

平成22年 4月 1日現在

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2008～2009

課題番号：20740267

研究課題名 (和文) 北太平洋亜表層亜熱帯前線の時間変動の解明

研究課題名 (英文) Study on temporal variations of the North Pacific subtropical front

研究代表者

小橋 史明 (KOBASHI FUMIAKI)

東京海洋大学・海洋工学部・准教授

研究者番号：80377077

研究成果の概要 (和文)：北太平洋亜熱帯前線の時間変動の実態とその物理メカニズムを、観測資料および数値モデルの計算結果の解析から明らかにした。季節および年々の時間スケールでは、亜熱帯前線上に形成される低気圧性の風系の変動が、そして地球温暖化に伴う長期傾向においては、亜熱帯前線北側の水温躍層中に見られる水塊の変動が、亜熱帯前線の変動を引き起こすことが明らかになり、前線の変動メカニズムが時間スケールにより異なることが示された。

研究成果の概要 (英文)：Physical mechanisms of temporal variations of the North Pacific subtropical front are clarified from an analysis of observations and numerical model results. On seasonal and interannual time scales, the variation of the front is caused by cyclonic surface wind system that forms just over the front, while for long-term changes due to global warming the front varies closely associated with changes of water masses located to the north of the front, showing that the mechanism is different with the time scales of the variations.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,900,000	570,000	2,470,000

研究分野：海洋物理学，衛星海洋学

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：亜熱帯前線，亜熱帯反流，大気海洋相互作用，人工衛星観測

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 北太平洋亜熱帯前線は、亜熱帯反流と呼ばれる表層海流を伴う。亜熱帯反流は、大規模な海上風系により駆動される他の多くの海流とは異なり、単純な風成循環理論では

説明できない。このため、亜熱帯反流と亜熱帯前線の形成メカニズムに関して、これまで理論的数値的な研究がいくつか行われてきた。一方、亜熱帯前線は南北幅が狭くまた前線域には渦が多く存在するため、総観規模の

観測からは亜熱帯前線の同定が難しく、観測からは十分に研究されていなかった。

(2) 我々のグループでは、歴史的な観測資料を用いて前線を分解できる新しい海洋気候値資料を作成し、北太平洋に3つの異なる亜熱帯前線が存在することを発見した。これらの前線は、北太平洋の主要水塊である亜熱帯モード水と中央モード水の南側に沿って分布し、亜熱帯前線が水塊の分布と循環によって生じていることを明らかにし、未解明の部分が多かった亜熱帯前線の平均像の理解が大きく進展させた。一方、亜熱帯前線の変動に関してはほとんど研究されていなかった。

## 2. 研究の目的

(1) 本研究は、北太平洋亜熱帯循環系内の北緯20-27度付近の亜表層に形成される亜熱帯前線の時間変動の実態とメカニズムを明らかにすることを目的とする。対象とする亜熱帯前線は、およそ50-200m深に中心を持つ水温（密度）の前線であり、水温の鉛直勾配が大きい層（水温躍層）の上部が北に向い浅くなる構造として見られ（図1 矢印）、亜熱帯循環系上層の特徴的な構造の1つである。北太平洋には3つの異なる亜熱帯前線が存在し、これらの前線はいずれも、水温の鉛直一様性で特徴付けられる水塊（図1 影）によって形成されている。

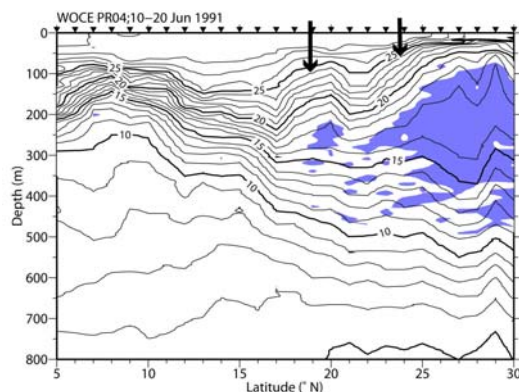


図1. 1991年6月155°Eに沿う水温南北断面。矢印は亜熱帯前線、影は水塊を表す

(2) 本研究では、3つの亜熱帯前線がどのように変動し、水塊の変動とどのように関係しているのか、また近年見出された前線上の特異な海上風系の変動とどのように関係しているのか、現場及び衛星観測資料と数値モデル出力を総合的に解析して明らかにすることにより、亜熱帯循環系上層の時間変動の解明を目指す。

