

平成 26 年度 地球シミュレータ利用報告 研究成果概要

1. 課題名

海洋の渦・前線とそれらが生み出す大気海洋現象の解明

Understanding Roles of Oceanic Fine Structures in Climate and its Variability

2. 課題責任者名

佐々木 英治(海洋研究開発機構 アプリケーションラボ)

Hideharu Sasaki

3. 課題の目的

地球シミュレータを用いた高解像度大気海洋シミュレーション研究によって、黒潮等の西岸境界流に伴う海面水温前線や中規模渦などの海洋局所構造の変動が、大規模な大気循環の形成・変動に果たす役割が明らかになってきた。更に、より高解像度の海洋シミュレーションから、海洋の中規模渦よりも細かい数 km 程度の構造が、より大規模な海洋循環の形成や生態系の変動に与える影響も明らかにされつつある。一方、高解像度領域モデルにより台風発達に対する海洋の影響も示されてきた。本プロジェクト等が世界をリードしてきたこれらの研究を更に強く推進し、従来の季節変動予測や地球温暖化予測では、ほとんど考慮されてこなかった海洋局所構造の変動とそれらが引き起こす大気海洋現象に対する知見を深め、地球気候の理解と予測技術の発展に貢献する。

4. 今年度当初の研究計画

西岸境界流に伴う中規模渦や海洋前線の変動とそれらが大気海洋循環に与える影響を海洋大循環モデル OFES、大気大循環モデル AFES、および大気海洋結合モデル CFES を用いて調査する。さらに中規模渦より細かく海洋生態系への影響が示唆されているサブメソスケール現象を超高解像度の北太平洋 OFES および非静力学領域海洋モデル NHOES を用いて調査する。一方、大気の代表的な顕著現象である台風の維持発達過程に大気放射課程や波浪、大気海洋結合過程がどのように影響するかを非静力学領域大気海洋結合モデル CReSS-NHOES を用いて調査する。

(a) 海洋前線変動と大気海洋循環変動

海洋前線などの海洋の局所構造の変化に伴う膨大な熱・水蒸気供給の変動が大気循環に与える影響を明らかにするため、海洋単体、大気単体、さらに大気海洋結合系として多角的に調査する。生態系モデルを組込んだ高解像度海洋シミュレーションによって、海洋局所構造の変化による海洋循環場、さらに海洋生態系への影響が明らかにされることが見込まれる。また、大気、大気海洋結合モデルを用いたアンサンブル実験で、海洋前線などの海洋の局所構造の変動に起因する気候の自然変動の解明が見込まれる。

(b) 海洋サブメソスケール現象と海洋循環・生態系変動

サブメソスケールの海洋構造を解像する北太平洋域の海洋モデルの出力を用いた濃度トレーサー実験や粒子追跡実験を行う。特に黒潮続流域で冬季に活発となる強い鉛直流を伴うサブメソスケール現象が生態系やトレーサー分布に及ぼす影響を明らかにする。さらに、黒潮続流域の海洋前線の非静力学現象が海洋循環場に及ぼす影響を、海洋非静力学モデルを用いて明らかにする。また、潮汐や密度混合などの局所的な非静力学過程が大規模場に及ぼす影響を、縁辺海を対象とした非静力学海洋モデルを用いて調べる。サブメソスケール現象が励起する強い鉛直流が物質循環、生態系に及ぼす影響、局所的な非静力学過程が重要である現象の大規模な海洋循環に与える影響の解明が見込まれる。

(c) 台風発達と大気海洋相互作用

領域非静力学大気海洋結合モデル(改良版放射モデル、波浪モデルを含む)で台風シミュレーションを実施し、台風の発達過程や強度に与える影響を調査する。さらに、黒潮続流域の定点ブイを通過した台風の事例シミュレーションを行い、観測データと比較して大気海洋相互作用による台風への影響を調べる。

