

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 13 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2010～2013

課題番号：22244057

研究課題名(和文) 高解像度解析・観測・階層モデルによる海洋前線への大気応答と海洋再応答の研究

研究課題名(英文) Studies of atmospheric response to oceanic fronts and associated feedback onto the ocean using high-resolution analysis, observation and hierarchical models

研究代表者

見延 庄士郎 (Minobe, Shoshiro)

北海道大学・理学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：70219707

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,400,000円、(間接経費) 10,320,000円

研究成果の概要(和文)：黒潮などの大気への影響を明らかにし、また大気がさらに海洋にフィードバックする可能性を探るために、特に東シナ海の黒潮に着目して研究を行った。データ解析によって、東シナ海の黒潮上で梅雨期に「深い大気加熱モード」が卓越し、日周期の降水変動が生じていることを発見した。数値計算では、東シナ海が存在が日本付近で低気圧の発達を促し、また東シナ海の季節的な昇温が九州の豪雨に重要であることを示した。東シナ海での船舶観測で、冬季に黒潮上での風の弱化を見出し、梅雨期には対流有効位置エネルギーが降水応答に重要であることを示した。一連の成果は、現在国際的に注目されている中緯度大気海洋相互作用研究への重要な貢献である。

研究成果の概要(英文)：In order to explore atmospheric responses to ocean currents such as the Kuroshio, and to know possibility that the atmospheric responses further feedback onto the ocean, researches are conducted with a focus on the Kuroshio in the East China Sea (ECS). Data analysis found "deep heating (atmospheric response) mode" over the Kuroshio in ECS accompanied by prominent diurnal rain and cloud variability in the middle of the Baiu-Meiyu season. Numerical studies showed that ECS causes stronger developments of low-pressure systems around Japan and that seasonal ECS warming plays an important role in heavy rain events over Kyushu in July. In-situ ship observations revealed weakening of surface winds over the Kuroshio in winter and showed an important role of convective available potential energy in precipitation over the Kuroshio in Baiu-Meiyu season. These studies are important contributions for rapidly developing research field of mid-latitude air-sea interaction.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：気象・海洋物理・陸水学

キーワード：黒潮 東シナ海 現場観測 データ解析 数値計算 降水 表面風 日周期

1. 研究開始当初の背景

2000年代末に代表者らが先導して、大洋の西側を流れる暖流である、黒潮やメキシコ湾流がそれまで知られていた大気の下層約1kmの大気境界層のみならず、その上の自由対流圏全体に影響を与えることが明らかになった。その大気応答には「深い大気加熱応答モード」と「浅い大気加熱応答モード」があることがやはり代表者らによって提案された。しかし、これらの大気応答の日本付近で存在の有無や、また短周期変動との関係など、未解明の点が多かった。

2. 研究の目的

そこで本研究では、黒潮などに伴う海洋前線がどのように大気に影響を与えるのかを、興味深い研究対象である東シナ海の黒潮に着目して、明らかにすることを主たる目的とした。また、海洋に対する大気応答が海洋にさらに影響を与える海洋再応答について、その可能性を探ることとした。

3. 研究の方法

高解像度の衛星データ・再解析データなどのデータ解析、領域大気モデル・全球大気モデル・領域大気海洋結合モデルなどを用いた数値計算、そして主として船舶による大気海洋の現場観測という、3つの方法によって研究を行った。特に現場観測では、長崎大学・長崎丸で2010年12月、2011年5・6月、2012年5・6・11月、2013年5・6・11月に、また鹿児島大学・かごしま丸で2011年6月と2012年6月に、気象ゾンデと投下式水温計(XBT)などを用いた大気海洋観測を行った。

4. 研究成果

(1) データ解析

梅雨期の東シナ海の黒潮上における深い加熱モードの発見

「背景」で述べた二つの大気応答モードのうち、深い大気加熱応答モードは、24~26という中緯度では例外的に暖かい海洋表面水温を必要とするために、その存在はメキシコ湾流上でのみ知られていた(Minobe et al., 2010)。本研究では、深い大気加熱モードが東シナ海の黒潮上で梅雨期の最盛期である6月に存在していることを見出した。

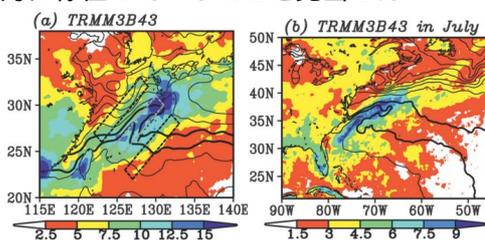


図1. a)東シナ海の6月と、北西大西洋の7月における、月平均降水量(カラー, mm/day)と表面水温(等値線). 降水量は衛星降水データ(TRMM 3B43)による. 等値線の間隔は1で, 26 と 27 の等値線を太線で描いている(Sasaki et al. 2012).

