



第2章 応用編

2.2 局地数値予報システムの改良

局地数値予報システム (LA・LFM)



	局地解析(LA)	局地モデル(LFM)
モデル	asuca-Var (3DVar)	asuca
格子間隔	5 km (633×521)	2 km (1581×1301)
鉛直層	48層 (地上～約21.8 km)	58層 (地上～約20.2 km) → 76層 (地上～約21.8 km)
積分時間間隔	24秒	50/3 (= 16.666...)秒 → 12秒
第一推定値	メソモデル (MSM)	
側面境界値	メソモデル (MSM)	
予報頻度・時間	1日 24回、10時間	

※赤字は今回の更新部分

• 利用目的

- 航空気象情報、防災気象情報、降水短時間予報
- 局地的な大雨や飛行場における風の急変等、目先数時間程度の局地的な現象が予測対象

2021年3月31日に局地数値予報システム(局地解析・局地モデル; スライド参照)の改良を実施した。主な変更項目は、局地モデル(LFM)力学過程、雲・放射過程、境界層・乱流過程、積雲対流過程、接地層・地表面過程の改良である。

ここでは、変更項目の概要と予報特性の変化、および留意点について示す。なお、asucaに関する全般的な説明については気象庁予報部(2014)を、導入以降の開発成果については気象庁予報部(2020a)を参照していただきたい。

システムの変更

変更項目

- LFM力学
 - 鉛直層の増強
- 雲・放射
 - 氷雲量診断手法の更新※
- 境界層・乱流
 - 輸送の精緻化
- 積雲対流
 - 特殊処理の廃止※
- 接地層・地表面
 - フラックス交換係数の精緻化※
 - 顕熱フラックス診断の改良
 - 蒸発散フラックス計算の改良
 - 地表面パラメータの更新
 - 熱粗度
 - 地表面アルベド
 - 積雪関連パラメータ※

※令和2年3月のメソモデル(MSM)の改良時に導入された項目

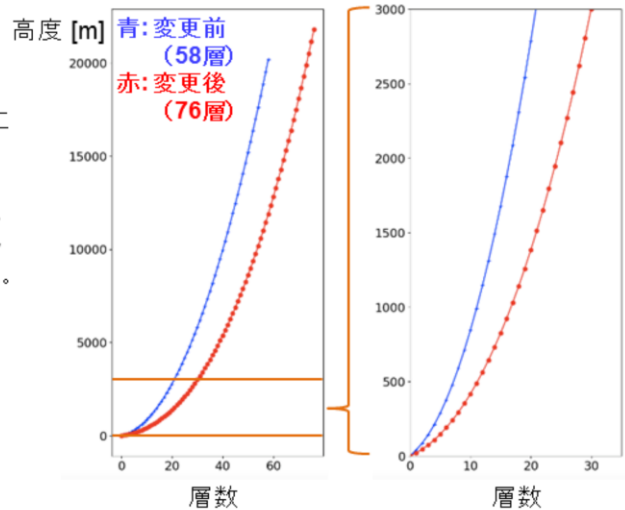
変更項目は、LFM力学過程、雲・放射過程、境界層・乱流過程、積雲対流過程、接地層・地表面過程の改良である。

なお、※が付いている項目は令和2年3月のメソモデル(MSM)の改良時(MSM2003; 気象庁予報部 2020b; 気象庁情報基盤部 2021)に導入されたものであり、これらはLFMとMSMがasucaという同一の数値予報モデルの枠組みで開発されコードが多く共有されていることで、本改良で比較的容易に取り込むことができたものとなる。

LFMの鉛直層の増強

鉛直層配置
(右列は下層拡大版)

- 鉛直層について変更
 - 層数を58層から76層に増強。
 - モデルトップを約20.2kmから約21.8kmに引き上げ。
- 合わせて時間積分についても変更
 - 積分時間間隔を16.66...sから12sに変更。
 - 計算安定性確保のため。



LFMの鉛直層については次の2点の変更を行った。

- 層数を58層から76層に増強。
- モデルトップ (*1) を約20.2kmから約21.8kmに引き上げ。

これらの変更により層配置・上部レイリーダンピング層厚がMSMと一致するようになり、また2点目の変更によりモデルトップがメソ解析・MSM・局地解析・LFMで一致するようになった。側面境界値を提供するMSMと鉛直層を揃えることで、モデル本体と側面境界の整合性がより高まる。なお、局地解析の方は鉛直層を変更していない。

合わせて、計算安定性確保のために次の変更も行った。

- 積分時間間隔を16.66...sから12sに変更。

この変更により安定性の目安とされる鉛直クーラン数の最大値の頻度分布は変更前と同程度になった(図略)。

これらの変更で高度3000m以下の層数が20層から30層に、最下層高度が20mから10mになり、鉛直方向の表現が下層を中心に高解像度化された結果、現象をより緻密に表現できるようになった。

(*1) 最上層セル上端高度、すなわち最上層ーフレベル。

放射過程における氷雲量診断手法の更新

- 変更前の放射過程では格子内雲量を診断するために、雲物理過程とは別に雲氷量を診断していた。
- しかし、このように診断した雲氷量 ($q_{i,Rad}$) は雲物理過程で予測する雲氷量 (q_i) と比べて大きいことが多く、結果として上層雲が広がり過ぎる傾向があった。
- そこで、雲物理過程で予測する雲氷量 (q_i) から雲量を診断できる定式 (Wilson and Ballard 1999) に変更した。
- また、雲量診断で用いる氷量には「雲氷」というカテゴリ (q_i) だけでなく「雪」というカテゴリ (q_s) も考慮するように変更 ($q_i + q_s$ に変更) した。

