

# マーカーレス拡張現実を共有した科学教育

研究代表者 青木 悠樹

群馬大学共同教育学部／数理データ科学教育研究センター 准教授

## 1 はじめに

現実空間上に仮想現実を描画する拡張現実(AR)の技術は急速に普及しており、生活においてはカーナビなどでの活用が期待されている。教育においても AR の導入が始まっており、教科書をマーカーとする事で教材の三次元的な可視化が可能となっている。しかし従来の AR では、AR の特徴が物体の立体視に留まっており、現実空間上に描画できることのメリットが活かされていないものが多い事が課題として挙げられる。

こうした背景から、本研究では AR 描画を現実空間上に描画することで科学教育に関する効果があると思われる教材の開発、教育効果の検証を行なった。開発した教材と成果の概要を示す。

### 1- 1 音の AR 可視化教材

音の学習ではオシロスコープ波形の観察を通して、音の大きさが振幅、周期が振動数に対応することを理解するが、オシロスコープ波形を理解することが中学生には難しい概念である。音が伝搬する様子は波の空間変化であるのに対して、オシロスコープ波形は測定位置を固定した際の波の時間変化である。進行波の空間変化を時間変化として捉えるには、音速  $v$ 、波長  $\lambda$ 、振動数  $f$  の間に、 $f=v/\lambda$  の関係があることを理解している必要があり、中学校学習範囲を超えてしまうためである。そのため、波長と振動数の関係は図などを用いて理解させる必要があるが、理解できる学習者は数少なく指導も難しい。そのため、オシロスコープ波形の横軸が時間であることを正しく理解している学習者は少ないことが報告されている。

こうした背景を踏まえ、AR 教材を開発し、授業実践を通して教育効果の検証を行なった。その結果として、目で見るのが難しい現象を可視化させることで、理科的な思考をすることが難しい生徒に対して、教材の教育効果が高いことを示した。

### 1- 2 磁場の AR 可視化教材

磁場は直接目で見るができないため、磁力線として理解するが、初学者には難しい概念である。その理由として、磁場の立体視が難しいことが挙げられる。そこで、実体の磁石をマーカーとし、磁場を AR として観察することができる教材を開発した。タブレット上に表示されるバーチャルなコイルに対して磁石を動かすことで電磁誘導の原理を理解することができる。開発した教材を用いて中学校第 2 学年の生徒を対象とした授業実践を行い、AR による磁場の可視化が電磁誘導の原理理解に繋がることを明らかにした。

### 1- 3 力学の AR 可視化教材

中学校第 3 学年において学習する力学では、力学台車を用いた台車の軌跡を記録する教材を用いた標準的な学習法として確立している。この従来の学習法として、3 次元的な物体の運動を記録することができないという問題が挙げられる。そこで深度カメラを用いた空間認識を行うことで、現実空間において物体がどのような運動するかを空間的に把握することができる教材を開発した。実体の球を追跡することでその軌跡を AR として示す教材開発も行った。

### 1- 4 天体の AR 可視化教材

中学校第 3 学年において学習する天体の運動では、地上から天体を観察したときの視点と宇宙から天体を観察したときの視点移動の理解が重要となる。宇宙への視点移動を実際に行うことが困難であるため視点移動の概念を持つことが難しい。そこで、AR を用いて視点移動ができる教材を開発し、教材の学習効果を検証した。その結果、AR としての表示が視点移動の概念形成に有効であることを示した。

以下ではこれらのうち、主に AR 可視化教材について詳細を説明する。尚、記載内容については理科

教室, 62-3, 60-64 (2019)に掲載内容からの引用を行なっている。

## 2 中学生にとっての音の理解の難しさ

中学生は一年時において音の性質として、振幅、振動数、音速の概念を学習するが、音は直接目で見るのが難しく生徒にとっては理解しづらい単元である。音を可視化する方法として、オシロスコープ測定が取り入れられており、近年では PC やタブレットなどを用いることでデジタルオシロスコープ測定が容易になってきている。しかし以下で述べるように、オシロスコープ測定を理解することは生徒にとって大変難しく、オシロスコープ測定を授業に組み込むことで理解の困難さを助長してしまう恐れがあり得る。

