

小学校におけるロボットプログラミングの実践について

萩原 克幸

Robot Programming for Elementary School Children

Katsuyuki HAGIWARA

要 旨

近年、小学校におけるプログラミング教育が注目されており、今後、授業への導入が検討される段階にある。本稿では、その参考となる実践例として、著者が小学校で実施してきたロボットプログラミングの授業を紹介した。また、そこで蓄積されたアンケート結果の分析より、プログラミング教育の教材としてロボットプログラミングが非常に優れていることを示すとともに、小学校における授業の定着化に向けた今後の課題について考察した。

1 はじめに

情報通信技術 (ICT: Information and Communication Technology) は、急速な発展を遂げ、現在、社会において必要不可欠なものとして入り込んでいる。この現状・今後に対する対策として、文部科学省により情報教育が推進されてきた。さらには、ICT の広がりとは相反して、それに従事する技術者の数は足りていないことが指摘されており、情報教育は、こうした技術者の確保にもつながる重要な国家的テーマとなっている。

情報教育の継続的な強化の中で、今年に入って、文部科学省では、小学校におけるプログラミング教育の実施に向けて、小学校段階で育成すべき資質・能力と効果的なプログラミング教育の在り方や、効果的なプログラミング教育を実現するために必要な条件整備等について検討を行うため、「小学校段階における論理的思考力や創造性、問題解決能力等の育成とプログラミング教育に関する有識者会議」(以下、「プログラミング教育に関する有識者会議」) が設置され、平成 28 年 6 月にそこでの議論の取りまとめが報告された [1]。この報告において、小学校段階でのプログラミング教育の主な意義は、「プログラミング的思考」の育成を目的とすることが述べられている。プログラミング的思考とは、この会議において、「自分が意図する一連の活動を実現するために、どのような動きの組合せが必要であり、一つ一つの動きに対応した記号を、どのように組み合わせたらいいのか、記号の組合せをどのように改善していけば、より意図した活動に近づくのか、といったことを論理的に考えていく力」と定義されている。つまり、小学校段階におけるプログラミング教育は、社会で必要とされる問題解決能力の基礎を養うことを目的としている。最近になって、こうしたプログラミング教育のもたらす効果は社会的にも注目されており、児童・生徒の習い事として、プログラミングを教える民間団体・企業が増加しており、その受講者の数も増加している。プログラミング教育は、今、社会的に旬な話題である (例えば [2, 3, 9] を参照)。

こうした流れに先立って、小学校におけるプログラミング教育の試みは徐々に進んでいる。例えば、小学校における情報教育の比較的初期の報告としてロボットプログラミングを教材とした実践 [8] があ

り、最近では、教育用プログラミング言語の発展に伴い、教材として Scratch を利用した実践の報告 [5]、Viscuit を利用した活動の報告 [7]、新しい教育用プログラミング実行環境の開発 [6] などが多数報告されている。特に、Scratch や Viscuit を教材とした実践は広く普及している状況である。しかしながら、そうした実践の効果の分析についてはあまり詳しく行われていない。一方、著者も、

- ・ICTに興味をもってもらうこと
- ・将来の職業選択において工学系も視野に入れてもらうこと
- ・問題解決における手順的・論理的思考およびトライ&エラーの必要性について知ってもらうこと

を目的として、2011年から、近隣の小学校において、レゴマインドストームを用いたロボットプログラミングの授業を実施してきた。これらは、文部科学省が目的とする「教養としてのICT」の習得、「理系離れ・科学技術離れ」の解消と「プログラミング的思考」の育成に向けた試みに他ならない。Scratchなどの教材では、基本的に、プログラムの実行結果を画面上で見る形であるが、ロボットプログラミングでは、プログラムに従いロボットが実際に動作するという点が異なる。この点について、後者の方が、特に、高学年の児童の興味を惹きつける効果がより高いとともに、科学・ものづくりに親しむことができるという利点も持つと考えられる。実際、マインドストームを利用した実践事例も広く普及しつつあるようである（例えば [10]）。本稿では、小学校におけるプログラミング教育を推進する上での参考となる実践例として、この授業内容を紹介する。また、著者は、この実践に伴い「興味」と「理解」の観点に立ったアンケート結果を蓄積しており、本報告では、さらに、このアンケート結果を分析し、プログラミング教育におけるロボットプログラミングの適性を評価するとともに、これから広がっていく小学校におけるプログラミング教育の課題について述べる。

