

プログラミング的思考を育成するための教育実践と今後の展開

Educational Practice and Future Development to Promote Computational Thinking

永田 奈央美
Naomi NAGATA

佐野 典秀
Norihide SANO

高橋 等
Hitoshi TAKAHASHI

(平成30年 9月28日受理)

要旨

2020年度から小学校でプログラミング教育が必修化される事を踏まえ、筆者らは地域の子どもたちを対象にプログラミング教育の実践を行った。本実践では、対象年齢とそれに応じて育成すべきプログラミング教育の内容を体系化し、三つの講座を展開した。本稿では、プログラミング教育の実践内容と今後の展開について詳述する。

キーワード：プログラミング的思考 プログラミング教育 教育実践

1. はじめに

2013年6月に文部科学省から提唱された「世界最先端IT国家創造宣言」の中で、初等・中等教育段階からのプログラミング教育の推進が謳われた。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「プログラミング的思考」を育むプログラミング教育を小・中・高等学校を通じて充実させる事が求められた[1]。さらに、2020年度から小学校でプログラミング教育が必修化される事になった[2]。

このような社会的動向を踏まえ、様々な企業・団体が子どもたちを対象としたプログラミング教育のイベントを開催している。しかし、これらの教室では、プログラミングツールの使い方を中心としたコーディング作業に重きが置かれている事が多い。そこで、筆者らはプログラミング的思考を育成する事に重きを置いた教育実践の内容について検討した。具体的には、対象年齢とそれに応じて育成すべきプログラミング教育の展開法を体系化し、三つの教育内容を提案した。本論文では、プログラミング教育の実践内容と今後の展開について詳述する。

2. プログラミング的思考とは

文部科学省は、プログラミング的思考を「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、といった事を論理的に考えていく力」と定義している[2]。諸外国では、プ

プログラミングを含む情報科学教育の目的について、問題をコンピュータに行わせるまでの分析、解決方法の提案、その実施と評価等のコンピュータサイエンティストが用いていると考えられている一連の思考方法（計算論的思考）や知識・技術（コンピュータサイエンス）などを学習する事であるとしている[3]。プログラミングはその中の一部であり、プログラミングを通じて、プログラミングの思考を身につけさせる事に重きが置かれている。

また、文部科学省から公表された「小学校のプログラミング教育の手引き」によれば、図1に示すように①必要な動きを分けて考える、②動きに対応した命令（記号）にする、③命令（記号）を組み合わせるといった過程がプログラミング的思考であると示されている[4][5]。

本研究では、受講生が試行錯誤を繰り返しながら自らが考える動作の実現を目指し、うまくいかなかった場合には、どこが間違っていたのかを考え、修正や改善を行い、その結果を確かめるといったように、論理的に考えさせる事に重きを置いた教育内容を検討する事にした[6][7]。

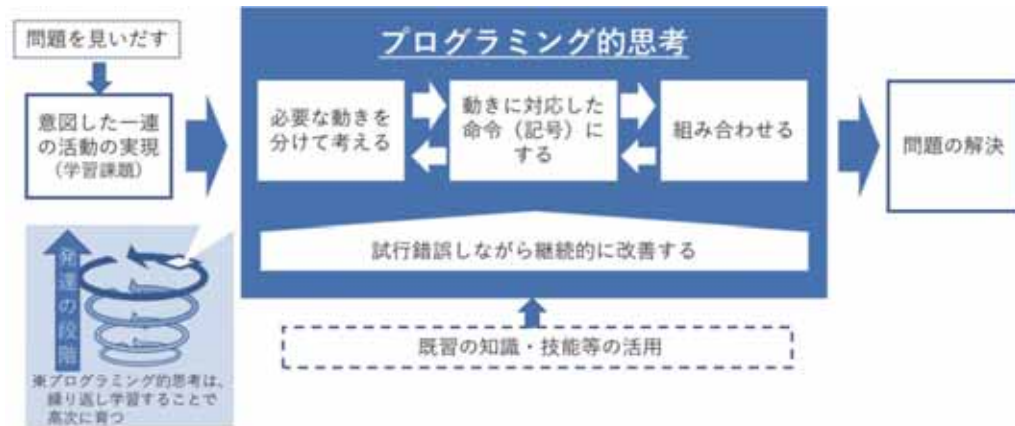


図1. プログラミング的思考のプロセスモデル

(引用：文部科学省「小学校プログラミング教育の手引き（第一版）」P13図4)

