

学 位 論 文 題 名

Numerical studies on the Circulation of the Sea of Okhotsk

（オホーツク海の循環に関する数値的研究）

学位論文内容の要旨

オホーツク海は北太平洋中層水のベンチレーションのソースと考えられているが、その循環の力学についての研究は充分ではない。本研究では、主に風成循環に注目して、数値モデルを用いてオホーツク海の循環について調べた。

これまでは直接測流による観測に乏しかったが、最近になって主に東樺太海流の観測による研究が行なわれた。Ohshima et al.(2002)では、表層漂流ブイを用いた観測によって、いままでその存在がはっきりしなかった東樺太海流を確認した。また、東樺太海流の流速には岸側と沖側の二つのコアが存在することも示唆した。一方 Mizuta et al.(2002)は係留系観測によって、東樺太海流の流量と流れの鉛直構造について調べた。

本研究では、主にオホーツク海の風成循環について調べるために、 σ 座標を特徴とする Princeton Ocean Model を用いて数値計算を行なった。海底地形、風応力には現実的な値を与え、風応力には ECMWF 再解析データ (ERA-15) を用いた。

まず始めに、年平均気候値風応力を与えて循環を調べた。その結果、風応力分布から予想される通り、オホーツク海中央部では反時計回りの循環ができ、サハリン東岸には西岸境界流、すなわち東樺太海流が作られた。東樺太海流の流量の最大値はおおよそ 5 Sv であった。この循環の流線関数分布は、水深 500m 以深で計算されたスベルドラップ流量分布とよく対応する。また、東樺太海流の流速分布には二つのコアが再現された。この二つのコアのうち岸側の流れは、岸沿いの風応力で決まる "Arrested Topographic Wave" (ATW) 成分、沖側の陸棚斜面上の流れは上記の西岸境界流成分であることがわかった。東樺太海流の流量は風成循環の西岸境界流の成分が大きい、流速については ATW 成分が大きいことがわかった。流速の鉛直分布は観測結果と同様に、陸棚斜面域では海面から海底まで達している。

次に月平均気候値風応力を用いて季節変動について調べた。東樺太海流の流量は顕著な季節変動を示し、1月に最大値 9.4 Sv、9月に最小値 3.0 Sv となった。この流量変動は係留観測で得られた流量とよく合っている。また、アムール川からの淡水流入を加えた実験を行なったところ、観測結果で示唆されている通り、低密度水が 11月から12月に北海道沿岸に達することがわかった。

最後に ERA-15 から求めた 1979年から1993年までの各年各月の平均風応力を用いて東樺太海流の経年変動について調べた。モデルから求められた東樺太海流の流量は大きな季節、経年変動を持つことがわかった。スベルドラップ流量から求めた東樺太海流の流量も季節変化、経年変化ともに大きい。モデルで得られた流量の位相はスベルドラップ

流量から一月遅れで、スベルドラップ流量のおよそ3分の1の振幅の季節変動を持つことがわかった。一方東樺太海流の ATW 成分の流量の時間変動は、風応力から求められる理論値と振幅、位相共に非常に良く一致することがわかった。岸近くでの流速は ATW による部分が多いが、その流量は最大となる冬季に 1 Sv 程度であり、東樺太海流の流量への寄与は西岸境界流成分に比べて小さい。また、Mizuta et al.(2002) の係留観測と同じ期間の風応力で駆動した結果を観測と比較したところ、東樺太海流の流量の振幅、位相とも良く再現できた。

以上のように、オホーツク海の循環について多くの部分が風応力によって説明できることがわかった。海盆上または陸棚斜面上の流量はほとんどが風応力のカールで決まり、陸棚上の流れは ATW によって決まる。また、サハリン東岸の陸棚上では、秋季のアムール川の低密度水による密度流がこれに加わる。

学位論文審査の要旨

主 査 助教授 大 島 慶一郎

副 査 教 授 若 土 正 暁

副 査 教 授 江 淵 直 人

副 査 教 授 池 田 元 美

副 査 教 授 久保川 厚

副 査 竹 内 謙 介

(地球環境フロンティア研究システム)

