

第2章 数値予報システムの概要と今後の開発計画

第2章では、数値予報開発センターで開発を行っている各数値予報システムの概要と近年の更新履歴、今後の開発計画について報告する。全球数値予報システム、全球アンサンブル予報システム、メソ数値予報システム、メソアンサンブル予報システム、局地数値予報システム、局地アンサンブル予報システム、三十分大気解析について、開発計画の線表を図 2.7.1 に示し、第 2.1 節から第 2.7 節で述べる。ガイダンス、マルチモデルガイダンスについて、開発計画の線表を図 2.8.1、図 2.8.2 に示し、第 2.8 節で述べる。季節アンサンブル予報システム、気候データ同化システム、波浪モデル、高潮モデル、海況監視予測システム、物質循環システムについて、開発計画の線表を図 2.14.1、図 2.14.2 に示し、第 2.9 節から第 2.14 節で述べる。

気象庁は 2023 年 3 月に線状降水帯予測スーパーコンピュータ (気象庁情報基盤部 2023) を、続いて 2024 年 3 月に気象庁の第 11 世代となるスーパーコンピュータシステム (気象庁情報基盤部 2024) を導入した。数値予報システムのうち、局地数値予報システム及び三十分大気解析は線状降水帯予測スーパーコンピュータで、その他の数値予報システムは第 11 世代スーパーコンピュータシステムで現業運用されている。

2.1 全球数値予報システム

全球数値予報システムは、天気予報や週間予報、台風予報などでの利用に加え、メソ数値予報システムへの境界値提供をはじめ多くの役割を担う基盤システムである。システムの全体像は JMA (2025) を参照頂きたい。「2030 年に向けた数値予報技術開発重点計画」(気象庁 2018) では、特に台風防災に資するため、台風進路に関する予測誤差を 3 日先の予測で 100 km 程度にするといった飛躍的な改善が必要であるとしている。

全球数値予報システムは、初期値を作成する全球データ同化システム (全球解析) 及び予測計算を行う全球モデル GSM により構成されている。GSM は 2026 年 1 月現在、水平格子間隔約 13 km、鉛直層数 128 層の構成で運用されている。全球データ同化システムは、4 次元変分法を基本とし、局所アンサンブル変換カルマンフィルタ (LETKF, Hunt et al. 2007) で作成される背景誤差の情報を考慮するハイブリッド 4 次元変分法を用いている。全球数値予報システムについての開発の成果や進捗の詳細は第 3 章、第 4 章を参照頂きたい。

2024 年 3 月のスーパーコンピュータシステムの移行と同時に NOAA-21 搭載のマイクロ波サウンダ ATMS 及び赤外サウンダ CrIS による輝度温度観測データの新規利用を開始した (気象庁 2025b)。2025 年 3 月には、全球モデル及び 4 次元変分法の並列化手法の改良、物理過程 (陸面・放射過程) の改良を行った (第 3.2

節)。さらに 2025 年 10 月には全球データ同化システムにおいて、ひまわりや欧米静止気象衛星の CO₂ バンド CSR の利用開始、他機関の極軌道気象衛星搭載マイクロ波サウンダデータの利用拡充及び高度化、GNSS 掩蔽データの利用手法改良及び利用拡充を行う (第 3.6 節) とともに、GOES-19 の AMV、CSR の利用を開始した。

2026 年度には、AMV の利用拡充及び利用高度化、国内ラジオゾンデ高解像度観測データの利用開始、GNSS 掩蔽データの利用手法改良及び利用拡充、ATMS の利用チャンネル拡充、静止気象衛星輝度温度の全天同化、赤外サウンダ利用高度化等を計画している (第 4.4 節)。また全球モデルの高速化や物理過程等の改良、全球解析におけるトラジェクトリの単精度化及び水平局所化の改良に向けた開発を進めている。

今後も GSM の精度向上に向けた物理・力学過程の開発とともに、将来の計算機への対応を見据えた、並列化手法の改良・GPU 利用・単精度化等の高速化に向けた取り組みや、観測データの利用高度化等の開発を進める。中長期的にはスーパーコンピュータシステムのスペックに応じて GSM の水平格子間隔を 10 km 以下まで強化し詳細な予測値をメソモデルへ引き継ぐとともに、台風の進路予測精度を飛躍的に向上させることを目指している。

2.2 全球アンサンブル予報システム

全球アンサンブル予報システム (GEPS) は GSM による予測に対して信頼度や不確実性等の情報を与えることに加え、より長い 2 週間から 1 か月先までの確率的予測での利用も目的として運用されている。システムの詳細については経田 (2016) や新保 (2017) などを参照頂きたい。また、最新の開発の成果や進捗の詳細については第 3 章、第 4 章を参照頂きたい。「2030 年に向けた数値予報技術開発重点計画」(気象庁 2018) では、台風防災に資するための台風の進路予報に関する不確実性の情報や、社会経済活動への貢献に資するため 2 週間及び 1 か月先までの顕著現象予測の精度向上が必要であるとしている。

GEPS に利用される数値予報モデルは基本的に低解像度版の GSM で、18 日予測までは水平格子間隔約 27 km、それより先の 34 日目までは約 40 km と、予報時間の途中で格子間隔を切り替える仕様となっている。鉛直層数は GSM と同様 128 層である。アンサンブル数は、18 日目までは 51 メンバー、19~34 日目までは 25 メンバーである。アンサンブル予報のための初期摂動については LETKF と特異ベクトル法 (SV 法) により与えている。また数値予報モデルの不確実性を考慮するため、確率的物理過程強制法 (SPPT 法) (米

原 2010) を採用している。なお 2026 年 1 月に予定している季節アンサンブル予報システム (季節 EPS) の更新後は、1 か月予報支援の役割についても季節 EPS が担うことになり、GEPS の 18 日より先の予測は廃止される。

2025 年 3 月に、確率的水蒸気プロファイル参照法の導入、初期摂動の振幅調整、SST 摂動の作成手法の改良、数値予報モデルの物理過程更新と並列化手法の更新の導入を行った (第 3.3 節)。

2026 年度中の現業導入を目指し、数値予報モデルの改良の適用に向けた開発を行っている。今後も GSM の改良とともに確率的予測の改善を目指した開発に取り組む。中長期的には GSM 同様に、将来の計算機への対応を見据え、スーパーコンピュータシステムのスペックに応じた、高速化対応や省資源化を検討している。さらに、大気海洋の相互作用の取り扱いの精緻化に向けた調査開発も進めていく。

2.3 メソ数値予報システム

メソ数値予報システムは、数時間から 3 日程度先までの大雨や暴風などの災害をもたらす現象の予測を目的とし、主に天気予報や防災気象情報、航空気象情報の作成支援に利用されている。システムの全体像については JMA (2025) などを参照頂きたい。「2030 年に向けた数値予報技術開発重点計画」(気象庁 2018) では、台風防災及び豪雨防災に資するため、台風に伴う 3 日先までの降水量予測や、線状降水帯の発生・停滞等による集中豪雨の予測のため予測時間の延長や顕著現象の降水量等の定量的予測の精度向上が必要であるとしている。

メソ数値予報システムは初期値を作成するメソデータ同化システム (メソ解析) とメソモデル MSM により構成されている。MSM は 2026 年 1 月現在、水平格子間隔 5 km、鉛直層数 96 層の非静力学モデル asuca(気象庁予報部 2014; Ishida et al. 2022) により 1 日 8 回運用されている。予報時間は 00UTC, 12UTC 初期値については 78 時間、その他の初期値からの予測は 39 時間である。メソ数値予報システムについての開発の成果や進捗の詳細は第 3 章、第 4 章を参照頂きたい。

2024 年 3 月には、第 11 世代スーパーコンピュータシステム移行と同時に、地上マイクロ波放射計による可降水量データや NOAA-21 搭載の ATMS 及び CrIS による輝度温度観測データの新規利用を開始した (気象庁 2025b,c)。2024 年 6 月には、新凌風丸船舶 GNSS 観測データ利用、及び、2022 年 8 月から 2023 年 7 月に設置されたアメダス観測湿度計の現業利用を開始した。2024 年 11 月には、気象レーダー更新に関して新潟・名瀬・鹿児島 のレーダーの利用を再開した。2025 年 2 月には、水蒸気に感度のあるマイクロ波気温サウンダ窓チャンネルの新規利用や、アメダス湿度計の利

