

防災に用いる小型 UAV の性能評価 Performance evaluation of UAV to use for disaster prevention

齋藤 修^{1*}
SAITOU, Osamu^{1*}

¹ 茨城大学工学部防災セキュリティ教育研究センター

¹Center for Disaster Prevention and Security, IBARAKI University

2011年3月11日に突如発生した東北地方太平洋沖地震は未曾有の複合災害を人々に与えた。東日本各地を襲った津波の航空機映像は大災害の非情さを伝え、様々な分野の技術者や研究者にショックを与えた。また、これらの地震災害や、近年の気候変化による極端気象が起こす自然災害時には迅速な現地状況把握が必要である。しかし、道路・交通を含めた生活・情報インフラの遮断が発生すれば現地への移動が困難である。このため、災害直後の初動の情報収集において、UAVを用いた簡便な手段によって現地の情報がリアルタイムに把握できる防災システムのニーズが高まっている。今回、一般市場の小型 UAV の性能を評価しその可能性を検討した。

キーワード: マルチコプター, センサーネットワーク, 防災

Keywords: UAV, sensor network, disaster prevention

自然災害調査・研究のための小型固定翼 UAV：その必要性と課題 Small fixed wing UAV for natural disaster survey: Its needs and challenges

井上 公^{1*}; 福井 弘道²; 杉田 暁²
INOUE, Hiroshi^{1*}; FUKUI, Hiromichi²; SUGITA, Satoru²

¹ 防災科学技術研究所, ² 中部大学国際 GIS センター

¹National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, ²IDEAS, Chubu University

現在、各種災害の調査・研究を始め、環境・農業調査、土木・建設調査、報道等にマルチコプターが多用されはじめており、今後数年で更に普及が進むことが予想される。一方マルチコプターは、不慣れな運用者による飛行ルートの設定ミスや状況判断の誤り、GPS 信号強度の低下、バッテリーや機体の不具合など、様々な要因によって、意図せず墜落する可能性が常にある。我々がこれまでマルチコプターを調査研究に活用してきた経験では、墜落の可能性を 100 フライトに 1 回以下に減らすことは、少なくとも新規のユーザーにとっては容易ではない。したがって今後、数多くのユーザーがマルチコプターを利用するようになれば、毎年少なからぬ数の機体が墜落し、その一部は人や車や住宅に衝突し、さらにその一部は相手に大きな怪我や損害を負わせることになる。飛行させる場所が人の殆ど居住していない山間地等であれば事故になる可能性は低い、居住地の場合は危険性を無視することはできない。我々の今後の UAV の主な利用目的のひとつは災害リスク評価・災害監視・災害対応であり、災害を対象とする以上、対象地域には人が住んでいる。したがって事故の軽減策は最優先課題である。

安全対策には、法令による無秩序な利用の抑制、機体メーカーによる飛行制御装置の改良や安全装置の開発と商品化、ユーザーによる機材や電池の管理、正しい飛行プランの作成、現場での適確な状況判断などがある。我々が今回それらに加えて提案する対策は、マルチコプターではなく小型固定翼機を使うことである。ここでいう小型固定翼機とは、翼長 1~2 メートルの発泡スチロール製の電動機体である。我々は現在、いろいろな半完成品の機体に APM を組み込んだものや、完成品の 3DR 社製 Aero など、複数の機体を購入・製作し飛行試験を行っている。また senseFly 社 eBee を海外で使用して実績を積んでいる。固定翼機もマルチコプター同様に、機材の不具合や人為的ミスによって墜落することになりはしない。しかし機体が柔らかな発泡スチロールでできており、バッテリーやカメラのような重く固い部品は機体内部に装着でき、モーターとプロペラは後ろ向きに取り付けられているため、墜落して人や物に衝突しても、相手に大きな傷を負わせる可能性が小さい。機体全体が衝撃吸収材でできているという、この単純なメカニズムによる安全性が、固定翼機の最大の利点である。また、固定翼機は飛行速度が大きく、翼の揚力で浮上しているため、マルチコプターに比べると同じ容量のバッテリーで数倍の時間と距離を飛行できる。山間地など、墜落時の危険性が大きな問題とはならない調査においては、むしろこちらが最大の利点となる。

