

紹介

メタバース/VR技術により加速する教育DX

雨宮 智浩

(東京大学教授)

目次

- I はじめに
- II メタバース/VR技術
- III 教育への活用
- IV 応用への課題
- V おわりに

I はじめに

2022年はメタバース元年と呼ばれ、世間の注目が大きく集まった。Apple社のiPhoneをはじめとするスマートフォンの登場でその前後と生活が大きく変わったように、メタバースの活用がこれからの生活や労働を大きく変えるのではないかと期待が高まっている。特に2016年頃からの高性能で廉価なVRデバイスの登場や、2020年頃からのリモート、オンライン化によってメタバースが基礎研究やゲームの領域から、日常生活のさまざまなシステムに拡張し、我々の暮らしを変革する段階に入っている。大学教育を始めとするさまざまな学習場面や訓練の場面で、現在進んでいる教育DXを加速させる役割をメタバースが果たすことは想像に難くない。

本稿では、筆者がこれまで取り組んできたメタバースやVRを用いた実験的活動や教育への応用事例から、来るべきメタバース活用社会における効果と課題を述べ、展望をまとめる。

1 メタバースとは

メタバースは1992年に発表されたSF小説*Snow Crash*で最初に使われた。作者のNeal Stephensonがその再版(2003)に書いたあとがきでは、「アバタとメタバースという単語は私の発明である」ことと、その理由が「すでに存在しているバーチャルリアリティ(VR)などの単語がすっかりこない、あるいは気に食わなかった」と述懐している。つまり、もともとのメタバースとVRの思想はもともと同じ起源から生じている。VRとは「みかけや形は原物そのものではないが、本質的あるいは効果としては現実であり原物であると感じさせる技術」のことである。日本語訳をあえて当てはめるとすれば、「実質的現実」や「人工現実感」が適切であろう。VRという言葉は2016年にコンシューマ向けのHMD(ヘッドマウントディスプレイ)などのVRデバイスが発売されたことで再び注目を集めたが、視覚情報だけでなく、五感のすべてに人工的な感覚を創り出す工学的な技術を指す。同様にメタバースも視覚だけでなく、五感のすべてを通じた没入体験を理想形と考えるのが妥当である。

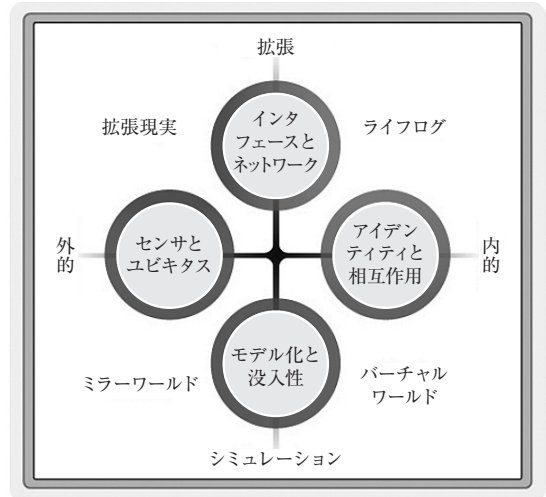
なお、辞書的にはメタバースの“Meta”はギリシャ語ではbeyond, afterを意味する。“verse”はUniverse(宇宙)から来ているとされている。“Uni”は「単一の」という意味であるため、Universe

には「単一の世界」「唯一の世界」という意味合いが含まれている。それに対して、Metaverseはその単一の世界を「超える世界」あるいは「その後に来る世界」のことを指す。

2021年10月にFacebookの創業者Mark Elliot Zuckerberg氏がソーシャルメディアの会社からメタバースの会社になると宣言し、社名をメタ(Meta Platforms, Inc.)に変更した。その宣言を含む講演中ではことさらメタバースという単語が強調されたこともメタバースに注目が集まった理由である。しかし、多くの定義が試みられているが、いまだ合意には至っていない。ここでは、2021年以前の代表的な定義として、日本バーチャルリアリティ学会が編集した教科書『バーチャルリアリティ学』(日本バーチャルリアリティ学会2011)と、メタバースに関する未来予測の白書『A Metaverse Roadmap: Pathways to the 3D Web』(Smart, Cascio and Paffendorf 2007)からメタバースの定義を整理する。

