

論文

VR教材を用いた教育実践の研究動向と環境教育に関する一考察

田開 寛太郎・山田 浩之・鈴木 透・中村 隆俊

A Study of the Development of an Environmental Education Program Using VR
Teaching Materials

TABIRAKI Kantaro, YAMADA Hiroyuki, SUZUKI Toru,
and NAKAMURA Takatoshi

要 旨

本研究の目的は、ICTにより社会、個々の暮らしをよりよいものにするという概念、すなわちデジタル変革は環境教育の現場に何をもたらしたかの理解を試みることを主たる研究課題に据え、ICTのひとつVR教材を用いた教育・学習支援プログラムの全国的動向を把握し、環境教育へのVR活用の意義を明らかにすることである。

調査の結果、医学教育・看護教育、理科教育、技能教育、平和教育、交通安全教育、防災教育、家庭科教育など、様々な分野における教授法やその学習効果が検証されていることが明らかとなった。また、住民参加型の環境保全活動や学校等における環境教育の「変革」を達成するための鍵として、ICT活用による「双方向性」と「協働性」を活かすことが求められ、これらの原則を取り入れたアプローチが有効であることが示唆された。

キーワード

DX ICT VR SAMR

目 次

- I. はじめに
 - II. VRを活用した教育実践事例
 - III. 考察
 - IV. おわりに
- 謝辞
注記
引用・参考文献

I. はじめに

1. 問題の所在

本稿における環境教育とは、ひとまず「自然環境の有限性に注目し、自然破壊を防ぎ、自然との調和にもとづく人類の恒久的存在を探究する教育」であり、「そのための行動の主体を形成する教育」(朝岡、2009)¹⁾と定義する。換言すると、地球温暖化や生物多様性などの知識や理解を深め、持続可能な社会に向けて行動することのできる人づくりといえる。また、朝岡(2006)²⁾は、環境教育の実践には様々な手法がある中で、知識・理解と行動の橋渡しとしての「体験」の位置づけに注目し、自然体験学習がもつ教育実践としての意味と可能性を強調する。

環境教育における「体験」に関する研究や実践報告は枚挙に暇がなく、例えば降旗ほか(2009)³⁾は、「自然と触れ合う中で、自然の不思議さや美しさ、偉大さに感動する心や感性を育てるとともに、自然事象に対する科学的な見方や考え方、自然界における人と自然との関係を理解する力を育てる」と、自然体験学習が環境教育の目標達成に不可欠な方法であると述べる。また、自然体験学習には、「自然体験活動などによる『体験』から問題解決に向けた『行動』までを一連の学びのプロセスとして捉える学習が求められる」という(降旗・李、2016)⁴⁾。他にも、日置(2019)⁵⁾は、「学校教育の教育課程内であっても、自らの持てる諸感覚をフルに駆使し、そのような子どもの素朴な自然体験活動を、観察や実験などの科学の方法を意識した問題解決あるいは探究の活動へと変換する」ことが重要であると述べる。

一方、「体験」の充実に向けては、環境問題の複雑性、学習効果の評価、または指導者の知識や技能の不足などの教育現場における実践課題は数多く存在すると考えられ、これらの課題を克服し、その上で適切な教授法を検討する必要がある。また、本研究の課題でもある、テレビやインターネットの普及に伴う学校教育における視聴覚教材の急激な発達と「体験」に与える影響を踏まえた上で、情報化の進展に対応した環境教育の今後の在り方を見通さなければならない、と考える。そうでなければ、田開ほか(2016)⁶⁾が指摘するように、自然の素晴らしさや恩恵に関する認識や態度を育み、自然への尊厳を感

じさせる本来的な直接体験の重要性が形骸化する可能性も考えられる。

さて、新型コロナウイルス感染症拡大の影響を受けて、文部科学省は2021年度より情報通信技術(Information and Communication Technology、以下ICTと略記する)を活用した教育分野におけるDX(Digital Transformationの略)を一気に加速させる事業を展開することを決定した。このような動向に対して、教育現場ではデジタル化(特にコミュニケーションを深めるためのICT)が急速に進み、教育に活用できそうな先端のデジタルコンテンツが数多く開発されている状況がある^{註1)}。同時に、こうした技術を導入して、新しい発想による環境教育の取り組みも多様に広がり、萌芽的な研究発展可能性を見せていることも確かである。本研究のいまひとつの課題は、ICTにより社会、個々の暮らしをよりよいものにするという概念、すなわちデジタル変革は環境教育の現場に何をもたらしたかの理解を試みることである。

2. 研究目的

本稿では、以上の問題関心に基づいて、ICTのひとつVR(Virtual Realityの略、仮想現実と訳す)教材を用いた教育・学習支援プログラムの全国的動向を把握し、環境教育へのVR活用の意義を明らかにすることを目的とする。なお、これまでの実践事例を概観するにあたり、環境教育といった特定の事例に限るのではなく、広く教育・学習分野におけるVR活用の役割や課題を捉えることとする。

3. 調査方法

本研究目的を達成するため、インターネットからできる限りの実践事例を検索し、その詳細を分析する。先行研究として、鷹岡ほか(2021)⁷⁾は、2010年から2021年までの日本の学術論文オンラインプラットフォームJ-STAGEを情報源に、簡易な計量書誌学的分析を行い、DXを実現する主要なデジタル技術としてVR/AR(Augmented Realityの略)/MR(Mixed Realityの略)^{註2)}に着目して、それらを活用した初等中等教育における実践を整理した。同研究からは、VR活用の論文数が他を上回っていること

から、VR開発環境やHMD(Head Mounted Displayの略)が急速に進展し普及していることが分かる。そこで本稿では、鷹岡ほか(2021)⁷⁾の調査方法を参考にするとともに、VRを活用した教育実践に注目した方がより深い洞察を得ることができると考え、キーワードを「VR」に絞ることとする。

以上を踏まえて、J-STAGEの詳細検索ページから次の条件(資料種別：ジャーナル、査読有無：査読あり、発行年：2012年から2022年、「抄録」「キーワード」から検索ワード：“virtual reality”AND education/learning/“teaching materials”) OR (VR AND 教育／学習／教材)の指定検索、言語：日本語、認証：オープンアクセス)で論文を検索する。また、学校教育に絞った実践事例に注目するため、同上の検索条件に検索ワード：(学校教育 AND VR)OR(学校教育 AND “virtual reality”)を加え、「全文」から指定検索を行った。

最後に、国内外の環境教育に関する学術誌(例えば、『Environmental Education Research』や『環境教育』)を中心に先行研究を渉猟し、環境教育におけるVR活用の利点と問題点を整理し、先述の調査結果に対して考察を加える。

Ⅱ. VRを活用した教育実践事例

1. 本稿におけるVRの理解

VR教材の具体的な内容を見る前に、教育実践へのICTの位置づけや役割を整理しておく。

はじめに、本稿で注目するVRの特徴を挙げると、一般的には、VRは現実とは違う仮想空間内で学習者の没入感や臨場感を高め、より効果的な学習を促進すると考えられている。一例として、医療や災害の現場をよりリアルに捉えることができ、仮想空間内で実際の手術や災害を想定したトレーニングを効果的に行うことができる。また、様々なシチュエーションをVRで再現することで、例えば、深海や宇宙空間などの現実では難しく危険が伴う場所に行くことができるため^{註3)}、地球規模に広がる環境問題に関する知識や理解を深めたり、グローバル意識を向上させるなどの環境教育の充実も期待される。こうしたVRの特徴を活用した教育実践が学力にどのような影響を及ぼし、従来の教授法より効果的なのか

など、明らかになっていないことも多いと思われるが、それ以上に、VRは他のICT技術に比べて「体験」への影響が大きく、VRコンテンツによる「体験学習」の開発において、企業や民間団体による新規事業の展開も顕著である^{註4)}。

