

学校場面における教育・学習への 拡張現実技術の応用に関する研究動向

— その現状と展望 —

白 井 述

1. はじめに

1.1 拡張現実技術 (augmented reality: AR) とは何か

情報通信技術の進歩に伴い、多様な映像技術の開発、応用が進んでいる。特に現実世界の光景に人工的な視覚情報を重畳し、視聴者の知覚経験を拡張するような映像技術、すなわち拡張現実技術 (augmented reality: AR) の普及が近年著しい。一般的な AR の定義として、現実の光景と人工的な視覚情報が統合されることによってコンテンツが提供されること、視聴者とコンテンツとの間にリアルタイムなインタラクションを生じうること、コンテンツが現実空間と対応した3次元の空間にマッピングされていること、が挙げられる (Azuma, 1997)。こうした特徴からも理解できるように AR は、人工現実感 (virtual reality: VR) のような、視覚をはじめとした感覚入力を完全に人工情報と置換する技術とは異なり、現実と人工の視覚情報がリアルタイム、かつシームレスに統合された、新たな知覚体験を視聴者に提供することを可能にする技術である。

AR の代表的な応用例としては、エンターテインメント分野での活用が挙げられる。例えば、光学プロジェクターを用いて実世界の構造物や人物に直接映像を投影し、ダイナミックな視覚効果を付与するプロジェクションマッピングは、大規模な興行施設 (e.g., PRTIMES, 2018) から地域に密着した催し物に至るまで (e.g., 新潟日報モア, 2020)、様々なシチュエーションで利用されており、その幻想的な効果を目にする機会も増えてきている。また、スマートフォンやタブレット端末の普及と連動して、AR を利用したゲームやアプリも幅広い年代に浸透しつつある。AR 機能を取り入れたスマホゲームであるポケモン

GO が、2016年の配信開始以来、全世界で10億件以上のダウンロード件数を記録 (IGN, 2019) して一大ブームとなったのは記憶に新しい。

また、様々な分野における教育や学習に、AR やそれに類する技術を応用する試みも盛んに行われている。本邦における近年の実践例としては、2014年に東京国立博物館にて企画された「伊能忠敬の日本図」展における試みが挙げられる。同展では、提示物（古地図の映像）に懐中電灯型のデバイスをかざすことで、地図の拡大表示や、現代の地図と重ね合わせての比較が可能になるなどの、インタラクティブな鑑賞、学習の機会が提供された（東京国立博物館, 2014）。また2020年には同じく東京国立博物館で、国宝「聖徳太子絵伝」の複製展示に際して、展示物をメガネ型のデバイスによって鑑賞することで、関連するアニメーションや音声などの付加情報が展示物上にリアルタイムに提示されるシステムを通して、鑑賞者に詳細な解説を提供するという試みがなされた（凸版印刷株式会社, 2020）。その他にも、学校・企業などにおける教育・研修の場でARを利用する試みや、家庭での学習を想定した知育玩具への応用など、ARの教育・学習場面への応用が加速している（cf. Apple inc., 2018; Google for Education, 2020; MoguraVR, 2019）。

1.2 本稿の目的

このようにエンターテインメント用途のみならず、教育や学習の場において、ARへの関心が急速に高まりつつある。こうした状況において、特に学校などの公共性の高い場面に新規な教育、学習手法を導入するのに際して、それらの手法の有効性や実用性について科学的に妥当な方法で慎重に吟味していくことは、現代社会における喫緊の課題であると考えられる。

こうしたニーズに呼応するように、近年、ARの教育・学習への応用に関して、膨大な数の学術的研究が実施されている。例えば、本稿を執筆中の2021年1月現在、Google社の学術データベース Google Scholar を用いて「augmented reality」, 「education」という用語を組み合わせると、2010年から2020年の10年間で4万件以上もの文献がヒットする。また、ARによる教育に関する研究について取り扱った数多の総説論文の存在（e.g., Akçayır, M & Akçayır, 2017;

Bacca, Baldiris, Fabregat, Graf, & Kinshuk, 2014; Das, Zhu, McLaughlin, Bilgrami, & Milanaik, 2017; Garzón, Pavón, & Baldiris, 2019; Phon, Ali, & Abd Halim, 2014; Lee, 2012; Radu, 2014; Saidin, Halim, & Yahaya, 2015; Wu, Lee, Chang, & Liang, 2013) からも、AR の教育・学習への応用が、学術界においても1つのホットトピックとなっていることを伺い得る。

