

第5章 成果発表

5.1 論文・報告

2023年1月から12月までに掲載された、数値予報開発センターの職員が執筆した論文(共著も含む)を示す。

5.1.1 論文(査読有)

- Adachi, Y., H. Naoe, Y. Kubo, 2023: Impact of the SST-Front on Subseasonal Predictions of North Atlantic Winter Circulation Using the JMA Operational Seasonal Prediction System, *SOLA*, **19**, 282-288 <https://doi.org/10.2151/sola.2023-037>
- Eugenia Kalnay, Travis Sluka, Takuma Yoshida, Cheng Da, Safa Mote, 2023: Review article: Towards strongly coupled ensemble data assimilation with additional improvements from machine learning, *Nonlinear Processes in Geophysics*, **30**, 217-236 <https://doi.org/10.5194/npg-30-217-2023>
- Fujii Y., T. Yoshida, H. Sugimoto, I. Ishikawa, S. Urakawa, 2023: Evaluation of a global ocean reanalysis generated by a global ocean data assimilation system based on a four-dimensional variational (4DVAR) method, *Frontiers in Climate*, **4**, 1-20 <https://doi.org/10.3389/fclim.2022.1019673>
- Hirahara, S., Y. Kubo, T. Yoshida, T. Komori, J. Chiba, T. Takakura, T. Kanehama, R. Sekiguchi, K. Ochi, H. Sugimoto, Y. Adachi, I. Ishikawa and Y. Fujii, 2023: Japan Meteorological Agency/Meteorological Research Institute Coupled Prediction System version 3 (JMA/MRI-CPS3), *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **101**, 149-169, <https://doi.org/10.2151/jmsj.2023-009>
- Hotta, D., T. Kadowaki, H. Yonehara, T. Ishibashi, 2023: Twin-analysis verification: A new verification approach to alleviate pitfalls of own-analysis verification, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **149**, 924-932 <https://doi.org/10.1002/qj.4441>
- Maki, T., K. Kondo, K. Ishijima, T. T. Sekiyama, K. Tsuboi, and T. Nakamura, 2023: Independent Bias Correction Method for Satellite Observation Data Introduced to CO₂ Flux Inversion, *SOLA*, **19**, 157-164, doi:10.2151/sola.2023-021.
- Yokota, S., T. Banno, M. Oigawa, G. Akimoto, K. Kawano, and Y. Ikuta, 2024: JMA operational hourly hybrid 3DVar with singular Vector-based Mesoscale Ensemble Prediction System, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **102** <https://doi.org/10.2151/jmsj.2024-006>

5.1.2 報告

- Hasegawa, H., J. Sugano, T. Fukuura and M. Higaki, 2023: Upgrade of JMA 's Storm Surge Prediction for the WMO Storm Surge Watch Scheme (SSWS) in 2022, *RSMC Tokyo-Typhoon Center Technical Review*, **25**.
- Hirabara, M., H. Asai, N. Usui, 2023: Improvement in JMA 's Ocean Data Assimilation and Prediction System for the Seas Around Japan (JPN system), *Research activities in Earth system modelling. WGNE Report*, **53**, 8-03.
- Kamada, A., H. Yamaguchi, M. Kajino, 2023: Domain expansion and nudging method of JMA's Local Chemical Transport Model, *Research activities in Earth system modelling. WGNE Report*, **53**, 9-05.
- Kanehama, T., H. Yonehara, M. Ujiie, 2023: The impact of a high-accuracy high-resolution digital elevation model on numerical weather predictions, *Research activities in Earth system modelling. WGNE Report*, **53**, 6-05.
- Kawada, H., T. Kakehata, K. Kawano, 2023: Implementation of the SPPT scheme in JMA's Mesoscale Ensemble Prediction System, *Research activities in Earth system modelling. WGNE Report*, **53**, 5-11.
- Kubo, Y. and M. Sumitomo, 2023: Major upgrade of JMA prediction system for S2S Project based on a coupled model, *S2S Newsletter*, **22**, 15-17, http://www.s2sprediction.net/file/newsletter/S2S%20Newsletter%2022_Apr%202023_.pdf
- Nonaka, K., 2023: Operational use of Dual-Metop AMVs at high latitudes in JMA 's global NWP system, *Research activities in Earth system modelling. WGNE Report*, **53**, 1-09.

- Ota, Y., J. Chiba, Y. Ichikawa, H. Oashi, T. Takakura, H. Yamaguchi 2023: Upgrade of JMA's Global Ensemble Prediction System, *Research activities in Earth system modelling. WGNE Report*, **53**, 6-11.
- Shimizu, H., 2023: Operational use of hyper spectral infrared sounder radiance data in JMA 's meso-scale NWP syste, *Research activities in Earth system modelling. WGNE Report*, **53**, 1-23.
- Toguchi, R., T. Iriguchi, 2023: Operational Use of Surface Humidity Observations in JMA's Mesoscale NWP Systems, *Research activities in Earth system modelling. WGNE Report*, **53**, 1-25.
- Yamasaki, Y., H. Kusabiraki, 2023: Improving the representation of topographic effects in JMA's regional NWP model, *Research activities in Earth system modelling. WGNE Report*, **53**, 4-13.
- Yonehara, H., Y. Kuroki, M. Ujiie, C. Matsukawa, T. Kanehama, R. Nagasawa, K. Ochi, M. Higuchi, Y. Ichikawa, R. Sekiguchi, S. Hirahara, 2023: Upgrade of JMA 's Operational Global Numerical Weather Prediction System, *Research activities in Earth system modelling. WGNE Report*, **53**, 6-15.
- Yamaguchi, H., J. Chiba, Y. Ichikawa, T. Takakura, 2023: Hindcast verification of JMA's GEPS for one-month prediction with a globally expanded two-tiered sea surface temperature approach, *Research activities in Earth system modelling. WGNE Report*, **53**, 6-13.

