

**「2030 年に向けた数値予報技術  
開発重点計画」の補強**

令和8年6月

気象庁

## はじめに

近年、我が国では、線状降水帯による豪雨災害や台風による被害の激甚化・頻発化、地球温暖化の進行とこれに伴う気候変動の影響の顕在化など、自然災害の社会への影響はより深刻なものとなっています。同時に、台風の接近が予想される場合の鉄道や航空機の計画的な運休や、河川の氾濫リスクを軽減するためのダムの事前放流など、社会経済活動における事前の意思決定やリスク管理において、気象情報が活用される事例が増えてきています。こうした中、気象情報の基盤となる数値予報の更なる精度向上に対する社会からの期待は、これまでになく高まっています。

気象庁は、平成30年10月に策定した「2030年に向けた数値予報技術開発重点計画」に基づき、数値予報モデルの高度化や観測データの高度利用をはじめとした、気象予報精度向上に向けた各種技術開発を進めてまいりました。とりわけ、近年相次ぐ豪雨災害を背景に、線状降水帯の予測精度向上を喫緊の課題として位置付け、気象庁の「線状降水帯予測スーパーコンピュータ」や国立研究開発法人理化学研究所のスーパーコンピュータ「富岳」を活用し、予測精度向上につながる開発成果の実用化を当初計画より前倒しして実施するなど、重点的かつ加速的に取り組んでまいりました。

一方で、この数年間において、数値予報を取り巻く技術環境は大きく変化しました。特に、AI（人工知能）技術は急速な技術進展を遂げています。令和7年には人工知能基本計画が閣議決定され、AI技術が防災を含む安全・安心な社会の実現にも直結する重要な技術として位置付けられ、その研究開発と利活用を国家戦略として推進し、社会実装の加速を通じた経済・社会構造の変革を目指すことが示されました。気象予報の分野においても、先端AI技術による技術革新により、台風進路予測精度向上や予報を支援するガイダンスの高度化などの、これまでの延長線上にはない新たな可能性が、現実のものとなりつつあります。これらの変化を背景として、令和7年6月の交通政策審議会気象分科会において、『2030年の科学技術を見据えた気象業務のあり方』の補強が取りまとめられました。線状降水帯の予測精度向上とともに、台風情報の高度化や気候変動情報の高度化、さらに先端AI技術の活用などが講じるべき施

策として示されています。先端A I技術は予測精度の向上に大きな可能性を秘めており、各国での導入状況を見ても、我が国での先端A I技術を活用した予測技術の導入は喫緊の課題となっております。

加えて、スーパーコンピュータをはじめとする計算基盤の変化、先端A I技術や計算機の変化に対応可能な人材の確保などでも数値予報の技術開発を取り巻く環境は大きく変化しています。これらの新たな社会的要請と状況の変化に対応するためには、これまで進めてきた数値予報技術開発の成果と課題を整理し、取組を一層強化していくことが不可欠です。

このことから、今般「『2030年に向けた数値予報技術開発重点計画』の補強」を策定しました。本補強は、平成30年の「2030年に向けた数値予報技術開発重点計画」を基礎としながら、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』の補強」をはじめとする近年の社会的要請や技術動向を踏まえ、重点的に実施する数値予報技術開発計画を補強するものです。本補強は、気象現象を表す物理法則を数値シミュレーションする数値予報モデルを更に高度化するとともに、近年急速に実用化が進むA I気象モデル等の先端A I技術を本格的に活用し、両者を両輪として相互に補完させながら、数値予報技術開発を力強く推進していくことを基本的な考え方としています。これにより、防災への貢献を一層強化していきます。

本補強の策定に当たっては、国際的な科学技術の動向を分析し、併せて関連する分野の専門家によるご検討もいただきました。ここに、関係する全ての皆様に深く感謝申し上げます。気象庁は、本補強に基づき、関係機関や大学等の研究機関との連携を一層強化し、産業界など新しい連携相手を幅広く模索しながら、数値予報技術開発を戦略的かつ着実に推進してまいります。本補強が、防災をはじめとする様々な分野において社会を支える、数値予報技術の発展の指針となることを期待します。

令和8年6月

気象庁長官 野村 竜一

## ○目次

はじめに

### 1. 背景

## 2. 「2030年に向けた数値予報技術開発重点計画」のフォローアップ

### 2.1 重点目標に対する進捗と評価

- (1) 豪雨防災
- (2) 台風防災
- (3) 社会経済活動への貢献
- (4) 温暖化への適応策

### 2.2 技術革新の推進と開発マネジメント

- (1) 技術革新の推進
- (2) 開発マネジメント

## 3. 数値予報業務を取り巻く環境の変化と新たな要請

### 3.1 社会的要請の変化

### 3.2 スーパーコンピュータの動向変化

### 3.3 数値予報技術の新たな動向

## 4. 数値予報技術開発の方向性

### 4.1 物理モデルとAI気象モデル等先端AI技術の両輪での開発推進

### 4.2 物理モデル開発

### 4.3 AI気象モデル等の先端AI技術開発

## 5. 重点目標達成に向けた開発計画の補強

### 5.1 開発計画の補強

- (1) 豪雨防災
- (2) 台風防災
- (3) 社会経済活動への貢献
- (4) 気候変動対策への貢献

### 5.2 更なる開発マネジメントの強化

- (1) 産学官連携の推進
- (2) 開発人材の確保・育成
- (3) 開発基盤整備

おわりに

謝辞

## 1. 背景

気象庁は、平成30年8月の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」で示された気象業務を巡る現状認識を踏まえ、提言で示された「観測・予測精度向上のための技術開発」の一環として、平成30年10月に「2030年に向けた数値予報技術開発重点計画」（以下、「重点計画」という。）を策定した。以降、重点計画で掲げられた数値予報に関するビジョン「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」の実現に向け、重点計画に沿った技術開発を多くの関係者と連携しつつ推進してきた。

令和7年は重点計画の折り返しに当たる年であり、重点計画のフォローアップを実施するとともに、令和8年からは、重点計画における後半の開発を引き続き推進している。

一方で、分科会提言以降、先端AI技術の急速な進展や自然災害の頻発など、技術の進展や社会動向の変化がみられていることを踏まえ、令和7年6月、交通政策審議会気象分科会において「『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～」(以下、「分科会提言補強」という。)が取りまとめられた。同補強では、喫緊の課題である線状降水帯の予測精度向上に加え、台風や気候変動に関する情報高度化、先端AI技術の活用などを含む、今後の気象業務において重点的に強化すべき方向性が示された。分科会提言補強を受け、気象庁は、数値予報技術開発分野についても台風情報の高度化や気候変動情報の高度化に向けた数値予報技術開発及び防災気象情報の高度化のための先端AI技術の活用についての取組を始めている。

今般、分科会提言補強を契機とし、重点計画のフォローアップも踏まえ、また2035年より先の将来も見据えつつ、数値予報技術分野における最新技術動向を分析し、この先推進すべき研究開発項目を含む数値予報技術開発の方向性を「『2030年に向けた数値予報技術開発重点計画』の補強」（以下、「重点計画補強」という。）として策定する。

## 2. 「2030年に向けた数値予報技術開発重点計画」のフォローアップ

これまで気象庁は、数値予報に関するビジョンの実現に向けて重点計画に基づき技術開発を推進してきた。今般、今後の数値予報技術開発を更に推進するため、これまでの開発のフォローアップを実施した。

### 2.1 重点目標に対する進捗と評価

防災・減災、生産性革命、温暖化への適応策の重点分野について、「豪雨防災」、「台風防災」、「社会経済活動への貢献」、「温暖化への適応策」の四つの具体的な重点目標とそれぞれの開発マイルストーンを設定し、「数値予報モデル開発懇談会」での有識者による毎年の検討とともに、学官連携のもと技術開発を推進してきた。各重点目標に対する進捗をまとめるとともに、状況を分析して今後引き続き取り組むべき課題を整理した。

## (1) 豪雨防災

明るいうちからの避難等、早期の警戒・避難を実現するため、大雨の半日程度前から線状降水帯を構成するメソ降水系の発生と停滞を予測することを目指し、線状降水帯を構成する個々の積乱雲を表現可能な高解像度かつ精緻な予報モデル、線状降水帯が発生する環境場を捉えた高精度な初期値と境界値、そしてそれらの予測の不確実性を捉えるアンサンブル予報システムの開発を進めてきた。その開発においては、令和2年12月に発足した「線状降水帯予測精度向上ワーキンググループ」において、大学や研究機関の専門家の協力を得て線状降水帯に関する最新の研究の知見を取り入れるなど、学官連携を拡大しつつ予測精度の向上を進めてきた。

これらの線状降水帯の予測技術の開発については、「コロナ克服・新時代開拓のための経済対策」（令和3年11月19日閣議決定）で示された「線状降水帯、台風等による大雨等の予測精度向上等の防災気象情報の高度化対策」に沿って、令和3年以降、「観測の強化、予測の強化、情報の改善」の推進の一環として加速化を図っており、令和6年3月の水平解像度2kmの局地モデルの予報時間延長、令和8年3月の局地モデルの水平解像度2kmから1kmへの高解像度化及び物理過程の改良、また局地アンサンブル予報システムの運用開始など、一部項目について大幅な前倒しを達成した。局地モデルの高解像度化により積乱雲の表現能力が向上し、局地アンサンブル予報システムにより線状降水帯等による大雨をメソアンサンブル予報システムよりも高い確率で予測することが可能になった。

