



資料 1

議題 1

「2030年に向けた 数値予報技術開発重点計画」 の取組状況と課題

数値予報モデル開発懇談会(第6回)

令和3年12月24日

気象庁

「2030年に向けた 数値予報技術開発重点計画」 の取組状況と課題

- **前回懇談会でのご意見と回答**
- はじめに 重点計画の確認
- 開発の方向性と必要な技術開発
- 令和3年度の進捗
- 線状降水帯豪雨災害を踏まえた開発の見直し
- 令和4年度の計画、開発線表
- まとめ

前回懇談会でのご意見と回答

(ご意見)

- スーパーコンピューター富岳等の外部計算機を活用した開発促進の計画は、良い取組と思う。大学等研究機関で行われた研究の成果をよりスムーズな形で気象庁の運用に活用するためには、気象庁の現業システムと同じモデルで研究開発を行うことが有益である。オープンソース化などにより同じモデルの研究開発が広がることには亜種の出現により知見の統合が難しいなどの短所もあり、またモデルの多様性を維持することの長所もある。米国の取組などを参考にしつつ、日本としてどのようにしていくのが良いのか、本懇談会で意見交換・情報交換する価値があると思う。

(回答)

- メソや全球の解析予報実験システムの富岳への移植作業を進めている。移植したシステムを大学等の研究に活用していただくように準備を始めている。成果が確実に当庁に還元されるよう共同研究の枠組みを活用していきたい。非静力学モデルasucaや全球モデルGSMについては、共同研究により東大、東北大、京大及び琉球大に利用いただく試みを始めている。議論は議題2で扱いたい。

前回懇談会でのご意見と回答

(ご意見)

- 数値予報モデルの精度の観点では台風の進路予測がここ数年は横ばいとの話があったが、2030年の目標達成に向けて、どのあたりまで進捗がみられ、今後の見通しはどうかという点について、次回の懇談会で触れて欲しい。

(回答)

- 進路予測誤差の大きさは、台風の事例によって異なり、また誤差の原因も異なると考える。すべての台風事例で誤差減少を望むことは困難であることから、特に誤差の大きな台風事例(北上バイアス、スローバイアス)に着目して要因分析を行い、改善に向けて取り組みたい。また特に日本に接近・影響を与える台風について重視していきたい。

前回懇談会でのご意見と回答

(ご意見)

- 台風の進路予報や線状降水帯について水蒸気観測の重要性が指摘されているが、いずれも風の偏差も重要であると考えている。夏季の風の場合を与える太平洋高気圧の予測性能について、現状と課題について解析しておくべきである。

(回答)

- 台風の進路予報や線状降水帯の予測に太平洋高気圧の予測が大きく影響することについては同様の認識であり、今後開発の際に注目していきたい。例えば令和3年台風第14号の事例では、モデルの太平洋高気圧の勢力は予測が先になるほど、台風など熱帯の対流活動が活発な時期に弱く表現される傾向が見られた。この傾向は、境界値としてメソモデルの予測にも影響を与えるものである。全球モデルでの熱帯の対流活動をより現実的に表現できるように各種物理過程の改良を進めていく。一方でその予測性能評価をどのような指標で行うかは今後の課題であり、引き続き検討していきたい。

前回懇談会でのご意見と回答

(ご意見)

- 富岳等を活用した研究によりアンサンブル予報のメンバー数増強は良好な結果が出ていることから、より重点的に取り組む課題として見直してはどうか。

(回答)

- 最適なアンサンブルの構成について富岳を用いて検討していきたいと考えている。言及頂いた成果創出加速プログラムの大アンサンブルを用いた成果については、線状降水帯の発生、維持・停滞の予測の不確実性を捉えるための最適なアンサンブル構成を検討する際に用いていきたい。

前回懇談会でのご意見と回答

(ご意見)

- 数値予報モデルの改良計画は詳細な検討がなされている。一方、観測データの将来的な進歩も見据え、航空機観測、衛星観測をはじめとしてこれまで使っていなかった新しい観測データについても数値予報への効果を検討した上で、積極的に取り入れていくべきである。

(回答)

- リアルタイムで入手できる観測データについては計画的に導入を図っている。今年度は例えば、6月に衛星によるマイクロ波輝度温度データの雲・降水域の同化の拡充や航空機気温データのバイアス補正手法の改良などを行った。今後も、欧米の衛星観測データや、海外気象機関による気象観測データを積極的に利用していく計画である。

前回懇談会でのご意見と回答

(ご意見)

- 広域避難や明るいうちからの避難に資する気象情報を発表するため、数値予報モデル技術の面で、どの程度前もってどの程度まで信頼性のある予測が可能かを明確にするとともに、モデルを改善し、いかに活用可能な情報としていくかが本懇談会の一つの課題である。台風・豪雨・高潮といった各現象に対してどの程度の予測精度を出せるか、この懇談会でも引き続き議論していきたい。

(回答)

- 現象予測に関する数値予報モデルの潜在的なパフォーマンスについては、研究者側から最新の知見をいただきつつ、懇談会でも引き続き議論していきたい。

「2030年に向けた 数値予報技術開発重点計画」 の取組状況と課題

- 前回懇談会でのご意見と回答
- **はじめに 重点計画の確認**
- 開発の方向性と必要な技術開発
- 令和3年度の進捗
- 線状降水帯豪雨災害を踏まえた開発の見直し
- 令和4年度の計画、開発線表
- まとめ

はじめに

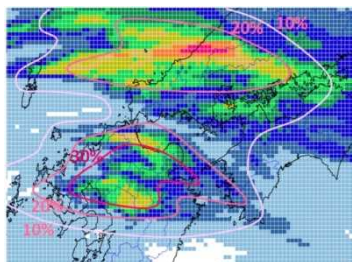
○気象分科会提言「2030年の科学技術を見据えた気象業務のあり方」(平成30年8月20日)

目標と取り組みの具体的内容(気象分科会提言資料より抜粋)

半日前からの早め早めの防災対応等に直結する予測精度の向上

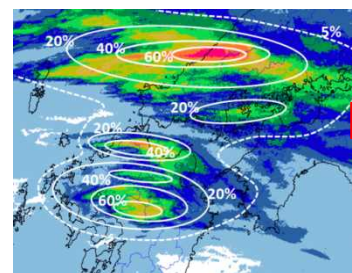
概ね3～5年後

半日程度前から線状降水帯の発生・停滞等に伴う集中豪雨の発生可能性を把握

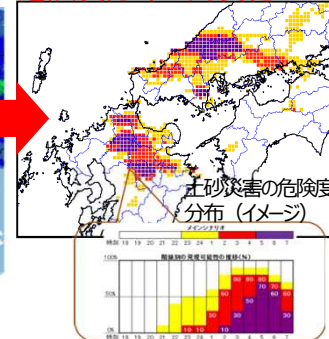


2030年

半日程度前から線状降水帯の発生・停滞等に伴う集中豪雨の可能性を確度高く把握し、これに伴う災害発生の危険度分布も提供



危険度分布を高度化



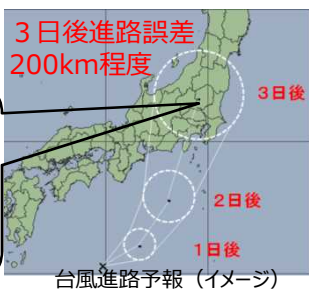
数日前からの大規模災害に備えた広域避難に資する台風・集中豪雨などの予測精度向上

概ね3年後

流域総雨量予測

広域避難基準

3日後



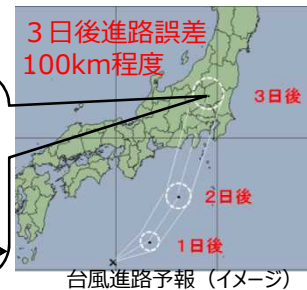
予測幅はまだ大きいものの、3日先までの流域総雨量を把握

2030年

流域総雨量予測

広域避難基準

3日後



目標と取り組みの具体的な内容 (気象分科会提言資料より抜粋)

