

気象庁全球モデルの開発と 評価検証の取り組み

金浜 貴史

気象庁予報部数値予報課

tkanehama@met.kishou.go.jp

- はじめに
- 気象庁における全球モデル
- 全球モデルの開発
 - 開発環境
 - 直近の技術的課題
 - 評価・検証の取り組み
- まとめ

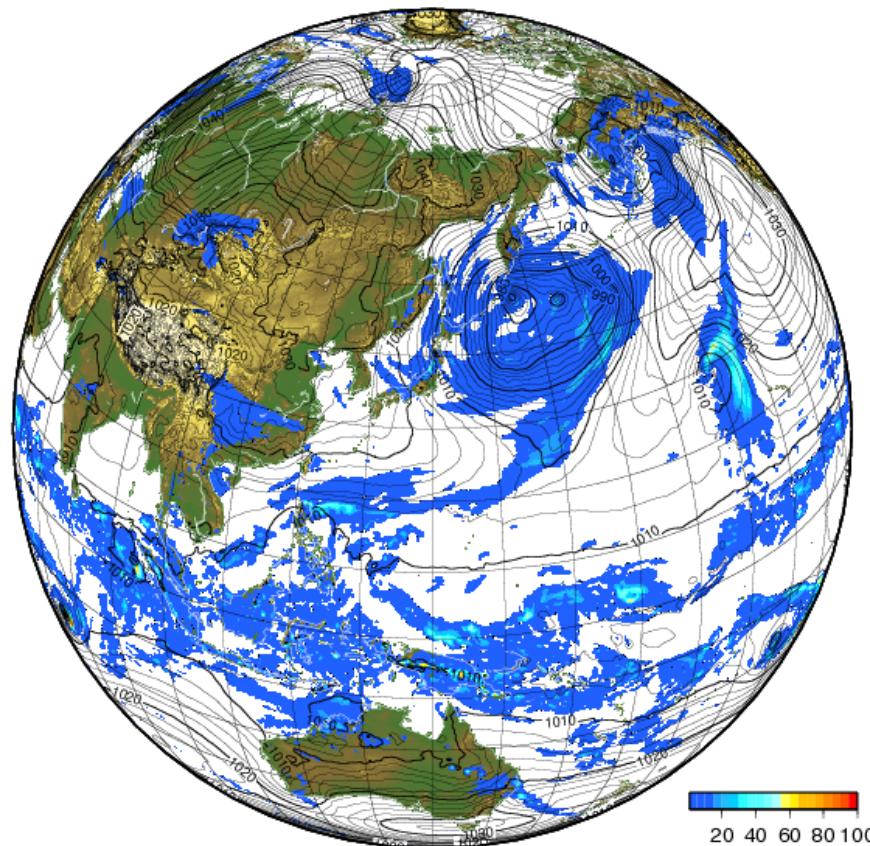
はじめに

気象庁全球モデルの特徴

GSM-TL959L60 2012.12.08.12UTC FT=048

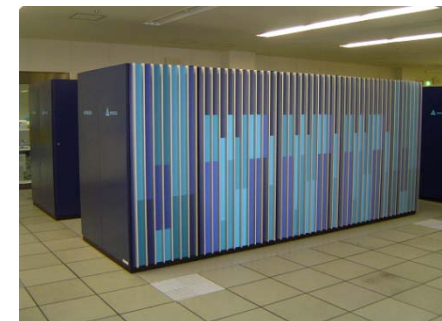
(Valid Time: 12.10.12UTC)

