

令和 4 年 9 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2020～2021

課題番号：20K22362

研究課題名（和文）衛星データ同化を用いた、大気対流現象の発生メカニズム解明とデータ同化スキーム開発

研究課題名（英文）Development of ensemble-based inflation schemes for convective-scale all-sky satellite radiance data assimilation

研究代表者

南出 将志（Minamide, Masashi）

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・助教

研究者番号：90884916

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：台風や雷雨など極端気象現象の予測可能性の向上は、激甚化が懸念されている水災害に対応するために必需である。しかし、極端気象現象発達の基幹的なプロセスである上昇気流を伴う大気の対流は、その発達プロセスに強いカオス的性質を内包し、発生場所・時間を規定するメカニズム理解が進んでいない。本研究では、開発した衛星観測データ同化数値気象予測システムを用いて、対流現象発達のメカニズムについて新たに解明し、さらに台風の予測精度向上を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

気象において台風のような極端気象現象の発生は、基幹プロセスである積雲対流のカオス性が強く、予測は困難という認識が共有されてきた。しかしながら、近年の技術発展により、個々の積雲対流の発達を解像できる観測網や、シミュレーションで表現可能な数値予報モデル、それらを活用し得る計算機が整備され、そのような前提に風穴を開ける基盤が準備されつつある。本研究は、衛星観測データの新たな利用法と、その効果を定量的に示すものであり、開発した研究ベースの予測技術が、現業機関への実装を通じて社会（日々の天気予報）に貢献するにあたって不可欠な知見を提供した。

研究成果の概要（英文）：Atmospheric deep moist convection has emerged as one of the most challenging topics for numerical weather prediction, due to the chaotic process of development with multi-scale physical interactions. This study examines the dynamics and predictability of the development of convection and the subsequent development of severe weather events like tropical cyclones. We have found essential sources of predictive convective events, and achieved the improvement of tropical cyclone intensity prediction accuracy.

研究分野：大気科学

キーワード：数値予報 データ同化 衛星 台風

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

“バタフライ・エフェクト”という言葉に表現されるように、気象は初期値鋭敏性を有する。微小スケールの差異が、人間活動に影響を及びしうる巨大なスケールの現象へ拡大・伝搬する。極端気象現象における主要な“蝶の羽ばたき”に該当するのが、上昇気流を伴う大気対流(以下、対流現象と呼ぶ)である。対流現象の発生位置や時間のわずかな変動に依りて、雷雨発生場所やハリケーンの発達度合いが影響を受ける。このような性質から、極端気象現象の予測精度は、対流現象の発生場所・時間の予測可能性がボトルネックとなる。対流現象の内包するカオス的性質により、数値予報において「対流現象発生の予測は誤差を含み、かつ予測できなかった場合に従来のデータ同化を通じた修正は困難」という難問が存在し、発生メカニズムの解析は困難であった。そこで申請者は、世界に先駆けて、従来データ同化への利用が困難であった静止軌道赤外線観測衛星(ひまわり8号など)を活用するための手法を開発し(Minamide and Zhang, 2017, 2019)、全天候域におけるアンサンブルカルマンフィルタ衛星観測データ同化システムを構築することで(Zhang and Minamide et al., 2016, 2018, 2019)、過去に発生した対流現象を数値モデルにより数 km スケール・数十分スケール以内の誤差で再現することに成功した(Minamide et al., 2020)。主要な貢献を果たしたのが Minamide and Zhang (2019)で提案したデータ同化スキームであり、天候で区分した統計的解析から、対流現象発生に関連可能性のある物理変数(風速、気温、気圧など)の摂動変容が貢献しうる先駆的可能性を示した。しかし、力学的メカニズムに基づく対流現象発生に特徴的な物理変数とスケールの理解は十分でなく、一部に再現できない対流現象が存在するなど、本スキーム及び極端気象現象の科学的理解はさらなる改善の余地を残している。

### 2. 研究の目的

本研究は、次世代静止軌道気象衛星を活用し高解像度で再現された対流現象シミュレーションを用いた対流現象の発生要因の解明、及び対流現象の再現精度改善による極端気象現象の予測精度向上可能性評価を目的とした。

