

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 25 年 6 月 12 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22340132

研究課題名（和文）低気圧の発達・維持過程における水温前線の影響及びその海洋表層へのフィードバック

研究課題名（英文）Ocean front effects on development and maintenance of the synoptic low pressure and its feedback to the ocean surface layers.

研究代表者

谷本 陽一 (TANIMOTO YOUICHI)

北海道大学・大学院地球環境科学研究院・教授

研究者番号：00291568

研究成果の概要（和文）：

日本南方の黒潮・黒潮続流域に形成される水温前線帯での海洋から大気下層への影響を調べた。水温前線近傍に見られる海面熱フラックスの極大域の上空では、海面気圧の楔形極小域が形成される。数値実験では、水温前線を表現した海面水温場を与えたときに観測結果を再現するのに対し、空間的に平滑化した水温場を与えたときには気圧の極小域は形成されなかった。これらの成果は、大気下層の静水圧調節が気圧極小域の形成要因であることを示している。

研究成果の概要（英文）：

Ocean-to-atmosphere effects are examined in the sea surface temperature (SST) frontal region along Kuroshio-Kuroshio Extension south of Japan. A wedge-shaped low sea level pressure (SLP) is found over the region with intense surface heat fluxes along the front. In the numerical experiments, the model forced by the prescribed SST with the front successfully reproduced the observed features. By contrast, the model forced by the smoothed SST failed to reproduce the features. These observational and numerical results show that the heat release from the ocean warms up the lower atmosphere and then form SLP minimum over that region as the hydrostatic adjustments.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	7,000,000	2,100,000	9,100,000
2011年度	4,300,000	1,290,000	5,590,000
2012年度	3,100,000	930,000	4,030,000
年度			
年度			
総計	14,400,000	4,320,000	18,720,000

研究分野：気象学・海洋物理学・大気海洋相互作用

科研費の分科・細目：気象・海洋物理・陸水学

キーワード：大気海洋相互作用，黒潮・黒潮続流域，水温前線，海洋表層

1. 研究開始当初の背景

中緯度大気循環の最大の特徴である低気圧活動は子午線方向の気温傾度に伴う傾圧不安定により生じる。Nakamura et al. [2008]

は東西一様の水惑星実験により、現実程度に強い水温前線の存在が大気の傾圧性を維持する機構として重要であり、低気圧活動の発達に不可欠であることを示した。実際、北半

球における現実の低気圧活動は黒潮続流域やメキシコ湾流域の水溫前線付近で極大となっている。しかしながら、海洋上の低気圧の出現・発達・維持に与える水溫前線の役割の理解はまだ充分とは言えない。

2. 研究の目的

亜熱帯・亜寒帯循環系の循環境界西部では、海洋力学過程により強い南北傾度を持つ水溫前線が形成されている。一方、水溫前線を跨ぐ空気塊の特性は温帯低気圧東側（西側）の暖気（寒気）移流により大きく変化するため、それに伴い海面からの熱・水蒸気の供給も変化する。本研究では、水溫前線近傍における海面熱フラックスの緯度変化が大気下層の氣温・湿度構造、低気圧の位置や低気圧に伴う降雨に与える影響を大気観測、客観解析データの診断、数値実験の解析に基づき明らかにする。

3. 研究の方法

水溫前線に伴う水溫変化は海面から大気下層への熱・水蒸気の供給を空間的に大きく変化させ、低気圧発達に不可欠な大気下層の傾圧性に影響する。本研究は、研究目的で挙げた課題に取り組むため、黒潮本流付近での大気海洋相互作用を研究対象として定め、既存の海上気象要素データセットや洋上の現場観測の解析、領域大気モデルを用いた数値実験から、水溫前線が低気圧の形成・維持にどのように影響しているかを明らかにする。

4. 研究成果

(1) 海面気圧極小帯

西部北太平洋上の平均的な海上氣温の緯度変化はほぼ一定の減率であるのに対し、海面水溫の緯度変化は水溫前線帯で顕著に大きい。このため、水溫と氣温の差で示される海面付近の静的安定度は水溫前線の南側で大きく、結果として、日本南方の黒潮・黒潮

