

応用論文

拡張現実感を用いたソートアルゴリズム学習教材の提案

島袋 舞子^{*1} 林 康平^{*1} 兼宗 進^{*1}

A Teaching Material of Sort Algorithm using Augmented Reality.

Maiko Shimabuku^{*1} and Kohei Hayashi^{*1} and Susumu Kanemune^{*1}

Abstract – In the new curriculum starting from 2020, programming education become mandatory from compulsory education. In programming education, understanding algorithm is important. For example, sorting algorithms that can arrange data in order are typical algorithms. However, there was a problem that it is not always easy to understand the sorting algorithm. Therefore, in this research, we propose teaching materials to learn sorting algorithms using augmented reality technology.

Keywords : AR, sort algorithm, informatics, computer science unplugged

1 はじめに

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の準備が進められている。国外におけるプログラミング教育の調査結果 [1] やプログラミング教育実践ガイド [2] を公開するなど、プログラミングの教育手法や教育教材などが検討されている。

プログラムには、昔から研究されてきた定石のように決まった手順が存在する。それらはアルゴリズムとよばれ、プログラムを作成する際に重要な役割を果たす。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、必ずしも容易ではない。

そこで本研究では、拡張現実感を取り入れることで、情報科学を専門としない高校生や大学生が、代表的なアルゴリズムであるソートアルゴリズムを体験的に学習するための教材の実現を目的とする。

2 アルゴリズム教育

現在、情報科学は高等学校の共通教科「情報」などで扱われている。現行の共通教科情報 [3] 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。現在、検討が進められている次期学習指導要領では、今後はすべての高等学校で情報の科学的な内容を扱う予定である [4]。

「情報の科学」の学習内容の一つにアルゴリズムがある。現行の学習指導要領には、「(2) 問題解決とコンピュータの活用」の「イ問題解決と手順の自動化」に定められており、「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

表 1 教科書でのアルゴリズムの取り扱い
Table 1 Algorithms in informatics textbooks.

出版社	題材	使用言語
A 社	数値演算	JavaScript
B 社	サーチ/ソートアルゴリズム	VBA
C 社	パズルの解法	VBA
D 社	サーチアルゴリズム	—
E 社	ソートアルゴリズム	JavaScript

手順の自動実行の有効性を理解させる。」と説明されている。

高等学校で使用される共通情報「情報の科学」の教科書 [5, 6, 7, 8, 9] では、アルゴリズムを文章や図を用いて説明している。教科書 [7] の 90 ページに記述された説明の一部を図 1 に示す。取り扱うアルゴリズムは、教科書によって異なる。アルゴリズムの題材と使用されているプログラミング言語の一覧を表 1 に示す。アルゴリズムの題材としては、サーチアルゴリズム、ソートアルゴリズムを取り上げる場合が多い。

高等学校で使用される教科書は、生徒にとってわかりやすい文章や図を使用するなどの工夫がおこなわれているが、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あり、文字や図を見ただけでは動きを理解することは難しい。また動きを見るだけよりも、データの動きを実際に手で操作したほうがわかりやすい。

本研究では、高等学校の教科書などで扱われている、代表的な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とは、複数のデータの値を並び替える手順のことである。コンピュータは、データをひとつずつ取り出して値を比較し、必要に応じてデータを交換することで

^{*1}大阪電気通信大学

^{*1}Osaka Electro-Communication University

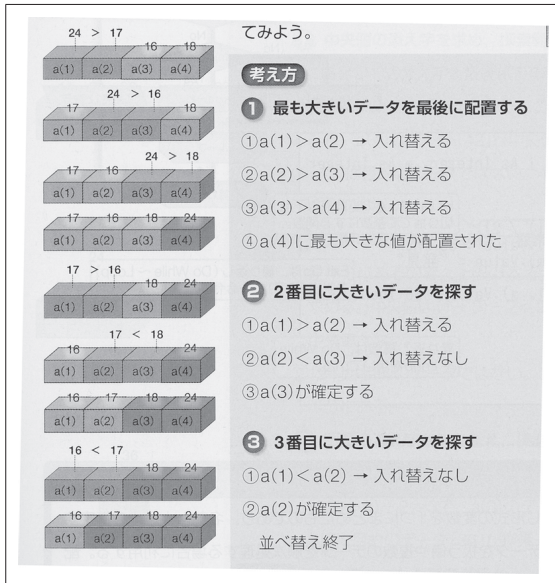


図1 教科書の例（バブルソート）[7]
 Fig.1 An example of an informatics text-book.(bubble sort) [7]

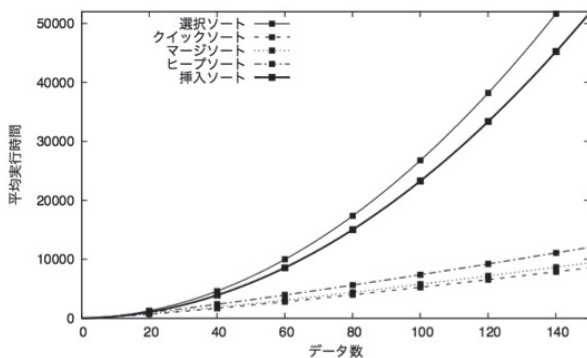


図2 各種ソートアルゴリズムの実行時間例
 Fig.2 An example of execute time of sort algorithms.

