



小学校理科におけるワンボードマイコンを用いるプログラミング教育の提案

加藤直樹* 松田孝*² 上野朝大*³ 濱田大地*⁴
 東京学芸大学* (同) MAZDA Incredible Lab*²
 (株) CA Tech Kids*³ (株) アーテック*⁴

本論文では、プログラミング教育実施への貢献を目指し、小学校理科におけるプログラミング教育のモデルカリキュラムを設計・提案する。本モデルカリキュラムでは、“電気の利用”での創造的なプログラミング活動を目指した。そこへ向けて、理科の学びの目標から導いたプログラミング教育の適用方策への合致とワンボードマイコンの利用が適す単元へプログラミング活動を系統的に組み込んだ。そして実践を通して、必要となる時数の目安、組み込んだプログラミング要素の妥当性を確認し、カリキュラムの実行可能性を示した。

キーワード：プログラミング教育, 小学校, 理科, ワンボードマイコン, モデルカリキュラム

1. はじめに

2020年度に全面実施となる小学校学習指導要領では「児童がプログラミングを体験しながら、コンピュータに意図した処理を行わせるために必要な論理的思考力を身に付けるための学習活動」を「各教科等の特質に応じて計画的に実施する」と記され、いわゆる“プログラミング教育”が必須化された。

学習指導要領解説では、プログラミング教育で育てる力をプログラミング的思考と定義し“情報活用能力”の要素として解説している。AI等の高度情報通信技術が急速に発展する中、その社会実装を進め、さらなる社会の発展を実現するためには、すべての人が自らの力を引き出し、他の人と協働し、創造的な活動をしていく必要があるとされ、今回の学習指導要領の改訂でも、この点が大きく反映された。特に“情報活用能力”が学びと社会生活に必要な基盤的な力として位置づけられている。また、学習指導要領解説では、情報通信技術の役目に気がつき、上手に活用してよりよい社会を築いていこうとする態度を育むこと、いわゆる技術者へのキャリア教育の意義もプログラミング教育の目的と記している。

すべての人がプログラマーなど情報通信技術を巧みに操る技術者になれる力をつける必要はないが、創造的な活動の中で問題にぶつかったとき、それが情報通信技術で解決できるものなのかできないものなのかや自分でどこまでできるのかを判断できる力、自分でできる範囲で

活用する力は、これからの時代での社会活動では重要であり、初等教育から高等教育まで系統的な学びでこの力を育てていくことが必要である。

我々は、学習指導要領の案が示された段階で、プログラミング教育のカリキュラム開発を進めていくためには、授業の実践を行う小学校と、実践案を研究する大学、そしてそれをサポートする企業が協力して実践研究を行うことが最適と考え、理科におけるプログラミング教育のカリキュラム作りへの知見を明らかにすることを目的とした共同研究プロジェクトを行った[1]。また、このプロジェクトの成果を元にした授業実践のアドバイスをやってきた。

ある単元に対してプログラミング教育を適用した授業の実践報告は出始めているが、学年を通した系統的なカリキュラムはほとんど示されてきていない。そこで、本論文では、先の活動を通して得られた事項を整理し設計した、小学校理科におけるプログラミング教育のモデルカリキュラムを提案する。

2. デザインコンセプト (基本方針)

2.1 方針1：理科の学びの目標からの方針

理科の学びの目標は、観察・実験を通して、自然の事物・現象を科学的に捉え、自然の事物・現象に関する問題を科学的に解決する力を育むことである。この点から、理科の学びとプログラミングを結びつける方策には、次

受理日：2019年12月18日

KATO Naoki*, MATSUDA Takashi*², UENO Tomohiro*³, HAMADA Daichi*⁴

: Proposal of programming education using one-board microcomputer in elementary school science

* Tokyo Gakugei University, Nukui-Kitamachi 4-1-1, Koganei, Tokyo, 184-8501, Japan

の4つが考えられる。

- 自然の事物・現象をプログラミングで再現 (A)
- 自然の事物・現象を科学的に捉えたことをプログラミングで表現 (B)
- 自然の事物・現象を科学的に捉えたことを活用したプログラミング (モノ作り) (C)
- 自然の事物・現象を科学的に捉えるためのプログラミング (モノ作り) (D)

