

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

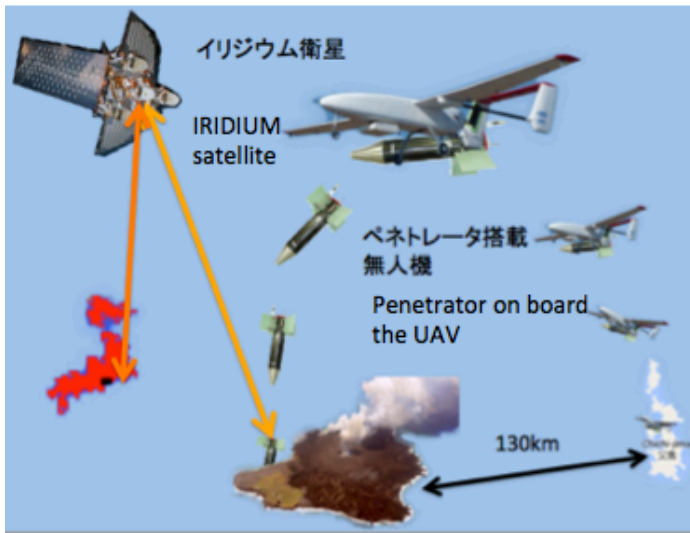


Fig.1



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

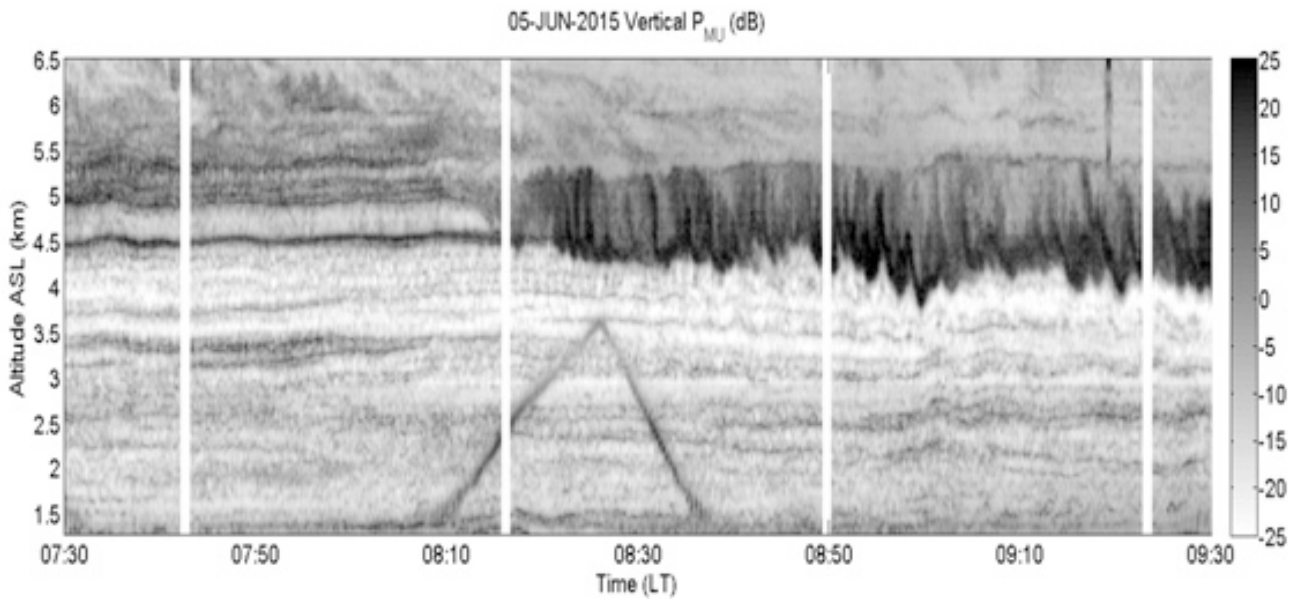
1.Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University、2.University of Colorado
Boulder, USA、3.Toulon University, MIO, France、4.LATMOS, France

