

# エルニーニョなどの海洋の変化を予測するために

○山中吾郎、辻野博之、中野英之、坂本圭、浦川昇吾(海洋・地球化学研究部)

## 1. はじめに

現在、太平洋赤道域では、世界各地に異常気象をもたらす要因の一つとなるエルニーニョが、1997/98年以来の強い規模で発生している。また、近年の地球温暖化の停滞現象(ハイエイタス)は、海洋に熱が蓄積されているために生じていることが指摘されるなど、気候変動における海洋の重要性がより一層認識されている。

気象研究所海洋・地球化学研究部では、エルニーニョなどの気候変動を予測するため、海洋モデルの高度化や海洋モデルを用いた研究を進めている。気象研究所で開発した海洋モデルは、地球システムモデルの海洋コンポーネントとして地球温暖化予測に用いられるほか、気象庁における季節予報や海況監視予測業務などに幅広く活用されている。本発表では、海洋モデルを用いた気候変動研究に関する成果の概要を紹介する。

## 2. 海洋モデルを用いた気候変動研究

### 2.1. 海洋モデルの概要

海洋モデルでは、海洋を細かい格子に分割して、それぞれの格子における流速・水温・塩分などの時間発展を支配方程式に基づいて数値的に計算する。天気予報で用いられる気象モデルの海洋版と考えればよい。海洋モデルは、海面で風や熱・淡水フラックス等を境界条件として与えることによって駆動される。

気象研究所で開発している海洋モデル(MRI.COM)は、様々な時間・空間スケールの現象に対応できるように設計されている。また、炭素循環過程や海洋生態系過程など物質循環過程を組み込んでおり、幅広い用途に対応することができる。

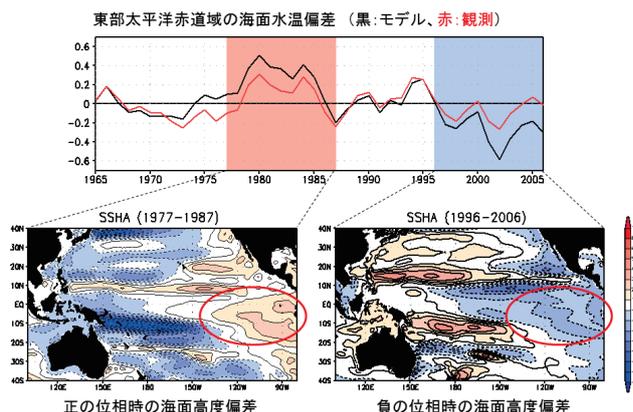
以下では、気候変動研究に用いられる低解像度全球モデルや次世代の気候モデルとして開発している高解像度全球モデルおよび熱帯高解像度モデルを用いた結果について紹介する。

### 2.2. 低解像度全球モデル～熱帯太平洋の十年規模変動

低解像度全球モデルの水平分解能は100kmである。海洋は大気と比較すると熱容量が大きいいため、熱的平衡に達するには長期間の積分が必要となる。低解像度全球モデルは、

計算コストが比較的小さいため、長期間(数百年以上)の積分が可能である。

熱帯太平洋の海面水温は、空間パターンがエルニーニョに似た、十年規模の変動を示すことが知られている。十年規模の変動は、海洋内部の水温構造を反映した海面水位分布においても見られる。低解像度全球海洋モデルを用いた過去60年間の再現実験によると(第1図)、東部太平洋赤道域で水温が高い正の位相時(1977-1987年)では海洋内部の昇温を反映し、海面高度が平年より高くなる一方、水温が低い負の位相時(1996-2006年)では海洋内部の冷却を反映し、平年よりも低くなる。このような十年規模変動は、熱帯表層の子午面循環(STCs)の強弱と関係がある(Yamanaka et al. 2015)。



第1図: 熱帯太平洋の十年規模変動。

近年の地球温暖化の停滞現象は、このSTCsの変動に伴う海洋内部への熱の蓄積と関連がある可能性が指摘されている(England et al. 2014)。また、低解像度全球モデルに物質循環過程を導入した実験によると、人為起源炭素の蓄積には、STCsによる海洋内部への輸送が重要な役割を担っていることが指摘されている(Nakano et al. 2015)。

### 2.3. 高解像度全球モデル～中規模渦や詳細な海洋構造の再現

高解像度全球モデルの水平分解能は10kmである。海洋は大気と比較すると特徴的な空間スケール(変形半径)が小さいため、大気の高気圧や低気圧に相当する、海洋の中規模渦を表現するには、10km程度の分解能が必要である。

高解像度全球モデルは、海洋の中規模渦を表現することにより、気候変動に伴う海洋内部の熱や物質の時空間変動

をより詳細に再現できることに加えて、日本近海を流れる黒潮などの強流帯の分布をより現実的に表現できる(第2図)。黒潮の現実的なシミュレーションは、近年のスーパーコンピュータの性能向上により初めて可能になった。黒潮などの強流帯は、海況の監視・予測の重要な対象であると同時に、海洋前線と呼ばれる水温が急激に変化する海洋構造を伴っており、海洋から大気への熱輸送を通じて、気候変動に影響を及ぼす可能性が指摘されている。

