

令和元年6月3日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K18721

研究課題名(和文) UAVを利用した熱帯季節林の減少・劣化量把握

研究課題名(英文) Estimating deforestation and forest degradation from an unmanned aerial vehicle in seasonal tropical forest

研究代表者

太田 徹志(Ota, Tetsuji)

九州大学・持続可能な社会のための決断科学センター・助教

研究者番号：10753717

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：UAV(ドローン)を用いることで森林の減少や劣化を高精度に把握できるか検証した。まず国内の森林を対象地として、UAVで撮影したデータの位置の誤差、および林分構造の推定精度について検証した。その結果、対空標識を10点程度置くことで、位置精度の誤差が低減すること、UAVにより森林の構造を林分レベルで推定できることがわかった。さらに、ミャンマーの国有林を対象に、2時期のUAVデータから森林の変化を把握できるか検証した。その結果、高い精度で森林の変化量を推定できることが明らかになった。以上のことから、UAVを用いることで、森林の減少や劣化を推定できる可能性がある結論づけた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

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、これらを効率的にモニタリングする手法が求められている。本研究課題では、UAV(ドローン)を用いた森林減少・劣化のモニタリング手法の開発を目的に、1)UAVが取得した空中写真の位置精度の検証および林分構造推定モデルの開発、および2)AVを用いた森林減少・劣化量の推定技術の開発を実施した。その結果、適切な手法を用いることで、UAVから林分レベルで森林の構造を推定できること、伐採前後にUAVから撮影した写真から森林の伐採量を林分レベルで推定できることが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：This study investigated the utility of the low cost UAV (unmanned aerial vehicle) for estimating deforestation and forest degradation in seasonal tropical forest. We at first, evaluated the importance of ground control point (GCP) for reducing location error and the accuracy of forest structure estimation using digital aerial photographs acquired from the UAV. The result showed that we should put 10 GCP to reduce the location error if possible. The results also revealed that we can estimate forest structure estimation at stand level with UAV. We then evaluate the accuracy of aboveground biomass change estimation using repeatedly acquired digital aerial photographs from the UAV in tropical forests in Myanmar. The result showed that repeatedly acquired digital aerial photographs from the UAV can quantify the aboveground biomass change due to selective logging in tropical forests.

研究分野：森林計画学

キーワード：UAV(ドローン) 択伐 リモートセンシング 地上バイオマス量

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

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、近年では、森林減少・劣化を抑制するプログラム(たとえば、REDD+)の構築が国際的に議論されている。REDD+などのプログラムを実行するには、科学的に信頼される手法で森林減少・劣化量を推定する必要がある。森林を広域に測定する手法としては、現状、有人飛行機からのレーザー測量に基づく手法が精度の点で最も優れる。しかし、計測コストが高くなる問題がある。特に熱帯林の多くは発展途上国に存在するため、高額な有人航空機の運用は事実上困難であり、より安価な手法が必要である。

研究開始時点において、値段も安価で、かつ空中写真撮影が可能な UAV が登場していた。UAV は有人航空機と比べて低高度で写真撮影を行うため、より詳細な森林減少・劣化の情報を得られることが考えられる。そこで、UAV 由来の空中写真から森林の減少・劣化量を推定できれば、より安価で正確なシステムを構築できる可能性がある。しかし、UAV を用いて森林減少・劣化量の推定を試み、その検出限界を明らかにした研究は世界的にみても存在しない。

UAV の森林減少・劣化把握への可能性が考えられる一方、UAV は軽量ゆえに簡易なカメラ・GPS しか搭載できないという欠点も研究開発時点では存在した。そのため、1) UAV で撮影した空中写真の位置情報は適切か、2) 撮影した空中写真から林分構造を求めることができるかまず検討する必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、UAV を用いて森林減少・劣化量の推定を目指し、以下の 2 点に着目して分析を行うことを目的とした。

