

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：17701

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K17763

研究課題名(和文) 長江希釈水が励起する東シナ海の大気海洋相互作用とその東アジア縁辺海への波及効果

研究課題名(英文) Air-sea interaction in the East China Sea induced by Changjiang river discharge and its multiplied effect on the East Asian marginal seas.

研究代表者

加古 真一郎(Kako, Shin'ichiro)

鹿児島大学・理工学域工学系・助教

研究者番号：60709624

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：長江希釈水が励起する海面水温変動とそれに関連した大気応答を、海洋循環モデルと領域大気モデルを用いて調べた。その結果、陸棚の広い範囲で、長江希釈水の存在に起因した夏季海面水温の低下を確認することができた。また、領域大気モデルを用いた感度実験では、長江希釈水に起因した海面水温の低下が水温フロント周辺の温度勾配を急峻にすることで暖水側の対流不安定を強化し、降水量の増加に寄与することが示された。長江希釈水が海面水温の変化に対し、プラスにもマイナスにも作用することから、その効果は直上やフロント周辺への影響のみに留まらず、領域的な気象へも波及することが示唆された。

研究成果の概要(英文)：This study investigated the effect of Changjiang River discharge (CRD) into the East China Sea (ECS) on sea surface temperature (SST) and related atmospheric changes using the ocean general circulation model and regional climate model. The model simulations, both with and without the CRD, revealed that CRD contributes significantly to sea surface temperature (SST) reduction in summer. This is because the cold-water mass formed along the Chinese coast in winter is advected into the ECS by the northeastward ocean current associated with the summer monsoon, which affects the reduction of SST in the ECS during the following season. The results of in this study suggested that the reduction of baroclinicity induced by the SST decrease related to the CRD affects the strength of extratropical cyclones.

研究分野：海洋物理学

キーワード：長江希釈水 水温逆転層 大気海洋相互作用 海洋循環モデル 領域大気モデル

1. 研究開始当初の背景

世界屈指の大河川である長江からの淡水流入(長江希釈水)は、東シナ海への総淡水流入量の約90%を占め、同海域における海洋環境についての主要な決定因子となっている(Chang and Isobe, 2003)。例えば、長江希釈水が東シナ海の海面塩分分布に与える顕著な影響は、モデル研究(Chang and Isobe, 2003)からも、観測研究(Kim et al., 2009)からも明白である。季節別に見れば、冬季には北寄りの季節風に起因して、長江希釈水は中国沿岸に沿って南に流れ、台湾海峡まで達する。一方、風向が南風になる5月頃からは、長江の流量も増加することにも関連し、低塩分水が陸棚中央部まで大きく張り出す(Chang and Isobe, 2003)。このように淡水が海洋に流入すると、それに起因して軽い水の層(混合層)が季節躍層の上部に形成される。この混合層は成層強度が非常に強いため、鉛直対流を抑制し、底層の冷水と暖かい混合層水温の熱交換を妨げ、海面水温(Sea surface Temperature; SST)を高いまま保つ効果を持つ。またこの淡水流入に起因して、混合層と等温層の間にバリアレイヤー(Barrier Layer; BL; Sprintall and Tomczak, 1992)と呼ばれる層が形成されることで、混合層と季節躍層以深との熱交換はさらに妨げられる。実際、アマゾン川及びコンゴ川流域では、淡水流入によってそれぞれ0.25 °C及び1.0 °C程度のSST上昇が確認されている(Carton, 1991)。東シナ海における夏季の塩分分布を考えれば、SSTに対する同様の効果を広い範囲で期待できる。また、長江希釈水の流入に起因して形成された薄い混合層が、活発に熱を吸収することで海面水温分布を変えるならば、海面過程を通して大気にも影響を及ぼすだろう。しかしながら、長江希釈水が東シナ海のSSTに与える影響について定量的に調べた研究はほとんどなく、ましてや長江希釈水が励起する大気応答などは全く検討されてこなかった。

