



『ポスト富岳』時代の天気予報

令和7年3月25日

気象庁 情報基盤部 数値予報課

数値予報モデル基盤技術開発室 室長

かずもり まさひろ

計盛 正博



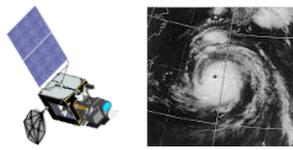
天気予報における 数値予報の役割

こんにちの気象観測・予報業務

防災に資する各種気象情報

⇒ **防災気象情報**

観測データ (国内外)

- 気象衛星観測網 
- 高層気象観測網
ラジオゾンデ
ウィンドプロファイラ
航空機 
- レーダー気象観測網 
- 地上気象観測網
各気象官署
アメダス観測 
- 海洋気象観測網
海洋気象観測船
一般船舶 
- 外国気象機関 

観測データ収集

解析・予報・情報作成

予報官 (全国の気象台)
今後の予測・情報の作成



24時間体制
実況監視
予測資料の分析

スーパーコンピュータシステム

大気の状態予測 (数値解析予報)



気象情報伝送処理システム(アデス)

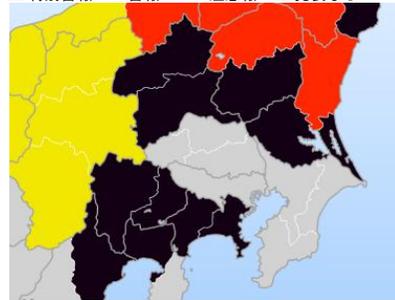
国内外のデータ収集・配信
取り扱うデータ量(R4年度)
1日に新聞約14,000年分
(2.1TB)



情報発表

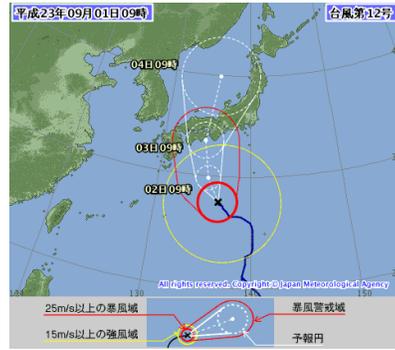
特別警報・警報・注意報

■特別警報 ■警報 ■注意報 □発表なし



台風情報

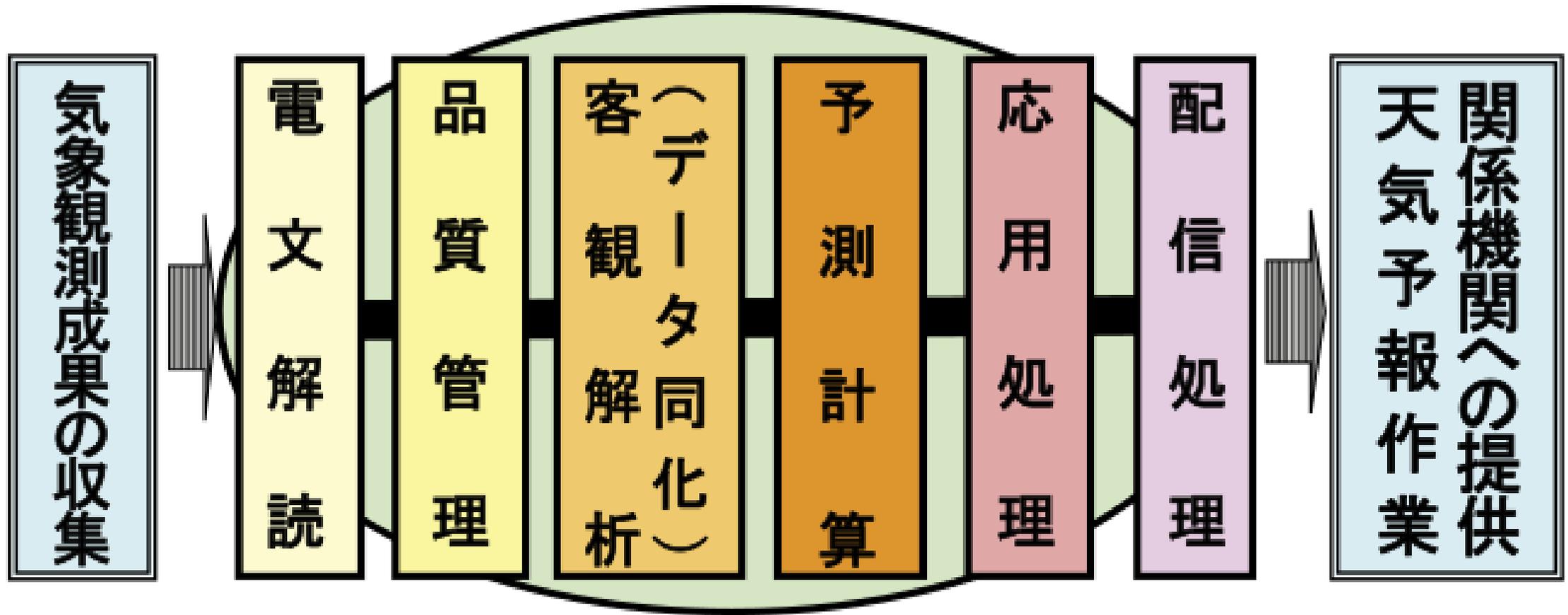
平成23年09月01日09時 台風第12号



気象情報

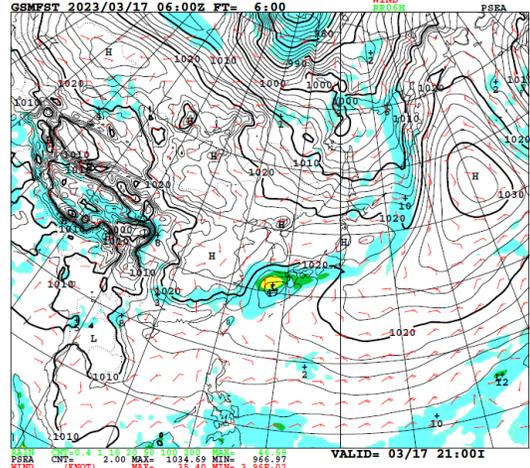
高解像度降水ナウキャスト
天気予報・週間天気予報
天気図 等

気象予報の中核：数値予報の流れ

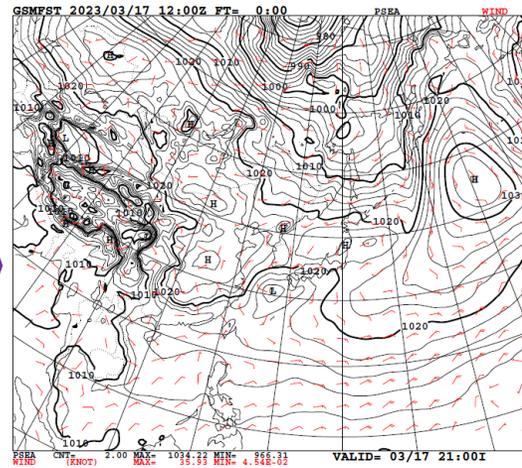


観測データの同化による予測計算のための初期値の作成

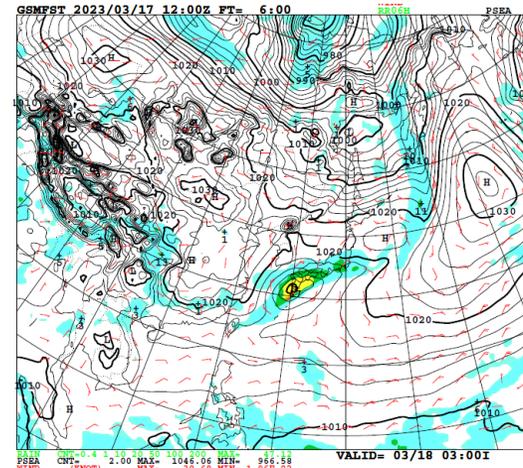
第一推定値



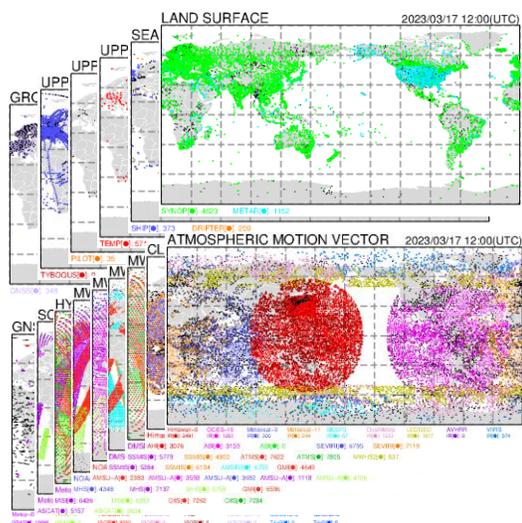
初期値



予報値

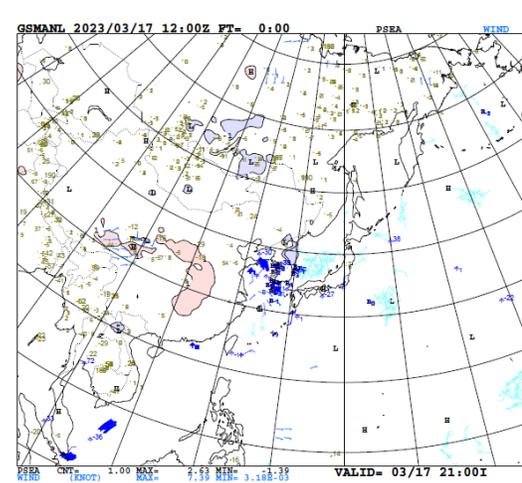


観測データ

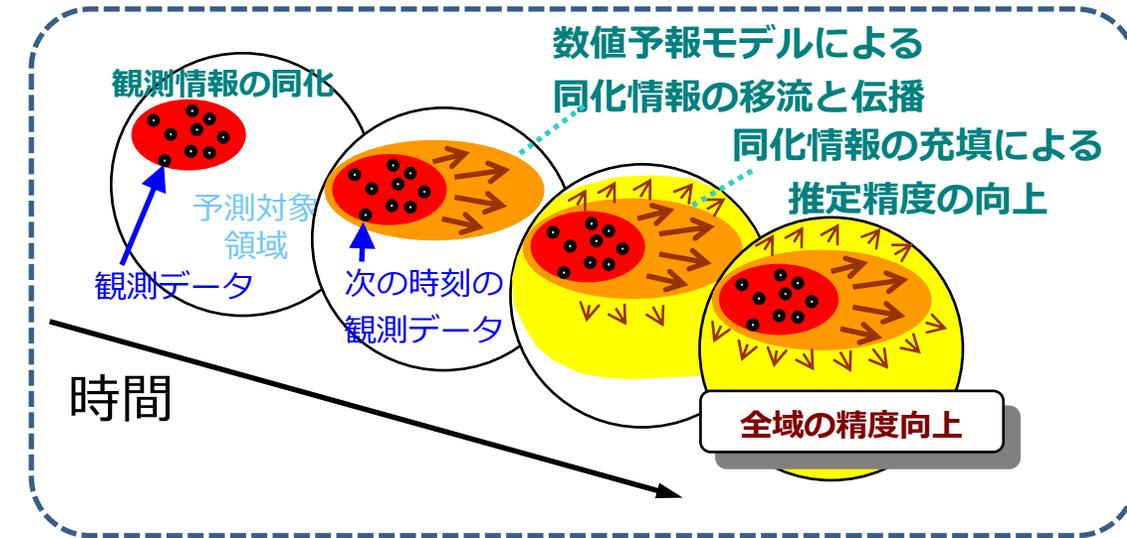


データ同化 (客観解析)

修正量(インクリメント)



予測計算 (数値予報モデルの実行)



予測計算 ～数値予報モデル～

- 現在の大気の状態（気温、風、湿度など）から、物理法則に基づいて数値計算を行い、未来の大気の状態を予測する
- 運動方程式、連続の式、状態方程式等を利用
 - これらの方程式をあわせて「**基礎方程式**」とも言う

力学過程

- 基礎方程式であらわに表現されている時間変化率
 - 移流、コリオリカ、気圧傾度力、収束・発散等
- 時間積分

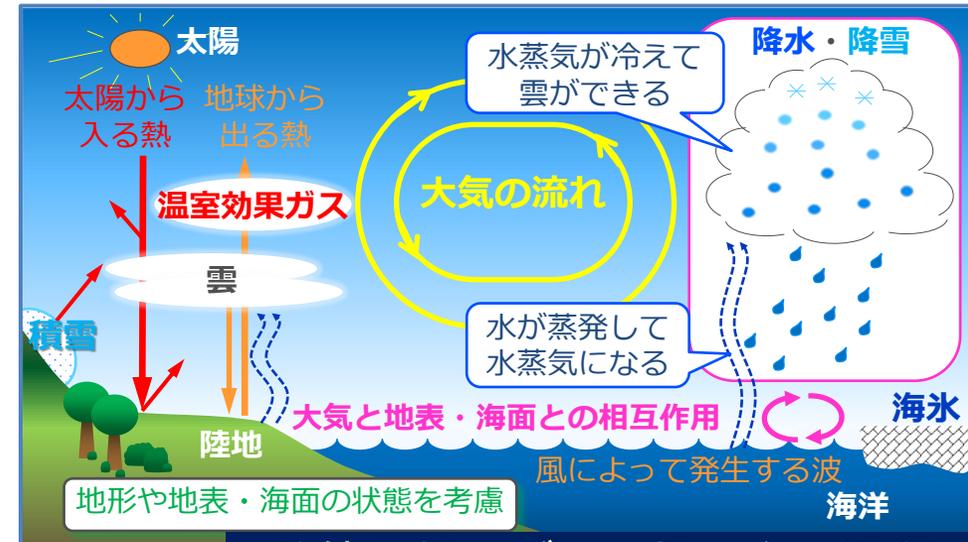
物理過程

- 上記以外の時間変化率（格子平均からのずれによる効果等）
 - 放射、雲水、積雲、境界層、陸面、重力波等
 - 複雑で未解明なことが多く、精度向上にはとても重要

大気を記述する方程式の例

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = F \Rightarrow \phi_{t+\Delta t} = \phi_t + F_t \Delta t$$

時間変化率 未来の値 現在の値



数値予報モデルで扱う主な過程

気象庁のコンピュータシステムの歴史

気象庁スパコンには60年以上の歴史がある

- 初代スパコンは、昭和34年に導入
- 現在のスパコンは、11世代目

数値予報開始当時の
大型電子計算機



第11世代スーパー
コンピュータシステム



CPUはインテル® Xeon® CPU
マックス 9480を採用
GPUはNvidia A100 80GB採用

数値予報に用いる計算機の変遷

世代	運用開始年月	主計算機	備考
I	1959/3	IBM 704	運用開始(本庁)
II	1967/4	HITAC 5020/5020F	
III	1973/8	HITAC 8700/8800	
IV	1982/3	HITAC M-200H(2台)	
V	1987/9	HITAC M-680	
	1987/12	HITAC S-810/20K	
VI	1996/3	HITAC S-3800/480	清瀬庁舎へ移転
VII	2001/3	HITACHI SR8000E1	
VIII	2006/3	HITACHI SR11000K1(2台)	
IX	2012/6	HITACHI SR16000M1(2台)	清瀬第3庁舎に設置
X	2018/6	Cray XC50(2台)	
XI	2024/3	Fujitsu PRIMERGY CX2550 M7(2台)	
	2023/3	Fujitsu PRIMEHPC FX1000(2台)	館林データセンターに設置

線状降水帯予測
スーパーコンピュータ



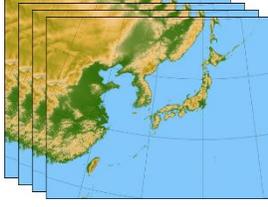
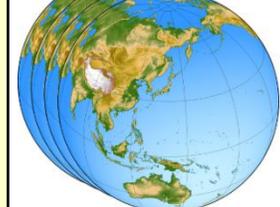
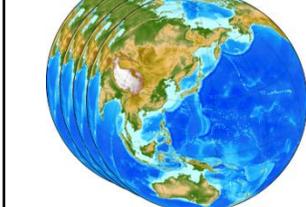
CPUはFujitsu Processor
A64FXを採用

