

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

間 辺 広 樹^{†1,†2} 兼 宗 進^{†2} 並 木 美 太 郎^{†3}

本研究では、アルゴリズムの学習において体験的な学習法であるコンピュータサイエンスアンプラグドの効果の検証と、教材（天秤 / デジタル教材）や活動形態（グループ / 個人）の違いがアルゴリズムの理解度に与える影響を調査した。高校で条件の違う6通りの授業で比較実験したところ、CS アンプラグド導入の効果が確認されたと共に、アルゴリズムを試行錯誤する回数が多いほど、その理解度が高くなることが示された。

Development and Effect of Digital Materials for CS Unplugged

HIROKI MANABE,^{†1,†2} SUSUMU KANEMUNE^{†2}
and MITAROU NAMIKI^{†3}

This report describes a teaching method to enable students to get higher understanding at the lectures based on Computer Science Unplugged. We developed a digital materials for them to learn sorting algorithms. We compared some types of lectures to understand these three sorting algorithms (selection sort, quick sort and insertion sort). As a result, it was confirmed that the students who studied with group learning and used the digital materials could understand a certain sorting algorithm better.

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

†1 秦野総合高校 Hadano Sogo High School

†2 大阪電気通信大学 Osaka Electro-Communication University

†3 東京農工大学 Tokyo University of Agriculture and Technology

上で重要であり、高校の「情報科」においても扱うべき一分野と言える。しかし、アルゴリズムの理解には論理的な思考力が必要で、多くの学習者にとって容易とは言えない。

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試行錯誤を通して、学習者自身で論理思考を深めていくことに期待が掛かる。ただし、そのような体験的な学習法には知識の獲得と授業の運営についての課題も存在する。我々はそれらの課題解決を目的としたデジタル教材を開発した。本研究では、開発したデジタル教材の活用方法も含め、アンプラグドのアルゴリズム学習法を、初学者が学ぶ高校情報科の授業にどのように導入すれば、アルゴリズムへの理解を深めていけるのかを検証する事とした。

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とその課題

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一つが『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合い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。学習者は教材を試行錯誤して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 アルゴリズム学習法の内容と課題

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出来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、重さのわからない複数個のおもりを2つずつ比較しながら、重さの順番に並び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一列に並べる。学習者は並び替えが出来たと思ったところで結果を見る。考え方が正しければ、きれいに並び替わった数列が現れる。しかし、考え方が間違っていれば並び替えは出来ていないので、その原因を探る必要がある。ここまですべてを「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。

表 1 CS アンプラグドの学習活動

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る	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

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。

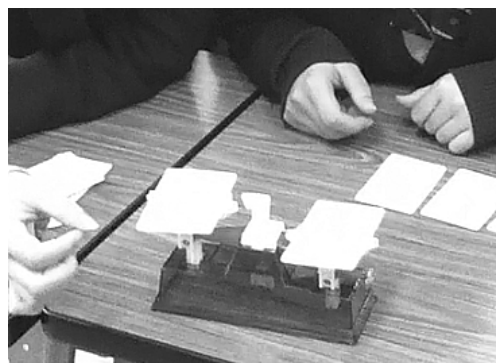


図 1 天秤を用いたアルゴリズム学習

しかし、このような体験的な学習法には課題もある。筆者らの過去の実践では、体験的な活動は活発だったけれども知識として身に付いていなかった課題が明らかになり、授業導入に際しての注意事項を指摘した⁵⁾。

アルゴリズム学習法に関しても 2 つの課題があると考えられる。その 1 つの課題は、グループ活動に関わる課題 (課題 1) である。グループ活動を活発に行う学習者がいる一方で、活動を人任せにしたり、他人の指示に従うだけで頭を働かせようとしないうという学習者もいる。あるいは、授業とは関係のないおしゃべりや教材そのもので遊んでしまうという態度を取る学習者もグループ活動には多い。

もう 1 つは、天秤を活用することの課題 (課題 2) である。天秤を使った活動では、見た目や持った感触では区別がつかないような工夫をおもりに施すため、天秤の精度によっては一回一回の比較に時間に掛かって十分な活動が出来ないということがある。逆に、重さの違いをはっきりさせると、持っただけでその違いがわかってしまうことから、本来行うべき比較を行わないことがある。あるいは、活動に熱中しておもりの比較回数を数え忘れてしまうことや 1 度のゲームで重さがわかってしまうとゲームを繰り返さずアルゴリズムの理解獲得に至らないということもある。

