

# ARを利用した視覚障害者用アンプラグド教材の開発と活用

間辺 広樹<sup>1</sup> 兼宗 進<sup>2</sup> 土田 和人<sup>2</sup> 島袋 舞子<sup>2</sup>

## 概要：

情報科学の基礎を学ぶための効果的な手法とされるCSアンプラグドは、活動の多くを視覚情報に頼っているため、視覚障害者に適用することは困難である。しかし、情報処理技術者が視覚障害者の貴重な職域の1つとなっている現状を考えると、その基礎学習にCSアンプラグドを使えないことは痛手である。本研究では、過去の研究結果を踏まえて、AR技術を用いた視覚障害者用のCSアンプラグドの整列アルゴリズム法教材の開発を行った。認識精度の高いARマーカーの活用や音声と映像を同期させた適切な情報の提供は、視覚障害者の思考をアルゴリズムの学習に集中させられると考えた。更に、視覚障害者と晴眼者という双子による比較実験を行うことで、視覚障害者の認知特性に配慮した教具を検討できると考えた。実験の結果、視覚障害者と晴眼者とは、おもりを操作する場(ば)の大きさや使い方に差があり、その差を埋める学習環境を整えることで、円滑な活動と正確な思考が行えることが示唆された。また、身体的な活動だけではなく、その活動に関連した学習も含めた総合的な支援が必要なこともわかった。

**キーワード：**情報科学教育、コンピュータサイエンスアンプラグド、特別支援教育、視覚障害、アルゴリズム教育

## A CS Unplugged educational material for a student with visual impairments using AR

HIROKI MANABE<sup>1</sup> SUSUMU KANEMUNE<sup>2</sup> SUSUMU KANEMUNE<sup>2</sup> SUSUMU KANEMUNE<sup>2</sup>

**Abstract:** Computer Science Unplugged is an excellent method of learning the basic of computer science. Because, it involves physical activities that lead students to computer science. However, such activities are not always easy for all students. In this research, we focused on the way to adopt an CS Unplugged activity, Sorting Algorithms, to students with visual impairments. We assumed that if an educational material provide phonetic information instead of visual information, students with visual impairments could execute the activity. Therefore, we developed an educational material using AR technology. The material provides phonetic information of the result of comparison of which data is bigger. We tried to adapt the educational material to a visual impairment. In this report, we inform the knowledge of the experiment.

## 1. はじめに

情報社会の進展に伴い、情報教育の中でコンピュータ科学を学ぶことの必要性が高まっている。しかし、コンピュータ科学の内容は、誰もが容易に理解できるものではない。そこで、教具を使い体験的な活動を通してコンピュー

タ科学を学ぶ「コンピュータサイエンスアンプラグド学習法」[1][2]が注目され、ACM(Association for Computing Machinery, 米国計算機学会)[3]でも、その活用が推奨されている。

CSアンプラグドは、教師から生徒へと一方的に知識を伝達する講義型の学習法とは異なり、「洗練された教材を使い、自分の手を動かしながら理解することで、情報科学の代表的な内容を、小学生以上の生徒が興味を持って意欲的に学習することが可能」[4]な学習法である。「カードを

<sup>1</sup> 神奈川県立柏陽高等学校  
Hadano Sogo High School

<sup>2</sup> 大阪電気通信大学  
Osaka Electro-Communication University

動かす」など身体を使った体験的な活動により、抽象度の高いコンピュータ科学の学習内容を理解させることができる [5].

しかし、身体的であることは、身体に障害などの事情を持つ学習者にとっては思うように活動することができず、CS アンブラグドの利点を享受できないことになる。これまで筆者らは、コンピュータサイエンスの学習者の裾野を広げる一分野として、CS アンブラグド学習法の障害者への適応を計ってきた。障害者にとって IT 技術の活用は身体的なハンディキャップを補って、社会的自立などを実現する可能性を秘めており、コンピュータ科学を基礎から学ぶ必要性は、健常者以上に大きいことがその理由である。特に、視覚障害者にとっては、情報処理技術者が貴重な職域の 1 つであり [6][7], 点字ディスプレイとスクリーンリーダーを用いたプログラミングの学習支援環境なども開発が進められている [8]. 従って、そういった職域への基礎教育や初等中等教育における情報教育に CS アンブラグドを使えないことは、学習上の不利を招く恐れがある。

視覚障害者で将棋を楽しむ人は多い [9] と言われるが、聴覚からの情報取得が多い視覚障害者は、その管理能力を高度に発達させていて、アルゴリズム的な思考への適性を有している可能性がある。

