

UAVによる空間線量率マッピングと放射能汚染地域への適用 Dose rate mapping by UAV and application to radioactive contamination area

近藤 昭彦^{1*}; 田中 圭²; 早崎 有香³; 濱 侃⁴; シャオケイテイ アジ¹; 山口 英俊⁵; 早川 俊雄⁶
KONDOH, Akihiko^{1*}; TANAKA, Kei²; HAYAZAKI, Yuka³; HAMA, Akira⁴; XIAOKAITI, Aji¹;
YAMAGUCHI, Hidetoshi⁵; HAYAKAWA, Toshio⁶

¹ 千葉大学環境リモートセンシング研究センター, ² 日本地図センター, ³ 千葉大学理学部地球科学科, ⁴ 千葉大学大学院理学研究科地球科学コース, ⁵ SWR 株式会社, ⁶ 太陽エンジニアリング

¹Center for Environmental Remote Sensing, Chiba University, ²Japan Map Center, ³Department of Earth Sciences, Chiba University, ⁴Earth Science Course, Faculty of Science, Chiba University, ⁵SWR Inc., ⁶Taiyo Engineering, Ltd.

1. はじめに

2011年3月11日の東北太平洋沖地震により東京電力福島第一原発(福一原発)が炉心熔融を起こし、大量の放射性物質が環境中へ放出された。政府は米国と共同で、航空機による放射線モニタリングを実施し、福一原発から80km圏の空間線量率マップを作成した。3月17日から始められた航空機モニタリングの結果は5月6日に始めてWEBを通じて公開されたが、この小縮尺の空間線量率マップが避難区域の線引きに使われたはずである。緊急時の製作決定には大いに役立ったと思われるが、すでに避難も4年目に入り、避難指示解除後の対策を考えなければならない時期に入った(一部区域は既に解除済)。

山村地域における帰還後の生業は農業を中心に考えなければならない。現在、低地の田畑および居住区域の除染は進行中であるが、水や様々な資材、資源を提供する里山の放射能対策は未だ定まっていない状況である。

筆者らはこれまでに歩行サーベイ(GPSと同期させた空間線量率計を携行し、山林を歩行することにより空間線量率分布を計測する方法)により里山流域の山林における詳細な放射能マップを作成し、空間線量率分布の特徴を明らかにしてきた。その成果は放射能汚染の森林対策策定の基礎資料となるべきものであるが、土地被覆の状況、地形の制約等のために対象地域を網羅することが困難な場合も多い。そこで、UAV(Unmanned Aerial Vehicle)としてラジコン電動マルチコプターを用いた空間線量率測定スキームを構築したので、ここで報告する。

2. 計測システム

1) 空間線量率計測システム

浜松ホトニクス製の放射線検出モジュールC12137とGPS、気圧センサー、温度センサーを組み合わせて空間線量率、緯度経度、高度を1秒間隔で計測し、XBeeシステムによりデータを地上に送信するシステムを開発した。

2) UAVによる計測システム

3DRobotics社のオートパイロットシステムであるAPM2.6及びPixhawkを搭載したクアッドコプターを使用し、PC上で飛行コースを設計し、UAVのオートパイロットシステムに転送できるMissionPlannerによるコース設定を行った。

2. 計測手順

1) DSM(Digital Surface Model)の作成

UAVにて鉛直写真を撮影し、SfM(Structure from Motion)によりオルソ空中写真とDSMを計測する。この手順はPhotoScan等のSfMソフトウェアにより確立されている。

2) 飛行ルートの決定

得られたDSMに基づき、飛行高度、飛行ルートを設定する。DSMにより飛行範囲の最大樹冠高度がわかるため、クラッシュの危険のない高度を設定することができる。

3) UAVによる空間線量率計測

開発した空間線量率計測システムをUAVに搭載し、あらかじめ設定したコースを飛行させることにより、一定高度の空間線量率の分布を計測する。また、離陸地点における空間線量率の鉛直プロファイルを計測し、1m高度の空間線量率への変換を行う指数関数モデルを決定する。

4) 歩行サーベイによる空間線量率計測

同時に、地上の歩行サーベイを行い、歩行ルートに沿った詳細かつ正確な1m高の空間線量率の分布を得る。歩行サーベイは全領域を網羅できる訳ではないが、UAV計測と補完的に用いて、対象領域の空間線量率分布の解釈に利用できる。

