

論文の内容の要旨

論文題目：Integration of Remote Sensing with Terrestrial Ecosystem Model to Estimate the Net Primary Productivity

(リモートセンシングと陸域生態系モデルの結合による純一次生産量の推定)

氏名：ハザリカ マンズール クマ

要旨

純一次生産量 (NPP) は、全球炭素循環における最も重要なパラメータの一つである。大気圏・生物圏における炭素循環を構成するプールやフラックスのなかで、NPP は最も大きな部分を占める。温暖化等の環境変動を評価するためには、NPP の分布を様々な時空スケールで評価することが必要となるが、NPP を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。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、最も重要な植生の生物物理学パラメータをほぼリアルタイムに観測することができるようになった。一方、全球スケールで NPP の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生態系モデルの研究も進められている。そのような生態系モデルの一つが Sim-CYCLE モデルであり、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る。Sim-CYCLE は、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。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 分布を正確にするため、生態系プロセス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する。

Sim-CYCLE に使われた生物物理学パラメータの中で、最も重要なものの一つが、葉面積指数 (LAI) である。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。リモートセンシングでは、これらのパラメータの空間的広がりを繰り返して観測することが可能となる。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。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。まず、シミュレーションの初期条件として、Sim-CYCLE によって推定された LAI を MODIS-LAI と比較し、植生状況のパラメータを同定した。次に、その初期パラメータに基づいて反復シミュレーションを実施し、反復のたびに、Sim-CYCLE による LAI と MODIS-LAI を比較し、Sim-CYCLE による LAI が MODIS-LAI と同じになった時点で、モデルシミュレーションが、実際の地上におけるバイオームの状態を推定できたものとして、その状態での炭素フラックスを計算した。もし、一定回数の反復内に Sim-CYCLE による LAI が MODIS-LAI と合致しなかった場合、Sim-CYCLE による LAI を MODIS-LAI により置き換え、そこから先のシミュレーションを実施して、対応する炭素フラックスを計算する。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。MODIS-LAI を拘束条件として利用する本方式による Sim-CYCLE を、MOD-Sim-CYCLE と呼ぶことにする。

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。最も高い NPP は赤道付近に現われ、次に高い NPP は北緯 60° 付近で発生した。この二つの地域は、それぞれ熱帯と北方林バイオームにあたる。これらの地域において、MOD-Sim-CYCLE による NPP は Sim-CYCLE による NPP より高い値を示し、リモートセンシング観測による MODIS-LAI 値は、さらに高い値を示した。これは、実際には熱帯林では、乾期においても根による土壌深層水を吸い上げることができるにもかかわらず、モデルシミュレーションでは、根の深さパラメータの制限により、結果として水ストレスを生じて、NPP を下げるように働いたことによるものと考えられる。MOD-Sim-CYCLE で推定されたように、北方林の MOD-Sim-CYCLE シミュレーションで示された高い NPP は、発芽の早期化と生育期間の長期化によるもので、この地域における近年の観測結果と合致している。気候パラメータのみにより、植生の生物学的パラメータを推定する Sim-CYCLE による炭素循環モデルでは、そのような植生の些細な変化を予測し、正確に NPP を推定することが難しいものと考えられる。熱帯林と北方林バイオーム以外では、南緯 30-40° を除いて、MOD-Sim-CYCLE の NPP は Sim-CYCLE による NPP より低い値であった。南緯 30-40° では、Sim-CYCLE による NPP は、MOD-Sim-CYCLE によるものより、かなり高かった。これは、現地調査で得られた検証結果と合致しており、Sim-CYCLE は、オーストラリア大陸の砂漠及び乾燥地帯で過大評価したことを示している。

世界の主な生態系における 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。しかし、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。

両モデルによる NPP 推定結果の検証を、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て行った。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。従って、生態系モデル Sim-CYCLE と、リモートセンシングデータによる LAI の結合のために、この研究で開発した手法は、全球スケールで NPP を正確に推定できる高い可能性がある。また、本手法は、全球レベルでの炭素収支・循環における Source-Sink アセスメントに利用できるものと期待される。

本論文の第 1 章では、本研究の背景と目的を述べる。第 2 章では、文献の論評を記述する。第 3 章は、Sim-CYCLE モデルと、リモートセンシングデータを結合するための必要な修正を記述する。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る。第 5 章では、推定された全球 NPP の緯度分布を提示し、世界の主なバイオームにおける生産力の比較する。第 6 章は、MOD-Sim-CYCLE モデルの結果を、GPPDI プロジェクトのフィールド観測データと比較、検証する。最後に、第 7 章では、本研究の主な知見を総括し、これからの研究における推奨点を述べる。