

## 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、毎時大気解析について、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、統合型ガイダンスについて、開発計画の線表を図2.8.2、図2.8.3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、海況監視予測システム、高潮モデル、黄砂解析予測システム、紫外線予測システム、大気汚染気象予測システム、二酸化炭素解析システムについて、開発計画の線表を図2.17.1、図2.17.2に示し、第2.9節から第2.17節で述べる。

### 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。システムの全体像についてはJMA(2019)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、特に台風防災に資するため、台風進路に関する予測精度の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2022年1月現在、水平解像度約20km、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の現在の仕様については第3.2節を参照頂きたい。利用されている観測データの概要については、計盛ほか(2018)を参照頂きたい。

2021年3月には、全球モデルの鉛直層数がそれまでの100層から128層に増強され、LETKFのメンバー数が50から100メンバーに増強された。またハイブリッド4次元変分法における背景誤差を形成する気候学的な背景誤差と流れに依存する背景誤差の重みの変更が行われ、大気場の解析、予測の精度向上が得られた。また、土壌水分解析の導入及び積雪深解析の改良によって、GSMの下部境界条件の初期値の改善を通じた下層気温等の予測精度向上が得られた。その後、2021年6月には、それまで全天同化に対応していなかった衛星観測マイクロ波水蒸気サウンダデータの全天同化での利用開始、ハイパースペクトル赤外サウンダの利

用チャンネルセット変更、航空機気温観測データのバイアス補正手法改良など、観測データの新規利用及び利用手法改良が行われた。

GSMは、2022年度中に水平解像度を現状の約20kmから約13kmに強化する計画である。この改良と合わせて解像度に応じた各種物理過程の改良等を適宜取り込む計画である。また、衛星観測輝度温度データの観測演算子として利用している高速放射伝達モデルRTTOVのバージョンアップや、衛星観測によって得られる大気追跡風データの利用高度化などを計画している。

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の水平解像度を10km以下まで強化し、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、最新のモデルの仕様については第3.3節を参照頂きたい。「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の台風の進路予測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である。2022年1月現在、18日予測までは水平解像度約40km、それより先の34日目までは約55kmと予測時間の途中で解像度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。アンサンブルメンバー数は、18日目までは51、19～34日目までは25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(米原2010)を採用している。今後もGSMの改良と共に確率的予測の改善を目指した開発に取り組む。

2021年度末には、水平解像度を現在の約40kmから約27km(18日先まで)、約55kmから約40km(34日先まで)に強化する計画である。またモデルの物理過程の改良をGSMに先行して行う。また現在、予測11日目以降の海面水温(SST)については、2段階SST法(高倉・小森2020)により、季節アンサンブル予報システムで予測された値を用いているが、2022年1月の季節予報アンサンブル予報システムの更新により予測SSTの精度が向上することから予測6日目以降から用

いるようにする。

中長期的には GSM 同様にスーパーコンピュータシステムのスペックに応じた解像度のさらなる強化を検討しており、18 日目までの予測については 20 km 以下、それ以降の予測についても 30 km 以下の解像度で運用することを目指している。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、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 (2019) 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とメソモデル MSM により構成されている。MSM は 2022 年 1 月現在、水平解像度 5 km、鉛直層数 76 層の非静力学モデル asuca(気象庁予報部 2014) 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 51 時間、その他の時刻からの予測は 39 時間である。

今後、2021 年度末に鉛直層数増強 (76 から 96 層) や各種物理過程の改良を含むシステム更新を計画している。また、2022 年の台風シーズンにはメソモデルによる 3 日前からの降水予測を行えるように 00UTC、12UTC 初期値からの予測について予報時間を 78 時間に延長する予定である。この際、台風強度予測に影響を与える海面水温の変化を考慮するため、海洋混合層モデルも導入する。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、その時々々の気象条件に応じた背景誤差相関の情報が活用できていないことから、ハイブリッドデータ同化手法導入も課題となっている。観測データについては、全球数値予報システムでは導入済だがメソ数値予報システムで導入されていない観測データの導入を目指した開発を進めている。重要なものとして極軌道衛星に搭載されたハイパースペクトル赤外サウンダデータの利用開発がある。また、大きな課題としてマイクロ波輝度温度データの全天同化の導入があり、2022 年度の導入を目指して開発を進めている。

中長期的には 3 日先までの予測をより精度よく行うため計算領域拡張を検討している。これについては将来のスーパーコンピュータシステムのスペックに応じた改めて検討する計画である。

## 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」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、2022 年 1 月現在の水平解像度は 5 km、鉛直層数は 76 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には SV 法を用いて与えている。今後 MSM の更新に合わせた改良ばかりでなく、確率的予測の改善を目指した機能拡充を行う。

今後は 2021 年度末の MSM の更新に合わせたシステム更新として鉛直層数を 96 層に増強する。また確率的な予測の精度向上を目指し、摂動作成手法の高度化を進めている。