3. プログラミング的思考を育成するための教育内容

本研究では、幼児（3歳以上）から小学校低学年（1、2年生）、小学校中学年（3、4年生）から高学年（5、6年生）、小学校中学年から中学生というように対象年齢を三つの層に分類し、それらの年齢に適応して、「入門編」、「基礎編」、「応用編」の三つの教育内容を検討した（図2を参照）。

3.1 プログラミング教育の展開法

プログラミング教育の展開法は三つの形態があるとされている[8]。一つ目は、コンピュータを使わない「アンブラグド型」の展開法であり、二つ目は、コンピュータにプログラミングし、コンピュータの外のロボットを操作する「ロボット型」の展開法である。三つ目

は、コンピュータにプログラミングをし、コンピュータ内のキャラクタを操作する「ソフトウェア型」である。アンプラグド型は、身体や手を動かしながら「プログラミング的思考」を学ぶ事ができるため、思考の理解が早く、易しくプログラミングの概念を学ばせる事ができる。そこで、「入門編」はアンプラグド型で展開し、プログラミングの概念や、人間とロボットの違いについて理解させる。そして、コンピュータを使わずに命令する事ができるロボットを使ってロボットを動かす体験を行わせるという展開とした。「基礎編」では、特定のプログラミング言語でコーディングさせながらプログラミング的思考を身に付けさせるために、ソフトウェア型で展開する事とした。「応用編」では、ソフトウェア型で導入し、ロボット型へ移行する事にした。動かすロボットは受講生に自作させ、人間の命令によって動くロボットのメカニズムを学ばせた。



図2. 対象年齢層に適応した段階的プログラミング教育の展開法

4. プログラミング教育の実践と今後の展開

静岡県のカルチャーセンターであるSBS学苑と静岡産業大学による連携事業によって、本研究で提案した三つの講座を開講した。本章では、展開した教育実践内容と今後の展開について詳述する。

4.1 入門編プログラミング講座

入門編プログラミング講座は、複雑な問題を理解し、実行可能な解決法を導き出す考え方を身に付ける事を学習目標とする。本講座では、人間が望む動作をロボットが実行するように命令を考えて、ロボットを動かした。受講生が解決すべき問題と向き合い、目的を達成するためにはどうすれば良いのかその手順と解決策を試行錯誤しながら考えていく事に重きを置き、表1に示す内容で講座を展開した。本講座では、前進、右へ曲がる、左へ曲がる、ファンクションといった動きをする四種類のブロックをボードに並べてプログラ

ミングするPRIMO[9]という教材を使用した(図3を参照)。次に、赤・青・緑・黒の4色の組合せでプログラミングする事ができるOZOBOTというロボットを利用した[10](図4を参照)。これらの教材を用いることで、一つ一つの動きに対応したブロックや色を、どのように組み合わせたら良いか受講者が主体的に考えることができるよう工夫した。ロボットが受講者の意図した動きをしなかった場合には、組合せをどのように改善していけば問題を解決できるか試行錯誤させる時間を設けた。



