

## 審査の結果の要旨

氏名 松沢 孝俊

オホーツク海は、南北約 2,000km, 東西約 1,000km の、北太平洋西に位置する辺縁海であり、北半球における海水が生成される海の南限である。オホーツク海では、12月初め頃に北部で海水が生成され始め、2月終わりから3月中頃にかけて最も広がり、6月には全て融解する。海水最盛期には、平均的にオホーツク海の80%程度が海水に覆われるが、年変動は大きく、ほぼ全域が海水に覆われることもある。一旦海水ができると太陽からの熱の殆どを反射するため、その海域は更に冷えて海水域が広がる。また、融解し出すときにはその逆に加速度的に融解するという正のフィードバック効果があり、気象の変化を拡大して見せてくれるとともに、大きな凝固・融解潜熱により気象・海象に大きく影響する。最近の研究では、オホーツク海が北太平洋中層低塩分水の供給源になっているという説が有力であり、オホーツク海の海洋構造が地球全体の海洋構造に影響を与えていることが指摘されている。一方では、海水下に発生するアイス・アレジーと呼ばれる植物プランクトンが融氷期である春にブルームし、オホーツク海を海洋生物資源の豊かな海にしている。さらに、最近ではサハリン島北部での海底ガス・油田の開発が始まり、海水はその生産活動を阻害する邪魔者として働く。以上のように、オホーツク海の海水は地球環境から人類の生産活動まで、幅広い分野で大きな影響を及ぼしている。

海水は風や海流などの力を受けて移動するとともに、大気や海水との熱のやり取りにより成長・融解する。海水の長期の変動を計算するためにはこの両者をモデル化することが必要であり、移動・変形を表現するモデルを力学的モデル、熱による成長・融解を表現するモデルを熱力学的モデルと言う。本研究は、両者を連成させるとともに、海水流動とも連成させて、オホーツク海の一冬にわたる海水変動を計算したものである。以下、本論文の構成と内容を示す。

第1章は緒言であり、海水変動計算の重要性を、地球環境のメカニズム解明という海洋学的な側面、漁業資源との関わりという水産学的な側面、氷海域資源開発や海上輸送という工学的側面から述べている。また、種々のデータや計算を統合し、システム化することの重要性を示している。

第2章「海洋の数値モデル」では、海水の流動と熱塩の移流・拡散の計算法について述べている。海水流動には静水圧近似を施した Navier-Stokes 方程式を3次元直交直線座標系で解いている。

第3章「海水のある海洋における熱交換モデル」では、大気と海洋・海水の間の熱交換の計算法について述べている。開水域における海面での熱交換は、海面へ入射する短波長放射、海面へ入射する長波長放射、海面上の乱流顕熱熱伝達、海面上の潜熱交換、海水からの自然放射（輻射）に分けられ、夫々を定式化している。海水が存在する場合には、これらの成分に加えて、海水内部の熱伝達が加わる。鉛直方向の熱の移動により海水が厚くなったり薄くなったりし、海水側面における海水との熱交換に

より海氷の面積が増減する。また、開水域からの新氷の生成も、モデル化している。

第4章「海氷流動の数値モデル」では、海氷の力学的モデルについて述べている。海氷には、上面に風による力が働き、下面に海水による力が働く他、海面傾斜による横滑り力、地球の自転によるコリオリ力が働く。さらに、氷盤同士の衝突や接触による相互干渉力（しばしば、「氷の内部応力」と称される）が働く。海氷は、様々な大きさと形状の氷盤により構成されるので、氷の内部応力を正確にモデル化することは、オホーツク海全域などの広い海域を対象とする場合、殆ど不可能である。そこで本研究では、海氷域を多くの氷盤群に分けて、氷盤の衝突・接触を表現する DMDF (Distributed Mass / Discrete Floe) モデルを用いている。このモデルは比較的新しいモデルであり、一冬という長期の予測計算に適用されたのは、本研究が初めてである。それに不可欠な、氷の rafting (重なり合い) の定式化を、新たに加えている。

第5章「数値計算に使用するデータ」では、初期値として使用する海氷分布データ、海洋データ、境界条件として使用する気象データについて述べている。海氷分布データは米国 DMSP 衛星の SSM/I センサ (受動型マイクロウェーブセンサ) によるものを用いており、計算対象である 1992-1993 年冬全般に渡っての気象と海氷の観測値の特徴を考察している。

第6章「海氷の発生を含む海洋変動の数値計算」では、11月から12月にかけて、海水流動と海氷の発生・成長に関する試計算を行い、概ね良好な結果が得られることを示している。

第7章「海氷の力学的挙動の数値計算」では、熱による氷の発生・成長・融解を考えない1ヶ月間の試計算を行い、力学的な要因による海氷変動の特徴について考察している。また、rafting による氷厚の増加と氷密接度の減少という合理的な結果が得られている。一ヶ月間で半分近くの氷が rafting しており、長期予測計算において rafting を考慮することの重要性が示唆されている。

第8章「冬期オホーツク海の海洋・海氷変動予測計算」が、計算結果の主要部であり、海氷の力学的モデル、熱力学的モデル、海洋モデルを連成させ、オホーツク海における一冬の海氷変動を計算している。観測との一致度は概ね良好であり、今後パラメータの tuning を行えば、十分実用レベルに達するものと期待される。

第9章「海氷分布予測システム」では、データベースと種々の予測計算モジュールを GIS (地理情報システム) で結びつけるという統合システムを、具体的に提案している。

第10章は結言であり、本研究の成果をまとめている。

以上要するに、本論文はオホーツク海の海氷変動予測システムを試作し、その実用化に向けての指針を示したものであり、海洋学、雪氷学、氷海工学の発展に寄与するところが大きい。よって本論文は、博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。