

令和 3 年 5 月 20 日現在

機関番号：82626

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2019～2020

課題番号：19K24395

研究課題名（和文）複数衛星データの統合利用技術を用いた森林消失自動検知システムの開発

研究課題名（英文）Algorithm development for automated deforestation mapping via integrated use of multiple satellite data

研究代表者

水落 裕樹（Mizuochi, Hiroki）

国立研究開発法人産業技術総合研究所・地質調査総合センター・研究員

研究者番号：20849963

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、性質の異なる複数の人工衛星画像を統合利用し、森林消失のマッピングを行う手法を開発した。太陽光の反射を利用して画像を取得する衛星データ（光学データ）に加え、雲を透過して地上を観測できるマイクロ波衛星データを用いて、過去20年分の世界の複数の森林（カンボジア・ペルー）を観測した。各データを画像処理して推定された森林消失域の情報を機械学習的に統合し、時系列的に矛盾のない森林消失域のマッピングを実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

世界全体の森林面積は減少を続けており、とくに熱帯地域で大規模な森林減少が報告されている。開発された手法で、雲に覆われがちな熱帯林においても、従来よりも高頻度な定期観測が実現しうる点で、気候変動・生物多様性・水循環など様々な関連分野における社会的意義がある。また、複数衛星データの柔軟な統合手法は、今後ますます各国の衛星データがアーカイブ化・オープンフリー化されていく流れのなかで、衛星観測技術の発展にも資する学術的意義を有する。

研究成果の概要（英文）：This study aims to deforestation mapping via integrated use of multiple satellite datasets that have physically different features. In addition to the common satellite images detecting solar reflection from the earth surface (i.e., optical images), microwave images were utilized, which enable us to observe the worldwide forest even under the cloudy condition. Tropical forest sites (Cambodia and Peru) were selected and monitored by satellite images for past twenty-years, and deforestation maps were created for each image. Those maps were integrated via a machine-learning approach, resulting in temporally consistent deforestation maps.

研究分野：環境学

キーワード：森林消失検知 衛星データ 機械学習

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、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

世界全体の森林面積は減少を続けており、特に熱帯地域で大規模な森林減少が報告されている。森林消失は、大気中への炭素放出による気候システムへの影響、生息地の消滅による生物種へのダメージ、地下水涵養機能の低下による災害リスクの増加などに結び付く。そうした問題意識のもと、国連気候変動枠組条約（UNFCCC）の森林資源保全の枠組み（REDD+）のなかで、衛星による森林の自動監視技術の重要性が指摘されてきた。従来、衛星による森林観測では、可視・近赤外（光学）センサが使われてきたが、曇天時に地表が見えないという弱点がある。一方で、雲を透過して観測可能な能動型マイクロ波センサは、スペckルと呼ばれる固有ノイズが生じることや、伐採後に集積された材木と立木の区別がつけづらいことから、森林消失の検出精度が十分でない。そのような中、森林観測における光学-マイクロ波データの統合利用が注目され始めている（Reiche et al., 2018）。複数センサの統合利用は、過去10年で様々な手法が開発されてきたが、それらの大部分は複数の光学センサ同士の統合に関するものであったため、汎用性の高い光学-マイクロ波データ統合手法が求められていた（Belgiu & Stein, 2019）。

2. 研究の目的

性質の大きく異なるデータ（光学-マイクロ波）の統合利用という技術的課題を克服し、国際的に広く活用可能な森林監視手法を提案するためには、

1. 汎用性：複数のデータソースを柔軟に統合可能であること
 2. 堅牢性：センサノイズや気候帯の違い・季節変動に対してロバストであること
 3. 速報性：データが得られ次第、準リアルタイムで検知ができること
- の3つを考慮することが必要である。これらの要請を意識し、本研究では
- (A) 各センサの特性に応じた高精度かつ汎用的な森林消失検知手法はどのようなものか
 - (B) 各センサで検知された森林消失シグナルを、整合的に統合するにはどうすればよいか
- をしたアルゴリズムの開発を行う。とくに、性質の異なる複数の長期衛星データを統合利用することで、曇天地域でも高い速報性をもつ森林消失自動検知アルゴリズムを開発することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 衛星データ統合手法の開発

過去20年間の、マイクロ波（PALSAR-2）、光学（Landsat、Sentinel2、ASTER）を対象に開発を実施した。まず衛星データごとに適切な前処理を施し、森林観測に最適な特徴量を探索した。これら特徴量に対し、豊富なデータ蓄積のあるLandsat、Sentinel-2では時系列統計分析を、データ数が限定的なASTER、Sentinel-1、PALSAR-2では機械学習（多層ニューラルネットワーク）による画像分類を適用し、森林消失シグナルを抽出した。抽出結果を、ベイズの定理を応用したデータ統合手法（Cardille & Fortin, 2016）により統合し、1.5か月という高頻度で森林消失マップを作成した。高解像度衛星画像判読データ等と比較し、精度検証を行った（図1）。

