



気象庁全球モデルにおける 近年の開発と今後の課題

米原 仁

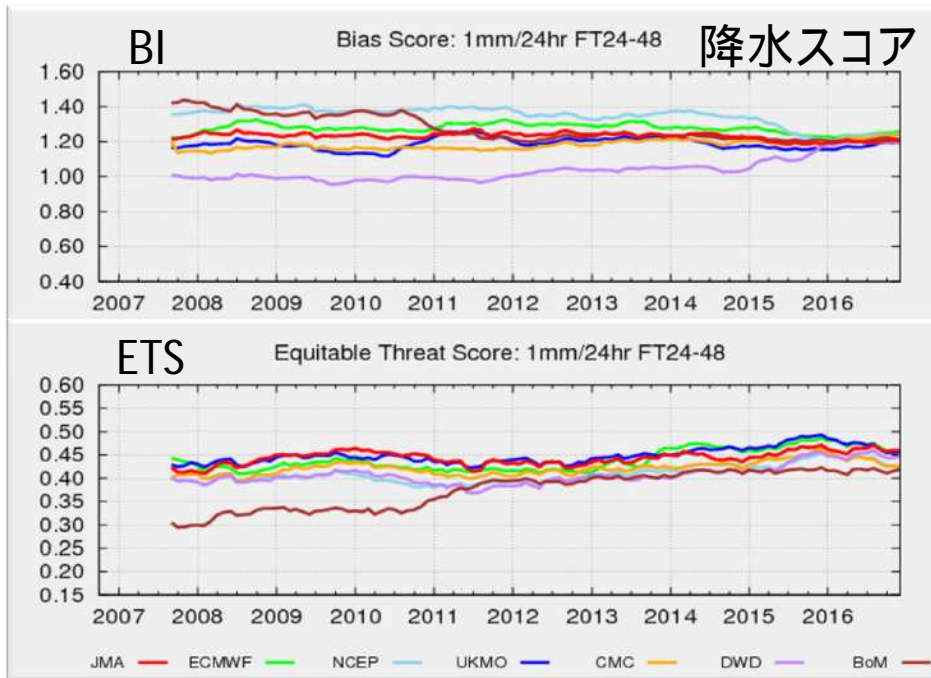
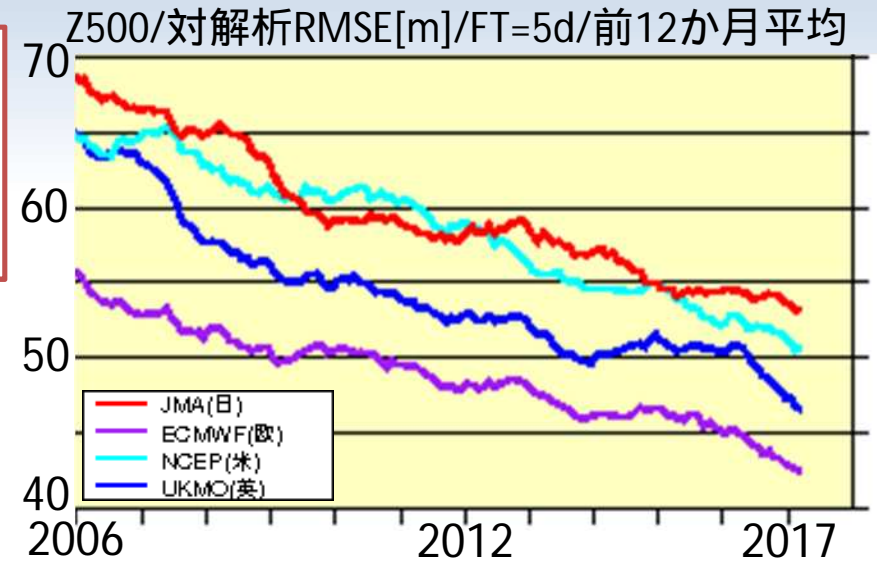
全球・台風グループ