現在運用中

気象庁で24時間365日運用中の主な数値予報モデル

線状降水帯予測
スーパーコンピュータで実行

スーパーコンピュータ
システムで実行

	局地モデル (LFM)	メソモデル (MSM)	メソEPS (MEPS)	全球モデル (GSM)	全球EPS (GEPS)	季節EPS (JMA/MRI-CPS3)
モデル領域*						
水平格子間隔	2 km	5 km	5 km	約 13 km	約27km (18日まで) 約40km (それ以降)	大気約 55 km 海洋約 25km
予報期間 (初期時刻)	18時間 (00,03,06,09,12,15,18,21UTC) 10時間 (上記時刻を除く正時)	78時間 (00,12UTC) 39時間 (03,06,09,15,18,21UTC)	39時間 (00,06,12,18UTC)	264時間 (00,12UTC) 132時間 (06,18UTC)	5.5日 (06,18UTC) *4 11日 (00UTC) 18日 (12UTC) 34日 (週2回)	7か月 (00UTC)
メンバー数	1	1	21	1	51 (18日まで) 25 (それ以降)	5
モデルを用いて発表する予報	航空気象情報 防災気象情報 降水短時間予報	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	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	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	台風予報 週間天気予報 早期天候情報 2週間気温予報 1か月予報	3か月予報 暖候期予報 寒候期予報 エルニーニョ監視速報
初期値解析手法	ハイブリッド 3次元変分法	4次元変分法	メソモデル初期値 + SV*1の摂動 (初期値+側面)	ハイブリッド 4次元変分法	全球モデル初期値+ SV*1の摂動 + LETKF*2の摂動	大気：全球モデル初期値 +BGM法*3の摂動 海洋：4次元変分法 +海洋解析誤差摂動
海面水温	固定値 (HIMSST)	固定値 (HIMSST) +1次元海洋混合層 モデルによる変動	固定値 (HIMSST) +1次元海洋混合層 モデルによる変動	偏差固定 (MGDSST)	6日以降に季節EPSの 予測SSTを利用 (2段階SST法)	3次元海洋モデルとの 大気海洋結合で変動を予 測

*1 SV :特異ベクトル / *2 LETKF :局所アンサンブル変換カルマンフィルタ / *3 BGM 法:成長モード育成法
*4 06,18UTCの気象業務支援センター経由でのデータ提供は、台風の条件を満たす場合のみ。

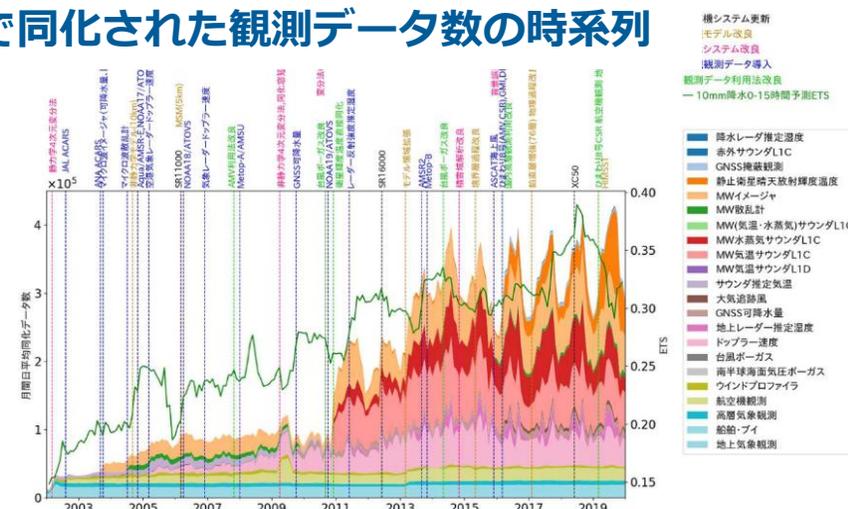
※図の地形データにはNational Centers for Environmental Information作成のETOPO1を使用



予報精度の向上

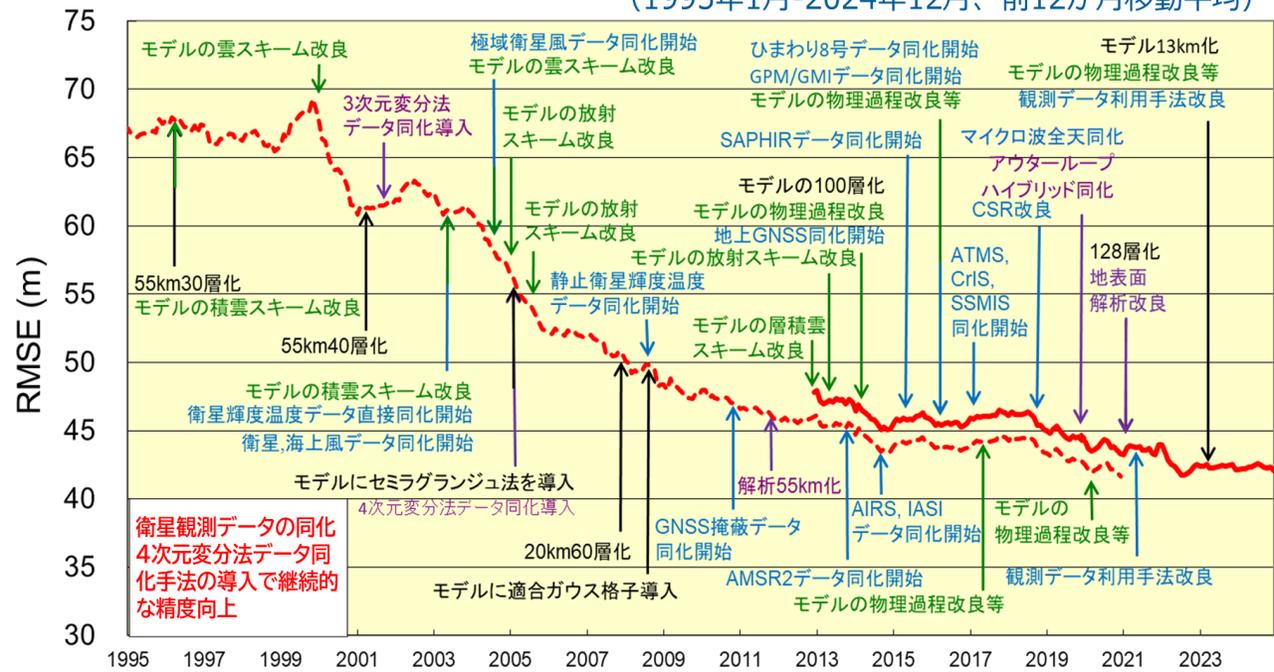
- 計算機能力向上
- 観測の高度化・充実
- 数値予報（データ利用・予測）技術の高度化

メソ解析で同化された観測データ数の時系列



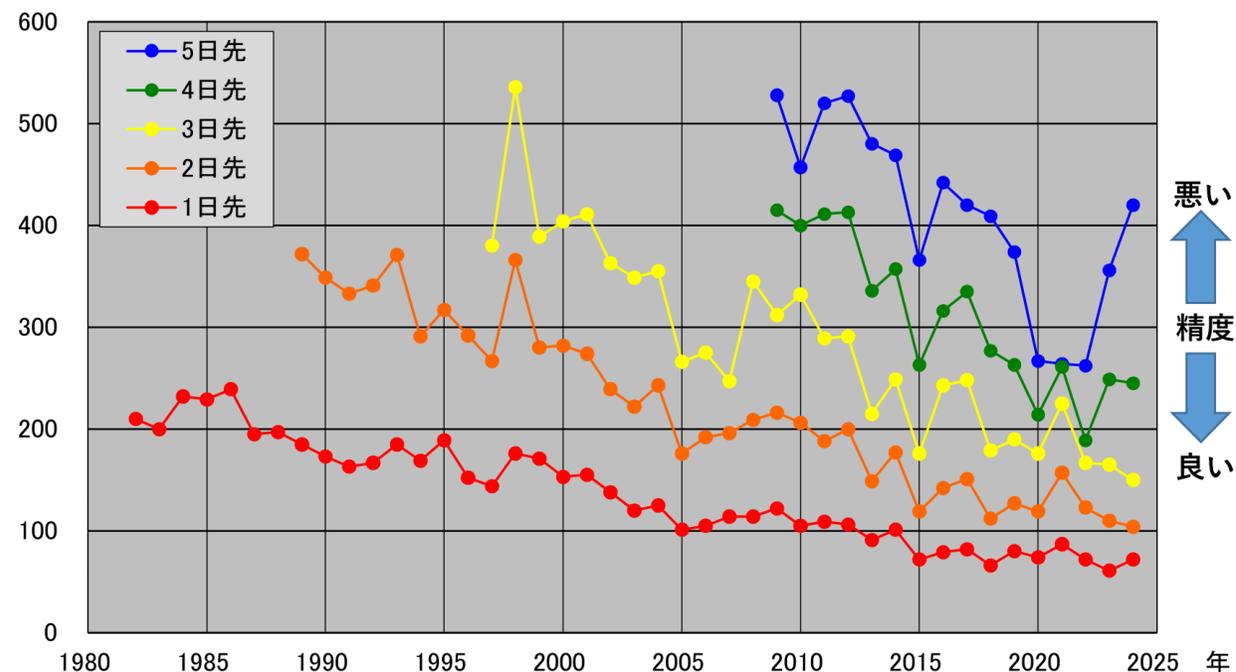
北半球500hPa高度の5日予報RMSE経年変化

(1995年1月-2024年12月、前12か月移動平均)



台風進路予報（中心位置の予報）の年平均誤差の時系列

進路予報誤差 (km)



気象情報と数値予報

時間スケール	ニーズ（例）	気象庁の主な情報	数値予報システム
～1時間	局地的大雨・落雷・突風等に伴う災害の軽減	ナウキャスト（降水・雷・竜巻）	
～1日	大雨に対する備えや避難、交通の安全・効率的運行（運航）	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	局地モデル、メソモデル、メソアンサンブル予報システム、高潮・波浪モデル
1日～3日	上記のほか、台風に対する備えや避難、黄砂・スモッグ対策、太陽光発電、風力発電の量的予測	分布予報、時系列予報、府県天気予報、台風予報、週間天気予報、航空気象情報、スモッグ気象情報、黄砂情報	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・波浪モデル、化学（物質）輸送モデル
3日～10日	上記のほか、レジャー、農業対策、雪害等への事前準備、電力需給計画	台風予報、週間天気予報、早期天候情報、2週間気温予報	全球モデル、全球アンサンブル予報システム、高潮・波浪モデル
10日～1か月	農業対策、雪害等への事前準備、電力需給計画、産業活動の効率化	早期天候情報、2週間気温予報、1か月予報	全球アンサンブル予報システム
1か月～	天候の移り変わり、農業対策	3か月予報、暖/寒候期予報、エルニーニョ監視速報	季節アンサンブル予報システム
10年～	地球温暖化対策 洪水への備え	地球温暖化予測情報	気候モデル（地球システムモデル）

数値予報は気象庁業務の技術基盤

2030年頃の近未来に向けた 気象庁の取組

2030年の科学技術を見据えた気象業務のあり方（提言概要）

～ 災害が激甚化する国土、変革する社会において国民とともに前進する気象業務 ～

平成30年(2018年)
交通政策審議会
気象分科会提言

【重点的な取組事項】



【取組推進のための基盤的・横断的な方策】

社会的ニーズを踏まえた不断の検証・改善

産学官・国際連携による持続的・効果的な取組

業務体制や技術基盤の強化

2030年の科学技術を見据えた気象業務のあり方 重点的な取組事項

① 観測・予測精度向上に係る技術開発

気象・気候

現在～
1時間程度
～半日程度
～3日程度
～1か月
～数ヶ月
数十年後
～100年後

(具体目標の例)

「いま」の気象状況と直近予測 (1時間先の大雨を実況に近い精度で予測)

早め早めの防災対応等に直結する予測

(線状降水帯の発生を含め集中豪雨の予測精度向上)

台風予報など数日前からの見通し予測

(3日先の進路予測誤差を現在の1日先と同程度へ)

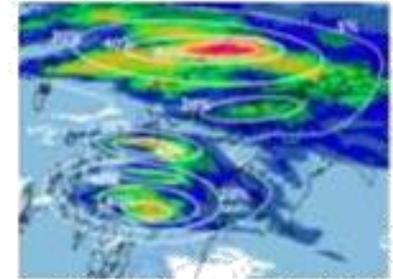
数週間先までの顕著現象の見通し予測

数ヶ月先の冷夏・暖冬等の予測 (確率予報をよりメリハリのある予報へ)

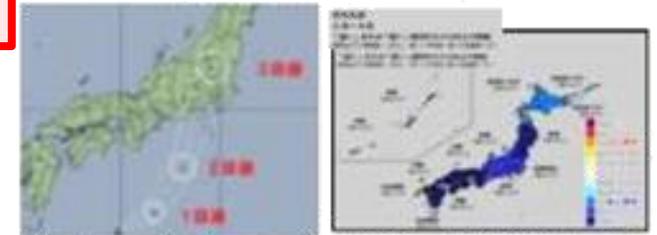
地球温暖化の将来予測 (詳細な地球温暖化予測で適応策を支援)

(具体的な取組の内容)

- 気象衛星、レーダー等の充実・高度化、膨大な観測データの活用
- 研究機関との連携等による数値予報技術向上、「地球システムモデル」導入



線状降水帯の予測



台風の進路予測 熱波、寒波の予測



地球温暖化の予測

「2030年に向けた数値予報技術開発重点計画」

平成30年(2018年)
気象庁



豪雨被害の頻発

- 近年、令和元年東日本台風や令和2年7月豪雨など、台風や線状降水帯による大きな被害が毎年のように発生
- 特に線状降水帯に、社会的にも強い関心が寄せられる
- 予測精度向上が喫緊の課題

これら事例のほか、

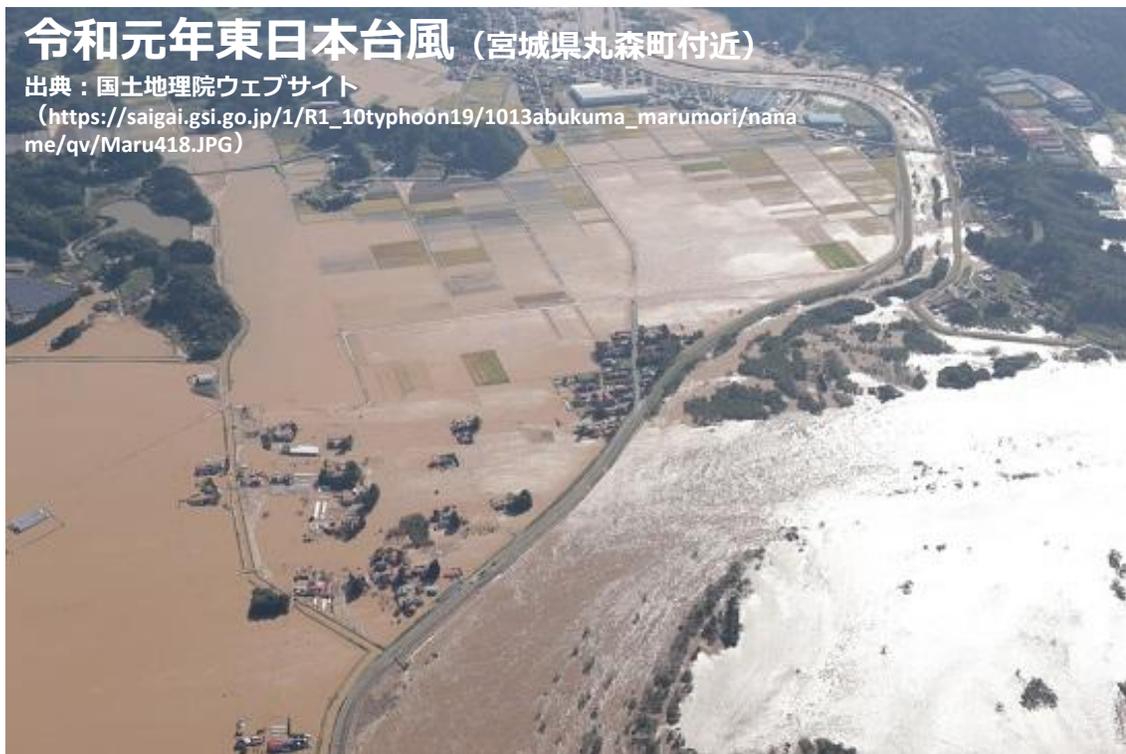
- 令和3年7-8月の大雨
- 令和4年台風第14号、15号
- 令和5年6-7月の大雨
- 令和6年7月の大雨 など

