

論文の内容の要旨

農学国際専攻

平成 13 年度 博士課程 入学

氏 名 Mulyanto Darmawan

(ムリヤント ダルマワン)

指導教員 露木 聡

論文題目

Study on Forest Degradation Dynamics of Borneo Tropical Rain Forest
based on Historical Land Cover Change Analysis using Remote Sensing

(リモートセンシングによる土地被覆変化解析に基づく

ボルネオ熱帯雨林の森林劣化ダイナミクスに関する研究)

ボルネオ島の熱帯雨林は、長年にわたって木材伐採や入植地だけでなく農地および植林地の拡大の対象地であった。土地の開墾が行われてきたにもかかわらず、ボルネオ島における森林劣化や土地被覆図の作成についての研究は、空間的・時間的両面において不足している。リモートセンシング技術はこのような森林地域をモニタリングするにあたって有効なツールである。しかし、リモートセンシングデータは、熱帯雨林地域においては特に、分光反射特性の多様性や熱帯雨林特有の複雑な複層構造のために解析には困難を伴い、さらには曇りがちな天候条件がリモートセンシング技術の適用を難しくしている。そこで本研究では、歴史的な土地被覆変化解析、分断化解析およびフェノロジー解析を多時期リモートセンシングデータを用いて行い、経年的な森林劣化およびボルネオ島熱帯降雨林の土地被覆図作成について検討した。

これまでの林業では単に、森林伐採を森林の転用、森林劣化を森林内での変化と定義してきた。しかし、森林劣化はさらに複雑で議論の余地の多い概念であるため、数多くの現地調査を行わずにリモートセンシングデータのみで森林劣化に関する物理量や指標を導き出すことは難しい。多くの熱帯降雨林研究者は、森林劣化を森林減少と類似のものと考えてきたが、このような定義を使用すると、多くの森林施業やそれを実行する事業者は大面積にわたる森林劣化を引き起こすことになる。本研究においては、森林劣化を FAO の定義に従い「森林または土地の機能構

造に負の影響を与え、その結果生産物やサービス供給能力を低下させるような、森林内における変化」と定義し、リモートセンシング的手法により判読を行った。

本研究は 7 章から成り立っている。第 1 章では、背景、研究の目的、既存研究のレビューおよび本研究の流れについて述べた。本研究の目的は、リモートセンシング技術を用いてボルネオ島における森林劣化の経年的な動態を把握し、植生図の作成を行うことである。すなわち、(1)多時期リモートセンシングデータを用いて森林伐採や植生回復のモニタリングを行う手法を明らかにすること、(2)森林伐採活動に関連する土地被覆変化プロセスの中から植生活動を識別すること、(3)ボルネオ島のインドネシアおよびマレーシアにおける土地転用の特徴を明らかにするために歴史的な土地被覆変化モデルを開発すること、(4)歴史的な土地被覆変化に基づき、経年的な森林劣化ダイナミクスを明らかにすること、そして(5)ボルネオ島植生図作成および森林劣化の評価にあたって、フェノロジー解析の有効性を明らかにすること、である。

第 2 章では、各研究対象地の概要および森林伐採の歴史について述べた。ボルネオ島全体の森林劣化のパターンを明らかにするために、インドネシア・中カリマンタン州における 100 万 ha 水田開発計画 (MRP) サイト、マレーシア・サバ州のキナバルおよびダルマコット地域を精査地域として選定した。これら 3 地域はボルネオ島を南北に縦断する、山岳地域(キナバル)から低地(ダルマコット)と泥炭湿地林(中カリマンタン)を代表する地域であり、また 2 つの政治的に異なった熱帯降雨林管理地域でもある。

第 3 章および第 4 章では、歴史的森林被覆変化 (HLCC) モデルに基づいた 2 地域における森林劣化モデルについて論じた。一つはインドネシア・中カリマンタン州 MRP 地域の 4 地区 (A ~ D 地区) であり、もう一つはマレーシア・サバ州のキナバルおよびダルマコット地域である。多時期リモートセンシングデータを利用した 7 種類の変化抽出手法を、森林伐採と HLCC モデルの開発において比較した。森林の変化を最も精度よく抽出するための閾値を、標準偏差値を基準として 0.25 刻み、最大 2 の範囲で探索した。最も精度の高かった結果が、中カリマンタン州 (第 3 章) とサバ州 (第 4 章) において最尤法を利用した HCLL モデルの開発に用いられた。

変化の有無の区分を行う変化抽出を行う上で、差分正規化植生指数 (NDVI) 法、主成分分析法 (PCA) の第 2、第 3 主成分、タッセルドキャップ分析のブライトネス、グリーンネスの差分法、および分類画像比較法が、平均から標準偏差の 0.5 から 0.75 の範囲で効果のあることがわかり、その精度は、1985 年から 1993 年の変化については全体精度 63% から 78%、Kappa 係数 51% から 69%、1993 年から 2000 年の変化については全体精度 64% から 81%、Kappa 係数 56% から 80% であった。これらのうち、タッセルドキャップ画像により作成された HLCC モデル

