

招待論文

# 学校教育でのプログラミング必修化と情報専門家への期待

兼宗 進<sup>1,a)</sup>

受付日 2018年11月15日, 採録日 2018年11月17日

**概要:** 2020年度から小学校からのプログラミングが開始される。国の委員として、小学校から高等学校までの情報教育とプログラミング教育についての検討に参加した経験をふまえ、学校教育におけるプログラミング教育を概観し、筆者が行っているプログラミング教育の研究を報告する。

**キーワード:** 学習指導要領, プログラミング教育

## Programming in School Education and Expectation for Information Experts

SUSUMU KANEMUNE<sup>1,a)</sup>

Received: November 15, 2018, Accepted: November 17, 2018

**Abstract:** Programming from elementary school is started from FY2020. I was a member of governmental committees for information education and programming education from elementary school to high school. In this article I will outline the programming education in school and report on my programming education research.

**Keywords:** course of study, programming education

### 1. はじめに

2020年度から開始される新教育課程では、小学校から高等学校までのすべての教育段階においてプログラミングが実施される [1], [2]。本稿では、中央教育審議会の情報ワーキンググループの委員としての小学校から高等学校までの情報教育の検討と、有識者会議の委員としての小学校プログラミング教育についての検討などで得た知見を含め、学校教育におけるプログラミング教育を概観し、筆者が行っているプログラミング教育の研究を報告する。

プログラミングを中心とした情報教育が重視されることになった背景には、わが国における IT 系と産業技術に対する期待と危機感がある。そのような背景から、学校教育段階でのプログラミング教育のキーワードとして、「人工知能」「IoT」「ビッグデータ」などが使われることになった。

表 1 プログラミングの実施段階

Table 1 School curriculum of programming education.

学校	開始年	教科
小学校	2020	総合的な学習の時間 算数、理科など各教科
中学校	2021	技術
高等学校	2022	情報 I、情報 II

学校教育での情報教育全般に関しては、現在は年齢の低い段階からスマートフォンやタブレットを使う機会が増えていることから、文字入力スキルを含めた情報機器の活用と、自分自身を守るためのモラルやセキュリティについて理解させることが重視されている。また、学校教育において PC やネットワークの設備を充実することや、教員の研修や専門の教員の採用などが提言されている。

小学校から高等学校までのプログラミングの内容を表 1 に示す。小学校ではプログラミングを体験し、中学校では計測・制御と双方向コンテンツのプログラミングを学び、高等学校ではアルゴリズムを含めたプログラミングを学ぶ。

<sup>1</sup> 大阪電気通信大学  
Osaka Electro-Communication University, Neyagawa, Osaka  
572-8530, Japan

a) kanemune@gmail.com

表 2 小学校段階のプログラミング学習活動分類例  
Table 2 Classification of programming lessons.

分類	内容
A	学習指導要領に例示されている単元等で実施
B	学習指導要領に例示されていないが、学習指導要領に示される各教科等の内容を指導する中で実施するもの
C	各学校の裁量により実施するもの (A、B 及び D 以外で、教育課程内で実施するもの)
D	クラブ活動など、特定の児童を対象として、教育課程内で実施するもの
E	学校を会場とするが、教育課程外のもの
F	学校外でのプログラミングの学習機会

## 2. 小学校の情報教育とプログラミング教育

小学校からのプログラミングについて、有識者会議の報告書 [3] では、「子供たちに、コンピュータに意図した処理を行うように指示することができるということを体験させながら、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』などを育むこと」としており、プログラミング的思考については、「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、1つ1つの動きに対応した記号を、どのように組合せたらいいのか、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」と定義している。

小学校では、プログラミングを体験し、日常触れる身近なソフトウェアがプログラムによって作られていることを理解する。そして、体験を通して学んだプログラミングの考え方を教科の学習で活用する。