一番目はいわゆるシミュレータ作りである。たとえば、物理法則に従って太陽と地球と月の動きを計算し、月の満ち欠けを再現するプログラムを作る活動である。

これに近いが学びの中で捉えた科学的な規則等をプログラムで表現する活動が二番目である。たとえば、水溶液を区別する手順をフローチャートとして表現したり、条件を入力すると水溶液の種類を出力するプログラムを作るなどである。

三番目は捉えたことを活用し諸問題を解決するモノ作りである。例として、モータで動く車に対してリモコンで速度を変えられるようにしたいという課題に対して、リモートで電流の大きさを変えることを可能にする(プログラムで制御する)モノ作りなどが挙げられる。

最後の一つが、自然の事物・現象を捉えることを助ける実験道具を作る活動である。たとえば、温度を長時間記録し可視化するプログラムを作るなどである。

小学校の理科では自然の事物・現象の原理まで掘り下げて学ぶことはなく一番目は難しいため、それ以外の方策に合うものをプログラミング教育に適した題材として取り上げる。

2.2 方針2：学習指導要領とその背景からの方針

学習指導要領における理科でのプログラミング教育の取り扱いとしては、第3指導計画の作成と内容の取扱いの2(2)に、

例えば第2の各学年の内容の〔第6学年〕の「A物質・エネルギー」の(4)における電気の性質や働きを利用した道具があることを捉える学習など、与えた条件に応じて動作していることを考察し、更に条件を変えることにより、動作が変化することについて考える場面を取り扱うものとする。

とあり、プログラミング教育の手引きでも「学習指導要領に例示されている単元」として6年理科の“電気の利用”を挙げている。令和2年度から用いられる教科書でも、この単元で、外部の情報に合わせて電流の量を変化させるモノ作りをするプログラミング活動を記載しているものが多い。

この単元が6年の後半に位置すること、この単元でのプログラミング活動がはじめに記したプログラミング教育導入の背景に適合した活動になりうることから、本カリキュラムでは、この単元を小学校のプログラミング

教育の集大成と位置付け、創造的な活動となるようにする。

2.3 方針3：プログラミング教材の方針

小学校におけるプログラミング教育には様々なプログラミング環境(教材)が提案されている。本カリキュラムではワンボードマイコンを利用したプログラミング活動を取り上げる。

先に記したとおり、本カリキュラムは最終的に電気の利用の単元での創造的な活動を目指す。電気の利用では、センサを用いての外部の情報取得と電流の大きさの制御を行うことが必要であり、ワンボードマイコンはそれを可能にする。電気の利用の単元までにその基礎を固めるために、カリキュラム全体でワンボードマイコンの利用を基本とする。

2.4 方針4：系統性の考慮

電気の利用で創造的な活動ができるようにするためには、その活動を成り立たせるプログラムを児童が考えながら作る(コーディング)力が必要になる。そこで、電気の利用におけるプログラミング活動で必要となることが考えられるプログラミング言語の要素、ワンボードマイコンの扱い方を、順次、利用を通して学べるようにする。

表1 モデルカリキュラム単元一覧

	センサの利用	電流の制御
3年	(1)太陽と地面の様子	
4年		(2)電流の働き
5年	(3)天気の変化	(4)電流が作る磁力
6年	(5)人の体のつくりと働き	
	(6)てこの規則性、(7)電気の利用	

3. モデルカリキュラムのデザイン

先の方針に従って作成したモデルカリキュラムを表1に示す。これらの単元は、方針1に示したBからDの方策に対応する活動となるもののうち、方針3のワンボードマイコンの利用が適したものを拾い出した。

なお、電気の利用におけるプログラミング活動では、繰り返し(無限、条件付き)、条件分岐(条件付き実行、多分岐)、繰り返しや条件分岐の入れ子、ボタンやセンサなどの入力デバイスからの入力値(変数)の利用、電流の大きさの変更やLED点灯などの出力デバイスの制御等を利用する。そこで、これらの体験を散りばめた。また、すべての単元を実施することが難しい場合もあるため、冗長性を持たせた。

次に各単元でのプログラミング活動の内容を記す。プログラムコード例は、概要がわかるようにScratchで作成したコードの一部を示したもので、このまま実行が可能なものではない。

