

## AR Sandbox の作成と活用

澤柿教伸

# AR Sandbox の作成と活用

澤柿教伸<sup>1)</sup>

Build and use of AR Sandbox

Takanobu SAWAGAKI

## 要旨

社会学部3年生を対象とした専門演習の2017年度の課題としてAR Sandboxを作成し、それを実際に活用するプロジェクトを実施した。AR Sandboxは、日本語で「拡張現実」と訳されるAR技術を用いることにより、地形地図の読み方や、等高線の意味、あるいは地質、地形、水文現象の概念を、入門者にも効果的に理解させることを目的として開発されたデバイスである。ゼミ活動で実際にその作成に取り組んだが、このプロジェクトは日本では先例をみない試みであったため、まずは英語で発信されている開発元のWebサイトを和訳し、さらに必要な道具を調達するなどの試行錯誤を繰り返した。実機の完成後には、実際に本学の学生に使用してもらい、その使用感についてのアンケート調査を実施してフィードバックを得た。

## 1. はじめに

2015年に法政大学に赴任し、社会学部の学部生、特に1-2年生という大学初学年に基礎科目としての地学を教えるようになった。それまでは主に地球科学を専攻する大学院生を相手に研究・教育を行ってきたが、そんな理系研究最前線環境からみれば、分野も対象も180度転換したといってもよい。そこでまずつまづいたのは、講義や演習の前提となる基礎を共有できていない（あるいは教える側が的確に把握

できていない）ということであった。さらに、地球科学の基礎となるべき、実際の自然に触れる機会が、現カリキュラムではほとんど保証されていないという制度上の壁にもつきあたることとなった。

この状況を打開するにはまず、大学キャンパス外にでかける必要のない取り組みを模索すべきだろうと判断した。対象者がほぼ地球科学の初学者であると想定し、そのような学習者に対して、実体験を伴わせつつ、地球科学の諸分野が対象とする現象や概念を習得させられるような取り組みである。

そのための方策を思案してきたところ、近年の進歩が著しいITやデジタル技術を応用した試みの実践例が地学教育関連学会などで報告されるようになり、次第に興味を引かれるようになった。たとえば、手軽に地球や惑星等の立体展示ができる「ダジック・アース」というデジタル立体地球儀が、多くの学校や科学館での展示などの利用が広がってきていることが報告されているのもその一例である（齊藤ほか、2017）。ダジック・アースは、2015年度の文部科学大臣表彰科学技術賞（理解増進部門）も受賞しており、その可能性が期待されている。

ダジック・アース以外にも、地球科学のハンズオン教材として使えるようなデバイスは多々提案されているが、それらの中でも、NSFが支援するInformal Science Educationプロジェクトの一環として開発されたAugmented Reality Sandbox（以下AR Sandbox）（Reed他、2014, 2016）の存在を知り興味を引かれた。