近年毎年のようにこのような災害が発生しています。

令和元年東日本台風（宮城県丸森町付近）

出典：国土地理院ウェブサイト

(https://saigai.gsi.go.jp/1/R1_10typhoon19/1013abukuma_marumori/naname/qv/Maru418.JPG)



令和2年7月豪雨（熊本県八代市坂本町付近）

出典：国土地理院ウェブサイト

(https://saigai.gsi.go.jp/1/R2_baiuzensenoame/kumagawa/naname/qv/124A2502.JPG)



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

※令和3年度補正予算、令和4年度予算・補正予算の概要から抜粋・整形

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。これらの技術開発の推進に必要な体制を強化。

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・・・二重偏波気象レーダー
- 洋上観測の強化・・・「凌風丸」代船建造、船舶GNSS観測の拡充

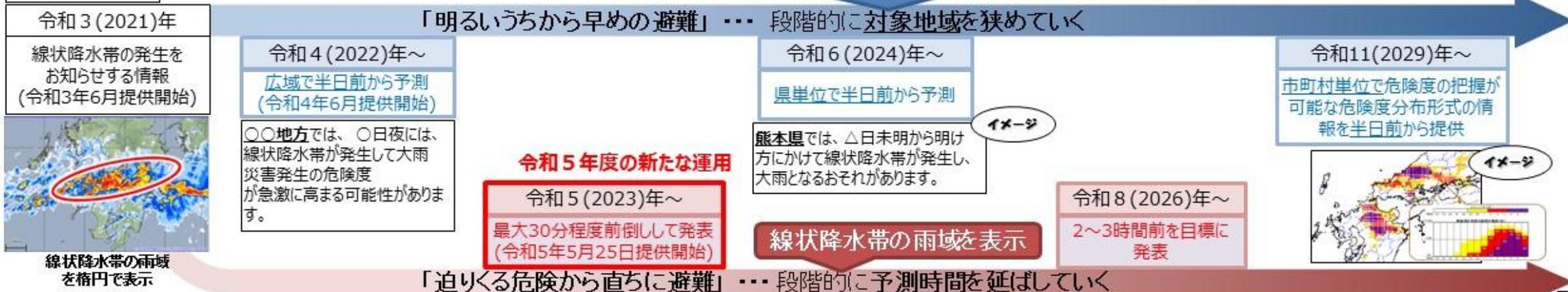


予測の強化

- 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



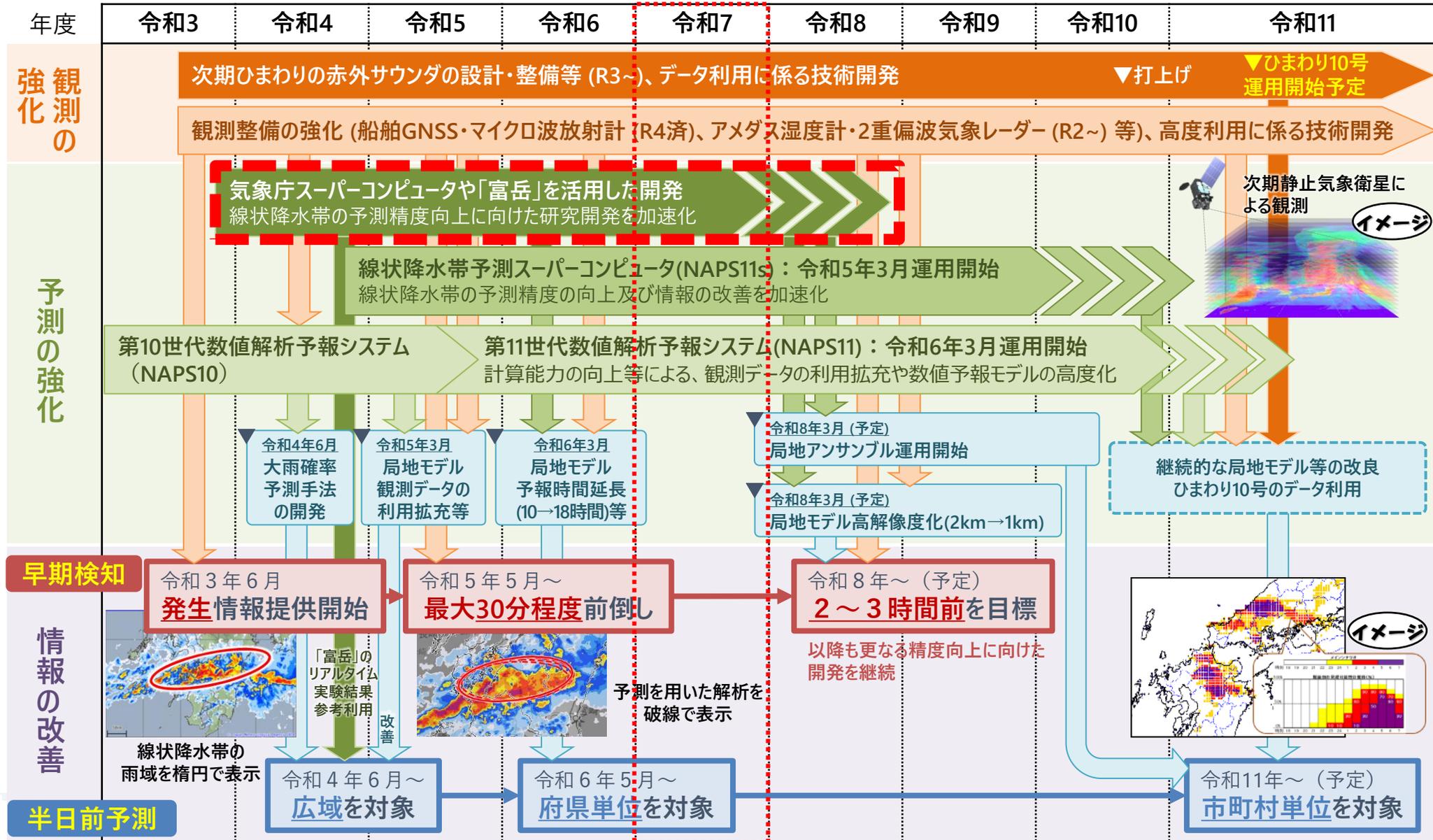
情報の改善



※具体的な情報発信のあり方や避難計画等への活用方法について、情報の精度を踏まえつつ有識者等の意見を踏まえ検討

線状降水帯の予測精度向上に向けたロードマップ

観測能力を大幅に強化した次期静止気象衛星等による水蒸気観測等の強化とともに、強化した気象庁スーパーコンピュータやスーパーコンピュータ「富岳」を活用した予測技術の開発等により予測を強化し、防災気象情報を段階的に改善。





富岳を活用した数値予報技術開発

富岳を活用した数値予報技術開発

- 気象庁の取組：平成30年（2018年）～
 - 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」
 - 気象庁「2030年に向けた数値予報技術開発重点計画」

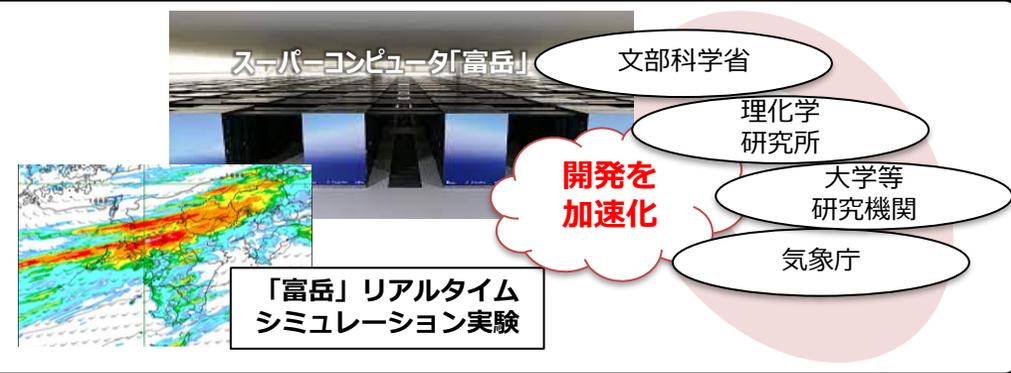


- 令和3年（2021年）～
 - 線状降水帯の予測精度向上等に向けた取組の強化・加速化
 - 観測の強化、**予測の強化** ⇒ 情報の改善

	2020	2025頃	2030
豪雨防災	<ul style="list-style-type: none"> メソアンサンブル予報システムの運用 局地モデルにおけるデータ同化手法の高度化 	<ul style="list-style-type: none"> 局地モデルを1km以下に高解像度化、積乱雲に関する諸過程の改良 局地アンサンブル予報システムの開発 局地モデルにおける観測ビッグデータの利用 	<ul style="list-style-type: none"> 集中豪雨発生前に、明る<u>いうちからの避難等</u>、<u>早期の警戒・避難を実現</u>
台風防災	<ul style="list-style-type: none"> 全球モデルの高解像度化、物理過程改良 メソモデルの物理過程改良 全球、メソモデルにおける衛星データの全天候利用手法開発 全球、メソモデルにおけるデータ同化手法の高度化 	<ul style="list-style-type: none"> 最適な階層的モデル・システム 全球モデルを10km以下へ高解像度化、高解像度に適した新しい物理過程の開発 全球、メソモデルにおける観測ビッグデータの更なる利用 AI技術を活用したモデル開発 	<ul style="list-style-type: none"> 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精度化
社会経済活動への貢献	<ul style="list-style-type: none"> 大気・海洋結合モデルの高解像度化、物理過程改良 海況モデルの高解像度化、物理過程改良 化学輸送モデルの高度化 	<ul style="list-style-type: none"> 階層的地球システムモデルの開発、海洋モデルの更なる高解像度化 陸、海洋、海氷、エロソルなど地球システムデータ同化の高度化 	<ul style="list-style-type: none"> 生産・流通計画の最適化等に資する高精度な気象・気候予測を実現

「富岳」を活用した数値予報モデル開発の加速化

- 令和3年度から、「富岳」の政策対応枠を活用し、局地アンサンブルや全球モデルの開発を実施中。令和4年度から、高解像度（1km）局地モデルのリアルタイムシミュレーション実験を実施。
- 業務向けの開発システムとほぼ同様の実験システムを「富岳」へ移植**
令和5年度から、公募による共同研究（観測データ高度利用に係る研究3件）を開始、研究機関等と連携した開発を推進。



定時実行確保等の課題を、R-CCSの全面協力で実現。開発成果の業務反映を更に円滑にすべく、取組を継続中

気象庁で24時間365日運用中の主な数値予報モデル

富岳政策
対応課題

	局地モデル (LFM)	メソモデル (MSM)	メソEPS (MEPS)	全球モデル (GSM)	全球EPS (GEPS)	季節EPS (JMA/MRI-CPS3)
モデル領域*						
水平格子間隔	2 km	5 km	5 km	約 13 km	約27km (18日まで) 約40km (それ以降)	大気約 55 km 海洋約 25km
予報期間 (初期値)	18時間 (00,03,06,09,12,15,18,21UTC) 10時間 (上記時刻を除く正時)	78時間 (00,12UTC) 39時間 (03,15,18,21UTC)	39時間 (00,06,12,18UTC)	264時間 (00,12UTC) 132時間 (06,18UTC)	5日 (06,18UTC) *4 1日 (00UTC) 34 (12UTC) 34 (12UTC)	7か月 (00UTC)
初期値	1	1	1	1	51 (18)	51 (18)
解析手法	ハイブリッド3次元変分法	4次元変分法	FSV-10の摂動 (初期値+側面)	4次元変分法	FSV-10の摂動 + LETKF*2の摂動	FSV-10の摂動 + LETKF*2の摂動
海面水温	固定値 (HIMSST)	固定値 (HIMSST) +1次元海洋混合層モデルによる変動	固定値 (HIMSST) +1次元海洋混合層モデルによる変動	偏差固定 (MGDSST)	6日以降に季節EPSの予報SSTを利用 (2段階SST法)	3次元海洋モデルとの大気海洋結合で変動を予測

**線状降水帯の
半日前予測に向け
予報時間延長**
2024年3月に予報時間延長：
本研究による技術開発の成果を活用

**線状降水帯の予測に向け
高解像度化**

**台風の詳細な予測に向け
高解像度化**

確率的な予測の精度向上に向けメンバー数の増強

*1 SV :特異ベクトル / *2 LETKF :局所アンサンブル変換カルマンフィルタ / *3 BGM 法:成長モード育成法
*4 06,18UTCの気象業務支援センター経由でのデータ提供は、台風の条件を満たす場合のみ。

※図の地形データにはNational Centers for Environmental Information作成のETOPO1を使用

豪雨防災、台風防災に資する 数値予報モデル開発

「富岳」政策対応利用課題

豪雨防災課題

①リアルタイム1km局地モデル（LFM）実行

- ・ 開発中の高解像度モデルによるシミュレーションを1日4回実施
- ・ 更なる高速化

②局地アンサンブル予報システム（LEPS）の最適仕様検討

- ・ 令和5年度末に現業化された局地数値予報モデル（2km）をベースに21メンバーのアンサンブル予報の最適な摂動の与え方について調査

③学官連携による観測データの利用高度化

- ・ 二重偏波気象レーダー及び現行ひまわり高解像度データ利用高度化
- ・ 大学や研究機関が有する知見やデータを活用しつつ、データの品質管理手法の開発及びその同化インパクト調査

台風防災課題

高解像度全球数値予報モデルの開発

- ・ 台風に伴う豪雨環境場等の精度向上を目指した、水平解像度10km, 5kmの気象庁全球モデル（GSM）における物理過程の精緻化の調査、さらなる高速化、課題の把握

豪雨防災①:リアルタイム1km局地モデル (LFM) の実行

開発中の高解像度(1km)モデルによるリアルタイム予測実験 (6月~10月)