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、コロラド大で開発された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

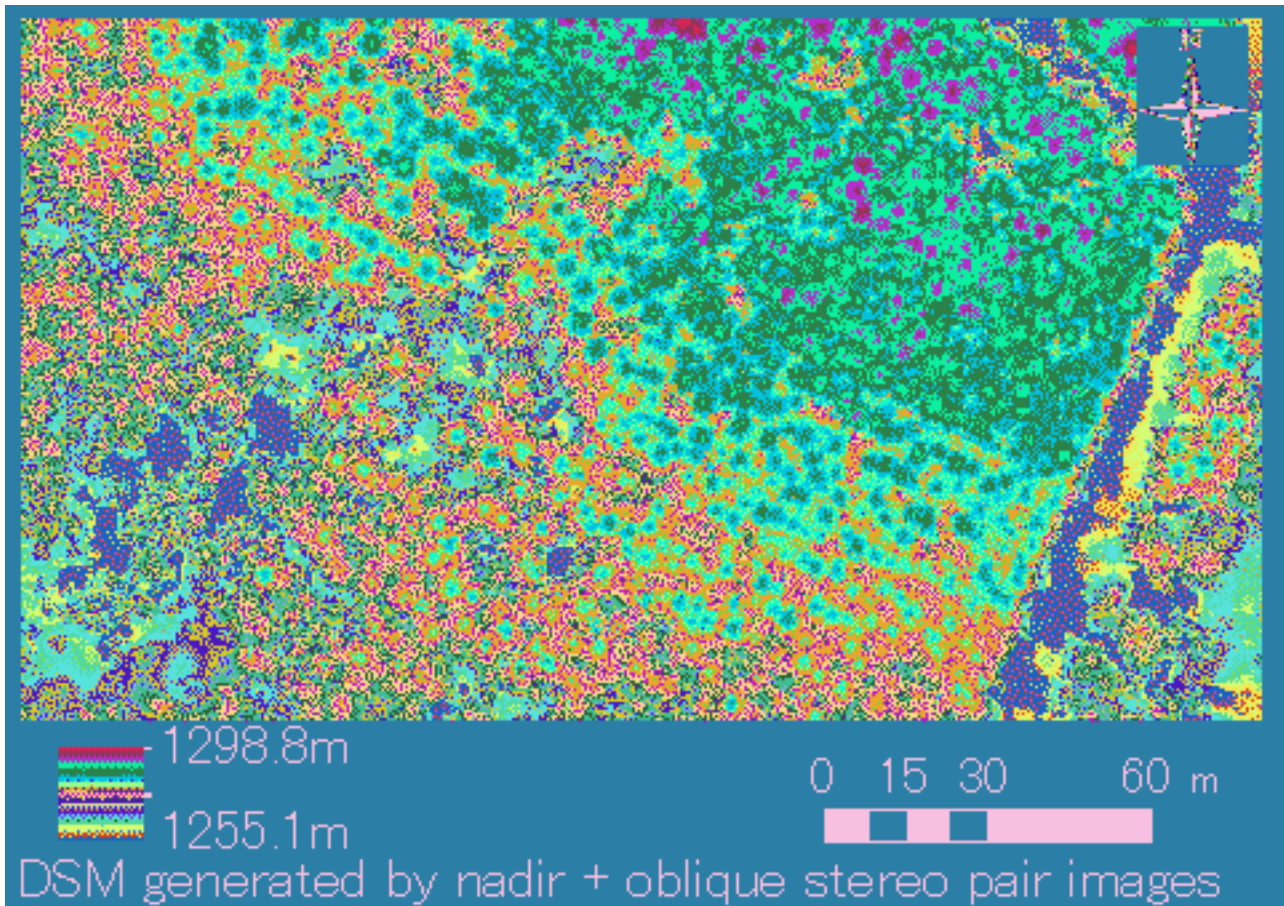
小花和宏之, 早川裕弐, 齋藤 仁, ゴメスクリストファー : UAV-SfM手法と地上レーザ測量により得られた