1) 法政大学社会学部

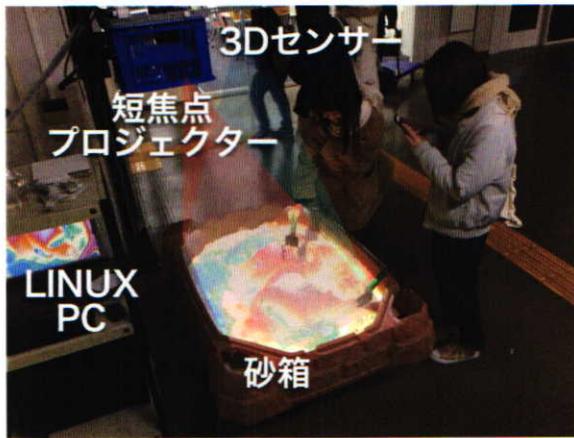


図 1

法政大学社会学部研究発表会の会場で実演展示した AR Sandbox (2017 年 11 月 28 日撮影)。

AR Sandbox とは、「拡張現実」と訳される Augmented Reality (AR) を用いて開発された体験型の地形モデルである (図 1)。詳細については後述するが、実際に手に触れることのできる砂箱とデジタル空間で構築される数値地形モデルとをリアルタイムに融合させて、2D の地形図よりも容易に地理空間や水文現象などを学習することができるようになっている。一般の教室や博物館など、高度なデジタル技術に精通していない教育現場でも導入してもらいやすくするために、必要なアプリケーションソフトとともに、機材の構築手順を示したチュートリアルが Web (<https://arsandbox.ucdavis.edu>) で公開されている。こうした、自分たちで組み立てるためのチュートリアルが Web で公開されていることが、AR Sandbox そのものが持つ可能性とともに、ゼミの活動として取り組むにはちょうどよい素材として興味を引かれる主要なポイントであった。

そこで、2017 年度の学部 3 年生専門ゼミ (社会学部演習 2) の課題として、AR Sandbox の構築と実践を行う共同プロジェクトを実施することとした。そもそもゼミ生たちは指導教員である筆者が自然地理学を専攻していると知ってゼミに所属しているとはいえ、実際のところ、日常的に学んでいるのは社会学部の体系の中での科目群である。地理学科や地質学科の専門生ならば前提とできる基礎内容は期待できない。ましてや、デジタル技術に精通しているわけでもない。ただ、それだからこそ、Web で公開されているチュートリアルの有効性や、AR や VR の技

術そのものの可能性を試すよい実践課題になるのではないかと逆の発想で考えることにした。

さらに、AR Sandbox をゼミ活動の一環として構築する試みは、ざっと調べた限り本邦での前例は見当たらず、何よりも日本語の情報さえも皆無に近い状態であった。開発元のチュートリアルサイトには、世界の AR Sandbox の組み立てに成功して実践している箇所をバルーンアイコンで示す Google Map が掲げられているが、2017 年 4 月の時点では日本にはまだ一本もバルーンが掲げられていなかった。これは、日本で最初のバルーンをゲットできるチャンスを示しているともいえる。

そこで、ゼミ課題として、英語で記述されている開発元のサイトを和訳することも盛り込むこととした。その和訳も含め、AR Sandbox の構築過程を逐一 blog 風に公開していくこととし、そのための Web サイト (<https://www.sawagaki.0g0.jp>) を新たに立ち上げた。

## 2. AR Sandbox の概要

### 2.1. 開発経緯

前章でも述べたように、AR Sandbox は、NSF が支援する Informal Science Education プロジェクトの一環として 2014 年に開発された教育デバイスである (Kreylos, O., 2014, Reed 他, 2014, 2016)。そもそもは、カリフォルニア大学デービス校の「WM Keck 地球科学における能動的可視化センター」の Oliver Kreylos 氏によって開発されたものであり、それをベースにして、同校のタホ環境研究センター、ローレンス科学館、エコー湖水族館・サイエンスセンターなどが協力して維持・普及を推進している。このプロジェクトの目的のひとつは、湖沼や流域のプロセスを 3 次元視覚化する方法を AR 技術を応用して開発し、その成果を、「卓上サイエンス」を展開している市井の様々な活動に対して提供することにある。それによって、淡水域の生態系や地球科学の諸プロセスに対する人々の意識を高め、それらの理解や管理を深めようとしている (<https://arsandbox.ucdavis.edu>)。

ここでいう「卓上サイエンス」とは、“Table science exhibition”あるいは“hands-on”などと呼ばれる、いわ

ば「体験を伴う科学学習」のことであり、科学館や博物館などの展示物や施設に用意されたラボで開催されるセミナーなどで、実際に機材や物に触れたり、実験や工作などを行ったりすることで、科学やテクノロジーについて学習する機会を提供しようとしているものである。本邦では、同様の取り組みが「キッチン地球科学」としても展開されており、地球科学の諸分野が連携して主催する日本地球惑星科学連合(JpGU)の研究大会でも専門のセッションが設けられるようになってきている。

