

学 位 論 文 題 名

Study on evaluation of land cover change caused by
human activities in the tropical peat swamp forest area
by satellite images

(人工衛星データによる熱帯泥炭林における土地改変の評価に関する研究)

学位論文内容の要旨

インドネシアの中央カリマンタンの低平地には、熱帯特有の泥炭湿地林が広く分布しており、地球上のカーボンシンクとして重要な位置を占めている。しかし、その一部は乱開発（メガライズプロジェクトや不法伐採）及びエルニーニョ現象に伴う乾燥化が拍車をかけた大規模森林火災によって、二酸化炭素として大気中に放散されており、森林火災による地球規模の環境への影響も懸念されている。したがって、熱帯泥炭林における森林火災の影響を受けた植生の動態を解明することが重要な課題となっており、高精度で迅速に実施できる土地被覆変化の評価手法が望まれている。人工衛星リモートセンシング技術は、そのための有力な手法であり、火災によって失われた森林部の植生のモニタリングや土地改変を把握するための効率的な手法の開発とそれによる評価が重要になっている。

中央カリマンタンにおいて 1997 年に発生した泥炭林の火災は過去に例をみない規模で拡大した大森林火災となり、さらに 2002 年にも大規模な火災が発生し、現地の被害だけではなく地球環境へも大きな影響を及ぼした。本研究ではこの 2 回の大火災に着目し、①火災による土地改変の実態を把握し、焼失域の特定（面積推定）を行い、②火災後の植生回復状況を明らかにするために、現地調査の実施と共に 3 種類の人工衛星データ（LANDSAT, SPOT, MODIS）を利用して従来の手法の改良や新規の手法開発を行うこと、更にそれらによって作成された画像の解釈を目的にした解析を行った。

1. 泥炭林における LANDSAT データを用いた土地被覆状況の変化検出

研究対象地域は、インドネシア中央カリマンタンのパランカラヤ付近(2.13~2.74°S, 113.62~114.31°E)に設定した。使用した衛星データは 5 シーンの LANDSAT TM/ETM+ データ（1996 年 5 月 10 日、2000 年 7 月 16 日、2003 年 1 月 14 日を主として使用）であり、1997 年と 2002 年に発生した大規模森林火災の前後に当たる。これら衛星データを幾何補正するために、森林分布の GIS データと現地で取得した GPS による位置情報を使用した。

現地調査の結果に基づき、最尤法を用いて 8 個の土地被覆クラス（市街地、農地、乾性草地、湿性草地、低木草地、開放林、閉鎖林、水域）に分類した。主要な解析法は、LANDSAT 画像による変化抽出のための PCC（Post Classification Comparison）法である。この解析の結果から研究対象地域の熱帯林（開放林と閉鎖林クラス）は、1996 年の 416,000ha から 2000 年の 292,000ha に減少し、さらに 2000 年から 2002 年までは 166,000ha が変化し、全ての土

地被覆クラスの中で最も大きな変化を示した。以上のように PCC 法を中央カリマンタンの土地被覆変化に適用した結果、土地被覆情報の更新手段としての有用性が確かめられた。

次に、火災前後の複数シーンをを用いた主成分分析 (PCA) を適用して火災被災地の検出を行った。通常は 1 シーンのみに適用される PCA 法を複数シーンで用いることによる熱帯森林火災検出の適用可能性を検討した。まず、最適な主成分を決定するために、使用する LANDSAT 画像のバンド数を変化させ、火災による被覆状況の変化検出の精度 (κ 係数) を比較することによって使用するバンドを決定した。1997 年と 2002 年の両年とも火災前後の 2 シーンの LANDSAT のバンド 1, 4, 5, 7 を使用して PCA を適用すると 0.94 (1997 年), 0.92 (2002 年) と最も高い κ 係数を示し、このバンドの組合せが火災による被災地の検出に最適であると判明した。

