

日本地形学連合発表要旨集

JGU Meeting Abstracts

vol. 3, no. 1

2022年12月



日本地形学連合

日本地形学連合 2022 年秋季大会

期日：2022 年 11 月 5 日（土）～6 日（日）

開催方式：ハイブリッド方式

現地会場：北海道大学

The Fall Meeting of Japanese Geomorphological Union in 2022

Dates: November 5th (Saturday) to 6th (Sunday), 2022

Meeting format: Hybrid (In-person and online)

Onsite venue: Hokkaido University

口 頭 発 表

International Symposium on “Engineering Geomorphology”

S01

Characterizing risk from post-fire debris-flow hazards

Thad WASKLEWICZ (Stantec, USA), Rick GUTHRIE (Stantec), Graham KNIBBS (Stantec), Peter CROWTHER (Stantec), David SUTLEY (Dewberry), Jonathan PINK (Dewberry), Shane PUTNAM (Dewberry)

Landslide analyses have played a prominent role in engineering geomorphology. Engineering geomorphologists have focused on geomorphic and geohazard mapping using fieldwork, historic maps and photos, and other remote sensing data. The focus has been on capturing surface form to identify potential hazardous locations and inferring potential causal mechanisms for geohazards associated with pipelines, roadways, tunnels, and commercial and residential development. A more recent focus has been on the predicting landslide runout, inundation, likelihood, and the associated risk with an eye towards designing mitigation, informing zoning and building codes, and development of emergency response and evacuation plans. Here, we use debris flow modeling to investigate potential risks across the entire burn area immediately following nine different wildfires occurring between 2020 and 2021 in Colorado. Publicly available data sets are used to develop a credible post-wildfire debris flow scenario to guide the modeling and assess the debris flow hazard in space and time. A calibrated model using a Monte-Carlo simulation captures the potential variability in the runout, maximum depth, volume, and probability within each wildfire. Models runs consist of five different sets of randomly assigned initiation points. Each set of initiation points generates 50 debris flows to produce a total of 250 debris flows within prioritized watersheds within each wildfire. Hazard assessment data are integrated with consequence data to evaluate a risk cost to structures and a risk cost proxy for roadways in the nine wildfires. Roadways in the Grizzly Creek and East Troublesome Fires corresponded well with known debris flows impacting roads in the 2021. High correspondence indicates scenario development, modeling, and risk analysis properly would have properly identified the debris flow risk along the roadways. Numerous buildings were impacted by potential debris flows in the East Troublesome and Cameron Peak Fires. Identified risk categories ranged from lowest to highest in the Cameron Peak Fire and from the lowest to the second highest ranking in the East Troublesome Fire. Modeled debris flow volumes when compared USGS volumes for the same locations showed the USGS volumes were consistently higher. Volume disparities were consistent across different size watersheds and between the different fires. In summary, a valid and comprehensive approach to rapidly evaluating debris flow risk following wildfire has resulted from this study.

International Symposium on “Engineering Geomorphology”

S02

Effect of water level fluctuation on the sediment transport and landform development in the river mouth

Naoko NAGUMO (Public Works Research Institute, Japan)

Periodic water level fluctuations in the river mouth caused by monsoonal rainfall and extreme tidal action cause the backwater and drawdown effects to flood flows, affecting sediment transport in river channels. This presentation will explain the results of examinations of how such influences act on the landform development, particularly the formation of river channels. First, the characteristics of river channels in the river mouth in Japan and Southeast Asia are overviewed, and the Stung Sen River, a tributary of the Lake Tonle Sap in Cambodia is taken up as a river with seasonal water level fluctuations in the river mouth. In addition, the rivers flowing into the Ariake Sea in Japan are treated in this presentation, as examples of rivers with water level fluctuations due to strong tidal action in the river mouth.

Keywords: Sediment transport, Channel width, Water level fluctuations, River mouth

International Symposium on “Engineering Geomorphology”

S03

Apply geomorphology — A reading landscape movements in Taiwan

Jiun-Chuan LIN (National Taiwan University, Taiwan)

This study is mainly focus on how to improve the application of Geomorphological education. The main purpose is trying to (1) promote high school students to have a better understanding of landforms and landscapes of Taiwan; (2) help/improve geography and earth science courses in the high school; (3) improve the contents and quality of environmental education.

To achieve above purposes, the strategy is (1) to provide in serve training for high school teachers and they can know how to teach their students to read the characters of local landscape around students' home town, (2) to attract students to join this program and add their works on their learning career report. They will need it as reference when they want to apply to get into universities, (3) to raise funding for 100 teachers and 100 students, who win the competition of reading landscape in the next 3 years, to visit Geoparks and National Parks of Japan when the travel restriction to Japan is released. Hopefully, 10% of high school students will eventually join this program.

Through learning characters of local geology, landforms, soil formation and profile, biodiversity, and geodiversity, together with local cultural activities, students could understand why, where and how the landscape conservation is important to the environment.

The reading landscape movements is still on the way. Hopefully the movement is another way to promote apply geomorphology in the future in Taiwan.

Keywords: Reading landscape, Apply geomorphology, Taiwan

International Symposium on “Engineering Geomorphology”

S04

Geomorphic processes and hazards of the M7.8 Kaikoura (New Zealand) earthquake

Tim STAHL (University of Canterbury, New Zealand)

The 2016 Kaikōura earthquake caused widespread geomorphic impacts across the northeastern South Island of New Zealand. Here, I explore the dramatic landscape influenced by the Kaikōura earthquake and discuss its evolution in response to active faulting. Field investigations and remote sensing of surface rupturing faults provide insights into (i) the transition between subduction and oblique continental collision and (ii) fault displacement hazard. Off-fault deformation zones spanned hundreds of metres and discrete fault displacements were in some places distributed on traces >2 km across strike, highlighting the complex kinematics of faulting and its hazard implications. Coseismic landslides clustered near surface rupturing faults and there is evidence that rock mass damage and/or uncharacterised seismic site effects within fault damage zones influenced the distribution of slope failures. Landslide susceptibility models may be improved by including a fault deformation zone width variable, where possible. Both fault rupture and landslides affected rivers draining some of the highest ranges outside the Southern Alps. In several places, fault rupture caused instantaneous avulsion of streams and in one instance diverted a major braided river. I show that the avulsion event and attendant flooding could have been anticipated using simple hydrodynamic models and pre-event paleoseismic data, lidar, and hydraulic constraints. Overall, this talk will provide an overview of the surface processes that occurred during one of New Zealand’s largest historical earthquakes and how they have advanced our understanding of coseismic hazards.

Keywords: Tectonic Geomorphology, Earthquake Geology

International Symposium on “Engineering Geomorphology”

S05

Rockfall susceptibility and seismically induced rockfall susceptibility at regional and national scale

Massimiliano ALVIOLI (Consiglio Nazionale delle Ricerche, Italy) and many others

Rockfalls pose a substantial threat in areas where steep topographies and cliffs, often found along roads and railway routes [1], exist. Approaches for the assessment of rockfall susceptibility range from statistical methods [2-6], suitable for modeling large areas, to purely deterministic ones, usually applied for local analyses [7]. Here, we describe application of a deterministic – or physically based – approach at national scale, either independently on the specific trigger or with explicit seismic forcing.

We apply the three-dimensional model STONE [8], using a data-distributed approach to obtain rockfall susceptibility on large areas. Requirements of the approach are digital elevation data, to run the numerical model, ancillary geological/lithological data, to estimate relevant terrain parameters, and information about observed rockfalls and seismic shaking maps, in the case of seismically induced events. STONE calculates the trajectories of falling boulders originating from user-defined source locations on a digital topography [8].

The foundation of the method inherits from the results of a collaboration between CNR IRPI, Perugia, and RFI, Gruppo Ferrovie dello Stato, in which we calculated rockfall susceptibility in a buffer along the entire Italian railway network [9]. The core of the method is a data-driven approach for the localization of potential rockfall sources regardless of a specific trigger, a relevant input of the model STONE. It relies on expert mapping of sample source locations in representative areas, statistically generalized to the national scale.

Here, we describe an evolution of the approach, devised to extend the method to a specific trigger, namely seismic shaking. We describe selective activation of such trigger-independent sources under the action of seismic shaking. Use of ground shaking maps including seismic amplification, based on site-specific microzonation dataset [10], allows tuning of model parameters with respect to past seismically induced rockfall events. We considered application at local scale [11], at regional scale for the events of Friuli (1976) [12], Umbria-Marche (1997) and L’Aquila (2009) events, in Italy, for which shake maps and rockfall inventories were available, and at national scale, using maps of maximum expected peak ground acceleration for given return times [13]. We argue that the approach is suitable for application in near-real time, after an earthquake event, as soon as ground-shaking maps are available.

- [1] Guzzetti et al., *Environ. Manag.* 34, 191 (2004). DOI:10.1007/s00267-003-0021-6
- [2] Frattini et al., *Geomorphology* 94, 419 (2008). DOI:10.1016/j.geomorph.2006.10.037
- [3] Tanyas et al., *Landslides* 16, 661 (2019). DOI:10.1007/s10346-019-01136-4
- [4] Tanyas et al., *Geomorphology* 327, 126 (2019). DOI:10.1016/j.geomorph.2018.10.022
- [5] Pokharel et al., *Scientific Reports* 11, 2133 (2021). DOI:10.1038/s41598-021-00780-y
- [6] Loche et al. *Earth-Science Rev.* 232, 104125 (2022). DOI:10.1016/j.earscirev.2022.104125
- [7] Santangelo et al., *NHESS* 19, 325. DOI:10.5194/nhess-19-325-2019
- [8] Guzzetti et al., *Comp. Geosci.* 28, 1079 (2002). DOI:10.1016/S0098-3004(02)00025-0
- [9] Alvioli et al., *Eng. Geology* 293, 106301 (2021). DOI:10.1016/j.enggeo.2021.106301
- [10] F. Mori et al., *Eng. Geology* 275, 105745 (2020). DOI:10.1016/j.enggeo.2020.105745
- [11] M. Alvioli, A. De Matteo et al. (2022). DOI: 10.1080/19475705.2022.2131472
- [12] M. Alvioli, A. Peresan, V. Poggi, C. Scaini, A. Tamaro, F. Guzzetti. In preparation
- [13] Alvioli et al. Preprint. DOI:10.2139/ssrn.4156514

Keywords: Rockfalls, Earthquake-Induced Landslides, Numerical Modeling

O01

Experimental demonstration of temperature variation sensing employing optical frequency-domain reflectometry based on Rayleigh backscattering aiming seepage flow monitoring in slopes

Ashis ACHARYA, Daiki TANIMURA (Graduate student, Shimane University), Chao ZHANG, Fumihiko ITO (Shimane University), Toshihiro SAKAKI (Limited Liability Company), Mitsuru KOMATSU (Okayama University), Issei DOI (Kyoto University), Tetsuya KOGURE (Shimane University)

Many of the existing temperature monitoring technologies have technical limitations such as low resolution, short sensing distances, and long acquisition time to obtain satisfactory measurement results. In recent years, attention has been focused on distributed fibre-optic sensing (DFOS) technology that can measure temperature and strain changes with high precision and high spatial resolution by compensating for the shortcomings of existing technologies. Therefore, in this study, we constructed a measurement system that can acquire data in an ultra-short time for a cable deployed in a cylindrical cement mortar specimen to perform distributed temperature measurements. A multiple-stranded optical cable composed of two reinforced steel wires and four colour-coded single-mode fibres (SMFs) was employed. A concrete mortar test specimen with a length of 200 cm and diameter of 70 mm was produced using a water and cement mixture with a weight ratio of 0.6 (w/c:0.6). Two similar cable types (one for heating and the other for temperature sensing) were implanted into the specimen during the cement casting spaced 1.5 cm apart. To hold the water that simulates groundwater flow inside the borehole, two rectangular polyethylene boxes were also inserted. The Rayleigh-based phase-noise compensated optical frequency-domain reflectometry (PNC-OFDR) sensing technology was employed to accumulate temperature variation measurements for seven different stages of the experimental phases with a spatial resolution of 0.03 m, a temperature resolution of 0.1 °C, and a data acquisition period of 2.5 ms (at a consecutive even voltage of 6.0, 8.0, 10, 12, 14, 16, and 18 V). A lower limit heating power (10 V) required to detect water activity for our experimental conditions was determined. The temperature of the water-supplied portion continued to change slowly due to the change in local temperature fields. This results in a noticeable difference between the temperature of the water supplied, and no water supplied sections. The amount of supplied heating power showed a significant impact on temperature change. Three distinct phases of temperature increment were observed for a given heating period: rapid, fast, and gentle increase. At low heating conditions, the data correlation also appeared to be enhanced. By offering a dense array of temperature data with better spatial resolution, high processing speed, and quick acquisition time, this innovative method of temperature monitoring has an advantage over conventional point-based temperature sensors. Further confirmation will be made following in-situ studies in monitoring natural slopes in the coming years.

Keywords: Temperature field monitoring, Water activity measurements, Optical fibres, Short acquisition time, Rayleigh backscattering, Phase-noise-compensation

O02

Mapping periglacial landforms in the Hokkai-daira plateau, Daisetsuzan National Park, Japan by UAS

Yu MENG (Graduate student, Hokkaido University), Teiji WATANABE (Hokkaido University), Yusuke KOBAYASHI, Ting WANG (Graduate student, Hokkaido University) Yuichi S. HAYAKAWA (Hokkaido University)

Periglacial regions are very active geomorphological areas where permafrost-related processes or frost activity predominate and present a broad spatial extent at about 25% of the earth's surface. Freeze-thaw operations produced a variety of unique periglacial landforms, which can be seen as a sensitive indicator of climate change. Therefore, studies on the geomorphology of periglacial landforms can provide an essential record of environmental change and reconstruct the paleoclimate. Japanese geomorphologists also recognized the value of researching periglacial environments and engaged in a great deal of research and debates. In Japan's periglacial environment, periglacial processes on the mountain slopes near crests exhibit localized heterogeneity due to the sizeable yearly variation in air temperatures and much snow accumulation in winter. The Daisetsuzan in central Hokkaido is one of the areas where periglacial landforms and phenomena finest evolved in Japan. Researchers have demonstrated the distribution of different types of patterned ground in Daisetsuzan, Hokkaido, in the 1960s. However, the geomorphic changes in periglacial landforms could be subtle and previous studies need to be supplemented with accurate high-resolution data and repetitive measuring, which were not easy then.

In recent years, the study of periglacial geomorphology has paid increased attention to new data technologies and modeling techniques. Unmanned aerial vehicles (UAVs) with optical equipment are increasingly employed since they can provide a significantly greater spatial resolution at a relatively low cost and high data-gathering adaptability compared to satellite or airborne-based sensing approaches. UAV-based structure-from-motion (SfM) photogrammetry with high resolution enables thorough investigations of landforms; however, it has hardly been applied to detect and quantify them in the Daisetsuzan area to our knowledge. So in this study, we aim to demonstrate the capabilities of using the UAV-SfM framework to map the complex periglacial landforms in Hokkaido and to evaluate the accuracy. We selected two study areas around the Hokkai-daira plateau, Daisetsuzan National Park, as our study areas, and the data we obtained will be used for further periglacial environmental studies and as a prelude to multi-temporal measuring in the regions.

Keywords: Periglacial landforms, Daisetsuzan National Park, UAV-SfM.

O03

Re-assessment of the susceptibility and spatial characteristics of landslides in Atsuma region after the 2018 Hokkaido Eastern Iburi Earthquake

Abdul Azim Muhammad ZULHILMI (Graduate student, Hokkaido University) and Yuichi S. HAYAKAWA (Hokkaido University)

The Atsuma region of Hokkaido, Japan, was devastated by a huge number of co-seismic landslides during the 2018 Hokkaido Eastern Iburi Earthquake. The anomalous formation of landslides in large numbers in the relatively gentle terrain of the southern end of the Yubari mountains is attributed to the volcanic tephra layer that covers the entire region. In terms of the spatial perspectives, it seems that there remain large chunks of area of Atsuma that maintained stability during the earthquake event. This research aims to re-assess the susceptibility of pre- and post-earthquake environments of Atsuma as well as attempt to elucidate the spatial distribution patterns of the landslides in the untriggered areas. The authors analyzed the attributes of non-landslide and landslide areas and identified that earthquake-related characteristics followed by slope gradient, elevation, and geological and tectonic conditions had a great influence on the initiation of co-seismic landslides in Atsuma. This information was used to explain the areas of non-landslide in Atsuma through zonal statistics. Based on machine learning, the authors subsequently generated pre-and post-earthquake landslide susceptibility maps based on Random Forest. Pre-earthquake susceptibility model utilized the readily available seismic data which allowed a closer simulated prediction of landslide locations in the pre-earthquake environment. The seismic data was not used for the post-earthquake condition. Based on the analysis of both environments, it was observed that the lack of seismic parameters yielded predictions of less numbers of landslides. Therefore, the deduction is that seismicity has a major influence on the formation of landslides in Atsuma.

Keywords: Co-seismic landslides, Susceptibility, Random Forest, Atsuma, Geospatial interpretation.

