

児童の算数・数学学習を支援するための プログラミング活動の検討

向江理奈^{1,a)} 菊地寛² 遠山紗矢香¹ 竹内勇剛¹

概要: 本研究では、算数の知識を用いることが求められるプログラミング活動を通じて、児童が中学校の範囲の数学的知識を学習できるのかを調査した。公立小学校4年生から6年生の児童36名を対象に、3回にわたって、負の数や座標平面などの知識を必要とするScratchを用いたプログラミングのミッション(課題)を提供した。プログラミング活動前後での学習の進み方を調査するため、算数・数学の事前・事後テストを実施した。児童32名のテストを分析した結果、負の数の計算、座標軸の名称、座標平面の問題に正答した児童数が事後で有意に増加した。このことから、児童の一部がプログラミング活動を通して負の数や座標に関する知識を学習した可能性が示された。発話からは、座標平面の考え方とScratchのキャラクタの動きを結び付けることによって、児童がキャラクタを思い通りに動かすための値を見出していた可能性が示された。

キーワード: 小学校, プログラミング教育, 算数・数学, Scratch

A Study about Programming Activities for Encouraging Students' Learning of Mathematics

RINA MUKAE^{†1} HIROSHI KIKUCHI^{†2}
SAYAKA TOHYAMA^{†1} YUGO TAKEUCHI^{†1}

Abstract: This study examined whether elementary school students can learn mathematical knowledge in secondary school's Japanese curriculum standard through programming activities which require the students to use the mathematical knowledge. Thirty-six public elementary school students in grade four to six tried to "programming missions" which require the students to use negative numbers and coordinate planes using Scratch for three practical times. An arithmetic tests were administered to the students before and after the practices to investigate their improvement of mathematical knowledge. The results from thirty-two students answers to the test indicated that the number of the students who correctly answered to calculation with negative numbers problem, the name of coordinate axes problem, and the location of an object on coordinate plane problem in the arithmetic test significantly greater in the post-test than the pre-test. It suggested that the students learned negative numbers and coordinate planes during the programming activities. Furthermore, discourse analysis implied that the students eventually discovered numerical values which were needed to realize the students' expected movement of characters in Scratch through connecting coordinate planes knowledge with the movement of the characters.

Keywords: elementary school, programming education, mathematics, test

1. はじめに

近年、学校教育では小学校のプログラミング教育必修化やICTを活用した学習活動の充実などICT教育が推進されている。こうした中で、2020年度からプログラミングが小学校学習指導要領に含まれるようになった。しかし、小学校に「プログラミング」という新たな教科が増えたわけではない。算数や理科、総合的な学習の時間を通してプログラミングをツールとして用いたり、プログラミングについて学習したりする。その1つが小学校5年生の算数の授業の正多角形の単元にある「正多角形をコンピュータで書く」学習活動である[1]。児童はこの学習活動において、数学的

な見方や考え方を働かせることが期待されている。また、理科でセンサーの制御を行うプログラムを作成する場合でも不等号、パターンや因果関係を整理するため算数・数学の知識が必要である。

一方で、数学の本質に関する典型的な子どもたちの信念の一部として、「学校で学ぶ数学は、現実世界と、ほとんどもしくは全然関係がない」ということがあることが分かっている[2]。そのため、学校の授業で学ぶ算数・数学がプログラミングと関係していることを児童が知ることは、現実世界と算数のつながりから学ぶ面白さを知る点で重要であると考えられる。

以上のようにプログラミングでは変数や正・負の数、座標など算数・数学に関する様々な知識が用いられる。これらの知識はすべて小学校で学習するわけではないものの、プログラミングを経ることで未修の算数・数学の知識を学びやすくなる可能性も考えられる。そこで本研究では、見

1 静岡大学

Shizuoka University, Hamamatsu, Shizuoka 432-8011, Japan

2 浜松市立雄踏小学校

Hamamatsu City Yuto Elementary School, Hamamatsu, Shizuoka
431-0102, Japan

a) mukae.rina.17@shizuoka.ac.jp

童にとって未修の算数の知識を用いたプログラミング活動を提供することにより、児童が中学校数学の学習指導要領の内容を学習することが可能であるかを検討することを目的とする。

2. 背景

2.1 プログラミング環境

プログラミング教育では、目的に適した方法を選択することが重要である。大学生や社会人が学習するプログラミング言語は、多様なプラットフォームで動作するアプリを開発する目的に適した「Java」、深層学習でよく利用されている「Python」など開発の用途に適した言語や環境が使われている。これらは、英語を由来とするプログラミング言語で記述しなければならない。また、「変数」や「関数」、「制御構造」といった概念に加えて言語特有のルールの理解を必要とする。

児童や生徒がプログラミングを学ぶ手段として、こうしたプログラミング言語を学ぶことは、プログラミング特有の思考や不十分な英語の知識によりプログラミング嫌いを誘発する原因となる可能性がある。レズニックらは、「初心者が簡単に始められる方法(低い床)を提供すること」と「初心者が時とともに徐々に洗練されたプロジェクトに取り組める手段(高い天井)」[3]を考慮する重要性について示している。児童や生徒がプログラミングを学ぶためには、このような低い床と高い天井を意識した環境を用いることが効果的だろう。

文部科学省は、「小学校段階では、コンピュータに関する専門的な知識等は求められていない」、「児童の発達段階に応じて児童がプログラミング的思考を段階的に学ぶことができるようにすることが重要」[1]といったことを示している。教育用プログラミング言語にはさまざまな種類があるが、日本で幼児・小学校低学年向けビジュアルプログラミング言語として使用されている言語には、「Viscuit」がある。Viscuitは、「変数」や「関数」、「制御構造」を明示的に命令しないため子どもや情報系の専門家を目指すわけではない大人にとっても取り組みやすい。一方で、中・高学年の児童向けにはブロックプログラミング言語「Scratch」が用いられることが多い。Scratchの特徴は以下の通りである。

