

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

小坂田 ゆかり¹・中北 英一²

¹正会員 京都大学助教 防災研究所 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)
E-mail: osakada@hmd.dpri.kyoto-u.ac.jp (Corresponding Author)

²正会員 京都大学教授 防災研究所 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)
E-mail: nakakita@hmd.dpri.kyoto-u.ac.jp

バックビルディング型の線状対流系である 2012 年亀岡豪雨と 2014 年広島豪雨に対して、全球平均気温約 4°C 上昇の RCP8.5、及び 2°C 未満に抑える RCP2.6 シナリオに基づき擬似温暖化実験を行った。その結果、温暖化シナリオが高位になるにつれて線状対流系が強化された亀岡豪雨とは対照的に、広島豪雨では徐々に線状対流系が発生しなくなった。その要因として、広島豪雨実験では水蒸気流れの上流に存在した弱雨域が温暖化効果によって先に強化され、対流有効位置エネルギー (CAPE) やバルクリチャードソン数 (BRN) で表される、線状対流系が発生するための環境場を崩していたことを示した。熱力学及び力学的な要素が上手くバランスした時に発生するバックビルディング型線状対流系という現象に擬似温暖化実験を適用する際は、周囲の擾乱が与える影響も十分考慮する必要がある。

Key Words: Global warming, Future change, Baiu heavy rainfall, Pseudo global warming, Mechanisms

1. 研究の背景と目的

近年、我が国の雨季には集中豪雨が多発している。中でも、梅雨前線に伴って発生するバックビルディング型の線状対流系 (以下、梅雨豪雨と記す) は、積乱雲が次々と繰り返し発生して降水系全体として定常な状態となることで、局所的なエリアに数時間から半日に渡って停滞する。最近の研究では、梅雨前線に付随して発生する比較的スケールの大きな前線付随型梅雨豪雨や、梅雨前線から南に大きく離れた場所で発生するスケールの小さな孤立局所型梅雨豪雨のように、異なる複数のタイプの梅雨豪雨が存在することも明らかになってきている¹⁾。

全球平均気温 4°C 上昇シナリオである RCP8.5 に基づく 5km 解像度の領域気候モデル将来予測データ解析によると、地球温暖化で 21 世紀末には梅雨豪雨の発生地域拡大や雨量増加が予測されている¹⁾²⁾。加えて、近年では 2017 年九州北部豪雨や 2020 年球磨川氾濫豪雨など、記録的な梅雨豪雨による被害が頻発しており、将来変化予測に矛盾しない現象が現実で既に生起し始めている。こうした観測事実や将来予測を踏まえ、梅雨豪雨という現象のメカニズムは何が普遍で何が温暖化で将来変化するかを解明することは、喫緊かつ重要な課題である。

梅雨豪雨のように局所的現象のメカニズムを解析するには、雲解像気象モデルによる超高解像度数値計算が必要となる。気象モデルによる温暖化予測手法の 1 つとして、ある事例の環境場に気温等の変数の温暖化差分を与えて、擬似的に温暖化環境場を作成して数値計算を行う擬似温暖化実験 (Pseudo Global Warming ; 以下、PGW と記す) という手法が存在し、梅雨豪雨に対してもいくつかの既往研究で PGW が行われてきた³⁾⁴⁾。例えば Nayak and Takemi⁵⁾ は平成 29 年九州北部豪雨に対して PGW を行い、将来気候では降雨強度が増加することや気温変化に対する降雨強度の変化率が異なることを示している。小坂田・中北⁶⁾ は孤立局所型梅雨豪雨の 2012 年亀岡豪雨に対して RCP8.5 シナリオで PGW を行い、将来は降雨強度や総雨量が増加することを示し、そのメカニズムとして積乱雲の組織化構造が強化される力学効果の存在を示している。しかし、そもそも梅雨豪雨という現象のメカニズムは未解明な部分が多くモデル表現が困難で、PGW への適用例も十分に多くない。また、既往の PGW の多くは単一温暖化シナリオに基づいており、温暖化効果と梅雨豪雨の変化との関連も十分に明らかになっていない。

