

PRESS RELEASE

2020年8月20日

理化学研究所

千葉大学

東京大学

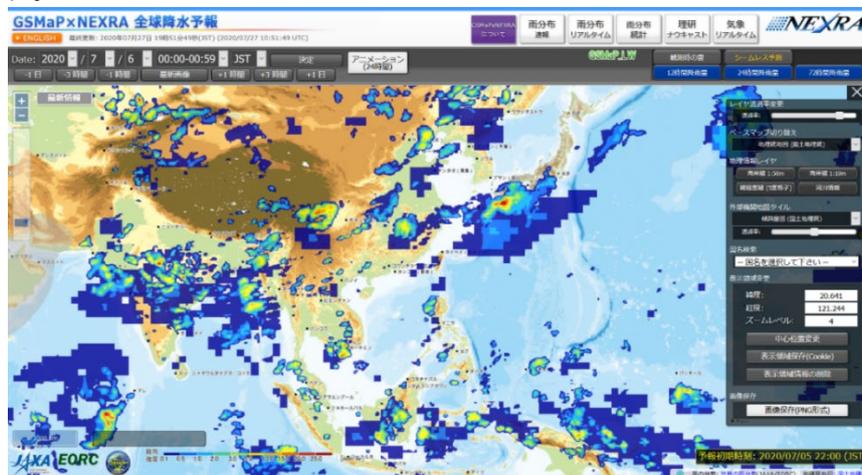
宇宙航空研究開発機構

衛星データと計算による世界の降水予報

—理研と JAXA の web で 5 日後までのリアルタイム降水予報を公開—

理化学研究所（理研）計算科学研究センターデータ同化研究チームの三好建正チームリーダー、千葉大学環境リモートセンシング研究センターの小槻峻司准教授、東京大学大気海洋研究所の佐藤正樹教授、宇宙航空研究開発機構（JAXA）第一宇宙技術部門地球観測研究センターの久保田拓志主任研究開発員らの国際共同研究グループ※は、人工衛星による世界の降水観測データ（JAXA の全球衛星降水マップ（GSMaP））を生かした 5 日後までのリアルタイム降水予報を、理研の天気予報研究のウェブページおよび JAXA の降水情報ウェブページ「GSMaPxNEXRA 全球降水予報」で 8 月 20 日から公開します。

国際共同研究グループは、JAXA 地球観測研究公募などで衛星降水データを用いた地球全体を領域とする降水予測研究を行ってきました。今回、降水予測の高度化を目指し、降水ナウキャスト^[1]と数値天気予報^[2]という二つの異なる予測手法に基づいた全球降水予測システムを開発しました。さらに、この二つの予測データを統合する新たな手法を開発し、これらをリアルタイムに継続運用することで、5 日後までの世界各地の降水予報を実現しました。この予報は、従来の天気予報では活用されてこなかった人工衛星による降水観測データを直接利用するもので、研究開発に着手した 2013 年 4 月以降得てきたさまざまな成果を統合した集大成となります。人工衛星による降水観測データを利用することで、地上に設置する雨量計やレーダーなどの降水観測が限られている地域を中心に、地球規模で増大している大雨や渇水などの予測情報としての活用が期待されます。今後、スーパーコンピュータ「富岳」を用いて降水予報の更なる高度化に取り組みます。



JAXA の降水情報ウェブページ「GSMaPxNEXRA 全球降水予報」の例

※国際共同研究グループ

理化学研究所 計算科学研究センター

データ同化研究チーム

チームリーダー	三好 建正	(みよし たけまさ)
研究員	寺崎 康児	(てらさき こうじ)
研究員	大塚 成徳	(おおつか しげのり)
特別研究員	雨宮 新	(あめみや あらた)
特別研究員 (研究当時)	グオ-ユエン・リエン	(Guo-Yuan Lien)
	(現 台湾中央気象局)	