用手法改良等の観測データ利用高度化を行った (第 3.7 節)。さらに 2025 年 5 月には、MSM への地形性抵抗の効果の新たな導入や標高オリジナルデータセットの更新、放射・陸面といった物理過程の改良を行った (第 3.4 節)。2025 年 6 月には 2023 年 8 月から 2024 年 7 月に設置されたアメダス観測湿度計の現業利用を開始した。

2025 年度末には、地上 GNSS データの利用高度化、ひまわり CO₂ バンド CSR の利用開始、GNSS 掩蔽データの利用拡充及び利用高度化等の観測データ利用高度化や、解析基本場の単精度保持による省資源化の改良を計画している (第 4.4 節)。今後も MSM の精度向上に向けた物理・力学過程の開発を進めるとともに、観測データの利用高度化等の開発を進める。また、将来の計算機への対応を見据えた GPU 利用、単精度化等による高速化も重要な課題であり、引き続き開発を進めていく。さらに、現行のデータ同化システムは 4 次元変分法を採用しているものの、その時々 の気象条件に応じた背景誤差の情報が十分活用できていないことから、データ同化手法の改善も課題となっている。なお、メソ数値予報システムにおける観測データ利用の高度化については、スーパーコンピュータ「富岳」を活用して、二重偏波気象ドップラーレーダーやひまわり CSR のデータを利用した共同研究を進め、観測データの高度利用に係る開発加速化を図っている。「富岳」活用の成果については第 6.4 節を参照頂きたい。

2.4 メソアンサンブル予報システム

メソアンサンブル予報システム (MEPS) は、MSM の予測に対して信頼度や不確実性の情報を付加する目的で運用されている (河野ほか 2019)。「2030 年に向けた数値予報技術開発重点計画」(気象庁 2018) では、豪雨防災に資するため特別警報級の大雨となる確率情報の精度向上のための予測精度向上が必要であるとしている。

MEPS に用いる数値予報モデルは基本的に MSM と同一であり、2026 年 1 月現在の水平格子間隔は 5 km、鉛直層数は 96 層である。アンサンブル予報のための初期値や側面境界値の摂動は特異ベクトル法 (SV 法) を用いて与えている。また数値予報モデルの不確実性を考慮するため、SPPT 法 (米原 2010) を採用している。

2025 年 5 月に、MSM の更新に合わせて、MEPS で用いるメソモデルを更新した (第 3.4 節)。

今後は、MSM の更新に合わせた改良に加えて、摂動作成手法の高度化等、確率的予測の改善を目指した機能拡充を行う。

2.5 局地数値予報システム

局地数値予報システムは、半日程度先までの大雨をはじめとする災害をもたらす現象を予測することを目的とし、防災気象情報や航空気象情報、降水短時間予報等の作成支援での利用のため、空間・時間スケールの小さい現象を予測することを目指して運用されている。「2030年に向けた数値予報技術開発重点計画」(気象庁 2018)では局地的な大雨の半日前の予測に資するため、積乱雲等の予測を行えるよう、更なる高度化・高解像度化が必要であるとしている。近年、線状降水帯などに伴う集中豪雨による災害が多発しており、豪雨防災に早期に資するため、局地数値予報システムについては開発計画を前倒しして開発を進めている。

局地数値予報システムは、初期値を作成する局地データ同化システム(局地解析)と局地モデル LFM により構成されている。LFM は 2026 年 1 月現在、水平格子間隔 2 km、鉛直 76 層の非静力学モデル asuca により、1 日 24 回毎正時を初期値に運用されている。予測時間は 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21UTC 初期値では 18 時間、その他の初期値からの予測は 10 時間である。この 3 時間ごとの 18 時間予測は、半日前からの線状降水帯予測に資するために、2024 年 3 月の第 11 世代スーパーコンピュータシステム導入に合わせて延長されたものである。データ同化手法には初期時刻の 3 時間前から 3 次元変分法 (3DVar) による同化と 1 時間予測を繰り返す手法 (Rapid Update Cycle) を用いている。この 3DVar によるデータ同化では、予測誤差として気候学的に事前に見積もった値とアンサンブル手法から算出した気象場に応じた値を考慮するハイブリッド同化を行っている。局地数値予報システムについての開発の成果や進捗の詳細は第 4 章を参照頂きたい。

2024 年 3 月には前述の予報時間延長とともに、力学過程、物理過程(雲物理過程、放射過程)の改良、地上マイクロ波放射計による可降水量データ、NOAA-21 搭載の ATMS 及び CrIS による輝度温度観測データの新規利用を開始した(気象庁 2025a,b,c)。2024 年 11 月には、気象レーダー更新に関して新潟・名瀬・鹿児島 のレーダーの利用を再開した。2025 年 2 月には、水蒸気に感度のあるマイクロ波気温サウンダ窓チャンネルの新規利用やアメダス湿度計の利用手法改良等の観測データ利用高度化を行った(第 3.7 節)。

2025 年度末には積乱雲のような小さいスケールの現象の予測を改善するため、LFM の水平格子間隔を 1 km に高解像度化することを計画している(第 4.2 節)。また、あわせて観測データ利用手法の改良を行う(第 4.4 節)。

なお、本開発計画に資する活動として、スーパーコンピュータ「富岳」を活用して、2022 年度には西日本狭領域、2023 年度及び 2024 年度には全国を予報領域とした水平格子間隔 1 km のモデルのリアルタイムシ

ミュレーション実験を実施し、高解像度化(格子間隔を現行の 2 km から 1 km へ)に伴う特性変化の把握や計算安定性の確認等を行ってきた。「富岳」活用の成果については第 6.4 節を参照頂きたい。

2.6 局地アンサンブル予報システム

「2030 年に向けた数値予報技術開発重点計画」(気象庁 2018)では豪雨防災に資するため、確率的予測を行う局地アンサンブル予報システム(LEPS)の開発が課題となっている。開発の方向性として、計算機資源の増加にあわせ、局地モデルに解像度を近づけたモデルを利用して高解像度モデルによる予測に整合的な不確実性を表現するとともに、メンバー数を増強して顕著現象の確率予測を高度化することを目指している。

近年、線状降水帯などに伴う集中豪雨による災害が多発しており、その豪雨防災のための予測に早期に資するため、開発計画を前倒しして、2021 年度からスーパーコンピュータ「富岳」を用いた LEPS の開発に取り組んできた。2025 年には 6 月 2 日から 10 月 31 日まで、水平格子間隔 2 km、21 メンバーの 21 時間予測のリアルタイムシミュレーション実験を 1 日 2 回実施した。これまでの「富岳」を用いた開発成果をもとに、2025 年度末には、気象庁の線状降水帯予測スーパーコンピュータにおいて、水平格子間隔 2 km、21 メンバーで 21 時間予測を 1 日 4 回実行するシステムの現業運用を開始する計画である(第 4.3 節)。

なお、「富岳」活用の成果については第 6.4 節を参照頂きたい。

2.7 三十分大気解析

三十分大気解析は、航空気象情報などの作成支援のため、大気の実況監視を目的として風と気温について 1 日 48 回、3 次元変分法を用いた客観解析により毎三十分実行されている(気象庁 2022)。2026 年 1 月現在、LFM を第一推定値とする 2 km の水平格子間隔、鉛直 76 層(地上~約 21.6 km)で解析を行っている。

ウィンドプロファイラから得られる風のデータ、アメダスと航空機から得られる風と気温のデータに加えて、地上気象レーダーから得られるドップラー速度や、ひまわりから得られる大気追跡風など高頻度・高密度な観測データを利用してプロダクト作成を行う。メソ・局地解析と同様、気象レーダーの更新に伴い利用を一時休止し、品質を確認した上で利用再開した。

参考文献

Hunt, B. R., E. J. Kostelich, and I. Szunyogh, 2007: Efficient Data Assimilation for Spatiotemporal Chaos: a Local Ensemble Transform Kalman Filter. *Physica D*, **230**, 112–126.

