

2008.01.18

文部科学省 21世紀気候変動予測革新プログラム
チーム II（近未来）平成19年度研究成果報告会

4.4 海洋モデルの高精度化による 気候変動予測の向上に関する研究

研究代表者: 羽角 博康
(東京大学気候システム研究センター)

研究背景

IPCC-AR4 貢献モデルの海洋モデル解像度:

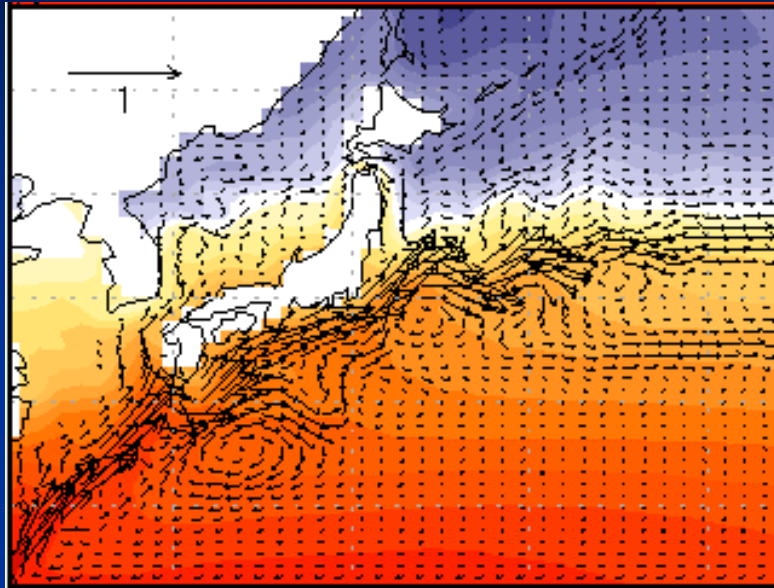
- 人・自然・地球共生プロジェクト課題1:
~ 20 km ← 最高解像度
- 典型的なモデル ~ 100 km

水平格子 20 km と 100 km の間には、
海洋現象の表現において本質的な違い:

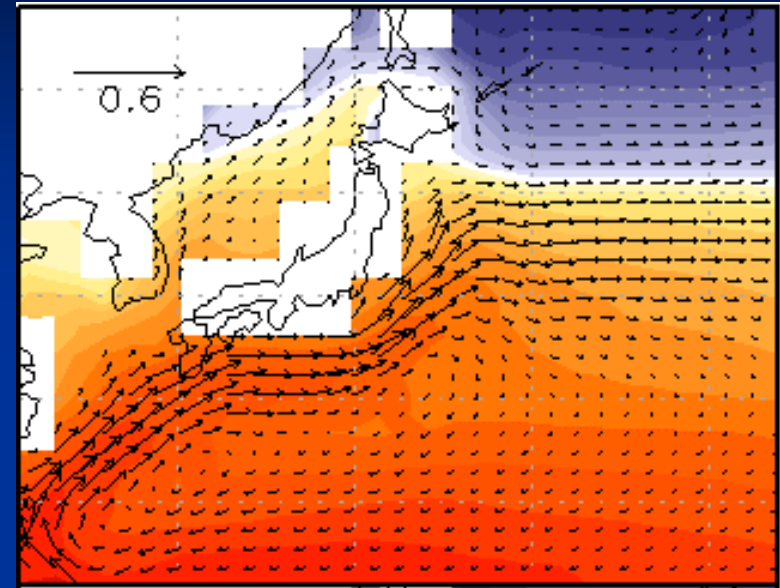
- 中規模渦の有無
- 黒潮などの西岸境界流・海洋の水温前線
- 深層水形成

研究背景：黒潮

20 km 格子：現実的な流路・離岸



100 km 格子：再現不可能



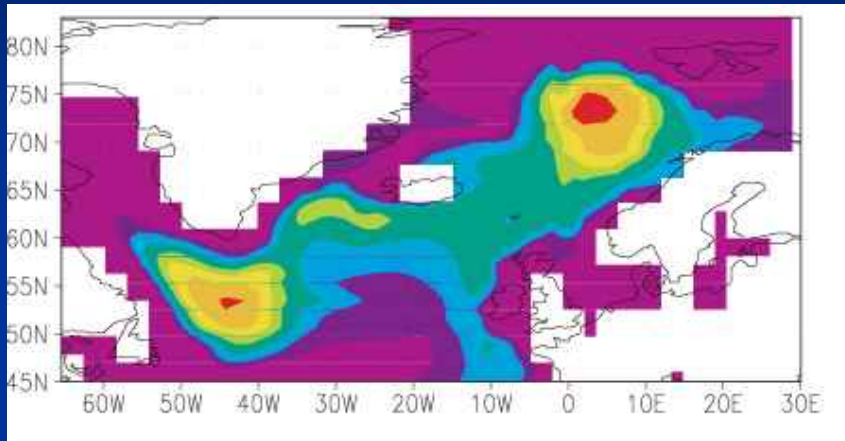
20 km 格子 → 表層海流を詳細かつ現実的に表現でき、
温暖化時の応答をより信頼性高く予測可能に

残された問題点：

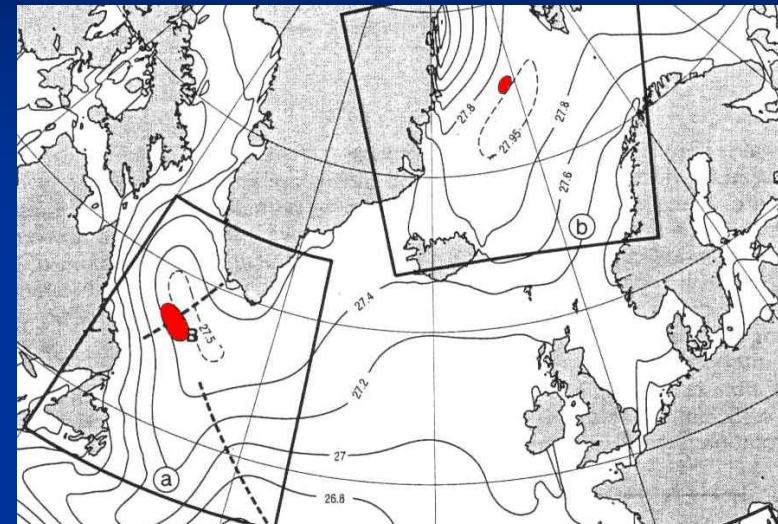
平均的な流路の再現性は飛躍的に向上したが、
大蛇行⇔直進などの変動性の再現は不十分

研究背景: 北大西洋深層水形成箇所

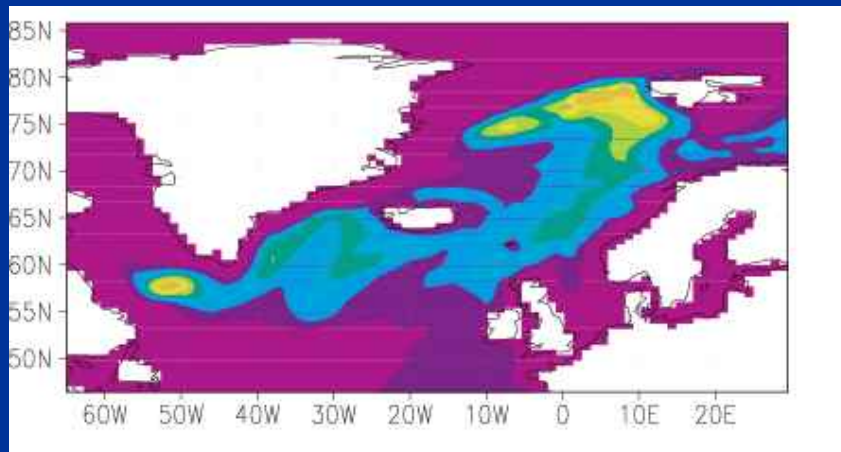
100 km 格子モデル



観測



20 km 格子モデル



残された問題点:

100 km 格子に比べて格段に良くなっているものの、現実と比べて領域が広く、場所もずれている

研究目的: 海洋モデル高精度化

1. 高解像度の日本近海モデルの構築
2. 水平 20 km 格子という制約のもとでの全球海洋モデルの高度化

…第 1, 2 年次



1. のモデルをネスティング手法によって 2. のモデルに埋め込んだ全球海洋モデルの開発

…第 3 年次



大気モデルと結合し、この高精度海洋モデルが気候シミュレーションにおいてもたらすインパクトを、結合モデル実験によって実証

…第 4, 5 年次

サブテーマ(1)

「ネスティング手法を用いた高精度海洋モデルの開発」

研究サブテーマ実施責任者:

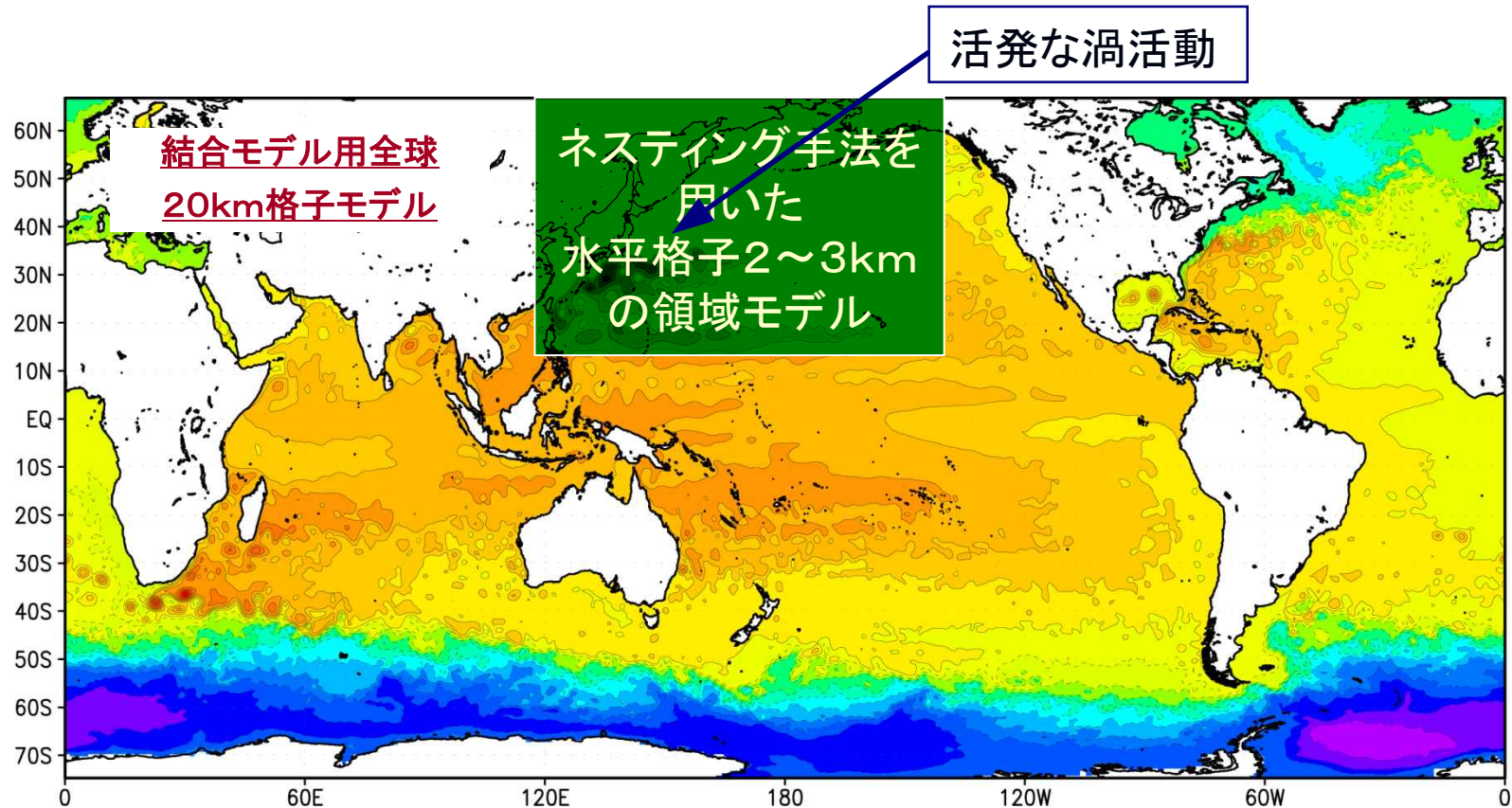
辻野 博之(気象庁気象研究所)

今年度の計画:

- ・ ネスティング手法を用いた水平2～3km格子北西太平洋領域モデルによるシミュレーションを通じた日本近海の海洋再現性の向上
- ・ 高解像度モデリングに最適な数値アルゴリズムやそれらの組み合わせの選定

1. 高解像度シミュレーションの進捗状況

北西太平洋水平2～3km格子モデルの概要



モデルと計算の概要

0

10

31

45

control : 北太平洋18kmモデル(水平1/4 x 1/6、鉛直50層)

側面境界値

1/3 : 北太平洋6kmモデル(水平1/12 x 1/18、鉛直50層)

1/9 : 北太平洋2kmモデル(水平1/36 x 1/54、鉛直50層)

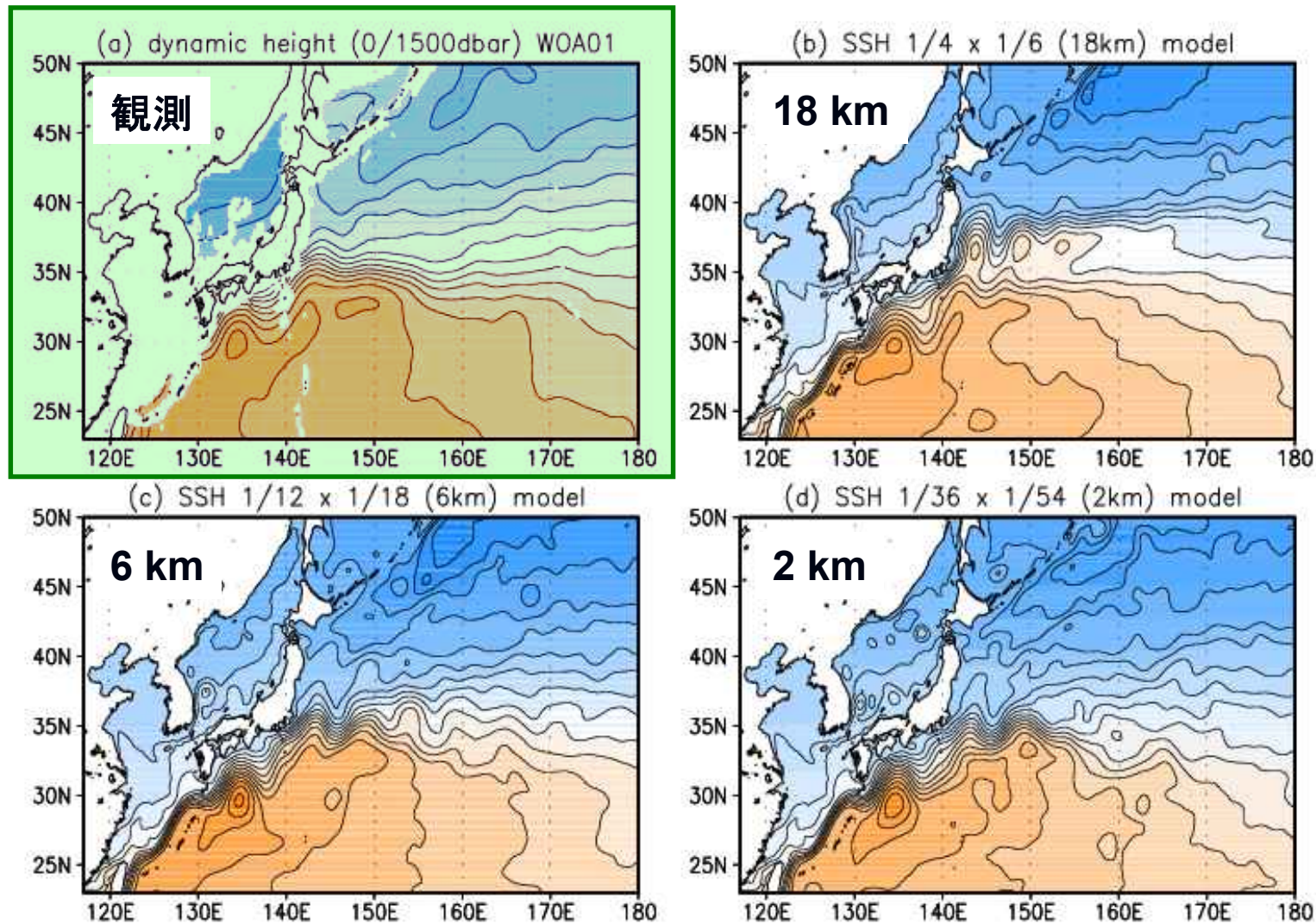
高解像度モデルは「control」の10年目の結果を1年間ナッジングさせながら開始

各々22年目から31年目の平均を比較

実験設定

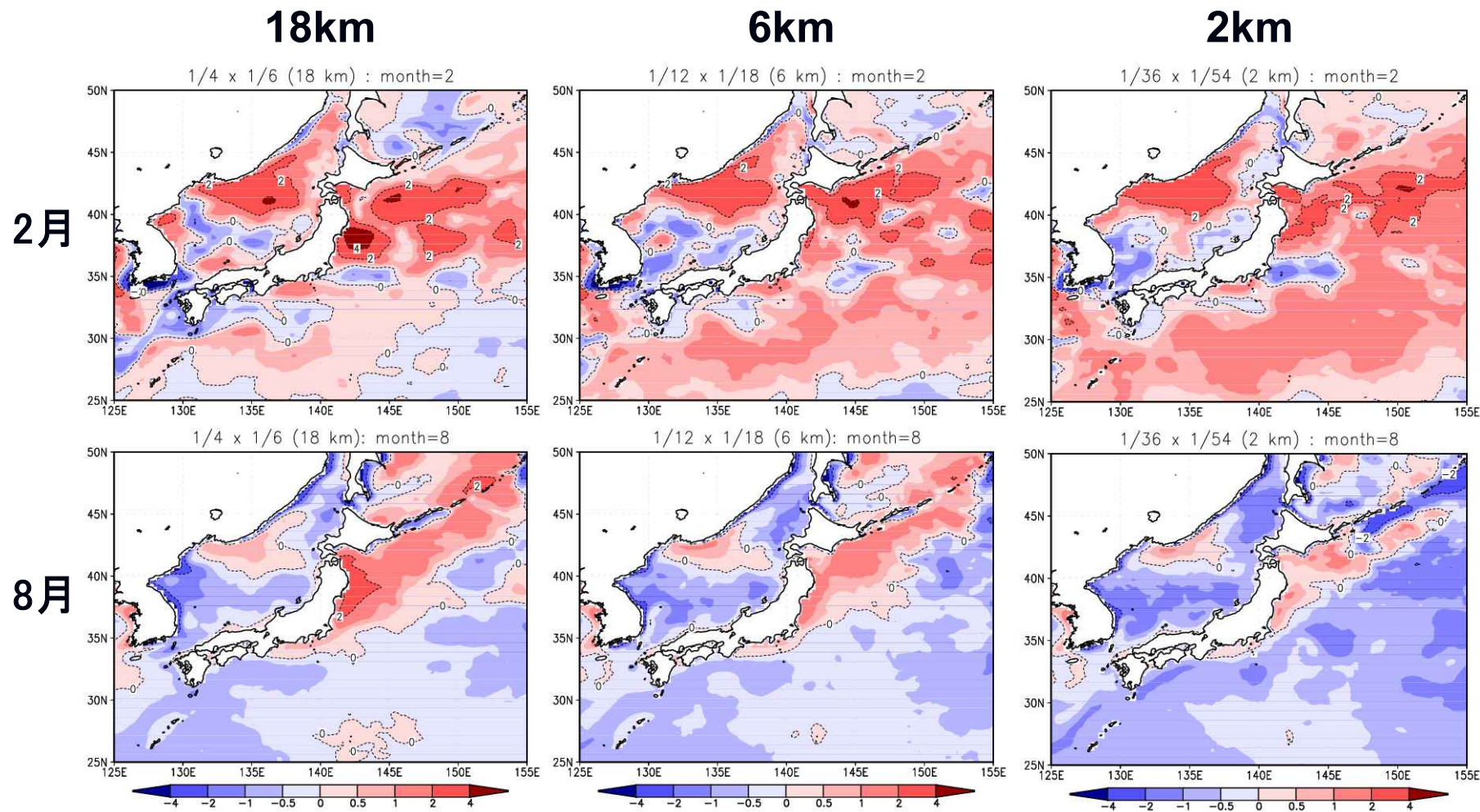
- ・ 渦解像モデリングに標準的に用いられる数値スキームを使用
(チューニングはその後)
- ・ 倍調和型粘性・拡散スキーム
(Smagorinsky viscosity, constant diffusion)
- ・ トレーサー移流スキーム: UTOPIA + QUICKEST
- ・ 海面における駆動:
CORE (Co-ordinated Ocean Reference Experiments)
の normal year forcing
- ・ バルク式は CORE での使用が推奨されているもの
(Large and Yeager, 2004)
- ・ 海面塩分を気候値 (WOA01) にナッジング
- ・ 地球シミュレータで計算

