

令和 6 年 9 月 6 日現在

機関番号：82105

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化(B)）

研究期間：2019～2023

課題番号：19KK0164

研究課題名（和文）衛星画像から広大な熱帯林の生物多様性を推定するモデルの開発と多様性情報の地図化

研究課題名（英文）Study to develop a model estimating biodiversity in large area of tropical rain forests from satellite images and to map the diversity information

研究代表者

上田 明良（Ueda, Akira）

国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・研究専門員

研究者番号：90353599

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 14,100,000円

研究成果の概要（和文）：インドネシア共和国東カリマンタン州を対象に地上データと衛星画像データの関係を数式モデル化し、モデルから得られる生物多様性推定値の広域地図化を行った。天然林、プランテーションと草地の45カ所に調査地を設定し、現地大学教員に樹木、糞虫類、徘徊性甲虫類、ハチ類とオランウータン生息データの取得を依頼した。衛星にはSentinel2 (Level2A)を用いた。stepAICで最適モデルを作成したところ、樹木・糞虫データとハネカクシ科捕獲数において実測値と予測値に高い相関がみられ、予測値の地図化を行った。熱帯林に関する生物多様性の一部を少ない地上データからの推定値で広域地図化することが可能であった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

熱帯林は様々な生態系サービスを供給しているが、その評価が行われる前に、消失・荒廃してきた。島状に点在する熱帯の原生林や原生的な健全林に生息する生物、特に希少種の保全是火急の問題である。このように熱帯低地林の生物多様性の保全是喫緊の課題であるが、広域の地上データの取得は事実上不可能で、多様性を評価するのは困難であった。本研究で得られた生物多様性予測地図は、少ない地上データから熱帯林の生物多様性を広域で示すことが可能であることを示した。本研究の成果は、広域で熱帯低地の生物多様性の把握が可能であることを示しただけなく、保護林等の設定といった生物多様性保全に向けた施策にも貢献すると考えられる。

研究成果の概要（英文）：We developed a mathematical model delineating the correlation between ground-based data and satellite imagery for East Kalimantan, Indonesia. Subsequently, we utilized this model to spatially visualize biodiversity estimates across a vast expanse. We set up survey sites in 45 locations in natural forests, plantations, and grasslands, and asked local college lectures to collect data on trees, dung beetles, wandering beetles, bees, wasps, and orangutans. We used Sentinel2 (Level2A) as the satellite. When we created an optimal model using stepAIC, we found a high correlation between the actual and predicted values for tree and dung beetle data and the rove beetle abundance, and we mapped the predicted values. It was possible to map a portion of the biodiversity related to tropical forests over a wide area using estimates from a small amount of ground data.

研究分野：昆虫生態学

キーワード：ボルネオ島 東カリマンタン州 リモートセンシング GIS 生物多様性 ハチ類 糞虫 熱帯低地林

1. 研究開始当初の背景

(1) 熱帯林は様々な生態系サービスを提供しているが、その評価が行われる前に、消失・荒廃してきた。そのため、生物多様性条約では、熱帯林の生物多様性保全が重要視されている。しかし、生物多様性を評価する際、現地での調査をとおした地上データだけでは、その対象地域が広大なため全域を網羅するような情報を得ることは事実上不可能である。よって、地上データだけに頼ることなく、熱帯林の生物多様性の評価を広域で行う方法の開発が求められている。

(2) 地表の状況を観測するための衛星、すなわち地球観測衛星は、いくつかの波長域（観測バンド）に対応するセンサーをもつ。そして、各バンドの反射率から様々な変数を計算し、その指標値を画像化することができる。これまで、衛星画像を用いて熱帯林の消失・荒廃そのものを広域で推定した研究はある。しかし、衛星画像と熱帯域の樹木・昆虫・動物を一体的に評価することを試みた研究例はない。

