

令和 2 年 4 月 14 日現在

機関番号：17701

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K13006

研究課題名（和文）長江希釈水が九州・中国地方周辺における集中豪雨の発生・発達に与える影響

研究課題名（英文）Impact of the Changjiang River discharge on torrential rainfall events over Kyushu

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） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、海洋循環モデルと領域大気モデルを用いた双子実験と感度実験により、長江希釈水が九州・中国地方周辺における集中豪雨の発生・発達に与える影響について調べた。その結果、長江希釈水の流入に起因した東シナ海南部の海面水温の低下が、中国・九州地域周辺の集中豪雨に対して有意な影響を与えることが明らかとなった。海面水温が低下するにも関わらず、降水量が増大する要因は、その低下に起因した風速場の変動により水蒸気フラックスの収束・発散場が大きく変動することにある。

研究成果の学術的意義や社会的意義

東シナ海への長江からの淡水流入をテーマにした既往研究は、ほとんどが塩分、海色・濁度、生態系への影響を議論しており、Kako et al. (2016)で示されたような長江希釈水に起因した水温分布の形成・変動過程が、その直上の大気に与える影響や、集中豪雨などの激甚災害に与えるインパクトへの言及は皆無であった。本研究は数値実験を通して、長江希釈水が夏季東シナ海陸棚域の海面水温を低下させ、その水温低下によって励起される東シナ海上の大気応答が、集中豪雨の発生・発達に対し、統計的な有意性が見出される程度に寄与することを初めて示した。これらの成果は、国内外の主要な学会で発表した。

研究成果の概要（英文）：This study investigated the effects of the Changjiang River discharge (CRD) into the East China Sea (ECS) with regard to sea surface temperature (SST) and related atmospheric changes (such as torrential rainfall events) using the ocean general circulation model (OGCM) and regional climate model. Twin experiments, using a regional climate model with and without CRD used for the lower boundary conditions, revealed that the decrease in the SST dependent on the CRD contributes to the substantially increased precipitation in extreme events such as the one observed in July 2009 over Kyushu. This is because the change in SST related to the CRD significantly affects the field change of the moisture flux convergence. These results suggest that CRD significantly influences both ocean and atmosphere circulation systems over the ECS.

研究分野：海洋物理

キーワード：長江希釈水 領域大気モデル 海洋循環モデル 水蒸気フラックス 双子実験 感度実験

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

Kako et al. (2016) によると、東シナ海への淡水流入の大部分を占める長江からの淡水流入は（以下、長江希釈水）次のようなメカニズムで夏季東シナ海陸棚域の海面水温を広い範囲で低下させる。冬季においては、長江希釈水が中国沿岸域に流入することで、成層構造が強く、浅い混合層が形成され、当該海域の鉛直対流が抑制される。その結果、冬季の季節風などに起因した熱放出は混合層内に限られ、表層のみが低温化する。しかしながら、混合層水温の低下による高密度化は、低塩分水の存在により成立せず、最終的には水温逆転層が形成される。この低温・低塩分水は、夏季のモンスーンによって、陸棚中央部まで東進し、季節を超えて東シナ海の低温化に寄与する。春から夏季にかけて、最大で 1.5 °C、東シナ海の海面水温を低下させる (Kako et al., 2016) 長江希釈水の存在が、直上の潜熱・顕熱さらには大気境界層の変化に影響し、大気の移流過程を通して周辺の大気境界層や傾圧性をも変えることは十分に起こり得る。実際、日本海では、植物プランクトンの増殖による海色変化に起因した海面水温の上昇が、日本南岸の低気圧の強さに影響することが示されている (Isobe et al., 2014)。また、中国・九州地方周辺で梅雨末期に集中豪雨が頻繁に発生する要因は、東シナ海の海面水温の季節的な昇温に起因することも明らかとなっている (Manda et al., 2014)。しかしながら、東シナ海への長江からの淡水流入をテーマにした既往研究は、ほとんどが塩分、海色・濁度、生態系への影響を議論しており、上記のような水温分布の形成・変動過程が励起する大気応答や集中豪雨などの激甚災害に与える影響への言及は皆無と言ってよい。

