

ARを利用したCSアンプラグド教材の提案

土田 和人^{1,a)} 島袋 舞子^{1,b)} 間辺 広樹^{2,c)} 兼宗 進^{1,d)}

概要: コンピュータサイエンスアンプラグドは、情報科学の基礎を学ぶための効果的な学習法であり、その一つに天秤とおもりを用いた整列アルゴリズム学習がある。その学習では、データに見立てた2つのおもりの重さの比較を繰り返して、コンピュータの内部動作を体験的に学ぶ。しかし、実際の授業で用いるときに、「手に取ったおもりの重さで順番の予測がつくと理解に必要な比較動作をスキップしてしまう」という課題や「天秤が十分な精度を持たないとアルゴリズムの理解が得られなくなる」等の課題が存在する。そこで、我々は紙で作成されたマーカーとそれを読み取るカメラを組み合わせたAR技術を用いることで、これらの課題が解決するための、デジタル天秤と名付けた教具を開発した。本稿では、この教具の詳細を紹介し、授業での利用可能性について検討する。

キーワード: AR, 拡張現実, CS アンプラグド

A CS Unplugged educational material using AR

TSUCHIDA KAZUTO^{1,a)} SHIMABUKU MAIKO^{1,b)} MANABE HIROKI^{2,c)} KANEMUNE SUSUMU^{1,d)}

Abstract: Computer Science Unplugged is an effective method of learning the basic of information science. In the Unplugged, there is an activity of learning Sorting Algorithm by using a set of a balance scale and some weights, as an educational material. Students can learn how computers work through repeating the comparisons of two weights assumed as data. However, through the lessons in schools, we recognized there were some problems in the activity. The first problem was that students did not compare data, if students could feel which weight was heavier/lighter in their hands. The second problem was that students could not understand algorithms if the balance scale could not measure with accuracy. To solve these problems, we focused on 'AR Technology'. AR is a new technology consisted of special markers and Web camera. We developed 'AR Balance Scale' as an educational material. This report shows how we designed AR balance scale and discuss the possibility of the educational material in school lessons.

Keywords: AR, CS Unplugged

1. はじめに

情報科学の基礎を学ぶための教育手法の一つに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）があ

る [1][2]。CS アンプラグドでは、カードなどの教具を用いた体験的な活動から情報科学に関する様々な概念を学ぶことができる。

CS アンプラグドの学習法の一つに、天秤とおもりを教具に用いた「整列アルゴリズム学習」がある。これは、「コンピュータは同時に2つのデータしか大小比較できない」という制約を天秤で作り、コンピュータ内部で行われているデータの動きをデータに見立てたおもりの重さの比較動作を繰り返すことで体験する学習である。学習者は、自分の手で教具を動かし、試行錯誤を繰り返しながら、「どのような手順で比較するおもりを選んでいけば良いか」を意

¹ 大阪電気通信大学
Osaka Electro-Communication University, Shijonawate, Osaka 575-0063, Japan
² 神奈川県立柏陽高等学校
Hakuyo high school, Yokohama, Kanagawa, 247-0004, Japan
a) ht12a053@oecu.jp
b) shimabuku.m@gmail.com
c) manaty2005@mh.scn-net.ne.jp
d) kanemune@acm.org

識する事で、自分で整列アルゴリズムを見つけ出したり、基本的な整列アルゴリズムを理解したりする学習が可能になる。

CS アンプラグドは、学習内容を調節することで、学習者の年齢等に応じた使い方が可能になる。そのため、CS アンプラグドはこれまでも小学校から大学までのいろいろな校種の授業で使われ、その学習効果が確認されてきた [3][4][5][6][7]。

ただし、CS アンプラグドは、学校の授業用に開発された学習法ではないため、授業で使う場合には課題も存在する。

「整列アルゴリズム学習」においては、おもりを手に取ったときに、その重さで順番の予想がついてしまう。そのため、本来行わなければいけないおもりの比較を省略してしまうことで、手順の理解という学習目標が達成出来ない課題があった。また、重さが近い2つのおもりを比べた時に天秤が釣り合ってしまうことで、誤った処理結果を招いてしまったり、必要以上に活動に時間が掛かってしまう等、十分な学習ができないという課題もあった。

