

令和 5 年 6 月 6 日現在

機関番号：82401

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2022

課題番号：18K13614

研究課題名（和文）「ゲリラ豪雨」予報高精度化に向けた超高頻度・高解像度雷発光データ同化

研究課題名（英文）Toward investigating ultra dense and rapid lightning observation data assimilation for the torrential rainfall forecast

研究代表者

前島 康光 (Yasumitsu, Maejima)

国立研究開発法人理化学研究所・計算科学研究センター・特別研究員

研究者番号：90509564

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）：暖候期を中心にしばしば発生する局地的豪雨は近年「ゲリラ豪雨」とも呼ばれ、予測が難しい気象現象の一つとされている。本課題では、最新の気象観測ビッグデータとして「雷の発光位置データ」を採用し、これを理化学研究所で開発中の数値気象予報システム“SCALE-LETKF”を用いて同化することで、「ゲリラ豪雨」の予報精度を飛躍的に高めることを目的とした研究を遂行した。本課題による成果の一環として、2022年度日本気象学会SOLA論文賞受賞を受賞した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

我が国ではほぼ毎年のように「これまで経験したことのないような雨」と形容されるような豪雨が発生する状況にある一方、その予測においては、短時間で急速に発達するという物理特性に加え、災害が発生しやすい地域で具体的にどの程度降水が起きるのか、定量的に示すことは難しいという課題があった。本研究では、これまで数値天気予報で用いられていない「雷発光データ」の同化技術を確立したこと、それによる「豪雨予測改善の道筋を立てたこと」において学術的意義を持つ。さらに、本研究が現業の予報等に活用されることによって、豪雨による社会負担軽減へつながっていくことに、社会的意義を持つ。

研究成果の概要（英文）：The local torrential rainfall that often occur mainly during warm weather periods is a disasterable weather and are considered one of the most difficult weather phenomena to predict. In this project, we adopted "ultra high dense and frequent lightning position data" as the latest big data from meteorological observations, and assimilated it using the numerical weather forecast system "SCALE-LETKF" which developed at RIKEN, in order to dramatically improve the forecast accuracy of torrential rainfall. The research aimed to dramatically improve the accuracy of forecasting the severe weather. As part of the results of this project, we received the SOLA Paper Award from the Meteorological Society of Japan in 2022.

研究分野：気象学

キーワード：データ同化 メソ気象学 数値気象予報

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

日本列島では特に夏季を中心に局地的な豪雨が頻発し、しばしば甚大な被害をもたらしている。近年ではこのような豪雨は「ゲリラ豪雨」とも呼ばれ、国民の関心が高まりを集めるとともに、防災の観点からも対策が急がれている現象である。

局地的豪雨は活発な積乱雲によってもたらされるが、積乱雲の空間スケールはわずか数 km であり、わずか 10 分程度で急速に成長することが知られている。図 1 は 2014 年 9 月 11 日に神戸市付近で発生した、いわゆる「ゲリラ豪雨」事例による地上降水量を示したものである。午前 8 時には、ごく弱い降水しかなかったにもかかわらず、わずか 10 分で積乱雲が急発達し、50mm/h 以上の非常に強い降水をもたらしている。一方、降水域はわずか 20km 程度の狭い範囲に限定されている。このような時間・空間的に小さなスケールを持つという「ゲリラ豪雨」の特徴は、その予報を困難にしている最たる原因であり、ひいては気象防災上解決すべき喫緊の課題であった。

## 2. 研究の目的

この問題を解決するために、100m 精度を持つ「雷発光観測データ」を、水平 100m 解像度という超高解像度気象シミュレーションに同化することで、「ゲリラ豪雨」予報の精度を飛躍的に向上させることを目的とした研究を行った。

## 3. 研究の方法

本研究は、下記 3 段階の手法を用いて研究を行った。

### (1). 雷の発光頻度と気象を表現する物理量の統計的関連性の明示

観測データを数値モデルに同化するためには、観測量と数値モデルでの直接変数との関係を示す「観測演算子」と呼ばれる数式が必要となる。本研究では、まず 2015 年 8 月 13 日に関西で発生した「ゲリラ豪雨」事例を対象に、Maejima et al. (2017) で確立された、「水平 100m 解像度の数値気象シミュレーションに、30 秒毎のフェーズドアレイ気象レーダーデータを同化する実験」を行い、高精細な気象グリッドデータを 30 秒毎に得る。そして、30 秒間に発生した雷の発光位置や頻度と、上昇気流の強さ、雨・あられなどの降水粒子の多寡との統計的関連性を調査する。その統計的性質に基づいて両者の関連性を多項式で記述し、雷データ同化を行う上での観測演算子を構築した。

### (2). 雷発光データを同化した超高解像度「ゲリラ豪雨」シミュレーションの実施

1. で開発した観測演算子を数値気象シミュレーションシステムに導入し、数値気象モデルに雷発光データを同化するための実装を行う。そして、2015 年 8 月 13 日の「ゲリラ豪雨」事例を対象に、雷発光データのみを同化した場合、フェーズドアレイ気象レーダーデータ・雷発光データ、双方を同化した場合、フェーズドアレイ気象レーダーのみを同化した場合、何も同化しなかった場合、の 4 種の気象シミュレーションの気象シミュレーションを行った。