変更前の放射過程では格子内雲量を診断するために、格子内のゆらぎに応じて雲物理過程とは別に凝結量を診断し (Sommeria and Deardorff 1977)、雲氷量も気温に依存した氷過飽和を考慮することにより診断していた。

しかし、このように診断した雲氷量 ($q_{i,Rad}$) は雲物理過程で予測する雲氷量 (q_i) と比べて大きいことが多く、結果として上層雲が広がり過ぎる傾向があった。

そこで、雲物理過程で予測する雲氷量 (q_i) から代数的に雲量を診断できる定式 (Wilson and Ballard 1999) を採用し、雲氷量の生成・消滅を雲物理過程に任せるように変更した。

また、降雪の放射収支計算への影響が無視できないという指摘 (Chen et al. 2018 など) があることを踏まえ、雲量診断で用いる氷量には「雲氷」というカテゴリ (q_i) だけでなく「雪」というカテゴリ (q_s) も考慮するように変更 ($q_i + q_s$ に変更) した。

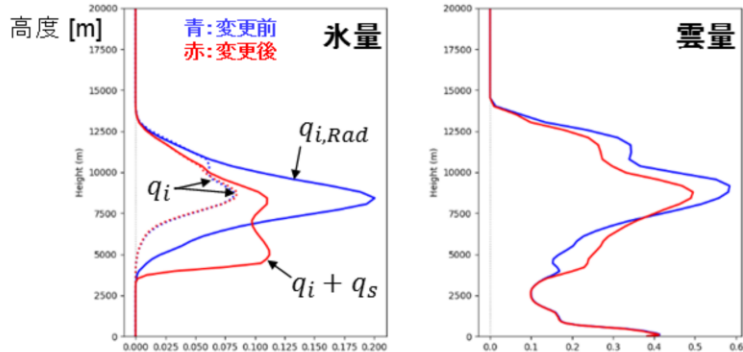
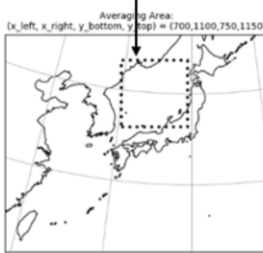
。

氷雲量の変化

鉛直プロファイル

(対象時刻: 2018年6月29日 12JST、FT=6)

検証対象領域



- 氷量
 - 高度8km～12km付近では減少。
 - 一方、高度5km～7km付近では雪カテゴリーを考慮したことにより増加。
 - 変更前に放射過程で用いていた量は雲物理過程の診断量の概ね2倍程度に見積もられていたが、変更後には高度8km～12km付近で大幅に緩和されている。
- 雲量
 - 氷量に対応して、高度8km～12km付近で減少、高度5km～7km付近で増加。
 - 高度8km～12km付近で減少していることから、概ね狙い通りの変化。

放射過程の変更結果の例として、2018年6月29日 12JST (FT=6) の氷量・雲量の鉛直プロファイルを示す。

氷量は、高度8km～12km付近では減少した一方で、高度5km～7km付近では雪カテゴリーを考慮したことにより増加した。変更前に放射過程で用いていた量は雲物理過程の診断量の概ね2倍程度に見積もられていたが、変更後には高度8km～12km付近で大幅に緩和されている。

雲量は、氷量の変化に対応して、高度8km～12km付近で減少し、高度5km～7km付近で増加した。高度8km～12km付近で減少していることから、概ね狙い通りの変化となっている。

境界層・乱流過程における輸送の精緻化

温位・比湿などの鉛直フラックスのサブグリッドスケール (SGS) 輸送計算において、Mixed SGS scheme (Moeng et al. 2010) の定式を用いるように変更した。

$$\begin{aligned}
 \tau_{wc} &= \overline{w'c'} - \tilde{w}\tilde{c} \\
 &= \underbrace{[\overline{\tilde{w}\tilde{c}} - \tilde{w}\tilde{c}]}_{\text{Leonard項}} + \underbrace{[\overline{\tilde{w}c'} + \overline{w'\tilde{c}} - \tilde{w}\tilde{c}' - \tilde{w}'\tilde{c}]}_{\text{Cross項}} + \underbrace{[\overline{w'c'} - \tilde{w}'\tilde{c}']}_{\text{Reynolds項}} \\
 &= \frac{K_L}{12} \left(\Delta x^2 \frac{\partial w}{\partial x} \frac{\partial c}{\partial x} + \Delta y^2 \frac{\partial w}{\partial y} \frac{\partial c}{\partial y} \right) + \tau_{wc,Kgrad} \quad [K_L = 4]
 \end{aligned}$$

c : 温位・比湿など
 w : 鉛直風速
 \tilde{x} : x の空間フィルタ値(モデルに解像される成分とほぼ同等)
 $x' = x - \tilde{x}$ (それ以外の成分)
 $\Delta x, \Delta y$: それぞれ x, y 方向の格子間隔

格子間隔程度の乱流による輸送
(本変更で追加)

サブグリッドスケールの乱流による輸送(変更前と同様に計算)

本変更により、格子間隔程度から実効解像度の間のスケールの乱流による輸送を考慮できるようになった(図略)。

Moeng et al. (2010) では、高解像度LES (Large Eddy Simulation) の解析結果に基づき深い対流においては様々なスケールの輸送が重要であることが示されており、深い対流をモデルで表現するためには格子スケールの乱流による輸送効果を表現することが重要であると述べられている。

しかし、変更前は、温位・比湿などの鉛直フラックスのサブグリッドスケール (SGS) 輸送計算において、サブグリッドスケールの乱流による輸送項 (Reynolds項) のみを考慮しており、格子スケールの乱流を十分に考慮できていなかった。