加えて、局地解析における令和3年8月の船舶GNSS観測データの利用開始や令和4年3月のハイブリッド同化（気象場に応じた予測誤差を考慮して解析値の精度を向上させる技術）の導入、令和5年3月の極軌道衛星搭載赤外サウンダの利用開始等による局地モデルの精度改善を進めた。また、数値予報モデルによる予測と機械学習を併用したガイダンスの技術開発を進め、令和4年6月に大雨発生確率ガイダンスの運用を開始し、線状降水帯予測の情報改善に貢献してきた。これらの成果は、線状降水帯の半日前予測（令和4年6月から地方単位、令和6年5月から府県単位で発表）や直前予測（令和8年5月から発表）等の情報の改善に活かされている。

残された課題として、対流の強さや降水域の停滞等の予測は依然として不十分であり、物理過程等の高度化を通じ、大気的不安定解消過程の表現や不安定の形成に関する環境場の表現の改良が必要である。また、今後整備が進むひまわり10号のハイパースペクトル赤外サウンダをはじめとした観測データの利用を拡充しつつ、観測データの品質管理やデータ同化技術の更なる向上も不可欠である。アンサンブル予測についても、対流の強さや降水域の停滞等の予測不確実性をより精緻に表現するための摂動の改良が重要である。

## (2) 台風防災

台風や前線による災害発生の3日前から、河川流域の雨量、高潮などの見通しを把握し、的確な広域避難を可能にするため、雨量と風の分布や高潮等について詳細で高精度、か

つ全体として整合性を持った数値予報プロダクトを作成することを目標に取組を進めてきた。その達成のため、台風の3日先の進路予測誤差を交通政策審議会気象分科会での「2030年の科学技術を見据えた気象業務のあり方」提言時の1日先の誤差（約100km）程度にまで改善することを重要な指標としている。

全球モデルについて、令和元年12月に衛星データの雲・降水域での利用等の観測データ利用改良及びハイブリッド同化の導入等を実施し、令和3年3月に鉛直層数を100層から128層に増強、また令和5年3月に水平解像度を20kmから13kmに高解像度化したほか、様々な物理過程の改良を継続的に実施して台風進路予測精度を着実に改善し、3日先の進路予測誤差を重点計画開始時点における年平均264kmから令和7年における年平均206kmまで改善した。

また、全球モデルの不確実性を捉える全球アンサンブル予報システムについて、水平解像度40kmから27kmへの高解像度化や物理過程改良を実施するとともに、アンサンブルのメンバー数を27から51に増強、また摂動作成手法（モデルアンサンブル手法）を高度化する等の改良を実施し、確率予測の精度向上を達成した。

メソモデルについては、台風強度予測の精度改善のため、物理過程の改良を継続して実施するとともに、台風等により海面水温が変化する効果を適切に表現するため、海上風に応じて海洋混合層と海面水温が変化する効果をパラメタライズした過程を導入する改良を実施した。また、令和4年3月に鉛直層数を76層から96層に増強した。メソモデルの不確実性を捉えるメソアンサンブル予報システムについては、令和元年6月の運用開始後、メソモデルの改良項目を適用して予測精度の向上を図るとともに、令和5年3月には物理過程の不確実性を考慮する物理過程摂動を導入するなど、順次改良を進めた。

ほかにも、全球モデルの台風進路予測に付加価値を与える形で、メソモデルや高潮モデルの78時間への予報時間延長、流域雨量予測に資する降水ガイダンス運用開始など、台風防災に資する新たなプロダクトの提供を順次拡大してきた。

全球モデル、メソモデル、高潮・波浪モデル等の開発においては、重点計画に掲げられた階層的モデル・システムの高度化の方針に沿い、全体として整合性を持った数値予報プロダクトを作成するための改良を実施してきた。また、全球モデルと季節アンサンブル予報システムや地球システムモデルの開発において改良項目の相互利用を推進するなど、開発の効率化も進めてきた。

残された課題として、台風進路予測誤差の目標達成に向けて環境指向流と台風構造の表現を更に改善するためには、全球モデルの更なる高解像度化と高解像度に適した物理過程の改良が必要不可欠である。また、ひまわり10号のハイパースペクトル赤外サウンダをはじめとした観測データの利用を拡充しつつ、観測データの品質管理やデータ同化技術の更なる向上も不可欠である。加えて、近年発展する深層学習技術を用いて気象予測を行う統計モデル（以下、「AI気象モデル」という。）の活用や、その学習データとなる高精度・高解像度な解析値の作成が必要である。特に、AI気象モデルについては台風進路予

測の精度を大幅に改善する可能性が示されており、その開発が重要になる。

### (3) 社会経済活動への貢献

数日から数か月先までの気象予測技術の高度化により、社会的に影響の大きい気象を高精度に予測し、事前対策や経済分野での生産性向上へ貢献するとともに、現象の特性に応じた詳細さと精度を持つ確率予測情報を作成することを目標として取組を進め、季節アンサンブル予報システムの更新により季節予報の精度を着実に改善する等、開発を進めてきた。

重点計画の策定以後、季節アンサンブル予報システムを第二世代（CPS2）から第三世代（CPS3）、さらに第四世代（CPS4）へと2世代更新し、大気モデルの物理過程改良や大気海洋モデルの高解像度化、海洋データ同化の高度化等により、熱帯の季節内振動に関する予測精度の大幅な向上や、北半球のアノマリー相関係数で見た予測スコアをおおむねどの発表予報月においても改善するなど、3か月予報や暖・寒候期予報の改善に貢献した。

2週間先から1か月先の予測についても、2週先までのアンサンブルのメンバー数を26から51に増強したほか、全球アンサンブル予報システムへの2段階海面水温法の導入と改良や、季節アンサンブル予報システムを用いた1か月予報の開始により、2週間先以降の予測で大気海洋相互作用の効果を考慮することなどを通じて、その予測精度を改善した。

ほかにも、令和2年10月における高解像度海洋データ同化・予測システムである日本沿岸海況監視予測システムの導入により、日本周辺及び沿岸域の海水温・海流・海氷予測を精緻化した。これにより、潮位情報の改善や詳細な海流・海水温情報の拡充に貢献した。

これらの開発においては、数値予報モデル間の開発連携を強化し、ほかの目標の開発成果を活用して開発の効率化を図ることで、社会経済活動への貢献に向けた開発を推進してきた。

また、数値予報の社会での利活用について、気象ビジネス推進コンソーシアムでは、本重点計画の開始以降も季節性商品の生産計画の最適化、電力や外食の需要予測などの利活用事例が数多く蓄積されつつある。本重点計画における数値予報の精度向上やプロダクトの改善は、社会における利活用の高度化や、一層の拡大を後押しすることが期待される。

残された課題として、3か月先までの冷夏・暖冬等の情報や、2週間先までの社会的に影響の大きい大雪等の顕著現象の情報、台風発生前の早めの備えを促す情報など、多様化するニーズに対応した季節予報の精度向上のため、物理過程改良や海洋データ同化の高度化が必要である。

### (4) 温暖化への適応策

平成30年6月の気候変動適応法成立を踏まえ、確度の高い予測情報の自治体単位での提供を目指し、地域気候モデルの高度化と、その地域気候モデルに大規模場のデータを与

える地球システムモデルの高度化、特に再現性改善を通じた予測の信頼性向上に取り組んできた。

これまでに、気候予測の水平高解像度化（全球 20km、地域 2 km）や、水平解像度 5 km の大アンサンブルデータセットの整備を実現し、台風の最大発達緯度等の再現性が向上したほか、整備の過程で地球システムモデルと地域気候モデルのモデル開発間連携も進んだ。地球システムモデルのベースである気象研究所地球システムモデル（MRI-ESM）の最新版 MRI-ESM3 では、亜熱帯ジェットや炭素循環等の再現性が向上した。また、気象庁の現業非静力学モデルに都市モデルを導入するなどの気候モデル化を行ってきた。

これらの成果を基に、文部科学省など関係機関と連携し、気候予測データセット及びその解説書並びに気候予測データ等の分析・評価を取りまとめた報告書「日本の気候変動」を公表することで、気候変動対策の根拠となる自然科学的知見を提供してきた。令和 4 年度に整備した気候予測データセットは、国土交通省や農林水産省における気候変動を踏まえた治水計画等の策定に利用されるなどの実績がある。

引き続き残された課題として、近未来の気候予測の提供がある。従来は排出シナリオに基づく 21 世紀末の、あるいは特定の地球温暖化レベルにおける気候予測を提供してきたが、近年は 21 世紀を通じた連続的な予測が求められるようになり、これについても自治体単位で利用できる確度の高い情報を提供できるよう、自然変動なども考慮した更なる高度化に、予測情報の利用者と対話・連携しつつ取り組む必要がある。

