

学 位 論 文 題 名

Model Study of Seasonal Variation of
Western Boundary Currents over a Continental Slope :
Application to the East Sakhalin Current

（陸棚斜面上の西岸境界流の季節変化に関するモデル研究：
東カラフト海流への適用）

学位論文内容の要旨

オホーツク海は、日本、サハリン、シベリア、カムチャツカ半島に囲まれた縁辺海であり、北半球において最も低緯度の季節海氷域であることと、北太平洋中層水の起源海域として注目されている(Talley 1991)。したがって、海氷や北太平洋中層水の起源水がどのように輸送されるかを知るために、オホーツク海の海洋循環を理解することは重要である。

オホーツク海では反時計回りの循環が卓越し、その西岸に沿って南下する東カラフト海流(ESC)があることが知られている。ESCは風応力カールによって駆動される西岸境界流であると考えられている(Ohshima et al. 2004)。最近の観測によると、ESC流量の年平均値はスベルドラップ流量の年平均値より著しく大きい。この理由を説明するために西岸に沿って斜面がある矩形海洋における数値実験を行い、西岸に沿って南下する流量を調べた。この流量は西岸から沖で順圧流速がゼロになる位置まで積分した流量と定義した。それゆえ、この南下流の流れ幅は固定されていない。このモデルを冬季に最大で夏季にゼロという季節変化をもつ風応力によって駆動させると、観測と同様に南下流量の年平均値がスベルドラップ流量の年平均値より大きくなる。冬季には、順圧応答が卓越し、南下流量はそのときどきのスベルドラップ流量にほぼ等しい。一方、夏季には、順圧ロスビー波が斜面上に侵入できないために南下流量はスベルドラップ流量の年平均値に近い値をもつ。この夏季の南下流量によって南下流量の年平均値は増加する。季節変化する南下流量の年平均値を簡単な方法で表すと、スベルドラップ流量に対して南下流量の超過分は、スベルドラップ流量の季節振幅を π で割った値となる。この値は数値実験の結果とほぼ等しい。オホーツク海のスベルドラップ流量の見積りで不明確な部分はあるが、この数値実験の南下流量の季節変化は観測結果と定性的に似ている。

本研究では、仮に力学が線形であっても、南下流量の年平均値がスベルドラップ流量の年平均値よりも大きくなりうることを示した。通常の観測において、西岸境界流流量は海流が卓越する方向(ESCの場合、南向き)の鉛直断面で測定される。その場合、風応力カールの季節変化によって海流の幅が季節変化すると、西岸境界流の年平均値がスベルドラップ流量の年平均値よりも大きくなるのが一般的に言えるかもしれない。このような方法で測定されたESC

流量(Mizuta et al. 2003)は海水や北太平洋中層水の起原水の輸送を知るために重要である。しかし、サハリン東岸からサハリン沖の西斜面の東端辺りまでの流量を測定することがスベルドアップ理論を用いてESC流量を解釈するために必要であることが示唆される。

以上のように南下流量は夏季にはSverdrup流量の年平均値に近い値をもつが、南下流量は夏季にSverdrup流量の年平均値にすぐに達して一定にならず、春季から夏季にかけて緩やかに減少していく。この緩やかな減少は観測、数値シミュレーションでも見られ、上層捕捉波の西方伝播によると考えられがちであるが、オホーツク海北部では、弱い成層と小さい β のために年周期の上層捕捉波の伝播解は存在しない。そこで本研究では、ESC流量の緩やかな減少を解釈することを目的として、2層線形モデルを用いて、斜面上の流量変動の特性ならびに季節変化する風応力場に対する海洋の応答の粘性依存性を理論的に調べた。その結果、上層捕捉波が存在しない周期帯でも、線形モデルで得られた上層流線の変動成分は斜面上を西方へ伝播することが確認された。位相速度は水平粘性に依存し、水平粘性を小さくすると、上層流線の変動成分の位相速度はより遅くなる。振動数を固定した一様斜面上の強制波解を求めることにより、位相速度と減衰距離の水平粘性依存性を明らかにし、水平粘性を大きくすれば位相速度は速くなることを確認した。水平粘性を変えた数値実験でも線形モデルと同様な傾向がみられた。この傾向は平板振動による流れの類似性によって理解されることができる。西斜面上の海洋の応答に対する水平粘性の影響は、年周期の上層捕捉波の伝播解が存在しない高緯度の海域において重要であることが示唆される。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 久保川 厚

副 査 教 授 三 寺 史 夫

副 査 助教授 大 島 慶一郎

副 査 助教授 磯 部 篤 彦 (九州大学大学院総合

理工学研究院)

