

## 初等中等プログラム教育に向けた フィジカルコンピューティング教材の試作

宮崎英一，有友誠\*，渡邊広規\*\*

(技術教育) (附属高松中学校)\* (附属坂出中学校)\*\*

760-8522 高松市幸町1-1 香川大学教育学部

\*761-8082 高松市鹿角町394番地 香川大学附属高松中学校

\*\*762-0037 坂出市青葉町1番7号 香川大学附属坂出中学校

## Prototype of Physical Computing Teaching Materials for Elementary and Secondary Program Education

Eiichi MIYAZAKI, Makoto ARITOMO and Hiroki WATANABE

*Faculty of Education, Kagawa University, 1-1 Saiwai-cho, Takamatsu 760-8522*

*\*Takamatsu Junior High School Attached to the Faculty of Education, Kagawa University  
394, Kanotuno-cho, Takamatsu, 761-8082*

*\*\*Sakaide Lower Secondary School Attached to the Faculty of Education, Kagawa University  
1-7, Aoba-cho, Sakaide, 762-0037*

**要旨** 現在、文部科学省の審議会において2020年度を目途に小学校におけるプログラミング教育の必修化が検討されている。しかし、ここで問題になるのが、小学校教育におけるプログラミング学習環境である。文部科学省の審議答申においては、プログラミング教育という科目を増やさず、既存の科目の利用を考えている。このため、プログラミング教育の専門性を有した教員やその環境が存在しない状態で教育を行うには、学校現場の負担が大きいと考えられる。そこで本研究では、初学者向けに多くの教育現場で実践利用の高い「Scratch」をもとに様々なセンサを簡単に制御可能なフィジカルコンピューティング教材の開発を目指すものである。

**キーワード** フィジカルコンピューティング，技術教材，プログラム学習，Scratch，計測

## 1. はじめに

現在、文部科学省の審議会において2020年度を目途に小学校におけるプログラミング教育の必修化が検討されている。しかし、ここで問題になるのが、小学校教育におけるプログラミング学習環境の構築である。文部科学省の審議答申では、プログラミング教育という科目を新たに増やさず、既存科目の利用を考えている。このため、プログラミング教育の専門性を有する教員や、その教育環境が存在しない状態でプログラミング教育を行うには、生徒だけでなく学校現場にも負担が大きいと考えられる。

そこで本研究では、基礎的なコンピュータ環境下だけで構成され、教育を行う側にも負担をかけないようなプログラム教育環境の構築を目指すものである。さらにコンピュータの命令だけを学習するような専門的なプログラム教育だけでなく、学習者が将来に渡って役立つような論理的思考を学習できるような学習環境の構築を目標とする。ここでは特に多くの小・中学校の教育現場で実践利用の高い「Scratch」をもとに、思考の視覚化を実現するだけでなく、様々なセンサ類を簡単に制御可能とする。更に繰り返し学習を行うことで、自分の思考を実空間の現実を通して具体化するフィジカルコンピューティング教材の開発を目指すものである。

本研究の背景となったのは、2016年4月に文部科学省から発表された「2020年度を目標に小学校におけるプログラミング教育必修化」への変革である。これは非常に大きなカリキュラム変革であり、プログラミング必修化実現のためには学校現場において幾つかの大きな問題点<sup>1</sup>がある事が示されている。プログラミング必修化においての具体的な問題点としては

1) ICT環境の整備、2) 教材の開発、3) 教員の養成・研修、4) 指導体制の充実、5) 社会との連携・協働があげられる。

1) は言い換えれば「全ての小学校においてプログラム教育に必要な環境整備が図られる必要がある。」となる。現在、ICT環境は地域だけでなく、学校間によっても格差が見られることが多い。更に、学習に用いるタブレット本体だけでなく、ネットワークやセキュリティ保障のような運用環境も通年を通して要求されるため、初期コストだけでなく、運用コストについても考慮する必要がある。

2) については、「アプリケーションの使い方が目的ではなく、子供たちに育む「プログラミング的思考」の意義を実現するための授業」が求められている。そのためには、各教科等における教育の強みとプログラミング教育のよさが結びつき、小学校教員が活用しやすい教材等の開発が早急に望まれている。

3), 4), 5) では「より効果的なプログラミング教育の実施のためには、既存の指導体制では対応が困難な場合がある」ことから、担当教員の追加配置や専門人材の参画を含めた指導体制の充実が要求されるであろう。

更に、学校教育現場において教員側での大きな問題点は、教師側のプログラミング教育に対する準備が上げられる。現状ではプログラミング教育は小学校教育においては新しく新設された「小学校英語」のような単独の教科としては設定されていない。