2. 研究の目的

(1) 生物多様性に関する地上データを目的変数、衛星画像データを説明変数とし、そこから最適な予測数式モデルを開発することで、実際に調査していない場所であっても衛星画像データから多様性の予測値を算出し、地図化することは可能と考えられる。実際に先行研究で、インドネシア共和国東カリマンタン州バリクパパン市北方 20km² の地域を対象にした調査で、昆虫の多様性を地図化できることを確認している。

(2) 本研究では、より広域な地域、すなわち東カリマンタン州全域を対象に調査を行い、地図化を試みる。できあがった生物多様性地図は、保護林の設定等、東カリマンタン州の生物多様性保全に向けた施策に貢献する。東カリマンタン州は新首都移転先としての整備が現在進行中で、地域の生物多様性への保全やその配慮について国内外から注目されていることを追記しておく。

3. 研究の方法

調査地：東カリマンタン州北部のカランガン地域、サンガタ市、および南部のバリクパパン市周辺低地に調査地を設定した。現地の代表的なランドスケープとして、健全な天然林（健全林：NF）9カ所、二次林（SF）8箇所、ゴム園（RP）10カ所、油ヤシ（オイルパーム）園（OP）10カ所、草地（GL）8カ所の計45カ所を調査地とした。各調査地は1km以上離れていた。

調査期間：2022年10～12月と2023年11月。

調査方法：先行研究で、簡易で安価な生物多様性調査のプロトコルを開発し、現地教員だけで実施可能であることを確認した。本研究では現地教員に以下のデータ取得を依頼した。

1) 樹木データ：各調査地において、樹高測定器バーテックスを用いて半径11.3m円(0.04ha)のプロットを作成した。プロット内の胸高直径（DBH）が10cm以上の全樹木（ヤシ科を含む）の周囲長の測定、幹断面積合計（BA）の算出と樹種を記録した。また、最大樹高を測定した。

2) 糞虫（コガネムシ上科食糞群）および他の地表徘徊性甲虫データ：捕獲には魚肉30gを誘引餌（ベイト）とした落とし穴（ピットフォール）トラップを用いた。保存液にはプロピレングリコールを用いた。トラップは樹木プロットの中心に1基、5日間設置した。

3) ハチ目データ：黄色のプラスチック製小型コーンをひっくり返したものに、ベイトと保存液を兼ねたバチミツとプロピレングリコールの混合液を注いだ吊り下げトラップを用いた。樹木プロットの中心から半径10mの円周上の4または8カ所に等間隔に設置し、5日間捕獲した。

4) オランウータンの生息データ：聞き取り調査と営巣跡調査を行った。

5) 衛星画像データ：2023年1月1日から12月31日までに撮影された Sentinel2 画像(Level2A)のうち、雲量60%以下のものの中央値を使ったモザイク画像を GoogleEarthEngine 上で生成したものを衛星画像データとして用いた。12の観測バンドそれぞれの反射率とその自然対数値、反射率を主成分分析（PCA）したときの第1～4軸値、反射率の一部から算出される正規化植生指数（NDVI）、緑正規化植生指数（GNDVI）と短波長赤外植生指数（SWVI）を求めた。また、画像データは最小単位が10m角（グリッド）であることから、両辺の両側を10mずつ（30×30m, 50×...）延長し、170m角まで拡張したときの各平均値をそれぞれの数値について算出した。これら全ての数値を衛星画像データから得られる指数として用いた。

6) 最適モデルの作成と地図化：地上データを目的変数、衛星画像データ指数を説明変数とした一般化線形最適モデル（GLM）を各グリッドサイズについて作成し、さらにその中からより最適なモデルを stepAIC を用いて選定した。次に、最適モデルのうち実測値と予測値の相関が強い関係を選出し、地域全体の予測値を算出して、地図化を行った。

