

5 年生理科「ふりこのきまり」のための micro:bit を用いた  
プログラミング教育の提案

Proposing Programming Education Utilizing micro:bit for “Pendulum Law”  
5th Grader’s Science Class

尾関 基行, 木下 彩音

OZEKI, Motoyuki KINOSHITA, Ayane

武庫川女子大学 学校教育センター紀要

第 7 号 2022 年

【実践報告】

5 年生理科「ふりこのきまり」のための micro:bit を用いたプログラミング教育の提案

Proposing Programming Education Utilizing micro:bit for “Pendulum Law”  
5th Grader’s Science Class

尾関 基行\* 木下 彩音\*\*

OZEKI, Motoyuki\* KINOSHITA, Ayane\*\*

要旨

本研究では、小学校のプログラミング教育の教材について、既存の事例とその課題、小学校教員向けのプログラミング教育ワークショップを実施した所感をまとめ、理科の「ふりこのきまり」の単元に取り入れられる新しい事例を提案する。我々の考案した「振り子カウンター」は、公立小学校の教員だけでも実施できることを考慮し、世界中の教育機関で採用されている micro:bit のみを用いて実装できるよう工夫した。理科の授業で行われる「振り子の実験」をそのままの形で自動化するものであり、教科（教科）の内容から逸れずにプログラミング教育を取り入れることができる。検出ミスが生じるため振り子を 10 往復させて平均値を求める授業どおりの測定は難しいが、プログラミングによる自動化の強み／弱みを理解して、適切な測定方法を話し合うことによっても論理的思考が養われると考えられる。

キーワード：プログラミング教育，理科，micro:bit，振り子実験，ふりこのきまり

1. はじめに

2020 年度から、初等教育においてプログラミング教育が順次開始されている。文部科学省の「小学校プログラミング教育の手引<sup>(1)</sup>」や「小学校を中心としたプログラミング教育ポータル<sup>(2)</sup>」では具体的な指導案がいくつか挙げられているものの、同時に、例示された指導案だけでなく各学校で創意工夫を活かした教育が行われることも期待されている。手引の第三版からは「総合的な学習の時間」において企業と連携した指導例への言及も追加されたが、公立小学校において企業との連携授業を継続的に実施することは必ずしも容易ではなく、既にさまざまな目的で利用されている「総合的な学習の時間」にプログラミング教育が占める割合にも配慮する必要がある。

また、教育テスト研究センターの赤堀<sup>(3)</sup> によって 2018 年 5 月に実施された某市（文献内でも伏せられている）の小学校教員 295 名へのアンケートでは、プログラミングを書いたことのない教員が 64%、プログラミングを指導できないと回答した教員が 45% に上る。2018 年から現在までの 3 年あまりでプログラミング教育の研修等も進んだと思われるが、プログラミングに詳しい小学校教員が多くはいないことは確かであろう。このような状況で、さらに小学校でのプログラミング教育の指導法もきちんと確立されていないなか、小学校教員の自助努力によって児童たちを指導する負担は大きいと考えられる。

以上のことから、学習指導要領における「各教科」の中で、小学校教員だけでも実施できるプログラミング教育の指導案や事例を蓄積していくことが肝要である。特に、小学生にも直感的にわかりやすいロボットやマイクロコントローラー（マイコン）を使用したプログラミング（フィジカルコンピューティング）の教材は、その教育効果が期待できる一方で購入や維持にコストがかかるため、汎用性（幅広い科目で活用できるか）や継続性（企業や業者に頼らなくても自力で実施できるか）につい

\* 情報メディア学科准教授

\*\* 株式会社ビーネックスソリューションズ（2020 年 3 月情報メディア学科卒業生）

て採用前に調査・検討する必要がある。その際に参考になる指導案や事例は（質の良いものであれば）数が多いほどよく、その作成は小学校や企業、省庁だけでなく大学等の高等教育機関にも貢献できる取り組みであろう。

本研究では、そうしたプログラミング教育のための教材の一つとして、小学5年生の理科の単元「ふりこのきまり」に取り込める事例を提案する。世界中の初等中等教育のプログラミング教育で使用されているマイコン「micro:bit」を用いたフィジカルコンピューティングの事例であり、単元の内容から横道に逸れず、振り子の実験をそのまま置き換えられることが特徴である。また、本事例の作成に取り組むきっかけとなった小学校教員向けワークショップ（2019年実施）の内容についても、小学校におけるプログラミング教育のヒントとなり得るため、本稿の中で併せて報告する。

## 2. プログラミングの指導案／事例

まず、既にインターネットで共有されているプログラミングの事例や指導案を取り上げ、本研究で提案する事例の位置づけを明らかにする。

### 2.1 電気を無駄なく使うにはどうしたらよいかを考えよう（小学6年生：理科）

インターネット上の信頼できる事例集として、冒頭でも触れた「小学校を中心としたプログラミング教育ポータル」がある（文部科学省・総務省・経済産業省が共同作成）。このポータルサイトにおいて、学習指導要領に例示されている単元等で実施する事例として挙げられているのは、算数を対象とした「Scratch で正多角形を描く」と、理科を対象とした「電気を無駄なく使うにはどうしたらよいかを考えよう<sup>(4)</sup>」である（2021年9月時点でこの2例のみ）。前者はビジュアルプログラミング環境として有名な Scratch の教育利用の典型例としてよく使用されるものである。ここでは後者の指導案を取り上げる。