- 1) UAV が取得した空中写真の位置精度の検証および林分構造推定モデルの開発
- 2) UAV を用いた森林減少・劣化量の推定技術の開発

3. 研究の方法

目的 1)については、大分県長期育成循環施業モデル団地を対象に実施した。同対象地の UAV による写真撮影データと同対象地の地上測定データを入手した。UAV による写真撮影データは、対空標識を 10 個程度設置したうえで撮影されたものである。入手した写真データから Structure from Motion 技術を利用して、林分の 3 次元データを作成した。地上測定データは、スギ・ヒノキ林それぞれ 10 カ所のプロットデータである。各データには、プロット内の樹木の直径と高さが記録されている。上記のデータを利用してまずは位置精度を検証した。具体的には、作られた 3 次元データ内で示される対空標識の位置と実際の対空標識の座標の差を検証した。次に、UAV から求めた森林の 3 次元に関する指標から林分構造の推定を試み、その精度を検証した。推定を目指した項目は、地上計測の結果から求めた平均樹高、Lorey's 平均樹高、最大樹高、林分材積量の 4 項目である。推定には一般化線形回帰モデルを利用した。

目的 2)については、ミャンマー・カタ地区の国有林を対象に実施した。対象地内に、9ha の方形プロットを 2 つ設置し、その内部でミャンマー択伐方式に基づく森林伐採を実施した(図-1)。伐採の強度は 1.4 本/ha から 4.1 本/ha であり、2 プロット合計で 50 本の木を伐倒した。この時、伐採した木の位置を GPS で記録し、また伐採した木のサイズに関する情報を伐採担当者より入手した。加えて伐採の直前と直後にそれぞれ UAV によるプロットの写真撮影を行った。撮影時には、対空標識を各プロット 9 点ずつ設置し、その位置をハンドヘルド GPS で記録した。撮影した写真に Structure from Motion 技術を適用して、伐採前後の林分の 3 次元データを作成した。3 次元データの作成時に対空標識の位置情報を活用したが、精度が不十分であったため、伐採前後の位置合わせを手動にて更に実施した。位置合わせを行った後、前後の 3 次元データの差分から、森林の 3 次元構造の変化量マップを作製した。3 次元構造変化量マップと、GPS で記録した伐倒木の位置図を比較し、UAV から森林の伐採が検出できるか検討した。次に、林分レベルで森林劣化量を求める統計モデルの構築を行った。50m グリッドのスケールで、伐採バイオマスを集計し、伐採前後の 3 次元構造から推定できるか検証した。林分構造の推定には、Tobit モデルを利用した。

4. 研究成果

1) UAV が取得した空中写真の位置精度の検証および林分構造推定モデルの開発

まず、位置精度については、対空標識を 10 個程度置くことで誤差を数 m 以内に抑えることができた。

次に、林分構造の推定精度につい

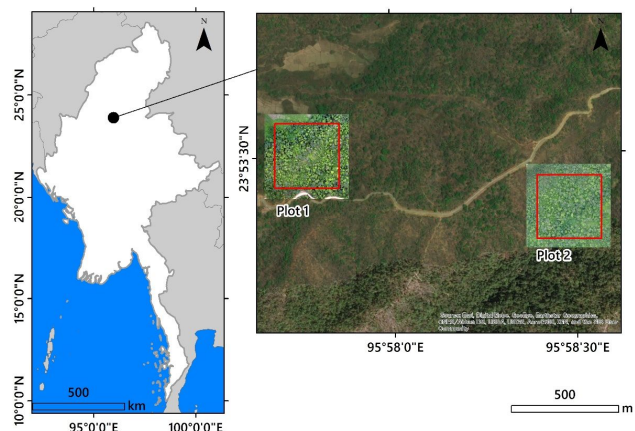


図-1 対象地. 赤い四角で囲んでいるエリアが方形プロットの位置を示す。

ては、樹高の推定精度は総じて高く、平均樹高、Lorey's 平均樹高、最大樹高の決定係数はどれも 0.9 程度だった。林分材積量の推定精度は樹高の推定精度より若干低いものの、決定係数で 0.7 程度であった。以上のことから、UAV から樹高や林分材積量といった林分構造を推定できると結論づけた。