表 2 に、小学校プログラミング手引き [4] で紹介されている、小学校段階でのプログラミングの学習活動の分類例を示す。分類 A は「総合的な学習の時間」「5年生算数」「6年生理科」などに示された、正多角形の学習、エネルギーの観点からの電気の効率的な利用などが該当する。これらは今後教科書にも記載され、すべての小学校で実施される内容である。分類 B は各学校の歳量に応じて、各教科の学習にプログラミングを利用する形態である。基本的にはプログラミングを行うが、プログラミングで学んだ考え方を教科の学習に利用することも考えられる [5], [6]。

小学校段階でのプログラミング学習では、プログラミングの考え方を学ぶことが目的になる。小学校段階のプログラミングではプログラミングそのものは学習目標ではないが、その考え方となるプログラミング的思考については、プログラミングの記述を通して身につけることが可能である。そこで、「画面に描かれた道の上を歩く手順」「画面のキャラクターが動くアニメーション」などの興味を持ちやすい題材を目標にしてプログラミングを体験する学習などが考えられる。

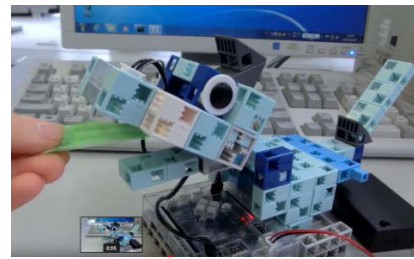


図 1 Arduino 互換基板を搭載したブロック教材  
Fig. 1 Hardware board for education (Studuino).

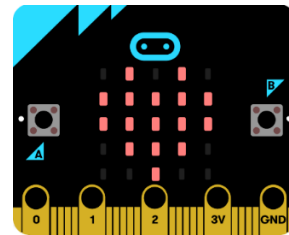


図 2 小型基板教材 (micro:bit)  
Fig. 2 Hardware board for education (BBC Micro Bit).

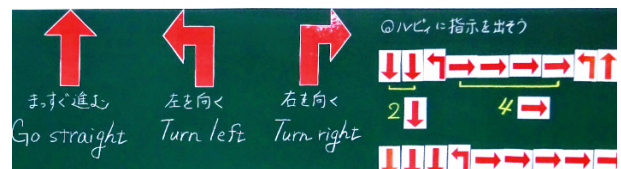


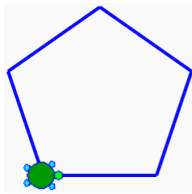
図 3 英語でのプログラミング利用例  
Fig. 3 Programming in English lesson.

小学校でのプログラミングの授業は、パソコン教室よりも普通教室が中心に使われている。教員は黒板に命令の紙を貼ったり、大型のディスプレイを備えた電子黒板を利用したりして説明を行う。児童は4, 5人程度で班を作り、タブレットを共有して使うグループ学習が一般的である。その際、達成したい目的を確認しながら、解決策を話し合い、それを手順の形で整理しながらプログラムとして実行する。

プログラミング言語は、タブレットで利用できるものを中心に。文字入力を行わずに画面にブロックを配置する、Scratch [7] などの言語が多く使われている。

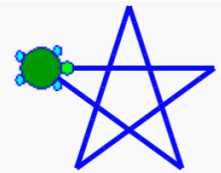
小学校段階では画面の中で仮想的なプログラミングを行うだけでなく、小型のロボットや基板のような実世界の物体を動かす体験も有用と考えられる。図 1 に Arduino 互換基板を搭載したロボット教材 [8] の例を、図 2 に複数の LED やセンサを搭載した基板 [9] の例を示す。

小学校段階のプログラミング学習の特徴は、教科の中で行われることにある。プログラミングによるグラフィックスは、図画工作や音楽、国語などの教科において、既存の道具に加えて、新たな表現する手段としての道具として活用することができる。プログラムは論理を言語として表現したものと考えると、英語の学習などに活用することも考えられる。図 3 に英語学習での利用例を示す。



かめた=タートル!作る。  
「かめた!100 歩く 72 左回り」!5回 繰り返す。

図 4 正五角形の作図プログラムと実行例  
Fig. 4 Example of Dolittle program.



かめた=タートル!作る。  
「かめた!100 歩く 144 右回り」!5回 繰り返す。

図 5 星の作図プログラムと実行例  
Fig. 5 Dolittle program (star).

