

博士論文

自然環境分野を主体とする地理情報科学の教材開発と
授業実践を踏まえた学習効果の評価

(Development, Applications, and Evaluation of Educational
Materials for Geographic Information Science with Emphasis on
Natural Environmental Studies)

山内 啓之

目次

| | |
|--|----|
| 第1章 序論 | 1 |
| 1節 はじめに..... | 1 |
| 2節 背景..... | 4 |
| 1項 GISを用いた地理的事象の視覚的分析の教育の現状と課題..... | 4 |
| 2項 GISによるデータ処理の教育の現状と課題..... | 6 |
| 3項 GISと関連した空間表現の新技术による教育の現状と課題..... | 8 |
| 3節 本研究の目的と構成..... | 10 |
| 4節 構築した教材を用いた各授業実践の概要..... | 12 |
| 第2章 GISを用いた地理的事象の視覚的分析の教育 | 15 |
| 1節 二次元表示の地図を用いた防災情報の視覚的分析..... | 15 |
| 1項 はじめに..... | 15 |
| 2項 WebGISの構築..... | 16 |
| 3項 授業実践..... | 18 |
| 4項 設問の評価手法と回答の結果..... | 20 |
| 5項 考察..... | 25 |
| 6項 まとめと今後の課題..... | 26 |
| 2節 三次元表示の地図を用いた地形の判読..... | 28 |
| 1項 はじめに..... | 28 |
| 2項 教材のコンセプト..... | 29 |
| 3項 WebGISの構築..... | 30 |
| 4項 学習項目の選定..... | 30 |
| 5項 効果の測定方法と授業実践の概要..... | 33 |
| 6項 実践の結果..... | 34 |
| 7項 教材の技術的な有用性の考察..... | 38 |
| 8項 本実践における受講者の課題と教材の改良..... | 39 |
| 9項 まとめと今後の課題..... | 39 |
| 第3章 GISによるデータ処理の教育 | 41 |
| 1節 はじめに..... | 41 |
| 2節 オンライン教材の構築手法..... | 43 |
| 1項 教材のシステム設計..... | 43 |

| | |
|---|------------|
| 2項 教材の提供手法 | 45 |
| 3項 教材のコンテンツ構築 | 46 |
| 3節 GIS 実習オープン教材のオンラインでの利活用 | 48 |
| 1項 アクセスログに基づく教材の利用傾向 | 48 |
| 2項 QGIS 入門教材のオンラインアンケートの結果 | 52 |
| 3項 動画共有サイトを用いた学習の蹟きの分析 | 55 |
| 4節 地球惑星科学分野の大学生を対象とした授業実践 | 58 |
| 1項 大学における授業実践 | 58 |
| 2項 実習の構成 | 59 |
| 3項 アンケートの設計 | 60 |
| 4項 アンケートの結果と提出課題の評価 | 61 |
| 5節 地理学分野と関連分野の大学生を対象としたオンライン講座 | 70 |
| 1項 講座の概要とアンケートの設計 | 70 |
| 2項 結果 | 71 |
| 6節 中高校生を対象とした授業実践と結果 | 79 |
| 1項 中高校生を対象とした授業実践 | 79 |
| 2項 アンケートの結果 | 80 |
| 3項 課題の結果 | 84 |
| 7節 考察 | 85 |
| 1項 教材の機能・管理・更新のしやすさ | 85 |
| 2項 授業の難易度 | 86 |
| 3項 中高生向けの GIS 実習の評価 | 87 |
| 4項 事例 F(大学生対象)を主とする教材の学習効果の評価 | 88 |
| 5項 授業形式による学習効果の違い | 89 |
| 8節 まとめ | 91 |
| 第4章 GIS と関連した空間表現の新技术による教育 | 93 |
| 1節 3D プリンタを用いた地形模型の構築とその活用 | 93 |
| 1項 GIS データを用いた地形模型の造形手法と作業の注意点 | 93 |
| 2項 授業の概要と使用した地形模型の特徴 | 95 |
| 3項 結果 | 99 |
| 4項 地形模型の造形の特徴と授業での活用の効果 | 100 |
| 5項 まとめ | 101 |
| 2節 ドローンで撮影した全天球画像を用いた授業実践 | 102 |

| | | |
|---|----------------------------|------------|
| 1項 | はじめに | 102 |
| 2項 | 空撮による全天球画像の取得と教材化 | 102 |
| 3項 | 高校での授業実践とアンケート調査 | 105 |
| 4項 | 大学での授業実践とアンケート調査 | 107 |
| 5項 | インターネットを用いたアンケート調査 | 108 |
| 6項 | 結果 | 108 |
| 7項 | 教材を用いた地形学習の効果と課題 | 113 |
| 8項 | まとめと展望 | 115 |
| 3節 三次元地理情報を用いた VR 教材の構築 | | 116 |
| 1項 | はじめに | 116 |
| 2項 | 「田谷の洞窟」の概要と VR アプリ用データの取得 | 117 |
| 3項 | VR アプリの構築 | 119 |
| 4項 | VR アプリの体験会とアンケート調査の実施 | 121 |
| 5項 | アンケートの結果 | 124 |
| 6項 | 体験者の満足感に対する効果 | 126 |
| 7項 | 地理的事象の関心や理解への効果 | 127 |
| 8項 | まとめ | 128 |
| 4節 多人数 VR フィールドワークに対応したメタバース教材の構築と効果 | | 129 |
| 1項 | はじめに | 129 |
| 2項 | 屏風ヶ浦の概観と各種データの取得 | 130 |
| 3項 | VR 空間のコンセプト | 131 |
| 4項 | 屋内と屋外の VR 空間の設計 | 132 |
| 5項 | VRChat を用いた VR フィールドワークの実践 | 134 |
| 6項 | 参加者の行動の記録とアンケートの結果 | 137 |
| 7項 | メタバースを用いた地理教育の有用性と学習効果 | 144 |
| 8項 | まとめ | 145 |
| 第5章 総合考察 | | 147 |
| 1節 本研究を踏まえた中高生と大学生の GISc の学習の改善案 | | 147 |
| 2節 GIS の普及を目的とした教員の育成 | | 151 |
| 1項 | 中等教育の教員の GISc の学びの充実化 | 151 |
| 2項 | 中等教育の教員向け GISc 教育の学習内容の検討 | 152 |
| 3節 EdTech を用いた教育における本研究の貢献 | | 155 |
| 脚注 | | 158 |

| | |
|---------------|-----|
| 引用文献 | 162 |
| 論文内容の要旨 | 175 |
| 謝辞 | 178 |

第1章 序論

1節 はじめに

GIS (Geographic Information Systems/地理情報システム) は, コンピュータで地理情報の管理, 分析, 作成, 検索などを行う設備や技術である. 近年, GIS が社会に広く普及し, 一般市民がスマートフォンや PC を通じて, GIS で駆動しているデジタル地図や, 位置情報と関連するアプリケーションを利用する機会が増えている. 産官学のさまざまな分野でも, GIS を活用したビジネス, 行政サービス, 学術研究などが国内外で行われてきた (Liu et al. 2016 ; 小口 2019 ; 瀬戸 2019) . さらに, AR (Augmented Reality) のような位置に基づいてカメラの映像と連動させて情報を表示するサービス (Paavilainen et al. 2017) や, ドローンのような三次元地理情報の取得に役立つ機器 (早川・小花和 2016) を用いた多様な GIS の利活用も増えつつある. また近年では, オープンソースの GIS のソフトウェアが充実し, 各種の地理情報もオープンなライセンスで整備され, GIS を活用した地図作成や空間分析に取り組みやすくなっている. このように, GIS やその関連技術が社会の基盤をなす情報インフラになっている現状を考慮すると, GIS の基本概念, データの読み取り, 活用手法などを, 次世代を担う若者に向けて教育することが社会の発展に重要といえる.

一方で, GIS の学習には独特な要素や複雑さがある. 地理情報には, 主にベクトル型データ (ベクタデータ) とラスタ型データ (ラスタデータ) の2つの形式がある (碓井 2016) . ベクタデータは, 地物を点, 線, 面で表現でき, 複数の属性情報を保持できる. 図形の各ノードに座標値をもつため, PC の画面で拡大縮小の操作をしても視認性が大きく変化しない傾向がある. ただし, 精度が異なるデータが同じ地図上に重ねられるため, 情報の正確性の判断には注意が必要となる. もう一方のラスタデータは均一のサイズのセルで構成される. セルの大きさは現実の地物の再現度を示す. 同じ対象でもセルサイズを 1m としたり, 1km としたりできるため, 利用者はデータの質と分析の目的をセルサイズと対応させることが求められる.

GIS 教育では, 地理情報やそれを用いた分析法の知識や, ソフトウェアを用いて実際にデータを処理・解釈する技能の養成が目的とされる. 国外では, Problem-Based Learning (PBL) と関連した GIS 教育の手法も検討されており (Rickeles & Ellul 2015 ; Rickles et al 2017) , Sui (1995) や Chen (1998) のように教育の特徴やフレームワークを示す概念図の提案も多い. また, 学際的な研究者の GIS の学習方法について, テクノロジーを用いた教育のフレームワークの TPACK (Technological Pedagogical Content Knowledge)

に当てはめて検討した事例もある (Rickles et al 2017) . 国内では大学の学部を想定した GIS の講義の内容を網羅的にまとめたり (浅見ほか 2015) , GIS の実習を段階的に行ったりするための教材 (山内ほか 2019) などが検討されてきた. 一方, GIS 教育の構造を整理するような研究の事例は少数であり, 今後の探求が必要と考えられる.

GIS 教育には, データ処理やその解釈を主とする地理情報科学 (Geographic Information Science) と, データやソフトウェアなどの構築を主とする地理情報工学 (Geographic Information Technology) の面からのアプローチがある (岡部 2006 ; 太田 2014) . 本論では, 前者の視点に立つ教育を取り上げ, 以下, これを GISc 教育と表記する. 地理情報科学は, 「空間データを系統的に構築し, 管理し, 分析し, 総合し, 伝達する汎用的方法・方法論, およびその汎用方法を適用する方法・方法論を研究する学問」である (岡部 2006) . GISc 教育は, この学問分野の人材を育成するための授業の設計, 授業の実践, カリキュラムや教材の開発, それらの学習効果の評価などを含む. この教育によって, 対象者は GIS を用いた地理情報の管理, 分析, 地図の作成や, 結果の科学的な解釈ができるようになる.

GISc 教育には「GIS を教える」と「GIS で教える」という 2 つのアプローチがある (Sui 1995) . 前者は, 空間データの構造, 地図の描画手法, データ分析の手法などを教育するものである. 後者は読図の学習の延長にあたり, 地理的事象を提示・解釈する手法を教える場面で GIS を活用して, 地理学習への意欲の促進を目指す. これらの 2 つのアプローチは, 共に講義と実習を含み, 最終的に地理的事象の理解を深めるという共通点がある. 実際, 高等学校や大学での授業では, 両者を関連づけて教えることもある.

近年実施されている GISc 教育を概観すると, 1) GIS を用いた地理的事象の視覚的分析の教育, 2) GIS によるデータ処理の教育, 3) GIS と関連した空間表現の新技术による教育に大別できる. 1) は, 「GIS で教える」というアプローチに重点を置き, 受講者は GIS 上での複数の地理情報の重ね合わせや, 切り替えなどの操作を通じて地理的事象の理解を深める技法の有用性を学ぶ. 授業の設計によっては「GIS を教える」の学習を先に行い, その成果を踏まえて, データや分析の特徴を考慮した事象の理解を促すこともできる.

2) は, ソフトウェアを用いて地理情報の取得, 作成, 編集, 分析, 管理, 検索, 地図化などを行うための知識・技能を育成するものであり, 「GIS を教える」のアプローチが主体となる. 内容の複雑さに応じて, 入門, 基礎, 応用といった段階的な教育が行われ, 人文地理と自然地理の両方で利用できる汎用的な技法が扱われる. また, Python, R,

SQL などを用いたプログラミング言語によるデータ処理も含まれることがある。地図化の教育では、空間情報の効果的な可視化や伝達の手法が取り上げられ、最近ではインターネット上で機能する WebGIS を含む場合もある。受講者は、出力された地図の解釈といった 1) と関連する技能とともに、GIS のデータ形式、測地座標系、用語の理解などのより専門的な知識も学習する。

3) は、近年普及しつつある点群などの三次元地理情報や、ドローンで取得した映像を用いた空間表現の手法などを地理教育に応用するものである。新技術による空間表現は、一般的な GIS で出力する地図に比べて、地理的事象の直感的な把握に有用な可能性がある。したがって、「GIS で教える」という側面からの地理教育を充実できる。

本章では上記の 1) ～ 3) のそれぞれについて、中等教育や高等教育などの事例を取り上げつつ、その現状や課題を整理する。

2 節 背景

1 項 GIS を用いた地理的事象の視覚的分析の教育の現状と課題

GIS を用いた地理的事象の可視化の教育は、多様な世代に実践され、中学生や高校生を対象とした事例も多く報告されている（伊藤 2016；北崎 2020；高橋 2021）。これらは、伝統的な地図を用いた教育の延長と位置付けられることが多く、GIS を操作して視覚的に得られる情報から、対象地域の地理的事象を理解することを目指す。

2022 年度に、日本の高等学校で「地理総合」が必修科目となり、すべての高校生が GISc 教育を受けるようになった。この科目では、「地図や地理情報システムなどを用いて、調査や諸資料から地理に関する様々な情報を適切かつ効果的に調べまとめる技能を身に付けるようにする」ことが求められ、探求学習の側面で GIS が利用される（文部科学省 2018a）。さらに、中学校の社会科においても、地理情報の収集やその活用が推奨されている（文部科学省 2017a）。このように教育課程の枠組みとして GIS の活用が求められる一方で、中等教育における GIS の利用にはいくつかの課題がある。これについて伊藤（2012a）は、実情にあわせた授業の設計、汎用的な GIS の教材、設備や教具の充実の必要性を指摘した。とくに、中等教育で教員や生徒が利用できる端末の性能やインターネットの接続環境が不十分という問題がある（谷・斎藤 2019）。また、GIS の実習のための PC 室の利用の際に、スケジュールの調整などの手間がかかることもある（伊藤 2016）。一方、近年の日本では GIGA スクール構想（文部科学省 2019）、小中学校でのプログラミング学習の導入（文部科学省 2017b）、新型コロナウイルスの感染拡大に伴うオンライン教育の普及（河合 2020；柴田 2020）などを通じて、初中等教育での ICT（Information and Communication Technology）機器の活用が活性化しつつある。

中等教育では、PC にソフトウェアをインストールして使用するデスクトップ GIS の活用とともに、地理院地図¹⁾、重ねるハザードマップ²⁾、今昔マップ on the web³⁾、Google Earth⁴⁾などの WebGIS の活用が進んでいる。WebGIS は、タブレットやスマートフォンなどの異なる端末でもブラウザを通じて接続できるため、Wi-Fi でインターネットに接続できる一般の教室でも利用しやすい。多くの WebGIS には、複数の地理情報の重ね合わせや、切り替えの操作をしながら地図を表示する機能がある。デスクトップ GIS と同等のデータ処理の機能を持つものは少数であるが、データの作成、地物の検索、最短経路検索、地理情報の彩色、標高情報を用いた三次元表示などの機能をもつものもある。また、WebGIS を、地図とともに関連する地理的、歴史的事象を順番に表示するようなプレゼンテーションツールとして使用する場合もある（Giannakou & Klonari 2019）。最近では、Web 地

図を構築するための無償のライブラリも充実しているため、HTMLなどの知識があれば、教員がオリジナルの地図を構築して授業に利用することも可能である。

GISの知識が十分にあり、実際にソフトウェアやアプリケーションを活用して授業ができる教員は徐々に増えていると考えられる。小橋（2005）による小中高等学校教員を対象としたアンケート調査では、GISを用いた授業の実践もしくは予定は、全266の回答のうち2例のみであった。その後、日本学術会議地理教育分科会と日本地理学会地理教育専門委員会は、日本地理学会に所属している高校常勤教員を対象とした調査（回収票数114票）を行った。これは意欲が高い教員に絞られた調査とみなせるが、2013年度の授業でGISを活用予定と回答した教員は39%に留まった（大島2013）。また、全国の全日制公立高校の教員476名を対象とした谷・斎藤（2019）の調査では、授業でGISを利用した経験のある教員の割合は23.9%であった。以上の結果は、中等教育においてGISを導入できる環境や人材の育成がまだ十分に整っていないことを示す。2000年代前半以降から多くの教員養成系の大学・学部でもGISの教育が実施されるようになったが、授業数が少ないという課題もある（矢部・橋本2016）。

しかし、ICTの活用が充実しつつあることを考慮すると、教員がGISについて効果的に学べる機会を増やすことが重要な状況にあるといえる。また、生徒がGISを活用することで得られる学習効果や学習時に躓きやすい点を明確にし、それに基づいて教育現場で利用できる授業のプランを提案することも、中等教育でのGISの導入や充実した活用につながると思われる。

2項 GISによるデータ処理の教育の現状と課題

GISを用いたデータ処理に関連する教育は、主に高等教育で実施され、1980年代の終わり頃から米国を中心に充実が図られてきた。1990年初頭に米国の NCGIA (National Center for Geographic Information and Analysis) は、米国国内、イギリス、オーストラリア、ニュージーランド、香港の70以上の機関からの評価に基づく GIS Core Curriculum を構築した (Kempt & Goodchild 1992)。2006年には、米国の UCGIS (University Consortium for Geographic Information Science) が、地理情報科学と地理情報工学の教育のために、GIS&T Body of Knowledge (以下、GIS&T BoK と記す) を整備した (DiBiase et al. 2006)。GIS&T BoK は、GIS の授業の構成を検討するための資料として、世界で広く認知されている (Wallentin et al. 2015)。さらに2016年には、内容を更新した新しい GIS&T BoK⁵⁾の整備も進められ、2022年9月の時点では10の大項目をもつ教材が公開されている (UCGIS 2022)。GIS&T BoK は、GIS のデータ処理や関連技術をテキスト形式で紹介しており、誰もが自由に閲覧できるようにインターネット上で提供されている。

日本の大学の GIS 教育の充実に関する検討は、米国に比べると10年ほど遅れて始まった (岡部 1998)。日本独自の GIS コアカリキュラムの検討が、2002年から地理情報システム学会の「GIS カリキュラム検討ワーキンググループ」によって行われ、2004年にその原案が発表された (岡部ほか 2004 ; Kawabata et al. 2005)。その後、科学研究費補助金による研究プロジェクトとして、科学研究費基盤研究 (A) 「地理情報科学標準カリキュラム・コンテンツの持続協働型ウェブ・ライブラリーの開発研究」 (平成 17~19 年度、代表者：岡部篤行) が行われた。この中で、具体的なカリキュラムの整備が、様々な地理学関係の研究者によって進められ、2007年に最終版の「GIS コアカリキュラム」が作成された (岡部 2008)。この整備にあたっては、当時の日本の大学では米国の大学に比べて GIS の授業にかかる時間が少なかったことが考慮され、最低限教えるべきトピックを選定したミニマムスタンダードが追求された (河端ほか 2004)。また、米国と異なる点として、地理情報科学と地理情報工学のそれぞれについて、コアカリキュラムが整備されたことがある。このような取り組みにより、米国との GIS 教育の差は減少したが、2000年代後半でも全国の大学の地理学教室や関連学科における GIS 教育の量と質は十分ではなかった (佐々木ほか 2008)。

この状況を踏まえて、科学研究費基盤研究 (A) 「地理情報科学の教授法の確立—大学でいかに効果的に GIS を教えるか—」 (平成 17~20 年度、代表者：村山祐司) と、科学研究費基盤研究 (A) 「地理情報科学標準カリキュラムに基づく地理空間的思考の教育方

法・教材開発研究」（平成 21～25 年度，代表者：浅見泰司）が実施された。後者のプロジェクトにより，2012 年には GIS コアカリキュラムを踏まえた「地理情報科学の知識体系」が整備された（貞広ほか 2012）。さらに，上記の体系に基づく講義用の教科書として「地理情報科学—GIS スタンダード—（以下，「GIS スタンダード」と記す）」（浅見ほか 2015）や，講義用の電子教材である「GISc スライド」が整備された。

「地理情報科学の知識体系」や「GIS スタンダード」の構築は，講義の充実を図ったものであったが，コアカリキュラムと部分的に対応した実習用オンライン教材の開発も行われた（高橋・岡部 2008a）。ただし 2000 年代には，GIS のソフトウェアが高価などの理由から，GIS の実習授業を行う大学は限られていた。これらの大学では，有償のソフトウェアが広く利用されていたものの，一部では無償の簡易的なソフトウェアも活用されていた（Sasaki et al. 2008）。

しかしその後，無償のソフトウェアの高性能化やオープンデータの充実によって，インターネットへのアクセスとデータ処理用の PC があれば，誰もが GIS を利用できる環境が整ってきた。従って，無償の GIS ソフトウェアやオープンデータを用いて，「GIS スタンダード」で取り上げているデータ処理などを行う実習用の教材があれば，GIS を活用できる人材を多く育成できると考えられる。また，その教材を GIS&T BoK と同様に，誰もが自由に閲覧できるように公開することも有用である。

他方，少数の中等教育の機関では，GIS ソフトウェアを用いたデータ処理の教育が 1990 年代から検討されてきた（秋本 1996）。谷ほか（2002）は，地理情報分析システム「MANDARA」⁶⁾をベースとする教育用 GIS を開発し，統計情報を地図にする手法や，身近な地域の地図を作成する手法を中学生に対して教授した。中等教育では，地理情報の視覚的把握が重視される傾向があるが，GIS は手書きの地図とは異なる概念で空間を再現し，なかでもデスクトップ GIS が最も優れた機能を提供する。一方でデスクトップ GIS を使用するためには，PC の様々な操作も必要となるため，教員も学習者も操作で手一杯になり，地理の学習が不十分になる懸念も指摘されている（伊藤 2016）。そのため中等教育では，地図表示や操作が比較的容易な WebGIS の活用が注目されている。しかし，意欲のある生徒の個人学習や，地理や地学系の部活動などでは，デスクトップ GIS を中等教育で利用することも想定される。その実現のためには，中高生でも理解できるような GIS の教材と指導法の整備，効果的な授業ができる教員の育成，および教員が不在でも自習のために利用できるオンライン教材の構築が求められる。

3項 GIS と関連した空間表現の新技术による教育の現状と課題

地理情報を GIS に読み込むと現実空間を地図として表現できるが、自然景観や建造物の内部の様子など、地図上では伝達が困難な要素もある。これに対し、Google Maps⁷⁾などの WebGIS のサービスには、現地の写真を地図上の地点と連動して表示する機能がある。この際には、写真にジオタグとよばれる位置情報を付与したり、外部のサイトにある画像を地図上で表示したりする。ジオタグは、SNS の投稿などにも付与でき、その情報を CSV などのテキスト形式にまとめれば、GIS で容易に利用できる。WebGIS には、国立公園や登山道といった特定の種類の場所に対する口コミを収集し、それを他のユーザーに向けて表示する機能もある。いずれにしても現実空間は複雑であるため、GIS や WebGIS を用いた効果的な情報の伝達の手法を検討することが重要である。

他方で近年、初中高等教育での ICT 機器の活用が重視されつつあり、各種の EdTech が注目されている。EdTech は、Technology と Education の組み合わせを意味する語句であり、教育における AI、ビッグデータ等の様々な新しいテクノロジーを活用した様々な取組を指す（文部科学省 2018c）。代表的な EdTech には、MOOCs（Massive Open Online Courses）や、LMS（Learning Management System）などがあり、教育以外の分野に関する技術を教育に応用することもある（Martin 2018）。国内では、新型コロナウイルスの感染拡大によって中学校・高校の閉鎖が余儀なくされた際に、経済産業省が「学校が閉まっているからって、学びを止めないで済む」をキーワードとし、各種の EdTech の活用を推奨した。これを踏まえて大学でも、様々なアプリケーションを用いたオンライン授業が実践された。経済産業省の「未来の教室」の Web サイト⁸⁾では、地理の EdTech として東京カートグラフィック株式会社の WebGIS である「地図太郎 Lite for Education」⁹⁾が紹介されている。地理の分野では、中・高等教育ともに授業で GIS を扱っており、EdTech の活用を実践しやすいというメリットがある。しかし、地理学のリテラシーが十分でないと、GIS や地図から地理的事象を読み解くことが難しくなることも指摘されているため（卜部 2010；山内ほか 2020），より現実空間を直感的に理解できる教材の検討が求められる。

一方、地理情報や GIS の関連機器から取得できる映像などを地図以外の方法で可視化した教材が有効な可能性もある。地理情報には、標高などの三次元表示に利用できる、一般的な地図とは異なる 3D モデルの形式の空間表現に応用できるものがある。近年、安価な小型無人航空機（Unmanned Aerial Vehicles、以下、ドローンと記す）や、小型の LiDAR（Light Detection And Ranging）を搭載したスマートフォン（iPhone 12 pro シリーズなど）が普及したため、身近な三次元地理情報を容易に入手できるようになった（Luetzenburg 2021）。また、スマートフォンのアプリケーションを用いて写真測量（フ

オートグラメトリー) による 3D モデルの作成ができるようになり, PC で 3D モデルを編集するフリーのソフトウェアも提供されている (たとえば, Blender¹⁰⁾, や Meshmixer¹¹⁾ などがある) .

3D モデルは, 3D プリンタを用いると地形模型として出力できる. 模型は, 角度を変えて見たり, 手指で触れて実際の高さや形状の違いを理解したりできるため, 地形などの教育に有効な可能性がある. 従来の地理教育では, 厚紙や段ボールで地形模型を作ることはあったが (早川ほか 2019) , 手間を要し仕上がりも概略的であった. 3D プリンタを用いれば, 人的なコストが減り, より精巧な模型を造形できる. また 3D モデルは, VR (Virtual Reality) 用の HMD (Head Mounted Display) で閲覧できるアプリケーションの設計にも応用できるため, 等身大でその空間での散策などを近似体験できるシステムの構築にも役立つと考えられる (山内ほか 2022) .

この他にも, 全方位を撮影できるカメラで取得した全天球画像が, 景観の多様な方向からの観察に応用できる (Geng et al. 2019) . たとえば DJI 社の一部のドローンは, 空中で撮影した数枚の写真を合成し, 全天球画像を出力する機能を持つ. この画像は, スマートフォンや安価なステレオスコープと組み合わせると, 簡易的な VR 体験に利用できる. この利用者は, 実際にその場で地形などを眺めるような体験ができるため, 既存の GIS による地図表現に比べて, より直感的に地理的事象を理解できる可能性がある.

一方, 国内外における地理教育で, 三次元地理情報やドローンの映像を活用した実践の例は少数である. そのため, 実際に地形模型や VR に対応する教材を構築し, 実践とアンケート調査によって, その有用性と国内の GISc 教育や地理教育への導入の可能性について検討する必要がある.

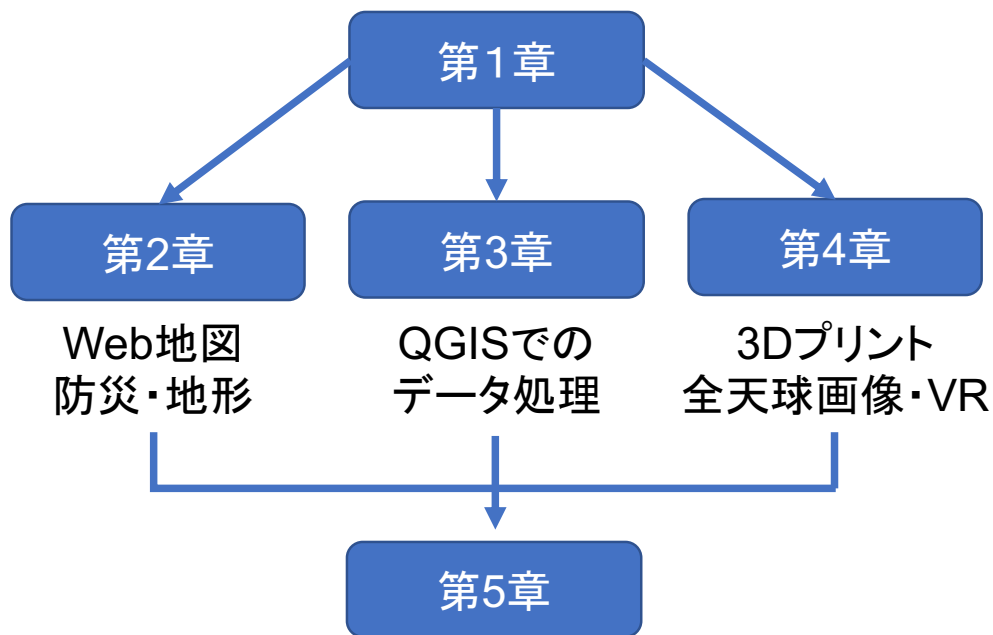
3節 本研究の目的と構成

高等学校における「地理総合」の必修化は、国内の GIS の普及にとって重要だが、GISc 教育には前記した問題点もあり、多様な GIS の活用事例を踏まえた課題の選択や、効果的な学習のための教材や教授法の提案が求められる。

そこで本研究では、中等教育、高等教育、市民教育などを対象とし、GIS と関連技術を活用した地理情報科学の教材の構築と授業実践を行い、アンケート調査などによって教材の教育上の有効性を検討し、その結果を踏まえて有用な教材や教授法を提案する。さらに、多様な実践の結果を総合的に評価し、国内の GISc 教育のあり方や、その充実のための手法について検討する。前記のように、GISc 教育には「GIS を教える（学ぶ）」と「GIS で教える（学ぶ）」の 2 つのアプローチがあるが、両者は相互に関連しており、教える側と教わる側によって同一の内容の位置付けが変わるため、2 つを明確に分けて議論することは難しい。そこで、本研究では主に教わる側に注目し、GISc 教育で養うべき知識・技能を以下の三点に絞った検討を行う。これらの達成の度合いが、各実践の学習効果や教材の有用性などの評価の基準となる。

- ・ デジタル地図と授業などで得た知識を関連させて、地理的事象を判読・解釈できる
- ・ GIS の基本概念を理解し、空間データを視覚的・数理的に分析できる
- ・ 地図以外の空間表現から、地理的関心を高めたり、地理的事象の特徴に気づいたりできる

本研究の構成を図 1-1 に示した。授業実践の対象者は、中学生、高校生、大学生、大学院生、一般市民、その他（中等教育の教員や大学教員など）とした。第 2 章～第 4 章では、1 章で述べた 1) ～ 3) の課題に対応した教材を構築し（表 1-1）、授業実践とアンケート調査を行う。第 2 章では、授業実践の社会的な意義が明瞭な防災教育と、これまで検討が少なかった地形教育における GIS の利活用を対象とする。防災教育では水害を対象とした二次元表示の地図の利活用、地形教育では典型地形の判読を目的とした三次元表示の地図の利活用について検討する。第 3 章では、無償の GIS のソフトウェアを用いたデータ処理の教育を対象とする。第 4 章では、3D プリントで作成した地形模型、典型地形を空撮した全天球画像、三次元地理情報を用いた VR の教育的な活用を対象とする。第 5 章は総合考察であり、各実践の結果を総合的に評価し、今後の GISc 教育のあり方や、その充実のための手法について検討する。



GISc教育のあり方を総合的に考察

図 1-1 本論文の構成

表 1-1 構築した教材の一覧

| 章 | 名称 | 公開の有無 | URL または非公開の理由 |
|---|-----------------|-------|---|
| 2 | 防災教育用の Web 地図 | ○ | https://scarlett0507.github.io/DCU2021/ |
| | GIS でみる地形オープン教材 | ○ | https://gg-oer.github.io/book/ |
| 3 | GIS 実習オープン教材 | ○ | https://gis-oer.github.io/gitbook/book/ |
| | 中高生向けの GIS 実習教材 | × | 使用データの利用規約のため |
| 4 | 3D プリントによる地形模型 | × | 現物のため展示の際のみ公開 |
| | スマホ・地形・VR (試験版) | ○ | https://sites.google.com/view/demovr |
| | VR 田谷の洞窟 | × | 対象地域の特性上 |
| | VR 屏風ヶ浦 | × | VRChat のアカウントランクの関係 |

注：教材は筆者が主体的な役割を担って、他の研究者と共同で作成した。

4 節 構築した教材を用いた各授業実践の概要

本研究では、表 1-2 に示した A~J の学校またはイベントを対象に、第 1 章で述べた 1) ~ 3) に該当する授業を実践した。事例 A (大学生対象) は、大学の中学校社会科の教員養成科目として開講した「地理学」の講義である。本事例では、1) に該当する授業のうち、防災と地形の授業を行った。受講者の大半は学部 2 年生であり、学生の専門は福祉学であった。防災の授業は 2021 年と 2022 年に 1 回ずつ実施し、地形の授業は 2020 年と 2021 年に 1 回ずつ実施した。

表 1-2 各授業実践例の区分と実施回数

| 事例 (主な対象者) | 第 2 章 | | 第 3 章 | | 第 4 章 | | 概要 |
|---------------|-------|----|-------|----|-------|----|---------------------------|
| | 防災 | 地形 | ソフト操作 | 模型 | 全天球画像 | VR | |
| 事例 A (大学生対象) | 2 | 2 | | | | | 福祉系大学社会科教員養成課程の授業 |
| 事例 B (中高生対象) | 8 | | 11 | 7 | | | GIS の体験会 (ひらめき☆ときめきサイエンス) |
| 事例 C (一般市民対象) | 1 | | | | | | 一般向け地図イベント (ジオナイト) |
| 事例 D (高校生対象) | 2 | | 2 | | | | GIS 体験会 (筑波大学公開講座) |
| 事例 E (高校生対象) | | 1 | | | | | 神奈川県私立高校の授業 |
| 事例 F (大学生対象) | | | 5 | | | | 大学の地球惑星環境学科の授業 |
| 事例 G (大学生対象) | | | 2 | | | | 大学生向け GIS セミナー (オンライン) |
| 事例 H (高校生対象) | | | | | 4 | | 神奈川県私立高校の授業 |
| 事例 I (一般市民対象) | | | | | | 1 | 市民交流イベントでの VR 展示 |
| 事例 J (一般市民対象) | | | | | | 1 | メタバース空間での学術交流イベント |

注：数字は、実施した授業数を示す。事例 F (大学生対象) は 3 日間の集中講義であるが、受講者は同一のため、3 日間で 1 回分として集計した。

事例 B (中高生対象) は、日本学術振興会のひらめき☆ときめきサイエンスの一環で行った「デジタル地図とスマホ、ドローン、3D プリンタで自然環境と人間生活を調べよう！」(実施代表者 小口 高：東京大学) である (小口・山内 2022)。受講者は、中学生と高校生に限定して、インターネットを通じて募集した。受講者は 3~4 のグループに分かれ、複数のプログラムを受講してもらった。この事例では、1) の防災、2) の GIS 実習、3)

の 3D プリンティングによる地形模型と関連する授業を实践した。1) の防災の授業は、2020 年～2022 年に計 8 回行った。2) の GIS 実習は、2019 年～2022 年に計 11 回行った。3) の地形模型を用いた授業は、2022 年に計 7 回行った。このうち、2020 年に実施した 1 回はオンライン形式であり、その他は対面形式であった。

事例 C (一般市民対象) は、1) の防災に関するオンライン授業である。この事例は、国際地理学連合の「GeoNight」のイベントの一環として、日本学術会議地球惑星科学委員会 IGU 分科会、日本地理学会地理学のアウトリーチ研究グループ、国際地理学連合 (IGU) ハザードとリスク委員会、東京大学空間情報科学研究センターが主催となり、2019 年に実施した。このイベントは、30 分の講演「デジタル地図の防災への貢献」と 80 分の実習「デジタル地図で防災情報を活用してみよう！」で構成されていた。参加者はインターネットで募集し、高校生、大学生、中高の教員、大学教員、一般企業人などが参加した。

事例 D (高校生対象) は、1) の防災と 2) の GIS 実習に関する授業であり、筑波大学の高校生向けの公開講座として実施した。講座名は「地理総合ステップアップ！地理情報システム(GIS)・ドローンを使って地域を分析してみよう」(実施代表者 小倉拓郎：筑波大学) であり、2022 年に 2 回実施した。受講者はインターネットを通じて募集した。

事例 E (高校生対象) は、私立の高等学校で行った 1) の地形に該当する実践であり、高校教員に開発した教材の活用を依頼する形式で、2020 年に 1 回実施した。

事例 F (大学生対象) は、地球惑星科学を専攻する大学三年生を対象とした 2) に該当する GIS の実習授業である。主な受講者は学部 3 年生であり、授業は 3 日間の集中講義として 2018 年～2022 年の間に 5 回実施した。

事例 G (大学生対象) は、2) の GIS 実習に該当し、2022 年にオンラインで 2 回実施した。参加者は、複数の学科や研究科に属する学部 1 年生～博士課程の大学院生であり、インターネットを通じて募集した。

事例 H (高校生対象) は、私立の高等学校で行った 3) の全天球画像に該当する授業であり、高校教員および大学教員と連携して実践した(小倉ほか 2022)。この事例は、大学教員によるオンラインの特別授業と位置づけられ、高校教員が現場でファシリテーターをする形で 2022 年に 4 回実施した。

事例 I (一般市民対象) は、3) の VR の体験会であり、2021 年に開催された市民交流イベントでのブースの出展の形式で行った。

事例 J（一般市民対象）は、3）の VR に関する実践である。これは、オンライン学術交流イベントの一部として 2022 年の 8 月に実施し、参加者に作成した VR 空間でのバーチャルフィールドワークを体験してもらった。

第2章 GISを用いた地理的事象の視覚的分析の教育

第1章2節1項で記したように、高等学校などでは授業にGISを導入できる環境や人材の育成がまだ整っておらず、GISの教育上の効果の検討は十分ではない。そこで本章では、学習者がGISを活用することで得られる土地の理解の度合いや、GISの操作時に躓きやすい点を検討することを目的に、地図の視覚的分析に利用できるWebGISを用いた防災教育と地形教育を実践した。

1節 二次元表示の地図を用いた防災情報の視覚的分析

1項 はじめに

GISは、ハザードマップに記載される地理情報の整理、想定される被災域の分析、災害後の情報の管理などの用途で、災害関連の専門家に利用されてきた。このような利用例に加えて近年、国土交通省や一部の地方自治体のように、WebGISで構築したWebハザードマップをインターネットで配信し、一般市民の防災意識の向上を図る取り組みも進められている。一般的にWebハザードマップは、利用者が地理情報を切り替え、情報を重ね合わせて地図として表示できる機能をもつことから、被災状況の想定に有効である。WebGISは地理教育での活用も期待されており（Fargher 2018）、防災の授業に利用した事例もある（高橋 2021；Song et al. 2022）。

国内の学校教育では、1952年版の学習指導要領から防災の視点が入り、2000年代に記述が増加した（山本 2021）。近年の自然災害の深刻さもあり、防災は中等教育に取り入れるべきテーマといえる。なかでも地理教育は、人間と自然環境との相互関係を地域に着目して考える能力を養うという点から、自然災害に対する学びの基礎となる。とくに、2022年度以降は、高等学校の必修科目の地理総合において、地図を用いた防災教育が重視されている（文部科学省 2018a）。地理総合の内容は、A 地図や地理情報システムで捉える現代世界、B 国際理解と国際協力、C 持続可能な地域づくりと私たちの3つで構成され、CではAとBの学習成果を踏まえた、地域の課題解決に向けた取組の在り方を構想する学習などが行われる（文部科学省 2018b）。地理総合での防災教育はCに該当するため、生徒の地理的見方・考え方の確立のために重要な役割を担う。

従来の中学校や高等学校の地理教育でも防災教育は取り入れられており、ハザードマップを活用した授業実践も行われてきた（伊藤 2007；中村 2019；横井 2019；小山ほか 2020）。さらに、教員がハザードマップをGISに取り込んだ教材を作成したり（伊藤 2012b）、学習者がGISで防災マップを作成したりする取り組みもある（小池 2016）。一方、ハザードマップや関連する地図の判読手法の特徴や、その際の問題点などを教育学的

に調査した事例はほとんどない。また、防災に関する教養は幅広い世代に求められるため、GISを活用した防災の授業方法や教材は、高等教育や市民教育にも適用できる。

そこで、本研究では洪水を対象に WebGIS のライブラリを活用して、二次元表示の Web ハザードマップを構築した。洪水を選定した理由として、対象者が学習時に土地の高さと浸水範囲の関係を判断しやすいことや、教材に利用する浸水想定区域などのデータが取得しやすいことが挙げられる。次に、中学生、高校生、大学生、一般市民を対象に、東京都の23区の水害の脆弱性を検討してもらう授業を実施した。授業の終盤では受講者に、設問とアンケートへの回答を依頼した。本節では、ハザードマップの構築過程や機能、授業実践の概要、設問とアンケートの手法およびその結果を説明し、二次元表示の地図を用いた視覚的分析の有効性や課題などについて検討する。

2項 WebGIS の構築

本実践では、Song et al (2022) と同じ手法で、水害に関連する複数の防災情報を閲覧できる二次元表示の Web ハザードマップを構築した(図 2-1)。地図の構築には、無償で利用できる WebGIS のライブラリの ArcGIS API for JavaScript (現 ArcGIS SDK for JavaScript)¹²⁾を用いた。地図には、地理情報の切り替え表示の機能、地図上の距離の計測の機能、地名などの検索の機能を実装した。



図 2-1 構築した Web ハザードマップ

注：背景地図として、ESRI 社の「World Topographic Map」を使用した。

地図は、東京都の 23 区を対象として作成し、ベースマップには ESRI 社の「World Topographic Map」を用いた。洪水に関する地理情報として、一次避難所、浸水想定区域、標高が 0 m 以下の地域（以下、「主要な 0 m エリア」と記す）の情報を地図に追加した。一次避難所のデータは、国土交通省の「国土数値情報」から東京都の範囲をダウンロードし、東京都の 23 区の範囲を GIS で切り取って用意した。浸水想定区域のデータは、同機関の「重ねるハザードマップ」に含まれるラスタタイルの「洪水浸水想定区域（想定最大規模）」を使用した。上記のタイルでは、想定浸水深に基づいて地図がすでに色分けされているため、凡例に各色が示す情報を表示した。主要な 0 m エリアのデータは、同機関の「基盤地図情報」から対象地域の数値標高モデルをダウンロードし、GIS 上でポリゴンデータに加工したものを用いた。この作業の際には、データの軽量化や視認性の向上のために、2000 m²以下の範囲を除外した。一次避難所と主要な 0 m エリアのデータは、Web 地図に実装しやすい KML ファイルに変換して利用した。一次避難所を地図上でクリックすると、名称や収容人数がわかりやすく表示されるように、データの属性情報を加工した。さらに、国土地理院が提供しているラスタタイルの「地理院タイル」の中から、拡大すると地形図になる「淡色地図」、土地の標高の違いや起伏が読み取れる「陰影図」、最近の空中写真を示す「電子国土基本図（オルソ画像）（2007 年～）」、過去の空中写真を示す「1961 年～1969 年」を背景地図として追加した。これらの地図のレイヤは、画面の凡例をクリックして操作することにより、切り替えて表示できる（図 2-2）。

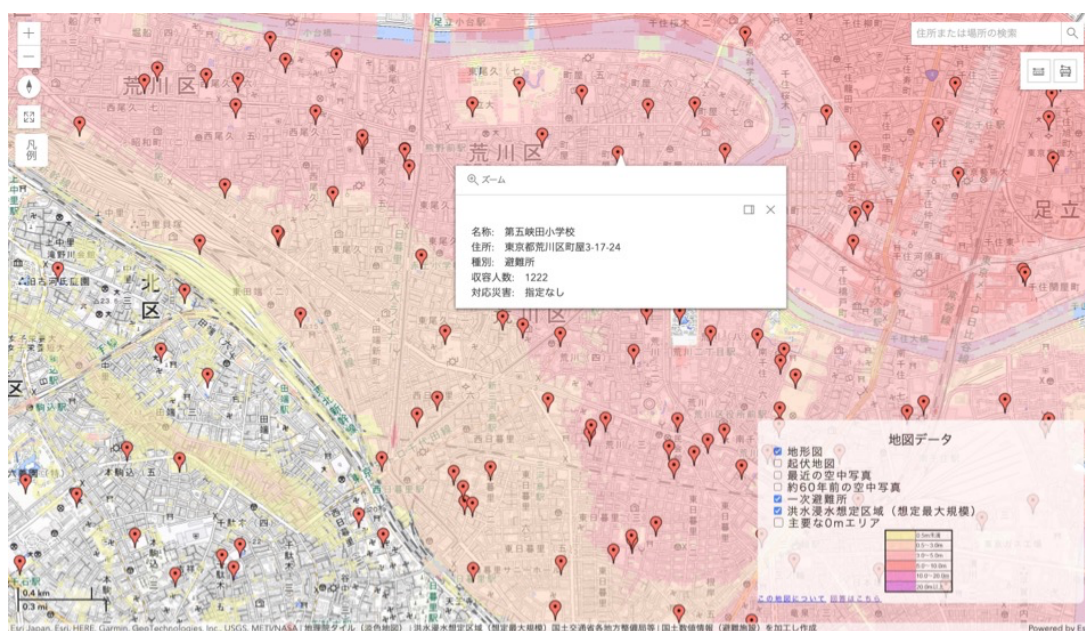


図 2-2 一次避難所の属性情報の表示例

注：背景地図として、国土地理院の「地理院タイル（淡色地図）」を使用した。

インターフェースを整えた地図を無償のアプリケーション開発プラットフォームである GitHub¹³⁾ のレポジトリにアップロードし、GitHub Pages の機能を用いて運用した。授業時に該当するウェブページの URL を配布することで、受講者は PC やスマートフォンなどから地図にアクセスできる。

3項 授業実践

整備した地図を用いて、中学生、高校生、大学生、一般市民を対象とする授業実践を行った（表 2-1）。具体的には、事例 A（大学生対象）では 2 回、事例 B（中高生対象）では 8 回、事例 C（一般市民対象）では 1 回、事例 D（高校生対象）では 2 回実施した。このうち事例 B（中高生対象）の 1 回と事例 C（一般市民対象）はオンラインで実施した。参加者は、事例 A（大学生対象）が 40 人、事例 B（中高生対象）が 75 人（うち 19 人がオンライン回に参加）、事例 C（一般市民対象）が 18 人、事例 E（高校生対象）が 40 人であった。全体の参加者は 173 人であり、各回の受講者は最小で 7 人、最大で 27 人あった。また事例 A（大学生対象）の受講者は、この授業までに地形に関する授業を受講しており、地形図の読み方や、自然堤防や後背湿地のような語句の解説を受けていた。他の事例の受講者が持っていた地理の知識は、学年などによって異なっていたと考えられる。授業は、事例 B の 7 回分のみ筆者が所属する研究室の院生に依頼し、それ以外は筆者が担当した。

表 2-1 各授業の概要

| 事例 | 参加者数 (N=173) | 授業数 | 授業時間 |
|---------------|--------------|-----|------|
| 事例 A (大学生対象) | 40 | 2 | 90 分 |
| 事例 B (中高生対象) | 75 | 8 | 60 分 |
| 事例 C (一般市民対象) | 18 | 1 | 80 分 |
| 事例 D (高校生対象) | 40 | 2 | 60 分 |

授業は、講義、実演、実習、解説の 4 パートで構成し、各回の時間に合わせて講義パートを長めにとるなどして内容を調整した（表 2-2）。各回の授業時間は、事例 A（大学生対象）が 90 分、事例 B（中高生対象）と事例 D（高校生対象）が 60 分、事例 C（一般市民対象）が 80 分であった。講義パートでは、地図の対象地域である東京都の 23 区の地形の特徴や成り立ちと、1947 年 9 月のカスリーン台風などで生じた過去の水害を紹介した。事例 A（大学生対象）では、地震や津波などの他の災害についても解説した。対面授業で受講者が機器を操作した際には、事例 A（大学生対象）では主にスマートフォンを利用し、事例 B（中高生対象）と事例 D（高校生対象）では PC を利用した。オンライン授業の場合は、各受講者が自身の環境にあわせて機器を使用した。

表 2-2 授業の展開 (60 分授業の場合)

| 展開 | 時間 | 内容 |
|----------|------|---|
| 展開 1: 講義 | 10 分 | <ul style="list-style-type: none"> ・東京都 23 区の地形の特徴と成り立ちの解説 ・過去の水害の事例の解説 |
| 展開 2: 実演 | 10 分 | <p>各地理情報を紹介した後、以下の例題を実演形式で紹介 (受講者はメモをとる)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・例題 1 「東京タワーは、浸水想定区域か？」※地図内の移動と地名検索を解説 ・例題 2 「浅草寺の浸水深は？」※浸水想定区域の読み取りを解説 ・例題 3 「とうきょうスカイツリー駅から一番近い避難所と収容人数は？」※距離の計測機能と避難所の情報の見方を解説 ・例題 4 「お花茶屋駅に移動し、土地利用の変遷を確認する」※空中写真を用いた土地利用の比較を解説 |
| 展開 3: 実習 | 30 分 | <p>以下の設問について、受講者は個人で学習を進める。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・設問 1 「対象地点の浸水の有無」 ・設問 2 「収容人数が 2000 人以上の避難所を 2 つ探す」 ・設問 3 「対象の避難所までの道路距離の算出」 ・設問 4 「標高-2.1 m 以下の地点を 1 つ探す」 ・設問 5 「土地利用が変化した地域を 1 つ探す」 <p>時間がある場合のみ次の設問に取り組むよう依頼した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・設問 6 「対象地域において特に危険性が高いと思う地域を 3 つあげ、その理由を回答してください」 <p>※事例 A (大学生対象) では、受講者全員の回答を必須とした。</p> <p style="text-align: center;">設問とアンケートの回収</p> |
| 展開 4: 解説 | 10 分 | <p>展開 3 の正答例を解説した後、デスクトップ GIS でより効率的に避難所や 0m 地帯を抽出する手法や、対象地域の広域避難の必要性などを紹介する。</p> |

実演パートでは、まず、地図の各地理情報 (レイヤ) を解説した後、4 つの例題を通じて、地図の操作方法を実演した。例題 1 は「東京タワーは浸水想定区域か？」であり、出題時に地名などの検索機能とレイヤの切り替え機能を紹介した。例題 2 は「浅草寺の浸水深は？」であり、出題時に浸水想定区域のレイヤの使用法を説明した。例題 3 は、「とうきょうスカイツリー駅から一番近い避難所と収容人数は？」であり、出題時に距離の計測機能と避難所の情報の見方を実演した。例題 4 は「お花茶屋駅に移動し、土地利用の変遷を確認する」であり、出題時には二時期の空中写真から土地利用の変化が読み取れることを解説した。一連の説明時には、受講者にメモをとるように依頼し、解説を聞きながら地図を操作することは推奨しなかった。

実習パートでは、受講者が各自で取り組む 5 つの設問を用意した。受講者はこのパートの終了時まで、対象地域の浸水の有無、収容人数の多い避難所、対象の避難所までの道路距離、標高-2.1 m 以下の地点、土地利用の変遷についての問題の回答を選択または記述形式で、オンラインフォームから回答した。さらに、GIS を用いた地域の脆弱性の読み取りの過程を評価するために、「対象地域において特に危険性が高いと思う地域を 3 つあげ、その理由を回答してください」という設問 (以下、設問 6 と記す) を用意した。この回答時には、丁町目や施設名を具体的にあげてもらい、「その周辺」というような形式での記述を依頼した。この設問については、時間に余裕がない場合は回答数が 3 つ以下でも提出

を可能とした。しかし、事例 A（大学生対象）ではこの回答を必須とした。この際の設問 6 の提出期限は 1 週間以内であった。課題の提出の際は受講者に、本授業の難易度、地図の使いやすさを五段階で評価する問と、自由記述により使用した地図を評価する問を含むアンケートへの回答も依頼した。アンケートでは、多様な参加者が想定された事例 C（一般市民対象）のみ属性（職業など）を尋ねたが、他の事例では質問しなかった。

解説パートでは、設問 1～5 の正答例とその理由を説明した。しかし、設問 6 の正答例の解説は省略した。さらに、GIS でのより効率的な避難所などの抽出方法や、対象地域における広域避難の必要性なども紹介し、より深い学びにつながる工夫をした。

4 項 設問の評価手法と回答の結果

本研究では、受講者が GIS を用いてどのように地理的事象を判読するかを評価することを目的に、設問 6 の回答を分析した。この設問で、江戸川区や江東区といった大字よりも大きいスケールで地域の脆弱性を考察した回答は無効とした。町丁目や施設が特定できる回答は、参加者の 173 人中 87 人から回収できた。回答の平均文字数は 60.8 文字、標準偏差は 39.1 文字であり、地域の危険度をまとめた文章で評価した回答が集まった。受講者が脆弱性を指摘した場所は、重複を含めて 209 地点あった。それぞれの町丁目や施設からおおよその緯度経度を地理院地図で検索し、その情報をもとに GIS で表示した。その後、対象地域全体を覆うように 500 m メッシュのポリゴンを作成し、各区間に重なる地点の数を集計した。その結果に応じて各区画を塗り分けた。この時、地点数が 0 の場合は配色をしなかった（図 2-3）。脆弱性が 1 つ以上指摘された区画は、126 であった。最後に、各レイヤが受講者の判断にどのような効果を与えたかも確認できるように、一次避難所、主要な 0 m エリア、浸水想定区域も追加した。

図 2-3 をみると、多くの受講者が荒川の河口から、河川に沿った 10～15km ほどの右岸と左岸側の地域に着目したことがわかる。なかでも指摘が多かったのは、対象地域の南側から順に、「南砂一東葛西」、「平井」、「千住」、「浮間」の周辺であった。また、指摘が集中しやすい地域は、主要な 0 m エリアや、想定浸水深が 3.0～5.0 m または 5.0～10.0 m の範囲とほとんど重なった。脆弱性が指摘された 207 地点のうち、主要な 0 m エリアと重なるものは、127 地点（60.8%）あった。500 m メッシュで見ると、一次避難所が比較的少数な地域が選定されやすい傾向もあった。脆弱性が 1 つ以上指摘された 126 区画のうち、避難所を含まない区画は、55（43.7%）であり、避難所を 1 箇所含む区画は 36（28.6%）、2 箇所含む区画は 24（19.0%）、3 箇所以上含む区画は、11（8.7%）であった。

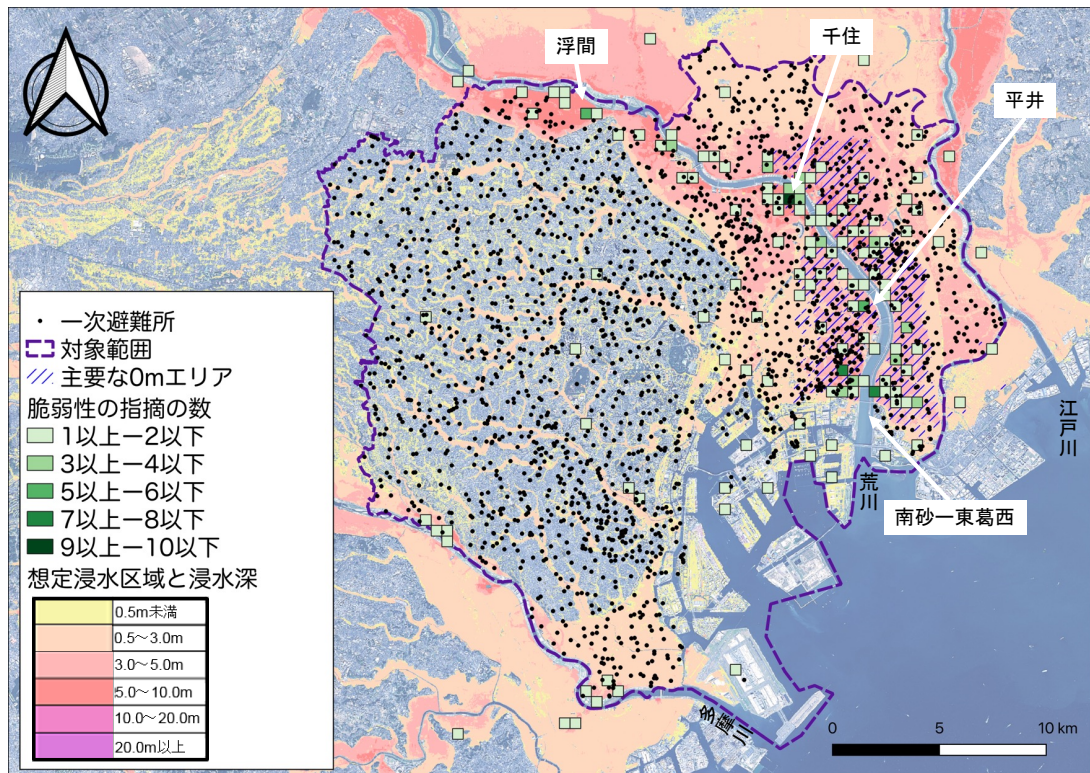


図 2-3 設問 6 で脆弱性が指摘されたエリア

注：メッシュは対象地域を覆うように作成し，集計結果が 0 の場合は可視化しなかった．浸水想定区域と浸水深の凡例は，「重ねるハザードマップ」から引用した．背景地図として，国土地理院の「地理院タイル（写真）」を使用した．

他方，多摩川の河口周辺のように浸水想定区域が広く分布する地域や，その範囲と同等の浸水深が予測されるエリアは，危険性が低いと判断される傾向もあった．また，対象地域の東側にあたる江戸川の河口周辺の右岸側では，3.0～5.0 m の浸水が広範囲に予測されているものの，脆弱性の指摘はほとんどなかった．この他に，学習の対象とした地図の範囲を超えた回答も数件確認された．

地形図（淡色地図）や空中写真のレイヤは，現在や過去の土地利用の把握に利用される傾向があった．回答のうち，現在の土地利用を考慮したものは 58 件あり，住宅地の密度などについて記述したものがみられた．土地利用の変遷についての回答は 36 件であり，現在は住宅地であるが過去には農業用地であったことなどを指摘する回答がみられた．