Ishida, J., K. Aranami, K. Kawano, K. Matsubayashi,

- Y. Kitamura, and C. Muroi, 2022: ASUCA: The JMA Operational Non-hydrostatic Model. *J. Meteor. Soc. Japan*, **100**, 825–846, doi:10.2151/jmsj.2022-043.
- JMA, 2025: *Outline of the Operational Numerical Weather Prediction at the Japan Meteorological Agency*. Japan, 277 pp., (Available online at https://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-center/nwp/outline2025-nwp/pdf/outline2025_all.pdf).
- 河野耕平, 氏家将志, 國井勝, 西本秀祐, 2019: メソアンサンブル予報システム. 令和元年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 1–15.
- 気象庁, 2022: 高頻度大気解析. 数値予報開発センター年報 (令和 3 年), 気象庁 数値予報開発センター, 106–109.
- 気象庁, 2025a: 局地モデルの予報時間延長と力学・物理過程の改良. 数値予報開発センター年報 (令和 6 年), 気象庁 数値予報開発センター, 18–28.
- 気象庁, 2025b: 全球解析、メソ解析、局地解析における NOAA-21 搭載 ATMS および CrIS 輝度温度データの新規利用. 数値予報開発センター年報 (令和 6 年), 気象庁 数値予報開発センター, 29–32.
- 気象庁, 2025c: メソ解析および局地解析における地上マイクロ波放射計観測データの新規利用. 数値予報開発センター年報 (令和 6 年), 気象庁 数値予報開発センター, 33–35.
- 気象庁, 2018: 2030 年に向けた数値予報技術開発重点計画. 平成 30 年報道発表資料, 気象庁, 54, (Available online at https://www.jma.go.jp/jma/press/1810/04b/nwp_strategic_plan_towards_2030_2body.pdf).
- 気象庁情報基盤部, 2023: 「線状降水帯予測スーパーコンピュータ」を稼動開始します. 令和 5 年報道発表資料, 気象庁情報基盤部, 2, (Available online at https://www.jma.go.jp/jma/press/2302/24b/20230224_press.pdf).
- 気象庁情報基盤部, 2024: 新しいスーパーコンピュータシステムを運用開始します. 令和 6 年報道発表資料, 気象庁情報基盤部, 3, (Available online at https://www.jma.go.jp/jma/press/2402/21a/20240221_press.pdf).
- 気象庁予報部, 2014: 次世代非静力学モデル asuca. 数値予報課報告・別冊第 60 号, 気象庁予報部, 151.
- 経田正幸, 2016: 全球アンサンブル予報システムの運用に向けた取り組み. 数値予報課報告・別冊第 62 号, 気象庁予報部, 52–57.
- 新保明彦, 2017: 全球アンサンブル予報システムの概要. 平成 28 年度季節予報研修テキスト, 気象庁地球環境・海洋部, 1–8.
- 米原仁, 2010: 週間アンサンブル予報へのモデルアンサンブル手法の導入. 平成 22 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 62–65.

数値予報開発計画（R07～R11）

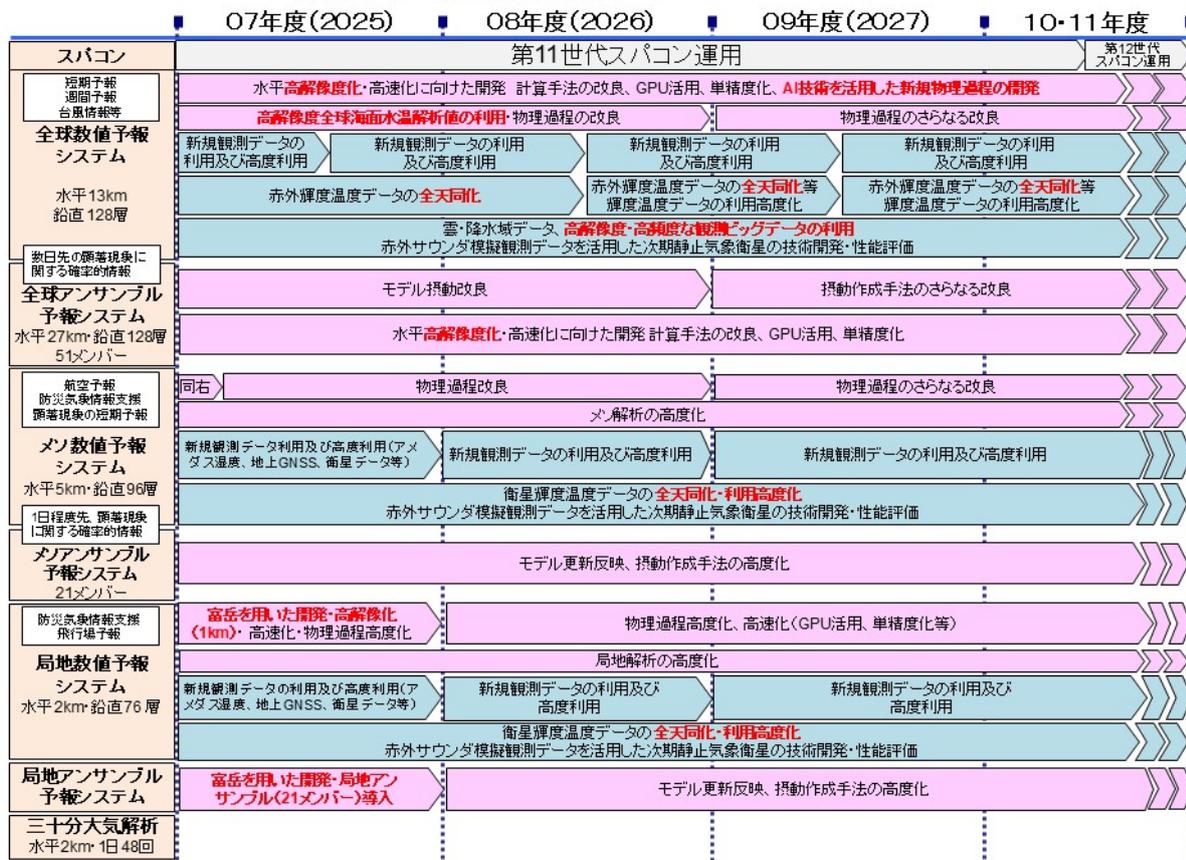


図 2.7.1 数値予報開発計画 (全球数値予報システム、全球アンサンブル予報システム、メソ数値予報システム、メソアンサンブル予報システム、局地数値予報システム、局地アンサンブル予報システム、三十分大気解析)

2.8 短期予報ガイドンス

2.8.1 はじめに

ここでは短期予報で用いられるガイドンスに関する開発計画を述べる。ガイドンスの一覧および概要については計盛ほか(2019)を、ガイドンスの詳細については気象庁予報部(2018)をご覧ください。

ガイドンスは、数値予報の応用プロダクトの一つであり、数値予報モデルで出力される地上気温や風など様々な予測値を統計的な手法により補正して誤差を軽減したり、数値予報が直接出力しない天気等の要素を作成したりすることによって予報作業を支援するものである。

ガイドンス作成には、ニューラルネットワークなど機械学習の手法が用いられている。近年、機械学習手法として深層学習(DNN: Deep Neural Network)と、それをういた先端AI技術が急速に発展している。平成31年1月から令和5年3月まで、理化学研究所革新知能統合研究センター(理研AIP)との共同研究を実施した。この成果は気象庁から「気象観測・予測へのAI技術の活用に向けた共同研究の成果について」¹と題して令和5年6月に報道発表されている。この共同研究で得られた知見を踏まえ、最新AI技術やツールについての利用可能性に関する調査を実施したところ、各モデルのガイドンスの出力結果を統合するのではなく、各モデルの出力を直接、深層学習(DNN)技術を用いて統合することにより、ガイドンスの精度が大きく向上する可能性があることがわかった(Kudo 2022)。先端AI技術については、交通政策審議会気象分科会で令和7年6月にとりまとめられた『「2030年の科学技術を見据えた気象業務のあり方」の補強～近年の社会動向を踏まえた追加的施策～』において、防災気象情報の高度化のため、その活用が不可欠であるとされている。

