

## GPM 全球降水マップのデータ同化手法の研究

報告書番号：R19JR0201

利用分野：宇宙技術

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2019/11482/

### ● 責任者

沖理子，第一宇宙技術部門地球観測研究センター

### ● 問い合わせ先

第一宇宙技術部門 地球観測研究センター 久保田 拓志(kubota.takuji@jaxa.jp)

### ● メンバ

寺崎 康児，小槻 峻司，金丸 佳矢，黒澤 賢太，Ying-Wen Chen，James Taylor

### ● 事業概要

GSMaP, GPM/DPR やその他の衛星観測データを，先端的のアンサンブルデータ同化手法により数値天気予報モデルに取り込み，大気客観解析及びこれを初期値とした予報に改善をもたらすと共に，衛星観測データと数値モデルの双方を活かした新たな降水プロダクト NEXRA(NICAM-LETKF JAXA Research Analysis)を作成する。

参考 URL: [https://www.eorc.jaxa.jp/theme/NEXRA/index\\_j.htm](https://www.eorc.jaxa.jp/theme/NEXRA/index_j.htm)

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

本研究では，全球大気データ同化システム(NICAM-LETKF)による衛星観測データ同化及び予測計算を行うが，大規模な全球大気モデル計算，及び，アンサンブルデータ同化を行うために，JSS2 は必須である。

### ● 今年度の成果

#### (1) GPM/DPR 直接同化実験

今年度は，GPM/DPR 観測データを用いて，雪の終端速度に関するモデルパラメータの最適化を行った。雪の終端速度パラメータの修正によって，対流圏下層から中層の気温場や水蒸気場に改善傾向が確認された(図 1)。一方で，対流圏上層では，気温場に改悪が見られる。一般に，このパラメータは全球・全高度で一様な値が用いられるが，データ同化により高度毎に異なる最適値を見積もることで，この改悪傾向を緩和できる可能性がある。次年度も引き続き，GPM/DPR 観測を活用した雲微物理スキームのパラメータ推定研究を進める方針である。

#### (2) NICAM-LETKF による水文観測同化システム

RA8 に引き続き、NICAM-LETKF を用いて陸域観測データの結合同化システムの開発を進めた。NICAM-LETKF で同化されている大気観測データに加えて、水文観測データ同化の最初のステップとして全球陸域再解析 GLDAS で提供されている土壌水分量を観測値としたデータ同化実験を行った。どの結合同化実験も、コントロール実験に比べて GLDAS に対する土壌水分の誤差が低下する良好な結果を示した。結合データ同化実験の中では、土壌水分観測のデータ同化で大気モデル変数を更新する一方で、大気観測のデータ同化では陸面モデル変数を更新しない、部分的な強結合同化が最も良好な結果となった。これは、土壌水分観測の同化による、大気状態の推定が有効であろうことを示唆している。

### (3) モデルパラメータ推定によるモデル放射バイアスの改善

モデルパラメータ推定手法を気候計算に応用する方法を検討した。気候計算では、地球システムの放射バランスを適切に保つことが重要であり、モデルの放射バイアスの緩和のため、モデルパラメータのチューニングが必要となる。デフォルトのモデル設定では雲量が課題であり、雲の反射により大気上端の上向き短波放射が過大となっていた。GCOMW (Global Change Observation Mission-Water) 衛星に搭載されている高性能マイクロ波放射計(AMSR2)により観測される雲量を目的変数に、大規模凝結スキームのパラメータを見積もった。その結果、雲量を改善し、モデルの放射バイアスを劇的に緩和する結果を得た。

### (4) NICAM-LETKF=GSMaP\_RNC シームレス予報システムの開発

NICAM-LETKF と GSMaP\_RNC の降水予報を組み合わせた世界初の全球降水シームレス予報システムを開発した。降水予測値は、両者からの降水予報の地点ごとに最適化された重み付け平均で得られる。2014年9月からの1年間を最適な重みを求めるトレーニング期間、次の1年間を検証期間として実験を行った。テスト期間1年間の予報精度の全球平均値を見ると、7時間先までの予測精度で GSMaP\_RNC が NICAM を上回るが、それ以降では逆転した。両者を組み合わせることで、すべての予報時間で予測精度が向上する結果を得た。

