



気象庁における現業数値予報モデル の現状と課題

数値予報モデル開発懇談会(第1回)

平成29年7月20日

気象庁

内容

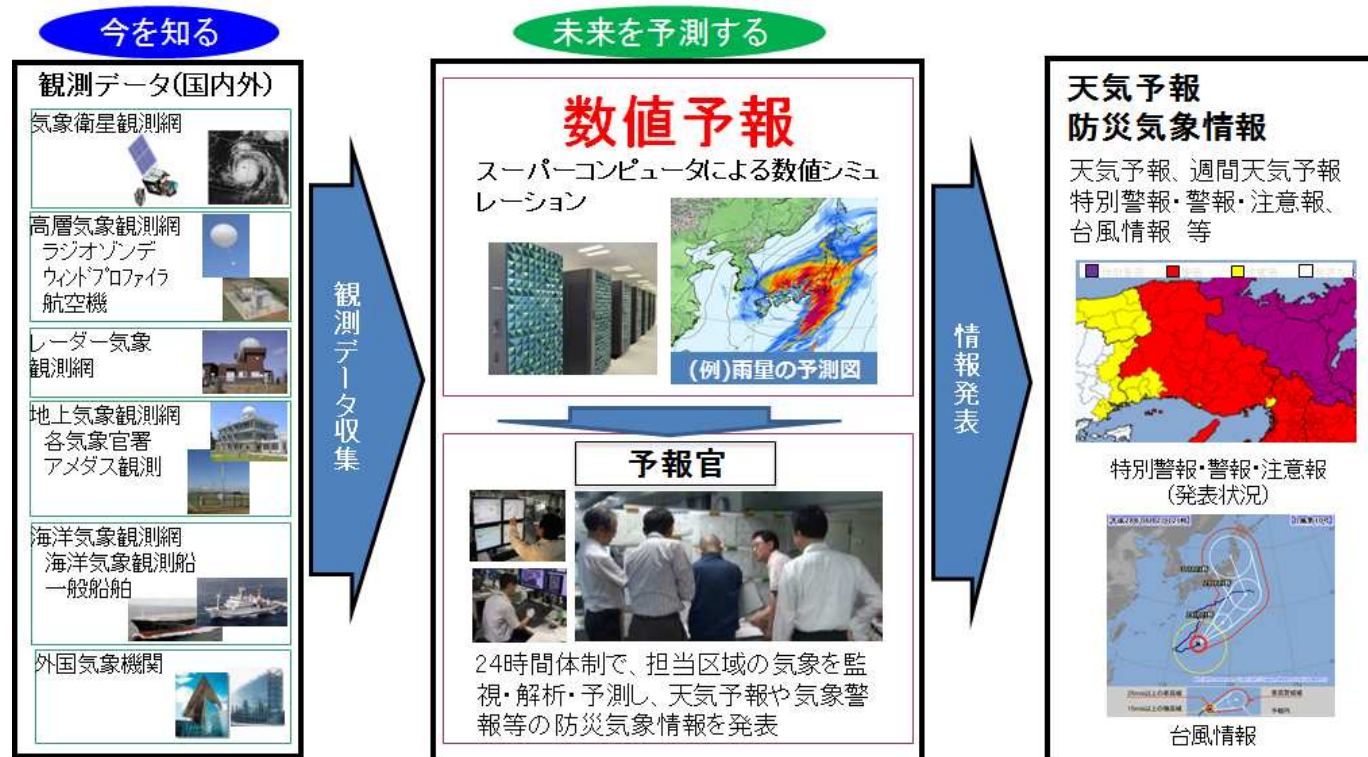
1. 現業数値予報モデルの概要
2. 技術開発と近年の改良
3. 技術開発の課題
4. 今後の技術開発

1. 現業数値予報モデルの概要



現業数値予報モデルについて

- 気象庁が日々発表している様々な気象情報の基盤となっている
- 現業数値予報モデルに求められる要件
 - 安定運用、業務で求められる時間内に処理を完了
 - 通年の様々な現象について一定の高い精度で予測
 - 限られた計算機資源を有効に活用することも必要