気候リスク低減、生産性向上に資する数ヶ月先までの予測精度向上

2030年

気温は日別、暴風・大雪は週の前後半程度で、1次細分区域ごとの顕著現象を精度高く予測

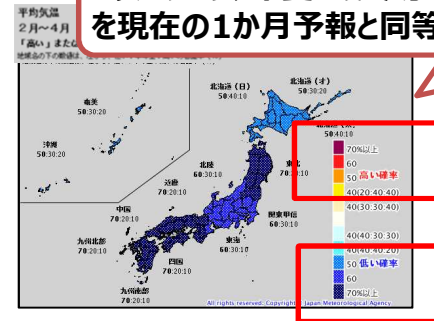
顕著現象の可能性	1日先	2日先	3日先	4日先	5日先	6日先	7日先	8~10日先	11~14日先
秋田 (気温)									
秋田県沿岸 (暴風)								[高]	[中]
秋田県沿岸 (大雪)								[中]	

熱波・寒波の可能性を週ごとに端的に表現

	1週目	2週目	3週目	4週目
関東甲信地方	低温	平年並	顕著な高温 [可能性大]	顕著な高温 [可能性中]

- 熱中症、雪害等に対する可能な限り早期の事前対策。
- 物流、農業、水産業等の各産業における気候によるリスクの軽減。

3ヶ月先の、冷夏・暖冬等の顕著な高温低温を現在の1か月予報と同等の精度で予測



生産、流通、販売等への利用を通じて広く社会経済の気候によるリスクを軽減、生産性を向上。

地球温暖化対策を支援する数十年～100年後の情報の高度化

2030年

自治体等の適応策を支援するため、

- ① きめ細かな予測
- ② 数十年先までの近未来予測
- ③ 極端現象や海洋等の予測
- ④ 将来の予測に対する統一見解を提供する。

既に顕在化し、今後ますます深刻化する地球温暖化への、自治体や民間における適応策策定へ貢献。

○ 気象災害の防止・軽減、社会経済活動における生産性向上に資するよう、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」に示された方向性に基づき、防災分野を始め社会における情報サービス基盤である数値予報の技術開発を強力かつ着実に推進していくため、「2030年に向けた数値予報技術開発重点計画」を策定する。

1. 気象業務を巡る環境認識

① 自然災害の変化

- 自然災害の激甚化、気候変動で深刻化のおそれ
- 平成29年7月九州北部豪雨、平成30年7月豪雨など、線状降水帯を伴う豪雨が頻発
- 伊勢湾・カスリーン級の台風が襲来した場合、長期間の都市機能のまひなど深刻な被害が想定される

② 社会情勢の急速な変化

- IoTやAIの社会実装が進展、ICT機器が急速に普及
- 少子高齢化・人口減少社会の到来、それに伴う社会基盤の脆弱化
- 超スマート社会（Society 5.0）や生産性革命の実現に向けて、気象・気候予測へのニーズが増大

③ 科学技術の飛躍的発展

- 数値予報を支えるスーパーコンピュータとシミュレーション技術の飛躍的な発展
- 多種多様なセンサによる、地球の観測ビッグデータ時代の到来
- 数値予報研究開発の国際競争や連携が加速

2. 数値予報に関する気象庁のビジョン

国民一人一人の安全・安心を守り、活力ある社会を実現する数値予報イノベーション

気象・気候予測の根幹である数値予報は、安全・安心で豊かな生活に不可欠な社会基盤。その高度化・精度向上を強力に推し進めて、防災をはじめ社会の様々なサービスの充実・発展に直接・効果的に貢献し、国民共有の新たな財産に

3. 2030年における重点目標

自然災害や社会情勢の変化と科学技術の発展を踏まえ、ビジョンの実現に向けて重点目標を掲げる

① 豪雨防災

集中豪雨発生前に、明るいうちからの避難等、早期の警戒・避難を実現

② 台風防災

大規模災害に備えた広域避難・対応を可能にする数日先予測の高精度化

③ 社会経済活動への貢献

生産・流通計画の最適化等に役立つ高精度な気象・気候予測を実現

④ 温暖化への適応策

「わが町」の地球温暖化予測により、国や自治体等の適応策策定に貢献

4. 技術革新の推進

重点目標の達成に向け、鍵となる技術革新を重点的に推進

① 次世代技術による地球の観測ビッグデータ活用

- 線状降水帯を生み出す湿った空気や、台風を取り巻く大気や海洋について、衛星等の観測ビッグデータを活用し、“地球の現在を的確に捉え”、高精度の予測を可能に

② 日本の気象を世界最高の精度と解像度でシミュレーション

- 最新のスーパーコンピュータとシミュレーション技術により、熱波・寒波など大規模現象から台風、線状降水帯を構成する積乱雲まで、詳細かつ高精度に“日本の気象を予測”

③ 確率予測とAI技術の融合による意思決定支援

- 集中豪雨時の避難から地球温暖化の適応策まで、その予測情報に加えて予測の不確実性を利用者に分かりやすく伝えて“意思決定に貢献”

5. 開発マネジメントの強化

技術革新の実現には開発マネジメントの強化が必須

① 幅広い連携の推進

- 産学官オールジャパンの連携を実現するとともに、国際的連携も強化し、数値予報に関する研究と開発を力強く推進

② 開発者の育成と確保

- 世界最先端の科学技術に基づいた開発を実現するため、多様な人材の活躍を推進し、高度専門家や開発リーダーを育成

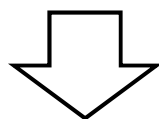
③ 研究・開発基盤の整備

- スーパーコンピュータ、AI等基盤ソフトウェアなどの研究・開発を支える最先端のハード・ソフトを重点的に強化

○2030年に向けた数値予報技術開発重点計画

第4回数値予報モデル開発懇談会（令和元年12月17日）

- 重点計画の開発線表は、同計画で示された開発の方向性を踏まえて作成されている。＜中略＞社会のニーズや最新の研究成果を踏まえつつ、開発線表を適切に見直すことが重要。



- 重点計画を踏まえ、必要な技術開発に基づき開発線表を作成、**随時見直しを実施**
- **計画に沿って開発を継続**
 - 前回以降（令和3年3月以降）、**全球・局地数値予報システム、全球アンサンブル予報システム、波浪アンサンブル、高潮モデル等の改良を実施**

「2030年に向けた 数値予報技術開発重点計画」 の取組状況と課題

- 前回懇談会でのご意見と回答
- はじめに 重点計画の確認
- **開発の方向性と必要な技術開発**
- 令和3年度の進捗
- 線状降水帯豪雨災害を踏まえた開発の見直し
- 令和4年度の計画、開発線表
- まとめ

各重点項目における 現状と課題・開発の方向性 (数値予報技術開発重点計画資料)

①豪雨防災

現状と課題

- ・局地モデルでは、線状降水帯の現実的表現がある程度可能。
しかし半日前から時間と場所を絞った予測は困難、かつ不確実性も高い
- ・積乱雲の表現には解像度不足、また高解像度に適した物理過程が必要
- ・初期状態において、水蒸気量や細かい風の精度が不十分