令和4年度:九州地方を中心とした狭領域で1日2回18時間予報

令和5年度: 予測領域を日本全域に拡大して、1日2回18時間予報

令和6年度:日本全域を対象とした、1日4回18時間予報

日本全域を対象とした実験を1日4回に高頻度化

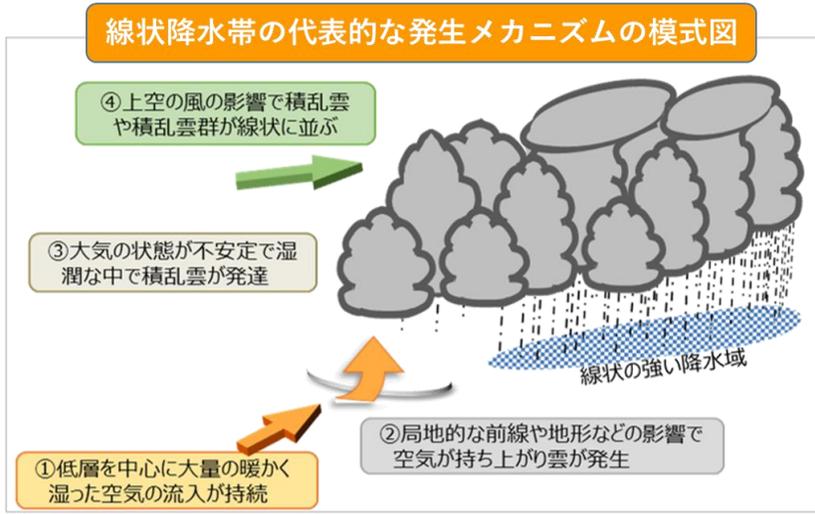
早朝や夕方を初期時刻とした予測についても精度の確認を実施

令和7年度末の本運用開始後は1日8回の実行とする計画

初期値及び境界値を「富岳」にリアルタイム伝送、「富岳」で予測計算

計算結果を気象庁にフィードバックし、予報作業の参考資料としても活用

モデル改良、
高速化開発を継続



※部内の日々の予報検討のブリーフィングで「富岳」の結果を使用

リアルタイム安定運用のための工夫

雲物理過程等におけるSIMD化の促進、入出力に関する最適化等の高速化を実施

計算速度が大幅に向上

富岳での計算時間は20%程度高速化

令和7年度末から気象庁で運用する仕様における処理時間全体は概ね半減

令和7年度末:成果を気象庁「線状降水帯予測スーパーコンピュータ」で運用開始予定

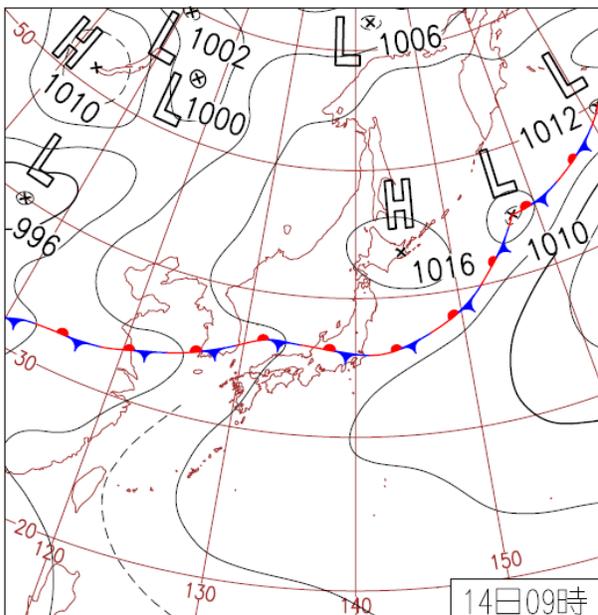
※「富岳」同型機

事例①線状降水帯

2024年7月14日 天気図

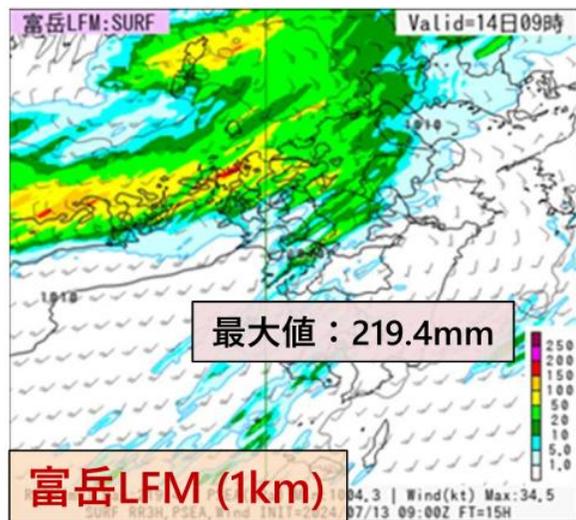
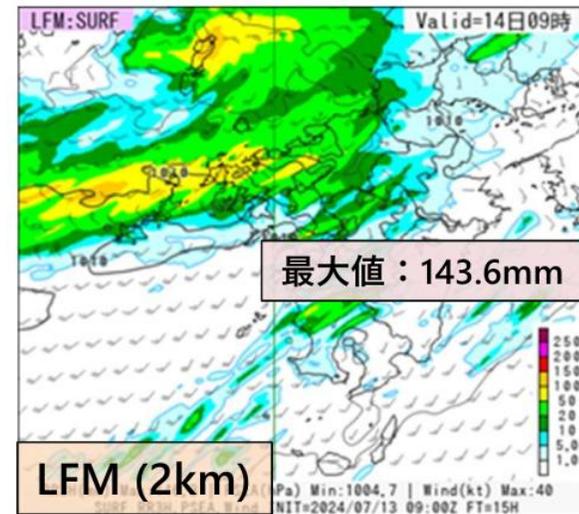
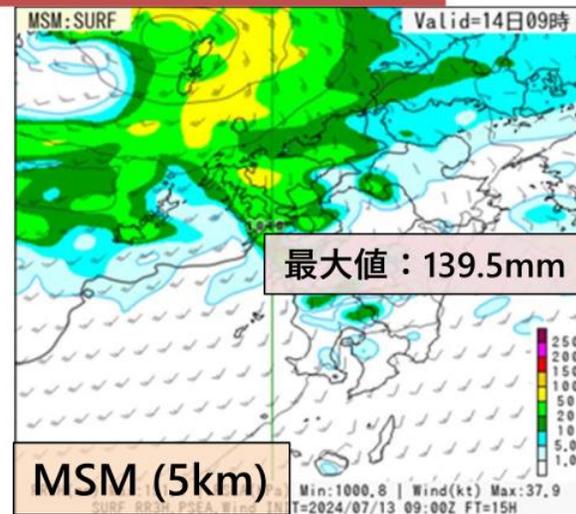
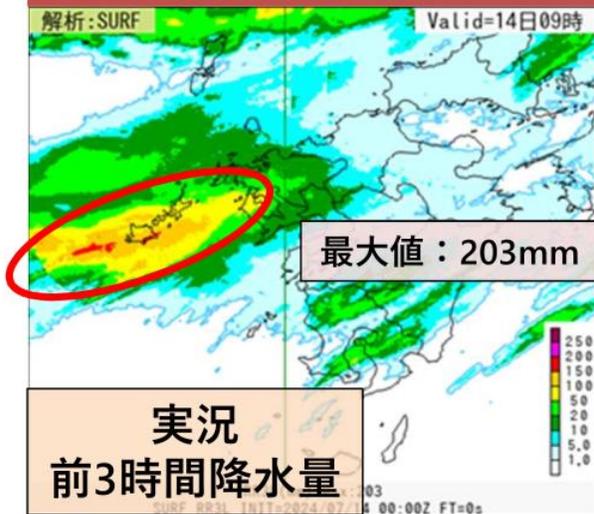
2024年7月14日9時対象：長崎県で線状降水帯が発生した事例

※図は全て前3時間積算雨量を示す。



梅雨前線が日本付近に停滞し、14日から15日にかけては対馬海峡付近を通って東日本にのびていた。前線に向かって暖かく湿った空気が流れ込み、西日本から東日本では大気の状態が非常に不安定となった。

数値予報モデルの予測ができ、半日程度前からの呼びかけもできた事例

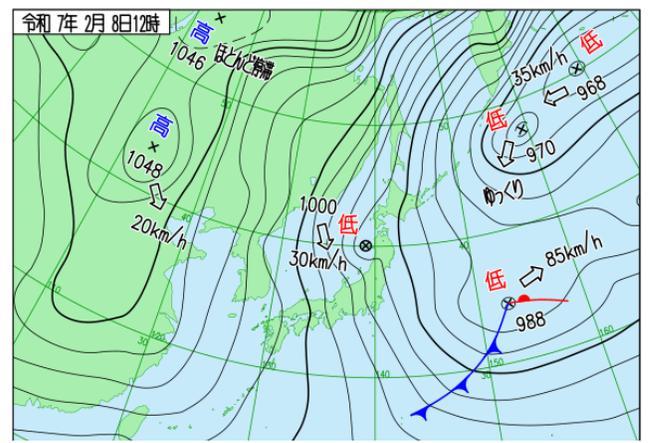


MSM (5km)：水平解像度 5 kmの現業メソモデル
 LFM (2km)：水平解像度 2 kmの現業局地モデル
 富岳LFM (1km)：「富岳」で開発中の水平解像度 1 kmのLFM

- 初期時刻から15時間後の予測値を示す。
- 長崎県の線状降水帯（赤色円）の降水域について、LFM及び富岳LFMの予測降水量は、最大値の位置がやや北側に位置する傾向がみられたが、MSMに比べて概ね実況に近かった。
- 3時間積算雨量に着目すると、富岳LFMでは降水域の強度が実況に最も近い。

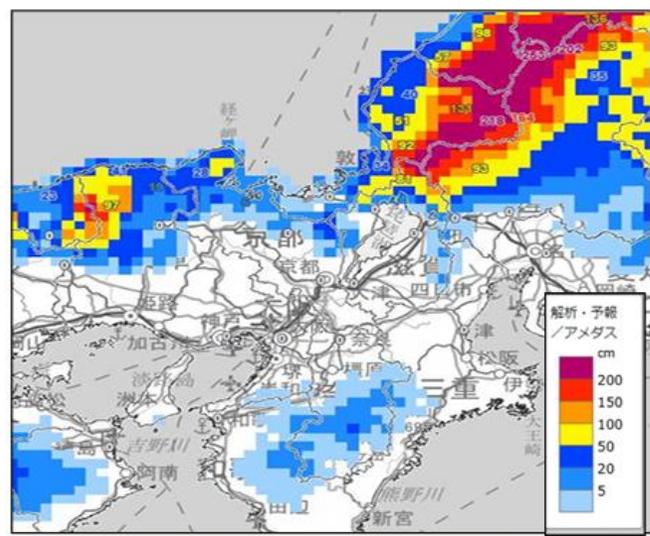
「富岳」1km局地モデル開発実験 事例②

(令和7年2月8日 日本海側や山沿いで大雪となった事例)



2月8日12時の地上天気図

積雪の深さ(実況) 2月7日12時



これまでの大雪により、アメダスの観測では積雪が福井県で200センチを超え、近畿北部で100センチ近くとなっている所がある。

← **ポスト**

気象庁防災情報 @JMA_bousai

【引き続き大雪等に警戒！】日本付近は7日から再び強い寒気が流れ込んでおり、北日本から西日本では9日にかけて、日本海側を中心に広い範囲で大雪や非常に強い風が吹いて大荒れの天気となる。大雪による交通障害、暴風雪・暴風や高波に警戒。10日からは、冬型の気圧配置は次第に緩む見込み。

12時間降雪量 (8日2時まで)

- 新潟県新潟市松浜では、7日21時までの3時間に30センチの顕著な降雪
- 新潟県新潟市新潟では、7日20時までの3時間に26センチの顕著な降雪
- 石川県七尾市本府中町では、7日20時までの6時間に25センチの顕著な降雪

【警戒級となる可能性のある期間】

日	8日	
	12~18	18~6
北海道地方	大雪	
	波浪	
北日本	大雪	
	暴風雪・暴風	
東北地方	大雪	
	波浪	
関東甲信地方	大雪	
	波浪	
東日本	大雪	
	波浪	
北陸地方	大雪	
	波浪	
東海地方	大雪	
西日本	大雪	
	大雪	
中国地方	大雪	

●可能性がある

12時間降雪量(8日2時まで)

新潟県 新潟(ニイガタ) 50cm※

新潟県 松浜(マツハマ) 42cm

※昨冬までの1位の値以上

午後0:21 · 2025年2月8日 · 21.1万 件の表示

気象庁 X ポスト

2/8 00:21

12 431

過去の記者発表 (令和7年2月4日 × +)

kkrr.mlit.go.jp/bousai/taiou/kinki/070204ooyukikako.html

2025年2月8日

道路 大雪の影響による通行止めについて 中部縦貫自動車道 (第1報)

2025年2月8日

道路 大雪の影響による通行止め区間について (近畿) 24 時現在» ~国道9号 通行止めを開始~

2025年2月7日

道路 名神・新名神高速道路等の通行止めについて 道路、名阪国道、北陸道 国道1号・8号・21号 (第1報)

2025年2月7日

道路 国道9号の通行止めのお知らせ (第1報)

2025年2月7日

道路 大雪の影響による通行止め区間について (近畿) 21 時現在» ~名神・新名神高速道路等 7日21時現在

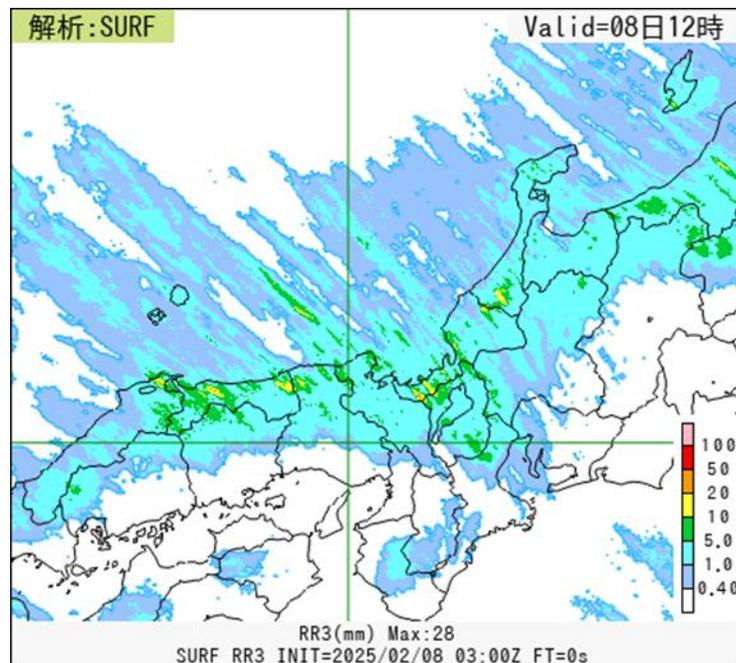
<https://www.kkr.mlit.go.jp/bousai/taiou/index.html>

国土交通省近畿地方整備局
報道発表の記録

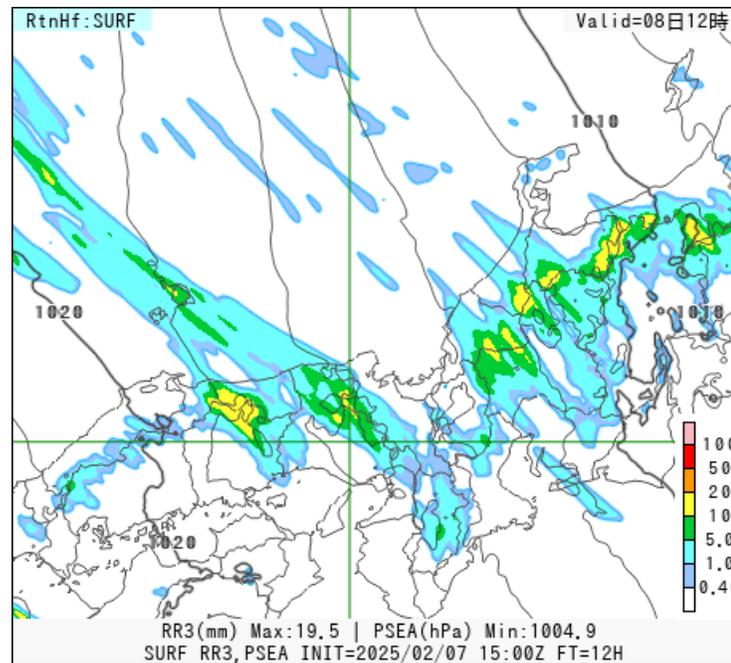
「富岳」 1km局地モデル開発実験 事例②

(令和7年2月8日 日本海側や山沿いで大雪となった事例)

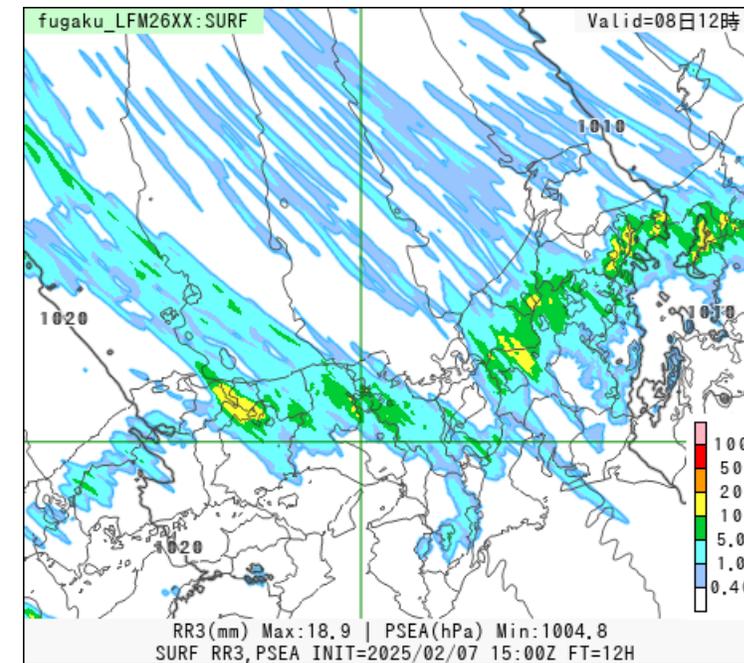
実際の降水
(解析雨量)



2kmLFMの予測
(12時間前からの予測)



「富岳」 1kmLFMの予測
(12時間前からの予測)