### 3. 研究の方法

- (1) 構築したデータ同化システムをもとに、次世代静止軌道気象衛星ひまわり8号、米国の GOES-16 の観測を適用し、極端気象現象内部で生じる対流現象の三次元構造を、数 km スケールの高解像度で再現する(準備実験結果を下図に示す)。
- (2) 再現シミュレーションの物理変数を様々な空間スケールに分解し、対流現象発生との相関を計算し、対流現象に特徴的な物理的シグナルを列挙する。抽出されたシグナルについて、数値モデルによる感度実験を実施し、対流現象発生の鍵となる要素を同定する。
- (3) (1)の再現実験について、台風・ハリケーンを中心とする過去の極端気象現象に適用し、次世代静止軌道気象衛星を用いた全天候赤外線衛星データ同化システムによる、極端気象現象内部で発生する対流現象、及び極端気象現象そのものの予測精度向上に必要な要素を明らかにする。

### 4. 研究成果

- (1) 次世代静止軌道気象衛星ひまわり8号、米国の GOES-16 の観測を活用し、極端気象現象内部で生じる対流現象の三次元構造を、数 km スケールの高解像度で再現することに成功した。特に、GOES-16 による全天候赤外線衛星観測データ同化を通じて、対流活動の解析・予測精度が改善した。これらの再現シミュレーションの物理変数のうち、大気中の水蒸気量について様々な空間スケールに分解し、対流現象発生との相関を計算した。結果として、対流現象に特徴的な時空間的スケールの特徴を明らかにした。具体的には、環境場として、メソ- (2000-200 km)、- (200-20 km) スケールの水蒸気場は、対流活動発生の 1-3 時間程度前から特徴的な湿潤傾向のシグナルが同定できる(下図 a)。このような対流活動に比べて比較的大きなスケールの環境場は、“対流活動が発生しやすい”状態の発生を拘束するが、必ずしも内部で発生する個々の対流の場所・時間を規定するものではないことが明らかになった。個々の対流活動に伴う水蒸気場の湿潤シグナルは、メソ- (20-2 km) スケールにおいて、対流活動ピークの 15-5 分前程度において、明確に表出した(下図 b-d)。数値モデルによる感度実験も完了し、対流現象の予測精度向上に必要な要素について、ロバストな結果を得ることができた。

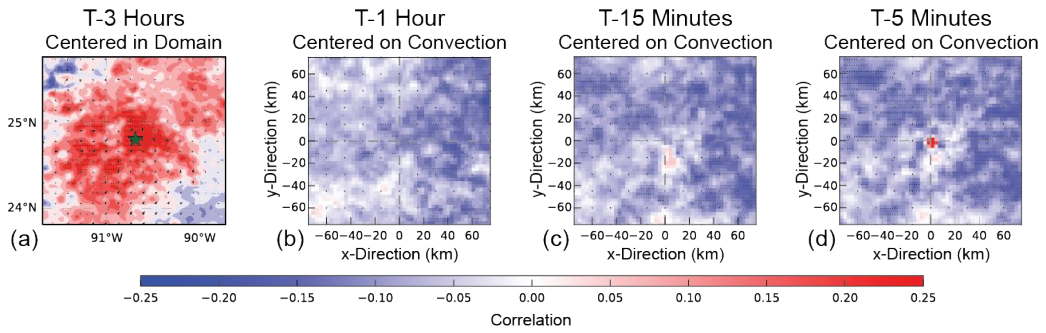


図 1：対流活動に伴うピーク時の上昇気流と、水蒸気環境場のラグタイム相関

(2) 大西洋にて発生し、GOES-16にてその急速発展を観測されたハリケーンについて、衛星観測同化実験を実施し、大気対流現象の発生メカニズムと、急速発達時の台風強度予測の向上可能性について検証した。台風の急速発達時における強度予測精度について、米国国立ハリケーンセンターによるオフィシャルガイダンス (OFCL) と比較し、本実験 (APSU) の予測誤差がピーク時で 20%程度減少した。また、台風強度予測のネガティブバイアス (台風発達の過小評価傾向) について、開発した衛星データ同化システムによって改善することを示した。また、台風の予測精度改善に貢献した要素を解析し、定量的に示した。衛星以外の観測が不足する熱帯海洋上において、特に衛星観測の予測精度改善への貢献度が高く、予測改善の 90%以上が衛星観測データ同化によって実現されることを示した。

