

jh200062-NAH

ゲリラ豪雨予測のリアルタイム実証実験

三好 建正（理化学研究所）

概要

「ビッグデータ同化」の技術革新を創出し、ゲリラ豪雨に代表される局地的な気象予測に応用して、30 秒毎に更新するリードタイム 30 分の天気予報という従来では考えられない画期的なシステムを、フェーズドアレイ気象レーダ (PAWR) および世界トップクラスのスーパーコンピュータ Oakforest-PACS という次世代技術を駆使して実証実験し、広く防災・減災に資するとともに、気象学的ブレークスルーをもたらす。埼玉大学に設置された新型の MP-PAWR による 30 秒毎の観測データをリアルタイムに Oakforest-PACS に転送し、領域数値天気予報システム SCALE-LETKF によりデータ同化して、30 分後までの降水予報をリアルタイム配信するシステムを開発した。令和 2 年 8 月 25 日から 9 月 7 日まで、実際のリアルタイム降水予報の実証実験を行った。Oakforest-PACS の 1200 ノードを占有利用することにより、観測を終えてから 3~4 分程度で 30 分先までの予測を作成し、安定的に 26~27 分のリードタイムを実現した。

1. 共同研究に関する情報

(1) 共同研究を実施した拠点名
東京大学

● 東京大学情報基盤センター 及び 筑波
大学計算科学研究センター
大規模実験の長期実施のための調整

(2) 共同研究分野
超大規模数値計算系応用分野

2. 研究の目的と意義

データ同化は、計算機上のシミュレーションと現実世界の観測・実験データを融合し相乗効果を生み出す統計数理に基づく基盤技術である。計算機の性能向上によりシミュレーションが精緻化してデータ量が膨大になると共に、センシング技術の向上により観測・実験データの時空間分解能が上がり、多様な観測データを統合的に扱うようになることで、データ同化で扱うデータ量は爆発する。このような次世代の高精細シミュレーションと複数の新型センサによる「ビッグデータ」には、既存のデータ同化技術では対応しきれないため、本研究では「ビッグデータ同化」の技術革新を創出し、ゲリラ豪雨に代表される局地的な気象予測に応用して、30 秒毎に更新するリードタイム 30 分の天気予報という従来では考えられない画期的なシステ

(3) 参加研究者の役割分担

本研究では以下のような役割分担で研究を進めた。

- 理化学研究所計算科学研究センター
総括：三好建正
総括補佐：大塚成徳
リアルタイム実験システム開発、リアルタイム実験実行：本田匠、雨宮新
観測データ転送システム開発：石川裕、大塚成徳
データ同化システム開発：前島康光、ジェームズ・テイラー
気象モデル開発：富田浩文、西澤誠也、末木健太、(本課題非参加者だが調査に協力：山浦剛)
システム高速化：堀敦史、バリ・ゲローフィ

ムを、フェーズドアレイ気象レーダおよび世界トップクラスのスーパーコンピューター Oakforest-PACS という次世代技術を駆使して実証実験し、広く防災・減災に資するとともに、気象学的ブレークスルーをもたらす。

ゲリラ豪雨の予測を五輪期間中に試験的に実証することで、2020 年代に、現業機関である気象庁で採用できるような技術・ノウハウの知識化を行い、広く社会に貢献する。東京五輪の時期に今までに無い規模の天気予報をリアルタイム運用することにより、気象学的・計算科学的知見の獲得に加えて、将来的な社会実装に向けての知見を得ることが出来る。

この夏に予定されていた五輪大会の開催が延期されたが、リアルタイム実証実験を当初の予定通り実施し、今後の改善に向けた知見を得ることを目的とする。

3. 当拠点公募型研究として実施した意義

本計画では 2020 年 7～9 月（東京オリンピック・パラリンピックが当初予定されていた期間）に、Oakforest-PACS を大規模に長時間利用した。そのため、東京大学・筑波大学の関係者と連携して、長時間の大規模ノード占有を実施した。また、事前の試験のために