3.1 太陽と地面の様子

この単元では、日なたと日陰では地面の暖かさや湿りに違いがあること等の理解を目指す。そこで、ワンボ



図1 太陽と地面の様子で作成するプログラムコード例



図2 電流の働きで作成するプログラムコード例

ードマイコンとセンサを用いて、温度や湿度を可視化する道具を作成し、観察に利用する（方策D）。

本カリキュラムでは最初の単元となるため、単純にセンサからの数値を表示するプログラム作りで十分である（図1左）が、ここで条件分岐（条件付き実行）を教え、ある温度を超えたらブザーを鳴らす、LED表示を変えるなどの工夫を取り入れても良い（図1右）。これらの活動は、プログラミングの導入となるとともに、デジタル温度計の仕組みを知る活動にもなる。

3.2 電流の働き

この単元では、電流の大きさや向きと豆電球の明るさやモーターの回り方が変わること等の理解を目指す。そこで、豆電球やモーターをつなげた回路に流れる電流の向きや大きさをワンボードマイコンを用いて変化させるプログラムを作成し、観察への利用や（方策D）、その現象を利用したモノ作りを行う（方策C）。

ここでは、回路に流す電流の大きさを変更できるプログラム（図2上）作りに続いて、たとえば、ボタンを押すと電流が徐々に大きく又は小さくなるプログラム（図2下）や、押すボタンによって電流の大きさが切り替わるプログラム作りを行い、ワンボードマイコンにおける電流の制御、入力デバイスの利用、変数、条件分岐（条件付き実行、多分岐）の導入を行う。

前者はボタンを押すと徐々に明るく又は暗くなるデスクライト、後者はボタンで強弱と切り替えられる扇風機などを具体例として挙げての活動とすることで、現実社会と電流の働きやプログラムの働きを結びつけた学びにもなる。さらに、この単元では、模型の車の教材を用いることが多い。そこで、遠隔でマイコンボードに入力できるデバイスがある場合、模型の車をリモコンカーにする

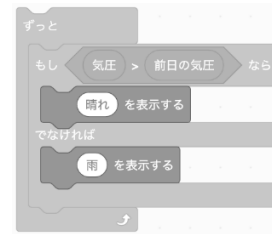


図3 天気の変化で作成するプログラムコード例



図4 人の体のつくりと働きで作成するプログラムコード例

る活動も良いであろう。

従来は電池の本数を変えることで、電流の大きさとならぬだもの様子の関係を捉える活動を行うが、これに加えて、電流の大きさを連続的に変化させた状態を観察することで、この関係性を捉えることがより容易になる効果が期待できる。

3.3 天気の変化

この単元では、天気の変化は雲の量や動きと関係があること等の理解を目指す。そこで、学んだ事項を元に気圧から天気を予想し可視化する道具を、ワンボードマイコンとセンサを用いて作る（方策B）。

ここでは、たとえば前日の気圧と当日の気圧および翌日の関係を過去の資料から読み取り、前日の気圧とセンサで計測した気圧を元に予想される翌日の天気を、条件分岐を用いて表示するプログラムを作る（図3）。気圧は小学校の学習範囲ではないが、観察を通した雲と天気との関係を学んだ後、たとえばペットボトル等を用いた気圧を変えることで雲ができる実体験を通して雲のでき方と気圧の関係を得て、そしてこの活動を行うことで、天気予報などでも耳にする気圧と雲と天気との関係がつながり、より現実的な学びとなりうる。

3.4 電流がつくる磁力

この単元では、電磁石の強さは電流の大きさや銅線の巻き数によって変わること等の理解を目指す。そこで、



図5 てこの規則性で作成するプログラムコード例

この学びで理解した電磁石の性質を元に、ワンボードマイコンを用いて、電磁石を利用した物を作る活動を行う（方策C）。例としては、モーターや打楽器（高周期にすることで音発生器）が挙げられる。

学習指導要領で示されるこの単元の目的には沿っていないが、電磁石の性質を利用した具体的な物を作ることで、電磁石への理解が深まることが期待できる。また、音発生器作成では、3年の音の性質の学びと結びつけることもできる。

3.5 人の体のつくりと働き

この單元では、循環の働きについて、より妥当な考えをつくりだし表現すること等を目指す。そこで、脈拍をセンサで検出し、可視化するプログラムを作り、それを用いて観察を行う（方策D）。

ここでは、たとえば条件分岐と条件付き繰り返しを用いて脈拍を検出した時にLEDを点灯するプログラムを作る（図4上）。また、脈拍数を算出し表示するプログラム作りは、算数の単位量当たりの大きさの知識を用いることになり、教科横断的なプログラミング活動ともなる（図4下）。