そこで、本変更では、Mixed SGS scheme (Moeng et al. 2010) の定式を用いるように変更し、サブグリッドスケールのうちモデルに解像される乱流による輸送項 (Leonard項) と格子スケールとサブグリッドスケールの相互作用による輸送項 (Cross項) により格子間隔程度の乱流を陽に考慮するようにした。

なお、定数 K_L は値に自由度があるが、本変更では Moeng (2014) と Verrelle et al. (2017) を参考に 4 を基本とした上で、計算安定性確保のために

$$K_L \leq \frac{6 \Delta z}{\Delta t |\Delta w|}$$

という上限値 (Hanley et al. 2019) および高度200m以下ではLeonard項を計算しないという制限を設けた。ここで、 $\Delta z, \Delta t, \Delta w$ はそれぞれ鉛直層間隔、積分時間間隔、鉛直風速変化量である。

積雲対流過程における特殊処理の廃止

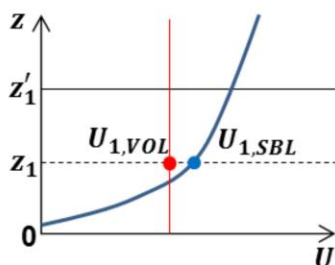
- 変更前は、計算安定性確保のために積雲対流過程のKFスキーム (Kain-Fritsch scheme; Kain and Fritsch 1990; Kain 2004) に人為的な特殊処理を施していた。
 - 格子平均の上昇流が強い場合 (3 m s^{-1} 以上) は温位などの時間変化率に成層を大きく安定化させるような値を返すようにしていた。
- 2015年にasucaが導入されて以降は鉛直移流を時間分割して計算することで、より安定に計算できるようになっており、計算安定性に支障がない限り科学的事実に基づかない人為的な特殊処理を用いるべきではないことから、本変更ではこの**特殊処理を廃止**した。

変更前は、計算安定性確保のために積雲対流過程のKFスキーム (Kain-Fritsch scheme; Kain and Fritsch 1990; Kain 2004) に人為的な特殊処理を施しており、格子平均の上昇流が強い場合 (3 m s^{-1} 以上) は温位などの時間変化率に成層を大きく安定化させるような値を返すようにしていた。

2015年にasucaが導入されて以降は鉛直移流を時間分割して計算することで、より安定に計算できるようになっており、計算安定性に支障がない限り科学的事実に基づかない人為的な特殊処理を用いるべきではないことから、本変更ではこの特殊処理を廃止した。

地表面フラックス交換係数の精緻化

水平風速計算の模式図



変更前(プロファイル上の値)

$$U_{1,SBL} = \frac{u_*}{\kappa} \log\left(\frac{z_1}{z_0}\right)$$

変更後(高度平均値)

$$U_{1,VOL} = \frac{1}{z_1} \int_0^{z_1} \frac{u_*}{\kappa} \log\left(\frac{z}{z_0}\right) dz$$

u_* (は摩擦速度、 κ はカルマン定数、 z_0 は相度長)

- 地表面フラックス計算では、水平風速に接地境界層相似則に基づく鉛直プロファイルを仮定している。
- 変更前は大気最下層格子点値を用いて地表面フラックスを診断していたが、asucaが採用している有限体積法では厳密には「セル平均値」を想定しており、それらの間には不整合があった。
- そこで、セル平均値を用いて地表面フラックスを診断するように定式を見直した。
- なお、 $U_{1,VOL} < U_{1,SBL}$ であるため、フラックスの交換係数は大きくなる。

地表面フラックス計算では、水平風速に接地境界層相似則に基づく鉛直プロファイルを仮定している。

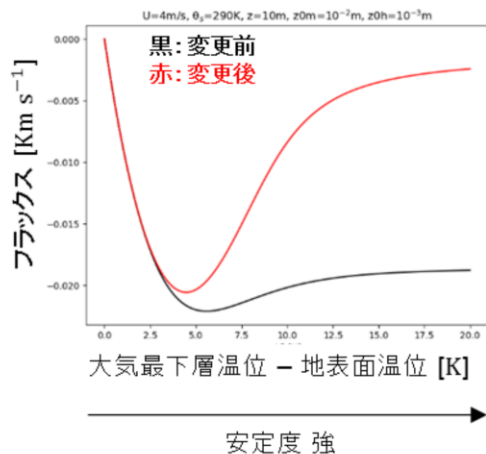
変更前は大気最下層格子点値を用いて地表面フラックスを診断していたが、asucaが採用している有限体積法では厳密には「セル平均値」を想定しており、それらの間には不整合があった。

そこで、セル平均値を用いて地表面フラックスを診断するように定式を見直した。

なお、 $U_{1,VOL} < U_{1,SBL}$ ((変更後の値) < (変更前の値)) であるため、フラックスの交換係数は大きくなる。

地表面顕熱フラックス診断の改良

地表面顕熱フラックス
(地表面から大気への向きが正)



- 安定時には大気から地表面への顕熱フラックスが生じるため、接地層・地表面過程ではこれを普遍関数という安定度の関数を用いて計算している。
- 変更前に用いていたBeljaars and Holtslag (1991) の普遍関数は、強安定時に熱輸送が抑制される効果が弱かった。
- 一方、Gryanik et al. (2020) の普遍関数は、その効果がより強い。
- そこで、普遍関数をGryanik et al. (2020) のものに変更した。

安定時には大気から地表面への顕熱フラックス(地表面顕熱フラックス; 図では負の値)が生じるため、接地層・地表面過程ではこれを普遍関数という安定度の関数を用いて計算している。

