

令和 6 年 5 月 29 日現在

機関番号：82706

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K14560

研究課題名（和文）海大陸における対流活動に対する日周期大気海洋相互作用の役割の解明

研究課題名（英文）Role of the subdaily air-sea interaction on the convection over the Maritime Continent

研究代表者

Zhao Ning（趙寧）（Zhao, Ning）

国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境部門（大気海洋相互作用研究センター）・研究員

研究者番号：10823130

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）：本研究は海大陸における対流活動に注目し、大規模な大気現象による大気及び海洋の日周期変動メカニズムとその中に大気海洋相互作用の役割を明らかにすることを目的とし、観測・再解析データと高解像度な領域数値モデルによって、研究を行った。その結果、海大陸における対流活動が海陸風と海面での蒸発に依存するため、大規模大気変動に伴う風場の変動と地形の影響によって、日周期対流活動が活発・抑制されたことが明らかとなった。更に、大気海洋結合モデルに基づく感度実験を行い、大気海洋相互作用が昼間の蒸発を活発化させて、対流活動を強化したことも明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

海大陸における活発な大気海洋相互作用による生じた対流活動が全球の大気循環に影響を及ぼす。その対流活動と大気海洋相互作用の役割の理解を深めると、局域ではなく日本を含む全球規模の大気変動の再現性と予測改善が期待される。本研究では、観測と数値実験両方を用いて、海大陸における対流活動が大規模大気変動に対する新たな応答メカニズムを提唱し、対流活動の変動に対する大気海洋相互作用の役割も定量的に評価した。これらの知見は、我々が大気海洋相互作用に対する理解を深化できるとともに、現業の気候モデルと予報モデルの改善に貢献するものである。

研究成果の概要（英文）：This study was conducted to evaluate the responses and related mechanisms of the diurnal atmospheric and oceanic variations in the Maritime Continent (MC) region to the large-scale atmospheric processes. With the help of observational data and high-resolution numerical models, the role of diurnal air-sea interaction in those processes was also evaluated. Results show that the large-scale processes could greatly influence the diurnal variations in the MC region by changing the background wind fields, which modulated the land-sea breeze and the evaporation at the sea surface, while the topography could also play a role according to the background wind direction. Furthermore, based on the sensitivity experiments using regional atmospheric model and a coupled atmosphere-ocean model, results suggest that the air-sea interaction could enhance convective activities via the enhanced surface evaporation during the daytime.

研究分野：大気水圏科学関連

キーワード：大気海洋相互作用 日周期変動 対流活動 海大陸 大気海洋結合モデル 領域気象モデル

1. 研究開始当初の背景

世界中で最も高い海面水温を持つ海大陸では、多い降水量と共に、海からの熱が大気中に積放され、全球の大気循環を駆動している。その中でも最も顕著な大気現象は、マッデン・ジュリアン振動(MJO)と寒気吹き出し(CS)など季節内変動と、日周期対流システムである。しかしながら、現業の気候モデルや数値予報モデルでも、海大陸における季節内変動による対流活動や降水量の日変化に対する、系統的な誤差を持つことが指摘されている。そして、海大陸における対流活動をより現実に近い形で再現するためには、対流活動の直接解像(高解像度モデル)の他、海面水温(SST)の日内変化が重要である。但し、SST及びSSTに繋がる海洋の上層は季節内周期や日周期対流システムによってどう変化するのか、まだ不明瞭である。さらに、どのような日内周期の大気海洋相互作用により海と大気が連動しているのか、その相互作用がいつ、どの程度まで(いわゆる、定量的)大気と海洋の変動に影響を及ぼすのか未知である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、これまで海大陸で行った集中観測により得られた観測データ、再解析データと雲や対流を直接解像できる大気海洋結合モデルに基づいて、図1に示されたように、海大陸における季節内変動による大気及び海洋の応答とメカニズムを解明し、海洋上層の変動と大気の対流活動に対する日内周期の大気海洋相互作用を定量的に評価する。更に、本研究は深い海洋と浅い縁辺海における応答過程が異なることが予想され、地域依存性を検討する。