複合系気候科学研究チーム

チームリーダー	富田 浩文	(とみた ひろふみ)
---------	-------	------------

千葉大学 環境リモートセンシング研究センター

准教授	小槻 峻司	(こつき しゅんじ)
-----	-------	------------

東京大学 大気海洋研究所

教授	佐藤 正樹	(さとう まさき)
----	-------	-----------

宇宙航空研究開発機構 第一宇宙技術部門 地球観測研究センター

主任研究開発員	久保田 拓志	(くぼた たくじ)
---------	--------	-----------

研究領域上席	沖 理子	(おき りこ)
--------	------	---------

メリーランド大学 大気海洋科学部

特別荣誉教授	エウゲニア・カルネイ	(Eugenia Kalnay)
--------	------------	------------------

1. 背景

地球規模の気候変動は、世界の降水に大きな変化をもたらしており、近年では過去に経験したことがない大雨や渇水などの災害が世界各地で頻発しています。

気象学では、降水という大気現象の理解を深め、予測技術を発展させてきましたが、世界の降水についてはまだよく分かっていません。降水の観測は、バケツに水が溜まる原理で行う雨量計観測が基本ですが、雨量計が設置された地点でしか観測結果が得られません。そのため、雨量計の設置が難しい海洋上や極域、山岳地帯などでは、雨や雪がどのように降っているのか、正確に測ることができません。

人工衛星は、宇宙から雨雲を測定するため、雨量計の有無にかかわらず、広い範囲を一様に観測できます。つまり、世界の降水を知るには人工衛星観測が有効です。そこで、降水を観測するための人工衛星が、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) とアメリカ航空宇宙局 (NASA) の共同で打ち上げられてきました。1997年11月に打ち上げられた熱帯降雨観測衛星 TRMM は、2015年4月まで熱帯の降雨を観測しました^{注1)}。その後継機である全球降水観測計画 (GPM) 主衛星は、2014年2月に打ち上げられ、現在も観測を続けています^{注2)}。これらの衛星には、降水レーダーが搭載されており、雨雲の立体的な分布を観測できます。この情報を生かし、その他のマイクロ波放射計^[3]などの各種衛星観測データを統合した「衛星全球降水マップ (GSMaP)」が JAXA により開発され、リアルタイムで運用されています^{注3)}。

降水の予測は計算を用いて行われ、「降水ナウキャスト」と「数値天気予報」

という二つの予測手法が知られています。降水ナウキャストは、観測データによる直近の降水分布の動きを捉え、それがそのまま持続すると仮定して、将来の降水分布を予測します。雨雲の発生や発達などの気象学的なメカニズムを考慮しないため、計算が単純で高速でできますが、予測時間が長くなると精度が急速に低下するという問題があります。一方、数値天気予報は、気象学的なメカニズムを考慮したシミュレーションに基づくため、予測時間が長くなっても降水ナウキャストより精度を高く保ちますが、スーパーコンピュータを使った複雑な計算を要します。日々の天気予報に使われている気象庁の「全球モデル (GSM)」は、地球全体をおよそ 20 キロメートル四方のメッシュ状に区切り、1 日 1 回、11 日後まで予測する数値天気予報システムです^{注 4)}。

国際共同研究グループは降水予測の高度化を目指し、人工衛星による降水観測データを生かした降水予報に関する研究を 2013 年 4 月に開始しました。

注 1) https://www.eorc.jaxa.jp/TRMM/index_j.htm

注 2) <https://www.eorc.jaxa.jp/GPM/>

注 3) <https://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP/index.htm>

注 4) <https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/whitep/1-3-5.html>

2. 研究手法と成果

降水予測の高度化として、国際共同研究グループはまず、従来の降水ナウキャスト手法に「データ同化」手法を取り入れ、予測精度を向上させた新しい降水ナウキャスト技術を開発しました。データ同化は、数値天気予報の要として、シミュレーションに実測データを取り込む方法です。降水ナウキャストでは、降水分布の場所ごとの移動の方向や速さ（移動ベクトル）を捉えることが重要ですが、刻々と変動する降水分布の画像データから安定した移動ベクトルを得ることが難しいという課題がありました。これに対して数値天気予報で用いられるデータ同化の方法を応用することで、移動ベクトルがより安定的に算出できるようになりました。この新しい降水ナウキャスト手法を、GSMaP の全球降水マップに適用し、2017 年 5 月以降、12 時間後までの降水予報を理研の天気予報研究のウェブページおよび JAXA の理研ナウキャストウェブページで公開してきました^{注 5-6)}。

また降水ナウキャスト技術とは異なる高度化技術の研究として、数値天気予報モデル NICAM^[4]（非静力学正 20 面体格子大気モデル）^{注 7)} と局所アンサンブル変換カルマンフィルタ LETKF^[5]を組み合わせた「NICAM-LETKF 数値天気予報システム」を新たに開発し、GSMaP データを同化することに成功しました。このシステムでは、世界で唯一 GSMaP データを直接用いています。降水観測データを数値天気予報に用いるのは難しく、気象学における難問の一つでしたが、ガウス分布変換手法^[6]を降水データに適用することで解決しました。この NICAM-LETKF 数値天気予報システムを JAXA のスーパーコンピュータ（JAXA Supercomputer System Generation 2; JSS2）によりリアルタイムで実行し、「世界の気象リアルタイム NEXRA」として公開しています^{注 8)}。

