



## 第2章 応用編

### 2.2 メソ数値予報システムの改良

## 変更の概要

2022年3月22日実施

- モデル上端高度を21.8kmから37.5kmに引き上げ
  - 鉛直層数: 76から96層(予報)  
38から48層(解析のインナーモデル)
- 物理過程の全般的な高度化
  - 1次元海洋混合層モデルの導入
  - 陸面の蒸発散プロセスの精緻化
  - 境界層モデルの精緻化
  - 雲量診断の改良 等

2022年6月15日実施

- 予報時間を51から78時間に延長(00,12UTC初期値のみ)
  - その他(03,06,09,15,18,21)初期値は39時間予報

2022年3月及び6月に実施したメソ数値数値システムの改良の概要を述べる。

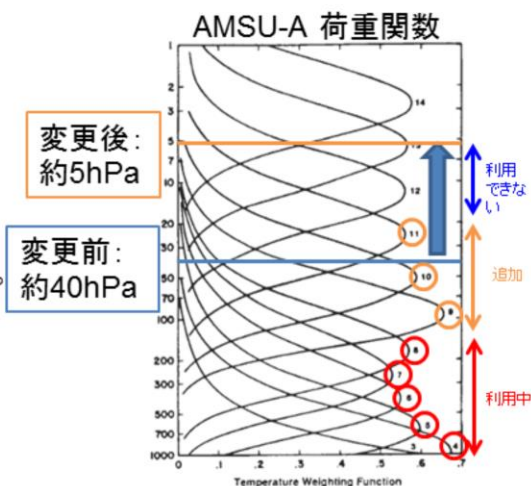
2022年3月には、メソモデルの鉛直層数を76から96層に、メソ解析の鉛直層数を38から48層に増強し、メソモデル・メソ解析ともにモデル上端高度を21.8kmから37.5kmに引き上げた。また、メソモデルにおいて、雲・放射、境界層、陸面及び海面等の物理過程の全般的な高度化を実施した。雲・放射過程では、水蒸気吸収係数を更新するとともに、雲量診断手法を改良した。境界層過程では、境界層モデルにおいて乱流混合をより精緻に扱えるように改良した。海面・海洋過程では、海洋混合層モデルを導入し、海上風が海洋表層をかき混ぜることにより海面温度が変化する効果を考慮するとともに、海塩による海面からの蒸発抑制効果を考慮するよう改良した。陸面過程では、蒸発散プロセスをより精緻に扱えるようにするとともに、土壌水分量の初期値として用いる気候値等を更新した。メソアンサンブル予報システムについてもメソモデルと同じ変更を行った。

2022年6月には、00,12UTC初期値の予報時間を現在の51時間から78時間に延長した。00,12UTC以外の初期値の予報時間は従来通り39時間である。

これらの変更の詳細については、数値予報開発センター(2022a,2022b)を参照のこと。

# モデル上端高度の引き上げの効果

- モデル上端を21.8km(約40hPa)から37.5km(約5hPa)に引き上。
  - MSMの鉛直層は76層から96層に。
    - メソ解析のインナーモデルの鉛直層は38層から48層に(上端はMSMと同じ)
    - 高度21.8kmまでの層配置はほぼ従来通り。
  - 対流圏上部～成層圏下部の衛星観測が利用可能に。
- 4DVar背景誤差を更新。
  - メソモデルの予報結果から作成

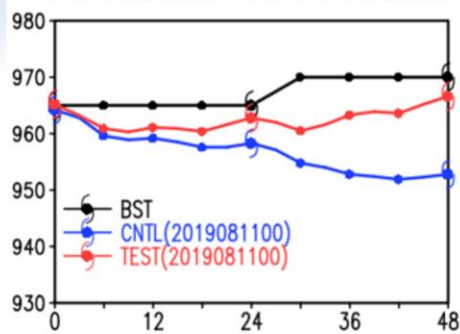


モデル上端高度の引き上げの概要及びその効果について述べる。

モデル上端高度を21.8km(約40hPa)から37.5km(約5hPa)に引き上げるにあたって、メソモデルの鉛直層数を76から96層に、メソ解析の鉛直層数は38から48層に増強している。従来のモデル上端である21.8km(約40hPa)までの層配置は概ね従来通りであり、増強された鉛直層はモデル上端高度の引き上げに用いられている。モデル上端高度を引き上げたことにより、これまでは利用していなかった、対流圏上部～成層圏下部の衛星観測データの利用が可能となった。なお、4次元変分法による観測データの同化に必要となる背景誤差については、モデル上端高度の引き上げに伴い、21.8～37.5kmを含んだものをメソモデルの予報結果の統計値から作成している。

