

令和 7 年 5 月 16 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2024

課題番号：21K05670

研究課題名（和文）多時期空中写真由来の変化量に基づく新たな森林モニタリング手法の開発

研究課題名（英文）Development of a new forest monitoring method using forest structural changes reconstructed from multi-temporal aerial photographs.

研究代表者

太田 徹志（Ota, Tetsuji）

九州大学・農学研究院・准教授

研究者番号：10753717

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：森林の伐採などのモニタリングは森林管理を行う上で極めて重要である。本研究は複数時期の撮影された航空写真から森林の変化を検出できるか検証した。具体的には1960年代から2010年代にかけて撮影された空中写真から各時期の森林の3次元構造を復元し、3次元構造の変化から森林の伐採を検出できるか検証した。その結果、伐採からの経過年数（つまり林齢）が分かっている場合、その時の3次元構造を推定できた。一方で、3次元構造から伐採された時期を検出すると、伐採の有無を68%の精度で検出できることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

森林の伐採などのモニタリングは森林管理を行う上で極めて重要である。本研究は安価で実用性のある森林のモニタリングシステムの構築を目指し行った。これまで、1期からせいぜい数時期の空中写真を用いた森林モニタリングの研究はあるものの、本研究では10期を超える多時期データから森林の変化の検出を試みた。その結果、既往の衛星データによるモニタリングでは検出できないほどの小さい森林変化も検出できた。本研究はより精緻な森林モニタリング技術の開発につながる可能性がある。

研究成果の概要（英文）：Monitoring silvicultural activities such as logging is extremely important for forest management. This study investigated whether changes in forests can be detected from aerial photographs taken at different times. Specifically, we reconstructed the three-dimensional structure of forests from aerial photographs taken from the 1960s to the 2010s and tested whether small-scale clearcuts could be detected from changes in the three-dimensional structure. The results showed that if the number of years since logging (i.e. the age of the forest) was known, the three-dimensional structure at that time could be estimated. On the other hand, the overall accuracy of detecting logging activity from the three-dimensional structure was 68%.

研究分野：森林計画学

キーワード：空中写真 森林管理 時系列データ

### 1. 研究開始当初の背景

森林の“減少・劣化”は地球規模の問題として以前より重要視されており、持続可能な開発のための2030アジェンダ(SDGs)においても、森林減少・劣化を解決すべき課題としている。森林減少・劣化の抑制には、科学的に信頼された手法で森林減少・劣化量を推定する必要がある。森林減少・劣化量は、衛星データから定量化される場合が多いが、精度に問題がある(例えば、Shimizu et al. 2017)。一方、有人飛行機からのレーザー測量は精度の点で最も優れるが、その運用には莫大なコストがかかる。よって、より安価で正確な手法の開発が求められている。近年、空中写真から森林の3次元構造を復元する手法が開発された。この手法を活用して、撮影時点の林分構造を推定し、森林の変化を検出することが可能となっている。空中写真は航空機レーザーよりも安価なため、有力なツールとなりうる。しかし、空中写真から求めた森林の3次元構造は地標高を含んだ値のため、その活用には航空機レーザー測量より求めた正確な地標高データによる補正が不可欠である(Ota et al. 2015)。そのため、空中写真を使ったとしても、莫大なコストが必要である。

本研究では、時系列の空中写真を活用することで、地標高データを利用することなく森林の減少・劣化・回復を定量化する新たな手法を構築する。本研究で開発する手法は、森林の3次元構造の軌跡を用いる。横軸を時間、空中写真から求めた森林の高さを縦軸とするグラフを考える(図-2)。森林が成長するとき、グラフの軌跡は上向きの線を描く(図-2の①)。もし森林が減少・劣化した場合は、この直線が下向きの線を描く(図-2の②)。下向き後の直線の傾きが減少・劣化後の森林の回復過程となる(図-2の③)。ここで求められる傾きは、地表高と無関係に林分構造のみの変化から求まるので、これらの傾きを変数とする統計モデルから森林の減少・劣化量を地標高データなしに推定可能と予想される。

