

令和 5 年 6 月 16 日現在

機関番号：33109

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K02985

研究課題名（和文）教授者に依存しない小学校プログラミング教育教材の研究開発

研究課題名（英文）Research and development of teaching materials for teacher independent programming education in elementary schools

研究代表者

南雲 秀雄（NAGUMO, Hideo）

新潟青陵大学・福祉心理学部・教授

研究者番号：90300087

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、教授者に依存しない小学生対象のプログラミング教育教材とプログラミング的思考評価ツールの開発を行った。その際、小学生に対するプログラミング教育実践を通して、これらを同時に改善する手法を採用した。評価ツールについて我々はアルゴリズム表現、難易度、解答時間の改善を行った。また、アルゴリズム表現を見てその結果を答えるか、結果を見てアルゴリズム表現を答えるかの比較検討、条件分岐問題制作用平面パターンの生成、評価問題のCBT（コンピュータで解答する形式）化を行った。教材としてコーディングシートを使用するが、これについて、難易度と各ステップ内容の改善を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義は、国内において初めて問題によるプログラミング的思考力を評価するツールを開発したことにある。これまでに、質問紙（自己申告）によるプログラミング的思考力の評価ツールは存在していたが、問題により客観的に評価を行うツールは開発されていなかった。また、本研究の社会的意義は、本研究で開発した教材を使うことにより、大学生・専門学校生のアシスタント派遣や企業・団体からのサポートが期待できない農村部の小学校で都市部の小学校と同等な学習効果のあるプログラミング教育が実施できるようになることである。これにより、プログラミング教育の地域格差を解消することができる。

研究成果の概要（英文）：In this research, we developed teaching materials for programming education and Computational Thinking evaluation tools for elementary school children that do not depend on teachers. For that, we adopted a method to improve teaching materials and evaluation tools at the same time through programming education practice for elementary school children. We have improved the algorithm expression, difficulty level, and answering time for evaluation tools. In addition, we compared whether to look at the algorithm expression and answer the result or look at the result and answer the algorithm expression, generate plane patterns for creating conditional branching questions, and convert questions to CBT (Computer Based Testing). We used coding sheets as teaching materials, and for these, the difficulty level and the contents of each step have been improved.

研究分野：情報教育

キーワード：プログラミング教育 小学生 プログラミング的思考 コーディングシート 評価ツール

1. 研究開始当初の背景

(1) 平成 29 年 3 月に公示された小学校学習指導要領により、2020 年 4 月から小学校で「プログラミング的思考」を中心とした情報活用能力を育成するためにプログラミング教育が必修化されることとなった。これに伴い各地で小学生向けプログラミング教室が開催されたり、ウェブ上にも様々なプログラミング教育実施事例が紹介されたりしている。しかし、それらの取り組みの多くは、専門性が高く経験豊かな教授者が実施する人力集約的なものとなっており、人手の確保が難しい農村部での実施可能性について検討されていない。

(2) 小学生に対するプログラミング教育の目的は「プログラミング的思考」の育成とされているが、紹介されているプログラミング教育実施事例では、その学習効果が定量的に示されておらず、客観的に「プログラミング的思考」の力を評価するツールも国内では開発されていない。

2. 研究の目的

(1) 本研究の目的は「人的条件が整っていない場合でも、専門性が高く経験豊かな教授者が実施する人力集約的なプログラミング教育と同等の学習効果をもたらすプログラミング教材の研究開発」である。

(2) 上記の目的を達成するためには、教材の開発に合わせてその学習効果を測定する必要がある。そのため、本研究のもう一つの目的を、客観的に「プログラミング的思考」の力を評価するツールの開発とする。

3. 研究の方法

(1) 実際にプログラミングを行う機材に合わせて、その機材を使ってプログラミング学習を実施していくためのコーディングカード(後に「コーディングシート」と名前を変える)を開発する。このカードは、小学校のプログラミング教育で推奨される、①スモールステップ学習、②協働型の学習スタイル、③モチベーションの維持を可能とするものである。

