

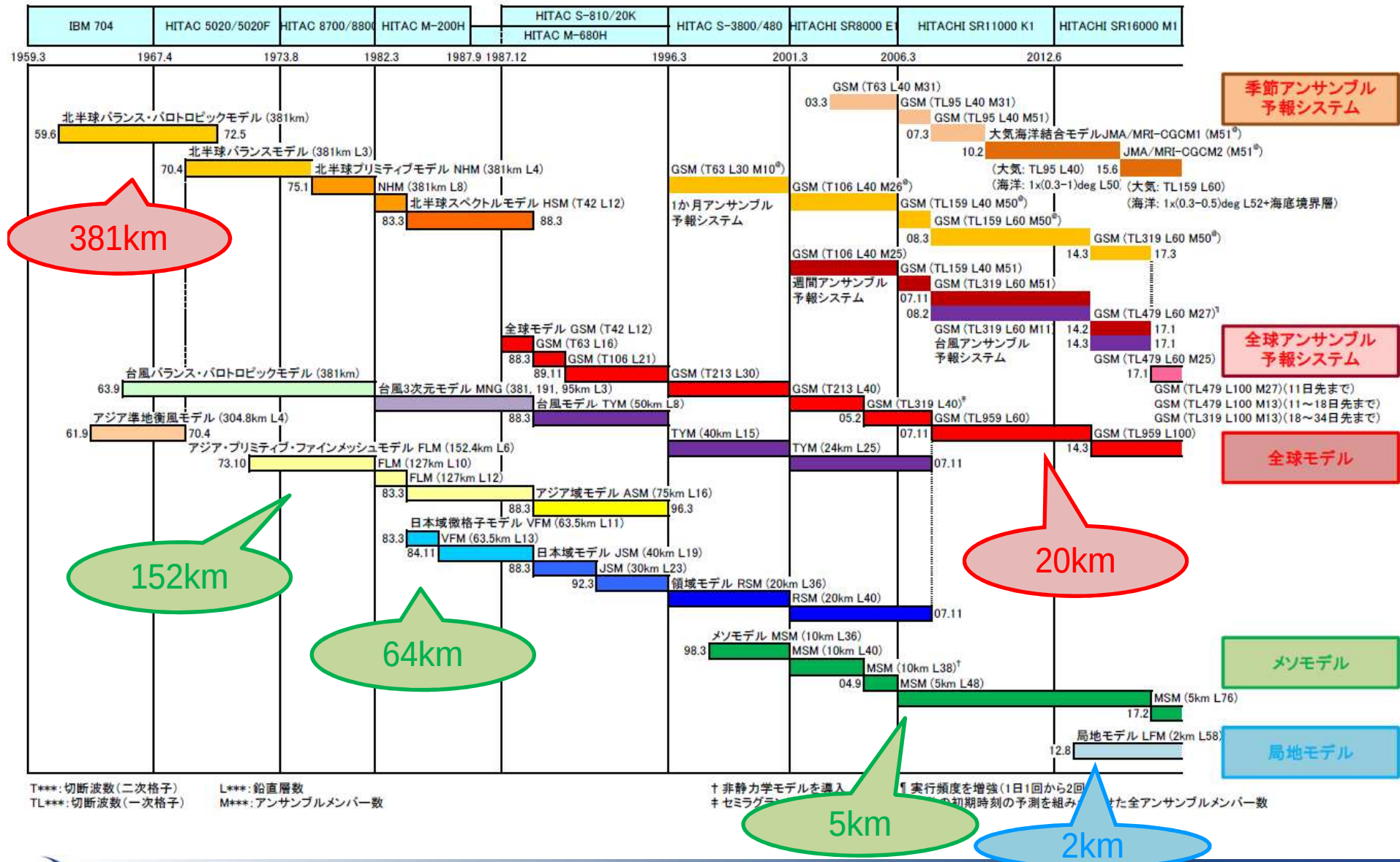


台風・集中豪雨予測に関する 現業数値予報モデルの課題と 技術開発の方向性

第11回気象庁数値モデル研究会
平成30年5月15日

気象庁

現業数値予報モデルの変遷



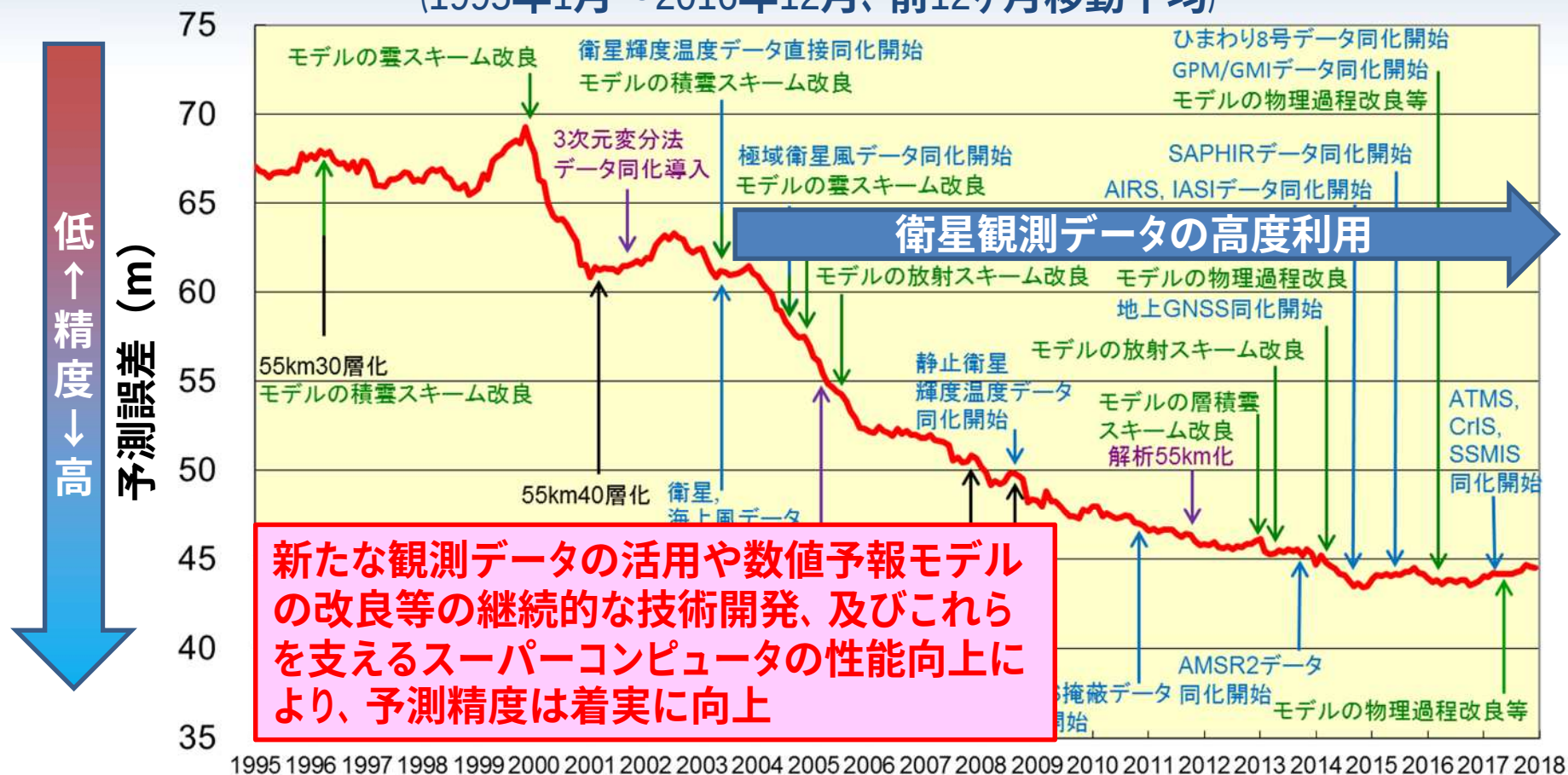
気象庁が運用する現業数値予報モデル

数値予報モデル 本講演で扱うモデル	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
局地モデル(LFM)	2km	58層 (約20km)	9時間(毎時)	3DVar
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
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
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)	4DVar