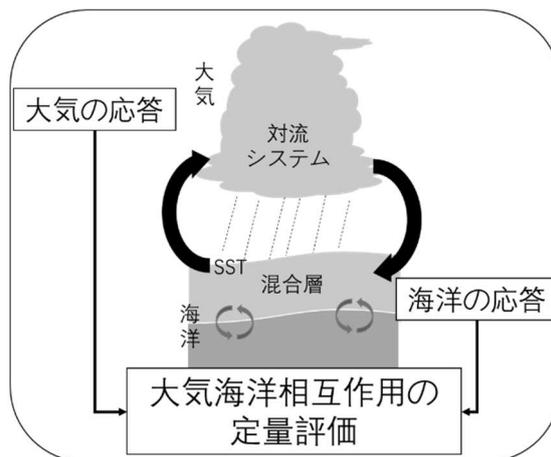


図1. 本研究のイメージ

3. 研究の方法

(1) 本研究では、まず海大陸における観測キャンペーン(Pre-YMC 2015)にスマトラ島ベンクルでの強化観測に得られたデータと高解像度な領域モデル(WRF)を用いて、MJOが通過する前後の日周期対流活動の依存性を調べた。本研究では、再解析データERA5と衛星プロダクトOISSTを初期条件と境界値として、2015年11月29日から2015年12月23日までモデルを駆動した。

(2) 次は、ERA5とOISSTに加えて、本研究は2021年2月に行った寒気吹き出し観測キャンペーン(YMC-CSO)に得られたデータを利用し、2021年1月から3月までの間に発生した7回の赤道を超えた寒気吹き出し事例を抽出し、熱収支に基づいて、海面水温の変化とその要因を調査した。その後、大気海洋結合モデル(COAWST)を用いて、大気海洋結合頻度の感度実験を行い、対流活動と海洋上層の変動メカニズムを調べ、大気海洋相互作用の役割を定量的に評価した。

4. 研究成果

(1) MJOによる日周期対流活動の変質

まず、観測に得られたラジオゾンデ、地上観測及び雨量計のデータを解析し、MJO活発期前後大気構造及び日周期降水を調べた。図2aとbに示されたように、MJOが通過する前後に、日周期対流活動の指標となる降水量のピークが午後から朝及び深夜に変わった。そして、日周期対流のトリガーである海陸風が弱くなって、ピークの発生時刻も遅れた。その後、レーダー及び衛星観測データを用いて、スマトラ島全域における降水を調べた。結果によると、MJO活発期に、午後

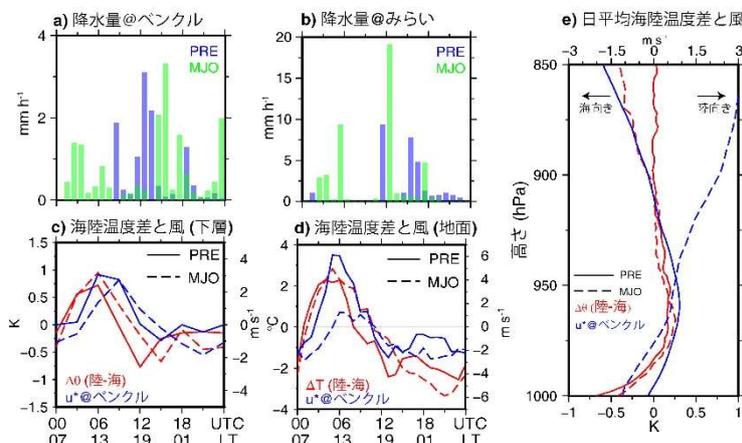


図2. MJO活発期前後(PREとMJO)にスマトラ島ベンクルと観測船みらいに観測された大気と海洋の日周期変動

テムの発達も2、3時間遅れ、強さも弱くなった。また、深夜に山岳の東側の内陸域で発達する対流も消えた。つまり、MJOが活発期にスマトラ島の日周期対流活動が弱化される傾向が明らかとなった。