同様の手法で陰影図の使用頻度も確認したが，1 件のみが該当した．また，自然堤防，後背湿地，微高地，旧河道のような平野の基本的な地形用語を使用した回答は 4 件のみであった．この他に，距離の計測機能を使用したとみられる回答が 11 件あった．

アンケートの回答は 161 人から得られた。以下では、回答の全体の傾向と、中高生と大学生のみを抽出した結果を記載する。本授業の学習の難易度については、「とても難しい」が 5 人、「難しい」が 58 人、「どちらともいえない」が 64 人、「易しい」が 26 人、「とても易しい」が 8 人という回答であった（図 2-4）。対象者のうち、中高生と大学生の評価を比較したが、両者は同様の傾向がある（図 2-5）。地図の操作性については、「とても使いにくい」が 3 人、「使いにくい」が 13 人、「どちらともいえない」が 43 人、「使いやすい」が 56 人、「とても使いやすい」が 46 人であった（図 2-6）。地図を評価する自由記述では好意的な意見が多かったが、一部に問題点の指摘もあった。対象者のうち、主にスマートフォンを使用した大学生は、ほとんどが PC を使用した中高生に比べ、地図の操作性が低いと感じやすい傾向があった（図 2-7）

アンケートの自由記述では、レイヤの視認性に関する問題を 12 人が指摘した。具体的には、「60 年前の地図が拡大すると見にくくなるのでより解像度を上げてほしい」、「標高を表す数字が地図記号と同化していて見にくく、すぐに探し出せなかった」、「避難所の収容人数ごとにピンの色が変わったらもっとわかりやすくて便利になる」などがあった。また、9 人の大学生から「スマートフォンに関連する問題」の指摘があった。具体的には、利用時の端末の熱の問題、PCの方が使いやすい、OSによって操作感が若干異なるなどの意見が出された。この他にも、「マウスの必要性」について 3 人、「距離の計測機能などのバグ」について 3 人、「レイヤの切り替え機能の操作性」について 2 人から指摘があった。

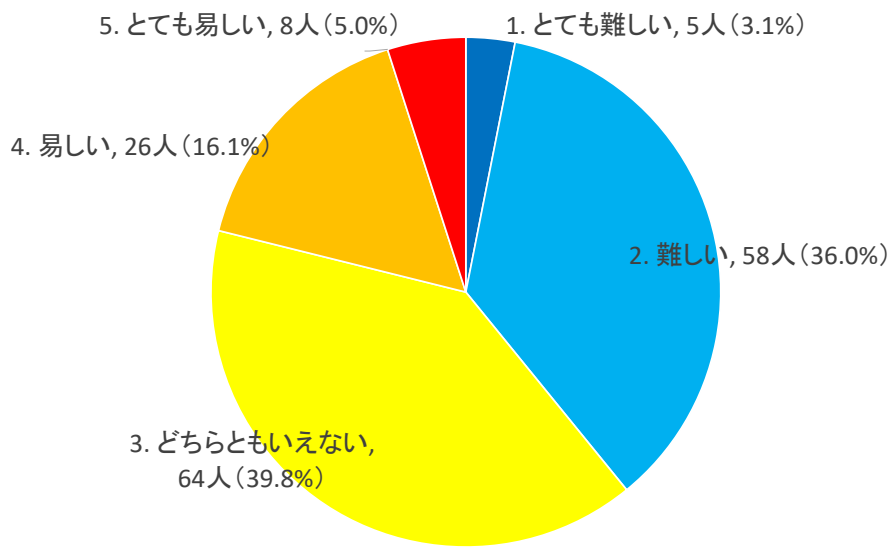


図 2-4 本授業の学習の難易度の評価 (N=161)

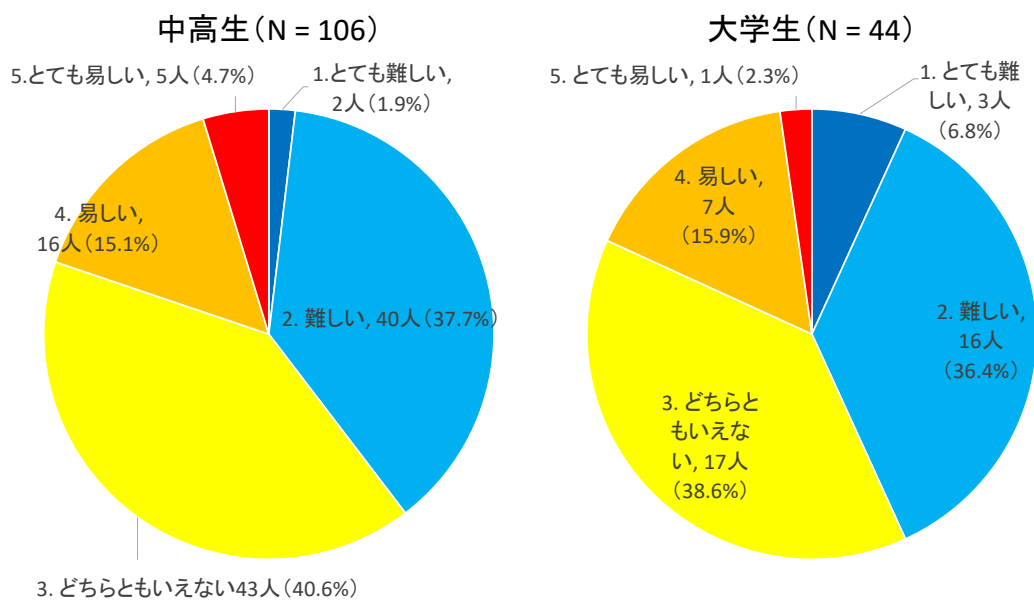


図 2-5 中高生と大学生の学習の難易度の評価

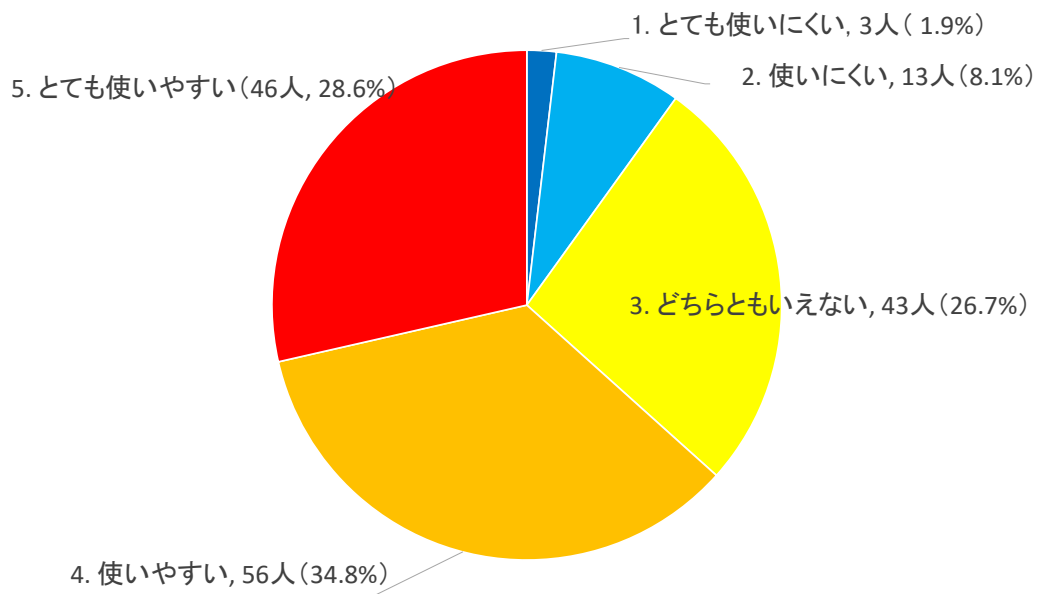


図 2-6 地図の操作性の評価 (N=161)

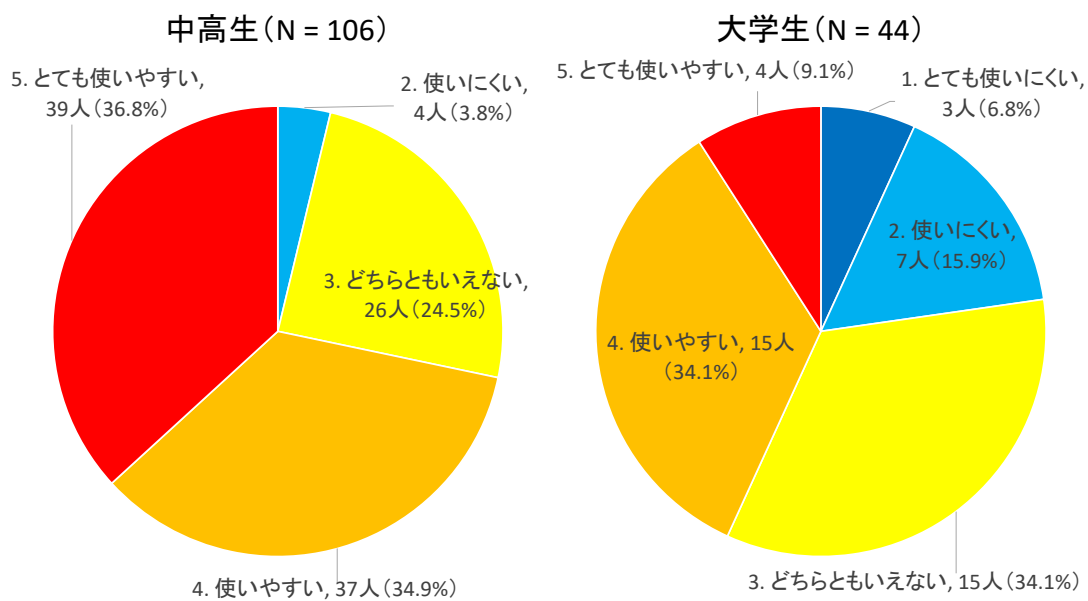


図 2-7 中高生と大学生の地図の操作性の評価

5項 考察

本実践では、難易度の評価は学習者によって異なるものの、学習に難しさを感じていた受講者は4割弱であった。この難しさの要因には、GIS特有の概念や機器の操作があると考えられるが、GISに限らず地図の読図そのものを難しいと感じた人がいた可能性もある。「標高を表す数字が地図記号と同化していて見にくく、すぐに探し出せなかった」という回答もあったように、地形図（淡色地図）の利用経験が十分でない人もいたと考えられる。地形図は、地理的事象の理解に役立つが、その読図に難しさを感じる人もいる（卜部2010）。このような人は、GISを用いても十分な学習効果を得られないと推察されるため、授業の前に地図の活用の技能を身につけてもらうことが望ましい。対象者の読図の技能の度合いを確かめるには、Clark et al. (2008) が使用したようなマップリーディングテストが有効である。このようなテストの結果を参考に、授業前に教員が補助を必要とする人を把握し、グループワークによって生徒同士で助言しあうような教育手法を採用することで、対象者が感じる読図の難しさを軽減できると考えられる。今回の難易度の評価では、中高生と大学生が同様の傾向を示した。しかし、本実践の中高生は、私立の中高や進学校に通っている人が多く、休日のワークショップに積極的に参加する人達であるのに対して、大学生は地理学を専門に勉強しておらず、授業の一環でこの実践に参加したという学習に対するモチベーションなどの違いもあった。そのため、この結果が通常の中高生の傾向とは異なる可能性がある。

設問6の回答者の大半は、GISで複数のレイヤを切り替えたり、重ね合わせて表示したりすることで、洪水時の地域の脆弱性を理解できた。脆弱性の指摘が多かった地域は、標高が0 m以下の土地や深く浸水すると想定される場所であり、一次避難所の数も比較的少なかった。さらに、本実践では、地形図や空中写真で読み取った土地利用の情報から地域の脆弱性を考察する人がいた。一方で、標高の高低に注目する回答はみられたものの、地形用語を用いて土地の脆弱性を説明する回答はほとんどなかった。その要因として、東京の低地は都市化によって細かい起伏が判読しにくいことや、三橋(2018)が指摘したように、教科書の模式図と実際の地形を対応させて判読することの困難さが考えられる。今後、低地の地形を認識しやすい地域を対象地域とすれば異なる結果が得られるかを調べる必要がある。いずれにせよ、平野の地形の成り立ちは洪水と関係するため、既存の地形教育や防災教育で両者を関連させて取り扱うといった工夫が必要である。たとえば、海津(2020)が提案した陰影起伏図で強調した地形分類図の活用も有効と考えられる。この他に、GISのみでは、実際の危険性を軽視してしまう可能性もあるため、現実と地図表現とのギャップについても授業で教育することが望ましい。特にGISでは、浸水想定区域や主要な0 m

エリアのレイヤのように、属性値の閾値でほとんど同じ特徴の場所でも異なる場所と誤認するような表現になるといった問題点も解説すべきであると考えられる。

今回の実践では、地理院地図よりも機能やレイヤ数が少ないシンプルなインターフェースで Web 地図を構成したため、地図の操作性に否定的な意見をもつ人は 1 割程度であった。しかし、本教材が対象者に受け入れられた背景には、近年の Google Maps に代表される Web 地図が日常的に利用されるようになったこともあると考えられる。授業に今回のような Web ハザードマップを用いると、紙地図よりも対象者の学習の満足度を向上でき (Sari et al. 2020) , 豊富な情報を用いた防災教育ができる (Song et al. 2022) 。

Wi-Fi のある教室で、手軽に利用できるという点ではスマートフォンが有効と考えられる。一方で本実践では、主にスマートフォンを使用した大学生が、中高生よりも地図の操作性を否定的に回答する傾向もあった。前記した難易度の評価のように本実践の特有の傾向の可能性もあるが、地図の閲覧では画面の大きさや機能の拡張性では PC が優れていると考えられる。両者の妥協点として、Shirai et al. (2017) のようにタブレットを授業に活用することが適する場合もあると考えられる。使用する機器で学習効果が変わる可能性については、さらなる調査が必要である。また、アプリケーションのインターフェースのデザインによって操作性や、地理的事象の判読しやすさが向上する可能性についても検討が必要である。

6項 まとめと今後の課題

本節では、中学生、高校生、大学生、一般市民を対象に WebGIS で構築した二次元表示の Web ハザードマップを用いた防災教育を実践した。受講者の 6 割程度は、ほとんど躓くことなく地図を操作できたが、4 割程度の対象者が授業に難しさを感じた。後者の原因は、デジタルコンテンツの利用や GIS の操作に慣れていない人と、地図の読図を苦手とする人がいたことと考えられる。

設問 6 の回答によると、受講者は自身の判断で Web ハザードマップのレイヤを切り替えたり重ね合わせたりしながら、地域の脆弱性を検討できた。この作業では、異なるレイヤの重なり具合や、データの色合いの違いが主要な判断材料となった。しかし、浸水想定区域や主要な 0 m エリアのレイヤのように数値で色分けをするレイヤは、同じような特徴の場所でも異なる表現となることから、危険性が軽視されやすい傾向もあった。また、受講者が脆弱性を判断する際に、地図や空中写真から読み取った土地利用に注目することはあったが、地形に注目した回答はほとんどなかった。平野の地形の成り立ちと洪水は関係しているため、地形と災害を関連して考えられる教材や授業時の工夫が求められる。

防災教育では、実際の災害時の様子を想像しながら訓練をすることも重要である。近年、VR の登場によって現実空間での行動を仮想空間で近似体験できるコンテンツが増えつつある。また、国土交通省の PLATEAU¹⁴⁾をはじめとする三次元地理情報が、無償で利用できるようになった。VR と GIS を連携させることで、実際の空間とそこで予測される災害を等身大で体験できるアプリケーションを構築することができ、より実感をもった防災教育も可能となる。地図で空間的思考力を養うことは、現地の地理的事象の解釈にも役立つため、避難行動などの図上訓練と、体験を伴う訓練を効果的に連携させる手法も検討すべきである。

2 節 三次元表示の地図を用いた地形の判読

1 項 はじめに

地形教育は自然環境や災害の理解のために重要である。一方、地形教育は用語の暗記の推奨に偏りやすいと指摘されてきた（天野 2005）。さらに、等高線を用いた地形図の読図に躓く学生が多く（卜部 2010）、学習者には「理系的な素養」も必要であることが指摘されている（小倉ほか 2017）。このように地形教育は様々な課題をもつが、GIS の利用によって、学習者の地形の理解を高められる可能性がある。Carrera et al. (2017) は、地形を立体的に表現した二次元表示の図や、三次元表示のデジタル地図が、学習者の地形の理解の向上に有効であることを述べている。

GIS は、地形を立体的に表現できるのみでなく、その上に河川や断層といった複数の地理情報を重ねられるため、地形教育に役立つ。そのため、GIS は地形教育での活用が期待されている（Allen 2008）。既に、無償の Google Earth を使って作成した三次元表示の地図が、世界中の教育機関や多様な学習環境で利用されており（Hennessy et al. 2012 ; Hsu et al. 2018）、日本の一部の公立高校・中等教育学校の授業でも活用されている（谷・斎藤 2019）。さらに、Google Earth 用の教材をオンラインで公開して無償で提供した事例もある（大島 2016）。一方で、既存の GIS を用いた地形学習の教材には改善の余地もある。例えば、体系的な地形学習を十分には想定していない、各種利用のためのライセンスが設定されていないといった問題があると思われる。

以上の点を考慮し、本研究では地形学習の基礎を体系的に教育できるオープンライセンスの教材を試作した。地形学習の基礎としては、高等学校や大学の地理学教室もしくは地理歴史科の教員養成課程の 1, 2 年生向けの授業で行われる等高線を用いた地形の読み取り、典型地形の読み取り、地形の発達過程や特徴の学習を取り上げた。本教材の構築の際には、高校生や大学 1, 2 年生を対象とする授業での利用を想定した。教材は、高等学校の現行の教科書とも対応させつつ WebGIS を操作しながら地形や関連する GIS の基礎を学習できるように設計した。

中等教育の現場では ICT 機器の整備が不十分な場合があることも考慮し、汎用のウェブブラウザのみで利用できる教材を構築し、多様な ICT の環境に対応できるようにした。さらに、試作した教材を実際に高等学校や大学の地形教育で使用し、教材の有用性を調査した。

2項 教材のコンセプト

地形学習の基礎には、地形の特徴や発達過程の解説や、地形図などから地形を読み取る実習が含まれ、高等学校の「地理 A（旧課程）・地理総合（新課程）」および「地理 B（旧課程）・地理探求（新課程）」の授業では両者の地形学習が行われている（文部科学省 2014；2018a；2018b）。しかし第 1 節で指摘したように、既存の教育の枠組みでは地形に関する十分な理解には至らない可能性がある。そのため、「地理 A・地理総合」や「地理 B・地理探求」を実際に受講する高校生や、同科目を将来教える可能性がある大学生に対する地形教育の充実が必要と考えられる。

そこで、本研究で整備する教材の利用者として、高等学校の生徒と、地理学教室もしくは地理歴史科の教員養成課程の大学 1，2 年生を想定した。教材は、授業と自主学習で共に活用できるようにし、WebGIS を用いた演習を生徒や学生が各自で行えるものとした。また、演習を通じて、教科書などの記述や講義形式の授業の内容を補強することも目指した。

教材は、山内ほか（2019）と同様に、無償のライブラリである GitBook¹⁵⁾（現 HonKit）を用いて構築した。ウェブブラウザで閲覧できる教材のインターフェースは、学習項目を選択する画面、項目の概要のテキスト、模式図、Web 地図を含む解説画面で構成される（図 2-8）。教材にはクリエイティブ・コモンズのライセンス（CC BY-SA 4.0）を付与し、一定の条件下で再利用を可能とした。整備した教材は、GitHub を用いてオンラインで公開した。従来、地理教育の分野ではいくつかのオンライン教材が構築されてきたが、教材のみならず解説用のデータ群を含めて全てを一定の条件下で誰もが自由に利用できるように提供している事例は少ない。一方、地理情報科学の分野では、「GIS 実習オープン教材」（山内ほか 2019）や、ノースカロライナ州立大学のウェブサイト「NCSU Geo For All Lab¹⁶⁾」のように、解説のみならずプログラムのコードやデータも含めて教材をクリエイティブ・コモンズのライセンスで提供し、幅広い利活用を促す動きが進んでいる。このような取り組みにより、データを Google Maps のマイマップなどの別の WebGIS のプラットフォームで用いたり、教材を低年齢向けの内容に変えて再配布したりするといった広い利活用が期待できる。



図 2-8 教材の概観

注：左図はトップページで、右図は河川の地形の解説ページ。

3 項 WebGIS の構築

本教材では、学習項目に応じて二次元と三次元の表示を行う WebGIS を、オープンソースのライブラリを用いて構築した。二次元表示の地図の作成には、無償の JavaScript ライブラリである Leaflet¹⁷⁾を使用し、レイヤの切り替え機能や、背景地図の選択機能、印刷機能を実装した。これらの地図は、等高線の説明や、地形の表現方法の比較の解説に利用した。

前記のように、地理教育では Google Earth が広く利用されてきた。本研究では、Carrera et al. (2017) が指摘した、地形の読み取りにおける三次元表示の地図の有効性の指摘を踏まえた教材を、無償の JavaScript ライブラリである CesiumJS¹⁸⁾を用いて設計した。CesiumJS は、Google Earth と同様にオンラインでの発信に利用できる。さらに、データの選択、重ね合わせ画面のデザイン、視点の切り替えなどの自由度も高く、専用のアプリケーションを必要としないツールである。作成した地図や画像は PC やスマートフォンの一般的なブラウザで閲覧できる。本教材では、地形を直観的に視認しやすいように標高の倍率を調整し、レイヤをクリックして関連情報が閲覧できる機能を実装した。

4 項 学習項目の選定

本教材の WebGIS で利用したデータは、国内外の研究機関などが無償で提供しているデータを利用または加工したものが、筆者が自作したものである。前者には国土地理院の地理院タイルのような背景地図や、世界の断層や火山のデータがある。後者には典型地形の

位置を示すデータが含まれる。典型的な地形の位置を示すデータは、高等学校の地理 A、地理 B の教科書、地形学と関連する解説書、Wikipedia などのオンラインの記事を参考に、航空写真や衛星画像で地形の存在を確認して作成したものである。データのファイル形式は GeoJSON や CSV のような汎用性の高いものをできるだけ用いるようにし、地図ライブラリに応じたデータ形式に書き換えて利用した。

本教材の学習項目は、帝国書院、二宮書店、東京書籍が発行した高等学校の地理 A・地理 B の教科書（荒井ほか 2020；片平ほか 2020；金田ほか 2020a, b；山本ほか 2020a, b）にある「地形」の単元を参考にして選び、主に地理 B の教科書の解説と対応させた。また、地形の読み取りの際には地図に関する知識も必要なため、「地理情報と地図」の単元も参考にした。教材は 6 つの大項目からなり、項目ごとに筆者が構築した Web 地図を含む解説ページをもつ（表 2-3）。大項目は、地図と地理情報、大地形、小地形の基礎を順次学習することを想定して配列した。ただし、個々の項目を独立で利用することも可能である。以下、各大項目の特徴について説明する。

表 2-3 学習項目と構築した地図

| 大項目 | 内容 | Web 地図数 |
|-----------|---|---------|
| 地理の学習の意義 | 地理の学習、地理の学習区分、地形と地理情報の学習 | 0 |
| 地図の基礎 | 地図の目的、種類、図法の特徴、地形図による等高線の読み取り | 3 |
| 地理情報の基礎 | 地理情報の基礎、地物の表現、GIS の活用事例、地理院地図と QGIS の活用 | 1 |
| GIS と地形表現 | 平面の地形表現（等高線、標高段彩図、陰影図、傾斜量図等）、三次元の地形表現、地形の立体視、地形の 3D プリンティング | 2 |
| 大地形 | プレート境界と火山および地震の震源地の分布、火山の特徴、過去の大規模地震と津波 | 4 |
| 小地形 | 山地の地形、河川の地形、海岸の地形、氷河地形、乾燥地形、カルスト地形 | 6 |

「地理の学習の意義」は、学習の動機付けとして設けたものである。ここでは、地図や地理情報を活用すると地域の情報を空間的に考察できることを、いくつかの具体的な事例を用いて解説した。

「地図の基礎」では、地形学習の背景となる地図の図法や特徴に関する知識を解説した。ここでは、地理院タイル（淡色地図）を用いて等高線を読み取る演習を重視した。演習は、地図上に示された 4 つの地点を標高の高低により並べ替えるものと、景観写真の撮影地点を回答するものである（図 2-9）。学習者は、二次元表示の地図で演習を行った後に、三次元表示の地図で視点を切り替えながら正答を確認する。

「地理情報の基礎」では、ベクタデータやラスターデータといった GIS で用いるデータの特徴を解説した。ここでは、山内ほか（2019）による「GIS 実習オープン教材」から、6

つの事例を引用した。さらに、同教材の地理院地図と QGIS の入門に関する内容を転載し、GIS の基本的な操作手法を示した。



図 2-9 等高線の読図の手法を解説する教材

注：背景地図として国土地理院の「地理院タイル（標準地図）」を使用。

「GIS による地形表現」では、GIS で作成可能な等高線図、標高段彩図、陰影図、傾斜量図などを紹介し、それぞれの特徴を解説した。さらに、鳥瞰図、地形の立体視、アナグリフ、AR、VR、厚紙で製作する地形模型、地形の 3D プリテイングも紹介した。

「大地形」では、プレート境界、火山、地震の震源地の分布を示す三次元表示の地図を提示した。また、世界の 23 地点の代表的な火山地形と、12 地点の大規模な地震の震源地を示した三次元表示の地図も閲覧可能とした。

「小地形」では、表 2-3 に示した地形の種類ごとに、三次元表示の地図を示した。山地の地形については、国内外の代表的な 37 の山脈や高原を紹介した。それ以外の地形の種類については、より小さな地形区分に関する 166 地点の典型地形を閲覧できるようにした。

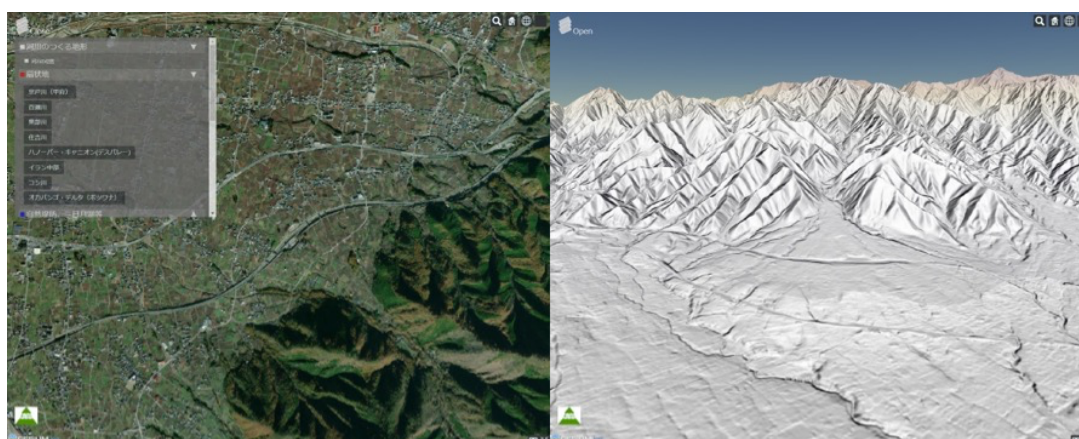


図 2-10 河川地形を解説するための地図教材

注：背景地図に ESRI 社の World Imagery(左図)と国土地理院の地理院タイル（右図）を使用。

たとえば、河川の地形を扇状地、自然堤防、三角州のように区分した（図 2-10）。解説は、地形の模式図が教科書に掲載されていることを踏まえて、文章のみで行った。

5 項 効果の測定方法と授業実践の概要

2020 年と 2021 年に大学の「地理学」の授業（事例 A（大学生対象））で本教材を使用した。この際、教材の主要機能である三次元表示の地図の学習効果や、使用感について受講者に評価してもらうために、地形の読み取りの難易度、三次元表示の地図の利用しやすさに関するアンケート調査を実施した（表 2-4）。また、受講者には提出課題にも取り組んでもらい、正答率の分析をした。「地理学」の授業は、各回が 90 分であった。2020 年の授業は協力関係にある研究者に依頼し、2021 年は筆者が非常勤講師として担当した。2020 年の授業は、新型コロナウイルスの感染拡大の影響によりオンラインで行われた。地形や GIS の内容は、ライブ配信型の講義と WebGIS を用いた同時双方向の演習を組み合わせで解説された。筆者は、全 15 回の授業のうち、第五回「世界と日本の地形」に全面的に参画した。この授業には、12 名の学生が参加した。また、第三回「地図と GIS:講義」および第四回「地図と GIS:演習」の授業の一部にも参画し、今回開発した教材の「地図の基礎」と「地理情報の基礎」を利用して、等高線の読み取りや地理院地図の操作を解説した。第五回の授業では、「大地形」と「小地形」のうち河川の地形と海岸の地形の教材を主に利用した。2021 年度にも同様の授業を対面形式で実施し、全 15 回の授業のうち、第四回「小地形の成り立ちと特徴」の講義の中で、典型地形を示す三次元表示の地図を利用した。この授業の参加者は 23 名であった。

表 2-4 アンケート項目

| 質問項目 | 回答方法 |
|---------------------------------|--------------------------|
| 設問で使用した地図の操作 | 五段階評価 |
| 地形の読み取りの難しさ | 五段階評価 |
| 回答に使用したレイヤの種類 | 選択項目（淡色地図、色別標高図、陰影図から選択） |
| ※地形の読み取りや、地図の操作等について自由にご記入ください。 | 自由記述 |

注：※は高校生のみに実施。

さらに、2020 年度には高等学校でも地理の授業で三次元表示の地図を用いた地形の読み取りに関する実習を行い、23 名の生徒を対象に、教材の使用感をアンケートで調査した（事例 E（高校生対象））。本実践は時間の制約により、1 コマ分の授業の一部で行い、

受講者から情報を収集するためのアンケートも自由記述のみとした。受講者は、事前に「地理 B」のオンライン授業で地形の単元を学習しており、この実践の授業は考查対策の一つと位置づけられ、対面授業の形式で行われた。

6項 実践の結果

大学での実践で最初に課した設問は、三次元表示の地図に示された扇状地、自然堤防、三角州、陸繋砂州などの地形の種類を記述する 10 題（問 1～問 10）である。学生が回答の際に用いた Web 地図は、背景地図を切り替えたり重ね合わせたりする機能に加え、各設問の地形の位置が赤枠で示され、その位置に視点を切り替える機能を持つ（図 2-11）。講義の受講者は自宅で PC またはスマートフォンを用いて地図を操作し、ESRI 社の World Imagery に含まれる衛星画像や、国土地理院の地理院タイルに含まれる航空写真、淡色地図、色別標高図、陰影図を切り替えて閲覧し、設問に回答した。受講者には、設問の対象とされている地形の範囲を示す赤枠の中心付近に注目して回答するように指示を行った。2021 年の実践にあたっては、各地形を斜めから見下ろす視点で表示する機能を追加し、スマートフォンでも教材を利用しやすいようにした。また、設問の回答時には、教科書や授業資料などを参照することを許可した。次に、扇状地や自然堤防の成因や、洪水時の後背湿地の安全性などに関する文章の正誤を問う 10 の設問（問 11～問 20）を出題した。

設問の提出時には受講者にアンケートを行った。アンケートには、設問に取り組んだ際の地図の使用感や、地形の読み取りの難しさを五段階で評価する項目と、回答時に使用したレイヤの種類を回答する項目を設けた。五段階で評価する項目は、値が 1 に近いほど否定的な評価であり、5 に近いほど好意的な評価とした。

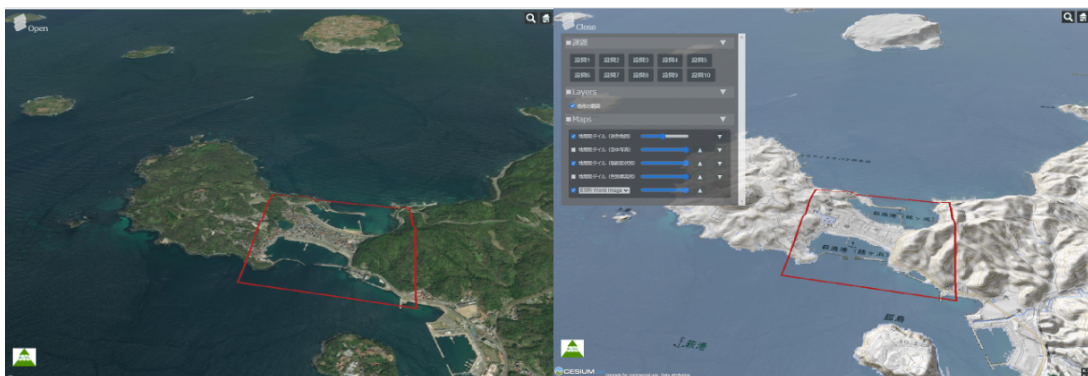


図 2-11 課題で使用した地図

注：背景地図に ESRI 社の World Imagery（左図）と国土地理院の地理院タイル（淡色地図）（右図）を使用。

本研究では、教材の初回の利用時と、地形の授業後の利用時の効果を調査するため、上記の設問とアンケートの回答を各回の終了時の 2 回依頼した。以下、前者を調査 I と記し、後者を調査 II と記す。有効回答は、2020 年度が 12 で、2021 年度が 23 であった。2020 年度の受講者の大半は PC を利用し、2021 年度の受講者の大半はスマートフォンを用いて設問に取り組んだ。調査 I の直前の授業では、設問とアンケートの概要を簡単に説明したのみで、課題で使用する Web 地図の使用法は解説しなかった。調査 II の直前の授業では、三次元表示の地図の使用法と、そのレイヤを用いて各地形の特徴を把握する方法を解説した。なお、設問の正答は、調査 II が終わるまで受講者に伝えなかった。

地図から地形を判読する設問の平均正答率は、調査 I では 24.3%、調査 II では 40.9% であり、Wilcoxon Single-rank test で有意差検定をした結果、有意差が認められた（表 2-5、図 2-12）。誤答には、地形の類似性、近接性、スケールが原因と考えられるものがあり、類似性が原因と考えられる誤答には、陸繋砂州を砂嘴としたものや、自然堤防を輪中とし

表 2-5 調査 I と調査 II の正答率の比較

| Measure 1 | Measure 2 | w | z | p |
|----------------|-----------------|--------|--------|-------|
| 調査 I 問 1-問 10 | 調査 II 問 1-問 10 | 13.000 | -4.228 | <.001 |
| 調査 I 問 11-問 20 | 調査 II 問 11-問 20 | 26.000 | -4.247 | <.001 |

注：有意水準は $p \leq 0.05$

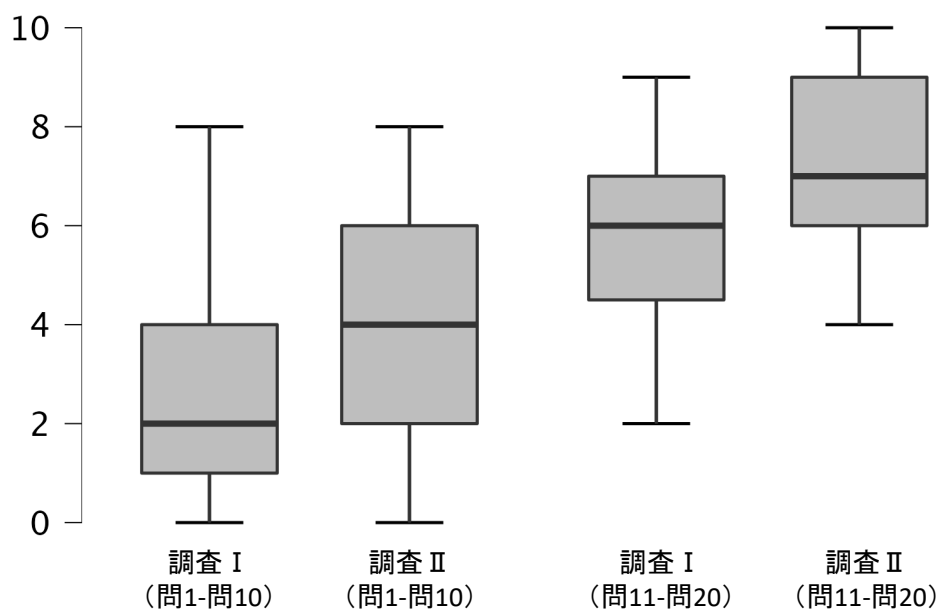


図 2-12 調査 I と II の得点の比較

たものがあった。近接性が原因と考えられる誤答には、ラグーンを砂州としたものや、自然堤防を後背湿地としたものがあった。スケールが原因と考えられる誤答には、扇状地を盆地と回答したものや、自然堤防を平野としたように、周囲を含むより広域の地形を回答したものがあった。

また、地形に関連した文章の正誤を尋ねる問題の平均正答率は、調査 I では 59.1%，調査 II では 74.3%であり、Wilcoxon Single-rank test で有意差検定をした結果、有意差が認められた。アンケートでは、調査 I よりも調査 II において、Web 地図の操作が容易と回答する人が若干増えた（図 2-13）。使用したレイヤに関する回答では、色別標高図の利用者

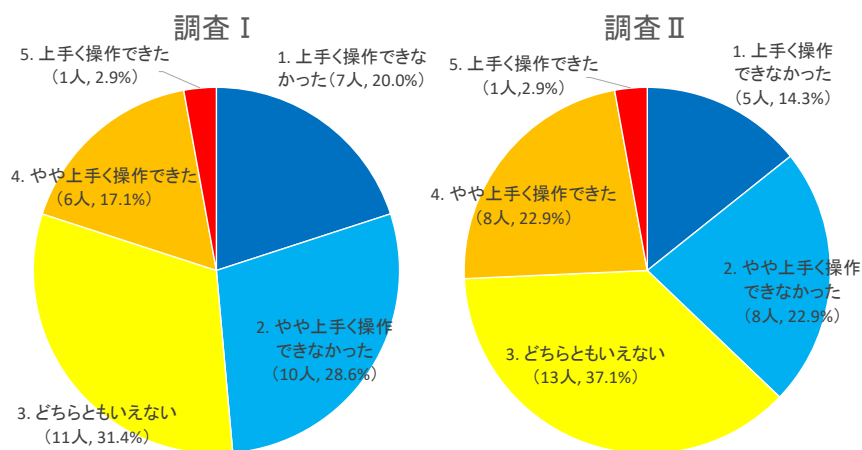


図 2-13 地図の使いやすさの評価 (N = 35)

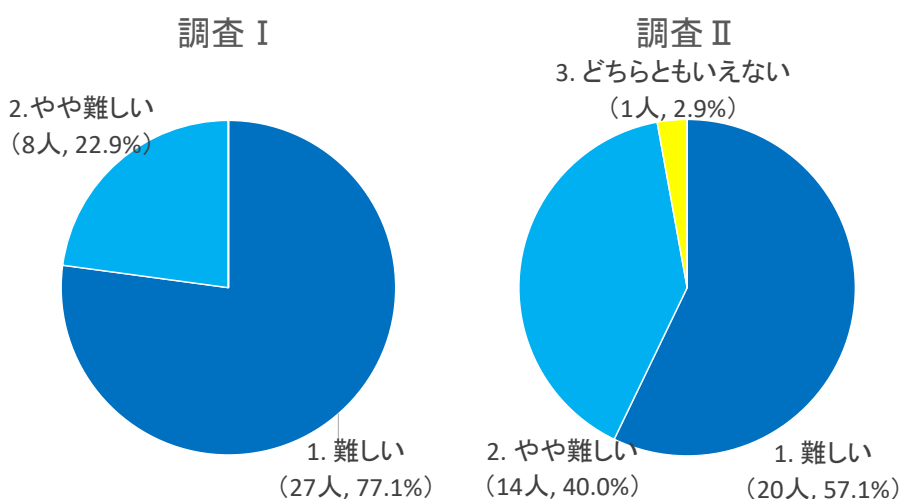


図 2-14 難易度の評価 (N = 35)

注：5. 易しい，4. やや易しいの回答はなかった。

が、調査 I の 7 人から調査 II の 10 人に増加し、陰影図の利用者も 2 人から 8 人に増加した。一方で、地形判読の難しさについては、調査 I、II とともに全受講者が五段階の最も低い評価（難しかった）もしくは次に低い評価（やや難しかった）を選んだ（図 2-14）。ただし調査 II では、最も低い評価を選んだ人が減少した。

高校での実践では、前述した大学での実践で使用した三次元表示の地図図を利用し、10 地点の地形の読み取りを行った。大学での調査 I と同様に、最初の段階では地図図の操作方法の解説は行わなかった。受講者の大半はスマートフォンを利用して地図図を操作し、作業の感想を回答のフォームに記入した。23 名のうち 8 名は、正式な授業の後にも時間がとれたため、GIS の操作法と地形の読み取り方を 20 分程度でまとめた動画を閲覧した後、再度同じ作業とアンケートを行い、教材の効果を検討できるようにした。

アンケートの記述の内容は、地形の認識方法、地形判読の難しさ、GIS の効果に関するものに区分できる（表 2-6）。受講者は、衛星画像や航空写真を含む地理情報と、用語、模式図、教科書などに掲載された写真などの記憶を結び付けようとしながら、作業に取り組んだ。しかし、この結び付けが不十分なために、地形を読み取ることに難しさを感じたと推察される。特に、航空写真による地形判読が難しかったというコメントが多く、受講者は直下視の画像を用いた一方で、三次元で地図図を操作する機能は活用しなかった可能性がある。一方、WebGIS が地形の読み取りに効果的という意見もあった。特に、動画の解説を経てから作業に再度取り組んだ 8 名の生徒は、WebGIS の効果を体感しやすい傾向があった。

表 2-6 高校生の自由記述の結果

| コメント区分 | 内容 |
|--------------------|---|
| 地形の認識方法 (3 件) | <ul style="list-style-type: none"> ◆資料集と図を思い出しながら形を見て判断した。 ◆地図（航空写真）上の形から認識した。 ★地形を周辺環境や形状で読み取りました。操作は動画を見ながら行ったので問題ありませんでした。 |
| 地形判読の難しさ (14 件) | <ul style="list-style-type: none"> ◆空中写真から判断するのが難しかった。知識だけではダメなことが分かった。 ◆地図から地形を読み取るのは難しかった。 ◆絵で見えていても、上からの視点になると分からなかった。 ◆空中写真ではなく教科書の絵で覚えてきたので、改めてリアルな地形を見た時の判別が難しいと感じた。 ◆一度その画像を見たことがないと答えるのが難しい。 ◆そもそも地形の名前を忘れてしまっていたりすると、地形を読み取ることができないと思った。 |
| GIS の効果 (6 件) | <ul style="list-style-type: none"> ◆GIS による学習は紙媒体のみの学習よりも効率的で体系的にできると思う。 ★GIS は実際のものを活用するので、図だけでは学べないことがたくさんあった。 ★GIS は簡単に様々な種類の地図図を見ることができる点良かった。 |

注：（）は各区分と関連するコメントの総数を示す。本表には代表的なコメントのみを載せた。◆は、1 回のみ作業を行った後のコメント、★は、作業を 2 回行った後のコメントを示す。

7項 教材の技術的な有用性の考察

本研究では汎用的なウェブブラウザで利用できる三次元表示の地図を、CesiumJS を用いて構築した。教室での GIS の利用の際には、教員や生徒が PC を操作する際の熟練度が問題となることが指摘されている (Bearman et al. 2015)。この種の問題は、データを収録したフォルダの取り扱いなどに知識や技術を要するデスクトップ GIS を用いる際に生じやすい。一方、本研究で整備した WebGIS は、地形の読み取りのための最低限の機能を持ち、インターフェースもシンプルなため、PC の操作の熟練度は大きな問題にはならず、多様なデバイスを利用した学習に適すると考えられる。ただし、アンケートの結果によると、躓きがほとんどなく地図を利用できる受講者もいたが、十分に機能を使いこなせない受講者が高校でも大学でもみられた。このばらつきは、インターネットの回線や端末のスペックに問題があった一部の受講者が、地図をスムーズに操作できなかった可能性を示唆する。今回は各自の PC やスマートフォンで地図を利用したが、実際には ICT 環境が整備された教室で使用することが望ましい。

高校生を対象としたアンケートの自由記述には、地形の立体表示に関するコメントがみられなかった。この理由として、画面が小さなスマートフォンを利用した高校生の場合には、三次元表示の機能に気づかなかつたか、有効に利用できなかったと推察される。一方、2021 年度の大学の授業では、ボタン一つで各地形の直下視と斜方視を切り替える機能を教材に追加したが、地形判読の結果が大きく改善するには至らなかった。受講者の中には、自主的に地図を操作しながら地形を学ぶことが難しい人もいるため、ナレーションやポップアップなどを通じて地形判読を順序だてて体験できるような機能が有効な可能性がある。

CesiumJS は、Google Earth よりも自由度が高い Web 地図を構築可能であり、無償でもある。そのため、教育用の WebGIS の構築に有用である。しかし、機能の拡張にはプログラミングの基礎知識が必要であり、Google Earth とは異なりデータを自作する機能を持つアプリケーションを初期設定では実装できない。「GIS 実習オープン教材」(山内ほか 2019) のように、CesiumJS の使用法を解説した資料もあるが、GIS やプログラミングの初学者向けに資料を提供している事例は少ない。したがって、CesiumJS を用いて複雑な機能を持つ WebGIS を構築することは容易とはいえない。しかし本事例のように、初学者が地図の閲覧や基本的な操作を学ぶための教材であれば、GIS とプログラミングの基本的な知識を持つ人が CesiumJS を用いて WebGIS を開発することも可能である。

8項 本実践における受講者の課題と教材の改良

大学での実践の調査 II で、正誤問題の平均正答率が高くなったことは、三次元表示の地図による教育が受講者の地形の理解度を向上させたことを示唆する。また、調査 II の地形を読み取る設問の際に、色別標高図や陰影図の利用者が増加したことは、今回の教育が地形の特徴だけではなく、GIS のデータが持つ意味を理解させる点でも有効であったことを示唆する。一方で、地形を読み取る設問の平均正答率は調査 II でも約 4 割であった。本実践で地形を読み取る力が大きく向上しなかった背景には、用語、模式図、教科書などの写真といった既存の知識を地図と結びつけることが難しかったことがあると推察される。たとえば、教科書での解説やイラストが、複雑な要素を含む実際の地形よりも理想化されてしまっていることが、地形の理解を難しくしている可能性がある。これは、出題した地形と近接して見られやすい地形や、類似点を持つ地形の誤答が多く確認されたことの原因とも考えられる。さらに、色別標高図や陰影図のような地形の判読に有用な地図を学生が使い慣れていないことも、地形の読み取りが低調だった一因と考えられる。しかし、自由記述にみられるように、地形判読の際に躓いた要因を自身で検討できた対象者がいたことは、この作業自体が地形の学習に有効な可能性を示す。他方で、地形に関する文章の正誤を判断する問題では、受講者が授業などで得た理解と関連させやすく、地図の操作も不要であったため、平均正答率が高かったと考えられる。

Hsu et al. (2018) は、三次元表示の地図は読図の教育に有用であるが、地形などの概念の学習においては、教科書と黒板などを用いた既存の学習法も必要と述べている。地理教育では、地理的事象のイメージを説明する手法として、発問、体験談、写真、地図、模型などが使用されるが、逆に対象者が混乱したり間違った理解を促す可能性もある(天野 2005)。この問題の軽減には、教科書に対応した副教材の作成が重要であり、既存の教育と連携して利用できる本教材は有効と考えられる。本教材での地形の理解のしやすさの向上には、地図の機能の改良とともに、解説図や文章を工夫する作業が必要である。例えば、WebGIS のレイヤを用いて地形を判読する際の有効な手順を確立し、それに基づく教授法を提案するべきである。さらに、黒木 (2014) や Hsu et al. (2018) が指摘したように、受講者がメモを取るタイミングを教材の中に新たに設けると、授業の学習効果が高まると思われる。

9項 まとめと今後の課題

本研究では、高校生や大学生の地形学習の充実を目的に、GIS を用いた地形教育のためのオープン教材を開発した。教材は、誰もが自由に利用できるようにオープンライセンス

を付与し、オンラインで公開した。教材には、地形を効果的に学習できるように、CesiumJS を用いて構築した三次元表示の地図を搭載した。

高校生と大学生を対象とした本教材の有用性を分析するための調査では、オンラインの三次元表示の地図やそれを用いた授業が、受講者の地形の理解や地形を読み取る力の向上に寄与したと推察された。一方で、受講者は地形に関する用語や模式図といった既存の知識と、実際の地形を対応させて読み取る作業に難しさを感じることも判明した。この問題を解決するためには、地図の機能を拡張させるとともに、解説のための図と文章や、教授法の改良も必要である。たとえば、ナレーションやポップアップの機能を実装した WebGIS を用いて、順序立てて地形を見る機能を整備すべきである。

本節の授業実践の受講者は、あまり多くなかったため、得られた結果が生徒や学生の一般的な傾向を示していない可能性もある。今後、対象者を増やして授業実践を重ねる予定である。この際には調査方法にも改良を加え、地形学習の効果を高める方法を、より詳しく検討したい。

第3章 GISによるデータ処理の教育

1節 はじめに

GIS を活用できる人材を育成するためには、GIS の基本概念や分析法を説明する講義と、実際に対象者がソフトウェアを操作して地図の作成や空間解析を行う実習をバランスよく組み合わせることが重要である (Ooms et al. 2014) . 第1章 2 節で述べた国内の過去のプロジェクトでは、大学の GIS の講義用の教材や資料の整備が主な目的であったが、実習授業に関する検討も一部で行われた。たとえば、高橋・岡部 (2008a) は、GIS 実習のためのオンライン教材の開発とそれを用いた授業実践について報告し、高橋・岡部 (2008b, 2010) は、開発したオンライン教材を用いて、受講者の類型化や学習効果を規定する要因を検討した。渡辺 (2008) は、独学でも GIS を学習できる e-learning 教材を構築し、それを用いた授業実践と学習状況の調査を行った。村山・駒木 (2006) は、空間統計に特化したフリーの GIS ソフトウェアを開発し、実習での利用例を紹介した。しかしながら、これらの事例は GIS のコアカリキュラムと部分的に対応した実習用教材の整備にとどまっており、コアカリキュラムを網羅的に反映する教材の整備には至っていなかった。

上記の経緯を踏まえて 2015 年～2020 年にかけて、既存プロジェクトの成果である書籍「GIS スタンダード」(浅見ほか 2015) と対応した高等教育向けの GIS の実習用教材を開発するプロジェクト(科学研究費基盤研究 (A) 「GIS の標準コアカリキュラムと知識体系を踏まえた実習用オープン教材の開発」、代表者：小口 高)が行われた(小口 2018 ; 小口・山内 2022) . このプロジェクトでは、近年フリーかつオープンソースの GIS ソフトウェアを活用した教育が、世界的に普及しつつある現状を考慮し、その流れに沿った実習用オンライン教材を整備した。本章では、このプロジェクトで筆者が他の研究者の意見を取り入れて作成した教材の設計と、オンライン上での教材の利活用の状況を記述する。また、本教材を個人学習および複数の大学の実習授業で利用し、その結果を踏まえて既存の教材に対する本教材の有用性や、本教材を用いた授業の学習効果とその規定要因を検討する。

また本研究では、大学生のみではなく学習意欲のある中学生と高校生も対象とした。日本の教育課程では、小学校から地球儀や地図の学習がはじまり、中学校で地理情報の収集や活用が推奨され、高等学校では第1章で述べたように GIS を用いた学習も行われている(井田ほか 2012 ; 文部科学省 2017a ; 2017b ; 2018a) . 国内では地理情報を活用した学習が注目される傾向にあることから、将来的には現在の大学生が学んでいるような高度な GIS の実習授業も、部分的に中等教育に採用される可能性がある。実際に一部の高校では、

学会の高校生セッションなどで、生徒が GIS を用いて地域分析をした成果を発表する事例もある。そのため本研究では、中学生と高校生向けに内容を再構成した教材を用いて、GIS のデータ処理を体験してもらい、授業を行い、学習効果などを調べた。

2 節 オンライン教材の構築手法

1 項 教材のシステム設計

従来の大学の地理学教室などの GIS の実習授業では、多様な空間解析機能を持つ商用（有償）のソフトウェアが用いられることが一般的であった（佐々木ほか 2008）。なかでも、世界的なシェアを持つ商用（有償）のソフトウェアである ESRI 社の ArcGIS¹⁹⁾の使用法を解説した学習サイトの構築や、授業実践が普及している（高橋・岡部 2008a；渡辺 2008）。一方で、教員養成系大学と地理学系の学部のシラバスを分析し、GIS 教育の現状をまとめた矢部・橋本（2016）は、フリーの GIS ソフトウェアである MANDARA（谷 1994）の利用率をとりあげ、有償 GIS のコストとフリー・ソフトウェアの活用について議論した。佐々木ほか（2008）の調査でも、2～3 割の大学の授業で MANDARA が利用されていた。

最近では、世界中にいるプログラム開発者が、WEB などを通じて持続的に保守管理をしているオープンソースのソフトウェアを用いた教育や教材が増えつつある。たとえば、オープンソースの地理情報技術の開発や共有を行うコミュニティを支援している OSGeo 財団（The Open Source Geospatial Foundation）²⁰⁾は、フリーでオープンソースの GIS の総称である FOSS4G（Free and Open Source Software for Geospatial）を用いて、世界中で地理情報に関する教育や学習を可能とする取組み（GeoForAll）を行っている。この一環として、FOSS4GAcademy²¹⁾のような、FOSS4G の利用方法を解説したオンライン学習サイトも運営されている。FOSS4G を教育で活用すると、GIS の実習授業が低コストで可能となる（Ciolli et al. 2017）。国内でも OSGeo 財団日本支部のメンバーが中心となり、FOSS4G の利用方法を日本語で解説したマニュアルや資料を整備してきた（OSGeo 財団 2011）。また、大野ほか（2006）や岩崎ほか（2014）は、学習管理機能を有する GIS のオンライン学習サイトを構築した。しかし、大学の地理学教室などで従来行われてきたような体系的な GIS の活用手法を、日本語で解説した教材はほとんどなかった。

以上の動向を踏まえて、本研究では、FOSS4G の GIS ソフトウェアを積極的に活用して教材を構成することにした。なかでも国内で多くの利用例（たとえば青山 2016 や薄井ほか 2017）や資料があり、多様なプラグインが利用できる QGIS²²⁾を主に利用した。QGIS は、有償の GIS と比べてバージョン更新の頻度が高いため、本教材では 1 年間のバグ更新が保証された長期リリースバージョンである 2.8 版および 3.4 版に関する解説を基本とした。ただし QGIS のみでは実習が難しい場合もあるため、GRASS GIS²³⁾、PostGIS²⁴⁾、SAGA GIS²⁵⁾等のフリーでオープンソースソフトウェアや、オープンソースではないがフリーで利用できる SAM（Spatial Analysis in Macroecology）²⁶⁾等のソフトウェアも適宜

利用した。本プロジェクトでは、文系理系を問わない GIS の実習用教材を提供するために、プログラミングの知識が必要なソフトウェアの使用は最小限とし、マウスの操作で扱える内容を優先した。ソフトウェアと同様に実習に使用したデータも、SRTM や国土数値情報のように無償で利用できるものを用いた。また、地方公共団体のオープンデータのように、ライセンス上再配布や改変が可能なものは、実習用データに加工して提供した。

最近の高等教育におけるオープンエデュケーションでは、MOOCs (Massive Open Online Courses) のような講義を撮影した動画や講義資料の配信が積極的に行われている。GIS 教育でも、GIS の活用方法を紹介するオンライン教材の開発や、それらを用いた授業実践がある (Ooms et al. 2014 ; Mui et al. 2015 ; Argles 2017 ; Vojteková et al. 2022) 。本教材は大学の実習授業での活用を想定しているため、多様な環境や学習対象に応じて教材の改変や補足が容易にできるように、電子テキストとして設計した。実習授業でのフィードバックなども参考とし、QGIS の基本操作や空間座標の変換などを解説する動画教材も少数ではあるが作成した。教材は HTML に変換可能なテキストファイルをいくつかの記号を組み合わせて簡易的に記述する Markdown の形式で構築した。GIS の基本操作はマウスを用いたものが多いため、操作を解説した図を多用して直観的に理解できる教材となるように工夫した。

GIS の実習では、ソフトウェアの活用法だけでなく、地理情報科学の理論や空間データの構造も理解する必要がある。一方で、これらを実習の内容と併記すると、教材が複雑化して利用者の混乱や学習意欲の低下に繋がる恐れがある。また、教材が複雑化すると、ソフトウェアやプラグインのバージョン更新に伴う教材の変更に要する負担も大きくなると予想された。そこで、本教材内での解説はソフトウェアの操作に関わるものを主体とした。一方で、ベクタデータとラスタデータの違いのような初学者が躓きやすい GIS 特有の学習項目については、わかりやすく丁寧な解説を試み、必要に応じて概念図を挿入した。さらに、学習を補助するための用語集やエラー集も作成し、効率的な学習ができるように工夫した。

上記したコアカリキュラムに対応した教材の内容を補足するような副教材も整備し、関心のある学生などが閲覧することで、関連の知識を深めてもらえるようにした。具体的には、GIS データの作成を目的とした野外などでの機器の活用、インターネットで空間データを公開する手法を解説した教材、地理情報科学のアウトリーチなどで GIS と関連して利用できる機材や技術の活用法を解説した教材、Python によるデータ処理を解説する教材を整備した。

このようにして整備した教材群は、サーバーサイドで動作する JavaScript の実行環境である Node.js で使用できる GitBook（現 HonKit）ライブラリを用いて視認性を高めることを目的に、電子書籍のようなスタイルで閲覧できるようにした（図 3-1）。また、プロジェクトの概要を参照できるページも作成した。以上で述べたコンテンツを、「GIS 実習オープン教材（GIS Open Educational Resources）」と命名してパッケージ化し、利用者の用途に適した提供手法とライセンスに関する検討を行った後に公開した。さらに、教材のアクセス状況を Google Analytics²⁷⁾で記録するためのトラッキングコードも教材に追加した。また、一部の教材にアンケートフォームへのリンクを設置し、利用者からのフィードバックが得られるようにした。

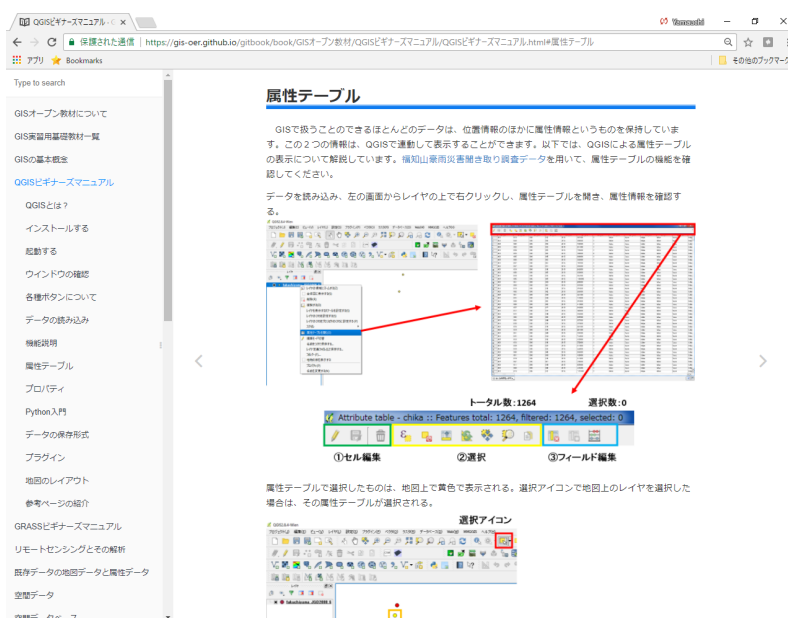


図 3-1 教材のインターフェース

2 項 教材の提供手法

国外では、第 2 章 2 節で紹介したように、幅広い利活用を想定して教材と閲覧のための設計ファイルをまとめたパッケージをオープンなライセンスで提供する事例がある。本教材でも、教材のパッケージ化とオープンライセンスの適用を行った。

パッケージを運用するプラットフォームには、第 2 章の地図の公開と同様に GitHub を採用した。GitHub は、ソースコードのバージョン管理システムの Git を用いた WEB サービスであり、ソフトウェアの開発チームやその支援者が協力してコンテンツの整備を行うための機能を持つ。たとえば、コミュニケーションツールである Issues 機能、改善案を送

信する Pull Request 機能, コンテンツ制作のためのタスク管理ができる Projects 機能, リポジトリの複製ができる Fork および Clone 機能, コンテンツを静的な Web ページにホスティングする GitHub Pages がある. GitHub では, ファイルの保管場所であるリポジトリを WEB 上に作成できる. 本プロジェクトでは, 開発したコンテンツを用途ごとにリポジトリに格納した. たとえば, 教材の補足や修正といった編集に必要な教材のソースコードである Markdown ファイル群, 教材の閲覧に適した HTML ファイル群, 実習用のデータ群は, 別のリポジトリとして提供した.

