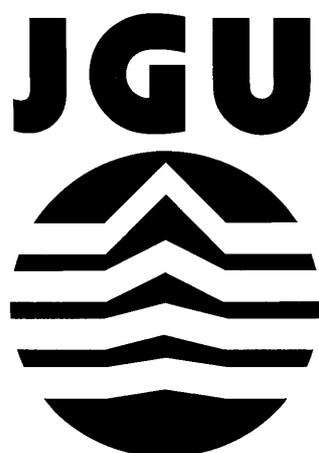


日本地形学連合発表要旨集

JGU Meeting Abstracts

vol. 2, no. 1

2022 年 2 月



日本地形学連合

日本地形学連合 2021 年秋季大会

期日：2021 年 12 月 4 日（土）～ 5 日（日）

会場：オンライン

口頭発表

001

インターバルカメラを用いた山地河川における河床材料粒度分布の変化の把握

Understanding changes in the grain size distribution of riverbed materials in mountain rivers using an interval camera

関根 峻 (筑波大学・院)・内田太郎 (筑波大学)・金澤 瑛 (国土技術政策総合研究所／筑波大学・院)
Ryo SEKINE (Graduate student, Univ. Tsukuba), Taro UCHIDA (Univ. Tsukuba), Akito KANAZAWA (NILIM / Graduate student, Univ. Tsukuba):

山地河川において土砂の流出状況を把握することは災害対策や流域の土砂管理を行う上で非常に重要である。特に河床材料の粒度分布は山地河川の流出土砂量を規定する要因の1つだといわれている。しかし、山地河川の河床材料の粒度分布は出水ごとに変化すると考えられるにも関わらず、アクセスの悪い山地河川では流路の変動やそれに伴う河床材料の粒度分布の変化に関する高頻度のデータは限られている。そのためこの研究では流路や河床材料の粒度分布のデータを時系列的かつ高頻度で取得する手法として、インターバルカメラを用いた観測を行い、その実効性を確認した。観測は富士川水系釜無川の支流大武川で行い、撮影のインターバルは1分とした。大武川は令和元年の10月に土石流が発生し、流域内に大量の土砂が残存していると考えられる流域である。本研究では大武川流域の大武川第4砂防堰堤の上流部において出水時の流況、出水前後の流路の変化及び河床材料の変化を観測した。約半年間の観測の結果、出水前後で流路の位置が変わるような大規模な出水が3回発生していることが分かった。河床材料の粒度分布の推定にあたっては、画像に映っている礫を目視で確認し、手動で輪郭を判読し、事前撮影したスケールをもとに礫径を求めた。その結果、半年間の出水で河床における50 cm以上の礫が占める割合が3%から45%に増加し河床材料の粒度分布が粗くなるという傾向が定量的に把握できた。本研究でインターバルカメラを用いた観測の実効性が確認できた。一方で手法の汎用性の確認や、画像解析や機械学習を用いた自動判読技術の活用が今後の課題である。

キーワード：山地河川，粒度分布，出水の観測

002

Geomorphometric characterization of the middle Brahmaputra river basins

B. M. Refat FAISAL (Graduate student, Hokkaido Univ.), Yuichi S. HAYAKAWA (Hokkaido Univ.)

The present study attempts to characterize the morphometric features of the middle Brahmaputra river basins (Teesta, Torsa, Manas, and Sankosh basins covering in total 82,603 km²) that has an influence on hydro-geomorphic response of downstream Bangladesh. The morphometric analysis including longitudinal profiles was carried out using newly released NASA-DEM (30-m resolution) data with the help of Geographic Information System (GIS). The drainage network ranges from 1st to 7th order with a drainage density of 0.30–0.64 km/km², stream frequency of 0.09–0.26 km⁻², and bifurcation ratio of 1.75–5.04, implying potentially high hydrological responses in the downstream reaches. The basin relief of 2420–7901 m and relief ratio of 5.31–10.38 remark generally high relief and steepness of the basins. The longitudinal profiles are seldom smooth with slope-break or irregularities that represent erosional features at the upstream region. The almost flat profile segments with a very limited change of elevation at downstream depict sensitivity to the depositional processes therein. The correlation analysis among different morphometric parameters shows interrelationships among them, reflecting complex geomorphic behaviors of the river basins. These morphometric characterizations would provide useful information about hydro-geomorphic responses in the basins and can contribute to our understandings of the geomorphological processes in the region.

Keywords: NASA-DEM, Geomorphometry, GIS, Middle Brahmaputra, Bangladesh

003

九州西岸沿岸湖沼堆積物に保存された過去 7500 年間におけるイベント堆積層—珪藻・黄金色藻遺骸を用いた台風襲来復元の試み—

Typhoon deposits at castal lakes during 7500 years at the western coast of Kyushu Island, Japan: Applications for ancient typhoon predictions using diatom and Chrysophytes assemblages

鹿島 薫 (九州大学)・福本 侑 (島根大学)・原口 強 (大阪市立大学)

Kaoru KASHIMA (Kyushu Univ.), Yu FUKUMOTO (Shimane Univ.), Tsuyoshi HARAGUCHI (Osaka City Univ.):

本研究では沿岸湖沼堆積物中のイベント堆積層について、珪藻遺骸および黄金色藻休眠胞子を用い、台風イベントに伴う環境変動の復元を行った。研究地域は、上甕島なまこ池と天草大蛇池（池田池）であり、過去 7500 年間の環境変動を研究対象とした。珪藻は沿岸湖沼における重要な第一次生産者であり、小動物に捕食された後、その糞粒として湖底に堆積保存されている。これに対して台風イベント発生時には、高潮・波浪・洪水によって、外洋水、海岸、湖周辺低地などから湖内へ土砂移動が見られ、その堆積物中に産出する珪藻群集も大きく異なっている。Woodruff et al.(2015) は天草大蛇池（池田池）における湖底ボーリングコア試料湖底下 1.91 m および 1.89 m の砂層を、それぞれ元寇時の文永の役（1274 年）と弘安の役（1281 年）における台風層準とした。しかし、本研究による珪藻遺骸および黄金色藻休眠胞子の解析結果、湖底下 1.91-1.28 m までが一連の台風堆積物であることがわかった。台風堆積物の層厚は 63 cm におよび、Woodruff et al.(2015) が示した 1-3 cm に比べて、20 倍近く厚い堆積物となっており、元寇時の台風が大量の土砂崩壊を伴う災害であったことが推定された。この台風堆積物は、歴史記録などとの対比から文永の役（1274 年）ではなく弘安の役（1281 年）における台風と推定された。元寇以前のイベント性堆積層については、天草大蛇池（池田池）では 6200 cal. yBP までに 10 層準を認めた。このうち、9 回は暴風と高潮による湖内への塩水流入が観察され、5 回は湖水が一時的に塩水化していたことがわかった。一方、上甕島なまこ池においては、元寇以前に、6400 cal. yBP までに 8 層準を認めた。これらはいずれも暴風と高潮を伴う台風であり、高潮や波浪に伴う外洋水の流入、礫洲湖岸から湖心への土砂移動が推定された。

キーワード：イベント堆積物, 湖沼堆積物, 珪藻, 黄金色藻休眠胞子, 台風災害, 高潮

004

鋭角状に曲がった海岸線を有する伊良湖岬における漂砂量の変遷

Long-term change in longshore sand transport at Point Irago with shorelines meeting at acute angle

宇多高明 (土木研究センター)・藤城信幸 (元愛知県田原市立和地小学校)

Takaaki UDA (Public Works Research Center), Nobuyuki FUJISHIRO (former Wachi Elementary School of Tahara City, Aichi Pref.)

