

博士論文要旨

Development of Asymmetric-Order Approximated

Analytical Model of Vegetation Isoline

for Satellite Remote Sensing of Land Surface

(陸面観測を目的とした衛星リモートセンシングのための
非対称次数近似による解析的植生アイソラインモデルの開発)

情報科学研究科博士後期課程 2015841003 三浦宗徳

主査 吉岡博貴教授

副査 村上和人教授

戸田尚宏教授

近年頻発している極端な気象現象は地球温暖化に起因すると考えられており、人間社会の様々な面に甚大な影響を及ぼしつつある。その温暖化に対する国際的な取り組みとして人工衛星による地球観測が進められている。温室効果ガスの主成分である大気中の二酸化炭素に関しては、植物の活動を通して地表面に固定される量の推定が重要課題の1つであり、地球観測にはその推定を全球規模かつ長期的に実施することが強く求められている。その実現のためには衛星リモートセンシングによる植生量推定の高精度化が必要である。

衛星観測データによる植生量の推定には主に植生指数が利用されてきた。植生指数とは波長ごとに観測される反射率の比演算を使った定量手法であるが、そのモデル式や式中の係数は経験的に決定されるため、その精度に関してはこれまで多くの問題が指摘されている。特に、植生層下端に位置する土壌面反射率の影響については多くの研究事例が報告されており、植生指数の改良モデルが多数提案されている。これらの研究に共通する要点は、植生層上端における反射率スペクトルの変化をより正確に把握しモデル化するというものである。具体的には、植生層の物理的変数が固定されている状態を仮定し、土壌面反射率のみを変化させ、その結果として得られる植生層上端での反射率スペクトルの情報を利用するという点である。このようにして得られる反射率スペクトルの軌跡は植生アイソラインとよばれ、様々な研究が展開されてきた。本研究の目的はその植生アイソラインの高精度化である。

植生アイソラインの解析的表現は、異なる波長帯で観測された2つの反射率間の関係式である。植生アイソライン方程式の導出には植生層と土壌面における高次の相互作用項が重要な意味を持つ。導出する過程で高次の項を打ち切るが、その打ち切り項数が導出結果の精度に影響する。既存の植生アイソライン方程式では、2次およびそれ以降の項をすべて打ち切ることで導出しているため、シミュレーション等の条件によってはその誤差が顕著になることが知られている。そこで、本研究では、解析的モデルとしての単純さと明快さを維持したまま植生アイソライン方程式の精度向上を目指す。この目的を達成するために、研究全体を3段階に分けて実施した。まず第1段階では赤色と近赤

外の波長帯を想定し、高次の相互作用項を含む植生アイソライン方程式の導出を試みた。第2段階では、導出したアイソライン方程式の最適化を実施した。さらに第3段階では導出結果の適用範囲を他の波長帯へ拡張した。

高次の相互作用項を取り入れたアイソライン方程式の導出では、2次の相互作用項までを考慮する。その際、本研究では、赤色波長帯と近赤外波長帯の両方に2次の相互作用項を取り入れることはせず、近赤外波長帯の反射率に関してだけ2次の相互作用項を考慮した。その結果、両反射率間に対称的に2次の相互作用項を取り入れた場合よりも非対称的に打ち切る場合の方が植生アイソラインの精度が高まることを見出した。本研究ではさらにその精度向上のメカニズム解明を試みた。その結果、近赤外波長帯の方だけに2次の相互作用項を取り入れることで、反射率空間における近似された反射スペクトルの位置が上方にシフトし、結果的に真のアイソラインに近づいていることが分かった。非対称的な近似により発生するこの効果を本研究では過補正効果と名付け、放射伝達モデルにもとづく数値実験により過補正効果の評価を実施した。その結果、非対称次数アイソライン方程式の誤差は既存の誤差の5分の1程度まで低減することを明らかにした。

第2段階では導出した非対称次数アイソライン方程式の過補正効果を高めることを試みた。具体的には、導出結果であるアイソライン方程式に調整係数を1つだけ導入し、その係数を最適化することでアイソラインの高精度化を目指した。放射伝達モデルを利用し最適化を実施したところ、非対称次数アイソラインの誤差は、既存のアイソライン方程式の25分の1程度、調整する前の非対称次数アイソライン方程式の5分の1程度まで低減できることが分かった。さらに、最適化した非対称次数アイソライン方程式の誤差を、地球観測衛星に搭載されている4種のセンサの信号対雑音比と比較したところ、非対称次数アイソライン方程式の精度は調整係数を最適化することで信号対雑音比のレベルまで低減可能であることが分かった。

最後の段階では、対象とする波長帯の拡張を試みた。組み合わせる波長の範囲を400 nm から1200 nm まで拡張し、調整係数最適化後の精度評価を実施した。その結果、最適化係数の値は波長帯の組み合わせに大きく依存することが明らかとなった。特に、波長の組合せによっては最適化される前の非対称次数アイソライン方程式の精度は、既存のアイソライン方程式よりも低くなるものの、調整係数の最適化により全てのケースで高精度化が実現可能であることを突き止めた。

本研究では非対称次数植生アイソライン方程式を導出し、その最適化を試みた。さらにその適用可能な波長範囲を拡張し、数値モデルによる精度評価を実施した。その結果、波長帯の組み合わせによらずアイソライン方程式の精度は陸域植生モニタリングに要求される精度と同程度のレベルまで向上可能であることを明らかにした。今後の課題として、導出したアイソライン方程式をデータプロダクト作成などの実利用に役立てることが挙げられる。