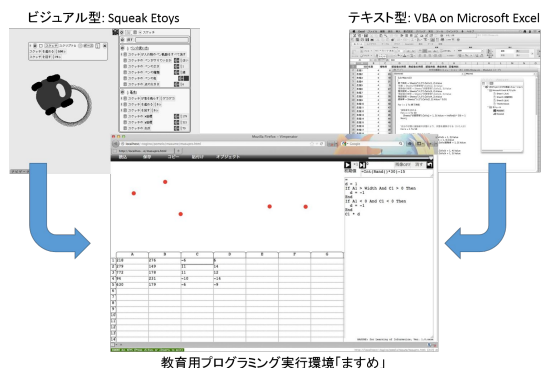
「ますめ」の設計コンセプトを図に示す。「ますめ」は、表計算アプリケーションによく似たインターフェースを持っている。一般の表計算アプリケーションでは、セルに数式を入力すると即座に計算され、結果がセルに表示される。また、数式の中に他のセルへの参照が存在する場合、その参照されているセルの値が変化すると再計算が自動的に行われ、すぐに結果が反映される。このため、対話的な入力が可能になる。「ますめ」は、セルに数式以外にプログラムの記述も可能としていることが大きな特徴である。セルとは別に関数としてプログラムを行い、その関数を数式の中で利用するようにする方式も考えられたが、プログラムの実行結果が値として直接理解できるよう、セル自身にプログラムを記述する方法を採用した。また、情報技術の専門家でなくとも表計算アプリケーションを利用した経験があれば、直感的に機能が理解できるように、セルを格子状にして画面に配置している。

さらに、シミュレーションを「ますめ」で行う場合、セルに記述するプログラムの中で直接的に自分自身のセルの値を参照するような自己参照や、間接的に参照する循環参照が発生するため、ステップ実行や連続実行を制御する機能や、セルに初期値を持たせ、その値に戻すリセット機能などを設計した。

「ますめ」では、多くのビジュアル型プログラミング環境と同じく、グラフィックオブジェクトを表示する領域を用意し、グラフィックオブジェクトの位置（座標）や大きさ、色などの属性を変更することが出来るようにしている。グラフィックオブジェクトは、図で示すように、複数の属性を持っており、それぞれの属性に対応するセルが存在している。そのセルに他のセルの値を参照するプログラムを行うことで、運動シミュレーションなどの実行結果をグラフィックオブジェクトの動きと対応付けるようにして可視化することができる。

(2) ウェブアプリケーション

計算機の OS としては、Windows をはじめ Mac OS X や Linux などさまざまなものが存在している。多くは Windows であるが、Windows 7 や Windows XP などそのバージョンによっ



教育用プログラミング実行環境「ますめ」

て影響を受けることも少なくない。このような環境の影響を最小限に抑えるため、HTML/CSS/JavaScript を用いたブラウザベースの実行環境を採用した。ブラウザは多くの計算機に導入されており、また、HTML5 の規格が勧告されたことにより、従来にあったブラウザの種類による実装の違いが少なくなっていくと考えられるため、「ますめ」の実装として、最も適したプラットフォームであると判断した。

また、ブラウザベースであっても、Flash や Silverlight のようなフレームワークを導入することで、よりリッチな GUI を提供することが可能になるが、逆にフレームワークの導入や管理などの追加の作業が必要になるため、このようなフレームワークは採用しなかった。

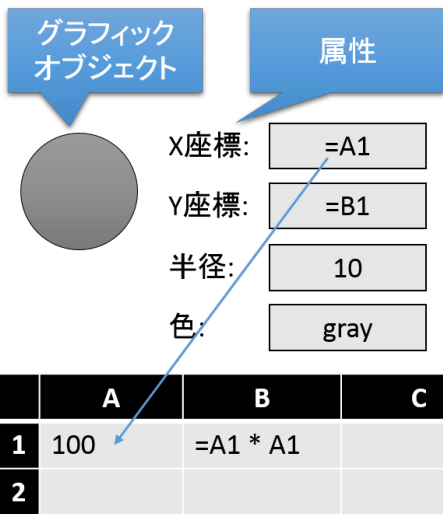
ブラウザベースの実行環境とし、その活動をサーバ側に保存できるようにすることで、授業で作成したプログラムを自宅の計算機で開いて続きの学習が行えるようになる。また、サーバ・クライアント方式にすることで、このような自宅での学習を教師や生徒間で共有することも可能になる。

(3) 最小限の言語仕様

「ますめ」の言語仕様は、下記の通りできるだけ基本的なもののみとした。

- 四則演算や比較などの条件判断の演算子
- 変数およびオブジェクトへの識別子による値の保存と読込
- 条件分岐や繰り返しなどの制御構造
- 関数呼び出し
- 数値・文字列・真偽値およびオブジェクト型

多くの汎用のプログラミング言語にみられる言語仕様として、配列の定義や配列の各要素の参照があるが、「ますめ」では、値を保存するセルが表の形で並べられており、A1, A2, ... と参照することが可能であるため、言語仕様には採用しなかった。また、オブジェクトの生成については、メニューから選択することでグラフィックオブジェクトをキャンパスエリアに生成することが可能であること、関数の定義については、それぞれのセルに直接プログラミングが可能であることなどから、言語仕様には含めていない。