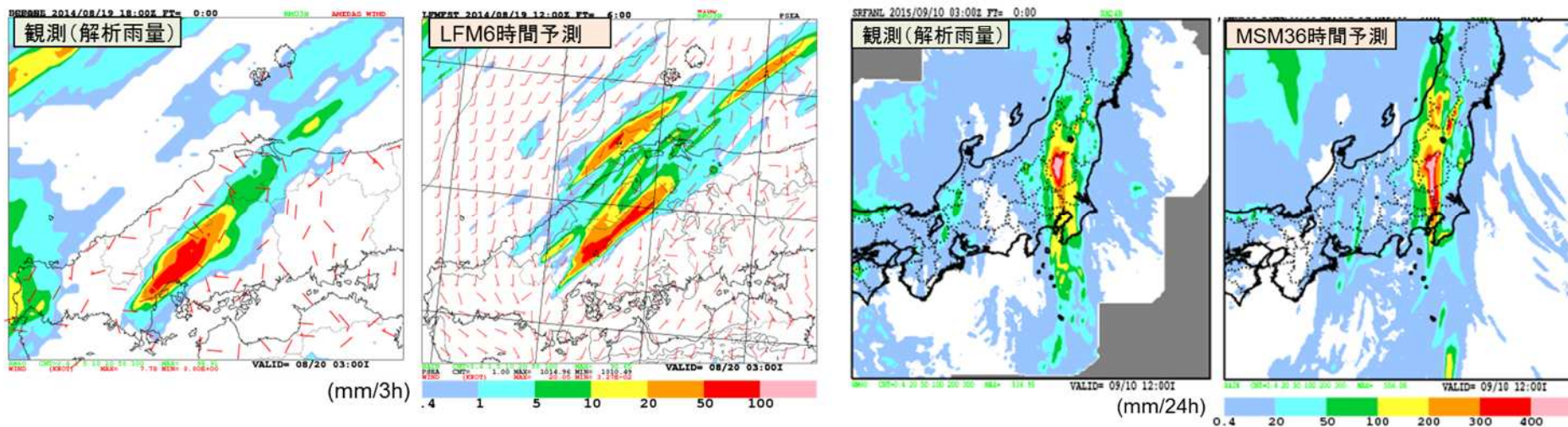
気象庁の現業数値予報モデル一覧

数値予報モデル (略称)	水平 分解能	鉛直層数 (最上層)	予報期間 (初期値の時刻 または実行頻度)	データ 同化 ¹	主な利用目的
局地モデル(LFM)	2km	58層 (約20km)	9時間(毎時)	3DVar	航空気象情報、防災気象 情報、降水短時間予報
メソモデル(MSM)	5km	76層 (約22km)	39時間(00,03,06,09,12, 15,18,21UTC、毎日)	4DVar	防災気象情報、降水短時 間予報、航空気象情報、 LFMの境界条件
全球モデル(GSM)	約20km	100層 (0.01hPa)	84時間(00,06,18UTC、 毎日) 264時間(12UTC、毎日)	4DVar	台風の進路・強度予報、 天気予報・週間天気予報、 MSMの境界条件
全球アンサンブル 予報システム	約40km	100層 (0.01hPa)	5.5日間、27メンバー (06,18UTC ²) 11日間、27メンバー (00,12UTC、毎日) 18日間、13メンバー (00,12UTC、土・日曜日)	4DVar	台風の進路予報、 週間天気予報、 異常天候早期警戒情報
	約55km		34日間、13メンバー (00,12UTC、火・水曜日)		1か月予報
季節アンサンブル 予報システム	大気 約110km 海洋 約50～100km	大気60層 (0.1hPa) 海洋52層 +海底境界層	7か月間、 計51メンバー (00UTC、毎月)	4DVar	3か月予報、 暖候期予報、 寒候期予報、 エルニーニョ現象の予測

¹3DVarは三次元変分法、4DVarは四次元変分法をそれぞれ示す。²全般海上予報区(赤道～北緯60度、東経100～180度)内に台風が存在する、または同区内で24時間以内に台風になると予想される熱帯低気圧が存在する場合、または、全般海上予報区外に最大風速34ノット以上の熱帯低気圧が存在し、24時間以内に予報円または暴風警戒域が同区内に入ると予想された場合に実行される。

局地モデル(LFM)・メソモデル(MSM)

- 利用目的：防災気象情報、航空気象情報、降水短時間予報
- LFM: 水平格子間隔(2km)で、日本付近を対象に1日24回(毎時)9時間先までの予測計算を実行。局地的な大雨や飛行場における風の急変等、目先数時間程度の局地的な現象が予測対象。
- MSM: 水平格子間隔(5km)で、日本付近を対象に1日8回39時間先までの予測計算を実行。1日先程度までの大雨や暴風等の災害をもたらす現象が予測対象。



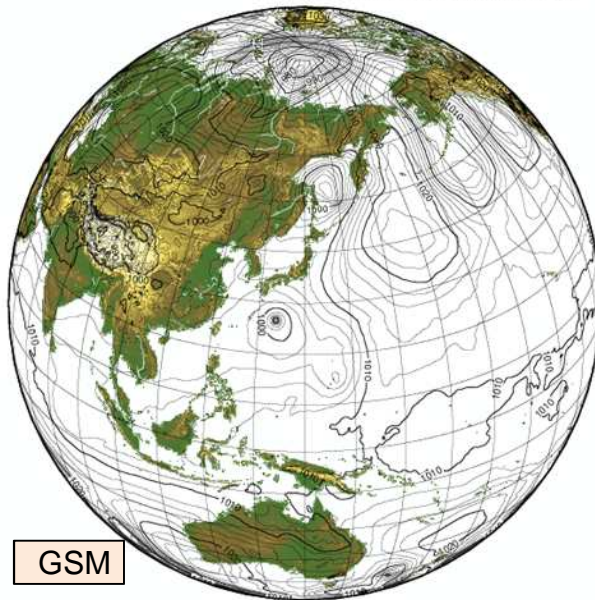
LFM: 平成26年8月豪雨の予測例
(平成26年8月20日3時までの
前3時間積算降水量)

MSM: 平成27年関東・東北豪雨の予測例
(平成27年9月10日12時までの
前24時間積算降水量)

全球モデル(GSM)・全球アンサンブル 予報システム(全球EPS)

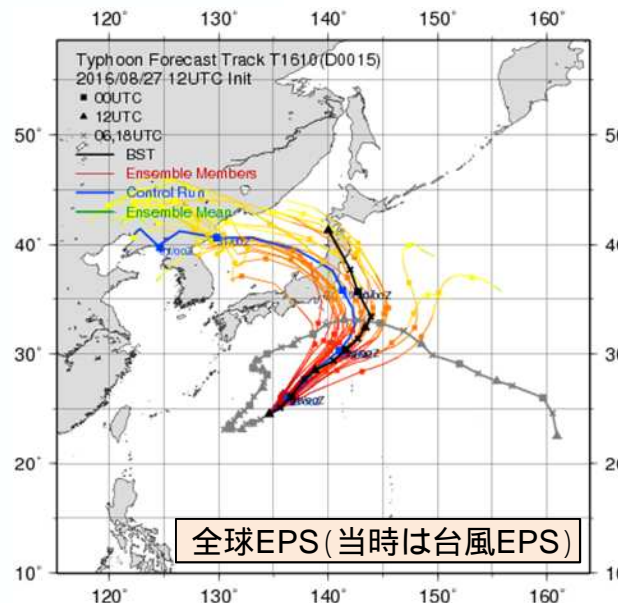
- 利用目的：台風予報、天気予報、週間天気予報
- GSM: 水平分解能約20kmで地球全体を覆い、1日4回最大11日先までの予測計算を実行。台風や高低気圧等、数日～1週間先の日本の天候に影響を与える現象を対象とする。
- 全球EPS: GSMよりやや粗い水平分解能約40kmで、1日2回11日先までの予測計算を実行(台風存在時には1日2回5.5日先までの予測計算を追加実行)。アンサンブルメンバー数は27。GSMの予測の幅や信頼度に関する情報を与える。

