

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 5 月 31 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2013～2017

課題番号：25702014

研究課題名（和文）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

研究課題名（英文）Establishment of protocols for morphological analysis of high-definition topography by terrestrial laser scanning and its core of excellence

研究代表者

早川 裕弐 (Hayakawa, Yuichi)

東京大学・空間情報科学研究センター・准教授

研究者番号：70549443

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 20,700,000円

研究成果の概要（和文）：地形変化が激しく自然災害も多発する日本列島においては、精密計測に基づく地形解析、変化速度の実測やメカニズムの解明が重要な課題である。そこで本研究では、高精細な地形情報を取得できる地上レーザ測量（TLS）を用いて、高精細地形情報の取得プロセスと、その解析手法に関する一連の作業を含むプロトコルを地形学の立場から開発・標準化した。これは、様々な現地における研究対象に適用するとともに、取得データ・解析ツールの研究目的での共有化を進めた。

研究成果の概要（英文）：The geomorphological changes are intense, and natural disasters frequently occur in the Japanese archipelago. The geomorphological analysis therein including shape measurement and change detection based on high-definition measurements are therefore essential. In this research, using terrestrial laser scanning (TLS) and related approaches, we developed a protocol including a series of procedures related to the acquisition process of high-definition topographic data and its analytical methods from the viewpoint of geomorphology. We also applied this approach to various field research subjects and developed a data sharing system for researchers regarding the acquired data and analysis tools.

研究分野：地形学

キーワード：高精細地形情報 点群 地上レーザ測量 3次元データ 自然環境 地理情報システム

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の時空間スケールは様々であり、対象に応じて最適な計測技術が存在する(図1)。とくに近年の航空レーザ測量による広範囲(数10 km 圏)の高解像度地形データ(0.5~5 m)の可取得化は革命的であり(田中, 2010, 地形)、地形研究への応用に加え国土インフラとして普及しつつある(佐藤, 2010, 地形)。一方、地上レーザスキャン(以下、TLS; Terrestrial Laser Scanning)による、更に高精細な地形データの計測技術は、2000年以降に主に欧米で普及し、近年は地形研究にも多数適用されてきている(Heritage and Large, 2009, Wiley)。これは最高でmm単位の解像度で、数百m~数km範囲の地形変化を検知できるものであり、たとえば落石、斜面崩壊、扇状地、礫床河川、河岸侵食、海岸侵食等、より細かい地形変化のメカニズム解明に不可欠なものとなりつつある(e.g., Wasklewicz and Hattanji, 2009, Prof. Geog.; Viero et al., 2010, Geomorphology; Haas et al., 2012, Earth Surf. Proc. Landf.)。

しかしながら、日本国内において、TLSを用いた地形研究は現時点で非常に少ない。たとえば、European Geosciences Union 2012ではTLSを用いた研究発表が少なくとも30件以上あったのに対し、日本地球惑星科学連合2012で発信された同様の研究成果は2件のみであった。これには、計測器材および処理ソフトウェアが極端に高価であること(多くは数千万円)がひとつの理由と考えられるが、加えて、TLSで得られるような超高精細地形データをどのように扱うのか、解析することで何がわかるのか、といった一定のプロトコルが確立されていないことも、普及を阻害する一因となっていると考えられる。また、TLSを用いた研究事例が先行する欧米においても、その成果については、計測手法の改善報告や、実際の地形変化のモニタリング結果(変化部分の面積・体積計算等)にとどまる