一方、固定翼機にはデメリットもある。一番のそれは着陸の難しさである。離陸は手投げ発進ができ、技術的な難しさも場所の制約もあまりない。離陸後、手早く自動操縦に切り替えれば、飛行にも困難はない。しかし着陸は、自動であれ手動であれ、機体を減速してピンポイントに導くことが難しく、広い平地も必要となる。手動操縦も、手を離せば静止してくれるマルチコプターよりは難しい。これらは常に前進していなければ失速・墜落してしまう固定翼機の宿命である。しかし、固定翼機も自動着陸機能の性能が向上しつつある。大きなネットを用いることにより、離着陸場所の制約を減らすこともできる。また手動操縦もフライトコントローラーの高性能化で、手を離せば一定高度で安定して直進し、スイッチひとつで同じ場所を旋回させることもできる。したがって、固定翼機のいくつかの課題は徐々に解決される方向にあり、墜落時の安全性と、10 キロメートルを超える遠距離・広域調査を可能とする飛行性能のメリットは、デメリットを補って十分に余りある。特に居住地においては安全性が最優先課題であり、墜落しないマルチコプター、または墜落して人に当たっても怪我をさせないマルチコプターが手に入らない限り、発泡材でできた固定翼機を使用すべきである。

キーワード: 自然災害, 無人機, 固定翼, 安全性
Keywords: natural disaster, UAV, fixed wing, safety

HTT30-02

会場:101A

時間:5月25日 16:45-17:00



UAVによる地上基準点の位置計測とその精度 Position measurement of ground control points and its accuracy with UAV photogrammetry

飛田 幹男^{1*}; 中埜 貴元¹; 神谷 泉¹; 乙井 康成¹; 岩橋 純子¹; 中島 秀敏¹
TOBITA, Mikio^{1*}; NAKANO, Takayuki¹; KAMIYA, Izumi¹; OTOI, Kousei¹; IWAHASHI, Junko¹;
NAKAJIMA, Hidetoshi¹

¹ 国土交通省国土地理院

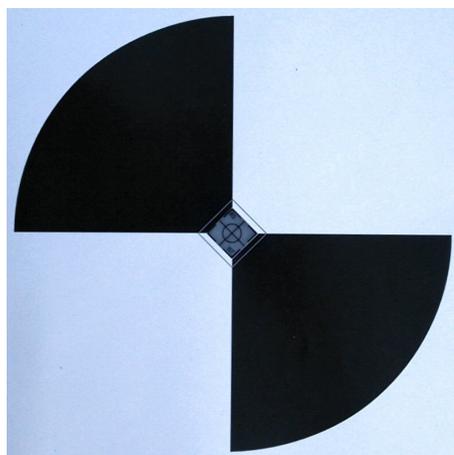
¹GSI of Japan

UAV(Unmanned Aerial Vehicle)が低高度から取得した写真を SfM (Structure from Motion) / MVS (Multi-view Stereo) 技術により解析することで、数センチ程度の空間密度で地表面の位置計測ができることもある。計測精度が高ければ高いほど、地球科学・地理空間情報・防災等の分野における応用範囲が広がる。計測結果は、カメラ、カメラモデル、写真の画質、撮影高度、オーバーラップ率、撮影位置計測精度、解析に用いるソフトウェアと解析条件他に依存する。

国土地理院構内に設けられた既存の基準点に対空標識を設置し、小型マルチコプターで撮影した空中写真や斜め写真を元に計測した地物の位置について、上記の条件の一部を変えて解析した結果を示す予定である。これらを比較し、高い計測精度を得るためにはどの条件が重要か、どの程度の計測精度が得られるかなどについて報告したい。

キーワード: 無人航空機, 地上基準点, 対空標識, マルチコプター, 写真測量

Keywords: UAV, Ground Control Point, SfM, MVS, Drone



UAVを活用した奈良県深層崩壊箇所への土砂移動監視 Monitoring the sediment movement in deep-seated landslides in Nara Prefecture utilizing UAV

阪上 雅之^{1*}; 金井 啓通¹; 清水 幹輝¹; 堀 大一郎¹
SAKAGAMI, Masayuki^{1*}; KANAI, Hiromichi¹; SHIMIZU, Mikiteru¹; HORI, Daiichiro¹

¹ 国際航業株式会社

¹ Kokusai Kogyo Co., Ltd.