			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)	
	約55km		34日間、13メンバー	
本講演は、赤枠のシステムをスコープとする				
季節アンサンブル 予報システム	約110km 海洋 約50～100km	(0.1hPa) 海洋52層 +海底境界層	1ヶ月間、 計51メンバー (00UTC、毎月)	4DVar

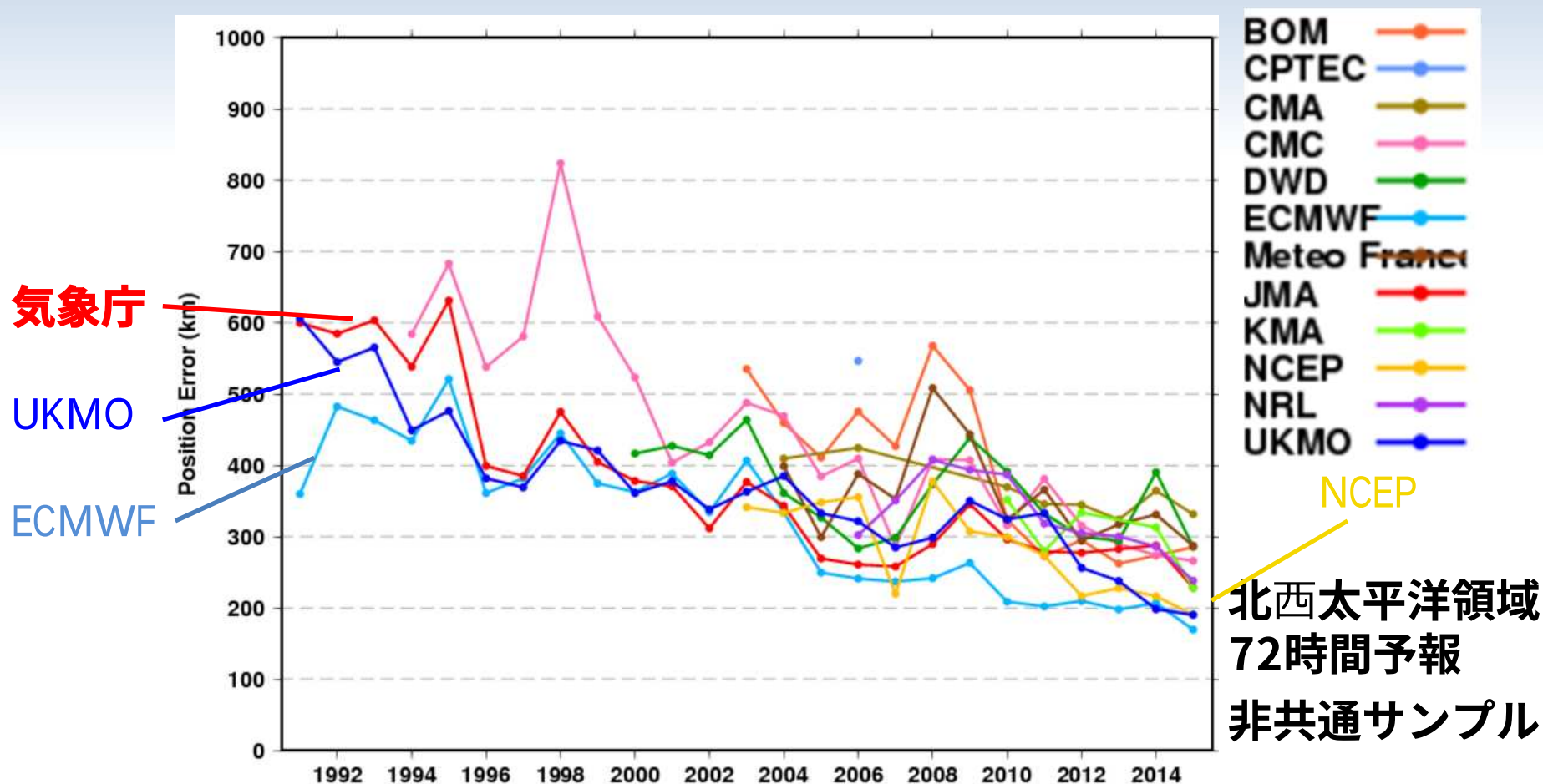
¹3DVarは三次元変分法、4DVarは四次元変分法をそれぞれ示す。²全般海上予報区(赤道～北緯60度、東経100～180度)内に台風が存在する、または同区内で24時間以内に台風になると予想される熱帯低気圧が存在する場合、または、全般海上予報区外に最大風速34ノット以上の熱帯低気圧が存在し、24時間以内に予報円または暴風警戒域が同区内に入ると予想された場合に実行される。