学校教育においては、特に1998年の学習指導要領の改訂により、「生きる力」の育成が大きな方向性として「体験学習」が重視されるようになり、また、小・中・高の「総合的な学習の時間」の創設によって、自然体験や社会体験などが定着したといえる。佐々木(2022)⁸⁾は、「体験」から学ぶところから「生きる力」が育まれると述べ、DX時代において求められる自然体験の必要性を強調する。2019年、GIGAスクール構想の実現に向けた環境整備が行われ、一例としてBYOD(Bring Your Own Deviceの略)におけるICT活用計画の中で、児童生徒が一人1台のパソコンやタブレットを用いた学習が一般的になりつつある。そのため、VR等の先端技術を学校教育の現場に導入する敷居も低くなっていくと考えられ、これまでにない感覚を通じた新しい「体験」が、児童生徒の学びや育ちにどのような影響を与えるかなど、議論を積み重ねていく必要があると思われる。

教育現場でVRを活用することの意味をまとめると、従来の教育や学習支援を補完する形で実際と同等の、または実現困難な体験を可能とし、そこから生まれる学習効果が期待されるだけでなく、VR技術のどのような要因が学習を支援し、学習効果を高めるのかを探究するなど、VRの効果的な教育活用が展開していくことが重要である(柴田、2020)⁹⁾。さらに、現実環境に仮想オブジェクトを重ねたり、仮想環境に没入するなど、いかにそれらのシステムを教育現場に導入するかが課題としてあり、先端技術を用いるからこそできる教育・学習支援システムを実現することで、従来の教育・学習を変えていくような研究が望まれる(山元、2019)¹⁰⁾。

さて、ICTを活用した授業や教育実践にはいくつかの段階が考えられ、今後の見通しを持って一歩踏み込んだ議論を進めるためには、段階的に系統立てて教育実践を分類するPuentedura(2010)¹¹⁾のSAMRモデルが有効である(図1)。SAMRモデルは、従来の教授方略と比較して、テクノロジーが授業にどの程度の影響を与えるかを示す尺度であり、Substitution(代替：機能的な拡大はなく、既存ツ

ルの代用となる実践)、Augmentation(拡大:既存ツールの代用となることに加え、新たな機能が付加された実践)、Modification(変形:実践の再設計を可能にする実践)、Redefinition(再定義:以前はできなかった新しい授業を可能にする実践)の4段階ごとに分類・整理を行うことができる(三井ほか、2020)¹²⁾。

Enhancement(強化)のSA段階では、これまで使っていた紙の教科書を「代替」して、タブレットやノートパソコンなどでデジタル教科書を読むことが考えられる。さらに、単なる置き換えではなく、デジタル教科書の機能を「拡張」することで学習環境の向上を図ることができる。これには、文字の拡大や自動音声読み上げなど、紙の教科書では提供できなかった機能を導入することが当てはまり、学習障害や視覚障害のある児童生徒にとっても有益となる可能性がある。そして、Transformation(変革)のMR段階がDXを実現する上で重要な段階であることは間違いなく、つまり、ICTの導入により、授業そのもののスタイルを「変形」させたり、時間や空間に縛られない新しい学びや人材育成を「再定義」することができると思う。

このようにSAMRモデルによる4段階は、ICTを活用した授業や教育実践を分類する上で有効であり、かつ、教育分野でのICT利活用をさらに前進させるための議論を可能にすると思う。そのため、本稿ではSAMRモデルの枠組みを踏まえ、VRを活用する上で注視したい課題と、新しい学びが起こる段階

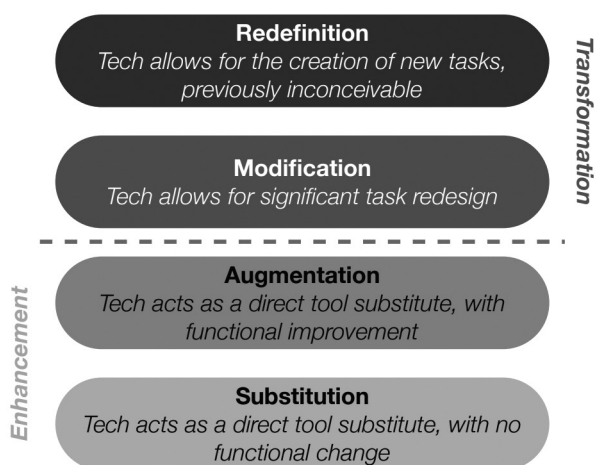


図1. SAMRモデル

出典: Puentedura(2010)¹¹⁾

としての教育の変革の可能性について考察を試みる。ただし、本稿で分析対象とする実践事例を、SAMRモデルの各段階に即して分類し、現在の研究動向を分析することに意味があると思われるが、従来の教授方略の状態をどのように定義するかでそれぞれの位置づけが異なり一概に比較できないと考えられるため、その分析は別稿に委ねることとする。

2. 結果

J-STAGEで検索可能な論文を対象に、簡易な計量書誌学的分析を行った結果、抄録検索は101件^{注5)}、キーワード検索は53件^{注6)}、全文検索は127件の関連記事が抽出された(2023年5月24日時点)。また、検索結果の中から重複するものはまとめ、さらに、教育分野での活用には無関係な論文(例:機械学習による写実的な都市画像の自動生成、主観/客観視点でロボットを操作できるVR模倣学習支援システム開発、仮想空間における複数非参加者を含む雑音環境を利用した発話支援システム開発、顔表情による装着型ロボットアーム操作手法開発)、または直接言及していない論文(例:総説・展望、今後の課題として挙げるのみ)を除外した結果、64件に絞られた。

以上の結果をもとに、医学教育・看護教育(16編)、理科教育(13編)、技能教育(11編)、平和教育(5編)、交通安全教育(4編)、家庭科教育(3編)、博物館教育(3編)、防災教育(2編)、その他(7編)のカテゴリに分類し、それらの特徴を略述する(図2)。

1) 医学教育・看護教育

医学・看護の分野におけるVR活用では、医学生や医師が医療現場や手術をシミュレーションすることで、医療現場でのミスが減らしたり、手術のリスクを減らし安全性を向上させることができる。また、

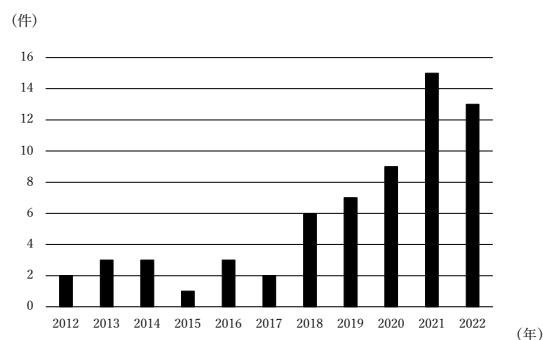


図2. 事例研究の対象となる論文の数

新型コロナウイルス感染症拡大により中止された実習を遠隔でシミュレーションするなどの代替措置が行われた(原田ほか、2022)¹³⁾。このような対応は、医療現場の危機的な状況に対処するための実践事例として注目に値し、また、VRを活用した数ある実践事例の中でも、新型コロナウイルス感染症の大規模な感染拡大等といった今後想定しない事態が起きた際に、安全かつ迅速に対応するための貴重な経験が蓄積された分野といえる。

具体的な実践事例を見てみると、消化器外科の臨床実習(進士ほか、2022)¹⁴⁾では、360度カメラで撮影した手術見学者視線の映像をHMDで視聴することで、医学生学習意欲を高める手段として有用であり、さらには臨床実習を予習するための教材としても有効な教育方法であることが分かった。また、救急医学の見学型実習(織田・三苫、2021)¹⁵⁾では、HMDのミラーリング機能を用いて、学習者の見ている視野・視線の動きを別モニターから観察することで、指導教員は学習者の理解度を把握しながら、適切なフィードバックを行うことに成功している。他にも、臓器の立体構造を3D表示することで、医学生や医師が病気の原因や治療法をより深く理解し、より正確な診断を下すことができるようになるなど、VRの有効性が示される(岡本ほか、2021)¹⁶⁾。

