

タイトル	XRデバイスを活用した教育用コンテンツの開発に向けて
著者	喜田, 拓也; KIDA, Takuya
引用	北海学園大学工学部研究報告(52): 63-76
発行日	2025-01-10

XRデバイスを活用した教育用コンテンツの開発に向けて

喜 田 拓 也*

Toward the Development of Educational Content Using XR Devices

Takuya KIDA*

要 旨

XR（クロスリアリティ）とは、現実世界とデジタルな仮想世界を融合させる技術の総称である。既存のVR（仮想現実）、AR（拡張現実）、MR（複合現実）などを含む、幅広い用語として用いられている。2010年代より始まった第2次VRブーム以降、多種多様なXRデバイスが開発され、近年では高性能なXRデバイスも登場するようになってきている。本稿では、それら各種XRデバイスを紹介するとともに、XRデバイスを用いた教育用コンテンツの開発を目指して取り組んできた個々の成果について概説する。また、XRデバイスの課題と展望について議論を行う。取り上げるXRデバイスは、3Dプリンター、3Dスキャナー、空間再現ディスプレイ、モーションキャプチャデバイス、VR/ARヘッドマウントディスプレイ、MRレンズなどである。

1. はじめに

広義に解釈すると、XRとは、コンピュータ上のコンピュータグラフィックス（CG）として取り扱われる仮想空間のオブジェクトと我々人間との相互作用を深化させる技術であると捉えられる。現実の空間は3次元的な広がりを持っており、人は五感を通じてその現実空間を認識している。XRデバイスは、仮想空間と現実空間との間で3次元のオブジェクトをやり取りし、人間の五感に認識させたり現実の物体を仮想空間上に配置したりする。たとえば、VRヘッドマウントディスプレイは人の視界を完全に覆うゴーグルのような形状をしており、仮想空間の景色をゴーグル内のディスプレイに視差をつけて投影することで、あたかも仮想空間内

* 北海学園大学工学部生命工学科

* Department of Life Science and Technology, Faculty of Engineering, Hokkai-Gakuen University

に自分がいるかのような没入感を得ることができる。また、スマートフォンのARアプリでは、カメラで撮影した現実の風景にCGのオブジェクトを重ねて表示することで現実空間にCGインタフェースの機能を付与し、あたかも現実空間を拡張したような印象をユーザーにもたらし、このような観点からは、仮想空間上の3Dオブジェクトを現実空間に出力する3Dプリンターや、逆に現実空間の物体の形状を仮想空間上に取り込む3DスキャナーもXRデバイスの一種であるといえる。

一般向けのXRデバイスの先駆けとしては1995年に任天堂から発売されたバーチャルボーイ^{*1}がある。バーチャルボーイは、同社の代表的な家庭用ゲーム機であるファミリーコンピュータ^{*2}とは異なり、テレビに接続せずに電池によって単体動作するVRデバイスである。据え置き型の赤いゴーグル型の形状で、ゴーグルをのぞき込んでゲームをプレイする。視差付きの映像をゴーグル内のディスプレイに映すことで立体視を実現している点は現在のVRデバイスに通じる。しかしながら、LED素子を駆使した4階調モノクロの384×224ドットの画面では映像表現が限られるため、ほぼ線画のポリゴン画面しか表現できなかった。

一般向けXRデバイスの革新が起こったのは2010年代に入ってからである。2010年に、Microsoftからモーションキャプチャーが手軽に行えるKinectが発売された¹⁾。Kinectにはカメラと距離センサーが付いており、ジェスチャー認識の機能がある。Kinectをディスプレイの手前に設置することで、コントローラーを介さずにコンピュータの操作が行えるようになる。また、2012年にOculus（現Meta Quest）からOculus VR DK1およびOculus VR DK2というヘッドマウント型のVRディスプレイが試作品として発表された²⁾。その後、VR元年と呼ばれる2016年に、同社はOculus Riftとして一般向けに発売を行っている³⁾。Oculus Riftは広視野角で、頭の動きに画面表示が追従するヘッドトラッキングという特徴を持つVRディスプレイである。現在では、より高性能で軽量化されたVRヘッドマウントディスプレイ製品であるMeta Questシリーズ^{*3}が発売されている。また、2013年にオバマ大統領が一般教書演説の中で3Dプリンターに言及したことで3Dプリンターの開発が加速し、安価で高性能な一般向け3Dプリンターが手に入るようになった⁴⁾。それに伴い3Dモデル制作の需要が高まり、3Dスキャナーも低価格化が進むことになった。