開発した教材パッケージには, 誰もが自由に利活用できるようにクリエイティブ・コモンズに基づく CC-BY-SA (表示-継承) 4.0 国際ライセンスを付与した. 利用者は, 出典の表記をライセンスと同じものとするを条件に, 教材の複製, 改変を伴う二次利用, および再配布が可能である.

3 項 教材のコンテンツ構築

教材の学習項目は, 前記の書籍「GIS スタンダード」のうち, 実習が可能な内容を含む 6~23 章および 26 章と対応するように構成した (表 3-1). 学習レベルは, 大学の地理学教室で実施されている GIS 実習のシラバスの構成等を参考に, 「入門」「基礎」「応用」の 3 つのレベルに区分し, 「GIS スタンダード」と対応しない項目を「副教材」とした.

表 3-1 GIS ソフトウェア活用の教材の特徴と「GIS スタンダード」との対応

| レベル | 学習項目 | 内容 | GISスタンダードとの対応 |
|-----|----------------------------|--|----------------------------|
| 入門 | GISの基本概念 | 地理情報システムとは?, ソフトウェア, 地理情報データ, ベクタデータ, ラスタデータ, 地物とレイヤ構造, 測地系と座標系, ウェブと地理情報システム | - |
| | QGISビギナーズマニュアル* | QGISとは?, インストール, 起動, ウィンドウ, 各種ボタン, データの読み込み, 機能説明, 属性テーブル, プロパティ, 地図タイトルの読み込み, 地図のレイアウト, 作業ファイルの保存, プラグイン, Pythonコンソール, データの保存形式, 参考ページ等 | 22, 23 (ソフトウェアの基本操作も解説) |
| | GRASSビギナーズマニュアル | GRASS GISとは?, インストール, ファイル形式について, GRASSの起動, 機能説明, マップセットにラスタデータを読み込む, コマンドコンソールとモジュールツリー, レイヤの色分け, レイアウト, 参考ページの紹介 | - |
| 基礎 | リモートセンシングとその解析* | 衛星画像の取得, SACPluginの取得, RGB合成, NDVI, 教師つき分類, 教師なし分類, MultiSpecによる分析 | 6 |
| | 既存データの地図データと属性データ* | 国土地理院の基盤地図情報, 国土交通省の国土数値情報, 環境省のGISデータ, 総務省のGISデータ, G空間情報センターのGISデータ, 研究機関, 研究者が提供するGISデータ, 地方自治体が提供するGISデータ, 国外の機関が提供するGISデータ | 7 |
| | 空間データ* | 空間座標の変換, ジオリファレンス, ジオコーディング | 8 |
| | 空間データベース* | PostGISとは?, PostgreSQLのインストール, 空間データベースの作成, よく使うSQL文, 属性検索, 空間検索, 空間結合 | 9 |
| | 空間データの統合・修正* | ラスタのモザイクとクリップ, 等高線の抽出, ラスタをベクタへ, 新規ベクタの作成, ベクタをラスタへ | 10 |
| | 基本的な空間解析* | 基本量の測定と空間オブジェクトの選択, その他の空間データの操作, オーバーレイ分析 | 11 |
| | ネットワーク分析* | ネットワーク分析とは?, 最短距離検索, ネットの分割, 到達圏分析, 巡回セールスマン問題, サブネット設定 | 12 |
| | 領域分析* | パップアによる領域分析, ボロノイ分割による領域分析, ドローネ三角形 | 13 |
| | 点データの分析* | 点の分布密度, メッシュによる点密度の表示, 行政区内の点密度, カーネル密度推計, 平均最近隣距離法, 標準偏差距離と標準偏差構図, K-関数法 | 14 |
| | ラスタデータの分析* | 数値標高モデルの変換, 数値標高モデルの視覚的分析, 基本的な統計量の確認, ベクタの地理とラスタの集計の組み合わせ分析, フィルタリング, ラスタ演算, 流域解析, コストパス解析 | 15 |
| 応用 | 視覚的伝達* | 属性データの視覚化, カルトグラムの作成 | 21 |
| | 参加型GISと社会貢献* | OpenStreetMapとは?, 基本操作, 編集のルール, アカウントの取得, OSMの編集, ローカル編集, データを利用する, OpenStreetMapと社会貢献, クライスマッピングとは?, クライスマッピングの歴史, OSMを利用したクライスマッピング | 26 |
| | 傾向分析 | SAMのインストール, 第1次傾向面分析, 第2次傾向面分析 | 16 |
| | 空間的自己相関 | CrimeStatのインストール, Moran's I統計量, Geary's C統計量, Join count統計量 | 17 |
| | 空間補間* | 不整三角形, 逆距離加重法, スプライン補間, クリギング | 18 |
| | 空間相関分析 | Rのインストールと基礎操作, 空間的自己相関モデル, 基本的な統計量の確認, 空間的誤差自己相関モデル, 地理的加重相関 (GWR) | 19 |
| | 空間分析におけるスケール | GeoDaのインストール, local moran's Iの算出 | 20 |
| | GISデータの作成を目的とした野外などでの機器の活用 | ドローンの操作法, スマートフォンで野外調査, タブレットでトレース, 位置情報付き写真の地図表示, GPSログの活用 | - |
| | インターネットで空間データを公開する手法 | 各種ツール (Cesium, Google マップ, Leaflet, ArcGIS API for JavaScript, OpenLayers, D3.js) を用いた地図の構築方法, 地理院地図の閲覧とデータの作成方法, WebGISで表示するレイヤ (CZML, KML, GeoJSON, 地図タイトル (ラスタ)) の作成手法, GitHubを用いた地図の公開方法 | - |
| | 副教材 | 地理情報科学のアウトリーチなどでGIS3Dプリンタで地形模型の製作, 地理情報を用いたVRアプリ開発入門 (UnityとMeta Quest 2を用いたコンテンツの構築) と関連して利用できる機材や技術の活用 | - |
| | Pythonによるデータ処理* | Pythonの概要とQGISにおけるPythonの役割, QGISでのPython入門, ベクターデータの読み込みと図形へのアクセス, ベクターデータの属性情報に基づく処理, ベクターデータの座標変換・計測 | - |
| | | 基本的な空間演算, NumPyについて, ラスタデータの読み込み, プロセッシング入門 | - |
| | | 一括処理, プラグイン開発 | - |

注: *は QGIS 上でのデータ処理を含むもの.

入門レベルの教材は、「GIS スタンダード」の 22 章と 23 章と対応し、GIS の基本的な操作手法であるデータの読み込み、重ね合わせ、ビジュアライズ、地図のレイアウト等を解説している。このレベルの教材には、GIS のデータ形式など基本的な知識をテキスト形式で紹介する教材も含まれる。基礎レベルの教材は、ベクタデータやラスタデータを用いたさまざまな空間解析の手法、空間データの管理手法、空間データの入手方法を解説しており、「GIS スタンダード」の 6～15 章、21 章、26 章と対応する。応用レベルの教材は、空間的自己相関や空間補間のような、空間統計学と関連性の高いデータ処理を解説したものであり、「GIS スタンダード」の 16～20 章と対応する。「副教材」には、ドローンの使用手法、複数の Web 地図の構築手法、3D プリンタによる地形模型の作成手法、VR アプリケーションの開発手法、QGIS 上で Python のコードを直接入力してデータ処理する手法などを解説した教材が含まれる。

GIS の操作方法は、ソフトウェアによって大きく異なる。本教材で対象となるデータ処理には、既述の通り主に QGIS をソフトウェアとして用いたが、QGIS の主要機能を用いるのみでは処理が難しい場合や、QGIS のプラグインがない空間統計学的な処理を行う場合には、CrimeStat²⁸⁾、GeoDa²⁹⁾、SAGA GIS、R³⁰⁾、SAM 等のソフトウェアも併用することとした。ただし、基礎的操作である入門レベルについては、本教材の全体を通じて利用頻度が高い QGIS と GRASS GIS のみを用いた。

教材では、GIS ソフトウェアの操作法を解説するのみならず、入門レベルと基礎レベルの教材を中心に理解度の向上を目的とした学習課題を設定し、受講者が学習を深められるように工夫した。また、大学の実習授業で利用しやすいように、各教材を組み合わせ、集中授業向け（1～2 コマ分）、四半期分（6 コマ）、半期分（14 コマ）の授業案も作成した。1～2 コマを想定した集中授業向けの授業案では、短期間で GIS を用いたデータ処理が体験できるように「GIS スタンダード」の 15、22、23 章の内容を部分的に取り出し、再構成した教材を整備した。四半期分と半期分の授業案は、各教材のコマ数に応じた利用を想定し、教材の学習の順番を指示するページを整備した。

3節 GIS 実習オープン教材のオンラインでの利活用

1項 アクセスログに基づく教材の利用傾向

整備した教材を公開し、Google Analytics を用いてアクセスログを取集した。本研究では、2018年6月1日から2022年6月30日までの49ヵ月間分のアクセスログを用いて、教材の普及状況や利用実態を調査した。具体的には、月別ユーザーの推移、アクセスの集中する時間帯、アクセスの多い解説項目、特定のネットワークドメインからのアクセスなどを整理した。利用した指標であるユーザー数とビュー数は、異なるデバイスでのアクセスや、教材を表示しても詳しく見なかった人を含むが、教材の利用傾向の概要を示すと考えられる。

上記の49ヶ月間に、363,771ユーザーと1,778,140ビューが記録された。アクセスログの取集の初期段階の2018年6月から2018年12月までは、ユーザー数とビュー数が時間とともに増加する傾向があった(図3-2)。その後、2019年1月～3月には教材の利用が減少した。この一因は、2019年2月に教材のリンクを調整する作業を実施し、教材に一時的にアクセスできなくなったためと考えられる。しかし、その後の2022年6月頃までは、大学等が春休みの2～3月と夏休みの8～9月にユーザー数とビュー数が減少しやすい傾向があるが、全体的には教材の利用が増加傾向にあった。2020年4～7月には教材の利用がとくに増加しており、6月は対象期間内で最も利用が多かった。この理由として、新型コ

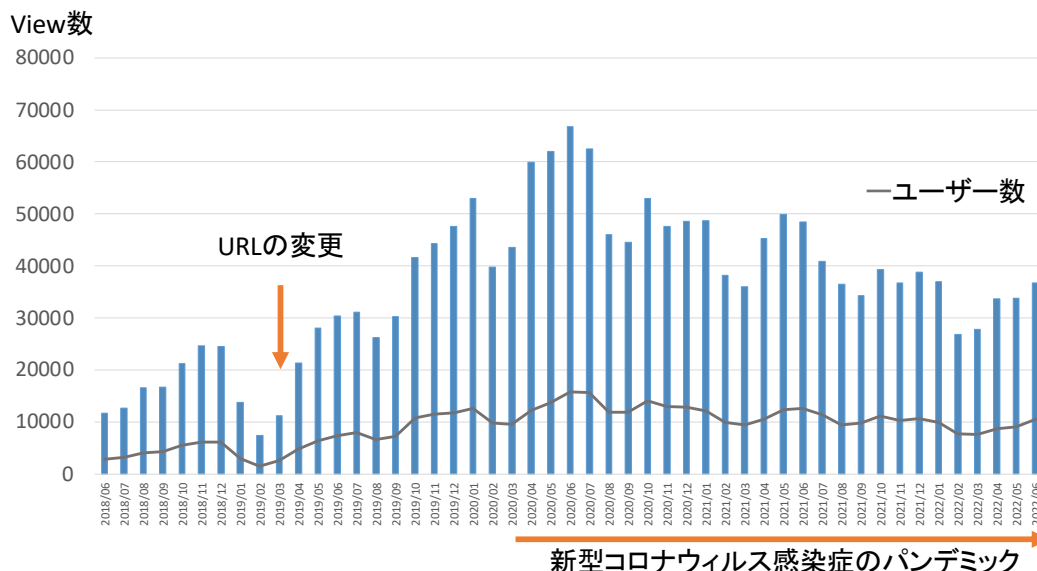


図3-2 2018年6月から2022年6月までの教材へのアクセスログ

注：データ計測のシステム上、本図のユーザー数は利用者の絶対数は示していない。

新型コロナウイルスの感染拡大の影響によるオンライン教育や在宅ワークの普及が考えられる。2020年10月以降は、ピーク時に比べると利用が減少した。しかし、2019年よりも教材が多く利用される傾向が続いた。また、一週間の推移をみると、平日の方が土日、祝日よりも多く利用される傾向が明瞭であり、平日では9:00～12:00と13:00～17:00にアクセスが集中する傾向がある（図3-3）。

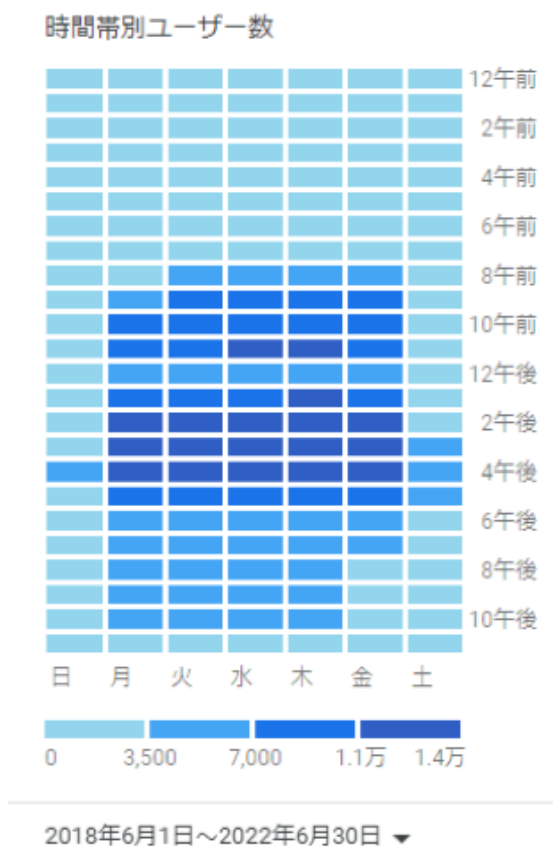


図3-3 曜日別・時間別のアクセス数

教材には日本各地からアクセスがあった（図3-4）。国外からのアクセスもあったが、98%は国内からのアクセスであった。比較的人口の多い地域である横浜市、大阪市、港区（東京都）、新宿区（東京都）、千代田区（東京都）、名古屋市、札幌市、福岡市、世田谷区（東京都）、川崎市などからのアクセスが多い傾向がある（表3-2）。



図 3-4 教材へのアクセスが多い市区町村

表 3-2 アクセスが多い市区町村の上位 20

| 順位 | 市区町村（区表記は、東京都の 23 区のみ） | ユーザー数 | 割合 |
|----|------------------------|--------|------|
| 1 | 横浜市 | 29,341 | 7.3% |
| 2 | 大阪市 | 27,899 | 6.9% |
| 3 | 港区（東京都） | 19,404 | 4.8% |
| 4 | 新宿区（東京都） | 17,576 | 4.4% |
| 5 | 千代田区（東京都） | 17,123 | 4.3% |
| 6 | 名古屋市 | 13,041 | 3.2% |
| 7 | 札幌市 | 11,553 | 2.9% |
| 8 | 福岡市 | 8,317 | 2.1% |
| 9 | 不明 | 8,214 | 2.0% |
| 10 | 世田谷区（東京都） | 7,510 | 1.9% |
| 11 | 川崎市 | 6,749 | 1.7% |
| 12 | 京都市 | 6,694 | 1.7% |
| 13 | 埼玉市 | 6,247 | 1.6% |
| 14 | つくば市 | 5,965 | 1.5% |
| 15 | 仙台市 | 5,769 | 1.4% |
| 16 | 渋谷区 | 5,750 | 1.4% |
| 17 | 神戸市 | 4,735 | 1.2% |
| 18 | 江東区（東京都） | 4,679 | 1.2% |
| 19 | 中央区（東京都） | 4,594 | 1.1% |
| 20 | 千葉市 | 4,091 | 1.0% |

注：他の上位の地方都市には、新潟市（23 位）、熊本市（26 位）、岡山市（27 位）、盛岡市（29 位）、金沢市（31 位）があった。

Google Analytics では、2020年1月まではアクセス元のドメイン情報を取得できたが、その後取得できなくなった。そこで、アクセス元の分析には、2018年6月1日から2020年1月31日までの20ヶ月分のアクセスログを用いた。図3-5は、判別できたネットワークドメインのみを co.jp, ac.jp, go.jp, その他にわけて集計したものであり、企業の co.jp が612件、教育機関の ac.jp が436件、政府や国立の研究機関の go.jp が67件確認できた。

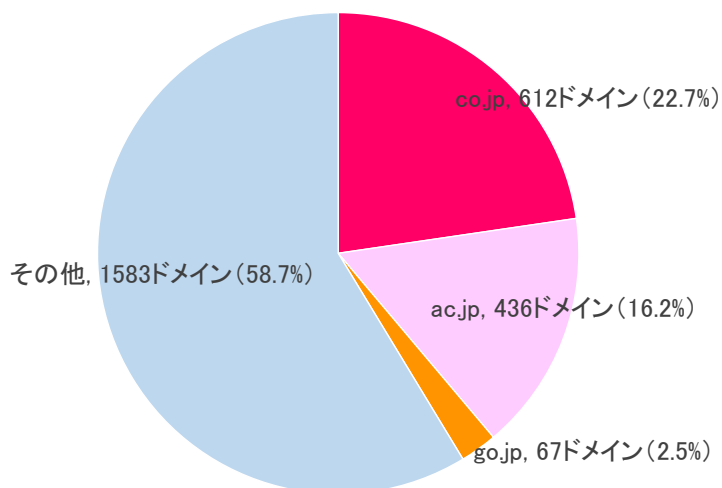


図 3-5 アクセス元のドメインの内訳

表 3-3 は、対象期間にビューが集中した学習項目の上位 20 を示す。アクセスが最も多い学習項目は、QGIS の入門操作や地図の作成方法を解説した「QGIS ビギナーズマニュアル」であり、これはビュー数全体の 16.5%にあたる。続いて多いのが、実習の作業がない「GIS の基本概念」であり、これはビュー数全体の 5.6%にあたる。この次に多いのは、測地座標系の変換などを解説する「空間データ」であり、これはビュー数全体の 3.8%にあたる。これ以降は、ビュー数全体の 3.5%以下の学習項目が続くが、入門レベル、基礎レベルに該当するものが相対的に多かった。入門レベル、基礎レベルの内容は、人文地理学に応用しやすいデータ処理を解説しているが、地形や環境の分析と関連のある「ラスタデータの分析」や「リモートセンシングとその解析」も上位 20 に入っている。また上位 20 には、WebGIS の活用や Python によるデータ処理と関連する内容も含まれる。

表 3-3 ビューが多かった学習項目の上位 20

| 学習項目 | レベル | ビュー数 | 割合 |
|------------------------------------|-------|---------|-------|
| QGISビギナーズマニュアル | 入門 | 294,184 | 16.5% |
| GISの基本概念 | 入門 | 100,037 | 5.6% |
| 空間データ | 基礎 | 66,935 | 3.8% |
| 基本的な空間解析 | 基礎 | 57,833 | 3.3% |
| ラスターデータの分析 | 基礎 | 57,671 | 3.2% |
| 空間データの統合・修正 | 基礎 | 52,675 | 3.0% |
| 点データの分析 | 基礎 | 50,150 | 2.8% |
| 課題ページ：地形環境分析のためのQGIS入門（1日実習コース） | 入門・基礎 | 47,713 | 2.7% |
| 既存データの地図データと属性データ | 基礎 | 46,864 | 2.6% |
| よくある質問とエラー | その他 | 46,219 | 2.6% |
| 課題ページ：QGISビギナーズマニュアル | 入門 | 44,234 | 2.5% |
| GRASS GISビギナーズマニュアル | 入門 | 39,657 | 2.2% |
| GeoJSON | 副教材 | 36,689 | 2.1% |
| リモートセンシングとその解析 | 基礎 | 34,092 | 1.9% |
| ネットワーク分析 | 基礎 | 31,533 | 1.8% |
| 領域分析 | 基礎 | 29,073 | 1.6% |
| 空間データベース | 基礎 | 25,285 | 1.4% |
| Python入門（chapter 1：QGISでのPython入門） | 副教材 | 23,183 | 1.3% |
| 空間補間 | 応用 | 20,491 | 1.2% |
| Cesium | 副教材 | 17,410 | 1.0% |

2項 QGIS 入門教材のオンラインアンケートの結果

オンラインアンケートに回答するためのリンクを、入門と基礎レベルの学習項目のウェブページ最下部に設置した。アンケートでは利用者に関する質問として、「回答者の属性」と、「GIS スキルの到達度（自己評価）」を選択形式で尋ねた。次に、教材に関する質問として「教材の閲覧範囲」を尋ねた。最後に、「学習の難易度」、「閲覧のしやすさやリンクの存在などからみた教材の使いやすさ」、「解説の適切性」、「教材の読み進めやすさ」を五段階で評価する質問と、「本教材を知った経緯」を自由記述で回答する質問を設けた。

アンケートの分析には、初期の教材にあった誤記や、わかりづらい解説などの問題点が改善された 2020 年 3 月以降の回答を使用した。分析では、60 人からまとまった回答を得ることができた「QGIS ビギナーズマニュアル」の項目のみを対象とした。回答者は、大学生が 50 人と最多で、大学院生が 1 名、社会人が 5 人、大学教員が 2 人、その他が 2 人であった。回答者のうち 51 人は、GIS を初めて利用する人であり、7 人は GIS による地図作成の経験があった。残りの 2 名は、GIS を用いたデータ分析や研究などへの応用が可能な人であった。38 人の回答者は「QGIS ビギナーズマニュアル」を一通り閲覧したが、22 人は一部を閲覧した。

「学習の難易度」については、3人が「難しい」、9人が「やや難しい」、32人が「どちらともいえない」、11人が「やや易しい」、5人が「易しい」と回答した(図3-6)。

「閲覧のしやすさやリンクの存在などからみた教材の使いやすさ」については、最も低評価の「使いづらい」の回答はなく、6人が「やや使いづらい」、18人が「どちらともいえない」、12人が「やや使いやすい」、24人が「使いやすい」と回答した(図3-7)。「解説の適切性」は、1人が「不適切」、7人が「どちらかといえば不適切」、11人が「どちらともいえない」、18人が「どちらかといえば適切」、23人が「適切」と回答した(図3-8)。「教材の読み進めやすさ」は、最も低評価の「読み進めにくい」の回答はなく、6人が「どちらかといえば読み進めにくい」、11人が「どちらともいえない」、22人が「どちらかといえば読み進めやすい」、21人が「読み進めやすい」と答えた(図3-9)。「本教材を知った経緯」について、48人が大学教員から授業などで紹介されたと答え、10人がインターネットの検索でヒットしたと回答した。残りの2人は、本質問とは関連のない回答を記した。

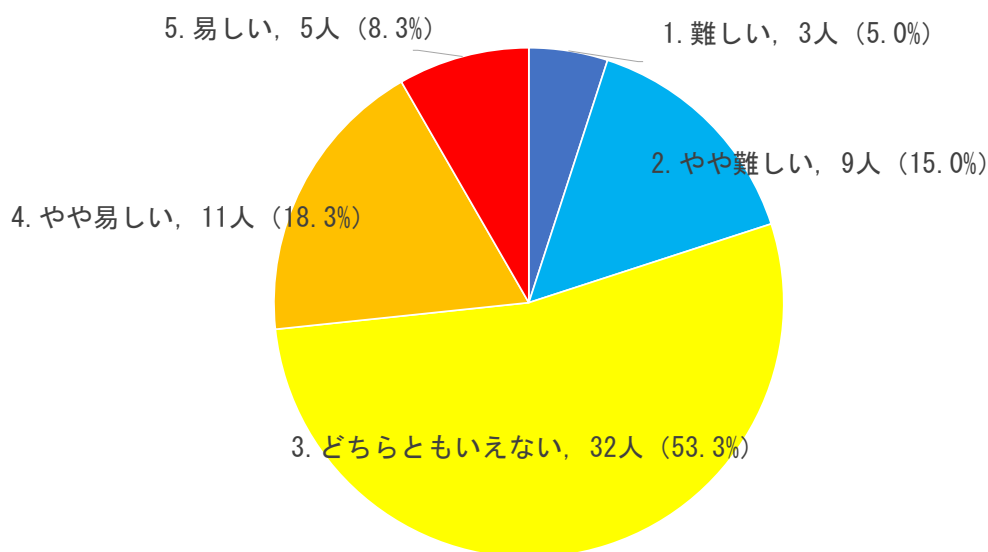


図3-6 学習の難易度 (N = 60)

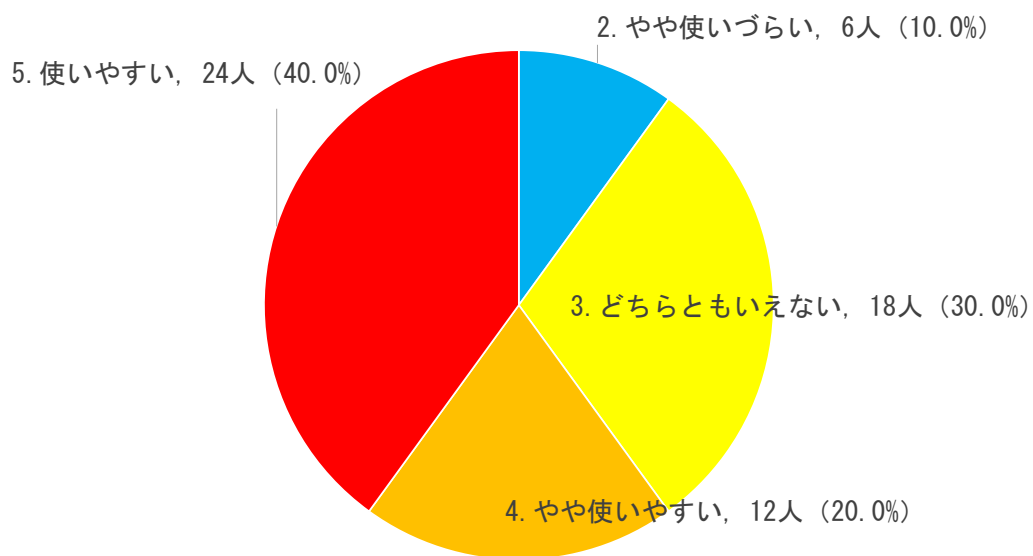


図 3-7 閲覧のしやすさやリンクの存在などからみた教材の使いやすさ (N = 60)

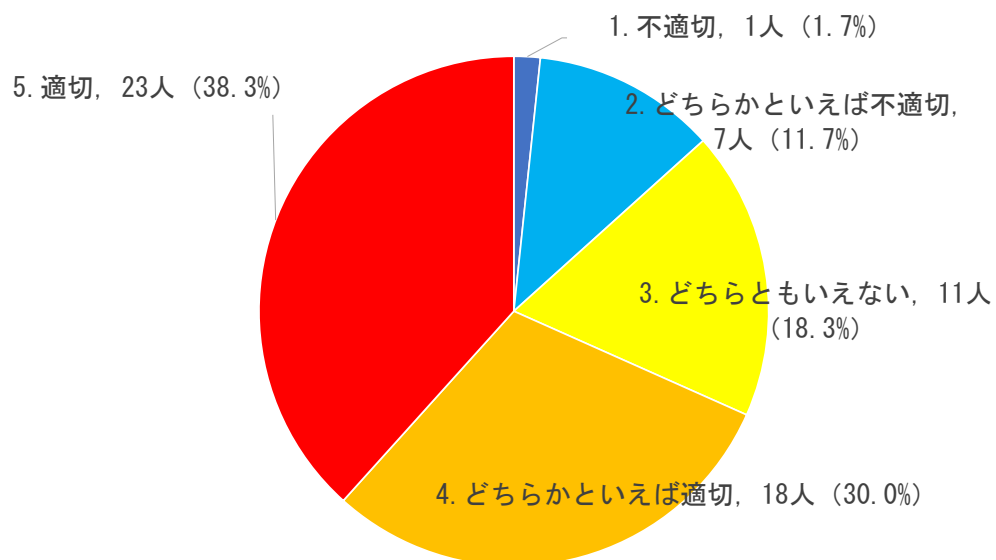


図 3-8 解説の適切性 (N = 60)

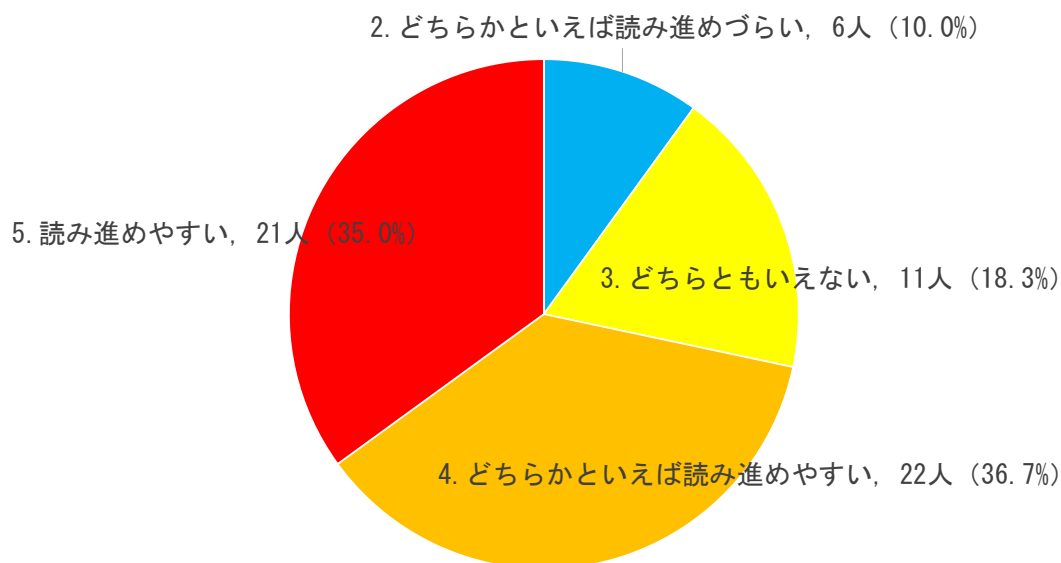


図 3-9 教材の読み進めやすさ (N = 60)

3 項 動画共有サイトを用いた学習の躓きの分析

本教材のうち、「QGIS ビギナーズマニュアル」とその課題ページに対応する解説動画を二つ作成し、動画共有サイトの YouTube で公開した。一つ³¹⁾は、音声つきで上記の学習項目を解説する動画であり、収録時間は 57 分 29 秒である。もう一つ³²⁾は、音声なしで課題の作成手順を撮影したものであり、収録時間は 7 分 52 秒である。前者は 2020 年 6 月 13 日に公開し、後者は 2019 年 10 月 11 日に公開した。

YouTube では、視聴者が動画を再生した際のログをとることができ、よく再生されたシーンやリンク元のサイトなどを確認できる。音声つき動画は、2022 年 9 月 20 日時点で 2,307 回再生され、総再生時間は 381.6 時間である。平均視聴時間は 10 分 06 秒であり、平均再生率（ユーザーが視聴した部分の平均割合）は 17.6%であった。本動画の利用者の 66.8%は、本教材にあるリンクを用いて動画にアクセスした。11.9%ほどは大学のサイトからアクセスし、その他はブラウザや YouTube 内の検索機能からアクセスした。図 3-10 は、音声つき動画の視聴者維持率（動画の各瞬間の視聴回数と全体の視聴回数の割合）を示す。動画の前半では、スタート時から約 3 分過ぎあたりまでで、教材の趣旨や動画の目的を説明する場面で、視聴者維持率が急速に低下する傾向がある。その後の視聴者維持率は、終盤までいくつかの山はあるものの緩やかに減少する傾向があり、最後の場面の視聴者維持率は約 11%であった。この動画でよく再生されたシーンは、「ソフトウェアの入手」、「Qweb プラグインの追加」、「ベクタデータの読み込み」、「テキストデータの

読み込み」，「エンコーディングの設定」，「属性値に基づくシンボルの分類」，「タイトルレイヤの一括読み込み」，「新規プリントレイアウトの表示」，「凡例の設定」，「方位記号の追加」，「地図の出力」の11箇所であった。

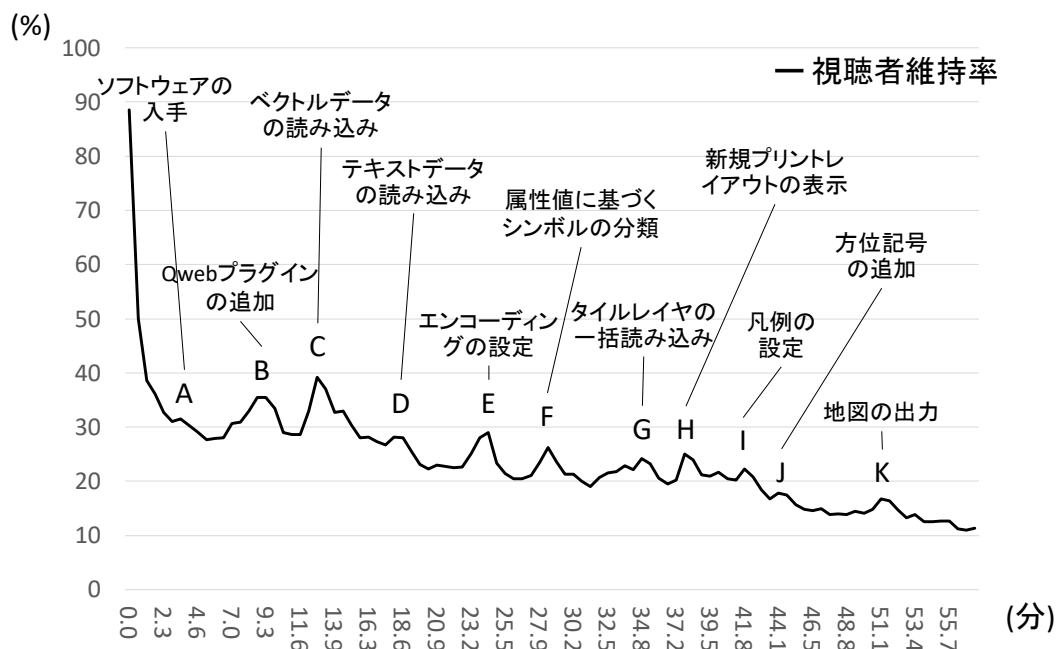


図 3-10 音声つき動画の視聴者維持率

音声なし動画は，2022年9月20日時点で7,992回再生され，総再生時間は358.2時間，平均視聴時間は2分41秒，平均再生率は34.2%であった．利用者の86.4%は本教材のリンクを用いて動画にアクセスし，他はブラウザやYouTube内の検索機能などからアクセスした．この動画は，スタート時から約2分過ぎまでの間に視聴者維持率が急減して40%ほどになり，終盤にかけて緩やかに減少する（図 3-11）．最後のシーンの視聴者維持率は，17%ほどであった．この動画でよく再生されたシーンは，大きくわけて9箇所あった．具体的には，「ベクタデータの読み込み」，「新規プリントレイアウトの表示」，「方位記号の追加」，「タイトルの追加」，「タイトルフォントの設定」，「凡例サイズの編集」，「凡例の編集」，「スケールの追加」，「地図の出力」であった．

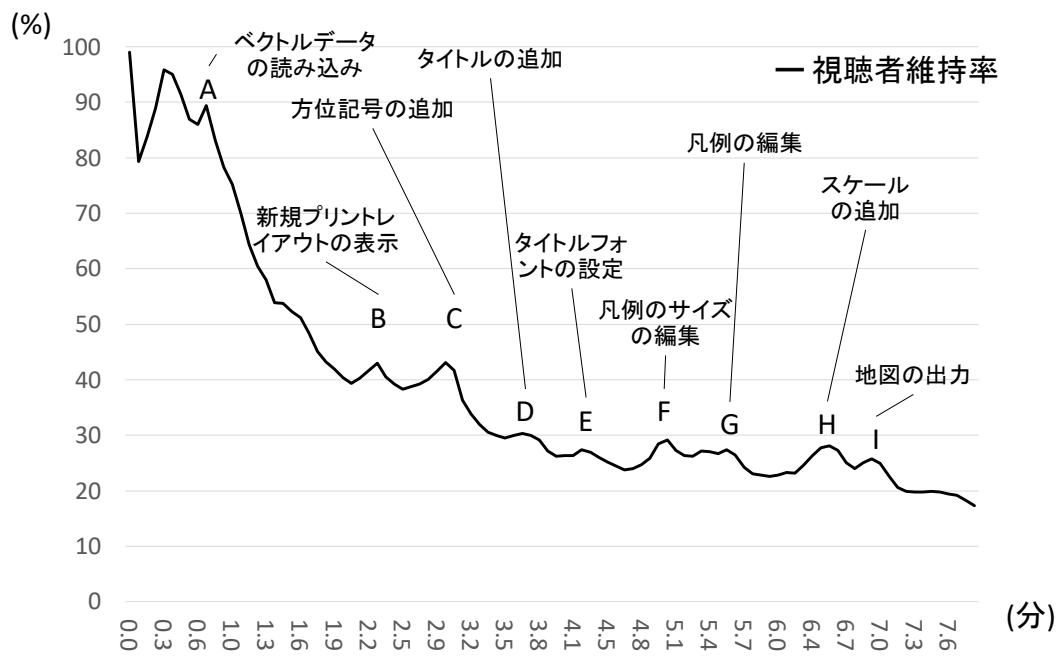


図 3-11 音声なし動画の視聴者維持率

4 節 地球惑星科学分野の大学生を対象とした授業実践

1 項 大学における授業実践

大学の地球惑星環境学科の主に三年生を対象とする GIS の授業に本教材を利用した（事例 F（大学生対象））。本授業は、2018 年～2022 年の間に、3 日間の集中授業として毎年 2 月初頭頃に実施した。1 回あたりの受講者は約 20～25 名であり、この授業で初めて GIS を本格的に学習する人が大半であった（表 3-4）。この授業では、午前中に GIS の概念や技法を解説する講義をし、午後に講義の内容と対応するデータ処理などを各学生がソフトウェアを操作して実習した。授業時間は、講義が 3 時間、実習が 5 時間であった。2018 年～2020 年までの 3 回は大学の PC 室で実施したが、残りの 2 回は新型コロナウイルスの感染拡大の影響によりオンラインで実施した。オンライン授業には、ビデオ会議アプリの Zoom を使用した。実習では、受講者が 1 人 1 台ずつ PC を操作し、ソフトウェアは QGIS を使用した。2018～2019 年の授業では、QGIS の LTR 版 2.8 を利用した。それ以降は、ソフトウェアのアップデートに合わせて QGIS の LTR 版 3.4 を利用し、教材の解説も 2020 年の授業の前に LTR 版 3.4 に対応させた。

表 3-4 各集中講義の参加者

| 実施年 | 参加者数 | 授業形式 |
|------|------|---------------------|
| 2018 | 17 人 | |
| 2019 | 17 人 | 対面授業 |
| 2020 | 23 人 | |
| 2021 | 25 人 | オンライン授業 |
| 2022 | 23 人 | ※2022 年には、Slack も活用 |

注：参加者数は、3 日間参加した人のみを記載。

各実習の冒頭では、教員が学習内容、操作時の注意点、提出課題などについて、5～10 分程度で解説した。提出課題は、指定した地図を作成するものを主とし、この他に用語の説明や解析結果を記述するものを設けた。冒頭の解説の後、各受講者は教材を見ながら自身のペースで一連のデータ処理を実習し、その後に提出課題に取り組んだ。受講者はオンラインフォームで課題を提出し、その際にアンケートにも回答した。課題の提出期限は翌日の講義の開始時までとした。課題の数やデータ処理の内容は、各実施年で共通性はあるが、詳しい内容は 2018 年、2019 年、それ以降で異なる。

実習中には、教員 2 名とアシスタント 2 名が常時質問を受けつけた。実際には、教員 1 名とアシスタント 1 名で、ほとんどの質問に対応できた。筆者は、アシスタントとしてすべての授業に参加した。オンライン授業では、Zoom の画面共有、会話、チャットの機能

を用いて質問に対応した。2022年には、質問への対応にチャットアプリのSlackも併用した。

2項 実習の構成

実習の主要な学習内容は、1) GISの基本操作と地図作成の入門、2) ベクタデータの処理、3) ラスタデータの処理のパートであった。1) では、ソフトウェアへのデータの読み込み、属性テーブルの表示、シンボルの変更、地図のレイアウト、基盤地図情報などのデータのダウンロードの手法などを対象とした。作業の内容は、「GIS実習オープン教材」の「QGIS ビギナーズマニュアル」と「既存データの地図データと属性データ」を用いて構成した。この実習は1日目に実施した(表3-5)。

表 3-5 実習年ごとの主な学習内容

| 2018 | 2019 | 2020 以降 |
|--|--|---|
| 1 日目 ・ QGIS の基本操作* ・ Web サイトでのデータの取得* ・ 空間データの作成**** | 1 日目 ・ QGIS の基本操作* ・ Web サイトでのデータの取得* | 1 日目 ・ QGIS の基本操作* ・ Web サイトでのデータの取得* ・ 最短経路検索** |
| 2 日目 ・ 測地座標系の変換** ・ 基本的な空間解析** ・ 最短経路検索** ・ 領域分析** | 2 日目 ・ 測地座標系の変換** ・ 基本的な空間解析** ・ 領域分析** ・ 点データの分析** ・ ベクタデータの作成** | 2 日目 ・ 測地座標系の変換** ・ 基本的な空間解析** ・ 領域分析** ・ 点データの分析** |
| 3 日目 ・ 点データの分析** ・ ラスタデータの分析*** ・ 流域解析*** ・ 空間補間**** | 3 日目 ・ ラスタデータの作成(結合)*** ・ ラスタデータの分析*** ・ 流域解析*** ・ 空間補間**** | 3 日目 ・ 空間データの作成**** ・ ラスタデータの分析*** ・ 流域解析*** ・ 空間補間**** |

注：*は、1) GISの基本操作と地図作成の入門、**は、2) ベクタデータの処理、***は、3) ラスタデータの処理、****は、2) と3) の混合(ベクタデータとラスタデータの作成)を示す。

2) は、ベクタデータを扱うものであり、測地座標系の変換、データの修正や統合、点線面データの新規作成、空間オブジェクトの測定、オーバーレイ分析、バッファ作成、最短経路検索、点データの集計の手法などを対象とした。作業の内容は、「GIS実習オープン教材」の「空間データ」、「空間データの統合・修正」、「基本的な空間解析」、「ネットワーク分析」、「領域解析」、「点データの分析」を用いて構成した。この実習は、主に2日目に行った。

3) は、ラスタデータを扱うものであり、データの結合、数値標高モデルからの等高線の出力、地形の傾斜と斜面方位の算出、陰影図の作成、流域の抽出、三角形分割法やIDW(Inverse Distance Weighting)による空間補間の手法などを対象とした。作業の内容は、

「GIS 実習オープン教材」の「空間データの統合・修正」，「ラスターデータの分析」，「空間補間」を用いて構成した。この実習は，主に3日目に行った。

各年の実習で得た受講者からのフィードバックを踏まえて，教材の解説文，口頭による説明，実習の構成などを改良した。例えば，2018年の回では，多くの受講者が測地座標系の変換の処理の操作に躓きやすく，全体の学習の内容の多さや複雑さなどを指摘した。そこで，測地座標系に関する説明を充実させ，関連する操作の画面を録画した解説動画も作成した。また，各実習日の学習内容を調整し，受講者が実習に取り組みやすいような設計に改良した。2018年と2019年には，受講者は指定した「GIS 実習オープン教材」の項目を閲覧したが，2020年以降は，実習の内容のみを抽出して再構成したオンライン資料を閲覧した。

3項 アンケートの設計

アンケートは，実習の内容や，個人のPCの操作の状況などを五段階の評価で回答するように設計した（表3-6）。評価は，1に近いほど否定的（難しい，不満足，助言が多く必要など），5に近いほど肯定的（易しい，満足，助言がほとんど不要など）になるようにした。アンケートは，1）本教材を用いた学習と教材を評価する質問と，2）GISの操作に関連する知識と本授業での取り組みの状況に関する質問で構成した。

表 3-6 アンケートの設計

| 質問の区分 | 質問 | 実施年 |
|-------------------------------------|-----------------------|------------------------|
| 1) 本教材を用いた学習と教材を評価する質問 | a 学習の難易度 | 2018~2022 (107人が回答) |
| | b 満足度 | |
| | c 教材の使いやすさ | |
| 2) GISの操作に関連する知識と，本授業の取り組みの状況に関する質問 | d 授業への期待度 | 2018~2022 (107人が回答) |
| | e 基本的なPCの知識と操作の自信の度合い | |
| | f 読図の技能 | 2019~2022 (90人が回答) |
| | g 中高生の頃の地理学習の得意度 | |
| | h 実習時の質問のしやすさ | |
| i 質問の量 | 2020~2022 (71人が回答) | |
| j 本学習形式の好感度 | | |

1) の設問は、「a 学習の難易度」, 「b 満足度」, 「c 教材の使いやすさ」の3つであった(表 3-5)。2) の設問は、「d 授業への期待度」, 「e 基本的な PC の知識と操作の自信の度合い」, 「f 読図の技能」, 「g 中高生の頃の地理学習の得意度」, 「h 実習時の質問のしやすさ」, 「i 質問の量」, 「j 本学習形式の好感度」であった(表 3-5)。a~e の設問はすべての年に実施し, f と g は 2019 年以降, h~j は 2020 年以降にアンケートに追加した。また, a~c の設問は全ての回で, 表 3-5 の学習内容ごとに評価してもらった。その他の d~g の設問は初回, h~j は最終回に質問した。f の基本的な PC の知識と操作の自信の度合いは, Microsoft Word, Excel, PowerPoint の操作を行う際のスムーズさや躰きの経験などを参考に回答するようにした。h では, 実習中に質問をしなかった受講者も, 質問をすることを想定して回答してもらった。

4 項 アンケートの結果と提出課題の評価

2018~2022年の実習で, アンケートと課題の両方を提出した受講者は107名であった。このうち 71 名はオンライン授業の参加者であった。アンケートの各質問の回答者数は, a~e が 107 人, f と g が 90 人, h~j が 71 人であった。以下, 1) の設問への回答, 2) の設問への回答, 1) と 2) の設問への回答の関連性, 提出課題の結果について述べる。

アンケートの「a 学習の難易度」に対する回答の平均値は 2.782 (図 3-12)。 「b 満足度」の平均値は 3.917 (図 3-13), 「c 教材の使いやすさ」の平均値は 3.366 (図 3-14) であった。a~c の各年の結果を比較するために, Kruskal-Wallis 検定を $p \leq 0.05$ の有意水準で実施した。その結果, a と b では年による有意差はなかったが, c では有意差があった(表 3-7)。後者は, 受講者のフィードバックを踏まえた教材の改良を行ったことが要因と推察される。a と b について, Mann-Whitney の U 検定を $p \leq 0.05$ の有意水準で適用し, 対面授業とオンライン授業を比較した。その結果, a では有意差はなかったが, b では有意差があり, 受講者はオンライン授業の方が満足度を感じやすい傾向があった(表 3-8)。

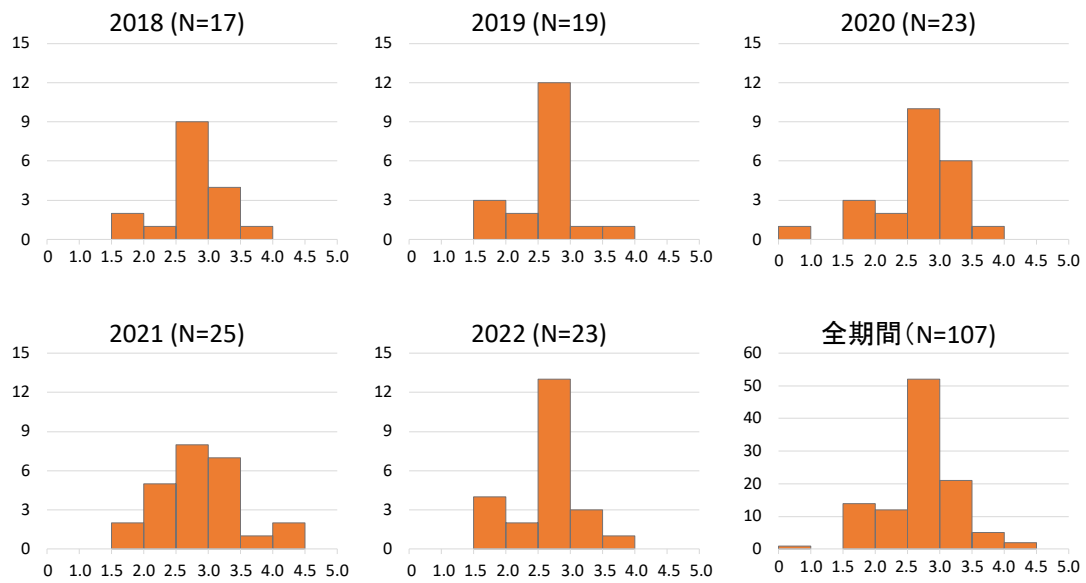


図 3-12 「a 学習の難易度」の評価の頻度分布 (N = 107)

注：全期間の平均は 2.782

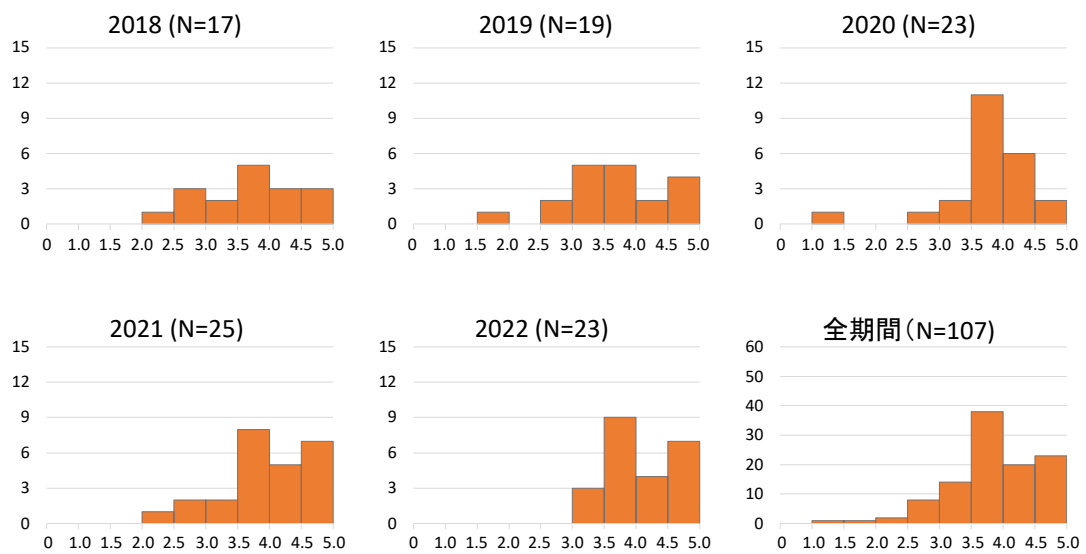


図 3-13 「b 満足度」の評価の頻度分布 (N = 107)

注：全期間の平均は 3.917

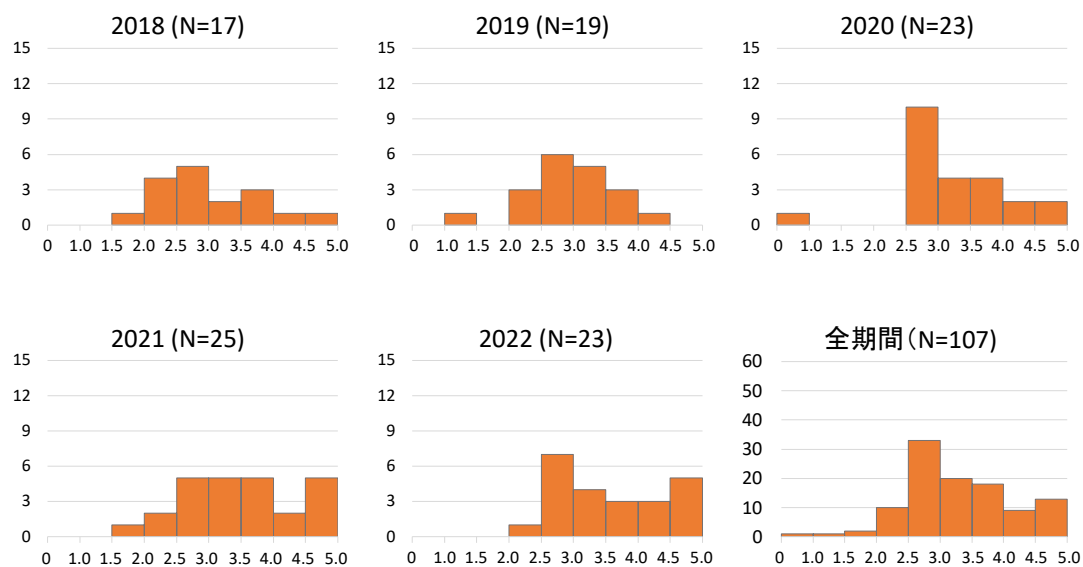


図 3-14 「c 教材の使いやすさ」の評価の頻度分布 (N = 107)

注：全期間の平均は 3.366

表 3-7 難易度，満足度，使いやすさの実施年ごとの比較

| 項目 | Statistic | df | p |
|---------|-----------|----|-------|
| a 難易度 | 2.835 | 4 | 0.586 |
| b 満足度 | 6.879 | 4 | 0.142 |
| c 使いやすさ | 9.495 | 4 | 0.050 |

注：有意水準は $p \leq 0.05$

表 3-8 対面授業とオンライン授業の難易度の比較

| 項目 | Statistic | p |
|-------|-----------|-------|
| a 難易度 | 1367.000 | 0.789 |
| b 満足度 | 1057.500 | 0.027 |

注：有意水準は $p \leq 0.05$

「d 授業への期待度」に対する回答の平均値は、3.869 であり、学習意欲がある受講者が多かったことを示す（図-3-15）。「e 基本的な PC の知識と操作の自信の度合い」、「f 読図の技能」、「g 中高生の頃の地理学習の得意度」については、中間の評価が最多であった（図-3-16, 17, 18）。「h 実習時の質問のしやすさ」と「i 質問の量」については、最も肯定的な評価（質問をしやすく、一方で質問をしなくても教材を利用できる）が多い傾向がみられた（図-3-19, 20）。「j 本学習形式への好感度」については、2 番目に高い評価をした回答が多かった（図 3-21）。