その一方で、それらの先行研究の成果をもってしても、AR を用いた教育や学習の効果について、(後述するような理由から)科学的に妥当な説明や提言をするに十分な知見が蓄積されているとは言い難いのが現状である。こうした背景を踏まえ、本稿では、特に学校場면을想定したAR の教育・学習への応用について、どのような学術的研究が為されてきたのかを概観するとともに、それらの研究の多くが抱える限界点、課題について論じる。ただし、上述のように、AR を用いた教育・学習手法に関する研究は非常に膨大な数にのぼるため、それらの研究すべてを取り上げて、その内容について議論を尽くすことは不可能である。本稿では、一実験心理学者である筆者自身が、関連する総説論文(Akçayır, M & Akçayır, 2017; Bacca et al., 2014; Das et al., 2017; Garzón et al., 2019; Phon et al., 2014; Lee, 2012; Radu, 2014; Saidin et al., 2015; Wu et al., 2013) を精読し、また過去数年の実証的研究の例をサーベイする過程で気づきを得た、当該研究分野の傾向や課題について提示することを目的とする。その上で、必ずしも教育・学習への応用を志向したものではないが、AR が人間の行動や認識にどのような影響を及ぼしうるのかを実証的に検討した基礎科学的研究の事例についても触れながら、学校などの教育場面におけるAR の効果をどのように評価すべきなのか、その展望についても述べる。

2. AR を用いた教育・学習手法の評価研究とその課題

AR を用いた教育、学習手法の効果を実証的に検証した研究のスタイルは、概ね以下の2つに大別できるように思われる。1つは定性的な分析を主たる手法として用いるもの、もう1つは定量的な分析を志向するものである。本節ではそれぞれの研究スタイルの概要について具体的な研究の例を紹介しながら、そ

の特徴と課題について述べる。

2.1 定性的な分析に基づく研究

参加者へのインタビューなどを通して参加者自身の主観的印象の報告について記述することや、あるいは参加者の行動を観察、記録することで得られた現象記述に基いて議論を展開するといった定性的な研究方法は、ARによる教育・学習の効果を評価する研究において典型的に用いられる手法の1つである。例えば、2003年から2013年にかけて公刊された32報の先行研究をレビューした Bacca et al. (2014) による報告では、分析対象となった32件の研究の内、実に半数以上を占める17件が定性的手法のみを用いたものであった。

学校教育の場において、ARによる学習の効果を定性的に示した例として、Liarokapis & Anderson (2010) による報告がある。彼らは、パーソナルコンピュータの基本的な構成パーツ (CPU や RAM, 各種のドライブ, 記憶装置) について学習するためのインタラクティブな教育コンテンツ (AR アプリによってパーツの3Dモデルを任意の角度で閲覧可能) を作成し、通常のコンピュータモニタか、ヘッドマウントディスプレイ (head-mounted display : HMD) 越しに、ARによって現実空間とコンテンツが融合して提示されるシステムを作成した。これらのコンテンツを使用して大学学部生、大学院生らに実際に学習を行ってもらい、その際の所感についてインタビューを行った。その結果、通常のモニタと HMD の比較に関しては、「HMD によるコンテンツ提示は集中しづらく、使い方も難しい」というコメントがあった一方で、「コンテンツとのインタラクションを取る際には HMD による提示が非常に有効だった」といったコメントが寄せられるなど評価が分かれたが、すべての学生が AR によるコンテンツのインタラクション性を肯定的に評価したと報告している。また、Kumpulainen, Byman, Renlund, & Wong (2020) は、タブレット端末によって、アニメキャラクターを現実の風景と重ね合わせて写真を撮ることができるアプリを用いて、小学生の自然に対する意識を向上することが可能か検討した事例を報告している。彼らは、タブレット端末で風景を撮ることで、AR によってアニメーションキャラクター (Julie という名前が付いている) が風景と重ね合

わせて撮影されるアプリを準備し、小学校の自然観察授業に参加していた7～9歳の子どもたちにタブレット端末を配布した。その上で、子どもたちに「タブレット端末を使って自然の写真を撮ることでJulleを捕まえてほしい」こと、また、撮影した写真について「Julleが何をしているのか」短い物語を作って、後で教えてほしいことをそれぞれ説明した。野外での子どもたちの行動の観察記録からは、子どもたちが様々な場所を探してJulleの姿を撮影したり（例えば、木々の背景からJulleがこちらを覗き伺っている様子や、大きな石にJulleが座っている様子など）、あるいはそこに子どもたち自身も関わる形で工夫した写真を撮影したり（平原に友達を立たせ、腕を水平に伸ばしてもらい、その腕にJulleが腰掛けているように見えるアングルで写真を撮る）といったように「活発」に自然の中を探索する様子が確認された。また、撮影された写真についての物語の聞き取り調査においては、Julleの視点を通して自然に対して意識を向けるような物語の創作も少なくなかった（例えば木の枝に座っているJulleの写真から、「自然の中でよい景色や穏やかさを楽しんでいる」、「人間が気にも留めないような小さい枝葉の中で人間から隠れて暮らしている」といった物語を作るなど）。こうした結果から、Kumupulainen et al. (2020) は、ARアプリの使用が、子どもたちが「自然」の意味を創造的に探求することにつながったと結論づけている。