また、VR活用の新たな教授法として、3DCG/VRを用いた手術学習支援システム開発(佐藤、2021)¹⁷⁾では、仮想空間の手術室内で医療器具の配置や患者の体勢などを様々な視点で確認し、同時に、視線を邪魔しているものを透過し説明テキストを重ねて見ることができる。看護教育においては、熟練看護師の看護技術を疑似体験するVR教材(渋谷ほか、2020；小水内ほか、2019)^{18, 19)}の開発が進められており、言語化しにくいコツや巧みさを伝えることができる。さらに、病原微生物の伝播を可視化した教育実践(竹下ほか、2021)²⁰⁾や、ナイチンゲール病棟(開放的な病棟)を疑似体験することのできる教育実践(辻ほか、2017)²¹⁾では、実際の現場では経験できない状況を創造することで、医学生や医師の実践的な知識や技能を向上させるための有効なツールとなる。他にも、獣医学における小動物の動物実験(高木ほか、2021)²²⁾では、獣医臨床教育として学生の関心や意欲を刺激することを可能にするだけでなく、社会的な動物愛護意識の高まりの中、実験動物

の使用を可能な限り削減するための適切な対処が考慮されている。

2)理科教育

理科教育とは物理学、化学、生物学や地学などの広義の科学教育であり、VRを活用した教育場面では、主に仮想空間内での実験や観察などが考えられる。例えば、様々な剛体に関する運動学習へ適用可能なバーチャルマニピュレーター(岡本ほか、2013)²³⁾、視覚障がい者のための学習支援(鈴木ほか、2014)²⁴⁾や振動デバイスを装着した消化器官内の這い回り体験(藤澤ほか、2019)²⁵⁾が特徴的で、視覚・触覚・聴覚を組み合わせた臨場感のある体験を可能とし、学習効果を高めることに成功している。また、仮想解剖学習システム(ツァーガンほか、2014)²⁶⁾や仮想無機化学学習支援システム(岡本ほか、2018)²⁷⁾では、生命尊重の立場から生物を殺さなくともカエルの解剖を行ったり、危険な試薬や火器を用いた実験を行うなど、従来の方法では実施が困難な実験や観察を容易に実現する有用な手段となる。他にも、エネルギー学習における全天球型発電所探索アプリケーション(田代ほか、2021)²⁸⁾では、発電システム全体を俯瞰することができる発電所見学など、体験的な学びを重視したESD(Education for Sustainable Developmentの略)の実現が目指されている。

地学では、自然を調べる過程において、身近な自然や実際の自然に触れるなどの「体験」が重視されてきた。しかし、現実には観察する場所への移動が困難だったり、事故の可能性があったり、時間や活動が制限されるなどの理由から、野外観察の楽しさを児童生徒に体験させることが難しいと考えられている。こうした課題を解決するため、視点の水平移動可能なVR巡検教材(庄司ほか、2022)²⁹⁾では、1メートル間隔で「自由に歩き回れる」という歩行動作を模擬しており、実巡見に近い体験が可能である。天文分野では、様々な学習支援システムが開発されており、一例として、月の満ち欠けについて学ぶ探索型VR教材(瀬戸崎・森田、2019；瀬戸崎ほか、2018)^{30, 31)}がある。また、協働的に月の満ち欠けのしくみを学ぶVR教材(土手ほか、2021)³²⁾では、オンラインで複数人が同じ仮想空間に入り、アバターを操作しながら音声通話でコミュニケーションを取ることができる。他にも、三次元ジェスチャ装置操

作による天体VR教材(田尻・瀬戸崎、2016)³³⁾では、仮想空間内における教員の介入による指導が可能で、教員は学習者の身体動作に連動した映像を見ながら星の見える方角や動きを観察させることができ、より直感的かつ正確に情報を共有することができる。

3) 技能教育

技能教育では、社会基盤構造物や船舶の維持管理や建設設計、また、溶接加工やとび作業における建設足場でのトレーニングなど、高等専門学校の生徒や社会人を対象に様々な技術・技能研修が行われる。橋梁の維持管理に向けた教材(江本ほか、2022)³⁴⁾では、実在する橋梁と仮想の橋梁の3Dモデルを活用することで、橋梁点検者を支援し生産性を向上することができる。また、天候を気にする必要のない室内での体験を可能とするだけでなく、実際の構造物を長期にわたり使用し続けたり、撤去橋梁を保管するための広大な敷地と費用負担を軽減するなどの課題を克服する。船舶塗装の3D-VR塗装シミュレータ(藤本・谷口、2021)³⁵⁾では、作業訓練の際に実物の塗料を使用せず、実際にスプレーから液体を噴霧させる必要もなく、安全に、何度も繰り返しトレーニングを行うことができる。他にも、人間にとって肉体的に厳しい作業である手作業アーク溶接において、簡略的なVR溶接訓練システム(梁ほか、2014; 梁ほか、2013)^{36, 37)}、VR足場高所作業体感システムや力覚提示装置による仮想旋盤の送りハンドル操作(龍前・高野、2020)³⁸⁾など、危険な状況を疑似体験し、実際の作業実習前に安全確保に対する意識を高めるといった安全教育にも役立っている。

また、伝統産業の技能を保存し継承するために、VR技術の有用性が示された実践事例もある。和歌山県の無形民俗文化財として指定される製炭業の窯入れ技術「はね木」を対象に、製炭者による実演の様子を記録したVR教材(奥野ほか、2020)³⁹⁾では、定点動画やテキスト教材と比較して、頭での理解の促進と、実際の身体的動作の継承に有効であることが示唆された。他にも、資源開発における鉱山従事者の安全衛生の確保を目的に開発された秋田大学バーチャル鉱山実習システム(伊藤ほか、2020)⁴⁰⁾では、大学講義の採鉱工学に関連した補足資料として活用し、鉱山開発機械の働きについて岩石の破壊原理に基づいた解説が行われ、作業機械や鉱脈の映像視聴ができる一つのアプリケーションになっている。

4) 平和教育

平和教育における「体験」をVRによって補完することの意義は、被害者の高齢化によって戦争体験を継承することが難しいケースを一例として、証言や記録をデジタルアーカイブして鮮明に保存できることにあり、後世に歴史的な出来事や被害の実相を正確に伝えることに重要な意味があると考えられる。

具体的な実践事例を見てみると、長崎県の被爆建造物等記念碑巡り(藤木ほか、2013)⁴¹⁾では、現在と過去をつなぐ視点獲得を支援するため、現在の街並みを実際に探索した後、3Dテレビ・メガネを用いて過去の街並みを再現した仮想空間の中で振り返りを行うことができる。また、被爆者の証言に基づき作成したVR教材(英語字幕版)(藤木ほか、2021)⁴²⁾では、行方不明の娘を探して原子野をさまよい亡骸を茶毘に付すまでの母親の心情が、遺された被爆証言にナレーションを加えた動画にまとめられている。

また、タブレット端末を操作する身体動作に連動する全天球パノラマVR教材(瀬戸崎ほか、2016)⁴³⁾では、主体的な学習を促すとともに、地理的な情報把握や原爆投下を自分とは切り離れた事象として捉える学習者にとって有用であることが示唆された。また、同様の学習手法を用いて、自由な探索活動とその成果発表を取り入れた授業を行った結果、本やインターネットを利用した従来の授業形態と比較して理解度の高さが期待できるとともに、その他の地域に対する興味が高まる傾向が示された(瀬戸崎ほか、2017)⁴⁴⁾。