5) 主題図作成

地理情報システム(ArcGIS10.2)を用いて、空間線量率の分布を主題図化する。画像情報をブラウザ上で表示することにより、情報の共有を可能にした。

3. 計測結果

添付の図に福島県 H 町 (旧緊急時避難準備区域) で行ったサーベイの結果を示す。

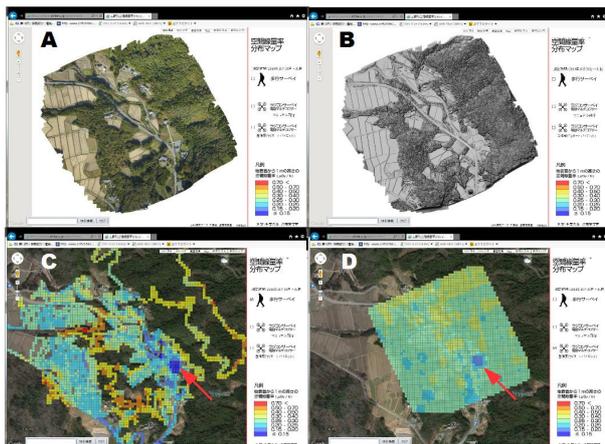
A は UAV 計測で作成したオルソ空中写真であり、観測時の現況を記録することができる。B は SfM により作成した DSM であり、飛行高度、ルートを検証に使える情報である C は同時に行った歩行サーベイの結果であり、清楚の高い情報を提供できるが全領域をカバーすることはできない。D は西側の段丘面上からの高度 150m で計測した空間線量率分布である。今回は飛行高度が高すぎたため、山林と平地のコントラストは明らかではないが、矢印で示した場所は除染が先行して行われた集会所であり、明らかに除染の効果が現れている。

4. 提案

今後、避難指示解除が進むと思われるが、その土地で暮らすということの諒解を住民自らが得るための基本情報として、また帰還した住民の外部被曝モニタリングを継続して実施するためにも複数の方法による地域の空間線量率モニタリングを継続させなければならない。特に、里山として様々な恵みを供給する山林の放射能対策は帰還後の暮らしに必須である。UAV による空間線量率のモニタリングを効率的な手法として提案したい。

キーワード: 空間線量率, UAV, 原子力災害, 福島, SfM, DSM

Keywords: dose rate, unmanned aerial vehicle, nuclear disaster, Fukushima, Structure from Motion, Digital Surface Model



UAVによる低空写真撮影にもとづく2014年長野県北部の地震に伴う地表地震断層の変位量計測 A method for measuring surface rupture displacement by using UAV - Application to the 2014 Kamishiro fault earthquake

石黒 聡士^{1*}; 熊原 康博²; 中田 高²; 後藤 秀昭²; 渡辺 満久³; 宮内 崇裕⁴; 楮原 京子⁵; 杉戸 信彦⁶;
松多 信尚⁷; 廣内 大助⁸; 2014年神城断層地震 地形調査グループ¹
ISHIGURO, Satoshi^{1*}; KUMAHARA, Yasuhiro²; NAKATA, Takashi²; GOTO, Hideaki²; WATANABE, Mitsuhiro³;
MIYAUCHI, Takahiro⁴; KAGOHARA, Kyoko⁵; SUGITO, Nobuhiko⁶; MATSUTA, Nobuhisa⁷; HIROUCHI, Daisuke⁸;
GEOMORPHOLOGICAL RESEARCH GROUP, For the 2014 kamishiro fault earthquake¹

¹ 独立行政法人国立環境研究所, ² 広島大学, ³ 東洋大学, ⁴ 千葉大学, ⁵ 山口大学, ⁶ 法政大学, ⁷ 岡山大学, ⁸ 信州大学
¹NIES, ²Hiroshima University, ³Toyo University, ⁴Chiba University, ⁵Yamaguchi University, ⁶Hosei University, ⁷Okayama University, ⁸Shinshu University

The surface ruptures associated with the 2014 Kamishiro fault earthquake (Mj 6.7), central Japan was photographed by digital cameras mounted on an unmanned aerial vehicle (UAV) and a high pole. The resulting Digital Surface Model (DSM) generated using the Structure from Motion (SfM) -Multi-View Stereo (MVS) software enabled accurate measurement of the terrain section, as well as variations in directions and amounts of three-dimensional surface displacements. Imaging technology mounted on a UAV is used to obtain widespread surface measurements, while the pole camera is used for the detailed photography of important locations. The accuracy of the DSM will be confirmed by the comparison of our findings with the measurements by other methods, such as auto-level, Total Station, and terrestrial LiDAR.

