

博士論文

高精細地形情報を利用した地域環境理解のモデル構築

(Model construction of regional environmental understanding
using high-definition topographic data)

小倉拓郎

博士論文

高精細地形情報を利用した地域環境理解のモデル構築

(Model construction of regional environmental understanding
using high-definition topographic data)

令和元年 12 月 博士（環境学）申請

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空間情報学講座

小倉拓郎

目次

第1章	はじめに	1
1.1	地域住民と地域環境との接点	1
1.2	地域環境と自然環境モニタリング	3
1.3	研究目的および研究対象地	5
第2章	学習指導要領における地理・地形学習の実態と多時期のオルソ画像を活用した地形学習の実践	8
2.1	はじめに	8
2.2	現行の学習指導要領（平成20年度改訂版）における地形学習の扱い	9
2.3	高等学校地理Aの教科書における地形用語の使用頻度と他の単元との連携	11
2.4	地形プロセスを理解するための授業実践	14
2.5	対象・授業実践の内容	15
2.5.1	対象とする児童	15
2.5.2	学習材の整備と授業実践の内容	15
2.6	結果と考察：児童らの発言から	16
2.7	授業後の展開：災害図上訓練と水防訓練	17
2.8	まとめ	18
第3章	地域環境理解のための UAV-SfM 手法を用いた差分解析の事例	
3.1	はじめに	27
3.2	研究対象地域概要	29
3.3	愛知川扇状地における地形変化観測の概要	29
3.4	2 時期の地形情報（DSM）の位置合わせの最適化	30
3.4.1	鉛直誤差の空間分布を利用して DSM の位置合わせの最適化を行う手法	30
3.4.2	位置合わせ最適化後の差分解析結果とその解釈	31
3.5	差分解析により明らかになった地形プロセスについての考察	32
3.6	まとめ	33
第4章	3D プリントを用いた地域自然環境の理解	
4.1	はじめに	39
4.2	展示の概要	41
4.3	研究手法	41
4.3.1	3D プリントの作成方法	41
4.3.2	アンケート調査内容	43

4.4	結果	43
4.4.1	来場者からの意見	43
4.4.2	視覚障がい者からの意見	44
4.5	考察	45
4.6	まとめ	47
第5章	大型地形模型を利用したアウトリーチ活動とその効果検証	59
5.1	はじめに	59
5.2	対象地域概要	60
5.2.1	横浜市栄区田谷町周辺地区	60
5.2.2	横浜市登録史跡「田谷の洞窟」	61
5.2.3	授業実践校の概要	62
5.3	授業実践の概要	63
5.3.1	小学校学習指導要領における総合的な学習の時間の取り扱い	63
5.3.2	本授業実践の位置づけ	64
5.3.3	本授業実践の構成と変遷	65
5.4	授業実践①田谷の里山地形模型製作（2017年度実施）	66
5.4.1	授業実践の年間計画	66
5.4.2	学習材の整備	67
5.4.3	授業実践	67
5.5	授業実践②田谷の洞窟の輪切り断面模型（2018年度実施）	71
5.5.1	授業実践の年間計画	71
5.5.2	学習材の整備	71
5.5.3	授業実践	72
5.6	授業実践③田谷周辺の災害被災立体模型（2019年度実施）	75
5.6.1	授業実践の年間計画	75
5.6.2	学習材の整備	76
5.6.3	授業実践	76
5.7	考察	77
5.8	まとめ	80
第6章	総合考察	108
6.1	高精細地形情報の提示方法の多様性と地球科学教育・アウトリーチにおける効果	108
6.2	高精細地形情報の空間解像度・空間スケールと閲覧者の理解	109
6.3	高精細地形情報の時間解像度・時間スケールと閲覧者の理解	111
6.4	高精細地形情報の次元と閲覧者の理解	112

6.5	自然量の時空間変化と基礎的尺度の定着	113
6.6	高精細地形情報を地球科学教育・アウトリーチに生かすためには	114
第7章	まとめ	119
	謝辞	122
	参考文献	124

第1章 はじめに

1.1 地域住民と地域環境との接点

地域環境は住民にとってその生活から切り離すことのできない背景要素であり、人間が日常生活を営む上で、地域住民がその居住地域において、その地域の地域環境を理解することは、短期的にも長期的にも重要なことである。すなわち、数年から十数年といった短期的な時間スケールにおいては、その地域の文化や歴史に基づき、地域環境に即した生活を営むことで、日常的な「豊かさ」を創出することが可能となる。一方、数十年から数百年、さらには数千～数万年間という地質学的な長期的時間スケールの視点では、低頻度ながら大規模な災害などの非日常的経験をもたらす長期的な地域環境の変動に対する理解も重要であり、無視できない。しかし、こうした短期的・長期的な地域環境の変動や状況を包括的に概観し、その微細な変化を感受したり大規模な変動を予測したりすることは、多くの地域住民にとって困難である場合が多い。なぜなら、後述の通り、地域環境を客観的に理解するための情報に地域住民が直接的に触れる機会は限られており、日常生活のなかで地域環境の短期的・長期的変化を考察することはほとんどないと考えられるからである。

一方、経済成長による産業の変化や都市圏の拡大にともない、住民と地域環境との接点が、これまでになく減少していることが懸念されている（鈴木ほか 2000）。さらには、多くの地域において、住民と地域環境との物質的・精神的つながりが弱まることにより、住民の地域環境への無関心化がさらに進行するという循環が観察されている（鈴木・藤井 2008）。しかしながら、自然災害を例にすると、たとえば2011年の東日本大震災を受けて改訂された国の防災基本計画（内閣府 2020）においては、「住民自身が積極的に関与する防災」が重要視されている。すなわち、住民自身が主体的に災害に対する事前準備を行い、発災時には適切な対応で被害を量的・質的に軽減することが求められている。そのためには、住民が災害特性に関して日常的に学習を継続するとともに、発災時の避難方法や対策の必要性・重要性を十分に理解し、リテラシーを高めておく必要がある（林・青木 2011; Zhang et al. 2014）。

地域環境の基盤となる自然環境に着目すると、日常的に繰り返される地域単位での環境保全活動や環境改変に関する研究・調査・公共事業等は全国各地で見られるものの、実際に生じている自然環境や自然現象について、地域住民やステークホルダー（河川であれば流域住民、河川管理者、漁協など）の理解度は低い水準にある（安江・倉橋 2017）。そのため、

さまざまな価値観や利害関係を背景にもつ地域のステークホルダーに地域の自然環境をより深く理解してもらい、かつ実践的な地域環境保全の活動につなげてもらうためには、研究・調査・公共事業等成果の積極的かつ分かりやすい発信・周知活動が必須である (Allon and Sofoulis 2006; Larson et al. 2010) .

研究者と住民との双方向的な科学コミュニケーションには、研究者が住民に対して科学の内容を繰り返し、わかりやすく発信することが求められる一方で、科学に対する住民の基礎的な知識を定着させることも必要とされている (Varner 2014; Cooke et al. 2016). 研究組織や大学教員によるアウトリーチ活動、サイエンスコミュニケーション活動の必要性や重要性は、とくに1990年代後半から主張されている。たとえば、『平成16年科学技術白書』(文部科学省 2004) には、「今後、科学者等が社会的責任を果たす上で求められるのは、今までの公開講義のような一方的な情報発信ではなく、双方向的なコミュニケーションを実現するアウトリーチ (outreach) 活動である」と記載されている。これは、若者の科学技術離れが社会問題として取り上げられるようになった1990年代初頭からの流れを汲んだものであると考えられる。その結果、様々な学問分野で、学会を挙げて積極的なアウトリーチ活動を推進する流れがある (たとえば, Gregory et al. 2013; Asher et al. 2015; 長谷川 2017).

アウトリーチ活動に類似する語として、「広報」や「教育」という用語がある。これらの用語の分類にはいくつかの見解があり、たとえば中洲川・川島 (2004) は、これらの用語を時間軸によって整理できるとし、「広報」は即時性を求めて反応を得る比較的タイムスパンの短い活動であるのに対し、「アウトリーチ」は、準備期間も含めた数日～数ヶ月の単位での活動を指し、これが数ヶ月～数年というさらに長い単位をかけていくと、「教育」になると述べている。一方、「教育」と「アウトリーチ」をほぼ同意とみなしている研究も存在する (例えば Potter 2001 など)。本稿では、科学に触れて興味を持ってもらう行為を「アウトリーチ」、基礎的な科学の素養を身に付けてもらうことを目的とした行為を「教育」と呼称する。

地域環境を理解するためには、地域住民の科学に対する基礎的な素養が必要である (Larson et al. 2010). 地域住民が科学に触れることができる最も身近な場として、学校教育がある。特に義務教育課程 (小学校課程・中学校課程) は、日本国民が教育を受ける権利を有している教育課程であり、地域住民全員が科学に対する基礎的素養を身に付ける上で重要な場のひとつである。学校教育では、文部科学省が定める学習指導要領のもと、各教

科・科目において別々に学習が進められている。特に地域環境についての学習機会は、生活科・社会科・理科などで多い。特に生活科・社会科では、児童・生徒の発達段階に応じて学習する地域のスケールが大きくなっていく。特に身の回りの地域を学習する小学校低学年～中学年では、身体経験としての居住環境から徐々にスケールを広げて、地域環境についての学習を進めることになっている。また、自然環境については、その現象や形状の分布・地域差を社会科で、成因やプロセスは理科で学習することになっている（山本・尾方 2018）。このように複雑な事象が存在する地域環境において、取り扱う内容（たとえば社会環境・自然環境の動態など）が教科という区切りの中で分断されてしまい、地域を主体として多面的・多角的に学習する視点を十分に養成できていないという課題もある。

教科の枠を超えた教科横断型学習を進める取り組みとして、総合的な学習の時間が 1998 年版学習指導要領より新設され、教科外の課題探究型・問題解決学習のための科目として全ての校種で実施されている。現行の学習指導要領では、身の回りにある様々な環境問題・社会問題の状況について、問題の解決や探究活動に主体的、創造的、協同的に取り組む態度を育てることが求められており、学習の取り組みの中で自然体験や観察・実験などの体験的な学習や地域住民との双方向コミュニケーションなどを実施することが有効的であるとされている（文部科学省 2018）。しかし、基礎学力の低下が指摘され、一般教科の授業時数が増加したため、科目開設後、2 度の学習指導要領の改訂で授業時数が削減されている。また、運用体制についても、教職員の異動による地域との継続した連携・協働できる体制づくりのマネジメントの難しさ、教師の業務増加などの影響で地域連携が必ずしも円滑に進められている状態ではないとされている（釋迦堂 2019）。

1.2 地域環境と自然環境モニタリング

地域環境を住民がより身近に認知し理解を深めるためには、自然や歴史を背景とした地域環境そのものの情報化と、その伝達手法の構築が重要な基礎的手段となる。しかしながら、学校教育や地域活動を通じた地域環境に関する情報伝達の試みや体系化の検討は行われてきているものの（藤岡 2007；降旗ほか 2009）、地域環境をより正確に把握し、情報伝達を効率化するための検討はこれまでに多くない。とくに地域環境の基盤となる自然環境に着目すると、そのモニタリング手法については防災や環境保全といった観点からトップダウン的な施策が日本各地において網羅的に実施され、その技術的な面での発展も著しいもの

の(岡本 2016), その成果に関する地域住民への還元や, 地域住民からのボトムアップ的な取り組みの再構築といった, ソフト面での活動については相対的に乏しい。

たとえば, 自然環境のうち, とくに河川環境に着目してみると, 日本の河川は世界でも有数の急流河川であることは広く知られている。海外の河川と比較した場合, 日本の河川流域では土砂生産量が多く, 侵食・運搬・堆積作用が極めて活発であり, 斜面災害や土石流, 河川氾濫が多発する(Oguchi et al. 2001)。そのため, 日本の河川では, 砂防や治水を目的としたダムや堤防などの構造物が高度経済成長期以降に多く設置され, 河道内での土砂の堆積量や移動量が制限されている。そのため, 河床堆積物の固定化や樹林化, 岩盤の露出が顕著に生じている場所も多く(高橋ほか 2009), 河道生態系への影響や下流域での洪水災害リスクの増加などが懸念されている(水野ほか 2018)。しかしながら, こうした防災や環境保全に関する地域の自然環境の実態は, 地域住民に必ずしも十分に伝達されているとは言えない。

一方, 自然環境モニタリングの手法に着目すると, このような地域における自然環境の変化を観測し定量化するためには, たとえば人工衛星によるリモートセンシングや空中写真測量などによる計測が行われてきた。これは, 比較的広域な範囲を均質な解像度で俯瞰し, 情報化するためには有効な手法である。しかし一方で, これらの計測成果は広域の自然環境の実態やその変化を捉えることを主としている上に, 観測頻度の自由度が低いため, 住民が実感できる時空間スケールにおける自然環境の微細な変化を提示するためには, 十分な時空間解像度を満たすことが難しい場合もある。ところが, 近年, UAS (Unmanned Aerial System; 無人航空機) と SfM (Structure from Motion) 多視点ステレオ写真測量を組み合わせた地形計測手法(本稿では以下 UAS-SfM 手法と呼ぶ)や, 航空・地上・移動型レーザ測量, 高精度 GNSS (Global Navigation Satellite System) などの高精細・高頻度な地形計測手法が普及してきており, 自然環境・河川環境調査に適用される事例が増えてきた(Tarolli 2014; Passalacqua et al. 2015; 早川ほか 2016)。これらの計測技術は, 従来の空中写真測量や衛星画像分析よりも高精細に, かつ任意のタイミングで地表面を計測することができるため(小花和ほか 2014), より細かい空間スケールにおける現象を対象とし, かつ速度が大きい自然環境変化を捉えることが可能となる。すなわち, 地域住民が身近に感じる時空間スケールでの自然環境の実態とその変化を, 最適な解像度で情報化し, 地域住民に伝達することが可能になると期待される(小倉ほか 2019)。

さらに, 自然環境変化の現地観測にもとづくモニタリング手法の発展も著しい。河川環境

に関して言えば、各地に分布する基地における水位・流量や水質、雨量などの基礎的な現地観測情報に加え、タイムラプスカメラやビデオカメラを用いた可視画像の定時・常時観測も普及しつつある（渡辺ほか 2017; Nakamura et al. 2019）。森林環境においては、映像のみならず音声情報も常時観測し、デジタルメディアやインターネットを介して配信するシステムも構築され、自然環境の情報化とその効果的な伝達手段の開発が進められている（斎藤ほか 2005; 中村ほか 2020）。

こうした自然環境モニタリングに関する発展的技術を、地域環境理解のための教育・アウトリーチ活動に活用することで、地域環境理解に対する地域住民の関心を向上できると期待される（Jacobson et al. 2015）。また、こうした最新の科学技術は地域住民にとって馴染みの薄いものである一方、それに触れることにより高揚感が得られることも期待できる。したがって、これらの最新の自然環境モニタリング技術を活用することで、身近な地域で実際に生じている自然現象の実態を、直接的かつ関心を惹くかたちで地域住民に伝えることが可能となる。ここで、多種多様な自然環境モニタリングの最新技術のなかでも、高精細地形情報に着目すると、その出力・提示方法に関して、提示する範囲（空間スケール）における解像度の調整や、印刷物として出力する際の方法などを柔軟に調整可能であるため、住民の地域環境に関する関心や属性、理解度にあわせた適切なかたちで提供することが可能と考えられる。しかしながら、その具体的な提示方法に関する知見はこれまでに蓄積が少なく、地域自然環境の地物を対象とした高精細地形情報を取得し、その成果を地域住民へと提供・発信する上で、より効率的な手法・モデルの開発・構築が求められる。

1.3 研究目的および研究対象地

以上より本研究では、地域の高精細地形情報を取得・分析する方法を構築するとともに、地域住民に地域環境を理解するための伝達手法に関する評価を行い、地域環境に関する理解を深めるためのモデル構築を行うことを目的とする章の構成を図 I-1 に示す。研究対象地は以下の 3 地域を選定した。これらの調査地を選定した理由は、それぞれ地域環境を保全・保護しようとする機運が高まりつつあり、モデル構築の先進例としてふさわしいものと判断したためである。

1 例目は、石川県の手取川流域である。手取川流域は、国内でも有数の急流河川であり、手取川ダム建設前には融雪出水による外水氾濫が頻発していた（島津 1996）。手取川ダムが

竣工された 1979 年以降、大規模な氾濫は発生していないものの、ダム下流域における河床の固定化が見られ、河道内の土砂移動が少なく、河道の樹林化等の災害リスクが高まっている（辻本ほか 2001）。手取川流域は 2005 年に市町村合併によって上流から下流までの大部分を白山市が占めるようになり（下里・菊池 2016）、2011 年の白山手取川ジオパークの国内認可により、山地から海岸までのつながりを意識した環境教育が活発に行われている（青木 2015）。そこで、地域の高精細な自然現象を捉えた教材を利用した防災教育を実施する対象地域として選定し、学校教育における地形や防災の学習内容を整理しながら授業実践の効果について検証する。第 2 章にて詳細を論じる。

2 例目は、滋賀県の愛知川流域である。愛知川流域は、手取川流域と同様に、2006 年の市町村合併によって上流から下流までの流域全体を東近江市が占めている。愛知川でも、上流にある永源寺ダムの竣工以来、河道の固定化が顕著に表れている。魚類生態系を保全するために、2017 年に滋賀県が大規模な河床耕耘を通じた大型実験を実施した（北井ほか 2018）。また、東近江市を中心に行政と密接に協力して研究成果を市民に提供・発信する仕組みが構築されているため、対象地域として選定した。愛知川流域での事例は、第 3 章にて耕耘箇所での砂礫堆変動の抽出に関わる手法構築・精度検証、第 4 章にて地域の博物館でのアウトリーチ活動を通じた地形認識に関わる検証に関して論じる。

3 例目は、神奈川県の田谷の洞窟周辺である。都市域と農村域に挟まれた都市近郊農村と位置付けられる本地域では、劣化の進む文化資源の保全活動が進められてきている（Germinario et al. 2020; Hayakawa et al. 2020; Oguchi et al. 2020 など）。また、文化資源を取り巻く地域環境も日々変化しており、文化財周辺における高規格幹線道路の建設や宅地造成等により急激な都市化が見られ、地域環境を見つめなおす機運が高まっている（Tamura et al. 2020; 田村ほか 2021）。文化資源や地域環境の保存や活動の周知等の取り組みが活発に行われていることから、地域の高精細な地形情報を利用した環境教育を展開する対象地域として適しているため、選定に至った。第 5 章にて詳細を論じる。

以上の 3 つの事例を踏まえて、第 6 章では地域環境理解のために高精細地形情報がどのように有用であったのかを論じる。その上で、第 7 章では、本研究の結論と展望について述べる。

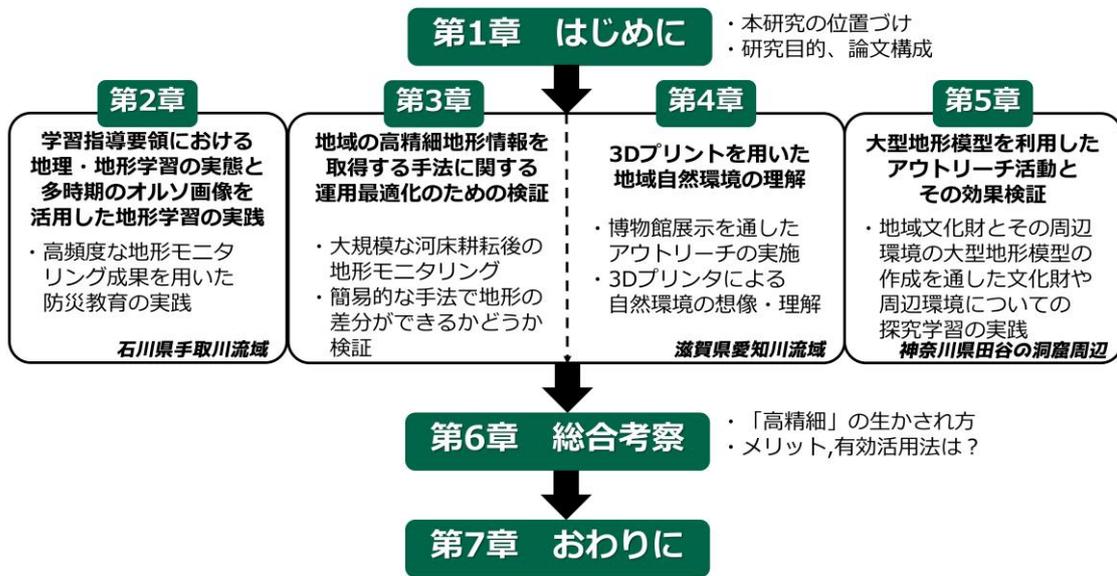


図 I-1. 本研究のフローチャート.

第 2 章 学習指導要領における地理・地形学習の実態と多時期のオルソ画像を活用した地形学習の実践

2.1 はじめに

自然地理学においては、地球表層で生じる自然現象を主な対象とするが、地形、水文、気候、植生といったさまざまな自然現象は、人間の活動にも密接に関わっている。こうした多様な自然現象を人間の尺度から理解するためには、現象を示す用語の表面的な知識だけでなく、その背景までを含めた現象の総合的な知識を得ることが不可欠である。そのためには、用語や文章だけではなく、画像や映像、音声といったマルチメディアコンテンツを用いた現象の解説が有効であると考えられる（たとえば木原・水越 1992）。すなわち、自然地理学の基礎的な内容を総体的に学習・理解するためには、板書による座学だけではなく、室内実験やその動画、野外写真などの適切な教材を提示し、学習者が自然現象についての想像を膨らませることができるように誘導することが必要である。一方、日本の初等中等教育における地球科学教育は、地理（社会科・地理歴史科）と地学（理科）とに分けられている。そのうち、地理は、いわゆる「文系科目」とされている社会科・地理歴史科に配置されているが、地形や気候などを含む自然地理分野を教授し学習者の理解を効果的に促すためには、教授する側において、社会科・地理歴史科で主として扱われる人文的な現象に関する知識や素養のみならず、地学や生物学など関連する自然科学分野の素養も必要である（三橋 2018）。しかしながら、社会科や地理歴史科の教員のなかでは歴史を専門とする教員が多くを占めており（武者 2000）、さらに彼らの多くは、地理に関する教育への意識が低く、自らが地理を教えることに不安を抱えていると指摘されている（武者 2000, 藤田 2013）。このため、地理を専門としない教員により行われる社会科としての地理の授業においては、教科書に挙げられた用語のみを重要語句として生徒に覚えさせるという授業展開に終始し、生徒がそれらの地理用語を覚えたという事実や、加えて授業において多くの語句を扱ったという教員側の努力目標の達成事実によって、教員が安心してしまいうという傾向がみられる（天野 2005）。その結果として、地理は、網羅的・羅列的な暗記学習であるというイメージが定着してしまっている。これに対する批判も多く寄せられており、たとえば大学入試問題の地理においても、知識偏重となり、地理そのものに対する興味を失わせる内容が多いことから、「地名物産の地理」と揶揄されてきた（竹部 1998）。また一方で、現行の学習指導要領にお

いては、「地理」の科目において自然現象のメカニズムそのものを学習すること自体が制約されているといった問題がある。すなわち、地理の授業で自然現象を網羅的に取り扱うことは、地理が社会科・地理歴史科に位置づけられていることと、理科や地学といった他の科目との棲み分けを行う必要があることから、学習指導要領の中で制限がかけられている。このため、社会科・地理歴史科としての地理の授業を実施する上では、自然地理学的な基礎事項を理解する機会・環境が十分に整っているとはいえない（山縣 2017）。

ここで、これまでの地理の授業における取り組みのなかで、とくに地形を扱う学習に注目すると、地形教育の実践では、動的な地形変化を示すために、実験の動画や経時的に撮影された複数の写真等を用いることで、地形変化現象の把握をねらった授業展開も検討されてきている（たとえば森 2004, 天野 2005）。しかしながら、そうした取り組みの数は限られており、地理教育全般を見渡したときに、自然地理の学習内容やメカニズムに対する、教える側の関心・理解の醸成はいまだ十分ではないと指摘されている（藤永 2015）。

そこで本章では、まず、自然地理的現象のうち、地形を事例として、学習指導要領における地形学習の取り扱いを整理する。とくに、最も基礎的な学習材である教科書の中に出現する用語の使用頻度や場面、説明内容など、その扱われ方について精査する。その上で、地形変化を可視化することによってその変化を追うことのできる複数時期のオルソ画像を活用して、地形変化に着目した授業を実施し、地形プロセスの理解を促す教育を実践する方法を提示する。これは、第一次的には学習指導要領に基づく地理の授業からは外れたかたちで試験的に実施する授業実践であるが、将来的には地理の授業としても実施できる内容へと発展することを目指し、実施・提案するものである。

2.2 現行の学習指導要領（平成 20 年度改訂版）における地形学習の扱い

平成 20 年度改訂版の学習指導要領解説（文部科学省 2010）における地形に関する学習の位置づけを整理する。

小学校および中学校社会科の学習指導要領における地形学習の位置づけについては、三橋 (2018) にて詳細に指摘されており、以下では三橋 (2018) を参考にしながら記述を行う。小学校社会科では、3～5 年生で地理を学ぶカリキュラムが構成されている。具体的には、小学校 3 年生では市町村調べ、小学校 4 年生では都道府県調べ、小学校 5 年生では国土学習を行うことで、児童の発達段階に応じた空間スケールで知識・技能を習得する。このうち、

地形学習に関しては、小学校3年生では、「高低」や「開けた、囲まれた」など、地球上に凹凸があることに気づかせることを目標としている。小学校4年生では、都道府県内の主要な地形の空間的な「位置」と「広がり」を認識し、自ら地図に示す技能の習得を目的としつつ、その枠組みの中で、平野、河川、海などの地形の名称を学ぶ。小学校5年生では、児童が国土認識する骨格を地形から把握することを学習目標としている。特に、日本列島にある脊梁山脈を中心に、日本全体の急峻な地形的な特徴を掴むことを目指している。さらに、日本の国土における地形の差異と人々の生活のかかわりを学ぶ学習も取り入れられており、自然環境と社会環境との関係性を学ぶ基礎的な学習内容が築かれている。

中学校社会科では、主に地理分野において地形学習が実施されている。系統地理と日本地誌の単元でそれぞれ学習機会が設けられているが、地理自体は世界地誌の学習が中心であるため、このなかでは日本の地形についてを単独で学習するのではなく、世界の地形と比較するなかで地形の特徴を学ぶことになっている。よって、自然地理学としての地形学習への深入りはしないことも配慮することが求められている。一方、中学校社会科における防災学習でも、その基盤として地形学習の項目が設けられており、ここでは日本の地形を自然災害と防災に関連させて、系統地理的に学ぶという内容になっている。

高等学校の地理Aでは、主に「(1) 現代世界の特色と諸課題の地理的考察 (イ 世界の生活・文化の多様性)」および「(2) 生活圏の諸課題の地理的考察 (イ 自然環境と防災)」に地形に関する項目がみられる (図 II-1)。

(1) では、地理的環境は自然環境と社会環境の2つから構成されるとしている。まず、地形・気候などの自然環境について諸要素の分布の差異や類似性について理解したのちに、社会環境である人々の生活・文化と自然環境との有機的な関係に生徒が気づくよう指導することが求められている。

(2) では、2013年度改訂で導入された「イ 自然環境と防災」に関する単元において、地形用語が多用されている。ここでは、自然災害の自然現象としての理解(自然環境的理解)と、自然現象と人々との関わりや地域性の理解(社会環境的理解)、これらを踏まえた災害への対応を学習することとしている。さらに、旧版地形図やハザードマップの読み取りなど地理的技能を活かして地形を学ぶことも意識されている。

また、自然地理の学習では、必要に応じて生物や地学などの科目で扱われる事象にも言及する必要があるが、前述のように、学習指導要領においては、地理の科目で取り扱う事象を限定する規定(いわゆる「はどめ規定」)が存在する。この「はどめ規定」に関して、学習

指導要領解説（文部科学省，2010；99p）においては、「（生物・地学等の）学習成果を地理的事象の空間的な傾向性や諸地域の特色と関連付け，地理的な考察のために活用することを忘れてはならない」と記されている。すなわち，この規定は，地理の授業において，生物や地学等の科目で取り扱われる内容を教授することを制限しているのではなく，それら他科目からの学習成果の取り扱い方について言及しているに過ぎない。しかしながら，地理教育の現場においては，こうした他科目の学習成果の取り扱い方に意識が向けられるわけではなく，むしろ他科目で扱われる内容との棲み分けを行わなければいけないといった考え方がもたれる傾向にある。そのため地理の授業においては，細かな地形プロセスなどといった自然科学的な内容まで踏み込んで授業を展開することは避けられてしまうことが報告されている（菊池・菊池 2013，山本・尾方 2018）。

2.3 高等学校地理 A の教科書における地形用語の使用頻度と他の単元との連携

学習指導要領によると，基礎的知識としての地形用語の大半は「地形の単元」で習得することになっている。その後の地理的環境を構成する社会環境やその他の生活・文化を学ぶ応用的な単元の中では，基礎的環境としての地形用語を用いて学習することになる。では，実際の教育現場で教員が授業を計画，実施し，生徒が学ぶ際に基礎的な学習材となる教科書では，地形用語は具体的にはどのように扱われているのだろうか。

そこで，2016 年度現在使用されている 2013 年度学習指導要領のもとで作成された地理 A の教科書全 6 冊（出版社 5 社，本文中では教科書 A～F と表現する。）の記述全てより地形に関する用語を抽出し，使用頻度を整理した。その際，「地形の単元」とそれ以外の単元（応用的単元）に分けて集計を行った。そして応用的単元のなかでの地形用語の利用の場面や説明等の扱われ方を確認し，地形に関わる学習が有効に展開されているか検証を試みる。

まず，地形の単元での地形用語の使用頻度は，高頻度（採択教科書 5・6 社）のものが 27 語，中頻度（採択教科書数 3・4 社）のものが 34 語，低頻度（採択教科書数 1・2 社）のものが 107 語であった。特に，全ての教科書で使用されていた地形用語は「活断層，サンゴ礁，扇状地，河岸段丘，三角州，自然堤防，氾濫原，沖積平野」であった。使用頻度が低いにも関わらず教科書中で太字（重要語）となっている語句が多い。これは，地理 A に特に重要な地形用語に関する共通理解がないことを示している。使用頻度が低い地形用語の多くは，地形の単元のみで使用されている傾向にある。例えば，「ドリーネ」は，次のように言及され

ている。

カルスト地形の円状のくぼみのうち、単体の小さなものは**ドリーネ**、それが連なったものは**ウバーレ**、巨大なくぼみに成長したものは**ポリエ**とよばれる。くぼみの内部に農地や集落ができていて大規模なものもある。

(教科書C:カルスト地形と乾燥地形 注より)

※枠線中の太字になっている単語は、教科書中で太字で扱われているものである。

ここでは、「ドリーネ」という用語が出現するものの、ウバーレ・ポリエなどとともに用語が羅列して記述されているにとどまっており、写真などでの説明も行われていない。また、氷河地形に関わる用語である「カール」は、次のように言及されている。

寒冷な地域では、降った雪が圧縮されたり凍ったりして氷のかたまりに代わり、**氷河**となる。氷河は、長い時間をかけてゆっくりと流れ下りながら、谷を深くえぐり取り、**U字谷**や**カール(圏谷)**をつくる。氷河が溶けて現れるU字谷の谷底は平坦で、農牧業などが営まれている。

(教科書F:氷河・カルスト地形 より)

ここでも、氷河地形に関する用語が連続して使用されている。学習指導要領では「用語や概念を細かく列挙してその解説に終始したりするような扱いは避けるべき」との記載があるにも関わらず、2つの例のように用語の紹介に限定して扱いがある用語が多く存在している。また、ポリエでは農地や集落に、U字谷でも農牧業に触れられており、人々の生活・文化との関わりを意識して記述されている。しかし、地形と土地利用の有機的な関係性は説明されておらず、事項の説明が並列的になっている。

図II-2で示したように、応用的単元における地形用語は地誌学習の地域の概要を示すために使用される頻度が高い。地誌的分野において地域の概要以外で地形用語が多く利用されていた場面は、農業を扱う単元である。例えば、地誌学習における農業を扱う単元で「沖積平野」が以下のように説明中で利用されている。

東部や南部の沿岸地域は、黄河、長江、チューン川(珠江)などの大河川によって沖積平野がつくられ、広大な**稲作地帯**となっている。

(教科書A:階段状に広がる台地—中国の自然環境 より)

ここでは、沖積平野で稲作が営まれるという事実は記述されているが、なぜ沖積平野で稲作地帯が広がるのかという理由までは踏み込んで書かれていない。本来、形成過程や構成物

質などに言及することにより、沖積平野が水田稲作耕作の適地であることが理解できる。地理歴史科の学習指導要領では地形の成因について言及しないこととされているが、地形と土地利用の空間的対応だけでは、両者の有機的な関係性を理解することができない。全教科書が重要語として取り上げている地形用語であっても、この程度の扱いにとどまっている。

その他の地誌の単元の中では、地下資源の分布や地形を生かした観光業などの説明で地形用語が用いられており、その頻度は低い。さらに応用できる単元を増やすことで人文社会現象の成因や人と自然とのかかわりをより理解することができる可能性が広がる。

さらに、地形の単元で学習した用語が再び利用されている傾向にある単元は、防災である。防災の単元では、多くの教科書で地形用語の解説のあとに、自然災害への備えや対策の方法などが記述されて、日常生活と結びついた学習構成となっている。しかし、地形の単元で使用されていない用語が防災の単元で初めて使用されることも多い。例えば、噴火災害と関連して「土石流」「泥流」「火砕流」が初めて使用され、以下のように記述されている。

地下のマグマが地上まで上昇して噴出したのが**火山**である。約1万年前以降に噴火があった火山は**活火山**とよばれる。活動度の高い火山については、常時、監視されている。北海道の有珠山は、沈み込む太平洋プレートに近く、ほぼ30年周期で噴火してきたことが明らかにされている。(中略)

マグマの粘り気が高く、火山の中で圧力が高くなってきわめて激しい爆発が生じる時には、溶岩がバラバラに砕けて厚い雲のような状態になり、それが一気に火山を駆け下って山麓に押し寄せる。これが**火砕流**である。その速度は時速300 km以上にも達し、逃げることはほとんどできないため、発生を予知して事前に避難することが最も重要である。

また、噴火と大雨、融雪などが重なると、大量の火山灰や礫が押し出されて、**泥流**や**土石流**が発生することがある。

(教科書A：火山と防災 より)

ここでは、プレートという用語が使用されながら、火山とプレートの関係は示されておらず、形成メカニズムや地形の単元で学習した内容との関連性が薄い。また、泥流と土石流の違いも明記されておらず、用語の羅列になっている。

社会環境に対する地形プロセスの負の有機的結びつきが自然災害である。防災学習を進めるためには、地形の単元で学習した地形用語を用いて地形プロセスを理解した上で、地形プロセスと社会環境双方の空間的多様性の組み合わせの結果として生じる自然災害の地域性を理解することが不可欠である。しかし、この単元においても地形用語が羅列的に扱われ

ていることで、防災意識を抱かせたとしても、具体的な対策へと結びつきにくくなっている。

地形の単元で学習した用語が他の単元に利用されている事例は、現状では、基礎的な知識と応用的側面が並列的な記述にとどまっている。この両者について「なぜなのか」という関係性に踏み込んだ記述をしなければ、並列的な記載を脱することができない。そのためには、学習指導要領では最小限の取扱いにとどめておくべきであると記載されている地形の成因にまで踏み入れて、人々の暮らしと地形との関係を理解させる必要がある。

2.4 地形プロセスを理解するための授業実践

以上のように、学習指導要領に基づく教科書の内容から想定される、初等中等教育の地理における地形を扱う学習では、自然現象としての地形そのものの変化を把握し、なぜそのような変化が起こるのかといったことまでを考慮するような、地形プロセスを学ぶことが制限されている傾向がある。一方、学習指導要領を改訂するためには、その根拠となる学習実態の事例や、それらの客観的な評価の蓄積など、一定の時間と労力がかかることは容易に想像できる。また、そうした学習の実例についても、小学校から中学、高等学校に至るまでのカリキュラムを系統的に精査し、さまざまな条件下で実践してゆくことで、効果的な方法の開発を緻密に計算してゆく必要があると考えられる。そこで、こうした学習指導要領に基づく地理の授業で提供できる内容と、実質的な自然現象の理解に至るまでのギャップを埋める第一歩として、地理・地形学習の初歩的な段階に位置づけられる小学校において、特別授業を利用して、地理に関する学習指導要領の枠外における地形学習の授業実践を試みた。

対象地は石川県南西部（石川県白山市・川北町）を流れる手取川流域とする（図Ⅱ-3）。手取川は、白山（標高 2,732m）を含む高起伏な山地に源流を持ち、流域内での土砂生産量が多い河川である（島津 1995）。幹川流路延長は 72.0 km、水源から河口までの平均勾配は約 1/27 の急流河川であり、融雪出水による外水氾濫が頻発していた。1934 年の集中豪雨による手取川水害では、上流域での斜面崩壊などによって生産された土砂が河口まで達し、流域各所で氾濫も起こり多大な被害を与えた（島津 1996）。そのため、これまでの氾濫による地形プロセスによって、地域自然環境の基盤が形作られているといえる。