定性的な分析は、実際の教育の現場にARを導入することで、どのような事象が生じうるのか、自由な発想に基づいて探索的に検討する場合には非常に有効な手法であるように思われる。一方で、仮に定性的な分析の結果から、参加者による主観報告や、あるいは観察された参加者の反応などに一定の傾向が認められたとして、それらの傾向がどの程度現実的に意味のある効果を持つのか評価することは非常に難しい。例えば、ある研究の参加者から「ARによる学習方法を取り入れることで学習が促進された」という主観的な報告を得られたとして、「いざその方法を実際の学校現場に導入してみても学習者の成績自体には何の変化もない」といった事態も実際には起こり得るだろう。定性的な分析によって得られた示唆を学校などの教育の場に還元する際には、そうした示唆を定量的な分析によって再検討して、その効果の程度を見極める作業が必須

であるだろう。

2.2 定量的な分析に基づく研究

ARの教育・学習効果について、観察やインタビューなどによる定性的な分析によって明らかにするに留まらず、積極的な実験的介入を伴う定量的な検討を実施した研究も相当数報告されている。定量的な分析は、厳密な実験計画のもと統計学的な手法によってその結果を分析することで、(一般的には)定性的な分析よりも客観的な評価指標を提供しうる。しかしながら、ARの教育・学習効果についての定量的な研究には、方法論上の課題や問題を抱えているものが非常に多い。特にARによる実験操作に対する対照条件の設定が不十分なために、ARの効果を反映していると思いき実験結果について、ARの導入による効果と、実験的に統制されていない潜在的な要因の効果を十分に分けて議論できないケースが目立つ。これは、多くの場合、当該の研究が(a)ARによる手法の効果を検討する際に対照条件を設定していない、あるいは(b)対照条件の設定があったとしても、その設定の妥当性が低い、といった問題を持つことによる。以下(a)、(b)それぞれのケースについて具体例を示しながら、その課題や問題点について議論したい。

2.2.1 (a) 対照条件の設定がないケース

これに相当する研究実践の例としては、Khan, Johnston, & Ophoff (2019)による、大学生の学習における動機づけにARの利用が及ぼす影響を評価した研究がある。彼らは、人体に関する解剖学的知識を学習するためのスマートフォンアプリ(人体各部の構造についてのインタラクティブな3Dモデルを、紙ベースのテキストの図表部分にARによって重畳して提示可能なもの)を医療系大学に所属する学生向けの授業に実際に導入した。その際に、アプリの使用が学生の学習の動機づけにどのような効果を持つか評価するために、授業の前後で質問紙(ARCS model: Keller, 2010)による動機づけ要因の測定を実施した。その結果、ARアプリを使用した授業参加の前後で、質問紙項目の得点が有意に増加したことから、ARアプリの導入が学生の学習における動機づけを

強めた可能性がある」と結論づけた。また、より年少の学習者を対象とした検討例として、Gnidovec, Žemlja, Dolenc, & Torkar (2020) によるものがある。彼らは、中学生相当 (13~14歳) の生徒にヒトの循環器系の仕組みについて学習する AR アプリを提供し、それを実際の授業での学習に利用してもらった。授業の前後、および授業から2ヶ月経過後に、循環器系の理解に関するいくつかのテスト (心臓がどこにあるか、その大きさはどれくらいか、心臓のおおよその構造について、などの知識を問うもの) がそれぞれ実施され、それぞれの時点の生徒のテスト得点が比較された。結果は、授業の前後で生徒のテスト得点が有意に増加したことを示唆するものであった。また、授業から2ヶ月経過後にはテスト得点は有意に減少したものの、授業前の水準を有意に上回った。さらに Jalaluddin, Ismail, & Darmi (2020) では、低成績児 (lower achievers) の新規言語学習における学習サポートに AR を用いた研究事例が報告されている。彼らはマレーシア教育省の学習スクリーニングテスト (LINUS screening test: Luyee, Roselan, Anwardeen, & Mustapa, 2015) によって低成績児と判定されたマレーシア国内の小学生 (8歳児) を対象に、AR を用いた英語学習プログラム (AR アプリによって様々な「物」を擬似的に操作し、その「物」を表現する英単語を学習) による6ヶ月間の介入を実施した。介入の前後で英単語の語彙力についての測定 (British Picture Vocabulary Scale III: GL Assessment, 2020) を実施し、その得点を比較したところ、介入プログラムに参加した児童の語彙得点が有意に増加していることが明らかになった。

これらの研究例は、いずれも実際の学校教育場面に AR による教育・学習手法を導入し、その効果を定量的に評価することを試みたものであるが、単群に対する効果のみを検討している点で、その結果の解釈に自ずと制限がつく。すなわち、AR を用いた手法による学習の前後で統計的に有意な学習効果が認められてはいるものの、他の手法との比較がなされていないため、その学習効果が真に AR に由来するものであるのか、それとも実験的に統制されていない何らかの要因によるものであるのか、判断することが難しいのである。AR 固有の学習効果について議論するには、AR によらない学習手法による群 (対照群) を設け、AR 群と対照群との学習効果の量を比較するといった研究計画を採用

