

体験的な学習を取り入れた情報科学教育手法の研究

間辺 広樹

(大阪電気通信大学大学院 医療福祉工学研究科 DL10A604)

2013 年 3 月 13 日

目次

第 1 章	序論	5
1.1	研究の目的と概要	5
1.2	高等学校における情報教育	6
1.3	情報科学教育の目標	9
1.4	コンピュータサイエンスアンプラグド	9
1.5	本論文の構成	13
第 2 章	情報科学教育の発展	15
2.1	情報科学教育の先行研究	15
2.2	CS アンプラグドの先行研究	18
2.3	本論文の位置付け	20
第 3 章	デジタル化単位における CS アンプラグドの実践と教具の工夫	23
3.1	はじめに	23
3.2	情報 A で実施した「デジタル化」の授業	24
3.3	実験授業の実施結果	32
3.4	考察	38
3.5	まとめ	40
第 4 章	アルゴリズム単位における CS アンプラグドの教授法の検討	41
4.1	はじめに	41
4.2	アルゴリズム学習についての議論	42
4.3	研究の仮説	44
4.4	情報 A で実施した「アルゴリズム」の評価実験	45
4.5	実験結果	50
4.6	考察	58
4.7	まとめ	60

第 5 章	身体障害者の CS アンプラグドの活動支援	61
5.1	はじめに	61
5.2	障害者職業能力開発校で実施した CS アンプラグドの効果	62
5.3	身体性の問題と支援の考え方	62
5.4	CS アンプラグドの身体性とソフトウェア教具による支援の可能性	64
5.5	上肢障害者の CS アンプラグド活動支援	65
5.6	聴覚障害者の CS アンプラグド活動支援	70
5.7	考察	71
5.8	まとめ	72
第 6 章	結論	75
	謝辞	77
	参考文献	79

第 1 章

序論

1.1 研究の目的と概要

情報技術の進歩は目覚ましい。日々新たなデバイスやネットワークサービスが生まれ、社会の仕組みや人々の生活に変化を与えている。

文部科学省の子どもの携帯電話等の利用に関する調査 [1] によれば、子どもの携帯電話の所有率は、小学 6 年生で 24.7 %、中学 2 年生で 45.9 % と年齢とともに増加し、高校 2 年生では 95.9 % とほぼすべての高校生が携帯電話を所有している状況にある。インターネットの利用については、1 日 1 時間以上利用している高校生は携帯電話による利用が 58.7 %、パソコンによる利用が 27.3 % と長時間化の傾向にあると報告されており、情報機器の活用が子どもの社会生活に不可欠な基盤となっている。

しかし、子どもを含むユーザーの多くは、これらの情報機器の操作はできても、どのような仕組みで動いているかの知識を持たない。車の免許を取得する際には、車の仕組みを学ぶことで、安全な乗り方やトラブル時の対応力を高められる。情報機器を安全に活用するためにも、コンピュータやネットワークの仕組みを学ぶ必要がある。寛ら [2] は、「情報技術の原理や仕組みを一定水準まで学んでおくことで、これらに何が可能で何が可能でないかを正しく判断できるようになり、正しく向き合えるようになる」ことを指摘している。雨宮 [3] も、「情報倫理をしっかりと身につける上でも情報の特質を科学的視点で理解することが重要である」として、情報科学教育の重要性を述べている。

コンピュータなどの情報機器が動く仕組みの科学を「情報科学」や「コンピュータサイエンス」と言う。それらを教えるのが、情報科学教育である。アメリカでは、ACM (Association for Computing Machinery) から 2003 年に小学校から高等学校までの情報科学教育のためのカリキュラムモデル [4] が提案され、コンピュータとアルゴリズムの原理など情報科学の基本的な理解は、高等学校の卒業生が 21 世紀の生活のために必要であることが示された。李 [5] によれば、イギリス、イスラエル、韓国、中国など世界

の各国で、情報教育カリキュラムが情報科学を基礎とした形に再編され、教育の中で重視する形で進められている。

日本では、平成15年に高等学校で普通教科「情報」が必修科目となった。「情報科学」は教科「情報」の中でも主要な学習内容である。すべての高校生にわかりやすくコンピュータの仕組みを理解させる学習法が求められている。しかし、複雑なコンピュータは「ブラックボックス」であり、中を見てもどのようにデータが表現され、どのように処理されているか、という仕組みを理解することは簡単ではない。

本論文では、コンピュータサイエンスアンプラグド（以下、CS アンプラグドと記す）に着目した。CS アンプラグドは、カードなどの具体物である教具を使ったり、グループ活動を通して情報科学の概念を学ぶ体験的な学習である。扱っている概念は、大学などで学ぶ複雑なものも含まれているが、本質的な考え方だけを残して、子どもでも学べるように作られている。ただし、CS アンプラグドは高等学校の授業用に作られたものではないため、高等学校で使うためには、「CS アンプラグドで学べること」と「高等学校の情報科学教育の目標」との間にある隔たりを埋める必要がある。本論文ではその点に着目し、どのようにすればCS アンプラグドが高等学校以上で使える学習法となるか、を検討するものである。

1.2 高等学校における情報教育

日本の情報教育は、文部科学省の作成する学習指導要領 [6] や教育の情報化に関する手引 [7] がその指針となってきた。情報教育については「情報活用の実践力」「情報の科学的理解」「情報社会に参画する態度」の3観点を柱として、バランスよく教育することが大切とされている。それぞれの観点を学習指導要領から要約すると次のような内容になる。

- 情報活用の実践力
 - － 課題や目的に応じた情報手段の適切な活用
 - － 必要な情報の主体的な収集・判断・処理・創造
 - － 受け手の状況などを踏まえた発信・伝達能力
- 情報の科学的な理解
 - － 情報活用の基礎となる情報手段の特性の理解
 - － 情報を適切に扱ったり、自らの情報活用を評価・改善するための基礎的な理論や方法の理解
- 情報社会に参画する態度
 - － 社会生活の中で情報や情報技術が果たしている役割や及ぼしている影響の理解
 - － 情報モラルの必要性や情報に対する責任

－ 望ましい情報社会の創造に参画しようとする態度

これらを発達段階に応じた内容で学習させる。小学校 [8] では、情報に関する教科はないが、総合的な学習の時間に情報に関わる学習活動を行うことが基準として示されている。中学校 [9] では、技術・家庭科の技術分野で「情報とコンピュータ」を扱うことになった。

高等学校では、「情報」に関連する科目は従来の教育課程では一部の学校だけで実施されていたが、平成 11 年の学習指導要領の改訂 [10] に伴って、すべての学校で必修科目として扱われることが示され、平成 15 年より普通教科「情報」（以下、情報科と記す）として新設された。科目は「情報活用の実践力」に重きを置く「情報 A」、「情報の科学的な理解」に重きを置く「情報 B」、「情報社会に参画する態度」に重きを置く「情報 C」から構成された。情報科の教科目標を以下に記す。

情報及び情報技術を活用するための知識と技能の習得を通して、情報に関する科学的な見方や考え方を養うとともに、社会の中で情報及び情報技術が果たしている役割や影響を理解させ、情報化の進展に主体的に対応できる能力と態度を育てる。

コンピュータ教育推進センターの情報教育の実態に関する調査研究 [11] によれば、「普通科・総合学科」では 80 % 以上の学校が情報科を 1 年次に開講しており、その中の 75.1 % が「情報 A」を開講していると報告している。6.5 % の「情報 B」、9.4 % の「情報 C」に比べると「情報 A」の割合は高い。また、同調査では、情報科では教える内容が「特定のアプリケーションソフトウェアの操作法などの指導に偏っている」という課題と「情報の科学的な理解の内容がきちんと教えられていない」という課題があり、その原因として、科学的な理解の実習の難しさを指摘している。筧 [2] は「15 日の特別講習を受けた現職の教師に教員免許が与えられ、十分な専門知識を持たないまま授業をせざるを得なかったという事情も背景にある」と指摘している。

平成 25 年の学習指導要領改訂では、以下のように科目構成と学習内容が見直された。

義務教育段階において情報手段の活用経験が浅い生徒の履修を想定して設置した「情報 A」については発展的に解消し、「情報の科学的な理解」及び「情報社会に参画する態度」に関する内容を重視した基礎的な科目として「情報の科学」と「社会と情報」を新設する。

学習指導要領 [10] に記されたそれぞれの科目の学習目標と学習内容、学習の単元名を表 1.1 に示す。

高等学校では、開講科目と学習内容の見直しが必要となった。「情報の科学」はもちろん、「情報と社会」でもデジタル化やネットワークの仕組みなど、情報科学を扱った題

表 1.1 「社会と情報」「情報の科学」の学習目標と学習内容

科目	社会と情報	情報の科学
目標	情報の特徴と情報化が社会に及ぼす影響を理解させ、情報機器や情報通信ネットワークなどを適切に活用して情報を収集、処理、表現するとともに効果的にコミュニケーションを行う能力を養い、情報社会に積極的に参画する態度を育てる。	情報社会を支える情報技術の役割や影響を理解させるとともに、情報と情報技術を問題の発見と解決に効果的に活用するための科学的な考え方を習得させ、情報社会の発展に主体的に寄与する能力と態度を育てる。
内容	- 情報の活用と表現 - 情報とメディアの特徴 - 情報のデジタル化 - 情報の表現と伝達 - 情報通信ネットワークとコミュニケーション - コミュニケーション手段の発達 - 情報通信ネットワークの仕組み - 情報通信ネットワークの活用とコミュニケーション - 情報社会の課題と情報モラル - 情報化が社会に及ぼす影響と課題 - 情報セキュリティの確保 - 情報社会における法と個人の責任 - 望ましい情報社会の構築 - 社会における情報システム - 情報システムと人間 - 情報社会における問題の解決	- コンピュータと情報通信ネットワーク - コンピュータと情報の処理 - 情報通信ネットワークの仕組み - 情報システムの働きと提供するサービス - 問題解決とコンピュータの活用 - 問題解決の基本的な考え方 - 問題の解決と処理手順の自動化 - モデル化とシミュレーション - 情報の管理と問題解決 - 情報通信ネットワークと問題解決 - 情報の蓄積・管理とデータベース - 問題解決の評価と改善 - 情報技術の進展と情報モラル - 社会の情報化と人間 - 情報社会の安全と情報技術 - 情報社会の発展と情報技術

材が多く含まれている。今までアプリケーションソフトウェアの操作法を中心に教えていた学校でも、情報科学を扱う必要がある。学習指導要領の改訂の基本方針[10]には、「情報に関する科学的な見方・考え方を確実に定着させる指導を重視し、科目やその目標・内容の見直しを図る」と記されている。以上より、情報科学をわかりやすく教える指導法の必要性は今まで以上に高まっている。

表 1.2 情報教育の手引きで求められている情報の科学的理解

	情報の科学的理解
小学校	・ コンピュータなどの各部の名称や基本的な役割, インターネットの基本的な特性を理解 ・ 情報手段を活用した学習活動の過程や成果を振り返ることを通して, 自らの情報活用を評価・改善するための方法などを理解
中学校	・ コンピュータの構成と基本的な情報処理の仕組み, 情報通信ネットワークの構成, メディアの特徴と利用方法など, コンピュータを利用した計測・制御の基本的な仕組みを理解 ・ 情報手段を活用した学習活動の過程や成果を振り返ることを通して, 自らの情報活用を評価・改善するための方法などを理解
高等学校	・ 情報や情報手段の特性や役割の理解 ・ 問題解決において情報や情報手段を実践的に活用するための科学的な見方や考え方として, 手順や方法, 結果の評価などに関する基本的な理論の理解

1.3 情報科学教育の目標

本節では, 新たに設置された高等学校の情報科科目「社会と情報」「情報の科学」の中で目標とされる情報科学の内容を説明する. 文部科学省の情報教育の手引き [7] は, 小学校から高等学校までの発達段階に応じて身に付けさせたい「情報の科学的理解」を, 表 1.2 のように示している. 高等学校では, 小学校と中学校の学習を踏まえて内容を検討する必要がある. したがって, 情報技術の活用の仕方を常に関連付けながら学習させることが求められている.

情報科学に関する具体的な単元は「情報のデジタル化」「情報通信ネットワークの仕組み」「情報セキュリティの確保」(以上, 「社会と情報」)「コンピュータと情報の処理」「情報通信ネットワークの仕組み」「問題解決と処理手順の自動化」「モデル化とシミュレーション」(以上, 「情報の科学」)がある. これらの基本的な仕組みや考え方を理解させることが目標となる.

1.4 コンピュータサイエンスアンプラグド

CS アンプラグド [12] とは, 情報科学の体験的な学習法である. ニュージーランドで開発され, 世界各国の言語に翻訳されている. 日本語には兼宗ら [13] によって「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」という名で翻訳され, 12 の学習活動が紹介された (表 1.3).

表 1.3 CS アンブラグドの学習活動

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

CS アンブラグドは、コンピュータを使わず、カードなどの教具を用いる。コンピュータの内部で行われている手続き的な処理などの基礎的な概念を、それらの教具を使って手作業で確認させながら理解させる指導法である。この方法によって、情報がどのように表現され、どのように処理されているかというコンピュータの仕組みを理解できるようになる。

また、学習の中にゲームや手品などの生徒の関心を引く活動や、生徒自身で概念を発見する活動などがあることから、教師が一方的に知識を伝える講義型の授業では難しい、情報科学への興味関心の向上や理解の定着などのさまざまな学習効果も期待できる。

1.4.1 CS アンブラグドの学習内容

CS アンブラグド全 12 章の学習内容と活動の概略を示す。

1 章・2 進数（点を数える）

コンピュータの中ではデータが 0 と 1 の形で扱われることを学ぶ。CS アンブラグドでは、5 枚のカードを用いた活動を通して、2 進数を学ぶことができる。

2 章・画像表現（色を数で表す）

コンピュータは、絵や写真などをすべて数字として記録する。CS アンブラグドでは、このような「情報のデジタル化」の概念を、絵を数値化したり、数値を画像にするゲームを通して学ぶことができる。活動にはランレングス符号化という FAX（ファクシミリ）で使われている方法が使われている。

3 章・テキスト圧縮（それ、さっきも言った！）

大量のデータを記憶したり，保存するための技術として圧縮技術がある．CS アンプラグドでは，歌詞に出てくる文字列の繰り返しパターンをポインタ（矢印）に置き換える活動を通して学ぶことができる．活動には，LZ 符号化という圧縮技法が使われている．

4 章・エラー検出とエラー訂正（カード交換の手品）

コンピュータは，データを保存したり転送するときにエラーが生じることがあるため，それを検出したり，訂正する技術がある．CS アンプラグドでは反転したビットを発見し，修正するという手品を通して学ぶことができる．手品の種にはパリティ符号という方法が使われている．

5 章・情報理論（20 の扉）

メッセージの情報量は，知っていることが何かによって異なる．CS アンプラグドでは，その概念を「はい」か「いいえ」しか答えられない 20 の扉というゲームを通して学ぶことができる．

6 章・探索アルゴリズム（戦艦）

コンピュータは大量のデータから情報を探すことが多く求められる．効率よく探すためには，データを整理しておく和良好的．CS アンプラグドでは，線形探索，二分探索，ハッシュ法という方法で探索のアルゴリズムを学ぶ．

7 章・整列アルゴリズム（いちばん軽いといちばん重い）

コンピュータはデータを並べ替えることが多く求められる．データの数が多いとコンピュータでも時間が掛かってしまうため，効率の良い方法が必要である．CS アンプラグドでは，教具として天秤ばかりとおもりを用いた活動を通して，並べ替えのアルゴリズムを学ぶことができる．

8 章・並び替えネットワーク（時間内に仕事を終える）

処理の効率を上げるために，複数のコンピュータを用いた分散処理という方法がある．CS アンプラグドでは，床に描いたネットワーク状の線の上を歩く活動によるデータの並び替え処理を通して，分散処理の概念を学ぶことができる．

9 章・最小全域木（マッディー市プロジェクト）

コンピュータネットワークを作るためには，データの中継点やケーブル，無線などをどのように配置すればよいか，という問題がある．CS アンプラグドでは，泥だらけの町に道をつくるという活動を通して，その概念や具体的な道作りの方法を学ぶことができる．

10 章・ルーティングとデッドロック（みかんゲーム）

コンピュータネットワークは複数のコンピュータやルータがデータをやりとりして通信を実現するが，うまく行わないとデッドロックという手詰まり状態になる．CS アンプラグドは，データに見立てたみかんをグループで受け渡すゲームを通して，協調的に処理を進めることの必要性を学ぶことができる．

11 章・有限状態オートマトン（宝探し）

コンピュータ内で状態を表現する際に，有限状態オートマトンという考え方が使われる．CS アンプラグドは，地図の中に道を記入しながら宝島に向かうという活動を通して，有限状態オートマトンの概念を学ぶことができる．

12 章・プログラミング言語（出発進行）

コンピュータは「言葉」でプログラムされ，動いている．コンピュータが理解できる言葉をつかわないとうまく動かすことができない．CS アンプラグドは，言葉による指示で絵を描くという活動を通して，コンピュータの動作原理を学ぶことができる．

1.4.2 CS アンプラグドの学習と高等学校情報科との関連

CS アンプラグドの学習内容と高等学校情報科「社会と情報」「情報の科学」の授業内容との関連について検討する．

CS アンプラグドの1章～5章は，コンピュータの中で情報がどのように表現されているかを扱っている．これらの内容は，「情報と社会」の「情報のデジタル化」単元と「情報の科学」の「コンピュータと情報の処理」単元に関係する．6章，7章，12章はコンピュータを動かすアルゴリズムやプログラミング言語を扱っている．これらの内容は，「情報の科学」の「問題の解決と処理手順の自動化」単元に関係する．9章と10章はコンピュータネットワークの仕組みの理解に繋がる概念を扱っている．これらの内容は，「情報と社会」の「情報通信ネットワークの仕組み」単元や「情報の科学」の「情報通信ネットワークの問題解決」単元に関係する．8章は分散処理による問題解決を扱っている．これらの内容は，「情報と社会」の「社会における情報システム」単元や「情報の科学」の

「情報システムの働きと提供するサービス」単元あるいは、「情報の科学」の「問題の解決と処理手順の自動化」単元に関係する。11章は有限状態オートマトンを扱っている。コンピュータ内部のデータ表現と考えれば、「情報と社会」の「情報のデジタル化」単元と「情報の科学」の「コンピュータと情報の処理」単元に関係する。

1.5 本論文の構成

本論文の目的は、CS アンプラグドを高等学校以上の情報科学教育で使うために必要な工夫や改善点を明らかにすることである。CS アンプラグドはもともと子ども向けに開発された手法であり、高等学校以上の授業を想定して作られたものではない。したがって、CS アンプラグドを高等学校以上の授業で使う場合には、オリジナルとは異なる学習内容や学習環境、学習する対象者の違いを意識する必要がある。以下に、本論文の構成を示す。

第2章では、情報科学教育の先行研究、体験的な学習の効果、CS アンプラグドの内容、CS アンプラグドの分析や実践例を説明した上で、本論文の位置付けを示す。

第3章では、今まで実践がほとんど報告がなされていない高等学校での CS アンプラグドを使った授業について報告する。従来は教えることが難しかった「情報のデジタル化」について、CS アンプラグドを使うことで、教えられるようになるかどうかを検証する。また、実験を通して高等学校で CS アンプラグドを使うときに課題となる点を示し、その解決策を考察する。その上で、高等学校で本来目指す学習目標を達成するためには、どのような工夫をすればよいかを検討する。

第4章では、「アルゴリズムの学習」を扱う。情報科学の中でも重要でありながら、オリジナルの CS アンプラグドでは十分な理解が得にくいソートの学習について、活動の形態や教具を変えた複数の授業による比較実験から理解度の違いを調査する。実験結果から、違いを生んだ要因を考察し、学習目標の達成に向けた教授法を考察する。

第5章の前半では、障害者職業能力開発校の学習カリキュラムを導入し、CS アンプラグドが成人向けの職業訓練にも適することを示す。後半では、身体を動かす CS アンプラグドの学習活動が、十分にできない身体障害者のために、教具を工夫して、実践できることの可能性を示す。この研究は、現在途上ではあるが、第3章と第4章の成果が、一部の身体障害者に適した支援となったことと、今後の教育の機会均等に根ざした学習支援の意義の大きさから、参考として本論文に掲載する。

