

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17H02031

研究課題名（和文）高密度点群情報の地形学的な高度利用と最適化：流域地形環境変動の抽出からその先へ

研究課題名（英文）Advanced use and optimization of high-density point cloud data in geomorphology: Detection of changes in watershed topographic environments and beyond

研究代表者

早川 裕弐 (hayakawa, yuichi)

北海道大学・地球環境科学研究所・准教授

研究者番号：70549443

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 14,600,000円

研究成果の概要（和文）：HD-PCD（高密度点群情報）に関して、とくに流域で生じる自然現象を対象とした既存および新たなHD-PCD取得解析の手法体系を整理した上で、計測機材を用いた現地観測を各対象地で実施した。これらの取得データからは、流域地形特徴の抽出を行うとともに、時空間変化抽出の基礎データとして精度向上等の処理を行った。さらに、蓄積された観測データについて、データ共有のためのコンテンツ整理を行うとともに、国際会議におけるセッションやシンポジウム、さらにアウトリーチ活動等を毎年主催し、データやツールの幅広い利用普及に努めた。これにより、流域地形環境に限定されない、HD-PCDの多様な使用用途の可能性が示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

研究成果をそれぞれ論文出版するとともに、国際誌における特集号を企画したり、関連するシンポジウム・ワークショップおよび大型国際会議におけるセッションの開催を継続的に実施した。これにより、HD-PCD関連の最新技術や、解析にかかる問題点、学術的・産業的適用事例の報告など、研究者間での情報共有を広く行うことができた。国外の研究者との交流も随時実施し、本研究関連の世界的な進展の方向性について相互理解を深めることができた。さらに、博物館等における企画展及びワークショップを複数開催した。これは異分野間連携を促すものであり、学際的な枠組みにおけるアウトリーチ活動に対しての本研究の影響力が評価された。

研究成果の概要（英文）：In this study, the research trend of HD-PCD (High-Density Point Cloud Data) was firstly reviewed, particularly regarding the existing and new methodologies of HD-PCD acquisition and analysis for physiogeographical phenomena occurring in watersheds. Based on this review, field surveys were performed in each target area using measurement equipment of HD-PCD. The acquired data were used to extract the topographic features of the watersheds and to improve the accuracy for the extraction of spatio-temporal changes therein. Furthermore, we summarized and modified the contents of the accumulated observation data for data sharing. By organizing sessions at international conferences, symposia, and outreach activities every year, we promoted the wide use of the data and tools of HD-PCD. As a result, we have shown that HD-PCD can be used in various ways, not limited to the watershed-based topographic environment.

研究分野：空間情報科学，地形学，地球表層科学

キーワード：高精細地形地物情報 点群データ 3次元 Lidar（レーザ測量） 写真測量 GIS（地理情報システム） UAV（無人航空機）

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

地形学において対象とされる地形現象の時空間スケールは様々であり、対象に応じた様々な計測技術が提案されている(Wasklewicz et al. 2013 *Treatise Geomorph.*, Tarolli 2014 *Geomorph.*, Passalacqua et al. 2015 *Earth-Sci. Rev.*)。流域地形環境にも様々な現象スケールがあり、中長期的には、人為改変にともなう影響(人口減による放棄林の増加等)や、局地的あるいは地球規模の急速な気候変動が、斜面崩壊の増加等、様々なかたちで流域地形環境の変化に現前しつつある(Korup et al 2012 *Earth Surf. Proc. Landf.*)。しかし、こうした中長期的な変化の影響は、数年や数ヶ月といった短期間には僅かな相違としてしか現れないこともあり、より高精細な変動検出が望まれている。それを可能とする地形計測の新しい技術体系が近年急速に開発されつつあり、とくにユーザ(研究者)が現場で自ら高精細な地形情報を取得する手段が、地形学のみならず地球科学関連諸分野で広く試されてくるようになった。たとえば土木工学などで初めて適用された地上レーザ測量(terrestrial laser scanning, 以下 TLS)による計測技術は、2000年代以降に地形研究分野でも普及してきた(Heritage and Large 2009 Wiley, 早川・小口 2016 地学雑誌)。より近年では、従来コンピュータビジョン分野で開発されていた画像解析技術である、多数のステレオペア写真を用いた効率的な写真測量(Structure-from-Motion 多視点ステレオ写真測量, 以下 SfM)が他の研究分野にも普及し、加えてホビーラジコンなどの開発から急速に広まった小型無人航空機(通称ドローン又は unmanned aerial vehicle, 以下 UAV)の高い操作性が、低空空撮による広範囲の高精細地形情報取得を容易にした(早川ほか 2016 地形)。