3.6 てこの規則性

この單元では、てこが合うときの規則性があることや、身の回りにはこの規則性を利用した道具があること等の理解を目指す。そこで、ワンボードマイコンを用いたロボットカーを利用してこの働きを調べる道具を作り、観察実験を行う（方策D）。

たとえば、モーターにつながった交換可能な歯車を介してモーターの回転を車輪に伝える模型の車を用意し、モーターに流す電流の大きさを徐々に上げ、動き出した瞬間の値を表示するプログラムを作成する（図5）。車が動いたことを得るためには、動き出すと障害物にぶつかりそれをスイッチセンサ等で検出する方法等がある。そして、大きさの違う歯車で動き出すのに必要な電流の大きさ（歯車を回そうとする力）を調べ、その関係を考察する。これは自転車のギアの仕組みであり、児童にとって身近な道具におけるこの働きを知る機会ともなる。

3.7 電気の利用

この單元では、電気の量と働きとの関係や電気の変換についてより妥当な考えをつくりだし表現すること、身の回りには電気の性質や働きを利用した道具があること等の理解を目指す。そこでワンボードマイコンを用いて、

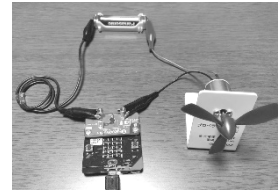


図6 micro:bitと電池、モーターからなる回路

電気を利用したモノ作り活動を行う。

これまででも電気を利用した道具を考える活動がこの單元の中で行われていたが、考えたアイデアを実際にするのは難しかった。プログラミングが可能なワンボードマイコン等を用いることで、児童が考えた条件変化により動作が変わる道具のアイデアの具現化が容易になる。この活動はまさしく創造的な活動になりうるものである。なお、児童の創造性、発想を広げるためには、豆電球やモーターなどの出力デバイスとセンサを多種用意することが重要となる。

4. 授業実践の様子

提案したモデルカリキュラムの授業内容の実行可能性の検証するために行った授業の様子を記す。

4.1 電流の働き

2019年度に二つの学校において授業を行った。ワンボードマイコンmicro:bitに電流の大きさを制御するためのTFabWorks社プログラム制御スイッチ（FET版）を付けたものを用い、それに電池と豆電球やプロペラ付きモーターを接続した回路に組み込んだ（図6）。プログラミング環境はMakeCodeエディターを用いた。

一つの学校では1学期に5時間の授業を行った。1時間目に目的に合わせて電気を制御したり効率よく利用したりしている道具を考える導入を行い、2時間目には豆電球を効率よく、4時間目にはモーターを効率よく利用するアイデアを考え、3時間目と5時間目にそのアイデアを基にプログラミング活動を行った。もう一方の学校では2学期に3時間の授業を行った。1時間目には豆電球を点灯消灯する、2時間目には豆電球の明るさを段階的に変える方法を知るプログラミング導入を行い、3時間目に明るさを可変できる装置を作るプログラミング活動を行った。両校の児童ともmicro:bitの利用は初めてであったが、最後の時間には前時で作ったプログラムを元にして、試行錯誤するプログラミング活動を行うことができていた。

4.2 天気の変化

2018年度2学期に4時間の授業を行った。ワンボードマイコンmicro:bitにseed社の温湿度・気圧センサ（BME280）を取り付けたものを用いた（図7）。プログラミング環境はMakeCodeエディターを用いた。

1、2時間目は気圧と雲のでき方の関係を説明し、その実証のためにペットボトルを使って雲を発生させる実

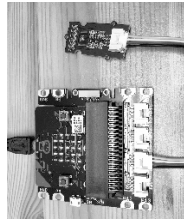


図7 micro:bit に接続した気圧センサ



図8 Studuino に接続した脈拍センサとLED

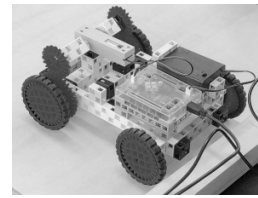


図9 てこの規則性を測る実験用の車の模型

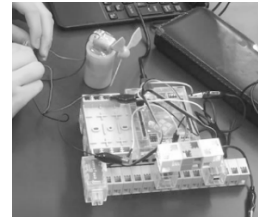


図10 エコな電気機器を開発している様子

験活動を行った。3, 4時間目に、ある日の気圧とその前日の気圧と次の日の天気の関係の表から次の日の天気を予想する規則を話し合い、それをプログラミングした。プログラミングは、既にScratchに慣れている児童であったため、雛形のプログラムを配布し、そこに条件分岐で異なるパターンのLEDを表示するコードを追加する活動を行わせた。