そこで本論文では、温暖化効果と梅雨豪雨の関連を明確にするとともに梅雨豪雨メカニズムの将来変化解明を

目指して、小坂田・中北⁶⁾の既往研究にRCP2.6シナリオ（気温上昇を2°C未満に抑えるシナリオ）を追加した。加えて、新たな事例として、同じく孤立局所型梅雨豪雨である2014年広島豪雨も対象にPGWを行うことで、2012年亀岡豪雨に対するPGWとの比較を行った。そして、各実験結果に関して環境場指標の観点から詳細に要因分析をするとともに、本解析から得られた重要な知見について述べ、今後の課題を提示することを目的とする。

2. 解析事例と実験設定について

(1) 解析事例について

2012年亀岡豪雨の説明は小坂田・中北⁶⁾に譲り、ここでは新たな事例である2014年広島豪雨について述べる。

2014年広島豪雨は典型的な線状対流系事例であり、大規模な土砂災害により70名以上の死者を出した記録的な豪雨であった。日本海上に停滞した秋雨前線（秋雨前線時にも線状対流系が発生するため、本論文では広島豪雨も梅雨豪雨と記す。）へ流れ込む水蒸気が豊後水道を通過して広島エリアへ供給され、21:00頃から降雨が発生、20日00:00頃から線状対流系が発生・停滞し始めた。

図-1に、気象庁解析雨量から作成した亀岡豪雨と広島豪雨の積算雨量を示す。亀岡豪雨は7月14日21:00～15日06:00、広島豪雨は8月19日18:00～20日05:00（本解析での計算期間）の積算である。どちらの線状降水帯も長さが100km程度、幅が数10km程度で、3～5時間に渡って停滞した、同様の時空間スケールの現象であった。

(2) 実験設定

大気モデルはCReSS⁷⁾を用いた。CReSSはメソスケール現象の高精度なシミュレーションを目的とした雲解像の非静力学・準圧縮の大気モデルである。水平解像度は全ての実験で500m、鉛直解像度はストレッチングした平均250mとした。初期・境界値には3時間毎の気象庁メソ客観解析値を用い、海面水温は気象庁NEAR-GOOSの日平均海面水温を用いた。2012年亀岡豪雨の計算は7月14日21:00JSTから9時間、2014年広島豪雨の計算は8月19日18:00JSTから11時間行い、初め3時間は降雨発生前のスピンアップ期間とした。計算領域は、図-2のように線状対流系発生場所と風上領域、そして紀伊水道と豊後水道の水蒸気流入経路を含む約300km四方の領域とした。計算条件の詳細は表-1に示す。

温暖化差分には全球大気モデルMRI-AGCM3.2Sの結果を用い、温暖化シナリオはRCP8.5とRCP2.6の2つを用いた（以下、RCP8.5実験、RCP2.6実験と記す）。MRI-AGCM3.2SはCMIP5予測結果の平均SST分布で計算された結果を用いた。変数は月平均の温位 θ 、水蒸気混合比

q_v 、SSTを用い、将来（2075～2099年）と現在（1979～2003年）の25年平均値の差を温暖化差分とした。亀岡豪雨に関しては7月平均値、広島豪雨に関しては8月平均値の各変数をそれぞれ差分として与えた。

3. 実験結果

(1) 降雨分布の将来変化

図-3に、解析雨量及び現在・RCP2.6・RCP8.5各実験における亀岡豪雨（7月15日00:00～06:00）と広島豪雨（8月19日21:00～20日03:00）の6時間積算雨量を示す。

まず、現在再現実験は観測の雨域形状・雨量共に良く表現できていると言える。一方、将来変化は興味深いことに、亀岡豪雨実験では将来気候で徐々に雨量が増加しているのに対して、広島豪雨の実験結果では温暖化シナリオが強くなるにつれて徐々に線状の雨域が形成されなくなっていくことがわかる。亀岡豪雨実験に対するPGWでは、温暖化シナリオとともに徐々に総雨量が

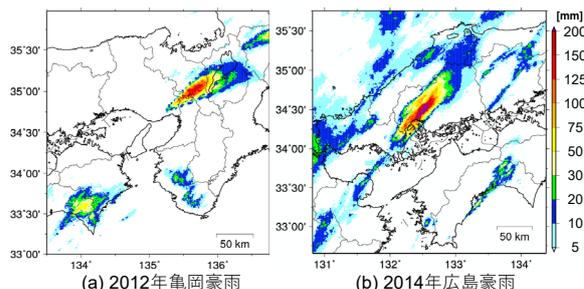


図-1 (a) 2012年亀岡豪雨と(b) 2014年広島豪雨の気象庁解析雨量から算出した積算雨量。亀岡豪雨は9時間（7月14日21:00～15日06:00）、広島豪雨は11時間（8月19日18:00～20日05:00）の積算雨量。