第6章では、全体を総括し、結論を記す。

第 2 章

情報科学教育の発展

2.1 情報科学教育の先行研究

情報の科学的な理解の指導法に関しては、情報科教育法の教科書 [14] にその指針が示されている。「情報科学とは、コンピュータが動く原理についての科学であり、コンピュータの内部の動作は表に見える操作とは違うところが多いため、生徒にとって身近ではなく、興味を持ったりその動きを想像することが難しい面がある。そこで、生徒にイメージを持たせて距離を縮めるための工夫が必要」であり、「コンピュータに直接計算を行わせていくものから、手作業でゆっくり進めることで原理について納得させるものまでのバリエーションがある」としてその双方をうまく取り入れる方法が勧められている。そこで、「コンピュータによる実習」と「手作業による実習」について、先行研究を概観する。

コンピュータを使う実践

コンピュータを使って学ぶ方法の代表は、プログラミング言語の利用である。コンピュータは、すべてソフトウェアで動作している。ソフトウェアは人間が作ったプログラムであり、どのようにプログラムは作られるか、どのようなアルゴリズムを考えればよいかなど、プログラムを作ることで学べることはたくさんある。

一般的なプログラミング言語は英語表記であり、動かすまでに覚えなければいけない約束事が多いため、教育用途には適さない。しかし、教育用プログラミング言語もいくつか開発が進められている。生徒の状況に合わせて選択が可能であり、学習環境は整いつつある。たとえば、兼宗ら [15] は日本語で記述できるオブジェクト指向のプログラミング言語ドリトルを開発し、中学校の技術家庭科でドリトルを使った授業を実践 [16] したところ、生徒のコンピュータの原理に対する理解が高まったことを明らかにした。西田ら [17] は、大学入試センターなどの入試で用いられているプログラミング学習環境 PEN を開発し、プログラミングの基礎を短時間で習得できる環境を整えた。

学習指導要領では「プログラミング言語の習得が目的とならないようにすること」と明示されており、実際に授業時間も限られていることからプログラミングに使える時間は限られている。しかし、このようなプログラミング環境を使うことで、短時間で習得でき、学習のねらいに向けて効果的に活用することが可能である。

工藤ら [18] は論理回路の利用も推奨している。三池ら [19] は論理回路の作成を通して、コンピュータの動作原理や仕組みを理解させる効果があることを明らかにした。コンピュータは論理回路を組合せて動作する機械であるため、体験的にその原理を学ぶことが可能である。

手作業を取り入れた実践

コンピュータを使った実践に比べると数は少ないが、コンピュータの仕組みを理解するために、手作業による活動を取り入れることで、学習効果が高まる研究もある。ここで言う手作業とは、カードなどの教具をコンピュータが扱うデータに見立て、コンピュータが行っているような操作を体験しながら、その仕組みを学ぶアプローチである。

阿部 [20] は、コンピュータでどのようにデータが操作されるかを理解させる目的で、数字の書かれたカードを手作業で並べる作業を取り入れた。また、データの動きを学習者に見せるためのアニメーション教材を表計算ソフトで開発した。これらを組合せる手法が、アルゴリズムの理解やアルゴリズムに工夫を加えることの大切さを気付かせるために有効であることを明らかにした。

杉浦ら [21] は、学習者に手作業でアルゴリズムを実行・理解させ、その体験を忠実にプログラミングさせるアプローチを取った。その際、使用した教具を抽象データ型として用意し、手作業によるアルゴリズムをそのまま実行可能なプログラムとして記述できるようにした。この手法によって学習者のアルゴリズム構築能力が向上し、プログラミング能力が高まることを明らかにした。

これらを受けて、新開ら [22] は、並べ替えのアルゴリズムを学習者に考えさせ、グループ活動による手作業で並べ替えの処理を行う活動を通して、アルゴリズムを構築する実習を実践した。このアプローチが、アルゴリズムを理解するだけでなく、アルゴリズムを作成する能力をも向上させることを明らかにした。

これらの実践に共通しているのは、学習者に手作業という体験的な活動で、試行錯誤しながら考えさせる場を提供していることがある。1つ1つのステップを確認しながら学べることや目の前の課題を集中して思考することが学習効果を生む要因と考えられる。新開は、手作業を行うことで学習者が規則性を発見する力やアルゴリズムを作成する力が向上すると、学習者が考えるようになると報告している。

手作業ではないが、体験的な学習や発見的な学習を高等学校の情報科で効果を示した実践例もある。山上 [23] は、パズル「数独」と表計算ソフトを組み合わせ、パズルの解法を

題材として高校生に対しプログラミングの基礎を学ばせる試みを行った。数独を解いていく過程でプログラミングの順次・選択・繰り返しの考え方に導いた。プログラミングを使わずに、その基礎的な考え方を学ばせることの可能性を示した実践である。

天良 [24] は、高等学校の情報科で活用するために「画像のデジタル化」を学ぶソフトウェア教具とハードウェア教具を作り、生徒 1 人 1 人に使わせながら法則を引き出す流れの授業を行った。ソフトウェア教具はすべて表計算ソフト Excel のマクロ機能 VBA で作られている。ハードウェア教具は市販の文房具などを使って安価に作られている。文字がビット列で表現できることや、ルーペで拡大すれば色が赤緑青の 3 色で表現されていることがわかるなど、高等学校情報科の中の数学的な内容に準拠した実践的な教具と言える。授業は、教具が示す具体的な事象から一般的な法則を引き出す流れで行われている。確認テストの結果から、教具を使ったことの効果は、成績の中間層以上には差が見られなかったが、成績の下位層には顕著な差が見られたことが報告されている。

体験的な学習とは、教具を手で動かしたり、身体を動かす活動を通して学ぶ学習法である。教育工学の立場 [25] から、体験的な学習は、「手や身体を動かして何かを体得することが、直感や洞察力、認識の世界においてかなり重要な位置を占めているのではないか」「学習への動機付けや学習の意味付け、達成感を味わえるといった効果も期待できる」と考えられている。また、Resnick[26] は「21 世紀の学校では、教師の役割が講義者というよりはむしろコンサルタントとなって、子どもたちがより活動的に自立できるように学校を再編成する必要がある。」と従来の講義型の授業からの変革を求めている。体験的な学習が、複数の学習者で話し合いながら進めていく協調学習（グループ学習）になることも多いが、Golas[27] は「学習者を活発な学習に引き込み、学習チーム内の他のメンバーの共有知識・経験・洞察へ接する機会が与えられる」といったメリットも得られることを示した。山口 [28] は、体験的な学習は「多様な発見や深い理解が生じるが、理解目標の教示などの「支援」をすることで理解が深化する」ことを指摘している。したがって、体験的な学習は、適切な支援を加えることで、より深い理解が得られる学習法にもなる。

このように体験的な学習は、教師が一方的に知識を伝える講義型の授業と比べて、多くの学習効果を期待でき、情報科学教育でも検討する価値がある。先の情報科教育法 [14] でも、次のように生徒が自発的に発見しながら学ぶ授業が効果的であると示している。

1. 生徒にエッセンスを体験的に学べる教材を体験させる。
2. 体験したことの意味を解説する。
3. 実際のコンピュータやネットワークでの活用に発展して解説する。

2.1.1 情報科学教育の先行研究のまとめ

教育用のプログラミング言語など情報科学を学習する環境は整っている。手作業のような体験的な活動を取り入れることは効果がある。情報科学教育はこれらを組合せ、活用していくことに効果があることは明らかになっている。しかし、手作業を取り入れた授業の研究成果は少なく、ごく限られた範囲しか、その効果は示されていない。

そこで、本論文は CS アンプラグドに着目した。CS アンプラグドには情報科学のさまざまな分野を扱った体験的な活動が用意されている。CS アンプラグドを使うことで、情報科学の各分野で教育効果の高い授業を実践できる可能性がある。次節にて CS アンプラグドの詳細とその先行研究を示す。

2.2 CS アンプラグドの先行研究

本節では、情報科学の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詳細を示す。

2.2.1 CS アンプラグドの特徴

CS アンプラグドは、ニュージーランドの Tim[12] を中心とした情報科学教育のプロジェクトである。英語だけでなく世界各国の言語に翻訳され利用されている。日本語には 2007 年に兼宗ら [13] によって翻訳された。日本語版 (表 1.3) は情報を表す素材 (1 章～5 章)、アルゴリズム (6 章～10 章)、手続きの表現 (11 章～12 章) の全 12 章からなる学習で構成されている。それぞれの学習には、カードなどの教具を使った体験的な活動があり、その活動を通して、情報科学に関する何らかの概念を学べる流れが作られている。それぞれの学習には「7 歳以上」などと対象とする年齢が記されていて、子どもでも学べるように工夫されているが、扱われている題材は高等学校や大学の情報教育で学ぶような高度な内容も含まれている。

2.2.2 CS アンプラグドの分析

Thies[29] は、ブルーム・タキソノミー [30][31] によって CS アンプラグドの学習活動を分類し、その結果から、CS アンプラグドがコンピュータ科学の入門という目的に適していることを示している。ACM K-12 モデルカリキュラム [4] では、K-8(中学生) を想定した Lebell(Foundations of Computer science) のカリキュラムや前述した情報科教育法 [14] の中でも推奨されている。授業の中では、学習内容と関連の深い CS アンプラグドの

学習を選んで利用することが可能である。

CS アンブラグドがどのような学習法なのかは、西田ら [32] による「CS アンブラグドデザインパターン」の分析が詳しい。CS アンブラグドは「学習の中にゲームがあり、楽しみながら学ぶことができる」「体を動かす体験や、具体物を動かす試行錯誤から学ぶ」体験的な学習であり、「グループで協力しながら問題解決を図る」協調学習でもある。ゲームやパズルを解く中で、他者とコミュニケーションを取りながら問題解決を図ることで、楽しさを感じ好奇心を刺激されながら、ブラックボックスであったコンピュータの動作原理を理解できることが示されている。また、情報科学の研究者ではない一般的な教師でも教えられることや、ひとつの学習が 20 分から 40 分で体験できるため、授業の中で使いやすさも示されている。

2.2.3 CS アンブラグドの実践例

CS アンブラグドの授業実践例を示す。日本では、中学校 [33]、高等学校 [34]、大学 [35] [36]、職業訓練校 [37] のそれぞれの校種で、学習者の年齢や学習のねらいに合わせて工夫されながら、実践が行われてきた。また、文化祭の企画イベント [38][39] [40] として使われたケースもある。

Lanbert[41] は、小学校で CS アンブラグドの画像表現 (2 章) とエラー検出とエラー訂正 (4 章) を選び授業で実践した。小学 4 年生 3 クラス (生徒計 70 名程度) に対して授業を行った結果、生徒のコンピュータサイエンスに対する興味が高まったことを示した。

井戸坂 [33] は、中学校でパケット通信 (10 章)、画像表現 (2 章)、2 進数 (1 章)、エラー検出とエラー訂正 (4 章)、プログラミング言語 (12 章) を選び授業で実践した。中学 2 年生 (生徒計 76 名) に対して「(1) コンピュータの仕組みに興味・関心を持つ。(2) コンピュータの仕組みを科学的に理解する基礎的な力を身につける。(3) 学習した内容の身近な機器への活用がわかる。」ことを目的とした授業を行った結果、生徒がコンピュータの原理を学ぶことの喜びを通して、情報科学への興味・観察が高まったことを示した。

高等学校での実践例は少ないが、保福 [34] は科目「情報 B」における授業例を報告した。高校 2 年生 (生徒計 122 名) に対して、「情報の表し方や処理の仕組み」を扱う教材として、2 進数 (1 章)、画像表現 (2 章)、テキスト圧縮 (3 章)、エラー検出とエラー訂正 (4 章) を選び、授業を行った。アンケート調査を通して、コンピュータの仕組みに対する興味・関心が高まったことや、それらの興味・関心が高まった生徒はプログラミングも学びたいと思うようになったことを示した。

これらの研究では、生徒が情報科学の初学者でありながら、CS アンブラグドで学んだことで、興味・関心を高めた点が共通している。また、それぞれの実践が必ずしもオリジナル通りに実施したのではなく、生徒の理解を助けるために何らかの工夫を施している点

も共通している。このことから、CS アンブラグドを授業の目標や環境、生徒の状況に合わせる必要があることが示されている。

一方、CS アンブラグドを実践しても目標点に到達しなかった報告 [42] や CS アンブラグドの実施の前と後で生徒に情報科学の見方や内容の理解に変化がなかった報告 [43] もあり、生徒の年齢や学習の目標に合わせて適切に利用しないと、効果が得られないと言える。CS アンブラグドを授業へ導入するには研究の余地が残されている。

2.2.4 CS アンブラグドの課題

CS アンブラグドは教具を動かしながら学んだり、体全体を移動させたり、他の人と協力しながら学ぶ学習法である（本論文ではこれらを「身体性」と表現する）。このような身体性が CS アンブラグドの特徴であるが、身体やコミュニケーションに障害などがある場合、想定された活動ができないことになる。

国連が 2006 年に定めた障害者権利条約 [44] は、第 24 条で「障害のある人が成人教育や生涯学習も含めて、インクルージョン教育制度の下に良質な教育を受けられる公平な機会を与えられること。」と示した。日本でも、平成 18 年に改正された教育基本法 [45] では、教育の機会均等を定めた第 4 条の中で「国及び地方公共団体は、障害のある者が、その障害の状態に応じ、十分な教育を受けられるよう、教育上必要な支援を講じなければならない。」として、誰もが平等に学べることを目指す必要があることを示している。関根ら [46] は、教育機関そのものがユニバーサルデザインになることを主張している。CS アンブラグドの「身体性」という課題を解決することの意義は大きい。

その課題に対し、コンピュータで支援することを試みた研究がある。Tim ら [47] は、3 次元仮想空間セカンドライフ [48] の中に CS アンブラグドの活動を模擬体験する学習環境を構築し、下肢やコミュニケーションに障害を抱えた学習者も CS アンブラグドの活動ができるようにしている。Marghitu ら [49] は、3 次元プログラミング言語 Alice[50] を用いて、CS アンブラグドの活動をシミュレートしている。

これらの研究は、いずれも体全体を動かす活動を仮想的に画面で行うものであり、教具を動かす活動やコミュニケーションが必要な活動に対して支援を検討した研究はない。本論文では、その点にも着目する。

2.3 本論文の位置付け

ここまで情報科学教育と CS アンブラグドについて、その課題と先行研究を概観した。情報科学教育には「コンピュータの仕組み」という見えない題材をどのように理解させるかという課題がある。CS アンブラグドはその課題を解決する有効な手段の 1 つであり、

これまでの研究から、CS アンプラグドを授業で使ったときの効果や教材の改善例は報告されている。しかし、CS アンプラグドはもともと子ども向けの体験的な学習法として開発されており、高等学校以上の情報科学教育の授業を想定して作られた訳ではない。CS アンプラグドを高等学校以上の情報科学教育に使うためには、CS アンプラグドで学べる内容と高等学校以上の学習目標の違いをどのように埋めればよいか、という課題が残る。また、限られた時間、多数の生徒という授業環境の中で、どのような工夫をすれば生徒の理解を深める効果的な授業になるか、という課題も残る。さらに、身体性の高い活動に対して、障害を抱えた生徒がどのようにすれば活動ができるか、という課題も残る。

本論文ではCS アンプラグドを高等学校以上の情報科学教育で使うために「CS アンプラグドの高等学校への活用」「理解を深めるための効果的な教授法」「身体性への対応」という3つの課題を扱う。次章以降では、高等学校の情報科及び障害者職業能力開発校の情報科学を扱った授業にCS アンプラグドを活用した実践を通して、上記の課題を議論する。

第3章

デジタル化単位における CS アン プラグドの実践と教具の工夫

3.1 はじめに

前章では体験的な学習法としての CS アンプラグドの学習効果を先行研究とともに概観し、高等学校以上で使うための工夫が議論されていないことを示した。本章では、CS アンプラグドの授業実践を通して、CS アンプラグドを高等学校以上の情報科学教育で使うために、CS アンプラグドで「何が学べ」「何が問題となり」「何を補えばよいか」の3点を議論する。

扱う題材は「情報のデジタル化」である。「情報のデジタル化」は、コンピュータの中で、どのように情報が表現されているのかを知る大切な学習内容である。コンピュータ内部では文字・音・画像・映像などすべての情報が、ビットと呼ばれるデータの最小単位が複数組み合わせられて扱われている。データをコンパクトにする圧縮技術も、正しくデータを伝送するエラー検出・訂正技術も、すべてがビットのレベルで処理されている。ビットは「0 と 1」で表現されるため、デジタル化の理解には「0 と 1」で数を表す2進数の理解が必須である。

CS アンプラグドのデジタル化の学習は、1章「2進数」、2章「画像表現」、3章「テキスト圧縮」、4章「エラー検出とエラー訂正」から構成されている。これらの学習には、教具としてビットに見立てたカードを用いる。コンピュータが内部で行っている処理を、カード操作だけで体験的に学べるのが CS アンプラグドを使うメリットである。例えば、2進数の学習では5枚のカード（5ビット）を使い、次のような2進数の理解を提供している。

- 16-8-4-2-1 を組合せて 0-31 のすべてを表現できる。

- カードの表裏や 0-1 など「2つの状態をとるもの」で2進数を表現できる。
- カードの位置（桁）に意味（重み）があることがわかる。
- 数やビット列を用いてメッセージを作れる。
- カードを横にずらせば倍／半分になることがわかる。

これらは、小学生が学ぶには十分な内容であり、高校生にとっても必要な知識である。ただし、高校生は原理だけではなく、実際に使われている技術を学ぶ必要があるため、CS アンプラグドだけでは十分ではない。特に、実際に使われている技術はビット数が多く、さまざまな技術との関連を考慮するため、より深い理解が必要となる。2進数の学習では以下の理解が必要となる

- さまざまな桁を扱える。
- 10進数と相互に変換できる。
- ビット数と表現できるパターン数の関係がわかる。
- バイトという単位を扱える。
- 16進数と相互に変換できる。

さらに、高等学校では2進数の知識を使って、負数、小数、浮動小数点などの情報の表現形式や情報量の計算など発展的に進めて行く。そこで、CS アンプラグドで「何が学べるか」や「何が問題となるか」を踏まえて、それをどのように発展または解決させていくために「何を補えばよいか」の議論が必要となる。次節以降で、高等学校でCS アンプラグドを実践した様子を示す。その実践を通して明らかになった課題とその解決策について考察する。

3.2 情報 A で実施した「デジタル化」の授業

3.2.1 授業の概要

情報の科学的な理解を目的とした授業を情報 A で実施した。対象は、総合学科高等学校の2年生3クラス計88名である。授業時間は1コマ90分である。

授業実施に際して、生徒に事前にアンケート調査をしたところ、ほぼ全員が情報端末を使って、ソーシャルネットワークを利用したり、音楽や動画などをダウンロードして活用していた、このようにさまざまなデジタル情報とも日常的な関わりを持っていたが、ダウンロードしたファイルが圧縮技術によって容量を減らしていることや、すべてがビット列に置き換えられていることなどの理解は持っていなかった。

授業は、5月～6月に、授業ガイダンスとコンピュータの基本操作の学習を終えた後の「情報のデジタル化」の授業として、各クラス4コマ（1コマ90分）をかけて実施した。

各授業は、CS アンプラグドの活動を行った後に、その活動の意味を考察し、教科書などで確認する、という流れを作った。授業の最後には、まとめとして、その時間にわかったことや疑問に思ったことをワークシートにメモ書きさせると同時に、授業に対する印象や理解状況を「楽しかったか」「ためになったか」「難しかったか」「理解できたか」の 4 項目について、「強く思う」から「全く思わない」までの 5 段階法で自己分析させた。また、「授業の感想」と「その時間にわかった内容」を自由記述させた。

以下に、授業ごとの流れと CS アンプラグドの利用箇所、教材の工夫、実施した授業の様子を説明する。毎回の 90 分間の授業では、最初出席確認とタイピング練習を 20 分間行っている。その後、その時間の学習を 65 分間行い、最後にまとめとして毎回の授業アンケートを実施した。