我々は過去に、視覚情報を音声情報に変える支援教具を開発して重度の視覚障害者でも CS アンブラグドの学習が可能であることを確認していた [10] が、教具が十分な精度を持たなかったため、視覚障害者の認知特性に配慮した教具の提案ができなかった。本研究では、AR を用いた教具に改善して精度を向上させ、晴眼者との比較を通して、視覚障害者に適した教具の検討を行う。具体的には、視覚障害者と晴眼者とは物に対する認識の差が大きいため、視覚障害者と目隠しをした晴眼者として比較する。被験者は生まれつきの能力の差が少ないと考えられる双子の女子学生である。

本研究は整列アルゴリズム学習法を扱うが、ここで得た知見は CS アンブラグドの他の学習や、一般的なアルゴリズム学習法へと広げられると考えている。

## 2. CS アンブラグドの学習特性と身体性

### 2.1 CS アンブラグドの学習内容

CS アンブラグドはコンピュータ科学に関する体験的な学習法の一つである。2 進数やアルゴリズム、プログラミングなどコンピュータ科学に関する様々な概念を扱っている。活動自体は子供でも楽しめるように工夫されているが、扱っている概念は高度なものも含まれている。年齢や学力など学習者の特性に応じて工夫され、中学、高校、大学など多くの校種で実践されてきた [11][12].

CS アンブラグドの身体性は利点である一方で、障害など身体的な状況によっては想定された活動ができず、その

利点を享受できない可能性がある。教育の機会均等という立場からも好ましいことではなく、筆者らは CS アンブラグド学習法の普及を目的も兼ね、障害者への適応を図ってきた。

CS アンブラグドを構成する 12 の学習とその身体性について、障害を上肢、下肢、聴覚、視覚に分類して表 1 に整理した。

表 1 CS アンブラグドの学習活動と障害との対応表

Table 1 Informatics not using computers

	内容	主な身体性のある活動	上肢	下肢	聴覚	視覚
1	2 進数	カードの操作	×	○	×	×
2	画像表現	色を塗る/消す	×	○	○	×
3	テキスト圧縮	文字や線を書く/消す	×	○	○	×
4	エラーの検出と訂正	カードの操作, 意思疎通	×	○	×	×
5	情報理論	意思疎通	○	○	×	×
6	探索アルゴリズム	意思疎通	○	○	×	×
7	整列アルゴリズム	おもりを上げ下ろす	×	○	○	×
8	並び替えネットワーク	体を移動させる	○	○	×	×
9	最小全域木	おはじきを動かす	×	○	○	×
10	ルーティングなど	教具の操作, 意思疎通	×	○	×	×
11	有限状態オートマトン	体を移動させる	○	○	×	×
12	プログラミング言語	絵を描く, 意思疎通	×	○	×	×

カードやおはじきなどの具体物を動かしながら学ぶ活動は、上肢障害者に困難な場合がある。体全体を移動しながら学ぶ活動は、下肢障害者にとって困難であったり、また、危険な場合がある。他者との意思疎通を必要とする活動は、聴覚障害者にとって困難な場合がある。

従って、これらの困難を解決または軽減することが支援することになる。筆者らは学習に想定されている動きを模擬的に代替することで、それを進めてきた。具体的には、教具の代わりにコンピュータ上の仮想的な教具で代替する手段を用いた。「画面内のデジタル教材 [13]」では、物を掴むことが困難な上肢障害者の活動を支援した。「3 次元仮想空間での学習 [14]」では、身体の移動が困難な下肢障害者の活動を支援した。

本研究では、視覚障害者を対象とした支援を試みる。人の認知は視覚によるものが大部分占めるため、すべての学習が支援対象になる。本研究では、プログラミング学習との関連の高さと高等学校情報科との関連の高さ、及び筆者らの過去の研究 [15] との関連の高さから、CS アンブラグドの第 7 章「いちばん軽いといちばん重い (整列アルゴリズム)」を支援対象の学習に選んだ。

### 2.2 CS アンブラグドの整列アルゴリズム学習

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)」について詳細を示す。この学習では、天秤とおもりを使ってデータの整列 (ソーティング) を学ぶことができる。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、6～10個程度の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。学習者は整列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整列した数列が現れる。しかし、考え方が間違っていれば整列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。天秤のおもり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データ処理の手続きを、学習者が手作業で行うことで、その仕組みを学ぶという学習法である。

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  
Fig. 1 Lesson with balance scales

### 3. 視覚障害者の認知特性

視覚障害といっても、視力の有無や失明の時期心理や認知の特性は様々であるが、大川原ら[16]は視覚障害者の認知特性について、「よく盲人は勘がよいなどと言われるが、正眼者が視覚を通して行っていることを盲人は感覚を通して行わなければならないので、そのことが正眼者には勘としてうつるのである。特に、その感覚そのものが鋭くなるというより、その感覚の使い方がうまくなるのである。」と