- 現業数値予報モデル
- 基盤モデルの一つ
 - 多様な業務と関係
- 歴史が古い=先人の知恵と努力の結晶



計算機更新

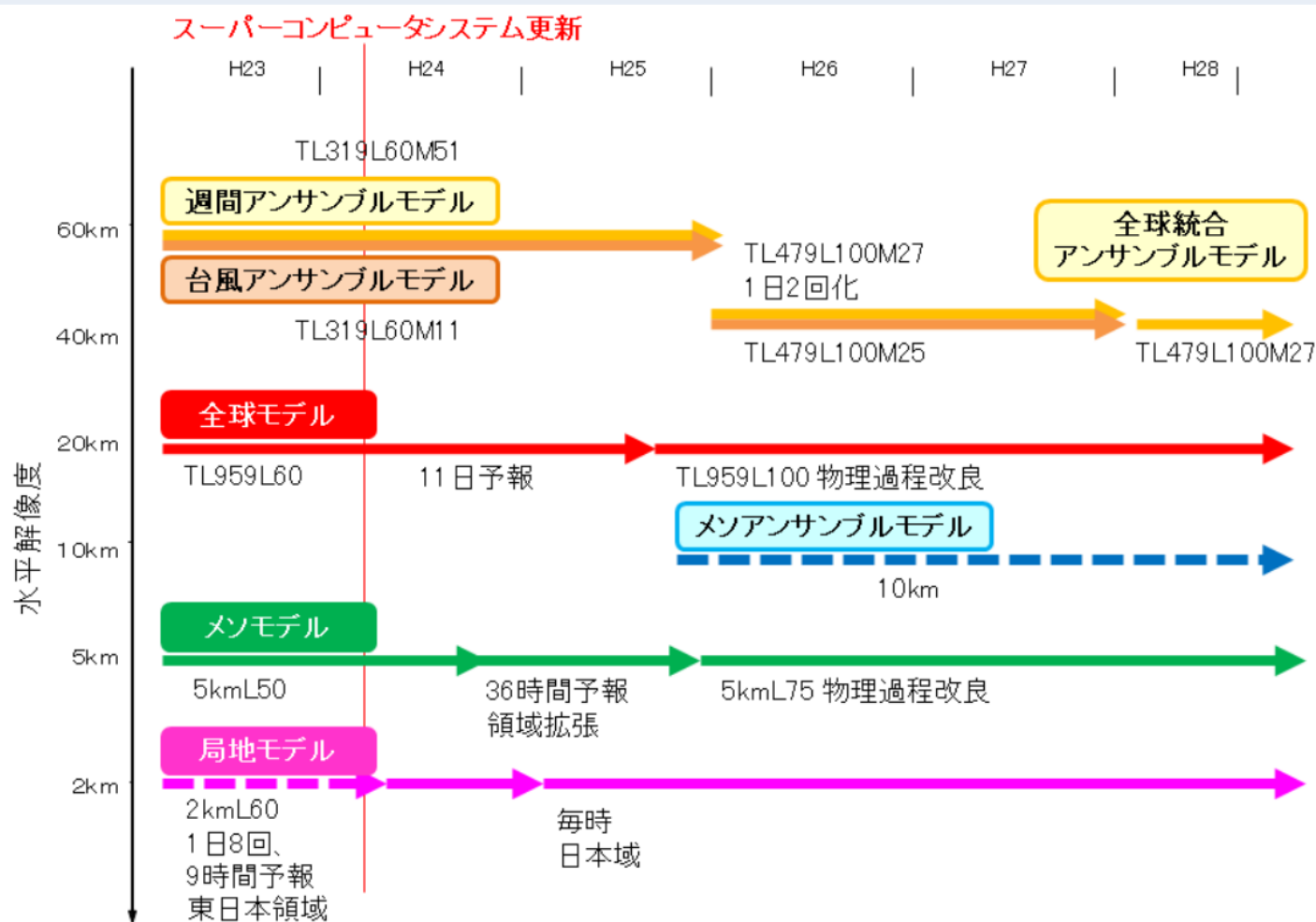
	New (from 5 JUN 2012)	Old
Machine	Hitachi SR16000/M1	Hitachi SR11000/K1
CPU	Power 7 (3.83GHz, 8core)	Power 5+ (2.1GHz)
CPU/NODE	4 processors (total 32cores)	16 processors
NODE	864 (432x2)	160 (80x2)
Peak Performance	847 (423.5x2) Tflops	21.5 (10.75x2) Tflops
Main Memory	108 Tbyte	10 Tbyte
operation was started on	5 June 2012 -	1 March 2006 -



将来の全球数値予報モデルのスペック

モデル		現在	計画
GSM Global Spectral Model	解像度	TL959L60(水平約20km)	TL959 L100
	初期時刻	00,06,12,18UTC	->
	予報時間	216時間 12UTC 84時間(00,06,12,18UTC)	->
	Assimilation	4次元変分法	->
WEPS One-Week Ensemble Prediction System	解像度	TL319L60(水平約55km)	TL479L100
	初期時刻	12UTC	00,12UTC
	メンバー数	51	27 x 2
	予報時間	216時間	432時間(13メンバー) 216時間(14メンバー)
TEPS Typhoon Ensemble Prediction System	解像度	TL319L60	TL479L100(水平約40km)
	初期時刻	00,06,12,18UTC	->
	メンバー数	11	25
	予報時間	132時間	->

数値予報モデル中長期計画



気象庁における全球モデル

狭義・広義の全球モデル

- 狭義には**時間発展演算子**: 大気モデルの本来の部分
 - 時間変化率の計算
 - 時間積分
 - **予報モデル**であったり、4次元変分法の中で使われたり
- 広義には**予報モデル(ロードモジュール全体)**: GSM
 - **時間発展演算子**
 - 制御系
 - 時間発展演算子を使う部分、挙動を決めるスイッチ、入力部分、リスタート、モニター
 - **プロダクト作成**
 - 座標変換、診断量計算、出力
 - 多種多様なプロダクトを作成(p面orモデル面、高解像度or低解像度、緯度経度格子orモデル格子、全球or領域、部内利用プロダクトor部外提供用プロダクトor開発用プロダクト、....)

狭義には含まれないプロダクト作成は非常に重要。ただし労力は大きい。

GSM, MSMの実際の運用(解析予報サイクル)


データ入電待ち時間


- ・ **全球サイクル解析**:
11時間50分(00,12UTC)
7時間50分(06,18UTC)
- ・ **全球速報解析**: 2時間20分
- ・ **メソ解析**: 50分