1. はじめに

平成23年9月に発生した紀伊半島大水害では、奈良県南部地域の広い範囲で「深層崩壊」と呼ばれる大規模な斜面崩壊が多発し、多くの人的被害や家屋被害等の甚大な被害となった。平成23年の大規模崩壊箇所は、その後の台風等の豪雨により二次的な土砂移動が発生しており、継続的な監視が重要である。だが、対象斜面は県の広範囲に及び、また周囲は急峻な地形を呈する山間部のため、人為的な現地踏査には時間を要する。また、航空レーザ測量等のリモートセンシング技術を主体とした監視は、広範囲の計測に適している一方、コストが高く、頻りに計測することは困難である。さらに、航空機や衛星等は撮影高度が高いため、天候等に左右され、必要な時に必要な高分解能な情報を得られない可能性がある。そのため、既存のリモートセンシング技術だけに頼らない、比較的安価で機動性の高い新たな監視方法を検討する必要がある。以上の背景から、本検討ではUAVを用いた土砂移動監視の可能性について検討を行った。

2. 調査対象箇所

紀伊半島大水害による大規模崩壊60箇所の中から11箇所を選び、崩壊地周辺の土砂移動状況についてUAVを用いて、調査を実施した。

3. 調査手法

調査機材には、エンルート社製ZionQC730、撮影カメラにはSonyα6000を使用した。機体のジンバルに取り付けたカメラから自動で2秒間隔に1枚、垂直方向に写真を撮影し、撮影した写真を基にSfM(Structure from Motion)による対象斜面の地形モデル及び、オルソ写真を作成した。また、一部斜面では斜め方向で動画撮影を行い、経年的な地形変化を検討する基礎資料とした。UAVの離着陸地点については、緊急時の迅速な調査を想定し、作業を短時間で終わらせるよう、車でのアクセスの良さや、なるべく1箇所から複数の斜面を撮影できる等を考慮し、11斜面に対して5箇所の離着陸地点を机上及び、現地で選定した。飛行計画は、国土地理院10mメッシュ標高データを用いて、周囲の樹木に当たらないよう、谷部をなぞるような飛行計画を組んだ。平成23年度以降の土砂の移動状況については、平成23年度以降に撮影された空中写真や航空レーザ測量成果と、本検討で撮影したUAV撮影成果を比較し、土砂移動の有無を検討した。

4. 調査結果

現地調査は2014年11月11日～12日の2日間に実施した。現地の地形及び、設定した飛行計画や搭載するバッテリーの特性を加味し、速度20～45km/hで飛行を実施し、最も長い飛行として約14km(片道7km)の自動航行を実施した。これは、急峻な地形における回転翼UAVを用いた自動航行の飛行実績としては、世界的にも例を見ないものとする。

UAVにより今回撮影された空中写真と、過去撮影された航空機やヘリコプターによる空中写真を判読し、地形や植生の変化箇所を抽出した。また、崩壊発生直後に取得された航空レーザ測量データがある斜面では差分解析による移動土砂量の算出を行い、下記の変化が識別できた。

- ・ 崖の侵食、小河川の流路変化やガリーの発達等の地形変化
- ・ 倒木の流出、樹木の消失(伐採痕の識別)等の植生変化
- ・ 1年または2年間で、崩壊地直下の崖錐部や河床堆積物における土砂侵食量