手取川は、下流の扇状地区間でも急勾配のため、礫床網状河川となっている。この区間は、1979 年の手取川ダム運用開始以前は河口付近まで裸地的環境が広がっており、砂礫の入れ替わりが活発であった。しかし、ダムの運用開始以降は出水量がコントロールされ、大規模

な出水が減少し、河道の固定化がみられている。その結果、豪雨災害の頻度は低下している。しかし、河道の樹林化等にもなう洪水時の破堤といった災害リスクは依然大きいため、災害に対する備えは喫緊の課題である（金沢河川国道事務所 2018）。災害頻度が低下した現在、居住地域を流れる手取川の災害リスクが形骸化されている現在、地元の児童や地域住民に対して地形プロセスを理解してもらう教育実践を試みることで、自然科学の素養を用いて防災意識を高めることができると考えた。

2.5 対象・授業実践の内容

2.5.1 対象とする児童

対象とする小学校は、石川県川北町内にある3つの小学校（川北小学校・橘小学校・中島小学校）の第5学年の児童あわせて100名である。すべての小学校が手取川の右岸側に位置しており、日常的に手取川の風景を見ている。本授業を含めた指導計画を表Ⅱ-1に示す。小学校の児童らに、防災特別授業を計5時間実施した。なお、本授業は国土交通省金沢河川国道事務所調査第一課および金沢大学の青木賢人氏と合同で実施した。

2.5.2 学習材の整備と授業実践の内容

「手取川を知ろう！～手取川の怖さを知ろう～」というタイトルで、児童らが通っている小学校付近を流れる手取川の地形プロセスの特徴（侵食・運搬・堆積）について解説した。その中で、本研究で作成した UAV-SfM 手法を用いたオルソ画像をベースとした教材を提示し、礫や泥などの河川材料の分布や移動の様子を観察してもらい、気づいたことを発言してもらった。UAV-SfM 手法で作成した手取川河床の高解像度オルソ画像（2017年7月・9月撮影、縮尺 1/20,000）を作成した。これらのオルソ画像の間には、ダムによる大規模な出水が生じており、最も大きな地形変化が生じている。作成した学習材の一例を図Ⅱ-4に示す。SfMで作成したオルソ画像を ArcGIS Pro 10.2 で抽出し、方位とスケールを挿入した。この教材を提示した際に出てきた児童たちの発言を記録し、彼らの地理的思考について記録し、その反応について考察する。

2.6 結果と考察：児童らの発言から

児童らの発言を図Ⅱ-5にまとめた。児童らは、提示したオルソ画像から2か月間で動いた石、動かなかった石や枝などに注目して、撮影間に流水があったことに気づいていた。その後、動かなかった石が動くためにはどうすればいいかを想像した児童から、「強い流水がくれば石は動く」という発言があった。その後、気づきの良い児童から、「もっと強い流水があったらどうなるのか」という発言があった。児童らはその気づきから、「大きな石を動かすことができるようになる」という新たな気づきを得ていた。

これらの気づきを得た児童に対して、1934年に発生した手取川大洪水の写真を提示した(図Ⅱ-6, Ⅱ-7)。児童たちは、上流にある大きな岩がなぜ河道内にあるのかを想像し、「普段流れている水よりも強い流水で運ばれてきた」という発言があった。児童たちは、提示した河川の2時期のオルソ画像から流水と礫の運搬・堆積状況を読み取り、河川の営力の大小について理解することができた。また、河川は、普段見慣れた平常時の状態と、増水時の状態でギャップが存在することや、それに伴って河川地形が大きく変化することが意外であるという気づきを得ていた。その上で、普段から備えを行っていないなければならないという意識が芽生えたと考えられる。

児童らは、2時期のオルソ画像の間に起こった地形変化を想像する段階で、「強い流水がくれば石は動く」「流水の強さが強くなればもっと大きい石が動く」ということを経験的に理解した。これは、酒井(1982)で述べられている Individual Scale という尺度で説明できる。Individual Scale とは、目測あるいは体感によって自然量を数量的に把握するために、個人の間隔の中にそれぞれのスケールが備わるための基本的な尺度のことをいう。ここでは、地形変化という自然量が、2時期のオルソ画像の差異によって知覚量と認識量の両方で捉えることができ、河川の水量や河床材料の大小を自由に変換させながら、非日常的な自然環境変化を想像することができたと考えられる。酒井(1982)では、室内における学習では、測定できるものや規模が限られるため、Individual Scale の確立のためには、野外において自然量がどのような形で存在しているかどうかを確かめながら測定することが必要であると述べられている。一方で、本研究で用いた学習材を利用することで、自然量の認識のシステムが室内でも再現可能になっていることが明らかとなった。

この実践では、2時期のオルソ画像を比較することで、河道内の多時期の変化を追跡することができた。まず、学習材として利用した UAV-SfM 由来のオルソ画像は、数 cm～数 mm 程

度の河床材料（礫，砂，泥など）の動きを児童らが画像から捉えられる水準にあることが利点である。これは，オルソ画像が従来の空中写真の解像度では特定できない空間解像度や，河床材料の動きを細かく捉えることができる時間解像度を有しているためである（Smith et al. 2016）。また，地形の変化が発生した時間スケールが，児童たちが体感できるレベルのスケールであることも，地形変化の様子を想像することができた一因であると考えられる。UAV-SfM 由来のオルソ画像は，その高時空間解像度の地形情報を可変することも利点として挙げられる。データの取得についても，空中写真の購入や高度なりモートセンシング技術を必要とせず，簡易的な空撮と写真測量ソフトのみで実現することが可能である。対象とする地形についても，関係法令を遵守さえすれば反復計測することができるため，本実践のように児童のなじみの深い河川を選択し，非日常的な景観の変化を見せることができる。

また，本実践は，社会や理科などの教科学習の枠組みで実施せず，総合的な学習の時間に行った授業実践である。そのため，各教科の学習を総合的に踏まえながら，学習内容や目標を自由に設定できることが利点として挙げられる。その一方で，あくまでも教科学習の枠外で実施しているため，学習指導要領の改訂に直接的に結びつくものではないことが欠点として挙げられる。そのため，教科学習として自由度の高い地球科学教育が定着するまでは，特別授業という形式での実践を繰り返しさらにその先の学習指導要領改訂に向けた基礎情報として蓄積していくことの重要性が求められる。

2.7 授業後の展開：災害図上訓練と水防訓練

本研究で実施した授業に引き続き，その発展的な取り組みとして，国土交通省金沢河川国道事務所が Web-GIS をベースとして作成した「手取川洪水はん濫表示システム」を使用し，手取川で氾濫が起こった際に自分の通っている小学校ではどの程度浸水するのかを計算してもらい，災害図上訓練（DIG; Disaster Imagination Game）を実施した。手取川洪水はん濫表示システムは，ブラウザ上で動作できるため，インターネットに接続したタブレット端末を利用した。小学校ごとにグループを作り，担任教諭にタブレット操作を実施してもらい，洪水の想定浸水高を読み上げて児童に記録してもらった。また，川北町および金沢河川国道事務所が合同で，手取川河川敷にて水防訓練を実施した（図 II-8）。ここでは，実際に体を使って災害時の行動について振り返る内容の学習を実施した。その上で，まとめとして小学校ごとに水害から身を守るためにできることについて考える学習を実施した。

この学習ののち、地方公共団体が主催する防災訓練に参加したり、家庭で水害について話し合う機会を設けたりすることで、授業内で理解した河川営力や過去・未来の災害の規模を体系的に復習する機会を設けた（図Ⅱ-9）。本授業を通して、水害から身を守るために体系的に自分の身を守る行動をとる練習を行うことができた。

その後、国土交通省金沢河川国道事務所が作成した手取川氾濫情報システムを利用して、計画水位高で氾濫し破堤した場合に、各小学校にどの程度の時間で流水が到達し、水位高はどの程度まで達するのかを調べてもらった（図Ⅱ-10）。タブレット端末を配布し、教員が測定した内容を児童たちはメモをして、通っている小学校は安全であるかどうかについて考える機会を設けた。集まった3つの小学校間でも立地が異なり、同規模の洪水が発生しても、微妙な地形の高低差で被害の大小が変わることを感じ取っていた。こうしたことから、室内で実施した本研究による授業実践の成果が生かされていたものであろう。

2.8 まとめ

本研究では、小中学校・高校の学習指導要領や、高等学校地理Aの教科書における地形用語の取り扱いについて整理したのち、地形の単元での地形用語の使用頻度や他の単元への応用などを含めて実用性を検討した。

現課程（平成20年度版）下での地理Aの教科書では、地形用語が多数扱われている一方、地形の小分類まで踏み込んだ詳細な地形用語の使用も多く、出現頻度に関わらず用語や地形の概念の解説に終始するような記述が施されていることが多い。また、用語の羅列になっているため、どのようにして地形が形成したのか、その地形があるため人間はどのような住み方をしているのか、など本来地形用語を習得する際に必要な日常生活との関わりを学習することが難しくなっている。地理Aの学習時間を考えると、地形と日常生活の関わりに関する記述を単純に増やすのではなく、同時に学習内容を精選し、教える内容を削減していくことも必要である。地形用語に関していえば、地形と日常生活との関係を理解する上で必要となる重要単語を精選し、それはなぜなのか、どのように自然が関与しているかが見えるような体系的な学習を構築することが必要である。今後作成される地理総合の教科書では、地理総合の理念が十分に反映される教科書になることを期待したい。

学習指導要領の改訂で地理総合が必修化されることは、地理に触れ合う生徒が現状よりも増えることで地理に親しみをもちやすくなることが期待される。一方、学習する内容が従

来通りの用語暗記学習に終始してしまえば、地理という学問自体への関心・学習意欲が低下しかねない。用語の並列的な列挙を避けて、成因やプロセスの理解を促すことで他の分野との有機的な結びつきが可能となる。学習指導要領の理念を十分に生かせる教科書や用語の選択、内容の精選を行うことで地理総合の学び方の検討の可能性は大いに広がる。そのためには、学習指導要領に規定されているいわゆる「はじめ規定」の内容も踏まえつつ、「地理」とらわれず「地球科学」的な作用も盛り込んだ、動的な自然現象の理解を促す必要性がある。現在、学習指導要領は策定中であるが、将来的には地理に関する学びの制限をなくして、実用的な科目になるためにも「文系科目」という枠組みにこだわらない科目に発展することが望まれる。

その上で、本章では児童たちが普段目にしている河川をキャプチャした高精細地形情報を用いることによって、普段見慣れた風景から非日常的な自然環境の様子を想像することで、防災に関する意識を高めることができた。また、その基礎的な尺度を用いて、過去や未来の災害規模について想像することで、より人生経験に寄り添った災害のイメージを施すことができた。そのため、児童たちも積極的に発言できたものであると考えられる。

本研究では、授業実施の制約上、児童たちの発言を記録するに留まっており、学習効果の定量的な検証については実施できていない。しかしながら、授業実践を経た上での防災訓練において、児童の地形に関する理解がより深まる傾向があることが観察され、一定の学習効果が得られたことが示唆されている。こうした学習効果を得ることが本研究における授業実践の第一義的な目的であったが、今後はその効果を定量的に検証することも必要であると考えられる。これにより、他の事例における実践結果との比較や、より汎用的な授業計画の提案等に結びつくことが期待される。このために、たとえば、高精細な地形情報の利用の有無を比較することなどで、学習効果の検証が可能となるであろう。一方、本研究における授業実践では、とくに複雑な地形プロセスを学ばずとも、体系的に洪水の発生に関して想像を喚起することができた。すなわち、学習指導要領で定められている「はじめ規定」に関しても、複雑な現象を対象とせずとも、自然現象をより柔軟に理解できるような取り組みを実践することによって、より充実した防災教育のコンテンツを整備できると考えられる。

1. 科目の性格と目標

(2) 目標

現代世界の地理的な諸課題を地域性や歴史的背景、日常生活との関連を踏まえて考察し、現代世界の地理的認識を養うとともに、地理的な見方や考え方を培い、国際社会に主体的に生きる日本国民としての自覚と資質を養う。

2. 内容とその扱い

(1) 現代世界の特色と諸地域の地理的考察

世界諸地域の生活・文化及び地理的課題について、地域性や歴史的背景を踏まえて考察し、現代世界の地理的認識を深めるとともに、地理的技能及び地理的な見方や考え方を身に付けさせる。

イ 世界の生活・文化の多様性

世界諸地域の生活・文化を**地理的環境**や民族性に関連付けてとらえ、その**多様性**について理解させるとともに、異文化を理解し尊重することの重要性について考察させる。

(内容の取扱い)

イについては、世界諸地域の生活・文化について生活を広く大観する学習と事例地域を通して考察する学習を組み合わせることで、生活と宗教のかかわりなどについて考察させるとともに、**日本との共通性や異質性**に着目させ、異なる週間や価値観などをもっている人々と共存していくことの意義に気付かせること。

「地理的環境」とは、地域の自然環境と社会環境を意味している。自然環境については、自然環境を構成する諸要素のうち、**地形**、気候などの主要要素の分布の特色を世界的な視野から大観させ、**諸地域の自然環境の差異や類似性**に気付かせることとともに、各構成要素は相互に有機的に関係しながら諸地域の人々の生活・文化に対して様々な役割を果たし、意味をもっていることを理解させる。また、中学校社会科地理的分野の内容や生物・地学的な事象の学習内容も踏まえつつ、広い視野から学べるよう工夫する必要がある。



(2) 生活圏の諸課題の地理学的考察

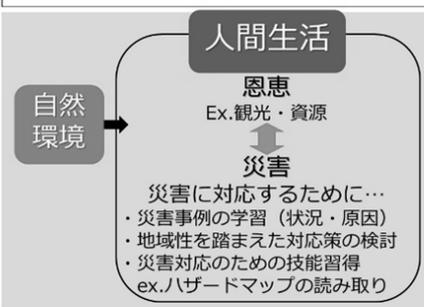
生活圏の諸課題について、地域性や歴史的背景を踏まえて考察し、地理的技能及び地理的な見方や考え方を身に付けさせる。

イ 自然環境と防災

我が国の自然環境の特色と**自然災害とのかかわり**について理解させるとともに、国内にみられる災害の事例を取り上げ、**地域性を踏まえた対応**が大切であることなどについて考察させる。

(内容の取扱い)

イについては、日本では様々な自然災害が多発することから、早くから自然災害への対応に努めてきたことなどを具体例を通して取り扱うこと。その際、**地形図やハザードマップなどの主題図の読図**など、**日常生活と結びつけた地理的技能**を身に付けさせるとともに、防災意識を高めるよう工夫すること。



(中略) 自然災害をより緩和するためには、自然災害を回避するための行動がとれるような知識とその知識を得るための技能を養う必要がある。地理学習においては、**自然災害を引き起こす自然環境とその被害を受ける人間の生活**とを合わせて取り上げるため、それらの接点でもある自然災害は従来の地理学習においても扱われていたが、より一層の充実を図るため、新たにこの中項目が設けられた。

(中略) 我が国の自然環境の特色については、変化に富んだ地形や気候が、美しい景観や豊かな水資源、生活・生産の基盤となる土地を形成したといった**人間の生活に有益な側面**がある一方で、そのような特色は**自然災害と表裏一体**であることを理解させる必要がある。

(中略) 単に自然災害による被災状況を学習させるだけでは、災害への恐れを抱かせて、かえって災害に対するあきらめや無関心を招くことにつながりかねないため、冷静に災害の危険性を判断できるように、**災害の規模や頻度に関する正しい知識を身に付けさせる**ことが重要である。(中略) 例えば、沖積平野の地形と集落の立地を旧版地形図から読み取らせることによって、人々が河川の氾濫による被害がより少ない自然堤防などの微高地に居住していたことが理解できる。

「**地域性を踏まえた対応が大切である**」とは、あらゆる自然災害に対する備えをすることは困難なため、対応を優先するべき災害が地域によって異なることや、同じような災害に対しても、地域によって対策が異なることを意味している。例えば、(中略) 地震が発生した場合にも平野の都市では地震に伴う建物の倒壊に対する備えが優先されるが、山間の村落では、地震に伴う土砂災害に対する備えが優先されるといった地域的な視点からの学習が求められる。

(中略) このため学校所在地や生徒の居住地周辺のハザードマップを読み取ったり、過去に起こった災害の様子を調べたりするといった学習活動を通して、**生徒の生活圏においても自然災害の危険があることを具体的に認識させ、それへの対応を考えさせて防災意識を高める**よう工夫する必要がある。

3. 指導計画の作成と指導上の配慮事項

(4) 政治、経済、生物、地学的な事象などの扱いについて

学習過程で政治、経済、生物、地学的な事象なども必要に応じて扱うことができるが、それらは空間的な傾向性や諸地域の特色を理解するのに必要な程度とすること。

(中略) 自然地理に関する内容は特に理科の地学や生物に関する科目と関連が深い。したがって、指導計画の作成に当たっては、相互の科目の特性などを考慮して、関連、調整を図ることが大切である。

(中略) 政治、経済、生物、地学的な事象に発展した学習成果を地理的事象の空間的な傾向性や諸地域の特色と関連付け、地理的な考察のために活用することを忘れてはならない。

図 II-1 平成 20 年度版学習指導要領「高等学校地理 A」における

地形学習の取り扱いの整理。

「地形の単元」における
地形用語の出現頻度

6
5
4
3
2
1

古期造山帯, 新期造山帯, 安定大陸
(安定地塊・安定陸塊), プレート,
活断層, 沖積平野, 扇状地, 三角州
(デルタ), 河岸段丘, 自然堤防,
氾濫原, 土石流, サンゴ礁, 地震,
火山, 砂漠, リアス海岸, 地すべり,
後背湿地, カルスト地形, ワジ (涸
れ川)

変動帯, 火砕流, 侵食平野, フィヨ
ルド, U字谷, 山岳氷河, 活火山,
海溝, 断層, プレートテクトニクス,
環太平洋造山帯, 洪積台地, 堆積平
野, V字谷, 砂州, 水無川, 三日月
湖 (河跡湖), 海岸段丘, 砂浜海岸,
岩石海岸, 海岸平野, 氷河, 崖崩れ,
土壌侵食

ラグーン (潟湖), 外的営力, 内的営
力, 造山運動, 楕状地, 卓状地, 広が
る境界, せばまる境界, ずれる境界,
海嶺, メディアンライン (中央構造
線), フォッサマグナ (糸魚川-静岡
構造線), 準平原, 台地, 外帯, 内帯,
島弧 (弧状列島), 背斜構造, 火山灰,
大陸棚, 構造平野, 鍾乳洞, 段丘, 天
井川, 扇頂, 扇央, 扇端, 砂嘴, 陸繋
島, 浅堆 (バンク), 氷食平野, 大陸
氷河, カール, ドリーネ, ケスタ, 岩
石砂漠, 砂砂漠, 礫砂漠, 地盤沈下,
液状化現象, 泥流, 崩壊, 直下型地震,
溶岩流, 海溝型地震, 活断層地震, プ
レート境界地震, 内陸直下型地震, 河
川洪水, 地殻変動, 造陸運動, 断層山
地, 断層盆地, 褶曲, ユーラシアプ
レート, フィリピン海プレート, 太平
洋プレート, 北アメリカプレート, カ
ルデラ, 蛇行, 尾根, 谷, 盆地, 干潟,
トンボロ (陸繋砂州), 海淵, 氷床,
氷河湖, 凍上, モレーン, 段丘崖, 岩
石圏, タワーカルスト, 裾礁, 堡礁,
環礁, ウパーレ, ポリエ, 離水海岸,
沈水海岸, 土砂災害

「地形」の単元では登場せず「防災」の単元で初めて出現した地形用語

溶岩ドーム, 火砕流, 土石流, プレートテクトニクス, 活断層,
島弧, 津波, 液状化現象, 天井川, 泥流, 地すべり, プレート内
地震, 断層湖, 火山前線, 溶岩流, 溶岩台地, 斜面崩壊, 土砂崩
れ, 融雪洪水,

「地形の単元」以外で
地形用語が活用されている例

- ～地誌～
- ・地誌における地形の概要
 - 新期造山帯 ⇒ 地域の概要 ⑤
 - 古期造山帯 ⇒ 地域の概要 ⑤
 - フィヨルド ⇒ 地域の概要 ②
 - 安定陸塊 ⇒ 地域の概要 ②
 - 変動帯 ⇒ 地域の概要 ①
 - サンゴ礁 ⇒ 地域の概要 ①
 - リアス海岸 ⇒ 地域の概要 ①
 - U字谷 ⇒ 地域の概要 ①
 - プレート ⇒ 地域の概要 ①
 - 侵食平野 ⇒ 地域の概要 ①
 - ・農業
 - 沖積平野 ⇒ 稲作 ④
 - 三角州 ⇒ 稲作 ②
 - ・地下資源の分布
 - 古期造山帯 ⇒ 石炭 ②
 - 安定陸塊 ⇒ 鋳産資源 ②
 - ・世界の災害
 - 沖積平野 ⇒ 洪水 ①
 - 三角州 ⇒ 洪水 ①
 - 新期造山帯 ⇒ 自然災害 ①
 - ・地形を利用した観光
 - 山岳氷河 ⇒ 観光 ①
- ～地形図～
- ・地形の読図
 - 河岸段丘 ⇒ 地形読図 ②
 - 扇状地 ⇒ 地形読図 ②
 - 海岸段丘 ⇒ 地形読図 ②
 - 三角州 ⇒ 地形読図 ②
 - 潟湖 ⇒ 地形読図 ②
- ～防災～
- ・日本の地形の概要
 - プレート ⇒ 地形の概要 ②
 - 活断層 ⇒ 地形の概要 ①
 - ・災害に対する対策
 - 火山 ⇒ リグドマップ ⑥
 - 洪水 ⇒ リグドマップ ⑥
 - 火山 ⇒ ジオパーク ③
 - 沖積平野 ⇒ 洪水対策 ②
 - 氾濫原 ⇒ 洪水対策 ②
 - 自然堤防 ⇒ 洪水対策 ①
 - 溶岩ドーム ⇒ 砂防堰堤 ①
 - 火砕流 ⇒ 砂防堰堤 ①
 - 土石流 ⇒ 砂防堰堤 ①
 - ・地形が引き起こす自然災害の例
 - リアス海岸 ⇒ 津波の増幅 ①

→ 高頻度な応用事例
 ----- 低頻度な応用事例
 ※下線の用語は地形の単元以外でも利用された用語
 ※太字の用語は教科書中で太字になっている用語

図 II-2 地形用語の出現頻度と他の単元の応用事例

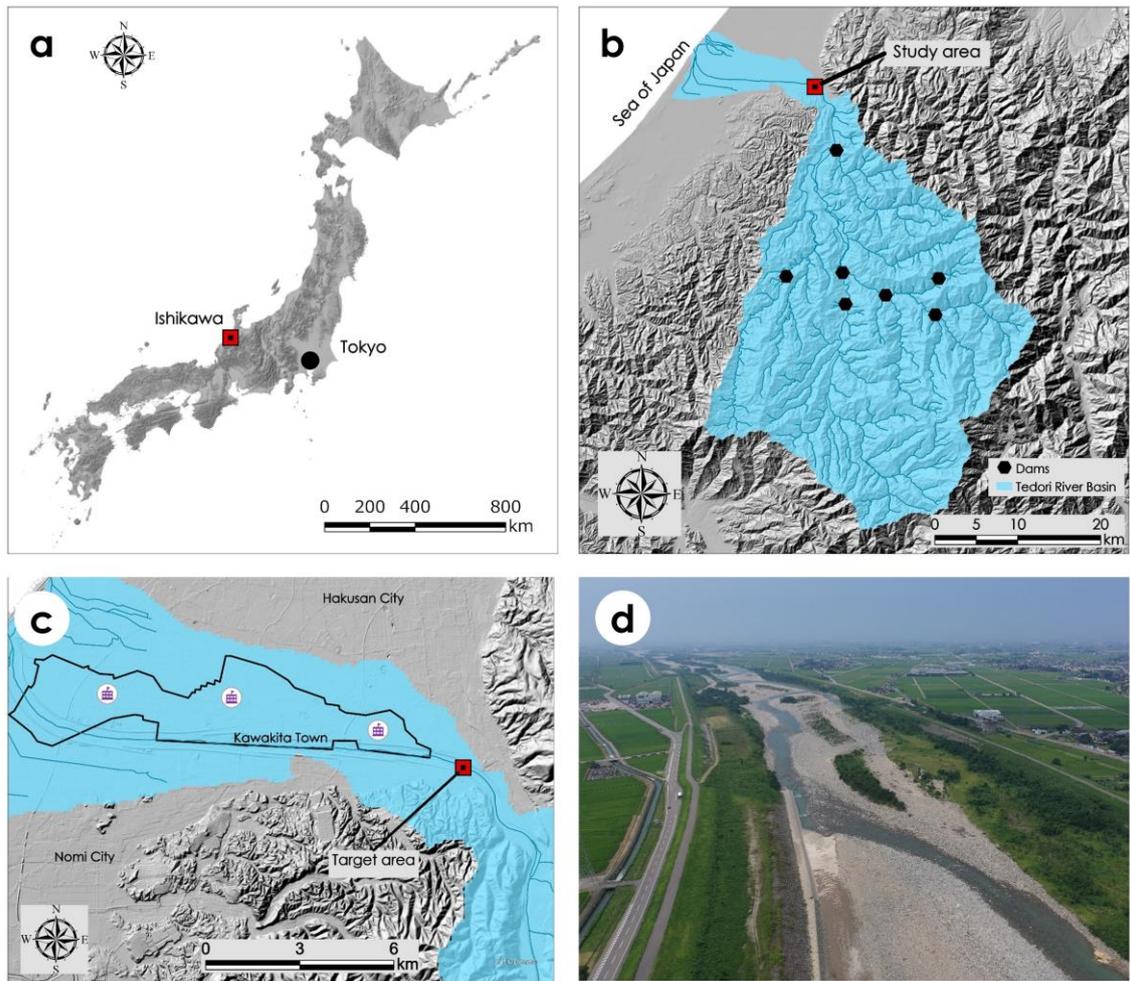


図 II-3. 対象地域概要

表 II-1 防災特別学習全体の授業計画.

授業時数	タイトル	授業内容
1	講義・実習 手取川を知ろう！ 河川による侵食・運搬・堆積プロセス	<ul style="list-style-type: none"> ・ UAV と SfM で生成した 2 時期のオルソ画像を提示し、河川の侵食・運搬・堆積といったはたらきを理解する ・ 学習した侵食・運搬・堆積といった営力から、過去に起こった災害や将来の災害予測について考える
3	野外授業 川北町防災訓練	<ul style="list-style-type: none"> ・ 川北町で開催された総合防災訓練に参加し、実際に災害が起こった際の対応について 体験・想像する
1	まとめ 水害から自分の身を守ることはできますか？	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水害から自分の身を守るためにできることを検討する



図 II-4 作成した学習材の一例.



2つの写真の間は同じ場所の写真です。
気づいたことを挙げてみましょう。

小さい石や枝の場所が変わっている！

石や枝が動くためには、この間に水が流れているはず。これを「運搬」と呼びますね。

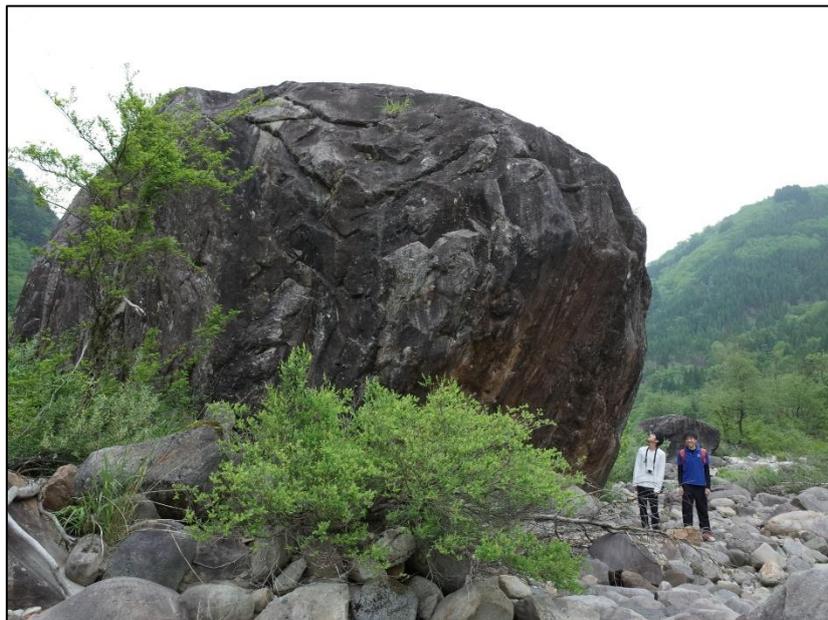


そうだね。動かなかった石はなんで動かなかったのかな？

大きかったから。大きい石を動かすためには
もっと水が必要。

もっと水が流れたら
……地形は大きく変わるのでは？

図Ⅱ-5 児童たちの発言まとめ。



図Ⅱ-6 昭和9年大洪水で運搬された手取川上流の百万貫岩（筆者撮影）



図Ⅱ-7 昭和9年大洪水で流された橋脚（石川県教育委員会 2000より引用）



図Ⅱ-8 川北町と金沢河川国道事務所が実施した手取川避難訓練の様子
（青木賢人氏撮影）



図 II-9 手取川洪水氾濫情報システム（金沢国道事務所作成）



図 II-10 タブレットを使用する小学校教員とメモを取る児童たち

第3章 地域環境理解のための UAS-SfM 手法を用いた差分解析の事例

3.1 はじめに

第1章で述べたように、UAS-SfM 手法を用いた地形や森林など自然環境を対象とした三次元計測とその研究は急速に普及し、有人機による空中写真測量や航空レーザ測量などといったものによる既存の測量成果を用いずとも、個人レベルで高精細な地形情報を得ることが容易になってきている（内山ほか 2014, 浅野・西前 2015）。UAS-SfM 手法により得られる代表的なデータには、ランダムな空間分布をもち、XYZ の位置情報等が各点に含まれる三次元点群データ、一定のグリッド間隔で点群データからリサンプルすることで得られ、対象物の表面の三次元形状をラスタデータとして示す DSM (Digital Surface Model)、および歪みを含む空撮画像を DSM による地表の起伏情報を用いて正射補正したオルソ補正画像（または複数のオルソ補正画像を組み合わせて広域を一律に示したオルソモザイク画像）がある。また、この UAS-SfM 手法は、測量計画によって計測範囲や出力する地形情報の解像度を柔軟に設定することができるという利点がある（早川ほか 2016）。たとえば、UAS の対地高度を低くすることによって、カメラと対象とする地表面との距離が短くなることから、取得する画像の地表解像度を上げることができる一方、1 枚の画像で得られる観測範囲は狭くなる。逆に、UAS の対地高度を高くすれば、地表解像度は下がるものの、観測範囲は広くなる（小倉・青木 2016）。いずれにせよ、UAS-SfM 手法で得られるデータの地表解像度は、解析したい対象物や現象にあわせて、数 m の底解像度から数 mm の高解像度まで、測量計画によって柔軟に設定できる。これにより、たとえば数 km² 程度の範囲であれば、国土地理院により成果が公開されている基盤地図情報の地形データ (DEM: Digital Elevation Model) の地表解像度 (5 m や 10 m) よりも高い解像度を得られる。

UAS-SfM 手法を活用し、異なる時期における高精細地形情報を取得することにより、微細な時空間分解能での地形解析、すなわち地表における物体の微細な時空間変化を捉えることが可能となってきた (Tamminga et al. 2015)。とくに、土砂移動が制限されるダム下流の河川において、UAS-SfM 手法を組み合わせた河川管理は、魚類生態系に配慮した順応的管理において非常に有益な手法である。たとえば、Strick et al (2019) では、河道内の中州の空間分布と移動速度との関係について UAS-SfM 手法を利用して解明している。UAS-SfM 手法の時空間分解能は、マイクロハビタット (数 cm 程度) や河川区間 (数百 m 程度) のスケー

ルにおける環境解析にも応用可能である。

一方、異なる時期に取得された高精細な地形情報の比較により、対象物の変化を抽出する差分抽出（または差分解析）に関しては、精度や手法について課題が多い。Bakker et al. (2017) では、カメラパラメータについて、既知の焦点距離、主点オフセット、レンズ歪み、信頼性の高いバンドル調整を備えた写真測量標準カメラで取得した画像でも、バンドル調整のランダムエラーは DSM 表面のシステムエラーまたはチルトに変換される可能性があるとして指摘している。こうした単時期のデータの誤差は、多時期のデータを比較する際に引き継がれてしまい、差分抽出においても誤差が蓄積されてしまう懸念がある。一方、こうした単時期のデータの誤差を低減するために、UAS-SfM 手法を含む写真測量では一般的に地上基準点 (GCP: Ground Control Point) を設置して取得データの位置情報を向上させることが基本的な方法であったが、GCP を精度よく測量するためには、高価な高精度 GNSS 受信機などが必要であった (Hayakawa et al. 2019)。

これらの問題を克服するために、低価格・高精度 GNSS や GNSS 測位のためのオープンソースプログラムが普及し、高精度な地形計測が可能となってきた (坂本ほか 2019)。また、GCP を設置せずとも高精度で地形計測を行うことができる手法開発も進んでいる。UAS で撮影する写真のジオタグに、RTK (Real Time Kinematic) 測位の位置情報が付与される RTK-UAS の登場により、地形計測の省力化やアクセス困難地での計測の実用化が行われてきた (小花和ほか 2019; 2020)。さらに、RTK-UAS のジオタグを PPK (Post Process Kinematic) 処理することで、より写真の撮影位置精度を上げることが可能となり (川口ほか 2019; Hashiba et al. 2020; Iizuka et al. 2021)、GCP がなくても地形計測の精度を上げる手法が確立されてきている。しかし、RTK-UAS や PPK ソフトの導入は依然高コストであるため、手軽に時系列解析ができる手法の検討に関する研究は続けられている。たとえば、Cook and Dietze (2019) では、GCP を設置できない海食崖で多時期に撮影された UAS の画像を一度に SfM 解析を施し、共通部分やバンドル調整を同一に解析したのちに、それぞれの時期の DSM セットにチャンクを分け、点群ベースで位置合わせする手法を提案している。この手法を用いることにより、GCP を必要とせず、標準の UAS 本体のみで DSM の取得・差分解析ができる。

地域の自然環境を可視化し、地域住民にとって理解しやすいかたちで表現するためには、こうした高精細地形情報とそれによる差分解析の結果を有効に利用することが望まれる。たとえば、UAS-SfM 手法で取得された高精細地形情報にもとづき景観を可視化することで、地域における自然・文化景観の理解をその閲覧者に促すことができる (早川ほか 2018)。ま

た、景観の変化は、現実の景観においては地域住民に見逃されてしまうことが多いものの、多時期の高精細地形情報の差分解析から可視化することにより、そのような変化する自然現象についても、その実態を把握するために活用できる可能性が高い。そこで本章では、地域の自然環境をより簡便に、かつ高精細な情報として取得し、差分解析できる UAS-SfM 手法について、その実用的な検証を行うことを目的とする。ここでは、土砂移動に関する河川管理が体系的に行われている地域を対象とし、その UAS-SfM 手法による観測データを精査することにより、高精細地形情報の差分解析から可視化される自然景観の変化の精度や検出限界を検証する。これにより、地域環境とその変化の可視化における UAS-SfM 手法の有用性を提示する。

3.2 研究対象地域概要

研究対象地は、滋賀県東近江市を流れる愛知川の砂礫堆とする。鈴鹿山脈（標高 1247 m）に源流を持つ愛知川は、第 2 章で述べた手取川と同様に河道の固定化がみられている（図 III-1）。この問題を解決すべく、滋賀県琵琶湖環境科学研究センター第 5 期中期計画（2017～2019 年）に基づき、森-川-湖の水系のつながりにおける土砂移動の役割に着眼した研究が展開されてきた。これは、魚介類のにぎわい再生、とくにアユやビワマスの好適な産卵床を形成することにも寄与する（水野 2020）。2017 年 12 月には、それまでの研究成果に基づく施策的応用として、愛知川の固定化した砂礫堆の表面を人為的に耕耘し、表層粒径を細かくすることで、土砂移動を促進する取り組みを実施している（図 III-1d）。このため、土砂移動計測の「水路実験場」としてのフィールドとしても最適である。

3.3 愛知川扇状地における地形変化観測の概要

2019 年 7 月に発生した台風 6 号の通過に伴い、本地域では大規模な出水が見られた。この出水が砂礫堆に及ぼした地形変化は顕著であり、本研究では UAS-SfM 手法がこうした変化について定量的に示すことができ、地域環境の変化を可視化することができることを検証する。2019 年 7 月 24 日（この時に UAS-SfM 手法により得られた DSM を DSMa とする）および 2019 年 7 月 28 日（DSMb とする）に、河床耕耘した領域を、UAS（DJI 製 Mavic 2 Pro）を用いて、進行方向における隣接画像どうしの重複率（Forward Overlap）を 80%、隣り合