### (5) 観測誤差相関を考慮するデータ同化手法の開発

今年度は、数値天気予報システムにおいて最もインパクトの大きい観測データの一つである改良型マイクロ波探査計(AMSU-A)の水平観測誤差相関を考慮する実験を NICAM-LETKF を用いて行った。AMSU-A の観測誤差相関は、Desroziers et al. (2005)の手法を用いて推定した。観測誤差相関をデータ同化で陽に考慮することで、対流圏下層の高度場は改悪傾向が見られたが、気温、東西風や水蒸気の解析精度が最大で5%程度改善した(図2)。また、観測誤差相関を考慮した場合と考慮しない場合の解析値をそれぞれ初期値とした5日予報実験の結果から、予測精度も概ね向上した。

### (6) NEXRA の改良

次期の NEXRA を見据えて、現在同化プロセスに取り組まれている観測データ PREPBUFR, AMSU-A, GSMaP\_NRT にマイクロ波サウンダ(mhs)、クロストラック走査マイクロ波放射計(atms)を追加した新 NICAM-LETKF の計算実験を JSS2 で行なった。解像度は現行の NEXRA と同様に 112 km を設定した新 NICAM-LETKF システムの計算は JSS2 での稼働できることを確認できた。新 NICAM-LETKF における 2018年6月10日-29日の同化解析値と気象庁再解析 JRA55 と比較した結果、現行の NEXRA と同様な水準を維持できる結果を得られた(図3)。

(7) NEXRA 高解像度化

NEXRA の 5 日予測気象データの高解像度化システムの開発を進めた。水平格子間隔は 112 km から「雲システム解像」できる水平格子間隔 14 km に開発を進めたと同時に、雲・降水に関わる計算プロセスも大規模凝結スキームから雲微物理スキームに変更した。この変更によって、NEXRA が提供する解析データでは雲システムの形成、成長、衰退までのプロセスを高精度に再現できるようになる。この高解像度化された NEXRA 予測システムを試行的に利用し、2019 年台風 10 号(KROSA)の再現実験を行った。結果として、台風 10 号の予測された台風中心は実際台風経路とよく合っている結果が得られた(図 4)。また、台風 10 号の構造、特に、上陸直前に大きな眼を持つ様子が高解像度シミュレーションでよく捉えることができた。

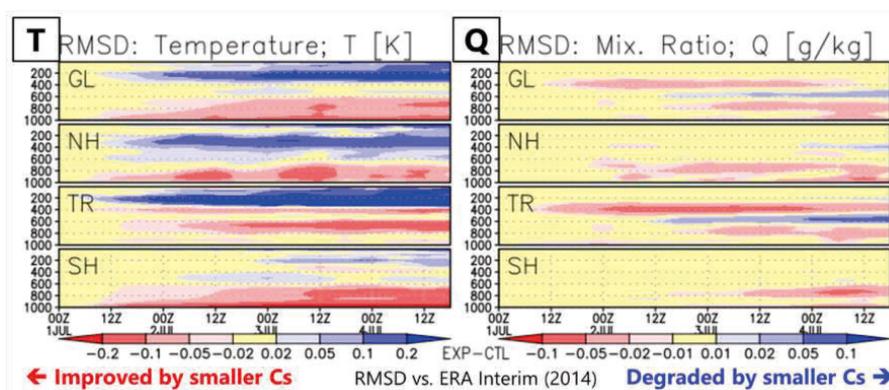


図 1: 雪の終端速度( $C_s$ )の修正(4.84→0.84)による(左)気温 と(右)水蒸気混合比(g/kg)の ERA-Interim に対する平均二乗偏差の変化。暖色・寒色はそれぞれ、 $C_s$  の修正による改善・改悪を示す。縦軸・横軸はそれぞれ気圧面 (hPa)と時系列(2014年7月の4日間)であり、4つのパネルは全球(GL)、北半球 (NH)、熱帯 (TR)、南半球 (SH)を示す。

