

令和 2 年 6 月 30 日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K18654

研究課題名(和文)見える化・さわれる化に基づくコンピュータサイエンス教育のための教材開発

研究課題名(英文) Visualization/Tangibilization-Based Teaching Materials for Computer Science Education

研究代表者

竹田 正幸 (Takeda, Masayuki)

九州大学・システム情報科学研究院・教授

研究者番号：50216909

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、コンピュータサイエンスのエッセンスをわかりやすく学ぶための教育プログラムおよび教材・教具の研究開発を行った。「コンピュータサイエンスにおける分子模型」を謳い文句に、本来は目に見えないコンピュータ処理のプロセスを見える化・さわれる化することを目指した。これにより、児童生徒は自らの手で教具を動かしながら個々のプロセスを「実行」する演習を通じて身体的実感を伴った理解を獲得できる。これまでに開発したプラグド教材・アンプラグド教材を実際に使用しその結果をフィードバックして教材・教具の改良を行うとともに、新しいWebアプリケーションの開発や3Dプリンタを用いた教具の開発を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

次世代を担う子供達にとって、ソフトウェアの作成を経験し、ソフトウェアの動作する仕組みを理解することは極めて重要である。文科省は、プログラミングスキルの習得ではなくプログラミング的思考の習得を掲げている。「プログラミング的思考」とは、コンピュータサイエンス(CS)のアプローチそのものである。よって、小中高生と教員のためにCS教材を整備する社会的意義は大きい。本研究では、プログラミング的思考やCSの本質を学ぶための教材・教具の研究開発を行う。児童生徒は、手に持ったキューブを繋ぐことでプログラミングしたり、情報処理プロセスを手動で「実行」したりする演習を通じ、身体的実感を伴った理解を獲得できる。

研究成果の概要(英文)：In this study we aimed in developing teaching materials and tools for Computer Science (CS) education. With our signature phrase "Molecular Model Kits in CS", we involved in developing teaching tools which visualize and/or tangibilize several invisible processes inside a computer. Using such tools, elementary, junior high and high school students are expected to actually understand the essence of CS. The plugged and unplugged tools developed were used in several lectures and improved based on feedbacks. New sets of unplugged tools were also developed by exploiting 3D printers, as well as new sets of Web applications.

研究分野：情報科学

キーワード：コンピュータサイエンス教育 見える化 さわれる化 アンプラグド教材

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ビッグデータや人工知能技術の産業応用が世界的に注目される中、政府は、情報通信技術の進展に基づく「第4次産業革命」を成長戦略に位置付けたい意向だが、IT技術者は2030年時点で79万人不足する(経済産業省)と予測されており、小中高校におけるプログラミングおよびコンピュータサイエンスの教育が喫緊の課題となっている。

現在のところ、小学校においては、一部を除いてプログラミング等の教育は行われていない。中学校では、2012年度から「技術・家庭」の『プログラムによる計測・制御』という単元が必修化されたが、これに充てる時間は3年間でわずか5-6時間である。高校では、「情報」が2003年度にスタートし、2014年度の改訂により「社会と情報」「情報の科学」の2科目から選択することになったが、コンピュータサイエンスを柱とする「情報の科学」は内容の難しさから担当の教員に敬遠され、これを選択する高校は全体の2割程度にとどまっている。

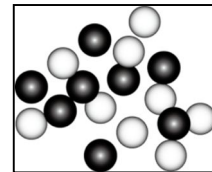
そこで文部科学省は、2020年度からの小学校におけるプログラミング教育必修化を打ち出した。また、中学校の「技術・家庭」、高校の「情報」についても、それぞれ、2021年度、2022年度から学習指導要領を改訂し、プログラミング等の教育内容を増強する方針である。

小学校段階でのプログラミング教育に関わる有識者会議の結論では、(1)プログラミングスキルの習得ではなく「プログラミング的思考」の習得を目的とし、(2)教科の新設はせず、既存の教科に「プログラミング的思考」を取り込むという。