渥美半島西端には伊良湖岬が伸びており、渥美半島南岸に沿って形成されている表浜の砂浜はこの岬で途切れ、この岬を境に海岸線の向きがほぼ東西方向から北東方向へと大きく変わる。このため、伊良湖岬は表浜で卓越している西向きの沿岸漂砂の境界条件を与える重要な場所となっている。地形的に見ると、海岸線の走行方向が激変しているため、伊良湖岬周辺では沿岸漂砂が西向きに直進して伊勢湾湾口へと落ち込み、伊良湖岬を北側へ回り込んで流れることが難しいように見える。しかし、伊良湖岬の北側にも砂浜（西ノ浜）があり、この海岸での唯一の砂の供給源は伊良湖岬側にあること、同時に漂砂の連続性を考慮すると、海岸線形状が大きく変化していても沿岸漂砂は北側へと運ばれていると考えざるを得ない。しかし、過去に伊良湖岬付近での沿岸漂砂の発達状況と、その量的評価はなされていない。そこで海岸線の走行方向が 310° も大きく曲がる渥美半島先端の伊良湖岬周辺をとり上げて漂砂量の変遷について考察した。伊良湖岬の北側に位置する西ノ浜を構成する海岸低地の総面積に砂礫層の堆積層厚 27 m を乗じ、縄文海進極相期以降の経過年数 6000 年で除すと、砂礫の堆積速度は 7.4 万 m^3/yr となった。これより、伊良湖岬を北側に回り込んだ沿岸漂砂量は 7.4 万 m^3/yr と推定された。この沿岸漂砂量は、1986～1996 年に表浜の高松崎を通過した西向き沿岸漂砂量 10.1 万 m^3/yr と、1967～2008 年の平均値として算出された沿岸漂砂量 6.0 万 m^3/yr のほぼ中央値であった。一方、伊良湖港周辺の 1956 年当時の深淺図から読み取った波による地形変化の限界水深 6 m を与えて $Q = 780h_c^{5/2}$ なる関係から沿岸漂砂量を算定したところ、漂砂量は 6.9 万 m^3/yr となり、地形学的時間スケールで推定された沿岸漂砂量が工学的時間スケールでの沿岸漂砂量とほぼ一致することが分かった。しかし近年では、赤羽根漁港や伊良湖港での防波堤の建設に伴い沿岸漂砂の連続性が失われ、構造物の下手側で侵食が進む状況に変わった。漂砂の連続性が失われた場所では侵食が進んでいるが、そこから下手側に離れた場所では現状でも過去と同様の沿岸漂砂による地形変化が発生し堆積が続いている。

キーワード：伊良湖岬，西ノ浜，地形変化，沿岸漂砂，砂嘴

005

与那国島更新統石灰岩の大規模海食洞と海岸部の崩壊リスク

Large-scale sea caves and coastal collapse risk of Pleistocene limestone in Yonaguni Island

木村 颯 (九州大学・院)・菅 浩伸 (九州大学)

Hayate KIMURA (Graduate student, Kyushu Univ.), Hironobu KAN (Kyushu Univ.)

波の侵食により後退する海食崖では、崖上の建物や道路などの建造物が崩壊する被害が発生しており、その災害リスクを評価するために様々な研究が行われている。しかし、海食崖の基部に形成されることがある海食洞に関して、空間的な広がりやその地表部との関係は明らかになっていない場合が多く、陥没の危険性はほとんど認識されてこなかった。本研究では、与那国島南海岸の琉球石灰岩からなる海食崖の基部に開口する2つの大規模な海食洞を対象として、地表部と海食洞内部を連続的に可視化・地形解析することで、海岸部の崩壊リスクを評価することを目的とした。測量には SfM-MVS (Structure-from-Motion Multi-View Stereo) 技術を用いた写真測量を採用し、海岸部では RTK-GNSS (Real Time Kinematic - Global Navigation Satellite System) 搭載の UAV (Unmanned Aerial Vehicle) を使用した。洞窟内では伸縮可能な一脚に取り付けたカメラを用いて、それぞれ約 45,000 枚、72,000 枚の写真を撮影した。三次元モデルの作成にあたっては洞窟内部を複数領域に分割して解析した後にデータを統合することで、海岸域から海食洞まで連続する地形モデルを作成した。DSM (Digital Surface Model) や三次元メッシュモデルを用いた地形解析の結果、洞窟の奥行はそれぞれ 54 m、81 m と大規模であり、特に後者は道路の真下まで洞窟空間が広がっていることが明らかになった。その道路直下部で洞窟天井の崩落が最も進行しており、天井と道路との距離は 13.9 m まで迫っていた。そこで、天井の崩落によって生まれたと考えられる巨礫径を計測すると、鉛直方向の崩壊規模は最大 5.3 m であった。また、天井から地表部まで連続する節理は三次元モデル上ではほとんど確認できなかった。これらのことから、一度の崩壊で洞窟の真上に位置する道路が陥没する可能性は低いと推測されるが、節理の拡大やさらなる崩落などによって今後の崩壊リスクが高まりうるため、海食洞周辺での道路のひび割れや洞窟天井の崩落について定期的に調査する必要があると考えている。

キーワード：SfM-MVS, RTK-UAV, 海食崖, 海岸侵食, 琉球石灰岩, 不連続面

006

各種凝灰岩の塩類風化現象における保護剤塗布の効果

Effectiveness of protective coating on salt weathering of various tuffs

池田佑希奈（埼玉大学・院）・小口千明（埼玉大学）

Yukina IKEDA (Graduate student, Saitama Univ.), Chiaki T. OGUCHI (Saitama Univ.)

凝灰岩は色合いも豊富で石材に利用されるほか、火山国日本では特異な景観を形作る岩石でもある。しかし、一般的に脆弱な岩石であるため、風化・劣化を受けやすい。本研究では、岩石物性に差がある凝灰岩を用いて、表面保護剤の有効性を確認するための実験を行った。間隙径分布が多様で引張強度も異なる凝灰岩5種（大谷石、日華石、竜山石、芦野石、十和田石）を対象として、保護剤塗布の有効性の有無を、硫酸ナトリウム水溶液を用いた塩類風化実験により検証した。110℃で炉乾燥させた5 cm×5 cm×15 cmの供試体の下部2 cmを塩溶液に浸し、20℃～40℃を48時間周期で20サイクルまで繰り返す実験を行った。各供試体の重量とP波速度を毎サイクル計測したところ、比較対象とした無塗布の石材では、溶液が表面に到達して塩結晶が析出し供試体表面が剥離するとともにP波速度は漸減した。一方、保護剤塗布の石材では、実験開始後まもなくは溶液が頂面に到達しても塩の結晶化は見られず、P波速度も減少しなかったが、実験の進行に伴い亀裂が生じてP波速度は減少傾向に転じ、表層が剥落した。芦野石と十和田石では、塗布した供試体のほうが無塗布の供試体よりも激しく破壊された。パッチ状に粘土鉱物（ミソ）を含む大谷石や十和田石では、ミソの部分から破碎が進んだ。本実験により、保護剤の効果は岩石組織と間隙径に依存する可能性を示唆できる。すなわち、ミソを含む岩石では間隙構造によらず保護剤の使用が劣化を増長させる可能性が高く、微小間隙の割合が多く塩類風化への耐久性が低いとされる岩石では、保護剤の使用により表層剥落の開始時期を遅らせることができる。また、大間隙(>10～0.5 μm)の割合が多い岩石では、供試体表面に結晶化が生じてもしばらくは剥離は起こらないものの、保護剤が奥まで浸透して厚い保護剤浸透域を形成しているため、より内部で塩の結晶化が起こることで本来よりも激しく劣化すると考えられる。

キーワード：凝灰岩、塩類風化実験、間隙径分布、P波速度、表面保護剤

007

地形から読み解く花崗岩の内部構造

Internal structures of granite suggested by landforms

千木良雅弘（深田地質研究所）・平田康人（電力中央研究所）

Masahiro CHIGIRA (Fukada Geological Institute), Yasuto HIRATA (Central Research Institute of Electric Power Industry)

花崗岩類は、トア、岩海、インゼルベルグなどの特徴的な地形を呈することが古くから知られている。そして、その背景には、花崗岩の冷却節理は直交3方向の方状節理であるという考え方が古くからあった。演者らは、近年、花崗岩のトアや岩海の少なくとも一部には柱状の節理に起因するものがあることを示し、従来からの方状節理仮説は、3次元的観察の欠落に起因する可能性が高いと指摘してきた。本報告では、UAVを用いた3次元的研究によって、インゼルベルグの典型ともいわれてきたナミビアの Spitzkopfe と非常に良く類似した地形が我が国にも認められること、また、これらの地形では、下部に花崗岩の塊状部があり、その上に柱状部があることを示した。調査地は、広島県江田島市の天狗岩周辺、および、山口県防府市の右田ヶ岳周辺である。そして、このような構造は花崗岩の冷却時にルーフに近い部分に柱状節理が形成されたことを示唆していると結論付けた。

キーワード：花崗岩，冷却節理，トア，岩塔

008

土砂災害発生機構と深い関係のある断裂構造

Fracture form is strongly related to sediment disaster occurrence mechanism

吉村辰朗（第一復建）

Tatsuro YOSHIMURA (Daiichi Fukken Co., Ltd.)