- 「変数」や「関数」、「制御構造」等のブロックを用いてプログラムを作る
- 数字を用いてプログラムを制御する
- 構文エラーが発生しない

上記の特徴から、Scratchは中・高学年の児童のプログラミング初心者にとって取り組みやすく、かつ基本的なプログラミングの知識を学べることがわかる。このような特徴を利用すれば、小学校でのプログラミング教育を算数や理科といった科目と関連させながら行うことも可能だと考えられる。そこで本研究では、Scratchを用いた初等教育での

プログラミング教育に焦点を当てる。

2.2 算数とプログラミング

2.2.1 海外における算数・数学のプログラミング教育

海外では、1970年代から80年代にかけて児童・生徒向けに「BASIC」や「Logo」といったプログラミング言語を用いた教育が台頭した。Logoの開発者の一人であるPapertは、Logoプログラミングの経験が、角度や変数といった具体的な数学の学習から問題解決能力までの学習を可能とする潜在的利点を挙げた[4]。近年では構築主義的なアプローチを引き継いで設計されたブロックプログラミング環境Scratchの登場により、学習者がツールをより利用し易くなった。

小学生を対象として性別や学習レベルに関係なく算数でのプログラミング学習を可能とする先行研究も行われている。ScratchMaths (SM) projectは、算数とプログラミングを融合させた学びが、児童が計算論的思考と算数的思考をより効果的に身につけることに役立つことを示した[5]。計算論的思考とは、「Computational Thinking」のことで、提唱者であるWingはすべての人にとっての「基本的な技術」になるべきだと述べている[6]。

また、日本よりも先駆けて初等中等教育でのプログラミング教育が全国レベルで行われている諸外国が存在していることがわかっている。イングランドやオーストラリアでは、2015年頃からプログラミング教育を含んだ情報教育が学校教育の中に導入されている[7]。加えて、国立教育政策研究所によると、コーディングの授業を国のカリキュラムに入れている国はイングランドやオーストラリアの他にブルガリア、チェコ、デンマークなど多数を占めていることが示されている[8]。

2.2.2 幾何とプログラミング

文部科学省は、小学校5年生の算数の授業でコンピュータ内のキャラクタに進み方についての命令を与えることでプログラミングによって正多角形を描画する学習カリキュラムを提示している[9]。正多角形を描画するためには、何度回ればよいのかなど図形の知識を利用しなければならないため算数や数学的な見方や考え方が必要である。また、「自分自身が意図する動きの実現のためどのような動きの組み合わせや改善していくが必要であるのか論理的に考えていくプログラミング的思考」[9]を働かせることも可能だと考えられる。さらに、従来の紙媒体の教科書では算数や数学の動的な考え方や場面を説明できないことが明らかになっている[10]ため、プログラミングを用いることで動的な考え方や場面を説明することが可能となる。

プログラミング言語「Logo」を用いることで佐伯は、学習者が「幾何の証明過程にそって実行したり新しい証明を見つけたりする」ことができると示している[11]。例えば、キャラクタの動きとプログラミングにおける算数・数学的な知識を絡ませることで児童が新たな規則や適切な値などを発見することが可能であると考える。なお現在では、Logo

に代わりビジュアルプログラミング言語 Scratch が台頭してきたため、児童は Scratch を用いて幾何の特徴を見つける活動に取り組むことが可能だと考えられる。

2.2.3 負の数とプログラミング

中学校学習指導要領は、正の数及び負の数を学ぶことにより、①反対の方向や性質を数で表すことができる、②数を数直線上に表すことができる、③減法がいつでも可能になるというように数字の世界の可能性の広さについて示している[12]。小学校の児童がプログラミングに触れる際、児童の多くは負の数が未修だと考えられるにもかかわらず、プログラミングでは負の数を用いる必要があるだろう。例えばプログラミングでは、①オブジェクトの向きや位置を正や負の数を用いて表さなければならない。また、②を応用した形で進む大きさを左に進むならマイナス、右に進むならプラスというように表現できる知識も必要である。他にも、得点が 10 の変数の値から 3 減らすためには「-3」をしなければならないというように③の要素を必要とする。

さらに、マイナスをつけるだけで方向を変えたり、2次元平面上の場所を表したりすることができる状況がプログラミングで与えられれば、児童は授業として学ぶのではなく具体的な動きの中で負の数に触れることが可能になるだろう。学校の算数の授業で負の数の定義や計算方法の講義を受けるのみよりも、プログラミング活動を経験することで、日常生活に通じる動きにも負の数に関わっていることがより実感できると考えられる。

2.2.4 座標とプログラミング

Scratch を例に挙げると、プログラミングは座標平面と深くかかわっている。例えば、オブジェクトの位置を X,Y 座標を用いて表し、縦の動きであれば Y 座標、横の動きであれば X 座標のように座標の概念を活用する。このため、プログラミングを行う者は座標平面の知識を知っていることが望ましい。また、兼宗らの研究によると、中学生の生徒を対象とした絶対座標の理解に関する正答率がほかの構文やプログラムの問題と比較して低かったことが示されている[13]。つまり、座標を数学の授業で既に学習している中学生でさえも躓きやすいことが示された。そのため、初めて算数の授業で座標の概念を学ぶのではなく、プログラミングと座標とが大きく関わっていることを学ぶことが有効だと考えられる。

2.3 学習の転移

学習の転移とは、以前学習した事柄が以後の学習に影響を及ぼすことを指す。学習の転移に関して米国学術研究推進会議は、「何を学習したか」と「何をテストされるか」の関係によって決まるので、学習課題と転移課題の内容に重複があれば転移は生じやすい」と示している[14]。この考え方に依れば、プログラミングで算数・数学の知識を学習者が学ぶことができれば、プログラミング活動後は活動前と比較して学習者は算数のテストをより良く解く（転移課題

をより良く解く）ことが可能だと考えられる。

また、兼宗らの先行研究によると、生徒がプログラミング活動を行った後にプログラミング概念理解度の詳細を分析する目的で実施された概念理解テストでは、平均正答率が 86.1%だったことが示されている[13]。この結果から、生徒はプログラミングの授業を通して制御構造や構文といった知識を学び、それをプログラミングと異なる状況としてのペーパーテストへ反映できたと考えられる。以上から、プログラミングの活動で学習された知識の一部は活動後のペーパーテストにて評価できる可能性が指摘できる。このことから、学習者がプログラミング活動でより多く学習に取り組めば、事後のテストでより高い得点を獲得することができる可能性があると考えられる。

