

令和 4 年 6 月 30 日現在

機関番号：41601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2021

課題番号：17K01101

研究課題名(和文)プログラミング学習時の小学生の思考プロセスの解析とこれに基づく教育支援システム

研究課題名(英文) Analysis of elementary school student's thinking process at programming learning and design of educational support system based on it

研究代表者

中澤 真 (NAKAZAWA, Makoto)

会津大学短期大学部・産業情報学科・教授

研究者番号：40288014

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：小学校向けプログラミング教育のカリキュラム編成や授業モデルとして、プログラミング的思考を単に養うだけでなく算数などの一般科目の理解の深化に役立つ実践的な方法を学年と単元別に示すことができた。また、このモデルによる学習効果についても明らかにすることができた。さらに、生徒のプログラミング編集履歴から3種類の異常状態に現れる特徴的なパターンを明らかにし、授業に集中できていない生徒や論理エラーの原因がわからずに混乱している生徒を教員に提示することで速やかなサポートができるようにした。また、生徒が作成するプログラムの中から、他の生徒にも紹介すべきような特異なものを効率よく抽出することもできるようにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

小学校の現場ではIT体制を常に用意できるわけではないため、つまづいている児童の把握や、指導すべきポイントを教員一人に対応しようとするとかかなりの時間的ロスを生じる。このため、本研究における学習者の状態を的確に把握するアルゴリズムに基づき、この結果を教員へフィードバックする機構は有用な授業支援ツールとして広く利用されることが期待される。また、プログラミング教育が2020年に必修化されてからも、実施にあたって手探りの状態の小学校が多い中で、算数の理解の深化についての学習効果を確認済みの学習モデルを提示できたことは、授業をすぐに実践できるだけでなく、より俯瞰的な授業設計ができるようになるであろう。

研究成果の概要(英文)：As a result of this research, we have developed a curriculum and a classroom model for elementary education. This not only cultivates programming thinking, but also helps to deepen the understanding of arithmetic. In addition, we were able to clarify the learning effect of this model. Furthermore, our system recorded the child's source code change history and analyzed this learning process, and has clarified typical patterns that appear in the three types of abnormal states of the learner. Consequently, we have made it possible to present non-concentrated or confused students to teachers. We have also been able to efficiently extract peculiar things from the students' programs.

研究分野：教育工学

キーワード：プログラミング教育 初等教育 学習履歴 学習分析 学習支援システム

1. 研究開始当初の背景

プログラミング教育を初等教育に導入することが現在検討されており、小学校、自治体、企業などが連携して各種プログラミング講座も開講されている。プログラムの作成環境も、小学生が取り組みやすいように数多くのビジュアルプログラミング言語が提供されており、学ぶ環境はかなり整ってきている。しかし、児童がプログラムを作成する思考プロセスの特徴や、つまりき箇所については現場の教員が経験的に把握しているのが現状で、十分な学習分析をしていないことが多い。このため、高等教育や成人向けの初学者用プログラミング教育と同じ指導方法を小学生に適用してよいのかも明確になっていない。また、児童にプログラミングを学ばせる理由として言及される論理的思考力や問題発見・解決力などの向上についても、データに基づいて理論的には示されていない。

学習者の個々の学習状況やクラス全体の傾向を教員が正確に把握するためには、学習者の学習活動内容を詳細に記録し、このデータに基づく学習分析をすることが必要である。我々は閲覧履歴可視化システムとして学習者が Web 教材を閲覧する行為をページ単位・秒単位で学習者別に記録・可視化できる枠組みと、編集履歴可視化システムとして学習者がブラウザ上で行うプログラムの編集作業の履歴を秒単位で記録・可視化できる機構を既に開発した。

しかし、これらのシステムを用いた小学生向けのこれまでの実証実験では、公開講座やキッズカレッジなど単発的な形で実施した授業によるもので、プログラミングのカリキュラムを網羅的に扱うことができていない。このため、小学生向けプログラミング教育用の効果的なインタラクショナルデザインを構成するには至っていない。また、教員に提示する情報も、学習者別の活動内容の推移を可視化しているにとどまっており、プログラム作成時の学習者のごとの傾向やつまりきに関する分析結果を提示する支援機構を構築できていない。一般的にプログラミング教育は学習者の理解度のバラツキが大きくなる傾向が高いため、小学生向けにプログラミング教育を展開するためには、学習者の個別の学習指導を効率的に行うための支援システムが不可欠となる。

