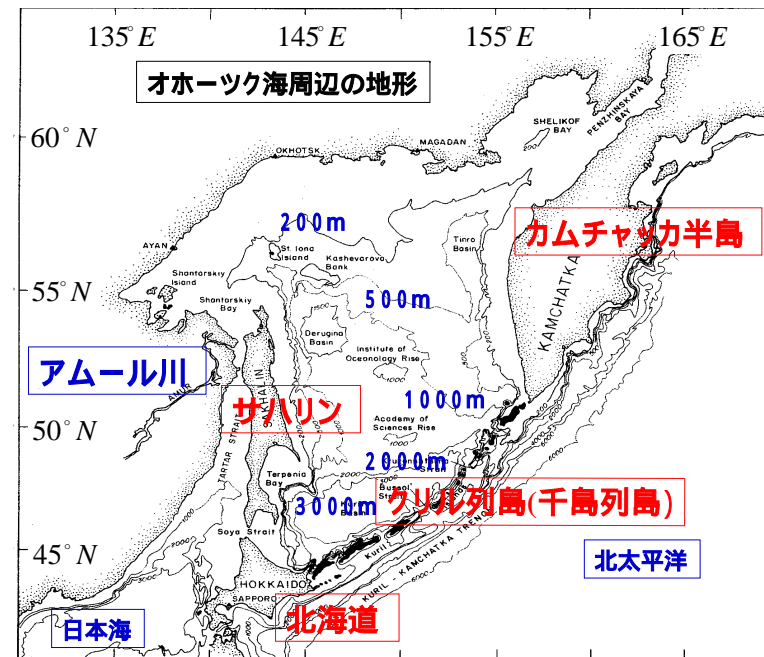


海洋モデルを用いたオホーツク海における海洋物理場の把握に関する研究

海洋環境工学分野
 指導教官 藤野正隆教授・多部田茂助教授
 06636 西 佳樹



研究の背景

オホーツク海は北太平洋中層水(North Pacific Intermediate Water)の形成過程に深く関与

この水塊は表層起源水塊であること、その形成場所がオホーツク海の北西部大陸棚であることが明らかとなった(結氷過程の重要性)。

→ 大気中物質の海洋による吸収プロセスの解明にとって重要であるとの認識が確立。また、生物生産が高いことも着目要因の一つである。

サハリン東岸大陸棚上でサハリン石油・天然ガス開発が進行中。

- ・当開発に伴う油流出事故(輸送タンカー、掘削プラットフォーム)
- ・船舶航行の増加によるバラスト水排出増加
- ・沿岸域経済発展による環境変遷

→ 結氷域という特殊な環境下での対策の必要性と緊急性が指摘されている。

本研究の目的

様々な見地から実態把握が望まれる海域であるが、政治的理由、厳しい海象等の事情により現場観測が世界的に見ても希少である。したがって循環像、熱塩輸送過程といった基礎的な事柄が未だ未知である。

そこでオホーツク海における海況を構成する最も基本的な要素である海洋物理場を把握することを本研究の主目的とする。

具体的には以下の2点に着目する。

オホーツク海の海洋物理場を再現し得る海洋モデルを用いて、気候値を用いた定常密度場条件下で駆動し恒流を計算することで、当海域の海流構造の平均的な姿を把握する。

変動密度場条件下で海洋モデルを駆動し、海流構造、表層低塩分水の季節変動パターンを把握する。

海洋モデルの概要

$$\frac{\partial u}{\partial t} + L(u) - \left(f + \frac{u \tan \theta}{R} \right) v = - \frac{1}{\rho_0 R \cos \theta} \frac{\partial p}{\partial \lambda} + A_M \left\{ \nabla^2 u + \frac{1 - \tan^2 \theta}{R^2} u - \frac{2 \sin \theta}{R^2 \cos^2 \theta} \frac{\partial v}{\partial \lambda} \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_M \frac{\partial u}{\partial z} \right)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + L(v) + \left(f + \frac{u \tan \theta}{R} \right) u = - \frac{1}{\rho_0 R \cos \theta} \frac{\partial p}{\partial \theta} + A_M \left\{ \nabla^2 v + \frac{1 - \tan^2 \theta}{R^2} v + \frac{2 \sin \theta}{R^2 \cos^2 \theta} \frac{\partial u}{\partial \lambda} \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_M \frac{\partial v}{\partial z} \right)$$