モデル結果の比較： 海面高度



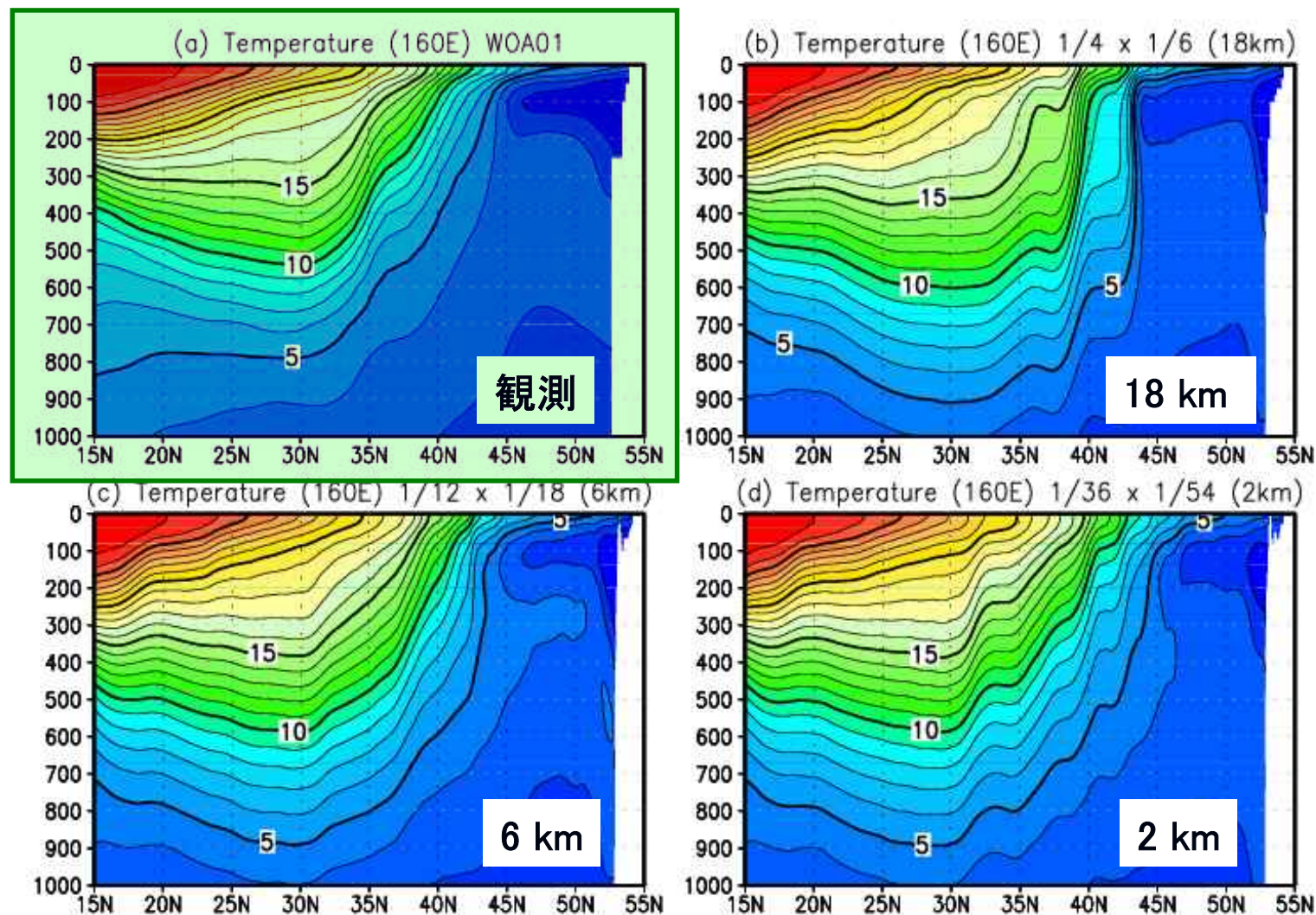
6km, 2km でより観測に近い構造
モデルでは黒潮流路が不安定

モデル結果の比較： 海面水温偏差(2月・8月)