本研究では、これらの課題に対して、AR 技術を用いた解決の方法を提案する。AR とは、カメラで写している現実空間の画像に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ことができる「拡張現実 (Augmented Reality)」と言われる技術である。マーカーは紙で作成できるため、教材作りの自由度が高い。そこで、マーカーを工夫したり、ソフトウェアで制御することによって、従来の課題が解決できるのではないかと考えた。

まず、マーカーには仮想的な重さを情報として設定することで、マーカーをおもりに見立てた活動ができるようになる。そして、マーカーから得た情報をソフトウェアで正しく瞬時に学習者に提示することで、確実な活動ができるようになる。これらによって、「重さで順番の予想がつく」、「重さの比較結果を間違える」、「必要以上に時間が掛かる」という課題を解決する。

本研究では、AR とマーカーを用いた教具を開発した後、大学生らによるインターフェースの評価実験を行う。その結果から、授業での利用可能性を考察する。更に、その拡張として、比較結果を視覚情報から音声情報に変更する事で得られる視覚障害者の利用可能性についても考察する。

2. 整列アルゴリズム学習の内容と授業で使う場合の課題

2.1 整列アルゴリズム学習

CS アンプラグドの「整列アルゴリズム学習」とは、天秤とおもりを教具に用いて、データの整列 (ソーティング) を学習することを目的とした学習である。日本では、著書 [2] の中で「いちばん軽いといちばん重い (整列アルゴリズム)」という学習内容として紹介された。

整列アルゴリズムは情報科学の基礎的分野であり、初学

者には重要な学習内容である。CS アンプラグドでは、教具として、天秤と重さのわからない複数個のおもりを用意する。学習者はおもりの中から2個ずつを選び、天秤を用いて「どちらが軽いか/重いか」の比較を繰り返す (図1)。学習者は、その繰り返しからどのように比較するおもりを選べば整列ができるか、また、効率が良いかといったアルゴリズム的な思考を行うようになる。そして、考え方が正しければ整列が可能である。学習者は、整列ができたと思ったところで、おもりの重さを確認し、自分の考え方の正誤を確認する。

この学習を通して、「コンピュータは同時に2つの値しか比較ができないこと」や、「クイックソートやバブルソートなどの基本的な整列の手法」、「方法によって処理の効率に違いが生じること」などの情報科学の基礎を学習できる。



図1 天秤を用いたアルゴリズム学習

2.2 授業で使う場合の課題

体験的な学習法として効果的な CS アンプラグドであるが、元々は学校用として開発された手法ではないために、学校の授業で使う場合には、授業環境や学習者の特性に配慮した工夫が必要である。筆者らの過去の授業実践では、整列アルゴリズム学習で天秤を教具として使った場合、以下に示した点に工夫や配慮が必要であった。

- (1) 手にとったおもりの重さで順番の予測がつく
- (2) 天秤が十分な精度を持たない
- (3) アルゴリズムを実行する度に、並び順が同じになる
- (4) 教具の準備に手間がかかる
- (5) 生徒の数だけ教具を用意するにはコストがかかる

これらが「課題」である理由を示す。CS アンプラグドの体験的な活動は、コンピュータの動きをモデル化したり、シミュレートしたものであって、授業で用いる場合には、そのような活動を通して「コンピュータの仕組みの理解」や「アルゴリズムの理解」に繋げる必要がある。整列アルゴリズム学習では、天秤を用いたデータ同士の比較を何度も繰り返す。その比較順の記述や再現性のある考え方ができるようになって、整列アルゴリズムの理解に繋がっ

