



数値予報について

～概要と近年の改良に伴う特性の変化～

気象等の情報に関する講習会

平成29年6月15日

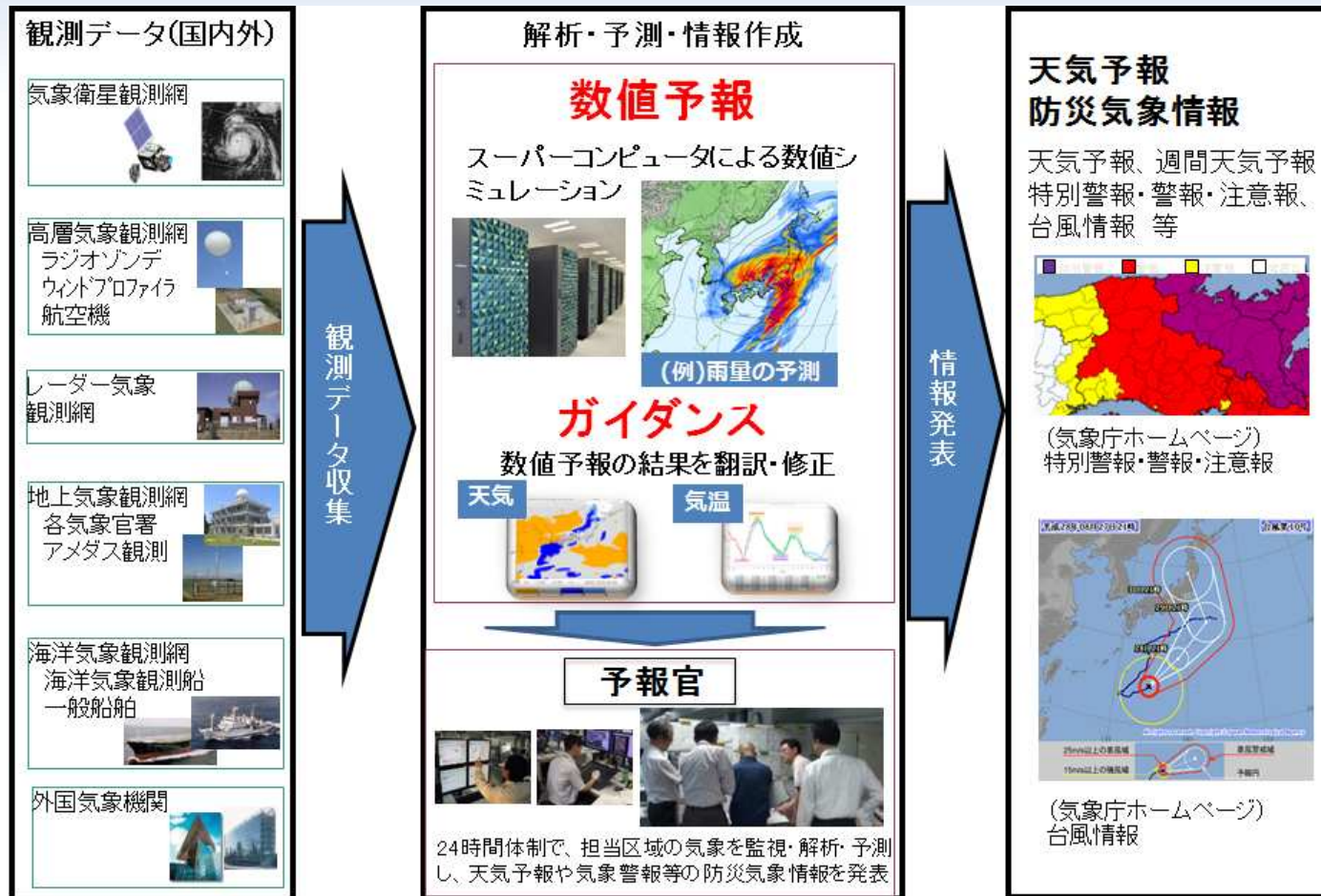
気象庁予報部数値予報課

石田 純一

数値予報とは

天気予報や防災気象情報ができるまで

【天気予報・防災気象情報が発表されるまでの流れ】

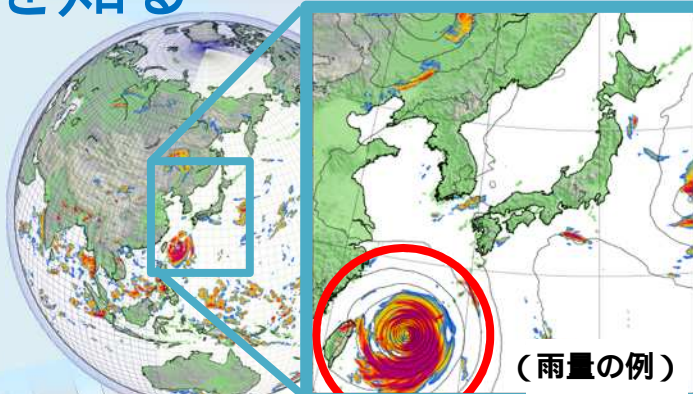


数値予報とガイダンスは、日々の天気予報・防災気象情報の基盤
→ これらの精度を向上するためには、数値予報・ガイダンスの精度向上が不可欠

数値予報の仕組み

今を知る

様々な観測データ

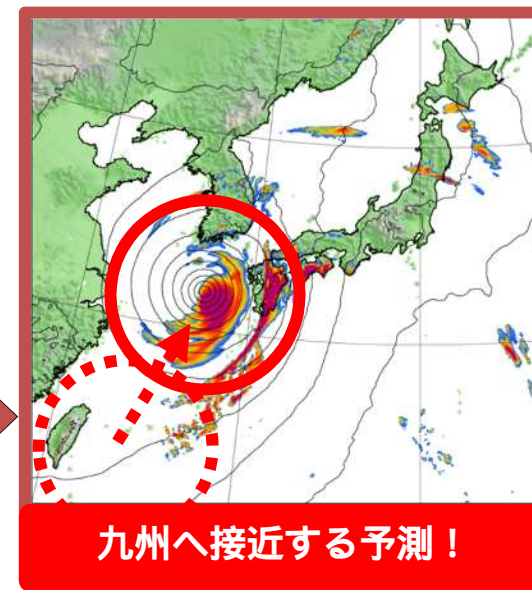


世界中から集めた観測データをもとに、スーパーコンピュータを用いて現在の大気状態を再現(初期値)

沖縄にある台風を再現!

未来を予測する

物理法則に則り、スーパーコンピュータを用いて未来の大気状態をシミュレーション



数値予報の種類

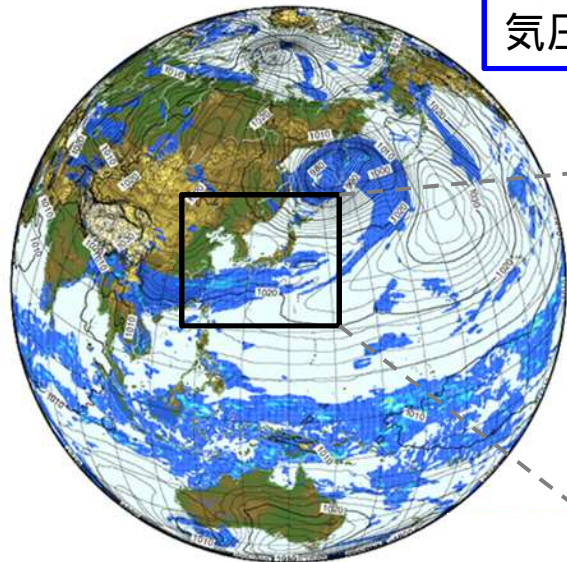
気象に国境は無いため、日本の気象を予測するためには、全世界の気象を予測することが必要

