

令和 6 年 6 月 20 日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H04248

研究課題名(和文) 全球雲解像モデルNICAMを用いた地球規模水循環の新描像確立と将来予測

研究課題名(英文) Conceptual advance and future projection of global water circulation by global cloud resolving simulations with NICAM

研究代表者

荻野 慎也 (Ogino, Shinya)

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)・主任研究員

研究者番号：80324937

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,500,000円

研究成果の概要(和文)：地球の気候とその変動において重要な役割を果たす沿岸降水の卓越メカニズムを明らかにすることを目的として、沿岸降水を現実的に再現可能な全球雲解像モデルNICAMを用いた現在気候と将来気候実験を行い、得られたデータを様々な時間スケールに分解して解析することを試みた。その結果、日周期で変動する沿岸降水は、現在と地球温暖化時では異なることや、そこから発生する波動が熱帯大気の全球的変動現象に影響していることなど、地球の気候の理解やその将来予測において基礎となる知見を提示することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地球温暖化の進む中で、極端な降水の増加が大きな関心を集めている。本研究では、激しい降水をもたらす沿岸降水の日周期変動が現在と将来とで変化する可能性を指摘した。人口の集中する沿岸域における激しい降水の将来予測をさらに精密に行うための重要な知見を提示するものである。また、日周期沿岸降水を起源とする大気波動が成層圏にまで伝播し全球的な大気振動現象をも引き起こすことを示した研究結果は、沿岸域の地表付近に局在する現象とするこれまでの認識を変革する、学術的にも重要なものである。

研究成果の概要(英文)：With the aim of clarifying the dominant mechanism of coastal precipitation, which plays an important role in global climate and its variability, present-day and future climate experiments were conducted using NICAM, a global cloud-resolving model that can realistically reproduce coastal precipitation, and the obtained data were analyzed at various time scales. As a result, we were able to present fundamental findings for understanding the Earth's climate and predicting its future, such as the fact that diurnally varying coastal precipitation is different between the present and warming climate, and that the waves generated from it affect the global variability phenomena in the tropical atmosphere.

研究分野：大気科学

キーワード：NICAM 全球水循環 沿岸降水

1. 研究開始当初の背景

地球において水は、相変化に伴う加熱・冷却を介して大気大循環に本質的な役割を果たす。水蒸気がどこで生じ、どのように運ばれ、どこで雨となって大気を加熱するか(水循環)は、地球の得た太陽エネルギーが宇宙空間へと戻るまでのエネルギー循環の主要な過程の一つであり、地球の気候とその変動を理解するために重要である。

これまでの地球規模の水循環の理解は以下のものであった。海では蒸発量が降水量に勝り、陸では逆である。海で過剰な水蒸気が陸に運ばれ雨となって落ち、河川を通して海に戻る。1970年代に初めて示されて以来、この海陸2領域水循環の認識は変わっていない。現在では、将来の温暖化した気候の下でこの水循環がどのように変化するか調べられ、将来の水資源確保や治水などの対策立案のための基礎的な知見とされようとしている。

この2領域水循環では、水蒸気の輸送は海陸の境界である海岸線上でのみ評価される。それに対し、本研究の研究代表者は、海岸線上だけでなく遠洋から内陸に至る1次元座標上で連続的に水蒸気輸送量を見積もる研究を行った。その結果、陸に運ばれると考えられていた水蒸気の内、半分以上は陸の入り口である沿岸部(海岸線から数100kmの狭い領域)で雨となって消費され、内陸まで運ばれるのは残りの半以下であることが明らかとなった。これは沿岸域に卓越する降水が海から陸へ輸送される水蒸気をフィルターする除湿機的作用を担っているためである。沿岸域には、海陸の境界という地理的条件に起因した降水帯が形成されており、海と陸とは別の領域であると考えべきである。この観点から研究代表者は地球規模の新たな水循環像として、外海・沿岸域・内陸の3領域水循環を提唱した。

沿岸で局地的に降水が卓越することはこれまでの多くの研究により示されているが、それらが全球的な規模で大きな影響を持つことは研究代表者が初めて示したものである。沿岸降水の総量は、地球全体の降水量の20%に達する。大気大循環の駆動源である潜熱加熱に主要な貢献をするものであり、気候の決定と変動に強く結びつくものであることが、研究分担者らにより示されている。

2. 研究の目的

沿岸降水が卓越し、それが気候へ影響し得ることが明らかとなった。しかし、沿岸域で降水が卓越するのはなぜか、この問いに対する明確な答えは現在のところ得られていない。本研究ではこの問いに答えるため、どのような現象が沿岸降水を担っているか、を明かにすることを目的とする。