気象庁予報部数値予報課

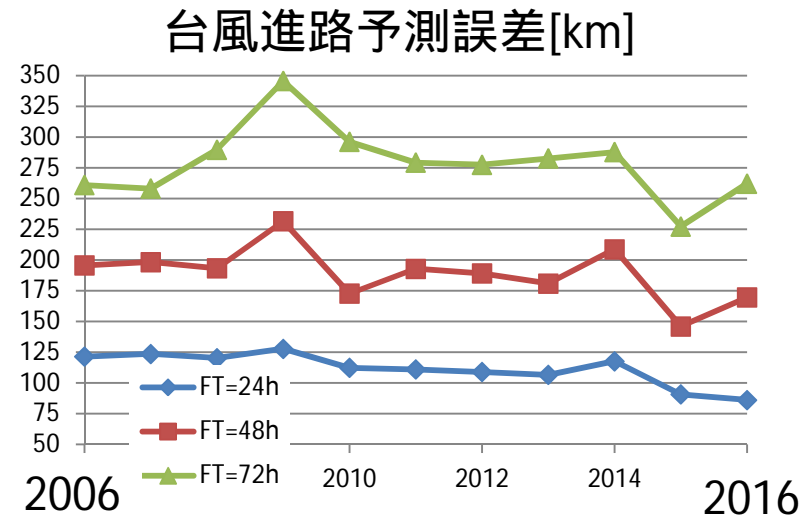
2017年5月25日 気象学会2017年度春季大会 C102

気象庁全球数値予報システムの予測精度向上

気象庁では全球数値予報システムの改良を継続的に実施している。予測モデル・解析システム・観測データ利用に関する改良の効果により、予測精度は着実に向上している。



- JMA 対AMeDAS雨量検証 (前12か月平均)



予測特性の変化については数値予報研修テキストに紹介があります。

気象庁全球モデル(GSM)の近年の更新

バージョン	変更内容 (予測精度に関わるもののみ)
GSM0808	力学過程の改良、適合ガウス格子の採用
GSM1212	層積雲スキームの改良
GSM1304	放射過程(エアロゾル気候値、水蒸気吸収係数)の改良
GSM1403	物理過程改良(放射・境界層・重力波・積雲・陸面)、鉛直層 100 層とモデルトップ0.01 hPa へ仕様変更、背景誤差更新
GSM1603	物理過程改良(積雲・雲・陸面・放射・海面)及び力学過程の高速化
GSM1705 数字は運用を開始した年月	物理過程改良(積雲・雲・陸面・放射・海面)及び力学過程の改良、背景誤差更新

停滞期

第9世代計算機

2012年6月に気象庁スーパーコンピュータシステムが更新され(第9世代)、その性能が大幅に向上して以降、GSMの鉛直層数を増強するなどの仕様向上だけでなく、力学過程・物理過程の各過程についての改良を行ってきた。

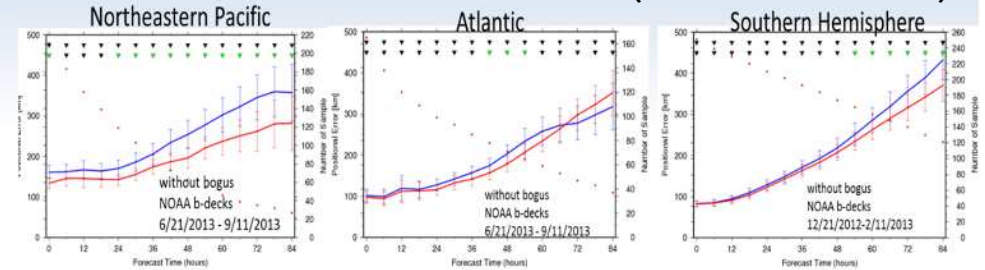
特に物理過程には全体的に改良が加えられ、累積した変更は大規模。

GSM0808以降、精度が向上する改良が一時期停滞した。計算機の更新により、開発に進捗が見られるようになったものの、その内容は小規模に留まり、モデル全体を見直す開発の進捗は十分ではなかった。その時の問題意識に基づき、**GSM1403の開発から、開発管理手法・検証の実施方法を改めている。**