本手法を用いて近年のカリマンタン島で発生した 2 回の大規模な森林火災 (1997 年と 2002 年) の前後の LANDSAT 画像による分類結果を比較することによって土地被覆の変化抽出を行ったところ、森林と非森林に注目してみると、対象地域の 20% 近くの森林が 2 回の火災によって焼失したことが判明した。また、2 回の火災による被害の特徴として水路や道路のように人間活動の活発なところで火災が広がることが浮き彫りになった。

2. 衛星と地上観測による植生指数を用いた火災後の植生回復のモニタリング

種々の人工衛星データの中でも、時間分解能が高く長期間の観測ができるものは、火災後の植生回復状況をモニタリングするのに有用である。本研究ではそのようなデータとして SPOT と MODIS のデータに着目した。SPOT-Vegetation は 1km の解像度でほぼ毎日観測できるセンサーであり、大陸生物圏における連続的なモニタリングを地域レベル、地球レベルで実施できるように NDVI (正規化植生指数) のような植生被覆のパラメータとなるデータを提供している。本研究では NDVI 10-day MVC (最大値コンポジット) プロダクトを NRF (ノイズ除去フィルター) 処理により雲やノイズの影響を取り除いたデータに変換して用いた。1998 年から 2003 年までの 5 年間ににおける NDVI 値の変化 (差) に着目して火災による被害程度と比較し、これを利用することで回復状況や被災地分布の把握を行った。1998 年 4 月と 2003 年 3 月における NDVI の差の分布を LANDSAT による火災被害分布状況の結果と比較すると、NDVI の差が大きい場所は 1997 年の火災被害地に対応した。さらに、1997 年の火災時に焼失した比較的広い地域に注目すると、その中心部ほど NDVI の差が大きく、約 5 年間の植生回復が顕著であったことが判明した。このように、NRF 処理を行った年次の異なる SPOT 画像の NDVI 差によって植生回復のモニタリングが可能となる新しい知見が得られた。

一方、MODIS データも毎日の観測データが得られ、こちらは 500m の解像度で観測された画像である。本データのプロダクトである NDVI と EVI (Enhanced Vegetation Index) を用いて研究対象地域の平均値を求めて SPOT の NDVI と比較した結果、MODIS の NDVIの方が EVI よりも高い決定係数 ($r^2=0.66$) を示した。これは、EVI は植生モニタリングのために改良された植生指数であるが、熱帯泥炭地では必ずしも NDVI より良好とは言えないことを示すものである。また、MODIS の NDVI は SPOT のそれと相互に変換して使用し得ることが判明した。

地上観測による NDVI 観測結果と衛星データを火災年である 2002 年で比較したところ、両者には良い対応関係が見られ、定点観測による NDVI の有用性も確認できた。

火災前後の土地被覆に基づく PCC 解析や長期間の NDVI 変化に注目することは、熱帯泥炭林の動態を解析する上で重要である。火災の頻度と規模を特定し被災を防ぐことや火災後にあたっては植生の回復状況をモニタリングすることは、森林の持続可能な管理にとって不可欠であるため、リモートセンシングの重要性は今後とも増大すると考えられる。本研究の知見を多数得られている衛星データに適用する必要がある。

学位論文審査の要旨

主査	助教授	谷	宏
副査	教授	浦野	慎一
副査	教授	矢沢	正士
副査	教授	高橋	邦秀
副査	助教授	平野	高司

学位論文題名

Study on evaluation of land cover change caused by human activities in the tropical peat swamp forest area by satellite images

(人工衛星データによる熱帯泥炭林における土地改変の評価に関する研究)

本論文は7章からなり、図54、表13、引用文献174を含む154頁の英文論文である。他に参考論文4編が添えられている。

インドネシアの中央カリマンタンの低平地には、熱帯特有の泥炭湿地林が広く分布しているが、乱開発やエルニーニョ現象に伴う乾燥化が拍車をかけた大規模森林火災によって大量の二酸化炭素が大気中に放散され、地球環境への影響も懸念されている。本研究は、熱帯泥炭林における森林火災の影響を受けた植生の動態を解明するために人工衛星リモートセンシングの利用技術を開発・改良し、火災による土地改変の実態の把握と焼失域の特定（面積推定）を行い、火災後の植生回復状況を明らかにすることを目的としたものである。