開発の方向性

- ・キロメートル以下の高解像度局地モデル
- ・集中豪雨の不確実性を捕捉可能なアンサンブル予報システム
- ・IoT機器含む、次世代観測による時間的、空間的、観測波長的に高密度な観測ビッグデータをAI等を活用した最先端の同化技術で活用
- ・集中豪雨のメカニズム研究等、最新の科学的知見の結集

②台風防災

現状と課題

- ・台風に伴う豪雨・高潮の3日より先の予測には、地球全体から日本周辺の詳細な予測まで幅広いスケールの現象を高精度に取り扱うことが必須
- ・全球モデルでは、特に台風進路の予測精度を飛躍的に向上することが必要
- ・台風周辺の気象場について、初期状態での精度が不十分

開発の方向性

- ・全球、領域、高潮等海関連モデル、及びアンサンブル予報等を組み合わせた、最適な階層的モデル・システムの開発
- ・台風の構造をより正確に表現可能な、高解像度全球モデル及び領域モデル、また、10km以下の解像度により適した新しい物理過程の開発
- ・衛星データ等の観測ビッグデータを、雲域を含む全ての天候において、かつ高解像度・高頻度に利用
- ・モデルパラメータ最適化やデータ品質管理等でAI技術を活用

③社会経済活動への貢献

現状と課題

- ・生産・流通計画の最適化をはじめ、社会経済活動において、半年程度先までの予測を本格的に利用するには精度が不十分
- ・予測対象とする現象に応じて、効率的・効果的に予測する技術が必要

開発の方向性

- ・熱波・寒波や海水温、日射量など、様々な気象現象・要素を高精度に予測し、かつ現業的に提供可能な、階層的な地球システムモデルを開発

※階層的な地球システムモデル:用途に応じた複数の数値予報モデルの開発において、モデル間で共有できるコンポーネント(大気、海洋、陸面、エアロゾル等)の階層的な組み合わせや、モデルの入出力のスムーズな組み合わせを可能にするモデル

- ・数か月先の予測に重要な海洋の渦を精緻に表現可能な高解像度海洋モデル
- ・陸面、海洋、海氷、エアロゾルなど地球システムのデータ同化の高度化

④温暖化への適応策

現状と課題

- ・国や自治体で必要となるきめ細やかな温暖化予測情報作成には、関係機関との連携のもと、高精度かつ詳細な予測が必要
- ・詳細な予測の基本となる地球規模の温暖化予測の不確実性は依然大きく、精度向上が必要

開発の方向性

- ・温暖化を地球規模で予測するための、大気、陸面、海洋、雪氷、エアロゾル等の相互作用を精緻に扱うことが可能な高精度な地球システムモデルを開発
- ・数10年から100年先までの地球温暖化に伴う台風・大雨などの極端現象や海水温・海面水位などの変化を予測する大気や海洋の高解像度地域気候モデルを開発
- ・国や自治体、民間による温暖化適応策の策定のための統一的かつ詳細な温暖化予測情報の提供

重点目標達成のために 必要な技術開発

①豪雨防災

必要な技術開発

○キロメートル以下の高解像度局地モデル

- ・局地モデルの物理過程改良と高解像度化
- ・局地解析のハイブリッド化、更に最先端同化技術活用
- ・陸面・湖面解析の高度化

○集中豪雨の不確実性を捕捉可能なアンサンブル予報システム

- ・局地アンサンブル予報システムの運用・改良
- ・メソモデル及びメソアンサンブルを基本にAI等の最先端技術を利用したアプリケーション開発

○高密度な観測ビッグデータをAI等を活用した最先端の同化技術で活用

- ・地上及び衛星リモートセンシングデータ利用の拡充
- ・観測誤差相関を考慮した同化技術の開発

②台風防災

必要な技術開発

○最適な階層的モデル・システムの開発

- ・全球・メソによる階層的システムの開発
- ・高潮モデル・波浪モデルの高度化

○高解像度全球モデル及び領域モデル、また、10km以下の解像度により適した新しい物理過程の開発

- ・全球及び全球アンサンブルの水平及び鉛直高解像度化
- ・全球及びメソモデルの物理過程高度化
- ・メソ及びメソアンサンブルの鉛直高解像度化

○衛星データ等の観測ビッグデータを、雲域を含む全ての天候において、かつ高解像度・高頻度に利用

- ・全球解析ハイブリッド化
- ・メソ全天輝度温度同化及びメソ解析ハイブリッド化
- ・高密度な観測ビッグデータの利用
- ・陸面・湖面解析の高度化
- ・全球高解像度海面水温解析の開発

○モデルパラメータ最適化やデータ品質管理等でAI技術を活用

- ・AI技術を活用した新規物理過程の開発

③社会経済活動への貢献

必要な技術開発

以下の技術開発を行い、季節内～季節、海洋、大気微量物質等に関する予測システムを改良

○地球システム要素モデル及びデータ同化に関する改良

- ・海洋の渦を精緻に表現可能な高解像度海洋モデルの開発等、モデルの高解像度化・高度化
- ・大気微量物質の衛星等観測データの同化技術の開発等、データ同化の高度化及び観測データの利用

○段階的な地球システム要素の導入

- ・地球システム要素の導入による、諸現象や極端現象の再現性評価や予測可能性への影響調査
- ・予測精度向上に有効で、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み、階層的な地球システムモデルを構築
- ・結合同化の開発等、地球システムのデータ同化の高度化

④温暖化への適応策

必要な技術開発

- 温暖化予測のための新しい地球システムモデルの開発
 - ・現業全球大気モデルを導入し、降水や雲・放射過程等を高度化して気候再現性を高め、高精度化・高機能化した陸面や化学のモデル等を導入
- 現業非静力学モデル asuca をベースとした領域気候モデルの開発
 - ・気候計算での性能評価と性能向上に向けた拡張、また、気温・降水量に加えて風、日射、湿度などの温暖化プロダクトを検討
- 新しい温暖化予測実験システムの開発
 - ・大気海洋結合過程を取り込んだ温暖化プロダクト生成と、詳細海洋モデルをネストして海洋温暖化プロダクトを検討
- 現業二酸化炭素モデルと地球システムモデルとの統合
 - ・地球システムモデルで二酸化炭素等をトレーサに加え、モデル内での化学プロセス表現を精緻化しその気候影響を評価、また二酸化炭素情報の高度化を検討

部外連携が必要な技術開発例

豪雨・台風防災

- ・グレーゾーンの物理過程(対流の扱い) ・機械学習を活用したモデル開発
- ・線状降水帯の予測の不確実性を捉えるためのアンサンブル摂動作成手法
(局地アンサンブルに最適な摂動作成)
- ・観測ビッグデータの活用 ・豪雨事例などのメカニズム解明
- ・エクサ級スパコン向け高速化(単精度化、GPU対応、最適な格子系など)

社会経済活動への貢献

- ・季節内～季節予測で対象とする諸現象や極端現象の再現性評価
- ・地球システム要素の季節内～季節予測への影響調査
- ・大気海洋結合データ同化・大気陸面結合データ同化の開発
- ・化学輸送モデル・データ同化技術の高度化

温暖化への適応策

- ・陸面モデルの高度化
- ・地球システムモデルの物質循環、生態系、氷床モデル開発
- ・温暖化予測モデル出力の精度検証と適応策への貢献
- ・エアロゾルの発生・変質等の詳細過程のモデル化
- ・温室効果ガス観測データを用いた炭素循環解析の高度化
- ・大量のデータ管理およびデータの配信システムの整備

「2030年に向けた 数値予報技術開発重点計画」 の取組状況と課題

- 前回懇談会でのご意見と回答
- はじめに 重点計画の確認
- 開発の方向性と必要な技術開発
- **令和3年度の進捗**
- 線状降水帯豪雨災害を踏まえた開発の見直し
- 令和4年度の計画、開発線表
- まとめ