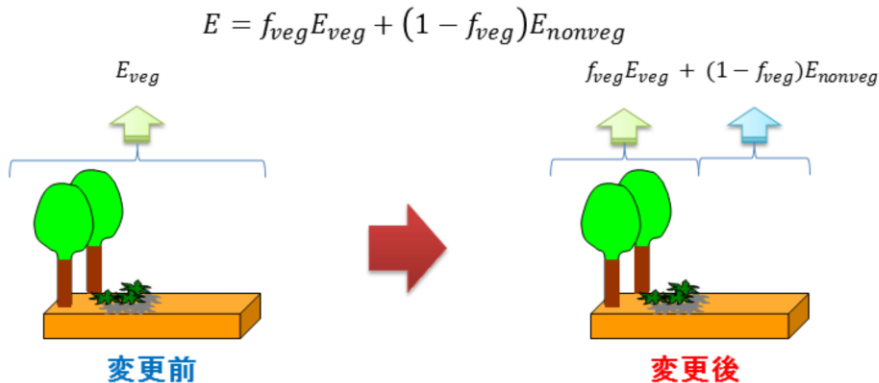
変更前に用いていたBeljaars and Holtslag (1991) の普遍関数は、強安定時に熱輸送が抑制される効果が弱かった。

一方、Gryanik et al. (2020) の普遍関数は、近年の観測と整合する関数形として提案されており、その効果がより強い(図を参照)。

そこで、普遍関数をGryanik et al. (2020) のものに変更した。

地表面蒸発散フラックス計算の改良

- 地表面潜熱フラックスは蒸発と蒸散のフラックスの和(蒸発散フラックス)であり、そのうち蒸散フラックスは植生気孔抵抗を考慮して計算している。
- 変更前は、格子全体に植生があるという扱いで植生気孔抵抗を考慮していた。
- そこで、本変更では、植生被覆率を格子点別定数値として新たに導入し、**植生被覆率に応じて植生気孔抵抗を考慮する**ようにした。



地表面潜熱フラックスは蒸発と蒸散のフラックスの和(蒸発散フラックス)であり、そのうち蒸散フラックスは植生気孔抵抗を考慮して計算している。

変更前は、格子全体に植生があるという扱いで植生気孔抵抗を考慮していたため、各格子内の植生被覆率の大小を反映できていなかった。

そこで、本変更では、植生被覆率を格子点別定数値として新たに導入し、植生被覆率に応じて植生気孔抵抗を考慮するようにした。すなわち、格子内の植生域と非植生域の被覆率に応じて、地表面潜熱フラックスを計算するようにした。

$$E = f_{veg}E_{veg} + (1 - f_{veg})E_{nonveg}$$

ここで、 E は地表面潜熱フラックス、 f は被覆率、添え字 $veg, nonveg$ はそれぞれ植生域・非植生域を表す。

なお、植生被覆率としては、Terra衛星およびAqua衛星のMODIS観測値のNDVIプロダクトから作成されたMaximum Green Vegetation Fraction (Broxton et al. 2014; 現行GSMでも利用しているもの)を採用した。

地表面パラメータの更新

- 熱粗度
 - 土地利用区分によらない計算値だったが、都市域の値をKanda et al. (2005) に基づく計算値に変更した。
- 地表面アルベド
 - 変更前は地表面種別・土地利用・植生区分に応じて設定。
 - TerraおよびAqua衛星のMODIS観測データに基づく気候値からの計算値に変更。
 - 本変更により陸上の大部分でアルベドが低下した。
- 積雪関連パラメータ
 - 雪格子の熱伝導率と熱容量を地中全層「雪」から表層のみ「雪」に変更。
 - 森林域での積雪被覆率を0.7から0.5に更新。

地表面パラメータについては、次の3点に関する変更を行った。

- 熱粗度
 - 変更前は土地利用区分によらず $z_{0m}/7.4$ (z_{0m} は運動量粗度) で計算していた。
 - そこで、都市域の値をKanda et al. (2005) に基づき $z_{0m}/403$ に変更した。なお、都市域はUSGS (United States Geological Survey) によるGLCC (Global Land Cover Characterization; Loveland et al. 2000) の土地利用区分が「Urban class」の格子と、国土交通省による国土数値情報 (<https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>) の植生区分が「建物用地」・「幹線交通用地」・「その他の用地」の格子が該当するとした(区分に関連する仕様は草開 (2020) を参照)。
- 地表面アルベド
 - 変更前は地表面種別・土地利用区分・植生区分に応じて設定していたが、これらの方法は任意性があり、客観性を確保するのが難しかった。
 - そこで、Terra衛星およびAqua衛星のMODIS観測値に基づく気候値からの計算値に変更した。本変更により陸上の大部分でアルベドが低下した。
- 積雪関連パラメータ
 - 雪格子の熱伝導率と熱容量を地中全層「雪」から表層のみ「雪」に変更した。
 - 森林域での積雪被覆率を0.7から0.5に更新した。

変更項目のまとめ

- 鉛直層増強(モデルのみ)
 - 層数を58層から76層に増強
 - モデルトップを約20.2kmから約21.8kmに引き上げ
- 物理過程の改良(解析・モデルともに適用)
 - 放射過程における氷雲量診断手法の更新
 - 境界層・乱流過程における輸送の精緻化
 - 積雲対流過程における特殊処理の廃止
 - 地表面フラックス交換係数の精緻化
 - 地表面顕熱フラックス診断の改良
 - 地表面蒸発散フラックス計算の改良
 - 地表面パラメータの更新