## 2.2 技術革新の推進と開発マネジメント

重点目標の達成に向けて必要な技術革新を推進するとともに、開発マネジメントの強化を進めてきた。これまでの取組をまとめる。

### (1) 技術革新の推進

重点計画においては、「観測データの活用」、「最先端のシミュレーション技術」、「意思決定の支援」の三つの項目を掲げ、数値予報分野の技術革新を推進してきた。

これまで、全ての技術革新の基盤となる最先端のスーパーコンピュータを整備して数値予報モデルの運用と開発において活用し、重点計画に基づく開発を進めてきた。平成 30 年に導入した気象庁第 10 世代スーパーコンピュータシステムを用いて様々なモデルを運用して数値予報プロダクトを作成・提供するとともに、重点計画に基づいて多くの開発を実施してその成果を現業数値予報モデルに反映した。令和 5 年 3 月には線状降水帯予測スーパーコンピュータを整備して豪雨防災の開発を加速化し、また令和 6 年 3 月には気象庁第 11 世代スーパーコンピュータシステムを整備して、両者合わせて第 10 世代の約 4 倍の実効性能を達成し、台風や集中豪雨等の予測精度向上に向けた開発を推進してきた。さらに、第 11 世代スーパーコンピュータシステムでは、開発用途としてグラフィックス・プロセッシング・ユニット（以下、「GPU」という。）を導入するとともに、令和 8 年 1 月末に

は台風の進路予測等の精度向上に向けた取組の加速化を目的としたハイパフォーマンス・コンピューティング・クラウドサービスを整備することで、GPU開発環境を強化し、関連する開発に加え先端AI技術の活用を加速化している。

整備したスーパーコンピュータの性能を活かし、ひまわりをはじめとする静止気象衛星や様々な極軌道衛星の観測データ、地上レーダー観測やアメダス観測等の様々な地上観測データ等、質、量ともに増大する観測データを最大限活用するため、観測データ利用手法とデータ同化手法の高度化を継続的に実施した。さらに、整備が進むひまわり10号に搭載されるハイパースペクトル赤外サウンダの利用に向けた技術開発を進めてきた。

また、整備したスーパーコンピュータの性能を最大限活用し、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するため、各数値予報モデルにおいて計算最適化等の高速化や計算手法の高度化の開発を実施した。それらの成果を活かし、局地モデルや全球モデル等の数値予報モデルの水平高解像度化をはじめとする仕様向上や、高解像度モデルに適した精緻な物理過程の開発を実施した。また、先端AI技術を活用した数値予報モデルの高度化にも取り組んでいるところである。

加えて、高度なAI技術を用いたガイダンス開発や、予測の不確実性を捉えるアンサンブル予報システムの開発を進める等の技術開発を推進し、防災気象情報の作成を支援してきた。

## (2) 開発マネジメント

技術革新の実現に向けて、気象庁の開発マネジメントを強化すべく、幅広い産学官連携の推進と開発者の育成・確保についての方針を掲げ、開発体制の転換を進めてきた。

令和2年には、気象庁の組織再編に伴い、庁内の数値予報開発体制を大幅に見直しつつ、開発部門を統合し、数値予報開発センターをつくば市に設置した。これにより、同センターに隣接する気象研究所を含めて、気象庁として、数値予報モデル開発を分野横断的かつ一体的に進めることができる体制を築いた。設置後は、研究機関が集積しているつくば市の地の利を活かして、大学や研究機関との更なる連携強化を進めてきた。

数値予報モデル開発における連携を推進するため、数値予報モデル開発に関する学官のコミュニケーション機会を拡大してきた。気象庁の開発者と大学や研究機関の研究者が、数値予報モデルの予測結果を共通の見方で確認して課題を共有するため、予測結果を気象庁と研究者間で共有可能なWebツールの運用を開始した。そのWebツールについては、利用者のフィードバックを受け提供データを増やすなどの機能強化を実施してきている。また、気象庁の開発者が大学や研究機関で開催される各種研究会等に積極的に参加することや、気象庁が開催する数値予報課コロキウムの部外公開を通じて、数値予報モデル開発の課題と展望を報告して共有することにより、取り組むべき課題についての相互理解を深めてきた。加えて、各国の数値予報センターへの職員派遣や各種国際研究プロジェクトへの参加を実施し、国際連携も推進してきた。

これらの取組を通じて学官のコミュニケーションを深めつつ、学官共同で様々な取組を進めてきた。線状降水帯の予測精度向上に向け、スーパーコンピュータ「富岳」を活用した新たな学官連携の取組として、大学や研究機関と連携し、数値予報における観測データの利用手法を高度化する共同研究を令和5年から実施した。また、台風防災に資する全球モデルの改良に関する共同研究も、大学や研究機関と連携しつつ実施してきた。ほかにも、将来のGPU利用を見据えて数値予報モデルをCPUとGPUの双方で効率的に実行可能にすることを目的とした共同研究等をはじめ、様々な分野についての多くの共同研究を実施してきており、学官連携は大きく広がった。

数値予報に関する開発者には、数値予報技術開発の各分野における専門性に加え、開発を見渡し計画と調整を行うマネージャ、国際的な観測データ取得の調整担当など様々な役割と立場が求められるため、それぞれの役割に必要な素養を身に着けるための研修等の学習体制を強化することを通じて、開発者の育成を推進してきた。また、気象庁内のモデル開発者向け研修に大学や研究機関からのオブザーバー参加の受入れを開始するなど、人材育成における学官連携も進めてきた。開発者の確保についても、経験者採用の実施等を含め、様々な採用努力を尽くしてきたところである。

研究・開発基盤のソフトウェア面についても整備を推進してきた。数値予報モデル開発を円滑に実施するための実験ソフトウェアを継続的に整備して発展させるとともに、予測精度を的確に検証するソフトウェアの開発や、プロジェクト管理システムの導入を進め、開発全体の効率化を進めてきた。また、先端AI開発に必要なソフトウェアの整備も進めている。加えて、多様な計算機環境において円滑な数値予報モデル開発が実施できるよう、これらのソフトウェアの可搬性を高める開発を実施してきた。

### 3. 数値予報業務を取り巻く環境の変化と新たな要請

重点計画を補強するに当たり、スーパーコンピュータ及び数値予報技術の動向をはじめ、数値予報業務を取り巻く環境の変化と新たな要請について整理した。

#### 3.1 社会的要請の変化

重点計画の策定以後も、数値予報技術開発に対する社会からの期待は更に高まり続けている。気象庁は、交通政策審議会気象分科会や気象庁が開催する様々な検討会等での議論を通じて、社会的要請の変化について整理してきた。

令和7年6月、交通政策審議会気象分科会において提言補強が取りまとめられた。この分科会提言補強では、「2030年の科学技術を見据えた気象業務のあり方」提言に基づいた線状降水帯や台風の予測精度向上等の各種施策に加えて、予測精度向上と情報の充実によるより早くきめ細かな防災対応に貢献する台風情報の高度化、近未来の予測情報の創出により国や自治体等の適応策を支援する気候変動情報の高度化、気象業務の様々な分野での先端AI技術の活用による防災気象情報の高度化等、社会のニーズの変化に応える情報改

善とそのため技術開発が必要とされている。

令和7年8月、「台風情報の高度化に関する検討会」の報告書が取りまとめられた。報告書では、台風発生前の「早めの備えを促す情報」や、台風発生後の「台風の特徴を伝えるきめ細かな情報」について、2030年頃に向けて順次改善を実現すること、その後も更なる精度向上と情報改善を図ることが必要とされている。また、その情報改善の基盤となる取組として、観測の強化及び予測技術の向上を推進する必要性や先端AI技術を積極的に活用することの重要性が示されている。

令和8年に開催した「1週間から数か月先の情報の高度化に関する検討会」の議論においては、早期の防災活動や気候リスク軽減による社会経済活動に役立つ情報提供を実施するため、それに資する数値予報技術開発が必要とされている。

また、気候変動適応法の施行や気候変動影響の顕著化を背景に、様々な主体が各分野で気候変動対策に取り組むようになり、その基盤として求められる気候予測が具体化・多様化・詳細化している。特に近未来の気候予測の需要は世界的にも高まっており、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第7次評価報告書には、オーバーシュートやティッピングポイント<sup>注）</sup>に関する章が設けられることが決まっている。

気候変動については、気候モデリングと数値予報モデルの技術を活用したイベント・アトリビューション技術の確立により、地球温暖化の影響を実感しやすい極端現象について、要因分析を迅速かつ定量的に行うことができるようになってきたことも、近年の特筆すべき変化である。

注）オーバーシュート（シナリオ）：温暖化が一定のレベルを超えた後、長期的にはそれ未満で落ち着く（シナリオ）。  
ティッピングポイント：気候の変化が後戻りできなくなる転換点。

### 3.2 スーパーコンピュータの動向変化

重点計画の策定以後、ハイパフォーマンスコンピューティング（スーパーコンピュータ技術を含む。以下、「HPC」という。）の動向は大きく変化した。

HPC分野においては、価格性能比においてCPU性能の伸びの鈍化がみられる一方で、スーパーコンピュータ性能ランキングTOP500においてGPU搭載スーパーコンピュータの比率が大幅に増加し、特に10位までの上位勢においてはほとんどがGPUを採用している。また日本の次世代フラッグシップ計算基盤「富岳NEXT」においてもGPU搭載が予定される等、GPUの利用が拡大する傾向がみられる。各国の数値予報センターにおいても、変化するスーパーコンピュータの状況や先端AI技術の発展に対応している。例えば、欧州においては欧州中期予報センターと欧州気象衛星開発機構が共同でGPUを搭載した欧州気象コミュニティ向けクラウド基盤を展開する等、GPU等を持つスーパーコンピュータの導入やクラウド基盤の整備が進められている。

CPUとはアーキテクチャが異なるGPUを活用するためには、超並列計算を実現するための多数の新規開発が必要となるが、その先にはGPUの高い演算性能を活かし、既存の物理法則に基づく数値シミュレーションを行う数値予報モデル（以下、「物理モデル」

