

**2014.11.20 地球観測連携拠点主催ワークショップ
海洋観測の現状と展望—地球環境科学への貢献—**

**海洋モデルの現状と展望
— 海洋データの統合的理解のツ
ールとして —**

**羽角 博康
東京大学 大気海洋研究所**

海洋モデルとは

海洋大循環モデル: 海の物理的状態をシミュレート

流れ ← 圧力、外部強制力(風)、海の形状

圧力 ← 密度 = 温度・塩分

温度・塩分 ← 流れ、外部強制力(海面における加熱・冷却および降水・蒸発等)

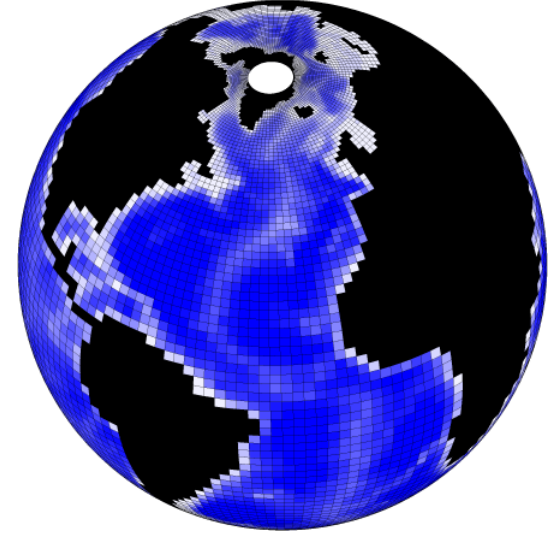
↓

これらは流体力学の運動方程式および輸送方程式として数式(微分方程式)で現される

↓

外部強制力が与えられれば、海洋全体の流れや温度分布がわかる ...はずなのだが、数式をそのまま(解析的に)解くことはできない

海洋モデルとは



数値シミュレーションの手続き

時間・空間を格子に分割（離散化）

→ とびとびの格子点での値を得る

元の数式を近似することにより、各格子点値は隣接する格子点値の加減乗除で表現される

→ 計算機で解くことができる

必然的に...

時間・空間的に細かい現象を見たければ細かい格子分割が必要（計算量が増す）。また、格子の目が粗いと数式の近似精度が落ちる。

→ 現状の最先端スパコンでも満足ではない

海洋モデルとは

海洋物質循環・生態系モデル

海洋中の物質や生物の存在量を決める要素

- 生物・化学過程: 温度・圧力等に依存
- 輸送過程: 流れに依存



海洋大循環モデルで得られる温度・圧力・流れ等の情報を用いて、海洋中に存在する物質や生物の分布を格子点値として求める



表現する物質・生物種が増えれば、その分計算量が増える

→ 生態系の理解度不足とあいまって、簡便な形でしか取り扱えない

海洋モデルの使われ方

過去～現在の再現・把握

- 海洋データセット作成
 - 同化される観測データの取得
- 仮想的な「実験」を通じた特性理解
 - 現実の適切な再現と検証

将来予測

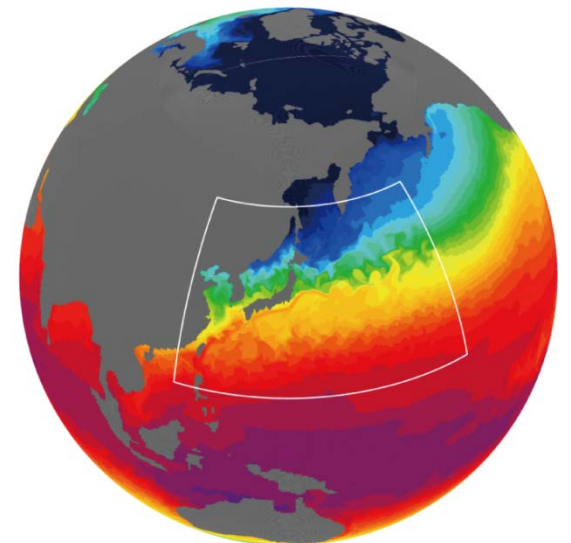
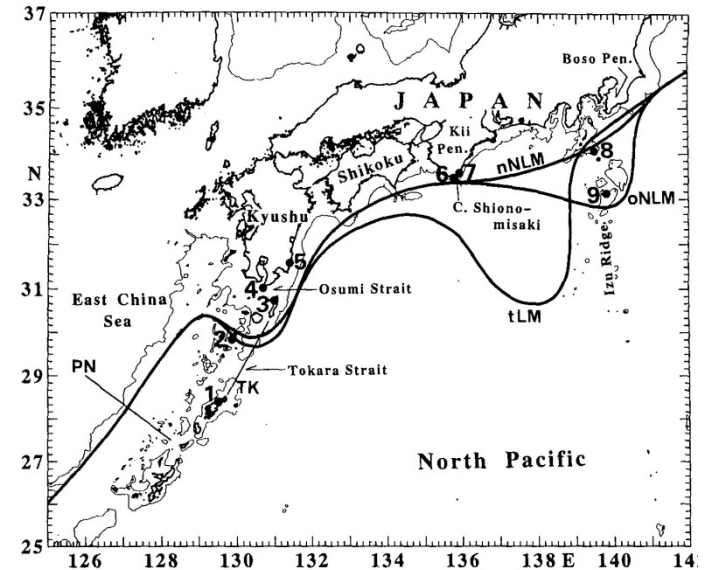
- 短期予報（海の天気予報）
- 長期予測（海の気候予測）
 - 適切な初期値化

