

UAVから投下させる貫入プローブ（ペネトレータ）による観測システムの開発

Development of a Penetrator Probe Dropping from a UAV for Disaster Prevention

*田中 智¹、白石 浩章¹、白井 慶¹、石原 吉明¹、後藤 健¹、早川 雅彦¹、尾崎 正伸¹、水野 貴秀¹、山田 和彦¹、村上 英記²、山田 竜平³

*Satoshi Tanaka¹, Hiroaki Shiraishi¹, Kei Shirai¹, Yoshiaki Ishihara¹, Ken Goto¹, Masahiko Hayakawa¹, Masanobu Ozaki¹, Takahide Mizuno¹, Kazuhiko Yamada¹, Hideki Murakami², Ryuhei Yamada³

1.宇宙科学研究所、2.高知大学、3.国立天文台

1.Institute of Space and Astronautical Science, 2.Kochi University, 3.National Astronomical Observatory of Japan

我々はUAVから投下して地球に設置する“ペネトレータ”と呼ばれる観測システムの開発を行っている。このシステムの原型は1990年に開始した月探査計画（LUNAR-A）で開発が進められたもので、本研究で地球観測用プローブとして再設計した。

本システムの概要は次の通りである：ペネトレータをUAVに搭載し、目的地（ここでは火山や地滑り災害などが発生し、立ち入りが困難な地域を想定している）まで輸送する。あらかじめ決められた地点でペネトレータを高度100～数百メートル上空から投下する。ペネトレータは毎秒数十メートルの速度で地中に貫入し、地面に固定される（観測装置としては地震、GPS、傾斜などである）。取得したデータはイリジウム通信で伝送し取得する。本システムの概要をFig 1に示す。

我々はこれまでに1/4スケールサイズのペネトレータを搭載するランチャーを開発し、モーションセンサーを搭載したペネトレータ（1kg程度）の投下試験を2015年8月および9月に実施した(Fig.2)。使用した無人機はフジインバックス社製B-3M型である (<http://www.fuji-imvac.jp/product/index.html>)。飛行ルートおよび投下位置はフライト前にあらかじめプログラムされた、100,300,および500mの高度から投下試験を計10回実施し、20-30m程度以内の精度で予定した位置に着地することを確認できた。着地位置の誤差は投下位予定位置を感知する遅れおよび風の影響と考えている。

ペネトレータが貫入する際には3000-4000G程度の衝撃が機器に印可される。耐衝撃性を保証するためにこれまで我々は多くノウハウを蓄積しており、本研究では商用ベースで入手できるものから耐衝撃性が高いと思われる構造や部品を有するものを選定し、必要に応じて部品の取り替えや耐衝撃性のための処置をした。観測センサーは地震計、空振計、GPS、傾斜計を本研究では採用した。これまでにすべてのセンサーおよびバスシステム（通信機、コンピュータなど）の耐衝撃試験を完了しており、現在、システムのインテグレーション設計を行っている。ペネトレータの総重量は9kgを予定しており、200km程度の往復（片道100kmで復路はペネトレータなし）が可能であると推定している。

今後、実機サイズのペネトレータの投下試験を経て、父島から無人機を離陸させ、現在も立ち入り制限されている西之島新島への投下試験、およびその場でのリアルタイム地震観測などを予定している。我々が開発しているシステムは災害が発生した直後の観測に機動力と迅速性を発揮できると考えている。

本研究の遂行には平成27年から開始した科学研究費補助金、基盤研究(A)(15H01793)を受けている。

キーワード：ペネトレータ、地球物理観測、防災

Keywords: penetrator, geophysical observations, disaster prevention

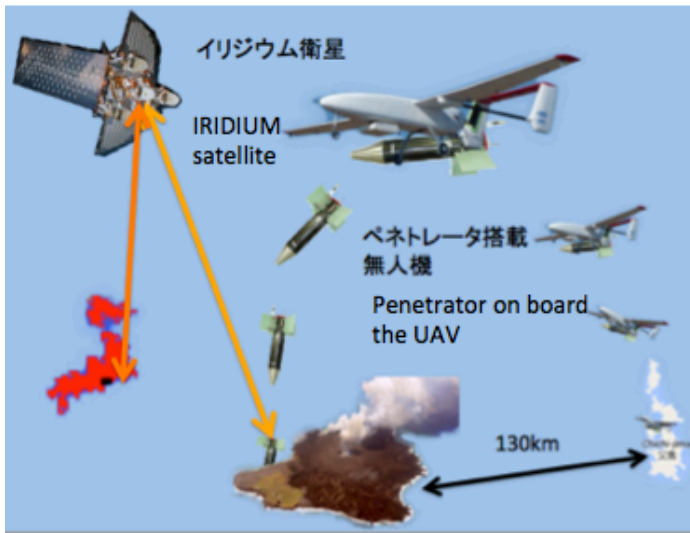


Fig.1



Fig.2

小型無人航空機・MUレーダー同時観測実験
Shigaraki, UAV-Radar Experiment (ShUREX)

*橋口 浩之¹、森 昂志¹、Kantha Lakshmi²、Lawrence Dale²、Mixa Tyler²、Luce Hubert³、Wilson Richard⁴
、津田 敏隆¹、矢吹 正教¹

*Hiroyuki Hashiguchi¹、Takashi Mori¹、Lakshmi Kantha²、Dale Lawrence²、Tyler Mixa²、Hubert Luce³、
Richard Wilson⁴、Toshitaka Tsuda¹、Masanori Yabuki¹

1.京都大学生存圏研究所、2.University of Colorado Boulder, USA、3.Toulon University, MIO,
France、4.LATMOS, France

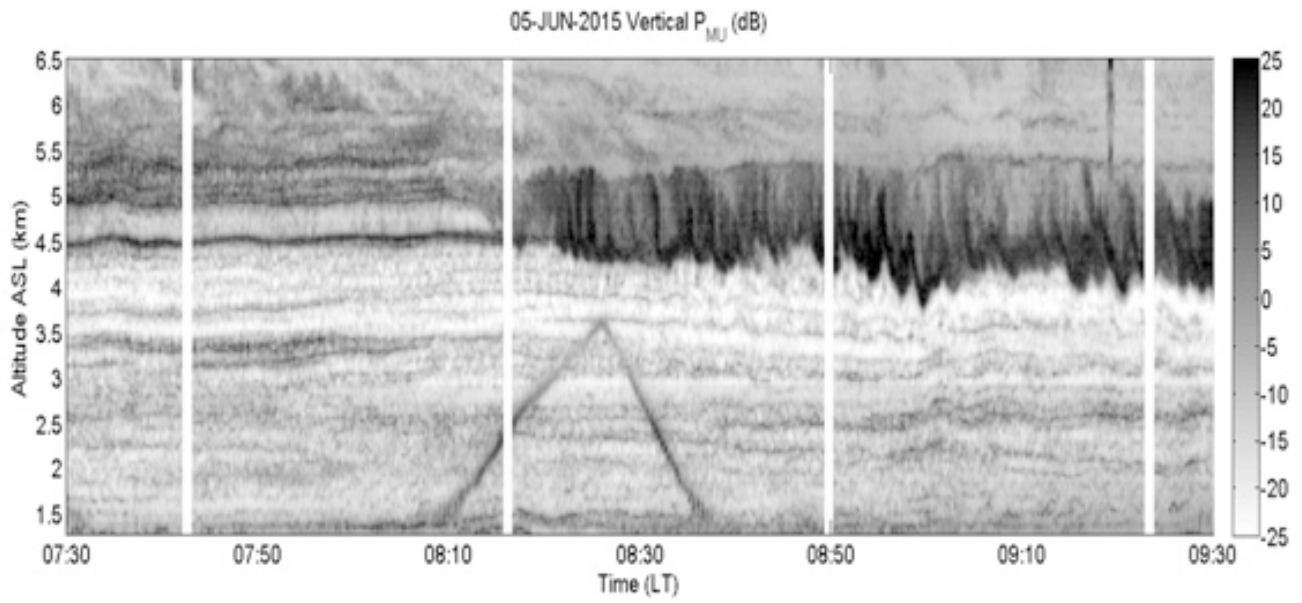
1.Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University、2.University of Colorado
Boulder, USA、3.Toulon University, MIO, France、4.LATMOS, France