並び替えをおこなっている。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、並び替えをおこなうデータの順番によって性能が異なる。このような性質を学ぶこともアルゴリズム学習で重要になる。アルゴリズムの性能は、実行時間やデータの比較回数などで評価する。各種ソートアルゴリズムによる性能の違いを図2に示す[10]。並び替えをおこなうデータ数が少ない場合は、どのソート法を使用してもあまり変わらないが、データ数が多くなるにつれて大きな差が生じている。

3 ソートアルゴリズム学習に関する先行研究

3.1 アルゴリズムの可視化

実行したアルゴリズムのデータの動きをアニメーションや動画によって可視化した教材が存在する[11,

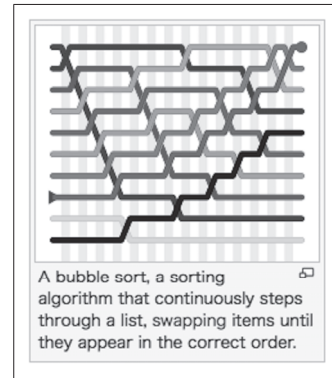


図3 ソートアルゴリズムの可視化の例 (Wikipedia) [14]
 Fig.3 An example of visualization of sort algorithm [14].

12, 13]。図3にWikipediaの例を示す[14]。アルゴリズムの動きをアニメーションや動画で見ることで、データの動きをイメージすることができる。一方で、目で見てデータの動きを知ることはできるが、自らデータを並び替える学習はおこなえない。

3.2 実習を通した学習

数字やアルファベットが書かれたカードを使用した実習を通してアルゴリズムを学ぶ方法も存在する[15, 16]。カードをデータにみたと決められた手順どおり並び替えることでアルゴリズムを理解し、自ら並び替える力がつく。その一方で、人間はコンピュータで用いられるアルゴリズムの手順を使わずに並び替えることが可能であるため一定の規則を繰り返し適応するといったコンピュータの処理の特徴を学ぶことは難しい。

3.3 コンピュータサイエンスアンプラグド

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）[17, 18, 19]がある。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ことができる。CSアンプラグドの特徴として、以下の点があげられる[20]。

- 試行錯誤できる
- 具体物を扱う
- 場所を選ばない
- 教具の準備が容易である
- ゲームや活動を通して学ぶことができる

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[20, 21, 22, 23]。



図4 CS アンプラグドによるソートアルゴリズムの学習 [18]
Fig. 4 Sort algorithm in CS unplugged [18].

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「ソートアルゴリズム学習」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ソートアルゴリズムを体験する学習である。学習者は、自ら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」を意識する事で、自分でソートアルゴリズムを見つけ出すなど、基本的なソートアルゴリズムを理解する学習が可能になる。学習の様子を図4に示す。学習者は決められた手順で中央にある天秤の左右に1つずつおもり乗せ、大小比較を繰り返す。横の表示はおもりを比較した回数である。比較回数を数え、他のアルゴリズムの比較回数と比べることで、アルゴリズムによって性能が異なることを学ぶことができる。

このような体験を通して学ぶ工夫により、CS アンプラグドでは選択ソートやクイックソートのような高等学校や大学で学習する各種のソートアルゴリズムを、8歳程度の小学生から理解することを可能にしている。

間辺ら [24] は、高等学校でソートアルゴリズム学習をおこなうためにコンピュータのディスプレイ上で動作するオンライン天秤を提案している。

4 拡張現実感を用いた教材に関する先行研究

拡張現実感 (AR) を用いた教材は、生徒の高いモチベーションを維持するのに効果的であり [26]、多くの研究が存在する。Liarokapis ら [27] は、エンジン機構の3Dオブジェクトをマーカー上に表示し、マーカーを回転させることで多方面から観察できるようにした。また、瀬戸崎ら [28] は、月の満ち欠けの仕組みを学ぶ天体学習に利用した。さらに、小杉ら [29] は、地図記号をWebカメラで撮影すると、その地図記号が示す

建造物を表示することで、小学生を対象とした地図記号の学習に利用した。これらは、描画された3Dオブジェクトの形状や動作などを見て学ぶ教材であるが、3Dオブジェクトの描画に使用するマーカーを手で操作し、試行錯誤することで学ぶ教材も存在する。Fjeldら [30] は、分子構造の学習を目的に複数のマーカーを手で操作し、仮想空間上で分子モデルの構築をできるようにした。沖見ら [31] は、理科の滑車配置実験に使用するそれぞれの道具をAR技術で表現することで、実験環境を実現している。また、スマートフォンやタブレット端末で動作する教材に関する研究も進められており [32, 33]、AR技術は様々な場面での教育利用が可能であることが明らかにされているが、実際に教育現場で使用された例は多くない。