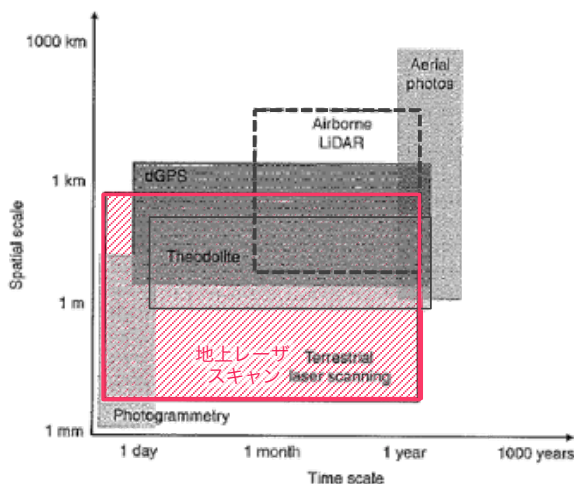


図1. 時間スケール・空間スケールに対応した地形計測手法の種別(after Heritage and Large, 2009)。

ことも多い。一方で、数年以上におよぶ時間スケールでの地形変化速度の算出や、その変化のメカニズムの解明にまで言及する例は限られている。

さらに、TLS機材は今後5年、10年と低価格化、小型化、高性能化が進むことが予想される。現時点で日本が欧米に大幅な遅れをとっているこの状況のままでは、機材が普及するに従ってますますその差を広げられるという危機にある。たとえば、米国に拠点を置くOpenTopographyでは、地上および航空レーザスキャンのデータセンターとしてだけでなく、各種研究公募、ワークショップ開催が盛んに行われているが、これに対応する日本の研究体制はほとんど整っていない。しかしながら、地形変化が激しく自然災害も多発する日本列島において、精密計測に基づく地形解析、変化速度の実測やメカニズムの解明はその機会も多く、広く実施されるべきである。そこで、TLSを用いた現地計測から後処理解析過程まで含めたプロトコルが必要である。

2. 研究の目的

本研究課題では、TLSを用いた地形データの取得プロセスと、その解析手法に関する一連の作業を含むプロトコルを地形学の立場から開発・確立し、様々な研究対象に適用できるスタンダードへ引き上げ、日本における地上レーザスキャンの研究拠点を形成することを目的とする。

具体的には、TLSの適用可能性を拓げるため、今後数年~数10年間に变化する可能性の高い地形や災害に関連する地形を対象とし、次の3点についてそれぞれ明らかにすることで、TLSによる高精細地形解析プロトコルを確立する。

1. 短・長距離型それぞれの TLS 機材を用いた、事象ごとに最適な現地計測法
2. 高解像度 DEM への最適な変換、解析方法を含めた、点群データの目的別処理手法
3. 事象別の地形分析、変化速度およびその支配要因、メカニズムの解析手法

段階1では、計測可能距離の異なる機材を準備し、様々な地形(岩盤河川、海岸、斜面崩壊、活断層等)を対象に実測を行い、それぞれの計測限界の検証や、最適な計測方法の選択基準を設ける。

段階2では、既存の3次元点群データ処理ソフトウェアと連携して、対象とする地形に適した点群データの解析手法、またGIS(地理情報システム)と親和性の高いDEM(デジタル標高モデル)への変換方法、アルゴリズム等を開発する。

段階3では、上記1~2に基づき、様々な事象における細密な地形分析、変化速度とその支配要因やメカニズム解明の手法に関し

て一連のプロセスをとりまとめ、オンラインデータベースなどに基本機能を実装し、TLSによる高精度・高解像度地形解析のプロトコルとして確立、公開する。

さらに、このプロトコルに基づき、機材、データ取得方法および解析手法を全国の地形・地質研究者と共同研究として共有することにより、地上レーザスキャニングの地形学および関連領域における研究拠点を形成することを旨とする。

TLSの登場により、従来の手法では考えられなかった程の高解像度・高精度な地形データの取得が可能となったが、その計測手法や解析手法まで含めた一連のプロセスについて、世界の中でも地形変化速度の特に大きい地域である日本列島において適用し、そのプロトコルを確立することで、TLSが多くの日本の地形学及び関連する分野の研究者間に普及し、その適用範囲が劇的に広がることを期待される(図2)。これにより、地形学を含む地球表層プロセスの研究分野において、先行する欧米を凌駕する研究が、日本から数多く発信されるようになることが期待される。

また本研究においては、岩盤河川、斜面崩壊、海岸侵食といったいくつかの対象で実測と解析を行いプロトコルの確立を目指す。その過程で、それぞれ対象とする地形の形状的特徴、変化速度やその支配要因、メカニズムの解明が結果として付随し、新たな成果がいくつも創出される可能性がある。

さらに、変化の起こる可能性の高い地形(侵食が進行中の滝、海岸、崩壊危険度の高い斜面、活断層)を対象とすることにより、原状を高精密地形データとして記録しておくことが、将来的にその場所で突発的な変化や災害が発生した際の貴重なアーカイブとなりうる。このような地形データアーカイブの拡充と公開・共有の実施は、長期的にみても重要な課題である。