5. まとめと今後の課題

調査結果から、山間部でのUAVを利用した土砂移動監視を実施する利点として、①短時間での現地作業が可能(平均2時間/箇所)、②従来の航空機を使用した調査より低コスト、③低高度による高解像度画像の取得、④短時間での画像取得・処理、⑤高頻度での画像取得可能、⑥繰り返し観測可能等が明らかになった。

課題としては、①撮影のタイミング(天候、光)、②山間部でのGPSの取得、③飛行時間(距離)の制約、④広域を対象とした場合、離着陸地点間の移動に時間を要する、⑤現場での安全管理、⑥自動航行中のトラブルやその対処、⑦土砂量算出のための、三次元計測時の地上基準点の設定や地上基準点を含む飛行計画の設定等が挙げられた。

今後の継続的な土砂移動の監視にあたっては、一度に広域を撮影可能な衛星(光学、SAR)を使った従来の調査手法と、より低高度から高解像度の画像が取得可能なUAV調査を組み合わせ、それぞれが取得できる情報の範囲や解像度を

HTT30-04

会場:101A

時間:5月25日 17:15-17:30

補完するような調査方法が適切と考える。

6. 謝辞

本検討にあたっては、国土交通省近畿地方整備局様や奈良県様が撮影された過去の空中写真を比較検討資料として御提供いただいた。この場を借りて深く感謝する。

キーワード: UAV, 監視, 計測, 深層崩壊, 土砂災害

Keywords: UAV, Monitoring, Measurement, Deep landslide, Sediment disaster

小型 UAV による水稲の生育状況診断 Rice growth condition estimation using small UAV

田中 圭^{1*}; 近藤 昭彦²
TANAKA, Kei^{1*}; KONDOH, Akihiko²

¹ 日本地図センター, ² 千葉大学環境リモートセンシング研究センター
¹Japan Map Center, ²Center for Environmental Remote Sensing, Chiba University

1. はじめに

近年、解像度の高い空中写真(斜め・垂直写真)を容易に取得することができる小型 UAV(Unmanned Aerial Vehicle)が登場し、非熟練者でも近接リモートセンシングが実施できるようになった。小型 UAV は低空(対地高度 150m まで)から撮影できるため、曇天でも対象との間に霧や雲がなければデータを取得することができる。そのため、時間および空間解像度が高い情報を取得することが可能となった。UAV は既に、地図作成(小笠原諸島西之島)、災害現場(広島土砂災害、御嶽山降灰調査など)、空間線量率計測といった様々な分野で運用されている。

本研究は小型 UAV による高品質な地理空間情報を用いて、詳細な水稲の生育モニタリングを試みた。既往研究では、衛星・航空機を用いた農作物のモニタリング手法が実用化されている。しかし、衛星・航空機の場合は頻りに生育状況の情報を取得することは難しく、また、天候にも左右されやすい。一方、小型 UAV はこれらに比べて、頻りに情報取得ができる上に運用費用が安価である。このことから、今後その需要性が高まると考えられる。

2. モニタリング手法

1) 対象場所・期間

埼玉県坂戸市の水田(3.2反:36m×88m)を対象に、2014年5月中旬~9月中旬にかけて、週1回の頻度で水稲(コシヒカリ)のモニタリングを実施した。

2) 撮影

生育状況の診断のために、可視画像(AW1:Nikon社)と近赤外画像(GoPro3:Woodman Labs社)の空撮を行った。GoPro3に使用されているイメージセンサは、近赤外域にも感度を持っているため、近赤外線透過フィルター(富士フィルム社)を通すことで、簡易型近赤外カメラとして撮影できる。これらのカメラを搭載し、撮影画像の品質保持および操縦者の負担を軽減するため、事前に飛行ルートを設定し、自律飛行を実施した。撮影した画像は、SfMソフト(PhotoScan)を用いて、オルソ画像(可視画像、近赤外画像)・DSMを作成した。

3) 解析

圃場を5m×5mのメッシュに区切り(合計:119メッシュ)、詳細なモニタリングを行った。メッシュ内に含まれるNDVI(近赤外画像から計算)を指標とし、場所による生育状況の違いをまとめた。