『バーチャルリアリティ学』の中では、メタバースは「3次元シミュレーション空間を持つ」「自己投射性のためのオブジェクトアバタが存在する」「複数のアバタが同一の3次元空間を共有することができる」というVRの3要件を基礎に置いている。その3要件に加えて、「空間内にオブジェクト(アイテム)を創造することができる」を加えた4要件がメタバースの特徴だと述べられている。この書籍が出版された2010年は後述するセカンドライフのブーム以後であり、それを受けての定義と言える。一方で、『メタバース・ロードマップ』では、「バーチャルに拡張された物理空間」と「物理的に永続なバーチャル空間の集合」と定義されている。ここでは、サイバー世界だけにとどまらず、物理世界の領域も含めていることが特徴である。図1は『メタバース・ロードマップ』において未来予測を行うための整理に用いられたシナリオマップ用の二軸図で、縦軸は物理的な世界に対する意識の大きさを表し、物理世界とサイバー世界の軸と考えることができる。横軸は自分を中心にみるか(intimate)、外部の環境を中心にみるか(external)の軸になる。ここでは、VRだけでなく、この4象限を自由に行き

図1 メタバース・ロードマップ



来できること、相互に作用することが特徴であると言える。

2022年以降はVRだけでなく、本来メタバースとは関係のないブロックチェーン技術、NFT(Non-Fungible Token: 非代替性トークン)やWeb3といった周辺領域からもメタバースに注目が集まり、その必要要件や定義は用いられる分野ごとに異なるようになった。米国の投資家Matthew Ballは自著『ザ・メタバース 世界を創り変えしもの』(ボール2022)の中でメタバースを「リアルタイムにレンダリングされた3D仮想世界をいくつもつなぎ、相互に連携できるようにした大規模ネットワークで、永続的に同期体験ができるもの。ユーザー数は実質無制限であり、かつ、ユーザーは1人1人、個としてそこに存在している感覚(センス・オブ・プレゼンス)を有する。また、アイデンティティ、歴史、各種権利、オブジェクト、コミュニケーション、決済などのデータに連続性がある。」として定義している。

また、メタバース文化を発信しているバーチャル美少女ねむは自著『メタバース進化論』(バーチャル美少女ねむ2022)の中で、前述の『バーチャルリアリティ学』の4要件に加え、1.空間性、2.自己同一性、3.大規模同時接続性、4.創造性、5.経済性、6.アクセス性、7.没入性の7要件を満たすオンライン仮想空間として定義している。

これらの代表的な定義に共通するように、メタバースは「オンラインで社会的活動が可能な3次元バーチャル空間」であることが広く合意が取れている定義の一つである。さらに言えば、あるシミュレーションが実装された空間の中で同時に複数のユーザが同一の3次元空間を共有し、自己が投射されたアバタが存在し、その空間内にオブジェクトを創造することができるものである。その中で、経済活動などが発生することは自然である。3次元空間に参加するためにHMDが有効な手段であるが、必須ではない。また、参加にあたり暗号資産を準備することもごく一部を除いて必要ない。

2 メタバースの現在地

最初にメタバース的なサービスが注目されたのはセカンドライフ (Second Life) が登場した2003年頃である。セカンドライフはLinden Lab社によって開発され、登場してすぐに多くの利用者を集め、最大で100万人を超えるユーザが参加したと言われている。バーチャルな土地が投機対象になるなど大きな盛り上がりを見せたが、2000年代後半になるとセカンドライフの住民で中心的であった資産家が、周辺経済の要因などさまざまな観点から撤退を判断した。それに伴って住民が減ったことで、民間企業も撤退し、その魅力がシュリンクしたような印象が残った。

世界的には「セカンドライフは失敗だった」と捉えられているものの、2023年現在でもアクティブユーザ数は約50万人、常時同時接続数でも約2万ユーザ、年間約6億ドルのGDPに上るなど、ユーザ数や経済規模から見るとむしろ世界で最も成功しているとも言える。当時はまだ十分高いスペックのPCを持っている利用者が少なかったということもあり、ブームに対する一方的な失望感が失敗という印象を生んだと考えられる。近年はCOVID-19禍やHMDの登場などを経て、オンラインの活動やアバタの使用に対する社会的許容度が変わったことがメタバースへの機運の高まりを支えている。