1. 泥炭林における LANDSAT データを用いた土地被覆状況の変化検出

研究対象地域をインドネシア中央カリマンタンのパランカラヤ付近 (2.13~2.74°S, 113.62~114.31°E) に設定し、衛星データとして LANDSAT TM/ETM+による1997年と2002年に発生した大規模森林火災の前後に当たる5シーンを使用した。

現地調査の結果に基づき、最尤法を用いて8個の土地被覆クラス（市街地、農地、乾性草地、湿性草地、低木草地、開放林、閉鎖林、水域）に分類した。LANDSAT画像による変化抽出のためにPCC（Post Classification Comparison）法を用いた結果、対象地域の熱帯林（開放林と閉鎖林クラス）は、1996年の416,000haから2000年の292,000haに減少し、さらに2000年から2002年までは166,000haが変化し、全ての土地被覆クラスの中で最も大きな変化を示した。

次に、通常は1シーンのみに適用される主成分分析（PCA法）を、火災前後の複数シーンに対して用いることによる熱帯森林火災検出の適用可能性を検討した。まず、最適な主成分を決定するために、使用するLANDSAT画像のバンド数を変化させ、火災による被覆状況の変化検出の精度（ κ 係数）を比較することによって使用するバンドを決定した。その結果、1997年と2002年の両年とも火災前後の2シーンのLANDSATのバンド1, 4, 5, 7に対してPCAを適用すると、 κ 係数が0.94（1997年）、0.92（2002年）と最も高い値を示し、このバンドの組合せが火災による被災地の検出に最適であると判明した。

本手法を用いて近年のカリマンタン島で発生した2回の大規模な森林火災（1997年と2002年）の前後のLANDSAT画像を用いた分類結果を比較することによって土地被覆の変化抽出を行い、森林と非森林に注目すると、火災被害を受けやすい地域が判明でき、人間活動の活発なところで火災が広がることが浮き彫りになった。

2. 衛星と地上観測による植生指数を用いた火災後の植生回復のモニタリング

時間分解能が高く長期間の観測ができる人工衛星データとしてSPOTとMODISのデータが有用であると判断し、これらによる植生指数（NDVI, Normalized Difference Vegetation Index; EVI, Enhanced Vegetation Index）を主として用いた。SPOTによる1998年から2003年までの5年間におけるNDVI値の変化（差）に着目して火災による被害程度と比較し、これを利用することで回復状況や被災地分布の把握を行った。1998年と2003年におけるNDVIの差の分布をLANDSATによる火災被害分布状況の結果と比較すると、NDVIの差が大きい場所は1997年の火災被害地に対応した。さらに、1997年の火災時に焼失した比較的広い地域に注目すると、その中心部ほどNDVIの差が大きく、約5年間の植生回復が顕著であったことが判明した。このように、年次の異なるSPOT画像のNDVI差によって植生回復のモニタリングが可能となる新しい知見が得られた。

一方、MODISデータから得られる植生に関するプロダクトであるNDVIとEVIについて対象地域の平均値を求めてSPOTのNDVIと比較した結果、MODISのNDVIの方がEVIよりも高い決定係数（ $r^2=0.66$ ）を示した。これは、EVIは植生モニタリングのために改良された植生指数であるが、熱帯泥炭地では必ずしもNDVIより良好とは言えないことを示すものである。また、MODISとSPOTのNDVIは相互に変換して使用し得ることが判明した。さらに、地上観測によるNDVIと衛星データによるNDVIを火災年である2002年で比較したところ、両者には良い対応関係が見られ、定点観測によるNDVIの有用性も確認できた。

本研究は、大規模森林火災前後の土地被覆に基づくPCC及びPCA解析や長期間のNDVI変化に注目することによる解析方法を提案し、中央カリマンタンに適用して火災被災地の特定と火災後の回復状況を明らかにした。得られた成果は学術的に貴重なものであり、その応用のための基礎資料としても高く評価される。よって審査員一同は、Hendrik Segahが博士（農学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認めた。