O04

2018年北海道胆振東部地震によるテフラ層すべりと残存率による広域斜面安定解析

Earthquake-induced tephra layered landslides and slope stability analysis by using the residual ratio

後藤 聡・大川原優希・小幡隼士（山梨大学）・石丸 聡・小安浩理（北海道立総合研究機構）・渡部直喜（新潟大学）

Satoshi GOTO, Yuki OKAWARA, Shunji OBATA (University of Yamanashi), Satoshi ISHIMARU, Hiromichi KOYASU (Hokkaido Research Organization), Naoki WATANABE (Niigata University)

2018年北海道胆振東部地震により北海道勇払郡厚真町や安平町でテフラ層すべりが広域にわたり発生した。ここで、Ta-aおよびTa-bは樽前火山から約300年前に飛来した樽前a,b降下火砕堆積物の略称、Ta-cも同じく約3000年前の樽前c降下火砕堆積物の略称、Ta-dも同じく約9000年前の樽前d降下火砕堆積物の略称である。厚真町東和地区・幌内地区・宇隆地区を対象に、現地調査を行い、テフラ層の層序・層厚を記載し、物理試験および力学試験用試料を採取した。乱れの少ない試料を用いて一面せん断試験を実施し、同じテフラ層でも場所が異なることによる一面せん断特性の相違について考察した。さらに、粒度試験を実施し、異なる場所における粒度特性の相違についても考察した。実際に堆積するテフラ層厚を現地調査で実測し、アイソパックマップ（火山噴出物の等層厚線図）により推定したテフラ層厚との比（残存率）および斜面傾斜角との関係について考察した。得られた斜面傾斜角と残存率の関係を用いて、土質試験結果も踏まえ、広域斜面における地震時安定解析を実施した。この斜面安定解析により崩壊斜面を抽出し、北海道胆振東部地震による実際の崩壊斜面と比較し、本手法の危険斜面抽出方法の有効性および課題点を考察することを本報告の目的とする。

キーワード：テフラ，テフラ層すべり，斜面安定解析，一面せん断試験，粒度試験，地震

O05

礼文島の 2014 年、2020 年豪雨による斜面崩壊と発生場の特徴

Features of slope failures caused by 2014 and 2020 heavy rainfall events in Rebun Island

石丸 聡・仁科健二・加瀬善洋・小安浩理・高見雅三・興水健一（北海道立総合研究機構）

Satoshi ISHIMARU, Kenji NISHINA, Yoshihiro KASE, Hiromichi KOYASU, Masazo TAKAMI, Ken'ichi KOSHIMIZU (Hokkaido Research Organization)

日本最北部に位置する礼文島は、寒冷地特有の緩斜面「周氷河斜面」が広く発達する。全国的に見ると極めて豪雨の少ないこの島で（2014 年以前の極値：最大日降水量 111 mm，最大 1 時間降水量 36 mm），2014 年と 2020 年に豪雨に見舞われ斜面崩壊が多発した。アメダス礼文観測所の記録によれば，2014 年豪雨では最大 1 時間降水量は 41 mm，総降水量は 207 mm に達し，1 日半かけて降水強度を次第に高めていった。一方，2020 年豪雨の総降水量は 175 mm で 2014 年豪雨には及ばないものの，最大 1 時間降水量は 50.5 mm に達し，過去最高を記録した。

崩壊形状や発生場の特徴から，斜面崩壊は次の 4 タイプに区分される。タイプ A：斜面表層を覆う黒土層を主体とした表層崩壊で，谷頭斜面や谷出口の谷壁斜面に多く発生した。タイプ B：厚い周氷河性斜面堆積物が円弧上にえぐられた崩壊で，淘汰の悪い角礫層に挟在する薄いシルト層が難透水層となり，その直上の水の集中が崩壊に寄与した可能性がある。タイプ C：段丘面にのる周氷河性斜面堆積物の基底部をすべり面とする崩壊で，段丘堆積物上にのるローム質のシルト層が難透水層となり，その上位に水が集中したため崩壊したとみられる。タイプ D：地すべり移動体の末端部がスランプしたもので，土塊は斜面上に残ることが多い。

2020 年豪雨は短時間に降水が集中したことにより，谷型の斜面を中心とした表層崩壊のタイプ A や地すべり移動体末端のタイプ D が大半を占めた。一方，2014 年豪雨では比較的長い時間の降水により，平滑～尾根型の周氷河斜面において深い形状のタイプ B，C が発生した。タイプ B，C では，流下する土砂量が多いため甚大な被害が生じた。

キーワード：周氷河斜面，周氷河性斜面堆積物，土石流堆積物，地すべり移動体，礼文島

O06

土砂災害予測基本図による地形変化検出とそれに基づく豪雨・地震による崩壊モデルの提案

A slope failure model induced by rainfall and earthquake events based on the observations of pre-post geomorphic changes detected by a geomorphic process map

齊藤隆志 (京都大学)

TAKASHI SAITO (Kyoto University)

LiDAR-1mDEM を用いて作成した土砂災害予測基本図 (特開 2019-127818) によって、土砂災害を発生させたいくつかの事例で現象前後の地形変化を検出した。現象の観測結果に基づき豪雨と地震による崩壊発生様式を検討し、その結果から崩壊モデルの提案をする。地形変化を検出した事例は、2011 年奈良県の台風 12 号による大規模な崩壊による災害、2014 年広島市安佐南区の土石流災害、2017 年九州北部の豪雨による斜面災害、2016 年熊本地震による地すべりや斜面崩壊、2018 年北海道東胆振地震による斜面災害である。この図は地形を詳細に 3 次元で示し視覚的に理解しやすく表現する特徴を有する。特に、侵食前線の位置を視覚的にとらえやすく谷ごとの削剥の程度・境界部が鮮明に表現される。さらに落水線上の地形諸量を図示することで、侵食前線の特長を定量的に取り扱うことが可能である。この図を利用すると崩壊の際の土塊の移動経路をその痕跡から追跡することが可能で、各土塊の崩壊の順を示すことが可能である。豪雨や地震により斜面崩壊や地すべりの土塊が移動を開始する端緒は、侵食前線の先端での破壊現象であり、その破壊が斜面上方に伝搬していく過程で斜面崩壊や地すべりが拡大したと考えることで説明できる場合が多かった。深層崩壊と呼ばれた大規模な崩壊は、小規模の崩壊の複合である場合もあり、豪雨のピークから大規模な崩壊の発生時間が遅れることはこの小規模の崩壊発生間に時間があることで説明ができる場合がある。崩壊の端緒に重要なパラメータは、侵食前線の位置とその形態およびその位置の周辺の傾斜、豪雨の場合はその位置周辺での落水線の集中度、地震の場合は地表の傾斜と振動方向、それを構成する物質の強度である。本研究は、2022 年度拠点間連携共同研究(2022-K-1-2-6)の援助を受けました。

キーワード：土砂災害予測基本図, LiDAR-1mDEM, 地形変化検出, 豪雨・地震斜面崩壊モデル

O07

鳥取県東部を流れる八東川の治水地形分類 ～2018年7月出水による護岸損壊集中箇所の原因～

Landform Classification for Flood Control of the Hattoh River in Eastern Tottori Prefecture - Causes of Concentrated Damages of Revetment due to Flooding in July 2018 -

江口知穂（鳥取大学・院）・小玉芳敬（鳥取大学）

Chiho EGUCHI (Graduate student, Tottori University), Yoshinori KODAMA (Tottori University)

八東川は千代川水系最大の支流で、鳥取県東部を流れる流路長 39.1 km、流域面積 417.3 m²の河川である。2018年7月7日から9日にかけて発生した西日本豪雨の際に八東川では、千代川合流点から18~20 km 上流の区間において護岸損壊が5箇所であった。この護岸損壊が集中した原因について杉本（2020）は砂礫堆に着目して検討し、波長の短い砂礫堆の形成による水流の集中が原因と指摘した。しかし谷底平野の微地形に着目した検討はなされていない。海津（2020）は、旧河道が各種災害の被災地になりやすいと指摘している。旧河道には洪水流が流れやすく、また湛水しやすく、液状化が起りやすいためである。そのため、旧河道と堤防が接する地点は、護岸損壊と密接な関係が予想される。本研究では、西日本豪雨（2018年7月出水）で護岸損壊箇所が集中した原因を旧河道などの微地形との関係から再検討することおよび、今後の防災・減災に活かすためにも、八東川流域における治水地形分類図を作成することを目的とした。谷底平野を流れる八東川区間の治水地形分類に関しては、空中写真判読と現地調査を繰り返し実施し、図化した。その際、国土地理院地図を用いて現河床との比高や地形の傾斜などを参考にした。堤防と旧河道の接点に着目した解析では、3 km区間毎に右岸と左岸に分けて旧河道の接合地点数を集計し、2018年7月出水の護岸損壊集中箇所との対比検討を行った。護岸損壊が起こった5地点のうち右岸側2地点及び左岸側1地点では確かに旧河道の位置とほぼ一致した。旧河道と堤防の接する地点数に着目すると、護岸損壊が集中した18~20 km区間よりも、右岸側では15~18 km区間で、左岸側では3~6 kmおよび12~15 km区間で多くの旧河道接合地点が確認できた。すなわち旧河道は、護岸損壊の素因となるが、短い波長の砂礫堆形成による水流の集中が直接的な誘因になったものと考えられる。

キーワード：西日本豪雨，護岸損壊，旧河道，砂礫床河川，砂礫堆，治水地形分類

O08

水文地形学に関する学際的研究会の紹介

Introduction of Interdisciplinary Study Group on Hydrogeomorphology Introduction of Interdisciplinary Study Group on Hydrogeomorphology

飯田智之（防災科学技術研究所（元））・谷 誠（京都大学（元））・内田太郎（筑波大学）・岩崎健太（森林総合研究所）

Tomoyuki IIDA (Former National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience), Makoto TANI (Professor Emeritus, Kyoto University), Taro UCHIDA (Tsukuba University), Kenta IWASAKI (Forest Research Institute)

昨年、水・水学会の研究グループとして「山地流出過程と地形発達過程の整合性を考える研究会」（代表：谷 誠）が立ち上げられ、オンライン研究会が既に4回開催された。水文地形学的課題の学際的解明を目指す本研究会には、多くの関連分野から150名以上もの参加登録がなされている。研究会では、毎回4、5人の話題提供の後に、総合討論と追加討論の時間が設定されており、そこでは普通の学会や研究会では避けられがちな本質的問題についても活発な議論がなされている。それらは、後日テーブル起こしがなされ会員に配布されているが、研究会後のメール討論も盛んである。

山地斜面水文学の分野では、多様な流出機構を観測によって明らかにする研究が精力的に行われてきた。その結果、降雨流出過程を支配する、地形・土壌・生態系から成る流域場は長い年月をかけて徐々に創り出されたものであり、それを含む水循環は流域場の形成過程における主要な要因であるとの認識が共有されるようになった。そして、水文学と地形学の共同研究の場として組織されたものが本研究グループである。いわば、水文学から水文地形学へのアプローチと言える。その際、1) 山地流出機構における鉛直浸透と傾斜方向流の水理学的性格の違い、2) 崩壊発生の threshold からみた流出過程と地形発達過程の整合性、3) 土壌層発達を可能にする排水構造と生態系の共進化、という3つの論点が設定され議論の活発化が促された。2) と 3) は水文地形学的課題であるが、1) は斜面水文学そのものの課題である。基盤浸透（漏水）やパイプ流といった流出経路の問題など、水文地形学的課題に進む前に、解明されるべき水文学プロパーの課題も多く残されていることが分かる。話題提供や議論の具体的内容は発表時に紹介する。

キーワード：水文地形学，学際，山地流出，地形発達，オンライン

O09

小流域の暫時流水に対して流域面積と流量のそれぞれをスケールに用いた水理-幾何変数のスケーリングを比較する

Comparison of hydraulic-geometric variable scaling using both scales of drainage area and discharge separately for ephemeral flows in a small basin

山本 博（農業・食品産業技術総合研究機構（元））・徳永英二（中央大学（元））・田村俊和（東北大学（元））・中尾誠司（農業・食品産業技術総合研究機構）・杉崎孝一郎（軽井沢自然地理研究会）

Hiroshi YAMAMOTO (National Agriculture and Food Research Organization (Former)), Eiji TOKUNAGA (Chuo University (Former)), Toshikazu TAMURA (Tohoku University (Former)), Seiji NAKAO (National Agriculture and Food Research Organization), and Kouichirou SUGIZAKI (Karuzawa Physical Geography Society)

流域面積と流量のそれぞれをスケールパラメータに用いるスケーリング関係を、おもに牧草地として土地利用される小流域（面積 $3.67 \times 10^5 \text{ m}^2$ ）で生じた二つの暫時流水の水理-幾何（H-G）変数に対して比較検討した。用いた H-G 変数は、入れ子状の流路測点で計測したピーク水位時の水路横断面形、草地の既往データを利用して得た粗度係数と関連要因との関係に現地の特性値を入れて Manning 則により推定した平均流速、およびこれらから計算した流量からなる五つの変数（水路の横断面積 a_x 、幅 w 、深さ d 、流速 v 、および流量 Q ）である。H-G 変数と流域面積との両対数図では、多くのデータ点が流域の上流地点で急激に増加し、つづいて緩やかに増加し屈曲する部分を経て、下流地点での線形の関係に漸近する。H-G 変数対流域面積のスケーリングは、スケーリング指数が大きく変化する地点間を指数の屈曲点と定義すると、屈曲点の流域面積（二暫時流水について $7.2 \times 10^4 \text{ m}^2$, $7.7 \times 10^4 \text{ m}^2$ ）より大きな流域面積をもつ測点では Q , a_x , w の変数に対してべき乗則を示すが、この屈曲点より小さい小規模流域を含めた測点に対しては取り上げたすべての変数が適合しない。流量をスケールとするスケーリングは、流域面積をスケールとする場合とは異なり、水路幅 w をのぞく a_x , d , v の変数に対して小～中規模の流域面積の広い範囲でべき乗則を示す。こうした結果は、最上流部の流域内で地中に浸透した雨水は屈曲部とその上流付近の水路区間に急激に排水されることを示す。したがって、流域面積をスケールとするスケーリングは、中規模流域で成り立つが、小規模流域では関係の成り立つ流域面積に下限が存在することが示唆される。

キーワード：スケーリング，流域面積，流量，小流域，暫時流水

O10

佐渡島における傾動隆起に伴う分水界の移動

Tilting uplift-induced divide migration in Sado Island

坂下輝匡（金沢大学・院）・遠藤徳孝（金沢大学）

Akimasa SAKASHITA (Graduate student, Kanazawa University), NORITAKA Endo (Kanazawa University)

流域の境界である分水界の移動が生じると、流域面積が変化し、結果的に流域地形発達に影響を与える。先行研究では、数値シミュレーションの結果から隆起速度、岩石侵食性、気候条件などの条件により侵食速度が変化した場合、分水界はそれで隔たれた2つの流域のうち侵食速度の遅い側へ移動することが示された。多くの要因により分水界を挟んだ侵食速度の変化が生じるが、その中でも非対称隆起（傾動隆起）は主要な要因であるとされ、その他の要因の影響を受けない場合、分水界は準定常状態に達するまで隆起速度の速い側へ移動する。しかし、海成段丘により傾動隆起が確認されている佐渡島においては、主要な分水界が、必ずしも先述した隆起速度の空間変化の傾向から推測される位置にない部分が見受けられる。そこで、佐渡島を構成する大佐渡と小佐渡の分水界の移動の傾向と現在の地形の形成要因について考察を行った。分水界の移動指標となる χ パラメータと分水界を挟んだ標高、勾配、起伏の値の差（Gilbert metrics）を用いて分水界の移動傾向を確認すると、分水界の移動を示す場所と示さない場所に分けられた。移動を示す場所では、傾動隆起から示唆される方向と一致した北西側への移動が進行中であることを示し、移動を示さない場所では準定常状態に達していると推定される。また大佐渡と小佐渡の一部で河川争奪の発生が確認できることから、佐渡島全域で分水界は過去北西側へ移動した可能性が高いと言える。このことから、現在の分水界の位置が中心、もしくは南東側に偏しているのは、現在の地形は傾動隆起に伴い形成された海成段丘による北西側の陸地の拡大と海食に伴う陸地の縮小の作用により、分水界移動とは別に、島全体の輪郭が変化した結果であると考えられる。

キーワード：分水界，隆起，河川争奪，佐渡島

O11

MIS3における北上山地北部・外山川源流における堆積段丘の形成様式と土砂収支

Formation of depositional terrace and sediments balance of headwater area of the Sotoyama River (northern part of the Kitakami Mountains, northeastern Honshu) during the Marine Isotope Stage 3

小松原 琢 (産業技術総合研究所)

Taku KOMATSUBARA (Geological Survey of Japan, AIST)

北上山地北部の標高約 700 m にある外山川の源流部には、厚さ数m以上の堆積物をもつ段丘が発達する (小松原ほか, 2021)。この段丘の堆積物は、有機質シルト層を挟有する成層状の砂礫層を主体とし、最上部の約 1m は灰白色粘土層からなる。砂礫層中の有機質シルト層からは 50340±710 yBP, 35060±190 yBP の年代値が得られた。また、最上部の灰白色粘土層中には To-Of (約 36 ka) が挟在する。砂礫層中の礫は、円磨された多種の礫からなり、インブリケーションが認められ、砂礫層全体として上方に細粒化傾向を持つ。

砂礫層中の有機質シルト層および灰白色粘土層の 5 層準について花粉分析を行ったところ、いずれの層準からも守田(1984)の「温帯要素」を伴う、針広混雑林を示す花粉組成が得られた。

この段丘堆積物の体積 (約 $1.2 \times 10^7 \text{ m}^3$) に相当する碎屑物を生み出すためには、外山川源流の堆積段丘発達地域 (流域面積 12 km^2) の山地斜面から、平均で厚さ 1 m の基盤岩が削剥される必要がある。一方、現在の浸食速度の推定値 (たとえば長谷川ほか, 2005) から、北上山地のような低起伏山地で 1 m 厚の削剥に要する時間は 1 万年程度と推算されるが、実際の段丘堆積物の堆積期は、これより相当長い可能性が高い。

以上は、MIS3 に北上山地高地源流域においても河成の堆積作用が働き、斜面から削剥された碎屑物が上流部に留まらず中～下流まで流出したことを示唆する。

文献

小松原ほか (2021) 季刊地理学, 73, 50-50.

守田 (1984) 第四紀研究, 23, 197-208.

長谷川ほか (2005) 自然災害科学, 24, 287-301.