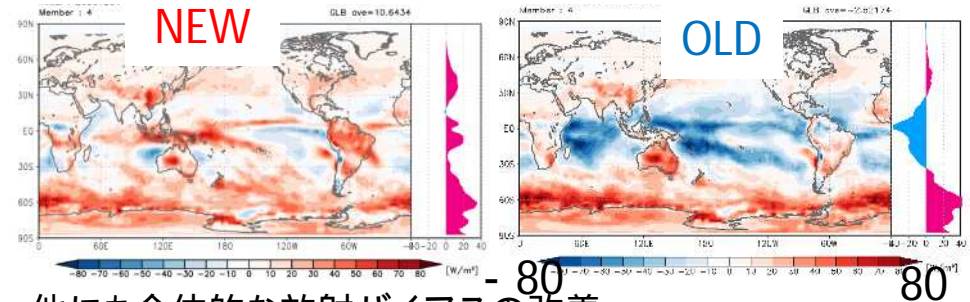
GSMの予測特性の改善

GSM1403以降の開発の結果、様々な予測特性が改善した。示した図の他にも、海水域の低温バイアス改善、陸上の気温日較差過小改善、熱帯での過剰な降水集中解消、夜間の境界層LLJ表現の改善、成層圏の水蒸気量予測適正化、極域での雲量過小改善など多くの点で特性が改善している。

各海域での熱帯擾乱の位置誤差(GSM1403更新時)

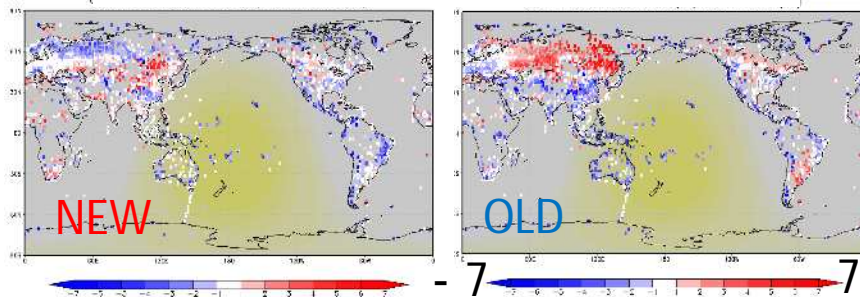


地表面下向き短波/対CERESプロダクト/DFJ平均ME(2001年フリーラン)

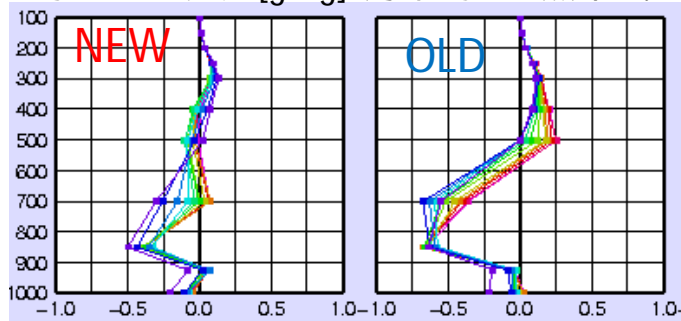


他にも全体的な放射バイアスの改善

2m気温/対SYNOP/月平均ME/FT=12h

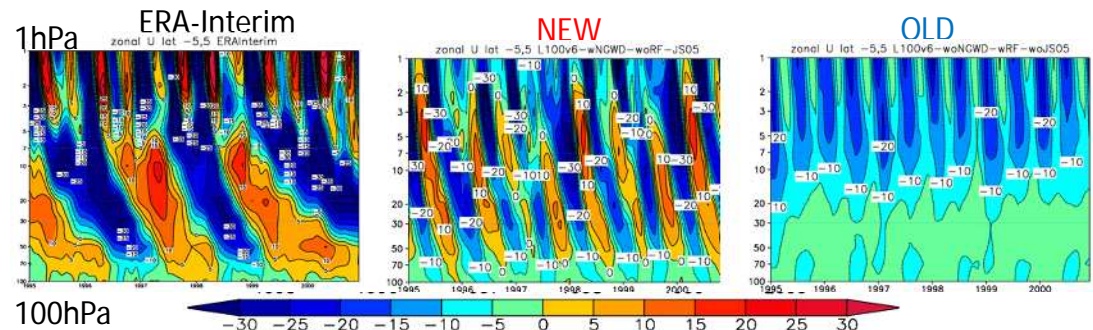


対ゾンデ/比湿[g/kg]/月平均ME/熱帯域



寒色から暖色へFT=0から24h毎

5S-5N平均の帯状平均東西風[m/s]の時間-高度断面図(フリーラン)



