タブレット端末を利用した整列アルゴリズム学習教材の提案

島袋舞子　林康平　井戸坂幸男　兼宗進
大阪電気通信大学　大阪電気通信大学　松阪市立飯高西中学校　大阪電気通信大学
shimabuku.m@gmail.com ht13a072@oecu.jp idosaka@gmail.com kanemune@gmail.com

高等学校の共通教科「情報」で学ぶ内容の一つにアルゴリズムがある．アルゴリズムはコンピュータにおけるデータの動きを示すものである．アルゴリズムを学ぶ教材の一つに，情報科学の基礎を学ぶ効果的な教育手法であるコンピュータサイエンスアンプラグドの整列アルゴリズム学習がある．天秤により「コンピュータはデータを１つずつ比較する」という制約を実現し，データに見立てたおもりを天秤により比較，操作し，並び替えをおこなうことにより，整列アルゴリズムのデータの動きを体験，学習することができる．また現在，学校にタブレット端末を導入する取り組みが進められており，今後タブレット端末で動作する教材の活用が増えてくると考えられる．

そこで，我々はタブレット端末，スマートフォンで動作する整列アルゴリズム教材を提案する．本稿では，提案した教材の開発と，それを使用した高校の授業を報告する．

キーワード：タブレット端末，整列アルゴリズム，コンピュータサイエンスアンプラグド

1. はじめに

我々の身近に存在するあらゆる機器がコンピュータで動作している．コンピュータは，ソフトウェアプログラムで動作している．しかし，コンピュータの仕組みやソフトウェアプログラムがどのようなものかは多くのユーザーは知らない．ソフトウェアプログラムがどのようなものかを知り，コンピュータの仕組みを知るためには，プログラミングを体験することが重要である．現在，我が国では義務教育段階からのプログラミング教育が進められており，どのように教えていくのか，教育方法や教育教材等が検討されている．

プログラムには昔から研究されてきた決められた手順が存在する．それらアルゴリズムとよび，プログラムを作成する際に重要となる．アルゴリズムを理解することは，コンピュータの仕組みを理解するうえで重要であるが，容易ではない．

本研究では，アルゴリズムの一つであるソートアルゴリズムを学ぶ教育教材に着目した．ソートアルゴリズムには複数の種類が存在し，使用する手法やデータ数によって効率が異なる．

2. 情報科学教育

現在，小中高で情報科学を学ぶのは，高校の共通教科「情報」のみである．現状の共通教科情報では，情報社会に参画する態度を養うことを目指した「社会と情報」と情報の科学的内容の理解を目指す「情報の科学」のどちらか一方を履修することとなっているが[1]，現在，中央教育審議会において，学習指導要領の改訂に関する審議がすすめられており，今後すべての高等学校で情報の科学的な内容を教える可能性がある[2]．

情報の科学で学ぶ内容の一つにアルゴリズムがある（表1）[1]．アルゴリズムは，コンピュータにおけるデータの動きを示すものである．教科書では，アルゴリズムを図1のように文章と図を用いて説明している[3]．一方で情報の科学的な部分を効果的に学ぶことができる教育手法として，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）[4]がある．

また、現在，学校にタブレット端末を導入する取り組みが進められている[5]．今後スマートフォンやタブレット端末で動作する教材の活用が増えてくると考えられる．

表1　学習指導要領におけるアルゴリズムの扱い

(2)問題解決とコンピュータの活用
イ問題の解決と処理手順の自動化
問題の解法をアルゴリズムを用いて表現する方法を習得させ，コンピュータによる処理手順の自動実行の有効性を理解させる．

3. コンピュータサイエンスアンプラグド

3.1 概要

CSアンプラグドとは，情報科学の基礎を学ぶための効果的な教育手法の一つで，コンピュータを使用せず，カードなどの教具を用いた体験的な活動を通じて，情報科学に関する様々な概念を学ぶ学習法である．これまでにも小学校から大学までのいろいろな校種の授業

図1　教科書の例（交換法）

で使われ，その学習効果が確認されてきた[6] [7]．書籍[8]とWebサイト[1]で取り扱う内容を表2に示す．

情報科学全般の内容を取り扱っているCSアンプラグドだが，その中でもアルゴリズムを多く取り扱っている．アルゴリズムはコンピュータによるデータの動きを示すもので，文字や図を見ただけで動きを理解することは難しい．また，見ているよりは，データの動きを実際にやってみたほうがわかりやすい．