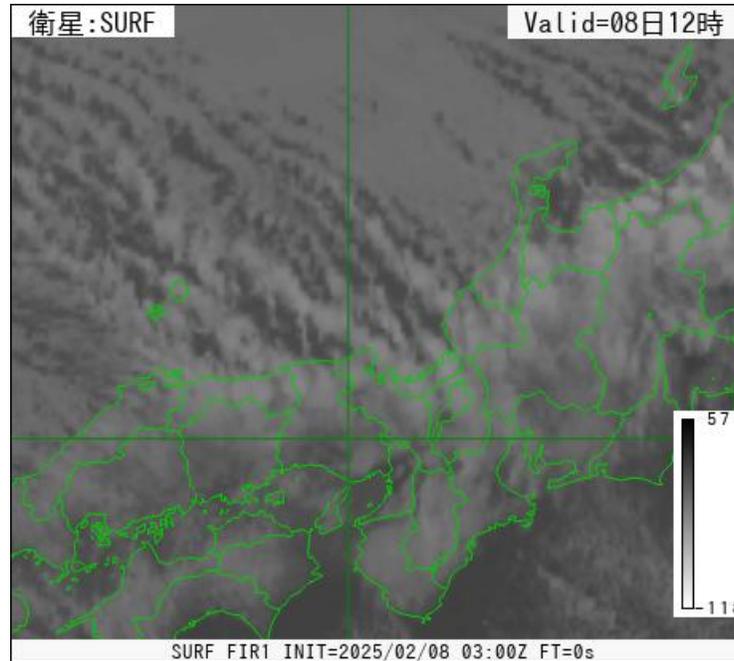
12時間先の予測において、

- **【中図】** 気象庁スパコンで現業運用中の水平解像度2kmの局地モデル (LFM) による予測：
 - 日本海海上の降水予想が弱い。JPCZ (日本海寒帯気団収束帯) も、予想はあるが弱い。
- **【右図】** 「富岳」で試験中の水平解像度1kmの局地モデル (LFM) のシミュレーション実験による予測：
 - 2kmLFMよりも日本海海上の降水予想が実際に近い。JPCZも、はっきり予想されている。

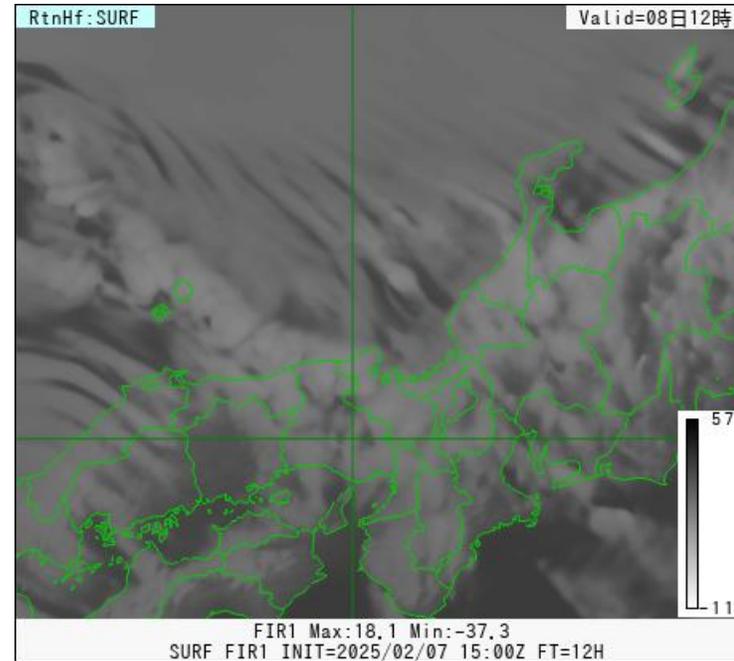
「富岳」1km局地モデル開発実験 事例②

(令和7年2月8日 日本海側や山沿いで大雪となった事例)

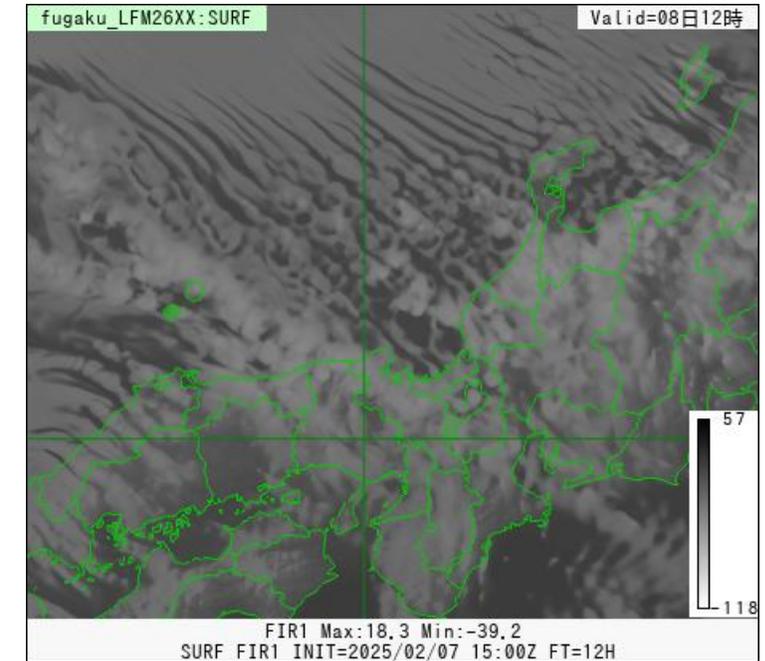
実際の衛星画像
(赤外)



2kmLFMの予測によって作成した画像
(12時間前からの予測)



「富岳」1kmLFMの予測によって作成した画像
(12時間前からの予測)



12時間先の予測において、

- **【中図】** 気象庁スパコンで現業運用中の水平解像度2kmの局地モデル (LFM) による予測 :
 - 雪雲の予想はメリハリが弱く、ややぼやけている。
- **【右図】** 「富岳」で試験中の水平解像度1kmの局地モデル (LFM) のシミュレーション実験による予測 :
 - 2kmLFMよりもメリハリのある、より詳細な雪雲が予想されている。

豪雨防災②: 局地アンサンブル予報システム(LEPS)の最適仕様検討

アンサンブル予報とは

複数の**数値予報**の集合（アンサンブル）によって予測とその**不確実性**を事前に推定する手法
 初期値などに**小さな摂動（揺らぎ）**を与えて複数の数値予報の集合（アンサンブル）を作成
 それぞれの予測を**アンサンブルメンバー**（または単に**メンバー**）、
 摂動を与えていないメンバーを**コントロールラン**と呼ぶ。

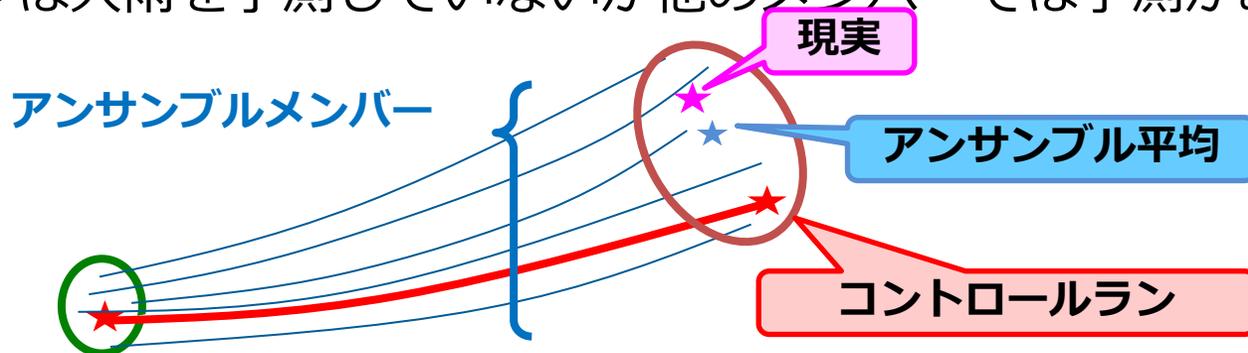
解析誤差、数値予報モデル、境界値の不確実性を考慮する必要がある。

アンサンブル予報の利点

アンサンブルメンバーのばらつきによって予測の不確実性（信頼度）が推定できる。
 （ばらつきが小さいと予測の信頼度が高いと期待される、など）

可能性のある複数のシナリオが考慮できる。

（コントロールランは大雨を予測していないが他のメンバーでは予測がある、など）



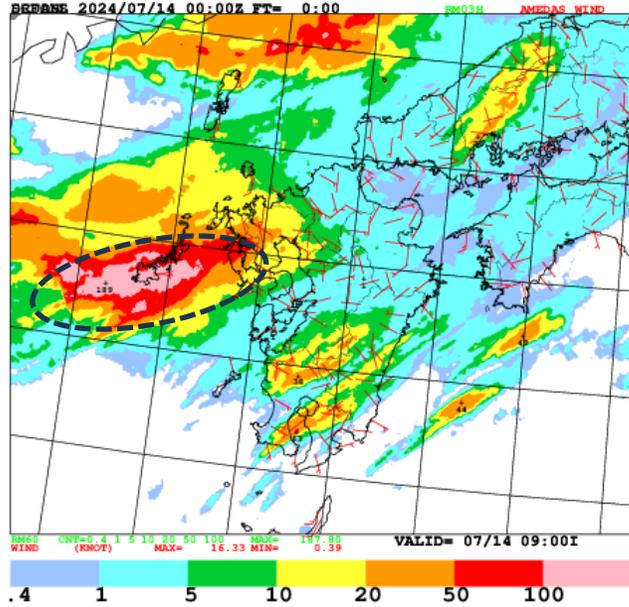
豪雨防災②:局地アンサンブル予報システム(LEPS)の最適仕様検討

- メンバー数増強と高解像度化の効果の調査（令和3～5年度）
 - トレードオフ関係を踏まえたシステム構成の検討
 - **高解像度化**：1km, 2km, 5kmの比較（いずれも21メンバー）
 - ※ 5km, 21メンバーは現行のメソアンサンブル予報システム（MEPS）と同じ
 - **メンバー数増強**：21メンバーと101メンバーの比較（水平解像度2km）
 - 効果の比較。令和7年度末の気象庁スーパーコンピュータにおける実現可能性の検討。
 - ⇒ 必要資源と効果を勘案し2km, 21メンバー仕様とする
- 2km,21メンバーのシステムでの最適な摂動の検討（令和6～7年度）
 - 初期摂動・側面境界摂動により線状降水帯発生環境場の不確実性を表現し、その環境場における高解像度モデルの予測により発生可能性を捉える。
 - 多くの線状降水帯事例において、その発生可能性を捉えられることを確認。
- 運用開始に向けた「富岳」リアルタイムシミュレーション（令和7年度）
- 令和7年度末：気象庁「線状降水帯予測スーパーコンピュータ」で運用開始予定
 - ※「富岳」同型機

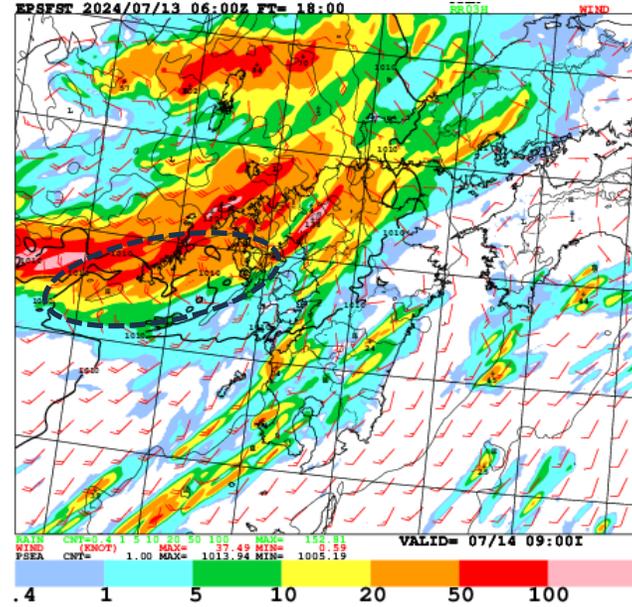
1km局地モデル（LFM）
の高速化の成果を反映

局地アンサンブル予報システム(LEPS)による予測例 (令和6年7月14日9時頃に長崎県で発生した線状降水帯)

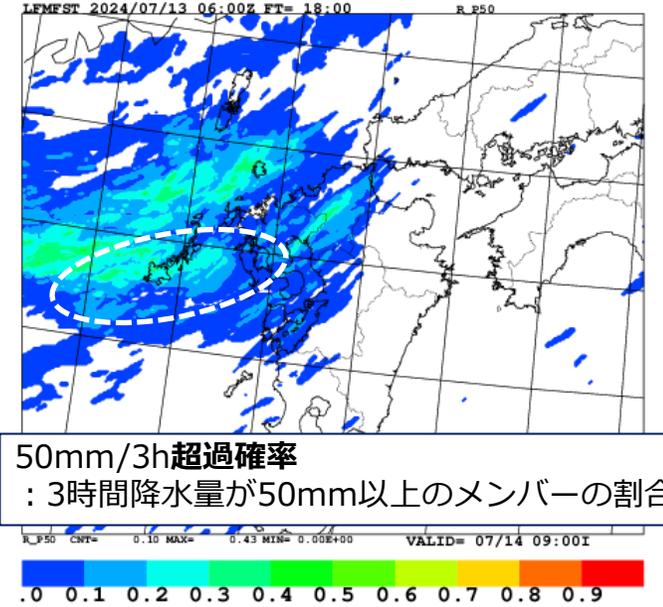
実際の降水
(観測)



2kmLFMの予測
(18時間前からの予測)



「富岳」2kmLEPS (21メンバー) の予測
(18時間前からの予測)



50mm/3h超過確率
: 3時間降水量が50mm以上のメンバーの割合

18時間先の予測において、

- **【中図】** 気象庁スパコンで現業運用中の水平解像度2kmの局地モデル (LFM) による予測：
 - 長崎県五島付近で強雨が降る予測はできていたが実際の降水域に比べるとやや北寄り ※50mm/3h超過確率
- **【右図】** 「富岳」で開発中の水平解像度2km (21メンバー) の局地アンサンブル予報システム (LEPS) の実験による予測：
 - 2km LFMよりも**南寄り**で強雨となるアンサンブルメンバーが複数存在。
 - 初期摂動の効果。与えた初期摂動による予報初期の振る舞いが、その後の時間発展に影響する効果も含む。
 - 50mm/3hの超過確率として実際の降水域を捕捉。

豪雨防災③:学官連携による観測データの利用高度化

令和4年度

- **気象庁の現業準拠の数値解析予報実験システムを「富岳」に移植**
 - 大学の研究者に試行的に利用頂き、気象庁外の研究者等が利用するにあたっての問題点等の指摘を本環境利用時に参照されるマニュアル等に反映

令和5年度～

- **線状降水帯予測精度向上に向け早急に利用高度化を図る必要のある、現行ひまわり高解像度データ、二重偏波ドップラー気象レーダーに係る研究提案を広く募り、3件の研究開発を実施中**
 - 「集中豪雨の予測精度向上に資する晴天放射輝度のキャラクタリゼーション」（千葉大学）
 - 「二重偏波気象ドップラーレーダーを用いた動径風の品質管理法と観測誤差推定法の開発」（防災科学技術研究所）
 - 「沖縄レーダーの観測範囲に出現する「メソ対流系」に伴う偏波パラメータの鉛直構造の解析と現業メソ予報モデルとの比較」
- **「富岳」に構築した現業準拠の数値解析予報実験システムを用いることにより、大学や研究機関の先端的な知見を現業システムに円滑に取り込み、開発を加速化。**

気象衛星「ひまわり」による 晴天放射輝度データ

放射輝度

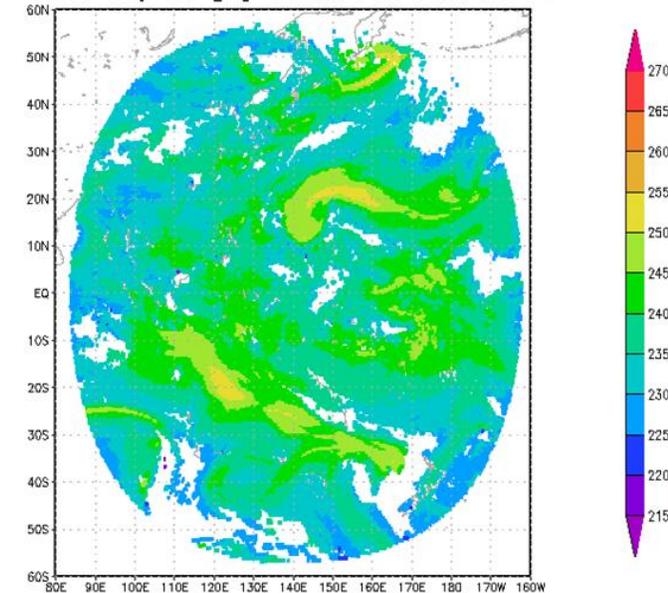
気象衛星が観測する地球（地表や雲）から射出された放射のデータ（等価黒体温度に変換した輝度温度として扱ったもの）