現状の最先端シミュレーション研究の実例

大規模海流とその変動 —黒潮流路を例に—

黒潮

- 世界を代表する強海流（西岸境界流）のひとつ
- 日本南岸で「大蛇行」と「直進」を繰り返し、その挙動は太平洋地域の気候や水産などに大きく影響
- 数年前の海洋モデルでは黒潮流路やその変動を適切に表現できなかった
→ 水平~10 km 格子で可能に

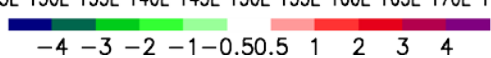
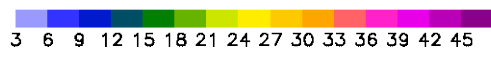
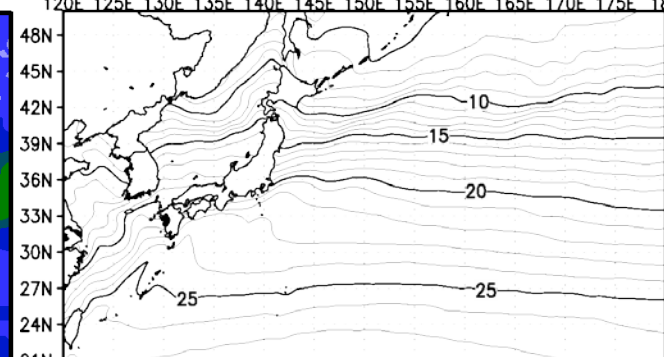
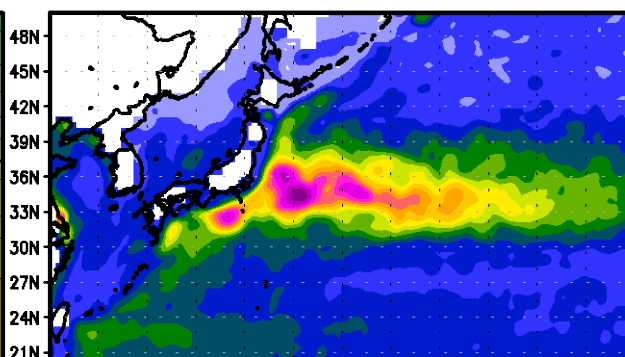
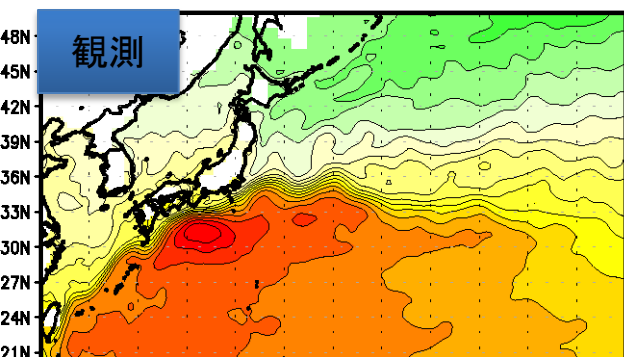
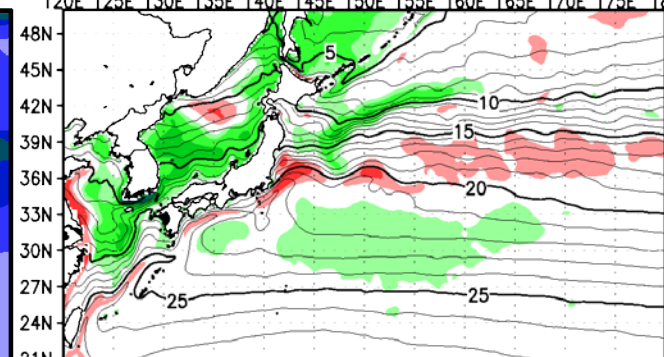
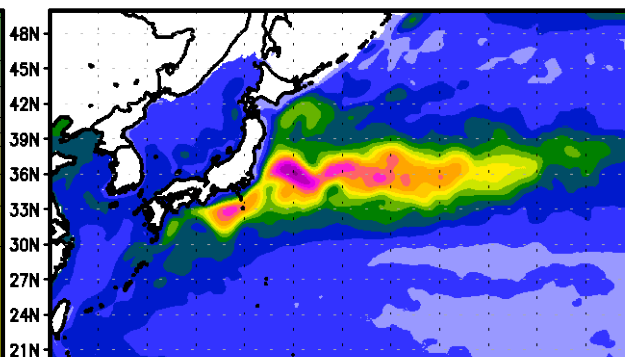
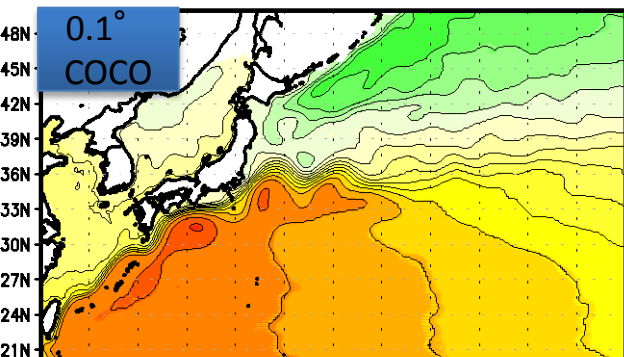
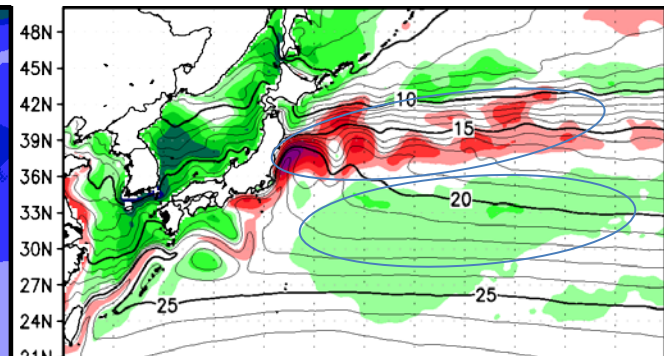
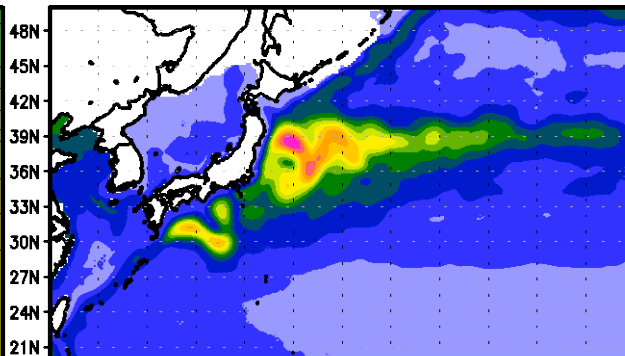
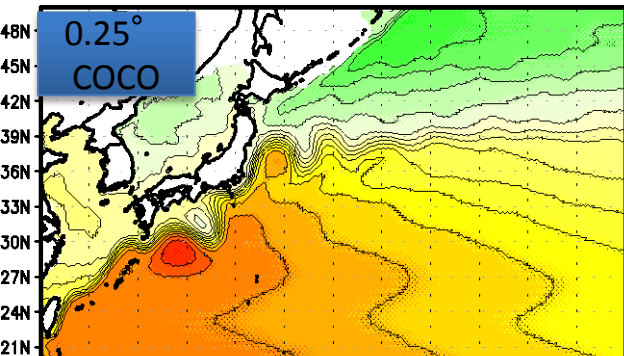