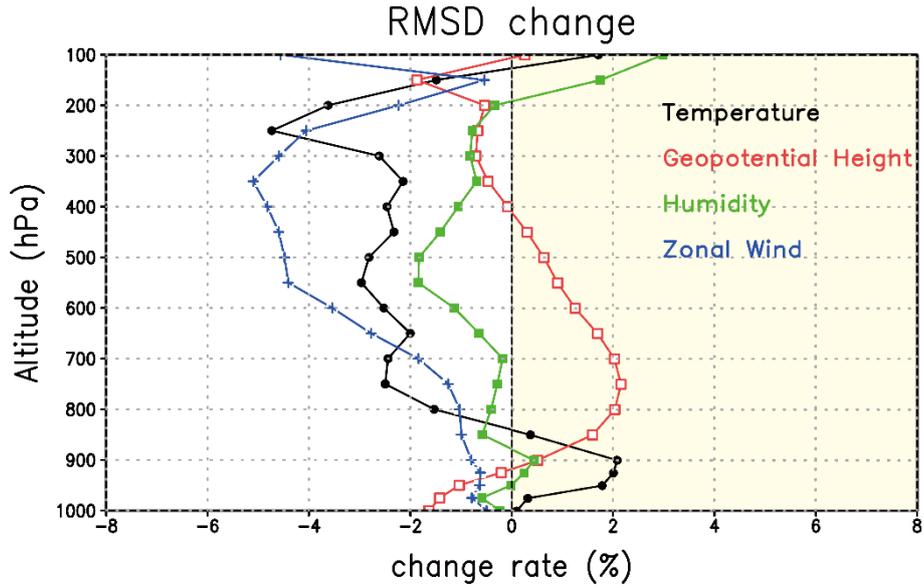


図 2: 観測誤差相関を考慮した場合と考慮せずデータ同化を行った場合の解析値の RMSD の差(2 ヶ月平均). 負値は, 観測誤差相関を考慮することで解析誤差が減少したことを示す. 色の実線は, それぞれ(黒)気温, (赤)高度場, (緑)水蒸気混合比, (青)東西風を示す.

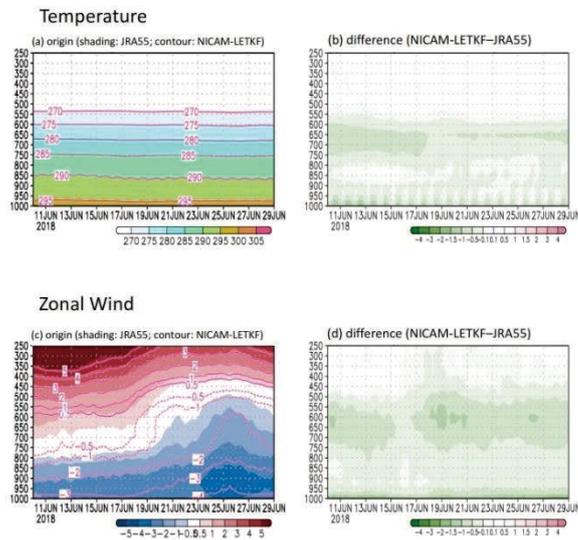


図 3: 熱帯(30°N-30°S)における気温場(上段, 単位 K)と東西風(下段, 単位 m/sec)の時間-高度断面図. 温度場における (a)new-NICAM-LETKF(shading)と再解析 JRA55(contour)の分布と (b)両者の差を示す. 東西風における (c)new-NICAM-LETKF(shading)と再解析 JRA55(contour)の分布と (d)両者の差を示す. 高度軸は気圧(hPa), 期間は 2018 年 6 月 10 日 0 時から 6 月 29 日 18 時まで(世界標準時).