この東シナ海の大気応答は、より広い領域で生じる大規模な梅雨降水帯に埋め込まれており、局所的な大気応答と大規模な梅雨降水の二つのメカニズムが働くことによって、東シナ海の黒潮上での降水は、メキシコ湾流上の降水よりも大きなものとなっている(図1)。この強い降水とそれに伴う大気加熱を反映して、自由対流圏での大気応答の指標となる対流圏中層での上昇気流も速く(図2)、中緯度大気海洋相互作用の観点から、東シナ海の黒潮は非常に意義が高い研究対象であることを明らかにした。

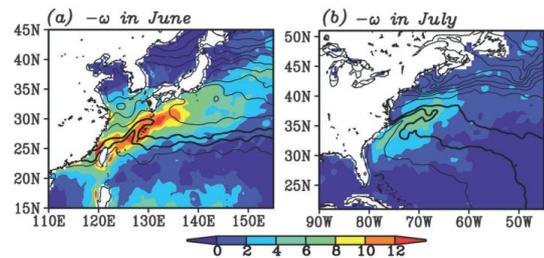


図2. 対流圏中層の400 hPa等圧面高度における、上昇風速(カラー, 10^{-2} Pa/s)と海洋表面水温(等値線). 海洋表面水温は図1と同じである(Sasaki et al. 2012).

梅雨期の東シナ海の黒潮上における日周期降水・雲変動の発見

中緯度大気海洋相互作用においては、移動性低気圧などの総観規模擾乱と平均場との関係が研究されてきたが、本研究で新たに日周期の降水・高層雲変動が、梅雨期の東シナ海の黒潮上に生じていることを発見した(図3)。日周期変動の季節的・地理的分布は、おおむね前述の深い大気加熱応答と一致しており、日周期変動が深い大気加熱応答において重要な役割を担っていることが示唆される。本成果は、長期平均場と短周期場の関係という点でも重要な成果であり、南西諸島の降水変動の理解にも資すると期待される。

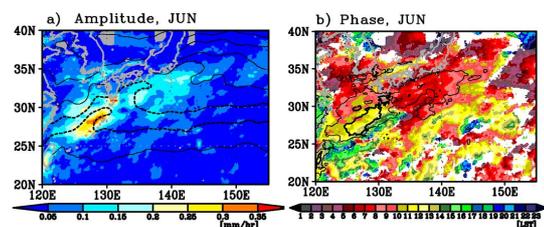


図3. 6月の黒潮域における日周期降水変動の、a)振幅(mm/hr)とb)位相. 位相は日周期が最大となる時間を、場所場所で太陽が南中する時間(Local Solar Time)によって表してしている. パネル(a)の等値線は表面水温で、等値線間隔は2, 太点線の等値線が24と26を示している. パネル(b)の等値線は、降水の日周期振幅の0.1(0.2)mm/hrを、細線(太線)で示している.(Minobe and Takebayashi, Climate Dynamics 投稿中)

南岸低気圧の経路とそれがもたらす東京の降雪への黒潮大蛇行の影響の発見

その多くが東シナ海で発生する、日本の南を通過する南岸低気圧は、日本の気象に重要な影響を与える。そこで東シナ海に発する冬季の南岸低気圧の経路と陸の気象への影響を、日本の南で生じる黒潮大蛇行との関係に着目して解析した。その結果、南岸低気圧の移動経路は、黒潮が直進流路をとるとき本州南岸に集中するのに対し、大蛇行流路では東海沖で岸から離れて沖合で分散する傾向があり、大蛇行流路の方が東京で降雪が起りやすいことを発見した(図4)。本成果は多くの反響を呼び、関連研究も行われている。