2. 研究の目的

本研究では、Scratch をベースとした学習者のプログラム編集履歴を含む詳細な学習活動を記録できる教育システムを用いて、小学生のプログラミング学習過程を分析し、学習者の状態を的確に教員に提示できるシステムを構築することにある。これと並行して、小学校におけるプログラミング教育を一般教科と関連付けて実施する際の授業モデルも構築する。この際、対象は算数科の科目を中心に扱うこととし、プログラミング教育と組み合わせることによる理解の定着や深化を図れるモデルを検討する。

3. 研究の方法

会津若松市内の小学校と連携し、現場教員と協議しながらプログラミングに関するパイロット授業を実施し、プログラミング授業のカリキュラムと授業モデルを作成する。このモデルに基づいた授業の実証実験を実施し、その際に編集履歴可視化システムにより児童のプログラム作成の推移をすべて記録し、このデータに対する学習分析を実施する。並行して、プログラミング教育と一般科目の連携による理解の深化について、事前・事後テストによりこれを評価する。

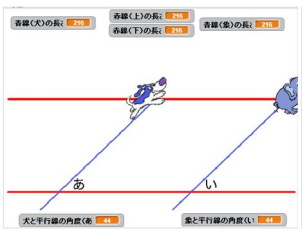
4. 研究成果

(1) 小学校におけるプログラミング教育の授業モデル

本研究では会津若松市内の小学校と連携し、プログラミング授業のカリキュラムと授業モデルを作成した。新学習指導要領で求められている一般教科にプログラミングを盛り込むことに対応させるため、主に算数と関連させた授業内容とした。初年度においては、プログラミングを学ぶことがいずれの学年も初めてであるため、総合的な学習の時間でプログラミングの基本を学習し、次のステップとして一般科目でプログラミング学習を行うカリキュラムとした。

算数の単元としては、苦手意識を持つ児童が多いと考えられるものを現場の教員に選び出してもらい、その中からプログラミングとの親和性が高いものに絞り込み、授業モデルの作成と実証実験を実施した。4 学年の単元「四角形を調べよう」では、平行線の性質と、各種四角形の定義についてプログラミングを通して筋道を立てて考えさせる内容と(図 1・図 2)、対角線の長さや交差角を決めると、四角形の種類が定まることについてプログラミングを通して考えさせる二つの取り組みとした(図 3・図 4)。対角線となる 4 つの線分の長さや交差角を変化させることで、正方形、長方形、平行四辺形、ひし形の順で描画に取り組みさせた。ポイントとなるのは、「交差角が直角か否か」、「対角線の長さが等しいか否か」、「中点で交わるか否か」の三種類の特

徴が各四角形でどのように異なるのかを意識させることである(図8)。この性質の理解が不十分な生徒の場合、正方形の設定値から長方形に変更する際に意図せず平行四辺形やひし形を描画させてしまうことがよくあった。この誤りに対する試行錯誤で、それぞれの四角形の対角線の



性質について気づきを促すことができる。さらに発展問題として、「中点で交わらない = 1つの対角線を構成する2つの線分の長さが異なる」という関係を誘導して、等脚台形を描かせることも考えさせた。