図3. PRIMOでプログラミングする様子

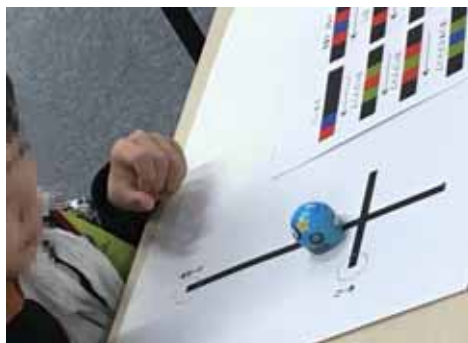


図4. OZOBOTでプログラミングする様子

表1 入門編プログラミング講座の内容

講座タイトル	ロボットで楽しくプログラミング
対象者	幼児(3歳以上)から小学校低学年
参加者	3歳から小学校2年生 18名
講座時間数	1時間の講座6回 ※同内容の講座を別の対象者に向けて6回開講
講座の流れ	<p>1. ダンスでプログラミング</p> <p>ダンスの動きについて考える。命令する人とその命令通りにダンスする人に分かれ、命令するという体験と命令通りにダンスをするという体験を行う。ここで、人間とロボットの違いについて考える。人間は、間違えたり疲れしたりするが、ロボットは、何万回でも間違えないし疲れない事。人間は、命令を推察する事ができるが、ロボットは指示された事しかできない事を体感する。</p> <p>ダンスは、ひとまとまりの動作の繰り返しである事や、プログラミングには、「はじめ」と「おわり」の合図(条件)が必要である事を学ぶ。ここで、ループ(繰り返し)の基本的考え方を理解する。ループの動きをする身近な物の事例として「信号機」を取り上げる。</p> <p>2. PRIMOでプログラミング</p> <p>ボードへ四種類のブロック(前進、右へ曲がる、左へ曲がる、ファンクション)を組み合わせてプログラミングを行う。命令通りにPRIMOのロボット(名称:キューベット)がマップ上を動くか確認する。ここでは、マップに示されている「山」までキューベットを辿り着かせるためには、どのようにブロックを組み合わせるべきか考える。このとき、「ファンクション」というブロックを使わないと目的地に辿り着かない事に気付く。</p>

	<p>3. OZOBOTでプログラミング 赤・青・緑・黒の4色の組み合わせの線を紙上へ描いてロボットへ命令する。例えば、黒・青・赤・緑・黒という組み合わせは、「右へ曲がる」という命令となっている。ロボットへの命令を4色のサインペンで描く。命令通りにロボットが動作するか確認し、命令通りに動かなかった場合には、何が問題であるか考え解決方法を導く。</p>
--	---

本講座は低年齢層を対象としたため、簡単でわかりやすくプログラミングの概念を教えるよう工夫した。目的の場所への経路を考える過程では、受講生らは試行錯誤しながらどのようなブロックをどういう順序で組み合わせるか真剣に考えていた。一方、ブロックが足りないという問題や、4色の組合せの線を描いても思い通りにロボットが動かないという問題が発生した時、教師へ正解を求める受講生が多かった。

今後は、問題解決の方法を受講生自ら導き出せるようファシリテートする教育方法について検討していきたい。そして、受講生たちが身振り手振りを交えてお互いに相談しながらロボットの動きを考えていく学習行動に着目し、プログラミング的思考を身につける過程を分析していきたい。

4.2 基礎編プログラミング講座

本講座は、実際にプログラムのコーディングを通して言語としてのプログラミング体験をしながらプログラミング的思考を身につける事を学習目標として表2に示す内容で講座を展開した。教材は、USBキーボードとコンポジット端子（ビデオ端子）を使ってテレビなどの映像出力機器に接続するだけでプログラミングを楽しむ事ができる手のひらサイズのIchigoJamを使った。IchigoJamでは、予めプログラミング言語BASICがセットアップされており、周辺機器を接続し電源を入れるだけでインタプリタのBASICプログラミング環境が起動する。（なお、IchigoJamのほかにJavaScriptが組込まれたIchigoLatteもある。ハードウェアは同じなので、IchigoJamのファームウェアを書換えるだけでIchigoLatteとしても使える。）IchigoJamで学ぶ受講生の様子を図5に示す。



図5. IchigoJamでプログラミングする様子

表2 基礎編プログラミング講座の内容 [11]

講座タイトル	BASICプログラミング講座
対象者	小学校3年生～6年生
参加者	8名
講座時間数	2時間の講座を14回
講座の流れ	<p>1. IchigoJamをディスプレイ、キーボード、電源につなげて起動しよう 周辺装置との接続方法を学びながら、コンピュータの五大装置（制御装置、演算装置、記憶装置、入力装置、出力装置）の役割を理解する。</p> <p>2. 画面へ文字、数値、記号などいろいろなものを表示してみよう 四則演算の演算子の使い方、行番号の付いたプログラムの入力、修正、実行方法を理解し、逐次処理の概略を画面表示から学ぶ。起動、終了、プログラムの保存、読み込みを学ぶ。</p> <p>3. LEDをいろいろなタイミングで光らせてみよう LEDを点けたり消したりする事がプログラミングでできる事を通して、コンピュータからの命令によって外部につないだ様々なものがコントロールできる事を知る。LEDを点灯するタイミング、消灯するタイミングがプログラムで調整出来る事を知る。</p> <p>4. 文字で絵を画面に描いてみよう 文字や記号などのキャラクタを使って、画面いっぱいに絵を描く事を通してIchigoJamの画面（横32文字×縦24行）の中で文字や記号を並べると絵に見える事を知る。文字や記号も8×8のドットで作られている事を知る。</p> <p>5. 音を鳴らしてみよう IchigoJamに圧電ブザーを取付けてプログラムで鳴らす事を通して、画面への出力の他にスピーカーなどを使って音声や音楽を奏でる事ができる事を知る。また、音符（記号）が並んだ楽譜を見て、音を鳴らすプログラムを作成し、音楽を奏でる事ができるという体験から、音符という記号の情報をプログラミングによって音楽という形の情報に変換できる事を知る。</p> <p>6. 文字や記号を動かしてみよう 静止画として表示していた絵を、時間の経過とともに少しずつ、表示する位置を変化させたり、形を変えたりする事で、連続して見た時に、動いているように見える事を通して、アニメーションの原理や、ゲームのキャラクタが動いて見える様子について学ぶ。</p> <p>7. キー入力と文字、記号の移動 キー入力に応じて、文字や記号が画面上を上下、左右に移動するプログラムを作成する事を通して、双方向性の実装について学ぶ。外部からの入力に反応して表示が変わる事からプログラミングにより双方向性を実現できる事を知る。</p>