う飛行経路における画像の重複率 (Side Overlap) を 60%, 飛行高度を 30 m として飛行計画を設定し、撮影を実施した。2 時期の計測時における飛行経路に関しては、スマートフォンのアプリ「Altizure」を利用して自律飛行を実施し、同じルートを飛行するよう設定した。また、直下視画像のみで平坦地を計測すると観測結果の 3D モデルに生じることのあるドーム状の歪み (Doming) の影響を小さくするために、チルト角度を 15° 程度とした斜め写真を計測範囲の周囲から撮影した。DSMa の観測時には、計測範囲内に複数の GCP を設置し、それぞれの位置座標は低価格高精度 GNSS (Emlid 製 Reach RTK) を用いて計測した。DSMb の観測時には、河川の水位が上昇していたため河道内に入ることができず、計測範囲内における GCP の設置と計測は実施できなかった。取得した画像から SfM ソフトウェア (Agisoft Metashape Professional Ver. 1.5.2) を用いてオルソ画像と DSM を生成した。DSMa については GCP を利用してその位置情報の補正 (ジオリファレンス) を実施し、DSMb については UAS の GNSS に基づくカメラ画像の低精度位置情報を用いてジオリファレンスを行った。撮影したオルソ画像を図 III-2 に示す。

これらの 2 時期の DSM には、一方では GCP を用いて補正しているものの、もう一方には GCP による補正が行われていないため、大きな誤差が含まれると考えられる。そのため、実際の地形変化を正確に捉え可視化するために、これらの誤差を解消し、差分解析を行うことができるように、DSM の位置情報を最適化する手法についてまずは検討する。

3.4 2 時期の地形情報 (DSM) の位置合わせの最適化

DSMb は、UAS に搭載されているコード測位 (精度 1~10 m 程度) の GNSS を利用してジオリファレンスしているため、DSM とオルソ画像の精度が低い。それに対して、DSMa は、搬送波測位 (精度数 cm 程度) の GNSS 観測に基づく GCP を利用してジオリファレンスしているため、DSM とオルソ画像の精度が相対的に高い。そこで、DSMa を基準として、DSMb を DSMa にあわせて位置調整 (オフセット) する手法を検討する。

3.4.1 鉛直誤差の空間分布を利用して DSM の位置合わせの最適化を行う手法

2 時期のオルソ画像の歪みを補正 (幾何補正) する手法を応用し、DSMb も同じように DSMa へ幾何補正して位置合わせを試みる。まず、DSMb は、空間的に均一な方向に水平誤差をもつわけではなく、モデル全体のなかで空間的なばらつきをもって誤差を含んでいる。そのた

め、DSMa に対する誤差の空間分布を把握する必要がある。次に、鉛直方向の誤差を除去するために、DSMa と DSMb 間の鉛直誤差の空間分布を算出する。まず、XY 誤差を補正した DSM の差分抽出を、ラスタ演算を利用して算出する ($DSMb - DSMa$)。次に、ジオリファレンスした際に使用したコントロールポイントの Z 値に、算出した差分の Z 値を、ジオメトリ演算を利用して加える。その後、そのポイント DSM の Z 値を基準にスプライン補正を行い、面的な Z 値の誤差の空間分布を算出する。算出した誤差の空間分布を示すラスタデータを、DSMb に加算し、DSMa にオフセットさせた DSMb を作成した。オフセットさせた DSMb と DSMa をラスタ演算で引き算することで、面的な砂礫堆の侵食・堆積状況を算出した。

3.4.2 位置合わせ最適化後の差分解析結果とその解釈

まず XY 方向の誤差を除去するために、DSMa のオルソ画像を基準として DSMb をジオリファレンスした。2 時期の DSM で変化のなかった巨礫や植生に対してコントロールポイントを 50 点設定した (図 III-3)。DSMb のオルソ画像は 3 次多項式を用いて、RMSE は 0.005196 であった。同じコントロールポイントを DSMb に対しても付与し、DSMa のオルソ画像にジオリファレンスした。DSMb の DSM は、3 次多項式を用いて、RMSE は 0.005249 であった。

図 III-4 に、DSMa・b 間の差分抽出の結果を示す。青色が侵食傾向、赤色が堆積傾向を表す。白色は変化がないことを示し、その範囲は $\pm 10\text{cm}$ と設定した (白色)。次に、砂礫堆中央部について見る。砂礫堆中央部は、河床耕耘によって河床を掘り起こした跡が形成されているため、東西方向に重機の掘り起こした跡が畝として残っている。この図を見ると、左岸側は筋に沿って堆積傾向であるのに対して、右岸側は侵食傾向を示している。つまり、畝の中を埋めたり削ったりしていることがわかる。同じ時期の陰影起伏図を見ると、洪水発生前・後で畝の明確さが異なることがわかる。最も上流側では、流水があった後、左岸側の畝が消失している。残った畝についてはそのまま残っている。砂岩側は泥や小礫で畝を埋めていることがわかる。この傾向について、DSM で表すことができた。

以上のように、多時期の DSM をオフセットさせるために、誤差をポイントデータとして抽出し、スプライン補正した面的な水平誤差のラスタデータを 1 時期のデータに加減することで、疑似的にオフセットする手法について検討した。その結果、高さ 20~30cm 程度の畝の消失や溝の埋没について表現することができた。左岸側の青い部分が連続しているエリア (右上) は、水位上昇や流水によって植生が下流方向になぎ倒されてしまった箇所である。植生が面的に広がっていたエリアに対して、侵食という指標で表すことに成功している。ま

た、砂礫堆の中央部には、青色の点が赤色の点の中に点在している箇所が見える。これは、点々と生えている木がなぎ倒されている箇所である。周囲が水位上昇に伴い堆積している中、もともと高く生えていた木や植生は青色で示されている。よって、差分抽出が成功していることがわかる。また、河岸における侵食や砂礫堆中央部からの土砂の再堆積についても定量的に表現することができた。しかし、2時期に存在する不動点をもとにコントロールポイントを設定する必要があるため、河川と河岸の境目などの変化が激しい部分の抽出が難しい。このエリアでは、エリア内外に人工構造物が存在しないため、砂礫堆の中にある特徴的な巨礫や植生をもとに判別する必要がある。他の河川では、堤防などの人工構造物が存在する可能性が高い。これらにコントロールポイントを設定し、確かなジオリファレンスを行うことで、河床材料の差分解析はうまくいくと考えられる。

このようにジオリファレンスの際にコントロールポイントを設定した範囲内において、10 cm 解像度の DSM で侵食・堆積状況を示すことができた。左岸側については、DSMb の水位が下がっていなかったため、同定できるコントロールポイントが存在せず、侵食・堆積傾向を示すことができなかった。

3.5 差分解析により明らかになった地形プロセスについての考察

図III-5 に、洪水発生時のダムの放水量（棒グラフ）と水位を示す。このグラフより、この地域では、上流にある永源寺ダムの放水量が下流の水位変動に大きく影響していることが分かる。永源寺ダムの最大放水量は $423.7 \text{ m}^3/\text{s}$ であり、この期間の最小放流量である $14.3 \text{ m}^3/\text{s}$ との差は $409.6 \text{ m}^3/\text{s}$ である。また、観測地点に最も近い御幸橋の水位計は、最大水位高 1.25m であり、この期間の最小水位高である -1.70 m との差は 2.95 m である。御幸橋の水位高は永源寺ダムの放流量の2時間後に同じような傾向のグラフを描く。

下流側は、高度の高い中心部は砂や泥などの軽い土砂が運搬され、堆積したと考えられる。それに対して、左岸側と右岸側には強いせん断力が働き、侵食傾向にあると考えられる。また、中流側から上流側にかけて、左岸側から北東方向に向けて強い水流が流れていることが標高 DSM とオルソ画像と陰影起伏図から判別できる。このように、1回の出水イベントから河道内の地形変化の特性が面的に把握できることと同時に、流水の軌跡を推定することができる。

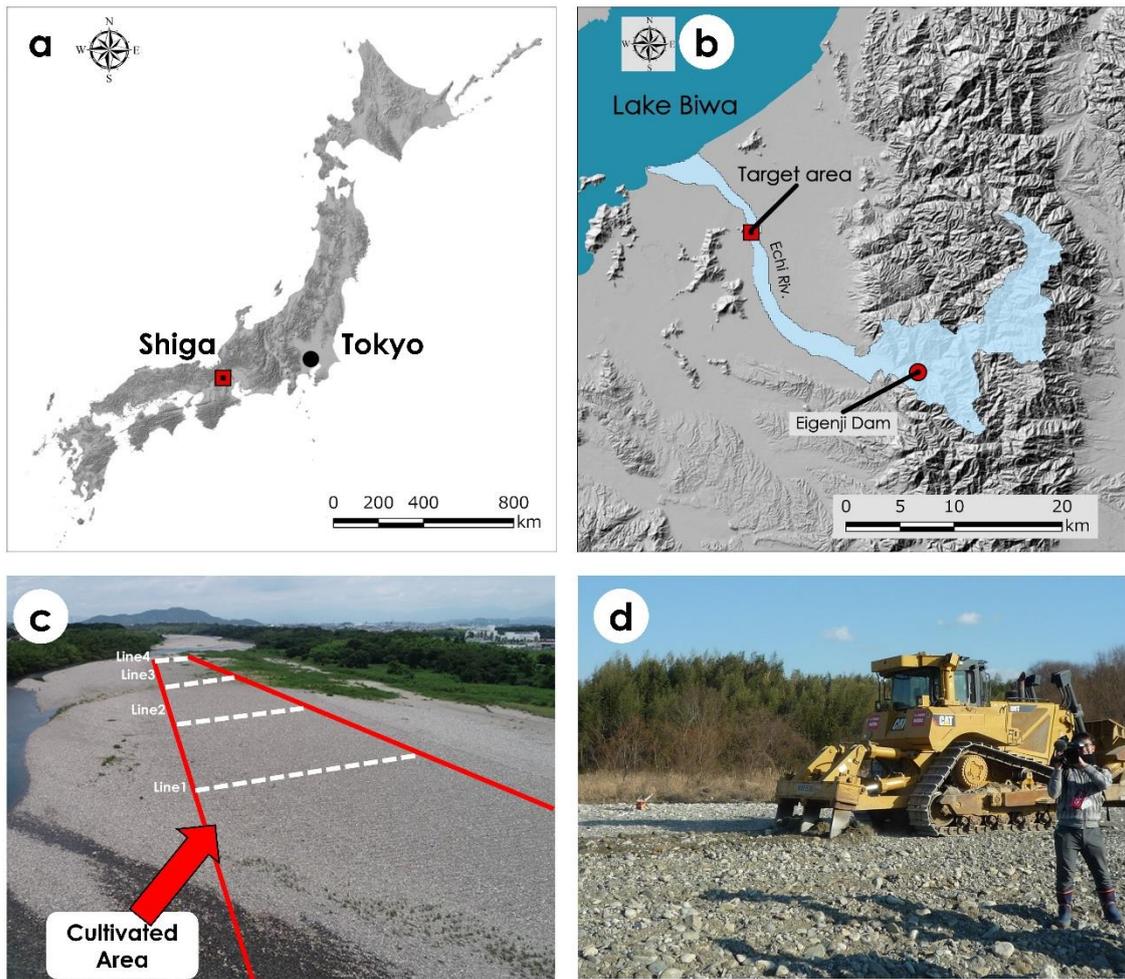
これにより、大規模河床耕耘によって河岸における砂礫が流出していることが見えるた

め、公共事業の効果はあったと考えられる。しかし、砂礫堆の流出が見られた箇所は河岸に限定され、砂礫堆の中央部には泥が被さって再度固着してしまう可能性がある。適切な河道管理を行うための流水の調節について検討する必要がある。

3.6 まとめ

本研究では、台風によるダムへの出水がもたらす地形変化を、UAS-SfM 手法による高精細地形情報を用いて、出水前後の侵食・堆積状況などの地形変化を定量化することができた。この結果を、たとえば河床変動シミュレーションソフト等で実際に洪水時の流向やせん断力を検討することで、実際に生じた地形変化のメカニズムなどをさらに検討することができるであろう。また、このような観測を定期的に繰り返すことによって、ダムへの出水量と河道における地形変化との関係をより総合的に理解することができる。すなわち、出水規模と地形変化との関係を明らかにし、そのデータを蓄積することで、将来的な洪水に対するダム管理の指標となり得る情報を提供することができる。そのためには、季節変動にともなう地形変化の特性についても検討し、より多くの時期の DSM から河道変化の特性を理解していく必要があるであろう。

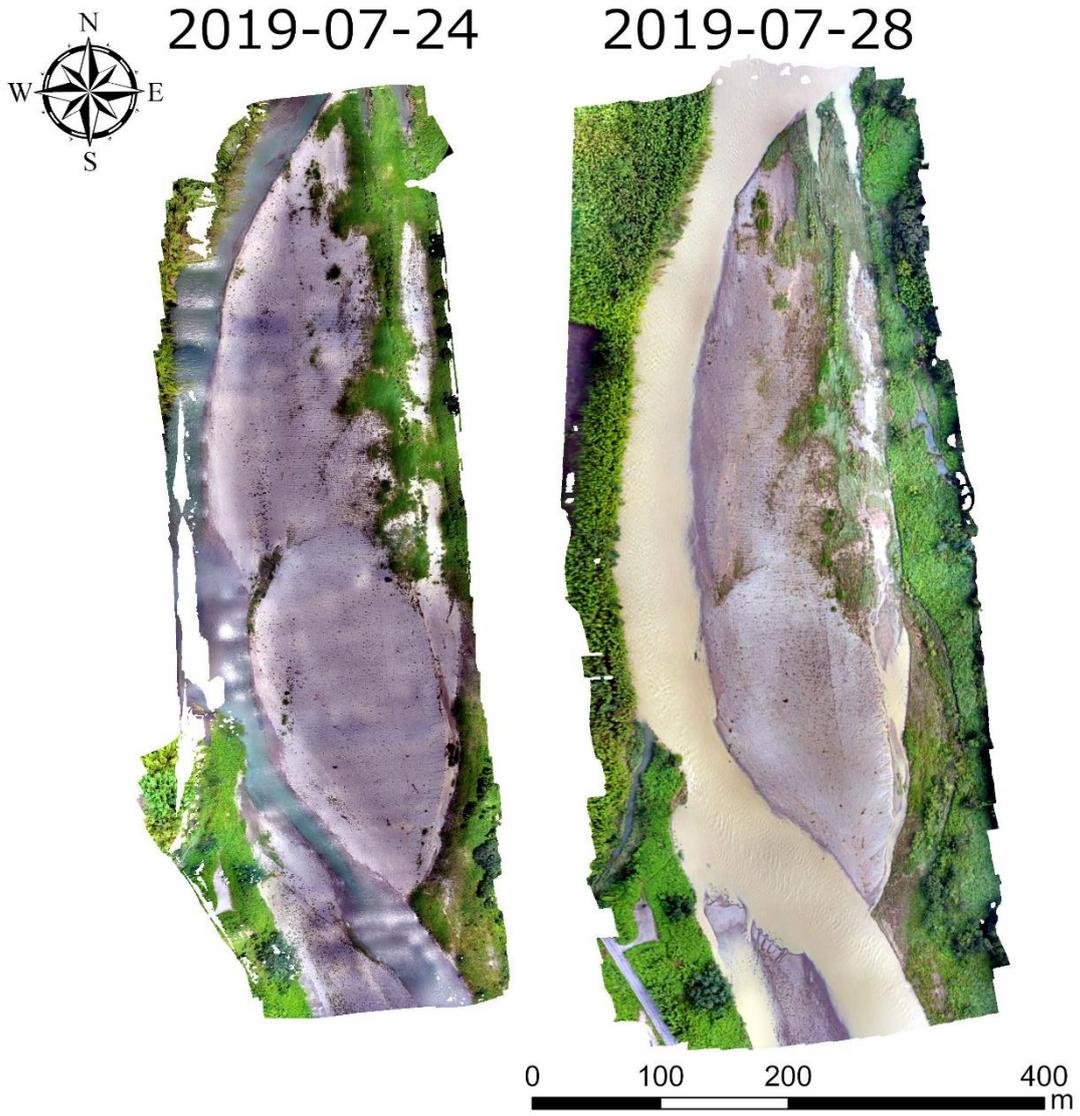
このように、UAS-SfM 手法を用いた地形計測により、地域環境の変化を定量的に提示し、河川管理者に有益な情報を提示することができるとともに、こうした地形変化の可視化は地域住民にとっての地域環境の理解を深めるための契機をもたらす可能性がある。次章以降では、UAS-SfM 手法などの三次元計測技術を用いて得られた地形情報を、さまざまなかたちで地域住民等に提示し、理解を深めてもらう取り組みを実施する。



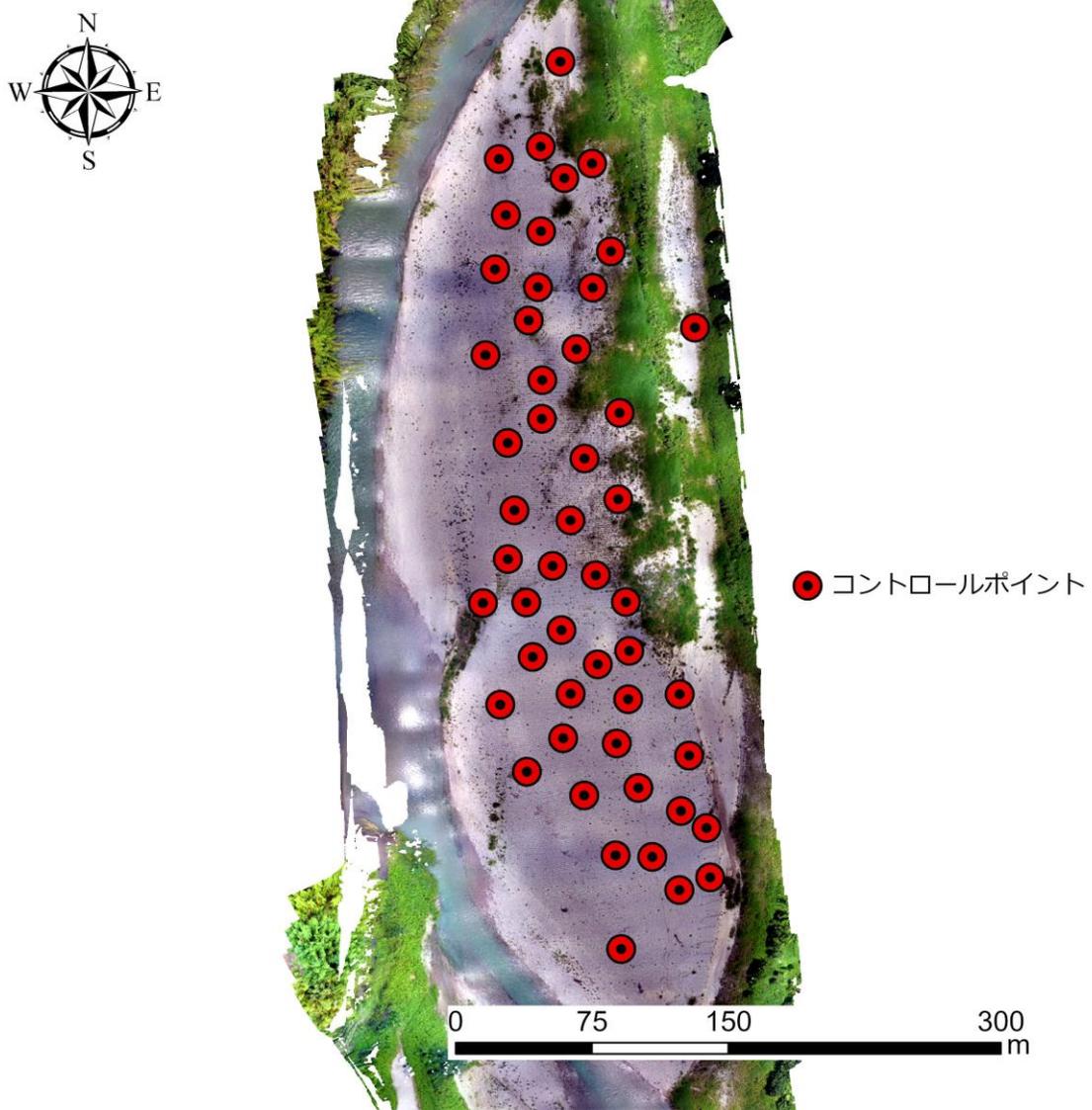
図III-1. 対象地域の位置図。(a) 滋賀県東近江市の位置。(b) 愛知川流域。

(c) 対象とした愛知川の流路区間。(d) 対象地における河床耕耘の様子。

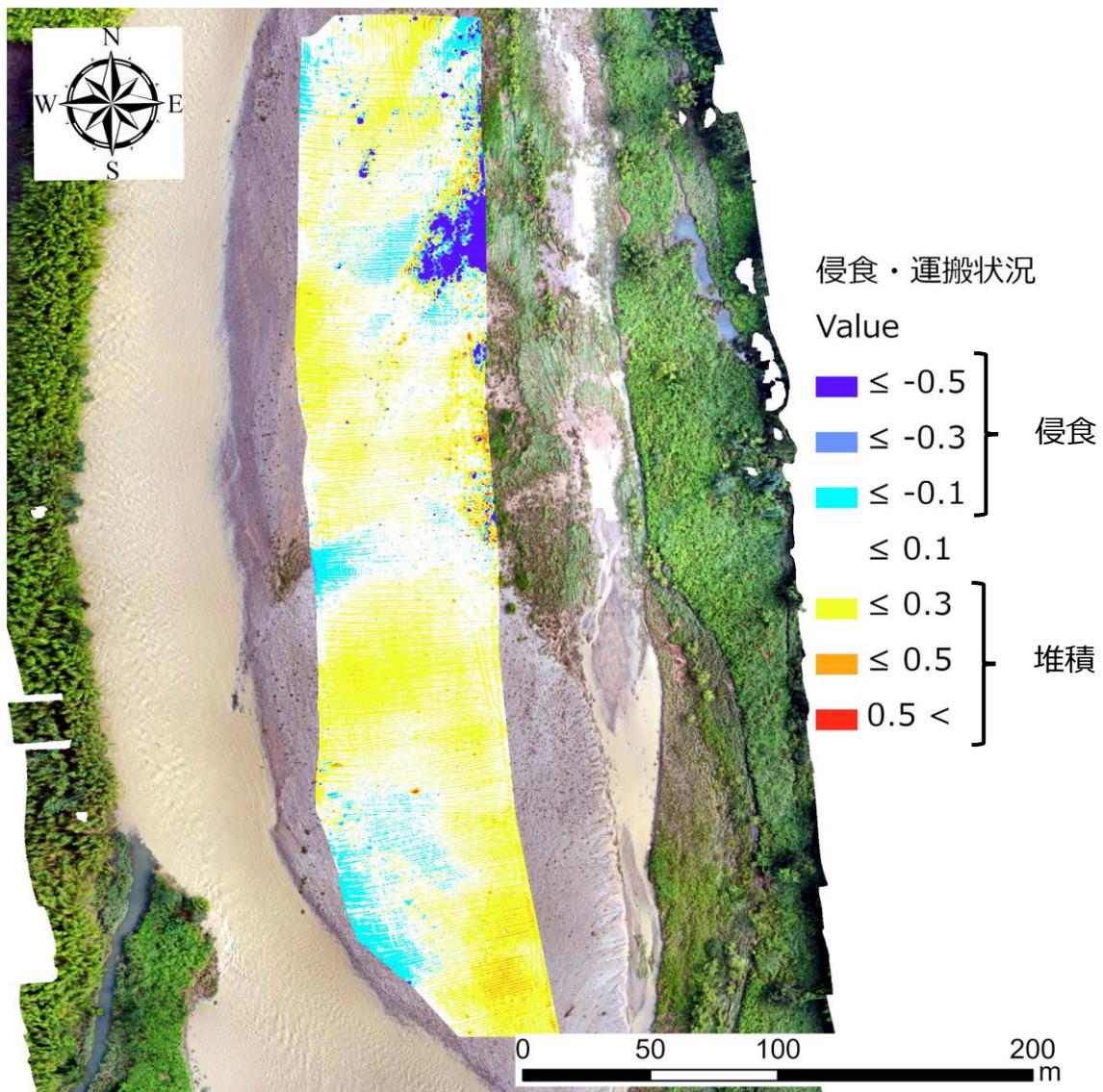
(a, b は地理院地図を利用, d は滋賀県流域政策局提供)



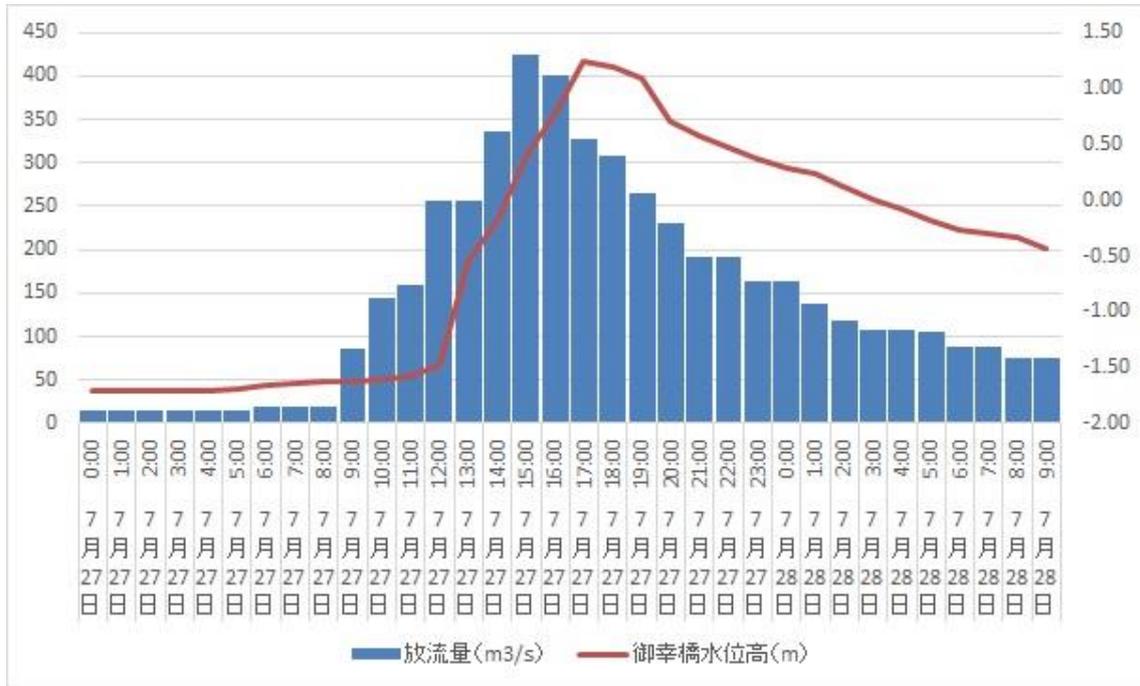
図Ⅲ-2 撮影した2時期のオルソ画像.



図III-3 ジオリファレンスに使用したコントロールポイント



図Ⅲ-4 台風9号の出水による砂礫堆の地形変化



図Ⅲ-5 永源寺ダムの放水量と御幸橋の水位高.

第4章 3D プリントを用いた地域自然環境の理解

4.1 はじめに

第1章で述べたように、地域住民が居住地の地域環境を日常的に理解することは、豊かな日常生活を営む上でも、あるいは防災的な観点からも重要なことである。ここで、地域環境とは、地域の地形や気候、植生などの自然環境や、人口や都市構造、産業などの社会環境を含む。これらのうち、自然環境の理解を促進するためには、学校教育において自然科学一般の基礎的な知識を習得することに加えて、居住地の環境に特化した自然現象にかかわる知識の習得や理解の深化を、学校教育外における場を含めて広く機会を提供していく必要がある。市区町村などにより設置される博物館や資料館、展示室などは、そうした地域の自然環境の学習機会を提供する場として機能してきた(柴 2007)。博物館では、「歴史、芸術、民族、産業、自然科学等に関する資料を収集し、保管し、展示して教育的配慮の下に一般公衆の利用に供し、その教養、調査研究、レクリエーション等に資するために必要な事業を行い、あわせてこちらの資料に関する調査研究をすることを目的とする機関」であるとされている(博物館法第1章第2条)。したがって、博物館には、歴史、民族、自然史など、分類方法にはいくつかのパターンがある。博物館の目的としては実物、標本、模写、模型、文献、図表、写真、フィルム、レコード等の博物館資料の収集、保管および展示(第1章第3条一項)や、資料に関する専門的、技術的な調査研究(第1章第3条四項)、一般公衆に対して、博物館資料の利用に関して必要な説明、助言指導等を行うこと(第1章第3条三項)などが挙げられる。したがって、こうした施設では、常設展や企画展を通して地域の自然環境に関する情報を提示し、来訪者が能動的に学習できる場を提供している。

ところで、地域の自然環境を理解するための情報伝達手段として、従来主に用いられてきたのは、地図、地形図、写真といった二次元的な提示手法である。これらの二次元情報は、初等中等教育においても重要視されており、たとえば地形図の読み取りに関する学習(社会科・地理歴史科)や、定点写真の観察(理科)などが頻繁に行われているものである(文部科学省 2018)。本論の第2章においても、二次元の画像情報である多時期のオルソ画像を用いた地形変化の認識を促進させる試みを行い、地形教育としての一定の成果を得た。利用方法によっては、こうした二次元情報に基づく学習は一定の効果があげられることが示されている。一方で、空間認識という観点に基づく、二次元情報のみに基づく現象の理解を

苦手とする児童生徒も多い現状がある (Carbonell-Carrera et al. 2017). たとえばト部 (2010) は、地理教育における地形図読図をめぐる課題として、地形図の読み取りが苦手な児童生徒が多い現状を示しており、さらに学習者に限らず、地理を専門としない教員が地理を教えようとする場合における教員の読図能力の不足に関する問題点も指摘されている (武者 2000). 比較的十分な時間をとって行われる学校教育においても、このように二次元情報による学習効果には一定の限界が観察されることから、博物館等における情報伝達においても、二次元情報のみに基づく方法では来訪者の理解度が十分に上がらないことが懸念される. したがって、より多くの人々が地域の自然環境を理解するためには、二次元情報だけではなく、より理解度が上がる手法を検討する必要がある.

近年、三次元的な情報を取得し利用する方法が一般に普及してきており、これまでの二次元情報を超える情報伝達の効率化が期待されている (芝原ほか 2015). たとえば、国土地理院が運営する地理院地図では、二次元の電子地図と地形情報をベースとして、地図の三次元表示が可能となり、二次元表示では等高線や陰影図等としてしか表示することができず、多くの人にとっては十分に理解しにくかった地形の高低差を、より明瞭に表示し、受け手が直接的に理解できるようになった (山内ほか 2020). また、博物館における多種多様な収蔵品を三次元情報として記録し、インターネットを介してウェブブラウザ上で表示・公開する試みなどが各地で行われてきている (Rae and Edwards 2016). Carbonell-Carrera et al. (2017) や Carbonell-Carrera and Hess-Medler (2019) では、三次元表示のデジタル地図を利用することで、地形の理解が深まることを述べられている.

こうした三次元情報の取得の容易化に寄与したのが、SfM 多視点ステレオ写真測量 (SfM) による三次元計測技術の普及である. とくに、UAS を用いた空撮画像を利用した SfM 解析である UAS-SfM 手法は、さまざまな自然科学分野で利用が進んでおり (Westoby et al. 2012, Smith et al. 2016, Morgan et al. 2017), 自然環境を対象とした三次元計測も広く行われてきている. 加えて、三次元情報を実体的な模型として出力することができる 3D プリンタも普及しつつある (von Wyss 2014). 3D プリントを活用することで、これまでの二次元情報に基づく素材だけでは理解し難かった対象物についても、より理解度を深められる教材として模型を提供することが可能となってきた (澤村・曾我 2014, 望月ほか 2016). 自然地形はそうした対象のひとつであり、これまで二次元情報だけでは十分に認識できないケースが報告され、多くの人にとってその理解に抵抗があるとされていたが (ト部 2010), 3D プリントによる自然地形の小型模型を用いることで、こうした状況を克服できる可能性

がある。

そこで本研究では、地域の自然環境に関する理解を多くの人々に対して促すことを目的とし、地域自然環境の基礎要素のひとつである自然地形に関して、三次元計測を実施し、取得した三次元情報に基づく 3D プリントを活用する。具体的には、地域的で小規模な博物館において、3D プリントによる小型模型をひとつの軸とした展示を実施する。これらの模型は、来訪した地域住民に実際に触れてもらい、視覚だけでなく触察も加味した体験をしてもらう。これを通して、3D プリント模型の有用性や、触察を含めた場合の自然地形に対する認識の差異について、アンケート調査に基づき検討する。

4.2 展示の概要

本研究の調査は、滋賀県東近江市にある西堀榮三郎記念探検の殿堂にて開催された企画展示「ドローンが活躍！？夢はアユが楽しめる川！愛知川最新研究をさわってみよう！！」の会期中に実施した（図IV-1）。この企画展示は、第3章で実施している愛知川流域での学術調査の内容に関するアウトリーチを目的としたイベントである（展示期間：2019年2月22日～3月24日）。展示のレイアウトを図IV-2に記載する。展示全体の目的としては、河川環境における生態系保全を目的とした流域土砂管理に関する研究の内容を、市民にわかりやすく発信するべく実施した。その中で、調査で使用している科学技術（ドローンによる三次元写真測量）の汎用性を生かし、愛知川での調査の概要やその他の地域における測量技術の使用例について紹介した（図IV-3）。本展示では、実際に研究に「さわって」もらうことに重点を置いた。実際に愛知川にある河床砂利を採取したものを展示し、河道内生態系に適した河床高度に触れてもらう展示コーナーの設置や（図IV-4）、三次元測量のアウトプットの一部として、オルソ画像やDSM (Digital Surface Model) を比べてみるための大型ポスターの設置、3Dプリンタを利用した印刷物（以後、3Dプリントと呼ぶ）の設置を実施し、来場者に対して自由に展示品に触れてもらった（図IV-5）。

4.3 研究手法

4.3.1 3D プリントの作成方法

本研究で使用した 3D プリントの基となる地形データは、2種類ある。まず、UAS-SfM 手法

や TLS (Terrestrial Laser Scanning: 地上レーザ測量) を用いて取得した高精細地形情報である。UAS-SfM 手法では、UAS で複数枚撮影した画像を SfM 解析することにより、TLS では、レーザを照射することにより、高密度点群データを生成することができる。高密度点群データを利用して三次元メッシュを生成することで、3D プリントを実施できるファイル形式に変換できる。もうひとつは、国土交通省が整備している電子地図「地理院地図」で公開されているオープンソースの地形データである。地理院地図では、任意の領域を選択することで、国土地理院による ALS (Airborne Laser Scanning: 航空レーザ測量) の成果をもとに、地形図の 3D 表示機能を有している。これを利用することで、広域の地形データを 3D プリント用に生成することができる。高さの強調表示や、3D 表示を行う際の表層レイヤの変更 (例: 地形図, 空中写真など) ができる。

本研究で使用した 3D プリントは、A: 海食崖 (雀島: 千葉県いすみ市), B: 滝 (華巖の滝: 栃木県日光市), C: 洞窟 (田谷の洞窟: 神奈川県横浜市), D: 津波石 (帯岩: 沖縄県宮古市), E: 表層崩壊 (奈良県川上村), F: 棚田 (千町棚田: 愛媛県西条市), G: 成層火山 (富士山: 静岡県・山梨県), H: 愛知川周辺の触地図 (滋賀県東近江市) の 8 種類である (図IV-3)。このうち、A: 海食崖については、撮影時期の異なる 2 つの 3D プリントを利用したため、それぞれ A-1 (2014 年取得) および A-2 (2016 年取得) とする。また、G: 成層火山については、同一のデータを異なる方向から印刷した。それぞれ G-1 (水平方向), G-2 (垂直方向) とする。すべての 3D プリントは単一カラーで印刷した。実際に使用した 3D プリントを図IV-6 に、それぞれのデータを取得した機材・解析手法については表IV-1 にまとめた。高さ強調については、

次に、図IV-7 に 3D プリントを実施するまでのワークフローを示す。基となる点群データを Agisoft 社 Metashape Professional およびフリーソフトウェアの CloudCompare を利用し、3D メッシュを作成した。作成した 3D メッシュデータを、3D データの拡張子である STL 形式でエクスポートし、Autodesk 社のフリーソフトウェアである Meshmixer で編集作業を実施した。Meshmixer での編集作業では、3D メッシュの点検 (ねじれの解消, 余分なメッシュの削除), 土台の作成を実施した。編集した 3D データを STL 形式でエクスポートした。

3D プリントの印刷には、サンステラ社の UPBOX+を使用した。当該機種は、ABS 樹脂を溶かして積層するタイプの 3D プリンタである。Meshmixer で編集した STL ファイルを UPBOX+ で読み込み、積層印刷を実施した。所要時間は 1 つの 3D プリントにつき 3 時間程度である。STL 形式は単一カラーの 3D プリントにのみ対応しているため、すべての 3D プリントは ABS

樹脂の色にあわせて単一カラーで印刷した。

4.3.2 アンケート調査内容

本研究におけるアンケート調査は、本展示の会期中に実施したギャラリートークイベントの際に実施した（実施日：2019年3月8日・9日）。本研究では、来場者に3Dプリントを触れてもらい、対面式で質問を実施した。その上で、地形認識に係わる聞き取り調査を実施した。その際、3DプリントA-1、A-2については、それぞれの3Dプリントの基になった時期の二次元情報である空中写真を先に提示し、地形変化の有無についての感触を述べてもらった。その後、2つの3Dプリントを提示し、二次元情報のみである場合と比べてどのように異なる印象を受けたのか、聞き取り調査を実施した。聞き取り調査は、ギャラリートークに参加した参加者のうち協力をいただいた10組のグループを対象とし、その際には3Dプリントを触った感想について述べてもらい、詳細に分析した。さらに、来場者の1人であるA氏は、視覚障害を持っており、他の来場者と異なり視覚情報を得られないことから、聞き取り調査に加え、後日帰宅後にA氏のブログに書かれていた3Dプリントを触れた際の感想についても分析の対象とした。A氏の詳細については、後段に述べる。

