

CS アンプラグドを活用した ソートアルゴリズムオンライン学習教材の開発

北村 祐稀^{1,a)} 岸本 有生² 兼宗 進³ 西田 知博⁴ 白井 詩沙香^{1,b)}

概要: 本研究では、CS アンプラグドのデザイン手法に基づき設計したソートアルゴリズムを学ぶためのオンライン教材を提案する。本教材はアニメーション再生機能、演習機能、アルゴリズム比較機能から構成され、カードの並べ替えを通じてソートアルゴリズムを体験的に学習できる。アニメーション再生機能では、カードの動きを観察してアルゴリズムを推測する活動が実施でき、演習機能では、カードをドラッグアンドドロップで動かすことでアルゴリズムをシミュレートする活動が実施できる。アルゴリズム比較機能では、より多くの要素を並び替えるアニメーションを観察し、比較回数や交換回数を具体的な指標としてアルゴリズムの効率について考察する活動が実施できる。教材で取り扱うソートアルゴリズムは、プログラミングに欠かすことのできないデータ構造についても学ぶことができるよう、既存研究で扱われることが多いバブルソートや選択ソートに加え、ヒープソートを対象とした。さらに、開発した操作ログ分析ツールを用いることで、リアルタイムでの演習状況の確認や事後での学習分析を可能とした。

キーワード: ソートアルゴリズム, CS アンプラグド, データ構造, プログラミング教育

Designing Online Educational Tools for Learning Sorting Algorithm Based on CS Unplugged Pedagogy

YUKI KITAMURA^{1,a)} TOMONARI KISHIMOTO² SUSUMU KANEMUNE³ TOMOHIRO NISHIDA⁴
SHIZUKA SHIRAI^{1,b)}

1. はじめに

高等学校では 2022 年度から新学習指導要領が施行され、共通必修教科目「情報 I」が実施される。現行の学習指導要領では選択必修教科目である「情報の科学」でのみ扱われてきたプログラミングが、「コンピュータについての本質的な理解に資する学習活動」[1]として「情報 I」で扱われる。具体的には、「コンピュータを効率よく活用するために、アルゴリズムを表現する方法を選択し正しく表現する力、アルゴリズムの効率を考える力、プログラムを作成

する力、作成したプログラムの動作を確認したり、不具合の修正をしたりする力を養う」[1]とされている。

アルゴリズムは計算の手順のことであり、プログラムはそのアルゴリズムを厳格に言語化したものと言える。プログラムはそのまま実行可能でなければならないので、定められた文法に則ってすべての処理を書く必要があるが、アルゴリズムのレベルでは自明な処理を省略したり、ブラックボックス化したりできるため、より抽象的な思考が可能である。したがって、まずは抽象的なレベルでアルゴリズムを考え、細かいところを詰めながらプログラムとして実装していくことで、より複雑なプログラムの実装が容易となる。そのため、アルゴリズムの学習はプログラミングの自由度を高めるという点で極めて重要である。しかし、その抽象度の高さや複雑さゆえ、アルゴリズム教育は容易ではなく、初学者の理解を助けるためには多くの説明や図解

¹ 大阪大学
² 大阪電気通信大学高等学校
³ 大阪電気通信大学
⁴ 大阪学院大学
a) Pro.ktmr@gmail.com
b) shirai@ime.cmc.osaka-u.ac.jp

が必要である [2]。また、「情報 I」ではアルゴリズムのみならず「データ構造を含めたプログラミング」を扱うこととされている。データ構造もアルゴリズムと同様、どんなプログラムにも存在するが、特に木構造などのデータの見做し方を導入することで、その下にあるメモリを気にすることなく抽象的にデータ操作を考えられるようになる。しかし、動的なデータ構造のデータの推移を追うことなどは容易ではないため、データ構造も含めた初学者向けのアルゴリズム学習教材が求められている。