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)



台風進路予報誤差国際比較

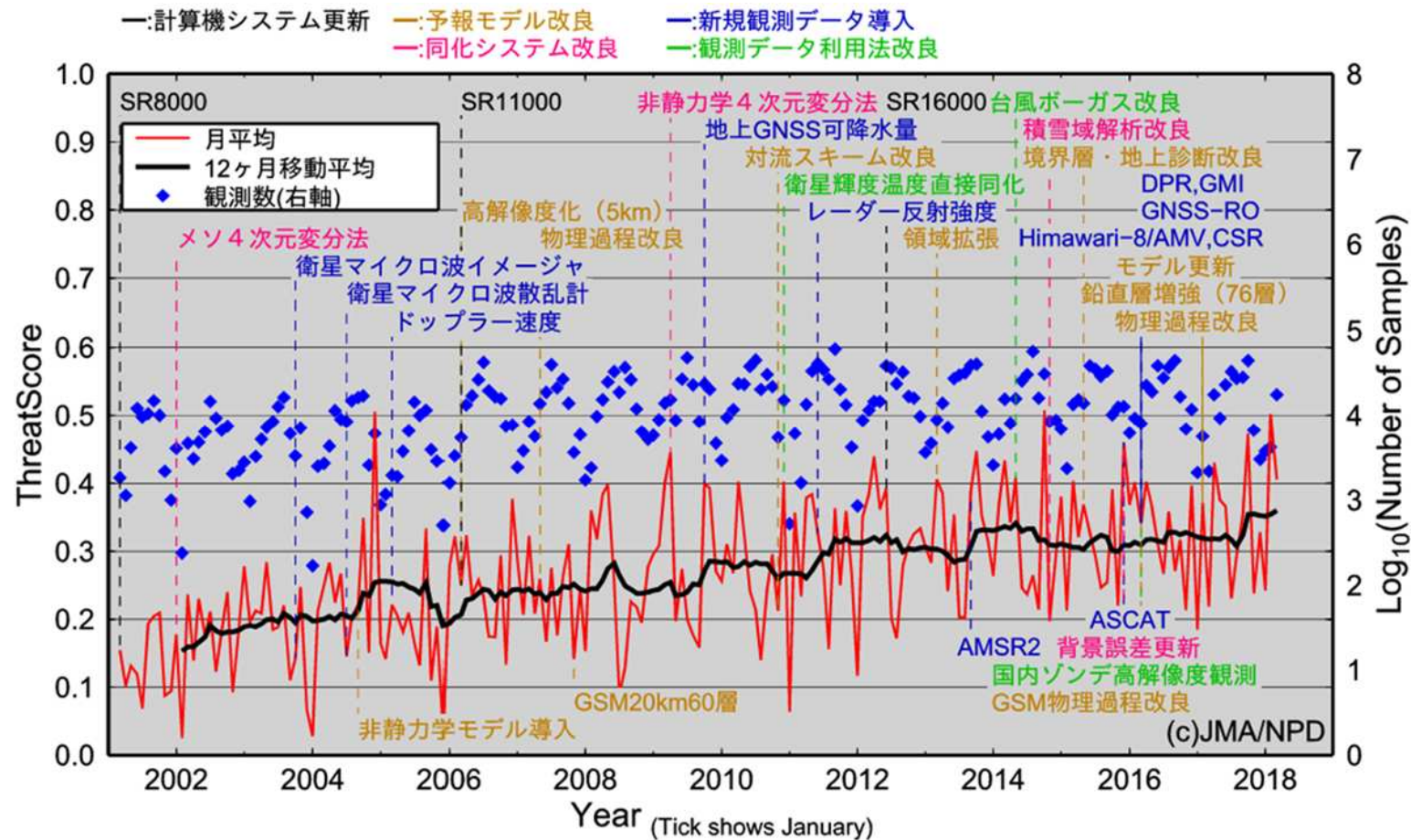


- ・ 各数値予報モデルの結果を収集し、気象庁で追跡と検証を実施
- ・ 気象庁は1996年以降、世界トップクラスの精度を維持している
- ・ 最近はやや水をあけられている（特にECMWF）

メソモデルの精度向上

◆ メソモデルの予測精度の改善

- 予報時間03～15時間の3時間毎の降水量予測に対する平均スコア
(閾値10mm/3h, 検証格子20km, 2001年3月～2018年3月)