本論文では課題 1,2 により学習者によっては意識が散漫になり、本来学べるはずの内容を十分に学び取ることが出来ていないと考えた。また、教材を工夫することで、より深くアルゴリズムを理解できるようになるだろうと考えた。そこで、これらの課題解決に向けて検討した。

2.3 本研究の目標

本研究は、CS アンプラグドのアルゴリズム学習法をどのように導入すれば、理解度の高い授業法になるかを検討することである。課題 1 に対しては、グループ活動だけではなく個人で試行するための環境を与え、集中して理解を深める時間を作った方が良いのではないかと考えた。また、課題 2 に対しては、おもりの比較を確実かつ短時間に行うために、本物の天秤だけではなく、コンピュータによる仮想天秤 (以後、デジタル教材と記す) を併用した方が良いのではないかと考えた。そこで、個人でアルゴリズムの理解に集中し、おもりの比較を確実におこなうためのデジタル教材を開発することとした。

そこで、まずはグループか個人かという活動形態の違いによるアルゴリズムの理解度の違いを明らかにする。また、天秤かデジタル教材かという教材の違いによるアルゴリズムの理解度の違いを明らかにする。これらの理解度の違いを分析して、望ましい授業法について検討する。

実験は、多くの初学者が学ぶ高校の必修科目「情報 A」で計画した。「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通りにしか動かない」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処理効率に差が出ることを気付かせること」とした。我々は、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。そして、学習法の違いがどのようにアルゴリズムの理解度に影響を与えるかを検証することとした。

3. 開発したデジタル教材

学習者が各個人でソーティングアルゴリズムを考えることと、早く確実なおもりの比較によって学習者をアルゴリズム思考に集中させることを目的に、デジタル教材を開発した。デジタル教材は、実際に机の上で本物の天秤を使って行う動きの再現を目指した。ただし、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に「デジタル教材だからできる機能」を実装した。

デジタル教材の詳細を示す。起動後の初期状態は、画面中央部に上皿天秤があり、画面下部に分銅の形をした 8 つのおもりがある。これらのおもりはすべてアルファベットと色が付けられている。またおもりに仮想的な重さが設定されているが、初期状態は非表示にしてある。おもりはマウスのドラッグで移動させることが可能である。おもりを右または左の上皿に近づけてドロップすると、上皿に吸着して「載せた」ことが完了となる。左右の上皿におもりを載せると、天秤下部のボタンが「計測可能」と表示されるので、そのボタンを押す。その結果、仮想的な重さの重い方に天秤が傾く。計測を終えたおもりは、天秤の枠の外に自由に置くことが可能である。このように、おもりの計測が瞬時に正しく行える環境を作った。また、実際の実習では学習者は机の上を自由に置いて測ったりを繰り返す。デジタル教材でも同じような状況下で思考に集中できる環境を作った。

計測可能ボタンを押すと、その比較回数が中央に表示される。これによって、比較回数のおぼろげさを防止する。学習者は、すべてのおもりの重さの順序がわかったと判断できるところで、画面左部の「表示 / 非表示」ボタンを押す。すると、仮想的な重さが表示されることから、学習者は自分の考え方の正しかったのかどうかを確認できる。この操作にはクイズ的な謎解きの楽しさや緊張感を伴うことから、学習者が試行を繰り返す効果を期待した。

ゲームに関するボタンは画面右部に配置した。ゲームを繰り返すには画面右部の「新ゲーム」または「再ゲーム」のボタンを押す。「新ゲーム」では、おもりの組合せがシャッフルされた新しいゲームができる。「再ゲーム」では、前回と同じ重さの組合せでもう一度ゲームができる。これによって、記憶に惑わされない新しいゲームを試行することや、同じおもりの組み合わせでアルゴリズムによる違いを比べたゲームを試行することが可能になる。