ここで、「プログラミング的思考」とは、「目的を達成するために解決すべき問題を数学的に定式化し、その問題を解く手順(=アルゴリズム)を導くこと」を指す。これはコンピュータサイエンスのアプローチそのものである。このアプローチは様々な分野において有効であり、次世代を担う小中高生がコンピュータサイエンスの思考を習得することは、極めて重要である。

だが、現場の教員の多くは、コンピュータサイエンスを学んだことがなく、まず自分自身が学ぶところから始めなければならない。情報通信機器の使用法の習得とは異なり、本質的な理解が必要である。したがって、小中高生及びその教員のためにコンピュータサイエンスの教材を整備することが急務となっている。

一方、応募者は、2004年頃から「デジたま」と名付けた教具セットを開発し、「転がしてわかるデジタルの仕組み」と題して、小中高生を対象とした出前講義「デジたま講座」の活動を行ってきた。デジたまは、直径12mmの白黒の抽選玉であり、例えば、通信路に見立てたアクリルパイプの中にデジたまを流す演習を通して、生徒は情報通信の原理を体験的に学ぶことができる。



2. 研究の目的

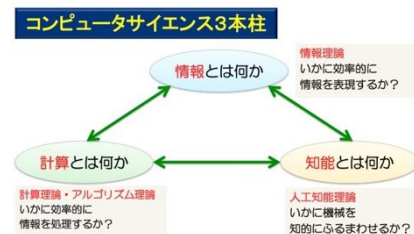
そこで本研究では、コンピュータサイエンスのエッセンスをわかりやすく学ぶための教育プログラムおよび教材・教具の研究開発を行う。「コンピュータサイエンスにおける分子模型」を謳い文句に、本来は目に見えないコンピュータの処理プロセスを見える化・さわられる化した教具を開発する。生徒は、自らの手で教具を動かしながら個々のプロセスを「実行」する演習を通じて身体的実感を伴った理解を獲得できる。

3. 研究の方法

コンピュータサイエンスの研究分野は、次の3つに大別できる。

- (A) 情報とは何か(情報理論)
- (B) 計算とは何か(計算理論・アルゴリズム理論)
- (C) 知能とは何か(人工知能理論)

本研究では、(A)(B)(C)それぞれについて、そのエッセンスをわかりやすく学習できる教育プログラムおよび教材・教具の開発を目指す。



(A) 「情報とは何か」に関わる教材の開発。

前述の「デジたま」を基本的な教具に据え、次の1-6について教材を開発する。

1. テキストに比べ画像や動画が巨大になるのはなぜか?
2. 文字化けはなぜ起きるか?
3. 圧縮 (情報を低コストで伝送/格納) →情報源符号化
4. 自動誤り訂正 (情報を正確に伝送) →通信路符号化
5. 暗号 (情報を安全に伝送)
6. 情報の「量」を測る

(B)「計算とは何か」に関わる教材の開発。

ここでの計算(Computation)とは、算術計算ではなく、コンピュータによる処理全般を指す。計算の手順(=アルゴリズム)を意識させ、採用したアルゴリズムによって問題を解くのに要する時間が異なることを意識させたい。よって次の1-4のトピックについての教材を開発する。

1. コンピュータの動作原理
2. アルゴリズムの善し悪しがあなたの待ち時間を左右する
3. アプリはなぜ時々固まってしまうのか？
4. 実際のコンピュータはどのような仕組みか？

アルゴリズムの学習用には、Java 等を用いたアルゴリズムアニメーションが世界の各所で開発・公開されているが、ほとんどの場合学習者は受け身となる。本研究では、学習者が直接手でさわって動かすことによってアルゴリズムのステップが進んでいくような教材を開発する。また、身体的アクティビティの開発も同時に行っていく。