5.2 国際会合

2023年1月から12月まで数値予報開発センターの職員が参加した国際会合¹を掲載する。会議名、主催、開催日時、参加者、発表した場合は題目、発表日、発表形式の順に示している。

- 米国気象学会第103回年次会合 (AMS、1/8 - 1/12)
 - 井上卓也 「Development of a Temperature Prediction Method Combining Deep Neural Networks and a Kalman Filter」 (1/12 口頭)
 - 千葉丈太郎 「Seasonal Prediction Skill of the Japan Meteorological Agency/Meteorological Research Institute-Coupled Prediction System Version3」 (1/12 ポスター)
- 季節内から季節予測プロジェクト技術委員会議 (WCRP/WWRP、2/28, 3/2)
 - 住友雅司
- 国際鉛直探査計研究会議 (ITSC) 第24回会合 (CGMS/ITWG、3/16 - 3/22)
 - 草野直人*、村田英彦、清水宏幸 「Update of the radiative transfer model to RTTOV-13 at JMA」 (3/16 ポスター)
 - 村田英彦*、近藤圭一、亀川訓男、草野直人、清水宏幸、安藤慧、浦田知哉 「Recent upgrades and progresses of satellite radiance data assimilation at JMA」 (3/17 ポスター)
 - 清水宏幸*、計盛正博、可知美佐子 「Development for all-sky assimilation of JAXA's future microwave sensor AMSR3 in the JMA's NWP system」 (3/20 ポスター)
- 国際風ワークショップ (IWW) 第16回 (5/8 - 5/12)
 - 野中健一 「Upgrades of polar AMVs use in JMA's global NWP system」 (5/9 口頭)
- WCRP/WWRP S2S サミット 2023 (7/3 - 7/7)
 - 住友雅司*、久保勇太郎、山田崇 「New JMA forecast data for S2S Project based on a coupled model」 (7/4 口頭)
- 宇宙からの温室効果ガス観測ワークショップ第19回 (LSCE(フランス気候環境科学研究所)・CNES (フランス国立宇宙研究センター)、7/4 - 7/6)
 - 眞木貴史*、石島健太郎、関山剛、坪井一寛、近藤圭一、中村貴 「Impact of independent satellite bias correction method」 (7/6 ポスター)
- 非静力学モデルに関する国際ワークショップ第6回 (8/31 - 9/2)
 - 石田凌雅 「GPU porting of ASUCA using OpenACC directives」 (8/31 口頭)
 - 田ノ下潤一*、松林健吾 「Evaluation of vertical transport of cumulus convection parametrization using LES」 (9/1 口頭)
- ECMWF 年次セミナー (9/4 - 9/8)
 - 高坂裕貴 「The JRA-3Q reanalysis」 (9/4 ポスター)
- 欧州気象学会 (EMS) 年次会合
 - 千葉丈太郎 「Toward improvement of cloud representation in the continental interiors in JMA/MRI-CPS」 (9/7 ポスター)
- 欧州気象衛星開発機構気象衛星会議 2023 (EUMETSAT, 9/11 - 9/15)
 - 清水宏幸*、計盛正博、可知美佐子 (JAXA) 「Development for assimilation of AMSR3 humidity-sounding channels over land and sea ice using a dynamic emissivity retrieval」 (9/13, 口頭)
- 欧州領域モデリング会合第45回及び短期数値予報会合第30回 (9/25 - 9/28)
 - 荒波恒平 「Development of Limited-Area NWP Systems at JMA」 (9/26, ポスター)
- 国際地表面作業部会会合第5回 (IESWG-5) (9/26 - 9/28)
 - 近藤圭一 「Impact of microwave radiance assimilation over land using dynamic emissivity in the global NWP system of JMA」 (9/27 口頭)
- 波浪・高潮・沿岸災害に関する国際ワークショップ第3回 (米国ノートルダム大学、10/1 - 10/6)
 - 管野淳平 「Recent upgrades of operational storm surge models in Japan Meteorological Agency」 (10/3 口頭)
- 世界気候研究計画公開科学会議第2回 (ルワンダ環境管理庁、10/09 - 10/27)

¹ 略号については付録を参照。

- 久保勇太郎*、千葉丈太郎、平原翔二、吉田拓馬、小森拓也、高倉寿成、杉本裕之、足立恭将、石川一郎、藤井陽介 「The systematic errors of the Indian Ocean Dipole in the JMA seasonal prediction system (CPS3)」 (10/11 ポスター)
- アジア・オセアニア気象衛星利用者会議 (AMOSUC) 第 13 回 (韓国気象庁、11/5 - 11/10)
 - 浦田知哉 「Assimilation of NOAA-21/ATMS and CrIS in the JMA's NWP systems」 (11/8 口頭)
- 数値実験作業部会 (WGNE) 第 38 回会合 (11/27 -12/1)
 - 氏家将志 「WGNE inter-comparison of Tropical Cyclone Track forecast 2022」 (11/28 口頭)

5.3 国内会合

2023年1月から12月まで、数値予報開発センターの職員が口頭・ポスター発表した国内会合を掲載する。「会合名」「開催期間」「開催形式」「発表者¹」「発表題名」「発表日²」「発表形式」の順で示している。