こうした新しい手法で得られるデータは、地形を対象とする場合、平面・立面投影したデジタル標高モデル(digital elevation model, 以下 DEM)として使われることも多い。しかし、その投影される前段階には、XYZの3次元情報をもつ点群(point cloud)がある。高密度な点群そのものを解析することで、より高度な地形解析が可能となる(Brodu & Lague 2012 *ISPRS J. Photogramm.*)。すなわち、ユーザレベルで得られる高精細地形情報の高度利用のためには、高密度点群情報(high-density point cloud data, 以下 HD-PCD)の直接的な活用が欠かせない。

しかしながら、特に都市や土木を対象とした、写真測量やリモートセンシングの技術的分野でその手法が開発され発展してきているものの、地形学を含む地球科学諸分野においては、多様な手法に基づく HD-PCD の扱いはまだ十分に浸透しておらず、依然普及の初期段階にあるといえる。たとえば、データ取得や分析に際し、得られるものが高解像度であるがゆえに「とりあえず、可能な限り高解像度で!」といった最善策として現場でのデータ取得を進めた結果、過大なデータ量が現場計測や後処理解析を長時間化させ、結果的に余分な時間と労力を費やすことになるといった失敗例もある。また、過度に高い精度が期待されるなど(解像度と精度の混同)、目的に適合する精度・解像度の決定や、適切な手法選択が必ずしも行えていない状況である。加えて、そうした膨大なデータの適切な集約や保存、また確立した解析手法の共有も課題となってきている。

一方、本研究代表者は、研究開始当初まで主に TLS を活用した高精細地形情報に関する解析手法の標準化を進めてきた(「地上レーザスキャンによる高精細地形解析プロトコルの確立と研究拠点の形成」科研費若手研究(A) H25~28年度, 以下, 「前課題」とする)。この過程で、TLSだけでなく、SfM や UAV といった技術が直近数年間で日本国内でも急速に普及してきており、同じ対象物であっても、たとえばレーザ測量か写真測量か、あるいは地上ベースか低空(さらには水中か)、といった選択肢が増加した。一方、それぞれの手法の利点・欠点を踏まえた効果的な適用方法は模索段階にあった。ところが、海外における同様の研究の拡大は著しく、これらの計測・解析処理技術を最適な研究ツールとして一般化することを急がなければ、日本における高精細地形研究が大きく遅れをとる危機にあった。

そこで、前課題で扱った TLS による高精細地形情報研究を基盤とし、それを発展させるかたちで、ユーザレベルでの高精細地形情報取得技法を網羅的にカバーし、多様な手法を用いた HD-PCD の取得解析の体系化を進めることが急務であると考えた。

2. 研究の目的

本研究は、流域地形環境の短期的で微細な変動抽出に主眼を置きつつ、より中長期的な地形環境変動解明、ひいては地球科学関連諸分野一般における高精細地形情報の効果的な活用を視野に入れ、地上・低空からの SfM 多視点ステレオ写真測量やレーザ測量など、ユーザレベルで取得可能な高密度点群情報(HD-PCD)の取得解析に関する体系化を目的とする。このために、多様な計測対象の特性に即した適用を網羅的に実施し、各種解析手法を最適化するとともに、成果として得られたデータやツールの共有プラットフォームを構築し、関連する学術・産業分野等、多方面における波及を促進する。

より具体的には、中長期的な環境変動を背景とした流域地形環境を対象とし、範囲 1 km² 程度における、月～年で数 mm～数 cm といった微細な変動について、高精細に検出する手法を確立する。さらに、これを通して、地表面形状をあらわす HD-PCD の解析手法の最適化および一般化を行い、地球科学関係の諸分野における HD-PCD 活用の研究基盤を、マニュアルやデータ、ツール共有といったかたちで提供することを目的とする。

ここで、流域地形環境に着目する理由は、水や土砂は水系網に沿って移動し、人間活動もそれに影響されるため、流域が重要な単位であるとともに、その中に変化速度の比較的大きい地形変化現象が多様に存在しつつも、試験対象としてコンパクトにまとめられる利点があるからである。また、崩壊や土砂移動、河川・海岸侵食など、～1 km² オーダーの範囲でリアルタイムに起こる現象を、高精細・高頻度に明らかにすることは科学的・防災的観点からも重要であるが、従来の手法では、たとえば航空レーザ測量では広範囲を得られるものの解像度や計測頻度が低過ぎる、一方、水準測量などでは高精度・高頻度が可能でも範囲に限られる、といったような問題があった。そこで、本課題で扱うユーザレベルでの HD-PCD 取得解析という新しい手法をもって、従来の手法で「空白域」となっていた 1 km² スケールの高精細・高頻度計測が初めて可能となる。さらに、この結果を既存手法によるデータと有機的に組み合わせることで、流域全体の地形環境変動抽出に繋げられる。そのためにも、解析手法の一般化・共有プラットフォームの構築が重要である。