2. 研究の目的

本研究は、長江希釈水が、東シナ海の海面水温と大気に与える影響について、海洋循環モデルと領域大気モデルを用いて明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 本研究で使用した数値モデルは、九州大学応用力学研究所によって開発されたDREAMS(Data assimilation Research of the East Asian Marine System; Hirose et al., 2013)である。DREAMSの初期場は、1980年1月1日のDREAMS北西太平洋版(1/4°×1/5°)の結果を縁辺海版(1/12°×1/15°)の格子点に合わせて空間補間したものとし、気象庁提供のJapan 25-year Reanalysis(1980 - 2007年)とGrid Point Valueデータ(2008年以降)を外力データとして与えることで、

1980年1月1日から2010年12月31日までの31年間駆動した。DREAMSの精度評価は、ジェット推進研究所から提供されている人工衛星SSTデータセットであるMulti-scale Ultra-high Resolution Sea Surface Temperature(MURSST)と、Japan Oceanographic Data Center(JODC)より提供されている全ての現場観測海面塩分場データを用いて行った。本研究では、便宜上、DREAMSという名称を用いるが、カルマンフィルター等のデータ同化手法は使用していないことに注意されたい。本研究では、夏季のSSTに対する長江希釈水のインパクトを定量的に調べるため、長江からの流入がある場合(control run)と、ない場合(non-river run)の双子実験を行った。

(2) 上記の双子実験から得られたSSTを領域大気モデルであるWeather Research and Forecast(WRF) ver. 3.7の下部境界条件として与えることで、夏季の大気場に対する長江希釈水のインパクトを定量的に調べた。この双子実験では、米海洋大気局により提供されているNCEP FNL operational global analysis dataを大気境界条件として使用し、2000 - 2010年における各年の4月1日から8月31日までの期間の計算を行った。WRFの精度評価は、Kako et al. (2011)によってAdvanced scatterometer(ASCAT)を用いて構築された人工衛星海上風データセット、気象庁から提供されているAutomated Meteorological Data Acquisition System(AMeDAS)による海面気圧等の現場観測データ、さらにはRemote sensing systemsから提供されているTropical Rainfall Measuring Mission(TRMM) Microwave Imager(TMI)によって観測された人工衛星降雨量データを用いて行った。

4. 研究成果

(1) 一年目は、海洋循環モデルを用いた再現実験と感度実験を行った。図には示さないが、DREAMSから得られた海面塩分の空間パターンは、JODCデータから作成した海面塩分のそれと定性的によく一致し、モデルSSTの季節変動とその空間パターンも、MURSSTのそれらと整合的であった。また同様に、WRFから得られた海面気圧、海上風、降水量の時空間変動も、AMeDASから得られたそれらと定性的に良く一致した。

図1は、2つのモデル計算から得られたSSTの5月における気候学的月平均値の差を示す。ここではcontrol runのSSTが、陸棚の広い範囲で、non-river runのそれよりも低い(最大で1°C程度)ことに注目したい(正の値は、control runのSSTが、non-river runのそれと比べて高いことを示す。以下、全ての物理量の比較において同様である)。夏季の東シナ海では、短波放射による海洋への熱流入が潜熱等の熱放出と比べて非常に大きいため、上述した鉛直次元過程のみでこの

表層の低温化が起こるとは考え難い。つまり、SST の局所的な低温化に対しては、他の海域からの冷水塊の流入が必要である。

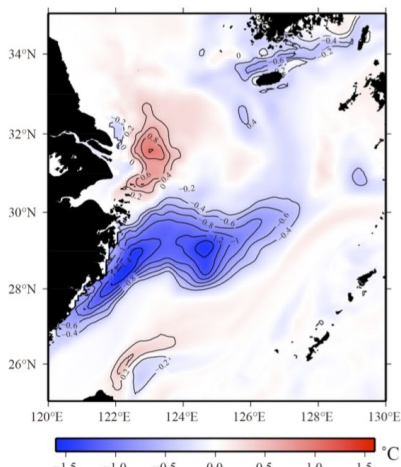


図1 Control-run と no-river run から得られた海面水温の 5 月における気候学的月平均値の差。90%の信頼限界で二つの差が有意である海域のみを等値線で示している。