「晴天放射輝度」は、雲のない領域の放射データ
大気中の水蒸気・二酸化炭素・酸素・オゾンなど様々な
気体分子の影響を受けており、このデータを分析することで、
大気の状態を知ることができる。

この研究では、気象衛星「ひまわり」が観測した晴天放射輝度データの分析手法を高度化して、集中豪雨をもたらす**大気中の水蒸気の解析精度を向上させることで集中豪雨の予測精度向上につなげていく**ことに取り組んでいる。

晴天放射輝度データの例

Clear Sky BT [K] Band8 201506010300



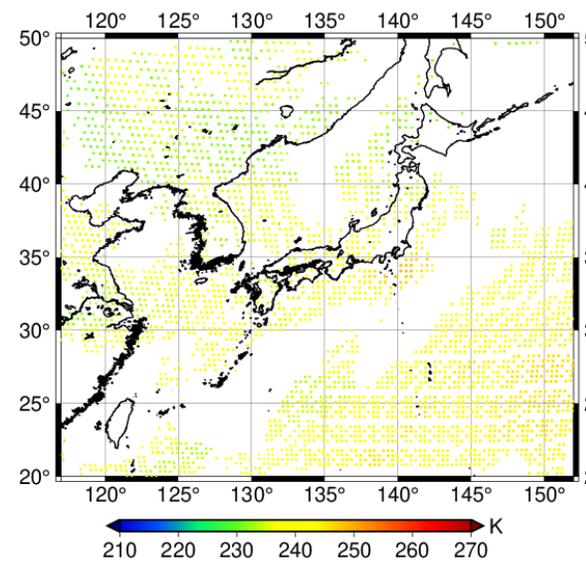
現行ひまわりデータの利用高度化

集中豪雨の予測精度向上に資する晴天放射輝度のキャラクタリゼーション

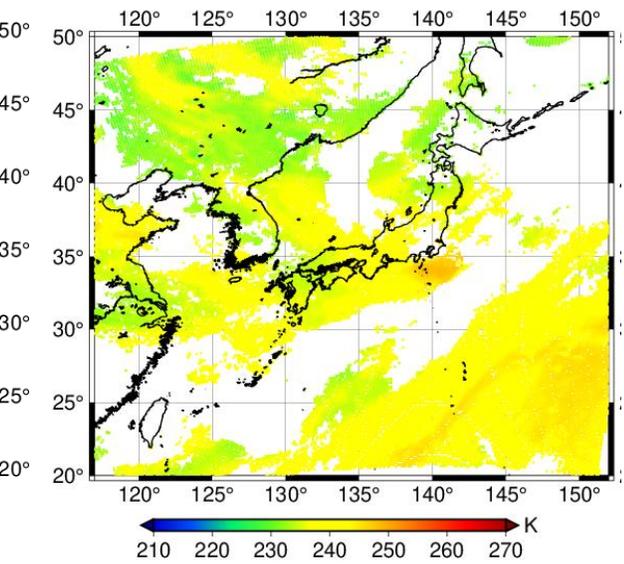
概要：現行ひまわりの晴天放射輝度（CSR）データについて、高解像度化の効果や地表面の影響等を考慮した利用方法高度化を目指す。

- 高解像度化CSRの間引き距離変更による高密度同化および観測誤差設定の調査を実施
 - 高密度同化、観測誤差設定を調整することでモデル水蒸気場表現の改善を示唆
- 積雪面などの地表面状態がCSRに及ぼす影響について、JAXAが運用するGCOM-C衛星観測などを利用して調査を実施中

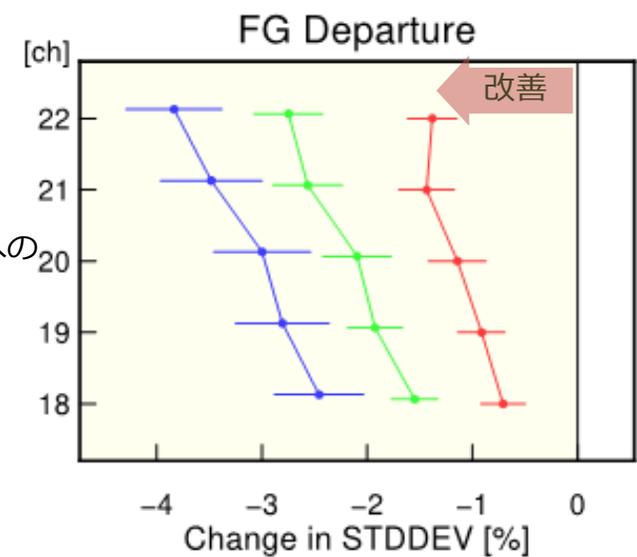
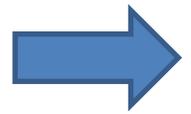
現CSR (45km間引き)



高解像度CSR(15km間引き)



数値予報モデルへのインパクト確認



- 45km間引き (現業と同じ)
- 30km間引き
- 15km間引き

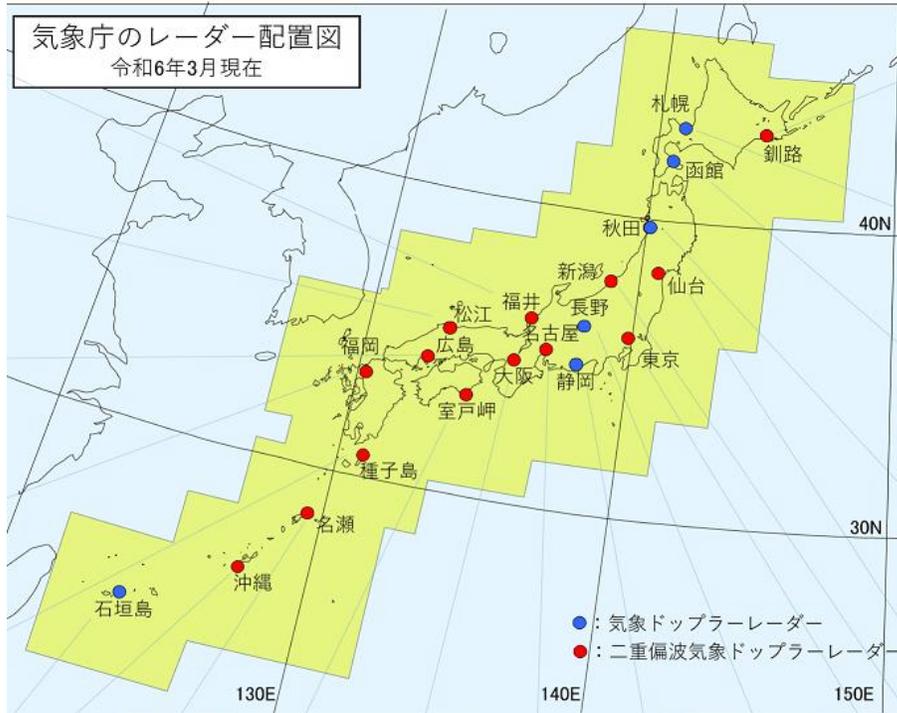
ひまわりCSRの高密度同化により、詳細な水蒸気分布を捉えた可能性を示唆。

水蒸気に感度がある衛星搭載センサー (ATMS)とモデルとの比較による改善の確認

現行ひまわりCSR輝度温度分布の例(B08, 2021/06/29 15UTC)

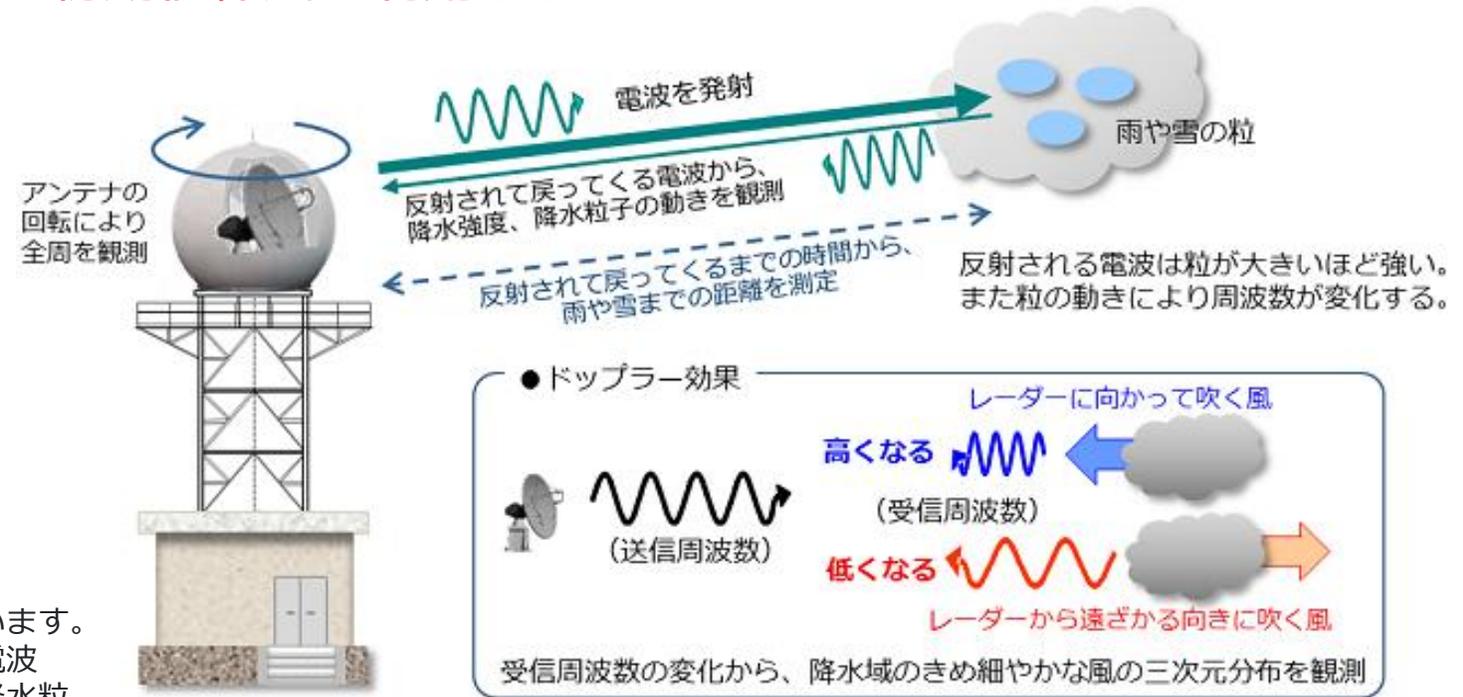
気象庁のレーダー観測

気象庁は1954年に気象レーダーの運用を開始し、現在、全国に20か所に設置しています。



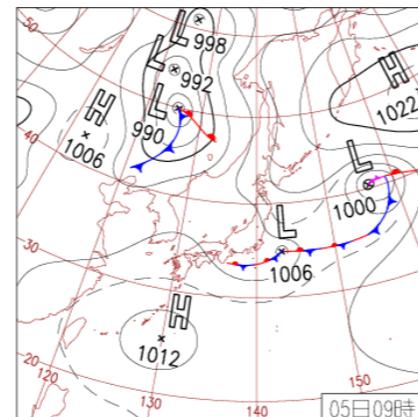
令和2年3月から二重偏波気象ドップラーレーダーの導入を開始しています。二重偏波気象ドップラーレーダーは、水平方向と垂直方向に振動する電波（それぞれ水平偏波、垂直偏波という。）を用いることで、雲の中の降水粒子の種別判別や降水の強さをより正確に推定することが可能です。

気象レーダーは、アンテナを回転させながら電波を発射し、半径数百kmの広範囲内に存在する雨や雪を観測します。戻ってきた電波の周波数のずれ（ドップラー効果）を利用して、雨や雪の動きすなわち降水域の風（レーダー動径風）を観測することができます。これらの観測データは、数値予報の初期値作成で利用します。



レーダー動径風の品質管理手法の高度化

- 低風速の動径風は主に地表付近にて観測される。レーダービームが地形により遮蔽される影響を受ける場所もある。
- 防災科研の先行研究によるツール・知見を活用し、遮蔽の影響を受けたデータの品質調査を実施し、遮蔽の影響を考慮することでデータ品質が向上する可能性を確認。



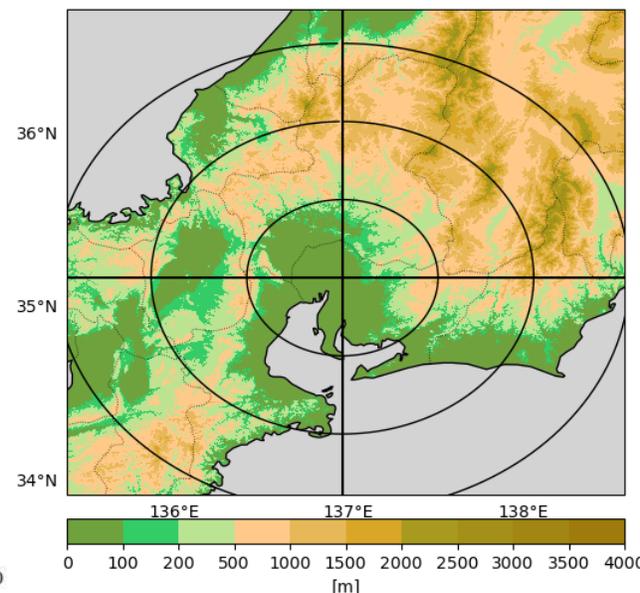
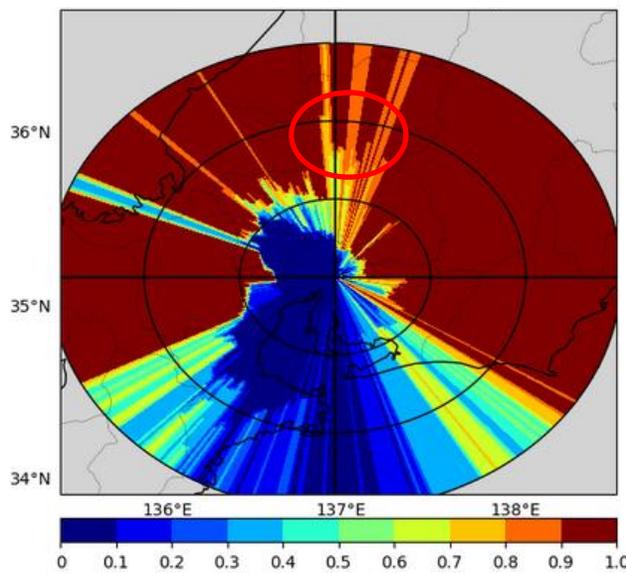
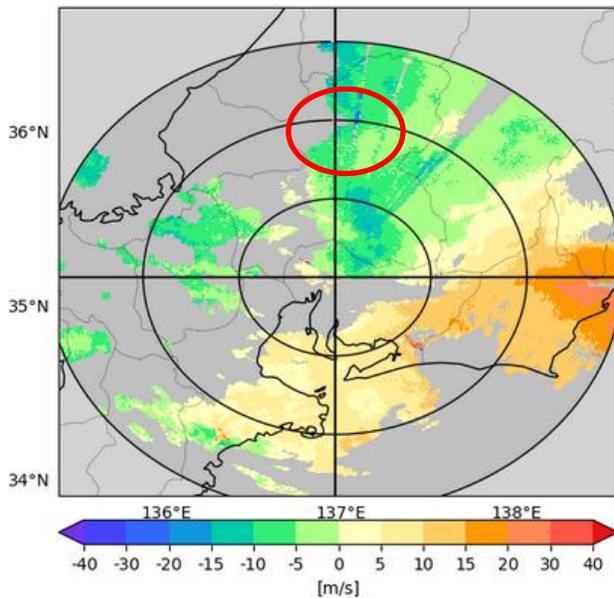
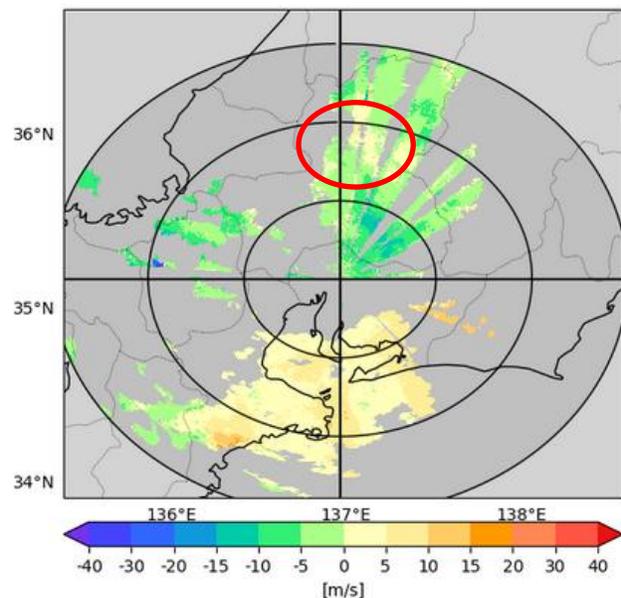
北寄りの風が吹いている場にて地形遮蔽によって動径風が小さく観測された例：
 高仰角（1.3度）では北寄りの風。遮蔽の影響を受ける低仰角では弱風又は南寄りの風。