3.2.2 第 1 章「2 進数」

授業の構成

授業の目的を、ビットによる 2 進表現の理解とした。授業の流れを示す。

- 20 分 準備（出席確認、タイピング練習）
- 10 分 2 進数の確認テスト
- 30 分 学習 1（カードを利用した 2 進表現）
- 25 分 学習 2（文字のデジタル化）
- 5 分 まとめ（授業アンケート）

ここで注意しておきたいのは、情報科の教科書を含め、多くの書籍に図 3.1 のような計算方法が記されていることである。これは数学的な 2 進数の計算であって、コンピュータの仕組みの理解に繋がる考え方ではない。

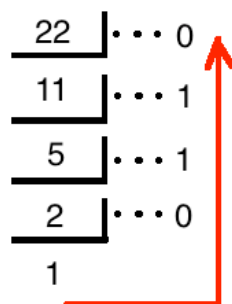


図 3.1 教科書に記載されている 2 進数の求め方

コンピュータの仕組みとしては、情報科学の入門書などに記されている位取り記数法によって学ばせる必要がある。これは 2 のべき乗 ($16 = 2^4, 8 = 2^3, 4 = 2^2, 2 = 2^1$) を組合

せて数を表現する方法であり、以下の式の係数として使われている 0 や 1 を並べて変換する方法である。

$$22(10 \text{ 進数}) = 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 = 10110(2 \text{ 進数})$$

CS アンプラグドは、これを図 3.2 ようなカードを使って学ばせるようになっている。



図 3.2 カードを使った CS アンプラグドの 2 進数

授業では、最初に確認テストを行った後、前半に各桁のビットを表すカードを用いて 2 進数を学習し、後半で文字のデジタル化とデータが数値（ビット列）で表現・伝達されることを学習した。

2 進数の学習では、CS アンプラグドのカードめくりを利用し、ビットによる 2 進数の表現と、10 進数との基数変換を学習した。教具となるビットのカードは、複数の種類のものを生徒の数だけ用意して、理解状況に合わせて使用した。

文字のデジタル化の学習では、CS アンプラグドの「ビット列と文字コードによるメッセージ送信」を利用し、ビット列との対応で文字をデジタル化する学習を行った。5 桁のビット列とアルファベットの対応表を用意し、メッセージをビット列でデジタル化して転送する実習を行った。

教材の工夫

2 進数の学習では、オリジナルの CS アンプラグドは「 $16 \cdot 8 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 1$ 」の点が書かれた 5 枚のドットカードを利用するが、今回はドットを数えずに数を理解させる目的から、表裏が白と黒の独自の白黒カードを用意した。（図 3.3）。

文字のデジタル化の学習では、オリジナルの CS アンプラグドは文字を数値で表現していたが、今回は、学習した 2 進数やビット列によるデータ表現を意識させるために、ビット列との対応表を用意した（図 3.4）。

実施した授業

2 進数の学習では、片面にその桁の数だけ点を付けたドットカードを使い、カードめくりをしながら、10 進数の値と点の数の合計を一致させる活動から入った。次に、表裏が白と黒の白黒カードを配布し、ドットカードを使ったときと同様の活動をさせた。ここで



図 3.3 ドットカードと白黒カード

□□□□		□■□□■	I	■□□□□	R
□□□■	A	□□□□□	J	■□□□■	S
□□□■□	B	□■□□■	K	■□□□□	T
□□□■□	C	□■□□□	L	■□□□■	U
□□■□□	D	□■□□■	M	■□□□□	V
□□□■□	E	□■□□□	N	■□□□■	W
□□■□□	F	□■□□■	O	■□□□□	X
□□■□■	G	■□□□□	P	■□□□■	Y
□■□□□	H	■□□□■	Q	■□□□□	Z

図 3.4 ビット列と文字との対応表

は、黒を 1、白を 0 と数値に対応させることで、2 進数の値が得られることを説明した。最終的には、白黒カードだけで、表せるようになることを目標に活動させたが、生徒の活動状況によっては、ドットカードと白黒カードを併用させて理解を促す工夫を行った(図 3.3)。

5 ビットで表すことのできる 10 進数は 0 から 31 までである。教師はそこからランダムに数を選んでカードで表示させたり、0 から 31 までを掛け声とともに順番に表示させるなど、ゲーム性を持たせながら進めた。最初は戸惑っていた生徒も徐々に慣れて、教師の指示に合わせてカードめくりができるレベルにまで上達した。

これらの活動から、「0 と 1 の 2 つの状態を取るビットを組み合わせることで、あらゆる数を一意に表すことができる」という性質を、ヒントを出しながら考えさせた。文字のデジタル化では、生徒各自に数文字のメッセージを考えさせ、それをビット列に置き換えたものをカードに記入し、生徒同士でカードを交換して元のメッセージを復元させることで、ビット列によるデータ表現・転送の体験をさせた。

生徒の感想からは、「2 進数は意外に簡単だった」のように「意外に」という言葉を使った生徒が 20 % 程度存在した。これは、2 進数という苦手意識の強い数学的概念を理解で

きたという気持ちの表れであると考えられる。また、通信においては、「メッセージが伝わってうれしかった」と成功体験を述べる記述と共に、「1 ビットでも間違えると情報がきちんと伝わらない」と失敗体験から大切なことに気付いた記述も 60 % 程度と多く見られた。

3.2.3 第2章「画像表現」

授業の構成

授業の目的を、「画像のデジタル化」の理解とし、画像においてもデータが数値（ビット列）で表現・伝達されることを体験できるようにした。授業の流れを示す。

- 20 分 準備（出席確認、タイピング練習）
- 10 分 前回の復習（2 進数のカード操作）
- 20 分 学習 1（サンプルの絵をデジタル化）
- 35 分 学習 2（お題の絵を送受信）
- 5 分 まとめ（授業アンケート）

学習 1 と学習 2 では、CS アンプラグドの画像を数値化する活動を通して、FAX（ファクシミリ）やコンピュータがどのように画像データを扱っているかを学習した。実習としては、縦 10 マス×横 10 マス程度のマス目に絵を描き、それを数値化したカードを用いて、第 1 章と同様に送受信体験をさせる構成とした。

教材の工夫

オリジナルの CS アンプラグドでは、すべての作業を紙を用いた手作業で行う。今回は、画像のデジタル化を理解する学習 1 は紙を用いて行ったが、自分たちの描いた絵を転送する学習 2 は、一部のクラスはソフトウェア教具を用いて行った。

最初のクラスでは紙を用いて実施したが、紙に丁寧に色を塗る作業に注意を奪われる生徒が多かった。そこで、本来の学習から意識が離れてしまったり、本質的でない部分で時間を費やすことを防ぐためにソフトウェア教具を開発し、次のクラスから使用した。

このソフトウェア教具では、画面からマウスでドットをクリックする形で絵を描くと、デジタル化された数値が表示される。そして、数値を入力すると、それを復号した画像が表示される。この工夫により、本来の学習に注意が向き、学習を効率的に行えるように改善することができた。さらに、画面で符号化と復号を行うことで、実際にコンピュータが同様の処理を行っていることを実感できたという声が聞かれた。

実施した授業

前半の学習 1 では、ホワイトボードに、ドット絵とそれを表す数値を書いて、その数値化のルールを発見させるところから始めた。ルールは、白と黒の並びの個数を交互に示したランレングス符号である。ヒントを出しながら、全員が自分で気付くことを目指した。

ルールがわかったところで、データ送受信用の小さなカードを 2 枚配布し、その 1 枚に簡単な絵や記号のドット絵を描かせた後、数値化させた。もう 1 枚のカードに、数値だけを書き、生徒間で交換して、送られてきた数値データから、ペンで色を塗って絵に復元をするという画像データの送受信を体験した。

画像のデジタル化として、より複雑な絵を作るためには、ドットを細かくしたり色数を増やすことが必要であることを、生徒自身に気付かせ、ピクセル・RGB などの用語とともに量子化・標本化の概念を教科書で確認させた。生徒の感想からは、「こういうことを瞬時にやってのけるパソコンや携帯電話は凄い」と技術への驚きを示す記述が 20 % 程度あった。

3.2.4 第 3 章「テキスト圧縮」

授業の構成

授業の目的を、「データ圧縮」の理解とした。授業の流れを示す。

- 20 分 準備（出席確認、タイピング練習）
- 20 分 学習 1（テキスト圧縮の伸長体験）
- 10 分 学習 2（文字の出現頻度を考える）
- 35 分 学習 3（画像を圧縮保存して比較）
- 5 分 まとめ（授業アンケート）

学習 1 では、CS アンプラグドを使い、圧縮された断片的なデータから、元の歌詞を復元する実習を行った。これは、LZ 圧縮のアルゴリズムを利用している。学習 2 では、ハフマン符号やモールス符号など、文字の出現頻度から圧縮が可能になる原理を通して圧縮技術への理解を深めた。学習 3 では、非圧縮の BMP 形式で作った画像を圧縮された PNG 形式に変換してファイルサイズの違いを調べる体験を通して、コンピュータで実際に利用されていることを確認した。

画像の圧縮には実際の画像ファイルを用い、テキストの圧縮に CS アンプラグドの体験学習を取り入れることで、さまざまなデータで圧縮が可能であることを学べるように配慮した。

教材の工夫

学習1ではCSアンプラグドを利用した。オリジナルでは英語の詞が使われていたが、童謡から「やぎさんゆうびん」「ぞうさん」「めえめえ子山羊」など日本語の歌詞を用いた教材を作成することで親しみやすいように工夫した（図3.5）

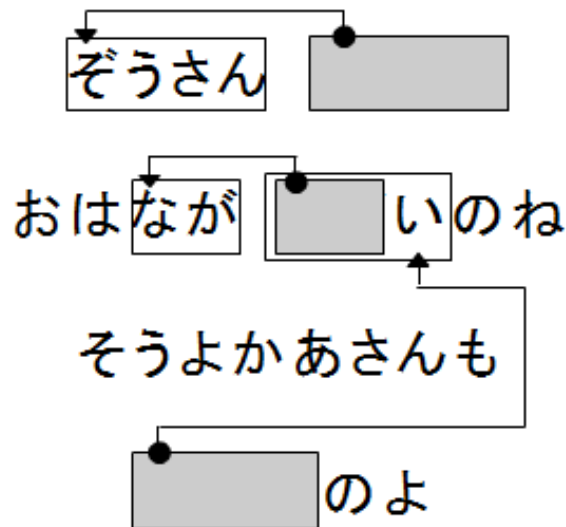


図 3.5 作成した教材

CSアンプラグドを体験することで、データを圧縮したり伸長して利用することは理解できるが、それだけでは、学習したビット列との関連や、実際のコンピュータの利用とは結びつきにくい。そこで、入力された文字の出現頻度を集計して表示するソフトウェア教具を開発し、学習2で利用した。これを利用することで、長い文章からよく使われる文字を抽出することができる。

学習3では、自分たちで作成した画像ファイルを非圧縮形式と圧縮形式で保存し、ファイルサイズを比較することにより、学習したデータ圧縮が、実際にコンピュータで利用されていることを実感することができた。

実施した授業

学習1では、プリント教材で、圧縮された童謡の歌詞を伸張して元に戻しながら、その仕組みを体験させた。「めえめえ子山羊」を知っている生徒はなく、楽しみながら歌詞を復元していた。自分で歌詞やメッセージを選んで、圧縮することも指示したが、難しかったようで、取り組めた生徒は少なかった。

続いて、画面に入力された文字の出現頻度を集計して表示するソフトウェア教具を利用して、英文でよく使われる文字の頻度を調べた。その結果を利用して、モールス符号では

出現頻度が高い文字に短い符号が割り当てられていることを確認する学習を行った。

その後、簡単な絵 (100px × 100px) を Windows に付属するペイントソフトで描かせ、圧縮のない BMP 形式で保存させた後でファイルサイズを確認させた (10000px × 3byte = 約 30KB)。続いて BMP 形式の画像を圧縮のある PNG 形式に変換させて、10 分の 1 程度に圧縮されたことを通して、圧縮技術が携帯電話やインターネットなどで多く使われていることを説明した。生徒の感想からは「普段聞いている音楽が圧縮されていると知って驚いた」など、技術を身近なものとして捉えた記述が 25 % 程度あった。

3.2.5 第 4 章「エラー検出とエラー訂正」

授業の構成

授業の目的を、正確に情報を伝達するための技術の理解とした。この内容は、情報通信ネットワークで重要な役割を果たすが、その原理はデジタル化と深く結びついているため、今回の学習に含めた。授業の流れを示す。

- 20 分 準備（出席確認、タイピング練習）
- 20 分 学習 1（パリティ手品の実演）
- 15 分 学習 2（エラー検出・訂正の説明）
- 30 分 学習 3（バーコードのエラー検出を実習）
- 5 分 まとめ（授業アンケート）

授業では最初に、CS アンブラグドのパリティ手品で生徒の関心を引きつけた。ランダムに並べられたカードに縦横のパリティビットを置くことで、裏返された 1 枚を当てる手品である。続いて、この手品から何がわかるのかを考察させ、通信にはエラーが発生する、といったヒントを与えながら、技術の必要性を考えさせた。続いて、CS アンブラグドの ISBN コードのチェックディジットを取り上げ、教科書など身近な本を題材に、1 文字でも読み取りミスがあるとチェック桁と合わなくなる体験を通して、エラー検出とエラー訂正が身近なコンピュータで利用されている技術であると感じられるようにした。

教材の工夫

オリジナルの CS アンブラグドでは、教師が教室の前で実演した後は、2 人組で実習を行う。しかし、筆者の経験からは、2 人組では相手も手品のタネを知っていることから、積極的な活動にならないという問題があった。そこで、5,6 人のグループで実習を行わせることにし、グループごとに活動用のシートを用意した。その結果、グループごとに試行錯誤や議論をしながらパリティビットのルールを考えられるようになった。

表 3.1 利用したカードによるテスト結果の比較

	A 組	B 組	C 組
使用したカード	ドット・白黒	ドット・白黒・01	
事前テスト	0%	1%	1%
事後テスト	11%	65%	72%

実施した授業

授業では、教師が手品師として手品を実演することから始めた。手品師はカードを追加する際に種を仕掛け、生徒がその仕組みに気付くまで、ヒントを出しながら実演を何度か繰り返した。

その後、全体活動からグループ活動へ移行し、手品師の役を交代させて取り組ませた。続いて、データが通信路のノイズにより誤りを生じる可能性があることを説明し、何故このような技術が必要となるのかを考えさせる学習を行った。最後に ISBN コードのチェックディジットを電卓などで計算させ、実際に使われているエラー検出の仕組みを体験させた。

生徒の感想からは、「楽しかった」「家でもやってみたい」といった手品に関する記述が 10 % 程度あり、「バーコードについてわかった」といった仕組みを理解できたうれしさを表現する記述が 20 % 程度あった。

3.3 実験授業の実施結果

3.3.1 第1章「2進数」の評価

本授業の前後に行った確認テストから明らかになったことを示す。テストは「2進数 11001 を 10 進数で表しなさい」といった 5 個の問題である。

最初の A 組において、事前テストの正答率は 0 % であったが、事後テストの正答率も 11 % と低く、授業の効果がほとんど表れなかった。授業中は、全員がてきぱきとした動きでカード操作をし、これを 0 と 1 に置き換えたものが 2 進数であるとの説明をしていたにも関わらず、正答率に反映されなかった。

これは、白と黒を 0 と 1 に置き換える発想が得られていなかったことを示している。そこで、B 組と C 組では、ドットカードと白黒カードに加えて、01 カードを使って同様の実習を行った。すると、事後の正答率が 65 %、72 % になり、A 組との間に差が生じた(表 3.1)。

3 クラス 88 名の中で、授業に出席した生徒を対象に各授業のアンケートを実施した。図 3.6～図 3.9 にその結果を示す。なお、図中の数字は回答した人数、カッコ内は出席者数に対する比率である。本授業のアンケート（図 3.6）からは、半数以上の生徒が難しいと感じつつ、楽しさ・理解度は、共に「強く思う」「そう思う」を合わせて 90 % 前後の高い数値を得た。

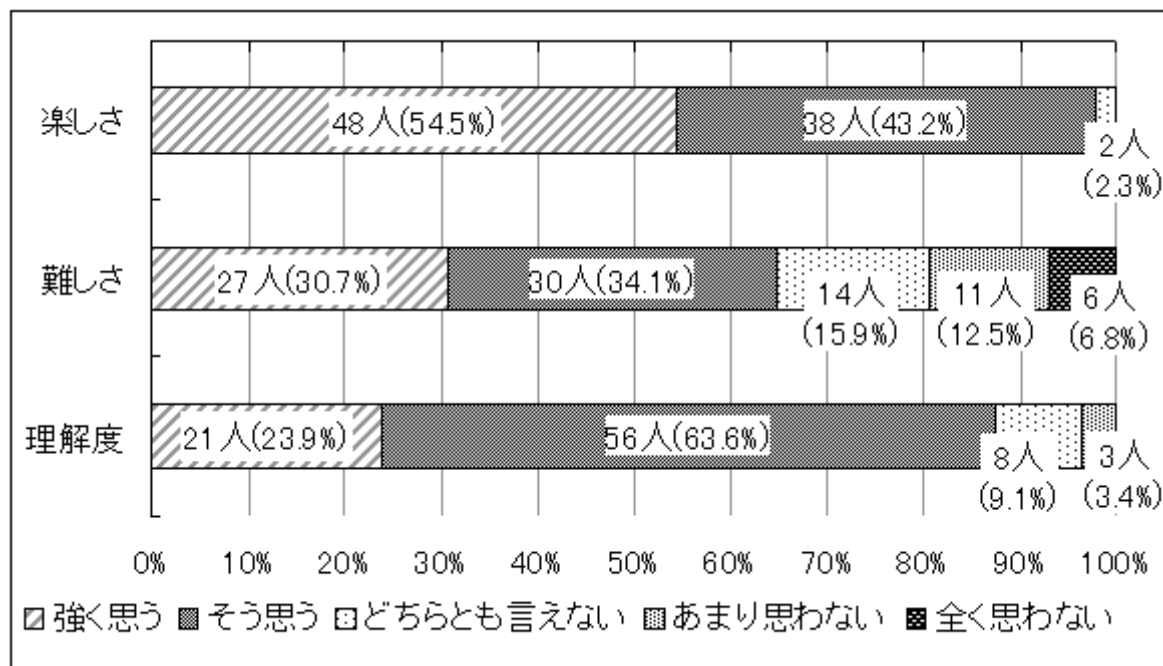


図 3.6 第 1 章の授業アンケート

ワークシートに「授業を通してわかった内容」として書かせた生徒の自己評価を集計すると、2 進数やビットの考え方がわかったという概念的な理解を示した生徒が 31.0 %、基数変換やビット数と情報量の関係など計算的な要素への理解を示した生徒が 20.1 %と、合わせて 5 割程度の生徒が、授業のねらい通りの理解を示したが、残りの半数近くの生徒は、理解への自信はないと自己評価した。また、後述する表 3.3 の期末テストの結果から、本授業の内容は、77.8 %と 63.9 %という高い比率で生徒が理解していることを確認できた。さらに、後述する前期授業アンケートからは、基数変換の問題で 73.1 %の正答率を得ており、本授業法の効果が確認された。

3.3.2 第 2 章「画像表現」の評価

本授業のアンケート（図 3.7）からは、楽しさと理解度の肯定的な回答の比率が、第 1 章に比べ若干低下した。ワークシートに「授業を通してわかった内容」として書かせた生徒の自己評価を集計すると、ビットの数と表現力との関係への理解を示した生徒が 51.7 %、

数字で絵を数で表せる・数字で絵を伝えられることがわかった，という画像のデジタル化の概念的理解を示した生徒が 24.1 % と，7 割以上の生徒が授業のねらい通りの理解を示した。また，後述する表 3.3 の期末テストの結果から，本授業の内容は，77.8 % という高い比率で生徒が理解していることを確認できた。

