

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 ハザリカ マンズール クマ (HAZARIKA MANZUL KUMAR)

地球温暖化、砂漠化などの地球規模での気候・環境の変動に伴い、地球上の植生分布や生物生産量がどのように変化するか、その計測と予測は今日の最も重要な研究課題のひとつである。陸上植物の純一次生産量 (NPP) は、全球レベルでの生物生産量や、植物による二酸化炭素吸収量を評価するために不可欠なパラメータであり、地球環境変動を評価するために、その地球規模での計測手法と予測手法の開発が望まれている。

NPP の分布を様々な時空スケールで正確に計測するためには、様々な観測方法やデータセットを統合することが要求される。しかしながら、全地球規模での NPP 等の植物パラメータの計測は、地上調査や計測による観測のみでは不十分であり、人工衛星等を利用した広域観測手法の活用が望まれている。実際、宇宙からの観測、リモートセンシング技術は、新しいセンサやデータ処理のアルゴリズムの開発において目を見張る進歩を遂げ、現在では、NPP や葉面積指数 (LAI) など植生の最も重要な生物物理学パラメータをほぼリアルタイムに観測できるようになりつつある。しかしながら、リモートセンシングによるパラメータの評価は、広域の分布計測には大きな力を発揮するものの、将来の予測や、樹種分布の更新にともなう変動の評価などには限界がある。

一方、全球スケールで NPP などの生態系パラメータ分布を推定するための生態系プロセスの記述に基づいたモデルの研究も進められている。生態系モデルでは、気温や降雨量をパラメータとして、植生種ごとの光合成能や呼吸機能など複雑な機能をモデル化することにより、将来の予測や、樹種の更新などによる変動の評価を行うことが可能であるが、モデルの構造が複雑であり、また、必要とするパラメータが多いことなどのために、現時点では必ずしも精度の高い評価や予測が実現されていない。

以上のように、リモートセンシングや生態系モデリングは、生態系プロセスを評価するうえで重要な手段となっているが、これまでそれぞれ独立に研究が進められ両者を統合的に生態系プロセスを評価する研究は行われてこなかった。本研究は、全球レベルでの NPP など生態系パラメータ分布の推定を高精度化するために、生態系モデルとリモートセンシングによる観測を結合する手法を開発することを目的とした。ここでは、生態系モデルの一つとして Sim-CYCLE モデルを取り上げ、Sim-CYCLE と、最新の地球観測衛星センサ TERRA/MODIS からのデータ (LAI) を結合することにより、NPP、LAI 2 つのパラメータについてモデル予測精度の向上を試みた。地上で実測されたデータをもとに Sim-CYCLE のみからの推定と、Sim-CYCLE+MODIS-LAI からの推定結果を比較したところ、後者において推定精度の大幅な向上がみられ、モデルと衛星データの結合の有効性が実証された。

本論文は、以下の 7 章より構成される。

第 1 章では、本研究の背景と目的を述べた。

第 2 章では、過去の研究について文献のサーベイを行い、その要点を記述した。

第 3 章は、Sim-CYCLE モデルの記述と、リモートセンシングデータを結合するために必要なモデルの更新について記述した。Sim-CYCLE は、様々な陸域生態系の炭素動態を取り込むモデルであり、乾物生産理論に基づいて、生態生理学的な知見を単純な植物成長

スキームに結合し、個葉レベルから樹冠レベルへのスケールアップを行う。Sim-CYCLE に使われた生物学的パラメータの中で、最も重要なものの一つが葉面積指数 (LAI) であるが、ここでは、人工衛星データから推定された全球での月別 LAI 分布データを用いて、LAI 分布を拘束条件として Sim-CYCLE を調整するようプログラムの改良を行った。LAI は、NPP に最も影響を与えるパラメータで、これまでは土地被覆図と気候パラメータを使って推定されてきた。しかしながら、陸域生態系では、LAI は時間的にも空間的にも大きく変動するため、このような推定方法では、炭素循環モデルのパラメータとして信頼性の高いデータは得られない。本研究では、生態系モデルとリモートセンシングを結合するために、両者をつなぐパラメータとして LAI を選び、MODIS センサにより観測された LAI 分布を Sim-CYCLE に結合するアルゴリズムを開発した。

第 4 章は、本研究で使われたデータセットの情報とリモートセンシングデータを Sim-CYCLE モデルに結合する手順を述べた。Sim-CYCLE では、バイオームタイプ毎に 0.5 度の空間分解能で植生の状態をシミュレーションする。ここでは、MODIS-LAI を Sim-CYCLE モデルに結合するために、Sim-CYCLE によって推定される LAI を MODIS-LAI と比較し、両者が一致した時点でパラメータの固定、炭素フラックスの計算等を実施するようシミュレーションを行うこととした。すなわち、本研究では、全球スケールでの炭素収支のモデルによる推定を行うに際して、モデル (Sim-CYCLE) の初期状態を同定するとともに、シミュレーションの繰り返し計算において植生の境界値を定めるために、リモートセンシングによる観測データ (MODIS-LAI) を利用することにより、より高精度でモデルシミュレーションを行うこととした (この結果を MOD-Sim-CYCLE と呼ぶ)。

第 5 章では、世界の主なバイオームタイプを対象として、MOD-Sim-CYCLE および Sim-CYCLE により全球での NPP 分布を推定し、その結果を比較した。世界の主なバイオームタイプにおける LAI と NPP の相対比較を行った結果、各バイオームにおいて、MODIS-LAI と Sim-CYCLE による LAI の間で、大きさと季節性の両方において、違いが観測された。比較の結果、MOD-Sim-CYCLE では、季節性を非常に正確に示しており、地上における実際の生物季節学的状態の情報を提供していることが示された。

第 6 章では、MOD-Sim-CYCLE モデルおよび Sim-CYCLE モデルの推定結果を、地上で観測された実測データと比較して検証した。地上観測による検証データとして、オーストラリアとアメリカ合衆国の Global Primary Production Data Initiative (GPPDI) プロジェクトによるフィールド観測データを用いた。両国において、観測された NPP と MOD-Sim-CYCLE の NPP の間には、非常に高い相互関係が見られた。生態系モデル Sim-CYCLE のみからの NPP よりも高い相関を示したことから、本研究で開発したリモートセンシング LAI と生態系モデルとの結合による推定手法は、全球スケールで NPP を正確に推定するための有効な手段となるものと期待される。

最後に、第 7 章では、本研究の主な知見を総括し、今後の研究における改善点を述べた。

本論文は、

- ・ これまでそれぞれ単独に開発されてきた陸域生態系モデルと、衛星からの観測 (リモートセンシング) を結合する手法を開発したこと、
- ・ その結果、モデル予測の結果を衛星観測による実測データにあわせこむことより、モデル予測の精度を向上させたこと、

に独創性を有する。また、今後の生態系モデル開発の方向性を示した点も高く評価できる。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。