

# 非等方的調和型粘性・拡散スキームと渦許容モデルにおける黒潮流路の再現性

平原幹俊・石崎廣・中野英之・辻野博之 (気象研)

## 1. はじめに

近年の計算機能力の向上に伴い、渦許容モデルを気候研究に用いることが可能になってきた。低解像度モデルでは黒潮がオーバーシュートし、大気との熱交換にバイアスが生じる。渦許容モデルでは黒潮が現実的に離岸するものの、日本南岸での流路の安定性や続流域の再現性に問題があるため、小さな調和型粘性を背景的にかけるなど、現状では何らかの工夫が必要である。

中規模渦を表現可能な解像度のモデルにおいて従来から用いられている倍調和型の粘性・拡散スキーム (以下BB) に代えて、非等方的調和型粘性 (Smith and McWilliams, 2003) と調和型等密度面拡散および密度移流補正 (Hirabara et al., 2008) を用いる (以下FA) ことにより、黒潮流路を安定化することを試みた。

また、UTOPIA (Leonard et al., 1993) 等の上流差分型移流スキームに伴う数値拡散は渦許容モデルの抱える大きな問題点のひとつである。SOM (Prather, 1986) を用いた実験を行い、数値拡散を抑えることによる気候再現性への効果を調べた。その結果もあわせて報告する。

## 2. 実験設定

気象研究所共用海洋モデル (MRI.COM; 石川ほか, 2005) を東西1/4度 (東経100-西経75度)、南北1/6度 (南緯15-北緯65度) に設定し、CORE.cnyf (Large and Yeager, 2004) で駆動する。気候値 (PHC; Steele et al., 2001) を初期値とし、UTOPIA-BB を用いて30年間積分した結果から、UTOPIA-BB、UTOPIA-FA、SOM-BB でそれぞれ30年積分した。最後の5年間を比較する。

**BB:** 水平倍調和型粘性 (Smagorinsky 無次元数: 2.5)、拡散 ( $10^8 \text{ m}^4 \text{ s}^{-1}$ )  
→ 数値的な振動など (Delhez and Deleersnijder, 2007)。diapycnal flux あり。

**FA:** 非等方調和型粘性 (流速方向: 2.25)、等密度面調和型拡散 ( $20 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ ) + 密度移流補正。→ 流速方向にのみ運動量を平滑化することにより流速を維持しながらノイズを消去する。陽な diapycnal flux なし。

**UTOPIA:** 上流差分型の高精度移流フラックスを計算。数値拡散が大きい。

**SOM:** 格子ボックス内のトレーサ分布を2次のモーメントにより表現し、移流させる。数値拡散は小さい。

## 3. 日本付近の海面高度・表層流速・水温・塩分

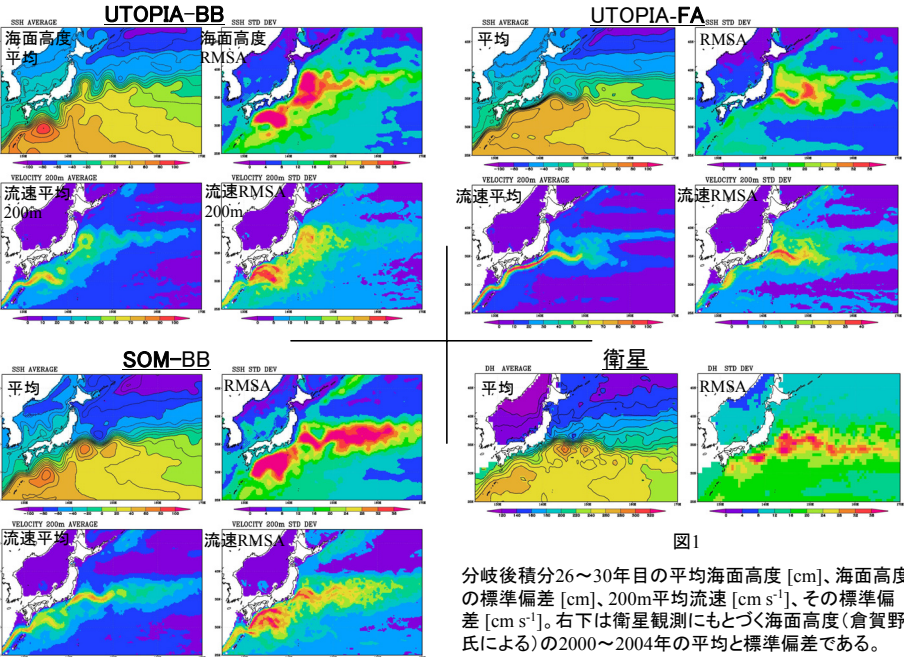


図1

分岐後積分26~30年目の平均海面高度 [cm]、海面高度の標準偏差 [cm]、200m平均流速 [ $\text{cm s}^{-1}$ ]、その標準偏差 [ $\text{cm s}^{-1}$ ]。右下は衛星観測にもとづく海面高度 (倉賀野氏による) の2000~2004年の平均と標準偏差である。

### 日本南岸の黒潮流路

UTOPIA-BB、SOM-BB では日本南岸における黒潮流路の変動が激しく、大蛇行の頻度が高いのに対して、UTOPIA-FAでは流軸の変動が小さく九州南東方などに限定されている (図1)。これは主に FA の粘性が調和型であることによると考えられる。