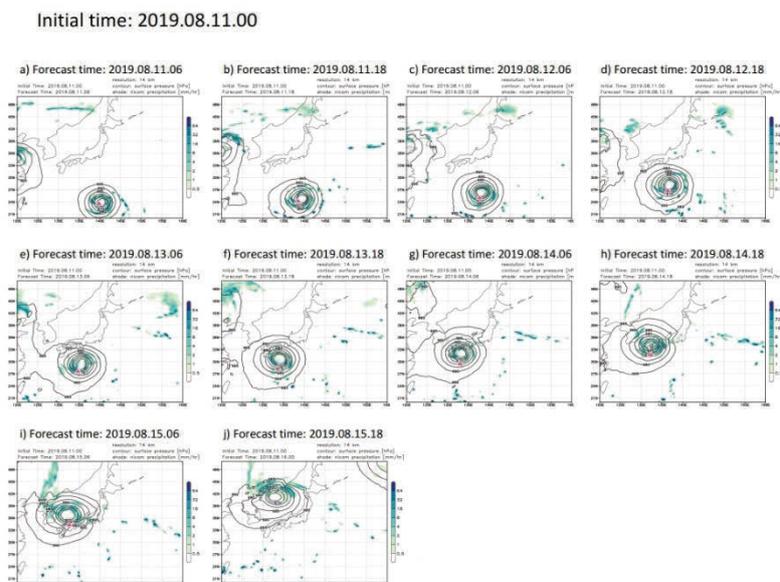


図4: 2019年8月12日0時を初期値とした台風10号の進路予測. コンターは海面気圧(hPa), 色は降水量(mm/hr), 赤い三角は観測で得られた台風の中心位置. 時間は12時間間隔.

## ● 成果の公表

-査読付き論文

1. Kotsuki, S., K. Kurosawa, S. Otsuka, K. Terasaki, and T. Miyoshi, 2019: Global Precipitation Forecasts by Merging Extrapolation-Based Nowcast and Numerical Weather Prediction with Locally Optimized Weights. *Wea. Forecasting*, 34, 701-714. <https://doi.org/10.1175/WAF-D-18-0164.1>
2. Kotsuki S., Kurosawa K., and Miyoshi T. (2019): On the Properties of Ensemble Forecast Sensitivity to Observations. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 145, 1897-1914. <https://doi.org/10.1002/qj.3534>
3. Kotsuki, S., Sato, Y., & Miyoshi, T. (2020). Data assimilation for climate research: Model parameter estimation of large - scale condensation scheme. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 125, e2019JD031304. <https://doi.org/10.1029/2019JD031304>

-招待講演

国際

1. 2019/5/29 Kotsuki S., Sato Y., Terasaki K., Yashiro H., Tomita H., Satoh M. and Miyoshi T.: Model Parameter Estimation with Data Assimilation using NICAM-LETKF. JpGU Meeting 2019.
2. 2019/6/4 Takemasa Miyoshi, "Big data assimilation: A new science for weather prediction and beyond", 14TH INTERNATIONAL EnKF WORKSHOP IN VOSS, PARK HOTEL VOSSEVANGEN, VOSS, NORWAY
3. 2019/6/13 Takemasa Miyoshi, Big Data Assimilation: A New Science for Weather Prediction and

Beyond, Seminar, DWD, Frankfurt, Germany

4. 2019/6/17 Takemasa Miyoshi, Big Data Assimilation: A New Science for Weather Prediction and Beyond, Seminar, LMU, Munich, Germany
5. 2019/7/10 Takemasa Miyoshi, HPC challenges in numerical climate simulation and weather prediction, INTERNATIONAL HPC SUMMER SCHOOL 2019, R-CCS, Kobe, Japan
6. 2019/7/17 Takemasa Miyoshi, Advancing data assimilation as a science hub: from weather forecasting and beyond, ICIAM2019, University of Valencia, Valencia, Spain
7. 2019/9/26 Takemasa Miyoshi, "Invited talk", 6th CREST "Big Data Application" Camp for Researchers, Shonan Village Center, Kanagawa, Japan
8. 2019/11/12 Takemasa Miyoshi, Big Data Assimilation: 30-second-update Weather Forecasting and Perspectives toward DA-AI Integration, Big Data, Data Assimilation and Uncertainty Quantification, Institut Henri Poincare, Paris, France
9. 2019/11/27 Takemasa Miyoshi, Big Data Assimilation:A New Science for Weather Prediction and Beyond, seminar, ACADEMIA SINICA, Taipei, Taiwan
10. 2019/11/28 Takemasa Miyoshi, Big Data Assimilation:A New Science for Weather Prediction and Beyond, seminar, National Taiwan University, Taipei, Taiwan
11. 2019/11/29 Takemasa Miyoshi, Big Data Assimilation:A New Science for Weather Prediction and Beyond, seminar, National Central University, Taoyuan City, Taiwan
12. 2019/12/5 Otsuka, S. and T. Miyoshi: Overview of the rapid-update weather forecasting with the phased-array weather radar, 2019 6th KNU CARE Workshop on Phase array radar and Nowcasting, Daegu, Korea