ていく。

従って、初学者にとって、(1)は必要な比較順の記述を省略したり、再現性のある考え方ができなくなる要因となり、アルゴリズムの正しい理解が得られないことがある。

また(2)のように、天秤が十分な精度を持たないと、比較対象とするおもりの選択を間違えるため、学習者の考え方が正しいにも関わらず、整列結果が誤ってしまう。その誤りが、アルゴリズムの理解を妨げる要因となる。また、結果が分かり辛いと、必要以上に活動に時間が掛かったり、学習に集中しづらいといったことにも繋がる。そして(3)のように、並び順が同じだと学習者はデータの並べ替えを一度行っただけで活動を終わることが多く、整列アルゴリズムに求められる「どのような並び順でも正しく整列させる」ことを十分に理解することができない。

更に、教師の多忙な日常の中では(4)のような準備の手間や、多くの学習者が学ぶ授業での(5)のような問題も、現実には深刻な課題であった。

これらの課題に対し、筆者らは過去にコンピュータのディスプレイ上で動作するソフトウェア天秤を開発し、活用したこともあるが、マウスやキーボードだけでしかおもりを動かすことのできない学習環境は、複数の学習者で相談しながら進めるグループ学習には適さなかった[8]。

2.3 課題を解決する教具に必要な機能

前節に示した課題の中で、本研究では、次のように改善することで、解決に繋がるのではないかと考えた。

まず、授業の課題の(1)(2)(3)に対しては教具の重さを統一し、データを初期化する機能を持たせることで解決する。そこで、おもりに見立てる教具には重さの代わりとなる数値情報を設定することと、その大小判定をコンピュータに行わせることで、解決する。授業の課題の(4)(5)に対しては、おもりに見立てる教具を紙等を使って簡単かつ安価に作ることで解決する。更に、おもりが具体物であるため、ソフトウェア天秤では難しかったグループ学習も可能にする。

これらをまとめると、おもりに見立てる教具には、以下の必要な条件を整えることで、課題解決に繋がる。

- 重さを統一する
- データを書き込めるようにする
- 紙等で簡単に作れるようにする
- 置きやすさ/持ちやすさを考慮した形状にする
- データの読み取り精度を高くする

このような教具の条件を満たす技術として、本研究ではマーカーでおもりとなる教具作りができるAR技術に着目した。

3. デジタル天秤の設計と開発

3.1 教具の開発に用いた技術

3.1.1 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」(図2)と呼ばれる決まった形を用いる。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。



図2 AR マーカー

3.1.2 NyARToolkit

開発には、NyARToolKit[9]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。

3.2 デジタル天秤の設計

3.2.1 デジタル天秤の基本機能

以上の技術を用いて、コンピュータスクリーンの中で動作する仮想的な天秤(以下、デジタル天秤と記す)を開発した(図3)。

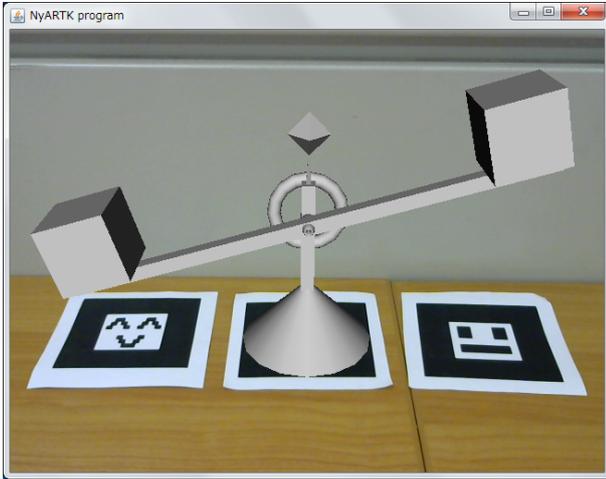


図3 コンピュータスクリーンの仮想天秤

教具には、(a) 天秤を表示する機能、(b) カードをおもりとして認識する機能、(c) 重さの設定を初期化する機能、(d) 2つのおもりを比較する機能、(e) 比較結果を伝える機能、(f) 比較を繰り返す機能、(g) 整列を確認する機能が実装した。これらの機能を、従来の課題を解決する形で、カメラでARマーカーを読み取ると、読み取ったマーカーに設定した数値情報を比較した結果を伝えることを繰り返す。このソフトウェアをJava言語とNyARToolKitライブラリを用いて開発した。以下にその概要を示す。