このように現在では一般向けXRデバイスが数多く提供されているにもかかわらず、普段の生活で用いられている例は未だ少ない。株式会社アクアスターの2021年10月の調査⁵⁾によると、日本でのARの普及率は18.5%であり、ほとんどの人が使用できていない状況にある。この普及率の低さの原因は、ARコンテンツを体験したことがない人の割合が全国で81.5%であ

^{*1} 任天堂, <https://www.nintendo.co.jp/n09/vue/index.html>

^{*2} 任天堂, <https://www.nintendo.com/jp/famicom/index.html>

^{*3} Meta Quest, <https://www.meta.com/jp/quest/>

り、そもそもAR技術に触れたことがない人が多い点にあると調査では指摘している。

このような背景から本研究では、一般向けの各種XRデバイスについて調査を行い、具体的なコンテンツの制作を通して、XRデバイスの普及のための方策を模索する。特に、生命科学・情報科学分野の教育に活用する方法の検討を行う。次の第2節では、各種XRデバイス（3Dプリンター、3Dスキャナー、空間再現ディスプレイ、モーションキャプチャデバイス、VR/ARヘッドマウントディスプレイ、MRレンズ）について行った調査内容について概説する。第3節では、XRデバイスを活用した教育用コンテンツの事例や方向性について議論し、最後にまとめとしてXRデバイスの今後の課題と展望について述べる。

2. XRデバイス

2.1. 3Dプリンター

一般向け3Dプリンターの主流は熱溶解積層方式と光造形方式である。前者は、ABS樹脂やPLA樹脂を融解し、細いノズルの先端から樹脂を出して積層することで造形する方式である。取り扱いが簡単なうえ、樹脂フィラメントを交換することで異なる素材の造形ができるという利点がある。ただし、造形物の形によっては積層による段差が目立つことがある。後者は、光硬化型の液体樹脂（レジン液）に紫外線を当てて、一層ごとに樹脂を硬化させながら造形する方式である。造形中、積層部分にレジン液が流れ込むことで、造形物の表面が滑らかになるという特長がある。ただし、造形物に付着した不要な樹脂を洗い流したり廃液の処理に気を配ったりする手間がある。

本研究で使用する3Dプリンターは、熱溶解積層方式のFLASHFORGE Finderである（図1）。このプリンターは、家庭での利用が想定されており、動作音が50dBと静穏で取り扱いが簡単な点が特長である。出力可能な造形物のサイズは140×140×140mmとなっており、手のひらサイズの物体であれば一度に出力することができる。



図1 3DプリンターFLASHFORGE Finder



図2 人体骨格の6分の1ミニチュア

笠居⁶⁾は、高精度な人体骨格3Dモデルの6分の1サイズミニチュアをこのプリンターで出力することに取り組んだ。3DモデルはArtec 3D社から無償提供されているもの^{*4}を使用した。全長が約30cmとなるため、一度には出力することができない。笠居は、上半身、腰から膝、膝下の3つにモデルを分割してから出力することを試みた。出力された各パーツを整え、それらを接着することで人体骨格の高精度なミニチュアを作成した(図2)。

複雑な立体物の場合、中空に浮いている部分があるため積層途中で樹脂が垂れてしまい、うまく造形できないことがある(図3左)。そのため、出力前の3Dモデルにサポート材と呼ばれる支えのモデルを追加して出力しなければならない(図3中)。サポート材の部分は造形後に取り除く必要があるため、なるべく少ないことが望ましい。出力する際のモデルの向きによって必要なサポート材の量や形が変わるため、最適な向きを予測して配置する必要がある(図3右)。

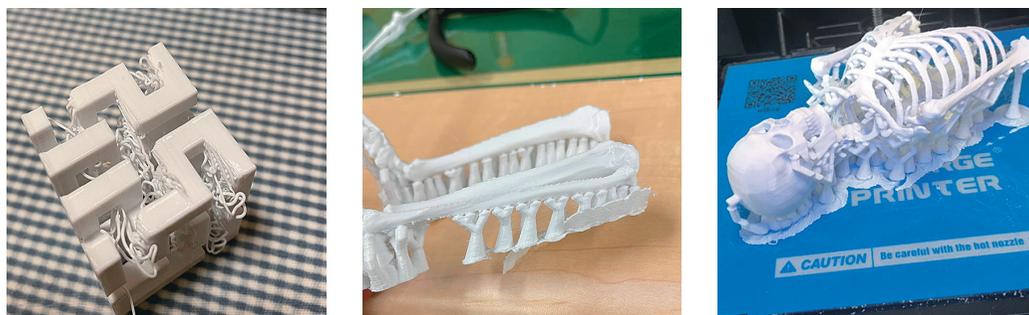


図3 出力失敗例(左)、サポート材(中)、骨格の上半身出力結果(右)