2. 研究の目的

本研究は、領域大気モデルと海洋循環モデルを用いて、長江希釈水が九州・中国地方周辺の集中豪雨の発生・発達に与える影響を明らかにする。

3. 研究の方法

(1)本研究では、Kako et al. (2016)と同様の海洋循環モデルを用いた。このモデルは、九州大学応用力学研究所によって開発された Data assimilation Research of the East Asian Marine System (DREAMS; Hirose et al., 2013)である。本研究では、再解析データ (JRA25 と GPV) を大気境界条件として、1980 年の 1 月 1 日から 2016 年 12 月 31 日までこのモデルを駆動した (Kako et al., 2016 から 6 年計算を延長した)。長江からの淡水流入量は、the Ministry of Water Resources of the People's Republic of China のデータを使用した (MWR 2011)。DREAMS の空間解像度は緯度方向に 1/12 °、経度方向に 1/15 °、時間解像度は 1 日である。このモデルを用いて、長江からの淡水流入がある場合 (標準実験) とない場合 (無河実験を行い) の双子実験を行い (全 72 ケース) そこから得られた海面水温を領域大気モデルの下部境界条件として用いた。数値モデルの精度評価は、人工衛星データとの比較により、Kako et al. (2016)によって既に成されている。

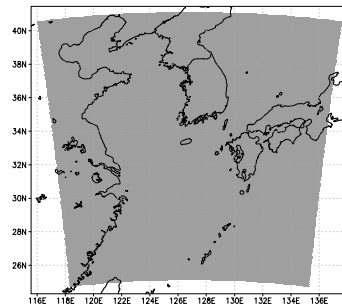


図 1 WRF の計算領域

(2)長江からの淡水流入が大気に与える影響を調べるため、領域大気モデルを用いた数値実験を行った。使用した領域大気モデルは、Weather Research and Forecast (WRF) ver. 3.8 である (空間解像度 9km)。計算領域を図 1 に示す。このモデルの大気境界条件には米海洋大気局により提供されている NCEP FNL operational global analysis data を用い、下部境界条件となる海面水温には、上述の DREAMS の出力結果を与えた。WRF の精度評価は、気象庁から提供されている Automated Meteorological Data Acquisition System (AMeDAS) を用いて行った。

(3)集中豪雨の発生・発達に対する長江希釈水の影響を調べるために、WRF の側面の大気境界条件を固定し、下部境界条件のみを変化させる感度実験を行った。本実験では、激甚災害に指定された平成 21 年中国・九州北部豪雨を気象事例とし、感度実験を行った。この実験では、大気の状態を 2009 年のままとし、下部境界条件である海面水温 (標準・無河実験から得られたもの) を 1981-2016 年のものに変化させ、降水量がどのように変わるのかを確かめた。

4. 研究成果

(1)図 2 に、当該気象事例において、九州北部での雨量が最大となった 7 月 24 日における Radar AMeDAS と WRF から得られた日積算雨量を示す。Radar AMeDAS の観測結果 (図 2a) と比べると、WRF で再現された集中豪雨 (図 2b) は、全体的に過小評価であるものの、帯状の集中豪雨を再現するなど、定性的には良くその特徴を捉えている (過小評価の要因は、DREAMS の海面水温が衛星と比べて過小評価であることに起因する)。故に本研究では、このモデルを用いて長江希釈水の

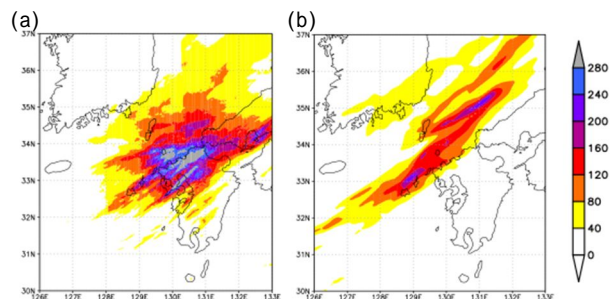


図 2 2009 年 7 月 24 日の日積算雨量。(a)Radar AMeDAS (b)WRF。単位は mm/day。

存在が集中豪雨に与える影響を調べた。

(2) 図3は、標準・無河実験、それぞれ36ケースの感度実験から得られた7月24日の日積算雨量の全平均値である。この図からわかるように、標準実験は、無河実験と比べて降水量が多くなり、長江希釈水が降雨量の決定に対して寄与していることがわかる。より詳細に長江希釈水の効果を調べるために、感度実験(標準・無河実験)から得られた図3赤枠内の降水量の変化の比較を行った。図には示さないが、海面水温を変えるだけで、大気境界条件が全く同じでも、日積算雨量の最大値に400mm/day程度の違いが現れることがわかった。これは、東シナ海海面水温の状態が九州・中国地方周辺における降水量の主要な決定因子であることを示している。