2.4 プログラミングに対する主観評価

算数の授業でプログラミングを用いる活動をするこによって主観評価が向上したことを示した先行研究がある。向江らの研究では、プログラミングを用いた算数の授業を通じて、児童の主観的に算数の得意度が有意に向上したことが示されている[15]。そのため、プログラミングを通じて算数に触れることは、児童の算数の主観評価に影響を与える可能性があると考えられる。

3. 実験方法

3.1 実験の目的

穴あき状態のプログラムを児童に渡して児童が「ミッション」をクリアする課題を用いて、算数・数学の数量的概念を児童が学習するための問題解決場面を設定する。「ミッション」とは算数の概念を用いてクリアすることが可能な課題のことである。算数・数学のテストとは、いわゆるテストや試験問題のような算数・数学の問題を指す。児童がミッションをクリアすることを通じて、児童の算数・数学のテストに対する正答率が向上するのかを調べることを目的とする。これは、プログラムを作成する上で用いた算数・数学の知識が、算数・数学の問題を解決する際に適用されることが期待されるためである。

また、ミッションをクリアする過程で児童がどのようなことを学んでいるのかを調べることも目的とする。このため、児童がプログラミングを行っている過程での発言や行動の特徴を分析する。

3.2 概要

浜松市内の公立小学校に在籍する小学 4 年生 (11 名)、5 年生 (9 名)、6 年生 (15 名)、発達支援 1 名の児童 36 名に対し、「パソコンクラブ」の活動の時間において 45 分×3 回のプログラミング活動を提供した。児童は自ら志願して本クラブに参加した者だった。児童は 1 人 1 台 PC を操作し、ミッションは各々個人で取り組んだ。児童同士の相談は奨励されていたが、事前事後アンケートでは児童同士は相談せず 1 人で取り組むこととした。

クラブ活動の進行は著者が行った。また、各クラブ活動は大学生等が支援を行った。大学生等の支援者の数は、1回目6名、2回目4名、3回目5名であった。大学生は本実験において、児童にミッションの直接的な答えを提示せず、ミッションにクリアするためのヒントを与える支援の仕方が求められた。また、大学生に対する集合研修形式の事前指導は行わなかったが、指導の仕方や当日に使用する配布プリントやプログラム、ミッションのクリア方法を示した動画を事前に配布した。

プログラミングツールとしてブロックプログラミング環境 Scratch (図1) を用いた。Scratch の特徴を以下に示す。

- ① 繰り返しや条件分岐といった制御構造を用いる
- ② 数字を用いてプログラムを制御する
- ③ 構文エラーが発生しない
- ④ ブロックをつなげることでプログラムを制御する

本研究では、以下の A から D のような算数や数学的な知識を必要とする Scratch の特徴を、数量的知識が求められる学習活動と捉え、児童が Scratch を用いたミッションをクリアすることで A から D の特徴を活かして数量的知識を習得できるのかを調査した。

- A) オブジェクトの向きを正や負の数を用いて表す
- B) 値の増減を正の数や負の数を用いて表す
- C) 座標を用いてオブジェクトの場所を指定する
- D) 座標を用いてオブジェクトの場所を移動させる

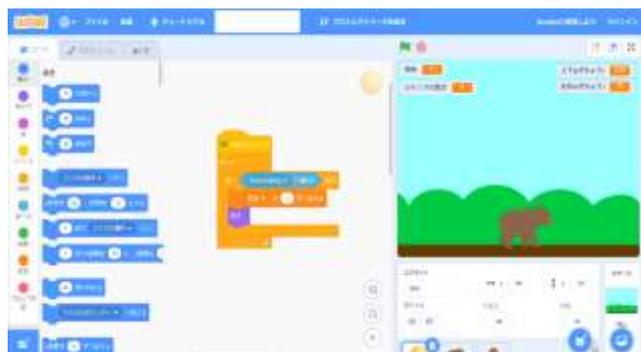


図1 Scratch の UI (画面ではミッション2を表示)

3.3 実験の流れ

クラブ活動の各回は以下のような流れで実施した。1回目では初めに Scratch の画面の縦横を座標で表すことや制御、繰り返し、ミッションについての説明を全体に行った。その後、算数・プログラミングに関する質問と数量的知識を問うテストの両方を含む事前アンケートに回答してもらった(付録 A.1)。アンケートとテストには、児童の主観評価を尋ねる質問と、算数のテストの2つを含めた。その後、児童1人ひとりに穴あきプログラムを配布し、ミッションを1から順番にクリアすることによって穴あきプログラムを完成させる時間とした。この時、児童はPCを1人1台使用し、ミッションがクリア出来た児童は手を挙げ、大学生

が次のミッションが書かれたプリントを児童に配布するという流れで進めた。最後に感想を書く時間を設け、児童は感想とどのミッションまでクリアできたのかを記載した。

2回目では、プログラミング初心者の児童が1回目でかなり苦戦していたため、初めの時間で Scratch の基本操作について全体へ補助説明を行った。その後、1回目で行ったミッションの続きからミッションに取り組む時間を児童に与えた。最後に感想を書く時間を与え、児童は1回目と同様に感想とどこまでミッションをクリアできたのか記載した。

3回目では、事前に児童がどの部分で躓いているのか回収したデータから調査を行い、躓きが見られた変数や演算ブロックについての説明とブロックの消し方や操作をやり直す方法についての基本操作の説明を行った。その後、2回目で行ったミッションの続きに取り組む時間を児童に与えた。最後に、事後アンケートとテスト及び感想を記載する時間を取り、児童は事前アンケートとテストと同じ内容の事後アンケートとテストに取り組んだ。

3.4 ミッションの内容とアンケート及びテスト

クラブ活動の課題は「未完成のゲームを、ミッションをクリアすることで完成しましょう」である。児童がゲームを完成させるために1~7までのミッションを用意した。各ミッションと学習のねらい、数量的知識が求められる学習活動の関係を表1に示す。