するのが望ましいだろう。

2.2.2 (b) 対照条件の設定があるが、その設定が不十分であるケース

このケースに相当する例の1つとして、中学生の幾何学的知識の学習におけるARの効果について検討した、Ibáñez, Portillo, Cabada, & Barrón (2019)による研究が挙げられる。彼女らはメキシコ国内の公立、私立中学校に通う13~15歳の生徒を対象にして、幾何学的知識の学習におけるARコンテンツの効果を検討した。生徒らは、タブレット端末を利用したARを用いた学習コンテンツ(ARによって立体図形をリアルタイムに操作し、任意の視点から閲覧することが可能)によって授業を受ける群と、タブレット端末を用いてウェブベースのコンテンツ(立体図形の操作、およびそれに伴う視点の変更は不可)にアクセスすることで授業を受ける群のどちらかに割り付けられた。生徒たちはそれぞれのコンテンツによる授業の前後で、幾何学的知識を問うテスト(ある円柱の直径が2 cm、高さが7 cmだとすると、その円柱の体積はいくつになるか?といった問題について4択で解答する)に参加した。また授業後に、学習に対するモチベーションを測定するための質問紙項目(IMMS survey: Keller, 1987)に回答した。その結果、テストの得点は学習コンテンツの種類(AR vs. ウェブベース)に関わらず学習前後で有意に増加したが、(公立学校に通う生徒に限定的ではあったが)ARコンテンツによる学習に参加した群で、ウェブベースのコンテンツによる学習に参加した群よりも得点の増加の度合いが有意に大きかった。また、学習に対するモチベーションはARコンテンツによる授業に参加した群で、ウェブベースの授業に参加した群よりも有意に高いことも報告された。これらの結果から、Ibáñez et al. (2019)は、ARによる学習はウェブベースの学習よりも、幾何学的知識の習得に有効であると結論づけている。また、別の研究例として、Tsai (2020)による台湾の小学生における英語の語彙学習についての報告がある。この研究では、台湾の小学生4年生の基礎レベル相当の英単語(いずれも名詞)20語を学習する際の効果を紙のカード(特定の名詞の中国語と英語が併記されているがイラストなどは無し)による学習と、タブレット端末を用いたAR(英単語の表す物体の3DモデルがARで表示される他、英

単語の発音音声も視聴できる)による学習とで比較した。紙のカード、AR いずれの学習条件でも40分の学習時間が設定され、その前後で20語の単語についてのテスト(20単語についてそれぞれ4肢選択で問い、総得点を0点から100点の間で換算)が実施された。その結果、ARによる学習に参加した群、紙のカードによる学習に参加した群、いずれにおいても学習時間の前後で語彙テストの得点は有意に上昇したが、学習後の得点は前者で有意に高くなった。Tsai(2020)はこれらの結果に基づいて、小学生の英語の語彙学習において、ARによる学習は紙のカードによる学習より効果的であると報告している。

これらの研究はいずれも、ARによる学習に参加する群と、それ以外の手法による学習に参加する群(対照群)の間で学習効果を比較することで、ARに固有の学習効果の検討を試みたものと言えよう。この点で、対照群を設けずに単群のARによる学習効果のみを検討する研究計画と比べて、ARの学習効果についてより踏み込んだ議論の可能性を拓くものである。一方で、これらの研究における問題(あるいは限界)点としては、ARによる学習手法と対照群に適用された学習手法が、ARの利用の有無以外の点でも大きく異なることが挙げられる。例えば、Ibáñezら(2019)が採用したARによる学習コンテンツでは、立体図形を学習者が操作することで任意の視点から図形を観察可能であり、学習者の能動的、かつリアルタイムなコンテンツへの働きかけが生じ得る学習環境を提供していた。それに対して、ウェブベースの学習コンテンツは立体図形の操作機能を有しておらず、ARコンテンツに比べて、学習者の能動的な働きかけが生じにくい学習環境であったと推測される。したがって、Ibáñez et al.(2019)の報告は、実はARによる効果ではなく、学習環境における学習者の能動的振る舞いの違いを反映している可能性もあるだろう。またTsai(2020)による対照群の設定も、様々な点で結果の解釈に制約を生じるものとなっている。例えば、対照群では中国語の名詞とそれに対応する英語単語が記載されただけの紙カードによって学習を行ったのに対して、AR群ではそれらの単語の他に、単語が意味する物体の3Dモデルが表示され、英単語の発話音声も視聴可能であった。つまり、対照群に比べてAR群の方が(ARの利用の有無とは無関係に)学習に利用できる情報が質的にも量的にも多様であり、結果として

より有利な学習環境が構築されていた可能性が考えられる。AR の教育・学習効果について対照条件を設定した実験計画によって検討する場合には、(学校などの実際の教育現場での実験には様々な制約がつきまとうので、実験的操作には限界があるとはいえ)可能な限りARを用いた条件と対照条件との間で情報の量や質の差が小さくなるような工夫し、ARを用いた手法のどのような側面が効果的であるのかを吟味する必要があるだろう。