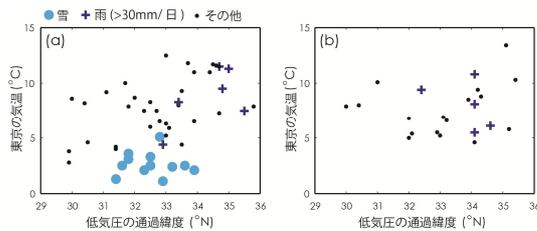


図4. 南岸低気圧が138°E線を通過したときの位置(緯度)に対する東京の日平均気温:(a)大蛇行流路の期間(58事例),(b)直進流路の期間(25事例)。●:降雪,+ :強い降水(>30mm/日),・その他の天気。(Nakamura et al. 2012)

(2)数値実験

東シナ海が低気圧の発達にもたらす影響

東シナ海が低気圧の発達および大気大循環に及ぼす影響を調査するため、地球シミュレータ上の大気大循環モデルAFESで東シナ海を陸地にした感度実験を10年分を行った。東シナ海が海のままの標準実験との比較から、東シナ海が存在すると、1月に日本付近で低気圧活動が活発になり(図5)、アラスカ湾に高気圧偏差が形成されることが示された。

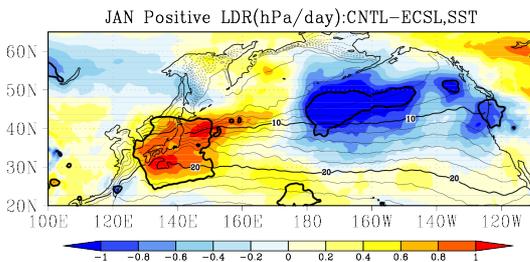


図5. 1月の海面気圧の局所発達率が正の場所・時間について、平均した海面気圧の局所発達率の、標準実験と東シナ海埋立実験の差(カラー、hPa/day)。太実線は95%以上有意な領域で、細実線は標準実験の海面水温()である。

九州集中豪雨における東シナ海の海面水温の影響

梅雨期(5~7月)の九州における月平均雨量は6月に最大となる一方で、雨量計のデータの解析から、日降水量が250mmを超えるような顕著な豪雨は6月ではなく7月に集

中して発生することが分かった。このひとつの要因として、6月から7月にかけての東シナ海の海面水温の急激な上昇が考えられる。そこで平成24年7月九州北部豪雨を事例として、東シナ海の海面水温の変化が雨量におよぼす影響を数値シミュレーションにより調査した。6月の海面水温を与えた場合に比べ、7月の海面水温を与えた場合には雨量が大幅に増加する(図6)。雨量が増加する基本的要因は、海面水温の上昇に伴う蒸発量の増加によって生じる、南方からの湿潤気塊の不安定性の強化であることが明らかとなった。本成果は豪雨の理解において、重要な貢献である。

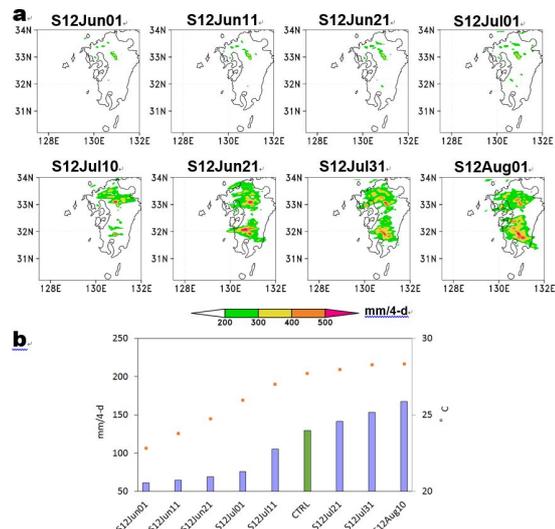


図6.東シナ海の海面水温上昇が集中豪雨発生時の雨量におよぼす影響を調べたシミュレーション結果。気象条件は同一とし、6月1日から10日毎の海面水温の日別気候値をあたえている。a)7月11日から14日までの4日間雨量の水平分布。b)九州周辺の領域(31.0°N-34.1°N, 129.5°E-131.8°E)で平均した4日間雨量(棒グラフ)と、東シナ海南西部(27°N-31°N, 123°E-128°E)で平均した海面水温の値(四角)。