As a result, we were able to create a DSM of a resolution of a few centimeters. The shaded diagram of the DSM indicates the following: 1) Surface rupture has propagated in an intricately bent and branched manner. 2) Small-scale deformation and deformation along several meters of width have taken place. Subsequently, this DSM was compared with the cross-sectional survey and measurements carried out by the auto-level and LiDAR, and it was confirmed that the DSM is characterized by fine topographic changes. However, an error of about 10 cm could have been present depending on the location.

キーワード: 2014年長野県北部の地震, 地表地震断層, UAV, SfM-MVS, 超高細密 DSM

Keywords: The 2014 Kamishiro fault earthquake, surface rupture, UAV, SfM-MVS, Ultra-high-resolution DSM

UAV(Phantom2 Vision+) と SfM-MVS を用いて生成した超高解像度 DSM の精度検証 その3 Accuracy validation of DSM that has been generated by UAV and SfM-MVS, Part3

小倉 拓郎^{1*}
OGURA, Takuro^{1*}

¹ 金沢大学人間社会環境研究科・院

¹ Graduate School of Human and Socio-Environmental Studies, Kanazawa University

○はじめに

近年、UAV と SfM-MVS (Structure from Motion) を利用した測量技術が注目されている。これにより、時空間解像度の地形情報を取得することができる。この技術は地形学において災害の初期段階の情報取得や地すべり地形、活断層地形の変位量の測定などに応用され、解像度数 cm の超高解像度 DSM を生成し利用してきた。一方で、河床の礫などマイクロな対象物を空撮し DSM 化する研究はされていない。また、精度の検証も十分に行われていない。

そこで、本研究では数 cm 程度のマイクロな対象物を DSM 化するために、最適な空撮方法や SfM-MVS 上での解析方法を、様々な実験設定をもとに解明する。

○実験手法

アクリル板を基準面とし、真値が定まっている3つのレンガ(高さはそれぞれ6, 12, 18cm)を置き、UAVで空撮した。撮影した画像をSfM-MVSソフトで処理し、DSMを生成した。生成したDSMをGIS上で表示し、それぞれのレンガ及び基準面の中心のDSMを抽出し、個別値を算出した。抽出した個別値の平均値・最大値・最小値・標準偏差を、他の実験データおよび真値と比較した。使用した機材は、UAV: DJI Phantom2 Vision+, SfM-MVS: Agisoft PhotoScan Professional 1.1.2, GIS: ArcGIS 10.2 である。

撮影および空撮の際の実験設定は、①5m, 10m, 20m と飛行高度を変化させる②10枚, 20枚, 50枚, 100枚, 150枚と解析枚数を変化させる③付与したGCPの位置を、基準面上およびレンガの上、基準面上のみ、レンガの上のみ、基準面と最上位のレンガの上のみと変化させる④SfM-MVSソフト上で自動付与されたGCPを手動で補正する⑤SfM-MVS上でカメラキャリブレーション設定を変化させる(PhotoScan 1.1.1からの新機能)、⑥カメラのチルト角度を変化させる、の6つである。設定⑤および⑥については、当日提供する。

○結果

①の実験設定で、DSMの解像度は対地高度5mで0.6cm, 対地高度10mで1cm, 対地高度20mで2cmであった。また、飛行高度を上げるにつれてレンガ上のDSMの平均高が小さくなり、標準偏差も小さくなった。飛行高度が上がるにつれてレンガの形状を正確に復元できなくなった。レンガの高さはいずれのDSMも真値よりも低い値を示した。

②の実験設定では、解析枚数10枚, 20枚のデータは基準面状にノイズが現れ、またレンガの形状も正確な長方形を表さなかった。解析枚数50枚から安定し、解析枚数100枚・150枚と上げるにつれて標準偏差が小さくなった。レンガの高さはいずれのDSMも真値よりも低い値を示した。