(3) 次に、九州・中国地方周辺における降水量の決定に対してインパクトを持つ海域を調べるために、図3赤枠内の日積算降水量と海面水温の感度実験毎の変化の相関係数を各モデル格子において求めた。その結果を、図4に示す。この図は、90%の信頼限界で相関係数が有意な海域のみに色をつけているが、標準・無河実験共に、東シナ海の南部に特に有意な負の相関係数が現れることがわかる。これは、東シナ海南部の海面水温の低下に伴って、集中豪雨時の雨量が増大することを示す。

(4) 海面水温が低下するにも関わらず、降水量が増加する要因を調べるため、感度実験の結果を降水量が多いケース(降水量が、平均値 + 標準偏差よりも多い場合)と少ないケース(降水量が、平均値 - 標準偏差よりも少ない場合)に分け、各ケースにおける潜熱等の物理量のコンポジット平均値を求めた。図5および6は、長江からの淡水流入を考慮した場合の感度実験から得られた海面水温と潜熱のコンポジット平均値である(雨量が最大であった7月24日の日平均値。以下、全ての図で同様。また、長江からの淡水流入を考慮しない場合でも定性的には同様の結果であるので、標準実験の結果のみを示す)。この図からわかるように、集中豪雨が強化されるケースでは(図5)海面水温の低下に伴って海洋からの熱供給が減少(負の値)する(弱化されるケースはこの逆。図6)。これは、鉛直1次元過程だけでなく、海面水温の変化に起因した大気場の変動が集中豪雨の強度に大きな影響を与えることを示唆している。

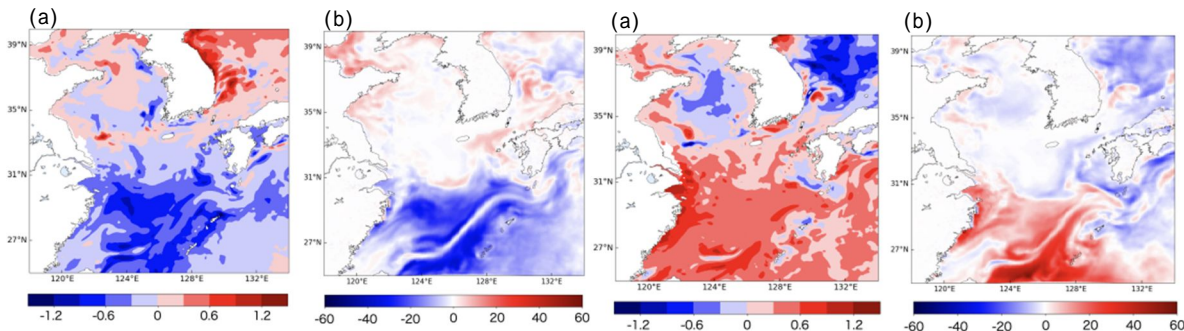


図5. 降水量が多くなるケースにおける(a)海面水温(°C)と(b)潜熱(W/m²)のコンポジット平均値

図6. 図5と同様であるが、降水量が少ないケース。

(5) 上記の結果を踏まえて、水蒸気フラックス(moisture flux: MF)の収束場をそれぞれのケースで求め、その比較を行った。MFの収束場(MFC)は、次式で表される(Sasaki and Yamada, 2017)。

$$MFC = - \frac{1}{\rho g} \int_{p_{top}}^{p_s} \left(\frac{\partial(uq)}{\partial x} + \frac{\partial(vq)}{\partial y} \right) (1)$$

ここで、 ρ は大気密度、 g は重力加速度、 q は大気比湿、 u, v は風速の東西・南北成分であり、 p_s は海面気圧、 p_{top} は100hPaと設定した。図7に示すように、MFの収束域は2つのケースで大きく異なり、降水量が多いケースでは、集中豪雨の発生域とMFの収束域がよく一致する(図2)。また、降水量が多い場合と少ない場合に分けてコンポジット平均値を計算し、その差をとると、