### (3). 「ゲリラ豪雨」予報精度の検証

～ の気象シミュレーション結果を比較して、「ゲリラ豪雨」予報精度がどのように改善したのかを定量的に議論した。特に雷発光データ同化が「ゲリラ豪雨」をもたらす積乱雲の成長・維持に与えるインパクトについて調査した。

## 4. 研究成果

本研究によって、これまで数値天気予報において使われてこなかった「超高頻度・高解像度雷発光データ」について、これを数値気象モデルに同化する技術を確立し、数値予報システム SCALE-LETKF に実装した。このシステムは、スーパーコンピュータ「富岳」において実行可能であり、本研究の遂行においても「富岳」を活用してそのパフォーマンス改善を図ることで、数値気象予報システムというアプリケーションを通じたスーパーコンピュータ「富岳」の利用高度化にも貢献した。

“SCALE-LETKF”による数値シミュレーションにおいては、前項で記載した 4 種の気象シミュレーションを、気象庁の現業予報で用いられる最もメッシュの細かいモデルの 20 倍の解像度に相当する、水平解像度 100m で行い、結果を定量的に相互比較することによって、雷発光データ

同化による「ゲリラ豪雨」予測改善へのインパクトを示した。その際、降水量等の精度をスコアリングすることはもちろん、観測データの同化が気象シミュレーションのプロセスにどう影響を与えたのかについても具体的に言及した。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Maejima Yasumitsu, Kawabata Takuya, Seko Hiromu, Miyoshi Takemasa	4. 巻 18
2. 論文標題 Observing System Simulation Experiments of a Rich Phased Array Weather Radar Network Covering Kyushu for the July 2020 Heavy Rainfall Event	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 SOLA	6. 最初と最後の頁 25～32
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2151/sola.2022-005	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 Taylor James, Amemiya Arata, Honda Takumi, Maejima Yasumitsu, Miyoshi Takemasa	4. 巻 17
2. 論文標題 Predictability of the July 2020 Heavy Rainfall with the SCALE-LETKF	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 SOLA	6. 最初と最後の頁 48～56
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2151/sola.2021-008	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 Maejima Yasumitsu, Miyoshi Takemasa	4. 巻 16
2. 論文標題 Impact of the Window Length of Four-Dimensional Local Ensemble Transform Kalman Filter: A Case of Convective Rain Event	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 SOLA	6. 最初と最後の頁 37～42
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2151/sola.2020-007	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 Taylor James, Amemiya Arata, Honda Takumi, Maejima Yasumitsu, Miyoshi Takemasa	4. 巻 17
2. 論文標題 Predictability of the July 2020 Heavy Rainfall with the SCALE-LETKF	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 SOLA	6. 最初と最後の頁 48～56
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2151/sola.2021-008	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 Maejima Yasumitsu, Miyoshi Takemasa	4. 巻 16
2. 論文標題 Impact of the Window Length of Four-Dimensional Local Ensemble Transform Kalman Filter: A Case of Convective Rain Event	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 SOLA	6. 最初と最後の頁 37~42
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2151/sola.2020-007	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 Yasumitsu MAEJIMA, Takemasa MIYOSHI, Masaru KUNII, Hiromu SEKO, Kae SATO	4. 巻 91
2. 論文標題 Impact of Dense and Frequent Surface Observations on 1-Minute-Update Severe Rainstorm Prediction: A Simulation Study	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Meteorological Society of Japan	6. 最初と最後の頁 253-273
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2151/jmsj.2019-014	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20件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 14件)