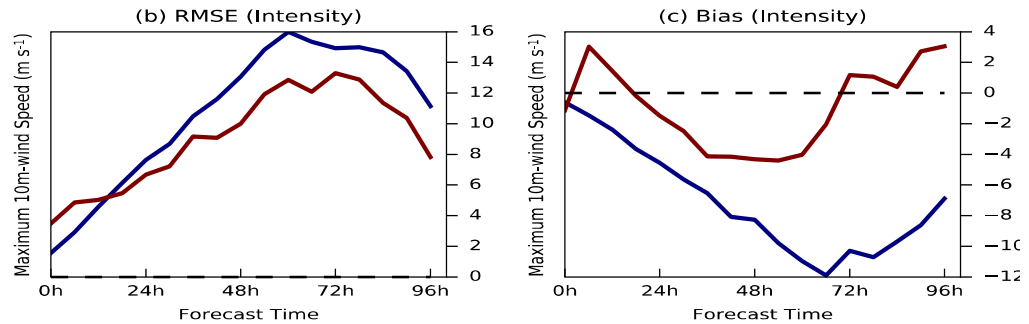


図 2：台風強度予測誤差の時間発展．左は二乗平均平方根 (Root Mean Square Error), 右は予測バイアス

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 Minamide Masashi, Posselt Derek J.	4. 巻 79
2. 論文標題 Using Ensemble Data Assimilation to Explore the Environmental Controls on the Initiation and Predictability of Moist Convection	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the Atmospheric Sciences	6. 最初と最後の頁 1151 ~ 1169
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1175/JAS-D-21-0140.1	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

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 2件/うち国際学会 5件）

1. 発表者名 Minamide M.
2. 発表標題 山本賞受賞記念公演「衛星全天候観測データを用いた台風のデータ同化に関する研究」
3. 学会等名 気象学会秋季大会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Minamide, M., F. Zhang, E.E. Clothiaux
2. 発表標題 ハリケーン急速発達過程における非線形な予測不確実性増加台風のデータ同化に関する研究
3. 学会等名 気象学会秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Minamide, M., D. J. Posselt
2. 発表標題 全天赤外輝度温度同化を通じた対流の予測可能性
3. 学会等名 気象学会秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Minamide M., F.Zhang, E. E. Clothiaux
2. 発表標題 Nonlinear Forecast Error Growth of Rapidly Intensifying Hurricane Harvey (2017) Examined through Convection-permitting Ensemble Assimilation of GOES-16 All-sky Radiances
3. 学会等名 the 101st Annual Meeting of American Meteorological Society (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Minamide M., D. J. Posselt
2. 発表標題 Hurricane-Seasonal analysis on the performances of Convection-Permitting Ensemble Tropical Cyclone Initializations with All-sky Satellite Radiance Assimilation
3. 学会等名 the 101st Annual Meeting of American Meteorological Society (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Minamide, M., D. J. Posselt
2. 発表標題 全天赤外輝度温度のデータ同化による極端気象現象予測
3. 学会等名 気象学会春季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Minamide, M., D. J. Posselt
2. 発表標題 全天赤外輝度温度のデータ同化による台風の急速発達予測
3. 学会等名 気象学会秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Minamide M., D. J. Posselt
2. 発表標題 Predictability of moist convection through thousands ensemble convective-scale data assimilation
3. 学会等名 the 102nd Annual Meeting of American Meteorological Society (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Minamide M., D. J. Posselt
2. 発表標題 Pursuing the promise of satellite all-sky radiance assimilation for improving hurricane prediction: A recent adventure of Fuqing Zhang
3. 学会等名 The 35th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Minamide, M., D. J. Posselt
2. 発表標題 大アンサンブルによる全天赤外輝度温度同化を通じた対流の予測可能性
3. 学会等名 気象学会春季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masashi Minamide
2. 発表標題 Capability of Highly Spatiotemporally Resolving Initializations with All-sky Satellite Data Assimilation on the Convective Severe Weather Event Predictions
3. 学会等名 34th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology Virtual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 南出将志
2. 発表標題 全天赤外輝度温度同化を通じた対流の予測可能性
3. 学会等名 日本気象学会2020秋季大会
4. 発表年 2020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