2.2. 3Dスキャナー

3Dスキャナーは、物体の形状を三次元測定して点群データとして取り込む装置である。点

^{*4} Artec 3D, 人間の骨格, <https://www.artec3d.com/ja/3d-models/human-skeleton-hd>

群から面を構成するポリゴンメッシュのデータを生成することで、仮想空間内の3Dモデルとして利用することができる。たとえば、持ち運んで観察することができない建築物や文化財などをスキャンし、その形状や状態をデータ化するという用途で用いられる。図面がなく現物しかないものをリバースエンジニアリングするためにも活用されている。建築・製造・医療などで活用される事例⁷⁾が増えてきている。

精度のよい3Dスキャナーはプロ仕様で高価なものが多い。そのなかで、Revopoint社^{*5)}は2021年に一般向けに安価で高性能なRevopoint POP 3Dスキャナー（以降POP 3D）を公開した。POP 3Dは、カメラと赤外線センサーを搭載したスキャナーで、対象物に接触せずに点群を取得できる非接触型3Dスキャナーである（図4）。スキャンピッチの精度は最大0.15mmでスキャンスピードは8fpsである。



図4 Revopoint POP 3Dスキャナー

齋藤⁸⁾は、POP 3Dの性能評価を行うと共に、スキャン品質の向上についての研究に取り組んだ。使用ソフトウェアはPOP 3Dに付属のHandy ScanとHandy Studioを用いた。前者はPOP 3DからPCに点群を取り込むものであり、後者は取り込んだデータを整形するためのものである。

いくつかの対象物をスキャンし、その精度を比較したところ、点群の取得が不可能もしくは困難な対象物の例が得られた。

- ・ 黒い対象物：光が吸収され、スキャナー側で反射光が取得できない。
 - ・ 透明な対象物：光を透過してしまい、面が認識されにくい。
 - ・ 鏡面状の対象物：光を反射しすぎてしまい、センサーに戻る反射光が限定されてしまう。
 - ・ 特徴点のない対象物：点群データをうまく繋げることができないため、スキャンに失敗する。
- 上3つの難点に対して齋藤は、表面を塗装したりマスキングテープを貼りつけたりすること

*5 Revopoint, <https://www.revopoint3d.jp/>

で点群の取得に成功している（図5左）。また、4つ目の難点に対しては、対象物にマーカーを貼りつけ、特徴点を作った上でスキャンすることで点群の取得に成功している（図5右）。このとき、マーカーは不規則に貼ることが効果的であると結論している。



図5 透明な対象物に対する対処（左）、特徴点のない対象物に対する対処（右）

林⁹⁾は、POP 3Dの後継機であるRevopoint MINI 3Dスキャナー（以降、MINI 3D）の性能評価を行った。MINI 3Dは赤外線ではなくブルーライトを照射して形状を捉える3Dスキャナーである。波長の短いブルーライトを用いることでスキャンの精度がPOP 3Dに比べて大幅に向上している。スキャンピッチの精度は0.02mmでスキャンスピードは10fpsである。実験の結果、POP 3Dでは取得できなかった細かな造形を持つ対象物の取り込みに成功している。一方で、POP 3Dで不得手であった対象物の例に大きな差がないことも分かった。

2.3. 空間再現ディスプレイ

空間再現ディスプレイ（Spatial Reality Display）とは、仮想空間そのものを目の前に立体的に映し出す映像装置である。VRとは異なり、特殊なメガネやヘッドセットを用いずに、裸眼で高精細な立体映像を見ることができる。既存のものは大がかりな装置が必要で、非常にコストの高いものであったが、2020年にSonyから一般向けの空間再現ディスプレイELF-SR1^{*6}が発売された。ELF-SR1は、ディスプレイ正面の人物の左右の目の位置を、水平・垂直方向のみならず奥行方向もリアルタイムでトラッキングすることができる。仮想空間の3Dモデルからリアルタイムに視差付きの映像を生成し、独自のレンズによって左右の目に正しい視差付きの映像を届けることができる。それにより、裸眼での自然な立体視を可能にしている。

多田¹⁰⁾は、2D/3DのゲームエンジンプラットフォームであるUnity^{*7}を用いて山鼻キャンパスの3Dモデルを製作した（図6左）。また、そのモデルをELF-SR1上に展示することでその性能評価を行うとともに、空間再現ディスプレイの活用の可能性について考察した。作成し