そこで次に、control run に見られた低温水の起源を調べるため、逆方向の粒子追跡実験を行った。ここでは、陸棚中央部に粒子をそれぞれ千個ずつ置き、control run の流速(気候学的日平均値を使用)の方向を逆にすることでその起源を辿った。7月15日を実験のスタート日とすると、ほぼ全ての粒子が1月には中国沿岸域に達した(図2)。粒子が多く集まった海域は、冬季の長江希積水の存在海域と良く一致しており、二つのモデルSST 差を調べると、やはり control run の方が平均で3°C程度SST が低い(図無し)。図3は、1月の中国沿岸域(28°N, 122°E)における両モデルから得られた水温・塩分の鉛直構造を示す。この図から、non-river run の水温・塩分が鉛直一様であるのに対し、control run では、SST と50m 深の水温の差が2.5°Cにも達しており、水温逆転層が形成されていることが分かる。この水温逆転層にて形成された低水温塊が、夏季の季節風に伴い陸棚方向に流入することで、SST の決定に季節を越えて寄与する。

以上の結果から、長江希積水は次のようなメカニズムで夏季東シナ海陸棚域のSST 低下に寄与していると結論付けられる。1. 冬季の中国沿岸では、長江希積水の影響で成層強度の強い混合層が形成され、鉛直対流が抑制される。2. 表層の薄い混合層のみからの熱放出が活発となり、混合層の低温化が促進される。3. 低水温による高密度化は低塩分水により相殺され、鉛直対流は励起されず、水温逆転層が形成される。4. この低温・低塩分水が翌夏の南風に伴って陸棚中央部まで東進する。5. その結果、季節を超えて夏季の水温分布の決定に寄与する。これに加え、長江の河口付近では長江希積水による高温

化が確認できるので(図2) 実際にはこれら2つの効果が相まって、東シナ海の夏季SST の形成に寄与していると考えられる。

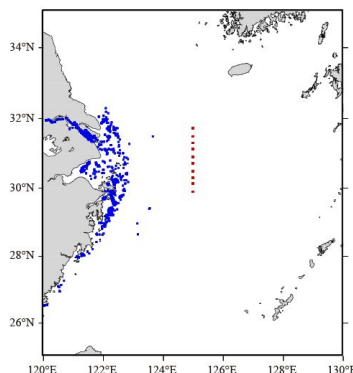


図2 逆方向の粒子追跡実験の結果。赤色は粒子の初期位置(7月15日)を示し、青色は1月15日における粒子の位置を示す。

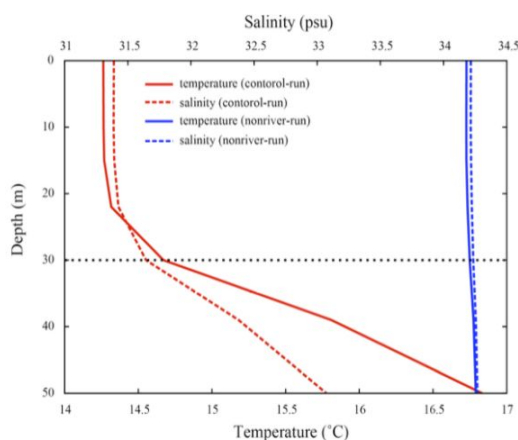


図3 1月の中国沿岸域(28°N, 122°E)におけるcontrol-run と non-river run の水温・塩分の鉛直分布。水平の点線は、control-run における混合層の底を示す。

