

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 5 月 31 日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2014～2017

課題番号：26304028

研究課題名(和文)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

研究課題名(英文) Study to develop a model estimating biodiversity in tropical rain forests from satellite images

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・主任研究員 等

研究者番号：90353599

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,300,000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バリクパパン市北部の火事の程度が異なる天然林に調査地を設定し、樹木植生と昆虫類の捕獲データを蓄積した。そのデータと衛星画像から得られる近赤外等の波長域の反射率やいくつかの反射率から計算される指数の相関関係を解析し、その関係を数式モデルにすることで、樹木では最大の高さや太さおよび先駆樹種の割合が、糞虫類と寄生蜂のコマユバチ科では種数が衛星画像から推定できると考えられた。これにより、REDD+における生物多様性保全のモニタリング手法として、衛星画像から熱帯林の荒廃程度や生物多様性を推定するモデルの開発への糸口をつかむことができた。

研究成果の概要(英文)：We set plots and collected the diversity data of trees and insects in natural forests with various fire levels in north of Balikpapan, East Kalimantan, Indonesia. From the analysis of relationships between the diversity data and reflection rates of wavelength regions derived from the satellite images or indices calculated from the several reflection rates, we made the models estimating the maximum height and thickness of trees, the rate of pioneer tree species, and the species richness of dung beetles and braconid wasps from the satellite images. These results make expect to develop a method to monitor the conservation of biodiversity in tropical forests in the REDD+ operation with using satellite images.

研究分野：森林昆虫学

キーワード：REDDプラス リモートセンシング 生物多様性 インドネシア ボルネオ島 樹木植生 糞虫 寄生蜂

## 1. 研究開始当初の背景

(1) REDD は、森林減少と劣化の抑制によって温室効果ガス排出を削減する施策であり、2007 年の COP13 で正式に採択された。2009 年の COP15 では REDD をさらに発展させた REDD プラスが重要課題のひとつとなり、現在まで様々な議論が交わされ、ブラッシュアップされてきている。REDD プラスの活動は、1) 森林減少からの排出の削減、2) 森林劣化からの排出の削減、3) 森林炭素蓄積の保全、4) 持続可能な森林経営、5) 森林炭素蓄積の強化、からなり、経済的な利益を国際社会が提供するによって、森林破壊と温暖化を防止する施策といえる。この施策を行うにあたり、なおざりにされてはならない重要な措置、すなわちセーフガードとして、地域住民の生計の保障と伝統文化の維持、および生物多様性の保全があげられている。

(2) REDD プラス関連のプロジェクトは、すでにいくつか実施されているが、生物多様性への配慮が手薄な印象のものもある。その要因に、多様性の評価基準の曖昧さがある。これには、プロジェクトの実施により具体的にどれだけ多様性が保全されたかを評価する手法の開発が必要である。なかでも森林の消失・荒廃によって島状に点在している健全な熱帯降雨林に生息する生物の多様性保全のための評価手法の開発は火急の問題である。

## 2. 研究の目的

(1) 森林減少については、温暖化問題との関連で研究が行われ、衛星画像を用いることでその実体が広域で把握されるようになってきた。一方、熱帯降雨林内の生物多様性について調査した研究例も多くある。しかし、衛星画像と熱帯林内の生物多様性の関係を解析した研究はない。この関係を解析し、数式モデル化することで、多大な費用と時間を費やす熱帯林内での生物多様性調査を行わなくても、衛星画像から多様性を推定することが可能になれば、広域かつ安価な生物多様性の評価が可能となる。そこで、本研究では、そのモデルケースとして、衛星画像を用いて生物多様性の評価を行うための数式モデルの構築をインドネシア共和国東カリマンタン州の低地林での調査をとおして行う。

(2) 東カリマンタン低地の大面積熱帯林周辺の植生をみると、樹木をほとんど残さないほど草原化したところ、樹木は生育しているが荒廃の程度が甚だしく先駆樹種のみが生育するところなどがある一方、火災を免れた小面積の健全林 (remnant) もあり、攪乱程度の異なる植生のパッチが様々なサイズで散在している。そこで、本研究では、調査地域を東カリマンタン州バリクパパン市北部にあるスンガイワイン保護林を中心とした大面積の健全な熱帯林とその周辺の火災を受けた森林とし、植物(樹木)に昆虫 2 分類群(糞