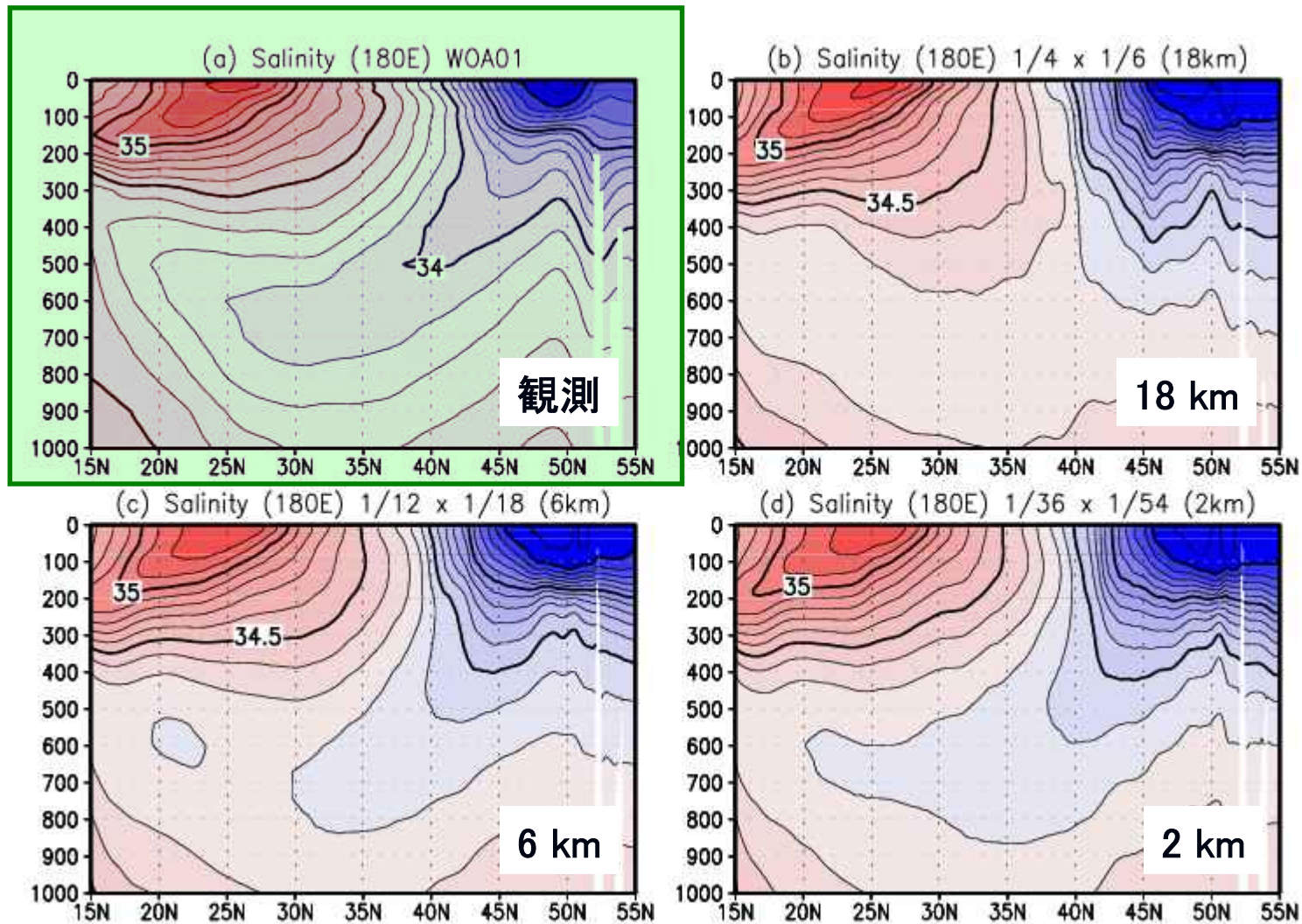
三陸沖の暖水偏差が高解像度化により改善

モデル結果の比較： 東経160度に沿った水温



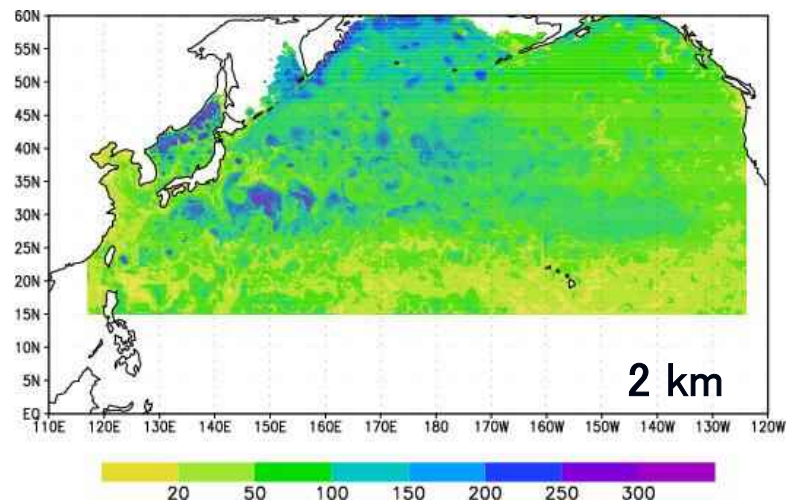
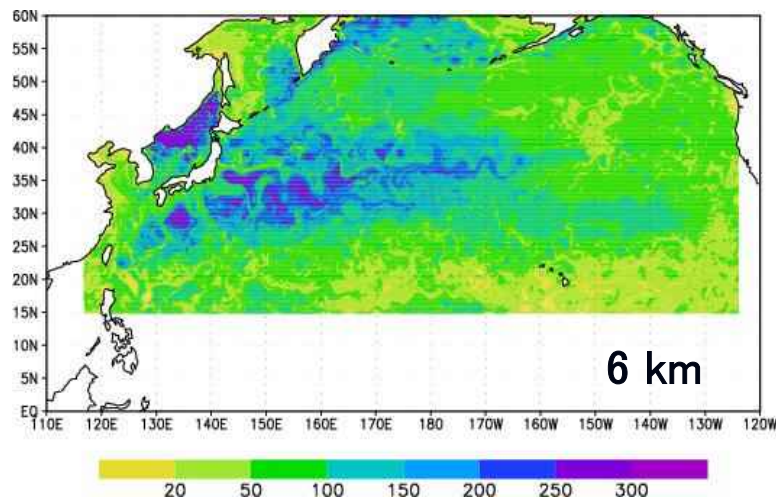
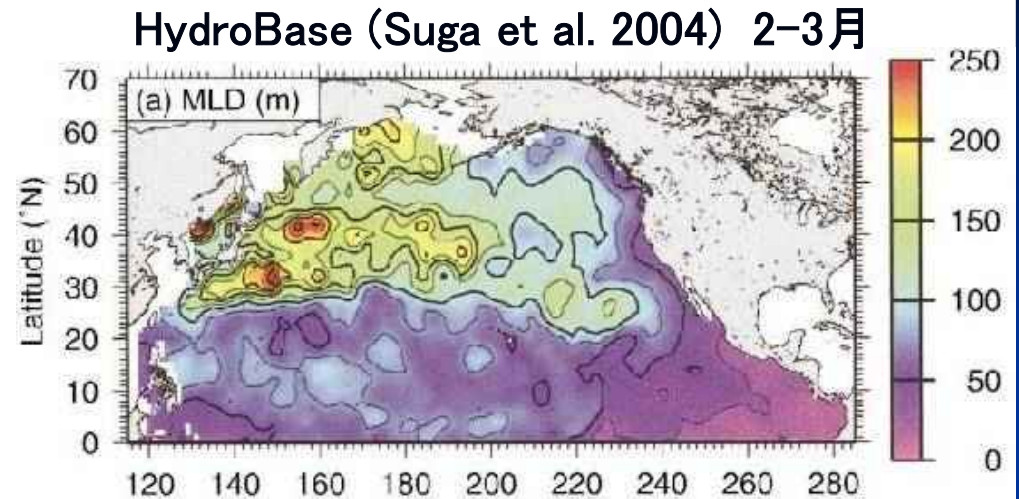
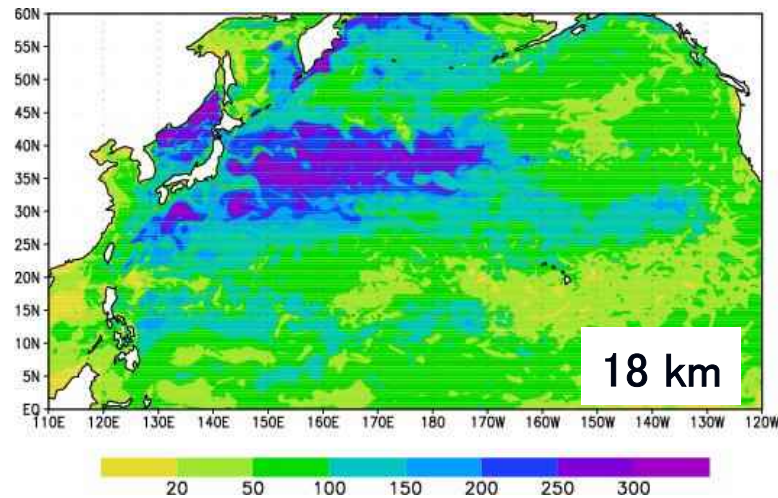
18 km で立っていた密度面が、2 km ではより観測に近い傾きに
モデルは観測に比べ全体的に高温

モデル結果の比較： 180度に沿った塩分



高解像度モデルほど観測に近い塩分極小となる

混合層深度分布(3月12日 最深のとき)