今回は，アルゴリズムを学ぶ活動の中から，教科書に紹介されているアルゴリズムの一つである整列アルゴリズムを学ぶ活動に着目した．

3.2　整列アルゴリズム学習

CSアンプラグドの活動の一つに，天秤とおもりを使用した整列アルゴリズム学習がある．その学習では，天秤により「コンピュータはデータを1つずつ比較する」という制約を実現し，データに見立てたおもりを天秤により比較,操作し,並び替えをおこなうことにより，整列アルゴリズムのデータの動きを体験，学習することができる（図2）．

本稿では，天秤とおもりを使い，実際に手を動かして並び替えを体験するといったCSアンプラグドの良さを残しつつ，スマートフォン，タブレット端末で動作する整列アルゴリズム学習教材を開発した．これにより，天秤の用意は不要となる．

図2　整列アルゴリズム学習

表2　書籍とWebサイトで取り扱われている内容

学習内容	タイトル	書籍
2進数	点を数える	○
画像の符号化	色を数で表す	○
テキスト圧縮	それ、さっきも言った！	○
エラー検出、訂正	カード交換の手品	○
情報量	20の扉	○
探索アルゴリズム	戦艦	○
整列アルゴリズム	いちばん軽いといちばん重い	○
整列アルゴリズム並列処理	時間内に仕事を終えろ	○
最小全域木	マッディ市プロジェクト	○
パケット通信	みかんゲーム	○
オートマトン	宝探し	○
プログラミング言語	出発進行	○
グラフ彩色問題	貧乏な地図職人	
支配集合	観光都市	
シュタイナー木	氷上の道	
情報秘匿プロトコル	秘密を共有する	
暗号プロトコル	ペルーのコイン投げ	
公開鍵暗号	子ども暗号	
ヒューマンインタフェースデザイン	チョコレート工場	
チューリングテスト	コンピュータと会話	
人工知能	知能をもつ紙	
分割統治	サンタの汚れた靴下	
情報量	ジョニーを探せ	

[1] コンピュータサイエンスアンプラグド（日本公式）
http://csunplugged.jp/

4. タブレット端末で動作する教材の開発

4.1 新しい教具の提案

タブレット端末で動作する整列アルゴリズム学習教材を提案する．CSアンプラグドの良さである「教具を使用し，実際に手にとって並び替えをする」点を残すために，拡張現実感（Augmented Reality）技術（以下，AR）を利用し，タブレット端末で動作するAR天秤を開発した．

使用するマーカーは，天秤を画面上に描画するマーカー（以下，天秤マーカー），おもりとして利用するマーカー（以下，おもりマーカー），おもりマーカーの値を確認するためのマーカー（以下，確認マーカー）の3種類である．

図4にAR天秤の操作の様子を示す．始めに天秤マーカーを置き，カメラで映すとタブレットの画面に3Dの天秤が表示される．次に紙製のおもりマーカーを天秤用マーカーの横に置くと，天秤におもりが現れる．もう一枚のおもりマーカーを横に置くと，天秤におもりが2つ現れて天秤が傾き比較がおこなわれる．

今回は紙製のマーカーをおもりとして扱うことにより，おもりと同じように手に持って操作することができ，手に持った時の重さを同じにすることができた．

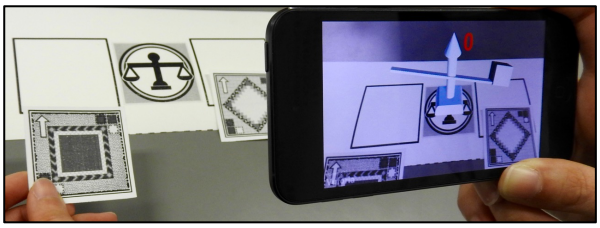

図4　AR天秤の操作の様子

4.2 新しい教具の設計

4.2.1　　基本機能

本節では，AR天秤の主な機能について述べる．通常の天秤とおもりを使用した場合と同様に活動ができるようにした．マーカーを認識する際はタブレットの背面に付属してあるカメラを使用する。

天秤は天秤描画用のマーカーをカメラで映すことで，タブレットの画面上に表示する．　2つのおもりの比較結果は天秤の傾きによって学習者に伝える．おもりは，重さの代わりとなる数値情報を設定した紙製のマーカーを使用した．特定の場所に置きカメラで映すことで，おもりとして認識する．

