

令和元年6月19日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K07978

研究課題名(和文) 衛星と小型無人機を併用した泥炭地火災モニタリング技術の構築

研究課題名(英文) Developing of Peatland fire Monitoring Technology Using Satellite and Small unmanned Aircraft

研究代表者

渡辺 一生 (Watanabe, Kazuo)

京都大学・東南アジア地域研究研究所・特定研究員

研究者番号：30533012

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、火災の頻発する東南アジア泥炭地において泥炭地火災の動態を詳細かつリアルタイムに観察するための基礎的な技術を確立することであった。この目的を達成するために、小型無人機(SUAV)を用いた泥炭地の温度分布状況の把握に関する技術開発と衛星画像とSUAVとを併用した土地利用状況のモニタリング手法の確立を試みた。

研究成果として、サーモグラフィーカメラ搭載の小型回転翼機によって泥炭土壌の温度分布図の作成に成功し、また、衛星とSUAVそれぞれの長所と限界について明確にすることができた。これらの研究成果は、Remote SensingやCogent Geoscienceなどの国際誌に発表した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の対象地域であるインドネシアの泥炭地では、大規模な火災の影響で環境破壊のみならず気管支炎などの健康被害や国境を越えた煙害なども発生し、グローバルな環境問題を引き起こしている。本研究によって、操縦が比較的容易なSUAVを使うことでリアルタイムに泥炭地の熱環境をモニタリングできることが示された。この成果は、今後の泥炭地における火災の早期発見や火災に至る直前の状況の発見などに活かすことができる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to establish a basic technique to observe the peat fire in detail and in real time in the peatland in Southeast Asia. In order to achieve this purpose, we attempted to establish a technique for monitoring temperature distribution of peatland using a small unmanned aerial vehicle (SUAV) and to establish a land use monitoring method using satellite images and SUAV.

As a research result, we succeeded in creating temperature distribution map of peatland by small multi rotor UAV mounted on thermography camera, and clarified the merits and limitations of satellite and SUAV respectively. These research results were published in international journals such as Remote Sensing and Cogent Geoscience.

研究分野：地理情報学

キーワード：SUAV 泥炭地 火災 サーモグラフィーカメラ モニタリング 衛星画像

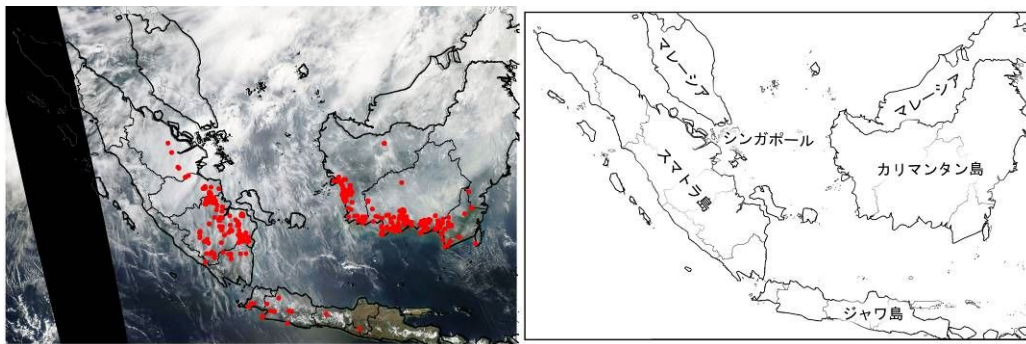
様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

熱帯多雨林地域には、植物遺骸が数百万年に渡って蓄積し形成された泥炭湿地が、広く分布している。近年、この湿地を農地や産業造林地へ転換するために乾地化が盛んに行われ、無計画かつ粗放的な火入れによって泥炭地火災が頻発している。乾燥が進んだ泥炭地では、一度火災が発生すると地上部のみならず地下部でも様々な方向へ火が広がるため、消火は容易ではない。このような泥炭地開発に伴う火災は、森林劣化、生物多様性の減少、二酸化炭素排出量の増加、煙害による喘息や視界不良などの問題を引き起こしており、火災の監視と抑制は地球環境問題における喫緊の課題となっている。