以上より、変更項目をまとめるとスライドの通りとなる。

予測特性の変化

LFM予測特性の変化の概要

- 地上要素
 - 冬季の夜間低温バイアスが大幅に改善。
 - 夏季の夜間強風バイアスが改善。
- 大気要素
 - 冬季の対流圏で全層的に気温が改善。
 - 夏季の対流圏下層で気温・比湿が悪化傾向(本資料では図略)。
- 上層雲量・大気上端上向き長波放射量 (OLR)
 - 上層雲量は概ね減少傾向。
 - OLRは概ね増加することで観測に近づいている。
- 降水
 - 夏季のエクイタブルスレットスコア(ETS)が改善傾向。
 - 夏季の空振り率が減少傾向で改善傾向。
 - 不安定降水事例や強雨事例で改善するものが見られた。
 - 冬季の1mm/hは悪化傾向(本資料では図略)。

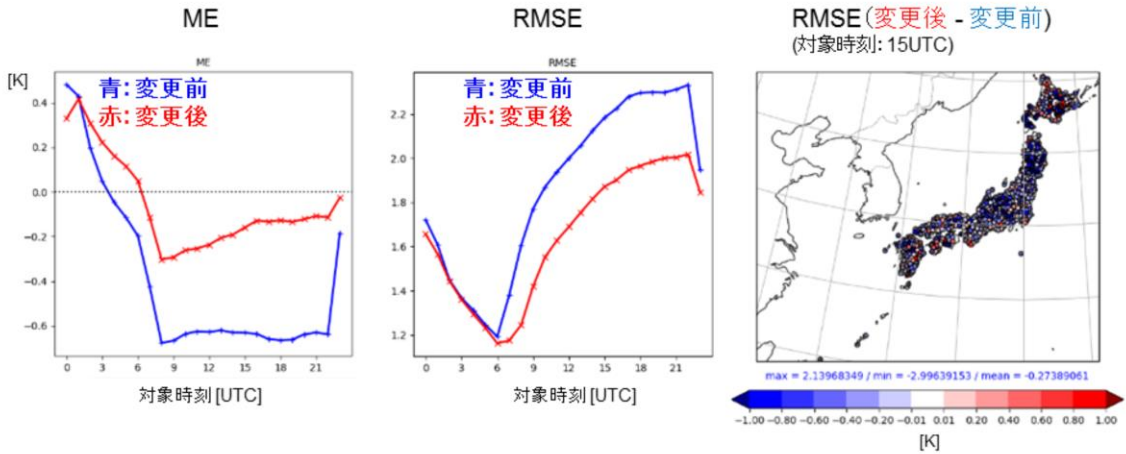
以上で述べた変更項目を導入したときのLFM予測特性の変化をまとめると、スライドの通りとなる。なお、統計検証や事例確認を行うために実施した実験では、夏季期間は2019年8月21日～8月31日、冬季期間は2020年1月11日～1月21日としており、変更前後の実験の差には令和3年3月の全球数値予報システム更新による境界値変化の影響も含まれており、これは冬季の中上層のプロファイル改善と夏季の予報初期の降水悪化として一部寄与していることが確認されている。

以下では、個々の具体的な結果を確認する。

地上気温の改善(冬季期間)

対アメダス検証結果

(冬季期間: 2020年1月11日~1月21日; 以下同じ)



- 平均誤差 (ME): 変更前に見られた夜間低温バイアスが大幅に改善。
- 二乗平均平方根誤差 (RMSE): 全対象時刻で減少して改善。

地上気温の対アメダス検証結果を示す。

平均誤差 (ME; 左列) は変更前に見られた夜間低温バイアスが大幅に改善している。

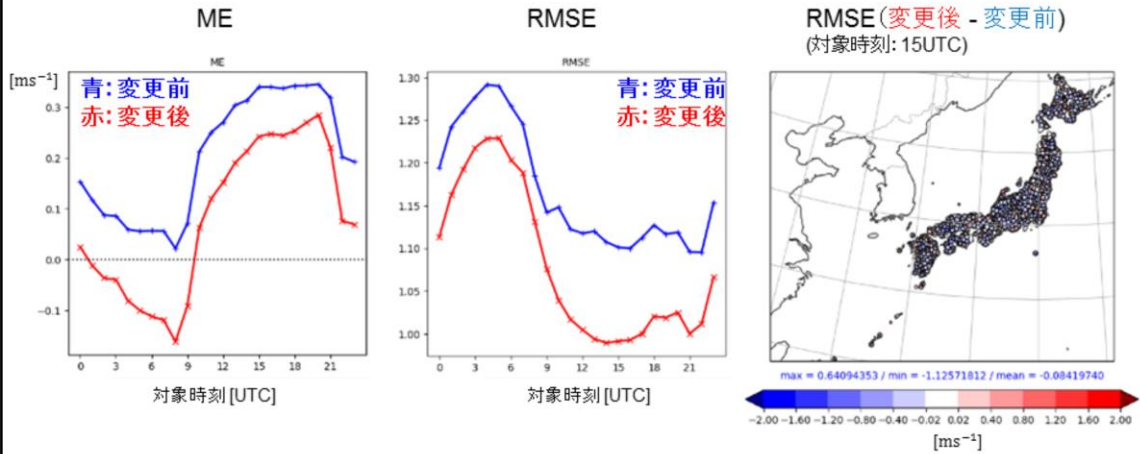
二乗平均平方根誤差 (RMSE; 中列) も全対象時刻で減少して改善しており、水平分布図 (右列) で見ても全国的に減少している地点が多い。

