

論文内容の要旨

Modeling study on Pacific water transport in the Arctic Ocean

(北極海における太平洋起源水の 輸送過程に関するモデル研究)

渡邊 英嗣

北極気候システムは非常に複雑で未解明プロセスが多いことが知られている。例えば、近年著しい海氷減少の要因として、風応力変動、海上気温の上昇、海洋熱輸送量の増加などが指摘されているが、これらの間でも密接に相互作用しており、各要素がどの程度寄与しているのかは十分にわかっていない。特に海洋の影響を定量的に議論した研究は殆どなく、数値モデルを用いた現実的なシミュレーションが求められている。しかし、従来の北極海モデルの多くは成層構造を十分に再現できておらず、カナダ海盆域の表層塩分を過大評価してしまう。カナダ海盆域での塩分変動は北大西洋北部の深層水形成域への淡水輸送を介して全球熱塩循環とも密接な関係がある。そこで本研究では、多くの北極海モデルで生じている塩分バイアスの要因とその物理過程を明らかにすることを目的として、カナダ海盆域にとって重要な淡水供給源である太平洋起源水の輸送過程に着目した。

本研究では海氷海洋結合モデル IcedCOCO を使用した。実験は北極海全域と北大西洋北部を対象とした水平解像度が約 25 km の中解像度モデルとチャクチ海およびカナダ海盆の一部を対象とした水平解像度が約 2.5 km の渦解像モデルでそれぞれ行った (図 1)。いずれも鉛直は 25 層とする。大気フォーシングは NCEP/NCAR 再解析データの月平均気候値を与えた。ベーリング海峡では観測に基づく流量・水温・塩分の太平洋起源水を流入させ、中解像度モデルでは、全層の水温・塩分を観測値に緩和して海水厚分布が定常に達するまで 5 年間積分した結果を初期値として 10 年間積分を行った。

中解像度モデルで計算された積分 10 年目の表層 200 m の平均塩分を観測と比較すると、先行研究と同様にカナダ海盆域で高塩分バイアス、ユーラシア海盆域で低塩分バイアスが見られる (図 2)。この実験ではベーリング海峡から流入した太平洋起源水の多くがシベリア陸棚上を西向きに輸送されており、カナダ海盆内部に輸送される割合は相対的に少ない。この分布は太平洋水と大西洋水のフロントがユーラシア海盆より太平洋側に存在することを示唆した化学トレーサーによる観測結果と一致しない。ベーリング海峡通過時の太平洋起源水による淡水供給量はカナダ海盆域で生じた高塩分バイアスを解消するのに十分な寄与があることから、太平洋起源水の陸棚海盆間輸送を過小評価していることが塩分バイアスの本質的な要因として示唆される。

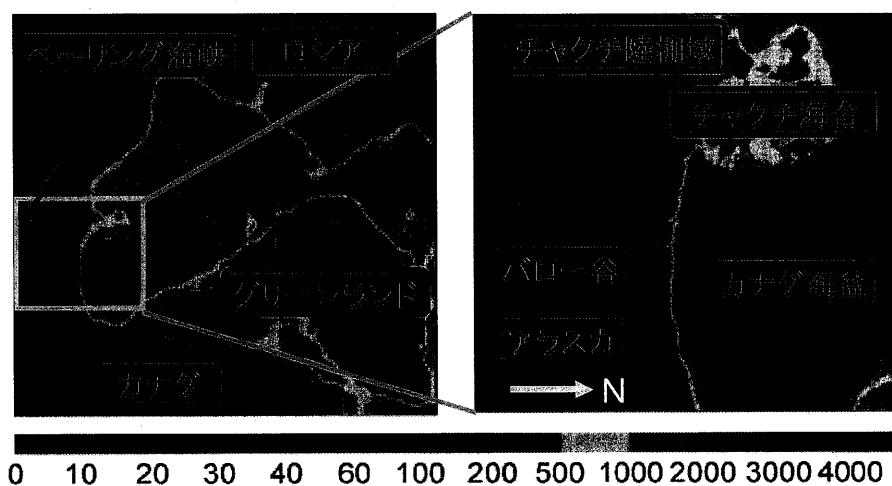


図 1 : モデル地形 [m]. (左) 中解像度モデル. (右) 渦解像モデル.