1993-2006

海面高度の時間平均

海面高度の標準偏差

海面水温の時間平均



現状の最先端シミュレーション研究の実例

大規模海流とその変動 —黒潮流路を例に—

わかってきたこと

- 黒潮流路変動の物理的メカニズム
- 温暖化の影響：大蛇行流路の不安定化

今後の方向性

- 「メソスケール」から「サブメソスケール」へ
→ より高解像度のモデルへ
- 激しく時空間変動する海洋現象の詳細な記述
→ 新しい観測システム・体制

現状の最先端シミュレーション研究の実例

外洋－沿岸相互作用 —三陸沿岸の現象を例に—

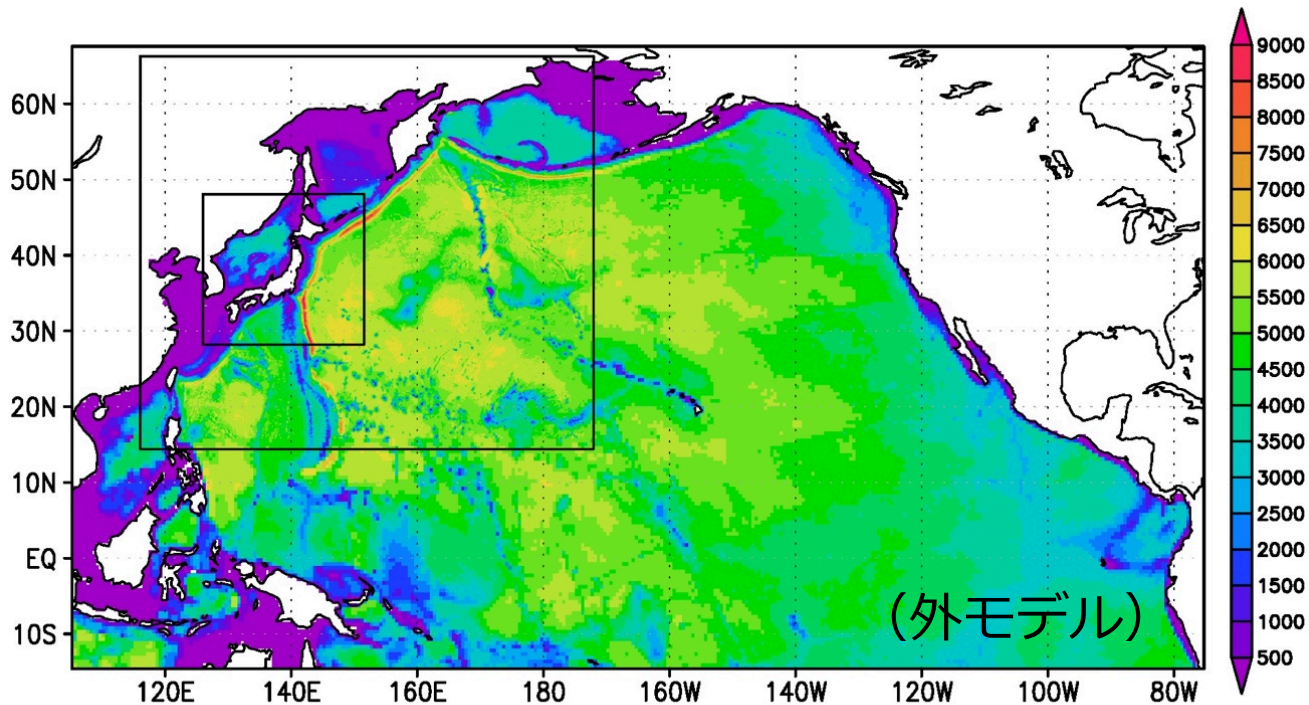
- 外洋の影響が沿岸や湾にどのように及ぶか
- 気候温暖化等の全地球規模気候変動の影響
→ 全球モデルでは扱うことができない（沿岸を扱うのに十分な解像度を全球に適用できない）