一般性を述べている。

本研究では、視覚障害者の持つ情報の記憶方法に着目する。例えば、視覚情報に頼らず将棋を指すには、「刻々と変わる盤面の状態を頭の中で追いながら次の一手を考える能力」が必要である。暮らしの中でも、視覚障害者は環境の記憶と変化への対応が常に求められる。つまり、時系列に入ってくる情報の中から必要なものだけを残して一時的に蓄えた後、脳内の空間へと整理するなど情報管理能力が求められる。この能力は、複数の変数の値など実行に伴って変化するアルゴリズム的な思考に通ずることも考えられる。

実際、1963年にはアメリカにおいて視覚障害者のコンピュータ・プログラマとしての就労の可能性が指摘されおり[18]、その後のパソコンやネットワーク技術の発達や訓練施設の充実に伴って、多くのプログラマが誕生し、情報処理技術者は貴重な職域の1つとなっている[6]。現在では、重度視覚障害者のソフトウェア開発技能の職業的有用性も示され[7]、プログラミング学習の環境作りも進められて[17]いる。

ただし、アルゴリズムをはじめとしたコンピュータ科学の基礎を学ぶための環境作りについての議論は十分でなく、職業訓練施設での基礎教育や、特別支援学校での情報教育にCSアンブラグドをどう使えばよいかという議論はなされていない。

視覚という知覚機能が働かない重度視覚障害者は外界の認知体系が正眼者とは構造的に異なり[19]、人間の脳が外界から受け取る情報のうち、60～70%を占めると言われる視覚による認知や思考の不利[20]や、空間的な広がりや大きさの認識が弱いこと[21]が指摘されている。そこで、それらに配慮した教具の作成が必要となる。

## 4. 支援教具の検討

### 4.1 支援教具に持たせる要件

2.2節で示した整列アルゴリズム学習の特性と、2.3節で示した視覚障害者の認知特性を考慮して、支援教具を検討する。

まず、2.2節で示したように、CSアンブラグドのアルゴリズム学習法は、

- (1) データに見立てたおもりを2つずつ選ぶ
- (2) 2つのおもりの重さを比較する
- (3) 比較結果に応じて、次に比較するおもりを選ぶ
- (4) 比較・選択・移動を繰り返して、おもりを整列させるという動作の繰り返して行うため、おもりと天秤、そして比較した結果の伝達方法をそれぞれ検討し、学習者自身で何度も試行錯誤しながら考えられるよう、疲労の少ない学習環境を作ることが必要である。

まず、おもりに関しては本来は重さの異なる複数個のものを用意するが、手に取った時点で重さの違いを認識して必要な比較処理を行わなかったり、誤判断を招く場合があ

るので、比較処理の結果がはっきりと出る仕組みが必要である。そこで、おもりに具体物を使うが、そこに識別可能なマークを付け、カメラで読み取ったマーク情報から処理を行うシステムをコンピュータで実現することとした。CS アンプラグドは「コンピュータを使わない」ことが特徴の学習であるが、必然性があれば使うべきであると判断した。

天秤はおもりを置く上皿の位置が学習者に認識され、置いた時に比較結果を伝える仕組みが必要である。比較結果は本来視覚で得られるものであったが、視覚情報を取得できない場合は聴覚情報だけで学習でき、弱視など視覚情報を取得できるのであればそれを補助して学習できることが好ましいと考えた。コンピュータを用いれば、カメラで読み取ったデータを比較し、それを音声で伝えることや、画面上に天秤を表示して比較結果を提示して見え方に応じた拡大や反転表示が可能になる。そこで、本研究では AR に着目し、教具の開発を行うこととした。

## 4.2 教具(デジタル天秤)の開発に用いた技術

### 4.2.1 AR(拡張現実)

ARとは、人間が知覚する現実空間の情報にカメラなどの技術を通じてデジタルな情報を加えることで、人間の現実空間の知覚を強化する技術である。

ARは現実世界の情報を認識するための手法として、専用の「マーカー」と呼ばれるマークを用いる。このマーカーは、正方形の黒枠で囲われた中に何らかのパターンが描かれている。プログラムはマーカーをカメラが取得した画像から認識すると、その座標と傾きなどの情報を元にデジタルの情報を付与する。マーカーの読み取りには、パソコンに内蔵されたカメラや外部に接続したWEBカメラを用いる。

マーカーは紙に印刷して使うことが可能であることから、おもりに見立てる教具として作成するための自由度が高く、重さを統一したり、持ちやすさを考慮したものが、簡単かつ安価に作成できる。毎回重さの情報をプログラム内部でランダムに設定することができることから、パターン化を防ぐこともできる。位置や角度が変化しても高い確率で、そこに設定した情報を読み取ることが可能であることから、精度の高い教具を作成することが可能である。本物の天秤を用いた場合の振り子の軸の調整などの煩わしさも解消される。