4.4 結果

4.4.1 来場者からの意見

来場者からの意見を表IV-2にまとめる。まず、全体を通して、3Dプリントを触ったもらった感想として挙げられた例として、まず、科学に関心を持ってもらうための入り口になるという意見が挙げられた。3Dプリントやドローンという技術そのものは知っているが、それらの使用用途について理解していないという参加者が多かった。先端技術を皮切りに、地理や地学などのなじみの深い学習の内容にアプローチできる点について、評価を得た。また、地形の凹凸や火口の大きさ、高低差など、地形図や地図などの二次元情報ではわかりにくい内容が直感的に理解できるという意見が挙げられた。特に、モデルG-1、G-2に触れた参加者からは、モデルの積層印刷の具合から等高線のイメージが想像でき、より標高差や同標高の位置を想像できると述べていた（図IV-8）。登山が趣味であるという参加者からは、登山中に自分の位置をモデル上に示したのち、周囲の山や尾根、谷がどのような位置関係になっているのかを考えるために良いツールになると述べていた。

次に、モデル A-1, A-2 を触れた感想について、整理する。はじめに 2 時期の空中写真の違いを述べてもらおうと、上から見た海食崖のおおまかな形状の違いについて指摘があった。海食崖上部の線が 2016 年には後退しているという指摘は少数あったものの、多数の参加者はその違いについて明確に答えられなかった。そこで、モデル A-1, A-2 を提示すると、多数の参加者がモデル間の形状の変化について述べていた。モデルを指さし、凸になっている箇所が流出した、モデル底面に石がたまった、などの指摘を行っていた（図 IV-9）。全体のうち 4 組は「侵食」「崩落」「堆積」といった用語を用いてモデル間の変化について説明していた。また、全体のうち 1 組は、水の力の大きさを感じたという営力について言及していた。さらに、全体のうち 4 組については、それぞれのモデルの基となる地形データの計測期間を加味して、「2 年間でこれだけの量が削れたと驚いた」「2 年間で削れた量を感じ取れた」といった意見が挙げられた。また、そのうち 2 組については、「島はいつか無くなるかもしれない」「意識していないけれども自然は変わりゆく」といった、将来の島の地形変化に関する想像に関する意見を挙げていた。

4.4.2 視覚障がい者からの意見

聞き取り内容の概略については、表 IV-3 にまとめる。A 氏は、全盲である。中学校理科の教科書の点訳の仕事を行っていた経験があるため、地形についての知識は非常に堪能であった。3D プリントには、以前一度触れた経験がある。それぞれの 3D プリントについては、その印刷物がどのような地形の名称であるのか説明したのち、3D プリントに触れてもらった（図 IV-10）。

モデル A に触れると、海食崖の上部まで削れていたのではないかと推察していた。また、触れているものが植物であるか、岩であるのかをよく気にかけていた。1 つの凹凸から、海食崖全体の大きさを想像することで、スケール感を意識していた。また、海食崖の形成要因について、波で削れたのか、岩盤が崩落したのか、など、形成プロセスを想像していた。感想文中にも、「以前は海岸と繋がっていた陸繋島でしたが、波による浸食で陸と繋がっているトンボロ部分が消失して島になり、さらに浸食が進んでいる状態です。（中略）近いうちに、この岩の島は波の浸食のために亡くなってしまおうでしょう。このような地形模型を触ると、教科書で出てくる「陸繋島」とか「トンボロ」などの用語の意味を実感でき、また写真を見ることのできない私などにとっては、波の浸食の様子を実感できます。（原文のまま掲載）」との記載があり、波食によるプロセスやダイナミズムを想像していた。

モデルBに触れると、幅20 cm弱、高さ10数cmの中央部が幅10 cmくらい縦に大きく窪んでいて、ほぼ垂直の壁になっていると表現した。3Dプリント上部については、木なのか土砂なのか自動車なのか、その区分について注意深く聞きながら、全景を想像していた。また、滝つぼの侵食の様子について、垂直方向（落下方向）だけでなく、水平方向（滝の裏の奥側）の侵食の様子を強く感じると述べていた。また、滝の侵食方向について、滝つぼは後方に深くえぐられたように削られ、その上部が次第に崩れて滝壁が後退していくというプロセスを想像していた。モデルBに対する要望として、視覚情報がないゆえに、基礎的な尺度となる物体をモデル上に置くことを強く求めている。滝の上部に生えている木や滝の岩盤を基礎的尺度として用いて、モデルの大きさを想像していた。また、空間スケールの異なる2種類のモデルが欲しいとの要望もあった。例えば、滝そのもののモデルと、滝の位置を示す触地図があれば、中禅寺湖が溶岩でせき止められたという滝の形成プロセスを判別しやすくなるといったものである。滝全体の大きさを周囲の地形との関係と合わせて理解したいという要望があった。

モデルCに触れると、手掘りの洞窟が水平に彫られていることに気づき、関心していた

モデルEに触れると、斜面上部と下部の勾配に注目しながら、崩壊した際の様子について想像していた。崩壊前の地形がどのようになっているのかについて関心があり、どの程度の量の土砂が流出したのかについて気になっていた。

モデルFに触れると、棚田の畝に着目し、等高線のようにであると発言していた。また、どのような地形種であるのかを想像していた。木や家の大きさから棚田全体の大きさを想像し、人工的に整備された棚田の美しさについて感心していた。

モデルHに触れると、まず源流からダムまでの勾配と、扇状地区間の勾配の違いについて言及していた。盆地や琵琶湖など、勾配の変化があまりないものに関しては、特徴を掴むことができなかったと述べている。

4.5 考察

以上の聞き取り調査の結果から、3Dプリントを用いて地形を認識する際のプロセスや有用性について述べる。

まず、自然地形を三次元情報に基づき認識する際の契機として、3Dプリント技術そのものに対する興味関心や高揚感が得られることが重要事項として挙げられる。科学技術体験

イベントの実施目的は、参加者が科学技術に触れ、楽しさや驚きといった経験を通して学びのモチベーションを高め、科学に対する価値観を創造することに繋がる人が多い（齋藤 2015）。本展示でも、来場者の多くは、ドローンや 3D プリントという技術的な展示内容についてまず興味・関心を持ち、足を運んでいた。実際の技術に触れてみる高揚感から、その技術がどのようにして科学や研究の世界で利用されているのかについて気になる来場者が多かったと考えられる。

その上で、自然地形や地域環境などの自然科学に関する関心につながった理由として、3D プリント模型の観察により、地形の高低差や奥行き、角度に関する理解を促しやすいという効果があることが挙げられる。今回印刷した 3D プリントは、地形図や写真などの二次元情報では十分に表現することが難しいものが多い。例えば、モデル B であれば、地図では真上から見た視点による表現しかできないが、こうした表現では隠れてしまう滝つぼを三次元で表現することで、滝の奥行きを感じ取ることができるようになった。また、モデル C であれば、A 氏が発言したように、洞窟が水平線からどのような角度で伸びているのかということを手触りだけで直感的に感じ取ることができた。

さらに、多時期の 3D プリントを利用することで、地形変化の抽出が容易にできるようになった。4.4 で述べたように、多くの来場者たちは、モデル A-1、A-2 を触って比較することで、海食崖の岩や木、崩壊した箇所などの微細な形状の変化を特定することができた。2 つのモデルを同時に触って確かめたり、角度を変えて覗いたりすることで、視覚と触覚で地形の変化量を推定することができた。このように、時期の異なる 3D プリント模型を用いることで、自然地形の空間的な広がりに加えて時間的な変化をより実感をもって認識することができることが示された。さらに、気づきの良い来場者は、2 つのモデルが示す地形の間の時間変化を加えた変化要因の考察を行うことができた。モデル A-1、A-2 の地形データ取得間隔は 2 年間であり、来場者たちは手で触って感じ取った地形の変化量と時間の変化を加味し、「2 年間でこれだけの量が削れた」という気づきを得ることができた。三次元情報に加え、時間軸を加味した、いわば四次元的な認識を得たことになる。また、2 年間で侵食を受けた量という変化量と時間を基礎的な尺度とし、「近いうちにこの島はなくなってしまうだろう」という気づきを得た。すなわち、過去や未来の風景を、波による侵食という地形プロセスをベースとして想像することができた。

このように、多時期の 3D プリントを用いて得られた地形そのものの構造や地形変化に関する認識について、その認識の基準となる基礎的な尺度、すなわち目測あるいは体感によっ

て自然量を数量的に把握するためのスケールは、Individual Scale と呼ばれている（酒井 1982）。酒井（1982）では、Individual Scale を習得するためには、野外において自然量がどのような形が存在するかを確かめながら測定することが必要であると述べている。これは、自然量を知覚量と認識量の両方で捉え、野外での測定を繰り返すことによって知覚量と認識量の誤差を縮め、個人の感覚として確立されてゆくものであるためである。図IV-11 は自然量の知覚構造の模式図である。酒井（1982）では、原画（自然量）の映像（認識量）を正確にスクリーンに投影するために、いわばレンズの役割をもつ Individual Scale を確立することで正確なまま自己想像ができるとしている。また、Individual Scale が確立していれば、実際には前段階の測定を行わずとしても、目測や体験で得られた知覚量が相当な精度で認識量に近似され、知覚量から認識量化された自然量が、Individual Scale によってふたたび知覚量に還元されるというフィードバックシステムができると指摘している。本実践では、酒井（1982）が指摘する自然量の測定による Individual Scale の確立について、野外で測定せずとも 3D プリントを用いて直感的に理解できる点が有効であったと考えられる。自然量を観察するためには、相応の測定スキルが必要である。しかし、この実践では、測定作業を来場者が単一カラーの 3D プリントを「さわって比較する」という単純操作にすり替えることによって、形状の違いを観察するという直感的な比較のみの気づきに落とし込むことができた。Piaget（1948）は、発達心理学分野において、人間の「量」の認識について、重さや体積などの量は、まず単位概念を包括することなくはじめに直感的な量あるいは知覚的量として需要されるとしている（図IV-12）。本研究における実践では、これに加えて、時系列変化という概念を追加することで、量の「変化」から、地形変化の「速度」を想像することができた。すなわち、本実践では、量の増減だけでなく、量の変化速度を感じることができるようになったことが多時期の 3D プリントを用いたことの利点として挙げられる。このように、3D プリントを活用することで、従来の二次元的な資料のみでは得ることが難しかったとされる三次元的な地形変化について、個々人の Individual Scale を用いた想像を効果的に促すことができるようになったと考えられる。

4.6 まとめ

本章では、高精細地形情報由来の 3D プリントから、地域自然環境の理解がどのようなプロセスで行われるかを明らかにすることを目的とした。まず、自然地形を三次元情報に基づ

き認識する際の契機として、3D プリント技術そのものに対する興味関心や高揚感が得られることが重要事項として挙げられる。その上で、自然地形や地域環境などの自然科学に関する関心につながった理由として、3D プリント模型の観察により、地形の高低差や奥行き、角度に関する理解を促しやすいという効果があることが挙げられる。

さらに、多時期の3D プリントを利用することで、地形変化の抽出が容易にできるようになった。これに、時系列変化という概念を追加することで、量の「変化」から、地形変化の「速度」を想像することができた。すなわち、本実践では、量の増減だけでなく、量の変化速度を感じるようになることが利点として挙げられる。この地形変化の速度は、もともと人間が営む日常生活レベルの時間変化で発生する現象を提示することで、より身近な地形変化速度の考察が可能になっていた。



図IV-1. 展示の告知ポスター



図IV-2. 展示スペースのレイアウト.



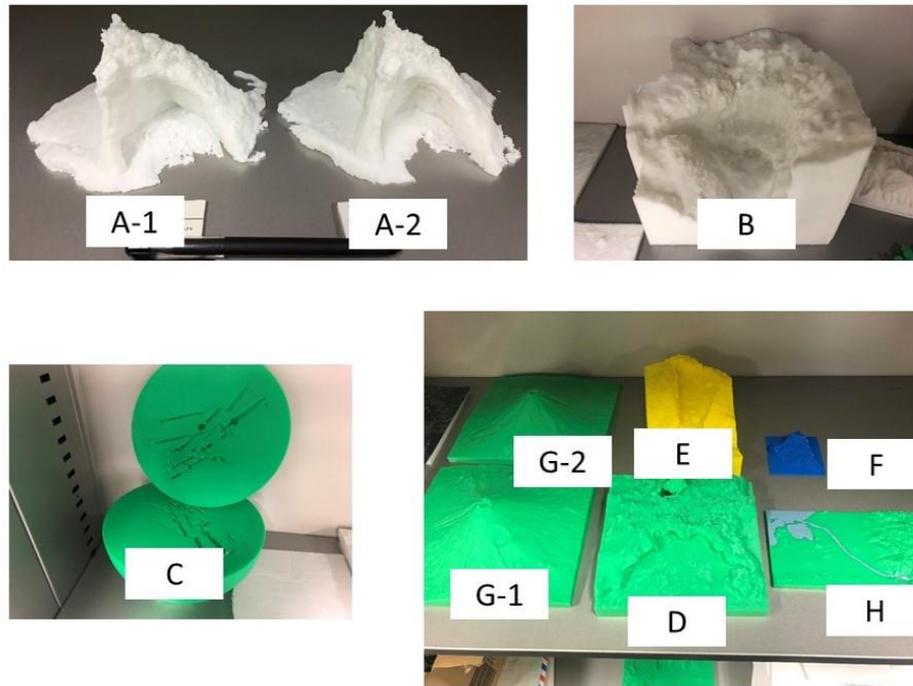
図IV-3. 愛知川で実施されている研究ポスターの展示



図IV-4. アユのシャクリ釣り体験を行う地域住民.



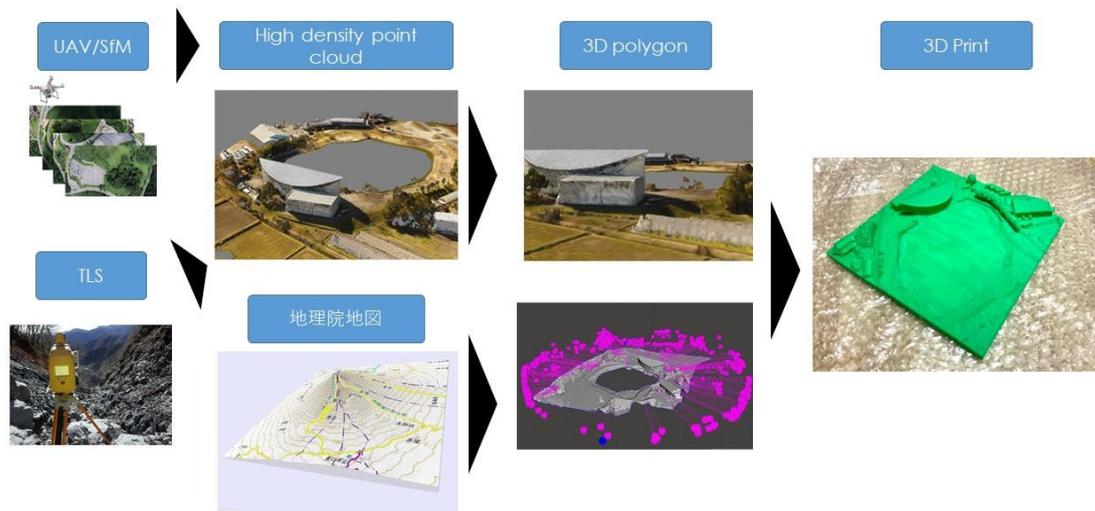
図IV-5. 3D プリントやUAS による写真測量を紹介する展示スペース.



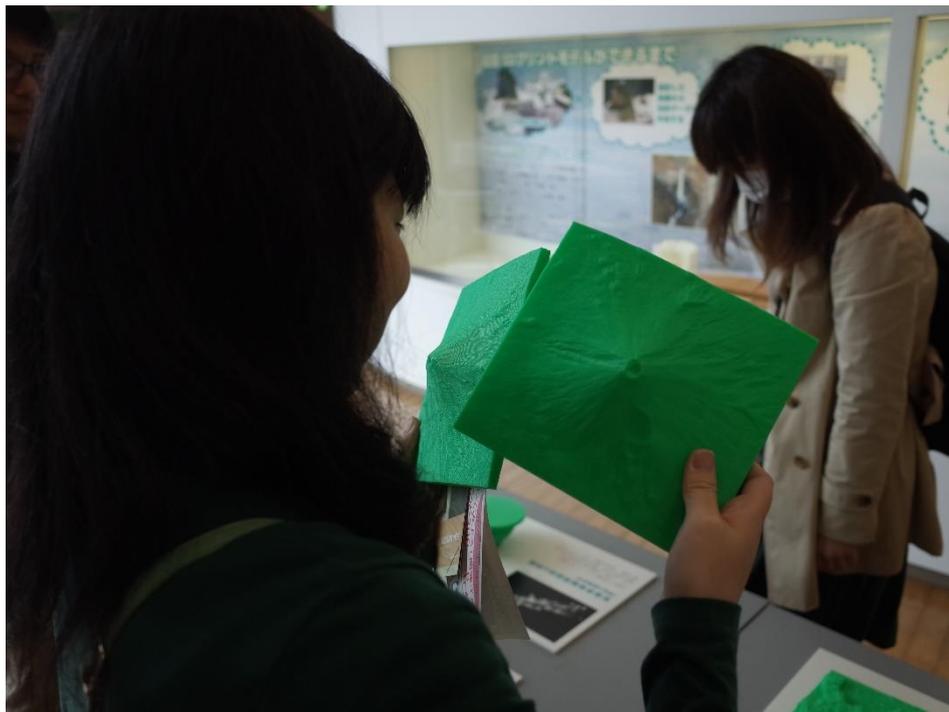
図IV-6. 使用した 3D プリント.

表IV-1. 3D プリントの出典

番号	対象とする地形	名称	地域	元データ	時期	備考
A-1	海食崖	雀島	千葉県いすみ市	UAS・TLS	2014	
A-2	海食崖	雀島	千葉県いすみ市	UAS・TLS	2014	
B	滝	華巖の滝	栃木県日光市	UAS・TLS	?	
C	手掘り洞窟	田谷の洞窟	神奈川県横浜市	TLS	2018	
D	津波石	帯岩	沖縄県宮古市	TLS	?	
E	表層崩壊	表層崩壊	奈良県川上村	UAS	2018	
F	棚田	千町棚田	愛媛県西条市	UAS	2018	
G-1	成層火山	富士山	静岡県・山梨県	ALS	※	水平印刷 1.3倍垂直 強調
G-2	成層火山	富士山	静岡県・山梨県	ALS	※	垂直印刷 1.3倍垂直 強調
H	扇状地	愛知川扇状地	滋賀県東近江市	ALS	※	1.5倍 垂直強調



図IV-7. 3D プリントの印刷手順.



図IV-8. 様々な角度から 3D プリントを見つめる来場者.



図IV-9. 雀島の 3D プリントに触れる来場者.



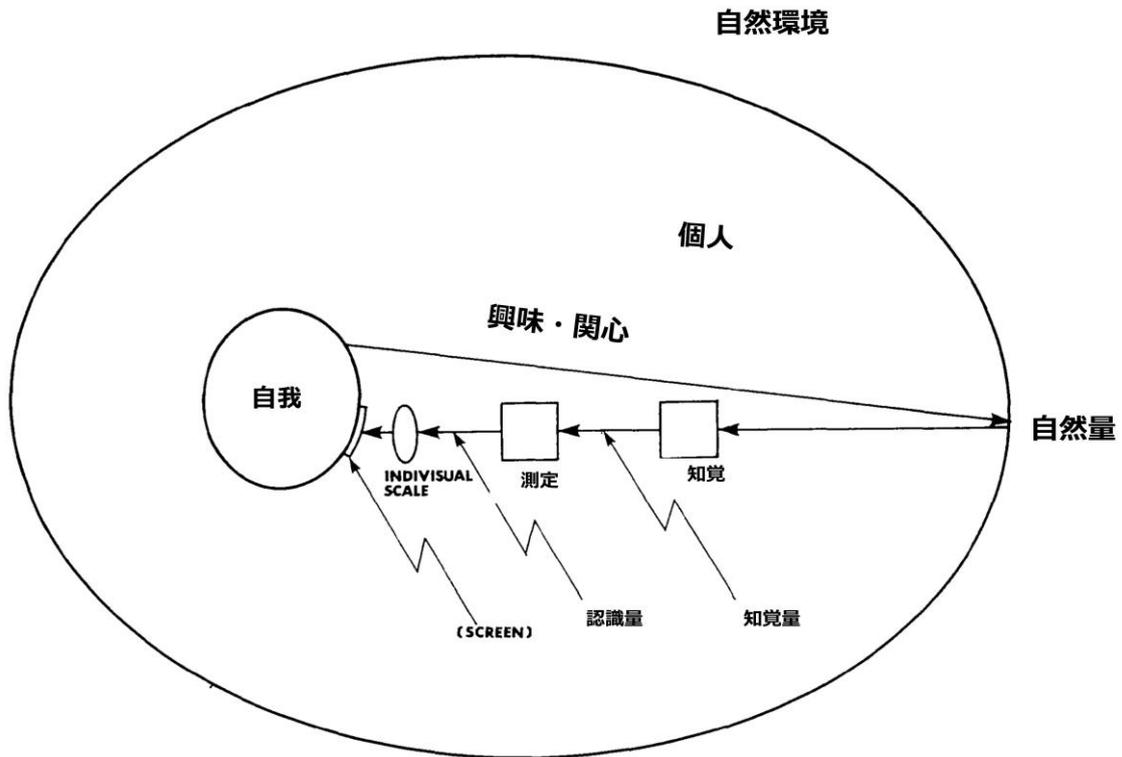
図IV-10 華巖の滝の 3D プリントに触れる来場者.

表 IV-2. 3D プリントに実際に触れた来場者の感想

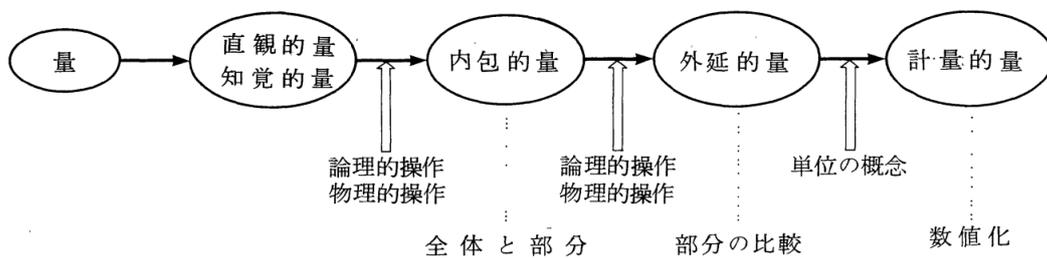
ID	3D プリント全体に触れた感想		モデル A-1, A-2 を触れた感想
	評価	要望や期待	
A			<ul style="list-style-type: none"> ・ 2 年間で海食崖が削れた量を感じ取れた。
B	<ul style="list-style-type: none"> ・ 子どものワクワク感を創出することができる。 ・ 科学に関心を持ってもらう第一歩になる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 先端技術に注視しすぎないように、読み手への理解を促すことが重要。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2 年間でこれだけの量が崩落・侵食しているということがわかった。 ・ 日ごろの生活で意識していない間に自然は変わりゆくことが分かった。 ・ 2 時期の差が分かりやすく表現されている。
C			<ul style="list-style-type: none"> ・ 2 年間でこれだけの量が削れたのかと驚いた
D			<ul style="list-style-type: none"> ・ 島はいつか無くなってしまふかもしれないということを感じ取ることができる。
E	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地形モデル内の高低差を感じた。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 社会科の教材に使いそう。 ・ 趣味で登山によく出かける。高低差を感じやすい。3D プリントを登山中に見てみたい。現在地からの見通し線がどのようになっているのかという使用用途が考えられる。 	
F			<ul style="list-style-type: none"> ・ 侵食や堆積を理解することに使いそう。
G	<ul style="list-style-type: none"> ・ 小学校 3 年生には難しかった。 		<ul style="list-style-type: none"> ・ 地形が変化したことはわかった。
H		<ul style="list-style-type: none"> ・ 地元の理科の先生が、小学校 5 年生の流れる水の働きで、運動場に山を作って水を流して教えていた。理科室での実験をしなくても良くなるかもしれない。 	
I	<ul style="list-style-type: none"> ・ 積層印刷した模型のほうが等高線を理解しやすかった。 		
J			<ul style="list-style-type: none"> ・ 水の力の大きさを感じた。

表 IV-3. 3D プリントを触れた A 氏の感想 (A 氏ブログ記事より引用, 一部筆者改変)

番号	感想
A	<p>波による浸食の大きさが分かるもの。直径 10cm ほど、高さ 15cm 余の、円柱の上面が半球状になった形ですが、側面が 2 箇所 (正面と左奥) 垂直に上から下までがぼっと削り取られている。雀島は海岸のすぐ近くにある小さな岩山 (上には木もかなり生えていた) のようなもので、以前は海岸と繋がっていた陸繋島であったが、波による浸食で陸と繋がっているトンボロ部分が消失して島になり、さらに浸食が進んでいる状態。この島が 2 年後どれほど波によって浸食されたかを示す模型もある。左奥の大きな窪みは、上から下まで 2、3mm ほどの厚さでまるで湾曲した広いパイ生地のように削り取られ (上には木もくっついていて)、正面の大きな窪みは下面が 5、6mm の厚さで削り取られていた。近いうちにこの岩の島は波の浸食のためになくなってしまうだろう。このような地形模型を触ると、教科書で出てくる陸繋島やトンボロなどの用語の意味を実感でき、写真を見ることのできない私にとっては、波の浸食の様子を実感できる。</p>
B	<p>幅 20cm 弱、高さ 10 数 cm の中央部が幅 10cm くらい縦に大きく窪んでいて、ほぼ垂直の壁になっている。上のほうはぼこぼこして、木もたくさんあるようだ (ドローンのデータだと、木でも家でも何でも地上に見えているものはそのまま形になっている)。木なのか土砂なのかよく分からないが、今にも落ちそうになっているものもあつた。水は上からだけでなく、滝壁の途中にいくつも穴があつてそこから流れ落ちているようだ (触ってはなかなか分かりにくかつた)。滝の底はただ窪んでいるだけでなく、後ろのほうに深くえぐられたように広がっている。そのうち、その上の部分が崩れて滝壁が後ろに後退していくかもしれない。華嚴の滝は中禅寺湖が溶岩で堰き止められてきたものなのだとということなので、できればその様子が分かるようなもっと広域の地形も知りたい。</p>
C	<p>自然ではなく人の力によってできた地形に触れた。この地形は地面の中なので、ドローンによる空撮ではなく、レーザー測量のデータで作っているとのこと。直径 10cm 余の半球状のものが平らな面を上にして置いてあり、その上に半球の直径と同じ直径で厚さ 1.5cm くらいの円盤が置かれている。円盤の裏側と半球の上面には、細い溝が何本も走り、溝の途中に溝幅よりも少し径の大きな円い窪みがいくつかある。溝は洞窟の通路で、円い所は広がった空間で仏像なども置いてあるとか。多くの溝などが同じ平面上に水平に彫られていることに感心した。</p>
D	<p>幅 10cm 余、奥行 15cm 余で、手前の 5cm ほどはわずかに傾斜した平たい面 (砂浜だそうです) になっていて、その奥に高さ 1cm くらいの湾曲した崖があり、その崖の先はまた平たい面になっている。そして、その高くなった平たい面の崖縁から 3~4cm くらい入った所に、厚さ 1cm 余、長径が 2cm ほどのごろっとした石が乗っかっている。この石は、実際には高さ 10m 余、周囲 60m 以上ある巨岩だとのこと (高さ 10m、縦横 15m、比重 2 として重さを計算すると、4500 トンにもなる)。この巨岩は、1771 年に起こったマグニチュード 8 前後の八重山地震による津波 (明和の大津波) で運ばれたものらしい。こんな巨岩が高さ 10m もの崖の上に乗って持ち上げられて運ばれるのですから、津波の威力のすさまじさを感じる。そして、この地形模型をよく観察すると、帯岩の形と崖縁の輪郭を比べることで、崖縁のどの辺の岩が津波で運ばれたかが分かるとのこと、私もやってみました、なんとなくこの辺かなということが分かるくらいであつた。</p>
E	<p>どきっとするような地形であつた。横幅 10cm 余、奥行 18cm くらい、手前に深い谷が横に走っていて、その向こうが斜面になっているのですが、その斜面の中央部に、幅 5cm、奥行 10cm、深さ 1cm くらいの大きな山崩れの跡がある。斜面の上のほうは急ですが、その下はそんなに急でもないのに、こんなにも大きくがぼっと崩落するとは、凄いの一語。山崩れした跡の大きな窪みには、復旧のためなのでしょう道も少し触って分かる。できれば、山崩れ前の地形もあれば、比較できてよかつた。実際すでに、ドローンによるデータを経時的に比較することで、災害復旧や対策などに役立っているようだ。</p>
F	<p>触った時の第 1 印象は、何本も並ぶ曲線がとてもきれいで、もしかして扇状地? などと思つたり。横幅 18cm、奥行 11cm、左奥の高さが 3.5cm くらい、手前の高さが 1cm 弱で、奥から手前にゆるく傾斜し、そこに高さ 1、2mm くらい (実際の高さは 1.5m 前後だそうです)、幅 5mm から 1cm 弱くらいの、とてもくっきりした段段が湾曲しながら並んでいる。棚田ってこんなにもきれいなものなのかと実感した。ざっと数えて 40 段近くあるように思つた。上のほうは段段が乱れていてところどころぼこぼこした感じになっていて、ぼこつとががつた木や四角っぽい家も触って少し分かる。上のほうは今も棚田として使われていないらしい。西条市は、南は石鎚山に連なり、北は瀬戸内海に面していて、その間の斜面にこのような棚田がつくられているようだ。</p>
G	<p>2 種類あつて、ともに大きさは 20cm 四方弱ほどで、全体のゆるやかな形や、山頂からいくつもと下にも伸びる谷のようなもの。宝永火口と思われる窪みなど触ってよく分かりますが、表面の手触りがちよつと違う。一方は、細かい等高線のような水平の線が連なっているのが触って分かるのにたいし、他方はそれがあまり目立たず表面が少し滑らかな感じがする。一方は、液状の樹脂を水平に積み上げるようにしてできたもの、他方は、富士山の模型を立てた状態で細長い断面を縦に積み重ねていつて作ったものだそう。私の好みは、等高線らしきものが少し分かる、水平方向に積み上げるほうだ。</p>
H	<p>横 15cm、縦 7cm ほどの大きさで、右側 (東) に三重県との県境に南北に走る鈴鹿山脈があり、愛知川の源流は鈴鹿山脈の北部にある。そこから斜め下 (北西) に流れ下り、山麓の永源寺ダム (手前の中央よりやや右、深く窪んでいるので触って分かる) 辺で南西に方向を変えて近江盆地をずうっと流れて左上で琵琶湖に流れている (永源寺ダムから琵琶湖までの流路は触ってほとんど分からなかつた。探検の殿堂は、永源寺ダムから南西に向つている愛知川の右側、鈴鹿山脈麓に近い所にあつた)。鈴鹿山脈から永源寺ダムまでは急な勾配で、それ以降はとてもゆるやかな傾斜になっていることが分かる。ただ、近江盆地や琵琶湖は平坦で、触ってはほとんど特徴をつかめなかつた。</p>
全体	<p>地形模型でただ形が分かるだけでなく、その地形の出来方や変化の様子、また人の生活とのかかわりまで実際に触りながら考え知ることができて、とてもよかつたです。このような地形模型で考え、ときには愛知川など実際に現地を歩いてみることであれば、なおさらいいですね。</p>



図IV-11. 個人の自然量認識の構造（酒井（1982）に筆者加筆）.



図IV-12. Piaget (1948) による発達心理学における量の認識過程
（酒井 1982 より引用）.