	<p>8. 簡単なゲームの作成 1 画面上部から左右に揺れながら落ちてくるイチゴを画面下部のキャラクター（人）を左右に動かしながら受け止めるプログラムを作成する事を通して、絵の動きに反応してキー入力する事で簡単なゲームが作成できる事を知る。</p> <p>9. 簡単なゲームの作成 2 画面内のある場所に隠された宝物を矢印キーの入力でキャラクターを移動させながら探し出す。宝探しゲームの作成を通して、条件により処理を分岐させる事を学ぶ。当たり判定を作成しながら、条件文の作り方、条件が満たされた時に実行される処理の作り方を知る。</p> <p>10. 簡単なゲームの作成 3 [12] 画面上方から落ちてくる物体を左右に避けていき、避ける事ができた物体の数を得点とするゲームの作成を通して、当たり判定の実装と、得点の数え方を学ぶ。条件文の作り方と、条件が満たされた時に得点を計算する方法を知る。</p> <p>11. 簡単なゲームの作成 4 [12] 画面左上から斜め下方に向かって落ちてくるボールを板で打ち返すゲームの作成を通して、上面、左右の壁の設定における空間の境界条件の作り方を学ぶ。ボールは上面や左右の壁にぶつかるとはね返る設定とし、下面で動かす板に当たった時とはね返る設定を作る。画面の空間内の境界における挙動（はね返る、通り抜ける、右から左に抜けるなど）を自らプログラムで設定できる事を知る。</p> <p>12. 簡単なゲームの作成 5 [12] 画面上方で左右に逃げる敵を下方のキャラクターから弾を発射し、敵を撃ち落とすゲームの作成を通して、発射した弾と逃げる敵との当たり判定の作り方、発射できる弾の数の数え方、発射できる弾の数の制限方法、得点の数え方を知る。</p> <p>13. オリジナルゲームの作成にチャレンジ これまでに作成したサンプルを元に自分だけのオリジナルゲームを作成する事を通して、プログラミングによって情報の入力と、それに反応した動きを作成できる事、条件によって処理を分岐できる事などを再確認する。</p> <p>14. オリジナルゲームの完成と他者への紹介 自分の作成したオリジナルゲームを他者へ説明、紹介する事を通して、自分のプログラムしたもので他者を楽しませる事ができる事を学ぶ。自分の作成したプログラムを他者に説明、紹介する過程でさらに自分のプログラムがブラッシュアップできる事を知る。また、他者の作成したプログラムの説明、紹介を聞く事で自分にはない良さを取り入れる事を学ぶ。</p>
--	---

ができるようになり、音楽も4重和音まで演奏できるようになる。今後はこのような機能拡張により、動かせるキャラクタの絵や、音楽との組合せをより細かく作成できるようになる事を目指していきたい。小学校3年生から小学校高学年に向けての時期は、言語を使って、自分の考えや意見を活発に表現できるようになる時期である。この時期に、プログラミングの学習を母国語ではないプログラミング言語を通して学ぶ事で、自分の考え方をどう表現すれば良いかを深く学ぶ事ができるようになると考えられる。さらに、世の中にある記号や文字、略号をプログラミングによって、画像や音楽などの情報に変換できる事を知る事で、創造的な活動の幅が広がると考えられる。ここでは、コーディングを学ぶ事が目的ではなく、コーディングを通してプログラミング的思考を身に付ける事が目標である。IchigoJamを使ったプログラミング学習において、プログラミング言語を駆使する事で、視覚、聴覚、身体的運動を刺激し、主体的、能動的な学びが展開できる事を確認できた。

