



第2章 応用編

2.3 メソ数値予報システムの改良

変更の概要

- 地形にかかわるパラメータの調整
- 物理過程の改良
 - 地表面過程: 地形性乱流抵抗スキームの導入
 - 放射過程: CO₂等の微量気体濃度の更新
 - 陸面過程: 水蒸気輸送のパラメータ(気孔抵抗に関連)の調整
- 計算安定性の改善
 - これらの改良により、地上や大気下層の風速や気温の予測精度が、予報時間や地域によらずに向上することを確認した
 - 令和7年5月20日に現業システムに導入した

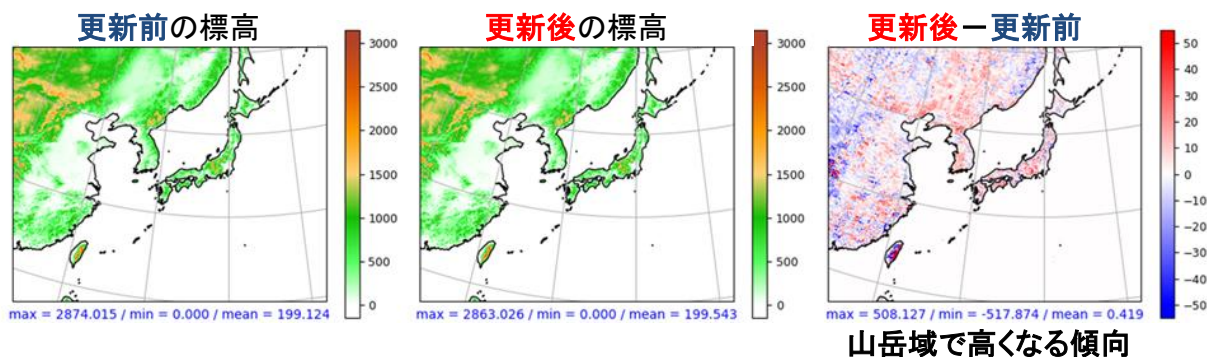
2025年(令和7年)5月20日に実施したメソ数値予報システムの改良について概要を述べる。より詳細な解説は、令和7年(2025年)数値予報開発センター年報(令和7年度末発行)を参照願う。

今回のメソモデル(MSM)の改良項目は大きく3つに分かれる。まず、地形にかかわるパラメータの調整として、モデル地形を従来より高精度・高分解能な標高データから再作成した。そして物理過程の改良では、地表面過程に地形性乱流抵抗スキームの新たな導入、放射過程で参照する二酸化炭素等の微量気体の濃度の更新、陸面過程において気孔抵抗として考慮する水蒸気輸送のパラメータの調整を行った。さらに、境界層過程で発生することがあった数値振動を抑制する措置を施して計算安定性の向上を図った。

これらの改良により、地上や大気下層の風速や気温の予測精度が、予報時間や地域によらずに向上することを確認した。また、MSMの予測精度改善により、MSMガイダンスについても気温・風・湿度・日照率についての精度改善が実験から示され、特に風ガイダンスは、定時・最大・最大瞬間風速・航空風ガイダンスで季節や予報時間によらない改善傾向が認められた。さらに、MSMの予報モデルを用いるメソアンサンブル予報システムでも、アンサンブル平均の二乗平均平方根誤差(RMSE)が対流圏下層を中心に改善、MSMで改善が顕著であった要素を中心に確率予測の精度が改善するなどの精度向上が認められた。

地形にかかわるパラメータの調整

- モデル地形を従来より高精度・高分解能な標高データから作成
 - 従来: GTOPO30(約1km解像度: 米国地質調査所)
 - 更新: MERIT DEM(約90m解像度: Yamazaki et al. 2017)



従来のMSMでは、モデルの地形作成に必要な標高オリジナルデータセットとして、水平解像度が約1kmのGTOPO30(米国地質調査所)を利用していた。このデータセットを水平解像度約90mでより高解像度かつ高精度なMERIT DEM (Yamazaki et al. 2017) に更新した。作成したMSMのモデル地形の更新前後の比較では、日本では中部山岳など山岳域で地形標高がやや高くなる特徴がみられた。

なお、局地モデルでは令和5年3月に実施した改良の際に、モデル地形の作成元データをMERIT DEMに切り替えている。(数値予報開発センター 2024)

物理過程の改良

• 地表面過程

– 地形性乱流抵抗スキームの導入

- 格子間隔より小さい地形の起伏によって生じる乱流による抵抗 (Turbulent Orographic Form Drag; TOFD) を考慮 (Beljaars et al. 2004)
 - 地形の波数ごとに異なる応力を積分することで、格子内の地形起伏による応力を計算
 - MERIT DEM により、スキームで利用する格子内地形の起伏を表現するパラメータ(標高の標準偏差)をより正確に表現
- 対流圏下層や地上の強風バイアスの縮小