特に 2015 年には、インドネシアにおいて同時多発的に約 2 ヶ月に渡って続いた。この期間中には、約 260 万 ha もの土地が焼失したという推計が出され (World Bank, 2016)、健康被害としては、気管支炎系の発作で 19 人が死亡、50 万人以上が急性呼吸器感染症に罹患したと報告されている。さらに、煙害によって空路の閉鎖、従業員の健康状態の悪化による工場の操業停止、長期休校などといった様々な社会生活への影響も出た (World Bank, 2016)。加えて、隣国マレーシアでは人口の 40% もの人々が WHO の定める基準の 2 倍に上る PM10 にさらされ (Mead, 2018)、また、大気中に放出された温室効果ガスは CO2 換算で 17 億トンにのぼると推計された (World Bank, 2016)。

NASA のサイトでは、このような泥炭地火災発生地点 (ホットスポット) を図 1 に示すようなかたちで準リアルタイム配信を行っている。これによって、スマトラ島およびカリマンタン島にホットスポットが集中していることが分かる。また、衛星画像を拡大していくことで、火災発生地の場所を大まかに捉えることも可能である。



衛星画像がカバーする範囲の概観

図 1 衛星画像が捉えた 2015 年 9 月の火災発生地点の分布 (NASA, 2014)

また、雲や煙を透過して地上の撮影が可能な合成開口レーダ搭載の衛星を使うことで、雲のカバー率が高い熱帯地域においても、地上の土地利用状況を把握することもできる。例えば、申請者らが ALOS-1 PALSAR 衛星画像を用いて行った研究では、泥炭地火災発生跡地の土地利用状況を把握することを示した (図 2)。

以上のように、既存研究では、衛星画像を用いた火災発生地点や発生跡地を把握する解析手法は確立できている。しかし、ALOS-1 は、観測頻度が少なく、火災発生から撮影まで十数日程度のタイムラグが生じており、また、NASA が用いている衛星は解像度が粗いため正確な火災範囲が分からないといった課題が残っている。加えて、火災が起きる可能性のある乾燥泥炭の水分含量や温度状況などの面的把握についても効果的なモニタリング方法が確立されていない。つまり、現状では、火災が起きる可能性のある地点の事前予測はできず、また、火災が発生した場合でも衛星画像で把握できる規模に拡大した時点で初めて実態が見えてくることになる。

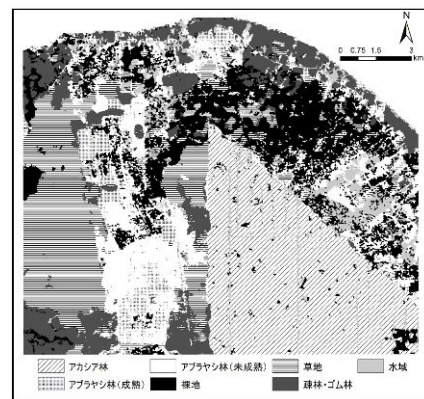


図 2 ALOS PALSAR-1 から作成した火災跡地の土地利用図 (渡辺ら, 2012)

2. 研究の目的

上記 1 の背景を理由に、本研究ではより高頻度かつ高解像度のモニタリング手法の構築を目指し、小型無人機 (SUAV) と衛星画像を組み合わせによって既存の方法よりも詳細かつ迅速に火災が発生する可能性の判断や火災発生時のモニタリングが可能な観測方法の検討と基礎データの収集を目的として研究を実施した。

3. 研究の方法

(1) 研究スケジュールおよび研究サイト

本研究では、東南アジアの中でも特に火災が頻発しているインドネシアの泥炭地を研究対象

地として選定した。本研究の現地カウンターパートは、インドネシア泥炭復興庁、リアウ大学、および西カリマンタン州にあるアカシア造林企業である。現地へは、2016年度に1回、2017年度に2回、2018年度に1回渡航した。2016年度は、関係機関と打ち合わせを行い研究サイトの候補を選定した。研究計画では、当初スマトラ島を対象として実施する予定であったが、現地での打ち合わせの結果、カリマンタン島の西カリマンタン州に広がるアカシア造林地で行うこととした（図3）。同サイトには、裸地から森林までの様々な植生状況にある泥炭地が広がっているため、植物の被覆状況の違いが泥炭地の乾燥や温度に与える影響を比較することができる。2018年度前半は実際の研究サイトに赴き、予備調査を行った。2018年度後半には地上への温度計と水位計の設置と研究サイト上空でSUAVのフライトを実施した。2019年度は、2018年度の観測結果の検証と補足調査を行った。