基礎編プログラミング講座では、プログラミング的思考について簡単なゲームの作成を通して、相手と自分の動きを上下方向、左右方向に分けて考え（「必要な動きを分けて考える」）、コンピュータの計算結果や、キーボードからの入力に応じて動かす命令を作り（「動きに対応した命令（記号）にする」）、相手から逃げる、あるいは相手を捕まえる等の事柄を組み合わせて（「組み合わせる」）ゲームをプレイする人を楽しませる工夫を考えながら学ばせた。また、ゲームをプレイする人に応じて、相手や自分の動きの速さをプログラム内の変数で調整したり、ゲームを終える（クリアする）条件（避けた個数や、捕まえた個数）を変更することでゲームの難易度を変えて楽しませる工夫を考えながら学ばせた（「試行錯誤しながら継続的に改善する」）。（図1 プログラミング的思考のプロセスモデル参照）これらの一連の活動を通して論理的思考の向上を目指した。

今後の講座においても、消費者としてゲームに興じるのではなく、自らプログラミングする事で新しい遊びを創造できる可能性[13]と楽しみを知る事を目指したい。

4.3 応用編プログラミング講座

本講座は、マイコン、モータ、センサの働きと扱い方を理解させ、モータとセンサが連動したロボットプログラミングができるようになる事を学習の目標とした。受講生自らが考えた動作をロボットが実行するようにプログラムを工夫する事ができるようになる事を学習のねらいとして表3に示す内容で講座を展開した。

表3 応用編プログラミング講座の内容

講座タイトル	スクラッチ夏休みコース「ロボット」を作って動かそう
対象者	小学校3年生～中学生
参加者	小学校3年生から5年の7名
講座時間数	3時間の講座を2回
講座の流れ	<p>講座Ⅰ「ロボットを作ろう」 アクリル板の車体に、マイコン（スタディーノ）、DCモータ、超音波距離センサ、赤外線反射センサ、音センサ、サーボモータを取り付けて配線する。</p> <p>講座Ⅱ「ロボットを動かそう」 スクラッチプログラミングソフト「スタディーノ」の入手と設定を行い、次の手順で進める。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ロボットの構造 DCモータや各種センサの働きを説明する。 2. ロボットを動かそう 入出力設定とスクラッチプログラミングの基礎について学ぶ。 3. ぶつからないロボット 超音波距離センサを使用して、壁にぶつからないロボットをプログラムする。壁に10cm近づくと1秒バックしたあとに回転して、他の方向へ進む基本プログラムを作成したあと、センサの距離や速さを変えて走行を工夫する。また、超音波距離センサの仕組みを理解する。 4. ライトレーサロボット 赤外線反射センサを使用して、机に黒いビニールテープで描いたライン上を走行するプログラムを作成する。二つの赤外線反射センサを使い、ラインを外れるとライン上に戻る基本プログラムを作成したあと、複雑なコースを作成して走行を工夫する。また、赤外線反射センサの仕組みを理解する。 5. 壁をよけるロボット 赤外線反射センサを使用して、壁をよけるロボットをプログラムする。赤外線反射センサ2つを壁に向けて取り付け、反射信号があると避けて走行する基本プログラムを作成する。その後、プラスチック段ボールでコースをつくり、迷路抜けゲームを行う。 6. 音で操作するロボット 音センサを使用して、拍手で動きを操作するロボットをプログラムする。拍手をする毎に、直進、右回転、直進、左回転、停止を順次実行する基本プログラムを作成したあと、動作の順番を工夫する。 7. サーボモータを使ってみよう サーボモータに矢印やキャラクタを描いたパネルを貼り付け、ロボットの走行方向を示すプログラムを音センサで操作するプログラムに追加する。

ディネスには差があると想定していた。しかし、小学3年生から小学5年生の参加者全員がプログラミング方法を修得しており、大きな問題も無くプログラムを完成させていた。

受講生にとって、ロボットの製作は初めての事だったので、ネジを締めたり、コネクタに配線するのに戸惑う者もいた。しかし、道具の使い方を教えると自力で組み立てる事ができていた。1回目の講座の後に、自宅でプログラミングをしてみたか訊ねたところ、6名が自宅でプログラミングをしてロボットを動かしてみたと回答した。残りの1名は保護者がソフトウェアのインストールを許可しなかったため自宅でプログラミングはできなかったと回答した。