令和3年度の主要な進捗

①豪雨防災②台風防災

○日本域高潮モデルの改良(令和3年4月)

- ・台風ポーガスの作成手法改良

台風時の高潮予測の改善

○全球解析における観測データ利用手法の改良(令和3年6月)

- ・雲・降水域で利用するマイクロ波放射計データの拡充
- ・米国静止気象衛星GOES-17から得られる大気追跡風及び晴天放射輝度温度データの利用開始
- ・航空機の気温観測データのバイアス補正手法の改良

北半球500hPa高度予測改善
台風進路予測の改善

○全球モデルの物理過程改良・水平解像度強化(開発継続、1月に準ルーチンシステムへ導入予定)

- ・準ルーチンシステム導入後も継続して開発を実施。物理過程改良を積み増しの上、来年度現業化予定

○全球アンサンブル予報システムの改良(3月に現業化予定)

- ・高解像度化、物理過程の改良、海面水温予測値の利用の改良

○メソモデルの予報時間延長・物理過程改良・鉛直層数増強(開発継続、3月に現業化予定)

- ・メソモデルの予報時間を78時間に延長(9時、21時初期値予測)
- ・物理過程改良(海洋混合層モデルの導入、境界層・乱流、雲物理・積雲、放射の各過程の改良)
- ・鉛直層を76層から96層に増強。利用可能な衛星観測データ(輝度温度データ、掩蔽観測データ)の増加
将来のハイパースペクトル赤外サウンダデータ利用へ繋がる変更

○全球・メソ・局地解析における観測データ利用(開発継続、影響確認後、随時導入)

- ・雲・降水域の衛星観測データ利用高度化、メソ・局地解析でのハイパースペクトル赤外サウンダデータ利用
- ・高頻度・高密度な観測ビックデータの利用、赤外輝度温度データの雲域での利用
- ・掩蔽観測データ利用高度化、未使用観測データの利用開発、既存データの利用高度化

○局地解析におけるハイブリッド同化システム導入(開発継続、3月に現業化予定)

- ・データ同化で背景誤差相関を気象条件に応じた不確実性の違いを扱うアンサンブル手法と従来手法とを組み合わせたハイブリッド手法を導入

全球解析における観測データ利用手法の改良 (R3年6月現業化)

- 観測データ利用手法の改良項目
 - 雲・降水域で利用するマイクロ波放射計データの拡充(ATMS, SSMIS, SAPHIR, MWHS-2)
 - 米国静止気象衛星GOES-17の大気追跡風及び晴天放射輝度温度データの利用開始
 - 航空機の気温観測データのバイアス補正手法の改良
- 北半球500hPa高度の予測誤差が夏季、冬季ともに減少し予測精度改善
- 台風の進路予測誤差が期間中の全ての事例の平均で減少し予測精度改善
- これらの予測精度の改善は、観測データ利用手法の改良によりGSMの初期値の精度が向上したことによる。

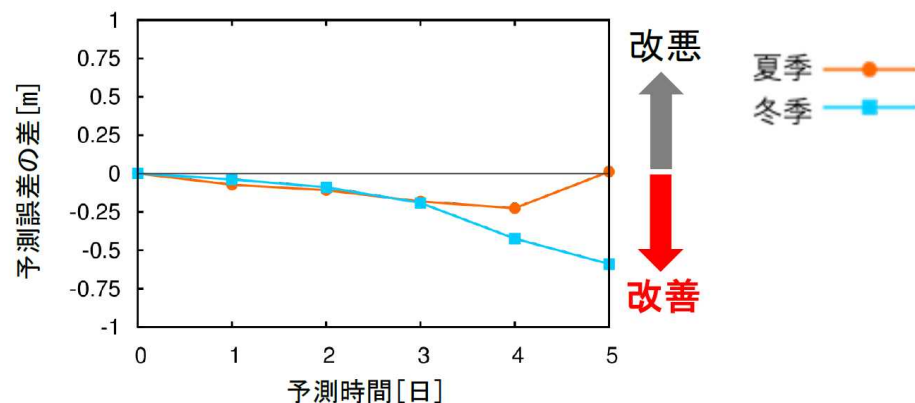


図1. 2020年7~9月(橙色、夏季)と2019年12月~2020年2月(水色、冬季)の北半球500hPaジオポテンシャル高度の予測誤差(二乗平均平方根誤差)の変更前後の差の平均。単位はm。負の値は、変更後で予測誤差が改善していることを示す。横軸は予測時間。単位は日。

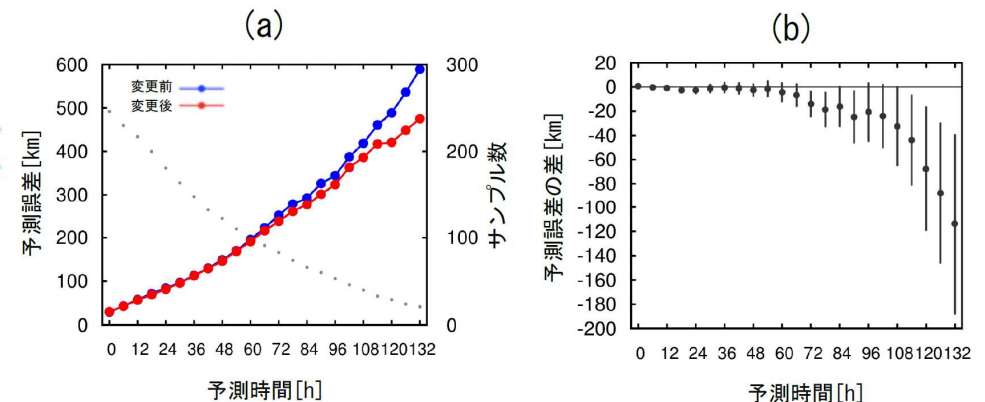


図2. (a) GSMによる台風中心位置予測誤差(単位はkm)の比較。実験期間中(夏季:2020年6月20日~10月11日)に存在した台風に関する平均を示す。検証には気象庁のベストトラックを用いた。青は変更前、赤は変更後。横軸は予測時間(単位は時間)。灰色点はサンプル数(右軸)。(b) 変更後と変更前の台風中心位置の予測誤差の差。エラーバーは95%信頼区間を表す。負の値は、変更後で予測誤差が減少していることを示す。

全球アンサンブル予報システムの改良

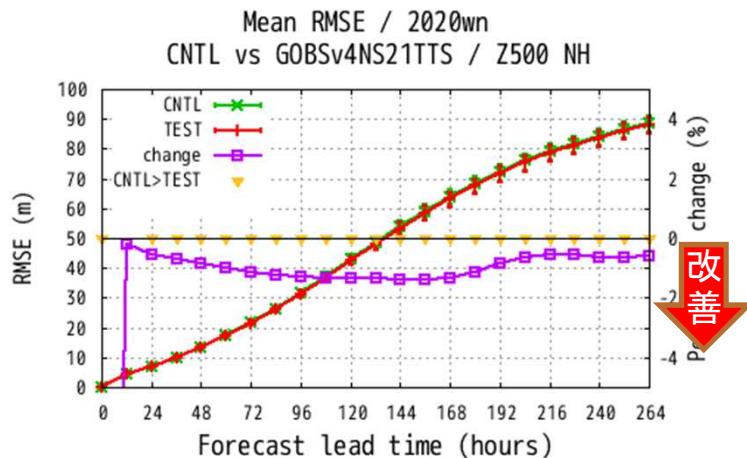
(R4年3月現業化予定)