小学6年生の理科を対象とした「電気を無駄なく使うにはどうしたらよいかを考えよう」は、國學院大學が4校の公立小学校と共同で実施したものであり、共通するテーマと指導案を採用しつつ、小学校毎に使用ツールをレゴ WeDo2.0／micro:bit／MESH／ArtecRobo と使い分けている。いずれのツールでもプログラミングの流れやシステムの構成はほぼ同じであり、入力値に応じて LED やモーターをプログラムから ON/OFF するというものである。プログラミングに入る前段には生活の中での電気の役割や仕組みなどについて話し合う時間が設けられており、電気について知識から実践まで一貫して学ぶことができる。

本例の良い点はどのようなツールやデバイスを採用しても対応できるシンプルな内容と構成になっていることであり、小学校がすでにロボットやマイコンを購入してしまってもそれに合わせてカスタマイズして実施することができる。児童にとっても教員にとっても、プログラミング教育を導入する最初の一步に適した構成と難易度といえる。

一方、実際の利用環境にシステムを組み込むことまでは指導案に含められておらず、裸のデバイスを机の上で触るだけであり、マイコンやロボットキットを採用する効果が最大限に活かされているとはいえない。例えば、教科の学びの中でアナログに実施していた実験等をプログラミングで自動化することによって、両者を比較しながらプログラミングの効果を体感することもできるだろう。また、プログラミング教育は小学4年生頃から始まるため、6年生対象としてはプログラミングの内容がやや簡単かもしれない。

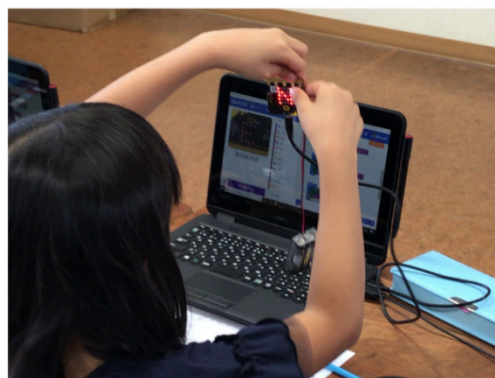


図1 プロアンズ「水よう液の性質」のプログラミング環境（左）と micro:bit を用いた方位磁石（右）  
（右の写真はプログラミング教育ポータルウェブサイトより転載）

## 2.2 水よう液の性質 ～水よう液を区別する方法を考えよう～（小学6年生：理科）

ロボットやマイコンで構築したシステムを授業の実環境に組み込むことが難しいのであれば、環境そのものをプログラミングツールの中で仮想的に表現する方法もある。ここではその一例として、ベネッセが独自に提供している指導案共有サイト「プロアンズ」から「水よう液の性質」を学ぶためのプログラミング教材を紹介する<sup>⑤</sup>。

この事例は小学6年生の理科を対象としており、この教材専用のビジュアルプログラミング環境が構築されている。図1左に示すように、ビジュアルプログラミングの画面の中に仮想的な「実験室」がイラストで表現されており、プログラミングを組んで実行するとアニメーションが動き出す。水よう液を区別する問題が10問用意されており、児童だけで家庭で挑戦することもできる。

本例の良い点は、ブラウザのみで実施できるにも関わらず、実験をしている気分になれるところである。国語や社会でもScratch等でクイズアプリを作成する事例はみられるが、プログラミングの作業がそれらの教科とはやや異質なものに感じられてしまい、「教科の中の学び」という連続性が希薄になってしまう可能性も考えられる。本例では仮想的な「実験室」でプログラミングに触れたあと、本物の実験室で追実験することもでき、理科という教科の中にプログラミングを自然に組み入れる効果を与えているとも考えられる。

問題点は、長所の裏返しとなるが、単元毎に独自のプログラミング環境を作成する必要性が生じることである。ベネッセなどの大手企業がこのようなコンテンツを順次作成してくれることには期待するが、小学校独自の環境を用意することは現実的ではない。また、そもそも仮想的に再現せざる得ないような単元にまで強引にプログラミングを導入する必要があるかについても議論の余地があろう。

## 2.3 方位磁針をつくろう（小学4年生：理科）

最後に、千葉大学の附属校ではあるが、小学校が単独で取り組んだ数少ない例の一つとして「方位磁針をつくろう」を紹介する<sup>⑥</sup>。プログラミング教育ポータルの中では「教科等とは別に実施された事例」として分類されているが、理科の単元の中でその理解を深めるためのプログラミング教材としても利用できる。

この事例は小学4年生を対象としており、ツールにはmicro:bitを採用している（図1右）。理科の単元「月と星」と関連させて、夜の星空を観察するために使用する方位磁針をプログラミングで実装する内容となっている。それと同時に、単元の指導要領に沿って月や星についての理解を図り、観察・

実験などに関する基本的な技能を身につけることのできる指導案としてまとめられている。本例は、授業の中で使用される方位磁針をマイコンで代替するものであり、単元の内容から横道に逸れずにプログラミング教育を導入できることが良い点である。また、磁石の物理的性質によって方角を示す針をマイコン上でどのように表現するか、手軽に両者を比較しながらプログラミング的思考を養うことができる。使用するプログラミングのコードは **micro:bit** のプログラミング環境の公式サンプルをそのまま参照しており、教員の負担になる部分をうまく省力化している。

問題点は、方位磁針単体をただ模倣するところで終わっているところである。プログラミングで実現した方位磁針にはさまざまな機能を追加することができる。例えば、**micro:bit** ではタイマーを実装することができる（稼働時間を取得することができるのでそれで条件分岐する）ので、天体観測する時刻を LED やビープ音で通知させることもできる。