現在、ガイドンスについては、様々な気象要素に対して、単一の数値予報モデルやアンサンブル予報システムを用いてプロダクトを作成する個別のガイドンスと、複数のガイドンスやモデルの出力値等を統合して単一のガイドンスを作成するマルチモデルガイドンスの開発を行っている。本節ではそれぞれの計画について簡単に述べる。なお、開発計画の線表については図2.8.1、図2.8.2をご覧ください。

2.8.2 ガイドンス

ガイドンスの開発においては、数値予報モデルの出力データと予測対象である実況の観測データを用いて、統計手法により予測式を作る(高田2018a)。ここで作られた予測式は、数値予報モデルの特性に大きく依存するため、数値予報モデルの改良が行われて特性が変

わる際には対応が必要となる。具体的には、予め改良された数値予報モデルの出力データをガイドンスの予測式に与えて予測精度を評価し、精度が悪化すると見込まれる場合には再学習を行って予測式を改良後の数値予報モデルの特性に適するように変更する(高田2018b)。そのため、今後もGSM、GEPS、MSM、MEPS、LFMの改良のタイミングに合わせて、各モデルを入力としているガイドンスの評価および必要に応じて再学習等を行う。また観測データが、観測測器の追加や観測場所の変更等により変わる場合にも対応が必要となる。数値予報モデルの改良への対応と同様に、観測測器や観測場所の変更後、観測で得られるデータを予測するガイドンスの精度を評価した上で、必要に応じて再学習等を行う(高田2018c)。たとえばアメダスの測器追加や地点変更が行われる場合は、その変更計画に応じて随時対応する。また、航空気象観測については完全自動化が様々な空港で進められており、観測の自動化により視程・雲の観測特性が変わることから特性変更に応じるための再学習等を随時行う。

LFMについては令和6年3月に予報時間が18時間に延長され、ガイドンスについてもこれに対応した。令和6年12月には、GSM、MSMおよびMEPSの降雪量ガイドンスについて計算手法の改良を実施した。令和8年3月にはLFMの高解像度化と局地アンサンブル予報システム(LEPS)の運用開始が計画されており、それに対応するガイドンスの開発を進めている。

航空気象業務に関しては、国際民間航空機関(ICAO)の要請に伴う世界空域予報システム(WAFS)のプロダクト改訂に伴う対応を令和7年12月に行った。また、令和7年4月から大阪・関西万博で実施された「空飛ぶクルマ」の運行を支援するための飛行場予報(TAF)ガイドンスの運用を行った。

気象庁の様々な情報発信に資するため、新たなガイドンスの開発も実施している。平成30年8月にとりまとめられた交通政策審議会気象分科会提言「2030年の科学技術を見据えた気象業務のあり方」では、「概ね3～5年後に、半日程度先までに特別警報級の大雨となる確率のメッシュ情報の提供」が求められている。これに応じて開発しているMSMおよびMEPS大雨発生確率ガイドンス(特別警報級の大雨確率メッシュ情報)について、令和7年5月に改良を行い、予測精度の向上を確認した(第3.5節)。また、よりきめ細かな予測が可能なLFMの予測情報をベースとした大雨発生確率ガイドンスを令和6年5月より部内試験運用を開始した。さらに1km LFMとLEPSについても、対応した大雨発生確率ガイドンスの開発を進め、令和8年3月からの部内試験運用開始を計画している。

2.8.3 マルチモデルガイドンス

数値予報課では平成30年度から、全球モデル、メソモデル、局地モデル等の複数の数値予報結果をAI技術

¹ https://www.jma.go.jp/jma/press/2306/30b/20230630_ai.html

| 観測システム 変更対応 | 令和7年度 | 令和8年度 | | | | 令和9年度 | | | 令和10年度 |
|-----------------------|-----------------------------|--------------------|-----------------|---------------|----------------------|----------------|------|---------------------|---------------------------|
| | | R7Q1 | R7Q2 | R7Q3 | R7Q4 | R8Q1 | R8Q2 | R8Q3 | R8Q4 |
| アメダス地点変更 | | ル変 | | | | | | | (随時対応) |
| 航空気象観測完全自動化 | | | | | | | | | (随時対応) |
| プロジェクト 対応 | 線状降水帯予測 | 大雨発生確率ガイダンス | MSM, MEPS ル変 | | | | | | 調査・開発 (新規説明変数の導入等) |
| | | 平均降水量ガイダンス | | | LFM1km版、LEPS版の部内試験運用 | ル変 | | | ルーチン運用 |
| | 近域平均雨量ガイダンス開発支援 | GSM降水量ガイダンスの予報時間延長 | | | | | | | 調査・開発 (大規模擾乱時の過大なバイスの軽減等) |
| | 大阪・関西万博用TAFガイダンス | | 運用 | 終了対応 | | | | | 部内試験運用 |
| | WAFSプロダクト改訂 (ICAO第3附属書改正対応) | SIGWX図 | 開発 | ル変 (データ形式変更) | | ル変 (バグフィックス対応) | | | |
| | | WINTER図 | 開発 | ル変 (データ高解像度化) | | ル変 (バグフィックス対応) | | | |
| HWIS (悪天情報サービス) データ開発 | | | 調査・開発 (乱気流・着氷) | | | | | プロトタイプ内共有開始 (R7年度中) | |
| ガイダンス開発全般 | | | | | | | | | 調査・改良・保守作業を実施 |
| モデル改良 対応 | 全球モデル系更新対応 | | | | | | | | 精度評価・ル変 |
| | メモデル系更新対応 | | | | | | | | 精度評価・ル変 |
| | LFM高解像度化対応 (降雪量、風、気温、視程) | | | 改修・精度評価 | | ル変 | | | |

図 2.8.1 ガイダンス開発計画

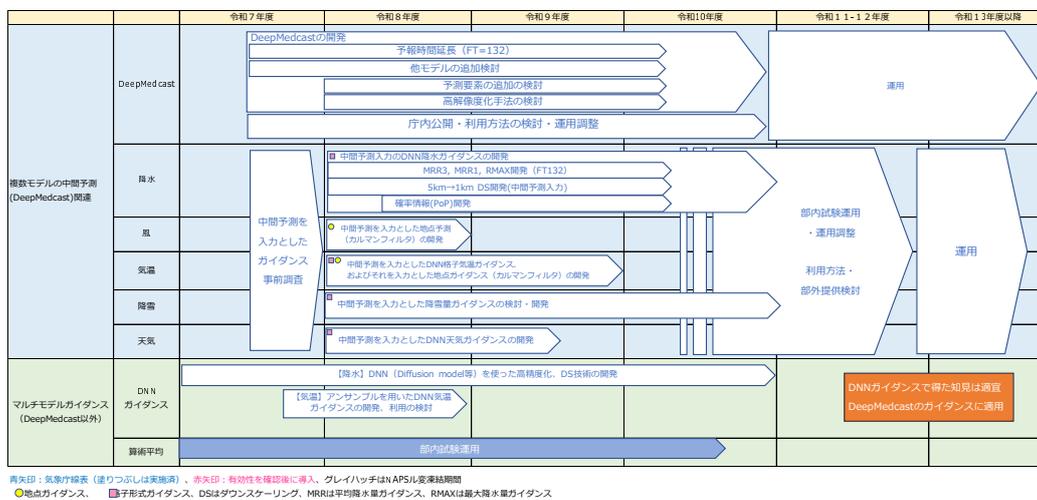


図 2.8.2 マルチモデルガイダンス開発計画

の活用によって統合し、単一の予測結果を出力するマルチモデルガイダンスの開発を行っている (図 2.8.3)。マルチモデルガイダンスは、各ガイダンスの予測を統合することで、ランダム誤差を軽減して予測精度の向上が見込まれる (高田 2018d) ほか、予報時間に対してシームレスな予測情報を提供したり、信頼度の高い確率情報を作成・提供したりすることが可能となる。

現在、マルチモデルガイダンスの降水 (平均降水量、最大降水量、確率情報)、風 (地点形式、格子形式)、気温 (地点形式、格子形式)、降雪量 (地点形式) については部内における試験運用を開始している。マルチモデル降水ガイダンスについては、LFM の令和 6 年 3 月に行われた予報時間延長の変更などを取り込む改良を令和 6 年 12 月に実施した。また、DNN 技術を用いたマルチモデルガイダンスとして、天気のカテゴリを対象とする天気ガイダンスの開発にも取り組んでおり、DNN 版の天気ガイダンスについては、令和 6 年 4 月から部内試験運用を開始して評価を行っている。