中長期的には計算領域の拡張を MSM に準じて行う計画である。

## 2.5 局地数値予報システム

局地数値予報システムは、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」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。

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 2022 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 により予測時間 10 時間で 1 日 24 回 (毎正時) 運用されている。データ同化手法には初期時刻の前 3 時間を 1 時間毎に予測と 3 次元変分法による同化を繰り返す手法を用いている。詳細については、幾田 (2015) を参照頂きたい。

LFM については、2021 年度末のメソモデルの変更と合わせて陸面過程を更新する予定である。その後、2022 年度に各種物理過程の改良に取り組む計画である。また、メソ数値予報システム同様に、全球数値予報システムで利用されている観測データの導入が課題である。

さらに、ハイブリッドデータ同化手法の導入も大きな課題である。局地解析については、3 次元変分法を用いているため背景誤差相関の時間発展が扱われないことから、その時々々の気象条件に応じた背景誤差相関情報の活用が不十分である。このため、そのような情報を補うハイブリッドデータ同化手法の導入は精度向

上に貢献することが期待でき、2021年度末の現業化を目指して開発を進めている。

LFMについては将来的に、半日先までの大雨予測に資するための予報時間の延長と、積乱雲予測の改善のための高解像度化を計画している。これらの計画について、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昨年度までの開発計画を前倒している。スーパーコンピュータ「富岳」を活用した開発にも着手しており、2023年度末には予報時間の延長（10時間から18時間）、2025年度末には高解像度化を行い1km程度の水平解像度による予測を達成できるように開発を進めている。

## 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」では豪雨防災のための予測に資するため、確率的予測を行うための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。LEPSの開発の方向性として、高解像度モデルによる予測の不確実性を表現するため、高解像度化された局地モデルと同じ解像度のモデルを利用し、より統合的な予測の不確実性情報を作成することとしている。また、計算機資源の増加にあわせてメンバー数の増強を行い、顕著現象の確率予測を高度化する計画である。

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、今年度から「富岳」を用いた局地アンサンブル予報システムの開発に取り組んでいる。2025年度末を目標に水平解像度2km、50メンバーのシステムを構築する計画である。更なる高解像度化、メンバー数増強については将来のスーパーコンピュータの性能を勘案して最適な構成を検討していく予定である。

## 2.7 毎時大気解析

毎時大気解析は、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24回、3次元変分法を用いた客観解析により毎時実行されている（室井ほか2008）。

毎時大気解析はこれまでMSMを第一推定値とした5kmの水平解像度で運用されてきた。一方で近年、LFMの運用及び機能強化が行われてきていると共に、リモートセンシング技術の拡充などにより、高頻度・高密度の観測データが利用可能となっている。そこで、時間頻度をこれまでの1時間から30分（1日48回）に高頻度化すると共に、LFMを第一推定値とする2kmの水平解像度で高頻度・高密度に解析を行う高頻度大気解析の開発を行った。2022年度中の運用開始に向けて準備を進めている。

## 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.
- 幾田泰醇, 2015: 局地解析の更新と改良. 平成27年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 2–8.
- JMA, 2019: *Outline of the Operational Numerical Weather Prediction at the Japan Meteorological Agency. Appendix to WMO Technical Progress Report on the Global Data-processing and Forecasting Systems (GDPFS) and Numerical Weather Prediction (NWP) Research*. Japan, 229 pp., (Available online at <https://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-center/nwp/outline2019-nwp/index.htm>).
- 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.
- 計盛正博, 本田有機, 佐藤芳昭, 2018: 観測データと品質管理. 平成30年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 72–82.
- 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.
- 室井ちあし, 藤田匡, 石川宜広, 2008: 気象庁毎時大気解析. *天気*, **43**, 43–50.
- 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.
- 高倉寿成, 小森拓也, 2020: 2段階SST法の詳細と導入事例紹介. 令和2年度季節予報研修テキスト, 気象庁地球環境・海洋部, **32**, 2–8.
- 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 (R03~R07)