という。)の仕様向上への道が見えている。また、GPUの高い演算性能は高度な先端AI技術の活用も可能にする。その実現のためにはGPU等を搭載したスーパーコンピュータの整備が必須である。各国の数値予報センターの計画においても、物理モデルについては、引き続きスーパーコンピュータの基盤整備と併せて、全球モデルや領域モデル等の高解像度化や物理過程の精緻化、高解像度アンサンブル予報システムや大気海洋結合モデル等の開発が予定されている。また、GPUを用いた先端AI技術の活用に向けた開発が進められている。

一方で、スーパーコンピュータはアーキテクチャの高度化とベンダーごとの独自化が進んでおり、開発基盤として多様な環境への対応を容易に展開するためには、可搬性の確保が重要な課題となっている。可搬性確保に向け、各国においても様々な研究開発が行われてきているが、現状では決め手となる手段は確立されておらず、異なるアーキテクチャ間の移植には多くの開発コストが必要な状況にある。外部計算機等の活用では、こうした多様なアーキテクチャへの対応が避けられない状況となっている。

また、HPCの性能向上は演算性能がメモリバンド幅に比べて優位であり、物理モデルにおいてメモリバンド幅が性能のボトルネックとなる傾向は変わっていない。加えて、近年は先端AI活用の広がりを受け、演算性能のうち単精度や半精度等、低精度の浮動小数点数演算を重視する傾向が見られる。このため、物理モデルにおいても単精度演算を利用する必要性が高まりつつある。

近年では、半導体価格の上昇や工事費用の増加に伴い、大規模HPC環境の整備に多くの費用がかかる状況となっており、より省資源な環境で開発・運用が可能な数値予報システムへの期待が高まっている。このような状況において、物理モデルでの低精度演算の利用は省資源化の有力な候補となる。先端AI技術の活用も運用資源の省資源化につながる反面、後述するように学習で多くの計算資源を要するため、開発資源の確保が課題となる。開発資源として外部計算機を視野に入れる場合、急速に普及しているGPUへ対応した開発が必要となることから、こうした面でもモデルのGPU対応が不可欠となる。

### 3.3 数値予報技術の新たな動向

影響の大きな数値予報技術の新たな動向として、先端AI技術が飛躍的な発展を遂げたこと、またリモートセンシング技術の発展を受けた次期静止気象衛星の整備計画が進展したことが挙げられる。

2010年代にはAIの一種である深層ニューラルネットワーク(以下、「DNN」という。)を扱う深層学習が目覚ましい発展を遂げた。重点計画においても、当時の最新AI技術であった深層学習を数値予報にとって重要な技術と位置付け、既存のガイダンスで利用するだけでなく、確率予測と組み合わせることで利用者の意思決定を支援することやモデル内部のパラメータ最適化、物理モデルの高速計算、観測データの品質管理、データ同化において活用していくことを方向性として示している。その後、2020年代に入り、生成AIの

登場によりAI技術は更に飛躍的に発展しており、第4次AIブームとも呼ばれる状況となっている。気象分野においても、大規模な自然言語処理や画像生成の分野で発展してきたトランスフォーマーなどの生成AIで用いられている技術が気象予測に応用された結果、AI気象モデルやAIナウキャスト等、先端AI技術を活用した予測技術や先端AIガイダンス等の数値予報技術が急速に発展しており、既存技術を超えた高い予測精度の実現や高速化・省資源化、新しいプロダクト作成が可能になりつつある。

AI気象モデルは、気象再解析データなどの大量の解析値を時系列データとしてGPUを用いて学習して作成され、既存の数値予報システムにより作成された解析値を初期値として予測（推論）を行う。既存の数値予報開発と比較した場合、学習においては同等以上のGPU資源を必要とするが、予測においては少ないGPU資源でより高速に実行することが可能である。各国の数値予報センターや大手IT企業等の民間セクターにおいても、AI気象モデル等の先端AI技術を活用した予測技術の開発と活用が進められており、各国の数値予報センターの一部では既に現業運用が開始されている状況である。各国の数値予報センターにおいても、物理モデルに加えて、AI特有のリスクや苦手分野も考慮しつつ、AI気象モデルを同時に活用する開発計画が策定されている。同時に、先端AIを活用するためのGPUを搭載したスーパーコンピュータの整備も世界的に進んでいる。

ガイダンスなど応用処理分野における先端AI技術の活用も引き続き重要である。近年の深層学習技術の発展とGPUの性能向上を背景の一つとして深層学習を用いたガイダンスも進展しており、特に気象庁での技術開発により、空間的な整合性を保ちつつ複数の数値予報モデルの予測結果を合成する新技術や、これまでのガイダンスでは修正できなかった前線の位置ずれなどに伴う誤差を修正可能な技術の実証が進みつつある。

観測データ利用に関する分野においても、先端AI技術を用いた新たな観測データ処理手法やプロダクトが登場している。観測値を数値予報での利用に適したものに加工する処理において、DNNを活用する手法に発展が見られる。また、データ同化においても、観測値から直接予測を行う手法を含め、DNNを用いた様々な新しい手法が提案され、研究開発が活発に行われている。

重点計画策定後も、観測データは質、量ともに増大を続けており、数値予報においてデータを活用可能な様々な観測の整備が進んでいる。特に、大気の立体的な構造（3次元）を観測可能な最新技術である「ハイパースペクトル赤外サウンダ」を搭載したひまわり10号の整備が進展していることは大きな技術的進展の一つである。小型衛星を含めた他機関衛星や海洋気象観測船による観測データ等の更なる活用を含め、観測データ利用の高度化が今後の数値予報の精度改善にとって非常に重要である。また、低軌道小型衛星コンステレーションなど、今後ますます大容量化が進む様々な観測データの更なる活用のためにもスーパーコンピュータの基盤整備の重要性が高まっている。

また、陸の表層（陸面）、海洋、海水などの地球システムの構成要素について、リモートセンシング観測を活用したデータ同化技術の研究開発が世界的に進められており、これら

の構成要素に対するデータ同化手法の発展がみられる。さらに、これらの初期値を大気の初期値と整合させ、更なる精度向上を図るため、各要素を一体的に取り扱う結合データ同化システムの基礎研究も進められている。

#### 4. 数値予報技術開発の方向性

分科会提言補強等で取りまとめられたように、より早くきめ細かな防災対応のための予測精度向上、国や自治体を支援する気候変動情報の高度化、早期の防災活動や気候リスク軽減による社会経済活動に役立つ情報提供の実現など、気象情報の高度化とその基盤である数値予報の精度向上に対する社会からの期待は引き続き大きい。それらの期待に応えるために、重点計画の後半とその先において取り組むべき課題は多い。

同時に、HPC分野におけるGPU利用の拡大や先端AI技術の急速な進展、気象衛星等観測データの高度化と大容量化等、数値予報技術を取り巻く技術動向は大きく発展・変化し続けており、最新の科学的知見と技術を適切に数値予報技術開発に取り込むことが必須の状況である。特に、HPC動向に対応した物理モデルの開発と先端AIの活用を力強く進めていく必要がある。

気象庁は、重点計画のフォローアップ、分科会提言補強等で取りまとめられた新しい社会的な要請、最新の技術動向の分析に基づき、2035年よりも先の将来を見据えつつ、重点計画を補強する。

##### 4.1 物理モデルとAI気象モデル等先端AI技術の両輪での開発推進

近年の状況の変化から、物理モデルとAI気象モデル等の先端AI技術を併用してそれぞれの利点を活かしていくことが、防災気象情報の高度化に非常に重要である。そのため、数値予報技術開発において、産学官連携のもと、開発基盤整備も含めて物理モデルと先端AI技術の開発を両輪で推進していくことを基本的な方向性とする。

物理モデルについて、開発の優先度を考慮して更に重点化を進めつつ、重点計画のフォローアップで明らかになったものを含め様々な課題を解決するため、今後更に開発を推進する。特に、スーパーコンピュータの整備だけではなく、HPC動向の変化に対応して各モデルのGPU対応を進め、これによって利用可能となる計算資源を活かしつつ、単精度化によるモデルの省資源化で得られる演算性能も活用し、観測データ利用の高度化、高解像度化等の仕様向上、物理過程の改良、アンサンブル摂動の改良、モデル内の各過程における先端AI技術の活用等を着実に進める。また、2035年より先の将来の理想を見据えつつ、更なる高解像度化と高解像度に適した物理過程の開発など、長期的な研究開発も推進していく。物理モデルの改良の成果は、学習データや初期値を通じてAI気象モデルの精度向上に結び付くため、先端AI技術の活用の観点からも物理モデルの改良が重要である。

先端AI技術の活用においては、GPU基盤の整備に併せて、世界的に導入が進むAI

気象モデルの開発や、先端A I技術を用いたガイダンスやナウキャストの開発を推進し、それらの実用化を着実に進めていく。A I予測の精度の高さ、高速性、多様なプロダクトが可能であることを活用し、既存の物理モデルが担ってきた役割を可能なところから代替していくことを目指す。また、将来の発展が見込まれる、線状降水帯を予測するA Iや、大気だけではなく海洋や陸面等地球システムモデル要素のA I予測、予測と補正を一体的に行う予測・ガイダンス一体型A I、A Iデータ同化や観測値からの直接予測等、先進的なA I研究開発も力強く推進していく。