こうした難解なコンピュータサイエンスの原理を体験的に学ぶことができる教育手法として「コンピュータサイエンス アンプラグド (Computer Science Unplugged, 以下, CS アンプラグド)」 [3] がある。CS アンプラグド教材の特徴として、学習の中にゲーム性 (遊び) がある、具体物の試行錯誤から学ぶことができる、グループ (集団) で学ぶことができる、手軽に実践できるといったことが挙げられ、これらの特徴が学習者の興味や関心を引き出し、意欲的に取り組める教材となっている [4]。CS アンプラグド教材はコンピュータを用いない場合が多いが、CS アンプラグドの教材デザイン手法はオンライン学習教材にも有効であると考えられる。

本研究では、データ構造も含めたアルゴリズム学習支援を目的とし、CS アンプラグドのデザイン手法に基づき開発したソートアルゴリズムを学ぶオンライン学習教材を提案する。提案教材は、カードの並べ替えを通じてアルゴリズムを体験的に学習でき、アニメーション再生機能、演習機能、アルゴリズム比較機能から構成される。教材で取り扱うソートアルゴリズムは、データ構造についても学ぶことができるよう、既存研究で扱われることが多いバブルソートや選択ソートに加え、ヒープソートを対象とした。さらに、開発したログ分析ツールを用いることで、リアルタイムでの演習状況の確認や事後での学習分析が可能である。本稿では、開発したオンライン学習教材および高等学校での教育実践について報告する。

2. 関連研究

ソートアルゴリズムは情報科学の重要な学習項目であるが、抽象的で複雑な手順を伴うため、中等教育の生徒や初学者には難易度の高い学習項目である [5]。

ソートアルゴリズムの学習支援に関する研究は古くから行われており、生徒の理解を助ける効果的な手法として、アニメーション等を活用した可視化が挙げられる [6]。例えば、Grissom ら [7] は、ソートアルゴリズムに関するアニメーション教材を授業内で利用した群、利用しなかった群、授業内提示に加え授業後に生徒が自由に再生できるようにした群の試験のスコアを比較した結果、授業内提示に加え、授業後に自由に再生できるようにした群が最もスコアの伸びが良かったと報告している。また、可視化教材を

効果的に利用するためには講義ノートやプリント教材など付随する教材を充実させること [7] やどのように授業に組み込むかといった授業設計の重要性も指摘されている [8]。こうした先行研究の知見から、提案教材においてもアニメーションを用いたアルゴリズムの可視化機能を実装するとともに、学習場面に応じた柔軟な利用ができるよう、アニメーション教材を単体で視聴できるビューと、演習時に生徒が自律的に学習できるように演習教材と連動してアニメーション教材を視聴できるビューを用意した。

さらに、体験的な演習もソートアルゴリズム学習において有効である。Geller ら [9] は、ソートアルゴリズムをシミュレートし、体験的に学習することの有効性を教育実践により明らかにしている。提案手法で活用している CS アンプラグドも体験的に情報科学を学ぶ教育法であり、オリジナル教材として「いちばん軽いといちばん重い」というソートアルゴリズムの学習教材が用意されている [3]。本教材では重さの異なる複数個の重りと天秤を用いて、ソートアルゴリズムを学習する。本教材を活用した研究として、間辺ら [10] はオリジナル教材がもつ天秤がはっきり振れるまでに時間がかかる問題や、比較回数を数え忘れてしまう問題を取り上げ、コンピュータ上の仮想天秤を用いて重りを並び替えるデジタル教材を開発した。間辺らが提案した教材は比較結果を瞬時に表示するほか、比較回数を自動でカウントする機能を有しており、教育実践の結果、授業時間内に試行錯誤できる回数を増やすことができ、より効果的な学習を展開することができたと述べている。また、CS アンプラグドを考案した Bell らが運営する Computer Science Field Guide [11] では、選択ソートとクイックソートの速度をアニメーションで比較できるツールや、仮想天秤を用いて「いちばん軽いといちばん重い」に取り組んで正誤判定ができるツールが提供されている。しかし、これらの教材はデータ構造を用いるソートアルゴリズムは扱っていない。本研究では二次元的なデータ構造を活用するヒープソートを扱っており、要素の比較のたびに重りを天秤へ移動していると、元の状態を忘れて位置関係の混乱が生じる可能性があるため、天秤と重りではなくカードを用いている点に違いがある。