2020 年 4 月～6 月に毎月一日のノード占有試験を行った。当拠点公募型共同研究として実施したことにより、ノード占有利用の事前協議や、運用中の連絡を円滑に行うことができ、大きな意義があった。

4. 前年度までに得られた研究成果の概要

該当無し

5. 今年度の研究成果の詳細

本研究グループでは突発的かつ局所的な豪雨の予測に向けて、フェーズドアレイ気象レーダ(PAWR, Yoshikawa et al. 2013)による 30 秒毎の観測データを同化する領域アンサンブルデータ同化システム SCALE-LETKF を開発してきた(Lien et al. 2017, Miyoshi et al. 2016a,b)。これまで本システムの開発には JST CREST 課題 JPMJCR1312、JPMJCR1303、JST AIP 加速課題 JPMJCR19U2、HPCI 一般課題 hp150019、hp160162、hp170178、hp180062、hp190051、京調整高度化枠 ra000015、Oakforest-PACS 大規模 HPC チャレンジ 2019 年 8 月、同 11 月、同 2020 年 3 月などの支援を得てきた。

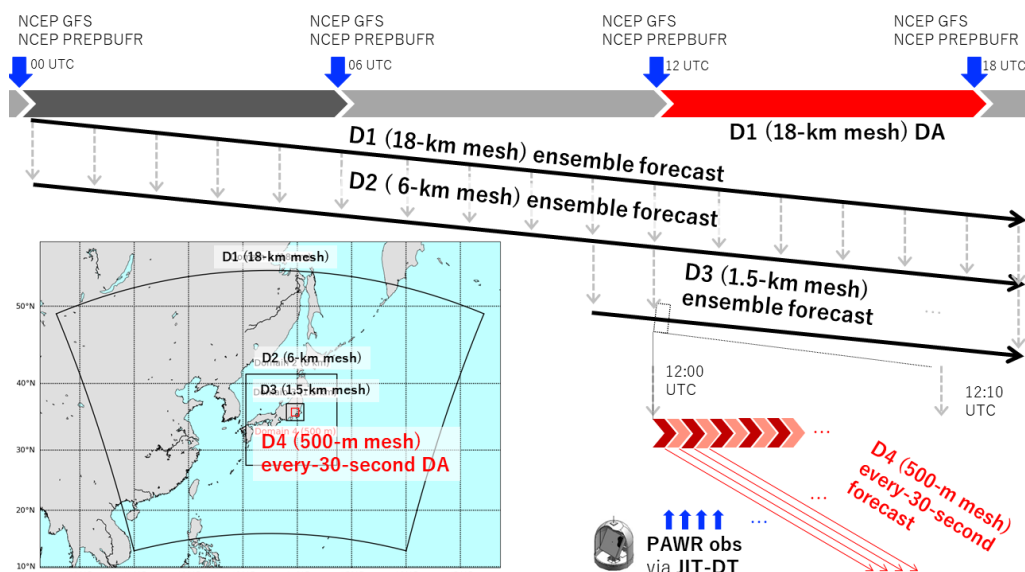


図 1： SCALE-LETKF システム全体のワークフロー。詳細は本文参照。

これまでの開発で、このシステムを用いて実際にリアルタイムでの 30 秒間隔の予報の更新を可能にするため、SCALE と LETKF を単一のジョブとして実行しデータ入出力を簡素化する拡張を行うとともに、境界値作成のための外側領域の計算を含めた全体のワークフローを構築した。また、埼玉大学に設置されている情報通信研究機構(NICT)のマルチパラメータフェーズドアレイ気象レーダ(MP-PAWR)を用いて、関東地方での 30 秒間隔データ同化を可能にした。今年度はその成果を踏まえ、本課題の計算資源で令和 2 年 8 月 25 日から 9 月 7 日まで、首都圏において 30 秒毎に更新する 30 分後までのリアルタイム降水予報の実証実験を実施し、結果を web ページとスマートフォンアプリにて公開した。