キーワード : MIS3, 河成段丘, 堆積段丘, 土砂収支, D-O サイクル

O12

阿蘇火山中岳の地形的特徴と古地磁気学的手法による完新世噴火史の復元

Geomorphic features and reconstruction of Holocene eruptive history of Nakadake Volcano, Aso caldera using paleomagnetic method

宮縁育夫（熊本大学）・穴井千里（高知大学）・宇津木 充・吉川 慎（京都大学）・望月伸竜（熊本大学）・渋谷秀敏（同志社大学）・大倉敬宏（京都大学）

Yasuo MIYABUCHI (Kumamoto University), Chisato ANAI (Kochi University), Mitsuru UTSUGI, Shin YOSHIKAWA (Kyoto University), Nobutatsu MOCHIZUKI (Kumamoto University), Hidetoshi SHIBUYA (Doshisha University), Takahiro OHKURA (Kyoto University)

阿蘇カルデラの中で現在唯一活動を継続している中岳は、約 2.2~2.1 万年前に活動を開始したと考えられており、古期山体・新期山体・最新期火砕丘という 3 つの山体を形成してきた。その中で完新世に入ってからのは活動は、黒色砂状の本質火山灰を噴出する灰噴火を主体とし、8000~5000 年前頃に新期山体の溶岩流出を伴う複数回の噴火があったと推定されているが、その規模や詳細な年代など不明な点が多い。また、最新期火砕丘は 7 つの小火口が存在する複合火砕丘であるが、その形成時期についてはよくわかっていない。そこで筆者らは、古地磁気学的方法を用いて中岳の完新世噴出物の年代推定と高精度な噴火史の復元を試みた。

中岳火口周辺の溶岩流とアグルチネート（合計 11 サイト 17 ユニット）を対象に古地磁気方位測定を行った結果、中岳新期山体および最新期火砕丘の噴出物は 3 つの方位グループに分類でき、完新世には溶岩流出を伴うような噴火を少なくとも 3 回行ったことがわかった。また、すでに阿蘇火山完新世噴出物から得られている古地磁気永年変化曲線から、これらの 3 つの古地磁気方位は、約 6000 年前（方位 A）、約 4300 年前（方位 B）および約 3500 年前（方位 C）の方位と推定された。6000~4300 年前の時期には、5000 年前頃までに大規模な溶岩流出を起こしており（方位 A）、その後 4300 年前頃に再度溶岩を流出している（方位 B）。また、約 3500 年前の噴火は、現在の第 4 火口周辺に溶岩流および多量のスコリアを噴出してアグルチネートを形成している。この噴火は、中岳の最新期火砕丘を形成する初期の噴火である可能性が高く、その年代を推定できた意義は大きい。

キーワード：古地磁気方位、年代推定、噴火史復元、完新世噴出物、阿蘇火山中岳

特別セッション「山から海への地形的コネクティビティ —自然地理的視点から—」
(吉田英嗣会員追悼)

O13-SS

然別・東ヌプカウシヌプリの岩塊斜面における無人航空機を用いた地形・温度計測
と地形プロセスの推定

Estimation of geomorphological processes of blockslopes by UAS-based topographic and
thermal measurements in Mt. Higashinupukaushinupuri, Shikaribetsu (Hokkaido, Japan)

早川裕式 (北海道大学)・小花和宏之 (北海道農業研究センター)・渡辺悌二 (北海道大学)・王
婷・小林勇介・ファティマ チャウドハリ (北海道大学・院)

Yuichi S. HAYAKAWA (Hokkaido University), Hiroyuki OBANAWA (Hokkaido Agricultural Research
Center), Teiji WATANABE (Hokkaido University), Ting WANG, Yusuke KOBAYASHI, Fatima
CHAUDHARY (Graduate student, Hokkaido University)

山地に分布する岩塊斜面は、寒冷地においては内部に永久凍土をもつものもあり、冷風を涵養する場となったり、動物の生息域となったりする。しかし、岩塊斜面の地形的な形成要因については、たとえば周氷河作用か重力変形かといった議論がなされてきているものの、成因や卓越する物質移動プロセスの詳細を特定するには多面的な検討が必要である。このために、無人航空機に搭載したセンサを用いた高精細地表計測、すなわち可視画像による SfM 写真測量、Lidar によるレーザ測量、熱赤外センサによる温度計測を行い、岩塊のサイズや形状、その分布状況やロウブ状起伏、低木群落の分布、および表面温度の分布を面的に把握し、岩塊斜面の現況を詳細に把握する。これにより、岩塊の面的分布は既往研究によって指摘されてきた以上に複雑である一方、巨礫の軸の方向などから岩塊の系統的な移動を示唆する情報も得られた。

なお本研究成果は、故・吉田英嗣氏が主導で行われた岩塊斜面の研究の一部を含み、氏の地形学における広範な功績に心から敬意を表するとともに、謹んで哀悼の意を表します。

キーワード：無人航空機、SfM 多視点ステレオ写真測量、レーザ測量、温度分布、重力変形、周氷河作用

特別セッション「山から海への地形的コネクティビティ –自然地理的視点から–」
(吉田英嗣会員追悼)

O14-SS

日中・夜間におけるドローンレーザー計測の結果比較と問題点

Results and problems of the drone laser metrology measured in daytime and night

土志田正二・新井場公德・天野久徳（消防研究センター）・千田良道・原 太一（中日本航空株式会社）

Shoji DOSHIDA, Kiminori ARAIBA, Hisanori AMANO (NRIFD), Yoshimichi SENDA, Taichi HARA (NAKANIHON AIR Co., Ltd.)

土砂災害の救助活動では、再崩壊や土砂ダムの決壊による土石流などの二次被害の危険性を把握するため、災害後の地形情報が求められる。近年ドローンの活用もあり、広域で迅速な情報収集が可能となってきたが、基本的には可視カメラであり夜間時の運用は難しい。本研究では、夜間時でも計測可能な 3D スキャナを搭載したドローン（ドローンレーザー）を用いて、広域の地形情報の収集を試み、日中・夜間における計測結果の比較と、運用の問題点について整理した。

本研究で用いたドローンレーザーはドローン（PD6B-TYPE3C：プロドローン社）に 3D スキャナ（VUX-SYS：RIEGL 社）を搭載している。また、災害現場での利用を想定し、現場で短時間（データ取得から 30 分以内）に簡易な操作で地図化まですることができる「現場対応型点群データ解析ソフトウェア」を開発し運用している。日中・夜間のドローンレーザー計測の実証試験は、愛知県豊田市藤岡ヘリポートで実施した。

日中・夜間計測を比較した結果、ほぼ同様の地形データを取得することができた。これは広域の情報を得ることが困難であった夜間時において、ドローンレーザーを用いることで地形情報の取得が可能であることを示している。しかし、夜間計測時の運用の問題点としては、ドローン離着陸時や飛行中に周囲の目視情報量が著しく不足することである。特に電線などの架線はほぼ視認不可であった。土砂災害現場など高低差が大きい場所での運用には特に注意が必要になると考えられる。以上のことから、現時点では夜間時に初見の場所でのドローンレーザーの運用には課題も多いが、救助活動の長期化の際の夜間時の安全管理などには利用可能と考えられる。

キーワード：ドローンレーザー計測，夜間計測，土砂災害，救助活動

特別セッション「山から海への地形的コネクティビティ —自然地理的視点から—」
(吉田英嗣会員追悼)

O15-SS

ルーマニアのマスムーブメントに関する国際共同研究

International collaborative research on mass movements in Romania

小口 高 (東京大学) ・早川裕弼・笠井美青 (北海道大学) ・河本大地 (奈良教育大学) ・飯塚浩太郎 (東京大学) ・Lucian Dragut (ティミショアラ西大学) ・Mihai Micu (ルーマニアアカデミー地理研究所)

Takashi OGUCHI (The University of Tokyo), Yuichi S. HAYAKAWA, Mio KASAI (Hokkaido University), Daichi KOHMOTO (Nara University of Education), Kotaro IIZUKA (The University of Tokyo), Lucian DRAGUT (West Timisoara University), Mihai MICU (Romanian Academy)

ルーマニアでは山地・丘陵地・低地がそれぞれ約 1/3 を占めている。山地と丘陵地では急傾斜の斜面も多く、崩壊や土石流などのマスムーブメントと、それに起因する土砂災害が発生しやすい。演者らは、同国中部の山地のマスムーブメントを対象とする国際共同研究を、科学研究費などを利用して実施している。この際には、DEM や GIS を活用した室内作業による検討と、野外調査に基づく検討を共に行っている。主な対象地域は、カルパチア山脈が大きく屈曲している部分に位置するブザウ市周辺である。現時点までは室内作業による検討が先行しており、マスムーブメントの発生しやすさに地形・地質などの土地条件が与える影響を、機械学習の手法であるランダムフォレスト (RF) を用いて分析した。その結果、使用する空間データの解像度を最適化することによって RF によるモデルの適合度が有意に向上することが判明した。また、地質が多様な地域では、モデル化の際に対照データとして利用するマスムーブメントが未発生の場合のサンプリングが、不適切になりやすいことも示された。

一方、現地調査はコロナ禍のために実施が遅れていたが、最近予察的な調査を行った。その結果、低密度だが比較的大規模な崩壊の存在や、小規模な地すべりが高密度で分布している斜面などが確認された。また、豪雨が少ない調査地域の山地では、しばしば生じる地震がマスムーブメントの誘因として重要である可能性が示唆された。今後、ドローンなども活用して高解像度のデータを取得し、小規模なものを含むマスムーブメントの特徴を詳しく明らかにし、その発生要因を検討する予定である。

キーワード：マスムーブメント、ルーマニア、室内作業、野外調査、国際共同研究

特別セッション「山から海への地形的コネクティビティ –自然地理的視点から–」
(吉田英嗣会員追悼)

O16-SS

放射性炭素年代と土層発達シミュレーションモデルから推定される谷頭凹地の埋積速度と拡散係数 –広島市の花崗岩山地流域の事例–

Infilling rate and diffusivity at hollows estimated from radiocarbon age and a computer simulation model of soil depth: A case study of granite mountain basin, Hiroshima

田中 靖 (駒澤大学)・八反地 剛 (筑波大学)・古賀 亘 (基礎地盤コンサルタンツ)・河野孝俊 (国際航業)・古市剛久 (森林総研)・土志田正二 (消防研究センター)・小倉拓郎 (筑波大学)
Yasushi TANAKA (Komazawa Univ.), Tsuyoshi HATTANJI (Univ. Tsukuba), Wataru KOGA (Kiso-jiban Consultants), Takatoshi KAWANO (Kokusai Kogyo), Takahisa FURUICHI (Forest Research and Management Organization), Shoji DOSHIDA (National Research Institute of Fire and Disaster), Takuro OGURA (Univ. Tsukuba)

山地流域の崩壊発生や地形発達を考える上で、土層厚の分布とその発達過程をとらえる事は重要である。著者らは、2016年以降、広島市の花崗岩山地流域の斜面崩壊が発生した谷頭凹地(0次谷)の谷線沿いにおいて放射性炭素年代試料を取得し、得られた年代値と崩壊前の試料の深度から、試料取得地点における垂直方向の土層埋積速度を推定してきた。その結果は概ね、0-3 mm/y程度であった。しかし当然これらの埋積速度は、試料取得地点周辺の地形条件の影響を強く受けている。そこで、試料取得地点周辺の地形条件を考慮してこれらの埋積速度を評価するため、土層厚の空間分布を推定するコンピュータシミュレーションモデルによって得られた結果と、放射性炭素年代によって推定された土層埋積速度を比較した。このような方法を採用することにより、局所的な地形計測値ではなく、流域全体の土砂移動の視点から地形条件の影響を評価することができる。シミュレーションモデルの計算には、この地域で2014年8月に発生した崩壊イベント直後に取得したLiDAR 1 m-DEMを用いた。初期条件としての土層厚や土砂移動の速さを決める拡散係数は、先行研究を参考に設定した。シミュレーションから推定される、年代試料取得地点における土層厚の時間変化は、計算開始直後では数 mm/yの速さを持つが、時間の経過とともに遅くなり、約1万年後までにはほぼゼロに収束する。この結果は本研究で得られた年代試料から推定される埋積速度と調和的である。シミュレーションから得られる推定土層厚と年代試料から推定される埋積速度との間には相関関係が見られ、これらの関係をもっとも良く説明する拡散係数を検討すると、 $1.0(\pm 0.5) \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{y}$ 程度であった。

キーワード：崩壊，土層厚，放射性炭素年代，シミュレーション，拡散係数

特別セッション「山から海への地形的コネクティビティ —自然地理的視点から—」
(吉田英嗣会員追悼)

O17-SS

大規模火砕流堆積物における侵食過程

Erosion processes in the large-scale pyroclastic flow deposits

高波紳太郎 (明治大学)

Shintaro TAKANAMI (Meiji University)

本発表では火砕流台地が形成されるまでの侵食過程について議論する。カルデラ形成噴火に由来する大規模な火砕流は、低頻度ながらきわめて大量の堆積物を平野に供給する現象である。このとき既存の谷の多くが埋積され、広域にわたって平坦な堆積面の地形が生じる。火砕流堆積物が河川侵食や海岸侵食を受けることで台地が形成される。火砕流台地の形成過程は、火砕流堆積物の溶結の有無によって異なる。これは溶結凝灰岩（溶結部）が非溶結部と比較して強く侵食に抵抗するためである。

溶結部をもたない火砕流堆積物は短期間で急速に侵食されると考えられてきた。段丘面を覆う堆積物の年代に基づけば、火砕流噴出後数年から十数年で谷が形成され、歴史時代に発生した火砕流においても同様の現象が観察されている。他方で、都城盆地や肝属平野の入戸火砕流堆積物が侵食される過程で形成された段丘面には、同火砕流の堆積から 4000 年以上経過した後に離水したと考えられるものが存在する。

溶結部の侵食には長期間を要し、耶馬溪火砕流堆積物のように台地が 100 万年以上残存しうる。溶結凝灰岩台地は滝の後退や岩盤河川侵食、斜面崩壊などによって開析されてゆく。大野川に分布する阿蘇 4 火砕流溶結部上に発達する侵食段丘の形成年代は、溶結部における河川侵食の速度が過去 9 万年間に大きく変動したことを強く示唆する。

火砕流台地の形成と解体の過程は、火砕流堆積物自体の溶結程度および層厚、空間的分布に加えて、基盤地形や気候条件によって多様と考えられる。

本発表は発表者が 2021 年度に明治大学へ提出した博士論文の一部に基づいています。吉田英嗣先生のご指導に厚く御礼申し上げます。心より哀悼の意を表します。

キーワード：火砕流台地，溶結凝灰岩，岩盤河川，侵食段丘

特別セッション「山から海への地形的コネクティビティ —自然地理的視点から—」
(吉田英嗣会員追悼)

O18-SS

土石流堆積物からなる扇状地形の名称について

Terminology for the fan-shaped landforms composed of debris-flow deposits in Japan

高場智博 (五島列島ジオパーク推進協議会)

Tomohiro TAKABA (Goto Islands Geopark Promotion Council)

土石流堆積物からなる半円錐状の堆積地形について、一般的に、地形学では扇状地(土石流扇状地)や沖積錐と呼称されることが多い。これらの地形は、共に小規模・急勾配であるにも関わらず、地形条件の明確な基準を持たずに、地形に対する景観や学問的立場、または時代背景によって経験的に使用されてきた。

本発表では、これらの地形をどのような基準で呼称しているのか、を明らかにするために、まず土石流からなる扇状地や沖積錐が登場する論文を収集し、地形情報を抽出した。扇状地の名称と、背景となる分野、地形場、地形量との関係を見出した結果、相対的に扇面長径が長く勾配が緩い地形が扇状地(土石流扇状地)、扇面長径が短く勾配が急な地形が沖積錐、と経験的に呼称される傾向があった。

論文著者が扇状地形の用語使用の決定に至った判断基準を、経験的にはあるが、明らかにした。これにより、今後新たに扇状地形について執筆予定の論文著者が、用語を使用する際の一つの目安となるうえ、読者に対しても誤解の少ない用語の使用とも成り得る。

本発表により、2022年1月に逝去された吉田英嗣先生に追悼の意を表します。

キーワード：用語、扇状地形、土石流堆積物、扇状地、沖積錐

特別セッション「山から海への地形的コネクティビティ —自然地理的視点から—」
(吉田英嗣会員追悼)

O19-SS

扇状地の上流域における地形的特性と扇状地勾配の関係—養老山地東麓に発達する扇状地群の事例—

Connection between uplifting mountain and alluvial fans, a case study at the eastern flank of Yoro mountain, central Japan

大上隆史（産業技術総合研究所）
Takashi OGAMI (AIST)

扇状地は、その上流域の地形にコントロールされて発達することが知られている。断層活動に伴う山地の発達過程では、隆起速度や流域地形の発達段階に応じて山麓に扇状地が発達していると理解されているが、その定量的な解明が課題である。養老山地は、その東麓に分布する西傾斜の逆断層が発達させた隆起地塊であり、断層線より西側には急峻な山地地形が、東側には扇状地および氾濫原・三角州（濃尾平野）が発達している。本研究では、10-m gridのDEMを使用して、養老山地の東斜面に発達する26の流域を対象に、扇状地の上流側の流域における各種地形量を求め、河床縦断形の解析を実施した。また、扇状地区間における傾斜（扇状地勾配）を計測した。流域内における斜面傾斜角のモードが40度を超えていること、流域間で斜面傾斜角に大きな違いが認められないことから、上流域の地形はいわゆるThreshold hillslopeに達していると推察される。ストリームパワー侵食モデルを前提とした平衡状態を仮定すれば、河床の下刻速度（≒岩盤の隆起速度）を反映する指標としてSteepnessを求めることができる。扇状地勾配と上流側の集水域面積の間には強い負の相関がある。一方で、同程度の集水域面積の流域間で比較すると、扇状地勾配とSteepnessの間に正の相関が認められた。

本研究に取り組むきっかけの1つに、故吉田英嗣先生との議論がありました。吉田さんには、養老山地および濃尾平野における野外調査や学生巡検にもご一緒いただきました。感謝と哀悼の意を表します。

キーワード：隆起地塊，山地河川，扇状地，斜面傾斜，DEM

O20

沿岸漂砂の阻止に起因する自然海浜の喪失と海岸の人工化

Disappearance of natural beaches triggered by blockage of longshore sand transport and elongation of artificially-protected coastline

宇多高明（土木研究センター）

Takaaki UDA (Public Works Research Center)