3. 今後の展望

前節で概観したように、ARを用いた教育・学習方法に関わる学術的研究の現状には、まだまだ多くの課題が残っている。したがって、ARによる教育・学習が既存の教育・学習の手法と比べて、どのようなアドバンテージを持つのか(あるいは持たないのか)について、科学的視点に基いた有効な示唆を提供することは、現時点では難しいように思われる。本節では、今後の研究はこれらの課題にどのように向き合い、取り組むべきか、また、ARによる教育・学習方法の諸側面について科学的な知見を蓄積していくにあたって、既存の取り組みに加えてどのような視点が必要となるのかを論じる。

3.1 より妥当な実験計画による研究の必要性

最も重要な取り組みは、研究者自身が個々の研究の妥当性を高める努力をしていくことであろう。現状の実証的研究の多くは、前節2.2.1および2.2.2で述べたように、ARによる教育・学習効果と、実験的に統制されていない(あるいは現実的制約から統制することのできない)潜在的な要因による効果の交絡とを分けて検証可能な研究計画を採用しておらず、故にそれらの研究の結果からARによる教育・学習効果について説得力のある議論を展開することが難しい。今後の研究では、可能な限り適切な対照条件を伴う実験計画を採用することによって、ARによる効果そのものを評価していく必要があるだろう。もちろん学校における授業など、実際の教育現場での介入において厳密に統制された実験を実施することには様々な制約が生じる。例えば、生徒や学生を任意の学習

法による介入を受ける群（実験群）と受けない群（対照群）に割り付けて実験を実施するとして、仮にその学習法に有意な効果があった場合に、介入を受けなかったこと（によって、より効果的な学習機会を失ったこと）が対照群にとって不利益となる（Khanet al., 2019）可能性もある。こうした点を危惧して、対照群を設けない実験計画とせざるを得ないケースも相当数存在すると考えられる。そうした場合には、人的・時間的コストはかさむが参加者を2群に分け、一方の群には実験条件を、もう一方の群には対照条件を割り割て、一定期間の介入の後に条件の割り当てを入れ替える（当初実験条件を割り当てられた群は対照条件を、もう一方は実験条件を再割り当てされる）といったクロスオーバーデザインの実験計画を採用するなど、参加者の権利に配慮しつつも、科学的により妥当な研究計画を採用する努力が必要であろう。

一方で、実験計画上交絡要因を排除できなかったとしても、その交絡要因も含めてARによる効果を利用する価値はある、と考える立場もあるかもしれない。例えば2.2.2で述べたIbáñez et al. (2019)やTsai (2020)の研究では、AR一般の効果というより、ARを用いた特定の手法を採用したことで生じた情報提示のありかた（インタラクティブな情報提示、多様な視聴覚情報の提示など）が、高い学習効果として表出したものである可能性は排除できないが、そうした（原理不明の）手法によって現実的に学習の効果が増加するのであれば、それを有効な教育・学習手段として援用することに実用上の問題は無いという考えもあり得るだろう。しかしながら、そうした効果が実際にはARとは無関係であり、単に提示される情報の量や質の問題であるならば、わざわざARによる学習コンテンツを公的な教育の場に導入することの意義は薄れる。例えば、単純にインタラクティブな学習環境の構築や、視聴覚情報の複合的な提示が重要なのであれば、そうした要求に対しては、非ARのスマートフォンアプリやタブレットアプリなどを使えば、より容易に、かつローコストで対応可能であるだろう。また、特定の研究結果の効果が交絡要因に依存したものであった場合に、その研究結果を別の文脈で応用した際に、期待する効果が減弱あるいは消失してしまうこともあるだろう。周到的計画に基いて対照条件を設定し、用いた手法の「どの側面が」効果を持つのかを明らかにすることは、汎用性、信