改良項目

- 予報モデルの更新と水平高解像度化(約40km⇒約27km)
- 2段階SST法におけるCPS3の利用と緩和期間変更
- SV初期摂動の振幅調整

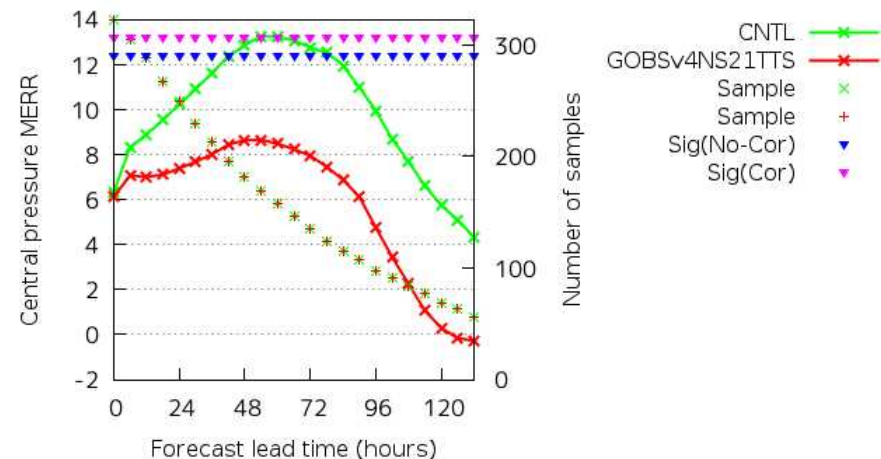
改良の効果により、多くの要素で改善が見られた。

台風の進路予測精度は中立、接近確率は改善傾向、中心気圧の正バイアスは緩和



2019/2020年冬(約3か月間)のアンサンブル平均の北半球500hPaジオポテンシャルの予測誤差(二乗平均平方根誤差) 緑:変更前、赤:変更後、紫:変化率[±5%のレンジ]、水色▲:有意に改悪、黄色▼:有意に改善

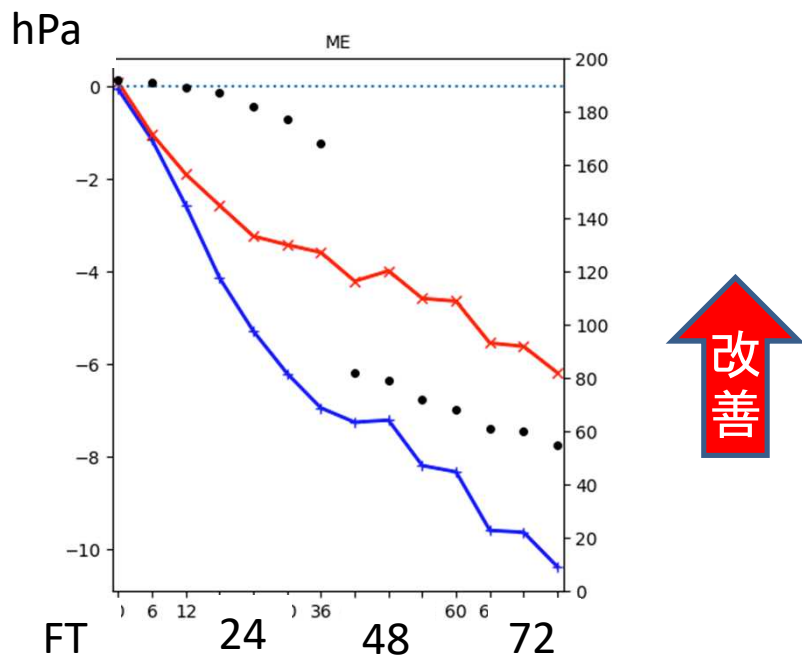
of Central pressure MERR (CRUN, GOBSv4NS21TTS vs CNTL, AL)



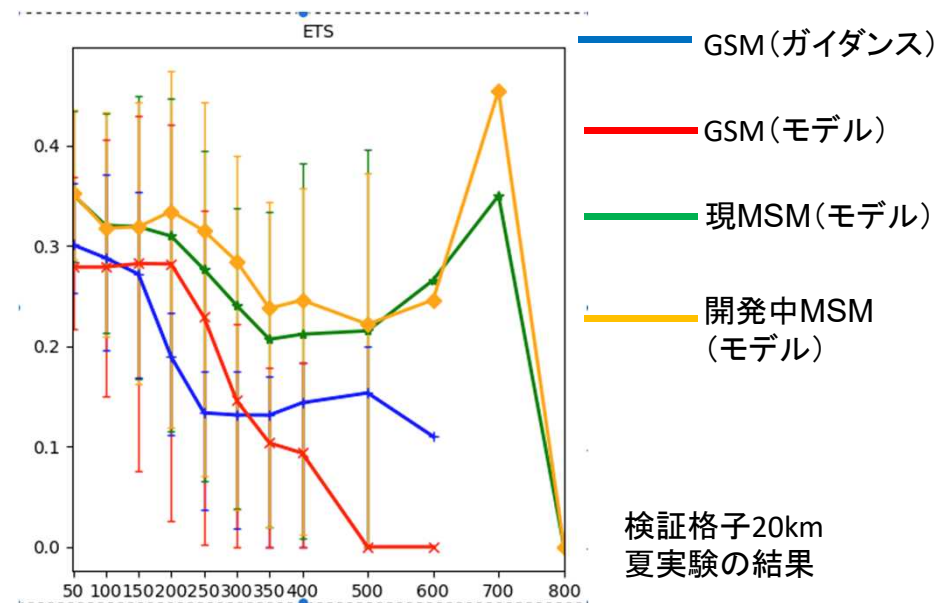
2020年(夏冬合計約6か月間)のコントロールランの台風中心気圧平均誤差 緑:変更前 赤:変更後

メソモデルの改良 (R4年3月、6月現業化予定)

- 改良項目
 - 物理過程の改良 (海洋混合層モデルの導入等)
 - 大気上端の引き上げ (約22km \Rightarrow 約38km) 鉛直層数増強 (76層 \Rightarrow 96層)
 - 予測時間延長 (51 \Rightarrow 78時間)
- 海洋混合層モデルの導入などにより台風の過発達傾向が低減された。
- 72時間積算降水量の予測精度はGSMガイダンスを上回る見込み。



台風中心気圧予測の平均誤差 青:変更前、赤:変更後



72時間積算降水量の予測精度 (ETS)

検証格子20km
夏実験の結果

令和3年度の主要な進捗

③社会経済活動への貢献

- 全球アンサンブル予報システムの改良（開発継続、3月に現業化予定）
- 日本沿岸海況監視予測システムの海氷予測改善（開発継続、1月に現業化予定）
- 次期季節アンサンブル予報システムの開発（開発継続、1月に現業化予定）
 - ・大気海洋結合モデルの高解像度化・改良、海洋同化手法の高度化等
- 気象庁第3次長期再解析（JRA-3Q）の実施（計算継続、年度内に一部期間の先行公開）