動径風（仰角0.2度）

動径風（仰角1.3度）

遮蔽率（仰角0.2度）

標高



台風防災:高解像度全球数値予報モデルの開発

令和3～5年度

- 10km, 5kmの気象庁全球モデルGSMの実現可能性の調査・課題の把握
 - 物理過程改良を取り込みながら、高解像度化したGSMの予測特性の調査
 - 高速化手法の開発（並列計算手法の改良、通信の単精度化、ソースコードレベルの最適化等）

令和6年度

- 解像度10km、5km全球モデルにおける**積雲対流過程や海面の扱いの精緻化**が、台風の発達や、台風からの湿潤な空気の流れこみの予測に与える影響調査
 - 適切な積雲対流過程の設定、台風による海のかき混ぜを考慮することで、10km, 5km全球モデルで見られた台風周辺での降水の過度な集中の緩和を確認。
- モデルの安定実行のための計算手法の改良検討
 - 小スケールの数値ノイズを除去するフィルターの導入と移流計算の精緻化を組み合わせることの有効性を確認
- これまでの高速化成果の現業数値予報システムでの実用化
 - **並列計算手法の改良を令和6年度末の全球モデル更新で導入**

高解像度GSMによる令和5年台風第2号の予測事例

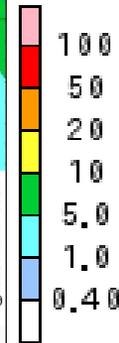
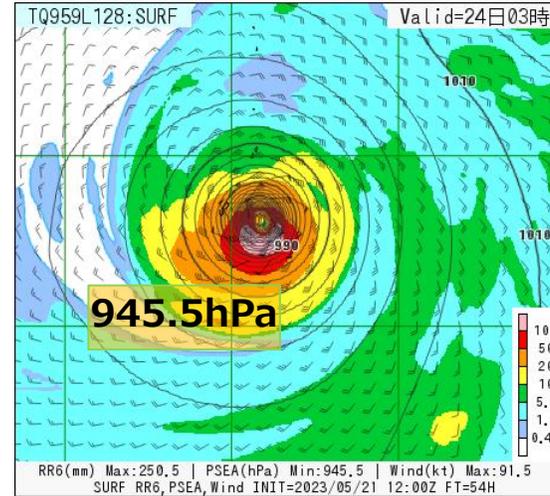
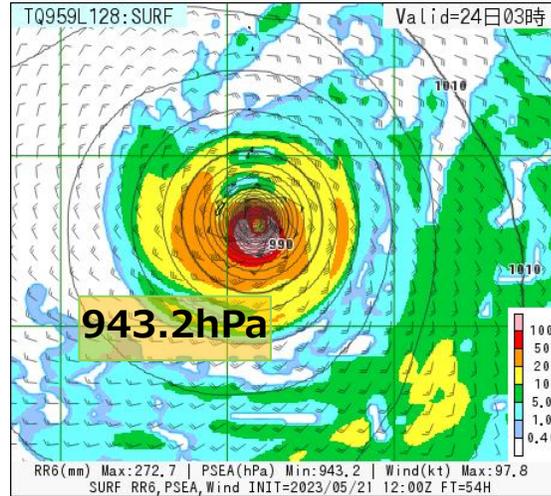
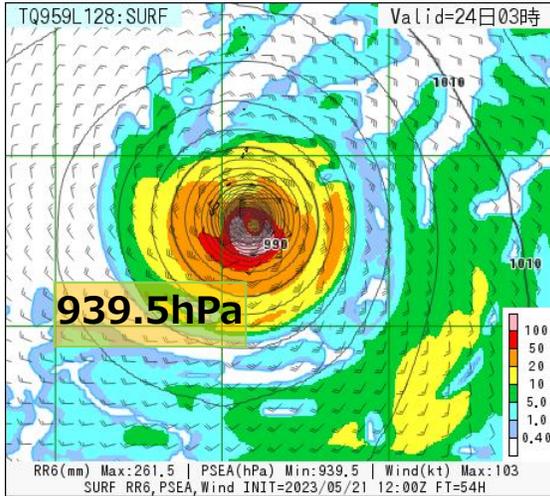
令和5年5月24日3時を対象とした54時間後の降水量[mm/6h]予測

標準設定

海洋のかき混ぜ考慮

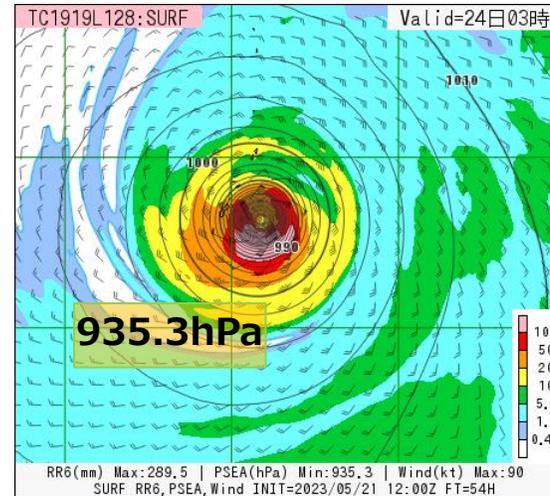
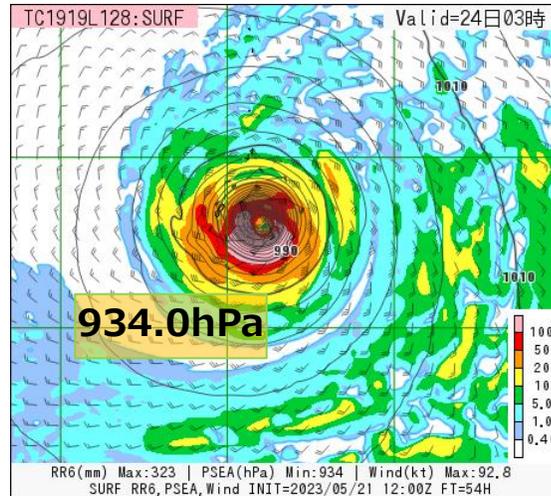
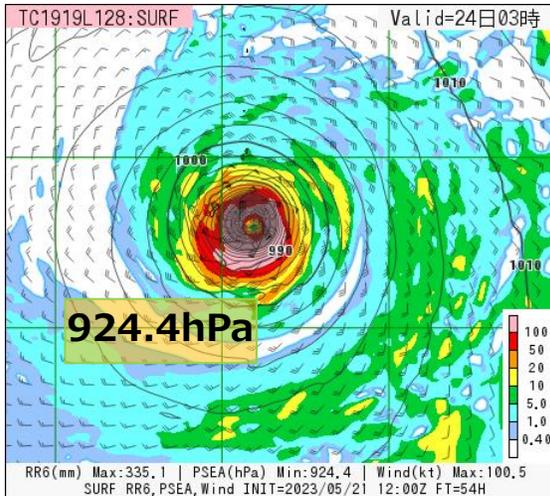
積雲過程の設定変更

現業
13kmGSM



- 標準設定では、解像度が上がるほど、台風中心付近での降水の過度な集中とそれに伴う発達（中心気圧の低下）、周辺の降水強化が見られる

「富岳」
5kmGSM



- 海洋のかき混ぜの考慮や積雲対流過程の設定の変更により降水の集中は緩和される。

A vibrant rainbow arches across a golden sunset sky. The colors of the rainbow are bright and distinct, contrasting with the warm, orange-gold background of the setting sun. The rainbow starts on the left side of the frame and curves towards the right, disappearing into the distance. The sky is a uniform, warm orange-gold color, suggesting a clear or slightly hazy day. The overall mood is hopeful and optimistic.

今後の課題と取組

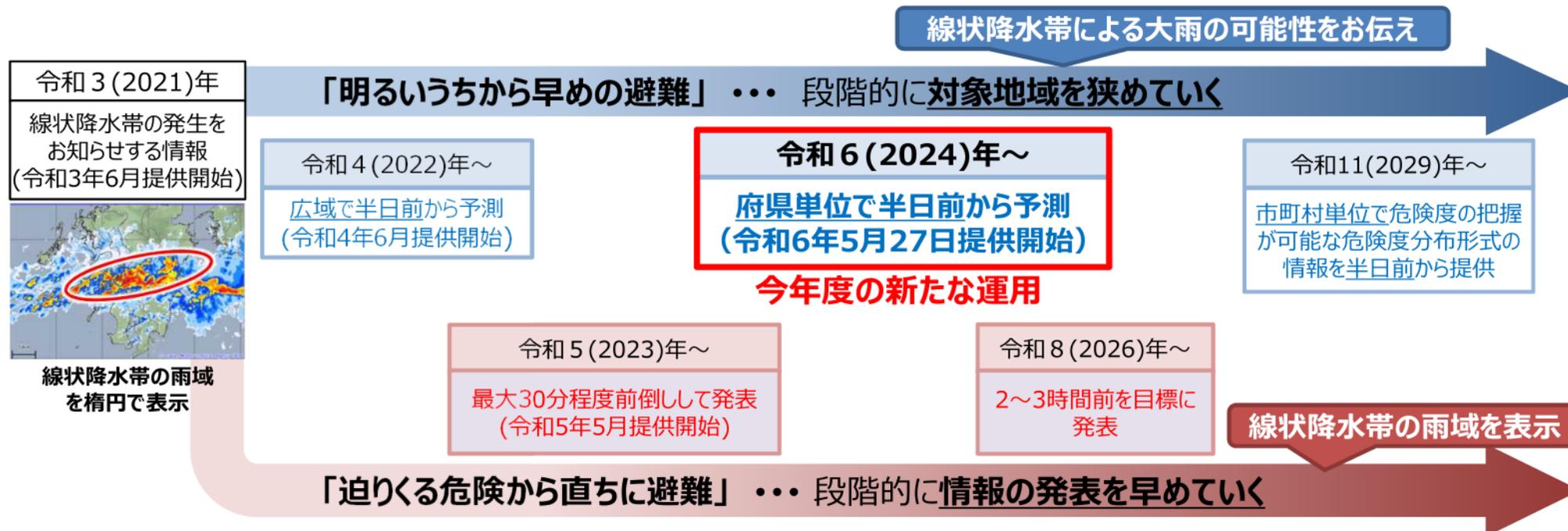
【情報の改善】府県単位での半日前予測の運用

半日前予測（明るいうちから早めの避難）

- 令和4年6月から、線状降水帯による大雨の可能性の半日程度前からの呼びかけ（広域を対象）を開始。
- 令和6年5月27日から、対象地域を府県単位に絞り込んだ呼びかけを開始。

顕著な大雨に関する気象情報（迫りくる危険から直ちに避難）

- 令和3年6月から、線状降水帯の発生をお知らせする情報を提供開始。
- 令和5年5月から、発表基準を踏襲しつつ、最大30分程度前倒ししての発表を開始。



※具体的な情報発信のあり方や避難計画等への活用方法について、情報の精度を踏まえつつ有識者等の意見を踏まえ検討

[半日前予測] 令和6年度半日前予測の結果

• 令和6年度の半日前予測は、運用開始前の想定に比べて、**適中率は15ポイント低く、捕捉率は12ポイント低かった***。

* 線状降水帯の発生回数は年変動が大きいため、単年での評価は難しい。

府県単位でのとりまとめ結果	運用開始前の想定 (2023年のデータから検証)	2024年 (11月11日時点)
線状降水帯発生の呼びかけ「あり」 のうち 線状降水帯の発生「あり」※2	適中率（高い方が良い） 25%程度 (4回に1回程度)	約10% 81回中8回
線状降水帯の発生「あり」※2 のうち 線状降水帯発生の呼びかけ「あり」	捕捉率（高い方が良い） 50%程度 (2回に1回程度)	約38% 21回中8回

※1 線状降水帯の事例の数は、線状降水帯の雨域は複数の県にまたがる場合もあるため、令和5年度以前と同様に地方予報区（全国を11ブロックに分けた地域）単位としており、令和6年の事例数は19事例（11月11日時点）だった。
 ※2 線状降水帯の事例数と、府県単位での線状降水帯の発生「あり」の数は異なる場合がある。

➤ 線状降水帯発生の呼びかけを行った81回中、線状降水帯の発生「あり」は8回であるが、それ以外にも、3時間降水量が100mm以上の大雨となったのは27回あることから、**この呼びかけが行われたときには、大雨災害への心構えを一段高めていただくことが重要**である。

今後の展開

- 豪雨防災課題（局地モデル（LFM）、局地アンサンブル（LEPS）、観測データ利用）

気象庁スーパーコンピュータや「富岳」を活用した開発
線状降水帯の予測精度向上に向けた研究開発を加速化

「富岳」では開発最新版を実行し、加速化

令和7年度	令和8年度	令和9年度	令和10年度	令和11年度
-------	-------	-------	--------	--------

更なる精度向上（2030年の気象庁の計算機資源を想定）

局地モデル
(LFM)

令和8年3月(予定)
LFM高解像度化
(2km→1km)

物理過程改良
・対流の発生・発達過程等表現改善のために、高解像度化に合わせた物理過程開発

局地アンサンブル
(LEPS)

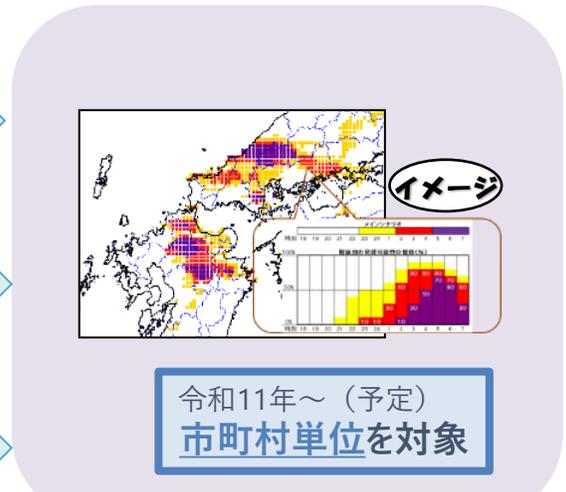
令和8年3月(予定)
LEPS運用開始

摂動改良
・予測の不確実性を捉える、より適切な摂動の検討（初期摂動・側面境界摂動・下部境界摂動・モデル摂動）

観測データ利用

二重偏波気象レーダー及び現行ひまわり高解像度データ利用高度化

最新のモデルに適した利用方法高度化
・大気下層の水蒸気の解析・予測精度向上に向けた開発（次期ひまわり赤外サウダの利用等）



成果は現業システムへ順次導入（概ね年1回）

令和11年度の市町村単位での
線状降水帯半日前予測へ活用

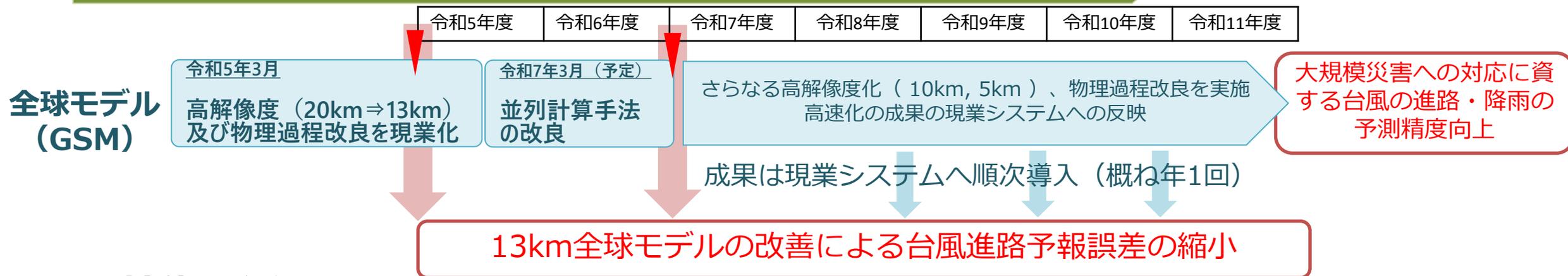
明るいうちから早めの避難に資する線状降水帯の発生可能性の予測に活用

今後の展開

・ 台風防災課題（全球数値予報モデル）

「富岳」を活用した開発

台風進路の予測精度向上に向けた高解像度全球数値予報モデルの開発



・ AI技術の活用

- 2024年3月に開催した交通政策審議会気象分科会において、今後気象庁が強化して取り組んでいくべき施策の方向性についてご議論いただいた。
- 今後強化すべき施策の方向性の1つとして、先端AIと協調した気象業務の強化を挙げており、現在、気象庁におけるAI活用に向けた検討を進めている。