天気予報の発表作業に間に合うよう、限られた時間で計算を行うことが必要

→ **スーパーコンピュータにより、複数の数値予報の処理を実施**

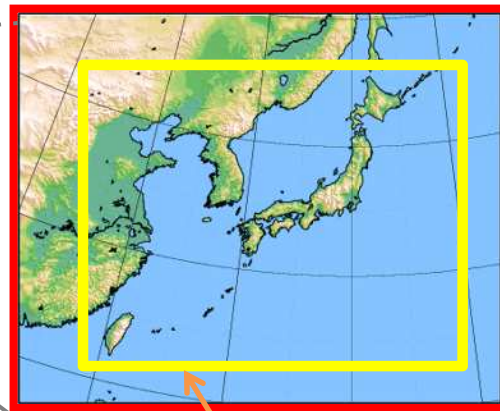
【数値予報モデル】

計算する主な気象要素
気圧、風、気温、湿度、降水量等



全球モデル

メソモデル



局地モデル

日本周辺の気象の詳細な予測を**1日8回**実行

水平分解能
5km



メソモデル地形図

日本周辺の気象の更に詳細な予測を**1日24回**実行

水平分解能
2km



局地モデル地形図

全世界の気象予測

全球モデル：**1日4回**実行、水平分解能 約20km

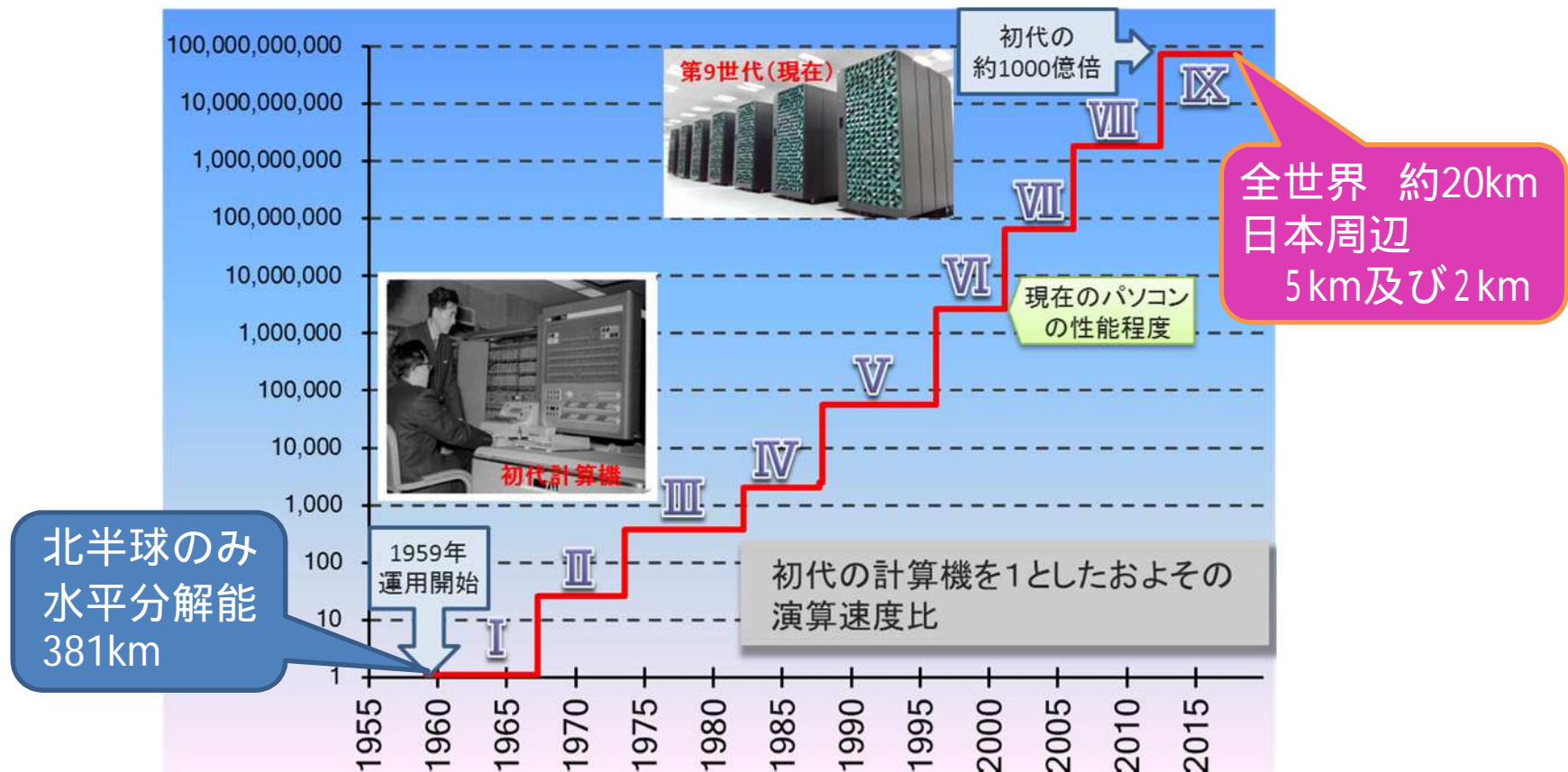
アンサンブル予報：**1日4回**実行、水平分解能 約40km

スーパーコンピュータシステムの向上

数値予報の精度を向上するためには、よりきめ細かい(分解能が高い)計算を行うことも必要。

→ これを支えるスーパーコンピュータの維持・性能向上が不可欠

【気象庁のスーパーコンピュータの変遷】

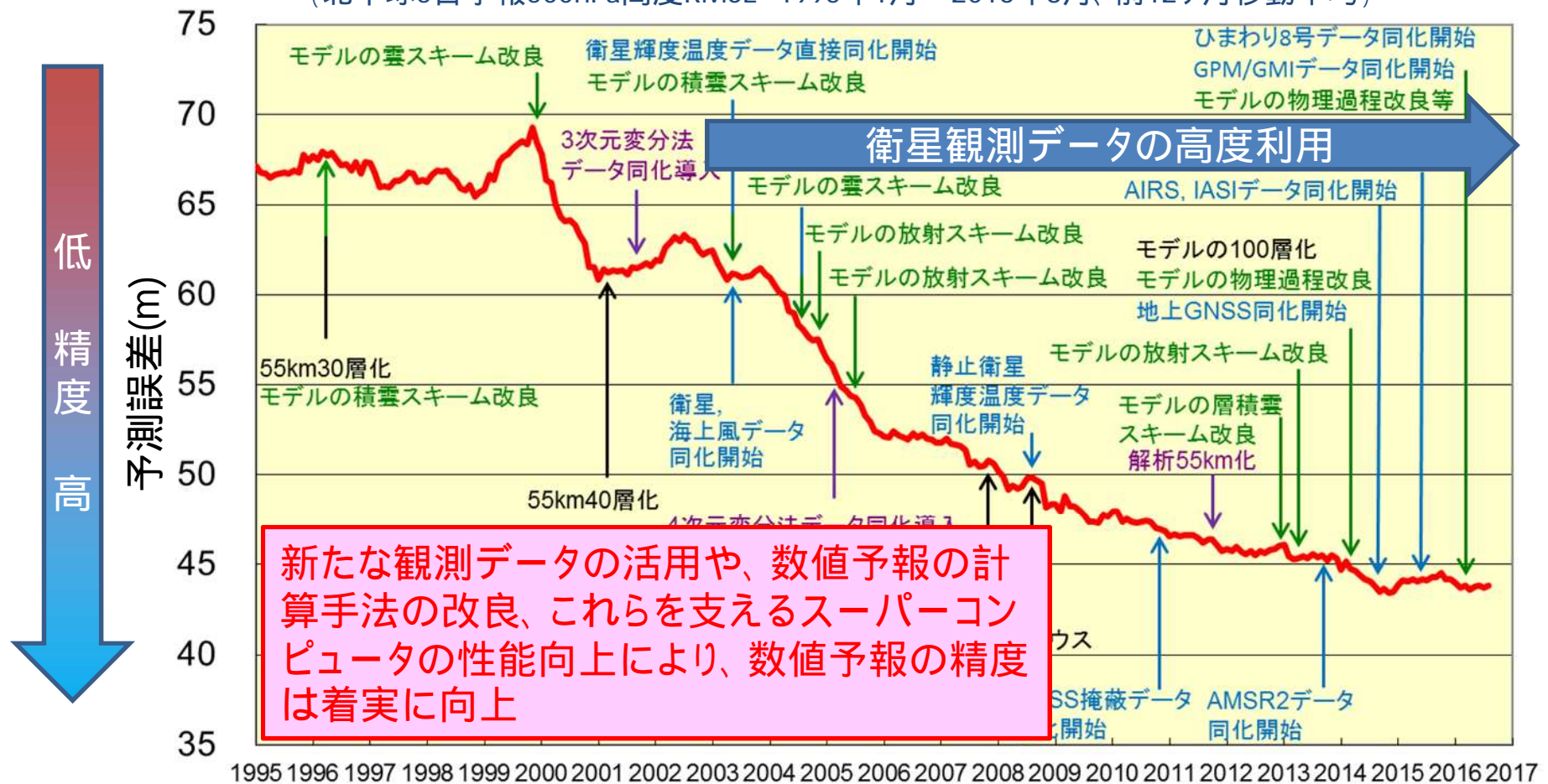


これまでの数値予報の改善

継続的な技術開発により、数値予報の精度は着実に向上

気象庁の数値予報精度の経年変化

(北半球5日予報500hPa高度RMSE 1995年1月～2016年8月、前12ヶ月移動平均)

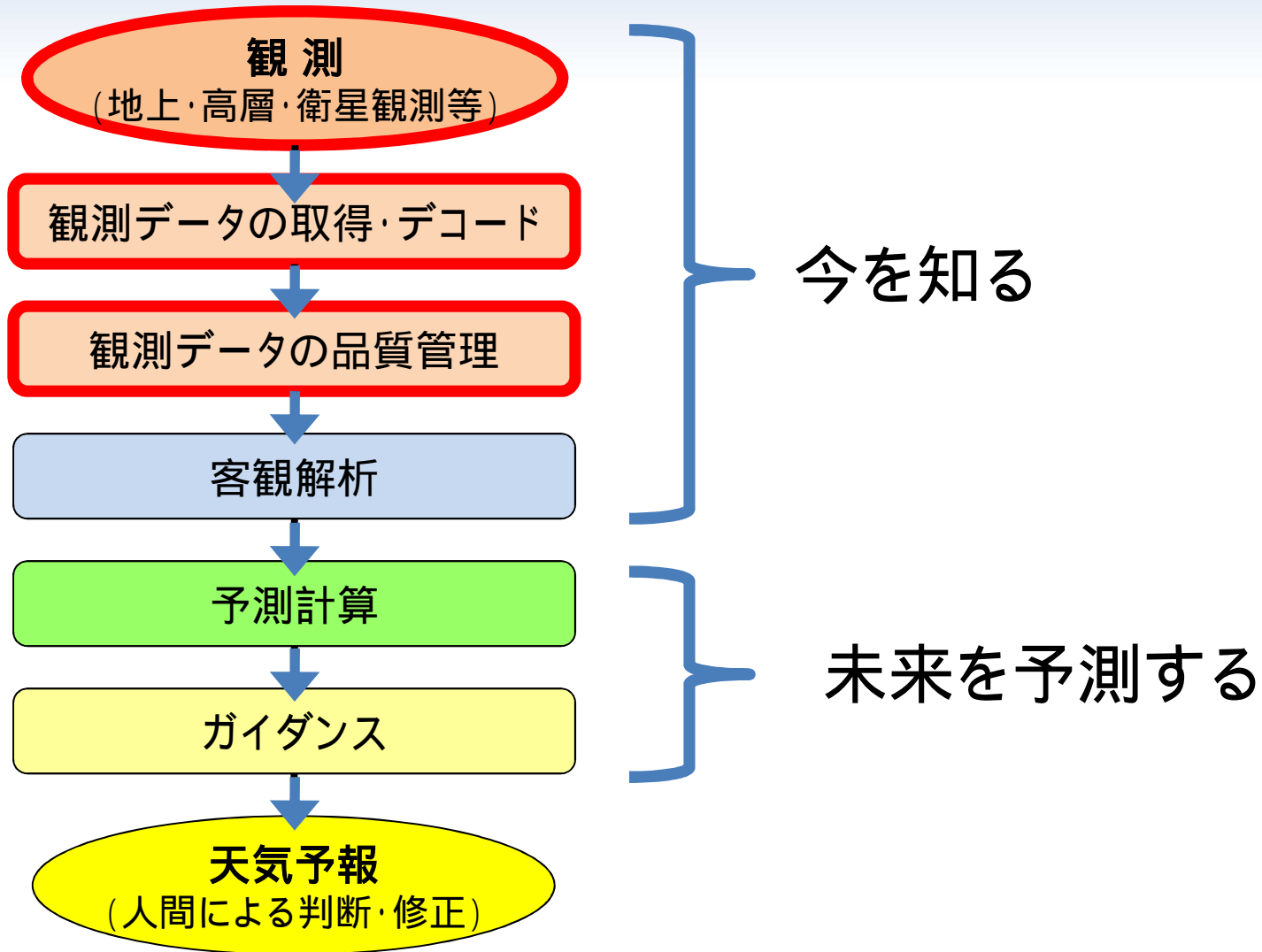


主な数値予報プロダクト

- 一般財団法人気象業務支援センターを通じて提供
 - 全球、メソ、局地モデル、週間アンサンブル
 - 数値予報モデルによる予測結果を格子形式で提供(等緯度経度座標を利用)
 - 地上:海面更正気圧、地上気圧、風、気温、相対湿度、降水量、雲量
 - 気圧面:高度、風、気温、上昇流、相対湿度
- 全球、メソ、局地数値予報モデルGPVに平成29年12月頃を目途として日射量の要素を追加して配信予定

数値予報の流れ

数値予報の流れ



今を知る ～ 観測 ～

直接観測

高層観測 (写真: 気象庁HP)

地上観測 (写真: 仙台管区HP)

ブイ観測 (写真: 気象庁HP)

航空機観測 (写真: YS提供)

海上観測 (写真: 気象庁HP)

リモートセンシング 遠隔観測

ウィンドプロファイラ (写真: 東京管区HP)

GNSS受信機 (写真: 観測部提供)

(ドップラー)レーダー (写真: 大阪管区HP)

台風ポーガス
疑似観測

静止軌道衛星

ひまわり (画像: 気象庁HP)

METEOSAT (image: © ESA)

GOES (image: © NOAA)

(準) 現業衛星

NOAA (image: © NOAA)

Metop (image: © ESA)

Suomi-NPP (image: © NOAA)

DMSP (image: © NASA)

Aqua (image: © NASA)

Megha-Tropiques (image: © CNES)

Terra (image: © NASA)

地球観測衛星

GRM主衛星 (image: © JAXA)

GCOM-W1「しずく」 (image: © JAXA)

GNSS掩蔽衛星

COSMIC (image: © UCAR)