## 3 オシロスコープ波形の理解の難しさ

生徒はオシロスコープ波形の観察を通して、音の大きさが振幅、周期が振動数に対応することを学習するが、オシロスコープ波形を理解することが中学生には難しい概念である。図1に示すよう、音が伝搬する様子は波の空間変化であるのに対して、オシロスコープ波形は測定位置を固定した際の波の時間変化である。進行波の空間変化を時間変化として捉えるには、音速  $v$ 、波長  $\lambda$ 、振動数  $f$  の間に、 $f=v/\lambda$  の関係があることを理解している必要があり、中学校での学習範囲を超えてしまう。そのため、波長と振動数の関係は図などを用いて理解させる必要があるが、理解できる学習者は数少なく指導も難しい。そのため、オシロスコープ波形の横軸が時間であることを正しく理解している学習者は少ないことが報告されている<sup>(1)</sup>。

また大学生ですら、学生実験においてオシロスコープの波形を観察する際、「何故、進行波は動いているのに、オシロスコープの波は止まって見えるのか?」という類の質問を受けることがある。大学生において

もオシロスコープのトリガーをはじめとする測定原理を正しく理解できていない、と考えられる。

オシロスコープ波形を正しく理解することは波動の理解の基礎となるため、波動の学習の初期段階において、オシロスコープ波形を正しく理解できることが望まれる。

## 4 AR とは

AR は、現実世界に仮想現実を組み合わせたものであるが、現状としては視覚的な仮想現実の描画を指すことが多く、ここでも視覚的な仮想現実を描画するという

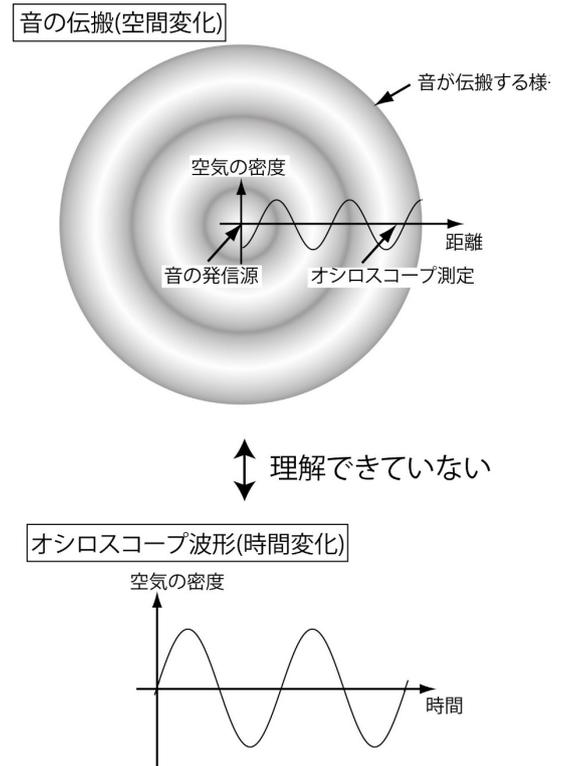
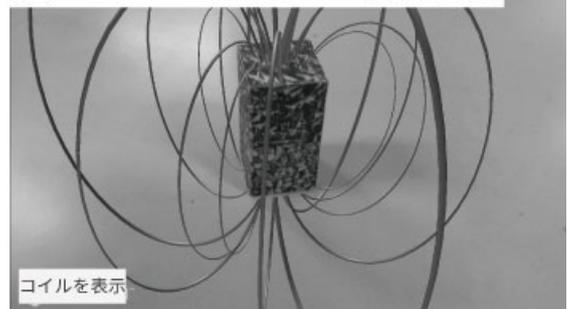


図 1: 音が伝搬する様子とオシロスコープ波形の関係

### (a) マーカーを用いたAR教材の例



### (b) マーカーレスAR教材の例



図 2: マーカーを用いた AR 教材の例 (a)。マーカーを貼った実体の磁石の周りの磁力線の様子を AR で表示。マーカーレス AR 教材の例 (b)。実体のポテンシャルを空間認識し、ポテンシャル中での球の運動の様子を AR で表示