学 位 論 文 題 名

Numerical studies on the Circulation of the Sea of Okhotsk

(オホーツク海の循環に関する数値的研究)

オホーツク海は、北太平洋で唯一熱や二酸化炭素などの物質を大気から海洋中層に運べる海域であり、熱や物質の（大気海洋間の）交換、ひいては地球規模の気候変動にも重要な海域と考えられている。しかしながら、オホーツク海における流れの場は、直接測流が乏しかったため、最近行われた日露米国際共同プロジェクトまではよくわかっていなかった。共同プロジェクトにより、オホーツク海には低気圧性の循環が卓越し、その境界流として樺太沖を南下する東樺太海流が存在することが定量性を持って明らかにされた。東樺太海流の年平均流量である約 7 Sv は、日本海の対馬暖流の流量の約 3 倍、黒潮の流量の 2-3 割に相当し、縁海の流れとしてはかなり大きなものである。これは流れが表層のみでなく海底まで達するような深い構造をもっていることによる。また、流量が冬季に最大で夏季に最小となる大きな季節変動をする。

本研究は、数値モデルによってオホーツク海の特徴的な流れの場を再現し、その流れの駆動機構を明らかにすることを目的としたものである。今までにもオホーツク海の数値モデル研究はあったが、与えた風応力の分解能が悪かったり、海底地形の効果が適切に表現できていなかったり、さらにオホーツク海の流れの場がまだわかっていなかった時点での研究であったため、現実の流れの場の駆動機構・力学機構を論じた研究はなかった。

具体的には、この研究では、現実的な海底地形・成層のもとに、現実的な風応力及び密度フラックスを与えたときにオホーツク海の循環がどうなるか、を海底地形の効果を適切に表現できる Princeton Ocean Model を用いて行っている。気候値風応力によって駆動されたモデルでは、オホーツク海のもっとも大きな特徴である低気圧性循環と、その一部としての東樺太海流が再現された。モデルの内部領域で渦度

バランスを調べると、年平均ではスベルドラップ・バランスしていることが確かめられ、東樺太海流は風成循環の西岸境界流として理解できることが示された。

再現された東樺太海流の上流に注目すると、東の中央海盆からくる流れと西の北西陸棚からくる流れとが合流して南下流となっている。このような特徴は観測結果と非常によく合っている。東からの流れは内部領域からの流れで、西岸境界流に相当する。西からの流れは陸棚上の流れに続いているが、これは西岸境界流として説明できない。この岸に捕捉された流れは岸でのエクマンフラックスによって流量が決まる沿岸捕捉流として解釈される。

このようにモデルからは、東樺太海流は、(a)沖の陸棚斜面上に作られる風成循環の西岸境界流成分と、(b)陸棚上に存在する沿岸捕捉流成分の2つの成分からなることが示された。これは、東樺太海流には二つのコアがあるという観測結果をよく説明している。流量を主に担っているのは西岸境界流成分であり、秋・冬季にのみ南下流が北海道沿岸まで達するのは沿岸捕捉流によると考えられる。

本研究では、さらにアムール川からの淡水流入を加えた実験も行なっている。その結果、観測結果で示唆されている通り、低密度水が密度流となってサハリン東岸を南下し、11月から12月に北海道沿岸に達することも再現された。

以上より、本モデル研究は、オホーツク海の特徴的な流れの場を定量性をもって再現したこと、さらにその流れの駆動機構を力学的にも明らかにした点で高く評価される。また、申請者が作成したオホーツク海数値モデルは、現時点では最も現実を再現しているモデルであり、以上示した研究の他にも、短周期成分の力学や海水が存在したときの効果など、今後の更なる研究の進展が期待されるものである。

審査員一同は、これらの成果を高く評価し、また研究者として誠実かつ熱心であり、大学院過程における研鑽や取得単位なども併せ申請者が博士（地球環境科学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと判定した。