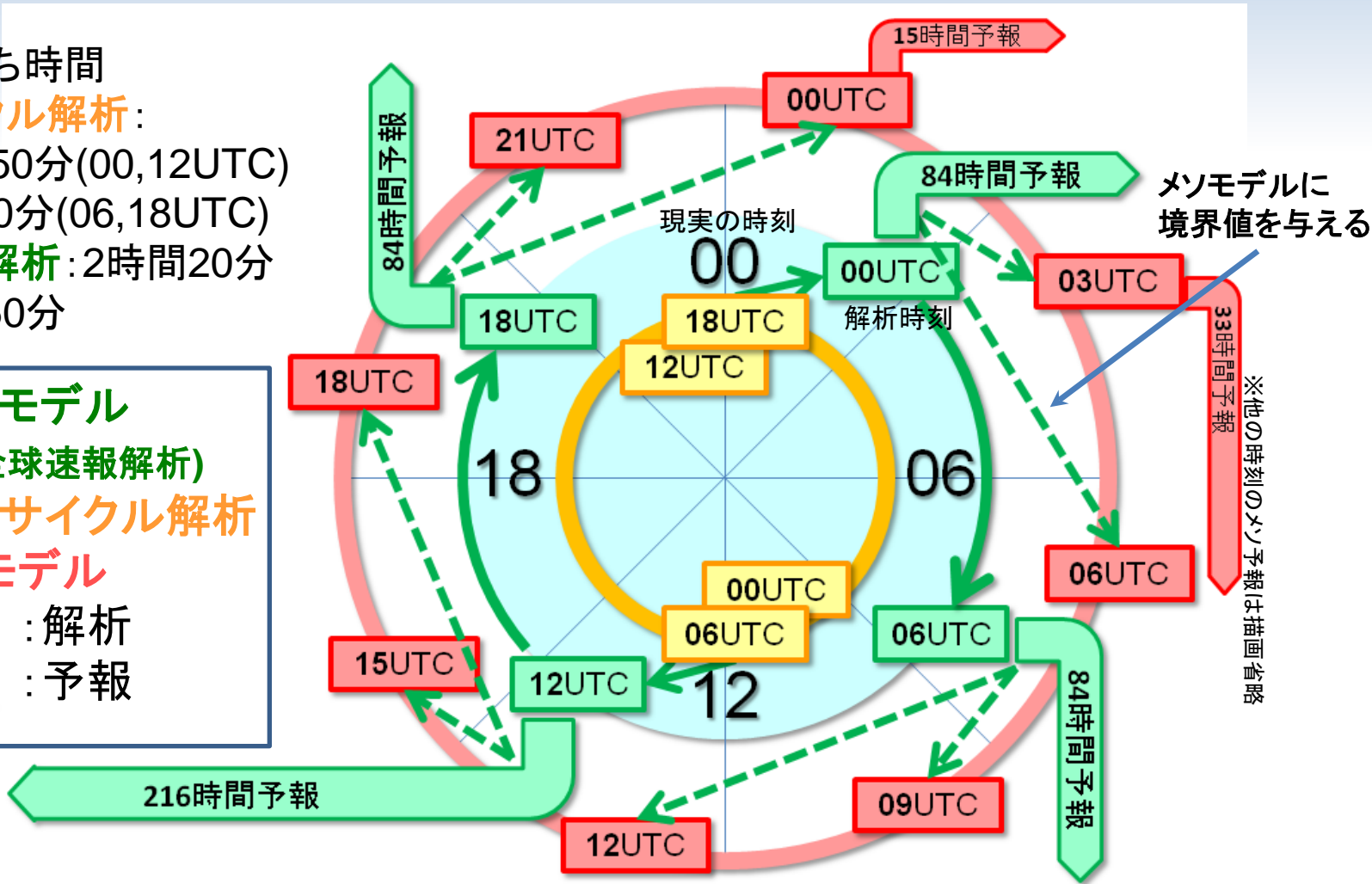
緑: 全球モデル
(含 全球速報解析)

黄: 全球サイクル解析

赤: メソモデル

 : 解析

 : 予報



初期時刻や用途(第一推定値or予報値orアンサンブル)によって出力プロダクトが異なる

全球モデルの開発

開発環境

ルーチンモデルとしての全球モデル

- 数値予報ルーチンには、ルーチン管理を容易にし、ミスを減らすための数々のツールがある
 - 記述の自由度を制限
- 全球モデルに限らず全ての数値予報ルーチンはこれらのツールを利用
 - Make fileの生成からロードモジュールのビルドまで行うPBF
 - ソースファイルの依存性やコンパイルオプションを簡潔に記述する
 - 実行用シェルスクリプトを生成するJCL
 - ジョブの実行順序を簡潔に記述する
 - 入出力のデータフォーマットはNUSDAS

全球モデルのコード管理方針

- 積極的にコード整理をする
- 構成をシンプルに保つ
 - なるべくルーチンで使う機能だけ保守
- コード管理はSVNを利用
 - 関係者で十分議論
 - コミット前にMLで周知
 - コードレビューも必要に応じて
 - トランク(次期ルーチン)とブランチ(共用開発ブランチ、リリースブランチ、個人開発ブランチ)

情報の共有

- ミーティング
- メールングリスト(全球用、メソ用、モデラー用、同化用、基盤整備用、...)
- プロジェクト管理ツール
- リポジトリ
 - モデル本体はきちんと管理されてきたが、周辺ツールもきちんと管理するように徹底



Home Projects Help

Redmine Global

Home

数値予報課の全球・台風グループのredmineです。全球数値予報システム関係の諸事にお使いください。全球数値予報システム(予報、解析、EPS、検証、ポストジョブ)開発や運用、課ルーチンもろもろ、診断・検証ツールもろもろなど。globalnpdの管理面も記録しておきます。他にも活用できるものがあれば、ご活用ください。

- globalnpd上のリポジトリ
 - リポジトリ作成ガイド
 - SVNリポジトリを見る
 - Gitリポジトリを見る
- TIPS集：wikiに書き込んでください(全台Gメンバーによる書き込み制限あり)。ウォッチすると便利です。
- プロジェクト一覧
- 最近の活動
- 使い方
- オリジナルからの変更
 - wiki記法をtextile記法からsrwikiで慣れている(人が多いと思う)RD記法にしています
 - ニュースの更新でプロジェクトの参加者に強制的にメールされます
- リンク
 - 全台Gページ
 - 気候情報課の数値予報班redmine
 - AP班redmine

1年くらい前からRedmineを使いはじめました

Redmineを導入

- 知見の公開・共有へのしきいを下げる
 - まとまった文書になる前のメモ程度も簡単に公開
 - 失敗事例の記録(成功事例よりも大事)
 - 忘れやすい細かい設定やノウハウを共有
- リポジトリと関係、やることをチケットに記入
- チームでの開発を支援
- 個人での開発も支援
 - 昔の自分は他人