③の実験設定では、基準面上のみにGCPを付与したデータは、真値よりも高い数値を示し、最大で2.048cm高くなった。また、レンガの上のみにGCPを付与したデータは、レンガの高さが真値に近づいたが、基準面が高くなった。また、基準面上と最上位のレンガの上にGCPを付与したデータは、基準面上のみに付与したデータよりも真値に近くなり、GCPを付与していないレンガも真値に近くなった。レンガの高さは、基準面状のみにGCPを置いたもの以外は全てDSMも真値よりも低い値を示した。

④の実験設定では、レンガの高さが高いDSMほど誤差が生じたが、最大でも0.3cm程度であった。

○考察

SfM-MVSで生成したDSMは、高度を上げるにつれて解像度が下がる、枚数を増やしたりGCPの数を増やしたりしても解像度はほぼ一定である。また、DSMの精度は、枚数を増やすことで上がり、ばらつきの小さいデータが取得できる。GCPの位置は、同一平面上に置いてしまうと上下成分が突出してしまうため、計測したい対象物の最高点および最低点を付与し、対象物が内挿されるように設置する必要がある。さらに、基準面状にGCPを付与した設定以外の全ての実験設定でレンガの高さが真値よりも低い値を示したことから、同一の高さにGCPを付与すると、その平面に向かって高度が吸い寄せられて復元されることが分かった。よって、GCPは垂直方向にもばらつきを持たせて付与させる必要がある。

HTT30-P03

会場:コンベンションホール

時間:5月25日 18:15-19:30

キーワード: UAV, SfM-MVS, 超高解像度 DSM, 精度検証

Keywords: UAV, SfM-MVS, Super high-resolution DSM, Accuracy validation

最新レーザースキャナを用いた無人ヘリによる超高精細3D計測の試み The development of ultra-high resolution 3D measurement system by a multicopter using the latest laser scanner

泉岳樹^{1*}; 都竹正志²; 熊倉清³
IZUMI, Takeki^{1*}; TSUZUKU, Masashi²; KUMAKURA, Kiyoshi³

¹ 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科 地理環境科学域, ² 中日本航空株式会社, ³ リーグルジャパン株式会社
¹Tokyo Metropolitan University, Graduate School of Urban Environmental Sciences, ²Nakanihon Air Service CO.,LTD, ³RIEGL JAPAN LTD

In recent years, unmanned helicopters, especially multicopters which have multiple rotors, have been developed rapidly and the compact laser scanner which can load on them have been also developed. RIEGL VUX-1, ultra-lightweight compact laser scanner, was released in 2014. This scanner is assumed to load on unmanned aerial vehicles. The specifications of the scanner are as follows: weight 3.6kg, size 227*180*125mm, a large field of view (330 degrees) and a high measurement rate of 500,000 points / seconds. The scanner also corresponds to multiple targets processing by the waveform analysis.

In this study, at first a multicopter that can be loaded with this latest laser scanner was newly developed. In the second, attempts to ultra-high-definition 3D measurement will be done by the new multicopter with the scanner.

The accuracy verification test was done by the unmanned helicopter YAMAHA RMAX L18 with a gasoline engine. This test was done by Nakanihon Air Service CO.,LTD, RIEGL JAPAN LTD and KoHaTa Inc. in Oct. 2014. As a result of horizontal direction verification, vertical direction verification and small object identification verification, it was revealed that the system can grasp the small step of the relative height 1cm unit as Fig.1.

The influence of the vibration of the engine was concerned, but the effect of vibration was relatively small comparing with the actual aircraft. This may be because the high frequency vibration was dominant. The newly developed multicopter moved by the motors for reducing the vibration, it is considered to be able to ensure the accuracy with the smaller and lighter IMU.

The new multicopter is designed to be able to exert maximum performance of the sensor. Considering the VUX-1 transmission and reception of the laser, the shape of the multicopter around the sensor was specially designed so that be able to acquire the 330 degree wide viewing angle data from low altitude flight. This makes it possible to create a wide area and high speed ultra-high-resolution 3D model of terrain and structures from the sky to the same extent of the accuracy by ground-based laser scanner measurement.

This new measurement system is considered as effective where measurements from the ground level are difficult, such as the landslide disaster. Various applications, such as early condition ascertainment, prevention of secondary disaster and recovery and reconstruction planning are expected by this system.

It is planned to upgrade the system to retrieve data in various weather conditions and to view and print the measurement results in real time in disaster area. After upgrading, the system will be used in the activities of "Tokyo Metropolitan University Disaster Investigation & Assistance Special Team by Unmanned Aerial Vehicles" in a real disaster field.