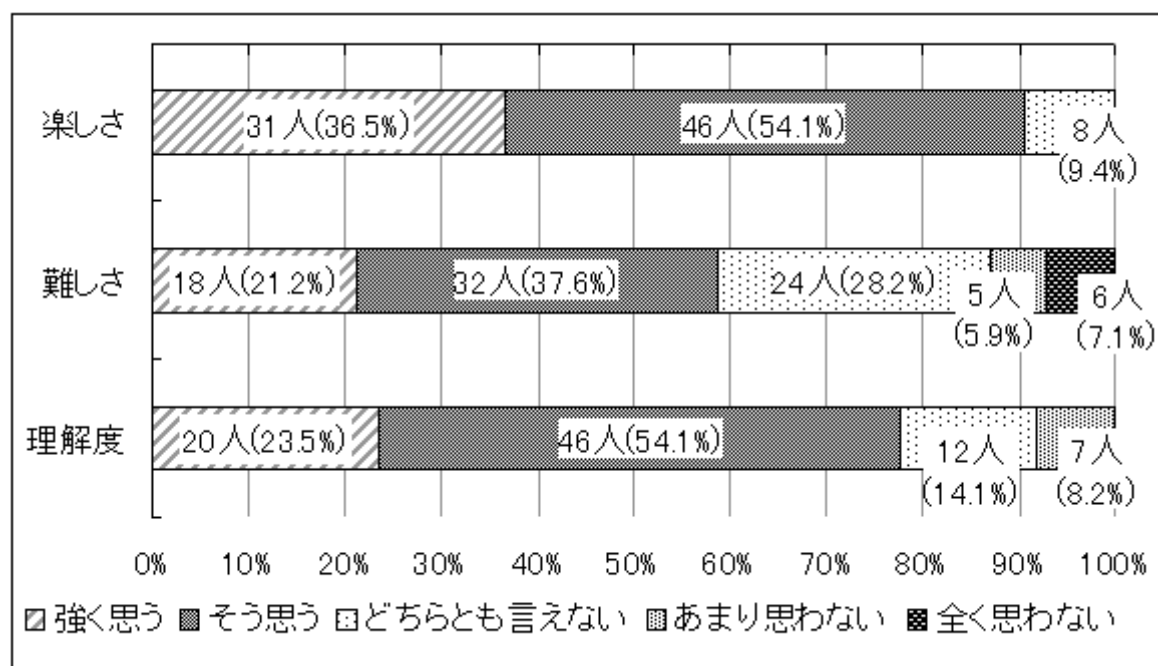


図 3.7 第2章の授業アンケート

3.3.3 第3章「テキスト圧縮」の評価

CS アンプラグドで使われている英語の歌は，生徒に馴染みのないものだったので，日本の歌に変えた教材が必要だった。データの伸張は，要領を覚えてしまえば，機械的に進めて行ける作業であると同時に，終わったときに達成感が得られるようであった。このことから，難易度が上がり，時間の確保が必要な圧縮の問題作成を扱わずに，伸張だけを扱うことで，意味のある学習が行えることがわかった。本授業のアンケート (図 3.8) から，第1章，第2章同様，難しさを感じながらも，楽しさと理解度とを得られた様子がわかった。ワークシートに「授業を通してわかった内容」として書かせた生徒の自己評価を集計すると，圧縮技術の効果や必要性の理解を示した記述が 27.6 %，身近な技術であるなどその存在の理解を示した記述が 17.2 %，圧縮技術の素晴らしさへの理解を示した記述が 13.8 % と，合計で 6 割近くの生徒が授業のねらい通りの理解を示した。一方で，ペイントソフトの使い方と答えた生徒が 6.9 % と授業のねらいと離れた活動へ意識を向けた生徒もいた。また，後述する表 3.3 の期末テストの結果から，本授業の内容は，86.1 % と

いう高い比率で生徒が理解していることを確認できた。

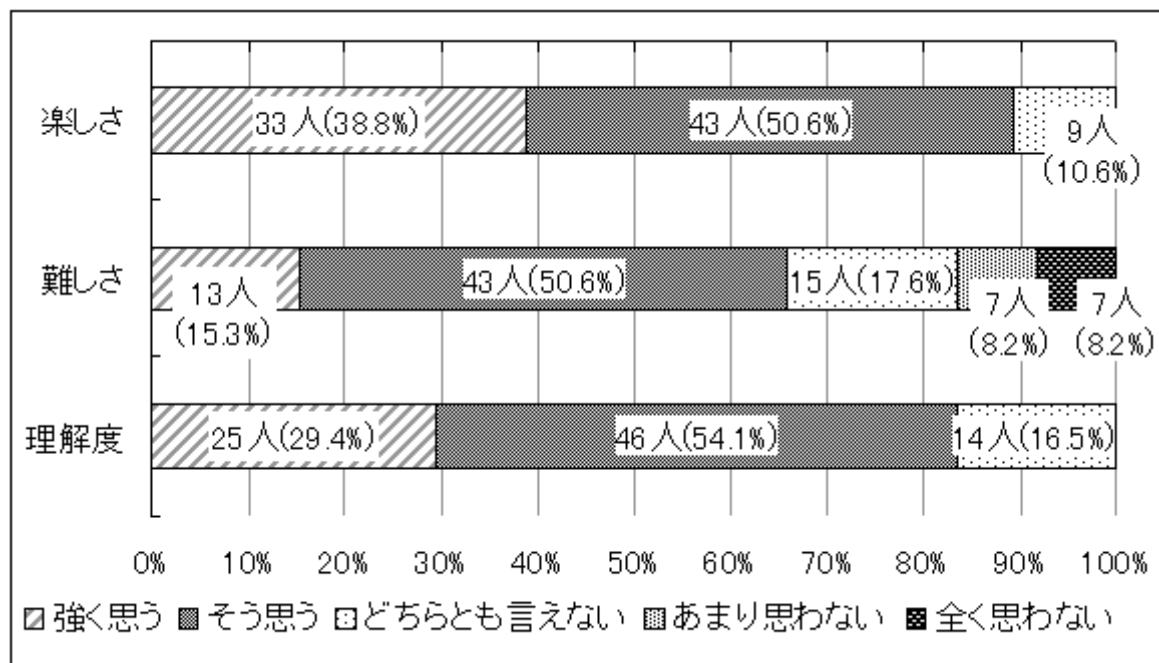


図 3.8 第 3 章の授業アンケート

3.3.4 第 4 章「エラー検出とエラー訂正」の評価

第 1 章，第 2 章の実習において，符号化や復号のミスで正しく伝えられなかった体験をしている生徒が 4 割程度存在し，そのことがクラス全体で共有されていたことから，本授業で扱う題材の必要性に気付いた生徒が多かった。

ただし，この章では，手品仕立てにするための工夫として，マトリックス状にビット列を並べてあるが，この形状そのものが，実際に使われている，と思った生徒が数人いた。今回は反転したビットを特定して修正するエラー訂正のみを扱ったが，より詳しい学習を行う場合は，エラーの有無のみを検出するエラー検出でも同じ原理が使われていることに発展する学習も可能である。本授業のアンケート (図 3.9) を他の章と比べると，難しさを示す比率が最も高いが，楽しさと理解度も高い比率を示している。

ワークシートに「授業を通してわかった内容」として書かせた生徒の自己評価を集計すると，通信エラーと手品の関連がわかったという記述が 17.2 %，身近な技術であるとその存在を知ったという記述が 13.8 %，誤り制御技術の素晴らしさへの理解が 13.8 %で，授業のねらい通りの理解を示した生徒は 5 割弱であった。一方で「手品の種がわかった」という記述が 20.6 %と高く授業本来の目的とは離れたところで理解できたと感じる生徒の数が多かった。また，後述する表 3.3 の期末テストの結果から，本授業の内容は，77.8

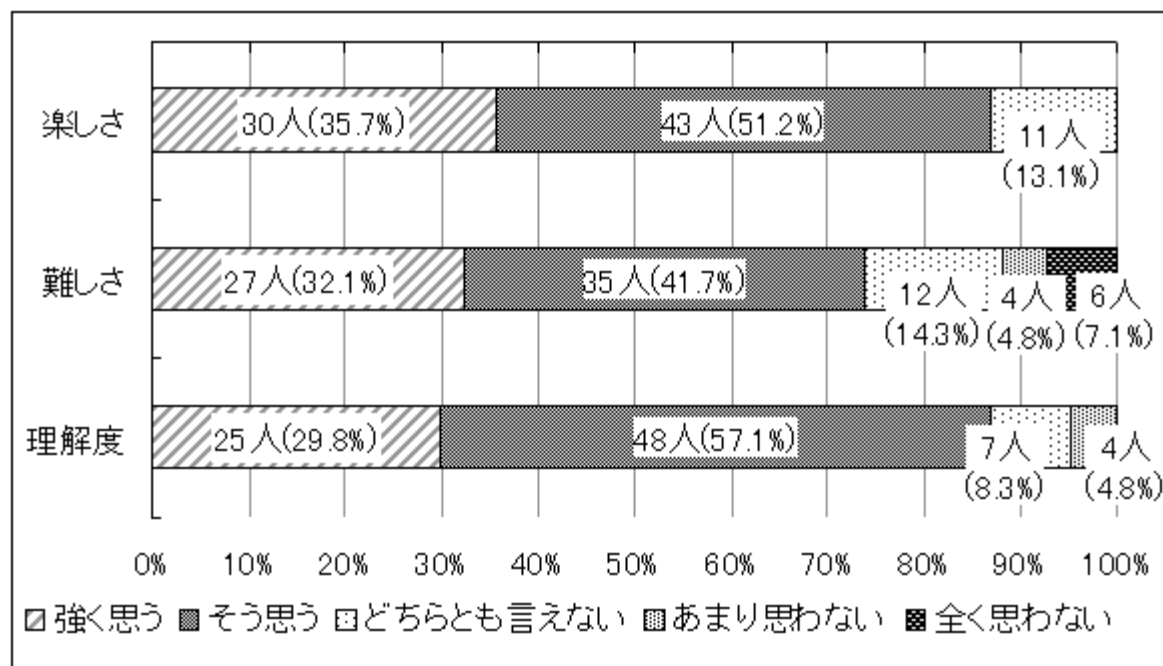


図 3.9 第4章の授業アンケート

%という高い比率で生徒が理解していることを確認できた。

- 設問 A 「体験的な学習法を良いと思うか」
- 設問 B 「グループ活動を良いと思うか」
- 設問 C 「授業を受けてなるほどと思うか」
- 設問 D 「授業内容についてもっと詳しく知りたいと思うか」
- 設問 E 「授業と自分の生活に関係があると思うか」

これらの授業全体に関わる項目について、「すごく思う」から「全く思わない」までを7段階で記入させた。

アンケート結果を表 3.2 及び図 3.10 に記す。CS アンプラグドに関わる項目については、「体験的な学習法を良いと思うか」について、「すごく良い」「わりに良い」を合わせると、90 %を超え、体を使って学ぶ方法を支持する生徒が多いことがわかる。生徒の記述からも「クイズが楽しい」と活動そのものを楽しんだ様子と「自分でわかったときに感激した」と成功体験が学習法への印象に良い影響を与えたことがわかった。

「グループ活動を良いと思うか」についても、同様に 70 %以上の支持を得ている。その理由として「他の人の考えを知ることができるから」「一人よりも一生懸命考えるから」と、知的な面でのメリットを挙げた生徒が多い中、「グループだと他人任せで何もしない人がいる」と冷静にデメリットを指摘する記述もあった。

表 3.2 実験授業後のアンケート

	すごく	わりに	少し	どちらとも	あまり	ほとんど	全く
設問 A	46	20	4	3	0	0	0
設問 B	28	33	14	6	1	1	0
設問 C	18	32	24	5	3	1	0
設問 D	4	21	24	20	10	2	2
設問 E	16	21	29	13	4	0	0

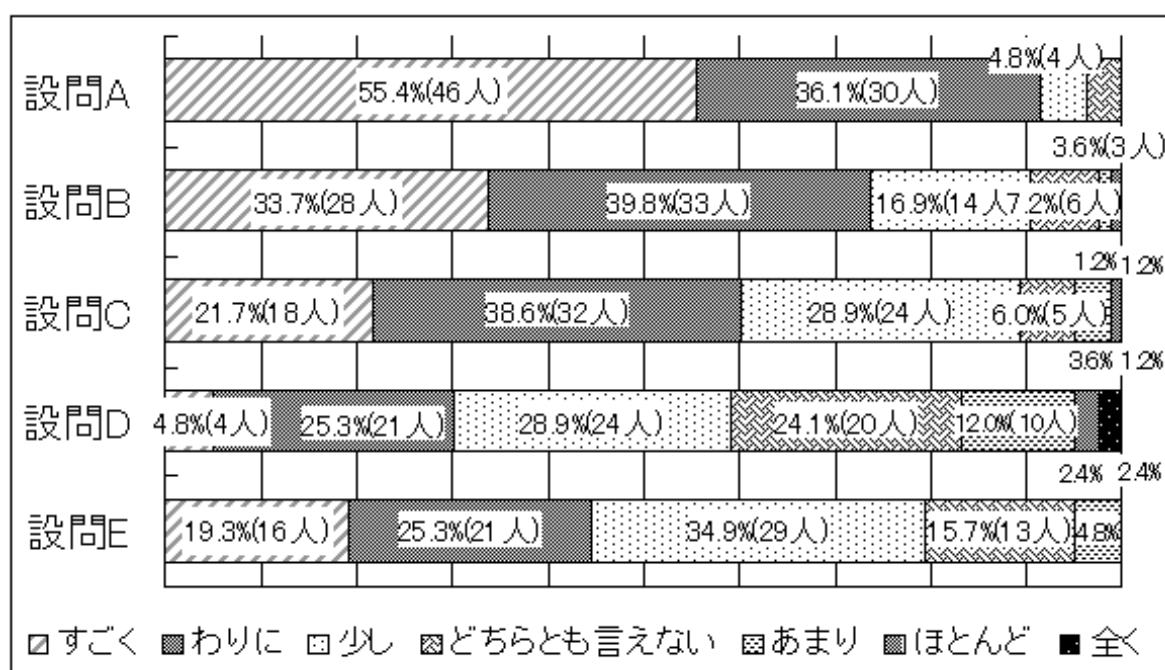


図 3.10 授業実施後のアンケート

「授業を受けてなるほどと思うか」については、「すごく良い」「わりに良い」を合わせると 60 %で、上記 2つの設問に比べるとその比率は劣るが、「少し良い」と答えた生徒を加えると 90 %近くに達した。「こういうことを考えた人は凄い」と先人の知恵に驚く生徒がいる一方で、「頭を使うのは疲れる」と回答した生徒もいた。

授業全体に関わる項目については、「授業内容を、もっと知りたいと思うか」については、「すごく」「わりに」を合わせても 30 %程度で、生徒が授業以上の知識を積極的に得ようという気持ちに至らなかったことを示している。また、「授業内容と自分の生活の間に関係があると思うか」についても 40 %程度で、身近な技術として十分に感じるに至らなかったことを示している。これらについては、授業素材やその提示の方法に改善すべき点が多く残されており、今後の課題である。

表 3.3 事後テストの問題と正答率

No	問題	正答
1	2 進数 10011 を 10 進数で表しなさい	56 人 (77.8 %)
2	10 進数 24 を 2 進数で表しなさい	46 人 (63.9 %)
3	授業で実施した数値化の方法で、次の画像を数値化しなさい	56 人 (77.8 %)
4	授業で実施した方法で、圧縮されたデータを伸張（展開）しなさい	62 人 (86.1 %)
5	次の ISBN-10 コードについて、チェックディジットを求めよ 4-7669-2089-□	56 人 (77.8 %)
6	「画像をデジタル化するとは」どういうことか、50 字以内で述べよ.	12 人 (16.7 %)
7	なぜ、コンピュータの世界では、データ圧縮の技術が使われるのか、その理由を 30 字以内で述べよ	26 人 (36.1 %)
8	元のデータに、パリティビットのようなデータを付け加えることの意味を 30 字以内で述べよ.	22 人 (30.6 %)

3.3.5 事後テストと前期授業アンケートの分析

実験授業のための事後テストとして、学期末の定期テストを利用した。CS アンプラグドと直接関わりのある問題と調査協力に応じた 72 名の正答者数及び正答率を (表 3.3) に示す。

No.1 と No.2 の基数変換の問題は正答率が高く、第 1 章の学習効果が反映されている。前年度に授業を担当した教師の結果より向上した。No.3, No.4, No.5 は、授業で実施した活動について、その内容が高い比率で定着していることを示している。No.6, No.7, No.8 は、学んだ技術の意味を問う設問である。CS アンプラグドの体験的な学習と異なり、通常の正答率にとどまっている。

CS アンプラグドの授業実施から 5 ヶ月経過した 10 月に「前期授業アンケート」を実施した。確認テストとして行った 2 進数を 10 進数に変換する問題の正答率は 73.1 % となり、高い知識の定着度が得られた。

3.4 考察

CS アンプラグドの高等学校での実践を通して、明らかになった点、課題、解決策について考察する。

3.4.1 CS アンブラグドで学べること

1 章では 2 進数を扱った。カードを使ってビットを表す活動と文字コードと対応させて通信を行う活動は問題なく行えており、CS アンブラグドで、デジタル化の基礎を教えられることを確認できた。2 章では、画像のデジタル化を扱った。画像データを数値（ビット列）で表現し、転送する活動も行えた。3 章では、データの圧縮技術を扱った。データの伸張は要領を覚えてしまえば機械的にできるため、生徒は問題なく活動を行えた。活動は伸張しか扱わなかったが、生徒は圧縮の原理と必要性を理解できた。4 章では、パリティビットやチェックディジットの実習を通して、データを正確に伝達するための技術を学ぶことができた。

以上より、本論文で実践した CS アンブラグドの方法は、情報 A や新科目などで、情報のデジタル化に関する基本的な原理を理解させるための効果的な学習法であることが確認できた。

その一方で、次の点が課題となることがわかった。3 章、4 章では、学習のねらいを理解できない生徒がいた。これらの課題について、その要因を考察し解決策を検討する。

3.4.2 2 進数の理解とその工夫

本実験授業で最も大きな課題が、2 進数の理解であり、CS アンブラグドのオリジナルの教具（カード）だけでは、10 進数から 2 進数の変換が十分に理解できなかった。これは、10 進数と 2 進数という 2 つの数表現を、頭の中で使い分けなければならない、特に数学が苦手な生徒には難しかった。しかし、01 カードという新たな教具を追加（図 3.11）することで、理解度が向上することがわかった。

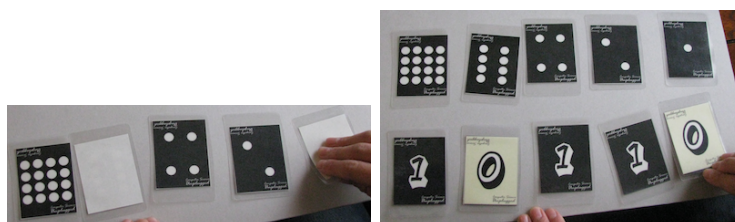


図 3.11 オリジナルのカード（左）と工夫した 01 カード（右）

CS アンブラグドの 2 進数の教材はカードからワークシートまでの 5 段階の学習が含まれている。子どもたちはいろいろな形で 2 進数の楽しさを体験できるようになっているが、高等学校以上で利用する場合は授業内にすべてを行うことは難しい。そこで、代表的な 1 種類の活動だけを実施した場合と、それを補う改良をした活動を比較し、改良した活

動を行えば、5種類を実施した場合と同等の学習効果を1種類で得られることを明らかにした。

また、高等学校以上では、CS アンプラグドで学べる内容以外にも、以下の理解が必要になる。

1. さまざまな桁を扱える。
2. 10進数と相互に変換できる。
3. ビット数と表現できるパターン数の関係がわかる。
4. バイトという単位を扱える。
5. 16進数と相互に変換できる。

これらは、ビット数の多い実際の技術を学ぶために必要な知識であり、5枚のカードで学ぶCS アンプラグドでは理解することは難しい。カードの枚数を増やすことも考えられるが、カードが増えれば、操作の負担も増加し、計算にも時間がかかる。そこで、操作や計算の負担が少なく、学習目的に集中して考えられるような学習環境を提供することが必要であることがわかった。