第5章 大型地形模型を利用したアウトリーチ活動とその効果検証

5.1 はじめに

計画的な都市開発は、交通利便性や生活利便性の向上、地域コミュニティの形成や再生、土地の高度利用、高い防災性をもつ安全な都市構造の実現といった目標を設定し、日々の生活に恩恵をもたらすことを理想とする。しかしながら、現実的な都市開発の実態においては、過度な人口集中、市街地の無秩序な拡散や、それにとまなう緑地の急激な減少、歴史的風致の消失などといった弊害も発生しており、これらによる既存の生活空間における生活環境の悪化も懸念されている（国土交通省 2014）。こうした都市開発における問題は、様々なステークホルダーを巻き込んだ利害対立へと発展することもあり、その解決が地域社会における大きな課題ともなり得る。こうした課題に対して、全てのステークホルダーが納得するかたちでの結論が円滑に導かれることは多くないが、研究者や行政関係者などの介入により、地域住民同士の良好な関係性が維持された状態で問題が解決された、あるいは解決に向けた取り組みが行われている事例もある（秦ほか 2002）。

たとえば、歴史的な価値の高い建造物を中心とした歴史的風致が都市開発にとまない各所で急速に消失しつつあることから、国土交通大臣と文部科学大臣は、歴史的風致を保全・保護することを目的としたまちづくりへの積極的な支援の必要性を主張し、2008年に地域における歴史的風致の維持および向上に関する法律案を国会に提出し、閣議決定された。これは、都市開発にとまなう課題解決のための、行政主導による解決策のひとつであり、法的拘束力をもつことから、まちづくりにおける歴史的景観・環境保全に対して一定の効果があることが期待されている（阿部ほか 2011, 松本・澤木 2018）。

また、地域社会における歴史的風致のより実践的な保存や社会的周知の手段として、初等教育における「総合的な学習の時間」を活用することが着目されている。すなわち、学校教育における授業を通じて、地域の児童が主体的、創造的、協同的に身の回りにある環境問題や社会問題を認知し、その解決や探究活動に取り組む態度を形成することが期待されており、こうした活動を通して地域における歴史的風致の保存・保全や活用に関する行動を活性化することが推奨されている（文部科学省 2018）。この背景には、歴史的風致の保存と周知の方法に関して、現代を生きる人々による物理的な保存方法の模索だけでは不十分であり、デジタルアーカイブにより半永続的に残るものを作成する方法や、初等教育

内容に取り入れることによって地域の未来を担う子どもたちの記憶に残す方法を併用することで、歴史的風致保存の実効性を高めるという戦略がある。

ところで、本論の3章では、3Dプリントを用いたアウトリーチ活動として、観察可能な景観としての立体的な地形模型を作成・展示し、展示を見にきた来場者は3Dプリントを観察・触察することで、景観としての地形に関する時空間的な認識を獲得し、現在生じている環境問題やその将来的な展望についての意識が高まることを確認した。しかしながら、展示の来場者はごく限られた人数であることに加え、3Dプリントや自然環境などにそもそも興味を持っている大人や、そのような大人に連れてこられた子どもたちが主には来場しており、来場者の属性はある一定の層に限定されていた可能性がある。すなわち、3章における議論は、対象者が限定された、属性バイアスをともなうものに留まっている。一方、都市開発にともなう環境問題や社会問題が発生している地域において、こうした3Dプリントといった素材を用いたアウトリーチを効果的に実施し、またその効果を広く検証するためには、実際に保存の必要性が強調されている歴史的風致を有する地域の子どもたちを対象とした取り組みを行う必要があると考えられる。

そこで本章では、都市開発と歴史的風致の保存といった問題に直面している地域を対象とし、そこに位置する小学校の児童を対象としたアウトリーチの取り組みについて、その計画から効果測定までを実践的に行い、地域社会における歴史的風致や景観の保全といった課題についての解決策を提案する。具体的には、まず、歴史的風致としての地下文化財を含む里山の環境の全容を、三次元計測技術を用いて観測した上で、その計測データに基づく実体的な模型を制作する授業を小学校における「総合的な学習の時間」で計画・実施し、さらにその成果を地域社会に還元しつつ、小学校の児童を含めた地域の人々に里山や地下文化財の価値を再考してもらうことを目的とする。また、このように開発したアウトリーチ手法の、持続的な都市開発と環境保全にまつわる地域社会の形成に資する、さらなる応用的展開についての可能性を検討する。

5.2 対象地域概要

5.2.1 横浜市栄区田谷町周辺地区

対象とする地域は、神奈川県横浜市栄区田谷町とその周辺地区である。横浜市の西南部

に位置し、鎌倉市と隣接し、この地区の東部には、南進する柏尾川（二級河川）があり、川周辺の氾濫原には農地が広がっている。下末吉面に相当する地形面が開析されて形成された起伏を伴う里山がこの地域の東部に分布している。

旧鎌倉郡田谷村であったが、1939年（昭和14年）横浜市戸塚区に編入され、1986年（昭和61年）に現在の分区により栄区に属することになった（戸塚区史，1991）。2018年より高速横浜環状南線の栄IC・JCT（仮称）の工事が本格着工され、この地区の一部の里山が削られるなどの人的な要因による急激な地形変化と環境変化が起きている。

5.2.2 横浜市登録史跡「田谷の洞窟」

この地域には、横浜市登録史跡「田谷山瑜伽洞（たやさんゆがどう）」（以下「田谷の洞窟」）がある（図V-1）。これは、全長約570 m、三層構造の地下伽藍（修行洞窟）である（図V-2）。その歴史は鎌倉時代からあるとされ、「日本三大霊場（坂東三十三霊場・西国三十三霊場・秩父三十四霊場）」と「四国八十八霊場」の写し霊場となっている（吉田 1977）。内部には、保存状態の良い約250の宗教上の浮き彫りレリーフが施されている（図V-3）。基盤となる地質は上総層群の長沼層であり、上部が砂岩および泥岩、下部がシルトで形成されている軟弱な地盤である（神保 1987）。そのため、洞内では崩落が多発し、浮き彫りレリーフは崩壊や、地上里山の樹木などの根が成長して洞窟内部へ進入してくることによる「根害」や、様々な環境的要因による乾湿風化などの影響を受け、近年、洞窟保存に関する関心が高まっている（たとえばGerminario et al. 2020, Tamura et al. 2020）。

この洞窟は、史跡として横浜市に登録されているものの、地域における認知度や歴史的価値の共通認識は高くなく、その維持管理については土地を所有する定泉寺の裁量に一任されてきた。しかしながら、近年、その地域資源としての価値が再認識されはじめ、地域住民が中心となって、2015年より保存活動が始まり、2017年に任意団体「田谷の洞窟保存実行委員会」（以下、「保存会」）が設立された。その活動の一環として、地形学、文化財学、建築史学などの研究者と協力しながら、様々な分野からのアプローチを通じた学術調査が実施されている。また、学術調査だけでなく、地域社会における洞窟や里山の地域資源としての価値向上をめざし、田谷の洞窟の付近にある横浜市立千秀小学校との協力関係が築かれ、当該小学校において2017年度より保存会と小学校が連携して、「田谷の洞窟」

を地域環境や社会を学ぶための教具と位置付け、6年生の「総合的な学習の時間」における多分野横断的な「地域学習」としての授業実践が行われている。本研究では、この保存実行委員会に筆者がメンバーとして参画し、千秀小学校における授業実践活動における計画の立案や実行について主体的に関わるとともに、参与観察を行った。

5.2.3 授業実践校の概要

横浜市立千秀小学校（以下「千秀小」）は、田谷の洞窟を地中に持つ里山と連続した起伏地形の中腹にある。横浜市立の公立小学校の中でも小規模小学校で、特に、横浜市栄区の中では最も小規模の小学校である。学校の周囲には里山、里地、農村風景が広がっている一方、市街化による宅地開発も見られ、千秀小は、都市近郊の農村的な地域にある。当該校の校区は、栄区田谷町、金井町、長尾台町と戸塚区小雀町の一部となっている。この他に、家庭の事情や千秀小に通わせたいと考える家族の意向で、隣町の飯島町や、鎌倉市や川崎市など、遠方からバス通学する児童も在籍している。

各学年は、1～2クラスで、全校児童数は、約230～240名である。2017年度の6年生は、1クラス（32名）、2018年度は、2クラス（43名）、2019年度は、1クラス（28名）であった。6学年担当教員数は、クラス担任のみで、2017年度は、1名。2018年度は、2名。2019年度は、1名であり、全教員数もここ数年31名となっている市内でも小規模な小学校である。

千秀小は、1876年（明治9年）に公立小学校として設立された（横浜市立千秀小学校, 2019）。通常の横浜市の小学校の校名は、学校が立地する町名を入れることが慣習となっているが、千秀小は、公立校であるにもかかわらず、校名に地域名が含まれていない。これは、設立当時の周辺地域の農家が共同で行政に交渉して設立を勝ち取ったという経緯から、地域住民が「千に秀でる子を育む」という願いを込めて名付けたという特別な歴史があるためである。このような歴史から、地域住民には、「地域が千秀小を支えている」という風土が強く根付いている小学校である。したがって、地域の農家や古くからの住民のほとんどが、千秀小の卒業生であり、現在の児童にも、祖父も親も千秀小の卒業生であるという代々この地域に居住する家系の児童が多数いる。

小学校低学年の生活科における「まちあるき」では、前述の「田谷の洞窟」を必ず訪問する。また、6年生の「総合的な学習の時間」では、地域の歴史を取り上げ、やはり「田谷の洞窟」を調べている。このように、千秀小の児童は、学年をまたいで「田谷の洞窟」

を学ぶ。

5.3 授業実践の概要

まず、小学校と連携した授業実践について整理する。この実践は2017年度～2019年度に小学校6年生の総合的な学習の時間にて実施した。そこで、小学校における総合的な学習指導要領をもとに、本実践の目標や役割と経緯や試行錯誤を重ねて実施されてきた変遷を整理する。なお、小学校の学習指導要領は2020年度より改訂・施行されているが、ここでは授業実践を行った際の平成20年度版の学習指導要領に基づき、内容を整理する。

5.3.1 小学校学習指導要領における総合的な学習の時間の取り扱い

小学校の総合的な学習の時間の目標においては、「横断的・総合的な学習や探究的な学習を通して、自ら課題を見つけ、自ら学び、自ら考え、主体的に判断し、よりよく問題を解決する資質や能力を育成するとともに、学び方やものの考え方を身に着け、問題の解決や探究活動に主体的、創造的、共同的に取り組む態度を育て、自己の生き方を考えることができるようにする。」ことが求められている。また、各学校において目標や学習内容を定めることが可能であり、柔軟なカリキュラムを構築することができる。

指導計画の作成にあたっては、「第3 指導計画の作成と内容の取扱い」に指針が示されている。まず、目標及び内容については、地域や学校、児童の実態等に応じて、教科等の枠を超えた横断的・総合的な学習、探究的な学習、児童の興味・関心等に基づく学習など創意工夫を生かした教育活動を行うことが必要であり（指導要領1.-(2)）、日常生活や社会とのかかわりを重視することが求められている（指導要領1.-(3)）。また、学習内容については、国際理解、情報、環境、福祉・健康などの横断的総合的な課題についての学習活動、地域の人々の暮らし、伝統と文化など地域や学習の特色に応じた課題についての学習内容を行うことが求められている（指導要領1.-(5)）。その上で、各教科などの学習目標および内容との違いに留意しつつ適切な学習活動を行うことが求められている（指導要領1.-(6)）。

さらに、内容の取扱いについては問題の解決や探究活動においては、他者と協同して問題を解決しようとする学習活動や、言語により分析し、まとめたり表現したりするなどの

学習活動が行われるようにすることが求められており（指導要領2.-(2)）、他者とのコミュニケーションを通じた学習活動そのものに着目されている。また、グループ学習や異年齢集団による学習など多様な学習形態、地域の人々の協力も得つ、全教師が一体となって指導にあたるなどの指導体制について工夫を行うことが必要とされていると指摘されている（指導要領2.-(5)）。そのため、学校が地域や社会教育関係団体と密接な連携をとりながら年間カリキュラムを編成する必要がある。

5.3.2 本授業実践の位置づけ

小学校の総合的な学習の時間の学習指導要領の内容を踏まえて、最初に、保存会が授業実践の年間計画、年間の学習の目標、年間の学習計画（以下、「学習指導計画」）の草案を提示し、横浜市立千秀小学校の6年生担任と内容を協議しながら策定する。学習指導計画は、試行錯誤を繰り返し毎年度改定されている。2018年度の年間計画を図V-4に、年間の学習の目標を図V-5にそれぞれ示す。これらは2018年度の6年生の担任と連携して作成されたものであり、2017年度および2019年度の授業実践においても通ずる学習計画である。千秀小学校における総合的な学習の時間は、「ゆりの木タイム」という名称になっている。小学校6年生の総合的な学習の時間は1年間に70時数（週2時数を想定）が割り当てられている。そのうち、田谷の洞窟保存に関する学習は、40時数分が割り当てられている。

本授業実践は、周辺地域の環境や社会と共生している「田谷の洞窟」を教具として、地域環境や地域社会の価値を学ぶことを基本的な目的とする。このために、本授業実践は「未来へ残そう！地域の歴史」というタイトルで1年間の学習をすすめていく。単元の目標として、大きく2つを挙げている。1点目は、田谷の洞窟や地域の史跡を通して児童ひとりひとりがテーマ設定を実施し、田谷の洞窟を中心とした地域の史跡調査を通し、自分たちの生活するまちの歴史に触れることである。2点目は、調査の中で地域住民とコミュニケーションをとり、調べたことを児童ひとりひとりの言葉で説明や表現ができることとしている。

また、育てたい力として、校区内にある洞窟や史跡を調べるための計画を立てること、地域住民の思いや取り組みについて児童らが整理できること、調べたことを伝える相手に応じて表現の仕方を工夫できることが挙げられている。

さらに、他教科等のかかわりとして、国語や社会、道徳の学習とのかかわりを挙げている。

特に、小学校6年生では、社会科ではじめて歴史を扱うことになっている（文部科学省2018）。社会科で学習する歴史を関連させた学習を深化させるべく、総合的な学習の時間の中での探究学習を設定している。

本授業実践で、田谷の洞窟保存実行委員会に属する地域住民・研究者は、小学校と協力して40時数のうち12～20時数分の授業実践を行った。年度ごとの制作物の制作過程については次章以降で詳細を述べる。

5.3.3 本授業実践の構成と変遷

本授業実践は、6つのステップの授業内容が構成されている。この一連の授業の「目標・内容・評価」は、実践を重ねることで徐々に改善・発展されており、筆者らは、毎年4～5項に渡る「授業計画書」と「模型制作授業計画書」を作成し、担任と保存会とでスケジュールを含めた検討したのちに授業として実施した。

第1ステップは、保存会の地域住民による「田谷の洞窟保存活動と地域を知る」というテーマの導入授業である。この最初のステップは、洞窟を再確認し、洞窟保存活動で行われている多分野横断型の調査活動の概要を紹介しながら、自分たちの身の回りの地域を見つめなおすことを問い掛ける、本授業実践全体の概要を提示する導入授業である（以下「導入学習」）。第2ステップは、担任と児童が洞窟を訪問し、周辺里山環境などを確認するフィールドワークである。第3ステップは、洞窟の調査を行っている研究者らによる探究学習の授業である（以下「探究学習」）。授業は、洞窟調査の内容に触れつつ、各研究者の専門研究の概要に展開する授業で、地域空間からより広域の空間に対応する授業である。第4ステップは、児童が、グループに分かれテーマごとにここまでの学びの内容をポスターなどにまとめ地域住民や他学年の児童に口頭発表する。これは、千秀小の学校行事の一つである「千秀フェスティバル」という地域に公開する文化祭である。第5ステップは、10時数の模型制作授業である（以下「制作授業」）。本授業実践は、学習のみにとどまらず、6年生の卒業制作も兼ね、洞窟保存活動や地域づくりに役に立つ模型資料を制作する。尚、制作授業は、中学受験をする児童に配慮し、受験期間の終了後に実施する。また、制作指導に当たっては、模型制作の実践経験を十分に積んでいる横浜国立大学建築学科の建築史学の研究者と学生・大学院生がサポートした。第6ステップは、完成した模型を卒業式で保護者と来賓に公開し、児童が成果を説明する。

本授業実践は、2017年の秋に当時の千秀小校長から以来があり小学校と保存会とが連携して授業が開始された。上記の6つのステップは、この段階から構成されたものである。2017年度は、以来が来たのが11月であったため、第3ステップの研究者による探究学習は、1コマのみであったが、全てのステップを終えた段階での本授業実践に対する校長と担任の評価は、当初の想像以上の成果が得られたこと、「総合的な学習の時間」における「地域学習」としてこれまでと比べ質が高い学習が行われたこと、児童の反応から学びと制作の達成感が大きいことが考察出来たことが指摘され、2018年度も継続したいと希望された。これによって、第3段階の探究学習の授業時数を徐々に増やし、2019年度より地形学、空間情報科学、文化財学、建築史学の研究者による授業に展開された。また、初年度の授業実践から、小学校の1時数45分では教授すべき内容をかなり省略せざるを得ず、早口になってしまったりスライドを飛ばしたりしたりする場面もあったので、2019年度からは、担任と協議し、他の教科との調整を行い、本授業実践では、1授業に対し2時数とすることに改善された。このような試行錯誤を重ねた結果、2020年度も継続されており、筆者の参画する保存会は、導入学習（2時数）、探究学習（8時数）、制作学習（11時数）となり、合計21時数程の授業を実施している。

5.4 授業実践①田谷の里山地形模型製作（2017年度実施）

5.4.1 授業実践の年間計画

初年度の授業実践であった2017年度の学習計画と指導計画をそれぞれ図V-6と表V-1に示す。2017年度の秋（11月）に連携依頼があったため、既に担任による「軌跡にドキリ！～守っていこう地域の歴史～」というテーマで総合的な学習の時間の学習計画が策定されていた。1学期には、小学校校区内に住んでいる地域住民から、地域の特色について講義を受けた。本授業実践は、11月から関わることとなったので、11月に導入授業（1時数）を実施し、地域で洞窟の保存活動を実施している住民が、地域文化・環境を守る意義についての授業を実施した。その後、担任と児童によるフィールドワーク実施し、12月の千秀フェスティバル（文化祭）にて口頭発表を行った（図V-7）。初年度の児童は、1か月の間に、グループごとにテーマを定めて調査を行い、校内や地域住民に向けて口頭発表を実施した。テーマの例としては、洞窟のレリーフについて、地域の寺社について、などが挙

げられる。3学期には、探究学習として、地域資源のアーカイブを実施している研究者らにより、研究で使用している写真測量やGISデータの作成・利用方法についての授業を実施した。1・2学期の学習内容に加え、本授業実践による導入学習と探究学習を踏まえて、制作授業として「田谷の里山地形模型製作プロジェクト」を実施し、地域の大型地形模型を作成し、卒業式にて披露した。

5.4.2 学習材の整備

3学期には、千秀小と田谷の洞窟を中心にした周辺の約2 km四方の縮尺1/1000の地域の地形模型を製作した（図V-8）。この模型の由来となった地形情報は、航空レーザ測量にもとづく2 m解像度のDEMである。これをCADデータに変換して児童でも製作可能な模型図面に作図編集した。この模型は、8枚のパネルに分割して制作されており（図V-9）、全部を合体させて並べると大きさは2 m×1.64 mである。32名の小学生が厚さ1.5 mmの発泡プラスチック製の薄型の板（スチレンペーパー）を等高線に合わせて切って積み重ねた。

また、田谷の洞窟周辺の風景を想像できるように、UASを用いた空撮を実施した。使用したUAS機材はDJI製のPhantom 4である。60%以上オーバーラップするように写真を撮影し、SfM-MVS解析を通してオルソ画像や3Dモデルを生成した。使用したSfMソフトウェアはAgisoft社Metashape Professionalである。作成したオルソ画像や3Dモデルは、Webブラウザ上で手軽に閲覧できるように、デジタルアーカイブサイトであるSkypixelやSketchfabにアップロードした。

5.4.3 授業実践

2017年度の6年生の児童数は、32名で1クラスのみであった。学年担当教員は担任のみで、11月より詳細な授業内容の調整を行い、11月～3月の卒業式までのスケジュールの確認をしてから実施した。特に、12月の千秀フェスティバルでの口頭発表に間に合わせたいと言う担任教諭の希望と、卒業式までの間に制作授業を実施するためのスケジュール調整が困難であったが、他教科の授業進行の調整を担当が行い、11時数の制作授業を確保した。第3ステップの制作模型は、保存会より提案した「大型地形模型」とした。地形模型の制作にあたって、担任教諭はその制作方法や児童にできる作業なのか確認するこ

とが難しかったため、保存会の担当者が参考になる模型と材料の実物を担任教諭に見せながら作業を説明し、実際の制作を担任教諭に試してもらい、制作授業のテストを実施した。

導入授業では、洞窟調査活動の一環で撮影した RICOH社製の360度カメラ・THETAによるVR画像を児童に回覧しながら洞窟の価値の再検証を行い、レリーフの特徴や洞窟空間の構造的な特徴などの概要を教授した（図V-10）。VRの回覧は児童の興味を引きつけ、洞窟内の様子やレリーフの状況などを直感的に学ぶことが出来た。授業中も児童から驚きや感想の発言があり、講師からの問いかけに積極的に手を挙げて発言する児童が多かった。

導入授業後、担任教諭の引率で洞窟を訪問し、洞窟を管理している定泉寺の住職より洞窟の歴史などの講話を聴き、周辺環境の考察を行った（図V-11）。

探究学習では、「環境を測る」というテーマで環境測定の授業を実施した（図V-12）。本授業における学習指導案を表V-2に示す。ここでは、まず写真測定の原理についての授業を行い、調査で実際に使用したUASの実物を見せながら、動作音を聞かせた。また、講師の研究者が調査している雀島(Hayakawa and Obanawa 2020)の侵食による地形変化の状況を表した3Dプリント模型も紹介されて「地形変化の実態」を教授した（図V-13）。このような実例の紹介から、児童は、「地形は変化している」こと、それに伴い「環境も変化している」ことなどを把握（知る）するための環境測定を学んだ。

上記の二つの授業では、田谷の洞窟や研究者の他の調査に使用されている機材の実物を見せることで授業の展開に抑揚をつけ、児童の授業内容に対する好奇心を誘発させる工夫に注意しながら実施した。

制作授業は、2時数/日を、1週間にわたり5日間連続で集中的に実施した。本授業では小学校の図工では用いない材料や道具を使用するため、授業に入る前に、保存会担当者が材料と道具の扱い方と危険管理に関する注意事項を教授するためのガイダンス授業（1時数）を行った（図V-14）。模型制作は、32人の児童を6グループに分けて行った。模型は8つのパネルに分割していたが、平地部にあたるパネルが2枚あり、これらのパネルについては、積み上げるスチレンペーパーの枚数が他のパネルと比べて極端に少なかったため、作業が少なく、児童に制作させると他のパネル制作より極端に早く制作が終了してしまうことが想定された。そのため、模型製作授業のサポートに入ってくれた横浜国立大学の学生らに放課後に制作してもらった。

制作に使う材料には、可燃ごみとプラスチックごみが大量に出るため、ごみ箱を制作したり、スプレーのりを大量に使用するため、小学校にある廃棄する段ボールを使用して大

きなスプレースを制作するなどの準備が必要であった。本授業は学級教室で行うことは不可能であったため、図工室や家庭科室を使用した。担任教諭は他学年の授業スケジュールを確認してこれらの教室の空いている時間に合わせて教室を移動させる必要があった。そのため、教室移動が必要な日の前日には、講師とサポート学生らとで引っ越しを行う必要があった。また、制作に必要なカッターやカッターマットや1 mの金尺（金属製の定規）は図工室に無いものがあったため、あらかじめ図工準備室に保管されている道具類を確認し、不足しているものは横浜国立大学の建築学科から事前に借用して運び込むなどの下準備も行う必要があった。また、8枚のパネルの耐久性を確保するために木製のパネルが必要であったが、市販されているものは寸法が合わなかったためにこれらを自作した。この自作には小学校の相談室を借りることが出来た。結果的に、初年度の制作授業の準備のために小学校に1週間通い、担任と制作授業の事故防止の確認をし合いながら準備を実施し、児童との制作授業を実践した。

制作授業中の児童の様子は、当初は白い平らな板が積み上がっていくだけで退屈な様子を見せる児童も見られたため、毎日の授業の終わりにその日に完成した模型を並べて、研究者・児童・担任教諭で模型の考察を行い、制作作業の過程の成果を児童が確認できるように工夫した（図V-15）。作業が進むにつれて、カッターの使い方を習得する児童が増えるなど、作業に慣れはじめた。特に、3日目を迎えたころから児童の顔つきが変わり、制作に集中し始めたことを担任教諭と確認することが出来た。スチレンペーパーが積み上がりはじめると、地域の切り出す地形が徐々に複雑な形状を表すようになり（図V-16）、スチレンペーパー（二次元データ）を積み重ねることによって地形模型（三次元データ）に変化させるというプロセスの理解が深まったように感じられた（図V-17）。制作授業中に時折、研究者が回りながら各グループごとに「このような平らなところは住宅地を開発しないのでは？」などと児童に問いかけをすると、児童は実際の場所や空間の特徴について進んで意見を交換し始めた。その結果、スチレンペーパーの切り取り・積み重ねによる立体化された等高線を観察することによって、地域に存在する微妙な凹凸形状や地形の勾配に着目し、自分たちの住環境がどのような形状をしているのかについて議論する児童が多く見られた。

完成した模型（図V-18）を卒業式で保護者や来賓に公開した。千秀小は小規模小学校なので、卒業式には全校生徒が参加する。従って、卒業式での模型公開は、千秀小学校に係るあらゆる年代の人に成果を公開することが出来る良い機会となった。卒業式では6

年生による保護者、来賓、他学年児童たちへメッセージを送ることが通例になっており、その中に 本授業実践の内容が含まれていた。そのため、児童にとって学校生活を営む上で記憶に残った学習であったと考えられる。来賓は卒業式会場に展示されていた地形模型を見て、過去の地域の振り返りや現在工事が進行している道路工事などについて様々な会話を重ねていた。卒業式後には、卒業生と保護者が式会場に残り「謝恩会（茶話会）」を行うのが千秀小学校の慣例である。この会の中に、児童は保護者に自分たちが作った部分の説明や、地形模型の作成プロセス など各々に説明して達成感を保護者と共有していた。この場面でも保護者が地形模型を見ながら地域空間 について 会話する様子が観察できた。

卒業式後に、田谷の洞窟保存実行委員会による「地域報告会」で、地形模型を 地域住民に披露した。地域報告会には、模型を作成した児童と地域住民が約100人程度参加した。地形模型には、あえて着色をせず、白いままにした。児童たちは、完成した模型を眺めながら保護者や地域住民と意見交換を積極的に行った。白い模型を見つめながら、児童たちは地域の自然的文化的な景観に関して想像しながら議論していた。また、過去の風景を知る地域住民と議論する中で、「あの坂の近くの土地利用は昔はこうだった」などと時間軸を遡った議論を行っていた。これは、すなわち地形模型をベースマップとして、自然的・文化的なさまざまなレイヤーを議論の中で重ね合わせて、地域景観を見つめていたものであると考えられる。また、出来上がった大型地形模型に寄り添ったり引いたりしながら地域を見つめることによって、自分たちが学習した内容を想像しながらその位置や分布を頭の中で描き、学習を振り返ることを行う児童も見られた。 児童と地域住民で地形模型を囲み、昔の地域の様子などが語られ、現在の田谷地域 の様子との比較などの会話が交わされたこれにより、時間軸を遡るコミュニケーションツールと化し、地形模型上に過去の景観を振り返る議論が行われた（図V-19）。

また、この地形模型は、横浜国立大学大学院建築学専攻の大学院1年生の「AT Studio（地域デザイン演習）」の講義でも利用し、田谷周辺地区の地域魅力資質調査の議論 利用した（図V-20）。大学院生がこの地区でフィールドワークを通じた調査を実施し、結果をこの地形模型にプロットして資料として地形模型を活用した。現実空間を歩いた学生たちが模型上にプロットすることで、地域空間を俯瞰することが可能となり、大学院生の広域な空間の立体的な把握の良好な資料となった。

5.5 授業実践②田谷の洞窟の輪切り断面模型（2018年度実施）

5.5.1 授業実践の年間計画

2年目である2018年度の6年生の児童数は、44名であり、2クラスに分かれていた。学年担当教員は2名であった。2017年度を取組がメディアに掲載されたことから（尹 2018）、新年度4月に担任教諭から連絡が入り、5月から準備に入った。「未来へ残そう！地域の歴史」というテーマで年間を通した授業を実施した。年間指導計画を図V-21に示す。前年度と同様に、1学期には、小学校校区内に住んでいる地域住民から、地域の特色について講義を受けた。その上で、2学期には地域調査活動を実施し、グループごとにテーマを定めて調査を行い、千秀フェスティバルにおいて校内や地域住民に向けて口頭発表を行った。本年度は、運動会や修学旅行の事前学習にも力を入れる方針があったため、導入授業を11月に実施し、12月の千秀フェスティバル終了後に研究者による探究学習を実施した。

3学期には、1・2学期の学習内容を踏まえて、「洞窟輪切り断面模型製作プロジェクト」を実施した。事前学習として、前年度と同様に、地域で洞窟の保存活動を実施している地域住民が、地域文化・環境を守る意義についての授業を実施した。その上で、写真測量やレーザ測量などによる三次元環境計測の講義に加えて、地質年代に遡った田谷の洞窟の自然環境に関する学習を行った。これらを踏まえて、洞窟の輪切り断面模型を作成し、卒業式にて披露した。

5.5.2 学習材の整備

洞内の形状を計測するために、地上レーザ（TLS）を用いた地形測量を実施した。計測箇所は、Hayakawa et al. (2020) と同様の63か所である（図V-22）。使用した機材はTrimble製のTX5である。各計測地点から計測した複数の点群データは、Trimble社のRealWorksを用いて結合し、洞窟全体をあらわすひとつの点群データに生成した。結合には、ICP（Iterative Closest Point）機能を用いて、点群内の再近隣の点間距離を最小化することで、位置合わせの誤差を縮減した。

地上レーザを利用して取得・作成した洞内の三次元点群データをもとに、洞窟をその経路に沿って60 cmごとに横断するように輪切りにした断面データを作成した。これらの断面

データを紙に印刷し、スチレンペーパーに貼り付け、これを切り抜くことで60 cm厚の各断面を示す部品が作成される。すべての断面データについて同様に切り抜き作業を実施し、これらの断面部品を一行に並べることで、洞窟をあらわす「断面模型」が完成する。児童は、これらの作業のうち、断面部品を切り抜く作業を主に実施した。また、作成した各々の断面部品を並べる作業も行った。これにより、児童自身が切り抜きの体験を経た上で、洞窟全体の断面模型の製作に寄与した。

制作授業は、洞窟の南北長手方向の長さ約 75 m を、60 cmごとにスライスした縮尺1/50の洞窟内部空間を切り抜いた126枚の断面を重ねることで、洞窟内部空間の変異や変形を連続して考察できる図面を制作した。126枚の断面をA3サイズの児童の切り抜き用の洞窟の横断面が記載された用紙を準備し、1人あたり3枚の断面を用紙を切り抜く作業を割り当てた（図V-23）。洞窟の断面形状は、複雑で直線的な断面はない。児童はフリーハンドでカッターをコントロールしながら細かい形状を切り抜いた（図V-24）きた。断面によっては洞窟の空間が重なり合っていたり、繋がっていたりする。1人あたりに割り当てられた3つの洞窟横断面図用紙断面を重ねて1ユニットとし（図V-25）、全部で42ユニット制作した（図V-26）。全ユニットを整列させるための土台を制作しておいて、最後の授業で児童が自分の作ったユニットを1人ずつ順番に並べて、全断面を統合したが完成した。1人ずつ、126枚児童らは、42ユニットが繋がった洞窟の空間を1人ずつ覗き込んで、洞窟の形状や洞内環境について完成した模型を考察した。

5.5.3 授業実践

2018年度の導入学習では、2017年度の授業内容に加え、「なぜ洞窟の保存活動が必要なのか？」というテーマに対して詳細な解説を加えた。この追加内容は、東京や横浜などの巨大都市が農村を削って拡大し続けている都市であること提示した。その上で、少子高齢化・人口減少社会において食糧 エネルギーの観点から、農業の大切さを提示し、千秀小の立地する地域の特徴について説明した。千秀小校区はいわゆる都市近郊型の農村地域であり、この地域のような農村は大切な日本の資源であるという趣旨を説明した。さらに、この地域の環境を知り、学ぶことの重要性を説くという内容を加えた。

2018年度の探究学習は、地形学の研究者による授業が追加された。2クラスあったため、

最初の時間は、6年1組で「環境測量」（空間情報科学）の授業を行い、6年2組は、「地形学」の授業を行い、次の時間に入れ替えて1日で2種類の授業を行った。これは、研究者のスケジュールに合わせて授業の効率的な実施に配慮したためである。地形学の授業は、関東地方の地形のでき方や地形の変化の要因の概説を行い、千秀小の周辺地域の地形の考察を授業中で示した。

「環境測量」の授業では、2017年度に制作された地形模型を教室の床に並べて模型を確認しながら授業が行われた。1日でこれら2種類の授業をクラスごとに交互に実施したため、学んだ地形学の知識を「環境測量」の授業で使って模型上で確認するなどの相互の授業で補足し合う授業の実践が出来た。

フィールドワークを2017年同様に実施した。この年度の6年生は積極的に現地調査に行っており、洞窟内の温湿度測定や測量を行っている。児童からは、洞窟の内部で温度や湿度が異なることがわかったことから、なぜ違うのか？などの質問が寄せられた。また、測量した児童からは、千秀フェスティバルで洞窟の一部を人が入れる大きさを再現したいと相談があり、どうやって作れば構造的に強く作ることが出来るのか？との質問があった。そのため、ロープや紐で構造的に固定する結び方のアドバイスをを行った。

口頭発表では、2017年度より児童による詳細な学びの成果が発表された（図V-27）。洞窟再現グループによる洞内の「十二支神将の間」が、机や椅子を構造体にし、黒い布で外部の明かりが入らないように再現していた。内部には十二支のスケッチが貼られており、洞内のノミ跡なども模造紙に絵具で表現されていた。また、実際の「十二支神将の間」と同じような出入口の位置関係も再現されていた。洞内環境計測のグループは、洞内通路長の測定結果を模造紙に記載し、洞窟の見取り図を拡大表記した図面の中に付記した上で、洞内環境に関する考察を展開した。また、定泉寺に許可を得て児童が採取した洞窟内の土も展示していた。一方、担任教諭より他のグループの調査テーマ決定のアドバイスを受けていたため、田谷の洞窟周辺に散在する小さなお地蔵さんや石碑を調べることを提案した内容を保存会から提案した。その結果、石仏調査グループが結成され、地図に詳細に調査した石仏をプロットした発表を実施していた。このように2018年度の口頭発表は、より詳細で限定的な授業の内容に呼応した学びの成果が発表された。

2017年度と同様、制作授業前には材料と工具の使用方法に関する導入授業（1時数）を実施し、模型の制作授業（10時数）を実施した。制作サポートは同じ横浜国立大学の学生らの協力を得た。初日と2日目までは、スプレーのりで作業することが多かったため、図

工室で授業が行われたが、3日目以降は特別教室が空いていなかった。しかし、本年度の模型作業は、児童一人一人が作業できる大きさであったため、3日目以降は1組と2組の各学級教室にて制作した。大学院生によるサポートも、2クラスに分散して実施した。3日目は切り抜く作業から、「ジェッソ」と呼ばれる油絵における白い色のキャンバス生地を作るときに使用される白色の塗料を用いて白以外の部材を白く塗る作業工程に進んだ（図V-28）。この3日目の児童の様子を観察したところ、色を塗ることが好きな児童と切り抜くことが好きな児童がいることに気づいた。4日目は切り抜き作業をしたい児童と、色塗りが好きな児童を別の教室に分けて分担作業に切り替えた。その結果、児童は集中して作業を進め、効率よく制作活動を進めていた。最終日の5日目は、各自のユニットの完成までの作業を図工室に戻って全員で行った。これまでの制作は、部品の制作で何を作っているのか作業の過程を理解できていない様子だった。しかし、最終日になって、自分に割り当てられた自分自身で切り抜いた3枚の断面を目の前に並べてみると、制作している断面が連続していることに気が付き、何をどこまで制作していたのかを互いの断面を確認しながら理解した様子が伺えた。切り抜いた板の横断面には、洞窟の通路が複数確認できる。隣接する通路の断面の最短距離を定規で計測させ、50倍すると、実際の洞窟の壁厚や床厚を計算できることを確認した。つまり、この断面模型を利用して、縮尺の計算練習を実施した。この授業の様子はコミュニティ新聞のタウンユース港南区・栄区版に掲載された（タウンユース港南区・栄区版、2019）。

卒業式までの間に保存会が断面を視覚的に判別しやすくするために、断面部に色を付け仕上げ作業を行った。卒業式では2017年同様、保護者、来賓、全在校生に断面模型を公開した（図V-29）。来賓と保護者は、完成した断面模型に触れ、任意のユニットを抜き取って洞窟横断面間の位置関係を見ながら、田谷の洞窟の複雑な形状を理解したように観察できた。完成した断面模型を、保存会が開催した「地域報告会」や定泉寺と保存会の共催による「落語会」で公開し、広く地域住民に田谷の洞窟の価値を再認識してもらえよう利用した。また、地球科学に関する国際学会（日本地球惑星科学連合2019年大会）でも模型を展示し、様々な研究者や行政関係の人々と模型制作や授業実践の効果に関する議論を行った（図V-30）。地域レベルから全国レベルまでに広がったアウトリーチが行われた。さらに、卒業式後にコミュニティエフエムの番組でこの模型制作の様子が取上げられ、有志の児童が出演し、田谷地域の魅力についてインタビューを受けている（エフエム戸塚2019）。

5.6 授業実践③田谷周辺の災害被災立体模型（2019年度実施）

5.6.1 授業実践の年間計画

2019年度の学習計画を図V-31に示す。2019年度の児童数は、28名、1クラスで、6年担当教員は1名である。本年度の担任は初めて6学年を担当する教員で、新学期開始後すぐに連携の依頼の連絡が来た。5月から授業計画の詳細の打ち合わせが始まり、2019年度は初めての試みとして、児童たちから希望する地域学習の内容を担当が児童にヒアリングし、学級内で児童と担任が話し合い、地域防災をテーマとして扱うこととした。ハザードマップを確認する作業に終始する授業にならないように、保存会と担任の間で協議を重ね、「地域の過去の被災事例を調べて分類し、地域のどんな空間が危険なのか?可能な限り被災状態を経験して、実際の地域で発生した災害を体感する」を学習の目的とした。制作授業では、2017年度の地形模型に、児童が調べた地域の被災状況を表すピクトグラムを設置した。地形模型の上には、横浜市の洪水ハザードマップに記載されている浸水最大想定高を重ね合わせ、被災状況を表すピクトグラムとの位置関係を考察することを目指し、「田谷周辺の災害被災立体模型」を制作することとなった。

2019年度の導入学習は、これまでと同様に田谷の洞窟を導入教具として、地域の環境や文化の再発見を促す授業を夏休み前に実施した。これは、地域環境に興味を持つ児童が、夏休みの自由研究などで自習が出来るよう配慮したためである。担任教諭は、他教科や学校行事との準備の調整の結果、7月中旬の夏休み前に導入学習を実施することになった。

探究学習は、2018年度にも実施した「環境測量」、「地形学」の二種類の授業、防災や減災などに関する内容を盛り込んだ。さらに、保存会が実践している地域づくり（建築・地域デザイン）の観点から「建築文化財と地域形成」の授業と、文化財としての「田谷の洞窟」の位置づけや日本の文化財の体系と災害と文化財に関する「文化財」授業を追加し合計4分野の授業を実施した。ただし、探究学習を行う研究者らのスケジュール調整が難しく、第2ステップの担任と児童の行うフィールドワークと第3ステップの探究学習の順序を入れ替えて、探究学習を先に実施した。

また、この年度は、本事例が、横浜市教育委員会栄区の全14小学校の「総合的な学習の時間」教育研究会の実践研修の授業事例として指定された。探究学習終了後の11月に、区内の当該研究会に所属する教員（総勢20名程）と市教育委員会事務局南部学校教育事務所

の指導主事、数校から校長等が参加する本授業の研修勉強会が実施された。

12月上旬には、千秀フェスティバルでの口頭発表を実施し、2月より田谷周辺の災害被災立体模型の制作を、8時数で実施した。例年実施していた卒業式での模型の披露および地域報告会は、新型コロナウイルス感染症拡大に伴い中止した。

5.6.2 学習材の整備

2017年度制作の地形模型に、横浜市洪水ハザードマップと、児童が調べた地域の被災状況を表すピクトグラムを設置した。2017年度の模型図面CADデータに、横浜市の洪水ハザードマップに描かれている浸水想定エリアを重ね合わせて、地形模型のCAD図面にトレースした。その上で、縮尺1/1000の立体ハザードマップの下絵を作図した。

5.6.3 授業実践

2019年の導入学習（2時数）では、2018年の内容に加えて、地理院地図より過去の地域の航空写真を示し、地域の里山環境が放置され成長している様子を示し、放置された里山が危険であることを認識させた。このことから、地域の減災の観点でも里山環境の保全が重要であることを説き、後段に予定している防災の学習内容に関するつながりを意識させた。授業中には、里山の雑木林や放竹林についての話についてメモをとる児童の様子が見られた。夏休みの間に家族で田谷の洞窟を自主的に訪問した児童もいた。

探究学習は夏休み明けの9月から実施した。「環境測量」の授業（2時数）では、これまでの授業に加え、都市部に残る「河岸段丘」の事例を紹介し、水害の危険性を地形から読み取れることを示した。「地形学」の授業（2時数）では、地理院地図で浸水想定範囲や断層などの自然災害に関する地図情報を教室のモニターにて表示しながら、過去の様子などの時間軸を意識した地図情報の操作方法を説明した。「建築文化財・地域形成」の授業（2時数）では、日本、アジア、中東、欧州の建築世界遺産について、写真や図面を使用しながら紹介した。寺社建築の造りの違いや世界遺産に登録されている建築物を紹介した上で、ドイツのドレスデン・エルベ渓谷が、住民投票によって2009年に世界遺産登録が取り下げられた事例（杉浦 2018）の提示から、世界遺産の価値づけと地域の価値とのありかたの大切さを児童に問いかけた。文化財美術の研究者による「文化財」の授業（2時数）では、田谷の洞窟内のレリーフと江戸時代の手本美術を比べながら、日本の文化財体系の