将来の公共への利用普及を見越して、「商用データ・商用ソフト」を可能な限り排して解析を行った。使用した光学センサについてはすべてオープンデータである。アルゴリズムの実装および結果の解析では商用ソフトは用いず、オープンソースソフトウェア（python, bash, QGIS, GRASS など）のみを用いて実行した。

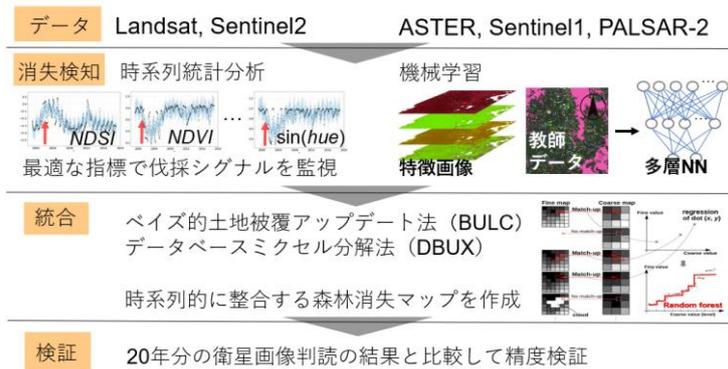


図1 研究の流れ

(2) 効率的な検証手法の開発

アルゴリズムの開発においては、地上リファレンスデータによる検証が不可欠である。高解像度衛星データ（sentinel2 など）の判読によって地上リファレンスデータを用意することがよく行われるが、(1) データの精度が判読者に依存する、(2) 雲が被覆する時期に検証データが不足しがちとなる、(3) 判読作業の手間が膨大である、といった点に課題がある。リファレンスデータの信頼性を高めるには、衛星データの判読に加えて現地的一次情報としてのリファレンスデータを収集することも有用と思われる。

ただし、森林サイトの現地踏査により面的な情報を得るには多大な労力がかかる。これを緩和するため、ドローン空撮を用いた効率的なリファレンスデータの収集を試みる。空撮写真の画像判読で森林消失地点を確実にチェックできるだけでなく、画像処理技術を活用して、森林消失地

点の自動検知や、森林の3次元構造の把握などにも役立てられる可能性がある。

4. 研究成果

(1) 衛星データ統合手法の開発

予算交付に先立ち、まずベイズ的機械学習 (Bayesian Updating of Land Cover: BULC) の応用による衛星データ統合アルゴリズムの開発に着手した。これによりマイクロ波衛星データ (PALSAR-2) と光学衛星データ (Landsat, ASTER) それぞれから求められた森林/非森林マップを時系列的に矛盾なく統合することが可能となった (図2)。当該成果を国際会議 (ISTS) で発表するとともに、衛星リモートセンシング分野の主要国際誌のひとつである Remote Sensing 誌で公表した。

また、当該手法の適用可能性を世界の複数の森林サイト (ペルー・カンボジア) において調べ、結果を比較した。それによると、大規模な伐採がパッチ上に進展したカンボジアのテストサイトに比べ、小規模な伐採が網の目のように (いわゆるフィッシュボーン状) 進展したペルーのテストサイトにおいては検出精度が下がる傾向がみられた。当該成果を日本リモートセンシング学会第67回学術講演会で発表した。

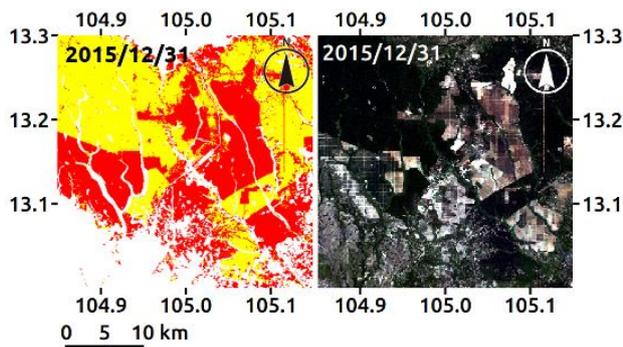


図2 テストサイト (カンボジア) の衛星写真 (右) と伐採地域の抽出結果 (左・赤色部分)