2) UAV を用いた森林減少・劣化量の推定技術の開発

図-2 に、伐採前後に撮影した UAV とそれぞれから作成した森林の 3 次元構造を示す。伐採前後の写真から分かる通り、UAV から撮影した写真から森林伐採を目視で判別することができた (図-2a,c)。また、作成した 3 次元構造からも森林の伐採を検出することができた (図-2b,d)。対象地全体をとおしても、3 次元データの差分から作製した伐採地点と、GPS 記録した伐倒木の位置はほぼ一致しており、3 次元データの差分から森林の減少劣化を検出出来る可能性が示唆された。

伐採前後の 3 次元構造の差分から、伐採バイオマス量を推定した結果を図-2 に示す。50m グリッドスケールで伐採量を推定した結果、その精度は決定係数で 0.77 だった。推定精度を下げうる要因としていくつかの事象が考えられた。まずは、伐採前後の写真を重ね合わせる際の位置合わせの問題が挙げられる。対空標識の位置を測量する手法として、ミャンマーでは、簡易なハンドヘルド GPS を用いた。手動にて伐採前後の位置合わせを実施したものの、伐採前後の位置合わせが十分に行えなかった可能性が考えられた。今回に限らず、熱帯地域においては、高精度の GPS を活用して測量を行うことが難しい場合も多いので、GPS による誤差要因を低減するような高精度なサーフェスマッチング技術の開発が今後重要であるといえた。その他の誤差要因として、伐採木がグリッドの外にはみ出している場合には、伐採した木の周囲のグリッドでは減少量を過大評価する傾向が見られた。また、択伐の際に周囲の木や灌木をなぎ倒してしまった場合にも、過大評価となった。このように、グリッドをまたぐ伐採については、過大ないし過小な評価となる可能性がある。

本研究の結果を、有人飛行機からのレーザー測量に基づく手法を用いて択伐の把握を目指した他地域での先行研究と比較した。その結果、本研究の結果は先行研究の結果に比べて精度が高いことがわかった。この理由として、まず考えられるのは、撮影の機関である。先行研究では、伐採前と伐採後のデータを収集する期間が数年と長く、調査した減少量 (今回であれば伐採によるバイオマス量の減少) 以外の減少要因 (例えば枯損や主軸の折れ) を誤差要因として含む。今回は、伐採の直前直後に撮影を行ったことから、これらの誤差要因を低減できた可能性がある。また、先行研究では、伐採前と伐採後、それぞれでバイオマス推定モデルを構築し、両者の差分から減少量を推定している。本研究は、減少量を直接推定したため精度が高まったと考えられた。

本研究では、ミャンマー式択伐を対象に森林の変化を検出した。しかし、本研究の結果はミャンマー式択伐のみに限定されない。例えば、ただし、熱帯地域の違法伐採は択伐的に実施されることから、伐採という観点では、ミャンマー式択伐とほぼ同等である。このことから、違法伐採の監視や違法伐採量の推定にも UAV を活用できる可能性がある。以上の研究成果から、UAV を活用することで森林の変化を検出できる可能性があることがわかった。ただし、GPS による誤差などにより精度が減少する可能性があること、伐採前後の撮影期間が伸びた場合は十分な精度が