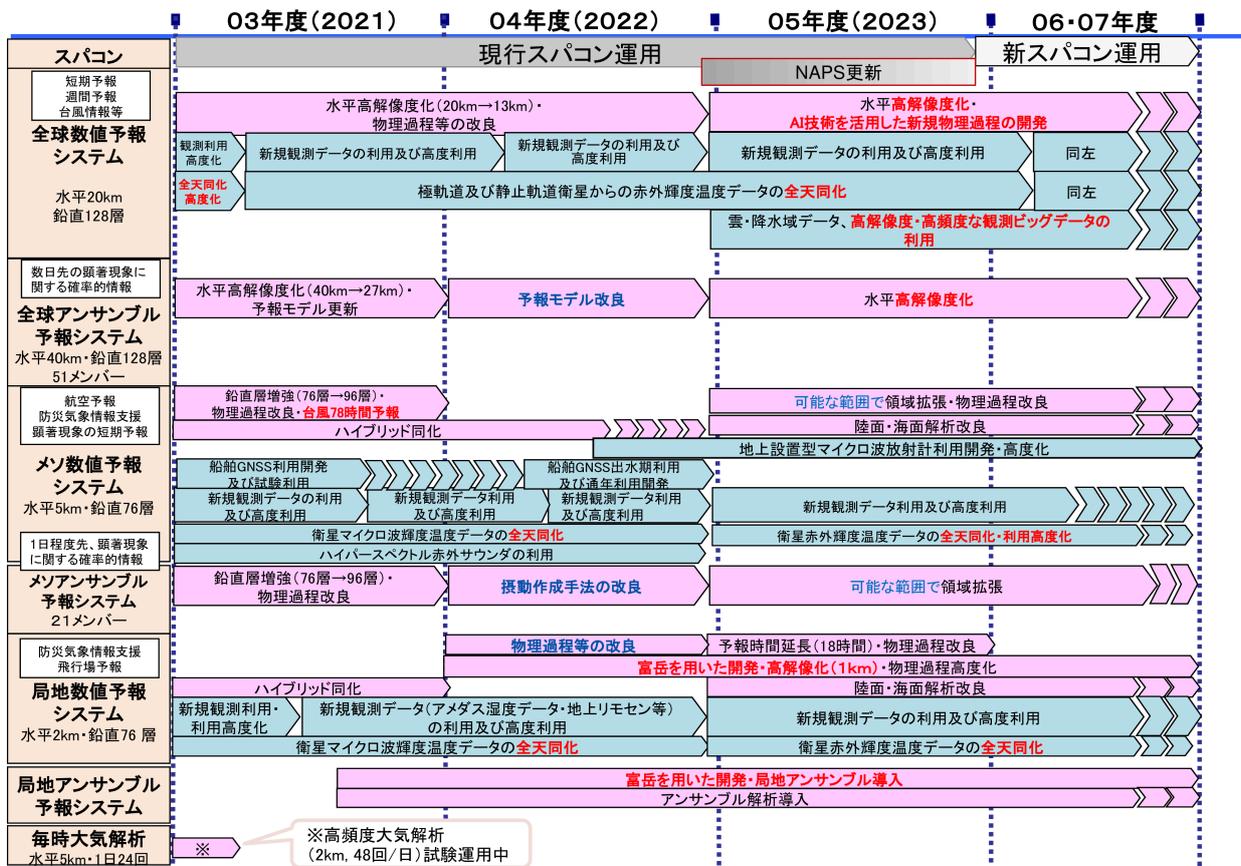


図 2.7.1 数値予報開発計画 (全球数値予報システム、全球アンサンブル予報システム、メソ数値予報システム、メソアンサンブル予報システム、局地数値予報システム、局地アンサンブル予報システム、毎時大気解析)

## 2.8 短期予報ガイダンス

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

ガイダンスは、数値予報の応用プロダクトの一つであり、数値予報で出力される地上気温や風など様々な予測値を補正してその誤差を軽減したり、数値予報が直接出力しない天気など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。現在、ガイダンスについては、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ダンスとそれらを統合する統合型ガイダ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 2.8.2 をご覧ください。

### 2.8.1 ガイダンス

ガイダンスでは、数値予報モデルの特性に由来する系統誤差等を、統計的な手法により補正して軽減することにより、予測精度を向上させることができる。この開発においては、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 2018b)。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、その特性が変わる際にはそれに応じた対応が必要となる。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ダ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などの対応を行う(高田 2018c)。そのため、令和 3~4 年度に計画されている 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ダンスの評価及び必要に応じて再学習を行う。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にその観測で得られるデータを予測するガイダンスの精度を事前に評価した上で、必要に応じて再学習の実施などの対応を行う(高田 2018d)。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、これが実施されることで、視程・雲の観測特性が変わることから、その特性変更に応じるための再学習等の対応を随時行う。

大きな課題として、大雨発生確率ガイダンス(特別警報級の大雨確率メッシュ情報)がある。これは、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」に記載されている「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」に対応するために開発が進められているもので、令和 3 年 6 月に部内試験運用を開始した。今後、令和 4 年度中に本運用開始を計画している。さらに、近年注目されている線状降水帯については、その発生予測に資するため、線状降水帯発生確度ガイダンス(仮称)の開発を行っており、令和 3 年 7 月に部内試験運用を開始した。これについては継続的に改良を実施していく計画である。また、同提言に同様に記載されている「概ね 3 年後に、台風が日本に接近する可能性がある場合には、メソモデルによる雨量予測を 39 時間先から 78 時間先まで延長し、3 日先までの総雨量予測情報の提供を行う」に対応するため、令和 3 年度末に MSM の予測時間延長が予定されていることから、この予報時間を延長した MSM による 48 時間降水量ガイダンス及び 72 時間降水量ガイダンスの開発も行っており、令和 4 年の出水期前までにこの運用を開始する計画である。

