

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

間辺 広樹^{1,2,a)} 兼宗 進² 並木 美太郎³

受付日 2012年3月19日, 採録日 2012年10月10日

概要: 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) は情報科学の教育に有効であることが知られているが, 高校の授業用に作られたものではないことから, 授業で利用する際は工夫が必要になる. 本研究では, 今まで十分な検証が行われていなかったソートのアルゴリズムの学習を題材に, オリジナルの CS アンプラグドで扱われている「天秤を用いたグループ学習」という形態に着目し, 天秤より短時間で実習を行える「画面上の模擬天秤」の利用と, より集中して実習に取り組める「個人学習」を取り入れたときの学習効果を, CS アンプラグドを用いない座学の授業を含めて評価した. アルゴリズムを自分で発見する学習は生徒同士で議論できるグループ学習が適していると考えられるが, アルゴリズムを理解する学習は個人でじっくりと考えられる個人学習が適している可能性がある. また, グループでは具体物である天秤を操作した方が議論が活発に行え, 個人学習には操作の負担の小さい模擬天秤が適しているのではないかと考えた. そこで, 実施条件の異なる 6 パターンの授業を行った. その結果, 自分でアルゴリズムを発見する実習ではグループ学習と個人学習に差異は見られなかった. また, 学習したアルゴリズムを自分で試しながら定着させる実習では, グループ学習と比較して個人学習の理解度が高く, 特に画面上の模擬天秤を利用したときの理解度が高かった. その差異の理由を検証したところ, アルゴリズムを実習で確認する回数が多いほど理解度が高いことを確認できた.

キーワード: コンピュータサイエンスアンプラグド, 情報科学教育, ソーティングアルゴリズム

Effects of Teaching Tools in CSU Algorithm Education

HIROKI MANABE^{1,2,a)} SUSUMU KANEMUNE² MITAROU NAMIKI³

Received: March 19, 2012, Accepted: October 10, 2012

Abstract: Computer Science Unplugged (CSU) is effective in teaching of information science. However, CSU is not originally developed for high school lessons. Therefore, in order to adopt it in a classroom, a few improvements are required. In this research, we focus on “group learning with balance scale” for understanding sort algorithms, which had not been verified enough. We evaluate the learning effects of the use of “virtual balance scale in computer” which can shorten training time, and the adoption of “individual seatwork” which can motivate students to study with concentration. Our hypothesis is following: In the group learning, students can discuss each other. So, it is suitable for discovering algorithms. In the individual seatwork, each student can think deeply. So it is suitable for understanding algorithms. For the group learning, the ‘real’ balance scale is suitable for activating debates. For the individual seatwork, the ‘virtual’ balance scale is suitable for reducing the load of operations. We practiced six pattern lessons under different execution conditions. As a result, we found no difference between group learning and individual seatwork in the exercise to discover algorithms. And, we found that student’s individual understanding was higher than that in group learning, especially in using virtual balance scales. By investigating the reason of the difference, we recognized that a student’s understanding depends on how often he or she practices the algorithms.

Keywords: computer science unplugged, informatics, sorting algorithm

1. はじめに

コンピュータのアルゴリズムについて知ることは、コンピュータの原理や特性を理解するうえで重要である。高校の「情報科」は必修教科であり、「コンピュータは決められた手順どおりにしか動かない」「同じ結果を得るにも手順によって処理の効率が異なる」といったアルゴリズムの考え方を扱うことが必要である。一般にアルゴリズムを理解するには論理的な思考力が必要であり、多くの学習者にとって容易とはいえない。そこで、CS アンプラグドに着目した。CS アンプラグド [1], [2] のアルゴリズム学習法は、グループによる協同学習や教材を触りながらの実習体験を通して、学習者自身で実際のアルゴリズムを確かめながら、その考え方を理解していくことが可能な学習方法である。

ただし、CS アンプラグドは高校の授業を目的に開発されたものではなく、限られた授業時間の中でどのように導入すれば学習者の理解を高める効果的な授業になるかの方法が示されているわけではない。そこで、使用する教具の違いやグループ学習の有無などの影響を調査した。

題材は、ソート（並べ替え）のアルゴリズムを扱う。ソートは生徒にとって身近な処理であり、処理の正しさを結果で確認することが容易であることや、アルゴリズムによる計算量の違いに気づきやすい利点がある。

本研究では授業を前半と後半に分け、前半は生徒自身でアルゴリズムを発見する時間とし、後半は既存のアルゴリズムを理解する時間と位置付けて実施した。オリジナルのCS アンプラグドは、天秤を使ったグループ活動で学ぶことが想定されている。その際、アルゴリズムを考える前半は活発に議論し合えるグループ学習が適していると考えられるが、アルゴリズムを理解する後半は1人1人がじっくりと考えられる個人学習が適しているのではないかと考えた。また、使用する教具については、グループ学習には具体物である天秤が適しているが、個人学習には操作の負担の小さい模擬天秤が適しているのではないかと考えた。

検証は、実施条件を変えた複数の授業を実施し、授業ごとのアルゴリズムの理解度を比較・分析した。その結果、前半の「自分でアルゴリズムを発見する実習」ではグループ学習と個人学習に差異は見られなかったが、後半の「学習したアルゴリズムを自分で試しながら定着させる実習」では、グループ学習と比較して個人学習の理解度が高く、

特に画面上の模擬天秤を利用したときの理解度が高かった。その差異の理由を検証したところ、アルゴリズムを試す回数が多いほど理解度が高いことを確認した。

2. CS アンプラグドのアルゴリズム学習法

2.1 CS アンプラグドの特徴

CS アンプラグドはコンピュータを使わずに、ゲームなどの体験的な活動を通してコンピュータ科学を学ぶ学習法である。12の学習項目から成り立っていて、高校や大学で学ぶようなコンピュータ科学の諸概念を子供でも学べるように工夫されている（表1）。学習法としての特徴の1つが『グループ活動』である。学習者は他者との意見交換やアイデアの共有によって協力しながら学習内容の理解を深めていくといった効果を期待できる。他の特徴として、教材として用いる『具体物の活用』がある。学習者は教材を動かしながら考えることで論理的な思考を深め、自ら原理を見つける体験をすることで学習内容が定着するといった効果を期待できる [3], [4], [5]。

