

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月30日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21540458

研究課題名（和文） 黒潮続流域における海洋前線と大気の相互作用

研究課題名（英文） Interaction between Ocean fronts and the Atmosphere in the Kuroshio Extension Region.

研究代表者

田口 文明（TAGUCHI BUNMEI）

独立行政法人海洋研究開発機構・地球シミュレータセンター・研究員

研究者番号：80435841

研究成果の概要（和文）：黒潮続流域での海洋前線と大気の相互作用について、高解像度大気・海洋・大気海洋結合モデル群を用いて調べた。海洋前線に伴う急峻な海面水温勾配の存在が、大気の高気圧活動を少なからず維持し、その集積効果として気候平均的な大規模大気循環を維持することを確認した。さらに、海洋前線流軸の南北変位によって強制された大気循環場応答と海洋前線変動を促した大気強制の間に正のフィードバックが働き、北太平洋大気海洋結合系の変動を強めている可能性が示唆された。

研究成果の概要（英文）：Interaction between ocean fronts and the atmosphere in the Kuroshio Extension region is investigated using high-resolution atmosphere, ocean, and atmosphere-ocean coupled models. It is demonstrated that sharp sea surface temperature gradients help to maintain atmospheric synoptic disturbance activity and climatological mean atmospheric circulation with the latter sustained by collective feedback from the former. Furthermore, a positive feedback is suggested to be operative between the atmospheric response to axial variations of ocean fronts and the atmospheric forcing that induces the oceanic frontal variation in the first place, a feedback that likely helps enhance the atmosphere-ocean coupled variability in the North Pacific.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：海洋物理学、気候力学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・気象・海洋物理・陸水学

キーワード：中緯度大気海洋相互作用、海洋前線、ストームトラック、十年規模変動、大気海洋結合モデル、海面熱フラックス、黒潮続流、亜寒帯前線帯

1. 研究開始当初の背景

大気と海洋の相互作用は、気候システムを形成し変動させる要因の一つである。熱帯域のエルニーニョ現象の理解の進展は、エルニーニョが引き起こす各地での異常気象の、

季節から1年程度の予測精度向上に寄与してきた。一方、大気擾乱がよりランダムな中緯度では、熱帯のエルニーニョに匹敵するほど予測に応用可能な大気海洋相互作用は、これまで検出されてこなかった。しかしごく最

近になって、中緯度域でも、海洋の前線域では、10年程度の予測に寄与しうる相互作用が生じている可能性が指摘されてきた。まず北太平洋での偏西風の変化が、数年の遅れで日本近海の西岸境界流（黒潮や親潮）の変動を引き起こすことが明らかになってきた。この全球海洋でも屈指の速い海流の変化は、狭い海洋前線帯での海から大気への膨大な熱放出を変化させることにより、その上空を通過する移動性高低気圧の強度と経路（ストームトラック）を変調させることが予想できる。さらにストームトラックの変化は、大気の運動量輸送のバランスを通じて、より大規模な偏西風の強さや位置を変化させることで、再び海洋のゆっくりした変動を励起する可能性がある。この一連のプロセスの理解は、数年~10年スケールの気候変動予測の実現に不可欠でありながら、その詳細はこれまで十分解明されていなかった。

2. 研究の目的

そこで本研究では、高解像度の気候海洋結合モデルと領域大気単体モデルを相補的に活用することにより、上述した中緯度相互作用のプロセス毎に以下の点を明らかにする。
 課題 1: 西岸境界流の流軸位置や流速変化に伴う海面水温と海面熱フラックスの変動
 課題 2: 海面水温・海面熱フラックス変動に対する大気の移動性高低気圧活動（ストームトラック）の応答
 課題 3: ストームトラック応答の大規模スケール大気循環場（偏西風）へのフィードバック