図 1 は、実証実験に用いたシステム全体のワークフローを示している。領域 D1 (18 km メッシュ)、D2 (6 km)、D3 (1.5 km)は 6 時間毎に更新される。D1 では Lien et al. (2017) と同様に、米国大気環境予測センター(NCEP)から受信した観測データと初期値・

境界値を用いてデータ同化サイクルを行い、その解析値を用いて 18 時間後までの予報を行う。D2, D3 では D1 からダウンスケールした予報をそれぞれ行う。最内の D4 (500 m メッシュ)において、D3 の予報値から生成した初期値・境界値のもとで、NICT からリアルタイムに受信する 30 秒ごとの MP-PAWR 観測を同化し、30 分後までの予報を行う。PAWR 観測の受信には理化学研究所で開発された Just-In-Time Data Transfer (JIT-DT)を使用する。

アンサンブル数は D1 から D4 まで共通して 50 である。ただし D4 での延長予報は解析値のアンサンブル平均を初期値として単一メンバーで行った。Oakforest-PACS における必要ノード数は D4 で 992、D1-D3 で最大 208 であり、システム全体では 1200 ノードを利用した。実証実験期間中は Oakforest-PACS を部分的に占有利用し計算を実施した。

2 週間にわたる大規模実行を実施するために、事前に複数回の大規模実行を行い、計算速度や予測精度の確認を行った。なお、本実

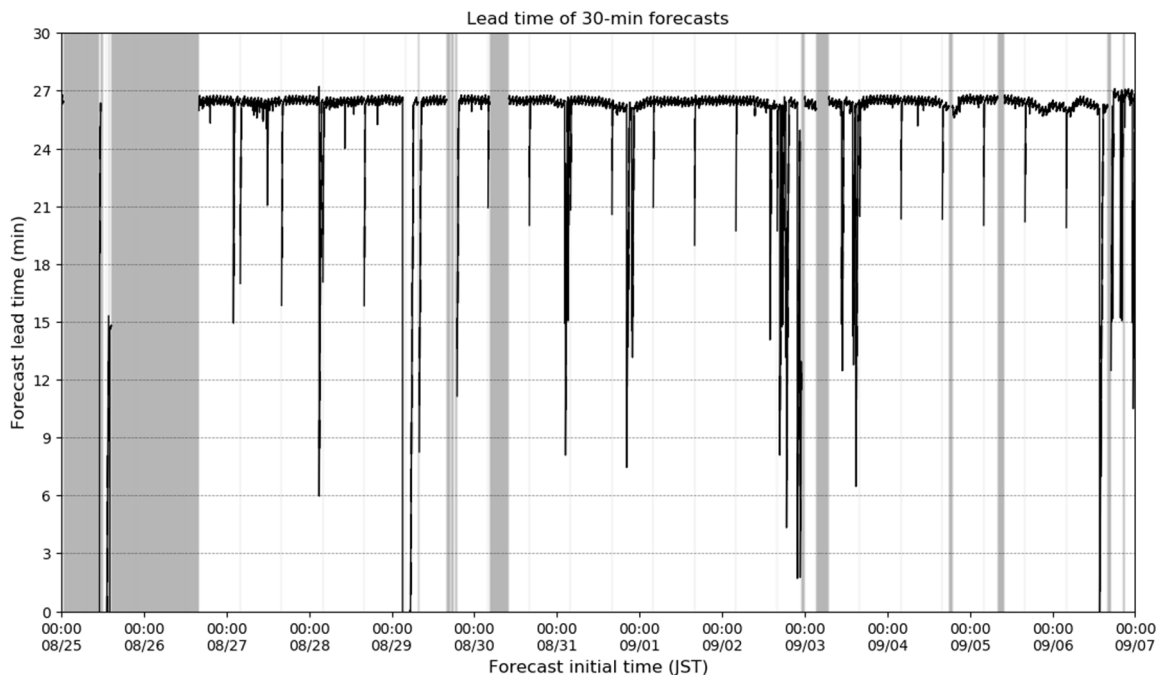


図 2： 実証実験期間中の予報リードタイム。