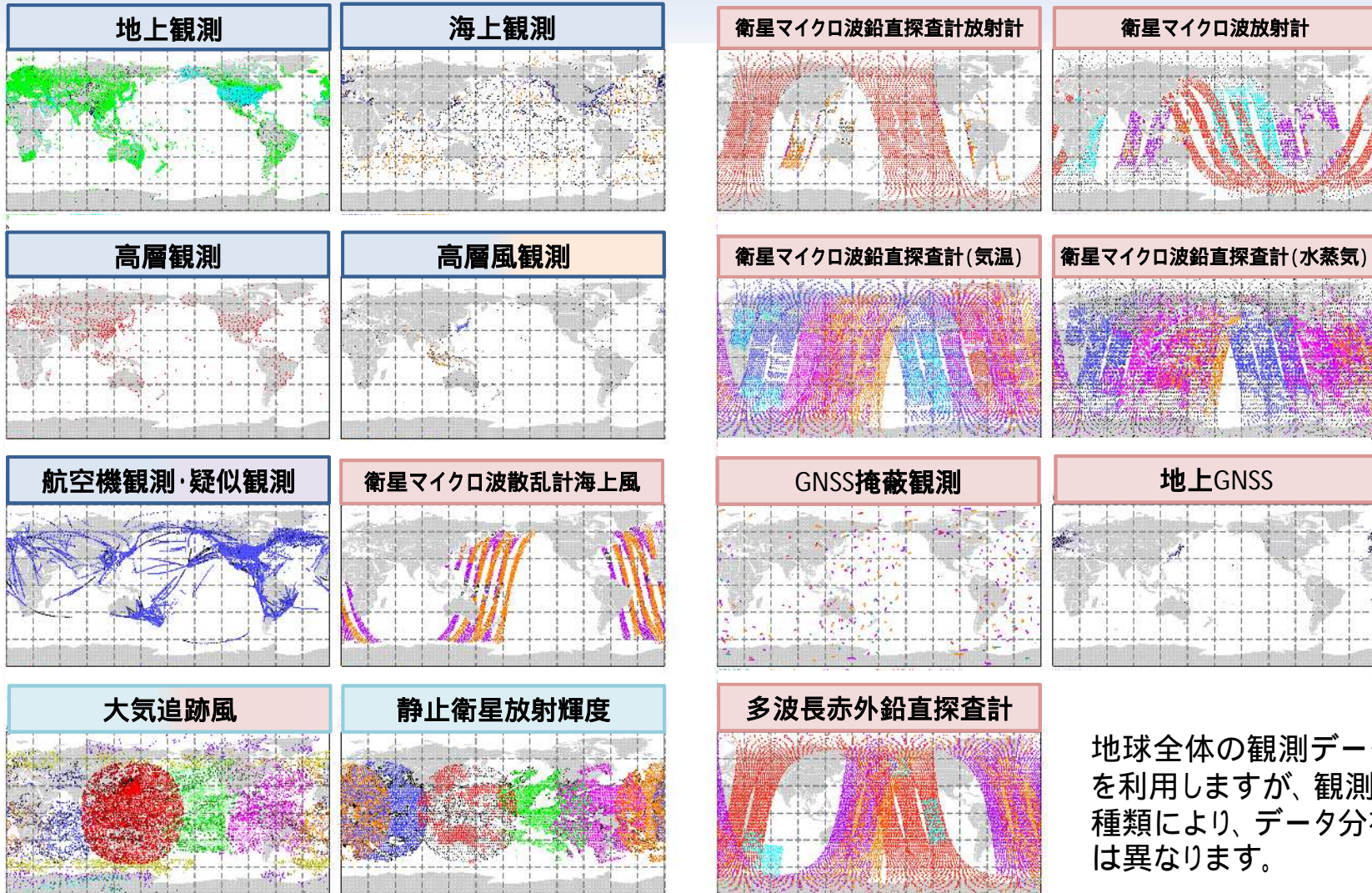
GRACE-A,B (image: © NASA)

TerraSAR-X
TanDEM-X (image: © EADS Astrium)

低軌道衛星

観測データの取得

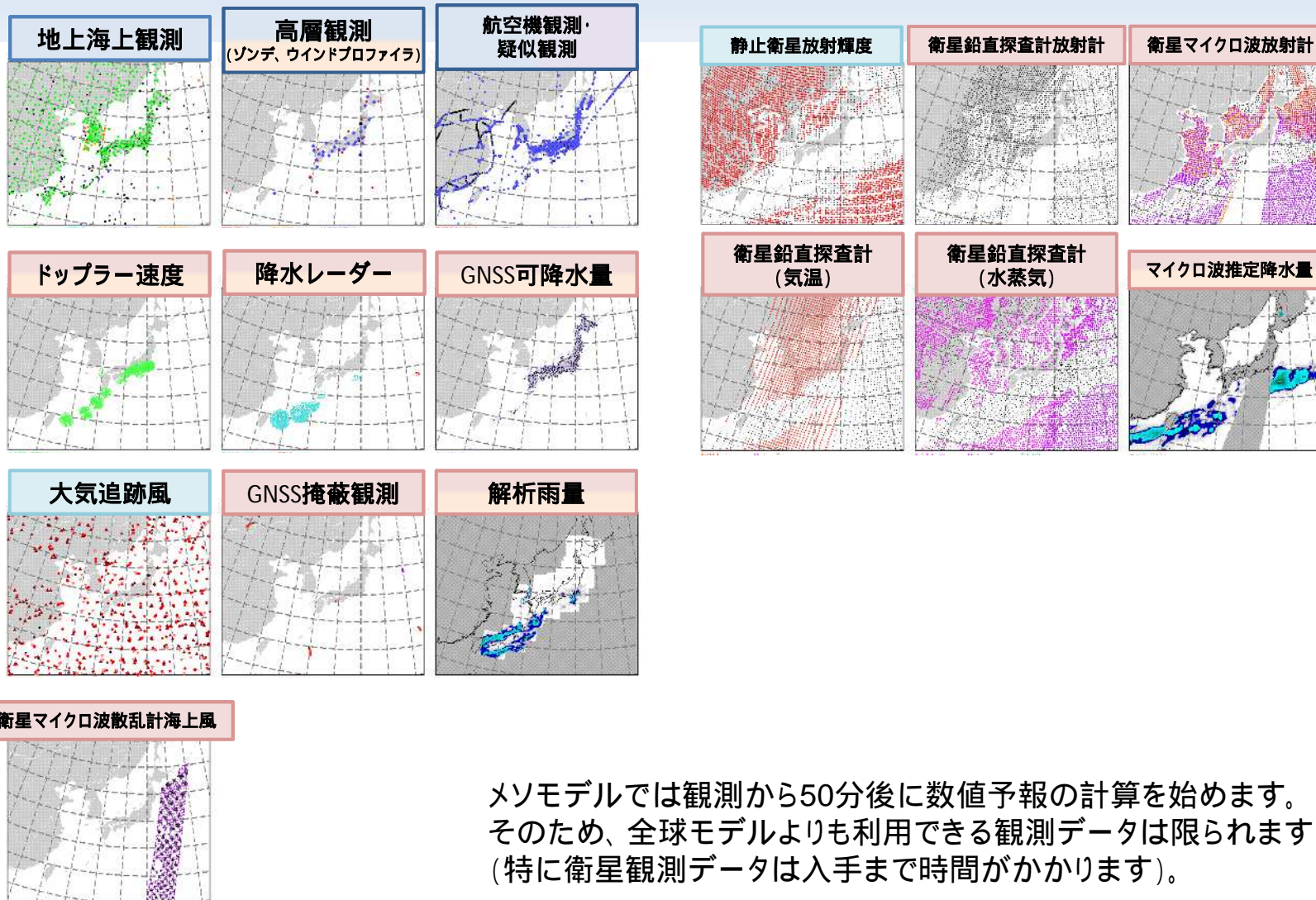
全球モデルで用いる観測データの分布例



地球全体の観測データを利用しますが、観測の種類により、データ分布は異なります。

観測データの取得

メソモデルで用いる観測データの分布例



メソモデルでは観測から50分後に数値予報の計算を始めます。
そのため、全球モデルよりも利用できる観測データは限られます
(特に衛星観測データは入手まで時間がかかります)。

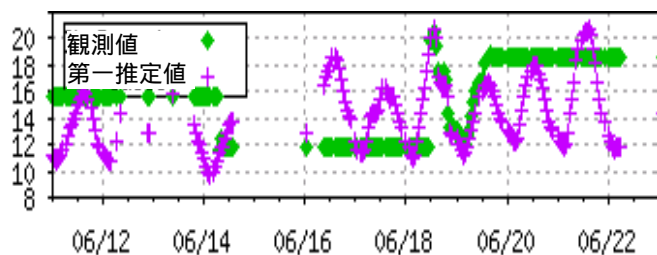
観測データの品質管理

- 観測データには様々な誤差があります
- 客観解析へ観測データを渡す前に、誤差の大きいデータの除去や誤差の補正を行います
- Quality Control あるいはQCと言います

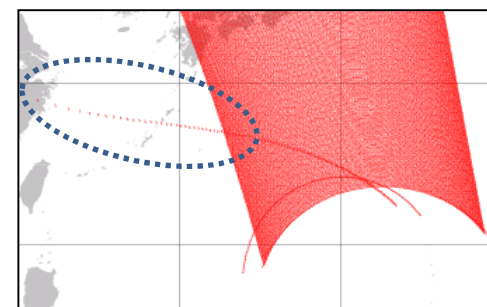
種別	総称	原因	特徴	対処方法
観測に付随する誤差	偶然誤差 (ばらつき)	現象自体の揺らぎや測定のばらつきなど	正規分布、不可避	客観解析で考慮
	系統誤差 (バイアス)	測器の調整不良や物理的変換の誤差など	一定方向のずれ	バイアス補正
特に大きな誤差 (異常値)	ラフエラー	人為的ミス、測器の故障、通信エラーなど	非常に大きな誤差	品質管理で棄却
同化システムに依存する誤差	気象学的ノイズ	システムの表現限界と観測の空間代表性のギャップ	システムにより変わる	品質管理で棄却又は平均化处理等

観測データの品質管理 (QC) 手法の例

- 内的QC (観測データが持つ情報だけを利用した品質管理) の例
 - ブラックリストチェック
 - 品質不良データ (機器の故障など) の除去
 - 航路チェック
 - 移動体の移動速度や角度、船舶の場合は海上かどうか
 - 要素間整合性チェック
 - 異なる観測要素間で整合が取れてるか (例: 気温と露点温度の大小が逆転していないか)
- 外的QC (第一推定値や他の観測と比較した品質管理) の例
 - グロスエラーチェック
 - 第一推定値 (例えば6時間前初期時刻の6時間予報値) とかけ離れていないか。
 - Pass (通過) / Suspect (保留) / Reject (排除) 大きくかけ離れていると "Reject"
 - 空間整合性チェック
 - 周辺のデータと比べて値が突出していないか。



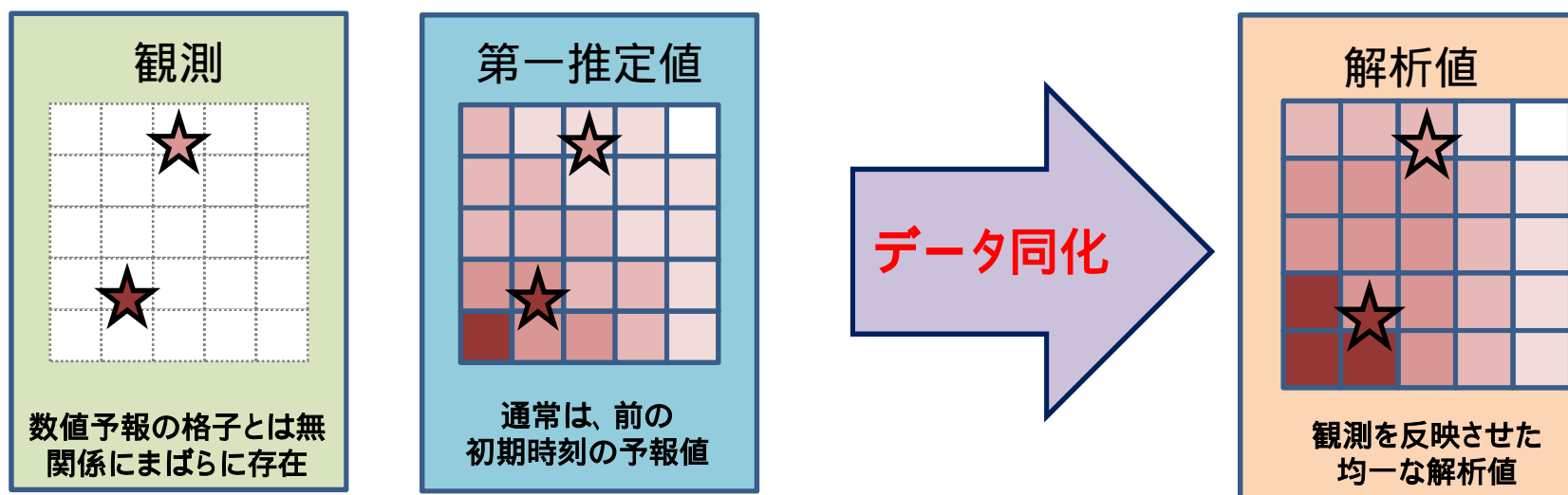
第一推定値では日変化が表現されているが、観測値はほぼ一定値となっている。



ある衛星データの観測点 (赤点) の例
一部の観測位置情報に誤りがある

客観解析

- 数値予報モデルを実行するには初期値が必要
 - 全格子点・全予報変数に対する初期値を用意する必要がある
 - 全球モデルでは約 3×10^8 個
- 観測値 + 予報値 (第一推定値) → 初期値 (解析値)