### 3. 研究の方法

TLSの地形学的応用プロトコル確立と研究拠点形成のため、以下の3段階に基づいて本研究課題を実施する。

1. 実際の地形に対する現地計測の実施(岩盤河川、海岸侵食、津波侵食、活断層、斜面崩壊等)
2. データ取得から解析手法までの検証, 現地計測・後処理技術のマニュアル化
3. データベース・データ処理共有システムの構築と共同研究拠点の形成

段階1では、実際に地形学研究にTLSを適用することにより、その応用可能性を検証しつつ広く事例研究を行う。またTLSを地形研究で普及させるためには、段階2の実地形に対する機材操作・データ後処理手順の検証と標準化は不可欠なステップである。さらに段階3として、TLSを効率的に地形学・地球表層科学研究に適用できるように、共同研究の拠点として機能するシステムを構築する。

段階1の現地計測として、次に挙げる現地計測をそれぞれ実施する。

- ・対象：岩盤河川(栃木県華厳滝、千葉県房総半島南部)、斜面崩壊地(紀伊半島)、海岸侵食(沖縄県八重山諸島)、津波被災地(岩手県重茂半島)、活断層・泥火山(新潟県栄村付近)など。

- ・頻度：活発な地形変化が見込まれる場合、同地点を年1~数回。それ以外は1回。

段階2として、計測データを用いた解析手法の検証、すなわち地形変化速度の算出や支配要因の解明、現象ごとのモデルフィッティングによるメカニズムの検討などを行う。

段階3として、取得したTLSデータ(点群および変換後のDEM)をウェブシステムに逐次投入し、共同研究者間での共有を図る。ここでは、全国共同利用・共同研究拠点であるCSISの特色を生かし、CSISの共同研究利用システムと連携する。さらに、関連する研究者間でTLS利活用ワークショップを開催する。これによりTLSの地形学における潜在的な需要を明らかにし、また実際の研究事例から現地計測、データ処理における問題点を議論し、その解決策を求める。将来的に、TLSによる現地計測からデータ、解析ツールまで全国の研究者が無償で利用できるシステムの持続可能な運営を目指す。