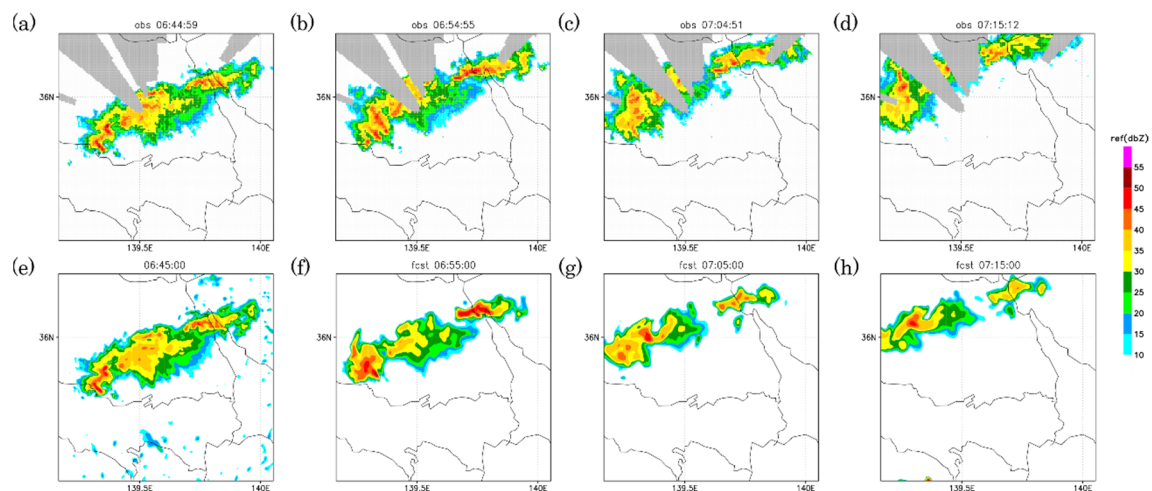


図 3 : 9/2 15:45-16:15 JST における高度 2km のレーダー反射強度。

上段：観測値 下段：15:45 の観測値および同時刻を初期値とした 10-30 分予報値。

験は HPCI 一般課題 hp200026 と連携して実施した。実施した実験内容は以下の通りである。

4/23-24：ワークフローの自動化とオンライン可視化の実装を行った。データ同化及び気象モデルのパラメータ最適化に向けた実験を行った。

5/28-29：1 km メッシュと 500 m メッシュでリアルタイムの観測データを取り込んで予報を実施することに成功した。観測時刻から 30 分予報を得るまでに 5 分程度かかり、実質的に 25 分のリードタイムを確保できることが分かった。一方で、数値不安定を起こす場合があることが分かり、原因についての調査を行った。

6/25-26：前回発生した数値不安定の原因究明に向けて試験を行い、レーダのドップラー風速観測データの同化に起因することが分かった。また、リアルタイム実行時の出力を外部配信するための試験を行った。

7/31-8/7：本番を想定したリアルタイム実験を実施し、リアルタイム実行時に起こりうる問題点等の洗い出しを行った。1 週間の連続

的な運用を行い、動作の安定性を確認した。数値不安定の発生は、ドップラー風速観測の品質管理基準を厳しくすることで抑えた。スマートフォンアプリを運用する共同研究先企業の株式会社エムティーアイへのデータ配信も併せて実施した。実験結果に基づき、ジョブ投入の方法を改善して、8 月の本実験では 1 ジョブでより長く実行できるよう改良した。