図1 平行線に交わる二つの直線を描画

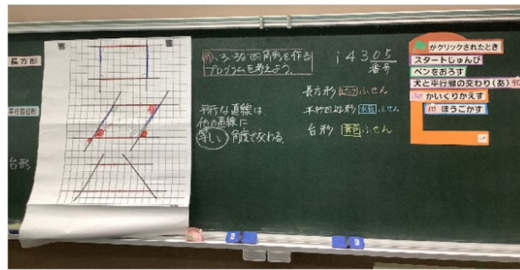


図2 交差角と四角形に関する板書

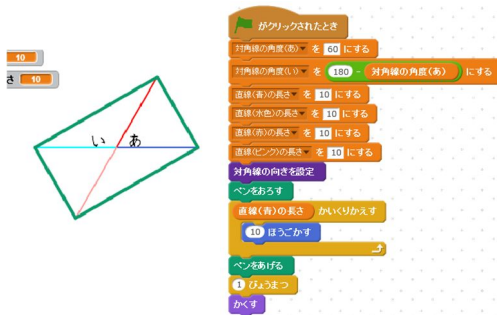


図3 対角線に基づく四角形の描画

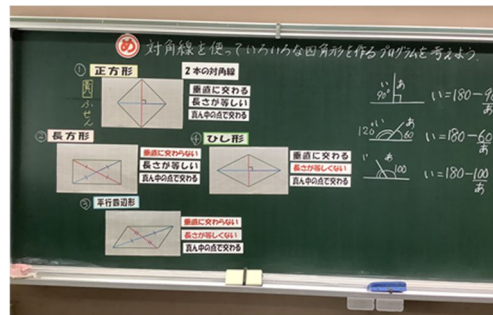


図4 四角形の対角線の性質に関する板書

5 学年における単元では「正多角形と円」、「多角形の面積」、「単位量当たりの大きさ」、「倍数と約数」を扱った。単元「正多角形と円」では、プログラミングの事例としてよくある内角指定で描画させるのではなく、正多角形の中心角を指定する円との関係性を重視した内容とした。中心点から外接円に到達するまでの半径を描き、これを指定した中心角で方向を変えながら辺の数だけ繰り返すプログラムとなる(図5)。この外接円との接点を順番に結ぶことで正多角形を描く。単元「多角形の面積」では、用意した図形の回転と平行移動の組み合わせをプログラムで実現し、三角形から様々な多角形を作り出して形の性質と面積の公式について考えさせる取り組みとした(図6)。単元「単位量あたりの大きさ」については、二つの広場の面積を指定後に、広場をクリックするとスプライトが描かれ、面積あたりのネコの数、ネコ1匹あたりの広さのそれぞれの値を画面に表示させるプログラムとした(図7)。単元「倍数と約数」では乱数で約数を考えさせる問題を出し、回答された一つの数が約数かどうか判定させるというクイズプログラムに取り組む授業モデルとした(図8)。ポイントは剰余と約数の関係に気付かせ、約数の判定条件である剰余 = 0 という条件式を立てることができるかという点にある。

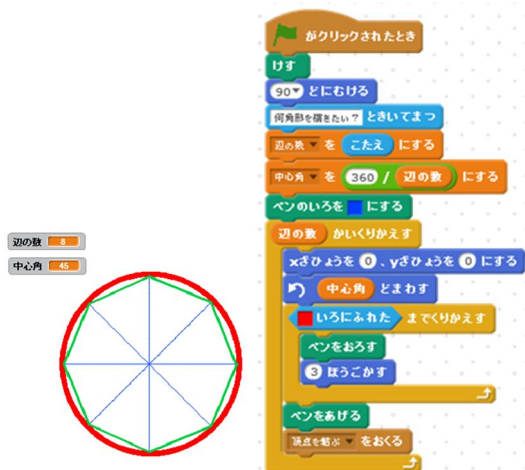


図5 円と多角形のプログラムと実行結果

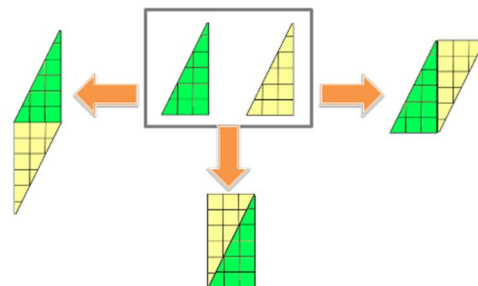


図6 三角形の移動プログラムから多角形を構成

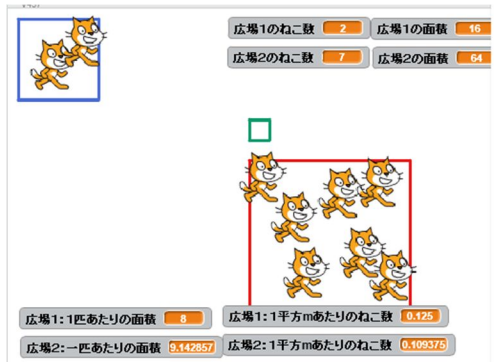


図7 単位量あたりの数のプログラム実行結果



図8 約数クイズプログラム

6 学年における単元「点対称」では、多様な図形を回転させたとき、回転角に応じた図形の重なりを考えさせるところから点対称の概念へとつなげる取り組みをさせた（図9）。