5 拡張現実感を利用した学習教材

5.1 新しい学習教材の必要性

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、学校の授業で使う場合は、授業環境や学習者の特性に配慮した工夫が必要である。CS アンプラグドのソートアルゴリズム学習には、学校の授業で使用する場合、次のような課題が存在する。

- (1) 手順を実行することに集中するため、作業と同時に比較回数を数えることが難しい
- (2) 手にとったおもりの重さで天秤を使わずに並べてしまう
- (3) 天秤に加え、一つずつ重さの違うおもりなど、教具の準備に手間がかかる

(1) の課題を解決するには、比較回数を自動的にカウントできればよい。(2) は教具のおもさを統一できればよい。(3) は教具を教育現場に存在するもので作成できれば解決できる。

上記の3つの課題を解決するには、コンピュータ上で動作する天秤教具を開発することが1つの案として考えられるが、CS アンプラグドの良さである「学習場所を選ばない」「具体物を使った活動」という点が薄れてしまう。

5.2 新しい学習教材の提案

そこで、タブレット/スマートフォン端末（以下、タブレット端末）で、実世界に存在するおもりを仮想世界の天秤で比較ができるようにすることで、CS アンプラグドの良さである場所を選ばずに具体物を使った実習の実現と生徒の学習に関する課題を解決できると考えた。

教具を実現するために、拡張現実感 (Augmented Reality) 技術（以下、AR）を利用し、タブレット端

末で動作するソートアルゴリズム学習教材「AR 天秤」を提案する。AR 技術で使用される紙製のマーカーをおもりにみたてすることで「具体物を手に取る」という点を残すことができる。また、近年、学校現場への普及が進められている [25] タブレット端末で動作することで、学習場所を選ばずに活動をおこなうことができる。

5.3 求められる機能の検討

CS アンプラグドの良さを残しつつ、生徒の学習に関する課題を解決した教具を実現するには、以下の機能が必要になる。

1. 天秤を実現する機能

- (a) 天秤の 3D 表示
- (b) カードをおもりとして認識
- (c) 2 つのおもりを大小比較
- (d) 比較結果を天秤の傾きで表示

2. コンピュータを活かして拡張する機能

- (e) 重さを毎回ランダムに設定
- (f) 比較回数のカウント
- (g) 整列結果の正誤判定

(a)(b) は、「教具準備の手間」と「手に持った重りの重さで順番の予測がつく」点の解決を目的とした機能である。学習者が操作するおもりの代わりとなる教具を具体物にするため、専用のマーカーを用いる手法を採用する。マーカーの認識には、タブレット端末の背面に付属してあるカメラを使用する。マーカーは紙であるため、おもりの重さを統一することができる。(c)(d) はおもりの重さを比較するための基本機能である。比較結果は天秤の傾きによって学習者に伝える。(e) は、学習者がマーカーの絵柄でおもさを覚えてしまい、完成するおもりの並びが予測できることを防ぐようにした機能である。(f) はおもりマーカーを比較した回数を数えることで「手順を実行することに集中し、比較回数を数えることができない」の解決を目的とした機能である。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。(g) は並び替えが終わった時に、正しく並び替えられていることを確認するための機能である。

6 拡張現実感を利用した学習教材の開発

前章で検討した機能を持つ AR 天秤を開発した (図 5)。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[34] と AR ライ

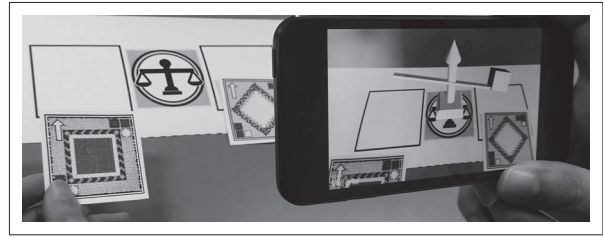


図 5 AR 天秤

Fig. 5 The AR balance scale

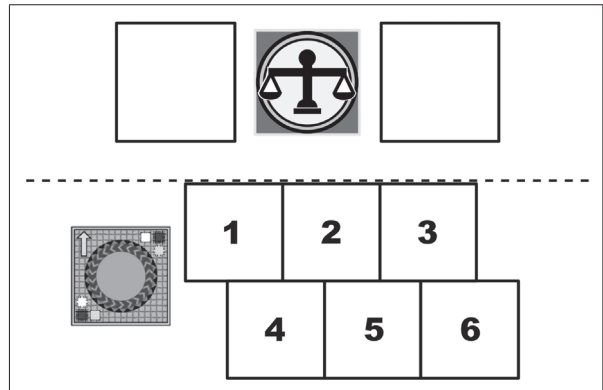


図 6 ワークシート (天秤/確認マーカー)