降水予測のさらなる高度化として、降水ナウキャストによる 12 時間後までの

予測データと、NICAM-LETKF 数値天気予報システムによる 5 日後までの降水予測データの二つの異なる降水予測データを統合して、一つの高精度な降水予測データを作成する新しい手法を開発しました。この手法は、場所ごとの統計的特徴を考慮した局所最適化という独自の工夫を行うことで、予測精度を向上させました。これにより 12 時間後までは、降水ナウキャストと数値天気予報を統合した高精度降水予測が可能になりました(図 1)。12 時間後から 5 日後までは、降水ナウキャストの予測精度が低下するため、数値天気予報のみを用います。

今回、この降水ナウキャストと数値天気予報を組み合わせた 5 日後までの予報データを、理研の天気予報研究のウェブページ (<https://weather.riken.jp>) および JAXA の降水情報ウェブページ「GSMaPxNEXRA 全球降水予報」(https://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaPxNEXRA/index_j.htm) で公開します(図 2)。

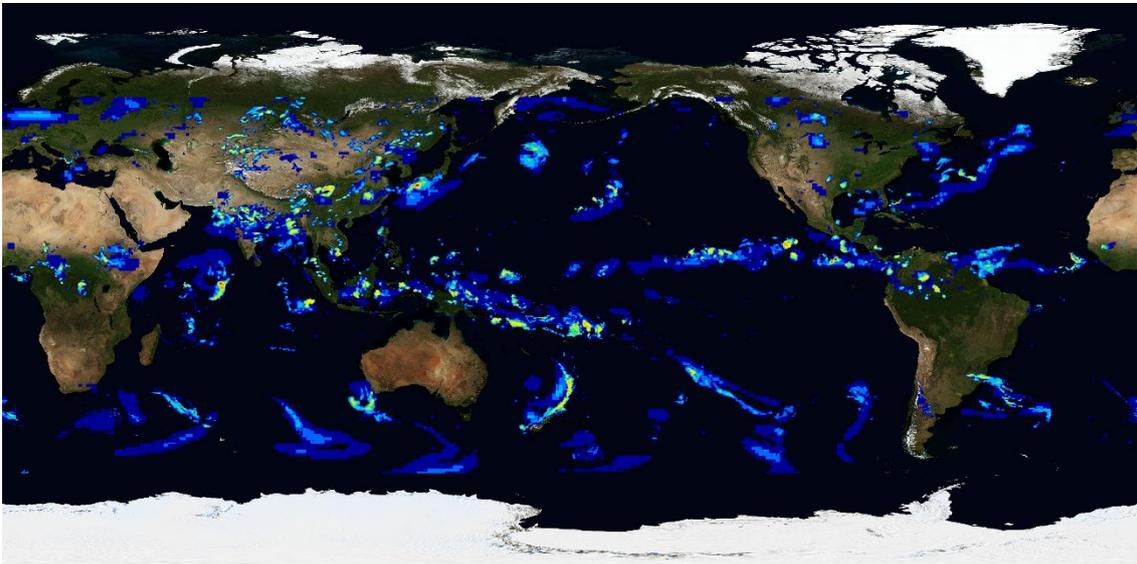


図 1 降水ナウキャストと数値天気予報を統合した高精度降水予測の全球分布図
2020 年 7 月 5 日 22 時を初期時刻とした 3 時間後の降水予測値の分布を表示している。

