

平成 23 年 5 月 23 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2007～2009

課題番号：19340130

研究課題名(和文) 海洋フロント域における大気海洋相互作用のマルチ時間スケール研究

研究課題名(英文) Study of air-sea interactions on multi temporal scales over oceanic fronts

研究代表者

見延 庄士郎(MINOBE SHOSHIRO)

北海道大学・大学院理学研究院・教授

研究者番号：70219707

研究成果の概要(和文)：メキシコ湾流が、大気下層の境界層を超えて自由大気に与える一連の影響を発見し、この成果は Nature 2008 年 3 月 13 日号の表紙を飾った。さらに、大気応答で夏に顕著な「深い加熱モード」と冬季に顕著な「浅い加熱モード」を発見し、圧力調整応答の観測的な証拠を得、夏季と冬季の大気の安定度の相違が大気応答の季節依存性に大きく影響していることを見出し、長期の大気海洋結合大循環モデル積分で衛星風観測と整合的な結果を得た。また、表面水温低下を引き起こす、潮汐による砕波の観測的な証拠を初めて得た。

研究成果の概要(英文)：We reported in a cover article of Nature (13 Mar. 2008) that the Gulf Stream causes a series of atmospheric responses, not limited to the atmospheric boundary layer, but penetrate to the free troposphere. Also, we found two different atmospheric modes, i.e., the shallow heating mode prominent in winter and the deep heating mode in summer. The difference of the summer and winter atmospheric responses is associated with the atmospheric stability between the two seasons. A long-term numerical integration of an Atmosphere-Ocean Coupled General Circulation model realistically reproduces major features of the recent satellite surface-wind observations. Furthermore, the first observational evidence of wave breaking, which is expected to cause low sea-surface temperatures, associated with ocean tide is obtained.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	5,800,000	1,740,000	7,540,000
2008 年度	5,200,000	1,560,000	6,760,000
2009 年度	3,300,000	990,000	4,290,000
年度			
年度			
総計	14,300,000	4,290,000	18,590,000

研究分野：気象学・海洋物理学・気候学

科研費の分科・細目：気象・海洋物理・陸水学

キーワード：メキシコ湾流、黒潮、大気海洋相互作用、海洋表面水温、降水帯、衛星観測、数値計算、現象解析

1. 研究開始当初の背景

メキシコ湾流や黒潮といった大洋の西岸にある海流は低緯度から大量の熱を中緯度

に輸送している。これらの海流が表面風に影響を与えていることが衛星風観測によって 2000 年代半ばまでに明らかになった。しかし

海流が、たとえば降水といった、海上風以外のパラメータに影響を及ぼしているかどうかは明らかではなく、また境界層を超えて自由対流圏に影響を与えているかも不明であった。

2. 研究の目的

本研究では、海洋フロント域における大気海洋相互作用を、特に海洋がどのように大気に影響を与えるのかに注目して、明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、大気および大気海洋結合大循環数値モデル、領域大気モデル、衛星データ、現業解析データなど、主として最近利用可能となった高解像度の数値計算とデータを活用することで、海洋の寄与なしには大気に生じ得ない細かい構造の発見を梃子として、新たな大気海洋相互作用過程の発見と実態の解明に当たる。

4. 研究成果

(1) メキシコ湾流の対流圏への影響の発見

Minobe et al. (2008)ではメキシコ湾流が、大気下層の境界層を超えて自由大気に与える一連の影響を発見し、2008年3月13日号のNatureの表紙を飾った(図1)。



図 1. Minobe et al. (2008) が掲載された Nature の表紙。メキシコ湾流が白帯で示され、そこからの熱放出で生ずる上昇気流がその上に描かれている。

この成果では、表面風の水平収束・発散が気圧調整によって生じていること(図2)、湾流の上に降水帯が生じること(図3)、さらに湾流の影響が対流圏にまで達していること(図4)を見出した。また湾流という長期平均場の存在が、数日スケールの減少である低気圧活動を、湾流上で活発化させることを見出した。