近年、記録的な大雨が毎年のように降り、豪雨によって引き起こされた斜面崩壊や地すべりなどの災害が頻発している。吉村ら（2019）の報告では、 γ 線探査で同じ外力条件（降雨・地震）に対して斜面崩壊箇所を調査し、類似する条件の中でなぜそこが崩壊したのかに着目した結果、崩壊地では、主断裂・共役断裂で形成される断裂構造が影響をしていることを確認した。断裂を、最近活動した割れ目と考えると、現地形の大半を形成した断裂は、地下水経路となりやすい。断裂交差部では透水性が高くなり、主断裂・共役断裂で取り囲むエリアに地下水が流入することで移動土塊が生じやすいため、断裂交差点付近では斜面崩壊が発生しやすいと理解される。尾根・谷の屈曲に留意して、土砂災害発生箇所周辺の断裂線を描いた場合、崩壊箇所は、断裂線間隔が狭い区間が交差した区域に対応している。従来、同じような地形・地質であっても崩壊する斜面としない斜面があり、崩壊発生危険箇所の予測を難解にしている。今回は、近年の土砂災害が断裂構造に規制された事例を示し、断裂構造を把握することによって崩壊危険箇所を抽出する方法を考察した。かつて斜面崩壊の解析に、断裂構造（不連続体）に留意したのは、羽田野（1974）の“遷急線”や大八木（2004）の“地すべり構造”がある。

キーワード：土砂災害発生機構，断裂構造，断裂交差法， γ 線探査

009

土層強度検査棒と貫入式土壌硬度計を併用した土壌物理特性の面的評価

Area evaluation of soil physical properties using two penetration tests

大貫靖浩・山下尚之・野口麻穂子・延廣竜彦（森林総合研究所）・太田和秀（秋田県立大学・院）・星崎和彦（秋田県立大学）・新田響平（秋田県林業研究研修センター）

Yasuhiro OHNUKI, Naoyuki YAMASHITA, Mahoko NOGUCHI, Tatsuhiko NOBUHIRO (FFPRI), Ohta KAZUHIDE (Graduate student, Akita Pref. Univ.), Kazuhiko HOSHIZAKI (Akita Pref. Univ.), Kyouhei NITTA (The Akita Forestry Research and Training Center)

透水性や保水性に代表される土壌の物理特性の面的評価を迅速に行うことを目的に、土層強度検査棒と貫入式土壌硬度計を併用した、表層土層厚および土壌硬度変化の多点測定を実施した。土層強度検査棒は、(国研) 土木研究所によって開発された軽量の静的貫入試験器で、測定限界深度を表層土層と風化層の境界とした。一方、大起理化工業製の貫入式土壌硬度計は測定限界が深度 90 cm と浅いものの、土壌硬度の鉛直方向への変化を連続的に捉えることができ、難透水層や土壌中の微細なパイプの位置の把握も可能である。実際の測定は、岩手県南部の胆沢川上流部に分布する段丘面と、秋田県北部に位置する森吉山麓の小河川沿いで実施した。両者ともにブナを主体とする落葉広葉樹林内にあり、適潤性褐色森林土が分布している。胆沢川上流部では、平均表層土層厚 0.8 m の測定結果が 2 日間 30 地点の調査で得られ、森吉山麓では、平均 1.6 m の測定結果が 13 日間 364 地点の調査で得られた。また、胆沢川上流部では、A 層下部に 0.5 MPa を超える堅い層の存在が段丘面中央部の多くの地点で認められたのに対し、段丘崖に近い数地点では A 層下部に堅い層は認められなかった。この堅い層は飽和透水係数が 10^{-5} ms⁻¹ オーダーと低く、保水性に寄与する粗孔隙率が 0.2 m³ m⁻³ 未満であった。このように、土層強度検査棒と貫入式土壌硬度計を併用することで、移動時間含め 1 地点につき合計 10 ~ 15 分と、表層土層の厚さと堅さを効率的に測定することができた。表層の土壌に明瞭な土壌硬度、透水性・保水性の違いがあれば、土壌物理性の面的な評価が可能である。

キーワード：土層強度検査棒，貫入式土壌硬度計，表層土層厚，透水性，保水性

O10

標高変化データを用いた地震による地表変動範囲の可視化

Mapping of surface movement areas due to earthquake using elevation change data

黒木貴一（関西大学）・磯 望（西南学院大学）

Takahito KUROKI (Kansai Univ.), Nozomi ISO (Seinan Gakuin Univ.)

2016年熊本地震では益城町に地震断層を含む多くの亀裂が生じ、標高の小さな変化による地表変動も生じた。そこで熊本県益城町を対象として、その地表変動の種別の範囲を把握する地図表現手法を検討した。地震被害の甚大な地域では、このような地表変動に対し1) 干渉 SAR による解析が難しく、2) レーザーの高さ精度が 10 cm 前後なのでその差分の解釈が難しく、3) レーザーの標高差分の単純な地図化では種別の範囲を識別し難い、という課題を持つ。本研究では、地震直後の地表変動痕跡を観察した調査記録を振り返り、熊本地震前後のフリーの LAS データを活用して、GIS により標高差分の剰余を利用する地図「剰余地図」作成手法を検討した。益城町では熊本地震直後に、地表変動の種別として、低標高側の沈下、凸地形の前方への進行、平坦地の緩やかなうねり、緩やかな地表の陥没、法の崩壊と堆積の 5 つが観察された。そして現象に適切な分母の剰余により、観察された種別に対応する地表変動の範囲を識別できる地図表現がなされることが分かった。この地図化はレーザー計測の高さ精度に拠らず、相対的な変動に限定する際、縞々の色変化方向が標高の増加・減少または地盤の隆起・沈降の程度とその方向性を捉えやすくする。このように割算分母を変化させ、分子の示す空間変化程度を調整することで、標高差分の剰余地図は、地震による地表変動の範囲を種別に識別しやすくする地図にできることが分かった。

キーワード：LAS データ，地表変動，標高変化データ，剰余

O11

奄美大島宇検村での台風高潮避難計画—標高 5 m 以下の全住民を対象として

Storm surge evacuation planning in Uken Village, Amami Oshima island? For all residents living below 5 m above sea level?

岩船昌起 (鹿児島大学)

Masaki IWAFUNE (Kagoshima Univ.)

地球温暖化による「猛烈な」台風の襲来に備えて、沿岸の低地では高潮対策を講じる必要がある。南西諸島「高島」の模試的な地形特性を有する宇検村では、山地と海に囲まれた沖積低地が居住域で、大半が標高 5 m 以下であり、高潮浸水が想定される。本発表では、宇検村湯湾地区で現在策定中の避難計画を紹介する。宇検村では、人口 1,621 人、高齢化率 43.2 % である (2020 年 10 月 1 日現在)。測定の基準点が少なく、水害対策で重要な標高データが未整備である。避難計画の策定にかかわり、鹿児島県防災アドバイザー制度等を通じて、2020 ~ 2021 年に住民ワークショップ等を 4 回行い、人口 500 人弱の湯湾地区をモデルとして、役場・消防等関係者を交えて検討を重ねている。演者が作成した家屋等分類図で個人宅の構造 (木造・鉄骨造・RC 造) や階層を、ハザードマップと併せて確認してもらい、高潮浸水想定に対応して避難すべき個人宅やその居住者の避難先を、湯湾 24 班ごとに班在住者が検討した。その過程で、湯湾地区では、潮位 3 m で RC 造 1 階の指定避難所が浸水し、潮位 4 m 時に RC 造 2 階以上で身の安全を確保する必要があるが、その場所が限られることが分かった。以上から、浸水段階および避難警戒レベル等にも対応した避難対象と避難先が段階的に整理され、個人宅避難 (≒分散避難) の調整、学校避難所の再整備、自主防災組織の再編成等を今後検討することとなり、村民全員避難の枠組みを考慮しつつ、今年度には避難行動要支援者の個別避難計画を策定する予定である。また、警戒レベル 5 以降の浸水想定での個人宅の安全性の確認のためにも、集落内で標高をパーソナル・スケールで把握することが重要であり、ドローン測量等の実施を今後検討している。

キーワード：台風，高潮，避難計画，ワークショップ，測量，奄美大島

012

2021年7月熱海市土石流災害の救助活動現場におけるドローンの利活用
Utilization of drones at the rescue operation of the Atami debris flow in July 2021

土志田正二・新井場公德（消防研究センター）

Shoji DOSHIDA, Kiminori ARAIBA (National Research Institute of Fire and Disaster)