④温暖化への適応策

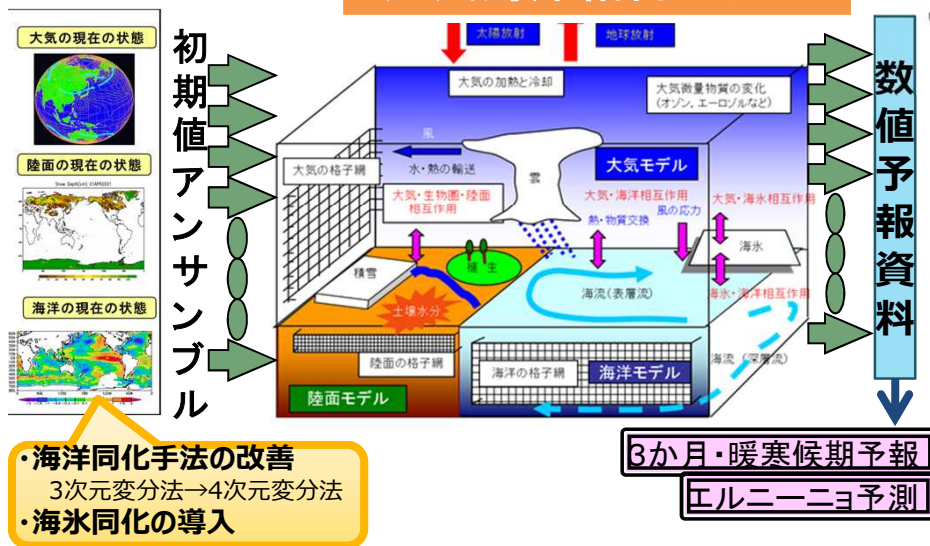
- GSMベースの新地球システムモデル（MRI-ESM3）の開発（開発継続中）
 - ・GSMへの海洋・大気化学モデルの結合および陸面モデルの気候モデル化作業と、高解像度化に向けた大気の新力学フレームの成果のとりまとめを実施中
- asucaベースの新地域気候モデルの開発（開発継続中）
 - ・JRA55からのダウンスケールによる性能評価実験（15年）を実施し、良好な結果を得た
 - ・スペクトルナッジング内のパラメータに対する感度実験を実施中
- 新温暖化予測実験システムの開発（開発継続中）
 - ・プロトタイプ版を用いた感度実験等を実施し、予測特性に加えて予測の不確実性の幅を要因別に評価した
 - ・次期の気候変動に関する統一的な見解及びデータの提供（「日本の気候変動2025」等）への活用を想定したシステムの改良（大気モデル高解像度化（120/60km⇒60/20km）、北太平洋海洋10kmモデルネスティングの導入等）を実施中

次期季節アンサンブル予報システムの開発 (R4年1月現業化予定)

次期季節アンサンブル予報システム (EPS) では、大気海洋結合モデルの高解像度化・改良や海洋同化手法の改善等を行った。その結果、現行の季節EPSと比べて、ほぼ全要素の予測精度評価指標 (アノマリー相関) の向上、季節予報に重要なエルニーニョ現象等の再現性の改善がみられた。

- ・高解像度化
 - 大気：水平高解像度化 (110km→55km) ・鉛直層増強 (60層→100層)
 - 海洋：水平高解像度化 (50~100km→25km) ・鉛直層増強 (52層→60層)
- ・物理過程の改良

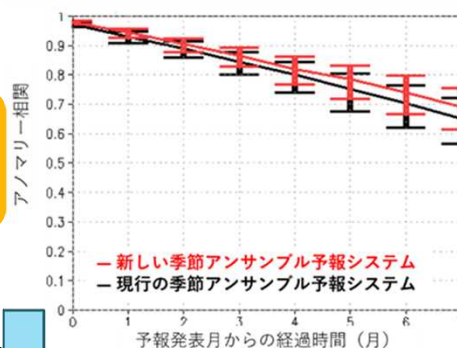
大気海洋結合モデル



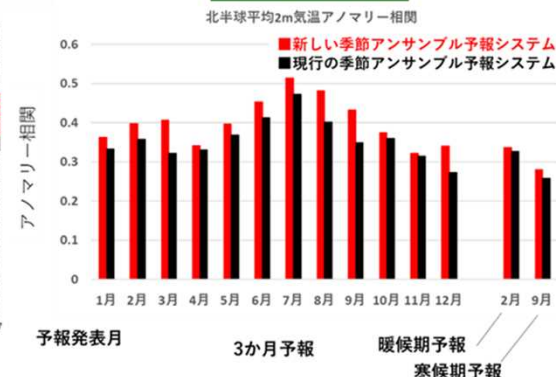
- ・海洋同化手法の改善
 - 3次元変分法→4次元変分法
- ・海氷同化の導入

季節EPSの模式図

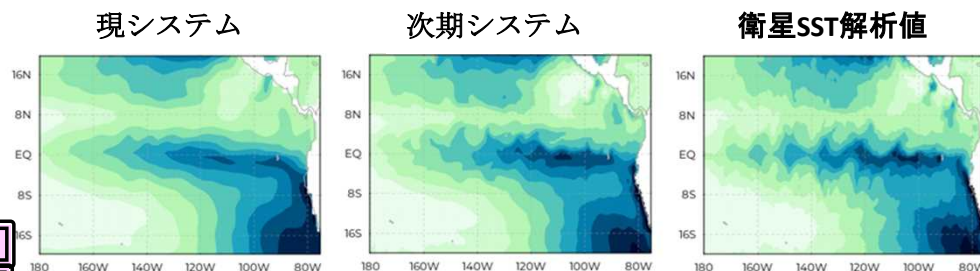
エルニーニョ現象の予測精度



季節予報の予測精度



次期季節EPSと現行季節EPSの予測精度比較



熱帯不安定波動の予測表現 1999年12月12日00UTC
初期値の10-14日予測平均 (12/22-26)海面水温SST予測値 [K]

「2030年に向けた 数値予報技術開発重点計画」 の取組状況と課題

- 前回懇談会でのご意見と回答
- はじめに 重点計画の確認
- 開発の方向性と必要な技術開発
- 令和3年度の進捗
- **線状降水帯豪雨災害を踏まえた開発の見直し**
- 令和4年度の計画、開発線表
- まとめ

線状降水帯の予測精度向上等に向けた取組の強化・加速化

線状降水帯の予測精度向上を前倒しで推進し、予測精度向上を踏まえた情報の提供を早期に実現するため、水蒸気観測等の強化、気象庁スーパーコンピュータの強化や「富岳」を活用した予測技術の開発等を早急に進める。

観測の強化

- ・陸上観測の強化・・・マイクロ波放射計、アメダス、高層気象観測装置
- ・気象衛星観測の強化・・・極軌道気象衛星受信装置、最新センサ活用に係る技術開発
- ・局地的大雨の監視の強化・・・気象レーダー
- ・洋上観測の強化・・・「凌風丸」代船建造、船舶GNSS観測の拡充

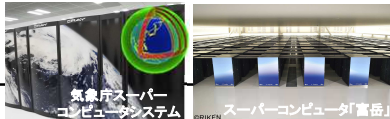


次期ひまわり (令和10年度までに打上げ)

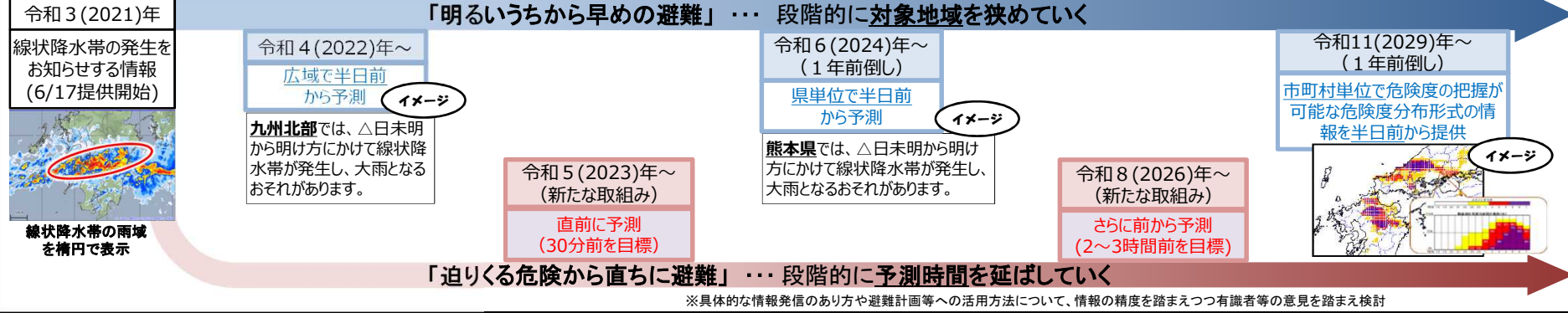


予測の強化

- ・高度化した局地アンサンブル予報等の数値予報モデルによる予測精度向上等を早期に実現するためのスーパーコンピュータシステムの整備
- ・線状降水帯の機構解明のための、梅雨期の集中観測、関連実験設備（風洞）の強化
- ・「富岳」を活用した予測技術開発