なお、これらの変化には、下層を中心とする高解像度化や接地層・地表面過程の変更が主に影響していると考えられる。

地上風速の改善(夏季期間)

対アメダス検証結果

(夏季期間: 2019年8月21日~8月31日; 以下同じ)



- ME: 変更前に見られた夜間強風バイアスが軽減。
- RMSE: 全対象時刻で減少して改善。

地上風速の対アメダス検証結果を示す。

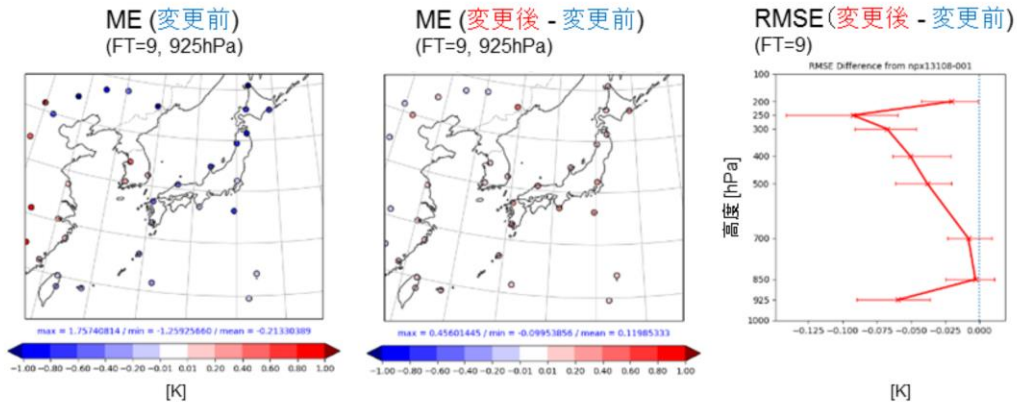
ME(左列)は変更前に見られた夜間強風バイアスが軽減している。

RMSE(中列)も全対象時刻で減少して改善しており、水平分布図(右列)で見ても全国的に減少している地点が多い。

なお、地上気温の変化と同様に、これらの変化には、下層を中心とする高解像度化や接地層・地表面過程の変更が主に影響していると考えられる。

気温プロファイルの改善(冬季期間)

対ゾンデ検証結果 (冬季期間)



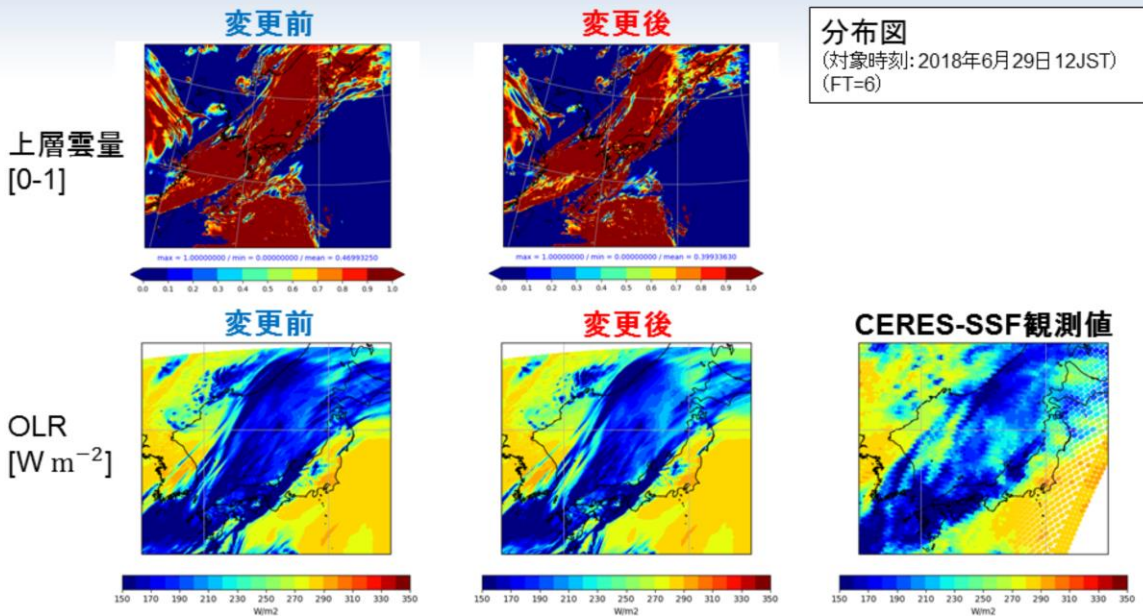
- ME: 変更前に見られた925hPaの低温バイアスが軽減。
- RMSE: 対流圏で全層的に減少して改善。

気温の対ゾンデ検証結果を示す。

MEは変更前に見られた925hPaの低温バイアスが軽減しており、RMSEは対流圏で全層的に減少して改善している。

なお、冬季の中上層のプロファイルには前述した通り令和3年3月の全球数値予報システム更新による境界値変化が一部寄与していることが確認されており、500hPa付近より上層の改善にはその影響で改善する効果も含まれている。

上層雲量・OLRの変化



- ・上層雲量は概ね減少傾向。
- ・OLRは概ね増加し、観測に近づいている。

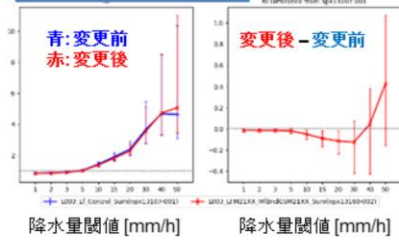
上層雲量と大気上端上向き長波放射量 (OLR) の分布図の一例 (対象時刻: 2018年6月29日 12JST、FT=6) を示す。ただし、これは統計検証や事例確認で用いている夏季期間とは異なる時刻のものである。なお、OLRの観測値にはCERES-SSF (Clouds and the Earth's Radiant Energy System - Single Scanner Footprint) のデータを利用している。