次に教科の学習を行うために児童がプログラミングを行う学習として、算数の事例を取り上げる。

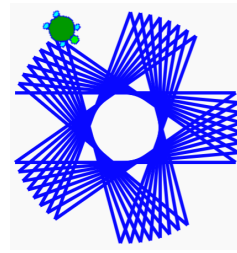
以下では、筆者が公開している教育用のプログラミング言語「ドリトル」[10]を例に説明する。ドリトルは変数名や命令語、空白、記号に日本語文字を使用できる。グラフィックスのほか、Arduinoなどの周辺機器を扱ったり、クライアント同士のネットワーク通信を扱える。Webブラウザで動作するオンライン版は授業管理が可能のほか、作成したプログラムをQRコードを利用してタブレットなどで実行したり、スマートフォンなどに内蔵された加速度、ジャイロなど各種のセンサをプログラムから利用することが可能である。

ここでは5年生算数の「正多角形の作図」での利用例を紹介する。この単元で、子どもたちは鉛筆と紙、三角定規、コンパスを使い作図を行う。理論的には分度器を使えば任意の多角形を描けるが、現行の授業では正方形や正三角形の作図までに留まっていた。

プログラミングを利用すると、子どもたちが任意のn角形を描けるようになる。ドリトル言語で記述したプログラムの例を図4に示す。この例では移動した軌跡が線として残るタートルグラフィックスを利用して五角形を作図している。回転する角度と繰り返す回数を変えることで、任意の正多角形を描くことができる。

このプログラムを修正することで、星を描くことも可能である。頂点は5個あることから繰り返しは5回と類推できるが、回転する角度は簡単なクイズ問題として扱える。図5に144度で描いた星の作図例を示す。

さらに、いろいろな角度の図形を繰り返し描くことで、



かめた=タートル!作る。  
「かめた!200 歩く 145 右回り」!40回 繰り返す。

図 6 複雑な形の作図プログラムと実行例  
Fig. 6 Dolittle program (art).

複雑な図形を描くことが可能である。図6に、145度で40回繰り返した図形を示す。

これらの複雑な図形を、正確に手で描くことは不可能に近い。コンピュータのプログラムを作成する体験を通して、「コンピュータは指示した作業を正確に何度でも繰り返して行うことができる」という性質や、「プログラミングで指示することで、コンピュータが人間のために働くことが可能になる」というあるべき姿を体験することが可能になる。

プログラムを記述することは、機械に「曖昧さがないように指示を伝える」体験であり、「相手に簡潔に意味を伝える」という意味で、論理的な思考力を育成する学習の機会と考えることができる。

### 3. 中学校でのプログラミング教育

中学校においては、現行の技術・家庭科の技術分野の中で「D情報に関する技術」の中に「プログラムによる計測・制御」として、計測制御に関するプログラミングが扱われてきた。図7にライントレースをしながら壁を検知してボールの荷物を運ぶ教材の例を示す。

中学校の新しい学習指導要領では、従来の計測・制御のプログラミングに加え、双方向コンテンツのプログラミング[11],[12]が扱われることになった。これは何らかの形で生徒同士のプログラムが文字や画像などを交換するプログラムである。小学校では、フローチャートで記述されるような、順次・反復・条件分岐といった「1つのプログラムが処理を行う手順の流れ」が重視されていた。中学校ではセンサやアクチュエータ、そして他のプログラムなどとの通信を扱うため、「プログラムが他のプログラムなどとやり取りしながら並行して処理を行う手順の流れ」を、アクティビティ図などを用いて扱う。

双方向コンテンツの例として、教室内でのメッセージ交換の例を示す。これはドリトルのネットワーク機能(LAN環境での変数共有機能)を使い、「こんにちは」のような短いメッセージを互いに送り合う。図8に画面例を、図9

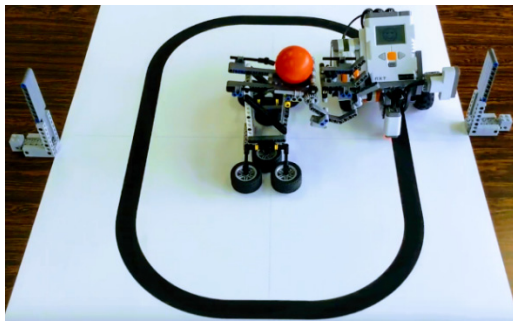


図 7 荷物を運ぶ制御学習例  
Fig. 7 Delivery robot for education.