物理モデルとA I気象モデル等のA I予測では得意とする点が異なるため、例えば、物理モデルによる極端現象の表現や物理的整合性の高さと、A Iモデルによる高速・高精度な予測を組み合わせる等、両者の強みを活かして相互補完的に併用することで、防災気象情報の高度化により効率的に貢献する。この開発を両輪で力強く進めていくため、必要となる開発基盤の整備を推進しつつ、連携する産学官分野を積極的に拡大するなど、連携を強化していく。

## 4.2 物理モデル開発

物理モデル開発の方向性として、引き続き重点計画に掲げた開発の方向性に沿いながら、開発を推進する中で新たに生じた各モデルの課題の解決を進める。学官連携を強化し、また効率的な開発推進のために開発項目を重点化しつつ開発体制を強化しながら、将来の理想を見据えた開発を推進していく。また、その成果を活かし、再解析値等A I学習データの作成やA I予測の初期値としての解析精度の向上に重点的に取り組む。

各物理モデルがターゲットとする線状降水帯や台風、季節予報スケールの変動等の予測精度を改善するため、観測データ利用の拡大と利用手法の高度化、高解像度化等の仕様向上、継続的な物理過程の改良、アンサンブル摂動の改良等をスーパーコンピュータの整備と併せて推進する。特に、将来の更なる高解像度化に必要な力学過程と物理過程の改良に継続的に取り組む。そのため、GPU対応や計算手法の高度化、スーパーコンピュータ利用の効率化を進める。特に、全球モデル、メソモデル、局地モデルの予測部分については、2030年までのGPU対応を目指す。また、そのほかのモデルについても予測部分について2035年ごろまでのGPU対応に取り組む。同時に、高解像度化・高精度化したモデルを活かした観測データの利用高度化も実施する。これらの開発においては、各モデル間での改良成果の相互利用を的確に行い開発項目の重複を避けつつ、全体の開発を効率的に実施する。

開発項目の重点化として、2035年より先の将来も見据えつつ、各種決定論的予測モデルと季節アンサンブル予報システムの開発を重視し、またそれらの開発の中でも、開発項目の優先度や費用対効果を分析して重点化しつつ効率的に開発を進める。全球アンサンブル予報システム等、決定論的予測モデルと並立するその他のアンサンブル予測については、先端A I技術の進展に応じて将来的にはA I代替による仕様向上を目指す。2035年より先

の将来展望として、HPCの動向を見つつ、局地モデル、全球モデル、季節アンサンブル予報システムの更なる高解像度化・高度化による予測精度の飛躍的向上を狙い、そのために必要な研究開発を推進する。

また、物理モデル開発の方向性として、AIによって日本の極端現象を捉えるためには、高解像度で高精度な学習データを作成することが重要であることから、AI学習データ作成のための開発を重視し、AIの学習のための全球・領域等の再解析値やAI予測の実行に必要な初期値の精度を向上するために、解析の高度化に重点的に取り組む。高度化した解析による学習データ作成を推進するため、特に大規模な計算資源が必要な再解析においては、外部計算機の活用にも取り組むとともに、開発人員や計算資源を戦略的に活用していく。同時に、計算資源を有効活用していくため、解析でのGPUの利用や先端AI技術活用についても取り組む。

### 4.3 AI気象モデル等の先端AI技術開発

新しい分野を含む産学官連携のもと、先端AI技術を用いたAI気象モデル等の開発を開発基盤整備とともに進め、台風予測などAI予測の利点を確認されている分野から、物理モデルとの併用を開始して徐々に適用範囲を拡大していく。

AI気象モデルの開発においては、物理シミュレーションとは異なる深層学習技術の利点を活かし、物理モデルの持つ技術的な制約にとらわれず、全球予測と高解像度領域予測の一体的な予測等、より合理的な方向を目指す。開発基盤と開発体制の強化とともに開発を加速化しつつ、徐々に大規模なAI気象モデルの開発を進め、プロトタイプ作成の段階から産学官連携を進めて開発を推進する。また、AI気象モデルによるアンサンブル予報システムの開発も進め、既存の全球アンサンブル予報システムとメソアンサンブル予報システムの仕様を強化することを目指す。同時に、AI特有のリスクや苦手な点も踏まえた利用方法について、利用者と連携して検討を進める。

特に、物理モデルの開発成果をAI予測の高度化に積極的に活用することが重要である。また、AI学習に適した最先端データを作成するためには、AI気象モデル等先端AIと物理モデルの開発者が協同して学習データの作成に取り組むことが必須である。

さらに、線状降水帯予測や波浪予測、季節予報等、様々な予測を行う先端AI技術についても、長期的に研究開発を推進しつつ、気象庁でも可能なものから取組を始める。

ガイダンスやナウキャストにおいても先端AI技術が発展しており、予報作業支援をはじめ様々な活用を進めていく。特に、先端AIを活用したDNNガイダンスや、DNNで複数の異なるモデルによる予測結果から自然な一つの予測を合成する技術、運動学的手法を先端AIに置き換えたAIナウキャスト等の開発と利活用を推進する。

なお、先端AI技術の発展は速く、用いられている技術も世界的に流動的であるため、先端AI技術に関する開発については、最新の動向について幅広く情報を収集しつつ分析し、計画を随時見直していく。

## 5. 重点目標達成に向けた開発計画の補強

各重点目標の達成に向けて開発計画を補強するとともに、開発推進に必要となる、更なるマネジメントの強化を推進する。

### 5.1 開発計画の補強

新しい数値予報技術開発の方向性に沿って、分科会提言補強で新たに追加された目標も踏まえつつ、重点目標のカテゴリーごとに開発計画を補強する。この開発計画については、2030年までの導入を目指すもの、2035年に向けて開発を推進するもの、2035年より先の将来を見据えて研究開発を推進すべきものそれぞれに整理してまとめる。

ここで示す開発計画においては、重点計画で掲げた数値予報の三つの開発指針、「プライオリタイゼーション」、「実証的根拠に基づく開発」、「開発全体の最適化」を基本的な指針として掲げ、数値予報技術開発を力強く進めていく。また、開発効率を高めてより多くの成果を出していくためには、これまで重点計画のもとで整備と共有を進めてきた「モデル開発における標準（開発フレームワーク）」について、その更なる発展と浸透を図ることが重要である。

#### (1) 豪雨防災

水平解像度が1 kmに高解像度化された局地モデルにおいても、対流の強さや降水域の停滞等の予測は依然として不十分であり、物理過程等の高度化による不安定解消過程の表現や、不安定の形成に関する環境場の表現の改良が必要である。また、局地モデルにおいて豪雨の発達や停滞を予測するためには、気象場依存性が高く時空間的に小さい現象の観測の持つ情報を有効に活用し、対流による不安定の解消の表現に直結する風・気温・水蒸気等の分布をより精緻に解析して初期値の精度を改善する必要がある。局地アンサンブル予報システムにおいても、線状降水帯予測の不確実性を適切に捉えるために必要な摂動の考慮が不足している。また、線状降水帯の予測精度を向上するためには、局地解析や、局地解析に境界値等を供給するメソ解析と全球解析において、観測データ利用を拡充しつつ解析手法を高度化することが不可欠である。

引き続き、局地モデルの高い解像度を活かし、対流に伴う熱・水蒸気・運動量の鉛直輸送等の積乱雲形成に関する諸過程の精緻化を進め、対流活動の強さや降水域の停滞等の予測の改善を通じて線状降水帯の予測精度を改善する。局地解析については、時空間的に小さい現象についての観測データをより有効に活用するため、現象の空間スケールに応じて観測データの影響範囲を制限する改良を実施する。また、局地解析に側面境界値等を供給するメソ解析について、ハイブリッド同化手法を導入し、側面境界値等の精度向上を通じた局地モデルの初期値の精度向上を目指す。加えて、線状降水帯予測の不確実性をよりの確に捉えるため、局地アンサンブル予報システムの初期摂動や側面境界摂動の改良を進め

る。また、局地モデル及び局地アンサンブル予報システムについては、将来の更なる高度化に向けてGPU活用による計算資源確保と単精度化による省資源化を進める。これらの開発成果について、2030年までの導入を目指す。

さらに、物理過程において、積乱雲を構成する対流や乱流等の微小な現象について、鉛直方向だけではなく水平方向の影響も精緻に考慮することにより、積乱雲の成長方向や広がり適切に表現し、対流活動の発生から盛衰のタイミングを精緻に予測して線状降水帯の予測精度の改善を目指す。また、局地解析については、より高度な解析手法である4次元変分法を導入し、初期値の力学的整合性向上や予測における対流励起の遅れの改善を目指す。また、観測データの時空間変動をより精緻に扱えるようにするための解析改良を通じて、観測データの情報をより正確に引き出すことを目指す。加えて、局地アンサンブル予報システムについても、現在考慮できていない数値予報モデルの不完全性に由来する不確実性を捉えるモデル摂動や、降水予測の誤差との関係が指摘されている海面水温摂動の導入を通じて、予測の不確実性の表現の更なる改善を進める。これらの改良項目について、2035年までの導入を目標として開発を進める。