- 「気象・気候アプリケーション分野の調査研究」会合 (1/19 - 1/20 ハイブリッド)
 - － 雁津克彦* 「asuca/asuca-Var、GSM 気象庁モデル開発と「富岳」の活用」 (1/19 口頭)
- GPM および衛星シミュレータ合同研究集会 (3/23 - 3/24 ハイブリッド)
 - － 浦田知哉*、清水宏幸 「気象庁数値予報システムにおける衛星搭載マイクロ波気温サウンダの同化利用チャンネル拡大に向けた調査」 (3/23 口頭)
- 日本気象学会計算科学研究連絡会 (5/9 オンライン)
 - － 林田和大 「気象庁全球モデルにおけるスペクトル変換過程の GPU 対応について」 (5/9 口頭)
- 日本気象学会春季大会 (5/16 - 5/20 オンライン)
 - － 高坂裕貴*、古林慎哉、千葉丈太郎、田中泰宙 「JRA-3Q における国際地球観測年以前の大気の実現」 (5/18 口頭)
- 日本気象学会春季大会 (5/16 - 5/20 オンライン)
 - － 川口真司*、米原仁 「気象庁全球モデルにおける海面水温の扱いおよび海面過程に関する調査」 (5/16 口頭)
- 日本気象学会春季大会 (5/16 - 5/20 オンライン)
 - － 浦田知哉*、清水宏幸 「気象庁数値予報システムにおける衛星搭載マイクロ波気温サウンダの同化利用チャンネル拡充に向けた調査」 (5/18 口頭)
- 日本地球惑星科学連合 2023 年大会 (5/21 - 5/26 ハイブリッド)
 - － 金浜貴史*、松川知紘、米原仁 「Short-range Stratosphere-Troposphere coupling in a data-assimilation cycle and its benefit for numerical weather prediction」 (2023/5/25 ポスター)
- 日本地球惑星科学連合 2023 年大会 (5/21 - 5/26 ハイブリッド)
 - － 赤見彰一*、近藤圭一、梶野瑞王、田中博 「Parameter Estimation of Local Particle Filter by Bayesian Optimization」 (5/22 ポスター)
- 日本地球惑星科学連合 2023 年大会 (5/21 - 5/26 ハイブリッド)
 - － 清水宏幸*、計盛正博、可知美佐子 「Development for assimilation of AMSR3 humidity-sounding channels over land and sea ice using a dynamic emissivity retrieval」 (5/26 口頭)
- 日本気象学会秋季大会 (10/23 - 10/26 ハイブリッド)
 - － 米原仁*、川口真司、金浜貴史、氏家将志 「気象庁全球モデルによる 2023 年台風第 2 号予測に関するインパクト実験」 (10/23 口頭)
- 日本気象学会秋季大会 (10/23 - 10/26 ハイブリッド)
 - － 服部宏紀*、川田英幸、安西悠理、河野耕平 「気象庁における局地アンサンブル予報システムの開発」 (10/25 口頭)
- 日本気象学会秋季大会 (10/23 - 10/26 ハイブリッド)
 - － 近藤圭一*、大和田浩美、石橋 俊之、岡本幸三 「気象庁全球数値予報システムにおけるひまわり 10 号の観測データインパクト」 (10/25 口頭)
- 日本気象学会秋季大会 (10/23 - 10/26 ハイブリッド)
 - － 近藤圭一*、藤井秀幸、岡本幸三、入口武史、青梨和正 「気象庁全球数値予報システムを用いた陸域マイクロ波輝度温度同化における地表面射出率と地表面温度の同時推定手法」 (10/26 口頭)
- JAXA 第 3 回地球観測研究公募 PI ワークショップ (11/6 - 11/9 ハイブリッド)
 - － 村田英彦*、近藤圭一、草野直人、豊川将一、當眞嗣淳、安藤慧、浦田知哉、清水宏幸 「Utilization of water vapor, clouds and precipitation information from space-based microwave observation in JMA operational numerical weather prediction systems」 (11/8 口頭)

¹ 共著の場合、発表者には*をつけている。

² 開催期間が 1 日の場合、発表日は省略している。

5.4 数値予報課コロキウム

表 5.4.1: 2023 年 1 月から 12 月までに開催した数値予報課コロキウム

開催日	発表者	発表表題
1 月 26 日	関澤偲温、岡島悟、宮本歩、宮坂貴文、中山盛雄、中村尚（東京大学先端科学技術研究センター）	夏季北海道南東方沖における下層雲の気象庁メソモデルでの再現性・予測精度の検証
3 月 9 日	安藤慧、野中健一	全球解析における GOES-18 AMV・CSR の利用について
3 月 16 日	林田和大	GPU による気象庁全球モデルの高速化に向けて
3 月 17 日	中村佑希	メソ解析における地上設置型マイクロ波放射計データの新規利用（開発経過報告）
3 月 30 日	黒木志洸、吉村裕正（気象研究所）、門脇隆志	GSM の通信削減に向けた開発: セミラグランジュ移流スキームの通信負荷軽減に向けた MPI 分割手法の見直しの検討
5 月 11 日	宮坂貴文、隈健一（東京大学先端科学技術研究センター）	地域気象データと戦略的社会共創拠点 (ClimCORE) プロジェクトによる日本域気象再解析 (RRJ-ClimCORE) 作成の進捗報告
7 月 20 日	浦田知哉、清水宏幸、當眞嗣淳	NOAA-21/ATMS, CrIS 輝度温度データの同化利用に向けた調査（進捗報告）
9 月 5 日	中村佑希	メソ・局地解析における地上設置型マイクロ波放射計データの新規利用（性能評価試験報告）
9 月 7 日	木村翼、北村祐二	音波等を対象とする時間積分スキームの見直しによる安定性の向上および音波ループ削減による高速化
9 月 7 日	奥川椋介	asuca の雲物理過程における霰生成過程の見直し
9 月 21 日	草開浩およびメソモデルチーム	局地モデルの改良および予報時間延長について
9 月 28 日	高倉寿成、出牛真（気象研究所）	季節アンサンブル予報システムのオゾン予報変数化と全球化学輸送モデルのオゾン同化手法高度化（開発経過報告）
10 月 10 日	浦田知哉	全球解析における NOAA-21/ATMS, CrIS の利用について（性能評価試験報告）
10 月 10 日	木村翼	音波等を対象とする時間積分スキームに SSP-RK を用いた時の計算安定性の追加調査
10 月 19 日	下川直史・米原仁（数値予報課）、長澤亮二（気象研究所）	気象庁全球モデルの放射過程で用いる二酸化炭素濃度気候値の更新と放射過程のコードリファクタリングによる高速化・省メモリ化
12 月 13 日	浦田知哉	NOAA-21/CrIS 輝度温度データの正式版の品質に関する調査
12 月 13 日	中村佑希・浦田知哉	メソ解析における観測データ利用手法の改良（業務化試験報告）
12 月 13 日	草開浩・中村佑希・浦田知哉	局地数値予報システムの更新（業務化試験結果報告）
12 月 14 日	井藤智史・飯塚義浩・齊藤陸・住友雅司（基盤室）、安齋太朗（モデル室）、亀川訓男（気象技術開発室）、森脇健（地震火山技術・調査課）	次世代 AI 基礎研修実施報告