4.2.2　　追加機能

タブレット端末を利用することで可能となった機能を追加した．

(a)　重さの設定を初期化する機能
　　アプリケーションを起動する度に，マーカーに設定される数値情報がランダムに変わる．

(b)　比較回数を数える機能
　　比較回数をタブレット端末の画面に表示する．

(c)　整列を確認する機能
　　確認用のマーカーをカメラで映すことで，おもりの値をタブレット端末の画面に表示する．

(a)の機能を追加することで，「学習者がマーカーの絵柄でおもさを覚えてしまい，完成する重りの並びが予測する」ことを防ぐようにした．(b)の機能では，比較回数を数える作業をシステムが担当することで，学習者が手順を実行することに集中できるようにした．(c)の機能では，並び替えが終わった時に，おもりが正しく並び替えられていることを確認できるようにした．

4.3 AR 天秤の開発

4.2節で述べた機能を持ち合わせたタブレット端末で動作するAR天秤を開発した．このアプリケーションを様々なプラットフォームに対応した統合開発環境であるUnity[9]とARライブラリであるVuforia[10]を利用し開発した．天秤の描画は，blender[11]と呼ばれる3DCGアニメーションを作成可能なソフトウェアを用いて作成した天秤をUnityに取り込み利用している．

作成したマーカーは，天秤マーカー，おもりマーカー，確認マーカーの3種類である．天秤マーカーと確認マーカーはワークシート（図5）の形にし，おもりマーカー(図6)と同様に印刷用のPDFを用意した．ワークシートは，破線から折り曲げて使用する．また，おもりマーカーはそれぞれのマーカーを切り取って使用する．

4.2節で述べた基本機能と追加機能を以下のように実装することで実現した．

4.3.1　　基本機能

天秤マーカーをカメラで写すとタブレット端末の画面に天秤の3Dグラフィックスを表示し，中央に固定するようにした．おもりの比較は，おもりマーカーを1枚ずつ天秤マーカーの両隣に置くと，それぞれのマーカー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．その結果に基づいて，重いと判断された方向に画面の仮想天秤が傾くようにした．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．

4.3.2　　追加機能

(a)の機能には，アプリケーションを起動する度に，数値情報をランダムに変更し，おもりマーカーに設定した．(b)の機能には，おもりマーカーが2枚置かれた際に比較が行われたと判断し，比較回数を数え，その回数を画面上に表示した（図7）．(c)の機能には，最終的に確認マーカーとおもりカードを重さ順に並べたものをカメラで映すと，その並びが正解かどうか画面に表示されるようにした（図8）．