沿岸降水をもたらす現象に関しては様々なケーススタディーが行われている。特に有力視されているのは、海陸の熱的コントラストに起因する日周期の海陸風循環に伴う降水である。また、同じく海陸の熱的コントラストに起因するものとして年周期のモンスーン循環に伴うものが考えられる。他に、海面と陸面との粗度の違いに起因する海岸線収束や、海岸線に沿った山脈による地形効果も重要と考えられている。様々な時間スケールの現象が関与していると考えられるが、それぞれの現象がどの程度寄与しているか、に関する定量的な研究は現在までのところなされていない。

このような沿岸降水全体に対する各現象の寄与を調べることは、現在の沿岸降水がどのようなメカニズムで維持されているかを理解するために不可欠である。また、将来の気候の下で沿岸降水と水循環が変動した場合に、その変動の原因を理解するためにも必要である。

本研究の目的は、先述の学術的「問い」に対する答えを導くこと、さらにその答えを踏まえ、将来の気候条件における水循環を明らかにすることである。具体的には以下の2つである。(1)新たな水循環像の確立: 海から陸への水蒸気輸送がどのような現象によってもたらされているか、具体的には、平均場、年周期のモンスーン、日周期の海陸風、それ以外、のそれぞれが全体の輸送量に対して、どこでどの程度寄与しているかを定量的に明らかにする。(2)水循環の将来予測: 将来の気候の下での沿岸降水の挙動を記述し、将来気候における熱的強制力の大きさを定量的に求める。それとともに、全球の海陸水循環における沿岸域の働きが現在気候からどのように変化するかを明らかにする。

3. 研究の方法

本研究では、上述の目的を達成するために、以下のことを明らかにする。(1)陸向きに輸送される水蒸気量を、NICAM実験データを用いて平均場、年周期、日周期、それ以外(季節内変動成分等)による輸送量に分割し、それぞれの現象が海岸線からの距離に対してどこで何割を担っているかを明らかにする。これにより、現在気候の下での海陸水循環がどのような現象により支配されているかが明らかとなり、海陸水循環の理解が確立する。(2)温暖化した将来気候の下で、沿岸降水量が全球の何%に変化するかを明らかにする。その潜熱加熱率を求め、大気大循環に対するインパクトを明らかにする。現在気候の研究で調べた各現象の寄与がそれぞれどのように変化するかを明らかにし、将来の沿岸降水と水循環の変化の原因を明らかにする。

まず、NICAMによる現在気候の再現実験および将来気候の予測実験を行う。いずれの実験に

においても計算の基本的な設定は、現在進行中の高分解能モデルによる気候計算比較実験 HighResMIP に使用されているものに準ずる。ただし、本研究の特性から、以下の2点が異なる計算を行う。HighResMIP では空間3次元のデータは6時間間隔でしか保存しないが、本研究は日周期成分を解析することが不可欠であるため、全てのデータを1時間間隔で保存する。また、本研究では気候学的な(長期平均の)描像を調べることが目的であるため、過去の現実の外部条件または将来の気候シナリオに基づく数十年間の数値積分は行わず、外部条件は気候値平均した季節変動を与えて3年間の積分を行う。これにより気候学的な描像を短時間の積分時間で得られると同時に、保存データ容量を小さくすることができる。

得られた1時間間隔のデータを用いて以下の解析を行う。研究代表者らがこれまでに行っものと同様の、物理量を海岸線からの距離の関数として整理する計算を行い、年間の陸向き水蒸気輸送の総量を求める。具体的には、水蒸気量と風速の積から水蒸気フラックスを計算し、その鉛直積算および時間方向に1年間の積算を行う。得られたフラックスの陸向き成分を海岸線からの距離の関数として整理する。この年間総輸送量がどのような現象により担われているかを以下で定量化する。

ついで、水蒸気量と風速のデータを周波数展開し、平均場、年周期(モンスーン)、日周期(海陸風)、それ以外(季節内変動など)に成分に分解する。それぞれの成分について上述と同じ解析を行うことにより、各成分の現象によって担われている陸向き水蒸気輸送量を算出する。結果を全輸送量と比較することで、それぞれの成分が海岸線からの距離に対してどこでどれだけ寄与をしているかを明らかにする。特に沿岸部での脱水に關与している現象が何かを明らかにするとともに、現象の力学と結びつけることで除湿のメカニズムを明らかにする

さらに、将来気候の実験結果を解析する。解析手法は現在気候で行うものと同様であり、得られた結果を現在気候と比較し、何が変化しているかを明らかにする。現在気候と沿岸降水の強度や水平スケール、除湿作用を担う現象が変化しているかどうかを調べ、変化が認められれば、変化の原因を気候場の変化に關連付けて明らかにする。