引き続き、政策対応枠での成果を活用し、目標の早期実現に努めていく。

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

※令和3年度補正予算、令和4年度予算・補正予算の概要から抜粋・整形

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。これらの技術開発の推進に必要な体制を強化。

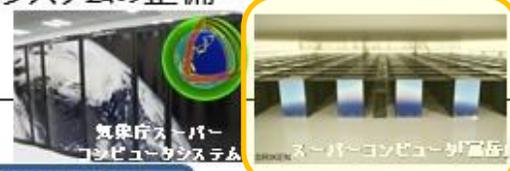
観測の強化

- 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・・・二重偏波気象レーダー
- 洋上観測の強化・・・「凌風丸」代船建造、船舶GNSS観測の拡充



予測の強化

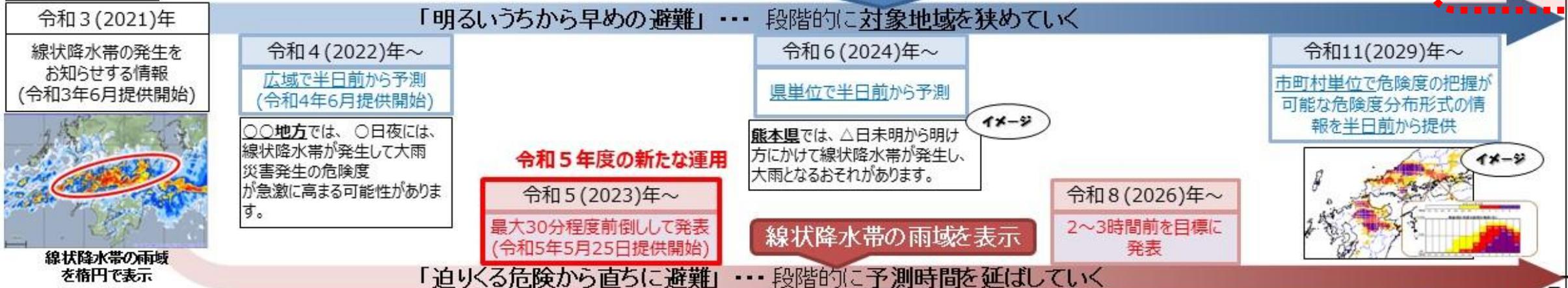
- 高度化した局地アンサンブル予報等の数値予報モデルによる予測精度向上等を実現するためのスーパーコンピュータシステムの整備
- 線状降水帯の機構解明のための、梅雨期の集中観測、関連実験設備（風洞）の強化
- 「富岳」を活用した予測技術開発



次期ひまわり
(令和11年度めどに運用開始)



情報の改善



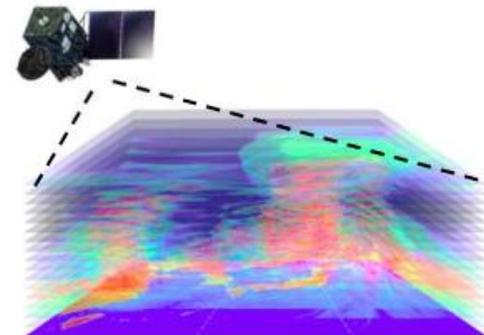
※具体的な情報発信のあり方や避難計画等への活用方法について、情報の精度を踏まえつつ有識者等の意見を踏まえ検討

次期ひまわり(10号)の整備計画

令和5年7月31日
『「静止気象衛星に関する懇談会」
とりまとめの概要』より

ひまわり後継機の整備計画

- 現行の気象衛星ひまわり8号、9号は令和11(2029)年度までに設計上の寿命を迎える
- 宇宙基本計画(令和5年6月13日閣議決定)に沿って、**令和11(2029)年度の後継機の運用開始を目指す**

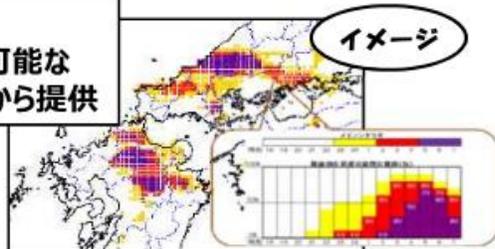


3次元観測イメージ
(大気の立体的構造)

- 線状降水帯や台風等の予測精度を抜本的に向上させるため、**大気の三次元観測機能「赤外サウンダ」など最新技術を導入した次期静止気象衛星(ひまわり10号)を整備**

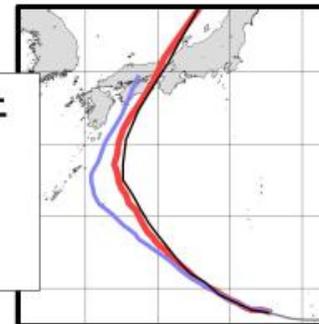
◎市町村単位で危険度の把握が可能な気象情報を半日前から提供し、早期避難による人的被害の最小化と物的被害の低減を図る

令和11(2029)年～
市町村単位で危険度の把握が可能な
危険度分布形式の情報を半日前から提供



◎台風の進路を正確に予測することにより、鉄道・空港などの的確な運用(計画運休)、広域避難等を可能に

3日先の台風進路予測精度を大幅に向上
(H30年台風第21号の例)
黒: 実際の台風経路
青: 現状の予測
赤: 精度向上した予測



「ひまわり10号」の概要



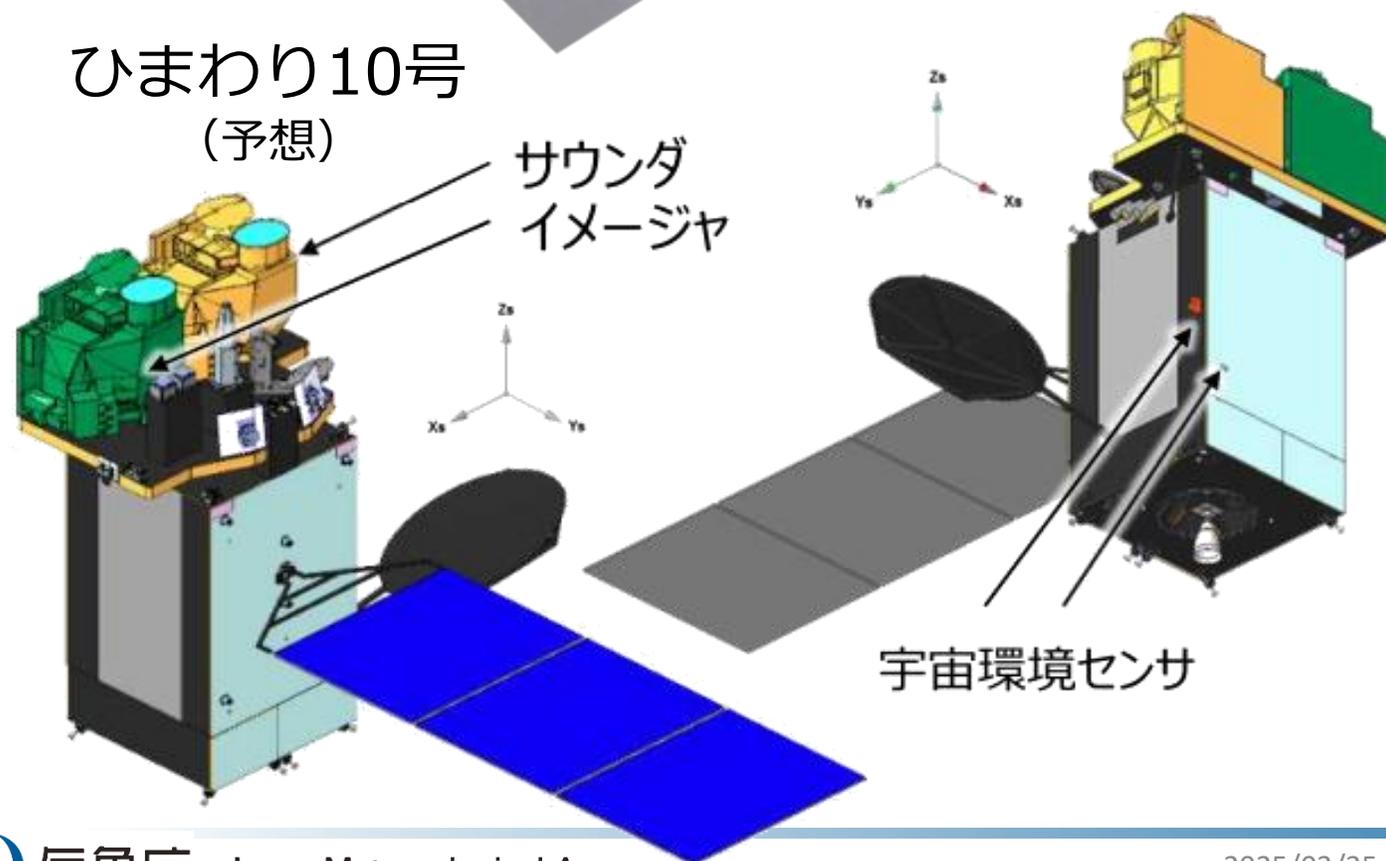
赤外サウンダによって新たに得られる
3次元的な高頻度・高密度のデータ



予測精度向上への大きな貢献を期待

ひまわり10号
(予想)

サウンダ
イメージャ



- 従来の「イメージャ」に加えて、「サウンダ」を搭載
- 総務省・情報通信研究機構（NICT）による「宇宙天気予報」のための「宇宙環境センサ」を搭載

先端AIに関する取組

(Ⅱ) 先端AIと協調した気象業務の強化

令和7年(2025年)3月17日
交通政策審議会 気象分科会

「2030年提言」の補強と2030年以降の展望

「2030年提言」の目標

2030年には、既存の数値予報技術の大幅な高度化に加え、最新のAI技術も活用することにより、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をより高い精度で更に地域を絞って予測できるようにし、こうした半日程度先までの雨量予測を加味することによって大雨・洪水警報の「危険度分布」の更なる高度化を目指す。

基本理念に基づき、防災情報を提供する気象庁として、AI利用のリスクや課題を踏まえ、先端AI技術により気象業務全般を強化

2030年に向けた取組の強化

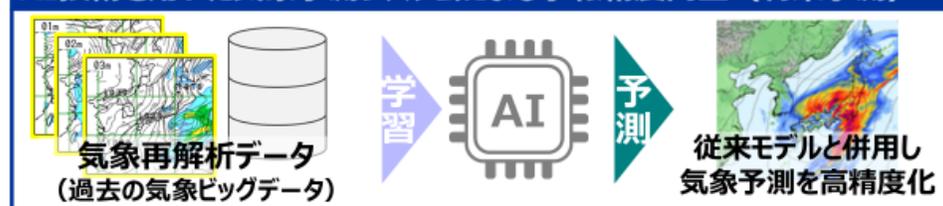
- 研究・技術開発、一部先行的に運用開始
 - 研究・技術開発を推進し、先行的な取組での運用開始
 - さらなるAI活用のため、必要な計算機資源・体制の拡充、学習データの整備、産学官連携の強化

2030年以降の展望

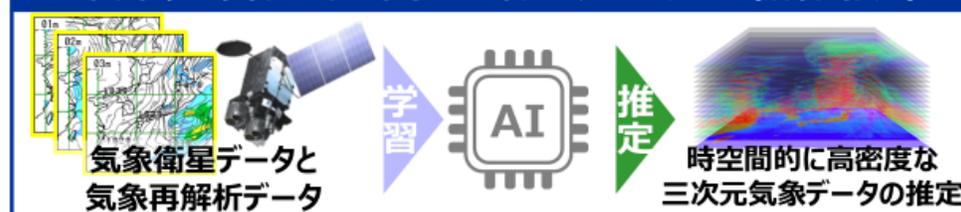
- さらなる実装、防災気象情報の高度化
 - 拡充した計算機資源や体制により、さらなる研究・技術開発を推進
 - 使用するAI技術の特性を踏まえた実装・運用
 - 災害をもたらす気象・地象・水象の予測精度向上や防災気象情報の高度化を実現し、自治体の防災対応への支援等を強化

具体的な活用イメージの例

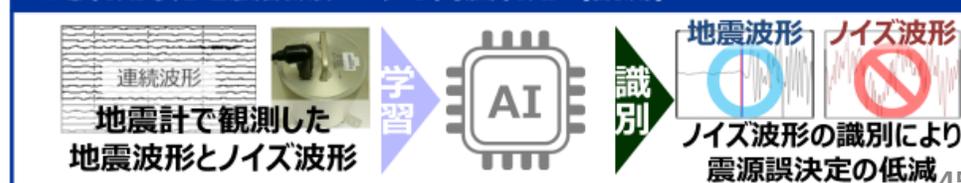
AI技術を用いた気象予測システムによる予報精度向上（将来予測）



次期ひまわりの最新センサによる膨大なデータのAI処理（解析・推定）



AIを利用した地震観測データの高度利用（観測）



これまで気象庁が培ってきたシミュレーション技術と、先端AI技術を組み合わせ、相互に補完することで、更なる予測精度向上ができることを期待して技術開発を進める。

まとめ：ポスト富岳への期待

まとめ：ポスト富岳への期待

- **天気予報、防災気象情報の作成における数値予報の役割**
 - スパコンを用いて行う**数値予報は、気象庁の気象業務の技術基盤**
- **2030年頃の近未来に向けた気象庁の取組**
 - 「2030年に向けた数値予報技術開発重点計画」で、台風防災、豪雨防災を重点目標として技術開発を推進。特に線状降水帯予測精度向上のための技術開発を加速→「**富岳**」での**技術開発を実施**
 - **富岳を使ったシミュレーション実験。出水期はリアルタイム実験**
 - 高解像度で線状降水帯の予測実験→予報現場での参考利用
 - 大雪事例においても、より詳細に予測可能であることを確認
 - ひまわり10号・気象レーダーの観測データの利用高度化開発
 - **富岳での技術開発の成果を順次、気象庁スパコンへ導入、実用化**

まとめ：ポスト富岳への期待

- ひまわり10号をはじめ、**質・量ともに未経験の観測データ**の利用技術開発 … ストレージが重要
- 線状降水帯等の予測精度向上のための数値予報モデルの**高解像度化**・物理現象計算過程の**精緻化** … 演算性能の確保が重要
- 先端AI技術の活用、AI学習用の高品質の教師データ作成、数値予報の初期値作成のためには、**数値予報モデルの予測精度向上**がカギ
 - GPUの演算性能を活用する手法が重要
 - 大量データによる大規模演算のため、構成要素間のデータ転送帯域幅の確保が重要
- **最先端スパコンを使った数値予報技術開発によって、数値予報の精度向上を実現・加速し、社会が求める天気予報・防災気象情報の改善へ**