東西風の周期変化

近年の開発の考え方

• パッケージとしての開発

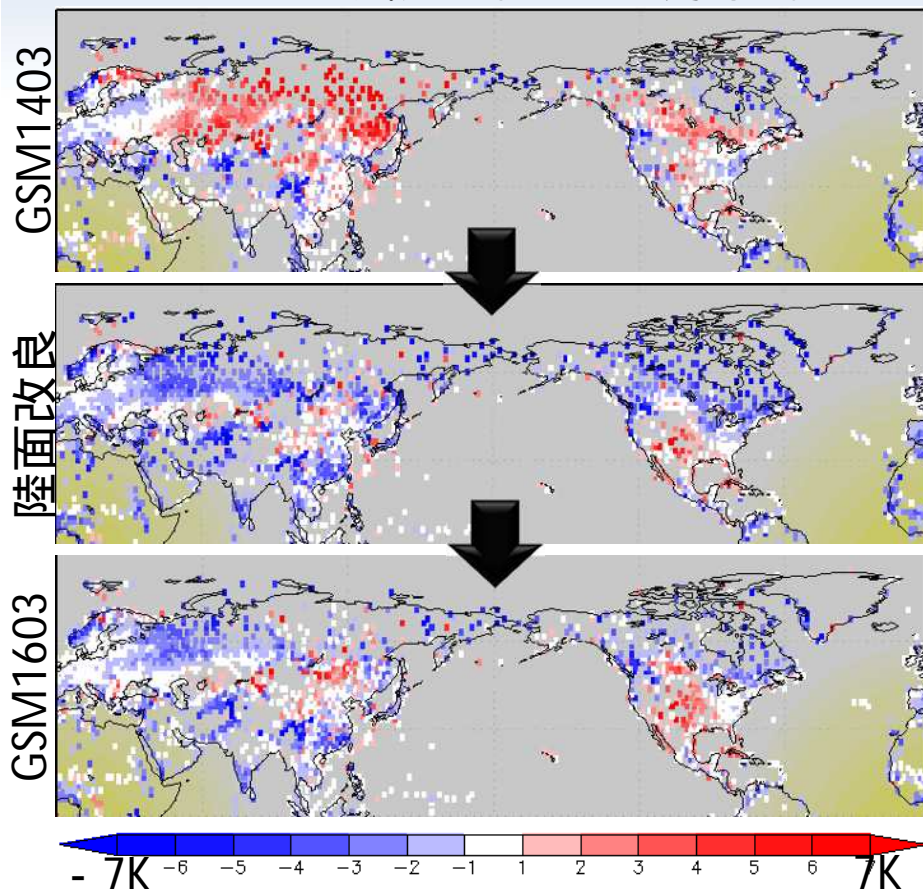
- 「数値予報モデル由来の予測誤差は、モデルの諸過程が持つ問題が複雑に絡み合った結果生じている」
- この認識のもと、開発の途中で各改良項目を組み合わせた実験・評価・議論を段階的に行い、その結果から各項目を見直し、GSM全体としてブラッシュアップしていく
- 全体精度を向上するために、個別の過程を無闇にチューニングすることは原則避ける

• 科学的に正しく継続的な開発が可能なモデル

- 開発項目の選定時では、解決したい問題点を明確にした上で、科学的に正しい方向性か、今後の開発に基盤にふさわしいかを重視
- GSMの物理過程には大きな問題として、数値計算的・概念モデリング的に取り扱いが不適切な点が多かった
 - これは、予測誤差の原因となるだけでなく、不要な応答を生み、結果の再現性低下や、問題切り分けの困難性の原因となっていた

