



第2章 応用編

2.1 局地数値予報システムの改良

変更の概要

- 予報時間の延長
 - 線状降水帯による大雨の半日程度前からの呼びかけに活用するため
 - 毎時実行のうち次項に示す3時間毎の初期時刻について、予報時間を10時間から18時間に延長
 - 対象となる初期時刻：
 - 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21 UTC
- 予報モデルの改良
 - 雲物理過程・放射過程・力学過程の改良
- 観測データ利用法の改良（初期値の改善）については第2.2節を参照

2024年（令和6年）3月5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。

より詳細な解説は、令和6年（2024年）数値予報開発センター年報（令和6年度末発行）を参照願う。

線状降水帯による大雨の半日程度前からの呼びかけに活用するため、毎時実行する局地予報のうち、00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21 UTCの3時間毎の初期時刻について、予報時間を10時間から18時間に延長した。その他の初期時刻の予報時間は、これまでのとおり10時間である。

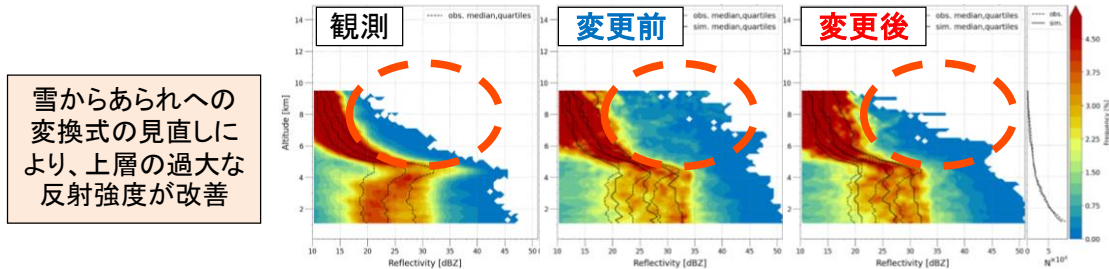
また、局地モデルの各過程のうち、雲物理過程、放射過程、力学過程を改良した。

同時に実施した観測データ利用法の改良については、第2.2節にて説明する。

予報モデルの改良

- 雲物理過程

- 雪からあられへの変換式および水蒸気から氷粒子への昇華の計算手法の見直し



シミュレートしたレーダー反射強度の高度別頻度分布で確認した改善例
(2021年7月1日18UTC初期値の10時間予報:名瀬レーダー)

- 放射過程

- 水雲による長波放射への影響の扱いの見直し

- 力学過程

- より計算安定性の高い時間積分手法に改良

局地モデルの雲物理過程では、令和5年3月に、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。(詳細は、数値予報開発センター年報(令和4年)第4.4節、数値予報開発センター年報(令和5年)第3.6節を参照のこと)

レーダーシミュレータによる検証から、上記の更新によって、あられが顕著に増加する変化があることがわかった。

雲物理過程のなかで、あられ生成の大部分を担うライミングによる雪からあられへの変換過程の定式を見直し、過剰だったあられの減少を確認した。

また同時に、水蒸気から氷粒子への昇華の計算手法の見直しも行った。

放射過程の改良では、水雲の長波に関する光学特性診断式をより適切となるよう変更した。採用した診断式は、全球モデルの放射過程で用いられているものと同じで、従来と比べて予測精度は同等だが、パラメータ数が少ない実装で扱いやすく、また、計算コストも抑えられる。

局地モデルの予報モデルである asuca の支配方程式は完全圧縮非静力学方程式であり、解に音波と重力波を含む。位相速度が速い音波や重力波を解に含む項を安定的に解くため、通常の積分時間間隔を分割した短い積分時間間隔(ショートタイムステップ)を用いて積分を行っている。今回、ショートタイムステップの時間積分手法に、より安定性の高いスキームを導入した。また今回採用した設定では、ショートタイムステップの時間積分の中で陰解法による計算を行っている鉛直運動量・温位・密度について、計算誤差が減少する。(Kimura et al. 2024)