3.2.2 授業で活用するための教具

教材一式は、ARマーカーをラミネートした7枚のカード(以下、ARカードと記す)とソフトウェアで構成する(図4)(図5)。ソフトウェアには以下のように必要な機能を実装した。

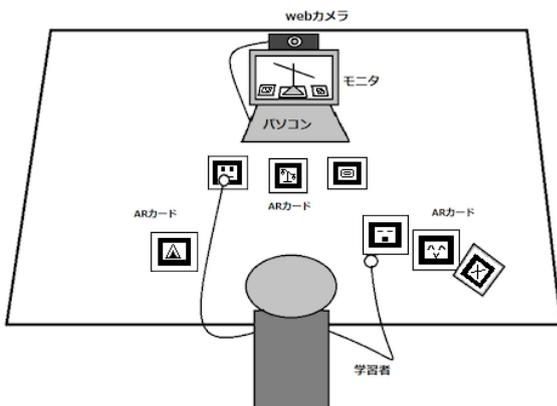


図4 AR教材の使用例



図5 高等学校で活用するための教具

- (a) **天秤を表示する機能**・・・カードの1枚はスクリーンに天秤を表示させるために用いる(天秤カードと称して他のカードと区別する)。カメラで写すと画面に天秤のグラフィックスを表示し、中央に固定するようにした。
- (b) **カードをおもりとして認識する機能**・・・残りの6枚のカードはプログラムでおもりとしてコンピュータに認識させるようにした。
- (c) **重さの設定を初期化する機能**・・・次の学習を行う際は、重さの設定をランダムに変えるようにした。これによって、重さが変更できないために完成するおもりの並びが予測できてしまった課題を解決した。
- (d) **2つのおもりを比較する機能**・・・カードを1枚ずつ天秤カードの両隣に置くと、それぞれのカードから重さとして設定した数値の大小を判断するようにした。
- (e) **比較結果を伝える機能**・・・比較結果に基づいて、画面の天秤が重いと判断された方向に傾くようにした(図3)。この傾きは数値データと数値データの差の大小に関わらず一定の傾きを示すため、天秤の振り子の軸やおもりの重さの具合で天秤が釣りあってしまい比較がわかりにくかった問題を改善した。
- (f) **比較を繰り返す機能**・・・2枚のカードを所定の箇所に置けば、いつでも比較してその結果を表示する処理を繰り返せるようにした。
- (g) **整列を確認する機能**・・・最終的に重りカードを重さ順に並べたものを全てカメラに写すと、その並びが正解かどうか画面に表示されるようにした。

以上の機能を実装したことで、2.2で示した課題をすべて解決する教材になった。

AR技術のマーカー手法で用意する必要がある教材は、印刷された紙だけであるため、非常に安価で手に入りやすい。ソフトウェアとカメラを用意できるのならば、これらを生徒の数だけ用意すれば、授業で活用することが可能である。

4. デジタル天秤のインターフェース評価実験

4.1 実験計画

開発したデジタル天秤についてのインターフェース評価実験を行うこととした。実験は、本物の天秤(以下、アナログ天秤と記す)とデジタル天秤の両方を被験者に活用してもらい、被験者の学習行動とデジタル天秤の動作状況を記録・観察し、デジタル天秤が整列アルゴリズム学習を実現するかどうか、と、グループ活動を可能にするかどうかについて検証する。