将来的な目標

基本姿勢

幅広く社会の要望を踏まえ
高い目標に挑戦的に取り組む

現業数値予報への要請

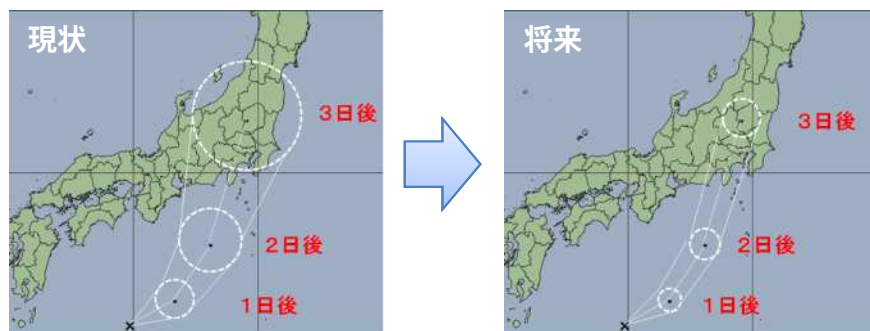
- 毎年各地に大きな被害をもたらす台風や集中豪雨をはじめとした気象現象に対し、防災気象情報を適時的確に発表するためには、その基盤となる数値予報の精度を飛躍的に向上することが必要
 - 台風： 首都圏における大規模水害時の広域避難には、避難場所の準備から避難の実施まで時間を要することから、早い段階で精度の高い台風及びそれに伴う雨量予測が必要
 - 集中豪雨： 線状降水帯の発生・停滞等による大雨が夜間に発生した場合に、明るいうちから避難ができるよう、概ね半日程度前から大雨の発生を予測することが必要
- 数値予報データは、様々な社会経済分野において活用されるようになってきており、利用者ニーズに応じ、より早い段階から詳細かつ確度の高いデータを提供していくことが必要

将来的な目標（検討中）

数値予報技術の飛躍的な高度化により、以下の実現を目指していきたい（より具体については引き続き検討）

台風

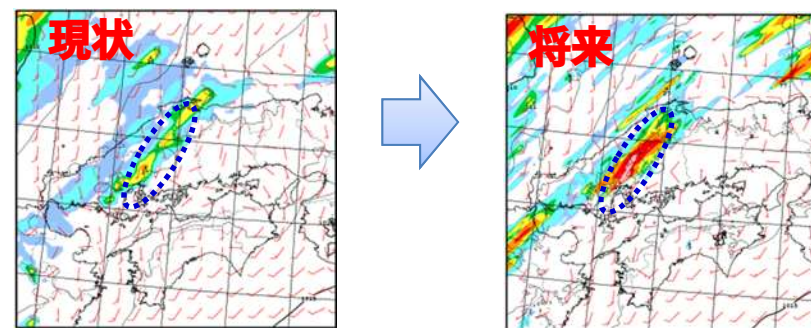
- ・ 台風の進路予測誤差を大幅に改善
- ・ 3日程度前から雨量を精度良く予測