領域・全球結合大気モデルの降水応答

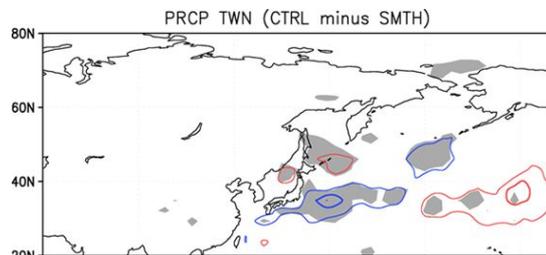


図7. 領域・全球大気結合モデルにおける、観測された水温を与えた実験と、平滑化した水温を与えた実験での、降水量の差(等値線間隔20mm/month)。陰影は統計的に有意な差がある領域を示している。

海洋に対する大気応答の数値実験には、全球大気モデルまたは領域大気モデルを用い

ることが一般的であり、両者には一長一短がある。そこで両者の長所を併せ持つと期待される、領域・全球結合大気モデルによって、海洋に対する大気応答を調べる数値実験を、観測された海表面水温と、平滑化した海面水温を与える2通りの設定で行った。すると、観測された海表面水温を与える方が、黒潮続流において降水量が多いという結果となった(図7)。一方全球大気モデルのみで同様の実験を行うと、降水量変化がより大きく、また東シナ海から日本の南の黒潮上でも有意な変化が得られた。この結果は大気応答がモデル解像度に依存することを、示唆するものである。

海洋再応答の数値実験

海洋が大気に影響を与え、その大気の応答がさらに海洋に影響を与える海洋再応答の効果を調べるために、地球シミュレータ上の大気・海洋結合モデルCFESの23年間の積分の最後の13年について、鉛直流速に焦点を当てて解析を行った。東シナ海の冬季(1~3月)には黒潮流軸に沿って湧昇が、その両側で沈降が生じるという興味深い構造を示すものの(図8)、海洋再応答の寄与は小さいことが示唆された。ただしこの鉛直流速自体は、海洋循環および表層への栄養塩供給などで重要な役割を果たす可能性がある。なお、東シナ海の黒潮と同じく亜熱帯海域のジェット・海面水温前線であるハワイ風下反流の維持機構に関して、大気の局所的・力学的な応答が重要であることを、大気海洋結合モデルを用いた数値実験によって明らかにして、海洋再応答の重要性を示した。

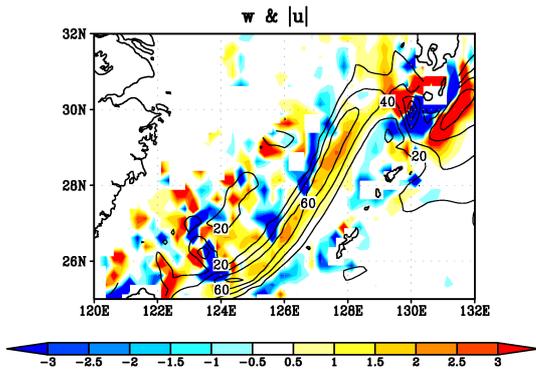


図8. 大気海洋結合モデルで得られた冬季(1~3月)の、深度50m付近での上向き鉛直流速(カラー、 $\times 10^{-3}$ cm/s)と水平絶対流速(等値線、等値線間隔は20 cm/s)。

(3)現場観測

冬季現場観測による表面風応答の検出

東シナ海の黒潮が大気に及ぼす影響の一つに、黒潮の暖水上で表面風速が強まること衛星データ解析から示唆されていたが、現場観測で実際に確認されてはいなかった。そこで現場データで海洋前線上の表層風速応答を調べるために、2010年から2012年にかけて3度にわたって、東シナ海の黒潮前線上の

東経128度40分付近のおおむね南北に沿った測線でXBTの投下とラジオゾンデの放球を、同時に連続的に実施した。これまでの衛星観測の結果とは異なり、前線上での局所的な風速の弱화가観測された(図9)。この観測結果と併せて実施した数値モデル実験の結果を検討したところ、北西風の吹き始めに黒潮前線の大陸側の端で、局所的に表層風速の弱화가現れることがわかった。しかし、これは北西風の吹き始めに一時的に発現する現象であって、長期平均した衛星観測データには現れないことが、数値モデル実験によって示唆された。