虫と寄生蜂)を加えた 3 つの分類群について、複数の調査地での多様性実測データを集積する。次に、得られた多様性実測データと衛星画像から読み出したデータとの相関関係を解析する。そして、相関関係に一般化線形モデル (Generalized liner model: GLM) を適用し、分類群ごとに衛星画像データを説明変数とする多様性推定式 (数式モデル) を求める。

## 3. 研究の方法

### (1) 樹木の多様性データ

各調査地において、デジタル樹高測定器の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。プロット内の生立木のうち、高さ約 1.2m の太さ (胸高直径 (DBH)) が 10cm 以上の樹木全ての胸高直径を測定し、樹種を記録した。また、プロット内で最も高い樹木の高さ (樹高) をバーテックスで測定した。

### (2) 糞虫の多様性データ

糞虫 (コガネムシ上科食糞群) の捕獲には魚肉または人糞を誘引餌 (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。トラップには 720ml のプラスチックカップを用い、殺虫・保存液としてプロピレングリコールを水で 2 倍希薄した液体を 100ml 注いだ。魚肉は 30g、人糞は 10g とし、各トラップから臭いを拡散させた。各トラップはプラスチック皿を用いた屋根で覆い、雨水の混入を防いだ。各調査地に魚肉を用いたトラップと人糞を用いたトラップを 5 個ずつ使い、90m 長のライン上に 10m 間隔で魚肉と人糞が交互になるように設置した。設置後 5 日目に捕獲された昆虫を回収して持ち帰り、プラスチックケースに入れた脱脂綿の上に並べた。その後、実体顕微鏡を用いて種同定を行った。

### (3) 寄生蜂の多様性データ

捕獲には、歩行しながら周辺の下層植生を捕虫網で横から繰り返しあおり、網に捕獲された昆虫を回収する方法 (すくい取り法・スウィーピング法) を用いた。各調査地において 30 回振りを 1 単位とし、これを 12 回繰り返した。捕獲した昆虫は吸虫管を用いて網から集め、これを 70% エタノール入りの瓶に移した。その後、標本にして、実体顕微鏡を用いて種同定を行った。

### (4) 昆虫標本の保存

捕獲した昆虫の標本は全てインドネシア科学院動物学博物館 (Zoological Museum, Center for Biology, Indonesian Institute of Science) に保管してある。ただし、調査時に種同定が困難であったものについては、必要な持ち出し許可を受けたのち、日本に持ち帰った。持ち帰った昆虫標本は種同定後、あるいは新種記載後に、全て同博物館に戻した。

(5)衛星画像データの解析と多様性データとの相関関係の解析

衛星画像については、調査地周辺を含み、雲がない画像を探索した。解析には2014年2月23日に衛星Landsat8が撮影した画像を用いた。しかし、Landsat8のデータは最小単位が30m角であり、より細かな範囲に対応していると考えられた昆虫類については、最小単位が10m角であるSpot5の2005年6月19日撮影画像を用いた。Landsat8のセンサーは深青から短波長赤外に7つのバンド（波長域）に対応していて、各バンドの反射率を求めた。Spot5では緑から短波長赤外の4つのバンドの反射率を求めた。また、各バンドの反射率を総合して算出される指数（インデックス）として、NDVI（正規化植生指数）、GNDVI（可視緑を用いた正規化植生指数）、タッセルドキャップ変換（Tasseled Cap Transformation: TC）の第1軸値（明るさ(Brightness)に対応）、第2軸値（緑葉の多さ(Greenness)に対応）、第3軸値（湿潤度(Wetness)に対応）を求めた。求めた反射率・指数と多様性データの相関関係を解析し、これに一般化線形モデルを適用し、反射率・指数を説明変数とする多様性推定式を求めた。