このため、おそらく多くの場合は教える教師側においても、専門的なプログラミング教育を受けないままに授業を行う場合が出てくる可能性がある。

また、そのプログラミング教育の内容においても、文部科学省が同年6月には有識者会

議を行い、その教育目的を「将来どのような職業に就くとしても、時代を超えて普遍的に求められる力としての『プログラミング的思考』を育むこと」と定義した。よって、これらの問題点を解決するための教材としては

- 1) 専門的なプログラミング教育を受けていないものでも、簡単に授業で取り組める事
- 2) 従来のコンピュータ教育で主となっていたコマンド（プログラムの命令語）の学習を第一にしない事
- 3) 自分の思考を視覚化して、表現・再考・発表できる事
- 4) プログラムの結果を主として視覚的情報で表現し、学習者の直感的な理解を助ける事
- 5) 思考モデルを実空間で実現するためのトライ・エラー（繰り返して学習）を持続できるような興味・関心を持たせる事

が実現できるプログラミング教育学習教材が要求される。そこで本研究では初学者のプログラミング教育に多く用いられている「Scratch」言語をシステムのコアとして、各種センサと組み合わせる事で、フィジカルコンピューティング<sup>ii</sup>（アナログの正解を理解し反応できるソフトウェアとハードウェアの活用により、対話的な物理的なシステムを構築すること）を簡単に実現し、上記の要求を満足する教材の開発を行うものである。

## 2. フィジカルコンピューティング

フィジカルコンピューティングとは「アメリカ、ニューヨーク大学で始まった、デザイナーやアーティストを対象とした、人間とコンピュータを融合する作品制作の教育プロ

ラムのことである。」<sup>iii</sup>。ここでは製品制作の教育プログラムという事で、情報教育の専門的な知識を持たない人を対象としている。これは言い換えれば、初等中等教育において初めてコンピュータ教育を学習するようなターゲットとも重なっており、これが今後のプログラム教育の重要な意味を持つ事は間違いないであろう。本研究では、このフィジカルコンピューティングを通じて、今後の必修化が見込まれるプログラミング教育の教材開発を行うものである。

### 2.1 Scratchについて

本研究では用いたプログラミング教育環境のコアとなる部分には「Scratch」<sup>iv</sup>を用いた。「Scratch」は、MITメディアラボのミッチェル・レズニックが主導するライフロング・キンダーガーテン・グループによって開発<sup>v</sup>された。このScratchのプログラム例を図1に示す。

ここではプログラミング学習の基礎となる「繰り返し文」や「条件判断文」を示している。ここで従来のプログラム学習のようにコマンド（命令後）を暗記していなくても、これらのブロックをドラッグ&ドロップするだけでプログラムが作成できる。よって、プログラミング教育の初学習者にも取り組みやすい環

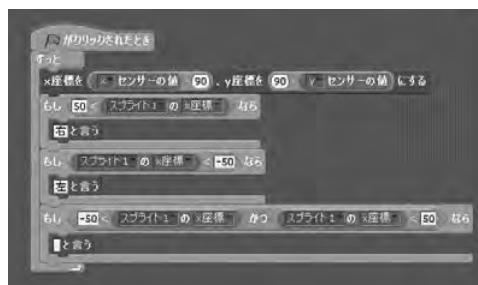


図1 Scratch言語

境が提供可能となる。

しかしさらに大きな特徴として、プログラムの意味をブロックの形や色で示しているため、プログラムの概念が視覚的に表現されている。このため、自分の思考を視覚的に自分自身にフィードバックすることで、思考を整理しやすくなっている。現在、「Scratch」にはバージョン1.4系と2.0系の2種類が存在している。外部デバイスの制御やインターネット環境の要求等、細部で両者は異なるが、基本的な操作方法やプログラムに対するアプローチ等は大きな差異が無い。よって、本研究では制御を行う外部デバイスに対応させて「Scratch」のバージョンを決定する。

## 2.2 センサとしてのマイク活用

フィジカルコンピューティングではボタンやセンサ等のインタフェースやモータやアクチュエーターの制御等をプログラムから行う。「Scratch2.0系」にはマイクの音量を測定するブロックがあるので、プログラムから簡単に音量測定が可能となる。この測定を図2に示す。音量測定ブロックに起動チェックを入れると同図 a) のようなマイク使用許可アラートが表示される。これで「ALLOW」を選択すると、以後自動的にマイクの音量測定が開始される。測定された音量は同図 b) に示すようにリアルタイムで測定され続ける。

これを応用すれば、音声の大小でキャラクターの位置制御が簡単に行える。実際のプログラム例を図3に示す。ここでは「音量」ブロックがマイクで測定された音声の測定値を示しており、この値をもとにキャラクターのx軸の位置座標を制御している。ブロックに記述する内容は1行で記述され、極めて単純であるが、キャラクターの移動は思考や結果の視覚化を示し、画面内に収めるための各係数や定数の決定には繰り返し学習をもたらす