乱流混合は熱や物質の鉛直輸送に寄与する重要なプロセスであるが、そのスケールが極めて小さいことから観測が難しい現象の一つである。地上から上空に向けて電波を発射し、大気の乱れに散乱されて戻ってくる電波を受信することで、上空の風向風速等を高時間分解能で測定する大気レーダーは、大気乱流からの散乱エコーを観測すること、時間・空間的に連続観測可能である点で、大気乱流の観測装置として優位にあるが、従来空間分解能に限界があった。MUレーダーは滋賀県甲賀市信楽町に設置された、中心周波数46.5MHz、アンテナ直径103m、送信ピーク出力1MWの大気観測用大型レーダーであり、1984年から運用されているが、2004年に高機能化への大幅改修が行われ、レーダーイメージング(映像)観測が可能となった。その後、イメージング観測手法の開発・改良が重ねられ、現在ではレンジ分解能が飛躍的に向上した観測が可能となっている。MUレーダーは現在のところ乱流を最も正確に映像化でき、それらの発生・発達・形成メカニズムや、メソ〜総観規模現象との関連を研究する上で最も強力な測器である。例えば、風速の変化が大きいところでは、ケルビン・ヘルムホルツ不安定により乱流が発生することが知られているが、雲底下で持続的に乱流が存在する様子がMUレーダー観測によりイメージ化されている。

近年、下層大気の観測手段として小型無人航空機(UAV)が注目されている。昨年6月に気象センサーを搭載した小型UAVとMUレーダーとの同時観測実験を初めて実施した。日米仏の国際共同研究により、コロラドで開発されたUAVを用いて、MUレーダーとの同時観測実験(ShUREX(Shigaraki, UAV-Radar Experiment)キャンペーン)が行われた。UAVは、小型(両翼幅1m)、軽量(700g)、低コスト(約\$1,000)、再利用可能、GPSによる自律飛行可能で、ラジオゾンデセンサーを流用した1Hzサンプリングの気温・湿度・気圧データに加えて、100 Hzの高速サンプリングの気温センサーによる乱流パラメータの高分解能データを取得可能である。UAVの離着陸は、信楽MU観測所から南西へ約1kmの利用休止中の牧草地を借用して行った。UAVは自ら滑走して離陸することはできないため、ゴムで引っ張って離陸させる方法(Bungee法)か、ヘリウムを詰めた気象気球で上空に持ち上げ適当な高度に達したところで切り離す方法(Balloon法)で行う。飛行方法は予め離陸前にプログラムしておくが、状況に応じて離陸後に飛行方法を変更することも可能であり、約1時間の連続飛行が可能である。

MUレーダーのレンジイメージングモードで得られたエコー強度の時間高度変化を図に示す。8時10~40分頃の下の三角形状のエコーはUAVによるものである。高度4~5kmの雲底付近で強いエコー(乱流)が観測されている。現在、MUレーダーとUAVの観測データを詳細に解析しているところである。大気乱流は至るところに存在し、人間生活に及ぼす影響も小さくなく、航空機の安全運航のためにもその観測・予測は重要な課題である。次年度にも改良されたUAVを用いた第2回のキャンペーン観測を計画している。

キーワード：MUレーダー、小型無人航空機、大気乱流
Keywords: MU radar, UAV, Atmospheric turbulence



小型UAVから撮影された直下視画像と斜め視画像を用いた森林樹冠上のDSM作成

Generation of DSM of forest crown generated by vertical + oblique stereo pair images taken by small-sized UAV

*酒井 健吾¹、長谷川 宏一^{1,2}、泉 岳樹¹、松山 洋¹

*Kengo Sakai¹, Kouiti Hasegawa^{1,2}, Takeki IZUMI¹, Hiroshi Matsuyama¹

1.首都大学東京 都市環境科学研究科、2.駒澤大学高等学校

1.Graduate School of Urban Environmental Sciences, Tokyo Metropolitan University, 2.Komazawa University Senior High School

1. はじめに

近年、小型の無人航空機 (UAV; Unmanned Aerial Vehicle) を用いて撮影した複数の画像から地表面の三次元データを作成する手法が注目されている。UAVを用いてステレオペア画像を撮影し、SfM (Structure from Motion) ソフトウェアで処理すると、対象物の三次元点群データ、三次元モデルを作成することができる。さらに、この三次元モデルから、空間解像度数cmのオルソモザイク画像や数値表層モデル (DSM; Digital Surface Model) を得ることもできる。これらは条件によってはレーザ計測と同等の精度が得られるという報告がある (小花和ほか, 2014)。一方、植生を対象とした場合、精度が落ちるといった報告もされている (Harwin and Lucieer, 2012)。これは、画像の解像度が十分でないこと、風により植生が動いてしまうこと、影になっている部分が再現されにくいことなどが原因として挙げられる。そこで本研究では、直下視画像に加えて、斜め視画像を加えてSfMで処理を行うことで、森林樹冠のDSM作成を試み、その再現精度の検証を行った。

2. 研究手法

対象地域は八ヶ岳南麓のカラマツ林 (緯度35° 54' 34''N, 経度138° 20' 06''E) であり、2015年7月にUAVを用いて樹冠上から空撮を行った。機材にはK4R (K&S社) を使用した。K4Rは電動マルチコプタ (クワッドコプタ) であり、飛行にはGround Station (DJI社) の自律航行機能を利用した。UAVにコンパクトデジタルカメラGR (RICOH社) を搭載し、1秒間隔で写真を撮影した。K4Rのジンバルは角度を変えることができるため、直下方向に加えて前後方45°の撮影も行った。飛行方向は東西方向であり、約9,000m²の範囲に対し合計823枚の画像を取得した。次に、撮影したステレオペア画像を、SfMソフトウェアPhotoScan (Agisoft社) を用いて処理を行い、三次元点群データ、三次元モデルを作成した上で、オルソモザイク画像・DSMを作成した。これらの処理を、約250m²の範囲に対し、(1) 対地高度100mから撮影した直下視画像70枚のみ、(2) (1) に、対地高度50mから撮影した直下視画像54枚を追加 (3) (1) に、対地高度50mから撮影した斜め視画像54枚を追加という3パターンの画像を元に解析を行い、作成したDSMの再現性を比較した。