4.3 人の体のつくりと働き

2017年度1学期に4時間の授業を行った。アーテック社のワンボードマイコンStuduino, seeed社の心拍センサ、及びアーテックロボ用LEDを用いた(図8)。プログラミング環境はScratch2.0を用いた。また、Scratch2.0でStuduinoを制御できるようにするために、Scratioを利用した。

1時間目は、脈拍の説明の後、教師が提示した脈拍に合わせてLEDが点滅するプログラムを真似して入力する活動を行った。前学年でStuduinoを用いるプログラミングを行った児童であったが、Scratchは初体験であったため、まずは見本を真似る活動とした。2, 3時間目は、教師が提示した1分間の脈拍の数(脈拍数)を数えるプログラムを参考に、15秒で脈拍数を求めるプログラムを作る活動を行った。これができた児童は逐次脈拍数を求め続けるプログラム作りに挑戦した。4時間目は、徐脈、頻脈について説明した後、頻脈をLEDの点灯や音を鳴らすなど自由な方法で知らせるプログラムを作る活動を行った。

4.4 てこの規則性

2017年度の3学期に、5時間の授業を行った。アーテック社のアーテックロボ(Studuino)を使って作った四輪車(図9)を用い、プログラミング環境はStuduinoBPEを用いた。

1時間目は、大きさの違う歯車の組み合わせ(ギア)への力のかかり方を体験し、既習事項であるてこの規則性(支点、作用点、力点)とギアの仕組みの関係を整理した。2, 3時間目は、モータにかける電圧(モータに

つながった歯車を回す力)の大きさを指定できるプログラミングのプログラムを作る活動を行った。プログラミングは、既に十分なプログラミング活動を行っていた児童であったため、一からプログラムを作らせた。4時間目は、モータにつながった歯車として大小二つを使い、それぞれの歯車に対して動き出す力を調べる活動を行った後、歯車の大きさ(支点と作用点の距離)と力との関係について考え、5時間目にその考えを共有し、議論を行った。

4.5 電気の利用

2017年度の2学期に、7時間の授業を行った。アーテック社のワンボードマイコンStuduino, 電流で動作する出力デバイスとして豆電球やモーター、ブザーなど、入力デバイスとしてボタンや各種センサなどを用いた。

最初の2時間がワンボードマイコンで電流の大きさを制御する方法とセンサの使い方の導入を行い、3時間目にセンサの値に応じて電流の大きさを変えることで実現できるエコな電気機器のアイデアを、用意したデバイスの範囲で考える活動を行った。そして、4, 5, 6時間目でアイデアを実装し(図10)、7時間目に発表を行った。当初、実装は2時間の計画であり、多くの児童が実装を終えていたが、児童が夢中になって取り組んでいたため、さらに1時間増やし工夫をさせることにした。

なお、この実践と異なり、制約を与えなさすぎてアイデアが実現不可能なものになってしまった実践、用意した入出力デバイスの種類が少なかったためにアイデアが広がらなかった実践事例等も見られ、創造的な活動に導くための課題設定や教材の重要性が示された。

5. 考察

前章に記した実践では、それほど多くの時間を割くことなくプログラミング活動を成り立たせることができた。今回は、各単元において準備的な時間が必要となったが、カリキュラム全体を順次学ぶことで、その時間が不要になる。また、電気の利用で必要となるプログラミング要素等を順次組み込んだプログラミング活動も各学年で問

題なく実施することができた。これらのことから理科に本カリキュラムを組み入れ、系統的なプログラミング教育として実施する実行可能性を示せたと考える。

また、ページ数の関係上割愛したが、授業後の振り返りでは、自分で作れたことが嬉しかった、楽しかった等の意見が多く得られ、興味関心を引き出す内容となっていることも示されている [1]。

しかし、提案カリキュラムを4年間かけて実施する検証は行っておらず、カリキュラムの必要十分性の検証はできていない。また、アンプラグド等の他の教育手法との比較、他教科と横断的に関係づけるカリキュラムの検討は行えていない。これらについて引き続き研究していくことは、今後の課題である。