本研究の具体的な目標として、主に以下の 3 点を明らかにすることを目指す。

1. 地形学をはじめとした地球科学関連諸分野における HD-PCD 既存研究の適用範囲の解明：既存研究において対象とされた地形現象の種別、適用手法（プラットフォーム、センサ）、解像度、精度を文献調査により明らかにし、今後着手すべき対象・項目を明らかにする。
2. HD-PCD を用いた地形特徴と変化の適切な抽出・解析方法の構築：範囲 100 m²～1 km² 程度における、月～年で mm～cm 単位の流域地形環境変動の検出に焦点を絞り、対象とする時空間スケールにおける地形特徴の抽出方法（形状分析）と、変化の検出方法（量と速度の測定）を、既存および新規の手法をもって最適化する。
3. より多様な現象に応じた最適な計測・解析手法選択の一般化：対象とするさまざまな現象に応じた最適な HD-PCD 手法の選択肢について標準化を進め、関連分野に向けた情報発信を行う。

このようにして、ユーザレベルで得られる HD-PCD の流域地形環境に対する解析手法を整理・最適化することで、今まで空白域であった対象スケールの地形変化現象が明らかとなり、世界的にも新しい発見・適用が期待され、その学術的適用可能性が劇的に拡大することが見込まれる。また、手法の共有・一般化を行うことで、日本の地形学のみならず、世界的な地球科学関連諸分野の研究者間に広く普及するうえ、研究成果の産業利用や防災、行政的活用も見込まれ、幅広いインパクトを与えられると考えられる。

3. 研究の方法

本研究で目的とする流域地形環境変動の変動抽出と、その手法の一般化に向け、以下の 4 項目に沿って研究を進める。

- ① 文献調査による HD-PCD 研究動向の把握
- ② HD-PCD を用いた地形特徴（空間軸）・変化（時間軸）の抽出・解析手法の系統的整理
- ③ 上記手法の流域地形環境変動抽出に対する網羅的適用（現地調査及び後処理解析）
- ④ 多様な対象に応じた最適な計測・解析手法の開発、データ・ツール共有システムの運用

研究開始にあたり、まず文献調査による HD-PCD に関する研究動向を把握する (①)。これにより、これまであまり対象とされていない地形現象も含め、現地で必要とされるデータ取得および解析手法の系統的な整理と、最適な手法選択肢を提示可能とする。より広範な研究分野や産業分野への波及、また一般社会や行政利用に向けたアウトリーチをねらい、HD-PCD および高精細地形情報に関する解説書を執筆、出版する。また、当プロジェクトのウェブサイトにおける情報発信も並行し、たとえば動画による UAV-SfM 運用や HD-PCD 利用の解説など、さまざまな取り組みも含めて普及を図る。

地形現象を対象とした既存および新たな HD-PCD 取得解析の手法体系を整理する (②)。このために、既存の機材に加え、最新の HD-PCD 取得機材を導入・整備する。前述のように、こうした計測技術の発展と低価格化は近年めざましく、ユーザレベルのデータ取得において、新規開発された技術の迅速な応用とノウハウの蓄積が、地球科学分野においても非常に重要である。とくに、SLAM (simultaneous localization and mapping) 技術を併せた UAV やハンドヘルドによる安価なモバイルレーザ測量 (MLS) 等は、現時点で最も新しく、今後の適用可能性が高い技術であり、早期からその本格的な利活用をめざす。一方、①で整理した既存の手法についても、所有機材をもって適用可能とする。また、②の使用体制が整い次第、既存・新規双方の機材を用いた HD-PCD 解析の実際の適用を、現地調査に基づき実施する (③)。具体的な適用対象は、日本国内において、流域地形環境に変動があることが知られている、またはその可能性が高い地点とし、それぞれ概ね 1 km² 程度の範囲で試験領域を設定する。対象とする地形環境変動現象は、上流域の斜面

