

第2章 開発報告

2.1 開発計画

第2.1節では、数値予報システムの開発計画を報告する。

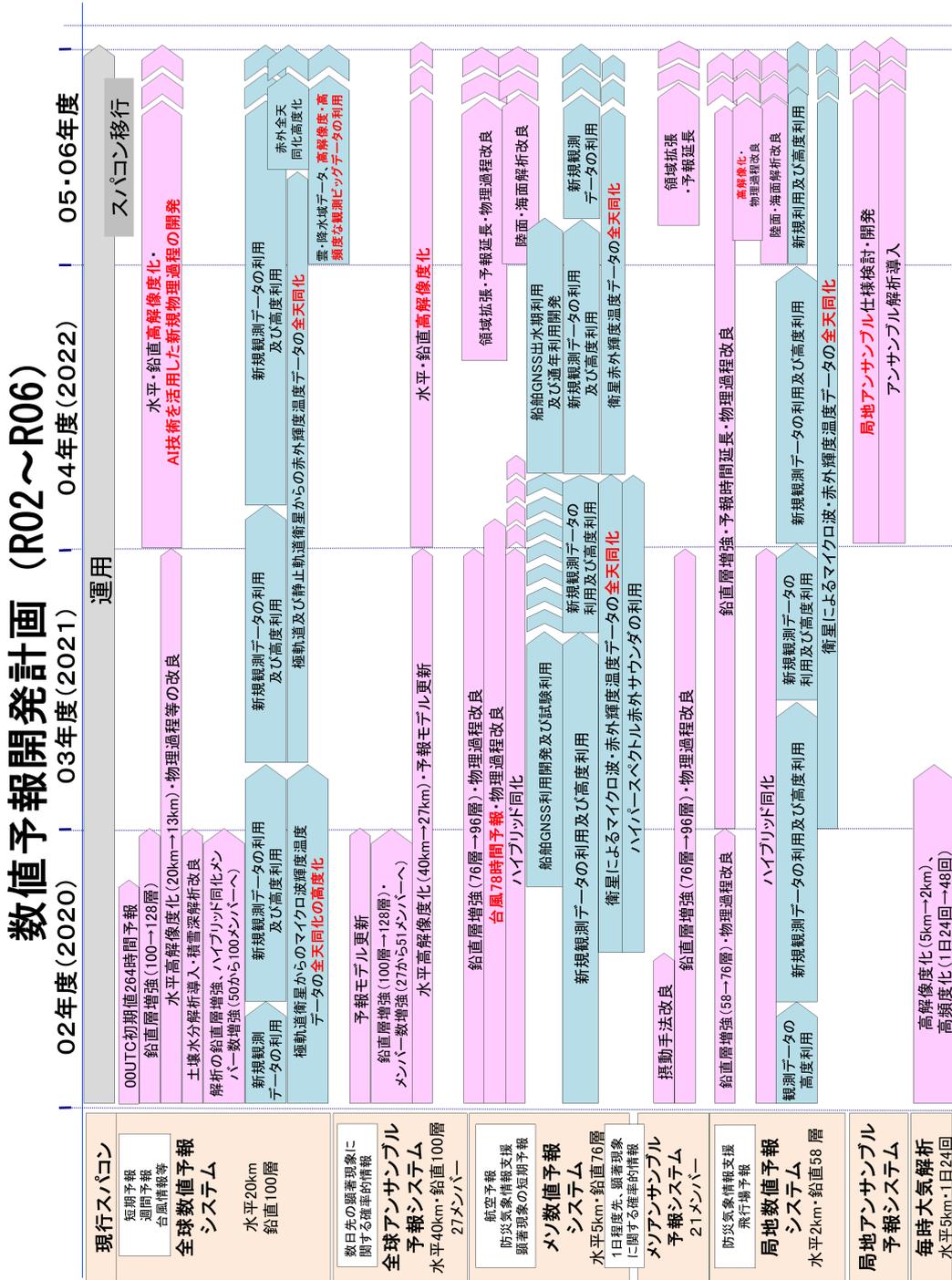
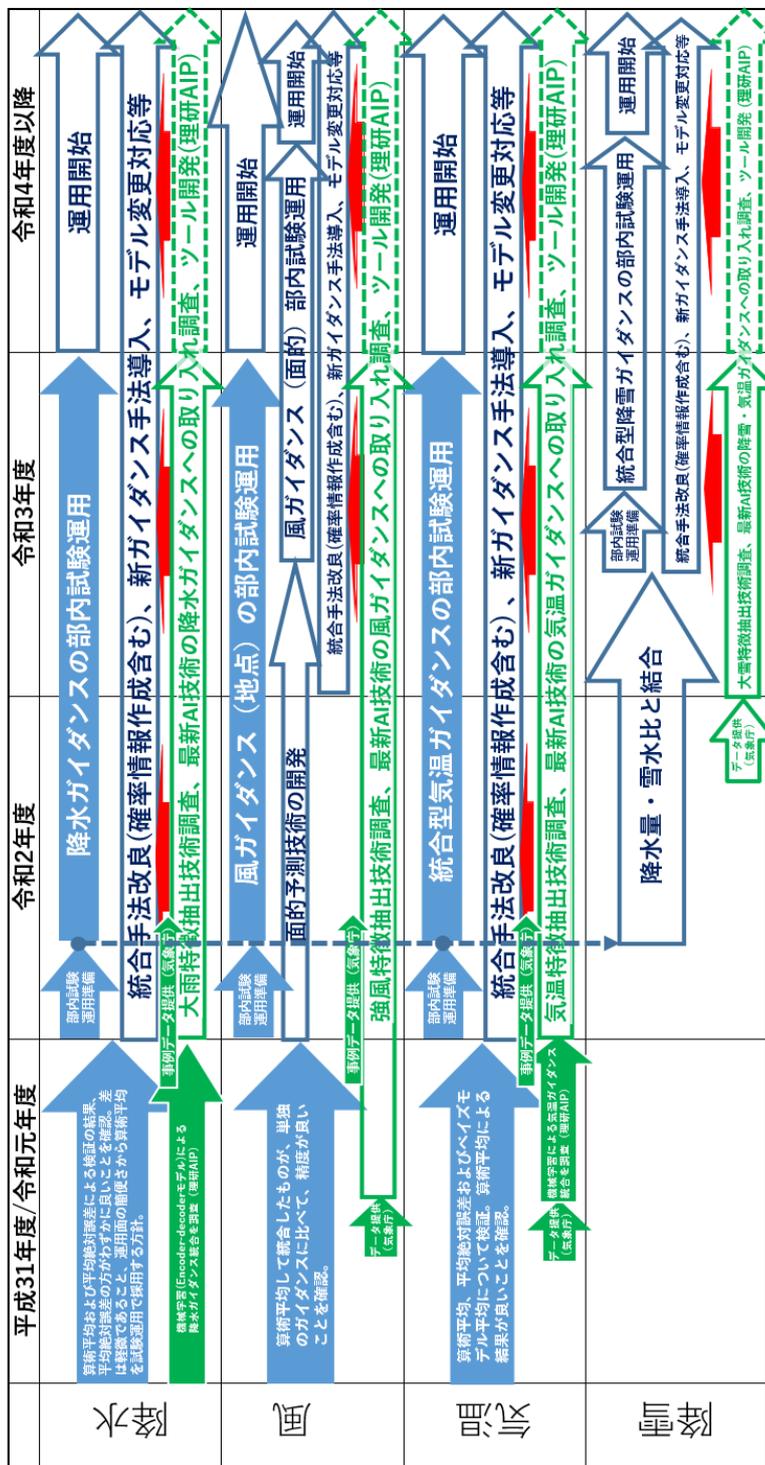