開発には、NyARToolKit[22]とJava言語を用いた。また、NyARToolkitを用いることによって、ARマーカーのパターンファイルと呼ばれるマーカーの正方形の黒枠で囲われた白領域内の画像を0~255の数値でデータ化したものとカメラから認識したARマーカーの一致度を調べ、ARマーカーを検出しARマーカーの平行位置、回転、傾きなど

の姿勢変換座標を計算しOpenGL形式に変換することで、ARマーカー上にオブジェクトを表示することもできる。

これらの環境を使い、あらかじめ数値情報を設定したマーカーを読み取って、比較結果を音声と、コンピュータスクリーンの映像として伝えることを繰り返す仮想的な天秤(以下、デジタル天秤と記す)を開発した(図2)。



図2 コンピュータスクリーンの仮想天秤

Fig. 2 Virtual valance scale on the computer screen

### 4.2.2 デジタル天秤の基本機能

デジタル天秤は大学生らに対して動作の検証を済ませた[23]後、視覚障害者用の教具に作り変えた(図3,表2)。台座、7枚のARマーカー(1枚の天秤マーカーと6枚のおもりマーカー)、マーカーを貼ったおもりのプラスチックのミニケース、マーカーを読み取るWebカメラ、読み取ったデータを処理するコンピュータとプログラム、比較結果を伝えるスピーカより構成する。

台座は天秤の役割として機能する。中央に天秤マーカー、その左右に磁石が貼られている。ソフトウェアが起動すると、Webカメラはコンピュータスクリーンに現実の映像を映す。そして、天秤マーカーを認識すると、その映像の中に仮想天秤を表示する。磁石は天秤の上皿に相当する。残り6枚のおもりマーカーは丸い小さなプラスチックケースに貼り、おもりの役割として機能する。ケースの中に磁石があり、台座の磁石に吸着する。学習者がおもりを磁石の上に置き、Webカメラが左右のマーカーを認識すると、ソフトウェアはそれぞれのマークに設定された数値情報を比較する。そして、比較した結果をコンピュータスクリーンに表示すると共に、音声で「右(または左)が重いです」と知らせる(図4)。以上がデジタル天秤の主な仕組みである。

## 5. 検証実験

### 5.1 目的と方法

作成した支援教具を用いて、視覚障害者を被験者とした



図 3 支援教具の全体と活動のイメージ

Fig. 3 Image of the educational material and activity

表 2 アルゴリズム学習を支援する教具

Table 2 Educational material for the learning of algorithms

教具	環境
データに見立てる教具	AR マーカー
大小比較を行う教具	JAVA 言語で作成したソフトウェア
AR マーカーを読み取る教具	Web カメラ
大小比較した結果を知らせる手段	音声情報と仮想天秤

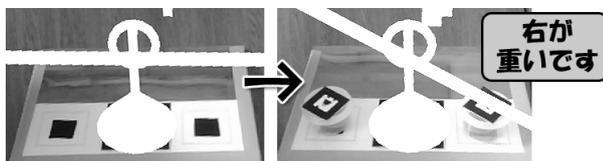


図 4 アルゴリズム学習を支援する教具

Fig. 4 Educational material for the learning of algorithms

評価実験を行った。実験の目的は、視覚障害者の認知特性に配慮した教具の検討である。視覚障害者と晴眼者では物に対する認知の差が大きい。そこで、視覚障害者と目隠しをした晴眼者との差を比較し、教具に必要な要素を検討することとした。

被験者は生まれつきの能力差が少ないと考えられる双子の女子大学生で、1人が重度視覚障害者で、1人が晴眼者である。実験は2人に対してデジタル天秤の使い方を説明した後、それを用いてCSアンプラグドの整列アルゴリズム学習の活動を、1人ずつ相手のいない環境で2度実行してもらい、学習の過程を観察する。

おもりは6個を用意し、被験者には箱に並べた状態で手渡す。机と椅子を使った活動では、おもりを置ける場所が限定されてしまうので、床に座って活動し、おもりを身体の周りに自由に置けるようにする。晴眼者であるYにも目隠しをしてもらい、両被験者に同じ条件で活動をしてもらうこととした。

## 5.2 被験者の情報

被験者 X と Y に関する情報を記す。X と Y は一卵双生児であるが、X は重度視覚障害者、Y は晴眼者である。親は幼少時より2人の知能は同程度であった、と見立てているが、X は見えにくさのために、幼少時より行動がゆっくりになるなど視覚障害者特有の行動が見られた。X は高校生までは拡大鏡によって文字認識ができていたが、実験時はほぼ光を認識できない状態にあった。このことは、先天盲とは異なりある程度の視覚表象（物体などのイメージの記憶）を持っていることを意味する。また、点字による読み書きが可能であり、主に点字ディスプレイという機器を用いて読書や大学の学習を行っている。大学は視覚障害者への配慮が手厚い大学ではなく、あえて一般の大学に入学して、最低限の支援だけで学業を達成しようとする能力と気概を持ち合わせている。