台風進路予測改善のイメージ

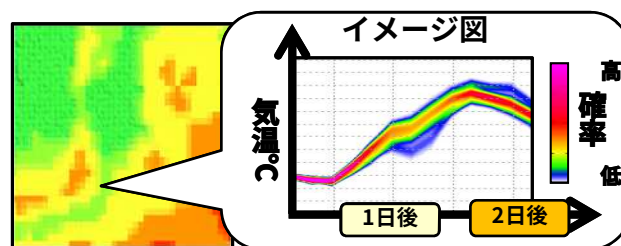
集中豪雨

- ・ 12時間程度前から線状降水帯の発生と停滞を予測することにより、大雨を精度良く予測



線状降水帯による大雨の予測精度向上のイメージ

- ・ あわせて、社会経済分野における生産性の向上やリスク回避に資するよう、詳細かつ高精度な気象予測データを作成



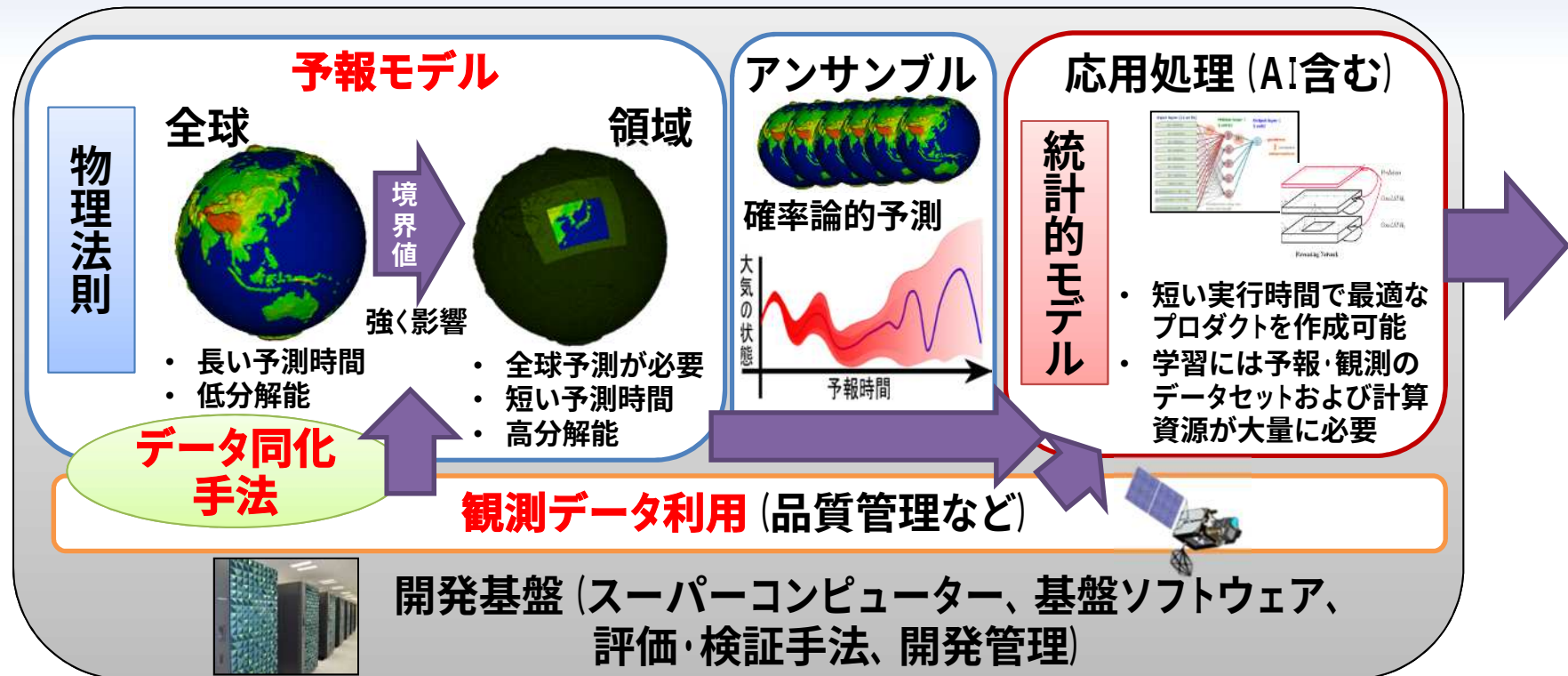
高分解能かつ確度の高い確率予測メッシュデータ（イメージ）



現状の課題と 必要となる技術開発

現業数値予報の開発・運用

様々な空間分解能と予測時間を持つ数値予報モデルを、ニーズと科学的合理性の両面に
応じて効率よく組み合わせて運用 (全体にわたる**開発項目は膨大**)



- ・ 台風、集中豪雨などの予測精度向上へ向けて、構成要素それぞれの特徴を踏まえて精緻化・高度化を進めていくことが重要
- ・ 現象の表現改善には**予報モデル**、初期値の精度向上には**観測データ利用・データ同化手法**の開発が鍵
- ・ それぞれの課題に応じて**重点開発項目**を設定して開発を進めたい

台風予測の課題

- 台風予測改善のため、台風を取り巻く風 (環境指向流) と台風の構造の両面から、予測精度を向上することが必要
 - 熱帯 (偏東風など) ・中緯度 (偏西風、高気圧縁辺流など) の流れの予測の改善
 - 特に、全球モデル(GSM)の進路予測では、転向が遅れる、転向後の進行速度が遅い、といった誤差が大きい
 - 上空の気圧の谷との位置関係がずれると誤差大
 - 台風の規模や台風自身が生み出す流れなど、台風の移動に影響を与える構造の予測の改善
 - 台風周辺を含む大気の初期値の精度向上
- 同時に、雨量予測改善のため、領域モデルの精度向上が必要
- 観測データの拡充

【台風】必要な技術開発1 (重点開発項目) ～全球モデル～

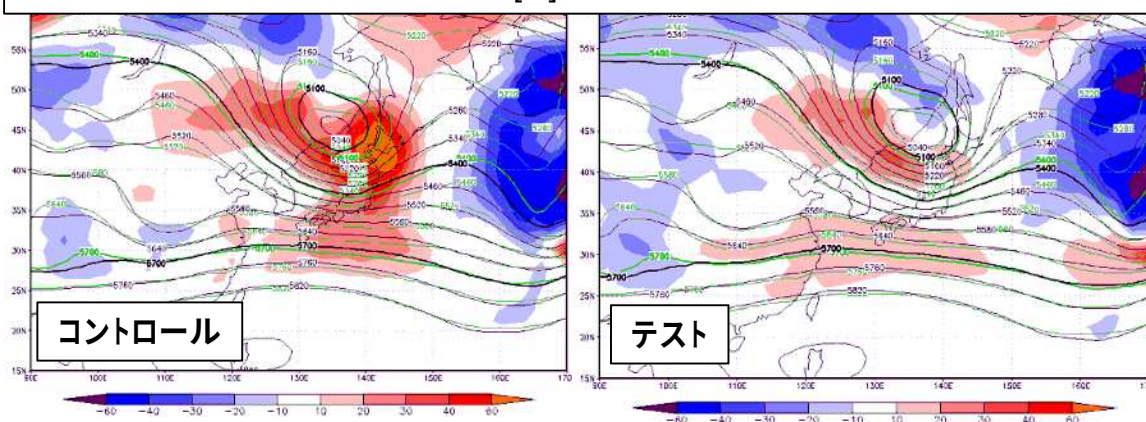
・ 予報モデルの改良

- 乱流輸送・積雲対流・雲等に関する過程の抜本的見直し
- 運動量輸送に関連する諸過程の高度化
- 高解像度化とそのための力学過程・物理過程の改良

→これらの改良等により、環境指向流・台風構造の両面から
予測表現を改善

サブグリッド地形性抵抗 (SGO) の見直し Lott and Miller (1997) SGO scheme
with λ_z -width momentum distribution (Vosper 2015)の検討