2 プログラミング教育の教材

プログラミング教育の教材としては、レゴマインドストーム NXT とプログラム作成環境を提供する教育用 NXT ソフトウェアを選んだ。まず、これらを説明し、小学校におけるプログラミング教育におけるこの教材の適性について述べる。

レゴマインドストームは、マサチューセッツ工科大学とレゴ社が共同開発した教育用ロボットキットである。ロボットを構成する制御部、モーター、センサーなどもレゴブロックの部品として用意されており、これらを組み込んだ自由な形のロボットを組み立てることができ、プログラムによりそれを制御することができる。例えば、モーターにはタイヤが装着可能であり、それによりロボットが移動することができる。レゴマインドストームは、バージョンアップを重ねており、本実践では、一つ旧型となるレゴマインドストーム NXT を利用する。本実践では、ロボットプログラミングの学習を主とするため、ロボット自体は、予め、製品に添付されている冊子に掲載されている基本的な形（センサーを搭載し走行可能な形）に組み立てておいた。そのロボットを図1に示す。ロボットは、制御部に、モーター、超音波センサー、光センサー、音センサー、タッチセンサーが接続されており、パソコン上で作成されたプログラムを制御部にダウンロードし、それを実行することで、これらのモーターおよびセンサーを出力とした制御を行う。コンピュータ上でのプログラミングには、別売りとして提供されている教育用 NXT ソフトウェア 2.1.6 を用いる。

以下に、この教材の適性を考える。まず、上記のソフトウェアでは、モーターの動作に対応する処理やセンサーによるループ・分岐をパーツ（アイコン）として配置する形でプログラムを作成できる。例えば、一つのモーター・アイコンには、モーターの回る向き、速度、回転時間などを設定することができ、その設定に応じて、例えば、ロボットを2秒間前進させるなどの動作を実現できる。

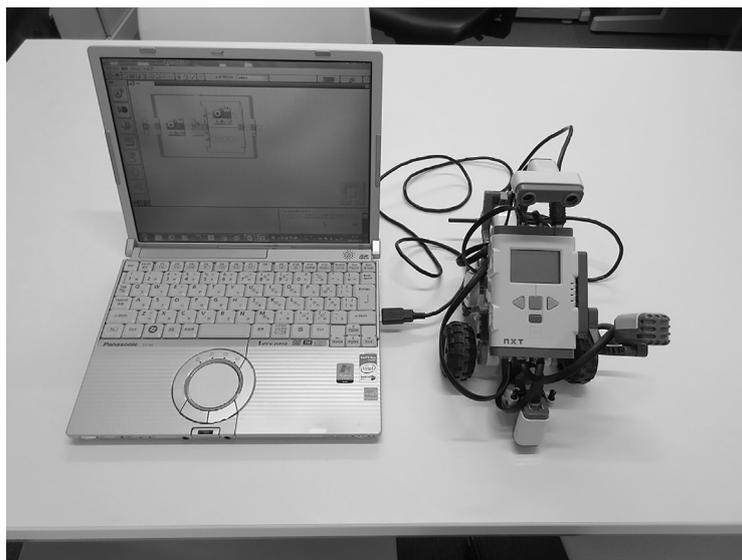


図1：レゴロボットとプログラミング用ソフトウェア

このとき、ロボットをカーブさせる動作の設定も可能であり、これは、2つのモーターを独立に制御することで可能となる。また、センサー・アイコンは、センサーの種類を選び、例えば、超音波センサーであれば、障害物との距離を設定し、その距離が近いか遠いかで処理を分ける分岐が可能となる。こうした直感的な手順の表現により、プログラミング言語を習得していなくても、プログラミングのエッセンスを体験することができ、初心者や子供の利用に適している。一般に、小学生に対して適当なプログラミング言語を習得させることは、それほど簡単ではない。このことはプログラミング教育に関する有識者会議の報告でも述べられており、小学校段階でのプログラミング教育の目的は、あくまで「プログラミング的思考」の習得であって、それが特定のプログラミング言語を通したものである必要はないことが強調されている。こうした意味で、教育用 NXT ソフトウェア 2.1.6 は、小学校におけるプログラミング用ソフトウェアとしては最適なツールであると考えられる。