### 2. 研究の目的

本研究では、時系列の空中写真を活用することで、地標高データを利用することなく森林の減少・劣化・回復を定量化する新たな手法を構築することを目的とした

### 3. 研究の方法

#### (a) 対象地の選定

研究に先立ち、対象地の選定を実施した。伐採履歴が明らかな森林のいくつかで現地調査を行い、最終的に大分県由布市の群状択伐林を対象に実施することとした。本研究対象地は、3度の群状伐採が実施された結果、2024年時点で4段林が構成されている。

#### (b) データ取得および前処理

本対象地を撮影した1966年から2015年までに撮影された11期分の空中写真を入手した。11期それぞれに対して前処理を実施し、各期のデジタル表層モデル(Digital Surface Model, DSM)を作成した。DSMを作成したエリア内から、系統抽出法により等間隔に合計180個のサンプルを抽出し、各サンプルに対して、各期のDSMおよび群状択伐が実施された年を付与した。

#### (c) 分析

得られたデータに対して、伐採年を既知とした林冠高推定モデルの構築、伐採年を未知とした森林変化の検出の2種類の分析を実施した。伐採年を既知とした林冠高推定モデルの構築は、対象地の伐採履歴をもとに、林齢を説明変数とする林冠高推定モデルが構築できるか、という課題である。サンプル地点をランダム項とした一般化線形混合モデル(GLMM)により分析を行った。本分析において、林齢の偏回帰係数が負もしくは、かつ有意ではない場合、時間経過に伴う林冠高の成長をDSMが捕捉できないことになる。つまり、DSMの時系列変化を基にした森林変化推定の前提となる、林齢の変化により林冠高が変化するという仮説が成り立たなくなる。以上のことから、森林変化の推定に先立って本分析を実施した。伐採年を既知とした森林変化の検出では、時系列衛星画像を用いた森林変化検出で顕著な成績を収めているLandTrendr(Kennedy et al. 2010)を模したアルゴリズムを活用した。本手法は、各地点の時間的な値の変化を複数のセグメントに分割して表現するものである。なお、本研究では、データ数などの制約を理由として、LandTrendrと完全に同一ではなく、いくつかの計算ステップを省いたアルゴリズムを活用した。DSMの時系列変化に対して本手法を得られた分割によりDSMの減少を示すセグメントを含んだ場合は森林の伐採があるとみなした。まずは対象領域全体に本手法を適用し、その結果を定性的に評価した。その次に、(b)項で得られた180個のサンプルに対する本手法の結果を、得

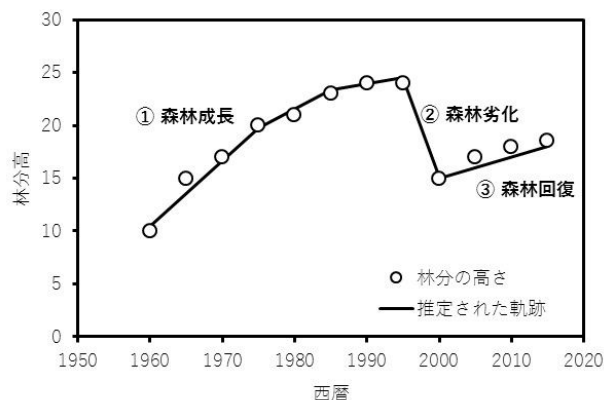


図-1 林分高の軌跡による森林変化の推定 (イメージ)

られた伐採の有無と実際の択伐の有無を比較することで定量的に評価した。

#### 4. 研究成果

林齢と DSM の関係性を図-2 にしめす。縦軸は DSM すなわち、各地点の樹冠高と標高を併せた数値であることに注意が必要である。それゆえ、各地点の標高が及ぼすばらつきがあることから明瞭な関係は見づらい。しかし、各地点をランダム効果として含む GLMM の結果、林齢と DSM には有意に正の関係がみられた ( $P < 0.05$ )。以上のことから、標高の影響を除外すれば、時系列空中写真から得られる DSM と林齢には関連性があることが示唆された。