河川や海蝕崖から海岸への供給土砂のうち、細砂より粒径の大きい土砂は波の作用下での沿岸漂砂により沿岸方向に運ばれる。しかし、わが国にあっては、縦割り管理の下で沿岸域に港湾、漁港などの施設が造られ、また河口にあっては河口導流堤が伸ばされるなど、沿岸方向の砂移動を阻止する構造物が数多く造られてきた。この状況について、筆者は1997年に「日本の海岸侵食」で明らかにしたが、その後、現在まで四半世紀を経るも状況には全く変化が見られない。沿岸漂砂の流れが遮断された場所では、当然の帰結として侵食が進んできたが、その際、わが国では施設の下手側の侵食域に護岸と消波ブロックを並べて防護を図る手法が用いられてきたために、各施設の下手側の海岸線は護岸と消波ブロックで覆われ、極度に人工化された海岸線が延々と伸びることになった。本研究では、浦賀水道に面し、太平洋からの波浪により北向きの沿岸漂砂が卓越している上総湊から富津岬に至る延長約15 kmの海岸線を対象として、この種の現象について調べた。まず、2022年6月22日には海岸の現地調査を行い、次に既往衛星画像の解析を行った。この結果、この沿岸にあっても上総湊港、染川の河口導流堤、大貫港の防波堤、下洲漁港の防波堤により沿岸漂砂が阻止され、そのたびに各所で侵食が進んでいるが、とくに東京湾観音の西側に位置する大佐和海岸では、未固結の砂層からできた斜面の大規模な崩壊が続いていることが明らかになった。急斜面の大規模崩壊により海岸線には大量の砂が供給されているにもかかわらず、その漂砂は大貫港や下洲漁港の防波堤により阻止され、結果的に漂砂は富津岬へと到達することができず、過去には自然海浜が続いていた上総湊から富津岬に至る沿岸では自然海浜が喪失し、海岸線の人工化が進んでいることが明らかになった。

キーワード：沿岸漂砂の阻止，海岸侵食，浦賀水道，大佐和海岸，斜面崩壊，海岸の人工化

O21

海食凹地形の分類と形成条件

Types and genesis of coastal caves

松岡憲知（茨城大学）・篠原叶実（秋田河川国道事務所）・伊藤敦哉（大子清流高校）・牛込佳太（茨城大学・学）・小倉拓郎（筑波大学）・小玉芳敬（鳥取大学）・金山恭子（山陰海岸ジオパーク海と大地の自然館）

Norikazu MATSUOKA (Ibaraki University), Kanami SHINOHARA (Akita office of River and National Highway), Atsuya ITO (Daigo-Seiryu High School), Keita USHIGOME (Undergraduate student, Ibaraki University), Takuro OGURA (University of Tsukuba), Yoshinori KODAMA (Tottori University), Kyoko KANAYAMA (San'in Kaigan Geopark Museum of the Earth and Sea)

岩石海岸に見られる小規模な侵食地形ではタフォニやノッチの研究例は多いが、人目を惹き観光対象となることも多い海食洞やトンネルについては、世界的にみても地形学的研究は進展していない。これらの「海食凹地形」の形成条件を体系的に理解することを目的として、形態要素に基づく分類、各地形種の分布・形態・方向性と海食崖の地質条件との関連性の評価を行なった。地質条件が異なる三陸、常磐、房総、三浦、伊豆、紀伊、山陰の各海岸で合計 100 を超える凹地形を対象とした。到達が容易な海岸では現地直接、到達困難な海岸ではドローンで撮影した画像から 3 次元モデルを作成し、データを収集した。凹地形の開口部の幅 (w) と奥行 (d) に基づいて $d/w < 1$ をノッチ、 $d/w \geq 1$ をケーブ、ノッチ、ケーブが貫通したものをそれぞれアーチ、トンネルと分類した。また、凹地周囲の崖の岩石強度（シュミットハンマー反発値 R ）、層理や断裂（断層・節理）の走向・傾斜を計測した。凹地形の形成条件は、ノッチとその他の凹地形で異なる。ノッチは比較的低強度（ $R < 40$ ）の岩石からなる海食崖において、弱線となる層理や断裂の有無や走向に関わらず形成されやすい。ケーブ・アーチ・トンネルは岩石強度に関わらず傾斜 30° 以上の弱線（縦構造）に沿って形成されやすく、縦構造が崖面に対して直交するほど傾斜による制約を受けにくい。凹地形の平面形は波の侵食力と岩石の抵抗力の間のバランスに影響され、奥行は低強度（ $R < 25$ ）か高強度（ $R > 50$ ）で発達しにくく、中間の強度で発達しやすい。凹地形の開口部形状は円型、切れ目型、三角型、四角型に分類され、円型は低強度の岩石か断裂がない場合、切れ目型と三角型は単独の断裂の場合、四角型は複数の断裂が並行する場合が多い。

キーワード：岩石海岸，海食洞，ノッチ，岩石強度，地質構造

O22

熱水変成作用を受けた火砕岩表面のタフォニの形成プロセス：島根県大田市五十猛における一例

Formation processes of tafoni on pyroclastic rock surfaces with hydrothermal alteration on the Isotake coast, Shimane, Japan

小暮哲也（島根大学）・末吉龍弥（島根大学・学）・大平寛人・三瓶良和（島根大学）・申 基澈（総合地球環境学研究所）・安部 豊（神奈川県）

Tetsuya KOGURE (Shimane University), Ryuya SUEYOSHI (Undergraduate student, Shimane University), Hiroto OHIRA, Yoshikazu SAMPEI (Shimane University), Ki-Cheol SHIN (Research Institute for Humanity and Nature), Yutaka ABE (Kanagawa Prefecture)

島根県大田市五十猛町は熱水変成作用により生成されるゼオライト（沸石）鉱床で知られ、海岸には沸石類を含む中期中新統久利層の流紋岩質火砕岩からなる崖が約 2 km にわたり断続的に存在する。崖の表面にはタフォニが形成され、タフォニ開口部の幅あるいは高さは最大 20 m 以上に達する。タフォニを含む崖表面の形態は場所により異なる。ある崖では、同一の崖内にもかかわらずタフォニが発達する表面と発達しない表面とが隣り合い、それぞれの表面の色が異なる。また、タフォニ表面に析出する塩の特徴（色、形）も場所により異なる。そこで本研究では、岩石の物理試験および地球化学的分析により、五十猛海岸におけるタフォニの形成プロセスの解明を試みた。

シュミットハンマー反発値からは、五十猛のタフォニは①タフォニ表面と周囲の崖表面とで反発値に有意な差が認められないもの、②タフォニ表面の反発値の方が顕著に大きいもの、に二分された。タフォニ表面に確認される塩の X 線回折分析より、①および②のタフォニの成因はそれぞれ岩塩 (NaCl) および方解石 (CaCO₃) の析出による塩類風化であると考えられる。②の表面の方解石中のストロンチウム安定同位体比 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.706298$) は、この方解石中のカルシウムが海水ではなく母岩由来であることを示した。また、沸石類の量は②のタフォニでより豊富であった。熱水変成作用を強く受けた岩石ほど沸石類の含有量が大きいことを考慮すると、五十猛海岸におけるタフォニは、かつて熱水変成作用を強く受けた場所では母岩由来の方解石、熱水変成作用が弱かった場所では海水由来の岩塩の析出により形成されたと考えられる。

キーワード：タフォニ、塩類風化、熱水変成作用、方解石、岩塩

O23

マルチカメラシステムを用いた浅海底地形における高解像度 SfM 写真測量法の開発
High-resolution SfM photogrammetry in shallow seafloor using a multi-camera system

木村 颯 (九州大学・院)・藤田喜久 (沖縄県立芸術大学)・水山 克 (産業技術総合研究所)・三納正美 (九州大学)・菅 浩伸 (九州大学)

Hayate KIMURA (Graduate student, Kyushu University), Yoshihisa FUJITA (Okinawa Prefectural University of Arts), Masaru MIZUYAMA (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology), Masami SANNOH (Kyushu University), Hironobu KAN (Kyushu University)

近年, UAV の普及や PC・ソフトウェアの処理能力の向上によって, 様々な陸上地形において高解像度な SfM 写真測量が行われている. この方法は海底地形に対しても適用可能だが, 水中では視界が限られるため測量の効率が悪く, 地形学研究における適用例は非常に少ない. 本研究では, マルチカメラシステムを採用した SfM 写真測量法によって, 浅海底地形の測量を効率化することを目的として, 沖縄県の複数箇所で実地試験を行なった.

撮影器材として 5 台のアクションカメラ (GoPro: GoPro, Inc. 社製) を使用した. 1 台のカメラを中心に上下左右にカメラを取り付け, 周囲のカメラはそれぞれ約 45°傾けた. 撮影範囲となる半球状の空間を万遍なく照らすため, ライトを複数角度で取り付けた. 対象領域内に配置した測量用スタッフの長さで各所で計測した水深値を基に, 三次元モデルの座標を設定した.

与那国島北部のサンゴ礁では, 水中での移動効率を上げるため, スキューバダイビングに水中スクーターを使用した. その結果, 撮影時間 85 分, 撮影枚数約 1 万 3 千枚で, 投影面積 $1.5 \times 10^4 \text{ m}^2$ の海底地形を解像度約 5 cm/pixel で測量することに成功した.

一方, 琉球列島の石灰岩が分布する島々には海底洞窟が多数存在し, 希少な洞窟性動物の生息地となるが, 地形の複雑さから測量が困難とされていた. 伊江島北部に位置する海底洞窟を対象として, 撮影時間 96 分, 約 4 万 3 千枚の画像を解析し, 総延長約 10^5 m , 投影面積 $5.4 \times 10^2 \text{ m}^2$, 体積 $1.5 \times 10^3 \text{ m}^3$ の洞窟地形モデルを作成した. さらに, 沖縄島恩納村の万座毛周辺では, 水中から陸上にかけて広がる海食洞を連続的に測量した. ここでは, 地表の標高が 20 m 程度の琉球層群石灰岩の地下に, 奥行約 100 m, 天井の最高標高が約 15 m の広大な空間が存在し, 陥没する危険性についての検討が可能となった. 以上のように, 本研究の手法は, 様々な浅海底地形の効率的な測量に適することが明らかとなった.

キーワード: SfM-MVS, 海底地形, 洞窟, サンゴ礁

O24

奄美大島宇検村での高潮防災潮位の設定—測量による浸水想定に基づく見直し

The Defensive Standard for Storm Surge in Uken Village, Amami Oshima island: Review based on inundation assumptions by surveying

岩船昌起 (鹿児島大学)

Masaki IWAFUNE (Kagoshima University)

【はじめに】高潮警報の基準となる潮位は、防潮施設の計画高潮位や天端高に基づくことが多い。しかし、未整備の地域では、防潮施設が河川沿いや港湾等で途切れる場合が多く、計画高潮位等に達する前に浸水が始まる可能性が高い。本研究では、奄美大島宇検村で低所や防潮施設の「切れ目」等での測量結果に基づき、集落ごとに浸水・被災の過程を考察し、高潮警報等の基準の潮位を検証する。

【調査方法】調査地域の宇検村の海沿い全 13 集落では、居住域の大半が標高 5 m 以下である。国土地理院一等水準点等を基準にレベル測量を 2/17~19 と 3/12~15 に行い、高潮等に溢流・越流等が予想される個所の標高を測った。

【結果】13 集落で約 500 地点以上の標高を得た。浸水・被災の過程で重要な局面として、床上浸水（浸水で居続けた人が低体温症で死に至る可能性）、河川や海からの直接の溢水・越流等（水の動きで、避難行動が困難、家屋破壊・流失の危険が高まる等）を重視し、13 集落でそれぞれの値を確認した。このうち、「湯湾 1」地区での床上浸水 1.8~1.9 m、河川溢流 1.4~1.6 m、海溢流 1.9 m、「部連」での床上浸水 1.7~1.8 m、河川溢流 1.7 m、「名柄」での床上浸水 1.7~1.9 m、河川溢流 1.3 m、海溢流 1.5~1.7 m が他集落より低く注目された。

【考察】宇検村での高潮警報と高潮注意報の潮位は、現在 2.4 m と 1.5 m であり、高潮注意報の基準潮位より低い潮位で浸水害が発生し、高潮警報基準潮位より低い潮位で床上浸水等、深刻な災害の発生が予想できる。特に標高が低い 3 集落の実態に合わせると、高潮警報 1.7~1.8 m 程度、高潮注意報 1.0~1.3 m 程度が妥当と思われる。そこで、本研究等に基づき、宇検村では「危険潮位（高潮警報基準値相当）」1.8 m を、2022 年 5 月 31 日開催の宇検村防災会議にて、村防災計画に入れ込むことが決定され、気象庁名瀬測候所でもこれに対応して、高潮警報および高潮注意報の基準値の変更を検討することとなった。

キーワード：台風，高潮，危険潮位，警報基準，測量，奄美大島

O25

湖沼・内湾堆積物の大気由来放射性核種・磁化特性・物理特性に基づく流域の土砂流出イベント履歴の推定

Reconstruction of the past sediment discharge event based on radionuclides, magnetic and physical properties of lacustrine and inner bay sediments

落合伸也（金沢大学）・柏谷健二（金沢大学）・酒井英男（富山大学）・ト部厚志（新潟大学）・石丸 聡・仁科健二（北海道立総合研究機構）

Shinya OCHIAI (Kanazawa University), Kenji KASHIWAYA (Kanazawa University), Hideo SAKAI (University of Toyama), Atsushi URABE (Niigata University), Satoshi ISHIMARU (Hokkaido Research Organization), Kenji NISHINA (Hokkaido Research Organization)

近年、豪雨や地震に伴う土砂災害が数多く発生しており、その地で起こり得る種々の要因による土砂流出イベントの発生頻度や規模等の知見が必要不可欠である。本研究では湖沼や内湾の堆積物に含まれる大気由来放射性核種 Pb-210 と磁化特性・物理特性に基づく流域における過去の土砂流出イベント履歴の復元を目的とする。本研究では、石川県の七尾西湾、北海道白老町に位置するポロト湖、苫小牧市に位置する錦大沼を調査対象地とした。七尾西湾は北湾・南湾を通じて日本海へつながる内湾であり、主要流入河川である熊木川では度々氾濫が発生し、その痕跡が沿岸堆積物に記録されている可能性がある。ポロト湖、錦大沼はそれぞれ海跡湖、堰止湖と考えられており、周囲に位置する樽前山、有珠山等の火山活動、2018年胆振東部地震による影響を受けている可能性がある。

2019年5月に七尾西湾の熊木川河口沖で堆積物コア（62 cm）を採取し、Pb-210、帯磁率、粒径の測定を行った。過剰 Pb-210 濃度は変動を伴いながら下方へ減衰しており、最下部の年代は60-70年前と推定された。この間、4つの急激な堆積を示す過剰 Pb-210 濃度の異常層が見られ、ほぼ同層準で帯磁率、粒径にも変動が見られた。これらは2018（または2019）、2011（または2009）、2002、1985年頃に発生した洪水にそれぞれ対応する可能性が考えられた。

2022年6月にポロト湖、錦大沼において堆積物コア（それぞれ54 cm、62 cm）を採取した。錦大沼においては含水率が急減する層準が3つ見られ、火山灰層あるいはイベント層の可能性はある。一方で、ポロト湖では含水率は若干の変動を伴いながらも下方へ単調減少しており、明確なイベント層は見られなかった。Pb-210により暫定的な年代を推定した結果、ポロト湖では40 cm深度で約70-80年前後、錦大沼では25 cm深度で約80-90年前後と見積もられた。

キーワード：堆積物、放射性核種、磁化特性、物理特性

O26

林床の地形計測を想定した低価格モバイル LiDAR スキャナの運用に関する検証

Verification of operational for topographic surveying of the forest floor using a low-cost mobile LiDAR scanner.

高木 優 (筑波大学・学) ・小倉拓郎 (筑波大学) ・佐藤昌人 (防災科学技術研究所) ・田村裕彦 (田谷の洞窟保存実行委員会)

Yu TAKAGI (Graduate student, University of Tsukuba), Takuro OGURA (University of Tsukuba), Masato SATO (NIED), Yasuhiko TAMURA (ECPT)

近年、LiDAR センサーの低価格化や LiDAR データを自動マッピングする SLAM 技術の進歩により、迅速に点群データを取得できるようになった。これにより、従来の空中写真測量では取得が困難であった林床の計測ができるようになった。しかし、基本的な測量設定や機材の扱いが難しく、広く普及しているとは言えない。

そこで本研究では、低価格モバイル LiDAR スキャナを用いて行う林床における地形計測に適した設定を行うために、SLAM 環境下で二つの実験を行った。使用した機材は DJI 社製 Livox Avia (Avia)、使用した点群処理ソフトは Cloud Compare (CC) であった。

まず、反射強度と距離測定精度を検証した。Avia から 450 m 離れた反射板に対して 3 つの点群取得モード (First Return: FR, Strongest Return: SR, Dual Return: DR) で測量を実施した。その結果、反射強度は遠距離ほど指数関数的に減少し、200 m で到達しなくなった。点群取得モード間で顕著な差はなかった。また、CC 上で距離計測を実施した結果、誤差はすべてのモードで 3% 未満だった。

次に、対象物による反射強度の差異について検証した。測量を行う林床を想定した 6 種類の対象物を、4 種類のデータ取得モード (FR, SR, DR, Triple Return: TR) で同様に測定し、反射強度を記録した。また、対象物を湿らせて同様に測定を行った。その結果、森林土に比べて落ち葉や下草の反射強度は 80 パーセント程度だった。対象物を濡らした場合、反射強度が減少する傾向があった。また、反射強度の減少幅は点群取得モードで差があり、特に FR では減少幅が大きかった。

以上の結果から、Avia を用いた地形計測における有効射程や距離計測の精度は実用できる水準だった。一方、近距離で視界を遮られると SLAM にエラーが生じて、自己位置を見失うという問題も発生した。今後、林床の地形計測を行うにあたり、移動計測のコースや林床の土壌特性等を確認し綿密な測量計画を立案する必要がある。

キーワード：モバイル LiDAR スキャナ、林床、3D 点群データ

O27

UAV-LiDAR を用いた廃道路面の計測に基づく山地斜面における土砂移動の評価
—10年単位での時系列解析—

Evaluation of sediment supply from mountain slopes using UAV-LiDAR data on an abandoned road: Time series analysis on a decadal scale

原田駿介（筑波大学・院）・小倉拓郎（筑波大学）・八反地剛（筑波大学）・早川裕弐（北海道大学）
Shunsuke HARADA (Graduate student, University of Tsukuba), Takuro OGURA (University of Tsukuba),
Tsuyoshi HATTANJI (University of Tsukuba), Yuichi S. HAYAKAWA (Hokkaido University)