- 初期値の精度は予報精度に決定的に重要

客観解析

- 各種観測値

- : 基本的には現実を反映したデータ

- : ただし観測誤差を含んでいます

- × : 全格子・全要素のデータがそろって
いません

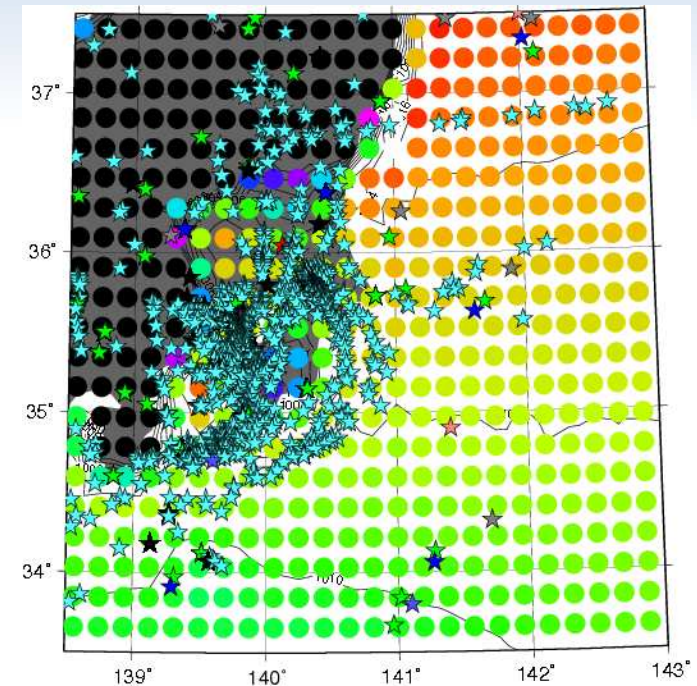
- あちこちにデータの空白域

- 数値予報値 (第一推定値)

- : 全格子・全要素のデータがそろって
います

- × : 現実に沿っているか定かではありません

- 予報時間が延びるに従って、現実から離れる可能性
があります

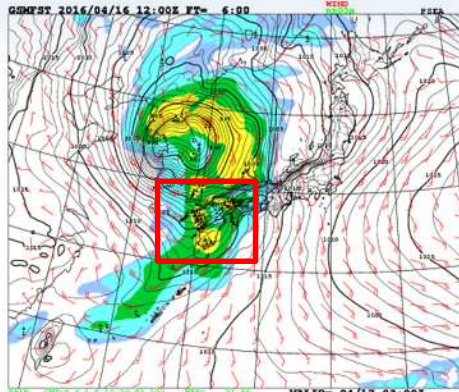


2010/05/30 00UTCにおける
全球モデルの格子点値()と
全入電直接観測データ()

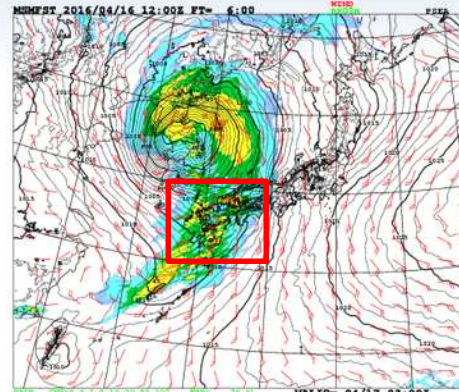
これらデータの良いところを活かして、全ての格子、全ての予報変数の
値を客観的に得ることがデータ同化の役割です

数値予報モデルによる予測例

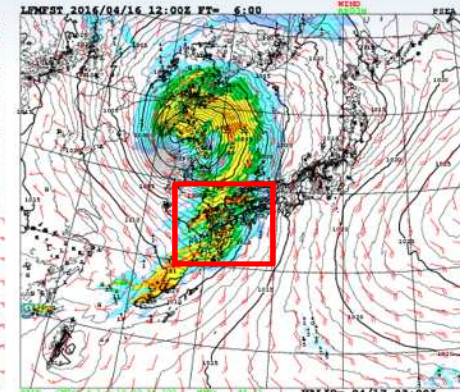
全球モデル



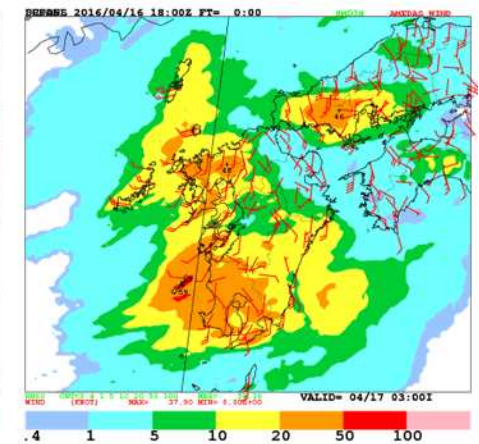
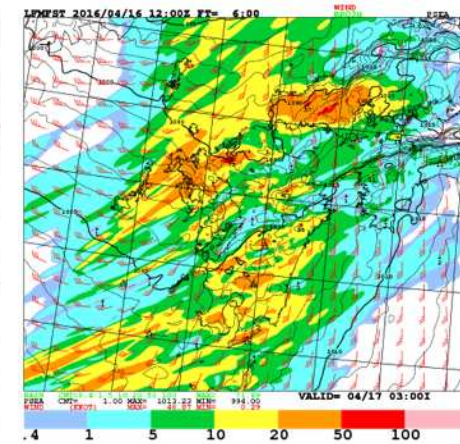
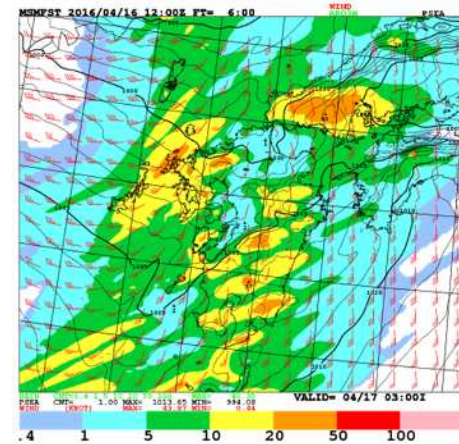
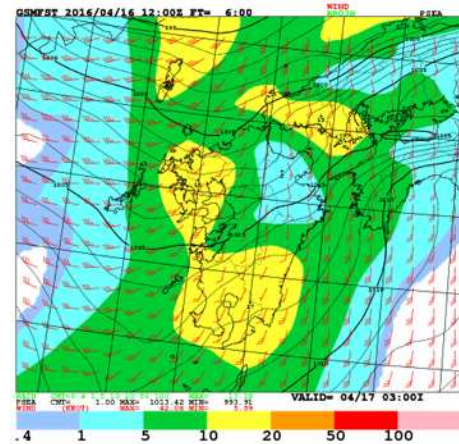
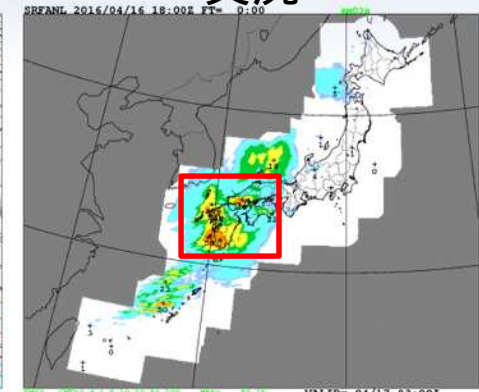
メソモデル



局地モデル



実況



低気圧の動きやそれに伴う降水といった総観場の現象は精度良く当てることができます
しかし、拡大して詳細な降水予測を見ると分布や強度が異なることがあります

近年の改良による特性の変化

数値予報の変更時のお知らせ

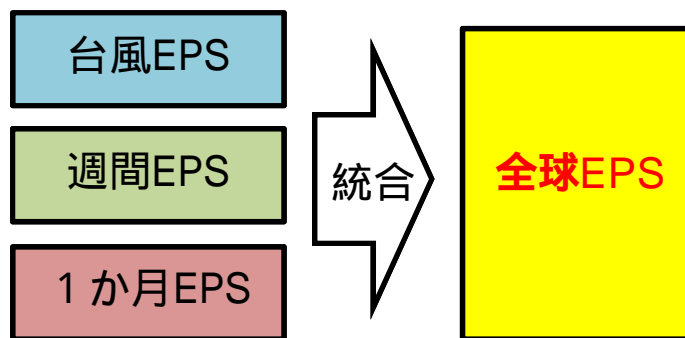
- 変更時には「配信資料に関する技術情報」でお知らせしています
 - 気象業務支援センターを通じて、民間気象事業者等に提供しています
 - 気象庁ホームページにも掲載しています
 - <http://www.data.jma.go.jp/add/suishin/cgi-bin/jyouhou/jyouhou.cgi>
- 品質管理(観測データの利用)、客観解析、数値予報モデルにおいて様々な改良をしていますが、おおまかには次の傾向があります
 - 品質管理の改良や客観解析の改良では予測特性はあまり変わらず、全般に予測精度が向上することが多い
 - 数値予報モデルの改良では予測精度が向上すると共に予測特性が変わることが多い

変更日	配信資料に関する技術情報の表題
H28.12.15	全球モデル(GSM)におけるひまわり8号観測データ利用方法の改良
H29.1.19	週間アンサンブル予報システムの改良に伴う予報精度向上について
H29.1.26	局地数値予報モデルGPVの予測精度向上について
H29.2.28	メソモデル(MSM)及びMSMガイダンスの予測精度向上について
H29.3.29	衛星データの新規利用開始による全球モデルの予測精度向上について
H29.5.25	全球モデルの予測精度向上について