↓
ネスティング（入れ子）により、様々なスケール・解像度のモデルをつなぐ

現状の最先端シミュレーション研究の実例

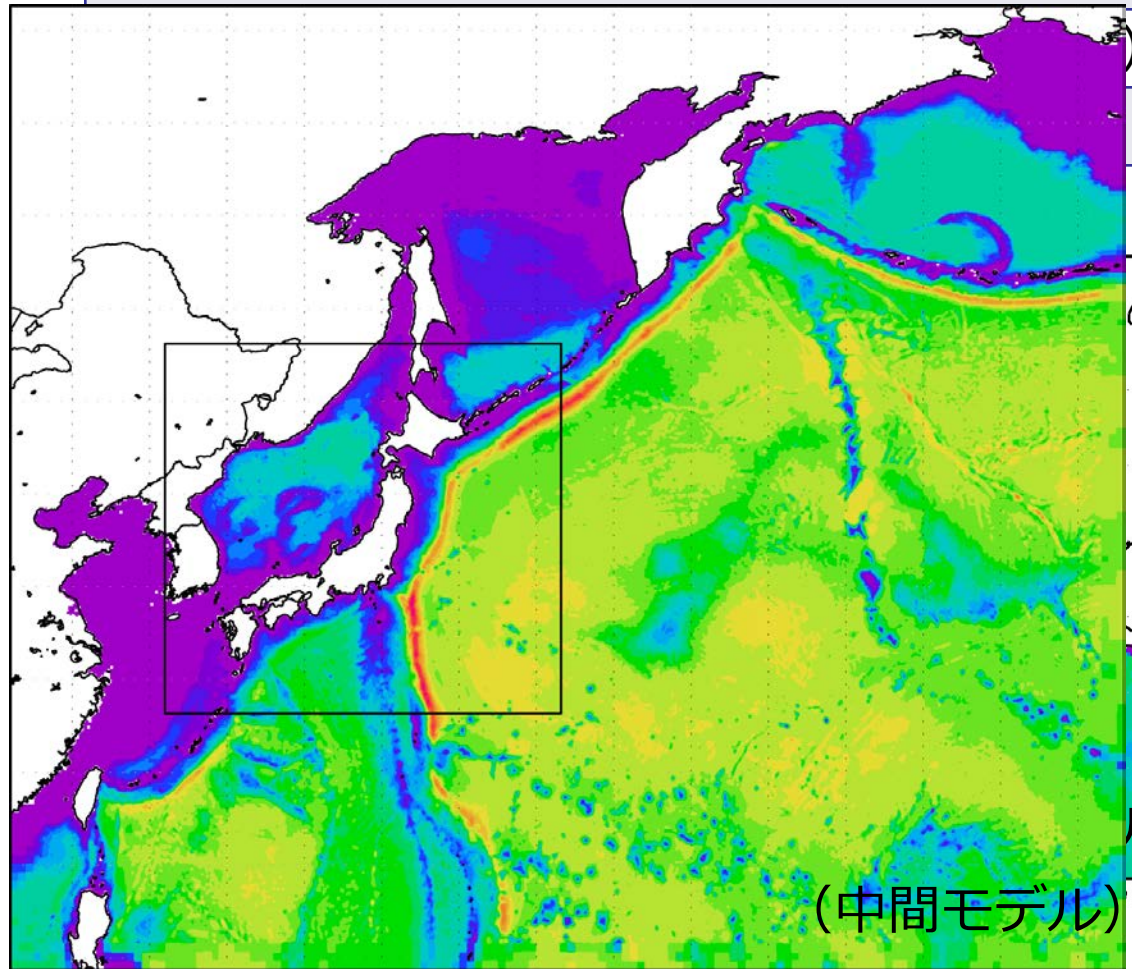
	水平解像度	水平格子数
外モデル	$1/2^\circ \times 1/2^\circ \cos\Phi$ (50 km)	360 × 216
中間モデル	$1/10^\circ \times 1/10^\circ \cos\Phi$ (10 km)	720 × 750
内モデル	$1/50^\circ \times 1/50^\circ \cos\Phi$ (2 km)	1280 × 1280

(鉛直74層)

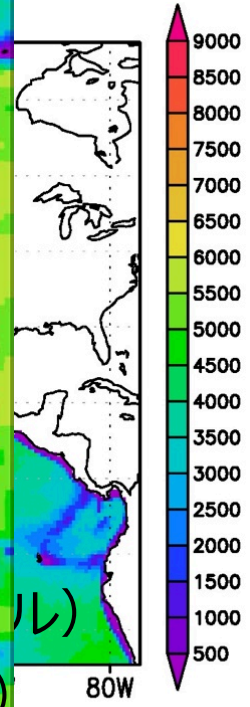


現状の最先端シミュレーション研究の実例

	水平解像度	水平格子数
外モデル	$1/2^\circ \times 1/2^\circ \cos\Phi$ (50 km)	360 × 216
		720 × 750
		1280 × 1280



(鉛直74層)