全球モデルの開発

直近の科学的・技術的課題

鉛直層数の増強

鉛直層数を60層(トップ0.1hPa)から100層(トップ0.01hPa)へ

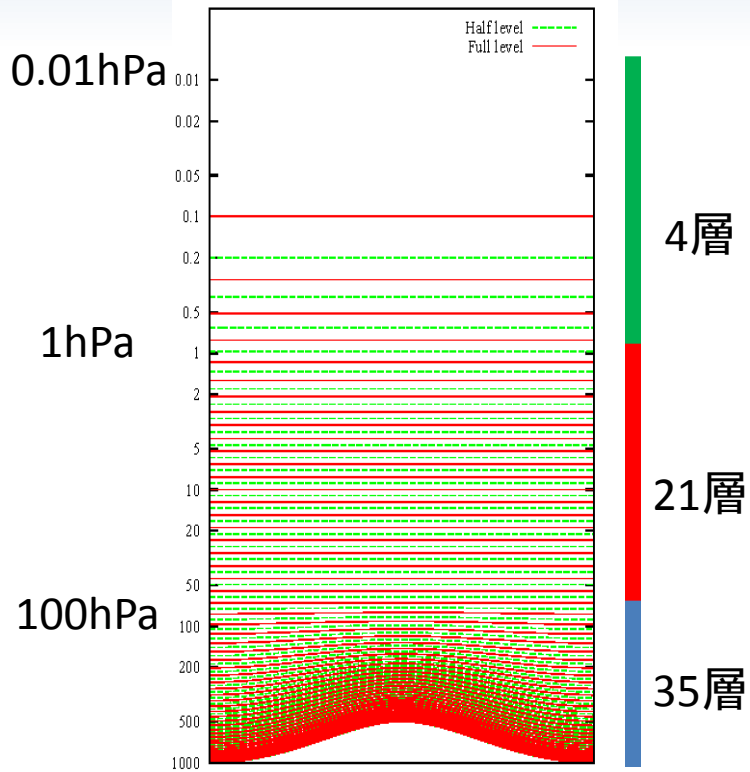
短期予報スケール

中・長期予報スケール

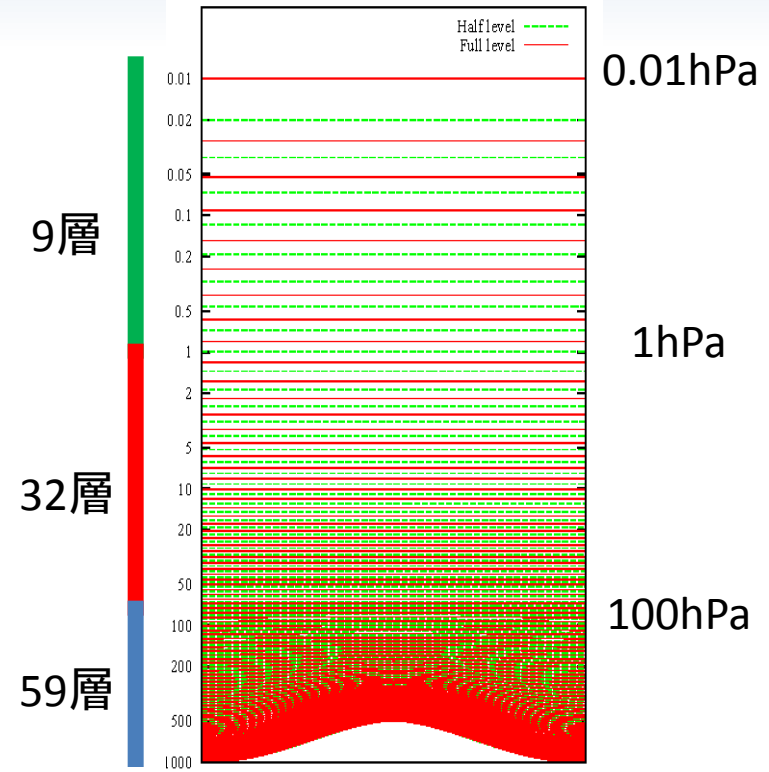
- 上部成層圏に感度のある観測データの利用
- 対流圏・成層圏の予報精度向上
- モデル気候場の改善
- 長周期振動の表現力の向上(QBOなど)

鉛直層数の増強

現行60層(トップ0.1hPa)



100層(トップ0.01hPa)