^{*6} Sony, 空間再現ディスプレイ, <https://www.sony.jp/spatial-reality-display/products/ELF-SR1/>

^{*7} Unity, <https://unity.com/ja>

たアプリケーションでは、山鼻キャンパスを立体的に奥行のある映像で見ることができ、またその中を歩きまわることができる（図6右）。ただし、このような画面全体が移り変わる映像の場合、目の焦点を合わせ続けることが人によっては難しいと報告している。

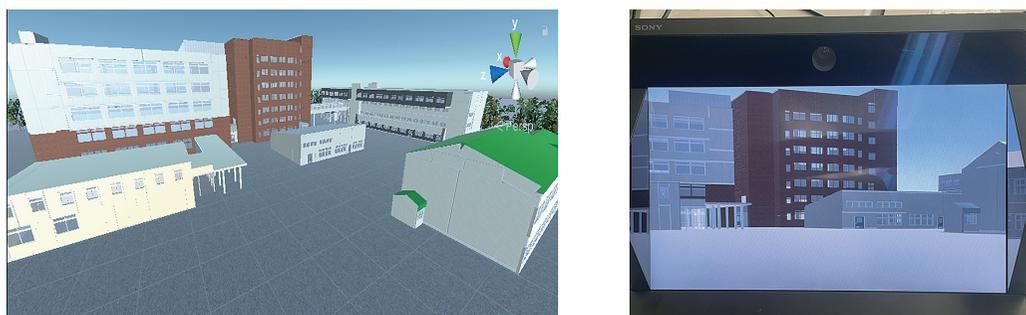


図6 山鼻キャンパスの3Dモデル（左）、空間再現ディスプレイでの画面（右）

2.4. モーションキャプチャデバイス

モーションキャプチャーとは、人物や動物などの動きをカメラやセンサーによって捉えて、仮想空間の3Dキャラクターモデルのモーションデータとして利用する技術である。取得したモーションデータをリアルタイムで3Dキャラクターに反映させる場合もあれば、高精度に取得したモーションデータを一旦記録し、微調整を行ったうえで3Dキャラクターに反映させる場合もある。

モーションキャプチャーの主な手法としては、慣性式、光学式、画像式の三つが挙げられる。慣性式モーションキャプチャーは、体の数カ所に取り付けた慣性センサーの姿勢情報を基にモーションデータを収集する。大型の機材や専用のスタジオなどを必要としないため安価に実現できる。ただし、位置精度の点で難がある。光学式モーションキャプチャーは、体の数カ所に取り付けたマーカーを複数の赤外線カメラで撮影して位置を推定する。位置精度やリアルタイム性に優れるが、広いスタジオと非常に高価な機材を必要とする。画像式モーションキャプチャーは、単一あるいは複数のカメラで対象のシルエットを取得し、画像解析を利用して体の部位の位置を推定する。マーカーやセンサーを必要としないので非常に安価かつ手軽に導入できるが、画像解析に計算コストがかかるためリアルタイム性に難がある。

有馬¹¹⁾は、一般向けに安価に入手できる慣性式と画像式のモーションキャプチャー機器を併用することで、モーションキャプチャーの精度向上を目指した。慣性式モーションキャプチャー機器としてはSONYのmocopi^{*8)}を使用した。mocopiは、軽量で小型のセンサーを6つ体

^{*8)} Sony, mocopi, <https://www.sony.jp/mocopi/>

につけるだけで使用できる。また、スマートフォンの専用アプリを用いることで、データの取得から録画、保存、伝送のすべてを行うことができる。画像式モーションキャプチャーとしては、カメラにlogicool社のC922n PRO HDストリームウェブカメラ^{*9}を使用し、キャプチャーソフトとしてVSeeFace^{*10}を使用した。

実験の結果、mocopiのみを使用した場合は、Bluetoothの範囲内（10m程度）ならば、立ち歩いても測定が継続した。素早い動きにも一定の追従性が得られた。ただし、地面に寝転ぶなどの動作を行った場合には姿勢の読み取りが不安定であった。一方で、カメラとVSeeFaceのみの場合は、カメラに映る範囲なら測定は継続し、地面に座るという動作にも正しく追従した。ただし、素早く動いた場合には位置ずれが生じた。最後に併用した場合だが、カメラとVSeeFaceのみを用いた場合とほぼ変わらない結果に終わったと有馬は報告している。これは2つの方式を併用したために全体の処理が重くなり、mocopiで追従できていた素早い動きが捉えられなくなったためと分析している。

