

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

¹ Center 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

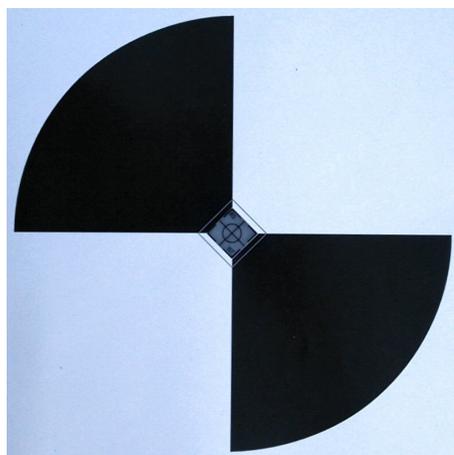
¹GSI of Japan

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考えられる。

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 landslides, 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

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