未舗装路では表土が流出し侵食域になる場合もあり、未舗装路の存在が土砂流出を活発化させるという報告は多い。一方、傾斜の緩い道路では土砂が堆積することもあり、道路を利用すれば自然斜面の土砂移動量を評価することも可能である。本研究では、1991年頃に放棄された道路のうち総延長1.9 kmの区間を土砂トラップとみなし、2011年に国土地理院が実施した航空レーザ測量成果と、2022年3月に実施した小型無人航空機によるレーザ測量（UAV-LiDAR; Unmanned Aerial Vehicle-based Light Detection and Ranging）の地形計測データを用いて、路面への土砂の堆積速度を算出した。断片的に現存する路面から、道路廃止時点の路面を示す面を推定し、堆積量算出のための基準面とした。尾根型斜面を境界として約60 m間隔で道路を35個の区間に分割し、各区間の上流側の斜面の地形量と土砂移動フラックスとの関係を分析した。さらに現地調査により、土砂堆積地形を、構成物や形態の特徴から類型化した。多くの区間では堆積量が単調に増加した。これらの区間では、上方斜面と道路の間に連続的に石礫が堆積していたことから、ドライラベルによる面的かつ定常的な土砂移動が生じたと考えられる。一方で、2011年から2022年の期間に急激な堆積または侵食が生じた区間もある。これらの区間では、流路の痕跡や崩壊跡が観察されたことから、崩壊や土石流などの間欠的な土砂移動が生じたと考えられる。

キーワード：UAV-LiDAR, ドライラベル, 落石, 道路

O28

新学習指導要領の地学・地理における地形学習の内容・構造の分析 —校種間の連続性や空間スケールに着目して—

Evaluation of the content and structure of landform learnings in geology and geography in the new Courses of Study

鹿野友渚（筑波大学・学）・小倉拓郎（筑波大学）

Yuna KANO (Graduate student, University of Tsukuba), Takuro OGURA (University of Tsukuba)

地形や気候など地球科学に関する学習内容は、理科の地学と社会科・地理歴史科の地理で扱われている。そのため、共通の学習内容に対して科目間で用語の扱い方に相違が生じ、学習者の混乱を招いてしまうことが指摘されている。そこで本研究では、小学校・中学校・高等学校の地学および地理における地形学習を対象に、地形プロセスや空間スケールに着目して科目間の学習内容・構造を整理した。現行の学習指導要領（平成 30 年告示）にしたがって発行されている小学校・中学校・高等学校の理科・社会科・地理歴史科の教科書から、地形に関する用語・解説文を抽出した。また、教科書内の図中で扱われている地形の空間スケールを記録した。理科では、小学校で河道の形成や砂・礫・泥などの堆積作用を学び、中学校・高等学校で三角州・扇状地などへと学習が移行していく。しかし、微地形である蛇行河川や後背湿地などの学習がなく、空間スケールの連続性は絶たれている。理科の学習は、あくまで「流水」が学習の中心で、地形とは関連づけにくい学習構造となっている。社会科・地理歴史科では、小学校で高地・低地、山脈・平野などの高低差の理解を重視しているが、図には微地形に関する内容が掲載されていることが多い。中学校・高等学校では流水や河川を意識する機会が増える一方、歯止め規定により地形プロセスの学習は制約されている。また、地形の説明に形成プロセスを用いたり、地形の特徴を用いたりするなど表記にゆれがある。このように、地学・地理の間で一定の棲み分けが行われているものの、空間スケールの連続性や地形プロセスの学習に一貫性がない。したがって、学習者が十分に地形を理解・イメージしづらい学習構造になっており、科目間において学習内容を調整することが必要である。

キーワード：地形教育，新学習指導要領，模式図，空間スケール，地形プロセス

ポスター発表

特別セッション「山から海への地形的コネクティビティ —自然地理的視点から—」
(吉田英嗣会員追悼)

P01-SS

青森県・馬淵川下流域において分類される地形と大規模降雨時の浸水想定区域の関係

Relationship between landform in the lower reach of the Mabechi River, Aomori prefecture, and conceivable flooded area at huge precipitation

丹羽雄一（慶應義塾大学）・須貝俊彦（東京大学）
Yuichi NIWA (Keio University), Toshihiko SUGAI (The University of Tokyo)

河川下流域を対象に作成される地形分類図は、分類された地形と浸水特性の関係に基づいて、水害予測図として用いられる(大矢,1993)。しかし、沖積平野のような低地では、地形面間の比高が小さいことや、人工改変による標高差の消失によって、地形面区分が困難な場合がある。地形分類を水害予測に適用する上で、地形と浸水特性の関係の検討は依然として重要である。本発表では、青森県の馬淵川下流域の低地(八戸平野)において、地表形態に堆積相や年代値を加味して分類された地形と大規模洪水時の浸水想定との関係を考察する。

空中写真と5 m DEMを用いた地形判読、7本の堆積物コアの解析、および¹⁴C年代測定値に基づくと、八戸平野では、完新世中～後期の砂質河川環境、および完新世後期の相対的海水準(侵食基準面)低下に対応した段丘化と現世の氾濫原の形成が推定される。このことから、当該平野は、完新世中～後期に形成された河成段丘(沖積Ⅰ面)と現世の氾濫原(沖積Ⅱ面)に区分される。

八戸市の洪水ハザードマップによると、沖積Ⅰ面と沖積Ⅱ面を合わせた範囲は、想定最大規模降雨の際の浸水想定区域に合致する。また、同様の降雨の際、沖積Ⅰ面は「早期立ち退き避難が必要な場所」に対応しないが、沖積Ⅱ面は、「早期立ち退き避難が必要な場所」に対応する。前者からは、大規模洪水時には最低位段丘は浸水する可能性が、後者からは、最低位段丘と氾濫原の区別が浸水想定区域内における浸水深の空間的差異の把握において有用であることが、それぞれ示唆される。

吉田英嗣先生のご生前のご功績を偲び、謹んで哀悼の意を表します。

キーワード：水害，地形分類，沖積平野，表層堆積物，¹⁴C年代

特別セッション「山から海への地形的コネクティビティ –自然地理的視点から–」
(吉田英嗣会員追悼)

P02-SS

地中熱利用のための平野・盆地の地質構造解析

Analysis of geological structure of alluvial plains and basins for ground-source heat pump system utilization

石原武志・内田洋平（産業技術総合研究所）
Takeshi ISHIHARA, Youhei UCHIDA (AIST)

日本の都市圏の多くは平野・盆地に立地しており、平野・盆地の地形発達や地質構造に関する研究成果は、主に都市の防災（地滑り、洪水、地震など）や地下水利用の施策に活用されている。近年、これに加えて、都市部の浅部地下熱資源（地中熱）利用への関心が高まりつつあり、ここにも平野・盆地の発達史研究アプローチを活用できると筆者らは考えている。

地中熱利用は、地下浅層（100 m 程度まで）を冷暖房や融雪の熱源とする再生可能エネルギー熱利用の一形態である。代表的な利用形態は長さ数十～100 m の地中熱交換器を埋設して地下と熱交換を行う地中熱ヒートポンプ（GSHP）システムで、日本全国に導入可能である。本システムは高い省エネルギー性能が期待されるものの、認知度不足及び高額な導入費用が普及阻害の一因となっている。コスト面では、特に地中熱交換器の埋設コストの低減が課題である。地中熱交換器の性能は地質（地盤の有効熱伝導率）と地下水流れ（熱移流拡散効果）に影響を受ける。したがって、平野・盆地単位の地形・地質構造や地下水流動を明らかにし、地中熱の利用可能性（ポテンシャル）を評価することが、GSHP システムの適切な設計にとって重要である。

以上の背景から、（国研）産業技術総合研究所では、現地の地質・地下水・熱物性調査とシミュレーションを組み合わせ、平野・盆地単位の地中熱ポテンシャル評価を進めてきた。本発表では、その一部として、会津盆地と仙台平野の浅部地下地質構造から地盤の有効熱伝導率分布図を作成し、両地域の地中熱ポテンシャルについて簡易的に評価した事例について紹介する。

故吉田英嗣氏には大学院在籍時、関東平野中央部の地形発達史研究に関して多数のご指導・ご助言を賜りました。本発表をもって哀悼の意を捧げます。

キーワード：平野・盆地，地質構造，地中熱利用，有効熱伝導率

特別セッション「山から海への地形的コネクティビティ —自然地理的視点から—
(吉田英嗣会員追悼)

P03-SS

相模川支流，道志川流域における最終間氷期以降の河谷埋積過程に関する一考察

A study of the valley filling processes since the last interglacial in the Doushi River, a tributary of the Sagami River, central Japan

高橋尚志（東北大学）・松風 潤（オリエンタルコンサルタンツ）

Takayuki TAKAHASHI (Tohoku University), Jun MATSUKAZE (Oriental Consultants Co., LTD)

最終氷期の堆積段丘が発達する東北～中部日本の河川のうちのいくつかでは，後期更新世に2回の堆積段丘形成があったことが知られている．関東地方，相模川とその支流の道志川では，最終間氷期前半に砂やシルトによって河谷が埋積されⅢS面が形成された後，小規模な下刻期を挟んだのち，礫によって再度河谷が埋積されⅢT面が形成されたと考えられている．しかし，段丘堆積物の年代制約資料は十分ではなく不明な点も多い．そこで本研究では，テフラの対比を新たに検討し，道志川流域の最終間氷期以降の堆積段丘発達過程を再検討する．相模原市緑区梶野には，河谷横断方向におおむねフラットなⅢT面と支流流下方向に緩傾斜するⅢS面が発達する．ⅢT面は層厚20 m以上の道志川本流性円礫層から構成される．ⅢS面は，下部が鬼界葛原テフラ（K-Tz）を挟む支流性の角礫混じり砂～シルト層，上部が支流性角礫層から構成される．ⅢS面構成層から本流性円礫層は見いだされなかった．また，ⅢS面の構成層下部とⅢT面構成層中から共通して，淡黄褐色を呈する粒径の粗い火山灰層が見いだされた．両者とも風化が進み火山ガラスはほとんど含まれないが，直方輝石と少量の角閃石を含み，それらの屈折率はほぼ一致することから，同一のテフラと考えられる．以上から，ⅢT面を構成する円礫層とⅢS面を構成する砂～シルト層は同時異層の本流性と支流性の堆積物であると考えられ，ⅢT面は本流性の段丘面，ⅢS面は支流性扇状地を由来とする地形面であると考えられる．地形面と堆積物の発達状況から，見かけ上2回の堆積段丘形成期があったと先行研究では解釈されていたが，後期更新世の河谷埋積（本流の河床上昇）は1回であった可能性は排除できない．上記の場合，道志川の支流合流点付近では，本流の河床上昇初期頃には合流点付近の支谷内に静水域が形成され，主に砂～シルトが堆積していたが，河床上昇が終了した前後から角礫が堆積して扇状地が形成されたと考えられ，本流—支流間の支配関係や連結性は常に一定とは限らなかった可能性がある．今後，相模川本流沿いも含め，ⅢT面を構成する円礫層から直接年代を得るなどしてさらに検討する必要がある．本研究には河川基金助成およびJSPS 科研費 21K13151を使用した．故吉田英嗣博士には，生前，第一著者の一連の河成段丘研究に対して重要なコメントを頂いた．謹んで深く哀悼の意を捧げます．

キーワード：山地河川，支流，堆積段丘，テフロクロノロジー，連結性

特別セッション「山から海への地形的コネクティビティ —自然地理的視点から—
(吉田英嗣会員追悼)

P04-SS

ベトナム南部，オケオ遺跡周辺における完新世後半の堆積環境について

Late Holocene Sedimentary Environment in Oc Eo Archaeological site, Southern Vietnam

船引彩子（東京理科大学）・久保純子（早稲田大学）・山形真理子（立教大学）・Nguyen Khanh Trung Kien（ベトナム南部社会科学院）・Nguyen Thi Mai Huong（ベトナム考古学院）・Nguyen Thi Thu Cuc（ベトナム国家大学ハノイ校）

Ayako Funabiki (Tokyo University of Science), Sumiko Kubo (Waseda University), Mariko Yamagata (Rikkyo University), Nguyen Khanh Trung Kien (Vietnam Academy of Social Sciences) ・ Nguyen Thi Mai Huong (Vietnam Institute of Archaeology) ・ Nguyen Thi Thu Cuc (Vietnam National University, Hanoi)

ベトナム南部のメコンデルタに位置するオケオ遺跡は，1世紀から7世紀にかけて現在のカンボジア，ベトナム南部から東北タイ南部にかけて栄えた，古代国家扶南の港市跡である．メコンデルタは約8500年前に内陸のカンボジア領土内から前進をはじめ，約3000年前までは潮汐の影響を強く受けたデルタであったが，その後は波浪と潮汐の影響を強く受けたデルタへと変化し，南東側の平野に浜堤列が発達した．オケオ遺跡は，最も内陸側の浜堤列よりおよそ100km内陸に位置し，標高は2-3mである．現在のベトナム領，カンボジア国境近くに位置し，デルタに孤立する標高190mのバテ山の麓にある．

オケオ遺跡はメコン川本流の右岸側に位置し，現本流付近にあった最終氷期の開析谷から離れていることから，デルタの中心部とは異なる堆積環境が考えられる．筆者らはオケオ遺跡の発掘現場において堆積物から新たな年代値を得て，珪藻や花粉分析によって完新世後半の堆積環境の変化を考察した．オケオ遺跡周辺では約4000年前までは海水の影響が強く見られたが，その後急速に汽水～淡水性の珪藻が増え，マングローブ花粉も減少し，河川の影響を強く受ける環境に変化したと考えられる．紀元前後には氾濫原となり，運河の掘削や集落の建設を伴うオケオ文化が栄えた．

キーワード：メコンデルタ，オケオ遺跡，完新世，氾濫原

特別セッション「山から海への地形的コネクティビティ –自然地理的視点から–」
(吉田英嗣会員追悼)

P05-SS

Topographic characterization of the middle Brahmaputra river basins

B. M. Refat FAISAL (Graduate student, Hokkaido University), Yuichi S. HAYAKAWA (Hokkaido University),
Tetsuya TAKAGI (JALUX Inc.)

Knowledge of topographic features is critical in understanding basin-scale surface processes that include steep mountainous and flat lowlands, particularly if the mid and downstream are densely populated and disaster-prone. However, the lack of research on the geomorphic connectivity at downstream of large rivers of South Asia (particularly Bangladesh), where upper basin morphodynamics, hydrology, and sediment flux highly influence the repeated sediment disasters, limits our understanding of the topographic features, which is essential in geomorphic science and sustainable basin-scale river management. Therefore, this study attempts to characterize the topography of the middle Brahmaputra river basin (Teesta, Torsa, and Manas basins) covering ~75000 Sq.km that influences the hydro-geomorphic response of the deltaic landscape at downstream Bangladesh. This work considers a set of topographic parameters such as Topographic Wetness Index (TWI), Stream Power Index (SPI), Sediment Transport Index (STI), Slope-length (LS) factor, and Topographic Position Index (TPI) for topographic characterization, utilizing NASADEM (30-m resolution) and Geographic Information System (GIS). The result of this study demonstrates that steep slopes with high SPI, STI, and lower TWI are expected to have potentially high sediment connectivity and transport capacity in the upstream region. On the other hand, a more downward basin slope with lower SPI, STI, and higher TWI, as well as the presence of anthropogenic stressors, may lower the sediment connectivity and transport potential at the mid-to-downstream areas depicting sensitivity to the depositional processes therein, impacting the basin-scale hydro-geomorphic connectivity from upstream to downstream region. However, despite limitations in DEM resolution and functionalities of topographic indices, the computation of topographic parameters from the present study in an understudied basin gives a general portrait of topographic patterns, contributing to our understanding of geomorphological processes and improvements of river basin management in the region.

We would like to express our deepest condolences to Dr. Hidetsugu Yoshida, who studied together with the authors (TT and YH) when we were graduate students, for his achievements during his lifetime.

Keywords: Brahmaputra, Himalayan upstream, NASADEM, Terrain analysis, Bangladesh

特別セッション「山から海への地形的コネクティビティ —自然地理的視点から—」
(吉田英嗣会員追悼)

P06-SS

日本アルプスにおける地すべりの規模—頻度特性

Landslide magnitude-frequency distribution in the Japanese Alps

齋藤 仁 (名古屋大学)

Hitoshi SAITO (Nagoya University)

地すべりや斜面崩壊、また岩屑なだれの規模（面積または体積）の頻度分布には、べき乗則が成り立つことがこれまで世界各地で指摘され、その地形学的意義が検討されてきた（例えば、Sugai et al., 1994; Yoshida, 2016）。規模の常用対数をとることにより、指数分布で表現可能な規模-頻度分布特性が見出されている。本研究では、先行研究を踏まえ、日本アルプス全域での地すべりの規模-頻度分布の特性を分析した。防災科学技術研究所による地すべり地形分布図を使用し、投影面積が 10^4 m^2 以上の地すべりを対象とした。地すべりの分布は、南アルプス ($n = 7,397$)、中央アルプス ($n = 883$)、北アルプス ($n = 5,211$) であった。3つのアルプスで投影面積 (A) とその区間密度 ($F(A)$) との関係：

$$F(A) = a A^{-b} \quad (a, b \text{ は定数})$$

および地質と標高との関係を比較・検討した。

日本アルプス全域で地すべりの規模-頻度分布を分析すると、南アルプス、中央アルプス、北アルプスにおいて a 値および b 値に大きな違いは見られなかった。一方で、地質間において規模-頻度分布の違いがみられた。また南アルプスと中央アルプスでは、 $10^5 \sim 10^6 \text{ m}^2$ 規模の地すべりが比較的標高の高い場所に分布し、より大規模な地すべりは標高 1,000 m 付近に分布していた。一方で、北アルプスでは大規模な地すべりほど標高の高いところに分布する傾向が見られた。このような全体的傾向とともに、今後は b 値の違いや地すべりの空間分布の違いを検討することが課題である。

吉田英嗣先生のご功績を偲び、謹んで哀悼の意を表します。

キーワード：地すべり地形，規模—頻度，日本アルプス

P07

Changes in drainage basin morphometry following coseismic landslides by the 2018 Hokkaido Eastern Iburi Earthquake: Insights from three-year observation

Tennyson L. W. LO (Graduate Student, Hokkaido University), Yuichi S. HAYAKAWA (Hokkaido University)

A strong earthquake with M_j 6.7 occurred in the eastern Iburi region (Hokkaido Prefecture, Japan) on 6th September 2018, and more than 7,000 coseismic landslides (nearly 700 km^2) were triggered. In the watersheds affected by the landslides, continuous erosion and sediment mobility by slope and fluvial processes are expected. The present research aims at the quantification of temporal changes in drainage basin characteristics following coseismic landslides by quantification of morphometric parameters and mapping of drainage networks in different post-seismic periods. The study site is a catchment along the Atsuma River with less artificial modifications after the earthquake. Point cloud data and digital elevation models obtained by photogrammetry and laser scanning with uncrewed aerial systems (DJI Phantom 4 RTK and Matrice 300 RTK with Zenmuse L1) were used to identify the morphometric changes in post-seismic periods between September 2018 and October 2021. Seven morphometric parameters were selected to represent the characteristics of the drainage network, surface texture, and reliefs relating to mass movements and fluvial erosion: stream number (Nu), total stream length (Lu), stream frequency (Fs), drainage intensity (Di), infiltration number (If), length of overland flow (Lo), and ruggedness numbers (Rn). During the post-seismic periods, obvious changes in these parameters were identified. In particular, the extension of mainstream channels and development of tributaries on slid slope surfaces were observed, indicating progressive fluvial erosion and slope deformations during the post-seismic periods. The lack of soil and vegetation cover on the collapsed slope surfaces that are exposed to rainfalls could have enhanced such deformations by lower infiltration capacity and more frequent occurrences of surface runoff after the earthquake. Relatively high rainfall amount and intensity during the rainy seasons seem to correspond to the development of rills and gullies within post-seismic periods. Besides, the periodical variation of temperature around freezing points causes freeze-thaw action on the slope surface during winter and early spring. Our observation indicates that the channel heads and stream channels are often buried with the sediments in spring, which contributes to the changes in the morphometric parameters. Further assessments on the type and rate of ongoing vegetation recovery on the slopes that potentially affect the drainage network development will be necessary.