一方、ロボットプログラミングの教材としての良さは、作成したプログラムに従い実際にロボットが動作するという点にある。この直感性が児童・生徒の興味をひきつけることは明らかである。したがって、レゴマインドストームと教育用 NXT ソフトウェア 2.1.6 は、プログラミングを興味をもって学ぶための教材として最適であると考えられる。また、そこには、課題（必要とされる動作）を実現するプログラムを作成し、期待どおりの動作が実現できない場合には、プログラムを修正するという思考的なトライ&エラーがある。それを通して課題の動作が実現できたときに達成感・充実感が得られることも、初等教育における教材としては魅力的である。首相官邸の政策会議である度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部（IT 総合戦略本部）の新戦略推進専門調査会分科会の報告書 [4] においても、小学生段階でのプログラミング教育では、「楽しく」アルゴリズムを学ぶことと、問題解決のための試行錯誤的なチャレンジの推奨が述べられており、ここでの試みはまさにこうした教育テーマの実践となっている。

3 プログラミング教育の内容

この試みは、津市立北立誠小学校 5 年生を対象として 2011 年から、津市立南立誠小学校 6 年生を対象として 2014 年から、毎年継続的に実施している。小学校・年度により異なるが、1 学年のクラス数は 2～3 であり、1 クラスあたりの児童数は約 30 名前後である。小学校での位置づけは総合的な学習の

時間に割り当てられている。本授業は4限（45×4分）を利用し、以下のように構成される。

1限目は、著者による講義形式の授業を実施する。内容としては、まず、一般的なロボットについて、どのような場面で利用されているかを身近な例も含めて紹介する。次に、レゴマインドストームがモーターにより動作することから、モーターの原理について説明する。モーターについては、高学年ですすでに触れている内容でもあるが、実際に自身が利用するこの場面でその原理を説明することで、学習効果が高まると考えられる。その後、センサーの説明を行う。ただし、センサーについては、あまり専門的にならないように、人間の目や耳などの器官と対応させて話を進めるとともに、身近な例を挙げて説明する。最後に、ロボットを動かすためのプログラムの役割を、センサー入力に応じたロボット制御を例として説明する。この際、プログラムは、ロボットの動作についての手順的なことを記述したものであることを伝えることが重要である。

2限目～3限目では、教育学部生のサポートの下で、児童によるプログラミング実習を実施する。プログラムの基本は、「順次」、「ループ」および「分岐」であり、これらを組み合わせて問題を解決するための手順を記述するのがプログラミングであると言える。2限目は、モーター制御を行うプログラムを作成・実行する。ここでは、まず、前進に対応するモーターアイコンと後退に対応するモーターアイコンを順序的に結合したプログラムを作成し、実行することで、ロボットが実際に前後に移動することを確かめる。すなわち、プログラムは基本的には始まりから「順次」に実行されていくことを学ぶ。さらに、課題として、ジグザク走行を実現するプログラム作成させ、それが左右に移動する動作を1セットとして、これの「繰り返し」により実現できることを説明し、その記述を簡素にするためにループ・アイコンが活用できることを説明する。3限目以降は、センサーを利用したプログラミング実習を行う。ここでは、超音波センサーを利用して、障害物が進行方向30cmに接近したら2秒間後退するプログラムや、光センサーを利用して、黒い線を検出して停止するプログラムを作成・実行する。この際、ここでのプログラミングが、センサー入力に応じて動作を変更する「分岐」に対応することを説明する。最後は、児童は、超音波センサーや光センサーを駆使してクリアーできる障害物競争にチャレンジし、その後、本学習のまとめを行う。

この授業における最終課題である障害物競争では、図2に示すように、横に壁と黒いテープが位置し、障害物としてコーンが配置されたコースを考える。これは、超音波センサーと光センサーを利用した分