他にも、触覚や動きを伴う物理的な反応を通じて現実世界に存在するような感覚を得るといった、タンジブル操作を取り入れたVR教材(瀬戸崎ほか、2021)⁴⁵⁾では、CG作成やプログラミングを必要とせず、現実環境に建物模型を配置することで、学習者が容易にバーチャル環境を構築ことができ、さらに、協働的かつ主体的な学びを促進する可能性がある。

5) 交通安全教育

交通安全教育は、交通事故を未然に防ぐために、交通に関する知識やマナー、安全運転の方法を学ぶことを目的とし、幼・保・小・中・高をはじめ、運転免許取得時などのあらゆる年代の人々が学習対象となる。また、これまで追体験や疑似体験ができる様々な手法が開発され、教育・学習支援の効果が検

証されてきた分野でもある。例えば、安全教育における「体験」を重視した教育技法のひとつスクアード・ストレイト(Scared Straight)では、スタントマンのリアルな交通事故の再現による恐怖体験を通じて、交通安全意識を高めることができる。

VRを活用した実践事例を見てみると、従来の三人称視点である危険予知訓練(Kiken-Yochi-Trainingの頭文字をとってKYTと略す)教材に対して、一人称視点かつ360度の全方位を確認できるVR実写コンテンツ(長谷川ほか、2022;長谷川ほか、2021)^{46, 47)}では、臨場感・距離感が重要となる道幅(車との距離)を視覚的に理解できるなど、VR教材が有効であることが示唆された。

また、ゲームエンジン(Unity)を使用して設定した仮想空間内に交通安全施設を設置し、安全な街をつくるためのVR教材(塩田・瀬戸崎、2020)⁴⁸⁾では、日常生活における自分自身の経験を踏まえ、歩行者の行動を考慮してカーブミラーや信号機を設置するなど、制作活動を通して交通ルールを学ぶことができる。他にも、芳賀・宇都宮LRT導入計画において、HMDで視聴可能な3DVRコンテンツ(永井ほか、2020)⁴⁹⁾では、LRTの走行イメージをリアルに疑似体験できることでドライバーの不安軽減に効果があり、また、3DVRはCG動画に比べて没入感が高く、運転中の注意喚起に効果が高いことが示唆された。

6)家庭科教育

学校教育における家庭科は、生活に必要な衣食住の基本的な知識や技術を育成することを中心にカリキュラムが組まれている。また、ライフスタイルの多様化、少子高齢化の進展や核家族化による子どもを取り巻く環境の変化に伴い、単なる家事労働の担い手育成ではなく、将来をよりよく生きるための学習に重点が置かれてきた分野といえる。VRを活用した農業やフィールドワーク(海老原、2021)⁵⁰⁾では、稲の株と株の間を駆け抜ける小動物の目線で自然観察を疑似体験できるVRコンテンツの視聴を通して、日本の伝統的な食文化に根付く「自然や人・異文化等への敬意」に関わる意識や行動変容が目指されている。

また、家庭科教育の方法としては調理実習が特徴的であり、一般的には、調理方法をはじめ、食材の選び方や保存等に関する基本的なスキルを身につけ、学んだ知識や技術を有用に使う中で家庭や地域との

つながりを深めていくことができる。一方で、食生活分野や調理に関する授業時間数や指導する人材は十分ではなく、授業の中で加熱調理器具や火の安全な取り扱いを指導することが困難で、子どもに火を扱わせる授業の運営は難しいと考えられている(河原ほか、2021)⁵¹⁾。そこで、東邦ガス株式会社と大学が共同研究開発した、どこでも楽しく安全に火の扱いが学べる「火学®VR教材」^{注7)}では、VR空間内で自分のペースで調理手順が確認でき、また、調理実習時に怠りがちな火の安全管理を促し、火に慣れていない人が気づきにくいヒヤリ・ハット事象が盛り込まれている。このVR教材(清水ほか、2022)⁵²⁾では、調理前・中の安全確認を意識する行動変容を促し、特に調理経験の少ない生徒に対して、実際に火を扱う加熱調理工程をシミュレーションし緊張感を高め、時間をかけた慎重な調理実践に繋がるといった学習効果がある。

7)博物館教育

博物館とは、歴史、芸術、民俗、産業、自然科学等をテーマにした美術館、科学館、動物園、水族館、植物園などの広範な文化・芸術施設を意味する。そして、博物館資料の収集・保存、研究、展示をはじめ、教育活動を中心的な業務として、学校教育や社会教育などの学びの場として機能する。現在では、VRやARの技術を活用した展示資料の公開やデジタルアーカイブ化などの事例が数多く見られ、よりリアルで、かつ楽しく博物館の魅力を体感でき、資料そのものの価値を積極的に発信することが可能となる。

佐久間ほか(2022)⁵³⁾は、新型コロナウイルス感染症拡大の状況下で、VR等を含むICTを活用した博物館の活動が大幅に増加し多様化したことを踏まえ、Matterportによる3Dモデル化を一例に、特別展などのイベントをまるごと記録するための有効な手法を紹介する。一方で、展示鑑賞において、一緒に行く家族や友人との「体験」の共有が重要な学習要素とされ、利用者同士の協同学習性をいかに実現するかが今後の課題としてあり、VRを活用した双方向性を確保した工夫において今後の発展が期待される。

また、学習指導要領では、「主体的・対話的で深い学び」を目指した授業改善が求められる中、中学校の美術科(白井ほか、2018)⁵⁴⁾では、スマートフォンを用いた簡易型のVRコンテンツを視聴し、生徒が作品を鑑賞して感じたことや考えたことをワーク

シートに記述し、生徒同士の気づきを共有する上で、写真よりもVRの方が効果的であることが示唆された。また、現存する美術館を再現したVR教材(加藤ほか、2020)⁵⁵⁾では、ペアで仮想空間内の美術作品を鑑賞し、館内の移動や情報収集を自由に行うことができ、現実とは異なる特別な心理形成が喚起されるとともに、対話に集中し、協働性の向上が促されることが確認された。

8)防災教育

日本では地震や津波が頻繁に発生するため、学校教育においては災害への備えとして校内一斉の避難訓練が典型的である。VRを活用した教育実践では、被災者の実体験を聞き取りながら、現実の災害を想定した環境をリアルに再現し、シミュレーションすることが可能となり、災害についての理解や関心を高めることができる。また、個人々が地域のためにできることを考えることが防災教育として重要な意味を持ち、社会的・職業的自立に必要な基礎的・汎用的能力を育成し、社会を生き抜く力を伸ばすことに重点が置かれているといえる。

フィールドワークの代替として、東日本大震災を題材とする中学生向けのVR教材(見城・大山、2021)⁵⁶⁾では、折りたたみ段ボール製のゴーグルとスマートフォンを組み合わせた簡易HMDを用いて、学習者一人ひとりが、現地の堤防や震災遺構・伝承施設などを撮影したVR映像を視聴し、疑似的な訪問体験を行うことができる。この教育実践によって、堤防などの構造物の高度を実感し、没入感を感じる点において有効であり、学習者の震災についての関心・理解や探究活動についての汎用的能力獲得の感覚が高まったことが確認された。

また、自然災害への備えには、地域の安全は地域が責任を持って守るといった「共助」が求められる今日的状況の中で、家族・町会・市町村の小さいグループ単位が互いに支え合うことを基本として、日頃から顔の見える関係づくりを心掛けることが重要である。住民が豪雨、火災、渋滞の発生時の避難方法や避難経路の変更を学ぶことができる防災クイズやVRコンテンツを搭載した「防災すごろく」(新保ほか、2022)⁵⁷⁾では、老若男女問わず取り組み、地域特性を考慮した机上訓練を可能にするだけでなく、楽しく学ぶというゲーム本来の特徴を活かして、学習効果を高めることができる。