また、マルチモデルガイダンス技術として、複数のモデル間で物理的な整合性を保った中間状態を AI 技

術を用いて生成する技術 (中間予測、DeepMedcast) (Kudo 2025) の開発を進めている。これにより、物理的に解釈可能で予測精度の高い数値予報ガイダンスの作成を目指している。このような調査結果に基づき今後の開発計画についても見直しを行い、これまで開発した成果については部内試験運用を継続、その活用方法検討を進める一方で、更なる改良のための開発は、DNN 技術を用いた新たな手法を中心に進めていくこととした。ただし、このような新たな手法を用いたガイダンスの開発には一定程度時間がかかると見込まれており、現在のところ令和 12 年頃の導入を目指している。

参考文献

計盛正博, 石川宣広, 片山桂一, 2019: 数値予報システムおよびガイダンスの概要一覧表. 令和元年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 116-143.
 気象庁予報部, 2018: ガイダンスの解説. 数値予報課報告・別冊第 64 号, 気象庁予報部, 248pp.
 Kudo, A., 2022: Statistical Post-Processing

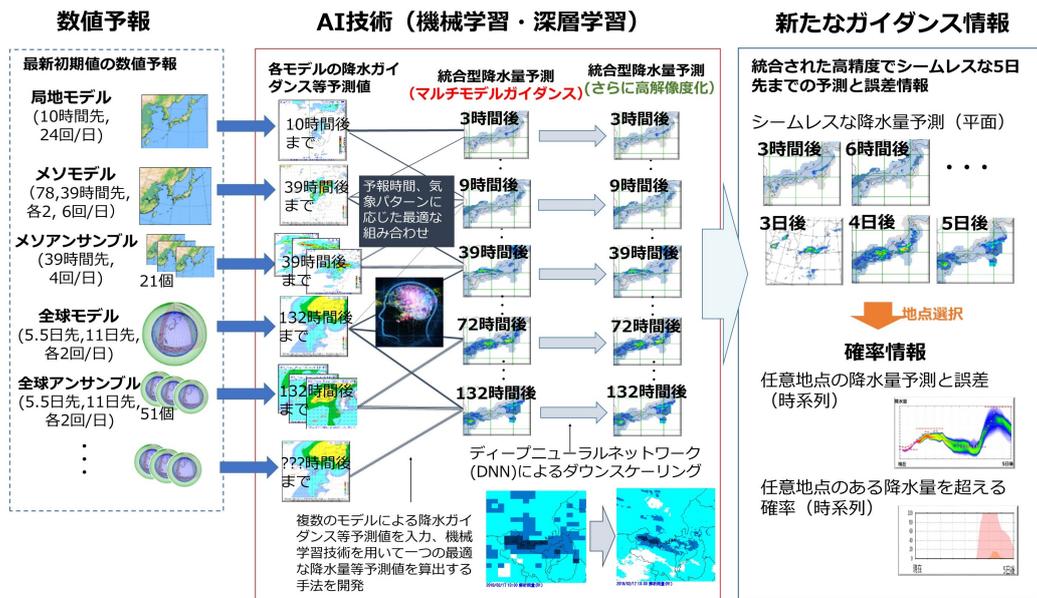


図 2.8.3 マルチモデルガイダンスの模式図

for Gridded Temperature Prediction Using Encoder–Decoder–Based Deep Convolutional Neural Networks. *J. Meteor. Soc. Japan*, **100**, 219–232, doi:10.2151/jmsj.2022-011.

Kudo, A., 2025: DeepMedcast: A Deep Learning Method for Generating Intermediate Weather Forecasts among Multiple NWP Models. *J. Meteor. Soc. Japan*, **103**, 613–628, doi:10.2151/jmsj.2025-031.

高田伸一, 2018a: ガイダンス概論. 数値予報課報告・別冊第 64 号, 気象庁予報部, 3–8.

高田伸一, 2018b: モデル更新への対応. 数値予報課報告・別冊第 64 号, 気象庁予報部, 88–90.

高田伸一, 2018c: 観測所の移設等の影響と対応. 数値予報課報告・別冊第 64 号, 気象庁予報部, 91–93.

高田伸一, 2018d: ガイダンスの今後. 数値予報課報告・別冊第 64 号, 気象庁予報部, 233–236.

2.9 季節アンサンブル予報システム

季節アンサンブル予報システム（季節 EPS）は、3 か月予報、暖・寒候期予報、エルニーニョ予測の基礎資料として利用されている。季節 EPS の予測モデルは、季節予報のために改良・調整を加えた GSM の低解像度版に気象研究所共用海洋モデル MRI.COM (Tsuji no et al. 2017) を結合した大気海洋結合モデルを用いている。数値予報ルーチンの大気初期値には全球大気解析、再予報¹の大気初期値には気候データ同化システム（第 2.10 節参照）、海洋初期値には数値予報ルーチン・再予報共に全球海洋データ同化システム (MOVE/MRI.COM) (Fujii et al. 2023) を使用している。「2030 年に向けた数値予報技術開発重点計画」では、社会経済活動への貢献に資するため、エルニーニョなどの日本域への影響も大きい熱帯起源の大気海洋現象の再現性などの向上が求められている。

季節 EPS の予測モデルについては、2022 年 2 月に JMA/MRI-CPS3 (Hirahara et al. 2023) へ大幅にバージョンアップしている。JMA/MRI-CPS3 では、大気及び海洋モデルの水平方向の高解像度化（大気：110 km から 55 km へ、海洋：東西 1 度・南北 0.5 度（渦非解像）から 0.25 度（渦許容）へ²）や鉛直層数の増強（大気：60 から 100 層へ、海洋：52 から 60 層へ）を行うとともに、より新しいバージョンの GSM 及び MRI.COM を使用して気候再現性の向上のための改良・調整を加えた。また、MOVE/MRI.COM についてはデータ同化手法を 3 次元変分法から 4 次元変分法へ変更するなどの高度化が行われ、更に海水データ同化の新規導入や摂動作成手法の改良も行われた。

2025 年は、2026 年 1 月の季節 EPS 更新に向けて、最終的な性能評価を進めるとともに、プロダクト構成の検討・調整などシステム更新に必要な準備全般を進めた。季節 EPS 更新後は、1 か月予報支援の役割についても季節 EPS が担うことになる。また、その作業と並行して、その次の季節 EPS 更新に向けた開発も進めた。中長期的には、大気海洋結合モデルの改善・高度化や地球システム要素の取り込み手法の高度化に向けた調査開発を進め、階層的³な地球システムモデルを使用した季節 EPS の構築をめざす。

¹ 再予報 (re-forecast) は、運用するモデルを用いて行う過去事例の予報実験。予報精度の評価やモデル統計値、系統誤差の計算のために行う。

² 海洋の渦は熱帯から中高緯度にかけて変形半径が小さくなるため (Hallberg 2013)、海洋モデルの解像度に応じて渦非解像 (eddy parameterizing：約 1 度格子)、渦許容 (eddy permitting：約 0.25 度格子)、渦解像 (eddy resolving：約 0.1 度格子) と区別されている。

³ ターゲットとする予測の精度向上に有効で、かつ、現実的に運用可能なコストで導入できる地球システム要素を段階的に取り込む

2.10 気候データ同化システム

季節 EPS の初期値作成や、気候系監視、異常気象分析、数値予報モデルの評価検証等には、長期間にわたって時間的・空間的に均質かつ再現性の高い過去の大気状態のデータが必要である。このような目的のために、利用可能な過去の観測データを、最新かつ一貫したデータ同化システムで解析するのが再解析であり、これを行うシステムが気候データ同化システムである。現在の気候データ同化システムの仕様は、2018 年 12 月時点の現業全球データ同化システムに準拠した解析システムを用いて計算を実施した、「気象庁第 3 次長期再解析 (JRA-3Q)」(Kosaka et al. 2024) と同じシステム（水平分解能 40 km、鉛直層数 100 層）であり、「JRA-3Q 準リアルタイムデータ」として継続運用している。