3. 結果と考察

3つのパターンで、空間解像度2~2.5cmのDSMを作成することができた。(1) では実際にギャップになっている部分もモザイクをかけたように、凹凸の少ない平坦な形状として表現されてしまった部分があった。一方、(2) や (3) にもこのような部分はあったが、(1) のものよりは少ないことが確認できた。三次元点群データを上空方向から見たときの画像で、点群がない部分 (三次元形状が復元されていない部分) の面積割合を求めたところ、(1) では17.5%、(2) では12.8%、(3) では9.7%となり、直下視画像を加えた場合よりも、斜め視画像を加えた場合の方が、三次元点群データとして再現された割合が多いことがわかった。この結果から、直下視画像に斜め視画像を加えることで、特にギャップなど直下視のみでは影になる部分の再現精度が上がる事が明らかになった。同じ枚数の直下視画像を加えた場合よりも再現度の向上率は高く、斜め視画像を加えたことによる効果の高さを示した。

UAVとSfMソフトウェアによってDSMを作成する場合、UAV飛行のコストとリスクを減らし、処理時間を短縮するためにも、より少ない撮影回数、総飛行時間で必要なデータを取得する事が求められる。本研究はそのためのひとつの知見となる事が期待される。今後の課題としては、精度のチェック、解像度の向上、斜め視画像の角度・方向の検討などが挙げられる。

4. 参考文献

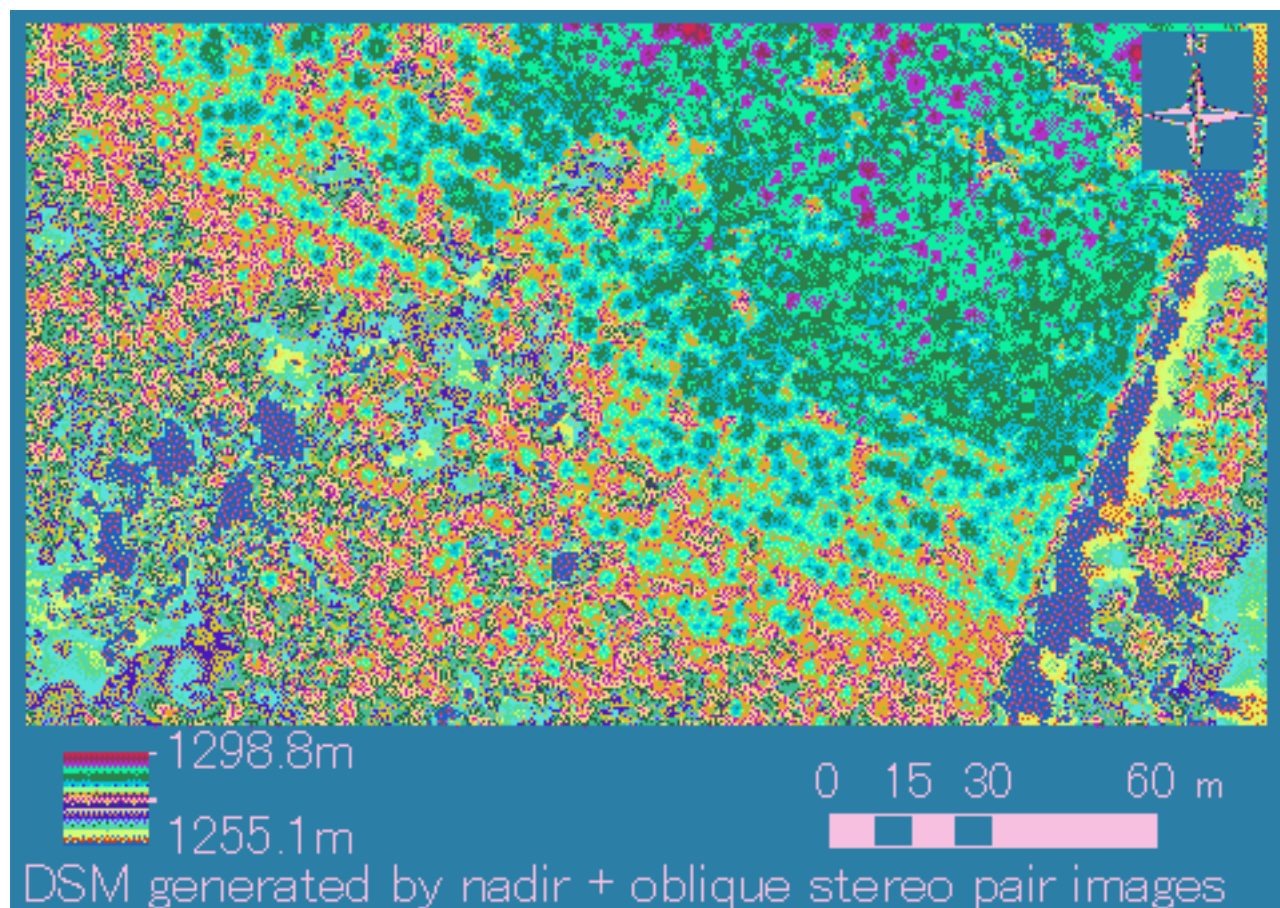
小花和宏之, 早川裕弐, 齋藤 仁, ゴメスクリストファー : UAV-SfM手法と地上レーザ測量により得られた

DSMの比較, 写真測量とリモートセンシング, 53, pp.67-74, 2014.

Harwin, S. and Lucieer, A.: Assessing the accuracy of georeferenced point clouds produced via Multi-View Stereopsis from Unmanned Aerial Vehicle (UAV) imagery, Remote Sensing, 4, pp.1573-1599, 2012.