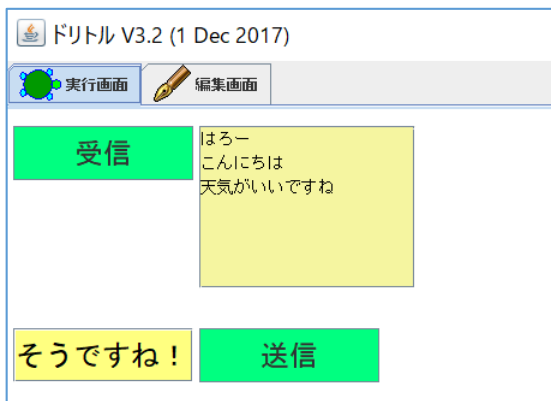


図 8 メッセージ交換の画面例  
Fig. 8 Screenshot of messaging program.

```

サーバー！"localhost" 接続。

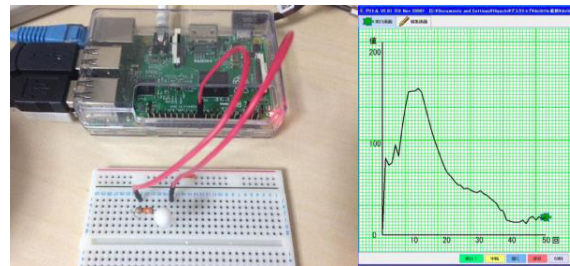
受信ボタン=ボタン！"受信" 作る。
表示=リスト！作る。
受信ボタン：動作=「
    受信=サーバー！"msg" 読む。
    表示！（受信）書く。
」。

入力=フィールド！作る。
送信ボタン=ボタン！"送信" 作る。
送信ボタン：動作=「
    サーバー！"msg"（入力！読む）書く。
    入力！クリア。
」。
    
```

図 9 メッセージ交換のプログラム例  
Fig. 9 Example of messaging program.

にプログラム例を示す。同一のサーバに複数人が接続することで、3人以上のグループ会話も可能である。

計測・制御のプログラミングと双方向コンテンツのプログラミングを融合した形のプログラミングも考えられる。図 10 は小型コンピュータであるラズベリーパイにセンサ



```

サーバー！"localhost" 接続。
かめた=タートル！作る。
タイマー！作る 1秒 間隔「 | n |
    値=サーバー！"data" 読む。
    かめた！（n * 10）（値 * 5）位置。
」実行。
    
```

図 10 センサ値を表示するプログラムの例  
Fig. 10 Example of sensor program.

や LED を接続して値の入出力を可能にした例である。生徒のコンピュータに USB など接続したり、ネットワークで計測値を配信してクラス全体でデータを画面にグラフ表示する授業が考えられる。

#### 4. 高等学校でのプログラミング教育

高等学校においては、現行の共通教科「情報」の必修教科目である「社会と情報」「情報の科学」が統合されて「情報 I」になり、さらに発展的な選択科目として「情報 II」が新設される。情報 I には「コンピュータとプログラミング」と「情報通信ネットワークとデータの利用」が、情報 II には「情報とデータサイエンス」と「情報システムとプログラミング」があり、情報通信、データ処理、情報システムなどの幅広い内容が予定されている。

情報 I の「情報通信ネットワークとデータの活用」、情報 II の「情報とデータサイエンス」においてはビッグデータなどに代表される、統計的な内容を含むデータ処理やデータ分析が扱われ、数学や理科など教科間の連携した学習も期待されている。以下に情報 I で予定されている内容案を示す。

- (1) 情報社会の問題解決
- (2) コミュニケーションと情報デザイン
- (3) コンピュータとプログラミング
- (4) 情報通信ネットワークとデータの利用