改良前のMSMには、対流圏下層や地上に強風バイアスが存在することが統計検証から分かっていた。風は水蒸気の輸送に関わるため、降水の予測精度向上に対しても風速の系統誤差の縮小は必要と考えられる。この強風バイアスの改善を図るため、格子間隔より小さい(サブグリッドスケール)地形の起伏によって生じる乱流による抵抗を考慮するスキーム (TOFD: Turbulent Orographic Form Drag スキーム; Beljaars et al. 2004) を導入した。このとき、サブグリッドスケールの地形の起伏を表現するパラメータ(各格子の標高の標準偏差)を高精細な地形データであるMERIT DEMから算出した。

地形性乱流抵抗スキームを導入した実験により、対流圏下層や地上での風速の強風バイアスが縮小し、予測精度が向上することが確認できた。

なお、局地モデルでは令和5年3月に実施した改良の際に、地形性乱流抵抗スキームを導入している。(数値予報開発センター 2024)

物理過程の改良

• 放射過程

– 微量気体濃度の更新

- モデルでは N_2O , CH_4 , CO_2 の濃度の気候値(通年の全球平均値)を領域一様に与えている
- 微量気体の濃度を2000年頃の値から、世界気象機関(WMO)の報告に基づく2020年の値に更新

➢ (僅かに)気温が上昇

[ppm]	N_2O	CH_4	CO_2
更新前	0.28	1.75	375.0
更新後	0.33	1.89	413.2

• 陸面過程

– 水蒸気輸送のパラメータ(気孔抵抗に関連)の調整

- 夏季の大陸にある下層気温が高いバイアスの軽減が目的
 - 気孔抵抗の最小値を領域一様から植生種別に応じた値に調整
 - 大陸(草原・耕作地などの低植生)での最小値を小さくする
- 潜熱増加／顕熱減少により、下層気温の誤差の縮小



MSMでは、大気による日射の吸収や赤外線の射出による大気や地面への加熱・冷却を考慮している(放射過程)。この大気に含まれる気体のうち、 CO_2 , N_2O , CH_4 の微量気体は、予報領域一様の通年気候値を利用している。これらの微量気体の濃度として、改良前のMSMでは2000年前後の全球平均値を用いていたが、全球平均でこの数十年間上昇傾向にあるそれら濃度の近年の値と比べ過小となっていた。このため、微量気体の濃度について、WMOが算出している2020年全球平均値(WMO 2021)への更新を行った。

微量気体の濃度を更新した実験から、 CO_2 の増加は短波と長波の吸収、 N_2O と CH_4 の増加は長波の吸収に寄与し、対流圏下層の気温がわずかに上昇する結果が得られた。

なお、局地モデルでは令和5年3月に実施した改良の際に、放射過程における微量気体濃度の同様の更新を行っている。(数値予報開発センター 2024)

令和4年3月に更新したMSMでは、陸面の蒸発散プロセスの精緻化を改良したことにより、対流圏下層や地上の気温・水蒸気量誤差を縮小した。一方で、夏季の中国大陸北部では対流圏下層で高温バイアスがみられるようになっていた。今回の更新では、そのバイアスを軽減することを目的として、蒸発散フラックスの算出に用いるパラメータのうち、気孔抵抗最小値を調整した。気孔抵抗最小値として、全ての格子で固定値を用いていたが、植生種別や葉の分布、養分の利用可能性、生育状況などによって変化することが知られている。そこで、海外の現業数値予報センターでの設定も参考にしながら、気孔抵抗最小値を大陸(草原や耕作地などの低植生)での値を小さくするなど植生区分に応じた値に調整した。(ただし、日本域は地上気温予測精度への影響の観点から従来どおりの設定とした)

この結果、中国東北部や華中など耕作地が広がる地域を中心に、潜熱の増加及び顕熱の減少が見られ、それらに対応して対流圏下層気温が低下して誤差が縮小することを確認した。

改良による予測特性の変化

- 大気鉛直プロファイルの予測精度の向上
 - 対流圏下層の強風バイアスが縮小する
 - 地形性乱流抵抗スキームの導入による減速の効果
 - 大陸上で夏季の対流圏下層高温・乾燥誤差が縮小する
 - 気孔抵抗の最小値の調整により潜熱フラックスが増加することの効果
- 地上における観測要素の予測精度の向上
 - 日本域で気温・風速・気圧の予測誤差が縮小する
 - 特に夜間の強風バイアスが顕著に縮小する
 - 大陸上では、強風・高温バイアスが縮小する
- 降水予測の特性変化は小さい