Fig. 6 Worksheet (balance scale / for checking)

ブラリである Vuforia[35] を利用し開発した。天秤の 3D モデルは Blender[36] で製作した。

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 6) の形にし、破線から折り曲げて使用する。比較を行う場合には天秤マーカーの面を、並び替えの結果を確認する場合は確認マーカーの面を利用する。おもりマーカー (図 7) は、それぞれのマーカーを切り取って使用する。

前節で述べた機能は以下のように実装することで実現した。

(a) 天秤を表示する機能

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。

(b) カードをおもりとして認識する機能

おもりマーカーを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。そして、個々のマーカーに重さに変わる数値情報を設定した。

(c) 2 つのおもりを比較する機能

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

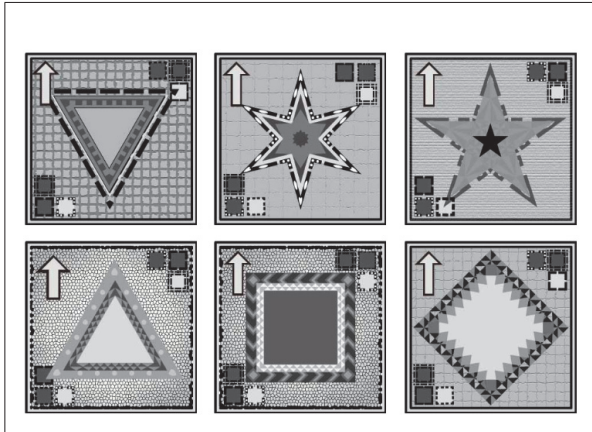


図7 おもりマーカー
Fig.7 Weights

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。

- (d) 比較結果を伝える機能
(c)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。
- (e) 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。
- (f) 比較回数を数える機能
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8)
- (g) 整列を確認する機能
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、おもりカードに設定された数値が表示することで、並びが正解かどうか確認できるようにした(図9)。

AR技術を活用し、上記の機能を実装することで、CSアンプラグドの良さと既存の天秤教材に存在した生徒の学習に関する課題を解決した教具を実現できた。

7 高等学校での実践

7.1 実施内容

AR天秤の実用性を確認するために高等学校の授業で使用した。対象は1年生10クラスの約350人である。ソートアルゴリズムは選択ソートを扱った。クラスごとに天秤またはAR天秤を使用し、1グループ3,4人の12グループで実習をおこなった。天秤のおもり

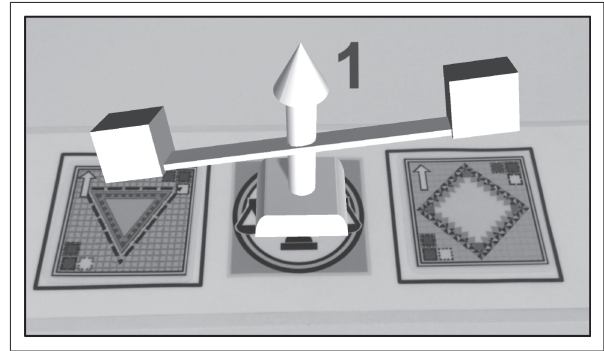


図8 比較回数の表示
Fig.8 Counter of comparisons.

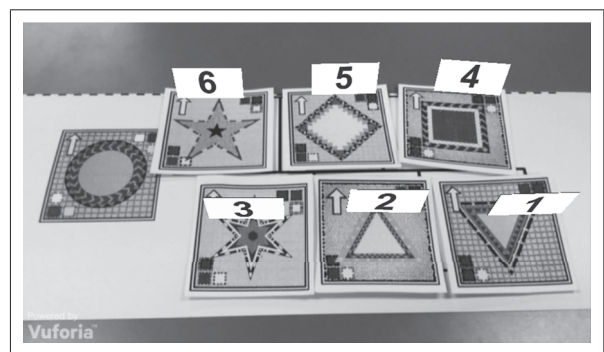


図9 正誤判定
Fig.9 Check of sorting.

はフィルムケースを使用し、AR天秤は小型で軽量のiPod Touch(第6世代)を使用した。表2に各クラスの人数と使用した教具、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ように明示的に指示したことを示す。

授業は次の流れで行った。

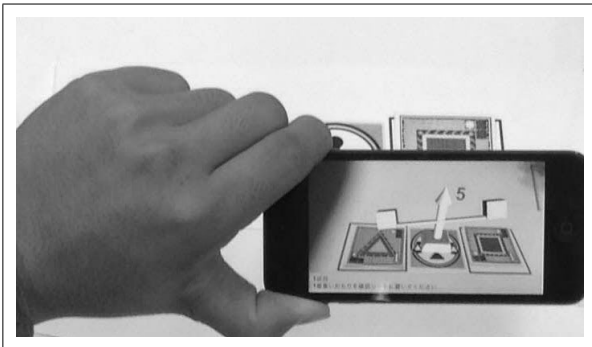
1. 学習内容について説明
2. 天秤またはAR天秤の使い方を説明
3. グループ活動で実習
4. 動画で性能の違いを説明
5. 授業アンケート