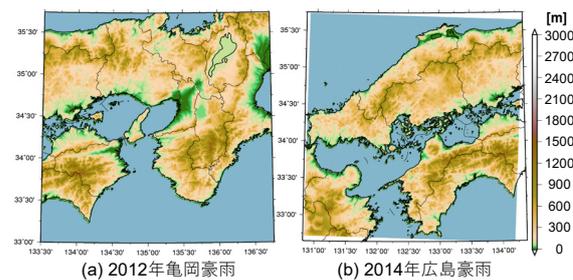


図-2 (a) 2012年亀岡豪雨と(b) 2014年広島豪雨の計算領域。

表-1 CReSSによる主な計算条件

実験設定	
解像度	水平: 500m, 鉛直: 250m (平均)
格子数	2012年亀岡豪雨: 水平: 600 x 600, 鉛直: 61層 2014年広島豪雨: 水平: 620 x 660, 鉛直: 61層
モデル高度	大気最下層: 150m, トップ高度: 15250m
初期・境界値	気象庁メソ客観解析値
乱流過程	1.5次のクロージャーモデル
雲微物理過程	水物質の数密度予報を含めた、氷相を含むバルク法パラメタリゼーション

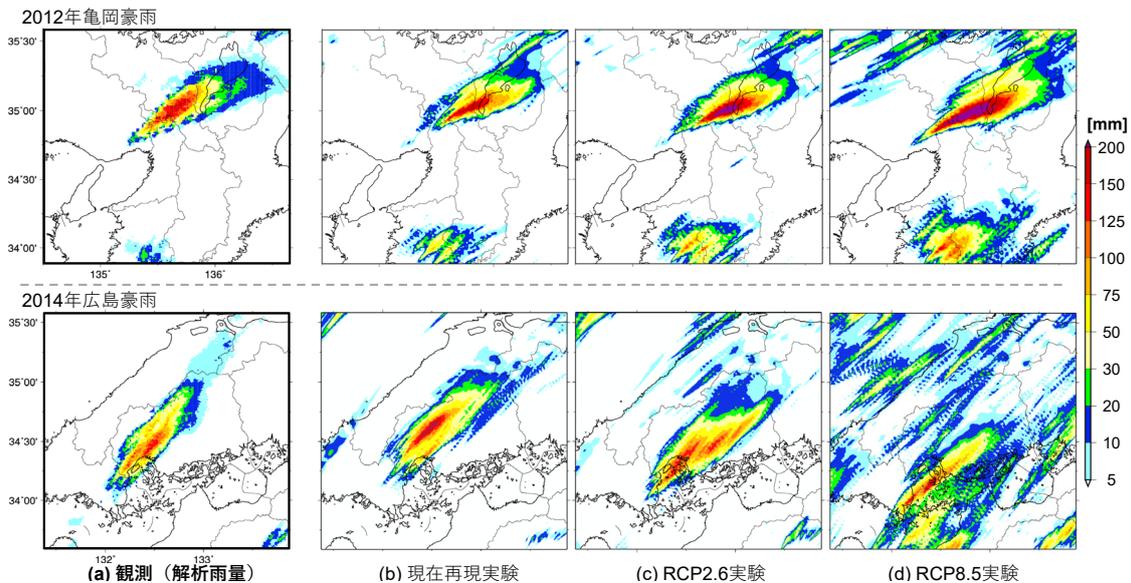


図-3 (a)解析雨量, (b)現在再現実験, (c)RCP2.6実験, (d)RCP8.5実験における亀岡豪雨(上段)と広島豪雨(下段)の積算雨量。亀岡豪雨は7月15日00:00~06:00, 広島豪雨は8月19日21:00~20日03:00の6時間積算雨量の空間分布。

増加しているにも関わらず、広島豪雨の結果は全く反対の結果を示していると言える。また、広島豪雨実験では温暖化程度が強まるにつれて徐々に梅雨豪雨が弱まっていることから、単にモデル計算上の問題で雨域が発生しなくなったのではなく、梅雨豪雨が発生するための環境場に対して温暖化効果が何かしらの影響を与えたことが示唆され、非常に興味深い結果を得た。

