

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 7 日現在

機関番号：82401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K12975

研究課題名（和文）降水日変化特性のモデル再現性向上と降水擾乱に対する日変化の影響評価

研究課題名（英文）Improvement in simulated diurnal variation of precipitation and impact of the diurnal cycle on development of precipitation disturbances

研究代表者

足立 幸穂 (Adachi, Sachiko)

国立研究開発法人理化学研究所・計算科学研究センター・研究員

研究者番号：50512448

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）：本研究では、日射の降水活動への影響について、数値モデルを用いて定量的評価を行った。まず、日射の降水量への影響を見るため、日射がある場合とない場合の感度実験を実施した。その結果、日射は、日射がない場合に比べて降水量を1.5倍に増加させることが示された。次に、日射量の違いによる降水への影響を調査した。その結果、現実と比べ、日射が弱い状況では、降水は海上で増加し、陸上で減少する。一方、日射が多い状況では、降水は海上で減少し、陸上で増加する。これは、日射量と日射の降水への影響は単純な線形関係になく、日射の対流を増加させる働きと局地循環を強める働きの2つの間にフィードバックが働くためと推測される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、豪雨に伴う水害や土砂災害が毎年のように発生している。「夜に集中豪雨は起こりやすいのか？」という疑問はしばしば話題となるが、これは、単に同規模の降水イベントが発生した場合に、夜間の方が危険リスクが高いことに由来するためか、それとも実際に雲の発達メカニズムが昼夜で異なるためか、明確な答えは今のところ存在しない。近年頻発している災害から身を守り、リスクを軽減するためにも、後者の視点から、日射の降水への影響について学術的に明らかにしておくことは重要である。本課題を継続・発展させることで、最初の問いに答えることが可能となり、大雨の予測精度向上や災害時のリスク軽減にもつながるものと期待される。

研究成果の概要（英文）：In this study, a quantitative evaluation of the effect of solar radiation on precipitation activity was conducted using a numerical model. First, to see the effect of solar radiation on precipitation, sensitivity experiments with and without solar radiation were conducted. The results showed that solar radiation increases precipitation by a factor of 1.5 compared to the case without solar radiation. Next, we investigated the effect of different amounts of solar radiation. The results showed that precipitation increases at sea and decreases on land under conditions of weak solar radiation. On the other hand, under conditions of strong solar radiation, precipitation decreased at sea and increased on land. The reason for this is that there is no simple linear relationship between the amount of solar radiation and the effect of solar radiation on precipitation, but rather feedback between the two effects of solar radiation: to increase convection and to strengthen local circulation.

研究分野：気候学

キーワード：降水日変化 領域モデル 局地循環 日射影響

### 1. 研究開始当初の背景

数値モデルは、観測、実験と並び、気象学における重要な研究手法の一つである。天気予報や過去に起きた災害の解析といった気象学的用途に加え、近年では、将来の地域気候予測や将来気候適応策検討のためのダウンスケーリングといった気候学的研究にも応用されている。地域気候モデルを用いた研究において、モデルで過去の気候を精度よく再現できることは予測結果の信頼性を最低限担保する上で重要である。

日本では幾つかの領域気候モデルが使用されており、月積算降水量やその季節変化、日降水量のヒストグラムなど、観測された過去の降水の気候的特徴を精度よく再現できることが報告されている。その一方で、降水日変化の気候値については、降水ピークの時刻にモデルバイアスがあることも指摘されている。

数値モデルによる降水日変化再現性に関する研究は、日本や海外など多くの地域で行われている。モデルの水平解像度が上がり、積雲パラメタリゼーションを使わずに雲を直接解像できるようになれば、モデルで再現される降水の日変化は観測の日変化に収束すると期待されるが、必ずしも収束しない。結果として、未だ、高解像度 (O(1km))、かつ、雲微物理モデルの組み合わせであっても観測との間にはズレがあり、その原因については特定できていない。数値モデルによる降水日変化と観測との間のズレの原因が特定されれば、数値モデルによる降水日変化再現性向上はもちろんのこと、地域の降水日変化を支配する環境要因の理解促進が期待され、数値科学及び気候学の両面での応用研究につながることを期待される。