図6、7に示すように、ライントレースのコース作りや、迷路づくりを行うと用具の譲り合いや協同作業が始まり、プログラムやセンサの調整も学び合う姿が見られた。コース作りでは、予想しないような複雑なコースをつくり、あそびと学びが一緒になっていた。

本講座はスクラッチ経験者用であったが、変数や複数のスプライトを使用しないプログ



図6. ライントレースのコース作りの様子



図7. 迷路づくりを協調作業する様子

ラミングであったため、プログラム初心者でも受講可能である。また、ロボットのプログラミングは、結果をロボットの動作として他者にも見せられるので、子ども同士の学び合いを中心とした授業を展開できる。今回使用したロボットはオリジナル車体と市販部品を組み合わせた自作教材である。学習過程に合った内容で、拡張性も優れた教材だと考えるが、約6,000円という費用を更に抑える必要があると感じた。持ち帰りの教材の場合、自宅でも活用する事ができれば、保護者の理解を得やすい。

今後は、プログラミング環境が無い自宅でも遊べるように、リモコン機能などの付加を考えている。

5. おわりに

本研究では、対象年齢とそれに依じて育成すべきプログラミング教育の展開法を体系化し、三つの教育内容を提案した。低年齢層には「アンプラグド型」、中年齢層には「ソフトウェア型」、高年齢層には「ソフトウェア型」で導入し、「ロボット型」へ移行する学習形態で展開するよう検討した。三つの教育内容では、プログラミング的思考法を育成させ

ることに重点を置き、受講者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るか主体的に考えさせるよう工夫した。さらに、本研究で提案した教育内容を地域の子どもたちを対象に教育実践し、その結果を踏まえて今後の展開について考案した。

本実践を通して、プログラミング教育では、苦手意識を持たせないためにも、難しい事をいかに簡単に教えるかが重要であると感じた。今後は、受講生に興味関心を持たせる工夫をするために、身近な物と関連させながら学ばせるよう心掛けたい。受講生らがプログラミング的思考を身に付ける事で、社会生活の中でも従来の対処方法に満足するのではなく、さまざまな新しいアプローチを工夫できるようになる事を目指していきたい。そして、受講生たちが身振り手振りを交えてお互いに相談しながらロボットの動きを考えていく学習行動に着目し、プログラミング的思考を身につける過程を分析していきたい。

謝辞

本研究は、静岡産業大学特別研究支援経費“ICT・IoTに対応したプログラミング教育教材の開発”の助成を受けたものがある。ここに感謝の意を表する。

参考文献

- [1]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, 第40巻, 第3号, pp. 197-208 (2016)
- [2]文部科学省: “小学校学習指導要領・解説”(2017)
http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/1384661.htm (2018年5月アクセス確認)
- [3]文部科学省: “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(議論の取りまとめ) http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shotou/122/attach/1372525.htm”, (2016)
- [4]文部科学省: “小学校プログラミング教育の手引き(第一版)”(2018)
http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyouhou/detail/1403162.htm (2018年5月アクセス確認)
- [5]小林慶, 國宗永佳, 香山瑞恵, 新村正明: “アルゴリズム的思考法教育を支援するビジュアルプログラミング環境の開発”, 教育システム情報学会研究報告, Vol.27, No.4, pp.3-8 (2012)
- [6]小泉力一他: “小学校段階におけるプログラミングで育成する資質・能力の評価基準開発”, 教育システム情報学会, 第42回全国大会講演論文集, pp.435-436 (2017)
- [7]野口孝文, 梶原秀一, 千田和範, 稲守栄: “プログラミング学習のための仮想コンピュータ制御ロボット”, 教育システム情報学会全国大会, pp.47-48 (2015)
- [8]八木徹, 山口敏和: “論理的思考力育成のためのプログラミング学習”, 江戸川大学紀要 Vol.28 (2018)
- [9]株式会社プリモ: “木製ロボット キュベットとプログラミングで遊ぼう”

- <https://www.primotoys.jp/> (2017 年5 月アクセス)
- [10] 株式会社カスタリア: “OZOBOT” <https://www.ozobot.jp/page> (2017年 3 月アクセス)
- [11] BASICプログラミング講座: <http://www.profsano.jp/BasicPro/index.html> (2018 年 9 月アクセス)
- [12] 古籬一浩, 江崎徳秀: “みんなのIchigoJam入門”, リックテレコム (2016)
- [13] 利根川裕太, 佐藤智: “先生のための小学校プログラミング教育がよくわかる本”, 翔泳社 (2017)