効果がある。このため、簡単な内容ではあるが、プログラム教育教材としての学習効果が期待できると考えられる。

## 2.3 プリッジプログラム

さらに「Scratch1.4系」の大きな特徴として「遠隔センサ接続」といったブロックがあり、



図2 a) マイクの使用許可アラート



図2 b) 測定された音量

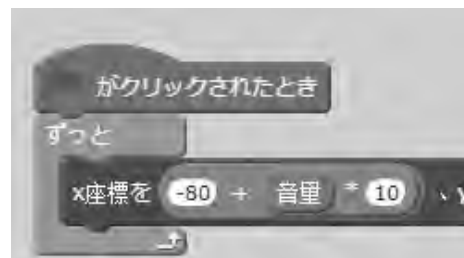


図3 音量で位置制御ブロック

外部機器との制御が簡単に行える事がある。具体的には、このブロックを有効化するとTCPのポート番号42001が開放される。後は何らかのプログラムで、このポートにアクセスすれば、「Scratch」からセンサの制御が行える。本研究では「Processing」言語を用いてこのセンサと「Scratch」をブリッジする部分を自作した。ここで「Scratch」側に送信するフォーマット（32bit長の、メッセージのバイト数+実際の文字列）に関しては、このプログラム<sup>vi</sup>を参考にさせて頂いた。この制御フローを図4に示す。このプログラムはCOMポート（シリアルポート）を介して「Scratch」と各種外部センサをコンピュータと接続し、TCPソケットを介してセンサからの測定信号を「Scratch」に繋ぐインターフェースの役目を持つ。このため、コンピュータで制御できるセンサだけでなく、WEB上の様々なデータ（例；天気予報等）が「Scratch」から制御可能となった。このような「Scratch1.4系」とコンピュータを接続するブリッジプログラムは既にいくつかが実装されている。図5に代表的なブリッジプログラム「Scratio」<sup>vii</sup>の実行画面を示す。同図にはシリアルポート（COM

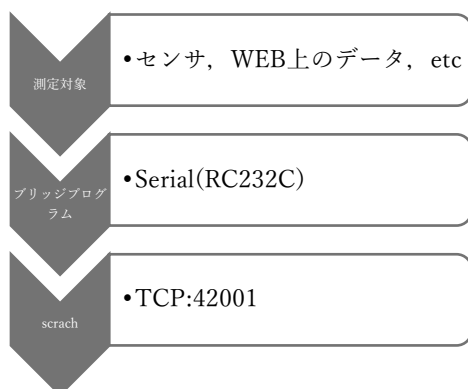


図4 ブリッジプログラム制御フロー

3)を介して制御用のマイクロコントローラ（Arduino）を接続し、「Scratch1.4」から計測・制御を行うものである。これは機能的には本研究で試作したブリッジプログラムと全く同じ機能を持っている。

本研究で試作したブリッジプログラムは基本的な働きはこれと同じであるが、いくつかの拡張機能を有している。上記の「Scratio」はいくつかのデジタル・アナログの入出力ポートを持っているが、「Scratch」上での変数が事前に固定されており、ユーザ側で自由な変更・設定が行えないという問題点がある。このため、超音波センサのようにマイクロ秒単位の細かな時間制御を行うことは出来ない。本研究で試作したブリッジプログラムにはこのような制限がないので、多くのセンサの計測・制御が可能になる。またこのようなセンサ以外にも、WEB上で提供されているJSONデータの利用も可能である。例えば、WEBサービスとして天気情報などのJSONデータを扱う事が可能なため、より幅広いフィジカルコンピューティング環境が簡単に提供できる。

### 2.3 超音波センサの制御

本研究で実際に使用した超音波センサを図6a)に示す。これは超音波が対象物体に当



図5 Scratio実行画面

たって跳ね返ってくる時間を測定し、この測定値から対象物体までの距離を測定するものである。このような距離センサは距離と測定値が比例関係にあるので、手軽に使用でき、ロボットの視覚センサとして利用される事も多い。このセンサの制御ダイヤグラムを同図b)に示す。最初に5 $\mu$ 秒程度のトリガーパルスを出力し、350 $\mu$ 秒待った後、数百 $\mu$ 秒～数十m秒のパルス幅を計測する。このように $\mu$ 秒単位のパルス制御を行うので、「Scratch」からの直接制御は困難である。しかし本研究で試作したブリッジプログラムでは制御部分はネイティブなArduino言語を使用しているので、これらの制限が全くない。これはTCPソケットを用いてブリッジプログラム自身が単に測定されたデータを「Scratch」に送信しているだけなので、多くのセンサの計測・制