$$0 = - \frac{\partial p}{\partial z} - \rho g$$

$$\frac{1}{R \cos \theta} \frac{\partial u}{\partial \lambda} + \frac{1}{R \cos \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} (v \cos \theta) + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

$$\frac{\partial B}{\partial t} + L(B) = A_H (\nabla^2 B) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_H \frac{\partial B}{\partial z} \right) \quad B: T \text{ or } S$$

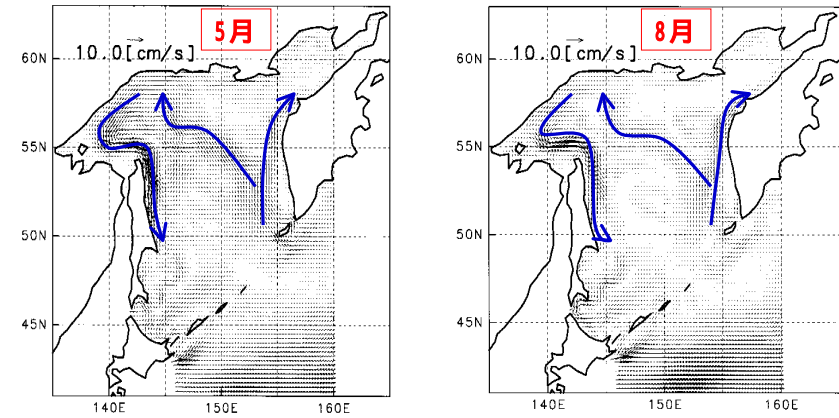
$$\rho = \rho(T, S, P)$$

λ, θ, z : 経度、緯度、水深 u, v, w : 流速(経度成分、緯度成分、鉛直成分)
 p : 水圧 ρ_0 : 海水密度(参照密度) T : 水温 S : 塩分 R : 地球半径
 f : コリオリパラメータ A_H, K_H : 渦動粘性 A_M, K_M : 渦動拡散

- ・水平解像度: 0.25deg., 0.25deg.
- ・鉛直解像度: 3m - 200m (ただし Partial Step)
- ・変数配置: Staggered Grid
- ・計算法: 差分法
- ・水温・塩分初期値: Levitus94 気候値
- ・海面熱塩フラックス・風応力: DaSilva 気候値
- ・水平渦動粘性・拡散: Richardson4/3乗測
- ・鉛直渦動粘性・拡散: Mellor-Yamada乱流クロージャ- (レベル2.5)