情報 II の「情報システムとプログラミング」では、クラウドサービスなどで利用されるサーバで動作するプログラミングを扱う。PC やスマートフォンなどで利用するメッセージ交換や情報サイト、オンラインのゲームなどが動作する仕組みを体験的に学習することが予定されている。以下に情報 II で予定されている内容案を示す。

- (1) 情報社会の進展と情報技術
- (2) コミュニケーションと情報コンテンツ
- (3) 情報とデータサイエンス
- (4) 情報システムとプログラミング
- (5) 課題研究

## 5. プログラミング教育ツールの研究開発

筆者らは情報 I, 情報 II の実習で利用するためのオンラインプログラミング環境の研究を進めている. 図 11 にブラウザでプログラムの編集と実行が行える Bit Arrow [13] の画面を示す. 作成したプログラムはサーバに保存され, 教員がプログラムを閲覧したりアドバイスすることができる. 記述できる言語はドリトル, C, 教育用 JavaScript, DNCL, Python である. これらのプログラムは実行時に JavaScript にコンパイルされ, ブラウザ上で実行される. QR コードで URL を伝えることで, 作成したプログラムをタブレットやスマートフォンで実行することも可能である. 図 12 に QR コードでの実行の様子を示す.

情報 I ではプログラミングの基礎としてアルゴリズムを扱う. そこで, 大学入試センター試験の情報関係基礎科目で出題用の言語として使われている DNCL [14] のオンライン処理系「どんくり」[15], [16] を開発した. 図 13 にどんくりの画面例を示す. 図の左側に DNCL で書かれた二分探索のプログラムが記述されている. どんくりの実装にあ

たっては, 大きく 3 つの拡張を行った. 1 つめは機能追加である. DNCL は入試問題の記述用に考案された仮想言語のため, 学習に必要なと考えられる関数などを追加した. 2 つめはプロファイリングである. 「性能を確認する (profile)」命令を利用することで, アルゴリズムの性能を手軽に計測できるようにした. 図 13 の右側では, 二分探索を実行した際の「実行時間」「反復と分岐の実行回数」「関数の呼び出し回数」を表示している. 3 つめは一般的な構文との相互変換である. C 言語系のプログラムへの学習の連続性を考慮して, DNCL で記述された日本語プログラムと, C 風の英語プログラムを切り替えて表示し, どちらの形でも記述と実行を行えるようにした. 図 14 に英語表示の実行例を示す.

そのほかにも, データベース学習ツールであるサクセス [17] を公開している. サクセスを利用することにより, 「選択 性別 男」のようにコマンドでテーブルの処理を記述できるほか, SQL を利用した問合せや, PHP を用いたサーバプログラミングを行うことができる. 情報 I の「情報通信ネットワークとデータの利用」, 情報 II の「情報システムとプログラミング」での利用が期待される. 図 15 にサクセスの画面例を示す. サクセスはテーブルに対して選



図 11 Bit Arrow の画面例 (C 言語)

Fig. 11 Bit Arrow (C language).



図 12 QR コードでの実行例

Fig. 12 Execution by QR code.

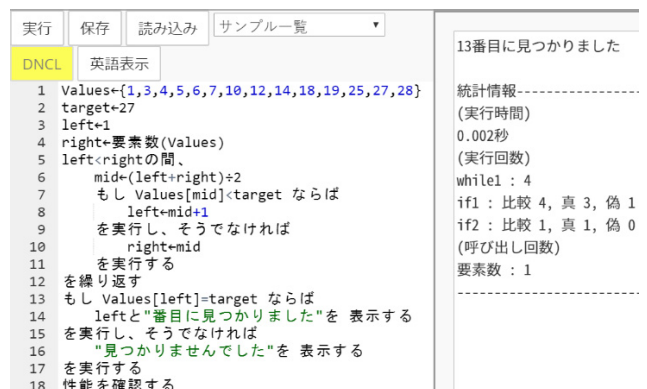


図 13 どんくりの画面例

Fig. 13 Donculi (Japanese program).