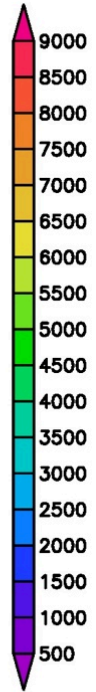
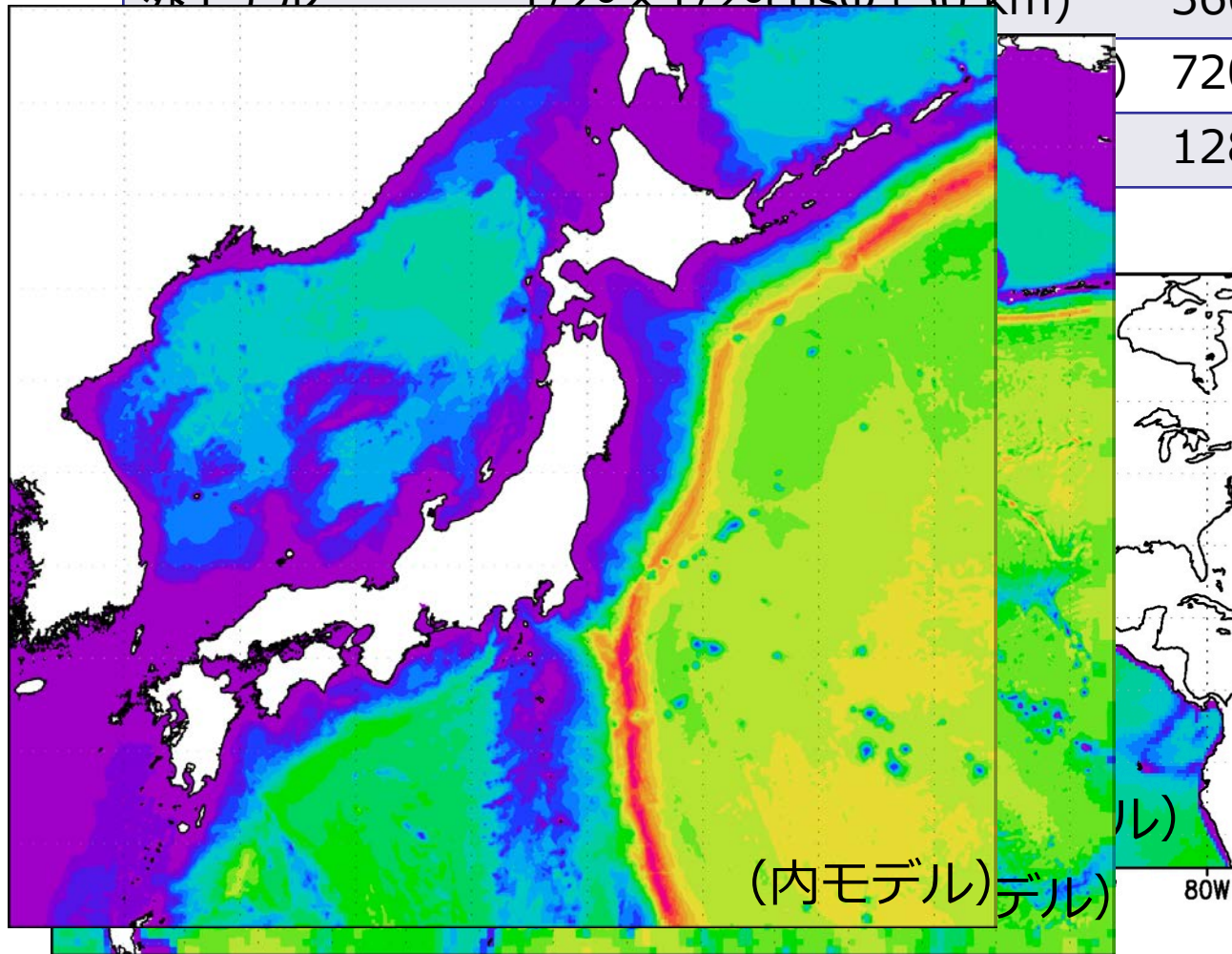


80W

現状の最先端シミュレーション研究の実例

	水平解像度	水平格子数
外モデル	$1/20 \times 1/20 \cos\phi$ (50 km)	360 × 216
		720 × 750
		1280 × 1280

(鉛直74層)