そこで次に、広島豪雨実験で温暖化程度が強まるにつれて徐々に梅雨豪雨が弱まった要因を解析するため、梅雨豪雨発生に重要な環境場指標について解析を行った。

(2) 環境場指標の解析

本解析では環境場指標として、対流有効位置エネルギー (Convective Available Potential Energy; CAPE) とバルクリチャードソン数 (Bulk Richardson Number; BRN) を解析した。CAPEとBRNはそれぞれ下記の式で表される。

$$\text{CAPE} \equiv g \int_{\text{LFC}}^{\text{LNB}} \frac{T' - T}{T} dz \quad (1a)$$

$$\text{BRN} = \frac{\text{CAPE}}{(\Delta u)^2 + (\Delta v)^2} \quad (1b)$$

g は重力加速度, T は環境場の気温, T' は気塊の気温を表す。LFC (Level of Free Convection; 自由対流高度) は、断熱的に持ち上げられた気塊の気温と環境場の気温が一致し、これより上空では浮力のみで気塊が上昇できる高度、LNB (Level of Neutral Buoyancy; 平衡高度) は、持ち上げられた気塊の気温と環境場の気温が再び一致し、これより上空では気塊に沈降力が働く高度のことである。本解析では約 250m (モデル 2 層目) から気塊を持ち上げたとしてCAPEを算出した。一方、BRNはCAPEと風の鉛直シアーの比を表す指標であり、 Δu と Δv は既往研

究⁸⁾を参考に、地上から約 6200m (モデル 30 層目) と約 250m (モデル 2 層目) における差として計算した。

CAPEは値が大きいほど大気が不安定であり、BRNはその値によって降水システムの形態が分類できることが知られている⁸⁾⁹⁾。Bluestein and Jain⁹⁾は、バックビルディング型の線状降水帯ではBRNが約 32 となることを示しており、また Unuma and Takemi⁸⁾でも線状の準停滞降水システムに対するBRNは約 32.8 の値を取ることが示されている。すなわち、本解析の対象事例である亀岡豪雨や広島豪雨は約 32 のBRN値を取ることが期待される。

図-4に、亀岡豪雨(上, 15日00:00)と広島豪雨(下, 20日00:00)のCAPEの空間分布を示す。(a)現在再現実験, (b)RCP2.6実験, (c)RCP8.5実験で、モデル最下層(地上約150m)の風も矢印で示した。まず、亀岡豪雨では全ての実験で、紀伊水道から高いCAPEを持つ気塊が流入している。一方の広島豪雨は、現在とRCP2.6実験では豊後水道から高いCAPEを持つ気塊が流入している一方、RCP8.5実験では全く流入していない。また、図-5に亀岡豪雨、図-6に広島豪雨の、豪雨発生場所の上流域(図-4の黒枠内領域平均)におけるBRNの、計算開始から終了までの時系列を示す。赤線は32.8⁸⁾の値で陰影は±5の幅を示しており、黒い点線は各実験における梅雨豪雨発生・消滅のおおよその時間を示している。梅雨豪雨が発生した全ての実験では32.8付近の値が継続しているものの、梅雨豪雨が発生しなかった広島豪雨のRCP8.5実験では適切なBRN値にはなっていない。これらの結果から、広島豪雨実験においては温暖化程度が強まるにつれて梅雨豪雨が発生するための環境場が徐々に崩れ、RCP8.5実験では完全に崩れていたと言える。

