

氏名（本籍）	Lalu Muhamad Jaelani（インドネシア）		
学位の種類	博士（理学）		
学位記番号	博 甲 第 7108 号		
学位授与年月日	平成26年 7月25日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	生命環境科学研究科		
学位論文題目	Development of a New Atmospheric Correction Algorithm for Turbid Inland Waters（高濁度水域における新しい大気補正アルゴリズムの開発）		
主査	筑波大学准教授	博士（地球環境学）	松下 文経
副査	筑波大学教授	工学博士	福島 武彦
副査	筑波大学准教授	博士（農学）	奈佐原 顕郎
副査	東海大学教授	博士（工学）	虎谷 充浩

論 文 の 要 旨

淡水システムの持続可能な開発・利用及び水資源管理の観点からは湖沼水質のモニタリングが強く求められている。自然水域において、水質パラメータの時間・空間の変動が激しいため、定期的・広域的・簡易性といった利点を持つ衛星リモートセンシング手法は日常の水質モニタリングに有効と考えられる。その解析の中で大気補正は、衛星データを利用するために欠かせない第一のステップである。本論文は、濁度の高い水域（湖沼、沿岸水域など）において既存大気補正法の評価、新たな大気補正法の提案、及び新大気補正法の検証と応用、を行ったものである。

まず、霞ヶ浦において、4つの既存大気補正法を評価した。大気補正法の選定基準は以下の2つ：（1）広く利用されている無料衛星データ解析ソフトウェアSeaDASとBEAMに装着されている（或いは近い将来に装着する予定がある）こと、（2）基本のアプローチが異なること、である。以上の選定基準によって、4つの既存大気補正法が選ばれた。すなわち、（1）エアロゾルの量を水域のピクセルを利用して求めるMUMM法、（2）エアロゾルの量を水域に隣接する陸域のピクセルを利用して求めるSCAPE-M法、（3）生物光学モデルをベースにしたGWI法、（4）neural networkをベースにしたC2WP法、である。これらの大気補正法を用いて、3時期のMERIS画像に対して大気補正を行い、補正した反射率と現地測定の反射率を比較することによって、これらの手法の長所と限界を評価した。その結果、評価した大気補正法の全ては、濁度の高い霞ヶ浦において限界があった。特に、2010年のMERIS画像に対する大気補正の誤差は大きかった（相対誤差42%～83%）。その理由として、各手法がベースにした前提（均質の大気、固有光学特性の範囲など）と霞ヶ浦の実際の状況とが異なったこと、を明らかにした。この結果は、霞ヶ浦のような水域に対して、新たな大気補正法の開発が必要であることを示唆している。また、改良に当たるヒントも示した。

次に、高濁度水域に対して、新しい大気補正法（N-GWI）を提案した。N-GWIは従来のGWIのスキムをベースにして、さらに3つの改良を行ったものである。一つ目の改良はエアロゾルのタイプを沿岸型に固定したこと

である。先行研究では、高濁度水域における水質パラメータの推定は、長波長域（620nm以上）の反射率が有効であることを明らかにしたため、N-GWIは長波長域での大気補正のみを考慮することができる。長波長域において、エアロゾルタイプの違いによるエアロゾルモデルの違いは小さいため、従来のGWI法のようにエアロゾルモデルの選定は必要がない。二つ目の改良は生物光学モデルための参考波長を670nmから754nmに移動したことである。三つ目の改良は後方散乱係数の形を表すパラメータYの推定式を従来の経験式から半理論式に変えたことである。N-GWIの有効性を現地で測定した反射率を用いて検証した。その結果、2つアジアの湖（日本の霞ヶ浦と中国の滇池）においては、従来の手法より良い大気補正ができ、相対誤差は21.8%以下であった。しかし、濁度の低い4つのアメリカ沿岸水域においては、大きな推定誤差が生じ（相対誤差84%~1391%）、N-GWIの限界を示した。

最後に、提案したN-GWIに対して、さらに検証を行い、衛星データによる霞ヶ浦水質モニタリングの可能性を示した。このため、霞ヶ浦において約10年間（2003年~2012年）の雲の影響が少ないMERIS画像合計215枚を入手し、N-GWIによって大気補正を行った後、水質パラメータの推定アルゴリズム（SAMO-LUT）を用いて、クロロフィルa濃度を推定し、実測のクロロフィルa濃度と比較した。また、比較のため、N-GWI以外に、従来の大気補正法（MUMM、GWI、C2WP）を用いたクロロフィルa濃度の推定も行った。その結果、N-GWIを用いた場合、クロロフィルa濃度の推定値と実測値が良く一致し（相対誤差は10%~43%）、クロロフィルa濃度の空間変化、季節変化及び経年変化を追跡することができた。他の大気補正法を用いた場合、クロロフィルa濃度の推定値には過大、或いは過小の推定が見られた。これらの結果は新手法の有効性を示している。

審 査 の 要 旨

外洋を撮影した衛星データに対して大気補正を行うための有用なアルゴリズムが90年代から確立されている。しかし、湖沼や海洋沿岸帯など濁度の高い水域においては、多くの大気補正アルゴリズムが提唱されているが、適用範囲が限られている現状である。本研究は、現存の大気補正アルゴリズムが適用できない高濁度水域を対象にし、新たな大気補正アルゴリズムを開発することを目的としたものである。高濁度という特徴を生かし、従来の大気補正アルゴリズムにあるエアロゾルモデルの選定という難題を克服した。また、大気補正アルゴリズムに必要な生物光学モデルを利用する際に、従来の経験式の代わりに半理論式を取り込むことができ、新大気補正アルゴリズムの適応性を向上させた。この結果、従来の大気補正アルゴリズムと比べ精度が格段に高いことを示した。このように大気補正と水質推定アルゴリズムを駆使して、衛星データによる湖沼水質の時間・空間変化をモニタリングできることは、関連研究者から高い評価を得ていて、今後の湖沼水質保全・水資源管理への活用が期待されている。

平成26年6月3日、学位論文審査委員会において、審査委員全員出席のもとに論文の審査及び最終試験を行い、本論文について著者に説明を求め、関連事項について質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって合格と判定された。

よって、著者は博士（理学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものとして認める。