(2) 二年目は、領域大気モデルを用いた再現実験と感度実験を行った。ここでの目的は、長江希積水の流入に起因して高温/低温化したSST が、海面過程を通して、どのように夏季東シナ海上の大気に影響を与えるのかを解明することにある。図4には、5月における(a) 海上風、(b) 海面気圧、(c) 925 hPa面における相当温位(Equivalent Potential Temperature; EPT)それぞれのモデル間の月平均差を示す。この図からわかるように、各物理量差の空間パターンは、図2に示すSST 差のそれと非常によく一致し、SST が大気場の決定に対してインパクトを持つことを示している。例えば、SST の低下に起因し直上の鉛直対流が抑制されれば、海面気圧は高くなり海上風は弱化する。これに加えてSST の低下は、海洋から大気への熱放出量も減少させるので、大気の大気不安定の度合いを示す指標であるEPTも低下する。一方、SST が高温化すれば、直上の鉛直対流が強化されること

により、上空の強風が海上風を強化する (Wallance et al., 1989)。

このような SST の低温/高温化に関連した大気応答のメカニズムをより詳細に調べるために、5月における2つのモデル EPT の尖鋭度差に注目した。図5は、EPTの尖鋭度差の高度・緯度断面図(図4c グレーライン)を示す。この図からわかるように、二つの尖鋭度差は SST フロントよりも南側で顕著であり、その影響は地表面から 850hPa 程度(大気境界層よりも上空)まで及んでいる。つまりこの結果は、長江希釈水が、SST フロント周辺の勾配を急峻にすることで、その周辺や暖水上の対流不安定の活発化に影響することを示している。実際、二つのモデル降水量を比較すると、長江希釈水は SST フロント南側における降水量の増大に寄与している。

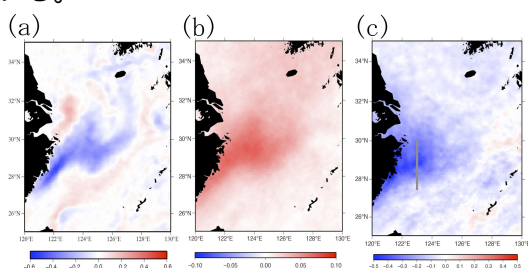


図4 WRF を用いた双子実験から得られた5月の(a)海上風、(b)海面気圧、(c) EPT の気候学的月平均差。単位はそれぞれ、m/s, hPa, °C。

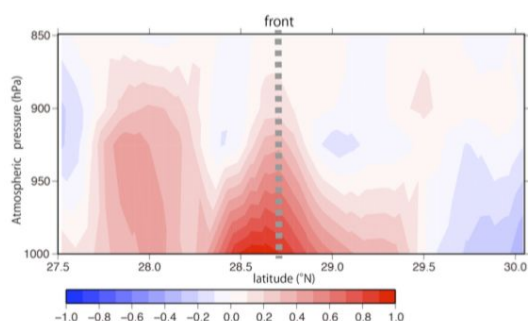


図5 二つのモデル run から得られた5月における相当温位の月平均差の鉛直断面図(図4c グレーライン)。単位は°C。点線は水温フロントの位置を示す。

(3) 以上の結果をまとめる。本研究では、夏季の東シナ海において、海洋上層の成層構造の決定に対する長江希釈水のインパクトを海洋循環モデルを用いて調べた。その結果、陸棚の広い範囲で、長江希釈水の存在に起因した夏季 SST の低下を確認することができた。これは、冬季に中国沿岸において、長江希釈水の流入に起因して形成された水温逆転層内の低水温塊が、夏季の北東向きのモンスーンによって輸送された結果である。これら一連の成果は、これまででない全く新しい知見であり、アメリカ気象学会の *Journal of Physical Oceanography* に詳細な内容が掲載

されている (Kako et al., 2016)。また、領域大気モデルを用いた感度実験からは、長江希釈水に起因した SST の低下がフロント周辺の温度勾配をより急峻にすることで暖水側の対流不安定を強化し、降水量の増加に寄与することが示唆された。上述したように、長江希釈水が SST の変化に対してプラスにもマイナスにも作用することを考慮すれば、その大気への作用は複雑なものとなり、直上やフロント周辺への影響のみに留まらず、領域的な気象への波及効果も期待することができる。

<引用文献>

Carton, J.A., 1991: Effect of seasonal freshwater flux on sea surface temperature in the tropical Atlantic Ocean. *J. Geophys. Res.*, **97**, 12593-12598.