表1 ミッションと学習のねらいの関係

No.	ミッション	学習のねらい	特徴
1	キャラクタを左右に向ける	正の数・負の数	A
2	得点を増やしたり減らしたりする	正の数・負の数	B
3	得点が0になったらゲームオーバーにする	0の概念	B
4	モグラを引っ込める	座標平面の性質	C, D
5	ジャンプの高さを高くする	座標平面の性質	C, D
6	敵が斜めから出てくる	座標平面の性質 関数 $y=ax+b$	C, D
7	マリオみたいなジャンプ(山なりジャンプ)にする	座標平面の性質 関数 $y=ax^2$	C, D

事前・事後アンケート調査は、1回目と3回目で児童個人に対して行った。アンケートの質問数は事前(5問)・事後(2問)の計7問とし、共通質問項目は学校での算数の勉強に関する主観評価とした。これは事前と事後で児童の主観的な評価にどのような変化が見られるのか分析するために設けた。また、上記のほか事前アンケートではプログラミングの経験有無を問う質問を行った。

また、数量的知識を問うテストに事前・事後で各々12問回答させた。事前・事後の数量的知識を問うテストは同一

であり、数直線、正の数・負の数、座標平面の性質を問う5つの大問で構成した(付録 A.1)。数直線を問う問題では、数直線上に示された任意の場所の数字を答える問題に加え、今回のミッションで登場するキャラクタ(クマ)を用いた数直線を用いた問題の2種類を用意した。この問題は、今回のミッションに出てくるキャラクタを用いることでScratchによって行った活動の成果がテストへ転移しやすくなり、正答率が一般的な数直線の問題より高くなるのかを調査するために意図的に設けた。

3.5 データの記録方法

児童から回答を得た事前・事後テストとアンケート、感想用紙を回収し電子的に保存した。また、授業の様子を360度カメラ(1テーブルに1台)、PC画面レコーダ(ランダムに20台固定設置した)で記録した。研究とデータの収集に関しては、学校長を通して事前に許可を得た。また、静岡大学が実施する「人を対象とする研究に関する倫理審査」にて承認を受けた。

3.6 仮説

本研究で実施したプログラミング活動は以下を引き起こすと予想した。

1. 負の数の問題や座標の問題を含む算数・数学のテストで児童の正答率が事後で向上する。
2. 負の数の問題や座標の問題では、児童がクリアしたミッションの数と事後テストの点数に正の相関がある。
3. 座標平面の性質を学ぶミッション4以降までクリアできた児童は、事後テストで座標平面の問題に正解することができる。
4. 児童の算数に対する主観的評価が事後で向上する。
5. 児童の発言には、本活動を通じてどのようなことを学んだのかが反映される。

4. 分析方法

事前・事後のプリントが回収できた児童32名を分析対象とした。アンケートを対象とした分析では、算数に対する主観評価の変化を評価した。テストの分析では、事前・事後の児童の回答の正誤や、児童がクリアしたミッションの数との相関係数を調べた。分析では統計分析ソフト「Rバージョン4.0.3」を用いた。また、授業の様子を記録した、360度カメラの映像を用いて、抽出児の活動中の発言内容を書き起こして分析を行った。

5. 結果

5.1 算数・数学のテストの正答者数の変化

仮説1について検討するため、表2に示した事前・事後テストの結果を用いて、事前・事後を比較する対応のある両側t検定を行った。その結果、児童にとって未修だと考えられる表2の(5), (6), (7), (10), (11), (12)の問題では、正答者が事後で有意に増加したことが示された($t=-3.21$, $df=31$,

$p<.05$; $t=-4.38$, $df=31$, $p<.05$; $t=-3.99$, $df=31$, $p<.05$; $t=-2.52$, $df=31$, $p<.05$; $t=-2.39$, $df=31$, $p<.05$; $t=-3.21$, $df=31$, $p<.05$)。一方で、(9)は事後テストの正答者数が減少していたため、後述する分析を行った。さらに、児童にとって未修だと考えられる座標軸や座標平面に関する問題(大問3の(6),(7)と大問5の(10), (11), (12))に注目すると、事前テストの正答者数は少なかった。一方でこれら問題の事後の正答者数はいずれの問題についても事前より向上していたことから、クラブ活動を通じて一部児童は座標軸や座標平面について学んだと考えられる。

次に、事後テストで正答者数が減少していたクマの数直線の問題(表2の(8), (9))に注目すると、事後で正答率が下がっていた。これは、問題文にある「左に30」という表現が、Scratchでは「-30」というマイナスを用いて表すという知識を児童が得たためだと考えられる。児童はScratchでミッションをクリアしていったことで、横方向の移動の際に負の記号がついていない数字は右へ移動すると考えるようになった可能性がある。このため児童は「30」という表現を見て、「右に30」の意味だと解釈してしまった可能性が考えられる。以上より、仮説1はおおむね支持されたが、一部では支持されなかった。

表2 事前事後テストの正答者数(N=32)

テストの問題番号と内容i	事前	事後
(1) 正の数の数直線上の位置	28	27
(2) 負の数の数直線上の位置	25	26
(3) 正の数の計算	32	32
(4) 負の数の計算(計算結果が0)	12	14
(5) 負の数の計算(計算結果が負の数)	8	16
(6) X軸が縦横どちらを表すのか	12	26
(7) Y軸が縦横どちらを表すのか	11	25
(8) 数直線上のクマの移動先の場所	23	22
(9) (8)の数直線上の数値(負の数)	26	20
(10) 座標平面場のボールの場所	10	17
(11) 移動先のボールのX座標	9	14
(12) 移動先のボールのY座標	8	16

5.2 ミッションクリアとテスト回答の関係性

仮説2を検証するため、事後のテストの得点と児童がクリアしたミッションの数の相関関係を分析した(表3)。その結果、テストの負の数の問題(表3の(4), (5))で正の相関がみられたため($r=0.504$; $r=0.445$)、ミッションクリア数とテストの一部に正の関連性があることが示された。児童がミッションで学んだ負の数に関する知識を、ミッションから離れた一般的な算数のテスト形式であっても適用できたという点では、学習の転移が起こった可能性が指摘できる。

i 付録A.1を参照。

また、ミッション7まで達成した児童は4名いたが、テストの得点が満点だった児童は2名のみだった。ミッション7まで達成してもテストで満点ではない児童が2名いた背景として、先生や大学生からのヒントによりミッションを達成できたものの、なぜプログラムがそうなるのか、プログラムがどのような仕組みなのかまで児童が理解していなかった可能性が考えられる。