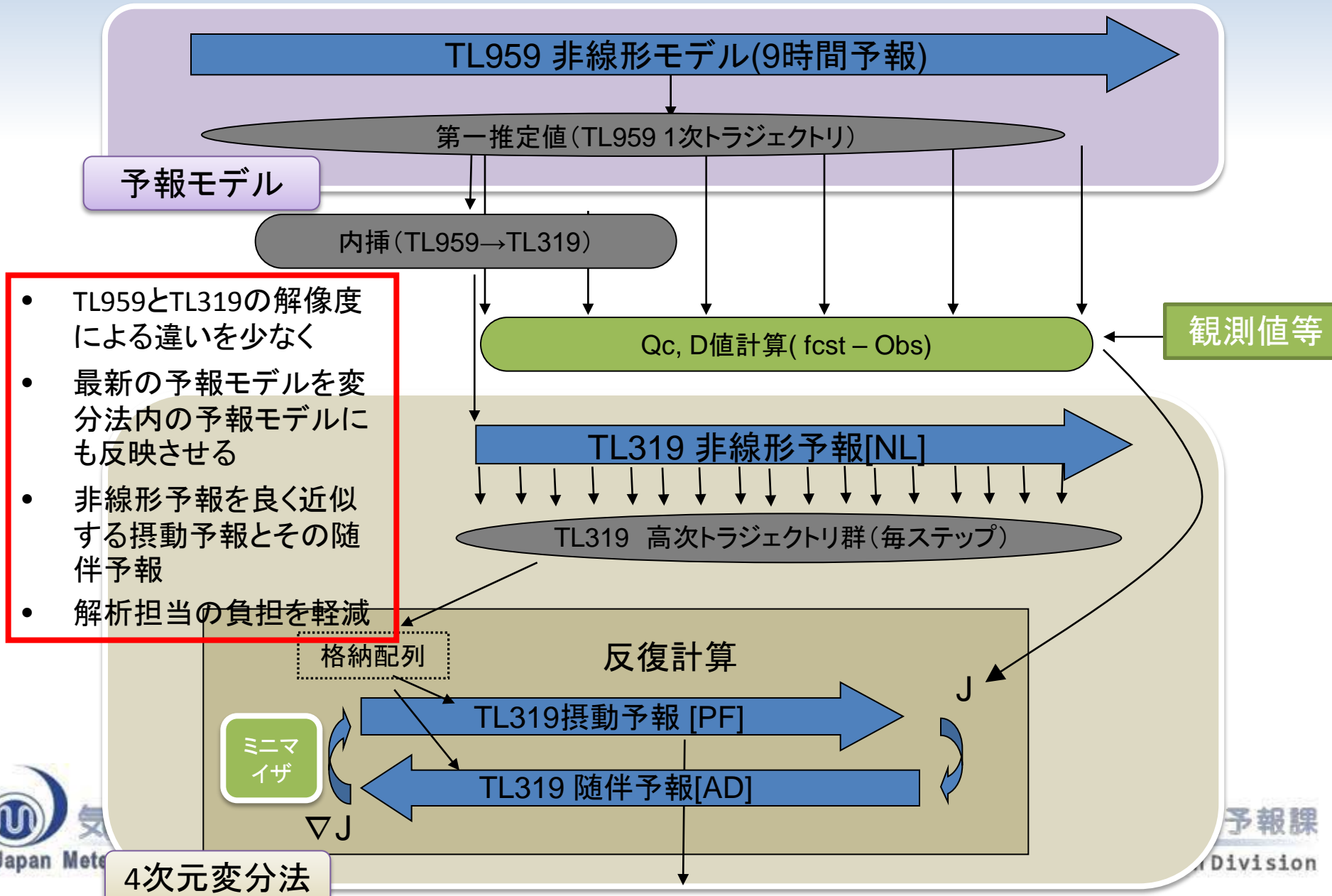


- 対流圏を中心に、どの高度でも高解像度化
- 中間圏はほぼスポンジ層、成層圏の精度を向上させたい
- いままであまり見てこなかった領域であり試行錯誤中

変分法データ同化の中の予報モデルの継続的アップデート

- 変分法データ同化の中に予報モデルは時間発展演算子として組み込まれている
- 予報をする予報モデルと変分法の中の予報モデルはコードが別
 - 変分法用には摂動予報/随伴コードも必要
 - 最新のモデルと変分法内のモデルで整合性が取れていない
 - 変分法用の部分もモデラーが責任を持って書く

変分法データ同化の中の予報モデルの継続的アップデート



- TL959とTL319の解像度による違いを少なく
- 最新の予報モデルを変分法内の予報モデルにも反映させる
- 非線形予報を良く近似する摂動予報とその随伴予報
- 解析担当の負担を軽減