図 2.1.1 全球数値予報システム、全球アンサンブル予報システム、メソ数値予報システム、メソアンサンブル予報システム、局地数値予報システム、毎時大気解析の開発計画

	令和2年度				令和3年度			
	R2Q1	R2Q2	R2Q3	R2Q4	R3Q1	R3Q2	R3Q3	R3Q4
モデル改良対応			GSM21XX			GSM22XX		
			GEPS21XX				MSM22XX	
				LFM21XX				
		MEPS改良						MEPS22XX
観測システム変更対応	日照計廃止				湿度計追加 (R2-6年度)			
					アメダス地点変更 (随時)			
					航空観測完全自動化			
	空港追加・廃止							
ガイダンス開発・改良	測器追加							
	最大降水量ガイダンス改良							
	特別警報級大雨確率メッシュ情報の開発				LFM降雪量 (地点) ガイダンス開発			
	統合型ガイダンス向けLFM気温・降雪量G開発							

図 2.1.2 ガイダンスの開発計画



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)
 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)
 赤矢印: 有効性を確認後に導入

図 2.1.3 統合型ガイダンスの開発計画

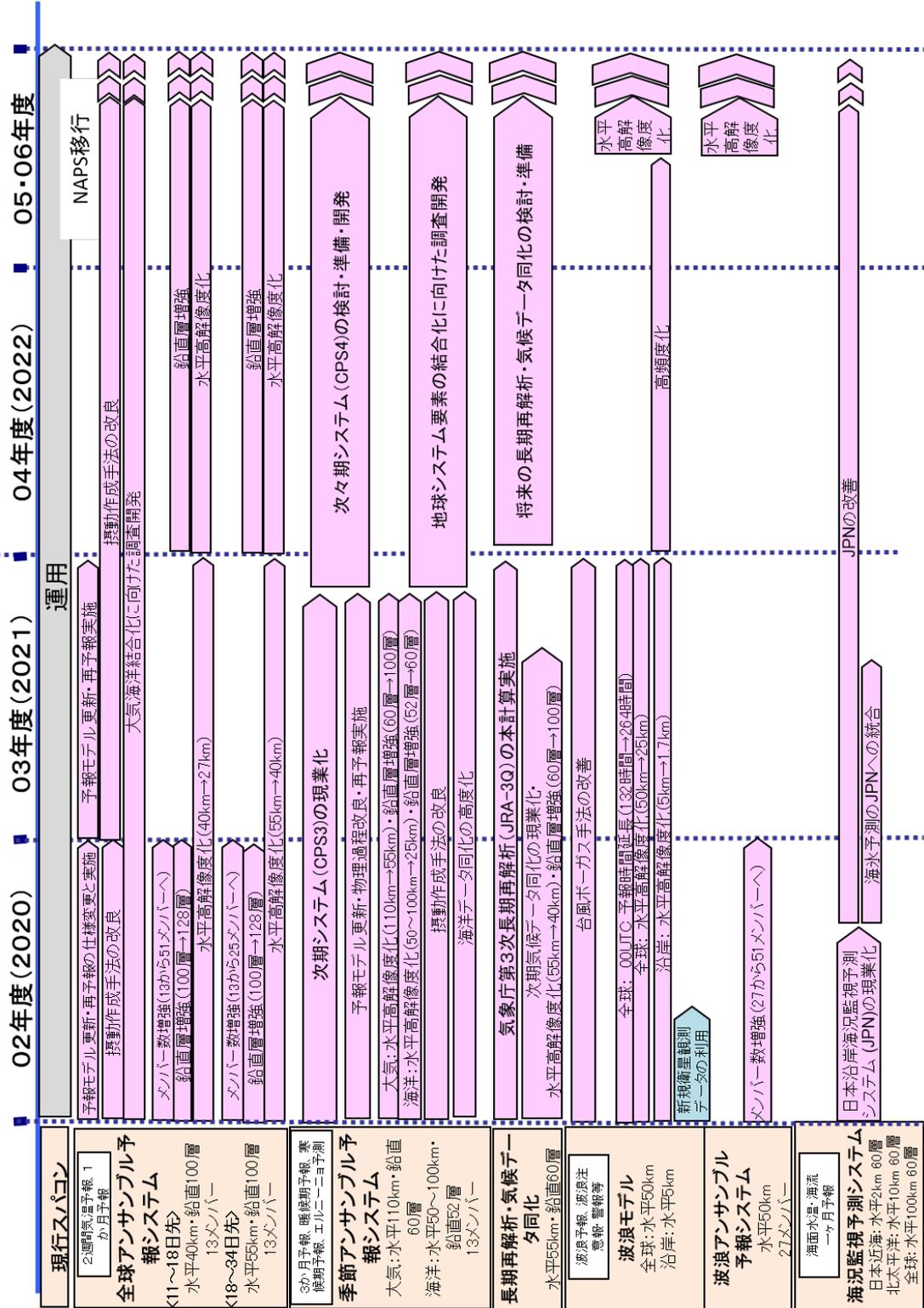


図 2.1.4 季節アンサンブル予報システム、気候データ同化システム、波浪モデル、海況監視予測システムの開発計画

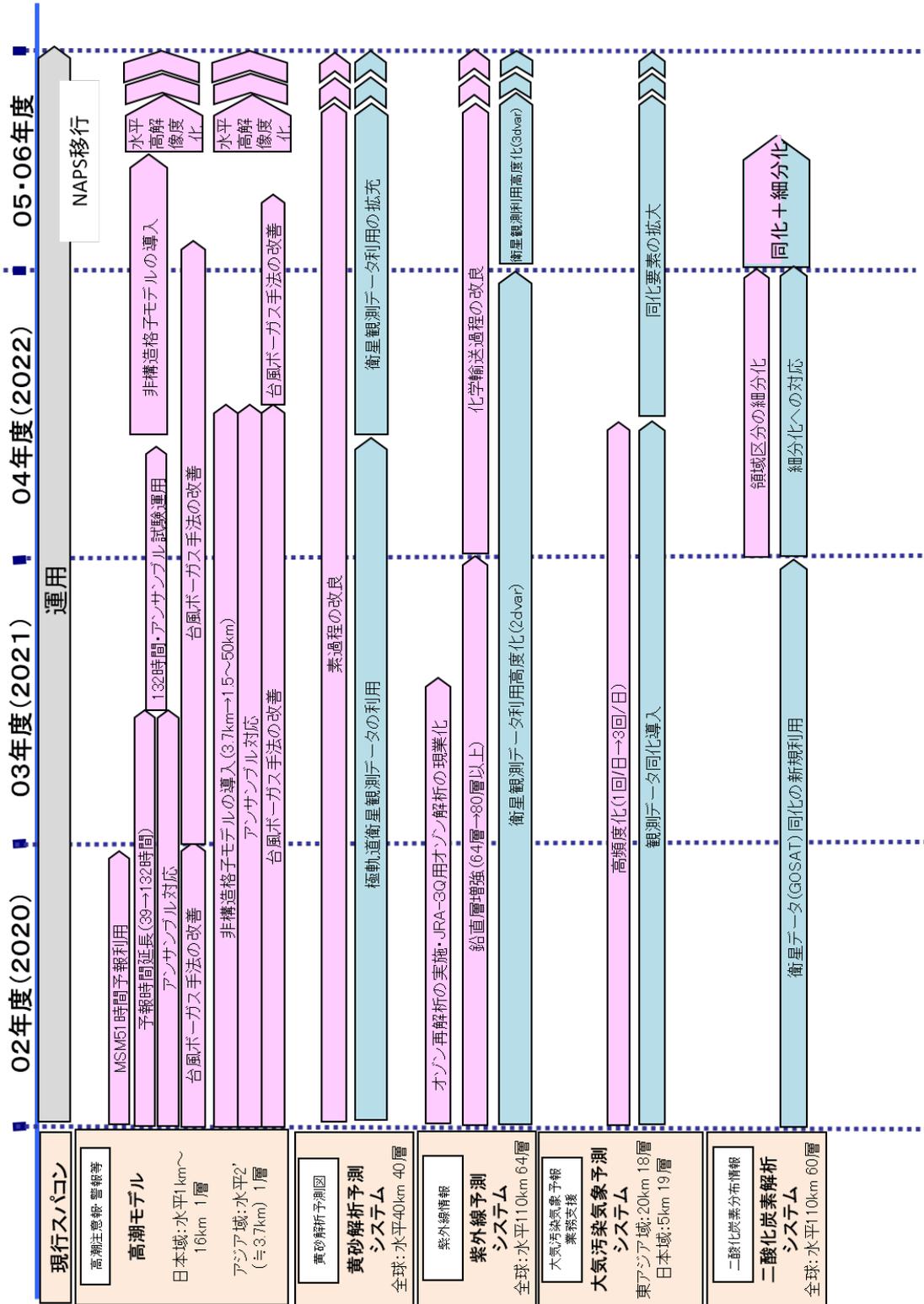


図 2.1.5 高潮モデル、黄砂解析予測システム、紫外線予測システム、大気汚染気象予測システム、二酸化炭素解析システムの開発計画

2.1.1 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のみならず、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2021年1月現在、水平解像度約20km、鉛直層数100層の構成で運用されている。全球モデルの現在の仕様については第2.2.6項を参照頂きたい。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次元変分法データ同化システムが2019年12月に導入された(第2.2.2項)。この際、雲や雨の影響を受けた衛星観測輝度温度のデータを同化利用する全天同化も同時に導入された(第2.2.3項)。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。