### 4. 研究成果

本研究の目的に即し、研究成果を以下の3点に区分してまとめる。上付き数字は成果リストと対応する。

- (1) 現地計測による地形変化・形状特徴の解明  
地形変化の生じる場所におけるTLSの精密計測を行うことにより、その場の詳細な地

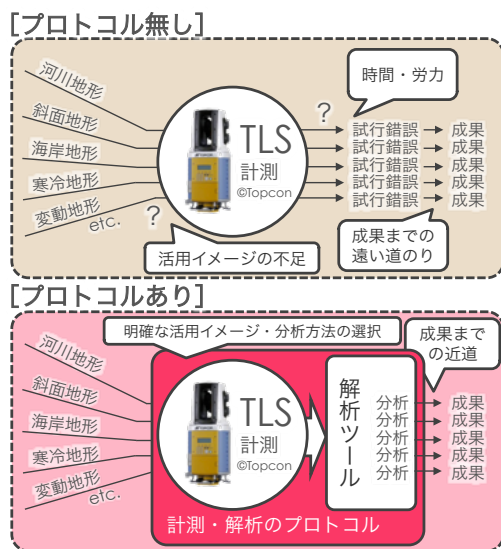


図2. TLS計測・データ解析におけるプロトコルの有無と研究の流れの相違。

形的特徴が明らかになるとともに、同地点を繰り返し計測することにより、変化箇所抽出も行える。栃木県日光市の華厳滝においては、滝周辺の崖面の詳細な形状を TLS により計測し、これまで明らかにされていなかった華厳滝崖面を初めて定量的な計測データとして取得できたとともに、その斜面安定解析から滝の長期的な地形変化プロセスを議論した<sup>[36]</sup>。また、およそ年に一度の計測を継続し、時系列データとして崖面の落石箇所等を抽出することに成功した<sup>[26]</sup>。新潟県十日町市室野の泥火山においては、その形状を TLS を用いて計測する手法を確立した上で<sup>[12]</sup>、地震に起因する変動および平穏時に生じる変動の双方を、複数時期に渡る現地計測から時系列データとして解析し、泥火山の変動メカニズムについて議論した<sup>[8]</sup>。岩手県宮古市姉吉の谷を中心に、東北地方の三陸リアス海岸においては、2011年東北地方太平洋沖地震にともなう津波が原因となる岩石海岸の斜面崩壊および岩盤侵食が発生した地点において、TLSを用いた現地計測によりそれらの詳細な形状的特徴を明らかにし、長期的に繰り返し襲来する津波が岩石海岸の地形変化に及ぼす影響について議論した<sup>[20,24,34]</sup>。静岡県安倍川上流域の大谷崩一ノ沢においては、急峻な谷頭の土石流発生域における谷地形の TLS 計測を繰り返し実施し、堆積物の量や表面形状に関する季節変動を明らかにし、土石流発生条件との比較検討を行い、中下流域における土砂災害防止のための基礎情報として提供した<sup>[6,14]</sup>。千葉県いすみ市太東崎における岩石海岸の陸繋島(通称・雀島)においては、小型無人航空機(UAS)を用いた写真測量による3次元計測データと併用し、海食崖の侵食量と速度、プロセスを時系列データとして取得・解析することで明らかにした<sup>[1,27]</sup>。熊本県阿蘇市仙酔峡における斜面崩壊多発地域においては、豪雨および地震それぞれを起因とする斜面崩壊の形状的特徴について、UASによる計測データと併用して TLS による詳細な形状変化を時系列に取得解析し、斜面崩壊におけるメカニズムの相違に関する議論を行った<sup>[2,10]</sup>。埼玉県吉見百穴においては、洞窟壁面における風化による削剥を、TLSを用いて定量化し、水分や湿度条件などの影響を分析した<sup>[19]</sup>。これらの他にも、洞窟、砂丘、森林等においても、TLSを用いた3次元構造の計測を行い、形状的特徴および時系列変化について解析を進めた。

## (2) データ取得から解析手法プロトコル生成

TLSや関連する計測手法に関して、前述の現地計測による研究成果に加え、既存の研究事例について、開発された研究解析手法やそのさまざまな適用に焦点をおき、総説論文等としてとりまとめた<sup>[15,16,36]</sup>。

また、高精細地形情報の分析ツールとして、デジタル地形データから特徴的な地形(遷急区間や流れ山等)を定量的に自動抽出するア

ルゴリズムを開発し、そのGIS拡張機能としての実装を行った<sup>[5,8,18]</sup>。さらに、TLSと並行して急速に普及したUASやSfM多視点ステレオ写真測量について、比較検討や連携的な適用を各種対象に実施した<sup>[21,25,29,30]</sup>。あわせて、TLSやUASを用いた地形空間計測に関するワークショップ・シンポジウムを複数回実施した。また、大型の地球科学系学会(European Geosciences UnionおよびJapan Geoscience Union)等において、関連技術の地形学・地球科学的応用事例の研究発表を集積するテーマ特定型セッションを実施し、関連する研究者間での情報共有や発展的議論を行うとともに、それぞれの学術団体が発行する国際学術誌(Natural Hazards and Earth System Science および Progress in Earth and Planetary Science)における特集号を企画・編集した。これらの活動により、TLSをはじめ高精細地形情報に関する多様な研究事例を分野横断的に集約し、データの取得、解析、活用という一連のプロトコルを研究者間で共有するに至った。その応用分野の一例は考古学や第四紀学であり、考古学調査における地形・環境計測への適用や、周辺地域の古環境・古災害の調査研究にTLS・UAS等による高精細地形情報を活用した<sup>[3,12,32,35]</sup>。

## (3) 共同研究によるデータ共有

高精細地形情報の学際的な活用の発展をめざし、本プロジェクトで取得したデータの研究利用のための公開環境を整備した。具体的には、東京大学空間情報科学研究センターにおいて実施されている共同研究の枠組みにおいて、共同研究利用システム(JoRAS)のシステム開発と運用に寄与した<sup>[4,7]</sup>。また、JoRASのデータ共有プラットフォームにおいて、本プロジェクトで得た高精細地形情報データセットを順次登録し、3Dデータをウェブブラウザ上で閲覧できるシステム改修をJoRASにおいて行った。こうした研究用にオープンとされた高精細地形データを用いた共同研究を多数実施することで、多様な目的での学際的な利活用を推進した。

## 5. 主な発表論文等(研究代表者には下線)

[雑誌論文](計37件)(査読つきのみ)