9)その他

その他のカテゴリには、英語教育、情報モラル教育、心のバリアフリーの啓発や接客業におけるクレーム対応といった実践事例がある。また、外見からは認知することが難しい障がいの特性を当事者目線で疑似体験し地域課題の解決に繋げたり、工学教育に関する問題解決型のVRコンテンツなどがある。

英語教育におけるVR教材(冬野・山下、2020)⁵⁸⁾では、日本人の英語学習者を対象に、オーディエンスが実際にいるかのような会場を仮想空間で再現することで、話速読、アイコンタクト動作、緊張度(心拍数)をリアルタイムで測定し、一斉授業内での指導が難しい話し方やアイコンタクトを実践的に練習することができる。情報モラルに関する教育(瀧島ほか、2018)⁵⁹⁾では、自分が迷惑に感じることは他人にもしないように促す手法である「鑑的利用法」を用いて、電車での他人の携帯電話や会議室での他人のPCから個人情報を見たり覗き見るなど、仮想空間内において課題状況を設定し、加害者・被害者の双方の立場を疑似体験することで、情報モラルに対する意識を高めることができる。

心のバリアフリーの啓発を目的とした障がい者の一人称視点のVRコンテンツ(松田ほか、2022)⁶⁰⁾では、床の段差などの物理的なバリアだけでなく、人と人が障がいの有無や立場の違いを超えて、共感し思いやりを持ち合うことで、心の中にあるバリアを取り払うことができる。接客業におけるクレーム対応(古野ほか、2022)⁶¹⁾では、対話型の顧客アクターによるクレーム対応の場면을再現することで、共感や敬語などの接客スキルの向上やクレームへの心理的抵抗感が減少するといった効果がある。

高齢化社会における地域の課題解決を目指して、認知症者やその家族の心情を再現したVR教材(白山ほか、2019)⁶²⁾では、認知症者に対する理解の促進と偏見の軽減・除去にどの程度寄与するのかについての学習効果が検証される。他にも、複数の端末で1つの仮想空間を共有できるVRシステム(佐藤ほか、2012)⁶³⁾では、工学教育の一環として、仮想・現実工房において、問題解決型演習に取り組むことができる。

3. 小括

VRを活用した実践事例では、高い現実感のある環境を再現することで、学習者の没入感や臨場感を高め、医学教育・看護教育、理科教育、技能教育、平和教育、交通安全教育、防災教育、家庭科教育など、様々な分野における教授法やその学習効果が検証される。なお、本稿のカテゴリに分類された実践事例は、J-STAGEに収録された論文のみを対象としたため、鷹岡ほか(2021)⁷⁾も指摘するように、萌芽期ともいえる研究動向において全体像を正確に捉えたものではなく、全体の一部に過ぎないと考えられる。特に、査読付きの論文は学術的な厳密さと信頼性が担保され重要な情報源である一方、査読の有無にかかわらず実践的な報告や意見は、実際の教育現場のニーズや課題に対応するための有用な知見を与えてくれる。そのため、様々な情報源を総合的に考慮し、継続的な情報収集と評価を行うことが今後の研究課題としてある。

Ⅲ. 考察

1. 課題と可能性

本事例研究を踏まえて、VRを活用する上で注視したい課題と、新しい学びが起こる段階としての教育の変革の可能性を3点述べる。

はじめに、VRの利点をどこまで広げることができるかである。医学教育・看護教育、技能教育や家庭科教育では、学習者は仮想空間内で安全かつ安心して繰り返し訓練できることに一定の意義がある。理科教育、平和教育や防災教育では、仮想空間内で抽象的な科学の概念や現象への認識を高めるとともに、他者の視点や経験を共有することで共感を生み、また、時間旅行や瞬間移動など時空間的な制約を超えることができるなど、より深い理解と洞察を促す学習が可能である。以上、従来の教授法による学習効果を補助・拡充することに教育上の利点があるだけでなく、VR活用の新たな可能性も見えてきた。例えば、認知症への理解を深めるための症状の疑似体験(白山ほか、2019)⁶²⁾等の障がいによる困難さを例示したり、自分が消化されていく食物として各消化器官を移動できる複数感覚の能動的体験(藤澤ほ

か、2019)²⁵⁾や、社会的な動物愛護意識の高まりの中で実験動物の使用を可能な限り削減するための教材開発(高木ほか、2021；ツァーガンほか、2014)^{22, 26)}など、「実体験」を創造する教育方法の開拓や確立にもつながる実践事例がある。このように、VRが無ければ実現できない教育実践も見られ、従来の教授法を補完するだけでなく、新しい技術による創造的な教育実践を可能にすることも重要な利点といえる。

次に、従来の教授法とは異なる特性を踏まえて、VR活用に関する独自の評価体系を確立することが求められる。VRによる映像体験は、現地の様子を理解し想像することで知識の深化に役立つといえ、認知能力の獲得や知的好奇心の刺激、学習意欲の向上に寄与すると考えられる。学習効果や教育目標の達成度をどのように測定するかが肝要であるが、先行研究では、観察法や事前事後の質問紙、授業のワークシートやテスト結果の分析等による主観評価、パフォーマンス評価やVRに関する評価、他にも、心拍数や唾液アミラーゼ活性を用いた検討(清水ほか、2022)⁵²⁾といった評価手法の多様性が見られた。ただし、VRによる洗練された教材は、その目的や方向性が明確になる一方、見方や考え方が単純になり、画一的な思考を生みがちとなる可能性があり、さらに、VRを体験するだけで満足し完結した場合には、実験などの技能が身につかないといった問題も挙げられる(竹下、2020)⁶⁴⁾。そのため、VRを単なる「手段」として捉え、教育実践の有用性を評価するのではなく、社会変革に果たす教育学の視座に立ち、VR活用の意味や目的を問い直すことが今後の課題である。

最後に、一人ひとりの子どもに適切な教育環境を保障し、効果的な学習を提供することができるかである。一般的に、学校教育では、VRを含むICTの広範な活用による個別学習、協働学習や自習時間への期待が大きい。また、発達段階や障害の有無に応じてこれらの技術を活用することで、教育や学習支援を充実させることができると考えられる。このように子どもたちの様々な困難を軽減することができる一方、教育機会をすべての児童生徒に保障するという本質的な課題を改めて教育側が自覚しなくてはならない。それは、VRコンテンツの利用年齢に関するガイドライン⁶⁸⁾を一例として、学校における実践を考えたとき、すべての児童生徒が安全かつ安心

して授業を受けるためには、今後はVRの利用を促進するための方針を検討することがいまひとつの課題としてある。こうしたことをないがしろにしては、デジタル・ディバイド(情報格差)をはじめとするいわゆる社会的排除の問題が深刻化する危険性がある。VRやICTを活用した教育実践の進展には、個々の学習ニーズに応え、あらゆる人々にとって意味のある学びの機会を設けることが重要であることを認識するとともに、指導者にはこれらの技術を正しく活用するための態度や技能が求められよう。そして、社会全体での理解を促進し、このような最先端のテクノロジーを通じて教育環境を変革することが重要であるといえる。

2. 環境教育におけるICT活用の可能性

ICTをテーマとした日本の環境教育研究の動向を見てみると、管見の限り現時点では不十分といえ、環境教育におけるICTの位置づけや役割が不明瞭である。数少ない研究の中で中村・斎藤(2014)⁶⁵⁾は、フェノロジー(動植物の季節現象)の観察を通じた学習に焦点を当て、複数年にわたる無加工無編集の映像アーカイブを素材とした映像教材の開発方針を提示した。同研究では、ロボットカメラを使用して毎日同時刻に定点撮影を行い、1996年から順次、撮影と音声の自動記録による大量のデータが蓄積される。そして、それらの圧倒的情報量の素材を教育的利用することで、不適切な映像編集によって学習者に誤った認識を与えるなど、従来の映像教材に関する課題の根本的解決が試みられた点において研究意義がある。