## 2.2. AR と VR

話が前後するが、これまで述べてきたARとは「Augmented Reality」の略で、一般的に「拡張現実」と訳される。実在する風景にバーチャルの視覚情報を重ねて表示することで、目の前にある世界を「仮想的に拡張する」というものである。「拡張」という言葉が指す通り、現実世界で人が感知できる情報に別の情報を加えて、現実を「拡張」表現する技術やその手法のことをいう。視覚情報に、視覚だけでは感知できない情報を付加して表示するタイプのものが一般的である。

ARとして重ねるデジタル情報を呼び出す現実の世界側のトリガーとしては、2D画像をスキャンする「画像認識」や、GPSを利用した地理情報による「位置認識」などがある。また、3D空間を認識してデジタル情報化する「空間認識」もある。

これらの活用例としては、最近話題になった「Pokémon GO」や「Ingress」などのモバイルゲームが挙げられる。スマホやタブレットなどのモバイル端末に搭載されたカメラが捉えた映像に表示される現実世界の映像や、モバイル端末に搭載されたGPS機能によって得られた位置情報がトリガーとなり、実際にはその場にはないはずの物体をCGで生成して、カメラ画像に重畳させる、というものである。

以上のようなARに対して、コンピュータ上に人工的な環境を作り出し、あたかもそこにいるかの様な感覚を体験できる技術としてVR(Virtual Reality)がある。日本語では「人工現実感」あるいは「仮想現実」と呼ばれ、具体的な例としてプレイステーションVRなどがある。ARが現実世界をベースに追加情報を付

加するのに対して、VRは現実似せて人工的に作り出された世界に没入する体験ができる。

その他に、MR(Mixed reality)、SR(Substitutional Reality)など、様々な分野で現実と現実でないものの複合が発展している。

## 2.3. AR Sandbox の機能

AR Sandboxは、実際に触ることができる砂箱とPCによる3D視覚化アプリケーションとを組み合わせて構築されている(図2、3)。その基本的な機能は、山、谷、川、湖などを模した地形モデルを砂を使って創出し、その立体形状を3Dセンサー(キネクトセンサー)で読み取って数値化したのち、数値モデルで表現される標高カラーマップをプロジェクターで砂上に投影することで、カラフルな立体地形モデルを構築することである。また、投影された地形図は砂山の変形にリアルタイムに追従するため、どのような地形がどのように地図上で表現されるのかを試行錯誤で体験することが可能である。

AR Sandboxには、仮想の雨を降らせる機能がある。具体的には、砂箱の上にかざした手を雨雲に見立て、その雨雲に覆われた砂上に仮想的な雨を降らせるという機能である。砂上に降り注いだ降水は、水流シミュレーションアルゴリズムによって砂の表面に投影描画され、起伏に従って流下したり、窪地や低地に溜まっていく様子が動的に再現される。砂をいじって地形を変えると、溜まった雨水は新しい地形に従って再び低地へと流下をはじめめる。そうした、地形変化に対応した地表水流の様子がリアルタイムで再現されるのである。

このように、砂箱という小規模なスケールではあるものの、地形モデルを作ったりバーチャルの雨を降らせたりすることで、2Dの地形図などに比べて容易に地理的な空間を把握できる。こうして、地形地図の読み方や、等高線の意味、流域・堤防などといった、地形学、地質学、水文学の概念を伝えることを可能にしている。浸水域の推定や堤防決壊時の事象を再現することができるため、防災教育への応用も期待できる。

### 3. AR Sandbox の制作と実践

#### 3.1. 情報収集と開発サイトの邦訳

ゼミ活動で AR Sandbox を作成するにあたり、まずは英語で書かれた開発元のサイト (<https://arsandbox.ucdavis.edu>) を和訳するところから始めた。ここでは、AR Sandbox の作り方は勿論、その開発経緯や実践例などが明記されている。我々はこのサイトを和訳しながら得た情報を元に、制作に必要な材料を調達したりプログラムをインストールしたりした。