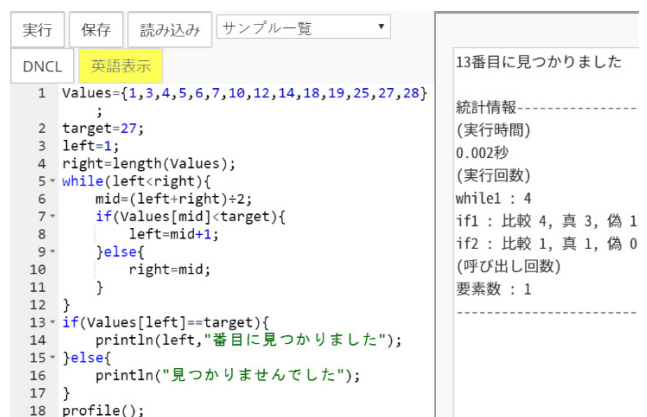


図 14 どんくりの画面例 (英語表示)

Fig. 14 Donculi (English program).

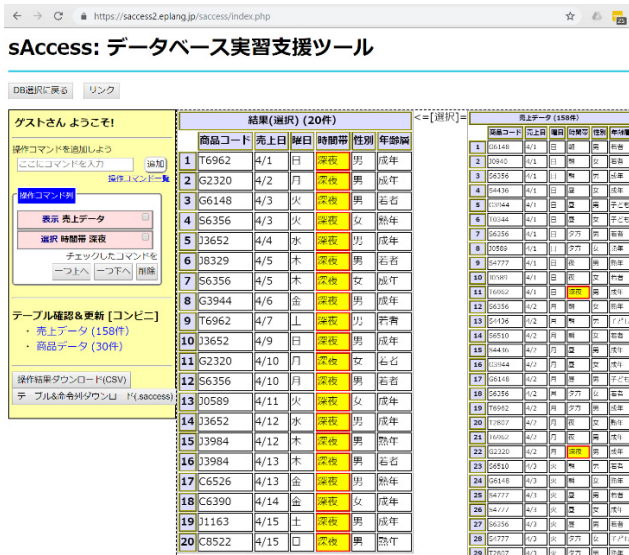
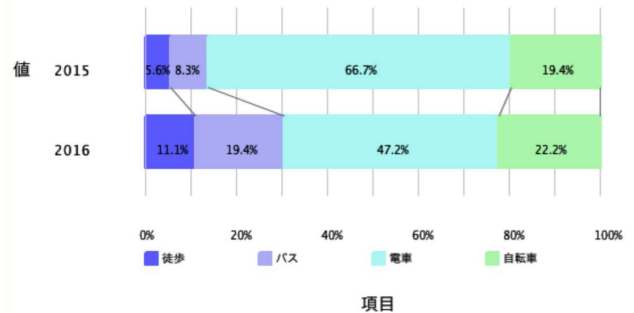


図 15 サクセスの画面例  
Fig. 15 Screenshot of sAccess.

|2015|2016

徒歩 | 2 | 4  
バス | 3 | 7  
電車 | 24 | 17  
自転車 | 7 | 8



通学=テーブル! "data/school.tsv" ファイルから作る。  
結果=通学! "通学手段" "年度" クロス集計 表示。  
結果! 帯グラフ 描画。

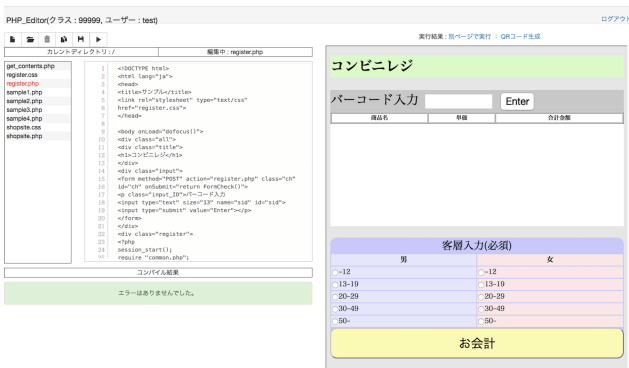


図 16 サーバ側のプログラム (商店のレジ)  
Fig. 16 Server programming (POS system).