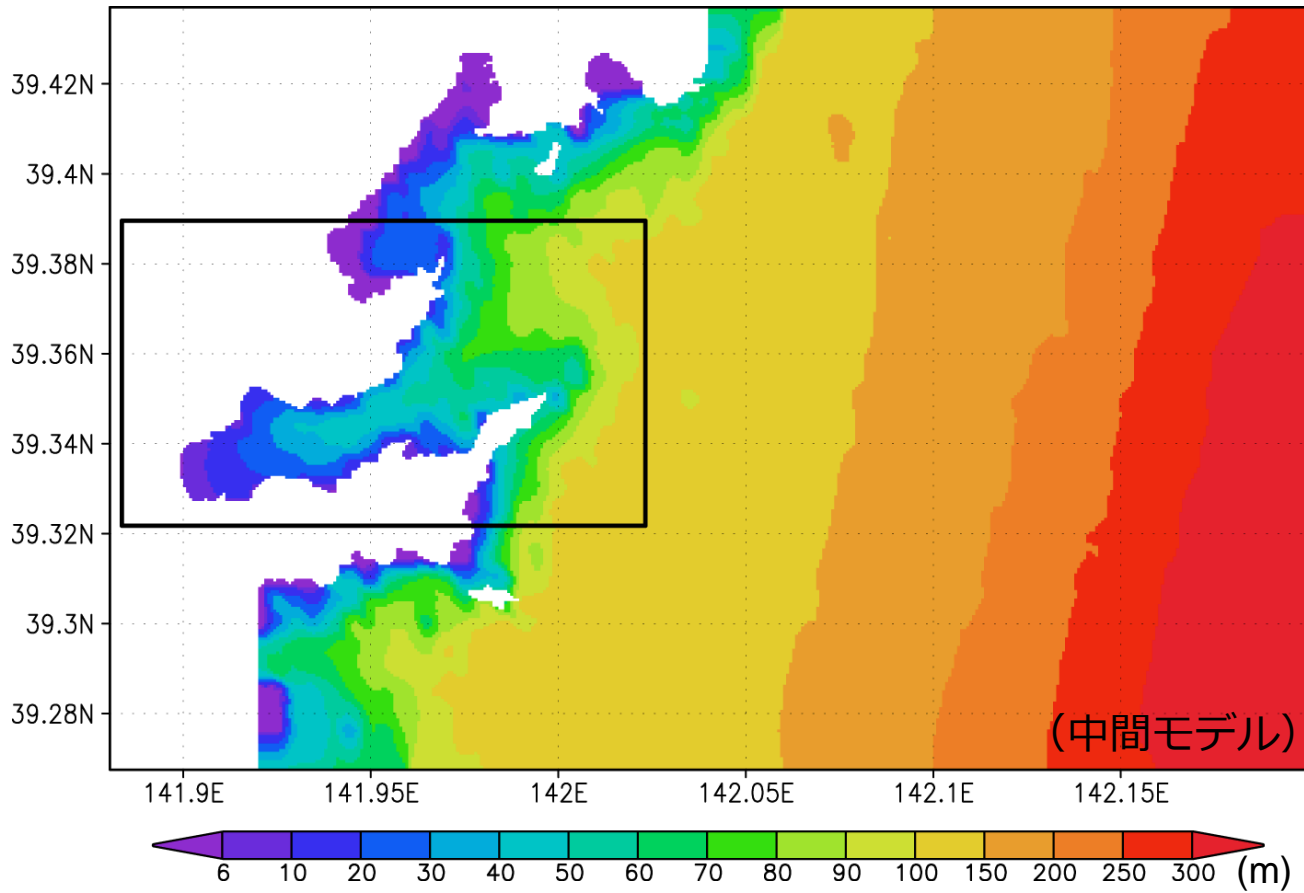


80W

現状の最先端シミュレーション研究の実例

	水平解像度	水平格子数
中間モデル	$0.0008^\circ \times 0.0008^\circ \cos\Phi$ (~ 70 m)	400 × 275
内モデル	$0.00016^\circ \times 0.00016^\circ \cos\Phi$ (~ 14 m)	880 × 550

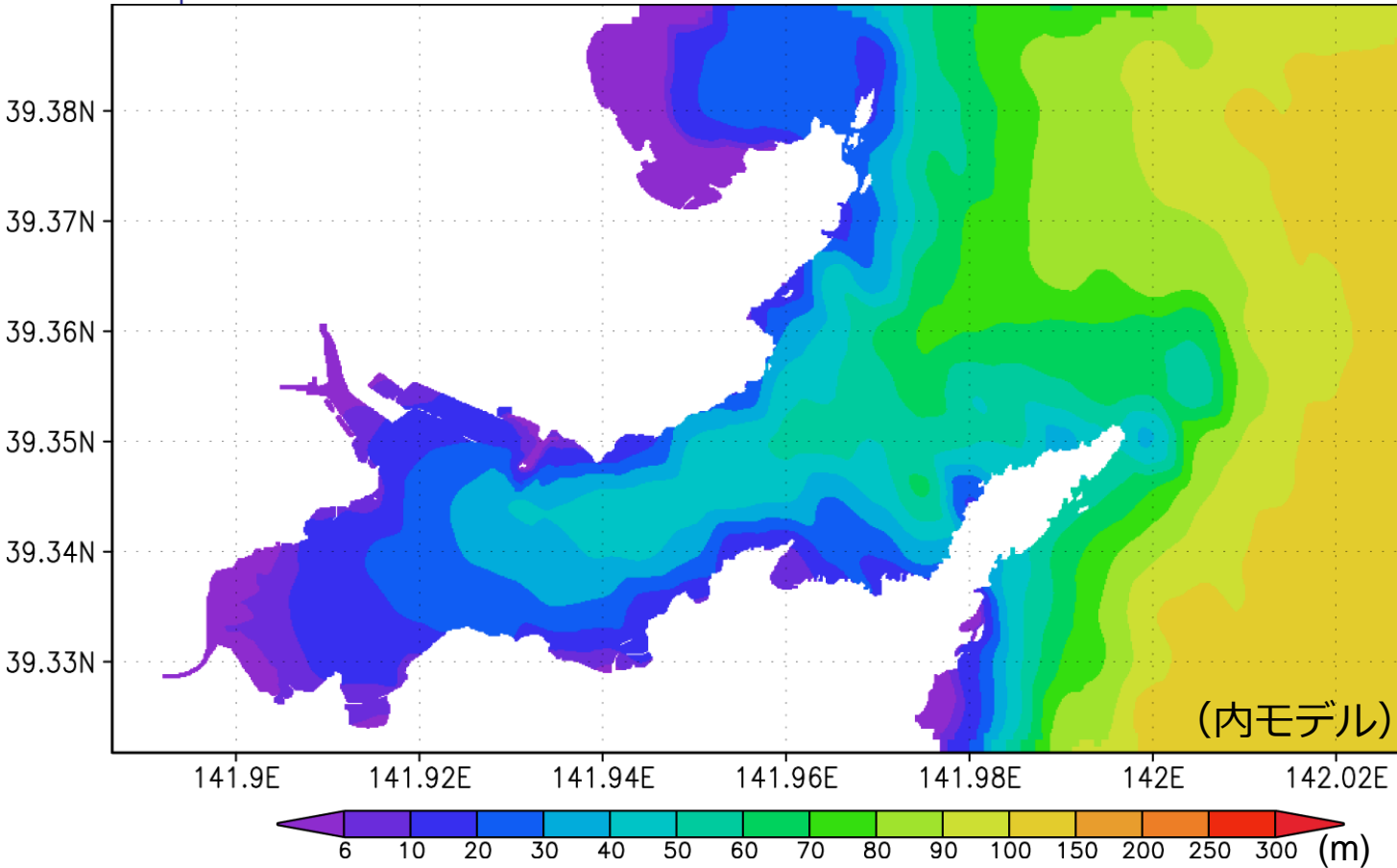
(鉛直50層)