1. Obanawa, H., Hayakawa, Y.S. (in press) Variations in volumetric erosion rates of bedrock cliffs on a small inaccessible coastal island determined using measurements by an unmanned aerial vehicle with structure-from-motion and terrestrial laser scanning. Progress in Earth and Planetary Science.
2. Saito, H., Uchiyama, S., Hayakawa, Y.S., Obanawa, H. (2018.03) Landslides triggered by an earthquake and heavy rainfalls at Aso Volcano, Japan, detected by UAS and SfM-MVS photogrammetry. Progress in Earth



- and Planetary Science, 5, 15. doi:10.1186/s40645-018-0169-6
3. Hayakawa, Y.S., Yoshida, H., Obanawa, H., Naruhashi, R., Okumura, K., Zaiki, M., Kontani, R. (2018.02) Characteristics of debris avalanche deposits inferred from source volume estimate and hummock morphology around Mt Erciyes, central Turkey. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18, 429-444. doi:10.5194/nhess-18-429-2018
  4. 藤田秀之・早川裕式・李 召熙・相良 毅 (2017.12) 空間データ基盤を活用する共同研究支援システムの構築－東京大学空間情報科学研究センターにおける長期運用から－. *GIS 理論と応用*, 25 (2), 7-14.
  5. Hayakawa, Y.S., Yoshida, H., Dragut, L., Oguchi, T. (2017.11) Automated extraction of hummocks in debris avalanche deposits using DEMs: A case study at Mt. Gassan, northwest Japan. *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementary Issues*, 61 (2), 199-212. doi:10.1127/zfg\_suppl/2017/0361
  6. Imaizumi, F., Hayakawa, Y.S., Hotta, N., Tsunetaka, H., Ohsaka, O., Tsuchiya, S. (2017.11) Relationship between the accumulation of sediment storage and debris-flow characteristics in a debris-flow initiation zone, Ohya landslide body, Japan. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 17, 1923-1938. doi:10.5194/nhess-17-1923-2017
  7. Hayakawa, Y.S., Fujita, H., Lee, S., Sagara, T. (2017.08) Developing a data-sharing system for geospatial research: A case study on the Joint Research Assist System (JoRAS). *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research*, 12, 141-160.
  8. Zahra, T., Paudel, U., Hayakawa, Y.S., Oguchi, T. (2017.04) Knickzone Extraction Tool (KET) - A new ArcGIS toolset for automatic extraction of knickzones from a DEM based on multi-scale stream gradients. *Open Geosciences*, 9 (1), 73-88. doi:10.1515/geo-2017-0006
  9. Hayakawa, Y.S., Kusumoto, S., Matta, N. (2017.02) Seismic and inter-seismic ground surface deformations of Murono mud volcano (central Japan): A laser scanning approach. *Progress in Earth and Planetary Science*, 4 (1), 3. doi:10.1186/s40645-016-0116-3
  10. 齋藤 仁・内山庄一郎・小花和宏之・早川裕式 (2016.11) 平成 24 年 (2012 年) 7 月九州北部豪雨に伴う阿蘇火山地域での土砂生産量の推定-UAV と SfM 多視点ステレオ写真測量を用いた高精度地形データの活用－. *地理学評論*, 89 (6), 1-13.
  11. 早川裕式・小花和宏之 (2016.10) 小型無人航空機を用いた SfM 多視点ステレオ写真測量による地形情報の空中計測. *物理探査*, 69 (4), 297-309. doi:10.3124/segj.69.297 pdf
