

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：14301

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2021～2023

課題番号：21K20449

研究課題名（和文）観測情報を用いた擬似温暖化実験手法の構築による梅雨豪雨メカニズムの将来変化予測

研究課題名（英文）Prediction of Future Changes in the Mechanism of Heavy Rainfall in the Baiu Season by a Pseudo Global Warming Method Using Observational data

研究代表者

仲 ゆかり (Naka, Yukari)

京都大学・防災研究所・助教

研究者番号：30909445

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,300,000円

研究成果の概要（和文）：過去に発生した梅雨豪雨（線状対流系）に対して擬似温暖化実験を行った結果、バルク・リチャードソン数という浮力と乱流の比を表す指標が過去・将来のどの実験においても一定値を取ることが発見した。これを踏まえ、将来予測に加えて、観測データである解析雨量を用いて過去の線状対流系事例の解析を行った。過去の線状対流系を（A）前線による大規模な収束によって発生する線状対流系、（B）前線から孤立して発生する局所的な線状対流系に分類して発生環境場の解析を行った結果、（B）の局所的で自己組織性の強い線状対流系においてバルク・リチャードソン数がより重要であることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、近年学術的にも社会的にも注目されている、梅雨前線に伴う線状対流系豪雨に着目し、そのメカニズム解明及び将来予測に取り組んだ研究である。特に本研究は、従来行われていたような気候予測情報を用いて将来予測を行うというだけでなく、過去に発生した事例の理解に基づきメカニズムそのものの将来予測を行うという点で独自性が高く、気象学・気候学・工学全てに対して本研究が持つ学術的意義は大きいものである。本研究課題で十分に解明できなかった課題についても、今後引き続き研究を進めていく予定である。

研究成果の概要（英文）：We conducted a pseudo global warming experiment for a past heavy rainfall during Baiu season (line-shaped convective system) and found that the Bulk-Richardson number, an index representing the ratio of buoyancy to turbulence, was constant in all past and future experiments. Based on this finding, in addition to future projections, we analyzed past events of line-shaped convection systems using Radar-AMeDAS rainfall data. The results of the analysis of the atmospheric environment of past line-shaped convection systems classified into (A) systems generated by large-scale convergence by fronts and (B) localized systems generated in isolation from fronts indicate that the bulk Richardson number is more important for (B) localized and self-organized systems.

研究分野：水文気象気候工学

キーワード：梅雨前線 線状対流系豪雨 地球温暖化 擬似温暖化実験 発生メカニズム

1. 研究開始当初の背景

梅雨豪雨は、局所的(数10km~数100km)かつ風向や大気不安定度等の要因が絡み合って微妙なバランスで発生する極めて複雑な現象であるため、そのメカニズムをも理解するためには気象モデルによる超高解像度数値計算が重要となる。ここで、気象モデルによる温暖化予測手法として擬似温暖化実験(以下、PGW; Pseudo Global Warming)がある。PGWとは、ある事例の環境場に気温等の変数の将来変化差分を与えて擬似的に温暖化環境場を作成して数値計算を行う手法であり、「ある事例が温暖化条件下で起こったとしたら？」に科学的な解を与えるとともに、高解像度計算を行うと局所的な現象のメカニズム変化をも解析できる。しかし微妙なバランスで発生する梅雨豪雨は、発生予測はおろか、数値実験による再現実験でさえ雨量を定量的に表現できない事例や、ましてPGWでは降水さえ表現されない事例もある。

そこで本研究は梅雨豪雨メカニズムの将来予測のための新たな手法として、PGWによる梅雨豪雨の将来予測へ現在の観測情報を用いることを提案する。具体的にはPGWをベースに、降水粒子情報を捕捉可能で風速も推定可能な気象レーダー情報を高解像度気象モデルに同化する。観測情報は梅雨豪雨発生のために自然が実現した環境場のバランス情報そのものであり、本手法はこの情報を用いて気象モデルでの将来予測を実現する画期的手法である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、梅雨豪雨の将来変化とメカニズム変化を解明することである。そしてそのための解析手法として、気象レーダーによる観測情報を気象モデルに同化することで超高解像度PGWを行う手法を構築する。この、将来予測に現在の観測情報を用いてデータ同化を行うという発想自体が極めて独創的であり、革新的な温暖化研究手法を新たに確立する可能性がある。これは我々の研究グループ全体が観測とモデルの両輪で梅雨豪雨のメカニズム研究を進めてきた土台があり、そこに申請者の温暖化研究及びPGWの実績と視点加わったことで生まれた創造的なアイデアである。