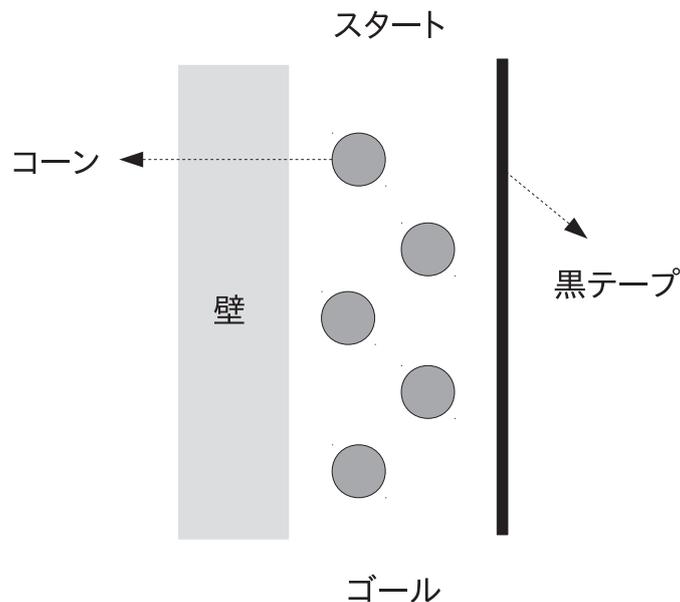


図2：障害物競争のコース

岐とループを組み合わせて実現できる。この課題は、ヒントを提示する場合もあるが、それまでの課題から自ら考えてクリアするグループも多くあった。これは、そうした児童がプログラミングを理解できるようになったことのエビデンスであると考えられる。

4 アンケート結果の分析

児童には、4時限の授業後にアンケートを実施してきた。アンケートの質問と回答選択肢を図3に示す。ただし、質問項目10は記述式回答である。2011年～2015年までの実施により収集されたデータ数で396名分である。ただし、ここでの分析では、欠損値があるサンプルは除いた388名分のデータを利用する。

1. 性別はどちらですか？ 男・女
2. モーターのしくみは分かりましたか？ よく分かった・だいたい分かった・あまり分からなかった・まったく分からなかった
3. センサがどういうものか分かりましたか？ よく分かった・だいたい分かった・あまり分からなかった・まったく分からなかった
4. 「せいぎょ」の意味はわかりましたか？ よく分かった・だいたい分かった・あまり分からなかった・まったく分からなかった
5. ロボットを動かすのにプログラムがなぜ必要かがわかりましたか？ よく分かった・だいたい分かった・あまり分からなかった・まったく分からなかった
6. ロボットを動かす体験は楽しかったですか？ 楽しかった・まあまあ楽しかった・あまり楽しくなかった・まったく楽しくなかった
7. プログラムをつくることは楽しかったですか？ 楽しかった・まあまあ楽しかった・あまり楽しくなかった・まったく楽しくなかった
8. プログラムをつくるときに、どうやってつくるかを考えましたか？ 考えた・少し考えた・あまり考えなかった・まったく考えなかった
9. ロボットを動かす体験をもっとやりたいと思いますか？ 思う・少し思う・あまり思わない・まったく思わない
10. なんでもよいので感想を書いてください。

図3：アンケートの質問および回答選択肢

図3の各質問の概要は以下のとおりである。

- ・質問2～5については、モーターのしくみ、センサ、制御の意味およびプログラムの必要性についての「理解」を問う項目である。
- ・質問6では、プログラミング教育においてロボットを教材としたことで、どの程度興味を惹くかを調べることができる。質問7では、プログラミング自体に対する興味の度合いを調べることができる。質問9は、この実践がロボットプログラミングに対する興味を引き起こしたかどうかを知るための項目である。ただし、これらの質問に対する回答は、児童にとっては、この実践が単純に「楽しく、興味をもって取り組めたか」の指標となると見るべきであると考えられる。
- ・質問8では、思考的なトライ&エラーを実施したかどうかを調べることができる。

図4に各質問に対する回答選択肢の中で1あるいは2を選択した児童の割合を示す。この図において、例えば、Q2は質問2を意味する。これらは各質問に対してポジティブな回答をした児童の割合とみなすことができる。この図から、まず、80 [%]以上の児童がいずれの質問に対しても1あるいは2と回答している。すなわち、ロボットプログラミングについて、学ぶべき概念は理解できたと感じ、楽しく興味をもって取り組むことができ、また、思考的なトライ&エラーができたことを意味する。特に、Q4以外の回答では90 [%]以上がポジティブな回答となっている。図3より、Q4は「制御」について理解の度合いを問う質問であり、「制御」についての理解が比較的難しかったことが伺える。これは、「制御」という概念が抽象的な概念であることに起因すると考えられる。実際、図3より、物理的実体のある「モーター」や「センサ」については90 [%]以上の児童が理解したと感じていることが分かる。また、プログラムの必要性について理解できている割合が高いことは、この試みの評価の重要な点である。また、Q6に対するポジティブな反応が一番高く、ロボットを動かすことに対する興味が非常に高いことが分かる。これに対して、Q7に対する反応は若干低いことから、プログラミングだけでなく、