1. 発表者名 前島 康光、富澤 風翔、牛尾知雄、三好建正
2. 発表標題 Toward assimilation of high-precision 3-D lightning location data for severe thunderstorm forecast
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Mmeeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三好建正、本田匠、雨宮新、大塚成徳、前島康光、Taylor James、富田浩文、西澤誠也、末木健太、山浦剛、石川裕、佐藤晋介、牛尾知雄、小池佳奈、星絵里香、中島研吾
2. 発表標題 Big Data Assimilation: Real-time Demonstration Experiment of 30-second-update Forecasting in Tokyo in August 2020
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Mmeeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 前島 康光、富澤 風翔、牛尾知雄、三好建正
2. 発表標題 高頻度・高分解能雷観測データBOLTの同化に向けた観測演算子の構築
3. 学会等名 日本気象学会2021年度春季大会（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 前島 康光、牛尾 知雄、三好 建正
2. 発表標題 雷観測データBOLTの同化に向けた観測演算子の設計調査
3. 学会等名 日本気象学会2020年度春季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 前島 康光、三好 建正
2. 発表標題 EFSOを用いた稠密地上観測データ同化のインパクト評価
3. 学会等名 日本気象学会2020年度秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yasumitsu Maejima, Tomoo Ushio and Takemasa Miyoshi
2. 発表標題 Toward assimilation of dense and frequent 3-D lightning location data for severe local thunderstorm forecast
3. 学会等名 The 3rd R-CCS International Symposium（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Toward assimilation of dense and frequent 3-D lightning location data on a severe local rainfall forecast
2. 発表標題 Yasumitsu Maejima, Tomoo Ushio and Takemasa Miyoshi
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 前島 康光, 牛尾 知雄, 三好 建正
2. 発表標題 高頻度・高解像度3次元 雷発光データ同化に向けた取り組み
3. 学会等名 令和2年度「富岳」成果創生加速プログラム成果報告会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takemasa Miyoshi, Takumi Honda, Marimo Ohhigashi, Shigenori Otsuka, Arata Amemiya, Yasumitsu Maejima, Shunji Kotsuki, Yoshihiro Ishikawa, Hiromu Seko, Yoshito Yoshizaki, Naonori Ueda, Hirofumi Tomita, Yutaka Ishikawa, Shinsuke Satoh, Tomoo Ushio, Kana Koike, Yasuhiko Nakada
2. 発表標題 Big Data Assimilation: Real-Time Workflow for 30-Second-Update Forecasting and Perspectives Toward DA-AI Integration
3. 学会等名 100th American Meteorological Society Annual Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shigenori Otsuka, Yasumitsu Maejima, Pierre Tandeo, Takemasa Miyoshi
2. 発表標題 Toward an integrated NWP-DA-AI system for 30-second-update precipitation prediction
3. 学会等名 ECMWF-ESA Workshop on Machine Learning for Earth System Observation and Prediction (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大塚成徳, 前島康光, Pierre Tandeo, 三好建正
2. 発表標題 深層学習と数値天気予報の融合による降水予測に向けて
3. 学会等名 日本気象学会2020年度秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 前島康光, 大塚成徳, 三好建正
2. 発表標題 平成30年7月豪雨を対象とした 高頻度・高解像度フェーズドアレイ気象レーダーデータ同化実験
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 Yasumitsu Maejima, Shigenori Otsuka and Takemasa Miyoshi
2. 発表標題 Assimilating every 30-second phased array weather radar data in a torrential rainfall event on July 6, 2018 around Kobe city
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasumitsu Maejima, Shigenori Otsuka and Takemasa Miyoshi
2. 発表標題 Assimilating every 30-second phased array weather radar data in a torrential rainfall event on July 6, 2018 around Kobe city
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 Yasumitsu Maejima, Shigenori Otsuka and Takemasa Miyoshi
2. 発表標題 Assimilating every 30-second phased array weather radar data in a torrential rainfall event on July 6, 2018 around Kobe city
3. 学会等名 39th International Conference on Radar Meteorology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasumitsu MAEJIMA, Shigenori OTSUKA, Takemasa MIYOSHI
2. 発表標題 Assimilating every 30-second phased array weather radar data in a torrential rainfall event on July 6, 2018 around Kobe city
3. 学会等名 7th International Symposium on Data Assimilation (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasumitsu MAEJIMA, Shigenori OTSUKA, Takemasa MIYOSHI
2. 発表標題 Impact of every 30-second phased array weather radar data on simulating a torrential rainfall event on July 6, 2018 around Kobe city.
3. 学会等名 5th International Workshop on Nonhydrostatic Models (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 前島康光, 牛尾知雄, 三好建正
2. 発表標題 高頻度・高分解能雷観測データと100 m メッシュSCALE-LETKF によるシミュレーションとの比較
3. 学会等名 日本気象学会2018年度秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasumitsu MAEJIMA, Shigenori OTSUKA, Takemasa MIYOSHI
2. 発表標題 Assimilating every 30-second phased array weather radar data in a torrential rainfall event on July 6, 2018 around Kobe city
3. 学会等名 The 1st R-CCS Symposium (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 James TAYLOR, Guo-Yuan LIEN, Shinsuke SATOH, Takemasa MIYOSHI, Yasumitsu MAEJIMA
2. 発表標題 30-second cycle LETKF assimilation of dual phased array weather radar observations to short-range convective forecasts
3. 学会等名 5th International Workshop on Nonhydrostatic Models (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Shirley G.-Trinidad, Johnny Douvinet, Yasumitsu Maejima, Tround K. Haraldsen, Yao Wang	4. 発行年 2022年
2. 出版社 Intechopen	5. 総ページ数 125
3. 書名 Floods - Understanding Existing and Emerging Risk Drivers in a Climate Change Context	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>理化学研究所データ同化研究チーム  <a href="http://www.data-assimilation.riken.jp/">http://www.data-assimilation.riken.jp/</a>          理化学研究所計算科学研究センターデータ同化チーム2019年度研究業績  <a href="http://www.data-assimilation.riken.jp/jp/achievements/2019.html">http://www.data-assimilation.riken.jp/jp/achievements/2019.html</a></p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

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