(2) 教材の評価を行うためにプログラミング教育の学習効果を定量的に測定する評価ツールを開発する。小学校のプログラミング教育の目的が「プログラミング的思考」の育成であるため学習効果の対象はプログラミング的思考の力とする。

(3) プログラミング教育教材の開発の際は、その教材を使うときの学習効果の測定が必要であり、学習効果を測定する評価ツールの開発には、プログラミング教育教材を使用したプログラミング教育の実践が必要である。このように、プログラミング教育のための教材と評価ツールは互いに依存しあうものであるため、相互に改善し合うサイクルを回すという手法を採用する。

4. 研究成果

(1) 諸外国におけるプログラミング教育の目的は、コンピューショナルシンキング (CT) の育成であることを受けて、CT 評価ツールを、開発者、国、対象学年、問題様式 (多肢選択問題等)、評価する CT 要素、テストスタイル (事前・事後テスト等)、問題数、所要時間についてまとめて内容の比較を行った。その結果、①多岐選択問題や、はい/いいえで解答する問題、命令を正しい並び順にする問題が多く使われており、採点とオンライン化が容易な作りとなっていること、及び、②評価を行う CT の要素としては、概念と技能を使用するものが多く、その中でもアルゴリズム的思考を評価対象の 1 つとしているものが多い、ということが示された。

(2) プログラミング的思考評価ツールに使用するアルゴリズム表現を検討するために、プログラミングの初学者にとって理解しやすく、表現しやすいアルゴリズム表現を見つけ出す実験を行った。比較の対象とするアルゴリズム表現として、①構造化をしていない文章 (普通の日本語)、②階層構造を持たせた箇条書き (構造化日本語)、③Scratch のようなブロック形式 (ブロック)、④フローチャート、⑤アクティビティ図、⑥NS チャートを使用した。実験では、大学生 13 人が質問票に回答した。条件分岐中心のアルゴリズムの理解、条件分岐中心の表現、繰り返し中心のアルゴリズムの理

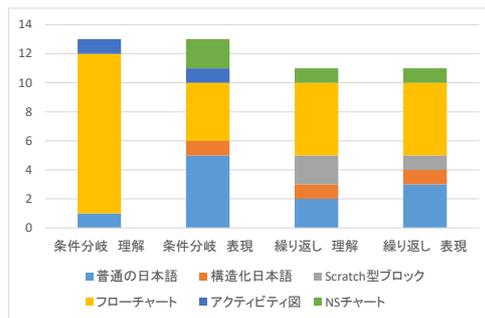


図 1 理解・表現しやすいアルゴリズム表現

解，繰り返し中心の表現について，一番使いやすいアルゴリズム表現を尋ねた結果を図 1 に示す。分岐中心のアルゴリズムでは，フローチャートが一番理解しやすいという結果であり，同表現方法は，繰り返し中心のアルゴリズムの理解と表現でも良い評価を得ている。

(3) 教材を開発するためには教材を評価するツールが必要である。一方，評価ツールを開発するためには教育実践での教材の使用が重要である。このように，教材開発と評価ツールの開発には相互依存の関係があることから，小学生向けプログラミング教育教材と評価ツールを並行して改善するプロセスを提案した。その際，教材改善の要素として，プログラミング的思考の習得レベル，学年に合った難易度，興味・関心を挙げた。また，評価ツール改善の要素として，学年に合った難易度，解答時間，信頼性・妥当性を挙げた。

この提案に基づいて，小学校 6 年生 22 人に対し，2 コマの授業時間のプログラミング体験教室を実施した。その際使用したコーディングカードの例を図 2 に，プログラミング的思考評価ツールの問題例を図 3 に示す。この教室において，本教材を使い上述の教授方法を実践し，本評価ツールを用いて事前・事後テストを行った。その結果，事前テストから事後テストへの平均点の上昇が認められた。しかし，上昇が僅かであったことから，教材についてはプログラミング的思考を高める要素を強化する必要性が確認され，また，評価ツールに関しては，難易度を調整する必要性が認められた。