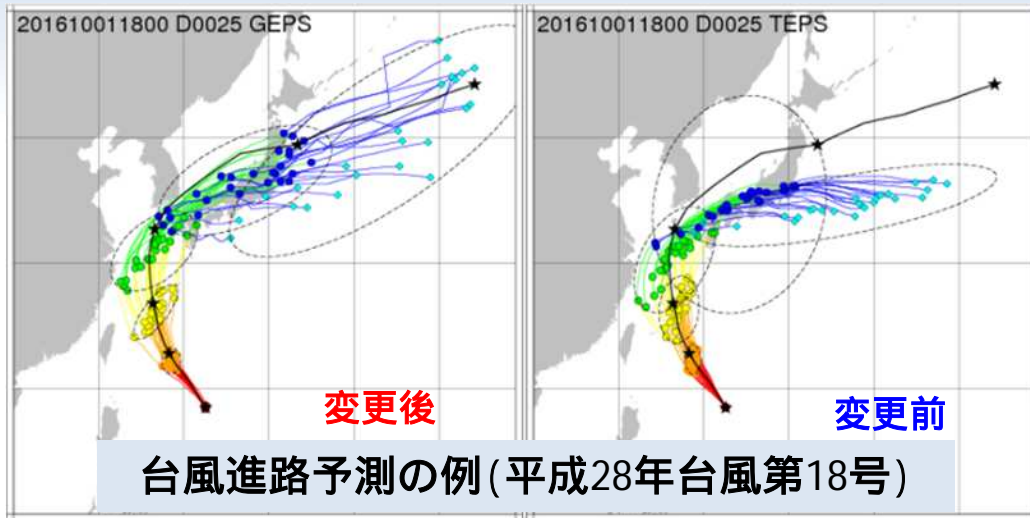
H29.1.19の週間アンサンブルの改良

改良の概要

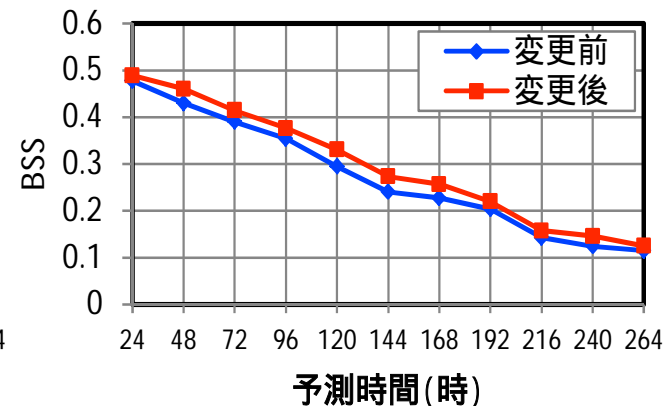
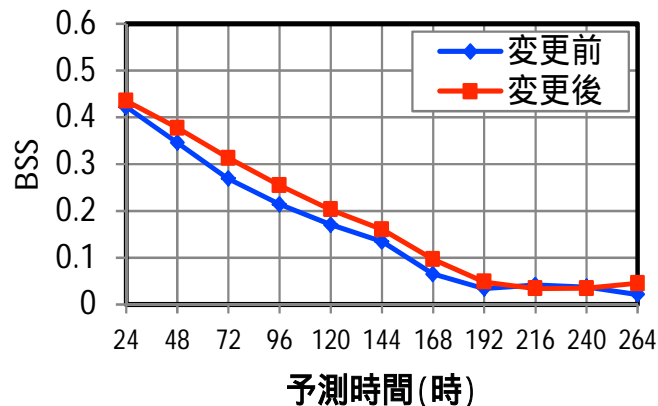
- アンサンブル予報システムとは
 - 数値予報モデル + 摂動作成手法
 - 「摂動」とは不確実性を考慮するために、初期値・境界値・数値予報モデルに微小な違いを与えること
- 数値予報モデル(全球モデル)の改良
 - 鉛直層数を増強(高解像度化、上端引き上げ)、力学過程・物理過程の改良
 - 陸面、海面、境界層、積雲、雲、放射、重力波と、ほとんどの物理過程を改良
 - 台風進路、日本域の降水など、予報業務において重要な現象の予測精度が向上
- 摂動作成手法の改良
 - LETKF(局所アンサンブル変換カルマンフィルタ)
 - 第一推定値の誤差の空間分布、解析値の不確実性を求めることができます
 - 海面水温摂動の考慮
 - 幅広い気象現象に対して、より適切な予測の確率分布を得ることが可能に
- 平成29年3月に1か月アンサンブル予報システムも変更しました
 - GSMを含めて予測資料の一貫性向上
 - 台風の確率情報・週間天気予報・異常天候早期警戒情報及び1か月予報を一体的に支援



変更による改善



台風の進路予測、ばらつきが改善し、より実況を捕捉できるように(黒線:実況)

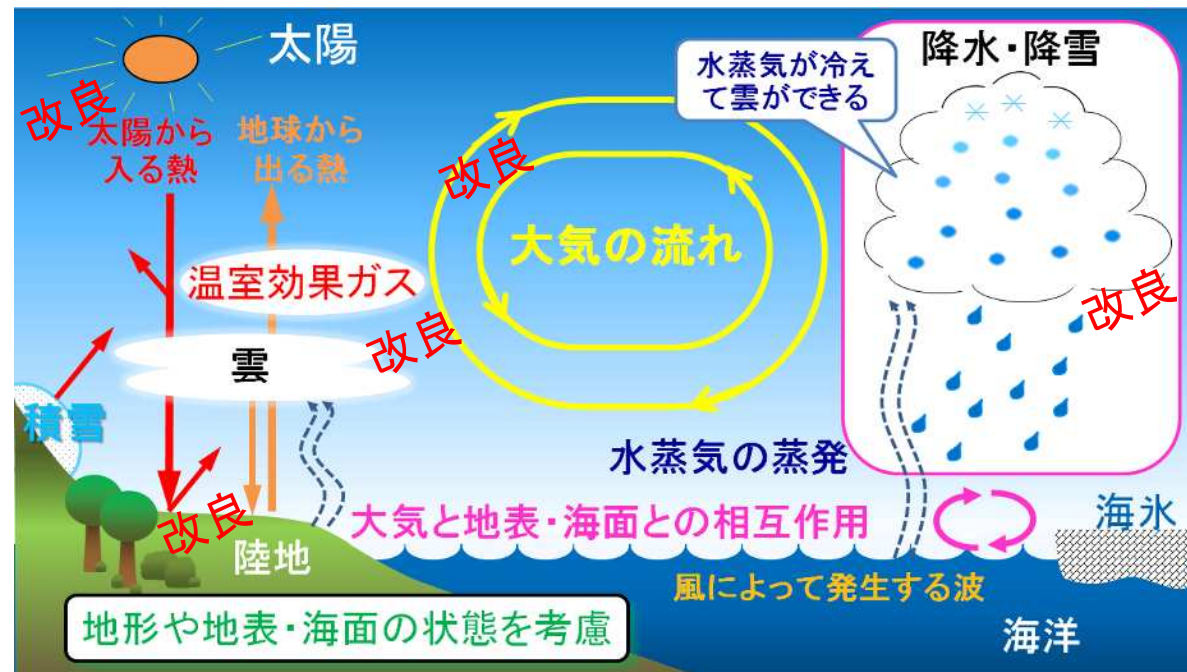


1mm/24h以上の降水予測についての対解析雨量のブライアスキルスコア
左図は夏季期間に対するもので、右図は冬季期間に対するもの
夏季・冬季ともに、予測時間前半を中心に改善している

H29.2.28のMSMの改良

改良の概要

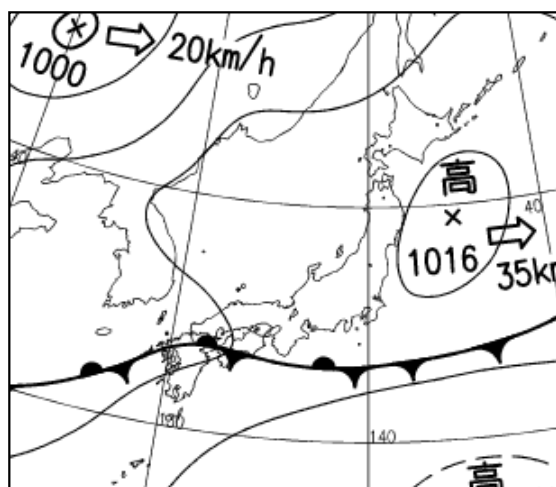
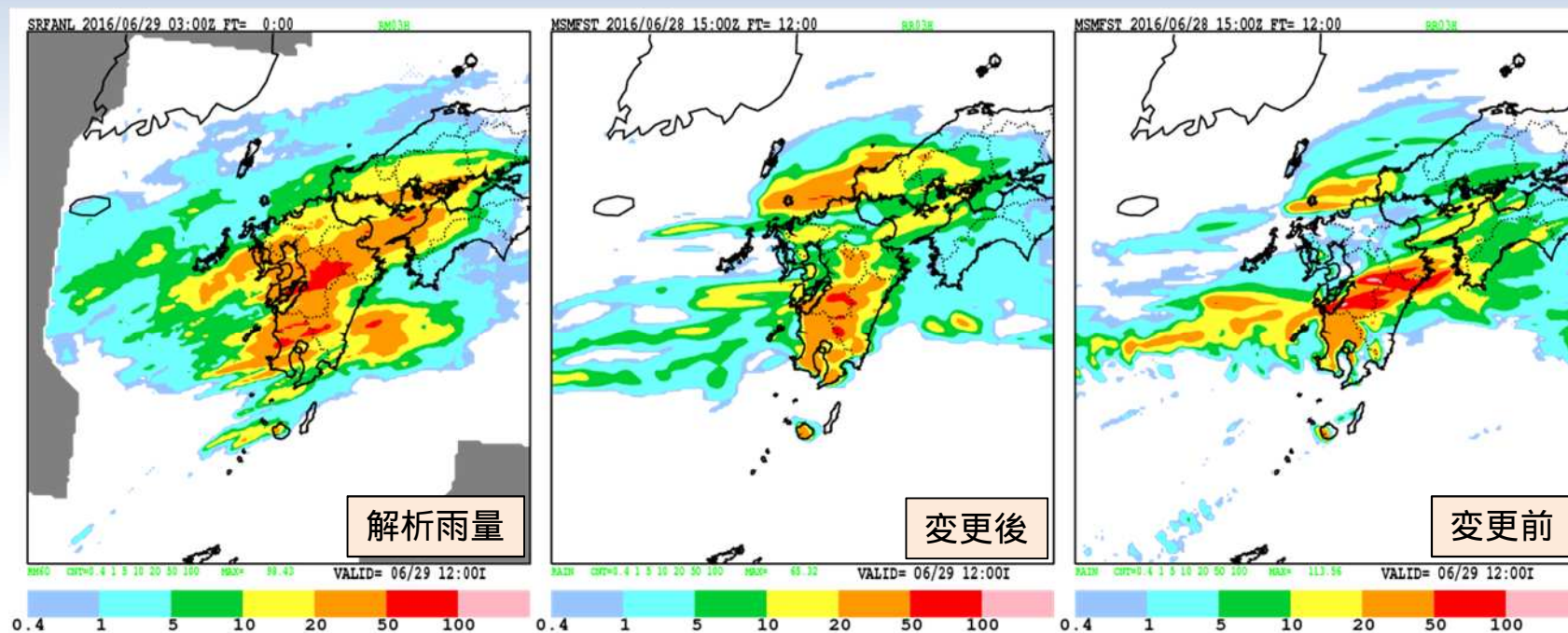
- 次世代の非静力学モデルとして asuca と呼ばれるモデルを導入しました(力学過程の改良)
- 同時に数値予報モデルで扱うほとんどの物理過程を改良しました
 - 雲物理過程・積雲過程、放射過程、陸面過程
 - 全ての過程が互いに影響を及ぼすため、単独の過程ではなくほとんどの過程を開発しています



