

博士論文要旨

Intercalibration of Spectral Vegetation Indices Based on Soil Isolines for Satellite Constellation Systems (衛星コンステレーションシステムのための ソイルアイソラインにもとづく植生指数相互校正手法)

情報科学研究科博士後期課程 2015841002 谷口健太

主査 吉岡博貴教授

副査 村上和人教授

戸田尚宏教授

衛星リモートセンシング分野では、技術革新による宇宙利用コストの急激な低減を背景に、複数の衛星群からなる地球観測網、衛星コンステレーションの実現に向けた取組が加速している。一機の衛星による地球観測では、観測頻度と空間解像度はトレードオフの関係にあるが、無数の超小型衛星で構成される衛星ネットワーク網を構築できれば、そこから得られる地球観測データを時間軸および空間軸方向に繋ぎ合わせることでトレードオフを解消することができ、詳細な地球観測画像が高頻度で生成できる。地球を客観的にとらえたこのビッグデータは、衛星データ利用の価値を高めるだけでなく、現在、国際社会が抱える気候変動リスクなど地球規模課題の解決に重要な役割を担うと期待されている。しかし、複数衛星による衛星コンステレーションでは、センサ設計上の仕様差や運用過程におけるセンサ劣化などの影響を受けるため、観測データプロダクトを統合する場合それらデータ間の整合性が問題となる。

分光に関するセンサ特性である波長応答関数は一般的にセンサ間で差異がみられるため、観測データから推定される分光反射スペクトルの演算処理結果はこれら相対的な差異に影響を受ける。標準的な地球観測データプロダクトの1つである植生指数も光学的特性の差異によって相対誤差が生じることが報告されている。複数の衛星観測結果で構成される植生指数データレコードの整備には、波長応答関数に起因する相対誤差の解消が求められており、波長依存性への理解が不可欠となっている。これまでのところ実データにもとづく経験的アプローチが数多く提案されてきた。ところが、さまざまな相対誤差要因が複雑に作用する実データを用いた経験的アプローチでは、波長依存性メカニズムを解明することは容易ではなく、未だ根本的な相対誤差発生のメカニズム解明には至っていない。

そこで本研究では、解析的アプローチにもとづく植生指数の相互校正手法を検討し、波長依存性の発生メカニズムの解明を目指す。ここでは、波長依存性メカニズムの本質に迫るため、2つの異なる波長応答関数から得られた植生指数に対して、その関係式の演繹的導出を試みる。植生指数が2つ以上の反射スペクトルを入力変数としている点に

注目し、各植生指数における入力変数の間の関係式、反射率間関係式を導入できれば、2つの植生指数間関係式の演繹的な導出に繋がるとの着想を得た。

そこで、次の5章で構成される本論文は、まず分光反射スペクトル間関係式、ソイルアイソライン方程式の導出アルゴリズムを提案し、その関係式を解析的に応用することで導出される植生指数間関係式を解析することで波長依存性の解明を試みる。第一章では、光学リモートセンシングの背景および植生指数の相互校正に関する諸問題について述べる。

第二章では、反射率間関係式の1つ、ソイルアイソライン方程式の導出アルゴリズムについて説明する。ここでは、1つの画素全体が、均一な植生層に覆われている条件を仮定し導出を行っている。そのような制約条件の下、ソイルアイソラインは、アフィン変換を伴うアルゴリズムを適用することで、媒介変数表示で導出される。また、ソイルアイソライン方程式の導出結果を放射伝達モデルにより得られた表現と比較することで導出結果の妥当性を検討する。さらに、媒介変数として導入された変数についての解説を加えている。

衛星による地球観測では、各画素は緑被と非緑被部分の複合的な地表面被覆（ミクセル）で構成されることがあるため、その場合には前章での仮定が成り立たない。そこで、第三章では、前章で導出した関係式の空間的な制約条件を緩和するために、導出したソイルアイソライン方程式に線形混合モデルを融合し、ミクセルデータへ適応可能な表現へと方程式を拡張する。その際、空間的な不均一性を表現するパラメータ、緑被率を明示的に加えている。最後に、数理モデルを用いた数値実験により、導出結果の妥当性を検証する。

本研究の目的は、植生指数間関係式の演繹的な導出である。第四章では、ソイルアイソライン方程式を解析的に応用することで植生指数間関係式の導出を試みる。植生指数の一般形を用いた結果、植生指数間関係式は反射率間関係式の係数で表現された有理多項式として導出できることを見いだした。提案する相互校正手法の可能性を示すために、数理モデルを用いた数値実験を行った。相対誤差のレベルを、センサの設計段階で決定される不確実性 Signal-to-Noise Ratio (SNR) に起因する伝搬誤差と比較することで、本手法による変換誤差がノイズレベルにまで低減可能であることを示した。また、植生指数間関係式の係数が土壌反射特性に応じて変化することを明らかにした。

最終章では本研究の結論を述べる。本研究では、反射率間関係式であるソイルアイソラインを用いることで、植生指数間関係式を解析的に導出した。導出結果および数理モデルでの数値実験結果から、土壌反射特性を考慮した場合の植生指数間関係式が有理多項式で表現されていることが明らかとなった。本研究で得られたこれらの知見は、地表面被覆の違いを考慮した波長依存性メカニズムの理解に資するものであり、コンステレーションシステムによる観測データの標準化に貢献するものである。