頼性ともに高い手法の開発には必須の要件であると考えられる。

3.2 基礎科学的研究からの示唆

AR が人間の心身に及ぼす影響について、より基礎科学的な視点から検討した研究の成果を参考にすることも重要であろう。AR が人間の心的機能や行動にどのような影響を持ち得るのか、応用的な文脈から離れ、それ自体を検討した例は相対的に少なく、この領域の基礎科学的研究は未だ黎明期にあると思われるが、以下に紹介する一連の研究は、AR 一般の効果を科学的にどう探求していくのか模索する上で重要な示唆を含むように思われる。Lee, Bruder, Höllerer, & Welch (2018)は、HMD による AR を用いてヒト型の3Dモデルを参加者に提示し、参加者が実際の人間に対して表出する行動と比較した。具体的には、参加者が通路状のプラットフォームを移動する際に、プラットフォーム上に立っている本物の人間を避けて移動しなければならない条件下での移動経路と、同様の状況でプラットフォーム上に本物の人間ではなく AR モデルが提示された条件で移動経路を比較した。その結果、(当然ながら) AR モデルに実体は無く物理的に回避する必要も無いにも関わらず、参加者の移動経路の傾向は、本物の人間に対しても AR モデルに対しても極めて類似していた。すなわち、本物の人間に対しても、AR モデルに対しても、衝突を回避するかのよう迂回して移動する経路選択行動が認められた。類似の傾向は別の研究 (Miller, Jun, Herrera, Yu Villa, Welch, & Bailenson, 2019) によっても報告されている。Miller et al. (2019)は、参加者を実験室に招き入れて HMD を装着させ、AR によるヒト型モデルを提示した。実験室には本物の椅子が2つ並べて置いてあり、AR モデルはそれらの椅子のうち、どちらか一方に「座って」参加者に向けて自己紹介を行った。その後参加者は HMD を外し(したがって、この時点で参加者は AR モデルを見ることはできない)、実験室内の2つの椅子の内どちらか一方に座るように促された。その結果、AR モデルが「座っていた」椅子を選んだ参加者の数よりも、「座っていなかった」椅子を選んだ参加者の数が有意に多かった。さらに、より若齢の子どもにおいても、AR によるヒト型モデルの提示が行動に影響することが報告されている。Shirai, Kondo, & Imura (2020)

は、実験室を障害物によって2つのエリアに分割し、一方のエリアに参加児を招き入れた。エリア間の障害物には2箇所の通路が設けられ、それらを通ることでエリア間の往来が可能な構造になっていた。まず、実験者が参加児（5～10歳）にタブレット端末を渡し、タブレットのカメラを用いて2箇所の通路周辺を探索するよう促した。このとき、どちらか一方の通路上にのみ、タブレット端末の画面を介してARのヒト型モデルが提示された。その後、参加児は数分程度のダミー課題に参加し、それが終了すると、参加報酬を受け取るために2つの通路のどちらかを通して別のエリアに移動するよう求められた。このとき参加児がARモデルが提示された通路と、提示されなかった通路のどちらを通して移動するかが記録された。その結果、ARモデルが提示されなかった通路を選択した参加児の数が、そうではない参加児の数を有意に上回った。つまり、参加児の多くは（経路選択の時点でARモデルを直接目に見ていないにもかかわらず）ARモデルのいた通路を回避するような行動をとったのである。興味深いことに、類似の実験状況下で成人（大学生）の行動を調べると、ARモデルのいた経路と、いなかった経路をそれぞれ選択した参加者の数には統計的に有意な差は認められなかった。すなわち成人ではARモデルを避けるかのような行動は認められなかった。この点で Shirai et al. (2020) の結果は、Lee et al. (2018) や Miller et al. (2019) の報告とは一致しないと言える。

これらの研究から示唆されるのは、(a) 私たちはARによって提示された人工情報に対して、(少なくともそれがヒト型のモデルである場合には) 現実の存在に対するのと類似した行動を生じる特性があること、(b) そうした行動特性は成人のみならず幼い子どもにも認められること、そして(c) ただし、類似の条件下でそうした行動特性を観察した場合に、子どもと成人とは異なった傾向が生じること、の3点であろう。特に(c)は、ARによる教育・学習の効果についての研究一般に重要な示唆を与えるように思われる。(c)の知見から示されるのは、一貫した手法を使用していたとしても、ARによる情報提示の効果は受け手側の年齢や発達段階によって大きく変化するという可能性である。仮にARを用いた教育・学習手法に一般的な効果があったとしても、そうした手法の適用対象者がどのような年齢層であるのかに応じて手法を最適化

しなければ、現実的には十分な効果が得られないかもしれない。受け手側の年齢とARの効果との間にどのような関係性があるのか、ARのどのような特性がトリガーとなって、そうした年齢間の差が生じるのかについて、現時点では具体的な説明は難しいが、Shirai et al. (2020)はARの手法の違い、子どもと成人の認知特性の違いといった要因を想定した推論を提示している。成人でARに対する有意な効果が報告されたケース (Lee et al., 2018; Miller et al., 2019)ではHMDによる没入感の高いコンテンツが利用されていたのに対して、Shirai et al. (2020)ではタブレット端末上のARアプリによるコンテンツ提示手法を用いた。この点で、後者ではARモデルの「本物らしさ」が減弱し、成人では有意な効果が生じなかった可能性がある。一方で、若齢の子どもは一般的に無生物、あるいは非実在 (空想上) の対象に人格を付与しがちな傾向が知られており (cf. Moriguchi & Todo, 2019)、そうした傾向が、没入感が低く「本物らしさ」に欠けるタブレット端末上のARモデルに対しても、本物の人間に対するのと類似の行動を喚起した可能性がある。