## 2.4 プログラミングの指導案／事例の要件

以上で取り上げたいずれの指導案／事例も小学校教員の参考になり、また実際に利用することもできるが、以下の要件を満たすことで公立小学校でも継続的に利用しやすくなると我々は考えている。

- コスト的・難易度的に公立小学校の教員だけで実施することができる
- 単元の内容から横道に逸れることなく取り入れることができる
- センサーやモーターなどのデバイスを用いて実環境に組み込むことができる
- オープンな規格やライセンスで製造・開発された廉価あるいは無料のツールを使用する
- プログラミングを利用することによる付加的な効果を比較体験できる

事例が多数集まっているプログラミング教育ポータルにもこれらの要件を全て満たすものはほとんどない。特に 2 番目の「単元の内容から横道に逸れることなく取り入れることができる」という要件を満たす事例を考案するには、使用するツールとプログラミング言語をよく理解している必要があり、小学校教員がこれを自ら行うことは容易ではないと思われる。

文部科学省も、公立小学校の自助努力だけでプログラミング教育を推進していくことは難しいと判断したのか、小学校プログラミング教育の手引の第三版（2021 年 2 月改訂）には企業と連携して実施するプログラミング教育（みらプロ）の記述が追加された。しかし、全ての公立小学校が企業との連携を実践できるわけではないので、公立小学校が単独で継続できる教材・指導案を蓄積していくことは引き続き必要であろう。

## 3. **micro:bit** と教員向けワークショップ

本研究のプログラミング事例の考案に先駆けた 2019 年 7 月 25 日、大阪府寝屋川市の寝屋川市立石津小学校よりプログラミング教育に向けた夏季研修会の講義依頼を受け、講義に加えて教員向けのワークショップを実施した。公立小学校でのワークショップを実施するにあたって使用ツールを検討し、最終的に **micro:bit** を選定した。本章ではその理由と、実践したワークショップの内容および所感について報告する。



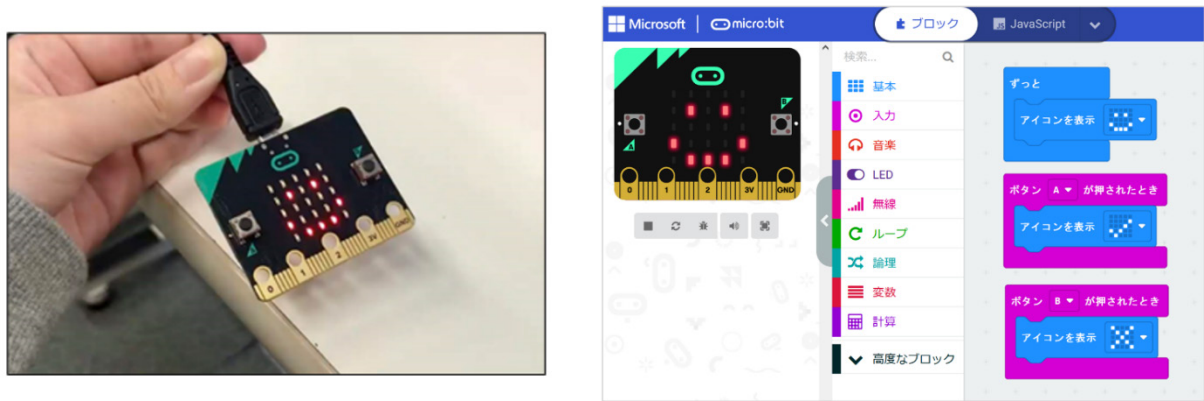


図2 micro:bit (左) とプログラミング開発環境である MakeCode (右)

### 3.1 micro:bit

micro:bit は、イギリスの非営利団体 Micro:bit 教育財団が普及を推進しているマイコンであり、世界中の教育機関で採用されている (図 2 左)。micro:bit はイギリスの BBC が開発したマイコンであるが、ハードウェア仕様とプログラミング環境がオープンソース化されているため誰でも生産・改変することができ、特定企業の教材を採用することに比べて安心感がある。

価格が 2,200 円 (2021 年 9 月時点) とプログラミング教材としては廉価であるにも関わらず、ボード上に 5×5 の LED マトリックス・2 個のボタン・スピーカー・マイク・明るさセンサー・加速度センサー・地磁気センサー・温度センサー・無線通信機能を搭載しており、さらに 3V・GND (接地)・0~2 の自由に利用できる端子を備えている。そのため、micro:bit 単体でもフィジカルコンピューティングを実現することが可能である。著者の尾関が 2017 年に実施した中学生向けプログラミングワークショップも micro:bit のみを用いて実施している<sup>(8)</sup>。

前述のように端子を利用して自由に電子工作することも可能だが、専用の拡張シールド (マイコンに取り付ける基盤) を端子に接続することで Seeed Studio Electronics の開発する Grove が利用できる。Grove は拡張シールドにコネクタを差し込むだけでセンサーやモーターと micro:bit を接続でき、電気回路等の知識がなくとも容易に micro:bit の機能を拡張することができる。Grove も規格がオープンにされているため主要なマイコンでは対応しており、micro:bit 以外のマイコンを使用する場合にも Grove のデバイスはそのまま使用できる。

micro:bit のプログラミングには、Microsoft の MakeCode というオープンソースのビジュアルプログラミング環境 (図 2 右) が無料で利用できる。画面上にマイコンのシミュレーターが表示されているため、micro:bit 本体がなくてもある程度はコーディングできる。同じ画面で JavaScript のコードにも切り替えられるので、コードを比較しながらビジュアルプログラミングから通常のテキストベースのプログラミングへとステップアップすることができる。また、Android や iOS の開発アプリも用意されており、タブレットでもコーディングすることが可能である。