GSM-TL959L100 2016.08.23.12UTC FT=000
(Valid Time: 08.23.12UTC)



GSM: 平成
28年8月23
日21時から
11日先まで
の海面更正
気圧と降水
量予測結果

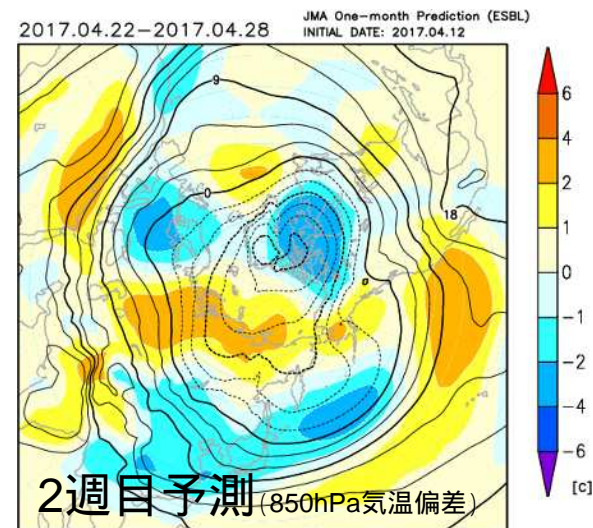
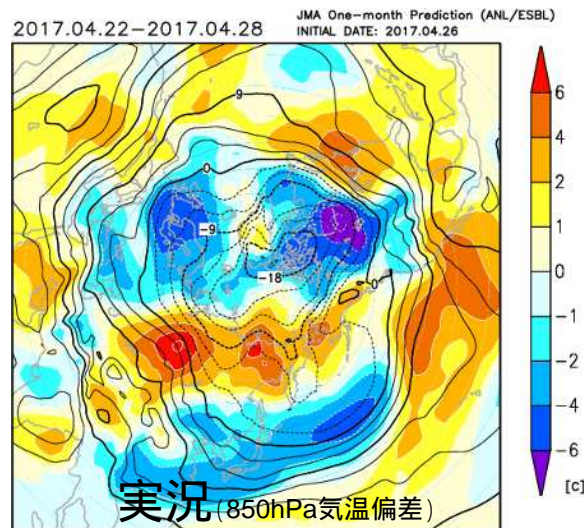
平成28年台風第10号の予測例



全球EPS: 平
成28年8月
27日21時
から5日先
までの台風
中心位置の
予測結果

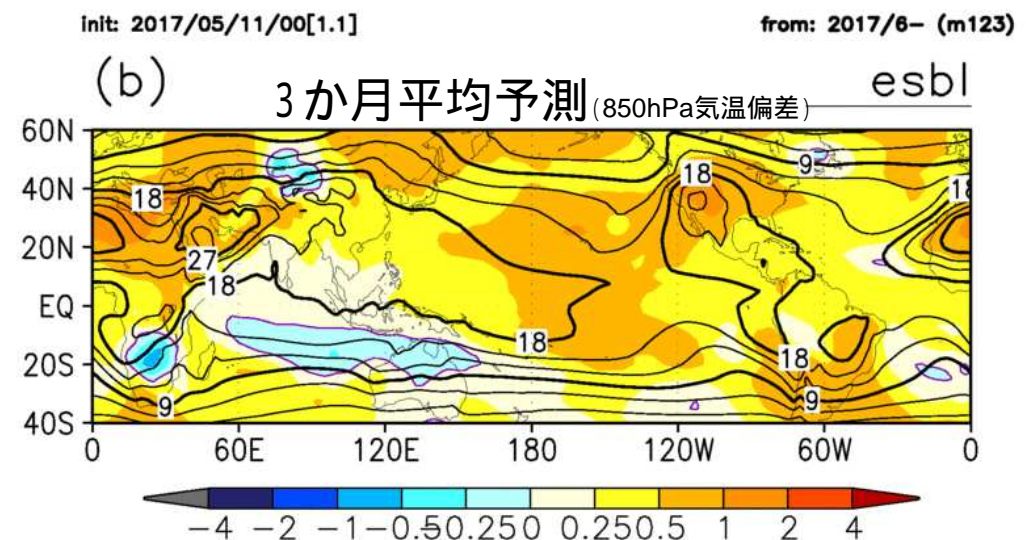
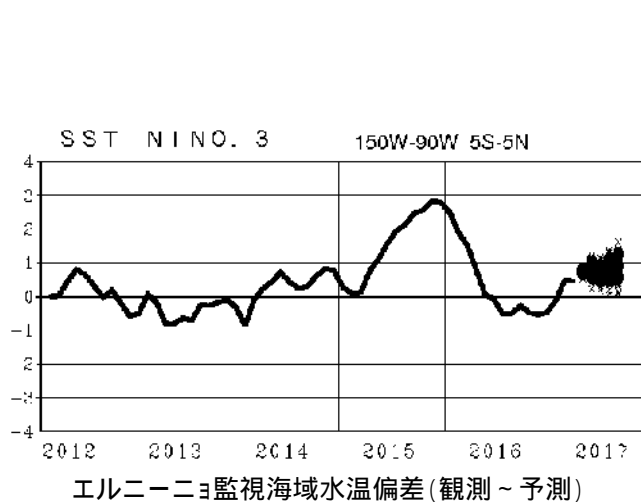
全球EPS:延長予報

- 利用目的: 異常天候早期警戒情報、1か月予報
- 週に8回、解像度約40kmの全球EPSの予測計算を18日まで延長して実行する。
- さらにそのうち週に4回、解像度を約55kmに落とし予測計算を34日まで延長して実行する。
- アンサンブルメンバー数は13/回。4回分の予測計算結果を合成して50メンバーのアンサンブルを構成し、予測資料とする
- 2週目～1か月の時間範囲を予測対象とし、予測を一定期間で平滑化して、日々の天気ではなくその期間の気候(平年比で暑い/寒い/雨が多い等)の予測に用いる。