3. 研究の方法

本研究のPGWでは、名古屋大学で開発されている雲解像モデルCReSSを用いて行った。温暖化差分には、気象庁気象研究所で開発された20km解像度の気候モデルMRI-AGCM3.2Sのデータを用い、過去気候(1981~2000)と将来気候(2077~2096)の差分を過去事例の大気場条件に与えることで擬似温暖化条件を作成した。温暖化差分に用いた変数は、月平均の気温、水蒸気混合比、海面水温である^{1,2}。

また、過去の事例解析には気象庁のレーダーアメダス解析雨量データを用いた。解析雨量は気象レーダー及び地上雨量計を合成することで作成された面的な雨量情報である。本研究では、解析雨量を用いて過去に発生した梅雨豪雨を抽出してデータベースを作成し、発生条件などの発生メカニズムを解析した。発生条件は、気象庁のメソ客観解析データであるMSM解析値を用いて、大気場の観点から解析を行った。

4. 研究成果

本研究課題は、梅雨豪雨の将来変化とメカニズム変化を解明するという当初の目的に沿っておおむね順調に課題を遂行することができた。本研究では、梅雨豪雨の発生メカニズムに着目するうえで極めて重要な分類方法を提示することができたと共に、PGW手法を軸に梅雨豪雨のメカニズム解明に寄与し、国内外においてインパクトの大きい成果を出すことができたと考えている。

しかし一方で、気象レーダーによる観測情報を同化した擬似温暖化実験手法(PGW)の完成には至ることができなかった。その理由としては、従来のPGWを用いた場合でも、将来の梅雨豪雨を良く表現できる可能性があることを確認したことに加え、梅雨豪雨の将来変化とメカニズム変化を解明するという目的のために、過去の事例の十分な統計解析を行ったことと、別の視点からのPGW研究を進めたためである。ただ、本研究課題の枠組みの中で、当初の目的は概ね達成できたとともに、気象レーダー情報を用いた新たなPGW手法の構築は、今後も引き続き進めていく予定である。

上記を踏まえ、以下では本研究課題で得られた成果について具体的に示す。

(1) 擬似温暖化実験による線状対流系豪雨のメカニズム変化

過去に発生した梅雨豪雨(線状対流系豪雨; 2012年亀岡豪雨と2014年広島豪雨)に対して、擬似温暖化実験(過去再現実験及び将来気候における2度上昇実験と4度上昇実験)を行った結果、図1に示すように、バルク・リチャードソン数という浮力と乱流の比を表す指標がどの実験

においても一定値を取ることを発見した^{1,2}. 線状対流系においてバルク・リチャードソン数の重要性は既往研究でも示されていたが, 温暖化した将来気候でも線状対流系が発生するための必要条件は変化しないという重要な可能性を示唆している.

(2) 過去の線状対流系豪雨の統計解析

将来予測に加えて, 気象レーダーによる観測データである気象庁の解析雨量を用いて, 過去の線状対流系事例の解析を行った. 過去の線状対流系を解析した結果, 図2に示すように, 同じ梅雨前線に伴う線状対流系豪雨であっても, (A) 前線付随型豪雨: 前線による大規模な収束によって発生する線状対流系, (B) 孤立局所型豪雨: 前線から孤立して発生する局所的な線状対流系, に大別することができることを明らかにした. また, (A), (B) に分類して各線状対流系豪雨の発生環境場の解析を行った結果, (B)の局所的で自己組織性の強い線状対流系においてバルク・リチャードソン数がより重要であることが明らかになった³.

(3) 水蒸気輸送の素過程に着目した線状対流系の将来変化予測

近畿地方で発生する線状対流系に対して, 水蒸気が輸送されるプロセスに着目して擬似温暖化実験を行った結果, 水蒸気の輸送過程には水蒸気量そのものに加えて, 地球温暖化で変化するとされている大気の安定度も影響を与えることを明らかにした. 過去の観測情報からも, 大気の安定度が内陸への水蒸気輸送に重要であることも示した.