2.2 CS アンプラグドでのソートアルゴリズムの学習

CS アンプラグドの学習7「いちばん軽いといちばん重い（整列アルゴリズム）」は天秤とおもりを使ってデータの整列（ソーティング）を学ぶ学習である。コンピュータは同時に2つのものしか比べることができないという基本的な構造を、「天秤ばかり」を使って作る。その天秤で、重さの分からない複数個のおもりを2つずつ比較しながら、重さの順番に並べ替えるというグループ学習が想定されている（図1）。

学習者は8個程度のおもりを使い、おもりの重さによる比較を繰り返してすべてのおもりを重さの順に1列に並べる。学習者は並べ替えができたと思ったところで結果を見る。考え方が正しければ、きれいに並べ替わった数値が現れる。しかし、考え方が間違っていれば並べ替えはできていないので、その原因を探る必要がある。ここまでは「1ゲーム」として、ゲームを繰り返しながら考え方をまとめていく。

この学習法によって、「選択ソート」「挿入ソート」「交換ソート」「クイックソート」などのアルゴリズムの入門書で扱われているような既存のソーティングアルゴリズムを理解することや、学習者自身でアルゴリズムを見つけ出すなどの学習が可能になる。また、天秤による比較回数をカウントすることで計算量を理解し、より良いアルゴリズムは何かを学習者自身が考える授業展開なども考えられる。このような授業展開を施すことで、多くの初学者が学ぶ高校の情報科のような教育の場では、学習者の論理的思考を促しながら、知識獲得とコンピュータ科学への興味関心を深めていく効果が期待できる。

¹ 秦野総合高校
Hadano Sogo High School, Hadano, Kanagawa 257-0013, Japan

² 大阪電気通信大学
Osaka Electro-Communication University, Neyagawa, Osaka 572-8530, Japan

³ 東京農工大学
Tokyo University of Agriculture and Technology, Koganei, Tokyo 184-8588, Japan

a) manaty2005@mh.scn-net.ne.jp

表 1 CS アンプラグドの学習活動
Table 1 CS unplugged activities.

学習項目	タイトル	内容
学習 1	点を数える	2 進数
学習 2	色を数で表す	画像表現
学習 3	それ、さっきも言った!	テキスト圧縮
学習 4	カード交換の手品	エラー検出とエラー訂正
学習 5	20 の扉	情報理論
学習 6	戦艦	探索アルゴリズム
学習 7	いちばん軽いといちばん重い	整列アルゴリズム
学習 8	時間内に仕事を終えろ	並び替えネットワーク
学習 9	マッディー市プロジェクト	最小全域木
学習 10	みかんゲーム	ネットワークのルーティングとデッドロック
学習 11	宝探し	有限状態オートマトン
学習 12	出発進行	プログラミング言語

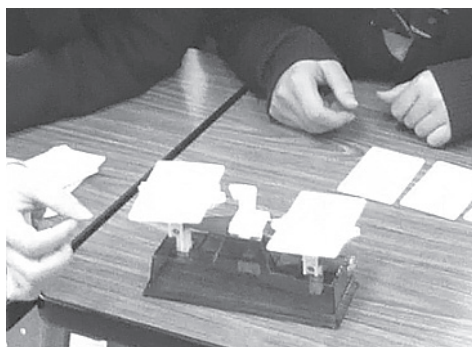


図 1 天秤を用いたアルゴリズム学習
Fig. 1 Lesson by using a balance scale.

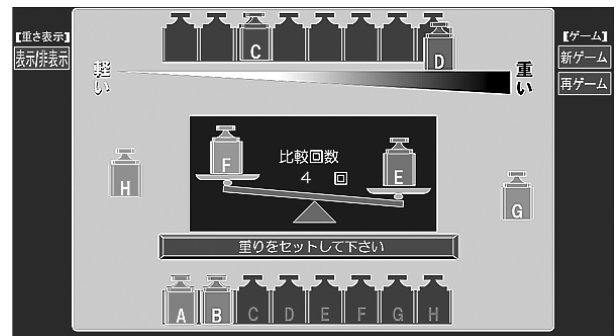


図 2 天秤のデジタル教材
Fig. 2 Virtual balance scale on a computer screen.

2.3 本研究の目的と方法

CS アンプラグドのアルゴリズム学習法における実施方法の違いが理解に及ぼす影響を検討する。本研究では、CS アンプラグドの学習における、「グループ活動」「使用する教具」「試行回数」に着目した。試行回数は生徒がアルゴリズムを実際に操作して確認した回数である。グループ活動の有無と使用する教具の違い、試行回数によるアルゴリズムの理解度を調査する。

実験は、多くの初学者が学ぶ高校の必修科目「情報 A」で実施した。「情報 A」は情報科学に理解に力点が置かれた科目ではないが、「コンピュータは決められた手順どおりにしか動かない」ことや「手順によって処理効率に差が生じること」などは学習対象とすべき基本原理である。そこで、授業の目標を「複数のソーティングアルゴリズムを理解し、アルゴリズムの違いでデータの比較回数など計算量に差が出ることを気付かせること」とした。使用するアルゴリズムは、初学者でも理解しやすいことと処理効率の差を検討しやすいという理由から、「選択ソート」「クイックソート」「挿入ソート」の 3 種類を選んだ。

また、比較のために、コンピュータの画面上で動く仮想的な天秤（デジタル教材）を開発し（図 2）、授業で使用し

た。デジタル教材は基本的には本物の天秤と同様の動きをする教材であるが、重さの違いが確実に表れること、自動的に比較回数をカウントすること、ゲームごとにシャッフルできること、同じゲームを繰り返せることが特徴である。

3. 評価実験

3.1 対象

評価実験は、H 高校で「情報 A」を受講する 6 クラスを対象に行った。H 高校は総合学科高校であり、生徒ごとに科目選択を行う。情報 A は 1 年生と 2 年生が受講していた。クラス間で生徒の重複はなく、生徒のコンピュータに関する知識も同程度である。

本実験の授業は 1 コマ 90 分の中で 60 分を使い実施した（表 2）。検証すべきことは「(X) グループ活動の与える影響」と「(Y) 天秤とデジタル教材から得られる効果の違い」の 2 点であると考え、授業を以下の 5 つの学習活動に分けた。

- (1) 活動 1：準備（教材を配布し、授業内容を説明する）（10 分）
- (2) 活動 2：検討（自由にソートの方法を、学習内容への意識を高めさせる）（10 分）
- (3) 活動 3：説明（教師が 3 つのソート法について説明す

表 2 実験授業の流れ

Table 2 Procedure of experimental lessons.