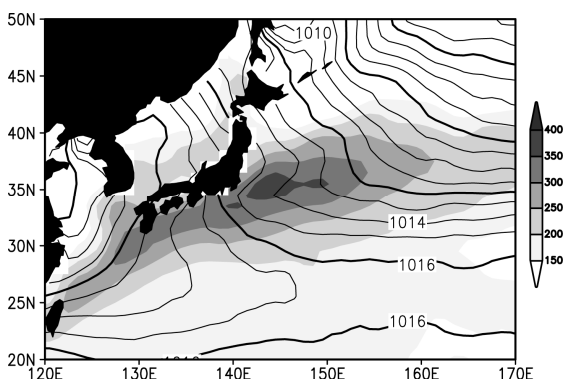


図1: 船舶観測資料に基づく冬季(1-3月)における海面気圧(等値線 1 hPa 間隔)と海面熱フラックス($W m^{-2}$, 陰影)の気候値

続流域の南側では、海面からの熱放出が月平均で $300 W m^{-2}$ を超える(図1の陰影)。このような特徴は、西岸付近で顕著であり、東経160度の亜熱帯循環系内部領域ではほとんど見られない。これらの結果は、西岸の強い流れに伴う水溫前線が熱フラックスの極大の大きな要因となっていることを示す。

船舶観測による海上気象要素の詳細に解析すると、海面熱フラックスの極大付近には西向き楔形をした海面気圧の極小帯が見られる(図1の等値線)。この観測事実は熱フラックスの極大が大気下層を加熱することによる静水圧調節を強く示唆する。

観測資料の解析から示唆された海洋から大気への影響を明らかにするために、領域大気モデル実験を行った。領域大気モデルの下部境界条件として水溫前線を表現した海面水溫場を与えた標準実験と水溫前線を平滑化した海面水溫場を与えた平滑化実験を行い、2つの実験における大気モデルの応答の違いを詳細に調べた。

標準実験の結果は、大気再解析データに見られる大規模大気循環場の特徴を再現するだけでなく、西向き楔形低圧部の特徴を再現することに成功していた。一方、平滑化実験では、このような特徴を再現することはできなかった。これら領域大気モデル実験結果は、黒潮・黒潮続流域の水溫前線が熱フラックスの極大域を形成し、その加熱による静水圧調節の結果、海面気圧の極小域が形成されていることが明らかとなった。

水溫前線が個々の低気圧擾乱に与える影響を調べるために、領域大気モデル実験における降水場の特徴を調べた。楔形低圧部の近傍における降水強度の時間平均は標準実験の方が平滑化実験より大きかった。また、降水強度の分散量も標準実験の方が大きかった。これらの結果は、個々の低気圧活動が水溫前線により活発化していることを示している。降雨帯自体の形成には他の要因が関わっている可能性が高いものの、本研究の結果は水溫前線が上空の降雨帯を強めていることを示している。このような水溫前線近傍では、その周辺に比べ、大気境界層内の安定度が弱く、個々の低気圧が発達しやすい状況をもたらしていると考えられる。

(2) 高頻度洋上観測

本研究では、ヘリコプターの離陸・着陸時の上昇・下降を利用した大気下層の鉛直モニタリングシステムの開発を進めた。ヘリコプターの運航時における非常に強い機体の振動がある。防振の対策や万一のときの耐火・耐熱の対策を施したモニタリングシステムとなるように開発に取り組んだ。

観測期間としては間欠的ではあるものの、これまで得られた直接観測データから氣温

と湿度の鉛直プロファイルを作成し、それらの妥当性を既存の気象庁アメダスデータや気象庁メソスケール解析格子点データセット（以下、M-ANAL）との比較を通して検証した。

冬季の寒気の吹き出しは、総観スケール（数日から1週間の時間スケール）で変動している。気温の鉛直プロファイルの時系列は、このような総観スケールの変動を捉えていた。空港に設置されている気象庁アメダスの10分毎の記録から、離陸時に最も近い時刻の気温データを抽出し、鉛直プロファイルデータセットの離陸時（つまり、高度0 m）の気温データと比較した。直接観測データはアメダスの記録に対して1°C程度の正のバイアスを持つものの、同時相関係数は0.98を示した。直接観測データは滑走路にあるヘリコプターの機体内部で測定されており、観測環境の整ったアメダスの測定を考慮すれば、1°C程度のバイアスは許容できる系統誤差と考えられる。