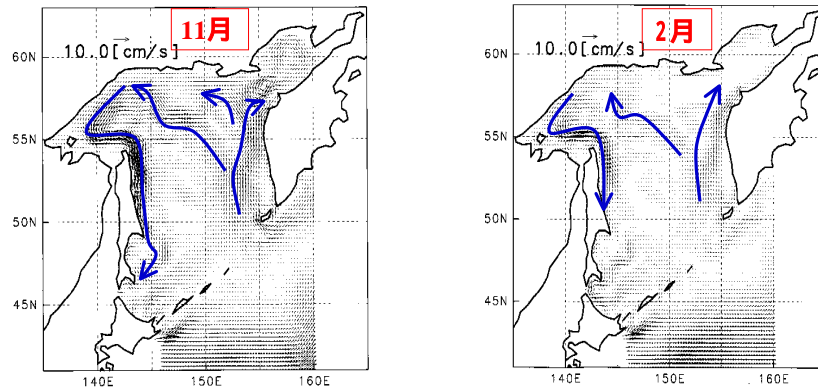
定常密度場計算の結果例1

従来からオホーツク海の流れ構造は概ね半時計回りの環流構造であるとされてきたが、その本計算による再現性を調べた。



表層(水深1.5m)水平流速ベクトル

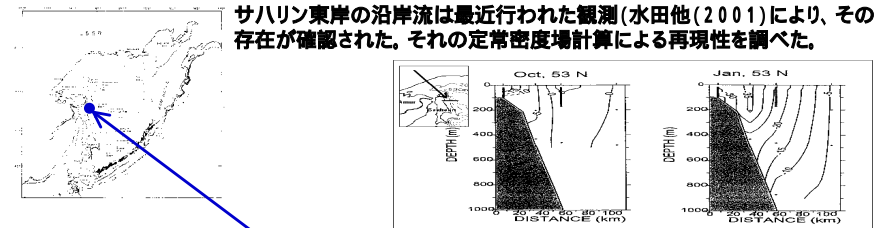
定常密度場計算の結果例2



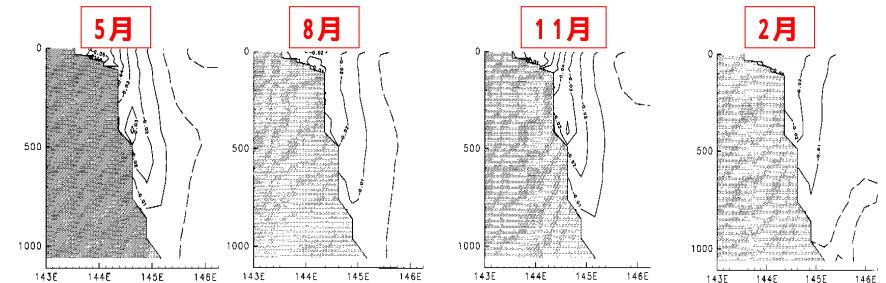
表層(水深1.5m)水平流速ベクトル

定常密度場計算の結果例3

サハリン東岸の沿岸流は最近行われた観測(水田他(2001))により、その存在が確認された。その定常密度場計算による再現性を調べた。



サハリン東岸沖の北緯53度ラインにおける南北流速鉛直断面分布



オホーツク海の平均流構造の把握に関する考察

・気候値による水温・塩分を用いた密度場をモデルに取り込み、それを定常に保った状態でモデルを駆動し平均流の構造を計算した。



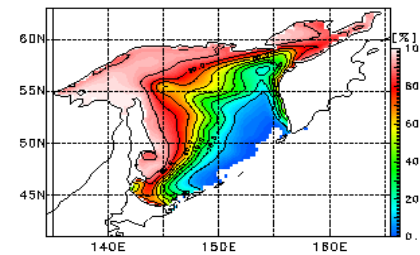
オホーツク海の流れ構造の全体的な形は半時計回りであるとする従来からの知見を数値計算によって裏付けることができた。その構造を規定する要素としてはオホーツク海の海底地形の特徴である**陸棚斜面**(水深200mから500m)の存在が大きいと考えられる。従来は地衡流推算による表層平均流の把握のみであったが数値計算を行うことで3次元的に流速場を描き、海底地形の影響を明快に示すことができた。

また、水深200m以浅の陸棚上の沿岸流に関しては、**サハリン東岸の南下流**および**カムチャッカ西岸の北上流**が再現された。その沿岸域における詳細な分布に関しては観測によるものと概ね合致したが流速に関しては最大で1オーダーほど小さいものとなった。この原因としては実海域に比べて気候値の水温・塩分場は平滑化されていると考えられるため、それが流速の大きさに影響を与えたものと推察される。

流水存在下での海洋物理環境に関する検討1

2月の月平均流水密度度(NSIDCより入手したデータを編集)