以上より、仮説2は一部支持された。

表3 事後テストの得点とクリアしたミッションの数の関係

テストの問題番号と内容ii	関連の深い ミッション	相関 係数
(1)正の数の数直線上の位置	1	-0.027
(2)負の数の数直線上の位置	1	0.174
(3)正の数の計算	2	※
(4)負の数の計算 (答えが0)	3	0.504*
(5)負の数の計算 (答えが負の数)	2	0.445*
(6)X軸が縦横どちらを表すか	4	0.069
(7)Y軸が縦横どちらを表すか	4	0.193
(8)数直線上のクマの移動先の場所	5	0.224
(9)(8)の数直線上の数値(負の数)	5	0.419*
(10)座標平面場のボールの場所	5, 6, 7	0.236
(11)移動先のボールのX座標	5, 6, 7	0.331
(12)移動先のボールのY座標	5, 6, 7	0.333

* $r > 0.4$

※ 全児童が正解だったため、相関係数は算出できない。

5.3 座標のミッションとテスト回答の関係性

仮説3を検証するため、座標の問題である表3の(6),(7),(10),(11),(12)とミッション4をクリアしたか否かの相関について分析した。その結果、座標の問題に対する正誤と児童がミッション4をクリアしたか否かには相関関係が見られなかったため、仮説3は支持されなかった($r=0.069$; $r=0.193$; $r=0.236$; $r=0.331$; $r=0.333$)。

仮説3が支持されなかった原因として、ミッション4をクリアできていない児童でも、ミッション4に取り組んでいる際にX,Y座標とは何を示しているのか学習した可能性が高い点が指摘できる。また、付録A.1の(6),(7)の問題でX軸とY軸がそれぞれどちらを示しているのか答えられても、ミッション4をクリアできた児童で付録A.1の(10),(11),(12)の物体が座標平面上を移動する問題すべてに正答した児童は8名に限られていたことから、X軸とY軸が何なのかを知らただけでは、児童には座標平面の問題を解くことが困難だったと考えられる。

5.4 算数に対する主観的評価

仮説4を検証するため、プログラミング活動を通じて算

ii 付録A.1を参照。

数に対する主観的評価が向上したのかを調べるためにアンケートの「算数は得意ですか」と「算数は好きですか」に対する回答について事前・事後を比較するt検定を行った。その結果、質問「算数は得意ですか」と「算数は好きですか」に対する回答はどちらも差がなかったことが示された($t=0.18, df=31, n.s.$; $t=-0.44, df=31, n.s.$)。仮説4は支持されなかった。

5.5 会話分析

5.5.1 分析基準

仮説5について検証するため、6年生の児童のグループ1と4年生の児童のグループ2を抽出して書き起こしを実施した。グループ1は6年生の女子児童2名と男子児童1名で構成されており、うち女子児童2名はミッションの進捗が同じで、話し合いながらミッションを進めていたため、2名(a1, a2)の発話に着目した分析を行った。書き起こしの総行数は696行だった。

グループ2は4年生3名(男子児童1名, 女子児童2名)からなり、10月15日の開始時点でb1(女子), b3(男子)がミッション6まで、b2(女子)がミッション5まで達成していた。グループ2は、3人で話し合いながら活動する様子は見られず、大部分が学生と児童間の発話を占めていた。書き起こしの総行数は418行だった。

発話の特徴を分析するため発話の種類別に色分けを行った(表4)。座標に関する発話のセルを黄色、値に関する発話のセルを青色、疑いや自信のない発話に対してオレンジ色、ミッションに対する疑問の発話をピンク色、Scratchのキャラクタの動きに関する発話を緑色に分類した。ミッション6, ミッション7は座標と、キャラクタが前や上に進むための値の両方について考えなければクリアできないよう構成されているため、表4の座標と値に着目した分類を行った。「座標」、「X」、「Y」といったキーワードを含まずに数値について発言していた場合はすべて青とした。また、座標と値について考える際にキャラクタがどのような動きになるのかを関連付けて話し合っているのか調査するため、動きについての発話も抽出した。グループ1では、自信がない発言や自分たちのプログラムを懐疑的に見ている発言が頻繁に見られたため、ミッションへ取り組むにつれてこうした発話数がどのように変化していくのか調査するためにオレンジ色に分類した。

グループ1の児童がミッション6に取り組んでいる発話を図2に、ミッション7に取り組んでいる発話を図3に、グループ2の児童がミッションに取り組んでいる発話を図4にそれぞれ示した。図2, 3, 4では時系列で種類ごとに色を分けることによって児童の発話の特徴を俯瞰できるようにした。図2及び図3, 図4は、書き起こしの10行分で1つのセルを表しており、a1とa2はそれぞれ女子児童を示している。また、図2と図3, 図4のセル上の「学生」という表記は支援した学生の発話が見られた部分である。図2と図3にある着色のみのセルは、a1とa2両方が発話していることを表している。図2, 図3, 図4の横軸は発話のセル数を表しているため右へ行くほど時間が経過している。

表4 発話の種類と色分け

発話の種類(発話例)	色分け
座標(「座標」,「X」,「Y」)	黄色
値(「5」,「マイナス」)	青色
懐疑的な発言, 自信のない発言(できたけど絶対違う, 分かんなかったから遊んだらできた)	オレンジ色
問題に対する漠然とした疑問(「これっていちから自分で作るの?」)	ピンク色
ジェスチャーでの再現も含む見た目や動きに関する発言(斜めにジャンプするってこと? マリオはまっすぐジャンプするのか?)	緑色