以上のように、学習者が行えることは手作業と同じであるが、学習者の意識をアルゴリズム思考に集中させるための機能を備えた。

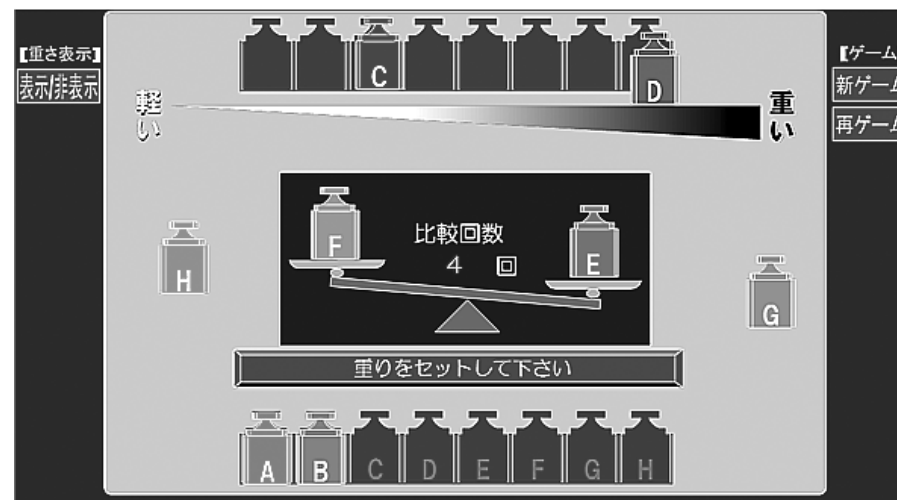


図 2 開発した天秤のデジタル教材

4. 評価実験

4.1 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るため、生徒毎に科目選択を行う。情報 A は 1 年生と 2 年生が受講していた。生徒は情報 A を受講するまで情報やコンピュータ科学を学んだことはなく、「アルゴリズム」や「ソート」という言葉の意味を言える生徒はいなかった。学期毎に実施されている定期テ

表 2 実験授業の流れ

	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

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

ストの結果では、6 クラスに有意な差は認められていなかった。

授業の 1 コマは 90 分であったが、本実験に使える時間は 60 分であった。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 で授業毎に異なる条件設定をすることとした。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。更に、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することとした (表 2, 表 3)。

4.2 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。

4.2.1 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毎に使う教材の使い方等を説明した。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通りにしか動かないことを説明した。

4.2.2 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。

4.2.3 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。説明は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。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言われるアルゴリズムである。教科書 7 種の中でも 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 $n(n-1)$ 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、その名の通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共に、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の理解とを結びつけながら理解することを

期待した。

4.2.4 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、活動毎に決められた教材を使ってゲームの試行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」をゲームの試行毎に記録させた。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。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「自分でわかったこと」を箇条書きさせた。

4.2.5 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3）のようにおもりの重さとアルファベットがわ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4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良いので、別の記述も正答となり得る。従って、生徒の解答は一つ一つ丁寧にトレースすると共に、下記に示すソート法毎の「ポイント」をクリア出来ているかどうかを調べた。

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4）。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、もう一度最初に戻って、「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も理解のポイントである。更に、一度順位（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Cが小さいグループ、CとDとE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のポイントである。更にこの段階で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Eというグループの中だけで行っているかどうかのポイントとなる。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を理解の重要ポイントである。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ない答えを正解とした。

採点は基本的に出来たか出来なかったかで×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。

【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3 確認テスト

5. 結果と考察

5.1 確認テストの結果

確認テストについて採点及び集計をした。採点については、ソート法毎に理解できていると判断できるものを1点、理解できていないと判断できるものを0点とした。正答及び誤答の数と割合について集計した結果を表4と図5に記す。

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 4 確認テストの解答例

表 4 ソート法の授業別正答率

授業	選択	クイック	挿入
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 %)

集計結果を見てまずわかることは、座学の授業 A は全体的に理解度が低いことである。この結果は、座学でアルゴリズムを教えることの難しさを物語っている。しかし、授業 B の理解度も他の授業に比べて低い。授業 B では、生徒の活動状況は極めて活発で良好かに見えた。このことは、「活動は盛んでも知識として身に付くとは限らない」という体験的な学習法の課題がその言葉通りに表出したと言える。