3. 研究の方法

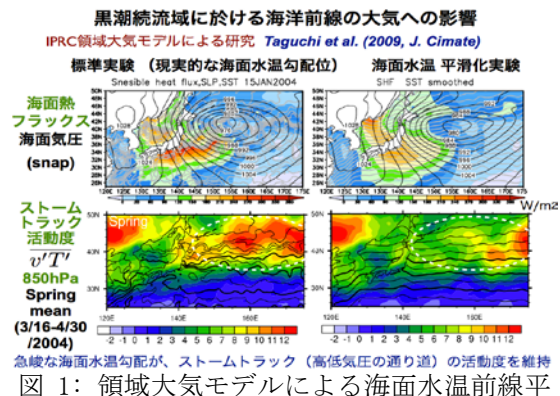
本研究における研究方法は、観測データや数値モデル結果のデータ解析、及びデータ解析結果の解釈を助けるための数値実験である。中緯度海洋前線変動に伴う大気擾乱の変動を解析するための、海洋から大気までカバーする高頻度で高解像度な万能観測データは存在しないため、各種観測データと高解像度数値モデルの結果を相補的に活用することが必須となる。衛星観測データは空間解像度が高いため、海洋の前線変動を記述するのに適しているが、観測項目が海面付近の物理量に限られ、観測期間が数年から10年程度と比較的短い。大気の変動の様子は、再解析データと呼ばれる、空間的に疎らな観測データを数値モデルに取り込んだ格子化データを用いる。このデータは、観測期間は数10年程度と比較的長い、空間解像度が粗い。これらデータの特徴に一長一短がある衛星観測・大気再解析データを補うために、長期間積分された高解像度の数値モデル結果を用いる。高解像度海洋循環モデル OFES の過去再現実験は現実的な海洋循環場をかなり

良く再現するが、観測データを取り込んでいないので完全ではなく、また海面における気象データを境界条件として与えて計算しているため、このデータだけで大気海洋相互作用の全貌を明らかにすることはできない。そこで大気海洋結合モデル CFES のシミュレーション結果を用いる。CFES では、モデルが採用する物理に即した海洋から大気までの整合的なデータが得られ、擬似的なデータとして活用できる。また、結合モデル結果の妥当性を検証するために、衛星観測・大気再解析データを用いる。本研究ではさらに、結合モデルで再現された大気海洋の振る舞いの解釈を助けるために、領域大気モデルによる理想的な数値実験も行う。

4. 研究成果

(1) 海洋前線に伴う海面水温勾配と海面熱フラックスによる大気下層傾圧性の回復とストームトラック気候平均場の維持

大気下層の傾圧性（気温の南北勾配と鉛直成層の安定度に依存する指標）は、日々の高低気圧擾乱の発達するために不可欠なエネルギー源となっている。一方、この大気下層傾圧性は、個々の高低気圧擾乱による南北熱輸送によって常時緩和されて（気温の南北勾配が緩められて）いる。従って高低気圧擾乱の集合体であるストームトラックが維持されるためには、大気下層の傾圧性が維持するメカニズムが必要である。そこで大気下層の傾圧性回復のメカニズムに着目して高解像度大気海洋結合モデル CFES の結果を詳細に解析したところ、海面水温前線を挟んで大きなコントラストを持つ大気海洋間の熱交換（海面熱フラックスの前線を挟んだ南北-時間非対称性）によって、擾乱によって緩和された傾圧性が、1日程度の速い時間スケールで回復する実態が明らかになった (Nonaka et al. 2009, 雑誌論文成果⑧)。さらに、海面水温前線を仮想的に平滑化した領域大気モデルの数値実験によって、海洋前線によって維持された大気下層の傾圧性が、ストームトラックの平均場を維持するために不可欠であることを示した (Taguchi et al. 2009, 雑誌論文成果⑦, 図 1)。



滑化実験)

(2) 黒潮続流域における海洋前線変動

高解像度海洋循環モデル OFES の解析により、北西太平洋に位置する黒潮続流の流速の顕著な十年規模変動は、北太平洋海盆の反対側東部の海洋循環強度 (North Pacific Gyre Oscillation) の変動と 4 年程度の遅れを持って良く相関していること、また両者のラグ相関関係は、北太平洋を東から西に向かって伝播する海洋長波傾圧ロスビー波によって良く説明できることが示された (Ceballos et al. 2010, 雑誌論文成果⑨)。ここで、空間的には大規模なスケールを持つ海洋ロスビー波のシグナルが、北西太平洋で海洋前線程度の幅の狭いスケールに変換されるメカニズムが必要であるが、その一つとして、黒潮続流域の北側再循環の十年規模変動が考えられ、これは海洋中規模渦活動の変調とその平均流へのフィードバックによって良く説明されることを示した (Taguchi et al. 2010, 雑誌論文成果④)。このように明らかになった時間をかけて海洋変動のシグナルを東から西へ運ぶロスビー波のメカニズムと、それに海洋前線変動が同期することを利用して、黒潮続流の流軸変動の分散の半分近くは、北太平洋中央部の海面高度変動をモニターすることにより 3 年程度先から予測できることを示した (Nonaka et al. 2012, 雑誌論文成果③)。