土砂災害現場の救助活動において、迅速な災害状況の把握や、要救助者の捜索・救助などの観点から、現場で手軽にかつ短時間で俯瞰的情報の入手を可能としたドローンの利用価値は高い。土砂災害現場における二次崩壊対策の時間的制約を考えると、二次崩壊の危険度が高い災害直後の「要救助者の救出」「要救助者の捜索・救助」段階において、ドローン空撮情報を用いて状況把握することは、今後の災害現場において必要項目になると思われる。

本研究では、2021年7月に熱海市で発生した土石流災害における消防研究センターのドローンを用いた技術支援の内容を紹介する。本センターの技術支援では、二次災害危険性の評価や、監視場所および着目点の提案、異常発生時の安全確認、活動停止雨量基準の提案などを行ったほか、ドローンを用いた危険箇所の確認や、状況地図（現場地図）の作成、土砂の層厚分布（速報）の作成を行った。災害後の状況を面的に把握することができる現場地図の作成・利用は、救助活動を行ううえで非常に有益であった。また作成した現場地図に国土地理院基盤地図情報の建物ポリゴンを重ね合わせることで、被災家屋をより明確に表すことができ、捜索・救助活動を行うための基図として利用できた。災害前後の数値標高データの差分を算出した土砂層厚図は、災害前のデータがDTM (Digital Terrain Model)、災害後がDSM(Digital Surface Model)であるため植生・建物の影響に気を付ける必要があるが、土砂層厚の概算値がわかることで、重点的に捜索すべき場所や、重機が必要な場所などを推察することができた。ただし、救助活動現場において、現場地図の作成や、数値地形モデルの災害前後の比較を行うためには、時間・人員・資機材などの課題は多い。

キーワード：2021年7月熱海市土石流災害、救助活動、ドローン、現場地図、土砂層厚図

O13

Changes in geomorphometric characteristics in a watershed after coseismic landslides: A case study in Eastern Iburi Region, Hokkaido

Tennyson Lap Wing LO (Graduate student, Hokkaido Univ.), Yuichi S. HAYAKAWA (Hokkaido Univ.), Yasutaka NAKATA, Masato HAYAMIZU (Hokkaido Research Organization)

Numerous coseismic landslides have occurred with the 2018 Hokkaido Eastern Iburi Earthquake, causing considerable slope deformations in the region. Gradual post-earthquake changes in geomorphometric characteristics in watersheds, including fluvial channel development, changes in watershed geometry, drainage network, drainage texture, and relief characteristics, are also expected, and we carry out geospatial analysis of the morphological changes. The study site is a small catchment on the left side of the Atsuma River. Digital Elevation Models (DEMs) by Airborne Laser Scanning (ALS) of October 2012 and September 2018, as well as those by Unmanned Aerial Vehicle (UAV) based Structure-from-Motion Multi-View Stereo (SfM-MVS) photogrammetry taken by field surveys in April to September 2020 were used. In the multi-temporal DEMs and orthophotos, continuous morphological changes and drainage network development were identified on slid slope surfaces. Geomorphometric analysis indicated the developments of more tributaries with continuous fluvial and gully erosion. Those changes might be affected by temporal changes in rainfall intensity and freeze-thaw actions after the removal of vegetation by coseismic landslides. The analyzed results can provide essential information about the long-term effects of the 2018 Hokkaido Eastern Iburi Earthquake on geomorphometric changes in watersheds, and the understanding of causal factors contributes to the evaluation of future morphological changes in the region. Further studies including continuous monitoring of landslide-affected areas are necessary for the near-future hazard risk evaluation and investigation on the fluvial landscape development.

Keywords: 2018 Hokkaido Eastern Iburi Earthquake, Geomorphometric characteristics, Coseismic landslides, Drainage network development

O14

UAV-LiDAR と UAV マルチスペクトルセンサを用いた地すべり活動の把握
Assessing landslide activities using UAV-mounted LiDAR and multispectral sensors

野口絹子 (北海道大学・院)・笠井美青・早川裕弐 (北海道大学)・飯塚浩太郎・小口 高 (東京大学)
Kinuko NOGUCHI (Graduate student, Hokkaido Univ.), Mio KASAI, Yuichi S. HAYAKAWA (Hokkaido Univ.), Kotaro IIZUKA, Takashi OGUCHI (Univ. Tokyo)

活動的な地すべり箇所の抽出は、インフラの設計や整備の上で重要である。通常、抽出には多時期の地形データやモニタリングが必要となるが、本研究では、より便宜性の高い無人航空機 (UAV) を活用した活動的な地すべりの抽出手法を検討した。対象は北海道平取町に位置するオタリマップ地すべり (約 3 ha) 及びその周辺の計約 60 ha である。地質は神居古潭変成帯の新第三系滝ノ上層に属し、植生はカラマツやトドマツの他、広葉樹が分布する。オタリマップ地すべりは年 1 m 以上の移動が観測されており、カラマツが優先する。本研究では、活動的な地すべり土塊上では植生活性度が低くなることに着目し、DJI P4 Multispectral (P4M) による正規化差植生指数 (NDVI) の計測を、植生繁茂期 (7 月) 及び落葉期 (10 月) の晴天日に実施した。また地すべり活動を把握するために、DJI Matrice 300 RTK (Zenmuse L1) と Matrice 600 Pro (Velodyne LiDAR) による LiDAR (Light Detection and Ranging) 計測も同時に行った。P4M による計測からは、季節による NDVI 値の変化は林相ごとに異なることが分かった。カラマツ林に限定すると、両計測日とも、オタリマップ地すべり内の変化が激しい斜面において、周囲と比較して低い NDVI 値が出現する傾向にあった。特に 10 月の計測では、地すべり内に限定して、 $NDVI < 0.55$ を示す斜面が集中した。以上から、植生が同じ条件であれば、UAV 搭載型マルチスペクトルを活用した活発な地すべりの抽出は可能であること、また抽出のための計測は、植生活性度が低くなる秋の方が、夏より望ましいことが示唆された。

キーワード：地すべり活動, NDVI, UAV-LiDAR, UAV-マルチスペクトルセンサ, カラマツ林

O15

UAV-LiDAR データによる森林に覆われた山地地形の詳細地図作成

Detailed mapping of mountainous terrain covered by forest using UAV-LiDAR data

橋本朝陽（筑波大学・学）・張 宇攀（筑波大学・院）・邱 滇璋（東京農工大学）・加藤弘亮・恩田裕一（筑波大学）・五味高志（東京農工大学）

Asahi HASHIMOTO (Undergraduate student, Univ. Tsukuba), Yupan ZHANG (Graduate student, Univ. Tsukuba), Chen-wei CHIU (Tokyo University of Agriculture and Technology), Hiroaki KATO, Yuichi ONDA (Univ. Tsukuba), Takashi GOMI (Tokyo University of Agriculture and Technology)

近年、急速に発達が進む無人航空機（Unmanned Aerial Vehicle, UAV）は、低コストかつ高い時間・空間分解能を実現するリモートセンシング手法である。リモートセンシングで利用される Light Detection And Ranging (LiDAR) センサーは地表面の3次元構造の把握に利用されている。UAV-LiDARの登場により、今まで主流であった航空機LiDARに比べ何倍もの点群密度での照射が可能になった。しかしながら、UAV-LiDARは照射強度が航空機LiDARに比べ弱く、地表面標高をどれほど正確に表せるか明らかにされていない。本研究では、地表面構造が複雑である森林地域（栃木県佐野市唐沢山, 2011-2012年にかけて間伐が行われている。12 haを対象とした。）を対象にしたDigital Elevation Model (DEM)の作成をUAV-LiDARデータを用いて行い、その精度を航空機LiDARから得られたDEM、国土地理院ホームページから得られるDEMと比較した。植生等の地表面を覆う構造物を除去するため、3 mメッシュの標高最低値ラスタから高さ1 mまでに含まれる点群を地表面とし、DEMを作成した。その結果、全点群数のうち約6.7%ほどが地表面に到達していることが分かり、点群密度は113 points/m²であった。一部地域は、地表被覆物（植生等）の除去前後で標高が上昇した。この地域は点群照射数が相対的に低いことから、正確なDEMの作成には高い点群密度での測定が必要であることが示された。UAV-LiDAR DEMは細かな地形を表現できており、これは植生量が現在に比べて大幅に少ない間伐直後に得られた航空機LiDAR DEM (11 point/m²)と同程度であった。しかしながら、植生被覆が極端に多い地域では、地表まで点群が到達しない地域があり、手作業によるノイズ除去の必要性が示された。UAV-LiDARデータは従来の手法に比べ高い空間分解能(0.1 m)でDEM作成が可能であり、それらは森林のような複雑な地表面被覆があった場合でも有効であることが明らかとなった。

キーワード：UAV-LiDAR, Digital Elevation Model, 森林地域

O16

Analysis of water-sediment connectivity along forest road network based on UAV-SfM and hydrological measurements

Yupan ZHANG (Graduate student, Univ. Tsukuba), Asahi HASHIMOTO (Undergraduate student, Univ. Tsukuba), Naomi SUZUKI (former Univ. Tsukuba), Yuichi ONDA, Hiroaki KATO (Univ. Tsukuba)

Surface flow from roadways eventually discharge into forest slopes alongside the forest path and directly into the river. Dense runoff on slopes also affects the stability of forested slopes, as runoff from forest path can lead to erosion, debris flow and slope collapse. High concentrations of sediment and muddy water from work roads can flow into streams and pollute the water environment. Therefore, it is important to understand the dynamics of sediment and water on forest path in order to consider how to build and maintain roads to reduce the impact on the surrounding environment.