本ゼミの AR Sandbox プロジェクト専用サイト (<https://www.sawagaki.0g0.jp>) を開設して、和訳した内容を掲載した。なお、開発元サイトを和訳して Web 上で公開することに関しては、あらかじめ主催者から承諾を得ると共に、開発元のサイト構造を踏襲して対応させられるように配慮した。

さらにこのサイトには、以下に述べるハードウェアの構築過程を Blog 形式で掲載するとともに、地学教育に活用される同様の AR/VR 技術をレビューしたり、ハウツー情報を Wiki としてまとめるページも設けている。

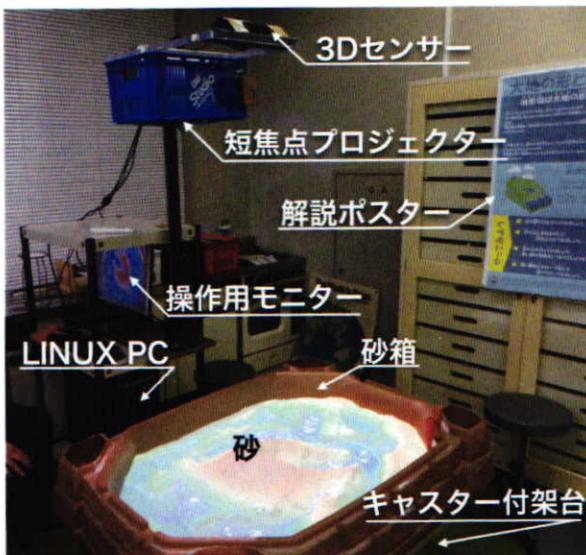


図 2

ゼミで組み立てた AR Sandbox の全景。PC、3D センサー、短焦点プロジェクター、砂などから構成される。砂山の形状をセンサーで読み取ってカラー標高マップを作成し、それをプロジェクターによって砂上に投影している。地表面を流れる水の様子もシミュレーションできる。

#### 3.2. ハードウェアの構築

AR Sandbox は、Linux OS の PC、Kinect 3D センサー、短焦点プロジェクター、そして白い砂とそれを入れる砂箱などから構成される (図 2、3)。一式の構築に当たり、PC やプロジェクターなどは法政大学多摩キャンパス地学実験室の既存のものを流用した。3D センサー、砂、および砂箱は新たに購入したが、いづれもホームセンターやネット通販で入手できる一般的なものである。特に、3D センサーは、市販されているゲーム機に付属しているもので、そこからの流用が可能である。ソフトウェアに関しては、もともと Windows がインストールされていた PC の起動ディスクを入れ替えて Linux OS で起動できるように改造した。また、Kinect センサーのドライバーや AR Sandbox のための専用アプリケーションを開発元のサイトからダウンロードしてインストールした。ハードウェアの諸元は下記の通りである。

##### < PC のスペックおよび周辺機器 >

- ・ OS : Linux mint (mate)
- ・ メモリ : 4 GB
- ・ HDD : 250 GB SSD
- ・ グラフィックボード : nVidia G-force GTX 1060
- ・ 操作インターフェース : USB キーボード & マウス
- ・ Online : Gigabit Ethernet
- ・ ディスプレイ : 15-inch 液晶モニター (基本的な PC の操作に必要)
- ・ 短焦点プロジェクター : BenQ MW632ST
- ・ Xbox 360 Kinect センサー
- ・ Xbox 360 Kinect センサー USB AC アダプター

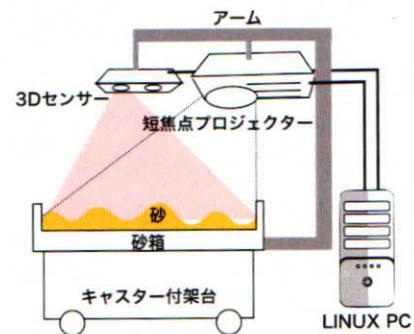


図 3

AR Sandbox の基本構成。詳細は本文を参照。

<砂箱などの構成および備品>

- ・プラスチック製の砂場遊び用ケース
- ・砂場用白色抗菌砂 90 kg (一袋 15 kg x 6 袋)
- ・センサーとプロジェクター用のアーム (写真現像拡大機を改造)
- ・砂箱を乗せるキャスター付き台車
- ・電子機器の電源をまとめる AC タップ
- ・砂場遊び用のシャベル
- ・掃除用のハケとほうき
- ・霧吹き
- ・キャリブレーション用標識 (CD と針金で自作)