Keywords: Drainage basin, Morphometric parameters, Drainage network, Coseismic landslides, 2018 Hokkaido Eastern Iburi Earthquake

P08

Vegetation recovery assessments in landslide-affected areas using Sentinel-2 imagery after the 2018 Hokkaido Eastern Iburu Earthquake

Xinyue YU (Graduate student, Hokkaido University), Yuichi S. HAYAKAWA (Hokkaido University)

The 2018 Hokkaido Eastern Iburu Mw 6.6 earthquake occurred on September 6, 2018. It triggered a large amount of landslides in the town of Atsuma, which resulted in serious personal and property damage. Because vegetation recovery in co-seismic landslide sites plays an important role in reducing soil erosion and increasing land stability, the vegetation recovery assessment is crucial to landslide rehabilitation. Even early successional plants such as herbaceous species can reduce the chance of shallow re-slides or surficial erosion on landslides. In this study, a landslide-affected hilly area (about 1.6 km²) near the Apporo reservoir was selected to assess the change of the NDVI ratio (normalized differential vegetation index on landslide areas scaled to control sites) using Sentinel-2 images from 2016 to 2022. To avoid outliers, this study utilized the third quartile instead of the maximum value for the calculation of the NDVI ratio. As a result, before the earthquake, the NDVI ratio was essentially around 100% per year; the value dropped to 77.4% just after the earthquake and fluctuated seasonally thereafter, reaching its highest value of 87.9% in 24 October 2021. And the value of NDVI ratio in 2022 reached its highest value of 83.4% in 9 October, indicating that the vegetation recovery of the study area is still in progress. Field surveys of vegetation recovery in landslide-affected areas and non-landslide areas were conducted during the 2022 growing season. As a result, a total of 47 plant species were counted, of which 15 woody species and 32 herbaceous species. The two vegetation types with the highest frequency of occurrence are Spear thistle (*Cirsium vulgare* (Savi) Ten.) and Fireweed (*Erechtites hieraciifolius* (L.) Raf. ex DC.), both of which are herbaceous. The clay-rich Ta-d volcanic deposits in the landslide areas give quite favorable circumstances for these vegetation species to develop, as the majority of these plant species need moist, fertile soils. However, there is little association between dominant plant species in non-landslide areas and newly discovered plant species in landslide sites. For instance, Dwarf Bamboo (*Sasa kurilensis*), which predominates in non-landslide areas, is hardly present in landslide areas. Dwarf bamboo is a shade-tolerant understory plant that relies mainly on root reproduction, which is probably why it has not yet appeared on bare soil in landslide areas.

Keywords: Landslides, Vegetation recovery, Satellite images, NDVI

P09

土層の水理特性と地中水の透過および降雨による表層崩壊の発生: 阿武隈山地北部における花崗岩および花崗閃緑岩を基盤とする斜面の比較

Soil Hydraulic Properties, Subsurface Water Percolation, and Rainfall-induced Shallow Landsliding: Comparison between Hillslopes Underlain by Granite and Granodiorite in Northern Abukuma Mountains, Japan

近藤有史 (京都大学・院) ・松四雄騎 (京都大学)

Arihito KONDO (Graduate student, Kyoto University), Yuki MATSUSHI (Kyoto University)

花崗岩類を基盤とする山地において、降雨による表層崩壊発生の要因となる斜面浅部での地中水の挙動を検討した。対象地域は 2019 年に台風ハギビスにより多数の表層崩壊が発生した阿武隈山地北部で、花崗岩および花崗閃緑岩をそれぞれ基盤とする地域を比較対照として設定した。両地域において、それぞれ典型的な崩壊跡地が存在する 0 次流域内の斜面を選定し、詳細な現地調査および水文観測を実施した。花崗岩斜面は比較的粒径の粗大な土層に薄く (1 m 未満) 覆われているが、花崗閃緑岩斜面は細粒な土層に厚く (1 m 以上) 覆われ、土層の上部が軟質であるのに対し、下部は比較的硬いという特徴を持つ。成形した滑落崖から採取した不攪乱試料を用いて土質試験を実施し、斜面浅部の土層の水理特性の鉛直構造を推定した。崩壊跡地の近傍にはテンシオメーターを多地点複数深度で設置し、降雨浸透に対する圧力水頭の応答を観測した。これらの結果を基に、鉛直二次元断面における地中水の挙動を解析した。花崗岩斜面では、雨水は高透水性の土層を速やかに透過し、透水性の低い岩盤の上面まで短時間で到達していた。特に滑落崖に最も近い観測深度では、圧力水頭がしばしば正圧に達しており、風化岩盤上での飽和浸透流の発生が確認された。これに伴い局所的に地下水水位が上昇することで、土層と岩盤境界がせん断破壊し、土層全体が崩壊するものと考えられる。一方、花崗閃緑岩斜面では、土層中を不飽和鉛直浸透する流れが支配的となっていた。浸透水の移動は、透水性の高い上部土層では速やかであるが、透水性が 1 桁程度低下する下部土層では遅くなり、浸潤前線が上部と下部の土層の遷移帯に差しかかると、その降下が停滞する可能性が示された。豪雨時には一時的に宙水帯が形成される可能性があり、その結果として、上部土層と下部土層の遷移帯においてせん断破壊が生じるものと推察された。

キーワード：水理特性の鉛直構造，不飽和鉛直浸透，飽和浸透流，テンシオメーター，花崗岩類，せん断破壊

P10

隆起山地における地形発達過程の復元と検証：六甲山地を事例として

Reconstruction and validation of landscape evolution in response to tectonic forcing using cosmogenic nuclide: a case in the Rokko Mountain

太田義将（京都大学・院）・松四雄騎（京都大学）・松崎浩之（東京大学）

Yoshimasa OTA (Graduate student, Kyoto University), Yuki MATSUSHI (Kyoto University), Hiroyuki MATSUZAKI (Tokyo University)

隆起山地における地形の発達過程について、数理モデルを用いたシミュレーションが盛んにおこなわれている。しかし、モデルから復元される地形発達履歴そのものに対する定量的な検証は不足している。本研究では隆起山地から供給された土砂の堆積場で掘削された深層ボーリングコア中の宇宙線生成核種 Be-10 の濃度プロファイルを用いることにより、隆起山地の地形が発達する過程を定量的に復元する。

ここでは近畿三角帯の西辺に位置する六甲山地を対象に研究をおこなった。六甲山塊は第四紀後期に隆起し、山腹部には南縁の断層によって低地と境された急峻で高起伏な斜面が広がるのに対し、山上部には小起伏面が広く残存している。山上部における現成流域の溪流堆砂に含まれる石英中の Be-10 濃度は 1.8×10^4 - $7.6 \times 10^4 \text{ atoms}^{-1} \text{ g}^{-1}$ と山腹部の流域よりも数倍程度高く、急激な隆起速度の増大に対応して発生する遷急線の遡上が、山上部には到達していないものと解される。隆起に対する応答として、地形が低標高部から急峻化するにつれ、流域の平均削剥速度は増大するものと考えられる。この地形発達史を検証するため、六甲山地南部の沿岸で掘削された深層ボーリングコアに対する Be-10 分析をおこなった。また、ストリームパワー則とハックの法則を組み合わせた単純な侵食モデルを用い、現成流域の Be-10 分析から定められた流域の削剥速度と、数値標高モデルの解析によって得られた地形急峻度指数との対応関係からモデルパラメータを設定することで、現在の河川縦断面形の逆解析によって隆起速度の変化に対する山地流域の地形発達過程を復元した。復元された流域地形から核種濃度の時系列的な変遷を計算し、深層ボーリングコア中の核種濃度プロファイルと対照することによって検証をおこなった。一連の解析により、地形および堆積物中の同位体データに基づいて隆起山地を発達させたテクトニクス履歴を定量的に復元できる可能性が示された。

キーワード：地形発達、宇宙線生成核種、テクトニクス、変動地形、モデリング

P11

宇宙線生成核種 ^{10}Be の核種生成率に関する最新のスケーリング方法論

Up-to-date scaling methodology for the production rate of terrestrial cosmogenic ^{10}Be

渡壁卓磨（森林総合研究所）・松四雄騎（京都大学）

Takuma Watakabe (Forestry and Forest Products Research Institute), Yuki Matsushi (Kyoto University)

宇宙線生成核種 ^{10}Be を用い、地表面露出年代や侵食速度を決定しようとする石英試料中に蓄積している ^{10}Be 核種濃度は、試料採取地点における核種生成率の時間積分を反映している。地表面に到達した二次宇宙線と酸素原子との相互作用によって宇宙線生成核種 ^{10}Be は生成されるため、その生成率は地磁気強度、大気圧（空気の厚さ）、および時間で変化する。これまでの核種生成率の計算では、地磁気緯度と大気圧の影響が組み込まれたスケーリングモデルを用いていた。このモデルは、特別な数値解析ソフトウェアを必要とせず、サンプル採取地点のスケーリングファクターを即座に計算できるという利点があった。しかしながら、この従来モデルは現在の地磁気緯度に基づいた宇宙線フラックスの空間的な変化を示しているが、時間変化を組み込んでいない点が特に問題であった。近年の研究の進展により、任意地点における宇宙線スペクトルを迅速に計算できるモデルが開発され、全球的な地磁気強度の計算が可能になった。これにより、地磁気強度ならびに古地磁気の時間変化の影響を組み込んだ新しいスケーリングモデルが開発され、オンラインで計算可能なシステムが構築されている。新しいスケーリングの方法論に従って、これまでに公表した侵食段丘面の地表面露出年代や花崗岩を基盤とする斜面の土層の生成速度を再解析したところ、地表面露出年代はより古く、土層の生成速度は遅くなる傾向にあることがわかった。これは、古地磁気強度の時間変化の影響だけでなく、基準となる高緯度・海水準地域の核種生成率が修正され、これまでに報告されていたものよりも小さな値になっているからである。

キーワード：スケーリングファクター、地磁気変動、LSDモデル、地表面露出年代、土層生成速度

P12

節理が十分に発達した岩盤におけるブラッキング発生の閾値と流れの特性：水槽実験

Flume experiments of threshold of plucking occurrence in bedrock with fully developed joints

石塚雅大（金沢大学・院）・遠藤徳孝（金沢大学）

Masahiro ISHIZUKA (Graduate student, Kanazawa University), Noritaka ENDO (Kanazawa University)

岩盤河川における侵食の主なメカニズムは、輸送される砕屑物粒子による摩耗（アブレーション）と節理などの結合の弱い箇所が生じる岩塊剥離（ブラッキング）である。アブレーションの先行実験研究は比較的多い一方、ブラッキングについての力学的理解は遅れている。ブラッキング発生前の岩盤は、ゆるく基盤と結合しているか、もしくは亀裂によって完全に分離しているが周囲とかみ合った状態であるのが一般的である。こうした状態（結合やかみ合いの程度）は個々の部分において千差万別であり、ブラッキングのしやすさ（あるいはしにくさ）を定量化することを難しくしている。本研究では、ブラッキング発生準備段階の岩盤の緩い結合状態に着目した。室内アナログ実験により磁石を用いてモデル化し、引張による分離が起きる際の限界の力（引張強度）により結合状態を定量化した。さらに、数値シミュレーションと組み合わせる解析を行った。室内モデル実験には、循環型一方向流水槽を用い、下流の堰を段階的に下げて平均流速を上げながら観察を行った。ブラッキングで剥離する岩盤ブロックのアナログ材料には、プラスチック製ブロックを用いた。ブロックや河床の形状やサイズの条件、引張強度や基盤との結合部の向きを変化させ、同一条件で5回ずつ実験を行った。その結果、わずかな引張強度の差がブラッキング発生の抑制に大きく寄与したことが、および、上流側に結合をもつ河床は、下流側に結合をもつ河床に比べ、ブラッキングは大きく抑制されることが確認された。従って、自然界で発生するブラッキングは、引張強度がほとんどないか非常に小さい、例えば、完全に分離していてわずかにかみ合った（interlocking）状態の岩盤ブロックで生じている場合が多いと推測される。また、実験結果から、ブラッキングは岩盤の上流から下流に向かって進行していくことが推測される。今後は、ブラッキング発生の閾値を引張強度と流れの状態から予測できるか検証を続けていきたい。

キーワード：

P13

花崗岩山地の隣接源流域における土層発達および降雨流出過程の比較研究

Comparative study on soil development and storm runoff processes in adjacent granitic headwaters

馬場俊明（京都大学・院）・松四雄騎（京都大学）・渡壁卓磨（森林総合研究所）

Toshiaki BABA (Graduate student, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University), Yuki MATSUSHI (Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University), Takuma WATAKABE (Forest Research and Management Organization)

花崗岩山地の隣接した2源流域に対して水文観測・土層構造調査を行い、地理情報システムによる地形解析とあわせて、源流域スケールでの土層発達過程を検討した。ここでいう源流域とは、恒常的な水流、あるいは過去に掃流力によって土砂が排出された形跡のある河道の上流端より上流側の谷頭斜面と河道下流端までの谷壁斜面を含めた0~1次谷流域を指す。山地源流域の水文特性は多様であり、流路頭の集水面積・勾配・土層厚などの地形量にばらつきがみられる。地質や、テクトニクス、気候（あるいは植生）などの要因が同等とみなせる源流域間では、流域内の微地形構成の多様性は、土層の生成・輸送・集積・除去のシステムの差異に由来するものと考えられる。そうした差異が生じる機構と過程を明らかにするため、同等な流域面積を持つものの、土層の集積状況や微地形配置が明瞭に異なる隣接した2源流域に対し調査を行った。その結果、谷底部の平均土層厚には2.8 mと5.2 mという差異が認められた。土層が厚く、恒常水流の無い緩斜面な流域では、粘土化の進んだ土層が埋没腐植を覆う構造を有することが確認された。また基盤岩直上に設置したピエゾメータでは、土層が薄く、恒常水流を持つ流域の谷頭直上でのみ、地下水面の形成が観測された。これらの結果から、厚い土層が水貯留容量を増大させ、飽和地表流の発生を抑制することで、土層の侵食が進みにくくなることや、長時間かけて厚く発達した土層が粘土化することでその安定性をより増すことなどが示唆された。

キーワード：花崗岩山地，源流域，土層構造，降雨流出過程

P14

土砂吸出しの盛んな利用地における降雨後流出モデル推定における留意事項

Modeling points of Abundant Sand Seepage Area after Rainfall Flow Analysis

安東尚美（流域調整室技術事務所）

Naomi ANDO (River Basin Control Bureau Office)

京都の茶源郷，和東町石寺の実験用地は，バブル期に造成分譲された後放置され，田畑や駐車場として利用され，地質は大阪層群と風化花崗岩層が混在している．浅い地下水流による土砂の吸出しを伴う小規模地すべり及び擁壁の傾きが道路沿いに見られ，実験用地の下流側では町道橋の改築が予定されており，改築後に橋を安定させるためにも，土砂を吸い出す周辺の地下水流を把握し，うまくかわす対策が必要とされている．

浅い地下水流を，対策水抜き工法に応じてモデル化する前段として，UNSAF3D を用いた浸透流解析を検討したが，橋改築に際してのボーリングデータは公示入札まで公開できないとされたため，地形測量情報に基づきモデル化した場合の，風化花崗岩による粘土質の層，透水性の大きな砂層がどのように分布しており，実際に降雨時にどのような地下水挙動を示しているのかを想定するため，一まとまりで 30 mm 以上の降雨があった後に，実験用地から橋周辺まで 5 か所の定点を定め，拓和の地下水流音計で 2022 年 4 月 30 日から 9 月 25 日までの 5~6 回計測した．

上流部の P1, P2 は実験用地内にあり，冬季に 1 m 深地温調査による浅い伏流水流が検出された箇所やその下側で，下流側は，改築が予定されている橋の左右岸で，P3 は，造成地や橋を渡った先の崩壊がよく見られる町道から側溝に流入する点，P4 は大雨時に町道を横断する表流水が見られる下流側，P5 は橋の手前の流水の多い側溝の道の反対側である．

その結果，上流部の点では春季の方が流水音が大きく，道路に対して表流水が 9 月 23 日に見られた後の 9 月 25 日のみ，道路の下流側 P4 での地下水音が小さくなっていた．前期降雨や気温による蒸発も考慮し，地盤条件と初期水位を設定する必要があると考えられる．

キーワード：伏流水，土砂吸い出し，降雨，表流水

P15

地形量に基づく全球の領域分割データから求めた低地の分布に関する考察

Consideration on the distribution of lowlands obtained from the global polygons segmented by topographic attributes

岩橋純子（国土地理院）

Junko IWAHASHI (GSI Japan)