4) 検証

全メッシュから数メッシュの水稲をサンプリングし、NDVIと収量の関係を求め、実際の収量との検証を行った。

3. 結果

圃場全体のNDVIは、移植期~分けつ期で上昇し、その後の幼穂形成期~出穂期はほぼ一定となり、登熟期に入ってから下降した。しかし、メッシュごとにNDVI値をみると、取水口と排水口周辺では、生育状況に違いが生じた。この違いは、サンプリングした水稲の単位収量(g/m²)にも反映された。

NDVIと水稲の収量の相関は、幼穂形成~出穂期にかけてのNDVIとの相関が最も高い結果となった。このときの相関式をもとに圃場全体の収量と実際の収量の検証した結果、±5%の誤差で収量を推定することができた。

4. まとめ

衛星・航空機を用いたモニタリングの場合は、出穂してから10~20日後の撮影データを使用して、お米のおいしさを決めるたんばく質含有量分布図を農家へ通知している。いわゆる「お米の成績表」となっている。一方、小型 UAV はリアルタイム測定ができるため、生育状況から追肥等の検討や倒伏の予測ができ、迅速な対応が可能である。また、数年間モニタリングを実施し、NDVIと収量の相関が確立できれば、稲刈り前に収量を予測することも可能となってくる。このことから、農業分野においても小型 UAV の活用が大いに期待できる。

キーワード: 小型 UAV, NDVI, オルソ画像, DSM, 水稲モニタリング
Keywords: small UAV, NDVI, orthophoto, DSM, rice growth monitoring

ラジコン電動マルチコプター, SfM を使用した高分解能空撮画像からの水稻モニタリング Rice growth monitoring by radio control electric-powered Multicopter

濱 侃^{1*}; 早崎 有香³; 田中 圭²; 近藤 昭彦³

HAMA, Akira^{1*}; HAYAZAKI, Yuka³; TANAKA, Kei²; KONDOH, Akihiko³

¹ 千葉大学 理学研究科, ² 一般財団法人 日本地図センター, ³ 千葉大学 環境リモートセンシング研究センター

¹Chiba Univ. Graduate school of Science, ²Japan Map Center, ³Chiba Univ. CEReS

1. はじめに

現在, ラジコン電動マルチコプターは, 小型化・低価格化に加えて姿勢制御技術も向上し, UAV(Unmanned Aerial Vehicle)としてカメラやセンサーを搭載することにより, 低コストで近接リモートセンシングが実施できるようになった。

農作物の生産管理はリモートセンシングの重要な課題の一つであり, 多くの研究事例が蓄積されてきた。特に日本の基幹作物である水稻においては, 収量・収穫適期予測や食味判定などが課題であり, 航空機や衛星リモートセンシングを活用した広大な圃場を対象とした観測・予測が行われている。(例えば, 脇山ほか, 2003; 秋山ほか, 2006)

本研究では, 水稻の生育モニタリングについて UAV を用いることにより, 高い時間および空間分解能の画像の取得に基づく詳細な生育状況モニタリングを試みた。また, 撮影した複数の画像の解析に SfM (Structure from Motion) 技術を併用することで, オルソモザイク画像・DSM を作成し, 水稻の生育モニタリングに活用した。UAV による観測は, 衛星のような雲による制約が少なく, 風雨がなければいつでも撮影可能であり, 撮影にかかる費用は航空機などに比べると安価であるため, 取得できる情報の品質が良ければ, 日本のような湿潤地域での優位性が高まる。

2. 研究手法

千葉県農林総合研究センターの水稻試験場において, 2014年6月中旬(成長期)から9月初旬(成熟期)にかけて観測を行った。この圃場では2つの水田を48区画に細分し, それぞれの区画で播種・移植時期(全4期), 品種(コシヒカリ, ふさおとめ, ふさこがね), 施肥量を変え, 異なる条件で栽培している。

