



気象学会2017年春季大会専門分科会「気象庁データを利用した気象研究の現状と展望」

気象庁現業メソモデルの 最近の開発とその成果

2017年5月25日

気象庁予報部数値予報課
原 旅人

気象庁の現業数値予報システム一覧

数値予報システム (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)	初期値	主な利用目的
局地モデル(LFM)	2km	58層 (約20km)	9時間(毎時)	局地 解析	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)	メソ 解析	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)	全球 解析	大気予報 週間天気予報 台風の進路・強度予報 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#) 11日間、27メンバー (00,12UTC、毎日)	全球 解析	台風進路予報 週間天気予報
全球アンサンブル 予報システム	約40km (11-18日) 約55km (18-34日)	100層 (0.01hPa)	18日間、13メンバー (00,12UTC、土・日曜日) 34日間、13メンバー (00,12UTC、火・水曜日)	全球 解析	1か月予報、 異常天候早期警戒情報
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)	気候 データ 同化	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

#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。

気象庁現業メソモデルの歴史 (モデルを中心に)

西暦	MSM		LFM	
	スペックの改良など	モデルの改良	スペックの改良など	モデルの改良
2001	3月 静力学スペクトルモデルで運用開始(水平格子間隔10km)			
2002	3月 静力学4次元変分法導入			
2003				
2004	9月 非静力学モデル(JMA-NHM)への置き換え			
2005				
2006	3月 水平格子間隔10km 5km, 38層 48層化	雲物理、対流過程のパラメータ調整		
2007	5月 予報時間延長(15時間 33時間)	対流、境界層、地表面、放射過程などの物理過程改良		
2008		12月 雲氷数濃度の予報変数化、放射過程の雲氷有効半径の改良		
2009	4月 非静力学4次元変分法導入			
2010		11月 対流スキームの改良		
2011				
2012			8月 東日本領域による運用開始(予報モデル:JMA-NHM、水平格子間隔2km, 58層)	
2013	3月 領域拡張 5月 予報時間延長(33時間 39時間)		5月 領域拡張	
2014				
2015		5月 境界層過程改良(MYNN3 MYNN25)	1月 予報モデルのasucaへの置き換え	対流のイニシエーションのパラメタリゼーションの導入
2016				
2017	2月 予報モデルのasuca への置き換え、鉛直層48層 76層	対流、雲物理、境界層、地表面など多数の過程を改良		

多くのスペック改良は行われているものの、モデルのスキームの改良は2007年5月以降の10年間で3回だけであった。

メソモデルのJMA-NHMから asucaへの更新

- asuca:2007年ごろから開発開始
 - 新しい知見の導入、それをテストしやすい環境整備
 - 有限体積法における保存性の確保
 - 高次精度の移流スキーム+流束制限関数、高次精度の時間積分法
 - さまざまな悪影響が指摘される人為的な数値拡散の排除
 - 物理過程はライブラリとして独立に開発し、そのテスト環境を充実
 - 充実したモニターシステム
 - 継続的な開発の確保
 - 従来のJMA-NHMのコードは建て増しを繰り返して複雑になり、新規の開発者の参入を妨げていた。
 - 設計思想、コーディングルールの明確化、開発者相互によるレビュー
 - 物理過程開発の独立性
 - 計算安定性の確保
 - 現業モデルとしては、精度以上に重要
 - 計算効率の確保
 - スカラー計算機が主流になることを見据えて

JMA-NHMとasuca: 力学過程

- 力学フレームは根本的に異なる。

	asuca	NHM
支配方程式	完全圧縮非静力学方程式系 (フラックス形式)	完全圧縮非静力学方程式系 (準フラックス形式)
予報変数	$\rho_u, \rho_v, \rho_w, \rho_\theta, \rho$	$\rho_u, \rho_v, \rho_w, \theta, \rho$
空間離散化	有限体積法	有限差分法
時間積分法	Runge-Kutta (Wicker and Skamarock, 2002) (Long and short)	Leap-Frog and time filter (Long) Forward-backward (Short)
移流	風上3次+流束制限関数 (Koren, 1993)	水平4次、鉛直2次 + 移流補正
座標系	一般座標系	Map factor + 鉛直ハイブリッド
音波の扱い	Conservative HE-VI法	HE-VI法
水物質の落下	オイラーでSplit	Box-Lagrangian
数値拡散	なし	4次線形、非線形