2.5. VR/ARヘッドマウントディスプレイ

2010年代に登場してから今日まで、一般向けVR/ARヘッドマウントディスプレイ（以降、AR HMD）の発展は著しい。Oculus DK 1では両目で1280×800ピクセルだった解像度が、Meta Quest 3では片目あたり2064×2208ピクセル、最新のHTC VIVE Focus Vision^{*11}では片目あたり2448×2448ピクセルまで高精細化している。また、2010年代の製品では必須だった外部PCとの接続やヘッドトラッキングのための外部センサーも不要となり、両製品ともスタンドアロンで動作する。どちらも外部カメラも搭載しており、仮想的な視界に周囲の映像を投影するパススルー機能を有している。そのため、ARのみならずMR的な使い方も可能である。

大仙¹²⁾は、HTC VIVEの初期のモデルを用いて、仮想空間でグラフィティを体験できるVRアプリケーションの制作を行った。グラフィティ（graffiti）とは、スプレーやフェルトペンなどで壁などに描かれる落書きのことである。世界各地で散見され、その一部は高い芸術性が認められているものもあるが、その多くは公共物破壊の犯罪行為である。仮想空間内であれば、グラフィティを描いても公共物を破壊することもなく、また廃棄物などが出ることもない。大仙は、Unityを用いてサンフランシスコの街並みをイメージした仮想空間の街並みを作り、その街の壁にマーカーで落書きできるVRアプリケーションを実現している（図7）。

児玉¹³⁾は、ステレオグラム撮影された現実空間の映像をVRやARの画面上に投影すること

^{*9} logicool, ウェブカメラ, <https://www.logicool.co.jp/ja-jp/products/webcams/c922n-pro-stream-webcam.960-001262.html>

^{*10} VSeeFace, <https://www.vseeface.icu/>

^{*11} HTC VIVE Focus Vision, <https://www.vive.com/jp/product/vive-focus-vision/specs/>

で、映画スターウォーズ^{*12}に登場する通信機器のホログラムのようなものを実現することを試みている。結果、Kandao社のQoo Cam EGO^{*13}で撮影したステレオグラムの動画をMeta Quest 3のVR画面内に3D表示させるUnityアプリケーションを作成した(図8)。目指したホログラムのような表現の実現はできなかったが、安価な機材で一定品質のVR映像の記録・再生が行えることを示した。



図7 仮想空間の街(左)、ユーザーの様子(中)、壁に線を描いている様子(右)

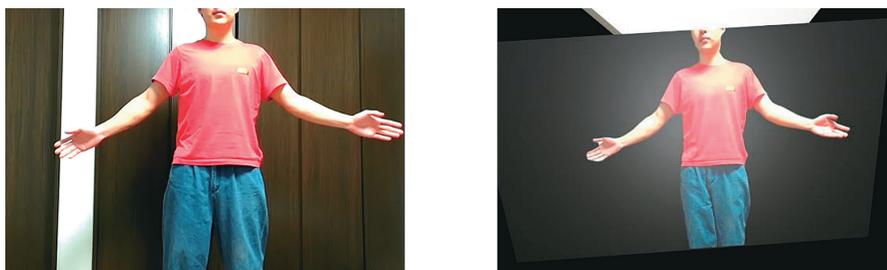


図8 QooCamで撮影されたステレオグラム画像(左)、アプリ上の画面(右)

2.6. MRレンズ

複合現実(Mixed Reality; MR)とは、現実空間と仮想空間の互いの座標を正確に合わせることで、両方の空間を同時に体験させる技術のことである。ARのように現実の風景に3DCGオブジェクトをオーバーレイ表示するだけでなく、仮想空間内のオブジェクトが現実空間からのフィードバックを受けられる点が異なっている。これはARの発展形と見ることもできるし、ARとVRの融合とも見ることができる。

最近発売されているAR HMDとMRレンズの機能的な違いはほぼない。前者は目を完全に覆って外部カメラの映像とVR画像を合わせてゴーグル内のディスプレイに表示する。後者はシースルーのレンズ上にVR映像を表示する。2024年に発売されたApple Vision Pro^{*14}は、ユーザーの表情が外側のディスプレイに表示されるため、外見上はMRレンズのように見えるがAR