一方、提案教材と同様にカードを用いた教材に関する先行研究もあり、和田 [12] は、同期型のオンライン授業において、CS アンプラグドの「いちばん軽いといちばん重い」を天秤と重りではなくトランプのカードで代用する授業実践を行っている。カードは裏向けにして並べておき、値を比較するときだけに 2 枚のカードを表に向けるというものである。阿部 [13] は、ID とデータを付したカードを手作業で並び替える活動を提案している。徐々に並び替えるカードの枚数を増やすことで、作業の手順 (アルゴリズム) の重要性を気づかせるようにしている。また、新開ら [14]、杉浦ら [15] の研究では、同じく手作業でカードを並び

替える活動に加え、最終的にプログラミング言語でアルゴリズムを実装させる授業実践を行なっている。コンピュータを用いず、教具を用いた手作業による体験演習の有効性は Geller ら [9] の取り組みでも検証されており意義がある。一方で、同時多人数の一斉授業や生徒の様子を把握しづらいオンライン授業・授業時間外での学習において、体験的な演習を行おうとした際には、個々の理解度や進度に応じて生徒自身が自律的に学習ができるような学習支援の仕組みも必要である。本研究では、こうした適応的な学習支援に着目し、リアルタイムでの学習支援機能や状況に応じて教員が介入できるよう学習ログの分析機能等を実装した点が異なっている。

3. 提案教材

3.1 設計指針

本研究ではデータ構造も含めたアルゴリズム学習支援を目的としたソートアルゴリズム学習教材を提案する。前章で述べたとおり、抽象的で複雑なアルゴリズムを学ぶ際には、アニメーション教材や体験的な学習が有効である。さらに、難解なアルゴリズムを学ぶにあたっては、生徒のモチベーションを高めるための工夫も必要である。そこで、本研究では教材設計にあたり、CS アンプラグドのデザイン手法を活用するとともに、アニメーション教材と体験的な学習の利点を組み合わせた統合的な学習環境を提案する。具体的には、以下の5点を設計指針とした。

- 視覚的に各ソートアルゴリズムを理解するためのアニメーション再生機能を提供する。
- 試行錯誤しながら各ソートアルゴリズムを理解するための演習機能を提供する。演習機能では、リアルタイムの正誤判定機能により、ゲーム性を持たせるとともに、速やかなフィードバックにより適応的な学習支援を実現する。
- データ構造を取り扱い、直線状ではない二分木構造上でのアルゴリズムの働きとデータの推移がわかるようなビジュアライズ方法を実装する。
- 遠隔でのペアワーク用の演習機能を提供する。
- 教員支援を目的に、遠隔で学習者の演習状況をリアルタイムに確認できる機能と操作ログの分析ツールを提供する。

本教材は Web アプリケーションとして開発し、Web ブラウザさえあれば利用可能である。また、ポイント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*1。以降の小節では提案教材の機能を順に紹介する。

*1 本教材は <https://pro-ktmr.github.io/learn-sorting-algorithms/> から利用できる。ただし、本ページで公開しているツールは、ネットワークを利用した機能(後述の遠隔ビュー機能・ログ蓄積機能)を削除したものである。