(3) 西岸境界流の流軸位置や流速変化に伴う海面水温と海面熱フラックス及び海洋貯熱量の変動との関係

時間変動する海洋から大気へのフィードバックにおいては、海洋変動が如何に海面熱 flux 偏差を生むかが重要である。そこでまず、海洋変動が海面水温偏差に与える影響を調べた。観測データ及び大気海洋結合モデルの結果を用いて、海洋水温躍層変動に強く影響される海洋表層貯熱量と海面水温の変動の相関分布を調べたところ、良く知られた赤道域とともに西部北太平洋の海洋前線帯でも海洋変動が海面水温へ影響しうることが確認された (野中ら. 2010, 学会発表成果⑩)。次に、海面水温変動が海面熱フラックス変動に及ぼす影響を調べたところ、特に北太平洋西部の亜寒帯前線帯では、海面水温偏差と海面熱フラックスに正相関が見られた。さらにここで、海洋変動の指標としてよく用いられる海面水温のかわりに表層貯熱量を用いた結果、海洋表層貯熱量と海面水温、海面熱フラックスの間に、海面水温を指標にするよりも顕著な正相関が見られた (野中ら. 2011, 学会発表成果④)。これは、海面水温が、海洋変動と同時に大気変動の影響も直に受けることによる。以上の解析により、北太平洋西部の亜寒帯前線帯では、海洋前線の変動が大気に顕著な熱的強制を及ぼすことが明ら

かになった。

(4) 亜寒帯前線変動に対するストームトラックと大規模大気循環場の応答

時間変動場において、海洋前線、特に大気への影響が顕著な亜寒帯前線帯の変動と、大気のストームトラックと循環場変動との関係を調べるために、大気海洋結合モデル CFES 中解像度版を数値積分し合計 170 年分のシミュレーション結果を得た。モデルの中での大気海洋結合変動として自励的に再現された海面水温は、北太平洋亜寒帯前線沿いに顕著な十年規模変動を示し、この変動は海洋前線の南北移動に起因することなど観測された特徴を良く再現していることを確認した。この大気海洋結合モデルと船舶観測及び大気再解析データを用いて、北太平洋亜寒帯前線帯の十年規模海面水温変動に対する大気応答を調べた。亜寒帯前線の南北移動に伴って生じる海面水温と海面熱フラックス変動は、秋から冬にかけて持続して現れるものの、このような海面での熱的強制に対する大気循環の応答は顕著な季節内特性を示すことを明らかにした。すなわち、十年規模海面水温偏差と相関する大気循環応答は、10 月頃から出現し 1 月に最も強いシグナルとなって現れるものの、2 月に急速に減衰する。1 月の大気応答は、等価順圧的な Pacific/North American (PNA) 遠隔応答パターンと良く似た空間構造を持ち、この応答は、海洋前線変動に同期して変調する総観規模擾乱に伴う渦熱/渦度フラックスによって維持されていることがわかった (Taguchi et al. 2012, 雑誌論文成果②, 図 2)。

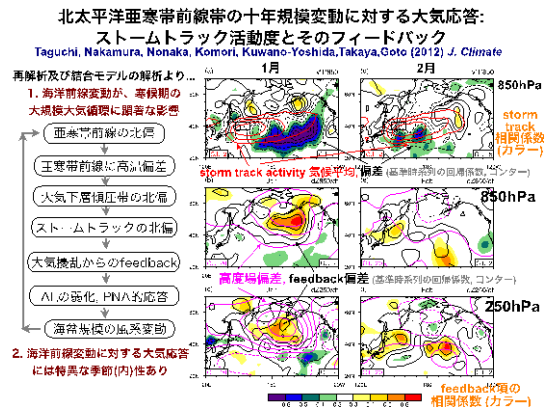


図 2: 北太平洋亜寒帯前線帯の十年規模変動に対する大気応答

(5) 今後の展望

観測データと数値モデルを相補的に用いた本研究により、気候平均場においても、また年々〜十年スケールの時間変動場においても、北西太平洋黒潮続流域の海洋前線に伴う海面水温勾配が、少なからず上空の大規模な大気循環場に影響を与えうることが示された。今後は、この海洋前線に対する大気応答が、どのように海洋に再影響するかを調べ