	内容	時間	授業 A	授業 B	授業 C	授業 D	授業 E	授業 F
活動 1	授業内容の説明	10 分						
活動 2	検討 [教材]	10 分	個人 [プリント]	グループ [天秤]	グループ [天秤]	個人 [天秤]	グループ [天秤]	個人 [デジタル]
活動 3	各ソート法の説明	10 分						
活動 4	実習 (試行) [教材]	20 分	個人 [ビデオ]	グループ [天秤]	個人 [天秤]	個人 [天秤]	個人 [デジタル]	個人 [デジタル]
活動 5	確認テスト	10 分						

表 3 実験授業の内容

Table 3 Contents of experimental lessons.

授業 (人数)	活動 2	活動 4	内容
授業 A (32 人)	座学	座学	教師がホワイトボードを使って説明して生徒に理解させる。
授業 B (36 人)	グループ	天秤グループ	すべてをグループ活動の中で考えさせる。
授業 C (35 人)	グループ	天秤個人	グループ活動の後に 1 人 1 台の天秤を使って個人で考えさせる。
授業 D (20 人)	個人	天秤個人	グループ活動は行わずすべてを個人学習させる。
授業 E (33 人)	グループ	デジタル教材個人	グループ活動の後にデジタル教材を使って個人で考えさせる。
授業 F (25 人)	個人	デジタル教材個人	グループ活動は行わずすべてを個人学習させる。

る) (10 分)

(4) 活動 4: 実習 (教材を使ってソート法を理解する. 試行回数を記録させる) (20 分)

(5) 活動 5: テスト (確認テストを実施する) (10 分)

この中で, 上記 (X), (Y) の検証を行うために, 活動 2 と活動 4 で授業ごとに異なる条件を設定した. 活動 2 では「グループ活動」か「個人活動」かの条件を設定した. 活動 4 では教材として「天秤」か「デジタル教材」かの条件を設定した. さらに, 教師が生徒に一方的に教える座学の授業を加えて, 授業 A~授業 F の 6 つの授業パターンを実施した (表 3).

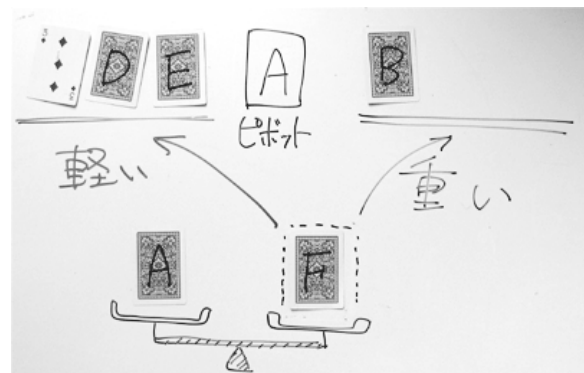


図 3 ソート法の板書での説明

Fig. 3 Explanation of sorting algorithms on whiteboard.

3.2 授業内容と確認テストの詳細

この節では, それぞれの学習活動についてその詳細を示す.

3.2.1 活動 1: 授業内容の説明

活動 1 では, 「複数のソーティングアルゴリズムを理解すること」という授業目標と授業ごとに使う教材の使い方などを説明した. また, コンピュータは人と違って 2 つのものしか比較できないことや手順どおりにしか動かないことを説明した.

3.2.2 活動 2: 検討

活動 2 では, 授業内容への意識を高めるために, 個人またはグループというそれぞれの条件の中で, ソーティングアルゴリズムそのものを自由に考えさせた. 教師は巡視しながら生徒から意見やアイデアが出ているか, あるいはグループ活動に関わっているかなどの点をチェックした.

3.2.3 活動 3: 各ソート法の説明

活動 3 では, 教師から生徒へ 3 種類のソート法について説明をした. 説明に要する時間を短縮するために, 事前にホワイトボードに天秤のイラストを描き, 磁石を付けた大きめのトランプを使って行った (図 3). それぞれのソート法について, 比較するおもりをどのように選んでいくかの根本的な考え方だけを示し, 並べ替えそのものについては, 生徒の活動に任せることとした. 本研究では, 代表的なソート法の中から「選択ソート」「クイックソート」「挿入ソート」の 3 種類を選んだ. ソート法を選ぶにあたっては, 高校の「情報 B」教科書 7 種のソートに関する記述を調べ, それぞれに特徴のあるソート法を選んだ.

「選択ソート」は, 比較によって「一番重いおもり」を選択していくことで得られる最大値探索のアルゴリズムを拡張したものである. 理解しやすく, また, プログラムを作りやすいといわれるアルゴリズムである. 教科書 7 種の

【問題】次の条件のデータを重さの順に並べ替えたい。3種類のソートアルゴリズム(選択, クイック, 挿入)を使って並べ替える場合の「比較する分銅(アルファベット)の順番を書きなさい。



図 4 確認テスト
Fig. 4 Quiz.