2020年度末には全球数値予報システム全体の鉛直層数を増強する。また全球データ同化システムにおいては、LETKFのメンバー数を増強する。これにより、メンバー数が少ないこと由来する背景誤差相関のサンプリングエラーを軽減し、LETKFで作成される(大気状態を反映して日々変化する)背景誤差の情報をより重視したデータ同化を可能とする。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、下部境界条件として与えられる各種物理量の改善を図る。その後、2021年度第一四半期中にさらなる観測データの新規利用及び利用手法改良を図る。大きな課題として、現在全天同化に対応していない衛星観測マイクロ波水蒸気サウンダデータの全天同化利用開始、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がある。その後、2021年度中に、水平方向の解像度を現状の約20kmから約13kmに強化する計画である。この改良では、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。2022年度第一四半期中には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、データ同化の際に用いる観測の誤差設定の見直しなどを計画している。

また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の解像度を拡充、10km以下の水平解像度で運用し、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。

2.1.2 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ばかりでなく、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を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2.2.7項を参照頂きたい。「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。2021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100層である。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の更新に合わせた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。

2020年度末には鉛直層数をGSMに準じて増強するとともに、アンサンブルメンバー数を、これまで11日まで27、18日まで13だったところ18日までを51に増強する。また、19~34日目までは13だったところ25にする。これにより確率的な予測の精度向上が期待できる。その後2021年度末には、水平方向の解像度を現在の約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。また現在、2週目以降の海面水温(SST)については、2段階SST(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。これについて、同システムが2021年度に更新され、予測SSTの精度向上が見込まれる(第2.1.8項)ことから、利用手法についての再検討を行う計画である。

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日までの予測については20km以下、それ以降の予測についても30km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。

2.1.3 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 2021 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) により運用されている。なお、物理過程の改良を含むシステム更新は 2020 年 3 月に実施された(第 2.2.8.3 小節)。予報時間は最大 51 時間である。データ同化手法には asuca に基づく 4 次元変分法が 2020 年 3 月に導入された(第 2.2.8.2 小節)。

今後、2021 年度末に鉛直層数増強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、予報時間延長のための開発に取り組んでいる。この中では、海洋混合層の取扱などが重要な課題となっている。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。主なものとして、米国の極軌道衛星である Suomi-NPP 及び NOAA-20 のマイクロ波サウンダ ATMS の導入があり、2021 年度の導入を目指して開発を進めている。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て改めて検討する計画である。

2.1.4 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 2020)。「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、2021 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を行う。また確率的な予測の精度向上を目指し、数値予報モデルの不確実性を考慮するため、確率

的物理過程強制法などの導入を計画している。

中長期的には予測時間の延長や計算領域の拡張を MSM に準じて行う計画である。

2.1.5 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、さらなる高度化・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と局地モデル LFM により構成されている。LFM は 2021 年 1 月現在、水平格子間隔 2 km、鉛直 58 層の非静力学モデル asuca により運用されている。予測時間は 10 時間である。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。

今後、2020 年度末に鉛直層数増強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。本改良には 2020 年 3 月に実施された MSM の改良で得られた知見が活用されている。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る。

局地モデル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。また、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の開発も課題である。これらについては将来のスーパーコンピュータシステムの性能を勘案しつつ改めて検討するが、LFM 本体については 2030 年に 1 km 程度の水平解像度による予測の実現を目指している。

2.1.6 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 5 km 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、より高解像度高頻度に解析を行えるようになってきた。これら

の状況を踏まえ、2021年度前半に、高頻度大気解析として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の水平解像度で運用することを計画し、現在開発を進めている。