大気解析における観測データ利用については、ひまわり10号の輝度温度観測や、大気追跡風プロダクト、Metop-SGのマイクロ波や赤外サウンダ、散乱計データ、航空機動態情報等の利用を拡充していく。また、BUFR形式のラジオゾンデやSYNOPの利用、赤外イメージャ水蒸気チャンネルの全天同化等、既存観測の利用高度化を図る。これらの観測データ利用の高度化を2030年にかけて継続的に実施し、線状降水帯予測に重要な気温・水蒸気・風の初期値の精度を飛躍的に改善していく。さらに、小型衛星データの利用を開始するだけでなく、晴天域に加え雲域でもマイクロ波気温サウンダデータの利用を可能にする改良や、メソモデルの台風ポーガス作成手法の改良、時空間変動情報の抽出を精緻化する高頻度・高密度データの利用高度化、赤外サウンダの観測情報をより適切に利用するためのチャンネル間誤差相関の考慮など、観測データ利用手法と解析手法の高度化を進め、線状降水帯予測の更なる精度向上を目指す。また、全球解析やメソ解析における改良は、台風防災の目標達成にも資する。これらの開発については、2035年までを目途として、より早期に利用を開始することも視野に入れながら開発を推進する。

より長期的には、2035年よりも先の将来を見据え、豪雨防災の更なる進歩に貢献するため、乱流輸送をより直接的に計算することを目指して、局地モデルの更なる高解像度化（水平解像度500m以下）と力学過程の改良や更なる物理過程改良、AIによる線状降水帯予測を目指した研究開発を推進し、線状降水帯予測の精度の飛躍的な向上を目指す。また、局地アンサンブル予報システムについてもAI代替による仕様向上を目指す。AIによる線状降水帯予測に必要な高精度学習データを作成するためにも、局地モデルについて観測データの雲・降水域での利用等の高度化、先端AI技術も活用したデータ同化手法の高度化、高解像度化等仕様向上を含む予報モデルの改良を積極的に実施し、その成果を活用した学習データの作成を推進する。観測データ利用についても、衛星搭載風ライダーの

新規利用、地上・衛星レーダーの利用高度化、メソ解析における全天同化、陸域同化や観測誤差設定における予報モデルと観測データの特徴を踏まえた観測データ利用開発の推進に加えて、A Iを活用した品質管理処理にも取り組み、大気解析における初期値精度の飛躍的向上を目指す。

今後数時間先までといった直近予測（ノウキャスト）については、運動学的手法を基にした高解像度降水ノウキャストや降水短時間予報といったプロダクトも作成している。これらのプロダクトは気象庁ホームページにリアルタイムで掲載されるほか、降水短時間予報は大雨の際にどの場所で災害発生の危険度が高まっているのかを地図上に表示する「キキクル」の入力にもなっており、豪雨時の防災気象情報の発表や防災行動を支援するものである。近年、ノウキャストの分野においても先端A I技術を用いた予測技術が発展してきており、物理モデル以外のこれらのプロダクトにおいても先端A I技術の効果的な活用方法を検討する。

## (2) 台風防災

全球モデルの台風進路予測誤差の目標達成に向けて環境指向流と台風構造の表現を更に改善するためには、全球モデルの更なる高解像度化と高解像度に適した物理過程の改良が必要不可欠である。また、台風や前線による大雨・強風・高潮・波浪などの予測精度改善に向け、全球モデルだけではなく、メソモデル、全球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、高潮や波浪モデル、ガイダンスを含む階層的なモデル・システムの全体の改良が引き続き重要である。さらに、A I気象モデルや先端A Iガイダンス等、先端A I技術を積極的に活用していくことが台風予測の精度改善の鍵となる。観測データ利用の高度化も台風予測の精度向上には必須であり、豪雨防災の項に記載したひまわり10号による観測をはじめとする新たな観測データの利用や利用手法の高度化について、全球モデルでの利用に適するように開発を進め、大幅な予測精度の改善を目指す。

台風進路予測誤差の目標達成に向け、全球モデルの環境指向流と台風構造の表現を更に改善するため、スーパーコンピュータの整備に加えてGPU活用や部分的な単精度化で得られた計算資源を活用して全球モデルの水平解像度を9kmに高解像度化するとともに、乱流や降水に関する過程や大気海洋相互作用の扱いの精緻化等、高解像度に適した物理過程の改良を進める。また、台風予測に対する影響の大きい海面水温解析やモンスーン循環に影響する土壌水分・積雪深解析等、下部境界解析の改良にも引き続き取り組む。ほかにも、全球解析において、I/O等のデータ処理効率やメモリ利用量等を改善するため、観測データ品質管理処理を高度化しつつ予報モデルに統合する開発等を検討し、全球モデルの水平高解像度化やひまわり10号等の大容量の観測データの活用を着実に実施可能にする。台風進路予測の不確実性を捉えるための全球アンサンブル予報システムについては、これまでと同様に全球モデルの物理過程や下部境界の改良の成果を随時導入していくとともに、台風進路の不確実性をより正確に捉えるため、初期摂動等を改良する。これらの改

良については、2030年までの導入を目指す。さらに、台風発生予測改善に必要な環境場や台風を構成する積乱雲の組織化の表現を改善するため、更なる積雲・乱流等の物理過程開発を進める。また、計算効率化・高速化に向けて、単精度化に加えて計算安定性向上を通じた時間積分間隔の拡大を実施し、物理過程等の精緻化に必要な計算資源を確保する。さらに、ひまわり10号等の観測データをより活用するため、全球解析における観測データの利用をより高頻度化する。これらの成果については2035年までの導入を目指す。

メソモデルについても、全球モデルの水平解像度では精度良く表現できない台風に伴う大雨や風、気圧を高精度に予測するため、GPU活用による計算資源確保や単精度化による省資源化を活用し、2030年までの導入を目指し、より精緻な物理過程の開発等仕様の向上に向けた開発を実施する。

物理モデルの改善に加えて、AI気象モデル等の先端AI技術開発を進め、物理モデルと併用することで台風予測の改善やガイダンスの高度化を図る。まずは台風進路予測の精度向上を目的に、全球アンサンブル予報システムと同程度の水平解像度約27kmの全球予測を行うAI気象モデルを2029年の導入を目指して開発する。

台風に伴う雨・風・気圧の予測精度を向上するため、全球モデルと同程度の水平解像度約13kmの全球予測とメソモデルと同程度の水平解像度約5kmの日本付近の領域予測を合わせ、境界値を介さず一体的に行うAI気象モデルの開発を進める。約5kmの格子で覆う範囲については、台風予測により適したものとするため、必要な計算資源を踏まえて検討する。さらに、全球モデル高解像度化の開発成果を活かし、AI気象モデルの全球部分の水平解像度を約9kmにすることを旨とする。また、AI気象モデルが高速かつ低コストで実行可能な利点を活かし、予測の実行を1日8回に高頻度化する。同時に、台風や前線に伴う大雨の確率的な予測の精度向上のため、AI気象モデルを用いたアンサンブル予報システムの開発を進める。全球アンサンブル予報システム及びメソアンサンブル予報システムについては、このAI気象モデルによるアンサンブル予報システムを用いた仕様の向上を検討する。これらの成果については2035年までの導入を目指しつつ、可能なものから順次導入を進める。

高度化した全球解析とメソ解析を用いて、外部計算機の利用も検討しつつ、全球・領域再解析を実施して、台風に伴う雨・風・気圧をより正確に表現したAI学習データの作成に取り組む。また、全球解析とメソ解析は、初期値の精度を通じてAI気象モデルの予測精度にも大きく寄与するため、解析の仕様をAI気象モデルでの利用に適したものにすると同時に、高度化された全球解析値とメソ解析値の特性により適したAI気象モデルを開発することを目指す。

波浪モデルについて、初期値、大気外力、予報モデルのそれぞれの面から改良を続ける。波浪データ同化における高次処理された衛星データの利用や、台風ポーガスの改良による大気外力の改善について、2030年までの導入を目指す。引き続き、波浪スペクトルのデータ同化の導入により初期値精度を改善するとともに、台風ポーガスに渦置換法を導入

して台風の位置をより実況に近づけ、大気外力の精度を改善する。また、5日先までの波浪予測に対応するとともに、GPU活用による計算資源確保や単精度化による省資源化等も活用して、沿岸域などの高波をより精緻に表現するために高解像度化する。これらの成果については2035年までの導入を目指す。

高潮モデルについて、5日先までの高潮予測に対応するとともに、単精度化や非構造格子モデル導入による計算効率化により日本域予測を水平解像度1kmから750mに高解像度化する。また、アジア域予測について台風ボーガスに渦置換法を導入して台風に伴う大気外力の精度を改善する。これらの改良は2030年までの導入を目指す。引き続き、2035年までの高潮予測の精度改善に向け、日本域予測での台風ボーガスへの渦置換法の導入や、日本域高潮モデルをGPU活用により確保した計算資源を用いて更に高解像度化し、また潮汐スキーム等の現状考慮していない過程を導入する等の開発を進める。

先端AI技術を活用したガイダンスについては、先端AI技術により複数のモデルの予測結果を合成して水平解像度5km程度で物理的に自然な一つの予測に合成する手法の開発に取り組む。また、流域平均雨量の予測で用いるマルチモデル降水量ガイダンスを高度化する。これらの改良は2030年までの導入を目指す。さらに、物理的に解釈可能でかつ精度の高い統合型のガイダンスである、合成した予測を入力とするマルチモデルガイダンスを2035年までの導入を目指して開発する。このマルチモデルガイダンスにおいては、先端AI技術を用いて既存のガイダンスでは不可能であった高度な補正による大幅な精度向上を狙う。また、降水予測についてはAIダウンスケーリングにより1kmに高解像度化することを検討する。