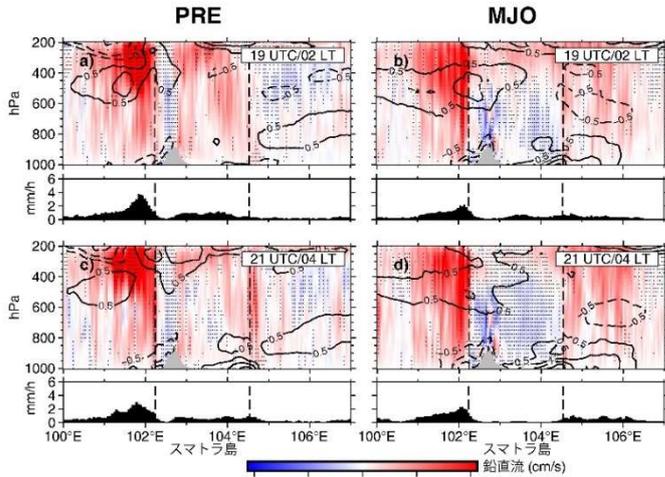


図 3. 数値モデルで得られた深夜の鉛直相関（上：色）と降水量（下：棒グラフ）

ズムについて調べた。結果によると、MJOの活発期に伴う強い西風が、スマトラ島における山脈によるブロッキングの影響で、午前中に沖向きの風偏差が生じた。その偏差によって、昼間の対流活動のトリガーとなる海風を弱化した。更に、観測及びモデルのデータに基づいて、理論的に考察し、大気不安定となるMJO活発期でも、山脈によるブロッキングが存在していることを確認した。一方、深夜の下降流の要因はMJO期に増えた層状雲の真下に生じた蒸発冷却であることが明らかとなった。本研究に発見された海陸風の弱化と下降流の要因である西風と増える層状雲が、MJO期によく見られる現象であるため、他のMJO事例でも同様な現象が存在していることが示唆されている。

(2) 寒気吹き出しによる対流活動と海洋の変質

観測キャンペーン期間中に複数の寒気吹き出しによる海洋の変質を把握するため、再解析データに基づいて海面水温の変化とその要因を調査した。図4に示されたように、北緯10度付近における海面水温偏差と寒気吹き出し（負の海面熱フラックス）の間に高い相関を持つことが確認され、寒気による海面水温の低下とその回復過程が見られた。ただし、図には示さないが、スマトラ島とジャワ島周辺の赤道域では、そのような高い相関が見られなかった。一方、寒気吹き出しに対する対流活動の応答を調べるため、領域気象モデルを用いて、寒気吹き出し期間中に発生したジャワ島における豪雨事例に注目し、再現実験を行った。しかし、衛星観測及び現地得られたデータと比較すると、再現されなかった事例があった。また、日毎の衛星海面水温プロダクトで駆動したモデルが対流活動の日内変動をよく再現していないことは確認された。

良い再現性を得るため、そして大気と海洋の応答メカニズムを調べるため、前述の気象モデルの結果に加えて、高解像度な大気海洋結合モデルを構築し、感度実験を行った。図5に示されたように、高頻度の気象海洋結

対流システムの応答メカニズムを解明するため、雲を直接解像できる高解像度な領域気象モデルに基づいて解析を行った。結果によると、MJOによるスマトラ島周辺の洋上での活発な対流活動が、スマトラ域における大気の安定性を強化し、海陸風を弱めることを分かった。そして、昼から山岳域に発達すべき対流システムがMJOの前より弱くなって、発生時刻も数時間遅れた。一方、MJO活発期の深夜には、スマトラ島の内陸部では下降流が支配しているため（図3）、深夜に発達すべき陸上の対流システムが抑制されたことが明らかとなった。

さらに、本研究は海陸風の変質と深夜の下降流に注目し、そのメカニ

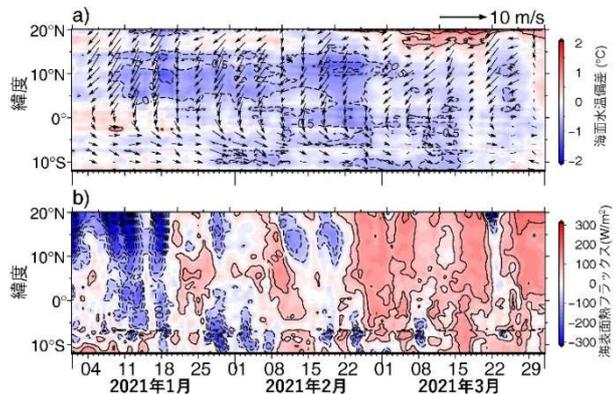


図 4. 海面水温偏差と海面熱フラックスの緯度・時間

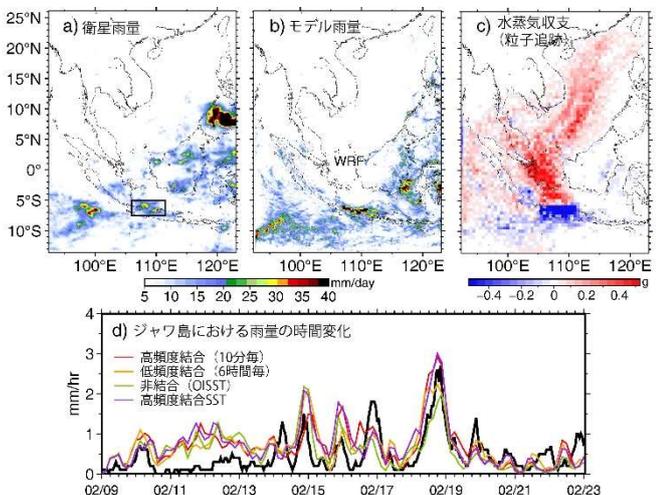


図 5. 衛星観測とモデルによる降水分布と粒子追跡実験に基づく水蒸気収支

合モデルが一番高い再現性を持っていることが明らかとなった。更に、粒子追跡モデルを利用することで、南シナ海における北緯 10 度より南の海域とスマトラ島東側の海域が豪雨に多くの水蒸気を貢献したことが明らかとなった。また、水蒸気収支診断式に基づいて、CS 期間中では日内周期を持つ大気海洋相互作用が昼間の蒸発を活発化させて、豪雨を強化したことを解明した。