その他、LFM 降雪量ガイダンスの開発も進めており、令和 4 年度中の運用開始を計画している。また、後述の統合型ガイダンスの入力となる LFM 気温・降雪量ガイダンスの開発も進めている。

加えて、これまでガイダンスは Fortran を用いてプログラミングされてきたが、最新の AI 技術を活用するため、ライブラリの豊富な Python を用いるよう移行を進めているところである。

### 2.8.2 統合型ガイダンス

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 技術の活用によって最適に組み合わせる「統合型ガイダンス」の開発を行っている(図 2.8.1)。これにより、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 2018a)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、確率情報を作成・提供したりすることが可能となる。平成 31 年 1 月から、理化学研究所革新知能統合研究センター(理研 AIP)との共同研究を開始して、連携して開発に取り組んでいる。現在、統合型ガイダンスの降水、風(地点形式)、気温(地点形式)については部内試験運用を開始しており、令和 4 年度末に本運用を開始することを想定して開発を進めている。複数のガイダンスを統合する際に各ガイダンスの予測特性の得意・不得意にあわせて最適な組み合わせを選択すると精度向上を見込むことができる。大雨・強風・気温について、例えば気象場に応じた特徴(スケールが小さい現象に対しては分解能が高いガイダンスの方が表現しやすいなど)を抽出する技術調査を共同研究で実施している。この調査結果は随時有効性を確認し、改良