改良による予測特性の変化をまとめる。ここまで説明した今回のモデル改良の全てを含めた試験を行い、次のような精度改善を含む予測特性の変化が認められた。

大気鉛直プロファイルの予測精度の向上：

- 地形性乱流抵抗スキームの導入のための風速の減速の効果により、対流圏下層の強風バイアスが縮小する。
- 気孔抵抗の最小値の調整により潜熱フラックスが増加することの効果により、大陸上で夏季の対流圏下層高温・乾燥誤差が縮小する。

地上における観測要素の予測精度の向上：

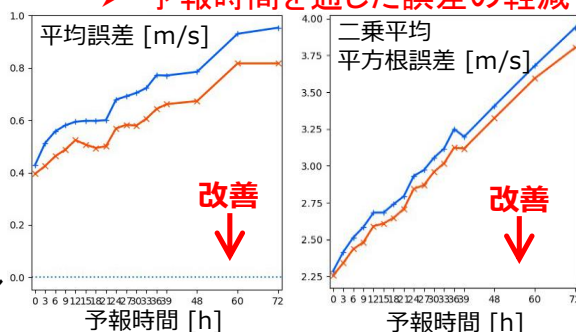
- 日本域で気温・風速・気圧の予測誤差が縮小する。特に夜間の強風バイアスが顕著に縮小する。
- 大陸上では、強風・高温バイアスが縮小する。

今回の改良による降水予測の特性変化は小さい。

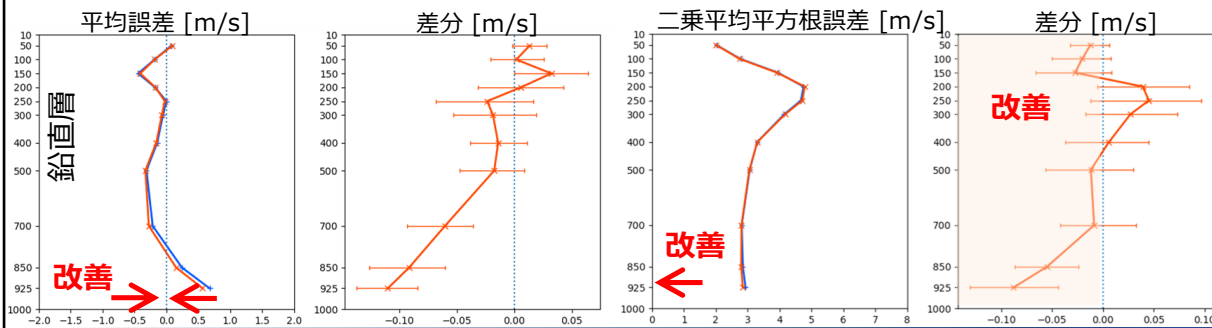
対流圏下層の風速の予測精度

- 風速予測の改良前後の精度変化
 - 対ラジオゾンデ観測
 - 夏期間: 令和5年6月26日～9月21日
 - 冬期間も同様の改善
- 925hPaの予報時間別の予測誤差
 - 予報時間を通じた誤差の軽減

赤: 改良後
青: 改良前 差分: 改良後 - 改良前



- 24時間先の予測誤差の鉛直プロファイル
 - 対流圏下層で顕著な改善



気象庁 Japan Meteorological Agency

令和7年度数値予報解説資料集

317

風速の予測について、ラジオゾンデ観測に対する気圧面ごとの統計検証のうち夏期間の結果を示す。冬期間も同様の結果が得られている。

24時間先の予測について、平均誤差及び二乗平均平方根誤差(RMSE)の鉛直プロファイルの改良前後の比較から、対流圏下層の予測誤差の軽減が認められた。また、925hPaについて予報時間別に予測誤差を確認すると、ここでも平均誤差及びRMSEの予報時間を通じた軽減が確認できた。このように、今回の改良、特に地形性乱流抵抗スキームの導入により、大気下層の風速予測が顕著に改善することが示された。

なお、対流圏下層については、気温及び水蒸気量についても同様の顕著な改善が認められた。(図略)