解説を通して、田谷の洞窟の文化財としての位置づけの授業を行った。また、田谷の洞窟が直面する災害のリスクについても児童たちに解説した。

2019年に発生した令和元年台風15号・19号は、日本列島を縦断し、各地に風水害による甚大な被害をもたらした（国土交通省 2019）。田谷の周辺地域でも、里山樹木の倒木や建物被害が多数発生した。そこで、児童を居住地ごとに分けて、自宅周辺の台風による被害と、過去の災害被害の状況について最低3つを調べてもらい、写真撮影や周辺住民への聞き取りを行ってもらった。グループごとに、地図上に写真や被災メモをマッピングした（図V-32）。マッピングされたものを見ながら、被災状況の位置関係や規模、特性などをクラス全員で考察した。授業後に、研究者と担任教諭が、児童が調査した結果について、児童自身が発言した内容をもとに確認しながら、過去の被災状況を分類した（図V-33）。

11月に行われた「総合的な学習の時間」教育研究会の実践研修授業（1時数）において、各グループに被災状況の分類表を作成し、調査結果を整理した。この授業では、教室の中心に地形模型を置き、児童らは被災箇所を地形模型上で確認した（図V-34）。その中で、地形の特徴にも注意を払いながら、被災状況の特徴を考察した。また、実際に倒れた木を切断したものを、教室に運び、児童に持たせて、倒木の重さや枝がついていることの危険性を体感してもらった（図V-35）。

12月の千秀フェスティバルでは、児童はこれまでまとめた地域の災害について口頭発表した。制作授業は、制作から2年を経た地形模型に、2018年度でも使用したジェッソを塗り模型全体の塗膜による補強をした。この作業は塗料が乾く時間（オープンタイム）も含め2日間かかった。2日目の授業では、絵を描くことが好きな児童を集め、ピクトグラムをデザインするチームと塗装をするチームに分けて作業を行った。3日目と4日目は、大判プロッターで印刷された横浜市のハザードマップ模型図面から水害危険区域と災害時の危険道路の切り抜きを行った（図V-36）。ピクトグラムデザインチームがデザインした図柄は、保存会が高齢者にも視認しやすい大きさ（5 cm × 7 cm）にデジタル処理を施した（図V-37）。デザインチームは、厚手のスチレンボードにピクトグラムを貼って模型化した。最終日の1時限目で模型は完成した（図V-38）。2時限目は、地理院地図で公開されている地形情報と完成した災害被災模型を用いて、被災状況の立地特性や要因、過去の地形の様子を考察した。模型上に立体的に可視化された被災状況と地形の関係を考察しながら、自宅位置を確認したり、広域避難場所の立地が災害危険区域とどのような関係にあるのかなどを確認した（図V-39）。

2019年度の卒業式は2020年3月にとり行われたが、新型コロナウイルス感染症拡大にともない、例年行われていた保護者や来賓への披露は中止した。また、地域報告会と落語会で公開される予定であったが、これも全て中止になった。

5.7 考察

本事例においては、最新の観測技術にもとづく高精細地形データを用いて、地域における里山とその周辺の自然環境や、歴史的風致としての地下文化財といった文化資源についての認識と理解を深めるために、大型地形模型の制作といった取り組みを小学校における授業を通して実施した。3年間に及ぶ取り組みのなかで、一貫して行われたことは、地域における自然環境や文化資源を深める座学（講義型授業）と、こうした地形模型を制作するという、児童が自ら手を動かす実習（演習型授業）の組み合わせである。小学校の授業において、児童が主体的・能動的に授業に参画し、自ら体を動かして考えてゆく方式を取ることは、アクティブ・ラーニングの一手法としても有効である可能性が高い（河村・武蔵 2016）。地形学をはじめとしたフィールドサイエンスにおいては、現地における視察（巡検）や実習を取り入れたアクティブ・ラーニングの方法が考えられるが（たとえば遠藤 2019）、実際の授業計画立案において野外実習を積極的に含めることには、各学校における授業実施の方針や年間計画における制約などから、困難をとまなう場合も多い。また、里山を含んだ起伏をもつ広域的な範囲など、身体スケールを超えてある程度の規模をもつ地形を対象とする場合、野外（フィールド）における観察を実施してもその全容を把握することができず、別途、地図などの資料で把握することを促す必要が出てくることもある。しかしながら、フィールドに出なくとも、普段から慣れ親しんだ地域社会における自然環境や文化資源を、三次元観測技術を用いて可視化し、さらに模型制作という実体化を行うことで、普段目にしているにもかかわらず認知できていない現象に関する新たな気づきを得られることが、本事例における講義型および演習型授業を通して示されたと考えられる。

本事例では、模型製作実習の前に地域調査学習を行い、学習テーマに愛着を持ってもらうよう実践を行っている。その中で、2学期の地域住民・研究者の導入授業ののちに児童らがそれぞれの専門分野に対して興味・関心を抱き、2学期の終わりに模造紙を利用した発表を行っている。その際に調べた内容を3学期の模型製作実習ののちの考察でもう一度思い出しながら「あの時調べたことはこの模型の上ではこうだった」と、調べた内容と地

形模型の上で照らし合わせながら学習する児童もいた。全てが白い状態で構成されている地形模型は、上に余分な情報が付記されていないため、さまざまな視点からの学習を進めることができると考えている。

ここで、とくに、三次元地形データを用いた模型制作の利点について触れておきたい。本事例で対象とした児童は小学校6年生であり、社会科における地理教育・地形教育についてはまだ基礎的な学習内容にとどまり、初歩的な段階に位置付けられる（三橋 2018）。このような段階においては、たとえば二次元の地図・地形図から地域環境を即座に理解するといった技能を求めることは難しく、地域環境を小学生が総合的に理解するためには、地図や地理用語だけに頼らない教育的アプローチが必要になるものと考えられる。本論第2章で取り扱ったアプローチは二次元的なオルソ画像を活用したものであったが、これに加え、より立体的な構造をもつ里山の自然環境や地下文化財といった地域環境を対象とする場合には、地域環境の立体的な構造を直接的にあらわすことのできる三次元地形データが有効となる。こうした三次元データの基礎となる高精細地形情報の取得は、近年より簡素化してきており、そうしたデータの教育・アウトリーチを目的とした活用も普及しつつある。たとえば三次元地形データをもとにした3Dプリントを教材として用いることで、地形判読能力の向上といった効果が得られることが示されている（山内ほか 2019）。また、三次元計測データにもとづく三次元景観情報を用いて、アートといった多様な表現手法を援用することにより、閲覧者の地理的想像を喚起して、対象とする地理的現象の理解を深めさせるといった試みも行われている（早川ほか 2018）。こうした取り組みにおいては、三次元地形データをさまざまなかたちで表現し、さらに閲覧者が目で見て、手で触って、すなわち視覚や触覚などを駆使して閲覧者が感じることで、地理的現象の理解を深めるといったことが意図されている。本事例における立体模型の制作という取り組みは、こうした手法と共通する点もある一方、児童自らが制作を行うといった点でさらに一步踏み込んだアプローチとなっている。すなわち、立体模型の制作作業そのものが、児童が実感をもって、地域環境をより深く理解することに寄与していることが考えられる。授業実践の中でも、児童が視点や俯瞰する距離を自由に変化させながら模型を見つめる様子が伺えた。一方、このように地域環境に関する児童の理解を促進するためには、地理的思考の背景をもった教授者が存在していることが重要な条件となると考えられる（Hayakawa et al. 2020）。すなわち、地理的知識や地理的思考に基づいた教材を設計し提案することで、模型制作という作品を通して、そうした知識や思考の一部が児童に伝達されることが期待される。

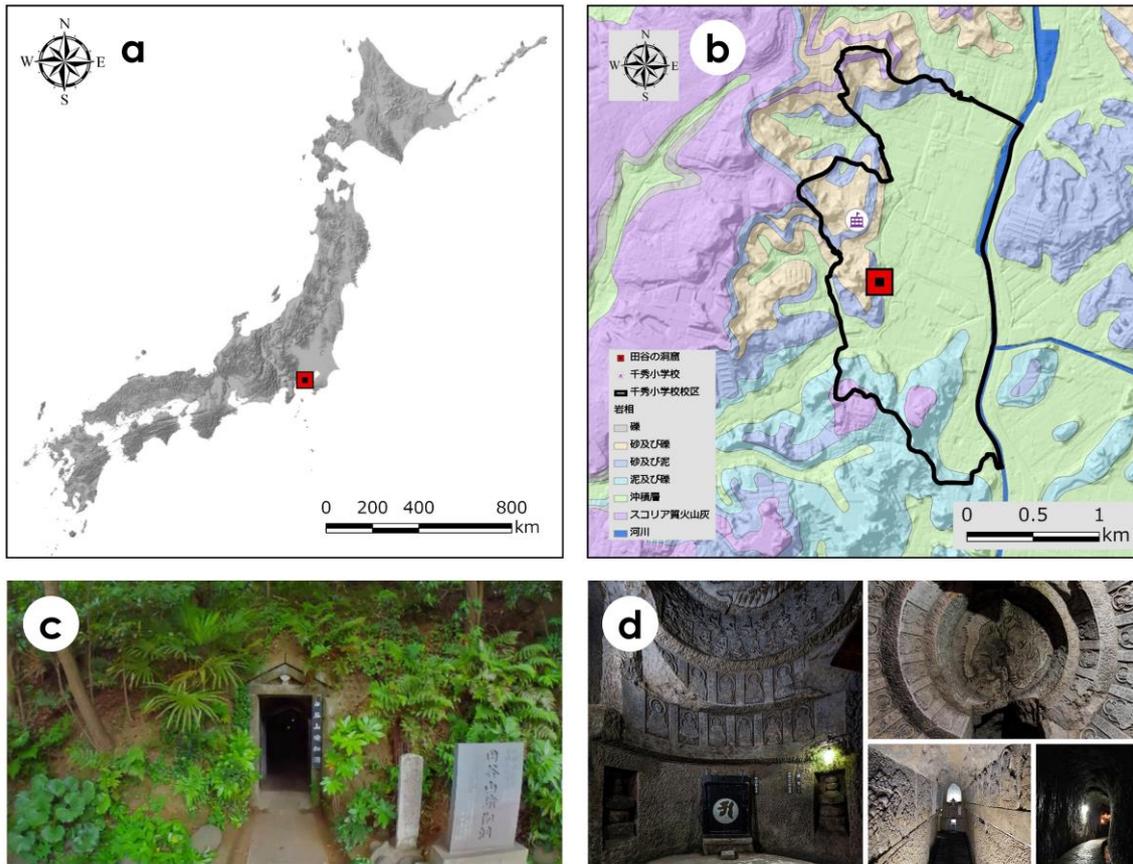
立体模型という「作品」は、その制作者や閲覧者をつなぐための情報伝達媒介となる（田上 2007）。ここで、制作者や閲覧者が普遍的にもつ「感性」が、作品を通して伝えられる情報を共有するための鍵となる。情報を発信する側に地理的知識や地理的思考をもつ者が存在することで、明示的でなくともそうした知識や思考が感性を介して閲覧者に伝えられる可能性がある（Hayakawa et al. 2020）。本事例における模型制作では、教授する側に地理や歴史の専門家が立つことで、自ら制作した完成品を閲覧する側となった児童に対して、地域環境の理解を促す知識や思考を、効果的に伝えられたものと考えられる。さらに、完成した模型を学校外において展示する場も設けた。これは、学校教育の枠を超えて、地域住民に対するこうした取り組みの周知が行われたことにとどまらず、地域環境の理解をより幅広い対象者に伝達する効果があったものと考えられ、その具体的な効果測定についての知見は得られていないものの、本事例の取り組みの地域社会における発展的な影響がもたらされるものと期待される。

5.8 まとめ

本章では、地下文化財を含む里山環境を、三次元計測技術を用いて観測した上で、その計測データに基づく実体的な模型を制作する授業実践を、地域に位置する小学校の「総合的な学習の時間」で計画・実施した。その結果、大型地形模型を活用することで、地域環境に対する児童の関心を効果的に高めることができた。児童は、一連の模型製作の授業が進むにつれて、田谷の洞窟の自然環境や文化財としての価値を、手指で触ったり、肉眼で観察したりすることで感じ取っていた。これらの作業から、微細な地形の起伏や特徴を体感し、地形の面白さや地域の魅力を再確認し、地域環境について見つめなおすことができた。また、大型地形模型を利用することによって、児童らに二次元の地図上での議論では浮かび上がらなかった、三次元的な空間関係を考える傾向が見られ、3Dマッピングによる考察の深化が観察された。たとえば、2019年度の防災学習に関する取り組みであれば、三次元表現を行うことで、水平方向の位置関係や被災種類と土地利用との関係に対する関心から、垂直方向の関心にも目が届き、模型を上から俯瞰するだけでなく、しゃがむ・視点を変え斜め方向から360°回りながら眺める、という身体を動かしながら対象を理解しようとする行動が見られたことも、三次元的な自然現象の想像・理解につながったといえる。

その上で、大型地形模型製作実習の成果を地域の成果報告会で地域住民に還元しつつ、

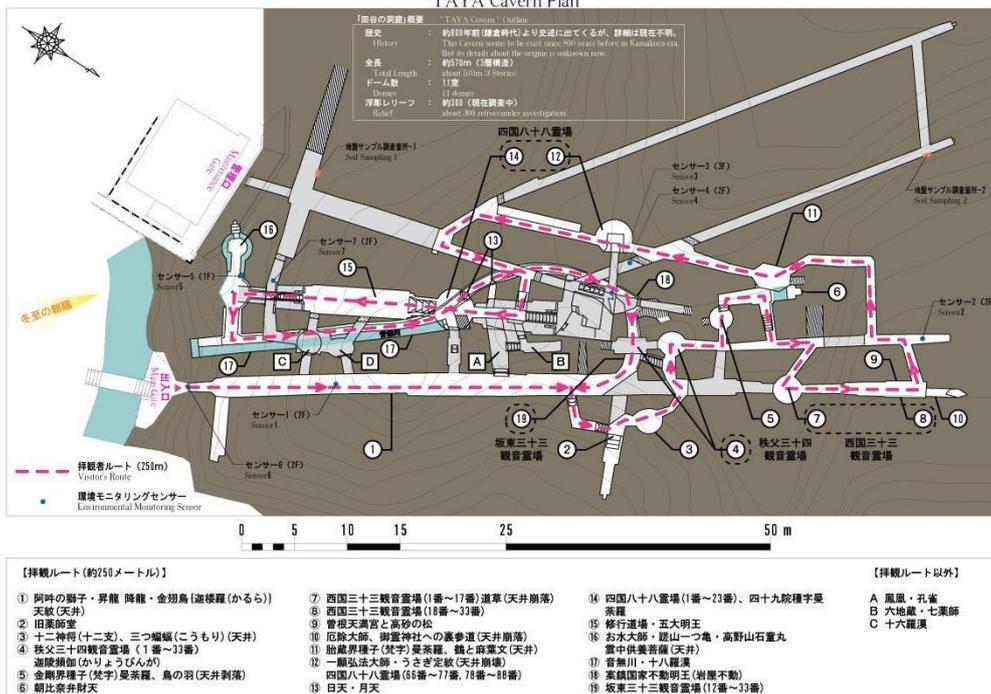
小学校の児童を含めた地域の人々に里山や地下文化財の価値を再考してもらうことができた。大型地形模型をベースとして地域環境の過去や未来について想像することができた。地域の三次元情報は、住民たちの地域環境に関する考察に大いに貢献し、議論を膨らませるための良いツールとなったといえる。



図V-1. 対象地域概要

(地理院タイル, 産総研シームレス地質図を利用)

田谷山瑜伽洞「田谷の洞窟」現況平面図
TAYA Cavern Plan



図V-2 洞窟測量平面図 (田村裕彦氏作成)



図V-3 洞内のレリーフ

6年 ゆりの木タイム

未来へ残そう！地域の歴史 (40時間)

◎ 単元の目標

田谷の洞窟や地域の史跡等に出会い、一人ひとりのテーマを追究していくことを通して、深く歴史に触れ合い、田谷の洞窟をはじめとする地域の史跡調査を通し、自分たちの生活するまちの歴史に触れ、今まで以上にまちを愛着する心をもつ。また、調査の中でたくさんの人とつながりを深めまちの人の、地域への思いを知り、共有することができる。自分たちの調べたことを、自分たちの言葉で説明や表現ができる。

◎ 育てたい力

(学習方法に関すること)

- (1) 田谷の洞窟や地域の史跡等まちの歴史に興味・関心をもち、調べたり、情報を発信したり、自分たちがすべきことを考えたりする活動計画を立てることができる。
- (2) 田谷の洞窟や地域の史跡等に関する取材(調査)を通して、地域の方の思いや取組について整理、分析、考察することができる。
- (3) 聞いてくれる相手に応じて、表現のしかたを工夫できる。

(自分自身に関すること)

- (1) 自分が決めたテーマで課題解決するために自分たちに何ができるか、あきらめずに探究する。(継続して)
- (2) 洞窟の昔の様子を探したり定泉寺の方の話の聞いたりするなどの活動を通して、洞窟の歴史について新しい発見をする楽しさを味わう。

(他者や社会とのかかわりに関すること)

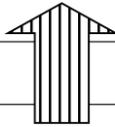
- (1) 先人の努力を知り、まちの歴史を大切にしようとする。
- (2) 調査させていただいた方々と協同して、課題解決を図る。

◎ 他教科との関わり

国語 「ようこそ私たちのまちへ」書く事柄を収集し、写真や図を用いたりして伝えたいことが明確になるように書く。

社会 「鎌倉武士の時代と室町文化」「江戸時代・明治時代」千秀のまちの史跡や神社、お寺を調べ、当時の様子を想像したり現在と比較したりしながら分かったことや考えたことをまとめる。

道徳 「地域の発展を願う」先人の努力を知り、郷土を愛する態度を養う。



◎ 教師の願い

6年生になって、歴史学習がスタートしました。一つひとつの時代の出来事や関連する人物等を学習する中で、「自分たちの地域の歴史って？」という疑問や興味をもちました。昨年度の6年生が「田谷の洞窟」を取り上げて学習を進めていたことを思い出し、その学習をさらに深めていけるのではないかと思います。

また、洞窟以外にも、江戸時代の寺子屋のつながりで「常勝寺」や長尾台の城跡、遺跡発掘調査の見学等、少し範囲を広げて、より千秀の地域の歴史を学んでいけたらと考えました。

この活動を通して洞窟だけではなく、千秀に残る様々な歴史を調べたり、地域の方から昔の話の聞いたりし、自分たちのまちについての思いをさらに深め、千秀のまちに愛着をもってほしいと願っています。

図V-4 2018年度の年間指導計画 (大谷千登世氏・佐藤 学氏作成)

◎活動の大まかな流れ

「未来へ残そう！地域の歴史」(40時間)



6年生になって、社会科で歴史の学習をして、様々な時代の出来事や人物に触れてきたね！！

【子どもたちの思い】

そういえば、昨年度の6年生が、地域の歴史を総合で取り上げていたね。田谷の洞窟を詳しく調べていたけど、自分たちも興味あるな・・・。



自分たちの地域にもっと目を向けて、もっと知りたい、地域のこと。田谷の洞窟のこと。詳しく調べて、考えたことを伝えようよ！！



定泉寺瑜珈洞「田谷の洞窟」に行ってみよう。 洞窟保存会の田村さんに話を聞いてみよう。

- 田谷の洞窟を様々な角度から見ていこう！
- 大学の先生と連携をして、より専門的に、最新の調査事項に触れてみたい！
- 洞窟以外にも、千秀の地域にある史跡や寺社などを調べて、発信したい！
- 昨年度の6年生の学習の上に、新たな学びや気付き等を結び付けていきたい！



放課後、自分たちで足を運んでみようよ！

石造物には、何て刻まれているのかな？

【周知】分かったことをまとめよう。分かりやすく伝えよう。(千秀学習フェスティバル)

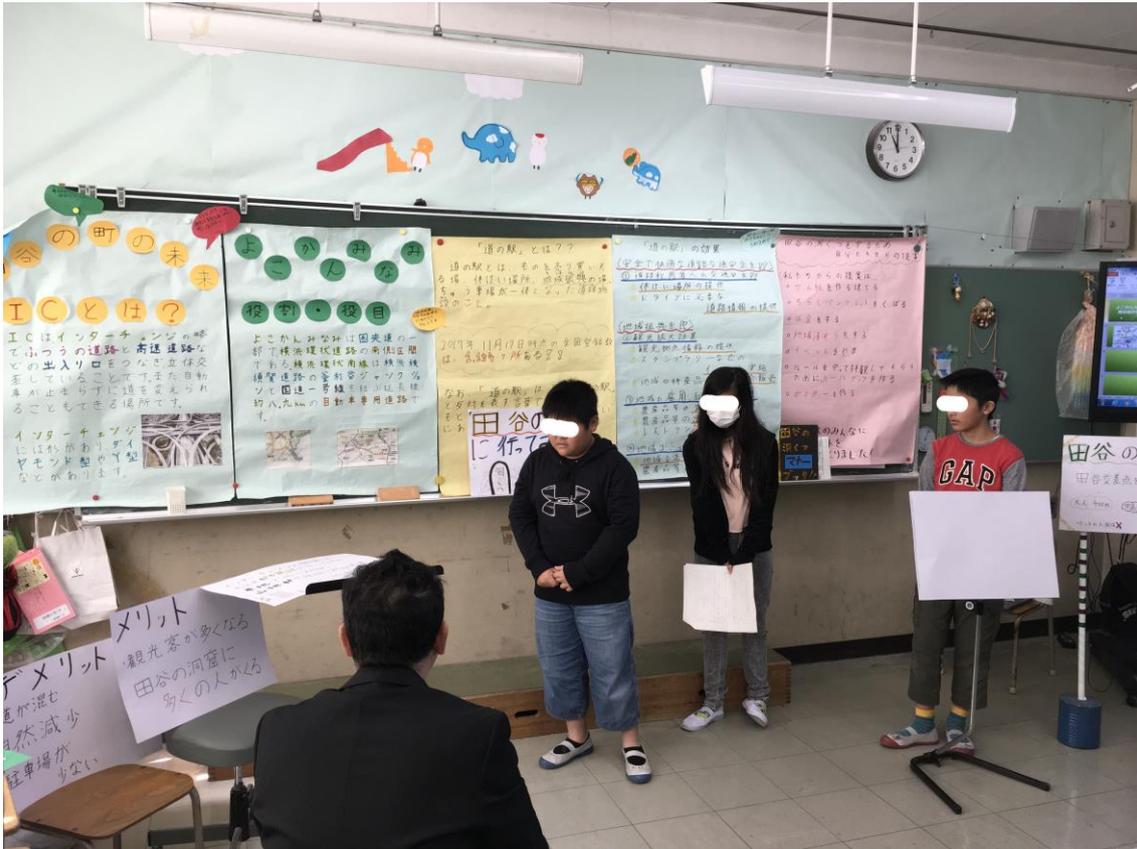
・まちには他にも興味深い歴史がたくさんありそう。
 ・実際にもっと足を運んでみたいな。
 ・田谷の洞窟をもっと知ってもらうために他にできることはないかな？

- ・お互いの発表を聞き合って、いいところ見つけ、自分たちの発表を高めていこう。【中間報告会実施】
- ・伝えたいことは何か考え、はっきりと伝えよう。
- ・下級生にも分かりやすいように工夫して伝えよう。

【活動】実際に保全活動に携わろう。大学の先生の講義を受けよう。

- ・「田谷の洞窟を守る会」の田村さんのお話を聞いて、自分たちにできることを実践していこう。
- ・大学の先生のご講義を受けて、自分たちにできることを実践していこう。(東京大・埼玉大)
- ・昨年度作製した「洞窟模型」を今年も違う形で作ってみよう。(国立大)

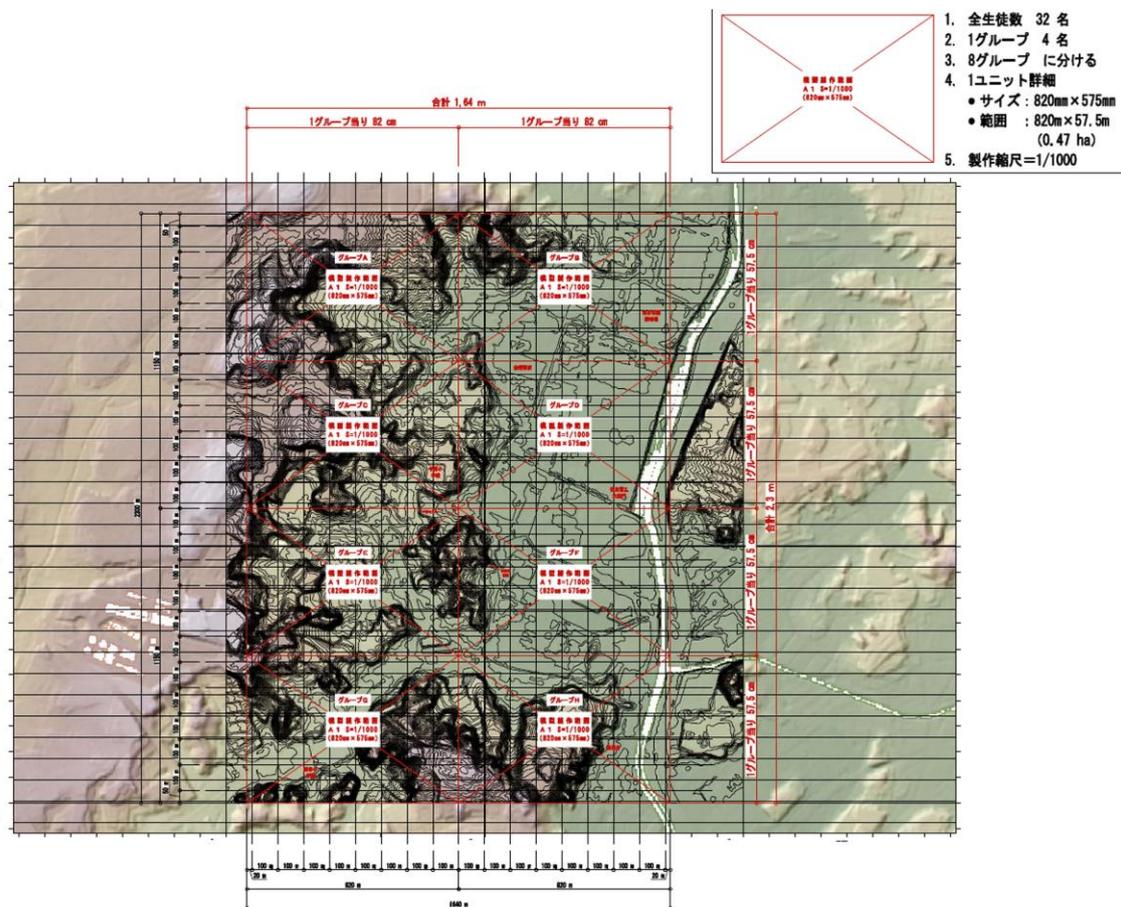
図V-5 年間の学習内容 (大谷千登世氏・佐藤 学氏作成)



図V-7. 地域調査の結果報告会（千秀フェスティバル）の発表の様子。



図V-8. 航空レーザ測量に基づく2 mDEMを用いた大型地形模型のCADデータ。



図V-9. 大型地形模型の8枚のパネル位置図

(背景地図はOpenStreetMapを利用)



図V-10. VR撮影画像を用いた授業実践の様子



図V-11. 定泉寺での環境学習にようす.



図V-12. 環境測量に関する授業風景.
田谷の里山の3Dビューについて説明している.

表V-2 授業実践における学習指導案.

展開	時間 (分)	学習内容	教師の指導・留意点	指導上の観点
確認	0	講師紹介（妻鳥・田村） 授業開始	簡単に自己紹介する	
導入	5	目的・目標の提示	小学生へ環境調査の内容を伝えるため、できるだけ平易な内容を提示することを心掛ける。	本時の目的・目標を理解することができる（知識・理解）
		UAS（ドローン）とはどんなものでしょうか？		
展開①	7	UASのデモフライト（Mavic Pro）	ケガを負わせないように安全面に留意する。	
		UAS（ドローン）を使ってどのようなものを測るのでしょうか？		
展開②	15	環境調査の事例① 火山 —立山火山—	火山の形状や表面の微細な形状について児童に見てもらう。	
		UAS（ドローン）でどうやってものを測るのでしょうか？		
展開③	18	UAS写真測量の原理	SfM測量について、概要を簡潔に示す。	UASとSfMによる地形測量の仕組みを理解することができる（知識・理解）
		測ったデータをどのように利用するのでしょうか？		
展開④	22	環境調査の事例② 河川 —華厳の滝—	華厳の滝の測量風景や3Dモデルについて見てもらう。また、UASとレーザ測量で計測した地形情報をダンボールで印刷する方法について説明する。その上で、次回の地形模型作成の基礎となる知識を与える。	ダンボール地形モデルの仕組みについて理解することができる（知識・理解）
展開⑤	26	環境調査の事例③ 海岸 —雀島—	雀島の測量風景や3Dモデルについて見てもらう。また、海岸浸食の実態について知ってもらう。その上で、3Dプリンタを用いた海食崖の侵食・崩落の様子を示した例を提示する。	雀島がこの後どのような形態になるのかを考えることができる（思考・判断・表現） 雀島の侵食・崩落についてUASで調査することの意義について考えることができる（思考・判断・表現）

展開 ⑥	30	環境調査の事例④ —三内丸山遺跡—	歴史で学習した三内丸山遺跡の測量事例を示す。その上で、過去の景観復元や人々の暮らしの再現など、UASによる調査は自然環境だけでなく人間社会環境の調査についても利用できることを知ってもらう。	UASが社会環境の調査にも有用であることを知る（知識・理解）
展開 ⑦	33	環境調査の事例⑤ —里山 —田谷の洞窟—	身近にある田谷の洞窟とその周辺環境調査の事例について知ってもらう。また、文化財の測量の例を提示し、三次元アーカイブの必要性を感じってもらう。	里山や文化財の調査を例として、新たな自然保護の手法（三次元アーカイブなど）についての知識を習得することができる（知識・理解） 身近な地域環境調査の例を通して、地形模型作成への見通しをたてる（思考・判断・表現）
まとめ	38	本時のまとめ・今後の活動について	UASによる環境調査の手法や対象・応用先について簡潔にまとめる。模型製作活動につながることを意識する	
	40	質問など		
	45	授業終了		

3Dプリント



2014年6月24日

2016年6月18日



図V-13. 授業中に提示した2時期の海食崖の3Dプリント

実際に触れてもらいながら，3Dプリントの形状の違いや要因について考えてもらった。



図V-14. 地形模型製作の導入授業。

工具の取り扱いについての説明を行っている。



図V-15. 地形模型製作途中の地域環境に関する考察の一場面.



図V-16. 複雑な形状をしている地形模型に触れる児童.



図V-17. スチレンペーパーの積層を行っている児童の様子.



図V-18. 完成した地形模型



図V-19. 地形模型を見ながら議論する地域住民.

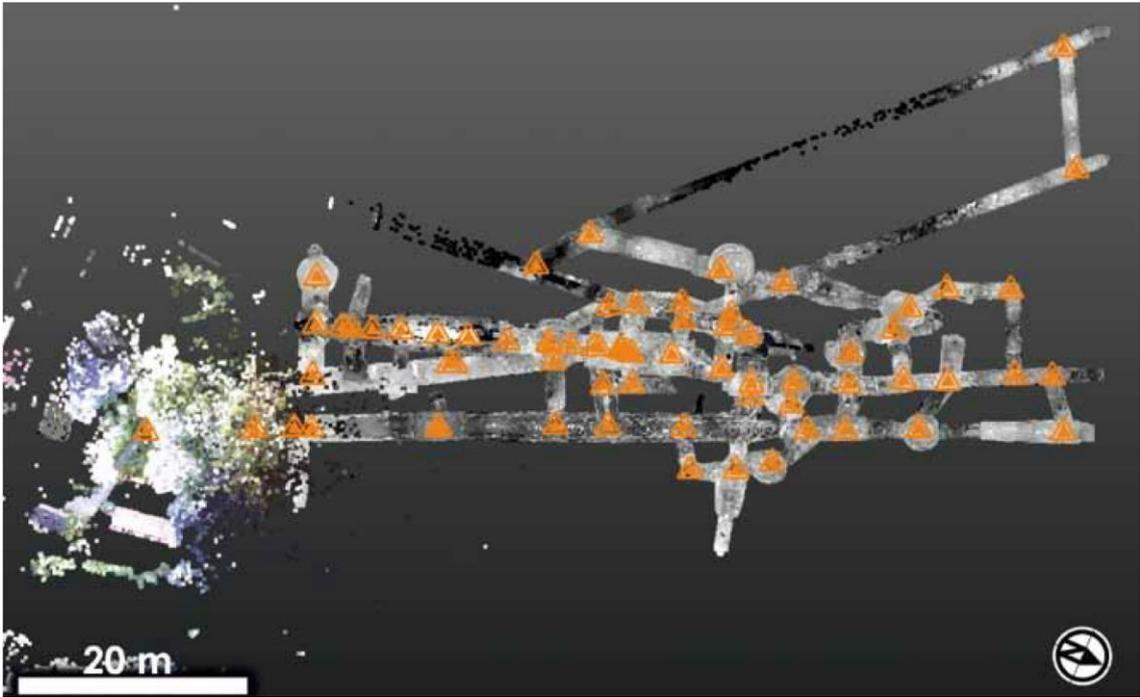
(タウンニュース提供)



図V-20. 横浜国立大学の大学院生たちの授業風景
 地域住民と地形模型を介して地域調査に関する議論を深めている。



図V-21. 2018年度の学習計画



図V-22. TLSの設置箇所 (▲の箇所)

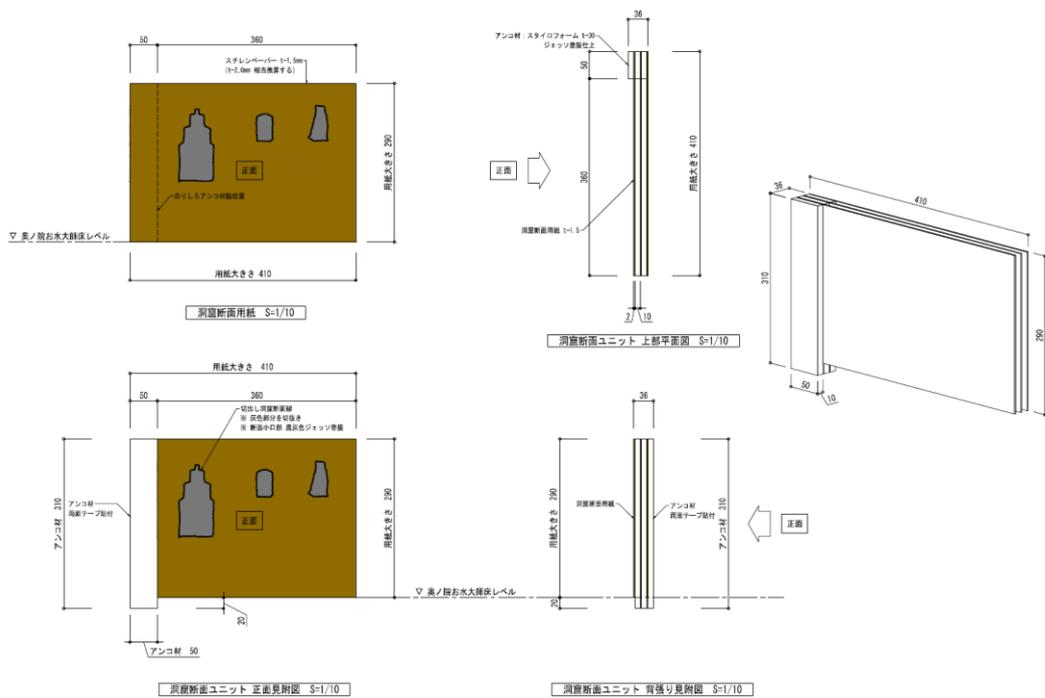
(Hayakawa et al. 2020より引用)



図V-23. 洞窟輪切り断面模型の図面を見る児童たち.