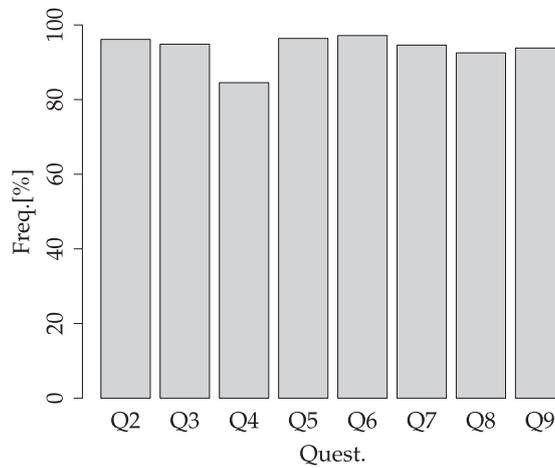


図4：回答選択肢1あるいは2の回答割合 [%]

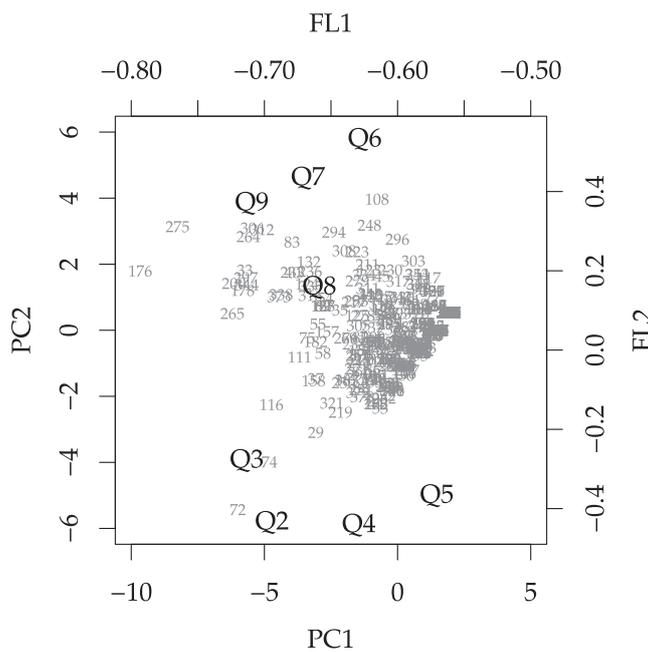


図5：主成分分析に対するバイプロット

プログラムしたことがロボットの動作として実際に見てとれることが重要であると考えられる。この結果は、ロボットプログラミングがプログラミング教育の教材として適していることを裏付けていると言える。また、Q8に対してもポジティブな回答がなされており、思考的なトライ&エラーを楽しみながら行っていた様子が分かる。これは、やはり、「プログラムしたものが実際に動く」ことが生み出す効果であると考えられる。

次に、主成分分析を用いたもう少し詳しい分析について述べる。主成分分析の結果、第2主成分までの累積寄与率は0.589と比較的高いため、第1主成分と第2主成分に対するバイプロットを図5に示す。各番号（小さい文字）は個体番号の主成分得点である。この図には、また、各主成分の因子負荷量を質問番号（例えば、Q2など大きい文字）で合わせて示している。

図6および図7に、第1主成分得点と第2主成分得点について、その値が正となる個体の回答番号の平均と負となる個体の回答番号の平均を示している。図6より、第1主成分得点が正となる個体については、それが負となる個体より、すべての質問に対してよりポジティブな回答（すなわち小さい番号を回答）をしていることが分かる。すなわち、第1主成分は、全体的な回答番号自体の平均を表している。図5より、第1主成分得点は0の周辺に多く分布していることから、全体としてポジティブな回答が多