5.5.2 各ミッションの発話

図2のミッション6の前半ではピンク色のセルが見られたが、後半になるとみられなくなっていた。このことから、問題に対する疑問を児童同士で話し合う中で、ミッションで何を求められているのか解消できた可能性が高いことが示された。ミッション6の後半部分では、緑色と青色のセルが多くみられたため、変数にいろいろな値を代入して実行して、キャラクタの動きがどのように変化するかを確認していたと考えられる。

また、図4のb2は、前半部分でピンク色の発言が多かったものの、後半部分ではなくなっていることから、大学生のミッションの動きに関するジェスチャーや座標などの支援によって疑問が解消された可能性が示された。また、表1の大学生の発話の色と児童の発話の色が異なっているため、大学生は、児童がミッションにクリアするために問いかけながらヒントを出していたことが分かった。その際に大学生は、必ず「動きと値」や「動きと座標」といったように動きと算数・数学の知識を連動させて意識的に説明していた可能性が示された。一方で、子ども達の発話には大学生の支援がない限り「動きと値」や「動きと座標」を関連させて考えることができていた可能性が高いことが示された。

以上からグループ2においても対話の様相は異なったものの、「動き」「座標」「値」のように算数・数学の知識と動かしたいキャラクタの動きを座標平面上で考えることでミッションを達成することができたことがわかった。

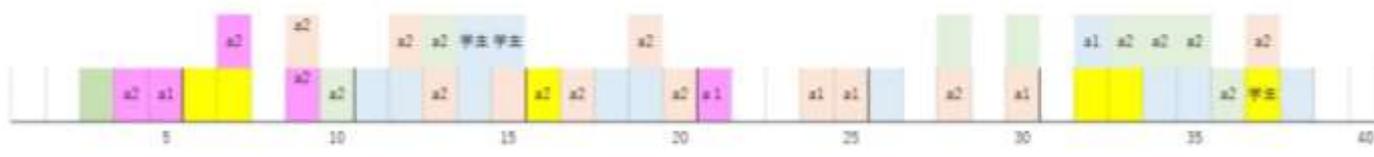


図2 ミッション6の発話の流れ (グループ1,6年生)

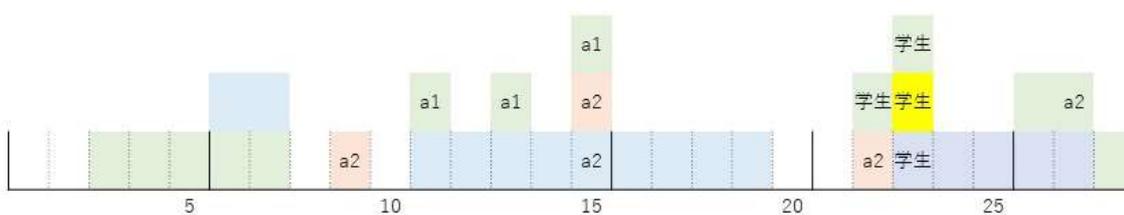


図3 ミッション7の発話の流れ (グループ1,6年生)

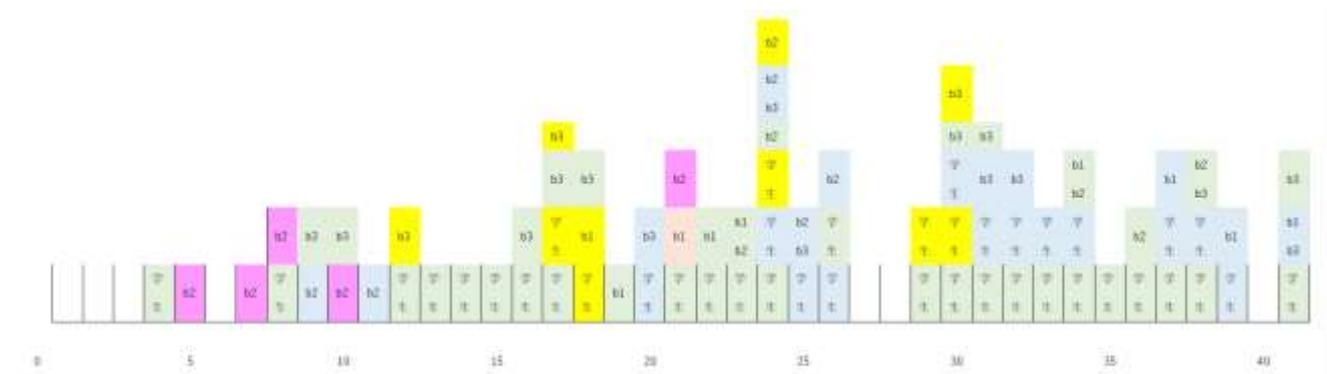


図4 グループ2の発話の流れ (グループ2,4年生)

5.5.3 大学生の児童との関わり方

図 2, 図 3 を通して, オレンジ色のセルの 75% が a2 の発話であったため, a2 はキャラクタを意図通りに動かすことに成功したものの, 実行した結果に対して自信が持てなかった可能性が示された. また, 大学生の発話の特徴として, 黄色や青色が多かったため座標平面や値に関するヒントが多かったと考えられる. 具体的な大学生の座標平面や値に関する発話例(図 3 の 23 列目に相当する)を以下に示す.

a1, a2: (クマが左を向いた状態で, クマを前方にジャンプさせようとしている)

大学生: こちら辺にほら X 座標ってところがあるじゃん. これ 0 ってことはずっとここにいるってことだよな?(その場でジャンプする動作)

この数字をどうしたら前に行ってくれる?(前に進みながらジャンプする動作)

a2: ありがとうございます. じゃあ 20 くらいにして, こっち(左を指しながら)がマイナスか

a1: マイナス

このように, 大学生が値と座標平面と動作を結び付けて考えることを児童に示すことで, 児童は座標の値の変化によって動きが成り立っていることへの考えを深め, キャラクタに山なりにジャンプをさせるための値の設定方法を考えることにつながったことが示された. このことは, 児童の発話で緑と青が同時に出てきている回数が多いことから示された.

以上より, 座標平面の仕組みを学ぶための仕掛けとなっているミッション 6, 7 にクリアするためには, 「動き」「座標」「値」の 3 つについて関連付けて考えることが重要であることが示された. 以上より, 仮説 5 は支持された.