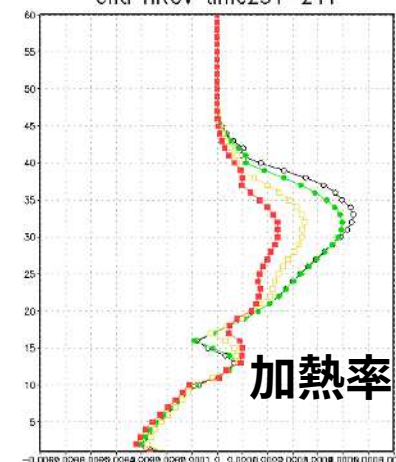
2015年1月3日12UTC初期値: Z500[m] 72時間予報 (黒) と同時刻の解析値 (緑)



GSM積雲対流過程の基礎調査

乾燥した状態で深い対流が立ちすぎる可能性を検討
内部スキーム改良を検討 (アンサンブル型は維持)

cntl HRCV time231-241



赤: 相対湿度25%
黒: 相対湿度90%

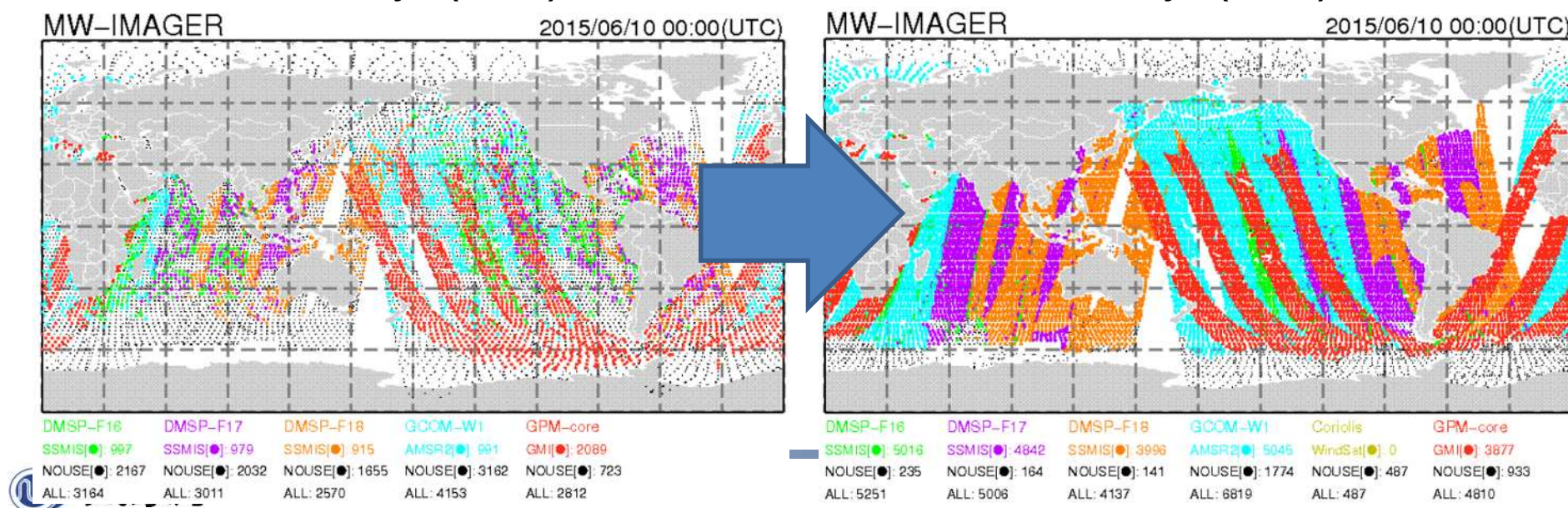
積雲対流過程の
相対湿度依存性の
調査 (図は加熱率の
プロファイル)
(Derbyshire et al.
2004の理想試験に
基づく)

【台風】必要な技術開発1 (重点開発項目) ～全球モデル～ (続)

- 観測データ利用の改良
 - 現在未利用である、雲・降水域の衛星輝度温度データを利用 (全天同化)
- データ同化手法の改良
 - 流れに依存した背景誤差を考慮し、変動の激しい台風周辺等でより多くの観測データを利用 (ハイブリッド同化)

Clear-sky (晴天)

All-sky (全天)



【台風】必要な技術開発2

- 目標達成に向けた更なる開発（より先進的な取組）
 - 衛星データ等観測データの更なる利用
 - 観測誤差の取り扱い精緻化
 - 短期予報に適した海洋・海氷・陸面同化
 - 波浪・海洋の結合効果
 - オゾンやエアロゾル等の利用手法など
 - 各コンポーネントの妥当性を確認し、精度向上と計算量のバランスを取りながら高度化
 - アンサンブル予報システムの高度化
 - AI等最先端の技術の導入に向けた開発
- （領域モデルに関する開発項目は次項とまとめて説明）

集中豪雨予測の課題

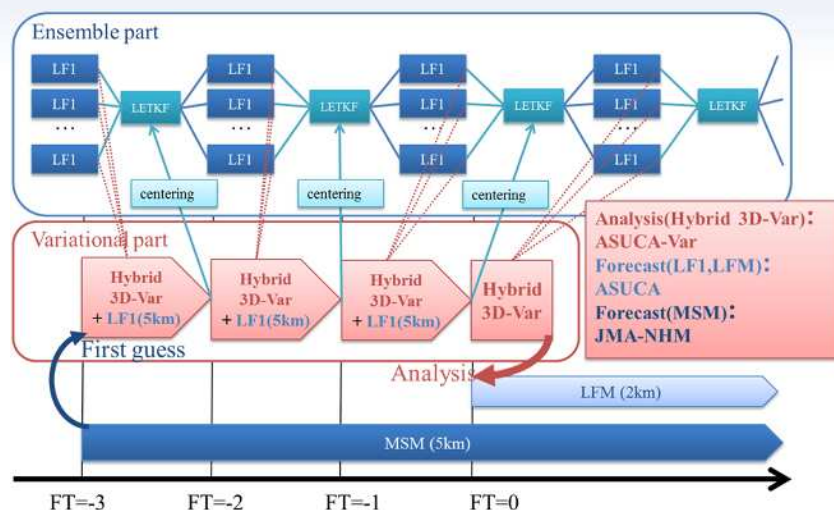
- 線状降水帯の発生・停滞を予測するために、環境場と構造の両面から、予測精度の向上が必要
 - 下層の水蒸気の流入、大気的不安定度、鉛直シアー等の環境場の条件についての予測精度向上
 - 線状降水帯等を形成する、スケールの小さい現象の構造の適切な表現
 - 線状降水帯等を含む大気の初期値の精度向上
 - 風上海上の水蒸気量、細かい風系など
- 出現頻度が非常に小さい現象の予測結果の妥当性をどのように確認するのも大きな科学的課題
- 観測データの拡充