中でも 3 種がその説明を記している。本研究では、要素数 n に対して比較回数が $n(n-1)/2$ と一定であることを生徒自身で気付くことを期待した。

「クイックソート」はピボットと呼ばれる基準値との大小関係でグループ分けをしていくという処理を繰り返すアルゴリズムである。ピボットの選び方にもよるが、その名のとおり比較回数は少なく処理が速い。教科書 7 種の中の 1 種が速いアルゴリズムとして紹介している。再帰アルゴリズムの例として用いられることが多く、一般的にはその理解が難しいとされる。本研究では、生徒がアルゴリズムを実現するアイデアの素晴らしさを感じるとともに、ピボットの選び方で比較回数が変わることなどを生徒自身で気付くことを期待した。

「挿入ソート」は、整列済みの要素に新しい要素を適切な位置へ挿入するという処理を繰り返すアルゴリズムである。教科書 7 種の中の 1 種がその説明を記している。比較回数は要素の並び方に依存するので一定ではない。配られたトランプを手の中で並べていくという行為と関連付けて説明されることが多く、本研究でもそのような説明をした。生徒にはトランプという自分の経験とコンピュータアルゴリズムとを結び付けながら理解することを期待した。

3.2.4 活動 4：実習（試行）

活動 4 では、活動 3 で教師の説明を受けた後の生徒が、活動ごとに決められた教材を使ってアルゴリズムの確認を繰り返す実習の時間とした。生徒には「使ったソート法」と「比較回数」をアルゴリズムの確認ごとに記録させた。教師は巡視しながら生徒の質問に答えたり、活動状況を観察したりした。記録カードの最後にはコメント欄を用意し、実習を通して「自分で分かったこと」を箇条書きさせた。

3.2.5 活動 5：確認テスト

活動 5 の確認テストを行った。テストでは 6 つのおもりを使った。(図 4) のようにおもりの重さとアルファベットが分かっている状態の図を示し、それぞれのソート法でソートを行った場合の「比較対象」となるおもりの選び方を記述させた。図 5 に解答例を示したが、これは左側から順番に比較した場合を想定して作成したものである。右側から比較してもよいので、別の記述も正答となりうる。したがって、生徒の解答は 1 つ 1 つを丁寧にトレースするとともに、下記に示すソート法ごとの「ポイント」をクリアできているかどうかを調べた。

回数	①選択ソート	②クイックソート	③挿入ソート
1	A-B	A-B	A-B
2	A-C	A-C	A-C
3	C-D	A-D	C-D
4	C-E	A-E	A-D
5	C-F	A-F	C-E
6	A-B	B-E	D-E
7	A-D	C-D	A-E
8	D-E	C-F	B-E
9	D-F	D-F	C-F
10	A-B	(終了)	D-F
11	A-E	-	A-F
12	A-F	-	(終了)
13	A-B	-	-
14	A-E	-	-
15	B-E	-	-
16	(終了)	-	-

図 5 確認テストの解答例

Fig. 5 An example of answering the quiz.

「選択ソート」は要素数 6 の場合は比較回数が 15 回になる。解答例では左のおもりから比較し、最大値を残す処理を行ったが、右側から比較したり、最小値を残す処理を行ったりしたとしても間違いではない。まず、「1 回目：A-B」では A が重いので A を残して C と比較する。「2 回目：A-C」では C が重いので次は「3 回目：C-D」の比較になる(図 5)。このように、その時点の最大値を比較対象として残せるかどうかは、「選択ソート」を理解できているかどうかの重要なポイントとなる。また、F まで比較したら、もう 1 度最初に戻って、「6 回目：A-B」を比較する。これを頭で記憶している生徒は多いが、この記述ができるかどうかは理解のポイントである。さらに、1 度順位(位置)が確定したおもり(ここでは C)を再度比較対象としないことも理解のポイントである。採点では、これらのポイントをすべてクリアした答えを正解とした。

「クイックソート」は A をピボットとする状態を解答例に示した。この場合、B と E が小さいグループ、C と D と F が大きいグループとなる。最初のグループ分けまでに、「1 回目：A-B」「2 回目：A-C」「3 回目：A-D」「4 回目 A-E」「5 回目：A-F」と、5 回目まですべて A を比較対象としているかどうかポイントである。さらにこの段階で A の位置が 3 番目と確定するので、それ以降の比較対象としないこともポイントである。また、その後の比較は B と E、C と D と F というグループの中だけで行っているかどうかポイントとなる。採点では、これらのポイントをすべてクリアした答えを正解とした。

「挿入ソート」も左から順番に比較する流れを解答例に示した。「1 回目：A-B」以降の比較では新しい要素の挿入位置が決まるまで比較を繰り返しているかどうか理解の重要なポイントである。この例では「2 回目：A-C」の比較で C の挿入位置が決まる。D は「3 回目：C-D」と「4 回目：A-D」の比較を行わないとその挿入位置は決まらない。E は「5 回目：C-E」「6 回目：D-E」「7 回目：A-E」「8 回目 B-E」まで比較を行わなければ挿入位置が決まらない。そのような記述ができている答えを正解とした。

採点は基本的にできたかできなかったかで○×を付け

た。ただし、間違いの中でも明らかにうっかりミスと判断できるものに関しては正解にした。

4. 実験結果

4.1 確認テストの結果

確認テストの結果を分析した。採点については、ソート法ごとに理解できているかどうかを判定した。正答率を表 4 と図 6 に記す。ソート法ごとにカイ二乗検定を行った結果を図 7 に示す。「選択ソート」(図 7 左)では、授業 A の「選択ソート」の理解度は授業 C・授業 E・授業 F の理解度に比べて有意に低かった。「クイックソート」(図 7 中央)では授業間での有意差は見られなかった。「挿入ソート」(図 7 右)では、授業 A の「挿入ソート」の理解度は授業 C・授業 E・授業 D・授業 F の理解度に比べて有意に低く、また、授業 E の「挿入ソート」の理解度は授業 A・授業 B・授業 C の理解度に有意に高かった。