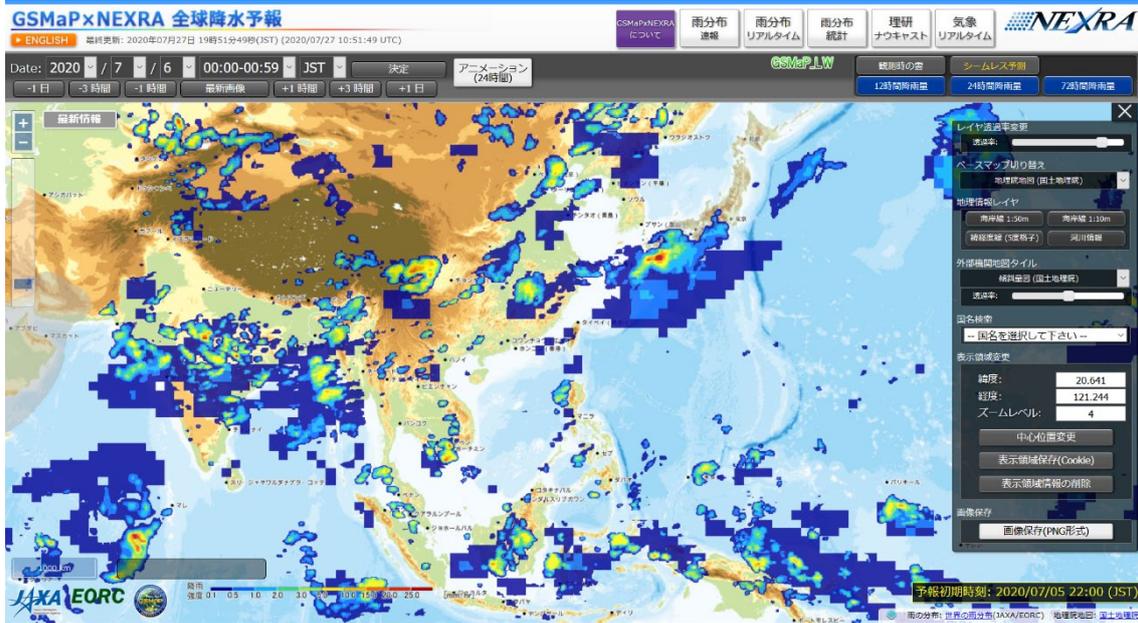


図2 JAXAの降水情報ウェブページ「GSMaPxNEXRA 全球降水予報」の例

2020年7月5日22時を初期時刻とした3時間後の降水予測値の分布を表示している。「令和2年7月豪雨」に伴う大雨が九州南部で予測されている。

注5) <https://weather.riken.jp/>

注6) https://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP_RNC/index_j.htm

注7) <https://cesd.auri.u-tokyo.ac.jp/nicam/index.html>

注8) https://www.eorc.jaxa.jp/theme/NEXRA/index_j.htm

3. 今後の期待

増大する大雨などの降水リスクに、直前の予測による対応は重要です。世界には、地上に設置する雨量計やレーダーなどの降水観測が限られている地域も多く、広い範囲を一様に観測する衛星データが有効です。本成果は、衛星降水観測データを活用したリアルタイム予測情報として、世界の国々で活用され、直前の対策による被害の防止や軽減に役立てられると期待できます。

4. 論文情報

本研究成果は、『*Weather and Forecasting*』誌など計12本の論文に掲載されました。各論文の概要は下記の通りです。

【論文1】

<タイトル>

Nowcasting with data assimilation: a case of Global Satellite Mapping of Precipitation

<著者名>

Otsuka, S., S. Kotsuki and T. Miyoshi

<雑誌>

Weather and Forecasting

<DOI>

10.1175/WAF-D-16-0039.1

【論文 2】

<タイトル>

GSMaP RIKEN Nowcast: Global precipitation nowcasting with data assimilation

<著者名>

Otsuka, S., S. Kotsuki, M. Ohigashi, and T. Miyoshi

<雑誌>

Journal of Meteorological Society of Japan

<DOI>

10.2151/jmsj.2019-061

【論文 3】

<タイトル>

Local Ensemble Transform Kalman Filter Experiments with the Nonhydrostatic Icosahedral Atmospheric Model NICAM

<著者名>

Terasaki, K., M. Sawada and T. Miyoshi

<雑誌>

SOLA

<DOI>

10.2151/sola.2015-006

【論文 4】

<タイトル>

Assimilation of TRMM Multisatellite Precipitation Analysis with a low-resolution NCEP Global Forecasting System

<著者名>

Lien, G.-Y., T. Miyoshi and E. Kalnay

<雑誌>

Monthly Weather Review

<DOI>

10.1175/MWR-D-15-0149.1

【論文 5】

<タイトル>

Statistical properties of global precipitation in the NCEP GFS model and TMPA observations for data assimilation

<著者名>

Lien, G.-Y., E. Kalnay, T. Miyoshi and G. J. Huffman

<雑誌>

Monthly Weather Review

<DOI>

10.1175/MWR-D-15-0150.1

【論文 6】

<タイトル>

Assimilating the Global Satellite Mapping of Precipitation Data with the Nonhydrostatic Icosahedral Atmospheric Model NICAM