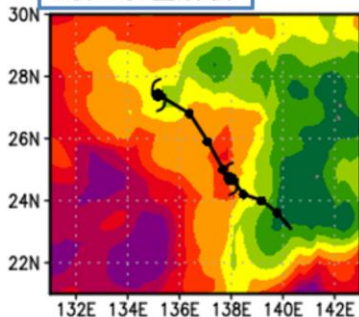
# 1次元海洋混合層モデル導入の効果

中心示度の対ベストトラック比較

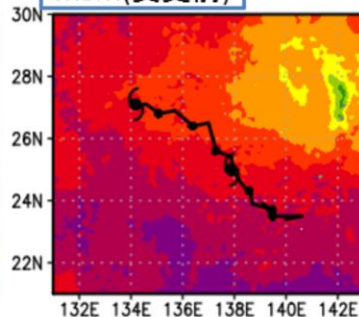


- 2019年8月13日00UTC(FT=48)の海面水温
- 変更前のMSMでは海面水温解析より高い海水上を台風が移動し、中心示度がベストトラックより深い
- 変更後のMSMでは予報後半の中心示度が改善

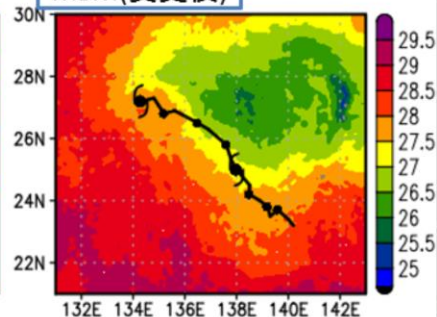
海面水温解析



MSM(変更前)



MSM(変更後)



1次元海洋混合層モデルの効果について述べる。

メソモデルでは予測時間が進むにつれて台風が過発達する傾向があり、この過発達バイアスをもたらす要因の一つとして、海面水温を初期値から固定しているために、海洋が海上風により鉛直混合されて海面水温が低下する効果をモデルが表現できないことが考えられる。今回の改良では、海上風に応じて海面水温が低下する効果を取り入れるために、1次元海洋混合層モデルを導入した。

1次元海洋混合層モデル導入の効果の例として、2019年台風第10号を対象とした比較実験の図を示す。変更前は海面水温解析より高い海水上を台風が移動し、中心示度がベストトラックより深いのが、変更後は台風の経路に沿って海面水温が低下する様子を表現し、予報後半の中心示度が改善していることが分かる。

変更後のメソモデルにおいても、台風や低気圧の過発達傾向は引き続き課題であり、物理過程の改良等を引き続き進めていく。

# モデル変更による特性変化の概要

## メソモデル

- 大雨予測が改善
  - 降雨頻度の過剰バイアスが軽減される。空振りは減るが見逃しは増える。
- 台風強度予測が改善
  - 予報後半に顕在化する中心気圧の負バイアス(最大風速の正バイアス)が軽減する。
- 地上気象要素の予測が改善
  - 地上乾燥バイアスが大幅に軽減する。地上気温の日中の負バイアス、夜間の正バイアスがそれぞれ軽減する。(日変化表現の改善)

## メソアンサンブル

- メソアンサンブル予報において、空振りが減少することで降水量超過確率が実況により対応する事例が確認されている。

2022年3月のメソ数値予報システムの改良による特性変化の概要について述べる。

メソモデルでは降水予測の頻度が過剰傾向にあるが、今回の改良によりこの過剰バイアスが軽減した。降水予測頻度が減少したことにより、空振りは減るが見逃しは増えている。台風の強度及び最大風速については、1次元海洋混合層モデルの導入等により、台風の強度及び最大風速の予測精度が改善した。改良前は、中心気圧の負バイアスとこれに対応する最大風速の正バイアスが予報後半に顕在化していたが、改良後はこれらのバイアスが軽減されている。