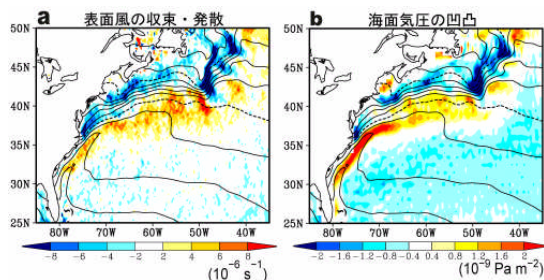


図 2. 海洋表面における物理量の年平均値。カラーは(a)衛星で観測された 10-m 風速の収

束、(b)海面気圧の凸凹の程度で、等値線は海洋表面水温である。等値線の間隔は 2°C 毎で、 10°C と 20°C を点線としている(Minobe et al. 2008)。

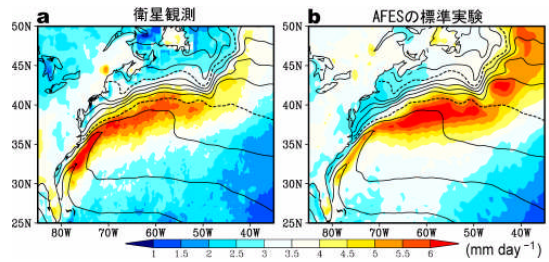


図 3. 降水量の年平均値(カラー)。降水量はそれぞれ、(a)衛星降水観測、(b)観測された表面水温を与えた大気大循環シミュレーションによる。等値線は図2同様海洋表面水温である(Minobe et al. 2008)。

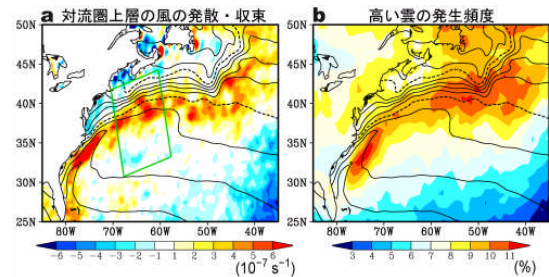


図 4. (a)500 hPaと200 hPaの等圧面の間で平均された風の水平収束(カラー)。(b)衛星計測による高い雲を意味する外向き赤外放射が 160 W m^{-2} 以下となる日中の頻度(カラー)。等値線は図2と同じ海洋表面水温である(Minobe et al. 2008)。

(2) 湾流に対する大気応答の深い加熱モード・浅い加熱モードの発見

Minobe et al. (2010)では、湾流に対する大気応答が冬季と夏季で異なり、冬季には浅い加熱モードが、夏季には深い加熱モードがそれぞれ卓越することを発見した。浅い加熱モードでは、大気境界層とその直上での加熱が駆動力となり、水平風収束はほぼ大気境界層の中で生じ、上昇風は大気境界層の直上で最大値を取る。一方、深い加熱モードの大気加熱は対流圏中層で最大値となり、水平風収束は境界層だけではなくその上の下層対流圏でも生じ、上昇風は対流圏中層で最大となる(図5)。

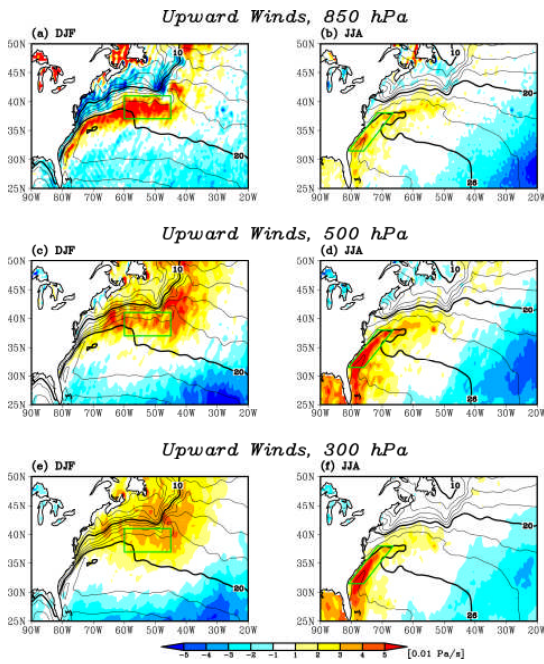


図 5. 湾流域における(左)冬季(12-2月)と(右)夏季(6-8月)の、(上段)850 hPa、(中段)500 hPa、(下段)300 hPaでの上向き風速(Minobe et al. 2010).