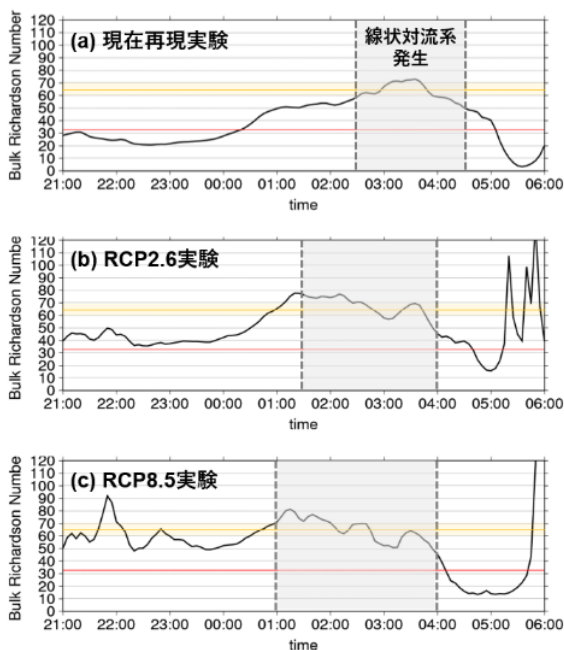


図1: 2012年亀岡豪雨に対する(a) 過去再現実験, (b) 2度上昇実験, (c) 4度上昇実験におけるバルク・リチャードソン数の時系列推移. 黒点線は梅雨豪雨発生から消滅までのおおよその時間を示す.

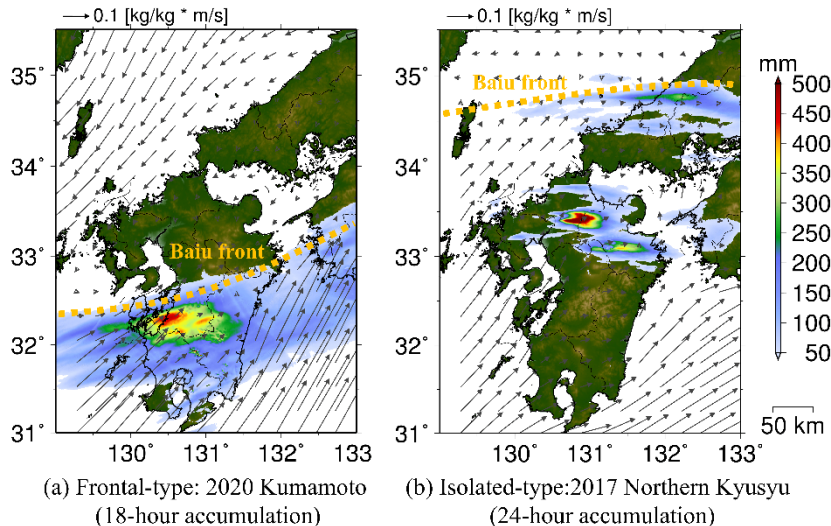


図2: (A) 前線付随型豪雨と (B) 孤立局所型豪雨の違い.