集計結果を見ると、座学の授業 A は全体的に理解度が低

いことが分かる。CS アンプラグドを使った授業 B から授業 F は生徒の理解度が高い。

さらに、集計結果を授業ごと・ソート法ごとに見ると以下の傾向を読み取ることができる。

- (1) 授業 C は「選択ソート」の理解度は高いが、「挿入ソート」の理解度が低く、その差が大きい (図 6)。
- (2) 授業 D は「選択ソート」の理解度が他の授業に比べて低い、3つのソートの理解度の差が小さい (図 6)。
- (3) 授業 E は3つのソート法とも理解度が高い (図 6)。
- (4) 授業 F は3つのソート法とも理解度が高く、なかでも「選択ソート」の理解度が高い (図 6)。
- (5) 「選択ソート」はどの授業でも理解度が高い (図 7 左)。
- (6) 「クイックソート」も「選択ソート」ほどではないが理解度が高い。また、授業 A と授業 B も含めても理解度のばらつきが少ない (図 7 中央)。
- (7) 「挿入ソート」は全体的に理解度が低い、授業 E における理解度が高い (図 7 右)。

「選択ソート」は理解が容易であり、どの授業においても高い理解度を示した。「クイックソート」は「選択ソート」に続いて理解度が高く、授業ごとの差が小さかった。「クイックソート」は一般に理解が難しいと考えられているが、プログラムで記述する代わりに天秤などで操作する CS アンプラグドの利点が現れていると考えている (授業 A においても、説明は黒板で具体的な例を示して行った)。「選択ソート」は他の2つに比べて理解度が低く、授業ごとの差も大きかった。これは、データの並びに対して適切な場所にデータを挿入するという操作が、「選択ソート」の抜き出す操作や「クイックソート」の分けて置く操作に比べて分かりにくかったためと考えている。

全般的に、座学よりは CS アンプラグドを取り入れた授業が高く、その中でも個人によるアルゴリズムの学習を行った授業の理解度が高い傾向が見られた。

4.2 分析

授業ごとに異なる条件設定をしたことが、それぞれのソート法の理解度に影響を与えたと考えられる。そこで、その要因として考えられる以下の項目について分析を行った。

表 4 授業別正答率

Table 4 Percentage of the correct answers for each lesson.

授業	選択ソート	クイックソート	挿入ソート
授業 A (32 人)	14 (43.8%)	15 (46.9%)	4 (12.5%)
授業 B (36 人)	23 (63.9%)	20 (55.6%)	12 (33.3%)
授業 C (35 人)	30 (85.7%)	23 (65.7%)	12 (34.3%)
授業 D (20 人)	14 (70.0%)	11 (55.0%)	9 (45.0%)
授業 E (33 人)	28 (84.8%)	20 (60.6%)	21 (63.6%)
授業 F (25 人)	22 (88.0%)	16 (64.0%)	13 (52.0%)

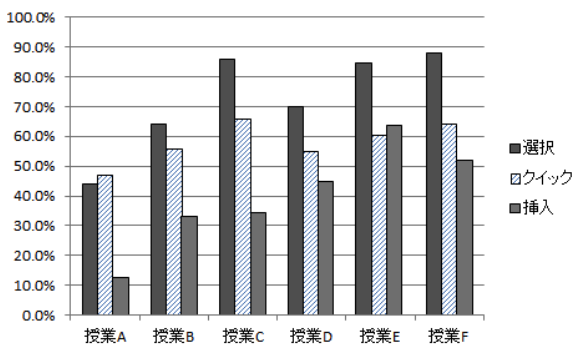


図 6 授業別正答率比較

Fig. 6 The percentage of correct answers for each lesson.

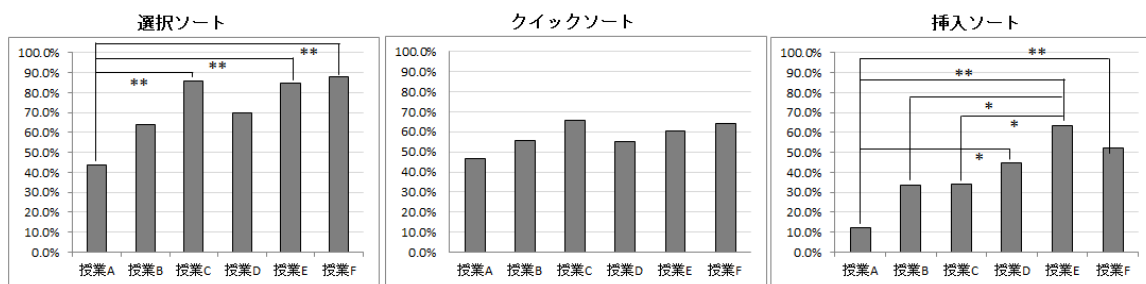


図 7 ソート法ごとの授業別正答率比較 (** p < 0.01, * p < 0.05)

Fig. 7 The percentage of correct answers for each sorting algorithm.

4.2.1 検討時と実習時の活動の違い

検討時の活動形態の違いについて、授業C（検討時：天秤・グループ、実習時：天秤・個人）と授業D（検討時：天秤・個人、実習時：天秤・個人）とを比較した結果（図8）、どのソート法についても授業ごとの違いに有意差は見られなかった。

また、実習時の活動形態の違いについて、授業B（検討時：天秤・グループ、実習時：天秤・グループ）と授業C（検討時：天秤・グループ、実習時：天秤・個人）とを比較した結果（図9）、こちらの組合せについても授業ごとの違いに有意差は見られなかった。

このことから、グループ活動か個人活動かという活動形態の違いがアルゴリズムの理解度へ与える影響に有意差は見られなかった。

4.2.2 実習時の教材の違い

実習時に用いた教材の違いについて、授業C（検討時：天秤・グループ、実習時：天秤・個人）と授業E（検討時：天秤・グループ、実習時：デジタル・個人）とを比較した結果（図10）、「挿入ソート」において5%水準で有意差が見られた。このことから、天秤を使うよりもデジタル教材を使った方が「挿入ソート」の理解度が高くなったといえる。

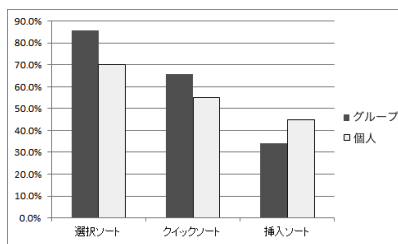


図8 検討時の学習活動（グループ・個人）の違いによる正答率比較
Fig. 8 Ratio of the correct answers (in a group/individual).