更に、集計結果を授業毎・ソート法毎に見ると以下の傾向を読み取ることが出来る。

- (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 5)。

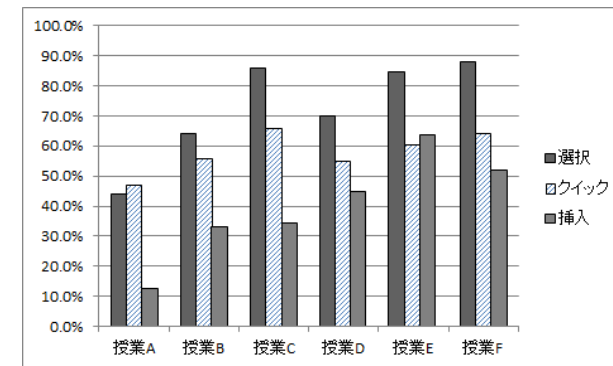


図 5 ソート法の授業別正答率比較

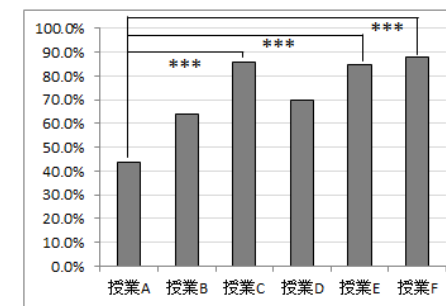


図 6 選択ソートの授業別正答率比較

- (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が、3 ソートの理解度の差が小さい(図 5)。
- (3) 授業 E は 3 ソート法とも理解度が高い(図 5)。
- (4) 授業 F は 3 ソート法とも理解度が高く、中でも選択ソートの理解度が高い(図 5)。
- (5) 選択ソートはどの授業でも理解度が高い(図 6)。
- (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)。
- (7) 挿入ソートは全体的に理解度が低いが、授業 E における理解度が極めて高い(図 8)。一般に選択ソートはわかりやすいと言われる通り、どの授業においても高い理解度を示し

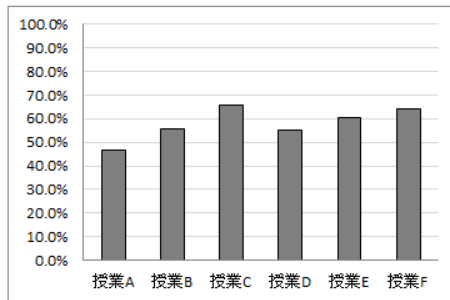


図7 クイックソートの授業別正答率比較

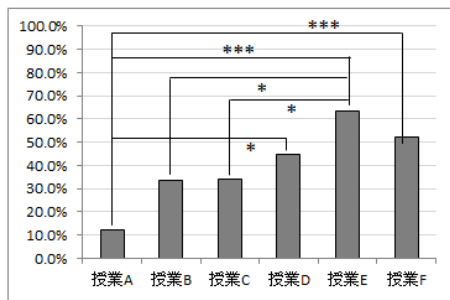


図8 挿入ソートの授業別正答率比較

た。また、一般には難しいと言われるクイックソートは選択ソートの次に理解度が高く、良くできた授業と出来の良くなかった授業との差が小さいという意外な結果を示した。誰しもがトランプで行っているであろう挿入ソートについては最も理解度が低く、良くできた授業とできなかった授業との差が3種類のソート法の中で最も大きくなった。

統計的有意差を測るために授業毎・ソート法毎にカイ二乗検定を行い、結果を図6、図7、図8に示した (** $p=0.0001$, ** $p<0.01$, * $p<0.05$)。選択ソート(図6)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)では授業間での有意差は見られなかった。挿入ソート(図8)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。

従って、6パターンの授業を比較して、座学よりもグループ活動、更にグループ活動に個

人活動を併用するといった授業Eのパターンが最も高い効果を得られたと考えられる。

5.2 分析

授業毎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。

5.2.1 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9)、どのソート法についても授業毎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10)、こちらの組合せについても授業毎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。

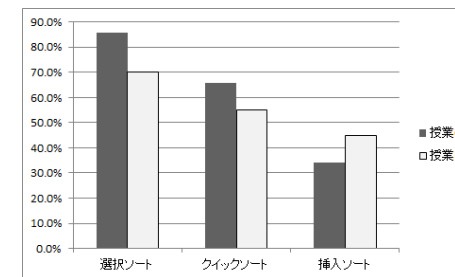


図9 検討時の学習活動(グループ・個人)の違いによる正答率比較

5.2.2 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11)、挿入ソートにおいて0.05%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言える。

5.2.3 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

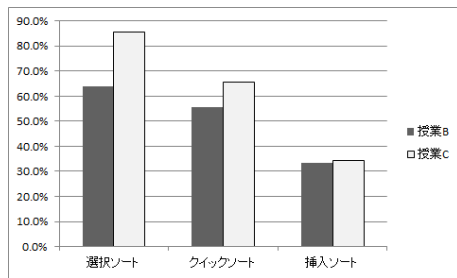


図 10 実習時の学習活動（グループ・個人）の違いによる正答率比較

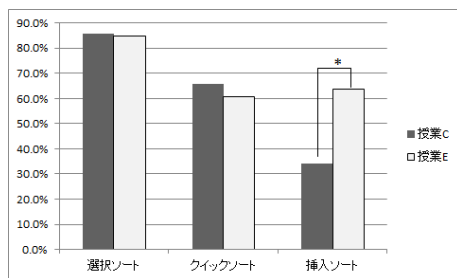


図 11 実習時の教材（天秤・デジタル）の違いによる正答率比較

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）」毎の授業形態に分けて考察する。3 パターンの授業毎の試行回数は表 5 及びその表を可視化した図 12 の通りである。図 12 よりデジタル教材を使った授業は試行回数と正答率が高い傾向にあることを読み取ることができる。