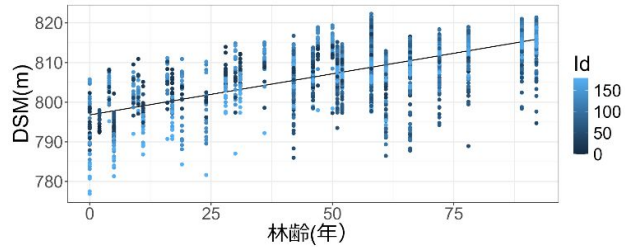


図-2 林齢と DSM の関係

伐採年が未知とし、LandTrendr を模したアルゴリズムを適用した場合の結果を図-3 に示す。図-3 の左図は、対象地の 2015 年時点の空中写真であり白線で示す地域は 1970 年以降択伐が行われた地点を示す。また、白線内の数字は択伐が行われた年を示す。図-3 の右図は伐採の検出結果を色で示している。それぞれの図の右上、右下に位置する 1985 年に択伐が実施された地点では 1980 年代から 1990 年代にかけて伐採されたことが分類結果で示されている。同様に 2011 年に択伐が実施された左下でも、2000 年から 2013 年にかけて伐採されたことが分類結果で示されている。このように伐採された箇所についてはおおそ検出することができていた。その一方で、期間内に伐採されて地点についても伐採を検出してしまっており、全体的な傾向としては伐採の空振りが見て取れた。180 か所のサンプリング地点での分類結果では、全体精度は 68%、択伐の空振り率と見逃し率はそれぞれ 55%と 30%、F1 スコアは 0.55 だった。180 か所のサンプルを基にした定量的な変化からも伐採の空振りが多いことが示された。伐採を空振りした地点での DSM の推移の例を図-4 も示す。本事例の地点では分析期間中に択伐は実施されていないため、本来であれば DSM が一貫して増加傾向を示すことが期待される。しかしながら実際には 1982 年に DSM の大幅な増加を記録し、その後急激に減少している。そのため、本地点では 1982 年以降に伐採が生じたと判定してしまった。本地点では、1982 年の空中写真から計算した DSM が本来の高さよりも過大、1985 年の空中写真から計算した DSM が本来の高さよりも過小となったため、このような誤判定が生じた。

本研究課題では時系列空中写真を用いた森林変化についての利活用について検証した。これまで 1 から 2 期の空中写真を用いた研究は見られるが (例えば、Ota et al. 2019)、今回は 10 期以上の空中写真を活用した初の試みとなった。森林変化の検出精度は 68%であり、衛星データを用いた森林変化モニタリングでは検出では検出できていない小規模な変化を検出できた。本研究で用いた手法の課題として、分析に用いる DSM の品質が挙げられる。図-4 で示したように DSM の誤差が原因となり森林変化を誤って検出する場所が見られた。本研究で用いた空中写真の多くはデジタル空中写真ではなく、かつ GNSS などの高度な設備のない時代のものである。このようなデータ上の問題が高精度な DSM の作成を阻んだ可能性がある。GNSS などの高度な設備を使用された空中写真のみを使うことで、精度改善が見込める可能性がある。