実際に構築を始めてみると、開発元のサイトで提供されている青写真には含まれない様々な検討項目が浮上してきた。なによりもまず足かせとなったのは、山間部にあるという大学キャンパスの立地条件である。DIY といえれば必ずお世話になるようなホームセンターに通ったりすることはもちろん、木材などの大型部材の運搬となると、バス路線を利用しないと到達できないキャンパスの立地は致命的である。そこで、構築用の部材は、キャンパス内に放置された不要品などをうまく流用するようにしたり、ネット通販で購入・配送できるものを選んだりするように心がけた。

AR Sandbox で使用する砂の総量は重さにして 70 ~ 100 kg にもなるため、その重量を支えるだけの構造

的強度を確保する必要がある。また、センサーとプロジェクターの位置関係は、AR の再現性を左右する最もセンシティブなハード要因であり、それらの位置調整を試行錯誤できるような可動性を実現する必要もあった。さらには、装置全体のモバイリティも確保したい。前述したような作業環境下で、これらの仕様を満たすべく、アイデアを出し合いながら試行錯誤した (図 4)。特に、実際に使ってもらった想定場面として小学生を主な対象にしたことから、砂箱の高さを低めに設定したり、PC 関係の配線をシンプルにまとめたりするなどの工夫を凝らしている点の特筆されよう。

AR Sandbox の完成後に実際に稼働させたところ、砂を高く積み上げるとさらさらと流れてしまい、一定以上の起伏を作ることができないという不都合が発覚した。試行錯誤の結果、砂に水分を含ませることによって砂の流動性を抑えることで対処可能であることが判明した。

### 3.3. AR Sandbox の公式認定と公開デモンストレーション

完成後、AR Sandbox の主催者あてに報告メールを送ったところ、日本で初めての構築例であると認定され、“AR Sandbox around the world!” という、前述の Google マップ上にバルーンを掲げることができた (図 5)。

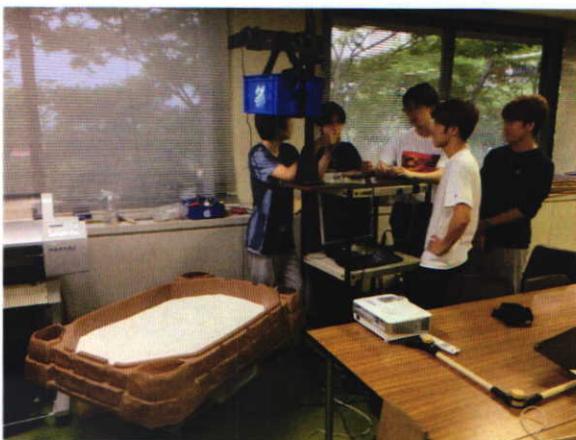


図 4

AR Sandbox の作成に取り組むゼミ生たちの様子。研究室内や身の回りにある機材をかき集めてきて、使える物がなか試行錯誤した (2017 年 6 月 25 日撮影)。



図 5

AR Sandbox around the world! (<https://arsandbox.ucdavis.edu>, 閲覧日 2017 年 7 月 13 日)。世界各地で BYO された AR Sandbox が Google Map 上にバルーン表示される。当ゼミで構築した AR Sandbox は、日本初のバルーンを獲得。

完成した装置は、公共スペースに展示するなどして、実際に人々に使ってもらってこそ、その目的にかなうものである。公共スペースでデモンストレーションを行う際には、ただ装置を展示するだけではなく、その目的や使い方についての解説を添えておく効果的である。実際、本家サイトには「Educator Resources」というページがあり、そこには、地形図や流域の概念と AR Sandbox との関係性を解説するための掲示用ポスターもダウンロードできるように用意されている。そこで、ゼミの和訳作業の一環として、解説ポスターの和訳版も作成することとした。