5.6 考察

本研究では, 算数の概念を用いたプログラミング活動で児童は中学校数学の学習指導要領の知識を学習することが可能であるかを検討した. 計 3 回のプログラミング活動時間の中でも, 活動前と比較して活動後の児童の算数の問題に対する正答率が向上したため, 児童は数量的知識を含んだミッションを課したプログラミング活動を行うことによって身につけた知識をテストに適用できた可能性が示された. 一部では, Scratch の仕様に反したテスト問題によって, 事後テストで正答率が低下した問題も見られたが, この結果は児童が, マイナスについて方向を表す記号として学ぶことができたとも捉えることができた.

主観的な評価については, 事前と事後で有意差が見られなかった. その背景として, 今回は算数の授業としてではなくプログラミングのクラブ活動として算数の知識を学習させたことから, 児童の中でプログラミング活動と算数の主観的な評価とが結び付かなかった可能性が考えられる. また, 初等教育の算数の範疇を超えた内容を取り入れたプログラミング活動だったこともあり,

算数との関わりが児童には感じ難かった可能性も示された.

また, 児童は一部の負の数の事後テストに正解することができた. ミッションをクリアした数と負の数のテスト問題の正答率では相関がみられたが, ミッションをクリアした数とテスト全体の正答率には相関がみられなかった. テスト全体の正答率に相関がみられなかった原因として考えられるのは, プログラミング活動として実施したため児童がミッションを達成することに重きを置いてしまった可能性があると考えられる. 高次のミッションまでクリアできた児童が座標のテストで高得点を取れなかった背景として, 付録 A.1(10)と(11), (12)の問題では座標平面と負の数の両方の知識を統合して扱うことが求められたため, 児童にとって問題の難易度が高かった可能性が考えられる.

加えて, 発話分析では座標平面の仕組みを学ぶための仕掛けとなっているミッション 6, 7 にクリアするためには, 「動き」「座標」「値」の 3 つについて関連付けて考えることが重要であることが示された. また, ミッション 6, 7 のように高次のミッションに児童が取り組む際には学生の支援が必要だったことも示された. 本研究では学生の最適な支援方法を探り出すことを主目的としていないが, 学生は児童を支援する際に 5.5.3 の発話の具体例から分かるように, ミッションの直接的な答えを示すのではなく, ミッションをクリアするために必要な情報のうち, 児童の議論に含まれていない情報を提供していたことも示された.

6. まとめと展望

本研究の結果から, 児童に中学校数学の内容と関連させたプログラミングの課題(ミッション)に取り組ませることで, 児童が中学校の数学の知識を用いてミッションにクリアできる可能性が示された. また, 負の数の事後テストの得点が向上したことから, 一部の児童は負の数についてプログラミングを通じて学習したことが示された. 発話の分析からは「動き」「座標」「値」のように算数・数学の知識と動かしたいキャラクタの動きを座標平面上で考えることが本ミッションを達成するために重要であることが示された. 一方で, 座標平面上の物体を移動する問題については座標と値の両方の知識を現実の世界に落とし込んで考えなければならなかったため, 座標平面についての学習支援は本活動では不十分だったと考えられる. 以上をまとめると, 事前・事後のテストとミッションの達成度, 児童の発話分析の 3 点から, 児童が中学校学習指導要領の範囲の数学の知識をプログラミングの活動を通じて一定程度学習することが可能であることが示された.

本研究の限界の 1 点目は児童がクリアしたミッションの数とテストの点数に正の相関がみられたことが, もともと算数・数学やプログラミングが得意な児童ほど, より多くのミッションにクリアすることができることに支えられた可能性が否定できないことである. 今後は, 算数や数学について児童がどの程度得意であるかを踏まえたうえで検討を進めることが求められる. 2 点目は, プログラミングを用いた場合と用いない場合を比較していない

点である。これは、プログラミングを用いることなく本研究で児童へ提供した学習活動を実現しようとした場合、児童に対して様々な不利益が生じると考えられたため実施を避けた。今後はこの限界を超えるための方法を検討したい。3点目は、小学校の算数の授業での導入は、本実践が小学校学習指導要領の範囲外であるため、小学校の授業時数などの制約を踏まえると現実的ではない点である。そのため本実験のようなクラブ活動を想定した算数の授業外で活かすこと検討している。

本研究は静岡大学情報学部での向江理奈による卒業研究をまとめたものである。

謝辞 本研究は、JSPS 科研費 20K14079 の支援を受けて実施された。本研究に協力いただいた先生方や大学生ボランティア、児童に記して感謝する。

参考文献

- [1] 文部科学省. 小学校プログラミング教育の手引き(第三版), 2020.
https://www.mext.go.jp/content/20200218-mxt_jogai02-100003171_002.pdf (2021/1/13 参照)
- [2] 文部科学省. 小学校学習指導要領解説 理科編 (平成 29 年告示), 2017, p.12.
https://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afiedfile/2019/03/18/1387017_005_1.pdf (2021/2/15 参照)
- [3] ミッチェル・レズニック, 阿部 和広, 村井裕実子. ライフロング・キンダーガーデン: 創造的思考力を育む 4 つの原則, 日経 BP 社, 2018, pp.118-119.
- [4] Papert, S. Mindstorms: Children, computers and powerful ideas (2nd edition). New York: Basic Books, 1993.
- [5] Benton L, Hoyles C, Kalas I, Noss R. Bridging Primary Programming and Mathematics: Some Findings of Design Research in England, Digital Experiences in Mathematics Education, 2017, vol.3, pp.115-138.
- [6] Wing, J. M.: Computational Thinking, Communications of the ACM, 2006, vol.49, no.3, pp.33-35.
- [7] 太田剛, 森本容介, 加藤浩. 諸外国のプログラミング教育を含む情報教育カリキュラムに関する調査—英国, オーストラリア, 米国を中心として—, 日本教育工学会論文誌, 2016, pp.198-208.
- [8] 国立教育政策研究所, ICT リテラシーと資質・能力, 2017.
https://www.nier.go.jp/05_kenkyu_seika/pdf_seika/h28a/syocyu-1-4_a.pdf (2020/10/18 参照)
- [9] 文部科学省. 小学校学習指導要領 (平成 29 年告示), 2017.
https://www.mext.go.jp/content/1413522_001.pdf (2020/10/18 参照)
- [10] 上出吉則, 辰巳丈夫, 村上祐子. プログラミングと算数数学教育-Scratch で関数の座標概念を深く学ぶ-, 情報処理学会研究報告, 2017, vol.2017-CE-139, No.16, p.7 .
- [11] 佐伯 胖. コンピュータと教育, 岩波書店, 1988, p.191.
- [12] 文部科学省. 中学校学習指導要領(平成 29 年告知)解説 数学, 2017
https://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afiedfile/2019/03/18/1387018_004.pdf (2020/01/14 参照)
- [13] 兼宗進, 中谷多哉子, 御手洗理英, 福井眞吾, 久野靖. 初中