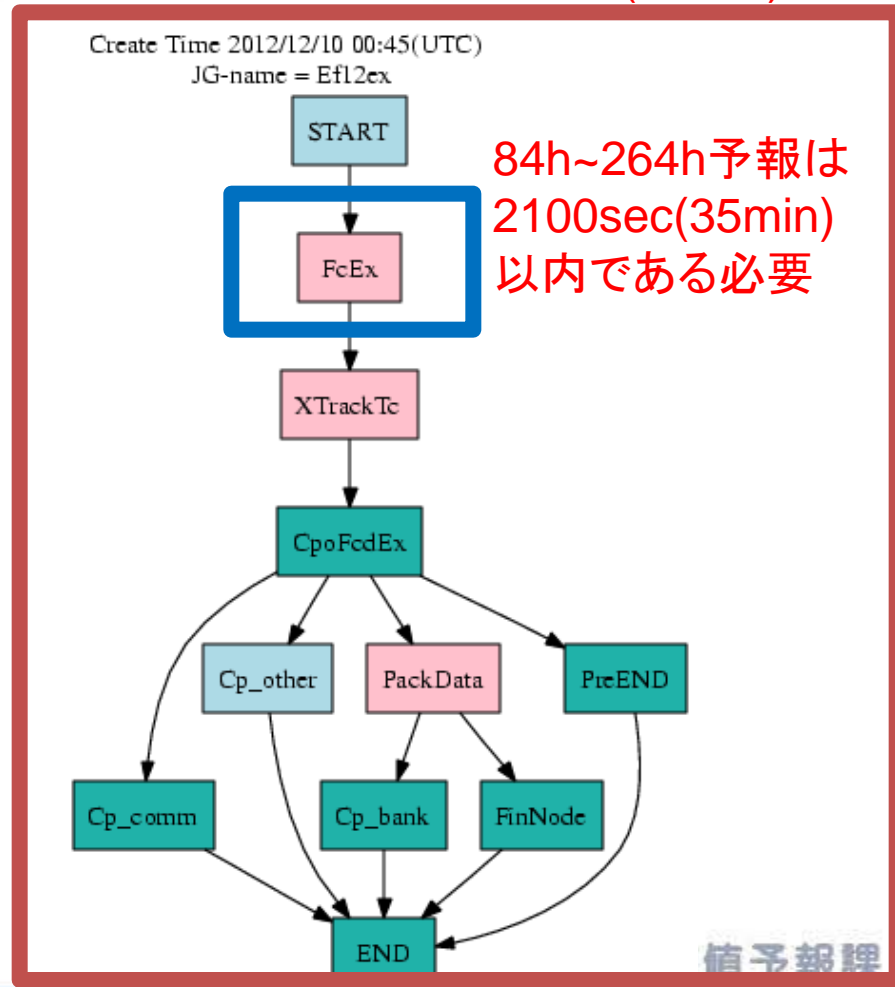
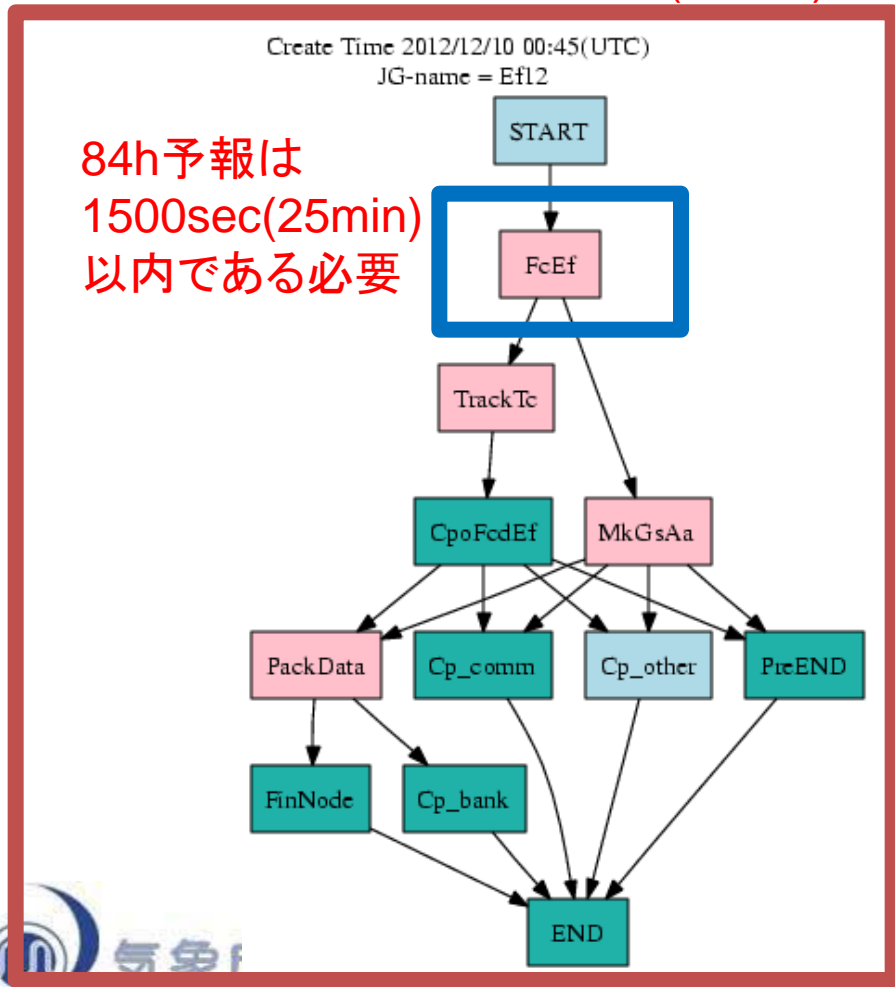
予報モデルの高速化