ゼミ生たちにまず解説ポスターの和訳をやらせてみたところ、最初に提出してきた案は、学生によくありがちな英和直訳そのものであった（図6左）。初歩的な誤訳が見られることに加えて、地形図や水文学の概念に関する深い理解が伴っていないため、専門用語の不適切な扱いが目立った。このような未熟な和訳は、直訳以上にたちが悪いかもしれない。さらに、なんとか日本語として読めるものだとしても、AR Sandbox が主な対象としている子供たちの興味を引きつけるものとしてほど遠い。同伴の親の立場だったとしても、迷訳日本語の理解は容易ではなからうから、子供にかみ砕いて説明してあげる取っかかりにもできない。

そこで、指導者側から専門的な情報の提供を行いながら、実際に使ってもらうユーザーの理解度や、ユ

ーザーへの週及効果への考慮も促し、最終的に図に示すような解説ポスターを完成させた（図6右）。なお、このポスターの PDF 版は、AR Sandbox 構築プロジェクトの Web サイトからダウンロードできるようにしている。

この例からも分かるとおり、教育や啓発活動における AR Sandbox の実際の利用場面においては、地形学や水文学に関する相応の基礎知識を有し、その意味するところを的確に伝達できる素養を備えたオペレーターが必要とされる。逆に、一切の解説や事前知識もない素朴な段階で AR Sandbox に触れたとして、その体験がのちのちの自然体験や自然理解にどのように生かされていくのか、という視点で効果を評価する軸もあってよいのかもしれない。

次節では、大学生を対象にした利用体験アンケートの結果を示すが、上述した予備知識や解説を受けたかどうか、という観点では、ほぼ素朴な状況（大学生ではあるが）で触れてもらった体験を評価したものであるといえる。

### 3.4. アンケート調査の結果

法政大学多摩キャンパス内において、我々が作成した AR Sandbox を一般学生に触ってもらう機会を設け（図1）、アンケートに答えてもらった。実際に触ってもらうのに先だって、図6左の解説ポスターを作成したゼミ生たちに、図6右の改訂版の解説ポス



図6

AR Sandbox の教育支援用解説ポスターの和訳版。左) 学生が最初に提案したバージョン。右) 完成版。PDF 版は Web サイトからダウンロードできる。

ターの内容に沿って口頭で説明してもらった。その内容は、AR Sandbox の機能面の説明と、砂上に投影される標高カラーと水流シミュレーションの意義についてが主で、ごく簡単な内容である。

アンケートには、非常にそう思う・ややそう思う・どちらでもない・あまり思わない・全くそう思わない、の5段階評価で回答してもらう質問を5問、自由記述式の質問を5問、の計10問を用意した。体験者のうち22名から回答が得られた。まずは、5段階評価の回答結果を示す。

質問	非常にそう思う～ 全くそう思わないの順
問1 等高線・地図の見方に役立つと思うか	20--2--0--0--0
問2 大人として、子供に使わせたいと思うか	19--3--0--0--0
問3 魅力を感じ、興味を持ったか	17--5--0--0--0
問4 災害の危険性を認知、危機感を持ったか	7--6--4--4--0
問5 教育の現場で役立つと思うか	16--6--0--0--0

以下は記述式の質問への回答結果である。

問6 2D 地図等と AR Sandbox でどちらの方が理解しやすいと感じたか、またどのような点が他方と比べて理解しやすいと思うか。

→立体的でわかりやすい、体験型・参加型で積極的に学べるという肯定的な意見が多く、AR Sandbox の方が理解しやすいという意見が21名、1名はどちらも変わらないという意見であった。