改良による予測特性の変化

- 夏期
 - 降水は弱雨で見逃しが減少してスコア改善、強雨で過剰な予測頻度が改善
 - 強雨事例における空振りの軽減
 - 地上気象要素は気温や風速に僅かな改善
- 冬期
 - 降水は弱雨で空振り率がやや増加するも、ほとんど変化なし
 - 地上気象要素は気温や風速に僅かな改善
- 予報時間の延長の効果
 - 強雨や地上気象要素(気温・風速)について、メソモデルより精度の高い予測を半日以上前から提供可能
- ✓ 留意点
 - 以降に示す精度検証の結果には、第2.2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2.2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、夏期は弱雨の見逃しが減少してスコアが改善した。また、強雨の過剰な予測頻度が改善した。このことは、強雨事例における空振りの軽減として確認できる。冬期については目立った変化は認められなかった。

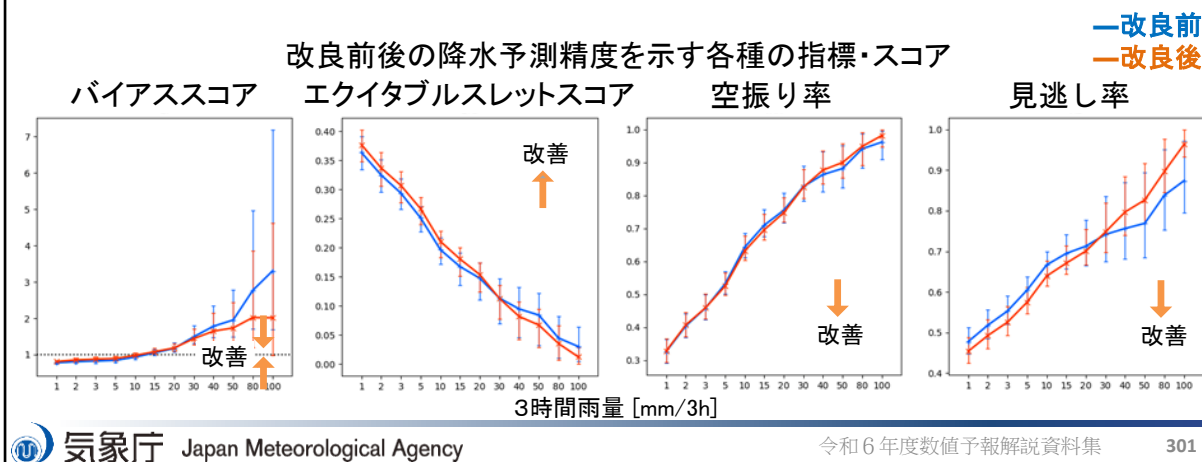
地上気象要素の予測精度は、夏冬ともに、気温や風速に僅かな改善があった。

さらに、予報時間を18時間に延長した効果として、従来メソモデルを利用していた半日程度前のリードタイムについても、強雨や地上気象要素のうち気温や風速について、メソモデルより精度の高い予測が利用可能となった。

降水予測の精度：夏期

・ 降水強度ごとの検証

- 弱雨(～20mm/3h)は見逃し率が減少し、エクイタブルスレットスコアも改善
- 強雨(40～100mm/3h)は予測頻度が低下(バイアススコアが減少)して改善があるが、見逃し率が増加し、エクイタブルスレットスコアが改悪傾向



降水予測の統計検証のうち夏期の結果を示す。

3時間雨量を閾値とした降水強度毎の検証結果を示す。改良後は改良前と比較して、20mm/3h 程度までの弱雨では見逃し率が減少し、エクイタブルスレットスコアも改善を示している。40～100mm/3h の範囲については、改良後は強雨ほど予測頻度の低下によるバイアススコアの改善が見られる。ただし、見逃し率は増加し、対応してエクイタブルスレットスコアがやや改悪傾向にある。

なお、ここで示した改良後の結果には、第2.2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。新規の観測データを局地解析で利用することによる初期値の改善とともに、側面境界値には同じく新規の観測データを利用することで改善したメソ解析を初期値としたメソモデルを利用している。

(試験の対象期間)

夏期: 2023年7月3日～7月10日

実行頻度: 毎時(00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21 UTC初期値は 18時間、その他の初期値は 10時間予報)

(検証条件)