Acknowledgments

We would like to give a special thanks to Mr. Mitsunori KOHATA, the president of KoHaTa Inc. This research was partially supported by RISTEX, JST.

キーワード: UAV, レーザースキャナ, 3D計測, マルチコプター, ドローン
Keywords: Unmanned Aerial Vehicle, Laser scanner, 3D measurement, Mmulticopter, Drone

HTT30-P04

会場:コンベンションホール

時間:5月25日 18:15-19:30

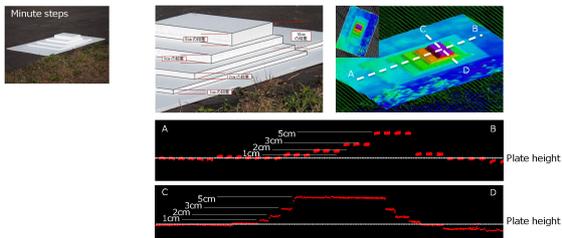


Fig.1 Result of the accuracy verification test

空撮より得たデジタル画像を用いた氷河変動解析 Glacier change analysis in Tien Shan using digital camera images

山本 遼平^{1*}; 奈良間 千之¹; 田殿 武雄²
YAMAMOTO, Ryohei^{1*}; NARAMA, Chiyuki¹; TADONO, Takeo²

¹ 新潟大学理学部自然環境科学科, ² 宇宙航空研究開発機構

¹Department of Environmental Science, Niigata University, ²Japan Aerospace Exploration Agency

中央アジアの山岳地域において、氷河の質量収支が長期間観測されているベンチマーク氷河は、アブラモフ氷河、ゴルビナ氷河、カラ・バトカック氷河、ツユク氷河、ウルムチ No.1 氷河である (UNEP, 2007)。これら数少ないベンチマーク氷河のうち、旧ソ連の崩壊などにより、アブラモフ氷河、ゴルビナ氷河、カラ・バトカック氷河の観測は 1990 年代後半に終了してしまった (アブラモフ氷河とゴルビナ氷河は 2012 年より観測再開)。中央アジアの氷河の質量収支観測の問題点として、アプローチがよく、ステーク測量を実施可能な小規模氷河が限定されることに加え、観測の予算や労力がかかることが挙げられる。最近では人工衛星データから生成する数値標高モデル (DEM) を用いた質量収支変動の報告があるが、解像度や撮影間隔などの問題から毎年の変動量を高精度に算出することは困難である。本研究では、2 次元の形状からカメラ位置や 3 次元形状を特定する手法である SfM (Structure from Motion)、UAV (Unmanned Aerial Vehicle; 無人航空機) から空中撮影したデジタルカメラ画像を用いて、天山山脈の末端幅 100m ほどの小規模氷河 (0.129 km²) を対象に氷河の年間の質量収支観測を試みた。ALOS PRISM から作成された DSM を使用して、2006 年～2014 年の変動を調べた結果、-1042 mm/年という結果が得られた。この研究で空中から撮影したデジタル画像が氷河の研究に有効であることがわかった。

キーワード: 小規模氷河, 質量収支, 天山山脈, デジタルカメラ画像, 数値標高モデル

Keywords: mall-scale glacier, mass balance, Tien Shan, digital camera image, DEM

小型無人機を用いた立入不可の火山地域における調査手法開発に向けて Research method development by using UAV over restricted areas of volcanoes

藤原 伸也^{1*}; 手束 宗弘¹; 森山 裕二¹; 島田 徹¹; 阪上 雅之¹; 金井 啓通¹; 永谷 圭司²; 伊豆 智幸³
FUJIWARA, Shinya^{1*}; TEZUKA, Munehiro¹; MORIYAMA, Yuji¹; SHIMADA, Toru¹; SAKAGAMI, Masayuki¹;
KANAI, Hiromichi¹; NAGATANI, Keiji²; IZU, Tomoyuki³

¹ 国際航業株式会社, ² 東北大学, ³ 株式会社エンルート

¹Kokusai Kogyo Co., Ltd., ²Tohoku Univ., ³Enroute Co., Ltd.