が最も高い精度を示し、全体精度 93.13%、Kappa 係数 94.84%であった。

本研究の重要かつ独創的な点は、森林の転用および劣化、そして progressive および re-progressive な植生活動を検証するために、インドネシア(第 3 章)およびマレーシア(第 4 章)において HLCC モデルを開発したところにある。両章における解析によって以下のことが明らかになった。1985 年から 2000 年までの 15 年間に MRP 地域の A、B、C 各地区においてそれぞれ 81%、57%、83%の森林伐採が行われた。これらの森林伐採地のうち農地として利用されたのは 44%に過ぎない。キナバル地域では、1973 年から 2002 年の 29 年間に 57%の森林が伐採された。この伐採地域のうちの多く(65 %)が高地農業地として利用されており、残りは伐採後の二次林となっている。ダルマコット地域では、1985 年から 2002 年の 17 年間に 56%の低地林が伐採され、このうち 60%がオイルパーム林への転換であった。また、MRP 地域では A、B 両地区の森林劣化面積が 1985 年から 2000 年までの間に 2 倍以上となったが、C 地区においては同期間において森林劣化は比較的一定であったことがわかった。森林伐採および森林劣化のレベルはどちらも A 地区において高い。ダルマコット地域とキナバル地域では、森林伐採および森林劣化レベルは前者において高いことがわかったが、1991 年以前では後者におけるレベルが高かった。

歴史的な土地被覆変化の中で伐採後の残存森林面積を推定するだけでは、その森林における生態系あるいは生物多様性に対する森林伐採の影響を完全に明らかにすることはできない。そこで第 5 章では、伐採後の森林の地理的形狀を把握するために森林分断化解析を行い、その結果を HLCC モデルに適用し、森林劣化の評価を行った。分断化パラメータ(interior、patch、perforated および edge)と残存森林との関係を用いて森林劣化を評価した結果、森林が interior の性質を持っている場合、その森林の劣化に対する危険性は低い、patch、perforated または edge の性質を持っている場合は、劣化の危険性が中から大あることがわかった。

リージョナルレベルで森林劣化を把握する場合に土地被覆は重要な情報であることから、第 6 章では、分断化解析とフェノロジー解析を併用してローカルレベルの森林劣化動態および植生図作成をボルネオ島全体にスケールアップし、ボルネオ島全体の土地被覆図作成とその評価を行った。そのためにまず、GIS を利用して画像判読を行い土地被覆のベースマップを作成し、次に多時期 SPOT Vegetation (SPOT-VG) NDVI データを用いた解析を行った。

ボルネオ島全体の森林劣化解析では、画像判読によると 51%の森林がすでに劣化または劣化しつつあり、健全な熱帯降雨林と考えられる森林は 40%に過ぎなかった。51%の劣化森林のう

ち、伐採後の 2 次林が 30%、造林地および灌木が 10%、農地への転換が 11%であった。SPOT-VG NDVI データを用いたフェノロジー解析によりボルネオ島全体の土地被覆現況図を作成することができ、森林非森林の分類精度は、全体精度が 75%以上、Kappa 係数がおよそ 65%であった。分断化とフェノロジーを組み合わせた解析では、およそ 46%の森林が森林劣化の危機に瀕しており、原生林またはこれに近い天然林は 53%と推定された。53%の原生林や天然林のうち、interior の性質を持つ森林は 24%に過ぎず、この森林が長期間にわたるボルネオ島における土地利用転換の歴史の中でも攪乱がなかった森林を表していると考えられる。46%の劣化森林のうち、約 27%が造林地への転換、約 20%が農地への転用が原因と推測することができた。多時期 SPOT-VG データを利用して作成したこの土地被覆図は、本研究結果により得ることのできた独自の成果であり、今後の応用研究にとって有用な情報となるであろう。

第 7 章では本研究の成果をとりまとめ、考察を行った。本研究により、ボルネオ島における森林劣化は山岳林(キナバル)、低地林(ダルマコット)および泥炭湿地林(中カリマンタン)の全ての森林のタイプにおいて発生しており、その面積はボルネオ島に存在する熱帯降雨林の 50%近くに及んでいることが明らかになった。さらに、植生の成長特性の違いに基づき植生タイプの区分を行うことが可能となるため、多時期 SPOT Vegetation データを用いたフェノロジー解析による土地被覆図作成が、地域レベルにおける植生変化や劣化特性の評価に非常に有効な手段であることを明らかにした。