日本を対象とした観測に基づく降水日変化特性の研究から、ピークの時間帯や降水強度別の日変化の特徴は地域によって異なることが報告されている (Fujibe, 1999)。これらの地域毎の降水日変化特性は、海陸分布、地形、日射、降水擾乱の種類などの影響を受けて決まる。日射は対流活動の駆動源であるが、降水への影響の定量的理解は未だ十分ではない。数値モデルで降水日変化を精度良く再現するためには、日射の降水特性への影響について、今一度、メカニズムと定量的理解が必要である。

### 2. 研究の目的

日射量が変わる (増加する) ことによる降水への影響には2つある。1つは、不安定度が増すことで、降水の元となる対流活動が活発になることである。もう1つは、局地循環が強まることである。本研究では、それら2つを含む日射の降水活動への影響について、中国地方における2011年6~9月の夏季を対象に調査を行った。

### 3. 研究の方法

地域気候モデル (SCALE) を用いて、2011年6~9月の降水実験を行った。各実験は、6~9月の122日を31本の計算でカバーするよう分割して実施した。1本の計算は1日のスピンアップ期間を含む5日積分である。初期値・境界値データとして、大気変数には気象庁 GSM の6時間値データを、土壌温度や土壌水分、地表面温度などの地上変数には FNL の6時間値データ、海面水温には気象庁の MGD SST を用いた。解析は、図1に示す領域を対象とした。

実施した実験は、表1の通りである。再現実験として CTL 実験を実施した。また、日射の効果を調査するため、日射を全て切った実験 (ExpNoRad)、及び、放射の時刻のみを計算開始日もしくは2日目のローカルタイム 06, 09, 12, 15, 18LT に固定した実験 (Exp06、…、Exp18) を行った。Exp06、Exp09、Exp12、Exp15、Exp18 の日射量は、8月中旬の実験で、それぞれ CTL の 0.21 倍、2.25 倍、3.24 倍、2.41 倍、0.37 倍であった (表2)。

全降水量 ( $\Delta R$ ) は、まず、日射がある場合とない場合の比較から2つに分けることができる。1つは、日射がなくても降る雨 ( $\Delta R_{\text{dyn}}$ ) で、大規模擾乱に伴う力学的メカニズムによる降水と考えることができる。 $\Delta R_{\text{dyn}}$  は、ExpNoRad 実験の降水で定義される。また、各実験から  $\Delta R_{\text{dyn}}$  を引いた差 ( $\Delta R_{\text{rad}}$ ) は、日射が駆動源となり対流が発生・強化したことで降る雨である。さらに、 $\Delta R_{\text{rad}}$  は、日射の効果のうち、不安定度が変わることで対流の発生そのものが変化する効果 ( $\Delta R_{\text{rad\_conv}}$ ) と局地循環が変化することによる効果 ( $\Delta R_{\text{rad\_circ}}$ ) に分けることができるが、今回の実験セットでは、 $\Delta R_{\text{dyn}}$  と  $\Delta R_{\text{rad}}$  の切り分けのみ可能である。

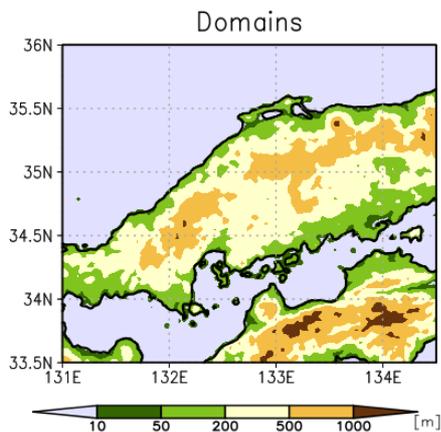


図1：解析領域とモデルの標高

表 1 : 実験デザイン

	Condition of solar radiation
CTL	Solar radiation according to date and time
ExpNoRad	No solar radiation
Exp06	Constant value on 21UTC of initial date (06LT of second day)
Exp09	Constant value on 00UTC (09LT) of initial date
Exp12	Constant value on 03UTC (12LT) of initial date
Exp15	Constant value on 06UTC (15LT) of initial date
Exp18	Constant value on 09UTC (18LT) of initial date