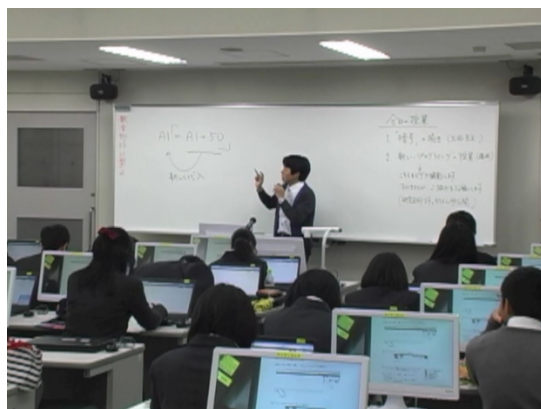


4. 研究成果

(1) 実践授業での生徒の学習について考察を行う。学習内容は、物体の運動に関するもので、速度や加速度によって位置（座標）が変化する等速運動や斜方投射、跳ね返りや物体同士の衝突判断などを、計算機上でプログラムとして記述し、そのシミュレーションを実行することである。アンケートの結果より、8割以上の生徒が「達成した」と回答していることや、位置座標を表す値のセルに対し、自己参照を用いて値の変化を記述したり、IF文や条件式を用いて跳ね返りを行ったり、円の外接条件をプログラムで記述し衝突判断を行うなど、具体的なプログラミングをしていることが、生徒が提出したファイルからも確認された。一方、「達成できなかった」と回答した数名の生徒については、その原因がスペルミスや大文字小文字の区別、初期値の設定忘れなどであり、このような状態については、教師にフィードバックを行う仕組みが必要であると考えられる。

また、自由記述では、「楽しかった」と回答している生徒が6割以上と多くいることから、実践授業での学習内容に対し、興味をもって取り組めたものと考えられる。一方、発展課題については、「達成できなかった」と回答している生徒も多く、「難しかった」との回答もあった。例えば、「跳ね返るたびに、速度が遅くなるようにする」という課題では、跳ね返りの際、速度に-1をかけているところを、-0.8のような絶対値が\$1\$未満の値に変更すると筆者らは教材作成に想定していたが、実際は、「遅くなる」ということで、引き算によって速度を小さくすることを考えた生徒が多く、思い通りに変化させることができなかつたようである。しかし、「難しかった」と回答している生徒の半数が「楽しかった」とも回答しており、難易度が高いことで学習意欲が低下したわけではないと推察できる。

(2) 次に、実践授業での学習における「ますめ」について考察を行う。「ますめ」は表計算アプリケーションとビジュアル型のプ



ログラミング環境の融合によって、ビジュアル型プログラミングからテキスト型プログラミングへの学習の発展を支援することが特徴である。実践授業での事前準備において、「達成できなかった」と回答した生徒がいなかったことや、実際、授業の進行を妨げるトラブルなどが発生しなかったのは、ビジュアル型プログラミング環境を「ますめ」が備えており、生徒には Squeak Etoys によるプログラミングの経験があったことが理由として考えられる。テキスト型プログラミング環境であれば、プログラミングに入るまでの段階で手間がかかり躓いてしまうことが多いため、「ますめ」の特徴が活かされているものと考えられる。

さらに、一般的なテキスト型プログラミングでモデル化とシミュレーションをする場合、通常は配列や並列処理についても学習が必要であるが、実践授業ではそのような説明を詳細にすることなく、生徒が課題に取り組むことができている。これは、表計算アプリケーションを融合することで、複数の物体をまとめて処理したり、個々のセルが並列的に実行されることを特別に意識することなく、プログラミングすることが可能となっているところにあると考えられる。自由記述には、「操作はスクイークと EXCEL と似たような感じだったので、さほどとまどわずに作業ができました。」「Excel とスクイークが合体しているみたいで、分かりやすいプログラミングソフト」「いろいろなプログラムが融合されていておもしろかった」という記述がみられることから、「ますめ」の特徴である表計算アプリケーションとビジュアル型プログラミング環境の融合が有効であったことが示唆された。

(3) 初等中等教育段階でのプログラミング教育において、学習内容の発展段階に応じた教育が行えるよう、ビジュアル型プログラミング環境からテキスト型プログラミング環境へのスムーズな移行を考慮したプログラミング環境として、教育用プログラミング実行環境「ますめ」の設計および実装を行った。「ますめ」は、ビジュアル型プログラミング環境と表計算アプリケーションを融合させたウェブアプリケーションであることが特徴である。授業実践の結果から、モデル化と

シミュレーションを題材として、「ますめ」の特徴を活かしたプログラミング教育を行うことが可能であり、ビジュアル型プログラミング環境からテキスト型プログラミング環境へ移行させる段階において有効なプログラミング環境であることが確認された。本システムでは、初等中等教育段階の多くの現場で利用できるようにするため、HTML5 や CSS, JavaScript などのブラウザ上で動作するオープンな技術のみを使用して実装している。今後、プログラミング教育が初等中等教育段階で導入されてくると、学習内容の体系化、教材開発、教員育成などが課題になると考えられる。「ますめ」は、実践授業で行ったように、物理や数学などの他教科との有機的な連携が可能であり、また、プログラミング教育を段階的に発展させることができるため、これらの課題を解決する可能性を有していると考えている。「ますめ」の実践授業をさらに積み重ね、改良を加えていくことで、実際の授業現場で実施可能なプログラミング教育の実現に役立てていきたい。

研究者番号：

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)

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計2件)

荻野哲男, 藤岡健史: 学習活動分析を目的とした教育用プログラミング実行環境「ますめ」における再構成型操作ログの活用, 日本教育工学会研究会, 2015年2月28日, 九州大学(福岡県福岡市)

藤岡健史, 荻野哲男: プログラミング教育におけるラーニング・アナリティクスの可能性 - 教育用プログラミング実行環境「ますめ」による実践を通じて -, 日本情報科教育学会第7回全国大会, 2014年7月20日, 千歳科学技術大学(北海道千歳市)

〔その他〕

ホームページ等

<http://pomelo.istc.kobe-u.ac.jp/masume/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

荻野 哲男 (OGINO Tetuso)

神戸大学・情報基盤センター・助教

研究者番号：70448166

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()