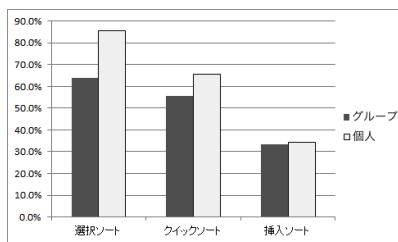


図9 実習時の学習活動（グループ・個人）の違いによる正答率比較
Fig. 9 Ratio of the correct answers (in a group/individual) at the time of exercise.

4.2.3 実習時の試行回数の影響

それぞれの授業の中で、活動4で行ったゲームの試行回数と理解度との関係について、「天秤・グループ（授業B）」「天秤・個人（授業C, 授業D）」「デジタル・個人（授業E, 授業F）」ごとの授業形態に分けて考察する。3パターンの授業ごとの試行回数を表5に示し、図11で図に可視化した。図11より、天秤ではグループより個人が、さらにデジタル教材のほうが理解度が高い傾向にあることが分かる。これは、じっくり考えながらアルゴリズムを確認する体験が理解度に影響しているためではないかと予想した。

図11を見ると、いずれの場合も試行回数が増えるにつれて、正答率が同等または増加していることが分かる。実習によるアルゴリズムの確認作業を1回以下しか行わなかった生徒と2回以上行った生徒の正答率を比べると（表6, 図12）、全体の平均としてカイ二乗検定において $p < 0.01$ となり、1%水準で有意差が見られた。ソート法ごとに見ると、「挿入ソート」は有意差が見られたが、「選択ソート」

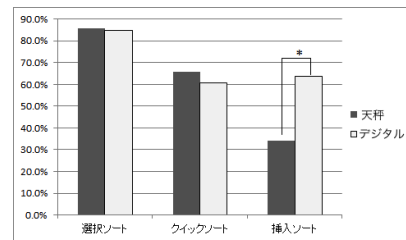


図10 実習時の教材（天秤・デジタル）の違いによる正答率比較 (* $p < 0.05$)

Fig. 10 Ratio of the correct answers (actual valance scale/virtual valance scale) at the time of exercise.

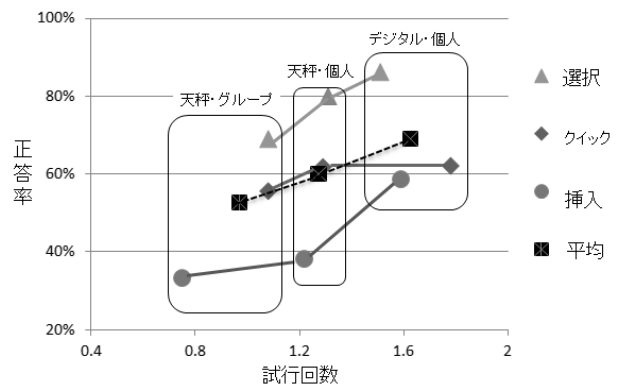


図11 授業活動ごとの平均試行回数と正答率
Fig. 11 Percentage of the correct answers and the average of each trial.

表5 授業活動ごとの平均試行回数と正答率

Table 5 Percentage of the correct answers and the average of each trial.

	選択ソート	クイックソート	挿入ソート	平均
天秤・グループ（授業B）	1.08回（63.9%）	1.08回（55.6%）	0.75回（33.3%）	0.97回（52.6%）
天秤・個人（授業C, 授業D）	1.31回（80.0%）	1.29回（61.8%）	1.22回（38.2%）	1.27回（60.0%）
デジタル・個人（授業E, 授業F）	1.51回（86.2%）	1.78回（62.1%）	1.59回（58.6%）	1.63回（69.0%）

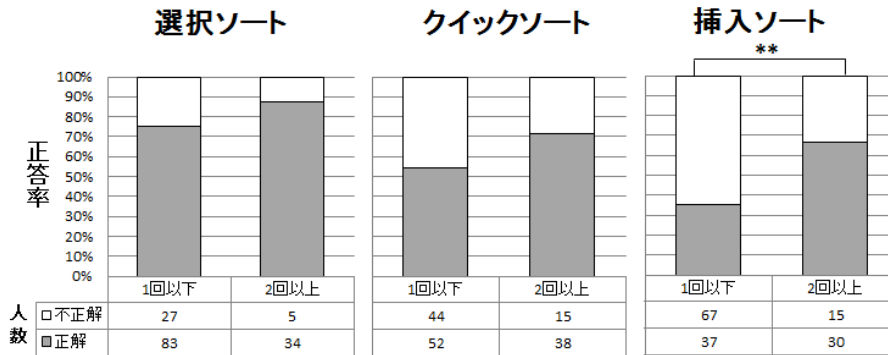


図 12 試行回数による正答率の違い (** p < 0.01)

Fig. 12 Percentage of the correct answers according to the number of trials.

表 6 ソート法の授業別正答率

Table 6 Percentage of the correct answers of the sorting algorithm in each lesson.

回数	選択ソート		クイックソート		挿入ソート	
	正解	不正解	正解	不正解	正解	不正解
0回	1	1	0	1	3	18
1回	82	26	52	43	34	49
2回	28	2	29	12	23	11
3回	4	2	9	3	5	4
4回	1	1	0	0	2	0
5回	1	0	0	0	0	0

試行回数と合計点の生徒数分布

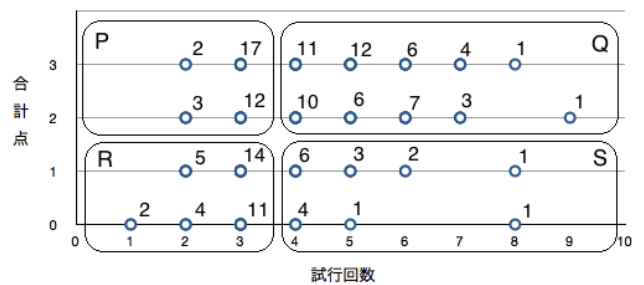


図 13 合計数と試行回数の関係

Fig. 13 The total score and the number of trials.

