

氏名	Augusto Nunes Brito Vundo		
学位の種類	博 士（学術）		
学位記番号	博 甲 第 9 2 3 0 号		
学位授与年月日	平成31年4月30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	Long-Term Evaluation of Water Transparency in Lake Malawi Using MERIS and Sentinel-3A Data (MERIS及びSentinel-3Aデータによるマラウイ湖湖水透明度の長期的な評価)		
主査	筑波大学准教授	博士（地球環境学）	松下 文経
副査	筑波大学准教授	博士（理学）	加藤 弘亮
副査	筑波大学准教授	博士（農学）	奈佐原 顕郎
副査	茨城県霞ヶ浦環境科学センター センター長	工学博士	福島 武彦

論 文 の 要 旨

審査対象論文で著者は、アフリカのマラウイ湖を対象に、湖水水質の長期的なモニタリングと総合的な評価を目的として、人工衛星データおよび半理論方式の水質推定アルゴリズムを用いて解析・検討を行っている。マラウイ湖は、アフリカで3番目に大きい湖であり、その周辺の国々にとって重要な水資源である。また、この湖には世界で最も多くの固有魚種が存在するため、湖の生物多様性の保全も重要である。一方、沿岸諸国の着実な人口増加と、湖沼流域における森林から農地への土地利用転換などにより、マラウイ湖の水質悪化が懸念されている。従って、マラウイ湖の定期的な水質のモニタリングが求められている。そこで、本論文で著者は、衛星画像（MERISとOLCI）からマラウイ湖の湖水透明度・クロロフィルa濃度・カールソン栄養状態指数（TSI）を推定することによって、2003年から2017年までの湖水水質の時空間変化を考察している。

第2章で著者は、まずマラウイ湖において、衛星データによる湖水透明度を推定するための2つの半理論方式アルゴリズム（Doron11とLee15）の性能比較を行っている。その結果、2つのアルゴリズムから推定した湖水透明度の値は非常に高い相関を示したが（ $R^2 > 0.96$ ）、Lee15アルゴリズムはDoron11アルゴリズムより推定精度が高かった（RMSE = 1.17 m、MAPE = 18.7%）。次に、著者は、9年間のMERISデータ（2003-2011）と1年間のOLCIデータ（2017）からLee15アルゴリズムを用いてマラウイ湖の透明度を推定し、その時空間分布の評価を行っている。その結果、マラウイ湖は研究期間を通して常に4つの透明度レベルを有したことを示している（すなわち、レベル1：12 m以上、レベル2：6-12 m、レベル3：3-6 m、レベル4：1.5-6 m）。また、レベ

ル1と2の水域の空間分布は、年または季節によって一部がお互いに入れ替わっている傾向が見られた。それに対して、レベル3と4の水域の空間分布は比較的安定しており、常に湖の南西部と南部の湖畔に沿って分布していた。研究期間にわたって、マラウイ湖は6m以上の透明度を持つ水域によって支配されていた（95%以上）と述べられている。

第3章で著者は、まずアメリカNASAのOC4Eアルゴリズムを用いてMERISとOLCIのデータからマラウイ湖のクロロフィルa濃度を推定した。次に、著者は、マラウイ湖の湖水栄養状態を評価するために、本章で推定したクロロフィルa濃度と第2章で推定した透明度を組み合わせることによって、カールソンの栄養状態指数（TSI）の計算式をマラウイ湖に当てはめた。そして、著者は、改良したTSIの計算式を用いてマラウイ湖の湖水栄養状態を研究期間にわたって推定した。その結果、透明度から計算したTSI値（TSI_{SD}）とクロロフィルa濃度から計算したTSI値（TSI_{Chl-a}）の両方の平均値が31であり、マラウイ湖は全体的に貧栄養状態にあることを示している。しかし、中栄養性の水域（TSI値が43～45の間）、富栄養性の水域（TSI値が56～59の間）、および過富栄養性の水域（TSI値が76～87の間）も湖岸に沿って見られた。また、貧栄養性の水域と中栄養性の水域においては、TSI_{Chl-a}とTSI_{SD}の値がほぼ同じで、これらの水域における湖水中光の減衰が、植物プランクトンにより支配されていたことを示している。それに対して、富栄養性水域と過富栄養性水域における光の減衰は、TSI_{Chl-a} < TSI_{SD}であることから、主にトリプトンによって支配されていたことを示している。

以上の結果をもとに本論文で著者は、リモートセンシングデータと半理論方式のアルゴリズムの併用は、マラウイ湖の水質状態を長期的・総合的に評価するために非常に有効な手法である、と結論づけている。

審 査 の 要 旨

マラウイ湖は、水利用と生物多様性保全の観点から見て、重要な水資源であるにもかかわらず、周辺諸国の経済的・制度的な制限によって十分なモニタリング経費の確保が困難であり、船による定期的な水質調査が殆ど行われていないのが現状である。また、マラウイ湖のような大きな湖において、湖全体の水質の特徴を限られた数地点での現地調査データから表すことも困難である。一方、リモートセンシング技術およびそれを基にした水質パラメータ推定アルゴリズムの進歩に伴い、衛星画像による湖沼水質のモニタリングと評価が期待されている。本論文は、この期待に応えるための研究である。特に、この研究は、初めてマラウイ湖全体の透明度状態と栄養状態、ならびにそれらの時空間的な変動を総合的に評価したものである。この研究によって得られた結果は、湖沼管理のための有用な情報を政策立案者や環境管理者に提供することが期待されている。

平成31年3月11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（学術）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。