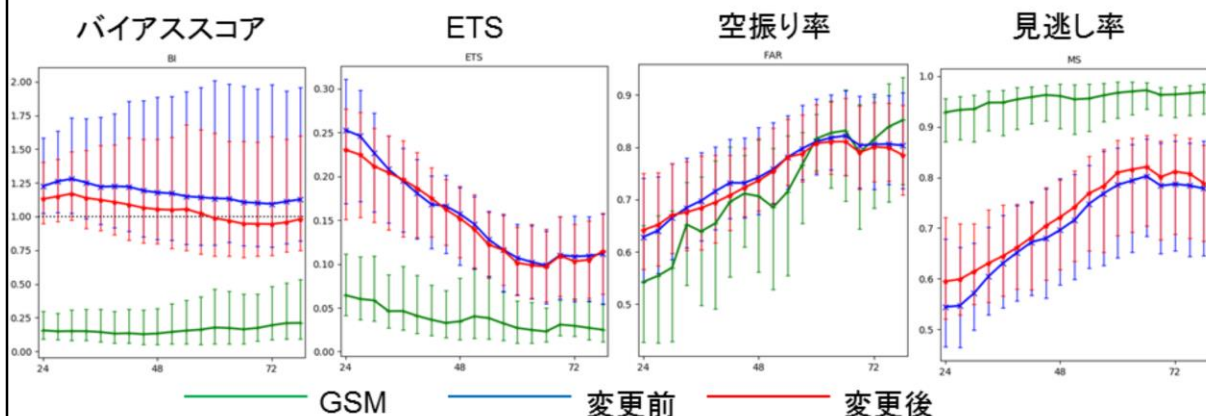
今回の変更では、陸面過程等の改良により、地上気象要素の予測も改善した。改良前のメソモデルでは地上が乾燥する傾向があったが、改良後は乾燥バイアスが大幅に軽減された。また、改良前のメソモデルで見られた日中の低温バイアス及び夜間の高温バイアスが軽減し、改良後は地上気温の日較差がより実況に近い予測となっている。

メソアンサンブル予報システムでは、降水予測の空振りが減少することにより、降水量超過確率が実況により対応する事例が見られるようになっている。

次スライド以降で示す検証結果の統計期間は、2020年7月1日～9月15日(夏期間)、2019年12月23日～2020年2月29日(冬期間)である。

# 大雨予測(24時間100mm)の改善

- メソモデル(MSM)の**変更後**は、**変更前**と比べ、頻度過剰バイアスが軽減される傾向 注: 変更前は、2022年3月の変更を実施する前のメソモデルを78時間予報まで延長したもの
- GSM**と比較すると、空振りが多いものが見逃しが少ないことで、エクイタブルスレットスコア(ETS)は3日目予測においても有意に上回る

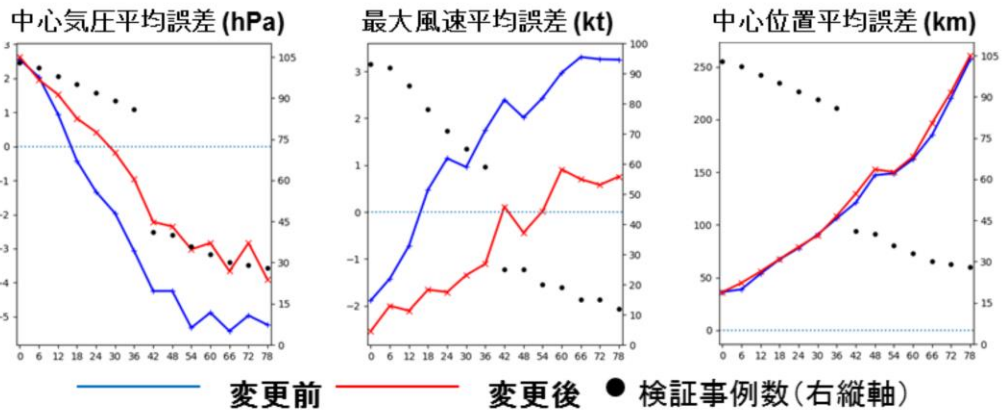


大雨予測(24時間100mm)の予報時間別の検証結果を示す。

メソモデルでは降水予測の頻度が過剰傾向にあるが、2022年3月の改良によりこの過剰バイアスが軽減した。降水予測頻度が減少したことにより、空振りは減るが見逃しは増えている。GSMとの比較では、MSMはその予報時間を通して強い降水の予測頻度がより実況に近くなった。空振りが多いものが見逃しが少ないことで、エクイタブルスレットスコア(ETS)は3日目予測においてもGSMを有意に上回っていることがわかる。2022年6月の予報時間延長により、MSMによる精度の高い降水量予測が3日先まで利用可能となった。

