

令和3年度大阪大学未来基金「学部学生による自主研究奨励事業」研究成果報告書

ふりがな氏名	きたむら ゆうき 北村 祐稀	学部 学科	基礎工学部 情報科学科	学年	2年
アドバイザー教員 氏名	白井 詩沙香	所属	サイバーメディアセンター		
研究課題名	小学校プログラミング教育におけるデータ構造的な視点を学ぶCSアンプラグド教材の開発				
研究成果の概要	研究目的、研究計画、研究方法、研究経過、研究成果等について記述すること。必要に応じて用紙を追加してもよい。(先行する研究を引用する場合は、「阪大生のためのアカデミックライティング入門」に従い、盗作剽窃にならないように引用部分を明示し文末に参考文献リストをつけること。)				

1 はじめに

小学校では2020年度から新学習指導要領が施行され、プログラミング教育が必修化された。小学校におけるプログラミング教育のねらいは「コンピュータに意図した処理を行わせるために必要な論理的思考力を身に付ける」ことであるとされている [1]。これは、アルゴリズム的思考とも言える。一方で、スイスの計算機科学者である Niklaus Wirth は「アルゴリズム+データ構造=プログラム」と述べているが [2]、現行の小学校におけるプログラミング教育ではデータ構造までは考慮されていない。

実際、コンピュータで効率良く情報を処理するには、データ構造的な視点も必要である。つまり、データをどのように持ち、更新し、検索するか、という設計の視点を併せ持つことで、より高度で複雑な問題にもプログラミングの考え方が適用できるようになると考えられる。しかし、データ構造の理解は初学者にとって難しく、小学生向けの既存の教材ではほとんど扱われていない。高等学校情報科向けの教材でも、探索やソートなどのアルゴリズムはしばしば扱われているものの、データ構造について触れている教材はほとんど無い。

そこで、小学校プログラミング教育におけるデータ構造的な視点を学ぶCSアンプラグド教材の開発を目的として本研究を実施した。CSアンプラグドとはコンピュータを使わずに情報科学を体験的に学ぶ手法であり、既存教材はゲーム性がある、具体物の試行錯誤で学べる、グループで学べる、手軽に実践できるといった特徴を持つ [3]。本研究では、CSアンプラグドのデザインパターンに基づいて、ソートアルゴリズムを通してデータ構造的な視点を学ぶ教材を開発し、小学校の授業における教育実践により、提案教材の有効性を検証した。さらに、本研究で開発した教材は高等学校においても活用可能だと考えられることから、高等学校の授業においても教育実践を行い、提案教材の有効性を検証した。本稿では、開発した教材および教育実践の結果について報告する。

2 事前調査

教材設計にあたり、CSアンプラグドに関する先行研究を調査した。倉橋ら [4] は小学生を対象としてアルゴリズムを学ぶ教材を開発している。島袋ら [5] はARを用いてソートアルゴリズムを学習する教材を開発している。間辺ら [6] は画面上で分銅をならびかえてソートアルゴリズムを学習する教材を開発している。いずれもデータ構造を扱っていない点で本研究との違いがある。

また、およそ小学生を対象としていると思われる市販のプログラミング関連教材をいくつか購入し、各教材でデータ構造が扱われているか否か、小学校の限られた授業時間や環境下で利用するにあたりどのような課題があるか、調査を行った。購入した教材の一覧は次の通りである。

- A) 島袋舞子, 兼宗進: ドリルの王様 1,2年のたのしいプログラミング, 新興出版社
- B) 島袋舞子, 兼宗進: ドリルの王様 3,4年の楽しいプログラミング, 新興出版社
- C) 島袋舞子, 兼宗進: ドリルの王様 5,6年の楽しいプログラミング, 新興出版社