AR一般の効果が年齢層によって大きく異なるのか、またそうした差異が没入感やリアリティの様なコンテンツの質によって生じるものであるのかを解明するには、今後さらなる基礎科学的知見の蓄積が必要であろう。ただし、学校現場での教育には幅広い年齢層の児童や生徒、学生が参加することを鑑みれば、ARの持つ潜在的な教育・学習効果と学習者の年齢との関連について、より現実的な文脈 (学校での教育の場など) においても積極的な検討をしていく必要があると思われる。また提示装置の差異 (HMDとタブレット端末) に起因する没入感や本物らしさの違いが、教育・学習の効果にも差を生じるのか、そうした傾向が認められるとしてその傾向に年齢による違いはあるのか、といった点もあわせて検討が必要であろう。

4 結びに

本稿の目的は、AR と教育・学習に関する研究の現状を整理し、それらの研究が内包する課題、問題点について明確にすることであった。それ故に、AR の教育・学習への応用についてポジティブな側面を強調することが難しかったが、筆者自身は、学校場面を始めとした様々な教育・学習の場において AR は有効な手法であると直感していることは、最後に強調しておきたい。特に、様々な理由から学習の対象となる事象を直接的に扱うのが難しいようなケース（例えば、人体の解剖学的構造、希少動物の生態、微小世界や宇宙など人間のサイズスケールから大きく離れた事柄、など）においては、AR を用いることで、学習者に学習対象との相互作用の機会を（擬似的にはあるといえ）提供できる。この点で、AR を用いた手法は、より豊かな教育・学習の機会提供に貢献可能であるだろう。

ただし、ここまで繰り返し強調してきたように、AR を利用した教育・学習について非常に多くの研究者が検討を試みているにもかかわらず、その効果について科学的なエビデンスが十分に蓄積されているとは言い難い。もちろん学校などの教育現場に「まずは AR の手法を導入してみる」といった探索的な態度による検討も無意味ではない。ただ、そのような探索的検討によって見い出された事例を、妥当な実験計画を伴った定量的手法によって再検討し、AR による教育・学習の効果について、地道に客観的な知見を蓄積していくことが重要であろう。教育・学習における AR の効果の諸特性が科学的に明らかになり、学校などの現場へ適切な形で普及することを願う。

謝辞

本稿の執筆にあたって、日本学術振興会科学研究補助金（17K18697・研究代表者：白井述）の補助を受けた。また本稿の構成について伊村知子氏（日本女子大学人間社会学部・准教授）から様々な助言を得た。ここに記して感謝申し上げます。

引用文献

- Akçayır, M., & Akçayır, G. (2017). Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. *Educational Research Review*, 20, 1-11.
- Apple inc. (2018) 拡張現実を教育の場に 授業での活用アイデア Apple inc. Retrieve from <https://www.apple.com/jp/education/docs/ar-in-edu-lesson-ideas.pdf> (2021年1月20日)
- Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 6(4), 355-385.
- Bacca, J., Baldiris, S., Fabregat, R., Graf, S., & Kinshuk.(2014). Augmented Reality Trends in Education: A Systematic Review of Research and Applications. *Educational Technology & Society*, 17(4), 133-149.
- 美術展ナビ (2020) 5 Gで文化財 国宝『聖徳太子絵伝』 AR でたどる聖徳太子の生涯 9月29日から東京国立博物館 美術展ナビ Retrieve from <https://artexhibition.jp/topics/news/20200917-AEJ295963/> (2021年1月20日)
- Chen, P., Liu, X., Cheng, W., & Huang, R. (2017). A review of using Augmented Reality in Education from 2011 to 2016. In *Innovations in smart learning* (pp. 13-18). Springer, Singapore.
- Das, P., Zhu, M. O., McLaughlin, L., Bilgrami, Z., & Milanaik, R. L. (2017). Augmented reality video games: new possibilities and implications for children and adolescents. *Multimodal Technologies and Interaction*, 1(2), 8. 1-10.
- Garzón, J., Pavón, J., & Baldiris, S. (2019). Systematic review and meta-analysis of augmented reality in educational settings. *Virtual Reality*, 23(4), 447-459.
- GL Assessment (2020). British Picture Vocabulary Scale III Retrieve from <https://www.gl-assessment.co.uk/products/british-picture-vocabulary-scale-bpvs3/> (2021年1月20日)
- Gnidovec, T., Žemlja, M., Dolenc, A., & Torkar, G. (2020). Using Augmented Reality and the Structure–Behavior–Function Model to Teach Lower Secondary School Students about the Human Circulatory System. *Journal of Science Education and Technology*, 29(6), 774-784.
- Google for Education (2020). 仮想現実 (VR) と拡張現実 (AR) を教室に Google for Education Retrieve from <https://edu.google.com/intl/ja/products/vr-ar/> (2021年1月20日)