asuca では高精度かつノイズが出にくいスキームを選択し、また、スプリットを活用して計算安定性を確保

→数値拡散などのような人為的なものを用いて上昇流を抑え込む必要がない。

asuca導入時の 主な物理過程の改良

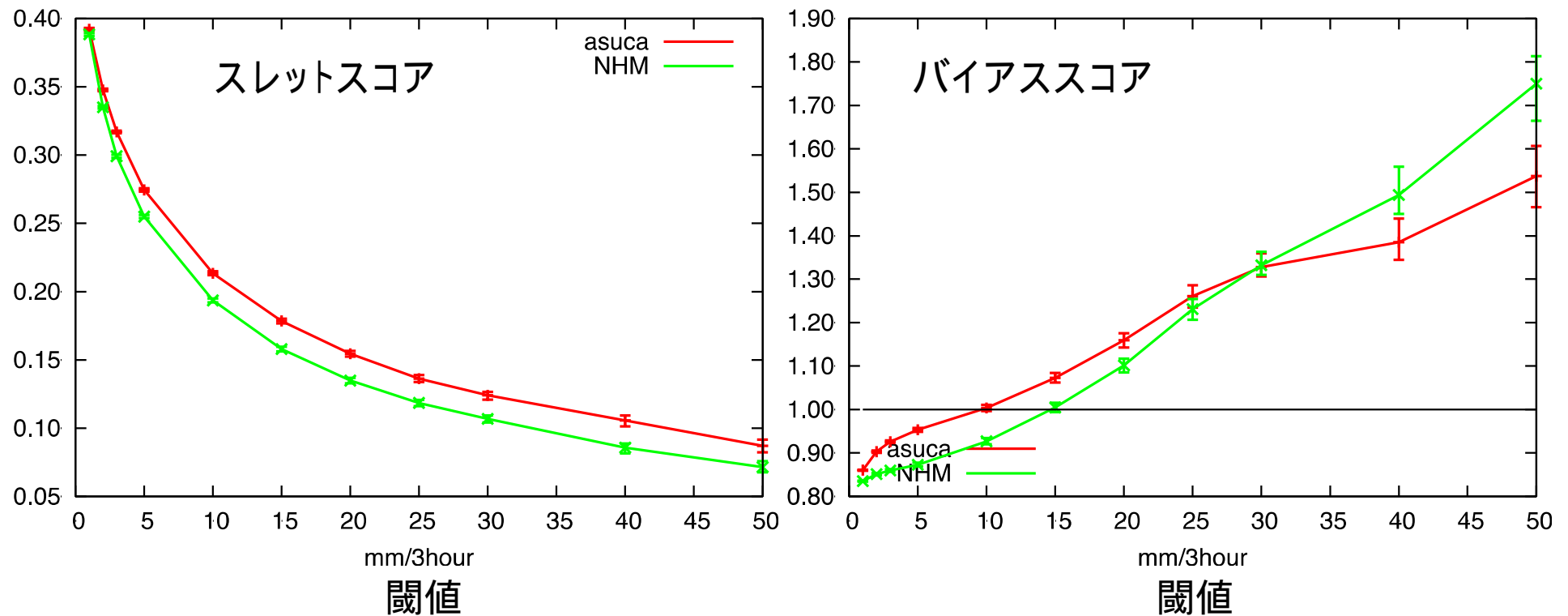
単なるモデルの置き換えだけでなく、asucaになることでできるようになったモデルの改良も多く含んでいる。

	内容	効果
放射	全球モデルの開発成果の導入(2方向近似)	高速化、放射加熱率の高精度化
	放射計算の雲の水と氷の割合の診断の変更	冬季の夜間の気温の大きな改善
積雲対流	根本的な見直し	成層不安定のより適切な解消
	・トリガーの変更	(従来よりも成層不安定を早めに安定
	・エントレインメント率の変更	化させやすくなる)
	・積雲内で凝結した水を雲物理に返す	海上での対流の生成と陸上での過大な
	・積雲対流による時間変化率を毎ステップ計算	エネルギーの解放の改善
雲物理	雨、雲氷、雪の粒径分布の変更	より適切なタイミングでの雲の生成
	格子内非均一性の導入	下層の乾燥バイアスの改善
	インプリシット解法	計算安定化
	個々の素過程の見直し	
	蒸発効率パラメータの除去	
地面	地面温度の層数・層配置の見直し	地表面の外部から強制に地面温度がより適切に応答