(3) 気圧調整メカニズムの観測的な証拠

Minobe et al. (2010)ではまた、湾流域の大気応答について気圧調整メカニズムを支持する気候値の気圧分布を、海上気象観測データセット(I-COADS)を解析することで見出した(図 6).

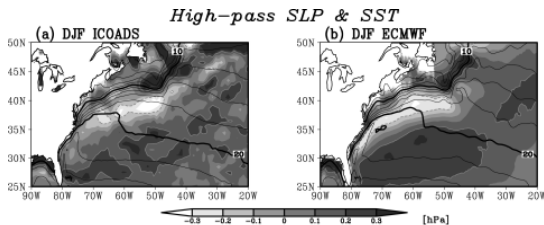


図 6. (a)観測データと(b)ECMWF 現業解析で得られた、南北ハイパスフィルターをかけた、冬季(12-2月)の平均的な気圧分布(Minobe et al. 2010).

(4) 高解像度大気大循環モデル実験

高解像度大気大循環モデルに衛星観測された海面水温を与えた実験(CNTL)とメキシコ湾流に伴う海面水温勾配を平滑化した実験(SMTH)を行い、海面水温勾配に対する大気応答を調査した。その結果、CNTLでは湾流上に上昇流が集中したが、SMTHでは上昇流の集中が消失した。また、大気鉛直安定度の季節変化によって、夏は湾流に伴う上昇流が対流圏上層まで発達するが、冬は対流圏下層に限られることが明らかになった(図

7).

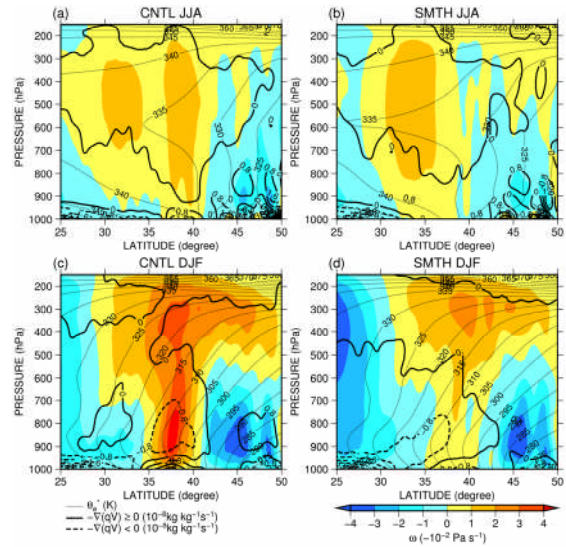


図 7. 北大西洋上の南北高度断面図(70°-50°W平均)。上昇流(カラー)、水蒸気収束(太線)、飽和相当温位(細線)。上段：夏、下段：冬のCNTL(左)とSMTH(右)(Kuwano-Yoshida et al. 2010).

(5) 高解像度大気海洋結合モデル実験

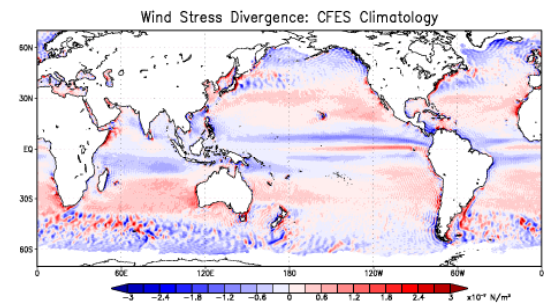


図 8. 大気海洋結合モデルCFESで計算された年平均風応力の発散成分。積分開始14年目から23年目までを平均した気候値で、陸域および海水域は除外してある。

地球シミュレータ用大気海洋結合モデルCFES(Coupled GCM for the Earth Simulator)を用い、大気部分が約50 km・海洋部分が約25 kmという水平解像度で、20年を超える全球シミュレーションを実施した。結果の例として、気候学的な年平均風応力の発散成分を図8に示す。湾流や黒潮続流の赤道側に位置する収束帯や、アガラス反転流の蛇行に伴う収束域・発散域の連なりなど、近年の人工衛星観測によって明らかにされた中緯度海面水温前線に伴う構造が、計算結果においても再現されている。これは、大気・海洋ともに高解像度の計算を行うことにより、初めて可能になったものである。