(2) 効率的な検証手法の開発

初年度に、研究代表者の所属機関で所有する光学ドローン (Phantom 4 RTK) の飛行テストを実施した。茨城県結城郡の開けた農地上 (国土交通省および航空局の定める人口密集地域の外、土地所有者の飛行許可取得済み) を対象に数百枚の空撮を実施するとともに、ハンドヘルド GNSS 機器を導入し、地上に設置した複数の基準点 (GCP) において高精度の座標測量を行った。SfM-MVS (Structure from Motion, Multi-View Stereo) 技術を適用することで対象範囲のオルソモザイク画像および3次元モデルを作成できることを確認した。また、GNSS 測量結果との比較により、位置精度の不確実性についても知見を得ることができた。

当該手法の国内外の森林上での適用性を調べるため、2年度目に実際に森林サイトを選定して現地調査を行う予定であったが、新型コロナウイルスの感染拡大状況に鑑み国内外のフィールドでの調査が困難となった。そこで方針を転換し、以下のとおり熱帯地域における衛星データの統合利用技術の更なる応用可能性を調査することにした。

(3) 衛星データ統合利用技術の応用

ベトナム地域における時系列の土地被覆変動を、分解能の異なるふたつの光学センサ (MODIS、Landsat) を統合利用することで調べた。熱帯地域は雲の被覆による光学センサの観測頻度低下が課題であるが、汎用性の高い機械学習手法 (ランダムフォレスト) を用いて MODIS と Landsat の関係性を学習する (Mizuochi et al., 2018) ことで、比較的高解像度 (30m) ながら四半期ごとに wall-to-wall な衛星データセットを作成することができた。これをおよそ 10000 点の土地被覆リファレンスデータとともに機械学習させた結果、同一地域における既往の出版図 (JAXA 高解像度土地利用土地被覆図) よりも高精度な時系列土地被覆図を得ることができた (図3)。現在のところ成果公表には至っていないが、得られた土地被覆図に本研究で開発されたベイズ的機械学習アルゴリズムを適用して更なる精度向上をはかるなど、今後の発展が見込まれる。

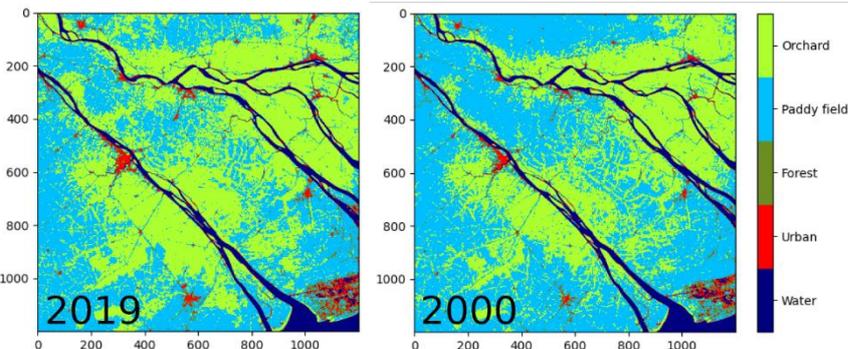


図3 複数衛星データの統合によりとらえたベトナム地域の長期土地被覆変化

<引用文献>

- ① Reiche, J.; Hamunyela, E.; Verbesselt, J.; Hoekman, D.; Herold, M. Improving near-real time deforestation monitoring in tropical dry forests by combining dense Sentinel-1 time series with Landsat and ALOS-2 PALSAR-2. *Remote Sens. Environ.* 2018, 204, 147-161.
- ② Belgiu, M.; Stein, A. Spatiotemporal Image Fusion in Remote Sensing. *Remote Sens.* 2019, 11, 818.
- ③ Cardille, J.A.; Fortin, J.A. Bayesian updating of land-cover estimates in a data-rich environment. *Remote Sens. Environ.* 2016, 186, 234-249.
- ④ Mizuochi, H.; Nishiyama, C.; Ridwansyah, I.; Nasahara, K.N. *Remote Sens.* 2018, 10(8), 1235.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Hiroki Mizuochi, Masato Hayashi, Takeo Tadono	4. 巻 11
2. 論文標題 Development of an operational algorithm for automated deforestation mapping via the Bayesian integration of long-term optical and microwave satellite data	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 2038
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/rs11172038	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Hiroki Mizuochi, Takeo Tadono
2. 発表標題 Development of automated deforestation mapping with integrated use of multiple satellite data
3. 学会等名 Joint Symposium of 32nd International Symposium on Space Technology and Science (ISTS) and 9th Nano-Satellite Symposium (NSAT)（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 水落裕樹、林真智、田殿武雄
2. 発表標題 複数の森林サイトにおけるベイズ的衛星データフュージョンの適用性の検討
3. 学会等名 日本リモートセンシング学会第67回学術講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------