以上のように、初等中等教育向けマイコンとして、micro:bit は現時点で最も有望な選択肢であると考えられる。

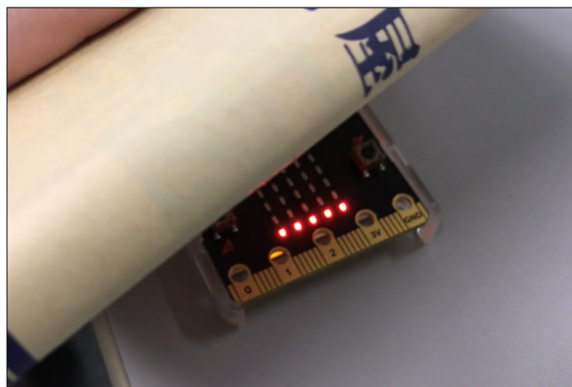
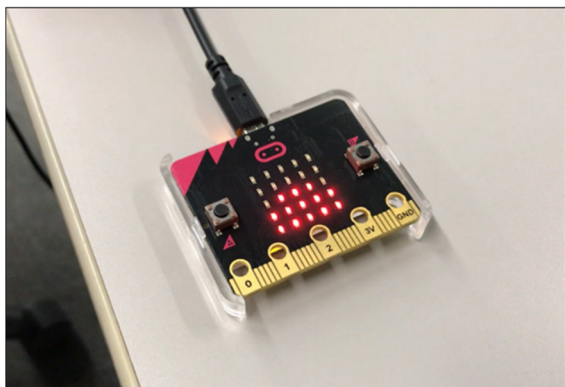


図3 明るさセンサーの値をLEDマトリクスでグラフ表示

### 3.2 ワークショップの内容

小学校教員を対象とした講義とワークショップは、我々2名（うち1名は当時大学3年生）と大学3年生2名の計4名で実施した。著者の尾関が講義とワークショップのファシリテーターを務め、木下が micro:bit の事例を考案してワークショップにて紹介した。全体で3時間の設定で、講義に40分、演習に1時間20分、事例紹介に20分、ディスカッションに40分というスケジュールで実施した。参加者は石津小学校に加え、木屋小学校と友呂岐中学校から教員30名弱が集まった。

ワークショップでは、まず導入として Scratch を用いた「正多角形をプログラミングで描画する」を全員で一から演習し、そのあとにグループを組んで micro:bit を用いたプログラミング事例を二つ演習した。

micro:bit を使用した一つ目の演習では、micro:bit の明るさセンサーの入力値を LED マトリクス上にグラフ表示させた。図3に示すように、手や本などをかざして micro:bit を影にすると明るさセンサー（LED マトリクスの部分が兼ねる）の受け取る光量が減少し、点灯する LED の数が減少する。天井の蛍光灯の光量では明るさセンサーの値は最大にはならないので、窓際に移動したり懐中電灯を当てたりすることで点灯する LED の数を増やすことができる。LED トリクスを使ったグラフ表示のプログラムは本来はやや複雑になるが、MakeCode のブロックとして用意されているのでそれを指定するだけで済む。この事例は micro:bit 単体で試すことができ、コードもシンプルであるが、非接触で反応するため、フィジカルコンピューティングに初めて触れる人は強く興味が引かれたようであった。

二つ目の演習では、2台の micro:bit を無線通信機能（BLE）で接続し、一方の micro:bit の光センサーの入力値をもう一方の micro:bit に送信して LED マトリクスにグラフ表示させた。通信機能を使う以外は一つ目の演習と同じ内容である。通信機能も、2台の micro:bit に共通する数値を割り振る作業が発生するだけで、プログラミング自体は専用のブロックを指定することで簡単に実装できる。この事例も、離れた場所で相手の情報を受け取ることができるのでフィジカルコンピューティングらしい楽しさを味わうことができ、IoT を擬似的に体験できる。

時間的制約からワークショップでは光センサと LED マトリクスしか使用しなかったが、ほぼ同じプログラム構成で、入力にはボタン・加速度（傾き）・地磁気・温度が、出力には音（ビープ音）がそれぞれ利用できる。温度というと気温をイメージするかもしれないが、マイコンをしばらく握って温めることでも十分に反応する。これらの組み合わせと無線通信を使うことでさまざまな応用が考えられる。