発表者は、沖積平野から山地に至る多様な斜面について地盤脆弱性を反映した地形分類を実現することを目的に、同じような形（≒性質）を持つ斜面をゾーニングしたマップデータを作成する研究を継続して行い、解像度 90 m の MERIT DEM から計算した地形量に基づく全球の領域分割データを作成・公開した (<https://gisstar.gsi.go.jp/terrain2021/>)。このデータは、日本に於いて地形の中区分に沿った分類結果を作成できる手法を全球に広げたものであり、類似の先行研究の成果同様、すでに、詳細な地質図や地形分類図が入手できない地域において、地震による揺れやすさの評価等に利用されている。一方、安定陸塊や乾燥地など、日本と大きく地形形成作用が異なる地域についてのデータの評価はまだ不十分である。

本研究では、この領域分割データから、最も低平な領域を取り出し、さらに DEM の水文計算により Sink（窪み）と判断される領域と重畳して分布を調べた。その結果、日本ほか河川地形が卓越する造山帯では、それらの領域は概ね合っており、氾濫平野に相当しパキスタンの 2022 年夏の洪水域等とよく一致している事が分かった。

一方、安定陸塊、例えばアフリカ大陸では、河川沿い以外にも巨大な Sink 領域が広がるが、それらはチャド盆地などの大地形に相当し必ずしも低平地ではない。しかし、オーストラリアの地下水位データ (Australian Groundwater Explorer) と比較した結果では、次のような関係が見られた。自由地下水の井戸は Sink 以外に多く、地下水位は少なくとも深さ 40 m 程度までは HAND（最寄り落水線からの比高）と相関があり、その傾向は Sink 内でより顕著である。自噴井戸は Sink に多く、さらに、Sink 以外では低平地ほど出現率が高いが、Sink では少し小高い段丘的な地形で最も出現している。従って、安定陸塊の乾燥地であっても水関係のアセスメントにデータを使える可能性はある。いずれにせよ Physiography や気候を考慮した取り扱いが必要と考えらえる。

キーワード：数値標高モデル，DEM，地形分類，機械学習，Sink

P16

RTK-UAV と河床変動シミュレーションを用いた魚道設置事業の支援 ～東近江市版 SIB によるピワマス魚道を対象として～

Support for fishway installation project using RTK-UAV and riverbed simulation

小倉拓郎（筑波大学）・水野敏明（滋賀県琵琶湖環境科学研究センター）・片山大輔（滋賀県立琵琶湖博物館）・山中大輔（前・滋賀県立琵琶湖博物館）・佐藤祐一（滋賀県琵琶湖環境科学研究センター）

Takuro OGURA (University of Tsukuba), Toshiaki MIZUNO (Lake Biwa Environmental Research Institute), Daisuke KATAYAMA (Lake Biwa Museum), Daisuke YAMANAKA (Former Lake Biwa Museum), Yuichi SATO (Lake Biwa Environmental Research Institute)

市民から環境など社会的に必要とされる事業について、関心ある人々から小口の投資を募り、事業の成否をもって償還の成否きめるという、社会的な投資事業を SIB (Social Impact Bond) 事業という。滋賀県東近江市では、2021 年度にピワマスの魚道を設置する見直しをするための SIB 事業の公募があり、予定されていた投資額が集まりピワマス魚道の見直しが実施された。2022 年以降は、本設置に向けて動くものの、洪水時に魚道に対してどの程度の侵食・堆積プロセスやせん断力がかかるのかを把握しておく必要がある。しかし、そのためには、河道の三次元形状を詳細に把握し、綿密な測量計画を立案する必要がある。そこで、本研究では地域活動を支援することを目的として、RTK-UAV を用いた溪流の魚道設置予定区間の三次元形状の測量を行った。対象とする河川は愛知川支流の渋川である。得られた三次元地形図を用いて、河川シミュレーションソフト iRIC を用いて二次元流れシミュレーションを行うことにより、洪水時の最大水深やせん断力の大きさなどを推定した。斜面に沿って地形追従できる RTK-UAV を用いることで、人が立ち入れない溪流の崖付近からも撮影できた。撮影時間は 20 分程度であった。計測成果の精度は 5 mm 以下であった。iRIC を用いて河床変動シミュレーションを実施した結果、洪水時の最大水深は 50 cm でおおよそせん断力 150 N/m^2 以上の力が魚道の取水口近くで生じる可能性が算出された。この値のほか、見直し魚道の設置位置にせん断力がかかりにくい位置であること、取水口は特に丈夫につくる必要があることなどを有志らと共有できた。この結果は、令和 3 年度の『愛知川小さな自然再生 SIB 事業「子どもたちにピワマスを見せてあげるぞ!」～簡易魚道の見直しで大人の川ガギづくり』の報告書にも掲載された。総じて、RTK-UAV を用いた溪流の三次元測量成果が、地域活動の支援に役立つことが明らかとなった。

キーワード：RTK-UAV, 高精細地形情報, 河床変動シミュレーション, 魚道整備, 愛知川

P17

DEMを用いた周氷河斜面の抽出に向けた検討

Examination for extracting Periglacial Smooth Slopes using DEMs

奥水健一・石丸 聡・濱原和広（北海道立総合研究機構）

Ken'ichi KOSHIMIZU, Satoshi ISHIMARU, Kazuhiro HAMAHARA (Hokkaido Research Organization)

周氷河斜面は傾斜が緩いことから、斜面崩壊がほとんど生じないと考えられてきた。しかし、周氷河斜面の発達する北海道日高地方日勝峠周辺では 2016 年豪雨によって斜面崩壊が多発し甚大な被害を及ぼした。このため、DEM などから周氷河斜面を未然に抽出する手法の検討は重要である。周氷河斜面は、i) 後氷期開析前線よりも上方斜面、ii) 傾斜が連続的に 30°前後となる斜面、iii) 平滑性が高い斜面という地形的特徴を持つ。i)、ii) に関しては、DEM から抽出可能であるが、iii) については有効な地形量の検討は十分行われていない。そこで、斜面の平滑性の指標として、斜面の法線のばらつきを表す「固有値比」に着目して、平滑性の高い周氷河斜面の抽出に有用であるかを検討した。具体的には、上記 i)、ii) の条件を満たす周氷河斜面の地域（日勝峠、北大天塩演習林、礼文島東海岸地域）を対象に、固有値比の条件値と DEM のセルサイズの違い（2 m, 5 m, 10 m；ただし、礼文島東海岸は 5 m, 10 m）による比較を行った。日勝峠地域は 5 m および 10 m DEM で固有値比 4 以上の斜面は現地調査で周氷河斜面と認定した斜面に相当していた。一方で 2 m DEM は、局所的な微地形が反映されてしまい、固有値比の条件値を特定することが困難であった。北大天塩演習林地帯も日勝峠地域と同様に、5 m および 10 m DEM で固有値比が 4 以上の斜面は周氷河斜面に相当した。礼文島東海岸地域は、5 m DEM で固有値比 4 以上の斜面は周氷河斜面に相当した。一方で 10 m DEM の場合、固有値比 4 以上の斜面は一部沢地形が含まれた。以上の結果から、5 m DEM を用い、固有値比 4 以上となる斜面を抽出することで、平滑性の高い周氷河斜面を抽出できる可能性が高いと考えられる。

キーワード：周氷河斜面，DEM，固有値比

P18

北海道日勝峠・狩勝峠周辺の化石周氷河斜面における堆積物の細一中礫ファブリック
—高品質ボーリングコア試料の X 線 CT 観察による三次元粒子解析—

Fabric of relict periglacial slope gravelly deposits in the Northern Hidaka Mountains, Hokkaido, Japan -Three-dimensional particle analysis of well-cared boring core samples using X-ray CT -

小安浩理・加瀬善洋・石丸 聡・川上源太郎・仁科健二（北海道立総合研究機構）

Hiromichi KOYASU, Yoshihiro KASE, Satoshi ISHIMARU, Gentaro KWAKAMI and Kenji NISHINA (HRO)

北海道には化石周氷河斜面が広く分布する。化石周氷河斜面を構成する堆積物は、一般的には淘汰が悪く角礫を主体とするため、礫の産状に着目して記載・解釈されてきた。一方、凍結融解作用により不淘汰な堆積物中にもシルトを主体とする構造が存在するとされるが、そのような構造が詳細に記載される例は少なく、形成プロセスにも不明な点が多い。本研究では日勝峠および狩勝峠周辺における日高山脈西山麓の泥質片岩、片麻岩および花崗閃緑岩分布地域において高品質ボーリング掘削を実施した。コアは肉眼観察により層相を区分するとともに、X線CT撮影によりコアの成層構造および細一中礫の配列方向を記載した。

採取した堆積物は、いずれの地点でも、風化基盤岩上に礫質褐色土（~2 - 5 m）、黒土（~0.1 - 0.8 m）が累重する。礫質褐色土の礫径および礫量は上方に向かって減少する傾向がある。礫質褐色土は下位より、中礫以上を主体とする礫層、シルトないし砂の明瞭な薄層を挟在する砂礫互層、基質支持の細一中礫からなる砂質礫層ないし礫質砂層に区分される。砂礫互層は花崗岩分布地域で典型的に発達する。砂質礫層は上位の礫質砂層へと漸移する。礫質褐色土の直上には樽前 d テフラ（Ta-d: 9 ka）がしばしば確認される。

礫質褐色土は黒土ないし Ta-d の層序的下位にあることから、最終氷期の周氷河環境で形成されたと考えられる。基盤岩直上の礫層では礫の長軸に卓越する方向がみられず、礫に剪断力が働かない集合的な運搬様式を示唆する。砂礫互層では礫の長軸方向が層理面の傾斜方向と直交する傾向が強いことから、礫を転動させる運搬様式で形成されたと推定される。砂質礫層および礫質砂層では礫の長軸方向と層理面の傾斜方向が平行ないし斜交することから、礫を滑動させる運搬様式によるものと考えられる。

キーワード：北海道，日勝峠・狩勝峠，化石周氷河斜面，高品質ボーリングコア，X線CT，礫ファブリック

P19

高解像度空間情報の解析に基づく海底地形発達過程の検討：能登半島珠洲沖の事例

Examination of seafloor topography development process based on analysis of high-resolution spatial information : Case study off the coast of Suzu on the Noto Peninsula

二木敬右（北陸電力株式会社），松四雄騎（京都大学）

Keisuke FUTAGI (Hokuriku Electric Power Company), Yuki MATSUSHI (Univ. Kyoto Disaster Prevention Research Institute)

近年、津波波源として海底地すべり等の地震以外の要因が注目されており、その発生位置や規模、過去の履歴を詳細に把握し、減災や防災上の施策に反映することが望ましい。一方、海域は陸域に比べ大規模な調査が必要となることや公開データが少ないことから、十分な範囲や密度で測深データの地すべり地形の解析に必要な基礎情報が得られているとは言い難い。本研究の対象である能登半島の珠洲沖では、既往研究により断層や大規模な馬蹄形凹地の存在が指摘されているが、一部範囲では既存測深データの密度が疎であり、概略的な地形情報しか得られておらず、詳細な評価は困難であった。そこで、本研究ではマルチビーム測深により高精度の海底地形データを取得し、さらに既存の海上音波探査記録を活用することで、海底地すべりに由来すると考えられる地形の特徴やその規模等について詳細に検討した。地形判読の結果、大規模な馬蹄形凹地が小規模な複数の崩落崖と堆積物に区別されることや既往研究で指摘された崩落崖が明瞭でない箇所があることが確認された。こうした地形判読結果は、音波探査記録に基づき判別される崩壊域と堆積域の規模やそれらの相対的な位置関係とも整合的であった。複数測線の海上音波探査記録を総合的に解釈すると、当該海域の南側では古い時代に構造運動等により形成された馬蹄形の海底地形が侵食・埋積される過程において、一定以上の勾配を持つ斜面の表層が滑動するマスマーブメントが発生しており、その規模は比較的小さいと解釈された。また、一部の場所においては斜面上部で滑落崖状の地形が明瞭な一方、下部で堆積域が不明瞭であり、当該海域の特性や微地形も踏まえると、海底を覆う堆積物が混濁流等の発生により再移動・再堆積するような地形発達過程が推察された。

キーワード：能登半島，海底地すべり，海底地形判読，海上音波探査記録，地形発達

P20

LiDAR と写真測量で作成したタフォニの三次元データの比較ー野島崎における事例
ー

Comparison of 3D data of tafoni created from LiDAR and photogrammetry - a case study in Nojimazaki

富所 晨悟 (筑波大学・院) ・佐藤 昌人 (防災科研) ・小倉 拓郎 ・八反地 剛 (筑波大学)
Shingo TOMIDOKORO (Graduate Student, University of Tsukuba), Masato SATO (NIED), Takuro OGURA,
Tsuyoshi HATTANJI (University of Tsukuba)

タフォニの発達に関する研究では、手作業でタフォニの大きさや深さを計測する手法がとられていた。近年普及してきた SfM 写真測量や LiDAR などのレーザー測量を用いることで、崖面の三次元形状を効率よく取得することができるようになった。これにより、タフォニの形状をより詳細に捉え、タフォニ内の日射の当たり方を評価できるようになった。本研究では、房総半島・野島崎において、タフォニが形成されている複数の段丘崖を対象に、LiDAR SLAM と写真測量で崖面の三次元計測を行った。LiDAR スキャナは DJI 社製 Livox AVIA を使用し、点群データを取得した。写真測量はカメラ(Nikon D200)を用いて撮影し、SfM 解析ソフトの Agisoft Metashape Professional を利用して点群データを作成した。これらの点群データを点群処理ソフト cloudcompare の Poisson Reconstruction ツールを用いて、崖面の三次元データを作成した。両者の比較を行うとともに、現地の写真と照らし合わせながらタフォニの検出限界を確認した。計測の結果、両者の点群データでは同程度の点群密度が得られたが、その特徴は対照的であった。LiDAR SLAM では、現地で歩き回りながら点群を取得・合成するため、写真測量に比べ点群の穴抜けが少なかった。一方で点群にノイズが多く、三次元データでは崖面が細かい凹凸で覆われたため、検出できた最も小さなタフォニは 10-20 cm 規模であった。写真測量では、ノイズが LiDAR SLAM に比べて小さく、三次元データ上では 5 cm 前後のタフォニをも判別することができた。一方で、写真から点群データを作成する作業に 2~3 時間程度を要する、写真に映らない死角部分に穴が開く、cloudcompare 上での動作が非常に重く、三次元データの分析作業に支障をきたすといった問題点が明らかになり、作業を円滑にするためには大幅に点群を間引きする必要があった。以上の結果から、どちらの手法を用いた場合でも、検出と解析が行えるタフォニの最小規模は 10 cm 程度であると考えられる。

キーワード：野島崎, LiDAR, 写真測量, タフォニ, 三次元データ

P21

青森県西津軽地域の形成年代の異なる海成段丘を構成する安山岩の風化による差異について

Mineral and Strength Analyses in Weathered Andesite composing Marine Terraces formed on Henashi Peninsula, Aomori, Japan

大島誠矢 (弘前大学・院) ・小島秀和 (同志社大学) ・中尾 淳 (京都府立大学) ・若狭 幸 (弘前大学)

Seiya OSHIMA (Graduate Student, Hirosaki University), Hidekazu KOBATAKE (Doshisha University), Atsushi NAKAO (Kyoto Prefectural University), Sachi WAKASA (Hirosaki University)

地形形成の時間を特定することは、地殻活動、地震、災害などの地形の理解のために重要である。地形の形成年代を推定する測定法は種々存在する。しかし、測定法により年代の適用範囲や分析に必要な物質が異なるため、あらゆる地域に適用できる測定法はない。その中でも風化による年代測定法は、年代範囲が広く、物質の制約がないため、あらゆる地域での適用が期待される。しかし、風化は開始時期の認定が難しく、風化時間が長期にわたるため、未だに時間との関係が不明確である。本研究では、形成年代が推定されている海成段丘の各段丘面を構成する基盤岩の風化程度を評価することで風化と時間の関係を明らかにすることを目的とした。調査地域は、青森県深浦町に発達する、それぞれ、海洋酸素同位体ステージ (Marine Isotope Stage: MIS) が 5a, 5e, 7 と推定されている海成段丘面である。各段丘面の表面から採取した安山岩 6 試料を用いて、風化程度を評価した。まず、風化指標 V 値 ($(Al_2O_3 + K_2O)/(MgO + CaO + Na_2O)$) を算出するため、化学組成を蛍光 X 線分析法 (X-Ray Fluorescence: XRF) により測定した。次に、風化による鉱物の変質を明らかにするため、X 線回折法 (X-Ray Diffraction: XRD) による鉱物同定と走査型電子顕微鏡 (Scanning Electron Microscope: SEM) によるエネルギー分散型 X 線分析 (Energy Dispersive x-ray Spectroscopy: EDS) により元素マップの作成を行った。さらに、風化による岩石表面の強度変化を評価するため、シュミットハンマーを用いた反発値の測定を行った。V 値は、5a 面が最も小さく、形成年代古くなるほど大きくなる傾向が認められた。鉱物の変質は、5a 面では見られなかったが、5e 面と 7 面では確認された。シュミットハンマーによる風化の評価は、5a 面がその値が最も小さく、5e 面と 7 面になるにつれて風化程度が増加した。

キーワード：海成段丘，深浦町，安山岩，風化

P22

フィンランドの年縞湖沼における珪藻・黄金色藻遺骸群集の変動を用いた過去2000年間の洪水頻度の詳細復元

High resolution reconstruction of ancient flooding histories during 2000 years at annually laminated lake deposits in Finland presumed by micro-fossil assemblages (Diatoms and Chrysophyceae Cists)

鹿島 薫・福本 侑 (島根大学)・ティモ サーリネン (トゥルク大学)

Kaoru KAHIMA (Shimane University, Guest Researcher), Yu FUKUMOTO (Shimane University, Guest Researcher), Timo SAARINRN (University of Turku)

フィンランドには毎年の季節変動が縞状構造(年縞)として保存されている淡水湖沼が多数分布している。これらの湖では、年縞による堆積物の編年に基づき、詳細な環境変動の復元が可能となる。本研究では、以下の湖沼において珪藻遺骸群集および黄金色藻類休眠胞子の観察を行った。

研究地域は以下の湖沼であり、過去2000年を研究対象とした。調査湖沼と分析試料数、分析間隔は以下の通りである。両湖沼はいずれもフィンランド中東部に位置している。

Lehmilampjarvi 湖: 402 試料, およそ5年間隔

Kalio-Kourjarvi 湖: 185 試料, およそ10年間隔

調査湖沼では、各年の年縞の層厚が計測されている。最近50年における観測気象結果を対照すると、冬季の気温低下と層厚増加が一致した。より長期の年縞の層厚変動も当時の気候を強く反映していると考えられている。火山噴火に伴う寒冷年(AD1783アイスランドLaki火山噴火ほか)には年縞層厚のピーク傾向が各湖で共通に観察された。

一方、湖岸や周辺低地に生息している付着生珪藻や黄金色藻類休眠胞子の産出頻度は年縞層厚と対応して変動している。それらの産出頻度が増加する年は厚層の年縞が形成されている。このことから、融雪時の大規模出水が年縞の層厚増加をもたらしたことが、付着生珪藻や黄金色藻類休眠胞子の産出傾向から推定することができた。

キーワード: 年縞湖沼堆積物, 珪藻, 気候変動, フィンランド

P23

モンゴル，オルゴイ湖古汀線トレンチ試料の分析と古環境推定

Paleoenvironment in Lake Olgoy, Mongolia based on the analyses of sediment from the paleoshoreline

渋谷侑磨・Uyangaa Udaanjargal・五十嵐雄大・Ganbat Shuuhaaz（金沢大学・院）・Davaardorj Davaasuren（モンゴル国立大学）・田中幸哉（キョンヒ大学）・長谷部徳子（金沢大学）

Yuma SHIBUYA (Graduate student, Kanazawa University), Uyangaa UDAANJARGAL, Yudai IGARASHI, Ganbat SHUUHAZ (Graduate student, Kanazawa University), Davaardorj DAVAASUREN (National University of Mongolia), Yukio TANAKA (Kyung Hee University), Noriko HASEBE (Kanazawa University)

モンゴルは過去の激しい水位変動の記録として数多くの湖汀線が見られる(Komatsu et al. 2001). また、この水位変動は過去の激しい気候変動によるものだと考えられている。モンゴルの激しい気候変動は、モンゴルがシベリア高気圧、東アジア夏季モンスーン、偏西風という3つの気候システムの接点に位置しており、どのシステムが支配的であるかにより大きく気候が変わるためだと考えられている(An et al. 2008).