キーワード : UAV (Unmanned Aerial Vehicle)、SfM (Structure from Motion)、DSM (Digital Surface Model)、斜め視画像、森林樹冠

Keywords: UAV (Unmanned Aerial Vehicle), SfM (Structure from Motion), DSM (Digital Surface Model), oblique images, forest crown



電動発泡固定翼機による災害監視のための遠距離空撮実験

Long Range Aerial Photo Survey Experiments for Disaster Monitoring using Electric Foam Plane

*井上 公¹、三輪 学央¹、伊勢 正¹*Hiroshi Inoue¹, Takahiro Miwa¹, Tadashi Ise¹

1. 防災科学技術研究所

1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

【はじめに】

我々は小型UAVを各種自然災害のリスク評価・監視・対応に有効に活用するための実験的研究を行っている。以前は操縦が容易で離着陸場所を選ばない回転翼機を調査に用いていたが、2015年からは、より長距離を飛行でき、かつ万一墜落した場合にも人や物を傷つける可能性の小さい発泡スチロール製の固定翼機の活用を進めている。我々の固定翼機体は翼幅118cm、バッテリーとカメラを除く機体重量750gの無尾翼機で、APMフライトコントローラによって自律飛行を行う。飛行距離を優先させる場合は軽量のGoProカメラを搭載する。巡航対気速度は約60km/hで、平地の無風下での周回コースの試験飛行では、3セル5200mAhのバッテリーをほぼ使い切れれば約60分・60km飛行する。

【災害対応への活用のための実験】

防災情報システムの開発の一環として、UAVによる情報収集の実用化の研究を進めている。2015年8月5日に釜石湾において釜石市役所・消防・警察の立ち合いの下に遠距離空撮のデモンストレーションを実施した。釜石漁港を離陸して、釜石湾を右回りに一周する約15kmのルートを対地高度140mで飛行させ、湾岸の各所の港湾施設等を撮影した。

【河川監視への活用のための実験】

平時の河川管理や災害発生時の堤防や河川施設の状況把握にも、長距離を安全に飛行できる固定翼機が有用と考えられる。2015年11月20日に福岡県の筑後川、同12月9日に栃木県那珂那珂川で、国交省河川事務所の許可を得て空撮実験を行った。筑後川では両築橋上流左岸の堤防上から上流10km地点までの区間を、那珂川では若鮎大橋下流左岸の堤防上から下流12km地点までの区間を、いずれも対地高度140mで往復させ、河川敷・堤防・橋梁等の空撮を行った。

【火山監視への活用のための実験】

火山活動の推移予測のためには、火口内の地形や温度分布、火口上空のガスや噴煙の成分が監視できることが望ましい。固定翼UAVを用いれば、活動が活発化した場合でも、半径数キロの立入制限区域の外から山頂火口を往復することができる。2015年10月8日にフィリピンのタール火山で、山頂の北約8kmの地点から標高差約200mの火口を往復させた。同11月21日には霧島新燃岳で、山頂の西約3kmの地点から標高差約400mの火口を往復させた。同12月8日には浅間山で、山頂の北東約5kmの地点から標高差約1300mの火口を目指したが、山頂のわずか手前で斜面に衝突した。直前に実施した別のテスト飛行のログの分析から、飛行に用いている気圧高度計による高度が系統的に8%大きく、それが墜落を引き起こした以上高度の原因であることがわかった。墜落場所の正確な位置はGPSテレメトリで分かっているため、雪解けを待って回収を試みる予定である。同12月9日には那須岳で、山頂の南東3.6kmの地点から総飛行距離約12kmで標高差約1000mの火口往復に成功した(付図)。

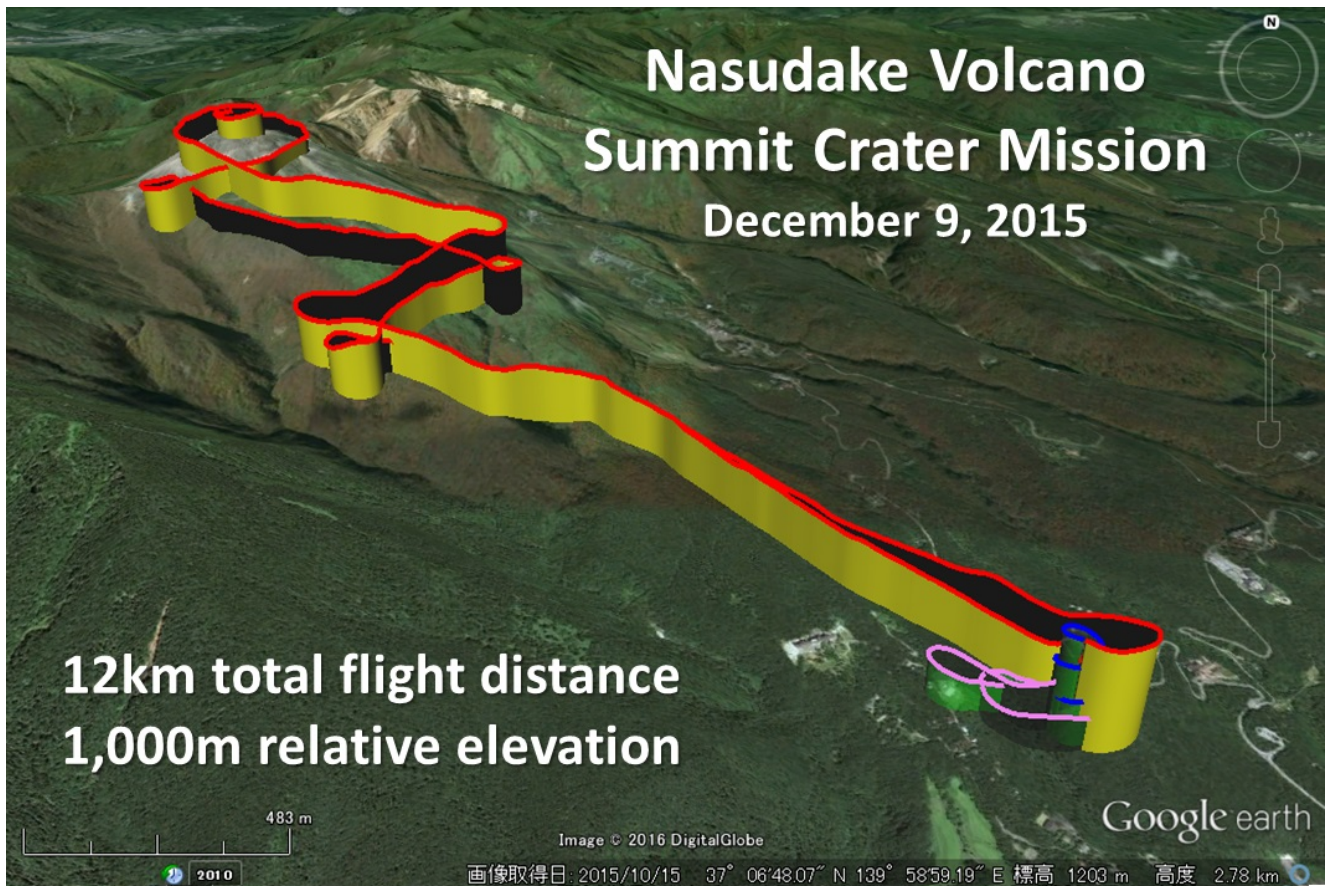
【議論】

以上の長距離空撮飛行実験は、いずれも弱風の条件下で、バッテリーの消費量は半分かそれ以下で、十分余裕があった。風の影響は机上計算では、風速が機体の巡航対気速度(我々の機体では17m/s)のそれぞれ10%(1.7m/s)、20%(3.3m/s)、50%(8.3m/s)、80%(13m/s)の場合、帰還するまでの所要飛行時間はそれぞれ111%、125%、200%、500%に増加する。風速が機体の巡航対気速度を超えると帰還は困難となる。従って実際の調査では、上空の風速の影響を考慮して、十分余裕をもった飛行計画を組む必要がある。