図6 a) 超音波センサ

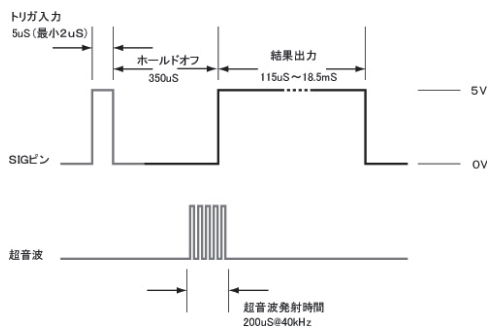


図6 b) 超音波センサ制御パルス



図7 超音波センサブロック

御が可能である。

本研究で試作したブリッジプログラムを用いて超音波センサの値を計測する「Scratch」のセンサブロックを図7に示す。ここでは、[dd]という変数で定義されたセンサの値（距離）をキャラクターのX座標に代入している。このように1行だけでセンサの値を測定できる。よって、センサに関する専門的な知識が無くても、簡単にセンサを利用する事ができるので、上記で述べた以外にも、自分の思考を具体化する事に思考を集中する事が可能になり、本質的なプログラミング教育が行えると期待できる。

### 3. インタラクティブキャラクター制御

センサを用いた具体的な測定例として超音波センサで対象物との距離を測定し、この距離に応じてキャラクターが移動するプログラム教材例を図8に示した。「Scratch」において生徒が記述するのは図7の1行だけですので、センサ値（距離の変化）を簡単にプログラムで計測が可能になる。

具体的にはこれが従来の単なる紙芝居に代わる、インタラクティブ機能を持った新しい紙芝居教材への応用が期待できる。

### 4. お天気プログラム

ここでは「お天気サービス」等、WEB上で提供されている各種データを「Scratch」から利用するプログラムを試作した。このお天気

## 初等中等プログラム教育に向けたフィジカルコンピューティング教材の試作



図8 超音波センサを用いたキャラクター制御システム

サービスはライブドアが提供しており、全国142カ所の今日・明日・あさっての天気予報・予想気温と都道府県の天気概況情報を見る事ができる。

具体的な測定例を図9に示す。この同図a)はブリッジプログラムによって読みだされたJSONデータから必要なデータだけを抜き出した高松市の天気情報(天気, 最高温度, 最低温度)を表示している。ブリッジプログラムはソケットを介してこれらの情報を「Scratch」に送信しているだけである。

「Scratch」側のお天気読み出しブロックを同図b)に示す。ここでは最高温度が「d2」という変数でブリッジプログラムから送られてくるので、それを読み出し、キャラクターに表示(喋らしている)しているだけである。このブロックも1行だけでデータの取り込みが可能となる。このため、上記の教材と同じように誰でも簡単にWEB上で取り扱われているJSONデータの利用が可能となり、フィジカルコンピューティングを簡単に体感する事が可能となる。

### 5. おわりに

本研究ではScratchをベースにブリッジプログラムを自作し、Scratchから簡単にフィジカルコンピューティングが実現できる事が分かった。今後は小学校のプログラミング学習

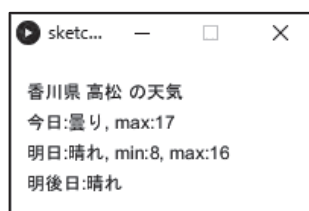


図9 a) 高松市の天気状況



図9 b) 本日の最高温度を表示

に適した題材として、学習効果まで含めた実践例への応用を試みる。

### 6. 謝辞

本研究では香川大学教育学部における平成28年度「学部教員と附属学校園教員による共同研究プロジェクト」の一部として行われたことを記して謝意を示す。

### 7. 参考文献

- <sup>i</sup> 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

- グ教育に関する有識者会議, 小学校段階におけるプログラミング教育の在り方について会議 (第3回) 配付資料,  
[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/chousa/shotou/122/attach/1371901.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shotou/122/attach/1371901.htm)  
(2016/9)
- ii フィジカルコンピューティングとメディアアート/音楽情報科学, 長嶋洋一, 情報処理学会研究報告, 89 (2008-MUS-077), pp.1-6, 2008
- iii フィジカルコンピューティングの教育教材作成の究, 難波宏司, 園田学園女子大学論文集, 第51号, pp.71-91, 2017
- iv <https://scratch.mit.edu/>
- v <https://scratch.mit.edu/info/credits/>
- vi ScratchとProcessingの通信に成功  
<https://tkamada.blogspot.jp/2011/06/scratchprocessing.html>
- vii <https://lets.makewitharduino.com/sample/scratch/>