図 2 コーディングカードの例

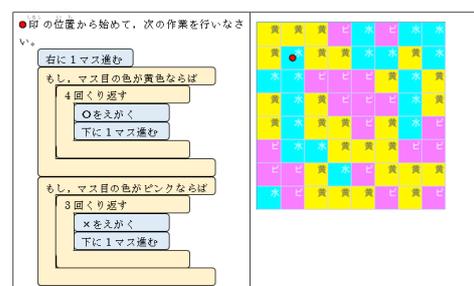


図 3 プログラミング的思考評価ツールの問題例

(4) GIGA スクール構想によって一人一台の情報機器の使用が実現したことで，紙を使わない情報機器での学習作業への移行が考えられた。そこで，VPS（仮想専用サーバ）にインストールした e ラーニングシステム Moodle 上にプログラミング的思考評価ツールの問題バンクを構築し，評価問題の CBT 化を図った。紙の上に鉛筆で○や×の記号を描き込んで解答してもらう方式の問題を電子化する場合，Moodle のドラッグ&ドロップマーカーという問題タイプを使用すると，紙の場合と同じように○や×をマス目に配置できる。これにより，難易度が同等で異なる問題の提示が可能になり，一人の生徒が何度でも評価ツールに解答できるようになった。

(5) これまでに開発したプログラミング的思考評価ツールの問題は，アルゴリズム表現を提示して，それを実行したときの結果（以下，「アウトカム」と呼ぶ）を描いてもらうというものであった。一方，それとは逆の，アウトカムに対するアルゴリズム表現を解答する問題作成も可能である。そこで，アウトカムを提示して，そのアウトカムを生成するためのアルゴリズム表現を解答する問題を試作し，作成プロセスで生じる課題を検討した。その結果，同じアウトカムを生成するアルゴリズムが 1 つではないことからアウトカムからそれを生成するアルゴリズムを解答する問題は，アルゴリズムからそのアウトカムを解答する問題に比べて問題作成が難しくなることが示唆された。

(6) プログラミング的思考評価問題の条件分岐をテーマとした迷路問題を制作する中で，高々  $m$  の距離を直進すると必ず丁字路に突き当たる平面を埋める通路の規則的なパターンにはどのようなものがあるかという問題に行き当たった。そこで，この問題をシミュレーションにより解いた。その結果は，図 4 に示す，ピンホイール，バスケットウィーブ，ヘリンボーンの 3 つのパターンであった。さらに，見つかった 3 つのパターンを用いて迷路問題を試作した。

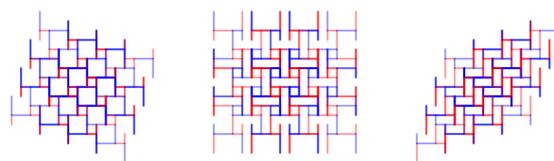


図 4 3 つの連続丁字路パターン（左から，ピンホイール，バスケットウィーブ，ヘリンボーン）

(7) 小学生対象のプログラミング教室において，プログラミング的思考力の評価を行った。1 回 1.5 時間（17:30～19:00）のプログラミング教室を 8 回開催し，第 1 回目の開始時に 10 分間の

事前テストを、第 8 回目の開始時に事後テストを実施した。プログラミング教室の参加者は、6 年生 4 人、5 年生 5 人、4 年生 1 人、3 年生以下 10 人の計 20 人であった。第 1 回目は 20 人全員が参加したが、Covid-19 の影響もあり、事後テストを実施した第 8 回目の参加者は 17 人、全参加者 20 人の平均参加日数は 6.8 日であった。

8 点満点の事前・事後テストについて、事後テストの平均点が事前テストの平均点より 0.76 点高いという結果であった。しかし、検定の結果有意差は認められなかった。これについて効果量を求めたところ中程度の効果であった。この分析で得られた、平均値の差、差の標準偏差、及び有意水準、求める検定力の値を使用して「明日への分析」を行ったところ必要な標本数は 37 となった。従って、今後同様のプログラミング的思考力の評価を行うためには少なくとも 37 人のデータが必要と考えられた。