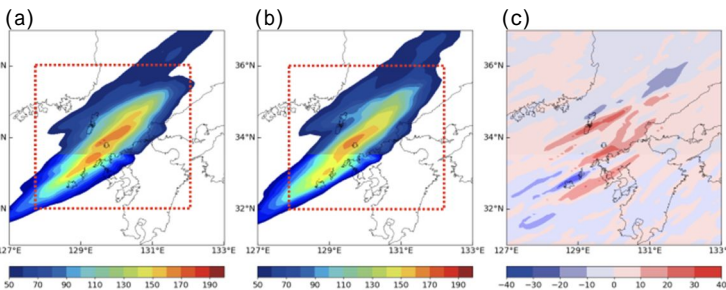


図3 感度実験より得られた7月24日の日積算雨量の平均値。(a)標準実験 (b)無河実験 (c) (a)と(b)の差。単位はmm/day。

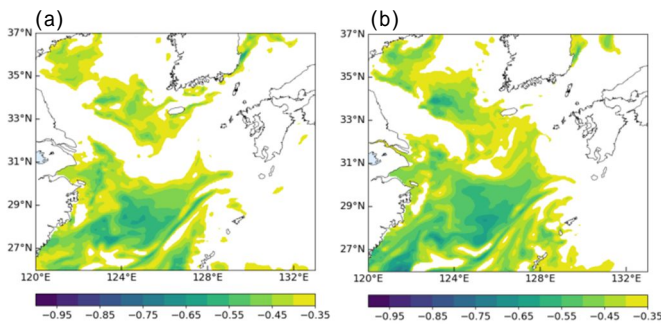


図4. 図1赤枠内の降水量変化とSSTの相関係数。相関係数が統計的に有意(有意水準5%)な海域のみに色付けしてある。負の値は、その海域のSSTが下がると赤枠内の降水量が増えことを示す。

降水量が多いケースにおける MFC の場と非常によく一致する(図 8)。つまり、この MF の収束場の変化が集中豪雨の強度に大きく影響する。式(1)を展開し、MFC に対する風速、大気比湿それぞれの寄与を調べたところ、MF の収束場は風速のそれと大きく関連する一方で、大気比湿の空間構造にほぼ依存しないことがわかった(図なし)。これは、海面水温の変化に伴った海上風の変化が、集中豪雨の強度に大きく寄与することを意味する。このような海上風の変化を説明するメカニズムとして、圧力調整メカニズムが Lindzen and Nigam(1987)によって提唱されている。また、湾岸全域におけるその重要性が、Minobe et al. (2008)によって示されている。そこで、風速場の変動要因を調べるため、Minobe et al. (2008)に倣って、海面気圧(sea level pressure; SLP)のラプラシアンを求め、MF の収束場との比較を行った。図 9 にその結果を示す。図 7 と 9 が示すように、風速の収束場と SLP ラプラシアンの空間パターンは低気圧の存在位置(黄海付近、図なし)を除いてよく一致する。これは、数日程度の時間スケールであっても、海面水温が下層大気の圧力勾配を形成し、大気を直接駆動する圧力調整メカニズムによる風速場の変化が発生することを示している。(6)以上の結果から、海面水温の変化に起因した圧力調整メカニズムによって風速場が変化すると MF の収束場が変わり、集中豪雨の強度に影響することがわかった。加えてこの事例では、集中豪雨が発生する前日に、梅雨前線が、東シナ海陸棚中央部付近に存在する(図なし)。すると、東シナ海南部の水温が高いケース(集中豪雨時の雨量が少ないケース)では、九州北部に下層大気が到達する前に大気が不安定となるため、東シナ海上(図 10; 30°N~32°N 付近)での降水量が増大し、集中豪雨時の降水量が減少する。実際、集中豪雨時の雨量が少ないケースでは、東シナ海上での降水量が多い(図 10)。以上の結果は、降水量の増減だけで、海面水温の影響を判断することが簡単ではないことを示している。事実、平成 24 年九州北部豪雨で同様の実験・解析を行なったところ、海面水温が高いケースで降水量が多く、MF よりも海洋からの熱供給の増大が集中豪雨の強化に対して重要な役割を担っていた。とはいうものの、どのケースにおいても海面水温は九州・中国地方周辺における降水量の主要な決定因子となっており、それを常に低下させる長江希釈水の存在は、集中豪雨の発生・発達に大きく寄与する。故に、本研究の成果は集中豪雨の予報精度向上のために非常に重要である。

<引用文献>

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

Isobe, A., Kako, S., Iwasaki, S. (2014): Synoptic-scale atmospheric motions modulated by spring phytoplankton bloom in the sea of Japan. *Journal of Climate*, Vol.27 7587-7602. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00277.1>

Kako, S., Nakagawa, T., Takayama, K., Hirose, N., and Isobe, A., (2016): Impact of Changjiang River Discharge on Sea Surface Temperature in the East China Sea.