今後、バッテリー容量・ペイロード・風速・高度差・温度・降雨等の影響を定量的に評価するとともに、様々な場面での活用を想定して、より長距離の飛行に適した大きな機体と、逆により簡便で安全な小さな機体も含めて、発泡スチロール製電動固定翼機の実用的な能力評価を実施する予定である。

キーワード：UAV、災害、固定翼機

Keywords: UAV, Disaster, Fixed wing plane



UVAを活用した次世代観光

Next generation tourism utilizing UAV

*山根 正博¹、大川 大亮¹、小笠原 舞¹、御崎 真由¹、庄子 依吹¹

*Masahiro Yamane¹, Okawa Hiroaki¹, Ogasawara Mai¹, Misaki Mayu¹, Syouji Ibuki¹

1.宮城県農業高等学校

1.Miyagi Prefecture Agricultural high school

東日本大震災は町と学校を飲み込んだ。復興の為には新たな観光産業を作る必要がある考え、ARグラスを使用した被災地語り部ツアーを開発し現在まで1100名の方に紹介してきた。今年度はARグラスとUAVを組み合わせることで空から見る観光プランを開発した。更に沿岸農地に紅白の花が咲く蕎麦を植えて農作物アートを作り新たな観光地を作り出した。この農作物アートは地上からは花畑にしか見えないが、飛行機、GoogleMAP、UAVで空から見るとハートと星の形を見ることができる。私達はこの研究でUAV観光産業を産み出したいと考えている。現在では大手企業や団体に協力を得ていることから、その将来性を全国に広める為に紹介する。

キーワード：観光、ARグラス、UAV、蕎麦、飛行機、GoogleMAP

Keywords: Tourism, AR glass, UAV, Buckwheat, Airplane, Google map

2014～2015年におけるUAVを用いた水稻生育モニタリングの成果
Result of rice growth monitoring using small UAV from 2014 - 2015

*田中 圭¹、近藤 昭彦²

*Kei Tanaka¹, Akihiko Kondoh²

1.一般財団法人 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
1.Japan Map Center, 2.Center for Environmental Remote Sensing, Chiba University

ここ数年におけるUAV (Unmanned Aerial Vehicle)の技術進歩のスピードは速く、非熟練者でも近接リモートセンシングの実施が可能となってきた。UAVは空撮以外にも各種センサ機器を搭載した空中計測を行うことができるため、さまざまな分野から期待されているツールである。その中でも農業分野におけるUAVの活用及び普及が有望視されている。

これまでも衛星・航空機を用いた農作物のモニタリング手法があり、この手法は既に技術的にほぼ確立されている。しかし、衛星・航空機を頻繁に使用するには手間とコストがかかり、さらに天候にも左右されやすいことから、高頻度で観測するモニタリングには課題が残されていた。一方、UAV (特にマルチコプター) はこれらに比べて、天候の影響を受けにくい低空を高頻度で観測できるため、日本のような狭い圃場には適している。

本発表は、2014～2015年におけるUAVを用いた水稻モニタリングの成果を報告する。2014年は実証実験としてモニタリングを行い、追肥判定、倒伏診断、収量予測、食味予測等を定量的に示すことが可能であることがわかってきた。そこで、2015年は前年に得た知見をもとに水稻モニタリングおよび栽培を実践した。その結果、前年に比べて10a当たりの収量を44kgの増収に結びつけることができた。

キーワード：UAV、NDVI、水稻モニタリング、オルソ画像、DSM

Keywords: Unmanned Aerial Vehicle, NDVI, rice growth monitoring, orthophoto, DSM

地方自治体でのUAVの活用と問題点

Application and problems of UAV to use for the local government.

*齋藤 修¹

*Osamu Saitou¹

1.茨城大学

1.Ibaraki University

近年、地方自治体におけるUAVの応用取り組みが少なからず進められている。地方自治体は職員数の削減が顕著である。これは、組織の効率化、スリム化を行うためであるが、災害発生時には技術的な判断や対応に遅れ、初動に遅れを生じる要因になり得るものである。これにより見直しを図る自治体も多いが、雇用費用や人材不足が大きな問題である。このため、安価で効率的なツールとしてUAVの導入が検討されている。たとえば空中からの画像撮影、農業での薬剤散布、送電線点検、防災対策等に利用が拡大されている。茨城県では、不法投棄防止・抑止や海岸侵食調査、ダムなどの構造物長寿命化のための検査ツールとして利用が期待されている。しかし、安全な運用は大きな課題である。UAV利用の現状と問題点を報告する。

キーワード：UAV、地方自治体、防災

Keywords: UAV, local government, disaster prevention

Solar energy potential assessment and mapping in high-rise building area with UAV spatial modeling

*Myeongchan Oh¹, Jin Son¹, Hyeong-Dong Park¹

1.Seoul National University

Assessment of renewable energy potential in urban areas is treated as important information in many energy design projects and engineering projects due to a surge of interests in global energy issues. Especially, with spatially restricted areas for energy production corresponding to increasing energy demands, photovoltaic (PV) panels sourced by solar energy can be the one of the most promise alternatives. In this study, we calculated solar energy potential, one of the renewable energy, specifically in urban area, which are fulfilled with artificial objects, with applying UAV (unmanned aerial vehicle) to building spatial model. A variety of spatial data to calculate the solar energy potential are required: environment, orography, and climatology factors. In particular, orography in complex area like cities with many high-rise buildings can be highly influenced as shading effect of these area is significantly affected solar energy potential. In past, these data highly consume both time and expenses to be obtained, however, by recent development of UAV technology, spatial model in high resolution can be easily produced. Because of advantages of UAV, such as easy accessibility to the target site, high resolution sensor, GPS (Global Positioning System) and IMU (Inertial Measurement Unit), it is convenient to generate aerial map and DEM (Digital Elevation Map) with lower expenses. DEM is extracted from overlapped aerial images by stereo depth calculation. With the spatial database, which consist of the spatial model obtained by UAV and other factors directly measured or offered from Korean Meteorological Administration, solar energy potential can be estimated. The analysis module is design with Matlab, which introduces multi-variables such as local solar irradiation data, annual cloud ratio, weather, solar orbit, solar panel information and shadow effect. As a result, the map with total solar irradiation map and solar irradiation map considering panel information are composed, which can be used in the stage of decision-making, such as site optimization for PV power plant system and its potential power generation estimation. To summarize, we designed the potential solar power estimation module, particularly for urban areas with the forest of high-rise buildings. It is expected that this study will help people working in renewable energy area calculating solar energy potential and mapping.

Keywords: Solar energy, Energy assessment, UAV

200グラム未満のオートパイロット機「KT200」の試作

KT200: an experimental autopilot drone below 200 grams

*田中 圭¹、中田 高²

*Kei Tanaka¹, Takashi Nakata²

1.一般財団法人 日本地図センター、2.広島大学名誉教授

1.Japan Map Center, 2.Prof. Emeritus, Hiroshima Univ.