【集中豪雨】必要な技術開発1（重点開発項目）

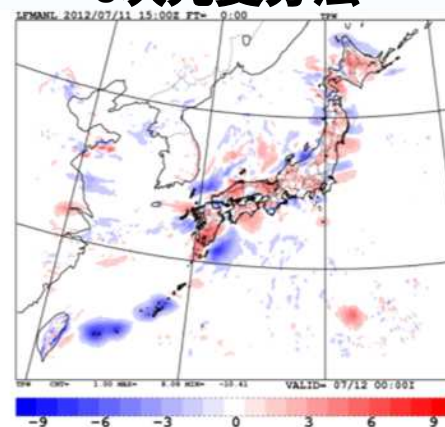
- 予報モデルの改良
 - 対流に係る過程を中心とした物理過程の改良
 - 更なる高解像度化とのための力学過程・物理過程の改良
 - これらの改良等により、環境場と構造の両面から予測表現を改善
- 観測データ利用の改良
 - 全天同化の導入
 - 高密度・高頻度観測データの利用
 - これらの改良等により、海上の水蒸気場や線状降水帯の構造などの初期値精度を向上
- データ同化手法の改良
 - ハイブリッド同化の導入により、変動の激しい線状降水帯周辺等でより多くの観測データを利用

【集中豪雨】必要な技術開発1 (重点開発項目)