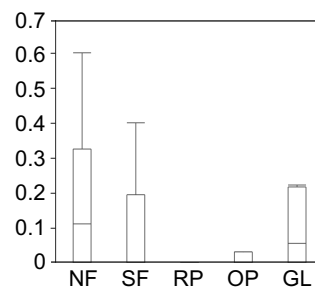


図1. ミツバチ科真社会性グループのトラップあたりの種数

4. 研究成果

- 1) 樹木データ：樹木の種数と最大樹高は $NF > SF > RP > OP$ 、樹木密度は $RP > SF > NF > OP$ の順であった。平均 DBH と BA は $OP > NF > SF = RP$ 、最大 DBH は $NF = OP > SF = RP$ であった。以上のことから樹木の多様性が高いのは健全林、二次林、ゴム園、油ヤシ園、草地の順であるが、油ヤシ園は樹木サイズが大きく、樹高と樹木密度以外、健全林に匹敵するかそれ以上であることが判明した。
- 2) 糞虫および他の地表徘徊性甲虫データ：糞虫の種数は $NF > SF > RP > OP > GL$ 、捕獲数は $NF = SF > RP = OP = GL$ で、樹木と同様に多様性が高いのは健全林、二次林、ゴム園、油ヤシ園、草地の順であった。他の地表徘徊性甲虫のほとんど（78%）はハネカクシ科で、その捕獲数は $RP = GL > SF = OP > NF$ で、糞虫とは逆に健全林でもっとも少なく、ゴム園や草地で多かった。
- 3) ハチ目データ：捕獲されたのはほとんど（82%）がミツバチ科で、そのうちの真社会性のグループ（ハリナシバチ族とミツバチ族）は種数と捕獲数ともに $NF = SF = GL > RP = OP$ で、花の少ないプランテーション（ゴム園と油ヤシ園）で少なく、それ以外の在来の環境に多かった（図1）。
- 4) オランウータン生息データ：生息が確認できたのは健全林のみであった。
- 5) 最適モデル：植生カテゴリー、ハチ目データ、オランウータン生息データについてはモデルの当てはまりが悪かった。樹木データ、糞虫データとハネカクシ科の捕獲数については、比較的当てはまりのよい最適モデルが得られた（図2）。
- 6) 予測値の地図化：樹木種数、樹木の最大樹高および糞虫の種数について、予測値の地図化を行った（図3）。糞虫は熱帯地域の森林環境指標種として広く知られている。本研究においても、樹木と糞虫の多様性は一致する傾向がみられた。予測地図は、森林に関する生物多様性の一部を地上データがなくても広域で示すことが可能であることを示した。本研究の結果は、広域で熱帯低地の生物多様性の把握が可能であることを示しただけなく、保護林等の設定といった施策にも貢献すると考えられる。