同様に、海外に目を向けてみると、VRを活用した海洋酸性化に関する研究実践がある(Fauville, et al., 2021)⁶⁶⁾。同研究が開発したVRコンテンツでは、車から噴出するCO₂分子や海水との化学反応を可視化したり、酸性化したサンゴ礁やその結果生態系が崩れた様子のシミュレーションが行われるだけでなく、仮想現実内での複数参加者同士による意見交換や対話をすることができる。海洋酸性化の問題は、一般市民には未だ十分に知られていないものの、水産業や観光業に大きな影響を及ぼす可能性があるため、このような環境教育の充実が喫緊の課題としてある。

以上の環境教育における実践事例からは、ICT活用による新たな「体験」を実現し、気候変動や海洋問題などの現代的課題に対処するために、「知識・理解」と「行動」を結びつける役割を果たそうとしていることがよく分かる。

最後に、これまでの事例研究、及び先行研究を踏まえて、環境教育におけるICT活用の意義を再考する。とりわけ、SAMRモデルのMR段階において、変更や再定義の要素をどのように充実させていくのか、また変更や再定義によって何が可能になるのか、ということに注目したい。環境教育の目的に適合した教材開発においては、まずは「双方向性」を確保し、情報共有やデータの送受信を瞬時に行えるようにし、また、コミュニケーションを円滑にすることが不可欠といえる。特に、地球環境問題の解決には国際協力が不可欠となる中で、異なる文化や言語の障壁を克服し、環境共同体意識を高めるためのルールや枠組みを検討する上でICT活用の必然性が伴う、と考える。そして、データの民主化が進展する今日状況の中で、情報やデータは専門家だけでなく一般の人々にもアクセス可能とするべきで、「協働性」に重点を置いた開発方針も考えられる。こうした観点から、地域住民、行政、専門家などが参加する議論の場への情報提供がますます重要となり、そして、デジタルとサステナビリティの両面で変革を実現するためには、「誰一人取り残さない」という理念を支える意思決定支援に重点を置き、新しい技術や変化する社会に対応していかなければならないだろう。

IV. おわりに

本研究では、VR教材を用いた教育・学習支援プログラムの全国的動向を調査した結果、様々な分野における教授法やその学習効果が検討されていることが明らかとなった。さらに、仮想空間内での観察や実験を疑似体験する教育実践が見られ、新しい技術を活用した創造的な教育実践が進展していることが示唆された。また、教育実践の有用性だけでなく、VR活用に関する評価や研究の妥当性や真理性などを視野に入れて、独自の評価体系を確立する必要がある。そして、VR酔いやデジタル・ディバイドなどの課題を解消するとともに、一人ひとりの子どもに適切な教育環境を保障し、効果的な学習を提供で

きるかどうかが課題としてある。

また、デジタル技術と持続可能性の重要度が高まる今日の状況の中で、個々人が地域社会の問題を自分の課題として捉え、ICTを活用して解決策を共に考えることが不可欠といえる。住民参加型の環境保全活動や学校等における環境教育の変革を達成するための鍵として、ICT活用による「双方向性」と「協働性」を活かすことが求められ、これらの原則を取り入れたアプローチが有効であるといえる。

今後の研究課題は、環境教育学としての新たなアプローチや学びのビジョンを検討することにある。環境教育における自然体験学習過程論(降旗、2012)⁶⁷⁾を提唱してきた降旗(2022)⁶⁸⁾は、ICTの普及によりもたらされる変化のひとつに、「体験的な(生活世界の)知」の重要性がこれまで以上に増すと考え、「文字や画像・音声・映像など電気信号に変換できる情報の多くがインターネット経由で伝達することができるようになると、逆にそうした方法では伝えること、共有することができない現実に直面する人々の暮らしの営みや自然の息遣い、災害現場のリアリティといった、あらかじめ何らかの意図をもって編集・分断されていない生のままの知がより一層重要なリアリティを持つようになる」、と強調する。以上の問題意識は重要な論点であり、環境教育における「体験」の質を捉えていく視点も必要であるといえる。そして、どのようなルールや枠組みの中でICTを活用した教材を開発し、教育現場へ導入すべきなのか、また、ICTを環境教育学の蓄積の中にかに位置づけ発展させていくのか検討する必要があると考えるが、今後の課題としたい。

謝辞

本研究は、2022年度文部科学省科学研究費(JP22H03788)の助成を受けた。

注

注1 ビジネス+IT、「教育ITソリューションEXPO」レポート、

<https://www.sbbt.jp/article/cont1/32231>、(閲覧日2023.8.31)。

注2 鷹岡ほか(2021)⁷⁾は、Milgram & Kishino(1994)⁶⁹⁾を参考に、VR(仮想世界を対象に没入感の向上やインタラクションの多様化を目指すもの)、AR(仮想世界をフィルタのように現実世界に重ね合わせ、対象物に関する情報の充実化を目指すもの)、MR(仮想世界と現実世界を融合し、インタラクションの多様化とシームレス化を目指すもの)と定義する。

注3 例えば、国立研究開発法人海洋研究開発機構が開発した「深海VR—海底に降り立つ」では、「限られた人しか到達したことのない深海の世界」や「自ら海底に降り立ち深海を探索しているような感覚」を疑似体験できる(https://www.jamstec.go.jp/j/jamstec_news/vr/、閲覧日2023.10.13)。他にも、大学共同利用機関法人自然科学研究機構国立天文台の「4次元デジタル宇宙プロジェクト」では、シミュレーション天文学研究で得られた結果を可視化したVR映像作品を制作し、「宇宙の中に自分がいるかのようなリアルな体験」を提供する(https://4d2u.nao.ac.jp/movies_cat/vr/、閲覧日2023.10.13)。

注4 例えば、エプソン販売株式会社は、株式会社ビーブリッジと連携して、HMD無しで楽しめるVRコンテンツを映像投写することで、幅広い年齢層かつ大人数が体験できる教育環境を実現し、体験学習にとって必要な共同作業を可能とする(<https://www.epson.jp/osirase/2022/220118.htm>、閲覧日2023.10.13)。他にも、リコージャパン株式会社のVRソリューションは、主体的な学習や意欲の向上等を目指して、複数人が同じ仮想空間の中で社会科見学や化学実験の授業を行うなど、共に「体験」することに主軸を置いた幅広い教育サポートを行う。(<https://rdc.ricoh.co.jp/solution/vr-education/>、閲覧日2023.10.13)。

注5 検索ワードを「VR AND 教育/学習」「VR AND 教材」に分けて検索し、それぞれ96件、24件が抽出され、重複する論文を除いた数が101件となる。

注6 検索ワードを「VR AND 教育/学習」「VR AND 教材」に分けて検索し、それぞれ48件、6件が抽出され、重複する論文を除いた数が53件となる。

注7 金城学院大学、東邦ガス株式会社と本学の「火学VR」教材の学習効果に関する共同研究成果が第15回キッズデザイン賞を受賞、<https://www.kinjo-u.ac.jp/ja/news/detail/?id=861>(閲覧日2023.5.16)。

注8 一般社団法人エンターテインメントXR協会では、両眼立体視機器を利用する場合、13歳未

満には保護者に告知と同意を求めることを前提として、7歳未満の児童生徒の利用を避け、連続20分以上の利用には10～15分程度の休憩を必要とし、斜視や複視、その他視力の異常や眼科的疾患のある児童生徒については専門医への相談を求め、そして、利用後に視力について異常が見られた場合早急に専門医の受診を推奨している。