流水の存在は風応力の伝達、熱塩フラックスに変化を与える。ここでは風応力場に対する影響について検討した。



CONTOUR INTERVAL = 1.000E+01

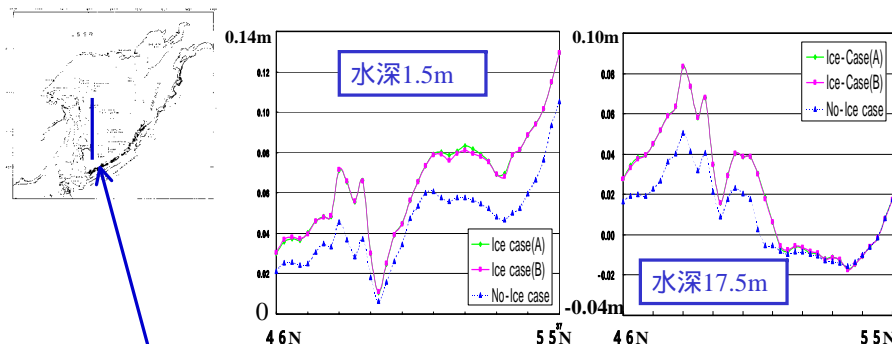
Hibler(1979)による**海水力学モデル**を新たに導入し**流水密度度データ**を取り込むことでその存在を考慮する。

密度度 $A(0 \leq A \leq 1)$ の場所では海洋表面でのせん断応力は以下の様に、**大気 - 海洋間**と**海水 - 海洋間**応力との、 A の重み付き和とする。

$$\tau = (1 - A) \tau_{Air - Ocean} + A \tau_{Ice - Ocean}$$

流水存在下での海洋物理環境に関する検討2

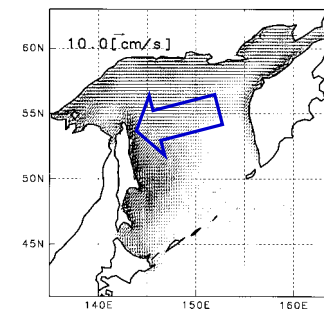
- ・No-Ice Case・・・流水の存在を無視して計算。
 - ・Ice-Case(A)・・・流水を考慮。Ice-Water抵抗係数 6.0×10^{-3}
 - ・Ice-Case(B)・・・流水を考慮。Ice-Water抵抗係数 1.0×10^{-3}
- 2月の風応力場、月平均海水密度場、流水密度度を用いた計算



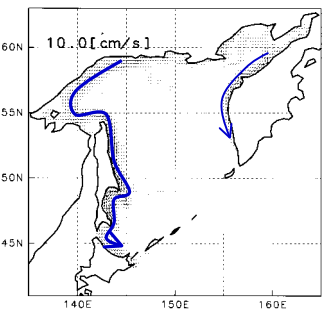
東経145度ライン上での流速東西成分を比較した。

左記ライン上での流速東西成分(西向きを正としている)