地上の風速の予測精度

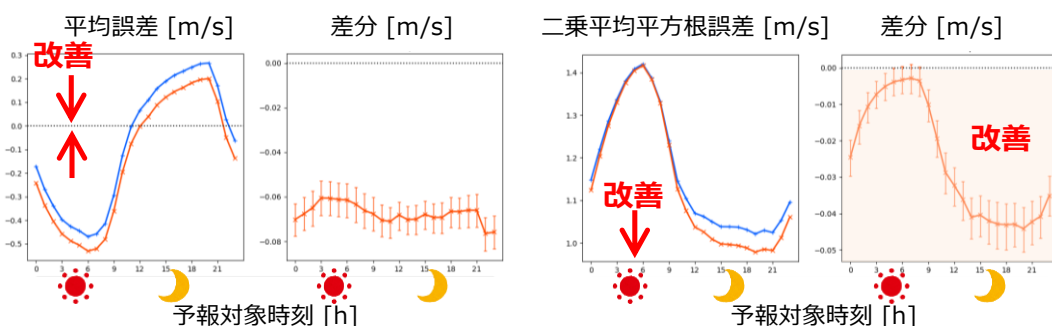
- 風速の予測における改良前後の精度変化

- 対アメダス観測
- 夏期間: 令和5年6月26日～9月21日

- 予報対象時刻別の予測誤差

- 日中は負バイアスの拡大傾向が見られるが、夜間は平均誤差・RMSEともに縮小している
- 地形性乱流抵抗スキームによって夜間の強風バイアスが軽減された

赤:改良後
青:改良前
差分:改良後-改良前



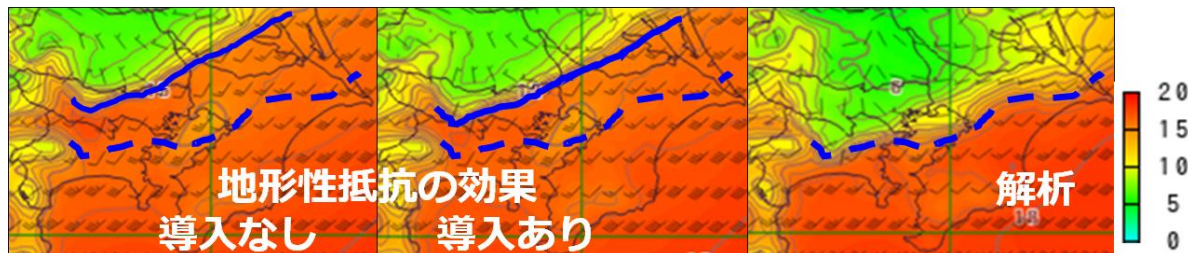
地上風速の予測について、アメダス観測に対する統計検証のうち夏期間の結果を示す。

予報対象時刻別の統計検証結果の改良前後の比較から、地形性乱流抵抗スキームによる減速の効果により、日中・夜間とも平均誤差の値が小さくなり、日中についてはこれまでもあった負バイアスの拡大が見られた。夜間については風速が強く予測される正バイアスが縮小し、二乗平均平方根誤差についても大きく改善した。予報時間別の検証についても、地形性乱流抵抗スキームの導入による減速の効果により、全ての予報時間で地上風が減速して予測誤差の軽減が確認できた(図略)。

地形性乱流抵抗スキーム導入の効果

・ 局地前線の改善事例

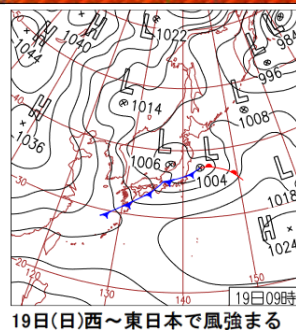
令和5年2月19日9時(JST)の地上気温予測(36時間先の予測)



青実線: 予測での局地前線の位置
青破線: 解析での局地前線の位置

関東地方に形成された局地前線の位置

解析と比較すると、依然として内陸側へのずれは残っているものの、改良による南西風の弱化のため、局地前線が解析に近づいた



地形性乱流抵抗スキーム導入の効果について、事例からの確認を試みる。

令和5年2月19日9時(JST)は、福島沖の低気圧に伴う寒冷前線が東西日本の沿岸部に沿ってのびていた。メソ解析では、この前線の地上への反映として、関東地方南部に局地前線が解析された(右図)。地形性乱流抵抗スキームの有無による、局地前線の表現の変化を36時間先の予測により確認する。スキーム導入なし(左図)に比べて導入あり(中図)では、予測された前線の位置(図中実線)が解析の位置(図中破線)に近づいた。これは、スキームによって前線南側の南西風が弱化したことによると考えられる。ただし、スキーム導入後でも依然として内陸側へのずれは残っている。

参考文献

- 気象庁数値予報開発センター, 2024: 局地モデルの物理過程改良. 数値予報開発センター年報(令和5年), 気象庁数値予報開発センター, 40–45.
- 気象庁数値予報開発センター, 2025: メソモデルの物理過程改良に向けた開発. 数値予報開発センター年報(令和6年), 気象庁数値予報開発センター, 60–66.
- Beljaars, A. C. M., A. R. Brown, and N. Wood, 2004: A new parametrization of turbulent orographic form drag. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 130, 1327–1347, doi:10.1256/qj.03.73.
- Yamazaki, D., D. Ikeshima, R. Tawatari, T. Yamaguchi, F. O’Loughlin, J. C. Neal, C. C. Sampson, S. Kanae, and P. D. Bates, 2017: A high-accuracy map of global terrain elevations. *Geophys. Res. Lett.*, 44, 5844–5853, doi:10.1002/2017GL072874.