降水予測の特性の変化

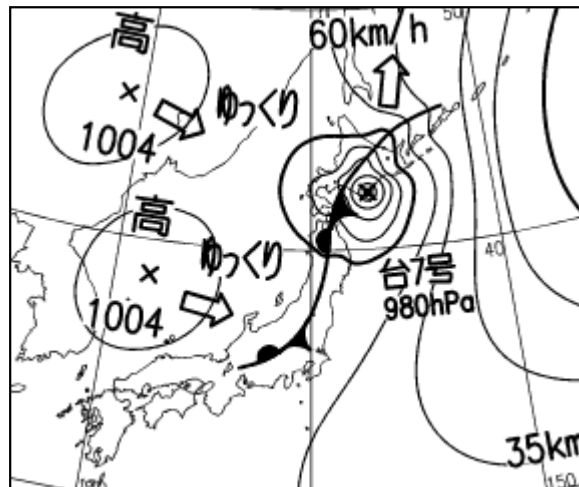
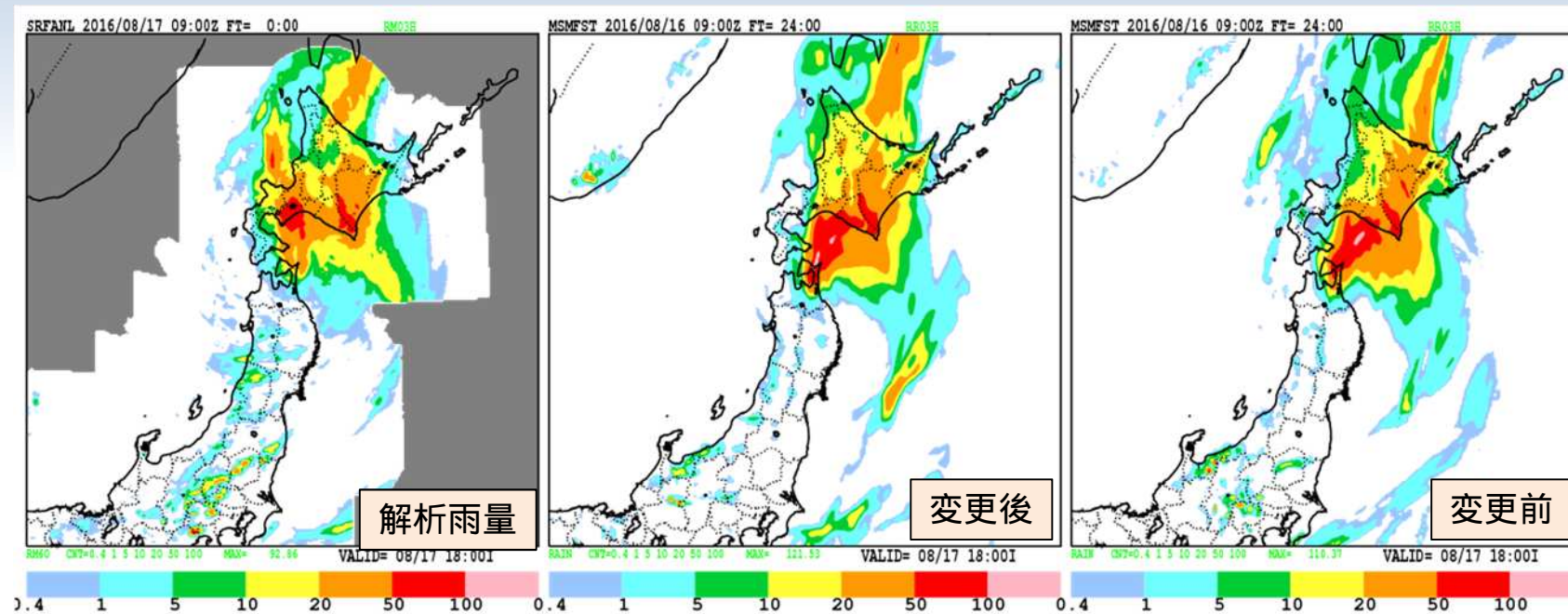
- 従来のモデルに比べ、成層不安定の解消のタイミングをより適切に予測できる事例が多く見られます
 - 特に対流を発生させる外部強制力(収束・上昇流)が小さい場合に顕著です
- 低気圧中心、台風周辺のように外部強制力が大きい場合は、差があまりありません

変更により降水予測が改善した典型例



前線の暖域内にある九州での降水域の広がりの変更後の方が実況に近くなりました
 変更前は九州南部に降水を集中させすぎていました

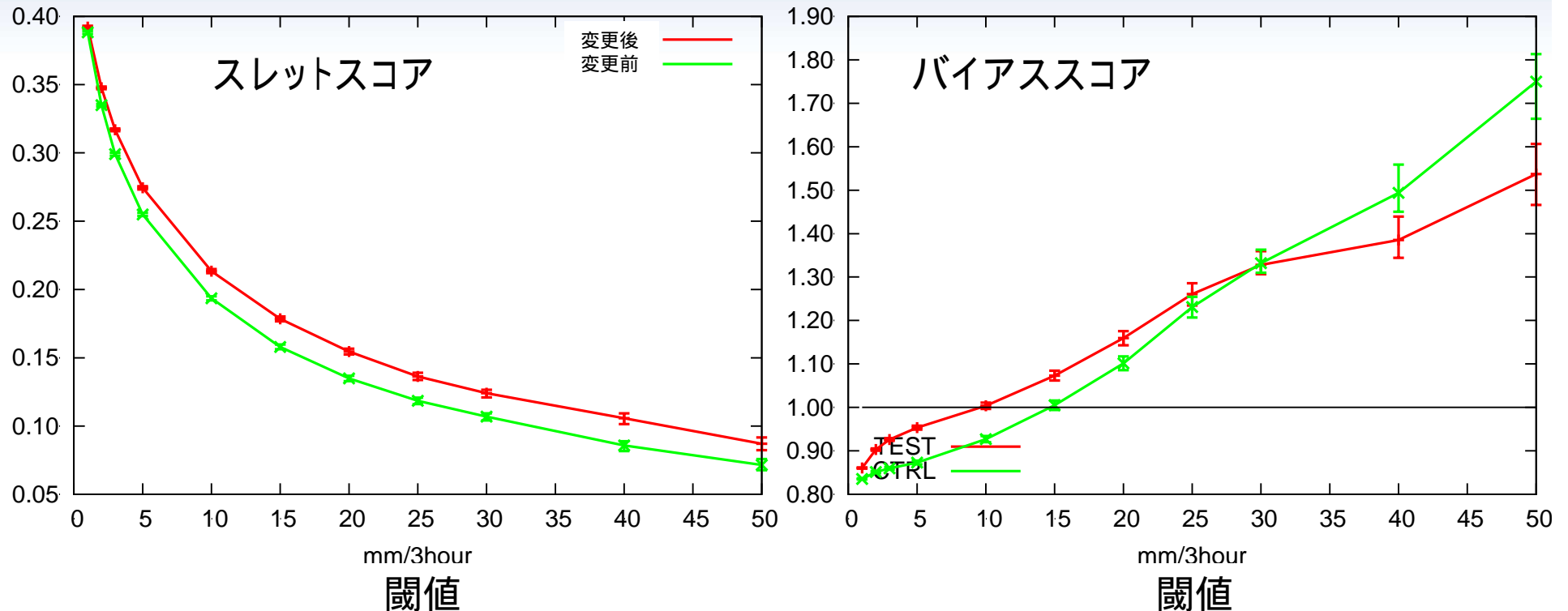
変更前後で予測に差の少ない典型例



台風を中心付近の予測事例
変更前後で大きな違いはありません

降水スコア(夏)

3時間降水量・検証格子20km

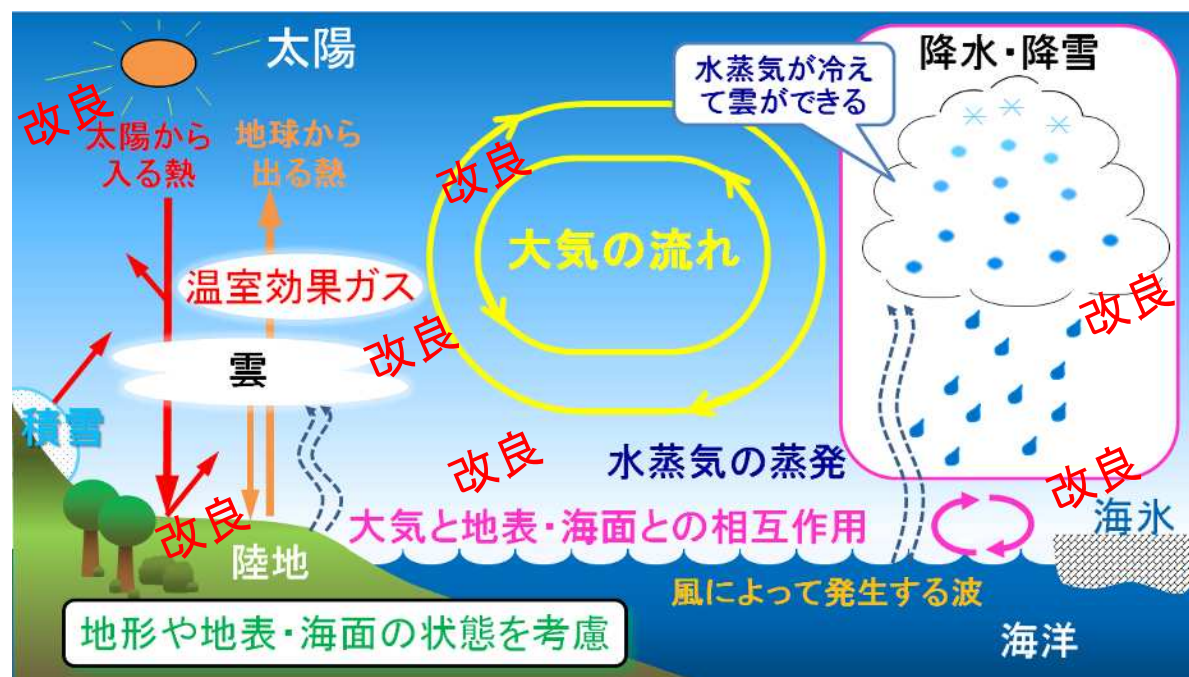


- どの閾値でもスレットスコアは大幅に改善しています
- バイアスコアの傾向は似ていますが、多くの閾値で1に近づき、予測過少、予測過大それぞれを改善しています
 - 弱い降水の予測頻度が増え、強い降水の予測頻度が減ります