ゲームの分野では『ファイナルファンタジーXIV』(2010)、『あつまれ どうぶつの森』(2020)も

メタバース的な交流を生み出したと言える。米Epic Gamesの『Fortnite』(2017)はプレイヤー同士の勝ち残りを目指すバトルロイヤルゲームとして人気を集めたが、それとは別に独自のステージを作る機能を利用した交流も盛んである。パーティーロイヤルと呼ばれるソーシャルプラットフォーム化が進み、多くのオンラインライブも開催されるなど、バーチャルイベントのプラットフォームとしての活用も期待されている。

『Roblox』(2006)や『マイクラフト』(2009)は主たるクエストや目的のない、サンドボックスゲームと呼ばれる。Robloxではユーザが『Roblox』上でゲームを開発、配信し、ゲーム内の通貨を通して収益化でき、『マイクラフト』はブロックチェーン技術にも積極的に取り組み、『マイクラフト』上にデジタル資産の導入や開発を進めている。このようにこれらは自分でオリジナルゲームを制作して公開する仕組みを使って大きく発展し、ゲーム内で経済圏が発生しつつある。ある「型」をもとにユーザにカスタマイズさせるメタバース的なサービスがMMO(複数同時参加型オンライン)ゲームでは生まれている。

ゲーム発展型とは異なる流れとして、VR SNSやソーシャルVRとして人気を博しているVRChatやCluster, NeosVRなどのさまざまなサービスやプラットフォームが存在する。これらはSNS(ソーシャルネットワークサービス)の3次元版ともいえるべきもので、「型」の中で用意されたものではない自分のアバタを使えることとHMDを用いた没入感の高さが差異として強調されている。ソーシャルVRは専用のアプリケーションをインストールして使用するもの、Webブラウザのみでできるもの、アカウントが必要なものなどがある。ソーシャルVRサービスには、配信機能が充実したもの(たとえばバーチャルキャスト)や、イベントの機能が充実したもの(たとえばCluster)、ユーザがアバタやVRワールドをカスタマイズできる自由度が高いもの(たとえばVRChat)などの特徴が異なるものがある。

3 メタバースと教育

メタバースの応用分野として教育や訓練は有力

視されている。メタバースを活用することで、物理世界では実現が不可能だったり、費用的に難しかったりといった教育コンテンツが可能となる。また、さまざまな事情で学習の機会が制限されている学生に対して、メタバースは新しい学びの場を提供できる。また、アバタと呼ばれる分身による効果も報告されている。

メタバースを使った教育応用は、いわゆる座学の授業から、体験型の授業までさまざまな形式でメタバースを活用することができ、ロールプレイングによる他者理解や技能習得も特徴的な応用例であると言える。

II メタバース/VR 技術

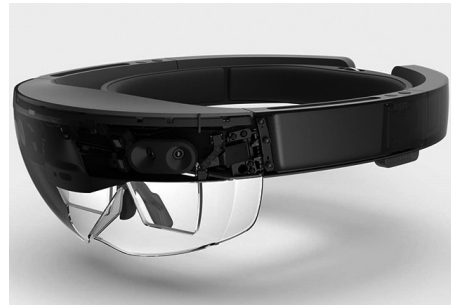
VRにおけるアイコンニックな存在がHMDである。本来はHMDを用いないVRやメタバースも存在するが、ここではHMDを中心としたVR体験から現状を整理する。1980年代にも市場にHMDが登場していたが、装着するには大型で、解像度や視野も十分でなく、100万円以上する高価なものであった。しかし、2010年代になるとスマートフォンの進化に伴って、低価格で高性能のHMD「Oculus Rift」が登場した。低価格化の実現のためにOculus Riftでは、凸レンズを両目で2枚のみにし、そのまま映すと歪んでしまう映像を逆算して最初から歪ませて液晶に表示するという方法で設計された。その後、Play Station VR (PSVR) などのVRデバイスが相次いで登場した。