一方、擬似温暖化実験でも梅雨豪雨が発生した実験ではBRNが32.8付近で持続していた。これはBRN指標で

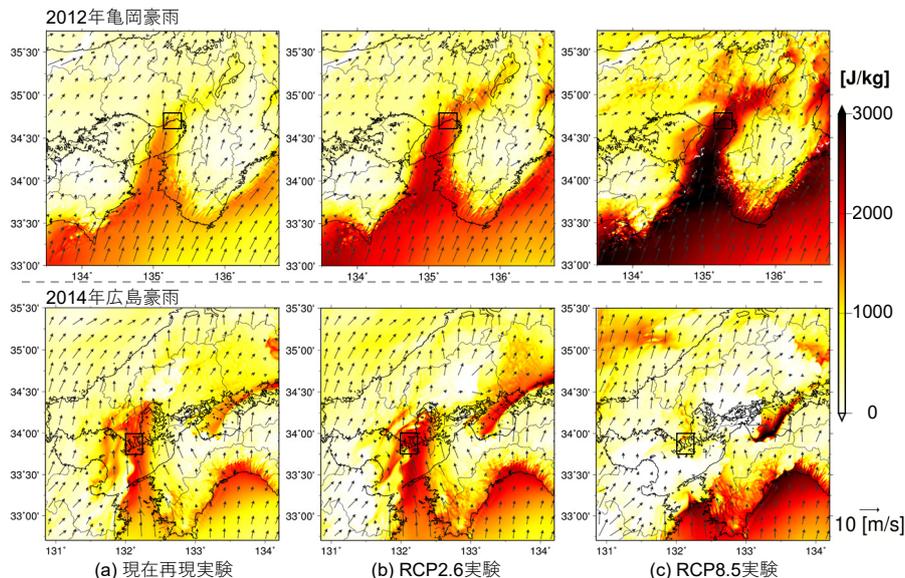


図-4 (a) 現在再現実験, (b) RCP2.6 実験, (c) RCP8.5 実験における亀岡豪雨 (上段) と広島豪雨 (下段) の CAPE. 亀岡豪雨は 7 月 15 日 00:00, 広島豪雨は 8 月 20 日 00:00 の CAPE の空間分布. 矢印は地上 150m の風を示す.

見ると梅雨豪雨が発生するための環境場条件は将来気候でも変化しないという重要な可能性を示唆している. さらに, 梅雨豪雨は熱力学的・力学的な要素 (ここでは CAPE と風の鉛直シア) が複雑に絡み合い, それらが微妙なバランスで成り立った時に初めて発生する現象であるという事も強調している結果であると言える.

(3) 周囲の雨域の影響

それでは, なぜ広島豪雨に対する RCP8.5 実験では梅雨豪雨が発生するための環境場条件が崩れたのか. 図-7 に, RCP8.5 実験での CAPE と降雨強度を示す. 降雨強度は青いコンターで表し, 観測で広島豪雨が発生し始める前の 8 月 19 日 21:00, 22:00, 23:00 での空間分布を示す.

21:00 時点では豊後水道から高い CAPE を持つ気塊が流入しており, 広島県付近や西の大分県付近でも降雨が見られる. 時間が進むにつれて, 西方から雨域が強まりながら豊後水道や広島県付近へと進行してきて, それに伴い, CAPE がどんどん消費されている様子が見て取れる. すなわち, 対象とする梅雨豪雨の周囲, 特に時空間的に上流に存在した弱雨域が PGW の温暖化効果で先に強化されてしまい, CAPE を消費 (不安定度を解消) してしまったことで, 梅雨豪雨が発生するための環境場条件が崩れていたことがわかる. 図-1 からわかるように, 亀岡豪雨・広島豪雨ともに非常に局所的な梅雨豪雨ではあるものの, 広島豪雨は亀岡豪雨と比較して周囲にも弱雨域が存在しており, これらの弱雨域が本解析における PGW の結果に影響を与えたと言える. 図は省略するが, 広島豪雨の RCP2.6 実験でも, RCP8.5 実験ほどではないものの周囲の雨域が強化されて CAPE が消費されたことで, 現在再現実験よりも弱い梅雨豪雨が実現されていた.

既に述べたように, 梅雨豪雨という現象そのものが,

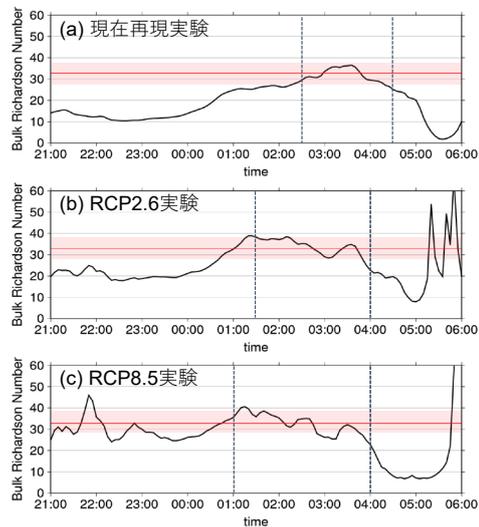


図-5 2012 年 亀岡豪雨に対する (a) 現在再現実験, (b) RCP2.6 実験, (c) RCP8.5 実験における BRN の時系列推移. 赤線は $BRN = 32.8$, 陰影は ± 5 の幅を示し, 黒点線は梅雨豪雨発生から消滅までのおおよその時間を示す.