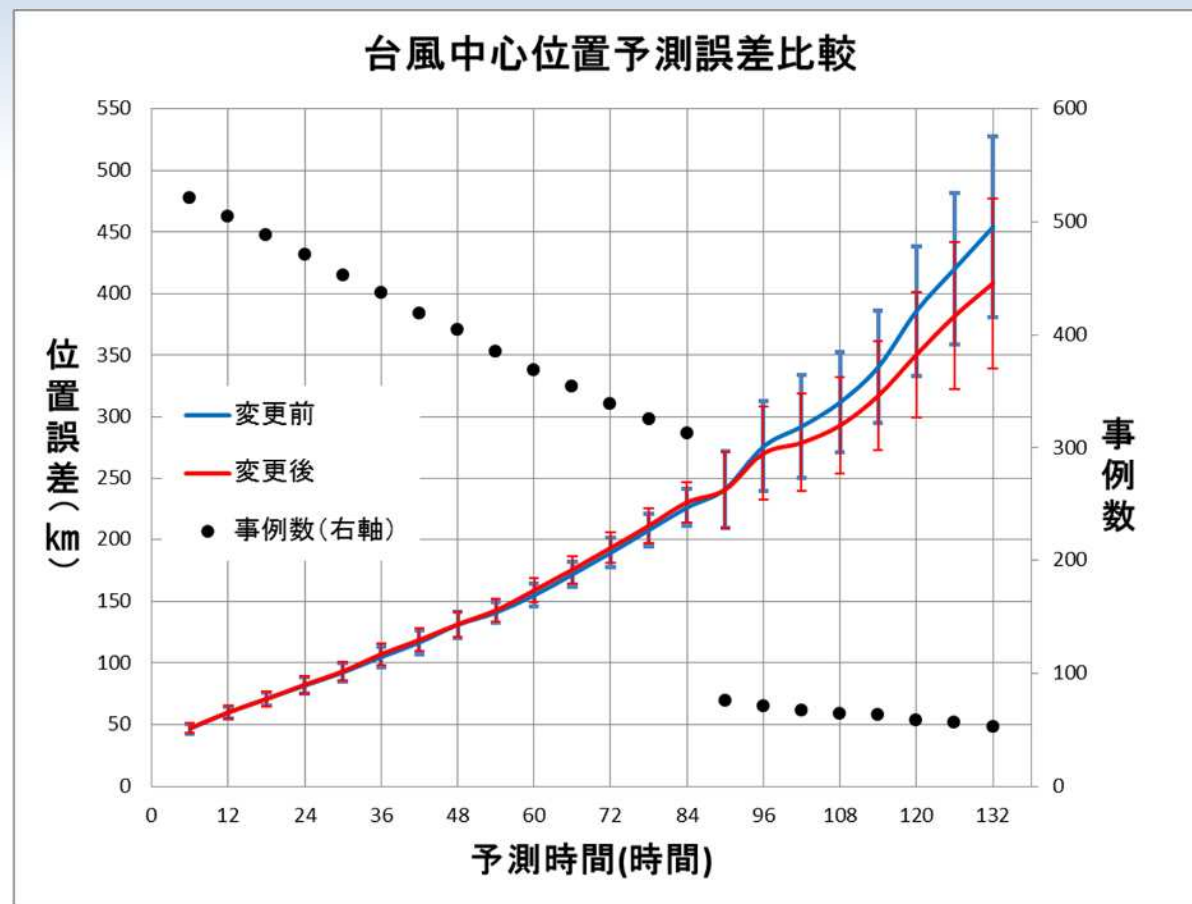
H29.5.25のGSMの改良

改良の概要

- 数値予報モデルで扱うほとんどの物理過程を改良しました
 - 雲・積雲過程、放射過程、陸面過程、海面過程、力学過程等
 - 全ての過程が互いに影響を及ぼすため、単独の過程ではなくほとんどの過程を開発しています
- その他に客観解析の改良も行いました

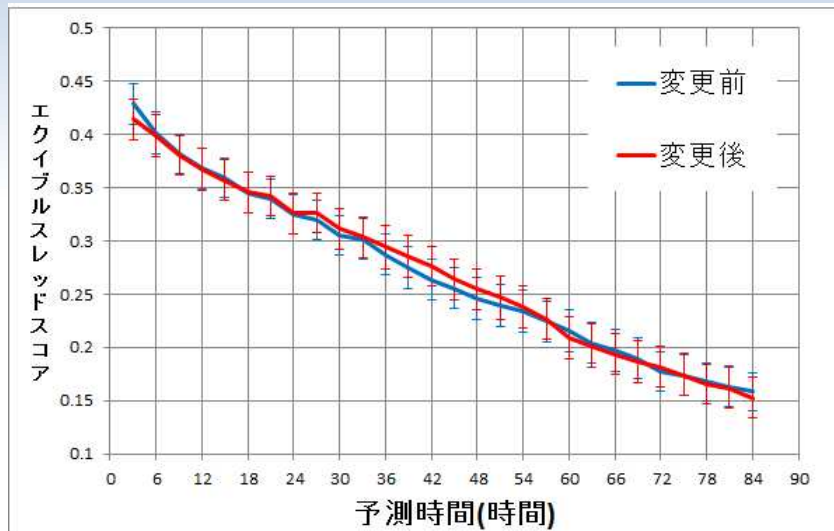


台風中心位置

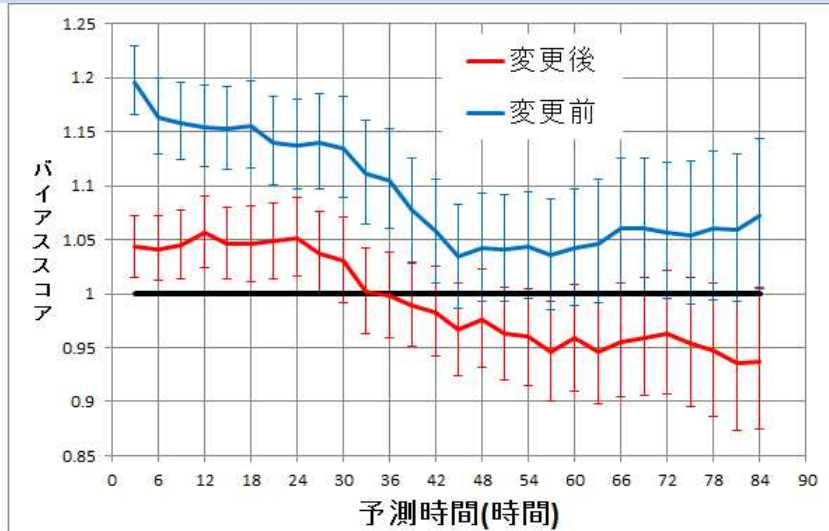


- 予測時間4日目までは中立ですが、それ以降の予測では誤差が減少しています
 - その他に、主として雲・積雲過程の改良により過発達傾向が弱まります
- 84時間予報までは1日4回、それ以降は1日1回の計算のため事例数が異なる

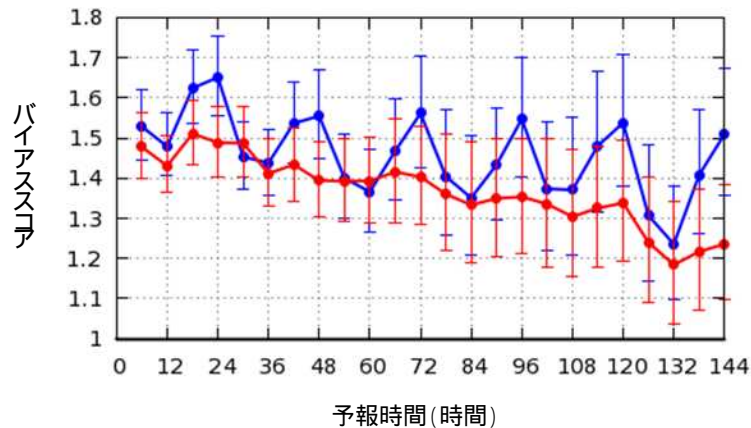
降水



夏期間の1mm/3hr以上の降水量予測についてのエクイタブルスレットスコア(全ての初期時刻)



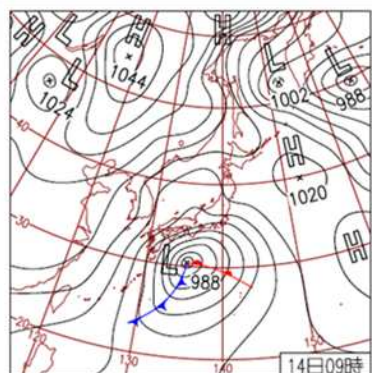
夏期間の1mm/3hr以上の降水量予測についてのバイアススコア(全ての初期時刻)



夏期間の1mm/3hr以上の降水量予測についてのバイアススコア(12UTC初期時刻)

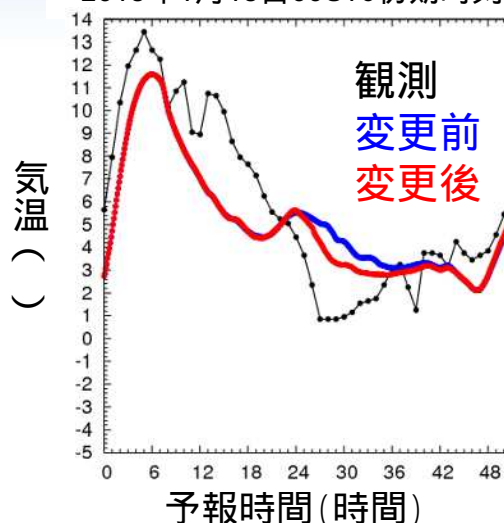
- エクイタブルスレットスコアで見ると(左上)、概ね全ての予測時間で中立
- バイアススコアで見ると(右上)、概ね全ての予測時間で頻度が減少し、1に近づいています
→空振りが減少したことを意味します
- 12UTC初期時刻のバイアススコアで見ると(左下)、夕方から夜にかけてその他の時間帯より頻度が大きいという特性がありましたが改善しています

その他の留意事項



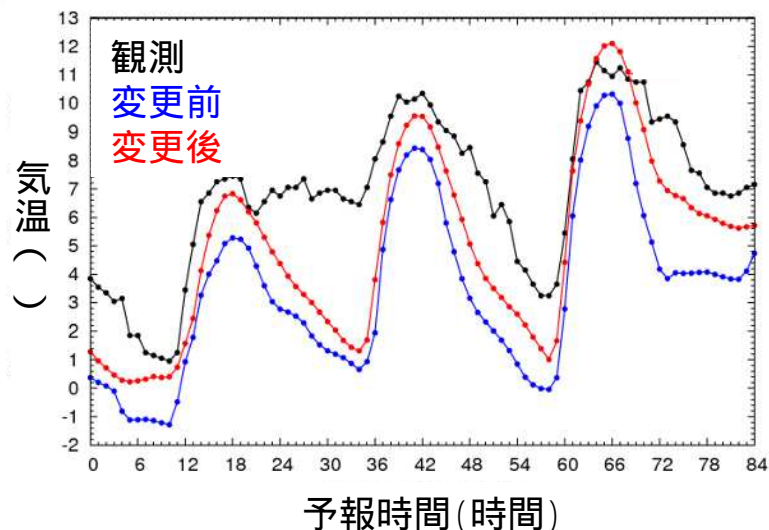
14日(月)東日本は雪の成人式
急速に発達した低気圧により太平洋側は風が強く、関東南部中心に雪。千葉県銚子で最大瞬間風速38.5m/s。横浜・東京で初雪。最深積雪は横浜13cm、東京8cm。

東京の地上気温の時系列
2013年1月13日00UTC初期時刻



予報初期(48時間まで)を拡大

大阪の地上気温の時系列
2016年1月25日12UTC初期時刻



- これまでは降水の融解や蒸発がある場合、地上気温が下がりにくい問題がありましたが、今回の変更で改善しました
- 例えば、南岸低気圧で降水が雨か雪かを判別する際の地上気温の予測が改善しました
この結果は、予測の違いをもたらす物理過程の一部のみを変更した実験結果です。また、地上気温予測は低気圧の位置の予測にも影響があることに留意下さい

- 平成28年3月の改良(主に陸面過程)により、夜間の放射冷却による急激な気温低下が表現できるようになりました
- 一方、雲や地上風の予測が実況と異なる場合に大きな誤差が生じるようになりました
- 今回の改良により、北海道以外の場所では誤差が軽減するようになりました