図3 研究対象地

(2) SUAVの器機選定と観測方法の検討

SUAVには、大きく分けて地上分解能や搭載可能なセンサーを比較的自由に設定できるが飛行範囲が数十ヘクタールと限られている回転翼タイプと、地上分解能は回転翼には劣るが数百ヘクタール程度までカバーできる固定翼タイプのものがある。本研究では、観測目的に合わせてこの両者を使い分けることとした。前者の回転翼については、熱環境をモニタリングするためのサーモグラフィーカメラを搭載し、早朝・昼間・夜間を連続して複数日に渡って観測することで、土壌温度の経時的変化の特徴を捉えることを試みた。使用機材としては、機体をDJI社製Inspire 1とし、搭載するサーモグラフィーカメラにFLIR社製Zenmuse XT 19mmを選定した。固定翼タイプのUAVについては、熱環境をモニタリングする範囲を中心とした比較的広域に渡る植生や土地利用状況ならびに地形情報の把握を目的として活用した。使用機材としては、機体をBirds Eye View社のFireFly 6とし、可視カメラとしてSony A6000を選定した。この機体は、離着陸時には回転翼機同様に垂直移動ができるため、離着陸場所を自由に選定することができるという特徴を有している（図4）。

現地では、各SUAVを飛行させ、最適な自動航行の方法や地上分解能および観測時間について試行錯誤を繰り返した。特に、熱環境をモニタリングするための土壌温度分布図の作成には、飛行方法だけでなくオルソ画像を作成するためのSfMソフトウェアの選定や処理パラメータの最適化などについてフィールド試験を繰り返した。

衛星画像については、当該地域のひまわりやALOS-2のデータを収集し、SUAVで取得したデータを教師として分析を行った。

土壌温度および地下水については、観測範囲内に温度計を設置しモニタリングを行った。



図4 本研究に用いた回転翼機（左）と固定翼機（右）

4. 研究成果

(1) 泥炭地の温度分布の把握

サーモグラフィーカメラを搭載したSUAVを、森林が伐採された乾燥泥炭地上空で飛行させることで、土壌温度分布図を作成することができた。観測は、早朝・昼間・夜間に連続して

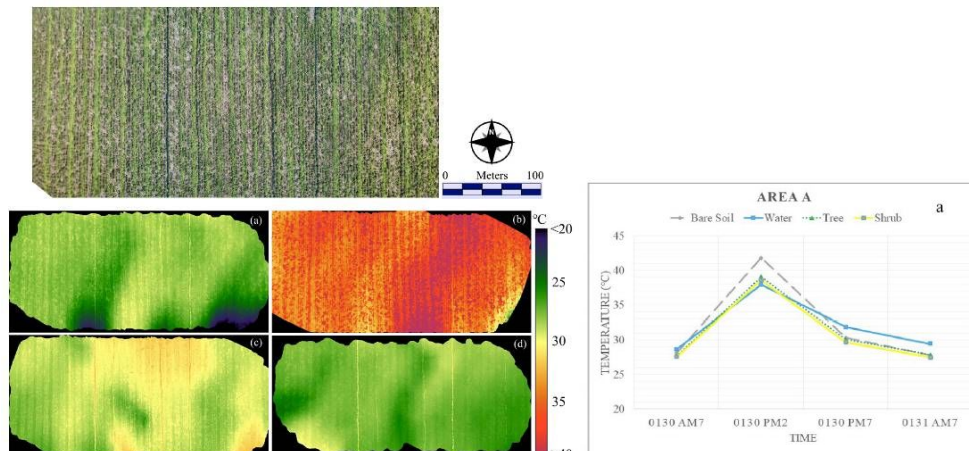


図5 対象範囲における泥炭土壌温度の空間的分布と経時的変化

複数日に渡って行った。サーモグラフィーカメラは解像度が非常に低いため、可視カメラのような低いオーバーラップ率で飛行させてもオルソ画像を作る事は難しかった。そこで、オーバーラップ率を高め設定し、飛行速度も非常に遅くすることで地上分解能 10cm 程度の精細な温度分布状況を捉えることができた。温度分布図の作成には、MetaShape を用いた。