M-ANALから、離陸地点近傍の格子点、直接観測の記録に最も近い時刻の地表面気温データを抽出して比較したところ、直接観測の記録とは0.75の同時相関係数を示した。アメダスの場合と比べて記録の一致性は劣っているが、M-ANALは時空間的に離れた格子点との比較であるため、元来、直接観測の記録と完全に一致することはない（この格子点データとアメダスとの相関係数との同時相関係数は0.79となっていた）。このように、直接観測記録、アメダス、M-ANALの地表面気温の時系列プロットは、上記の相関係数が示すように、総観スケールの変動が非常に良く一致していることを示している。

ある高度の位置エネルギーを考慮したポテンシャル温度は、大気下層の混合状態の指標となり、鉛直方向のポテンシャル温度の差（delta-theta）が小さいほど混合層が発達している。直接観測の記録は地表面気温の観測結果と同様にdelta-thetaが総観スケールで変動していることを明瞭に示した。一方、M-ANALのdelta-thetaはほぼゼロで一定となっていて、M-ANALの計算に用いられている大気モデルでは下層で常に混合層が形成されていることを示唆する。

気温が総観スケールで変動する下で、海面水温は海洋混合層の熱慣性のために水温は総観スケールより長いスケールで変化している。このため、過去の直接観測に基づく研究成果が示すように、海面付近の静的安定度は総観スケールで変動していて、海洋上の大気下層の状態も常に混合状態にあるわけではない。直接観測の記録とM-ANALとの比較はM-ANALに用いられる大気モデルのみならず、国内外の大気メソモデルにおける境界層の取り扱いに問題があることを示している。

今後は低気圧通過時の位相ごとに鉛直方向の大気下層の状態を調べ、海面付近の静的安定度と大気混合層の変動がどのように関わっているかを明らかにしていく必要がある。

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13件）

- ① Roxy, M., Y. Tanimoto, B. Preethi, P. Terray and R. Krishnan: "Intraseasonal SST-precipitation relationship and its spatial variability over the tropical summer monsoon region" *Climate Dynamics*, in press.
DOI: 10.1007/s00382-012-1547-1.
（査読有）
- ② Roxy, M., and Y. Tanimoto: "Influence of sea surface temperature on the intraseasonal variability of the South China Sea summer monsoon" *Climate Dynamics* 39. 1209-1218 (2012)
DOI 10.1007/s00382-011-1118-x.
（査読有）
- ③ Taguchi, B., H. Nakamura, M. Nonaka, N. Komori, A. Kuwano-Yoshida, K. Takaya, A. Goto: "Seasonal evolution of atmospheric response to decadal SST anomalies in the North Pacific" *Journal of Climate* 25. 111-139 (2012)
DOI: 10.1175/JCLI-D-11-00046.1
（査読有）
- ④ Nonaka, M., H. Sasaki, B. Taguchi, H. Nakamura: "Potential predictability of interannual variability in the Kuroshio Extension jet speed in an eddy-resolving OGCM" *Journal of Climate* 25. 3645-3652 (2012).
DOI: 10.1175/JCLI-D-11-00641.1
（査読有）
- ⑤ Ogawa, F., H. Nakamura, K. Nishii, T. Miyasaka, A. Kuwano-Yoshida: "Dependence of the climatological axial latitudes of the tropospheric westerlies and storm tracks on the latitude of an extratropical oceanic front" *Geophysical Research Letters* 39. L05804 (2012)
DOI: 10.1029/2011GL049922 (査読有)
- ⑥ 谷本陽一: "中緯度西岸域における大気海洋相互作用" *天気* 59. 762-768. (2012)
URL: <http://www.metsoc.jp/tenki/>
（査読有）