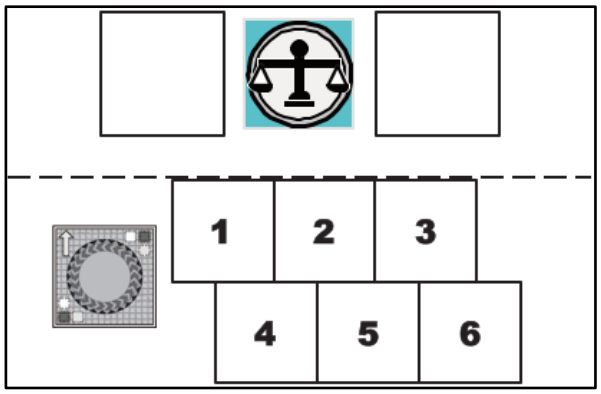

図5　ワークシート（天秤マーカー，確認マーカー）

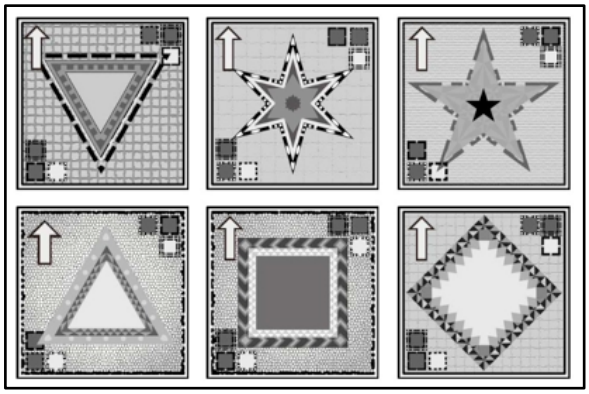

図6　おもりマーカーシート

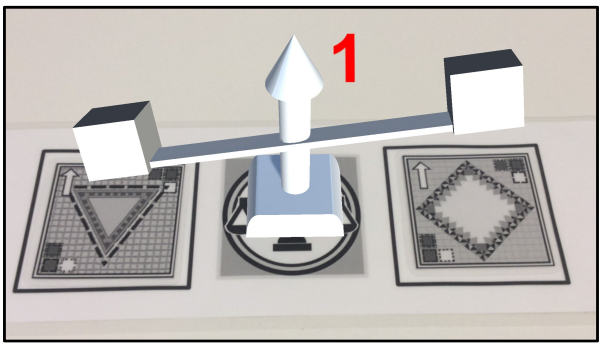

図7　比較回数の表示

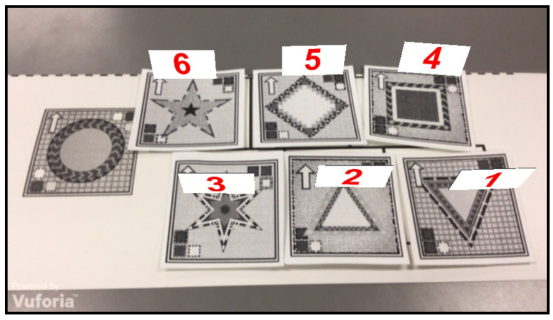

図8　おもりマーカーの値で正誤判定

5.　AR天秤による整列アルゴリズム学習

AR天秤を使用し，整列アルゴリズム学習をおこなった場合，次のような授業が想定される．扱う科目は「情報の科学」で50分の授業を1時間とする．教室は室内であれば場所は問わない．クラスは40名で，全員がアルゴリズムを学ぶことが初めての1学年の生徒を想定した．タブレット端末は全員所持している．扱う整列アルゴリズムは，「選択ソート」，「クイックソート」とした．

まず，1グループ3～4人のグループを作り，グループでおもりを並び替える手順(アルゴリズム)を考える．このとき，生徒はAR天秤を使って，並び替えをおこなう手順を試行錯誤する．次に，教師は選択ソートとクイックソートによるおもりを並び替える手順を伝える．生徒は，個別にそれぞれ複数回ずつアルゴリズムを実行する．このとき，画面上に表示される比較回数を意識させる．最後に，画面上に表示された比較回数を，選択ソートとクイックソートによる並び替えをおこなった場合とでそれぞれ比較する．

この授業により，基本的な整列アルゴリズムを理解し，「方法によっては何倍もの性能差がある」「整列方法やデータ数によって性能が変わる」「比較するデータの順番によって性能が変わる場合がある」という整列アルゴリズムの本質を学習することが可能であると考える．

また，スマートフォンでも動作するため，生徒の予習・復習に使用することも可能である．

6.　実際の授業での使用

6.1　授業内容

開発したAR天秤を私立清教学園高等学校の「情報と科学」の授業で使用した．対象は1年生10クラス350人程度である．今回は，個別学習はなく，すべてグループでおこない，1クラスを1つのグループにつき，3～4人の12グループに分けて実施した．グループに一つず

つ教材を用意した．今回の授業では使用できるタブレット端末がなかったため，安価で手軽なiPod Touch（第6世代）を使用した．また，時間の関係上，整列方法は「選択ソート」に限定した．

表2に，各クラスの人数，使用した教具とカウントの指示の有無を示す．「指示」は，教員が生徒に比較回数を数えることを指示したかを示す．授業の流れは，次のとおりである．

1. 導入
2. 天秤の使い方
3. グループ活動
4. 動画を使って、おもりの整列方法を説明

4で用いた動画は，選択ソートとクイックソートを実際に実行し，比較回数を比べたものである．本家のWebサイト[2]で紹介されている．

表3　各クラスの使用した教具と指示の有無

	A	B	C	D	E	F
人数（人）	43	46	44	43	42	43
教具	天秤	AR	天秤	AR	天秤 +AR	天秤 +AR
指示	×	×	○	○	×	×

6.2　AR 天秤の評価

授業の最後に生徒に対してアンケートを行った．質問した項目は表4に示す．7の自由記述以外は，「全くあてはまらない」，「あまりあてはまらない」，「ややあてはまる」，「よくあてはまる」の4択であった．

表4　アンケートの質問項目

1. 授業は楽しかった
2. 学習内容について関心をもった
3. このような授業を今後も受けてみたいと思った
4. 授業の学習内容について理解できた
5. 授業の学習内容は難しかった
6. 授業を受けて、新しいことを学ぶことができた
7. 感想や意見、気づいたことなど、何かありましたら自由に書き込んで下さい（自由記述）

[2] http://csunplugged.org/sorting-algorithms/

AR天秤を使用したB,D,E,Fクラスのアンケート結果を抽出した．全体で171名の回答があった．ここでは，7の自由記述の内容について，報告する．

AR天秤に関する内容は以下のような記述があった．

- すごかった，驚いた（14人，8.1%）
- 楽しく学習ができた（11人，6.4%）
- 表示されるしくみに興味を持った（7人，4.0%）
- 認識が悪かった（8人，4.6%）