第6章 連携・共同研究

6.1 気象研究所との開発連携

2023年1月から12月までの各モデル・システムにおける連携先の研究室とその内容を報告する。

- (i) 数値予報システム（全球）の予測精度向上
 - (a) **内容** 高解像度モデルに適した物理過程開発と知見の共有、大気海洋結合モデル開発や海面フラックスの診断方法等の知見の共有。力学過程の高度化開発の情報共有
連携先 全球大気海洋研究部第一研究室, 気象予報研究部第二研究室, 気象予報研究部第四研究室, 気象観測研究部第四研究室
 - (b) **内容** 陸面データ同化システムの開発と精度評価等に関連する最新の知見の共有
連携先 全球大気海洋研究部第一研究室, 気象予報研究部第四研究室
 - (c) **内容** ハイブリッド同化の次のデータ同化手法の候補に関しての基礎調査
連携先 気象観測研究部第三研究室, 気象観測研究部第四研究室
 - (d) **内容** 誤差共分散行列の最適化による観測情報の大幅拡充を最新全球解析システムへ導入するための評価、誤差の見直しについての協力・助言
連携先 気象観測研究部第三研究室
 - (e) **内容** 観測データのインパクト評価手法についての情報共有と助言
連携先 気象観測研究部第三研究室
- (ii) 数値予報システム（局地）の予測精度向上
 - (a) **内容** 高分解能化への対応として「グレーゾーン」問題点の解決につながる最新の知見の共有
連携先 気象予報研究部第一研究室, 気象予報研究部第二研究室
 - (b) **内容** キロメートル以下の高解像度局地モデルの開発に資する研究や集中豪雨のメカニズム解明に関する研究と知見の共有
連携先 気象予報研究部第一研究室
 - (c) **内容** 接地境界層における陸面から大気への熱・水の乱流輸送過程の高度化に関する知見の共有
連携先 気象予報研究部第三研究室
- (iii) 数値予報システム（メソ、局地）の予測精度向上
 - (a) **内容** 現業システムへの適用を意識したアンサンブルデータ同化手法の研究、知見の提供
連携先 気象予報研究部第一研究室, 台風・災害気象研究部第一研究室
- (iv) 数値予報システム（メソアンサンブル）の予測精度向上、数値予報システム（局地アンサンブル）の開発と改良
 - (a) **内容** 初期値摂動、境界摂動、物理過程摂動の開発とアンサンブルのプロダクトの利用等に関する助言と最先端の知見の共有
連携先 気象観測研究部第四研究室
- (v) 数値予報システム（局地アンサンブル）の開発と改良
 - (a) **内容** 局地アンサンブルからメソアンサンブルへ確率情報等のプロダクトをシームレスに作成できる両システムの最適仕様作成についての助言
連携先 気象観測研究部第四研究室, 台風・災害気象研究部第一研究室
 - (b) **内容** 富岳政策対応枠で実施予定の「局地アンサンブル強化の方向性評価」への協力
連携先 気象観測研究部第四研究室
- (vi) 数値予報システム（全球、メソ、局地）の予測精度向上
 - (a) **内容** 高頻度・高解像度観測データの有効利用に向けた観測誤差相関（時間・空間・衛星チャンネル間）の取扱い手法などの研究と助言
連携先 気象観測研究部第三研究室, 気象観測研究部第四研究室
 - (b) **内容** 雲・降水域や陸域衛星輝度温度データ、ハイパースペクトル赤外サウンダデータ、静止衛星 CO2 バンド輝度温度データ、高解像度 AMV や衛星搭載レーダー、ライダー等、航空機データ mode-S や WAM、船舶 GNSS データ、民間事業者の地上気象観測データ、偏波パラメータ等のレーダーデータ、地上設置型ライダー・マイクロ波放射計等の最新現業システムを用いたインパクト実験を含む観測データ利用の研究と知見の共有
連携先 気象観測研究部第二研究室, 気象観測研究部第三研究室, 気象観測研究部第四研究室

- (vii) AI 技術
 - (a) **内容** ダウンスケーリング等、AI 技術の知見の共有
連携先 全球大気海洋研究部第三研究室
- (viii) 数値予報システム（メソ、局地）の予測精度向上、ガイダンスの高度化
 - (a) **内容** 今後のモデル開発に資する線状降水帯の検証に関する知見の情報共有
連携先 台風・災害気象研究部第二研究室
- (ix) 季節予報システムの予測精度向上
 - (a) **内容** 将来の季節予報システムの研究開発
連携先 全球大気海洋研究部第一研究室, 全球大気海洋研究部第二研究室, 全球大気海洋研究部第三研究室, 全球大気海洋研究部第四研究室, 全球大気海洋研究部第五研究室, 気象予報研究部第二研究室, 気候・環境研究部第一研究室, 気候・環境研究部第三研究室
- (x) 気候データ同化の高度化
 - (a) **内容** 第3次長期再解析 (JRA-3Q) の品質評価への協力及び観測データに関する情報提供
連携先 気象観測研究部第二研究室, 気象観測研究部第三研究室, 気候・環境研究部第一研究室
- (xi) 波浪モデルの予測の改善精度向上
 - (a) **内容** 波浪モデルの高度化に向けた技術的な助言・支援
連携先 全球大気海洋研究部第五研究室
- (xii) 解像度 5km 程度で実行可能な全球モデル GSM の開発
 - (a) **連携先** 全球大気海洋研究部
- (xiii) 高解像度狭領域 LFM(1km) の開発
 - (a) **連携先** 全球大気海洋研究部