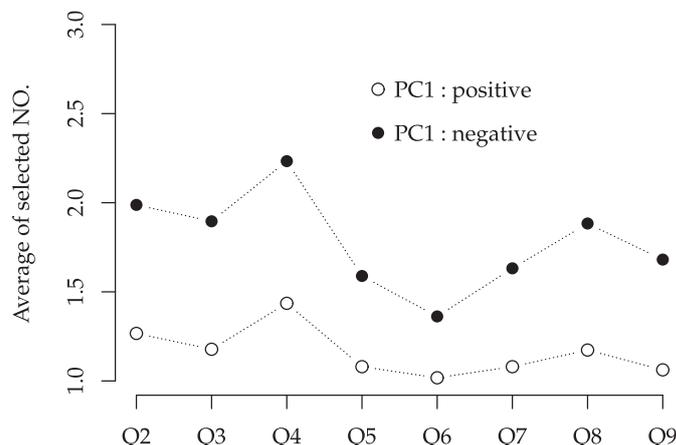


図6：第1主成分の符号に応じた各回答選択肢番号の平均値の違い

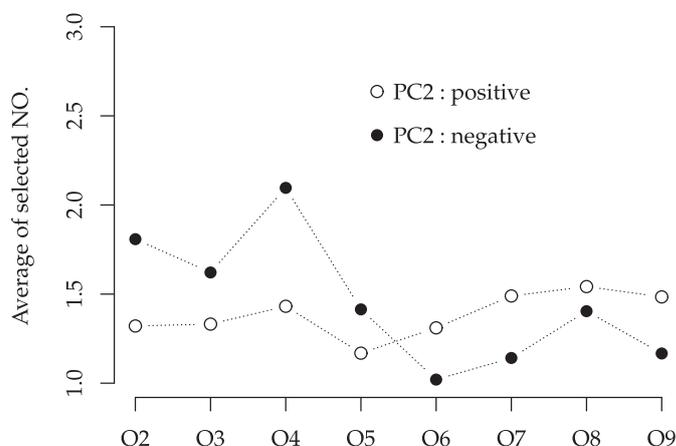


図7：第2主成分の符号に応じた各回答選択肢番号の平均値の違い

いことが分かり、このことは、図4の結果と一致する。一方、第2主成分得点については、Q2～Q5において、正の値をとる個体の方がよりポジティブな回答をしており、Q6～Q9においては、負の値をとる個体の方がよりポジティブな回答をしていることが分かる。すなわち、第2主成分は「専門的概念の理解」と「ロボットプログラミングを楽しめたかどうか」を表す軸であると考えられる。このとき、第2主成分得点が正の値をとる個体については、回答番号の平均がどの質問に対してもあまり変動していないことから、これらの個体は「理解」と「楽しさ」が両立しているグループである。一方で、負の値をとる個体については、非常に楽しかったが、専門的概念の理解度はそれほど高くないグループであると考えられる。興味深い点は、理解度があまり高くない児童ほど、楽しく活動できた点であり、これは、実際に動くロボットを教材としたことに起因すると思われる。ただし、Q8については、回答番号の平均の差が小さい。これは、この質問がプログラムを考えたかどうかを問う質問であったことから、思考的なトライ&エラーはいずれのグループでも比較的難しい課題であると捉えられていると考えられる。第2主成分の特徴は、因子負荷量のプロットからも明らかであり、第2主成分は、明らかに、Q1～Q5とQ6～Q9を分ける軸となっている。

さらに、記述式回答（質問10の回答）については、ここでは具体的に示さないが、ほとんどがポジティブな回答であった。特に、「楽しい」・「楽しかった」・「面白い」・「面白かった」を含む回答が202件あり、「難しい」・「難しかった」を含む回答が105件あった。ただし、両者を同時に含む回答が52件あり、「難しかったが、楽しかった」という文章が多く見られた。この他にも、「難しい」という文章があった回答の多くは、ポジティブな回答を含むものであった。これらのことから、トライ&エラーを楽しむ意識があったことが推測できる。また、もっと直接的に、「うまくいってうれしかった」というトライ&エラーによる達成感を表す言葉が多く見受けられた。さらに、興味を誘発する「またやりたい」という言葉も多くあり、将来につながる実践であったことが分かる。一方で、理解という観点では、「分かった」・「わかった」を含む回答が26件あった。そのほとんどは、ロボットがプログラムで動作することを理解したという回答であり、プログラムの必要性・意義が理解できたことはこの実践の一つの成果であると考えられる。