5. 研究計画に沿った利用状況

(a) 海洋前線変動と大気海洋循環変動

- ・海洋前線などの海洋の局所構造の変化を調べるためのベースとなるデータセットである OFES 準全球渦解像過去再現実験を 1 年間延長した。
- ・西岸境界流域における海洋の自励的な経年変動の特性に関する理解を深めるため北太平洋域渦解像過去再現アンサンブル積分を 1 メンバー 8 年間追加した。
- ・海面水温の年々変動が中緯度大気の間年々変動に与える影響を系統的に調べるために、T119(解像度 100km)鉛直 56 層の AFES を用いて、海面水温変動を全球で与える GOGA(Global Ocean and Global Atmosphere)実験、熱帯のみで与える TOGA(Tropical Ocean and Global Atmosphere)実験、中緯度のみで与える MOGA(Mid-latitude Ocean and Global Atmosphere)実験を、1981-2013 年の期間で 2 メンバーずつ行った。
- ・海面水温前線に対する大気応答を大気海洋結合系として多角的に調べるために、中解像度版 CFES(大気 T119L56 海洋 0.5 度 54 層)を用いて、現実の北太平洋の偏西風変動を模した風応力偏差を与えながら結合計算を行う 3.5 年の感度実験を 7 メンバー追加で実施した。
- ・大気の鉛直層を増やし最新の対流スキームを組み込んだ新しい中解像度版 CFES(大気 T119L56 海洋 0.5 度 54 層)による標準実験を延べ 70 年間行った。

(b) 海洋サブメソスケール現象と海洋循環・生態系変動

- ・北太平洋域における長期の物質循環を調べるために、人為起源物質である化学トレーサー(CFCs, Cs137, SF6)を北太平洋 1/10 度と 1/2 度の OFES に組み込み 1950 年から 2000 年までシミュレーションを実施した。

(c) 台風発達と大気海洋相互作用

- ・大気側(CReSS)に新たに組み込んだ放射過程を用いた場合の環境設定、動作確認を行った。

6. 今年度得られた成果、および達成度

＜成果＞

(a) 海洋前線変動と大気海洋循環変動

北太平洋域における夏季の水温変動特性を直接観測から解析し、そのメカニズムを北太平洋 1/10 度解像度 OFES の結果から調べた。北太平洋西部において黒潮続流北側分岐の表層下の構造の変化が 500m 以上の深さに及ぶ水温変動に寄与することが示唆された。

最近数十年の観測データを解析し、亜寒帯海洋前線帯と亜熱帯海洋前線帯の海面水温変動に関連する太平洋十年規模変動が長期変動していることを発見した。さらに二酸化炭素濃度を固定した CFES の 150 年積分を解析したところ、類似の太平洋十年規模変動の長期変動を確認し、大気海洋結合系の内部力学として太平洋十年規模変動が長期変動することを示唆する結果を得た。本研究は、Geophysical Research Letter に掲載された。

また、大気海洋結合モデル CFES を用いた感度実験により、北太平洋亜寒帯前線帯(SAFZ)の北偏に対する大気海洋系の応答を調べたところ、前線帯昇温の程度に応じて、正/負の feedback を伴う対照的な大気海洋系の応答を示すことが分かった。この結果は、海盆スケールの中緯度大気海洋 feedback の存在を示唆するが、同時に、中緯度大気海洋 feedback によって、初期条件に依存する不確定性が大きいことも明らかになった。

(b) 海洋サブメソスケール現象と海洋循環・生態系変動

水平解像度が約 3km の北太平洋 1/30 度の OFES で見られる黒潮続流を含む北西太平洋域のサブメソスケール現象の季節変動に注目して解析を進めた。サブメソスケール現象は、冬季に海洋が冷却されて混合層が厚くなると活発になる季節変動がある。その冬季に活発なサブメソスケール現象は、スケール間相互作用により大きなスケールの中規模渦などを数ヶ月間にわたって活発化し、海洋循環に多大な影響を及ぼすことを明らかにした。本研究は Nature Communications 誌に掲載され、JAMSTEC からプレスリリースを行った。

(c) 台風発達と大気海洋相互作用

2005 年 7 月に台湾に上陸し黒潮の流軸変化と台湾北部に強い沿岸湧昇(海面水温 15℃)をもたらした台風 7 号(Haitang)の再現性を、波浪なし結合モデル(CReSS-NHOES モデル)と波浪あり結合モデル(CReSS-NHOES-UMWM モデル)を用いて調べた。台湾の東岸に吹き寄せられた波浪が消散する時に(風から直接ではなく波浪の消散を経由して)海洋の表層流に運動量を渡す過程が重要であるという結果が得られた。強い沿岸湧昇の再現と理解においては、風が吹く領域(運動量が波浪に伝達される)と波浪が砕波する領域(運動量が海流に伝達される)が異なるといった状況を加味する事が必要である事がわかった。