1. 製作の動機

最近の小型UAV (Unmanned Aerial Vehicle:日本では、ドローンと言う呼び方が一般に定着)の進歩はすざましく、これを使って空撮や各種の計測機器を搭載して空中計測を行うことが可能となった。しかしながら、ドローン・ブームの影で不適切な使用が社会問題化したため、国土交通省は改正航空法（いわゆるドローン規制法）を平成27年12月10日に施行した。今回の改正法は、航空機の航行の安全に影響を及ぼすおそれのある空港等の周辺の空域や地表又は水面から150m以上の高さの空域、人口密集地（平成22年の国勢調査の結果による人口集中地区）の上空において、無人航空機を飛行させる場合には、あらかじめ国土交通大臣の許可を受ける必要があるというものである。この規制の対象となる無人航空機は、構造上人が乗ることができない飛行機、回転翼航空機、滑空機、飛行船のうち、遠隔操作又は自動操縦により飛行させることができるものであるが、200g未満の重量（機体本体とバッテリーの重量の合計）のものは、規制対象から外されている。しかしながら、現時点で写真測量に用いるカメラを搭載できる200g未満の機体は市販されておらず、あらかじめ設定した飛行ルートを自律飛行できる機種も見当たらない。そこで、200g未満で自律飛行が可能な空撮用の機体を試作した。

2. KT200の製作

ここで製作する200g未満の機体は「軽やかに飛ぶ」を掲げてKT200と呼ぶこととする。KT200に求められる性能は、8M pixel以上の画像素子を持つカメラを搭載し、自律飛行で3～5分程度の飛行ができることである。これを可能とするために、下記の部品をインターネット上から調達し、クアドコプター（4つのプロペラを持つマルチコプター）を製作した。使用した部品とその重量は、次の通りである。200mmカーボンフレーム（26g）、モーター4個（12gx4=48g）、ESC4個（2gx4=8g）、フライトコントローラー（APM）及びGPS・コンパス（25g）、5インチカーボンプロペラ4個（4gx4=16g）、受信機（9g）とLiPoバッテリー（44g）であり、合計で200gを下回る。なお、空撮用カメラは取り外し可能な付属品として、改正航空法の200g未満の重量には含まれない。

これによって、任意の場所での空撮が可能となったが、たとえ規制対象とならない機体を飛行させる場合でも、国土交通省が挙げる安全のためのルールを遵守しなければならない。

キーワード：UAV、航空法、200g未満、KT200

Keywords: Unmanned Aerial Vehicle, Civil Aeronautics Act, below 200 grams, KT200

200グラム未満の空撮調査用固定翼機の性能評価

Evaluation of Foam Plane under 200 grams for Aerial Photo Survey

*井上 公¹、中田 高²

*Hiroshi Inoue¹, Takashi Nakata²

1.防災科学技術研究所、2.広島大学名誉教授

1.National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, 2.Hiroshima University

我々は小型UAVを各種自然災害の調査研究やリスク評価・災害の監視・対応に活用するための実験を行っている。昨年(2015年)12月10日に航空法が改正され、無人機の飛行に対する規制が強化された。具体的には、これまで自由に飛行が可能であった人口集中地域の上空や、目視範囲外の遠距離飛行、日の出前や日没後の飛行等が、国交省の事前の許可・承認なしには行えなくなった。これは主として安全確保の観点からの禁止措置であり、必要な規制であるが、UAVの活用の自由度は大きく制限されることとなった。

一方この航空法の改正により新たに規制の対象となる「無人航空機」は、重量200g以上(バッテリーを含み、取り外し可能なカメラ等は含まない)の機体に限られるため、200g未満の機体はこれまでどおり、空港周辺の制限表面と高度150m以上の空域以外は、航空法上は自由に飛行させることが可能である。

また軽量の機体ほど墜落時の危険性も小さく、特に発泡スチロール製で、プロペラが後ろ向きに取り付けられたプッシャータイプの固定翼機の場合は、重量が200g未満であれば、どのような状況の事故でも人や物を傷つける可能性は殆どないと言ってもよい。

そこで我々は、小型UAVの活用の自由度を広げることと、より安全に調査を行うことの二つを目的として、200g未満の発泡固定翼機の能力の評価を実施している。予備的な実験の結果からは、バッテリーを含めて200g弱の機体に30g程度の小型フルHDカメラを搭載した場合、弱風であれば高度50m、時速30kmで5分間、距離2.5kmを飛行でき、狭い範囲の空撮調査には十分実用性があると考えられる。

2014年広島土石流前後のUAV画像とその解析

UAV images of before and after the 2014 Hiroshima debris flow disaster

*田中 圭¹、中田 高²

*Kei Tanaka¹, Takashi Nakata²

1.一般財団法人 日本地図センター、2.広島大学名誉教授

1.Japan Map Center, 2.Prof. Emeritus, Hiroshima Univ.

1. はじめに

自然災害の多くは、地形が急激に変化する場所に人間が不用意に立ち入ることによって生ずる人災である。2014年8月20日未明に広島市 北部で発生した土石流災害もこの例に当てはまる。土石流は花崗岩山地の山麓緩斜面に広がる住宅地を襲い、75名の犠牲者（災害関連死も含む）を伴う大災害を引き起こした。

本発表では、今回の土石流災害のなかでも特に被害が甚大で多数の犠牲者（全犠牲者75名中41名）を出した広島市安佐南区八木3丁目を対象とし、被災建物の分布とその建築年代の関連を定量的に分析し、都市周辺のスプロール現象による住宅地拡大によってもたらされた本災害の特徴を明らかにすることである。

2. 手法

多時期に撮影された空中写真をSfM-MVS (Structure from Motion -Multi-View Stereo) による簡易測量とGISを用いて、被災地域の宅地化の過程を明らかにし、建築時期別に被災建物の立地条件についての詳細な分析を行った。また、八木3丁目上楽地地区では土石流発災約10ヶ月前の2013年10月に撮影したUAV撮影画像と土石流発災後の2014年9月に撮影したUAV画像を用いて、土石流が溢流した原因の分析を行った。

3. 結果

被害を受けた住宅は高度経済成長期に建築されたものに集中したという一般的な見解は、この期間に建築された建物数の多さから当然であり、間違っているとは言いがたい。しかし、壊滅的な被害を受け、被災後更地化された建物あるいは犠牲者が発生した建物の分析結果からは、高度経済成長期以降にも土石流災害の危険性が極めて高い場所に住宅建築が新たに行われ、大きな被害が発生したことが明らかになった。

キーワード：2014年広島土石流、GIS、UAV

Keywords: 2014 Hiroshima debris flow, GIS, Unmanned Aerial Vehicle

多時期近接空撮画像による水稻のフェノロジー観測と生育パラメーターの推定

Rice Phenology Monitoring and Growth Parameters Estimation Using High Temporal Proximity Aerial Photos