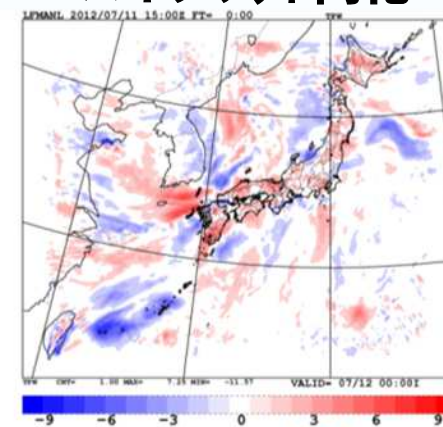
データ同化手法の改良ーハイブリッド同化の導入



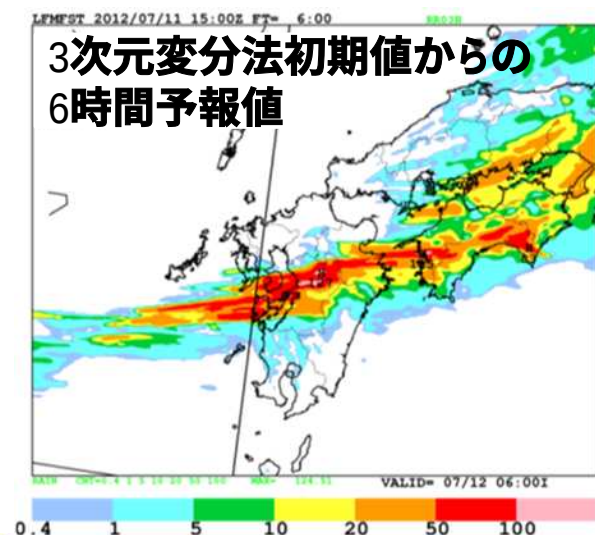
3次元変分法



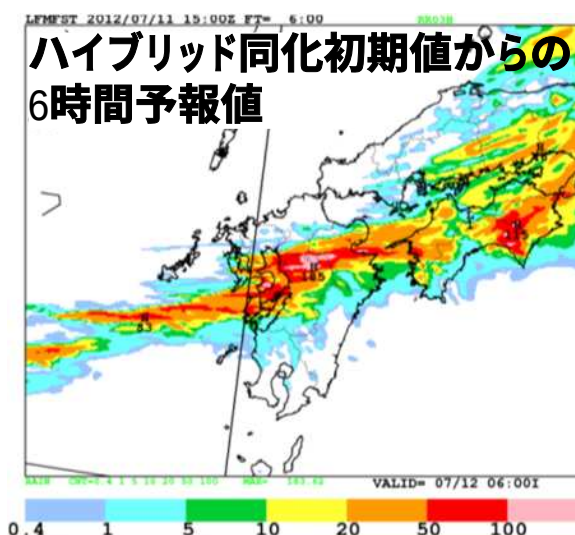
ハイブリッド同化



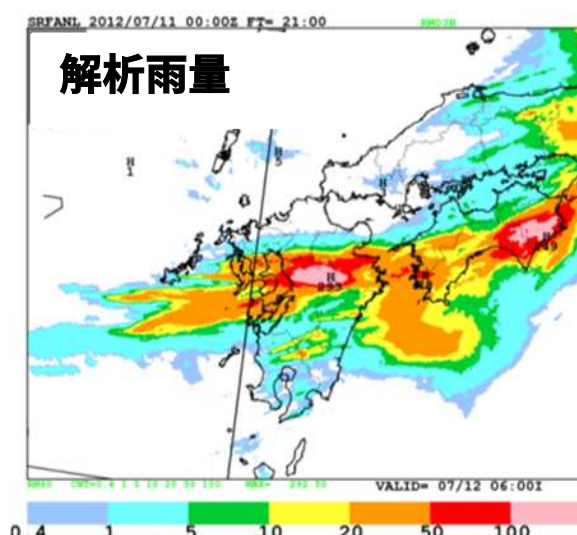
3次元変分法初期値からの
6時間予報値



ハイブリッド同化初期値からの
6時間予報値



解析雨量

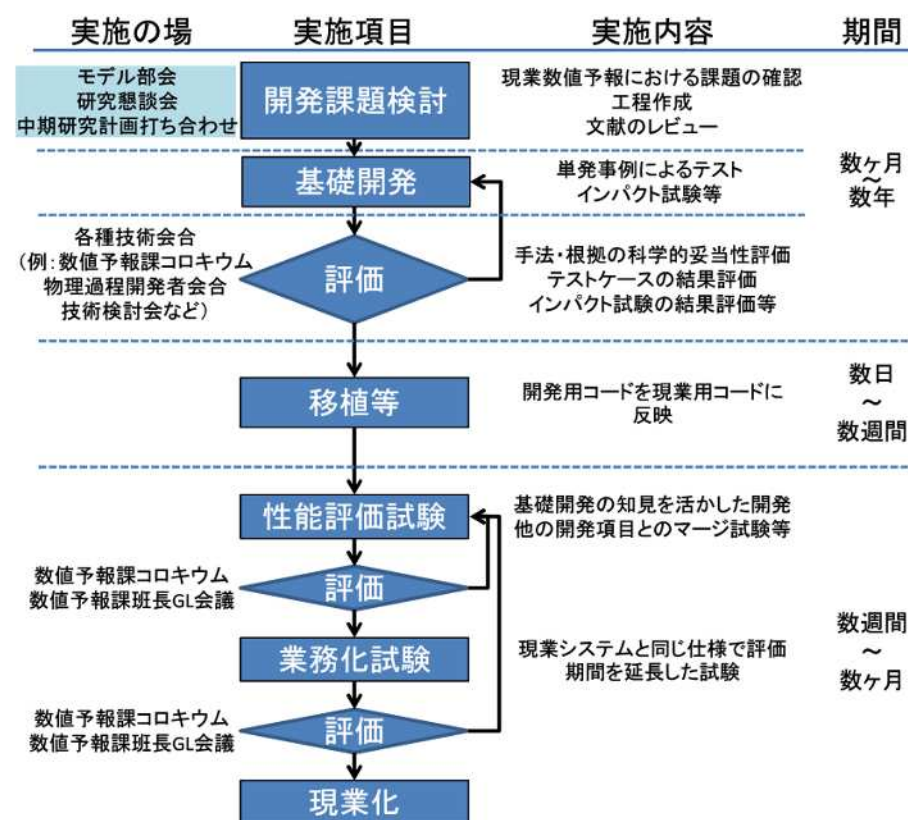


【集中豪雨】必要な技術開発2

- 目標達成に向けた更なる開発
 - 格子間隔が数km以下のモデルにおける、グレーゾーン問題（物理過程と力学過程の役割分担）や時間積分における問題（物理－力学カップリング）
 - 高密度・高頻度データ同化の更なる高度化
 - 出現頻度が非常に小さい現象の妥当性確認の行い方
 - メソアンサンブル予報システムの高度化
 - AI等最先端の技術の導入に向けた開発 など
- 海外とは対象としている現象が異なるため、我が国における研究からの知見を導入しつつ、開発・検証を進めていくことが必要
 - 豪雨事例の観測等に基づくメカニズム解析から、鍵となるプロセスの洗い出しが必要

技術開発を支える開発基盤

- スーパーコンピューターシステム
 - 挑戦的な目標達成に向けては、数値予報業務を支える計算機システムの性能向上が必要
- 効率的でシステマティックな開発手順
 - モデル・データを含む開発・実験環境の一層の整備
 - 開発の進め方について、プロトコルを整理
- 科学的な観点での検証の充実
 - 雲、放射等さまざまな物理要素を検証し、開発にフィードバックすることが重要
 - 予測結果の「妥当性確認」・「問題発見」を行う検証を、今後更に強化することが必要



数値予報課報告・別冊63号 図1.2.1より

数値予報結果の評価方法

- 目標が達成されているかを計測するための指標を定め、開発を推進していくことが重要
 - 数値予報開発にあたっては、定量的な指標に基づき継続的な評価を実施していくことが必要
- これまで利用している評価指標（統計的スコアが主）
 - 台風進路・強度に加え、500hPa高度場、降水量、地上風など
 - 降水予測精度に加え、線状降水帯等の発生環境場
 - 具体的には、地上風・気温、対ラジオゾンデの各気象要素など
- 指標の設定自体にも課題
 - 事例が少ない極端現象との対応
 - 集中豪雨の要因となる線状降水帯の予測結果を評価する方法など
 - 別の視点で、有用な指標がないか検討が必要

まとめ

- 適時的確な防災気象情報の発表にあたり、その基盤となる数値予報技術の飛躍的な高度化が必要
 - 将来的な目標として「台風」「集中豪雨」に関して挑戦的な目標をかかげて開発を進めていく
 - 同時に、利用者ニーズに応じた、より詳細かつ確度の高いデータを提供
- ご議論をお願いしたいポイント
 - 目標が達成されているか(成果)を計測する指標
 - 目標に向けて開発を進めていく中で、重要になる開発課題や方向性
 - 科学的な観点での予測結果の「妥当性確認」・「問題発見」(検証)手法の充実(特に集中豪雨について)