# AI技術の活用による統合型ガイダンス

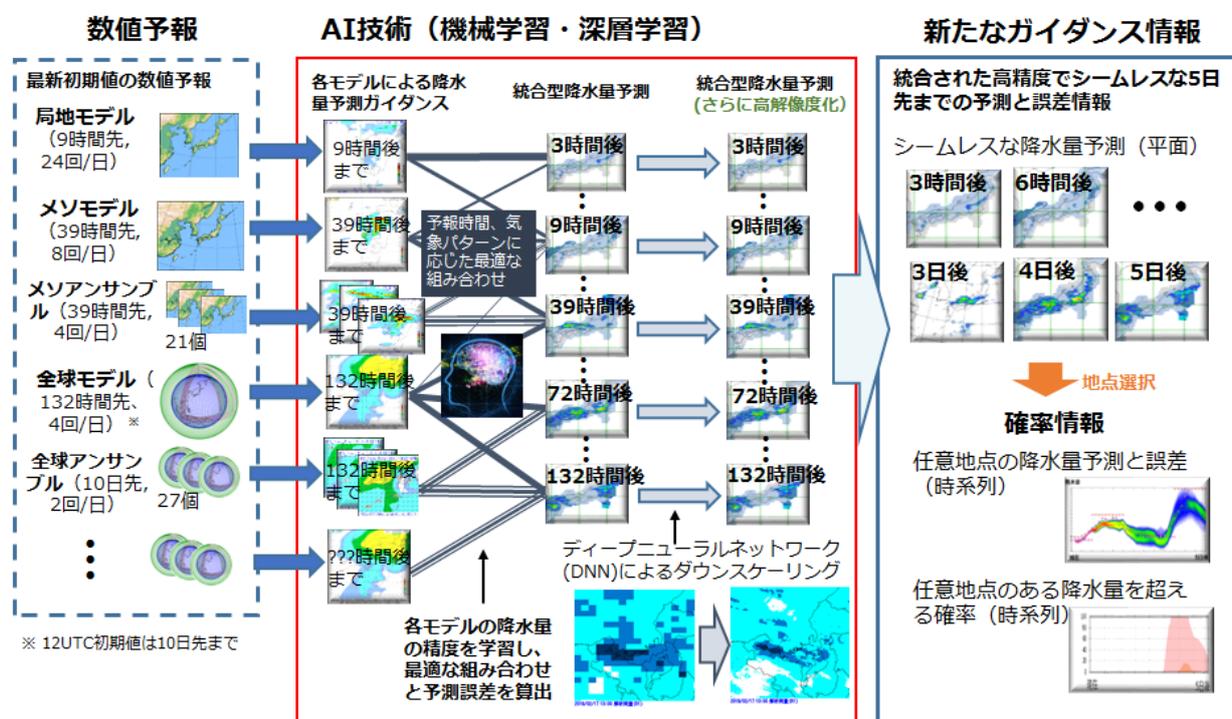


図 2.8.1 統合型ガイダンスの模式図

につながると考えられる場合は導入を行う。また、理研 AIP は AI 技術の専門家であり、様々な知見やツールを有していることから、取り入れ可能な最新 AI 技術やツールについての調査を実施し、上記と同様に有効性が確認された際には随時導入を行う計画である。個別の要素について、以下を計画している。降水及び気温ガイダンスについては確率情報の作成を含む統合手法の改良を行う予定である。また、気温ガイダンスについては、面的な予測を行う統合型気温ガイダンス（格子形式）の部内試験運用を令和 3 年 10 月に開始しており、令和 5 年度末の本運用を目指して引き続き改良を行う。面的なガイダンスとしては、統合型風ガイダンス（格子形式）の開発にも取り組んでおり、こちらも令和 5 年度末の本運用を目指して開発を行う。降雪量ガイダンスについては、降水量ガイダンスと雪水比（気温ガイダンスから求める）を用いて降雪量を求めている。そこで、統合型ガイダンスにおける降水量ガイダンスと気温ガイダンスを結合する計画であり、開発終了後に降雪量ガイダンスの部内試験運用を令和 4 年度中に開始する計画である。

## 参考文献

計盛正博, 石川宜広, 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.

高田伸一, 2018a: 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.

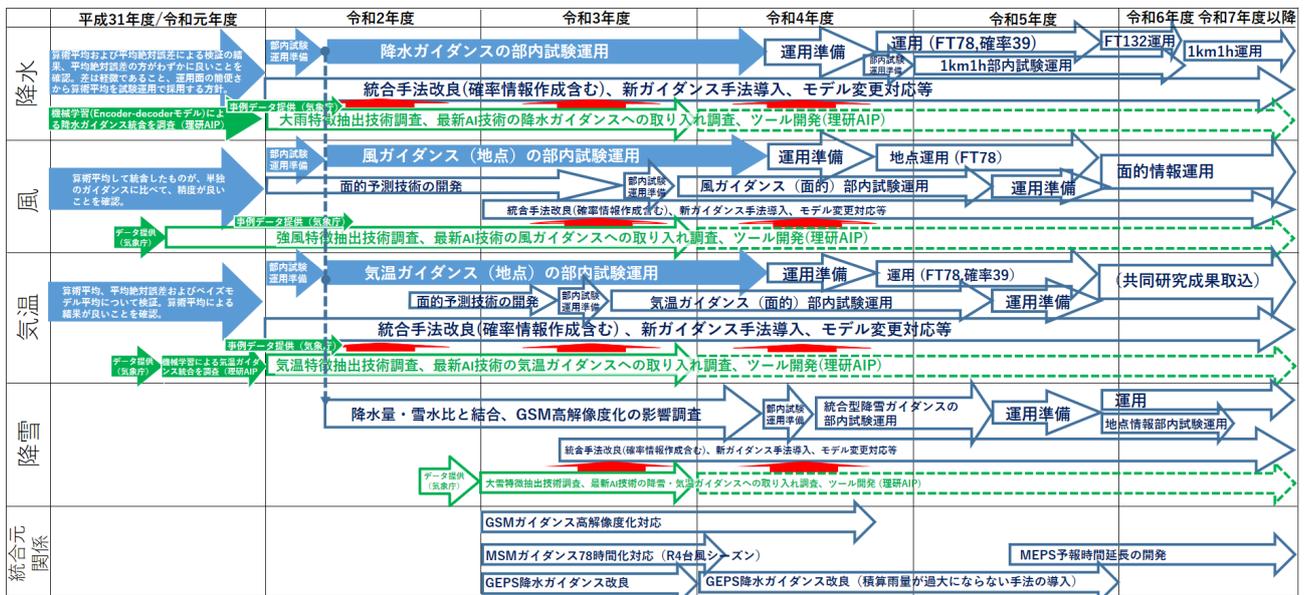
高田伸一, 2018b: ガイダンス概論. 数値予報課報告・別冊第 64 号, 気象庁予報部, 3-8.

高田伸一, 2018c: 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, 2018d: 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.

		令和3年度				令和4年度			
		R3Q1	R3Q2	R3Q3	R3Q4	R4Q1	R4Q2	R4Q3	R4Q4
モデル改良 対応	GSM	GSM22XX (高解像度化・物理改良)				GSM23XX (高解像度化・物理改良)			
	GEPS	GEPS22XX (高解像度化・物理改良)				GEPS23XX (物理改良)			
	MSM	MSM22XX (予報時間延長・物理改良)				モデル改良があれば対応			
	MEPS	MEPS22XX(鉛直層増強など)				LMF23XX (物理改良)			
	LFM	LA22XX (ハイリット化)							
観測システム変更 対応	湿度計追加 (R2-6年度随時)・積雪深計追加								
	アメダス地点変更 (随時)								
	航空観測自動化 12月 (那覇・中部) など					(R4年度計画未定)			
	空港追加・廃止 (計画未定)								
ガイダンス開発・改良	大雨確率 (継続)	部内試験運用・改良				本運用			
	線状降水帯発生確率	部内試験運用・改良				部内運用			
	LFMガイダンス開発・ルーチン化 (降雪量、視程、風、気温)								
	降水量ガイダンス各種改良・調査 (流域治水用、積算可能型、DNNガイダンス)								
	視程 (格子)・降雪 (格子)・航空用雲ガイダンスの改良								
ガイダンス共通化	共通DB化 (降雪量 (地点)、降水量)					python化			
	python化・共通DB化 (風、天気、視程 (格子))								

