



第2章 応用編

2.3 局地数値予報システムの改良

変更の概要

- 物理過程の高度化
 - 雲物理過程・境界層過程・放射過程の改良
 - 水平格子サイズより小さな地形の起伏が水平風に及ぼす抵抗の効果の導入
- モデル標高の更新
 - 従来より高精度・高解像度の標高データセットに基づくモデル標高を作成
- 観測データ利用法の改良(初期値の改善)については第2.4節を参照

2023年(令和5年)3月28日に実施した局地数値予報システムの改良について概要を述べる。

一般的な参考資料として、数値予報開発センター年報(令和4年)第4.4節を参照のこと。

物理過程の高度化として、雲物理過程、境界層過程、放射過程を改良し、水平格子サイズより小さな地形の起伏が地表面付近の水平風に及ぼす抵抗の効果を新規に導入した。

また、モデル標高の作成に用いる基礎的な標高データセットを、GTOPO30(約1km解像度; 米国地質調査所)から、より高精度・高解像度の MERIT DEM(約90m解像度; Yamazaki et al. (2017))に変更した。

前述の細かな地形による抵抗の効果を評価する際に用いる、モデル格子内部の標高の標準偏差は、MERIT DEM から求めた。

以上の変更は、局地解析の処理の中で実行する予測計算に用いるモデル(水平格子間隔5km)にも適用した。

なお、同時に実施した観測データ利用法の改良については、第2.4節にて説明する。

物理過程の高度化(1)

- 雲物理過程・境界層過程・放射過程の改良
 - 雲物理過程
 - 先行して改善が進んでいるメソモデルのスキームを導入
 - 局地モデルに合わせた調整・修正も実施
 - 境界層過程
 - 先行してメソモデルに導入(2022年3月)した精緻化の適用
 - 放射過程
 - 放射計算に用いる微量気体濃度を2020年の値に更新

今回、物理過程の高度化として、雲物理過程、境界層過程、放射過程の改良を実施した。

局地モデルの雲物理過程は、多くの新しい科学的知見を取り込んで先行して改善が進んでいるメソモデルの雲物理過程のスキームを導入し、合わせて局地モデルに適した修正や調整を実施した。

従来利用してきた雲物理過程との違いとしては、モデル格子内の雲の非一様性を考慮することや、モデルが表現する雲の特性に各種の衛星観測データを用いた検証に基づく修正が施されていることが挙げられる。(メソモデルにおける雲物理過程の詳細は、数値予報開発センター年報(令和2年)第2.2.8項を参照のこと)

導入に合わせて、水平解像度に依存する箇所など、局地モデルにより適合するような調整や修正も行った。

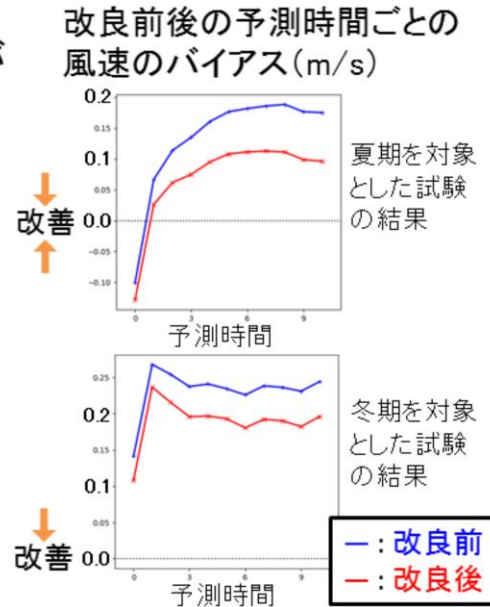
境界層過程の改良は、2022年(令和4年)3月にメソモデルで実施した、乱流混合の扱いの精緻化を適用したものである。(詳細は、数値予報開発センター年報(令和3年)第4.4節を参照のこと)

局地モデルでは、放射計算に用いる $\text{CO}_2 \cdot \text{N}_2\text{O} \cdot \text{CH}_4$ の微量気体の濃度は、通年の気候値を領域一様に与えている。従来の値は、2000年前後の全球平均値を用いていたため、近年の実況とは乖離があった。このため、WMO(世界気象機関)が算出する温室効果気体の全球平均値の2020年の値に更新した。本変更は、対流圏の気温に僅かな上昇の効果を与える。

物理過程の高度化(2)