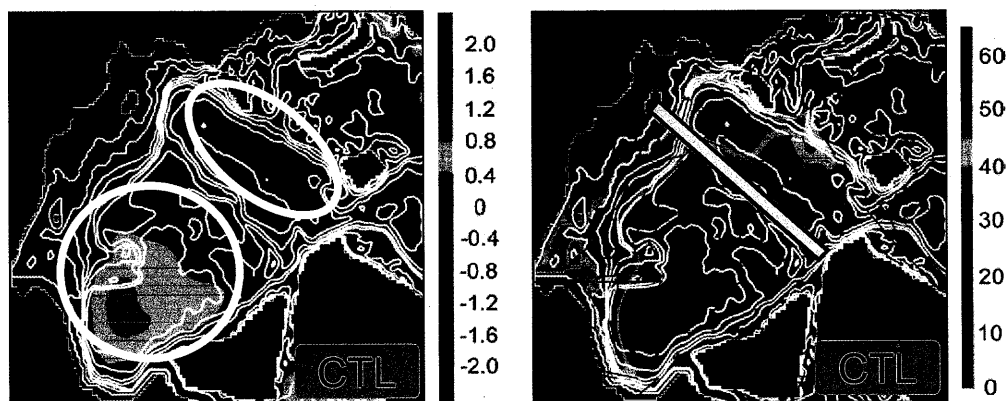


図 2 : (左) 表層 200 m の平均塩分偏差 [psu] (モデル - 観測).

(右) 太平洋起源水分布 [m] (濃度に水深を掛けた鉛直積算値) と表層 200 m の平均流速場. 白いコンターは等深線.

黄色線は観測から示唆される太平洋水と大西洋水のフロント.

夏季にベーリング海峡から流入した太平洋起源水の多くはチャクチ陸棚域を北上した後、秋から冬にかけて渦活動によってカナダ海盆域に流入していることが観測から示唆されているが、この海域では内部変形半径が 10 km 程度と非常に小さいために中解像度モデルでこのような渦輸送を陽に表現することはできない。そこで現実的な実験設定の下に渦解像モデルを駆動し、チャクチ陸棚域からカナダ海盆域への太平洋起源水の輸送過程について詳細な解析を行った。積分開始から半年後の 8 月の太平洋水分布を図 3 に示す。ベーリング海峡から流入した太平洋起源水の多くはバロー谷の周辺で渦活動によってカナダ海盆域に流入している。海盆域への流入量は 8 月から 10 月にかけて特に多く、この季節変化はバロー谷を通過する流速と良く対応している。バロー谷周辺では傾圧不安定に伴う有効位置エネルギーから擾乱運動エネルギーへの変換が卓越していることから、陸棚海盆間の太平洋起源水の輸送を担う渦がバロー谷で流速極大を示す Barrow Canyon jet の不安定化によって生成されていることが明らかになった。また、初期の海氷厚を変えた実験間の比較により、jet の強さやそれに伴う太平洋起源水の海盆域への流入量はバロー谷周辺での海面応力に強く依存し、それらは夏季の海氷縁の位置と密接な関係にあることが明らかになった。即ち、夏季に海氷縁が海盆域まで後退する状況下では、ベーリング海峡通過流量の増加に伴って jet が強化され、渦生成とそれに伴う陸棚海盆間の太平洋起源水の輸送が促進される。一方、海氷縁が陸棚域に残る状況下では、海氷海洋間応力によって jet が著しく減速することで、渦生成や陸棚海盆間の輸送が抑制される。さらに、チャクチ陸棚域からカナダ海盆域への淡水輸送量は中解像度モデルで生じていたカナダ海盆域の高塩分バイアスをかなりの割合で解消できるだけの寄与があることがわかった。

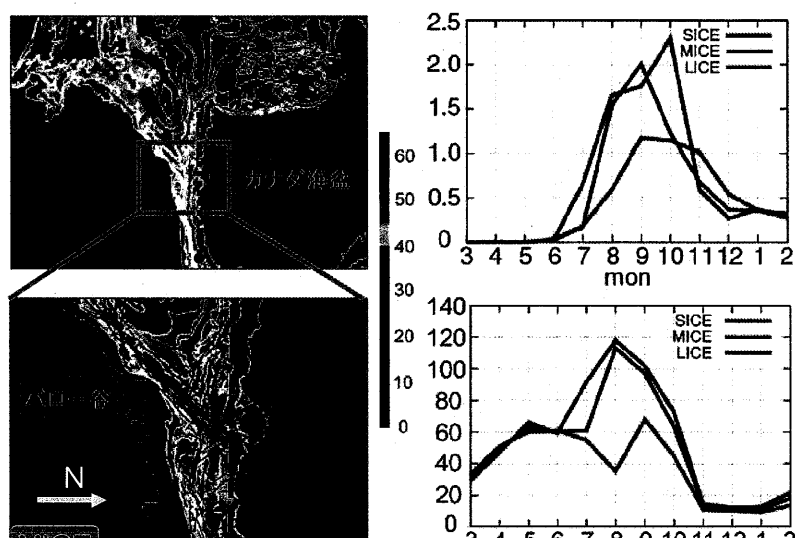


図 3 : (左) 8 月の太平洋起源水分布 [m] と表層 100 m の平均流速場, (右上) 太平洋水の海盆域への流入量 (左図の黒点線を横切る輸送量) [m mon⁻¹], (右下) バロー谷を通過する最大流速 [cm s⁻¹]. 実験名は初期の海氷厚が小さい順に SICE, MICE, LICE.