JRA-3Q は、1947 年 9 月から現在までの対象全期間の計算が 2022 年 11 月に完了し、2023 年 3 月より気象業務支援センターで全期間のデータ公開が開始された。また、他のデータ提供協力機関からの公開も順次進められ、データ統合・解析システム DIAS からは 2023 年 8 月以降、筑波大学計算科学研究センター CCS からは 2024 年 3 月以降、米国大気研究センター NCAR からは 2024 年 9 月以降、全期間のデータが公開されている。気象業務支援センターからはこれまで、データ容量の都合により解像度の粗いデータセット¹のみを公開してきたが、2025 年 4 月からは気象庁クラウド環境の活用により詳細なデータセット²の提供も開始された。

2025 年は、前述のデータ公開作業を進めたほか、全球解析へ導入済みの新規観測データについて、気候データ同化システムへの導入を 2026 年 1 月に実施すべく準備を進めた。また、WMO の全球気候再解析センターへの立候補に向けた準備を進めた。2024 年秋開催の第 6 回世界気候研究計画 (WCRP) 再解析国際会議 (ICR6) の開催報告を米国気象学会誌で出版 (Nakamura et al. 2025)、日本気象学会誌へ投稿した。日本気象学会 2025 年秋季大会の専門分科会「気象庁第 3 次長期再解析 (JRA-3Q) と日本における今後の長期再解析の展望」を関係者と協力して開催した。ICR6 や本分科会での議論も踏まえつつ、次期長期再解析の実施に向けた中長期的な調査・検討を進め、検討状況について長期再解析推進懇談会で報告した³。

¹ <https://www.jmbasc.or.jp/jp/offline/hd0025.html>

² <https://www.jmbasc.or.jp/jp/online/cloud/x-online20001.html>

³ 令和 6 年度以降の資料は、https://www.jma.go.jp/jma/kishou/shingikai/kondankai/reanalysis_kondankai/reanalysis_kondankai.html で公開されている

2.11 波浪モデル

波浪モデル及びその初期値を作成する波浪客観解析には、地球全体を対象とする全球（水平分解能 27 km）と日本近海を対象とする沿岸（同 5 km）の 2 種類の対象領域を設けている。全球波浪モデルは外洋波浪図や外洋域を航行する船舶向けの波浪情報の発表に利用されている。沿岸波浪モデルは波浪警報・注意報や日本周辺の波浪予報の発表に利用されている。また、全球を対象とした水平分解能 55 km のモデルを使用する波浪アンサンブル予報システムは、2 日先から 5 日先までの早期注意情報（警報級の可能性）の発表に利用されている。仕様の詳細については竹内ほか (2012) や JMA (2025) などを参照頂きたい。「2030 年に向けた数値予報技術開発重点計画」では、台風防災に資するため、沿岸域などの高波をより精緻に表現することが求められている。

2025 年は、気象業務支援センターから提供する GPV の拡充、観測データの利用拡充、全球・沿岸波浪モデル用の台風ボーガスの改良、単精度化や格子系の改良等による高速化に向けた開発などを進めた。GPV 提供の拡充は 2026 年 4 月を予定している。また、新規衛星・高次処理観測データの利用等を 2026 年度に開始すべく準備を進めている。台風ボーガスについては、高潮モデル用の台風ボーガス作成手法をベースとした手法へ変更することにより、使用する予測情報の時間間隔など既知の課題のいくつかを軽減・解決することを目指しており、2027 年度出水期までの導入を目指している。また、高速化の開発を進めることにより、次世代（第 12 世代）のスーパーコンピュータシステムでは、沿岸波浪モデル程度の領域をカバーする高解像度（日本沿岸で 1.7 km）で高頻度に実行（8 回/日）する、メソモデルを外力とした波浪モデルの運用を目指している。中長期的には他にも、引き続き新規衛星観測データ利用を進めるとともに、台風ボーガス手法のさらなる改善、スーパーコンピュータシステムの仕様に応じた高速化と高解像度化等を検討している。

2.12 高潮モデル

高潮モデルは、高潮注意報・警報の発表で利用する日本域（水平分解能 沿岸部 1 km～沖合 16 km）と、台風委員会メンバー（国・地域）への高潮情報提供を主な目的とするアジア域（同 1.5～50 km）の 2 種類の対象領域を設けている。仕様の詳細について、日本域高潮モデルは林原 (2011) など、アジア域高潮モデルは Hasegawa et al. (2023) などを参照頂きたい。「2030 年に向けた数値予報技術開発重点計画」では、台風防災に資するため、台風に伴う高潮をより高い精度で予測することが求められている。日本域・アジア域の高潮モデルに関しては、高潮に関する早期注意情報（警

報級の可能性）の発表の開始等に向け、2022 年 8 月に以下のような内容で更新した。日本域高潮モデルの 00, 12UTC 初期時刻の予報時間を 78 時間へ延長するとともに、5 日先までの台風予報の信頼度も考慮した高潮予測に関する基礎資料とするため、日本域台風時高潮確率予報システム（日本域高潮 PFS）の運用を開始した。また、アジア域高潮モデルについては、沿岸部の解像度を 3.7 km から 1.5 km へ向上させるとともに、全球アンサンブル予報システムの 51 メンバー全てと全球決定論モデルを用いた 52 メンバーによるアンサンブル予報化、台風ボーガス手法へ陸域の影響による海上風の減衰の効果を導入し、予測精度を改善した新しいアジア域高潮アンサンブル予報システムとして運用を開始した。

2025 年は、アジア域高潮モデルの台風ボーガスについて、台風予報が途切れた先で台風ボーガスを緩やかに消すよう変更¹する等の改良を 1 月末に導入した。11 月には、日本域高潮モデル・日本域高潮 PFS の台風ボーガスで使用する定数（陸面粗度長）を、最新のメソ解析の結果を元に更新する等の変更を導入した。これらについての詳細は第 3.8 節を参照頂きたい。他にも、単精度化や格子系の改良等による高速化、台風ボーガスの改良（vortex relocation やプロファイル変更）、日本域高潮 PFS のメンバー生成手法の改良、潮汐スキームの開発なども進めた。さらには、非台風時における高潮早期注意情報を支援するための資料拡充に向けた検討も進めた。これらのうち、vortex relocation を始めとする台風ボーガス改良のアジア域高潮モデルへの適用については 2026 年度、日本域高潮モデルの格子系の改良による高速化とそれに伴う高解像度化については 2027 年度の導入を目指し開発を進めている。中長期的には他にも、台風ボーガス手法のさらなる改善、スーパーコンピュータシステムの仕様に応じた高速化と高解像度化を検討している。

2.13 海況監視予測システム

日本沿岸海況監視予測システム (MOVE/MRI.COM-JPN) は、海面水温や海流の 1 か月予報などの発表に利用されている。本システムは、全球（水平解像度 100 km、鉛直層数 60 層）- 北太平洋（同 10 km、60 層）- 日本近海（同 2 km、60 層）の 3 段階の海洋モデルと変分法データ同化システム (NPR-4DVAR 及び GLB-3DVAR) から構成される。仕様の詳細については Hirose et al. (2019) や Sakamoto et al. (2019) などを参照頂きたい。「2030 年に向けた数値予報技術開

¹ 台風予報は最大 120 時間先までであり、台風ボーガスも最大 120 時間先まで作成される。この変更を加える以前は、120 時間以降も台風であり続ける場合は 120 時間を境に、また、120 時間以前に台風でなくなる場合はその時刻を境に台風ボーガスが瞬時に無くなる仕様であり、不自然な潮位振動が発生する要因になっていた。

発重点計画」では、海況要因による水位上昇など沿岸防災に資する現象や、黒潮流路・海水の変動など社会・経済的に影響の大きい現象の再現性の向上が求められている。

2025 年は、数値計算の安定性向上と新しい衛星 (Sentinel-6 Michael Freilich) による海面高度データの利用を開始する改良を 2 月に導入した。2026 年 1 月の季節 EPS 更新と同時に、予測の 18 日より先で与える大気外力を従来の全球 EPS と JRA-3Q 気候値から季節 EPS へと切り替える計画であり、影響評価をはじめとする準備を進めた。また、季節 EPS 更新と同時に、衛星による海面高度の観測データの取得・デコード処理を現在よりも堅牢な処理へと更新する計画であり、そのための開発・準備を進めた。流域雨量指数を活用した沿岸域の塩分の再現性向上に向けた開発、気象研究所で開発・更新された最新版海洋モデルを利用するための開発なども進めている。中長期的には他にも、引き続き新規衛星観測データの同化利用を進めるとともに、スーパーコンピュータシステムの仕様に応じた高速化と高度化を検討している。