学習に関する内容については，以下のような記述があった．

- 手順による効率の違いに気づいた（21人, 12.2%）
- 効率のよい手順を考えるのは難しい（4人, 2.3%）

認識が悪いと回答した生徒は，全体の4%程度だったことから，問題なく使用できたといえる．また，AR天秤を使用したクラスで「手順による効率の違いに気づいた」と記述した生徒が12.2%（171人中21人）だったのに対し，天秤を使用したクラスでは，6.4%（86人中6人）だったことから，既存の天秤教材と同等に学習が可能であるといえる．

6.3　授業の評価

授業後アンケートより，条件が揃っているC, Dクラスを抽出し，Mann-WhitneyのU検定をおこなった．表5に結果を示す．Q5に有意差が得られたため，AR天秤を使用したクラスでは授業の学習内容が有意に難しかった．Dクラスの自由記述部分を観察してみると，教具に対して難しいという記述はなかった．AR天秤を使用したことによる学習難易度の変化については今後，検討が必要である，それ以外の点では，どちらの教具を使用しても，同じように使えるということが言える．

表5　検定結果

	平均		
	C	D	p 値
Q1	3.68	3.7	1
Q2	3.41	3.51	0.316
Q3	3.68	3.7	0.869
Q4	3.66	3.44	0.146
Q5	2.21	2.7	0.006
Q6	3.25	3.42	0.336

6.4 気づいた点

初めて学習を行う場合，手順を実行することに集中し最後まで比較回数を数えることが難しい場合がある．AR 天秤では，比較回数を自動的にカウントする機能を追加した．カウントの指示をおこなった C，D クラスの比較回数の記録の集計結果を表 5 に示す．比較回数を自動的にカウントすることで，比較回数を数えられる比率があがった． また，AR 天秤では作業ログにより全てのグループの比較回数を取得することができた．生徒が意識的に数えなくても，比較回数を取得することが可能であることを確認した．

表5　比較回数の記録の有無（n=12）

	記録あり	記録なし
Cクラス	2	10
Dクラス	6	6

7. 考察

授業後に行った授業評価アンケートの自由記述の内容において，「認識が悪かった」と回答した生徒が全体の4.6%だったことから，AR天秤は問題なく使用できたといえる．学習に関する記述については，「手順による効率の違いに気づいた」と回答した生徒がAR天秤では12.2%，天秤では6.4%だったことから，どちらの天秤を使用しても学習が可能であることを確認した．

AR天秤を使用することによって比較回数を数えられる比率があがった．天秤を使ったクラスで回数を記録していたのは2/12グループのみであった．AR天秤では作業ログにより全てのグループの比較回数を取得することができた．生徒が意識的に数えなくても，比較回数を取得することが可能であることを確認した．

8. まとめ

本研究では， CSアンプラグドにおける整列アルゴリズム学習に着目した，CSアンプラグドの良さを残したタブレット端末で動作するAR技術を用いた教材を開発した．

高校で実証授業をおこない，どちらの天秤を使用しても学習が可能であることを確認した．AR天秤では作業ログにより全てのグループの比較回数を取得することができたため，生徒が意識的に数えなくても，比較回数を取得することが可能であることを確認した．

今回は整列アルゴリズムに特化した教材を開発したが，他の教材への応用も可能であると考えられる．

謝辞

清教学園中・高等学校の武本康宏先生，北辻研人先生，田邊則彦先生には授業の実施について，多大なご協力をいただきました．感謝いたします．

本研究は，科学研究費補助金（基盤研究（C）25350214）の補助を受けています．

本授業は文部科学省からの委託で三菱総合研究所が実施した「平成27年度情報教育指導力向上支援事業」の一環として実施しました．

参考文献

(1) 文部科学省：高等学校学習指導要領解説，情報編(2009)．

(2) 文部科学省：“教育課程部会情報ワーキンググループ（第一回）配布資料 資料8：情報教育に関連する資料”(http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/059/siryo/1363276.htm)(参照2016,2,6)．

(3) 実教出版：最新情報の科学(2013)．

(4) Tim Bell, Ian H. Witten, Mike Fellows: Computer Science Unplugged - An enrichment and extension programme for primary-aged children(2005)．

(5) 文部科学省：“学びのイノベーション事業 教育のIT化に向けた教育整備4か年計画”(http://jouhouka.mext.go.jp/school/innovation/)(参照2016,2,6)．

(6) 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)．

(7) 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).

(8) 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).

(9) Unity-GameEngine: http://unity3d.com/jp（参照 2016,2,6）

(10) Vuforia Developer Portal: https://developer.vuforia.com/（参照 2016,2,6）

(11) blender.org: http://www.blender.org/（参照 2016,2,6）