- D) 文理編集部：小学教科書ワーク プログラミング的思考 3～6 年，文理
- E) 鷲崎弘宜，齋藤大輔，坂本一憲：Scratch でたのしく学ぶプログラミング的思考，マイナビ出版
- F) Turing Tumble (Educator Bundle), Turing Tumble, LLC
- G) Dr. Eureka, Blue Orange
- H) STACUBE, ローヤル
- I) ロジカルニュートン ニュートンのリング，ハナヤマ

D)ではスタックやキューのシミュレーションの問題が扱われていた。それ以外の教材はデータ構造には触れていなかった。A)～E)の書籍教材はイラストなどを多用し，児童が主体的に学べるよう配慮されていた。また，いずれの教材も自習用を想定しているため，ヒントを設けて丁寧に誘導を行い，確実に学習目標を到達できるよう配慮されていた。その他，児童の発達段階に応じて難易度の異なる問題を用意している教材もあった。F)～I)は具体物を操作して試行錯誤する中で学ぶことができる教材であった。一方で，教材の操作性が悪く集中力が継続しにくいものも見られた。

以上を踏まえ，本研究で開発する教材では操作性に最大の注意を払うとともに，ワークシートなどを用いて丁寧に誘導を行うことで，学びやすい教材にすることにした。

3 開発した教材

ソートアルゴリズム（バブルソート，選択ソート，ヒープソート）をカードの操作によって学ぶことができるツールを開発した（図 1-図 6）。本ツールは Web ベースであり，Web ブラウザさえあれば利用可能である。また，ポインティングデバイスに依らず，パソコンとタブレットの両方で利用可能である。本ツールの機能を順に紹介する。