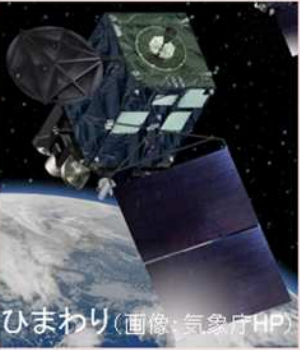

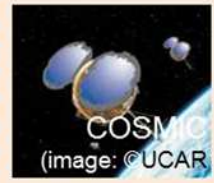

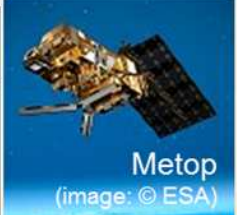
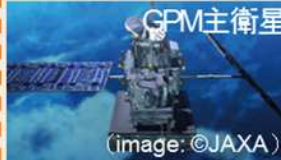

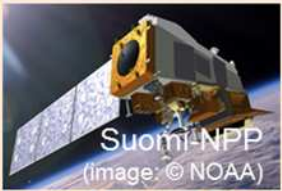

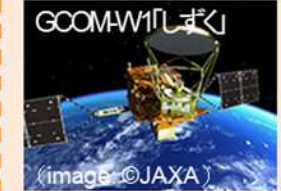
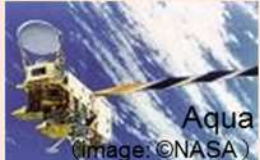
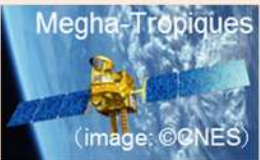


季節アンサンブル予報システム(季節EPS)

- 利用目的:3か月予報、暖候期予報(2月)・寒候期予報(9月)、エルニーニョ予報
- 全球大気海洋結合モデル(大気水平分解能約110km、海洋水平分解能 $1 \times 0.3-0.5$ 度)にて、5日に1回7か月先まで予報。
- アンサンブルメンバー数は13/回。4回分の予測計算結果を合成して51メンバーアンサンブルを構成し、予測資料とする
- 1か月より先から半年先までの範囲で日本の気候に影響を与える大気海洋相互作用などに基づく現象(エルニーニョ南方振動、アジアモンスーンの変動)等を予測対象とし、それらに基づき予測される日本の気候に関する情報を与える。



現業数値予報で利用している観測

 <p>高層観測 (写真: 気象庁HP)</p>	 <p>地上観測 (写真: 仙台管区HP)</p>	 <p>ブイ観測 (写真: 気象庁HP)</p>	 <p>ウィンドプロファイラ (写真: 東京管区HP)</p>	 <p>GNSS受信機 (写真: 観測部提供)</p>	 <p>台風ポーガス 疑似観測</p>
 <p>航空機観測 (写真: YS提供)</p>	 <p>海上観測 (写真: 気象庁HP)</p>	<p>直接観測</p>		 <p>(ドップラー)レーダー (写真: 大阪管区HP)</p>	
<p>リモートセンシング 遠隔観測</p>					

 <p>ひまわり (画像: 気象庁HP)</p>	 <p>METEOSAT (image: © ESA)</p>	<p>(準) 現業衛星</p>		<p>地球観測衛星</p>		 <p>COSMIC (image: © UCAR)</p>
		 <p>NOAA (image: © NOAA)</p>	 <p>Metop (image: © ESA)</p>	 <p>GPM主衛星 (image: © JAXA)</p>	 <p>GRACE-A,B (image: © NASA)</p>	
		 <p>Suomi-NPP (image: © NOAA)</p>	 <p>DMSP (image: © NASA)</p>	 <p>GCOM-W1 (image: © JAXA)</p>		
<p>静止軌道衛星</p>		 <p>Aqua (image: © NASA)</p>	 <p>Megha-Tropiques (image: © CNES)</p>	 <p>Terra (image: © NASA)</p>	 <p>TerraSAR-X TanDEM-X (image: © EADS Astrium)</p>	
		<p>低軌道衛星</p>			<p>GNSS掩蔽衛星</p>	

2. 技術開発と近年の改良



現業数値予報における開発項目と内容

開発基盤（数値予報技術
開発管理・支援）

**観測データ収集・
品質管理**（数値予報に
用いる観測データの収集・変
換と品質管理）

データ同化（観測デー
タに基づく数値予報モデルの初
期値作成）

数値予報モデル（各種
気象要素の時間変化を、物
理法則に基づき計算して将来
の大気の状態を予測）

応用処理（数値予報モデ
ルの結果を補正・可視化・翻訳
し、予報作業で利用するための
各種プロダクトを作成）

開発基盤整備

- 計算機の効率的な運用のための最適化、実験システムや描画・検証等の開発の基盤となる各種ツールの整備、開発管理のための各種システムの整備・運用など

観測データ利用技術開発

- 空間的・時間的な分布や観測要素について多種多様な観測データを、観測データの特性を踏まえ、モデルの特性や精度に応じて適切且つ有効に活用するための技術開発

データ同化技術開発

- 直近のモデル予測値と空間的・時間的に不均一な観測データとをそれぞれの誤差の大きさを考慮して利用し、物理的整合性を持った解析値（モデルの初期値）を作成するための技術開発

数値予報モデル開発

- 目的や計算機資源に応じてモデル分解能や計算領域などを設定し、それに適するように大気中の様々な現象・プロセスを適切にモデル化して、高速かつ安定に予測計算を行うため技術開発

応用処理技術開発

- 数値予測結果を統計的に補正し、予測精度を向上させたプロダクト（ガイダンス）を開発・高度化するための技術開発

- 開発項目は多岐にわたっている。

近年の改良一覧(数値予報モデル)