8/24-9/7：リアルタイム実証実験を実施した。実験初期にジョブが異常終了する問題があったが、システム運用側と調整して利用ノードの変更を行い、復旧した。以後、実験期間終了まで概ね順調に動作した。期間中には何度か顕著な降水が観測され、予報を行うことが出来た。実験期間前半の解析・予報精度に基づいてパラメータの再調整を行い、実験期間後半の解析・予報精度の向上を図った。

図 2 は、実証実験期間中の予報のリードタイムを黒線（左目盛、単位：分）で示している。12 時間毎に一時的な 5-10 分の遅れがみられるが、12 時間のジョブを次のジョブに交代する際の MPI 通信の初期化等のため必要な中断である。その他、数値計算上の不具合などのため数回の中断が生じた。それ以外の

時間帯については、8月26日16時(日本時間)～9月7日3時までにはわたって継続して30秒毎に予報を更新することができた。大部分のリードタイムは約26-27分であり、観測から30分予報の生成までの処理を約3-4分で安定して実行できたことを意味する。

図3は、期間中の9月2日にMP-PAWRで捉えられた顕著な降水事例における、高度2kmにおける降水強度の観測値および15:45の解析値と30分後までの予報値を示している。観測値の網掛け部分は障害物による欠測領域である。解析値は観測された降水強度の細かな構造を再現しており、予報値は降水システム全体が強度を保ったまま北に向けて移動する特徴を捉えている。

6. 今年度の進捗状況と今後の展望

D1～D3については、当初計画通りのシステムで実験を行った。

D4については、250mメッシュと500mメッシュの二通りを計画し、250mは2日程度の短期間、残りの期間を500mメッシュでの計算とする計画であった。6月までの試験において、250mメッシュでの予測精度が500mメッシュに対して現時点ではあまり向上しないことが分かったため、費用対効果の観点から、8月24日からの本実験ではすべて500mメッシュを採用した。理論上はメッシュ幅を細かくすることで現象の再現性が向上することが見込まれるため、システムの改良に向けて引き続き研究を進める。

計算期間については、オリンピック・パラリンピックが延期になったことも考慮し、変更を行った。オリンピックが予定されていた期間には予報を公開せずに実験を実施し、システムの改良作業を行った。パラリンピックが予定されていた期間は、改良したシステム

を用いて実験を実施し、予測結果をウェブ上で公開した。

一部の変更はあったが、フェーズドアレイ気象レーダのデータを同化して30秒毎に更新する30分先の降水予測をリアルタイムに公開する、という当初目的は十分に達成された。また、予測精度については、高かった事例、不十分であった事例、双方見られた。リアルタイム実証実験中に一部、改善策を実施した。残った問題の詳細な解析と改善手法の検討を現在行っている。

2021年度は、「富岳」を用いることで計算規模を大幅に拡大し、予測精度を上げてリアルタイム実証実験を行う計画である。本課題で開発したシステムを元に、アンサンブル数を20倍の1000メンバーにして解析精度を向上する。30分先の予測も、単一の決定論的予報から、10メンバーの確率的予報にする。また、本課題の実験で得られた知見を元に、予測モデルやデータ同化手法の改良を行い、降水予報精度の改善を目指す。

7. 研究業績一覧(発表予定も含む。投稿中・投稿予定は含まない)

- (1) 学術論文 (査読あり)
- (2) 国際会議プロシーディングス (査読あり)
- (3) 国際会議発表 (査読なし)

2020/5/8 Takemasa Miyoshi, Takumi Honda, Shigenori Otsuka, Arata Amemiya, Yasumitsu Maejima, Yoshihiro Ishikawa, Hiromu Seko, Yoshito Yoshizaki, Naonori Ueda, Hirofumi Tomita, Yutaka Ishikawa, Shinsuke Satoh, Tomoo Ushio, Kana Koike, and Yasuhiko Nakada, Big Data Assimilation: Real-time Workflow for 30-second-update Forecasting and