(6) 表面水温を作り出す碎波の観測

夏季の下層雲形成などを通して大気にも影響することが予想される千島列島に沿う寒冷な表面水温は、潮汐による鉛直混合がその原因である。この潮汐混合を引き起こすと考えられている風下波の大規模碎波の証拠(図9)を Nakamura et al. (2010)では、アリューシャン列島のアムチトカ海峡での集中海洋観測によって、初めて観測でとらえることに成功した。

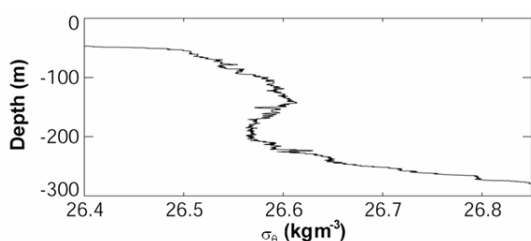


図9. ポテンシャル密度の鉛直プロファイル。軽いつまり密度が小さい水が、より重いすなわち密度が大きい水の下に位置していることは、碎波に伴う密度逆転を意味している(Nakamura et al. 2010)。

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 18 件)

1 Kuwano-Yoshida, A., S. Minobe, and S.-P. Xie, Precipitation response to the Gulf Stream in an atmospheric GCM. *Journal of Climate*, 23, 3676-3698, 2010. (査読有)

2 Minobe, S., M. Miyashita, A. Kuwano-Yoshida, H. Tokinaga, and S.-P. Xie, Atmospheric response to the Gulf Stream: Seasonal variations, *Journal of Climate*, 23, 3699-3719, 2010. (査読有)

3 Nakamura T., Y. Isoda, H. Mitsudera, S. Takagi, M. Nagasawa, Breaking of unsteady lee waves generated by diurnal tides, *Geophysical Research Letters*, 37, L04602, doi:10.1029/2009GL041456, 2010. (査読有)

4 Nakamura T., Y. Kawasaki, T. Kono, and T. Awaji, Large-amplitude internal waves observed in the Kruzenshtern Strait of the Kuril Island Chain and possible water transport and mixing, *Continental Shelf Research*, 30, 598-607, 2010. (査読有)

5 Nakamura T., T. Toyoda, Y. Ishikawa, and T. Awaji, Effects of mass source/sink at the western boundary on the wind-driven gyres: Implications for the ventilation of the North Pacific intermediate layer through convection in the

Okhotsk Sea and tidal mixing at the Kuril Straits, *Journal of Oceanography*, 66, 41-60, 2010. (査読有)

6 Nonaka, M., H. Nakamura, B. Taguchi, N. Komori, A. Kuwano-Yoshida, and K. Takaya, Air-sea heat exchanges characteristic of a prominent midlatitude oceanic front in the South Indian Ocean as simulated in a high-resolution coupled GCM, *Journal of Climate*, 22, 6515-6535, 2009. (査読有)

7 Nakamura T. and T. Awaji, Scattering of internal waves with frequency change over rough topography, *Journal of Physical Oceanography*, 39, 1574-1594, 2009. (査読有)

8 Matsuda, J., H. Mitsudera, T. Nakamura, K. Uchimoto, T. Nakanowatari, N. Ebuchi, Wind and buoyancy driven overturning circulation in the Sea of Okhotsk, *Deep Sea Research, Part I*, 56, 1401-1418, 2009. (査読有)

9 Komori, N., W. Ohfuchi, B. Taguchi, H. Sasaki, and P. Klein, Deep ocean inertia-gravity waves simulated in a high-resolution global coupled atmosphere-ocean GCM., *Geophysical Research Letters*, 35, L04610, doi:10.1029/2007GL032807, 2008. (査読有)

10 Minobe S., Kuwano-Yoshida A., Komori N., Xie S.-P., and R. J. Small, Influence of the Gulf Stream on the troposphere. *Nature*, 452, 206-209, 2008. (査読有)

11 Sasaki, Y. N., Minobe, S., Schneider, N., Kagimoto, T. Nonaka, M. and H. Sasaki, Decadal sea level variability in the South Pacific in a global eddy-resolving ocean model hindcast, *Journal of Physical Oceanography*, 38, 1731-1747, 2008. (査読有)