被験者 Y は、X とは一卵性双生児であるが晴眼者である。一般の大学に通う女子大学生であり、学業とスポーツに精を出している。幼少時より X の眼となり、日常生活を支えてきた。本実験でも教具の使い方を丁寧に Y に説明した。

X と Y は CS アンプラグドの整列アルゴリズムを学習した経験を持っているが [10]、その時から1年が経過していたので、両名ともに「内容はよく覚えていない」ということであった。

## 5.3 本研究で使う用語

本研究では、被験者の活動状況を説明するために、いくつかの用語を定義する (表 3)。

表 3 本研究で定義した用語

Table 3 Key words of this research

用語	意味
場 (ば)	被験者がおもりを操作するスペース
エリア	場の中で被験者によって分けられた意味あるスペース
シーン	ある瞬間の場 (エリアとおもり) の状態
ためらい行動	5 秒以上次の動作に迷っている状態

まず、被験者がおもりを置いて活動する場所の全体を「場 (ば)」と呼ぶこととする。場をどのように使うかで、被験者の考え方や記憶しているものは何かを知る手掛かりになる。今回の床に座った状態では、被験者前と左右が場として使われるであろうことは予測がつく。しかし、場の大きさや、進行に伴った場の内部状態の変容については未知である。

次に、アルゴリズムの進行に伴って、分けられていく範囲を「エリア」と呼ぶこととする。おもりはアルゴリズムの実行と共に、被験者によって何らかの属性が付けられる。エリアは、その属性を持ったおもりが集められた場所である。例えば、位置が決まったおもりは通常はその後の比較

対象から外れるため、決定済みエリアに置かれていく。決定済みのおもりは増えていくので、エリアは大きくなっていく。このように、エリアは被験者によって作られ、また、その大きさも変化する。

アルゴリズム実行中のある瞬間を「シーン」と呼ぶこととする。シーンは場にできたエリアとそこに置かれたおもりの状態によって構成する。シーンでは5秒以上次の動作に迷っている状態を「ためらい行動」と呼んで、注目する。また、1人の被験者でしか観察できない特徴的な行動にも注目する。

#### 5.4 実験

2人の被験者にはそれぞれ2度整列アルゴリズムを実行してもらった。両名とも、未整列のデータの最大値を求めることを繰り返す「選択ソート」で実行した。ある初期状態(表4)で実行した場合の実行例を表5に示す。データの数が6個の場合、最大値は5回の比較で求められる。ここまでの比較を「1巡目」と表するものとする。例ではおもりBが最大値として決定するので、以下の比較対象から外れる。次に2巡目として、残りの5個のデータの中の最大値を探す。1巡目と同一の組合せとなることもあるが、選択ソートでは前の結果を「記憶」として残さずに再度比較する必要がある。

Xは1回目2回目とも正しい結果となった。ただし、2回とも本来行わなければいけない比較をスキップしていて、偶然正しい結果になった。Yは1回目は整列ができなかったが、2回目は正しい結果となった。表4の初期状態でXとYの実行結果をそれぞれ表6、表7に示す。

表4 比較実験に用いたおもりと重さの組合せ設定

Table 4 Initial set of the weight for the experiment

おもり	A	B	C	D	E	F
重さの設定	4	6	1	5	3	2

それぞれの被験者の行動について、もう1人の被験者からは観察されなかった特徴的なシーンを番号付けして表に記した。被験者毎にその詳細を述べる。

被験者Xは、ほぼ正確な選択ソートを実現している。特徴的なシーンは5回観察された。まず、シーンX-1では新たなおもりとして掴んだおもりCを左右どちらの上皿に載せるかで、5秒のためらい行動があった。シーンX-2では、2巡目に入り比較して軽かったおもりのエリアを新設するところで、5秒のためらい行動があった。シーンX-3では、次にどのおもりを選んで比較すればよいかで、10秒のためらい行動があった。シーンX-4では位置決定したおもりDを決定済みエリアに置くところで、その場所を忘れたために11秒のためらい行動があった。

被験者Yは、アルゴリズム通りではなく、一部の比較

表5 選択ソートの正しい実行例

Table 5 Example of the correct order of comparison

比較回数	比較順	巡目	シーン
1	B-A	1	
2	B-C	1	
3	B-D	1	
4	B-E	1	
5	B-F	1	B=6 が決定
6	A-C	2	
7	A-D	2	
8	E-D	2	
9	F-D	2	D=5 が決定
10	A-C	3	
11	A-E	3	
12	A-F	3	A=4 が決定
13	C-E	4	
14	F-E	4	E=3 が決定
15	C-F	5	C=1, F=2 が決定