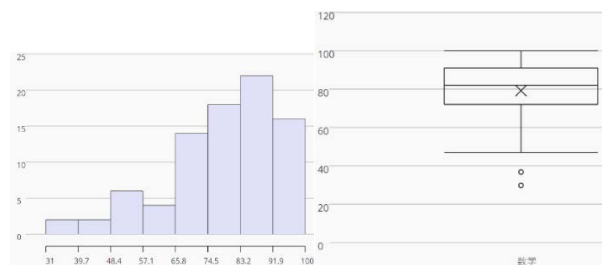
択・射影・結合などの操作を行うと、その結果が新たな表として画面に表示される。処理の前後の表を見ることで、データ操作の意味を体験的に学習することができる。事前に教員が授業登録をしておくことで、クラスの生徒に共通のデータベースを使った実習を行うことも可能である。

図 16 に、PHP を用いて作成した情報システムの実習用画面の例を示す。この授業では SQL を用いて生徒がデータベースに商品を登録し、そのデータを用いて検索を行ったり、コンビニエンスストアのレジを模した実習用画面を PHP のプログラムを見ながら操作することで、情報システムの裏側でどのようにデータベースが活用されているかを理解できるようにした。

情報 I の「コンピュータとプログラミング」におけるモデル化とシミュレーションや、情報 II の「情報とデータサイエンス」では、データの統計的な処理が扱われる。そこでドリトルに統計処理機能 [18] を搭載した。図 17 に生徒の通学データから交通手段を集計してグラフを表示する例を示す。これらの学習ではプログラミングを行うことは必

図 17 データ処理とグラフ表示の例 (1)

Fig. 17 Dolittle program (data and graph) (1).



成績=テーブル! "math.txt" ファイルから作る。  
成績! "point" ヒストグラム 描画。  
成績! "class" "point" 箱ひげ図 描画。

図 18 データ処理とグラフ表示の例 (2)

Fig. 18 Dolittle program (data and graph) (2).

須ではないが、言語やライブラリを整備して行う操作を簡潔に記述できるようにすることで、表計算ソフトなどを対話的に操作するよりも処理を理解しやすい学習が可能になる可能性がある。

図 18 に架空の成績データを可視化した例を示す。この例ではユーザが用意した表形式のテキストデータをブラウザから登録し、そのファイルをプログラムから指定して処理を行っている。データには成績の点数が人数分書かれており、プログラムでは「点数ごとの人数の棒グラフ」「点数の分布を示すヒストグラム」「点数の分布を示す箱ひげ図」のグラフを描いている。

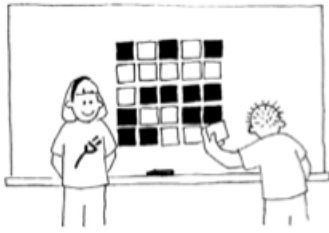


図 19 CS アンプラグドのパリティ手品の例  
Fig. 19 Parity magic of CS unplugged.

## 6. コンピュータ科学の教育

情報科学教育の視点で見た場合、コンピュータの仕組みを理解するためには、プログラミングの体験は有効である。プログラミングを通して多くのことを学ぶことができるが、足りない部分は情報科学の基礎として学習する必要がある。

コンピュータサイエンスアンプラグド（以下、CS アンプラグド）[19], [20] は、小学生の児童から情報科学の基礎を体験的に学ぶことのできる教育法である。数を 0 と 1 だけで表現する 2 進法をはじめ、コンピュータやスマートフォンが文字や画像を数値として表現して通信していること、商品のバーコードが汚れなどによる読み取りエラーを防いでいる工夫など、身の回りの技術を、カードなどを用いて体験的に学習することができる。図 19 に書籍 [21] で紹介されているエラー検出の手品の例を示す。

## 7. 情報専門家への期待

学校教育の中でプログラミングを扱うためには、教科書や学習教材の開発に加え、教員の研修サポートが重要である。情報科学教育の専門家へ期待される役割は大きい。筆者も関西圏を中心に、自治体からの依頼で講演や研修に対応している。今後は地域ごとの大学教員と学生、企業の技術者たちの専門性が必要とされる。小学校ではプログラミングの入門、中学校では計測・制御のプログラミングとネットワークのプログラミングが中心となるが、特に小学校においては児童の発達段階に応じた指導と、教科目標への対応に配慮が必要である。