12 Overland, J., Rodionov, S., Minobe, S., and N. Bond, North Pacific regime shifts: Definitions and recent indicators, *Progress in Oceanography*, 77, 92-102, 2008. (査読有)

13 Small, R.J., S.P. deSzoeko, S.P. Xie, L. O'Neill, H. Seo, Q. Song, P. Cornillon, M. Spall, S. Minobe, Air-sea interaction over ocean fronts and eddies, *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 45, 274-319, 2008. (査読有)

[学会発表] (計 83 件)

1 Minobe, S. M. Miyashita, A. Kuwano-Yoshida, H. Tokinaga, S. Xie, Atmospheric response to the Gulf Stream: Seasonal variations Ocean Science Meeting, February 27, 2010, Portland, USA. (招待講演)

2 Takatama, K., S. Minobe, and M. Inatsu, Contributions of different mechanisms for atmospheric response to the Gulf Stream in a regional atmospheric model. Ocean Science Meeting, 2010 Ocean Science Meeting, February 25, 2010. Portland, USA

3 Sasaki, H., P. Klein, G. Lapeyre, B. Taguchi,

and N. Komori, Reconstruction of 3D dynamics in the North Pacific using outputs of realistic high-resolution ocean simulations. 2010 Ocean Sciences Meeting, February 25, 2010, Portland, USA

4 Nakamura, H., T. Sampe, M. Nonaka, B. Taguchi, D. Hotta, F. Ogawa, A. Kuwano-Yoshida, and N. Komori, Influence of midlatitude oceans on the formation of storm-tracks and westerly jets and on their variability, PO41A-02. 2010 Ocean Sciences Meeting, February 25, 2010, Portland, USA

5 Nakamura, T., Y. Isoda, H. Mitsudera, S. Takagi, M. Nagasawa, Breaking of Unsteady Lee Waves Generated by Diurnal Tides. 2010 Ocean Sciences Meeting, February 24 2010, Portland, USA

6 Asai, T., S. Minobe and M. Inatsu, Influence of the Kuroshio in the East China Sea on the troposphere and relating disastrous heavy rainfall event, 2010 Ocean Science Meeting, February 23, 2010., Portland, USA

7 Komori, N., B. Taguchi, A. Kuwano-Yoshida, H. Sasaki, T. Enomoto, M. Nonaka, Y. Sasai, M. Honda, K. Takaya, A. Ishida, Y. Masumoto, W. Ohfuchi, and H. Nakamura, A high-resolution simulation of the global coupled atmosphere--ocean system using CFES, 2010 Ocean Sciences Meeting, February 23, 2010, Portland, U.S.A.

8 Taguchi, B., M. Nonaka, N. Komori, A. Kuwano-Yoshida, K. Takaya, and H. Nakamura, Atmospheric response to decadal SST anomalies confined within the North Pacific subarctic frontal zone in a coupled model simulation, 2010 Ocean Sciences Meeting, February 23, 2010, Portland, USA

9 Uchimoto, K., T. Nakamura, J. Nishioka, H. Mitsudera, M. Yamamoto-Kawai, K. Misumi, and D. Tsumune, Influence of diapycnal mixing around the Kuril Islands and brine rejection on the distribution of CFCs in the Sea of Okhotsk., 2010 Ocean Sciences Meeting, February 22, 2010. Portland, USA

10 Mitsudera, H., K. Uchimoto, and T. Nakamura, Hydraulic control of stratified barotropic flow over topography: Mechanisms of cold belt formation off the Soya Warm Current along the northeastern coast of Hokkaido. 2010 Ocean Sciences Meeting, February 22, 2010. Portland, USA

11 Kuwano-Yoshida, A. S. Minobe, and S.-P. Xie, Precipitation response to the Gulf Stream in an atmospheric GCM. 2nd OFES International Workshop and ESC-IPRC Joint Workshop on Computationally-Intensive Modeling of the Climate System, December 10, 2009, Honolulu, USA