- Perspectives toward DA-AI Integration, EGU2020, online
- 2020/7/12 Takemasa Miyoshi, Takumi Honda, Shigenori Otsuka, Arata Amemiya, Yasumitsu Maejima, Yoshihiro Ishikawa, Hiromu Seko, Yoshito Yoshizaki, Naonori Ueda, Hirofumi Tomita, Yutaka Ishikawa, Shinsuke Satoh, Tomoo Ushio, Kana Koike, Yasuhiko Nakada, Big Data Assimilation: Real-time Workflow for 30-second-update Forecasting and Perspectives toward DA-AI Integration, JpGU-AGU Joint Meeting 2020, online
- 2020/9/7 Takemasa Miyoshi, Real-time Demonstration of Big Data Assimilation in Numerical Weather Prediction, The 197th R-CCS Café, online
- 2020/11/27 Takemasa Miyoshi, Predicting Sudden Local Storms by 30-second-update NWP Using Phased Array Weather Radar, KU-ITB Biweekly Webinar Series, online
- 2020/12/21 Takemasa Miyoshi RIKEN Enhancing Precipitation Prediction Algorithm by Data Assimilation of GPM Observations, The Joint PI Meeting of JAXA Earth Observation Missions FY2020, online
- 2021/1/12 Takemasa Miyoshi, T. Honda, A. Amemiya, S. Otsuka, Y. Maejima, J. Taylor, H. Tomita, S. Nishizawa, K. Sueki, T. Yamaura, Y. Ishikawa, S. Satoh, T. Ushio, K. Koike, E. Hoshi, and K. Nakajima, Big Data Assimilation: Real-Time Demonstration Experiment of 30-s-Update Forecasting in Tokyo in August 2020, American Meteorological Society 101st Annual meeting, online, invited
- 2021/1/23 Takemasa Miyoshi, Innovating “Big Data Assimilation” technology for revolutionizing very-short-range severe weather prediction, CREST International Symposium on Big Data Application, online
- 2021/2/16 Takemasa Miyoshi, Fugaku’s Illuminating a Path to the Future of Numerical Weather Prediction, Session11Distinguished Achievements in AI, Big Data and Simulations supporting Society5.0, The 3rd R-CCS International Symposium, online
- 2021/2/17 Takemasa Miyoshi, Big Data, Big Computation, and Machine Learning in Numerical Weather Prediction, AI Chair OceaniX Webinars, IMT-Atlantique & RIKEN Online Joint Seminar Series (Jointly with Data Assimilation Seminar Series) 2021, invited
- 2021/2/18 Takemasa Miyoshi, Big data assimilation and AI: Creating new development in real-time weather prediction, ERCIM-JST Joint Symposium on Big Data and Artificial Intelligence, online
- 2021/3/4 Takemasa Miyoshi, Fusing Big Data and Big Computation in Numerical Weather Prediction, Climate Research with HPC Forum, SupercomputingAsia 2021, online, invited
- 2021/6/4 Arata Amemiya and Takemasa Miyoshi, 1000-member 18-km-mesh SCALE-LETKF experiment with conventional observations in summer 2020, Japan Geoscience Union meeting 2021, online
- 2021/8/4, Arata Amemiya and Takemasa Miyoshi, 1000-member 18-km-mesh SCALE-LETKF experiment with conventional observations in summer 2020, Asia Oceania Geoscience Society 2021 virtual 18th annual meeting, online
- 2021/4/6 Takemasa Miyoshi, Weather Predictability and Data Assimilation: Perspectives Toward General Theory of Prediction, OIST-RIKEN Collaboration 1st Symposium: Green and blue planet -How can ecological research shape our future? Okinawa

2021/4/20 Seminar “Fusing Big Data and Big Computation in Numerical Weather Prediction” Fluid Mechanics Unit (Professor Pinaki Chakraborty), Online