- ⑦ Miyama, T., M. Nonaka, H. Nakamura, A. Kuwano-Yoshida: "A striking early-summer event of a convective rainband persistent along the warm Kuroshio in the East China Sea" *Tellus A* 64, 18962 (2012).
URL:[http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1111/\(ISSN\)1600-0870](http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1111/(ISSN)1600-0870)
(査読有)
- ⑧ Koike, M., N. Takegawa, N. Moteki, Y. Kondo, H. Nakamura (他 5名): "Measurements of regional-scale aerosol impacts on cloud microphysics over the East China Sea: Possible influences of warm sea surface temperature over the Kuroshio ocean current" *Journal of Geophysical Research*. 117, D17205 (2012)
DOI:10.1029/2011JD017324, 2012.
(査読有)
- ⑨ Tanimoto, Y., T. Kanenari, H. Tokinaga, Shang-Ping Xie: "Sea level pressure minimum along the Kuroshio and its extension" *Journal of Climate* 24. 4419-4434 (2011).
DOI: 10.1175/2011JCLI4062.1 (査読有)
- ⑩ Chikamoto, Y., Y. Tanimoto, H. Mukougawa, M. Kimoto: "Subtropical Pacific SST Variability Related to the Local Hadley Circulation During the Premature Stage of ENSO" *Journal of the Meteorological Society of Japan* 88. 183-202 (2010)
DOI:10.2151/jmsj.2010-205 (査読有)
- ⑪ 谷本陽一: "北太平洋亜熱帯モード水海域と大気" *海洋と生物* 32. 211-217 (2010)
URL:<http://aquabiology.m78.com/publications/aquabiology/aquabiologymag.html> (査読無し)
- ⑫ Kwon, Y.-O., M. A. Alexander, N. A. Bond, C. Frankignoul, H. Nakamura, B. Qiu, L. Thompson: "Role of Gulf Stream and Kuroshio-Oyashio systems in large-scale atmosphere-ocean interaction" A review, *Journal of Climate* 23. 3249-3281 (2010)
DOI: 10.1175/2010JCLI3343.1 (査読有)
- ⑬ Sampe, T., H. Nakamura, A. Goto, W. Ohfuchi: "Significance of a midlatitude oceanic frontal zone in the formation of a storm track and an eddy-driven westerly jet" *Journal of Climate* 23. 1793-1814 (2010)
DOI: 10.1175/2009JCLI3163.1 (査読有)

[学会発表] (計 6 件)

- ① Tanimoto, Y.: "Sea level pressure minimum and ageostrophic surface winds over the Kuroshio and its extension" American Meteorological Society 18th Conference on Air-Sea Interaction. (20120712). The Westin Copley Place Boston Hotel, MA, U. S. A.
- ② 谷本陽一: "黒潮続流上における大気下層の調節過程" 日本気象学会 2012 年春季大会専門分科会「東アジアモンスーンと黒潮(II) —中緯度大気海洋相互作用に着目した新たな研究パラダイム. (20120526). エポカルつくば(茨城県)招待講演
- ③ Nakamura, H.: "Long-term modulations in the decadal climate variability over the North Pacific: Observations and a coupled model simulation" Ocean Sciences Meeting. (20120221). Salt Palace Convention Center, Salt Lake City, UT, U. S. A.
- ④ Nakamura, H.: "Influence of a midlatitude oceanic frontal zone on the annular variability of the extratropical atmosphere and its vertical connectivity" XXV General Assembly of IUGG. (20110703). Melbourne Convention & Exhibition Centre, Australia
- ⑤ Tanimoto, Y., T. Kanenari, H. Tokinaga, Shang-Ping Xie: "Sea level pressure minimum along the Kuroshio and its extension" XXV General Assembly of IUGG. (20110629). Melbourne Convention & Exhibition Centre, Australia
- ⑥ 谷本陽一: "中緯度西岸域における大気海洋相互作用" 日本気象学会 2010 年秋季大会シンポジウム. (20101027). 京都テルサ(京都府)招待講演

[図書] (計 1 件)

- ① 谷本陽一: "大気・海洋相互作用とエル・ニーニョ, モンスーン, 「地球惑星科学入門」第 28 章, p.323-333, 北海道大学地学教科書編集委員会編" 北海道大学出版会. 452 (2010)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

谷本 陽一 (TANIMOTO YOUICHI)
北海道大学・大学院地球環境科学研究院・教授
研究者番号: 00291568

(2) 研究分担者

中村 尚 (NAKAMURA HISASHI)

東京大学・先端科学技術研究 センター・
教授
研究者番号：10251406

(3) 連携研究者

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

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・研究員
研究者番号：80359223

(4) 研究協力者

下山 宏 (SHIMOYAMA KOU)
北海道大学・低温科学研究所・助教
研究者番号：50391115