参照値: 解析雨量

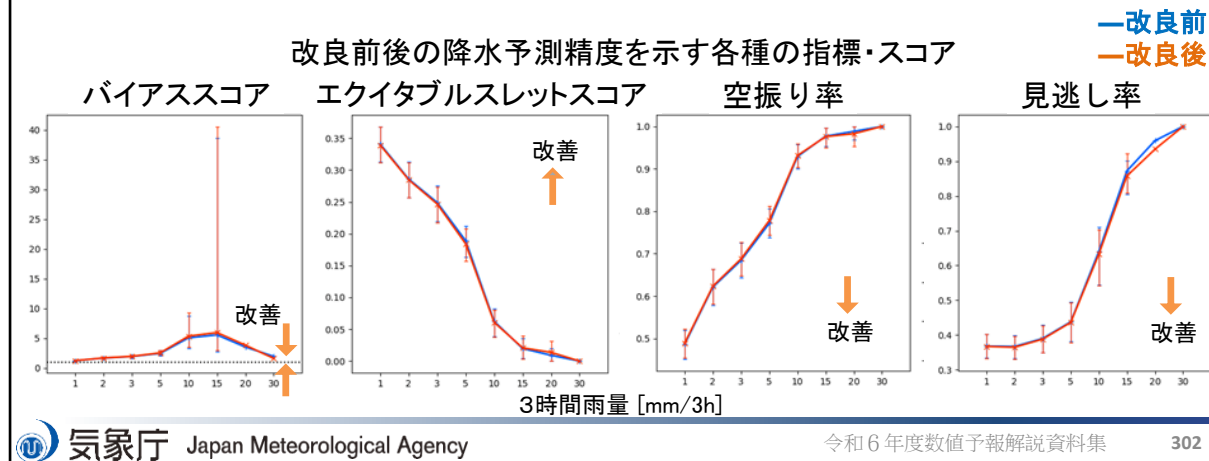
対象: 前3時間積算降水量(予報時間: 18時間または9時間までの3時間毎)

格子間隔: 10km

降水予測の精度：冬期

・ 降水強度ごとの検証

- 弱雨(1～10mm/3h)で空振り率がやや増加し、エクイタブルスレットスコアの僅かな改悪があるが、スコアはほぼ変化しない



降水予測の統計検証のうち冬期の結果を示す。

3時間雨量を閾値とした降水強度毎の検証結果を示す。改良後は改良前と比較して、1～10mm/3hの範囲の弱雨について、空振り率の若干の増加があり、それに対応してエクイタブルスレットスコアの僅かな改悪傾向があるが、改良の前後でスコアはほとんど変化しなかった。

なお、ここで示した改良後の結果には、第2.2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。新規の観測データを局地解析で利用することによる初期値の改善とともに、側面境界値には同じく新規の観測データを利用することで改善したメソ解析を初期値としたメソモデルを利用している。

(試験の対象期間)

冬期: 2023年1月23日～1月30日

実行頻度: 毎時(00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21 UTC初期値は18時間、その他の初期値は10時間予報)

(検証条件)