表6 被験者X(視覚障害者)の実行結果

Table 6 Result of X

比較回数	比較順	巡目	シーン
1	B-A	1	
2	B-C	1	シーン X-1(5秒のためらい行動)
3	B-D	1	
4	B-E	1	
5	B-F	1	
6	E-F	2	シーン X-2(5秒のためらい行動)
7	E-D	2	シーン X-3(10秒のためらい行動)
8	C-D	2	
9	A-D	2	シーン X-4(11秒のためらい行動)
10	E-F	3	
11	E-C	3	
12	E-A	3	
13	E-C	4	
14	F-C	4	シーン X-5(比較を忘れるミス)

表7 被験者Y(晴眼者)の実行結果

Table 7 Result of Y

比較回数	比較順	巡目	シーン
1	B-A	1	
2	B-C	1	
3	B-D	1	
4	B-E	1	
5	B-F	1	
6	E-F	2	
7	E-A	2	シーン Y-1(動いて場を作る)
8	C-A	2	シーン Y-2(左手でおもりをキープ)
9	D-A	2	シーン Y-3(2つを同時に決定エリアへ)
10	E-C	3	シーン Y-4(記憶により比較をカット)
11	F-C	4	

結果を記憶して実行したので、比較回数が少なくなっている。特徴的なシーンは4回観察されている。まず、シーンY-1では比較済みのおもりが増えてきた時に、体全体を後方に移動させてエリアを広げた行動があった。シーンY-2では、同じエリアに属するおもりを、それまで使っていな

かった左手で押さえた。シーン Y-3 では、それまでの比較結果を踏まえて、2つのおもりを同時に決定済みエリアに置いた。シーン Y-4 では、3つのおもりを同時に決定済みエリアに置いた。

次に場の使い方を比較する。2名とも体の左側から受け取って、1巡目に小さかったおもりは台座の右側に並べている。ただし、Xが体の右側を広く使っているの(図5)に対し、Yは右脚の前に縦に並べた(図6)。以降は、2名とも体の正面で活動するが、位置が決まったおもりを並べる決定済みエリアは、Xが体の左側を使っているのに対し、Yは左脚の前を使った。つまり、Xは左右に幅広く場を設定したのに対し、Yはコンパクトに体の前だけを使って活動した(図7)。



図5 被験者 X の広く使われる場  
Fig. 5 X's space for the activity



図6 被験者 Y のコンパクトに利用される場  
Fig. 6 Y's space for the activity

両被験者のアルゴリズム実行に関する時間を測定し、比較回数と1回の比較に要した時間を算出した。また、ためらい行動との関係も算出した。これらのXとYの測定値を比較した結果を表8に示す。

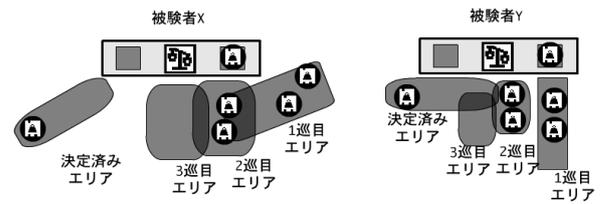


図7 XとYの場の比較

Fig. 7 Comparison of the activity space

表8 アルゴリズムの実行に要した時間の比較  
Table 8 Comparison of the activity time

内容	X	Y
実行に要した時間	179 秒	86 秒
比較回数	14	11
1回の平均比較時間	12.8 秒	9.6 秒
ためらい行動の回数	4 回	0 回
ためらい行動の合計時間	31 秒	0 秒
ためらい行動がなかった場合の平均比較時間	10.6 秒	9.6 秒

#### 5.4.1 アンケート調査

被験者 X, Y が活動をどのように感じたかを、活動後別々にアンケート調査をした。調査項目は10項目で、それぞれに「4…強く思う,3…少し思う,2…あまり思わない,1…全く思わない」の中から選択させた。結果を表9に示す。

表9 アンケート調査

Table 9 Result of the questionnaire

質問内容	X	Y
1 難しかったですか?	2	3
2 面白かったですか?	2	2
3 勉強になったと思いますか?	1	1
4 またやってみたいですか?	2	2
5 データの数を増やしてみたいですか?	2	2
6 他の並べ替えの方法を知りたいと思いますか?	1	3
7 並べ替えができたときは嬉しかったですか?	4	4
8 相手が考えた方法を知りたいですか?	1	1
9 並べ替え以外の仕組みも、勉強してみたいですか?	1	2
10 音で聞く天秤は使いやすかったですか?	2	2

## 6. 考察

被験者 X, Y に対する実験の結果とアンケート及びインタビューの結果から今回開発した教具とそれをを用いた学習についての改善すべき点を考察する。

まず、過去の研究成果 [10] が示す通り、本来は視覚情報として得るおもりの重さの比較結果を音声に変えた教具で、CS アンプラグドの活動を実行することができた。AR を用いたデジタル天秤も十分な精度で機能し、学習者にアルゴリズム的な思考に集中させることができた。以下、視覚障害者の認識特性に配慮した教具や学習法としての検討課題を示す。

