

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 竹内 渉

湿原は、野鳥など多様な生物の生息域としてラムサール条約や生物多様性条約においてその環境保護の必要性がうたわれている。また、水田は、世界の総面積のおよそ 90%がアジアに分布するとされており、数十億人の食料源である米の生産場所として重要な地位を占めている。さらに湿原や水田は、地球温暖化ガスの一つであるメタンの主要な発生源としてもその重要性が指摘されはじめた。食糧の安定供給、生物多様性の保護、温暖化ガス（メタン）発生管理など様々な視点から、水田や湿原の分布とその変動に関する情報を収集することは緊急の課題であるが、湿地域は湛水状態や植生の被覆状態が短期間に変動するため、その分布や環境変動を把握することは難しく、正確な情報は極めて少ない。

世界各地に分布する水田や湿原に関する情報を収集するには、地上での数少ない測定点における観測のみでは困難であり、人工衛星等を利用したリモートセンシングによる観測が不可欠である。リモートセンシング技術の進歩は、近年目覚ましいものがあり、環境、災害等の監視、評価等多くの分野での応用が試みられているが、湿地のように広域に分布し、かつ地表面被覆状況が複雑で、その変動も早い地表面対象では、高頻度、高空間分解能、かつ広域の衛星画像処理が必要となるため、これまで、全球・大陸規模での分布図が作成されていなかった。

本研究では、湿原および水田などの湿地域を対象として、高精度で、その分布や変動に関する情報を抽出するための新たなリモートセンシングデータ解析手法を開発することを目的とした。特に、世界最大の泥炭湿原である西シベリア湿原と、世界最大の稲作地帯である東南アジアおよび東アジアの水田を対象として、広域・高頻度の地球観測センサーである MODIS からの衛星データを利用することにより、湛水状態を考慮したうえで湿原、水田の分布図を作成することを試みた。MODIS は近年打ち上げられた比較的新しいセンサーであるが、従来、地球規模の観測に利用されてきた NOAA/AVHRR に比較し、波長のチャンネル数や空間分解能が改善されており、新たなデータ手法を開発することにより、精度の高い地表面観測が可能となるものと期待されている。

本研究で新たに開発された手法は、以下のようにまとめることができる。まず、広域観測データから画素単位以上の詳細な情報を得るために、広域・高頻度観測センサー MODIS と高空間分解能観測センサー ASTER からのデータを併用することにより局所的な情報を広域に外挿し、一画素内における土地被覆カテゴリの面積被覆率を推定するためのカテゴリ分解手法を開発した。また、湿地や水田の湛水状態を把握するために、植生や土壌、水の混合状態を表す MODIS 正規化植生・土壌・水指標を開発した。この指数は、従来から使用されている AVHRR からの正規化植生指数 (NDVI) に比較し、地表面の湛水状態を反映しており、湿地の評価には有効である。さらに、湿原、水田を評価するうえで重要なパラメータである地表面温度を高精度で推定するために、カテゴリ分解によって推定した土地被覆カテゴリ面積比率により、一画素内の放射率を評価したうえで温度を推定するカテゴリ被覆率調整地表面温度推定手法を開発した。

開発された新たな衛星データ解析手法を利用して、西シベリア湿地の湿原分布図ならびに、東南アジア、東アジアにおける水田分布図を作成した。西シベリア湿原においては、上記のカテゴリ分解手法により、アカマツ、シラカバ、ボグ（湿原）、パルサ（湿原）、水域、裸地の6カテゴリの面積比率を推定した。これは、従来利用されている最尤法などの画素単位でのカテゴリ分類に比較し、画素内の面積比率を推定することができるため、湿地抽出の精度が大きく向上する。

水田については、単期作と多期作の観点から、東アジアと東南アジアに分けて分布図作成を行った。日本、韓国、北朝鮮を含む東アジアでは、毎日観測されるMODISから雲を除去して15日毎の雲無し合成画像を作成し、稲の成長パターンを植生指数（NDVI）の時系列データから評価することにより水田分布図を作成した。高解像度データであるASTERデータから作成した水田分布画像を用いて一部の地域で検証した結果、二乗平均誤差は約15.3%であった。東南アジアでは、MODISデータから正規化植生・土壌・水指数とカテゴリ被覆率調整地表面温度の分布画像を作成し、これらの画像から水田の植え付け時期の違いや一期作、二期作の違い等を考慮した分布図を求め、湛水時期と稲の生長度合いの年間変動を空間的に求めた。作成した水田分布を、IGBP-DISデータ（AVHRRから作成）とIRRIが公表している国別統計データと比較した結果、MODISを用いて作成した水田分布画像から求めた水田面積は、従来のAVHRRを使用して求めた推定値よりも格段に精度が高いことが明らかとなった。

本論文の構成を以下にまとめた。

第1章では、水田、湿地観測の重要性、リモートセンシング利用の必要性、本研究の独自性などをまとめた。

第2章では、本論文の独自性の核となる湿地・水田分布図作成の高精度化手法の開発について述べた。新たに開発した手法として、ミクセル分解手法、正規化植生・土壌・水指数、カテゴリ被覆率調整地表面温度推定手法について紹介した。

第3章では、MODIS雲なし合成画像作成の前処理手法の開発について述べた。放射量補正・幾何補正・大気補正・合成処理などの前処理の改善点について記述した。

第4、5、6章では、湿地・水田分布図の作成について述べた。第4章では、MODISデータのカテゴリ分解に基づく、西シベリアにおける湿原分布図作成結果について述べた。第5章では、MODIS時系列合成画像による、東アジア水田分布図作成結果について、また、第6章では、東南アジアにおける水田分布図作成結果について記述した。

第7章では結論および今後の展望をまとめた。

本論文は、これまで全球・大陸レベルでの広域分布情報が得られていなかった湿原、水田を対象として、精度の高い分布図、またその環境変動図を作成したことに独創性を有する。また、得られた分布図は有用性に富むものと評価できる。さらに、本研究では、Webによるデータ配布システムを独自に構築し、衛星データや得られた分布図を世界に発信することにより成果の公開に貢献した。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。