表 2 : 各実験の日射量の CTL に対する比

	ExpNoRad	CTL	Exp06	Exp09	Exp12	Exp15	Exp18
Radiation (対 CTL 比)	0.00	-	0.21	2.25	3.24	2.41	0.37

#### 4. 研究成果

まず、日射があることによる降水量への影響を見るため、CTL と ExpNoRad 実験の全降水量 ( $\Delta R$ ) を比較した。ExpNoRad に対する CTL の  $\Delta R$  の比は 1.5 であり、日射は、日射が全くない場合に比べて降水量を 1.5 倍に増加させる。別の見方をすれば、全降水量のうち、7 割弱は日射によらない大規模擾乱に伴う力学的メカニズムで降る降水といえる。

次に、日射量の違いによる降水量への影響を見るため、CTL 及び Exp06~Exp18 実験の  $\Delta R$  と  $\Delta R_{rad}$  の比較を行った。Exp06 と Exp18 の全降水量 ( $\Delta R$ ) は、ExpNoRad と同程度であった。特に、Exp06 の  $\Delta R$  はわずかに ExpNoRad より少ない。Exp06 と Exp18 の日射量は、CTL より少なく、それぞれ CTL の 2 割、4 割程度であり、日射による降水増加量 ( $\Delta R_{rad}$ ) も CTL より少ない。一方、Exp09, Exp12, Exp15 の  $\Delta R_{rad}$  の CTL に対する比は、3.2 倍、5.6 倍、3.8 倍であり、日射量の増分比 (表 2) よりも降水量の増分比の方が大きい。これは、日射の変化量とそれによる降水変化量が単純な線形ではなく、対流を増加させる働きと局地循環を強める働きの 2 つの働きの間フィードバックが働くためと推測される。

表 3 : 各実験の全降水量 ( $\Delta R$ )、及び、日射があることによる降水量変化 ( $\Delta R_{rad}$ )。

	ExpNoRad	CTL	Exp06	Exp09	Exp12	Exp15	Exp18
$\Delta R$ [mm]	734.07	1093.48	709.24	1888.47	2746.63	2080.37	807.49
$\Delta R_{dyn}$ [mm]	734.07	-	-	-	-	-	-
$\Delta R_{rad}$ [mm] ( $\Delta R - \Delta R_{dyn}$ )	-	359.40	-24.84	1154.40	2012.56	1346.30	73.42
$\Delta R_{rad}$ の 対 CTL 比 [-]	-	-	-0.07	3.21	5.60	3.75	0.20

$\Delta R_{rad}$  の地域による違いを見るため、図 2 に空間分布を示す。CTL よりも日射が少ない場合 (Exp06, Exp18) は、海上の降水は増加、陸上の降水は減少する。一方、CTL よりも日射が多い場合には、海上の降水は減少し、陸上で降水に増加が見られる。また、その陸上降水の増加量は、日射の増加量が多いほど大きい。

今回の研究は、2 種類ある日射の降水への影響の両方を含んだ結果である。また、解析対象期間の 4 ヶ月間には、さまざまな天候の日が含まれており、日によって、2 種類の影響の大きさも異なると推測される。2 つの影響の切り分け、及び、天候別の影響度の違いについては、今後の課題である。