- 水平格子サイズより小さな地形の起伏が水平風に及ぼす抵抗の効果の導入

- 細かな地形が惹き起こす乱流が地表面付近の水平風に対して抵抗として働く
- 局地モデルの予測特性である大気下層や地上の強風バイアスが軽減
- 地上の気温等の気象要素の全般的な予測精度改善や地形に起因する降水の予測改善にも寄与



局地モデルの特性として、大気下層や地上における強風バイアスがある。この原因のひとつとして、水平格子サイズより小さな地形の起伏による影響を考慮していなかったことが考えられ、課題となっていた。この強風バイアスの改善を目指して、水平格子サイズより小さな地形の起伏による乱流が大気下層の水平風に抵抗として働く効果のパラメタリゼーション(Turbulent Orographic Form Drag; TOFD)を新規導入した。

本過程の効果を確認するために実施した試験では、その統計検証において、夏期・冬期ともに、大気下層および地上の強風バイアスの軽減が認められた。

地上風速が弱まると、地表面からの顕熱・潜熱が減少するため、地上の気温や水蒸気量も影響を受けることになる。統計検証の結果は、これら含む地上の気象要素の予測精度の全般的な向上を示した。また、地形に起因する降水の表現も向上し、弱雨を中心に、予測精度が改善した。

(試験の対象期間)

夏期: 2020年7月2日～7月15日

冬期: 2020年1月11日～1月21日

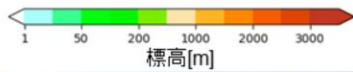
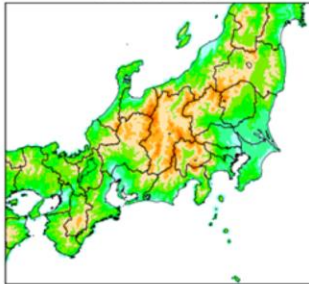
また、乱流による抵抗の効果の評価する際に用いる、モデル格子内部の標高の標準偏差は、今回の一連の改善のひとつであるモデル標高の更新(次ページに解説)の基礎データセットである MERIT DEM(約90m解像度; Yamazaki et al. (2017))から求めた。

なお、全球モデルでは2020年(令和2年)3月に本過程が導入されている。

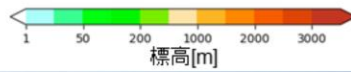
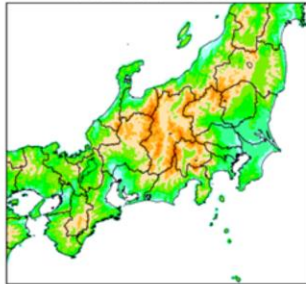
モデル標高の更新

- モデル標高の作成に用いるデータセットをGTOPO30 (1km解像度) からMERIT DEM (90m解像度) に変更
 - 中部山岳や白頭山などの山岳域で標高が増す傾向
 - 沿岸に位置するモデル格子の海陸比は変更なし

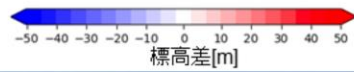
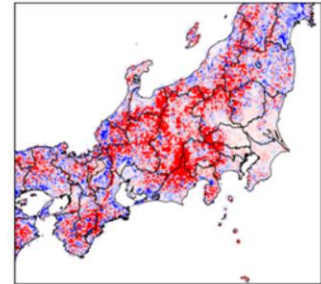
変更前のモデル標高
GTOPO30



変更後のモデル標高
MERIT DEM



変更前後の差
MERIT DEM - GTOPO30



局地モデルのモデル標高の作成に用いる標高データセットを、GTOPO30 (約1km解像度; 米国地質調査所) から、より高精度・高解像度の MERIT DEM (約90m解像度; Yamazaki et al. (2017)) に変更した。

作成されたモデル標高を比較すると、中部山岳や白頭山などの山岳域で標高が増す傾向が認められた。

なお、沿岸に位置するモデル格子の海陸比の変更は行っていない。

改良による予測特性の変化

- 降水予測
 - 予測頻度が過大な傾向を持つものの、夏期においては見逃し率の減少により予測適中を表すスコアは改善
- 地上気象要素の予測
 - 夏期の乾燥バイアスや強風バイアスの改善をはじめ、一般的に予測精度は改善
- ✓ 留意点
 - 以降に示す精度検証の結果には、第2.4節で説明する観測データ利用法の改良の効果も含まれる

本節で説明した全ての改良および第2.4節で示す観測データ利用法の改良を含めた試験の結果をまとめる。

統計検証として、次のような精度改善を含む特性の変化が認められた。

(予測精度を表すスコアについては第4.7節を参照のこと)