3.5 まとめ

本章では、CS アンプラグドの1章から4章までの「情報のデジタル化」を扱った学習を、高等学校の「情報A」のデジタル化単元の授業に使い、その効果を検証した[51]。その上で、CS アンプラグドで「何が学べ」「何が問題となり」「何を補えばよいか」の3点を議論した。

生徒はCS アンプラグドの活動を通して、高校生として必要なデジタル化に関する概念の獲得ができていた。しかし、2進数の理解がオリジナルの教具だけでは十分ではなく、教具を工夫することで理解が深まることを明らかにした。CS アンプラグドの考え方を残したまま、知識を発展させるためのソフトウェア教具の有効性についても考察した。また、「学習のモデルと実際の技術の区別ができない」や「学習目的から意識が離れる」という課題があることも明らかにした。

本章では、「情報のデジタル化」を通してこのような議論を行ったが、他のCS アンプラグドの学習も、学べることの差を補うことの必要性や教具を使う点、グループ学習を行う点は共通しており、本研究で得られた知見は有効であると考えられる。次章では、CS アンプラグドの学習効果を高めるために、教え方そのものに着目する。体験的な活動をどのように行うか、使用する教具は何がよいかなどを含めた教授法のあり方について、議論する。

第 4 章

アルゴリズム単元における CS アン プラグドの教授法の検討

4.1 はじめに

前章では、体験的な学習である CS アンプラグドが、高等学校情報科の授業で効果があることと、授業で使うには教材などに工夫や配慮が必要であることを明らかにした。本章では、授業で CS アンプラグドを使うときに、どのような形で実践すれば生徒の理解を深め、学習効果を高められるのかという教授法について検討する。

題材はアルゴリズムである。前章にてコンピュータの中でのデータ表現を扱ったが、本章ではそれらのデータが処理されていく過程を学ぶ。アルゴリズムはコンピュータの動作原理そのものを見ることのできる題材である。CS アンプラグドでは、ソート（データの並び替え）という処理を、天秤ばかりとおもりという教具を使ったグループ活動で学ぶ学習を提供している。

ソートとは、音楽プレーヤーの曲名順やアドレス帳の名前順などの並び替え操作などを通して生徒にも身近な処理である。ソートには複数の方法がある。CS アンプラグドでは、ソートの方法を自分たちで考えたり、複数の基本的なソート法を学ぶ活動がある。生徒は教具として用意された天秤と外見からは重さの順番がわからないおもりを操作する活動を通して、データがどのように処理されているかというコンピュータの仕組みがわかるようになる。自分たちでアルゴリズムを考える学習は、生徒同士でアイデアを出し合い、議論することで問題意識が高まる。また、複数のソート法を学ぶことは、アルゴリズムの違いが処理効率に影響を与えることや計算量の概念を理解できるようになる。

アルゴリズムの理解には手順を頭で組立てる論理的な思考が必要である。それぞれの生徒が集中して考えなければ理解は得られない。しかし、このようなグループ活動では学習を全員が体験できないことや、十分に活動を繰り返さないことなどが想定される。した

がって、「全員が実習を体験する」「個人で作業する」「何度もアルゴリズムを試す」といった学習の工夫をすることで、学習効果を上げられる可能性がある。

本研究ではグループと個人という活動形態の違いと、本物の天秤とコンピュータ上で動作する仮想天秤という教具の違いに着目する。これらを組合せた複数の授業による比較実験を通して、生徒の理解に与える影響を調査する。

4.2 アルゴリズム学習についての議論

4.2.1 アルゴリズムを学ぶ意義

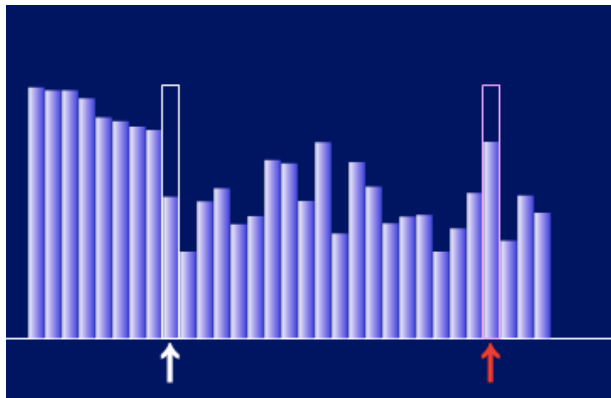
コンピュータは、たくさんのデータを操作して何らかの処理を行っている。処理を行うためには、あらかじめプログラムを作っておく必要がある。同じ処理を行うにも、プログラムの違いでその実行時間に大きな差が生じることもあるし、プログラムが間違っていれば意図しない動きをすることもある。プログラムを実行するのは、コンピュータであるが、指示をする（すなわちプログラムを作成する）のは人間である。プログラムを作る際に、どのように考えて問題を解決するかという、手順をまとめたものがアルゴリズムである。アルゴリズムを学ぶことで、コンピュータ内部の仕組みを学ぶことができる。

今回の実践では、CSアンプラグドの第7章整列アルゴリズムを扱った。新課程では、「情報の科学」の「(2) 問題解決とコンピュータ」における「イ. 問題の解決と処理手順の自動化」が対応し、「処理手順に簡単な変更を行うだけで処理結果に違いが出たり、少しでも処理手順に誤りがあると想定どおりの結果が出なかったり、処理時間に大きな違いが生じたりすることも理解させる」と示されていることから、これらの理解も授業の目標になる。

本研究では、アルゴリズム学習の目標を「ソート法に学ぶコンピュータの仕組みの理解」とし、以下の4観点を設定した。

- 手順が違えば正しい結果にならないことを理解させる
- 選択ソート、クイックソート、挿入ソートを理解させる
- アルゴリズムの違いで計算量が違うことを理解させる
- コンピュータの内部の動きを理解させる

アルゴリズムの教え方にはさまざまなアプローチがある。例えば、図4.1のようなアニメーションを見せて処理の過程をイメージさせ、それをプログラミングさせながら、アルゴリズムを理解させる授業がある。考えたことをすぐに形にできるため、自分が理解できたかどうか、確認しながら学習を進めていける利点がある。しかし、このような学習法では、初学者は言語の仕様を覚えることで精一杯だったり、実行時に表示される大量のエ



```
for (i = 0; i < n; i++) {  
    min = i;  
    for (j = i + 1; j < n; j++)  
        if(data[min] > data[j]) min = j;  
    swap(data[i], data[min]);  
}
```

図 4.1 ソートの説明のイメージ図

ラーの対策に追われたりして、アルゴリズムを考えることから意識が離れてしまうことも多い。したがって、楠ら [52] は、アルゴリズムとプログラミングを分けて教えることを提案している。このように、アルゴリズムは情報科学の中で重要な学習内容でありながら、その教え方は確立してはいない。

扱う題材も色々とあるが、探索（データを探すこと）、整列（データを並べ替えること）など複数回のデータ比較を通して結果を導くアルゴリズムを扱っている入門書が多い。これらの題材は、携帯電話のアドレス帳の中から対象の相手を探し出したり、名前順に並べ替えるなど、高校生が日常的に行っている機器の操作とも繋がるため、身近である。更に、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もある。

4.2.2 CS アンブラグドのアルゴリズム学習

CS アンブラグドの学習 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 つのものしか比較することができないという基本的な性質を、「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、重さの順番に並べ替えるというグループ学習が想定されている。協同学習や教材を触りながらの実習体験を通して、生徒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。

生徒は 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例に並べる。生徒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、きれいに並び替わった数が現れる。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。

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、生徒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生徒自身が考える授業も行える。

生徒が自分でおもりを操作することで、データがどのように流れ、どのように記録され、どのように処理されているかわかるようになる。これはコンピュータの仕組みを理解したことになる。つまり、CSアンプラグドでアルゴリズムを学ぶことによって、ブラックボックスであったコンピュータがどのようにして、目的とする処理を行っているか、その動きを見ることが可能になる。

4.3 研究の仮説

4.3.1 仮説

CSアンプラグドのアルゴリズム学習法で、生徒が自分でおもりを操作することで、コンピュータの中で、データがどのように処理されていくか、という仕組みを学ぶことができる。ただし、アルゴリズムの違いによる処理効率の違いへの理解や、正しくアルゴリズム再現できるようになるには、一定回数以上のアルゴリズムの試行が必要である。

4.3.2 評価方法

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ために、「活動の形態（グループ／個人）」「使用する教具（天秤／ソフトウェア教具）」「試行回数」に着目する。試行回数とは、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等学校の必修科目「情報A」で実施する。「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。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」とする。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種類を用いる。

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（ソフトウェア教具）を開発

し（図 4.2），授業で使用する．ソフトウェア教具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．この教材は，初期状態は下に並んでいるおもりを左右の上皿にひとつずつ載せ，「計測ボタン」を押すことで仮想的な重さの重い方に傾く．測り終えたおもりは，生徒が好きな場所におもりを置く．並べ替えができたと思った後に，「表示ボタン」を押すことで，仮想的なおもりとして設定していた値が表示され，自分の考え方が正しかったかどうか，わかるようになっている．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，ゲームごとにおもりを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．



図 4.2 天秤のソフトウェア教具

4.4 情報 A で実施した「アルゴリズム」の評価実験

4.4.1 対象

評価実験は，総合学科高等学校の「情報 A」のクラスで行った．この学校は単位制であり，生徒はそれぞれ科目を選択して受講する．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 4.1）．検証すべきことは「(X) グループ活動の与える影響」と「(Y) 天秤とソフトウェア教具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）

表 4.1 実験授業の流れ

	内容	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						
活動 2	検討 [教材]	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 [ソフト]
活動 3	各ソート法の説明						
活動 4	実習（試行） [教材]	個人 [ビデオ]	グループ [天秤]	個人 [天秤]	個人 [天秤]	個人 [ソフト]	個人 [ソフト]
活動 5	確認テスト						

表 4.2 実験授業の内容

授業（人数）	活動 2(検討)	活動 4(実習)
授業 A(32 人)	座学	座学
授業 B(36 人)	グループ [天秤]	グループ [天秤]
授業 C(35 人)	グループ [天秤]	個人 [天秤]
授業 D(20 人)	個人 [天秤]	個人 [天秤]
授業 E(33 人)	グループ [天秤]	個人 [ソフト]
授業 F(25 人)	個人 [ソフト]	個人 [ソフト]

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「ソフトウェア教具」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した（表 4.2）。

4.4.2 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。

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通りにしか動かないことを説明した。

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。

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。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。本章では、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、高等学校の「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。本章では、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。本章では、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、本章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。

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。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。

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。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。問題文は以下の通りである。

【問題】 次の条件のデータを重さの順番に並べ替えたい。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。



表4.3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。したがって、生徒の解答をひとつずつトレースし、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。

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ても正解である。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（表4.3）。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は理解のポイントである。更に、一度順位（位置）が確定したおもりの（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

表 4.3 確認テストの解答例

回数	選択ソート	クイックソート	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)		

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ケアレスミスと判断できるものに関しては正解にした。

4.5 実験結果

4.5.1 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4.4と図4.3に記す。それぞれのソート法について分散分析をしたところ、選択ソート(F値=5.15)と挿入ソート(F値=4.52)で、それぞれに1%水準の有意差が認められた。クイックソート(F値=0.61)は有意差が認められなかった。それを踏まえて、選択ソートと挿入ソートについて授業間でカイ二乗検定を行った結果を図4.4と図4.6に示す。選択ソート(図4.4)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4.5)では授業間での有意差は見られなかった。挿入ソート(図4.6)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。

表4.4 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%)

集計結果を見ると、座学の授業Aは全体的に理解度が低いことがわかる。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。

更に、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4.3)。
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ですが、3つのソートの理解度の差が小さい(図4.3)。
3. 授業Eは3つのソート法とも理解度が高い(図4.3)。
4. 授業Fは3つの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4.3)。

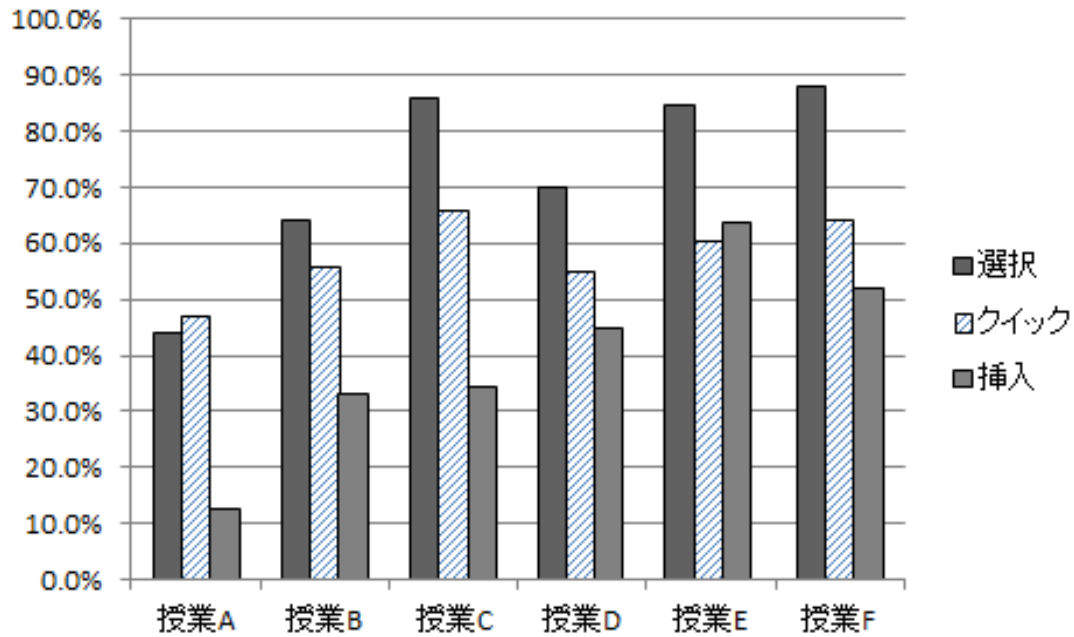
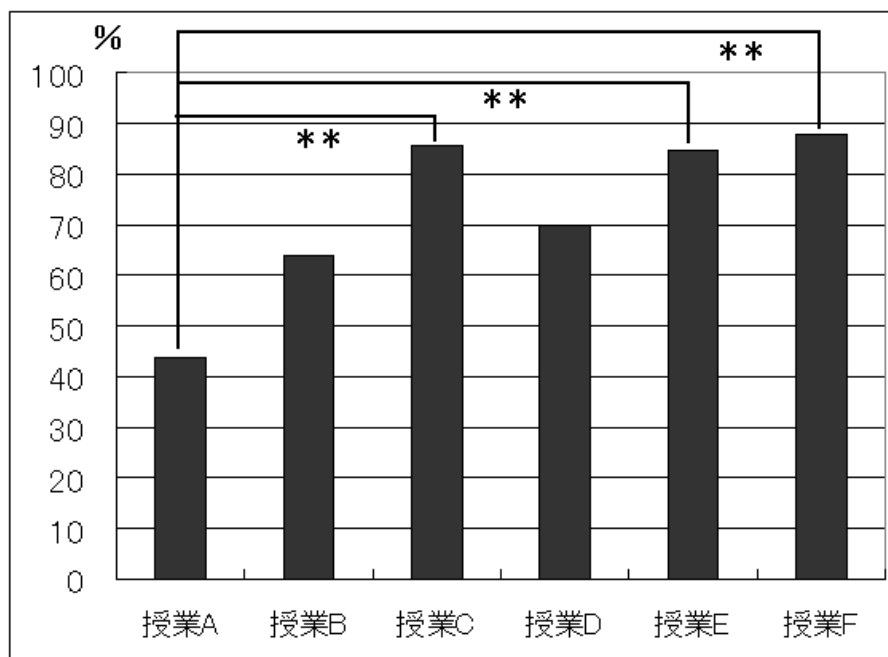


図 4.3 授業別正答率比較

図 4.4 選択ソート法の授業別正答率比較 (** $p < 0.01$, * $p < 0.05$)

5. 選択ソートはどの授業でも理解度が高い (図 4.4).
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 4.5).
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 4.6).

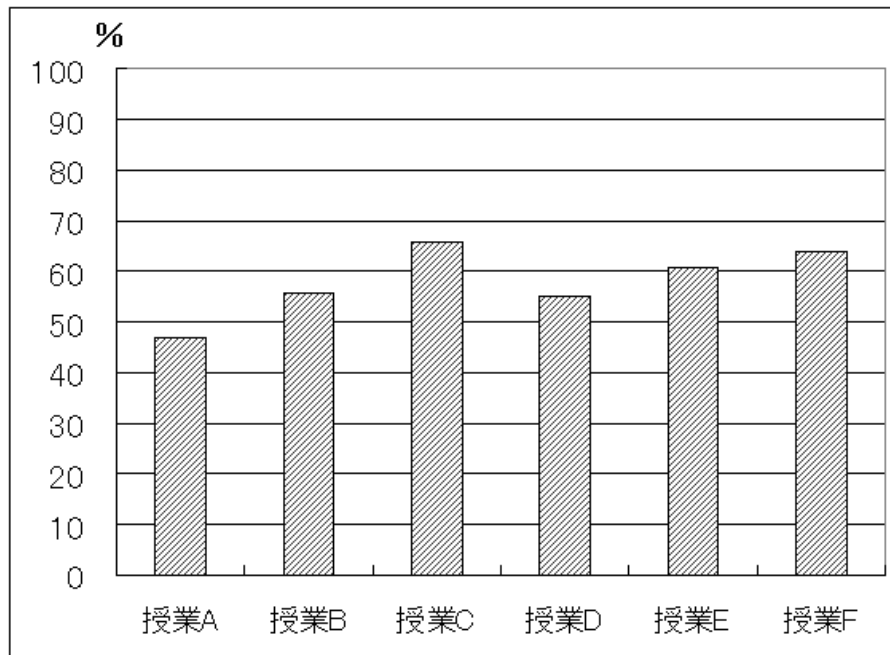
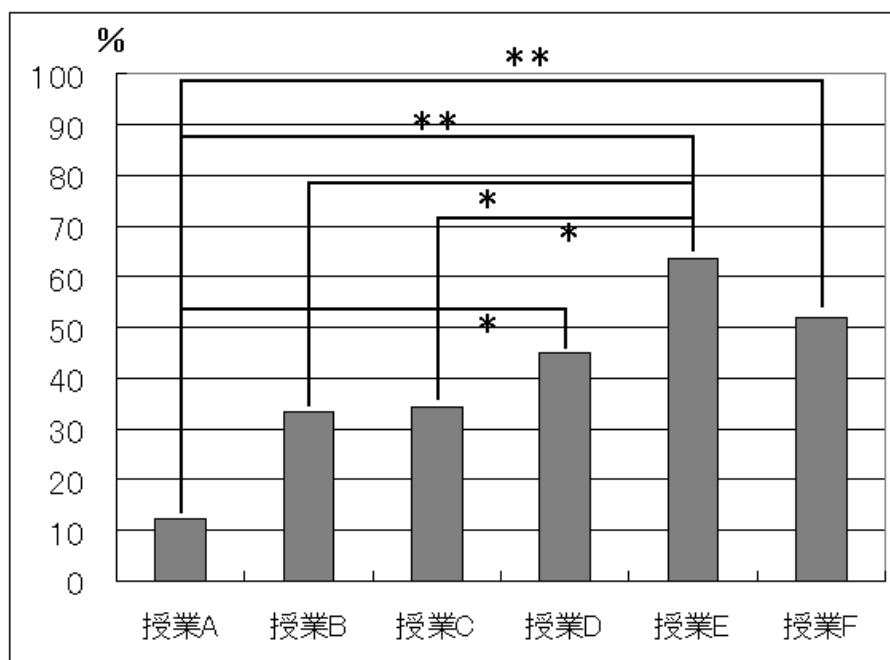


図 4.5 クイックソート法の授業別正答率比較

図 4.6 挿入ソート法の授業別正答率比較 (** $p < 0.01$, * $p < 0.05$)