5 おわりに

本稿では、小学校におけるプログラミング教育の教材として、レゴマインドストームとその教育用プログラミングソフトウェアを利用した実践について報告した。児童に対するアンケート結果および現場での児童の様子から、ここでのロボットプログラミングは、最新の科学技術に触れ、児童の興味をひき、思考的トライ&エラーを行うのに非常に優れたプログラミング教育用教材であることが分かった。特に、アンケート結果の分析より、科学的概念への興味・理解の度合いが高くなくても、興味をもって取り組める教材であることが分かった。一方で、アンケートにおける自由記述と現場での児童の様子から、科学技術に興味をもっている児童が少なからずいることが分かった。本実践のように、実際に、それに触れる機会を与えることにより、児童の将来の選択の幅は確実に広がると考えられる。特に、ICTの担い手の育成に貢献できる実践であると思われる。ただし、手順的・論理的思考を育むという観点からは、さらに複雑なプログラムを作成させるなど、授業時間を増やす必要があると考えられる。

今回の実践には多くのメリットがあるが、いくつかの問題点もある。一つは、レゴマインドストームなど自由度の高い製品を用いているため、ある程度の費用が必要なことである。実際、例えば、中学生向け教材として制御学習ロボットなど、安価な教育用製品が増えており、今回用いたソフトウェアと同様な部品を配置するタイプのプログラミング用ソフトウェアが提供されている場合もある。しかしながら、

プログラミングを学ぶためには、センサー機能などが十分ではないように思われる。以上より、まず、プログラミング教育の授業内容を構成し、学校現場の実情に合わせた形で、その実施に必要な自由度と価格のバランスのとれたロボットおよびソフトウェアを開発することが重要であると考えられる。一方で、安価である点を重視すれば、Scratch など、パソコン上でのプログラミングにより画像が動作したり、音を生成するプログラミング教育教材の適性の評価も必要であると考えられる。

さらに、[7]においても指摘されているが、小学校では、ロボットプログラミングを指導できる教員が少ないことも問題である。しかしながら、上記の教育用ソフトウェアのようなものであれば、専門家の講習などを経て、専門家でない教員の下でも、小学校におけるプログラミング教育が行えると考えられる。また、今回の実践では4時限のみを利用したが、手順的・論理的思考を育むためには、時限数を増やすとともに、さらに効果的な課題が必要となる。こうしたカリキュラム構成も課題の一つである。以上より、今後は、小学校で定着化させることが可能なロボットプログラミング授業の考察が必要となる。

謝辞

本研究を遂行するにあたり協力して頂いた津市立北立誠小学校および南立誠小学校に感謝します。

参考文献

- [1] http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shotou/122/index.htm
- [2] https://blogs.technet.microsoft.com/microsoft_japan_corporate_blog/2016/03/31/2102/
- [3] “「プログラミング教育」の実施状況に関する現状調査 調査報告書”，
http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/senmon_bunka/jinzai.html, 2016.
- [4] “人材育成におけるプログラミング教育の位置づけなどに係る調査結果報告書”，
http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/senmon_bunka/jinzai.html, 2016.
- [5] 森秀樹，杉澤学，張海，前泊孝憲，“Scratch を用いた小学校プログラミング授業の実践”，本教育工学会論文誌，34 (4)，387-394，2011.
- [6] 荻野哲男，“情報教育におけるプログラミング教育を支援する”，神戸大学情報基盤センター広報誌 MAGE，33 (41)，2013.
- [7] 原田康徳，勝沼奈緒実，久野靖，“公立小学校の課外活動における非専門家によるプログラミング教育”，情報処理学会論文誌，55 (8)，1765-1777，2014.
- [8] 佐藤和浩，紅林秀治，兼宗進，“小学校におけるプログラミング活用の現状と課題”，情報処理学会研究報告，2005-CE-78 (9)，57-63，2005.
- [9] 阿部和広，“子供の創造的活動とプログラミング学習”，情報処理学，57 (4)，349-353，2016.
- [10] <http://www.afrel.co.jp/>