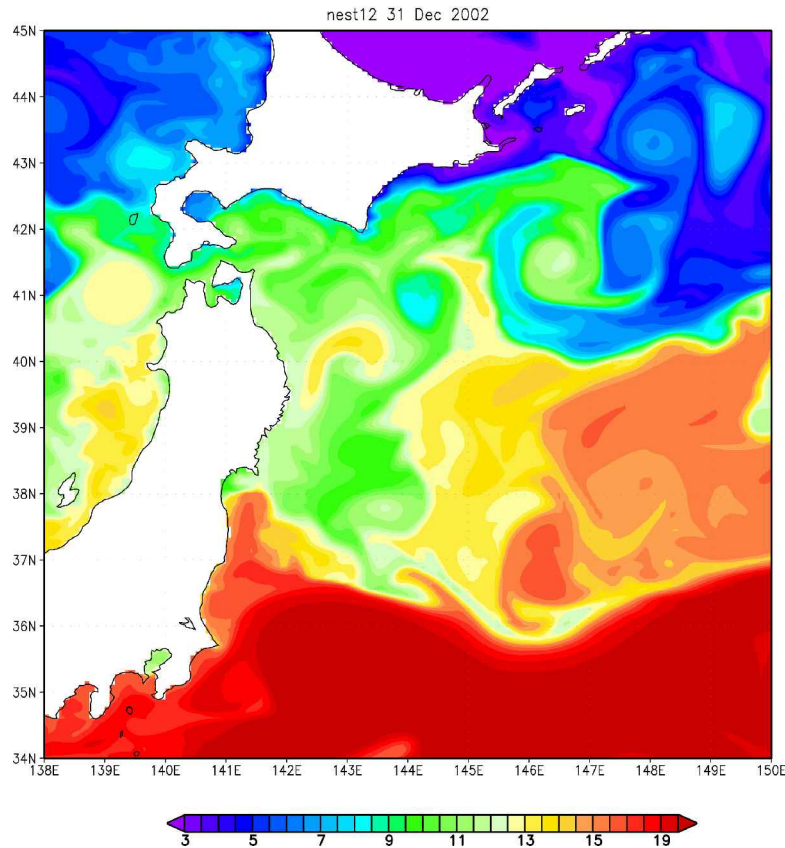


高解像度モデルにみられる深い混合層は
高気圧性渦を反映している

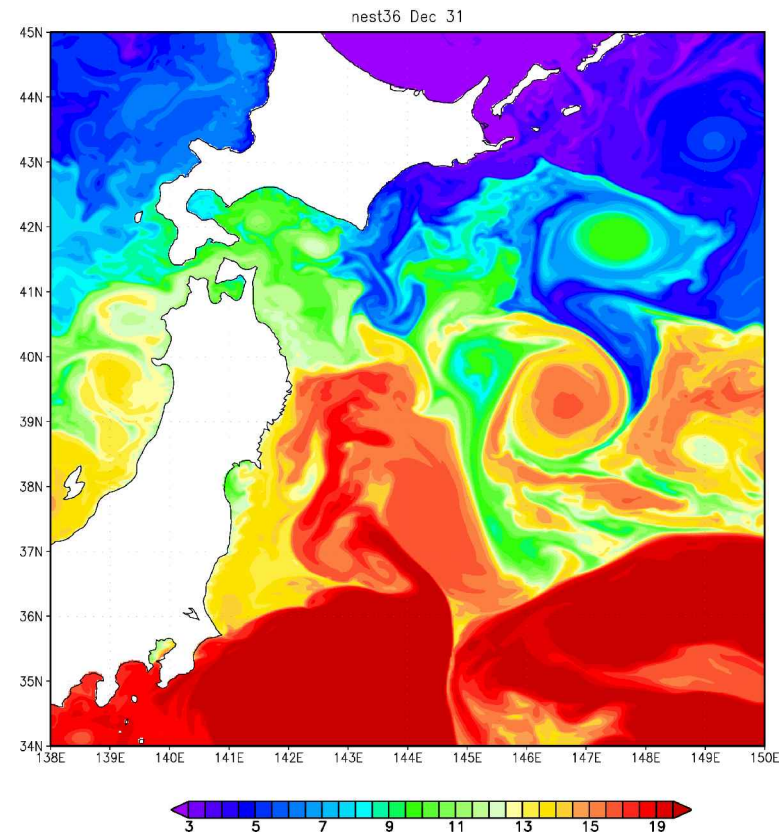
6 km と 2 km のスナップショットの比較

12月末の海面水温

6 km

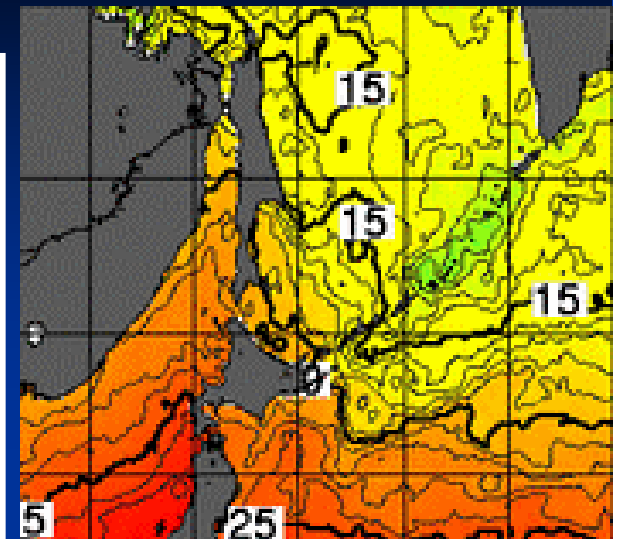
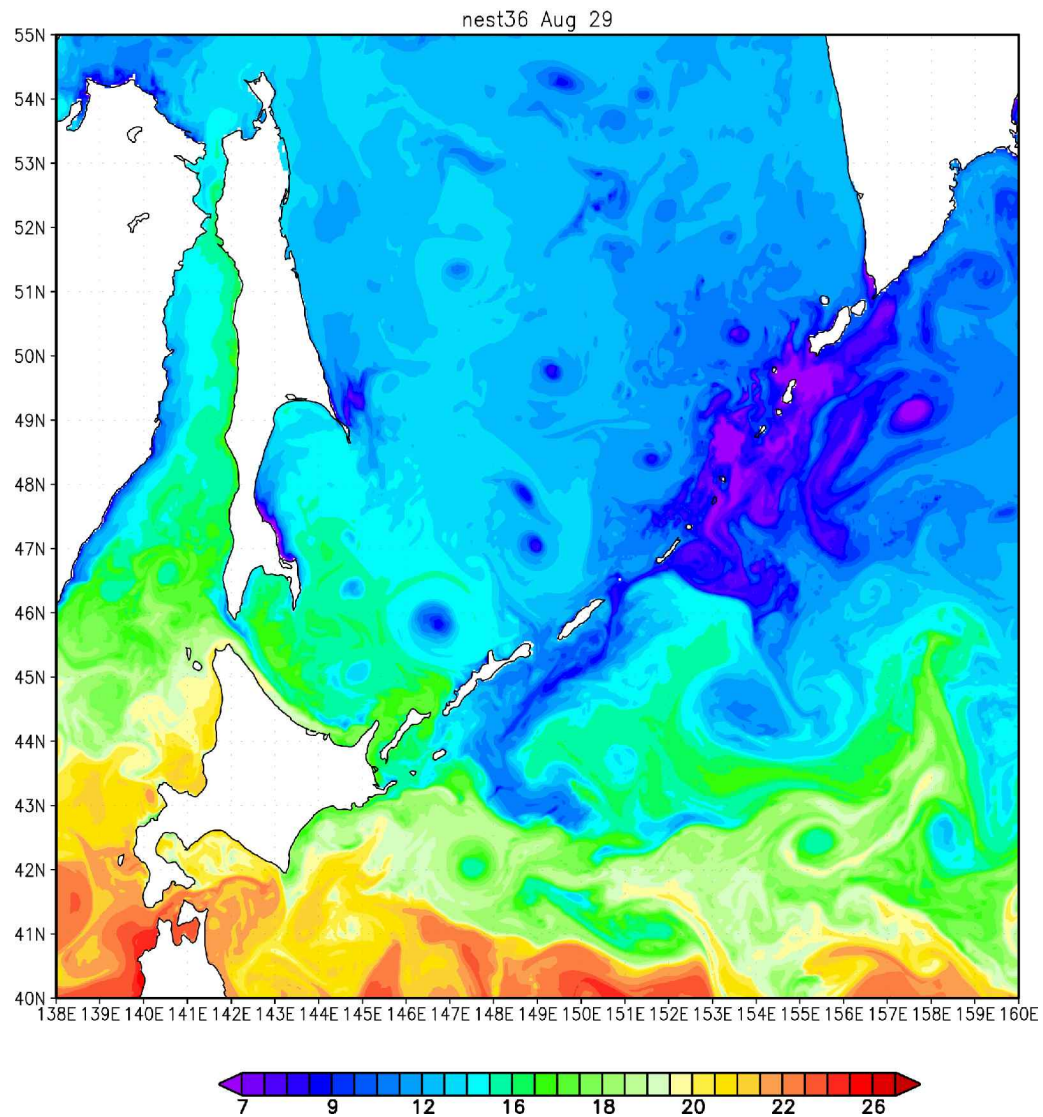


2 km



6 km ではぼやけている中規模渦の構造が、
2 km では詳細に表現されている

8月末の海面水温(2kmモデル)



6 km や 2 km で改善した点

- 黒潮の離岸を含めた日本東方沖の構造
- 冬季の三陸沖の高温バイアス
- 海洋上層の成層構造
- 中層水(NPIW)の塩分極小
- 混合層深分布

6 km や 2 km で気になる点

- 黒潮流路の不安定
- 日本海の高温バイアス

Recommendation:

長期間積分用日本付近高解像度モデルとしては
水平解像度約 6 km を採用することで効果が得られる

2. 渦許容～渦解像モデルの最適アルゴリズムの選定

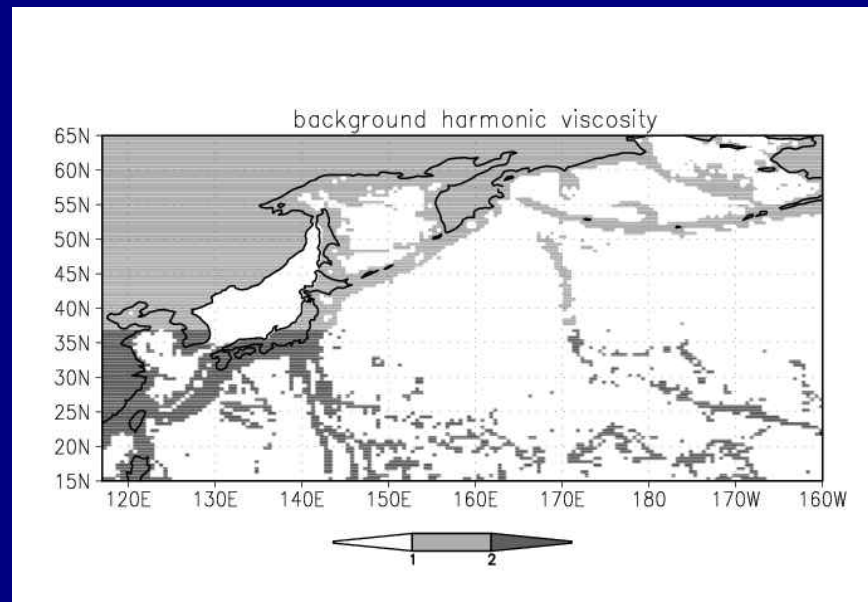
修正点	粘性	拡散	風速修正	移流
18kmモデル	倍調和型 Smagorinsky	倍調和型 定数係数	×	UTOPIA QUICKEST
① 風速修正 (大気モデル解像度が不十分な場合の小規模擾乱)	倍調和型 Smagorinsky 調和型背景粘性 (次のスライド)	倍調和型 定数係数	○	UTOPIA QUICKEST
② 移流スキーム SOM	倍調和型 Smagorinsky 調和型背景粘性	倍調和型 定数係数	○	SOM
③ 流速場依存 粘性拡散(※)	倍調和型 流速場依存	倍調和型 流速場依存	○	SOM
④ 非等方調和型 粘性スキーム	非等方調和型 Smagorinsky (流速方向)	倍調和型 定数係数	○	SOM

$$(\text{※}) \mu \mathcal{L}^5 = - \left(\frac{a_1}{4} \right)^{\frac{3}{2}} \Delta^6 |\nabla^2 \zeta| \nabla^4 \psi, \quad a_1 = \frac{1}{6}$$

背景調和型粘性

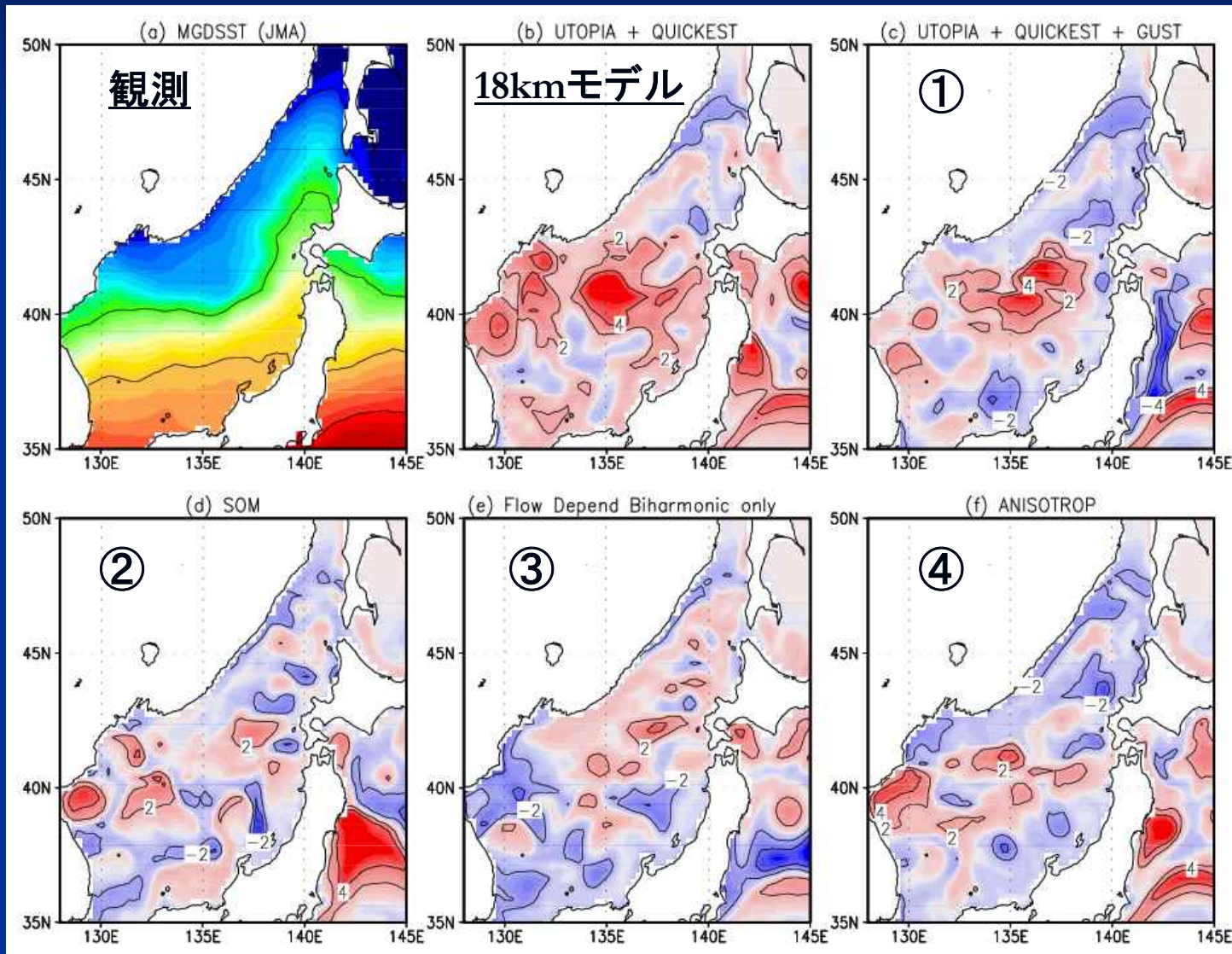
大陸斜面等、地形が急峻なところで背景水平粘性(調和型)を加える
(境界混合や海底摩擦を想定)

$$\nu_H = 2.5 \cos \phi \times 10^6 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$$