^{*12} Disney, STAR WARS, <https://starwars.disney.co.jp/>

^{*13} Kandao, QooCam EGO, <https://prd.kandaovr.com/ja/product/qoocam-ego/>

^{*14} Apple, Vision Pro, <https://www.apple.com/jp/apple-vision-pro/>



図9 AR地図アプリの実行画面

HMDに分類される。MRレンズとして代表的な製品はMicrosoftのHoloLens 2^{*15}である。その他にはXreal Air^{*16}やMagic Leap 2^{*17}などが挙げられる。MRレンズは構造上3Dオブジェクトが透けて見えるが、HoloLens 2などでは十分な輝度で表示されるため、3Dオブジェクトがあたかも実在しているかのような印象が得られる。また、HoloLens 2は、ユーザーの手先を認識することができ、表示された3Dオブジェクトを掴んだり移動させたりすることができる。

須藤¹⁴⁾は、HoloLens 2のトラッキング性能について評価実験を行った。須藤の実験では、床にマーカーを配置し、マーカーの上に3Dオブジェクトを表示させ、どの程度の距離までマーカーを認識するかを確認している。結果、マーカーが視界の中で5mm程度になるまでは認識することができたと報告している。また、照度が低い環境でも認識できるかどうかも確かめている。結果、10ルクス程度の暗さでもマーカーを認識することができたと報告している。逆に、暗いほうが3Dオブジェクトを見やすいとも述べている。

藤澤¹⁵⁾は、HoloLens 2に備わっている位置情報取得機能を用いて、北海学園大学山鼻キャンパス2号館3階の地図をAR表示する地図アプリをUnity上で作成した(図9)。このアプリは、MR的なインターフェースが未実装なうえ、取得できるのは緯度経度情報のみなので階層を自動的に変えることができないなどの課題を残している。しかしGPS機能との組み合わせは、AR HMDにはないHoloLens 2の潜在能力の高さを示している。

3. XRデバイスを活用した教育用コンテンツの検討

本節では、XRデバイスを用いた教育用コンテンツの事例や方向性について議論する。特に、生命科学・情報科学分野の教育に利活用する方法について検討する。

3Dプリンター・3Dスキャナー・空間再現ディスプレイ 3Dプリンターによる造形物を

^{*15} Microsoft, HoloLens2 <https://www.microsoft.com/ja-jp/hololens>

^{*16} Xreal, Air, <https://www.xreal.com/jp/air/>

^{*17} Magic Leap, Magic Leap2, <https://www.magicleap.io/ja-jp/>



図10 生命系の3Dモデルの出力例（細胞断面，ニホンアマガエル，新型コロナウイルス）

授業で活用する例は多くみられる。直近の例を挙げると、小荒井¹⁶⁾は、古生物の標本のレプリカを3Dプリンターで作成し、実習教材として用いるプロジェクトを行っている。笠井ら¹⁷⁾は、化学実験で用いる試験管ホルダーを3Dプリンターで試作したり、多分子化合物の分子構造模型を作成したりして化学の実習用教材として用いている。早川ら¹⁸⁾は、縄文遺跡の里山や洞窟、周囲の地形などを3Dプリンターで造形し、地学教育や研究のアウトリーチ活動に活用している。

いまではネット上で公開されている3Dモデルも多く、学術的に用いることができる有用なデータベースも存在する。2.2節での人体骨格モデルを提供しているArtec 3Dは、自社のサイトでサイエンス・教育、医療、工業デザインなど多数の3Dモデルを公開している。また、九州大学の鹿野¹⁹⁾は、水生生物を中心に1400点700種以上の生物標本の3Dモデルをオンライン公開している。そうした3Dモデルを出力し、手にもって観察できると、学習者の理解を高めることができるだろう（図10）。

こうした状況にあっても、やはり3Dコンテンツを準備することは相応の手間がかかるため、一般の教育現場に浸透しているとは言い難い。今以上に高性能かつ容易に対象物をスキャンできる3Dスキャナーがあれば、3Dプリンターの活用の場が広がると予想される。たとえば、学生らが環境生物科学のフィールド演習などで観察した対象物の記録などを3Dスキャナーで取って、実験室に戻ったのちに空間再現ディスプレイで観察したり、3Dプリンターで出力したりして観察を深めることなどが考えられる。

情報科学の教育そのものにXRデバイスを用いることは、実はあまり例が存在しない。3Dの学習やデザイン・ものづくりを指向した例は多数ある。たとえば、ロボットやドローンの部品を作成したり、3D CADソフトの学習で用いたりされている。しかし、たとえばプログラミングやアルゴリズムの教育とXRが直接に結びついているような例は皆無である。なぜなら目的が合致しないからである。プログラミングに必要なのは論理的な思考力であり、3Dモデルのデザイン力とは異なる。