図 3 は、対象範囲における観測時毎の面的な土壌温度分布およびサンプリングポイントの温度変化を示している。泥炭土壌の温度分布を高解像度かつ面的に捉えた事例はこれまでなく、得られた温度分布情報を地上の植生状況、地形状況、水位状況、地上に設置した温度計情報などを加味して分析を行い、その結果を国際誌へ投稿し受理された（主な論文 参照）。

(2) 固定翼タイプ SUAV を用いた広域エリアの把握

回転翼タイプの SUAV は、モーターの回転による電力消費が激しいため、飛行時間が 20 分程度と限られてしまう。したがって、広域を一度に把握することは難しい。このデメリットを補うため、固定翼タイプの SUAV を用いて対象エリア周辺の比較的広範囲にわたる土地被覆状況や微地形の状況などを把握する技術について検討した。本研究に用いた垂直離陸可能な固定翼機の場合、滑走路が不要なため、半径 3m 程度の空の開けた平らな場所さえあれば離発着が可能である。

本検討においては、主な論文、、 などの試行結果を援用しつつ、研究サイトに適した自動航行プランを組み立てた。図 6 は、実際の調査範囲における自動航行プランを専用のソフトウェアで作成している画面であり、黄色のラインがプログラムされた飛行経路である。現地での実際のフライト結果も踏まえて、機体のセッティング及びバッテリー交換等の時間を加味しても、3,000ha の範囲で地上分解能 5cm の可視オルソ画像を作成する場合、3.5 時間程度の現場作業で完了することが分かった。この技術を用いることで、火災が発生した際に周辺の開けた場所から離陸させ、半径数キロ圏内に存在するホットスポットや火災範囲を迅速に把握することが可能であることが明らかとなった。

加えて、固定翼機に搭載するセンサーをマルチスペクトルカメラに取り替える事によって、可視だけでは把握できない植生状況についても把握できた。特に、Red-Edge の波長を用いて NDVI を算出することで、木本と草本の区別がより明瞭に分けることができた(図 7)。これは、火災沈下後の植生の回復状況の診断などに応用できると考えられる。

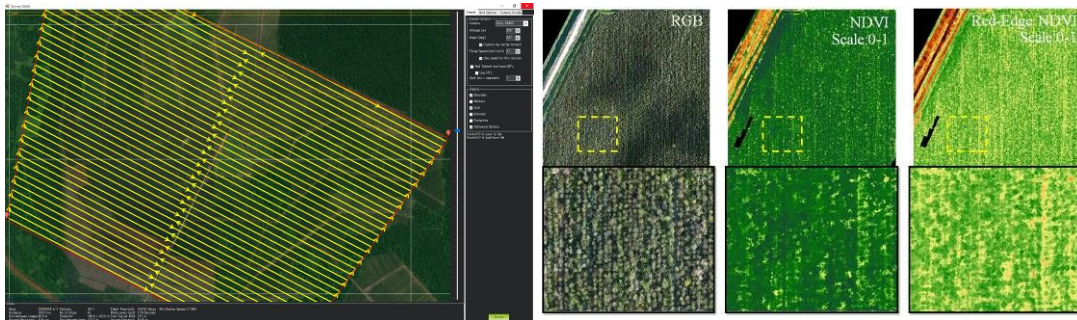


図 6 固定翼機を使った広域マッピング用の自動航行フライトプラン
図 7 固定翼機にマルチスペクトルカメラ搭載して作成した NDVI マップ

(3) 衛星画像と SUAV を組み合わせた解析手法の確立

衛星画像と SUAV を組み合わせた解析手法の確立については技術的な課題が多く、当初の計画通りに進めることが出来なかった。特に、衛星と SUAV で取得されるデータとでは地上分解能が大きく異なるため、教師データの取り方によって解析結果に差が生じてしまうという点が解決出来なかった。例えば、衛星で得られる赤外線画像の地上分解能は 2km 程度である。これを SUAV から得られた 10cm の高分解画像を教師データとして用いることの論理的裏付けを得ることが出来なかった。また、当初の計画では固定翼機にサーモグラフィーカメラを搭載することで比較的広域かつ低い分解能のデータを取得することを目指したが、固定翼機の場合は飛行速度を回転翼よりも速くする必要があり、温度分布図を作成するために必要なオーバーラップ率を十分確保することが技術的に不可能であった。

