

氏名	星野 聖太		
授与学位	博士(工学)		
学位記番号	博乙第38号		
学位授与年月日	令和3年3月19日		
学位授与の要件	学位規則第4条第2項		
学位論文題目	衛星リモートセンシングデータを用いた南極海 の海氷モニタリングおよび海氷変動 に関する研究		
論文審査委員	主査 教授	亀田 貴雄	
	教授	早川 博	
	准教授	館山 一孝	
	准教授	白川 龍生	
	准教授	吉澤 真吾	
	研究員	泉山 耕	(北海道大学)

## 学位論文内容の要旨

海氷の存在は、大気-海洋間の熱交換と海洋の熱塩循環を把握するための重要な役割を果たす。1970年代に衛星リモートセンシングによる海氷観測が始まって以来、南極海における海氷の面的な広がりには明らかにされつつある。面的な広がりに対して海氷の厚さに関する空間的および時間的分布に関する情報は未だ少ない。海氷の面積と厚さを組み合わせた海氷量に関する情報は、南極海における海氷システムが寄与する大気-海洋間の熱収支、南大洋への淡水および塩水フラックスの定量化に対して非常に重要である。また、海氷量の情報は長期的な気候変動の見積もりやそのモデル予測のためにも非常に有効な情報となり得る。

このような状況で、日本南極地域観測隊(JARE: Japanese Antarctic Research Expedition)を支援するために日本を出港した砕氷艦しらせ(二代目)は、2011年と2012年の2期連続して昭和基地への接岸を断念した。これは、1994年以來の18年ぶりの出来事であり、二期連続した断念は30年ぶりの出来事であった。翌2013年には、昭和基地周辺において最大約8mを超える海氷が観測された。海氷厚と積雪深の分布をあらかじめ知ることができれば、厚い海氷を避ける最適な航路の選定が容易となり、今後昭和基地沖への安定した人員および物資の輸送を行う事ができるのではないかと考えられる。

本研究では、北極海において近年確立しつつある海氷分類手法と海氷厚推定手法を応用し、南極海において海氷厚推定手法を確立することを目的とした。

北極海において干渉型合成開口レーダー高度計SIRAL(Synthetic Aperture Interferometric Radar Altimeter)により計測されたフリーボード(海面上の海氷の高さ)を用いた海氷厚推定手法を改良し、現場データとの比較によりその妥当性を検証した。改良型のアルゴリズムより算出した海氷厚と、係留ブイ(IMB buoy: Ice Mass Balance buoy)および航空機高度計(IceBridge)による海氷厚との平均二乗誤差(RMSE: Root Mean Square Error)は0.47 mと0.97 mであった。既往の衛星海氷厚プロダクトとのRMSEの差は0.1 m以下であり、同程度の精度で推定可能である結果を示した。

さらに、衛星散乱計ASCAT(Advanced Scatterometer)と衛星搭載マイクロ波放射計AMSR2(Advanced Microwave Scanning Radiometer-2)を用いて海氷分類アルゴリズムを開発し、東南極リュツォ・ホルム湾においてその性能を検証した。アルゴリズムの性能を検証するためにJARE55(2013年12月-2014年1月)において取得した現場目視観測データと比較した。融解期や解像度の違いといった特殊な状況を除けば、全体的な精度(Overall accuracy)は71%と高精度で海氷を分類できることが示された。当該分類アルゴリズムでは、海氷として一年氷、多年氷、陸氷由来の氷として棚氷、陸氷として沿岸氷床と内陸氷床を分類することが可能である。また、本アルゴリズムは、リュツォ・ホルム湾において氷種類の分布の量的変化を定着氷・棚氷の流出イベントとして検出できることが証明された。

北極海を対象として開発した推定手法と海氷分類アルゴリズムを組み合わせることで、リュツォ・ホルム湾における海氷厚を試験的に算出した。算出した海氷厚値は、観測日の差が2週間以内、及び観測範囲が1.5 km以内の現場データと比較した。現場観測との比較はRMSEが1.0 mと誤差は大きい、有意な相関関係であることがわかった。誤差が大きい領域は、海氷が流出し急速に回復した地点や、海氷が重なり合い急に厚くなる乱氷帯のような特殊な地点であることがわかった。また、本研究で推定した平均海氷厚値は約2 mであり、これは南極海における船観測から得られた海氷厚観測結果の傾向と一致する。

この研究では、南極海において未だ確立していない氷分類および海氷厚推定アルゴリズムを開発した。このアルゴリズムは、定着氷の流出等の海氷変動を明らかにするための有効な手段となると考えられる。

## 論文審査結果の要旨

本研究の目的は北極海において近年確立しつつある海氷分類手法と海氷厚推定手法を応用し、南極海のリュツォ・ホルム湾において海氷をモニタリングし、その変動を明らかにすることである。星野氏は複数の人工衛星データを組み合わせることで、融解期や空間分解能の違いといった特殊な状況を除けば、71%の高精度で南極海の手氷を分類できることを初めて示した。当該分類アルゴリズムでは海氷種類の分類に加え、定量的な海氷の流出も明らかにすることができるという点で有効であり、さらに大陸周辺に存在する棚氷、沿岸氷床、内陸氷床の分類も可能という特徴がある。また、北極海を対象として開発した推定手法と海氷分類アルゴリズムを組み合わせることで、南極海の手氷のリュツォ・ホルム湾における海氷厚を算出した。

さらに、開発したアルゴリズムを用いてリュツォ・ホルム湾における海氷と陸起源氷の種類の変動と海氷厚の変動を調べた。その結果、本研究で開発した氷分類アルゴリズムを用いることでリュツォ・ホルム湾での氷の種類と分布、その量的変化として氷の崩壊イベントを検出できることがわかった。リュツォ・ホルム湾で推定したこれらの海氷の厚さ分布の結果より、この地域では海氷の流出とともに厚い海氷から薄い海氷に置き換わっていることも定量的に示すことができた。

これらの知見は今後、南極海の手氷の流出等の海氷変動を明らかにするための有効な研究手段になると考えられる。

以上のことから、本論文は博士号を取得するに十分な内容を有していると考えられる。従って、申請者は北見工業大学博士(工学)の学位を授与される資格があるものと認める。