6.2 気象衛星センターとの共同研究

- (i) 大気追跡風の精度向上へ向けての調査
 - (a) **内容** IASI の L2 プロダクトから導出される 3D-Wind の調査
連携先 解析課

6.3 共同研究一覧

表 6.3.1: 開発センター職員が参加している共同研究 (2023 年 12 月現在)

研究名称	研究種別	期間 (年度)	共同研究機関	開発センター職員の研究分担等
日本域 4 次元高機能気象データの整備及び気象データの利活用研究の推進	JST 共創の場形成支援プログラム (共同研究契約)	2021-2025	東京大学	共同研究者: 雁津克彦 北村祐二 沢田雅洋 河野耕平 清水宏幸 古林慎哉 千葉丈太郎
今後の高性能計算機の動向を見据えた気象庁数値予報モデルの性能評価		2023-2025	理化学研究所	共同研究者: 佐藤芳昭 雁津克彦 荒波恒平 氏家将志 河野耕平

研究名称	研究種別	期間 (年度)	共同研究機関	開発センター職員の研究分担等
温室効果ガス収支のマルチスケール監視とモデル高度化に関する統合的研究	環境研究総合推進費	2021-2023	国立環境研究所 気象研究所 海洋研究開発機構 千葉大学	研究協力者: 中村貴
顕著現象予測精度向上を目指した粒子フィルタによるハイブリッドデータ同化手法の構築	科研費若手研究	2021-2024	気象研究所	研究代表者: 近藤圭一
高解像度波浪再解析による日本沿岸長期変動特性の解明	科研費基盤研究(C)	2022-2024	気象研究所	研究協力者: 櫻木智明
宇宙からのマイクロ波放射観測による水蒸気、雲、降水情報の気象庁現業数値予報システムでの利用研究	第3回地球観測研究公募	2022-2024	JAXA	研究代表者: 村田英彦 研究協力者: 近藤圭一 草野直人 豊川将一 當眞嗣淳 安藤慧 浦田知哉 清水宏幸
積雲対流スキーム改良を通じた気象庁全球スペクトルモデル GSM の予測精度向上に関する研究	海洋研究開発機構	2022-2023	海洋研究開発機構	共同研究者: 佐藤芳昭 計盛正博 氏家将志
集中豪雨の予測精度向上に資する晴天放射輝度のキャラクタリゼーション	「富岳」政策対応枠	2023-2023	千葉大学	佐藤芳昭 雁津克彦 藤田匡 村田英彦 近藤圭一 安藤慧
アジアモンスーンの数値シミュレーションのための物理過程の高度化とデータ同化手法の開発	東京大学大気海洋研究所気候システム研究系特定共同研究	2023-2023	東京大学	氏家将志 米原仁 金浜貴史 木南哲平 高橋由実子 齊藤慧 黒木志洸 林田和大 須藤康平
台風防災に資する気象庁全球スペクトルモデル GSM の改良に関する研究	共同研究契約	2023-2024	京都大学	佐藤芳昭 藤田匡 笹川悠 小泉耕 氏家将志
雲・エアロゾルを介した中緯度大気海洋相互作用	科研費新学術領域研究	2020-2023	東京大学 東北大学 名古屋大学 気象研究所 海洋研究開発機構	研究協力者: 千葉丈太郎

研究名称	研究種別	期間(年度)	共同研究機関	開発センター職員の研究分担等
二重偏波気象ドップラーレーダーを用いた動径風の品質管理法と観測誤差推定法の開発	共同研究契約	2023-2023	防災科学技術研究所	佐藤芳昭 雁津克彦 藤田匡 村上康隆 石井恭介

6.4 「富岳」政策対応枠「豪雨防災、台風防災に資する数値予報モデル開発」

6.4.1 はじめに

台風や線状降水帯による災害は近年、毎年のように発生している。このような災害の被害軽減を図るためには予測情報の精度向上が必要であり、その予測情報の基盤である数値予報の精度向上は喫緊の課題である。気象庁は、平成30年（2018年）に数値予報技術開発重点計画を策定し、豪雨防災や台風防災に重点的に取り組んでいる。この取り組みのさらなる加速化を図るため、「富岳」政策対応枠¹に「豪雨防災、台風防災に資する数値予報モデル開発」とした課題で応募、令和3年度（2021年度）より採択されている。

本課題においては、豪雨防災課題として局地アンサンブル予報システムの方向性評価、台風防災課題として高解像度全球数値予報モデルの開発を、2021年度より実施している。また、2022年度からは豪雨防災課題に水平解像度1kmの局地モデルのリアルタイム実行などの課題を加えた。2023年度はこのリアルタイム実行の仕様を拡張するとともに、観測データの利用高度化に向けた大学や研究機関との共同研究を開始した。