The objective of this study is to assess the influence of forest road network on water-sediment dynamics in a watershed of plantation forest. Secondly, temporal changes of surface micro-topography were measured by using the UAV-SfM method in the forest path network. Thirdly, Conventional hydrological observation and UAV-SfM method will be used together to reveal water and sediment dynamics in the working road network.

Low-altitude UAV SfM methods can reconstruct the 3D structure of forest paths and assess erosion with high accuracy.

Results show that it is feasible to use high accuracy DSM based on SfM method for estimate hydrological connectivity. Changes in surface erosion or accretion can be estimated by comparing DSM from different periods. Generating a DEM that includes forest plots through UAV LiDAR can help us better understand the return flow from the forest plots.

Keywords: Structure from Motion, Drone, Forest path, Hydrological connectivity

O17

北海道日勝峠周辺の周氷河斜面で発生した 2016 年豪雨による斜面崩壊

Slope failures caused by 2016 heavy rainfall on periglacial slopes around Nissho Pass in Hokkaido

石丸 聡・川上源太郎・輿水健一・小安浩理・加瀬善洋・高見雅三・廣瀬 亘・仁科健二（北海道立総合研究機構）

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

最終氷期の最寒冷期（MIS 2）には、北海道のほぼ全域が周氷河環境になったと考えられている。その環境下で形成された周氷河斜面はこれまで比較的安定していたが、近年の豪雨頻度の高まりとともに崩壊が頻発するようになった。その中の 1 つ、2016 年台風 10 号により日高山脈の日勝峠周辺で多発した斜面崩壊の特徴とその発生要因について検討した。この地域は周氷河斜面の発達する地域としてよく知られるが、2016 年豪雨では 400 mm を越える降水に見舞われ、斜面崩壊が多発した。これらの崩壊を①溪岸タイプ、②表層タイプ、③深層タイプ、④ガリータイプの 4 タイプに分類した。①は溪流による斜面脚部の浸食により谷壁斜面表層がすべり落ちたもので、一般斜面においても大雨時によく見られる。②は周氷河堆積物を覆う土層が抜け落ちたもので、平滑～ごく浅い谷頭斜面で発生した。③は周氷河堆積物の最下部付近、風化岩盤の上位が崩壊面となったもので、浸食前線の遷急線を跨ぐ斜面で発生した。④は周氷河堆積物を覆う土層にパイピングホールが発生し、それが下刻していったもので、傾斜 20 度前後の平滑な斜面に生じた。周氷河堆積物は淘汰の悪い角礫まじりの細粒土であるが、調査地域では透水性の低いシルト層を挟み、特に最上部にシルト層をのせることが多い。地中の土壌水分量経時観測により、大雨時にはシルト層上位の含水率が上昇することを確認した。表層タイプとガリータイプはこの周氷河堆積物最上部のシルト層の上位に地中水が集中することで発生したと解釈され、深層タイプは、周氷河堆積物下部のシルト層上あるいは風化岩盤上に地中水が集中することにより崩壊したと解釈される。

キーワード：周氷河斜面，周氷河堆積物，シルト層，2016 年台風 10 号，日勝峠

O18

2016年豪雨により斜面崩壊が発生した日勝峠周辺（北海道）における土層の特徴
Soil characteristics of slope failures around Nissho Pass introduced by 2016 heavy rainfall

小安浩理・石丸 聡・加瀬善洋・川上源太郎（北海道立総合研究機構）

Hiromichi KOYASU, Satoshi ISHIMARU, Yoshihiro KASE, Gentaro KAWAKAMI (Hokkaido Research Organization)

2016年の豪雨による日勝峠の斜面崩壊では、周氷河堆積物が主要な崩壊源だった。淘汰が悪い角礫層を特徴とする周氷河堆積物は北海道に広く分布するが、その垂直・側方方向の層相変化や、基盤地質と層相の関係などに不明な点が多い。本発表では深成岩および変成岩分布域の崩壊が発生した斜面において周氷河堆積物の層相を区分し、その特徴を比較した後に、発生した斜面崩壊のタイプとの関係を考察する。露頭調査の結果、表層の黒土ないし Ta-d テフラ（9000年前降灰）と基盤岩の間の角礫を主体とする堆積物を周氷河堆積物と認定し、礫の量および基質の粒径により層相をシルト、礫混じりシルト、礫混じり砂（細粒、中粒、粗粒）、砂混じり礫に6区分した。深成岩分布域の周氷河堆積物の層厚は1~2 m程度で、細粒~中粒の礫混じり砂を主体とする。最上部と基底部にはそれぞれ数10 cm および数 cm の礫混じりシルトないしシルトが発達する。変成岩分布域の周氷河堆積物の層厚は3 m 以上で、礫混じりの中粒~粗粒砂を主体とする。下方に粗粒化する傾向があり、一部は砂混じり礫となる。発生した斜面崩壊のタイプ（口頭発表 O17 参照）は基盤地質により異なる傾向を示す。深成岩分布域では周氷河堆積物中で崩壊するガリーないし表層タイプが多かったが、変成岩分布域では周氷河堆積物の基底部まで崩壊する深層タイプを多数確認した。従って深成岩分布域では周氷河堆積物最上部のシルトが発達することで表層ないしガリータイプの崩壊が多発した可能性がある。また変成岩分布域における深層タイプの崩壊の多発には、周氷河堆積物中にシルトが発達しないことの影響が示唆される。

キーワード：周氷河堆積物，層相区分，深成岩，変成岩，2016年台風10号，日勝峠

019

福島における除染活動による斜面スケールでの土砂・セシウム流出プロセスの変化

Changes in sediment and cesium discharge processes at hillslope scale due to decontamination activities in Fukushima

藤原成悟（筑波大学・院）・恩田裕一（筑波大学）・脇山義史（福島大学）・加藤弘亮（筑波大学）

Seigo FUJIWARA (Graduate student, Univ. Tsukuba), Yuichi ONDA (Univ. Tsukuba), Yoshifumi WAKIYAMA (Fukushima Univ.), Hiroaki KATO (Univ. Tsukuba)

福島における放射性物質を除去する農地の除染活動では、表層土壌約 5 cm の剥ぎ取りが行われ粒径の粗い山砂の客土が行われた。除染活動直後は表層が裸地化しており、土壌が侵食されやすい状態になる。除染地において行われた USLE 型プロットを用いた観測では、ステップ状のマイクロテラセット構造が観察された。テラセット構造は浸透能や土砂の輸送容量に影響を与えることが報告されており、除染活動により裸地化した斜面の土壌では特異な土砂運搬プロセスが存在する可能性がある。本研究では、除染活動が土砂動態に与える影響を解明することを目的として、USLE 型プロットによる除染活動前後・裸地化処理前後の斜面土壌からの流出する土砂と Cs-137 の量の観測を行うとともに、ドローンによる地表変化量の観測、RFID（Radio Frequency IDentification）タグを用いた土砂追跡実験、さらに人工降雨による再現実験を行った。USLE 型プロット（長さ 22.13 m × 幅 5 m）を福島県伊達郡川俣町山木屋地区と未除染地の福島県伊達市月舘の耕作放棄斜面（それぞれ斜度 10, 11 度）に設置し、観測を行った。観測期間中にコケの生育が見られたため、コケの剥ぎ取り処理を行った。人工降雨実験は防災科学技術研究所の大型降雨施設において行った。除染後は限界掃流力が約 4 Pa と未除染地の 4 倍を示す一方、500 l 以上の流量で土砂流出量が急激に増加し、リル侵食が多く見られた。また除染地は 500 ~ 1000 l の流量でテラセット構造が形成された。未除染地のコケ剥ぎ取り後は表層のインターリル侵食により Cs-137 流出量が増加し、斜面下方ではリル侵食が増大した。人工降雨実験・除染地の観測よりテラセット構造の表面流せん断応力がリル域に相当し、除染土は粒径が粗いため表面流が浸透しやすい事が示唆された。