<引用文献>

1. 小坂田ゆかり・中北英一 (2021): 線状対流系の擬似温暖化実験に周辺擾乱が与える影響と環境場指標の解析, 土木学会論文集B1 (水工学), Vol.77, No.2, pp.I_1255-I_1260.
2. Naka Y., and E. Nakakita (2023): Comprehensive future projections for the line-shaped convective system associated with Baiu front in Japan under RCP scenarios using regional climate model and pseudo global warming experiments, Front. Earth Sci. 11:1093543. doi:10.3389/feart.2023.1093543.
3. 仲ゆかり・福田果奈・中北英一 (2024): 時空間特性を考慮した停滞前線性線状対流系の過去事例における発生・発達条件の統合的解析, 土木学会論文集, 80 (16):23-16006, doi:10.2208/jscej23-16006.
4. 仲ゆかり・神谷太雅・中北英一 (2024): 2012年亀岡豪雨を対象にした水蒸気流入過程と大気安定度の感度実験, 土木学会論文集, 80 (16):23-16002, doi:10.2208/jscej23-16002.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Takayabu Izuru, Rasmussen Roy, Nakakita Eiichi, Prein Andreas, Kawase Hiroaki, Watanabe Shun- Ichi, Adachi Sachiho A., Takemi Tetsuya, Yamaguchi Kosei, Osakada Yukari, Wu Ying-Hsin	4. 巻 103
2. 論文標題 Convection-Permitting Models for Climate Research	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Bulletin of the American Meteorological Society	6. 最初と最後の頁 E77 ~ E82
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1175/BAMS-D-21-0043.1	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 該当する
1. 著者名 Mori Nobuhito, Takemi Tetsuya, Tachikawa Yasuto, Tatano Hirokazu, Shimura Tomoya, Tanaka Tomohiro, Fujimi Toshimi, Osakada Yukari, Webb Adrean, Nakakita Eiichi	4. 巻 32
2. 論文標題 Recent nationwide climate change impact assessments of natural hazards in Japan and East Asia	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Weather and Climate Extremes	6. 最初と最後の頁 100309 ~ 100309
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.wace.2021.100309	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 OSAKADA Yukari, NAKAKITA Eiichi	4. 巻 77
2. 論文標題 ANALYSIS ON THE IMPACT OF AMBIENT DISTURBANCES ON PSEUDO GLOBAL WARMING RESULTS FOR LINE-SHAPED CONVECTIVE SYSTEM AND ATMOSPHERIC INDICES	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_1255 ~ I_1260
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejhe.77.2_I_1255	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 NAKAKITA Eiichi, HARADA Machi, OSAKADA Yukari	4. 巻 77
2. 論文標題 TIME-SEAMLESS FUTURE CHANGE ANALYSIS ON BAIU RAINFALL AND ATMOSPHERIC CONDITIONS DUE TO GLOBAL WARMING	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_1273 ~ I_1278
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejhe.77.2_I_1273	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 Naka Yukari, Nakakita Eiichi	4. 巻 11
2. 論文標題 Comprehensive future projections for the line-shaped convective system associated with Baiu front in Japan under RCP scenarios using regional climate model and pseudo global warming experiments	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Frontiers in Earth Science	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) 10.3389/feart.2023.1093543	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 NAKA Yukari, FUKUDA Kana, NAKAKITA Eiichi	4. 巻 80
2. 論文標題 INTEGRATED ANALYSIS OF CONDITIONS FOR OCCURRENCE AND DEVELOPMENT OF PAST LINE-SHAPED CONVECTIVE SYSTEMS WITH STAGNANT FRONT CONSIDERING SPATIO-TEMPORAL CHARACTERISTICS	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Japanese Journal of JSCE	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) 10.2208/jscej.23-16006	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8件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 Yukari Osakada and Eiichi Nakakita
2. 発表標題 The future projections on line-shaped convective system associated with Baiu front in Japan under RCP scenarios
3. 学会等名 The 9th International Conference on Water Resources and Environment Research (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yukari Osakada and Eiichi Nakakita
2. 発表標題 Future changes in duration and accumulated rainfall of line-shaped extreme rainfall associated with Baiu front considering its spacio-temporal characteristics
3. 学会等名 19th Asia Oceania Geosciences Society Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 仲ゆかり・中北英一
2. 発表標題 梅雨前線による線状対流系の時空間スケール特性及び将来変化
3. 学会等名 水文水資源学会 / 日本水文科学会2022年度研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 仲ゆかり・福田果奈・中北英一
2. 発表標題 メカニズム解明に向けた線状対流系過去事例群の統合的物理解析
3. 学会等名 令和四年度京都大学防災研究所研究発表講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小坂田ゆかり・中北英一
2. 発表標題 線状対流系の擬似温暖化実験に周辺擾乱が与える影響と環境場指標の解析
3. 学会等名 第66回水工学講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小坂田ゆかり・中北英一
2. 発表標題 RCP8.5及びRCP2.6シナリオに基づく線状対流系の擬似温暖化実験と影響メカニズム
3. 学会等名 水文水資源学会 / 日本水文科学会2021年度総会・研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yukari Osakada and Eiichi Nakakita
2. 発表標題 The impact assessment of global warming on localized heavy rainfall associated with Baiu front under RCP scenarios
3. 学会等名 10th DPR1-NCDR Workshop (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kana Fukuda, Yukari Naka, and Eiichi Nakakita
2. 発表標題 Integrated Physical Analysis of Past Line-shaped Convective Systems for Mechanisms Investigation
3. 学会等名 The 15th International Conference on Mesoscale Convective Systems (ICMCS-XV) (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
---------------------------	-----------------------	----

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