モデル改良の成果の一つ

降水スコア(夏) 3時間降水量・検証格子20km

2015/8/7—2015/9/11

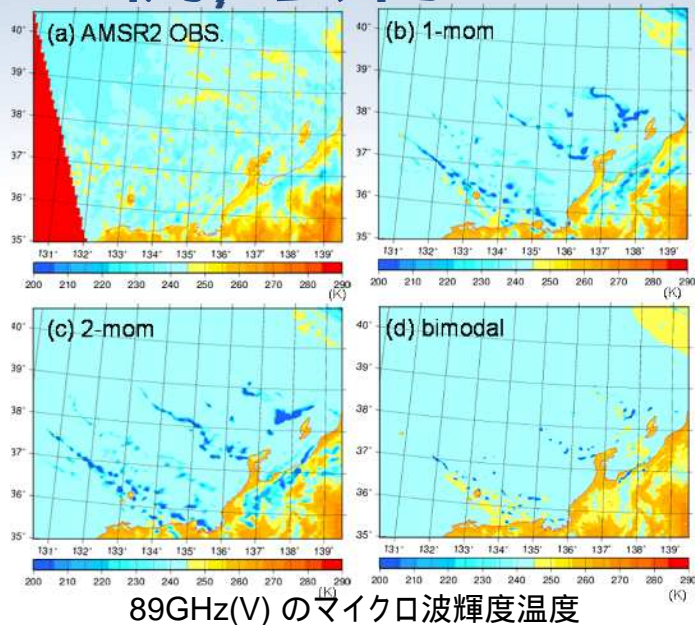


どの閾値でもスレットスコアは大幅に改善している。
バイアススコアの傾向は似ているが、多くの閾値で1に近づき、
予測過少、予測過大それぞれを改善している。

開発の進め方

- 過去のモデル開発
 - 現状のモデル予測に対する明確な問題意識がなく、単にスキームを取り替えたりパラメータを変えて、スコアが向上するものを見つけることが中心
- 現代のモデル開発では
 - 問題発見・問題意識の共有が開発のスタート
 - ある程度モデルが成熟してきた中で、単体のスキームの変更だけで精度向上が得られるケースはほとんどなくなってきており、スキーム間の相互作用を無視することができない。
 - パッケージとしてのモデル開発、更新が必要になる
 - いわゆる「精緻化」されたスキームが必ずしもよい結果を出すとは限らない。
 - 問題意識を明確にした上で、それを解決するのに合理的な手法であれば「精緻」である必要はない。
 - 問題発見、その検証・調査、解決法の考案を科学的に進める時間のほうがコードを実際に書く時間より必要
 - そのような過程が見えなければ、コードがあったとしても改良には何の役にも立たない。
 - コードを融通しあうことが連携ではない。知見の共有が重要。
 - 自ら開発しているモデルにブラックボックスがあると、その後の改良のための問題発見すら難しくなる。
 - たとえコードの提供を受けても、導入するためには、自らその構造、特性を理解しなければならない。

例) 雲物理における雪の粒径分布の改良



- 研究会などで衛星シミュレータによる雲物理過程の検証手法を聞きつけ、自らのモデルで試してみた。
- その結果、マイクロ波89GHzの輝度温度が観測よりも低すぎることを発見。
- その原因は雪の粒径がかなり大きかったこと

粒径分布の修正の可能性

- 雪の数濃度の予報変数化(2-moment化)
 - すでにJMA-NHMに実装されたものはあり、「精緻化」されたといわれるもの。
 - 自由度は増え、過大な粒径分布を改善しうるが、正しくできるかはその自由度のコントロールに依存。
 - 中層では粒径は小さくなったものの、下層では粒径が大きくなりマイクロ波輝度温度が低すぎる傾向は変わらず。増えた自由度のコントロールができていない。
- 1-moment bi-modal な粒径分布
 - 研究会などでの交流で知った論文をベースに試した。
 - 粒径が大きすぎるという問題意識と、期待される効果が直接結びつく。
 - マイクロ波輝度温度は観測と合致するように改善。

研究会での交流、知見の共有が自らのモデルの改良につながった。

開発管理

- 現在、および将来の開発者への説明責任を果たす
 - プロジェクト管理ツール、バージョン管理ツールを活用した開発履歴の記録
 - 開発手続きの明確化
 - 問題発見、解決法の考案
 - 理想実験、鉛直1次元モデルによるテスト
 - 3次元モデルによるテスト
 - 開発過程、変更したコードの開発者相互のレビュー
 - 開発内容の客観性、設計思想やコーディングルール遵守を担保する仕組みの一つ

まとめと今後

- 気象庁現業メソモデルはJMA-NHMからasucaに更新された。
 - より新しい知見、計算機事情を踏まえた上で、より科学的に、かつ継続的に開発ができることを目指す流れの中でのこと。
 - 日々の運用からの問題発見、検証、実験などがしやすい環境を構築。
 - 4次元変分法データ同化システムも近日中にasucaベースのものに置き換わる予定
- 数値予報課のモデル開発の進め方はここ数年で大きく変わった。
 - 科学的な開発
 - 客観性を担保して説明責任を果たす
 - 開発履歴の記録
 - 相互レビューによる確認と相互理解