変動（表層崩壊、深層崩壊等）、中流域の河床変動（堆積物の増減や岩盤侵食等）、下流域の河床・海岸変動（海岸侵食等）があげられる。既存の調査実績のある地点に加え、火山変動の影響や、湖岸堆積物、洪水現象など、新たな調査可能地域を検討し、多様な事例を収集して、流域地形環境全般を網羅することをめざす。とくに現地で取得した HD-PCD の解析手法について、既存のソフトウェアの標準的な利用に加え、それらの組み合わせによる新しい解析手法の提案も目指し開発を進める。さらに、データ共有のためのシステム整備と既存コンテンツの整理を行う（④）。東京大学空間情報科学研究センター（以下 CSIS）で運用されている共同研究利用システム（JoRAS）を援用し、蓄積された点群およびその派生データを整理し投入する。これにより、取得データや開発したツールの利用が外部者でも可能となり、流域地形環境に限定されない、HD-PCD の多様な使用用途を発掘できる。

また、前課題から継続的に実施している高精細地形情報に関するシンポジウム・ワークショップおよび地球科学系大型国際会議（JpGU, EGU, AGU, AOGS）におけるテーマ別セッションを開催し、HD-PCD 取得の最新技術など情報収集や、HD-PCD 解析にかかる問題点、学術的・産業的適用事例の報告など、研究者間での情報共有を図る。

4. 研究成果

HD-PCD に関する研究動向の把握を行い、とくに流域で生じる自然現象を対象とした既存および新たな HD-PCD 取得解析の手法体系を整理した上で、この手法の検証として、新しい HD-PCD 取得機材を用いた試験計測を現地観測として各地で実施した。既存の手法としては、TLS や UAV-SfM を用いた狭域～広域を対象とした HD-PCD の計測を繰り返し実施することでより効率化する一方、新しい手法に関しては、たとえば SLAM によるモバイルレーザ測器やマルチスペクトルカメラを搭載した UAV の試験飛行を実施した上で、現地観測におけるその有効な適用方法を検証した。具体的な対象地域は、流域地形環境の変動が観察される大谷崩の土石流扇状地（静岡県）、外房海岸（千葉県）、阿蘇仙酔峡の崩壊斜面（熊本県）、岩盤河川（栃木県）、厚真崩壊斜面（北海道）など多数の地点に及ぶ。これらのデータからは、地形特徴の抽出を行うとともに、時空間変化抽出の基礎データとして精度向上等の処理を行った。たとえば阿蘇仙酔峡の調査地域においては、地震や豪雨により生じた斜面崩壊の地形的特徴の相違を明らかにした上で、流域内における土砂供給量の類似点について論じた（図 1）。このように、さまざまな計測手法に基づく HD-PCD を用いた地形特徴と変化の抽出・解析を各対象地で実施することにより、対象とする時空間スケールにおける地形特徴の抽出方法やその形状分析と、地形変化の検出方法を最適化する知見を得ることができた。

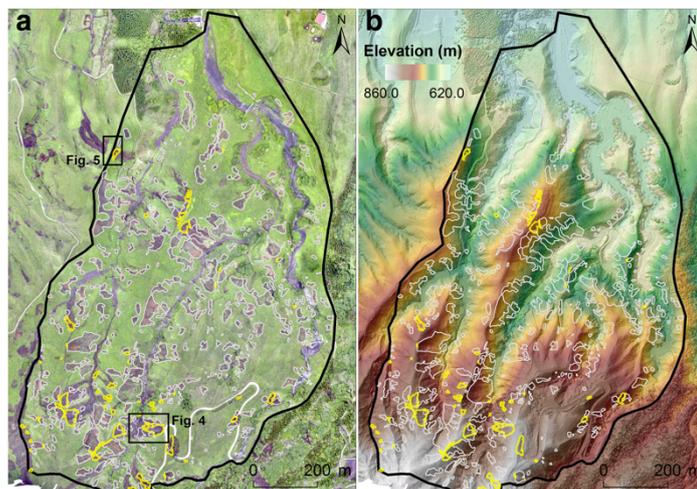


図 1. 阿蘇仙酔峡における斜面崩壊の空間分布解析の例（Saito et al., 2018, PEPS）。

さらに、データ共有のためのコンテンツ整理を行った。東京大学空間情報科学研究センターにより運用される共同研究利用システム JoRAS を援用し、蓄積された点群およびその派生データを整理し投入した（図 2）。これにより、取得データや開発したツールの利用が外部者でも可能となり、流域地形環境を対象とする地形学・地球表層科学はもとより、森林科学や生態学、文化財科学・考古学等、周辺関連分野における HD-PCD の多様な使用用途に対応し、その多分野における普及を図ることができると考えられる。