*濱 侃¹、望月 篤²、鶴岡 康夫²、田中 圭³、近藤 昭彦⁴*Akira Hama¹, Atsushi Mochizuki², Yasuo Tsuruoka², Kei Tanaka³, Akihiko Kondoh⁴

1.千葉大学大学院理学研究科、2.千葉県農林総合研究センター、3.一般財団法人 日本地図センター、4.千葉大学 環境リモートセンシング研究センター

1.Graduate School of Science, Chiba University, 2.Chiba Prefectural Agriculture and Forestry Research Center, 3.Japan Map Center, 4.Center for Environmental Remote Sensing, Chiba University

1. はじめに

農作物の観測，例えば生育量観測において，衛星を使用した農業リモートセンシング技術は，現地における実測に比べて広範囲を非破壊かつ短時間で計測可能であり，大規模圃場を対象とする際は有効な手法となる¹⁾．しかし，これらの広域を対象とした観測は，雲量による観測確実性の低下，任意のタイミングでの観測が困難である点などが課題である．また，圃場内の生育の不均一性を問題とする際は，より空間分解能の高い観測が必要となる．そこで本研究では，圃場内で移植時期，品種，施肥量を変化させた水稻の生育観測について，電動マルチコプターをUnmanned Aerial Vehicle (UAV)として利用し，高時間・空間分解能の可視・近赤外光空撮画像の取得に基づくフェノロジー観測と生育パラメーターの推定を試みた．

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，2015年の2年間，水稻の生長期から成熟期におおむね週1回間隔で観測を行った．この圃場では2筆の水田を48区画に細分し，それぞれの区画で移植時期（全4期），品種（コシヒカリ，ふさおとめ，ふさこがね），施肥量を変え栽培している．観測には，電動マルチコプター（enRoute社：Zion QC630，MEDIX社：JABO H601G，DJI社Phantom2），デジタルカメラ（可視画像：RICOH社 GR，近赤外画像：BIZWORKS社 Yubaflex）を用いて対地高度50mから空撮を行った．オルソモザイク画像の作成は，Structure from Motion / Multi-View Stereo (SfM/MVS) ソフトウェアPhotoScan Professional (Agisoft社)を用いて重なり合う複数枚の鉛直空撮画像より作成した．なお，Yubaflexで撮影した画像は専用ソフト（Yubaflex2.0）で放射輝度に変換後，SfM/MVSソフトウェアでオルソモザイク画像を作成した．その後，作成されたオルソモザイク画像から各区画内の植生指数（NDVIなど）を計算した．その際，NDVIが0以上のピクセルを植生域として土壌・水域を排除した $NDVI_{\text{pure vegetation}}$ （以降， $NDVI_{\text{pv}}$ ）を植生指数の1つとして加えた．水稻の生育状況の実測データ（生育ステージ，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

NDVIの時系列変化では幼穂形成期前のNDVI上昇量が一時的に小さくなる時期があった．この時期は最高分げつ期とほぼ同じ時期であった．水稻は最高分げつ期に，株内や間の養分や光の受光競争が強くなるため，弱い分げつを中心に穂をつけることなく枯死し，莖数が減少する．この生育特性の影響でNDVIの上昇が一時的に抑制されたと考えられる．また，最高分げつ期は過剰な分げつの発生を抑制するための中干しを行う目安となっている．本研究ではNDVIの時系列変化から最高分げつ期が把握できる可能性を示した．栽培条件において移植時期のみを変えた区画のNDVIの時系列変化に差があり，移植時期が遅い区画ほど移植からNDVIの最大値を記録するまでの日数が短くなった．これは生育期間の気温が高いほど生育が早くなることがNDVIの時系列変化に表れていると考えられる．さらに，移植時期が遅いほど，NDVIの最大値が高くなった．NDVIの値の高いほど生育が良く，一般的には収量の増加が考えられるが，収量の増加は確認されなかった．出穂期周辺の気温が高温になるほど受精障害などの生育障害が発生する頻度が増加することがわかっており²⁾，本研究においても，移植時期が遅いほど出穂期以降の気温が高くなることで，生育障害の影響がより強くなったと考えられる．

水稻の実測データと植生指数との相関関係をもとに，植生指数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．その結果， $NDVI_{\text{pv}}$ およびGNDVIで再現性の高い推定式となった．推定結果のRMSEは， $NDVI_{\text{pv}}$ では草丈で0.053m，LAIで0.73，GNDVIでは草丈で0.043m，LAIで0.74と，本研究手法を用いた生

育パラメーターの推定の可能性が示唆された。

謝辞

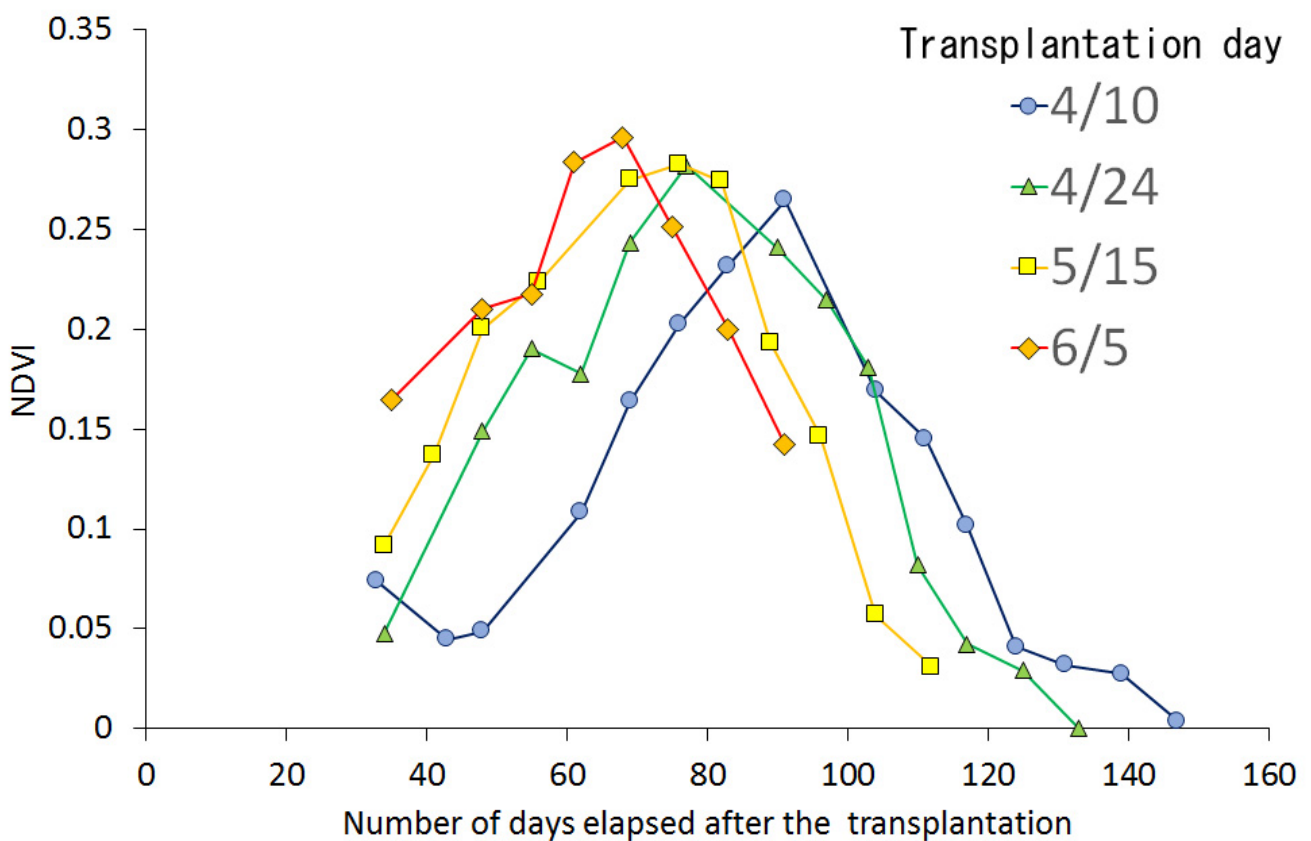
本研究では、千葉県農林総合研究センター水稲温暖化対策研究室の関係諸氏には圃場利用等様々な面でご協力頂いた。ここに記し、感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 秋山侃・石塚直樹・小川茂男・岡本勝男・斎藤元也・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.
- 2) 林陽生・石郷岡康史・横沢正幸, 2001, 温暖化が日本の水稲栽培の潜在的特性に及ぼすインパクト (特集: 環境変動とアジアの稲作). 地球環境, 6(2), 141-148.