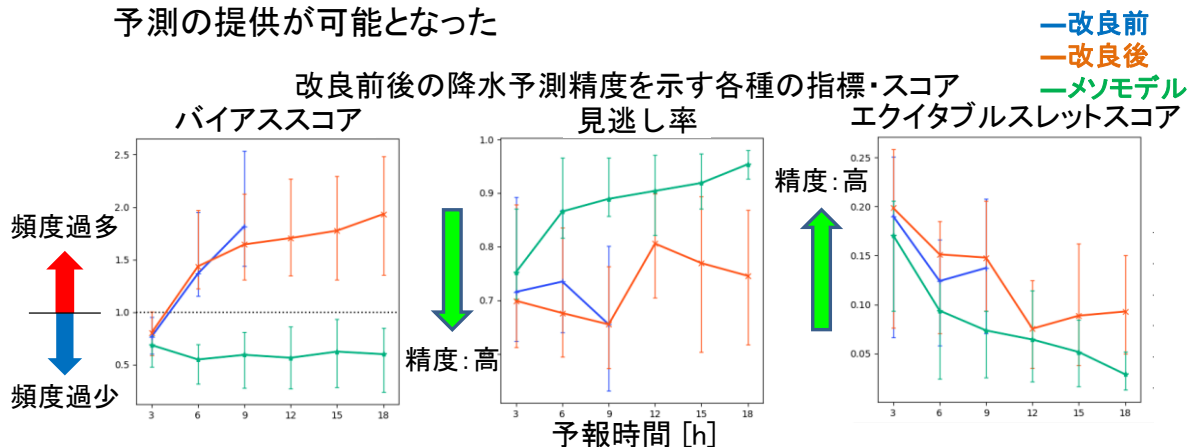
参照値: 解析雨量

対象: 前3時間積算降水量(予報時間: 18時間または9時間までの3時間毎)

格子間隔: 10km

降水予測の精度 予報時間の延長の効果

- 30 mm/3h 以上の降水に関する予報時間別の精度検証
 - 局地モデルは改良の前後によらず、メソモデルより強雨の予測頻度が高い
 - 空振り率は同程度(図略)だが、見逃し率は局地モデルの方が低く、これにより局地モデルのエクイタブルスレットスコアがメソモデルより高くなっている
 - 局地モデルの予報時間を延長することで、メソモデルよりも精度の高い強雨予測の提供が可能となった



降水予測の統計検証の結果を、予報時間の延長の効果の観点で示す。

30 mm/3h 以上の降水について、局地モデルの改良の前後とメソモデルの予測精度を比較した。

局地モデルは、メソモデルより強雨の予測頻度が高いことがバイアスコアからわかる。局地モデルとメソモデルの空振り率は同程度(図略)である一方、見逃し率は局地モデルが低く、このために局地モデルのエクイタブルスレットスコアが、延長した18時間後までに亘って、メソモデルより高くなっている。局地モデルの予報時間を延長することで、メソモデルよりも精度の高い強雨予測の提供が可能となった。また、局地モデルの改良の前後で比較すると、各指標・スコアで改良後が上回り、予測精度が改善したことがわかる。(ただし、改良前は10時間予報)

なお、ここで示した改良後の結果には、第2.2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。新規の観測データを局地解析で利用することによる初期値の改善とともに、側面境界値には同じく新規の観測データを利用することで改善したメソ解析を初期値としたメソモデルを利用している。

(試験の対象期間)

夏期: 2023年7月3日～7月10日

実行頻度: 毎時(00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21 UTC初期値は 18時間、その他の初期値は 10時間予報)

(検証条件)

参照値: 解析雨量

対象: 前3時間積算降水量(予報時間: 18時間または9時間までの3時間毎)