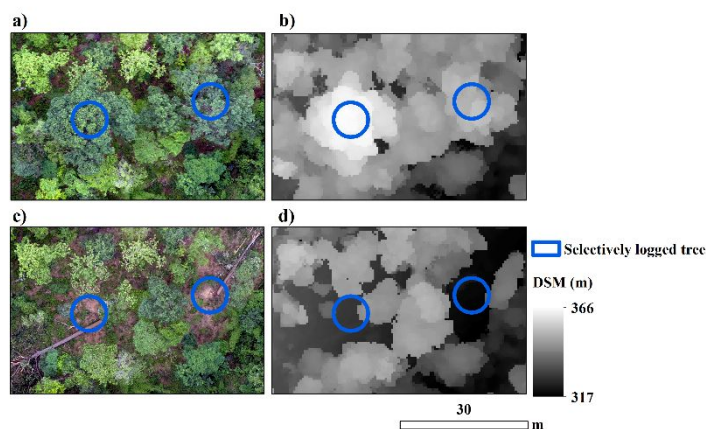


図-1 UAV から撮影した伐採前後の写真と作成した 3 次元構造. (a) 伐採前の写真, (b) 伐採前の 3 次元構造 (c) 伐採後の写真, (d) 伐採後の 3 次元構造.

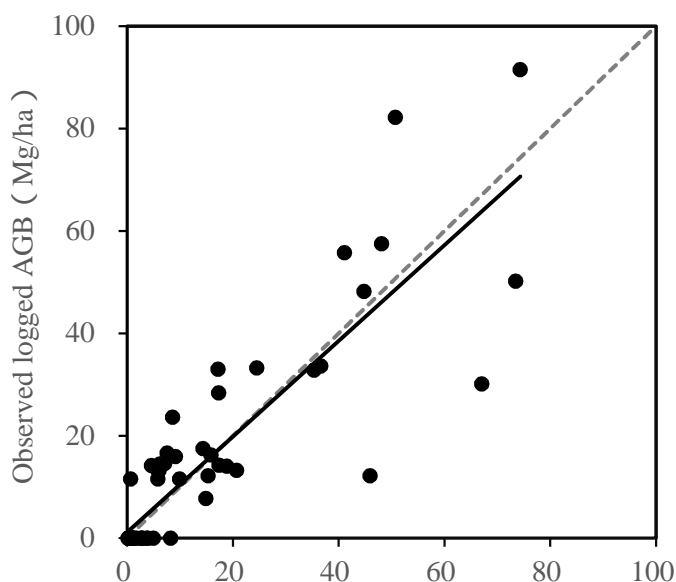


図-3 UAV による森林伐採量の推定結果. x 軸が推定値, y 軸が実測値を示す. 破線は 1 : 1 の関係性を示し, 実線は回帰線を示す.

出ない可能性が有ることと同時に示唆された。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

1. 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. doi:10.1016/j.foreco.2018.10.058 [査読あり]
2. Ota, T., Ogawa, M., Mizoue, N., Fukumoto, K., & Yoshida, S. (2017). Forest structure estimation from a UAV-based photogrammetric point cloud in managed temperate coniferous forests. *Forests*, 8(9) doi:10.3390/f8090343 [査読あり]

〔学会発表〕(計 3 件)

1. 太田徹志, Sie Thu Minn, Tual Cin Khai, 溝上展也, 吉田茂二郎 (2019) 2 時期 UAV 画像による択伐量の検出. 九州森林学会
2. 太田徹志, Tual Cin Khai, Sie Thu Minn, 溝上展也, 吉田茂二郎 (2018). UAV 由来の空中写真データを用いた熱帯林の森林変化量の把握 日本森林学会
3. 太田徹志, 小川みゆき, 溝上展也, 吉田茂二郎 (2017). UAV を用いた林分構造推定. 日本森林学会
4. 太田徹志, Tual Cin Khai, Sie Thu Minn, 溝上展也, 吉田茂二郎 (2017) Forest structure estimation using structure from motion approach with UAV in a managed coniferous forest. IUFRO 125th Anniversary Congress

〔図書〕(計 0 件)

なし

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

出願年 :

国内外の別 :

取得状況 (計 0 件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

取得年 :

国内外の別 :

〔その他〕

ホームページ等

なし

6 . 研究組織

(1) 研究分担者

なし

(2) 研究協力者

なし

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。