図 2.8.2 ガイダンス開発計画



青矢印: 気象庁線表(塗りつぶしは実施済、白抜きは実施中又は実施予定)、赤矢印: 有効性を確認後に導入  
 緑矢印: 共同研究線表(塗りつぶしは実施済、白抜きは実施中又は実施予定)(令和3年度までは気象庁との共同研究契約として実施、令和4年度以降は未定)

図 2.8.3 統合型ガイダンス開発計画

## 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（水平分解能 110km、鉛直層数 60 層）に気象研究所共用海洋モデル MRI.COM（水平分解能 50~100km、鉛直層数 52 層）を結合した、大気海洋結合モデルを用いている。大気初期値には気候データ同化システム（第 2.10 節参照）、海洋初期値には初期値作成手法として 3 次元変分法を採用している全球海洋データ同化システム（MOVE/MRI.COM）を使用している。仕様の詳細については、高谷（2015）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、社会経済活動への貢献に資するため、エルニーニョといった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。

2022 年 1 月に更新予定の次期季節 EPS では、その予測モデルについて、水平方向の高解像度化（大気：110km から 55km へ、海洋：渦非解像から渦許容<sup>1</sup>）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・調整を加える。さらに、データ解析手法の 3 次元変分法から 4 次元変分法への変更といった MOVE/MRI.COM の高度化や摂動作成手法の改良も行う。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結合化に向けた調査開発を進め、階層的<sup>2</sup>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。

## 2.10 気候データ同化システム

気候データ同化システムは、長期再解析と同じシステムで計算するデータ同化サイクルを現在まで延長したもので、気候系監視、季節 EPS の初期値、モデルの評価検証などに利用されている。現仕様は、2009 年時点の現業全球データ同化システムをベースとして計算を実施した気象庁第 2 次長期再解析（JRA-55）と同じシステム（水平分解能 55km 鉛直層数 60 層）である。仕様の詳細については古林ほか（2015）などを参照頂きたい。さらに、2018 年時点の現業全球データ同化システムをベースとする気象庁第 3 次長期再解析

（JRA-3Q）と同じ仕様を持つ気候データ同化システムの運用も 2021 年 10 月から開始している。

2021 年 12 月現在、JRA-3Q については、1990 年代以降の計算が完了しており、残りの期間（1940 年代末~1980 年代）の計算を実施している（2021 年度中に完了予定）。JRA-3Q では、JRA-55 と比較して、水平方向の高解像度化（55km から 40km へ）、鉛直層数の増強（60 から 100 層へ）や境界条件として利用する海面水温データの品質向上を図るとともに、JRA-55 実施以降の観測データの利用拡充を含む現業全球データ同化システムの開発成果も取り込まれることから、より高品質なデータの作成が期待される。なお、北西太平洋以外の領域において、2013 年以降の一部期間の熱帯低気圧解析の品質が顕著に低下していることが判明しており、熱帯低気圧解析の品質改善のため、2013 年以降の期間について再計算を実施する予定である。

今後も新しい気象庁長期再解析の実施に合わせて気候データ同化システムの更新を行う計画である。

## 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 55km）と日本近海を対象とする沿岸（同 5km）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、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、全球波浪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（2019）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。

2022 年度には、全球波浪モデルの水平解像度高解像度化（55km から 27km へ）、初期時刻 00UTC の予報時間延長（132 時間から 264 時間へ）を予定している。その後、沿岸波浪モデルの水平解像度高解像度化（5km から 1.7km へ）や高頻度化（4 回/日から 8 回/日へ）を計画している。中長期的には、スーパーコンピュータシステムの仕様に応じた高解像度化を検討している。

## 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 1km~沖合 16km）と、台風委員会メンバー（国・地域）への高潮情報提供を目的とするアジア域（同 3.7km）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

<sup>1</sup> 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 parameterising：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。

<sup>2</sup> 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

et al. (2017)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。

日本域高潮モデルについては、2022年度前半には予報時間延長(39時間から132時間へ)及びアンサンブルメンバー数増強(6から21メンバー程度へ)を行う計画である。アジア域高潮モデルについては、2022年度に非構造格子モデルを導入して沿岸部の高解像度化(3.7kmから1.5kmへ)を図るとともに、台風ボーガス手法の改善や全球アンサンブル予報システムの全メンバーを活用したアンサンブル予報化を計画している。中長期的には、日本域高潮モデルへの非構造格子モデルの導入、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100km、鉛直層数60層)ー北太平洋(同10km、60層)ー日本近海(同2km、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および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。