4. 研究成果

まず、NICAMによる現在気候の再現実験および将来気候の予測実験を行なった。また、実験結果の解析を行うために、計算環境と解析環境の整備を行った。時間・水平方向ともに高分解能のデータを保存、処理するために高速で大容量のストレージシステムとワークステーションを整備した。また、モデル出力の扱いに優れ付属のライブラリにより統計解析を効率的に行うことの可能なデータ解析・可視化ソフトウェアIDLを導入した。NICAMの実験結果からは、現実的な沿岸降水の描像が見出されていることが確認できた。

次いで、NICAMによる現在気候の再現実験および将来気候の予測実験の結果および既存の客観解析データを、高分解能および大容量データを扱うために整備したストレージシステムとワークステーションを用いて解析した。その結果からは、これまでの観測データから研究代表者らが示してきた降水の沿岸卓越の描像と除湿作用の存在が明瞭に見出されていた。また、沿岸域の降水の日周期変動の解析からは、降水量、日変化の位相ともに現実と近い沿岸降水現象が再現されていることが確認された。

さらに、海岸線からの距離の関数として気象物理量を整理する解析手法を鉛直方向の各気圧面にも適用し、海岸線に直交する方向の鉛直循環構造を全球的な平均的描像として記述することに成功した。その結果、海岸線近くの海側で上昇し、海側およそ2,000 kmの距離で下降する循環構造が初めて見出された。境界層内の水蒸気は海上の方が陸上より大きく、自由対流圏ではその逆に海上の方が乾燥している、というこれまでに知られている構造が明瞭に確認された。また、海岸線近くの対流圏界面付近は他の領域より温度が低いことも新しくわかった。このことは、海岸線上空の対流圏界面では水蒸気が凝結しやすい(脱水が起こりやすい)ことを示しており、対流圏から成層圏への水蒸気輸送を理解するうえで重要な知見であり、また沿岸域に卓越する対流活動が、対流圏のみならず成層圏の気候に影響していることを示唆するものである。一方、海岸線を励起源として海岸線直交方向および鉛直に伝播する日周期の重力波をデータから抽出し運動量フラックスの解析を行った。その結果、海岸線起源の日周期重力波は成層圏にまで伝播し、地球規模で起こる東西風の交代現象(赤道成層圏準2年周期振動)の駆動において重要な役割を果たしていることが明らかとなった(Nature 誌に投稿中。 <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4444829/v1>)。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 6件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Rahman Muhammad Arif, Nugroho Devis Styo, Yamanaka Manabu D., Kawasaki Masahiro, Kozan Osamu, Ohashi Masafumi, Hashiguchi Hiroyuki, Mori Shuichi	4. 巻 11
2. 論文標題 Weather radar detection of planetary boundary layer and smoke layer top of peatland fire in Central Kalimantan, Indonesia	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	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/s41598-020-79486-6	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 Osaki Mitsuru, Tsuji Nobuyuki, Kato Tsuyoshi, Yamanaka Manabu D., Sulaiman Albertus, Silsigia Sisva, Wetadewi Rahmawati I.	4. 巻 -
2. 論文標題 Natural Capital-Based Societies in the Tropics	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Tropical Peatland Eco-Management	6. 最初と最後の頁 197 ~ 245
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/978-981-33-4654-3_6	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Kajita Ryosuke, Yamanaka Manabu D., Kozan Osamu	4. 巻 23
2. 論文標題 Reconstruction of rainfall records at 24 observation stations in Sumatera, Colonial Indonesia, from 1879?1900	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Hydrometeorology	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） 10.1175/JHM-D-20-0245.1	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 -
1. 著者名 Yamanaka, M. D.	4. 巻 -
2. 論文標題 EAR construction motivation revisited: Indonesian coastline representing earth	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. Int. Conf. on Radioscience, Equatorial Atmospheric Science and Environment and Humanosphere Science, 2021	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） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ogawa, M., M. D. Yamanaka, Awaluddin, A. Darmawan, R. Sulistyowati, A. Sulaiman and O. Kozan	4. 巻 -
2. 論文標題 X-band weather radar observations in the east coast of Sumatra: Statistical analysis of diurnal cycle of rainfall	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. Int. Conf. on Radioscience, Equatorial Atmospheric Science and Environment and Humanosphere Science, 2021	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) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nasuno Tomoe, Nakano Masuo, Murakami Hiroyuki, Kikuchi Kazuyoshi, Yamada Yohei	4. 巻 -
2. 論文標題 Impacts of midlatitude western North Pacific sea surface temperature anomaly on the subseasonal to seasonal tropical cyclone activity: case study of the 2018 boreal summer	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 SOLA	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) 10.2151/sola.2022-015	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 As-syakur Abd. Rahman, Imaoka Keiji, Ogawara Kakuji, Yamanaka Manabu D., Tanaka Tasuku, Kashino Yuji, Nuarsa I Wayan, Osawa Takahiro	4. 巻 15
2. 論文標題 Analysis of Spatial and Seasonal Differences in the Diurnal Rainfall Cycle over Sumatera Revealed by 17-Year TRMM 3B42 Dataset	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 SOLA	6. 最初と最後の頁 216 ~ 221
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2151/sola.2019-039	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 YAMANAKA Manabu D.	4. 巻 32
2. 論文標題 Interfacial, International and Interdisciplinary Studies on Maritime-Continent Peatland Controlling Global Climate	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 JOURNAL OF JAPAN SOCIETY OF HYDROLOGY AND WATER RESOURCES	6. 最初と最後の頁 189 ~ 200
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3178/jjshwr.32.189	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 Zhao Ning, Nasuno Tomoe	4. 巻 12
2. 論文標題 How Does the Air Sea Coupling Frequency Affect Convection During the MJO Passage?	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Advances in Modeling Earth Systems	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) 10.1029/2020MS002058	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