て行く必要がある。例えば、このような1月と2月の大気応答の違いは、大気海洋結合系の十年規模変動の持続性という観点からも重要とである。すなわち1月の顕著なPNA的な応答が2月には消えてしまうにもかかわらず、翌年の1月に再出現することは、1月のPNA的な大気偏差の一部は、なんらかの海洋の力学によって数年にわたって維持された海面水温偏差に対して、大気が季節的に再応答したものであると考えられる。このような中緯度に固有な大気と海洋の双方向フィードバックが、黒潮続流域の海洋前線変動や北太平洋の大気循環場を含む北太平洋の大気海洋結合系の予測にどれだけ寄与できるかの評価が今後必要である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 17 件)

- ① Bunmei Taguchi, Ryo Furue, Nobumasa Komori, Akira Kuwano-Yoshida, Masami Nonaka, 他 2 名, Deep oceanic zonal jets constrained by fine-scale wind stress curls in the South Pacific Ocean: A high-resolution coupled GCM study., Geophysical Research Letter, 査読有り, 39 巻, 2012, DOI: 10.1029/2012GL051248.
 - ② Bunmei Taguchi, Hisashi Nakamura, Masami Nonaka, Nobumasa Komori, 他 3 名, Seasonal evolutions of atmospheric response to decadal SST anomalies in the North Pacific subarctic frontal zone: Observations and a coupled model simulation., Journal of Climate, 査読有り, 25 巻, 2012, 111-139, doi: <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00046.1>
 - ③ Masami Nonaka, Hideharu Sasaki, Bunmei Taguchi, Hisashi Nakamura, Potential predictability of interannual variability in the Kuroshio Extension jet speed in an eddy-resolving OGCM, Journal of Climate, 査読有り, 25 巻, 2012, 3645-3652, doi: <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00641.1>
 - ④ Bunmei Taguchi, Bo Qiu, Masami Nonaka, 他 3 名, Decadal variability of the Kuroshio Extension: Mesoscale eddies and recirculations., Ocean Dynamics, 査読あり, 60 巻, 2010, 673-691.
 - ⑤ 田口文明, 野中正見, 新用語解説「海面水温前線、天気 (日本気象学会機関誌), 査読あり, 57 巻, 2010, 423-425.
 - ⑥ 野中正見, 田口文明, 佐々木英治, 数値モデルから見た 1970 年前後の黒潮続流域から親潮域の変動月刊海洋, 査読無し, 42 巻, 2010, 404-413.
 - ⑦ Bunmei Taguchi, Hisashi Nakamura, Masami Nonaka, Shang-Ping Xie, Influences of the Kuroshio/Oyashio Extensions on air-sea heat exchanges and storm track activity as revealed in regional atmospheric model simulations for the 2003/4 cold season., Journal of Climate, 査読あり, 22 巻, 2009, 6536-6560.
 - ⑧ Masami Nonaka, Hisashi Nakamura, Bunmei Taguchi, Nobumasa Komori, 他 2 名, Air-sea heat exchanges characteristic to a prominent midlatitude oceanic front in the South Indian Ocean as simulated in a high-resolution coupled GCM., Journal of Climate, 査読あり, 22 巻, 2009, 6515-6535.
 - ⑨ Lina Ceballos, 他 4 名中 5 番目, North Pacific Gyre oscillation synchronizes climate variability in the eastern and western boundary current systems., Journal of Climate, 査読有り, 22 巻, 2009, 5163-5174
- [学会発表] (計 36 件)
- ① 田口文明, 北太平洋亜寒帯前線帯の十年規模変動: 変動機構と大気応答, 2012 年度日本海洋学会春季大会, 2012 年 3 月 30 日, 筑波大学, 茨城県つくば市
 - ② Bunmei Taguchi, Propagation features of decadal-scale subsurface signals in the North Pacific Ocean., 2012 Ocean Science Meeting, 2012 年 2 月 21 日, Salt Palace Convention Center, Salt Lake City, Utah, USA
 - ③ Bunmei Taguchi, Deep oceanic zonal jets constrained by fine-scale wind stress curls in the South Pacific Ocean: A high-resolution coupled GCM study., 2011 AGU Fall Meeting, 2011 年 12 月 8 日, Moscone Convention Center, San Francisco, California, USA
 - ④ 野中正見, 中緯度海洋前線帯における表層貯熱量、海面水温と海面熱flux変動, 日本気象学会 2011 年度秋季大会, 2011 年 11 月 18 日, 名古屋大学, 愛知県名古屋