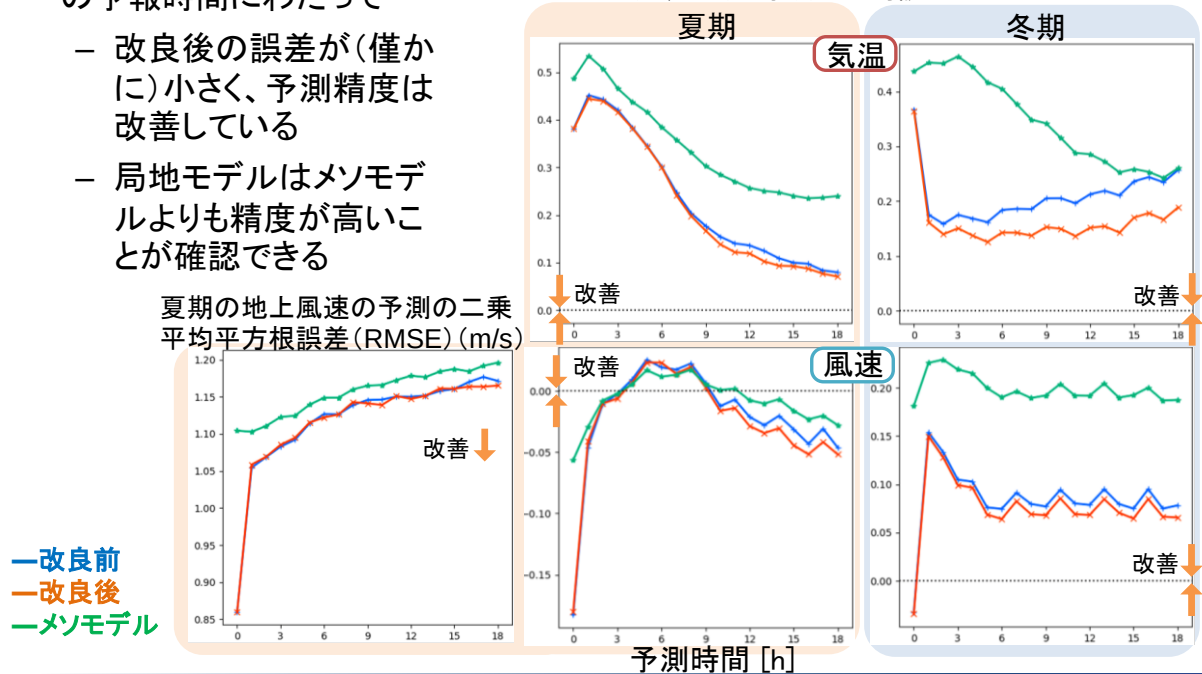
格子間隔: 20km

地上気象要素の予測の精度

- 夏冬ともに18時間先までの予報時間にわたって

- 改良後の誤差が(僅かに)小さく、予測精度は改善している
- 局地モデルはメソモデルよりも精度が高いことが確認できる

局地モデルの改良前後およびメソモデルの地上気温(上; °C)と地上風速(下; m/s)の予測の平均誤差



地上気象要素の予測については、気温と風速に関して、程度は僅かだが夏冬通じて精度改善が認められた。

ここでは、改良前についても18時間予報に延長した場合で調査した。

局地モデルの改良によって、地上気温の予測は、夏期および冬期ともに、18時間先にわたって平均誤差が減少した。二乗平均平方根誤差(RMSE)についても僅かな改善が認められた(図略)。地上風速の予測については、夏期は平均誤差が僅かに増加するが、RMSEは減少したことから、全般的に精度改善していると言える。冬期は平均誤差、RMSE(図略)ともに改善が見られた。

また、メソモデルと比較してみると、局地モデルの方が18時間先にわたって精度の高い予測ができることがわかる。

なお、ここで示した改良後の結果には、第2.2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。新規の観測データを局地解析で利用することによる初期値の改善とともに、側面境界値には同じく新規の観測データを利用することで改善したメソ解析を初期値としたメソモデルを利用している。

(試験の対象期間)

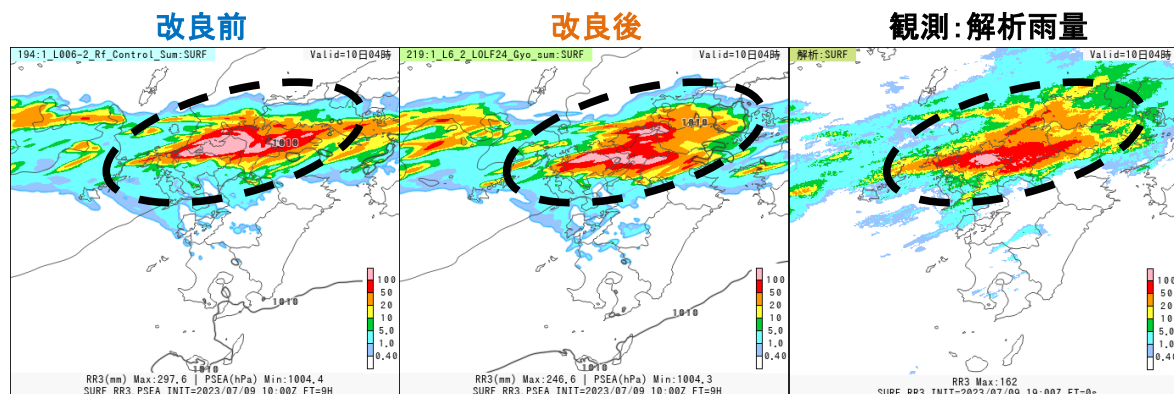
夏期: 2023年7月3日～7月10日

冬期: 2023年1月23日～1月30日

降水予測の改善事例

強雨の空振りの軽減

- 2023年7月10日4時(JST)を対象とする九州北部を中心とした大雨事例



7月9日10UTC初期値の9時間予測(着色は3時間積算降水量)