本システムについては、2021年度末までにデータ同化での新規衛星データ利用の開始を計画している。中長期的には、流域雨量指数を活用した沿岸域の塩分の再現性向上などの本システムのさらなる改善を行う計画である。

### 2.14 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、大気大循環モデルMRI-AGCM3(Yukimoto et al. 2012)と全球エアロゾルモデルMASINGAR mk-2(Yukimoto et al. 2012)を結合させたモデル(水平解像度40km 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光学的厚さ(Aerosol Optical Thickness, AOT)を衛星観測AOTで修正(2次元変分法)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)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。2022年度には、データ同化に利用しているひまわりエアロゾルプロダクトについて、ひまわり8号から9号への切り替え対応を行う。中長期的な課題としては、衛星観測データ利用の高度化などがある。

### 2.15 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. 2012)と化学輸送モデルを結合させたモデルMRI-CCM2(水平解像度110km 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)でナッジング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JMA(2019)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。2022年度には、データ同化に利用しているオゾン衛星観測データについて、衛星の切り替え対応を計画している。中長期的な開発課題としては、衛星観測データ利用の高度化などがある。

### 2.16 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いる。本システムのモデルは、アジア域の領域化学輸送モデル(水平解像度20km 鉛直層数18層)及び、東日本や西日本を対象とする高解像度版領域化学輸送モデル(水平解像度5km 鉛直層数19層)の2種類がある。領域化学輸送モデルは、大気モデルJMA-NHMと組み合わせて使用しており、即時的に利用可能な地上観測データ(オゾン濃度)でナッジングすることで観測情報を取り込んでいる。高解像度版領域化学輸送モデルは、大気モデルasucaと組み合わせて使用しており、予報ー予報サイクルで運用している。仕様の詳細について、池上ほか(2015)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、大気汚染プロダクトの高度化のため、大気汚染物質の予測精度向上が求められている。

2022年度には、高解像度版領域化学輸送モデルについて、地上観測データ同化の導入や領域拡張を行い、アジア域の領域化学輸送モデルとの統合を図る。

### 2.17 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の発表に利用されている。本システムでは、GSMに二酸化炭素の輸送過程を組み込んだモデルGSAM-TM(水平解像度110km 鉛直層数60層)と逆解法(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。2022年度には衛星データ同化を導入する予定であり、その後、領域区分の細分化などを計画している。

#### 参考文献

Hallberg, Robert, 2013: Using a resolution function to regulate parameterizations of oceanic mesoscale eddy effects. *Ocean Modelling*, **72**, 92–103.

Hasegawa, H., N. Kohno, M. Higaki, and M. Itoh, 2017: Upgrade of JMA's Storm Surge Prediction for the WMO Storm Surge Watch Scheme (SSWS). *RSMC Tokyo-Typhoon Center Technical Review*, **19**, 26–349.

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.

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.

池上雅明, 鎌田茜, 中務信一, 2015: 大気汚染気象予測モデル. 量的予報技術資料(平成26年度予報技術研修テキスト), 133–140.

JMA, 2019: *Outline of the Operational Numerical Weather Prediction at the Japan Meteorological Agency. Appendix to WMO Technical Progress Report on the Global Data-processing and Forecasting Systems (GDPFS) and Numerical Weather Prediction (NWP) Research*. Japan, 229 pp., (Available online at <https://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-center/nwp/outline2019-nwp/index.htm>).

古林慎哉, 太田行哉, 原田やよい, 海老田綾貴, 守谷昌己, 小野田浩克, 大野木和敏, 釜堀弘隆, 小林ちあき, 遠藤洋和, 宮岡健吾, 高橋清利, 2015: 気象庁55年長期再解析(JRA-55)の概要. 平成26年度季節予報研修テキスト. 気象庁地球環境・海洋部, 66–115.

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.

高谷祐平, 2015: 概論. 平成27年度季節予報研修テキスト, 気象庁地球環境・海洋部, 1–4.

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.

Yukimoto, Seiji, Yukimasa Adachi, Masahiro Hosaka, Tomonori Sakami, Hiromasa Yoshimura, Mikitoshi Hirabara, Taichu Y Tanaka, Eiki Shindo, Hiroyuki Tsujino, Makoto Deushi, and others, 2012: A new global climate model of the Meteorological Research Institute: MRI-CGCM3—Model description and basic performance—. *Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II*, **90**, 23–64.