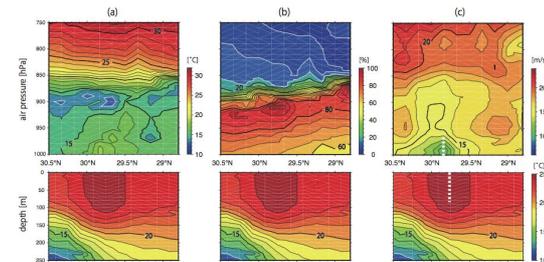


図9. ゾンデが取得した気象データ(上)とXBT観測(下)で得た水温分布。(a)は温度、(b)相対湿度、(c)風速の鉛直断面。横軸は緯度、縦軸は上図が気圧表記の高度で下図が水深(m)を示す(Kasamo et al. 2014)。

梅雨期現場観測によるCAPEと降水応答

上述の通り、梅雨期の東シナ海の黒潮上に対する大気応答では、深い大気加熱モードが重要な役割を果たす。その際対流有効位置エネルギー(CAPE)が、黒潮によって変化することを、まず再解析データの解析より示唆した(Sasaki et al. 2012)。さらにその仮説の妥当性を、2011年と2012年のそれぞれ6月に行った大気海洋観測で検証した。両年ともに、黒潮を3往復して6断面を得る観測を行った。このように黒潮などの西岸境界流を短期間に3往復もする大気海洋相互作用の観測は、我々が知る限り本研究が世界で初めてである。その観測の結果、図10に示すように高いCAPEが降水イベントの際に生じることが、観測でも確認できた。これは深い大気加熱モードのメカニズムについて、東シナ海にとどまらない、普遍的な示唆を与える結果である。

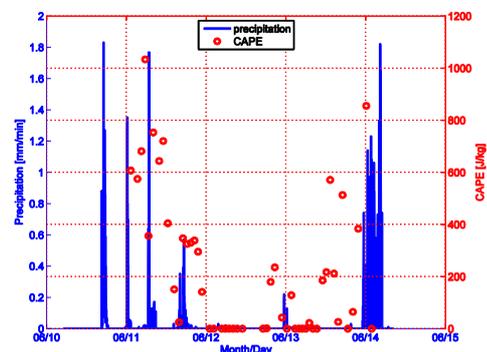


図10. 2012年度観測データにおける降水量とCAPEの時系列の比較。

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46件)