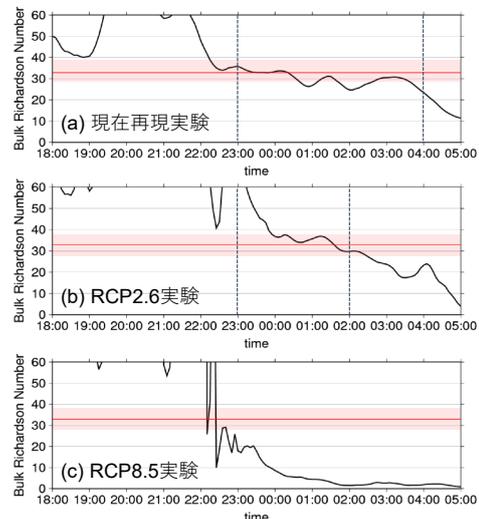


図-6 図-5 と同じ. ただし, 2014 年 広島豪雨の結果.

様々な要因が絡み合って上手くバランスして成り立った時に初めて発生する現象である。そのため、擬似的に温暖化環境場を作成するという PGW 手法においては、その環境場バランスが崩れる可能性があるとともに、対象とする現象の周囲に存在する擾乱への温暖化影響も十分に考慮する必要があるという、非常に重要な知見を得た。

4. 広島豪雨実験における環境場指標の詳細解析

最後に本節では、広島豪雨実験における CAPE の変化について詳細に解析を行った。CAPE は環境場の気温鉛直プロファイル、気塊を持ち上げ始める高度での気温、そして下層水蒸気量で決まる。例えば、対流により大気が混合されて環境場の気温鉛直プロファイルは安定化方向に変化し、CAPE を減少させる。一方、下層に水蒸気が豊富に存在すると大気は不安定となり、気塊の気温の鉛直プロファイルが CAPE を増大させる方向に傾く。

図-8 に、広島豪雨実験における環境場及び断熱的に持ち上げた気塊の気温プロファイルの時間変化を示す。ただし、ここでは現在再現実験と RCP8.5 実験の結果のみを示す。19日 21:00 から 20日 03:00 までのプロファイルの色分けしており、実線で環境場の気温、点線で持ち上げた気塊の気温を表している。なお、これらの鉛直プロファイルは豪雨発生場所（東経 132.0°~133.5°、北緯 34.0°~35.25°）で領域平均した値である。

まず、現在実験では環境場と気塊の気温鉛直プロファイル共に大きな変化はない。一方の RCP8.5 実験では、環境場の気温プロファイルは下層で安定化方向に少し傾いているものの大きな変化はなく、点線で示す気塊の気温鉛直プロファイルが 20日 00:00 時点までに大きく傾きが変わっていることがわかる。すなわち、RCP8.5 実験での CAPE の減少は、気塊の気温プロファイルが変化したことが主な要因であることがわかる。しかし、気塊の鉛直プロファイルは下層水蒸気量に加えて持ち上げ始める高度の気温にも依存するため、どちらの影響か不明瞭である。そこで、図-9 に水蒸気混合比の鉛直プロファイルの時間変化を示す。ただし、図-9 は 19日 21:00 時点からの差を表している。現在実験では 19日 21:00 以降でも下層の水蒸気量に大きな減少は見られず、また時間が経過すると 3000m 付近の中層で対流による水蒸気量増加が見られる。一方、RCP8.5 実験では下層で大きく水蒸気量が減少している。これらのことから、RCP8.5 実験では 20日 00:00 時点までに周辺の弱雨域が強化されて水蒸気を大きく消費してしまったことで CAPE が減少した。加えて、図-4 に示したように力学場も変えてしまったことで豊後水道からの水蒸気の供給もなくなり、梅雨豪雨発生のための環境場を崩していたことがわかった。