図 1 アニメーション再生機能

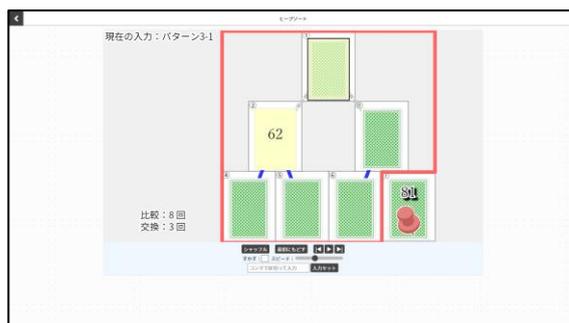


図 2 アニメーション再生機能（ヒープソート）

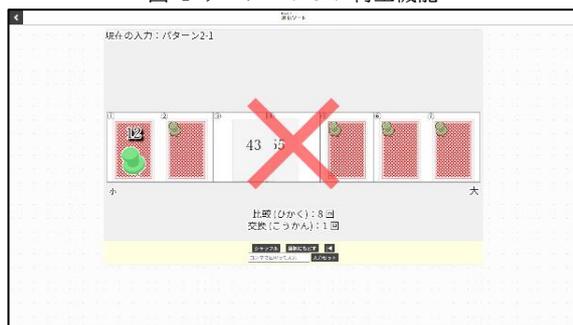


図 3 演習機能

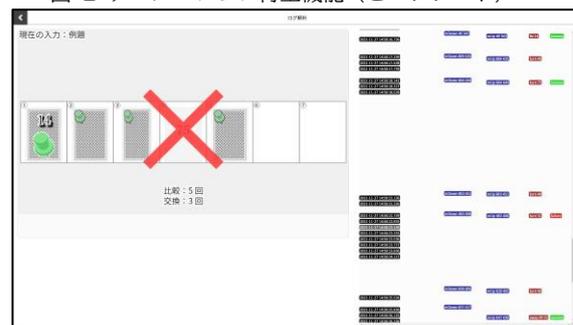


図 4 ログビュー

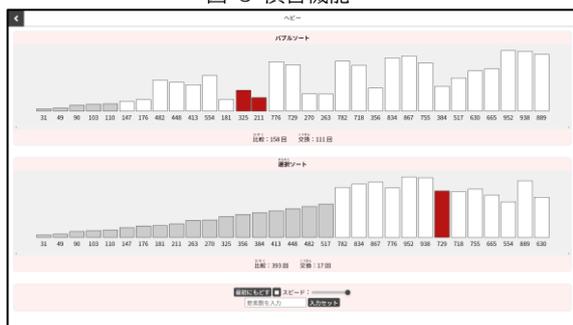


図 5 アルゴリズム比較機能（バブルソート，選択ソート）

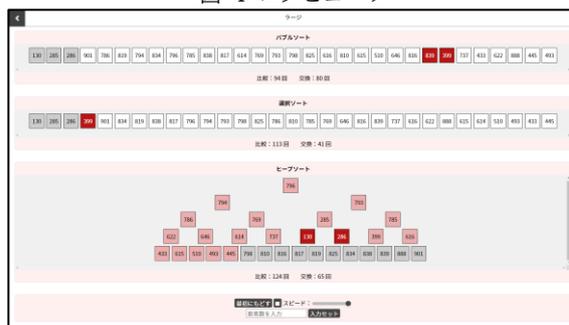


図 6 アルゴリズム比較機能（バブルソート，選択ソート，ヒープソート）

3.1 システムの各機能

3.1.1 アニメーション再生機能

アニメーション再生機能（図 1）では、1つ進めるボタンや1つ戻すボタンを用いて、アルゴリズムの動作をステップバイステップで確認することができる。なお、2枚のカードを表に向ける操作がソートアルゴリズムにおける要素の大小比較に対応し、カードの交換が要素の交換に対応する。カードのピン留めはアルゴリズムを理解するためのヒントとなるもので、ソートアルゴリズムで対応する操作があるわけではない。

ヒープソートについてはより理解しやすいように多くのヒントを表示している。ヒープソートのアニメーション再生機能のスクリーンショットを図 2 に示す。カードを結ぶ青の実線はヒープの大小関係が満たされている親子を示し、破線は大小関係が担保されない親子を示している。赤の外枠はヒープ性が満たされている領域を示している。

3.1.2 演習機能

演習機能（図 3）では実際にカードを並び替えることができる。カードをクリックまたはタップすると、カードがめくられる。ただし、カードは同時に 2 枚までしか表向きにすることができない。カードをドラッグして他のカードに重ねてドロップすると、2枚のカードが交換される。他のカードに重ねずに手を離すと、カードは勝手に元の位置に戻っていく。カードの左上のアイコンをクリックまたはタップすると、カードがピンで留められる。カードの比較回数や交換回数が自動的にカウントされるようになっている。

演習機能は、各アルゴリズム専用のモードと、フリーモードが用意されている。各アルゴリズム専用のモードでは操作の正誤判定が行われ、誤った操作を行った場合は×印が表示されて強制的に手順が巻き戻される。フリーモードでは正誤判定が行われず、ヒープソートのヒントとなる線も表示されない。

3.1.3 遠隔ビュー機能・ログ蓄積機能

アニメーション再生機能、演習機能の両方の描画情報が毎秒 5 フレームずつサーバーに送信され、授業者は遠隔で学習者の取り組みの様子が確認できるようになっている。また、同描画情報はサーバーに蓄積され、授業後にも確認できる。加えて、操作情報（ボタン押下、マウス操作など）もサーバーに随時送信され蓄積されるようになっている。蓄積されたログは開発した専用のログビューワ（図 4）で確認できる。

3.1.4 アルゴリズム比較機能

授業のまとめで利用できるアルゴリズム比較機能（図 5, 図 6）を開発した。より多くの要素に対してソートアルゴリズムを同時に動作させ、その速度や比較・交換回数を比べることができるものである。図 5 は各要素を棒グラフ状に表し、バブルソートと選択ソートを比較するものである。図 6 は各要素をマス状に表し、バブルソート、選択ソート、ヒープソートを比較するものである。