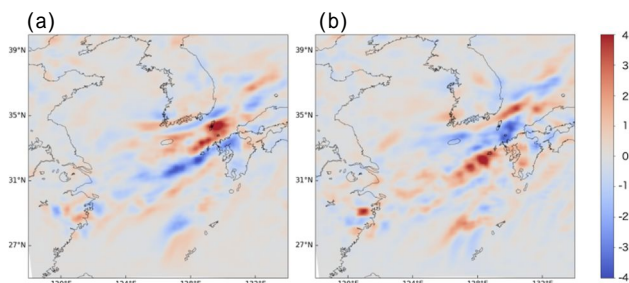


図 7. MFC アノマリーのコンポジット平均値(a)降水量が多いケース(b)少ないケース。正の値は収束を示す。単位は、 $m^2/s/kg$

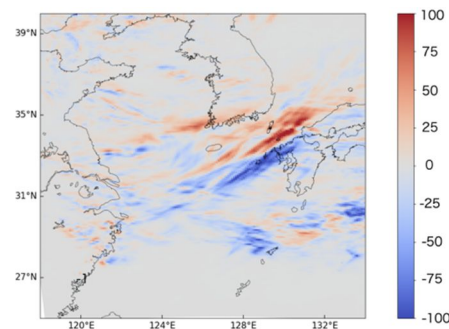


図 8. 降水量が多いケースと少なくケースにおける降水量のコンポジット平均値の差。単位は mm/day 。

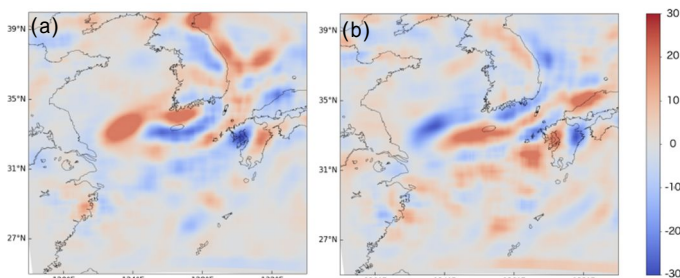


図 9. SLP ラプラシアンのコンポジット平均値のアノマリー(a)降水量が多いケース。(b)降水量が少ないケース。単位は、 $Pa/m^2 \times 10^{-9}$ 。

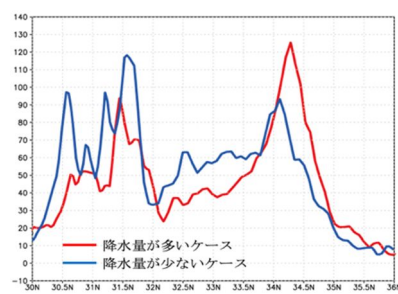


図 10. 125°E における降水量の南北断面図(30°N~36°N)。単位は mm/day 。

Journal of Physical Oceanography, Vol. 46, 1735-1750. DOI: 10.1175/JPO-D-15-0167.1.

Lindzen, R. S. and Nigam, R. S. (1987): On the role of sea surface temperature gradients in forcing low level winds and convergence in the tropics. *Journal of the Atmospheric Science* 44, 2418-2436.

Manda A et al. (2014): Impacts of a warming marginal sea on torrential rainfall organized under the Asian summer monsoon. *Scientific Reports* 4 <https://doi.org/10.1038/srep05741>

Minobe S, Kuwano-Yoshida A, Komori N, Xie SP, Small RJ (2008): Influence of the Gulf Stream on the troposphere. *Nature* 452:206- 209. <https://doi.org/10.1038/nature06690>

MWR, 2011: Chinese river sediment bulletin (2010): Ministry of Water Resources of the People 's Republic of China,80pp (in Chinese).

Sasaki, N. Y. and Yuko. Y., (2016): Atmospheric response to interannual variability of sea surface temperature front in the East China Sea in early summer. *Climate Dynamics*, 1-14, <https://doi.org/10.1007/s00382-017-4025-y>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 加古真一郎 高山勝巳
2. 発表標題 長江希积水と九州周辺で発生する集中豪雨の関係
3. 学会等名 日本海洋学会秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shin'ichiro Kako and Katsumi Takayama
2. 発表標題 Impact of the Changjiang River discharge on sea surface temperature in the East China sea and torrential rainfall events over Kyushu
3. 学会等名 20th Pacific Asian Marginal Seas (PAMS 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加古真一郎・有留晴香・高山勝巳
2. 発表標題 長江希积水が平成21年7月中国・九州北部豪雨に与えた影響
3. 学会等名 日本海洋学会秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 長江希积水が平成21年7月中国・九州北部豪雨に与えた影響
2. 発表標題 有留晴香・加古真一郎・高山勝巳
3. 学会等名 鹿児島県気象研究会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----