高解像度全球モデルは計算コストが大きいことから、現在のスーパーコンピュータの性能では海洋モデル単体としての実行が主体であるが、将来的には気候モデルの中核を担うと考えられる。

## 2. 4. 高解像度熱帯モデル～エルニーニョの予測精度向上を目指して

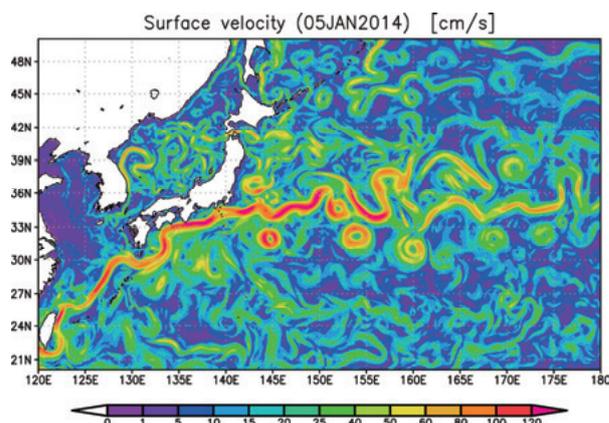
高解像度熱帯モデルは、水平分解能100kmの低解像度全球モデルに水平分解能20kmの熱帯モデルをネスティングと呼ばれる手法で入れ子にしたものである。このため、計算コストを抑えつつ、インドネシア多島海などの複雑な海岸地形を詳細に表現することができる。

高解像度熱帯モデルは、低解像度全球モデルと比較すると、熱帯域の海洋変動の再現性が向上する。例えば、東部太平洋赤道域における熱帯不安定波動(TIW)と呼ばれる波動状の構造は、高解像度熱帯モデルでより明瞭である(第3図)。TIWは海面付近の流れの水平勾配によって励起されるが、高解像度熱帯モデルは流れの水平勾配をより適切に表現するためである。TIWは南北方向の熱輸送をより活発にするため、平均場の海面水温は赤道域の北側でより上昇する。この熱輸送は、エルニーニョ時よりも、流れの水平勾配が強まるラニーニャ時により活発に見られることから、高解像度化は平均場のみならずエルニーニョ/ラニーニャなどの変動場の再現性にもインパクトを与えることが示唆される。

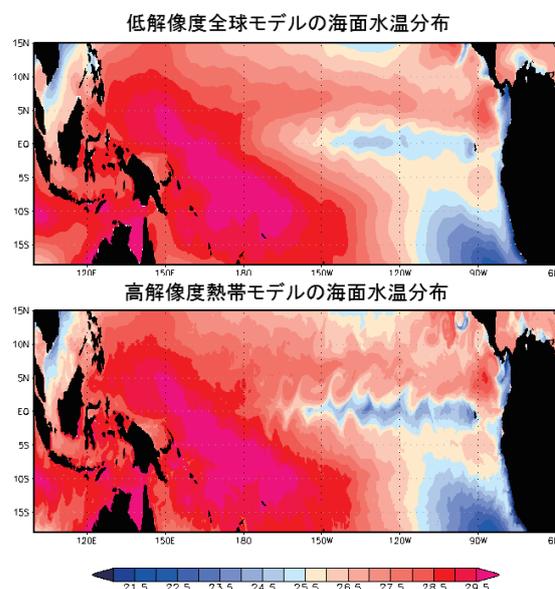
## 3. まとめ

気象研究所で開発している海洋モデルの高解像度化やネスティング手法を活用した新たな取組みについて紹介した。海洋モデルは、気候変動に係わる海洋変動のメカニズム解明やエルニーニョなどの海洋の変化を予測するために活用されている。

今後は、観測データとの比較を通じて海洋モデルのさらなる高度化を進めていく。それと同時に、大気モデルと結合して気候モデルとしてのパフォーマンスを向上させ、気候変動の予測精度向上を目指していきたい。



第2図: 高解像度全球モデルで再現された日本近海の海流分布。暖色系ほど強い流れを示す。



第3図: 低解像度全球モデル(上)と高解像度熱帯モデル(下)の比較。高解像度モデルでは波動状の構造をよく再現している。

## 参考文献

- England, M., and co-authors, 2014: Recent intensification of wind-driven circulation in the Pacific and the ongoing warming hiatus, *Nat. Clim. Change*, **4**, 222-227.
- Nakano, H., M. Ishii, K. Rodgers, H. Tsujino, and G. Yamanaka, 2015: Anthropogenic CO<sub>2</sub> uptake, transport, storage, and dynamical controls in the ocean imposed by the meridional overturning circulation: A modeling study, *Global Biogeochemical Cycles*, **29**, 1706-1724.
- Yamanaka, G., H. Tsujino, H. Nakano, and M. Hirabara, 2015: Decadal variability of the Pacific Subtropical Cells and its relevance to the sea surface height in the western tropical Pacific during recent decades, *J. Geophys. Res. Oceans*, **120**, 201-224, doi:10.1002/2014JC010190.