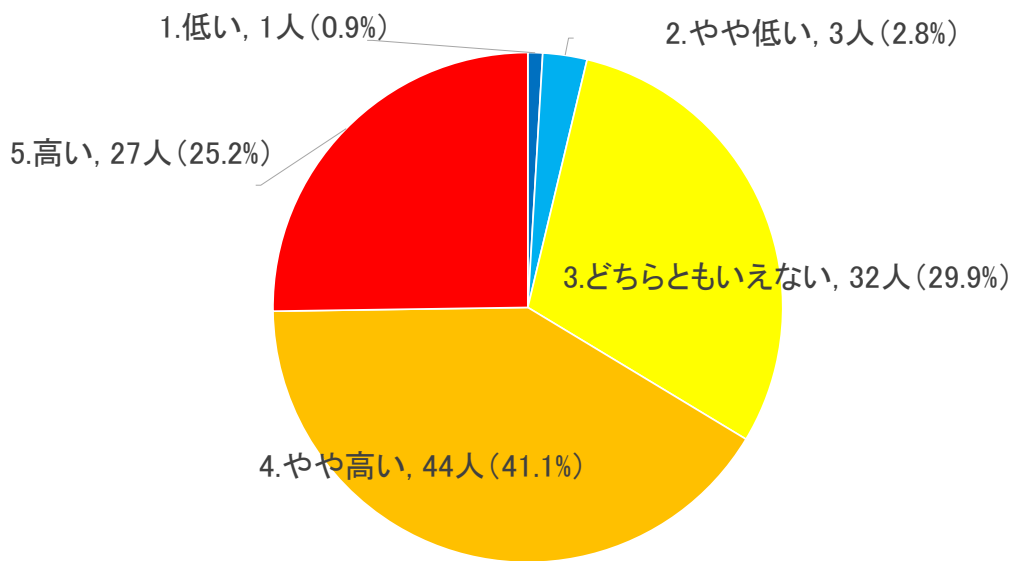


図 3-15 「d 授業への期待度」の評価 (N = 107)

注：平均は 3.869

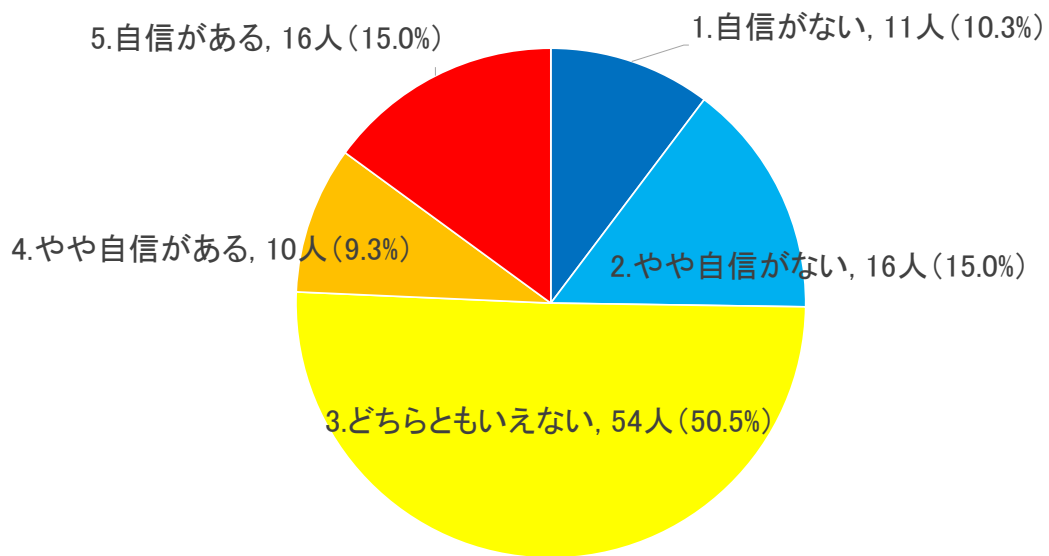


図 3-16 「e 基本的な PC の知識と操作の自信の度合い」 の評価 (N = 107)

注：平均は 3.037

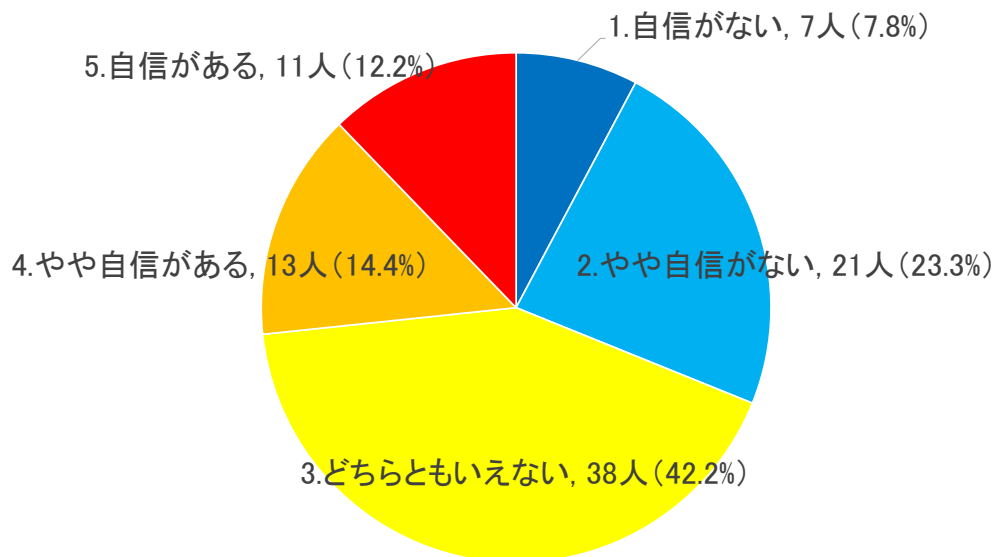


図 3-17 「f 読図の技能」 の評価 (N = 90)

注：平均は 3.000

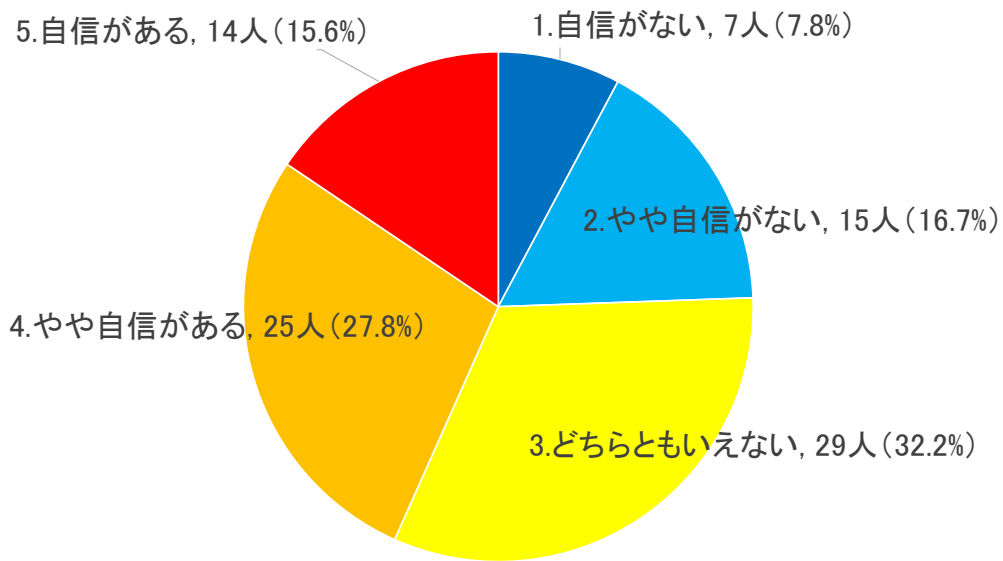


図 3-18 「g 中高生の頃の地理学習の得意度」の評価 (N = 90)

注：平均は 3.267

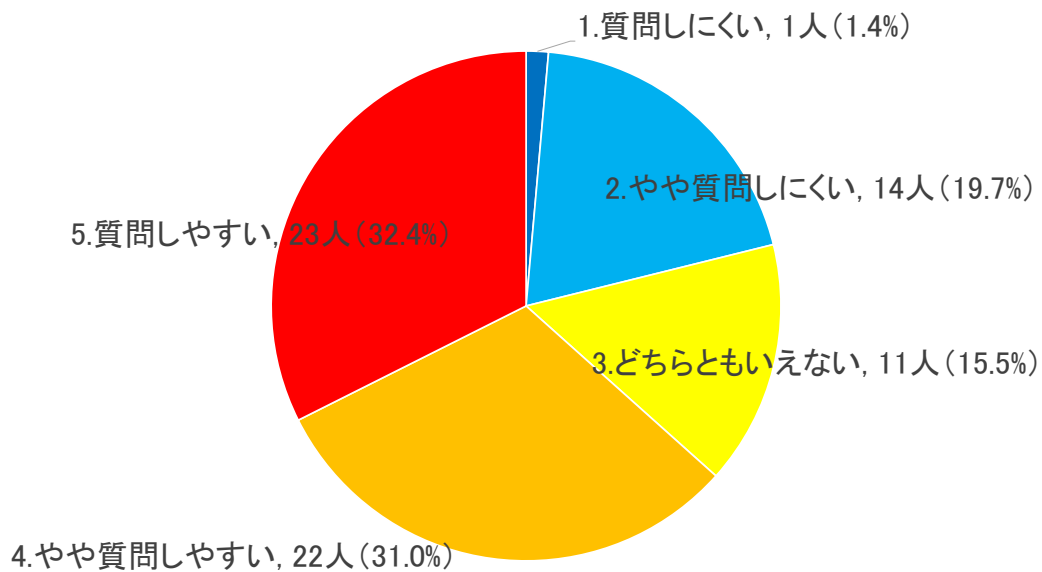


図 3-19 「h 実習時の質問のしやすさ」の評価 (N = 71)

注：平均は 3.732

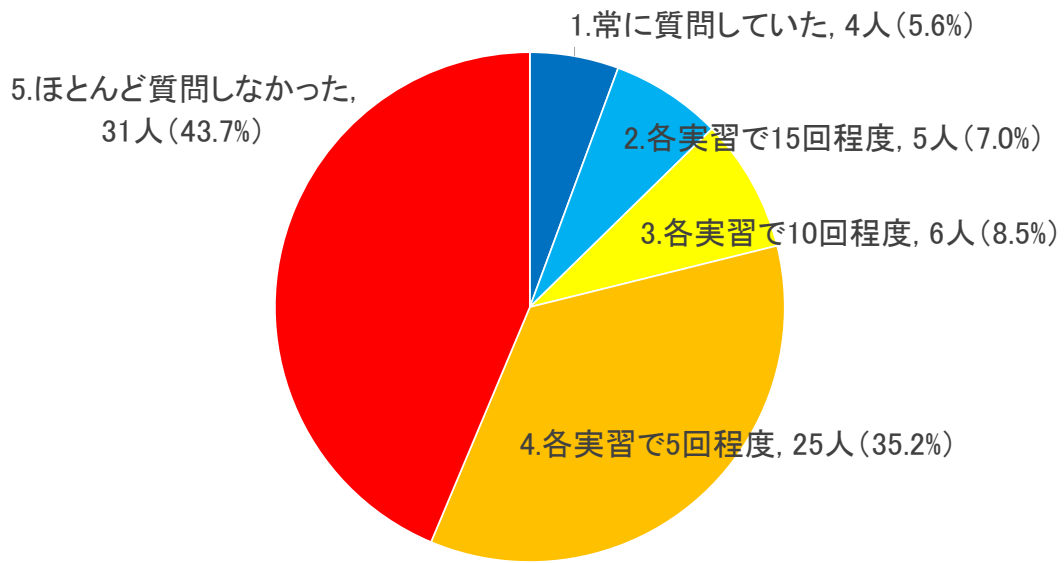


図 3-20 「i 質問の量」 への回答 (N = 71)

注：平均は 4.042

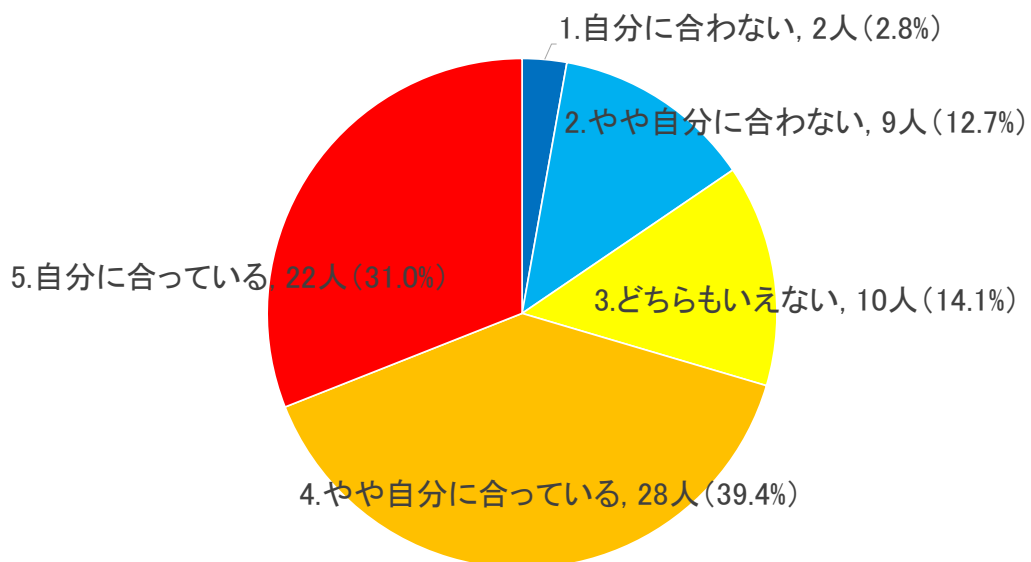


図 3-21 「j 本学習形式への好感度」 の評価 (N = 71)

注：平均は 3.310

アンケートの項目群の1)と2)で関連している項目を抽出するために、スピアマンの順位相関係数を求め、値が0.3以上となった組み合わせを表3-9に示した。aは、eおよびjと相関があった。bは、d、j、iの順で高い相関があった。cはbと同様に、d、j、iと相関があり、さらにhとも相関があった。

表 3-9 1)と2)の項目の相関

| 項目 | | r | p |
|---------|-----------------------|-------|-------|
| a 難易度 | e 基本的なPCの知識と操作の自信の度合い | 0.396 | <.001 |
| | j 本学習形式の好感度 | 0.311 | .008 |
| b 満足度 | d 授業への期待度 | 0.593 | <.001 |
| | j 本学習形式の好感度 | 0.410 | <.001 |
| | i 質問の量* | 0.368 | .002 |
| c 使いやすさ | d 授業への期待度 | 0.376 | <.001 |
| | j 本学習形式の好感度 | 0.471 | <.001 |
| | i 質問の量* | 0.491 | <.001 |
| | h 質問のしやすさ | 0.310 | .009 |

注：*は質問の量が少ないほど高評価。

提出課題の正誤について、各課題の配点を1点とし、各受講者の合計点を算出した。地図に関する課題を採点した際には、データの処理が正しくても、データの測地座標系が異なる場合は0点とした。課題の数や内容は年により異なるため、各年の状況を正答の割合で評価した。課題の正答度は、2018年が75.7%と最も低く、その他の年は86.5%~93.2%であった(図3-22)。2018年には、地図作成時の測地座標系の変換に関する誤りが多かった。

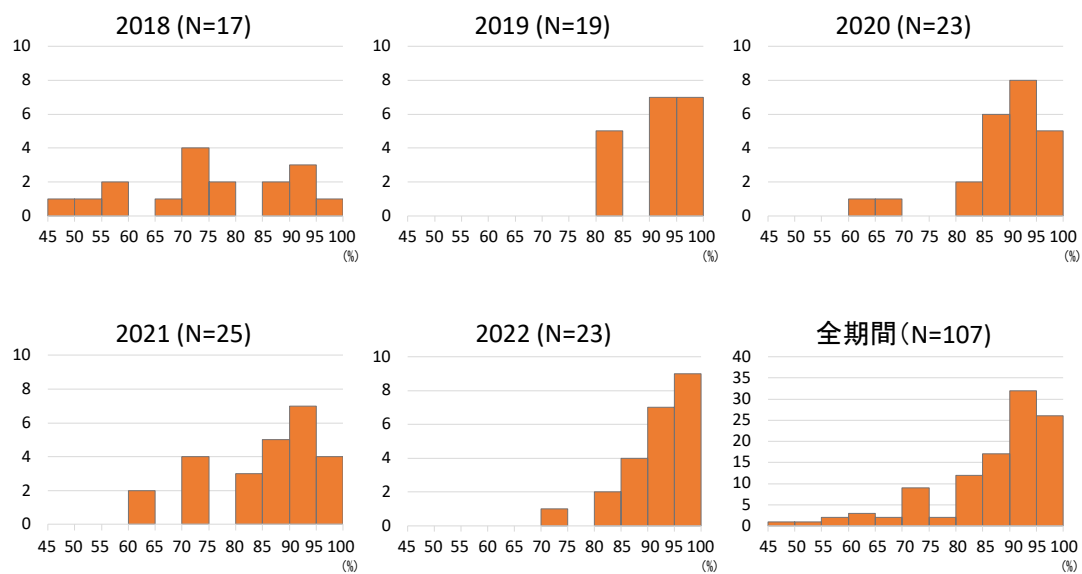


図 3-22 課題の正答度の頻度分布 (N = 107)

注：平均は 2018 年が 75.7%，2019 年が 93.1%，2020 年が 90.0%，2021 年が 86.5%，2022 年が 93.2%。

5 節 地理学分野と関連分野の大学生を対象としたオンライン講座

1 項 講座の概要とアンケートの設計

大学の GIS 実習の授業は、第 4 節のように受講者が自身のペースで学習に取り組む形式の授業のみならず、教員が操作画面を示し、それに従って受講者が操作を追従する形式をとる場合もある。このような授業形式の有効性や効果を評価することを目的に、大学生を対象とする講習会（事例 G（大学生対象））を行い、アンケート調査を実施した。

本講習会は、2022 年 3 月と 7 月に同じ内容で計 2 回実施した。新型コロナウイルスの感染拡大の影響によって対面形式での実施は困難であったため、Zoom を用いたオンライン形式とした。各回では、「大学生または大学院生で、はじめて GIS を操作する方・初心者の方」という条件で、25～30 名を上限として参加者を募集した。1 回目は、交流のある複数の大学教員を通じて学生への周知を依頼した。2 回目には SNS による周知も行った。

当日には欠席者や途中退出者がいたため、全体の参加者数は把握できていないが、アンケートの回答者は両日合わせて 34 人であった。本講習会には、12 校の大学の学部 1 年生～博士課程の大学院生が参加した。12 校のうち、2 つの大学からはそれぞれ 10 名程度が参加し、他の大学からは各 1～2 名が参加した。参加者の専攻は、地理学（自然地理学、人文地理学、地誌学、地理教育の分野）が最多の 14 人で、他は生態学、考古学、歴史教育、環境学、都市計画、森林学、経済史などであった。2 回目の講習会では、円滑な実践のために、1 回目で一部の人々が躓きやすかった ZIP ファイルの展開を含む、基本的な PC の操作が可能なことを参加条件に加えた。

講習会は 20 分の講義と 170 分の実習で構成した。講義では「GIS 実習オープン教材」の「GIS の基本概念」の内容を説明した。実習の前半では、「GIS 実習オープン教材」の「QGIS ビギナーズマニュアル」を扱い、後半では同教材の「ラスタデータの分析」の一部を扱った。いずれも、講師が操作画面を示して解説を行い、それを見ながら受講者が操作を行う形を主体としたが、受講者が各自で取り組む課題も用意した。実習用のソフトウェアには、QGIS の LTR 版 3.4 を使用し、受講者には事前のインストールを依頼した。受講者はソフトウェアへのデータの読み込み、属性テーブルの表示、シンボルの変更、地図のレイアウト、標高データの可視化、傾斜と斜面方位の算出、陰影図の作成、地形断面図の出力などの手法を学習した。本講習会の講師は 2 名で、1 名が進行役で、もう 1 名が質問への対応を担当した。進行役は、筆者が担当した。

実習の最後には受講者にアンケートの回答を依頼した。アンケートは、第 4 節の事例と同様に、五段階で回答する項目で構成した。項目は、「a' 学習の難易度」、「b' 満足度」、「c' 教材の使いやすさ」、「d' 授業への期待度」、「e' 基本的な PC の知識と操作の自信

の度合い」，「f' 読図の技能」，「g' 中高生の頃の地理学習の得意度」，「h' 実習時の質問のしやすさ」，「i' 質問の量」，「j' 本学習形式の好感度」，「k' 解説の速さ」であった。k' は第 4 節の事例ではなかったものであり，五段階評価で 1 を「早い」，5 を「遅い」，3 を「ちょうどよい」とした。この場合，3 が最も肯定的な評価となる。さらに，躓きやすかった内容を選択して回答する設問も加え，受講者の学年やこれまでの GIS の学習履歴も尋ねた。a'~c'については，前半と後半の実習のそれぞれに対して回答を得た。

2項 結果

アンケートの回答者のうち，すでに本実習の内容と同等の GIS 操作が可能と回答した 5 名と，実習中に教材を閲覧しなかった 1 名を除いた 28 名を分析の対象とした。28 名の内訳は，学部 1 年生が 4 人，2 年生が 3 人，3 年生が 7 人，4 年生が 7 人，修士 1 年生が 2 人，修士 2 年生が 4 人，博士課程が 1 人であった。

a'の回答の平均値は 2.714 であり，前半と後半ともに，難易度を「どちらともいえない」または「やや難しい」と評価した人が大半であった（図 3-23）。b'の回答の平均値は 4.375 であり，前半と後半ともに，満足度を「やや満足」または「満足」と評価した人が大半であった（図 3-24）。c'の回答の平均値は 3.714 であり，前半と後半ともに，「どちらともいえない」，もしくは，それよりも高評価をした人が多かった（図 3-25）。

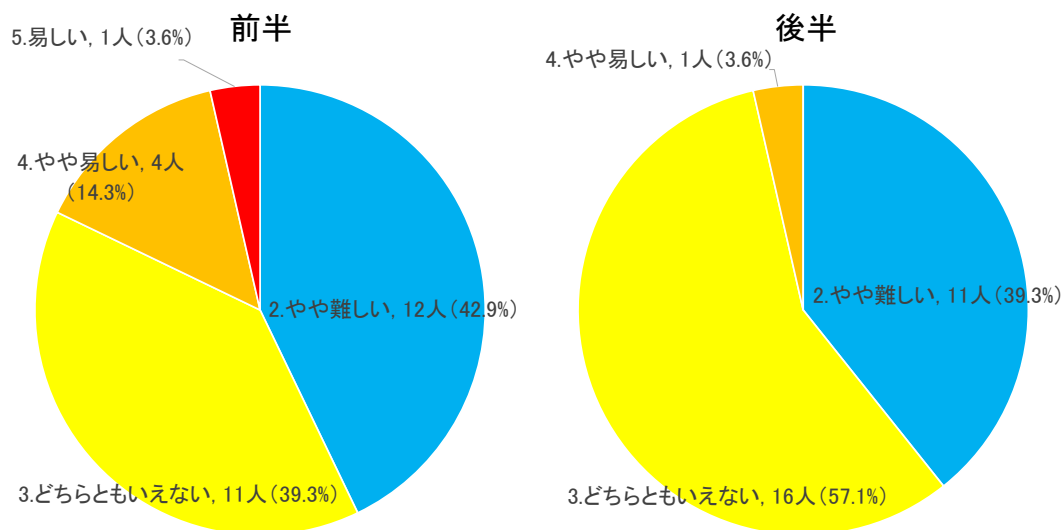


図 3-23 「a' 学習の難易度」の評価（実習の前半と後半）（N = 28）

注：平均は 2.714

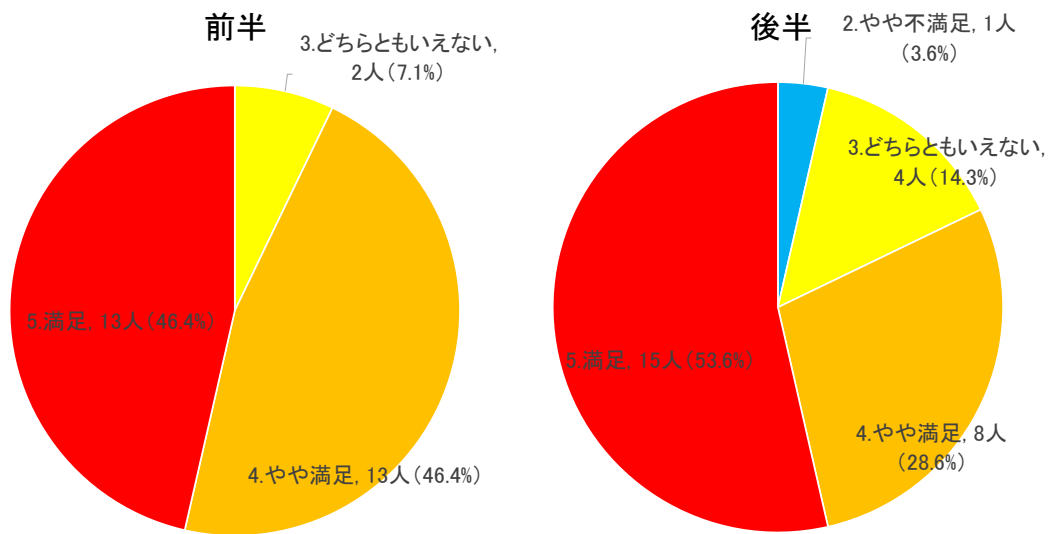


図 3-24 「b'満足度」の評価（実習の前半と後半）（N = 28）

注：平均は 4.357

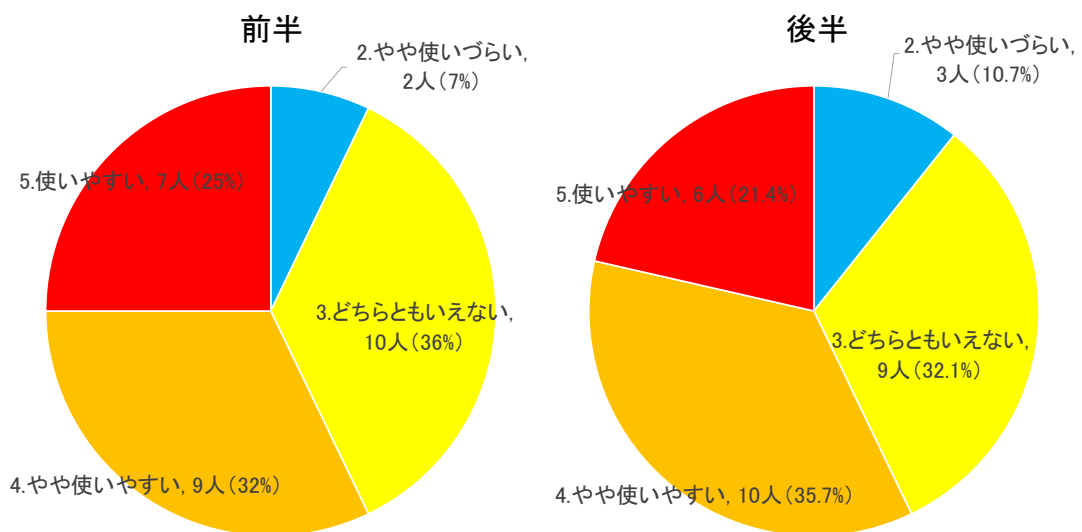


図 3-25 「c'教材の使いやすさ」の評価（N = 28）

注：平均は 3.714

d'の回答の平均値は 3.857 で、「やや高い」が最多で、次に「高い」が多かった（図 3-26）。e'の回答の平均値は 3.000 で、ほとんどの人が「どちらともいえない」と回答した（図 3-27）。f'の回答の平均値は 3.000 であり、主な回答が「やや自信がない」, 「どち

らともいえない」，「やや自信がある」に分かれた（図 3-28）． g'の回答の平均値は3.571で，地理学習に苦手意識を持つ人は少数であった（図 3-29）． h'の回答の平均値は 3.714であり，主な回答が「どちらともいえない」，「やや質問しやすい」，「質問しやすい」に分かれた（図 3-30）． i'の回答の平均値は 4.214 であり，「ほぼ質問することはなかった」に集中した（図 3-31）． j'の回答の平均値は， 3.321 で，「（この形式は） やや合っていると思う」が最多で，次に「（この形式は） やや合っていないと思う」，「どちらともいえない」の順で多かった（図 3-32）． k'の回答の平均値は 2.393 で，大半の人が「ちょうどよい」または「やや早い」と回答した（図 3-33）．

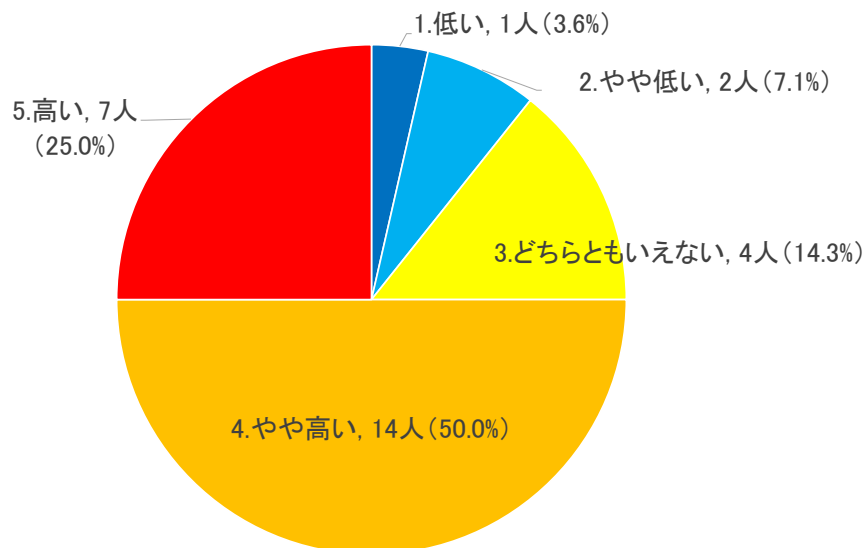


図 3-26 「d' 授業への期待度」の評価（N = 28）

注：平均は 3.857

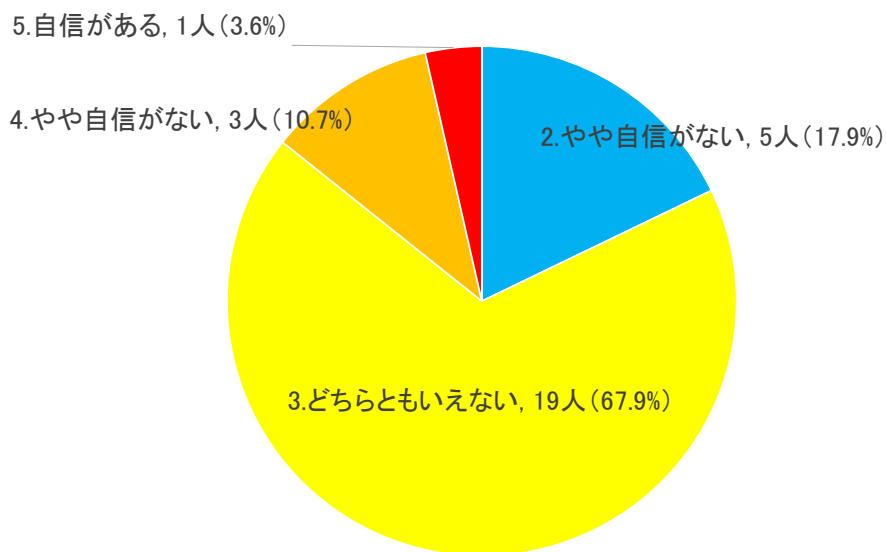


図 3-27 「e」 基本的な PC の知識と操作の自信の度合い」 の評価 (N = 28)

注：平均は 3.000

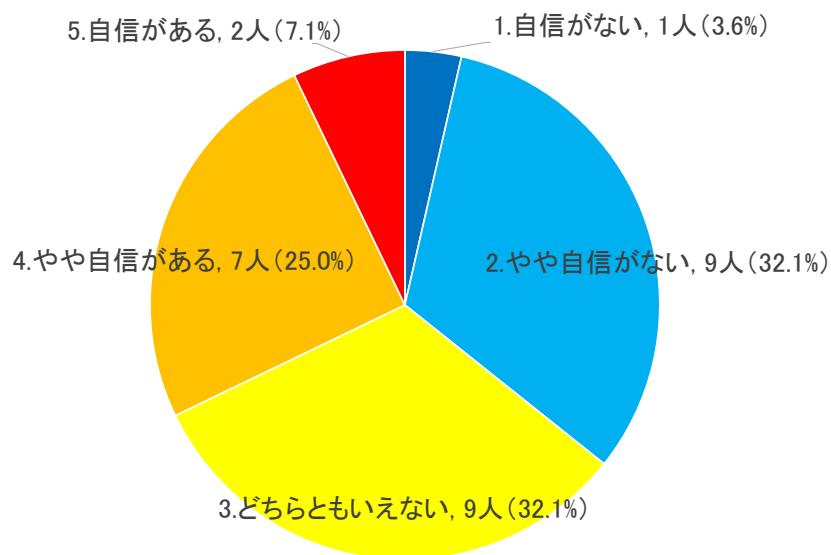


図 3-28 「f」 読図の技能」 の評価 (N = 28)

注：平均は 3.000

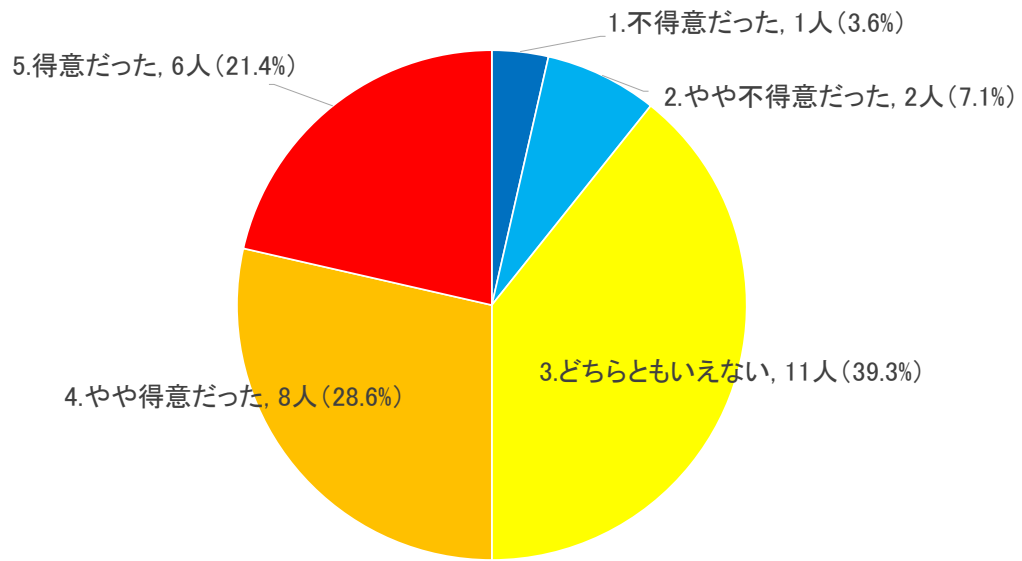


図 3-29 「g' 中高生の頃の地理学習の得意度」の評価 (N = 28)

注：平均は 3.571

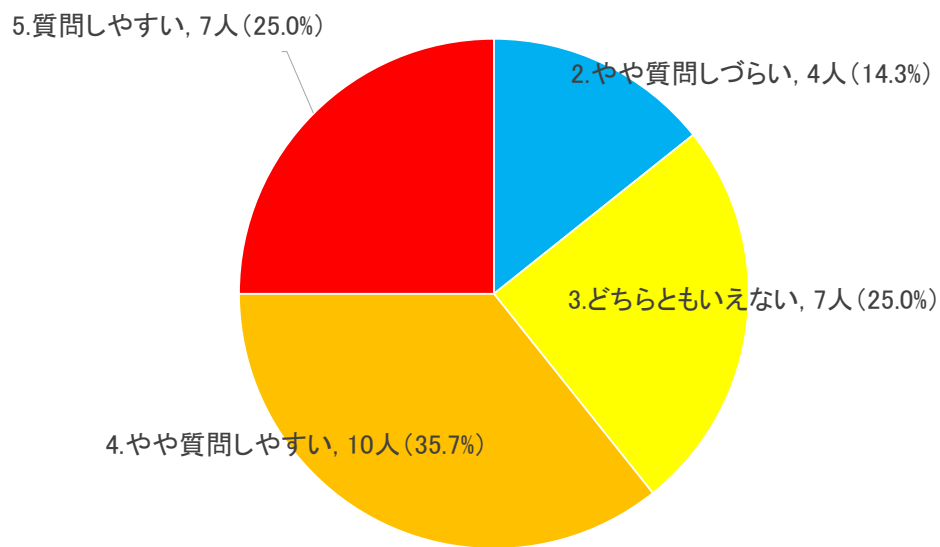


図 3-30 「h' 実習時の質問のしやすさ」の評価 (N = 28)

注：平均は 3.714

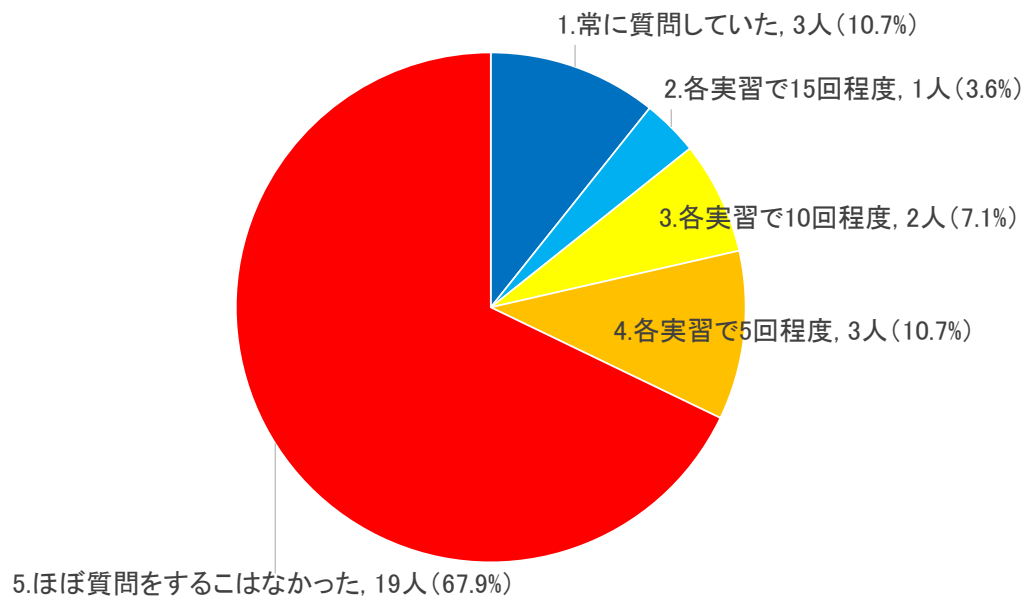


図 3-31 「i」 質問の量」 の回答 (N = 28)

注：平均は 4.214

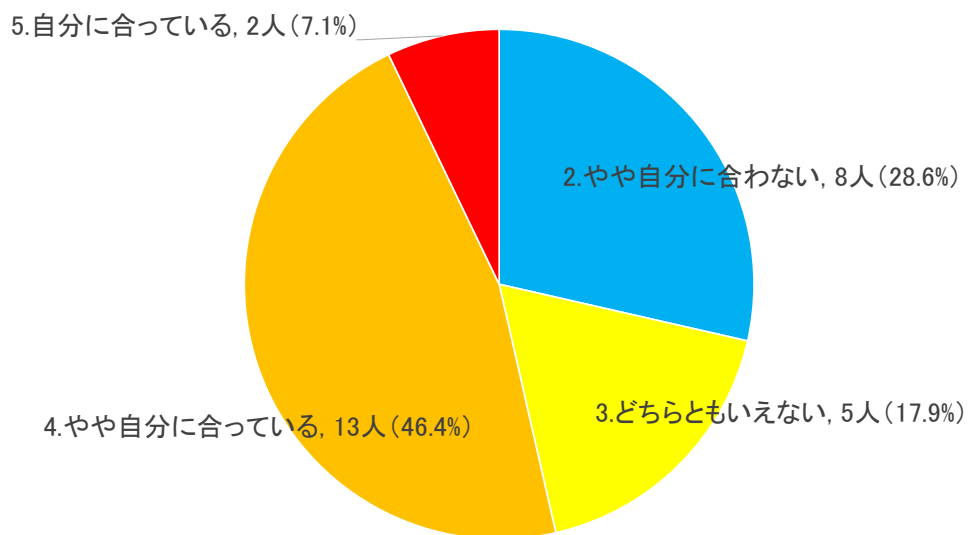


図 3-32 「j」 本学習形式の好感度」 の評価 (N = 28)

注：平均は 3.321

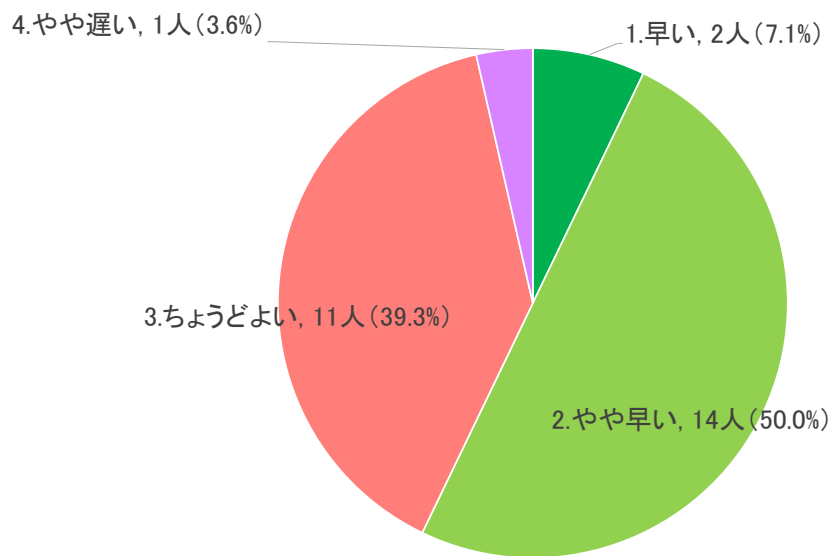


図 3-33 「k」解説の速さ」の評価 (N = 28)

注：平均は 2.398

対象者が学習に躓いたと感じた項目は、「地形情報の算出や可視化」(13人)、「QGISの基本操作」(8人)、「ラスターデータとベクタデータの違いの理解」(7人)、「属性情報の分類と可視化」(5人)の順で多く、他は1~2人が該当すると回答した。また、「なし」と回答した人は5人であった(表 3-10)。

表 3-10 受講者が操作時に躓いたと回答した項目

| 選択項目 | 選択者数 |
|----------------------|------|
| 地形情報の算出や可視化 | 13 |
| QGISの基本操作 | 8 |
| ラスターデータとベクタデータの違いの理解 | 7 |
| 属性情報の分類と可視化 | 5 |
| なし | 5 |
| レイヤ構造 | 2 |
| シェープファイルの操作、管理 | 2 |
| プラグインの入手や使用法 | 2 |
| エンコーディング | 1 |
| その他 | 1 |

第4節と同様に a'~c'と、指標の基準が異なる k'を除く d'~j'について、有意水準を $p \leq 0.05$ としてスピアマンの順位相関係数を求めた。相関係数が高い組み合わせには b'と d'があった(表 3-11)。一方で、a'および c'と有意に相関がある項目はなかった。

表 3-11 「b'満足度」と「d'授業への期待度」の相関

| 項目 | | r | p |
|-------|-----------|-------|-------|
| b'満足度 | d'授業への期待度 | 0.408 | 0.031 |

注：有意水準は $p \leq 0.05$

6節 中高校生を対象とした授業実践と結果

1項 中高校生を対象とした授業実践

第3節や第4節で示したような大学での GISc 教育が、中高校生に対しても実施できるかを検討するために、複数の実習授業を実践した。本授業は、事例 B（中高校生対象）と事例 D（高校生対象）に該当し、受講者はインターネットを通じて募集した。事例 B（中高校生対象）では、2018年8月、2019年8月、2022年3月、2022年8月の4つのイベントで計11回授業し、合計で112人が参加した。事例 D（高校生対象）は、2022年7月と8月の2回実施し、合計で40人が参加した。

実習では最初に GIS の基本を解説し、続いて QGIS を用いた数値標高モデルの可視化と地形分析を実施した。事例 B（中高校生対象）は60分、事例 D（高校生対象）は75分で実施した。授業の講師は、事例 B（中高校生対象）の2022年3月と8月および、事例 D（高校生対象）では筆者が、それ以外を筆者が所属する研究室の大学院生が担当した。実習の対象地域は、高校の地理の教科書などで取り上げられることが多い山梨県の京戸川扇状地とその周辺とした。実習の内容は、「GIS 実習オープン教材」の「QGIS ビギナーズマニュアル」と「ラスターデータの分析」に部分的に対応させたが、使用するデータが異なるため、新たな資料を別途作成し、受講者に紙媒体で配布した。実習では、各受講者が QGIS をインストールした PC を利用できるようにし、実習用に加工したデータも配布した。

実習で受講者は事例 G（大学生対象）と同様に講師の指示に従って、対象地域の DEM（Digital Elevation Model）を QGIS に読み込み、値に応じて色分けする手法を学んだ。次に、データから京戸川扇状地を特定するというテーマで、傾斜区分図、陰影図、等高線図の作成を行った。最後に、土地利用図や空中写真なども読み込み、それらを重ね合わせた地図を作成した。

実習の終了後にアンケート調査を実施した。アンケートの設問は、「a」学習の難易度、「b」満足度、「c」実習への期待度、「d」基本的な PC の知識と操作の自信の度合い、「e」読図の技能であった。さらに、GIS の操作時に難しかったことを選択して回答する設問も用意した。ただし、事例 D（高校生対象）では、この質問を省略した。この他に、事例 B（中高校生対象）の2018年の実施時には e”の質問をせず、c”の内容も本実習とともに他のプログラムを含む評価となっていた。

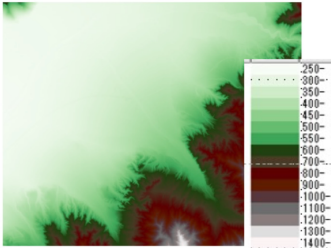
事例 B（中高校生対象）の2019年以降の3回と、事例 D（高校生対象）では、授業の最後に地形の可視化に関する課題と、解析した図の解釈の課題を課した（図 3-34）。前者（課題 1）では、「対象地域の中央部や他の河川をより明瞭に表示させたい場合、どのようにデータをスタイリングすればよいでしょうか。「標高値」、「色分け」、「陰影図」、「重ねあわせ」という語句を使って回答してください」という出題を行った。後者（課題 2）では、「対象地域において、土地利用データ、標準地図、傾斜区分図などを利用し、

果樹園が多く分布する地域と建物用地等が集中する地域について、それぞれの立地特性を説明してください。」という出題を行った。

学年 _____ 氏名 _____

課題に挑戦しよう！

① 右図の中心部を流れる河川をより明瞭に表示させたい場合、どのようにデータをスタイリングすればよいでしょうか。「標高値」、「色分け」、「陰影図」、「重ねあわせ」という語句を使って回答してください。



数字は、標高値(m)

② 右図の赤枠の範囲において、土地利用データ、標準地図、傾斜区分図などを利用し、果樹園が集中して分布する地域と人工物(建物用地等)が集中する地域について、それぞれの立地特性(どのような場所にあるのか)を説明してください。




図 3-34 受講者が取り組んだ課題のワークシート

2項 アンケートの結果

アンケート調査では総計で 145 人から回答を得た。内訳は、中学 1 年生が 27 人、中学 2 年生が 20 人、中学 3 年生が 29 人、高校 1 年生が 32 人、高校 2 年生が 22 人、高校 3 年生が 15 人であった。

a”の回答の平均値は 2.441 で、「難しい」が 25 人、「やや難しい」が 65 人、「普通」が 29 人、「やや易しい」が 18 人、「易しい」が 8 人であり、受講者の 62.0%が GIS の実習に躓きを感じた (図 3-35) . b”の回答の平均値は 4.331 で、「不満足」が 2 人、「やや不満足」が 7 人、「普通」が 12 人、「やや満足」が 44 人、「満足」が 80 人であり、受講者の 85.5%が学習にやりがいを感じていた (図 3-36) . c”の回答の平均値は 4.152 で、「期待度は低い」が 4 人、「やや低い」が 8 人、「どちらともいえない」が 17 人、「やや高い」が 49 人、「高い」が 67 人であり、受講者の 80.0%にモチベーションがあったといえる (図 3-37) . d”の回答の平均値は 3.248 で、「苦手」が 14 人、「やや苦手」が 26 人、「どちらともいえない」が 43 人、「やや得意」が 34 人、「得意」が 28 人であり、「どちらともいえない」が最多であった (図 3-38) . e”の問いには、やや少ない 121 人が回答

し、平均値は 3.190 で、「苦手」が 9 人、「やや苦手」が 27 人、「どちらともいえない」が 35 人、「やや得意」が 32 人、「得意」が 18 人であった（図 3-39）。

a”難易度と b”満足度の学年間による比較をするため、Kruskal-Wallis の手法を用いて、有意水準を $p \leq 0.05$ とし検定を行った（表 3-12）。その結果、有意差は確認できなかった。

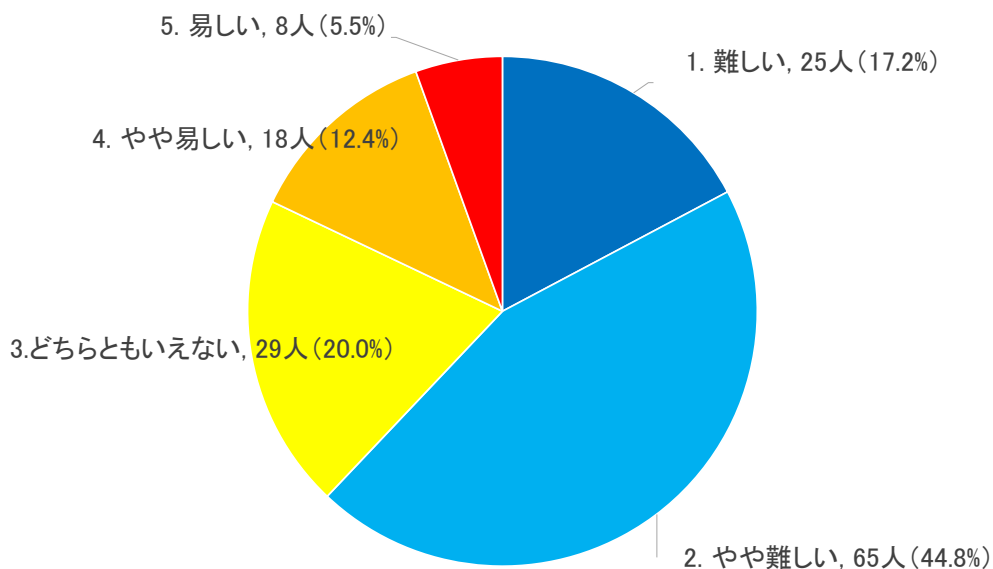


図 3-35 「a”学習の難易度」の評価（N = 145）

注：平均は 2.441

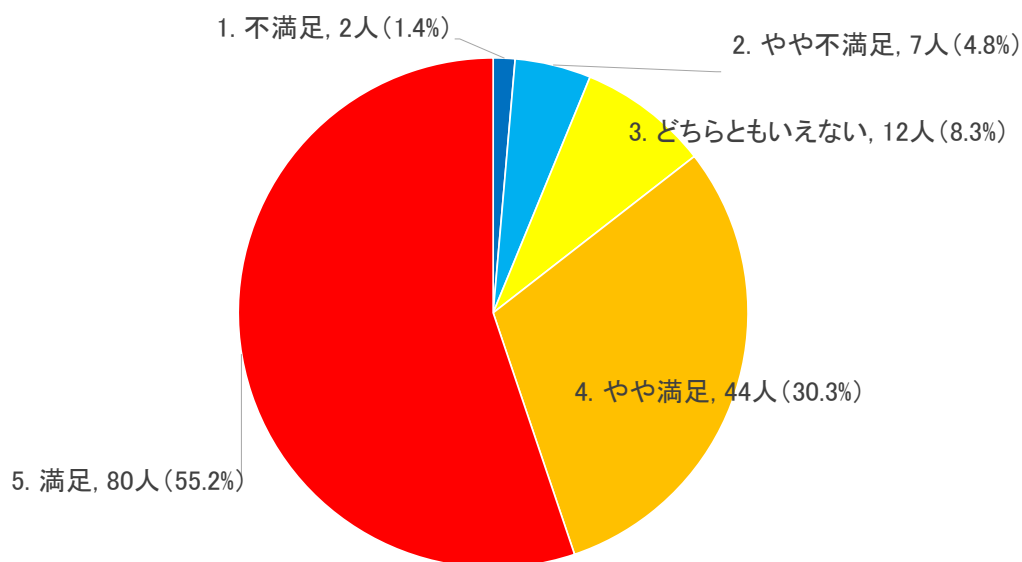


図 3-36 「b”満足度」の評価（N = 145）

注：平均は 4.331

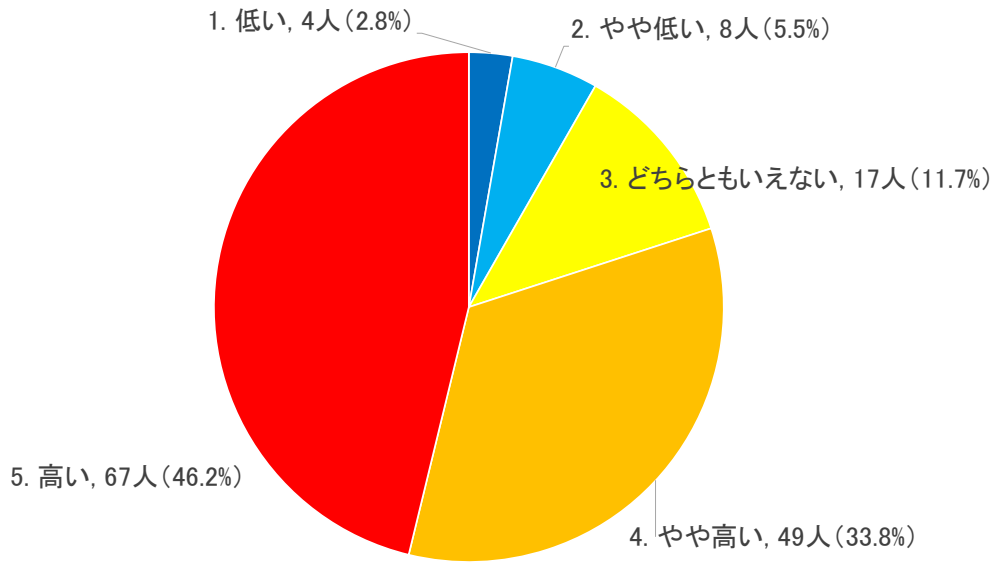


図 3-37 「c」実習への期待度」の評価 (N = 145)

注：平均は 4.152

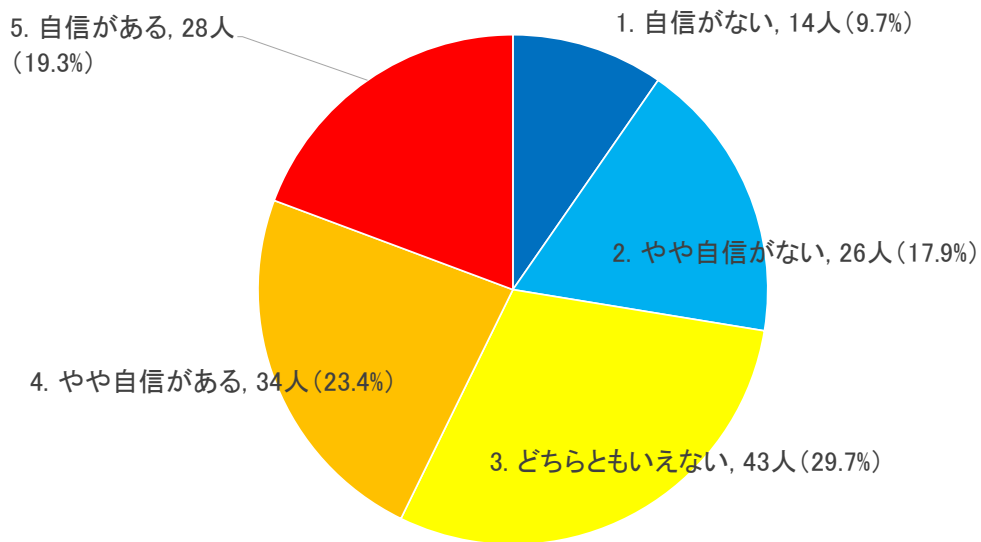


図 3-38 「d」基本的な PC の知識と操作の自信の度合い」の評価 (N = 145)

注：平均は 3.248

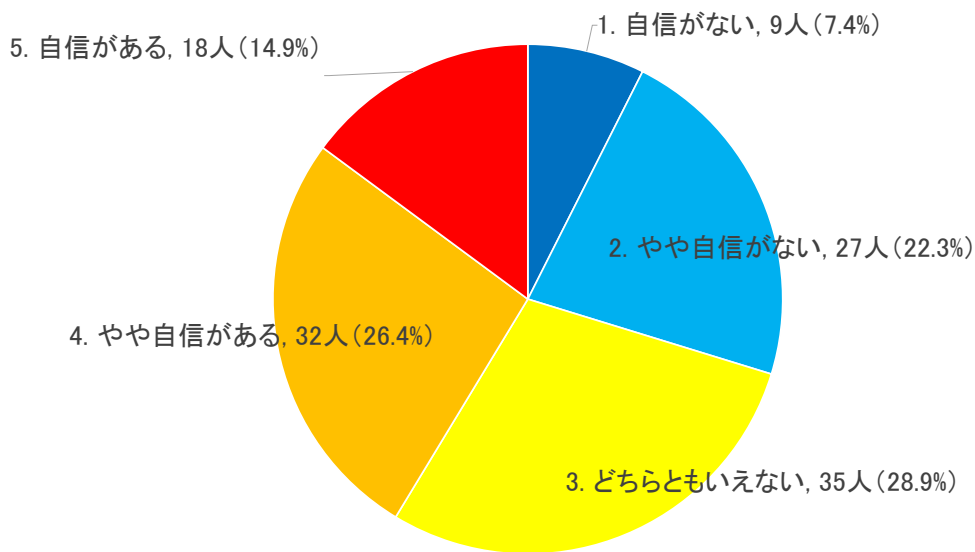


図 3-39 「e」読図の技能」の評価 (N = 121)