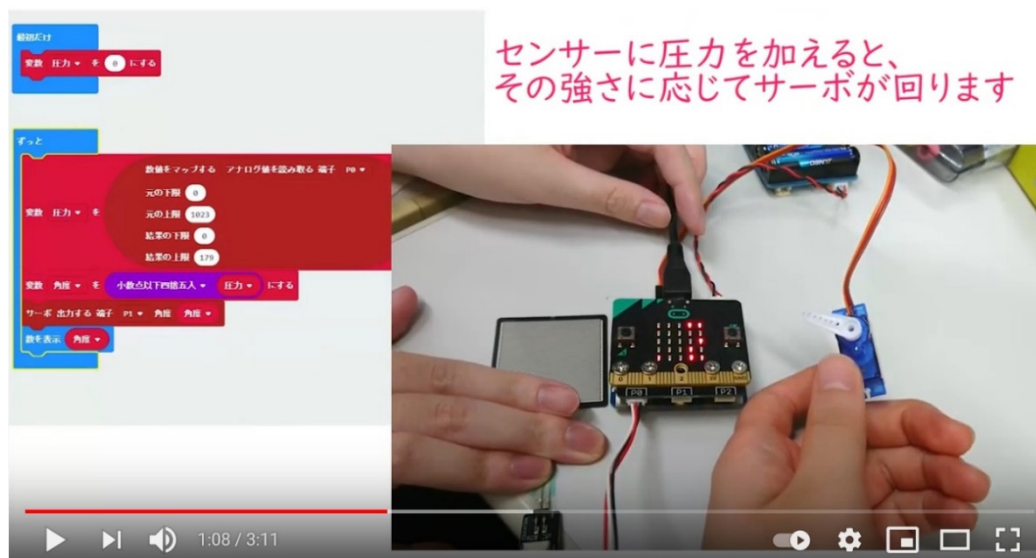


図 4 感圧センサーとサーボモーターを用いた圧力の可視化

演習後の事例紹介では、micro:bit と Grove を組み合わせた教材として、感圧センサーの入力値に応じてサーボモーターを回転させる例を動画で見せながら口頭で説明した。Grove の感圧センサーはシート状のもので 2000 円弱、2 種類のサーボモーター（120°の範囲で角度指定できるものと連続回転するもの）を使用したがいずれも 1000 円弱であった。Grove はコネクタに差し込むだけの手軽さが魅力だが、教材としてはやや高価になるため、指導案が固まったら Grove を利用せずに電子工作すれば費用を半額以下に抑えることができる。

本例では、圧力という直接見ることでできない値をサーボモーターの回転角度に変換することで、（料理等によく使用される）上皿はかりの圧力版として使用したり、踏む／押すなどの圧力に反応して物を動かす仕組みを作ることができる。この例を含め、micro:bit にセンサー等を追加する動画を作成し、Youtube のチャンネル<sup>9)</sup> に公開している（図 4）。

### 3.3 ワークショップの所感

以上のように、小学校教員に対して、Scratch による画面内だけのプログラミングを体験してもらったあと、micro:bit によるフィジカルコンピューティングを体験してもらったが、やはり物理的なデバイスをプログラミングによって制御する体験はプログラミング的思考を養うだけでなく（大人に対しても）感動や達成感を与えていることが感じ取れた。また、プログラミングに慣れない教員の方々にも、センサーやモーターを使ったプログラミングが思ったよりも簡単であることを知っていただけたと考えている。

最後の 40 分のディスカッションでは、この日の演習や事例紹介で知ったデバイスを使って、教科の中で使えるプログラミングの課題を考案してもらうというテーマで話し合った。演習で利用したのは明るさセンサーと LED マトリクス、無線接続だけであったが、その他のセンサーやモーターも実物を回覧しつつ議論してもらった。しかし、30 名弱の教員からは具体的なアイデアは出てこなかった。ワークショップを実施した小学校の校区では以前にもプログラミング教育の講習が行われていたようで、教員の方々はプログラミング教育に向けての意識を高く持たれているように感じられたが、それでも教科の中で使えるプログラミング教育の課題を考案することは（そのきっかけとなるアイデア出しですら）非常に難しいようであった。



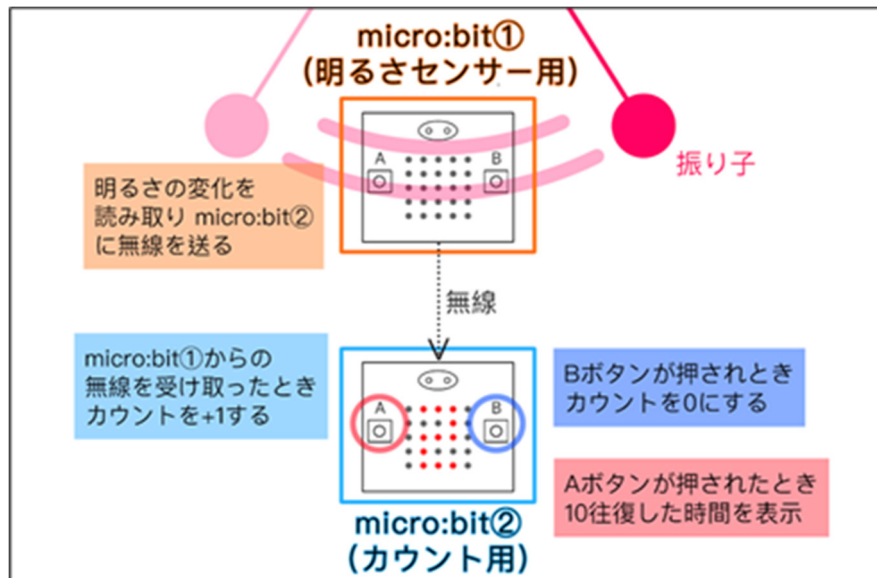


図5 振り子カウンターの構成

#### 4. micro:bit を用いた振り子カウンター

前述のワークショップの経験から、我々は小学校の教科（単元）の中で使える micro:bit の教材づくりに取り組みはじめた。ワークショップで扱った演習や事例も 2.4 節に挙げた要件を全て満たしてはいないため、小学校の理科の参考書を参照しながら、単元の中に取り込める案を検討した。そうして小学 5 年生の理科で扱う「ふりこのきまり」の単元に着目し、「micro:bit を用いて振り子の実験を自動化するカウンターを作成する」という事例を考案した。