国内

1. 2019/7/4 三好建正, ビッグデータ同化:数値天気予報から予測科学へ, 講演会(ショートセミナー), 日本工営株式会社, つくば
2. 2019/7/5 三好建正, ビッグデータ同化:数値天気予報から予測科学へ, 社内講演会, 株式会社先端力学シミュレーション研究所東京事業所, 東京
3. 2019/7/18 小槻峻司, 三好建正: 全球大気データ同化システムによる天気予報研究の最前線. 第 14 回名工大・核融合研合同セミナー, 名古屋
4. 2019/10/28 三好建正, ビッグデータ同化:「富岳」が拓く未来の天気予報, スーパーコンピュータ推進議員連盟総会, 東京
5. 2019/11/5 大塚成徳・三好建正: データ同化技術について, HPC を活用した自動車用次世代 CAE コンソーシアム 第 5 回総会 基調講演, 神戸
6. 2019/11/8 三好建正, データ同化研究～ゲリラ豪雨予測から, 予測科学へ～, 精華寿大学第 5 回講座, 精華町地域福祉センターかしのき苑, 精華町, 京都
7. 2019/11/20 三好建正, ビッグデータ同化 ～ ゲリラ豪雨予測から, 予測科学へ ～, セミナー, 独立行政法人酒類総合研究所, 東広島
8. 2019/11/29 大塚成徳・三好建正: 最先端の気象予測技術:ゲリラ豪雨予測の実現に向けて, 第 45 回 (2019 年度第 2 回)スーパーコンピューティング技術産業応用協議会セミナー, 東京
9. 2020/1/25 三好建正, ビッグデータ同化:「富岳」が拓く未来の天気予報, スーパーコンピュータ「富岳」を知る集い金沢, 金沢歌劇座, 金沢

10. 2020/2/21 三好建正, ビッグデータ同化:ゲリラ豪雨予測から予測科学へ, CCSE ワークショップ, 東海村産業・情報プラザ, 東海村

-口頭発表

国際

1. 2019/4/8 Takemasa Miyoshi, Shigenori Otsuka, Takumi Honda, Guo-Yuan Lien, Yasumitsu Maejima, Yoshito Yoshizaki, Hiromu Seko, Hirofumi Tomita, Shinsuke Satoh, Tomoo Ushio, Tatiana V. Martsinkevich, Balazs Gerofi, and Yutaka Ishikawa, Big Data Assimilation: Past 5 Years and Perspectives for the Future, EGU2019, Austria Center Vienna (ACV), Vienna, Austria
2. 2019/4/9 Takemasa Miyoshi, Shunji Kotsuki, Koji Terasaki, Kenta Kurosawa, Shigenori Otsuka, Kaya Kanemaru, Hisashi Yashiro, Masaki Satoh, Hirofumi Tomita, Kozo Okamoto, and Eugenia Kalnay, Enhancing Data Assimilation of GPM Observations: Past 6 Years and Future Plans, EGU2019, Austria Center Vienna (ACV), Vienna, Austria
3. 2019/4/14 Takemasa Miyoshi, Big Data Assimilation: A New Science for Weather Prediction and Beyond, Japan - Israel meeting, Collabo Shiga 21, Otsu, Japan
4. 2019/5/30 Kotsuki S., Terasaki K., and Miyoshi T.: Ensemble-Based Data Assimilation of GPM/DPR Reflectivity into the Nonhydrostatic Icosahedral Atmospheric Model NICAM. JpGU Meeting 2019, Chiba, Japan
5. 2019/7/30 Takemasa Miyoshi, Big Data Assimilation: Past 5 Years and Perspectives for the Future, AOGS, Suntec Singapore Convention & Exhibition Centre, Singapore
6. 2019/8/2 Takemasa Miyoshi, Enhancing Data Assimilation of GPM Observations: Past 6 Years and Future Plans, AOGS, Suntec Singapore Convention & Exhibition Centre, Singapore
7. 2019/8/26 Takemasa Miyoshi, Big Data Assimilation: A New Science for Weather Prediction and Beyond, Seminar, CIMA, Buenos Aires, Argentina
8. 2019/9/17 Takemasa Miyoshi, Shigenori Otsuka, Takumi Honda, Guo-Yuan Lien, Yasumitsu Maejima, Marimo Ohhigashi, Yoshito Yoshizaki, Hiromu Seko, Hirofumi Tomita, Shinsuke Satoh, Tomoo Ushio, Balazs Gerofi, Yutaka shikawa, Naonori Ueda, Kana Koike, Yasuhiko Nakada: Big Data Assimilation: Past 6 Years and Future Plans, 39th International Conference on Radar Meteorology, Nara Kasugano International Forum IRAKA, Nara, Japan
9. 2020/1/13 Takemasa Miyoshi, "Big Data Assimilation: Real-Time Workflow for 30-Second-Update Forecasting and Perspectives Toward DA-AI Integration" , AMS 100th Annual Meeting, Boston Convention and Exhibition Center, Boston, USA
10. 2020/1/24 Takemasa Miyoshi, Enhancing Precipitation Prediction Algorithm by Data Assimilation of GPM Observations, The Joint PI Meeting of JAXA Earth Observation Missions FY2019, TKP Shinbashi Conference Centre, Tokyo, Japan
11. 2020/2/10 Koji Terasaki and Takemasa Miyoshi, Accounting for the horizontal observation error correlation of satellite radiances in data assimilation, Brest, France
12. 2020/2/17 Takemasa Miyoshi, "Big Data Assimilation in Weather Prediction: From K to Fugaku", The 2nd R-CCS International Symposium, Nichii Gakkan Kobe Port Island Center, Kobe, Japan