<著者名>

Kotsuki, S., T. Miyoshi, K. Terasaki, G.-Y. Lien and E. Kalnay

<雑誌>

Journal of Geophysical Research

<DOI>

10.1002/2016JD025355

【論文 7】

<タイトル>

Assimilating AMSU-A Radiances with the NICAM-LETKF

<著者名>

Terasaki, K. and T. Miyoshi

<雑誌>

Journal of Meteorological Society of Japan

<DOI>

10.2151/jmsj.2017-028

【論文 8】

<タイトル>

Predictability of Record-Breaking Rainfall in Japan in July 2018: Ensemble Forecast Experiments with the Near-real-time Global Atmospheric Data Assimilation System NEXRA

<著者名>

Kotsuki, S., K. Terasaki, K. Kanemaru, M. Satoh, T. Kubota and T. Miyoshi

<雑誌>

SOLA

<DOI>

10.2151/sola.15A-001

【論文 9】

<タイトル>

Multi-year analysis using the NICAM-LETKF data assimilation system

<著者名>

Terasaki, K., S. Kotsuki, and T. Miyoshi

<雑誌>

SOLA

<DOI>

10.2151/sola.2019-009

【論文 10】

<タイトル>

Global Precipitation Forecasts by Merging Extrapolation-Based Nowcast and Numerical Weather Prediction with Locally Optimized Weights

<著者名>

Kotsuki, S., K. Kurosawa, S. Otsuka, K. Terasaki and T. Miyoshi

<雑誌>

Weather and Forecasting

<DOI>

10.1175/WAF-D-18-0164.1

【論文 11】

<タイトル>

Precipitation Ensemble Data Assimilation in NWP Models. Satellite Precipitation Measurement

<著者名>

Miyoshi, T., S. Kotsuki, K. Terasaki, S. Otsuka, G.-Y. Lien, H. Yashiro, H. Tomita, M. Satoh, and E. Kalnay

<雑誌>

Advances in Global Change Research, Springer

<DOI>

10.1007/978-3-030-35798-6_25

【論文 12】

<タイトル>

Adaptive covariance relaxation methods for ensemble data assimilation: Experiments in the real atmosphere.

<著者名>

Kotsuki, S., Y. Ota, T. Miyoshi

<雑誌>

Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society

<DOI>

10.1002/qj.3060

5. 補足説明

[1] 降水ノウキャスト

観測データによる直近の降水分布の動きを捉え、それがそのまま持続すると仮定して、将来の降水分布を予測する手法。雨雲の発生や発達などの気象学的なメカニズムを考慮しないため、計算が単純で高速でできるが、予測時間が長くなると精度が急速に低下するという問題がある。

[2] 数値天気予報

気象学的なメカニズムを考慮した物理学の方程式により、大気の状態をコンピュータの数値計算によってシミュレーションして行う天気予報。

[3] マイクロ波放射計

マイクロ波の電磁波放射エネルギーの計測器。例えば、降水によって散乱される波長がマイクロ波帯域にあり、この波長の放射エネルギーを計測することで、降水の情報を得ることができる。

[4] 数値天気予報モデル NICAM

地球全体で雲の発生・挙動を直接計算することにより、高精度の計算を実現した全球気象モデル。従来の全球気象モデルでは、高気圧・低気圧のような大規模な大気循環と雲システムの関係について、なんらかの仮定が必要とされ、不確実性の大きな要因となっていた。NICAMは主に水平解像度 870 m ~ 14 km の範囲で運用されており、870 m ~ 3.5 km の超高解像度を用いる場合は全球雲解像モデル、7 km ~ 14 km の解像度を用いる場合は全球雲システム解像モデルと呼ばれる。今回は特に、解像度 112 km で 14 km よりも 10 倍程度低解像度で動かしている。NICAMは Nonhydrostatic ICosahedral Atmospheric Model の略。

NICAMについて：<https://cesd.aori.u-tokyo.ac.jp/nicam/index.html>

[5] 局所アンサンブル変換カルマンフィルタ LETKF

データ同化手法の一種で、特に並列計算効率に優れた現実的な手法。メリーランド大学で初めて考案され、世界のさまざまな数値天気予報システムに実装されている。LETKFは Local Ensemble Transform Kalman Filter の略。