導入年月	システム	内容
2015年05月	MSM	物理過程の改良【境界層過程の改良】
2015年06月	季節EPS	JMA/MRI-CPS2導入【大気モデル:水平高解像度化(180→110km)、鉛直層数増強(40→60層)、積雲・雲・放射・海面過程改良、温室効果ガスの考慮の精緻化、海洋モデル:緯度方向高解像度化(最大:1→0.5度)、計算領域拡大(±75度→全球)、海氷モデル導入、境界層・放射過程改良】
2015年12月	MSM	データ同化の改良【背景誤差の更新】
2016年03月	GSM	物理過程・力学過程の高度化【物理過程全般にわたる改良】
2017年01-03月	全球EPS	全球EPS導入【これまでの台風・週間・1か月アンサンブル予報システムを統合、予報モデルの高度化及び鉛直層数増強(60→100層)、LETKFによる初期値摂動及び海面水温摂動の導入】
2017年01月	LFM	力学過程及びデータ同化の改良【計算安定性向上、変分法バイアス補正の導入】
2017年02月	MSM	asuca導入【物理過程、力学過程全般にわたる改良、鉛直層数増強(48→76層)】
2017年05月	GSM	物理過程・力学過程の高度化及びデータ同化の改良【物理過程全般にわたる改良、背景誤差の更新】

モデル改良:青、データ同化改良:緑、モデル・データ同化更新:赤

近年の改良一覧(観測データ利用)

導入年月	システム	内容
2015年06月	GSM	Megha-Tropiques/マイクロ波サウンダSAPHIR輝度温度の利用開始
2015年10月	GSM	Metop/マイクロ波散乱計ASCAT海上風の利用手法改良、定時航空実況気象通報式METAR地上気圧の利用開始
2015年12月	MSM	Metop/ASCAT海上風の利用開始
2016年03月	GSM,MSM,LFM	ひまわり8号大気追跡風の利用開始
2016年03月	GSM,MSM	ひまわり8号晴天輝度温度、GPM/マイクロ波イメージャGMI輝度温度の利用開始
2016年03月	MSM	GMI/GMI降水強度、GPM/二周波降雨レーダDPR相対湿度、GNSS掩蔽観測による屈折率、国内高解像度高層観測データの利用開始
2016年09月	GSM	台風ボーガスの改良
2016年12月	GSM	ひまわり8号大気追跡風の利用手法改良
2017年1月	LFM	各種衛星搭載センサーの晴天輝度温度、GCOM-W/マイクロ波イメージャAMSR2・Metop/ASCAT土壌水分量の利用開始
2017年03月	GSM	Suomi-NPP/マイクロ波サウンダATMS・ハイパースペクトル赤外サウンダCrIS、DMSP/マイクロ波サウンダSSMIS輝度温度の利用開始

直接観測:青、地上リモセン:緑、擬似観測:橙、衛星観測:赤

全球モデルの改良と精度向上

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



主な変更点(緑:モデル物理過程、黒:モデル力学過程・解像度、紫:データ同化システム、青:新たに同化されたデータ)とその時期を矢印で示す

3. 技術開発の課題

更なる予測精度向上の必要性

- 気象警報・注意報等の防災気象情報をより適時に、的確に発表できるよう、特に甚大な被害をもたらす集中豪雨や台風の予測精度向上が必要
- 気象分科会提言(平成27年7月)においても、集中豪雨と台風の予測精度向上のための数値予報技術開発が中長期課題として示されたところ

「新たなステージ」に対応した観測・予測技術向上のための取組の方向性(概要)

提言(第3章)

観測・予測技術向上のための取組の方向性

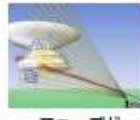
- 観測・予測技術は防災気象情報の基盤。中長期的な視点で取り組んでいくことが必要。
- 観測・予測技術の取組を中長期計画としてまとめ、達成度を適時、点検・見直し等を行うことが重要。

① 積乱雲

- ひまわり8号データの利用技術
高頻度、高解像度、多バンド化を活用
- 次世代気象レーダーの導入と利用技術
二重偏波レーダーやフェーズドアレイレーダーによる、より精緻な実況監視
- 実況を伝える情報の充実、迅速化
- 局地的な大雨等に関する情報の提供



ひまわり8号



フェーズドアレイレーダー

② 集中豪雨

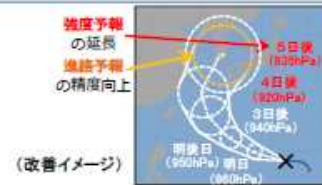
- 水蒸気監視能力向上に係る技術
- メソアンサンプル予報技術
初期値や条件がわずかに異なる複数の予測の実施
- 確度が低くても警報級の現象になる可能性があることを早い段階から周知



メソアンサンプル予報技術による複数予測

③ 台風

- 台風強度予報の5日先までの延長や進路予報精度向上のための技術
- 2~3日先までの降水量予測の提供や高潮の可能性の確率的評価のための技術
- 台風による暴風、大雨、高潮等をより早い段階で確度高く予測し、タイムラインに沿った防災活動等を支援



効果的な観測・予測技術向上の取組のために…

- ▶ 気象庁の総合力の発揮 最先端の技術の研究からその成果の業務への活用までの一貫した総合力を一層発揮
- ▶ 国内外の関係機関との更なる連携の促進 国内外の研究機関と更に連携し研究を実施、成果の業務への活用を促進
- ▶ 業務基盤の維持、機能向上 スーパーコンピュータシステム等業務の実施に不可欠な業務基盤の維持、機能向上

国土交通省交通政策審議会
気象分科会提言(平成27年7月)より
http://www.mlit.go.jp/policy/singikai/kishou00_sg_000046.html