2.1.7 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。現在、ガイダンスについては、様々な気象要素に対する個別のガイダンスに対する開発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。本節ではそれぞれに対して述べる。なお、線表については図2.1.2をご覧ください。

2.1.7.1 ガイダンス

ガイダンスは数値予報モデルが持つ系統誤差を統計的に補正することで予測精度を向上させることができる。統計的に補正するため、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、統計手法によって予測式を作る(高田2018b)。

数値予報モデルの改良が行われて、系統誤差が変わる際にはそれに応じた対応が必要となる。具体的な対応として、改良が想定される数値予報モデルの結果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(場合によっては再予報を行い、その結果を用いることもある)予測式を改良後の数値予報モデルの系統誤差に適するようにするなどの対応を行う(高田2018c)。そのため、令和2年度に計画されているGSM、GEPS、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。

次に、観測データが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、変更後に想定されるガイダンスの予測精度を評価した上で、必要に応じて再学習の実施などの対応を行う(高田2018d)。アメダスの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、アメダスの日照時間が推計気象分布による推計値に置き換えられることへの対応は、置き換えが行われる令和3年3月までに実施する計画である。航空気象観測の完全自動化については、視程・雲の観測特性が変わるなどへの対応を行う。令和2年度末の那覇空港(夜間)及び令和3年5月の壱岐空港において、それぞれ完全自動化が予定されており、それに合わせる計画としている。

ガイダンスの新規開発及び既存ガイダンスの改良については以下を予定している。まず、大きな課題として、最大降水量ガイダンスの改良に向けた開発を進めている。最大降水量ガイダンスは台風時に予測雨量が

過大となる(沢田・白山2019)問題などがあり、これらの解決に向けた開発を行っており、来年度出水期までの導入を計画している。特別警報級の大雨確率メッシュ情報は、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に着手したものである。令和3年度に試験運用を開始し、令和4年度に運用開始を計画している。また、LFM降雪量ガイダンスの開発も進めており、令和3年度中の運用開始を計画している。その他、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。

2.1.7.2 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2.1.6)。

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、気温については部内試験運用を開始しており、令和4年度以降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める。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。風ガイダンスについては現時点では地点形式でしか作成していないところ、面的に予測する技術を開発する計画である(令和3年度中までに)。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

AI技術の活用による統合型ガイダンス

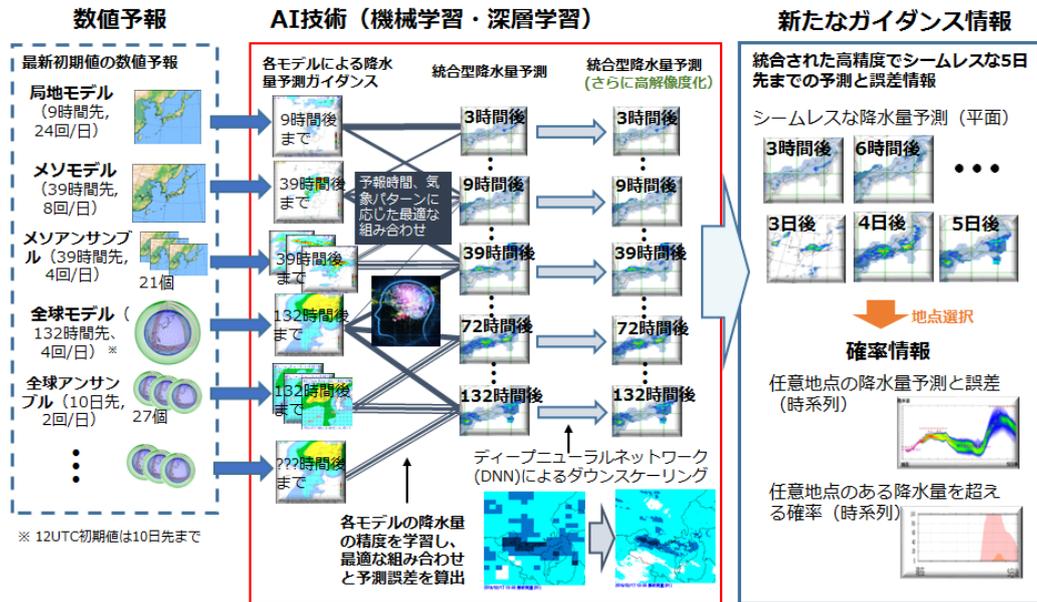


図 2.1.6 統合型ガイダンスの模式図

（令和3年度中）、開発終了後に降雪量ガイダンスの部内試験運用を開始する計画である（令和3年度中）。

2.1.8 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、エルニーニョ予測に利用されている。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（水平分解能約110 km 鉛直層数60層）に気象研究所共用海洋モデルMRI.COM（水平分解能約50~100 km 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2.1.9項参照）、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。