現状の最先端シミュレーション研究の事例

	水平解像度	水平格子数
中間モデル	$0.0008^\circ \times 0.0008^\circ \cos\Phi$ (~ 70 m)	400×275
内モデル	$0.00016^\circ \times 0.00016^\circ \cos\Phi$ (~ 14 m)	880×550

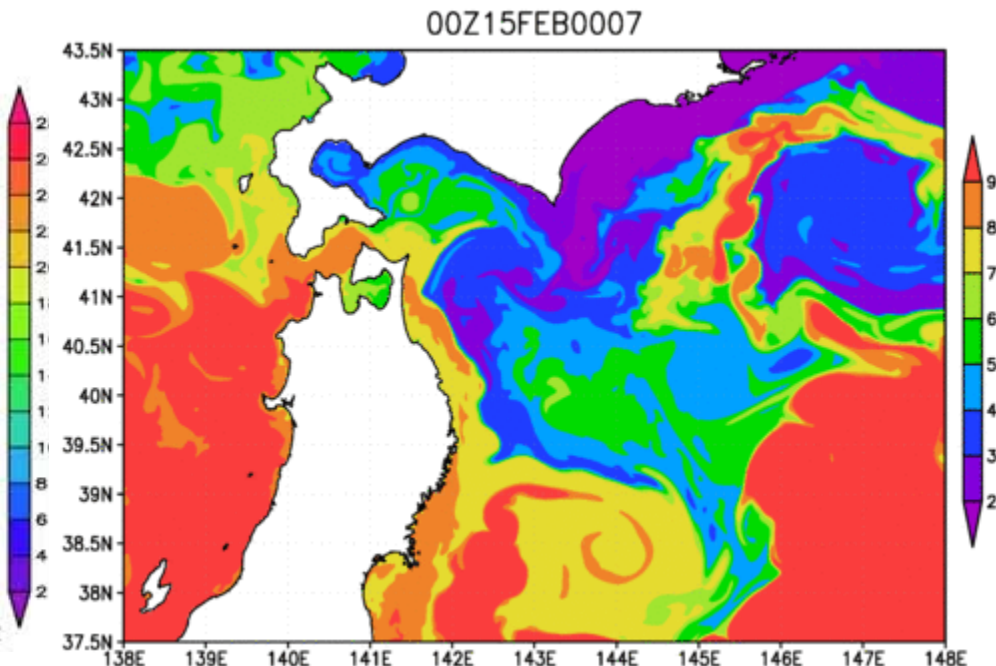
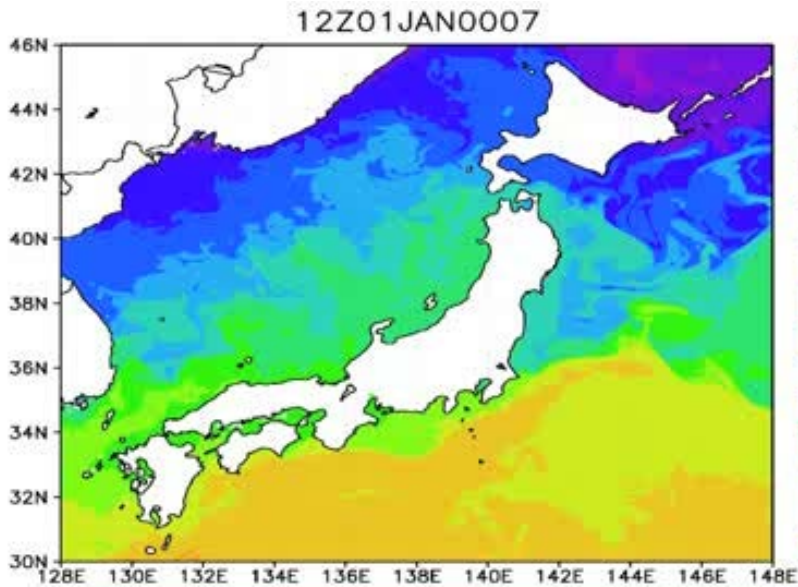
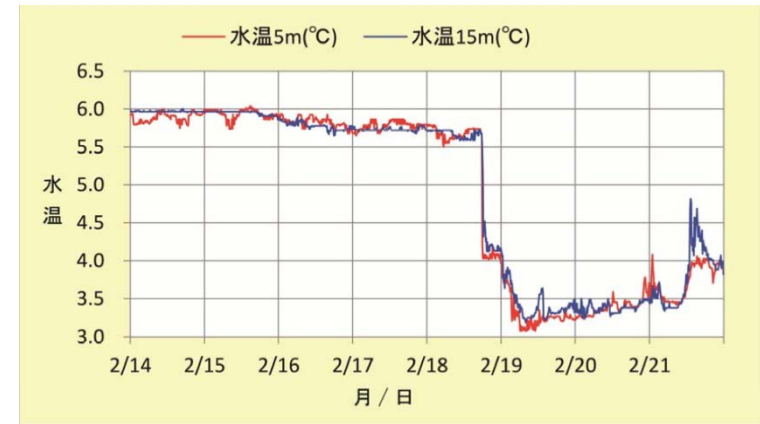
(鉛直50層)