まず、教具としては、2名の違いが最も顕著に表れたの

は、場やエリアの使い方である。晴眼者の Y は体の前部だけでコンパクトに場をまとめた。1つ1つのエリアも小さかった。更に、自分の体を動かしてエリアを広げたり、おもりを左手で押さえてエリアを管理するなど、一貫して場を管理することに注力した。これによって、自分の目的とするおもりを手早く見つけ、アルゴリズム的思考に集中できていた。

一方、視覚障害者の X は体の両側を使って大きく場を作った。それぞれのエリアも大きく、エリア同士の重なりもできていた。これによって、目的とするおもりを見つめることができず、アルゴリズム思考に集中できない場面があった。

我々は、この違いは、実験器具の位置や大きさを認識する精度が X よりも Y の方が精度が高いことにあると考えた。2名とも活動中は視覚情報を用いていないが、Y は活動前にパソコンや台座の位置を目で確認していることで目を閉じていても精度の高い位置情報を使えたと考えられる。一方 X にもパソコンや台座の位置を触って確認させたが、Y ほどの精度を持つことはできなかった。更に、「エリアが重なれば間違えておもりを選んでしまう」という意識も働いて、あえて大きめに場やエリアを設定したということも考えられる。

おもりの操作時間を単純に比較する(表 8)と、1回の比較動作に要した時間を平均は、X が 12.8 秒、Y が 9.6 秒と 3 秒以上の差がある。この中で、X には 4 回のためらい行動があり、その合計時間は 31 秒である。これを差し引くと、X の平均は 10.6 秒となり Y に近づく。この時間はエリアの新設、次にどこに置くか、に費やされたものであり、場とエリアの使い方が大きく関係していることがわかる。

従って、まずは活動前に教材の位置関係を丁寧に把握させることが必要である。また、被験者に自由に場やエリアを作らせるのではなく、その境界をはっきりと認識させる仕組みが必要である。例えば、浅めの籠をいくつか用意して、使い分けるだけで活動しやすくなる可能性もある。ただし、エリアは大きさの変化や、新設、消滅もあり、データ数やおもりの大きさにも関係する。そのような変化に対応しながら操作できるような仕組みを考えることが必要である。

また、今回は CS アンブラグドと「同じ活動をするの実現」を目指したが、発想を変えて「同じ思考パターンの実現」へと研究のベクトルを修正することも可能性として残しておくことが必要である。

アンケート結果からは、CS アンブラグドを視覚障害者に適用することの根本的な課題が見えた。CS アンブラグドの魅力の 1 つは、初学者に対する動機付け効果がある。先行研究 [11][12] でも学習者の楽しさや知的好奇心の向上が話題となっている。しかし、アンケート結果を見る限り、2名から肯定的な回答が得られたのは「質問 7 並べ替えがで

きた時は嬉しかったですか？」だけで、それ以外の質問に対しては否定的である。活動の前にはコンピュータの仕組みを学んでいることや、どのように我々の生活に役立っているか等を説明しているが、そこに価値が見出だされてはいないと言える。むしろ、またやってみたいと思わせるものではなく、多くの集中力を使う割には、得られた結果にインパクトはなく、活動が苦痛であったとも考えられる。学習法として広く適用させるには、通常以上に学習の価値を理解させたり、学習者の興味を高める仕組みを考えることも必要である。

筆者らが行う晴眼者に対する授業では、データがきれいに整えられる様子や、アルゴリズムの違いによってスピードに大きな差がある様子を、アニメーション教材等を使って学習者に見せてきた。それらの学習によって、活動の意理解させてきた。しかし、今回はそのようなアニメーションを見せたり、体感させることはできなかった。それらの学習を行わなかったことが、否定的な意見となった要因の 1 つとして考えられる。従って、ただ CS アンブラグドの活動を行わせるだけではなく、それに関連した教材や学習の支援も考えなければいけないと言える。

アルゴリズム理解の正確さで勝っていたのは X の方であった。これは X が 1 年前に学んだことを覚えていて、ほぼ適切におもりを選んだことによるものである。ただし、シーン X-5 で行わなければいけない比較をスキップしている。これについては、集中力が途切れたか、エリアの管理が不十分であったことが原因と考えられる。Y は、本来使うべきではない記憶を使っている。この段階でアルゴリズム自体の理解は不十分と言えるが、同様のミスは晴眼者を対象とした授業でもよく見られるものであり、晴眼者に対する授業とかけ離れたものではない。ただし、今回は 1 年前の復習のような形で実験を終えただけで、挿入ソートやマージソートなど他の基本的なソート法を扱うことができなかった。また、6 個のデータ(おもり)だけで活動を行った。アルゴリズムの違いによる計算量の違いなど、一歩進んだ学習をさせるには、データ数を増やして考えることも必要である。おもりの数が増えれば学習者の負担も増える。学習内容に深みや幅を持たせるにはどのような教具が相応しいかの検討が今後の課題となった。

