

# 渦許容モデルにおけるサブグリッド熱・塩輸送のパラメタリゼーション

平原幹俊・石崎廣・山中吾郎(気象研)・石川一郎(気象庁)

## 1. はじめに

モデル格子(間隔 $\Delta$ )内の流速( $u, v$ )およびトレーサ $h$ の水平勾配を考慮すると、格子平均値 $\langle u \rangle, \langle v \rangle, \langle h \rangle$ で表現できないサブグリッド輸送(以下SGT)を $u_x = \langle \partial u / \partial x \rangle$ などによってパラメタリゼーションすることができる。トレーサ $h$ のSGTベクトルは次のテンソルを用いて拡散フラックスの形式: $-K_2 \nabla h$ で表される。

$$K_2 = \begin{bmatrix} An_x^2 + Bn_y^2 & (A - B)n_x n_y \\ (A - B)n_x n_y & Bn_x^2 + An_y^2 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

ここで、 $(n_x, n_y)$ は収縮軸方向: $(-D_S |D| + D_T)$ の単位ベクトル、 $A = \Delta^2 |D| / 24$ 、 $B = -\Delta^2 |D| / 24$ 、ただし、 $D_T = u_x - v_y$ 、 $D_S = v_x + u_y$ 、 $D^2 = D_T^2 + D_S^2$ である。

このパラメタリゼーションは場合によって負の拡散を与えるので、一般のトレーサの拡散スキームとして用いることはできない。しかし、Gent and McWilliams (1990)の方法の非等方版(Smith and Gent, 2004)に適用する場合、層厚のSGTについてはそのままの形でモデルに組み込むことができる。また、Smagorinskyの粘性係数を流速方向で非等方的に与えるときの粘性フラックスは運動量のSGTと矛盾しない。これらの拡散・粘性スキームを用いたときの海盆規模の等密度面混合について、従来から使われてきた倍調和型スキームと比較する。

## 2. 実験設定

気象研究所共用海洋モデル(MRLCOM; 石川ほか, 2005)を水深一定(3625m)のチャンネル地形で使用。

- ・地形: 東西幅30度周期接続、北緯15度~45度。鉛直35層
- ・西風応力: 北緯30度で最大値(0.1Nm<sup>-2</sup>)、5度で半減するガウス関数
- ・海面緩和条件: 緯度の線形関数(15度で24°C・35psu、45度で6°C・33psu)

海面で15°C・34 psu、海底で3°C・34.7 psuの水平一様成層・静止状態から渦なしモデルで200年積分して渦許容・渦解像モデルの初期値を作り、2000日間積分した結果を比較する。

### 解像度と粘性・拡散スキーム

RBB: 1/16 x 1/24度、倍調和型粘性(Smagorinsky)、倍調和型拡散(10<sup>7</sup> m<sup>4</sup>s<sup>-1</sup>)

PBB: 1/4 x 1/6度、"、" (10<sup>8</sup> m<sup>4</sup>s<sup>-1</sup>)

PFB: "、非等方調和型粘性(流速方向)、" (" )

PF10: "、" (" )、等方等密度面拡散(20 m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>)・層厚拡散なし

PF1A: "、" (" )、" (" )・ $K_2$ を用いた層厚のSGT

※ Smagorinskyの粘性の無次元パラメータは倍調和型で2.5、非等方調和型で5。

## 3. 等密度面上の塩分分布

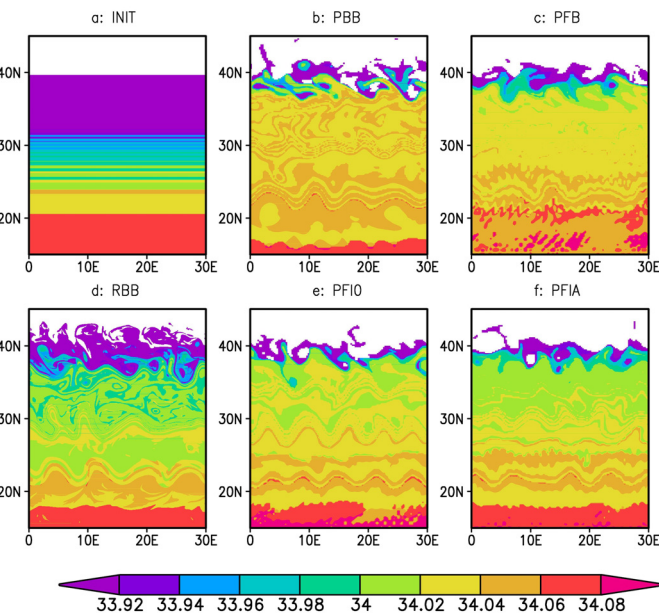


図1: 等密度面( $\sigma_0=25.8$ )上の塩分分布(単位: psu)。a: 初期値、b: PBB (積分2000日目)、c: PFB、d: RBB、e: PF10、f: PF1A。