本節ではこれらの課題に関する取り組みについて概説する。

6.4.2 局地アンサンブル予報システムの方向性評価

線状降水帯は、次々と発生した積乱雲により構成された線状の降水域が数時間にわたってほぼ同じ場所に停滞することで、大雨をもたらすものである。線状降水帯の予測精度向上に向けて、予測モデルを高解像度化することや、高解像度のアンサンブル予報システム（EPS: Ensemble Prediction System）を開発することは欠かすことができない課題とされており、また線状降水帯が発生する環境場として、水蒸気の流入を正確に把握することが重要とし、現在利用していない衛星データの利用技術をすすめることも重要としている。（第1回線状降水帯予測精度向上ワーキンググループ²）。このため、線状降水帯の予測計算を行う局地数値予報モデルの高解像度化及び確率的予測（アンサンブル手法）の強化に取り組んでいる。しかし、高解像度化と予測シナリオの増加は計算機資源においてトレードオフの関係があり、気象庁で運用できる限られた計算機資源で線状降水帯の予測精度向上を達成するためには、最適な構成を検討する必要がある。

そこで本課題では、局地モデルの高解像化と予測シ

ナリオの増加の2つの方向（もしくはその中庸）の強化の可能性について実験を実施し、方向性に関する知見を得る計画としている。

本課題では、2022年10月までに、解像度2kmの局地モデルによる21メンバーアンサンブル予報を行う実験を複数事例に対して実施した。この局地モデルによるEPSを局地EPS（LEPS: Local EPS）と呼ぶ。この際のEPSメンバーの初期値及び境界値には、気象庁で現在運用している局地解析とメソ予報を用い、初期摂動にはメソEPS（MEPS: Mesoscale EPS、解像度5kmのモデルによる21メンバーのアンサンブル）で作成した値を用いた。また、2023年10月までに、メンバー数を21のままとして、モデルをより高解像度の1kmにする実験を実施し、これらの有効性の比較調査も実施した。さらに、上記の21通りの初期値にモデルアンサンブル手法を加えることで、解像度2kmのまま、より多数のメンバー（101メンバー）のアンサンブル予報実験も実施した。本調査の結果、1km21メンバー実験では線状降水帯事例において空間的によりメリハリのある確率分布の表現が可能になること（図6.4.1）、2km101メンバー実験では空間的により連続的な確率分布表現が可能になること（図6.4.2）を確認した。他方、2km21メンバーの仕様でも線状降水帯の確率予測がある程度可能であり、MEPSよりも高い確率で線状降水帯による大雨の可能性を捕捉する傾向を確認した。このため、運用にかかる計算機資源量増加も踏まえ、まずは2025年度末に2km21メンバーでLEPS運用開始を目指す方針を確定した。今後は本仕様で、初期値摂動の作成手法改良、側面・下部境界値摂動の導入、物理過程摂動の導入により、よりメリハリのある確率分布を表現できないか、さらに検討を進める。

なお、さらなる高解像度化やさらなるメンバー数増強の効果については、摂動作成手法の改良や高解像度モデルの予測精度向上により、将来的に現時点で確認したよりもさらに大きな効果が得られるようになる可能性がある。当面は2km21メンバーの仕様で改良を進める一方、仕様拡張に向けての方向性については、将来的に継続的に調査を行うこととする。

6.4.3 水平解像度1km版局地モデルのリアルタイム実行

上述の通り、線状降水帯の予測精度向上に向けた課題として、積乱雲を表現できるよう予測モデルを高解像度化するなどにより、予測モデルの性能を高めることがあげられている。これに向けて、現在気象庁で運用している最も分解能の高い局地数値予報モデル（LFM、解像度2km、10時間予報）をさらに高解像度にした場合、また、この高解像度モデルの予測時間を延長した場合、予測性能がどのようになるか、どのような課題があるかを見極める必要がある。

¹ 「スーパーコンピュータ「富岳」利活用促進の基本方針」（令和2年（2020年度）7月17日文部科学省通知）において定められている政策的に重要または緊急と認められる課題がより柔軟に利用できる「富岳」の利用枠

² https://www.jma.go.jp/jma/kishou/shingikai/kondankai/senjokousuitai_WG/part1/part1-gijigaiyou.pdf