と「クイックソート」は傾向が見られる程度であった。この理由としては、「選択ソート」は最初の課題ということもあり、生徒ごとの回数の差が小さかったことが、「クイックソート」は生徒にとって理解しやすかったために正答率の差が大きくなかったことが考えられる。

表 5 を見ると、授業が「選択ソート」「クイックソート」「挿入ソート」と進むにつれて試行回数が減少する傾向が見られる。特に、最後の「挿入ソート」の試行回数を「選択ソート」「クイックソート」と比較すると、次のことが分かる。

- 「天秤・グループ」は 30%程度減少する。
- 「天秤・個人」は 7%程度減少する。
- 「デジタル・個人」はほとんど減少は見られない。

1 回の試行ごとの操作は、「選択ソート」で 28 回、「クイックソート」で 20 回前後、「挿入ソート」で 25 回前後が必要である。生徒にとって、アルゴリズムを確認する実習を繰り返し行うことはそれほど容易ではない。そのため、天秤ではおもりの操作などで疲れが生じやすく、授業が進むにつれて集中力が落ちる傾向が見られた。デジタルでは、おもりの操作が容易であり、授業が進んでも集中力が途切れることはなかった。

4.2.4 生徒ごとの理解

生徒ごとの理解状況を考察する。図 13 に生徒の試行回数とテストの正解数の散布図を示す。これらは 3 つのソート法の結果を合計したもので、横軸は試行回数の合計、縦

軸はテストの正解数 (3 点満点) である。グラフ内の数字はその点の人数を示している。

実習での試行回数を平均 1 回以下しか行わなかったグループとそれ以上に分け、さらにテストで 2 問以上正解したグループと 1 問以下のグループに分けることで、生徒を P, Q, R, S の 4 つのタイプに分類した。

- P (34 人) 少ない試行回数で理解できている。
- Q (61 人) 試行回数が多く理解できている。
- R (36 人) 試行回数が少ないうえに理解できていない。
- S (18 人) 試行回数は多いが繰り返しても理解できない。

この図から、個々の生徒についても、試行回数が増えれば合計点が高くなる傾向が見える。相関係数は 0.2963 程度だが、P, Q, R, S の 4 象限について t 検定を行ったところ、 $p < 0.01$ となり、1%水準で有意差が見られた。

それぞれのタイプの生徒について検討する。理解できている生徒については、P は試行を繰り返さなくても理解できた生徒であり、Q は試行を繰り返すことで理解につながった生徒であると考えられる。理解できていない生徒については、R は試行回数が少ないことが問題である。R の 36 人中 16 人 (44%) はグループ学習だけを行った授業 B の生徒であり、個人学習を併用していれば理解度を上げられた可能性がある。一方、S は試行回数の多さに反して理解度が低い。これは、正しく理解できないまま試行を繰り返

返した可能性が高い。

4.2.5 生徒の自由記述

授業の最後にアンケートを行い、「実習を通して分かったこと」という自由記述の内容について報告する。

アルゴリズムの難易度については、多い順に以下の回答があった。生徒は「クイックソート」を容易に理解する一方で、「選択ソート」と「挿入ソート」について難しく感じていたことが分かる。

- 「挿入ソート」の理解は難しい (22 人, 14.8%)。
- 「クイックソート」の理解は簡単 (15 人, 10.1%)。
- 「選択ソート」の理解は難しい (13 人, 8.7%)。
- 「挿入ソート」の理解は簡単 (13 人, 8.7%)。

アルゴリズムの速度については、多い順に以下の回答があった。

- 「選択ソート」は遅い (47 人, 31.5%)。
- 「クイックソート」は速い (44 人, 29.5%)。
- 「挿入ソート」は速い (26 人, 17.6%)。

アルゴリズムの特性については、多い順に以下の回答があった。これらはアルゴリズムの学習において重要な内容であり、複数回の試行により生徒が発見することが可能である。

- 「選択ソート」はデータの並び方にかかわらず比較回数が一定である (35 人, 23.5%)。
- 「クイックソート」はデータの並び方によって比較回数が変わる (19 人, 12.8%)。
- 「挿入ソート」はデータの並び方によって比較回数が変わる (10 人, 6.7%)。

5. 考察

CS アンプラグドの導入効果とアルゴリズムの理解度の違いを生んだ要因を分析結果から考察する。まず、6 パターンの授業の中で、座学の授業における理解度は CS アンプラグドの授業と比較して極端に低かった。座学の授業では、頭の中だけで手順を組み立てなければならず、多くの生徒にとって難しかったことがうかがえる。一方、CS アンプラグドを利用した授業では手を動かしながら考えることが生徒の思考を助け、理解を促したと考えられる。CS アンプラグドを授業で利用する効果は報告されていたが、ソートに関するアルゴリズムについても確認することができた。

実習の教具として天秤とデジタル教材を比較したところ、授業を行った教員の間からそれぞれの特徴が認められた。天秤は操作が具体的であり、複数人で議論しながら作業するグループ学習が容易に行えていた。天秤を個人で扱うときも、実物のおもりを手で持って動かすことで、具体的なデータの操作を確認しながら行える利点があった。その一方で、今回の学習では 1 回の並べ替え作業に 20 回から 30 回程度の比較が必要になるため、天秤は何度も作業を繰り返すには生徒にとって負担が大きかった。デジタル教材は

操作をマウスで行えるため生徒の負担が小さく短時間で行えることが特徴だが、画面での表示になるためグループ学習には適さなかった。前半の生徒がアルゴリズムを発見するための実習では天秤を利用したグループ学習は学習に対する意欲を高められるが、後半のアルゴリズムを深く理解するための実習では、天秤またはデジタル教材による個人の学習が適していることが分かった。

確認テストの分析結果からは、今回扱ったアルゴリズムの理解については、試行回数との関連が深いことが分かった。特に試行回数が 1 回なのか 2 回以上の複数回なのかの違いによって理解度に大きな差が生じることが分かった。このことから、限られた授業時間の中でバランス良く試行回数を確保するためには、実物の天秤より効率良く実習を行える模擬天秤のようなデジタル教材が有効であることを確認できた。