このことから、試行回数が多いほど理解度は増す傾向にあると言える。天秤では「一回の試行に時間がかかる」等試行回数を増やせない背景がある。しかし、デジタル教材では「一回の試行に時間が掛からない」等のデジタル教材としての特性が理解の獲得に有利に働いたと考えられる。従って、本物の天秤よりも、デジタル教材を使った方が学習効果に繋がる試行回数への影響が大きいことがわかった。

6. 考 察

CS アンブ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 アンブラグド

	選択	クイック	挿入
天秤・グループ（授業 B 36 名）	1.08 回 (69 %)	1.08 回 (55 %)	0.75 回 (33 %)
天秤・個人（授業 C，授業 D 55 名）	1.31 回 (80 %)	1.29 回 (62 %)	1.22 回 (38 %)
デジタル・個人（授業 E，授業 F 58 名）	1.51 回 (86 %)	1.78 回 (62 %)	1.59 回 (59 %)

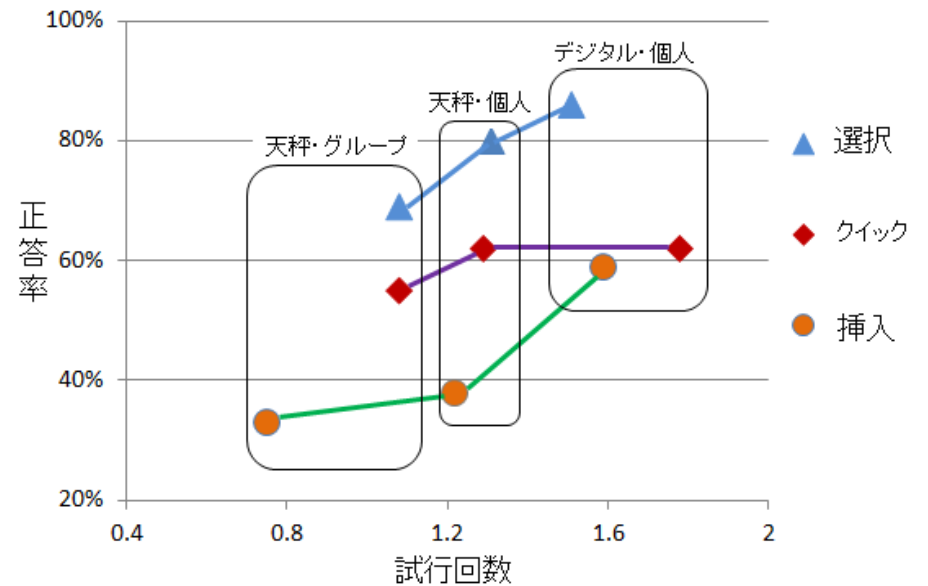


図 12 授業活動（天秤・グループ、天秤・個人、デジタル・個人）毎の平均試行回数と正答率

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伺える。一方、CS アンブ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。

また、分析の結果、CS アンブラグドの効果を調べる比較実験の結果、「学習がグループで行われるか個人で行われるか」ということよりも、試行回数が多いほど理解度が高めることがわかった。このことから、限られた授業時間の中でいかに試行回数を増やすかが理解度を高めるかに繋がる。そこで、グループ活動よりも個人活動、個人活動の中でも天秤よりデジタル教材の方が、効果の高い授業になると考えられる。

7. 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び替えのアルゴリズムの理解度に与える影響を調査した。条件の違う 6 通りの授業で比較実験した結果、CS アンプラグド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を試行錯誤する回数をもっと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、アルゴリズムの学習においては、授業時間内に試行錯誤できる回数を増やすことが効果的であることがわかった。授業においては、説明段階のグループ学習を除いては、個人的な実習を行ったり、画面内で適切な実験を行えるデジタル教材を用いることで効果的な学習を行うことができると考えられる。

本研究ではデータの並び替えを扱った。他のアルゴリズムの学習についても応用が可能と考えられる。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) Tim Bell, Ian H. Witten, Mike Fellows: 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, 第 53 巻第 2 号, pp.115-123, 2011.
- 4) Tomohiro Nishida, Susumu Kanemune, Yukio Idosaka, Mitaro Namiki, Tim Bell, Yasushi Kuno: A CS unplugged design pattern ISSEP 2008 Proceedings, LNCS 5090, Springer, pp.241-252, 2008.
- 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.