# 台風強度予測の改善

- 変更前は台風過発達傾向が予報後半に顕在化するが、変更後は軽減される。最大風速の正バイアスが改善する。
- 進路誤差は中立

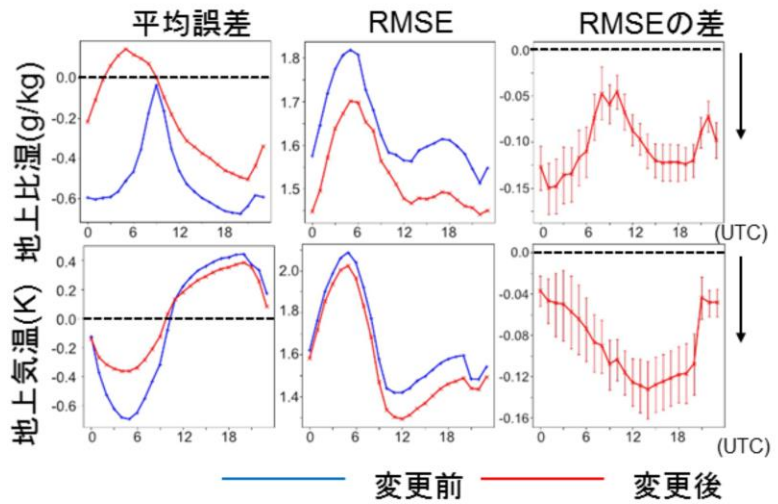


予報時間別の台風の強度、最大風速及び中心位置平均誤差の検証結果を示す。

変更前は、中心気圧の負バイアスとこれに対応する最大風速の正バイアスが予報後半に顕在化していたが、変更後はこれらのバイアスが軽減され、より実況に近い予測になった。台風進路誤差は中立であった。

# 地上気象要素の予測の改善

- 地上気温・比湿の対象時刻別検証結果 (夏期間)
- 地上乾燥バイアスの軽減
- 日中の低温バイアス、夜間の高温バイアスがそれぞれ軽減
- 全対象時刻でRMSEが有意に改善



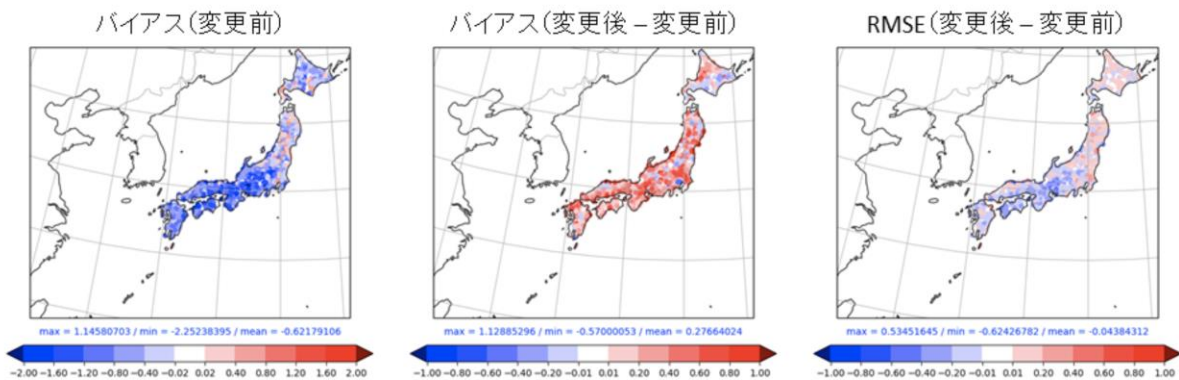
夏季における地上気温・比湿の対象時刻別の検証結果を示す。

変更前のメソモデルでは地上が乾燥する傾向があったが、変更後は乾燥バイアスが軽減し、全対象時刻にて平方根平均二乗誤差 (RMSE) も減少した。また、変更前のメソモデルでは、夏季日中の気温が低く、夏季夜間の気温が高い傾向があったが、これらのバイアスが軽減している。変更後は地上気温の日較差がより実況に近い予測になり、全対象時刻にて平方根平均二乗誤差 (RMSE) が減少している。