降水予測については、一般的に予測頻度が過大な傾向を持つこととなった(バイアスコアの増加)。他方、夏期においては、見逃し率の減少に伴い、予測適中を表すエクイタブルスレットスコアが改善した。冬期については目立った改善は認められなかった。

地上気象要素の予測精度は、一般的に改善した。特に夏期の乾燥バイアスや強風バイアスの改善が認められた。夏期の乾燥バイアスの改善には、モデルの改良に加え、アメダスの湿度観測データの同化利用の効果も寄与している。また、強風バイアスの改善には、格子サイズより小さな地形の起伏による影響を考慮したパラメタリゼーションの導入の効果が主として寄与していることを確認している。

この他、詳細な説明は省くが、上空についても、高度場や下層の風などの予測の精度向上が確認されている。

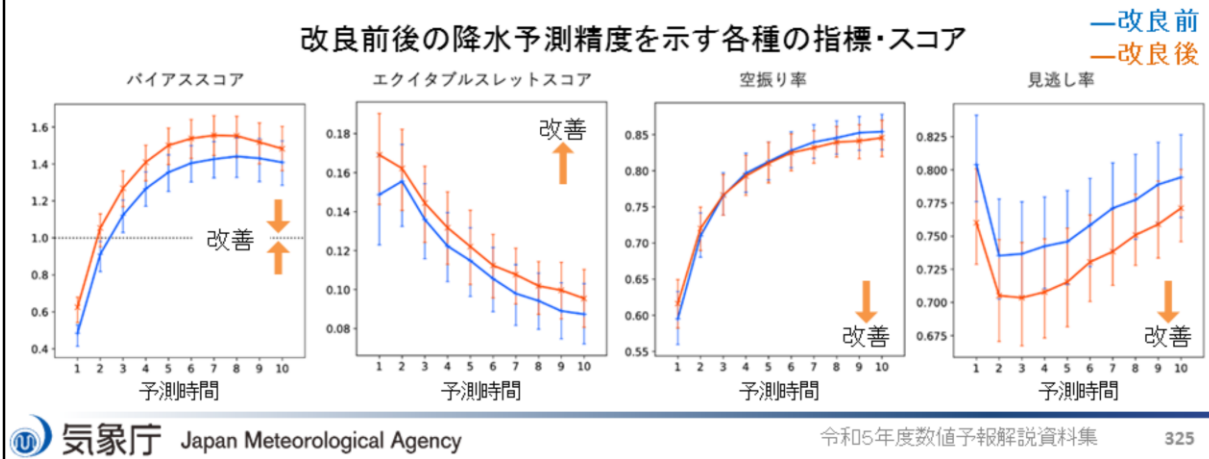
(試験の対象期間)

夏期: 2021年7月1日～7月15日 および 2021年8月11日～8月15日

冬期: 2022年1月1日～1月15日

降水予測の精度

- 夏期の10mm/h以上の降水予測の精度改善
 - エクイタブルスレットスコアは改善
 - バイアスコアは過大の傾向
 - 見逃し率の改善



降水予測の統計検証の結果を示す。

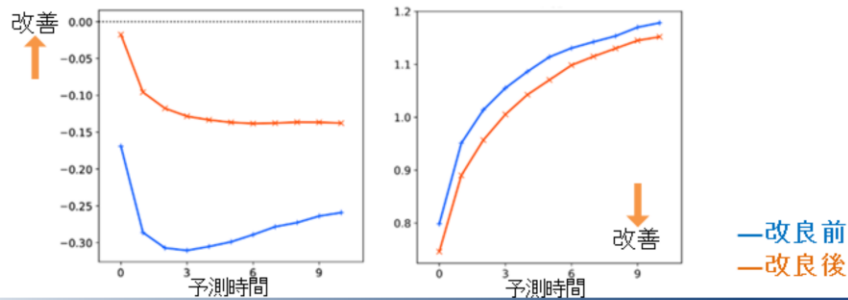
夏期を対象とした試験における、10mm/h以上の降水予測について、エクイタブルスレットスコアの改善が認められた。バイアスコア(予測頻度)は過大になる傾向を示すが、見逃し率が下がった一方で空振り率が増加しなかったため、総合して予測適中の指標(エクイタブルスレットスコア)の増加に繋がった。