上層雲量は概ね減少傾向であり、OLRはそれに対応して概ね増加することで観測に近づいている。

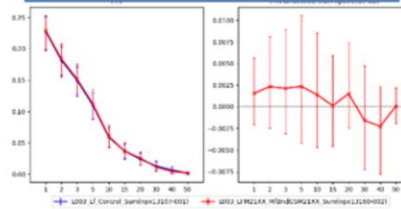
なお、この変化には放射過程で用いる氷雲量診断の変更が主に影響していると考えられる。

降水スコアの変化(夏季期間)

バイアスコア (BI)

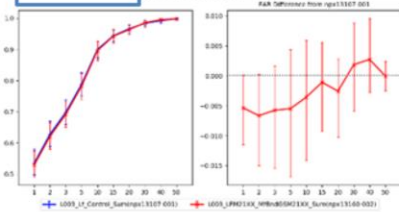


エクイタブルスレットスコア (ETS)

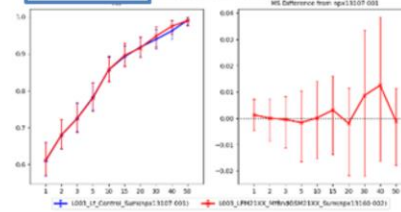


前1時間積算降水量
の閾値別降水スコア
(夏季期間)
(検証格子: 10km)

空振り率



見逃し率



- ・ETS: 概ね増加傾向で改善傾向。
- ・空振り率: 概ね減少傾向で改善傾向。

前1時間積算降水量の変更前後の閾値別降水スコアとそれらの差を示す。

ETSは概ね増加傾向で改善傾向、空振り率は概ね減少傾向で改善傾向となっている。

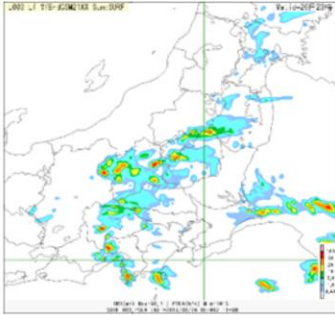
BIは10-30mm/hが僅かに改善する一方で40-50mm/hが僅かに悪化しており、また見逃し率は概ね中立となっている。

なお、夏季の予報初期の降水スコアには前述した通り令和3年3月の全球数値予報システム更新による境界値変化が一部寄与していることが確認されており、これらの変化にはその影響で僅かに悪化する効果も含まれている。

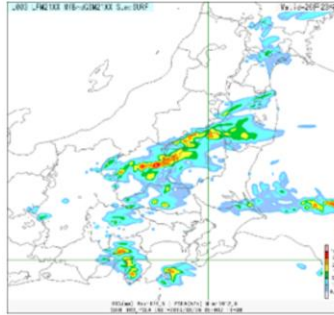
不安定降水事例における改善

前3時間積算降水量 [mm/3h]
(対象時刻: 2019年8月26日23JST)

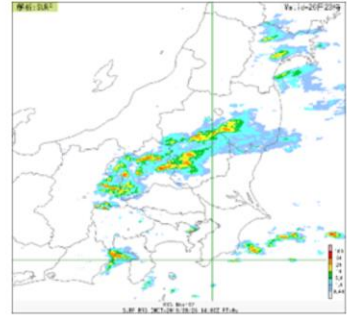
変更前
(FT=9)



変更後
(FT=9)



解析雨量



- ・変更前は解析雨量では見られないような狭い領域に集中した降水域がところどころに現れており、そこで解析雨量より強くなっていた。
- ・変更後はそのような集中した降水が抑えられ、降水域の広がりもより解析雨量と対応するようになっている。

不安定降水事例(対象時刻: 2019年8月26日23JST、FT=9)における前3時間積算降水量の改善結果を示す。

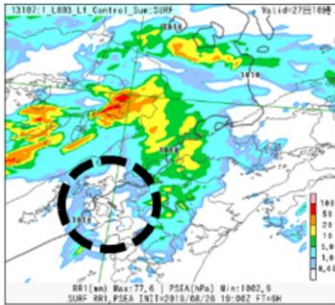
変更前は解析雨量では見られないような狭い領域に集中した降水域がところどころに現れており、そこで解析雨量より強くなっていたが、変更後はそのような集中した降水が抑えられ、降水域の広がりもより解析雨量と対応するようになっている。

なお、この変化には境界層・乱流過程の変更(輸送の精緻化)による鉛直輸送の改善が主に影響していると考えられる。

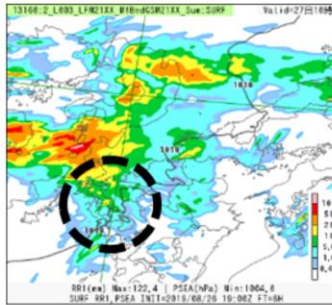
強雨事例における改善

前1時間積算降水量 [mm/h]
(対象時刻: 2019年8月27日10JST)

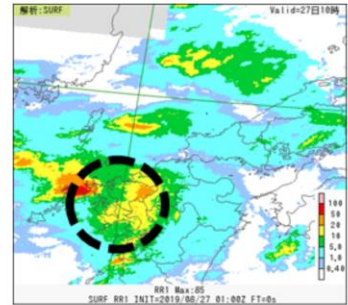
変更前
(FT=6)



変更後
(FT=6)