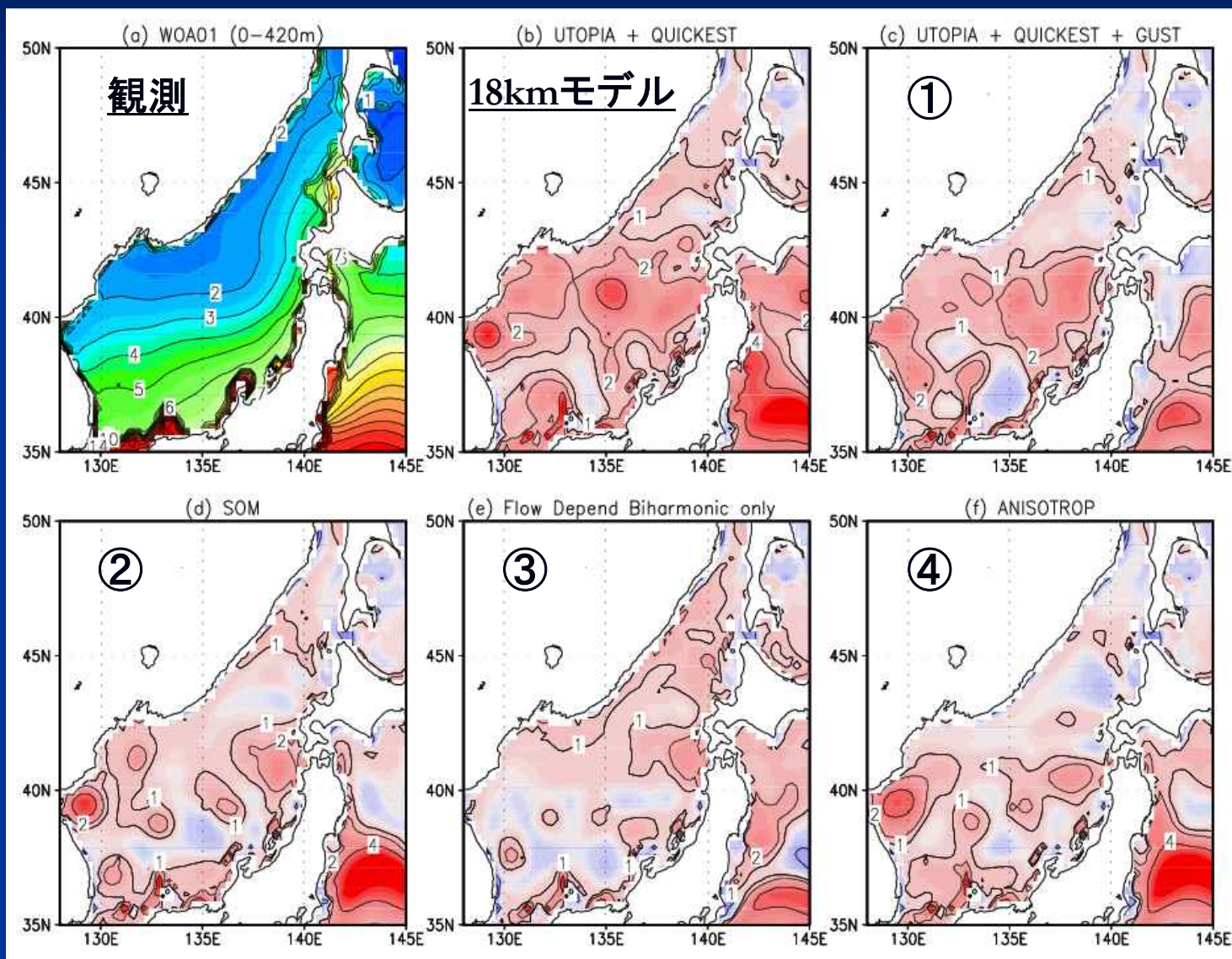
日本海北部の高温バイアスの改善

計算開始後5年目2月の海面水温バイアス



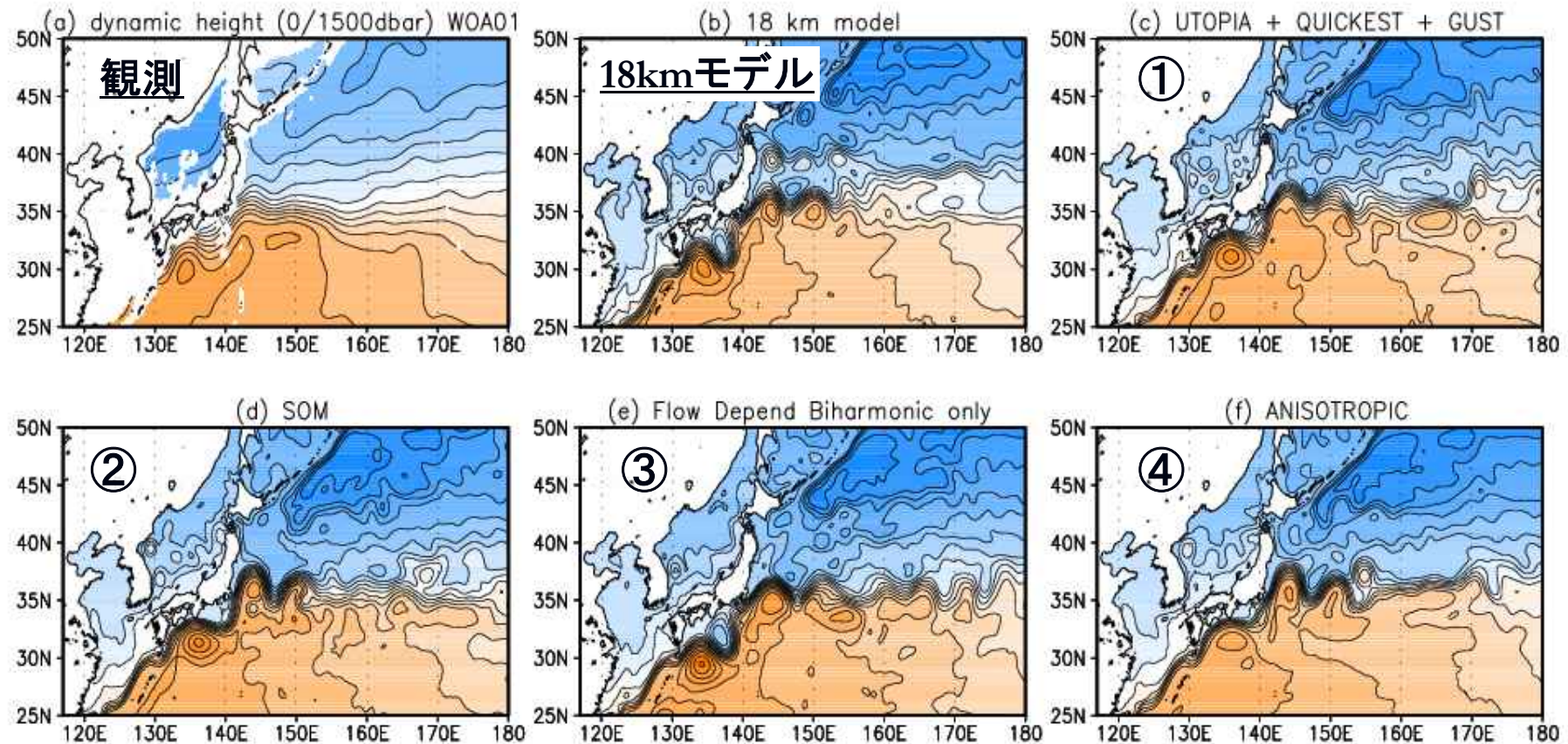
日本海北部の高温バイアスの改善

計算開始後5年目の上層420m平均水温アノマリ



黒潮流路不安定の改善

計算開始後5年目平均海面高度



調和型粘性(①、②、④)が流路の安定にとり重要

推奨される組み合わせ: ② or ④

修正点	粘性	拡散	風速修正	移流
18kmモデル	倍調和型 Smagorinsky	倍調和型 定数係数	×	UTOPIA QUICKEST
② 移流スキーム SOM	倍調和型 Smagorinsky 調和型背景粘性	倍調和型 定数係数	○	SOM
④ 非等方調和型 粘性スキーム	非等方調和型 Smagorinsky (流速方向)	倍調和型 定数係数	○	SOM

- ・ 非等方粘性の速度と垂直な成分の係数の与え方にはもう一工夫が必要
(海底地形のある場所の半径50km以内とするなど)
- ・ SOM は計算時間全体で 1.3 ~ 1.5 倍、メモリ 1.5 倍増加

サブテーマ(2) 「全球海洋モデルの高度化」

研究サブテーマ実施責任者:

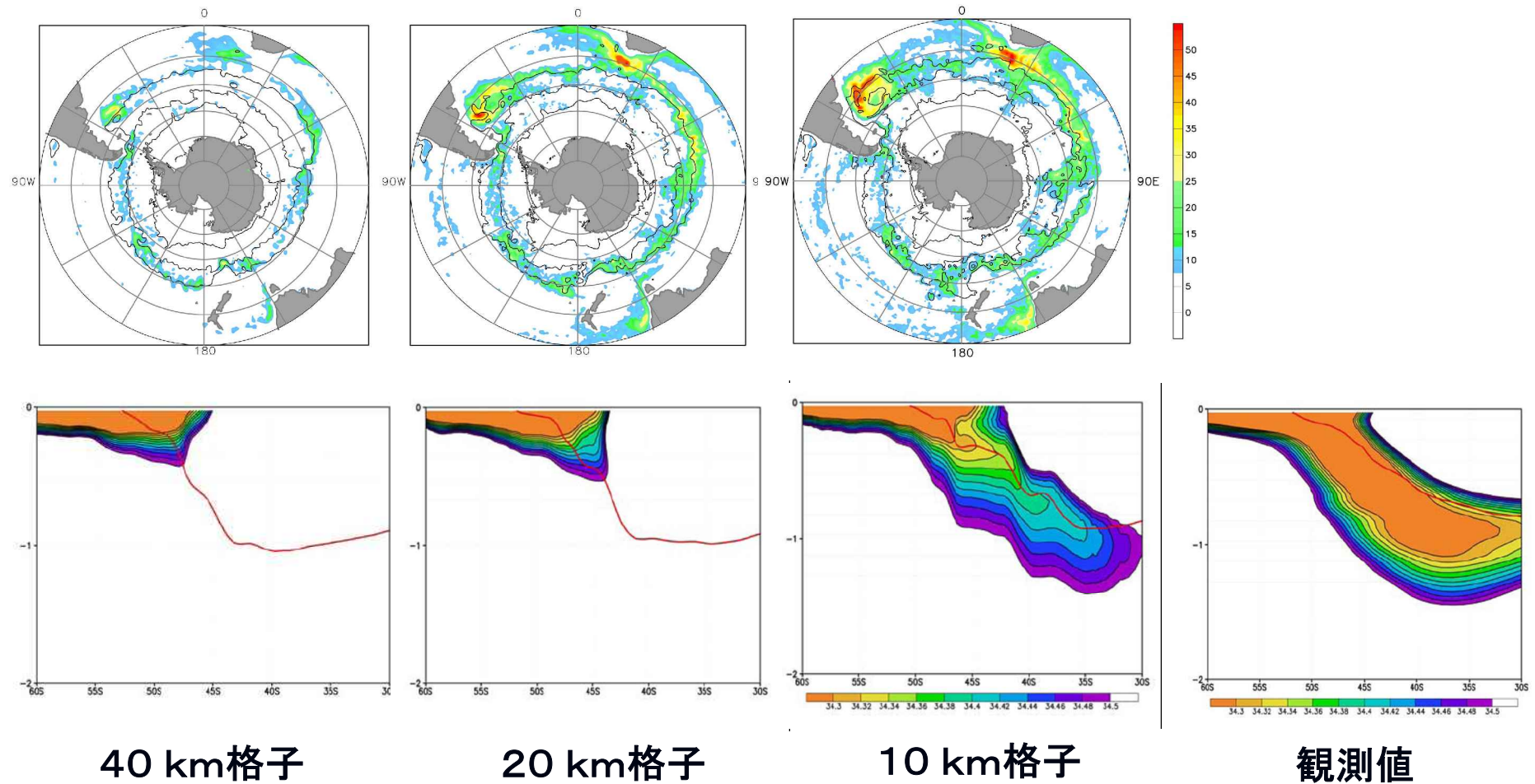
田中 幸夫(海洋研究開発機構)

今年度の計画:

水平20km格子モデルでは十分に解像されない現象が重要である海域を対象とした高解像度モデリングを実施して現象を理解し、モデル改善への指針を得る

- 南大洋領域モデリング
- アフリカ南端領域モデリング
- ウェッデル海領域モデリング
- ラブラドル海領域モデリング

－ 南大洋領域モデリング －



下図：西経30度断面における塩分分布(psu)

– アフリカ南端領域モデリング –

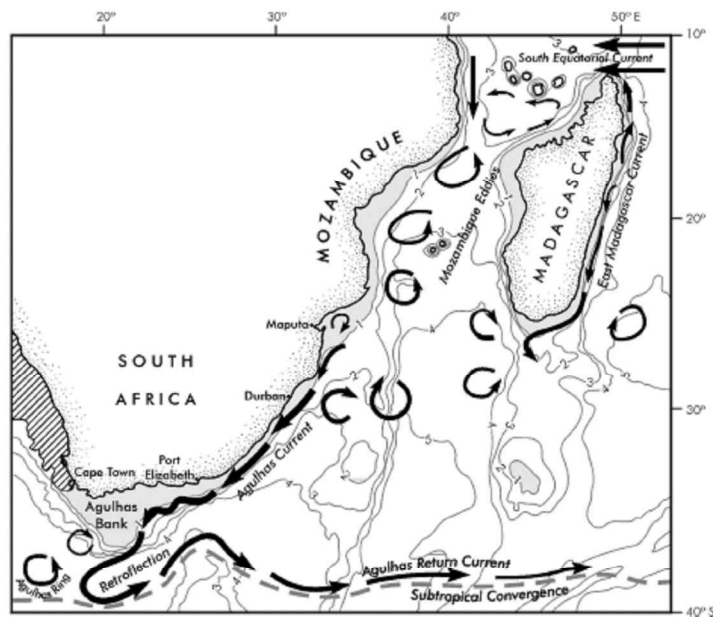
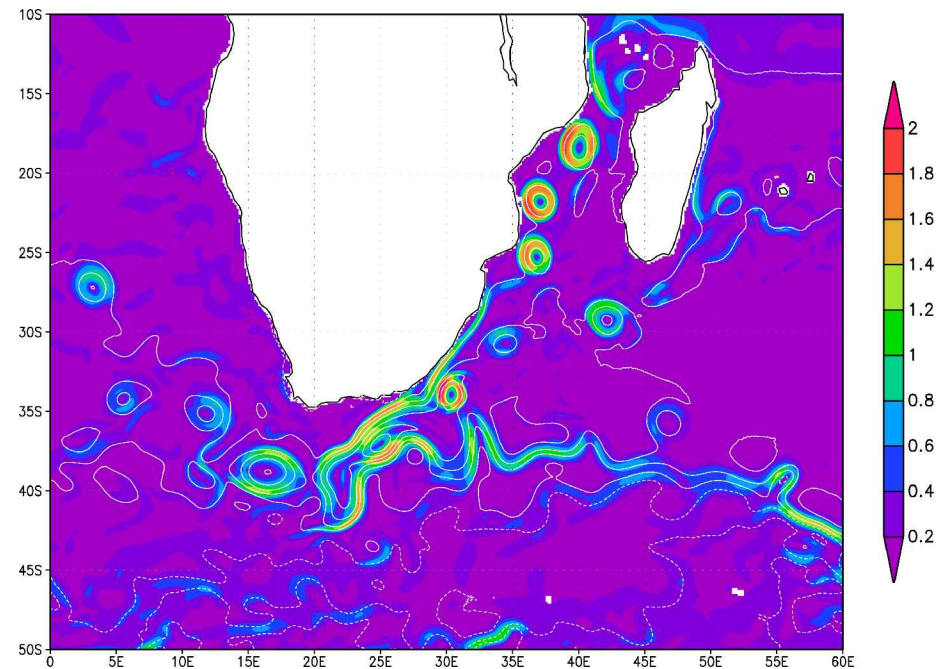


Fig. 18. A conceptual portrayal of the flow patterns in the greater Agulhas Current (after Lutjeharms, 2006a) as they are currently understood. In order to assess what has been learnt about this system over the past three decades, a comparison between this figure and Fig. 1 should be very instructive.



海面流速場のスナップショット(m/s)

Lutjeharms "The Agulhas Current" (2006)

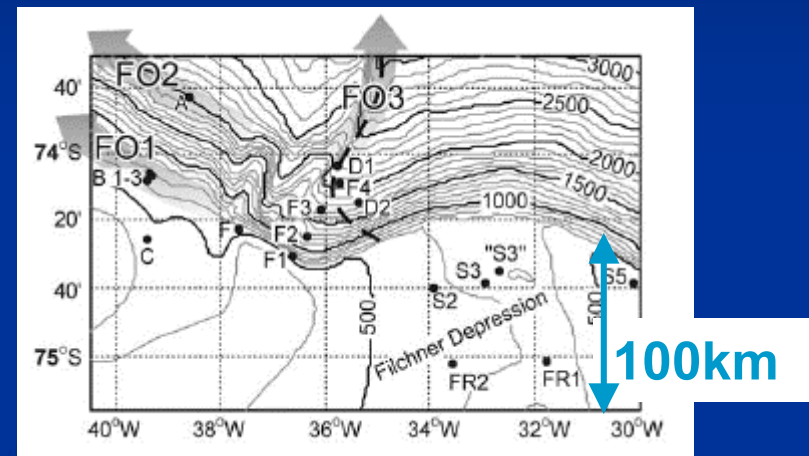
–ウェッデル海領域モデリング– 高密度水(高塩分)の陸棚からの流出

低解像度モデル: 海底境界層
(BBL)パラメタリゼーションで表現

陸棚斜面「まで」の
陸棚上での輸送過程に問題

- ・ 海底斜面が緩いと
BBL が水平渦輸送を過小評価

○表現できない細かな地形が
「力学的な側壁」として重要
(cf., Foldvik et al., 2004 : 右上図)

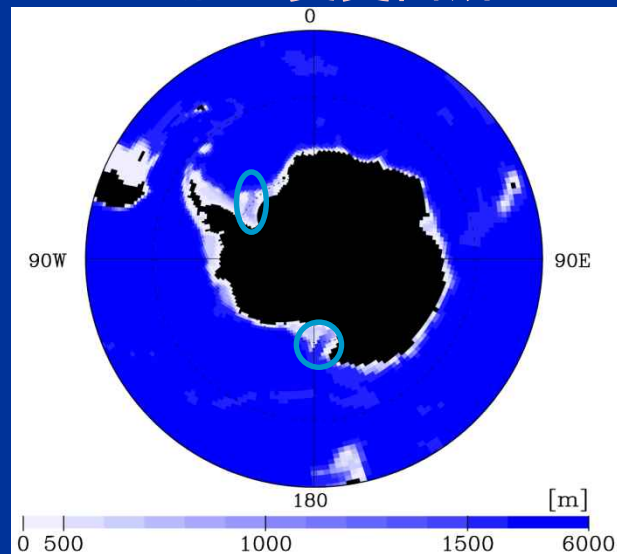


高解像度化に限界(数kmでも不可)
→ 陸棚上に人為的な水路を掘る
+ BBL 調整(沈み込み深度)