注：平均は 3.190

表 3-12 学年ごとの「a」学習の難易度」と「b」満足度」の評価の比較

| 項目 | Statistic | df | p |
|-----------|-----------|----|-------|
| a” 学習の難易度 | 5.891 | 5 | 0.317 |
| b” 満足度 | 10.830 | 5 | 0.055 |

注：有意水準は $p \leq 0.05$

a”および b”と相関する項目を確認するために、スピアマンの順位相関係数を求めた。a”と相関があった項目は d”のみであり（表 3-13），b”と相関がある項目はなかった。

GIS の操作時に難しかった内容を選択する問には、事例 B（中高生対象）の 105 人が回答した。最多の項目は、「指示をききながら、操作をすること」（38 人）であり、続いて多かった回答は、「PC 用語の理解（デスクトップ、フォルダ、ドラッグ等）」（24 人）であった。20 人以下が回答した項目は、「わからない箇所、つまづいた箇所をスタッフに聞くときの伝え方」（16 人）、「データの読み込みの操作」（12 人）、「キーボードでの文字入力」（10 人）であった。また、「その他」を回答した人は 16 人、「なし」を回答した人は 20 人いた。

表 3-13 「a」学習の難易度」と関連のある項目

| 項目 | r | p |
|-----------|--------------------------|----------------|
| a” 学習の難易度 | d” 基本的な PC の知識と操作の自信の度合い | 0.408 0.031 |

注：有意水準は $p \leq 0.05$

3 項 課題の結果

課題は総計で 130 人が提出した（表 3-14）。課題の回答の妥当性を 1 点または 0 点で採点した。課題 1 の正答者は 117 人（90.0%）であり、最も正答者の割合が高かったのは中学 3 年生（95.7%）であった。比較的多くみられた誤りは、指定した 4 つの用語の一部を使用していないというものであった。

表 3-14 課題の結果

| 学年 | 提出者数 | 課題 1 の正答者数 | 課題 2 の正答者数 |
|---------|------|-------------|------------|
| 中学 1 年生 | 25 | 22 (88.0%) | 9 (36.0%) |
| 中学 2 年生 | 18 | 17 (94.4%) | 10 (55.6%) |
| 中学 3 年生 | 23 | 22 (95.7%) | 12 (52.2%) |
| 高校 1 年生 | 31 | 27 (87.1%) | 15 (48.4%) |
| 高校 2 年生 | 18 | 16 (88.9%) | 13 (72.2%) |
| 高校 3 年生 | 15 | 13 (86.7%) | 11 (73.3%) |
| 計 | 130 | 117 (90.0%) | 70 (53.8%) |

課題 2 の正答者は提出者の半数程度の 70 人（53.8%）であった。最も正答者の割合が低かったのは中学 1 年生（36.0%）であり、中学 2 年生～高校 1 年生までの正答者の割合は 48.4%～55.6%で、高校 2 年生～高校 3 年生の正答者の割合は、72.2%～73.3%であった。課題 1 とは異なり、中学 1 年生と高校 3 年生の正答者率には 40%弱の差があった。比較的多かった誤りには、果樹園と建物用地の片方しか対象としていないものがあった。また、地図の内容を文章で記述することに慣れていないために生じたと推察される誤答もあり、「人工物の方が内陸側に集中している」や、「河川のすぐ下、扇状地になっている所は（略）」などの事例があった。また、扇状地の位置を山間部と表現する人や、扇頂の判定があいまいで、そこに果樹園が集中していると考える人も少数いた。課題 2 の正答者のうち、標高や傾斜の値を明確に示した人は 3 人のみであり、大多数はレイヤの重ね合わせで視覚的に判断できる情報のみを用いて回答したと推察される。

7節 考察

1項 教材の機能・管理・更新のしやすさ

従来、有償・無償の GIS の実習用教材が、公開・非公開の形式で作成されてきた。今回整備して実習で利用した教材は、無償でオンラインを通じて公開しているものか、その抜粋であり、誰もが自由に利活用できるという利点がある。近年、GIS の教材をクリエイティブ・コモンズに代表されるオープンライセンスで提供し、幅広い活用を目指したウェブサイトがある（たとえば、GITTA³³）、GIS Commons³⁴、Datapolitan³⁵）。今回使用した教材の主体となっている「GIS 実習オープン教材」も、クリエイティブ・コモンズに基づいたオープンライセンスで提供されており、受講する学生の専攻などに応じて、自由に内容を補足・改変できるという柔軟性を有している。また、同教材では GitHub を教材の管理と提供の基盤としているため、複数人による教材の改良が可能である。実際に、GitHub のリポジトリを通じて、第三者から教材の管理手法や、ライセンスの表記法に関する提案もなされている。さらに、利用者からの意見を求めるアンケートにより、問題点を迅速に改良できる。このように今回構築・使用した教材は、低コストで持続的に解説が管理できるため、公開後の長期にわたり、一定の利用者を得ていると考えられる。GIS の実習用教材は、ソフトウェアやデータの更新を考慮した定期的な対応が必要であるが、その負担は授業の担当者や教材の作成者に集中していた。一方で、本教材のように複数人で内容を容易に変更できる設計は、実習授業の担当教員が直面する操作の解説資料の更新の課題（井上 2017；薄井 ほか 2017）の軽減にも役立つと考えられる。また、教材の共有が促進されると、授業の内容を弾力的に変更する時間も確保できるため、新型コロナウイルスの感染拡大による授業のオンライン化のような有事への対応もスムーズになる（米島ほか 2021）。

「GIS 実習オープン教材」では、様々なデータ処理を QGIS のような無償で利用できるソフトウェアやライブラリを用いて実行する手法を解説している。その中で入門レベルや基礎レベルの教材の閲覧数が多かったことは、GIS の初学者や QGIS を初めて利用する人が本教材のメインユーザーであることを示唆する。同教材には金銭的な負担なしで関心のある項目を学習できるという利点があるため、従来の教材に比べて利用者数が大きく伸びたと考えられる。同教材は、教育機関のみならず企業や行政機関からも多くのアクセスを得た。従来より GIS の活用方法の指導が企業や行政で行われており（井上 2017）、同教材は、そのような広義の教育にも貢献したと考えられる。

他方で、今回の実習で使用した教材は、基本的には大学の実習授業で教員の補助がある状態での利用を想定して構築したため、GIS の独学への有効性は検討できていない。また、大学でも地理学教室や関連学科の学部 3～4 年生のレベルを主たる利用者として想定して

いるため、他分野の学生にとってわかりにくい内容が含まれている可能性がある。さらに、解説をテキストとするか、動画とするかといった点も、現時点では有効性を考慮した検討が十分にはできていない。現在、YouTube などを通じて GIS の操作手法を解説する多くの動画が配信されている。動画形式の教材は、大学の授業や宿題などにも利用でき、その視聴ログは教育手法の改善にもつながると考えられる。しかし、長時間の動画は最後まで閲覧されないといった問題もあり、今回の検討でもその傾向が明瞭であった。動画教材の制作時に、視聴者を飽きさせない工夫をすることは重要であるが、そのための設計や作業は制作者の負担につながる。この点を考慮すると、特に躓きやすい箇所の解説に内容を絞った短時間の動画が、作成者と利用者にとって有意義な可能性がある。

教材の利便性の改良には、Rip et al. (2014) や井上 (2017) が試みたような、教育機関や GIS の関連企業を対象とした聞き取り調査が有効といえる。このようなアンケートを通じて社会における GIS の需要も知ることができれば、大学での人材育成の方向性を検討する際にも有用である。一方で、教材の利用者層の大幅な拡大は、解説文の量が増加して教材が使いにくくなるといった問題をもたらす恐れもある。アンケートの対象を広げる一方で、多様な目的に応じた教材の編集や再配布は他者が行うといった、クリエイティブ・コモンズの精神に基づいたオープンな対応を推奨することも重要といえる。

2 項 授業の難易度

本研究では、中学生～大学院生までを対象に三種類の GIS の実習授業を実施した。各事例は学習内容や授業形式が異なっていたが、大半の受講者は学習に何らかの難しさを感じていた。事例 F (大学生対象) では、受講者の意見を参考にして教材を順次改良したが、実施年による難易度の評価の有意差は確認できなかった。また、対面授業とオンライン授業でも難易度の評価の有意差はなかった。この結果から、GIS の学習には根本的な難しさがあると考えられる。アンケートの結果によると、上記の難しさは、空間データの基本概念の理解に関するものと、ソフトウェアの操作のための基礎となる PC の操作の知識・技能に関するものに大別できる。

前者の難しさは、GIS に特有のデータの形式、測地座標系の解釈、それらを踏まえたデータ処理の操作と対応する。データの形式と測地座標系は、GIS の学習において基盤となる知識であるが、既存の学校教育で学習する機会は少ない。中学校や高校で地理教育を受けた受講者が多かった事例 F (大学生対象) や事例 G (大学生対象) においても、対象者の学習の難易度の評価と地理学習の得意度や、地図の判読の技能の回答に相関はなかった。GIS は空間的思考力の育成に有効なツールであるが (Jo et al. 2016) , GIS の特有の概念

や専門用語の理解は学習の躓きとなりやすい可能性がある。一方で本事例では、GIS の操作法を解説した動画や、全員で同じ処理を行う一斉授業の部分的な導入によって、データ処理の際の躓きを軽減することができた。

PC の操作の技能の問題点に関連して、Bearman et al. (2015) は、GIS の実習時にディレクトリの検索や、フォルダの作成、ファイルの拡張子の理解に戸惑う学生を報告している。井上 (2017) が GIS の授業を担当する大学教員にインタビューした際にも、基本的な PC の操作に躓く学生がいることが指摘された。Walshe (2017) も、基本的な PC の操作の知識や操作の技能が十分でないために、GIS の使用について自信をもてない対象者がいたことを報告した。さらに、事例 G (大学生対象) 以外の事例では、学習の難易度と、基本的な PC の操作への自信の回答に相関があった。事例 G (大学生対象) で相関が確認できなかった要因として、2 回目の際に基本的な PC の操作ができることを参加条件としたことが挙げられるが、一斉授業での解説が基本的なミスの軽減に役立った可能性もある。

GIS の授業の中で、一般的な PC の操作を教える時間を割くことは望ましくないため、受講前の段階で、この種の教育の充実を図る必要がある。近年国内の小中学校では、GIGA スクール構想 (文部科学省 2019) により授業でのデジタル機器の活用が重視されるようになった。この種の教育の多くでは、タブレットの活用が一つの対象になっているが、デジタル機器の利用の過程で PC の基本的な操作に関する知識が得られる可能性もある。このため、PC の操作の技能と関連する GISc 教育の問題点が、将来は軽減されることも期待される。

3 項 中高生向けの GIS 実習の評価

中高生を対象とした実習の事例では、大半の受講者は学習に難しさを感じつつも、授業後に満足感を得た。本実践では、学年ごとに学習の難しさの評価が有意に異なるといった結果は得られなかった。他方で、難易度の評価と、基本的な PC の知識と操作の自信の度合いには相関が認められた。これは大学生の事例と同じ傾向であり、事例 B (中高生対象) では 36.2% の人 (105 人中 38 人) が指示を聞きながら GIS を操作することに難しさを感じた。したがって、GIS ソフトウェアを用いた学習は中高生が体験できるものの、大学で行われるような一斉授業の形式では、学習に躓いてしまう人もいと推察される。

事例 B (中高生対象) と事例 D (高校生対象) については、事例 F (大学生対象) や事例 G (大学生対象) の地理教育を以前に受けた受講者とは異なり、地理の学習状況が十分でない受講者もいたと考えられる。授業で体験したソフトウェアの操作を振り返って、問題に取り組んだ課題 1 では、学年による達成度の差がほとんどなく、大半の人が正解した。

反対に、解析の結果を視覚的あるいはデータの値から考察する、より地理的な見方や考え方が求められた課題 2 では、正答率が 5 割程度と低かった。特に中学 1 年生の正答率が最も低かったが、受講した中学 1 年生は休日にワークショップに参加するような学習意欲があり、私立中学に通う人もいたことを考慮すると、通常の中学校や高校で課題 2 のような内容の授業を実践する際には、十分な工夫が必要と考えられる。また、高校生でも可視化した標高や算出した傾斜の値をふまえて文章をまとめた人が、ほとんどいなかったことは、空間的事象の定量的な把握のハードルの高さを示唆している。

以上の諸点を考慮すると、本授業のような内容を中等教育に導入する際には、受講者に基本的な PC の操作の能力と、一定の地理の知識や読図の技能があることが望ましく、さらに授業時には GIS のデータの理解を可能であれば定量化することや、解釈を文章として表現する方法も、教える必要があると判断される。高等学校の地理総合では、「地図や地理情報システムなどを用いて、調査や諸資料から地理に関する様々な情報を適切かつ効果的に調べまとめる技能の育成」が求められているが（文部科学省 2018a）、学習指導要領に紙媒体と電子媒体の地図の用途が混同して表記されているという問題点もある（碓井 2016）。紙地図と電子地図では、第 1 章 1 節に記したように相違点があり、GIS で地理的事象を読み取るには地理情報の特徴の理解が不可欠である。本実践のような GIS の授業では、紙地図とは異なる観点も含んで、地域の課題を正確に読み解くための基礎を養うことができる。高等学校の地理教育では、一貫して地図の読図と作図に関する技能の育成を重視してきたことから（碓井 2016）、本実践のような授業を将来的に中等教育に導入することは有用といえる。しかし、現状では第 1 章 2 節で指摘した教える側の学びに関する課題などもあるため、熱意のある教員による教育現場の状況に応じた実践が望まれ、それらで得られたノウハウや問題点を整理、共有するといったことが期待される。

4 項 事例 F（大学生対象）を主とする教材の学習効果の評価

事例 F（大学生対象）では、多くの受講者が GIS の学習に躓きを感じつつも、満足感をもって実習に取り組むことができた。この要因として、本教材が書籍「GIS スタンダード」と対応した体系的な内容で構成されており、自然地理学から人文地理学まで幅広い分野で利用できる解析を中心とした実習であったことが挙げられる。他の要因として、各実践の際に受講者から得たフィードバックを踏まえて教材を改良した成果も指摘できる。受講者からの意見は、授業の設計と実際の授業の状況とのギャップの特定などに有効である（Pendyala and Vijayan 2018）。本研究では、教材のオンラインアンケートや GitHub と

いった事例 F (大学生対象) 以外の場面でも教材の改良案を得られたことが、学習に取り組みやすい教材を提供する一因になったと考えられる。

事例 F (大学生対象) において満足感が低かった一部の学生は、授業に対する期待度が低かったり、個人のペースで学習することに否定的な印象を持っていたりした。授業における自己効力感は、GIS の学習の効果を高めるために重要な要素であり (Walshe 2017) , 授業に対するモチベーションも充実した学びを支援する (West 2003) 。 GIS を学習する人のモチベーションや学習への関心は、実世界での経験や、GIS を用いた地図の検索から得られる (Baker et al. 2009) 。事例 F (大学生対象) での授業の設計では、学習者の興味関心を高める工夫よりも、体系的な GIS のデータ処理を優先したが、授業への期待度がやや高い人が多かった。この背景として、受講者のほとんどが地球惑星環境学科に所属していたことが考えられる。この学科の学生は、フィールドワークや地形図の閲覧の機会が多いため、本授業で扱う内容を自身の関心の範囲と感じた人が一定数いたと推察される。同様の傾向は、地理学や地球科学以外を専門としているが、自身の意思で講習会に参加した事例 G (大学生対象) の受講者でもみられた。

5 項 授業形式による学習効果の違い

GIS の操作法の指導では、口頭の説明や学生とのコミュニケーションが、学習の充実に有効と指摘されている (Vojteková et al. 2021 ; Kim 2021) 。一方で、一斉授業では、教員の操作説明が追えなくなる受講者もあり、これが事例 B (中高生対象) のように指示を聞きながら操作を行う実習の際の課題となる。この一つの解決法は、実習に部分的にセルフラーニングを導入し、受講者が個人のペースでも学習を進められる状況を作ることである (Bearman et al. 2015) 。この形式であれば、受講者が学習に躓いた時に焦ることなく、教材を何度も見返すことができる。さらに、操作に躓いた際にも教員や周りの学生などから助言が受けやすい。最近では新型コロナウイルスの感染拡大の影響もあり、GIS に関する教育をオンラインで実施する事例が増えた。オンライン形式の GIS の実習では、教員が学生の進捗を把握しきれないために、最終課題の地図のレイアウトなどに初歩的なミスをする人が生じるという指摘がある (Kim 2021) 。しかし事例 F (大学生対象) では、対面形式からオンライン形式へ移行しても、課題の正答度や授業の難易度の評価に有意な差は確認できず、反対に満足度は高くなる傾向があった。これは、今回整備した教材が、当初からオンラインで提供していたものを基礎としているため、対面でもオンラインでも有効であることを示唆する。

他方、一斉授業と個人のペースで学習をするいずれの場合も、授業の形式に否定的な意見をもつ人も認められた。これと関連して、Omos et al. (2014) は、実習を含む GIS のオンライン授業では学習者によって適切と考えられる解説の速度が異なることを示した。この状況は、事例 G (大学生対象) でも認められ、個人のペースでの学習を可能とした授業でも、受講者によっては極端に学習が遅くなってしまう人もいることを反映している。これは、一斉授業か個人のペースで学習する授業かという二者択一では、学習者をサポートしきれないことを示唆する。Pendyala and Vijayan (2018) は、GIS 教育の成果を高めるために、学習内容に応じて対面授業とセルフラーニングを組み合わせる学習方法を提案した。Argles (2017) は、充実した GIS 学習のためには、教材に操作例の動画を埋め込むような静的なサポート (static support) と、GIS の専門家の説明や学生間のコミュニケーションのような動的なサポート (dynamic support) の 2 つの組み合わせが有効と指摘した。個人で学習に取り組む授業を主体とする場合も、受講者にとって学習が難しいと評価されやすい箇所を事前に調査し、そのサポートを上記のような形で工夫することにより、学習効果が向上する可能性があるといえる。

8節 まとめ

本章では、国内の GIS の実習授業の充実を目的に構築した「GIS 実習オープン教材」の設計、オンライン上での利用傾向、学習効果の評価とそれを高めた要因、中高生の地理教育への応用の可能性などについて述べた。同教材は、誰もが自由に利用でき、大学での教育以外の場面でも幅広く利用されている。また、利用者から多くのフィードバックを得ることで、教材を改良することができた。

さらに本章では、同教材を様々な形式で応用して GIS の実習授業を行い、学習効果などを評価するアンケート調査をした。これらの実践は、学習者の専門や学年、授業の内容、時間数などが異なるが、大半の受講者が GIS の学習に難しさを感じつつも、授業に満足感を得ていたことがわかった。受講者が感じる難しさを軽減するためには、受講者が PC の基本操作を事前に習得していることが望ましいことを指摘した。さらに、GIS の学習に特有な、データの形式や測地座標系の理解といった難しさもあるが、これらは教材や授業方法の工夫によって軽減できると推定された。

今回整備した教材は、個人のペースで学習に取り組む形式の授業に特に有効であり、対面授業でもオンライン授業でも活用できることが判明した。さらに事例 G（大学生対象）のように、教員の操作画面を追従して学ぶ一斉授業でも本教材を活用できたため、受講者の特性に応じて授業の方法を柔軟に決めることもできる。ただし、授業の方法を変えても、授業の形式に不満を持つ人が一定数いた。したがって、複数の授業の形式をミックスすることで、大多数の受講者に効果的な授業を提供できると判断された。例えば、一斉授業は学習者が躓きやすいデータ処理のみとし、他は自主学習を基本とするという方法が考えられる。躓きやすい部分は、過去の授業やオンラインでのアンケートや、YouTube に公開した教材のログなどから特定できることが、今回の検討で示された。

大学の授業として実施した事例 F（大学生対象）では、GIS の学習に対して期待度が低い受講者は、満足度も低い傾向があった。このことは、実習の前の講義などで GIS の学習の意義を明確にし、その有用性を身近な事例などを通じて解説するといった、受講者に興味をもってもらい工夫が必要なことを示唆する。この際には、GIS と関連する機器であるドローンや VR、地理情報を用いて構築した地形模型なども GIS への興味を高めるために有効な可能性がある。

中高生を対象とした実践でも、大半の受講者は GIS の学習に難しさを感じつつも、満足感を得ることが判明した。また、授業で学んだ知識を振り返りながら取り組む課題では、全学年で 8 割以上の人々が正答できた。一方で、解析したデータから地理的特徴を解釈する課題では、中学 1 年生を主として誤答が多かった。中高生を対象として大学と同等の GIS

実習をする場合には，地図や GIS のデータの解釈のみでなく，それを文章として表現する方法も同時に教えるべきであると考えられる。

第4章 GISと関連した空間表現の新技术による教育

第1章2節3項で記したように、地図の理解には特有の能力が必要であることから、読図に難しさを感じる人もいる。一方で、GISと関連する技術を活用すれば、上記のような対象者に地図よりも直感的に地理的事象を理解してもらえる可能性がある。そこで本章では、3Dプリントした地形模型、ドローンで空撮した全天球画像、等身大で三次元地理情報を閲覧する二種類のVRの教材を構築し、実践とアンケート調査によって、その有用性を検討した。

1節 3Dプリンタを用いた地形模型の構築とその活用

1項 GISデータを用いた地形模型の造形手法と作業の注意点

日本では地形模型を用いた教育が古くから行われており、100年以上の歴史をもつが、模型制作の時間的・費用的なコストから、一般的な教材にはならなかった(宮下2019)。近年、三次元情報をもつ地理情報が無償で入手できるようになり、熱溶解積層法の3Dプリンタも広く普及したため、地形模型の自作が容易となった。地形模型の制作にドローンやレーザー測量機で取得した三次元地理情報を用いることで、身近な空間を模型にすることも可能である。一方で、3Dプリンティングした地形模型の教育上の効果を検討した研究事例は、まだ少数である。

3Dプリンティングは、3Dモデルをコンピュータ上で一定の厚みの層に分割し、各層を順番に出力(積層)して模型を造形する。各層が薄く、積層の数が多いほど精巧な模型が制作できるが、原料の使用量が増え、出力時間が長くなる。そのため、一般的な3Dプリンティングでは、模型の大きさ、質感、費用、出力時間等を踏まえて、プリンタの種類、積層の厚み、色合い、原料等を決定する。最近では、DMM.make³⁶⁾などの3Dプリンティングの代行サービスもあり、フルカラーのモデルも比較的安価に入手できるようになった。

地形模型の3Dプリンティングでは、地形の特徴を把握した上で、対象とする範囲および起伏の調整や、出力方法を工夫する必要がある。手順の第一段階では、3Dプリンティングする三次元情報をもつ地理情報を入手する。この元となるデータには、ラスタ形式のDEMや、各点にX、Y、Zの座標をもつポイントクラウド(点群)データが該当する。

第二段階では、GISなどを用いて地形データを3Dモデルに変換する。元データがDEMの場合は、QGISなどのソフトウェアで対象範囲を抽出する。対象範囲内の地形の起伏が小さいと、地形の凹凸を把握しにくい模型となるため、起伏が小さい場所を出力する場合には、Z方向(標高)の誇張をするといった対応が必要となる。この場合には、出力される模型と実際の地形が相似形ではなくなる。元データが点群の場合は、Cloud Compare³⁷⁾

などの専用のソフトウェアで加工するが、範囲の切り出しとともに、点群数の間引きやノイズの除去も必要となることが多い。続いて、QGIS や Cloud Compare の機能を用いて、DEM や点群データを OBJ や STL 形式のファイルに変換する。これらの形式は、立体形状を表すデータの汎用的なフォーマットであり、3D プリンタでも使われている。

第三段階では、Blender, POLYGONALmeister³⁸⁾, Meshmixer などの 3D モデルの編集ソフトを用いて面の数などを調整する。これは、形状の複雑さに起因する造形のエラーなどを防ぐためであるが、実際の地形から大きく逸脱しないように注意が必要な作業である。また、起伏が大きな山地を対象とするような場合には、標高値を半分以下に変換して模型の大きさを小さくすると、出力の時間や材料のコストを減らせる。元データが示す地形の範囲によっては、模型として造形するために土台が必要となることもある。その場合は、土台のデータを追加する作業も必要である。

第四段階では、3D モデルの X, Y, Z 方向の値のバランスを踏まえて、模型の出力方向を検討する。通常、X, Y, Z の値の範囲（レンジ）は均等でないため、模型を出力する方向（地形の向き）に応じて積層数に違いが生じ、模型の表面が異なる形状で造形される。地形を水平方向に出力する造形（図 4-1 左）では、積層される上の層とその下の層の水平方向の範囲の差が、表面形状に強く影響する。小起伏の平野などでは上記の差が大きくなるため、地形の表現が不適切な造形になる。しかし、山地などでは上記の差が小さく、各層が階段のような適度な間隔となり、適切な造形になる。一方、前者を 90°回転して地形を垂直方向に出力する造形（図 4-1 右）では、前者に比べて全体の積層数が多くなるため、平野部を含めて模型の表面を滑らかに造形できる。ただし、前者や厚紙等を等高線に沿って切り抜いて重ねた古典的な地形模型に比べると、細部の高さの違いを把握しにくくなる。また、フルカラーの 3D プリンティングや、模型の手作業での彩色等により、地形の特徴を色で明確にする場合もある。

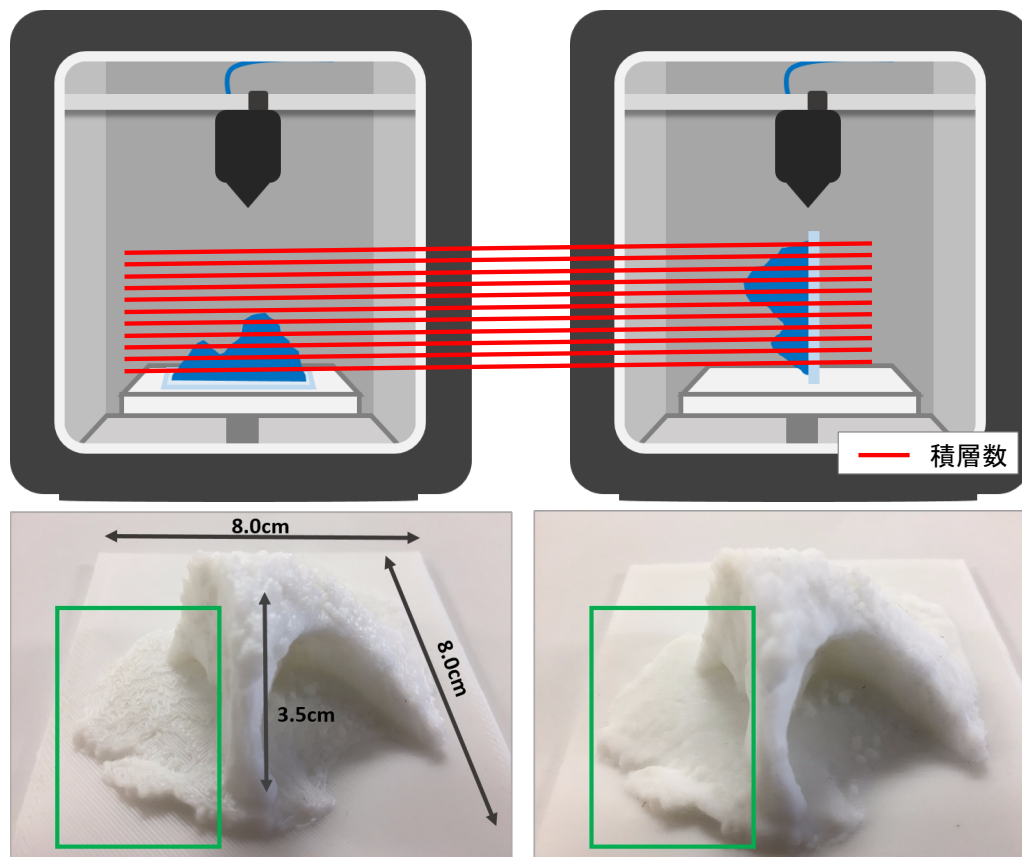


図 4-1 地形模型の 3D プリンティングの方向による積層の違い

2 項 授業の概要と使用した地形模型の特徴

3D プリンティングした複数の地形模型を用いて、地形の特徴を解説する授業を 2022 年 3 月と 8 月に実施した。この際には、学習効果を評価するためのアンケート調査も行った。授業は、「3D プリンタでの地形模型の製作と VR 体験」というタイトルで、事例 B（中高生対象）の一部として行われた。この授業は 60 分間で、3D プリンティングの解説、出力工程の見学、地形模型を用いた地理的事象の解説、参加者による地形模型の観察を実施した。授業は 8 名程度の中高生で構成される 7 つのグループごとに実施し、合計 56 名が参加した。授業の進行は、協力関係にある研究者に依頼し、使用する地形模型は筆者が作成した。

3D プリンティングの解説では、造形の原理、アウトリーチへの活用の事例、地形模型の出力時の注意点（3D モデルの X、Y、Z 方向の値のバランスの設定）などを講義形式で簡単に説明した。次に、複数の地形模型を展示した部屋に移動し、いくつかの模型の地理的特徴を紹介した（図 4-2）。



図 4-2 地形模型を用いた解説の様子

模型の造形に使用した地形データは、基盤地図情報、SRTM、静岡県 PCDB のように無償で入手できるものと、東京大学空間情報科学研究センターの「地形鮮明化プロジェクト」³⁹⁾の中で、ドローンや地上レーザー測量で取得されたものを含む。展示した地形模型は、ABS 樹脂を用いた単色模型と、石膏またはプラスチックによるフルカラー模型を含む。単色模型の造形には、Tiertime 社の熱溶解積層の UP BOX+を使用した(図 4-3)。模型のサイズは造形物によって異なるが、片手で収まる程度のサイズ感を基本とし、大きいものでも1辺の最長が 20 cm 程度とした(図 4-4)。積層する際の一層の厚みは 0.3 mm とした。フルカラー模型は、単色模型と同様に 3D モデルを調整した後、造形を私企業の DMM.make に発注したものである(図 4-5)。

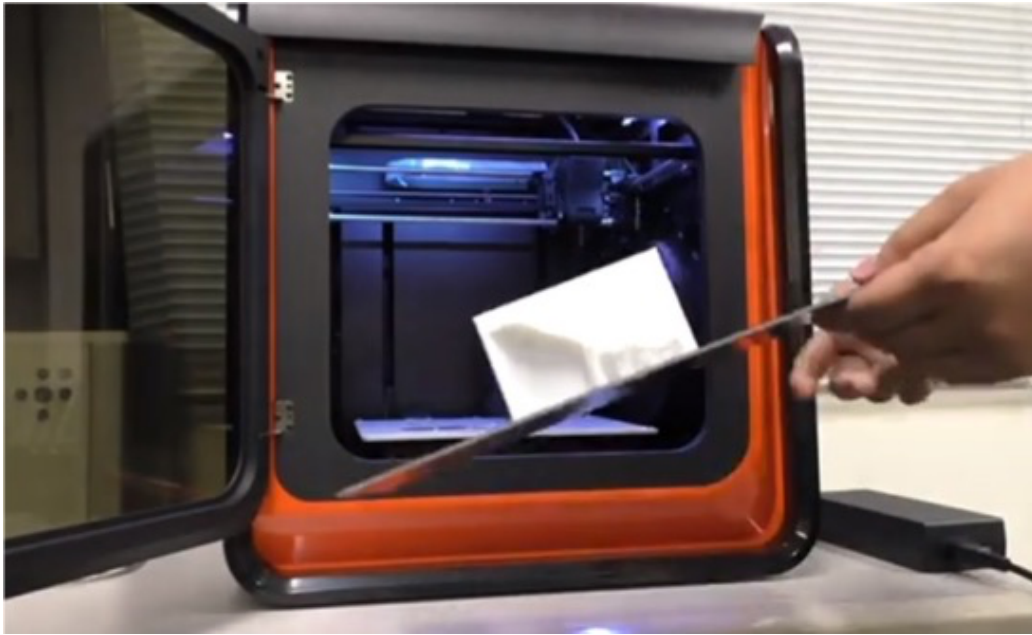


図 4-3 単色模型の造形用の 3D プリンタ

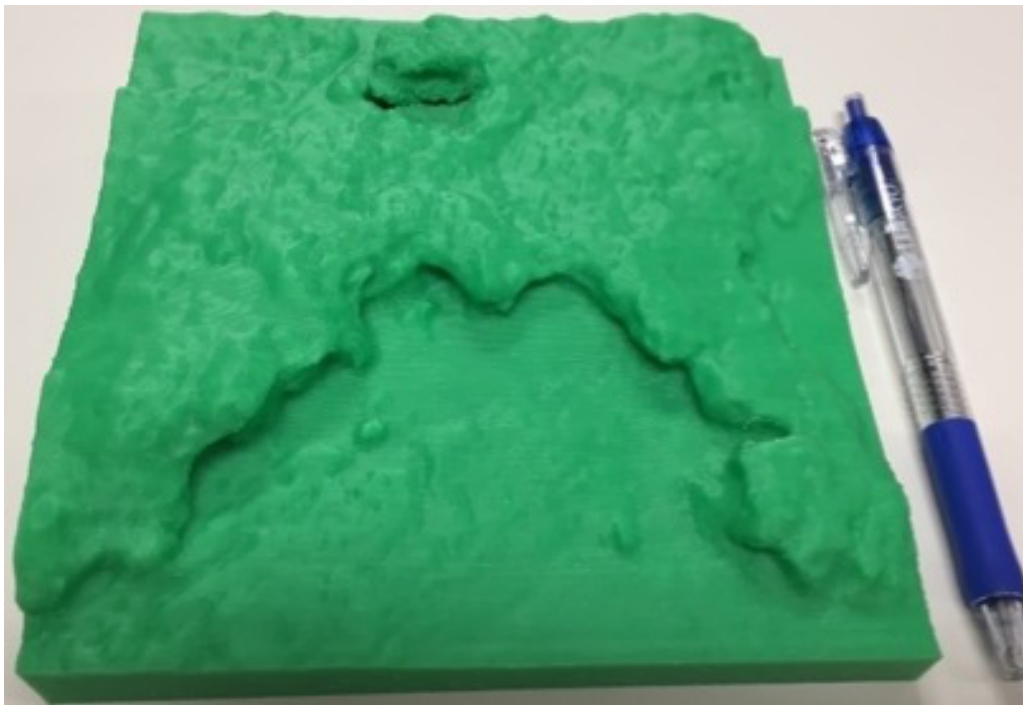


図 4-4 単色模型の例（宮古市の帯岩）

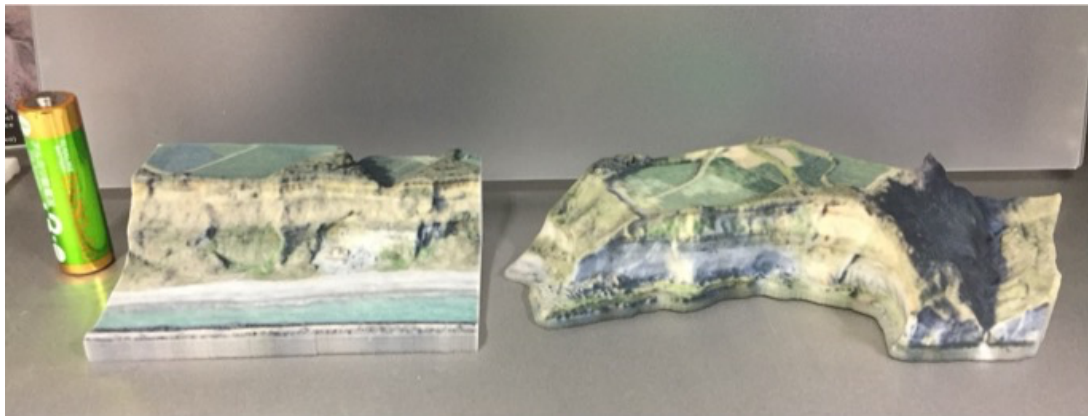


図 4-5 石膏を原料とするフルカラー模型の例（屏風ヶ浦）

展示した単色模型の主な対象地形は、千葉県いすみ市の雀島（海食崖）、栃木県日光市の華厳の滝、神奈川県横浜市の田谷の洞窟（人工洞窟）、沖縄県宮古市の帯岩（津波石）、奈良県川上村の地すべり、愛媛県西条市の千町棚田、富士山、阿蘇山（火山）であった。雀島の模型は、二時期の地形の変化が観察できるように、2014年と2016年の模型を用意した。富士山の模型は、起伏を明瞭にするために標高を1.3倍に加工して造形した。

フルカラー模型の対象地形は、千葉県の屏風ヶ浦の一部（海食崖）、山武郡横芝光町の木戸浜砂丘、石川県白山市の百万貫の岩（岩塊）であった。屏風ヶ浦の模型は、海側に消波堤がある地域とない地域の2つを用意した。

また、受講者の興味を広げるための工夫として、事例B（中高生対象）の開催場所であった東京大学柏キャンパスの模型、韮山の反射炉の模型、火星や北極圏の地形模型、奈良盆地の3D地形モデルを含むスマートフォンケースなどを、単色模型の造形に使用する樹脂とともに展示した。

模型の解説時には、最初に印刷時の模型の設置方向による地形の表現の違いを、富士山などの模型を用いて説明した。次に、各模型の内容を、データの取得法や造形時の注意点も含めて簡単に紹介した。富士山、屏風ヶ浦、百万貫の岩の模型などでは、地形の解説も比較的詳しく行った。たとえば富士山の模型については、成層火山の形状や模型上で宝永火口が観察できることを紹介し、屏風ヶ浦の模型については、2つの模型の崖錐の有無の要因を消波堤との関係から説明した。百万貫の岩の模型では、周囲の礫よりも大きな岩塊が、1934年の手取川の洪水で上流の山地から流出したことを解説した。一連の説明の後、受講者は展示した模型を自由に手に取って観察した（以下、この行動を触察と記す）。この際には新型コロナウイルスの感染拡大の状況を踏まえて、受講者はビニール手袋を着用した。

その後、教室の 3D プリンタを可動させ、富士山の地形模型の出力を実演した。模型の造形が授業の終盤に終了するようにサイズなどを調整し、造形した直後の模型を受講者に示せるようにした。最後に、受講者に 3D プリンティングや地形模型の触察の感想を自由記述で回答してもらった。無記名のアンケートを実施した。

3項 結果

アンケートには 56 名の全ての受講者が回答した（表 4-1）。回答は短いものが大半で、記載内容に基づいて回答を分類したところ、3D プリンティングのみを高く評価した人が 24 人、地形模型のみを高く評価した人が 14 人、両方を記述して共に高く評価した人が 7 人認められた。他に、講師への質問や実習の状況などを記した人が 11 人いたが、多様かつ少数であったため、分析の対象とはしなかった。

表 4-1 アンケートの回答例

| 3D プリンティングの感想の例 | 地形模型の感想の例 |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ・ 3D プリンタが作動しているのを初めて見た。思っていたよりも細かく再現されていてすごいなと思った。 ・ 3D プリンタはもう少し時間がかかるのかなと思っていただけ、意外と早く完成して驚きました。 ・ ひものような原料から立体模型など形があるものを作り上げることに感動しました。280℃近くまで温度をあげなければならぬことに驚きました。また、小さいものでもかなり時間がかかることにも驚きました。 ・ 3D プリンタで、積層の方向でできあがる物の形が大きく変わることが印象的でした。かなり細かい物の形も正確にプリントできることには驚きました。 ・ 大きなものを小さく 3D プリントすることができたり、1つ1つ細かく再現できるのでいいなと思いました。層の重ね方で見た目がかわる（ツルツル、ガラガラ）のが特に、面白いなと感じました。 ・ 縦と横の印刷を変えるだけでこぼこの感じも変わるということが分かった。3D プリンタは、視覚障がい者にもわかりやすく伝えることができ、良いものだった。 ・ 地形のモデルを標高と同じ方向でプリントすると模型の表面がざらざらになり、90° 縦方向に回転してプリントすると滑らかになるため人工物は前者で、山や自然的なものは後者でやると良いと思った。 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 地形模型にすることで、地形などがさわれたり、全体をもっとよく見ることができたりして、面白いし、楽しいなと思いました。 ・ 今まで地図上でしか見ることでできなかった地形を、3D プリンタなどを使うことで見るだけでなく触って楽しむということができ、これを応用すれば観光地の紹介がより分かりやすくてできると考える。 ・ 細かいくぼみなどが再現されていて、全体の地形が写真などよりもずっと分かりやすくて驚きました。 ・ 地図で見ると分かりにくい、へこんでいる所やけずれている所も実際の模型だといろんな方向から見ることができて面白いし分かりやすいと思った。 ・ 3D プリンタで地形データから地形のモデルを作ることで、感覚で地形を理解できることに感動しました。カルデラとか、段丘とか。 ・ 雀島の侵食の進み方を理解する際などにとても分かりやすくて良いと思いました。 ・ 手取川上流の、見覚えのある地形を 3D プリントされたものを見ると、平面上の地図でしか見ることのない地形が立体的に見えた。次に現地に行ったときに新たな視点で観察できるかもしれない。 |

3D プリンティングを高評価した回答には、「3D プリンタが作動しているのを初めて見た。思っていたよりも細かく再現されていてすごいなと思った」のように、3D プリンティングの過程や精巧さに関心をもったというものがあつた。また、「3D プリンタで、積層の方向でできあがる物の形が大きく変わることが印象的でした」のように、積層方向の違いによって地形の表面の形状が変化することに注目した回答もあつた。

地形模型を高評価した回答には、模型を手で持って見回しながら細かい形状を触察することで、地形が理解できたという回答があつた。たとえば、「地形模型にすることで、地形などがさわれたり、全体をもっとよく見ることができたりして（略）」、「細かいくぼみなどが再現されていて、全体の地形が写真などよりもずっと分かりやすくて驚きました」、「地図で見ると分かりにくい、へこんでいる所やけずれている所も実際の模型だと色々な方向から見ることで面白いくらい分かりやすくなった」といった回答である。また、実際に手指で地形の凹凸を感じる触察に満足感を得たという回答もあつた。また、「手取川上流の、見覚えのある地形を 3D プリントされたものを見ると、平面上の地図でしか見ることのない地形が立体的に見えた。次に現地に行ったときに新たな視点で観察できるかもしれない」のように、過去に観察した地形の認識が変化することを示した回答もあつた。

4 項 地形模型の造形の特徴と授業での活用の効果

地形模型は地形を直感的に理解しやすくさせるため、一般市民向けの地理学のアウトリーチに有効と指摘されている（小倉 2021）。ドローンや地上レーザー測量で取得したデータに基づく模型は、基盤地図情報などの無償で入手できるデータに比べると空間的な範囲は小さいが、地形を精細に表現できる。この種の例である雀島や屏風ヶ浦の模型をみた受講者の中には、海岸のノッチなどを細かく理解できた人もいた。この種の模型は、微地形などを教える大学の科目で役立つ可能性があるが、対象範囲の外の地形や、実際のスケール感が伝わりにくいという課題もある。そのため、地図などと併用して活用することが望ましい。

地形模型の 3D プリンティングには、地形の特徴に関する知識が求められる。今回展示した地形模型は、基盤地図情報などから入手した水平方向が数キロメートルの範囲の模型と、ドローンなどで取得した水平方向が数百メートルの範囲の模型が含まれる。前者の場合には、水平方向の大きさに対して起伏が小さくなりやすいため、地形の表現が不十分になる場合が多い。しかし、V 字谷や U 字谷などの起伏が大きい範囲が対象であれば、視認性に優れた模型を造形できると考えられる。反対に、後者の場合であっても、起伏の小さ

い砂浜海岸などでは凹凸に乏しい模型になりやすい。このことは、3Dプリンティングに向いている地形と、そうではない地形があることを意味しており、地形の教育に対する模型の有効性が地形の種類に依存することを示している。

Carrera et al. (2017) は、大学生を対象としたワークショップの事例から、2点間の標高や傾斜の読み取りなどに、地形模型や3Dモデルが役立つという結果を報告した。これは、地形図の基本的な活用法の教育に、地形模型が使用しやすい可能性を示す。この種の教育での地形模型の利用により、地形の解説がわかりやすくなり、さらに受講者の学習意欲の向上も期待できる。しかし、模型を全受講者が詳しく触察できるように、一クラス分を造形するような作業は、コストや時間を要する。模型のサイズを小さくすれば造形は効率化されるが、起伏を十分に表現できないといった問題が生じる可能性もある。今後、最適な模型のサイズや、グループワークにより少ない数の模型でも効果的に学習ができる手法について検討する必要がある。

5項 まとめ

本節では、加工した三次元地理情報を3Dプリンティングして様々な地形模型を造形し、地形模型の3Dプリンティングの特徴と、模型を用いた授業実践の効果を検討した。地形模型の適切な3Dプリンティングには、3Dモデリング、地形、GISなどの知識が求められ、対象範囲の選定、出力する模型の大きさ、表面形状などに注意を払う必要もある。中等教育で扱われる地形のうち、自然堤防などの低地の微地形は、起伏が小さく広範囲に分布するため、模型に適さないと考えられる。一方で、山地などの起伏が明瞭な地形の模型であれば、地形図の読図を補助する教材として有効と考えられる。

本節では、3Dプリントした地形模型が受講者の地形の関心や、授業の満足感を高める効果を持つことを示した。たとえばドローンなどで得られた高精細な地形情報を模型にすることで、多方向からの観察や触察による地形の理解を促進できる。現時点では、模型の造形にかかる時間や材料のコストの点で、地形模型を地理教育の一般的な教材とすることは難しいといえる。しかし技術の発展により、近未来に状況が変わる可能性もある。一方、研究成果のアウトリーチ、大学の地形学の授業、視覚障がい者の空間認識などには、現時点でも地形模型を利用する意義が十分にあると考えられる。

2 節 ドローンで撮影した全天球画像を用いた授業実践

1 項 はじめに

高等学校や大学の教員養成課程では、地理教育の対象の一つである地形が生徒や学生の学習の対象となる（中村 2016；小倉ほか 2017；山内ほか 2020）。学習者は、地形図の等高線や電子地図に表示された標高の読み取りを行い、典型地形の種類や特徴を理解する。一方で、等高線を用いた地形の把握に難しさを感じる学習者もいるため（卜部 2010）、Hsu et al. (2018) のように三次元表示の GIS を用いて、学習者の地形の理解の向上を図った事例もある。しかし、三次元表示の GIS を利用しても、教科書の模式図と GIS で再現した地形の結びつけに問題があるため、対象の地形を上手く判読できない学習者もいる（山内ほか 2020）。GIS の活用は地形の教育に有用であるものの、判読に適した地理情報を適切に表示する技能が必要であり、アプリケーションの操作の煩雑さが問題点になる場合も想定される。

近年、全天球画像や動画を利用し、学習者が実際の景観の観察を近似体験する教育の実践例が増えつつある。例えば、篠倉（2017）や中村（2021）は、Google Maps のストリートビューを地理学関連の授業に取り入れた。Geng et al. (2019) は、地上で撮影した全天球動画をスマートフォンのディスプレイで表示して、簡易的な VR 体験を取り入れた教育を実践した。全天球画像を地形教育に応用することで、高台から地形を眺めるような体験が提供できる。さらに小型無人航空機（ドローン）を活用することで、塔などの構造物がなくとも上方からの映像を取得できる。荻原ほか（2022）のように、ドローンで空撮した映像を小学生向けの河川教育に利用した事例もあり、教材の開発におけるドローンの活用も期待される。

そこで本節では、ドローンを用いて、複数の場所で地形を空撮した静止画をスマートフォンのパノラマ表示するアプリケーションを構築した。そして、高等学校の地理 A と大学の教職科目の地理学において、構築した教材を用いて地形を教育する授業を実践した。この際には、教材の地形教育への有用性を評価するため、学習者へのアンケート調査を実施した。さらに、教材を誰もが閲覧できるようにインターネットで試験公開し、利用者に対してもアンケート調査を行った。

2 項 空撮による全天球画像の取得と教材化

本教材が対象とする地形を、高等学校の地理 A、地理 B の教科書（荒井ほか 2020；片平ほか 2020）、地形学に関連する図書（籠瀬 2000；小泉・青木 2002；日下 2002）、地理院地図を参考に選定した（表 4-2）。さらに、アクセスのしやすさを考慮し、対象の地域

を関東地方とその周辺とした。日本国内のドローンの利用は、対地高度 150m以内で実施する規定があり（国土交通省航空局 2022），広域の撮影は困難である。そのため、対象の地形が広範囲の場合は、その地形の特徴の一部が把握できる場所を選定した。

表 4-2 撮影地点の一覧

| 撮影した地形 | 撮影範囲 |
|-----------------|------|
| 片品川の河岸段丘（段丘面上空） | 一部 |
| 片品川の河岸段丘（河川上空） | 一部 |
| 相模川の河岸段丘 | 一部 |
| 多摩川の扇状地（青梅周辺） | 一部 |
| 京戸川の扇状地 | 全体 |
| 御勅使川の扇状地 | 全体 |
| 御勅使川の上流の網状流路 | 一部 |
| 川島町周辺の微高地 | 一部 |
| 江ノ島の陸繋砂州 | 一部 |
| 相模川河口の砂州 | 全体 |

注：片品川周辺では、事例 H（高校生対象）の導入で重点的に利用するため、異なる 2 地点で空撮した。

空撮は 2021 年 11 月と 2022 年 2 月に実施した。11 月の空撮では、ドローンとして DJI 社の Mavic 2 Pro を使用し、2 月には同社の Mavic Air 2 を利用した（図 4-6）。両ドローンは回転翼機であり、プロペラにつながるアームの部分を折りたたんで携帯できる。飛行の操作はプロポとよばれるコントローラーを用いて行う。一つのバッテリーで飛行できる



図 4-6 空撮用のドローンとプロポ

時間は、Mavic 2 Pro が 31 分、Mavic Air 2 が 34 分である。両機には、カメラが搭載されており、上空で複数の画像を撮影した後、静止画を図 4-7 のような画像として合成し、出力する機能をもつ。現地での空撮時には、機体のカメラの映像と、GPS に基づく現在地を示した地図を手元で確認しながらドローンを対象の地形の上空まで操縦し、機体を対地高度 150m 程度まで上昇させて画像を取得した。



図 4-7 空撮した画像の例

取得した画像のサイズを 4 MB～6 MB 程度に圧縮した後、オープンソースのウェブツールである `Aframe.js`⁴⁰⁾ を用いて、画像をスマートフォンでパノラマ表示できるようにした。画像の表示範囲は画面のフリック操作や、スマートフォン内蔵のジャイロセンサーと連動する。画面では図 4-7 のような画像が球体のように表示されるため、利用者は上空から地形を俯瞰したような体験ができる。ただしスマートフォンの画面では、本格的な HMD を用いた VR 体験で得られるような立体感は再現されない。

本教材は GitHub で公開し、GitHub Pages の機能を通じてインターネット上で利用できるようにした。スマートフォンの機種によって本教材が正常に動作しない可能性も考慮し、類似の機能をもつ `SkyPixel`⁴¹⁾ でも空撮した画像を公開した。また、全天球画像の表示をサポートしている様々なアプリケーションがあることを考慮し、画像のファイルを自由に利用できるように、クリエイティブ・コモンズの CC BY-SA (表示—継承) のライセンスを付与した。

利用者が個々の典型地形を選択して表示できるように Web ページを構築した (図 4-8) 。このページには、各教材を表示するボタン、`SkyPixel` のページを表示するボタン、空撮し

た画像を表示するボタンを配置した。さらに、本教材の閲覧方法の説明や、空撮した地点をまとめた Web 地図なども表示できるようにした。

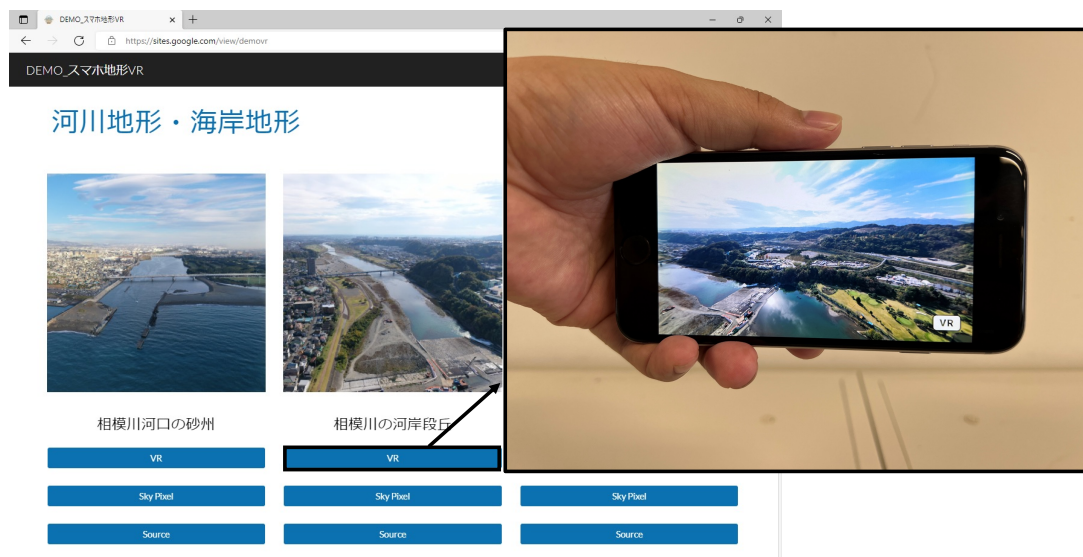


図 4-8 教材の Web ページと操作例

3 項 高校での授業実践とアンケート調査

高等学校の 2 年生の地理 A において、本教材を用いた授業を実践した（事例 H（高校生対象））。授業は、地理 A が必修教科目の 4 クラスで展開し、2022 年 2 月 15 日～22 日に各クラスにつき 1 時間で行った。各クラスの当日の出席者は、36～40 人であり、全体では 150 人が本授業を受けた。一連の授業は、高等学校と大学の接続をふまえ、大学教員 1 名が講師、筆者を含む 2 名の大学院生がアシスタントとなり、実践校の教員が教室のファシリテーターとなって実施した（小倉ほか 2022）。受講者が地理 A において河川の地形を学習するのは本時が初回であった。そのため受講者が、地形の特徴を読み取る基本的な技能を身につけることを授業の目的とした。授業形式は、新型コロナウイルス感染症に伴うまん延防止措置に伴い、通常の教室と大学の研究室をオンラインで接続する形式で行った。

本授業の導入では、ドローンの概要や地形測量の手法を講師が受講者に紹介した（表 4-3）。続く展開 1 では、講師と受講者がともに「片品川の河岸段丘（段丘面上空）」と「片品川の河岸段丘（河川上空）」の教材を閲覧した後、地理院地図を操作して地形の横断面

図を作成し、その結果を受講者が発表した。ほとんどの受講者は自身のスマートフォンを操作したが、一部は学校の備品のタブレットを利用した（図 4-9）。

表 4-3 高校の授業の展開

| 展開 | 内容 |
|------|---|
| 導入 | ・ドローンによる画像の撮影方法や地形測量について解説する。 |
| 展開 1 | ・受講者に「片品川の河岸段丘（段丘面上空）」と「片品川の河岸段丘（河川上空）」の 2 つを見せよう。 ・受講者とともに、地理院地図で地形の横断面図を作成し、代表者に地形の特徴を回答してもらおう。 ・教材と地理院地図で地形の特徴を解説する。 |
| 展開 2 | ・各受講者に「京戸川扇状地」を見ながら、地形の特徴、地形の名称、名称を判断した理由をワークシートに記入してもらおう。 |
| 展開 3 | ・各受講者に「川島町周辺の微高地」を見ながら、地形の特徴、地形の名称、名称を判断した理由をワークシートに記入してもらおう。 |
| まとめ | ・展開 2、3 の地形の特徴を地理院地図で場所を確認しながら、各地形の特徴を解説する。 |
| 宿題 | ・受講者に、学校周辺の全天球画像から地形と土地利用の特徴を読み取る問を出題する。 ・受講者に、教材に関する感想を自由記述のアンケートを通じて尋ねる。 |



図 4-9 授業実践の様子

展開 2 では、山梨県の「京戸川扇状地」を対象とし、画像を見て地形の特徴と名称を判断する実習を行った。展開 3 では埼玉県の「川島町周辺の微高地」を対象に、同様の実習を行った。本時の最後には、講師が展開 2、3 で用いた教材を提示しながら、地形の特徴について解説した。また、授業の終了後の宿題の一部として「教材について思ったことを自

由に書いてください」というアンケートを実施した。アンケートでは、教材の長所のみでなく短所も書きやすくなるように、補足の説明を加えた。

各授業の終了後には、実施者らが受講者の取り組みや授業の方法に関する反省会を行った。主要な問題点として、2 クラス目までの授業では、学習者が地形の種類に回答に時間がかかったことと、デバイスの操作などの過程で補助を必要とする者がいたことが挙げられた。そこで、3 クラス目以降は、地形を判読する際に、教科書を参照しながら地形の種類を考えてもらえるようにし、周辺の学習者への相談ができるようにグループワークを導入した。

4 項 大学での授業実践とアンケート調査

大学の授業（事例 A（大学生対象））において、本教材を用いた授業実践とアンケート調査を 2022 年 4 月 29 日に実施した。この授業の科目名は「地理学」であり、中学校社会科の教員養成のための科目である。筆者が非常勤講師として、本科目を担当した。この科目の履修者は地理学を専門としない大学生であり、ほぼ全員が 2 年生であった。本授業は、河川と海岸の地形を解説する第 4 回目の講義として実施し、12 人の 2 年生が出席した。授業時間は 90 分である。

この授業では、盆地や平野の地形を、河川の上中流部（扇状地）、中下流部（河岸段丘、自然堤防、後背湿地など）、下流部（三角州）、海岸部（砂洲、ラグーン、海食崖など）に分け、それぞれの地形の特徴を土地利用とともに解説した（表 4-4）。また、整備した教材のうち「京戸川扇状地」、「相模川の河岸段丘」、「川島町周辺の微高地」を利用した。