  12. Kondo, Y., Miki, T., Kuronuma, T., Hayakawa, Y.S., Kataoka, K., Oguchi, T. (2016.08) Concurrent and sustainable development of a local-scale digital heritage inventory through action research at Bat, Oman. *Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development*, 6 (2), 195-212. doi:10.1108/JCHMSD-01-2016-0005
  13. Hayakawa, Y.S., Kusumoto, S., Matta, N. (2016.07) Application of terrestrial laser scanning for detection of ground surface deformation in small mud volcano (Murono, Japan). *Earth, Planets and Space*, 68, 114. doi:10.1186/s40623-016-0495-0
  14. Hayakawa, Y.S., Imaizumi, F., Hotta, N., Tsunetaka, H. (2016.07) Towards long-lasting disaster mitigation following a mega-landslide: high-definition topographic measurements of sediment production by debris flows in a steep headwater channel. In: Meadows, M., Lin, J.-C. (eds.) *Geomorphology and Society (Advances in Geographical and Environmental Sciences Series)* Springer, 125-147. doi:10.1007/978-4-431-56000-5\_8
  15. Yunus, A.P., Oguchi, T., Hayakawa, Y.S. (2016.07) Remote identification of fluvial knickzones and their imprints on landscape morphology in the passive margins of Western Arabia. *Journal of Arid Environments*, 130, 14-29. doi:10.1016/j.jaridenv.2016.02.016
  16. 早川裕式・小花和宏之・齋藤 仁・内山庄一郎 (2016.07) SfM 多視点ステレオ写真測量の地形学的応用. *地形*, 37 (3), 321-343.
  17. 早川裕式・小口 高 (2016.06) 地形学における地上レーザ測量の活用. *地学雑誌*, 125 (3), 299-324. doi:10.5026/jgeography.125.299
  18. Paudel, U., Oguchi, T., Hayakawa, Y. (2016.05) Multi-resolution landslide susceptibility analysis using a DEM and Random Forest. *International Journal of Geosciences*, 7 (5), 726-743. doi:10.4236/ijg.2016.75056
  19. Hayakawa, Y.S., Oguchi, C.T., Ariga, N., Aoki, H. (2015.09) Spatial distribution of changes in rockwall surface at Yoshimi-Hyakuana cave, central Japan, revealed by repeated terrestrial laser scanning. *Procedia Earth and Planetary Science*, 15, 619-626. doi:10.1016/j.proeps.2015.08.114
  20. Hayakawa, Y.S., Oguchi, T., Saito, H., Kobayashi, A., Baker, V.R., Pelletier, J.D., McGuire, L.A., Komatsu, G., Goto, K. (2015.08) Geomorphic imprints of repeated tsunami waves in a coastal valley in northeastern Japan. *Geomorphology*, 242, 3-10. doi:10.1016/j.geomorph.2015.02.034
  21. Gomez, C., Hayakawa, Y.S., Obanawa, H. (2015.08) A study of Japanese landscapes using Structure from Motion derived DSMs and DEMs based on historical aerial photographs: New opportunities for vegetation monitoring and diachronic geomorphology. *Geomorphology*, 242, 11-20. doi:10.1016/j.geomorph.2015.02.021
  22. Hayakawa, Y.S., Yoshida, H., Dragut, L., Oguchi, T. (2015.06) Comparative analysis of manual and automatic extractions of hummock landforms in Mt. Gassan, northwestern Japan. In: Jaroslaw, J., Zwoliński, Z., Mitsova, H., Hengl, T. (eds.) *Geomorphometry for Geosciences*. Adam Mickiewicz University in Poznań - Institute of Geoecology and Geoinformation, International Society for Geomorphometry (Poznań, Poland), 51-52.
  23. Yener, K.A., Kulakoglu, F., Yazgan, E., Kontani,