12 Nakamura, H., T. Sampe, F. Ogawa, A. Goto, D. Hotta, B. Taguchi, M. Nonaka, N. Komori, A.

Kuwano-Yoshida, W. Ohfuchi, and S.-P. Xie, Importance of midlatitude oceanic frontal zones in the formation of storm-tracks and westerly jets as revealed in high-resolution climate model simulations, 2nd OFES International Workshop and ESC-IPRC Joint Workshop on Computationally-Intensive Modeling of the Climate System, December 10, 2009, Honolulu, USA

13 Taguchi, B., M. Nonaka, N. Komori, A. Kuwano-Yoshida, and H. Nakamura, Atmospheric response to decadal SST anomalies confined within the North Pacific subarctic frontal zone in a coupled model simulation. 2nd OFES International Workshop and ESC-IPRC Joint Workshop on Computationally-Intensive Modeling of the Climate System, December 10, 2009, Honolulu, USA

14 Mitsudera, H., K. Uchimoto, and T. Nakamura, Mechanisms of the cold water belt formation off the Soya Warm Current. PICES-2009 Annual Meeting, POC paper session, October 30, 2009, Jeju, Korea.

15 Uchimoto, K., T. Nakamura, J. Nishioka, H. Mitsudera, M. Yamamoto-Kawai, K. Misumi, and D. Tsumune, A simulation of chlorofluorocarbons in the Sea of Okhotsk, PICES-2009 Annual Meeting, W1, October 25, 2009, Jeju, Korea

16 Minobe, S., J. Zhang and M. Urasawa, Kuroshio Extension variability during the last 50-years and its predictability. PICES-2009 Annual Meeting, W8, October 24, 2009. Jeju, Korea

17 Minobe, S., K. Aoki, Y. Tanimoto, Y. Sasaki and Y. Sasai, Meridional eddy heat transport estimations using satellite data and eddy resolving OGCM, PICES-2009 Annual Meeting, W9, October 23, 2009, Jeju, Korea (招待講演)

18 Kuwano-Yoshida, A., S. Minobe, and S.-P. Xie, Atmospheric response to the Gulf Stream in an AGCM, IAMAS/IAPSO/IACS Joint Assembly 2009 (MOCA-09), July 24, 2009, Montreal, Canada

19 Minobe S., A. Kuwano-Yoshida, N. Komori, S.-P. Xie, R.J. Small, and M. Urasawa, Influence of the Gulf Stream on the Troposphere and its Relation to the Atlantic Multidecadal Oscillation. IAMAS/IAPSO/IACS Joint Assembly 2009 (MOCA-09), July 22, 2009, Montreal, Canada

20 Nakamura, T., Y. Isoda, M. Nagasawa, S. Takagi, T. Wagawa, H. Mitsudera, Tidally-generated large-amplitude internal waves and associated mixing in the Amchitka Strait, the Aleutian Islands. IAMAS/IAPSO/IACS Joint Assembly 2009 (MOCA-09), 21 July 2009, Montreal, Canada

21 Mitsudera, H., J. Matsuda, T. Nakamura, K. Uchimoto, T. Nakanowatari, N. Ebuchi, Wind and buoyancy effects on meridional overturning

circulation in the Sea of Okhotsk , IAMAS/IAPSO/IACS Joint Assembly 2009 (MOCA-09), 21 July 2009, Montreal, Canada

22 Uehara, H., A. Kruts, Y. Volkov, T. Nakamura, J. Nishioka, T. Ono, H. Mitsudera, A new climatology of the Sea of Okhotsk with isopycnal averaging. IAMAS/IAPSO/IACS Joint Assembly 2009 (MOCA-09), 21 July 2009, Montreal, Canada.

23 Nakamura, H., T. Sampe, A. Goto, B. Taguchi, M. Nonaka, A. Kuwano-Yoshida, N. Komori, W. Ohfuchi, and S.-P. Xie, Impact of sharp SST gradient in midlatitude on the atmospheric general circulation and its annular variability: Importance of "oceanic baroclinic adjustment", IAMAS/IAPSO/IACS Joint Assembly 2009 (MOCA-09), July 20, 2009, Montreal, Canada

24 Minobe, S., T. Asai, M. Miyashita, K. Takatama, and M. Inatsu, Influence of the Kuroshio in the East China Sea on the atmosphere, The 15th Pacific-Asian Marginal Seas Meeting, April 23, 2009, Busan, Korea (招待講演)