数少ない例の一つは、現在北海道大学の教授である堀山貴史氏が正4面体と立方体の共通の展開図²⁰⁾を3Dプリンターで出力した造形物である。これは一つの展開図に対し、異なる2通りの折り方をすることで正4面体にも立方体にもすることができるものである。実際に折りたたんで形を実感することで多面体への理解を深められる。もう一つの例は、元九州大学教授であった竹田正幸氏の取り組み²¹⁾である。竹田は、情報科学におけるアンプラグド教育²²⁾を実践する教材の制作に3Dプリンターを用いている。作成された教材の中には、通信路符号化に通じるものもあるため、情報理論の講義などで活用することなどが考えられる。

モーションキャプチャー・VR/AR HMD・MRグラス VR/AR技術を用いた教育の試みもまた枚挙にいとまがない。田開ら²³⁾は、近年のVR教材を用いた教育実践の研究動向について報告を行っている。理科教育について一つ興味深い例を述べた個所を以下に抜粋する。

また、仮想解剖学習システム（ツァーガンほか、2014）や仮想無機化学学習支援システム（岡本ほか、2018）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。（文献[23]の第2節の「2）理科教育」より抜粋）

ここで述べられているように、VR/AR教材の強みは、実際に体験することが難しいことをあたかも実体験したかのような経験を学習者にもたらし点にある。ユーザーの動作をトラッキングし、仮想空間上のオブジェクトに作用させるMR技術は、よりリアルな体験をもたらしことができる。

生命科学分野への応用としては、理化学研究所が代謝ネットワークを可視化・操作するVRアプリの開発に取り組んでいる²⁴⁾。このアプリでは、複数の研究者が仮想空間上で協働しながらモデルを解析したり、構築したりできる。別の例としては、ケンブリッジ大学が、超解像度顕微鏡で得られた生物学的データを仮想空間内に視覚化することに取り組んでいる²⁵⁾。これにより、VR空間内で拡大表示された免疫細胞内をユーザーは歩いて探索し、その機能を理解することができる。こうした取り組みも、MR技術によってより直感的な取り扱いが可能なものへと進化すると考えられる。

より身近な教育コンテンツの例としては、中島ら²⁶⁾が細胞培養操作のVR教育システムを構築した例を報告している。初学者の技術向上には時間とお金がかかる。よって、VRで初期の技術向上を支援することができるとコスト削減につながる。実際、中島らはこのシステムで実験を行い、細胞培養操作における違反行為に関する学習効果を確認し、初学者の技能向上の可能性が示唆されたと結論している。このようなシステムが汎用的なものになり、類似のコンテンツ制作が容易になれば、教育現場でのXRデバイスの利活用が促進されると期待できる。

4. まとめ

本稿では、各種XRデバイスの紹介を行うと共に、これまでの調査結果について概説した。また、XRデバイスを用いた教育用コンテンツの事例や方向性について議論した。生命科学分野では、学習者の技術向上を目的とした実験実習の仮想環境化にXRデバイスが活用できる。情報科学分野ではVR/AR/MR技術そのものを学ぶことが学習となる。

高性能で安価なXRデバイスが手に入るようになった現在においても一般への普及が伸びない原因の一つは、その学習コストの高さにあるだろう。XRデバイスを活用するには、デバイスに習熟するだけでなく、3D処理に関する知識や処理ソフトウェアの操作技術を学ぶ必要がある。XRデバイスを入手することは簡単でも、それから何かしら利益を得るまでにはユーザーの強い動機と学びのコストが必要となる。教育用コンテンツを制作するにも多大な労力を要する現状では、教育現場への今以上の浸透は困難である。また単純に、MRデバイスはいまよりももっと安価になる必要があるだろう。Microsoft HoloLens 2もApple Vision Proも価格は約50万円であり、一般向けには高額である。

この現状を打破するには、各XRデバイスが今よりも簡単に連動して動作できるようになる必要があるだろう。カメラ・通信機器・情報端末等の機能が一つにまとまったスマートフォンのように、XRデバイスどうしが簡単に連動するようになり、ユーザーがそれを利用するまでの学習コストを下げる必要がある。たとえば、MRグラスを通して対象物を見るだけで3次元形状をスキャンし、Bluetooth通信で3Dプリンターと通信してすぐに出力することができれば活用の場が広がるだろう。そのためには、個々のXRデバイスがより高性能になることに加えて、XRデバイスの規格の標準化や総合的なシステムデザインが重要である。