## 7. まとめ

身体性の高い学習法である CS アンブラグドのアルゴリズム学習法について、視覚情報の代わりに、データの大小を比較した結果を音で知らせる支援教具を開発し、重度視覚障害者と晴眼者を被験者とした評価実験を行った。

以前より、CS アンブラグドの整列アルゴリズム学習法が、重度視覚障害者にも活用できる学習法であることはわかっていたが、目隠しをした双子の晴眼者との比較実験を行ったことで、教具の位置情報の認識や場とエリアの作り

方の重要性がわかった。また、活動を支援すればいいというのではなく、アニメーションを見せるなどの関連した学習も含めた総合的な支援が必要であることがわかった。

従来の視覚障害者用の教材と言えば、「触って形状を理解させるもの」や「日常生活の問題を解決させるもの」など障害のためにできないことを実現しようとするものが多かった。この研究では、視覚障害者の思考過程に立ち入って、その能力を高めるための教具や学習法の在り方を明らかにしようとした。本研究は、CS アンプラグドのアルゴリズム学習を題材として行ったが、ここで得た知見は、CS アンプラグドの他の学習や一般的なアルゴリズム学習にも適用できると考えている。今後も CS アンプラグド学習法の利点をより多くの人々が得られるように、研究を続けたい。

**謝辞** 本研究は、科学研究費補助金（基盤研究（C）25350214 及び奨励研究 26910017）の補助を受けています。

## 参考文献

- [1] 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).
- [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). <http://www.etext.jp/>
- [3] Computer Science Teachers Association: A Model Curriculum for K-12 Computer Science – Final Report of the ACM Task Force Curriculum Committee, Technical Report(2003).
- [4] 兼宗進, 正田良, 紅林秀治, 鎌田敏之, 井戸坂幸男, 保福やよい, 久野靖: コンピュータを使わない情報科学教育-Computer Science Unplugged の翻訳と実践-, 情報教育シンポジウム (SSS2007) (2007).
- [5] 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.
- [6] 厚生労働省: 日本の視覚障害者の業種別就業状況 (2009), <http://www.mhlw.go.jp/bunya/koyou/shougaiha02/txt/01.txt>
- [7] 長岡英司: 重度視覚障害者のソフトウェア開発技能の職業的有用性, 職業リハビリテーション 16, p.43–51(2003).
- [8] 長岡英司: 重度視覚障害者による Java プログラミングを支援するソフトウェアの開発, 筑波技術短期大学テクノレポート 12, pp.21–26(2005).
- [9] 鈴木力二: 図説盲教育史事典, 日本図書センター (1985)
- [10] 間辺広樹: CS アンプラグドの視覚障害者への適用, 情報処理学会研究報告. コンピュータと教育研究会報告 2013-CE-121(3), pp.1–7 (2013).
- [11] 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).
- [12] 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).
- [13] Hiroki Manabe, Susumu Kanemune, Mitaro Namiki, Yoshiaki Nakano: CS Unplugged Assisted Digital Materials for Handicapped Persons at School, ISSEP2011, Informatics in Schools(LNCS7013), pp.82–93 (2011).
- [14] Tim Bell, Mick Grimley, Giovanni Bianco, Daniela Marghitu, Hiroki Manabe: "Kinesthetic Computer Science activities in a virtual world", SIGCSE2009, (2009).
- [15] 間辺広樹, 兼宗進, 並木美太郎: CS アンプラグドのアルゴリズム学習における教具による理解度への影響, 情報処理学会論文誌 54(1), pp.14–23 (2013).
- [16] 大川原潔: 心身障害児教育・福祉・医療総合事典, 第一法規出版, (1977).
- [17] 長岡英司: 重度視覚障害者による Java プログラミングの可能性, 筑波技術短期大学テクノレポート 12, pp.21–26(2005).
- [18] 障害者職業総合センター: 視覚障害者の職域拡大の変遷と現状, 研究レポート (2004)
- [19] 大山信郎: 特殊教育事典, 第一法規出版 (1968).
- [20] 角本順次: 視覚的思考-視覚障害児の認知特性に関する予備的考察 (1), 教育学部論集 9, pp.119–130 (1998).
- [21] 石部元雄: ハンディキャップ教育・福祉事典, 福村出版 (1994).
- [22] ARToolkit を参考に実装した拡張現実感アプリケーションのためのクラスライブラリ. <http://nyatla.jp/nyartoolkit/wp/>
- [23] 土田和人, 鳥袋舞子, 間辺広樹, 兼宗進: AR を利用した CS アンプラグド教材の提案, 情報教育シンポジウム (SSS2014) (2014).