学 位 論 文 題 名

Model Study of Seasonal Variation of Western Boundary Currents over a Continental Slope : Application to the East Sakhalin Current

(陸棚斜面上の西岸境界流の季節変化に関するモデル研究：
東カラフト海流への適用)

海洋の表層循環は主に風応力により駆動され、風応力による渦度強制と惑星 β の移流の釣り合いであるスベルドラップ平衡によって西岸近くを除く広い領域の流れの場は決まる。そして、西岸域には、その補償流である強い流れ(西岸境界流)が生じる。定常的な風に対する海洋の循環は第ゼロ近似的にはほぼそのようなバランスで説明されるが、風が変動する場合には水深変化に伴う渦柱の伸縮により底地形の影響が現れる。このような底地形、特に西岸近くの陸棚斜面の影響に関する理論研究はいくつもなされてきているが、現実の海洋の季節変動等が既知の理論で直接すべて説明可能なわけではない。申請者は、近年研究が進み、いろいろなことが明らかになってきたオホーツク海の西岸境界流である東カラフト海流に着目し、その年平均流量と季節変動に関する理論を提出した。

オホーツク海の北半分には冬季の強い季節風により正の渦度が注入され、反時計回りの循環が形成される。その西岸境界流が東カラフト海流である(Ohshima et al. 2004)。最近の直接測流結果によると東カラフト海流の南向き流量の年平均値はスベルドラップ平衡から予測されるものよりも顕著に大きい(Mizuta et al. 2003)。申請者は、まず、その理由を探るために西岸に沿う理想化された海底斜面をもつ矩形海洋での数値実験を行った。モデルの風応力としては、冬季に最大値を持ち、夏季にはゼロになる三角関数型の時間変動をするものを与えた。西岸境界流の流量を西岸から南向き順圧流速がゼロになる場所までの積分値で定義したところ、風の強い冬季にはそれはその時々スベルドラップ流量にほぼ一致し、風応力がゼロに近づく夏季には、年平均のスベルドラップ流量程度の値になる。

そして、この夏季の流量故に南下流量の年平均値がスベルドラップ流量よりも大きくなることが示された。この流量変動の様子は、観測される東カラフト海流の流量変動と定性的に一致する。そして、申請者は、この流量の年平均値の増加は海流幅の変動によりに説明した。さらに、流れの場を年平均場と季節変動場に分けることにより、この海流幅の季節変動は風応力変動への応答として現れる順圧ロスビー波が斜面上に侵入できないことによりもたらされていることが明らかになった。この結果は、流れの場が線形力学により支配されている場合にも、多くの場合卓越方向の総流量として定義される西岸境界流流量の年平均値は、スベルドラップ流量よりも大きくなりうることを示す。

上で述べたように南下流量は夏季にはスベルドラップ流量の年平均値に近い値をもつが、夏季の南下流量はその値で一定になるわけではなく、春から秋にかけて緩やかに減少する。この緩やかな減少は観測や現実的な数値シミュレーションにも見られる。これは過去の理論研究に基づけば上層捕捉波の西方伝播によると解釈できそうに思われるかもしれないが、オホーツク海北部では、弱い成層と小さい β のために年周期の上層捕捉波の伝播解は存在しない。そこで申請者は、この東カラフト海流流量の緩やかな減少を解釈することを目的として、2層線形モデルを用いて、斜面上の流量変動の特性ならびに季節変化する風応力場に対する海洋の応答の粘性依存性を理論的に調べた。その結果、上層捕捉波が存在しない周期帯でも、線形モデルで得られた上層流線の変動成分は斜面上を西方へ伝播することが確認された。位相の伝播は水平粘性に依存し、水平粘性を大きくすると、上層流線の変動成分の位相はより速く伝播する。振動数を固定した一様斜面上の空間的に減衰する解を求めることにより、位相速度と減衰距離の水平粘性依存性を明らかにし、水平粘性を大きくすれば位相速度は速くなり、減衰距離は長くなることを確認した。水平粘性を変えた数値実験でも線形モデルと同様の傾向が見られた。この傾向は平板振動による流れの類似性から理解することができる。西斜面上の海洋の応答に対する水平粘性の影響は、年周期の上層捕捉波の伝播解が存在しない高緯度の海域において特に重要であると考えられる。

上記のように、本研究は近年急速に明らかになってきたオホーツク海の観測結果の解釈を念頭に、より一般的な場に適用可能な理論を構築・提出したものであり、オホーツク海に限らず、季節変化の大きな、特に高緯度の縁辺海の西岸境界流を考える上での基礎となる新たな知見を与えるものである。

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