- Ibáñez, M. B., Portillo, A. U., Cabada, R. Z., & Barrón, M. L. (2020). Impact of augmented reality technology on academic achievement and motivation of students from public and private Mexican schools. A case study in a middle-school geometry course. *Computers & Education*, 145, 103734.
- IGN (2019). 『Pokémon Go』が10億ダウンロードを突破！IGN Retrieve from <https://jp.ign.com/pokemon-go/37482/news/pokmon-go10> (2021年1月20日)
- Jalaluddin, I., Ismail, L., & Darmi, R. (2020). Developing Vocabulary Knowledge among Low Achievers: Mobile Augmented Reality (MAR) Practicality. *International Journal of Information and Education Technology*, 10(11), 1-7.
- Keller, J. M. (1987). Strategies for stimulating the motivation to learn. *Performance + Instruction*, 26(8), 1-7.
- Keller, J. M. (2010). *Motivational Design for Learning and Performance*, Springer, New York, NY, USA.
- Khan, T., Johnston, K., & Ophoff, J. (2019). The impact of an augmented reality application on learning motivation of students. *Advances in Human-Computer Interaction*, 2019:7208494, 1-15.
- Kumpulainen, K., Byman, J., Renlund, J., & Wong, C. C. (2020). Children's Augmented Storying in, with and for Nature. *Education Sciences*, 10(6), 149, 1-15.
- Lee, K. (2012). Augmented reality in education and training. *TechTrends*, 56(2), 13-21.
- Lee, M., Bruder, G., Höllerer, T., & Welch, G. (2018). Effects of unaugmented periphery and vibrotactile feedback on proxemics with virtual humans in AR. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 24(4), 1525-1534.
- Liarokapis, F. and Anderson, E. F., (2010). Using Augmented Reality as a Medium to Assist Teaching in Higher Education. In: Eurographics 2010, Norrköping, Sweden, 9 - 16 .
- Luyee, E. O., Roselan, F. I., Anwardeen, N. H., & Mustapa, F. H. M. (2018). Suitability of the literacy and numeracy screening (LINUS) 2.0 programme in assessing children's early literacy. *MOJES: Malaysian Online Journal of Educational Sciences*, 3(2), 36-44.
- Miller, M. R., Jun, H., Herrera, F., Yu Villa, J., Welch, G., & Bailenson, J. N. (2019). Social interaction in augmented reality. *PLOS ONE*, 14(5), e0216290. 1-26.
- MoguraVR (2019). 教育でのVR/ARの有効性に関心高まるテストのスコア20%改善も Retrieve from MoguraVR <https://www.moguravr.com/schooling-xr-report/> (2021年1月20日)

- Moriguchi, Y., & Todo, N. (2019). Prevalence of imaginary companions in Japanese children. *International Journal of Psychology*, 54(2), 269-276.
- 新潟日報モア (2020). 幻想 光のクリスマス 新潟・みなとぴあでイベント 新潟日報モア Retrieve from <https://www.niigata-nippo.co.jp/news/local/20201218588128.html> (2021年1月20日)
- Phon, D. N. E., Ali, M. B., & Abd Halim, N. D. (2014). Collaborative augmented reality in education: A review. In 2014 International Conference on Teaching and Learning in Computing and Engineering (pp. 78-83). IEEE.
- PRTIMES (2018). 来場者数50万人を突破！超巨大没入空間「チームラボ プラネット TOKYO DMM.com」が、秋・冬に向けてサービスを更に拡充 PRTIMES Retrieve from <https://prt-times.jp/main/html/rd/p/000003187.000002581.html> (2021年1月20日)
- Radu, I. (2014). Augmented reality in education: a meta-review and cross-media analysis. *Personal and Ubiquitous Computing*, 18(6), 1533-1543.
- Saidin, N. F., Halim, N. D. A., & Yahaya, N. (2015). A review of research on augmented reality in education: Advantages and applications. *International Education Studies*, 8(13), 1-8.
- Shirai, N., Kondo, L., & Imura, T. (2020). Effects of visual information presented by augmented reality on children's behavior. *Scientific Reports*, 10:6832, 1-9.
- 東京国立博物館 (2014). ミュージアムシアター自由研究応援イベント「見て、知って、歩いて、伊能図を体感しよう！」インタラクティブ映像展示「不思議なライトで伊能図を見てみよう！ 東京国立博物館 Retrieve from https://www.tnm.jp/modules/r_event/index.php?controller=past_dtl&cid=5&id=7406 (2021年1月20日)
- 凸版印刷株式会社 (2020). 東京国立博物館, 凸版印刷, 慶應義塾大学, 東京国立博物館でVR作品『伊能忠敬の日本図』との連動イベントを共同で開催～作品を体感する新たな鑑賞体験を提供～ 凸版印刷株式会社 Retrieve from <https://www.toppan.co.jp/news/2014/07/newsrelease140711.html> (2021年1月20日)
- Tsai, C. C. An Action Research Study Exploring the Effects of Augmented Reality for English Vocabulary Learning in an Elementary School in Taiwan. *The New Educational Review*, 59(1), 163-174.
- Wu, H. K., Lee, S. W. Y., Chang, H. Y., & Liang, J. C. (2013). Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. *Computers & Education*, 62, 41-49.