キーワード：土壌侵食，除染活動

020

口太川流域における斜面・溪流・河川の長期観測に基づく大規模農地除染が¹³⁷Cs移行に及ぼす影響の解明

Effects of large-scale decontamination of agricultural land on ¹³⁷Cs migration based on long-term observations of slopes, streams and rivers in the Kuchibuto River basin

牧野史明 (筑波大学・院)・恩田裕一 (筑波大学)・谷口圭輔 (津山工業高等専門学校)・加藤弘亮 (筑波大学)
Fumiaki MAKINO (Graduate student, Univ. Tsukuba), Yuichi ONDA (Univ. Tsukuba), Keisuke TANIGUCHI (National Institute of Technology, Tsuyama College), Hiroaki KATO (Univ. Tsukuba)

2011年3月11日、東京電力福島第一原子力発電所事故が発生した。事故により¹³⁷Csが大気中に拡散した。陸域に沈着した¹³⁷Csは土壌粒子に強く固定されているため、その90%は表層土壌から5cm以内に分布している。福島県では2013年から2015年にかけて除染活動が行われた。農地では表土が剥がれ、森林では林床のくずが除去された。除染活動により、多くの土砂が川に流れだした。本研究では、2013年から2019年までの長期モニタリングに基づき、上流域（源流域）での除染活動が、福島県川俣町山木屋地区において、河川での¹³⁷Cs濃度にどのように影響を与えたのかを明らかにすることを目的としました。調査方法としてはパーシャルフリューム、水位計、濁度計を用いて流量と土砂流出量を求め、SSサンプラーで懸濁物質を捕集、乾燥後Ge半導体検出器で懸濁態¹³⁷Cs濃度を測定し、環境省から取得した。除染に関する情報を、ArcGISを用いて地図上に落とし、年度ごとの除染マップを作成した。これらから除染が行われた茨石山では2014年に急速に正規化セシウム濃度が減少し、除染が行われていない世戸八山、石平山ではセシウム濃度の減少は見られない。また、河川は源流域の中間ぐらいのセシウム濃度となっていることがわかった。さらに、ヒステリシス分類も行い除染期には口太川中流、下流で遅れ型が見られるようになった。これは除染前には現れなかったものであり除染後の2016年にも遅れ型が見られるがその後見られなくなった。結果として、除染により正規化Cs濃度が1桁程度減少したことが分かった。さらに、ヒステリシス分類から除染により上流起源の土砂が下流に流下していることが分かった。

キーワード：除染、¹³⁷Cs、ヒステリシス、SS

O21

Pb-210ex, Cs-137, Cs-134 を用いた斜面スケールから流域スケールまでの間伐による細粒土砂移動プロセスの推定

Estimation of suspended sediment transport process by thinning from slope scale to watershed scale using Pb-210ex, Cs-137 and Cs-134

木下元祐 (筑波大学・院)・恩田裕一・謝 樹冬・加藤弘亮 (筑波大学)・谷口圭輔 (津山工業高等専門学校)・五味高志・南 琇娟・邱 瀆璋 (東京農工大学)

Motosuke KINOSHITA (Graduate student, Univ. Tsukuba), Yuichi ONDA, Shudong XIE, Hiroaki KATO (Univ. Tsukuba), Keisuke TANIGUCHI (National Institute of Technology, Tsuyama College), Takashi GOMI, Nam SOOYOUN, Chen-wei CHIU (Tokyo University of Agriculture and Technology)

間伐施業は森林の維持管理に欠かせない一方、施業に伴う森林から河川への土砂流出量の増加が示唆されている。Lopez-Vincente(2017)ではシミュレーション結果から、本研究と同流域において作業道が間伐施業により生産された土砂の主要な流出経路であるとしている。土砂移動プロセスについては様々な手法があり、本研究では放射性核種を用いることとした。従来の手法の問題点として観測期間中、エンドメンバーを変えないことから、経年での生産源の放射性核種の濃度変化を考慮できていない。そこで、本研究の目的は間伐前後における斜面スケールから流域スケールまでの細粒土砂の生産源推定を行うために、各年で生産源土砂のエンドメンバーを変えることでより詳細な生産源推定を行うこととした。また、トレーサとして Pb-210ex, Cs-137, Cs-134 を同時に用いた研究はなくそれらの比を使うことで生産源の区別がより明瞭にできると考えられる。現地観測については河川に SS サンプラーと濁度計を設置し、土砂量・濃度の観測を行うとともに森林内でも土砂採取を行い Ge 半導体検出器で放射性同位体濃度を測定した。結果として、列状間伐を行った流域では間伐施業が行われた年とその1年後で土砂量が急増した。一方で点状間伐を行った流域では顕著な土砂流出量の増加は見られなかった。また、列状間伐流域では間伐後期にトレーサの解析より作業道からの土砂生産寄与率が増加したが、点状間伐流域ではそのような傾向は認められなかった。これらのことから、列状間伐を行うと作業道などの重機の往来が激しい場所からの土砂流出が多くなることが示唆された。

キーワード：放射性同位体, 土砂流出, 生産源推定

ポスター発表

P01

令和2年7月豪雨による都市近郊での地形災害

Geomorphic disasters caused by the heavy rain in July, 2020 in the suburban area

永田秀尚 (風水土)

Hidehisa NAGATA (FuSuiDo Co., Ltd.)

令和2(2020)年7月豪雨で発生した愛知県の都市近郊で発生した崩壊の2事例を紹介する。豊田市鴛鴨町では、7月8日早朝に、段丘面を切土した高さ10mの法面が幅20mにわたって崩壊し、土砂が下方の愛知環状鉄道の線路に流出した。同日5:00までの1時間で29mm、とくに4:40~4:50の10分間で12mmの降水量が記録されており、この豪雨が引き金となったとみられる。法面にほぼ直交する道路(勾配4%)に沿って流下した雨水が、植生だけの法面表層を流下したことによって発生した、崩壊というよりは侵食である。想定される集水域は3,000m²ほどで、道路敷以外はほとんど宅地である。このような土地利用から、降水の多くは地中に浸透せずすみやかに道路に流出し、これを流路として崩壊箇所に至ったと考えられる。岡崎市岡町では7月9日18:30ころ、竜泉寺川に面する段丘の縁で幅23m、高さ10mの崩壊が発生した。崖下に設置されていた高さ3.6mのコンクリート擁壁が転倒して川に転落した。6月21日からの累計335.5mmという長期間の雨の影響が大きいであろう。崩壊したのは、河床からの比高14mと4~5mの2段の段丘面の間の段丘崖に腹付けされた盛土である。おそらくほとんど盛土材のみが崩壊した。推定される盛土勾配は1:0.8前後と、ブロック積みではあるものはかなり急で、両側面も擁壁で区切られている。長期間の降雨によって盛土材の含水比が上昇し、土の強度が低下したことで崩壊に至ったものだろう。これらの崩壊はいずれも都市近郊域の台地で地形改変を受けた場で発生しており、その意味で地形災害と呼べるものである。

キーワード：令和2年7月豪雨，斜面崩壊，地形改変，都市近郊域，台地，地形災害

P02

廃道を用いた山地斜面における土砂生産の評価—静岡県浜松市の事例—

Evaluation of sediment yield from mountain slopes by using an abandoned road: A case study in Hamamatsu city, Shizuoka prefecture

原田駿介 (筑波大学・学)・小倉拓郎・八反地 剛 (筑波大学)

Shunsuke HARADA (Undergraduate student, Univ. Tsukuba), Takuro OGURA, Tsuyoshi HATTANJI (Univ. Tsukuba)