25 Minobe S., Kuwano-Yoshida A., Komori N., Xie S.-P., and R. J. Small, Influence of the Gulf Stream on the troposphere, U.S. CLIVAR Western Boundary Current Workshop, 2009年01月15日, Phoenix, Arizona, USA. (招待講演)

26 Kuwano-Yoshida, A., S. Minobe and S.-P. Xie, Atmospheric response to the Gulf Stream in an AGCM, U.S. CLIVAR Western Boundary Current Workshop, January 15, 2009, Phoenix, Arizona, USA

27 Komori, N., B. Taguchi, A. Kuwano-Yoshida, H. Sasaki, T. Enomoto, M. Nonaka, Y. Sasai, M. Honda, K. Takaya, A. Ishida, Y. Masumoto, W. Ohfuchi, and H. Nakamura, High-resolution simulation of the global coupled atmosphere-ocean system using CFES, U.S. CLIVAR Western Boundary Current Workshop, January 15, 2009, Phoenix, Arizona, USA

28 Nonaka, M., H. Nakamura, B. Taguchi, N. Komori, A. Kuwano-Yoshida, and K. Takaya, Air-sea heat exchanges characteristic to a prominent midlatitude oceanic front in the South Indian Ocean as simulated in a high-resolution coupled GCM, AMS 89th Annual Meeting, January 14, 2009, Phoenix, Arizona, USA

29 Nakamura, H., T. Sampe, A. Goto, B. Taguchi, M. Nonaka, N. Komori, A. Kuwano-Yoshida, W. Ohfuchi, and S.-P. Xie, Impact of midlatitude oceanic frontal zones on the atmospheric general circulation and its annular variability: Importance of "oceanic baroclinic adjustment", AMS 89th Annual Meeting, January 13, 2009, Phoenix, Arizona, USA

30 Nakamura, T. The Effects of Tidal Mixing at the Kuril Straits on North Pacific Ventilation. SCOR 50th Anniversary Symposium, 19-21 October 2008, Woods Hole, Massachusetts, USA.

31 Komori, N., W. Ohfuchi, B. Taguchi, H. Sasaki, and P. Klein, Deep ocean inertia-gravity waves simulated in a high-resolution global coupled atmosphere-ocean GCM, AOGS 5th Annual Meeting, June 20, 2008, Busan, Korea

32 Sasaki, Y. N., S. Minobe, N. Schneider, T. Kagimoto, M. Nonaka, and H. Sasaki, Decadal sea level variability in the South Pacific in a global eddy-resolving ocean model hindcast., 2008 Ocean Sciences Meeting, March 6, 2008, Orlando, Florida, U.S.A.

33 Komori, N., B. Taguchi, W. Ohfuchi, H. Sasaki, and P. Klein, Deep ocean inertia-gravity waves simulated in a high-resolution global coupled atmosphere--ocean GCM, 2008 Ocean Sciences Meeting, March 6, 2008, Orlando, Florida, U.S.A.

34 Nakamura, T., J. P. Matthews, T. Awaji, H. Mitsudera, Small-scale eddies around the Kuril Straits generated by barotropic tidal flow, 2008 Ocean Sciences Meeting, March, 4, 2008., Orlando, Florida, U.S.A.

35 Kuwano-Yoshida A., N. Komori, S. Minobe, and S.-P. Xie, Responses of extratropical cyclone activity to the Gulf Stream SST gradient. 14th General Assembly of IUGG. July 12, 2007, Perugia, Italy.

[その他]

上記ネイチャーの表紙論文についてのプレス・リリースを以下のURLに示す。

http://www.sci.hokudai.ac.jp/~minobe/papers/080313_Hokudai_ESC_release.pdf

6. 研究組織

(1) 研究代表者

見延 庄士郎 (MINOBE SHOSHIRO)
北海道大学・大学院理学研究院・教授
研究者番号：70219707

(2) 研究分担者

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・研究員
研究者番号：80359223

吉田 聡 (KUWANO-YOSHIDA AKIRA)
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：90392969

中村 知裕 (NAKAMURA TOMOHIRO)
北海道大学・低温科学研究所・講師
研究者番号：6040008

(3) 連携研究者

なし