モンゴルの古気候を復元する際は各地域の水位変動による地形の変遷や気候システムの理解が重要である。とくに西中央部では研究データが散在している(Grunert et al., 2000やLehmkuhl et al., 2016). そこで本研究ではモンゴル西中央部のOlgoy湖に焦点を当て気候システム理解の前段階として調査を行った。

Olgoy湖はモンゴル中西部のValley of the Gobi Lakesに存在する湖である。この湖では、構造隆起で形成されたこと(Bayasgalan, 2018)や、過去の大規模流入があったこと(Matsumura et al., 2019)が判明している。しかしながら、いつどの程度まで湖が拡大していたかという年代研究があまり行われていない。

本研究では標高の高い古汀線からトレンチで採取した試料の物理量分析を行った。また、石英のOSL年代測定法を行った。しかし、この地域の試料はOSL年代が想定されている年代よりも過小評価されて出てきてしまう問題がある。一方乾燥域の土壌では、植物の根が深くまで到達するため、 ^{14}C 年代測定が利用しにくい。そのため、現在存在する湖の底から採取したコア試料のOSL年代と対比させ、同深さの ^{14}C 年代と比較することで間接的に年代を求めた。

結果として、14000年前、26000~33000年前に湖が拡大するような時期があったことが判明した。この時代はコア試料の微量元素分析の結果から永久凍土層が溶けて流れ込んで来た時期である(Uyangaa et al., 2020)と考えられている。また、後背地に存在するハンガイ山脈のモレーン後退時期(Rother et al., 2018)とも整合的である。これらの時期に永久凍土層が溶けて大量の水が流入し湖が拡大したこと、特に26000~33000年前の流入ではOlgoy湖が最大湖水位まで至るようなイベントだったことが判明した。

キーワード：湖沼堆積物，OSL年代測定，永久凍土

P24

Analyses of Tsagaan Lake Sediment, Valley of The Gobi Lakes, Mongolia, to Understand the Past Environmental Changes and the Effect of Ongoing Global Warming

Shuukhaaz GANBAT (Graduate student, Kanazawa University), Noriko HASEBE (Kanazawa University), Davaadorj DAVAASUREN (National University of Mongolia), Uyangaa UDAANJARGAL (Kanazawa University), Shinya OCHIAI (Kanazawa University), Yuma SHIBUYA (Graduate student, Kanazawa University)

Lake sediment is an excellent archive for understanding climate in the past. Especially, endorheic basins are appropriate for the paleoclimate study. Mongolia is a sensitive country to climate change because of the lack of available water sources. The desertification, deterioration of lakes, and degradation of permafrost are significant evidence of ongoing global warming in this region. In this work, we aim to understand the climate condition in the past for the arid region of Mongolia based on the lake sediment analysis with recent time sediment chronology. We retrieved the core sample (136 cm depth) from the Tsagaan lake in the Valley of the Gobi lakes, Mongolia. The physical and chemical characteristics such as water content, organic matter, carbonate, silica and sediment grain size were measured. ^{210}Pb dating method was applied and three age models by assumptions of Constant Rate of Supply (CRS), Constant Initial Concentration (CIC), and Constant Flux and Constant Sedimentation (CFCS), were investigated for the sediment chronology. In addition, a self-calibrating Palmer Drought Severity Index (scPDSI) was calculated for the study area using the Climate Research Unit (CRU) data. In order to understand the relationship between climate and sedimentation factors, Principal Component Analysis (PCA) was applied in this study. According to the comparison of age models under three different assumptions, the CRS model reveals the reliable age estimation for the down core profile relative to CIC and CFCS models. Based on this model, upper 24 cm of sediment core records the environmental history of 87 years. The drought dominant period is clearly obtained since 2000 from the result of scPDSI. Such a dry period (negative value of PDSI) is coinciding with the abundance of organic matter, carbonate, and silica with the coarser particles in the lake sediment. This result is also evidenced by the significant correlations of loading plots in PCA.

Keywords: Lake sediment, 210-lead dating, Climat change

P25

Reconstruct the paleoenvironmental changes in the arid area: Imprints in the sediment from Olgoi lake, Mongolia

Uyangaa UDAANJARGAL, Noriko HASEBE (Kanazawa University) Yudai IGARASHI (former Kanazawa University), Davaadorj DAVAASUREN (National University of Mongolia), Hitoshi HASEGAWA (Kochi University), Baasansuren GANKHUREL (Kanazawa University), Katsuta NAGAYOSHI (Gifu University), Shuukhaaz GANBAT (Kanazawa University), Ichinnorov NIIDEN (Mongolian Academy of Sciences), Keisuke FUKUSHI (Kanazawa University)

To assess the regional paleoenvironment, this study analyzed a 10.5 m sediment core retrieved from Olgoi lake (Olgoi Nuur) in the west central part of Mongolia. The sedimentary features are investigated as environmental proxies, including whole and mineral grain size, water, organic matter, carbonate, amorphous silica contents, and variations in elements analyzed by scanning X-ray fluorescence. The core was divided into six units based on lithology and analytical results: unit 1 with clayey sediments and brown silt, unit 2 is thoroughly dominated by silty layers, unit 3 depicted an abundance of sandy layers with brownish silt and gravel layers, unit 4 is dominated by sand and grey silt and intercalated gravel layers, unit 5 with brownish silt layers and unit 6 has alternations of mainly sand and gravel layers. The age model is given by OSL, IRSL, and Carbon-14 dating. Multivariate statistical analysis is applied to interpret long-term records. Factor 1 indicates in-lake activity and authigenic productivity. Factor 2 reveals detrital input /weathering/ terrigenous input, and Factor 3 implies the melting input from glacial and permafrost. MIS 2 and 3 stages were wet conditions in the Khangai mountains. At the same time, the Olgoi lake basin was humid. However, abrupt changes occurred via temperature increases accompanied by a dry climate during the Younger Dryas.

Keywords: Major and trace elements, Multivariate analysis, XRF data, Sediment characteristics, Arid area, Olgoi lake

P26

モンゴル南東部スフバータル県における湖岸段丘と完新世の急激な乾燥化

Holocene aridification and lacustrine terraces in the south-eastern Mongolia

カン スミン (慶熙大院) ・ オチル アルタンスフ (モンゴル国立大学) ・ 田中幸哉 (慶熙大学)
Su-Min KANG (Graduate student, Kyung Hee University), Altansukh OCHIR (National University of Mongolia), Yukiya TANAKA (Kyung Hee University)

モンゴル南東部のスフバータル県を中心として現在多数の凹地地形が見られる。これらの多くは湖岸段丘を伴いまた底面が湿地であることが多いことから湖が存在したことを示唆する。本研究ではボルゴインゴビの湖底面の堆積物 4 m 採取し、粒度、有機物含量および生物起源シリカ含量の分析を行った。湖盆の周囲には 1070 m a.s.l.の湖岸段丘が分布している。この地域の地殻変動は安定しているので、湖岸段丘の高さを過去の湖水面の高さと見なす事ができる。堆積物中に含まれる貝殻、植物遺体を利用し¹⁴C年代測定を行った。5000年前後に急激な粗粒化が見られた。これは湖水面の急速な低下を意味する。また有機物含量と生物起源シリカ含量の急激な減少が見られた。これらはこの地域の降水量の急激な減少を表している。この地域は融氷水の影響はないので、湖水面の急速な低下は降水量の急激な減少によるものと思われる。湖水面が上昇していた完新世前期までは地形的に湖の流出口が北側にあり東のフルン湖、そしてアムール川を経て日本海へと流出していた可能性がある。

キーワード：モンゴル、湖岸段丘、湖底堆積物、湖水面変動

P27

中国，河西回廊における石窟寺院が立地する地形－莫高窟および榆林窟－

Geomorphological environment of the Mogao Caves and the Yulin Caves in the Hexi Corridor, China.

島津 弘 (立正大学)

Hiroshi SHIMAZU (Rissho University)

本研究は科学研究費補助金「石窟史料を活用した敦煌オアシス地域の歴史の再構築」の一環として、中国・河西回廊地域の石窟寺院が立地している地域の自然環境の解明を目指している。本発表では、河西回廊北西端に位置する規模が大きい2つの石窟寺院，莫高窟とその東およそ 100 km に位置する河川沿岸にある榆林窟を取り上げて，石窟寺院および周辺地域の地形環境について報告する。本研究は 2020 年度に始まり，現地調査が計画されていたが，コロナ禍のため実施できなかった。そこで，スペースシャトル SRTM-3，ALOS-2 のデータを使用した地形判読を行った。判読に当たっては，Google Earth 画像，旧ソ連製 20 万分の 1 地形図を参照した。河西回廊の南には北西－南西方向にチーリエン山脈が延びている。チーリエン山脈は山脈全体方向にほぼ並行した小山脈と山脈間の低地からなる。多くの河川は山脈内部に源流を持ち，山脈間の低地に沿って流れるが，途中から北流していくつかの横谷を形成し，河西回廊に流入する。低地部分の幅が山脈北部で広がっており，多くの河川ではこの低地に扇状地を形成している。これらの扇状地には堆積が継続している扇状地と一部段丘化した開析扇状地がある。莫高窟は最も北側の山脈を超えた横谷の出口に形成されている開析扇状地の扇面と河谷の間の段丘崖に位置している。一方，榆林窟は河西回廊から 2 列目の山脈を横切る横谷の上流側に位置し，低地を開析する谷底との段丘崖に石窟がつくられている。2 つの石窟のチーリエン山脈内での地形的位置は異なるものの，横穴を掘ることができる環境である段丘崖の分布が石窟の位置に重要な役割を果たしている可能性がある。

キーワード：河川地形，段丘崖，仏教遺跡，石窟，河西回廊，敦煌オアシス

P28

北海道，京極湿原の形成年代とテフラ層序

Formation age and tephrostratigraphy of Kyogoku Mire, Hokkaido, Japan

小村慶太朗・渡辺浩明・箕輪健太郎（北海道電力）・天野英樹（北電総合設計）

Keitaro KOMURA, Hiroaki WATANABE, Kentaro MINOWA (Hokkaido Electric Power Co., Inc.), Hideki AMANO (Hokuden Sogo Sekkei Co., Ltd.)

京極湿原は羊蹄山の北東約 17 km の標高 870 m 付近に形成された高層湿原で，約 7.5 ha の面積を持つ。洞爺・支笏カルデラの大規模噴火による削剥・埋積の影響を避けつつ，道央・道南地域のテフラ層序構築が期待される重要な湿原である。本研究では，京極湿原において，基盤まで達する複数本のコアを採取し，火山灰分析(組成分析・主要鉱物の屈折率測定)及び ^{14}C 年代測定を基に，京極湿原の形成年代の推定とテフラ層序の構築を試みた。

採取された堆積物は上位から主に泥炭層，有機質シルト層，灰色粘土層，黄褐色シルト層，砂質礫層である。 ^{14}C 年代測定によると，泥炭層と有機質シルト層は 10,430–18,800 cal BP，灰色粘土層は 18,320–26,340 cal BP，黄褐色シルト層および礫質砂層は >53,860 cal BP (測定限界)の年代を示す。堆積物中からは，B-Tm (白頭山)，Y1 (羊蹄山)等に対比される可能性のある砂層や軽石層が複数認められた。一方で，京極地域に降灰したとされる Ko-i (北海道駒ヶ岳)，Spfa-1 (支笏カルデラ)，Kt-2 (倶多楽・登別火山群)等の 2.5–5 万年前の広域テフラは検出されなかった。

本研究により，京極湿原の地形面は少なくとも 5.3 万年以上前に形成されており，湖沼の形成は 1.8 万年以上前，湿原環境となったのは 1.6 万年前ごろと推定された。また，2.5–5 万年前のテフラの保存状況が悪いということは，この時期に京極湿原が氷河あるいは雪溪に覆われていたことを示唆する。

キーワード：京極湿原，テフラ，羊蹄山

P29

鳥取砂丘植生マウンド解体試験区における地形変化の量的評価

Quantitative evaluation of topographic changes in the vegetation mound demolition test plot at Tottori Sand Dune

小玉芳敬（鳥取大学）・井上 凌・齊藤忠臣（鳥取大学）

Yoshinori KODAMA (Tottori University), Ryou INOUE, Tadaomi SAITOU (Tottori University)

鳥取砂丘の天然記念物範囲では 1991 年から機械や人力による除草活動がなされてきた。2006 年頃には比高 1 m 未満であった植生域が、周辺の機械除草に伴って 2017 年には比高 6 m 以上の植生マウンドへと成長した。そして植生マウンド間で風食凹地が進行し、潜在していた火山灰層が露出し、その面積を年々拡大していった。植生マウンドによって飛砂の不連続が発生したためである。植生マウンドの一部で人工的に植生を取り除くことで、南風を利用した植生マウンドの解体試験（N35.54°, E134.23°）が 2018 年度より行われている。本研究の目的は植生マウンド解体試験区周辺における地形変化を定量的に明らかにすることである。2018 年 12 月 11 日～2021 年 11 月 2 日に 19 回撮影されたドローン写真から、まず実体視による写真判読を行った結果、植生マウンド北東側の侵食が 2018 年以降顕著に認められた。また 2019 年 7 月以降に植生マウンドの侵食域から北へ向けて堤防状の堆積地形が発達し、2021 年 11 月にはその長さ 50 m、比高 2 m に及んだ。この堆積地形は北西側に滑落斜面をもち、南東風による砂の流れを示唆した。また対象植生マウンドの東側では、広く砂面低下が進行し、2017 年春以降に新たな火山灰層が出現した。次に Pix4dmapper により解析された数値地形データ 6 回分から、2018 年 12 月～2021 年 11 月までの植生マウンド解体試験区の北東側斜面の侵食量と、試験区東側の砂面低下域の侵食量の推移を求め、堤防状高まり地形の堆積量の推移との相関を調べた。その結果、植生マウンド解体試験区の北東側斜面の侵食量（積算 423 m³）と堤防状高まりの堆積量（積算 606 m³）の相関が高く（R²=0.9951）、試験区東側の砂面低下域の侵食量（積算 1,050 m³）との相関は低い（R²=0.1155）ことが明らかになった。つまり植生マウンドの一部解体により生じた砂は、遠方に運ばれることなく、マウンドに隣接する砂の高まりを形成したことが判明した。

キーワード：鳥取砂丘，UAS 撮影画像，写真判読，数値地形解析，植生マウンド，地形変遷

P30

岩手・宮城内陸地震により出現した地表変動の保護の状況

Conservation of earthquake-induced slope deformation of the Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake in 2008

目代邦康（東北学院大学）・大友拓海

Kuniyasu MOKUDAI, Takumi OHTOMO (Tohoku Gakuin University)

2008年6月14日に岩手県内陸部を震源として発生した岩手・宮城内陸地震（M7.2）は、宮城県栗原市や岩手県奥州市において、震度6強の揺れを起こし、様々な斜面変動を発生させた。この地震は、事前に活断層が認識されていなかった場所で発生した。そのため、発災後には、斜面変動の調査とともに、活断層研究者による断層地形の調査も多数行われた。こうした調査によって、学术论文に多くの地形が記載された。これは、災害の痕跡が科学的に評価されたといえる。その科学的に評価された災害の痕跡を示す地形は、教育や観光という場で利用すれば、災害発生という地域の歴史を後世の人に伝えることができるものとなる。こうした地形の多くが、地震後13年経過した2021年において、どれだけ保存されているかを明らかにするため、論文に記載されている内容と現在の状況とを対して整理した。活断層の動きを示す地表変動については、2021年現在、保護されて残されているものはなかった。また、斜面変動発生箇所では、植生が回復し、かつての様子が確認できなくなっている。また、対策工事が施工されている場所も多く、多くの地形は残されていなかった。その中で、巨大な地すべりである荒砥沢地すべりは、最小限の排土工事のみが行われ、地すべり発生後の地形が観察できるような形で保護が行われている。通常であれば対策工事が行われる地すべりが、最小の対策のみで残されたのは、地元の地形学者による価値付けが行われ、ジオパークという制度を使って、その研究者、地元政治家、行政等の関係者による合意形成が行われたことが大きい。自然災害の痕跡である地すべり地形を、地域のアイデンティティーとして残し、保全をするということが成功したまれな事例といえる。

キーワード：斜面変動，活断層，地形遺産，自然保護