表 4-4 大学の授業の展開

| 展開 | 内容 |
|------|--|
| 導入 | ・前回の授業を振り返り、受講者に内的営力と外的営力による地形の違いを考えてもらうように指示をする。 |
| 展開 1 | ・扇状地の地形的特徴を図示した後、資料を用いて解説する。 ・受講者に「京戸川扇状地」を見ながら、扇状地の特徴や土地利用を確認してもらう。 ・WebGIS で国内外の典型的な扇状地を紹介する。 |
| 展開 2 | ・河岸段丘・自然堤防・後背湿地・三日月湖などを図示した後、資料を用いて解説する。 ・受講者に「相模川の河岸段丘」、「川島町周辺の微高地」を見ながら、低地の地形の特徴や土地利用を確認してもらう。 ・WebGIS で国内外の典型的な河岸段丘や自然堤防などの地形を紹介する。 |
| 展開 3 | ・三角州を図示した後、資料を用いた解説をする。 ・WebGIS で国内外の典型的な三角州を紹介する。 |
| 展開 4 | ・海岸地形を図示した後、資料を用いて解説する。 ・WebGIS で国内外の典型的な海岸地形を紹介する。 |
| 展開 5 | ・その他の典型地形（氷河地形、乾燥地形、カルスト地形）について、簡単に紹介する。 |
| まとめ | ・受講者に教材に関する感想を自由記述のアンケートを通じて尋ねる。 |

授業の際には、最初に前の週の授業との関連を教員が解説した。次に、教員がスライドの資料を用いて地形の特徴を解説し、受講者が各自で教材を閲覧した後、教員が国内外の典型地形をまとめた三次元表示の WebGIS（山内ほか 2020）を用いて、対象の地形の特徴を紹介するという実践を 2 回行った（展開 1, 2）。続いて、他の地形の事例について、教員が解説を行った（展開 3~5）。授業の最後には、受講者に教材の有用性や問題点などを評価してもらうために、事例 H（高校生対象）と同様のアンケート調査を行った。

5 項 インターネットを用いたアンケート調査

整備した教材について、幅広い立場の人からの意見を収集するために、オンラインの調査を行った（以下、「ネット調査」と記す）。2022 年 3 月に Twitter を用いて本教材の試用とアンケートの回答を依頼するツイートを投稿した。ツイートは、地理学に関心のあるフォロワーをもつ「GIS 実習オープン教材」のアカウント⁴²⁾で行い、「いいね」や「リツイート」とよばれるツイートの拡散により、教材の情報が広く周知された。このツイートが各ユーザーのホーム画面で表示された回数である「インプレッション」の数は、2022 年 8 月 12 日時点で 20,410 であった。

アンケートの回答者は、本教材のうち 1 つ以上の項目を利用した。アンケートの設問は、1) 職業などの属性、2) 地理学の専門性、3) 地理または地理学の教育の状況、4) 本教材の地形教育での有用性、5) 授業に利用しやすい／利用しづらい教材、6) 利用後の感想の 6 つであった。4) は五段階で評価するようにし、1 が「地形教育に不向き」、2 が「地形教育にやや不向き」、3 が「どちらともいえない」、4 が「地形教育にやや向いている」、5 が「地形教育に向いている」であった。さらに、「スマートフォンを学習者が利用でき、教科書などと併用して授業などで本教材を利用する場合を想定してお答えください」という説明文も記載した。5) は該当する項目をそれぞれ 1 つ以上選んで回答する形式とし、「該当なし」という選択肢も加えた。また、5) には各自が閲覧した教材の数を集計するための質問も記した。6) は自由記述とした。

6 項 結果

事例 H（高校生対象）では 111 人から自由記述の回答を得た。回答を特徴ごとに集計するために、「アプリの視認性・操作性」、「地形の理解」、「楽しさ」という 3 つの分類項目を設けた。次に、各項目に該当する回答を集計した。一人の回答の中に複数の項目に該当する意見がある場合は、それぞれの項目の意見として集計した。続いて、前段階で分類した各回答を高評価と低評価に分類した。一人の回答に高評価と低評価に該当する意見

がある場合は、それぞれの項目の意見として集計した。最後に、前段階の分類をより詳細な小項目に区分し、それぞれの回答の数を集計した（表 4-5）。

表 4-5 高校でのアンケート結果の分類

| 大項目 | 高評価の小項目 | 回答数 | 低評価の小項目 | 回答数 |
|------------|----------------------|-----|----------------------------------|-----|
| 教材の視認性・操作性 | 没入感（その場にいる感覚）・映像の精細さ | 24 | アプリの動作の問題・不具合 | 7 |
| | 視点を移動する際の操作感 | 7 | 拡大表示の機能の必要性 | 7 |
| | その他 | 1 | VR 酔い | 6 |
| | | | 機材の問題（使用端末の性能、インターネットの接続環境のような） | 6 |
| | | | 操作が難しい・煩雑 | 5 |
| その他 | | 4 | | |
| 地形の理解 | （単に）わかりやすい | 11 | （細かな）起伏や高低差の理解が困難 | 8 |
| | 地形がイメージできる | 7 | 地形の理解のための知識が不足しているため、地形の種類がわからない | 3 |
| | 起伏・高低差・傾斜がわかりやすい | 4 | その他 | 2 |
| | （山や低地などの）位置がわかりやすい | 3 | | |
| 楽しさ | （単に）楽しい | 11 | | |
| | 新鮮さが楽しい | 7 | | |
| | 没入感が楽しい | 5 | | |
| | その他 | 2 | | |

「教材の視認性・操作性」については 59 人が 67 件の意見を記した。そのうち 32 件が高評価の意見を記し、35 件が低評価の意見であった。高評価の意見は、「没入感（その場にいる感覚）・映像の精細さ」（24 件）に関するものが最多で、次が「視点を移動する際の操作感」（7 件）となった。低評価の意見は、「アプリの動作の問題・不具合」（7 件）と「拡大表示の機能の必要性」（7 件）が最多で、続いて「VR 酔い」（6 件）、「（使用

端末の性能、インターネットの接続環境のような) 機材の問題」(6件)、「操作が難しい・煩雑」(5件)などがあった。

「地形の理解」の項目については36人が38件の意見を記した。そのうち25件が高評価の意見を記し、13件が低評価の意見を記した。高評価の意見は、「(単に)わかりやすい」(11件)が最多であり、次に「地形がイメージできる」(7件)が多かった。この他に、「起伏・高低差・傾斜がわかりやすい」(4件)、「(山や低地などの)位置がわかりやすい」(3件)という意見があった。低評価の意見には、「(細かな)起伏や高低差の理解が困難」(8件)、「地形の理解のための知識が不足しているため、地形の種類がわからない」(3件)などがあった。

「楽しさ」の項目について、25人が25件の意見を記し、全てが高評価の意見であった。内訳は、「(単に)楽しい」(11件)が最多で、「新鮮さ」(7件)や「没入感」(5件)を楽しさとして評価する意見などがあった。

事例A(大学生対象)では、全受講者から自由記述による回答を得た(表4-6)。回答者は、事例H(高校生対象)に比べて12人と少数だったため、分類は高評価と低評価のみと

表 4-6 大学生による自由記述の一覧

| 高評価 | 低評価 |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ・実際に現地を見ているようでとても良かった。 ・携帯を動かすことで、場所が移動するみたいになっていて、とても分かりやすく、面白かったです。 ・立体的に地形を見ることができて、その場にいるような感覚で見ることができる点良かった。 ・VRにすることで、スクリーンに映っている画面が身近に感じられてとてもやりやすかったです。 ・VRでのコンテンツは地形を360度で、全体的に読み取ることが出来て大まかな地形を把握することが出来る。 ・全体を見渡せることによって、扇状地の位置する場所や扇頂や扇端の構図をしっかりと見ることが出来る。 ・実際の地形を簡単に確認出来て便利だなと思いました。VRサイトを使つての授業はイメージがしやすく分かりやすいなと思いました。 ・地形がどのようにできているのか、VRで見ることでリアルに見えるので分かりやすかったです。 ・使ったことは無かったですが、新感覚でとても面白かったです。 ・自分が見たい場所を見ることが出来る点が良いと感じた。また、画質がよく見やすかった。 | <ul style="list-style-type: none"> ・高低差や標高を把握することが難しい... ・ズームすることが出来ず、詳しく横方向から地形を見ることが出来ない。 ・ずっと見ていると酔ってしまうため、長時間は難しいと感じた。また、ズームができると良いと感じた。 ・悪い点は、ずっと見ていたりすると酔う。 ・学校のWi-Fiが弱いのでたまに繋がらなくて授業に置いてかれることがある。 ・自分のスマホの調子が悪いのかもしれないけど開くのが遅い。 |

注：表の下線は、「実際にその場にいるような体験」,「地形の理解への有用性」,「起伏や高低差の理解が困難」,「拡大表示の機能の必要性」,「VR酔い」,「機材の問題」の意見と対応する。

した。高評価の意見は 10 件あり、受講者が得た「実際にその場にいるような体験」と、「地形の理解への有用性」を評価するものに大別された。また、事例 H（高校生対象）のように「本教材の視認性・操作性」や体験の「楽しさ」に該当する意見もあった。低評価の意見は 6 件で、事例 H（高校生対象）の回答でみられた「起伏や高低差の理解が困難」、 「拡大表示の機能の必要性」、 「VR 酔い」、 「機材の問題」に該当する。

「ネット調査」では、高校生（1人）、教員志望の学生（1人）、小学校の教員（1人）、高等学校の教員（3人）、大学の教員（2人）、その他（2人）の計 10 人から回答を得た（表 4-7）。高校生を除く 9 人のうち 5 人は地理学が専門であり、教員 6 名のうち実際に地理または地理学を授業している人は 4 人であった。アンケートの項目のうち、4) 本教材の地形教育での有用性については否定的な回答はなく、どちらでもないが 1 人、やや向いているが 5 人、向いているが 4 人であった。5) 授業に利用しやすい／利用しづらい教材について、教員志望の学生と初中高等教育の教員（以下、教育関係者と記す）の計 7 人の回答を集計した（図 4-10）。各教材は、最少で 2 人、最多で 5 人が閲覧した。授業に利用しやすい教材は、「御勅使川扇状地」と「京戸川扇状地」が最多で、各 3 人から評価された。また、「片品川の河岸段丘（段丘面上空）」、「片品川の河岸段丘（河川上空）」、「相模川の河岸段丘」、「御勅使川の上流の網状流路」を、各 2 人が利用しやすいと判断した。一方、授業に利用しづらいとされた教材は「多摩川扇状地（青梅周辺）」が最多で、3 人がそう評価した。さらに、「片品川の河岸段丘（河川上空）」、「江ノ島の陸繋砂州」、「相模川河口の砂州」を、各 2 人が該当すると判断した。

6) 利用後の感想については、事例 A（大学生対象）と事例 H（高校生対象）と同様に、体験の楽しさや、機能の改良や拡張を望む意見がみられた。一方で、実際の授業を想定して、教育の効果を検討した意見もみられた。具体的には、学習者が地形を把握しやすいように着目する場所の説明を追記することと、山の名称や地形の境界線などを記載することが提案された。また、土地の高さの認識のために、撮影した高度の表示や、画像の加工による高さ情報の強調を提案する意見もあった。さらに、より深い地形の理解のためには、地形図や地形分類図の併用が必要といった意見や、関東の地理に詳しくないために十分な評価ができないという意見もあった。

表 4-7 「ネット調査」の回答

| 属性 | 地理学の 専門性 | 感想 |
|-------------------|-------------|---|
| 高校生 | — | タブレットだと動いてもうまく連動しない。 |
| 小中高の教員志望の大学生・大学院生 | 専門 | Google Maps のプロジェクトをより進化させたような体験ができる。生徒も気軽に、楽しく学べる。 |
| 小学校の教員* | 専門外 | 川を遡ったりできればと思います。 |
| 高校の教員* | 専門 | 何より体験できて楽しいです。これを CC ライセンスで公開していることに敬意を表します。 |
| 高校の教員* | 専門外 | どのように利用していくべきかまだ検討がつかないので、いったん保留です。加えて関東の地理に詳しくないため、教材として良いかどうかなかなか判断できませんでした。 |
| 高校の教員 | 専門外 | 自分で視点を変えられることで地形が見やすいです。逆にどこに注目すればいいか生徒は迷うかもしれないと思いました。また視点が上空からのため全体的に地形が平坦に感じられたので、もう少し低いアングルからの映像もあれば良いと思いました。 |
| 大学の教員* | 専門 | 京戸川扇状地や沼田の河岸段丘など、教科書に出てくる地点の景観を手軽にみられる点は良いと思います。補助的な情報が追加されるとなお良くなると思います。例えば河川の流れの方向や有名な山の名前など。 |
| 大学の教員 | 専門 | 標高を強調してもよいと思う。 |
| その他（企業・行政・NPO など） | 専門 | 空からの実際の映像は良いが、同時に地形図・土地条件図・地形分類図などの説明資料が必要、あるいは映像の中に取り込むことで理解が深まる。スマホよりの方が色々なコンテンツが並列できて理解しやすいのでは。 |
| その他（企業・行政・NPO など） | 専門外 | 写真を見ても、どの部分が扇状地なのか確定できない。解説者が解釈している境界面にコメントをいれるなど明示して欲しい。その地形が形成されるための海流や水流の方向など。 |

注：*は地理または地理学の教育を担当している教員を示す。

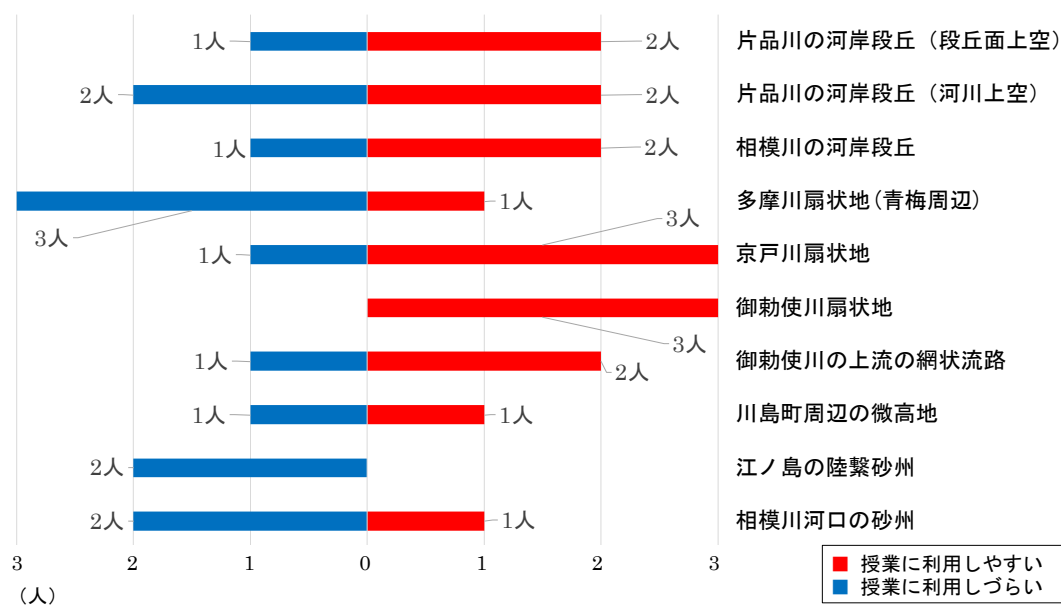


図 4-10 各教材の地形教育への有用性の評価

7 項 教材を用いた地形学習の効果と課題

本調査の結果、今回構築した教材は操作性、地形の視認性、授業での使用法に関連した改良が必要ではあるものの、地形学習の楽しさの演出や、地形の理解の向上に有効なことが確認できた。事例 H (高校生対象) では、25 人の受講者が楽しさについて高く評価した。事例 A (大学生対象) でも楽しさが評価され、楽しさを否定する意見は収集されなかった。この「楽しさ」の要因として、瀬戸崎ほか (2015) が指摘したように、VR が実際に現地を観察しているような感覚や、普段の授業とは異なる新鮮な体験を学習者に与えたことが考えられる。本事例では、大型のスクリーンを用いた Feng (2021) や、VR 専用のヘッドマウントディスプレイを用いた山内ほか (2022) とは異なり、主にスマートフォンで教材を閲覧した。Ou et al. (2021) は、全天球画像の閲覧に簡易的な VR 器具とスマートフォンを用いた環境教育を実施し、学習意欲や学習効果の向上を確認した。伊藤ほか (2020) も、簡易的な VR を用いた資源開発の教育を実践し、対象者の学習意欲の向上を報告した。以上から、今回構築したような教材は、スマートフォンを用いた主体的で新鮮な体験を学習者に提供できるため、効果的と判断される。

一方、教材を授業で使用する際には、受講者による地形の理解度の違いを考慮する必要がある。事例 H (高校生対象) では、地形の理解について回答した 36 人のうち 13 人が学習の難しさを指摘した。高校生は地形に関する知識が相対的に少なかったために、地形の

判読の手順がわからず、学習の到達度が低くなった可能性がある。環境学習に全天球動画を適用した Feng et al. (2020) の事例でも、映像の閲覧時に注目する箇所がわからないと回答した学習者がいた。この種の問題を軽減するためには、関連する内容の事前の学習が重要である。そのため、教科書や GIS を用いた解説を行った後に、それを補足するために今回構築したような教材を利用するという流れが有効と考えられる。また、学習の到達度の個人差の軽減のためには、授業中の教員の机間巡視による補助や、学習者が複数回読み返せるような解説文を用意するといった工夫も必要である。本事例では、事例 H（高校生対象）の後半の 2 クラスでグループワークを導入し、受講者が連携して学べる環境を整えた。Chang et al. (2020) は、VR を学習者が各自で閲覧するのみでなく、受講者の中で評価することにより、高い学習効果が得られた事例を示した。履修者による会話や議論を効果的に設計することは、教員の負担の軽減にもつながり、さらには学習指導要領にある言語活動の充実にも寄与する可能性がある。

地形の授業で使用する教材を構築する際には、対象とする地形の選定も重要である。今回の実践では、整備した教材が起伏の小さい地形の判読には不向きな傾向が認められた。三次元表示の GIS を用いた場合でも、自然堤防のような低地の微地形の判読には工夫が必要であり（柴田 2020）、千葉ほか（2007）が使用したような地形を効果的に可視化した図や、佐藤・後藤（2007）が使用したアナグリフが有効と考えられる。このような手法を VR と組み合わせることで、小起伏のものを含む地形の有効な教育ができる可能性がある。

また、「ネット調査」によると、「多摩川扇状地（青梅周辺）」のように地形の範囲が広く、ドローンの高度では地形の特徴が把握しづらい画像も評価が低い傾向があった。さらに、片品川の河岸段丘のように教科書で典型地形として紹介されるような明瞭な地形であっても、教材の評価が分かれた場合もあった。地形に対する回答者の知識や、想定している授業の設計などに応じて、本教材に対する有用性の評価が異なることも考えられる。ただし「ネット調査」の回答者は少なかつたため、地形ごとの本教材の有用性については、さらなる調査が必要である。

本教材ではドローンで撮影した精細な画像を使用したのが、拡大表示の機能の追加を望む意見もあった。しかし、画面が小さいスマートフォン用のアプリケーションに新たな機能を追加することは、視認性の低下や操作の煩雑さにつながる可能性もある。この他にも、受講者によるデバイスの違い、施設のインターネットの状況、VR 酔いといった、改善が困難な問題も指摘された。全天球画像とスマートフォンを組み合わせる授業実践には、限

界もあることを考慮しつつ、教材の操作性に若干の問題点があっても十分な地理的な理解を促進できる指導法を確立することも重要である。

8項 まとめと展望

本研究では、高等学校や大学の教員養成課程で行われる地形教育の充実を目的に、ドローンで撮影した典型地形の全天球画像を教材として整備し、複数の授業実践とアンケート調査を通じてその有用性を評価した。

本教材は、とくに学習意欲の向上に対して効果が高いことが判明した。この点については、教育関係者からも高い評価が得られ、教材の幅広い利活用が期待できる。一方で、地形の科学的な理解に対する本教材の有用性については、使用者の事前の知識や技術の量など関係する課題があることが示された。これは、授業の適切な設計や他の教材との併用により、地形の理解度を高める工夫が必要なことを意味している。

日本の高等学校では 2022 年度から新しい学習指導要領が適用され、新科目の「地理総合」では地理的題材を活用して、自ら思考、判断、表現を行う学習が求められている（文部科学省 2018a）。地理総合では特に日本の自然環境や防災の単元の充実が求められており、土砂災害や水害から自らの身を守るためにも、学習者をひきつける地形教育の教材の充実が期待される。一方で、デジタル教材を扱うためには技能の向上や新たな授業の設計が必要となり、教員の負担の増加も危惧される。しかし、事例 H（高校生対象）のように、異なる立場の教員や大学院生が参画して連携する授業の実践によって、この問題を軽減できる可能性があると考えられる。

3節 三次元地理情報を用いた VR 教材の構築

1項 はじめに

地理学の研究成果を学校教育や生涯教育に援用することは、学問を通じた人材育成や地域貢献として重要である。一方で、研究者が成果報告などのために利用する二次元の地形図などは、地理学のリテラシーを持たない者にとって解釈が容易でない場合がある（ト部 2010）。そのため、地理教育や地理学のアウトリーチでは、対象者に研究成果をわかりやすく提示する手法が検討されてきた。その一つとして、地形模型やデジタルメディアなどを利用し、上空からの地形の俯瞰や野外調査のような活動を対象者に近似体験させる手法がある。例えば、尾方（2013）は、中学生向けの地球科学分野の授業実践において、現地の景観を撮影した写真などを利用し、巡検の近似体験を試みた。芝原ほか（2015）は、三次元地理情報から精巧な地形模型を作成し、プロジェクションマッピングによって地形や地質の分布を直感的に伝達する手法を考案した。早川ほか（2018）は、小型無人航空機で取得した高精細な三次元地理情報を用いて、古景観の地理的想像の喚起に役立つデジタルコンテンツを含む展示を実践した。Hsu et al.（2018）や山内ほか（2020）は、三次元表示できるシームレスなデジタル地球儀を授業に用いて、対象者の地形の理解の向上を試みた。

近年は、様々な分野で VR を教育に応用する事例も増えつつある（山元 2019）。VR は、計算機などで構築した三次元世界を、現実感をもって近似体験させる技術である（廣瀬 1994；池井 2019）。一般的には、コンピュータなどのディスプレイや専用の HMD に仮想空間を投影して視覚的な没入感を演出し、一人称視点でコンテンツを体験するものと認知されている。最近では個人が所有できる安価な HMD も増えつつあり、スマートフォンをディスプレイとして利用することもある。2016 年には VR の市場が大幅に成長し、特にゲームの領域での発展が注目されている（Velev and Zlateva 2017）。さらに、地理教育と親和性の高い VR の活用例として、世界の観光名所などでの散策を近似体験するコンテンツを構築した事例もある（例えば、安藤ほか 2003；池井 2019）。

VR と HMD が提供する、現場にいるような没入感は、等身大で体感しやすい微地形や、建造物を取り巻く環境のような小規模な地理空間に関する教育に利用できる可能性がある。しかし地理教育において、現実空間を精巧に再現した仮想空間で、等身大スケールの体験者が一人称視点で自由に地理的事象を観察したり、その場を散策したりできる教材を用いた実践事例は、まだほとんどない。

そこで本研究では、横浜市の登録文化財の「田谷の洞窟」を対象に、景観の観察や拝観ルートの散策を等身大スケールで近似体験する VR のアプリケーション（以下、VR アプリ

と記す) を構築した。さらに、本 VR アプリの有用性や、地理的事象に対する関心や理解への効果を検証するために、市民向けのイベント（事例 I（一般市民対象））において開発したアプリの体験ブースを設置し、利用者にアンケート調査を実施した。本節では、その結果を報告する。

2項 「田谷の洞窟」の概要と VR アプリ用データの取得

「田谷の洞窟」は、横浜市栄区の定泉寺の境内に位置する真言密教の修業の場であり（図 4-11），正式名称を田谷山瑜伽洞という。洞窟は全長約 570mの人工の横穴洞窟であり，鎌倉時代にはすでに存在したと考えられているが，築造年代は不明である（吉田 1977）。内部は三階構造になっており，11 箇所のドーム状の空間がある（図 4-12）。洞内には仏像が点在し，壁面には約 250 点の仏教レリーフが存在する。地下水が湧き出る箇所もあり，音無川と呼ばれている地下流路もある。他方，洞内の一部では，劣化や風化によるレリーフを含む壁面の破損や崩落が確認されている。そのため，地域の住民が組織した「田谷の洞窟保存実行委員会」⁴³⁾が複数の大学と連携して，洞窟内外の環境のモニタリングや，市民への教育およびアウトリーチ活動を行っている（Tamura et al. 2020；田村ほか 2020）。



図 4-11 「田谷の洞窟」の位置

注：背景地図は，地理院地図 Vector を利用し作成。

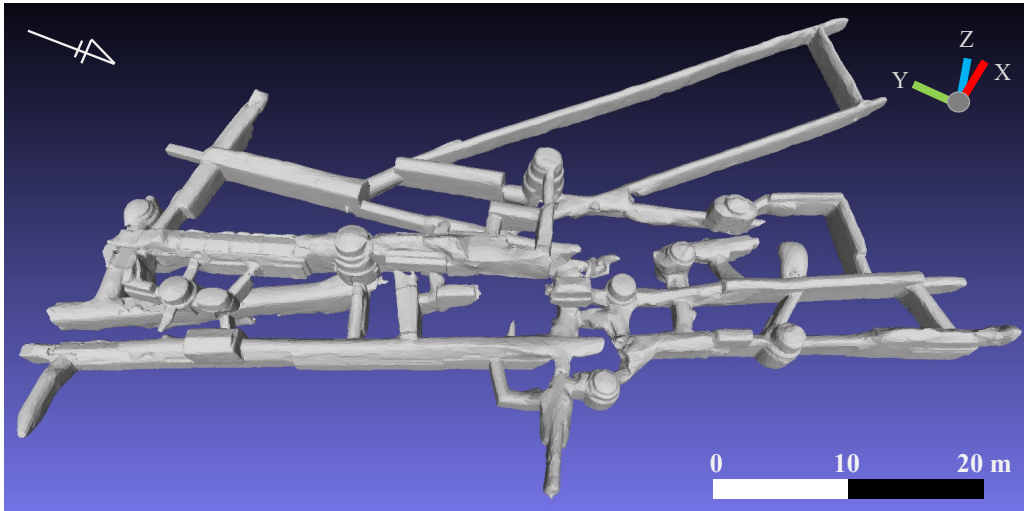


図 4-12 「田谷の洞窟」の全体構造

注：洞窟の壁面をあらわした 3D モデル。

本研究では，同委員会の活動の一環として Hayakawa et al. (2020) が地上レーザー測量で取得した洞窟全体の三次元点群データを，VR アプリの構築に利用した．また，通常のカメラや全天球パノラマ映像用のカメラを用いて洞窟内の仏像やレリーフを現地で撮影し VR アプリに実装した (図 4-13) ．さらに，洞窟の入口付近の定泉寺の境内の 1 地点と，洞窟内の 2 地点の環境音を 3 分間ずつ記録した．このうち 1 地点では，洞窟の大部分で共通すると思われる音を取得し，もう 1 地点では，地下水が湧き出ている場所 (お水大師が位置するドーム状の空間) の音を取得した．



図 4-13 「田谷の洞窟」内外の全天球画像

注：左図は洞窟の入口付近，右図はお水大師が位置するドーム状の空間。

3項 VRアプリの構築

本研究で開発するVRアプリは、Meta社（旧Facebook社）のMeta Quest 2（旧Oculus Quest 2）で利用するものとした（図4-14）。アプリの利用者の年齢は、Meta Quest 2の対象年齢と同じく13歳以上を想定した。Meta Quest 2は、HMDと左右それぞれの手で操作するコントローラーで構成され、コントローラーにはスティックと複数のボタンがある。本VRアプリでは、HMDを装着した体験者が左手のコントローラーのスティックを操作することで、前後左右に移動できる。HMDの映像は、実際の首の垂直方向と水平方向の傾きと連動するが、右手のコントローラーでも水平方向の首の傾きを調節できる。Meta Quest 2の機能を用いて設定するプレイエリア内（例えば1 m×1 mの範囲）では、体験者の実際の移動も反映される。



図 4-14 Meta Quest 2 の利用例

本VRアプリはMeta Quest 2単体でも利用できるが、インストラクターが補助できるように、有線ケーブルを用いてHMDの映像をPCのディスプレイにも表示しながら利用することを想定した。また、HMDの装着を希望しない者のために、ディスプレイの映像とコントローラーのみで操作を体験する使用法も用意した。この場合は、HMDをインストラクターが着用し、映像の視界や閲覧の方向を調整しながら体験者とともに機器を使用する。

本 VR アプリで「田谷の洞窟」の空間を再現するために、Hayakawa et al. (2020) の三次元点群データを複数のソフトウェアを用いて加工した。第一段階では、点群の処理用ソフトウェアの CloudCompare でデータ量を削減し、点群を三角形の面で構成する 3D モデルに変換した。第二段階では、エラー形状の除去とデータの軽量化のために、Meshmixer と POLYGONAlmeister を用いて、モデルを編集した。第三段階では、ゲームなどの開発用ソフトウェアの Unity⁴⁾を用いて、VR アプリ内の移動などの諸機能を実装した(図 4-15, 4-16)。洞窟の 3D モデルは、実際の壁面や天井の色彩とレリーフの細かな凹凸を再現できていないため、Unity で疑似テクスチャを割り当てた。これに加えて、より現実性を高める工夫も施した。具体的には、洞窟の入口がある定泉寺の境内とお水大師がある空間の二箇所、疑似テクスチャの空間と、全天球画像を配置した空間を切り替えて表示できるようにした。また、現実の洞窟にはない物として、仏像やレリーフの写真をまとめたパネルの画像、洞窟の小型模型、筆者らのアウトリーチ活動をまとめたポスターの画像を配置し、体験者が洞窟や保存活動の知識を得られるよう工夫した。上記のように視覚で理解するコンテンツとは別に、現地で録音した環境音も実装した。Unity 上で、それぞれの音の減衰範囲を指定し、体験者がその地点に近づくと、音が徐々に大きくなるようにした。

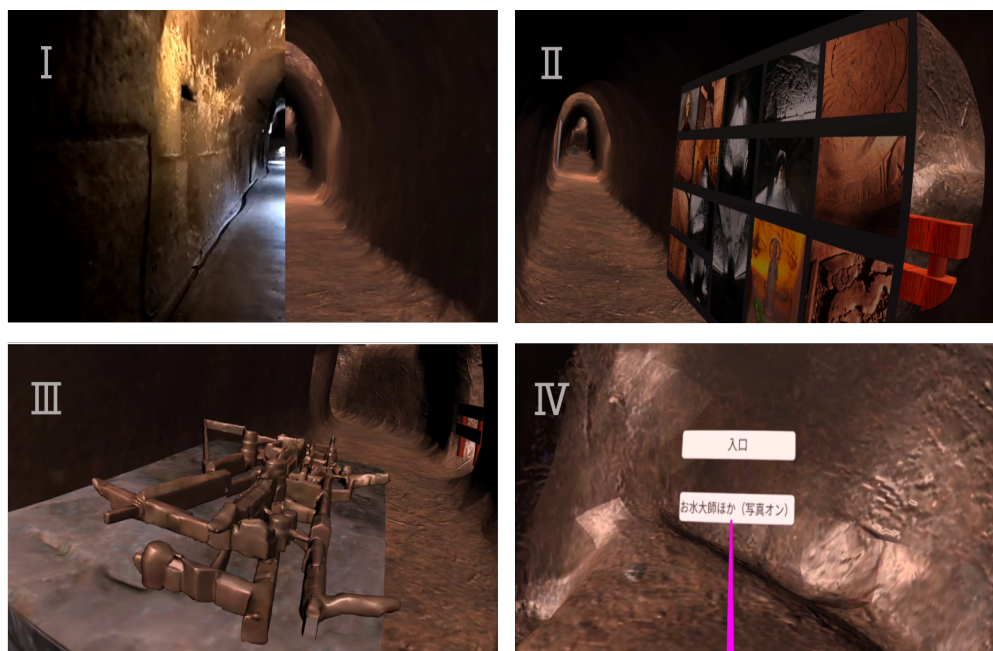


図 4-15 VR アプリの概観

注：I 実際の景観（左図）と疑似テクスチャ（右図），II 洞窟内の仏像やレリーフのまとめパネル，III 洞窟の小型模型，IV 景観の切り替えボタン。

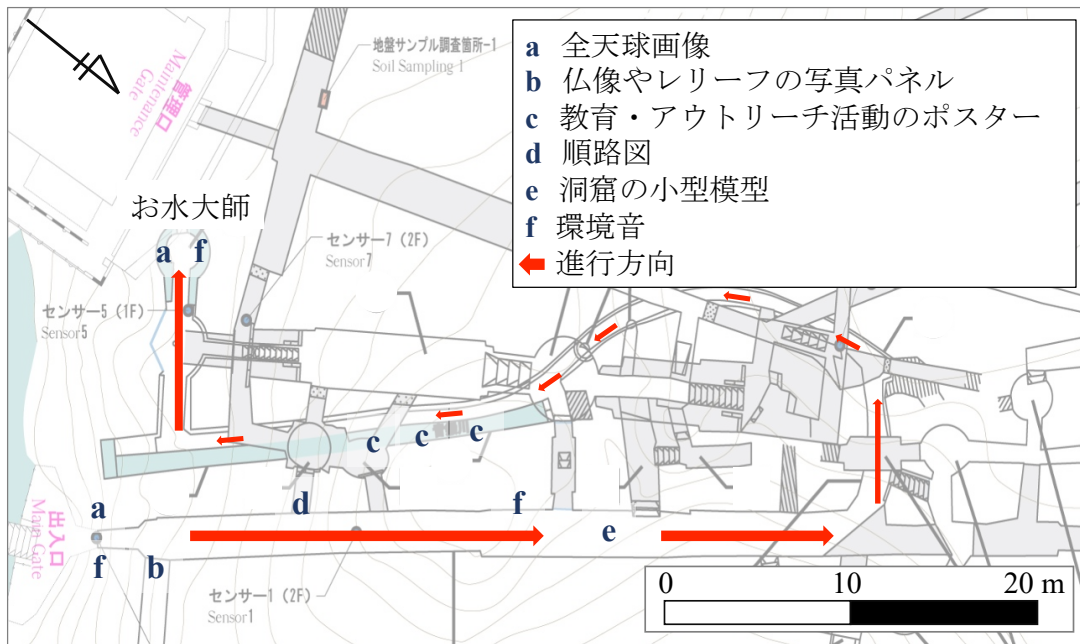


図 4-16 VR アプリの体験順路と展示物

注：背景地図は、『田谷山瑜伽洞「田谷の洞窟」現状平面図（田谷の洞窟保存実行委員会）』に加筆して作成。

本研究では、VR に慣れていない人を体験者として想定した。この場合、入り組んでいる空間を把握しにくい可能性があり、VR 酔いと呼ばれる体調不良を起こす可能性もある。そのため、VR アプリでは実際の複雑な拝観順路とは異なる単純なルートを歩行するようにし、その順路図も閲覧できるようにした。

4 項 VR アプリの体験会とアンケート調査の実施

2021年11月13日の10:30~15:00に、神奈川県横浜市栄区の本郷台駅前の広場で開催された市民イベントの「egao フェスティバル vol.9」⁴⁵⁾において、「田谷の洞窟 VR 体験」と題した展示を屋外のテントで実施した（図 4-17）。このイベントには、子どもから老人まで幅広い年代の市民が来場した。本展示の来訪者は、最初に「田谷の洞窟」の概要の解説を受け、次にVR アプリを体験した。これらの所要時間は全体で約10分であった。

「田谷の洞窟」の概要解説では、来場者が展示会場と洞窟との位置関係や、洞窟やその周囲の環境を理解できるように、地図と地形模型を用いた。地図は、国土地理院の地理院タイルに含まれる淡色地図、空中写真、色別標高図を用いて作成し、PC のディスプレイで表示した。地形模型は、田谷山周辺の模型、洞窟全体の模型、洞窟を水平方向に分割した模型の3つを展示した。現地で撮影した全天球パノラマ動画をディスプレイに投影し、

来場者への説明に使用した。来場者は「田谷の洞窟」の解説を受けた後、隣に立つインストラクターの指示や解説を聞きながら VR アプリを体験した（図 4-18）。



図 4-17 展示の様子



図 4-18 体験の様子

体験者は VR アプリの利用後にアンケートに回答した（表 4-8）。設問 1 は年代，設問 2 は性別の記述であり，後者は未回答も可とした。設問 3～7 は体験者の過去の経験，知識，

および今回の体験の印象に関する質問であり、該当する項目を 1 つまたは複数選択するものとした。設問 8 は自由記述として VR 体験後の感想を書くものとした。

表 4-8 アンケートの構成

| 問 | 内容 | 選択肢 | 形式 |
|---|----------|--|----------|
| 1 | 年代 | — | 記述 |
| 2 | 性別 | — | 記述 |
| 3 | VR の経験 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 今回が初めて ・ 過去に 1 回以上 ・ 日常的に使用 | 単数 選択 |
| 4 | 体験の形式 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 頭部に機器を装着 ・ 頭部に機器を未装着 | 単数 選択 |
| 5 | 洞窟の事前知識 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 今回が初めて知った ・ 名称は知っていた ・ 過去に訪れた | 単数 選択 |
| 6 | 体験後の感想 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 今日の体験は満足できた ・ 洞窟に行った気分になった ・ 洞窟に対する興味がわいた ・ 洞窟やその周辺の自然環境の知識を深めたいと思った ・ 洞窟やその周辺の歴史、遺跡、人のくらしの知識を深めたいと思った ・ 保存活動の重要性を感じた ・ 洞窟に実際に行きたい・再訪したい ・ 他の地域も VR で見たい ・ テレビゲームが好きなので、VR 体験も似た感覚で楽しめた ・ VR の閲覧や移動の操作に課題を感じた | 複数 選択 |
| 7 | 好印象だった事項 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 全天球画像 ・ 環境音 ・ 仏像や彫刻の写真 ・ 洞窟の小型模型 ・ 口頭のガイド | 複数 選択 |
| 8 | 自由記述 | — | 記述 |

アンケートを体験者に記載してもらう際は、筆者らへの配慮が回答に影響しないように工夫した。具体的には、アンケートを展示の順路の最後の場所で記入してもらえるようにし、他者に回答を見られにくいようにした。さらに、同じ場所に用紙の回収箱も設置し、アンケートを記入し終えた体験者が、筆者らと会話せずその場を離れられるようにした。

5項 アンケートの結果

本展示の来場者のうち 13 人がアンケートに回答した。回答者の年代（設問 1）は 10 代～80 代以上までと幅広く、50 代（4 人）と 40 代（3 人）の回答が若干多く、他の年代は 1 人ずつとなった（表 4-9）。性別（設問 2）は男性が 7 人、女性が 6 人であった。VR の経験（設問 3）は「今回はじめて」が 9 人、「過去に 1 回以上」が 3 人、「日常的に使用」が 1 人であり、大半が VR 体験の初心者であった。体験の形式（設問 4）は、12 名が HMD を装着し、80 代以上の 1 名は装着しなかった。「田谷の洞窟」についての事前知識（設問 5）は、1 人は持たなかったが、6 人は名称を知っており、残りの 6 人は実際に現地を訪れたことがあった。

表 4-9 体験者の年齢（N=13）

| 年代 | 回答者 |
|------|-----|
| 10 代 | 1 人 |
| 20 代 | 1 人 |
| 30 代 | 1 人 |
| 40 代 | 3 人 |
| 50 代 | 4 人 |
| 60 代 | 1 人 |
| 70 代 | 1 人 |
| 80 代 | 1 人 |

体験後の感想（設問 6）で最多の回答を得たのは、「今日の体験は満足できた」の項目であり、すべての体験者が該当するとした（図 4-19）。他の回答者が多い項目は、「洞窟に対する興味がわいた」（11 人）、「洞窟に行った気分になれた」（10 人）、「洞窟やその周辺の歴史、遺跡、人のくらしなどの知識を深めたいと思った」（10 人）、「保存活動の重要性を感じた」（10 人）、「洞窟に実際に行きたい・再訪したい」（10 人）、「他の地域も VR で見たい」（9 人）、「洞窟やその周辺の自然環境の知識を深めたいと思った」（8 人）であり、全体の半数以上が該当すると答えた。該当するが半数以下の回答は、「テレビゲームが好きなので、VR 体験も似た感覚で楽しめた」（3 人）と、「VR の閲覧や移動の操作に課題を感じた」（2 人）であった。

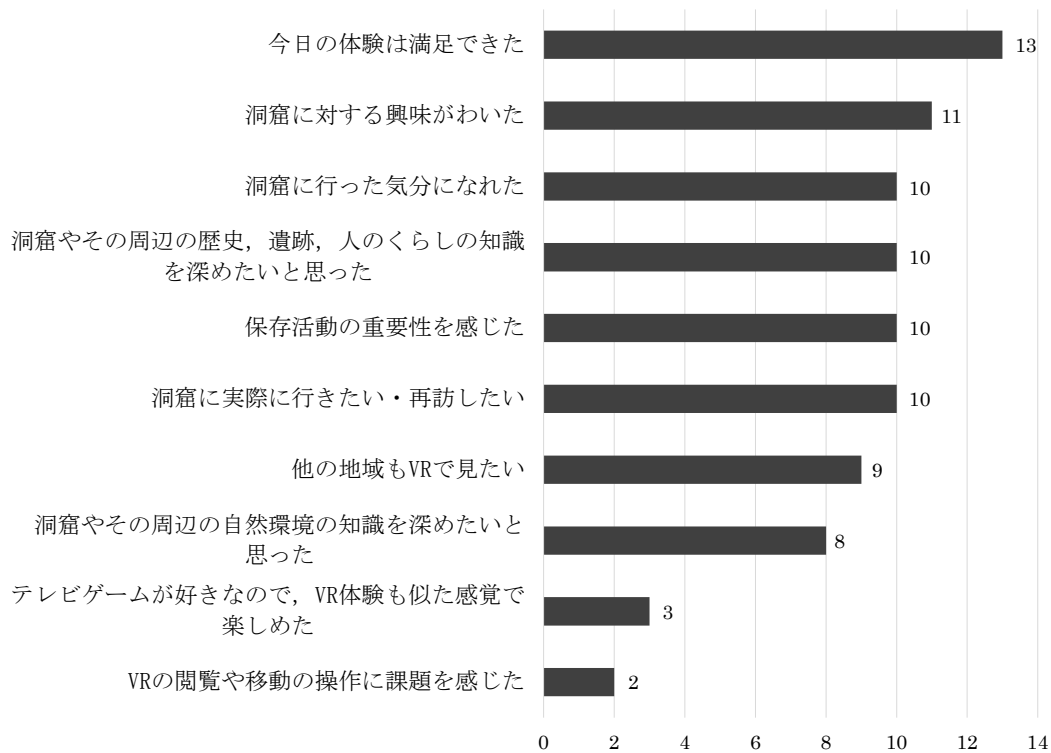


図 4-19 体験後の感想

好印象だった事項（設問 7）で選択が最多の項目は「口頭のガイド」（8人）であり、全体の半数程度が該当するとした（図 4-20）。その他の項目は、「全天球画像」（7人）、「洞窟の小型模型」（7人）、「環境音」（6人）、「仏像や彫刻の写真」（5人）であった。

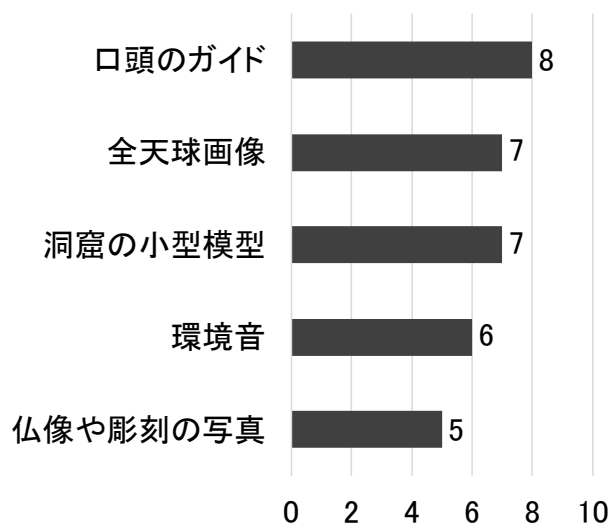


図 4-20 体験時に好印象だった事項の回答

表 4-10 はアンケートの自由記述の一覧であり、9 人から回答を得た。最多の内容は没入感やリアリティに関するコメントであり、複数の体験者がアプリ内の現実性の高い空間や体験を高く評価した。一方で、解説が不十分という指摘もあった。

表 4-10 自由記述の結果

| 記述例 |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ・ とても完成度が高く、満足できました。 ・ リアルでした。 ・ その場所を歩いているようなリアルな体験ができました。現地にも行ってみたいになりました。色々な場所もやってみたい。 ・ リアルな体験に感動しました。解説も聞きたかったです。 ・ リアルよりも全体を見渡せて楽しかった。 ・ 臨場感あり、楽しめました。 ・ 実際に行った気分を味わいました。本物の場所にも行こうと思います。 ・ 保存活動の重要性は少し難しいですが、いつまでも残したい、残ったら素晴らしいと感じました。 ・ 高齢者など、身体などの問題で実際に現場に行かれない人のために、身近に体験できる機会を増やしていただきたいです。 |

6 項 体験者の満足感に対する効果

本実践では、簡易的に操作を体感できる HMD を使用し、VR アプリも容易に利用できる設計で構築した。その結果、本実践の体験者は年代が幅広いものの、全員が仮想空間での景観の観察や移動に満足感を得ることができたと推察される。GIS のような、PC を通じて地理情報を閲覧する既存のツールでは、操作が複雑になりやすく、PC の基本知識も要求される。しかし、本実践で使用した機器や VR アプリは、PC の知識やテレビゲームへの嗜好などを必要とせず、ほぼ全員が簡単に操作できた。

VR アプリで用いられる三次元表示は、GIS でもディスプレイ上での投影の形としては可能であるが、視認性や操作性に限界があるため、地形などの理解が困難になる場合もある（山内ほか 2020）。本実践のように HMD と VR アプリを利用する場合と、PC もしくはタブレットを GIS として利用する場合では、空間の実感や操作の体感が異なる。今回の事例では、HMD の操作が日常の視覚や動作の延長で直感的に可能だったため、幅広い年代の体験者に満足感をもたらしたと考えられる。

早川ほか（2018）による三次元表示の展示に際して行われたアンケートでは、複数の回答者が、展示に活用したデジタル機器を実際に操作したいと望んだ。尾方（2013）や芝原ほか（2015）は、地形模型の触察を、体験者の地理的事象の理解に活用した。このような事例からも、教材を操作したり触れたりする主体的な経験の機会が、体験者の満足感につ

なると推察できる。本実践では、仮想空間を歩いて地物を観察する過程で体験者の主体性が重視されたため、満足感の獲得に成功したと考えられる。

有馬ほか（2007）は、GIS を用いた都市計画関連のワークショップの効果を高める要因として、日常とは異なる新鮮な体験をあげた。本実践の体験者の大半は「田谷の洞窟」に対する知識を持っていたが、VR の経験はなかった。このため、VR アプリが仮想空間を動き回るといふ単純なものであっても、その行為を自ら機材を操作して行うことが、体験者に新鮮な感覚を与えたと推察される。このことも体験者の満足感を高めた要因と考えられる。

7 項 地理的事象の関心や理解への効果

本実践では約半数の体験者が、洞窟やその周辺地域の歴史、自然環境などへの関心や、洞窟の保存活動の重要性に対する意識を高めることができた。このような地理的事象に対する関心の喚起には、視覚的に理解しやすい全天球画像、仏像やレリーフの写真、洞窟の小型模型、聴覚から景観をイメージできる環境音の導入が有効であったと考えられる。

全天球パノラマ動画は対象者に現実に近い体験を提供でき（Geng et al. 2019）、伊藤ほか（2020）は教育において学習意欲を向上させるために、全天球パノラマ動画が有効と指摘した。本研究では全天球パノラマの静止画を用いたが、同様の静止画を用いた瀬戸崎ほか（2015）と同じく、実際にその場にいる感覚を演出できたと考えられる。また、仏像やレリーフの写真も利用することで、体験者が実際の景観の雰囲気を感じ取れたと推察される。洞窟の小型模型は、体験者にアプリ内の現在地を伝える際に利用され、これによって見ている景観と洞窟の全体構造を関連付けることができたと考えられる。環境音は動的な景観の理解に有効であり（土田 2007）、本実践でも視覚と聴覚の相互作用による現実感の向上に有効であったと推察される。具体的には、鳥の鳴き声と植物の生い茂る景観の組み合わせと、水の湧き出る音と濡れた壁面の組み合わせを通じて、体験者が臨場感を得たと考えられる。

本実践では体験者の関心を高めることには成功したが、説明が不十分という意見や保存活動の重要性が理解しにくかったという意見もあった。VR を通じた学びを確立するためには、安藤ほか（2003）のようにクイズを取り入れるなど、体験と学びを両立させる工夫が必要である。今回開発した VR アプリについても、特徴的なレリーフや崩壊箇所を観察するような際にクイズを表示し、それに回答するような機能を実装するといった改良が必要である。他方、半数ほどの体験者がインストラクターの説明に好印象をもった。これは、操作方法や体験者に考えてほしい内容に関する口頭の解説を導入することが、地理的事象

の理解の向上や、その後の学びの誘発に有用な可能性を示す。また、多くの体験者は、VR アプリ内の洞窟の観察を楽しむのみではなく、実際の洞窟も訪れたいと考えた。このことは、VR による仮想空間の体験が現実空間の意識につながったことを意味し、VR の地理教育への有用性を示唆している。一方、伊藤ほか（2020）は、現時点では VR の教育的な効果の検証は不十分と指摘した。地理教育における知識の獲得や定着などに VR が有効かを検討するために、さらなる実践の実施が望まれる。

8項 まとめ

本研究では横浜市の「田谷の洞窟」を再現した VR アプリを開発し、市民を対象としたイベントで利用した。この際に体験者にアンケート調査を行い、体験の満足度や、地理的事象に対する関心や理解への影響を評価した。アンケートの回答者数は13人と少数であったが、幅広い年代からの回答を得た。その結果、開発した VR アプリが全体験者に満足感を与えたことが判明した。この要因として、HMD の操作が直感的で容易だったこと、自由な観察や散策のような主体的な経験ができたこと、VR の閲覧やコントローラーの操作が新鮮であったことが考えられる。さらに体験者の約半数は、単に仮想空間を歩きまわるのみではなく、実際の地理的事象に対する関心や理解を高めたことも確認できた。これは地理教育における VR の活用の可能性を示す。しかし、アンケートの回答時に体験者が筆者らに気遣いをして実感よりも高い評価をした可能性も否定できない。今後、実践を重ね体験者数を増やしたり、学習効果をより高める工夫を行ったりすることが重要である。

地理学や地理教育では、地域を客観視する一種の仮想空間として地図が伝統的に使用されてきた。近年の地図のデジタル化は、VR での地図や地理情報の活用を容易にするものであり、これが地理教育における教具を多様化させると考えられる。仮想空間においては、自身の体を人から鳥へ変えて景観を俯瞰したりできるようなメリットもある。このような新たな方向性と、これまで培われてきた伝統的な地理教育の手法を関連させ、両者を相互補完的に活用していくことが、今後の教育を有効かつ魅力的にしていくために重要と考える。

4 節 多人数 VR フィールドワークに対応したメタバース教材の構築と効果

1 項 はじめに

地理教育では、教室での学びを野外での学びと関連させることを重要と位置づけ、野外での調査方法の指導や、巡検による現地での解説などのフィールドワークが行われてきた（山内ほか 1986）。しかし、移動のコストや安全性などの問題により、十分なフィールドワークができない場合もあることから、Arrowsmith et al (2005) や Krakowka (2012) のように、三次元表示の GIS を用いた擬似的な野外体験の手法も考案されてきた。フィールドワークを教室で近似体験する他の試みには、第 3 節のような全天球映像の活用も含まれる。これらの手法は低コストで実施できるが、実際の野外での自由な散策や、地理的事象の詳細な観察は難しいという問題もある。また、山内ほか (2022) のようなスタンドアローン型の VR アプリケーションは散策行動の近似体験には役立つが、野外での活動時に他者との交流によって得られる知見などは獲得できない。

近年、SF 作家のニール・スティーヴンソンが 1992 年に小説で取り上げた「メタバース」(Metaverse) の概念が発展し、それと関連する VR の社会実装が進みつつある（星野 2009）。メタバースでは、自身をアバター（化身）として再現することにより、現実と同等あるいは現実の制約を超える交流や体験などを楽しむことを可能とする。最近のメタバースでは、体験者が自身の実際の動きをトラッキングする機能を使ったり、マイクが搭載されている HMD を装着したりすることで、実際の身振り手振りをアバターに投影しながら複数の他者と交流できる。さらに VR 空間では、瞬間移動や空中の飛行など、現実の制約を超えた体験も可能である。

このようなメタバースに基づく仮想空間は、企業がサービスを提供したり、商品の PR をしたりする場としても注目されており（平井・杉山 2021）、学術イベントへの応用も始まっている（亀岡ほか 2021；飯塚ほか 2021）。地理学などの分野では、現実の三次元地理情報を VR 空間に実装することで、野外調査の体験や巡検などへの展開も期待できる（山内ほか 2021）。

そこで本研究では、メタバース環境で、バーチャルなフィールドワークができる教材を構築し、その有用性を検討するための授業実践を行った。構築した教材の対象地域は、千葉県の手賀池である屏風ヶ浦の一部とした。学習効果の検討は、VR 空間で取得可能なユーザーの行動ログと、アンケート調査の結果に基づいて行った。

2項 屏風ヶ浦の概観と各種データの取得

屏風ヶ浦は、千葉県銚子市から旭市の沿岸に位置する、全長約 10 km の海食崖である（図 4-21）。景観がドーバー海峡のイギリスの側の崖に似ていることから、「東洋のドーバー」とよばれている。屏風ヶ浦では 1960 年代～2000 年代にかけて、海岸侵食による崖の後退を防ぐ目的で海側に消波堤が建造された。消波堤の建造以前は、屏風ヶ浦全体で年間約 1 m ほど崖が内陸側に後退していたが、消波堤が建造された場所の侵食速度は 0.05～0.3 m/年となった（堀川・砂村 1972）。屏風ヶ浦の消波堤は、海岸線に沿うように設置されているが、消波堤がないエリアも一部にある。2019 年 8 月～2020 年 11 月にかけて、ドローンを用いて地形測量を実施した高瀬（2021）は、消波堤のないエリアでは年あたり 4.2～4.7 m の海岸侵食があったことを報告した。一方、消波堤のあるエリアでは、崖の上部からの砂礫の崩落によって崖の基部に形成された崖錐が発達しており、消波堤の有無は地形の違いとも対応している。



図 4-21 対象地域の概観

注：地形の表現には、基盤地図情報（数値標高モデル）を使用。

VR 空間に屏風ヶ浦の三次元地理情報を再現するために、2022 年 7 月にドローンを用いて空撮を実施した。屏風ヶ浦は地形の比高差が大きく、安全性から立ち入りが制限されている場所が多い。そのため空撮時には、GCPs（Ground Control Points）を設置しなくても正確な位置情報を写真に付与できるドローンである、DJI 社の Phantom 4 RTK を使用

した。また、PC を用いた地形の 3D モデルの構築には、Agisoft 社のソフトウェアである Metashape Professional⁴⁶⁾ を使用し、波打ち際などのノイズの除去には、POLYGONALmeister を用いた。

現地では、VR 空間を充実させるために、地形以外の情報も取得した。具体的には、DJI 社のドローンである Mavic 2 Pro を用いて、対象地域の景観を空から動画で撮影した。この際には、消波堤がないエリアと段丘面が映り込むような全天球画像も取得した。さらに、GoPro 社のカメラである GoPro Max を用いて、ドローンを飛行させた場所の周辺の地上でも全天球画像を撮影した。同地点では、Apple 社のスマートフォンである iPhone の Lidar 機能と、Abound Labs 社の Metascan - 3D Scanner⁴⁷⁾ というスマートフォンのアプリケーションを用いて、露出した地層の表面の 3D モデルを取得した。これらの視覚情報の他に、現地では Zoom 社の H3-VR を用いて、波の音を主体とする環境音も取得した。

3 項 VR 空間のコンセプト

地理学の巡検では、野外での学習のみでなく現地の博物館などを訪れることもある。この点を考慮し、本研究でも三次元地理情報で屏風ヶ浦の一部を再現した VR 空間（以下、屋外の空間と記す）と、屏風ヶ浦の地形などの基本情報を学ぶための博物館的な VR 空間（以下、屋内の空間と記す）を作成した。

両 VR 空間の構築には、Unity を用いた。VR 空間のプラットフォームには、無償で利用できる VR 版の SNS である VRChat⁴⁸⁾ を使用した。VRChat のユーザーは、デジタル空間にある 25,000 以上の VR 空間に自由にログインでき、アバターを通じて他者とコミュニケーションがとれる。アバターの操作は、HMD のみでなく、デスクトップ PC でも可能である。他者との交流はマイクで行うことができ、HMD を装着すれば、身振り手振りを交えた会話も可能である。会話の声は、アバターの距離によって減衰するように設定されているため、現実に近い感覚でコミュニケーションが図れる。

VRChat には、ユーザーの信頼度によるランクがあり、始めたばかりの人は最も低い信頼度を持つが、次のランクになるとオリジナルの VR 空間（VRChat ではこれをワールドとよぶ）のアップロードができる。このランクでは、ワールドの一般公開はできないが YouTube の限定公開のように URL を配布することで、他者を自身のコンテンツに招待できる。本節ではこの制度を用いて、ワールドを利用者に提供した。また、VRChat のワールドは Unity からアップロードでき、様々な効果（エフェクト）や機能を設定できる。各種のエフェクト、機能、およびワールドで利用できる建物などの 3D モデルは、インターネットを通じて有償または無償で公開されている。本節では、構築した教材の評価のため