情報の改善



線状降水帯による豪雨災害を踏まえた 数値予報モデル開発計画の見直し(1/2)

実施済み

- 令和3年6月1日から船舶GNSS可降水量データの利用を準ルーチンで利用開始、8月31日から現業利用開始
 - 集中豪雨の発生が予測される上流域(東シナ海)で観測された船舶GNSS可降水量データをメソ解析で利用開始(気象庁の気象観測船、海上保安庁の測量船)

実施予定

- 全球モデル(GSM)の水平高解像度化(20kmから13km)を準ルーチンシステムへ導入、後続のメソモデルの降水予測への影響をリアルタイムに評価
 - 令和4年度末の全球モデルの高解像度化に先だって後続システムへの影響(メソモデルの線状降水帯に伴う豪雨予測精度)の評価を行う。物理過程の改良項目を積み増して令和4年度末の現業化を計画。
- 地域気象観測所(アメダス)における相対湿度データの数値予報での利用開発
 - アメダス湿度データについて、局地解析での利用(令和4年度末)、メソ解析での利用(令和5年度末)を目標に開発を進めている
- 各種地上リモートセンシングデータの利用開発
 - 国土地理院の地上GNSS可降水量データの利用高度化、地上設置型マイクロ波放射計データ利用に向けた開発※、二重偏波レーダーの利用高度化を進める

※次項の加速化・前倒し検討の項目

線状降水帯による豪雨災害を踏まえた 数値予報モデル開発計画の見直し(2/2)

加速化・前倒し
項目

- 令和4年度から気象研究所・国内大学・研究機関が実施予定の集中観測等による線状降水帯機構解明研究で行われる観測データの利活用を予定
 - 集中観測によるリアルタイム観測データ(船舶GNSS可降水量データ、高層観測データ等)の現業数値予報のデータ同化での利用を予定
 - 集中観測データの現業数値予報の評価・検証での利用を予定
- 局地モデル(LFM)の水平高解像度化1kmの開発を加速化
 - スーパーコンピュータ「富岳」を利用して1km LFMの開発を開始。現在のルーチンの計算領域に比べて狭い領域で計算(例:西日本領域)し、来年度の出水期にリアルタイムで1kmの水平高解像度LFM(狭領域)を富岳で実行することを計画。高解像度1kmに適した物理過程の開発を進め、令和7年度末の現業化を計画。
- 局地アンサンブル予報システム(LEPS)の開発を前倒し
 - LEPSは、次期計算機で水平解像度2kmで17メンバーの構成で計画していたが、メンバー数を増強し、水平解像度2kmで50メンバーの構成として計画変更。スーパーコンピュータ「富岳」を用いた開発に着手。令和7年度末の現業化を計画。
- 高度化した局地アンサンブル予報等の数値予報モデルによる予測精度向上等を早期に実現するためのスーパーコンピュータシステムを整備

「2030年に向けた 数値予報技術開発重点計画」 の取組状況と課題

- 前回懇談会でのご意見と回答
- はじめに 重点計画の確認
- 開発の方向性と必要な技術開発
- 令和3年度の進捗
- 線状降水帯豪雨災害を踏まえた開発の見直し
- **令和4年度の計画、開発線表**
- まとめ

令和4年度の主な数値予報改善・開発計画

①豪雨防災②台風防災

○全球モデルと全球アンサンブル予報システムの改良(R4年度末)

・水平解像度の強化、物理過程の改良、等

○全球数値予報システムにおける観測データ利用手法改良(R4年度中)

・輝度温度同化の放射伝達モデル更新、大気追跡風データ利用高度化、陸域マイクロ波放射計データ利用高度化、観測誤差・観測密度最適化、等

○メソ数値予報システムとメソアンサンブル予報システムの改良(R4年度末)

・メソ解析へのハイブリッド同化の導入、摂動作成手法の改良

○メソ数値予報システムにおける観測データ利用手法改良(R4年度中)

・船舶GNSS可降水量データ利用高度化、輝度温度同化の放射伝達モデル更新、マイクロ波輝度温度データの雲・降水域利用、ハイパースペクトル赤外サウンダデータの利用、等

○局地数値予報システムの改良(R4年度末)

・局地モデルの物理過程の改良、スーパーコンピューター「富岳」を用いた1kmLFMの開発

○局地アンサンブル予報システムの改良

・スーパーコンピューター「富岳」を用いた2km 50メンバー構成のシステム開発、摂動作成手法の開発、等

○局地数値予報システムにおける観測データ利用手法改良(R4年度中)

・アメダス湿度データの利用開始、輝度温度同化の放射伝達モデル更新、等

○高潮モデルの改良(R4年度前半)

・アジア域高潮モデルの沿岸部の高解像度化、日本域高潮モデルのアンサンブルメンバー数増強、等

○波浪モデルの改良(R4年度半ば)

・全球波浪モデルの水平解像度の強化、等

令和4年度の主な数値予報改善・開発計画

③社会経済活動への貢献

○より高品質な長期再解析プロダクトの提供(R4年度後半～)