被験者は情報学を学んでいる大学3年の男性10名で、既に簡単なプログラミングの経験もあり、整列アルゴリズムも学んでいた。

実験に際して、アナログ天秤とデジタル天秤を用意した。アナログ天秤としては、上皿天秤ばかりと重さの違うおもりを6個用意した。おもりにはフィルムケースの中に複数枚のコインを入れ、外見は同じだが重さの違う状態を作った。デジタル天秤では、パソコン、Webカメラ、そしてARカード7枚を用意した。ARカードの1枚はバーチャル天秤認識用として用いるため、パソコンの前に固定した。残りの6枚のARカードはおもりとして活用し、実行の毎に異なる数の組合せを「重さ」として設定した。それぞれの教材の扱い方は、被験者毎にやりやすい方法でおこなってもらうこととした。

アナログ天秤では、おもりを左右の上皿に1つずつ乗せ、どちらが重いかの比較動作を繰り返す。並べ替えができたと思ったところで、被験者と回りの大学生とで、再度天秤を用いて結果を確認する。デジタル天秤では、バーチャル天秤認識用のARカードの右側と左側にそれぞれ1枚ずつのARカードを置き、カメラで読み取って判定結果を表示させる。並べ替えができたと思ったところで、すべてのARカードが全て写るようにカメラに映す。6枚のカード映像が読み込まれたことをソフトウェアが認識すると、重さとして設定した数値と並べ替えの結果(「成功」または「失敗」という文字)が表示され、考え方の正否を確認する。

4.2 結果

実験では、デジタル天秤とアナログ天秤をランダムな順番で1回ずつ使ってもらった。その際「選択法(最大値を選ぶ操作を一定の回数だけ繰り返して並べ替える方法)」で並べ替えるよう依頼した。被験者は過去に選択法を学習していたが、十分に理解していたわけではなかったため、それぞれの教具で試行錯誤を繰り返しながら、正しいソーティング結果を得ることを目指した活動を行った。

アナログ天秤では、両手でおもりを操作する被験者が多かった。途中でおもりの重さの違いがはっきりと出なかったり、振り子の揺れが止まらない時に、判断に時間が掛かる被験者が多かった。被験者が並べ替えが終わったと判断

した段階で、周りにいた大学生と被験者とで順番におもりを比較していき、並べ替えができていないかどうかを確認した。

デジタル天秤では、カードの認識を確実にするため、片方の手でWebカメラを持ち、もう片方の手でカードを操作をする被験者が多かった。片手での活動ではあったが、どの被験者もスムーズに活動を行うことができた。デジタル天秤は繰り返されるマーク認識の処理とおもさ比較の処理をエラーや誤りなく行った。

活動の時間について、被験者10人分の(総活動時間)÷(おもりの比較回数)を、「1回の比較に要した時間」として算出した。その平均は、アナログ天秤が5.2秒、デジタル天秤が7.9秒であった(表1)。ただし、この時間は「考える時間」「おもりを選ぶ時間」「おもりを乗せる時間」「結果が出るまでの時間」を含んでいる。そのため、単純にどちらが早いとは結論付けることはできない。ただし、「おもりを乗せる動作」に関しては、片手で行ったデジタル天秤よりも両手が使えるアナログ天秤の方は早かった。どちらが重いかの「結果が出るまでの時間」は振れやあいまいさのないデジタル天秤の方が早かった。また、ソーティングした「最終結果を確認する時間」は、被験者と他の大学生と確認したアナログ天秤よりも、一瞬で結果が表示されるデジタル天秤の方が、どの被験者の場合でも早かった。

表1 教材別の1回の比較に要した時間(10名分)

	アナログ天秤	デジタル天秤
全比較回数	151回	169回
全活動時間	801秒	1361秒
1回の比較に要した時間(平均)	5.2秒	7.9秒

実験終了後に被験者に両方の天秤教材を使用しての感想を聞いたところ、以下のコメントを得た。

- アナログ天秤は振り子がはっきりしないときがあり、その点でははっきりと重さの違いを示してくれるバーチャル天秤はよい。
- デジタル天秤はアナログ天秤より答え合わせが楽でいい。
- どちらが勉強になるかといえばARのほうがなる気がする。
- 本物の天秤は比較結果がわかりづらいときがある。
- デジタル天秤はカメラを片手で持たないといけないのが残念。