国内の火山活動が活発化して噴火の危険性が高まるか、あるいは噴火が発生すると、その火口から半径数 km 以内は人の立ち入りが制限される。しかし、火山が活発化・噴火すると通常、地殻変動や噴出物によって原地形が変化することが知られており、その地形変化の程度は噴出物が噴出した火口周辺で特に大きいことが予想される。一方、火口からの噴出物が採取できればその噴火様式や、地下のマグマの情報を得ることができるほか、火山灰の質を検証することで土石流などの二次災害の可能性を精査することができるかもしれない。こうした背景のもと、筆者らは火山地域の立入制限区域内の調査を実現するロボットシステムの研究開発を進めてきた。特に平成 26 年度からは、主に土石流の予測精度向上を目的に、小型無人機 (UAV) と各種デバイスを用いた、火口周辺の映像取得、静止画像からの三次元地形データの復元、火山灰のサンプリング等の実験を行ってきた。本発表では、昨年 12 月に桜島火山にて行われた実証実験結果を中心に、その調査手法と試験結果、今後の課題について報告する。

本試験で用いた UAV は、エンルート社製の ZionQC730 で、18 インチプロペラを 4 枚搭載している。桜島で実施された現場検証において、この UAV は黒神川の下流域から、予め指定した経路に沿って昭和火口上空まで飛行し、離陸地点まで帰還した。昭和火口上空へのフライトは合計 3 回行い、いずれのフライトにおいても、UAV は 4K 画像を取得して帰還することができた。なお、離陸地点から昭和火口までは並進距離 3,700m、標高差 1,200m であるが、一回のフライトにおける飛行距離は 8,000m、飛行速度は 10m/s で、飛行時間は約 20 分であった。また、地表の風速が 5m 程度のときのフライトにおいて、バッテリーの残量はおよそ 56% であった。また、飛行中、1.2GHz 帯の X-Link 通信により、飛行中の全ての地点において、解像度は低いが、UAV が取得した映像をリアルタイムに確認することができた。以上より、現在、筆者らが有する UAV により、立入制限区域内における高解像度の動画を取得することが可能であり、例えば、浅間山の警戒レベル 3 の噴火の際にも、半径 4km に設定される立入制限区域内の調査を行うことが可能となると期待できる。

また、筆者らは黒神川上流域を対象に UAV で撮影した静止画約 300 枚に対して、各写真の特徴点の位置とカメラ座標を同時に推定する「Structure from Motion (SfM)」を用いて三次元地形モデル (DSM) を生成した。この際、複数種の SfM を用いて各ソフトの生成時間と時間当たりの DSM 点群密度、精度等についても比較を行った。また、既存の航空レーザ測量データ (LP) と比較し、どの程度の差異があるか検証を行った。その結果、各ソフト間では精度に大きな差は見られないものの、稼働時間当たりの発生点群密度数にはかなりの違いが見られた。ただし、ソフトによって操作性が異なるなど、緊急時の汎用性を考慮すると一概に時間当たり点群密度が多いソフトが最も優れているとは結論しがたい。切迫状況に応じてソフトを使い分けることも重要と考えられる。また、LP との比較においては、絶対位置の基準となる対空標識を用いるか用いないかで鉛直方向で数 m 程度の差異が生じた。緊急時は対空標識を設置する猶予はない場合が多いため、この標高の差異をどう縮めるかは今後の課題と言える。ただし、えん堤などの不動点と考えられる人工構造物に標高を合わせると、SfM で発生させた DSM は概ねどのソフトでも現存地形を再現できていることがわかっている。

また、本試験では、UAV から専用のデバイスを取り付け、地表の火山灰をサンプリングする実験も実施した。開発を進めている土砂サンプリングデバイスは、隣り合った二つのローラーを、モーターを使ってそれぞれ内側に回転させることで土砂をデバイス内に巻き込む方式であり、この機構により、細かい粒子から最大で 6cm 程度までの火山噴出物が取得可能である。ローラーの動作は、デバイスが地面に着地すると同時に開始され、10 秒ほどで 50g 程度の砂または、30g 程度の砂利を取得することが可能であり、フィールド試験においても採取実績がある。今回、上記のデバイスを用いて黒神川の堆砂域において同様の試験を実施し、サンプリングにも成功したが、試験前日の降雨により地表が締め固まっていたため、十分な量をサンプリングできない状況も発生した。今後は、土壌の状況に応じてデバイスの構成を変更できるようにする必要があると考えられる。

本研究は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託業務の成果を活用しています。

キーワード: 小型無人機, 桜島, 火山

Keywords: UAV, Sakurajima, Volcano