資源

現業モデルとして決められた時間内に計算を終える必要がある

通常予報(00,06,12,18ini) **2100sec(35min)以内**

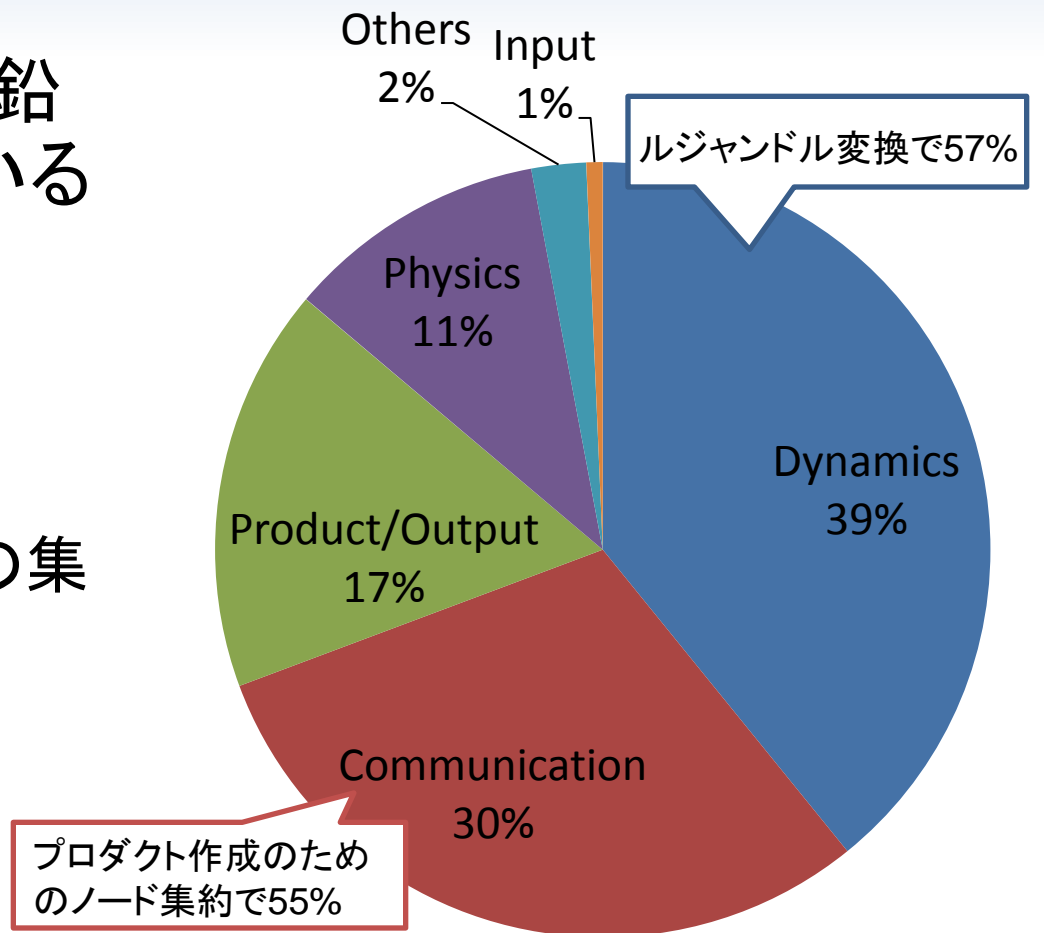
延長予報12ini **2700sec(45min)以内**



値予報課

予報モデルの高速化

- 物理過程の高度化や鉛直層数増強も控えている
- 高速化したい
 - (環境変数)
 - 通信の隠蔽
 - 特定プロセスでのI/Oの集中をやめる
 - アルゴリズムの見直し



84時間予報の計算時間の内訳(TL959L60/15node SR16000)

数値予報課

評価・検証システムの整理拡充

- 実験結果の検証パッケージはすでに存在
 - 検証から可視化までの開発者の手間を軽減、ミスを防止
 - 指標の統一
 - が、長年使用されているうちに問題点が明らかに
 - 機能の不足
 - 移植性・保守性・拡張性が低い
- 思想を継承しつつ評価・検証ツールを整理
 - 指標の拡充(モデルの出力を多様な視点から見る)
 - 移植性・保守性・拡張性を高く