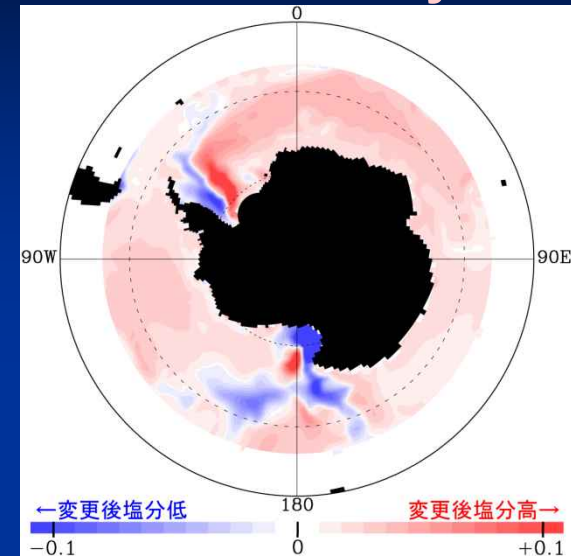


○ 塩分場に改善が見られた
× 対流活動にはさほどの変化なし

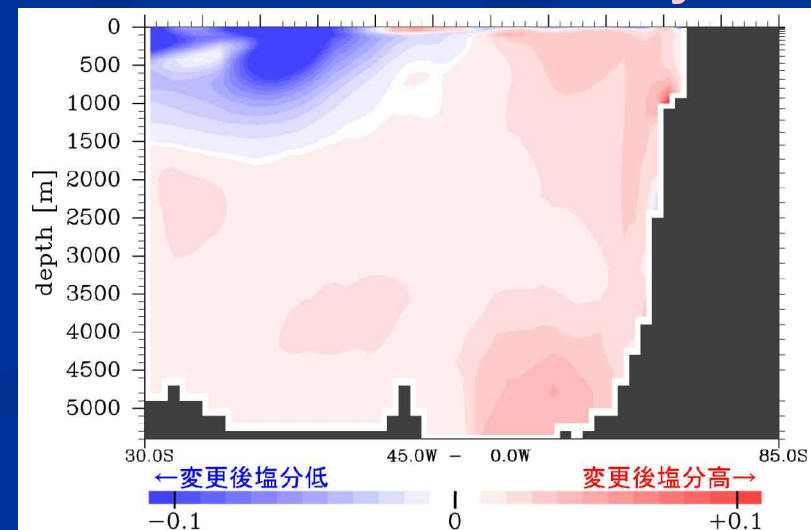
地形の変更箇所



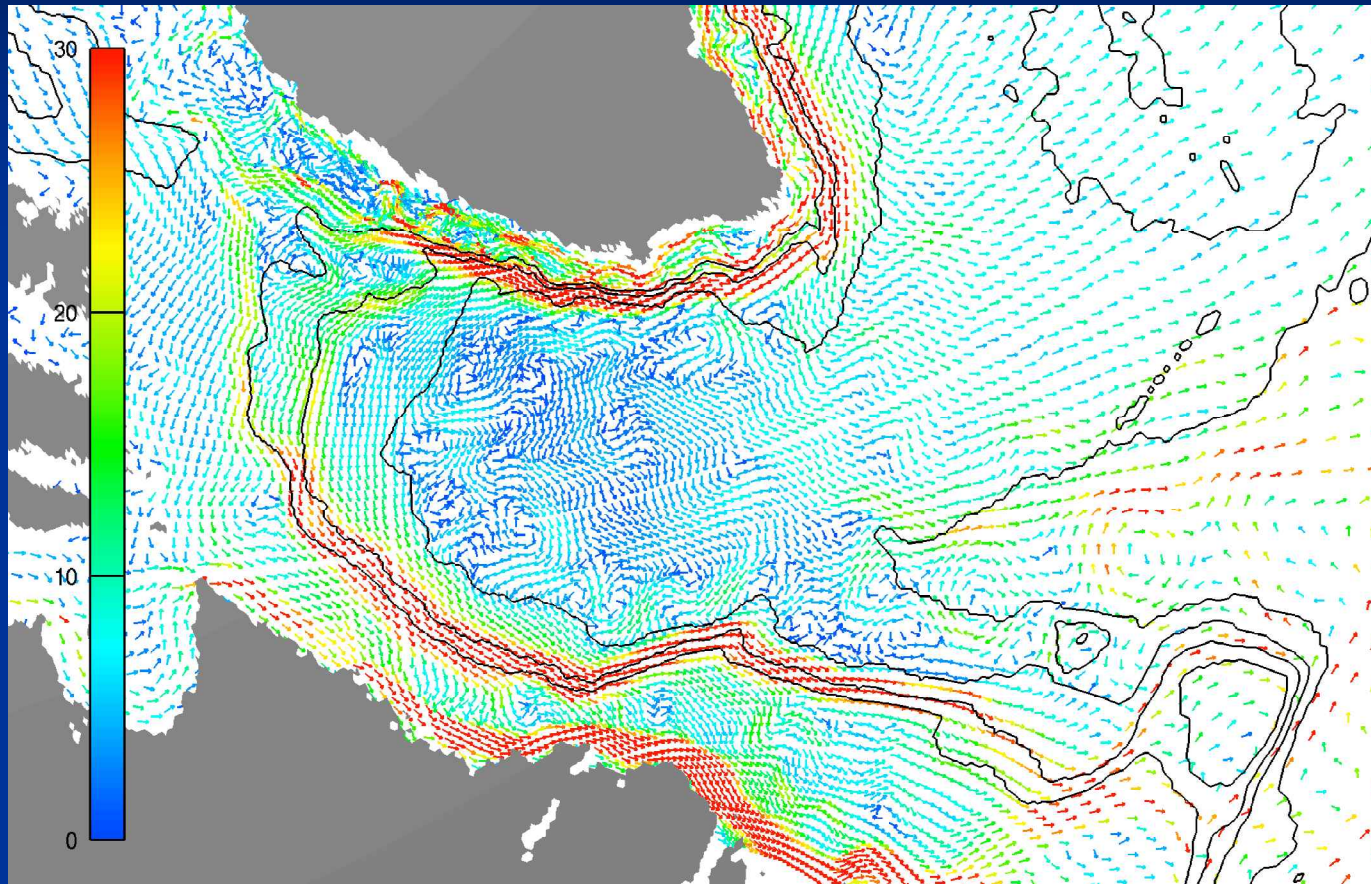
BBL 塩分の変化 (yr 100)



Weddell Sea での塩分変化 (yr 100)



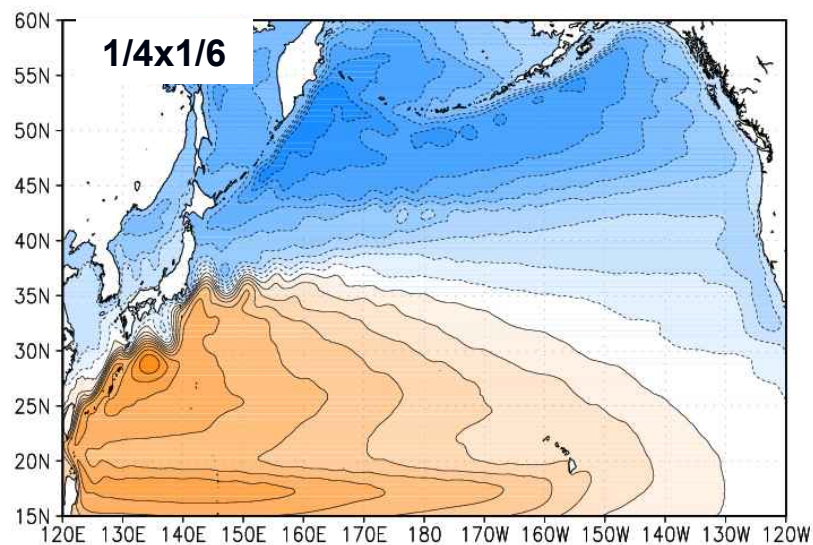
–ラブラドル海領域モデリング– (北大西洋深層水の形成)



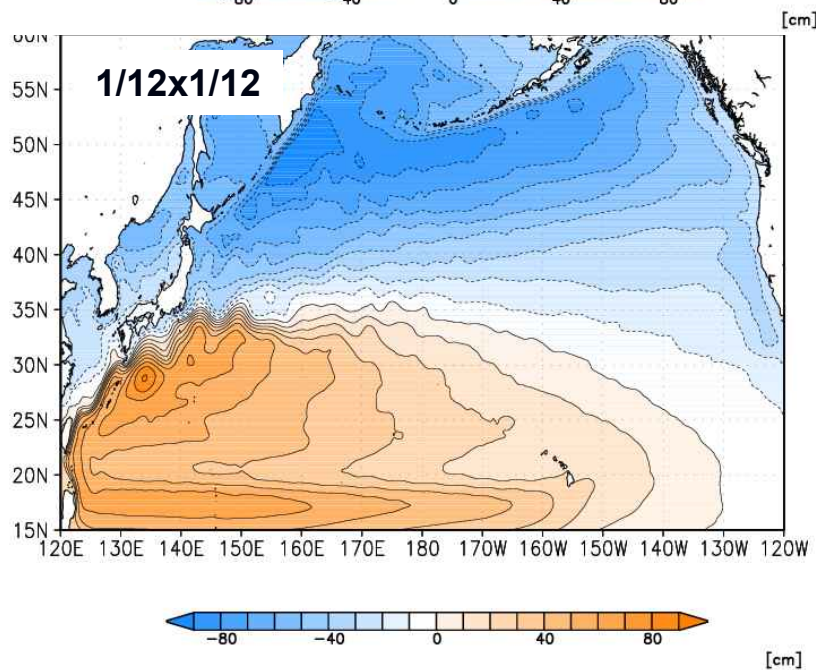
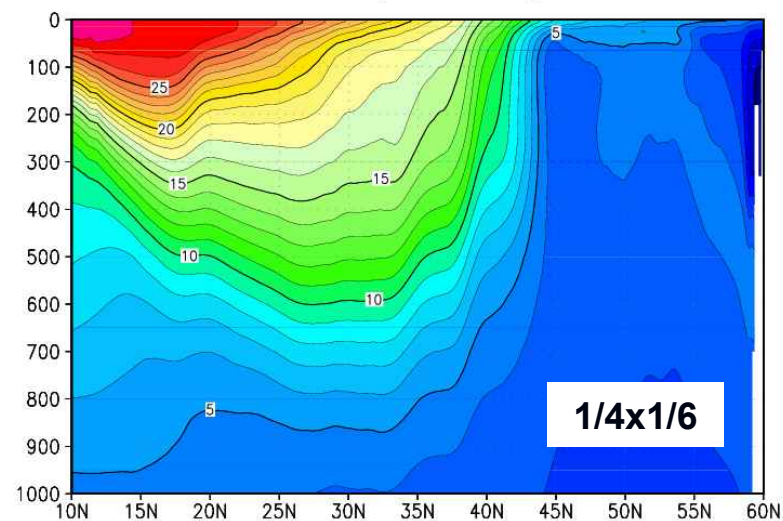
海面流速場(cm/s)

NCEP/DOE 再解析で駆動した場合

Surface Height (NPERM15)



model (annual mean)



model (annual mean)