最初に学習内容について説明した後、天秤またはAR天秤の使い方と選択ソートのアルゴリズムを説明した。その後、グループに分かれてソートアルゴリズム学習をおこなった。1,2回の学習の後、CSアンプラグドのWebサイト¹で紹介されている動画でおもりの整列方法とアルゴリズムの性能についてを説明した。動画は、選択ソートとクイックソートを実行し、比較回数を比べたものである。授業の最後にはアンケート

¹<http://csunplugged.org/sorting-algorithms/>

表2 各クラスの使用した教具
Table 2 Lessons in the class.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
人数 (名)	43	46	44	43	42	43	40	41	32	33
教具	天秤	AR	天秤	AR	両方	両方	AR	AR	両方	両方
指示	×	×	○	○	×	×	×	×	×	×

図10 授業の様子 (天秤)
Fig. 10 Lesson of balance scale図11 授業の様子 (AR 天秤)
Fig. 11 Lesson of AR balance scale

トをおこなった。ただし、G, H クラスでは授業の進行上、授業の前半にプログラミングを体験し、後半にソートアルゴリズム学習をおこなった。図10と図11に授業の様子を示す。

7.2 AR 天秤の評価

授業の最後に生徒にアンケートを実施した。質問した項目を表12に示す。Q7の自由記述以外は、「全くあてはまらない(1)」、「あまりあてはまらない(2)」、「ややあてはまる(3)」、「よくあてはまる(4)」の4択でおこなった。評価は条件の揃うクラスを抽出しおこなう。G, H クラスでは異なる複数の内容を取り扱ったため、検証対象から除いた。アンケートの集計結果を図13に示す。左側が天秤を使用したクラス(A, C)、中央がAR 天秤を使用したクラス(B, D)、右側が天秤とAR 天秤の両方を使用したクラス(E, F, I, J)の集計結果である。

「教具として天秤を使用したクラス」「AR 天秤を

表3 検定結果
Table 3 Result of Kruscal-Wallis test.

	平均			p 値
	天秤 (n=87)	AR 天秤 (n=89)	両方 (n=150)	
Q1	3.28	3.54	3.44	0.259
Q2	3.14	3.43	3.34	0.028 *
Q3	3.26	3.48	3.36	0.231
Q4	3.45	3.37	3.47	0.377
Q5	2.05	2.61	2.54	0.607e-05 ***
Q6	3.05	3.34	3.35	0.012 *

* $0.01 \leq p < 0.05$ ** $0.001 \leq p < 0.01$ *** $p < 0.001$

- Q1. 授業は楽しかった
Q2. 学習内容について関心をもった
Q3. このような授業を今後も受けてみたいと思った
Q4. 授業の学習内容について理解できた
Q5. 授業の学習内容は難しかった
Q6. 授業を受けて、新しいことを学ぶことができた
Q7. 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)

図12 アンケートの質問項目
Fig. 12 Questionnaire.

使用したクラス」「天秤とAR 天秤の両方を使用したクラス」でアンケート結果に差があるかどうかを確認するため、Kruscal-Wallis 検定をおこなった。表3に結果を示す。Q2, Q5, Q6 は p 値が 0.05 以下であったため、3 群において差がみられることがわかった。

Kruscal-Wallis 検定で差のある群が明らかになったため、続いてどのクラスの間に差があるかを検討した。まず、天秤を使用したクラス(A, C)とAR 天秤を使用したクラス(B, D)を対象にMann-Whitney のU 検定をおこなった後、p 値に対してBonferroni 補正をおこなった。表4に結果を示す。Q2に有意な結果が得られたことから、AR 天秤を使用したクラスの方が学習内容に関心をもつことができたことがわかった。また、Q5にも有意な結果が得られたことから、AR 天秤を使用したクラスの方が授業の学習内容が難しかったことがわかった。それ以外の点では、有意差は得られなかったため、どちらの教具を使用しても同等であることがわかった。

天秤とAR 天秤の両方を使用したクラス(E, F, I,

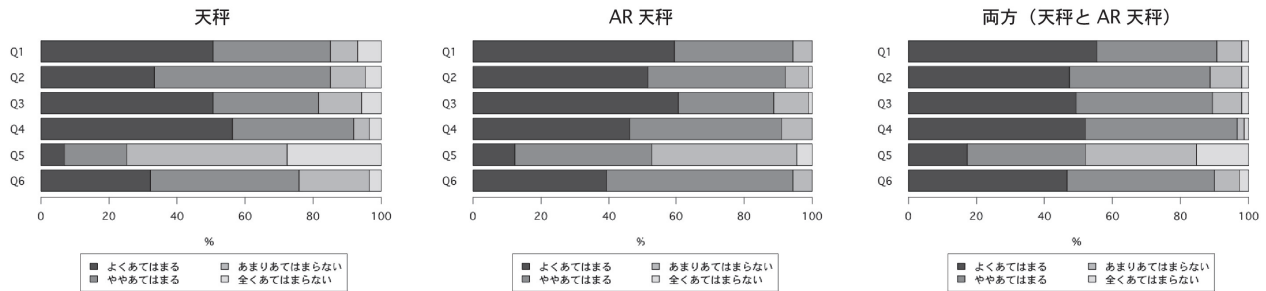


図 13 アンケート結果
Fig. 13 Result of questionnaire.