図 1 開発したツール: アニメーション再生機能

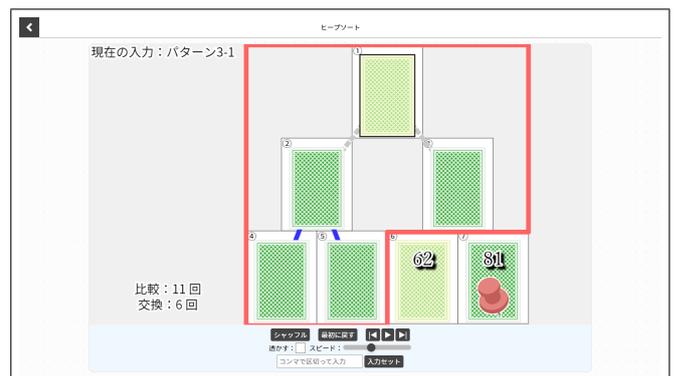


図 2 開発したツール: アニメーション再生機能 (ヒープソート)

3.2 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、カードを並び替えるアニメーションを視聴することで、ソートアルゴリズムに対する理解を深めることができる。フィールドには各データ構造(配列, 完全二分木)に対応したマスが表示されており、そのマスにカードを置く。カードの比較と交換を繰り返すことで、カードを昇順に並び替えることを目指す。カードの裏面には何も書かれておらず、表面には 2 桁の整数が書かれている。2 枚のカードをめくって表に向ける操作がソートアルゴリズムにおける大小比較に対応し、2 枚のカードの交換がソートアルゴリズムにおける要素の交換に対応する。なお、カードをピンで留めるという演出があるが、これはアルゴリズムの理解を促すためのヒントであり、実際のソートアルゴリズムに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多くのヒントを表示している(図 2)。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。

アニメーション再生機能では、1 つ進めるボタンや 1 つ戻すボタンを用いて、アルゴリズムの挙動をステップバイステップで確認することができる。他にも、自動再生、最初に戻す、初期状態をランダム生成する、カードが裏向きであっても表面の表示を透かして見る、教員が予め用意した初期状態をロードする、といった機能を持つ。

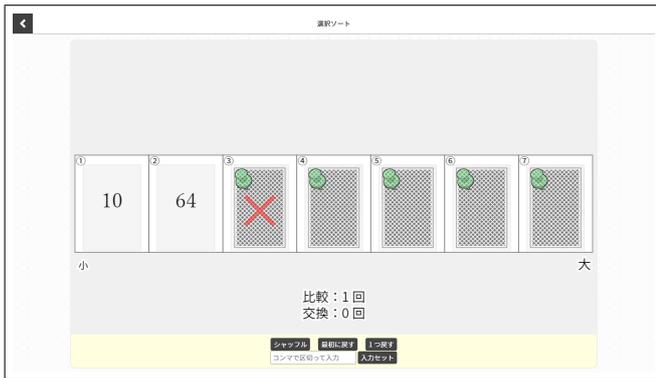


図 3 開発したツール：演習機能
(3枚目のカードをめくろうとした場面)



図 5 開発したツール：遠隔ビュー機能

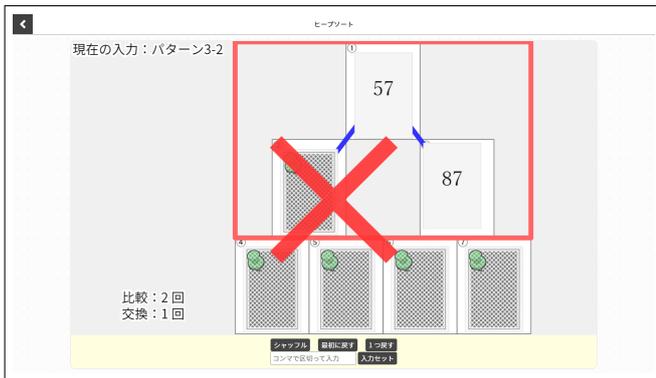


図 4 開発したツール：演習機能
(アルゴリズムと異なる操作を行った場面)