100mm/3h 以上の降水域(桃色)について、

改良前は、観測に比べて広すぎる

改良後は、範囲を抑えつつ予測できている

「強雨の予測頻度の低下」として顕れているように、本例のような改善傾向が多く確認できた

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。

2023年7月10日の九州北部地方を中心とした大雨事例における、9日10UTC初期値の9時間予測を示す。

改良の前後のどちらも九州北部の大雨の予測ができているが、100mm/3h 以上の降水域(桃色)に注目すると、改良前は観測に比べて広がり過ぎ、予測が過剰であるのに対して、改良後ではその範囲を抑えられている。

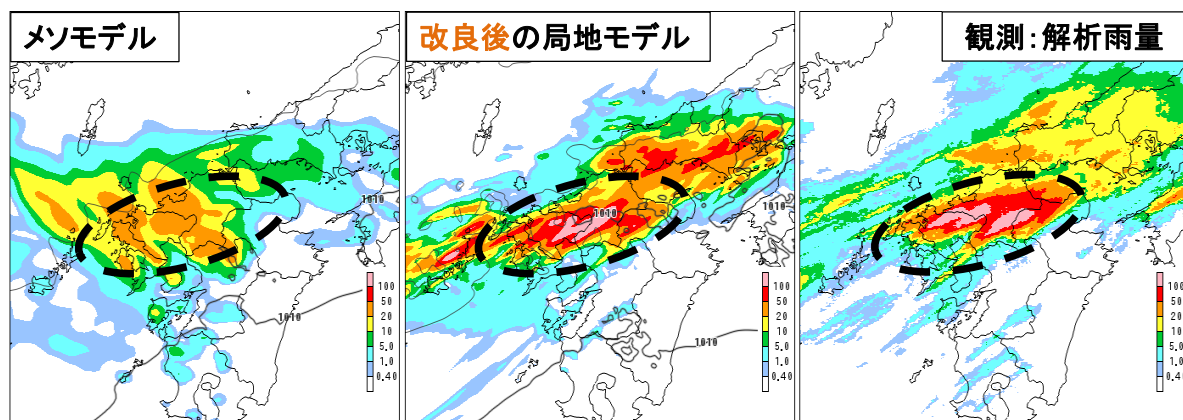
統計検証において強雨の予測頻度の低下として顕れているように、本例のような強雨の空振りを軽減した事例を多く確認している。

なお、ここで示した改良後の結果には、第2.2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。新規の観測データを局地解析で利用することによる初期値の改善とともに、側面境界値には同じく新規の観測データを利用することで改善したメソ解析を初期値としたメソモデルを利用している。

降水予測の改善事例

予報時間の延長の効果

- 2023年7月10日6時(JST)を対象とする九州北部を中心とした大雨事例



7月9日06UTC初期値の15時間予測(着色は3時間積算降水量)

改良後の局地モデルでは15時間予測において、100mm/3h(桃色)の予測ができており、メソモデルと比べて観測の分布に近い予測ができています。

降水予測の改善事例を、予報時間の延長の効果として、つまりメソモデルとの比較の観点で紹介する。

2023年7月10日の九州北部地方を中心とした大雨事例における、9日06UTC初期値の15時間予測を示す。

メソモデルは観測のような強雨の予測ができていないのに対し、予報時間を延長した改良後の局地モデルは位置や降水量についてよく予測できている。

本事例のように、従来メソモデルを利用していた半日程度前のリードタイムについて、局地モデルが表現可能な強雨の予測が利用可能となった。

なお、ここで示した改良後の結果には、第2.2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。新規の観測データを局地解析で利用することによる初期値の改善とともに、側面境界値には同じく新規の観測データを利用することで改善したメソ解析を初期値としたメソモデルを利用している。

参考文献

- 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.
- 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.
- Kimura,T., K. Matsubayashi, K. Aranami, and Y. Kitamura, 2024: Strong Stability Preserving Runge-Kutta method in HE-VI and split-explicit short time step integration. WGNE Res. Activ. in Earth System Modell., 54, 9-03.