流水存在下での海洋物理環境に関する検討3



表層流速場のIce-case(A)とNo-Ice Caseの差

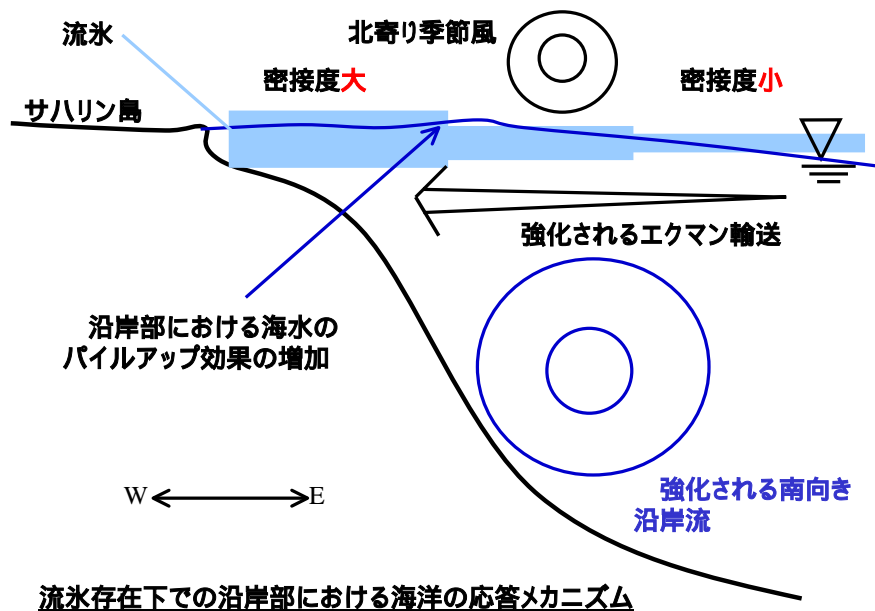


Ekman流速場のIce-case(A)とNo-Ice Caseの差

冬季における強い北寄りの季節風によるEkman吹送流は流水存在下で強化されている。



強化されたEkman吹送流がサハリン東岸において収束することにより、南向き沿岸流を強化する。またカムチャッカ西岸では逆にEkman発散となり同様に南向き沿岸流が強化される。

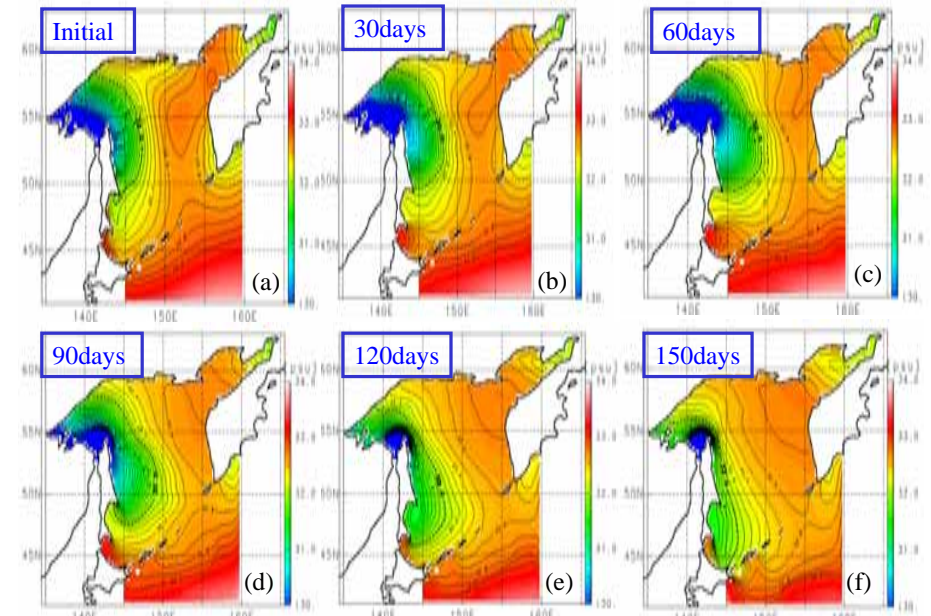
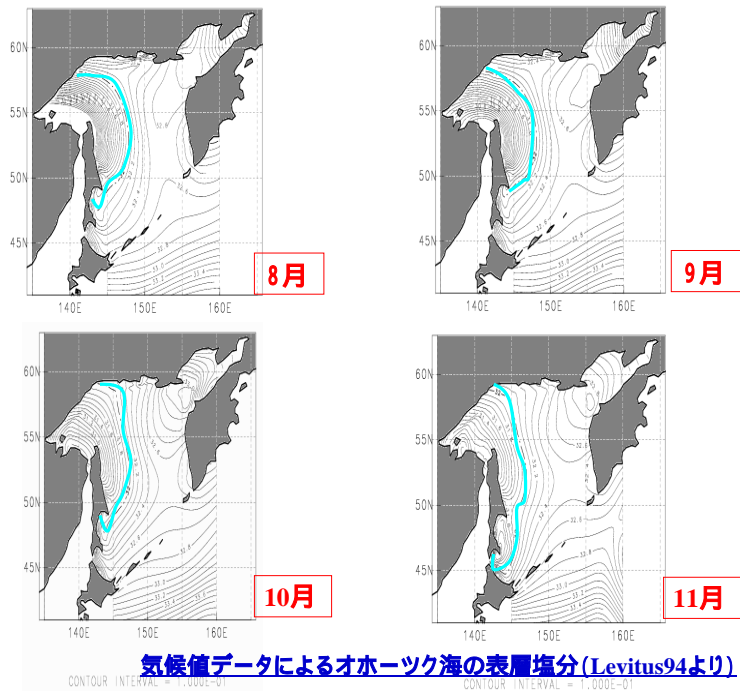
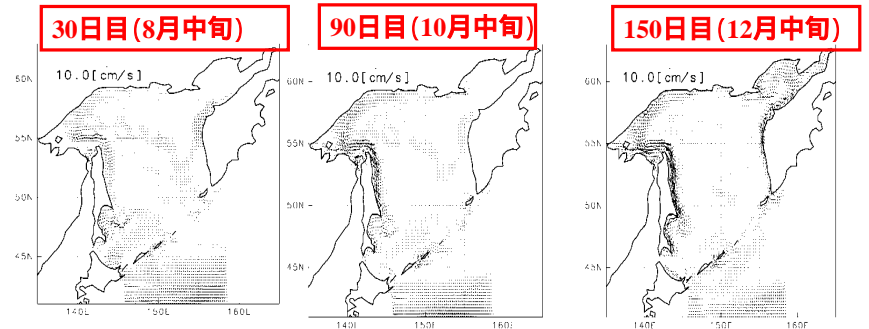