陸面モデル開発での例

2014Jan/2m気温/対SYNOP/月平均ME



陸面改良単体では高緯度陸域、特に北米の低温バイアスが大きな問題。

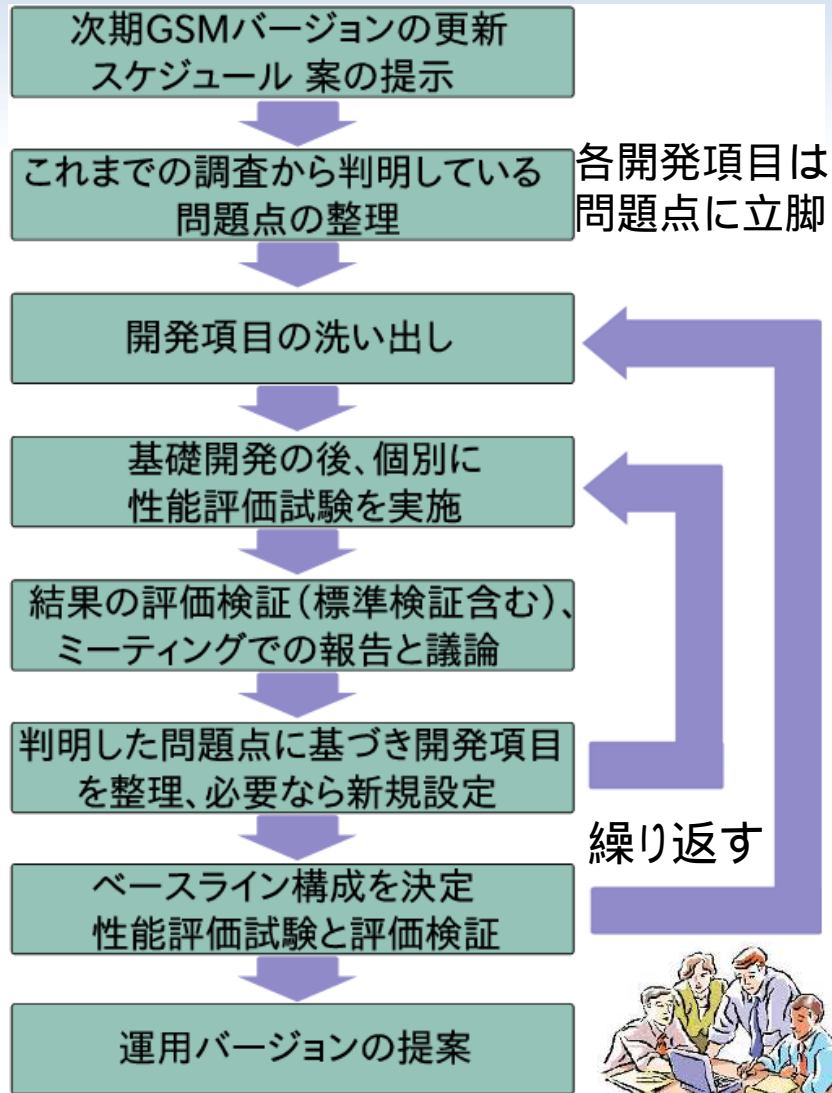
旧陸面過程は土壌を強制復元法で扱うと共に、積雪は土壌と一体化して取り扱っていた(熱容量を加える)。また、土壌熱容量は元値の4倍とするなど調整していた。

これは、大気からの長波入射が過小である大きなバイアスが存在し、特別な手当てをしないと大きな低温バイアスをもってしまうため。調整の結果、旧陸面過程ではむしろ高温バイアスになっている。また、海氷・海面過程に由来する低温バイアスも存在した。

より精緻な新陸面過程を導入すると、低温バイアス問題が顕在化してしまうため、15年以上の間導入できずにいた。

パラメーターのチューニングに頼るのではなく、雲氷落下スキーム、境界層過程、海氷・海面過程、地表面での長波放射過程の精緻化など、多面的にスキーム改善に取り組み、新陸面過程導入に成功した。

開発管理の強化



各過程の基礎開発がある程度進んだ段階から、積極的に「組み合わせ試験」を実施する。その結果について検証と事例調査を実施し、スキーム単体の理想試験では分からなかった問題を明らかにする。