(C)「人工知能とは何か」に関わる教材の開発。

人工知能技術の産業応用が進むにつれ、大きな期待が寄せられている反面、「人工知能が人間の職を奪う」「人工知能が人間を超える」「人工知能が人類を滅ぼす」といった言説がまかり通っており、人々の不安を煽っている。人工知能は単なるコンピュータ・プログラムであり、それ以上でもなければそれ以下でもない。人工知能技術に関するこうした正しい理解を与えるために、次の1-4のトピックを取り上げ、そのための教材開発を行う。

1. 画像認識・文字認識・音声認識はどこが難しいか？どう克服するか？
2. 自動翻訳はどこが難しいか？どう克服するか？
3. 強い将棋プログラムの開発はどこが難しいか？どう克服するか？

コンピュータを用いない教材をアンプラグド教材と呼ぶ。(A)(B)(C)を通じて、コンピュータ処理のメタファーとなるようなアンプラグド教材を開発する。「デジたま講座」の教具作成は、手作りでの試行錯誤の末、仕様を固めてから業者に発注していた。しかし、(1)手作りは手間を要するためPDCA サイクルが非常に遅い、(2)業者への発注は非常に高価となり、教具の普及に十分な数量が作成できない、という問題があった。そこで、教具の製作は3D プリンタを用いて行うことにする。

出前講義の経験では、小学生は手先が不器用でアンプラグドな教具を用いた実習には時間がかかる。よって、授業では基本的にプラグド教材を用い、ポイントのみアンプラグド教材を用いるのが現実的である。そこで、JavaScript 等を用いたプラグド教材の開発も並行して行う。

4. 研究成果

主な研究成果を(A)(B)に絞って述べる。

(A)「情報とは何か」に関わる教材。

【情報源符号化】

以前から開発していた可変長符号の教具について、3D 形状の調整を重ね、ブラッシュアップした。

符号化用の教具は、様々な長さの符号語を並べる作業を体験させる。まず情報源アルファベットのサイズを4とし、1~4の長さをもつ符号語から成る可変長符号をいくつか決めておく。この符号における符号語をデジたまで表現するために、抽選玉を格納できるサイズ1~4のブロックを用意し、これをレゴブロックのように結合させるものである。

一方、復号においては、符号語の切れ目をどうやって知ることができるか、という点が重要である。そこで、切れ目のない単なるビット列を与え、それを符号語に分割させる作業を行うため、20 個程度のデジたまを格納できる長いブロックを作成し、ここに符号化されたデジたま列に対して、符号語の切れ目に赤い仕切りを挟んでいくことのできる教具を作成した。

また、同様の作業を PC 等の上で手軽に行うことのできる Web アプリも作成しており、講義では適宜使い分けている。

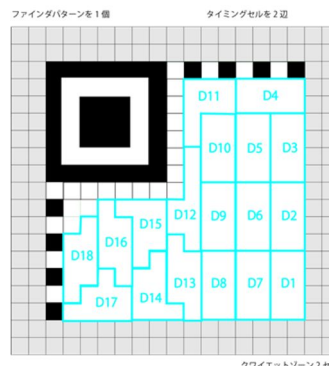
【通信路符号化】

通信路符号化は、詳細に立ち入ると高度な数学になるので、ここでは、「自動誤り訂正」についても簡単に触れる程度に留めたい。

自動誤り訂正技術は、様々な場面で使用されているが、「縁の下の力持ち」的な存在であり、なかなか意識することがない。そこで、現代社会にすっかり浸透した感のある QR コードに着目した。

ビット数が多いと演習が大変になるため、マイクロ QR コードを取り上げる。さらに、マイクロ QR コードの仕組みを、右図のようにさらに簡略化したモデルを用いることにした。