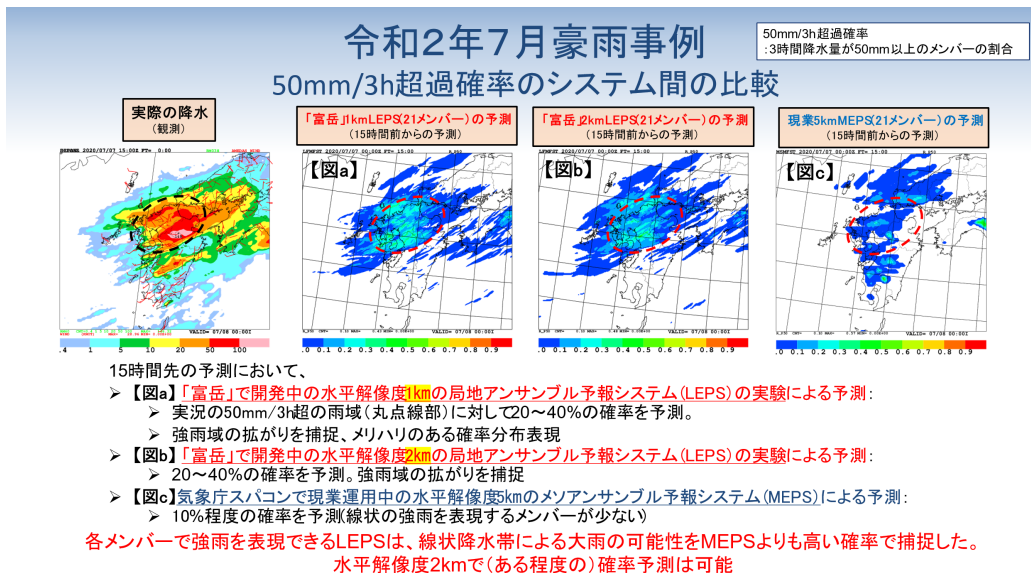


図 6.4.1 水平解像度 1km,2km の局地アンサンブル予報システム及び同 5km のメソアンサンブル予報システムの予測事例比較

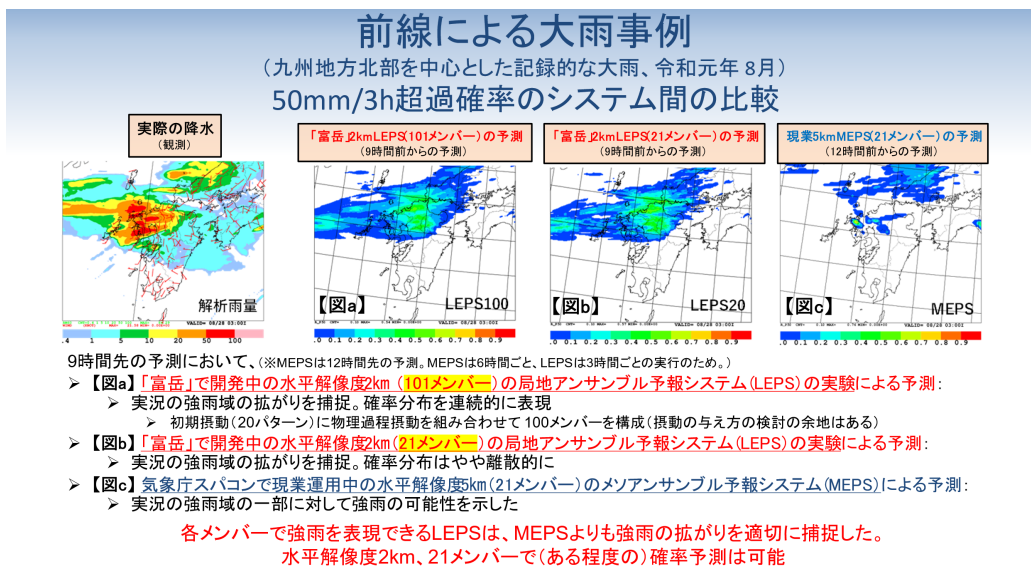


図 6.4.2 メンバー数 101 及び 21 の局地アンサンブル予報システムの予測事例比較

このような調査を行う観点から、2022年度は、6月から10月までの期間、西日本を中心とした1400km×1400kmの限定された領域でリアルタイムに1km LFMの18時間予測実験を実施するとともに、「富岳」向けの最適化・高速化開発を行った。2023年度は、この開発成果により、現在気象庁が2km LFMを運用している全国領域でも1km LFMの予報が実行できるようになったことを受けて、6月から10月までの期間は全国領域で18時間予測実験を実施した。図6.4.3にこの実験の仕様についてまとめている。

この実験では、昨年度同様、現在10時間より先の予測に用いることが出来るメソ数値予報モデル(MSM)の予測と比べて、より実況に近い強雨を予測した事例を多く確認した。その中には、昨年度の実行領域で

は側面境界付近となってしまう、十分な予測が困難となる北陸地方での大雨事例もあった(例えば図6.4.4)。

このように大雨の半日前予測には高解像度モデルの予測時間延長が効果的であることが確認できた一方、1km LFMを現業運用するためには実行時間を大幅に短縮する必要がある等の課題があるため、まずは2023年度末に解像度の2kmの現行 LFMの予測時間を10時間から(00,03,06,09,12,15,18,21UTC初期値において)18時間に延長し、1kmモデルへの高解像度化は2025年度末に実施する段階的な計画として引き続き開発を進める。

今後、この2025年度末の LFM 高解像度化を目指し、引き続き実行時間の短縮、各種解像度依存する物理過程等の最適化、安定運用を担保するための夏季以外の

富岳1kmLFMの仕様



令和5年の領域

	富岳1kmLFM (R5)	富岳1kmLFM (R4)	2km LFM (気象庁スパコンで現業運用中)	MSM (気象庁スパコンで現業運用中)
水平解像度	1km	1km	2km	5km
領域	日本域	西日本狭領域	日本域	日本と周辺海域
水平格子数	3161 x 2601	1400 x 1400	1581 x 1301	817 x 661
予報時間	18時間	18時間	10時間	78時間(最大)
実行頻度	2回/日 (03, 15 UTC)	2回/日 (03, 15 UTC)	24回/日	8回/日

令和5年度は、
令和5年3月に2kmLFMに適用された改良も反映した仕様で運用。
モデル本体、初期値、境界値は2km LFMと同一設定。

図 6.4.3 富岳 1kmLFM の仕様

季節を含む様々な予測事例等の検証を実施していく計画である。

6.4.4 高解像度全球数値予報モデルの開発

数日先までの気象現象予測、とりわけ国民生活に影響の大きい台風予測のため、気象庁では、地球全体を予測対象とした全球数値予報モデル GSM を運用している。2023年10月現在のGSMの水平解像度は約13kmであり、台風中心部で発達する積乱雲などを正確に再現するためには解像度が十分とは言えない。このため、その予測精度向上のために水平解像度10km以下への高解像度化が必要である。現行のGSMが採用する計算手法(スペクトル法)では、将来的に水平解像度10km以下の高解像度GSMにする際に、球面調和関数の数値計算精度や、計算量やノード間通信量の増加の面で課題があることが分かっている。この課題を解決するため、本課題では富岳を活用して将来の高解像度GSMでも利用可能な計算手法の開発を行う。

2023年10月までに開発を進め、10kmばかりでなく5kmの解像度での予測実験を実施することも可能となっている。このうち5kmのGSMによる令和5年(2023年)台風第2号の予測実験では、台風の発達ピーク時の中心気圧予測については13kmGSMと同程度である一方、気圧が深まるタイミングが早くなり、急発達に関する予測可能性向上が期待される結果が得られている(図6.4.5)。