## 国内

1. 2019/4/18 小槻峻司, 黒澤賢太, 三好建正: Observation Diagnostics with NICAM-LETKF. データ同化手法を活用した観測システムの影響評価に関する研究会, 横浜
2. 2019/4/22 三好 建正, "Enhancing Precipitation Prediction Algorithm by Data Assimilation of GPM Observations", 「NICAM-LETKF と衛星観測データ同化に関する打ち合わせ」第 17 回会合, R-CCS, 神戸
3. 2019/4/26 小槻峻司, 三好建正: Local Particle Filter: 低解像度全球大気モデル SPEEDY 数値実験. 第 10 回 理研・京大データ同化研究会, 神戸
4. 2019/5/29 三好 建正, 小槻 峻司, 寺崎 康児, 大塚 成徳, 本田 匠, 岡崎 淳史, 高玉 孝平, 「気象・海洋・陸面予測を革新する高頻度衛星観測網の設計事前評価プラットフォーム」, JpGU2019, 幕張メッセ, 千葉
5. 2019/8/20 寺崎康児, 三好建正: NICAM-LETKF を用いた観測誤差相関を考慮するデータ同化システムの開発. 第 3 回 理研・気象庁データ同化研究会, 東京
6. 2019/9/5 "三好建正, 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, 2019 年度 第二回地球観測研究公募降水観測ミッション サイエンスチーム国内キックオフ会合, TKP 東京駅日本橋カンファレンスセンター, 東京
7. 2019/9/18 三好 建正, "Enhancing Precipitation Prediction Algorithm by Data Assimilation of GPM Observations", 「NICAM-LETKF と衛星観測データ同化に関する打ち合わせ」第 18 回会合, ホテルフジタ奈良, 奈良
8. 2019/10/28 小槻峻司, 三好建正: 低解像度全球大気モデルを用いた局所粒子フィルタ実験. 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 福岡
9. 2019/10/28 黒澤賢太, 小槻峻司, 三好建正: 全球大気・水文結合データ同化システムの開発と土壤水分データ同化実験. 日本気象学会 2019 年度秋季大会 福岡
10. 2019/10/28 小槻峻司, 三好建正: 低解像度全球大気モデルを用いた局所粒子フィルタ実験. 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 福岡
11. 2019/10/28 黒澤賢太, 小槻峻司, 三好建正: 全球大気・水文結合データ同化システムの開発と土壤水分データ同化実験. 日本気象学会 2019 年度秋季大会, 福岡
12. 2019/11/21 寺崎康児, 小槻峻司, 三好建正: GSMaP 降水データの観測誤差相関を考慮したデータ同化実験, 第 21 回非静力学モデルに関するワークショップ, 三重
13. 2019/12/20 三好 建正, "Enhancing Precipitation Prediction Algorithm by Data Assimilation of GPM Observations", 「NICAM-LETKF と衛星観測データ同化に関する打ち合わせ」第 19 回会合, 理研 R-CCS, 神戸
14. 2020/1/16 寺崎康児, 三好建正, ビッグデータ同化に向けた観測誤差相関を考慮するデータ同化, NICAM 開発者会議, 沼津
15. 2020/1/31 寺崎康児, 三好建正, ビッグデータ同化に向けた観測誤差相関を考慮するデータ同化, ポスト京重点課題 4 成果報告会, 東京
16. 2020/2/19 三好建正, ビッグデータ同化による次世代気象予測, 理研エンジニアリングネットワーク「気象予測データを再現する人工気象器利用した植物表現形質データ蓄積のための研究手法の開発」, 日本橋ライフサイエンスビルディング, 東京