- 屋市
- ⑤ Bunmei Taguchi, Decadal variability of the Kuroshio/Oyashio Extension fronts, their atmospheric influences, and implications to prediction, PICES 2011 Annual Meeting, 2011年10月19日, Official Reception House, Khabarovsk, Russia
 - ⑥ 田口文明, Propagation features of decadal-scale subsurface signals in the North Pacific Ocean., 2011年度日本海洋学会秋季大会, 2011年9月28日, 九州大学, 福岡県春日市
 - ⑦ Bunmei Taguchi, Seasonal evolutions of atmospheric response to decadal SST anomalies in the North Pacific subarctic frontal zone: Observations and a coupled model simulation., XXV IUGG General Assembly, 2011年7月1日, Melbourne Convention & Exhibition Centre, Melbourne, Australia
 - ⑧ Masami Nonaka, Interannual to decadal variations in the Kuroshio-Oyashio Extension region in an eddy-resolving OGCM, XXV International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) General Assembly (招待講演), 2011年6月30日, Melbourne Convention & Exhibition Centre, Melbourne, Australia
 - ⑨ 田口文明, 北太平洋亜寒帯前線の十年規模変動に対する大気応答の季節性, 日本気象学会 2011年度春季大会, 2011年5月20日, 国立オリンピック記念青少年総合センター, 東京都渋谷区
 - ⑩ Bunmei Taguchi, Decadal SST anomalies confined to the North Pacific subarctic frontal zone and their atmospheric influences., CLIVAR WGOMD-GSOP workshop on Decadal Variability, Predictability, and Prediction: Understanding the Role of the Ocean., 2010年9月21日, Boulder, Colorado, USA
 - ⑪ 田口文明, 風応力カールの微細な構造で強制された海洋ジェット-高解像度大気海洋結合モデルによる研究-, 2010年度日本海洋学会秋季大会, 2010年9月7日, 東京農業大学オホーツクキャンパス, 北海道網走市
 - ⑫ 野中正見, 北太平洋における表層貯熱量と海面水温の経年・十年規模変動の相関, 2010年度日本海洋学会秋季大会, 2010年9月7日, 東京農業大学オホーツクキャンパス, 北海道網走市
 - ⑬ Bunmei Taguchi, Atmospheric response to decadal SST anomalies confined within the North Pacific subarctic

frontal zone: observations and a coupled model simulation, 2010 Ocean Science Meeting, 2010年2月24日, Oregon Convention Center, Portland, Oregon, USA

- ⑭ 田口文明, 北太平洋亜寒帯前線域に集中する十年規模海面水温偏差とその大気への影響 -中解像度大気海洋結合モデルによる研究-, 2009年度日本気象学会秋季大会, 2009年11月25日, アクロス福岡、福岡
- ⑮ Bunmei Taguchi, Decadal variability of Kuroshio/Oyashio Extensions and their atmospheric influences, PICES Annual meeting (招待講演), 2009年10月29日, International Convention center, Jeju, Korea
- ⑯ 田口文明, 北太平洋亜寒帯前線域に集中する十年規模海面水温偏差とその大気への影響 -中解像度大気海洋結合モデルによる研究-, 2009年度日本海洋学会秋季大会, 2009年9月26日, 京都大学、京都
- ⑰ Bunmei Taguchi, Influences of the Kuroshio/Oyashio Extensions on air-sea heat exchanges and storm track activity as revealed in regional atmospheric model simulations for the 2003/4 cold season., MOCA-09 (IAMAS - IAPSO - IACS 2009 Joint Assembly), 2009年7月21日, Montreal Convention Center, Montreal, Canada

[その他]

- ① 田口文明, Co-convener for the special session "Beta-Plane Dynamics: Jets, Eddies, Waves, and Plumes", AGU Fall Meeting 2011, San Francisco CA, December 2011
- ② 田口文明, 海洋研究開発機構 横浜研究所 施設一般公開「サイエンスカフェ」 「気候を変動させる海と大気の交差点を大気海洋シミュレーションで探る」 (平成23年11月26日)
- ③ 田口文明: 北太平洋海洋科学機構 Working Group-27 北太平洋気候変動・変化作業部会委員 (平成23年6月～現在)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田口 文明 (TAGUCHI BUNMEI)
 独立行政法人海洋研究開発機構・地球シミュレータセンター・研究員
 研究者番号: 80435841

(2) 研究分担者

野中 正見 (NONAKA MASAMI)
独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境
変動領域・チームリーダー
研究者番号：90358771

(3) 連携研究者

小守信正 (KOMORI NOBUMASA)
独立行政法人海洋研究開発機構・地球シミ
ュレータセンター・チームリーダー
研究者番号：80359223