集中豪雨・台風予測の課題

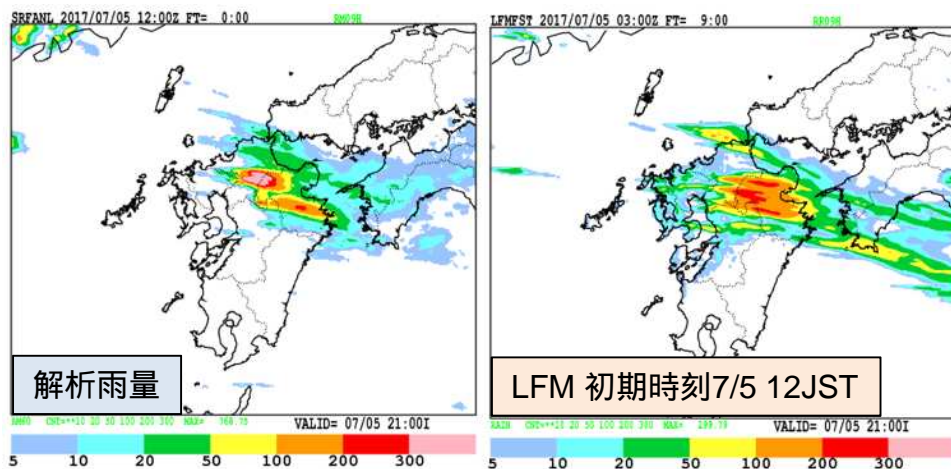
- 集中豪雨予測の課題

- 特に、線状降水帯の予測について、発生位置のずれ、停滞予測の改善など

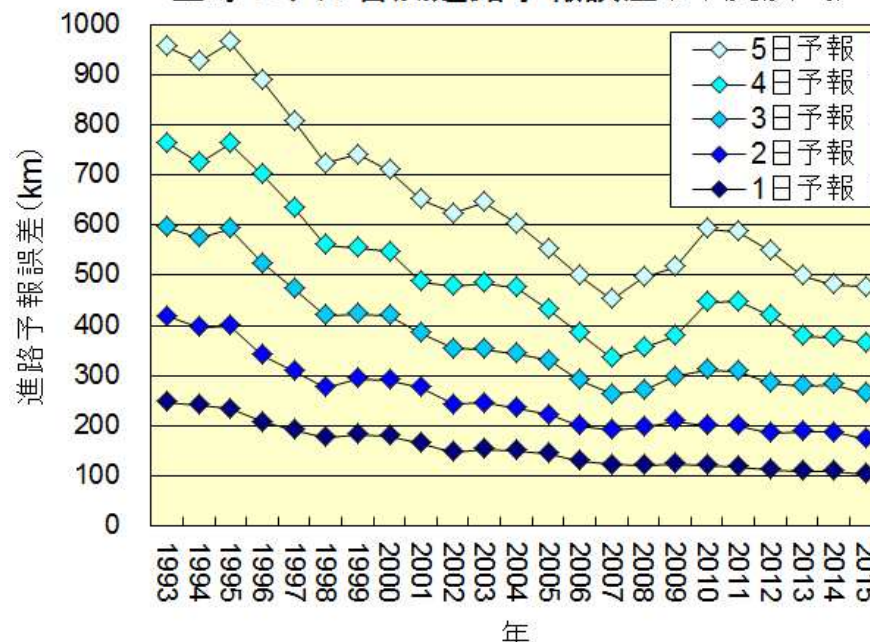
- 台風予測の課題

- 進路予測の更なる改善、現状では難しい発達・衰弱を含めた強度予測の改善、現状では小さい発生予測可能性の向上など

2017年7月5日12-21時(JST)の9時間積算降水量

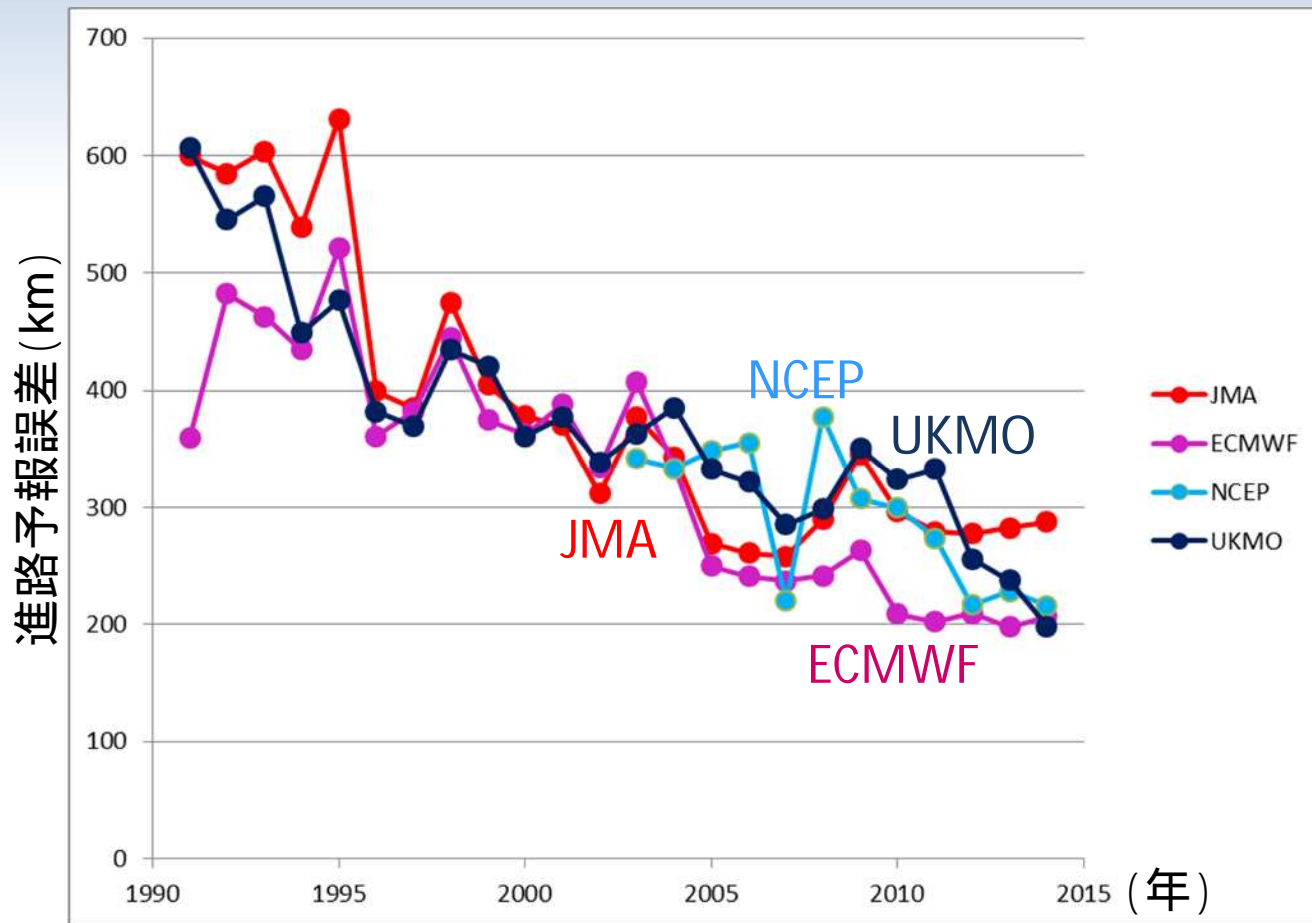


全球モデル台風進路予報誤差(3年移動平均)



□ これらの課題を解決して予測の改善を図るために、それらの予測を担うそれぞれのモデルについて、改良を進めることが必要。

台風進路予報誤差国際比較