・気象庁第3次長期再解析(JRA-3Q)の全期間の公開

④温暖化への適応策

○GSMベースの新地球システムモデル(MRI-ESM3)の開発

・高解像度化のための物理過程の成果とりまとめ、陸面モデルの気候モデル化およびGSMへの海洋・大気化学モデルの結合過程の高度化を継続

○asucaベースの新地域気候モデルの開発

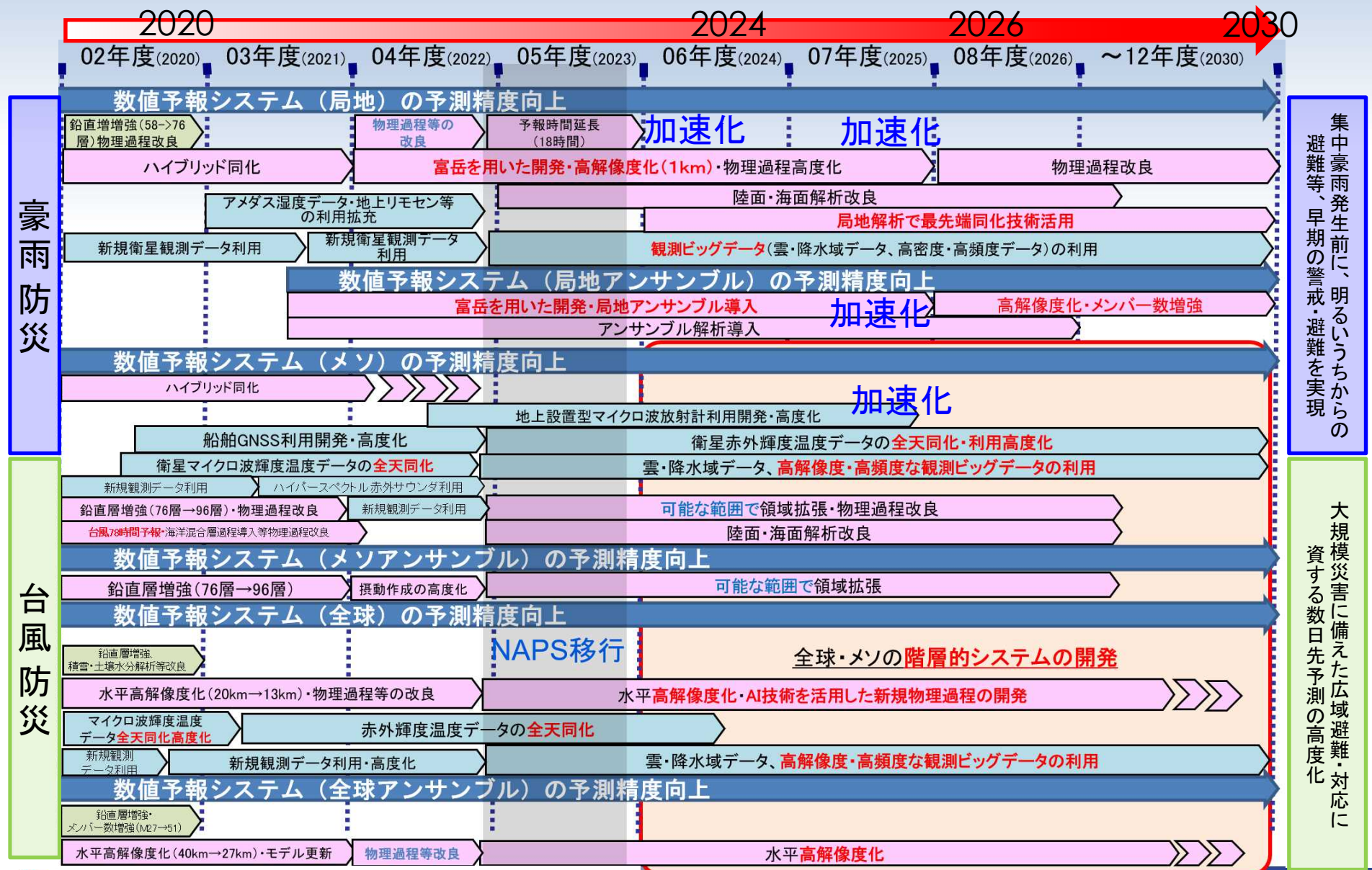
・地球シミュレータへの移植、都市モデル導入の検討等

○新温暖化予測実験システムの開発

・「日本の気候変動2025」等への活用を想定したシステム改良の継続、プロダクト作成に向けた実験仕様の検討等

重点計画の目標に向けた主要な開発計画

ピンク、モデル改良 青、観測 赤字、重点計画にある文言 青字、昨年度からの更新

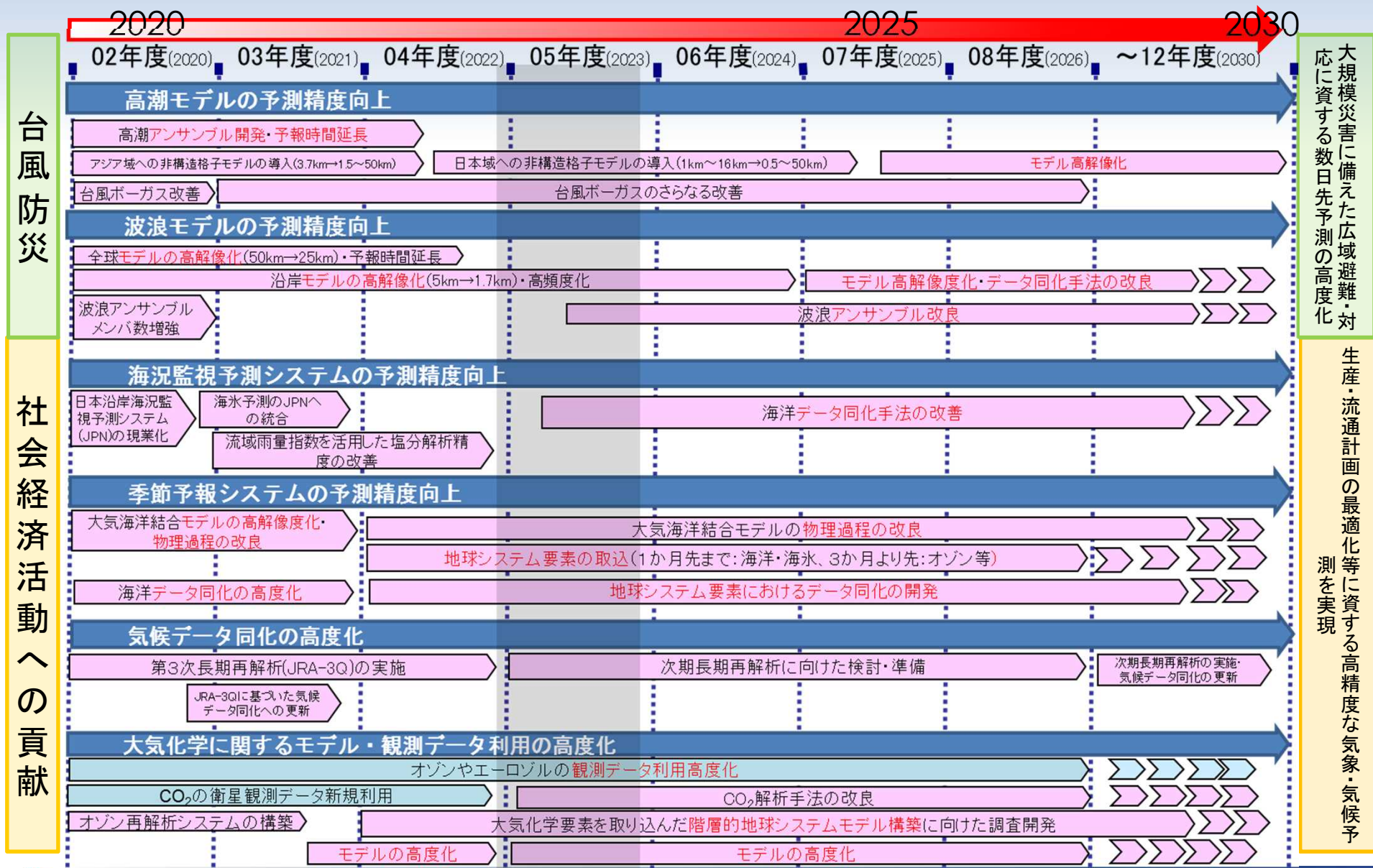


集中豪雨発生前に、明るいうちからの避難等、早期の警戒・避難を実現

大規模災害に備えた広域避難・対応に資する数日先予測の高度化

重点計画の目標に向けた主要な開発計画

ピンク、モデル改良 青、観測 赤字、重点計画にある文言



重点計画の目標に向けた主要な開発計画

ピンク、モデル改良 オレンジ、プロダクト計算・提供 白、適応策に資する事項



まとめ

- 「2030年に向けた数値予報技術開発重点計画」
 - 開発の方向性に基づく必要な技術開発
 - 開発線表の更新
 - 線状降水帯の予測精度向上に向けた取組の強化・加速化
 - 重点計画の目標達成に向けた開発を継続
 - 令和3年1月以降の開発進捗について紹介
- ご議論をお願いしたいポイント
 - 重点計画の目標達成に向けた当庁の開発計画について