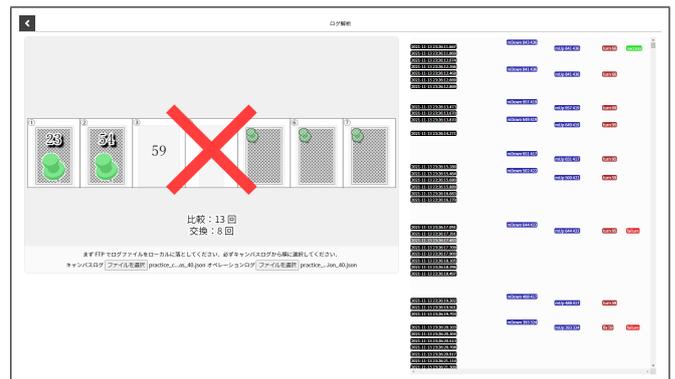


図 6 開発したツール：ログビュー

各マスには番号が振られている。これは、添え字の考え方に慣れてもらうために設けたものである。また、カードに書かれた整数を1桁として予備実験を行ったところ、カードの値を覚えてしまい、アルゴリズムを正しく実行できないケースが見られた。そのため、カードに書かれた整数は2桁とした。様々な入力を簡単にランダム生成できる点も含め、紙のカードでは実現できない特徴である。加えて、カードを降順に並び替えようとしてしまうケースが見られたため、画面上に「小」「大」の文字を表示している。

3.3 演習機能

演習機能ではアニメーション再生機能と同様のインタフェースで、実際にカードを並び替える活動を通して理解を深めることができる。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(図3)。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。他にも、1つ戻す、最初に戻す、初期状態をランダム生成する、教員が予め用意した初

期状態をロードする、といった機能を持つ。

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ボタンが表示されて強制的に操作が巻き戻される(図4)。この際、同じカードを何度もめくるといった試行錯誤や、2枚のカードをどちらからめくるといった細かな違いは検知されず、本質的な誤りのみを指摘するようになっている。フリーモードでは正誤判定が行われず、ヒープソートにおけるヒントも表示されない。指導者に対して学習者が多い授業内においても、正誤判定機能によって各学習者が主体的に理解を深められると考えられる。

なお、複数のウィンドウを並べて表示できないタブレット端末での操作も想定し、アニメーション再生機能と演習機能を同じ画面に並べて表示することもできるようになっている。

3.4 遠隔ビュー機能・ログ蓄積機能

学習中は、アニメーション再生機能、演習機能の両方の描画情報が5fpsで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を確認できるようになっている(図5)。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(カードをめくると交換する等)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(図

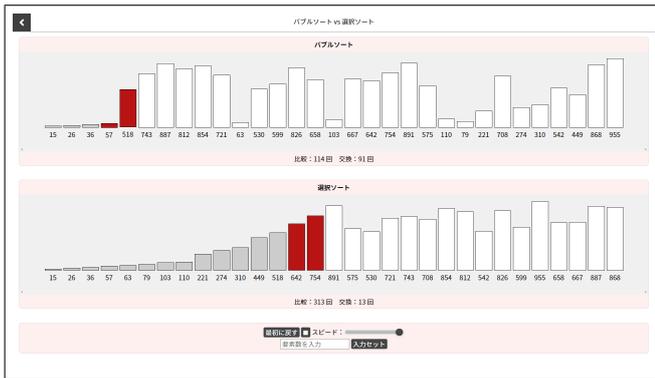


図 7 開発したツール：アルゴリズム比較機能
(バブルソート vs 選択ソート)

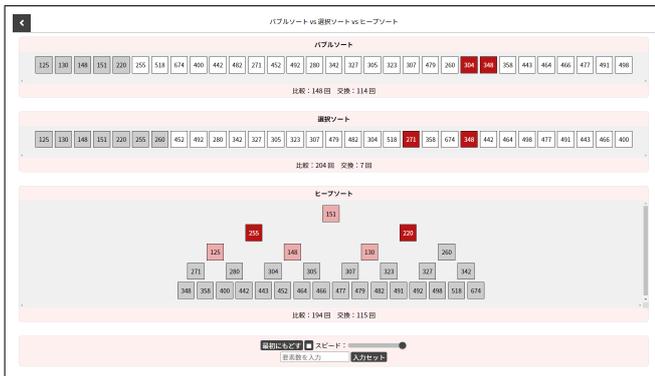


図 8 開発したツール：アルゴリズム比較機能
(バブルソート vs 選択ソート vs ヒープソート)