- R., Hayakawa, Y.S., Lehner, J.W., Dardeniz, G., Öztürk, G., Johnson, M., Hacı, A. (2015.06) New tin mines and production sites near Kültepe in Turkey: a third-millennium BC highland production model. *Antiquity*, 89 (345), 596-612. doi:10.15184/aqy.2015.30
24. 早川裕弐・小口 高・齋藤 仁・小林明才・小松吾郎・後藤和久 (2015.04) 三陸海岸における津波による侵食地形の特徴：地上レーザ測量による解析. *地学雑誌*, 124 (2), 241-258. doi:10.5026/jgeography.124.241
25. 小花和宏之・早川裕弐・加藤 颯・ゴメスクリストファー (2015.04) 小型無人航空機および単独測位 GNSS 搭載カメラを用いた簡易的な地形測量手法. *地形*, 36 (2), 87-106.
26. Hayakawa, Y.S., Obanawa, H. (2015.03) Mapping cliff face changes around a waterfall using terrestrial laser scanning and UAS-based SfM-MVS photogrammetry. *Proceedings of The International Symposium on Cartography in Internet and Ubiquitous Environments 2015*, C5.
27. Obanawa, H., Hayakawa, Y.S. (2015.03) High-resolution topographic survey using small UAV and SfM-MVS technologies in hardly accessible area. *Proceedings of The International Symposium on Cartography in Internet and Ubiquitous Environments 2015*, C4.
28. Korup, O., Hayakawa, Y., Codilean, A.T., Matsushi, Y., Saito, H., Oguchi, T., Matsuzaki, H. (2014.08) Japan's Sediment Flux to the Pacific Ocean Revisited. *Earth-Science Reviews*, 135, 1-16. doi:10.1016/j.earscirev.2014.03.004
29. 小花和宏之・早川裕弐・ゴメスクリストファー (2014.07) 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.
30. 小花和宏之・早川裕弐・齋藤 仁・ゴメスクリストファー (2014.04) UAV-SfM 手法と地上レーザ測量により得られた DSM の比較. *写真測量とリモートセンシング*, 53 (2), 67-74. doi:10.4287/jsprs.53.67
31. Yunus, A.P., Oguchi, T., Hayakawa, Y.S. (2014.04) Morphometric analysis of drainage basins in the western Arabian Peninsula using multivariate statistics. *International Journal of Geosciences*, 5 (5), 527-539. doi:10.4236/ijg.2014.55049
32. Kontani, R., Sudo, H., Yamaguchi, Y., Hayakawa, Y.S., Odaka, T. (2014.03) An archaeological survey in the vicinity of Kültepe, Kayseri Province, Turkey. In: Atici, L., Kulakoğlu, F., Barjamovic, G., Fairbairn, A. (eds.) *Current Research at Kültepe-Kanesh: An interdisciplinary and integrative approach to trade networks, internationalism, and identity*. *Journal of Cuneiform Studies Supplemental Series*, 4, Lockwood Press, 95-106.
33. Hattanji, T., Ueda, M., Song, W., Ishii, N., Hayakawa, Y.S., Takaya, Y., Matsukura, Y. (2014.01) Field and laboratory experiments on high dissolution rates of limestone in stream flow. *Geomorphology*, 204, 485-492. doi:10.1016/j.geomorph.2013.08.027
34. Komatsu, G., Goto, K., Baker, V.R., Oguchi, T., Hayakawa, Y.S., Saito, H., Pelletier, J.D., Mcguire, L., Iijima, Y. (2014.01) Effects of tsunami wave erosion on natural landscapes: Examples from the 2011 Tohoku-oki Tsunami. In: Y. Kontar, V. Santiago-Fandiño, T. Takahashi (eds.), *Tsunami Events and Lessons Learned; Environmental and Societal Significance*. Springer, pp. 243-253. doi:10.1007/978-94-007-7269-4\_13
35. Nishiaki, Y., Guliyev, F., Kadowaki, S., Arimatsu, Y., Hayakawa, Y., Shimogama, K., Miki, T., Akashi, C., Arai, S., Salimbeyov, S. (2013.12) Hacı Elamxanlı Tepe: Excavations of the earliest Pottery Neolithic occupations of the Middle Kura, Azerbaijan, 2012. *Archäologische Mitteilungen aus Iran und Turan*, Dietrich-Reimer-Verlag, 45, 1-25.
36. Hayakawa, Y.S. (2013.08) Stability analysis of cliff face around Kegon Falls in Nikko, eastern Japan: an implication to its erosional mechanisms. *International Journal of Geosciences*, 4 (6A2), 8-16. doi:10.4236/ijg.2013.46A2002
37. Oguchi, T., Wasklewicz, T., Hayakawa, Y.S. (2013.05) Remote data in fluvial geomorphology: characteristics and applications. In: Shroder, J. (ed.) *Treatise in Geomorphology vol. 9: Fluvial Geomorphology*. Academic Press, Elsevier, 711-729. doi:10.1016/B978-0-12-374739-6.00262-1

[学会発表] (計 51 件)

(2013 年 5 件, 2014 年 5 件, 2015 年 16 件, 2016 年 11 件, 2017 年 14 件)

[図書] (計 1 件)

1. 早川裕弐 (2017.02) 「河川縦断形異常」「遷急点」「滝」「オンライン地形表示ツール」他. In: 鈴木隆介・松倉公憲・砂村継夫 (編) 「地形の辞典」朝倉書店.

[その他]

「地形鮮明化プロジェクト」ウェブサイト

<http://topography.csis.u-tokyo.ac.jp/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

早川 裕弐 (HAYAKAWA, Yuichi S.)

東京大学・空間情報科学研究センター・

准教授

研究者番号：70549443