これらの全球モデル、全球アンサンブル予報システム、メソモデル、AI気象モデル、波浪・高潮モデル、ガイダンスの改良を通じて、台風の風分布情報の高度化や進路強度予報の改善等を図り、台風発生後の「台風の特徴を伝えるきめ細かな情報」に貢献する。

また、2035年よりも先の将来を見据え、台風防災の更なる進歩に貢献するため、HPCの動向を踏まえつつ、全球モデル、波浪モデル、高潮モデル及びAI気象モデルの改善に向けた更なる研究開発を推進する。全球モデルについては、kmスケールでのストーム解像を理想とし、5km以下への更なる高解像度化とそれに適した力学過程と物理過程改良を目指した研究開発を推進して台風予測精度や日本域メソ気象予測の向上を目指す。特に、物理過程については、台風強度予測を改善するため、大規模場とメソ気象予測を同時に高精度に表現可能なマルチスケールに対応した物理過程の開発を推進する。また、全球解析についても、GPU活用による計算資源確保や先端AI技術の利用による高速化と省資源化を進め、解析解像度の高解像度化や解析アンサンブルの高度化等の仕様を向上することを狙う。これらの全球モデルの仕様向上と予測精度改善により、将来的にはメソ予測を代替することを検討する。波浪・高潮モデルについて台風ボーガスの更なる改善を図りつつ、波浪アンサンブルの予報時間の延長を検討する。また、波浪・高潮モデル予測においても先端AI活用を推進する。特に波浪予測については、AI気象モデルの中で波浪要

素も予測する手法の検討を進める。さらに、A I 気象モデルについては、物理モデル改良の成果を活かして学習データを作成しつつ、更なる予測精度の改善に向けた研究開発を推進する。ガイダンスについても、全てのガイダンスについて、複数の予測を一つに合成した予測を入力とするマルチモデルガイダンスへの移行を実施し、統合を図りつつ先端A I 技術による大幅な精度向上の達成に向けた研究開発を推進する。

季節アンサンブル予報システムと全球アンサンブル予報システムの改良や、将来的には2週間先までを予測するA I 気象モデルによるアンサンブル予報の活用を通じて、台風発生前の「早めの備えを促す情報」に貢献する。

### (3) 社会経済活動への貢献

台風発生前の早めの備えを促す情報など、多様化するニーズに対応した季節予報の精度向上のため、日本の天候に影響し、かつ予測可能性の高い現象の再現性向上を目指し、季節アンサンブル予報システムの物理過程改良や海洋データ同化の高度化、先端A I 技術の活用を推進していく。また、数日先までについても、社会的に影響の大きい気象を高精度に予測し、事前対策や経済分野での生産性向上へ貢献するため、引き続き、局地モデル、メソモデル、メソアンサンブル予報システム、全球モデル、高潮や波浪モデル等の海関連モデル等について、豪雨防災や台風防災での開発成果を活用していく。

季節予報の精度を更に改善するため、季節アンサンブル予報システムの部分的な単精度化を進めて計算資源の効率的な利用を図り、全球モデルの開発成果を活用しつつ季節予報のための物理過程の精緻化を進める。また、海洋解析において、同化する海洋観測データの拡充等の高度化を実施する。これらの改良は2030年までの導入を目指す。さらに、2035年までの期間において、季節アンサンブル予報システムのGPU対応による更なる計算効率向上と物理過程の精緻化等の改良、同化する海洋観測データの拡充を進めつつ、海洋の渦表現を許容する4次元変分法を導入し、海洋の中緯度における渦の再現性や、エルニーニョ・南方振動をはじめとした熱帯起源の大気海洋現象の再現性等を向上し、季節予報の予測精度を改善していく。また、改良による仕様向上と精度向上を通じ、2週間先、更には週間予測での大気海洋結合モデルの利用を検討する。ほかにも、2週間先までを予測するA I 気象モデルによるアンサンブル予報の実現を目指した検討を進める。

また、2035年よりも先の将来を見据え、大気と海洋との相互作用による予測可能性の向上を目指し、海洋の渦を解像することを狙う海洋モデルの水平解像度0.1度への高解像度化や、大気部分の全球アンサンブル予報システム程度への高解像度化、更なる物理過程改良、海洋観測データの利用拡充、海水・エアロゾル・オゾン等の地球システム要素の取り扱い高度化を行い、1週間から数か月先予測での大気海洋結合モデル利用を目指す。さらに、海洋に加えてエアロゾル・オゾン等の地球システム要素を取り扱い可能なA I 手法等、季節予報での先端A I 活用に向けた研究開発を推進する。

#### (4) 気候変動対策への貢献

政府の気候変動適応計画における気象庁の主な役割は、気候変動対策の根拠となる自然科学的知見を提供することである。様々な主体が各分野で気候変動対策に取り組むようになった現在、これらの施策の時空間スケールに合う気候予測の提供が求められている。この観点から、モデルや予測・解析技術の段階的な高度化を図り、近未来を含む 21 世紀末頃までの時間連続的な気候予測の提供、地域気候モデルの更なる高解像度化による極端現象のより正確な再現など予測の精緻化、A I 技術を活用した予測計算の高速化や計算結果の統合的分析などに取り組む。また、こうしたモデル開発や予測情報創出においては、予測の開発・提供に係る研究機関等や、予測を活用する利用者との対話・連携を重視する。なお、近年は気温上昇に限らず、それを含む気候の変化が問題となっていること、気候モデルとその運用の高度化は適応策のみならず緩和策の検討・促進にも役立つことから、重点目標④は「気候変動対策への貢献」に改める。

MRI-ESM では、モデルの精緻化・高解像度化による再現性の向上に加え、IPCC 報告書等での利用を想定した世界気候研究計画 (WCRP) による結合モデル相互比較プロジェクト (CMIP) の要請や需要を踏まえた対応も行う。2030 年までにモデル全体を高解像度化するなどして要素モデル間の相互作用を精緻化し、2035 年までには、GPU 対応を行いつつ、海面水位上昇の評価に重要となる陸域氷床過程等の新たな物理過程や、CMIP で求められる人為的な二酸化炭素除去 (CDR) のような社会経済活動を組み込む。2035 年以降には、詳細な物理・化学過程等の A I 活用による高速化 (A I サロゲートモデル導入) 等も進める。

MRI-ESM をベースに全球時間連続実験を行うシステム TSE-C を開発し、より高解像度で精緻な 21 世紀末頃までの時系列気候予測を計算する。精緻な気候予測にはシステムを構成するモデルの高解像度化や海洋気候値の再現性向上が重要だが、特に自然変動を考慮した近未来の予測においてはモデルの適切な初期値が必要となる。そこで 2030 年を目途に、エーロゾルをはじめとする外部強制要素や海洋状態の長期シナリオを作成するとともに、季節予報の技術を取り込むなどの形で海洋データ同化 (初期値化) の改善に着手する。その後 2035 年までは、数年先までの高精度な予測のため、海洋データ同化などモデル初期値作成技術の開発・改良を進める。2035 年以降は大気・海洋モデルをそれぞれ約 10km 程度に高解像度化し、IPCC 報告書等での利用を見据えた予測情報を創出する。

全球時間連続実験の結果を境界条件にダウンスケーリングする地域気候モデルについても、モデルを高度化しつつ、現在の 2 km より 5~10 倍程度高解像度の予測を創出する。2030 年までは領域を限定してモデルの高解像度化を図り、その後 2035 年にかけて、先端 A I 技術等を活用して日本域の 1 km 高解像度データセットを作成しつつ、領域を限定して 1 km~100m への力学的ダウンスケーリングにより更なる高解像度化のための学習データを作成する。また、地域気候モデルの GPU 対応も行う。そして 2035 年以降には、先端 A I 技術等の活用により、日本域全体の予測を 1 km~100m に高解像度化する。なお、A I 技

術は、ダウンスケーリングのほか、計算結果の自動検証やバイアス補正、不確実性の評価、データセットの統合的分析などにも活用していく。

このほか、気候変動適応策を促進する観点から、イベント・アトリビューションによる極端現象発生要因の事後分析を充実させつつ、分析を更に迅速に行うための技術開発を進めていく。

## 5.2 更なる開発マネジメントの強化

重点計画及びその補強で掲げた目標の達成に向け、技術革新を実現していくためには、開発マネジメントを更に強化して開発を力強く推進する必要がある。重点計画で掲げられた、「幅広い連携の推進」、「開発者の育成と確保」、「研究・開発基盤の整備」の三つの強化方針を更に推進していく。また、幅広い連携等を通じて最新の科学的な知見・技術を取り入れ、HPCの発展状況を踏まえつつ、計画の不断の見直しを行う。

### (1) 産学官連携の推進

重点計画前半の取組として、重点的に取り組むべき課題の明確化や連携テーマ・共同研究課題を設定した研究公募、様々な共同研究等の実施を進めてきており、学官双方に有益な協働体制のもとで連携が強化・推進され、成果も創出されつつある状況である。

今後、先端AI技術や最新スーパーコンピュータ活用等の新しい分野も含めて、先端AI技術開発と物理モデルの開発を両輪で進めていくため、重点計画で掲げた方向性に基づいた学官連携や国際連携の更なる推進に加え、産業界など新しい連携相手を幅広く模索しつつ、重点計画補強に基づいた開発を力強く進めていくための新たな連携を推進していく。特に、先端AI技術に関する産業界との連携においては、公益性確保のためのオープンサイエンスを重要視しつつ、知的財産の扱いの観点からも十分検討した上で、既存の枠組みにとらわれない新たな試みを検討する。