2021/4/26 Takemasa Miyoshi, Takumi Honda, Arata Amemiya, Shigenori Otsuka, Yasumitsu Maejima, James Taylor, Hirofumi Tomita, Seiya Nishizawa, Kenta Sueki, Tsuyoshi Yamaura, Yutaka Ishikawa, Shinsuke Satoh, Tomoo Ushio, Kana Koike, Erika Hoshi, and Kengo Nakajima, Big Data Assimilation: Real-time Demonstration Experiment of 30-second-update Forecasting in Tokyo in August 2020, EGU2021, Online

2021/4/30 Takemasa Miyoshi, Big Data, Big Computation, and Machine Learning in Numerical Weather Prediction, 14th International Conference on Mesoscale Convective Systems and High-Impact Weather in East Asia (ICMCS-XIV), 2021/4/30 Online

2021/6/4 Takemasa Miyoshi, Takumi Honda, Arata Amemiya, Shigenori Otsuka, Yasumitsu Maejima, James David Taylor, Hirofumi Tomita, Seiya Nishizawa, Kenta Sueki, Tsuyoshi Yamaura, Yutaka Ishikawa, Shinsuke Satoh, Tomoo Ushio, Kana Koike, Erika Hoshi, Kengo Nakajima, Big Data Assimilation: Real-time Demonstration Experiment of 30-second-update Forecasting in Tokyo in August 2020, Japan Geoscience Union Meeting 2021, Online

2021/6/3 Takemasa Miyoshi, Shunji Kotsuki, Koji Terasaki, Shigenori Otsuka, Ting-Chi Wu, Hirofumi Tomita, Ying-Wen Chen, Kaya Kanemaru, Masaki Satoh, Hisashi Yashiro, Keiichi Kondo, Kozo OKAMOTO, Eugenia Kalnay, Takuji Kubota, Improving Precipitation Prediction by Data Assimilation of GPM and Other Satellite Observations, Japan Geoscience Union Meeting 2021, Online

2021/8/1-8/6 Takemasa Miyoshi, Big Data Assimilation: Real-time Demonstration Experiment of 30-second-update Forecasting in Tokyo in August 2020, AOGS2021

2021/8/1-8/6 Takemasa Miyoshi, Improving Precipitation Prediction by Data Assimilation of Gpm and Other Satellite Observations, AOGS2021

(4) 国内会議発表 (査読なし)

口頭発表

2020/9/26 雨宮新、局地的豪雨のリアルタイム実証実験、「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」第1回シンポジウム～豪雨・台風の高精度な予測をめざして～、オンライン

2020/10/15 三好建正, ゲリラ豪雨予測のリアルタイム実証実験, 第9回 JCAHPC セミナー (第4回 OFP 利活用報告会) 「人類と地球を護るスーパーコンピューティング」, オンライン

2020/10/28 本田匠, 雨宮新, 大塚成徳, Guo-Yuan Lien, James Taylor, 前島康光, 西澤誠也, 山浦剛, 末木健太, 富田浩文, 佐藤晋介, 石川裕, 小池佳奈, 星絵理香, 三好建正, “SCALE-LETKF による 30 秒更新 30 分予報のリアルタイム実験”, 日本気象学会 2020 年度秋季大会, オンライン

2020/11/12 雨宮新, 本田匠, 三好建正, 2020 年夏のリアルタイム実証実験における埼玉 MP-PAWR30 秒同化システム開発, 第22回非静力学モデルに関するワークショップ, オンライン

2020/11/12 30 秒ごとに更新するゲリラ豪雨予報-首都圏でのリアルタイム実証実験-, 三好 建正, 本田 匠, 雨宮 新, 大塚 成徳, 前島 康光, James Taylor, 富田 浩文, 西澤誠也, 末木 賢太, 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, 第22回非静力学モデルに関するワークショップ, オンライン