2011 年 10 月に北西太平洋で観測され、南大東島付近で約 1 週間ほぼ停滞した台風 21 号(Prapiroon)について、三次元結合モデル(CReSS-NHOES)、一次元結合モデル(CReSS-1D 海洋)および非結合モデル(CReSS 単体)を用いて実行した結果を調べた。計算開始から停滞までの経路と中心気圧の低下について、三次元結合モデルで再現できた。停滞後に北東進する経路が、一次元結合および非結合モデルに比べ、三次元結合モデルでは東よりの北上が再現された。これは、停滞により台風が引き起こす海洋内部の湧昇および混合により海面水温分布が変わり、

台風を構成する積雲の活発域が変わることにより台風の渦中心自体をずらす可能性を示唆する結果である。この事例の再現には 10 日に及ぶ積分が必要なことと、停滞後の北東上の動きが再現できなかった点を踏まえ、大気放射の効果が台風に及ぼす変化を調べるため、計算コストがかかる放射過程を適用する実験の検討を行った。

<達成度>

(年度当初の研究計画を全て達成した場合を 100% / 複数の目標があった場合は、それぞれについて達成度を数値で記載)

(a) 海洋前線変動と大気海洋循環変動

100%

(b) 海洋サブメソスケール現象と海洋循環・生態系変動

100%

(c) 台風発達と大気海洋相互作用

100%

7. 計算機資源の利用状況

<計算機資源の利用状況>

(計画的に計算機資源を利用できているか、状況を記載)

(a) 海洋前線変動と大気海洋循環変動

- ・OFES 準全球渦解像過去再現実験(解像度 1/10 度(10km)):400 ノード時間

- ・OFES 北太平洋渦解像過去再現アンサンブル実験(解像度 1/10 度(10km))1 メンバー8 年間:
700 ノード時間

- ・AFES 海面水温に対する大気応答実験

気候値標準実験および GOGA, TOGA, MOGA 実験各 2 メンバー、T119L56、33 年(1981-2013 年):6,000 ノード時

- ・CFES 新標準実験に向けたテスト:2,200 ノード時間

- ・CFES 新標準実験(L48→L56, 最新コード)

大気 T119 海洋 0.5 度 延べ 70 年:3,500 ノード時間

- ・CFES 偏西風偏差に対する応答実験

大気 T119L56 海洋 0.5 度、3.5 年 7 メンバー :1,500 ノード時間

小計:14,300 ノード時間

(b) 海洋サブメソスケール現象と海洋循環・生態系変動

- ・OFES 北太平洋化学トレーサー分布過去再現実験(解像度 1/10 度と解像度 1/2 度):5,500 ノード時間

小計:5,500 ノード時間

(c) 台風発達と大気海洋相互作用

今年度は昨年度までに実施した計算結果を用いた解析を行った。

総計: 21,600 ノード時間(その他: 1,800 ノード時間を含む)

＜チューニングによる成果＞

(ベクトル化、並列化チューニング等、計算機資源を有効利用するために行ったこととその効果を記載)

該当なし。

＜計画的に利用できていない場合、その理由＞

ほぼ計画通り利用できている。

8. 新聞、雑誌での掲載記事

1. 日刊工業新聞

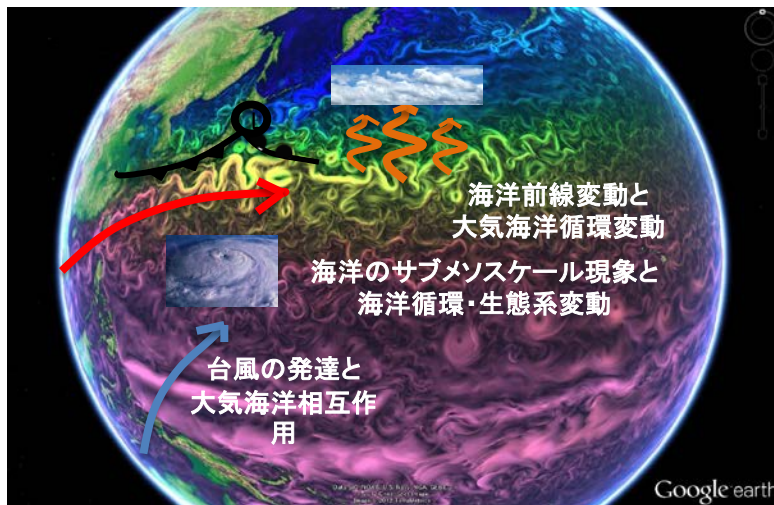
2014 年 12 月 16 日「海洋循環の季節変動、北太平洋に発生する小さな渦が影響—海洋機構が解明」