技術的な側面では、HMDはビデオシースルー型と光学シースルー型の2種類のディスプレイが中心となっている。光学シースルー型ディスプレイは、レンズ越しに自分の周囲にある景色と、プリズムやハーフミラー（半透明鏡）などの光学系を用いた電子的なディスプレイの映像とを重ねるディスプレイで、Microsoft HoloLensがその代表例である（図2a）。光学系の技術的な制約により視野角が狭く、輝度が下がってしまうこと、映像が半透明な像として実世界上で重なること、黒色を表示することが技術的に難しいことが知られている。

それに対して、ビデオシースルー型ディスプレイはパススルーとも呼ばれ、HMDの正面に設置されたカメラで実世界の景色を撮影し、そこにコンピューターで生成したデジタル情報を重畳表示させる。ビデオシースルー型ではビデオカメラで撮影した映像にデジタルコンテンツを合成させ、リアルタイムで表示させているため、その処理時間分だけ表示にタイムラグが発生する。また、光学シースルー型と異なり、カメラの光軸とHMD装着者の視線が完全に一致しないため、違和感が生じる場合がある。現時点では、没入型の多くのHMDではビデオシースルー型が採用されている（図2b）。

図2 VRデバイスの代表例

(a) Microsoft HoloLens



(b) Oculus Quest Pro



アバタはソーシャルVR空間の中では自分の分身として出現する存在やキャラクターである。頭部や手先のトラッキングはメタバースのアバタに反映されるために非常に重要な技術項目である。一般的には慣性センサや光学式センサを用いてVRヘッドセットやコントローラの姿勢が推定されるが、カメラやセンサをHMDに組み込むか、環境に設置するかによって方式が用いられる。

メタバースプラットフォームではそれぞれの空間ごとにさまざまなアバタが利用できる。アバタのカスタマイズの度合いはサービスやプラットフォームごとに異なる。たとえば3Dゲームなど

では、ゲーム会社の用意したワールド、アバタ、アイテムなどの3Dモデルと、操作に応じた既定のアニメーション再生などが用意されている。一方で、ユーザが作成したコンテンツ（UGC）によるさまざまなテクスチャ、メッシュ、ポリゴン数の3Dモデルと、フルトラッキング技術を用いた動的な動作を反映できるものもある。物理世界の見た目に似せたアバタを写真から作成するサービスもある。

さらに、アニメ調やカートゥーン調ではなく、写真からフォトリアルなアバタを作って利用することもできる。一方で、アバタは年齢や性別、体型など物理世界と異なるものでもよい。VTuberのようにスマートフォンでもリアルタイムでウェブカメラの映像にさまざまな加工処理ができるアプリは人気となっており、同様の機能がバーチャルカメラとしてビデオ会議システムでも使えるようになってきている。アバタ化技術はアイデンティティを抽象化し、隠蔽・編集できるため、顔映像が配信されることで生まれる恥ずかしさや遠慮は、別の身体をまとうVR空間では排除できる。

Ⅲ 教育への活用

1 アバタを活用した教育

Zoom や Teams などの遠隔ウェブ会議システム

を使った打ち合わせや授業は、対面を代替するものとして、広く基盤化した。一方で、さまざまな理由で顔を画面に出したくない参加者はビデオカメラをオフにすることが多く、コミュニケーションの活性化において課題となっている。これに対して、アバタの姿で配信を行うVTuberのようにアバタやキャラクタを用いることで、顔出しすることの恥ずかしさや遠慮を排除できる可能性が指摘されている。さらに、物理世界での対面授業では全く喋らない学生が、アバタを纏うことで饒舌になったという報告もある。

このような点を鑑み、アバタを活用した授業を実践してきた。Zoomの授業で講師のアバタをディープフェイク技術で他人の顔にすり替えて実施した授業では、講師の「顔」に応じて授業中の発言数、さらに言えば積極性に影響が出ることがわかった（図3）。他にも講師の顔を織田信長に変えて歴史の授業を行うなど、コンテンツとアバタをうまく組み合わせることや、講師アバタの見た目を優しくしたり、厳しくしたりするといった、対面講義では実現できない教育方法がVR技術を使うことで可能となる。

さらに、ソーシャルVRサービス（メタバースプラットフォーム）を使った授業も実践してきた。これまでに2020年から東京大学の大学院生向けの講義をMozilla HubsやVRChat、あるいはClusterで実施している（図4）。遠隔ウェブ会議