1. Kasamo, K., A. Isobe, S. Minobe, A. Manda, H. Nakamura, K. Ogata, H. Nishikawa, Y. Tachibana, and S. Kako, Transient and local weakening of surface winds observed above the Kuroshio front in the winter East China Sea, *Journal of Geophysical Research*, 査読有, 119, 2014, 1277-1291, DOI: 10.1002/2013JD020610
2. Iwasaki S. and A. Isobe, Atmosphere-ocean coupled process along coastal areas of the Yellow and East China Seas in winter, *Journal of Climate*, 査読有, 27, 2014, 155-167, DOI: 10.1175/JCLI-D-13-00117.1
3. Zhao, N., A. Manda and Z. Han, Frontogenesis and frontolysis of the subpolar front in the surface mixed layer of the Japan Sea, *Journal of Geophysical Research*, 査読有, 119, 2014, 1498-1509, DOI: 10.1002/2013JC009419
4. Nakamura, H., A. Nishina, Z. Liu, F. Tanaka, M. Wimbush, and J.-H. Park, Intermediate and deep water formation in the Okinawa Trough, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 査読有, 118, 2013, 6881-6893, DOI: 10.1002/2013JC009326
5. Sasaki, H. B. Taguchi, N. Komori, and Y. Masumoto, Influence of local dynamical air-sea feedback process on the Hawaiian Lee Countercurrent, *Journal of Climate*, 査読有, 26, 2013, 7267-7279, DOI: 10.1175/JCLI-D-12-00586.1
6. Kuwano-Yoshida, A., B. Taguchi, S.-P. Xie, Baiu rainband termination in atmospheric and coupled atmosphere-ocean models, *Journal of Climate*, 査読有, 26, 2013, 10111-10124, DOI: 10.1175/JCLI-D-13-00231.1
7. Kuwano-Yoshida, A., T. Enomoto, Predictability of explosive cyclogenesis over the northwestern Pacific region using ensemble reanalysis, *Monthly Weather Review*, 141, 査読有, 2013, 3769-3785, DOI: 10.1175/MWR-D-12-00161.1
8. Moteki, Q. and A. Manda, Seasonal migration of the Baiu frontal zone over the East China Sea: Sea surface temperature effect, *SOLA*, 査読有, 9, 2013, DOI: 10.2151/sola.2013-005
9. Inatsu, M., and K. Terakura, Wintertime extratropical cyclone frequency around Japan, *Climate Dynamics*, 査読有, 38, 2012, 2307-2317, DOI: 10.1007/s00382-011-1152-8
10. Isobe, A., and S. Kako, A role of the Yellow and East China Seas in the development of extratropical cyclones in winter, *Journal of Climate*, 査読有, 25, 2012, 8328-8340, DOI: <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00391.1>
11. Nakamura, H., A. Nishina, and S. Minobe, Response of storm tracks to bimodal Kuroshio path states south of Japan, *Journal of Climate*, 査読有, 25, 2012, 7772-7779, DOI: <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00326.1>
12. Nakamura, H., A. Nishina, K. Tabata, M. Higashi, A. Habano, and T. Yamashiro, Surface velocity time series derived from satellite altimetry data in a section across the Kuroshio southwest of Kyushu, *Journal of Oceanography*, 査読有, 68, 2012, 321-336, DOI: 10.1007/s10872-012-0101-4
13. Taguchi, B., H. Nakamura, M. Nonaka, N. Komori, A. Kuwano-Yoshida, K. Takaya, and A. Goto, 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, 25(1), 2012, 111-139, DOI: 10.1175/JCLI-D-11-00046.1
14. Takatama, K., S. Minobe, M. Inatsu, and J. R. Small, Diagnostics for near-surface wind convergence/divergence response to the Gulf Stream in a regional atmospheric model, *Atmospheric Science Letters*, 査読有, 13, 2012, 16-21, DOI: 10.1002/asl355
15. 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*, 査読有, 64, 2012, 18962, DOI: 10.3402/tellusa.v64i0.18962
16. Kako, S., A. Isobe, and M. Kubota, High-resolution ASCAT wind vector data set gridded by applying an optimum interpolation method to the global ocean, *Journal of Geophysical Research-Atmosphere*, 査読有, 116, 2011, DOI: 10.1029/2010JD015484
17. Shimada, T., and S. Minobe, Global analysis of the pressure adjustment mechanism over sea surface temperature fronts using AIRS/Aqua data, *Geophysical Research Letters*, 査読有, 38, 2011, L06704, DOI: 10.1029/2010GL046625
18. Shinoda, T., J. Furumoto, S. Satoh, S. Nagai, Y. Murayama, and T. Tsuda, Observations of temperature profiles by 443 MHz wind profiling radar using a radio acoustic sounding system in Okinawa, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 査読有, 73(9), 2011, 1010-1019, DOI: 10.1016/j.jastp.2010.08.013
19. Shusse, Y., N. Takahashi, K. Nakagawa, S. Satoh, and T. Iguchi, Polarimetric radar observation of the melting layer in a convective rainfall system during the rainy season over the East China Sea, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 査読有, 50, 2011, 354-367, DOI: <http://dx.doi.org/10.1175/2010JAMC2469.1>

[学会発表](計165件)

1. Kuwano-Yoshida, A., Minobe, S., Atmospheric response to the Japan Sea and the East China Sea in an AGCM. 2014 Ocean Sciences Meeting, February 26, 2014, Hawaii, USA.
2. Mori, N., Minobe, S., Sasaki, Y. N., Nakamura, H., Isobe, A., Ship observation of atmospheric conditions across the Kuroshio in the east china sea in Baiu-Meiyu season. 2014 Ocean Sciences Meeting, February 26, 2014, Hawaii, USA.
3. Minobe, S. and S. Takebayashi, Diurnal precipitation variability over the Gulf Stream and the Kuroshio. Climate implications of frontal scale air-sea interaction, August 5, 2013, Colorado, USA. (招待講演)