意味で用いることとする。カメラで捉えた現実の映像に AR 表現を追加するが、カメラとの距離や向きに応じた AR 画像を表示することで現実感が高められる。図 2(a)は筆者が開発した中学生用の電磁誘導教材であるが、マーカーを貼った磁石をタブレットのカメラを通して観察すると、磁力線が AR として 3 次元表示される教材である<sup>(2)</sup>。こうした 3 次元表示は、ヘッドマウント型のディスプレイを用いることで、左右の目の視差を考慮した完全な 3 次元モデルの表現も可能である。

現実世界に対して AR 画像をどのように配置するかを決める方法として、マーカーを用いる方法と端末自身が空間を認識するマーカーレスの 2 種類がある。AR の従来法であるマーカーを用いる方法としては、マーカーの特徴点をカメラが認識し、マーカーに対する座標系で AR を表示する。カメラが搭載されている全ての現行のスマートフォンやタブレットで利用可能である。またマーカーレス法では、光パルスの Time of Flight(TOF)法や、2 台のカメラを用いたステレオ法により現実空間を認識することで現実の座標系に AR を表示する。顔認証機能が付いている深度カメラを搭載した端末で利用可能である。図 2(b)は筆者が開発した力学教材であるが、スマートフォンに備わっている深度カメラを用いて TOF 測定を行い、実体のポテンシャル中での球の運動の様子を AR として可視化させた教材である<sup>(3)</sup>。近年では、ARKit(Apple)や ARCore(Google)のようなソフトを用いることで単眼カメラを用い、床や壁などの平面認識ができるようになってきている。

本原稿では従来法であるマーカーを用いた AR により、音を可視化させた教材に関して説明する。

## 5 教材について

音が伝搬の様子を可視化することで音の伝搬を理解させること、また伝搬する音波を受信した際に得られるオシロスコープの波形を理解させること、を目的とした AR ソフトを開発した。

ソフトが動作する OS は Android とし、Unity を用いてソフトを作成した。マーカーの認識には Vuforia を用いた。動作の検証は比較的古い端末である Nexus 7(2013)で行ったため、現行の多くの Android 端末で動作すると考えられる。

音源とみなした「音源マーカー」、また受信とみなした「受信マーカー」の 2 種類を用意することで、お互いの位置を学習者が自由に動かしながら観察することができる(図 3)。以下で 2 つのマーカーの役割、ソフトの動作に関して説明する。

タブレットのカメラで音源マーカーを認識すると図 4 のような画面が表示される。実際の音はタブレットのスピーカーから正弦波が発信されているが、音源マーカーの中心から音が発信されているとみなし、音の伝搬に伴う空気の粗密波が AR 表示される。図の左上の「大きさ」と「高さ」のパラメータを変更すると、タブレットから発信される音の振幅と振動数がそれぞれ変化し、それに伴って AR 表示も変化する。表示される粗密波は、空間スケールを 1/40、また時間経過を 1/1,000 としている。図 4 のような 1/40 に縮尺した音速測定定規を用い、また 1 秒を 1 ミリ秒とみなすことで、一定距離を波が進む時間を測定することから音速を求めさせることが可能である。

カメラで音源マーカーと受信マーカーを認識すると図 5 のような画面が表示される。図の受信マーカーの矢印位置において音を観測したときの空気密度の時間変化を、「変更ボタン」を押すことで段階 1 から段階 3 までの切り替えを行い、順に観察することでオシロスコープ波形の理解ができる。以下にそれぞれの段階に関して説明する。

段階1. 図 5(a)のように、受信マーカーの矢印位置の空



図 3: 2 つのマーカーを用いて観測を行っている様子

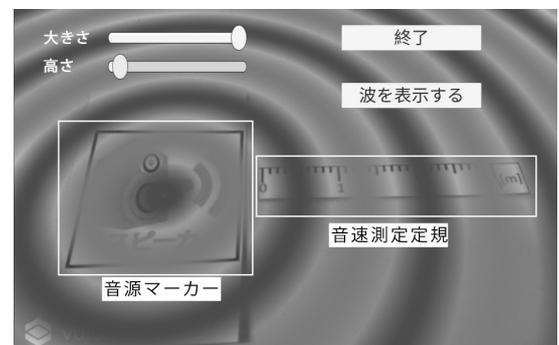


図 4: 音源マーカーのみを用いたときのスクリーンショット。音速測定定規は、音速を測定する際に使用

気密度の時間変化が1次元グラフとして示され、丸印が空気の濃淡変化によって上下する。

**段階2.** 図5(b)のように、空気密度の時間変化が横軸を時間とする2次元グラフとして示される。丸印が、時間の経過とともに横に動きながら、空気の濃淡変化によって上下する。丸印は4ミリ秒まで達したら0ミリ秒に戻る仕様になっている。

**段階3.** 図5(c)のように、オシロスコープ波形とみなすことができる丸印の軌跡のみが表示される。

以上がソフトの仕様であるが、2つのマーカーを独立に動かすことができるため、マーカーの移動に伴うドップラー効果による振動数の変化を確認することができるため、高校物理でも使用可能であると考えている。