Chang, P.-H., and A. Isobe, 2003: A numerical study on the Changjiang diluted water in the Yellow and East China Seas. *J. Geophys. Res.*, **108**, NO. C9, 3299, doi:10.1029/2002JC001749

Hirose N., K. Takayama, J.-H. Moon, T. Watanabe, and Y. Nishida., 2013: Regional data assimilation system extended to East Asian marginal seas. *Umi to Sora (Sea and Sky)*. **89**. 43-51.

Kako, S., A. Isobe, and M. Kubota, 2011: High resolution ASCAT wind vector dataset gridded by applying an optimum interpolation method to the global ocean. *J. Geophys. Res.*, **116**, D23107, doi: 10.1029/2010JD015484.

Kako, S., T. Nakagawa, K. Takayama, N. Hirose, and A. Isobe (2016): Impact of Changjiang River Discharge on Sea Surface Temperature in the East China Sea. *J. Phys. Oceanogr.*, Vol. **46**, 1735-1750. DOI: 10.1175/JPO-D-15-0167.1.

Kim, H.-C., H. Yamaguchi, S. Yoo, J. Zhu, K. Okamura, Y. Kiyomoto, K. Tanaka, S.-W. Kim, T. Park, I. S. Oh, and J. Ishizaka, 2009: Distribution of Changjiang diluted water detected by satellite chlorophyll-*a* and its interannual variation during 1998- 2007. *J. Oceanogr.* **65**, 129-135.

Sprintall, J., M. Tomczak, 1992: Evidence of the barrier layer in the surface-layer of the tropics. *J. Geophys. Res.* **97**, 7305-7316.

Wallace, J. M., T.P. Mitchell, and C. Deser, 1989: The influence of sea surface temperature on surface wind in the eastern equatorial Pacific: Seasonal and interannual variability. *J. Climate*, **2**, 1492-1499.

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2件)

Shin'ichiro Kako, Tomofumi Nakagawa, Katsumi Takayama, Naoki Hirose, and Atsuhiko Isobe (2016): Impact of Changjiang River Discharge on Sea Surface Temperature in the East China Sea. *Journal of Physical Oceanography*, Vol. **46**, 1735-1750. DOI: 10.1175/JPO-D-15-0167.1. (査読有)

加古真一郎・中川智文・高山勝巳・広瀬直毅・磯辺篤彦 (2015): 長江希积水が東シナ海の海面水温変動に与える影響、水産海洋研究、79巻3号、159-161 (査読無)

〔学会発表〕(計1件)

中川智文・加古真一郎・高山勝巳・広瀬直毅・磯辺篤彦 (2015年9月26日): 長江希积水が励起する夏季東シナ海の大気応答、日本海洋学会秋季大会、愛媛大学 (愛媛県松山市)

〔図書〕(計1件)

磯辺篤彦・中村啓彦・岩崎慎介・郭新宇・吉江直樹・広瀬直毅・加古真一郎 (2016): 沿岸・縁辺海および日本南岸の大気海洋相互作用 (気象研究ノート) 日本気象学会、印刷中

〔産業財産権〕

出願状況 (計0件)

取得状況 (計0件)

〔その他〕

ホームページ等

http://oce.kagoshima-u.ac.jp/~kako/Kako_Lab./Welcome.html

6. 研究組織

(1)研究代表者

加古真一郎 (Kako Shin'ichiro)

鹿児島大学理工学域工学系・助教

研究者番号: 60709624