表 4 比較結果（天秤と AR 天秤）
Table 4 Result of questionnaire (Blance scale and AR blance scale).

	平均		p 値
	天秤 (n=87)	AR 天秤 (n=89)	
Q1	3.28	3.54	0.312
Q2	3.14	3.43	0.030 *
Q3	3.26	3.48	0.354
Q4	3.45	3.37	0.666
Q5	2.05	2.61	0.222e-04 ***
Q6	3.05	3.34	0.066

* $0.01 \leq p < 0.05$ ** $0.001 \leq p < 0.01$ *** $p < 0.001$

表 5 アンケート結果の比較（天秤と両方）
Table 5 Result of questionnaire (Blance scale and both teaching materials).

	平均		p 値
	天秤 (n=87)	両方 (n=150)	
Q1	3.28	3.44	1.053
Q2	3.14	3.34	0.120
Q3	3.26	3.36	1.998
Q4	3.45	3.47	2.343
Q5	2.05	2.54	0.246e-03 ***
Q6	3.05	3.35	0.015 *

* $0.01 \leq p < 0.05$ ** $0.001 \leq p < 0.01$ *** $p < 0.001$

表 6 アンケート結果の比較（AR 天秤と両方）
Table 6 Result of questionnaire (AR blance scale and both teaching materials).

	平均		p 値
	AR 天秤 (n=89)	両方 (n=150)	
Q1	3.54	3.44	1.233
Q2	3.43	3.34	1.239
Q3	3.48	3.36	0.453
Q4	3.37	3.47	0.675
Q5	2.61	2.54	1.998
Q6	3.34	3.35	1.659

* $0.01 \leq p < 0.05$ ** $0.001 \leq p < 0.01$ *** $p < 0.001$

- 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%）

認識が悪いという回答は全体の 4%程度と少なく、AR 天秤が問題なく使用できていたことがわかる。

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）にとどまったことから、既存の天秤教材と同等以上に学習が可能であることを確認した。

8 考察

授業後のアンケート結果から、天秤を使用したクラスと AR 天秤を使用したクラスを比較した。AR 天秤を使用したクラスでは、天秤を使用したクラスよりも有意に学習内容について関心をもち、新しいことを学

J) と天秤を使用したクラス (A, C)、AR 天秤を使用したクラス (B, D) で差がみられるかを検証するために、それぞれ Mann-Whitney の U 検定をおこなった後、p 値に対して Bonferroni 補正をおこなった。天秤を使用したクラスとの比較結果を表 5、AR 天秤を使用したクラスとの比較結果を表 6 に示す。天秤を使用したクラスでは、Q5、Q6 で有意を得られたが、AR 天秤を使用したクラスでは有意な結果は得られなかった。

アンケート項目 Q7 の自由記述の内容を報告する。ここでは AR 天秤を使用したクラスのアンケート結果を抽出する。AR 天秤に関する内容は多い順に以下のような記述があった。

- すごかった、驚いた（14 人、8.1%）

表7 比較回数の記録の有無（指示あり）
Table 7 Record of counting (To instruct).

	記録あり	記録なし
C クラス	2	10
D クラス	6	6

んだと実感できたが、授業の内容が難しいと感じた。AR 天秤を使用したクラスの Q7 の自由記述欄を観察してみると、教具に対して難しいという記述はなく、アルゴリズムを考えることが難しいといった学習に関する記述があった。このことから、生徒は教具の扱いが難しいと感じているのではなく、アルゴリズムを考えることが難しいと感じたと考える。

AR 天秤の天秤に相当する機能については、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4%程度存在した。「認識が悪かった」原因をビデオで分析したところ、おもりマーカーを置く際に指でマーカーの絵柄を隠してしまう様子が見られた。このことから、今後はマーカーに持ち手を作るために長方形のカード型にするなどの工夫をすることで改善が可能である。

AR 天秤の独自の機能として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7に示す。比較回数の記録はグループごとに1枚のワークシートを用意し、記述させた。C、D クラスは1グループ3～4人の12グループで実施した。Fisher の正確確率検定を行った結果、P 値は0.193 となり有意な差は得られなかったため、比較回数の表示の有無は記録の有無に関連性はないことがわかった。C、D 以外のクラスにおいては、生徒に比較回数をカウントするよう指示をおこなわなかったため、記録はなかった。