3.2 教材の特徴

本教材は、バブルソートや選択ソートを通してコンピュータにおけるルール（同時に 2 つの要素しか比較できないことや、上述の配列の仕組み）を体験的に学んだ後に、ヒープソートを題材として具体的なデータ構造の例を学んで理解を深めるという構成を取っている。

データ構造について考えるためにはまず、配列の感覚を身に着ける必要がある。本家 CS アンブレラガイドにはソートアルゴリズムについて天秤を用いて学ぶ活動「いちばん軽いと一番重い」があるが、これは重りを机の上にもどのように並べておくかを規定しておらず、配列の考え方が無い。それに対し、本教材ではカードを常にマス目に置くことを求めており、演習機能では手を離れたカード

が勝手にマス目に戻るようになっている。その結果、自然に配列の感覚が身に着けられるようになっている点で新規性がある。

また、先行研究 [5, 6] で提案された教材は操作上の自由度が高かったが、本教材は誤操作を行うと自動で訂正される機能を演習機能に実装していることにより、オンラインで学習する際や学校の授業などの多人数で学ぶ場面でも、児童・生徒が自律的に演習を進めることができる点にも新規性がある。

4 小学校での教育実践

2021年11月中旬に、京都府内の公立小学校（小規模特認校）において6年生の特活の授業として教育実践を行った。対象は欠席した児童を除く3人である。

4.1 授業の内容

児童は1人1台のiPadを所持しており、各自の端末で開発した教材（ツール）を操作させた。授業者は感染症対策のため小学校には赴かず、遠隔で授業を実施した。現地ではクラス担任らが児童の支援を行った。授業は45分×2回（連続）である。

1時間目の目的は、コンピュータのルールやアルゴリズムに慣れることである。具体的には、ツールの演習機能（フリーモード）を自由に使いツールの操作やルールに慣れる活動、ツールのアニメーション再生機能（バブルソート）を視聴しアルゴリズムを推測する活動、ツールの演習機能（バブルソート）を用いてアルゴリズムの理解を深める活動、例題やテストを解く活動を行った。

2時間目の目的は、別のアルゴリズムを学んでそれらを比較することである。具体的には、ツールのアニメーション再生機能（選択ソート）を視聴しアルゴリズムを推測する活動、ツールの演習機能（選択ソート）を用いてアルゴリズムの理解を深める活動、ツールのアルゴリズム比較機能でバブルソートと選択ソートを比較する活動を行った。

4.2 評価の手法

教育実践の評価として、2回の授業が終わった後でアンケートを実施した。表1の各項目を「全くそう思わない(1)」「あまりそう思わない(2)」「ややそう思う(3)」「とてもそう思う(4)」の4件法で尋ねた。また、「学習ツールについて、良かった点や直してほしい点」と「この授業で、学んだこと、重要だと思ったこと、印象に残ったこと、ぎ問に思ったことなど」「その他」を自由記述で尋ねた。

ツールの操作ログはサーバーに蓄積し、適宜参照する。

4.3 結果と考察

授業中には「わかった」という発言が何度かあり、アニメーションを見ながらアルゴリズムを推測する活動が活発に実施できた。また、選択ソートのアニメーションを視聴した際、比較をせずに左端のカードと最小のカードを交換していることを見て、「どうして」という発言があった。これは、裏向きのカードに書かれた数字を覚えてはいけないというゲームのルールをきちんと理解していたからこそ得られた驚きであり、学習効果の表れである。

表1 小学校：アンケート（4件法）の項目と分析結果（ $n=3$ ）

質問項目	平均値
授業は楽しかった	4.000
授業の内容に興味を持った	3.667
授業のむずかしさはちょうど良かった	4.000
授業内容の分量はちょうど良かった	3.667
授業で使ったスライドやワークシートはわかりやすかった	4.000
授業の内容がわかった	4.000
iPad上でアニメーションを再生するツールは使いやすかった	4.000
iPad上でカードを動かして練習するツールは使いやすかった	4.000
iPad上でアニメーションを再生する活動が理解の助けになった	3.667
iPad上でカードを動かして練習する活動が理解の助けになった	3.667