## 3. 研究の方法

(1) 季節、年々、長期傾向の3つの時間スケールに着目して、亜熱帯前線の変動を明らかにし、その変動とモード水および局所的な風系との関係を調べる。

(2) 季節・年々の変動については、衛星観測およびアルゴフロートなどによる現場観測資料を解析し、変動の実態と変動要因を明らかにする。

(3) 長期傾向については、大気海洋結合モデルによる気候シミュレーションの計算結果を利用して地球温暖化による亜熱帯前線の変化とそのメカニズムを明らかにする。

## 4. 研究成果

(1) 14年間の長期人工衛星資料と大気の後解析資料を用いて、海面水温前線、海上風、亜熱帯前線の季節変動及び年々変動を調べた。亜熱帯循環西部に見られる北亜熱帯前線に伴う亜熱帯反流には明瞭な季節および年々変動が見られた。季節変動については、晩冬から春季に強化し、秋季に最も弱くなる季節サイクルを示す。晩冬の強化は、海面近くの混合層内に形成される海面水温前線の強化に関係し、一方、春季の強化は亜表層の前線強化に起因することが明らかになった。季節による強化の要因の違いは年々変動からも確認でき、晩冬と春季の年々変動の様子は大きく異なることがわかった。

(2) この亜熱帯反流の海域には、局所的に低気圧性の回転を示す海上風系が春季に形成される。この低気圧性の風系は、海面水温前線が大気へ及ぼす影響によって励起される。春季の低気圧性風系と海面高度および海面流速の年々変動について相関解析を行った結果、低気圧性の風系と海面高度および亜熱帯反流の間には有意な相関があり、低気圧性風系が強い年に、風系の直下の海面高度が低下し、地衡流の関係からその南側の亜熱帯反流が強化することが明らかになった。さらに、低気圧性風系の年々変動は、海面水温前線の強度の変動と有意な相関が見られ、局所的な大気と海洋の相互作用が亜熱帯反流の変動の要因となっていることが示された。また、低気圧性風系の強さを指標としたコンポジット解析から、亜熱帯反流の季節サイクルは、春季の低気圧性風系が明瞭な年にのみ見られ、低気圧性風系が亜熱帯反流の季節変動を規定していることが明らかになった。

(3) アルゴフロートの観測資料を用いて海洋内部の構造を詳しく調べた結果、低気圧性風系の強い年には、主水温躍層が全体的に

50m ほど上昇しており、低気圧性風系によるエクマンポンピングによって海面高度の降下が起こることがわかった。さらに、水温構造の変化は、亜熱帯モード水の分布する層を超えてかなり深くまで見られことから、亜熱帯反流の変動に及ぼすモード水の影響は、少なくとも季節・年々の時間スケールでは無いことが示唆された。

(4) 次に、地球温暖化時の亜熱帯前線の変化とそのメカニズムについて調査した。解析には、大気海洋結合数値モデルによる 20 世紀気候再現シミュレーションと温室効果ガス排出シナリオ A1B に基づく 21 世紀予測シミュレーションの計算結果を用いた。数値モデルに再現された亜熱帯前線は、海水密度の鉛直一様性で特徴付けられるモード水の南側に沿って分布し、上部水温躍層の北向きの浅化に関係し、観測資料に見られる前線と良く一致する特徴を示している。

(5) 亜熱帯前線は、温暖化時に弱化し、亜熱帯前線に伴う亜熱帯反流も弱くなることわかった。前線の弱化は、特に亜熱帯循環系中央部の東亜熱帯前線で顕著に見られ、前線北側に分布する中央モード水の高渦位化によって起こることが明らかになった。モード水の高渦位化により上部水温躍層の南北勾配が弱くなり、亜熱帯前線の弱化が起こる。さらに、モード水の高渦位化は、モード水の循環自体を変化させ、その結果、低渦位水が前線北側に集まりにくくなるという副次的な効果も、前線弱化の一つの要因であることが示唆された。

(6) 中央モード水は、日本東方沖の冬季の深い表層混合層で形成されるが、温暖化時の混合層の浅化が中央モード水の高渦位化の要因であることが示された。さらに、混合層の浅化は、冬季の海面冷却の弱化に起因していて、これは亜熱帯循環系北西部の偏西風が温暖化時に弱くなることに起因することが示唆された。

(7) この研究の結果は、モード水が渦位の輸送を通して、海洋の密度構造と表層海流の変化を生じさせることを示しており、従来の海洋学の認識を大きく変える重要な成果と考えられる。