事前テストを受けた参加者 20 人を高学年（4～6 年）10 人と低学年（1～3 年）10 人に分け、平均点と中央値を比較した。同様に事後テストを受けた参加者 17 人を高学年 8 人と低学年 9 人に分け、平均点と中央値を比較した。その結果、事前テストと事後テストの両方で、高学年と低学年で平均点及び中央値に有意な違いがあるとは言えないという結果となった。しかし、この結果だけを見て、プログラミング的思考力に差がないということはず、標本サイズを増やした実験を行って確認する必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2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 Nagumo Hideo, Oomori Yasumasa, Takemura Yasuhiro	4. 巻 1
2. 論文標題 Mutual Improvement between Teaching Materials and Assessment Tools for K-12 Programming Education	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 2021 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/FIE49875.2021.9637257	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 -

1. 著者名 Oomori Yasumasa, Tsukamoto Hidekuni, Nagumo Hideo, Takemura Yasuhiro, Iida Kouki, Monden Akito, Matsumoto Ken-ichi	4. 巻 1
2. 論文標題 Algorithmic Expressions for Assessing Algorithmic Thinking Ability of Elementary School Children	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 2019 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/FIE43999.2019.9028486	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 0件）

1. 発表者名 南雲秀雄, 武村泰宏, 大森康正
2. 発表標題 プログラミング教室参加児童のプログラミング的思考力
3. 学会等名 (一社) 日本産業技術教育学会第38回情報分科会 (大阪) 研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 南雲秀雄, 武村泰宏, 大森康正
2. 発表標題 プログラミング的思考評価問題作成用連続丁字路パターン
3. 学会等名 (一社) 日本産業技術教育学会第65回全国大会 (広島)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 南雲秀雄, 武村泰宏, 大森康正
2. 発表標題 プログラミング的思考問題バンクの試作
3. 学会等名 (一社) 日本産業技術教育学会第64回全国大会(札幌)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 南雲秀雄, 武村泰宏, 大森康正
2. 発表標題 アウトカムからアルゴリズム表現へのプログラミング的思考評価問題の試作
3. 学会等名 (一社) 日本産業技術教育学会第37回情報分科会(大阪)研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 南雲秀雄, 武村泰宏, 大森康正
2. 発表標題 プログラミング教育のための教材と評価ツールの相互改善
3. 学会等名 (一社) 日本産業技術教育学会第63回全国大会(千葉)講演要旨集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 南雲秀雄, 湯澤 一, 大森康正, 武村泰宏
2. 発表標題 高等学校情報科のためのAR教材の提案
3. 学会等名 (一社) 日本産業技術教育学会第31回北陸支部大会講演論文集(新潟大学)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 武村泰宏, 南雲秀雄, 大森康正
2. 発表標題 プログラミング初学者のためのアルゴリズム表現
3. 学会等名 (一社)日本産業技術教育学会第62回全国大会(静岡)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 南雲秀雄, 武村泰宏, 大森康正
2. 発表標題 Computational Thinking評価の国際動向
3. 学会等名 (一社)日本産業技術教育学会第62回全国大会(静岡)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大森康正, 南雲秀雄, 武村泰宏
2. 発表標題 ミニ・ドローンを用いた計測・制御プログラミング教材の開発
3. 学会等名 (一社)日本産業技術教育学会第30回北陸支部大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大森康正, 今出亘彦, 南雲秀雄, 武村泰宏
2. 発表標題 ミニドローンを用いた小・中学校連携プログラミング教育の環境と教材の開発
3. 学会等名 情報処理学会 コンピュータと教育研究会153回研究発表会
4. 発表年 2019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	武村 泰宏  (TAKEMURA Yasuhiro)  (90280065)	大阪芸術大学・芸術学部・教授   (34405)	
研究分担者	大森 康正  (OOMORI Yasumasa)  (80233279)	上越教育大学・大学院学校教育研究科・教授   (13103)	

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
---------	---------