# 対アメダス気温誤差 (夏期間、12時)

日中の気温が上昇し、西日本を中心に誤差縮小。

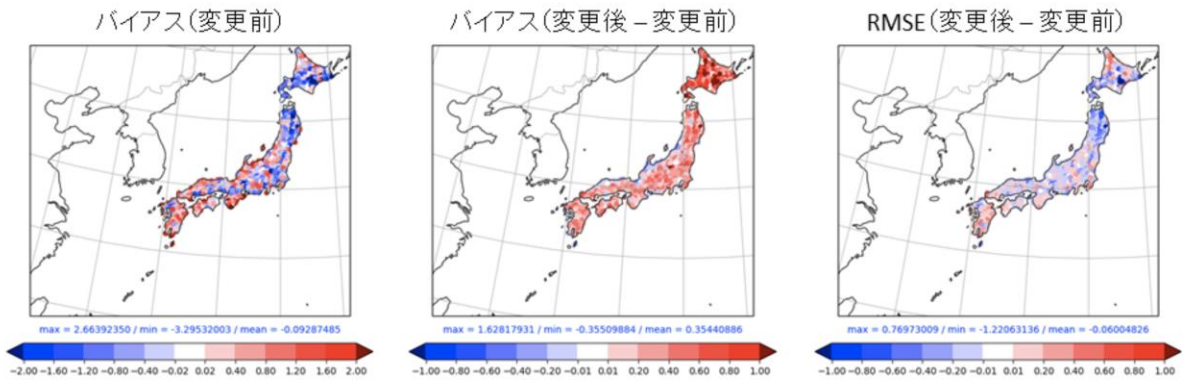


夏期間の正午を対象時刻とした地上気温の対アメダス検証結果を示す。

変更前のメソモデルでは、夏季日中の気温が低く予測される傾向があったが、変更後は西日本を中心に改善している。

# 対アメダス気温誤差 (冬期間、0時)

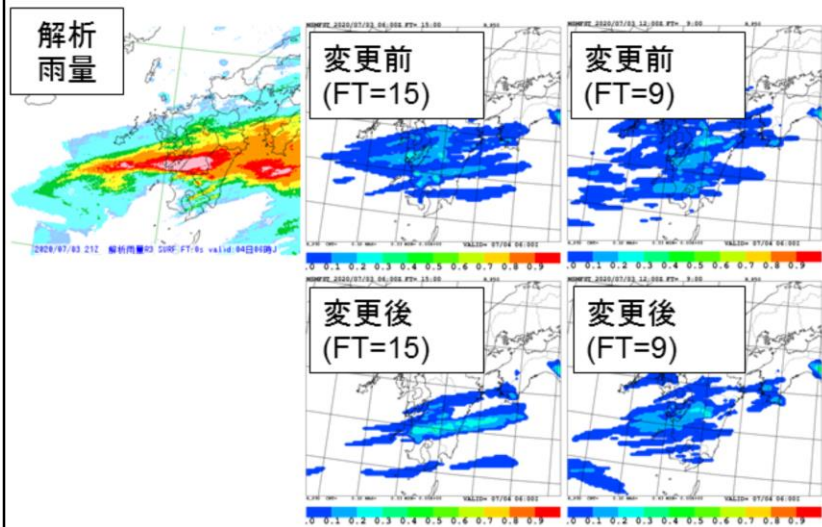
夜間気温が上昇し、北海道や東北地方で誤差縮小。



冬期間の0時を対象時刻とした地上気温の対アメダス検証結果を示す。変更前のメソモデルでは、北海道や東北地方にて冬期夜間の気温が低く予測される傾向があったが、変更後は冬期夜間の気温が全国的に上昇し、北海道や東北地方を中心にて改善している。

# (メソアンサンプル)

## 降水量超過確率予測にて空振りが減少した事例



- メソアンサンプルによる超過確率予測(閾値 50mm/h)
- 対象時刻: 2020年7月4日6時(JST)
- 変更後は変更前に比べ領域が絞れており、空振りが減少。

変更後のメソアンサンプル予報システムでは、変更前と比べて降水予測の空振りが減少する事例が見られる。図は令和2年7月4日の線状降水帯事例における変更前後の降水量超過確率の予測結果を示す。変更後は変更前と比べて強い降水の領域を絞り込んだ予測となり、空振りが減少していることが分かる。

## 参考文献

- 数値予報開発センター, 2022a: 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.
- 数値予報開発センター, 2022:b メソアンサンブル予報システムの鉛直層増強と物理過程改良, 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, 100-101.