### (2) 開発人材の確保・育成

物理モデルと先端AI技術を両輪で開発していくため、既存の物理モデル開発を強化しながら、先端AI技術についての開発体制を構築していくことが必要である。

数値予報は、物理学、化学、応用数学、計算機科学、数値流体力学など、多くの分野にまたがる総合科学であるが、数値予報モデルの発展や観測測器やスーパーコンピュータアーキテクチャの複雑化に加え、先端AI技術の発展も重なり、既存の分野に加えて情報科学分野も含む、高度な技術開発に対応可能な人材の確保と育成が急務になっている。物理モデル開発における技術の専門化は著しく進んでおり、高度な専門家の更なる育成が求められている。また、これまで数値予報モデルと関わりの薄かった深層学習分野についても、先端AI技術に対応できる人材の確保と育成が必須である。

また、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、高度な専門家や開発をけん引できるリーダーを育成することが必須である。特に、近年の技術発展に伴い、物理モデルを用いたA Iのための学習データ作成とA I学習のような、分野横断的かつ大規模な開発プロジェクトの必要性が高まっており、開発リーダーに求められる水準も高度化している。

これらの開発人材の確保に向けた努力だけではなく、人材育成のため、既存技術の継承や新しい技術の習得に必要な研修、学習教材といった学習基盤の整備を進めつつ、開発者の育成を支援するための勉強会や交流の場等の整備を進めることが重要である。

### (3) 開発基盤整備

先端A I技術の進展とH P C動向を踏まえ、重点計画の実施に必要なスーパーコンピュータ等の開発基盤の整備を力強く進める。特に、先端A I活用やG P U対応等、急速に発展・変化し不確実性が増す状況に速やかに対応することが重要である。

また、先端A I技術やH P C動向の変化が急速であることを踏まえ、重点計画や重点計画補強で掲げた開発課題の優先度も継続的に見直す必要がある。特に、急激に変化する世界の先端A I活用状況に対応し、変化に追随して計画を継続的に見直していく。また、スーパーコンピュータ整備をはじめとした情報機器の整備経費の増加は、今後も懸念される。費用面に考慮しつつ効率的に技術開発を推進する観点からも、開発課題の優先度の継続的な見直しが重要となる。

H P C利用においては、ベンダーごとの独自化に対応するため、可搬性を確保した開発基盤の整備が不可欠となる。異なるアーキテクチャ間の移植コストを低減する取組として、国内外の動向把握に努めつつ、開発を効率的に行うための指針やA Iなどのライブラリ、実験システムなどのソフトウェア基盤も含む、ソフト、ハード両面での基盤整備を進める。また、開発におけるA Iエージェントの利用については、開発を推進する手段として、生成されたコードの確認・検証方法を明確にしつつ、利用を検討する。

先端A I技術の活用や低精度演算の利用により、将来的な整備価格の上昇に備えた取組を進める。他方で、先端A I技術の開発に必要となる学習資源を確保するため、経済性を重視した環境の活用や、外部計算機・外部設備の活用など、調達整備と開発利用の両面で、多角的な環境活用を追求していく。

## 6. おわりに

2018年に重点計画を策定して以来、気象庁は、多くの方々から御協力を頂きつつ数値予報技術開発を全力で推進してきた。線状降水帯や台風の予測精度をはじめ、多くの点で数値予報の改善は進みつつある。一方で、社会のニーズの変化に伴い、防災気象情報の更なる高度化が求められており、それに資する数値予報技術開発への期待もますます高まっている。

計画の策定後、数値予報技術を取り巻く環境は大きく変わり続けている。第4次A Iブ

ームが到来し、数値予報分野においても世界的に生成A Iの活用が急速に進みつつある。また、数値予報の根幹を支えてきたスーパーコンピュータにおいても、A IブームはGPUの飛躍的な性能向上と汎用化を引き起こしただけではなく、スーパーコンピュータの在り方そのものを変えつつある。数値予報は、1920年代にその理論的基礎が考案され、我が国においては1959年から気象業務に活用されつつ発展してきた。現在、その長い歴史の中においても最も変化の激しいまさに激変の時代に突入している。

本補強は、新たな社会からのニーズに対応するだけでなく、激変する技術動向を分析し、数値予報の将来を見据えて策定したものである。目標の達成は決して容易ではないが、気象庁は、この取組が我々の見据える将来の社会にとって不可欠なものを作り上げるという認識のもと、あらゆる努力を払って計画を推し進めていく所存である。

## 謝辞

本計画は、気象庁が作成し、内容に関する検討は、新野宏 東京大学名誉教授を会長とする数値予報モデル開発懇談会の協力を得た。

### 懇談会委員一覧

伊藤 耕介 京都大学防災研究所 准教授  
沖 理子 宇宙航空研究開発機構第一宇宙技術部門  
地球観測研究センター シニアアドバイザー

小槻 峻司 千葉大学国際高等研究基幹 教授  
佐藤 正樹 東京大学大気海洋研究所 教授  
横浜国立大学台風科学技術研究センター 教授

下川辺 隆史 東京大学情報基盤センター 准教授

竹見 哲也 京都大学防災研究所 教授

坪木 和久 名古屋大学宇宙地球環境研究所 教授  
横浜国立大学台風科学技術研究センター 教授

会長 新野 宏 東京大学 名誉教授

堀之内 武 北海道大学地球環境科学研究所地球圏科学部門 教授

増永 浩彦 名古屋大学宇宙地球環境研究所 准教授

三好 建正 理化学研究所計算科学研究センター  
データ同化研究チーム チームプリンシパル

森 信人 京都大学防災研究所 教授  
横浜国立大学台風科学技術研究センター 教授

渡部 雅浩 東京大学大気海洋研究所 教授

(敬称略)

気象庁で運用している数値予報モデル（令和8年6月現在）

数値予報モデルの種類	主な利用目的	計算領域と 水平解像度	予報時間 (初期時刻)	実行回数
局地モデル	航空気象情報、 防災気象情報、 降水短時間予報	日本周辺 1キロメートル	18時間（00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21時） 10時間（上記時刻を除く 正時）	1日24回
局地アンサンブル 予報システム	航空気象情報、 防災気象情報	日本周辺 2キロメートル	21時間 （03, 09, 15, 21時）	1日4回
メソモデル	防災気象情報、 降水短時間予報、 航空気象情報、 分布予報、 時系列予報、 府県天気予報	日本周辺 5キロメートル	39時間（00, 03, 06, 12, 15, 18時） 78時間（09, 21時）	1日8回
メソアンサンブル 予報システム	防災気象情報、 航空気象情報、 分布予報、 時系列予報、 府県天気予報	日本周辺 5キロメートル	39時間 （03, 09, 15, 21時）	1日4回
全球モデル	台風予報、 分布予報、 時系列予報、 府県天気予報、 週間天気予報、 航空気象情報	地球全体 13キロメートル	132時間（03, 15時） 264時間（09, 21時）	1日4回
全球アンサンブル 予報システム	台風予報、 週間天気予報、 早期天候情報、 2週間気温予報	地球全体 27キロメートル	5.5日間（03, 15時） 11日間（09時） 18日間（21時）	1日4回
季節アンサンブル 予報システム	1か月予報、 3か月予報、 暖候期・寒候期予報、 エルニーニョ監視速報	地球全体 大気 55キロメートル 海洋 0.25度	7か月間	1日1回

沿岸波浪モデル	波浪警報・注意報、 波浪予報、 沿岸波浪実況・予想図	日本周辺 5キロメートル	132時間 (03, 09, 15, 21時)	1日4回
全球波浪モデル	海上予報、 海上分布予報における 波浪予測、 外洋波浪実況・予想図	極域を除く地球全体 27キロメートル	132時間 (03, 15時) 264時間 (09, 21時)	1日4回
波浪アンサンブル モデル	波浪に関する 早期注意情報 (警報級の可能性)	極域を除く地球全体 55キロメートル	264時間 (09, 21時)	1日2回
日本域高潮モデル	高潮警報・注意報、 高潮に関する 早期注意情報 (警報級の可能性)	日本周辺 1~16キロメートル	39時間 (00, 03, 06, 12, 15, 18時) 78時間 (09, 21時)	1日8回
日本域台風時高潮 確率予報システム	高潮に関する 早期注意情報 (警報級の可能性)	日本周辺 1~16キロメートル	132時間 (03, 09, 15, 21時) 39時間 (00, 06, 12, 18時)	1日8回 (実行は 台風時 のみ)
アジア域高潮アンサン ブル予報システム	高潮情報 (アジアの 気象局で利用)、 高潮に関する早期注意情報 (警報級の可能性)	北西太平洋 1.5~50キロメート ル	132時間 (03, 09, 15, 21時)	1日4回
日本沿岸海況監視 予測システム	海面水温・海流 1か月予報、 表層水温・海流の解析・ 予想図、 海水情報	北太平洋 10キロメートル 日本近海 2キロメートル	北太平洋 31日間 (09時) 日本近海 11日間 (09時)	1日1回
全球エアロゾルモデル	黄砂情報	地球全体 40キロメートル	4日間 (21時)	1日1回
全球化学輸送モデル	紫外線情報	地球全体 110キロメートル	5日間 (21時)	1日1回
二酸化炭素輸送モデル	二酸化炭素分布情報	地球全体 110キロメートル	解析のみ	1年1回