生徒ごとに分析した結果からは、試行回数が少なく理解度も低い R のタイプの生徒については、グループ学習のみを行った生徒に比率が高かった。これは、グループ学習では操作をせずに見ているだけの生徒が生じることが原因と考えられる。このことから、理解を深める授業の後半では、個人ごとに操作しながら理解する学習が望ましいことが分かる。試行回数が多いにもかかわらず理解度の低い S のタイプの生徒については、理解できないまま操作を繰り返している可能性がある。そこで、教材の中に理解が正しいかどうかをチェックする仕組みを設けたり、再度グループ学習に戻ってお互いの考え方が正しいかどうかを確かめ合ったりする機会を作るなどが有効と考えられる。

生徒の自由記述からは、「選択ソート」は比較回数がつねに一定であり、「クイックソート」と「挿入ソート」はデータの並びによって変化することに気づいた生徒が存在したことが分かる。これらは同じアルゴリズムを複数回試さないで発見することが困難なことから、それぞれのアルゴリズムについて生徒が複数回の試行を行いやすい授業環境を用意することの重要性を確認することができた。

6. まとめ

アルゴリズムの学習において体験的な学習法である CS アンプラグドの効果を検証し、教材 (天秤/デジタル教材) や活動形態 (グループ/個人) の違いがデータの並べ替えのアルゴリズムの理解度に与える影響を調査した。条件の違い 6 通りの授業で比較実験した結果、今まで十分な検証が行われていなかった CS アンプラグドのソートの章を授業で利用することの効果を確認するとともに、その効果はアルゴリズムの試行回数が最も影響を与えていることを明らかにした。

本研究の結果から、ソートのアルゴリズムの学習においては、CS アンプラグドの手を動かしながら理解するための実習は大きな効果があることを確認した。また、アルゴ

リズムを確認する実習は1回よりも複数回行うことの方が大きいことを確認した。

実習の教具として天秤とデジタル教材を比較したところ、天秤は具体物を操作することで、グループによる学習が可能であることが利点であり、デジタル教材は学習者の負担が小さく短い時間で実習を行えることが利点であることを確認できた。

学習の形態としては、グループ学習では必ずしも全員が操作を行うわけではないことから、理解度の低い生徒が生じることが確認できた。アルゴリズムの理解を実習で定着させる段階では個人ごとの学習が望ましいことを確認できた。

CS アンプラグドは優れた教材であり、特に「グループ学習で全員が天秤の操作をしたり、何度も操作を試したりする時間がある」場合には、オリジナルの学習法が適している。しかし、実際には時間的な制約から、この形態の学習を授業時間内に十分に行うことは容易ではない。そこで、グループ学習と個人学習を組み合わせることで全員が操作を行うことができ、模擬天びんを用いることで短時間で複数回の操作が可能になる授業を提案した。その結果、CS アンプラグドのエッセンスを残したまま授業時間内に効果をあげることが可能であることを確認できた。

今回扱ったソートの学習では、データの並びにより比較回数が変わるアルゴリズムとデータによらず一定のアルゴリズムが存在したが、その特性の違いを生徒が確認するためには複数回の試行が必要であり、短時間で生徒の負担が少ない教材の重要性を確認できた。

本研究ではデータの並べ替えを扱ったが、得られた知見は他のアルゴリズムの学習についても有効である可能性がある。今後もコンピュータ科学の理解を高める効果的な学習法の研究を進めていきたい。

謝辞 本研究は、科学研究費補助金(奨励研究) 23910018, (基盤研究(C)) 22500828 の補助を受けています。

参考文献

- [1] Bell, T., Witten, I.H. and Fellows, M.: *Computer Science Unplugged – An enrichment and extension programme for primary-aged children* (2005).
- [2] 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).
- [3] 井戸坂幸男, 久野 靖, 兼宗 進: コンピュータサイエンスアンプラグドに基づく授業方法改善の試みとその実践, 日本産業技術教育学会誌, Vol.53, No.2, pp.115-123 (2011).
- [4] Nishida, T., Kanemune, S., Idosaka, Y., Namiki, M., Bell, T. and Kuno, Y.: A CS Unplugged Design Pattern, *Proc. SIGCSE 2009*, pp.231-235 (2009).
- [5] 間辺広樹, 兼宗 進, 並木美太郎: アンプラグド学習法を取り入れた情報A「デジタル化」単元の実践報告, 日本情報科教育学会誌, Vol.3, No.1, pp.44-53 (2010).



間辺 広樹 (学生会員)

1986年東京理科大学理工学部数学科卒業。同年神奈川県立高校教諭。2008年秦野総合高等学校に勤務。2010年から社会人学生として大阪電気通信大学医療福祉工学研究科博士課程に在籍。情報科学教育とオンライン学習教材の研究に従事。2010年情報処理学会山下記念賞受賞。日本教育工学会会員。



兼宗 進 (正会員)

1987年千葉大学工学部電子工学科卒業。1989年筑波大学大学院理工学研究科修士課程修了。2004年筑波大学大学院ビジネス科学研究科博士課程修了。博士(システムズ・マネジメント)。企業勤務後、2004年から一橋大学総合情報処理センター准教授。2009年から大阪電気通信大学医療福祉工学部教授。プログラミング言語、情報科学教育に興味を持つ。ACM, IEEE Computer Society 各会員。



並木 美太郎 (正会員)

1984年東京農工大学工学部数理情報工学科卒業。1986年同大学大学院修士課程修了。同年4月(株)日立製作所基礎研究所入社。1988年東京農工大学工学部数理情報工学科助手。1993年11月電子情報工学科助教授。1998年4月情報コミュニケーション工学科助教授。現在、東京農工大学大学院工学研究院教授。博士(工学)。オペレーティングシステム、言語処理系等のシステムソフトウェア、並列処理、コンピュータネットワーク、計算機アーキテクチャ等の研究・開発、計算機科学の教育に従事。ACM, IEEE, 電子情報通信学会, ソフトウェア科学会各会員。