グループ学習の可否については、被験者とその周りで実験を見ている大学生の様子を観察した。被験者と他の大学生とはおもりの選び方などを相談する場面が何度もあり、グループ学習が無理なく行えることも確認した。特に、ARカードと重さの組合せは、アルゴリズムを実行する度に変わっていたため、実験を横で見ている大学生が次にデジタル天秤を使う時でも、記憶に頼ることなく、本来のアルゴ

リズム的な考え方ができていることを確認した。

5. 考察

以上の実験結果から、デジタル天秤の有効性について考察する。

整列アルゴリズム学習法は、天秤を用いたおもりの比較動作を繰り返す。学習者は試行錯誤していろいろと考えながら、学習を進めていく。天秤の精度や比較に要する時間は学習に大きく影響を与えるが、デジタル天秤はプログラムの不具合や誤判定もなく、被験者の様々な動作に対応する強度を有していた。このことから、现阶段でもデジタル天秤は整列アルゴリズム学習法を実現する教材である。しかし、Webカメラがマークを読み取る精度に課題があり、被験者の多くが片手だけで活動した。「教材毎の比較に要した時間」は、デジタル天秤の方が時間を要した(表1)が、その要因は片手でおもりを操作したためである。他の「(1回の)結果が出るまでの時間」と「最終結果を確認する時間」はデジタル天秤の方が早いことから、マークの読み取り精度さえ上げれば、活動時間は短縮が可能である。今後は、Webカメラの固定位置とおもりの向きを改善し、読み取り精度を向上させることが必要である。

従来の課題として、アナログ天秤を用いた際の「手にしたおもりの重さでどちらが重いかかわかる」ことによる手順の理解への影響については、デジタル天秤は同じ重さのカードに異なる数値を設定して比較を行うので、手にとった重さで順番の予測がつくことはなかった。従って、デジタル天秤は確実に課題解決ができているが、今回は整列アルゴリズムの既習者を対象に実験を行った。そのため、このことが学習にどのような影響を与えるかは明らかになってはいない。今後初学者を対象に検証することが課題として残った。

重さの設定については、アルゴリズムを実行するたびに初期化するため、グループ学習で被験者が入れ替わる際に、その有効性を発揮した。今回は個人で実行を繰り返すことはなかったが、そのような状況においても有効性が期待できる。このことによって、アルゴリズムを複数回実行し、その理解が深まることが期待できる。この検証についても今後の課題となった。

比較結果の判断については、アナログ天秤では、2つのおもりの重さが近い場合、吊り合ってしまうためどちらが重いのか判断が難しい場合もあったが、デジタル天秤を用いた場合、デジタル天秤が左右のどちらかに必ず傾くため、どちらが重いのかはっきりしており、どちらが重いのか判断しやすかった。また、アナログ天秤を使う場合、最終結果を確かめるには、手間がかかったが、しかし、デジタル天秤を用いた場合、必ず左右のどちらかに傾く、かつ正しいかどうか画面上に表示されるため、曖昧になることはなかった。このことは、デジタル天秤は、アナログ天秤より

アルゴリズム思考に集中できると言える。

今回の実験では、AR技術を教具作りに使うメリットとして、以下のこともわかった。

- データを書き込むことができる
- 教具の精度を向上させることができる
- グラフィックや音声といった情報をARマーカーに埋め込むことができる。
- コストを抑えて教具を用意することができる

これらのメリットを活かすことで、他のCSアンプラグドの学習にも応用できる可能性がある。たとえば、2進数を学ぶことができる「点を数える」では、表にはそれぞれ1, 2, 4, 8, 16個の点が書かれた5枚のカードを使って、0~31の数を作っていく。その数を作るとき、裏のときは0、点が見えているときは1と考えることで、2進数の考え方を学ぶことができる。このとき、ARマーカーを用いて0と1を表示し、視覚化することで、より理解が深まるのではないかと考える。今後は、このような可能性にも着目して、学習法と教具作りの幅を広げることも課題として残った。