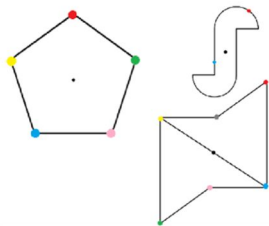


図9 プログラムにより回転させる図形の一例

これらのいずれの授業モデルにおいても、プログラミング的思考と一般教科の理解の深化がトレードオフの関係となる。約数クイズの作成のようなシンプルなプログラムの場合には問題ないが、算数で学ぶ内容に沿って対象となる約数をすべて枚挙させるようなプログラムとなると、算数的な難しさよりもプログラミングそのものの難しさが大きなウェイトを占めてしまうことになる。今後、他の単元に拡大していく場合にも、このバランスの取り方が課題となってくる。

(2) プログラミング教育を一般教科と連携させた場合の学習効果

プログラミング授業における算数の理解の深化を検証するために、事前・事後の単元テストを複数の単元で実施した。その結果、いずれの単元においても小テストのほぼすべての問題で正答率の改善を確認できた。特にプログラミングで考えさせたポイントに関連する問題や、元々正答率が低い問題での改善傾向が大きいことも明らかになった。例えば、ひし形の2つの対角線の長さの違いについての理解度を問う問題では、プログラミングを用いていない学習の単元終了時点では66%の正答率であったが、プログラミング学習後は85%まで改善された。これは単に復習による効果ではないことも実証実験では示している。通常の単元終了時と、プログラミング学習をする前の単元復習授業後のテストの結果を比較すると正答率は必ずしも改善されず、プログラミング学習で復習した場合よりも効果が低いことが示されたからである。

(3) 学習履歴に基づく、プログラム作成時の思考パターン分析

プログラムの作成過程において、目的とする課題の構成要素を分解して取り組むことができる児童と、分解せずに作成する児童に大きく二分されることが学習履歴の分析により明らかになった。順次処理のみで構成されるようなプログラムにおいても、処理の区切りを意識して部分の完成とデバッグを繰り返しながら作成する児童は、分岐やループといった制御構造においても同様の作成方法でプログラムをスムーズに完成できる傾向を示した。一方、一般のプログラミングにおけるステップ実行的なアプローチができない児童は、意図しない動作結果に対する論理エラーの原因を発見するのに時間を要してしまうため、最終的な完成も遅れる傾向を示した。これは、Scratchでのプログラミングだけでなく、ロボットカーやドローンなどのガジェットを題材した場合でも、それぞれの児童のプログラム作成手順において同じ傾向が現れることも確認できた。デバッグの基本の考え方を教員側であらかじめ提示した場合には、順次処理において構成要素の分解と部分実行ができる児童が増えるが、分岐やループが含まれる複雑な構造になるとプログラムの構成要素をうまく分解できない児童が一定数いることがわかった。問題の切り分けが上手なグループに対して、これらプログラミング的思考で求められる「分解」が十分で

ないグループの児童は、デバッグにおいても手当たり次第の試行錯誤となりがちのため、学習履歴においてもプログラムの構成要素の削除を頻繁に行うという特徴的なパターンとして現れることがわかった。

さらに、事前・事後テストと編集履歴とを組み合わせ分析した場合に、事後テストで得点が悪化している児童群は構成要素の特定部分を連続して追加・削除する回数が明らかに多いこと、30秒以上編集操作がない回数も多いことなどの特徴が示された。