引用・参考文献

- 1) 朝岡幸彦, 「環境教育研究課程論」, 阿部治・朝岡幸彦監修, 降旗信一・高橋正弘編, 『現代環境教育入門(持続可能な社会のための環境教育シリーズ)』筑波書房, pp.207-219(2009).
- 2) 朝岡幸彦, 「自然体験学習の可能性と指導者養成」, 降旗信一・朝岡幸彦編, 『自然体験学習論～豊かな自然体験学習と子どもの未来～』高文堂出版社, pp.213-223(2006).
- 3) 降旗信一・宮野純次・能條歩・藤井浩樹, 「環境教育としての自然体験学習の課題と展望」環境教育, 19(1), pp.3-16(2009).
- 4) 降旗信一・李在永, 「自然体験を責任ある行動へー自然体験学習論一」, 阿部治・朝岡幸彦監修, 朝岡幸彦編, 『入門 新しい環境教育の実践(持続可能な社会のための環境教育シリーズ)』筑波書房, pp.71-102(2016).
- 5) 日置光久, 「学校教育における海洋教育の展開」, 朝岡幸彦・笹川孝一・日置光久編, 阿部治・朝岡幸彦監修, 『湿地教育・海洋教育』筑波書房, pp.69-81(2019).
- 6) 田開寛太郎・中田崇行・九里徳泰, 「樹木同定学習アプリの開発と評価ー環境教育におけるICTの有効性を検討するー」環境教育, 26(1), pp.70-77(2016).
- 7) 鷹岡亮・光原弘幸・瀬戸崎典夫・舟生日出男, 「初等中等教育のデジタルトランスフォーメーション(DX)を実現する技術の動向と展望」日本教育工学会論文誌, 45(3), pp.283-294(2021).
- 8) 佐々木豊志, 「体験とDXをつなぐ新しい学びの構築」, 降旗信一・金馬国晴・加納寛子・佐々木豊志編, 『DX時代の人づくりと学び』人言洞, pp.135-145(2022).
- 9) 柴田隆史, 「学校教育における情報化の推進とVRの活用」映像情報メディア学会誌, 74(1), pp.54-59(2020).
- 10) 山元翔, 「AR/VRの教育・学習支援システムへの利用と課題」教育システム情報学会誌, 36(2), pp.49-56(2019).
- 11) Puentedura, R.R., "SAMR and TPCK: Intro to Advanced Practice", (2010). http://hippasus.com/resources/sweden2010/SAMR_TPCK_IntroToAdvancedPractice.pdf (閲覧日2023.8.30).
- 12) 三井一希・戸田真志・松葉龍一・鈴木克明, 「小学校におけるタブレット端末を活用した授業実践のSAMRモデルを用いた分析」教育システム情報学会誌, 37(4), pp.348-353(2020).
- 13) 原田諭・須賀涼太郎・鈴木健介・北野信之介・坂田健吾・藤本賢司・中澤真弓・小川理郎・横田裕行, 「Virtual Realityを活用した遠隔シミュレーション実習の教育効果ー知識の評価に関する検討一」日本臨床救急医学会雑誌, 25(5), pp.797-805(2022).
- 14) 進士誠一・横堀将司・清水哲也・神田知洋・林光希・安康勝喜・吉田寛, 「Virtual Reality技術を活用した外科系臨床実習」日本医科大学医学会雑誌, 18(1), pp.98-104(2022).
- 15) 織田順・三苦博, 「『VR/AR技術を用いたフィードバック動画教材』による『能動型見学実習』の試み」医学教育, 52(3), pp.253-258(2021).
- 16) 岡本健太郎・荻野恵・伊藤佳史・松寺翔太郎, 「VR(Virtual Reality)技術の医学教育への有効性」日本小児放射線学会雑誌, 37(1), pp.68-74(2021).
- 17) 佐藤礼華, 「3DCG/VRを用いた手術学習支援システム」国際ICT利用研究会研究会研究論文誌2(1), pp.18-22(2021).
- 18) 渋谷寛美・江藤千里・鈴木真由美・今井亮・山下明美・川鍋紗織・横田素美・渋谷賢, 「熟練看護師の看護技術を疑似体験するバーチャルリアリティ教材の開発ー自由記述分析による使用感の評価」日本シミュレーション医療教育学会雑誌, 8, pp.21-27(2020).
- 19) 小水内俊介・近野敦・金井理・浅賀忠義・井上創造・村田恵理・萬井太規・高橋望・二宮伸治・コリー紀代, 「一人称視点で模範手技の追体験が可能な没入型看護教育システム: ESTE-VR」日本シミュレーション医療教育学会雑誌, 7, pp.89-93(2019).
- 20) 竹下悠子・山川みやえ・内海桃絵, 「バーチャルリアリティを用いた手指衛生教材の使用可能性の評価」日本看護科学会誌, 41, pp.234-240(2021).
- 21) 辻慶子・岩田直美・児玉裕美・萩原智子・鷹居樹八子・笹木葉子・長多好恵・松本真希, 「仮想ナイチンゲール病棟を用いた看護教育の試み」Journal of UOEH, 39(2), pp.175-179(2017).
- 22) 高木哲・藤田良治・藤田幸弘・青木卓磨・齋藤弥代子・石原章和・金井詠一・藤井洋子, 「小動物臨床教育におけるバーチャルリアリティ教材の開発及び導入の試み」日本獣医師会雑誌, 74(4), pp.249-254(2021).
- 23) 岡本勝・岩崎幸路・松原行宏, 「物理エンジンを用いた仮想環境における速度制御型マニピュレータによる剛体運動学習インタフェース」ヒューマンインタフェース学会論文誌, 15(3), pp.227-236(2013).
- 24) 鈴木貴・荒木智行・河合克浩, 「視覚障害者のための力覚デバイスによる科学学習支援システムについて」知能と情報, 26(2), pp.581-592(2014).
- 25) 藤澤寛司・濱田健夫・池井寧・北崎充晃, 「食物の旅: 視, 触, 聴覚提示による消化器内での這い回り体験」日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 24(4), pp.337-340(2019).
- 26) バイガルマツァーガン・山田哲也・林部敬吉・