に、「VRC 理系集会⁴⁹⁾」が開発した人流計測とアンケートの機能である Yet Another Interactive Behavior Analysis (YAIBA)⁵⁰⁾を利用した。VRC 理系集会は、VR による学術交流を推進している任意団体および、その団体が開催するイベントの呼称である。

今回構築したワールドは、利用者が屋内と野外の空間を行き来しながら、屏風ヶ浦の地形の知識を深められるように設計した。教材では、散策を屋内の空間から始め、次に野外の地形を観察する一周目と、その後に屋内の空間に一度戻り、再度野外での観察を行う二周目を体験できるようにした。本ワールドは、一周目の際に説明板のような解説用の展示物を表示しない仕様にした。二周目では、屏風ヶ浦の知識（海岸侵食の特徴や崖錐の発達など）を深められるように、解説のナレーションが再生できたり、ポスターが表示されたりする仕様とした。教育に利用する際は、利用者から質問があった場合には、二周目のみ口頭で対応するものとした。また、両周回ともに、散策の範囲や他者との会話などに関する制限は一切しなかった。

4 項 屋内と屋外の VR 空間の設計

屋外の空間を設計するために、第2項で説明した 3D モデルを Unity に配置した（図 4-22）。Unity では、1 単位が 1 メートルに対応するため、三次元地理情報は実寸大で表現できる。風景を現実に近いようにするため、海面には tsunamoo 氏が提供したエフェクトである

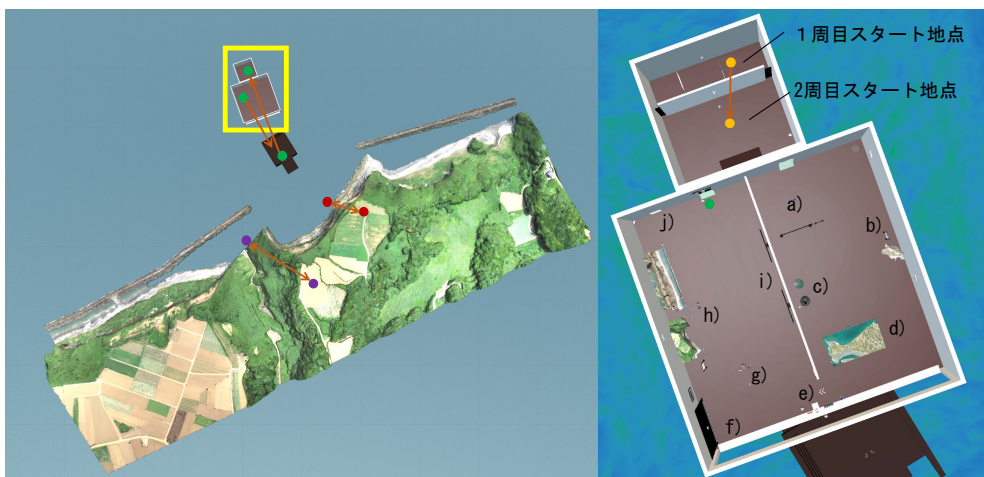


図 4-22 屋内と屋外の VR 空間の設計

注：塗りつぶされた円はレポート機能による移動先、矢印は移動方向、円の色は移動が可能な組み合わせを示す。a) は屏風ヶ浦の位置を示す地図、b) は現地取得した地層の 3D モデル、c) は地上と上空の全天球画像、d) は屏風ヶ浦全体の 3D モデル（基盤地図情報で作成）、e) はドローン操作の体験ギミック、f) は現地を空撮した動画、g) はドローンの 3D モデル、h) は 2 地点の地形モデル、i) は地形変化の解析結果を示すパネル、j) はアンケートを示す。

Simple Water FX - Quest Shader (ウォーターシェーダー)⁵¹⁾を適用し、滝には maib 氏が提供したエフェクトである cluster 用の滝 Shader セット⁵²⁾を適用した。この他に、現地を取得した波の音を、3 分ごとにループして再生されるように設定した。さらに、ユーザーが崖の基部と、崖の上の平坦面とを自由に行き来できるように、テレポートができるボタンを崖の付近に 4 ヶ所に設置した。

屋内の空間には、研究目的によるアバターの位置情報の提供の同意を得る部屋、全体の趣旨説明を行う部屋、ポスターや小スケールの模型がある部屋を構築し、この 3 つを順次移動するようにした。最初の部屋では、YAIBA の機能を用いて、位置情報の提供の可否を利用者が回答できるようにした。YAIBA では、上記に同意しない利用者の情報は出力されない仕様となっているが、その場合でも利用者はその先の部屋へ移動できる。次の部屋には、本ワールドの作成の目的と、体験方法を説明したパネルを設置した。最後の部屋には、a) 屏風ヶ浦の位置を示す地図、b) 現地で取得した地層の 3D モデル、c) 地上と上空の全天球画像、d) 屏風ヶ浦全体の 3D モデル、e) ドローン操作の体験ギミック、f) 現地を空撮した動画、g) ドローンの 3D モデル、h) 2 地点の地形モデル、i) 地形変化の解析結果を示すパネル、j) アンケートのオブジェクトを配置し、これらを順に巡るようにした。a) と d) は国土地理院の基盤地図情報を用いて作成した。b) , c) , f) , h) は、現地で取得した情報を加工して展示した。f) の再生には、Hoshino Labs.が提供している【VRC 向け】iwaSync3 メディアプレイヤー⁵³⁾を用いた。e) は、VRC 理系集会ののりたま氏 (のりたま直売所) から提供を受けた機能であり、ユーザーが屋内の空間から屋外の空間のドローンの飛行操作を体験できる。h) は、屋外の空間の地形と同じ場所と、それよりも東側の別の場所の二つを対象とし、一般的な人型のアバターと同程度の大きさに縮小したモデルを配置した。g) は地形測量に利用するドローンのモデルをフォトグラメトリーで 3D モデルにしたものである。i) は高瀬 (2021) による屏風ヶ浦の地形変化の分析結果を展示したものである。

j) は、YAIBA に含まれるアンケート機能であり、選択式の設問を組み込むことができる。アンケートは、教材や VR の体験を評価する設問 7 題と、学習効果を高めたコンテンツを 3 位まで順位づけする設問で構成した (表 4-11) 。問 1 は「本 VR 体験前の地形を含む自然環境の学習への好感度」であり、問 2 は「本 VR 体験後の地形を含む自然環境の学習への好感度」である。問 3 は「本ワールドでの屏風ヶ浦の学習の充実度」、問 4 は「一周目と二周目の屋外の空間の行動の変化」、問 5 は「ナレーションやテキストがあれば、一人でも地形の理解を深められるか」、問 6 は「ワールドの散策時にスタッフによる口頭

の解説は必要か」、問 7 は「本ワールドの視認性、操作感など利用に関する評価」である。問 4 は「はい・いいえ」の二段階の評価とし、それ以外は 5 段階の評価とした。後者は、1 に近いほど否定的な評価となり、5 に近いほど肯定的な評価となる。学習効果を高めたコンテンツを 3 位まで順位づけする設問の選択肢は、「ナレーション」、「ミニサイズの地形模型」、「説明パネル（図なし）」、「説明パネル（図あり）」、「現地の動画と写真」、「全天球画像」である。

表 4-11 アンケートの内容

| 設問 | 項目 | 評価方法 |
|-----|----------------------------------|-------|
| 1 | 本 VR 体験前の地形を含む自然環境の学習への好感度 | |
| 2 | 本 VR 体験後の地形を含む自然環境の学習への好感度 | 5 段階 |
| 3 | 本ワールドでの屏風ヶ浦の学習の充実度 | |
| 4 | 一周目と二周目の屋外の空間の行動の変化 | 2 段階 |
| 5 | ナレーションやテキストがあれば、一人でも地形の理解を深められるか | |
| 6 | ワールドの散策時にスタッフによる口頭の解説は必要か | 5 段階 |
| 7 | 本ワールドの視認性、操作感など利用に関する評価 | |
| その他 | 学習効果を高めたコンテンツを 3 つあげ、順位づけしてください | 3 つ選択 |

a) , b) , g) , h) には、文章のみか、文章と図で構成した解説文を設置した。a) , b) , g) には、ボタンを押すと解説文が読み上げられるナレーションを追加した。屋外の空間の地形が一望できる e) の周辺にもナレーションを設け、ユーザーが景観をみながら地形の説明を聞けるようにした。解説文やナレーションは、一周目では表示されず、二周目のみで出現するようにした。さらに、屋外の空間での二周目では、特徴的な地形の周辺に現地で空撮した写真を表示するようにした。

また、本ワールドの屋内と屋外の空間を行き来するためのボタンも両空間に追加した。この他に、全体説明の際のユーザーとのコミュニケーションのために、音声距離減衰せず全員にアナウンスできるマイク（いもふらい店が提供している無料うどんマイク（減衰無効ギミック付き）⁵⁴⁾を、両空間に配置した。

5 項 VRChat を用いた VR フィールドワークの実践

VR フィールドワークは、VRC 理系集会の第 25 回特別講演に付随したイベントとして、発表者の sai 氏と連携して実施した（事例 J（一般市民対象））。特別講演では、リモートセンシングの基礎やヒートアイランドの研究事例が紹介されたが、屏風ヶ浦の地形に関する説明は行わなかった。講演は、VRChat のワールドで実施され、参加人数によるサーバ

一の負荷の軽減のために、講師が参加者に向けて解説するメイン会場と、その映像を VR 空間から視聴できるサブ会場が用意された。

屏風ヶ浦に関するイベントを実施した際にも、2つの異なるサーバーに同一の VR 空間を複製し、講演と対応するメイン会場とサブ会場を作成した。メイン会場の進行は sai 氏が担当し、サブ会場の進行は筆者が担当した。参加者には、HMD を装着して VR モードで体験した人と、HMD を装着せずにデスクトップモードで体験した人がいたと思われるが、両者の人数は把握していない。

メイン会場は、2022年8月26日の23:54から入場を開始し、サブ会場は、同日の23:58から入場を開始した(図4-23, 24)。本ワールドに入場した参加者は、まず位置情報の提供の有無をアンケートから回答した。会場ごとにすべてのユーザーの参加を確認した後、全体に対して研究の趣旨説明と本 VR 空間の巡回方法に関する説明を行った。その後、参加者は屋内と屋外の空間を自由に散策した。散策の一周目から二周目に移る際には、屋外の空間で集合写真を撮影した(図4-25)。



図 4-23 屋内の空間の体験の様子

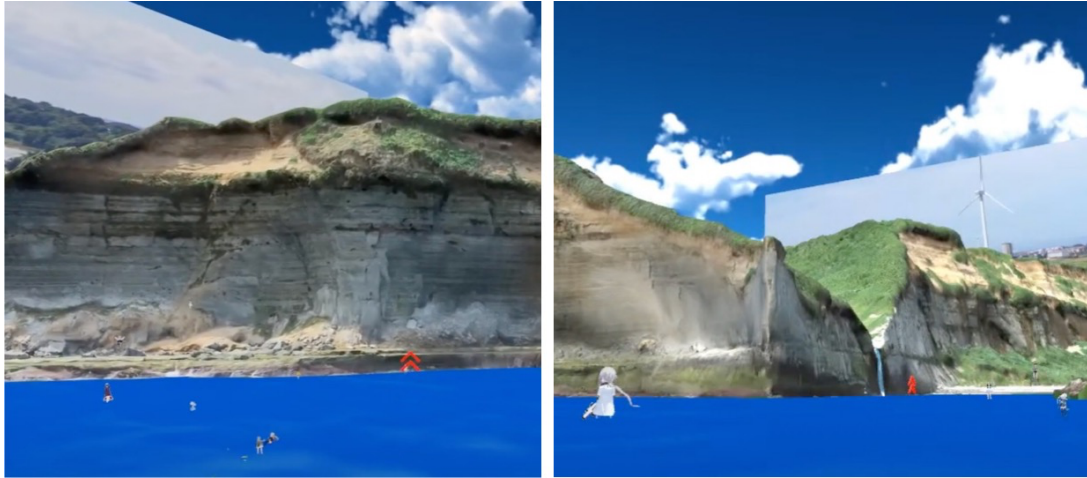


図 4-24 屋外の空間の体験の様子

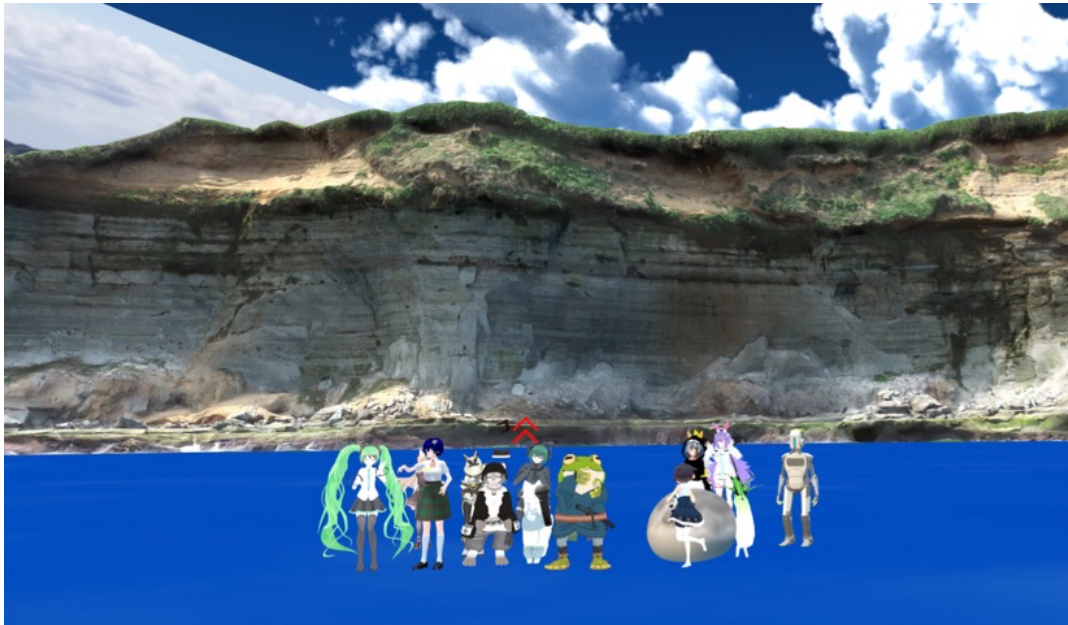


図 4-25 集合写真（サブ会場）

散策の二周目では参加者からの質問も受け付けた。また、二周目が完了した時点で、全員に向けて口頭で、屋外の空間の地形について説明を行った。メイン会場では屋外の建物でこの解説を行い、サブ会場では地形を巡回しながら説明を行った。最後に、屋内の会場へ戻りアンケートへの回答を依頼した。しかし、このアナウンスの前に、アンケートへの回答を終えていた参加者もいた。

6項 参加者の行動の記録とアンケートの結果

メイン会場のログイン人数は 57 人であった。図 4-26 は、各参加者の 2 秒ごとの行動を示す点データを線で繋ぎ、そのデータを用いて、ある時点における参加者の数を 20 m メッシュごとに計測したものである。一周目は、入場開始から 00:20 までに終了した。その後、参加者は二周目を体験し、00:40 以降に流れ解散となった。一周目と二周目の野外の空間の行動を比較すると、参加者の移動範囲は一周目の方が広い。二周目では行動範囲が小さくなり、東側の消波堤へ移動した参加者が多くなった。

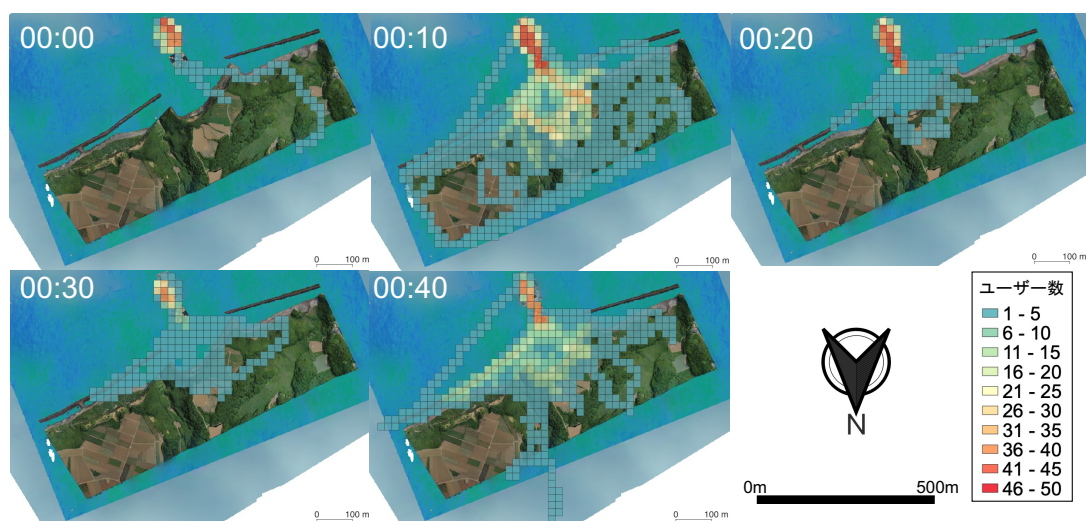


図 4-26 メイン会場の参加者の行動

注：表示時間は当日の時刻を示す。

サブ会場のログイン人数は 16 人であった。メイン会場と同じ手法で作成した図 4-27 は、入場開始から 00:20 までに一周目が完了したことを示す。また、二周目を終えたのは 00:38 頃であった。メイン会場と同様に、参加者は一周目では広い範囲に移動した。二周目では、東側の消波堤の方へ移動した参加者が多かった。その後、サブ会場の参加者は、10 分ほどかけてスタッフとともに移動しながら、地形の解説を聞いた。

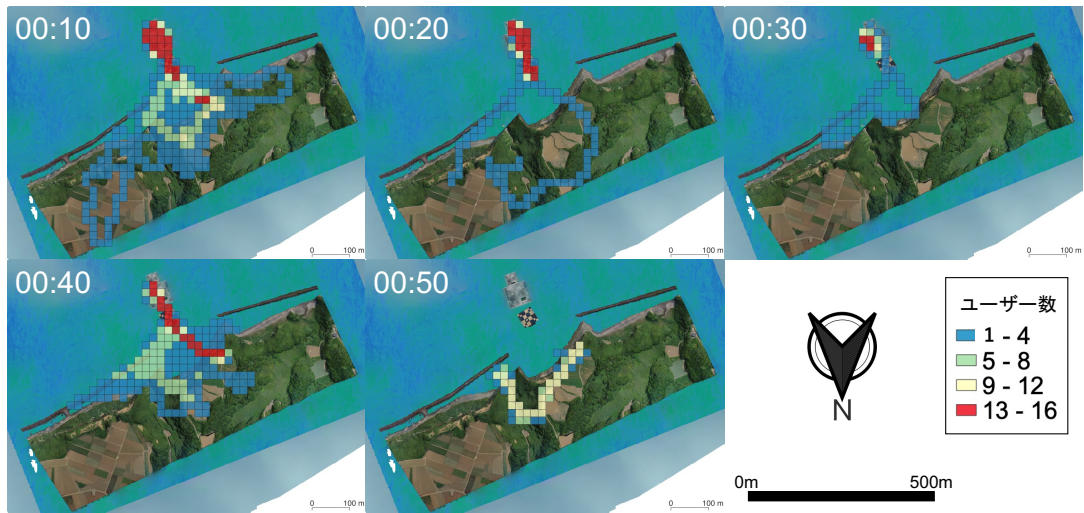


図 4-27 サブ会場の参加者の行動

注：表示時間は当日の時刻を示す。

図 4-28 は、メイン会場とサブ会場の各ユーザーの移動記録を、屋内と屋外の空間に分けて集計したものである。屋内の空間では、屏風ヶ浦の地形などを学べる部屋の移動記録のみを抽出し、5 m メッシュでユーザー数を計測した。この空間では、ユーザーは配置した解説用オブジェクトを見るために、全体を満遍なく移動していた。ただし、展示物が比較

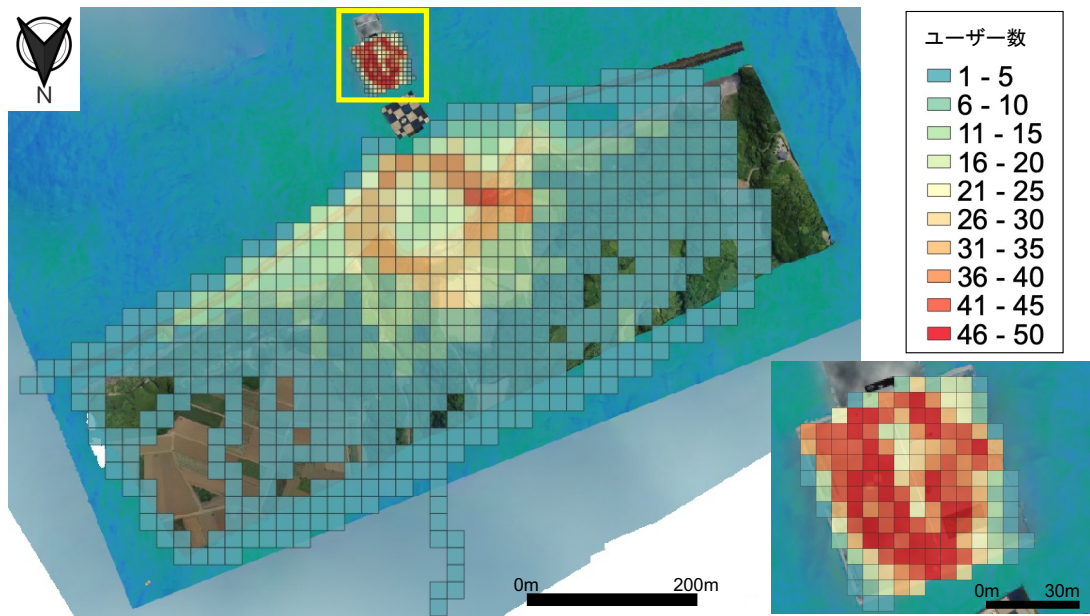


図 4-28 両会場の参加者の行動

注：行動ログが集中しやすい屋内から屋外への移動先とその周辺のログと、リスポーン（強制的なスタート地点への移動）と判断できるログは除去した。

的少ない場所や、遠くからでも見られるサイズの動画プレーヤーのある壁際には、人が集まりにくい傾向があった。

屋外の空間に関するデータについては、順路の都合で人が極端に集中しやすい範囲を除外するために、屋内の空間への転移ボタンから半径 50 m のバッファを作成し、それと重なるデータを削除した。残りのデータを用いて、ユーザー数を 20 m のメッシュごとに集計した。なお、サブ会場で 00:38 頃に開始された、ツアー形式の解説の移動の記録は含まなかった。屋外の空間では、空から見て U 字状に地形が後退している箇所、その上部の平坦面の一部、西側消波堤付近の波蝕台、東側消波堤沿いに移動した人が多かった。

アンケートの回答を、メイン会場とサブ会場で合わせて 46 人から得た。問 1～問 7 のすべての項目で、否定的な回答よりも肯定的な回答が多い傾向があった。本イベントに参加した人の 73.9% (34 人) は、問 1 の自然環境の学習への好感度について、「やや高い」または、「高い」と回答した (図 4-29)。体験後に問 1 と同じ質問をした問 2 では、87.0% (40 人) が「やや高い」または、「高い」と回答した (図 4-30)。Wilcoxon signed-rank test を用いて問 1 と問 2 の回答を分析した結果、有意差があった (表 4-12)。

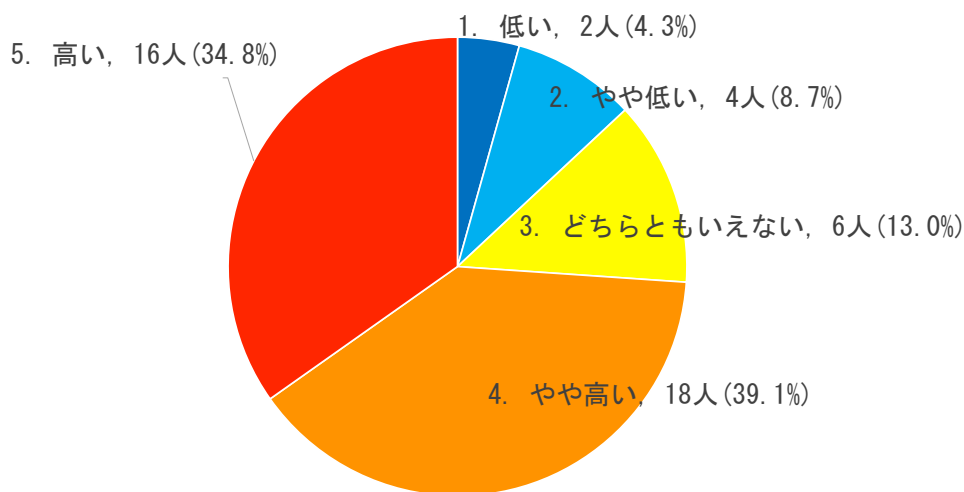


図 4-29 本 VR 体験前の地形を含む自然環境の学習への好感度の設問への回答

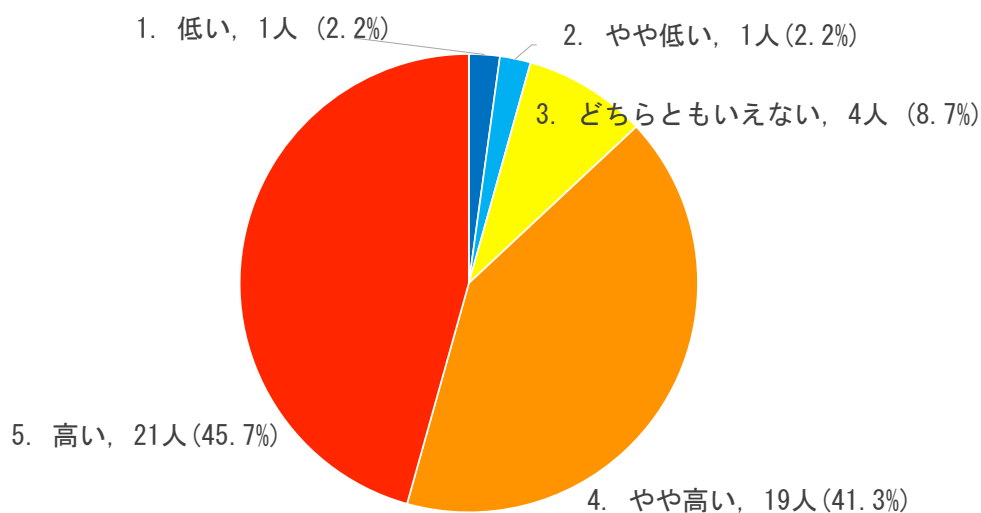


図 4-30 本 VR 体験後の地形を含む自然環境の学習への好感度の設問への回答

表 4-12 VR 体験前後の地形を含む自然環境の学習への好感度の比較

| 項目 | 項目 | Statistic | w | p |
|--------|--------|-----------|--------|-------|
| VR 体験前 | VR 体験後 | 5.500 | -2.950 | 0.002 |

注：有意水準は $p \leq 0.05$

学習の充実度を評価する問 3 においても、否定的な評価は少数で、45.7% (21 人) が「やや満足度は高い」、41.3% (19 人) が「満足度は高い」と回答した (図 4-31)。問 4 では、80.4% (37 人) が、一周目と二周目で行動が変化したと感じた (図 4-32)。問 5 では半数以上が、インストラクターなしでもナレーションや説明パネルのみによる学習ができると回答した (図 4-33)。一方、問 6 に対する回答では、78.3% (36 人) がインストラクターによる地形などの口頭の解説を望んだ (図 4-34)。問 7 では、32.6% (15 人) が本 VR 空間を「やや利用しやすい」と回答し、39.1% (18 人) が「利用しやすい」と回答した (図 4-35)。

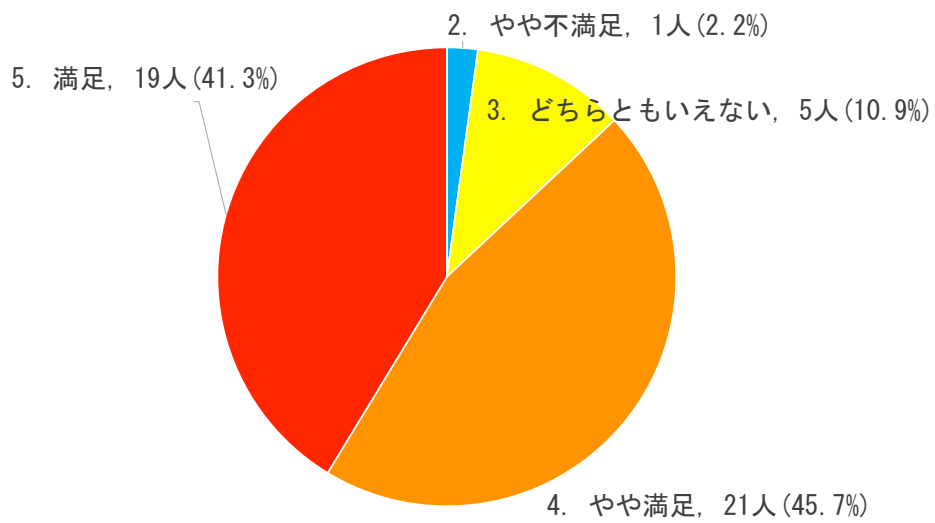


図 4-31 本ワールドでの屏風ヶ浦の学習の充実度の設問への回答

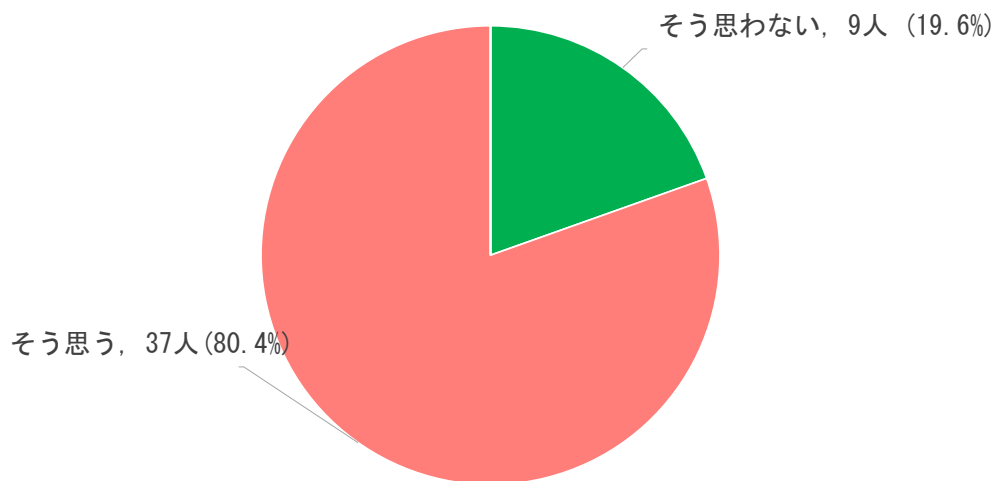


図 4-32 一周目と二周目の屋外の空間の行動の変化の設問への回答

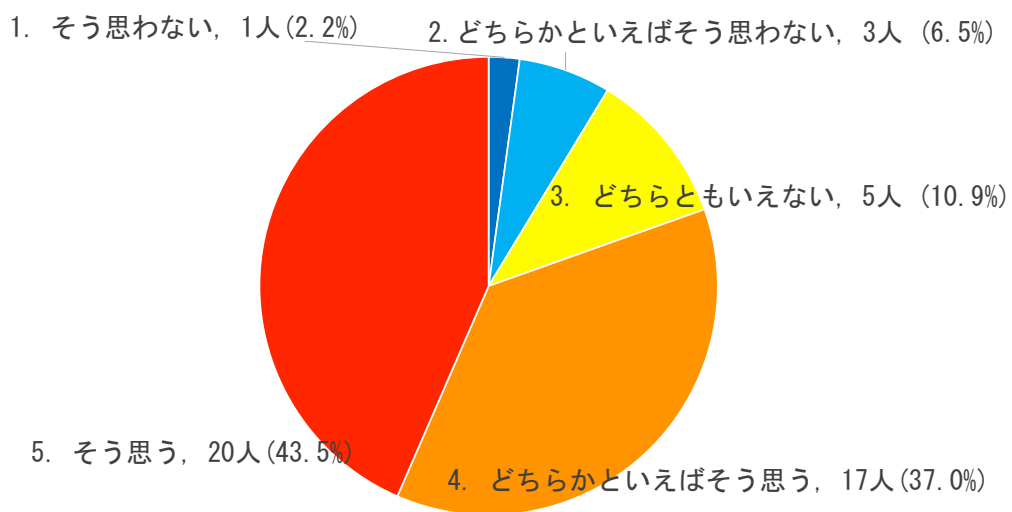


図 4-33 ナレーションやテキストがあれば、一人でも地形の理解を深められるかの設問への回答

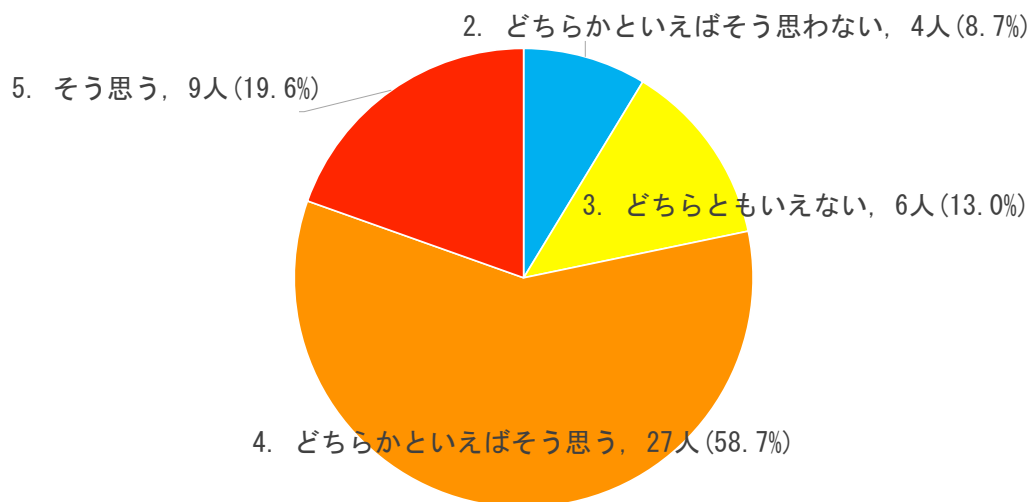


図 4-34 ワールドの散策時にスタッフによる口頭の解説は必要かの設問への回答

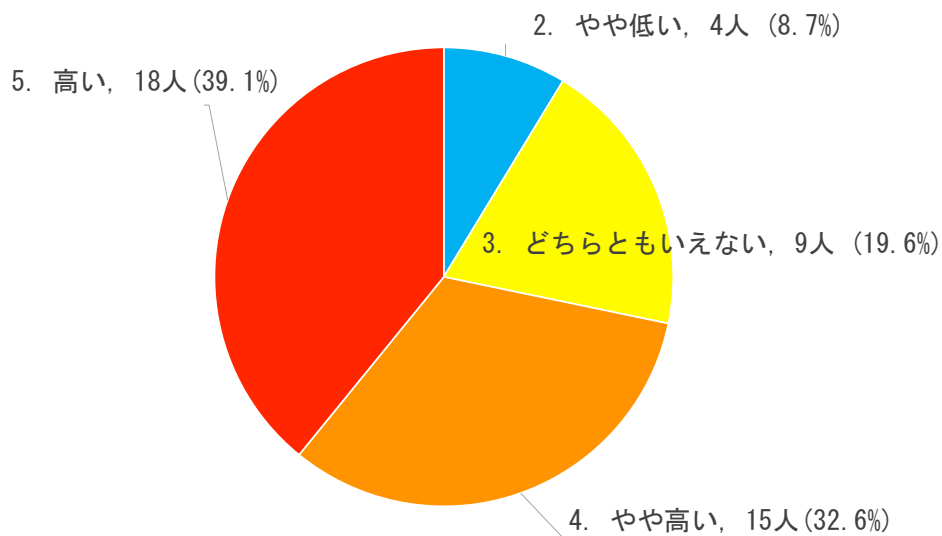


図 4-35 本ワールドの視認性，操作感など利用に関する評価の設問への回答

各自が学習効果を高めたコンテンツを順位づけした問の回答は，1位の項目を3点，2位の項目を2点，3位の項目を1点として集計した．その結果，「説明パネル（図あり）」（78点）が最多で，次に「ミニサイズの地形模型」（72点）が多かった（図 4-36）．続く50点以下の項目には，「現地の動画と写真」（44点），「全天球画像」（34点），「ナレーション」（31点）があった．最も不人気だった項目は「説明パネル（図なし）」（11点）であった．

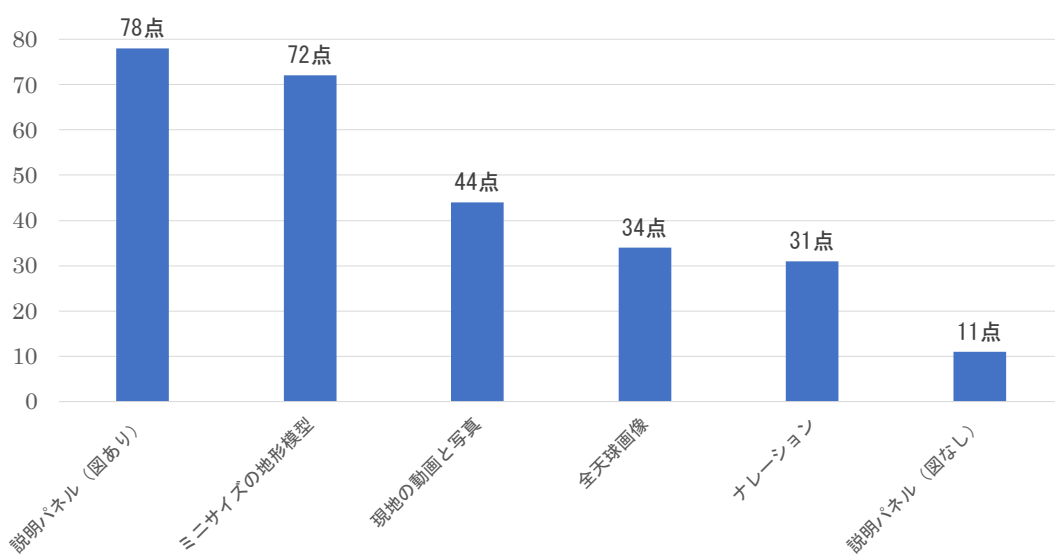


図 4-36 学習効果を高めたコンテンツを3つあげ，順位づけする設問への回答

7項 メタバースを用いた地理教育の有用性と学習効果

本実践の大半の参加者は、VR フィールドワークに満足感をもち、自然環境の学習に対しても好感を持つことができた。また、本ワールドは多くの対象者から、個人学習でも地形の知識を深めることができる内容と評価され、機能や操作性についても高評価を得られた。その一方で、口頭の解説を求める意見も多くあった。山内ほか（2022）の実践でも、口頭のガイドを高く評価する意見があったことから、専門家から口頭で得られる知見は対象者の地形の理解に役立つと推察される。メタバースでのフィールドワークでは、専門家も同じ空間にログインし、その場に適した口頭の解説ができる点が教育に有効と考えられる。

今回の VR フィールドワークでは、対象者の行動の情報を記録し、学習が行動に与えた影響を検討できた。ユーザーの行動は一周目と二周目で変化があり、一周目では自身の興味に従って広い範囲に移動する傾向があったが、二周目では屋内の空間で学んだ崖錐を観察する人が増える傾向があった。アンケートでも回答者の約 8 割が自身の行動の変化を認識していた。これは、本ワールドの設計が、自由な散策による学びと、講師が意図する学びを共に実現したことを示す。

本 VR フィールドワークでは、参加者は現実を超越して海面を歩行したり、テレポートによって移動したりすることができた。対象地域は安全性の観点から立ち入りが禁止されている場所も多いため、VR 空間で制約なしに地形を観察できるメリットは大きいといえる。一方で、これまでフィールドワークの充実のために検討されてきた器具やアプリケーションが利用できないというデメリットもある。現実の野外調査では、以前はフィールドノート、ペン、カメラなど、情報を記録するための多くの器具が必要であったが、最近ではスマートフォンやタブレットに、それらの機能が集約されている（McSweeney & WinklerPrins 2020）。フィールドワークの教育のためにモバイル型の GIS を構築する事例もあり（Ruan et al. 2021）、ICT の活用による野外教育の充実が図られている。この点では、現場での教育の方が優れているといえる。

本節では、屏風ヶ浦を再現した等身大の 3D モデルを用いて、現実に近い景観を再現できた。一方、3D モデルは近づくほど映像が荒くみえることから、地層や植生といった、地形よりも細かくなりがちな情報を十分に再現できないという課題もあった。映像の精細さを改善するには、高解像度の写真をとれる機材を使用したり、対象物に接近して撮影したりとデータ取得時の工夫が必要となる。しかし、対象地域の場合、海食崖の標高は高いところで 50 m を超え、崖の横方向への広がりが大きいため、映像の精細さの向上には限界もある。また、波や植生のように空撮時に風で揺れるものは、3D モデルを構築する際のノ

イズになることもある。今回は、地層に対応した微細な凹凸の再現のために iPhone の LiDAR 機能を用いたが、測定の幅は最大で 5 m であり、崖の一部のみしか測量できないという問題があった。以上のように、現時点では地形の 3D モデルを用いた現実の再現には限界があり、VR フィールドワークを念頭において、現地の詳細なデータを取得する手法を検討する必要がある。また、等身大ではなく小さいサイズの 3D モデルを用いれば、モデルの視認性を高められることから、モデルのスケールの違いが学習効果に与える影響の検討も重要といえる。

本節では、メタバースにおける地理教育の可能性を示すことができた。ただし、今回のフィールドワークの参加者は、理系で自然環境の学習にも関心のある人が多く、自由な散策に取り組みやすい属性を持っていたと推察される。また、VR による学習や、VR の娯楽目的での利用にも慣れている人であったため、より一般的な人を対象とした場合は、同様の結果にはならない可能性もある。今後、異なる関心をもつ人に、同様の VR フィールドワークの体験をしてもらい、その結果を踏まえて教育手法を提案することが望まれる。

8 項 まとめ

本節では、三次元地理情報とメタバースのための VR 技術を組み合わせて、野外での教育を近似体験できる教材を作成した。本実践の参加者は、各地から距離的制約を超えて VR 空間に再現された屏風ヶ浦の世界にログインし、大半が満足感をもってバーチャルフィールドワークを体験した。ほとんどのユーザーは本世界に好印象をもち、自然環境の学習への関心をもつことができた。ユーザーの行動を記録した結果、学習で得た知識に基づく行動が確認された。

本世界は個人学習に利用できるが、専門家による口頭の説明も重要と考える人も多いことが判明した。メタバースには、両者を共に実現できるという利点がある。実践の会場の一つでは、現地で参加者を引率しながら行う巡検のような行動も実現できた。本教材のコンセプトを応用すれば、活動中の火山や災害の被災地など、通常であれば立ち入ることのできないエリアを対象としたフィールドワークの近似体験も可能となる。一方で、現実のフィールドワークで利用されてきた多様な器具が、VR では充実していないという課題もある。フィールドワークによる教育とその効果については、多くの研究者による知見が蓄積している。したがって、単に現場を VR で置き換えるのではなく、現場では教育が難しい内容を VR で教育するといった、両者の効果的な連携が重要といえる。

なお VRChat を体験できるような HMD は、徐々に一般にも普及しつつあるが、コスト面から入手が難しい教育機関も多い。しかし、VRChat は一般的なデスクトップ PC から

もログインできるため、教材の雰囲気を読むことは難しくない。今後、いくつかの実践を重ね、地理教育に有用な VR の活用を発展させていくことが重要といえる。

第5章 総合考察

1節 本研究を踏まえた中高生と大学生の GISc の学習の改善案

図 5-1 は、第 2 章～第 3 章の成果を踏まえて、中高生や大学生を対象とする GISc 教育の学習の段階と想定される学習成果を整理したものである。第 3 章で考察したように、GIS を活用できる人材の育成の際には、基本的な PC の操作、GIS の基本概念、中等教育の地理に関する知識・技能が最初に求められる。基本的な PC の操作には、フォルダの移動や名前の変更、エンコーディング、マルチバイト文字などを原因とするエラーへの気づき、圧縮ファイルの展開などが含まれる。GIS の基本概念に関する知識・技能には、データ形式、測地座標系、用語の理解などが該当し、これらの重要性は第 3 章の結果からも明らかである。中等教育の地理の知識・技能には、地図の読図・表現、系統地理学、地誌学に関する知識・技能が含まれる。これらの重要性は、第 2 章 2 節で地形の成因を理解できても三次元表示の GIS 上では典型地形を判読できない人がいたことや、第 3 章 4 節で GIS での分析を踏まえて扇状地の土地利用の特徴を考える問題で誤回答が多かったことなどからも指摘できる。

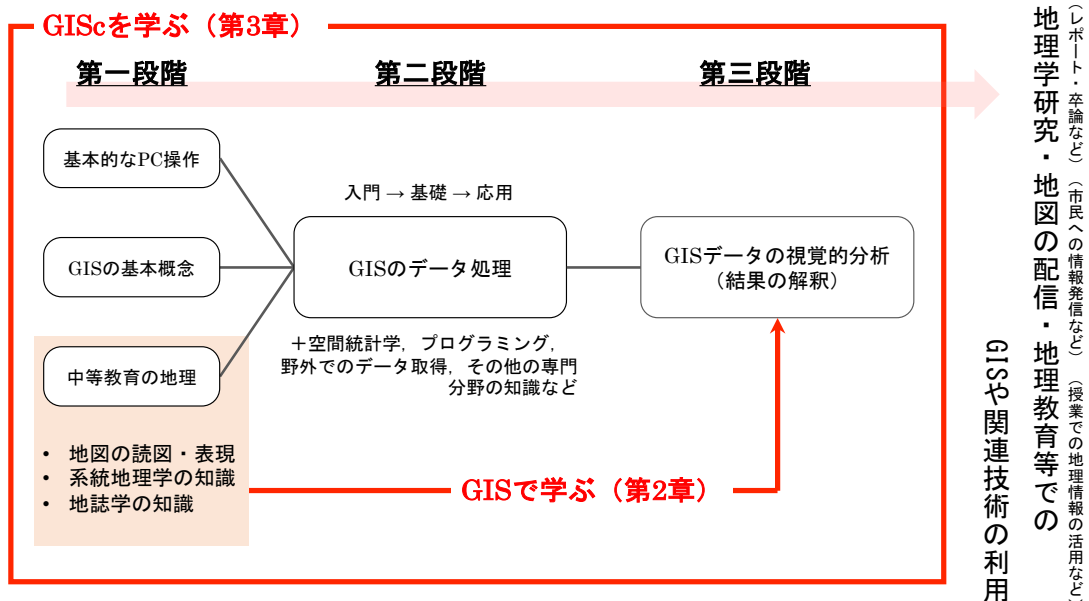


図 5-1 本研究を踏まえた GISc の学習の段階とその先の学び

上記のような知識・技術を学ぶ第一段階を経て、第二段階の GIS のデータ処理の学習に取り組むと、学習時の躓きが軽減されると期待される。そのため、「GIS 実習オープン教材」のように、入門、基礎、応用といった段階的な学習ができる教材が、第二段階において有効であるといえる。一方、第二段階では基本的な地図の作成や空間分析に加えて、空

間的自己相関のような空間統計学の知識と関連する技能を要求される場合もあり、その対応の際には R や Python のようなプログラミングの能力が必要となる。また、ラスターデータの分析では気候や地形を対象とするため、大学レベルの自然地理学の基礎も重要である。近年は GIS データの取得方法が多様化しているため、ドローン、地上レーザー測量機、人工衛星、GNSS、サーマルカメラなど、GIS データを収集できる機器の原理や、操作方法の知識が第二段階で求められる場合がある。この他にも、学習者の専門によっては、考古学、生態学、地質学などの知識・技能が必要な場合もある。このような状況に、汎用的な教材が全面的に対応することは難しいが、授業の受講者などの属性を考慮し、いくつかの側面に対応した教材を用意することは有意義である。

第三段階では、学習者が研究などの応用のために GIS を利用できるように、GIS で作成したデータや地図の視覚的分析を含む、解析結果の解釈の能力の養成を目指す。ここでは、GIS での分析結果を踏まえて地理的事象の特徴を理解するのみでなく、第 3 章 4 節で指摘したように、それを文章で記述できようになることも重要である。

他方で、GIS データの視覚的な分析は、「GISc を学ぶ」の文脈では最終段階に位置付けられるが、「GIS で学ぶ」の文脈では地図読図の学習の一環と位置づけられる。GISc 教育の第一段階で、この知識・技能の基礎を習得することで、第三段階においてデータの構造や分析の特徴を踏まえた深い理解が可能になると推察される。例えば第 2 章 1 節では、レイヤの色彩や重なりの状態を読み取ることで、現実の理解に役立つことが示唆された。一方で、これは紙地図を単に電子地図に置き換えて得られた学習成果であり、GIS 特有の概念を考慮した地域の理解につながりにくい。地理情報は、位置精度、データ形式、データベースなどの点で紙地図と大きく異なることから（碓井 2020）、十分なリテラシーのない学習者が GIS を用いると、地域の認識を誤る可能性がある。この問題は学習者の視点では気づきにくいと考えられ、実際の授業の際に教員が解説する必要がある。そのため、GIS を用いた教育の実践者は、第三段階までの GISc 教育を受けることが望ましいと考えられる。

上記の知識・技能を段階的に習得した学習者は、中学校や高等学校での自由記述的な課題、大学でのレポート課題や卒業論文などの地理学研究で GIS を利用できるようになる。さらに、学習者の目的次第では、地理情報を Web 地図としてオンラインで配信することや、教員養成課程の大学生などが教育の目的で将来の授業に GIS を応用できるようになる。後者では第 4 章のような、三次元地理情報を用いた地形模型の 3D プリンティングや VR アプリケーションの構築などが含まれる。ただし、第三段階以降は既存の GISc 教育では得

られにくい知識・技能を要求される場合もある。例えば、地理学研究では論文のレビューや構成の仕方、地図の配信ではデータやインターフェースのデザインおよび実装、地理教育では授業設計や指導法に関する知識・技能が挙げられる。

いずれにせよ、第一段階の教育が GISc 教育の充実の必要条件である。これについては、地理総合の必修化、GIGA スクール構想の提唱、ポストコロナの教育現場における IT の普及など、教育政策の転換や社会の変容にともなう状況の改善が認められる。一方で、従来から指摘があった読図の学習の問題点は、上記の変化では大きく改善しない要素とみなされる。具体的には、本論文の第 2 章 2 節や村越・小林（2003）で指摘されたように、系統地理や地誌学から得られる地理的事象の成因を理解する力と、形態や分布を地図から判読する力を育成する教育の充実が求められる。このためには、第 2 章の Web 地図と第 4 章の全天球映像の教材を援用し、スマートフォンに示された地図上で典型地形や土地利用を判読できるようなアプリケーションの構築が有効と思われる（図 5-2）。また、スマートフォンの特性を生かし、通学時の交通機関や就寝前などの隙間時間に、設問に取り組めるような仕様にするといった設計上の工夫も必要である。関連して第 4 章では、学習へのモチベーションを高めやすい教材をいくつか提示した。このような教材の積極的な利活用が期待される。また、事例 B（中高生対象）と事例 D（高校生対象）では、地図の判読結果を十分に文章で記述できない人もいたことから、記述形式の回答を上手く誘導するような仕



図 5-2 地図の判読が学習できるアプリケーションの開発案

組みも必要である。このような教育用のアプリケーションの構築と改善にあたっては、学校の教員から意見をもらったり、実際に生徒や学生に利活用してもらったりすることが重要である。これを実現するためには、研究者が上から目線で教育を語るのではなく、現場の教育者や受講者と連携することが有効と考えられる。

2 節 GIS の普及を目的とした教員の育成

1 項 中等教育の教員の GISc の学びの充実化

高等学校での地理総合の必修化は、GIS のさらなる普及に重要な役割を果たすと考えられる。しかし、第 1 章 2 節で示したように、GIS を利用できる教員が不足しており、GIS を学べる機会も限られている。そこで本節では、本研究の成果を踏まえて教員の効率的な GIS の学びについて、講習会や個人学習の面から検討する。

前節では、GIS を授業で効果的に活用できる人材の素質の一つに、地理学の知識・技能の習得を挙げた。他方で地理総合の開始にあたり、地理を専門とする教員の不足が社会的な問題として報道されている（上野 2022）。その背景には、1978 年の学習指導要領の改訂によって、第 1 学年で現代社会が必修科目となったことがある。それまでは多くの高校で、地理を第 1 学年で教えていたため、前記の学習指導要領の実施年である 1982 年以降に、地理の履修者が激減した（須原 2018）。その後、1989 年の学習指導要領では世界史が必修科目となり、1999 年の学習指導要領では総合的な学習の時間が創設されたこともあり、地理は一部の高校生のみが学ぶ科目になった。これを要因として、地理を専門とする高校教員が減少した。このような背景もあり、地理が専門であり GIS の学習経験もある教員は、当初はほとんどいなかった。2000 年代前半以降には、教員養成系の大学・学部の過半数で、GIS の教育が実施されるようになったが、授業数が少なく、内容もデータの取得や主題図作成に偏っていた（矢部・橋本 2016）。

この状況に対する学会などの外部からの支援として、講習会などによる教員の研修の機会が重視されるようになった（井田 2016）。講習会には、多忙な教員が計画的に参加しやすいというメリットがある。本研究で構築したようなオンライン教材を用いれば、独学による GIS の知識・技能の習得も可能ではあるが、業務後や休日の時間を費やすことになる。土日祝日は、第 3 章で紹介したように「GIS 実習オープン教材」へのアクセスが大幅に減少する傾向からみても、業務時間外の学習は非現実的といえる。

高校教員向けの GIS の講習会には、地理歴史科の科目の構成上、歴史を専門とする教員も参加するため、学習内容の設計に工夫が必要である。地理歴史科の高校教員は、1) 専門が異なるために地理の指導に不安を持ち、PC の操作にも不慣れな人、2) 地理の指導に不安があるが、PC の操作は得意な人、3) 地理の指導はできるが PC の操作に不慣れな人、4) 地理の指導ができ PC の操作にも躓かないが GIS は初学者、5) PC で GIS を操作でき、より専門的な GIS の利活用を学びたい人の 5 つの集団に大別できる。このような多様性を考慮すると、第 3 章の事例 B（中高生対象）や事例 G（大学生対象）のように同じ学習内容を一斉に教授する手法は、有効性が限られる恐れがある。また、本研究の結果

によると、口頭での解説の速度の感じ方は人により多様で、指示を聞きながらソフトウェアを操作することに難しさを感じる人もいる。したがって、講師がサポートしながら個人のペースで学習を進める形式が、教員の GIS の学習には有効と思われる。これに、グループワークを加えたり、教材を 1) ~ 5) の集団に合わせて用意したりすると、充実した学習が可能になるであろう。「GIS 実習オープン教材」は複数の学習項目で構成されているため、このような学習にも応用できる可能性がある。しかし、現時点の教材には、1) ~ 3) の集団が即座に利用できる学習項目は少数であり、地理総合に対応した項目も多くないため、教材を追加する必要もある。例えば、1) ~ 3) の集団のために、デスクトップ GIS の基本操作の前段階として、「GIS で学ぶ」の観点から既存の WebGIS (今昔マップ on the web, Google Earth など) の操作方法を中心とした教材を構築することが考えられる。1) に該当する人には、地理的な見方・考え方や基礎的な中等教育の地理の知識についても学べるような指導法が望ましいと考えられる。また、4) の集団のために、教科書の内容と対応したデータ処理 (例えば、第 3 章 6 節の京戸川扇状地の地形と土地利用の分析など) を体験する教材を整備することも有意義であろう。一方、5) の集団に属する教員には、「GIS 実習オープン教材」の基礎・応用レベルの学習項目に取り組んでもらったり、テーマを持つ分析や主題図作成を自主的に行なってもらったりする対応が考えられる。

上記のような個人の属性に応じた教育の必要性は、地理歴史科の教員を目指している教員養成課程の大学生にも当てはまる。たとえば、学内で十分な GISc 教育が受講できず、基本的な PC の操作の知識・技能が低いと感じる学生は、上記のような講習会への参加が有効と考えられる。一方、独学に抵抗がない学生は、レポート作成や卒業論文に取り組む課程などで、「GIS 実習オープン教材」を自主的に活用できる可能性がある。

第 4 章で示したように、地理情報による空間表現の手法が近年多様化しつつある。したがって、地形模型の 3D プリンティング、Web 地図の構築手法、VR アプリケーションの開発手法などを、既存の GIS のデータ処理とともに学べるような手法の提案も、将来の GISc 教育や地理教育の充実のために重要である。

2 項 中等教育の教員向け GISc 教育の学習内容の検討

以下では、中等教育の教員が GIS を学習する際の内容について、学習項目の面から検討する。教員の学習内容は、自身の授業に応用できることが有用と考えられる。このような教員の学びのための具体的な教材やカリキュラムを検討する際には、第 1 章 1 節に記載したテクノロジーを教育に応用するためのフレームワークの TPACK が有効な可能性がある。TPACK は、教育に関する知識 (Pedagogical Knowledge : PK) , 教科内容に関する知識

(Content Knowledge : CK) , 技術に関する知識 (Technological Knowledge : TK) に基づき, 教員の専門性を表現する枠組みであり, 教育での ICT の活用の観点から注目されている (小柳 2016) . 本フレームワークは, 上記の三つの知識に関する三つの円の重なりで示され, 円が二つ重複する部分は PCK (教育的 content 知識) , TPK (技術と関わる教育的知識) , TCK (技術と関わる content 知識) と定義され, 円が三つ重複した部分は TPCK もしくは TPACK (技術と関わる教育的 content 知識) と定義される. Rickles et al (2017) は, TPACK を用いて学際的な研究者の GIS 学習の充実について考察した. これを参考に, 教員のための GISc の学びについて, 本研究の成果をふまえて TPACK のフレームワークで検討した (図 5-3) .