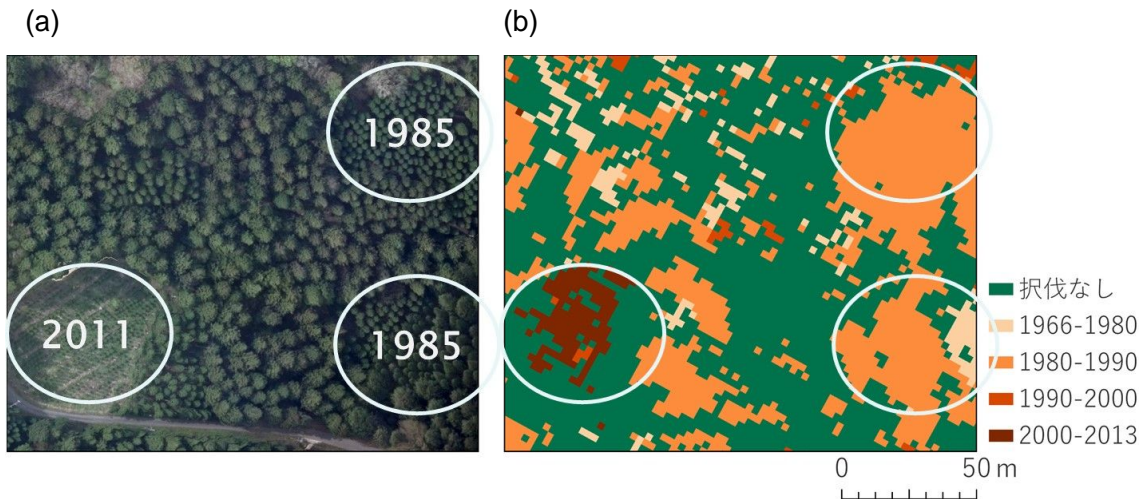


図-3 対象地と分類結果 (a)2016 年時点の空中写真 (b)分類結果 白線は 1970 年以降に択伐が行われた地点を示し、白線内の数字は択伐をされた年を示す。

## 引用文献

Kennedy, R. E., Yang, Z., & Cohen, W. B. (2010). Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly Landsat time series: 1. LandTrendr—Temporal segmentation algorithms. *Remote Sensing of Environment*, 114(12), 2897-2910.

Ota, T., Ogawa, M., Shimizu, K., Kajisa, T., Mizoue, N., Yoshida, S., ... & Ket, N. (2015). Aboveground biomass estimation using structure from motion approach with aerial photographs in a seasonal tropical forest. *Forests*, 6(11), 3882-3898.

Ota, T., Ahmed, O. S., Minn, S. T., Khai, T. C., Mizoue, N., & Yoshida, S. (2019). Estimating selective logging impacts on aboveground biomass in tropical forests using digital aerial photography obtained before and after a logging event from an unmanned aerial vehicle. *Forest Ecology and Management*, 433, 162-169.

Shimizu, K., Ponce-Hernandez, R., Ahmed, O. S., Ota, T., Win, Z. C., Mizoue, N., & Yoshida, S. (2017). Using Landsat time series imagery to detect forest disturbance in selectively logged tropical forests in Myanmar. *Canadian Journal of Forest Research*, 47(3), 289-296.

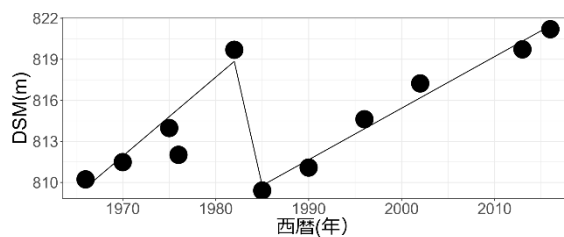


図-4 伐採を空振りした地点での DSM の時系列変化の例

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 太田徹志, 溝上展也
2. 発表標題 時系列空中写真を用いた森林変化推定
3. 学会等名 九州森林学会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 太田徹志, 溝上展也
2. 発表標題 時系列空中写真を用いた森林変化推定
3. 学会等名 日本森林学会
4. 発表年 2025年

1. 発表者名 太田 徹志, 中野 竜誠, 溝上 展也
2. 発表標題 群状複層林における利用期を迎えた更新木の 成長：大分県由布市における事例
3. 学会等名 九州森林学会
4. 発表年 2023年～2024年

1. 発表者名 太田 徹志, 中野 竜誠, 溝上 展也
2. 発表標題 群状複層林における個体の成長パ ターン ： 大分県由布市の事例
3. 学会等名 日本森林学会
4. 発表年 2023年～2024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
研究 分担 者	溝上 展也  (Mizoue Nobuya)  (00274522)	九州大学・農学研究院・教授    (17102)	

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
---------	---------