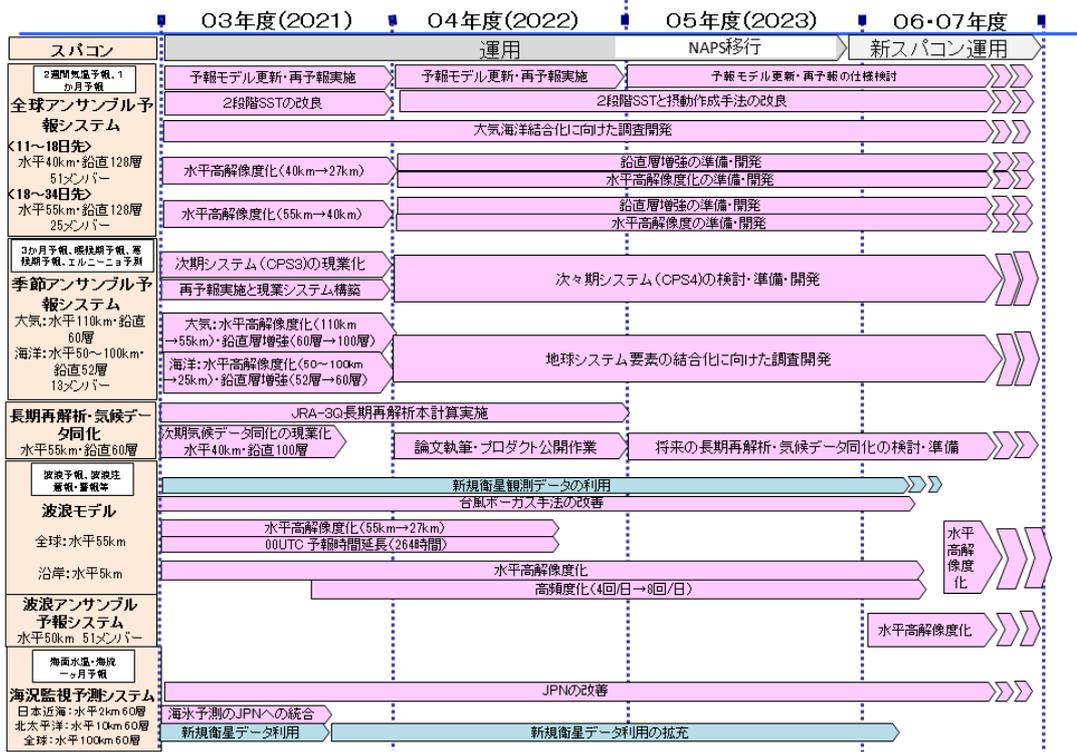


図 2.17.1 全球アンサンブル予報システム、季節アンサンブル予報システム、気候データ同化システム、波浪モデル、波浪アンサンブル予報システム、海況監視予測システムの開発計画

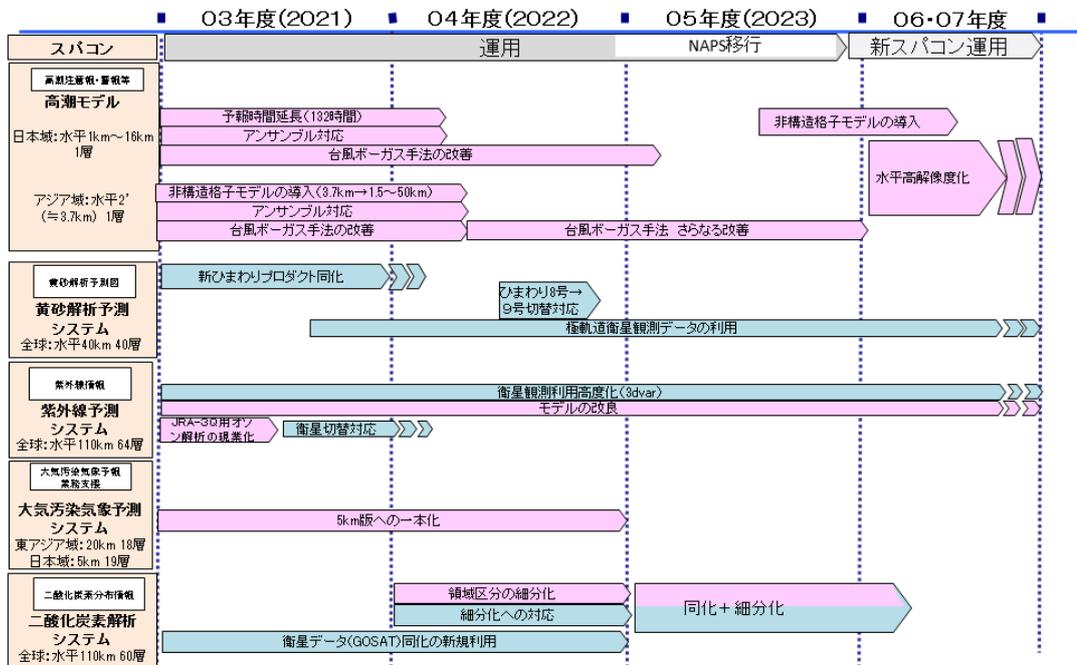


図 2.17.2 高潮モデル、黄砂解析予測システム、紫外線予測システム、大気汚染気象予測システム、二酸化炭素解析システムの開発計画