2. 科学新聞

2015 年 1 月 1 日「北西太平洋の微小な渦が海洋循環に大きな影響 海洋機構「地球シミュレータ」で解明」

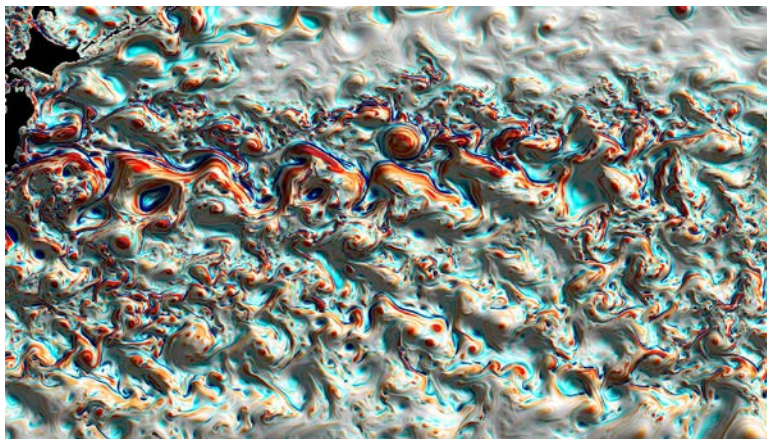
海洋の渦・前線とそれらが生み出す大気海洋現象の解明

課題の概要



海洋サブメソスケール現象と海洋循環・生態系変動

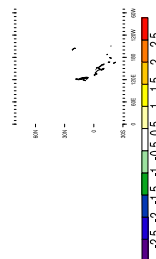
OFESの高解像度北太平洋シミュレーションで再現された
冬季に活発な黒潮続流域の微小な渦、筋状構造
(色:海面流速の回転、陰影:海面高度)



微小な渦や筋状構造はスケール間相互作用によって
中規模渦などの大きな流動場に多大な影響を及ぼす

海洋前線変動に対する大気海洋循環応答

CFESアンサンブル感度実験における北太平洋亜寒帯前線帯
の北上に対する冬季海面水温(色)と250hPa高度場の応答。
左:前線帯の昇温が小さいメンバーの合成図。右:同昇温大。



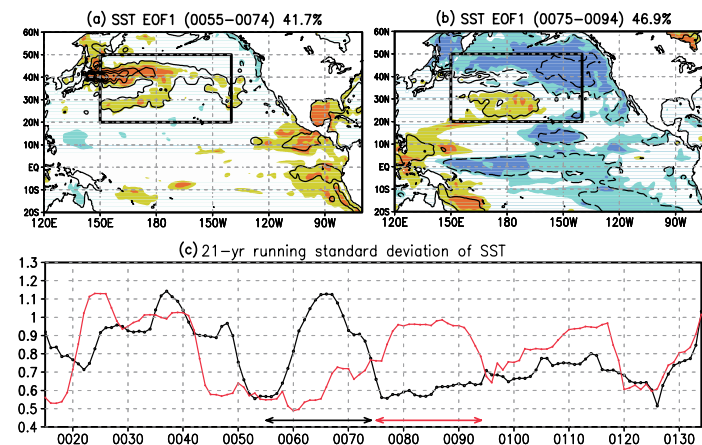
北太平洋の大気海洋結合系の応答は、亜寒帯前線帯の昇温
の程度に敏感であり、対照的なアリューシャン低気圧応答を示
す

海洋前線変動と大気海洋循環変動

CFESの150年積分の海面水温偏差の線形回帰結果。

(左:55-74年、右:75-94年、

下:海面水温偏差の標準偏差(亜寒帯前線、亜熱帯前線))



大気海洋結合系の内部力学として太平洋十年規模
変動が長期変動する