- 中谷広正, 「VRを用いたカエルの解剖実習システムの開発」日本e-Learning学会誌, 14, pp.6-13(2014).
- 27) 岡本勝・石村司・松原行宏, 「ヘッドマウントディスプレイと拡張現実感技術を用いた無機化学学習支援システムの開発」教育システム情報学会誌, 35(4), pp.312-321(2018).
- 28) 田代穂香・小八重智史・瀬戸崎典夫・藤本登, 「全天球型発電所探索アプリの開発およびエネルギー学習における有用性の検討」科学教育研究, 45(4), pp.384-392(2021).
- 29) 庄司真史・小林佑介・河合研志・佐藤友彦, 「視点の水平移動可能なBYOD型地学VR巡検教材の開発」地学教育, 74(1), pp.13-30(2022).
- 30) 瀬戸崎典夫・森田裕介, 「天文分野を事例としたバーチャル環境における学習効果」教育システム情報学会誌, 36(2), pp.57-65(2019).
- 31) 瀬戸崎典夫・富永裕也・森田裕介, 「月の満ち欠けについて学ぶ探索型VR教材の開発」日本教育工学会論文誌, 42(Suppl.), pp.89-92(2018).
- 32) 土手絢心・北村史・瀬戸崎典夫, 「協働的に月の満ち欠けのしくみを学ぶオンライン型VR教材の開発」日本教育工学会論文誌, 45(Suppl.), pp.217-220(2021).
- 33) 田尻圭佑・瀬戸崎典夫, 「HMDを用いた3次元ジェスチャ操作による没入型天体教材の開発」日本教育工学会論文誌, 40, pp.193-196(2016).
- 34) 江本久雄・佐藤華苗子・太田隆夫, 「XRの活用による橋梁点検者支援システムの研究」AI・データサイエンス論文集, 3(J2), pp.145-157(2022).
- 35) 藤本修平・谷口智之, 「3D-VR 塗装シミュレータを活用したスプレー塗装技能研修の開発」日本船舶海洋工学会論文誌, 34, pp.185-195(2021).
- 36) 梁馨・加藤秀雄・橋本宣慶・大川一也, 「仮想環境による手溶接作業の高効率技能訓練」精密工学会誌, 80(10), pp.933-938(2014).
- 37) 梁馨・加藤秀雄・橋本宣慶・樋口静一・大川一也, 「手溶接技能訓練のための簡易VRシステムと実作業との技能レベル比較による有効性の検討」精密工学会誌, 79(7), pp.692-696(2013).
- 38) 龍前三郎・高野航, 「技能実習の導入教育用バーチャルリアリティシステム」工学教育, 68(1), pp.119-121(2020).
- 39) 奥野雄太・鬼塚健一郎・星野敏, 「農村地域の伝統産業の技能の保存・継承におけるヴァーチャル・リアリティ技術の有用性の検証—和歌山県みなべ町の製炭技術を事例として—」農村計画学会誌, 39(Special_Issue), pp.164-174(2020).
- 40) 伊藤豊・竹内誠人・見上柊人・川村洋平, 「資源開発教育用VR教材の開発およびVR教材を利用した授業の定量評価」Journal of MMIJ, 136(5), pp.33-39(2020).
- 41) 藤本卓・川上博之・寺嶋浩介・小清水貴子, 「児童生徒の被爆遺構巡りによる現在と過去をつなぐ視点獲得を支援するVRを用いた学習環境の開発と評価」日本教育工学会論文誌, 37(Suppl.), pp.121-124(2013).
- 42) 藤本卓・小清水貴子・倉田伸, 「共感性がVR平和コンテンツ視聴に与える影響の国際比較」日本教育工学会論文誌, 44(Suppl.), pp.157-160(2021).
- 43) 瀬戸崎典夫・吉富諒・岩崎勤・全炳徳, 「全天球パノラマVRコンテンツを有する平和教育教材の開発」日本教育工学会論文誌, 39(Suppl.), pp.85-88(2016).
- 44) 瀬戸崎典夫・佐藤和紀, 「平和教育実践における全天球パノラマVR教材の効果的な活用に関する検討」教育メディア研究, 23(2), pp.15-24(2017).
- 45) 瀬戸崎典夫・池見菜穂・北村史, 「模型配置と連動した没入型タンジブル平和学習用VR教材の開発」日本教育工学会論文誌, 45(Suppl.), pp.49-52(2021).
- 46) 長谷川裕修・菅原梓・葛西誠・田村亨, 「教育効果の持続性と行動変容に着目した交通安全危険予知訓練の評価」交通工学論文集, 8(2), pp.A_141-A_148(2022).
- 47) 長谷川裕修・千葉優唯・葛西誠・田村亨, 「実写交通安全KYT教材のメディア形態による教育効果の違い」交通工学論文集, 7(2), pp.A_193-A_200(2021).
- 48) 塩田悠介・瀬戸崎典夫, 「バーチャル環境における街づくりを通じた交通安全教育の実践—学習者の日常生活における思考や行動との関わりに着目して—」科学教育研究, 44(4), pp.243-253(2020).
- 49) 永井徹・田部井優也・渡邊浩大・長田哲平・大森宣暁・新吉高, 「軌道系交通との接触事故防止を目的とした3DVVRコンテンツの効果に関する研究」交通工学論文集, 6(4), pp.A_14-A_21(2020).
- 50) 海老原誠治, 「持続可能性のための食育プログラムの開発と実践—和食文化と敬意を軸として—」日本調理科学会誌, 54(6), pp.274-279(2021).
- 51) 河原ゆう子・清水彩子・丸山智美, 「バーチャルリアリティを用いた火の学び教材が私立女子高校生の調理実習時の行動と学習到達度に及ぼす影響」日本家政学会誌, 72(3), pp.140-151(2021).
- 52) 清水彩子・丸山智美・河原ゆう子, 「加熱調理における火の学びICT教材の学習効果—VR教材と動画教材の比較—」日本家庭科教育学会誌, 64(4), pp.288-299(2022).
- 53) 佐久間大輔・石田惣一・石井陽子・釋知恵子・山中亜希子・北村美香, 「COVID-19状況下での教育活動へのデジタル映像配信活用とその課題: 大阪市立自然史博物館での実践例から」デジタルアーカイブ学会誌, 6(2), pp.e1-e10(2022).
- 54) 白井昭子・佐藤克美・堀田龍也, 「中学校美術科の鑑賞の授業におけるVR教材の活用に関する一検討」日本教育工学会論文誌, 42(Suppl.), pp.105-108(2018).
- 55) 加藤亮介・新行内康慈・安達一寿・川瀬基寛・

- 結束孝典, 「対話的な学びを支援するVR型教材の開発と評価」教育情報研究, 35(3), pp.31-44(2020).
- 56) 見城佑衣・大山牧子, 「震災を題材としたICTを用いた探究学習プログラムの開発と実践」日本教育工学会論文誌, 45(3), pp.305-317(2021).
- 57) 新保泰輝・寺山一輝・越野亮・沖野浩太郎・荒木光一・吉田龍史, 「VRコンテンツを用いた防災教育アプリケーション『防災すごろく』の開発とその教育効果」土木学会論文集H(教育), 78(1), pp.1-9(2022).
- 58) 冬野美晴・山下友子, 「360度没入体感型バーチャルリアリティ技術を用いた英語パブリックスピーキング練習用システムの開発」LET Kyushu-Okinawa BULLETIN, 20, pp.11-25(2020).
- 59) 瀧島大地・中山洋・松田稔樹, 「VRの鏡的利用法を用いた情報モラル指導システム」シミュレーション&ゲーミング, 27(2), pp.111-119(2018).
- 60) 松田洋・大山麻里・野口祐子・糸野文洋・山地秀美, 「『心のバリアフリー』啓発のためのVR映像コンテンツ制作プロジェクト演習の実践」工学教育, 70(3), pp.3_83-3_88(2022).
- 61) 古野友也・王東皓・藤田智・尾身優治・大河原一輝・白鳥和人・西崎博光・宇津呂武仁・星野准一, 「対話型顧客アクターによるシナリオベース接遇訓練システム」芸術科学会論文誌, 21(2), pp.46-54(2022).
- 62) 白山靖彦・湯浅雅志・榎森節子・北村美渚・後藤崇晴・寺西彩・柳沢志津子・竹内祐子・市川哲雄・白谷佐和子, 「地域住民の認知症者に対する理解の促進と偏見の軽減・除去に関するバーチャルリアリティ技術の応用と有用性」日本老年医学会雑誌, 56(2), pp.156-163(2019).
- 63) 佐藤和彦・倉重健太郎・岡田吉史・佐賀聡人, 「VRソフトウェア開発環境『仮想現実工房』の構築と問題解決型演習への活用」日本教育工学会論文誌, 35(4), pp.389-398(2012).
- 64) 竹下俊治・雑賀大輔・吉富健一, 「VR技術を用いた理科教材の開発と諸課題の検討」学校教育実践学研究, 26, pp.9-14(2020).
- 65) 中村和彦・斎藤馨, 「映像アーカイブを素材としたフェノロジー観察教材の開発方針」環境教育, 23(3), pp.81-92(2014).
- 66) Géraldine Fauville, Anna C. M. Queiroz, Linda Hambrick, Bryan A. Brown & Jeremy N. Bailenson., "Participatory research on using virtual reality to teach ocean acidification: a study in the marine education community", Environmental Education Research, 27 (2) , pp.254-278(2021).
- 67) 降旗信一, 『現代自然体験学習の成立と発展』風間書房, 252pp.(2012).
- 68) 降旗信一, 「DX時代にいきる人づくりと学びの創造」, 降旗信一・金馬国晴・加納寛子・佐々木豊志編, 『DX時代の人づくりと学び』人言洞, pp.135-145(2022).
- 69) Paul Milgram, Fumio Kishino, "A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays", IEICE Transactions on Information and Systems vol. E77-D, 12(12), pp.1321-1329(1994).