開発者間で問題点共有し解決策を議論し、必要に応じて新規開発項目を追加する。

このサイクルを計画的・組織的に回し、現業運用可能なバージョンができれば提案プロセスへ進む。GSMの1バージョンあたり5～7回程度このサイクルを繰り返している。

以前は各過程の担当者が独立に試験を行う、もしくは基礎開発が終了したものを幾つか集めて調整担当者が調整する、といったプロセスであったが、複数の過程が絡む問題について非物理的な手当てやパラメーター調整に陥りやすい状況であった。

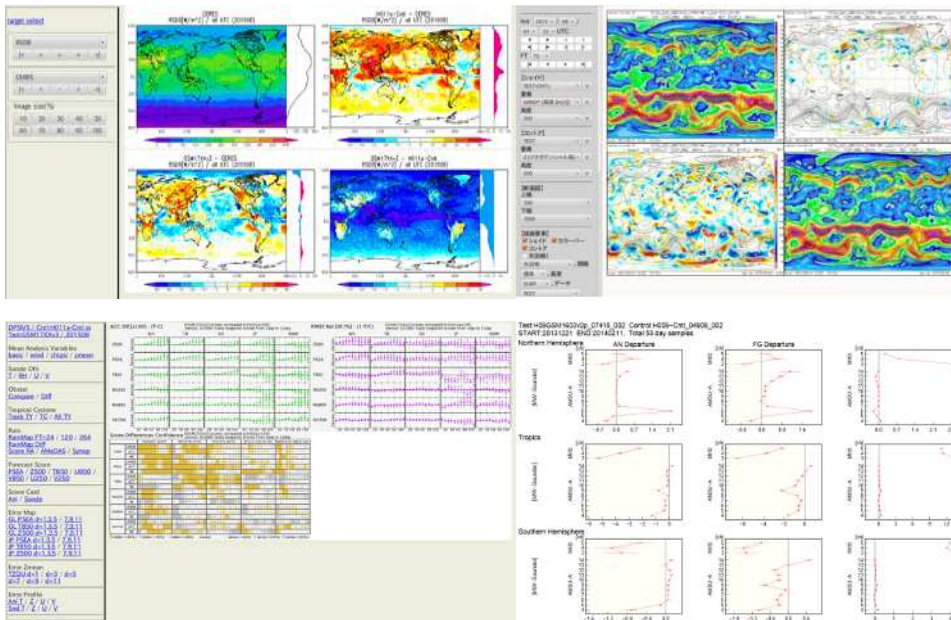
検証ツールの高度化



比較する実験番号を指定するだけ
コマンド一つで実行

問題点について、開発者間で理解の共通化を図るには、「共通のものさし」で議論することが重要である。また、開発を効率的(turn around timeを短く)に行うには、網羅的な検証を簡単に実施できる統合ツールが必要になる。

モデルの開発者自ら、自分たちの開発だけのために、自分たちで使う統合検証ツール作成し、拡張・メンテナンスしている。



共通の手法に基づいた検証結果を同じ形式の図を用いて議論することにより、建設的な科学的議論を効率的に行うことを可能にしている。また、網羅的な検証が簡単に実行できるため、開発者本人が意識していなかった点について、問題点に気づかないリスクが減っている。

今後の課題と中期的な計画

(まとめに代えて)

• 解決すべき問題点

- 更なる台風進路・強度予測精度の向上、北半球(特に日本付近)の冬の予測改善(トラフの遅れ、ジェットの蛇行が弱い)、全球の風予測の改善(活動度不足)、熱帯の降水日変化表現、スペクトラルブロッッキングなど

• 開発計画

- モデル仕様の向上

- 予測時間の延長(84hから132hへ;12UTC以外)
- 水平分解能を13kmへ高分解能化
- 鉛直層数をおよそ128層(仮)へ増強(モデルトップは同じ)

- 力学過程の改良

- 高次格子の導入検討、計算安定性の向上、高速化

- 物理過程の改良

- 地表面由来の摩擦を総合的に見直し(重力波・境界層過程の改良)
- 地表面過程の精緻化・タイル化
- 積雲・雲・境界層過程の再構築(対流関連を統一的に開発)
- 放射過程の高度化など

GSMの予測結果の問題点を、今後もフィードバックいただければありがたいです

今日の内容は数値予報課報告・別冊第63号に記載。気象庁HPで公開しています。