2020/11/20 三好 建正, ビッグデータとスーパーコンピュータによる豪雨予測 -世界最先端「ビッ

「ビッグデータ同化」の気象予測研究ー, 第 25 回日本難病看護学会 第 8 回日本難病医療ネットワーク学会合同学術集会、オンライン

2021/1/27 三好建正 (理化学研究所), ビッグデータ同化 ゲリラ豪雨予測から、予測科学へ、JST/CRDS セミナー『数学と科学、工学の協働に関する連続セミナー』第 13 回「シミュレーションとデータ科学」、オンライン、招待講演

2021/2/23 三好建正, データ同化と気象予測の展望、JST 未来社会創造事業ワークショップ、「次世代情報社会の実現」領域 R03 重点公募テーマ検討ワークショップ、オンライン、招待講演

2021/3/16 三好建正、ゲリラ豪雨予測のリアルタイム実験、「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 第 1 回成果発表会、オンライン

2021/4/12 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、進化型共生システムシンポジウム-未来の機械工学を考える-、2021/4/12、オンライン

2021/5/19 三好建正, 30 秒ごとの衛星データのリアルタイム活用への期待, 専門分科会 5「気象衛星ひまわり 8 号・9 号の利用とその後継衛星への要望」日本気象学会 2021 年度春季大会

2021/5/20 三好建正, 数値天気予報における研究と現業の連携のあり方, 専門分科会 3「気象庁データを利用した気象研究の現状と展望」日本気象学会 2021 年度春季大会

2021/6/4 三好 建正、寺崎 康児、小槻 峻司、大塚 成徳、本田 匠、高玉 孝平、岡崎 淳史、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, Japan Geoscience Union Meeting 2021, Online

ポスター発表

2020/7/9 三好建正、ゲリラ豪雨予測のリアルタイム実証実験、学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 (JHPCN) 第 12 回 シンポジウム

2020/10/30 三好建正, ゲリラ豪雨予測を目指した「ビッグデータ同化」の研究. 第 7 回「京」を中核とする HPCI システム利用研究課題 成果報告会

2021/3/16 雨宮新, 本田匠, 大塚成徳, Guo-Yuan Lien, James Taylor, 前島康光, 西澤誠也, 山浦剛, 末木健太, 富田浩文, 佐藤晋介, 石川裕, 三好建正, “2020 年夏季の Oakforest-PACS 部分占有利用による 30 秒更新 30 分降水予報のリアルタイム実験”, 「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 令和 2 年度成果発表会

(5) 公開したライブラリなど

(6) その他 (特許, プレスリリース, 著書等)

2020 年 8 月 21 日 理研広報おしらせ: 「30 秒ごとに更新するゲリラ豪雨予報ー首都圏でのリアルタイム実証実験を開始ー」 https://www.riken.jp/pr/news/2020/20200821_1/index.html

三好建正, 令和 2 年度防災功労者内閣総理大臣表彰 ゲリラ豪雨予測を目指してー「ビッグデータ同化」による未来の天気予報ー, 事例集 第 10 号 広がる裾野とさらなる頂きを目指して! スパコン活用の新しい時代へ、令和 2 年 4 月 1 日、公益財団法人計算科学振興財団、p. 10-11

三好建正, ビッグデータ同化: 気象学における先端データ同化研究, 計測と制御, 2020 年 8 月号 vol. 59, p. 541-545, 公益社団法人計測自動制御学会

三好建正, フェイズドアレー気象レーダを用いた超高速降水予報, 電子情報通信学会誌, 2020 年 9 月号, p. 924-930

三好建正、ゲリラ豪雨予報のリアルタイム実証実験、スーパーコンピューティングニュース, Vol. 22, No. 5, p. 14-17, 2020. 9

佐藤 正樹, 川畑 拓矢, 宮川 知己, 八代 尚, 三好建正, 「富岳」による新時代の大アンサンブル気象・大気環境予測, 繊維学会誌 2021 Vol. 77_No. 2, p. 54-58

三好建正, ビッグデータとスーパーコンピュータに
よる豪雨予測～世界最先端「ビッグデータ同化」
の気象予測研究～, 難病看護学会誌, Vol. 25,
No. 3, P. 241-243