斜面での落石や小規模な崩壊は、山地からの土砂流出につながっていく最初の運搬プロセスであり、それらのプロセスによる土砂供給速度は下流での土石流などより大規模なイベントの頻度を制約していると考えられる。しかし、斜面の長期的な変化を観測することは難しい。本研究では27年前に廃止され、以来放置されてきた道路を土砂トラップとみなして、山地斜面における土砂移動の空間分布を評価する。道路上の堆積土砂を、航空LiDAR（航空レーザ測量）データを用いて解析した。廃止前のLiDARデータは存在しないため、現存している路面の点群のみを抽出し、内挿することで本来の路面を復元したDEMを作成した。地表面DEMと復元された路面のDEMの差分に基づき、4.1 kmの区間で186ヶ所の堆積部を抽出した。各崩壊地点に対する集水域を土砂供給源とし、堆積量と供給源の地形量の関係を検討した。また、現地調査や道路現況平面図の判読から、人工の切り取り法面と自然斜面を分類した。法面では南向き斜面で活発に崩落が発生していた。その原因として、裸地では温度変化が大きいことから、凍結融解作用が影響していたと考えられる。また、自然斜面では、斜面長に対して堆積量が大きい地点と小さい地点に二分化した。前者にはドライラベル（水の関与を受けずに砂礫が落下または流下する現象）、後者には土石流など水流を伴うプロセスの影響を受ける地点が多かった。今後は、地質や気象条件が異なる廃道で同様の評価を検討している。また、道路建設にともない人為的に誘発された法面崩落などの土砂移動と、自然のプロセスとを判別する方法の検討が必要である。

キーワード：ドライラベル，土砂トラップ，LiDAR，道路

P03

福島県内の河川における放射性セシウム流出に関する 1 次元有限要素法シミュレーション

One-dimensional finite-element simulation of radiocesium transport in rivers in Fukushima Prefecture

谷口圭輔 (津山工業高等専門学校)・那須康輝・新井宏受・竹内幸生・勝野和美・藤田一輝 (福島県環境創造センター)・大西康夫 (東日本国際大学)

Keisuke TANIGUCHI (National Institute of Technology, Tsuyama College), Kouki NASU, Hirotsugu ARAI, Yukio TAKEUCHI, Kazumi KATSUNO, Kazuki FUJITA (Fukushima Prefectural Center for Environmental Creation), Yasuo ONISHI (Higashi Nippon International Univ.)

2011 年 3 月の東京電力福島第一原子力発電所の事故により、周辺環境へ放射性核種が拡散された。半減期が長く、放出量が多かった Cs-137 は、住民への健康影響が懸念される核種である。事故から 11 年が経過し、都市・農地・道路などの生活圏での除染がほぼ完了したものの、森林は未除染のまま残されている。そのため、河川を介して上流に位置する森林からどの程度の量の Cs-137 が流下するのかを確認することは住民の安心・安全な暮らしの維持のために重要である。本研究では、阿武隈川の支流の一つである口太川を対象に、一次元有限要素法モデル TODAM を用いて、出水時の Cs-137 の移行状況の再現を試みた。口太川では、2011 年 6 月以降、放射性セシウムの動態調査が継続実施されており、モデル計算に必要な流量・濁度の連続データや、浮遊懸濁物質 (SS) の粒度分布と Cs-137 濃度のデータセットが利用できる。セシウムは、粘土鉱物粒子の表面にあるフレイドエッジサイトに吸着されやすいという性質を持つ。そのため、比表面積 (単位重量当たりの粒子の表面積) が大きい微小粒子の方が、大きな粒子よりもセシウムを吸着しやすい。実測された SS 試料の粒度分布をもとに、対数正規分布する 3 種の粒径画分の中央粒径・沈降速度・Cs-137 の濃度比を決定した。口太川本川の上流部と、比較的集水域面積が大きい 2 つの支流の実測値を入力データとして用いて、2018 年 7 月 4 日から 6 日にかけての出水時の計算を行ったところ、計算区間の下流端における流量・浮遊懸濁物質 (SS) 濃度・形態別 Cs-137 濃度の計算結果は、実測値とおおむね一致する結果が得られた。

キーワード：河川, 放射性セシウム

P04

降雨の発生確率からみた天災か人災か問題—熱海土石流災害の事例—

The issue of natural disaster or man-made disaster based on the probability of rainfall: A case study of the Atami debris flow disaster

飯田智之

Tomoyuki IIDA

2021年7月3日午前10時半頃発生し、多数の犠牲者を出した熱海土石流災害について、降雨の再現期間の観点から天災か人災か問題を検討した。まず、網代アメダス観測点における過去45年の1, 3, 12, 24, 48, 72時間の各継続時間別年最大雨量に岩井式をあてはめて継続時間別降雨指標ごとの発生確率式を求めた。それを用いて、災害発生の3日ほど前からの各降雨指標の経時変化を再現期間の経時変化に変換したところ、24時間以下の短時間降雨指標については、再現期間はせいぜい数年であった。一方、48時間と72時間の長時間降雨指標の再現期間は、災害発生の1日前頃から急に増加し、災害発生時には10数年または30年以上と比較的大きな値となった。災害発生には、長時間降雨指標が悪影響を及ぼしたことがわかる。また、土石流発生の5時間以上前に泥水が目撃されたことから、少なくとも部分的な盛り土崩壊が既に発生していた可能性もある。その場合の再現期間はすべての降雨指標で10年未満となるが、いずれにしても土砂災害の観点からは、それほど稀な降雨とは言えない。さらに、過去には、約10年前の盛り土造成以前であるが、今回の長時間降雨指標以上の降雨が2回発生しており、その際いずれも土砂災害は発生していない。今回も盛り土以外の崩壊がなかったことから、盛り土造成が土石流災害の主因であり、人災的要素が大きいと言わざるを得ない。扇状地など土砂災害を受けやすい地形上に住む住民の、被害者の危険性に関する認識は広く共有されるようになったが、その一方で、今回の盛り土のように、自然の排水システムを破壊したり変更したりするなど、地形改変の加害者の危険性に関する認識不足が盲点となっていたことが悔やまれる。

キーワード：熱海土石流，盛り土，崩壊，人災，継続時間別雨量，再現期間

P05

高解像度地形データを用いたピナクル地形の解析—山口県秋吉台の事例—

Analysis of pinnacle topography using high resolution topography data: A case study of Akiyoshidai, Yamaguchi Prefecture

小林元春 (筑波大学・院)・八反地 剛 (筑波大学)

Motoharu KOBAYASHI (Graduate student, Univ. Tsukuba), Tsuyoshi HATTANJI (Univ. Tsukuba)

山口県秋吉台のピナクルは石灰岩によって構成され、表面には溶食溝（リレンカレン）が発達する。本研究ではそれらのピナクルを対象として、高解像度数値標高データを用いて地形解析を行い、表面流と地形の関係について考察した。調査対象ピナクルとして、表面に節理が見られないものを選定した。小型無人航空機（UAV）によってピナクルの空撮写真を取得し、多視点ステレオ写真測量ソフトにより、解像度約 2 mm の数値標高モデル（DEM）を作成した。この DEM とオルソ画像を使用して、ピナクル表面の微地形について精密な地形解析を行った。また、同じピナクルを対象として、2021 年 7 月 8 日の降雨時（最大 1 時間雨量 15 mm）に集水面積の異なる 2 つのリレンカレンを流下する表面流を採水し、pH、アルカリ度、Ca²⁺ 濃度を測定した。地形解析の結果、秋吉台のピナクルは起伏に富んだ尖塔型であった。表面には谷であるリレンカレンが発達し、谷の間の尾根も切り立っていた。水質分析の結果、リレンカレンを流下した表面流の Ca²⁺ 濃度は 7~13 ppm 程度であった。この値は過去に秋吉台で採水された土壌水で観測された値に比べて小さい。したがって、降雨時にリレンカレンを流れる表面流は溶食を進行させる能力があり、切り立った形状をしたピナクルの形成に関与していることが推定される。

キーワード：カルスト地形、ピナクル、リレンカレン、UAV、GIS、カルシウムイオン濃度

P06

広島県の表層崩壊跡地における 2021 年夏季豪雨による土砂移動

Sediment transport in shallow landslide scars due to heavy rainfall events in 2021: A case study at landslide sites in Hiroshima Prefecture, Japan

鈴木花七海 (筑波大学・院)・八反地 剛・小倉拓郎 (筑波大学)・古市剛久 (森林総合研究所)・田中 靖 (駒澤大学)・土志田正二 (消防研究センター)

Kanami SUZUKI (Graduate student, Univ. Tsukuba), Tsuyoshi HATTANJI, Takuro OGURA (Univ. Tsukuba), Takahisa FURUICHI (Forest Research and Management Organization), Yasushi TANAKA (Komazawa Univ.), Shoji DOSHIDA (National Research Institute of Fire and Disaster)

