

氏名	PHAM TIEN DAT		
学位の種類	博士 (社会工学)		
学位記番号	博 甲 第 8 5 0 7 号		
学位授与年月日	平成 3 0 年 3 月 2 3 日		
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当		
審査研究科	システム情報工学研究科		
学位論文題目	Monitoring Biomass of Mangrove Species Using Remote Sensing Data for Implementation of REDD+ Policies in Vietnam (ベトナムにおける REDD+政策実施に向けたリモートセンシングデータを用いたマングローブ種のバイオマス監視)		
主査	筑波大学 准教授	博士 (学術)	甲斐田 直子
副査	筑波大学 教授	博士 (農学)	村上 暁信
副査	筑波大学 助教	博士 (情報学)	Phung-Duc Tuan
副査	筑波大学 准教授 (生命環境科学研究科)	博士 (農学)	奈佐原 顕郎
副査	東京大学 教授	農学博士	吉野 邦彦

論文の要旨

気候変動は地球規模の課題であり、国連気候変動枠組条約 (UNFCCC) の下では、途上国森林減少劣化対策メカニズムである REDD+プログラムや海中の炭素吸収・蓄積を推進するブルーカーボンプログラムなどが展開されている。これらは、炭素排出・吸収の測定・報告・検証において参照レベル (基準レベル) を提供することにより、生物多様性および生態系サービス維持に役立つことが期待されている。これらの対策プログラムにおける炭素吸収源として、マングローブが近年特に注目されている。マングローブはその巨大な潜在的炭素蓄積量から、地球規模の炭素循環系において重要な役割を果たしていると考えられるが、バイオマス量と炭素蓄積量を効率的に実測・監視することが困難なために、その機能が十分に位置付けられていない。また、マングローブ林面積は世界的に減少しており、炭素循環系としての劣化が危惧されているが、その影響が明らかとなっていない。これらより、気候変動対策において適正なマングローブ林保全・修復政策を設計するためには、マングローブ生態系の炭素蓄積量をよりの確に計測する手段が必要である。審査対象論文は、以上の問題認識のもと、ベトナム Hai Phong 市地域におけるマングローブ林を対象に、マングローブ種のバイオマス量推定手法の開発および変化量の監視評価、そして、マングローブ生態系サービス維持に係る便益評価に取り組んだものである。

第 1 章では、気候変動課題において地球規模で炭素循環系を捉えることの重要性をふまえ、従来の森林炭素蓄積 (グリーンカーボン) のみならず海中炭素蓄積 (ブルーカーボン) が重要視されている背景を整理している。また、ベトナムにおける気候変動影響とマングローブ林保全の現状と課題を概観している。その上で、適正なマングローブ林保全・修復のために、衛星リモートセンシングデータと機械学習アルゴリズムを統合活用してマングローブ生態系炭素蓄積量の計測手法を開発し、炭素蓄積量を評価監視することを研究目的とすることを述べている。

第 2 章では、ベトナムにおけるマングローブ林保全制度と実態を詳述した上で、衛星リモート

センシングデータや合成開口レーダー（SAR）データを用いたマングローブ生態系炭素蓄積量推定を行った先行研究をレビューし、個別解析手法の推定上の制約および不確実性の問題を指摘している。

第3章では、マングローブ林炭素蓄積量推定および便益評価のために本研究が開発・適用する方法論として、Hai Phong 市沿岸地域に生息するマングローブ種の1つである *Sonneratia caseolaris* の地上バイオマス量を、機械学習法を用いた手法により推定することが述べられている。

第4章では、研究対象マングローブ種の生物物理パラメータとリモートセンシングデータ間の関連性を特定し、対象種の地上バイオマス量を、ALOS-2 衛星の PALSAR-2 センサーの二偏波後方散乱係数データ（HH および HV）を用いた多重線形回帰モデルにより推定している。その結果、マングローブ林内の樹木密度を除外して、優占マングローブ種の HH・HV モードの二偏波後方散乱係数の平均値と生物物理変数との間に高い相関関係が認められることを明らかにしている。また、HV 偏波は HH 偏波よりも感度が高いことも示している。

第5章では、マングローブ種の地上バイオマス量と炭素蓄積量を推定するために、リモートセンシングデータと機械学習法を統合的に用いた手法を開発し、その推定能力を実測データとの比較により評価している。複数モデルの推定能力を検討した結果、多層パーセプトロンニューラルネットワーク（MLPNN）が他の機械学習モデルよりも優れていることを明らかにしている。

第6章では、第5章において開発したモデルの性能を向上させるために、ALOS-2 のマイクロ波センサー PALSAR-2 の二偏波（Lバンド HH および HV）後方散乱係数データと Sentinel-2 衛星のマルチスペクトル画像とを用いて、これらの融合データを選択的機械学習法に適用し、機械学習法の1つであるサポートベクター回帰モデル（SVR）によりマングローブ林地上バイオマス量を推定している。

第7章では、本研究で開発した手法の事例分析として、Hai Phong 市 Cat Ba 生態保全区を対象にマングローブ林変化監視結果を示している。さらに、支払意思額（WTP）の推計を行い、気候変動下におけるマングローブ生態系サービスの経済価値とマングローブ修復による社会的便益の評価を試みるとともに、気候変動リスクおよびマングローブ林保全に対する村落住民の認識が便益評価に与える影響についても考察している。

第8章では、前章までの成果をまとめるとともに、本研究で開発したマングローブ林のバイオマス量推定手法の実際の課題への適用可能性を検討し、同分野におけるリモートセンシングデータと機械学習の統合的活用の今後の課題が述べられている。

審査の要旨

【批評】

審査対象論文は、機械学習アルゴリズムを光学的リモートセンシングデータと合成開口レーダー（SAR）データを融合したデータに適用してマングローブ種のバイオマス量を推定し、その変化を監視分析し、また、マングローブ生態系サービス保全対策における社会的便益を推計し、REDD+メカニズムとブルーカーボンプロジェクトへの適用可能性を検討したものである。審査対象論文は、次のような特徴を有する。

第一に、ALOS-2 衛星の合成開口レーダーPALSAR-2 データを多層パーセプトロンニューラルネットワーク（MLPNN）を用いて解析すると高精度のマングローブ地上バイオマス量が推定可能であることを示した。

第二に、ALOS-2 衛星の合成開口レーダーPALSAR-2 データと Sentinel-2 衛星のマルチスペクトルバンド画像データを同時に用いる場合には、サポートベクター回帰モデル（SVR）を用いた解析により、マングローブ地上バイオマス量を高精度で推定可能であることを示した。これらにより、衛星画像データと機械学習アルゴリズムを統合的に用いて炭素蓄積量を推定する新たな解析手法を開発し、実測データおよび複数モデルとの比較によりその有用性を明らかにしている。

第三に、マングローブ林保全による炭素蓄積がもたらす気候変動緩和効果に関する社会的評価を試みており、マングローブ林保全が費用を上回る便益をもたらすことを示すとともに、政策設計・立案・実施において受益者理解促進が重要であることを示した。

以上より審査対象論文は、工学・環境分野における学術的価値および社会的有用性の双方から、手法開発、性能評価、適用可能性検討において意義のある優れた成果を出している。筑波大学大学院システム情報工学研究科の博士号授与に値する研究論文であると判定する。

【最終試験の結果】

平成 30 年 2 月 8 日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（社会工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。