なお、ここで示した改良後の結果には、第2.4節で説明する観測データ利用法の改良の効果も含まれる。

地上気象要素の予測の精度

- 地上風の強風バイアスが改善(図略)
 - 格子サイズより小さな地形の起伏による影響を考慮したパラメタリゼーションの導入が改善に寄与
- 地上比湿の乾燥バイアスが改善(夏期)
 - モデル改良に加え、アメダスの湿度データの新規データ同化利用(初期値の改善)の効果により予測誤差が低減

改良前後の地上比湿の平均誤差(左: g/kg)と二乗平均平方根誤差(右: g/kg)



地上気象要素の予測については、夏冬通じて全般的な精度改善が認められた。ここでは主な改善について説明する。

夏期および冬期を対象とした試験の結果はともに、強風のバイアス(平均誤差)が軽減し、より実況に近づいた。この改善には、水平格子サイズより小さな地形の起伏による乱流が大気下層の水平風に抵抗として働く効果のパラメタリゼーション(Turbulent Orographic Form Drag; TOFD)の導入が大きく貢献したことを確認している。(図略)

夏期を対象とした試験においては、乾燥バイアスが軽減し、予測誤差が低減した。この改善には、モデルの改良だけでなく、アメダスの湿度データの新規の同化利用の効果も寄与している。

なお、ここで示した改良後の結果には、第2.4節で説明する観測データ利用法の改良の効果も含まれる。

降水予測の改善事例

- 2021年8月13日の九州北部を中心とした大雨事例

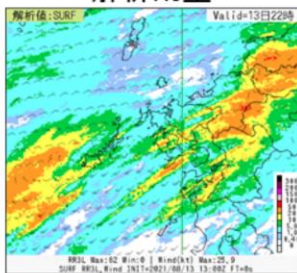
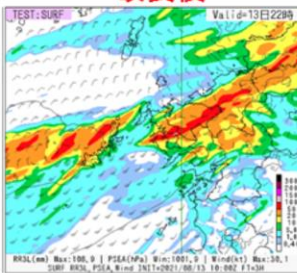
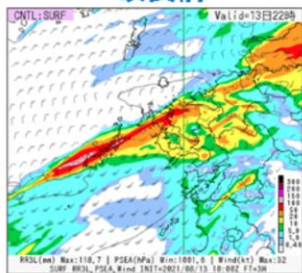
8月13日10UTC初期値の予測(着色は3時間積算降水量)

改良前

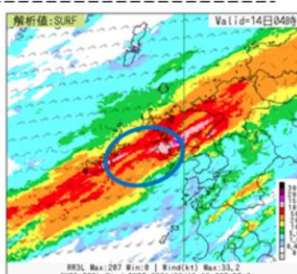
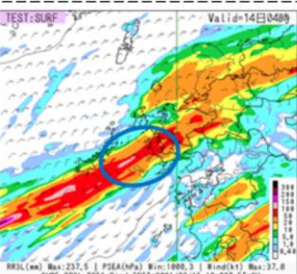
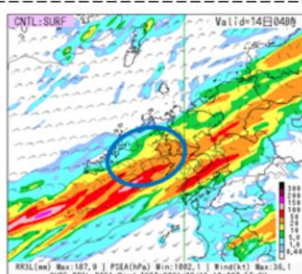
改良後

解析雨量

3時間予測:
改良前の解析雨量にない強雨域も含め、改良後は降水域がより実況に対応している



9時間予測:
強雨(赤～桃)の降水域が改善している



降水予測の改善事例を、夏期を対象とした試験から紹介する。

2021年8月13日の九州北部地方を中心とした大雨事例において、同日10UTC初期値の予測を示す。

3時間予測において、改良前は九州西海上の強雨域を含め、実況(解析雨量)との違いが明瞭な予測となっているが、改良後は観測との対応のより良い降水予測となっている。

また9時間予測においては、改良後の降水域、特に強雨域に関して、より実況に近づき、改善している。

なお、ここで示した改良後の結果には、第2.4節で説明する観測データ利用法の改良の効果も含まれる。

参考文献

- 気象庁数値予報開発センター, 2021: メソ解析とメソモデルの改良. 数値予報開発センター年報(令和2年), 気象庁数値予報開発センター, 48-55.
- 気象庁数値予報開発センター, 2022: メソ数値予報システムの鉛直層増強、予報時間延長、物理過程の改良. 数値予報開発センター年報(令和3年), 気象庁数値予報開発センター, 92-99.
- 気象庁数値予報開発センター, 2023: 局地モデルの改良. 数値予報開発センター年報(令和4年), 気象庁数値予報開発センター, 81-84.
- 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.