-ポスター

国際

1. 2019/8/21 Ying-Wen Chen, Kaya Kanemaru, Masaki Satoh, Koji Terasaki, Shunji Kotsuki, Takemasa Miyoshi, and Takuji Kubota: The recent progress of NICAM-LETKF forecast system, The 2019 University Allied Workshop on Climate and Extreme Weather, Chiba, Japan
2. 2019/9/16 Kotsuki S., Kurosawa K., Kanemaru K., Terasaki K. and Miyoshi T.: A New Evaluation Method for Cloud Microphysics Schemes Using GPM Dual-frequency Precipitation Radar. 39th International Conference on Radar Meteorology, Nara, Japan
3. 2020/2/3 Kotsuki S., Terasaki K., Satoh M. and Miyoshi T.: Ensemble-Based Data Assimilation of GPM/DPR Reflectivity into the Nonhydrostatic Icosahedral Atmospheric Model NICAM. 4th workshop on assimilating satellite cloud and precipitation observations for NWP, Reading, UK
4. 2020/2/17 Koji Terasaki and Takemasa Miyoshi, Towards big data assimilation in Fugaku by accounting for the horizontal observation error correlation of satellite observations, R-CCS international symposium, Kobe, Japan

国内

1. 2019/10/30 寺崎康児, 三好建正: NICAM-LETKF システムを用いた平成 30 年 7 月豪雨再現性の解像度依存性について, 日本気象学会秋季大会, 福岡
2. 2019/10/31 CHEN Ying-Wen, 金丸佳矢, 佐藤正樹, 寺崎康児, 小槻峻司, 三好建正, 久保田拓志: JAXA スパコン(JSS2)を用いた NICAM-LETKF の予測システムの高解像度化, 日本気象学会秋季大会, 福岡

-Web

<https://www.eorc.jaxa.jp/earthview/2020/tp200305.html>

● JSS2 利用状況

● 計算情報

プロセス並列手法	MPI
スレッド並列手法	OpenMP
プロセス並列数	5 - 400
1 ケースあたりの経過時間	12 時間

## ● 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 4.32

内訳

計算資源		
計算システム名	コア時間(コア・h)	資源の利用割合※2 (%)
SORA-MA	37,398,934.21	4.55
SORA-PP	8.87	0.00
SORA-LM	0.00	0.00
SORA-TPP	0.00	0.00

ファイルシステム資源		
ファイルシステム名	ストレージ割当量(GiB)	資源の利用割合※2 (%)
/home	2,412.80	2.01
/data	767,040.60	13.13
/ltmp	15,625.01	1.33

アーカイバ資源		
アーカイバシステム名	利用量(TiB)	資源の利用割合※2 (%)
J-SPACE	40.25	1.01

※1 総資源に占める利用割合 : 3つの資源(計算,ファイルシステム,アーカイバ)の利用割合の加重平均

※2 資源の利用割合 : 対象資源一年間の総利用量に対する利用割合