4. 研究成果

(1) 樹木の多様性データと衛星画像の関係

プロット内の樹木種数と衛星画像の関係で最も明確な相関関係がみられたのは90m角のLandsat8のバンド4（630-680nm: 赤）の反射率であった。しかし、ばらつきが大きく、一般化線形モデルで導かれた数式のあてはまりの程度が低く、衛星画像から樹木種数を推定するのは困難であった。

森林の質、すなわち劣化の程度の指標として、樹木の高さ・太さや、劣化した森林に多い先駆樹種の多さを検討したところ、最大樹高と210m角のTC1軸値（明るさ）と明確な相関関係がみられた。また、最大胸高直径（太さ）と90m角のLandsat8のバンド3（525-600nm: 緑）の反射率と明確な相関関係がみられた。そのうえ、*Macaranga* 属を代表とする火事後の劣化林に多い先駆樹種の胸高断面面積の合計値は90m角のバンド7（2100-2300nm 短波長赤外）の反射率と明確な相関がみられた（図1）。樹木のサイズや先駆樹種の多さは、森林の成熟度の指標となることから、衛星画像から森林の成熟度を推定することが可能と考えられた。

(2) 糞虫の多様性データと衛星画像の関係

糞虫の種数と衛星画像の関係で最も明確な相関関係がみられたのは170m角のSpot5のTC1軸値（明るさ）であった。TC1軸値が高くなる、すなわち、森林が薄くなるにつれ種数が減少する傾向がみられた。ただし、樹木種数ほどではないがばらつきが大きく、一般化線形モデルで導かれた数式のあてはま

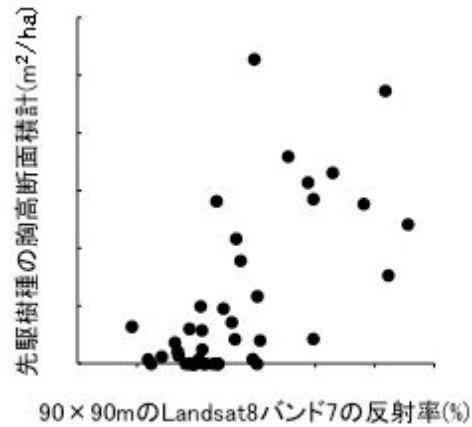


図1 衛星画像データと先駆樹種の胸高断面面積の関係

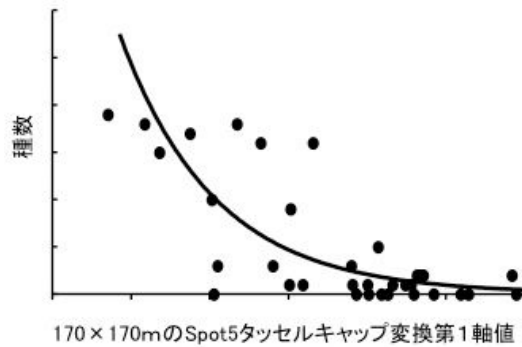


図2 衛星画像データと糞虫の天然林指標種数の関係

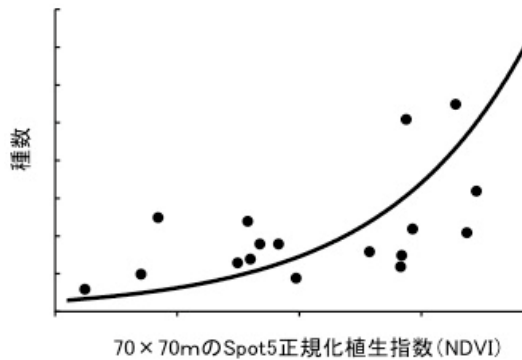


図3 衛星画像データとコマユバチ科の種数の関係

りの程度がやや低かった。ボルネオ島固有、あるいはスダラント（マレー半島、スマトラ島、ジャワ島、ボルネオ島）固有種が多い、森林性の種の種数については、170m角のSpot5のTC1軸値（明るさ）と明確な相関がみられ（図2）、一般化線形モデルで導かれた数式のあてはまりの程度も高かった。これらのことから、開発した数式モデルを用いて、衛星画像から糞虫の多様性（種数）、特に森林性種の多様性を推定することが可能と考えられた。