本研究ではこれらを特徴量として、学習者の異常状態を以下の3つの状態に分類して提示するシステム構成とした。

- 状態1：放棄
 - まったくわからない、集中力が切れている
 - 特徴量：長時間編集作業がない
- 状態2：混乱
 - 論理エラーの原因に見当がついておらず、やみくもに修正
 - 特徴量：短時間で何度もブロックの追加・削除をしている特徴量2：
- 状態3：逸脱
 - クラス全体の傾向から逸脱したプログラムを作成
 - ◇ 全く見当違いの誤ったプログラムを作成しているケース
 - ◇ 他の学習者とは異なる斬新なアイデアでプログラムを作成しているケース
 - 特徴量：使用している構成要素の種類別個数を成分とするベクトル

編集履歴に基づき、これらの状態に陥っている児童を抽出することにより、状態1と状態2の場合であれば教員にサポートが必要なことを効率的に提示することが可能となる。また、状態3については、多様な考え方のプログラムを教員が効率よくピックアップするのに有効である。

なお、状態3を抽出するのに用いる特徴量は、クラス全体の進捗状況を把握するのにも有用である。取り組ませている課題プログラムの必須の構成要素を、クラスメンバの何割が必要数用いているかを確認することで、進捗の概要を視覚的に把握できるからである。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Katsuyuki Umezawa, Tomohiko Saito, Takashi Ishida, Makoto Nakazawa, Shigeichi Hirasawa	4. 巻 vol.1344
2. 論文標題 Learning-State-Estimation Method Using Browsing History and Electroencephalogram During Programming Language Learning and Its Evaluation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Communications in Computer and Information Science	6. 最初と最後の頁 40-55
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件／うち国際学会 6件）

1. 発表者名 Katsuyuki Umezawa, Takashi Ishida, Makoto Nakazawa, and Shigeichi Hirasawa
2. 発表標題 Application of Grouped Flipped Classroom to Three-Year Actual Class and Its Statistical Evaluation
3. 学会等名 2021 2nd International Conference on Education Development and Studies (ICEDS 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Katsuyuki Umezawa, Takashi Ishida, Makoto Nakazawa, and Shigeichi Hirasawa
2. 発表標題 Evaluation by Questionnaire on Grouped Flipped Classroom to Two-Year Actual Class
3. 学会等名 ICACIT2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Katsuyuki Umezawa ; Makoto Nakazawa ; Masayuki Goto ; Shigeichi Hirasawa
2. 発表標題 Development of Debugging Exercise Extraction System using Learning History
3. 学会等名 IEEE T4E 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中澤真, 梅澤克之
2. 発表標題 Scratchを用いた小学校算数科におけるプログラミング教育実践とその学習分析
3. 学会等名 電子情報通信学会 教育工学研究会 (ET) Volume 119, Number 331
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中澤真, 梅澤克之
2. 発表標題 授業支援のためのビジュアルプログラミングの編集履歴に基づく学習分析
3. 学会等名 情報処理学会全国大会第82回
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Katsuyuki Umezawa, Makoto Nakazawa, Masayuki Goto, and Shigeichi Hirasawa
2. 発表標題 Development of problem extraction tool for debugging practice using learning history
3. 学会等名 the 17th Annual Hawaii International Conference on Education (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Katsuyuki Umezawa, Takashi Ishida, Makoto Nakazawa, and Shigeichi Hirasawa
2. 発表標題 Application and Evaluation of a Grouped Flipped Classroom Method
3. 学会等名 the IEEE International Conference on Teaching, Assessment and Learning for Engineering (TALE2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Katsuyuki Umezawa, Takashi Ishida, Makoto Nakazawa, and Shigeichi Hirasawa
2. 発表標題 Evaluation by Questionnaire on Grouped Flipped Classroom Method
3. 学会等名 the IEEE 10th International Conference on Engineering Education (ICEED2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中澤真, 梅澤克之, 平澤茂一
2. 発表標題 粒度の高いコンテキストウェアな学習履歴を組み合わせた学習者分析
3. 学会等名 経営情報学会 PACIS2018主催記念特別全国研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中澤真
2. 発表標題 小・中学校におけるプログラミング教育の実践と課題
3. 学会等名 第10回「次世代e-learning」公開フォーラム
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	梅澤 克之 (UMEZAWA Katsuyuki) (20780282)	湘南工科大学・工学部・教授 (32706)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------