また、HD-PCD を含む高精細地形情報に関する個別のシンポジウム・ワークショップおよび地球科学系の大型国際会議（JpGU, AGU, EGU, AOGS）におけるテーマ別セッションを毎年度にわたり主催・共催した（表 1）。これにより、HD-PCD 取得に関する最新技術などの情報収集や、HD-PCD 解析にかかる問題点、学術的・産業的適用事例の報告など、研究者間での情報共有を行った。国外の研究者との交流も随時実施し、情報交換や議論による本研究関連の世界的な進展の方向性について理解を深めた。

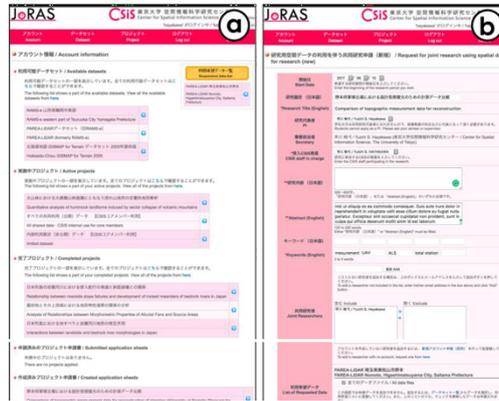


図2. 共同研究利用システム JoRAS を用いた研究データの共有 (Hayakawa et al., 2017, IJSDIR).

さらに、高精細地形情報の新しい活用手段として、博物館等における企画展及びワークショップを複数回開催した(表1)。これは、生態学や考古分野、アート分野といった、異分野間連携を促すものである。また、小学校や高校との連携授業を実施し、研究成果の研究利用だけでなく、地域環境の理解促進や地域社会における研究成果情報の意義づけといった観点から、年少者に対する直接的な情報伝達が実現され、教育的効果も上げられた。このような取り組みにより、学際的な枠組みにおけるアウトリーチ活動に対しての本研究の影響力が評価された。

また機材の運用に関して、とくに UAV の安全運用に着目して、日本国内における安全運用の情報提供活動を実施し、ウェブページにおいて UAV の飛行方法に関する動画や、安全運用マニュアル、飛行前のチェック項目を記載したブリーフィングシート、および講習会資料等を公開している (Open Drone Safety Manuals Project (ODSM Project) : <http://topography.csis.u-tokyo.ac.jp/odsm/>)。これらは、本研究参加者が研究用に運用してきた豊富な経験に基づく情報を取りまとめたものであり、実際に現場でどのように運用すればよいかといったこともカバーする内容となっている。

以上の研究成果を広く周知するために、活動内容や計画・報告について、当該プロジェクトが運営するウェブサイト (<https://www.hdttopography.org/>) や SNS において情報発信を継続的に実施しており、今後も引き続き情報公開を行う予定である。