##### 4.1 振り子の実験

まず、理科の「ふりこのきまり」の単元の中で振り子の実験がどのように行われるのか、その一例を挙げる<sup>(10)</sup>。振り子の往復時間は、振り子の長さのみによって決まり、おもりの重さや振れ幅には依存しない。これを例えば以下のような実験によって確かめる。

1. 振り子の長さ（25cm/50cm/75cm）、おもりの重さ（10g/20g/30g）、振れ幅（20°/40°/60°）の各条件を準備する
2. 上記のいずれかの組み合わせ（例えば、25cm/10g/20°）で振り子を揺らし、ストップウォッチを使って振り子が 10 往復する時間を計測する
3. 計測した時間を 10 で割り、振り子が 1 往復する時間を求める
4. 2～3 の作業を 3 回行ってその平均を求める
5. 2～4 の作業を、1 の条件を一つずつ変えながら総当りで実施してデータを集める

毎回 10 往復させて平均をとるのは、1 往復だけストップウォッチで計測することが難しいためである。また、その作業を 3 回繰り返して平均をとるのは、ストップウォッチの計測に乘る誤差を吸収するためである。上記の実験計画の場合、ストップウォッチの計測は 3 の 4 乗回（81 回）も繰り返すことになり、小学 5 年生には大変な実験であると推察される。疲れてくると振り子が 10 往復したことを数えるところでもミスが生じる可能性がある。

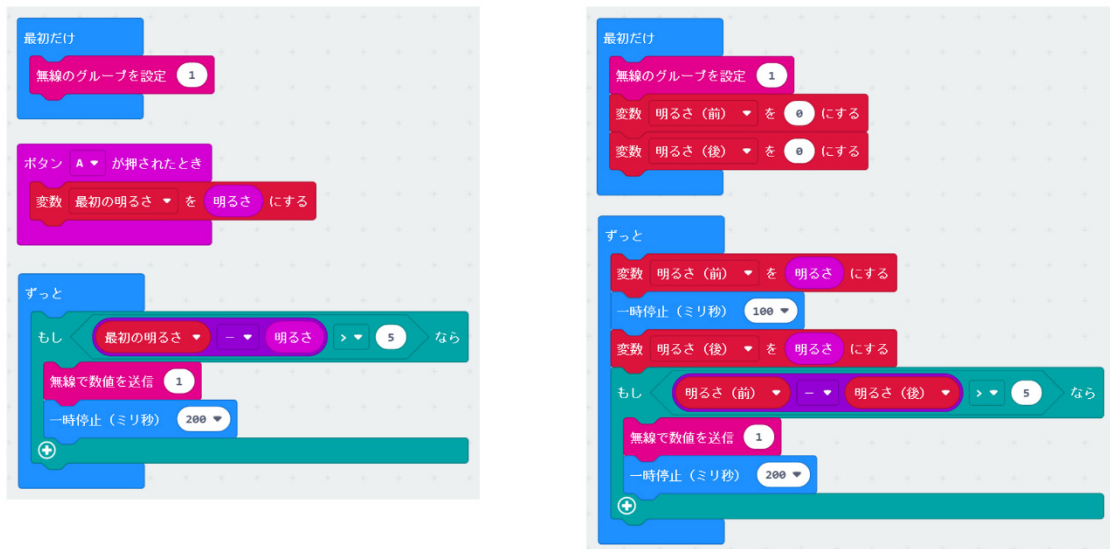


図6 検出用プログラム1（左）と検出用プログラム2（右）

そこで本研究では、この作業をプログラミング（フィジカルコンピューティング）によって自動化することを考えた。

#### 4.2 振り子カウンターの作成

振り子の長さなどの条件を自動で変更することは難しいので、10 往復する時間を計測する部分をプログラミングで自動化することを考える。

まずシステム構成であるが、金銭的なコストと管理の手間を考えると micro:bit に搭載された機能のみで実装できることが望ましい。そこで、micro:bit の明るさセンサーを使って振り子の通過を検出し、計測時間を LED マトリクスに表示することにする。振り子の通过道の下に micro:bit を置き、影がセンサーの上を通過するときに生じる明るさの変化を検出する。図 5 に概要を示す。

無線通信で繋いだ micro:bit を 2 台使い、一方の micro:bit ①で振り子の通過を検出すると、もう一方の micro:bit ②に無線通信で知らせて LED マトリクスに通過回数(カウンター)を表示させる。表示用の micro:bit ②では、10 往復 (20 通過) するとその経過時間を計算し、ボタン A を押すことで結果を表示する。また、micro:bit ②には途中で検出ミスしたときにボタン B を押してカウンターをリセットする機能も付ける。検出と表示の機能を 1 台の micro:bit に実装することも可能だが、カウンターをリセットする際に振り子を止める必要が生じるので、可能であれば 2 台で構成する。

検出用プログラム (micro:bit ①) の流れは以下になる。コードの例を図 6 の左に示す。なお、コード例では閾値を 5 としているが、これは実際の環境に合わせて調整する必要がある。

1. ボタン A が押されたときの明るさを「最初の明るさ」とする
2. 常時計測している明るさセンサの値と「最初の明るさ」の差分が閾値以上になったら振り子が通過したとみなす
3. 振り子が通過したら、表示用の micro:bit ②に無線通信で数値の 1 を送る

表示用プログラム (micro:bit ②) の流れは次のようになる。コードの例を図 7 に示す。



図7 表示用プログラム

1. [カウンター] と [経過時間] を 0 に設定する
2. micro:bit ①からの無線通信を待機して待つ
3. 無線受信したら [カウンター] を 1 ずつ増やす
4. [カウンター] が 1 の場合 (=振り子の開始) は [開始時刻] を記録する
5. [カウンター] が 20 の場合 (=10 往復完了) は [終了時刻] を記録し、開始時刻との差分を [経過時間] に設定する
6. ボタン A が押されたら [経過時間] を表示する
7. ボタン B が押されたら [カウンター] を 0 に戻す
8. ボタン A が押されない間は LED マトリクスには [カウンター] を表示する