アンケートの自由記述については、「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、AR 天秤は天秤と同等以上の学習を行えることを確認した。AR 天秤では比較回数が表示されることから比較回数を意識させることができ、天秤を使用するよりも手順による効率の違いに気づくことができたといえる。

また、天秤を使用した実習では生徒が正しい手順で作業できていたかどうかを確認することは難しいが、AR 天秤を使用した実習では、内部の作業ログデータから生徒が正しい手順で並び替えを行っていたかどうかを確認することができた。B、D クラスが使用したAR 天秤に記録されたログをみると、24グループ中14グループがソートアルゴリズムを考えることができ、正しい手順で並び替えができていた。一方で、天秤を使用したA、C クラスでは24グループ中10グループ

がソートアルゴリズムを考えることができ、正しい手順で並び替えがおこなえていたことをワークシートと授業風景を撮影したビデオから確認した。どちらの教具を使用してもアルゴリズムの理解度に違いは見られなかった。ただし、今回の実践ではAR 天秤が天秤と同等に使用できるかを明らかにすることが目的であったため、ソートアルゴリズムの理解に関して詳しい検証をおこなっていない。アルゴリズムの理解度レベルについては、今後明らかにする必要があると考えられる。

9 おわりに

本研究では、CS アンブラグドにおけるソートアルゴリズム学習に着目し、実世界と仮想世界をタブレット端末の画面で統合したAR 天秤を開発した。CS アンブラグドの良さを維持しつつ、生徒の学習に関する課題を解決できた。

高等学校で実証授業をおこない、使用状況のビデオ撮影による分析と生徒のアンケート結果、機器のログデータ等の分析により、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、選択ソートのみを対象に実証授業をおこなった。間辺ら[24]の研究では、天秤とオンライン天秤を使用し選択ソート、挿入ソート、クイックソートを対象に比較実験をおこない教具の違いによるアルゴリズムの理解度（データを並び替える手順）の差はみられないことが明らかにされている。そのため、AR 天秤を使用し選択ソート以外のソートアルゴリズムの学習も可能であるといえる。しかし、AR 天秤に搭載した比較回数をカウントする機能によりアルゴリズムの計算量の理解について差がみられる可能性があるため、今後検証を進めていきたい。

また、CS アンブラグドでは、コンピュータ科学の内容を初心者理解できるようにするために、教材や教え方を工夫するほかに、その題材の本質だけを吟味して伝えている。ソートアルゴリズムの学習では、アルゴリズムの理解として本質的な「決められた手順で比較を繰り返すことで値を並べ替える」ことを体験的に学習できる一方、プログラムを実装するための知識である「一個の配列を使って並べ替えをおこなう」という制約は設けていない。その結果、選択ソートであれば「データの集まりからいちばん大きな値を選ぶ」、クイックソートでは「ある値より大きい小さいかで左右の集まりに分ける」のような集合的な操作が可能になり、「2 個の値を一時的な変数を介して交換す

る」「途中に値を挿入するために要素をシフトして空ける」「途中の値を削除した後で要素をシフトして詰める」といった実装上の配列操作の理解が不要になり、アルゴリズムそのものの理解を行いやすくすることができている。本研究ではこのような理由からデータの並びに関する支援は行っていないが、バブルソートのように一列の並びを前提にしたソートが存在することと、将来学習したアルゴリズムをプログラムとして記述する際には配列の理解が必要になることから、今後はデータの並びに対する操作の支援を検討していきたい。