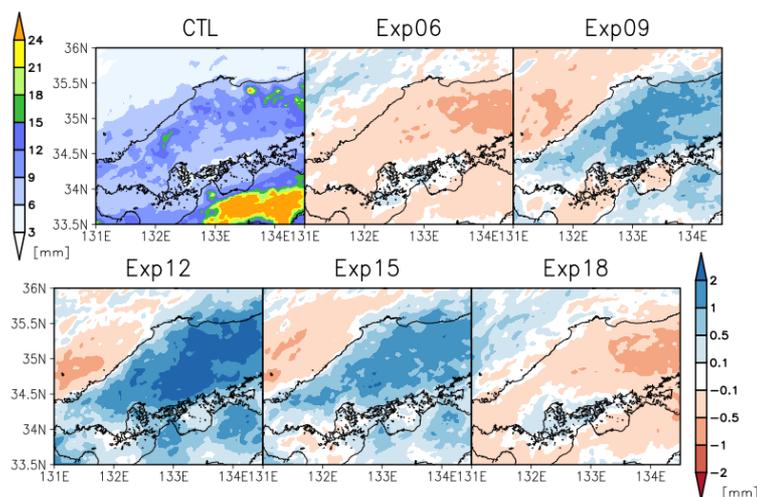


図 2 : 平均日積算降水量の CTL 実験の結果、及び、Exp06~Exp18 実験における、平均日積算降水量の CTL との差の対 CTL 比  $((Exp - CTL) / CTL)$  を示している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Adachi S. A., Tomita H.	4. 巻 125
2. 論文標題 Methodology of the Constraint Condition in Dynamical Downscaling for Regional Climate Evaluation: A Review	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Atmospheres	6. 最初と最後の頁 1-30
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2019JD032166	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 Adachi Sachiho A., Nishizawa Seiya, Ando Kazuto, Yamaura Tsuyoshi, Yoshida Ryuji, Yashiro Hisashi, Kajikawa Yoshiyuki, Tomita Hirofumi	4. 巻 20
2. 論文標題 An evaluation method for uncertainties in regional climate projections	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Atmospheric Science Letters	6. 最初と最後の頁 e877 ~ e877
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/asl.877	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 Adachi, S. A., S. Nishizawa, H. Tomita
2. 発表標題 A new framework built into a numerical library for climate to use spatially-detailed urban parameters
3. 学会等名 The 2nd R-CCS International Symposium（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 足立幸穂, 富田浩文
2. 発表標題 数値モデルを用いた地域気候変化の評価のための力学的ダウンスケーリング手法の紹介
3. 学会等名 第61回大気環境学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 足立幸穂, 西澤誠也, 安藤和人, 山浦 剛, 吉田龍二, 梶川義幸, 八代 尚, 富田浩文
2. 発表標題 将来領域気候予測における不確定性の要因評価手法の提案
3. 学会等名 日本気象学会2019年度春季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Adachi, S. A. and H. Tomita
2. 発表標題 Characteristics of nonlinearity between climatology and perturbation components
3. 学会等名 15th Atmospheric Sciences and Application to Air Quality (ASAAQ15) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Adachi, S. A., S. Nishizawa, R. Yoshida, T. Yamaura, K. Ando, H. Yashiro, Y. Kajikawa, H. Tomita
2. 発表標題 Evaluation procedure of uncertainty source due to GCM projections in downscaled regional climate
3. 学会等名 15th Annual Meeting Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 足立幸穂・西澤誠也・安藤和人・山浦 剛・吉田龍二・梶川義幸・八代 尚・富田浩文
2. 発表標題 関西地域の夏季降水を対象としたSCALEによる将来変化予測
3. 学会等名 日本気象学会2018年度春季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Adachi, S. A., S. Nishizawa, K. Ando, T. Yamaura, R. Yoshida, H. Yashiro, Y. Kajikawa, H. Tomita
2. 発表標題 Evaluation procedure of uncertainty source due to GCM projections in downscaled regional climate
3. 学会等名 The 1st R-CCS International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 足立幸穂, 木村富士男, 高橋洋, 原政之, 馬夔銚, 富田浩文
2. 発表標題 地域気候計算における高解像度海面水温データの影響
3. 学会等名 第58回大気環境学会年会
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
---------------------------	-----------------------	----

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