以上のプログラムで振り子カウンターが実現できるが、上記の検出用プログラムには一つ問題がある。振り子を動かす前に計測しておいた [最初の明るさ] を基準値として振り子の通過を検出しているが、この方法は環境光の変化の影響を受けやすく、実験場所の状況や時間経過によっては検出ミスが多くなる。その改善案として、最初に一度だけ基準値を取るのではなく、一定時間おきに常に明るさを測定しておき、その前後の変化が大きければ振り子が通過したとする方法が考えられる。

改善版の検出用プログラム (micro:bit ①) の流れは次のようになる (前例と同じ部分は割愛する)。コード例を図 6 の右に示す。なお、コード例では閾値を 5 としているが、これは実際の環境に合わせて調整する必要がある。

1. 明るさセンサの値 [明るさ (前)] を計測する
2. 100ms 処理を停止して、明るさセンサの値 [明るさ (後)] を計測する
3. [明るさ (前)] と [明るさ (後)] の値の差分が閾値以上になったら振り子が通過したとみなす

これらの検出アルゴリズムの違いは画像処理でいうところの「背景差分」と「フレーム間差分」の違いと同じである。時間的に余裕があってプログラミングの学習に重点を置きたい場合は、上記二つのプログラムを組んで比較体験してもらい、仕組みを説明することもできる。そうでない場合は最初から改善版のプログラムを実装する。

表 1 振り子の通過検出の成功率（10 往復×15 回達成まで）

長さ	失敗回数	成功率
25cm	17 回	47%
35cm	14 回	52%
45cm	17 回	47%

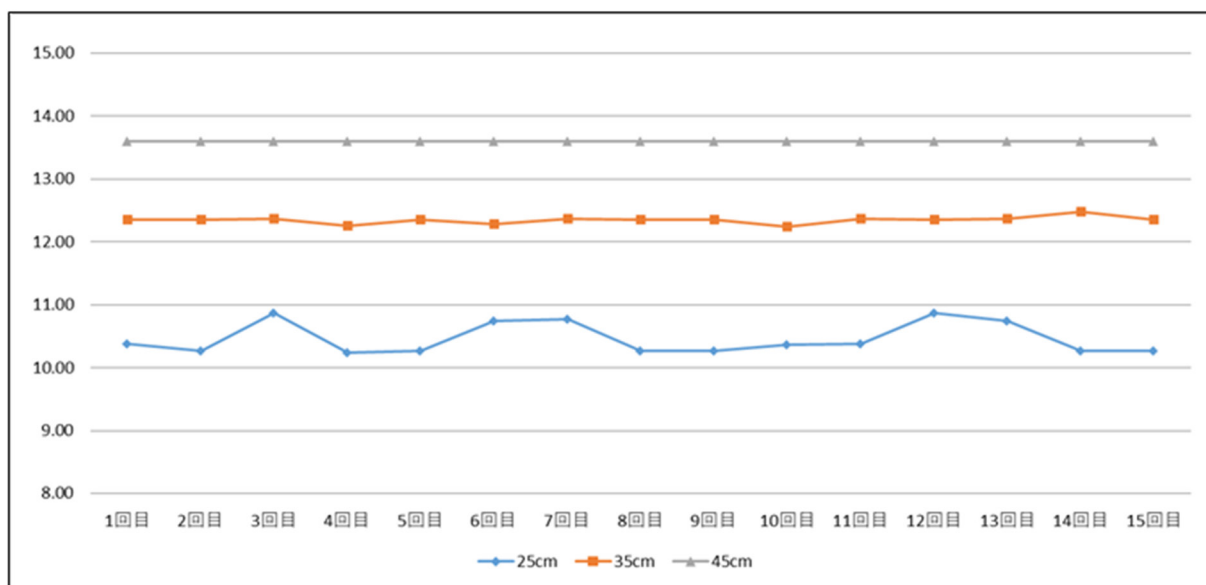


図 8 振り子が 10 往復する時間のグラフ（縦軸は秒）

#### 4.3 実験例

作成した振り子カウンターを使用して、振り子が 10 往復するまで数え上げる成功率を調べた。システムを動作させながら目視でも振り子の往復をカウントし、システムが 10 往復を正確にカウントできなかった場合は「失敗」とした。おもりの重さと振れ幅は固定し、長さだけを 25cm/35cm/45cm と変更しながら、10 往復の数え上げに計 15 回成功するまで試行した。

結果を表 1 に示す。実験 1 試行（振り子 10 往復）の検出に 15 回成功するまでに 17 回もしくは 14 回も失敗しており、10 往復単位での成功率は 50%前後となった。この成功率では実験がかえって大変になってしまうため、何かしらの改善が必要である。なお、これは振り子の影の通過検出に 20 回連続で成功する割合が 50%程度ということであり、振り子の影の通過検出精度に換算すると約 96.5%になる ( $0.96520 \div 0.49$ )。2 千円程度のマイコンに付属する明るさセンサーとしては十分に精度が出ているといえるため、時間をかけて実験装置を工夫するよりも、10 往復を 1 試行とする実験方法を改善するほうが効果的であろう。