## 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 9 件)

- ① 小橋史明, 2010: 北太平洋亜熱帯前線の解析的研究. 海の研究, 19(2), 111-126. 査読有り
- ② Iwamaru, H., F. Kobashi and N. Iwasaka, 2010: Temporal variations of the winter mixed layer south of the Kuroshio Extension. Journal of Oceanography, 65(1), 147-153. 査読有り
- ③ Ohno, Y., N. Iwasaka, F. Kobashi, and Y. Sato, 2009: Mixed layer depth climatology of the North Pacific based on Argo observations. Journal of Oceanography, 65(1), 1-16. 査読有り
- ④ Kobashi, F., S.-P. Xie, N. Iwasaka, and T. T. Sakamoto, 2008: Deep atmospheric response to the North Pacific oceanic subtropical front in spring. Journal of Climate, 21(22), 5960-5975. 査読有り
- ⑤ 小橋史明, 謝尚平, 2009: 地球温暖化による北太平洋亜熱帯前線およびモード水ベンチレーションの弱化. 月刊海洋, 41(12), 710-716. 査読無し
- ⑥ Tokinaga, H., S.-P. Xie, F. Kobashi, and Y. Tanimoto, 2009: Local and remote influences of the Kuroshio Extension on the atmosphere. Variations (U.S. CLIVAR Newsletter), 7(1), 1-4. 査読無し
- ⑦ Kobashi, F. and S.-P. Xie, 2008: The North Pacific Subtropical Countercurrent: Mystery current with a history. IPRC Climate, 8(2), 10-13. 査読無し

〔学会発表〕(計 16 件)

- ① 小橋史明, 謝尚平: 亜熱帯反流の変動と大気との関係. 日本海洋学会春季大会シンポジウムD「モード水研究の新たな展開—海流・気候への影響を探る—」, 2010年3月26日, 東京海洋大学, 東京.
- ② 小橋史明: 北太平洋亜熱帯反流における大気海洋相互作用. 東北大学グローバルCOEプログラムフロンティアセミナー, 2010年3月5日, 東北大学理学研究科, 仙台.
- ③ Xie, S.-P., F. Kobashi, L. Xu, Q. Liu: Mode water ventilation and its role in ocean-atmosphere interaction over the subtropical gyre. 2010 Ocean Sciences Meeting, 22-26 February 2010, Portland, Oregon, USA.
- ④ 小橋史明, 謝尚平: 地球温暖化による北太平洋亜熱帯前線およびモード水の弱

化. 日本海洋学会春季大会, 講演番号 158, 2009 年 9 月 26-28 日, 京都大学吉田キャンパス, 京都.

- ⑤ Kobashi, F., and S.-P. Xie: Weakening of the North Pacific subtropical front and mode water ventilation in global warming. MOCA-09, 19-29 July 2009, Montreal, Canada.
- ⑥ 小橋史明, 謝尚平: 亜熱帯前線の時間変動: モード水との関係. 東京大学海洋研究所共同利用研究集会「北太平洋亜熱帯モード水の物理・化学・生物過程」, 2009 年 6 月 4-5 日, 東京大学海洋研究所, 東京.
- ⑦ 井和丸光, 小橋史明, 岩坂直人: 1971 年-2007 年における北太平洋西部海洋混合層の時間変動. 日本海洋学会春季大会, 講演番号 109, 2009 年 4 月 6-8 日, 東京大学本郷キャンパス, 東京.
- ⑧ 小橋史明: 北太平洋亜熱帯前線の解析的研究. 日本海洋学会岡田賞受賞記念講演, 2009 年 4 月 7 日, 東京大学, 東京.
- ⑨ 小橋史明, 謝尚平: 地球温暖化による北太平洋亜熱帯前線およびモード水の弱体化. 「黒潮続流での海面フラックスに関する研究集会」, 2009 年 1 月 23-24 日, 三重大学, 三重.
- ⑩ 小橋史明: 冬季黒潮続流域の大気境界層の変動/亜熱帯前線域の大気海洋相互作用. 研究集会「中緯度における大気海洋結合に関する数値モデル実験と観測的研究のレビュー」, 2008 年 9 月 11-12 日, 東京大学海洋研究所国際沿岸海洋研究センター, 大槌.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

小橋 史明 (KOBASHI FUMIAKI)  
東京海洋大学・海洋工学部・准教授  
研究者番号: 80377077