(3) 寄生蜂の多様性データと衛星画像の関係

寄生蜂のうち、捕獲数が多く、かつ種同定が可能であったのはコマユバチ科だけであ

った。コマユバチ科の種数と衛星画像の関係で最も明確な相関関係がみられたのは 70m 角の Spot5 の正規化植生指数 (NDVI) であった (図 3)。コマユバチ科の種数は、正規化植生指数が高いほど、すなわちより成熟した森林になるほど明確に増加した。一般化線型モデルで導かれた数式のあてはまりの程度も高かった。このことから、開発した数式モデルを用いて、衛星画像からコマユバチ科の多様性 (種数) を推定することが可能と考えられた。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

##### [雑誌論文] (計 6 件)

Ueda A, Dwibadra D, Noerdjito WA, Sugiarto, Kon M, Ochi T, Takahashi M, Fukuyama K, List of dung beetles (Coleoptera : Coprophagous group of Scarabaeoidea) collected in lowland near Balikpapan, East Kalimantan, Indonesia, 森林総合研究所研究報告、査読有、16 巻、2017、109-119

上田 明良, Noerdjito WA, Dwibadra D, Sugiarto, 熱帯草原の森林化が糞虫群集に与える影響、昆虫と自然、査読無、51 巻 5 号、2016、16-20

Ueda A, Dwibadra D, Noerdjito WA, Sugiarto, Kon M, Ochi T, Takahashi M, Igarashi T, Fukuyama K, Effects of distance from devastated forests and topography on dung beetle assemblages in burned forests of East Kalimantan, Indonesia, 森林総合研究所研究報告、査読有、14 巻、2015、135-144

Ueda A, Dwibadra D, Noerdjito WA, Sugiarto, Kon M, Ochi T, Takahashi M, Igarashi T, Fukuyama K, Buffer zones for placing baited traps in grasslands bordering forests and availability of riparian reserves of trees in grasslands: A preliminary study for dung beetle assemblages in East Kalimantan, Indonesia, 森林総合研究所研究報告、査読有、14 巻、2015、125-134

Ueda A, Dwibadra D, Noerdjito WA, Sugiarto, Kon M, Ochi T, Takahashi M, Fukuyama K, Effect of habitat transformation from grassland to *Acacia mangium* plantation on dung beetle assemblage in East Kalimantan, Indonesia, Journal of Insect Conservation, 査読有、19 巻、2015、765-780

Ueda A, Dwibadra D, Noerdjito WA, Kon M, Fukuyama K, Comparison of baits and types of pitfall traps for capturing dung and carrion scarabaeoid beetles in East Kalimantan, 森林

総合研究所研究報告、査読有、14 巻、2015、15-28、2015

##### [学会発表] (計 2 件)

Takahashi M, Ueda A, Sakai A, Taki H, Igarashi T, Maeto K, Kahono S, Sugiarto, A modeling approach for tropical forest biodiversity using satellite image in East Kalimantan, Indonesia, The International Symposium on Sustainable Forest Ecosystem Management, 2017 年

酒井 敦, 高橋 正義, 上田 明良, Mimant E, Sugiarto, 東カリマンタン・スンガイワイン保護林における攪乱に伴う樹種構成の変化、日本森林学会第 128 回大会、2017 年

##### [図書] (計 0 件)

##### [産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

#### 6. 研究組織

##### (1) 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・主任研究員 等  
研究者番号：90353599

##### (2) 研究分担者

前藤 薫 (MAETO, Kaoru)

神戸大学連合大学院農学研究科・教授  
研究者番号：80346238

酒井 敦 (SAKAI, Atsushi)

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  
研究者番号：70353696

高橋 正義 (TAKAHASHI, Masayoshi)

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  
研究者番号：50353751

滝 久智 (TAKI, Hisatomo)

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  
研究者番号：80598730