2.14 物質循環システム

2.14.1 黄砂解析予測システム

黄砂解析予測システムは黄砂情報の発表に利用されている。本システムでは、気象研究所の大気大循環モデル MRI-AGCM3 (Yukimoto et al. 2019) と全球エアロゾルモデル MASINGAR mk-2 (Yukimoto et al. 2019) を結合させたモデル (水平分解能 40 km、鉛直層数 40 層) を用いている。本システムでは、モデルで予測するエアロゾルの 3 次元分布から計算したエアロゾル光学的厚さ (Aerosol Optical Thickness, AOT) と気象衛星ひまわりの観測データからリトリブされた AOT を 2 次元変分法 (Yumimoto et al. 2018) を用いてデータ同化することで観測情報を取り込んでいる。仕様の詳細については 田中・小木 (2017)、小木ほか (2022) などを参照頂きたい。「2030 年に向けた数値予報技術開発重点計画」では、黄砂プロダクトの高度化のため、エアロゾルの予測精度向上が求められている。

2025 年は、本システムの改善に向け、GCOM-C/SGLI データの利用に向けた調査や、ひまわりエアロゾルプロダクト (可視・近赤外) に含まれる観測時刻に依存するバイアスについての調査を行った。また、2026 年度の導入を目指し、気象研究所が開発を進める最新の地球システムモデルをベースとして、黄砂と紫外線のシステム統合に向けた開発を本格的に開始した。中長期的な課題としては他にも、極軌道衛星などの衛星観測データ利用の高度化や他の予測システムでのエアロゾル解析値の利用などがある。

2.14.2 紫外線予測システム

紫外線予測システムは紫外線情報の発表に利用されている。本システムでは、大気大循環モデル MRI-AGCM3 (Yukimoto et al. 2019) と化学輸送モデルを結合させたモデル MRI-CCM2.1 (Deushi and Shibata 2011; Yukimoto et al. 2019) (水平分解能 110 km、鉛直層数 64 層) を用いており、即時的に利用可能な衛星データ (オゾン全量) による観測情報を取り込んでいる。仕様の詳細については JMA (2025) などを参照頂きたい。「2030 年に向けた数値予報技術開発重点計画」では、紫外線プロダクトの高度化のため、オゾンの予測精度向上が求められている。

2025 年は、データ同化手法の高度化に向けた開発を進め、ナudgingから 2 次元変分法への変更を始めとする改良を 12 月に実施した (詳細は第 3.9 節を参照)。また、第 2.14.1 項で述べた通り、黄砂と紫外線のシステム統合に向けた開発を進めた。中長期的な開発課題としては他にも、衛星観測データ利用の高度化などがある。

2.14.3 大気汚染気象予測システム

大気汚染気象予測システムは大気汚染気象予報の支援を目的として運用されてきた。2025 年 1 月末に大気汚染気象予報業務は終了となったことから 2 月に運用を終了した。

2.14.4 二酸化炭素解析システム

二酸化炭素解析システムは二酸化炭素分布情報 (池上ほか 2009) の発表に利用されている。本システムでは、全球モデル GSM に二酸化炭素の輸送過程を組み込んだモデル GSAM-TM (Nakamura et al. 2015) とベイズ統合逆解析による二酸化炭素の放出・吸収量の補正を組み合わせた手法を用いている。現在の GSAM-TM は水平分解能 110 km、鉛直層数は 60 層で運用している。

2025 年は、気象研究所の支援により、当システムの実行環境や運用マニュアルの整備、WMO 温室効果ガス世界資料センターが提供する観測データの仕様変更への対応作業が進められた。温室効果ガス観測技術衛星 GOSAT による CO₂ 観測データを逆解析へ導入する技術開発が気象研究所で行われており (Maki et al. 2023)、今後導入が検討されている。

参考文献

- Deushi, M. and K. Shibata, 2011: Development of a Meteorological Research Institute Chemistry-Climote Model version 2 for the Study of Tropospheric and Stratospheric Chemistry. *Pap. Meteor. Geophys.*, **62**, 1–46, doi:10.2467/mripapers.62.1.
- Fujii, Y., T. Yoshida, H. Sugimoto, I. Ishikawa, and S. Urakawa, 2023: Evaluation of a global ocean reanalysis generated by a global ocean data as-

- simulation system based on a Four-Dimensional Variational (4DVAR) method. *Front. Clim.*, doi:10.3389/fclim.2022.1019673.
- Hallberg, R., 2013: Using a resolution function to regulate parameterizations of oceanic mesoscale eddy effects. *Ocean Modelling*, **72**, 92–103, doi:10.1016/j.ocemod.2013.08.007.
- 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**, 1–14.
- 林原寛典, 2011: 気象庁の高潮数値予測モデルについて. *天気*, **58**, 235–240.
- 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). *J. Meteor. Soc. Japan*, doi:10.2151/jmsj.2023-009, accepted.
- Hirose, N., N. Usui, K. Sakamoto, H. Tsujino, G. Yamanaka, H. Nakano, S. Urakawa, T. Toyoda, Y. Fujii, and N. Kohno, 2019: Development of a new operational system for monitoring and forecasting coastal and open-ocean states around Japan. *Ocean Dynamics*, **69**, 1333–1357, doi:10.1007/s10236-019-01306-x.
- 池上雅明, 藤田建, 平原隆寿, 竹内綾子, 須田一人, 眞木貴史, 森一正, 2009: 二酸化炭素分布情報について. *測候時報*, **76**, 4–6, URL <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/sokkou/76/vol76p221.pdf>.
- JMA, 2025: *Outline of the Operational Numerical Weather Prediction at the Japan Meteorological Agency*. Japan, 262 pp., (Available online at <https://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-center/nwp/outline2025-nwp/index.htm>).
- Kosaka, Y., S. Kobayashi, Y. Harada, C. Kobayashi, H. Naoe, K. Yoshimoto, M. Harada, N. Goto, J. Chiba, K. Miyaoka, R. Sekiguchi, M. Deushi, H. Kamahori, T. Nakaegawa, T. Y. Tanaka, T. Tokuhira, Y. Sato, Y. Matsushita, and K. Onogi, 2024: The JRA-3Q Reanalysis. *J. Meteor. Soc. Japan*, **102**, 49–109, doi:10.2151/jmsj.2024-004.
- 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.
- Nakamura, H., S. Kobayashi, M. A. Wanzala, F. Adloff, L. Cheng, A. Cobb, D. Dee, A. El Akkraoui, M. Fujiwara, H. Hersbach, H. Naoe, S. I. Rani, N. Rayner, A. Simmons, L. Slivinski, T. Tanaka, P. Thorne, C. Yang, Y. Yin, A. S. Ayinde, A. Banerjee, M. G. Bosilovich, L. C. M. Buella, B. Dong, S. Fukui, N. Hirose, H. Ikeuchi, N. Krakauer, A. Lenouo, B. Niraula, C. L. G. Oikonomou, S. Sekizawa, N. Sharma, A. Yamazaki, and T. Yoshida, 2025: Toward Future Reanalyses That Meet Evolving Needs in Science, Public Services, Policymaking, and Socioeconomic Activity. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **106**, E1445–E1453, doi:10.1175/BAMS-D-25-0126.1.
- Nakamura, T., T. Maki, T. Machida, H. Matsueda, Y. Sawa, and Y. Niwa, 2015: Improvement of Atmospheric CO₂ Inversion Analysis at JMA. *AGU Fall Meeting*, San Francisco, URL <https://agu.confex.com/agu/fm15/meetingapp.cgi/Paper/64173>, A31B-0033.
- 小木昭典, 松本隆則, 北島俊行, 田中泰宙, 弓本桂也, 関山剛, 眞木貴史, 2022: 気象庁全球黄砂解析予測モデルにおけるエーロゾルデータ同化手法の導入について. *測候時報*, **89**, 1–15.
- Sakamoto, K., H. Tsujino, H. Nakano, S. Urakawa, T. Toyoda, N. Hirose, N. Usui, and G. Yamanaka, 2019: Development of a 2-km resolution ocean model covering the coastal seas around Japan for operational application. *Ocean Dynamics*, **69**, 1181–1202, doi:10.1007/s10236-019-01291-1.
- 竹内仁, 高野洋雄, 山根彩子, 松枝聡子, 板倉太子, 宇都宮忠吉, 金子秀毅, 長屋保幸, 2012: 日本周辺海域における波浪特性の基礎調査及び波浪モデルの現状と展望. *測候時報*, **79**, S25–58.
- 田中泰宙, 小木昭典, 2017: 気象庁全球黄砂予測モデルの更新について. *測候時報*, **84**, 109–128.
- Tsujino, H., H. Nakano, K. Sakamoto, S. Urakawa, M. Hirabara, H. Ishizaki, and G. Yamanaka, 2017: Reference manual for the Meteorological Research Institute Community Ocean Model version 4 (MRI.COMv4). *Tech. Rep. MRI*, **80**, doi:10.11483/mritechrepo.80.
- Yukimoto, S., H. Kawai, T. Koshiro, N. Oshima, K. Yoshida, S. Urakawa, H. Tsujino, M. Deushi, T. Tanaka, M. Hosaka, S. Yabu, H. Yoshimura, E. Shindo, R. Mizuta, A. Obata, Y. Adachi, and M. Ishii, 2019: The Meteorological Research Institute Earth System Model Version 2.0, MRI-ESM2.0: Description and Basic Evaluation of the Physical Component. *J. Meteor. Soc. Japan*, **97**,