今後、気象庁のシステムで運用可能にするための更なる高速化、大気現象の再現性向上を目指し、詳細な解析を継続して進める計画である。

6.4.5 その他の活動

数値予報システム改良の加速化を図るためには、観測データの利用手法や数値予報モデルの各種過程等に専門知識のある大学や研究機関等の研究者の技術や知

見を取り込むことが重要である。一方、このような活動のためには、共同で開発を行うため、数値予報の実験を行う開発基盤が必要である。

気象庁では、数値予報システムに対して何らかの改良を施す際に、極端事例のみならず平常時も含めた一定期間の客観解析(データ同化)と予報の実験を行って、その改良版数値予報システムの総合的な性能評価を行う。その開発基盤として、数値予報システムを模擬する「数値解析予報サイクル実験システム NAPEX(原2017)」を整備、活用している。大学等の研究者とともに多様な観測データの利用手法改善等に取り組む開発基盤とするため、2023年夏までにこのNAPEXに準じた実験システムを「富岳」に構築した。

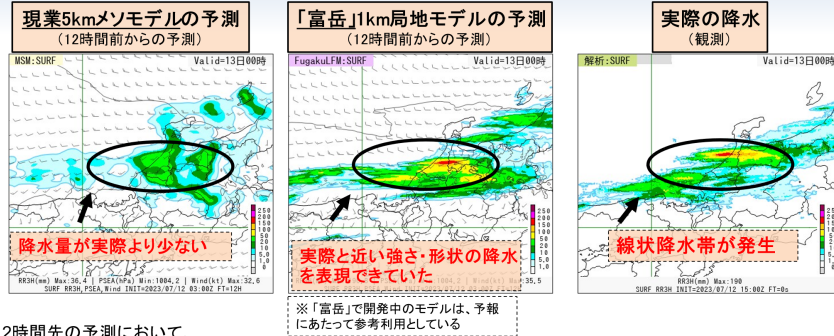
このシステム構築を契機として、2023年に現在気象庁で運用、数値予報でデータを取得、活用しているものの、さらなる利用手法改良が見込まれる、ひまわり及び二重偏波ドップラー気象レーダーの利用手法高度化を目指し、本実験システムを用いた共同研究の研究提案を広く募った。その結果、千葉大学、琉球大学及び防災科学技術研究所から研究提案が示され、以下の共同研究を実施することとし、研究開発を進めている。

- 「集中豪雨の予測精度向上に資する晴天放射輝度のキャラクターゼーション」(千葉大学)
- 「二重偏波気象ドップラーレーダーを用いた動径風の品質管理法と観測誤差推定法の開発」(防災科学技術研究所)
- 「沖縄レーダーの観測範囲に出現する「メソ対流系」に伴う偏波パラメータの鉛直構造の解析と現業メソ予報モデルとの比較」(琉球大学)

観測データに知見のある研究者と数値予報開発を専門とする当数値予報開発センターとの共同研究による今後の開発加速化を期待している。

リアルタイム1km局地モデルの実行例

(令和5年(2023年)7月13日0時頃に石川県・富山県で発生した線状降水帯)



- 12時間先の予測において、
- ▶ 【左図】 気象庁パソコンで現業運用中の水平解像度5kmのメソモデル(MSM)による予測：
 - ▶ 降水帯が幅広く広がっており、降水量も実際の降水量に比べて過小
 - ▶ 【中図】 「富岳」で開発中の水平解像度1kmの局地モデル(LFM)の実験による予測：
 - ▶ 実際に近い強さ・形状の、強雨域が局所的に集中した「線状降水帯」を再現

図 6.4.4 リアルタイム 1km 局地モデルの実行例

高解像度GSMによる令和5年台風第2号の予測事例

中心気圧[hPa] 黒: 気象庁ベストトラック、赤: 異なる初期時刻からのGSMの予測

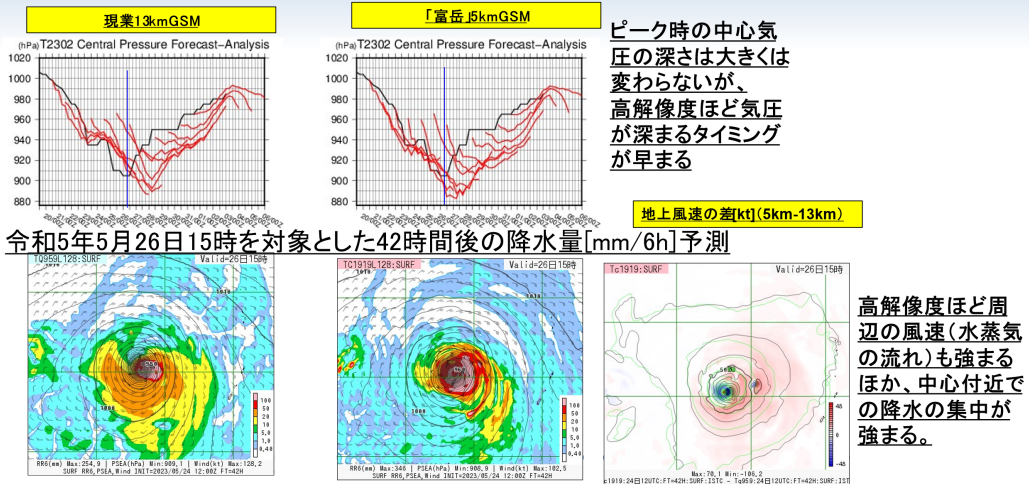


図 6.4.5 高解像度 GSM による令和 5 年台風第 2 号の予測事例

参考文献

- 原旅人, 2017: 数値解析予報実験システム (NAPEX).
 数値予報課報告・別冊第 63 号, 気象庁予報部, 62-63.