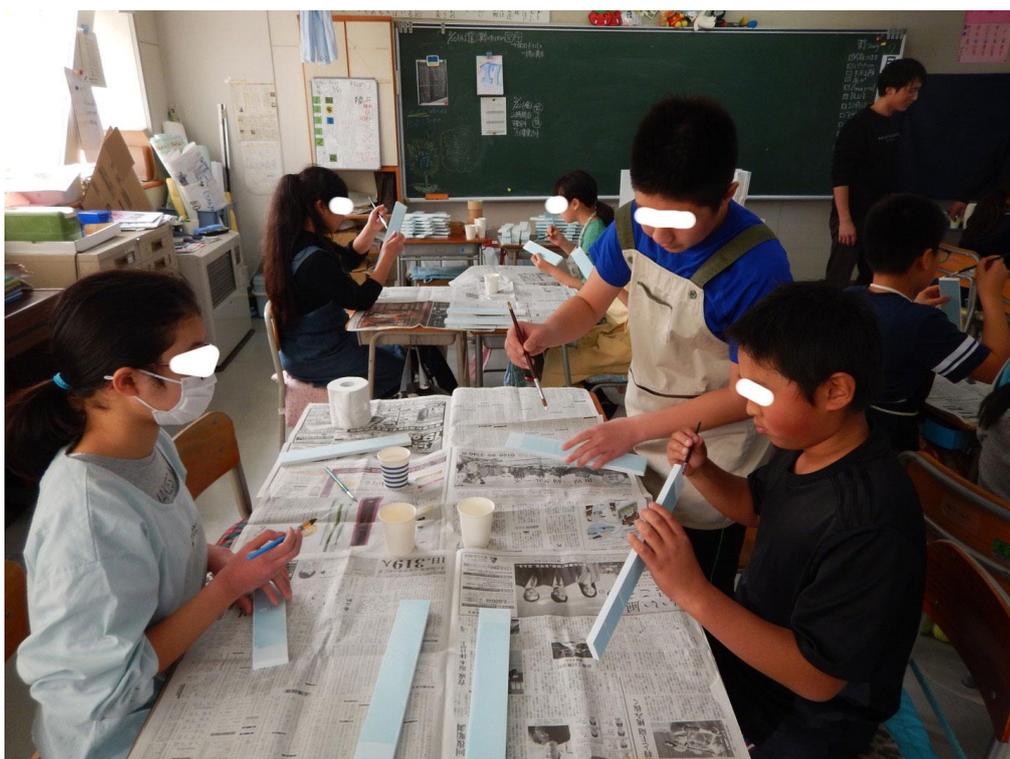
図V-24. スチレンペーパーを洞窟の形状に切り抜く児童の様子.



Project	Size (A3)	Title	Scale	Date	No.
2019年度 04大連湾環境整備プロジェクト		田谷の洞窟 縦横切り模型 製作プロジェクト 断面ユニット図	A3 - 1/5	2019. 1. 17	M-05

図V-25. 1ユニットのスティレンペーパーの構成

1人3枚のスティレンペーパーを切り抜き、3枚で1ユニットを構成している。



図V-28. 塗料「ジェット」でスチレンペーパーを補強する児童.



図V-29. 卒業式で公開した洞窟輪切り断面模型の完成品.

被害マップ (状況把握)

	構造物 (建物)	道路等 (歩道)	避難所 (学校・公園)	里山 (樹木)	農業 (畑)	その他 (田舎)
大雨	風 水	屋根が 飛ばした	枝葉 折れた	倒木	倒木 竹林	ハウス 倒壊
台風		モーター 故障	水浸し	土砂	水浸し	コテージ 倒壊
小倉		○ $\frac{1}{5}$		△	X $\frac{1}{5}$	
金井			○			
旧冬		○	○	X	○	
五尾台				○	○	

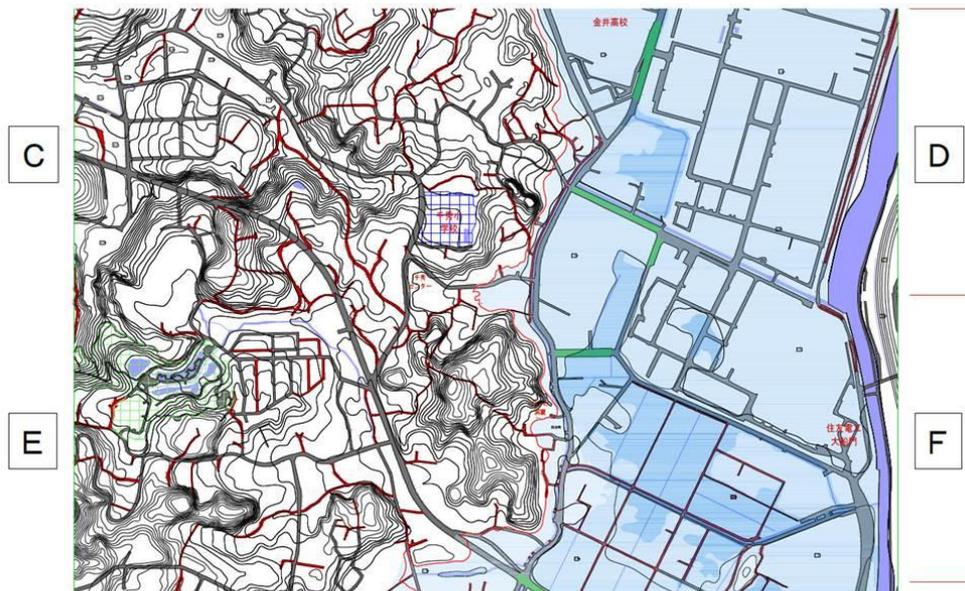
図 V-33. 被災状況の類型化の様子。



図 V-34. 地形模型上で被災状況を確認する児童の様子。



図V-35. 令和元年台風19号で発生した倒木を持つ児童の様子。
倒木の重さを体で感じ、危険性について考えてもらった。



図V-36. 地形模型の上に乗せた浸水予想深のCADデータ。
青色の部分を取り抜いて地形模型にはり付けた。



図V-37. 児童らが作成した被災状況を示すピクトグラム。
 地域住民が電子データに加工。



図V-38. 完成した大型地形被災模型.

ここからピクトグラムの種類と地形との関係を考えてもらった.



図V-39. 地形模型を用いた児童らの議論の様子.

第6章 総合考察

第2章～第5章での実践で明らかになったことを踏まえ、本章では総合考察を行う。

6.1 高精細地形情報の提示方法の多様性と地球科学教育・アウトリーチにおける効果

本研究における全ての実践事例において、UAS-SfM手法やTLS手法を用いた高精細地形情報を用いたアウトリーチ活動・教育を行った。それぞれ元となる高精細地形情報の計測手法は共通するものであったが、その出力・表現方法はさまざまであり、第2章ではオルソ画像（二次元）、第4章では3Dプリント（三次元）、第5章では大型地形模型や輪切り模型（三次元）といった方法を用いた。つまり、高精細地形情報を用いる場合、地域環境に関する情報を伝達したい相手の属性、年齢、知識の理解度、目的などに応じて、提供者側が自由に提示方法を変化させることができる。たとえば、小学生の空間認知能力は、10歳ごろより発達が始まるといわれている（岩戸・佐島 1977；酒井 1982）。第2章の授業実践では、小学生の発達段階を踏まえて、二次元の画像を用いた地形変化に関する授業実践を行い、礫の運搬・堆積プロセスを理解させることに照準を当てた。一方、第4章のアウトリーチ実践において、小学校3年生（8・9歳）は3Dプリントに触れて海食崖の侵食を感じることは難しかった（表IV-2）。すなわち、地球科学的な現象について理解を促すために、特に子どもを対象とした場合には、その発達段階に応じた適切な情報提示方法を選択することが必要であり、そのために高精細地形情報の表現手法の柔軟性は有用であると考えられる。航空レーザ測量などによる比較的高解像度なDEMを用いた地形情報の可視化手法は最近10数年で広まりつつあるが（たとえば千葉ほか 2007；Mitasova et al. 2012；Favalli and Fornaciai 2017；Mossa et al. 2019）、本研究で用いたより高精細な地形情報は、従来よりも柔軟なかたちでサイエンスコミュニケーションへの活用を可能とするものである。

また、本研究の第2章では防災、第4章では地形、第5章では文化財、里山環境、防災などを地域環境において強調されるテーマとして取り上げたが、これらの取り組みにおいて、高精細地形情報を共通的な伝達手段の素材とする一方で、その応用については多様なテーマを題材とした議論を発展させることができた。つまり、高精細地形情報は、さまざまな地域環境学習の深化をめざす際にも、基盤的な素材として活用できる可能性があると考えられる。たとえば、第5章における里山環境の大型地形模型や地下文化財としての洞窟を輪切

りにした立体模型を制作した取り組みにおいては、作成した模型には色を取らず、白い積層模型の形状に注視しながら地域環境に関する議論を深めていった。早川ほか(2018)では、高精細地形情報を過去の景観復原と可視化のための補完素材として利用し、一般の閲覧者の地理的想像を喚起できることを示しているが、第5章の実践においても同様に、地域住民とのコミュニケーションや模型製作を通じた相互議論において、高精細地形情報をもとにした作品が小学生や地域住民の地理的想像を喚起するといった効果がもたらされたと考えられる。また、この実践においては、2017年に制作された大型地形模型をもとにして、2019年に防災教育の実践を行ったが、ここでは白色の地形模型の上に自然災害による被災箇所のピクトグラムを配置し、地形情報の上に異なる地理情報をレイヤーとして重ね合わせるという作業を行うことで、単純な地形模型から複合的な情報を統合する素材として発展した。つまり、地形模型の上でさまざまなレイヤーを重ねることによって、地理的想像を膨らませることに成功した。これは、地形といった基盤的情報のみならず、地域環境にかかわるさまざまな分野の学習にも応用可能であることを示唆している。

ところで、本研究ではオルソ画像、3Dプリント、大型地形模型(ジオラマ)などさまざまな素材による提示方法を検討したが、これらの方法のなかでは費用や作業コストの面でも相応の負担がかかるものもあった。たとえば、大型地形模型の制作にかかる素材(プラスチック製の板)の選択やその設計には、建築学をはじめとした経験や専門知識も求められる。一方、より簡便に三次元地形模型を作成する方法として、たとえば安価なダンボールを用いた立体モデルの作成方法などが挙げられる(早川ほか 2019; 松本・河村 2020)。このように、対象や目的に応じて、表現手法や出力する模型の大小や材質などを柔軟に選択することで、閲覧者の理解を深めさせるより効果的な手法を検討できる。

6.2 高精細地形情報の空間解像度・空間スケールと閲覧者の理解

本研究で用いた高精細地形情報の空間解像度は、数 mm から数 cm 程度といった高解像度を基本として、解析や教材の制作に利用している。たとえば、第2章のオルソ画像であれば、個別の河床礫といった数 cm 規模の河床材料の移動を読み取ることができる。第4章の3Dプリントであれば、海食崖の岩盤において侵食される領域の体積を、数十～数千 m³ 程度のサイズのものに関して読み取ることができる。第5章の地形模型では、数 km 四方におよぶ地域を俯瞰しながら、谷の隙間風について指摘したり、里山の坂の勾配を読み取ろうと

したりする児童がいた。このような高解像度で示される、身体スケールに対応するほどの細かな現象は、従来主流であった衛星リモートセンシングや空中写真等では十分に表現できなかったものであり、高精細地形情報を利用する大きな利点のひとつであるといえる。

一方、高い空間解像度で得られたデータは、情報を間引くことにより低い空間解像度のデータに変換することも容易である。すなわち、地域環境における構成物のサイズに応じて、表現したい対象にあわせたスケールで情報を提示することができる。そのためには、対象にあわせた適切な空間解像度の設定が必要である。データの空間解像度が高くなればなるほど、表現できる対象の細かさは向上する一方、そうしたデータを活用する上での運用コストや、あるいは表現されるものに関するプライバシーの問題も生じ得るため、高解像度のデータを扱う際には細心の注意をはらう必要がある（鶴川ほか 2015；野口 2019）。地域環境における各種自然現象のかたちや変化量など、提示する側が見せようとするもののスケールにあわせて、計測データの表現手法については適切な空間解像度を設定することが求められる。

このように、高空間解像度を有する高精細地形情報を利用することで、自然環境に関する多様な空間スケールの地形情報を提示することができる。図VI-1 に、本研究で用いた教材と既存の教材の空間スケールを整理した結果をまとめる。UAS-SfM 手法で得られる高精細地形情報の空間スケールは $10^{-1} \sim 10^1$ km² 程度である（柳場 2019）。第 2 章のオルソ画像・第 5 章の洞窟輪切り断面模型は 1/50，第 3 章の海食崖の 3D プリントは 1/400，第 5 章の大型地形模型は 1/1000 である。学校教育の地図学習や地域学習でよく用いられる地形図は 1/25000，近年の Web-GIS の発展に伴い、学校現場でも汎用化されてきている国土地理院の地理院地図で利用できる最大ズームレベルの航空写真は約 1/1800 である。本研究で作成した教材は、全てにおいて現状普及されている地図や航空写真などの教材よりも大縮尺である。特に地形については、鈴木（1997）が示す規模による地形種の分類とその例の説明では、本研究で作成した教材の砂礫堆・扇状地などの読図に必要な縮尺についてまとめられている（表VI-1）。本研究で使用した高精細地形情報は、このうち超微細地形から小地形程度の空間スケールの地形情報をカバーすることができる。これらは、私たちが徒歩圏内で日常生活を営む空間スケールに内包されている。そのため、対象とする地形を直感的に理解しやすくなったと考えられる。

6.3 高精細地形情報の時間解像度・時間スケールと閲覧者の理解

高精細地形情報の時間解像度（計測の頻度）は、従来の航空機測量や衛星リモートセンシングに対して非常に高く、より柔軟に設定することができる。たとえば、地表環境の継続的かつ広域網羅的な観測事例としてよく利用される国土地理院の空中写真は、約10年間隔での提供となっており、この時間解像度は高いとはいえ、緊急的な撮影が随時行われることを加味したとしても、頻発する自然災害の個々のイベントを即座に捉えることは難しい（柳場 2019）。一方、UAS-SfM手法やTLSを利用した高精細地形情報は、測量計画の自由度は高く、捉えたい自然現象の変化の速度に応じた頻度でデータを取得することが可能である。例えば、第3章では、台風による大規模な出水が発生したのち、即座に現状を把握することができるように現場観測を計画し、UASの飛行を実施した。これにより、地形変化が発生するイベントの直後のデータを確実に取得することが可能となり、高い頻度で得られた取得データをもとに、その期間中に生じた地形プロセスを特定することができる。

こうした高い時間解像度を得ることのできるといった高精細地形情報の特性を有効に活用することで、地球科学教育・アウトリーチの効率化にも資することができると考えられる。たとえば、第2章や第4章で考察したように、酒井（1982）が提唱する Individual Scale の習得に際し、自然現象の変化を、子どもたちが生活する日常スケールでの時間感覚の変化（数分、数日、数年など）に合わせたかたちで可視化し提供することができるため、自然現象の変化にかかわるプロセスの理解がしやすくなると考えられる。また、第2章で示したように、地形変化が生じるイベントの前後を明確に提示することができるため、撮影期間内では明確に生じない諸要素（気候、水文、地殻変動）の影響を除外して提示することができるため、地形プロセスの特定（本実践では河川の流水）を単純化して提示することができる。また、空間解像度と同様に、時間間隔を大きく伸ばすことも可能であるため、長期的な観測を継続することで、長期的な環境変化の抽出や提示も可能となる。

また、東（1979）や中村（1989）では、自然環境の認識を行う上で、学問分野によって対象とする時間スケールが異なることを示している（表VI-1）。東（1979）では自然環境のモニタリングを実施する際も現実的な地表変動に必要な情報は、生活体験、年輪年代、航空写真、現地測量によって得られると述べている。たとえば、私たちが営んでいる日常生活の時間スケールが秒単位～100年程度であるとすると、地形学が対象とする時間スケールは日単位～100万年程度としており、日常生活での経験則から大きな時間スケールの動きを推測す

る必要がある。本研究で使用した高精細地形情報は、これまで地表変動の定量化によく用いられてきた航空写真の時間スケールよりも小さく、分単位レベルの記録をとることができる (Hayakawa et al. 2018; Ogura et al. 2018)。これによって、自然認識をより日常生活レベルの時間スケールに近づけることができるため、高精細地形情報を活用することで、人々にとって自然現象の認識がしやすくなると同時に、非日常的な時間スケールにおける現象の理解に向けて対象とする自然現象の時間スケールを円滑に拡張できるものであると考えられる。

6.4 高精細地形情報の次元と閲覧者の理解

高精細地形情報は、6.1 で述べた通り、二次元 (写真) だけでなく、三次元 (立体) として表現・出力することができる。岩戸・佐島 (1977) では、子どもは10歳ごろより空間認知能力が発達するとされており、これにあわせて小学校における空間認識につながるカリキュラム編成が行われていると述べられている。例えば、現行の学習指導要領では、小学校3年生・4年生の社会科では、身近な地域の調査を行うことを目的に、地図や地形図、写真の読み取りの単元が設けられている。また、小学校4年生では直方体や立方体の性質について学習し、見取図や見通しについて学ぶ単元が設けられている。

このようなカリキュラム編成に関する議論は、子どもの発達段階との整合が重要であると考えられる。一般的な発達心理学の研究成果によると、たとえばPiaget (1948) では、子どもの発達段階理論を説いており、7~12歳ごろまでは「具体的操作段階」と呼んでいる。これは、量や数といった単位概念が定着し、対象物を定量的に感じ取ることができる段階である。また13歳以降は、「形式的操作段階」と呼ばれており、定量化した量や数の概念を用いて、仮説演繹的思考が発達する段階であるとしている。一方、Piagetの段階説には批判もある。Blaut (1970) やStea (1974) では、一般的な認知の発達とは異なり、空間的な事象を地図と類似的な形式で表現したり、地図の形式で表現された媒体を判読して利用する「地図化能力」は、Piagetの段階説の想定よりもかなり低い年齢から既に備わっていることが指摘されている。すなわち、地図化能力に関しては、どのようなレベルの地図化能力がどの発達段階と対応が取れるのかを明らかにすることが必要なものの、その統一的な見解を得ることができていない (鈴木 2000)。

高精細地形情報により二次元や三次元で表現された地物を理解する場合、抽象化をとも

なう地図化能力とは異なる空間認知を行っている可能性はあるが、地図化能力を備えるよりも低年齢の段階においても、直感的に理解できるようにさまざまな出力方法を検討して、伝達相手に理解しやすい方法を導ける可能性が高まると考えられる。たとえば、3D プリントによる地形模型は、実際の景観を単純に縮小したかたちで表現することから、抽象化をとまわず、年少者など地図化能力に長けていない人々にも直感的に理解を促進させる効果が得られるものと推察される (Horowitz and Schultz 2014; Ishutov et al. 2018)。また本研究で提示した三次元表現の方法以外にも、三次元データを活用する方法として、たとえば立方体の集合体であるボクセルモデルを活用できる可能性がある (Mitasova et al. 2012; Jjumba and Dragičević 2016; Chmielewski and Tompalski 2017)。さらに、現実の自然環境を計測して得られた高精細地形情報をもとにして、その三次元的なボクセル表現を直感的なインタフェースとすることで、立体ブロックで構成されるゲームを活用した地球科学教育にも生かせるであろう (Hobbs et al. 2018)。このように、閲覧者の空間認知能力や地図化能力に応じて方法を調整し、二次元や三次元での適切な表現方法を選択・設定できることが高精細地形情報を活用する際の大きな利点となる。

6.5 自然量の時空間変化と日常尺度

6.2~6.4 で述べたように、高精細地形情報は、その高い時空間解像度・スケールの両者を調整して組み合わせることで、地形変化の速度を適切なかたちで提示することができる。たとえば、第2章のオルソ画像であれば二次元と時間変化、第4章の3Dプリントであれば三次元と時間変化という組み合わせで、地形変化とそこに関わるプロセスを提示し、閲覧者の理解を促すことができる。このように、自然現象をあらわすデータの表現を伝える対象にあわせて使い分けることにより、「この大きさ、ボリュームのものがこれだけの時間で変化した」といった認識を、表現物の観察から習得させることが可能となる。これを図IV-5の自然量認識の構造にあてはめると、オルソ画像や3Dプリントは、自然量のスケールを縮小して提示したものであるため、自然量、知覚量、認識量のそれぞれの差異を小さくすることができる。したがって、Individual Scaleの習得が円滑に行えるようになる。これが、第2章や第4章で児童たちが Individual Scaleを用いて、「昔はもっと大きな島だった」という過去や、「島が削れるといずれ無くなってしまおう」という未来の景観を想像したり、地形プロセスを小さくしながら地形変化の様子を想像するといった非日常スケールの環境変化

の想像に繋げやすいと考えられる。

また、第2章の実践で、日常的に目の当たりをしている河原の石が実際には少しずつ動いているということを理解してもらったり、第4章の実践で、博物館の来客者が滝の3Dプリントを触った感想に、「滝の底はただ窪んでいるだけでなく、後ろのほうに深くえぐられたように広がっている。」という指摘をしたりするように(表IV-3)、高精細地形情報の高い時空間解像度を活用した表現手法により、生活空間における周辺の自然環境は、日常生活で意識を向けない間にも微細な変化をつづけているということを感じてもらうことができた。

これらの気づきを、児童たちは写真や模型から直感的に得ることができた。すなわち、児童の発達段階に応じた情報提供によって、発達心理学で普遍的に述べられてきたPiagetが提唱した「形式的操作段階」の操作活動が、より低い年齢からみられるようになった。これは、高精細地形情報を由来とした教材が、日常生活の時空間スケールにより近づくことができたため、10歳に満たない子どもでも直感的に感覚として理解することができるようになったと考えられる。このように、高精細地形情報で提示される、「日常尺度」に基づいた自然環境の時空間変化から地域環境理解を促すことで、閲覧者は地域環境の変化のプロセスを直感的に理解することができたといえる。ここで言う日常尺度とは、閲覧者が日常的に身体を通して感じている環境において生じる事象(日常生活)に対応した時空間スケールのことであり、高精細地形情報を用いた自然現象の表現は、この日常尺度に寄り添ったかたちで提示することができる。一方、自然景観はマルチスケールで不均質な要素から成り立っているため(Wu 2004)、たとえば地形学的な現象や大規模低頻度な自然災害現象など、より大きな時空間スケールにおける事象を地域住民がよりよく理解するためには、日常尺度における直感的な理解に基づいた上で、より長期的で大規模な現象の表現との円滑なつながりが重要となってくる。高精細地形情報は、こうした日常尺度から非日常的なスケールまでを継ぎ目なく表現するための時空間解像度をもつものであり、その多様な表現方法により、効果的に地域住民の地域環境理解を促すことができると考えられる。

6.6 高精細地形情報を地球科学教育・アウトリーチに生かすために

ここで、6.1から6.5の議論を踏まえて、高精細地形情報を、地球科学教育やアウトリーチ活動で生かすための提案を行う。

6.1で述べたように、高精細地形情報を用いた地域環境の表現について、情報を伝達した

い相手の属性、年齢、知識の理解度、目的などに応じて、提供者側が自由に提示方法を変化させることができるため、多様な年代やバックグラウンドをもつ人々に興味関心を持ってもらうことが可能である。そのため、学校教育では児童の発達段階に応じて教材の次元や時間空間解像度を調整する必要がある。また、博物館展示などの一般向け・複数年代向けのイベントでは、展示に会場するであろう人々の年代にあわせた情報の表現が必要である。

また、提示側が見せようとする自然現象そのものについても、対象としての適合性を吟味する必要があると考えられる。本実践では、第2章・第3章で礫床河川、第4章で海食崖、滝などの高精細地形情報から教材を作成した。これは、湿潤変動帯に属する日本列島の環境において、変化量や変化速度の両方が大きいこと、数ヶ月～数年という比較的短い時間スケールで地形変化を観察することができることから教材として選定した背景がある。このように、まずは、変化速度が大きく、日常生活が流れる時間スケールに対応した地形変化を対象として、Individual Scale を身に着けることで、より多様な地形プロセスの理解につながるものと考えられる。すなわち、日常尺度にもとづく現象の理解をまず促した上で、非日常スケールにおける現象の理解につなげることが求められる。

これらの経験則を身に着けたのち、微細な変化の積み重ねが数百、数万から数億年という地質学的スケールに応用できるような学習に発展できる可能性がある。たとえば、第2章で示した礫床河川の地形変化を継続的に提示しつづけることにより、網状河川の流路の発達や複列砂州の発達を理解することにつながる。さらには、この積み重ねから、扇状地の形成といった大規模な地形の形成に至るまでの想像を、学習者が行えるようになると考えられる。表VI-1で示した、異なるスケールの地形種の成因をシームレスに繋げることで語句暗記にとどまらない「動的な地形」を想像することが可能となり、自然科学の知識の定着に繋がると考えられる。

このような動的な地形プロセスの積み重ねを教材化することによって、地形形成の動きを捉えられるようになり、地形学習そのものが「形を捉える・見る」だけの学習にならないような仕組みを作ることができる。たとえば、第2章で述べたように、日本の社会科・地理歴史科ではいわゆる「はどめ規定」があり、地理の授業においては、細かな地形プロセスや理科の生物・地学等などといった自然科学的な内容まで踏み込んで授業を展開することは避けられている（菊池・菊池 2013；山本・尾方 2018）。しかし、本研究で作成した教材を使用することによって、地形プロセスそのものを可視化でき、詳細な数式やメカニズムに踏み込むことなく地形の成因を学習できる可能性がある。

地形プロセスを社会科で学ぶことは、地理教育の範疇で行われている防災教育にも利点があるであろう。第2章で述べた通り、社会環境に対する地形プロセスの有機的な関係を理解することが、自然災害の総合的な理解のために求められる。すなわち、地形プロセスを理解した上で、地形プロセスと社会環境双方の空間的多様性の組み合わせとして生じる自然災害の地域性を理解することが不可欠である。二次元の地図の読図だけでは習得することが難しい地形プロセスを、高精細地形情報を活用して学習することで、自然災害発生時の避難行動や防災に関する意識創発に生かされると考えられる。そのためにも、学習指導要領の改訂を見越した教育実践を積み上げていく必要がある。

本研究を通して、高精細地形情報を利用することで、人間が日常生活を営む上で経験しうる、日常尺度に対応した、短期的な地域環境変化に注目してもらうことができた。科学技術に触れるという好奇心が契機となり、地域住民が生活していても理解しにくい微細な現象や変化を魅せることで、地域環境や地域の魅力について再考できる可能性を引き出した。たとえば、第5章の田谷町地域では、高精細地形情報を利用したアウトリーチ活動を継続的に行うことによって、児童や地域住民とのコミュニケーションにおいて、彼らが興味を持つ関心が「ドローン、3D プリント、レーザ測量」などの計測手法に関する好奇心から、「地形、環境、風化」といった自然環境に関する内容が占める割合が大きくなってきていることを実感している。当該地域におけるアウトリーチ活動を実施することで、洞窟に自発的に足を踏み入れる児童が増えたり、地域報告会の参加者が増えたりした。急速な都市開発や地方の過疎化といった社会的な流れによって埋没しかねない文化財や自然環境に対して再考してもらう機会を通して、より地域環境と住民の生活との接点を増やし、科学リテラシーの素養を上げることができる。その結果、「将来この地域はどのようなのだろうか」「このまま洞窟が崩れてしまったら、地域にどのような影響をもたらすのだろうか」といった将来の環境変化予測や理解などに拡張させることができる。すなわち、高精細地形情報を通して、「地域環境を見つめる目」を拡張することができ、今まで関心を得なかった短期的・長期的な地域環境の変動に焦点を当てることができる。これによって、これまで知らずに過ごしてきた地域環境の価値を、改めて認識しながら日常生活を営むことが可能となり、日常的な「豊かさ」を創出することが可能となる。このように、目や肌で捉えることが難しい自然環境の様子を、高精細地形情報を利用することで、人間の本能に訴えかける「日常尺度」の情報として落とし込むことにより、環境認識に対する価値創造を実施することができると思う。

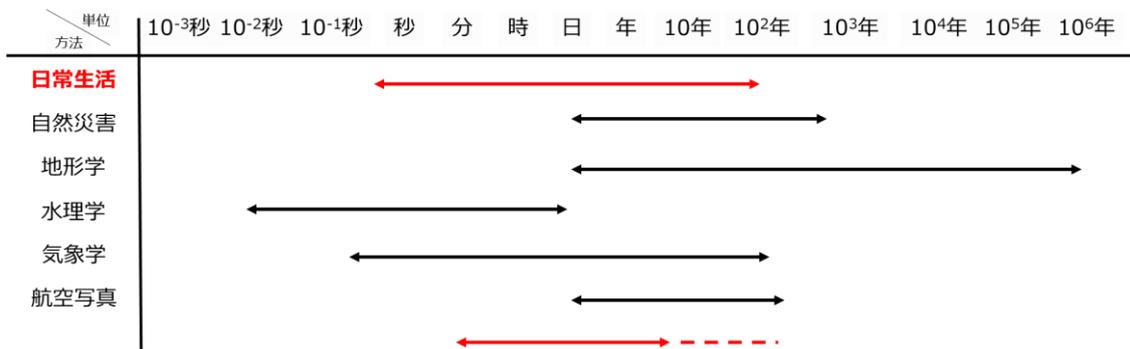


図VI-1. 本実践で提示した教材のスケールと既存の教材の比較.
 (1/1800 よりも小縮尺の航空写真は地理院タイルを利用)

表VI-1. 規模による地形種の分類とその例（鈴木 1997 を一部筆者修正・加筆）

類型名	超微地形	極微地形	微地形	小地形	中地形	大地形
規模	10m	100m	1km	10km	100km	
河成地形	瓶穴 砂漣	砂礫堆 河道	自然堤防 後背湿地	扇状地 三角州	河成段丘	
海成地形	カスプ	浜 磯	波触棚 浜堤	潟湖跡地	海成段丘	
変動地形	噴砂丘	地割れ	撓曲崖	横ずれ断層崖	山地 丘陵	弧状列島
読図用地図の縮尺	1/100	1/1000	1/1万	1/10万	1/100万	

高精細地形情報
(UAV空撮)



図VI-2. 自然認識の時間単位（東 1979; 中村 1989 を一部筆者修正・加筆）

第7章 まとめ

本研究では、UAS-SfM手法やTLS手法で取得した高精細地形情報を取得・分析する方法を構築するとともに、3地域での地球科学教育・アウトリーチ実践を通して、地域住民に地域環境を理解してもらうための伝達手法に関する評価を行い、総合的に検討した。その結論をまとめると以下のとおりである。

- 1) 自然科学の基礎的な素養を身に着けることができる学校教育において、地球科学を学ぶ科目には社会科・理科がある。その中でも、社会科では現在学ぶこと自体が制限されている地形の成因やプロセスについて、その理解を促す学習を導入することで、他の科目との有機的な結びつきが可能となることが示唆された。このように、地球科学的な自然現象において背景にある作用までを含めた、動的な自然現象の総合的な理解を促すためには、現状の学習指導要領の枠組みを超えた学習過程を検討してゆく必要がある。
- 2) 児童が日常的に見ている河川環境をデータとして捉えた高精細地形情報を用いることによって、普段見慣れた風景から、非日常的な自然環境の様子までを想像できるように促すことで、自然災害に対する防災に関する児童の意識を高めることができた。また、児童が身に付けた基礎的な尺度にもとづき、過去や未来の災害規模について児童自身が想像をはたらかせることで、より人生経験に寄り添ったかたちで、未知なる規模をもつ自然災害のイメージを具象化することができた。
- 3) UAS-SfM手法を用いた地形計測により、地域環境の変化を定量的に提示し、河川管理者に有益な情報を提供することができるとともに、地域住民にとっても有益なかたちで情報伝達できることが示された。すなわち、こうした地域環境変化を可視化することにより、地域住民にとってもその地域環境の理解を深めるための契機をもたらす可能性がある。

- 4) 多時期の観測期間に得られた高精細地形情報にもとづいて出力された 3D プリントを利用することで、実際の現場において生じている地形変化の抽出とその縮小体としての提示が、直感的かつ容易にできるようになった。これに、時系列変化という概念を加味することで、3D プリントの閲覧者が、地形に関する量の「変化」から、地形変化の「速度」を想像することができた。
- 5) 普段から慣れ親しんだ地域社会における自然環境や文化資源を三次元観測技術を用いて可視化し、さらに模型製作という実体化のプロセスを経ることによって、普段目にしていても十分に認知できていなかったさまざまな現象に関して、地域住民が新たな気付きを得ることができ、地域環境を再認識することにつながった。すなわち、地域住民にとってなじみのある地域の風景を三次元データで示すことにより、住民自身が地域環境を見直すことができた。高精細地形情報を用いることにより、地域環境の中に存在する地形の微細な凹凸や自然環境の微妙な変化を観察することにより、住民の経験にもとづいた風景が再認識され、地域環境の総合的な理解に向けての道筋が示されたものと考えられる。
- 6) 一時期の観測データであれば、同じ対象物であっても、近づいて見たり、少し離れて俯瞰したりすることができるように、見せたいスケールにおける最適な解像度を設定することによって、閲覧者の理解を補助することができる。また、多時期のデータを提示することにより、住民が日常生活を営む時空間スケールに対応した自然環境の変化を示すことができるため、そこから住民が環境変化を経験的に理解することを促せる。こうして住民自身が体得した経験則にもとづくと、過去や未来における地域環境の想像を喚起できる。
- 7) 地球科学的な現象について、情報伝達や現象理解を促すために、とくに子どもを対象とした場合においては、その発達段階に応じた情報を提示する適切な方法を選択することが必要であり、そのために高精細地形情報の表現手法の柔軟性は有用であると考えられる。

以上のように、本研究では、高精細地形情報の取得や分析の方法を精査し、その二次元、三次元といったさまざまな表現手法を用いて、地域住民とのサイエンスコミュニケーションをさまざまなかたちで実践した。これにより、それぞれの地域の実情にあわせた地域環境における現象を可視化し、科学に対する関心の乏しい住民にも注目してもらえるような伝達・表現手法が提示できたと考えられる。

一方、このように高精細地形情報を活用することで、地域住民自身がその地域環境に関するさまざまな課題を認識し、その解決に向けて行動を起こすような仕組みを構築する必要もあると考えられる。今後は、これらの取り組みで地域住民が新たに抱いた諸問題を研究者が寄り添った形で、問題解決のための研究課題の作成を実施できる枠組みを設計する必要がある。この循環を通して、より地域に根付いた研究の遂行や、研究成果の社会実装が進むと考えられる。

また、今後自然環境の観測を継続しながらその学習材を整備していき、短期的時間スケールでの地形変化のデータを蓄積することで、より長期的な時間スケールにおける地形プロセスを明らかにしてゆくことができる。また、本研究対象地に限らず、他の地域における同様な展開も望まれる。本研究手法は、まだ数年ほどの蓄積でしかないが、今後の技術革新にともないその手法が一般にも普及することで、さまざまな地域において高精細地形情報が高頻度取得されてゆくことになると期待される。たとえば、数十年間におよぶ長期観測が実施されれば、現地の自然環境をより多層的に示す観測結果にもとづいた学習材を作成できるであろう。このような取り組みを各所で実施し観測成果を蓄積することで、正確度の高い、地形の動きが見える学習材を整備し、地域住民の興味・関心を喚起しながら自然科学の素養を身に付けてもらう取り組みを実施してゆくことが必要である。

謝辞

本研究を進めるにあたり、北海道大学大学院地球環境科学研究院の早川裕弍先生には、いつも丁寧なご指導および助言をいただいた。博士課程における私の研究遂行に関して、私の意向を柔軟に受け入れてくださり、親身に相談に乗っていただいた。心から感謝申し上げる。東京大学情報基盤センターの小林博樹先生には、早川先生のご異動後、指導教員として論文執筆に関する助言を賜った。東京大学空間情報科学研究センターの小口 高先生には、研究室のセミナーでの助言や国際学会への参加などを通して、私の研究を常に支えてくださった。東京大学大学院新領域創成科学研究科の岡部明子先生、斎藤 馨先生には、博士論文の審査員をつとめていただき、本稿の質が上がった。審査員の先生方皆様に感謝申し上げます。

金沢大学の青木賢人先生、林 紀代美先生には、学部時代からの指導、修士課程・博士課程の共同研究を通して私の研究を支えてくださった。防災科学技術研究所の内山庄一郎氏には、学部時代から UAS 運用に関する助言をいただき、論文の構成や研究の方針について相談を受けていただいた。田谷の洞窟保存実行委員会の田村裕彦氏、埼玉大学の小口千明先生、鶴見大学の緒方啓介先生、横浜国立大学の守田正志先生をはじめとする田谷の洞窟保存実行委員会の皆さんには、第 5 章の田谷の洞窟での実践で有意義なコメントを頂き、地域で研究することの楽しさを教えていただいた。京都大学地球環境学堂の浅野悟史先生、滋賀県琵琶湖環境科学研究センターの水野敏明氏、東 善広氏、滋賀県流域政策局の北井 剛氏（当時）、山中大輔氏には、第 3・4 章の愛知川での共同研究を進める上で便宜を図っていただき、いつも丁寧なコメントを頂いた。西堀榮三郎記念探検の殿堂の小林亜美氏、角川咲江氏、武藤恭子氏には、第 4 章の博物館の展示企画についてお誘いを頂き、地域におけるサイエンスコミュニケーションの大切さを教えていただいた。東京大学の飯塚浩太郎先生、農研機構の小花和宏之氏には、UAS 運用や地形解析に関するアドバイスを賜り、GIS 解析手法についての議論を多数行っていただいた。

北海道立総合研究機構森林研究本部林業試験場の中田康隆研究職員、速水将人研究職員、蝦名益仁研究職員、蓮井 聡主査には、GIS 解析や研究の設計に関して助言を頂いた。Northumbria University の Tong Vincent 准教授との議論では、よりグローバルな視野で見た地球科学教育に関する助言を頂いた。東京大学小口研究室の山内啓之氏、宋 佳麗氏には、地理教育や授業実践に関する有意義な議論を行っていただいた。東北大学の高橋尚志氏、東京大学の安藤奏音氏には、博士論文の粗稿を読んでいただき、有意義なコメントを頂いた。

明治大学の高場智博氏，東京大学の原 裕太氏，宋 弘揚氏，日本学術振興会特別研究員の佐々木夏来氏には，日ごろから博士研究に関する議論にお付き合いいただいた．金沢大学人文学類地理学研究室，地域創造学類青木・林ゼミの皆さんには，野外調査や解析の際に多大なご協力を頂いた．特に，堀川泰寛氏，山田大稀氏，馬場真悟氏，石坂美帆氏，古保龍大氏，西田侑真氏，立花良彬氏，永井麻美子氏，船戸敬太氏、安藤圭吾氏，小林真子氏，馬場晶子氏、今尾峻太氏，竹内大雄氏には，第2章の手取川での反復計測の伴う調査の保安要員として何度も河川敷に足を運んでいただいた．普段から研究室で議論に付き合っていた東京大学空間情報科学研究センター小口研究室，北海道大学環境科学院環境地理学分野，金沢大学人文学類地理学教室，地域創造学類環境共生コース青木・林ゼミの院生・学生の皆さんにお礼申し上げたい．

最後に，学位取得に向けて経済的にも精神的にも支えてくださった父母・祖父母・きょうだいに心から感謝申し上げます．

本研究は，平成26年白山手取川ジオパーク研究奨励費，公益財団法人深田地質研究所平成30年深田野外調査助成，平成29年度・令和元年度東京大学博士課程研究遂行協力制度の助成を受けて遂行したものである．また，手取川に関する調査遂行に関しては国土交通省金沢河川国道事務所調査第一課に一時使用届を提出し，手取川出張所の監視のもと遂行した．愛知川に関する調査は，滋賀県流域政策局に調査届を提出し，UAS飛行を実施した．また，航空法等の法令を遵守し，安全管理を徹底して実施した．

参考文献

- 青木賢人 (2015) 大学におけるジオパークの教育的活用—白山手取川ジオパークと金沢大学地域創造学類の事例—。日本地理学会発表要旨集, 87, 5.
https://doi.org/10.14866/ajg.2015s.0_100163
- 浅野悟史・西前 出 (2015) SfM-MVS システムによる DSM 体積を用いた植物体変化量の推定における課題。環境情報科学学術研究論文集, 29, 71-76.
https://doi.org/10.11492/ceispapers.ceis29.0_71
- 東 三郎 (1979) 地表変動論 植生判別における環境把握。北海道大学図書刊行会。280p.
- 阿部貴弘・北河大次郎・脇坂隆一 (2011) 歴史的風致維持向上計画にみる歴史まちづくりの現状と土木史研究に期待される役割。土木学会論文集 D2 (土木史), 67 (1), 49-63.
<https://doi.org/10.2208/jsce.jhsce.67.49>
- 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, 1-17. https://doi.org/10.5996/newgeo.52.4_1
- 岩戸 栄・佐島郡巳 (1977) 小学校における空間認識の発達に関する研究—スペースの異なる地図表現の場合—。新地理, 15 (2), 23-32. https://doi.org/10.11212/jjca1963.15.2_23
- 鶴川義弘・福地 彩・桜井理裕 (2015) 東日本大震災の震災遺構パノラマ教材の作成。宮城教育大学環境教育研究紀要, 17, 1-4.
- 内山庄一郎・中田 高・井上 公・熊原康博・杉田 暁・井筒 潤・後藤秀昭・福井弘道・鈴木比奈子・谷口 薫 (2014) 小型 UAV と SfM ソフトウェアを用いた断層変異地形把握の試み—根尾谷断層水鳥断層崖を例に—。活断層研究, 40, 35-52.
https://doi.org/10.11462/af.2014.40_35
- 卜部勝彦 (2010) 地理教育における地形図読図をめぐる諸課題。地図, 2, 35-42.
https://doi.org/10.11212/jjca.48.2_35
- エフエム戸塚 (2019) 番組ブログ・放課後放送部「5月9日は栄区千秀小学校の8人です。」,
<https://ameblo.jp/houkago-housoubu/entry-12460018371.html> (最終閲覧日: 2020.11.4)
- 遠藤 晃 (2019) 小学校の総合的学習の教育実践に学ぶ楽しいアクティブラーニング。日本生態学会誌, 69 (2), 133-138. https://doi.org/10.18960/seitai.69.2_133
- 岡本 敦 (2016) 砂防の研究・技術開発を取り巻く話題。砂防学会誌, 69 (1), 1-2.
https://doi.org/10.11475/sabo.69.1_1
- 小倉拓郎・青木賢人 (2016) UAV と SfM-MVS で高解像度地形情報を取得する際の運用最適化に関する検証。地形 37 (3), 399-411.