表1. 開催したシンポジウム、ワークショップ、博物館展示、出張授業等の一覧。

開催年月	開催地	シンポジウム・ワークショップ・展示等タイトル
2017年04月	Austria Center Vienna (オーストリア)	EGU 2017 session NH6.3 "The use of Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS) in monitoring applications and management of natural hazards"
2017年05月	喜望メッセ	JpGU-AGU Joint Meeting 2017 H-TT19 "Geoscientific Applications of High-Definition Topography and Geophysical Measurements"
2017年07月	東京大学柏キャンパス	UAV-SIMのためのLI-DGNSS活用ワークショップ
2017年10月	宮城大学大和キャンパス	2017年地理情報システム学会第26会学術研究発表大会ハズオンセッション「SIM多視点ステレオ写真測量による地形モデリングの基礎」
2018年01月	Asian Institute of Technology (タイ)	国連IGC「Training Course on Global Navigation Satellite Systems (GNSS)」
2018年02月	東京大学柏キャンパス	第9回GIS-Landslide研究集会および第5回高解像度地形情報シンポジウム
2018年04月	Austria Center Vienna (オーストリア)	EGU 2018 session NH6.3 "RPAS in monitoring applications and management of natural hazards"
2018年05月	喜望メッセ	JpGU 2018 session "HIGH-DEFINITION TOPOGRAPHY AND GEOPHYSICAL DATA ANALYSIS"
2018年07月	北海道大学札幌キャンパス	JGU夏の学校2018 in 北海道「UAS (ドローン) 地形計測のさらなる進化」
2018年08月	東京大学柏キャンパス	ひらめき☆ときめきサイエンス「ダンボールで島と滝をつみあげよう! ~さわってわかる高精細3D情報~」
2018年10月	首都大学東京南大沢キャンパス	2018年地理情報システム学会第26会学術研究発表大会ハズオンセッション「SIM写真測量によるマッピング」
2018年12月	横浜国立大学千寿小学校	小大連携授業「UAV (ドローン) を使うとどんな環境が測れますか? ~火山、河川、海岸から里山まで~」
2018年12月	華僑大学 (中国)	Invited talks at Huaqiao University, China
2019年02月	浅間縄文ミュージアム	「高山に暮らした家族の記憶のカケラ」展
2019年02月	西郷英三郎記念探検の殿堂	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!!
2019年03月	北海道大学札幌キャンパス	第10回GIS-Landslide研究集会および第6回高解像度地形情報シンポジウム
2019年04月	成都理工大学 (中国)	Invited talk at Chengdu University of Technology
2019年04月	Austria Center Vienna (オーストリア)	EGU 2019 session NH6.4 "Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS) and geosciences: innovation in methodologies, sensors and activities"
2019年05月	喜望メッセ	JpGU 2019 session "HIGH-DEFINITION TOPOGRAPHY AND GEOPHYSICAL DATA IN THE ANTHROPOCENE"
2019年06月	西郷英三郎記念探検の殿堂	夏季特別展「好きを仕事に~小さいことの積み重ね」
2019年08月	北海道大学札幌キャンパス	ひらめき☆ときめきサイエンス2019「ダンボールで島と滝をつみあげよう! ~さわってわかる高精細3D情報~」
2019年09月	北海道大学札幌キャンパス	薬学高校環境教育講座2019「アナログからデジタルへ、デジタルからアナログへ~3D地図はどう見る、どう作る?」
2019年09月	横浜国立大学千寿小学校	小大連携授業「UAV (ドローン) を使うとどんな環境が測れますか? ~火山、河川、海岸から里山まで~」
2019年10月	徳島大学三島キャンパス	地理情報システム学会第28回学術研究発表大会ハズオンセッション「SIM写真測量によるマッピング」
2020年04月	オンライン開催	第11回GIS-Landslide研究集会および第7回高解像度地形情報シンポジウム
2020年05月	オンライン開催	EGU (European Geosciences Union) 2020 NH6.3 "Unmanned Aerial Vehicles (UAV) for Natural Hazards Characterization and Risk Assessment"
2020年06月	オンライン開催	JpGU-AGU Joint Meeting 2020 session "GEOSCIENTIFIC APPLICATIONS OF HIGH-DEFINITION TOPOGRAPHY AND GEOPHYSICAL DATA IN THE ANTHROPOCENE"
2020年06月	オンライン開催	Osaka International School授業: フィールドミュージアム体験 (アート&アーケオロジー&ジオグラフィ)
2020年06月	オンライン開催	小大連携授業2020「UAV (ドローン) を使った環境計測~火山、海岸、里山、川~」
2020年10月	横浜国立大学千寿小学校	小大連携授業2020「UAV (ドローン) を使った環境計測~火山、海岸、里山、川~」
2021年03月	オンライン開催	IAG Webinar East & Southeast Asia "International Geomorphology Week 2021"
2021年03月	オンライン開催	ひらめき☆ときめきサイエンス2020「ダンボールで島と滝をつみあげよう! ~さわってわかる高精細3D情報~」

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計38件（うち査読付論文 35件 / うち国際共著 10件 / うちオープンアクセス 20件）