観測には, 電動マルチコプター(MEDIX社: JABO H601G, DJI社 Phantom2), デジタルカメラ(可視画像: RICOH社 GR, GoPro社 HERO3. 近赤外画像: BIZWORKS社 Yubaflex) を用いて空撮を行った。

オルソ空中写真および水田圃場のDSM(Digital Surface Model)の作成は, SfMソフトウェアPhotoScan(Agisoft社)を用いて作成した。DSMは水稻の生育に伴い変化するため, 撮影時期ごとのDSMから初期地表面高度(田植え前の地表面)を差し引き, 各区画内の水稻の平均草丈を求めた。

NDVIはYubaflex専用ソフトで解析し, GIS上でオルソ化した後, モザイク画像を作成した。また, ハイパースペクトルカメラ(エバ・ジャパン社 NH-7)による地上観測値をもとにNDVI値の補正を行った。その後, 水稻部だけのNDVIを得るため, $NDVI > 0$ を植生域とし, 水域・土壌を排除した。水稻の生育状況の実測データ(出穂日, 草丈, LAIなど)は, 千葉県農林総合研究センターの観測値を使用した。

3. 結果・考察

i) NDVI

各区画の水稻のNDVIは共通して, 移植期から上昇し, 出穂期周辺をピークに成熟期に向けて下降した。

移植期は4期(4/10, 4/23, 5/14, 6/3)となっており, 移植した時期が早いものほど先にピークが現れ, その後下降をはじめた。品種の違いによる, 生育過程の違いも認められ, 出穂前の同時期のNDVIは生育の遅いコシヒカリが一番低くなった。また, 同じ移植日・品種のものであっても, 施肥量が多い試験区ほど高いNDVIを示した。

このようにNDVI画像から生育条件による圃場内の生育状況の違いが, 詳細に観測された。

ii) DSM (水稻の高さ)

出穂前の水稻の実測草丈と, ほぼ同時期の空撮画像から作成したDSMから求めた草丈を比較した結果, 誤差数cmレベルで観測できた。このように生育状況を把握する重要な指標である稲の草丈も, 空撮した画像から観測できることがわかった。

誤差の原因としては, DSMの精度の問題だけでなく, DSMでは垂れた状態や風で倒れた状態の高さを求めているため厳密には「草高」を計測しているのに対して, 実測値では垂れた状態などを, まっすぐに伸ばして計測していることが理由であると考えられる。

iii) NDVIを用いた生育推定(草丈, LAI)

水稻の実測データとNDVIとの相関関係をもとに, NDVIを用いた出穂前における草丈・LAI推定のための回帰モデルを導いた。これらのモデルのRMSEはそれぞれ, 0.047m(草丈) 0.478m²/m²(LAI)と推定精度は高く, 追肥量などの調整に重要な時期の生育状態計測に適用できる可能性が示唆された。

