

## 審査の結果の要旨

氏名 ディシルワー リヤナアラッチ ワルナ アランパツ

近年の北極海夏季海氷の減少により、北極海を商業航路として活用できる可能性が高まり、利用が急激に延び始めている。しかしながら、海氷が船舶の航行にとって有害な障害物であることに変わりはなく、安全かつ効率的な航路利用のためには、正確な海氷将来予測をすることが、極めて重要である。商業航路の利用に対して必要な海氷予測は、1. 1年から30年程度先までの予測、2. 春の段階で夏の海氷分布を予測、3. 週間天気予報レベルの1週間程度先までの予測、の3つのカテゴリーが考えられ、それぞれに特有の難しさがある。1. は、北極航路向けの新船舶の建造や港湾整備などの長期のインフラ整備計画に必要である。2. は、年間の航路利用スケジュール立案に必要であり、3. は、北極海突入後の船舶の航路決定に必要である。本研究は、3. の、船舶航行上重要な情報となる海氷分布変動について、一週間程度先までの高解像度短期予測を目標に、海氷/海洋連成の数値予測法を研究したものである。

海氷/海洋連成モデルに対する駆動力となる大気データは、ECMWF（ヨーロッパ中期予報センター）が供給している6時間おきの再解析データ ERA-interim を用いている。海洋モデルとしては $\sigma$ 座標に基づく POM（Princeton Ocean Model）を用い、海氷力学モデルとしては、粘弾塑性体モデルに、氷縁近くで重要となる氷盤衝突レオロジーを取り入れたモデルを用いている。また、海氷熱力学モデルには積雪の影響も考慮している。

この海氷/海洋連成モデルは、オホーツク海で既に良好な結果を得ているものであるが、北極海への適用は初めてのことであるので、北極海の地形や気象条件に起因する幾つかの問題が見つかった。海岸への継続した氷の押し付けによる異常な氷厚増加、海氷圧縮強度モデル式の不完全さに起因する計算の不安定性、時間変化の少ない気象条件による北極海中央部の異常な氷減少などである。これらの原因を丹念に明らかにし、数値実験を繰り返しながら、海氷力学モデル式の改善や時間積分法の改良などを行い、合理的に解決した。

そしてまず、25km程度の粗い空間格子で北極海全域の長期計算を2000年から2011年まで行い、結果を丹念に吟味しつつ、モデルと計算法の細部の改良および諸係数の調整を行った。具体的には、上述の改良に含まれる氷盤衝突レオ

ロジ一式の改良や数値積分における陰解放の導入、加えて、積雪の考慮などであり、その結果、北極海氷分布および海氷面積の年変動が良好な精度で再現できる様になった。海氷厚に関しては、薄い氷では観測との良好な一致を示しているものの、氷厚 1.5m 程度より厚くなると、計算は過小評価を示している。これは、本モデルにまだマルチカテゴリー海氷厚を導入していないためである。計算格子が細くなるとマルチカテゴリー海氷厚未導入による誤差は少なくなっていくはずであるし、本研究で注目しているのが氷の薄い船舶航行に適した海域であるため、そのまま高解像度短期予測計算に移行することとした。

上述の成果を基に、北東航路及び北西航路に沿った 2.5km 格子の高解像度短期予測計算を実施した。氷況がより単純で航路利用も進んでいるロシア側を中心に、結果の考察を行っている。まず、25km モデルでは再現できない、当該海域の 7 月下旬から 8 月下旬にかけての海氷減少が再現できるようになった。海氷分布も、衛星観測によるものと良好な一致を示している。この原因は、高解像度計算により ice-albedo feedback プロセスがより適切に表現できていることと、数 10km スケールの海洋中規模渦と海氷との相互干渉影響が再現できたことの二つを上げている。特に後者に関しては、解像度は同じまま、海洋と海氷を連成しない計算も実施し、今回の良好な結果が、計算解像度の問題だけでなく、海氷／海洋相互干渉を再現したからであることを、明確にしている。更に、夏の終わりから秋に掛けての新氷生成期においては、計算の方が沿岸域での海氷生成が遅れることを示し、それが、河川からの夏季の大量の淡水流入をまだ計算に取り入れていないからだということを、海洋構造の検討により、示している。最後に、船舶航行情報として重要になる氷縁域の海氷分布に対する、氷盤衝突レオロジーの影響を明らかにしている。

以上要するに、本研究は船舶航行への海氷情報提供を意識して、北極海の高解像度海氷／海洋計算を実施し、その効果の大きさを計算結果と丹念な検討・考察により明確にしたものであり、環境海洋工学の発展に資するところが大きい。

よって本研究は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。