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)。

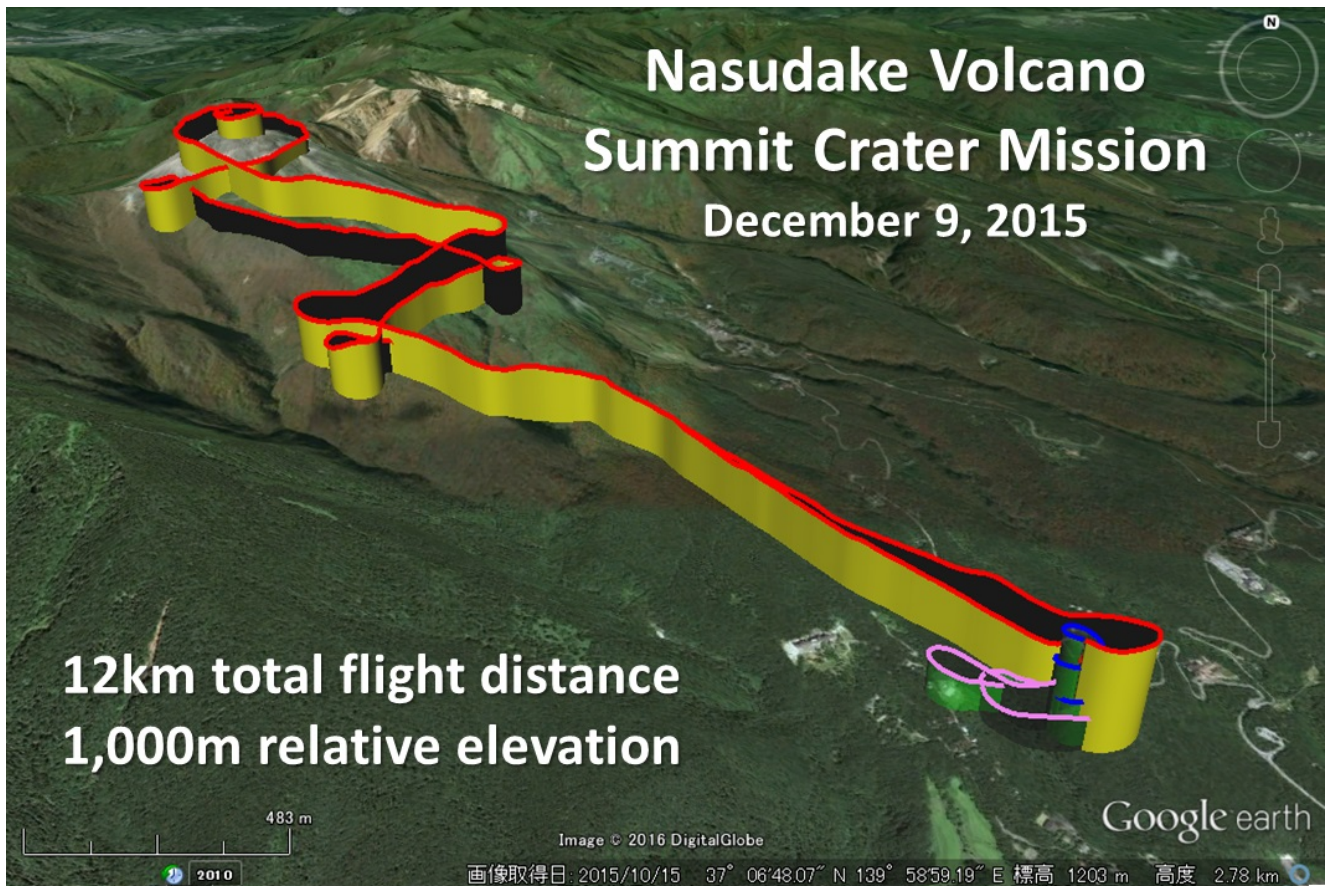
【議論】

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