6. 視覚障害者等への適用可能性

本研究の成果は、教具を改良することで、視覚障害者の整列アルゴリズム学習に適用させることも可能である。視覚障害者に対してソフトウェア開発などの情報教育を実施することの意義は大きく、視覚障害者が使えるプログラミング環境の開発も進められている[10]。

筆者らも、過去の研究[11]で、視覚障害者のための整列アルゴリズム学習のための支援教具を作成した。視覚障害者は、視覚に頼ることができないため、触覚と聴覚によって、アルゴリズムを思考出来る環境を整えた。しかし、教具の形状や精度に課題を残していた。

本研究で開発したデジタル天秤は、その一部を改良することで、視覚障害者の学習を実現する教具となる可能性がある。視覚障害者が学習するためには、晴眼者が視覚で得られる情報を触覚と聴覚に置き換えることが必要である。特におもりを使って試行錯誤するためには、教具の位置情報は重要であるため、その位置を固定する仕組みが必要となる。

そこで、デジタル天秤に次の機能を追加して視覚障害者用整列アルゴリズム学習天秤を作成した(図6)。

- ARマーカーを手で掴みやすくすること
- 比較結果を音声で伝えること
- おもりの場所を磁石を用いて動きにくくすること

この改良版デジタル天秤によって視覚障害者の学習が可能となるかどうかの検証は今後の課題である。

7. おわりに

本稿では、AR(拡張現実)技術を用いて整列アルゴリズムの学習を目的とした天秤教材の開発をおこなった。AR

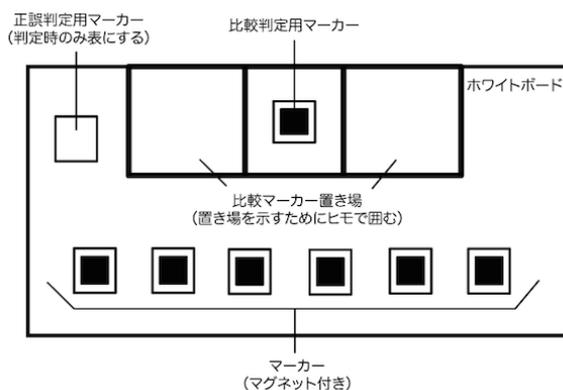


図 6 視覚障害者に対応した教具

技術を用いることで、手にとったおもりの重さによる予測や何度も取り組むこと等の従来の課題を解決することが可能となり、天秤教材本来の学習ができるようになったと考える。また、改良を加える事で視覚障害者への対応を可能にした。

これらの教具を使って、学習がどのように進んでいくかの検証については今後の課題であり、いろいろな学校と連携して進めていきたい。

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, Ian H. Witten, Mike Fellows: Computer Science Unplugged - An enrichment and extension programme for primary-aged children(2005).
- [2] 兼宗進監訳: コンピュータを使わない情報教育アンプラグドコンピュータサイエンス, イーテキスト研究所 (2007).
- [3] 井戸坂幸男, 青木浩幸, 兼宗進, 久野靖. コンピュータサイエンスアンプラグドの小学生向け実践の取り組み. 情報教育シンポジウム (SSS2008)(2008).
- [4] 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).
- [5] 保福やよい, 井戸坂幸男, 兼宗進, 久野靖. 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)(2008).
- [6] 兼宗進, 佐藤義弘. 情報科教育法での CS アンプラグドの利用. 情報処理学会研究報告. コンピュータと教育研究会報告 2010-CE-103(24), 1-3(2010).
- [7] 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).
- [8] 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).
- [9] 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/>
- [10] 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, pp.43-51(2003).
- [11] 間辺広樹. CS アンプラグドの視覚障害者への適応. 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).