## 6 授業実践

作成したソフトを用いた授業実践に関して説明する。A中学校の協力を得て、2018年1月15日に125名の中学校1年生(30名程度を1クラスとする計4クラス)を対象とした50分の特別授業を行った。生徒は、2017年12月に通常授業において音の性質を既に学習している。4人を1グループとして1台のタブレットを使用した。授業は筆者が行った。

## 7 実践の様子

教材の学習効果に関しては、授業実践前に行った事前調査と事後調査を比較することから検証を行ったが、これらの詳細な比較に関しては先行研究で報告している通りであり<sup>(4)</sup>、本稿では授業中の進め方と生徒の様子について説明する。

授業の導入ではベースギターを用いてスピーカーから音を出し、スピーカーから少し離れた位置におかれた発泡スチロールの破片が音の発生に伴い動くことから、音は空気を伝搬していることの再確認を行った。これまでの学習から、生徒は音が空気を伝搬することを知っていたが、実物を用いて実験を行うことで「本当に動くんだ！」と驚いた生徒がいた。この演示実験では周波数が低い楽器を使うほうが視覚的に分かりやすく、ベースギターを用いるとスピーカーの前に置かれたライターの火を空気振動で消すことも可能である。

次に教員から、「音がどのように伝わっているのか、目で見ることはできないため、ARを使って音を見てみよう！」と投げかけ、音源マーカーを用いた観察を行った。まず音の大きさと高さを変えたとき、波がどのように変化するかをそれぞれ観察させた。続いて、音速測定定規を用いて波が1m進む時間を測定し、音速計算を行わせた。音速計算を手計算で行うと時間がかかるため、時間経過が1/1,000となるストップウォッチ機能、また測定結果から音速が得られるソフトを作成し用いた。音速に関してはソフトであるため正確な測定を行えば340m/sの値が得られるが、測定結果の値は気にせず、音速を測定するとはどういうことであるのか、に着目させた。

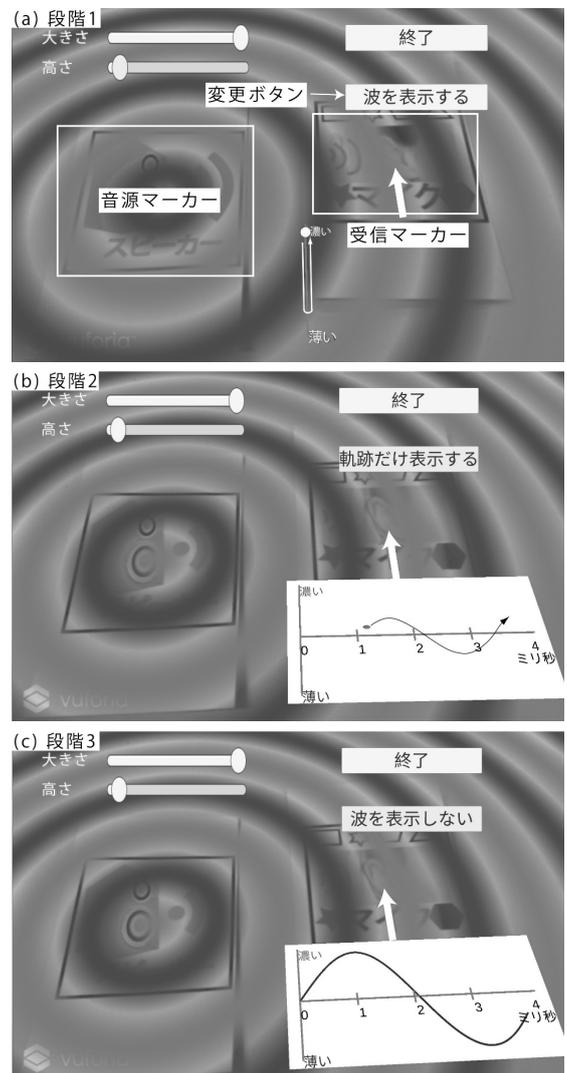


図5: 受信マーカーを認識した時のスクリーンショット。空気密度の濃淡変化を示す段階(a)。空気密度の濃淡変化を時間に対して表示する段階(b)。オシロスコープ波形を示す段階(c)