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（実習 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，選択の抜き出す操作やクイックの分けて置く操作に比べてわかりにくかったためである．

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．

4.5.2 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．そこで，その要因として以下の項目について分析を行った．

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 4.7），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 4.8），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．

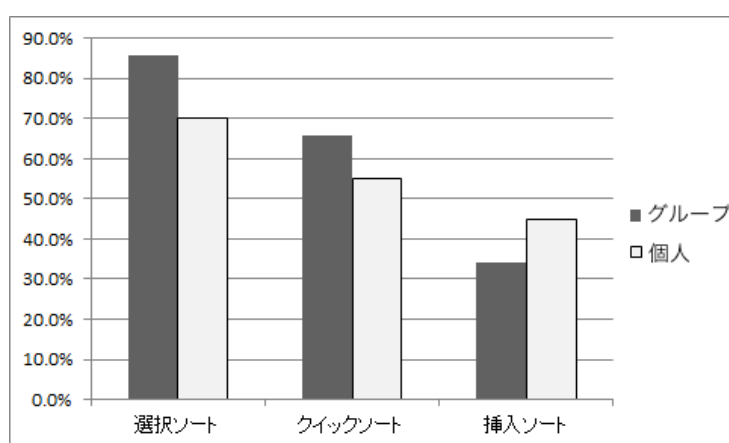


図 4.7 検討時の学習活動（グループ・個人）の違いによる正答率比較

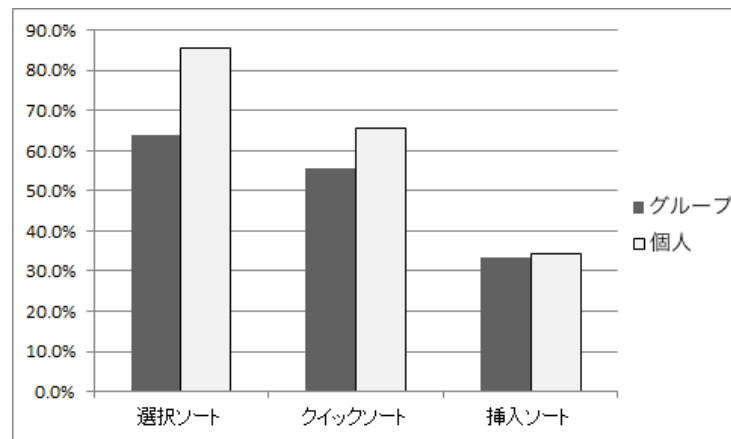
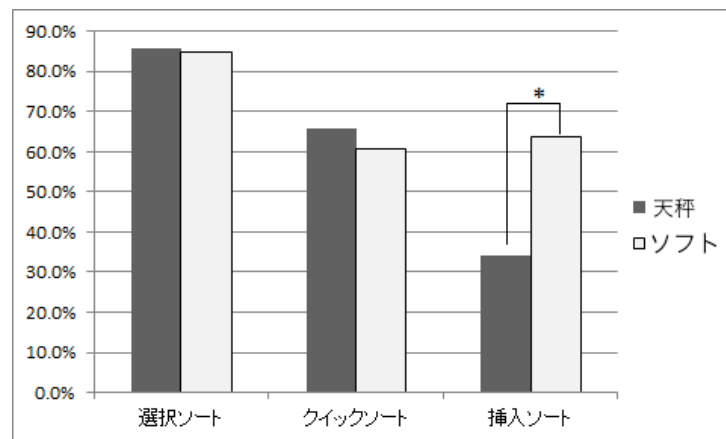


図 4.8 実習時の学習活動（グループ・個人）の違いによる正答率比較

図 4.9 実習時の教材（天秤・ソフトウェア）の違いによる正答率比較 (* $p < 0.05$)

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：ソフトウェア・個人）とを比較した結果（図 4.9）、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、天秤を使うよりもソフトウェア教具を使った方が挿入ソートの理解度が高くなった。

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)」「ソフトウェア・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 4.5 に示し、図 4.10 で図に可視化した。図 4.10 より、天秤ではグループより個人が、さらにソ

表 4.5 授業活動ごとの平均試行回数と正答率

	選択	クイック	挿入	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%)
ソフトウェア・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%)

ソフトウェア教具のほうが理解度が高い傾向にあることがわかる。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 4.10 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わかる。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 4.6, 図 4.11), 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, 挿入は有意差が見られたが, 選択とクイックは傾向が見られる程度であった。この理由としては, 選択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。

表 4.5 を見ると, 授業が「選択」「クイック」「挿入」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」の試行回数を「選択」「クイック」と比較すると, 次のことがわかる。

- 「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。
- 「ソフトウェア・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」で 28 回, 「クイック」で 20 回前後, 「挿入」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。ソフトウェア教具では, 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。

生徒ごとの理解

生徒ごとの理解状況を考察する。図 4.12 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

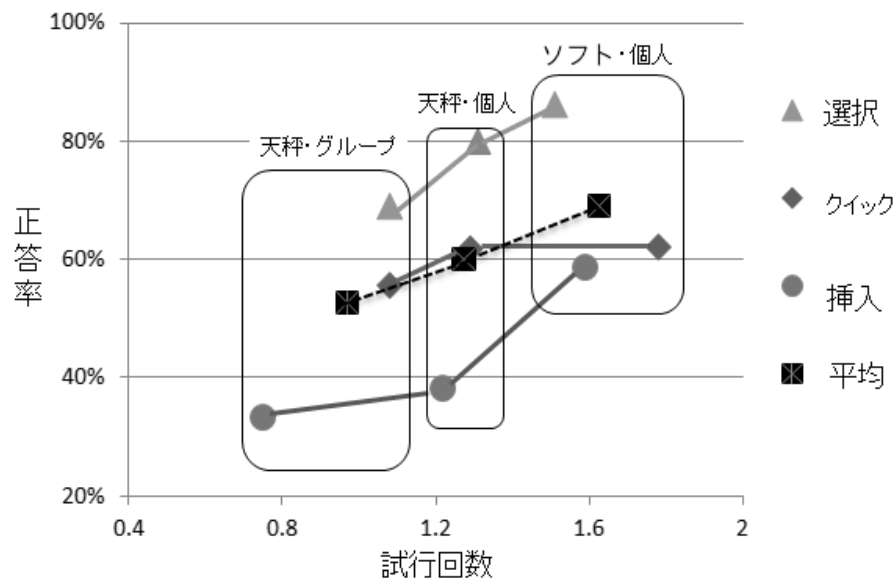


図 4.10 授業活動ごとの平均試行回数と正答率

表 4.6 ソート法の授業別正答率

	選択		クイック		挿入	
回数	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

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) 試行回数が少ない上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

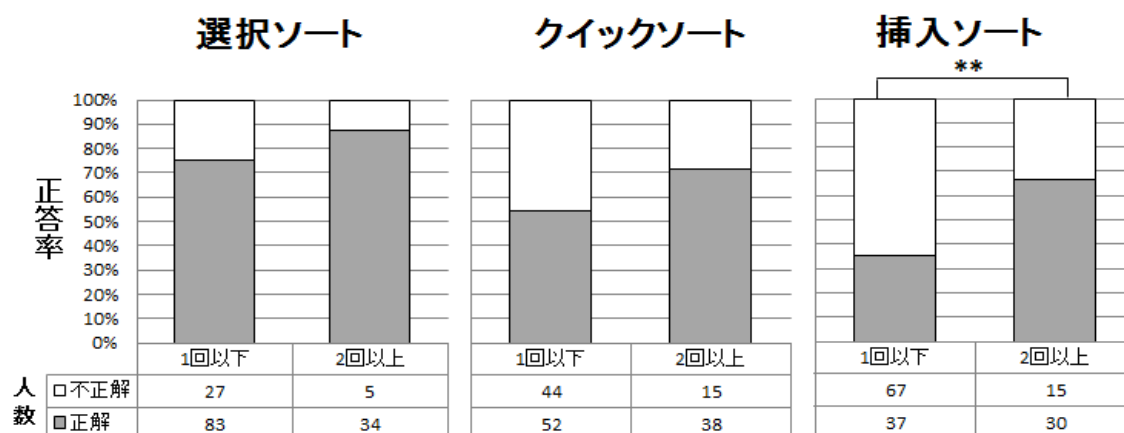
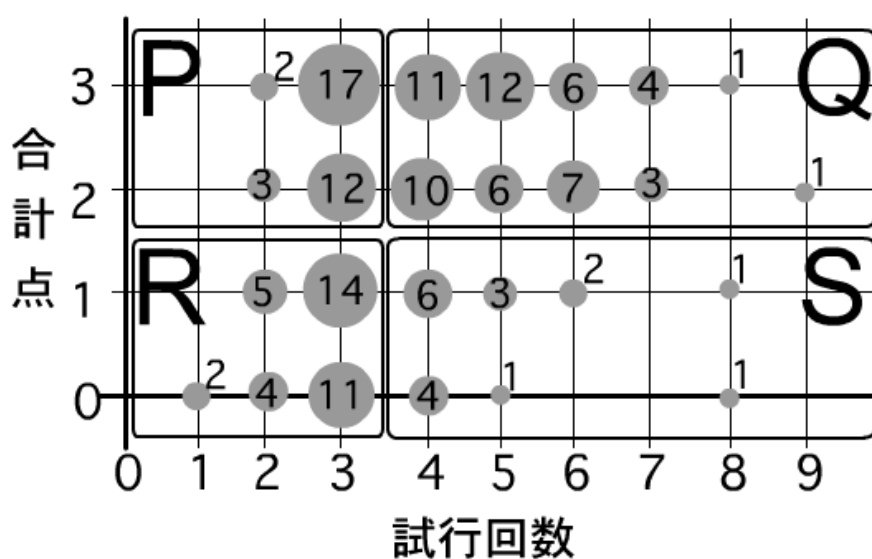
図 4.11 試行回数による正答率の違い (** $p < 0.01$)

図 4.12 合計数と試行回数の関係

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繋がった生徒である。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 名中 16 名 (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した可能性が高い。

生徒の自由記述

授業の最後にアンケートを行い、「実習を通してわかったこと」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わかる。

- 挿入の理解は難しい (22 人, 14.8 %)
- クイックの理解は簡単 (15 人, 10.1 %)
- 選択の理解は難しい (13 人, 8.7 %)
- 挿入の理解は簡単 (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。

- 選択は遅い (47 人, 31.5 %)
- クイックは速い (44 人, 29.5 %)
- 挿入は速い (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。

- 選択はデータの並び方に関わらず比較回数が一定である (35 人, 23.5 %)
- クイックはデータの並び方によって比較回数が変わる (19 人, 12.8 %)
- 挿入はデータの並び方によって比較回数が変わる (10 人, 6.7 %)

4.6 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と考えられる。一方、CS アンプラグドを利用した授業では生徒は天秤を使っておもりを2つずつ比較しながら、未整列のデータと整列済みのデータとを分けて机の上に置き、整列済みのデータを1つずつ増やしていく作業ができていた。これらの作業は、コンピュータがメモリを使ってデータを処理していく過

程と同じである。生徒が天秤とおもりを使って、コンピュータ内部と同じ動作をしたことが、生徒の思考を助け、理解を深めた理由である。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、ソートのアルゴリズムについても効果を確認することができた。

実習の教具として天秤とソフトウェア教具を比較したところ、授業を行った教師の目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。ソフトウェア教具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、天秤またはソフトウェア教具による個人の学習が適していることがわかった。

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わかった。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わかった。このことから、限られた授業時間の中でバランスよ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ソフトウェア教具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である。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わかる。試行回数が多いにも関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。このことから、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う機会を作ることなどが有効であると考えられる。

生徒の自由記述からは、選択ソートは比較回数が常に一定であり、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わかる。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。

4.7 まとめ

本章では、CS アンプラグドのアルゴリズムを学ぶ学習を用いて、アンプラグドの効果を検証し、理解を深める教授法について活動形態（グループ／個人）と教材（天秤／ソフトウェア教具）の違いが生徒の理解度に与える影響を調査した。

まず、CS アンプラグドは天秤とおもりを使って、コンピュータ内部の動作を生徒が手作業で行う。このことが、生徒の理解を深める要因であり、座学の授業に比べて効果がある学習法であることがわかった。CS アンプラグドに効果があることは知られていたが、今まで十分な検証が行われていなかったソートの章が、高等学校の授業でも効果がある学習法であることを明らかにした。

その上で、条件の違う6通りの授業で比較実験した結果、手順を再現するという活動において、アルゴリズムの試行回数がもっとも影響を与えていて、アルゴリズムを確認する実習が、1回と2回の違いが理解に大きく影響することを明らかにした。

実習の教具として天秤とソフトウェア教具を比較したところ、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、ソフトウェア教具は生徒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良いことを確認した。

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、何度も操作を試す時間がある」場合には、オリジナルの学習法が適している。しかし、「全員が操作できなかつたり、何度も操作を試す時間がない」場合には、CS アンプラグドのエッセンスを使いながら、グループ学習と個人学習を組み合わせたり、画面上の模擬天秤を使うことで、全員が複数回の操作を行う授業が効果が高いことを確認できた。

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、CS アンプラグドを授業で使う場合の理解を深める教授法を検討した。題材としては、データの並べ替えアルゴリズムを扱ったが、得られた知見はデータの探索アルゴリズムなど、他の学習についても有効である可能性がある。これらについては今後検証を進めていきたい。

第 5 章

身体障害者の CS アンプラグドの活動支援

5.1 はじめに

第 3 章と第 4 章では、CS アンプラグドと高等学校の情報科学教育との隔たりを埋める工夫点を議論した。本章では、CS アンプラグドと障害者教育、特に、成人を対象とした障害者職業能力開発の現場と間にある 2 種類の隔たりを埋める工夫を議論する。

身体的な障壁の少ない IT 技能は、健常者と同等の能力を身に付け、実力を発揮できる機会も多い。障害者教育や障害者職業能力開発の現場でも、情報科学教育を充実させるために、CS アンプラグドのような良い教材を取り入れることも必要である。しかし、CS アンプラグドが障害者教育や成人を対象とした職業能力開発の現場で使われた実績はなかった。成人が子ども用の学習に取り組むかどうかは示されていない。また、CS アンプラグドは身体を動かしながら学ぶ学習法のため、身体の障害によっては活動できるとは限らず、どのような障害に対し、どのような支援が必要かは示されていない。

本章では章を前半と後半に分けて、これらの課題について議論する。前半では、障害者職業能力開発校において CS アンプラグドを使い、成人の障害者に対してどのような教育効果があり、何が課題となるかを調査する。一連の学習を行い、授業を終えた生徒のコメントより CS アンプラグドが成人を対象とした情報教育の現場でも使えるかどうかを考察する。

後半では、CS アンプラグドの活動の身体性に焦点を当てる。CS アンプラグドの活動は上肢・下肢・聴覚などに障害を抱えている場合、想定された活動ができず、それらの活動を通して得られるはずの概念を得られなくなる。しかし、研究 1 や研究 2 で用いたソフトウェア教具などを用いることで、本来はできない CS アンプラグドの活動を可能にし、コンピュータの仕組みの理解ができそうである。そこで、次のように支援策を検討した。

上肢障害者の中には、手先の器用さを欠いて「物をつかむ」「カードを裏返す」などの動作ができない人がいる。そこで、仮想的に健常者と同じ活動をするためのソフトウェア教具を作ることによって支援を行う。聴覚障害の場合に問題となるのは、コミュニケーションであり、グループ活動に影響する。しかし、ひとりひとりの問題解決能力を高まれば、指差しやアイコンタクトなどの簡単な手段で意思疎通ができるようになる。その考え方で作ったソフトウェア教具で支援を行う。検証は、障害者職業能力開発校で行い、指導員による生徒の観察と、生徒のコメントなどを通して、オリジナルのCSアンブラグドと同等の学習ができたかどうかを評価する。

5.2 障害者職業能力開発校で実施したCSアンブラグドの効果

CSアンブラグドの実験授業は、障害者職業能力開発校にてプログラマやコンピュータエンジニアを目指す20名の生徒を対象とした、情報処理の基礎教育として指導した。プログラマやコンピュータエンジニアになるためには、数学的な知識や論理的な考え方と、自ら考えて問題解決しようとする姿勢が必要である。しかし、生徒の多くは、論理的／数学的な考え方を苦手としていた。生徒の中には長期入院によって、ある時期の数学や算数を学習していない生徒もいた。そのため、アルゴリズムやプログラミングを一方的に教えても、理解しようという気持ちにさせられないことがわかった。そこで、CSアンブラグドを導入して、学びの姿勢に変化が生じるかを観察した[37]。

職業能力開発の現場では、社会に出てすぐに使える技術や知識を主に指導するため、CSアンブラグドをカリキュラムに採用した例はなかった。生徒は当初この不思議な学習法に戸惑っているように見えた。しかし、カリキュラムの進行とともに「次のCSアンブラグドが楽しみ」といった声を聞くようになった。

一通の学習が終わった段階で、生徒から聞いたコメントを表5.1にまとめた。コメントには「コンピュータの仕組みがよくわかった」といった肯定的な記述が多く、CSアンブラグドのような体験的な学習が大人を対象とした職業能力開発校においても有効であることがわかった。

5.3 身体性の問題と支援の考え方

5.3.1 身体性により生じた問題

前節での実践から、CSアンブラグドの持つ身体性の課題も明らかになった。例えば、上肢障害の生徒は「鉛筆の色塗り」や「手で掴む」動作を実行できなかった。これらのこ

表 5.1 生徒の感想の例

- (1) 自分たちが現在日常的に使っているコンピュータの基礎的な仕組みが勉強できた。数学からコンピュータの基本原理、そしてプログラミングに繋がっていく過程が、非常に分かりやすく、自然に知識として覚えられた。
- (2) 先生の授業でこの教科書と出会い、CS アンブラグドの存在を知りました。実際にコンピュータから離れて机の上で学ぶことはとても頭も体も使い、今までなんとなくしか理解できていなかったことが、はっきりとわかったり、入り口が見えたり、とても良い経験ができました（情報をとても身近に感じました）。私は 21 歳で、小中高と学校に通い、一般的な勉強をしてきましたが、情報に関する勉強は訓練校に入ってはじめてしました。時代的な事情もあるので、仕方ないと思いますが、もっと前から情報に関する教育をこの CS アンブラグドで受けたかったなと感じました。
- (3) コンピュータの考え方として ON/OFF で判断する以外に方法がないということがより深く体感することができた。その中でも人間の考えたアルゴリズムによって優劣が決められるということも再認識し、アンブラグドの時間の重みを感じました。
- (4) 小学生から学べるように作られていて、40 歳を過ぎた私でもコンピュータの基礎のアルゴリズムが分かりやすかった。
- (5) コンピュータの勉強をしようと思う者にとって、コンピュータ処理で何が一番必要であるかというのが分かりました（→アルゴリズム）。アルゴリズムを考えるヒントが多く書かれていました。ゲームを通して楽しくアルゴリズムの勉強ができました。
- (6) この教科書で最初に触れたのは 2 進数でした。2 進数は高等学校でも勉強しましたが、10 進数を 2 進数に変えるやり方が高等学校とは違っていたので、驚きました。続いてみかんゲームはカードを持ったゲーム（他にもありますが）で、いつ自分のところに指定された番号がくるのかドキドキでした。次の宝探しは、私は「銃士の丘」の住人をやりました。実際にこのゲームを海賊になってやってはいません。だから他の海賊（クラスメート）の動きを観察していました。CS アンブラグドで勉強してコンピュータの動きがわかりました。

とは、学習 1（点を数える）や学習 10（みかんゲーム）における物を動かす動きや学習 2（色を数で表す）における鉛筆で色を塗る作業の時間に影響した。学習 8（時間内に仕事を終わろ）や学習 11（宝探し）における体（全体）の移動は、下肢障害の生徒にとって危険だった。そのような生徒がこれらの活動に参加できないことがあった。コミュニケーションに課題を抱える生徒は、学習 6（戦艦）や学習 10（みかんゲーム）のような協調的な活動の実行が困難だった。