図3 講師アバタを切り替えた授業



出所：兩宮・青山・伊藤（2021）

図4 メタバース空間で実施した授業の様子



出所：雨宮（2021）

システムと異なり、好きな場所に移動して授業を受けられたり、隣の学生と小さな声で話ができたり、といった使い方が可能である。また、ソーシャルVRサービス内では、講師も受講生も思い思いのアバターを着用して授業に参加できる。教室も自由に設計でき、講師はHMDを装着していても自分の様子がわかるように頭上に大きな鏡が設置されるなど、VR空間の空間に必要な工夫が施せる。

座学の授業であれば、遠隔ウェブ会議システムでもスライド共有などが問題なくできるため、メタバースを使う必然性はない。むしろ、メタバースが活きるのは、受講生との交流やディスカッションのような場で、より豊かなコミュニケーションを実現するためのアバタの身体性や、各受講生がアバタとなって自由に動き回って他の受講生と交流できる空間性が十分使えるときである。実際にメタバースで授業を行ったときには、テレビ会議システムを使った授業ではあまりなかったことであるが、授業が終わってから多くの学生が質問に来たことから講義前後のディスカッションでは有効に機能するといえる（雨宮・相澤2022）。

筆者の所属する東京大学では、2022年9月にメタバース工学部を工学部・工学系研究科が開講した。主に工学分野について学ぶ講座からなる教育プロジェクトで、一部の講座ではメタバースに関する講義も実施されている。メタバース工学部

ジュニア講座で筆者らが開講した「メタバースを作ろう」では1000名以上の受講希望があり、中高生を中心に小学生から保護者や学校教諭、定年退職された方まで幅広い対象が授業を受講した。他にも角川ドワンゴ学園が運営するN高やS高でも学生がアバタを操作して授業を受けている。米国スタンフォード大学では2021年から講義「Virtual People」がEngageというVR教育プラットフォーム内で行われ、人種的不平等の疑似体験やディスカッションが実施されるなど、世界的に取り組みが進んでいる。

2 ロールプレイング型教育

VRではシミュレーションの活用が黎明期から盛んで、物理計算や化学反応のシミュレーションなどで用いられ、可視化によって理解の促進を助けてきた。設備や化学物質などが不要となり、低コストで導入できることや危険性が無いことが長所となる。ほかにもシステムにおけるシミュレーションにも導入されてきた。たとえば、パイロットのための飛行機の操縦シミュレータでは、航空操縦士の免許更新時に飛行訓練時間にフライトシミュレータの訓練時間を算入できるほど、信頼され、定着している。また、自動車運転免許の教習所における高速道路の運転シミュレータは現在、多くの場所で利用されている。これらのように、教科書やマニュアルを読んでもなかなか実感がわからないことを、事前にVRで訓練するという使わ

れ方がある。さらに、さまざまな失敗体験のシミュレーションが提供できるため、実際に現場に出たときに慌てることなく柔軟な判断ができるようになることが期待される。VRシミュレーションを用いた疑似体験は対面の「代替」ではなく、対面に向けた準備の場、経験を積む場と考えるのが適当である。

もともと、医師やパイロットなどの高度な技術を有する職種が対象であったが、高性能で廉価なHMDが浸透したことで、さまざまな職種に広がりを見せている。たとえば、消防士の消火訓練や判断の訓練や、サービス業の窓口対応などへの活用が検討されている。このように、他の教育・訓練においてもVRの疑似体験を活用した研修は広がると期待される（東京大学バーチャルリアリティ教育研究センター編 2022）。

3 野外学習

Iで紹介したメタバース・プラットフォームでの定義のように、サイバー空間と物理空間の接続はメタバースに関連する研究領域においても注力が進んでいる。たとえば、「PEACE PARK TOUR VR」は広島が一瞬にして焼け野原になった1945年の原子爆弾の投下から現在の復興に至るまでを現地のガイドと巡るツアーである。広島市の平和記念公園で現地のガイドとともにHMDを使って体験できるVRツアーで、2021年8月