謝辞

本研究は、一部、北海学園大学令和4年度学術研究助成費（一般研究）の補助を受けた。

参考文献

- 1) Kinect, Wikipedia記事. (<https://ja.wikipedia.org/wiki/Kinect>)
- 2) Oculus VR, Wikipedia記事. (https://ja.wikipedia.org/wiki/Oculus_VR)
- 3) Oculus Rift, Wikipedia記事. (https://ja.wikipedia.org/wiki/Oculus_Rift)
- 4) Eric Weinhoffer : President Talks 3D Printing in State of the Union Address, Make : , February 2013. (<https://makezine.com/article/digital-fabrication/3d-printing-workshop/president-talks-3d-printing-in-state-of-the-union-address/>)
- 5) 株式会社アクアスター : 【調査】ARは使われているのか？調査対象8割以上がARコンテンツを未体験と回答 - , PR TIMES, 2021年12月. (<https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000032.000055500.html>)
- 6) 笠居宏太 : 3Dプリンタを用いた人体モデルの縮小模型の製作, 北海学園大学工学部卒業研究, 2021年2

月.

- 7) 日本3Dプリンター株式会社：3Dスキャナーの活用事例にはどんなものがある？, 2021年9月.
- 8) 齋藤世奈：個人向け非接触3Dスキャナーによるスキャン品質の向上について, 北海学園大学工学部卒業研究, 2022年2月.
- 9) 林 出海：プラモデルパーツの3Dスキャンにおける精度向上について, 北海学園大学工学部卒業研究, 2023年2月.
- 10) 多田敦揮：空間再現ディスプレイを用いた山鼻キャンパスモデルの展示, 北海学園大学工学部卒業研究, 2022年2月.
- 11) 有馬令記：慣性式と画像式を併用したモーションキャプチャー, 北海学園大学工学部卒業研究, 2024年2月.
- 12) 大仙 良：VRによるグラフィティ描画環境の制作, 北海学園大学工学部卒業研究, 2022年2月.
- 13) 児玉憲汰：VRデバイス上での視差付き映像の投影, 北海学園大学工学部卒業研究, 2024年2月.
- 14) 須藤大空：複合現実装置のトラッキング性能評価, 北海学園大学工学部卒業研究, 2023年2月.
- 15) 藤澤大輝：複合現実デバイスを使った地図アプリの作成, 北海学園大学工学部卒業研究, 2024年2月.
- 16) 小荒井千人：3D素材を用いた古生物学の実習教材開発, 日本学術振興会 科学研究費助成事業, JP24K22783.
- 17) 笠井香代子, 反畑 爽, 若生 晶, 佐々木碧斗, 中久保萌織：化学教育における3Dデジタル教材の開発と実践研究, 宮城教育大学紀要 第58巻, pp.13-21, 2024年4月.
- 18) 早川裕式, 田村裕彦, 安芸早穂子, 伊藤隆介：3D地形景観模型を活用した地理のアウトリーチ推進, 日本地理学会発表要旨集, 2024s巻, 98-, 公益社団法人 日本地理学会, 2024年3月.
- 19) Yuichi Kano：Bio-photogrammetry：digitally archiving coloured 3D morphology data of creatures and associated challenges. *Research Ideas and Outcomes* 8：e86985, August, 2022.
- 20) 白川俊博, 堀山貴史, 上原隆平：正4面体と正6面体との共通の展開図の構成に関する研究, 情報処理学会 研究報告 アルゴリズム (AL), 2011 (10), pp.1-5, 2011年5月.
- 21) 竹田正幸：見える化・さわれる化に基づくコンピュータサイエンス教育のための教材開発, 日本学術振興会 科学研究費助成事業, 17K18654.
- 22) Tim Bell, Ian H. Witten, Mike Fellows：コンピュータを使わない情報教育：アンプラグドコンピュータサイエンス (原題 *Computer science unplugged*), 兼宗 進 監訳, イーテキスト研究所, ISBN 9784904013007, 2007年9月.
- 23) 田開寛太郎, 山田浩之, 鈴木 透, 中村隆俊：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, 学校法人松商学園松本大学・松商短期大学部 教育総合研究 (7), pp.51-64, 2023年11月.
- 24) 理化学研究所 生命機能科学研究センターバイオコンピューティング研究チーム：システム生物学のためのメタバース活用法-代謝ネットワークを可視化・操作するVRアプリの開発-, 研究成果 (プレスリリース) 2024年2月, (https://www.riken.jp/press/2024/20240220_1/index.html)
- 25) TECHABLE記事, ケンブリッジ大が細胞の中を歩けるVRソフトを開発!, 2020年10月.
- 26) 中島彰彦, 加納 徹, 赤倉貴子：細胞培養操作における培地交換のVRシステム化, 電気情報通信学会2023年総合大会ジュニア&学生ポスターセッション予稿集, p.94, 2023年3月.