



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Evaluation of variations in gross primary production over terrestrial ecosystem using remote sensing technique [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	孫, 仲益
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(農学)
Dissertation Number	甲第13585号
Issue Date	2019-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/74013
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Sun_Zhongyi_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士（農学）

氏名 孫 仲益

審査担当者 主 査 准 教 授 王 秀 峰
副 査 教 授 鮫 島 良 次
副 査 客 員 教 授 廣 田 知 良
副 査 准 教 授 谷 宏

学 位 論 文 題 名

Evaluation of variations in gross primary production over terrestrial ecosystem
using remote sensing technique

(リモートセンシング技術を用いた陸域生態系における GPP 変化の評価に関する研究)

本論文は 6 章からなり、図 61、表 19、引用文献 331 を含む 191 ページの英文論文で、参考論文 2 編が添えられている。

陸域生態系総一次生産量（GPP）は、グローバルな炭素収支バランスと生態系プロセスにおいて重要な役割を果たしている。また、グローバルな気候変動によって引き起こされた潜在的な GPP の変化を定量的に評価するためには、生物圏・大気間の炭素フラックス及び GPP のダイナミックな変化を正確に推定することが重要である。しかし、現在、異なる生態系や広範囲の環境条件下で GPP を推定するのに適したモデルは少ない。過去の気候変動、土地被覆の変化（LCC）及び大気 CO₂ 濃度の上昇に対する GPP の反応を解明できれば、将来の CO₂ 及び気候条件における炭素循環の変化状態を推定することに寄与できる。

本研究では、リモートセンシング技術を用いて、GPP の変動と分布の時・空間的なパターンを導出し、グローバルな GPP へ影響する環境要因を解明し、リモートセンシングベースの GPP 算定アルゴリズムの相違点について検討した。この目標を達成するために、(1) 複数のモデルを用いたグローバルな GPP の推定とその特性の検討、(2) グローバルな GPP の長期的変動傾向と原因の特定、(3) GPP への CO₂ 施肥効果影響の検証、(4) 外部環境要因の変化によるリモートセンシングベースの GPP モデルの感度評価を行なった。

1. GPP の推定に関する適切なモデルを選択するため、機械学習、植生指数 (VI)、光利用効率 (LUE) 及びプロセスベースの 4 種類のアロリズムに属する、計 12 のリモートセンシングベースのモデルにより GPP を計算し、その結果の比較・評価を行った。12 のモデルによって推定された GPP の空間的・季節的及び経年的な変化は整合性が示され、特別に優れたモデルを選ぶことはできなかった。4 種類のアロリズム中、VI と LUE は一般的に構造が簡単かつパラメータが少ないモデルであるが、複雑なプロセスベースのモデルと同等な GPP の推定精度を持っていることが判明した。CO₂ 濃度データが含まれているリモートセンシングモデルによると、年間 GPP トレンドの増加傾向

が顕著であった。

2. GPP トレンドの空間的なパターンとその駆動要素は、グローバルな GPP 変化の研究において注目されている。ここでは、1982 年～2015 年の GPP トレンドに対する環境要因の実質的な効果を評価するため、CFix（炭素固定）モデルを使用し、陸域生態系における類似な振る舞いを示す地域を教師なし分類法でグループに分け、気候及び環境要因の変化への GPP の反応を解析した。その結果、考慮された 5 つの外部環境要因（LCC, CO₂, 温度, 日射及び水条件）の変動は、GPP トレンドに全て正の影響を示したが、空間パターン・スケール及びメカニズムが異なった。地球上の 75%以上の地域で GPP が増加傾向であり、グローバルな GPP 増加に最も寄与している要因は大気中 CO₂濃度の上昇であると推定された。

3. 従来、リモートセンシング手法を用いるグローバルな GPP の推定に大気 CO₂濃度の時・空間的なパターンの影響を考慮しない条件で行った研究が多かった。ここでは、プロセスベースのモデルを使用して推定された GPP と、CO₂モジュールを含まないモデルの出力を比較した。その結果、CO₂施肥効果を考慮していないモデルは GPP を過小評価することが判明した。更に、温室効果ガス観測技術衛星（GOSAT）から得られた CO₂濃度データと植物機能タイプのデカップリング係数を合わせ、キャノピーの CO₂濃度を推定し、独自のモデルを開発した。このモデル精度検証のため FluxNet2015 データセットの GPP 値と比較し、一致する傾向が確認された。

4. 本研究で使用した複数のモデルの感度を評価するため、開放系大気 CO₂増加実験（FACE）サイトで測定された CO₂濃度及びフラックスタワーで測定された気候データから計算された感度を基準として GPP の反応を評価した。FACE の結果と比較すると、CO₂飽和現象や水分などの環境制限が考慮されていない場合、モデルは CO₂施肥効果を過大評価しがちであった。フラックスサイトのデータから算出された気候要因の感度の信頼区間に位置するが、どの地域にも普遍的に適用できるモデルは存在しなかった。これらのモデルの感度は、グローバルなスケールでは、温度と日射が各モデルに及ぼす影響が異なった。モデル間で水効果の表現が異なるにもかかわらず、水分条件の変動に対する応答は比較的一貫していた。

本研究は、グローバルな GPP 評価に関する研究であり、リモートセンシングベースのモデルを利用することに焦点を当て、GPP の空間的な分布・時間的な変化・季節的な特徴、それらが生じる原因特定及び CO₂施肥効果などの解析に挑戦した。本研究の結果は、GPP 推定モデルの発展に貢献でき、特に陸域生態系の炭素循環・地球規模の気候変動など、複数の分野において理論上及び実際の応用に重要な情報が提供できると期待される。

よって、審査員一同は、孫 仲益が博士（農学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと認めた。