6. 関連研究と本論文の位置付け

最後に、本論文と関連の高い研究を本論文との関係性を絡めながら紹介する。

太田らは、小学生が作成したプログラムを対象にした定量的な分析を通して、小学校4年生では分岐、繰り返し、変数など、小学校6年生では入れ子などを使ったプログラミングができることを示した [2]。これは系統的なカリキュラムを開発するために有用な知見である。本論文で実践可能性を示した内容もこの知見にほぼ一致していた。

阪東らは、プログラミング教育の学習モデルと、それを実現するカリキュラム・マネジメントを提案した [3]。系統性までは考慮していないが、各教科にわたる具体的な単元を挙げており、本論文で提案した理科のカリキュラムを他教科に広げていく時の参考となる。また、藤原ら [4] と共に、ティンカリングの考えを元にプログラミング活動と創造性の育成を結びつけている。これらは、電気の利用で創造的なプログラミング活動を目指す本カリキュラムに通ずるものであり、本研究の方針が独断的なものでないことを示している。

理科に関連したプログラミング教育の研究としては、富永らが、総合的な学習の時間と理科の“電気の働き”“電気の利用”の教科横断型のカリキュラムを提案している [6]。本論文は、理科としてプログラミング教育を行うことを前提としているが、理科の時間は割けないが総合の時間をプログラミング教育に割り当てられる場合のカリキュラムモデルへシフトさせる時の参考になる。佐藤らは、5年理科“振り子の運動”の単元における実践を報告している [7]。説明を読みながらのプログラミングであったにも関わらず、単元に関連したプログラミングをした児童は、関連しないプログラミングをした児童よりも単元に関するテストや思考力調査の結果が良かった。プログラミング活動を理科の学びに取り入れることの有用性を示した貴重な結果である。

7. おわりに

単元ごとのプログラミング教育実践例は徐々に出てきているが、学校現場では、どの学年のどの単元での活動をどのような組み合わせで体系的に実践していけば良いかがわからないという悩みを抱えている。

本論文では、小学校理科におけるワンボードマイコンを用いるプログラミング教育のモデルカリキュラムを提案した。電気の利用での創造的なプログラミング活動を目指し、理科の学びの目標から導いたプログラミング教育の適用方策への合致とワンボードマイコンの利用が適す単元へ、プログラミング活動を系統性に配慮して組み込んだ。そして実践を通して、必要となる時数の目安、組み込んだプログラミング要素の妥当性を確認し、カリキュラムの実行可能性を示した。

なお、本論文で記した各実践例では異なるワンボードマイコンを用いているが、一つのワンボードマイコン(今回用いていない物を含む)ですべての実践が可能になるように、その方法を記した手引きの公開準備を進めている。

【参考文献】

- [1] 加藤直樹他：理科における学びの教材作りを中心としたプログラミング教育の実践，情報処理学会研究報告，vol.2019-CE-149, No.12, pp.1-8 (2019)
- [2] 太田剛他：子供のプログラミング能力の獲得段階に関する定量的分析：小学校4～6年生のScratchプログラミングを対象として，情報処理学会論文誌教育とコンピュータ，Vol.5, No.3, pp.35-43 (2019)
- [3] 阪東哲他：情報活用能力育成を基盤とした小学校プログラミング教育カリキュラム・マネジメントの提案，鳴門教育大学情報教育ジャーナル，No.16, pp.27-36 (2019)
- [4] 藤原伸彦他：ティンカリングとしてのプログラミング，鳴門教育大学情報教育ジャーナル，NO.16, pp.21-26 (2019)
- [5] 富永直也：小学生を対象としたプログラミング学習カリキュラムの開発，立命館教職教育研究，No.4, pp. 81-90 (2017)
- [6] 佐藤和紀他：小学校理科におけるプログラミング教育の効果の分析：第5学年「ふりこのきまり」を事例として，日本教育工学会研究報告集，vol.17, No.4, pp.115-120 (2017)

【謝辞】

授業実践をしていただいた、小金井市立前原小学校、小平市立小平第七小学校、青梅市立第四小学校、昭島市立中神小学校の先生方に感謝の意を表す。本研究の一部は科学研究費（課題番号:18K02930）の補助による。