表 5.2 CS アンプラグドの学習活動と障害との対応表

学習番号	タイトル (内容)	主な身体性のある活動	身体性
学習 1	点を数える (2 進数)	1 列に並んだカードを裏返す	上肢, 聴覚
学習 2	色を数で表す (画像表現)	升目に色を塗る／消す	上肢
学習 3	それ, さっきも言った! (テキスト圧縮)	文字や線を書く	上肢
学習 4	カード交換の手品 (エラー検出とエラー訂正)	マトリックス状のカードを裏返す	上肢, 聴覚
学習 5	20 の扉 (情報理論)	コミュニケーション	聴覚
学習 6	戦艦 (探索アルゴリズム)	コミュニケーション	聴覚
学習 7	いちばん軽いといちばん重い (整列アルゴリズム)	おもりを載せる／下ろす	上肢
学習 8	時間内に仕事を終えろ (並び替えネットワーク)	体を移動させる	下肢
学習 9	マッディー市プロジェクト (最小全域木)	おはじきを置く	上肢
学習 10	みかんゲーム (ルーティングとデッドロック)	物を受け渡す・コミュニケーション	上肢, 聴覚
学習 11	宝探し (有限状態オートマトン)	体を移動させる	下肢
学習 12	出発進行 (プログラミング言語)	絵を描く・コミュニケーション	上肢, 聴覚

5.3.2 支援の考え方

本研究で行う支援は身体障害者を対象としているため、身体状況によって困難な動きをコンピュータの画面上で、仮想的にできるようにすることで行う。したがって、頭で考える余地は残し、コンピュータが考え方や答えを教えるような支援はしない。また、障害者であっても学習の目標は健常者と同じであり、CS アンプラグドの活動を通して、コンピュータの仕組みを学ぶことが目標である。

5.4 CS アンプラグドの身体性とソフトウェア教具による支援の可能性

5.4.1 CS アンプラグドの身体性

CS アンプラグドの活動で使う身体の動きに着目し、上肢・下肢・聴覚の各障害で支障をきたす学習をまとめたものが表 5.2 である（視覚障害についてはすべての学習が対象となるため、今回の議論からはずした）。

理想を言えば、すべての障害・すべての学習を対象とすべきであるが、それは現実的ではない。本研究では、まず、困難な活動が最も多い「上肢障害者」と、前述した実践の中で、学習への影響が大きかった「聴覚障害者」を対象とする。

5.5 上肢障害者の CS アンブラグド活動支援

5.5.1 支援対象とする学習と障害の程度

上肢障害といっても、障害の部位、程度、関節の可動域、力の程度、痙攣の有無などその症状は多様であり、すべての障害を対象とした支援は現実的ではない。そこで、『1. どの学習活動（どの動き）に対して支援するか』『2. どのような障害に対して支援するか』を明確にする必要がある。

まず、『1. どの学習活動（どの動き）に対して支援するか』を検討する。CS アンブラグドの上肢を使う活動は学習 1、学習 2、学習 3、学習 4、学習 7、学習 9、学習 10、学習 12 である。この中で、動作の繰り返しが概念の獲得に繋がる程度の高さから、学習 1、学習 2、学習 4、学習 7 を支援対象とすることとした。学習 1 はカードの裏返し動作から 2 進数を学ぶ。学習 2 は升目に色を塗る動作からデジタル化の仕組みを学ぶが、カードの裏返し動作で代替できる。学習 4 はカードの裏返し動作からエラーを検出／制御する仕組みを学ぶ。学習 7 はおもりの上げ下ろし動作から整列アルゴリズムを学ぶ。以上より、「カードを裏返す動作」と「おもりを上げ下ろす動作」の支援によって以下の 4 つの学習の支援とする。

- カードを裏返す動作：学習 1、学習 2、学習 4
- おもりを上げ下ろす動作：学習 7

次に、『2. どのような障害に対して支援するか』を検討する。人間の上肢動作は、空間的な位置を変化させるという「移動動作」と、「掴む」あるいは「置く」という移動動作を終結させる「終局動作」との組合せで行われる [53]。「カードを裏返す動作」「おもりを上げ下ろす動作」は、『巧緻性』という主に手先の器用さを用いるものであるから、本章では終局動作に伴う巧緻性の障害を支援対象とする。

このような症例を引き起こす具体的な要因として、脳性麻痺や頸椎損傷がある。脳性麻痺の場合、「上肢の移動能力に比べて巧緻性の高い終局動作により能力の低下が生じている」[53]「上肢では遠位ほど運動障害が強く、母指の他指の対立、指の屈伸、手関節の伸展、上腕の回外などが強く障害されやすい」[54] といった報告がある。C1～C8 と呼ばれる頸髄で構成される頸椎損傷の場合、損傷した箇所以下の髄節が支配する筋肉を動かすことができなくなる。例えば「C5 レベルでは、肩や肘の屈曲をコントロールすることができ、（中略）手動車椅子で短い距離であれば移動することができる」[54] が、C6 以下の髄節によって支配される手先や下肢が動かなくなる。

5.5.2 支援ソフトウェア教具の開発

ソフトウェア教具

支援のために開発したソフトウェア教具について記す。

学習1, 学習2, 学習4の「カードの裏返し」動作を支援するソフトウェア教具は、ビットを表す白と黒のドットで構成される。白の上でクリックすれば黒に反転し、黒の上でクリックすれば白に反転する。学習1は、横に並んだ5つ程度のドットを使えば学習できる。学習2は、マトリクス上にドットを使えば、画像を表現できる。学習4は、 6×6 程度のマトリクス状にドットを使えば、パリティ手品ができる。また、学習1では、2進数の理解を補助するための数値を書いたドットも用意した。

学習7の「おもりの上げ下ろし」動作を支援するソフトウェア教具は、マウスやトラックボールのドラッグによっておもりを動かして使う。左右の上皿におもりを載せ、ボタンを押すとあらかじめ設定された重さを表す数値の大小により、天秤が傾く。この作業を繰り返して、重さの順に並び替え、最後に数値を表示させて考え方に間違いがなかったかどうかを確認する。この教材は前章で扱ったものと基本的に同じであるが、障害による困難を想定して、おもりの数と大きさを変更できる機能を追加した。

健常者の動作制限

評価実験は、健常者1名を被験者とし、以下のように行った。

被験者は、健常者として通常の天秤とおもりを使った学習7の活動と、動作制限をしてソフトウェア教具を用いた活動を行った。動作制限としては、被験者の指は一切使わずに、テープで掌に取り付けたペンの押下動作によるクリックと、手の側部をスライドさせながら装置の中央にある球を動かす動作を組み合わせ、トラックボールを操ってもらった。トラックボールでのドラッグ操作は、通常は、「片手で左下のボタンを押しながら、もう片方の手でボールを動かす」が、本章では、ドラッグを片手で行うために、「左上のボタンを押したらその状態がロックされ、次にクリックした位置までおもりを運ぶ」クリックロックという機能を用いた。

天秤を使えば、上下左右に大きく手を動かさなければいけないが、ソフトウェア教具では、動作範囲が少なくすむ。このことから、トラックボールを動かすために必要な10～20cm程度の可動域しかない重度の上肢障害者でも片手で活動が可能である。

本来学習7の動作は片手で行うことが可能である。本章でも、被験者に片手で活動してもらい、「活動に要する時間」と「手の動作範囲」を計測する。この計測データから、どの程度の障害の重さで活動が可能になるかを考察した。また、教具を使う障害者が、例えば両手が使えるなど、他にどのような身体的能力を有していれば、より円滑に活動が可能

表 5.3 活動時間の比較

活動	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	5 回目	平均
通常の活動	58 秒	54 秒	55 秒	49 秒	48 秒	52.8 秒
ソフトウェア教具を用いた活動	108 秒	113 秒	109 秒	98 秒	95 秒	104.6 秒

表 5.4 手の動作範囲 (5 回目) の比較

活動	水平方向	垂直方向	前後方向
通常の活動	55cm	27cm	67cm
ソフトウェア教具を用いた活動	15cm	13cm	35cm

になるかを考察した。

5.5.3 健常者による評価実験

評価実験の結果

実験にはおもり 4 個の場合の選択ソートを用いた。おもりの比較回数は 6 回である。被験者には実験に先立って、選択ソートのアルゴリズムを教えておいたので、機械的におもりを天秤の上皿に載せて、重さの大小が判断したら次の比較に移る、という動作を単純に繰り返してもらった。

実験は通常の活動とソフトウェア教具を用いた活動を 5 回ずつ右手だけを使った。実験結果として、それぞれの活動に要した時間の比較を表 5.3 に記す。

評価実験の考察

本実験について、動作時間と手の動作範囲から、本ソフトウェア教具を評価する。

通常の活動では健常者としておもりをてきぱきと動かすことができたが、おもりを天秤に載せて、その状態からどちらが重いかを判断するための時間が必要であった。したがって、天秤の状況把握に活動時間の多くを費やした。しかし、ソフトウェア教具を使った活動では、どちらが重いかの判断は教具が瞬時に行う。そのため、ポインタの移動やクリックなど、トラックボールの扱いに多くの時間が費やされた。

表 5.3 から、ソフトウェア教具を用いた活動は、通常の活動のほぼ 2 倍の時間を要している。これは、被験者がトラックボールの扱いに不慣れであり、クリックロック機能を十分に使いこなせなかったことが原因であった。しかし、活動を繰り返すことで、慣れて行く様子も観察され、活動時間も短縮した。したがって、あらかじめクリックロックに慣れているか、左手が使える状態でありドラッグでおもりを動かせるのであれば、活動時間が

短縮し、充実した活動が可能になる。

通常の活動は動作範囲が広い。これは、一定の大きさがあるおもりをあちこちに置いて作業したためである。ソフトウェア教具を用いた活動では、画面の中でおもりを動かすため、手は常にトラックボールに置かれ、狭い動作範囲で活動ができた。上肢障害者は健常者に比べ通常は関節の可動域が狭く、動きがゆっくりなことも多いので、手を動かす範囲は狭いほど良い。水平方向垂直方向それぞれに 15cm 程度の可動域を有していれば活動が可能となる。

本実験から、ソフトウェア教具の支援によって、指 1 本（またはペン 1 本）の押下動作と、手の側部でボールをスライドさせる程度の力しかない重度の上肢障害者でも、時間は要するが、学習 7 の活動ができることがわかった。このことは、学習 7 より動き幅の少ない学習 1 学習 2 学習 4 でも同様のソフトウェア教具によって支援が可能である。また、本実験で想定した程の重さの障害ではなく、例えば巧緻性を欠いていたとしても両手が使える場合や、トラックボールの扱いに慣れている場合には、スピードアップが期待できるため実用が可能である。

5.5.4 上肢障害者による検証

重度の上肢障害を抱えた 2 人の被験者に対して、本章で開発したソフトウェア教具を使って授業を行い、「教材が活用できるかどうか」「CS アンプラグド本来の学習効果が得られるかどうか」の 2 点について検証した。

実験授業 1

被験者 A は頸椎を損傷した 20 代の男性で、職業能力開発校で情報処理を学んでいる。両腕の肩と肘に機能を残存させており、腕全体のゆっくりとした動きを残すため、車椅子で自走できるが、胸から下の感覚は失っている。握力はなく、手先の巧緻性も欠いているため、補装具でペンを腕に固定することで、握力を使わずに筆記を行えるようにした。パソコンの操作はそのペンとトラックボールを組み合わせで行う。

被験者 A に対しては、筆者が CS アンプラグドの学習 2 を授業した。まず、コンピュータがどのように画像を扱っているか、「お絵描き」を通して学ぶことを告げ、CS アンプラグドのテキスト通りに授業を進めた。

被験者 A は、ソフトウェア教具とトラックボールを使って漢字を表現しようとした。同様の学習を紙と鉛筆でやるとしたら、どう思うかを訪ねたところ、作業に時間が掛かって他の生徒に迷惑を掛けてしまうことや、枠からペンの軌跡がはみ出してしまうだろうと心配した。

以下は、被験者 A の授業に関するコメントである。

1. 手書きではこの活動はできなかった。
2. この学習教材を使うことで、デジタル化の基礎を理解できた。

この感想から、ソフトウェア教具によって被験者 A が授業に集中し、CS アンプラグド本来の授業として成立したことを確認した。

実験授業 2

被験者 B も被験者 A と同様に頸椎を損傷した 30 代の男性である。障害も被験者 A と似た様相を示しているが、右手の親指に少しの力を残しているため、筆記には親指を通して維持する特殊なペンを使う。パソコンは両手の側部でトラックボールを動かして操作する。

被験者 B に対しては、他の生徒と一緒に職業能力開発校の指導員が CS アンプラグド学習 7 を授業した。同指導員は 20 年以上の指導員歴を持つベテランで、障害者職業能力開発の経験も豊富に有している。指導員は学習 7 を用いて、複数のソート法を教える授業を行った。

被験者 B 以外の生徒には普通の天秤とおもりを一人一台ずつ渡した。被験者 B には、教具としてソフトウェア教具だけでなく、カード型のおもりとペンを磁石で着脱できるようにした特殊な工作物も渡し、実体のある教具で学習できる環境も用意した。

授業は、交換ソート、選択ソート、挿入ソートの手順を示し、それぞれの手順を生徒に実行させた後、ソートを理解させる為に作られたビデオ映像を見せる流れで行われた。指導員は授業の間、被験者 B や他の生徒の様子を観察した。被験者 B は、ソフトウェア教具と特殊な装置とを組み合わせることで学習を進めた。

授業の後、被験者 B と指導員よりコメントをもらった。以下は、被験者 B のコメントである。

1. 本物の天秤では掴むことに気を取られて、アルゴリズムを考えられなかった。
2. コンピュータでマウス操作を行ったときは、”次にどのおもりを動かせばよいか”を考える余裕があった。

以下は、指導員のコメントである。

1. カードを混ぜたり、ひっくり返すという行為がクリックするだけなので上肢障害者にも楽である。
2. 被験者 B の様子から、ソフトウェア教具を使った場合を本物の天秤を使った場合と比較すると、2〜3 程度の負担で学習が可能だと感じた。

5.6 聴覚障害者のCSアンプラグド活動支援

5.6.1 支援対象とする学習と障害の特徴

聴覚障害は、視覚障害と並んで情報障害と言われ、同一の情報伝達手段を持たない相手との意思疎通に困難が伴う。例えば、リアルタイムな意思疎通に手話を使う聴覚障害者と、言葉を使う健聴者とでは、意思疎通は難しい。話し手の口元の動きを読み取る口話や筆談などでも意思疎通は可能であるが、リアルタイム性に欠ける。グループ活動において、全員が同一の情報伝達手段を持たないとき、リアルタイムなコミュニケーションから問題解決を図ることは難しい。

CSアンプラグドの第10章・みかんゲーム（ネットワークにおけるルーティングとデッドロック）は、リアルタイムなコミュニケーションからグループによる問題解決が求められる学習である。5人～6人がグループになって、教具である果物などの模型を用いる。それぞれの生徒が、ネットワークのパケットに見立てた果物の模型を持ち、1つずつ手渡しで移動させながら、ある状態へと変化させる活動が想定されている。この活動には全体の意思疎通が重要である。全員が意思統一できて解決の方向性を決めないとゴールには辿り着かない。この活動を通して、ルーティングの仕組みやデッドロック（データが動かなくなってしまう状態）を起こさないように、配送する仕組みの重要性を学ぶことができる。

5.6.2 支援のためのソフトウェア教具

開発した支援のためのソフトウェア教具について説明する。この教具は、ゲームのルール通りにしか果物を動かせないことや、受け渡しに要した回数を自動的にカウントする機能がある。ゲームは「初級」「中級」「上級（ランダム）」を選べるようにし、初期状態に差をつけた。また、同じ初期状態のゲームを繰り返す機能も設け、繰り返し同じゲームを行うことで、どのような考え方が問題解決に有効かを生徒自身で考えられるようにした。

5.6.3 検証

本研究の障害者職業能力開発校での実践では、生徒をいくつかのグループに分けてこの学習を行った。その中に、健聴者3名と聴覚障害者3名で構成されたグループがあった。活動開始の合図の後、数分で他のグループは問題解決の糸口を掴み、次々にゴールしたり、ゲームを何度も繰り返した。しかし、健聴者と聴覚障害者とで構成されたグループは一向に解決へと進む様子が見られなかった。このことで、生徒らはやる気をなくし、その後の学習を行わなかった。

この構成メンバーはリアルタイムに意思疎通できる手段がなかった。この6名に対し、支援のためのソフトウェア教具を用いた再実験を行った。

コンピュータを使うことのメリットのひとつに、生徒の考えていることが、画面を観察することでわかる点がある。この教具でも、生徒が果物を動かしている様子から、どのように考えているかを推測できた。その結果、多くの生徒は戦略（例えば、左から順に揃えていく、など）を決めて計画的に果物を動かしているのではなく、偶然に頼って無計画に果物を動かしていることが読み取れた。そこで、それぞれの生徒の考え方に合わせて、動かし方のヒントを与えた。その結果、生徒が戦略を立てたことと、無駄な動きがなくなったことを確認した。

その後、グループ活動に戻って、果物の模型を使ったオリジナルの活動を行ったところ、生徒は指差しやアイコンタクトで指示をし合うようになった。そして、ゴールに辿り着き、ソフトウェア教具によって活動の支援ができたことを確認した。

5.7 考察

なぜ成人に受け入れられたのか

CS アンプラグドは成人対象の、情報科学教育として興味を高めたり、基本的な考え方を教えるために有効であった。子ども向けの学習法を戸惑いを感じている生徒もいたが、仮説の通り、学習の進行と共に、受け入れられた。その理由は、成人はグループ学習を好み、自分の意見やアイデアを積極的に発言し議論するため、その情報交換から得られるものが多いと感じたからである。

また、CS アンプラグドの内容はやさしすぎるのではないか、あるいは、過去に学んだことがあるのではないか、などが心配された。しかし、CS アンプラグドでは発展的な学習が可能であり、教え方も通常とは異なるので、過去に同様の内容を学習をしていたとしても、新たな発見があり、興味関心を高めることができた。これらのことがCS アンプラグドが成人にも受け入れられた要因である。

なぜ聴覚障害者の活動を支援できたのか

聴覚障害者と健聴者が混在した場合のグループ活動は、リアルタイムなコミュニケーションによる意思疎通に課題があった。その課題に対し、それぞれの生徒の問題解決能力を向上させることで、指差し、相槌、アイコンタクトなどの簡単な情報伝達手段で問題解決ができるようになるであろうという仮説を立て、教具を作り、実験した。結果は仮説通り、そのグループメンバーは個別に問題解決能力を向上させ、簡単な意思疎通によってグループでも問題解決できた。解決できた要因を考察する。この活動では、最初に「(指差し1)ここからこの方向で揃えて行こう」という戦略を立てることが重要である。戦略が

決まったら、次に「(指差し2) この果物をどこに移そう」という具体的な動きが大まかに決まる。そしてそのために「(指差し3) これをこっちに移そう」という細かな動きを決める。このように、ひとりひとりが問題解決能力を高めていると、「次に何をすればよいか」や「この人は何を考えているのか」がある程度読めてくる。その結果、簡単な指差しだけで、意思疎通が図られ、ゴールに向けた動きの協調ができた。CSアンブラグドにこれほどリアルタイムな意思疎通を要求される活動はない(筆談などが要求されるものはある)が、他のコミュニケーションを必要とするグループ活動には、有効な手法である。

ソフトウェア教具を使うことのメリット

教具としてコンピュータのソフトウェアを使うことの短所と長所について考察する。まず、本物の教具を使えないことはCSアンブラグドの魅力を欠く。やはり具体物の重さや大きさを感じながら学習することの意味は大きい。しかし、現実にはそれらを使えない場合には、代替手段としてコンピュータの活用は有効である。コンピュータは身体への負担が軽く、使用できる入力デバイスさえあれば、少しの動作範囲だけで色々なことができるようになる。本研究でも、縦横に15cmの動作範囲があれば、トラックボールを使って複数のCSアンブラグドが実行可能となることを確かめた。また、コンピュータで仕掛けを作ること、理解を深めるには有効である。ソフトウェア教具では、おもりの比較回数をカウントさせたり、同じ初期状態のものを何度も試行できるような仕掛けを作った。その結果、生徒が操作を反復させ、理解を深めた。みかんゲームに用いたソフトウェア教具も、天秤同様に、果物の移動回数を計測させたり、同じ初期状態のものを何度も試行できる仕掛けを作ったことが、結果として生徒の問題解決能力を高めた。また、コンピュータであれば、ディスプレイで生徒の操作を見ることができる。天秤でもみかんゲームでも、生徒の操作を見ることが、どのように考えて問題解決しようとしているのか(あるいは何も考えずにただ適当に動かしているだけなのか、なども)を推測できる。そして、考え方が間違っている場合には、個別に問題点を指摘し、正しい考え方をするように、導いて行くことができる。実際に天秤でもみかんゲームでも、具体的なアドバイスをしたことで生徒は理解度を深めた。具体物の教具にも、ソフトウェア教具にもそれぞれの短所長所があり、それを見極めて効果的な使い方をすることが必要である。