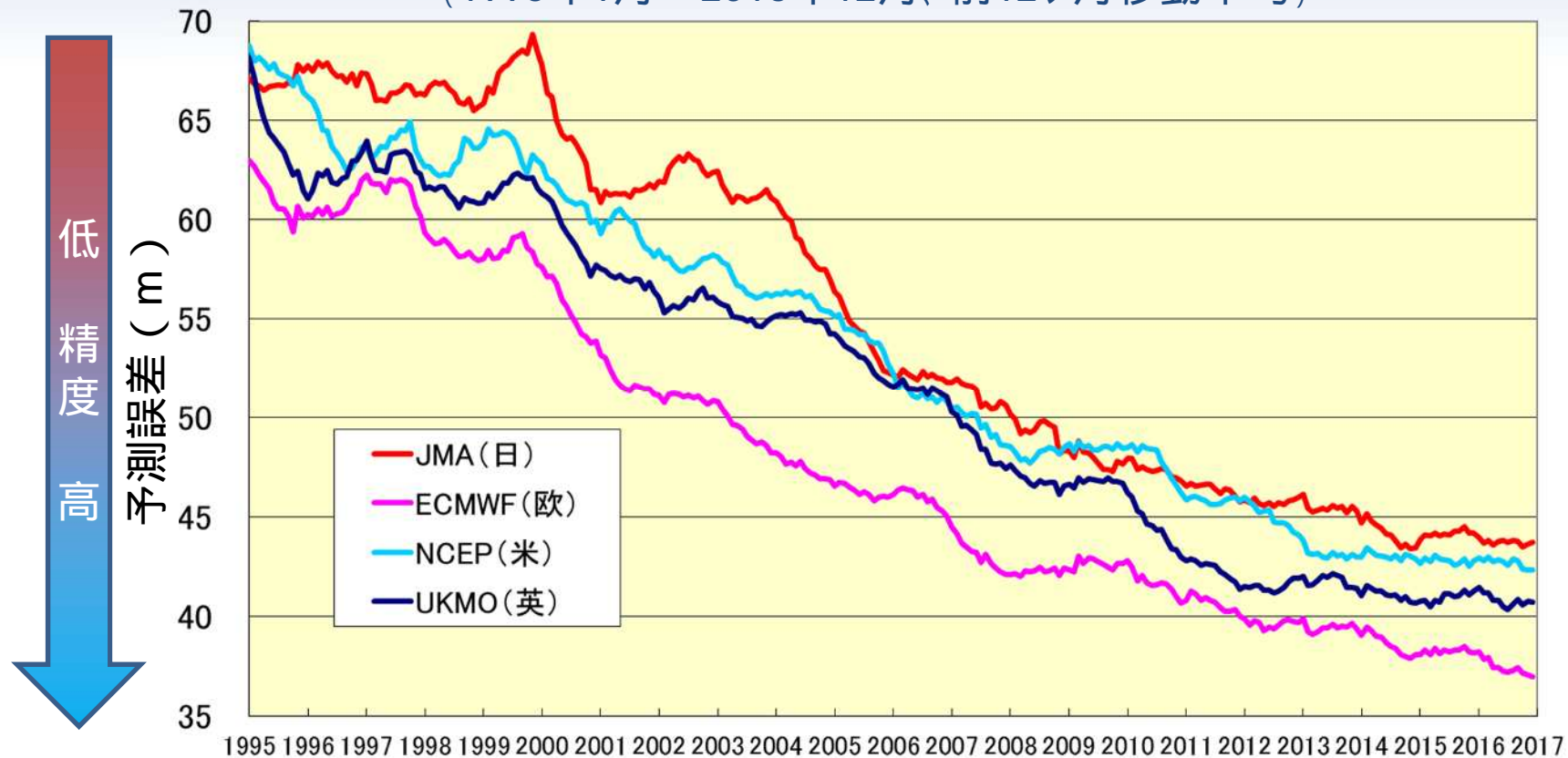


WGNE Intercomparison of Tropical Cyclone Track Forecasts Using Operational Global Models より

- 各数値予報モデルの結果を収集し、気象庁で追跡と検証を実施。
- 気象庁は1996年以降、2000年代前半までは世界トップクラスの精度を維持していたが、最近は主要数値予報センター (ECMWF・UKMO・NCEP) にやや水をあけられている。

全球モデル予測精度の国際比較

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



- 各センターとも着実に予測精度を向上させてきている。
- 気象庁もそれに追随しているが、ECMWFとの差は縮まらず、2010年以降はUKMOやNCEPとも差がついてきている。