- 小花和宏之・坂上清一・八木隆徳（2019）RTK-UAV を用いた地形計測の測位性能および省力効果. 地形, 40 (2) 1-10.
- 小花和宏之・坂上清一・八木隆徳（2020）積雪深計測における RTK-UAV の有効性. 地形, 41 (1) 15-26.
- 小花和宏之・早川裕弐・ゴメス クリストファー（2014）UAV 空撮と SfM を用いたアクセス困難地の 3D モデリング. 地形 35 (3), 283-294.
- 川口真吾・鶴田修己・高坂雄一・岡崎 裕・朝比翔太・酒井和也・鈴木高二朗（2019）UAV を用いた港湾構造物の計測技術に関する検討. 土木学会論文集 B3 (海洋開発), 75-2, 121-126.
https://doi.org/10.2208/jscejoe.75.1_121
- 河村茂雄・武蔵由佳（2016）小学校におけるアクティブラーニング型授業の実施に関する一考察—現状の学級集団の状態からの検討—. 教育カウンセリング研究, 7 (1), 1-9.
https://doi.org/10.24665/jjec.7.1_1
- 菊池達夫・菊池葉香（2013）高等学校地理・地学連携における教材開発の可能性. 北翔大学短期大学部研究紀要, 51, 17-31. <https://doi.org/10.24794/00000089>
- 北井 剛・水野敏明・東 善広・小倉拓郎・浅野悟史（2019）愛知川における総合土砂管理に向けた検討. 琵琶湖博物館研究セミナー. （2019年3月15日）
- 木原俊行・水越敏行（1992）マルチメディアを利用した環境教育の実証研究. 大阪大学人間科学部紀要. 18, 47-66.
- 国土交通省（2014）第7版 都市計画運用指針.
<https://www1.mlit.go.jp:8088/common/001049830.pdf>
- 小瀧健吾・川村教一（2014）児童の河川砂成因認識に対する教科書記述の影響—児童への質問紙調査をもとに—. 秋田大学教育文化学部教育実践研究紀要, 36, 11-20.
- 小山拓志・中谷栄介・土居晴洋（2020）空間データを活用した幼児期における身近な空間把握の検証. 大分大学高等教育開発センター紀要. 12, 27-34.
- 斎藤 馨・藤原章雄・石井秀樹・志村正太郎・矢野安樹子・熊谷洋一（2005）森林映像モニタリングデータによるマルチメディアコンテンツ作成. ランドスケープ研究, 68 (5), 923-926.
<https://doi.org/10.5632/jila.68.923>
- 齊藤由倫・田子 博・遠藤庸弘・小澤邦壽（2015）科学的な環境教育を目指した大気環境に関する体験学習の試み—地方環境研究所を活用したプログラム開発—. 環境教育, 24-3, 48-59.
https://doi.org/10.5647/jsoee.24.3_48
- 酒井徹哉（1982）地理教育における測定の機能と意義. 新地理, 30-3, 41-51.
https://doi.org/10.5996/newgeo.30.3_41

- 坂本利弘・岩崎亘典・石塚直樹・David S. Sprague (2019) 小型 GNSS 受信機および測位演算プログラムパッケージ「RTKLIB」による対空標識の簡易・高精度測位手法に関する事例研究. 日本リモートセンシング学会誌, 39 (2), 123-132.
<https://doi.org/10.11440/rssj.39.123>
- 佐藤明子・菌部幸枝・森 富子・滝澤公子・室伏きみ子 (2007) アウトリーチにおけるサイエンスコミュニケーション. 科学教育研究, 31 (4), 410-420.
<https://doi.org/10.14935/jssej.31.410>
- 澤村貴雄・曾我聡起 (2014) 3D データ・3D プリンタの教育利用の可能性について. 2014 PC Conference, 48-51.
- 柴 正博 (2007) 自然史博物館の使命. 日本動物分類学会誌, 22, 89-97.
https://doi.org/10.19004/taxa.22.0_89
- 芝原暁彦・木村克己・西山昭一 (2015) 積層型精密立体地形模型：3D 造形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.
https://doi.org/10.11212/jjca.53.1_36
- 島津 弘 (1996) 手取川上流における 1934 年水害以降の地形変化. 金沢大学文学部地理学報告. 10, 67-75.
- 下里直生・菊池俊夫 (2016) ジオパークにおける時空間的ジオストーリーの地域融合への貢献：石川県・白山手取川ジオパークを事例にして. 観光科学研究, 9, 33-39.
- 杉浦功一 (2018) 世界遺産をめぐる国際政治—「観光の国際政治学」へ向けて. 和洋女子大学紀要. 59. 23-34. <https://doi.org/10.18909/00001584>
- 鈴木賢一・小松 尚・中井孝幸 (2000) 親子の地域環境学習プログラムの開発に関する考察—学習型環境デザインワークショップの実践と課題—. 日本建築学会技術報告書 11, 211-216.
<https://doi.org/10.3130/aijt.6.211>
- 鈴木賢二郎・脇田早紀子・永野三郎 (1990) 図学教育による直感的 2-3 次元図形処理能力の育成効果. 図学研究, 24 (1), 21-28. <https://doi.org/10.5989/jsgs.24.21>
- 鈴木晃志郎 (2000) 地図化能力の発達に関わる一考察—生まれ持つのか, 習得するのか—, 人文地理, 52-4, 65-79. <https://doi.org/10.4200/jjhg1948.52.385>
- 鈴木隆介 (1997) 建設技術者のための地形図読図入門：読図の基礎. 古今書院, 200 p.
- 鈴木春菜・藤井 聡 (2008) 地域愛着が地域への協力行動に及ぼす影響に関する研究. 土木計画学研究・論文集, 25 (2), 357-362. <https://doi.org/10.2208/journalip.25.357>
- タウンニュース港南区・栄区版 (2019) 田谷の洞窟 模型で構造を明らかに 千秀小児童が研究に一役. 2019 年 2 月 28 日号.

- 高橋勇夫・寺門弘悦・村山達朗（2009）島根県西部河川におけるアユ産卵場造成について．平成 20 年度島根県水産技術センター研究報告 2, 39-48.
- 高橋栄一（1985）野外における子どもの空間認知構造に関する研究—水平・垂直距離の場合—. 新地理, 32 (4), 3-15. https://doi.org/10.5996/newgeo.32.4_3
- 田上博司（2007）情報伝達媒体としてのアート：アートにおける情報伝達モデル化の一手法．情報文化学会, 14(1), 53-59.
- 竹部嘉一（1998）高校「地理歴史科」地理の理念の検討．地理学評論, 71, 128-132.
https://doi.org/10.4157/grj1984a.71.2_128
- 田村裕彦・早川裕式・守田正志・小口千明・緒方啓介・小倉拓郎（2021）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 (4), 343-361..
- 千葉達朗・鈴木雄介・平松孝晋（2007）地形表現手法の諸問題と赤色立体地図．地図, 45 (1), 27-36. <https://doi.org/10.11212/jjca1963.45.27>
- 辻本哲郎・村上陽子・安井辰弥（2001）出水による破壊機会の減少による河道内樹林化．水工学論文集, 45, 1105-1110. <https://doi.org/10.2208/prohe.45.1105>
- 戸塚区史刊行委員会（1991）戸塚区史．戸塚区史刊行委員会, 215-218.
- 内閣府（2020）防災基本計画.
http://www.bousai.go.jp/taisaku/keikaku/pdf/kihon_basicplan.pdf
（最終閲覧日 2020 年 1 月 3 日）
- 永井由佳里（2014）3D プリンターが変えるものづくりのマインド．日本ゴム協会誌, 87 (9), 369-375. <https://doi.org/10.2324/gomu.87.369>
- 中垣 啓（2011）ピアジェ発達段階論の意義と射程．発達心理学研究, 22 (4), 369-380.
<https://doi.org/10.11201/jjdp.22.369>
- 中須賀真一・川島レイ（2004）衛星を使った宇宙アウトリーチ活動の一つの試み．第 46 回宇宙科学技術連合講演会講演集.
- 永野昌博・畑田 彩・澤島拓夫（2005）里山地域における住民参加型博物館の生態学分野における役割と課題—等身大の科学を目指した博物館活動—. 日本生態学会誌, 55 (3), 456-465. https://doi.org/10.18960/seitai.55.3_456
- 中村和彦・斎藤 馨・藤原章雄・大塚啓太・奥山賢一（2020）森林体験活動を教室内学習へ持続的に反映させる方法論の検討—小学校第 5 学年の調べ学習単元における振り返り映像の視聴を事例として—. 日本森林学会誌, 102 (1), 77-82.
<https://doi.org/10.4005/jjfs.102.77>

- 中村太士 (1989) 野外科学におけるスケール論：時空間問題の整理，北海道大学農学部演習林研究報告，46-2，287-313.
- 西脇保幸 (1998) 地理教育における技能の育成．地理学評論，71 (A-2)，122-127.
https://doi.org/10.4157/gr.j1984a.71.2_122
- 野口 淳 (2019) 趣旨説明：計測の最適化を考えよう．第 2 回考古学・文化財のためのデータサイエンス・サロン.
- 長谷川直子 (2017) 地理学のアウトリーチ・科学コミュニケーション活性化のために．E-journal GEO，12-1，151-154. <https://doi.org/10.4157/ejgeo.12.151>
- 秦 中伏・金多 隆・古阪秀三・石坂公一・近江 隆 (2002) 都市開発をめぐるコンフリクト問題のメタゲーム分析．日本建築学会計画系論文集，555，247-254.
https://doi.org/10.3130/ai.ja.67.247_3
- 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 (1)，236-250.
<https://doi.org/10.4157/ejgeo.13.236>
- 早川裕弐・小倉拓郎・小口・高・山内啓之・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．2019 年度日本地理学会春季学術大会要旨集．314 https://doi.org/10.14866/ajg.2019s.0_194
- 早川裕弐・小花和宏之・齋藤 仁・内山庄一郎 (2016) SfM 多視点ステレオ写真測定の地形学的応用．地形，37-3，321-342.
- 藤岡達也 (2007) 総合的な学習の時間における環境教育展開の意義と課題．環境教育，17 (2)，26-37. https://doi.org/10.5647/jsoee.17.2_26
- 藤田 晋 (2013) 自然地理教育研究の動向と課題．学芸地理，67，77-92.
- 藤永 豪 (2015) 中高地理教育における自然地理領域と人文地理領域の学習内容の融合的理解に関する課題—教員養成系学部を中心とした大学生への”扇状地”に関するアンケート調査をもとに—．佐賀大学教育学部研究紀要，20，123-133.
- 降旗信一・宮野純次・能條 歩・藤井浩樹 (2009) 環境教育としての自然体験学習の課題と展望．環境教育，19 (1)，3-16. https://doi.org/10.5647/jsoee.19.1_3
- 松尾忠直・高田明典 (2018) UAV を使用した景観の記録と教材作成の試み．地球環境研究，20，237-243.
- 松本凌太郎・河村進一 (2020) GIS とレーザー加工機で作る 3D マップによる防災授業の小中学校への展開．日本高専学会誌，25-4，35-37.

- 松本邦彦・澤木昌典 (2018) 歴史的環境保全の観点で見る歴史的風致維持向上系アックにおける重点地区の特徴. ランドスケープ研究, 81 (5), 619-624.
<https://doi.org/10.5632/jila.81.619>
- 水野敏明・東 善広・北井 剛 (2020) 琵琶湖流入河川におけるアユ産卵場表面の粒径分布. 応用生態工学, 22 (2), 149-154. <https://doi.org/10.3825/ece.22.149>
- 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.
- 武者賢一 (2000) 地理を専門としない教員の高校地理教育に対する意識—新潟県内の調査をもとに—. 新地理, 48 (2), 12-23. https://doi.org/10.5996/newgeo.48.2_12
- 望月祐志・中村昇太・山中正浩・山田康之・工藤光子・常盤広明・川上 勝・北本 俊二 (2016) 化学・生命科学系の理学教育における 3D プリンタの活用事例. Journal of Computer Chemistry, Japan, 15-3, 66-67. <https://doi.org/10.2477/jccj.2016-0034>
- 森 眞一郎 (2004) 簡易な実験と写真教材を活用した地形の学習. 新地理, 52, 25-35.
<https://doi.org/10.5996/newgeo.52.25>
- 文部科学省 (2010) 高等学校学習指導要領解説 地理歴史編 平成 22 年 6 月. 教育出版.
- 文部科学省中央教育審議会 (2015) 幼稚園, 小学校, 中学校, 高等学校及び特別支援学校の学習要領等の改善及び必要な方策等について (答申),
https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/1380731.htm (最終閲覧日 2020 年 12 月 30 日) .
- 安江健一・倉橋 奨 (2017) 地域住民による活断層説明看板の制作・設置. 愛知工業大学地域防災センター年次報告書, 14, 60-62.
- 柳場庄一郎 (2019) 多時期の高分解能な写真測量手法による地表環境変動の定量化. 東京大学大学院新領域創成科学研究科自然環境学専攻博士論文.
- 山内啓之・小口 高・早川裕弐・小倉拓郎・浅野悟史 (2019) 3D プリントによる地形模型の教育的活用. 2019 年度日本地理学会秋季学術大会要旨集, 221.
https://doi.org/10.14866/a.jg.2019a.0_73
- 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 (4), 363-375.
- 山縣耕太郎 (2017) 地理教育における自然の取り扱いと第四紀学の役割. 第四紀研究, 56 (5), 187-194.
- 山本政一郎・尾方隆幸 (2018) 高等学校の地理教育・地学教育における教科書用語の問題点—用語問題の類型化と学術的整合性—. E-journal GEO, 13-1, 68-83.
<https://doi.org/10.4157/ejgeo.13.68>

- 尹 貴淑 (2018) 田谷の洞窟を正確に再現 千秀小6 年が地形模型制作. 神奈川新聞 2018. 3. 14 朝刊電子版, <https://www.kanaloco.jp/news/life/entry-27272.html> (最終閲覧日 : 2020. 11. 4)
- 横浜市立千秀小学校 (2019) 「沿革」, 千秀小学校ウェブサイト, <https://www.edu.city.yokohama.lg.jp/school/es/senshu/index.cfm/1,0,42,155.html> (2020 年 12 月 30 日閲覧)
- 渡辺友美・吉富友恭・萱場祐一 (2017) 河川生態の映像化と留意点 : 映像展示の開発プロセスを例に. 応用生態工学, 20-1, 73-85. <https://doi.org/10.3825/ece.20.73>
- Allon, F., Sofoulis, Z. (2006) Everyday Water: cultures in transition. Australian Geographer, 37 (1), 45-55. <https://doi.org/10.1080/00049180500511962>
- Asher, P, Adamec, B., Furukawa, H., Cooper, P., Williams, B. (2015) AGU education, student programs, and career center: Helping to prepare the next generation of earth and space scientists. The Leading Edge, 34 (10), 1190. <http://dx.doi.org/10.1190/tle34101190.1>
- Bakker, M., Lane, S.N. (2017) Archival photogrammetric analysis of river-floodplain systems using Structure from Motion (SfM) methods. Earth Surface Processes and Landforms, 42, 1274-1286. <https://doi.org/10.1002/esp.4085>
- Blaut, J.M., McCleary, G.F. and Blaut, A.S., (1970) Environmental mapping in young children, Environment and Behavior 2, 335-349.
- Carbonell-Carrera, C., Avarvarei, B.V., Chelariu, E.L., Draghia, L., Avarvarei, S.C. (2017) Map-Reading Skill Development with 3D Technologies. Journal of Geography, 116, 197-205. <https://doi.org/10.1080/00221341.2016.1248857>
- Carbonell-Carrera, C. and Hess-Medler, S. (2019) 3D Landform Modeling to Enhance Geospatial Thinking. ISPRS International Journal of Geo-Information, 8, 65. <https://doi.org/10.3390/ijgi8020065>
- Cook, K.L. and Dietze, M. (2019) Short Communication: A simple workflow for robust low-cost UAV-derived change detection without ground control points, Earth Surface Dynamics, 7, 1009-1017, <https://doi.org/10.5194/esurf-7-1009-2019>
- Cooke, S.J., Gallagher, A.J., Sopinka, N.M., Nguyen, V.M., Skubel, R.A., Hammerschlag, N., Boon, S., Young, N., Danylchuk, A.J. (2017) Considerations for effective science communication. FACETS, 2, 233-248. <https://doi.org/10.1139/facets-2016-0055>

- Favalli, M., Fornaciai, A. (2017) Visualization and comparison of DEM-derived parameters. Application to volcanic areas. *Geomorphology*, 290, 69-84. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.02.029>
- Gregory, K. J., Lane, S.N., Lewin, J., Ashworth, P.J., Downs, P.W., Kirkby, M. J., Viles, H.A. (2014) Communicating geomorphology: global challenges for the twenty-first century. *Earth Surface Processes and Landforms*, 39, 476-486. <https://doi.org/10.1002/esp.3461>
- Hashiba, M., Fujita, I., Nishiyama, N., Ohta, Y. (2020) A method of aerial STIV without requiring of ground control points. *Proceedings of the 22nd IAHR-APD Congress 2020*, 1-8.
- Hayakawa, Y.S., Wasklewicz, T.A., Obanawa, H., Kusumoto, S. (2018) Preface to the special issue “High-definition topographic and geophysical data in geosciences”. *Progress in Earth and Planetary Science*, 5, 88. <https://doi.org/10.1186/s40645-018-0246-x>
- Hayakawa, Y.S., Kusumoto, S., Ogura, T. (2019) Spatial distribution of land surface displacements in the crater of Tateyama Midagahara Volcano using high-definition topographic data. Abstracts, Japan Geoscience Union Meeting 2019, MTT47-P02.
- Hayakawa, Y.S., Obanawa, H. (2020) Volumetric change detection in bedrock coastal cliffs using terrestrial laser scanning and UAS-based SfM: *Sensors*, 20, 3403. <https://doi.org/10.3390/s20123403>
- Hayakawa, Y.S., Ogura, T., Tamura, Y., Oguchi, C.T., Shimizu, K. (2020) Three-dimensional point cloud data by terrestrial laser scanning for conservation of an artificial cave. Damage assessment and conservation of underground spaces as valuable resources for human activities in Italy and Japan, *Opera Ipogea (Journal of Speleology in Artificial Cavities)*, 67-74.
- Iizuka, K., Ogura, T., Akiyama, Y., Yamauchi, H., Hashimoto, T., Yamada, Y. (2021) Improving the 3D Model Accuracy with a Post-Processing Kinematic (PPK) method for UAS surveys. *Geocarto International*, in press. <https://doi.org/10.1080/10106049.2021.1882004>
- Jacobson, S.K., Mcduff, M.D., Monroe, M.C. (2015) *Conservation Education and Outreach Techniques Second Edition*. Oxford University Press, 428 p. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198716686.001.0001>
- Larson, K.L., Cook, E., Strawhacker, C., Hall, S.J. (2010) The influence of diverse values, ecological structure, and geographic context on residents’ multifaceted landscaping decisions. *Human Ecology*, 38, 747-761. <https://doi.org/10.1007/s10745-010-9359-6>

- Mitasova, H., Harmon, R.S., Weaver, K.J., Lyons, N.J., Overton, M.F. (2012) Scientific visualization of landscapes and landforms. *Geomorphology*, 137, 122-137.
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.09.033>
- Morgan, A.J., Brogan, J.D., Nelson, A.P. (2017) Application of Structure-from-Motion photogrammetry in laboratory flumes, *Geomorphology*, 276, 125-143.
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.10.021>
- Mossa, J., Chen, Y.-H., Wu, C.-Y. (2019) Geovisualization geoscience of large river floodplains. *Journal of Maps*, 15, 75-91.
<https://doi.org/10.1080/17445647.2019.1584129>
- Nakamura, K.W., Fujiwara, A., Kobayashi, H.H., Saito, K. (2019) Multi-timescale education program for temporal expansion in ecocentric education: Using fixed-point time-lapse images for phenology observation. *Education Sciences*, 9 (3), 190.
<https://doi.org/10.3390/educsci9030190>
- Oguchi, C.T., Sakane, K., Tamura, Y. (2020) Non-destructive field measurement for investigation of weathered parts - Case study at the Taya Cave, Central Japan. Damage assessment and conservation of underground spaces as valuable resources for human activities in Italy and Japan, *Opera Ipogea (Journal of Speleology in Artificial Cavities)*, 85-92.
- Oguchi, T., Saito, K., Kadomura, H., Grossman, M. (2001) Fluvial geomorphology and paleohydrology in Japan. *Geomorphology*, 39 (1), 3-19.
[https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(01\)00048-4](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(01)00048-4)
- Ogura, T. Hayakawa, Y.S., Yamauchi, H., Oguchi, T., Tamura, Y., Oguchi, C.T., Aoki, T., Hayashi, K. (2018) Use of high-frequency, high-definition topographic 3D data to develop geographic thinking of students. Poster presented at AGU Fall Meeting 2018, on Earth and Space Science Open Archive 2019.
<https://doi.org/10.1002/essoar.10500555.1>
- Passalacqua, P., Belmont, P., Staley, D.M., Simley, J.D., Arrowsmith, J.R., Bode, C.A., Crosby, C., Delong, S.B., Glenn, N.F., Kelly, S.A., Lague, D., Sangireddy, H., Schaffrath, K., Tarboton, D.G., Waskiewicz, T., Wheaton, J.M. (2015) Analyzing high resolution topography for advancing the understanding of mass and energy transfer through landscapes: A review. *Earth-Science Reviews*, 148, 174-193.
<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2015.05.012>
- Piaget, J. (1960) The general problem of the psychobiological development of the child. In Tanner, J. and Inhelder, B. (Eds.), *Discussions on child development* (vol. 4, pp. 3e27). London: Tavistock.

- Potter, C.S., Carragher, B., Carroll, L., Conway, C. (2001) A Practical Approach to Providing Remote Microscopy for Science Education Outreach. *Microscopy and Microanalysis*. 7-3, 249-252. <https://doi.org/10.1007/S10005-001-0005-3>
- Rae, J., Edwards, L. (2016) Virtual reality at the British Museum: What is the value of virtual reality environments for learning by children and young people, schools, and families? *MW2016: Museums and the Web 2016*.
- Stea, D. and Blaut, J. M., (1973) Some preliminary observations on spatial learning in school children (Downs, R.M. and Stea, D., eds., *Image and environment*, Aldine Publishing. 226-234.
- Strick, R.J., Ashworth, P.J., Sambrook Smith, G.H., Nicholas, A.P., Best, J.L., Lane, S.N., Parsons, D.R., Simpson, C.J., Unsworth, C.A., Dale, J. (2019) Quantification of bedform dynamics and bedload sediment flux in sandy braided rivers from airborne and satellite imagery. *Earth Surface Process and Landforms*, 44 (4), 953-972. <https://doi.org/10.1002/esp.4558>
- Smith, M.W., Carrivick, J.L., and Quincey, D.J. (2016) Structure from motion photogrammetry in physical geography. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 40, 247-275. <https://doi.org/10.1177/0309133315615805>
- Tamminga, A., Hugenholtz, C., Eaton, B., Lapointe, M. (2015) Hyperspatial remote sensing of channel reach morphology and hydraulic fish habitat using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV): A first assessment in the context of river research and management. *River Research and Applications*, 31 (3), 379-391. <https://doi.org/10.1002/rra.2743>
- Tamura, Y., Oguchi, C.T., Hayakawa, Y.S., Ogata, K. Ogura, T., Morita, M. (2020) Multidisciplinary conservation activities and community development based on the Yokohama City registered historic site "Taya Cave". *Damage assessment and conservation of underground spaces as valuable resources for human activities in Italy and Japan, Opera Ipogea (Journal of Speleology in Artificial Cavities)* 75-83.
- Tarolli, P. (2014) High-resolution topography for understanding Earth surface processes: Opportunities and challenges. *Geomorphology*, 216, 295-312. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.03.008>
- Varner, J. (2016) Scientific outreach: Toward effective public engagement with biological science. *BioScience*, 64, 333-340. <https://doi.org/10.1093/biosci/biu021>
- von Wyss, M. (2015) 3D-Printed Landform Models. *Cartographic Perspectives*, 79, 61-67. <https://doi.org/10.14714/CP79.1297>.

Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., Reynolds, J. M. (2012) 'Structure from Motion' photogrammetry: A low-cost effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179, 300-314.

<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.08.021>

Zhang, Y., Zhang, H.-L., Zhang, J., Cheng, S. (2014) Predicting residents' pro-environmental behaviors at tourist sites: The role of awareness of disaster's consequences, values, and place attachment. *Journal of Environmental Psychology*, 40, 131-146. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvp.2014.06.001>

論文の内容の要旨

論文題目 高精細地形情報を利用した地域環境理解のモデル構築
(Model construction of regional environmental
understanding using high-definition topographic data)

氏 名 小倉 拓郎

地域環境は住民にとってその生活から切り離すことのできない背景要素であり、人間が日常生活を営む上で、地域住民がその居住地域における地域環境を理解することは、短期的にも長期的にも重要なことである。すなわち、地域環境に即した生活を営むことで、日常的な「豊かさ」を創出することが可能となる。しかし、短期的・長期的な地域環境の変動や状況を包括的に概観し、その微細な変化を感受したり大規模な変動を予測したりすることは、現状では多くの地域住民にとって困難である場合が多い。地域環境を住民がより身近に認知し理解を深めるためには、自然や歴史を背景とした地域環境そのものの情報化と、その伝達手法の構築が重要な基礎的手段となる。

近年、高頻度・高精細な地形計測手法が普及してきているが、地域の自然環境の変化を観測し定量化するために、これらが適用される事例が増えてきた。これにより、地域住民が身近に感じる時空間スケールでの自然環境の実態とその変化を、最適な解像度で情報化し、地域住民に伝達することが可能になると期待される。

また、地域住民との科学コミュニケーションを実施する上で、研究者が住民に対して研究成果の内容をわかりやすく発信することが求められている一方で、科学的研究に関する住民の基礎的な知識を定着させることも必要とされている。そのため、研究者によるアウトリーチ活動、サイエンスコミュニケーション活動の必要性や重要性は、これまでも強く主張されてきている。また、地域住民が科学に触れることができる最も身近な場として、学校教育が挙げられる。これらの活動は、地域住民と科学との接点として機能している一方、その効果的な体制や伝達手法の構築に関する知見はまだ十分とはいえない。

そこで本論文では、近年普及してきた高頻度・高精細な地形計測手法を用いて、地域の高精細地形情報を取得・分析する方法を構築する。これにより、地域住民が身近に感じる時空間スケールでの自然環境の実態とその変化を、最適な解像度で情報化し、地域住民に地域環境を理解するための効果的な伝達手法に関する評価を行い、地域環境に関する理解を深めるためのモデル構築を行うことを目的とする。

第1章では、本研究の背景について述べたあとで、本研究の目的と意義について述べた。研究の背景として、地域住民の地域環境に関する無関心さや、自然科学のリテラシーの欠如について取り上げたあと、自然環境に関する学校教育やアウトリーチ手法、地域の自然環境モニタリング手法を用いたアプローチが提案されてきている一方、高精細地形情報を取得することが可能となり、地域自然環境の地物を対象とした高精細地形情報の取得から、その成果を地域住民へ効果的に提供・発信できる可能性について述べた。

第2章では、自然科学のうち地形学を主な事例として、住民と科学との接点として大きな役割をもつ学校教育における地形学習の取り扱いについて整理した。その結果、特に文系科目である地理Aの教科書では、地形用語が多数扱われている一方、地形の小分類まで踏み込んだ詳細な地形用語が多用され、出現頻度に関わらず用語や地形の概念の解説に終始するような記述が施されていることが多く、用語の羅列になっている箇所も多く見られた。そのため、どのようにして地形が形成したのかなどといった、本来地形用語を習得する際に必要な日常生活との関わりを学習することが難しくなっていることを指摘した。次に、学習指導要領では、社会科・地理歴史科の地理の科目の学習範囲としては制限されている、地形プロセスの理解を促す教育方法を検討するために、高精細地形情報を用いた学習材を整備し、授業実践を試みた。対象は石川県川北町手取川流域の小学校の児童である。児童たちは、河川の状況を示す複数時期のオルソ画像から、流水と礫の運搬・堆積状況を読み取り、河川の営力の大小について理解することができた。また、この教材を使用したのち、過去に起こった大きな水害の写真や、将来想定される浸水被害マップを提示することで、河川営力の理解をベースとして災害を想像することができた。この学習ののち、地方公共団体が主催する防災訓練に参加したり、家庭で水害について話し合う機会を設けたりすることで、授業内で理解した河川営力や過去・未来の災害の規模を体系的に復習する機会を設けた。このように、普段見慣れた風景から、非日常的な自然環境の動態を想像することで、基本的な地形プロセスに関する知識の習得や、防災に関する意識の向上がみられた。

第3章では、地域の自然環境をより簡便に、かつ高精細な情報として取得し、地形の差分解析ができるUAS (Unmanned Aerial System) を用いたSfM (Structure from Motion) 多視点ステレオ写真測量について、その実用的な検証を行うことを目的とした。対象を滋賀県東近江市愛知川の河床耕耘事業地とし、2019年に発生した台風6号の通過に伴う地形変化の特定手法について検証した。その結果、対象とした河川区間では、河床耕耘後に発生した大規模な出水前後で耕耘箇所の砂礫堆の流出が確認できた。出水前後のDSMおよびオルソ画像の比較の際に、高精度な位置情報を用いてジオリファレンスした出水前の地形情報に、

低精度な情報を用いてジオリファレンスした出水後の地形情報を重ね合わせる手法について検討した。その結果、出水後のオルソ画像については3次多項式を用いた変換方法でRMSEは0.0052 m, DSM (Digital Surface Model) についてのRMSEは0.0053 mであり、立ち入ることの難しい水位上昇後の河川において、高精度な地上基準点 (GCP: Ground Control Point) の位置情報測定を用いずとも、差分解析が行える手法を検証した。

第4章では、第3章の研究を広く住民に知ってもらうために、愛知川流域にある博物館にてアウトリーチ活動を実施した。高精細地形情報から作成した3Dプリントを用いて、地域住民に自然地形に対する認識について聞き取り・アンケート調査を行い、その認識の差異について検証した。その結果、来場者が3Dプリントに触れる様子や感想から、2次元の地図からは読み取ることが難しい複雑な形状を直感的に理解することができていた。また、多時期の3Dプリントを利用することで、地形変化の抽出が容易にできるようになり、人間が営む日常生活レベルの時間スケールで生じる現象から、身近な地形変化速度の考察が可能となった。さらに、視覚障がい者の来場者からは、3Dプリントモデル内に基礎的な尺度となる物体を入れることで、地形全体の規模を想像することができるという意見があった。

第5章では、都市開発と歴史的風致の保存といった問題に直面している横浜市田谷地域を対象とし、その地域の小学校の児童を対象としたアウトリーチ活動について、歴史的風致や景観の保全といった課題についての探究的な環境学習を実践し、その効果を検証した。高精細地形情報を用いた地域の大型地形模型の制作や、文化財としての洞窟の輪切り模型の制作、防災情報の重ねあわせなどの授業を実践し、児童の反応から学習効果を検証した。模型製作授業の導入として、環境測量に関する授業を実施し、その興味と関心を契機として、自然環境計測に係わる事例を紹介することで、生徒の多くが自然現象に対する興味をもつようになった。模型製作の授業では、地域の地形の勾配や凹凸について、模型の基礎となるスチレンボードに触れたり切り取ったりするプロセスを通して、地域環境に関する興味や形状に関する考察を児童が行っていることがわかった。また、まとめの授業において、児童は作成した地形模型を閲覧することを通して地域環境に関する地理的想像を深めていた。さらに、防災情報を重ね合わせた地形模型を閲覧する学習では、児童らが風水害の被害を受けた箇所を直接模型の上にマッピングすることで、二次元の地図上では困難であった、地形と被災箇所に関する新たな考察が生まれ、三次元地形模型を利用した学習の効果が表れていた。

第6章では、総合考察として、第2章～第5章での実践で明らかになったことを踏まえて地域環境理解のために高精細地形情報がどのように有用であったのかを述べた。

第7章では、本論文を統括して研究成果としてまとめるとともに、今後の展開と展望に触れ、論文全体の結論とした。

筆者によって提案された高精細地形情報を用いた「日常尺度」レベルの地域環境理解は、自然現象の理解を人間の日常生活を通じた知覚・感覚により近づけることにより促進させた新規的な概念である。具体的には、高精細地形情報が対象とする時間スケール・空間スケール・次元が、従来の手法よりも日常生活スケールの世界を投影できるスケールに近接し、これにより、人生経験の短い子どもから長い大人まで、生活する感覚上の時間・空間スケールを基準とした自然現象の理解が実現できる。さらに、「日常尺度」レベルの地域環境理解から、非日常的な自然現象の理解（災害や、地質学的時間スケールの地形変化等）を促進させ、地域住民の日常的な「豊かさ」を創出することが可能となると考えられる。さらに、本論文により提示された地域環境理解のモデルは、地形学、地理学をはじめとした環境学分野の教育・普及に大きく貢献できる。