から実施されている（図5）。ゴーグルを掛けると1945年の広島が見えるというタイムマシンの要素のあるVRコンテンツである。このように歴史的に意味のある場所に行き、その場所で時間を超えた体験を付与し、記憶として現実を持ち帰り可能なことはメタバースならではの体験といえる。

博物館や美術館のように収蔵品を3次元データとして保存するデジタルアーカイブは、次の世代に知識や文化などを伝承していく新しい手段として注目されている。オリジナルの文化財を公開することは、必然的に劣化や破損のリスクを抱えるが、デジタルアーカイブではこの問題を解決するだけでなく、自由な視点で文化財を鑑賞することもできるようになる。

また、博物館自体を360度カメラなどで3次元モデル化し、内部を移動しながら展示物を鑑賞することも可能となっている。国立科学博物館や米国ワシントン州にあるスミソニアン博物館でも実写の全天周動画をういたツアーが配信されている。

デジタルアーカイブやシミュレーションの規模を大きく広げ、物理世界の情報をデジタル上でまるで双子のようにそっくり再現したものはデジタルツインと呼ばれる。デジタルツインは3次元空間にオブジェクトを再現し、物理世界の情報をモニタリングしてサイバー空間に反映させ、さらにその状態から物理世界にフィードバックすることができる。デジタルツインもメタバースの一部と定義でき、交通渋滞や気象のシミュレーションなど大規模な教育を行う上で重要なデジタル世界となる。

IV 応用への課題

ソーシャルVRプラットフォームには、それぞれの特徴ごとに手軽さと体験の質などのトレードオフがある。たとえば、オープンソースで開発されたMozilla Hubsは特別なアプリケーションをインストールすることなく、一般的なブラウザ上で動作するプラットフォームである。そのため、VR端末だけでなくスマホやタブレットなどのマ

図5 PEACE PARK TOUR VR



ルチデバイス環境で動作する。そのため、お試しの授業などで Hubs は有効であるが、そこで得られる VR 体験には制限があり、現時点では簡略化されたモデルが中心であるため、低い臨場感やリアリティ故に二度と使われなくなる可能性もあり、丁寧な説明が必要である。ユーザ間でも多様な VR 視聴形態と機能の異なるソーシャル VR プラットフォームの組み合わせがあり、どのように VR 体験をデザインすべきかに留意する必要がある。

HMD を使った VR 体験では VR 酔い (cybersickness) と呼ばれる課題もある。VR 酔いは体験中や体験後に、めまいや不快感が現れることで、乗り物酔いに似たような症状の総称である。同じ装置や体験でも酔いの強さは個人差が大きく、HMD を用いた学習では以後の VR 体験を拒絶する学生が出てくることもある。症状の類似性から乗り物酔いと同一メカニズムで発症すると考えられている。大画面のスクリーンで手ブレのあるようなビデオ映像を見るときに生じる映像酔いも VR 酔いと関係している。VR 酔いの根本的な発生メカニズムはまだ完全に解明されていないが、対策は精力的に研究が進められている。

HMD は過去の研究から見れば小型軽量化し、装着時の重量バランスなどが考慮されているものの、長時間利用するにはまだ大きく重い。眼鏡型の中には 100g を切るような軽量なものも市販されてきたが、さらなる軽量化が求められる。

アバタやモデルの相互運用性も大きな課題である。3D モデルのデータを取り扱うファイルフォーマットは FBX や OBJ, GLB などいくつかの標準規格があるが、アプリケーション毎の互換性が不完全であることや、モデリング手法やモデリングツールに応じて 3D データに細かい差が生じる。そのため、ヒト型の 3D データを複数のメタバースプラットフォームで取り扱う際には、細かい調整やシステムの再構築が必要となる。国内では人型の 3D モデルデータを扱うためのファイルフォーマットとして VRM 形式が 2018 年に策定された。このフォーマットでは、作ったアバタの権利についてアバタの作者が利用者や操作者に対してアバタの「人格」の許諾範囲を設定できるこ

とも特徴である。ただし現時点では VRM は国内向けが中心で、海外を含めると標準は FBX 形式となっている。

デジタルアイテムの所有権については NFT が注目されているが、NFT そのものは「所有していること」を証明するもので、デジタルコンテンツの著作権を所有したことにはならない。著作権を所有していないので、購入者がコンテンツの改変・複製やインターネット配信などを行うには著作権者の承諾が必要となる。こうした課題を踏まえた上で、メタバース内での 3D コンテンツに NFT を付与する試みに向き合う必要がある。