広島市周辺では、再現周期 80 ~ 100 年の豪雨イベントが 2021 年夏季に発生した。本研究では、2014 年または 2018 年の豪雨により花崗岩斜面に形成された 2 箇所の表層崩壊跡地 (A: 広島市安佐北区可部, B: 熊野町) 内における、2021 年夏季豪雨で生じた地形変化と土砂移動の実態を把握し、土砂移動条件を検討した。具体的には、無人航空機で撮影した多視点画像を基に 3 次元形状を復元する手法 (UAV-SfM 手法) を用いて 2021 年夏季の豪雨前後の高解像度オルソ画像・数値標高モデル (DEM) を作成した。地表面の空撮は 2019 年 12 月 (A), 2021 年 4 月 (A・B), 2021 年 10 月 (A・B) に行った。空撮写真により作成した DEM に基づき、標高変化量の分析、河床縦断面図の比較を行った結果、細~中礫の岩屑に富む崩壊地 A では最大 1 m 以上の標高変化が生じ、粒径 1 m 以上の巨礫や倒木が、周囲に堆積する細~中礫と共に移動していた。また、豪雨前には巨礫や根茎により凹凸を形成していた斜面が、豪雨後には平滑化していた。さらに、左岸側では明瞭な地形変化が生じたが、右岸側では変化があまり生じなかった。そのため、局所的な勾配などの微細な地形条件が地形変化の有無に影響したことが示唆される。一方、マサ土の露出面が広い崩壊地 B では、標高変化量は 20 cm 未満に留まった。崩壊地 A と B において標高変化が生じた場所の地形条件を検討するために、標高変化が発生した地点と発生していない地点における集水面積と勾配を算出した。その結果、集水面積 20,000 m² 以上、もしくは集水面積 15,000 m² 未満の場合でも勾配 30 度以上の場合に標高変化が発生したことが明らかになった。

キーワード: UAV-SfM, 標高変化, オルソ画像, 高解像度 DEM

P07

知床連山サシルイ岳山頂部付近における永久凍土分布の可能性

Possibility of permafrost distribution near the top of Mt. Sashirui, Hokkaido, Japan

渡邊達也 (北見工業大学)・中村脩矢・熊谷友太・佐藤功坪 (北見工業大学・院)・大野 浩 (北見工業大学)
Tatsuya WATANABE (Kitami Institute of Technology), Shuya NAKAMURA, Yuta KUMAGAI, Kohei SATO (Graduate student,
Kitami Institute of Technology), Hiroshi Ono (Kitami Institute of Technology)

北海道知床半島のアメダス宇登呂観測所 (標高 144 m) の年平均気温 6.4°C と気温逓減率 ($0.65^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$) に基づくと、知床連山の山頂域 (標高約 1600 m) の年平均気温は、永久凍土分布の目安となる -2°C を下回る。そこで、知床連山の永久凍土分布の可能性を探るべく、多地点での地温観測、さらに永久凍土分布の可能性が高い地点で電気探査を行った。永久凍土分布の可能性が見込まれる岩塊斜面 (羅臼岳, 硫黄山), 風衝地 (三ツ峰~サシルイ岳, 硫黄山の一部), 稜線 (知円別岳北西側) を対象に多地点で地表面観測を行い、これまでに 2 年間のデータ (2019~2021) が得られた。岩塊斜面では冷気流入による低温環境が期待されたが、夏季に 30°C を上回ることもあった。また、冬季は積雪による断熱効果で地温が 0°C 付近で一定である観測地点が多く、岩塊斜面は全般的に年平均地表面温度が高い傾向となった。一方で、風衝地や稜線上は積雪が薄いため冬季の地表面温度は -10°C を下回る。また、地衣類で覆われる地点は、その断熱効果により夏季の地温上昇が抑制されている。全地温観測地点中、年平均地表面温度が最も低いサシルイ岳山頂部付近で電気探査を実施した。比抵抗断面図上では、高比抵抗域が風衝地帯の深度 1.5~5 m にかけて認められたが、ハイマツ帯に入ると消失した。高比抵抗域は永久凍土の存在を示している可能性が考えられ、その根拠としては、(1) 冬季の積雪が薄く、効果的に冷却される風衝地帯に分布すること、(2) 探査実施時の 1 m 深地温が約 1°C と低いこと、(3) 凍結期直前に探査を実施しているため、凍土層であるなら通年で凍結状態にあることなどが挙げられる。今後は、永久凍土の存在を実証すべく、ボーリング調査などを展開していく予定である。

キーワード：永久凍土, 地温, 電気探査, 知床

P08

2 時期の航空レーザ測量データを用いた 2018 年胆振東部地震による地表変動の把握

Study on surface deformation triggered by 2018 Hokkaido Eastern Iburi earthquake using airborne Lidar data measured at different times

佐藤 浩 (日本大学)・石丸 聡 (北海道立総合研究機構)・中埜貴元 (国土地理院)・金子 誠 (深田地質研究所)・宇佐見星弥 (日本大学・院)

Hiroshi P. SATO (Nihon Univ.), Satoshi ISHIMARU (Hokkaido Research Organization), Takayuki NAKANO (Geospatial Information Authority of Japan), Makoto KANEKO (Fukada Geological Institute), Seiya USAMI (Graduate student, Nihon Univ.)

2018 年胆振東部地震では、厚真町吉野地区で大規模な表層崩壊が生じた。吉野地区南部で国土地理院が地震直後に撮影した空中写真を判読すると、崩積土に覆われていない斜面基部の前面、水田利用の平坦面がわずかに隆起している。先行研究によると、吉野地区北部では、そのような平坦面の地下浅層にあるテフラ層が地震直後に流動化し、崩積土を載せたまま平坦面の地表面が斜面から離れる向きに約 40 m 移動している (側方流動)。そのため、吉野地区南部で判読された平坦面のわずかな隆起も側方流動を捉えた可能性がある。そこで、地震前 (2006 年) と地震後 (2018 年) に計測された航空レーザ測量データを比較し、その平坦面の標高変化を 15 本の測線上で把握した。その結果、判読で確認した箇所を含め、5 本の測線上で、波長約 10 m で隆起量約 10 cm 前後のかまぼこ状の変位が 2 ~ 3 個確認された。側方流動の過程で隆起箇所が数ヶ所で剪断されたことが推察される。今後、吉野地区北部でも、崩積土に覆われていない斜面基部の前面の、水田利用の平坦面がわずかに隆起している例がないか調べる必要がある。なお、地震前に計測された航空レーザ測量データには国土地理院のジオイドモデル 2000 が、地震後に計測された航空レーザ測量データには国土地理院のジオイドモデル 2011 が適用されているため、地震前後の標高の比較にあたっては、地震前に計測された航空レーザ測量データにジオイドモデル 2011 を適用する前処理を行っている。

キーワード：北海道胆振東部地震，地すべり，航空レーザ測量，変位，断層，ジオイド高

P09

Jarmo 遺跡周辺の地形年代と古景観

Exposure age and ancient landscape of Jarmo archaeological site, Iraq

若狭 幸 (弘前大学)・安間 了 (徳島大学)・渡部展也 (中部大学)・常木 晃 (筑波大学)

Sachi WAKASA (Hirosaki Univ.), Ryo ANMA (Tokushima Univ.), Nobuya WATANABE (Chubu Univ.), Akira TSUNEKI (Univ. Tsukuba)

Jarmo 遺跡は、イラクのチグリス川上流にあるメソポタミア文明の遺跡の一つである。ザグロス山脈の西部山麓から南西に緩傾斜したケスタ地形の丘陵部において発見され、発掘・研究が行われている。このケスタ地形は、後期中新世から鮮新世の石灰質砂岩と泥岩の互層から成る。また、その間に石英礫を含む礫層も挟まれている。本研究では、Jarmo 遺跡周辺の地形形成プロセスを明らかにし、その文明が栄えていた時代の景観復元や遺跡理解につなげるために、このケスタ地形の露出年代値を推定した。露出年代値は、石灰質砂岩と石英礫中に生成された原位置宇宙線生成核種である ^{36}Cl と ^{10}Be の濃度から求めた。 ^{36}Cl は石灰質砂岩中の塩素、カリウム、カルシウム、また、 ^{10}Be は石英礫中の酸素、これらが宇宙線と反応することによって生成される。そのため、宇宙線に曝されていた時間、すなわち地形面が形成されてからの露出年代値を推定できる。岩石試料はケスタ地形の尾根部に沿い、そのうちの一部はケスタ地形の傾動による隆起で標高の異なる地形面に沿って系統的に採取した。これらの岩石から得られた地表面露出値は、0.3 ~ 4.9 kyr であった。特に系統的に採取した岩石の値は、標高が低い地点では新しい年代値となり、標高が高くなるにつれ、古い年代値となった。今後は、これらの年代値と地形形成プロセスの関係について検討していく。

キーワード：Jarmo, ^{36}Cl , ^{10}Be , 露出年代