キーワード：小型UAV、近接リモートセンシング、生育管理、SfM/MVS

Keywords: small UAV, proximity remote sensing, growth management, SfM/MVS



小型UAV, 定点カメラによる印旛沼流域桑納川における外来植物モニタリング Monitoring alien plants by small UAV and TLC in Kanno river, Inbanuma catchment

*浜田 慎也¹、濱 侃¹、近藤 昭彦²

*Shinya Hamada¹, Akira Hama¹, Akihiko Kondoh²

1.千葉大学大学院理学研究科、2.千葉大学 環境リモートセンシング研究センター

1.Graduate School of Science, Chiba University, 2.Center for Environmental Remote Sensing, Chiba University

1.はじめに

千葉県北西部に位置する閉鎖性水域である印旛沼では、外来植物のナガエツルノゲイトウの侵入と繁殖が認められている。この水草は、特定外来生物に指定されており、生物多様性を損なうだけでなく、水田への侵入等、印旛沼流域における深刻な問題となっている。また、流域内の新川およびその支流では、台風などの大規模な出水時にナガエツルノゲイトウの群落の流れ出し、下流の排水機場に漂着することで排水作業に支障をきたすなど、治水機能への影響も問題となっている。そのため、新川支流の中でも特にナガエツルノゲイトウが群集している桑納川において千葉県印旛沼水循環健全化会議を中心とした産学官民連携の協働駆除作業が試行されている。しかし、群落がどのように拡大し、いつ、どこから、どれくらい流出するのか、といった駆除戦略立案のための基礎的情報については不明な点も多い。そこで本研究では、桑納川において、小型のUnmanned Aerial Vehicle (UAV) を用いて定期的な空撮を行い、Structure from Motion / Multi-View Stereo (SfM/MVS) 技術を用いて高解像度のオルソモザイク画像を作成することにより、ナガエツルノゲイトウの動態モニタリングを行った。また、定点カメラによる連続観測を併用することで、より詳細な動態の把握を試みた。

2.研究手法

2015年5月末から2015年10月末まで毎月、桑納川最下流の約765mの観測対象区間の空撮を行った(5/30、6/22、7/25、8/26、9/23、10/29)。小型UAVはenRoute社ZionQC630、カメラはRICOH社GRを使用した。フリーソフトウェアのMission Plannerを用いてオートパイロットで飛行し、対地高度50mから1秒間隔で空撮を行った。UAVで空撮した画像を元にSfM/MVSソフトウェア(Agisoft社 PhotoScan Professional ver1.2)で作成したオルソモザイク画像からナガエツルノゲイトウ群落を判読し、GIS(ArcGIS 10.2)上で河岸に繁茂するナガエツルノゲイトウ群落のポリゴンを撮影時期ごとに作成した。これにより、群落面積、位置、形などを求めた。また、橋の欄干に定点カメラを設置し、河道区間を10分間隔で連続撮影し、生長の様子や流出する群落の確認を行った。

3.結果と考察

対象区間全体の群落面積は、5月に1239.8㎡、10月に2080.2㎡となったが、この間に、協働駆除作戦が実施されており、740㎡ほどが駆除されたこと、また降雨などで自然に流出する群落の確認され、トータルで309.7㎡ほどが流出していたため、この間に実質的には約2.5倍に群落が増大したことになる。8/26~9/23の期間で168.2㎡の群落が増大しており、これは9/6~9/10の台風18号に伴った豪雨の影響であると推測される。定点カメラの画像から9/6~9/10に桑納川の水位が上昇し、群落が増大している様子が確認されたが、この期間に消失した群落の個数とは一致せず、定点カメラで観測できない夜間に流出した群落もあると考えられる。群落ごとに面積増大量を確認すると、6/22~7/25で増大速度が大きい群落が多かったが、群落ごとに増大速度が大きくなる時期にばらつきがみられた。群落が増大し大きくなると、増大速度も比例して大きくなり、群落面積が増大した観測後期に増大速度が大きくなる傾向が見られた。一方、面積増大率では、5/30~6/22の観測初期に増大率の大きい群落が多かった。桑納川では群落面積の大きさに比例して面積増大量がおおきくなることと、5/30~6/22の生長が速く、その後は次第に定常に近づくことが明らかとなった。これは大規模な防除作業を行う上で、群落の生育が活発になる初夏前に防除作業を行うことで、防除作業量を減らすことができると同時にその後の治水リスクを軽減できる可能性を示唆している。ナガエツルノゲイトウは河岸から切り離され移動後、漂着した先で再び河岸に根を伸ばし、定着することが知られている。観測対象区間では観測期間中に12㎡以上の比較的大きな群落の移動が計8個確認されたが、その群落はすべて桑納川流域には定着せず流出した。この結果から桑納川で

は、比較的大きい群落は移動を始めると再定着せず、そのまま下流の新川に流出し、新川での再定着、群落拡大や排水機場へ漂着することで治水機能に影響を及ぼす可能性が高いと考えられる。一方で2㎡未満の新たな群落の出現が数多く確認され、今後これらの小さな群落の生長、流出が推測される。このことは、桑納川が流域内の群落拡大の源となっている可能性を示唆している。

キーワード：UAV、特定外来生物、産学官民連携

Keywords: UAV, invasive alien species, Industry-academia-government-Citizen collaboration