### 黒潮の離岸

UTOPIA-BB では東北沖に頻繁に現れる暖水渦を反映して平均海面高度とその変動の分布は現実的といえない。UTOPIA-FAの平均場に見られる離岸緯度は観測に近い。一方 SOM-BB における離岸も観測と良く一致している (図1)。これらの流速場の改善は、関東東方の南北水温勾配 (図2) の差に対応する。

### 続流域

海面高度変動から示唆される渦活動を観測と比べると (図1)、UTOPIA-BB、UTOPIA-FAでは弱く、SOM-BBでは強い。渦の活発な領域はモデルでは観測よりも高緯度側にシフトしている。

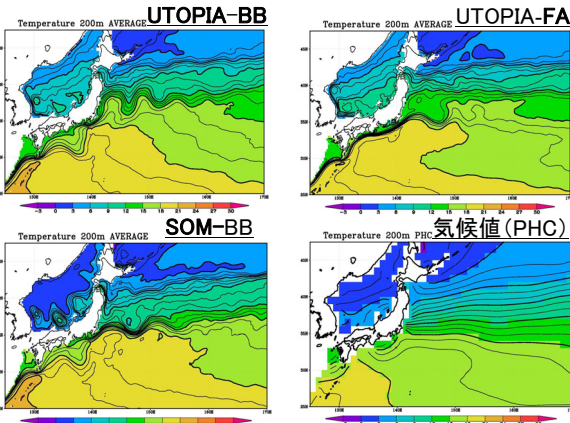


図2 →

図1と同期間の平均ポテンシャル水温 (200 m; 単位  $^{\circ}\text{C}$ )。左: UTOPIA-BB、右: UTOPIA-FA、下: SOM-BB。右下は観測による気候値。

### 関東~東北 東方の表層水温

UTOPIA-BBでの高温バイアスは他の二つでは抑制されている (図2)。

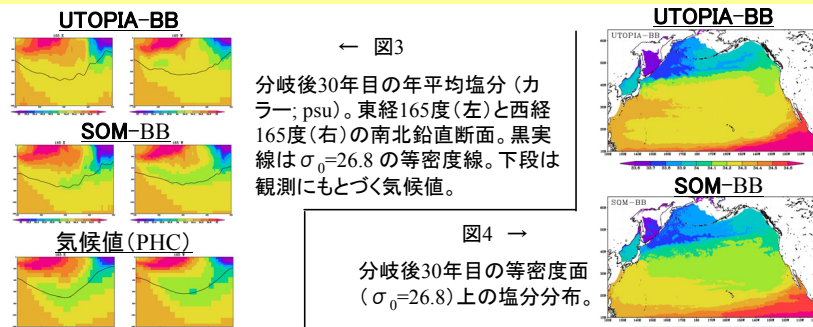
### 日本海の表層水温

UTOPIA ランでは気候値より  $3^{\circ}\text{C}$  以上高温である。SOM-BB は観測に近い水温分布を再現している (図2)。数値拡散など移流計算の誤差が日本海の高温暖バイアスの原因といえる。

## 4. 数値拡散と中層塩分極小

図3は分岐後30年目の年平均塩分南北断面である。分岐前30年間のUTOPIA-BBランによって不明瞭化した塩分極小は、SOM-BBランで再び明瞭化しつつある。

移流スキームの数値拡散に伴う diapycnal フラックスを小さくすることができれば、特性を損なうことなく海水が等密度面上で輸送される (図4) ことにより、海洋モデルにおける水温・塩分分布の再現性が改善されることをしめす例である。



← 図3

分岐後30年目の年平均塩分 (カラー; psu)。東経165度 (左) と西経165度 (右) の南北鉛直断面。黒実線は  $\sigma_{\theta}=26.8$  の等密度線。下段は観測にもとづく気候値。

→ 図4

分岐後30年目の等密度面 ( $\sigma_{\theta}=26.8$ ) 上の塩分分布。

## 5. まとめと今後の課題

非等方的調和型粘性・拡散スキームを用いることにより、渦許容モデルにおける日本南岸の黒潮流路が安定化すること、また黒潮続流域の再現性が改善されることを確認した。

粘性・拡散: FA: 調和型で平滑化 → 日本南岸の黒潮流路 安定  
BB: 倍調和型の限界 → 日本南岸の黒潮流路 不安定

数値拡散の小さい移流スキーム SOMを用いることにより非現実的な diapycnal flux が抑制されると、日本海の表層水温や中層塩分極小の再現性だけでなく、密度場の改善をととして黒潮続流域などの流速場の再現性も向上する。その効果は粘性・拡散スキームの変更によって陽な diapycnal flux をなくす場合よりも大きいことがわかった。

移流: SOM: 小さな数値拡散・diapycnal flux → 続流域の再現性  
粘性・拡散: FA: 陽な diapycnal flux なし → 日本海

今後は SOM を用いて数値拡散の影響をなるべく排除したうえで、粘性と拡散のそれぞれについて最適なスキームを探っていく。

## 参考文献

Delhez, E. J. M. and E. Deleersnijder, 2007: Overshootings and spurious oscillations caused by biharmonic mixing. *Ocean Modell.*, **17**, 183-198.  
Prather, M. J., 1986. Numerical advection by conservation of second-order moments. *J. Geophys. Res.*, **91**, 6671-6681.  
Smith, R. D., and J. C. McWilliams, 2003, Anisotropic horizontal viscosity for ocean models. *Ocean Modell.*, **5**, 129-156.