5.8 まとめ

前半は、成人の障害者職業訓練にCSアンブラグドを使い、その効果と課題を検証した。体験的な学習活動は障害者の職業訓練にも適した学習法であり、情報処理の技術者を目指すための基礎学習としてCSアンブラグドが有効であることを確認した。後半は、ソフトウェア教具による支援によって上肢障害者の学習活動を可能にする試みを行った。障害を

持った生徒が，身体的な学習活動を十分にできないことは明らかである．しかし，誰にでも優れた学習法を体験する権利がある．本章で用いたソフトウェア教具は，彼らに学習の機会を与える支援をした．

今回は CS アンプラグドの上肢を使う学習を研究材料とした．他にも下肢の動作やコミュニケーションを必要とする学習項目がある．また，CS アンプラグドに限らず，身体性を有した体験的な学習活動がある．今後も，障害者に対する体験的な学習の支援という研究を継続したい．

第 6 章

結論

本論文では、初等教育用に作られた情報科学を学ぶための体験的学習法である CS アンプラグドに着目し、それを高等学校以上で活用するための工夫点や教授法を扱った。初等教育では、教養として楽しみながら「体験」することが目的として使われているが、高等学校以上では、専門教育として「理解」することが目的となる。本研究では、そのギャップをどのように埋めるべきかを検証した。

第 3 章では、高等学校情報科のデジタル化単元の授業に対して CS アンプラグドの学習 1 から学習 4 を使った。CS アンプラグドをそのまま使うだけで、生徒は高等学校で必要となる考え方を理解できていた。ただし、カードを使って 10 進数を 2 進数に変換する課題では、理解が十分ではなく、工夫として使った別のカードによって、理解度が上がった。

第 4 章では、CS アンプラグドの学習 7 を高等学校情報科のアルゴリズム単元の授業に対して導入し、どのような教授法がふさわしいかを調査した。第 3 章から、教具を繰り返し操作することの大切さが示されていたことと、学習目標が高いことから、生徒が操作に集中できる環境作りとして、コンピュータで動作する模擬教材を使った。授業法として、グループか個人かという活動形態の違いや、本物か模擬かという教材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。その結果、グループか個人かという違いは理解に影響しなかった。しかし、アルゴリズムの試行回数が理解に影響を与えていることがわかった。条件の違う 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をもっとも影響を与えていることを明らかにした。また、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、その実習は 1 回よりも複数回行うことの効果が大いであることを確認した。実習の教具として天秤とソフトウェア教具を比較したところ、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、ソフトウェア教具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した。CS アンブラグドは優れた学習法であり、特に「グループ学習で全員が天秤の操作をしたり、何度も操作を試す時間がある」場合には、オリジナルの学習法が適している。しかし、「全員が操作できなかったり、何度も操作を試す時間がない」場合には、CS アンブラグドのエッセンスを使いながら、グループ学習と個人学習を組み合わせたり、画面上のソフトウェア教具で支援することで、授業効果を高められることを確認した。

第5章では、障害を抱えた成人に対して、CS アンブラグドをどのように使えるかを議論した。子ども向けの学習法を成人がどう感じるか、内容がやさしすぎるのではないかと、といった心配もあったが、学習の進行と共に生徒はCS アンブラグドを受け入れて、学習した。障害者職業能力開発校に通う生徒の学習履歴は多様であったが、CS アンブラグドはコンピュータの仕組みを教えるための有効な教育手法であることがわかった。

CS アンブラグドは身体性の高い活動が多いため、上肢や下肢、あるいはコミュニケーションに障害を抱えている場合、想定された活動が行えず、それらの活動を通して得られる概念の獲得が困難である。CS アンブラグドの1章、2章、4章、7章の活動は上肢障害者にとって困難だったが、ソフトウェア教具の支援によって15cmの可動範囲があれば行えるようになった。上肢の障害による活動困難な学習に対し、実体のある教具ではなく、コンピュータの画面上で同様の操作を可能にするソフトウェア教具を用意することで、本来のCS アンブラグドの活動と同等の学習ができるかどうかを実験した。聴覚障害者と健聴者で構成されたグループの活動は、リアルタイムな意思疎通による問題解決が困難だった。しかし、ソフトウェア教具によりひとりひとりの問題解決能力を高めたことで、指差しなど簡単な情報伝達手段による意思疎通から、グループでの問題解決ができた。

本論文の全体をまとめる。本論文では、情報科学をどのように教えればよいかという課題について、体験的な学習法CS アンブラグドの導入を提案し、その際に生じる課題解決の手立てを検討した。本来は初等教育を対象に「体験」させる教材を、高等学校以上に「理解」させる教材として拡張するための工夫点と教授法を示した。また、その成果として障害者の学習支援へとその適用範囲を広げた。今回扱った学習や活動はCS アンブラグドの一部であり、また、対象とした障害も上肢と限られている。他の活動への工夫や授業法の検討、他の障害についての支援は、今後の課題である。

謝辞

本論文をまとめるにあたり、大阪電気通信大学 兼宗進教授に御指導をいただきました。また、大阪電気通信大学 吉田正樹教授、新川拓也教授には、本論文の完成にあたり御教示、御助言をいただきました。感謝いたします。

私が情報教育に携わるようになって 20 年になります。その間、どのようにしたら情報科学を分かりやすく教えられるか、をテーマに教え方や教材の試行錯誤を重ねてきました。ある時に、研究会などでお世話になっていた兼宗教授に「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」という一冊の本を紹介して頂きました。これこそが、私が求めていた情報科学の学習法であると感激しました。そして、早速自分の授業で実践し、その効果を実感しました。私は CS アンプラグドの研究をするために、兼宗教授の研究室に入りました。研究の世界に入ってから、たくさんの方々に支えていただきました。とくに、東京農工大学 並木美太郎教授はボランティアで一から丁寧に私を指導して下さいました。どのように実験や分析をするか、どのように考察するかを含め、たくさんを教えてくださいました。今の自分があるのは、兼宗教授と並木教授のおかげです。心より感謝致します。

CS アンプラグドを開発した Canterbury 大学 Tim Bell 博士には深く尊敬の意を表します。兼宗教授は私を Tim 博士に紹介して下さいました。そして、Tim 博士は 3 次元仮想空間を使った CS アンプラグドの国際研究に私を誘ってくださいました。海外の研究者らと共同研究ができたことは私の誇りです。

イーテキスト研究所の代表である原久太郎氏には、たくさん研究の場を提供していただきました。いろいろな方との出会いを通して、研究のための人とのつながりができました。感謝いたします。大阪電気通信大学 中野由章先生には多くのアドバイスを頂きました。特に、CS アンプラグドの実践や第 5 章での英文作成に際しては、多くの時間を割いて協力して下さいました。感謝いたします。長野大学 和田勉教授には CS アンプラグド実践のノウハウを教えてくださいました。また、国際会議の際にはご夫人と共に同行して頂き、現地でのサポートと発表の指導をして頂きました。感謝いたします。静岡大学 紅林秀治教授には、研究に行き詰っていた私に多くの励ましのお言葉をかけて頂きました。

感謝いたします。筑波大学大学院 久野靖教授には、研究全般にわたってアドバイスを頂きました。また、何度も研究の場を提供していただきました。感謝いたします。高麗大学 李元揆教授、大阪学院大学 西田知博准教授、大阪府立大学 嘉田勝准教授、福岡工業大学 短期大学 石塚丈晴准教授、愛知教育大学 鎌田敏之准教授には、CS アンプラグドの実践に関して多くのアドバイスを頂きました。感謝いたします。東京工業大学 寺野隆雄教授と國上真章先生には、博士論文の書き方について多くのアドバイスを頂きました。感謝いたします。松阪市立飯高東中学校 井戸坂幸男先生、神奈川県立相模向陽館高等学校 保福やよい先生、大阪府立寝屋川高等学校 野部緑先生にもコメントをいただきました。感謝いたします。第3章と第4章は、神奈川県立秦野総合高等学校の先生方と生徒の皆さんに協力して頂きました。特に、情報科の安齋義人先生と水野義和先生には、実験授業にご協力頂きました。感謝いたします。第5章は、神奈川障害者職業能力開発校の指導員の方々と訓練生の皆さんに協力して頂きました。秋山泰秀指導員には実験の場の提供と、実験授業の実施など多くのご協力を頂きました。感謝いたします。

最後に、社会人大学院生ということで、平日は学校の職務に、夜間と休日は研究にという生活が続けることができたのは、家族のおかげです。献身的に支えてくれた妻美恵子と息子美樹に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] 文部科学省: 「子どもの携帯電話等の利用に関する調査」の結果, 2009.
http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/21/05/attach/1266542.htm
- [2] 筧捷彦, 久野靖: 情報科学教育の重要性と情報処理学会の活動, 情報処理学会, 情報処理, 50(10), pp. 959–963, 2009.
- [3] 雨宮真人: 情報科教育と情報科学, 日本情報科教育学会誌, Vol. 1, pp. 21–26, 2008.
- [4] Computer Science Teachers Associaton: A Model Curriculum for K-12 Computer Science – Final Report of the ACM Task Force Curriculum Committee, Technical Report, 2003.
- [5] 李元揆: 海外の情報教育の動向, 情報処理学会, 情報処理, 48(11), pp. 1207–1212, 2007.
- [6] 文部科学省: 学習指導要領, 2010.
- [7] 文部科学省: 情報教育の手引き, 2010. 教育の情報化に関する手引, 2010.
http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyouhou/1259413.htm
- [8] 文部科学省: 小学校学習指導要領, 2010.
- [9] 文部科学省: 中学校学習指導要領, 2010.
- [10] 文部科学省: 高等学校学習指導要領, 2010.
- [11] 一般財団法人コンピュータ教育推進センター: 高等学校等における情報教育の実態に関する調査研究, 2008.
http://www.cec.or.jp/cecre/hsjoho/h21hsjiho_index.html
- [12] Tim Bell, Jason Alexander, Isaac Freeman, Mick Grimley: Computer Science Unplugged: School Students Doing Real Computing Without Computers, The NZ Journal of applied computing and information technology, Vol. 13, No. 1, pp. 20-29, 2009.
- [13] 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. <http://www.etext.jp/>
- [14] 久野靖, 辰己丈夫監修: 情報科教育法, オーム社, 2009.

- [15] 兼宗進, 御手洗理英, 中谷多哉子, 福井眞吾, 久野靖: 学校教育用オブジェクト指向言語「ドリトル」の設計と実装, 情報処理学会論文誌:プログラミング, Vol.42, No.SIG 11(PRO 12), pp. 78–90, 2001.
- [16] 兼宗進, 中谷多哉子, 御手洗理英, 福井眞吾, 久野靖: 初中等教育におけるオブジェクト指向プログラミングの実践と評価, 情報処理学会論文誌:プログラミング, Vol.44, No.SIG 13(PRO 18), pp. 58–71, 2003.
- [17] 西田知博, 原田章, 中村亮太, 宮本友介, 松浦敏雄: 初学者用プログラミング学習環境PENの実装と評価, 情報処理学会論文誌, 48(8), pp. 2736–2747, 2007.
- [18] 工藤雄司, 本村猛能: 情報教育における「情報の科学的理解」の在り方, 日本教育情報学会年会論文集 (25), pp. 388–389, 2009.
- [19] 三池克明, 斐品正照, 梅津健志, 浅羽修丈: 「情報の科学的な理解」に関する概念の獲得を目指した授業の提案, 日本情報科教育学会誌, Vol. 2, No. 1, pp. 45–46, 2009.
- [20] 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, 27(suppl), pp. 45–48, 2004.
- [21] 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, 49(10), pp. 3409–3427, 2008.
- [22] 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, 日本教育工学会論文誌, 35(Suppl.), pp. 129–132, 2011.
- [23] 山上通恵: パズルの解法を通じて学ぶプログラミングの基礎, 日本情報科教育学会誌, Vol. 2, No. 1, pp. 33–38, 2009.
- [24] 天良和男: 情報の科学的な理解を深めるための教材開発と実践 – 「画像のデジタル化」の単元を中心として, 日本情報科教育学会誌, Vol. 3, No. 1, pp. 34–43, 2010.
- [25] 日本教育工学会: 教育工学事典, 実教出版株式会社, 2000.
- [26] Resnick, M.: Rethinking Learning in the Digital Age. The Global Information Technology Report, Readiness for the Networked World, pp. 32–37, Oxford University Press, New York, 2002.
- [27] Golas, K. C.: Guidelines for Designing Online Learning, Proceedings of the Inter-sevice Industry Training and Education Systems Conference, Orland, FL, 2000.
- [28] 山口寛子: 体験型学習における理解・発見を促す要因 – 話し合い活動と理解目標教示の効果, 日本教育心理学会総会発表論文集 (44), pp. 432, 2002.
- [29] Renate Thies, Jan Vahrenhold: Reflections on Outreach Programs in CS Classes: Learning Objectives for ‘Unplugged’ Activities, SIGCSE2012, pp. 487–492, 2012.
- [30] B.S.Bloom, D.R.Krathwohl: Taxonomy of Educational Objectives Book 1 – Cognitive Domain, David Mckay, 1956.

-
- [31] L.W.Anderson, D.R.Krathwohl: Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing – A Revision of Bloom’s Taxonomy of Educational Objectives, Addison Wesley Longman, 2001.
 - [32] Tomohiro Nishida, Susumu Kanemune, Yukio Idosaka, Mitaro Namiki, Tim Bell, Yasushi Kuno: A CS Unplugged Design Pattern, SIGCSE2009, Vol. 41, Issue 1, pp. 231–235, 2009.
 - [33] 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.
 - [34] 保福やよい, 井戸坂幸男, 久野靖, 兼宗進: 高校情報 B における CS アンプラグドの活用, 情報教育シンポジウム (SSS2008), pp. 201–206, 2008.
 - [35] 嘉田勝: 大学生もアンプラグドー洋書購読と模擬授業による授業実践, 情報教育シンポジウム (SSS2008), pp. 269–270, 2008.
 - [36] 和田勉: アンプラグドコンピュータサイエンスと板書講義を併用した大学でのアルゴリズムの授業, 情報処理学会研究報告, コンピュータと教育研究会報告, 2009-CE-100(5), pp.1–7, 2009.
 - [37] 間辺広樹, 並木美太郎, 兼宗進: 障害者職業能力開発校における情報教育の取り組み, 情報教育シンポジウム (SSS2008), 2008.
 - [38] 嘉田勝, 会沢成彦, 西村治道, 藤本典幸: 大学祭での CS アンプラグド博物館型展示企画の実践高校情報 B における CS アンプラグドの活用, 情報処理学会研究報告, コンピュータと教育研究会報告, 2009(15), pp. 171–178, 2009.
 - [39] 間辺広樹, 兼宗進, 並木美太郎: 高校の文化祭における CS アンプラグド企画実施の報告と課題, 情報処理学会研究報告, コンピュータと教育研究会報告, 2010-CE-103(23), 2010.
 - [40] 上川直紀, 植田一正, 西木毅, 兼宗進: アンプラグドを利用したオープンキャンパスイベントの試み, 情報処理学会研究報告, コンピュータと教育研究会報告, 2009-CE-101(6), 2009.
 - [41] Lynn Lambert, Heather Guiffre: Computer Science Outreach in an Elementary School, Journal of Computing Sciences in Colleges archive, Vol. 24, Issue 3, pp. 118–124, 2009.
 - [42] Rivka Taub, Mordechai Ben-Ari, Michal Armoni: The Effect of CS Unplugged on Middle-School Students’ Views of CS, ITiCSE2009, pp. 99–103, 2009.
 - [43] Yvon Feaster, Luke Segars, Sally K. Wahba, Jason O. Hallstrom: Teaching CS Unplugged in the High School (with Limited Success), ITiCSE2011, pp. 248–252, 2011.

- [44] 国連: 障害者権利条約, 2006.
- [45] 文部科学省: 教育基本法, 2005.
- [46] 関根千佳, 今井朝子: 教育・就労のユニバーサルデザイン, メディア教育研究, 5(2), pp. 25–33, 2008.
- [47] Tim Bell, Mick Grimley, Giovanni Bianco, Daniela Marghitu, Hiroki Manabe: Kinesthetic Computer Science activities in a virtual world, SIGCSE2009, 2009. (Poster)
- [48] Linden Research: Second Life. <http://secondlife.com/>
- [49] Daniela Marghitu, Tim Bell, Ben Kearns, Brett Ward, Kim Stephen-Pope: Using Virtual Worlds to Engage Typical and Special Needs Students in Kinesthetic Computer Science Activities, EDMEDIA2009, pp. 183–188, 2009.
- [50] Alice Project: Alice. <http://www.alice.org/>
- [51] 間辺広樹, 並木美太郎, 兼宗進: アンプラグド学習法による情報 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.
- [52] 楠房子, 宮内新, 小沢慎: アルゴリズムスタイルを重視した情報処理教育, 電子情報通信学会論文誌 A, Vol.J75-A, No.2, pp. 441–448, 1992.
- [53] 西口宏美: 人間の自立を誘う支援技術に関する一考察 (二) – 上肢運動機能の評価方法について, 東北公益文科大学総合研究論集, Vol.5, pp. 31–41, 2003.
- [54] 三上真弘, 青木主税, 鈴木堅二, 寺山久美子: リハビリテーション医療事典, 朝倉書店, 2007.

関連発表

主論文

論文誌

1. 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.
2. 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の影響. 情報処理学会論文誌, Vol.54, No.1, pp. 14–23, 2013.

国際会議

1. Tim Bell, Daniela Marghitu, Mick Grimley, Giovanni Bianco, Hiroki Manabe: Kinesthetic Computer Science activities in a virtual world, International Conference SIGCSE2009, Poster, 2009.
2. Hiroki Manabe, Susumu Kanemune, Mitaro Namiki, Yoshiaki Nakano: CS Unplugged Assisted Digital Materials for Handicapped People at Schools. Lecture Notes in Computer Science, Vol.7013, pp. 82–93, 2011.

参考論文

口頭発表

1. 間辺広樹, 並木美太郎, 兼宗進: 障害者職業能力開発校における情報教育の取り組み. 情報処理学会 情報教育シンポジウム 論文集, pp. 171–178, 2008.
2. 間辺広樹, 兼宗進, 並木美太郎, Tim Bell, 秋山泰秀: CS アンプラグドの学習法とそのユニバーサル化. 情報処理学会 情報教育シンポジウム 論文集, pp. 159–166 2009.

3. 間辺広樹, 兼宗進, 並木美太郎: アンプラグドを活用した公開鍵暗号学習プログラムの情報科教育への適用. 情報処理学会 情報教育シンポジウム 論文集, pp. 15-22, 2010.
4. 間辺広樹, 並木美太郎, 兼宗進: 高校の文化祭における「CS アンプラグド企画」の実践報告と課題. 情報処理学会 コンピュータと教育研究会, CE-103, pp. 1-8, 2010.
5. 間辺広樹, 並木美太郎, 兼宗進: 「コンピュータを使わない情報教育」の学習法とそのデジタルコンテンツに関する研究. 情報処理学会研究報告 CE-98, pp. 179-184, 2009.
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. 情報処理学会研究報告 CE-113, 2012.
7. 間辺広樹, 兼宗進, 並木美太郎: 上肢障害者を対象とした CS アンプラグド学習活動支援教材. 情報処理学会研究報告 CE-113, 2012.