北極海全域を対象に渦解像モデルで数十年積分を行うことは計算機資源の制約から非常に困難であるので、中解像度モデルで陸棚海盆間の渦輸送を間接的に表現することで、太平洋起源水による淡水供給が塩分バイアスの解消にどの程度寄与するのかを明らかにする。中解像度モデルでもチャクチ陸棚域を北上する流れや陸棚海盆境界域での密度フロントが表現できており、この傾圧性と渦輸送を関係付けることができれば、太平洋起源水の海盆域への流入を間接的に表現できる。そこで本研究では Visbeck et al. (1997) が提唱した定式化を中解像度モデルに導入し、海盆域における塩分分布へのインパクトを調べた。この定式化では密度フロントでの渦輸送を間接的に表現する GM パラメタリゼーション (Gent and McWilliams, 1999) の層厚拡散係数を各海域の傾圧性に依存させている。このように係数を時空間的に変化させることで、係数を一定にしていた従来の実験に比べて、太平洋起源水のカナダ海盆域への流入量が増加し、ユーラシア海盆域への輸送量が減少する (図 4)。同時に、チャクチ陸棚域からカナダ海盆域への淡水輸送量が増加することで、従来の実験で生じていたシベリア側の低塩分バイアスとカナダ側の高塩分バイアスがともにかかなりの割合で解消された。従って、多くのモデルで生じている塩分バイアスを解消するには、太平洋起源水の陸棚海盆間の輸送過程を適切に表現することが本質的に重要であると結論付けることができる。

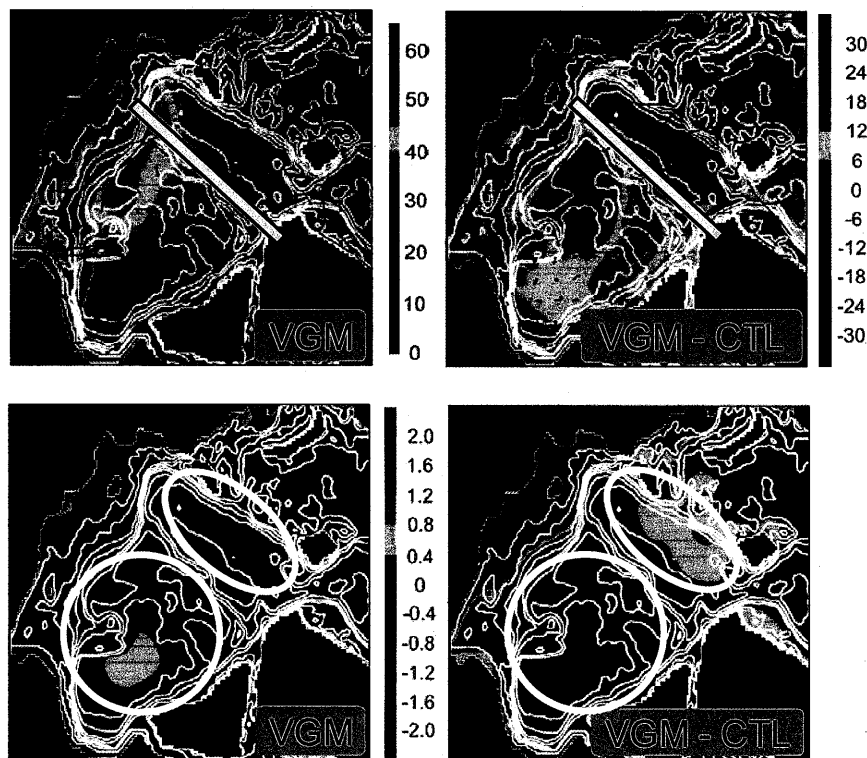


図 4 : (上) 太平洋起源水の分布 [m], (下) 塩分偏差 [psu] (モデル - 観測).
(左) 層厚拡散係数を傾圧性に依存させた結果, (右) 係数を一定にした結果との差.