アンケート（4件法）の結果を表1に示す。全体的に高水準であることがわかる。自由記述では

- 間違った時に×が出たのが、わかりやすかった
- コンピュータはアルゴリズムが必要だということが分かった
- アルゴリズムを変えると使いやすさが変わるんだと思いました

といった内容があった。

5 高等学校での教育実践

本研究で開発した教材は高等学校においても活用可能だと考えられることから、高等学校の授業においても教育実践を行った。2021年11月中旬に、大阪府内の私立高等学校において工学科の2年生の授業として教育実践を行った。対象はいずれかの授業を欠席した生徒を除く30人である。

5.1 授業の内容

授業はコンピュータ室で実施した。各自に与えられたパソコンで開発した教材（ツール）を操作させた。授業は50分×4回（連続2回を2日間実施）である。学習の流れ（アニメーションを観察、演習、例題、テスト）は小学校と共通である。1時間目でバブルソート、2時間目で選択ソート、3、4時間目でヒープソートを扱った。ヒープソートは前半（全体を木構造にするパート）と後半（最大値を末尾に移動し木を再構築するのを繰り返すパート）に分けて学習した。4時間目の最後にツールのアルゴリズム比較機能で3つのアルゴリズムを比較した。

5.2 評価の手法

教育実践の評価として、授業中にテストを実施し、客観的理解度を測った。バブルソート、選択ソートのテスト問題は各アルゴリズムにつき2問である。問1はアルゴリズムの状態変化と操作を図示し、比較回数と交換回数を記入するものである。問2はツールの演習機能（フリーモード）上でカードを並び替えて、最終的に表示された比較回数と交換回数を記入するものである。ヒープソートのテストは3問から成る。問1はアルゴリズムの前半の様子を図示するものである。問2はアルゴリズムの後半の様子を図示するものである。問3はツールの演習機能（フリーモード）上でカードを並び替えて、最終的に表示された比較回数と交換回数を記入するものである。

また、2時間目の最後と4時間目の最後にアンケートを実施した。アンケートの項目と形式は小学校とほぼ同様である。ただし、小学校での項目に加え、「総合的に見て、この授業に私は満足している」の項目を追加した。また、発達段階に応じて意図が変わらない範囲で表現を改めた項目もある。

ツールの操作ログはサーバーに蓄積し、適宜参照する。

5.3 結果と考察

アンケート（4件法）の結果を図7に示す。1標本のWilcoxonの符号順位検定を用いて、各回の各項目と理論的中間点（2.5）とを比較したところ、全ての項目で有意に高い結果となった（ $p < 0.05$ ）。また、同様に1、2時間目（バブルソート・選択ソート）と3、4時間目（ヒープソート）の各項目を比較したところ、理解度・満足度の項目において、1、2時間目の方が有意に高い結果となった。1、2時間目の後の自由記述では

- アニメーションの利用や自分で実際にやってみることで理解をより深めることができた
 - 教科書やプリント、ノートを使って学習するよりも、パソコンとマウスを使って実習する授業のほうが内容が面白く、より自分に身についていくのを感じた
 - 並び替えにもいろいろな種類があることを知れて楽しかった
 - バブルソートも選択ソートも意外と比較回数、交換回数に差があまりないことが印象に残った
- といった内容があった。3、4時間目の後の自由記述では
- 赤の枠で囲ったり、青い線で親と子の大小関係をあらわされていたのでとても良かった

- 今回の授業内容は難しく理解するのにやや時間がかかったが、アニメーションを再生する機能が理解を深める手助けになった
- 難しかったけど理解できるぐらいの難しきでちょうどよかった
- ヒープソートの圧倒的な整理の速さに驚いた