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: “諸外国におけるプログラミング教育に関する調査研究” (http://johouka.mext.go.jp/school/programming_syogaikoku/programming_syogaikoku.html) (参照 2016,2,6).
- [2] 文部科学省: “学校教育プログラミング教育実践ガイド” (http://johouka.mext.go.jp/school/programming_zirei/) (参照 2016,2,6).
- [3] 文部科学省: 高等学校学習指導要領解説 (2009).
- [4] 文部科学省: “次期学習指導要領等に向けたこれまでの審議のまとめについて（報告）” (http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/004/gaiyou/1377051.htm) (参照 2016,11,29).
- [5] 東京書籍: 情報の科学 (2014).
- [6] 実教出版: 情報の科学 (2014).
- [7] 実教出版: 最新情報の科学 (2014).
- [8] 数研出版: 高等学校情報の科学 (2014).
- [9] 日本文教出版: 情報の科学 (2014).
- [10] Donald E. Knuth: The Art of Computer Programming Volume 3 Sorting and Searching Second Edition (Ascii Addison Wesley programming series), アスキー (2006).
- [11] Sorting Algorithm Animations: “Sorting Algorithm Animations” (<http://www.sorting-algorithms.com/>) (参照 2016,2,6).
- [12] VISUALGO: “VISUALGO-Sorting” (<http://visualgo.net/>) (参照 2016,2,6).
- [13] Algo-rythmics: “Algo-rythmics” (<http://algo-rythmics.ms.sapientia.ro/>) (参照 2016,2,6).
- [14] Wikipedia: “Sorting algorithm” (https://en.wikipedia.org/wiki/Sorting_algorithm) (参照 2016,12,5).
- [15] 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, Vol.49, No.10, pp.3409–3427(2008).
- [16] 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, Vol.35, pp.125–132(2011).
- [17] Tim Bell, Ian H. Witten, Mike Fellows: Computer Science Unplugged - An enrichment and extension programme for primary-aged children(2005).
- [18] CS Education Research Group at the University of Canterbury, NZ: “Computer Science Unplugged”(<http://csunplugged.org/>) (参照 2017,5,2).
- [19] 兼宗進監訳: コンピュータを使わない情報教育アンブレラドコンピュータサイエンス, イーテキスト研究所 (2007).
- [20] 井戸坂幸男, 久野靖, 兼宗進. コンピュータサイエンスアンブレラ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).
- [21] 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ブレラドの小学生向け実践の取り組み. 情報教育シンポジウム 2008 論文集. Vol.2008, No.6, pp.25–31(2008).
- [22] 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 アンブレラドの活用. 情報教育シンポジウム 2008 論文集. Vol.2008, No.6, pp.201–206(2008).
- [23] 兼宗進, 佐藤義弘. 情報科教育法での CS アンブレラドの利用. 情報処理学会, 研究報告コンピュータと教育 (CE). Vol.2010, No.24, pp.1–3(2010).
- [24] 間辺広樹, 兼宗進, 並木美太郎. CS アンブレラ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).
- [25] 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://johouka.mext.go.jp/school/innovation/>) (参照 2016,2,6).
- [26] Rubina Freitas, Pedro Campos. SMART: a System of Augmented Reality for Teaching 2nd Grade Students. Proceedings of the 22nd British HCI Group Annual Conference on People and Computers: Culture, Creativity, Interaction - Volume 2, pp.27–30(2008).
- [27] Fotis Liarokapis, Nikolaos Mourkoussis, Martion White, Joe Darcy, Maria Sifniotis, Panos Petridis, Anirban Basu and Paul F. Lister. Web3D and Augmented Reality to support Engineering Education. World Transactions on Engineering and Technology Education, Vol.3, No.1, pp.11–14 (2004).
- [28] 瀬戸崎典夫, 上妻堯甫, 岩崎勤, 森田裕介. タブレット端末を活用した天体学習用 AR テキストの評価. 日本教育工学会論文誌, Vol.36, pp.185–188(2012).
- [29] 小杉大輔, 手島祐詞, 神田明治. AR を用いた児童用地図学習教材の開発と評価. 日本教育工学会論文誌, Vol.36, pp.117–120(2012).
- [30] Morten Fjeld, Benedikt M. Voegtli. Augmented Chemistry: An Interactive Educational Workbench. In IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2002), pp.259–260(2002).
- [31] 沖見圭洋, 松原行宏. 拡張現実型マーカーを用いた滑車装置実験のための学習支援システム. 日本教育工学会論文誌, Vol.27, No.2, pp.107–116(2013).
- [32] Adrian Shatte, Jason Holdsworth, Ickjai Lee. Hand-Held Mobile Augmented Reality for Collaborative Problem Solving: A Case Study with Sorting. In Proceedings of the 2014 47th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS

- '14). pp.91-99(2014).
- [33] Kristen Brown. Prelude - An Augmented Reality iOS Application for Music Education. Bowling Green State University, Honors Projects 112. (2014).
 - [34] Unity: "Unity-Game Engine" (<http://unity3d.com/jp>)(参照 2016,2,6).
 - [35] Vuforia: "Vuforia Developer Portal" (<https://developer.vuforia.com/>) (参照 2016,2,6).
 - [36] Blender: "blender.org" (<http://www.blender.org/>) (参照 2016,2,6).

(2016 年 12 月 5 日受付)

[著者紹介]

島袋 舞子 (正会員)



2014 年沖縄国際大学産業情報学部産業情報学科卒業。2016 年大阪電気通信大学大学院医療福祉工学研究課程修了。修士(工学)。同年、大阪電気通信大学情報教育特任講師、現在に至る。初等中等教育における情報科学教育に関する研究に従事。情報処理学会、日本情報科教育学会 各会員。

林 康平



大阪電気通信大学総合情報学部情報学科在学中。情報処理学会 会員。

兼宗 進



1987 年千葉大学工学部電子工学科卒業。1989 年筑波大学大学院理工学研究科修士課程修了。2004 年筑波大学大学院ビジネス科学研究科博士課程修了。博士(システムズマネジメント)。企業勤務後、2004 年から一橋大学総合情報処理センター准教授。2009 年から大阪電気通信大学医療福祉工学部/総合情報学部を経て工学部電子機械工学科教授。プログラミング言語、情報科学教育に興味を持つ。ACM, IEEE Computer Society, 情報処理学会 各会員。