現状の最先端シミュレーション研究の実例

外洋—沿岸相互作用 —三陸沿岸の現象を例に—

わかってきたこと
- 冷水接岸の再現とメカニズム



現状の最先端シミュレーション研究の実例

外洋－沿岸相互作用 —三陸沿岸の現象を例に—

わかってきたこと

- 冷水接岸の再現とメカニズム

今後の方向性

- 汎用化（海域・湾）

→ 沿岸・湾の海洋物理現象を統一的に扱う理論的
枠組み・モデリング手法は確立されていない

→ 沿岸域の稠密な観測網

- 海況予測

→ 海洋初期値・気象要素

現状の最先端シミュレーション研究の事例

気候温暖化予測

最先端（高解像度）の海洋モデルを適用できない
→ 1世代（以上）前の海洋モデルで現象再現性を高めるための研究・開発が常に必要

IPCC温暖化予測モデルの海洋水平格子

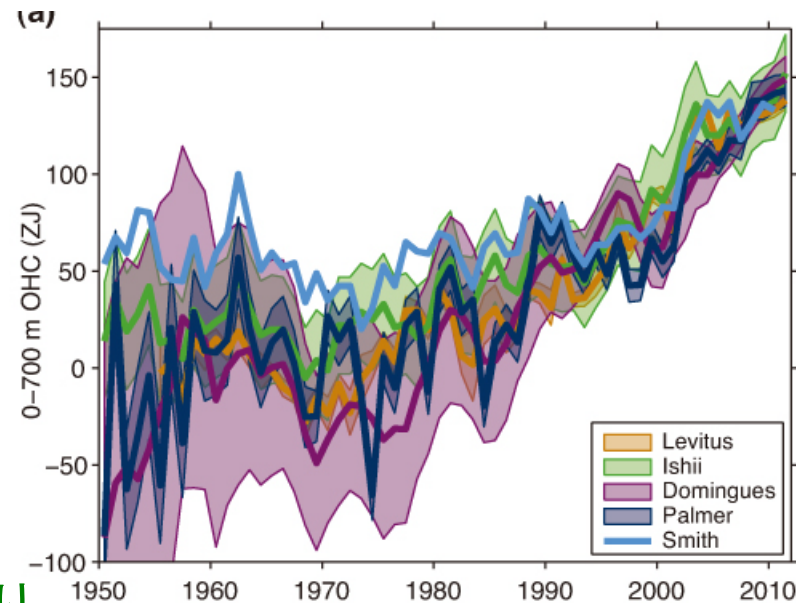
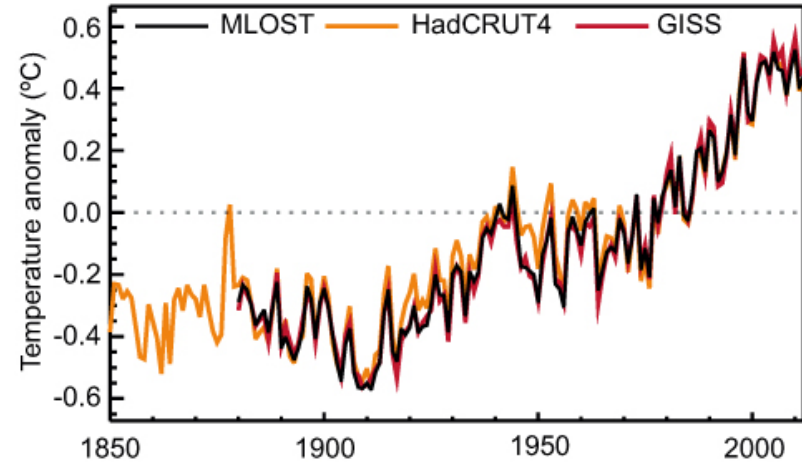
水平格子	IPCC 第4次	IPCC 第5次
> 1.5°	11	8
0.5°-1.5°	11	40
< 0.5°	1	2
Total	23	50

現状の最先端シミュレーション研究の実例

気候温暖化予測 —温暖化停滞現象を例に—

温暖化停滞（ハイエイタス）

- 2000年以降、全球平均地上気温の上昇が鈍化
- ただし、海水温上昇は鈍っておらず、気候全体の温暖化は継続している
- IPCC 第5次評価報告書の温暖化予測モデルでは再現されていない



図：IPCC第5次評価報告書より

現状の最先端シミュレーション研究の事例

気候温暖化予測 —温暖化停滞現象を例に—

温暖化停滞（ハイエイタス）

- 原因として、エアロゾル増加（日傘効果）・日射量低下・気候内部変動*など、様々なものが挙げられている
- 最新のモデル研究では、気候内部変動の影響が大きいことが指摘されている
 - 停滞の後には急激な温暖化が起こる？

* 気候内部変動：強制力の変化が無くても起こる気候変動（エルニーニョ現象など）

現状の最先端シミュレーション研究の事例

気候温暖化予測 —温暖化停滞現象を例に—

ハイエイタスの理解と予測に向けて

- 海洋の中～深層の循環や蓄熱が大きな役割を果たすが、ハイエイタスについて具体的にどのようなメカニズムが働いているのかは未解明
- ハイエイタスを含む、20~30年という近い将来に関する詳細な予測のためには、予測の初期値を精確に与える必要がある

→ モデル結果が正しいかどうかの検証、および予測の適切な初期値のために、海洋中～深層の継続的な観測データセットが必要

まとめ

海洋モデルは今や、海洋現象の理解・海洋データセット作成・海洋予測のためにはなくてはならないツールである

このツールが信頼性を確保するためには、検証や初期値化のため、これまで以上に観測データセットの整備が必要である

一方、効果的な観測計画の立案ために海洋モデルを生かすことができる段階にも達している