その仕組みを体験的に学ばせるための教材づくりに取り組んだ。



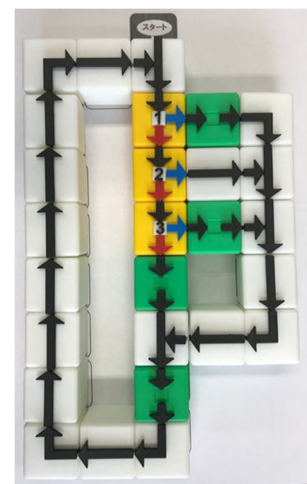
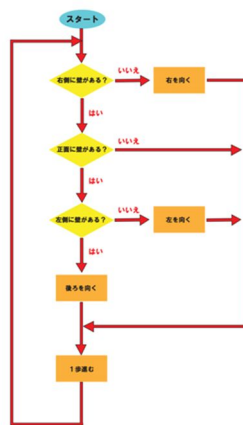
(B) 「計算とは何か」に関わる教材。

小学校におけるプログラミング教育の目的は「プログラミング的思考」の習得とされる。玩具メーカーより、プログラミング的思考を扱ったさまざまな教育玩具が販売されている。そのうちの多くはパズルのようなものであり、プログラミング的思考力の涵養に役立つと期待できる。しかし、プログラミングそのものを扱ったものは意外に少ない。

小学生向けプログラミング教材は、Scratch や VISCUIT などのビジュアルプログラミング環境が主流である。いずれも PC 等の上でプログラミングを行うプラグド教材である。アンプラグドなプログラミング教材としては、学習研究社の「カードでピピッと はじめてのプログラミングカー」が出色である。これは、カードを一列に並べることでプログラミングするもので、2018年日本おもちゃ大賞(エデュケーション・トイ部門)を受賞するなど教具としての完成度が高い。

この製品自体は、条件分岐文や反復文が表現できないという制約をもつが、アセンブリ言語の JUMP 命令・条件付き JUMP 命令・フラグに対応するカードを加えれば解消できる。しかし、プログラムの外観はカードの列であり、プログラムの構造の直感的な理解が難しい。

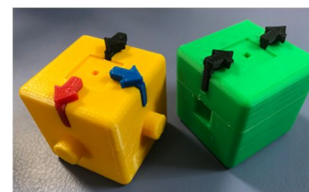
一方、従来から存在するフローチャートは、小学生にも馴染みの深い「Yes/Noチャート」に似ていて直感的な理解が可能と思われる。そこで、本研究では、このフローチャートを組み立てることによりプログラミングする独自のアンプラグド教材の開発に取り組んだ。



ヒントとなったのは、学習研究社の「電子ブロック」である。「抵抗」「ダイオード」「コンデンサ」「トランジスタ」などの電子部品が格納されたブロックが用意されており、これらの間を「直線」「分岐・合流」などの5種類の配線専用ブロックで結ぶことにより回路を構成する。

これと同様に、フローチャートの部品である「開始」「条件分岐」「処理」「サブルーチン」「終了」ブロックの間を「直線」「合流」「曲折」などのブロックで結ぶことによりフローチャートを構成する。

電子ブロックの場合は、盤上にブロックを「刺す」ように配置したが、本研究のブロックは、ブロック相互を結合させる。これにより特別な盤は不要となる。



構成したフローチャートを実行するためには、なんらかの手法でフローチャートを認識し PC 等に送信する必要がある。本研究では、ブロックに QR コードを貼付し、それによってフローチャートを認識する方法を実装した。将来的には、QR コードに頼らず、画像処理等によって認識することを目指す。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>【出前授業等】 2017/08/25 「情報って何?」, 福岡市立福翔高等学校, 高2-3, 70名. 2017/11/21 「情報って何?」, 佐賀県立唐津東中学校, 中2, 20名. 2018/08/28 「小学生でもわかる情報学!」, 小5以上, 15名. 2018/11/07 「情報って何?」, 佐賀県立唐津東中学校, 中2, 20名. 2019/11/15 「情報って何?」, 佐賀県立唐津東中学校, 中2, 20名.</p>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	池田 大輔 (Ikeda Daisuke) (00294992)	九州大学・システム情報科学研究院・准教授 (17102)	