5. まとめと今後の課題

本論文では、梅雨豪雨メカニズムの将来変化を目標として、2012 年 亀岡豪雨と 2014 年 広島豪雨に対して RCP8.5 と RCP2.6 シナリオで擬似温暖化実験を行った。

結果、亀岡豪雨は温暖化シナリオが強くなるにつれて徐々に雨量が増加した一方、広島豪雨では徐々に梅雨豪雨が発生しなくなるという結果を得た。その要因は、広島豪雨発生時は時空間的上流に弱雨域が存在し、その弱雨域が温暖化効果によって先に強化され、CAPE を解消

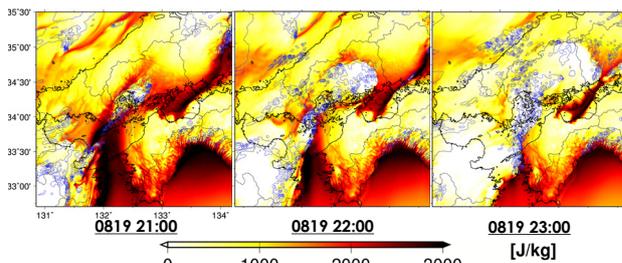


図-7 広島豪雨 RCP8.5 実験の CAPE (色) と降雨強度 (コンター) 左から 19日 21:00, 22:00, 23:00 を示す。

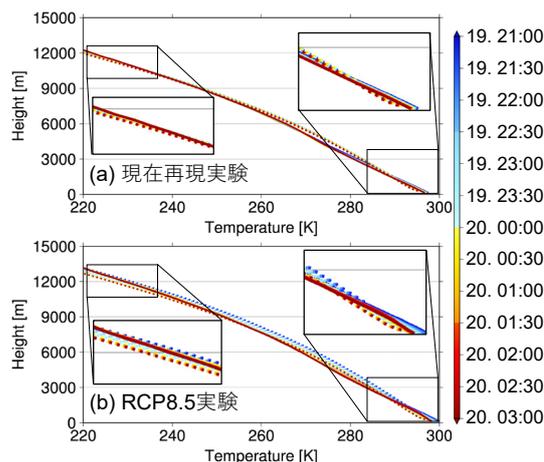


図-8 (a) 現在再現実験, (b) RCP8.5 実験の環境場の気温鉛直プロファイル (実線) 及び断熱的に持ち上げた気塊の気温鉛直プロファイル (点線) の時間変化。

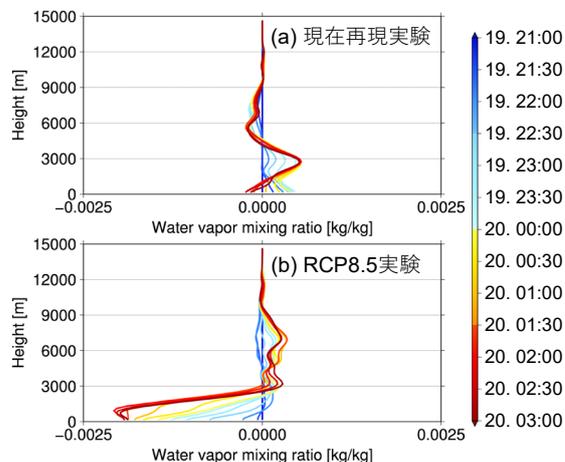


図-9 (a) 現在再現実験, (b) RCP8.5 実験の水蒸気混合比鉛直プロファイルの時間変化。19日 21:00 との差を示す。

したためであることがわかった。CAPE 減少の主な要因は、強化された弱雨域が先に水蒸気を消費したことに加え、豊後水道からの水蒸気供給が減少したためであった。以下に、本論文で得られた重要な知見をまとめる。

- ・ 梅雨豪雨はBRNが約32という、極めて微妙にバランスした環境場で発生する現象であり、この発生のための必要条件は将来気候下でも変化しない。
- ・ そのため、PGWのように擬似的に環境場を作り出す実験では、梅雨豪雨発生のための環境場条件が崩れやすい。すなわち、梅雨豪雨にPGWを適用する際には、環境場に影響を与え得る周囲の擾乱の影響も十分に考慮する必要がある。