問7 どのような点が AR Sandbox の魅力だと思うか。

→立体的であること、実際に触られること、また、自分で動かすことができること、雨を降らせることができる点。

問8 どのような点で AR Sandbox が実用的だと思うか。

→博物館の展示、授業や学習などの教育現場、災害への対応や注意喚起などに利用できる点。

問9 AR Sandbox のどのような点を改良すべきだと

思うか。

→反応があまり良くない点、雨の降らせ方が難しい点、雨以外の時や災害時にどうなるかなどがわかるとよい、サイズが大きい、すぐ飽きる点。

問10 小学生が使用する上で考え得るリスクや問題点。

→砂を食べてしまったり目に入ったりすることがあるのではないかと、あるいは機械を倒したり壊したりしてしまうのではないかと懸念。

以上の回答結果を概観すると、教育現場での効果にはほとんどの回答者が肯定的な反応を示してくれたといえるだろう。一方、一般の人々、特に子供に使わせる場合のアクシデントに対応する必要性が指摘されているのは傾聴に値する。また、改良点として操作性に関する指摘や、応用的な発展性に関する指摘があることにも注目しておきたい。この点は、解説ポスターの改善や充実、あるいはインストラクターの指導を介在させるなど、デモンストレーションの運用面での対応を考えていくべき内容であろうと考えている。

#### 4. まとめ

工学や地球科学的な素養をほとんど期待できない社会学部3年生のゼミ課題として AR Sandbox の構築と、チュートリアル Web サイトの邦訳・公開作業を行った。特殊な素材を必要とせず、ホームセンターなどで入手可能なもので作成することが可能である。そのため、多くの人が簡単に作成することが可能であり、作ってしまえば幅広い年齢層が使用できる。また、実際に触れることができ、立体的に空間を把握することが可能である。この2点が、AR Sandbox の最大の利点であると考えられる。

しかしながら、本邦では未だ認知度が低く、広く活用されているとはいえない。このような現状を打開するため、邦訳した Web サイトを通じて我々がゼミ活動で DIY した実体験も公開することで、次に作ってみようという興味を示す人々への導入段階での敷居を下げるの一助になることを期待したい。また、

邦訳した解説ポスターは Web サイトを通じて公開しているため、展示の際に活用してもらえることも期待している。さらには前章で述べたアンケート結果などを参考にして、デモンストレーションのよいよい方法を模索していくなど、近隣の教育機関と連携し、より実践的な場面での運用を試みていくことも必要であろう。

### 参考文献

- Kreylos, O. (2014) Augmented Reality Sandbox. <http://idav.ucdavis.edu/~okreylos/ResDev/SARndbox/index.html>.
- Reed, S., Kreylos, O., Hsi, S., Kellogg, L., Schladow, G., Yikilmaz, M.B., Segale, H., Silverman, J., Yalowitz, S., and Sato, E. (2014) Shaping Watersheds Exhibit: An Interactive, Augmented Reality Sandbox for Advancing Earth Science Education, American Geophysical Union (AGU) Fall Meeting 2014, Abstract no. ED34A-0.
- Reed, S., Hsi, S., Kreylos, O., Yikilmaz, M.B., Kellogg, L.H., Schladow, S.G., Segale, H., and Chan, L. (2016) Augmented Reality Turns a Sandbox into a Geoscience Lesson, EOS 97, <https://doi.org/10.1029/2016EO056135>.
- Sánchez, S.Á., Martín, L.D., Gimeno-González, M.Á., Martín-García, T., Almaraz- Menéndez, F., Ruiz, C. (2016) Augmented reality sandbox: a platform for educative experiences. In: Proceedings of the Fourth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality. pp. 599–602.
- Kundu, S.N., Muhammad, N. and Sattar, F. (2017) Using the augmented reality sandbox for advanced learning in geoscience education. IEEE 6th International Conference on Teaching Assessment, and Learning for Engineering (TALE) DOI10.1109/TALE.2017.8252296.
- 齊藤 昭則, 津川 卓也, 市川 浩樹, 島田 卓也 (2017) 多様な環境においてデジタル立体地球儀を実現するためのダジック・アースの開発, Journal of Space Science Informatics Japan, vol. 6, 131-144, doi:10.20637/JAXA-RR-16-007/0012.