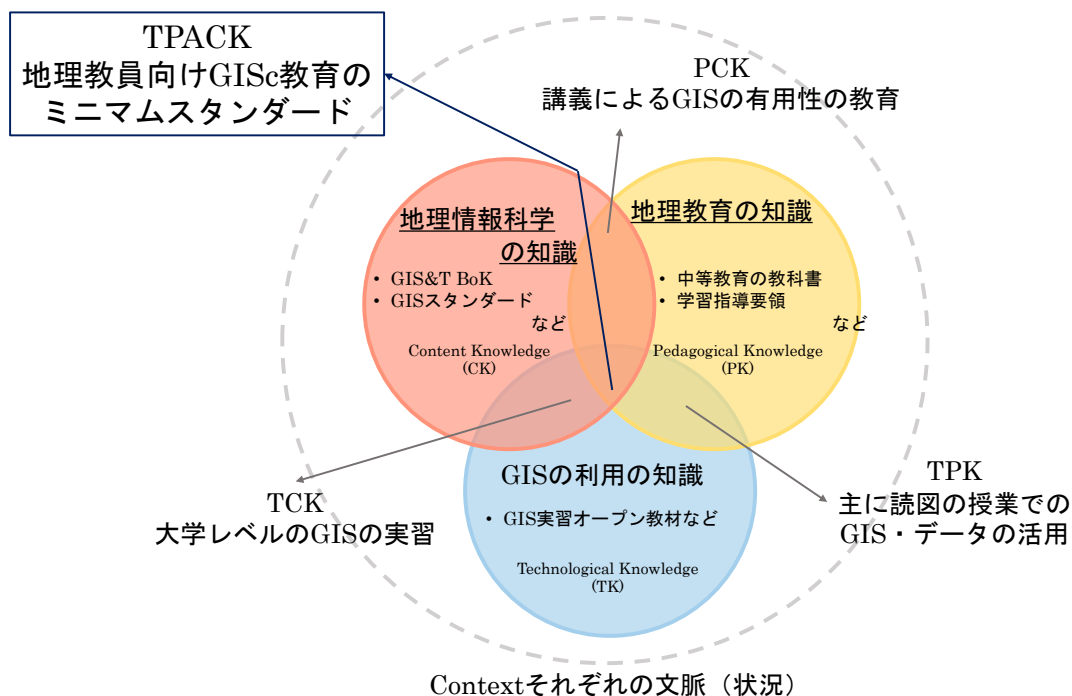


図 5-3 教員の GISc の学びに関する TPACK フレームワーク

注 : Rickles et al. (2017) を参考に作成.

図 5-3 では, 教員が本フレームワークに基づいて考案された授業や教材などを用いて GISc を学習し, その成果を踏まえて GIS を自身の授業に利用できるようになることや, GIS で作成された図の問題点などを生徒に対して解説できるようになることを目的とした. そこで, PK には地理教育の知識, CK には GISc の知識, TK には GIS の利用の知識を配置した. 各知識が重なる部分では, PCK が講義による GIS の有用性の教育, TCK が大学レベルの GIS の実習, TPK が主に読図の授業での GIS ・データの活用と定義できる. GIS

の実習教育を取り上げた本研究を教員養成に置き換えると、第3章で主にTCKを扱い、第2章と第4章でTPKを扱ったことになる。

教員養成の視点では、三つの円が重なる部分に最も重要な項目が位置付けられ、これを整理することで、ミニマムスタンダードとなるカリキュラムや教材を構築できると考えられる。したがって、地理的な見方・考え方を生徒に効果的に授業できるような主題を取りあげ、それをGIScの観点と連携させ、GISで解析したり成果を提示したりする流れを持つ授業の設計や教材の整備が有効と考えられる。この際には、まずPKとして地理教育の中で特に扱われる地理的事象や、十分に指導法が確立した内容を整理し、次にそれに関連するCKを選択し、それと対応するTKの手法を解説することになる。例えば、地理の教員が教えることが多い熱帯林の破壊に関連して、リモートセンシングの基本や衛星画像のデータ構造を教員が学べる資料を提供し、さらにGISを操作しながら二時期の植生の違いを表示したり、樹木が消失した面積を計算したりする手法を学べる教材が必要となる。

このような目的で、WebGISを利用した教材を作成すれば、教員の学習のみならず生徒向けの授業にも応用しやすいというメリットもある。さらに、図5-3の右の円の対象を、地理教育ではなく歴史や地学の教育として考察を行い、それを地理教育と結びつけて評価すると、発展的な教材を考案できる可能性がある。一方、既に指摘したように、カリキュラムや教材の構築時にはステークホルダーとなる教員やGISの専門家との連携が不可欠である。TPACKの枠組みを使用すれば、地道な人的な連携なしに良い教育や教材の作成が可能といった幻想を抱かないことも重要である。

3節 EdTech を用いた教育における本研究の貢献

本研究は、「GIS を教える」と「GIS で教える」という 2 つの側面から、GIS や関連技術が学習者の地理的事象の理解に有効な EdTech であることを示した事例といえる。本研究では、開発した教材のインターフェースのデザインや機能の利便性についての検討は十分とはいえないが、多くの場合シンプルであったことから、対象者が使いやすいものを提供できたと考えられる。また、本実践を通じて、GIS のようなデジタルツールやデータを授業に用いることで、対象者の学習意欲を促すことができることがわかった。また本研究では、既存の地図表現では地理的事象が十分に理解できない人に対する新たなアプローチとして、高精細な三次元地理情報を用いた地形模型や VR と、ドローンからの映像の教育的な有効性を示した。一方で、第 4 章 2 節の事例のように教材の機能の充実度が低いという指摘もあったことから、地理的事象の理解に有効な教材のあり方については、デザインなどの面も含めて今後十分に検討する必要がある。

他方で、地理などの授業において GIS や関連技術を活用するという点は、多くの既存研究にも当てはまる成果といえる。しかし、本研究は GISc 教育や地理教育における EdTech の先駆的な事例として、1) オープンソースのコンテンツを用いた教材の構築と授業実践、および 2) 距離的制約を超えたバーチャル学習の 2 点を示した点に独自性があるといえる。

1) については、本研究の第 2 章～第 4 章で使用した教材の大半が、無料のソフトウェア、ライブラリ、データを活用して構築されたことが挙げられる。このことは、無償のリソースのみを用いても、中学校から大学までの GISc 教育の充実を図れることを意味する。また、本実践の教材には、HTML や JavaScript などの基本的な知識があれば容易に作成できるものも含まれる。そのため、将来的には教材の構築過程を再現するような教育を通じて、意欲のある教員や生徒・学生が、自作の Web 地図や VR アプリケーションを作成するといった発展的な展開も期待できる。また、第 3 章で使用した「GIS 実習オープン教材」では、誰もが入手可能なソフトウェアとデータを用いた GIS のデータ処理手法を解説しており、インターネットを通じた公開により、多様な分野の研究者や学生などが容易に GIS を学べる環境を整備できた。Rickles et al. (2017) の学際的な研究者を対象とした調査によると、ブラウザによる検索や、動画やチュートリアルなどのオンラインリソースが、GIS の学習に役立つ。インターネット上には、「GIS 実習オープン教材」のようなオープンライセンスの教材と共に、Qiita⁵⁵⁾に代表されるようなブログ形式の技術関連の資料も蓄積されており、記事の作り手同士が互いに記事を引用しあうことで、様々なトライアンドエラーの情報も共有されている。このような状況下で、「GIS 実習オープン教材」が第三者のブログなどに引用されることもあり、それが教材の普及や改善に役に立っている。ま

た、第 3 章で述べたように、利用者からのフィードバックを受け入れることで教材や授業の改善を実現できている。このような、インターネットを介したコミュニケーションを前提とした教材の管理や提供の方法が、今後の持続的な教材運用のスタンダードとなる可能性がある。

2) の具体例は、VR の技術と三次元地理情報を活用し、等身大でフィールドトリップを近似体験する手法の考案である。地理教育は、現実の空間を学ぶものでありながら、初中等教育では、ほとんどの学習が教室で完結している。そこで、EdTech の一つとしての GIS を用いることによって、学習者は紙地図や紙面の限られた地図帳を超え、より自由度が高く情報量が多い学びを体験できる。実際に、Google Earth などのシームレスなデジタル地図を用いた学びが、国内外で広く行われている (Hennessy 2012 ; Hsu 2018) 。本研究では、そのような動向の延長として、デジタル空間に再現した三次元地理情報を等身大で歩いて観察できる方法を提示した。このデジタル空間では、第 4 章 4 節で説明したように自由な学びと計画された学びの両方が実践でき、距離的制約を超えて、その分野に精通した専門家とも直接交流ができる。現時点では、自然の現実性の再現には限界があるものの、今後の EdTech と地理教育の発展に貢献できる成果といえるだろう。

上記の 1) と 2) は、GIS の操作や地図の判読の技能を育成する際の EdTech の応用事例であるが、将来的には学習の補助や評価にも EdTech を活用するべきである。近年、AI (Artificial Intelligence) が言語教育など様々な教育の分野で利用されている (斎藤 2021) 。GISc 教育や地理教育では、AI に学習させるデータセットの検討や蓄積が進んでいないため、AI の利活用が進んでいない。しかし、EdTech の活用を通じて、AI で処理ができる教育の評価に関するデータを得られる可能性がある。

従来の GISc 教育では、アンケート調査を用いた教材の学習効果の評価が多く採用されており、本研究もその流れを踏まえている。しかし、アンケートには個人の主観に基づく不確実な要素も含まれやすいことが懸念される。この問題の軽減には、アンケートの設問の工夫が重要であるが、より客観的で定量的な効果検証の手法の提案も期待される。既存研究では、少数ではあるが、テキスト教材の視聴ログの計測を用いた事例もある (渡辺 2007) 。本研究の第 3 章でも、教育用の動画のログの分析を試みた。一方で、個人が GIS のどのような処理で躓いたかや、どのように地図を解釈しているかを明らかにするツールとして、GIS での操作の記録機能が活用できると思われる。例えば、GIS を用いた読図の際に、地図を操作した際の座標値を記録すれば、学習者の思考やクセを知るための情報が得られる。各自の操作を記録することは、プライバシーの点で注意が必要であるが、一定

の条件の下で GIS を学習の記録のツールとして利用することは、AI の活用を含めた EdTech の充実を地理教育で実現する一つの方法になる可能性がある。

脚注

- 1) 国土地理院, 地理院地図 <https://maps.gsi.go.jp/> (2022年11月22日 最終閲覧)
- 2) 国土交通省, 重ねるハザードマップ <https://disaportal.gsi.go.jp/maps/index.html> (2022年11月22日 最終閲覧)
- 3) 埼玉大学教育学部 谷 謙二 (人文地理学研究室), 時系列地形図閲覧サイト「今昔マップ on the web」 <https://ktgis.net/kjmapw/> (2022年11月22日 最終閲覧)
- 4) Google LLC, Google Earth <https://earth.google.com/web/> (2022年11月22日 最終閲覧)
- 5) UCGIS, GIS&T Body of Knowledge <https://gistbok.ucgis.org/> (2022年11月22日 最終閲覧)
- 6) 埼玉大学教育学部 谷 謙二 (人文地理学研究室), 地理情報分析システム「MANDARA」 <https://ktgis.net/mandara/> (2022年11月22日 最終閲覧)
- 7) Google LLC, Google Maps <https://www.google.co.jp/maps/> (2022年11月22日 最終閲覧)
- 8) 経済産業省, 未来の教室 <https://www.learning-innovation.go.jp/> (2022年11月22日 最終閲覧)
- 9) 経済産業省, 未来の教室 (地図太郎 Lite for Education の紹介ページ) <https://www.learning-innovation.go.jp/db/ed0154/> (2022年11月22日 最終閲覧)
- 10) Blender <https://www.blender.org/> (2022年11月22日 最終閲覧)
- 11) Autodesk, Inc, Meshmixer <https://meshmixer.com/> (2022年11月22日 最終閲覧)
- 12) ESRI, ArcGIS API for JavaScript <https://developers.arcgis.com/javascript/3/> (2022年11月22日 最終閲覧)
- 13) GitHub, inc. GitHub <https://github.co.jp/> (2022年11月22日 最終閲覧)
- 14) 国土交通省, PLATEAU <https://www.mlit.go.jp/plateau/> (2022年11月22日 最終閲覧)
- 15) GitBook <https://www.npmjs.com/package/gitbook/> (2022年11月22日 最終閲覧)
- 16) NCSU, GeoForAll Lab <https://geospatial.ncsu.edu/geoforall/> (2022年11月22日 最終閲覧)
- 17) Leaflet <https://leafletjs.com/> (2022年11月22日 最終閲覧)
- 18) CesiumJS <https://cesium.com/platform/cesiumjs/> (2022年11月22日 最終閲覧)

- 19) ESRI, ArcGIS <https://www.esri.com/products/arcgis/> (2022年11月22日 最終閲覧)
- 20) The Open Source Geospatial Foundation <https://www.osgeo.org/> (2022年11月22日 最終閲覧)
- 21) GitHub (FOSS4GAcademy のページ)
<https://github.com/FOSS4GAcademy/> (2022年11月22日 最終閲覧)
- 22) QGIS <https://qgis.org/en/site/> (2022年11月22日 最終閲覧)
- 23) GRASS GIS <https://grass.osgeo.org/> (2022年11月22日 最終閲覧)
- 24) Post GIS <https://postgis.net/> (2022年11月22日 最終閲覧)
- 25) SAGA GIS <https://saga-gis.sourceforge.io/en/index.html> (2022年11月22日 最終閲覧)
- 26) Rangel, T.F.L.V.B, Diniz-Filho, J.A.F and Bini, L.M., SAM
<https://ecoevol.ufg.br/sam/> (2022年11月22日 最終閲覧)
- 27) Google LLC, Google Analytics
<https://support.google.com/analytics/answer/12159447?hl=ja> (2022年11月22日 最終閲覧)
- 28) Ned Levine & Associates, Houston, Texas, and the National Institute of Justice, Washington, D.C., CrimeStat <https://nij.ojp.gov/topics/articles/crimestat-spatial-statistics-program-analysis-crime-incident-locations> (2022年11月22日 最終閲覧)
- 29) GeoDa <https://geodacenter.github.io/> (2022年11月22日 最終閲覧)
- 30) R <https://www.r-project.org/> (2022年11月22日 最終閲覧)
- 31) GIS-OER WG, QGIS ビギナーズマニュアル (v3.4)
<https://youtu.be/iAbpQWTvB70/> (2022年11月22日 最終閲覧)
- 32) GIS-OER WG, QGIS ビギナーズマニュアル課題 (v3.4)
<https://youtu.be/dxON6QwP2Tg/> (2022年11月22日 最終閲覧)
- 33) GITTA <http://www.gitta.info/website/en/html/index.html> (2022年11月22日 最終閲覧)
- 34) GIS Commons <https://giscommons.org/> (2022年11月22日 最終閲覧)
- 35) Datapolitan

- https://training.datapolitan.com/qgis-training/Intermediate_GIS/#1 (2022年11月22日 最終閲覧)
- 36) DMM.com, DMM.make <https://make.dmm.com/> (2022年11月22日 最終閲覧)
- 37) Cloud Compare <https://www.danielgm.net/cc/> (2022年11月22日 最終閲覧)
- 38) UCL 社, POLYGONALmeister <https://www.biprogy-uel.co.jp/polygon/> (2022年11月22日 最終閲覧)
- 39) 東京大学空間情報科学研究センター, 地形鮮明化プロジェクト
<https://www.hdtopography.org/> (2022年11月22日 最終閲覧)
- 40) A-Frame <https://aframe.io/> (2022年11月22日 最終閲覧)
- 41) Skypixel (GIS-OER WG のページ)
<https://www.skypixel.com/users/djiuser-gpuaxygqbqqw/> (2022年11月22日 最終閲覧)
- 42) Twitter (GIS-OER WG のページ) https://twitter.com/gis_oer/ (2022年11月22日 最終閲覧)
- 43) 田谷の洞窟保存実行委員会 <https://www.tayacave.com/> (2022年11月22日 最終閲覧)
- 44) Unity Unity Technologies, Unity <https://unity.com/> (2022年11月22日 最終閲覧)
- 45) egao フェスティバル vol.9 https://peraichi.com/landing_pages/view/egaofes9/
(2022年11月22日 最終閲覧)
- 46) Agisoft, Metashape Professional <https://www.agisoft.com/downloads/installer/>
(2022年11月22日 最終閲覧)
- 47) Abound Labs, Metascan - 3D Scanner <https://apps.apple.com/jp/app/metascan-3d-scanner/id1472387724/> (2022年11月22日 最終閲覧)
- 48) VRChat Inc., VRChat <https://hello.vrchat.com/> (2022年11月22日 最終閲覧)
- 49) VRC 理系集会 <https://www.vrc-science-assembly.com/> (2022年11月22日 最終閲覧)
- 50) GitHub (ScienceAssembly のページ)
<https://github.com/ScienceAssembly/YAIBA-VRC/> (2022年11月22日 最終閲覧)
- 51) Simple Water FX - Quest Shader (ウォーターシェーダー)
<https://booth.pm/ja/items/3259425/> (2022年11月22日 最終閲覧)

- 52) cluster 用の滝 Shader セット <https://booth.pm/ja/items/2759850/> (2022 年 11 月 22 日 最終閲覧)
- 53) 【VRC 向け】iwaSync3 メディアプレイヤー
<https://booth.pm/ja/items/2666275/> (2022 年 11 月 22 日 最終閲覧)
- 54) 無料うどんマイク (減衰無効ギミック付き) <https://booth.pm/ja/items/3038574/>
(2022 年 11 月 22 日 最終閲覧)
- 55) Qiita Inc., Qiita <https://qiita.com/> (2022 年 11 月 22 日 最終閲覧)

引用文献

- 秋本弘章 (1996) GIS (地理情報システム) と高校地理教育. 新地理, 44(3), 24-32.
- Allen, T.R. (2008) Digital terrain visualization and virtual globes for teaching geomorphology. *Journal of Geography*, 106, 253-266.
- 天野真哉 (2005) 高等学校地理における地形の取扱い—イメージして理解させる授業展開例を中心に—. 新地理, 52(4), 1-17.
- 安藤 真・吉田和弘・谷川智洋・王 燕康・山下 淳・葛岡英明・廣瀬通孝 (2003) スケーラブル VR システムを用いた教育用コンテンツの試作—マヤ文明コパン遺跡における歴史学習—. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 8, 65-74.
- 青山雅史 (2016) 教員養成系学部の地理学実習科目への GIS 導入の効果と課題—群馬大学教育学部社会専攻「地理学実習」における実践報告—. 群馬大学教育実践研究, 33, 1-8.
- 荒井良雄・加賀美雅弘・佐藤哲夫・小島泰雄・小口 高・堤 純・仁平尊明・大山修一・松本 淳 (2020) 『高等学校 新地理 A』 帝国書院, 210pp.
- Argles, T. (2017) Teaching practical science online using GIS: a cautionary tale of coping strategies. *Journal of Geography in Higher Education*, 41(3), 341-352.
- 有馬隆文・百合野高宏・日高圭一郎 (2007) まちづくりワークショップにおけるバーチャルリアリティの活用法とその評価—空間理解とイメージ共有のためのワークショップ支援システム (その 2) —. 日本建築学会計画系論文集, 72, 79-85.
- Arrowsmith, C., Counihan, A. and McGreevy, D. (2005) Development of a multi-scaled virtual field trip for the teaching and learning of geospatial science. *International Journal of Education and Development using Information and Communication Technology (IJEDICT)*, 1(3), 42-56.
- 浅見泰司・矢野桂司・貞広幸雄・湯田ミノリ編 (2015) 『地理情報科学—GIS スタンダード—』 古今書院, 201pp.
- Baker, T.R., Palmer, A.M. and Kerski, J.J. (2009) A National Survey to Examine Teacher Professional Development and Implementation of Desktop GIS. *Journal of Geography*, 108(4-5), 174-185.
- Bearman, N., Munday, P. and McAvoy, D. (2015) Teaching GIS outside of geography: a case study in the School of International Development, University of East Anglia. *Journal of Geography in Higher Education*, 39, 237-244.

- Carrera, C.C., Avarvarei, B.V., Chelariu, E.L., Draghia, L. and Avarvarei, S.C. (2017) Map reading skill development with 3D technologies. *Journal of Geography*, 116, 197-205.
- Chang, S.C., Hsu, T.C., and Jong, S.Y.M. (2020) Integration of the peer assessment approach with a virtual reality design system for learning earth science. *Computers & Education* 146, 103758.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103758>
- Chen X.M. (1998) Integrating GIS Education with Training: A Project-Oriented Approach. *Journal of Geography*, 97(6), 261-268.
- 千葉達朗・鈴木雄介・平松孝晋 (2007) 地形表現が生み出す地図の可能性 地形表現手法の諸問題と赤色立体地図. *地図*, 45(1), 27-36.
- Ciulli, M., Federici, B., Ferrando, I., Marzocchi, R., Sguerso, D., Tattoni, C., Vitti, A., and Zatelli, P. (2017) FOSS Tools and Applications for Education in Geospatial Sciences. *International Journal of Geo-Information*, 6(7), 1-16.
- Clark, D., Reynolds, S., Lemanowski, V., Stiles, T., Yasar, S., Proctor, S., Lewis, E., Stromfors, C., and Corkins, J. (2008) University Students' Conceptualization and Interpretation of Topographic Maps. *International Journal of Science Education*, 30(3), 377-408.
- DiBiase, D., DeMers, M., Johnson, A., Kemp, K., Luck, A., Plewe, B., and Wentz, E. (2006) "Geographical Information Science & Technology Body of Knowledge University Consortium for Geographic Information Science", Association of American Geographers, 162pp.
https://www.ucgis.org/assets/docs/gist_body_of_knowledge.pdf (2022年12月3日 最終閲覧)
- Fargher, M. (2018) WebGIS for Geography Education: Towards a GeoCapabilities Approach. *SPRS International Journal of Geo-Information*, 7(3), 1-15.
- Feng, W.Z. (2021) Implementation of Aerial Panoramic Photography for Environmental Studies Through VR Experiences. *Journal of Environmental Science Studies*, 4(1), 1-9.

- Feng, W.Z., Huang, Y.C. and Chao, F.L. (2020) Design of Aerial Panoramic Photography: Contrast between Industrialized and Natural Zones. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, 5(4), 849-856.
- Geng, J., Chai, C.S., Jong, M.S.Y., and Luk, E.T.H. (2019) Understanding the pedagogical potential of Interactive Spherical Video-based Virtual Reality from the teachers' perspective through the ACE framework. *Interactive Learning Environments*, 29, 618-633.
- Giannakou, O. and Klonari A. (2019) Digital Storytelling in Education using WEBGIS. *European Journal of Geography*, 10(3), 154-172.
- 早川裕弐・安芸早穂子・辻 誠一郎 (2018) 古景観の復原における 3次元景観情報を用いた地理的想像の喚起. *E-journal GEO*, 13, 236-250.
- 早川裕弐・小花和宏之 (2016) 小型無人航空機を用いた SfM 多視点ステレオ写真測量による地形情報の空中計測. *物理探査*, 69(4), 297-309.
- 早川裕弐・小倉拓郎・山内啓之・小口 高・小花和宏之 (2019) 高精細地形情報によるダンボール立体モデルを用いた自然地理的現象の理解の促進. *日本地理学会 2019 年度春季学術大会発表要旨集*, 194.
- Hayakawa, Y.S., Ogura, T., Tamura, Y., Oguchi, C.T. and Shimizu, K. (2020) Three-dimensional point cloud data by terrestrial laser scanning for conservation of an artificial cave. *Opera Ipogea (Journal of Speleology in Artificial Cavities) NUMERO SPECIALE 2020*, 67-74.
- Hennessy, R., Arnason, T., Ratinen I. and Rubensdotter, L. (2012): Google Earth geo-education resources: A transnational approach from Ireland, Iceland, Finland, and Norway. *The Geological Society of America Special Paper 492*, 413-418
- 平井恵美・杉山 歩 (2021) 「メタバース」日本企業も熱視線—仮想 CG 世界で若者集客、課題も—. *朝日新聞デジタル*
(<https://www.asahi.com/articles/ASPDF3JQBPD8ULFA001.html> 最終閲覧日：10月13日)
- 廣瀬通孝 (1994) バーチャル・リアリティ. *産業図書*, 11, 421-431.
- 堀川清司・砂村継夫 (1972) 千葉県屏風ヶ浦の海岸侵蝕について(3)—航空写真による海蝕崖の後退に関する研究・第4報—. *海岸工学講演会論文集*, 19, 13-17.

- 星野准一 (2009) 知能処理とメタバースの可能性. 知能と情報 (日本知能情報フレンジ学会誌), 21, 358-361.
- Hsu, H.P., Tsai, B.W. and Chen, C.M. (2018) Teaching topographic map skills and geomorphology concepts with Google Earth in a one-computer classroom. *Journal of Geography*, 117, 29-39.
- 井田仁康 (2016) 高等学校「地理」の動向と今後の地理教育の展望. *人文地理*, 68(1), 66-78.
- 井田仁康・吉田和義・平澤 香・浅川俊夫 (2012) 日本の学校地理教育における現状と課題. *E-journal GEO*, 7, 3-10.
- 飯塚浩太郎・山内啓之・鶴岡謙一・小倉拓郎・三好由起・小口 高 (2021) 地球科学分野における高等教育の充実のための VR 空間の試作. *バーチャル学会 2021 発表概要集*, 46.
- 池井 寧 (2019) バーチャルリアリティによる身体的追体験. *バイオメカニズム学会誌*, 43, 17-22.
- 井上 希 (2017) 大学・企業・自治体における GIS 教育の現状と課題—実習形式のプログラムを中心として—. *青山社会科学紀要*, 45(2), 39-66.
- 伊藤智章 (2007) 「アナログ手法」で鍛える GIS の知識と技能—防災教育を例に—. 45(Supplement), 26-27.
- 伊藤智章 (2012a) GIS と地理教育. *E-journal GEO*, 7, 49-56.
- 伊藤智章 (2012b) いとちりの防災教育に GIS (2) —ハザードマップの教材化—. *地理月報*, 527, 14-15.
- 伊藤智章 (2016) タブレットコンピューターを用いた「デジタル地図帳」システムの構築—沖縄修学旅行の研修教材の制作を中心に—. *E-journal GEO*, 11, 516-525.
- 伊藤 豊・竹内誠人・見上柊人・川村洋平 (2020) 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, 33-39.
- 岩崎亘典・森 亮・平敷兼貴・嘉山陽一・古橋大地・升本眞二・米澤 豪・吉田大介・ラガワン ベンカテッシュ (2014) FOSS4G を活用した衛星利用と環境劣化評価のためのキャパシビリティビルディング. *日本地球惑星科学連合大会 2014 年大会予稿*, HTT07-07.
- Jo, I., Hong, J.E. and Verma, K. (2016) Facilitating spatial thinking in world geography using Web-based GIS. *Journal of Geography in Higher Education*, 40(3), 442-459.
- 籠瀬良明 (2000) 『2000 年増強版地図読解入門』古今書院, 134pp.

- 亀岡嵩幸・Lcamu・誰彼人・ふじ・かた湯・天野ステラ（2021）バーチャル学会 2020.
日本バーチャルリアリティ学会誌, 26(2), 14-20.
- 片平博文・矢ヶ崎典隆・内藤正典・戸井田克己・友澤和夫・永田淳嗣・須貝俊彦・丸川知雄・木村圭司・大山修一（2020）『新詳地理 B』帝国書院, 340pp.
- 河端瑞貴・小口 高・岡部篤行（2004）米国の代表的 GIS カリキュラムと英語 GIS テキストの調査. GIS-理論と応用, 12(1), 81-89.
- Kawabata, M., Okabe, A., Oguchi, T., Kohsaka, H. and Murayama, Y. (2005) Development of GIS Core Curricula: A Curriculum Draft, Chapters 1 and 2. CSIS Discussion Paper, 66, 1-16.
- 河合豊明（2020）オンライン授業の取り組み. 新地理, 68(2), 13-16.
- Kemp, K.K. and Goodchild, M.F. (1992) Developing a curriculum in Geographic Information Systems. Journal of Geography in higher education, 15(2), 123-134.
- Kim, M.K. (2021) Continuity of Instruction: Hands-on Exercise in GIS Course. SCHOLE: A Journal of Leisure Studies and Recreation Education.
DOI: <https://doi.org/10.1080/1937156X.2021.1978912>
- 金田章裕・泉 貴久・岡橋秀典・小野有五・佐藤廉也・白岩孝行・日原高志・松橋公治・松原 宏・東京書籍株式会社（2020a）『地理 A』東京書籍, 207pp.
- 金田章裕・泉 貴久・岡橋秀典・小野有五・佐藤廉也・白岩孝行・日原高志・松橋公治・松原 宏・森島 済・和田康喜・東京書籍株式会社（2020b）『地理 B』東京書籍, 335pp.
- 北崎幸之助（2020）中学校における旅行者視点の防災・減災教育の実践—神奈川県鎌倉市の校外学習を例として—. 新地理, 68(1), 1-12.
- 小橋拓司（2005）小中高等学校教員の GIS に対する認知と教育 GIS の課題. 新地理, 60(2), 90-103.
- 小池則満（2016）地域環境要因を考慮した防災教育への Web GIS 活用に向けた実践的研究. 平成 27 年度 研究報告書（公益社団法人日比谷科学技術振興財団 研究助成事業）, 81-91.
- 小泉 武栄・青木 賢人編（2002）『日本の地形レッドデータブック 第 2 集』古今書院, 220pp.
- 国土交通省航空局（2022）無人航空機（ドローン, ラジコン機等）の安全な飛行のためのガイドライン. <https://www.mlit.go.jp/common/001303818.pdf>（最終閲覧日：11 月 22 日）

- Krakowka, A.R. (2012) Field Trips as Valuable Learning Experiences in Geography Courses. *Journal of Geography*, 111(6), 236-244.
- 小山耕平・岩佐佳哉・熊原康博 (2020) 「地理総合」における防災教育の授業の開発と実践—平成30年7月西日本豪雨で被災した広島市安芸区矢野を事例に一。 *地理科学*, 75, 174-183.
- 黒木貴一 (2014) 社会研究基礎 A における Google Earth を用いた演習の改善と効果. *福岡教育大学紀要*, 63(6), 1-6.
- 日下 哉 (2002) 『図解 日本地形用語事典 第2版』東洋書店, 252pp.
- Liu, F., Lin, A., Wang, H., Peng, Y. and Hong, S. (2016) Global research trends of geographical information system from 1961 to 2010: a bibliometric analysis. *Scientometrics*, 106, 751-768.
- Luetzenburg, G., Kroon A. and Bjørk, A.A. (2021) Evaluation of the Apple iPhone 12 Pro LiDAR for an Application in Geosciences. *Scientific Reports*, 11, Article number: 22221. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01763-9>
- Martin, W. (2018) Twenty Years of Edtech. *Educause Review Online*, 53(4), 34-48.
- McSweeney, K and WinklerPrins, A. (2020) Introduction to the Special Issue: Fieldwork in the 21ST st Century. *Geographical Review*, 110(1-2), 1-7.
- 宮下 敦 (2019) 第二次世界大戦前までの日本の教育用地形模型の歴史—西村健二の精密立体地形模型—. *サステナビリティ教育研究(成蹊学園・成蹊大学サステナビリティ教育研究センター)*, 1, 27-35.
- 三橋浩志 (2018) 地理教育における地形学習の最近の動向. *地形*, 39(3), 291-304.
- 文部科学省 (2014) 『高等学校学習指導要領解説 地理歴史編 (平成26年1月 一部改訂)』 125pp.
- 文部科学省 (2017a) 『中学校学習指導要領 (平成29年告示) 解説 社会編』 237pp.
- 文部科学省 (2017b) 『小学校学習指導要領 (平成29年告示)』 335pp.
- 文部科学省 (2018a) 『高等学校学習指導要領 (平成30年告示)』 602pp.
- 文部科学省 (2018b) 『高等学校学習指導要領(平成30年告示)解説 地理歴史編』 366pp.
- 文部科学省 (2018c) *Society 5.0* に向けた人材育成—社会が変わる、学びが変わる—. 1-26.
https://www.mext.go.jp/component/a_menu/other/detail/__icsFiles/afieldfile/2018/06/06/1405844_002.pdf (最終閲覧日: 2022年11月22日)

文部科学省 (2019) GIGA スクール構想の実現パッケージ.

https://www.mext.go.jp/content/20200219-mxt_jogai02-000003278_401.pdf (最終閲覧日 : 10 月 13 日)

Mui, A.B., Nelson, S., Huang, B., He, Y. and Wilson, K. (2015) Development of a web-enabled learning platform for geospatial laboratories: improving the undergraduate learning experience. *Journal of Geography in Higher Education*, 39(3), 356-368.

村越 真・小林岳人 (2003) 地形図読解問題解答の認知的プロセス. *地図*, 41(4), 17-26.

村山祐司・駒木伸比古 (2006) 空間データ分析マシン (SDAM) を活用した計量地理学の講義と実習. *筑波大学人文地理学研究*, 30, 99-112.

中村光則 (2019) システム思考で地域的諸課題を考察する高校地理学習—地域での危険回避を扱う単元「防災」と「防犯」の開発と実践—. *地理科学*, 74, 158-170.

中村 努 (2021) コロナ禍におけるバーチャル巡検の授業実践事例. *流通経済大学論集*, 55(4), 267-279.

中村洋介 (2016) 「地形系」からとらえる平野・海岸地形の学習—高等学校地理の参加型学習を通じた ESD—. *新地理*, 64(3), 1-15.

尾方隆幸 (2013) 学校教育における伊江島バーチャルジオツアーの実践. *琉球大学教育学部教育実践総合センター紀要*, 20, 213-217.

荻原 彰・前田昌志・森下祐介・宮岡邦任 (2022) ドローンを活用した小学校河川教育教材の開発—野外学習におけるドローンの活用—. *STEM 教育研究*, 4(3), 3-12.

小口 高 (2018) 地理情報システム(GIS)の教育. *測量* 2018 年 11 月号, 2-3.

小口 高 (2019) 地図と GIS の歴史的発展. *農村計画学会誌*, 38(4), 436-439.

小口 高・山内啓之 (2022) 1-2-2-13 CSIS (東大空間情報科学研究センター) の GIS 実習オープン教材の説明と活用法を学ぶ. 『地理総合』学校教育支援サイト (日本学術会議地域研究委員会・地球惑星科学委員会合同地理教育分科会), 1-8.

<https://www.chirougou.geography-education.jp/global-map-gis/digital-map-gis/mapping-spatial-analysis/csis/> (最終閲覧日 : 2022 年 10 月 18 日)

小倉拓郎・林 紀代美・青木賢人 (2017) 高等学校地理 A における地形を扱う学習の内容・展開に関する考察. *地形*, 38, 325-334.

小倉拓郎 (2021) 高精細地形情報を用いた地域環境理解のモデル構築. 東京大学大学院新領域創成科学研究科社会文化環境学専攻博士論文.

- 小倉拓郎・中村洋介・山内啓之・宋 佳麗・田村裕彦・小口 高 (2022) リモート環境を活用した高大連携授業の実践—地理総合を想定した地形・GIS 学習の事例—. 2022 年度日本地理教育学会第 72 回大会発表要旨集, 24.
- 岡部篤行 (1998) 空間情報科学の曙. 写真とリモートセンシング, 37(3), 1.
- 岡部篤行 (2006) 地理情報科学の教育と地理学. E-journal GEO 1, 67-74.
- 岡部篤行 (2008) 『地理情報科学標準カリキュラム・コンテンツの持続協働型ウェブライブラリーの開発研究 平成 17 年度～19 年度科学研究費補助金 (基盤研究 (A)) 研究成果報告書』 294pp.
- 岡部篤行・小口 高・高阪宏行・村山祐司・河端瑞貴 (2004) 『GIS コアカリキュラムの開発研究—カリキュラム原案の作成—』 地理情報システム学会 GIS 教育カリキュラム検討ワーキンググループ, 155pp.
- 大野翠子・ベンカテッシュ ラガワン・升本眞二・中野秀男 (2006) Moodle CMS を用いた GIS 教育のための e ラーニングコンテンツの開発. 情報地質, 17, 128-129.
- Ooms, K., Maeyer, P.D., Wit, B.D., Maddens, R., Nuttens, T., Weghe, N.V.D., and Vervust, S. (2014) Design and use of web lectures to enhance GIS teaching and learning strategies: the students' opinions. Cartography and Geographic Information Science, 42(3), 271-282.
- 大島英幹 (2013) 高校での GIS の導入状況. 2013 年度日本地理学会春季学術大会発表要旨集, 100058.
DOI: https://doi.org/10.14866/ajg.2013s.0_174
- 大島英幹 (2016) GIS 専門家による地理教育への支援. E-journal GEO, 10, 145-151.
- OSGeo 財団 (著) 森亮 (監修) (2011) 『FOSS4G HANDBOOK—フォスフォージーハンドブック—』 開発社, 232pp.
- 太田守重 (2014) 地理空間情報技術の学習支援ツールの設計と開発. GIS—理論と応用, 22(2), 13-23.
- Ou, K.L., Chu, S.T., and Tarng, W. (2021) Development of a Virtual Wetland Ecological System Using VR 360° Panoramic Technology for Environmental Education. Land 2021, 10(8), 829.
DOI: <https://doi.org/10.3390/land10080829>
- 小柳 和喜雄 (2016) 教員養成及び現職研修における「技術と関わる教育的内容知識 (TPACK)」の育成プログラムに関する予備的研究. 教育メディア研究, 23(1), 15-31.

- Paavilainen, J., Korhonen, H., Alha, K., Stenros, J., Koskinen, E., and Mayra, F. (2017) The Pokémon GO Experience: A Location-Based Augmented Reality Mobile Game Goes Mainstream. CHI '17: Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 2493–2498.
- Pendyala, V.S.S.N., G.K. and Vijayan, D. (2018) Developing Training Programs in Remote Sensing and Geospatial Applications. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences IV(5), 1-6.
- Rickles, P. and Ellul, C. (2015) A Preliminary Investigation into the Challenges of Learning GIS in Interdisciplinary Research. Journal of Geography in Higher Education, 39(2), 226-236.
- Rickles, P., Ellul, C. and Haklay, M. (2017) A suggested framework and guidelines for learning GIS in interdisciplinary research. Geo: Geography and Environment, 4(2), 1-18.
DOI: <https://doi.org/10.1002/geo2.46>
- Rip, F.I., Wallentin, G., and Lammeren, R.J.A. van (2014) “Integrated analysis of the demand for and supply of geospatial education and training—Results of the GI-N2K Surveys”. 37pp. <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/480877>
- Ruan, L., Long, Y., Zhang, L. and Lv, G. (2020) A Platform and Its Applied Modes for Geography Fieldwork in Higher Education Based on Location Services. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 10(4).
DOI: <https://doi.org/10.3390/ijgi10040225>
- 貞広幸雄・太田守重・佐藤英人・奥貫圭一・森田 喬・高阪宏行編 (2012) 『地理情報科学の知識体系』 53pp.
- 斎藤裕紀恵 (2021) EdTech の現状と展望—VR, AR, AI 技術の英語教育への応用—. 国際情報学研究, 1, 63-78.
- Sari, K.P., Komalasari, R., and Kanegae, H. (2020) Disaster learning through a map-based mobile application: an evaluation of its readability and user satisfaction. IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. 592, 012004.
DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/592/1/012004>
- Sasaki, M., Oguchi, T., Okabe, A. and Sadahiro, Y. (2008) GIS Education at Geographical Departments in Japanese Universities in Relation to the Japan Standard GIS Core

- Curriculum. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 17(4), 298-306.
- 佐々木 緑・小口 高・貞広幸雄・岡部篤行 (2008) 日本の大学における GIS 教育の調査—地理学関係学科・専攻の事例—. *GIS-理論と応用*, 16(2), 131-136.
- 佐藤崇徳・後藤秀昭 (2007) アナグリフによる地形実体視と地理教育での利用. *地図*, 45(1), 19-26.
- 瀬戸寿一 (2019) 地理情報システム (GIS) と社会—地理空間情報の活用から参加型 GIS へ—. *情報の科学と技術*, 69(6), 226-231.
- 瀬戸崎典夫・吉富 諒・岩崎 勤・全 炳徳 (2015) 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.)*, 85-88.
- 芝原暁彦・木村克己・西山昭一 (2015) 積層型精密立体地質模型—3D 造型とプロジェクションマッピングを用いた地下構造の新規可視化法とその応用—. *地図*, 53(1), 36-46.
- 柴田祥彦 (2020) WebGIS を活用した高校地理 B でのオンライン地形学習の実践. *地形*, 41(4), 418-421.
- 篠倉大樹 (2017) バーチャル手法による地理フィールドワークの試行—Google ストリートビューを用いた観察調査の実践例として—. *久留米大学コンピュータジャーナル*, 32, 76-82.
- Shirai, D., Oka, M., Yamamoto S. and Mori, H. (2017) Proposal of educational curriculum of creating hazard map with tablet-type device for school children. in: S. Yamamoto (Ed.) *Human Interface and the Management of Information Supporting Learning, Decision-Making and Collaboration*, Springer, 74–84.
DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-58524-6_7.
- Song, J., Yamauchi, H., Oguchi, T. and Ogura, T. (2022) Application of web hazard maps to high school education for disaster risk reduction. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 72, 102866.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2022.102866>
- 須原洋次 (2018) 高校地理教育実践の課題と展望—地理新科目の設置を見据えて—. *人文地理*, 70(1), 111-127.
- Sui, D. (1995) A Pedagogic Framework to Link GIS to the Intellectual Core of Geography. *Journal of Geography*, 94(6), 578-591.

- 高橋昭子・岡部篤行 (2008a) GIS ソフトウェア実習のオンライン学習教材の開発と授業実践. GIS-理論と応用, 16, 49-85.
- 高橋昭子・岡部篤行 (2008b) オンライン学習教材を用いた GIS 実習における学習者の類型化とその特徴. 地学雑誌, 117, 354-369.
- 高橋昭子・岡部篤行 (2010) オンライン教材による GIS 実習の学習効果を高める要因の分析とそれに基づく授業改善. GIS-理論と応用, 18, 29-38.
- 高橋 裕 (2021) 地理院地図を活用した水害リスクと持続可能な地域づくりを考察する授業展開およびその効果. 新地理, 69(2), 69-81.
- 高瀬南歩 (2021) UAV-SfM を用いた千葉県屏風ヶ浦における地形変化プロセスの分析. 東京大学大学院新領域創成科学研究科修士論文.
- 田村裕彦・早川裕弐・守田正志・小口千明・緒方啓介・小倉拓郎 (2020) 総合的な学習の時間を活用した地理・地形教育の実践—地域文化資源を用いた小規模公立小学校への地域学習から—. 地形, 41, 343-361.
- Tamura, Y., Oguchi, C.T., Hayakawa, Y.S., Ogata, K., Ogura, T. and Morita, M. (2020) Multidisciplinary conservation activities and community development based on the Yokohama City registered his-toric site “Taya Cave”. Opera Ipogea (Journal of Speleology in Artificial Cavities), NUMERO SPECIALE 2020, 75-84.
- 谷 謙二 (1994) 主題図作成・分析支援ソフト「MANDARA」. 地理, 39(10), 128-129.
- 谷 謙二・斎藤 敦 (2019) アンケート調査からみた全国の高等学校における GIS 利用の現状と課題—「地理総合」の実施に向けて—. 地理学評論, 92(1), 1-12.
- 谷 謙二・佐藤俊樹・大西宏治・岡本耕平・奥貫圭一 (2002) 中学校における地理教育用 GIS の開発と教育実践. GIS-理論と応用, 10(2), 69-77.
- 土田義郎 (2007) サウンドエデュケーションの技法—基本的考え方と応用例—. 騒音制御, 31, 26-30.
- UCGIS (2022) Current Topics in the Geographic Information Science & Technology Body of Knowledge.
(https://ucgis.memberclicks.net/assets/docs/BoK/Topic_Overview_9_30_2022.pdf 最終閲覧日: 2022 年 10 月 18 日)
- 上野 創 (2022) 必修で脱「暗黒時代」へ期待 高校の地理総合 足りぬ教員、争奪戦も. 朝日新聞デジタル

- (<https://www.asahi.com/articles/ASQ6B00BBQ67UTIL03N.html> 最終閲覧日：11月14日)
- 海津正倫 (2020) ハザードマップを補う地形分類図と陰影起伏図の活用. *E-journal GEO*, 15, 221-227.
- ト部勝彦 (2010) 地理教育における地形図読図をめぐる諸課題. *地図*, 48(2), 35-42.
- 薄井宏行・樋野公宏・真鍋陸太郎 (2017) GIS 操作法の教育の現状と課題—東京大学工学部都市工学科の演習における ArcGIS と QGIS の同時教育を通じて—. 第 26 回地理情報システム学会講演論文集(CD-ROM).
- 碓井照子 (2016) 新科目「地理総合」における地図/GIS リテラシー教育の在り方. *地図*, 54(3), 7-24.
- Velev, D. and Zlateva, P. (2017) Virtual Reality challenges in education and training. *International Journal of Learning and Teaching*, 3, 33-36.
- Vojteková, J., Tirpáková, A., Gonda, D., Žoncová, M., and Vojtek, M. (2022) GIS Distance Learning during the COVID-19 Pandemic (Students' Perception). *Sustainability*, 13(8), 1-16.
- Wallentin, G., Hofer, B. and Traun, C. (2015) Assessment of Workforce Demands to Shape GIS&T Education. *Transaction in GIS*, 19(3), 439-454.
- Walshe, N (2017) Developing trainee teacher practice with geographical information systems (GIS). *Journal of Geography in Higher Education*, 41(4), 608-628.
- 渡辺 俊 (2008) GIS 教育のための E-learning システムの開発. 地理情報システム学会講演論文集, 17, 513-518.
- West, B.A. (2003) Student Attitudes and the Impact of GIS on Thinking Skills and Motivation. *Journal of Geography*, 102(6), 267-274
- 矢部直人・橋本暁子 (2016) 教員養成系大学・学部におけるシラバスからみた GIS 教育の現状. 兵庫教育大学大学院連合学校教育学研究科教育実践学論集, 17, 213-218.
- 山本隆太 (2021) 大井川下流域の水防災教材の開発—「水にまつわる地域の歴史 <大井川>」を事例として—. *静岡大学地域創造教育研究*, 2, 31-41.
- 山元 翔 (2019) 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, 49-56.

- 山本正三・石井英也・手塚 章・池田 敦・内山幸久・小田宏信・柏木良明・菊地俊夫・菊池美千世・呉羽正昭・中西僚太郎・松山 洋・宮原弘匡・山川修治（2020b）『新編詳解地理 B 改定版』二宮書店，326pp.
- 山本正三・石井英也・手塚 章・菊地俊夫・秋本弘章・井田仁康・新堀 毅・林 敦子・松山 洋（2020a）『基本地理 A』二宮書店，200pp.
- 山内秀夫・山口幸男・菊地俊夫（1986）国立大学教員養成系学部における地理学野外実習の実態について．新地理，33(4)，16-27.
- 山内啓之・小口 高・早川裕弐・瀬戸寿一（2019）GIS の標準コアカリキュラムと知識体系を踏まえた実習用オープン教材の開発と評価．E-journal GEO，14，288-295.
- 山内啓之・小口 高・小倉拓郎（2020）GIS を用いた地形教育のためのオープン教材の試作と評価．地形，41，363-375.
- 山内啓之・鶴岡謙一・飯塚浩太郎・小口 高（2021）高精細地形情報と VR 技術を用いた野外調査の体験アプリの試作．CSIS DAYS 2021「全国共同利用研究発表大会」研究アブストラクト集，21.
- 山内啓之・鶴岡謙一・小倉拓郎・田村裕彦・早川裕弐・飯塚浩太郎・小口 高（2022）三次元地理空間情報と VR 技術を用いた遺構の散策アプリの試作と評価—地理教育への応用に向けて—．E-journal GEO，17，169-179.
- 横井正敏（2019）地理教育におけるハザードマップ活用の可能性と課題—木曾三川流域の輪中と河道変遷に焦点をあてて—．新地理，67(1)，13-27.
- 米島万有子・谷端 郷・村中亮夫（2022）新型コロナウイルス感染症(COVID-19)流行下におけるハイブリッド型による GIS 実習の実践と課題．GIS-理論と応用，29(2)，161-168.
- 吉田 孝（1977）『鎌倉の密教地底伽藍「田谷の洞窟」』宗教工芸社，136pp.

論文内容の要旨

GIS (Geographic Information Systems/地理情報システム) は、コンピュータで地理情報の管理、分析などを行う設備や技術である。近年、GISが社会に広く普及し、産官学のさまざまな分野でも活用されている。GISやその関連技術が社会の基盤をなす情報インフラになっている現状を考慮すると、GISの基本概念や活用手法などを、次世代を担う若者に向けて教育することが社会の発展に重要といえる。

本論文ではGIS教育に含まれる地理情報科学の教育(以下、GISc教育と記す)を対象とする。論文の第1章では、1) GISを用いた地理的事象の視覚的分析の教育、2) GISによるデータ処理の教育、3) GISと関連した空間表現の新技术による教育について、現状と課題を整理した。第2章から第4章では、上記の1)～3)に関するGISc教育の教材を構築し、教材を用いて中等教育、高等教育、市民教育などを対象とする授業実践を行った。実践の際にはアンケート調査などを行い、その結果に基づいて教材の教育上の有効性を検討した。第5章では多様な実践の結果を総合的に評価し、今後のGISc教育のあり方や、その充実のための手法について検討した。

GISc教育には「GISを教える(学ぶ)」と「GISで教える(学ぶ)」の2つのアプローチがあるが、両者は相互に関連しており、教える側と教わる側によって同一の内容の位置付けが変わるため、2つを明確に分けて議論することは難しい。そこで、本研究では主に教わる側に注目し、GISc教育で養うべき知識・技能を次の三点に絞った。一点目は、デジタル地図と授業などで得た知識を関連させて、地理的事象を判読・解釈するための知識・技能である。二点目は、GISの基本概念を理解し、空間データを視覚的・数理的に分析するための知識・技能である。三点目は、地図以外の空間表現から、地理的関心を高めたり、地理的事象の特徴に気づいたりするための知識・技能である。これらの達成の度合いが、各実践の学習効果や教材の有用性などの評価の基準となる。

第2章では、GISを用いた地理的事象の視覚的分析の教育について検討した。第2章1節では、防災学習を対象に二次元表示のWebハザードマップを構築し、それを用いて土地の脆弱性を検討する授業を行った。授業の参加者はレイヤを切り替えて防災情報を表示できる地図を操作しながら、各設問に取り組んだ。一部の参加者は、対象地域において特に危険性が高いと思われる地域を選び、その理由を記す問いにも回答した。その結果、参加者は自身の判断で地図のレイヤを切り替えたり、重ね合わせたりしながら地域の脆弱性を検討できたが、参加者の4割程度は学習に難しさを感じた。この難しさの要因には、GIS特有の概念の理解があると考えられるが、GISに限らず地図の読図そのものに課題をもつ人もいたと判明した。

第2章2節では典型地形の学習に利用できる三次元表示のWebGISを含む教材を構築し、授業実践を行った。また、教材の学習効果や使用感を分析するために、実践の提出課題の正答率の分析と、地形の読み取りの難易度などに関するアンケートを行った。提出課題は、

本教材を用いて行う地形の授業の前（調査Ⅰ）と後（調査Ⅱ）に課した。課題のうち、構築した地図から地形の種類（扇状地など）を判読する設問の平均正答率は、調査Ⅰでは24.3%、調査Ⅱでは40.9%となり、地形に関連した文章の正誤を尋ねる設問の平均正答率は、調査Ⅰでは59.1%、調査Ⅱでは74.3%であった。この結果は、三次元表示のWebGISを用いた授業が、地形の理解に役立ったことを示す。一方で、地形を読み取る設問の平均正答率は調査Ⅱでも約4割であった。この理由として、受講者は地形に関する用語や模式図といった既存の知識と、実際の地形を対応させて読み取る作業に難しさを感じたことが挙げられる。

第3章では、GISによるデータ処理の教育について検討した。大学生向けのGISの実習用教材を構築し、その教材を用いて対面やオンラインのGISの実習授業を行った。この実践は、個人のペースで学習に取り組む形式と、教員の操作画面を見ながら全員で一斉にGISを操作する形式で実施した。学習効果の評価には、主に五段階で難易度などを回答するアンケートを用いた。各実践の結果、すべての事例で大半の受講者がGISの学習に難しさを感じつつも、授業に満足感を得たことがわかった。この難しさは、データ形式や測地座標系の理解など特有の学習内容と、PCのやや複雑な操作が要因と考えられる。また、中高生を対象とする実践で再構成した教材を利用したところ、地理学的な見方・考え方の優劣が内容の理解度と関係すると示唆された。本教材は、個人のペースで学習に取り組む形式の授業に有効であるが、対面授業でもオンライン授業でも受講者の感じる難易度に有意な差はなかった。教員の操作画面を追従して学ぶ形式の授業でも本教材は活用できたが、いずれの授業形式にも不満を持った人が一定数いた。したがって、2つの授業形式をミックスすると、大多数の受講者に効果的な授業を提供できると判断される。

第4章では、GISと関連した空間表現の新技术による教育を実践した。第1節では、地形模型の3Dプリンティングの特徴と、模型を用いた授業実践が地理的事象の理解に与える効果を検討した。地形模型の3Dプリンティングの際には、地形に関する知識が求められる。とくに対象範囲の選定時には、出力される模型の表面の凹凸を考慮する必要がある。中等教育で扱われる典型地形には、低地の地形など小起伏で広範囲に分布するために模型に適さない場合がある。本事例では、地形模型が受講者の地形の関心や、授業の満足感を高める効果を確認した。模型の観察時には、手に持って見回しながら手指で表面を触察することで、侵食地形の特徴などを詳しく理解できた人がいた。

第4章2節では、ドローンで撮影した典型地形の全天球画像を教材として整備し、それを用いた授業実践の教育効果を検討した。教材は、スマートフォンのジャイロセンサーと連動して映像が切り替わるように設計した。アンケートでは、授業が楽しかったと回答する人がおり、教材が学習意欲の向上に効果的と推察された。一方で、地形の理解に対する本教材の有用性は、学習者の地形に対する知識の量や判読の技能といった個人差の影響が大きく、一般論としての評価は難しかった。本教材を授業で利用する場合には、他の教材との併用によって地形の理解度を高めるといった工夫が必要と考えられる。

第4章3節では、横浜市の「田谷の洞窟」を再現したデジタルな三次元空間を巡る体験を行うVRアプリを開発し、その体験の効果をアンケート調査によって評価した。その結果、開発したアプリが利用者に広く満足感を与えたことが判明した。さらに体験者の約半数は、単に仮想空間を歩きまわるのみではなく、実際の地理的事象に対する関心や理解を高めることができた。

第4章4節では、三次元地理情報とメタバースのVR技術を組み合わせ、フィールドワークを仮想空間で近似体験する教材を作成した。この教材を用いて、オンライン学術イベントの中でバーチャルフィールドワークの体験会を実施した。この際にはアンケート調査を行い、参加者の移動ログも取得した。その結果、参加者の大半は満足感をもってバーチャルフィールドワークを体験した。ほとんどの参加者は構築した空間に好印象を持ち、参加者の移動の記録からは、イベントの中での学習で得た知識に基づく行動が確認された。本教材を応用すれば、様々な地域でのフィールドワークを遠隔で近似体験できる。一方で、従来のフィールドワークで利用されてきた現地記録のための道具などが、VRではまだ充実していないという課題も指摘された。

第5章では、第2章～第4章の実践を踏まえて、1) 中高生と大学生のGIScの学習の改善案、2) GISの普及を目的とした教員の育成、3) EdTechを用いた教育における本研究の貢献という3つ観点から、今後のGISc教育の充実について検討した。1) では、現在のGIScの学習で求められている知識・技能を、基本的なPC操作、GISの基本概念、中等教育レベルの地理的知識に整理した。これらは今後の教育政策の転換による充実が期待できる。一方、既存の地理教育の問題点である読図の学習については、理解度の向上に寄与する新たな教材の整備が必要と考えられる。2) では、高等学校の新必修科目の「地理総合」が、GISの普及に重要な役割を担うことを念頭に、地歴科教員や、その養成課程の大学生のGIScに関する学びの充実を検討した。現役の教員には、知識・技能の習得度に対応して個人のペースで取り組められるような教材の提供と、講習会の実施が有効といえる。この際には、本研究で整備したようなGIScの学びに関する教材群を、TPACKフレームワークと関連づけて活用することが有用と考えられる。3) では、本研究が地理教育におけるEdTechの最新の利用事例であることを指摘した。近年、EdTechとして教育用AIが注目されており、GISc教育でも、この活用を検討すべきといえる。その際には、地図の操作時の座標やデータ処理の実行時のログなどの情報が利用できることを、今後の展望として提示した。

謝辞

本研究を進めるにあたり、指導教官である東京大学空間情報科学研究センターの小口高教授にはいつも丁寧なご指導および助言をいただいた。本博士論文の審査員の東京大学新領域創成科学研究科の須貝俊彦教授、田村 亨准教授、中村和彦講師、東京大学空間情報科学研究センターの関本義秀教授からは、本文の質の向上につながる多数の有益なコメントをいただいた。

北海道大学地球環境科学研究院の早川裕弍准教授、駒澤大学文学部地理学科の瀬戸寿一准教授、東京大学空間情報科学研究センターの飯塚浩太郎助教、筑波大学生命環境系の小倉拓郎助教、山東大学の宋 佳麗研究員、東京大学空間情報科学研究センターの鶴岡謙一客員研究員、田谷の洞窟保存実行委員会の田村裕彦委員長、桐蔭学園高等学校の石橋 生教諭、公文国際学園中等部・高等部の中村洋介教諭をはじめ、多くの方から研究に対するご協力とご意見をいただいた。また、研究室のメンバーの皆様にもご意見及び励ましのお言葉をいただいた。博士課程進学の際や在学中には、家族から精神的に支えていただいた。ここに記して感謝申し上げる。