振り子の実験で 10 往復の経過時間を測るのはストップウォッチを使った手動計測の誤差を吸収するためであり、micro:bit を使う場合はそこまでの誤差は生じない。そこで例えば、振り子の通過検出に成功している間のデータ使って 1 往復の平均時間を常に計算しておき、検出に失敗したらボタンを押して、検出ミス直前の平均時間を測定結果とする方法が考えられる。検出ミスまでの往復回数が多いほど 1 往復の時間の測定精度は上がる。この方法であれば児童は検出ミスだけを監視していればよく、81 回に渡って 10 往復を数えるよりも負担は軽減されるだろう。

さきほどの実験において成功した 15 回分（10 往復×15 セット）のデータをプロットしたものが図



8 である。アナログな実験と同じく、振り子の長さによって 1 往復の時間は変化し、振り子が長いほど 1 往復の時間も長くなることが確認できる。振り子が短いほど計測結果が安定しないことも見て取れるが、縦軸の単位は「秒」であり、最短の 25cm でも 1 秒以内の誤差に収まっていることがわかる。小学 5 年生の児童がアナログに計測した場合の一般的な誤差を我々は入手できなかったが、micro:bit による計測精度はおそらく十分に高いと思われる。

## 5. まとめ

本稿では、小学校のプログラミング教育の教材について、既存の事例とその課題、小学校教員向けのワークショップを実施したときの所感、及び、理科の「ふりこのきまり」の単元に組み込める新しいプログラミング事例について述べた。考案した「振り子カウンター」は、コスト的・難易度的に公立小学校の教員だけでも実施できることを考慮し、廉価かつ規格がオープンなマイコン micro:bit のみを用いて実装できるよう工夫した。理科の授業の「振り子の実験」をマイコンを使ってそのまま置き換える（自動化する）ものであり、単元の内容から横道に逸れずにプログラミングを取り入れることができる。

ただし、micro:bit の明るさセンサーでは振り子の通過の検出に失敗することもあるため、振り子を 10 往復させて平均値を求める方法（20 回連続で検出に成功する必要がある）を採用することは難しく、独自の新しい測定方法が必要となる。時間的に可能であれば、アナログな実験方法を同時に試して違いを比較し、プログラミング（フィジカルコンピューティング）の強み／弱みを知ってもらうこともできる。また、検出に失敗する条件を探してみるなどして、人間には容易なことでも機械には難しいことがあるということに気づくとともに、その問題をどうすれば回避できるかといった論理的思考力を養うこともできる。

なお、本提案は事例であって、指導案という形にはまとめることができていない。実際に小学校で利用してもらうには、今回提案した事例を使用する前後にどのような知識を学び、話し合うのかを含めた指導案の形にまとめたほうがよい。その点については、現場の小学校教員や教育学の専門家とも相談していく必要がある。また、プログラミングの難易度や使用する変数名についても、実際に小学 5 年生を対象に実施しながらの調整となろう。

3 章のワークショップで用意した事例と同様、振り子カウンターの動画も Youtube にて公開している<sup>9)</sup>。このような形で、公立小学校が単独で実施できるような事例や指導案が数多くインターネット上に公開されることによって、小学校教員の負担や不安を軽減し、児童たちにより良いプログラミング教育が提供されることを期待している。

## 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（第三版）”

[https://www.mext.go.jp/content/20200218-mxt\\_jogai02-100003171\\_002.pdf](https://www.mext.go.jp/content/20200218-mxt_jogai02-100003171_002.pdf)（2021 年 9 月 12 日最終確認）

- (2) 文部科学省・総務省・経済産業省 “小学校を中心としたプログラミング教育ポータル”

<https://miraino-manabi.jp>（2021 年 9 月 12 日最終確認）

- (3) 赤堀侃司「プログラミング教育に関する現状と今後の展開」『教育テスト研究センター 年報』第 3 号, 2018, pp.11-18

- (4) 文部科学省・総務省・経済産業省 “電気を無駄なく使うにはどうしたらよいかを考えよう”, 小学校を中心としたプログラミング教育ポータル

<https://miraino-manabi.mext.go.jp/example/a>（2021 年 9 月 12 日最終確認）

- (5) Benesse “水よう液の性質” プロアonz  
[https://www.proanz.com/lesson\\_plans/2fb7bdf288ec45c28e256c0ad7090e7d/](https://www.proanz.com/lesson_plans/2fb7bdf288ec45c28e256c0ad7090e7d/) (2021 年 9 月 12 日最終確認)
- (6) 文部科学省・総務省・経済産業省 “方位磁針をつくろう”, 小学校を中心としたプログラミング教育ポータル  
<https://miraino-manabi.jp/content/341> (2021 年 9 月 12 日最終確認)
- (7) 文部科学省・総務省・経済産業省 “協力企業と連携した総合的な学習の時間 みらプロ”  
<https://mirapro.mext.go.jp/> (2021 年 9 月 12 日最終確認)
- (8) 尾関基行「中学生対象プログラミングワークショップの実践とその動向」『武庫川女子大紀要（人文・社会科学）』  
65 号, 2017, pp.37-44
- (9) UGOK “プログラミング教育” Youtube  
[https://youtube.com/playlist?list=PLhfGE\\_QX6-4EOIKT-OZeHDmidGKK75CWt](https://youtube.com/playlist?list=PLhfGE_QX6-4EOIKT-OZeHDmidGKK75CWt) (2021 年 9 月 12 日最終確認)
- (10) 毛利衛, 黒田玲子, 他 32 名「新編 新しい理科 5 年」『東京書籍』, 2016, pp.142-151