開発内容に関する主要センターとの比較

開発基盤 (数値予報技術
開発管理・支援)

開発基盤整備

□ 計算機の効率的な運用のための最適化、実験システムや描画・検証等の開発の基盤となる各種ツールの整備、開発管理のための各種システムの整備・運用など

**観測データ収集・
品質管理** (数値予報に
用いる観測データの収集・変
換と品質管理)

観測データ利用技術開発

主要センターでは利用されている雲・降水域の衛星輝度温度データが、気象庁では利用できていない。

データ同化 (観測データ
に基づく数値予報モデルの初
期値作成)

データ同化技術開発

主要センターでは利用されているハイブリッド同化 (アンサンブル同化と変分法の組み合わせ) を気象庁 (変分法のみ) では導入できていない。

数値予報モデル (各種
気象要素の時間変化を、物
理法則に基づき計算して将来
の大気の状態を予測)

数値予報モデルの開発

主要センターと比較すると分解能で劣っている。 (ECMWF : 水平分解能9km・鉛直137層、NCEP : 13km・64層、UKMO : 17km・70層、気象庁 : 20km・100層)
高分解能のモデルを高速かつ安定に計算するための手法の検討・開発も遅れている。
高分解能のモデルに適した物理過程の開発・高度化についても遅れている。 (この対応は、雲・降水域の衛星輝度温度データの利用等の観測データの高度利用のためにも重要)

応用処理 (数値予報モデ
ルの結果を補正・可視化・翻訳
し、予報作業で利用するための
各種プロダクトを作成)

応用処理技術開発

□ 数値予測結果を統計的に補正し、予測精度を向上させたプロダクト (ガイダンス) を開発・高度化するための技術開発

気象庁の開発要員数は、主要センターと比較すると少ない。

予測精度向上に向けて

- 海外の主要センターで先行導入済み技術の導入
 - モデルの高解像度化と、それに適した力学過程・物理過程の開発
 - ハイブリッド同化の導入
 - 衛星輝度温度データの全天同化
- 予測精度向上に資する新たな知見・技術の導入
 - 集中豪雨や台風等の予測誤差の要因を分析し、それを解決するための開発も必要
 - 数値予報技術に関する幅広い分野の知見・技術に加えて、対象としている現象自体への深い理解や知見も必要

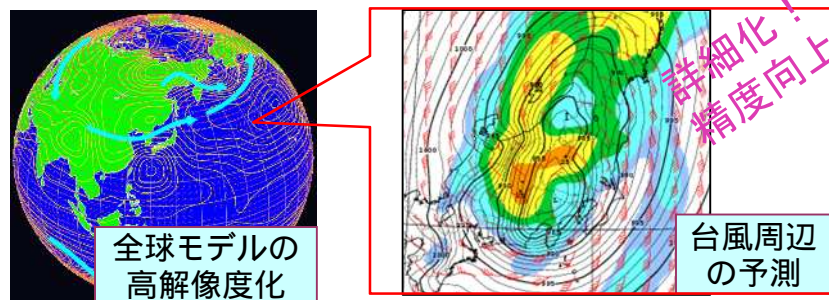
4. 今後の技術開発

スパコン更新と更なる技術開発

- スーパーコンピュータシステムの更新(実効性能が現機の約10倍となる見込み)を平成30年6月に予定。
- 移行後に、増強されたスパコンの性能を活かして更なる技術開発を推進。

台風の予測技術の向上

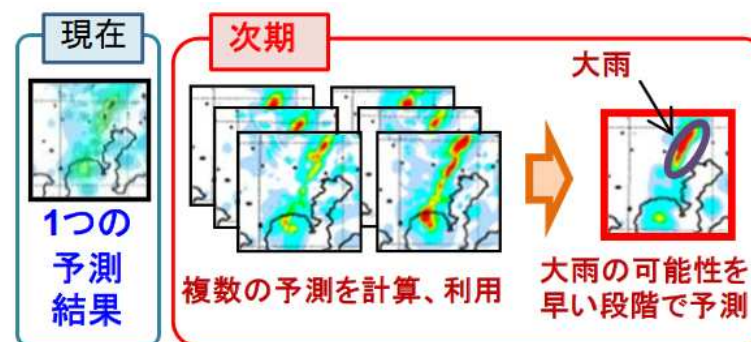
- ・ 数値予報の高分解能化により、台風周辺の降水や風などの予測の詳細化、精度向上



- ・ 台風強度(中心気圧・最大風速等)及び進路に関する予報精度の更なる向上

集中豪雨の予測技術の向上

- ・ 日本周辺の複数予測(メソアンサンブル)の導入



- ・ 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

主要センターで先行導入済み技術の導入

- 計算機能力の向上を活かし、主要センターで先行導入済み技術の適用を中心として、予測精度の向上を図るための各種技術開発を実施する計画
- モデル全体としての改良・高度化となり、開発項目が多岐にわたるため、開発管理の更なる強化等により効率的に、且つ重要度・優先度を意識しながら実施することが必要

開発項目	内容
仕様向上	計算機能力の向上に応じた高解像度化
力学過程	高度化・高解像度化対応
物理過程	パッケージとしてあらゆる過程を開発
データ同化システム	変分法とアンサンブル技術を組み合わせたハイブリッド同化の導入
観測データ利用	衛星輝度温度データの全天同化
	高密度・高頻度観測データの利用
アンサンブル手法	摂動作成手法の高度化
	領域モデルへのアンサンブル技術の導入

新たな知見・技術の導入に向けて

- 予測精度向上のために必要となる知見・技術の結集
 - 予測誤差の要因分析のために必要な、観測データや現象のメカニズムに関する知見
 - 日本国内における、様々な数値予報技術に関する研究から得られた知見・技術
 - 線状降水帯による集中豪雨や台風は、特に日本において大きい災害をもたらす現象であり、それらに関する日本国内の研究を通じて得られた知見も重要



本懇談会を通じて、大学等研究機関と気象庁の連携を深め、
現業数値予報モデルの一層の精度向上を図りたい。