6)で確認できる。図において、mDown や mUp はマウス操作とその座標，turn や fix はカードの操作，success や failure は演習機能の正誤判定の結果を表す。

なお，遠隔ビュー機能は授業者だけでなく学習者も利用できるように設定可能である。すなわち，画面の左半分に自分の画面，右半分に他の生徒の画面を表示するように設定すれば，Web 会議システムの画面共有機能等を使わずに遠隔のペアワークを実施することも可能である。

3.5 アルゴリズム比較機能

アルゴリズム比較機能は，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 7 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 8 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。要素数やスピードを自由に変えることができるようになっており，まずは小さい要素数とスピードでアルゴリズムの挙動を確認し，次に大きい要素数とスピードで漸近的な速度を見ることができるようになっている。

4. 高等学校での教育実践

本研究で開発した教材を用いて，高等学校の授業内で教

育実践を行った。教育実践の時期は 2021 年 11 月であり，2 日間に分けて実施した。各日には 50 分の授業を 2 コマ行い，合わせて 4 コマの実践となった。本節では授業構成や教育実践の結果について述べる。

4.1 授業の対象と学習環境

教育実践は大阪府内の私立高等学校において，工学科の 2 年生の 1 クラスに対して実施した。本研究で考察の対象とするのは，2 日間の授業の両方に参加した 30 名である。

授業はコンピュータ室で実施した。各生徒は 1 人 1 台使用することができる備え付けのデスクトップパソコンとマウスを用いて本教材を利用した。

4.2 授業の流れ

各回の授業は次のような流れで行った。

- (1) 提案教材のアニメーション再生機能を各学習者が使用し，アルゴリズムを分析する。この際，穴埋めのワークシートを配布しておき，その空欄を埋めることで自然とアルゴリズムの特徴が押さえられるようにした。
- (2) 教員がワークシートの穴埋めの正解を提示しながら，正しいアルゴリズムを確認する。
- (3) 提案教材の演習機能を各生徒が使用し，間違えること無くシミュレートできるようになるまで繰り返し練習する。

1 時間目にはバブルソート，2 時間目には選択ソート，3 時間目にはヒープソートの前半部（全体を木構造にするまでの部分），4 時間目にはヒープソートの後半部（最大値を取り出して末尾の要素と交換することを繰り返す部分）を上述の流れで取り扱った。小テストは 2 時間目の終わりに 1 時間目と 2 時間目の学習分を，4 時間目の終わりに 3 時間目と 4 時間目の学習分を実施した。4 時間目の終わりにはアルゴリズム比較機能を使用して振り返りとまとめを行った。

4.3 評価手法

教育実践の評価として，授業の終わりに小テストを実施し，客観的理解度を測った。学習時は 7 枚のカードを用いたが，記述量と解答時間の関係から，小テストは要素数 5 で実施した。

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 はアルゴリズムの操作と配列の状態変化を図示し，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（全体を木構造にするまでの部分）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（最大値を

取り出して末尾の要素と交換することを繰り返す部分)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(すなわち1日目の最後)と4時間目の最後(すなわち2日目の最後)に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、良かった点や改善して欲しい点
- 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、疑問に思ったことなど
- その他、授業全般について感想や意見、気づいたことなど

を自由記述で尋ねた。

教材の操作ログはサーバーに蓄積し、適宜参照した。

4.4 結果

アンケート(4件法)の結果を表1に示す。各項目と理論的中間点(2.5)との差をWilcoxonの符号順位検定を用いて比較した結果、いずれの項目も有意差が見られた。1, 2時間目(バブルソート, 選択ソート)の後の自由記述のアンケート項目では、主に次のような記述が見られた。