- 等教育におけるオブジェクト指向プログラミングの実践と評価, 2003, 情報処理学会論文誌 44 号 SGI_13, pp.58-71.
- [14] 米国学術研究推進会議. 授業を変える—認知心理学のさらなる挑戦, 北大路書房, 2006, p.63.
 - [15] 向江理奈, 菊地寛, 遠山紗矢. 算数に苦手意識を持つ児童のための効果的なプログラミング使用方法の調査, 日本認知科学学会第 37 回大会発表論文集, 2020, pp.327-330.

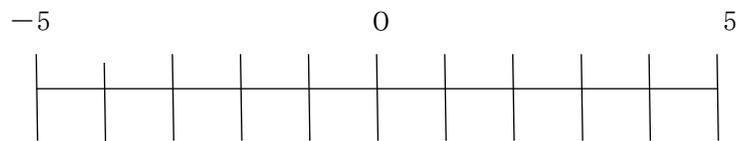
付録

付録 A.1 事前・事後テスト

次の問題に答えてみましょう。

問 1. 次の 2 つの数字の場所はそれぞれどこですか？数直線上に書き加えましょう。

(1) ① 3 (2) ② -2



問 2. □に入る数字を書きましょう。

$$3 + \square = 7$$

$$(3) \square + 8 = 11$$

$$(4) \square + 4 = 0$$

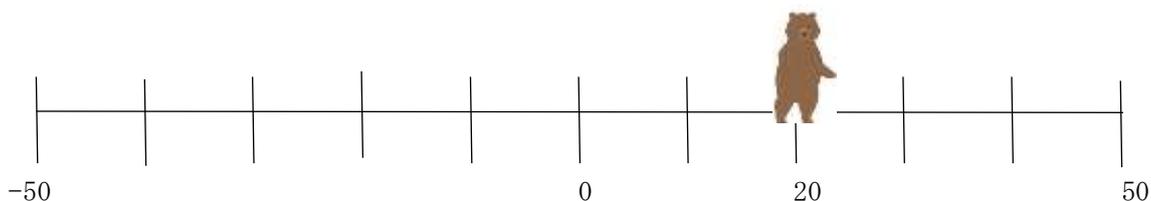
$$(5) 5 + -6 = \square$$

問 3. 当てはまるものに○をつけましょう。

(6) x ぞひょうは (左右(よこ)・上下(たて)・わからない) をあらわしています。

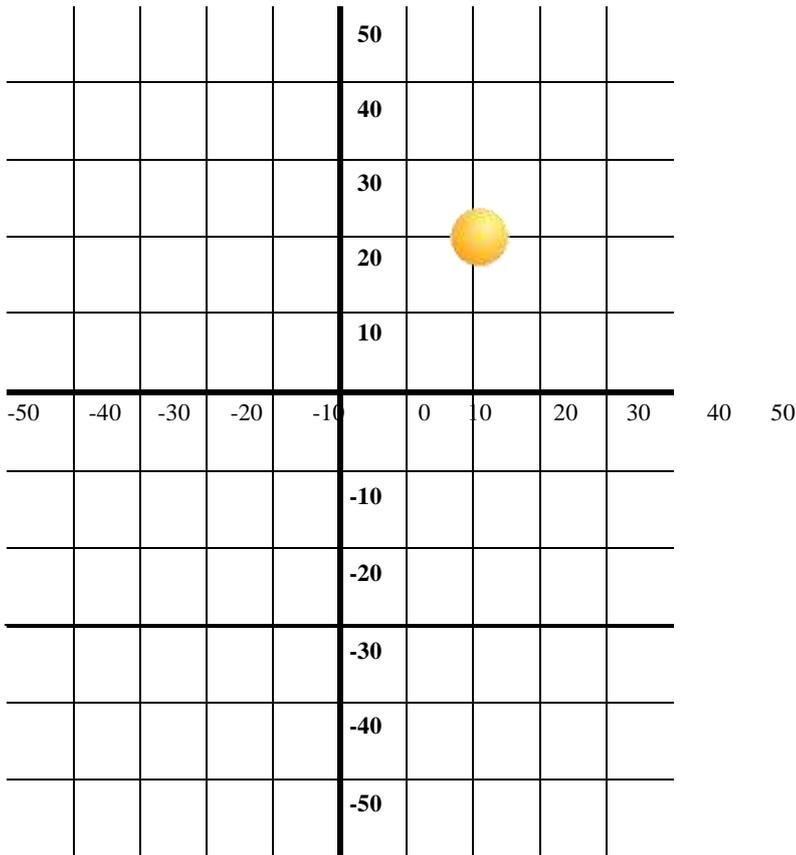
(7) y ぞひょうは (左右(よこ)・上下(たて)・わからない) をあらわしています。

問 4 (1). 以下のクマが左に 30 移動します。(8) 移動後のクマの場所に○をつけましょう。



問 4 (2). (9) 移動後のクマの場所を数字で書きましょう。

問 5(1). 以下のボールが x について-30、 y について-40 移動します。(10) 移動後のボールの場所に○をつけましょう。



問 5(2). (11) 移動後のボールのざひょうを書きましょう. x ざひょう (12) y ざひょう