4. Xie S.-P., H. Xu, S. Minobe, S. Zhang, J. Liu, Ocean front-atmosphere interactions in the marine boundary layer and beyond, AGU 2012 Fall Meeting, December 5, 2012, California, USA.(招待講演)
5. Nakamura, H., A. Nishina, S. Minobe, Response of storm tracks to bimodal Kuroshio path states south of Japan, AGU 2012 Fall Meeting, December 4, 2012, California, USA.
6. Minobe, S., Ocean to atmosphere feedback in mid-latitudes over western boundary currents, CLIVAR/WCRP workshop on decadal and multi-decadal variability in Pacific and Indian Ocean, September 4, 2012, Qingdao, China.(招待講演)
7. Kuwano-Yoshida, A., B. Taguchi, S.-P. Xie, Baiu rainband termination in an atmospheric and coupled model, AOGS-AGU(WPGM) Joint Assembly 2012, August 15, 2012, Sentosa, Singapore.
8. Sasaki, H., B. Taguchi, N. Komori, and Y. Masumoto, Influence of local dynamical feedback process on the Hawaiian Lee Countercurrent. AOGS-AGU (WPGM) Joint Assembly, August 15, 2012, Sentosa, Singapore.
9. Iwasaki, S., A. Isobe, and S. Kako, A regional air-sea coupled model adopted over the winter Yellow and East China Seas, Japan Geoscience Union Meeting 2012, May 20-25, 2012, Chiba, Japan.
10. Minobe, S. Atmospheric Responses to the Gulf Stream and the Kuroshio, International Symposium on Climate Variations, April 12, 2012, Tokyo, Japan.(招待講演)
11. Komori, N., B. Taguchi, A. Kuwano-Yoshida, M. Nonaka, K. Takaya, W. Ohfuchi, and H. Nakamura, Coupling coefficients around the mid-latitude SST fronts in a coupled atmosphere-ocean and a stand-alone atmospheric GCMs. 2012 Ocean Sciences Meeting, February 21, 2012, Utah, USA.
12. Manda, A. and Q. Moteki, Mixed Layer Heat Budget in the East China Sea. 2012 Ocean Sciences Meeting, February 20, 2012, Utah, USA.
13. Kuwano-Yoshida, A., and T. Enomoto, Predictability analysis of explosive cyclones in the North Pacific storm track using an ensemble reanalysis data, JM06S7. XXV IUGG General Assembly, July 2, 2011, Melbourne, Australia.
14. Komori, N., CFES: Coupled GCM for the Earth Simulator--Current status and future directions, International Workshop on Development of Atmosphere--Ocean Coupled Model towards Improvement of Long-Range Forecast, December 10, 2010, Tokyo, Japan.
15. Minobe S., M. Miyashita, T. Asai, M. Inatsu, A. Kuwano-Yoshida, H. Tokinaga, and S.-P.

Xie, Influence of the Kuroshio in the East China Sea on the troposphere, International Symposium on Boundary Current Dynamics: its connection with open-ocean and coastal processes and responses to global climate change, May 31, 2010, Qingdao, China. (招待講演)

16. Inatsu, M., and M. Kimoto, A scale interaction study on East Asian cyclogenesis using a general circulation model with an interactively nested regional model, EGU General Assembly 2010, May 5, 2010, Vienna, Austria.

〔その他〕

東シナ海 6 月の日周期降水変動を http://www.sci.hokudai.ac.jp/~minobe/animation/diurnal_precip_WBCs/K_june.html で見ることができる。

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

磯辺 篤彦 (ISOBE ATSUHIKO)
愛媛大学・沿岸環境科学研究センター・教授
研究者番号：00281189

万田 敦昌 (MANDA ATSUYOSHI)
長崎大学・水産・環境科学総合研究科・准教授
研究者番号：00343343

中村 啓彦 (NAKAMURA HIROHIKO)
鹿児島大学・水産学部・准教授
研究者番号：50284914

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

稲津 将 (INATSU MASARU)
北海道大学・大学院理学研究院・准教授
研究者番号：80422450

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

(3)連携研究者

佐藤 晋介 (SATO SINSUKE)
独立行政法人情報通信研究機構・電磁波計測研究センター・主任研究員
研究者番号：30358981