(3) 当初予測していなかった新たな知見

現場観測、衛星 SST プロダクト及びモデルに得れた SST を比較すると、海大陸における衛星プロダクトには低温偏差があることが確認された。それをヒントに、衛星 SST プロダクトの不確実性に関する国際共同研究を展開した。極端な高水温事件（いわゆる、海洋熱波）に注目し、過去の研究によく使われた衛星プロダクト間の違いを調べた。そして、データ間の違いが SST の分布や海洋熱波に対する影響を定量的に評価した。その結果、低温偏差は衛星に搭載されたセンサーや内挿手法などの影響によるものであることが明らかとなった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Zhao N., Wu P., Manda A., Guo X., Wang B.	4. 巻 50
2. 論文標題 Moisture Sources of the Tohoku Heavy Rainfalls in August 2022 and the Influences of Tropical Storms	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2023GL104166	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Seiki Ayako, Nagano Akira, Zhao Ning, Ueki Iwao, Yokoi Satoru	4. 巻 19
2. 論文標題 Diurnal SST Warming and the Boreal Summer Intraseasonal Oscillation in the Philippine Sea: Contrasts between Early and Late Summer	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 SOLA	6. 最初と最後の頁 289 ~ 297
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2151/sola.2023-038	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Zhang Xuewei, Zhao Ning, Han Zhen, Dai Zhijun	4. 巻 5
2. 論文標題 Large spread in marine heatwave assessments for Asia and the Indo-Pacific between sea-surface-temperature products	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Communications Earth & Environment	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s43247-024-01369-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Zhao Ning, Wu Peiming, Yokoi Satoru, Hattori Miki	4. 巻 150
2. 論文標題 Why Does Convection Weaken over Sumatra Island in an Active Phase of the MJO?	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Monthly Weather Review	6. 最初と最後の頁 697 ~ 714
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1175/MWR-D-21-0251.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 Ning Zhao, Peiming Wu, Atsuyoshi Manda, Xiaojun Guo, Bin Wang
2. 発表標題 Moisture sources of the record-breaking heavy rainfalls over Tohoku region in August 2022
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2023年大会（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kunio Yoneyama, Satoru Yokoi, Ning Zhao, Peiming Wu, Goosaku Moteki, Takanori Horii
2. 発表標題 Some indications of key components for the MJO and relevant phenomena over the Maritime Continent from the recent field observations
3. 学会等名 WWRP/WCRP S2S Summit 2023（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ning Zhao, Peiming Wu, Atsuyoshi Manda, Xiaojun Guo, Bin Wang
2. 発表標題 Moisture Sources of the Record-breaking Heavy Rainfalls Over Tohoku Region in August 2022
3. 学会等名 20th Annual Meeting Asia Oceania Geosciences Society（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 清木亜矢子、永野憲、趙寧、植木巖、横井寛
2. 発表標題 フィリピン海における海面水温の日周期変動と北半球夏季季節内振動との関係
3. 学会等名 日本気象学会2023年度秋季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ayako Seiki, Akira Nagano, Ning Zhao, Iwao Ueki, Satoru Yokoi
2. 発表標題 Diurnal SST Warming and the Boreal Summer Intraseasonal Oscillation in the Philippine Sea: Contrasts between Early and Late Summer
3. 学会等名 AMS annual meeting 2024 (国際学会)
4. 発表年 2023年～2024年

1. 発表者名 Ayako Seiki, Akira Nagano, Ning Zhao, Iwao Ueki, Satoru Yokoi
2. 発表標題 Diurnal SST warming and the boreal summer intraseasonal oscillation in the Philippine Sea
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2023年大会 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ning Zhao, Peiming Wu, Miki Hattori
2. 発表標題 Why Does Convection Weaken Over Sumatra Island in an Active Phase of the Madden-Julian Oscillation?
3. 学会等名 AGU 2021 Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021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
---------	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
中国	江蘇科技大学	華東師範大学	上海海洋大学	