1. 著者名 Giordan Daniele, Hayakawa Yuichi, Nex Francesco, Remondino Fabio, Tarolli Paolo	4. 巻 18
2. 論文標題 Review article: the use of remotely piloted aircraft systems (RPASs) for natural hazards monitoring and management	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Natural Hazards and Earth System Sciences	6. 最初と最後の頁 1079 ~ 1096
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/nhess-18-1079-2018	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 早川裕式・安芸早穂子・辻 誠一郎	4. 巻 13 (1)
2. 論文標題 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	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 E-journal GEO	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Saito Hitoshi, Uchiyama Shoichiro, Hayakawa Yuichi S., Obanawa Hiroyuki	4. 巻 5
2. 論文標題 Landslides triggered by an earthquake and heavy rainfalls at Aso volcano, Japan, detected by UAS and SfM-MVS photogrammetry	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Progress in Earth and Planetary Science	6. 最初と最後の頁 15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40645-018-0169-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hayakawa Yuichi S., Yoshida Hidetsugu, Obanawa Hiroyuki, Naruhashi Ryutaro, Okumura Koji, Zaiki Masumi, Kontani Ryoichi	4. 巻 18
2. 論文標題 Characteristics of debris avalanche deposits inferred from source volume estimate and hummock morphology around Mt. Erciyes, central Turkey	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Natural Hazards and Earth System Sciences	6. 最初と最後の頁 429 ~ 444
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/nhess-18-429-2018	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hayakawa, Y.S., Fujita, H., Lee, S., Sagara, T.	4. 巻 12
2. 論文標題 Developing a data-sharing system for geospatial research: A case study on the Joint Research Assist System (JoRAS)	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 International Journal of Spatial Data Infrastructures Research	6. 最初と最後の頁 141-160.
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 内山庄一郎・鈴木比奈子・上石勲・中村一樹	4. 巻 37
2. 論文標題 雪崩災害調査へのUAV-SfMの適用: 2017年那須町雪崩災害の事例	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 自然災害科学	6. 最初と最後の頁 119-135
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Saito Hitoshi, Iijima Yoshihiro, Basharin Nikolay, Fedorov Alexander, Kunitsky Viktor	4. 巻 10
2. 論文標題 Thermokarst Development Detected from High-Definition Topographic Data in Central Yakutia	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 1579 ~ 1579
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/rs10101579	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Hayakawa Yuichi S., Wasklewicz Thad A., Obanawa Hiroyuki, Kusumoto Shigekazu	4. 巻 5
2. 論文標題 Preface to the special issue "High-definition topographic and geophysical data in geosciences"	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Progress in Earth and Planetary Science	6. 最初と最後の頁 88
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40645-018-0246-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 早川裕式	4. 巻 85-3
2. 論文標題 3次元デジタル技術の地形学・考古学への応用	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 精密工学会誌	6. 最初と最後の頁 243-246
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 小花和宏之・坂上清一・八木隆徳	4. 巻 40(2)
2. 論文標題 RTK-UAVを用いた地形計測の測位性能および省力効果	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 地形	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Sirbu Flavius, Dragut Lucian, Oguchi Takashi, Hayakawa Yuichi, Micu Mihai	4. 巻 6
2. 論文標題 Scaling land-surface variables for landslide detection	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Progress in Earth and Planetary Science	6. 最初と最後の頁 44
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40645-019-0290-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 内山庄一郎・須貝 俊彦	4. 巻 38
2. 論文標題 平成26年8月豪雨による広島市土石流災害の被害の特徴	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 自然災害科学	6. 最初と最後の頁 57-79
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 小花和宏之・坂上清一・八木隆徳	4. 巻 41(1)
2. 論文標題 積雪深計測におけるRTK-UAVの有効性	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 地形	6. 最初と最後の頁 15-26
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 内山庄一郎・宮城豊彦	4. 巻 11
2. 論文標題 70年間の画像アーカイブによる西表島仲間川マングローブ林地帯の森林動態復元	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 MANGROVE SCIENCE	6. 最初と最後の頁 3-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Iizuka Kotaro, Hayakawa Yuichi S., Ogura Takuro, Nakata Yasutaka, Kosugi Yoshiko, Yonehara Taichiro	4. 巻 12
2. 論文標題 Integration of Multi-Sensor Data to Estimate Plot-Level Stem Volume Using Machine Learning Algorithms? Case Study of Evergreen Conifer Planted Forests in Japan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 1649 ~ 1649
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/rs12101649	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hayakawa, Y.S., Ogura, T., Tamura, Y., Oguchi, C.T., Shimizu, K.	4. 巻 Numero Speciale 2020
2. 論文標題 Three-dimensional point cloud data by terrestrial laser scanning for conservation of an artificial cave	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Opera Ipogea (Journal of Speleology in Artificial Cavities)	6. 最初と最後の頁 67-74
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tsunetaka Haruka, Hotta Norifumi, Hayakawa Yuichi S., Imaizumi Fumitoshi	4. 巻 7
2. 論文標題 Spatial accuracy assessment of unmanned aerial vehicle-based structures from motion multi-view stereo photogrammetry for geomorphic observations in initiation zones of debris flows, Ohya landslide, Japan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Progress in Earth and Planetary Science	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40645-020-00336-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hayakawa Yuichi S., Obanawa Hiroyuki	4. 巻 20
2. 論文標題 Volumetric Change Detection in Bedrock Coastal Cliffs Using Terrestrial Laser Scanning and UAS-Based SfM	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 3403 ~ 3403
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/s20123403	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 内山庄一郎・檀上 徹	4. 巻 -
2. 論文標題 令和2年7月豪雨による熊本県人吉市および球磨村渡地区の洪水被害の特徴	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 防災科学技術研究所 調査速報	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Suab Stanley Anak, Hayakawa Yuichi, Kume Shogo, Yamaguchi Yuji, Amanbaeva Bakyt, Kadyrov Abdynaby, Avtar Ram, Ogura Takuro	4. 巻 540
2. 論文標題 Mapping of Archaeological Sites using UAV Aerial Survey and PPK GNSS Ground Survey Techniques in Central Asia	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IOP Conference Series: Earth and Environmental Science	6. 最初と最後の頁 012014 ~ 012014
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1755-1315/540/1/012014	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Obanawa Hiroyuki、Yoshitoshi Rena、Watanabe Nariyasu、Sakanoue Seiichi	4. 巻 20
2. 論文標題 Portable LiDAR-Based Method for Improvement of Grass Height Measurement Accuracy: Comparison with SfM Methods	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 4809 ~ 4809
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/s20174809	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 田村裕彦・早川裕式・守田正志・小口千明・緒方啓介・小倉拓郎	4. 巻 41-4
2. 論文標題 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 -	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 地形	6. 最初と最後の頁 343-362
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Tsunetaka Haruka、Hotta Norifumi、Imaizumi Fumitoshi、Hayakawa Yuichi S.、Masui Takeshi	4. 巻 375
2. 論文標題 Variation in rainfall patterns triggering debris flow in the initiation zone of the Ichino-sawa torrent, Ohya landslide, Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geomorphology	6. 最初と最後の頁 107529 ~ 107529
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.geomorph.2020.107529	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計18件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 13件)