4. おわりに

約3か月間ほぼ週一回の頻度でUAVによる水稻生育状況モニタリングを行った。データ所得の確実性に加えて, 生育

HTT30-06

会場:101A

時間:5月25日 17:45-18:00

条件の異なる区画ごとに生育状況の差が観測結果に現れており,UAVによるモニタリング手法の有効性を示すことができた。

謝辞

本研究では、千葉県農林総合研究センター水稲温暖化対策研究室にデータ提供を頂いたほか圃場利用等様々な面でご協力頂いた。ここに記し、御礼申し上げます。

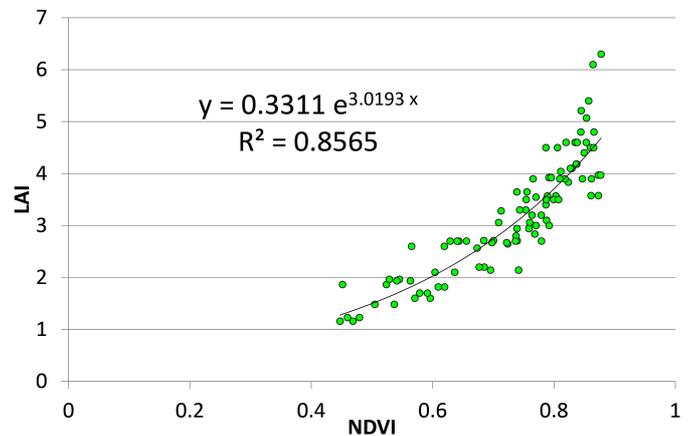
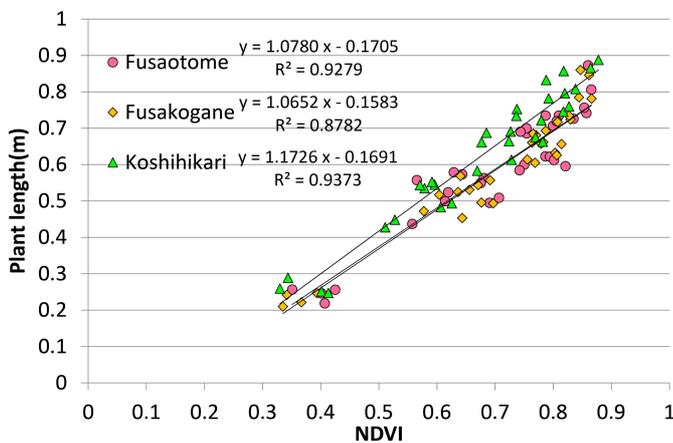
参考文献

脇山恭行, 井上君夫, 中園江, 2003. 水稲登熟期における衛星データおよびアメダスデータを用いた収量予測法, 農業気象, 59(4), 277-286.

秋山侃, 石塚直樹, 小川茂男, 岡本勝男, 斎藤元也, 内田諭, 2006. 農業リモートセンシングハンドブック, システム農学会.

キーワード: UAV, SfM, 植生指数, 数値表層モデル, 草丈

Keywords: UAV, SfM, NDVI, DSM, Plant length



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。

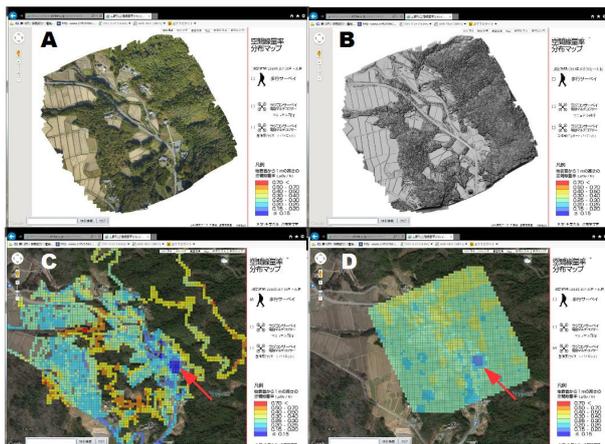
A は UAV 計測で作成したオルソ空中写真であり、観測時の現況を記録することができる。B は SfM により作成した DSM であり、飛行高度、ルートの検証に使える情報である C は同時に行った歩行サーベイの結果であり、清楚の高い情報を提供できるが全領域をカバーすることはできない。D は西側の段丘面上からの高度 150m で計測した空間線量率分布である。今回は飛行高度が高すぎたため、山林と平地のコントラストは明らかではないが、矢印で示した場所は除染が先行して行われた集会所であり、明らかに除染の効果が現れている。

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, レーザースキャナー, 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

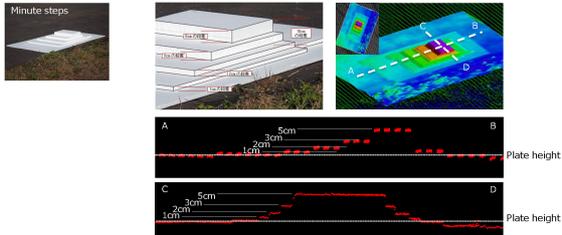


Fig.1 Result of the accuracy verification test

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: small-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