高校での情報教育は大学以降の高等教育での工学教育につながる内容を扱う。また、教科「情報」は情報 I と情報 II の 2 科目 4 単位になった。センター試験に続く共通テストでは、将来的に情報を入試科目に含めることの検討が行われており、入学試験に情報を出題する工学系の大学も増えてきている。プログラミング教育を成功させることで子どもたちの技術への興味関心を高め、工学系の発展につなげたい。

## 参考文献

- [1] 文部科学省：新学習指導要領（平成 29 年 3 月公示），入手先（[http://www.mext.go.jp/a\\_menu/shotou/new-cs/1383986.htm](http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/1383986.htm)）
- [2] 堀田龍也：新学習指導要領における情報教育の動向，情報処理，情報処理学会，Vol.59, No.1, pp.72-79 (2018)，入手先（<http://www.ipsj.or.jp/magazine/9faeag000000tq7i-att/5901education.pdf>）
- [3] 文部科学省：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，入手先（[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/chousa/shotou/122/](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shotou/122/)）
- [4] 文部科学省：小学校プログラミング教育の手引，入手先（[http://www.mext.go.jp/a\\_menu/shotou/zyouhou/detail/1403162.htm](http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyouhou/detail/1403162.htm)）
- [5] 小林祐紀，兼宗 進：コンピューターを使わない小学校プログラミング教育“ルビィのぼうけん”で育む論理的思考，翔泳社（2017）。
- [6] 小林祐紀，兼宗 進，白井詩沙香，白井英成：これで大丈夫！小学校プログラミングの授業，翔泳社（2018）。
- [7] MIT: Scratch, available from (<https://scratch.mit.edu/>)
- [8] Artec: Studuino, 入手先 (<https://www.artec-kk.co.jp/studuino/ja/>)
- [9] Micro:bit Educational Foundation, micro:bit, 入手先 (<https://microbit.org/ja/guide/>)
- [10] プログラミング言語「ドリトル」, 入手先 (<http://dolittle.eplang.jp>)
- [11] 兼宗 進，村松浩幸：ドリトルによるプログラミング学習，東京書籍（2017）。
- [12] 竹野英敏ほか：やってみようプログラミング，開隆堂出版（2018）。
- [13] オンラインプログラミング環境 ビットアロー（Bit Arrow），入手先 (<http://bitarrow.eplang.jp>)
- [14] 西田知博ほか：初学者用プログラミング学習環境 PEN の実装と評価，情報処理学会論文誌，Vol.48, No.8, pp.2736-2747（2007）。
- [15] DNCL 学習環境「どんくり」, 入手先 (<https://dolittle.eplang.jp/dncl>)
- [16] 本多佑希，兼宗 進：ブラウザ上で動作する DNCL 学習環境「どんくり」の開発，情報処理学会コンピュータと教育研究会，Vol.2018-CE-147, No.10, pp.1-4（2018）。
- [17] sAccess, 入手先 (<http://saccess.eplang.jp>)
- [18] 小林史弥，本多佑希，白井詩沙香，兼宗 進：オンライン版ドリトルを用いたデータ分析学習環境の開発，情報処理学会，情報教育シンポジウム（2018）。
- [19] CS アンプラグド，入手先 (<http://csunplugged.jp>)
- [20] 兼宗 進，白井詩沙香：テラと 7 人の賢者，学研（2017）。
- [21] 兼宗 進監訳：コンピューターを使わない情報教育 アンプラグドコンピュータサイエンス，イーテキスト研究所（2007）。



兼宗 進 (正会員)

1987年千葉大学工学部卒業。1989年筑波大学大学院理工学研究科修士課程修了。2004年同大学大学院ビジネス科学研究科博士後期課程修了。博士(システムズ・マネジメント)。2004年より一橋大学准教授, 2009年より大阪電気通信大学教授, 現在に至る。プログラミング言語と情報教育の研究開発に従事。2016年情報処理学会山下記念研究賞受賞。ACM会員。