2021年度後半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：約110 km から約55 km へ、海洋：渦非解像から渦許容¹）や鉛直層数の増強（大気：60 から100層へ、海

¹ 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。

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、海洋モデルの渦解像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²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。

2.1.9 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（水平格子間隔約55 km 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。

現在、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）の計算（1940年代末~2020年）を実施中である。このJRA-3Qの計算が2021年度中に完了予定であることに伴い、JRA-3Qと同じ仕様とする気候データ同化シ

² 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。

システムの運用を2021年度前半に開始する計画である。JRA-3Qでは、水平方向の高解像度化(約55 kmから約40 km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。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。

2.1.10 波浪モデル

波浪モデル及びその初期値を最適内挿法で作成する波浪客観解析には、全球(水平格子間隔約50 km)と日本近海を対象とする沿岸(同約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に、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)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。

2020年度末までに波浪アンサンブル予報システムのメンバー数を増強(27から51メンバーへ)する予定である。2021年度には、全球波浪モデルの水平解像度高解像度化(約50 kmから約25 km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(約5 kmから約2 kmへ)を計画している。中長期的には、沿岸波浪モデルの高頻度化やスーパーコンピュータシステムの仕様に応じた解像度の拡充を検討している。

2.1.11 高潮モデル

高潮モデルは、高潮注意報・警報で利用する日本域(同沿岸部約1 km~沖合約16 km)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(水平分解能約4 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.(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。

2021年度までは主に日本域高潮モデルの改善を図る予定である。具体的には、2020年度末までに台風ボーガス手法の改善、2021年度には予報時間延長(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。その後、アジア域高潮モデルについて、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(約4 kmから約2 km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解像度の拡充を検討している。

2.1.12 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か月予報などで利用されている。本システムは、全球(水平格子間隔約100 km 鉛直層数60層)ー北太平洋(同約10 km 60層)ー日本近海(同約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 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。2021年度には、海水予測が本システムに移行される予定である。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。

2.1.13 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)と全球エロゾルモデルMASINGAR mk-2(Yukimoto et al. 2012)を結合させたモデル(水平格子間隔約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、エロゾルの予測精度向上が求められている。2019年度に導入したひまわり観測データ同化に続いて衛星観測データ利用の拡充に取り組むとともに、中長期的な課題としては、全球エロゾルモデルの素過程改良などがある。

2.1.14 紫外線予測システム

紫外線予測システムは紫外線情報に利用されている。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(水平格子間隔約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) 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。2021 年度には鉛直層増強 (64 層から 80 層以上へ)、2022 年度には衛星観測データ利用の高度化を計画している。中長期的な開発課題としては、化学輸送過程の改良や衛星観測データ利用のさらなる高度化などがある。

2.1.15 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 (水平格子間隔 20 km 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 (水平格子間隔 5 km 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-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。

2021 年度以降早期に、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高頻度運用 (1 回/日から 3 回/日へ) を行うことを計画している。中長期的な開発課題として、高解像度版領域化学輸送モデルへの一本化や同化手法の高度化、オゾン以外の汚染物質の同化などがある。

2.1.16 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で利用している。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 (水平格子間隔約 110 km 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。2021 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.

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.

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 (予報技術研修テキスト), 133–140.

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, 229pp 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, 2020: 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.

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, 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.

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.

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.

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, 石川宣広, 2008: 気象庁毎時大気解析. *天気*, **43**, 43–50.

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.
- 沢田雅洋, 白山洋平, 2019: 平成 30 年台風第 24 号. 令和元年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 93–99.
- 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.
- 高田伸一, 2018a: ガイドンスの今後. 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: ガイドンス概論. 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.