以上の理由から、衛星画像と SUAV を組み合わせた解析手法の確立については課題が残った。

参考文献

- NASA, WORLDVIEW, <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>、2018
Mead I. M., Castruccio S., Latif T. M., Nadzir M. S. M., Donubucj D. Thota A. and Crippa P., “ Impact of the 2018 Wildfire on Malaysian Air Quality and Exposure: A Comparative Study of Observed and Modeled data, ” Environmental Research Letters, 2018, 13.
World Bank, 『The Cost of Fire: An Economic Analysis of Indonesia ’ s 2015 Fire Crisis』, 2016
渡辺一生、増田和也、川井秀一、「泥炭湿地林の減少とアブラヤシおよびアカシア造林地の展開

過程』、川井秀一・水野広祐・藤田素子編 『熱帯バイオマス社会の再生 インドネシアの泥炭湿地から』、京都大学術出版会、2012

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 件)

渡辺一生、リモートセンシング衛星とドローンのベストミックスによる地球観測の可能性、OplusE、査読無、38巻6号、2016、525 - 533

渡辺一生、ドローンは地球環境問題の解決にいかに関与できるか、生活と環境、査読無、61巻12号、2016、18 - 21

藤原 洋一、川口 渉、長野 峻介、田中 健二、一恩 英二、渡辺一生、UAV と SfM (Structure from Motion) による高精度な 3 次元地形モデルの作成方法に関する検討、農業農村工学会誌、査読有、86巻3号、2017、23 - 26

渡辺一生、ドローンによる環境測定技術の可能性 農村地域での活用事例から、環境技術、査読無、48巻6号、2018、312 - 136

Kotaro Iizuka, Kazuo Watanabe, Tsuyoshi Kato, Niken Andika Putri, Sisva Silsigia, Taishin kameoka, Osamu Kozan, Visualizing the Spatiotemporal Trends of Thermal Characteristics in a Peatland Plantation Forest in Indonesia: Pilot Test Using Unmanned Aerial Systems (UASs), Remote Sensing, 査読有、10巻9号、2018、1345 <https://doi.org/10.3390/rs10091345>

Kotaro Iizuka, Masayuki Itoh, Satomi Shiodera, Takashi Matsubara, Mark Dohar, Kazuo Watanabe, Advantages of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Photogrammetry for Landscape Analysis Compared with Satellite Data: A Case Study of Postmining Sites in Indonesia, Cogent Geoscience, 査読有、4巻1号、2018、1 - 15

〔学会発表〕(計 件)

渡辺一生、ドローンで作る 3D マップ 仕組みと応用例 、ドローン・学術利用シンポジウム、総合地球環境学研究所、2016年4月10日

渡辺一生、SUAV を用いた 3 次元データ作成に伴う運用・観測・処理について、平成 28 年度 専門研修 UAV を用いた地上観測技術、山梨県森林総合研究所、2016年6月9日

渡辺一生、ドローンをを用いた迅速な災害状況把握の可能性と課題、香川県地盤工学研究会、香川大学工学部、2016年6月17日

渡辺一生、ドローン近接リモートセンシング最新事例、先端技術活用セミナー「ドローンと俯瞰する未来産業」、公益財団法人 京都高度技術研究所、京都大学桂キャンパス、2017年12月18日

渡辺一生、ドローンとリモートセンシング ~ドローン計測の近未来~、SkyLink ドローン活用技術セミナー、品川インターシティホール、2018年4月5日

渡辺一生、触らない(非観血的)環境技術で何がわかるのか? ~環境 DNA 診断とドローン空撮~、新潟大学創生学部 創生学部講演会(公開フォーラム)、新潟大学中央図書館ライブラリホール、2018年9月25日

渡辺一生、UAV による課題解決型リモートセンシングの推進、CSIS シンポジウム 2018 - ドローンを利用したフィールドサイエンス最前線-、東京大学 空間情報科学研究センター、日本未来科学館 コンファレンスルーム土星、2018年11月17日

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。