- 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

3, 4時間目(ヒープソート)の後の自由記述のアンケート項目では、主に次のような記述が見られた。

- 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さをちょうどよかった
- ヒープソートの圧倒的な整理の速さに驚いた

各小テストの正解者の割合は、バブルソートが80%, 選択ソートが73%であった。ヒープソートは問1, 2が83%, 問3が40%であった。

5. 考察

本研究ではCSアンプラグドのデザイン手法を取り入れ

た。本教材の演習機能は自動正誤判定機能を有するため、ゲーム性があると考えられる。また、カードという具体物の並び替えによってソートアルゴリズムを学ぶことができるようになってきている。対面形式であれば画面を見せあうことで、遠隔形式であれば本教材のペアワーク機能を用いることで、集団による学習も可能である。更に、本教材はWebブラウザさえあれば実践できる点で手軽でもある。したがって、本教材はCSアンプラグド教材の特徴を活かしていると考えている。

本教材ではアニメーションを観察してアルゴリズムを推測する活動を取り入れている。プログラミングでデバッグをする際、変数の推移を観察してバグを探すことも多い。本活動は状態の遷移に自ら意味づけをする練習となっている。その結果、「作成したプログラムの動作を確認したり、不具合の修正をしたりする力」[1]を鍛えることができていると考えている。

本教材の演習機能には、誤操作を直ちに指摘する機能が付いている。そのため、学習者は高頻度で素早いフィードバックを得ることができ、何かを勘違いしたまま学習を進めてしまう可能性を抑えられる。また、40名程度を一斉に指導する学校現場では指導者の机間指導にも限界があり、ソフトウェアが自動的に指導を行う点には大きな利点がある。また、ソートアルゴリズムの教材でリアルタイムに正誤判定を行うものはこれまでに無かったと考えられる。なお、アニメーション再生機能と演習機能をほぼ同じインタフェースにしたことで、学習者がその対応関係について混乱すること無く本質部分の学習に集中できるように配慮したことは効果があったと考えている。

本教材では「マス」を扱っており、カードは交換時を除いて常にマスに置かなければならないというルールを課している。人間が何かを並び替える際には、より三次元的な処理が可能である(机の上に二次元的に広げるのはもちろんのこと、紙類なら重ねることもできる)が、本教材を通して学習することで、自然とマスの感覚が身につき、配列やデータ構造の操作に習熟できることを狙っている。また、各マスには丸数字の番号(添え字)を振っており、学習者が自然と添え字を用いた議論を行うことを期待している。

本教材ではこれまであまり扱われてこなかった、データ構造を用いるヒープソートを扱っている点で新規性がある。上記の特徴に加え、ヒントとなるガイドを数多く表示することで、高校生でも理解できるように配慮している。本教材ではヒープソートのシミュレートが可能にされたものであり、データ構造の概念を完全に理解できるようにしたものでは無いが、このようなデータの配置的な工夫によってアルゴリズムの性能を改善できる例を1つでも知っておくことは将来の学習のために重要と考えている。

本教材には遠隔で指導者が学習者の画面をリアルタイムに確認したり、学習者同士で画面を共有してペアワークを

表 1 アンケート (4 件法) の項目と結果

質問項目	1, 2 時間目終了後		3, 4 時間目終了後	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差
授業は楽しかった	3.833	0.379	3.667	0.661
授業の学習内容に関心を持った	3.800	0.407	3.700	0.651
授業の難易度は適切だった	3.600	0.675	3.467	0.776
授業内容の分量は適切だった	3.733	0.521	3.567	0.728
授業で利用した教材 (スライドやワークシート) はわかりやすかった	3.800	0.407	3.533	0.776
授業の学習内容が理解できた	3.867	0.346	3.433	0.858
総合的に見て, この授業に私は満足している	3.800	0.407	3.567	0.728
パソコン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	3.833	0.379	3.733	0.450
パソコン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	3.667	0.606	3.567	0.626
パソコン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	3.733	0.583	3.800	0.407
パソコン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	3.733	0.450	3.800	0.407