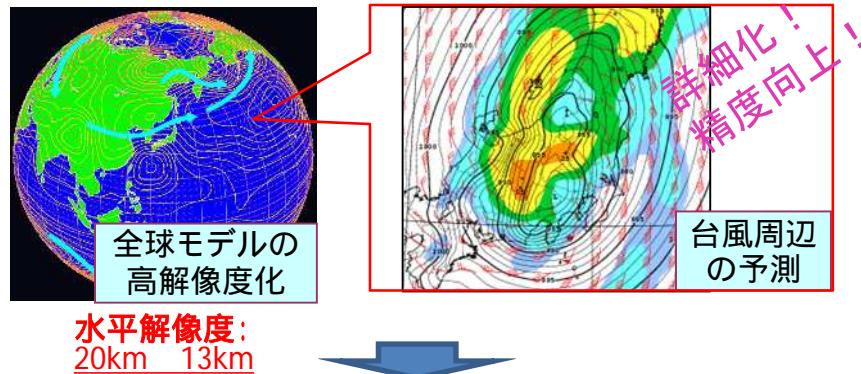
今後の計画

今後の技術開発

スーパーコンピュータの更新(平成30年予定)により、更なる技術開発を推進

台風の予測技術の向上

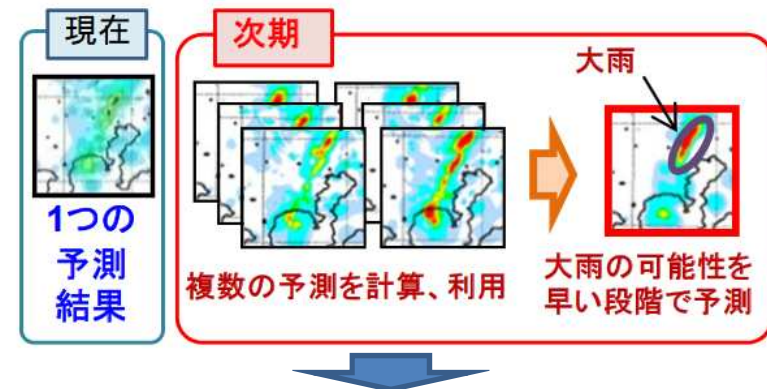
- 数値予報の高分解能化により、台風周辺の降水や風などの予測の詳細化、精度向上



- 台風強度(中心気圧・最大風速等)の予報期間を延長(現在3日後までを5日後までに)

集中豪雨の予測技術の向上

- 日本周辺の複数予測(メソアンサンプル)の導入→平成31年度導入を目途に開発



- 予想の幅や信頼度の把握が可能となり、最悪の場合大雨となる可能性があることを把握できる

出力要素の追加:平成29年12月頃を目途として日射量の要素を追加配信予定

気象庁では、精度の高い天気予報、適時的確な防災気象情報が発表できるよう、その基盤である数値予報の技術開発を、今後も着実に進めてまいります。

まとめ



まとめ

- 数値予報は、防災気象情報や日々の天気予報の**業務基盤**となっています
- 数値予報を構成するもの
 - 初期値に与える**観測データ**の品質管理
 - 初期値を作成する**客観解析(データ同化)**
 - 予報値を作成する**数値予報モデル**
- 気象庁ではこれら全てに対して改善に向けた開発を行い、予測精度は着実に向上しています
- 数値予報の改善にあたっては「**配信資料に関する技術情報**」でお知らせしています
- 近年の改良
 - 全球アンサンブル予報(今年1月)、MSM(今年2月)、GSM(今年5月)の改良をそれぞれ行いました
- 引き続き**今後も開発を継続して改良に努めてまいります**

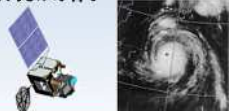


ご清聴ありがとうございました

補足資料

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

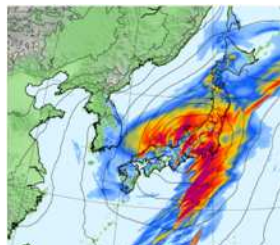


観測データ収集

解析・予測・情報作成

数値予報

スーパーコンピュータによる数値シミュレーション

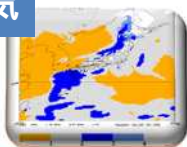


(例)雨量の予測

ガイダンス

数値予報の結果を翻訳・修正

天気



気温



情報発表

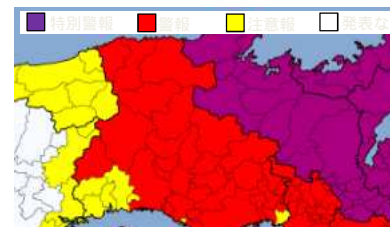
予報官



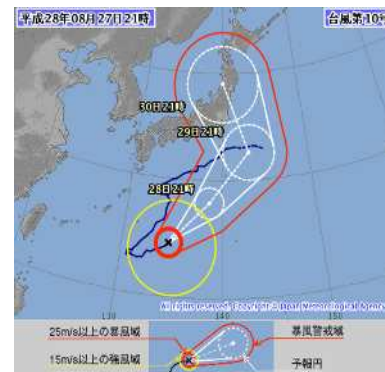
24時間体制で、担当区域の気象を監視・解析・予測し、天気予報や気象警報等の防災気象情報を発表

天気予報 防災気象情報

天気予報、週間天気予報
特別警報・警報・注意報、
台風情報 等



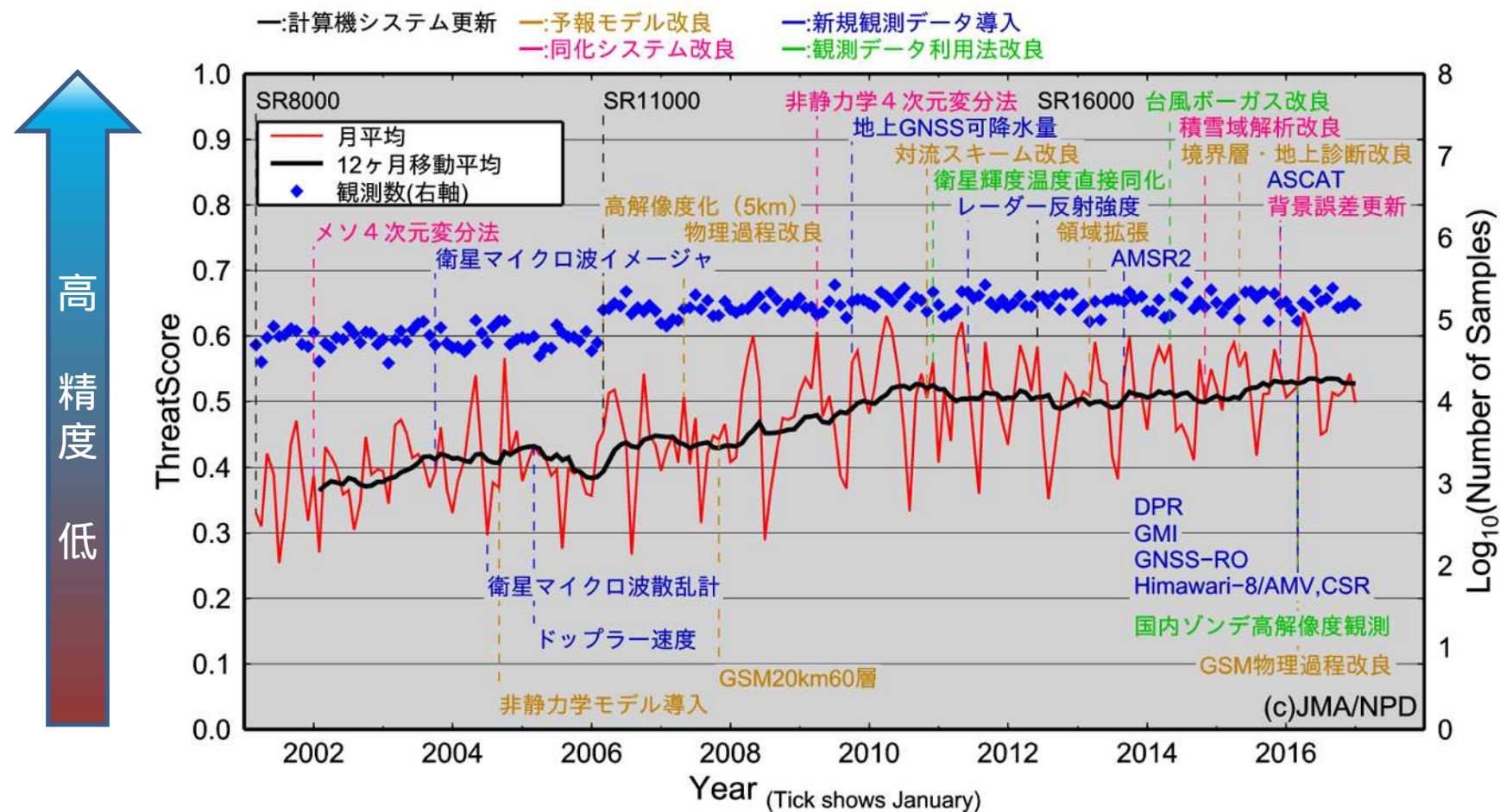
(気象庁ホームページ)
特別警報・警報・注意報



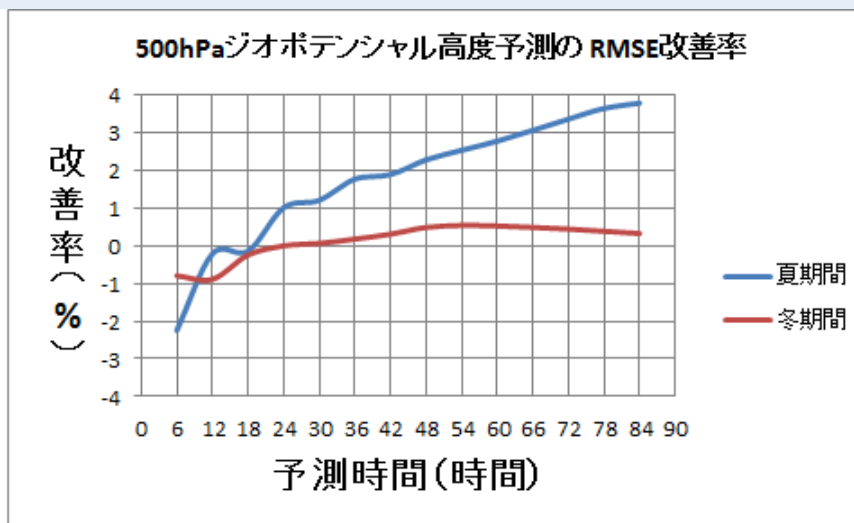
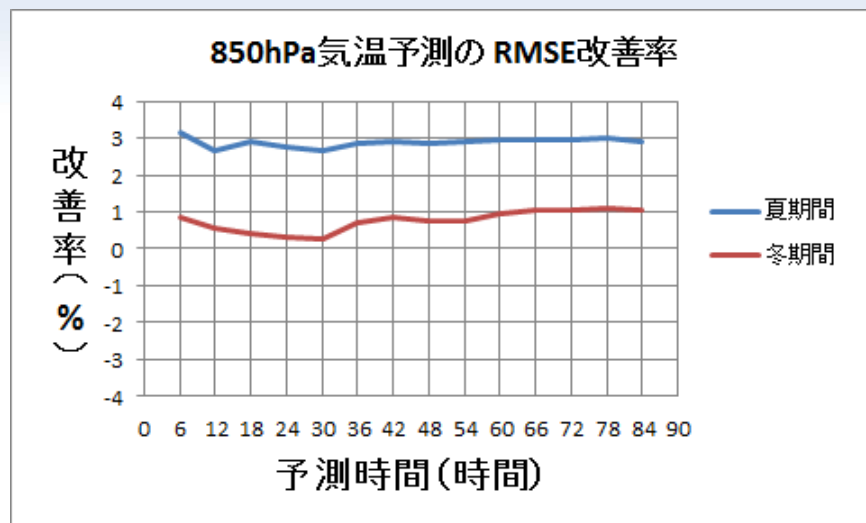
(気象庁ホームページ)
台風情報

メソモデルの改良と精度向上

前3時間積算降水量のスレットスコア (閾値1mm/3h、検証格子20km) の経年変化 (2001年3月 ~ 2016年12月)



850hPa気温、500hPa高度



- 850hPaの気温
 - 夏期間・冬期間共にほぼ全ての予測時間で改善しています
- 500hPaのジオポテンシャル高度予測
 - 予報初期(6~18時間予測)で予測誤差がやや大きくなりますが、それ以降の予測時間については全般的に予測精度が改善します
 - この傾向は夏期間でより顕著でした