931–965, doi:10.2151/jmsj.2019-051.

Yumimoto, K., T. Y. Tanaka, M. Yoshida, M. Kikuchi, T. M. Nagao, H. Murakami, and T. Maki, 2018: Assimilation and Forecasting Experiment for Heavy Siberian Wildfire Smoke in May 2016 with Himawari-8 Aerosol Optical Thickness. *J. Meteor. Soc. Japan*, **96B**, 133–149, doi: 10.2151/jmsj.2018-035.

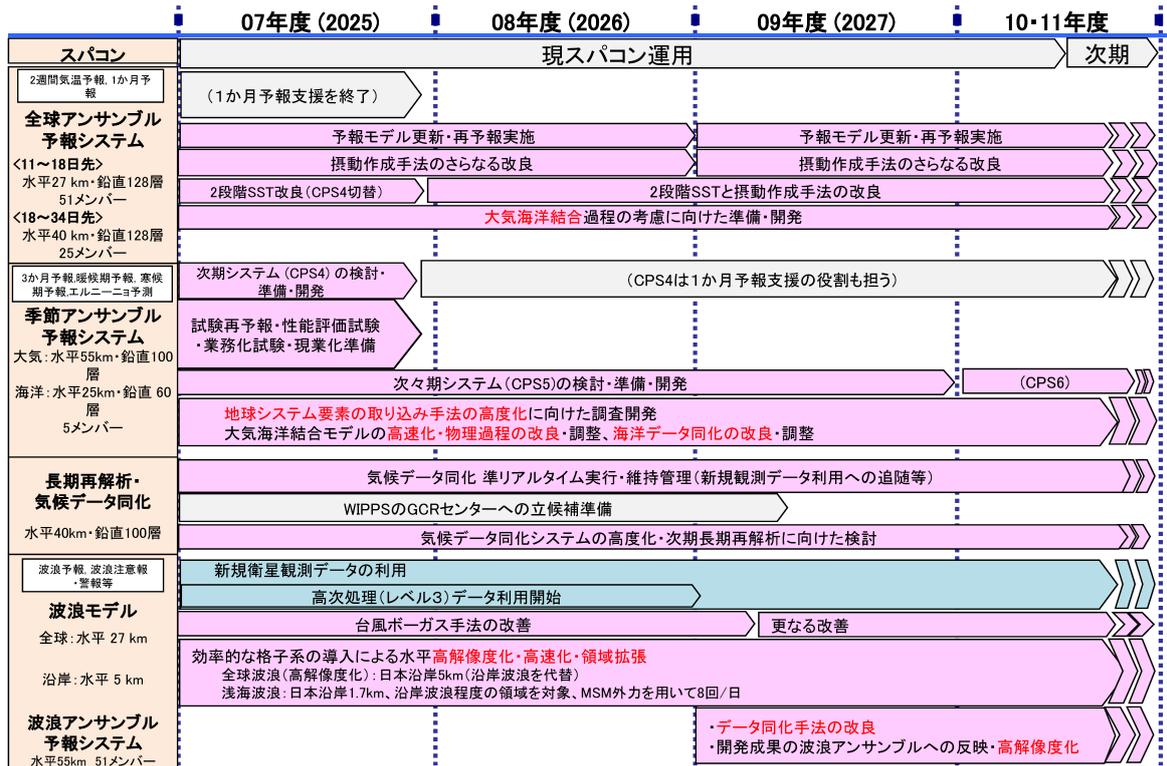


図 2.14.1 全球アンサンブル予報システム、季節アンサンブル予報システム、気候データ同化システム、波浪モデルの開発計画

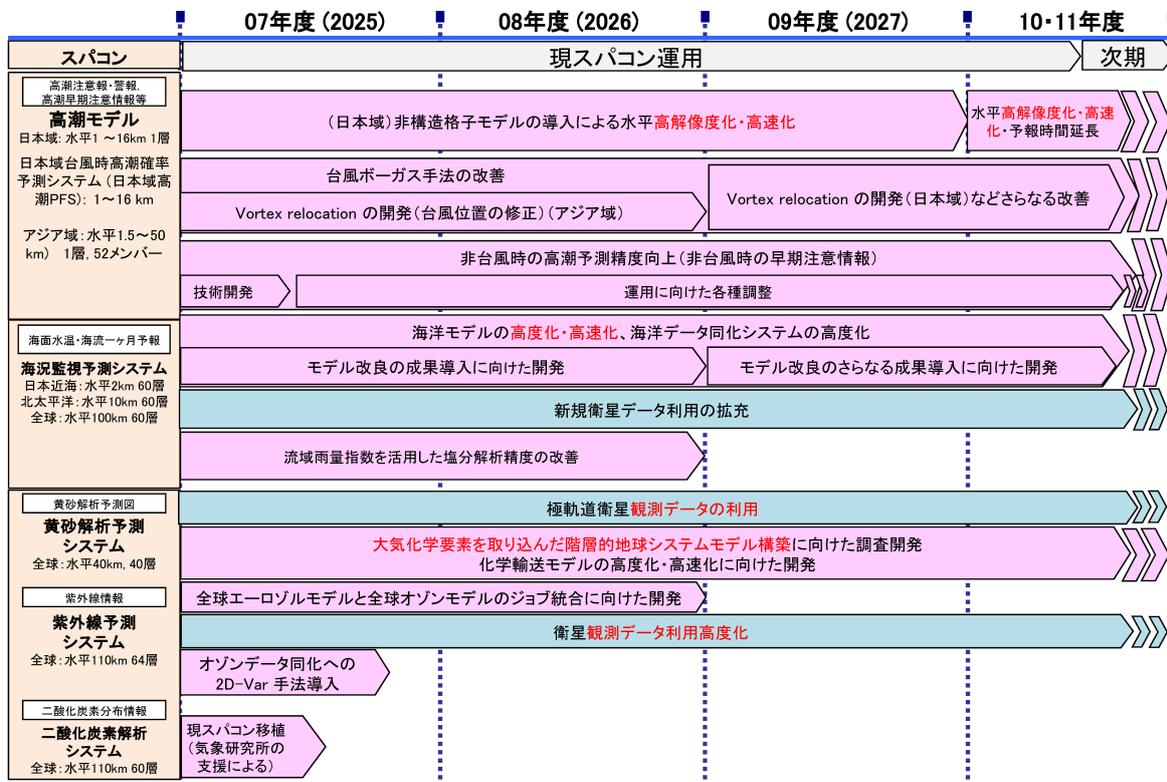


図 2.14.2 高潮モデル、海況監視予測システム、物質循環システムの開発計画