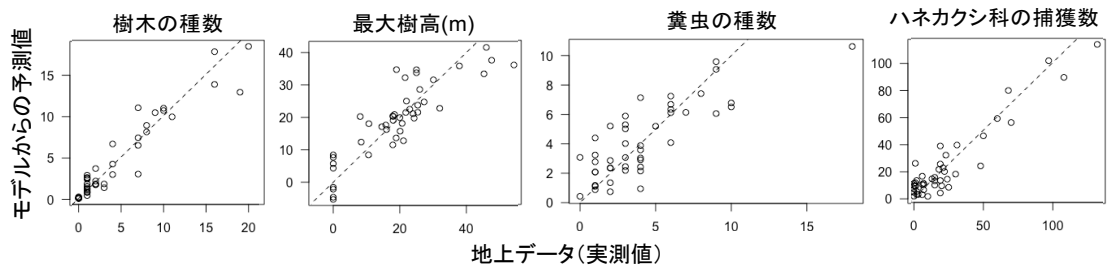


図2. 予測値と実測値の関係

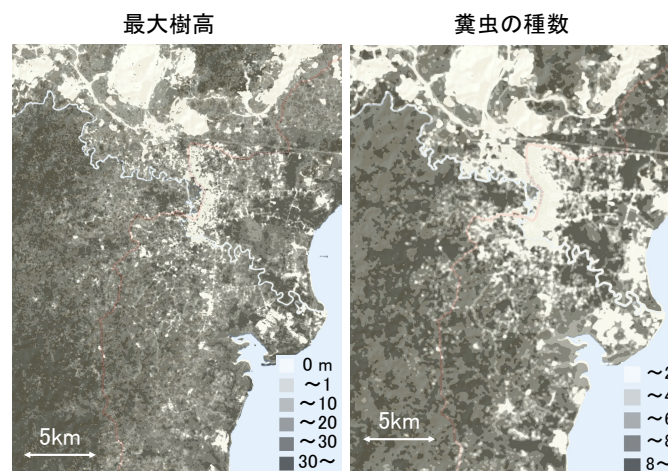


図3. サンガタ市周辺の最大樹高と糞虫種数推定値の地図

白色の部分は、主に石炭露天掘り地とその跡地、道路、川等の水域および市街地。各画像左側の濃色部の多くは、国立公園内の保護区域。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Akira Ueda, Dhian Dwibadra, Sih Kahono, Sugiarto, Teruo Ochi, and Masahiro Kon	4. 巻 21 (2)
2. 論文標題 Atlas of dung beetles collected in the Sungai Wain Protection Forest and its surroundings in the lowlands of Borneo	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 森林総合研究所研究報告	6. 最初と最後の頁 165-192
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20756/ffpri.21.2_161	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 該当する

1. 著者名 上田 明良・滝 久智・榎原 寛	4. 巻 970
2. 論文標題 新種の宝库、東カリマンタン低地林	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 森林技術	6. 最初と最後の頁 26-30
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 ATSUSHI SAKAI, ARBAIN, SUGIARTO, KUSUMA RAHMAWATI, EDI MIRMANTO, MASAYOSHI TAKAHASHI, AKIRA UEDA	4. 巻 23
2. 論文標題 Composition and diversity of tree species after fire disturbance in a lowland tropical forest in East Kalimantan, Indonesia	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 BIODIVERSITAS	6. 最初と最後の頁 1576-1587
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.13057/biodiv/d230348	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 該当する

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 上田明良・伊東宏樹・Dhian Dwibadra・Sih Kahono・Titis Hutama Syah・高橋正義
2. 発表標題 衛星画像からの指数を用いた熱帯地域の糞虫類多様性の地図化
3. 学会等名 日本昆虫学会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 藤間剛・上田明良・高橋正義・酒井敦・滝久智・澤田佳美・山中聡
2. 発表標題 インドネシア東カリマンタン州の森林開発圧の変遷：炭素蓄積と生物多様性への影響
3. 学会等名 日本熱帯生態学会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>研究内容紹介ウェブページ：</p> <p>衛星画像から熱帯雨林の生物多様性を推定するモデルの構築 https://www.ffpri.affrc.go.jp/ipo/jointresearch/suiteimodel/index.html</p> <p>衛星画像から広大な熱帯林の生物多様性を推定するモデルの開発と多様性情報の地図化 https://www.ffpri.affrc.go.jp/ipo/jointresearch/tayoseimep/index.html</p> <p>Developing a Model to Estimate Biodiversity http://www.ffpri.affrc.go.jp/en/ipo/collaborativeresearch/estimatebiodiversitysatellite/index.html</p> <p>Estimating and mapping biodiversity in tropics http://www.ffpri.affrc.go.jp/en/ipo/collaborativeresearch/satelliteimages/index.html</p>

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	山中 聡 (Yamanaka Satoshi) (10804966)	国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等 (82105)	
研究分担者	高橋 正義 (Takahashi Masayoshi) (50353751)	国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等 (82105)	
研究分担者	酒井 敦 (Sakai Atsushi) (70353696)	国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等 (82105)	

6. 研究組織（つづき）

	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	前藤 薫 (Maeto Kaoru) (80346238)	神戸大学・農学研究科・名誉教授 (14501)	

	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
研究協力者	伊東 宏樹 (Ito Hiroki)		
連携研究者	藤間 剛 (Toma Takeshi) (60414489)	国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・研究専門員 (82105)	

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		
インドネシア	東クタイ農科大学		