[6] ガウス分布変換手法

非ガウス分布に従う確率変数を、ガウス分布に従うように変数変換する手法。

6. 発表者・機関窓口

<発表者> ※研究内容については発表者にお問い合わせください。

理化学研究所 計算科学研究センター データ同化研究チーム

チームリーダー 三好 建正 (みよし たけまさ)

TEL : 078-940-5810 FAX : 078-304-4961

E-mail : [takemasa.miyoshi\[at\]riken.jp](mailto:takemasa.miyoshi@riken.jp)

千葉大学 環境リモートセンシング研究センター
准教授 小槻 峻司 (こつき しゅんじ)

東京大学 大気海洋研究所
教授 佐藤 正樹 (さとう まさき)

宇宙航空研究開発機構 第一宇宙技術部門 地球観測研究センター
主任研究開発員 久保田 拓志 (くぼた たくじ)

<機関窓口>

*今般の新型コロナウイルス感染症対策として、在宅勤務を実施しておりますので、メールにてお問い合わせ願います。

理化学研究所 広報室 報道担当
E-mail: ex-press[at]riken.jp

千葉大学 企画総務部 渉外企画課 広報室
E-mail: bag2018[at]office.chiba-u.jp

東京大学 大気海洋研究所 広報室
E-mail: kouhou[at]aori.u-tokyo.ac.jp

宇宙航空研究開発機構 広報部
TEL: 03-5289-3650 FAX: 03-3258-5051
E-mail: proffice [at] jaxa.jp

※上記の[at]は@に置き換えてください。

研究支援

本研究は、JAXA 第7回降水観測ミッション「TRMM/GPM 降水観測データのアンサンブルデータ同化（研究代表者：三好建正）」、JAXA 第8回降水観測ミッション「GPM 観測のデータ同化の高度化（研究代表者：三好建正）」、JAXA 第2回地球観測研究公募「GPM 観測データ同化による降水予測アルゴリズムの高度化（研究代表者：三好建正）」、「ポスト「京」で重点的に取り組むべき社会的・科学的課題に関するアプリケーション開発・研究開発」重点課題「観測ビッグデータを活用した気象と地球環境の予測の高度化（研究代表者：高橋桂子、担当責任者：三好建正）」、「富岳」成果創出加速プログラム「防災・減災に資する新時代の大アンサンブル気象・大気環境予測（研究代表者：佐藤正樹、協力機関分担者：三好建正）」、科学技術振興機構（JST）戦略的創造研究推進事業 CREST 研究課題「「ビッグデータ同化」の技術革新の創出によるゲリラ豪雨予測の実証（研究代表者：三好建正）」、JST AIP 加速課題「ビッグデータ同化と AI によるリアルタイム気象予測の新展開（研究代表者：三好建正）」、日本学術振興会（JSPS）科学研究費補助金若手研究(B)「衛星観測データを活用した力学的な広域作物収量予測システムの開発（研究代表者：小槻峻司）」「対流スケールの予測可能性の理解と向上（研究代表者：大塚成徳）」、同基盤研究(B)「大気・水文結合データ同化ー水文ビッグデータ同化による大気・水文予測の改善ー（研究代表者：小槻峻司）」、文部科学省・卓越研究員事業「データ同化と AI を活用したリアルタイム大気・水文予測技術の革新（研究代表

者：小槻峻司)」、科学技術振興機構 (JST) 戦略的創造研究推進事業さきがけ「「観測の価値」を最大化するデータ同化・予測手法の開発 (研究代表者：小槻峻司)」による支援を受けて行われました。

また、大型計算機資源について、「京」高度化枠「データ解析とシミュレーションの融合研究のための共通基盤的研究開発 (課題番号：ra000015)」および「データ同化のハブ拠点形成に関わる共同研究 (課題番号：ra001011)」、HPCI 一般課題「ゲリラ豪雨予測を目指した「ビッグデータ同化」の研究 (課題番号：hp150019、hp160162、hp170178、hp180062、hp190051、hp200026)」、文部科学省フラッグシップ 2020 プロジェクト (ポスト「京」の開発)「ポスト「京」で重点的に取り組むべき社会的・科学的課題」における重点課題④「観測ビッグデータを活用した気象と地球環境予測の高度化 (課題番号：hp150289、hp160229、hp170246、hp180194、hp190156)」、HPCI 一般課題「防災・減災に資する新時代の大アンサンブル気象・大気環境予測 (課題番号：hp200128)」、JAXA Supercomputer System Generation 2 (JSS2、課題番号：R0201)による支援を受けて行われました。