PGWの課題、ひいては梅雨豪雨が発生する際の環境場の不安定さとモデル表現の難しさが強調されたという点で、非常に意味のある実験であったと考えている。

一方で、広島地域の特徴について考えると、2014年広島豪雨が発生した地域は豊後水道から豊富な水蒸気が供給されるため非常に豪雨が発生しやすい場所である。そして、こうした特徴は将来気候下でも変わらないと考えている。もし将来、広島豪雨のような線状対流系が発生したらどうなるのか、そしてメカニズムはどう変化するのか、を解明したい。そのために、今後はより多くの事例を解析して現象のメカニズムとその将来変化を明らかにすること、そして、どのような事例に対しても将来気候下での線状対流系をモデル内で表現できる新たなPGW手法を構築することを目指す。高解像度計算が可能なPGW手法で将来変化予測と現象メカニズムの解明を並行して行う中で、それぞれの知見をフィードバックしながら進めることが非常に重要であると考えている。

謝辞：本研究は文部科学省統合的気候モデル高度化研究プログラム領域テーマD「統合的ハザード予測」JPMXD0717935498の助成を受けた。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) 小坂田ゆかり, 中村葵, 中北英一: 梅雨期集中豪雨の時空間特性を考慮した強雨継続時間と積算雨量の将来変化の統計分析, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.76, No.2, pp.I_7-I_12, 2020.
- 2) Kanada S., M. Nakano, and T. Kato: Projections of future changes in precipitation and the vertical structure of the frontal zone during the Baiu season in the vicinity of Japan using a 5-km-mesh regional climate model, *J. Meteor. Soc. Japan*, Vol.90A, pp.65-86, 2012.
- 3) Osakada Y., and E. Nakakita: Future change of occurrence frequency of Baiu heavy rainfall and its linked atmospheric patterns by multiscale analysis, *SOLA*, Vol.14, pp. 79-85, doi:10.2151/sola.2018-014, 2018.
- 4) Hibino K., I. Takayabu, Y. Wakazuki and T. Ogata: Physical responses of convective heavy rainfall to future warming condition: Case study of the Hiroshima event, *Frontiers in Earth Science*, Vol.6, No.35, doi:10.3389/feart.2018.00035, 2018.
- 5) Nayak S., and T. Takemi: Clausius-Clapeyron scaling of extremely heavy precipitation: Case studies of the July 2017 and July 2018 heavy rainfall events over Japan, *J. Meteor. Soc. Japan*, Vol.98, No.6, pp.1147-1162, 2020.
- 6) 小坂田ゆかり, 中北英一: 線状対流系の擬似温暖化実験における解像度依存性と将来変化のマルチスケール解析, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.76, No.2, pp.I_1-I_6, 2020.
- 7) Tsuboki, K. and A. Sakakibara: Large-scale parallel computing of cloud resolving storm simulator, *High Performance Computing*, Springer, pp.243-259, 2002.
- 8) Unuma, T., and T. Takemi: A role of environmental shear on the organization mode of quasi-stationary convective clusters during the warm season in Japan, *SOLA*, Vol.12, pp.111-115, doi:10.2151/sola.2016-025, 2016.
- 9) Bluestein, H. B. and M. H. Jain: Formation of mesoscale lines of precipitation – Severe squall lines in Oklahoma during the spring, *J. Atmos. Sci.*, Vol.42, pp.1711-1731, 1985.

(Received June 30, 2021)
(Accepted September 3, 2021)

ANALYSIS ON THE IMPACT OF AMBIENT DISTURBANCES ON PSEUDO GLOBAL WARMING RESULTS FOR LINE-SHAPED CONVECTIVE SYSTEM AND ATMOSPHERIC INDICES

Yukari OSAKADA and Eiichi NAKAKITA

A high-resolution pseudo global warming experiments were conducted for line-shaped convective system, 2012 Kameoka event and 2014 Hiroshima event, under the RCP8.5 and RCP2.6 scenarios. For 2012 Kameoka event, line-shaped rain band was gradually intensified while for 2014 Hiroshima event line-shaped rain band gradually disappeared as the warming scenario became higher. This was due to the fact that the weak rainfall area upstream of 2014 Hiroshima event was enhanced antecedently by the warming effect, and disrupted the environmental field for the occurrence of the line-shaped convection system as expressed such as CAPE and bulk Richardson number. It is indicated that line-shaped convective system is generated when thermodynamical and dynamical various factors are well balanced, and the effects of ambient disturbances should be taken into account when we apply pseudo global warming experiment.