変動密度場計算による季節変動現象の把握1

オホーツク海の季節変動現象の特徴である、**表層低塩分水**の夏季から初冬季にかけての挙動に特に着目して150日間計算を行った。

- ・水温・塩分場の初期値:7月の月平均値
- ・海面フラックス(熱塩・風応力)は月平均値を線型時間内挿して与える。

計算による流動場の推移



計算による表層塩分分布の推移(a)Initial(Mid-Jul.), (b) 30days(Mid-Aug.), (c) 60days(Mid-Sep.), (d) 90days(Mid-Oct.), (e) 120days(Mid-Nov.), (f) 150days(Mid-Dec). コンター間隔0.1PSU

変動密度場計算に関する考察

1. 流速場については**夏季における密度流卓越パターン**(全体として半時計回りの構造)から、秋口から徐々にサハリン東岸での南向き境界流、相次いでカムチャッカ西岸での南向き境界流が強化されていくという変動が計算された。これは10月頃より吹き出すシベリアからの北寄り季節風の影響で、この季節において海流が**風成卓越パターンへと推移する**ことを示している。

夏季における密度流卓越は定常密度場計算の結果と類似していることから考察であり変動密度場計算を引き続き行ったことで密度場から風成へと変化するドライビングフォースの推移を明示することができた。

2. 更に計算対象期間での**表層低塩分水の挙動**については、10月頃を境にしてそれ以前はサハリン沿岸域に停滞しているが、それ以後は沿岸に沿うように南下する様子が計算された。これは上記の海流の推移と合わせて考えると風成卓越海流による移流効果によるものと推察される。

→ これら計算結果は既存の観測的研究による知見を裏付けるものである。

結言

オホーツク海における海洋物理場を把握するために海洋モデルを当海域に適用した。

定常密度場計算では、オホーツク海の平均流構造を計算し古典的循環像は本計算によって再現されることを示した。またそれを形成する要因としては陸棚から陸棚斜面にいたる海底地形の影響が大であることを指摘した。更に流水の存在はで風に対する海洋応答に関して、表層エクマン流の強化・沿岸流の強化をもたらすことを示した。

変動密度場計算では海流構造の推移と表層低塩分水の挙動に関して、観測的知見を数値計算によって再現した。

→ これらの成果は、今後のオホーツク海の家況予測や、温暖化現象・海洋生態系に絡む海洋現象の解明のための基礎的な知見を与えるものである。今後は結氷域の特殊性を考慮した海洋生態系モデルの開発、海洋物理モデルの高精度化・高効率化を図ることが課題として浮上するであろう。