解析雨量



- ・変更前は長崎県付近の強雨(ここでは5mm/h以上に着目)をほとんど捕捉できていなかった。
- ・変更後はピーク位置に依然としてずれがあるものの、部分的に捕捉できている。

強雨事例(対象時刻: 2019年8月27日10JST、FT=6)における前1時間積算降水量の改善結果を示す。

変更前は長崎県付近の強雨(ここでは5mm/h以上に着目)をほとんど捕捉できていなかったが、変更後は強雨域のピーク位置に依然としてずれがあるものの、強雨を部分的に捕捉できている。

まとめ

- 2021年3月31日に局地数値予報システムの改良を実施した。
 - 鉛直層増強
 - 物理過程の改良
- 改良に対応して、予測特性に改善が見られた。
 - 冬季の地上気温、夏季の地上風速
 - 冬季の対流圏の気温プロファイル
 - OLR
 - 夏季の降水スコア・不安定降水予測・強雨予測
- 一方、一部要素の悪化も見られた(図略)。
 - 夏季の対流圏下層の気温・比湿プロファイル
 - 冬季の1mm/hの降水スコア
- 今後も予測精度向上に向けて引き続き改良に取り組む計画である。

以上の内容をまとめる。

2021年3月31日に局地数値予報システムの改良を実施し、鉛直層増強および物理過程の改良を行った。

改良に対応して、冬季の地上気温、夏季の地上風速、冬季の対流圏の気温プロファイル、OLR、夏季の降水スコア・不安定降水予測・強雨予測の予測特性に改善が見られた。一方、夏季の対流圏下層の気温・比湿プロファイル、冬季の1mm/hの降水スコアの一部要素の悪化も見られた(図略)。

今後も予測精度向上に向けて引き続き改良に取り組む計画である。

参考文献

- 気象庁情報基盤部, 2021: メソ数値予報システムの改良. 令和2年度数値予報解説資料集, 気象庁情報基盤部, 180-206.
- 気象庁予報部, 2014: 次世代非静力学モデルasuca. 数値予報課報告・別冊第60号, 気象庁予報部, 151pp.
- 気象庁予報部, 2020a: メソスケール気象予測の現状と展望. 数値予報課報告・別冊第66号, 気象庁予報部, 165pp.
- 気象庁予報部, 2020b: メソ数値予報システムの改良について. 配信資料に関するお知らせ (令和2年3月19日付), 気象庁予報部, 3pp.
- 草開浩, 2020: 地表面過程. 令和元年度数値予報課報告・別冊第66号, 気象庁予報部, 79-84.
- Beljaars, A., and A. Holtslag, 1991: Flux parameterization over land surfaces for atmospheric models. *J. Appl. Meteor.*, 30, 327-341.
- Broxton, P. D., X. Zeng, D. Sulla-Menashe, and P. A. Troch, 2014: A global land cover climatology using MODIS data. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 53, 1593-1605.
- Chen, Y.-W., T. Seiki, C. Kodama, M. Satoh, and A. T. Noda, 2018: Impact of precipitating ice hydrometeors on longwave radiative effect estimated by a global cloud-system resolving model. *J. Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 10, 284-296.
- Gryanik, V. M., C. Lupkes, A. Grachev, and D. Sydorenko, 2020: New Modified and Extended Stability Functions for the Stable Boundary Layer based on SHEBA and Parametrizations of Bulk Transfer Coefficients for Climate Models. *J. Atmos. Sci.*, 77, 2687-2716.

参考文献

- Hanley, K., M. Whitall, A. Stirling, and P. Clark, 2019: Modifications to the representation of subgrid mixing in kilometre-scale versions of the Unified Model. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 145, 3361-3375.
- Kain, J. S., 2004: The Kain-Fritsch convective parameterization: An update. *J. Appl. Meteor.*, 43, 170-181.
- Kain, J. S. and J. M. Fritsch, 1990: A one-dimensional entraining/detraining plume model and its application in convective parameterization. *J. Atmos. Sci.*, 47, 2784-2802.
- Kanda, M., T. Kawai, M. Kanega, R. Moriwaki, K. Narita, and A. Hagishima, 2005: A Simple Energy Balance Model for Regular Building Arrays. *Boundary-Layer Meteor.*, 116, 423-443.
- Loveland, T. R., B. C. Reed, J. F. Brown, D. O. Ohlen, Z. Zhu, L. Yang, and J. W. Merchant, 2000: Development of a global land cover characteristics database and IGBP DISCover from 1km AVHRR data. *Int. J. RemoteSensing*, 21, 1303-1330.
- Moeng, C.-H., 2014: A Closure for Updraft Downdraft Representation of Subgrid-Scale Fluxes in Cloud-Resolving Models. *Mon. Wea. Rev.*, 142, 703-715.
- Moeng, C.-H., P. Sullivan, M. Khairoutdinov, and D. Randall, 2010: A mixed scheme for subgrid-scale fluxes in cloud-resolving models. *J. Atmos. Sci.*, 67, 3692-3705.
- Sommeria, G., and J.W. Deardorff, 1977: Subgrid-scale condensation in models of nonprecipitating clouds. *J. Atmos. Sci.*, 34, 344-355.

参考文献

- Verrelle, A., D. Ricard, and C. Lac, 2017: Evaluation and Improvement of Turbulence Parameterization inside Deep Convective Clouds at Kilometer-Scale Resolution. *Mon. Wea. Rev.*, 145, 3947-3967.
- Wilson, D. R., and S.P. Ballard, 1999: A microphysically based precipitation scheme for the Meteorological Office Unified Model. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 125, 1607–1636.