図1は $\sigma_0 = 25.8$ 面上の塩分分布である。この密度面は北緯40度付近で海面に露出し約33.3 psuに緩和される。渦許容ランの中では、PF1Aにおいて最も低塩水の南への広がりが大きく、渦解像ラン(RBB)の結果に近い。

この密度面上の塩分の東西平均を図2にしめす。等密度面における混合の効率を拡散係数 $K_T$ であらわし、

$$[\text{等密度面を横切る混合による塩分変化率}] + K_T \partial^2 S / \partial y^2 = 0 \quad (2)$$

を仮定すると、塩分の南北方向の曲率が小さいほど、式(2)の左辺第1項に対して $K_T$ が大きくなることを意味する。左の青線はPBBの結果であるが、北緯36度付近に鋭い角があり(◆)、この付近での等密度面混合が相対的に非常に小さいことを示唆する。この角に相当する部分の曲率は、PFB(◇)、PF10(★)、PF1A(★)の順に小さくなり、そこで塩分も低くなっていき、RBBの結果(◎)に近づく。

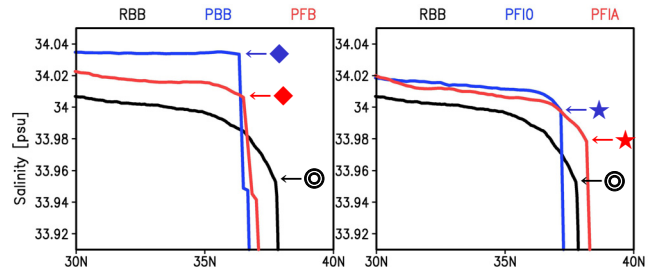


図2: 等密度面( $\sigma_0=25.8$ )上の東西平均塩分(単位: [psu])。1500~2000日から50日毎に取り出した10例の平均。左右とも黒実線はRBB。(左)青: PBB、赤: PFB。(右)青: PF10、赤: PF1A。

## 4. 層厚サブグリッド輸送の効果

図3は拡散項による塩分輸送の流線関数を瞬間値についてかいたものである。倍調和型の場合(a: PFB)には鉛直方向の同期が見られるものの、拡散フラックスによる系統的な南北塩分輸送は起こらない。

等密度面拡散のみの場合(b: PF10)、北緯34度・ $\sigma_0=25.8$ 付近に反時計回りのセルが見られる。

層厚のSGTを加えた場合(c: PF1A)には、PF10の場合に見られたセルが弱くなり、等密度面を横切る拡散フラックスは減少する。

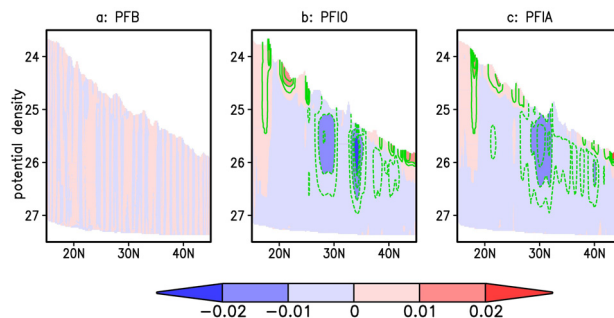


図3: 拡散項の南北成分でかいた緯度-密度座標上の塩分輸送流線関数。a: PFB、b: PF10、c: PF1A。正(負)の値が(反)時計回りの循環に対応する。等値線間隔は0.005 [psu・Sv] (Sv ≡ 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>)。ただし、ゼロの等値線をかいていない。

## 5. まとめと今後の予定

仮想的な設定の実験により、非等方調和型粘性スキームと層厚のSGTパラメタリゼーションの組み合わせ(PF1A)は、従来の倍調和型スキーム(PBB)よりも海盆規模の等密度面混合を活発にすることが確認された。なお、PF1Aの場合にはPBBよりも長いタイムステップでの積分が可能であるため、計算時間コストは両者でほぼ同じになる。

現実的な設定下での実験を行い、海洋モデルの全般的な再現性能に与える当パラメタリゼーションの効果を検証中である。高解像度実験の結果を参照しながら、特に西岸境界流周辺の構造にも注目していく。

## 参考文献

- Smith, R. D., and J. C. McWilliams, 2003, Anisotropic horizontal viscosity for ocean models, *Ocean Modell.*, **5**, 129-156.
- Smith R. D. and P. R. Gent, 2004, Anisotropic Gent-McWilliams parameterization for ocean models, *J. Phys. Oceanogr.*, **34**, 2541-2564.