〔図書〕 計6件

1. 著者名 内山 庄一郎	4. 発行年 2018年
2. 出版社 東京法令出版	5. 総ページ数 200
3. 書名 必携ドローン活用ガイド : 安全かつ効果的な活用を目指して	

1. 著者名 内山 庄一郎	4. 発行年 2020年
2. 出版社 東京法令出版	5. 総ページ数 280
3. 書名 新版 必携ドローン活用ガイド 災害対応実践編	

1. 著者名 小口 高・早川裕弐・山内啓之	4. 発行年 2020年
2. 出版社 古今書院	5. 総ページ数 248
3. 書名 第8章 三次元地形情報の発展とあいまいさを考慮した有効活用：浅見泰司、薄井宏行 あいまいな時空間情報の分析	

〔産業財産権〕

〔その他〕

地形鮮明化プロジェクト ウェブサイト https://www.hdttopography.org

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	齋藤 仁 (Saito Hitoshi) (00709628)	関東学院大学・経済学部・准教授 (32704)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	小花和 宏之 (Obanawa Hiroyuki) (10422205)	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・北海道農業研究センター・上級研究員 (82111)	
研究分担者	内山 庄一郎 (Uchiyama Shoichiro) (30507562)	国立研究開発法人防災科学技術研究所・マルチハザードリスク評価研究部門・特別技術員 (82102)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計9件

国際研究集会 Japan Geoscience Union International Meeting 2018 thematic session MTT35-P07	開催年 2018年～2018年
国際研究集会 EGU 2017 session NH6.3 "The use of Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS) in monitoring applications and management of natural hazards "	開催年 2017年～2017年
国際研究集会 JpGU-AGU Joint Meeting 2017 H-TT19 "Geoscientific Applications of High-Definition Topography and Geophysical Measurements"	開催年 2017年～2017年
国際研究集会 国連IGC「Training Course on Global Navigation Satellite Systems (GNSS)」	開催年 2018年～2018年
国際研究集会 JpGU 2018 session "HIGH-DEFINITION TOPOGRAPHY AND GEOPHYSICAL DATA ANALYSIS"	開催年 2018年～2018年
国際研究集会 EGU 2019 session NH6.4 "Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS) and geosciences: innovation in methodologies, sensors and activities"	開催年 2019年～2019年
国際研究集会 JpGU 2019 session "HIGH-DEFINITION TOPOGRAPHY AND GEOPHYSICAL DATA IN THE ANTHROPOCENE"	開催年 2019年～2019年
国際研究集会 EGU (European Geosciences Union) 2020 NH6.3 "Unmanned Aerial Vehicles (UAV) for Natural Hazards Characterization and Risk Assessment"	開催年 2020年～2020年
国際研究集会 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 session "GEOSCIENTIFIC APPLICATIONS OF HIGH-DEFINITION TOPOGRAPHY AND GEOPHYSICAL DATA IN THE ANTHROPOCENE"	開催年 2020年～2020年

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関

イタリア	Consiglio Nazionale delle Ricerche	University of Padova	Bruno Kessler Foundation	他1機関
アメリカ	University of Washington	US Forest Service	East Carolina University	
ニュージーランド	University of Canterbury			
フランス	University of Strasbourg			
中国	成都理工大学			