V おわりに

COVID-19 禍を機に 10 年を要すると言われたオンライン化が数カ月で進展した (東京大学情報理工学系研究科編 2020)。大学でもリモート講義が全面的に導入され、初等教育でも欠席者のためにリモート講義が導入された例がでてきた。リモートやオンラインが根付いた社会は、物理空間の拡張として VR やメタバースの活用が次のステップであると考えられる。ここで重要なことは、単なる現実の代替ではなく、「VR/メタバースならではの」仕組みである。たとえばいくつかの大学では VR やメタバースを講義や教育に使う試みは行われているが、残念ながら、VR やメタバースの良さを活かしていない (雨宮 2023)。試行錯誤しながら使ってみるという段階を経るのはどの技術でも行われることだが、なぜ VR やメタバースを使うのか、手段の目的化になっていないかを考える段階に来ている。たとえば、物理世界での拘束に影響されない体験はメタバースの特徴と言える。トラッキング技術をうまく使えば、アバタという身体と物理的な身体の間を自由に設計できる。こうしたメタバース/VR ならではの活用が一時的なブームで終わるかの分岐点である。

謝辞 本研究の一部は JSPS 科研費 21H04883 の支援を受けたものである。Zoom での実験講義の遂行は東京大学情報理工学系研究科研究倫理委員会の承認 (審査番号 UT-IST-RE-200430-1) を受けて、実施された。PEACE PARK TOUR VR は株式会社フジタならびに株式会社キャドセンターとの共同研究の成果であ

る。実験的 VR 講義に参加してくれた学生一同に感謝する。

参考文献

- 雨宮智浩 (2021) 「東大 VR センターによる VR 技術を活用したオンラインライブ講義の実践」『映像情報メディア学会誌』 Vol. 75, No. 6, pp. 697-701.
- (2023) 「アバター化技術による教育効果への期待——メタバースは一時的な流行に終わらない」『中央公論』2023 年 2 月号, pp. 128-135.
- 雨宮智浩監修 (2022) 『メタバースでできる 100 のこと』宝島社.
- 雨宮智浩・相澤清晴 (2022) 「リアルとバーチャルが融け合う拠点——東京大学 VR センターの取り組み」『大学時報』 Vol. 71, No. 406.
- 雨宮智浩・青山一真・伊藤研一郎 (2021) 「遠隔講義における講師アバタの見かけによって変化する受講希望度が授業への積極的参加行動に与える効果——オンライン授業への導入事例」『日本バーチャルリアリティ学会論文誌』 Vol. 26, No. 1, pp. 86-91.
- 東京大学情報理工学系研究科編 (2020) 『オンライン・ファースト——コロナ禍で進展した情報社会を元に戻さないために』東京大学出版会.
- 東京大学バーチャルリアリティ教育研究センター編・廣瀬通孝監修 (2022) 『トコトンやさしい VR の本 第 2 版』日刊工業新聞社.
- 日本バーチャルリアリティ学会編・館暲・佐藤誠・廣瀬通孝監修 (2011) 『バーチャルリアリティ学』コロナ社.
- バーチャル美少女ねむ (2022) 『メタバース進化論——仮想現実の荒野に芽吹く「解放」と「創造」の新世界』技術評論社.
- ポール, マシュー/井口耕二訳 (2022) 『ザ・メタバース——世界を創り変えしもの』飛鳥新社.
- Smart, John, Cascio, Jamais and Paffendorf, Jerry (2007) “A Cross-Industry Public Foresight Project,” in A Metaverse Roadmap: Pathways to the 3D Web. https://web.archive.org/web/202300000000000*/https://www.metaverseroadmap.org/

あめみや・ともひろ 東京大学情報基盤センター教授、総務省「Web3 時代に向けたメタバース等の利活用に関する研究会」構成員、JST 創発研究者、博士 (情報科学)。近著に『メタバースの教科書』(オーム社, 2023 年)。バーチャルリアリティ学専攻。