[学会発表] 計15件(うち招待講演 2件/うち国際学会 7件)

1. 発表者名 Nasuno, T.
2. 発表標題 Impacts of cloud microphysics modifications on diurnal convection and the ISO over the Maritime Continent: A case study of YMC-Sumatra 2017
3. 学会等名 Japan Geoscience union meeting 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ogino Shin-Ya, Yamanaka Manabu D., Mori Shuichi, Matsumoto Jun
2. 発表標題 Role of coastal precipitation in Asian monsoon
3. 学会等名 AsiaPEX Kick-off Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nasuno, T.
2. 発表標題 Effects of the local convection over the Maritime Continent on the large-scale: numerical study of the ISO events during the YMC 2015 and 2017 campaigns
3. 学会等名 AMOS-ICTMO 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nasuno, T.
2. 発表標題 Effects of the local convection over the western Maritime Continent on the large-scale: numerical study during the YMC Sumatra campaigns
3. 学会等名 JpGU meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 那須野 智江
2. 発表標題 YMC-Sumatra 2017期間を対象とするモデル相互比較
3. 学会等名 日本気象学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山中大学, 荻野慎也
2. 発表標題 熱帯沿岸起源重力波の成層圏準二年周期振動への寄与 (続)
3. 学会等名 日本気象学会2021年度春季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山中大学, 荻野慎也
2. 発表標題 熱帯沿岸域の海陸双方向重力波によるQB0 頑健化
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Manabu D. Yamanaka and Shin-Ya Ogino
2. 発表標題 Equatorial Coastal Diurnal Cycles Robustizing QBO
3. 学会等名 Asia Oceania Geosciences Society 18th Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Manabu D. Yamanaka and Shin-Ya Ogino
2. 発表標題 Indonesian coastlines controlling the whole Earth's atmosphere
3. 学会等名 The 2nd International Conference On Raioscience, Equatorial Atmospheric Science and Environment INCREASE 2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shin-Ya Ogino, Manabu D. Yamanaka, Shuichi Mori and Jun Matsumoto
2. 発表標題 Tropical coastal dehydrator in global atmospheric water circulation
3. 学会等名 The International Workshop on Climate, Water, Land, and Life in Monsoon Asia (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 荻野慎也, 山中大学
2. 発表標題 熱帯沿岸起源重力波の成層圏準二年周期励振に関する重要性 1. JRA-55 データを用いた沿岸重力波分布解析
3. 学会等名 日本気象学会2023年度春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山中大学, 荻野慎也
2. 発表標題 熱帯沿岸起源重力波の成層圏準二年周期励振に関する重要性 2. 海陸分布による放射対流平衡大気コントロール
3. 学会等名 日本気象学会2023年度春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 荻野慎也, 山中大学
2. 発表標題 海陸風循環起源双方向重力波による赤道成層圏準二年周期振動(QBO)頑健化: 1. 気象庁客観再解析(JRA-55)データの全赤道域解析
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2023年大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山中大学, 荻野慎也
2. 発表標題 海陸風循環起源双方向重力波による赤道成層圏準二年周期振動(QBO)頑健化: 2. 沿岸日周期定在波が超年周期を励振する意義
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2023年大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yamanaka Manabu D., Ogino Shin-Ya
2. 発表標題 Sea-Land-Breeze Bidirectional Gravity Waves Robustizing Stratospheric QBO: JRA-55 Data Analysis
3. 学会等名 Asia Oceanic Geosciences Society 20th Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2023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
研究分担者	那須野 智江 (Nasuno Tomoe) (20358766)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境部門(環境変動予測研究センター)・グループリーダー (82706)	
研究分担者	森 修一 (Mori Shuichi) (00344309)	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プログラム)・プログラム長代理 (82706)	
研究分担者	山中 大学 (Yamanaka Manabu) (30183982)	総合地球環境学研究所・研究部・特任助教 (64303)	

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
---------	---------