全球モデルの開発

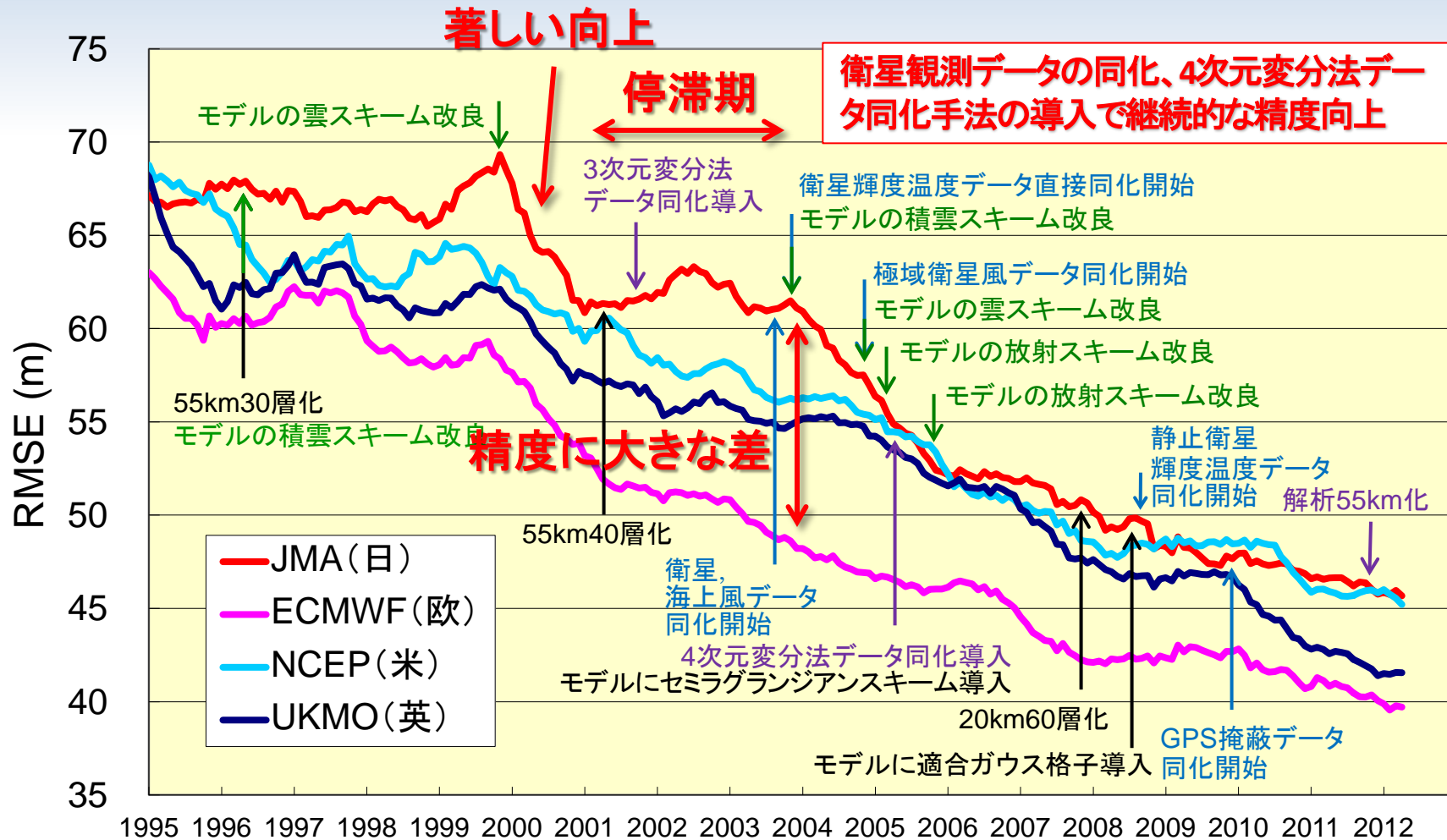
評価・検証の取り組み

現業モデルとして

- 高速
 - 制限時間内にプロダクトを出す
 - 高速化→より高精度のスキーム・高解像度化に
- 高い計算安定性
 - 落ちないこと
- 高精度
 - 精度良くあることが必要不可欠
 - ←どこが問題なのか、を探る

北半球500hPa高度の5日予報RMSE経年変化

(1995年1月-2012年4月、前12ヶ月移動平均)



気象庁の全球数値予報システムの主な変更点(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

システムの改良点を 検出するために

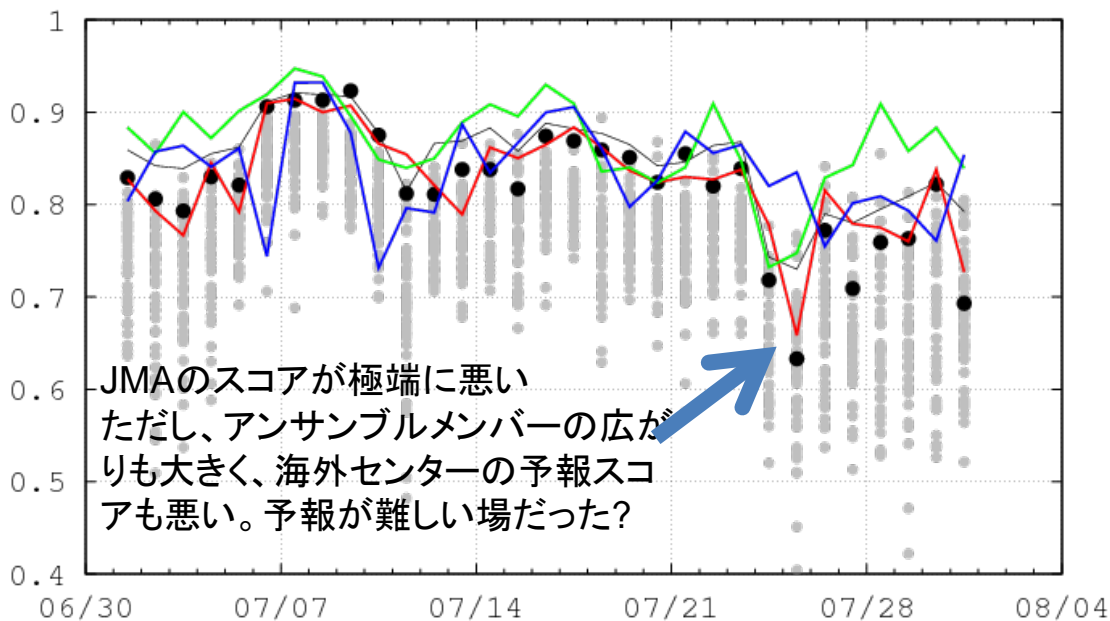
- モデル出力(=トータル性能)の検証は非常に重要
 - 一方、モデル出力は素過程の複雑な相互作用の結果であるため、素過程の改良点に辿りつくことは簡単ではない
- 素過程の改良はトータル性能の向上に必要不可欠
 - 一方、一つの過程だけ改良しても、今まで表面化していなかった問題が明らかになり、トータル性能が出ないこともある(compensating errorの顕在化)

システムの改良点を 検出するために

- モデル出力を様々な切り口でしてみる
- 例えば
 - 解析インクリメントが決まった時刻・場所に出ていないか？
 - 層積雲スキームの改良につながった
 - スコアが大きく悪化しているときがないか？

日々のスコアの例

2012年7月の北半球Z500の120時間予報の日々のアナノリ相関係数

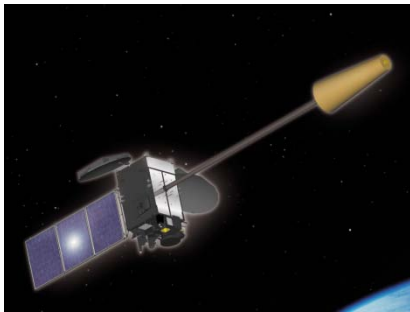


eps ● ctrl ● ECMWF —
em — JMA — NCEP —

数値予報課

評価検証の取り組み

- 数値予報システムは複雑なシステム
 - 予報モデル、解析システム、観測データなどさまざまな部品からなる
 - それぞれの分野の専門家の力を結集する
 - 月1回程度集まって議論(全球評価会合)



まとめ

- 現業モデルとしての全球モデル
 - 先人が築いた道の上にある
 - 基盤モデルの一つ
 - 維持管理は重要。しかし労力はかかる。
- 科学的・技術的課題はたくさん
 - 長期的視点を持って開発、ときには大規模なコード改修
 - ツールの共用化・共通化
- 複雑化したシステムのため評価・検証は多様な専門家の視点が重要