行ったりできる機能を有している。通信量やサーバー負荷にもある程度配慮しており, オンライン授業で活用できる可能性があるが, 今回の教育実践では検証は行えていない。また, 本教材の操作ログはサーバーに蓄積されるようになっていて, 本稿ではログを活用した分析については報告できなかったが, 本ログを活用することで, 小テストの誤答理由や授業中の取り組み方と小テストの結果との関係性などが分析できる可能性がある。

6. おわりに

本稿では, CS アンプラグドのデザイン手法に基づいて開発した, カードを用いたソートアルゴリズムを学ぶための Web 教材を提案した。本教材はアニメーション再生機能, 演習機能, アルゴリズム比較機能から構成され, カードの並べ替えを通してアルゴリズムを体験的に学習できる。本教材では, 既存研究で扱われることが多いバブルソートや選択ソートに加え, ヒープソートを対象に加えた。また, 本教材を用いた高校での教育実践について述べた。

今後は高校での教育実践の結果の詳細な分析を予定している。また, 本教材を用いたオンライン授業での教育実践とその評価を検討している。

参考文献

[1] 文部科学省: 高等学校学習指導要領 (平成 30 年告示) 解説 情報編 (2019)。入手先 (https://www.mext.go.jp/content/1407073_11_1_2.pdf)。[2] Wassila, D. and Tahar, B.: Using serious game to simplify algorithm learning, *International Conference on Education and e-Learning Innovations*, IEEE, pp. 1–5 (2012)。[3] 兼宗 進監訳: コンピュータ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)。[4] 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, Vol. 2008, No. 6, pp. 179–186 (2008)。[5] Kordaki, M., Miatidis, M. and Kapsampelis, G.: A com-

puter environment for beginners' learning of sorting algorithms: Design and pilot evaluation, *Computers & Education*, Vol. 51, No. 2, pp. 708–723 (2008)。[6] Kann, C., Lindeman, R. W. and Heller, R.: Integrating algorithm animation into a learning environment, *Computers & Education*, Vol. 28, No. 4, pp. 223–228 (1997)。[7] Grissom, S., McNally, M. F. and Naps, T.: Algorithm visualization in CS education: comparing levels of student engagement, *Proceedings of the 2003 ACM symposium on Software visualization*, pp. 87–94 (2003)。[8] Naps, T. and Grissom, S.: The effective use of quicksort visualizations in the classroom, *Journal of Computing Sciences in Colleges*, Vol. 18, No. 1, pp. 88–96 (2002)。[9] Geller, J. and Dios, R.: A low-tech, hands-on approach to teaching sorting algorithms to working students, *Computers & Education*, Vol. 31, No. 1, pp. 89–103 (1998)。[10] 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における教具による理解度への影響, 情報処理学会論文誌, Vol. 54, No. 1, pp. 14–23 (2013)。[11] Computer Science Education Research Group at the University of Canterbury: Computer Science Field Guide. 入手先 (<https://www.csfieldguide.org.nz/en/>)。[12] 和田 勉: 大学学部学生対象のオンライン授業で実施したコンピュータサイエンスアンプラグドとオンラインに対応した試験問題の工夫, 情報教育シンポジウム論文集, Vol. 2020, pp. 232–239 (2020)。[13] 阿部哲也: アルゴリズム教育のための教材の開発, 日本教育工学雑誌, Vol. 27, pp. 45–48 (2004)。[14] 新開純子, 宮地 功: 手作業による体験的アルゴリズム学習の実践, 日本教育工学学会論文誌, Vol. 35, pp. 129–132 (2011)。[15] 杉浦 学, 松澤芳昭, 岡田 健, 大岩 元: アルゴリズム構築能力育成の導入教育: 実作業による概念理解に基づくアルゴリズム構築体験とその効果, 情報処理学会論文誌, Vol. 49, No. 10, pp. 3409–3427 (2008)。