音速測定終了後、ある地点で測定を行うと、波がどのように変化するのか？と問いかけ時間変化に着目させ、受信マーカーを使った測定を行った。段階1を用い、受信マーカーの位置を色々と変えたとき、振幅がどのように変化するかを確認させた。1次元の丸印の動きでは結果を記録できないが、丸印を横に動かしていけば記録できることを黒板への板書を用いて確認し、段階2の測定を行った。その後、段階3の測定を行い、この結果がオシロスコープ波形となることを説明した。

授業のまとめとして、実際のベースギターの音をオシロスコープで測定した結果を見せ、振幅、振動数などの言葉の整理を行った。

## 8 実践を終えての感想

目で見るのが難しい現象を可視化させることで、理科学的な思考をすることが難しい生徒に対して、本教材を用いた学習は効果があると感じた。ARを授業に用いることで生徒は面白そうに授業を受けていたが、実験内容が多すぎ50分の授業では生徒の理解が追いついていないのではないかと感じる場面もあった。2校時分を使って、1校時目は音源マーカーのみを用いた観察、2校時目に受信マーカーを用いた観察、と分けることで生徒の意見をより引き出せる授業ができたのでは、と感じている。

今回の授業は演示実験ではなく生徒実験としたが、生徒自らが音量と音の高さを自由に変えることができ、またマーカーを自由に動かして観測させることで、興味を持って授業に取り組む様子が見られたと感じている。ただし、まったく自由に観察を行わせると、面白かった、というだけで終わってしまう可能性があり、教員側から各実験のポイントを生徒に正しく伝えることが重要である。また、理科室の中で10台のタブレットから音が発生するため、教員からの指示が生徒に届きにくくなる。指示を行う時間と観察を行う時間を明確に分けて授業を進行する必要がある。

本AR教材は補助教材としての有効価値は高いと考えられるが、実際の実験に置き換わるものではないと感じている。ARでは見えないものを可視化させているため、現実とは異なる虚が含まれる事が多い。本教材の場合、空間と時間スケールの変更を行っていることが現実と異なる点である。そのため、AR教材を用いることで実験の意味を生徒が正しく理解できたうえで、実際のオシロスコープ測定や音速測定を行うことで、生徒の理解度が大きく上がることが期待される。



図 6: 授業実践の様子

### 【参考文献】

- (1) 青木悠樹, 井町翔, 「音波を可視化させたタブレットによる拡張現実教材の開発と実践」, 教育システム情報学会誌, 35-3, 293-296 (2018).
- (2) I. Saitoh, Y. Koibuchi, and Y. Aoki, “Development of Teaching Aid for Electromagnetic Induction utilizing Augmented Reality”, Proceedings of ICMEMIS 2018.
- (3) I. Funatsu and Y. Aoki, “Development of a Teaching Aid for Mechanics using the Spatial Recognition Smartphone”, Proceedings of ICMEMIS2018.
- (4) Y. Aoki, S. Imachi, and T. Kase, “The Learning Effects of Visualizing Sound Waves using Augmented Reality in Middle School Science Education”, J. Tech. Soc. Sci., (2018).

## 〈発 表 資 料〉

題 名	掲載誌・学会名等	発表年月
音波を可視化させたタブレットによる拡張現実教材の開発	教育システム情報学会誌	2018
The Learning Effects of Visualizing Sound Waves using Augmented Reality in Middle School Science Education	J. Tech. Soc. Sci.	2018
Augmented Reality Teaching Aid for Electromagnetic Induction for Middle School Students	JISE	2019
Development of a Teaching Aid for Teaching Dynamic Motion Using the Tango Platform	JISE	2019
Development of augmented reality systems displaying three-dimensional dynamic motion in real time	Phys. Educ.	2020

---