といった内容があった。

バブルソートのテストは、30人中24人が全問正解であった。選択ソートのテストは、30人中22人が全問正解であった。誤答の中には、状態数と比較回数を混同している（比較回数が n 回であれば状態数は $n+1$ 種類）ものや、解答の書き方を誤解しているものが見受けられた。

ヒープソートのテストは、30人中25人が問1と問2に正解していた。問3は30人中12人が正解していた。誤答の理由をツールのログから調査したところ、アルゴリズムの前半と後半を混同しているものや、親の親または子の子との更なる比較を忘れていたものが多かった。

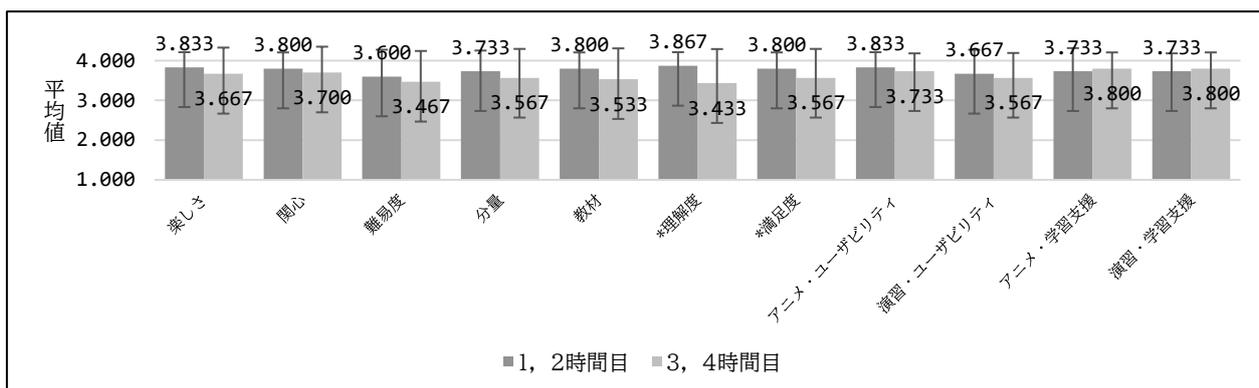


図 7 高等学校：アンケート（4 件法）の分析結果（ $n = 30$ ）

6 おわりに

本研究では、小学校プログラミング教育におけるデータ構造的な視点を学ぶ CS アンプラグド教材の開発を目的とし、Web 上でアニメーションを視聴したりカードを並び替えたりしてソートアルゴリズムを学ぶ教材を開発し、提案した。小学校と高等学校で教育実践を行い、教材を評価した。今後は学会での研究発表や、教材の一般公開を計画している。

謝辞

本研究にご協力いただきました、亀岡市みらい教育リサーチセンター 広瀬一弥 指導主事、大阪電気通信大学高等学校 岸本有生 教諭、大阪電気通信大学 兼宗進 教授、大阪学院大学 西田知博 教授、児童・生徒の皆さまに心より感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 文部科学省：小学校 学習指導要領（平成 29 年告示），入手先
<https://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2018/09/05/1384661_4_3_2.pdf>
- [2] Niklaus Wirth：”Algorithms + Data Structures = Programs”，Prentice Hall（1976）
- [3] 西田知博，井戸坂幸男，兼宗進，久野靖：コンピュータサイエンスアンプラグドの分析と CS アンプラグドデザインパターンの提案，情報教育シンポジウム論文集（2008）
- [4] 倉橋農，越智徹，尾崎拓郎，島袋舞子：小学生向けアンプラグド・プログラミング入門授業「ハンバーガー・ロボ」の提案と実践，情報教育シンポジウム論文集（2019）
- [5] 島袋舞子，林康平，兼宗進：拡張現実感を用いたソートアルゴリズム学習教材の提案，日本バーチャルリアリティ学会論文誌（2017）
- [6] 間辺広樹，兼宗進，並木美太郎：CS アンプラグドのアルゴリズム学習法に用いたデジタル教材の効果，研究報告コンピュータと教育（2012）