

3.6 降雪量ガイダンスの改良

3.6.1 はじめに

近年の大雪事例では、家屋の倒壊や農作物への被害の他、鉄道の立ち往生や車両の大規模滞留が繰り返し発生しており、ひとたび発生すると復旧とその解消には数日間に及ぶなど、社会的な影響が大きい。気象庁では、降雪量の予測としては、GSM, MSM, MEPS の各モデルを入力とした降雪量ガイダンスを運用しており、大雪の予測に活用してきた。今回、各降雪量ガイダンスの改良を行い精度向上が得られたので、2024年12月17日00UTCから改良したガイダンスの運用を開始した。ここでは、改良内容と予測精度の統計的な評価、改善事例について報告する。

3.6.2 仕様

改良を行った各ガイダンスの仕様を表3.6.1に示す。作成手法については、改良前（旧版）では、予想される降水量に気温に応じた雪水比²を掛けて降雪量を見積もる雪水変換法（土田 2018）という診断的手法により算出していたが、改良版ではニューラルネットワーク（工藤 2018）及び頻度バイアス補正（高田 2018）という、機械学習を用いた手法に変更した。これにより、これまでは降水量の誤差に雪水比の誤差が加わって誤差が増幅していたが、直接降雪量を求めることによって誤差が軽減された。また、各格子で降雪量を求める際に、近隣地点の地点層別化したパラメータを用いることにより、従来の地域差による精度劣化が軽減された。さらに、ニューラルネットワークを使うことによって、その高度な非線形予測能力により、統計的により高精度な予測値が期待できる。

ニューラルネットワークは、まず積雪深計のある地点での6時間降雪量及び12時間降雪量を目的変数として予測を行う。ニューラルネットワークの仕様は表3.6.2のとおり。

表 3.6.1 GSM, MSM, MEPS 降雪量ガイダンスの仕様

作成対象	5 km 格子
作成方法	ニューラルネットワーク+頻度バイアス補正
予報期間・ 間隔	GSM 降雪量ガイダンス： FT=6~84 (00, 06, 12, 18UTC) MSM 降雪量ガイダンス： FT=3~78 (00, 12UTC) , FT=3~39 (03, 06, 09, 15, 18, 21UTC) MEPS 降雪量ガイダンス： FT=3~39 (00, 06, 12, 18UTC)
予測要素 ¹	3時間降雪量、6時間降雪量、12時間降雪量、24時間降雪量

¹ X時間降雪量ガイダンスはGSMはFT=X+3以降、MSMはFT=X以降から予想を出力する。

² 降雪量 [cm]/降水量 [mm]。気温を説明変数とする非線形回帰式で算出。

表 3.6.2 ニューラルネットワークの主な仕様

層数	3
入力層ユニット数	18 (説明変数) + 1 (定数項)
中間層ユニット数	34
活性化関数	ロジスティックシグモイド関数 (中間層)、ReLU (出力層)
目的変数	積雪深計設置地点の6, 12時間降雪量
説明変数	SRR (気温ガイダンスで層別化した雪水比にモデル降水量を乗じた降雪量) SRR_TD (地上露点温度で層別化した雪水比にモデル降水量を乗じた降雪量) モデル降水量 気温ガイダンス 地上相対湿度 925 hPa 風速 925 hPa 上昇流 925 hPa 気温と海面水温の差 925 hPa と 850 hPa 間の SSI 850 hPa 風向 850 hPa 風速 850 hPa 気温 700 hPa 風向 700 hPa 上昇流 700 hPa 気温 700 hPa 相対湿度 500 hPa 風向 500 hPa 高度
重み最適化法	Adam (Diederik P. Kingma 2015)
逐次学習の有無	無し
層別化処理の対象	地点

ネットワークの構成についてはグリッドサーチ³を行い、最も精度のよかったものを採用した。説明変数は降雪のメカニズムを考慮した気象学の見地から候補となる説明変数をピックアップし、ニューラルネットワークの入力としてより高精度の予測値を算出する組み合わせを選択した（これらのうち最も予測への寄与が大きいのはSRRである）。ニューラルネットワークの学習に用いる訓練データは、降雪頻度の少ない地点では学習が十分に進まないため、近隣の降雪の傾向が類似している地点のデータセットを含めている。訓練データは2017年12月～2024年3月までのGSM, MSM予測値及びアメダス観測値のデータセットを利用したが、太平洋側の降雪頻度が低い地点では、2012年12月～2017年3月のデータセットも利用している。

上記ニューラルネットで得た予測値について、頻度バイアス補正を行う。これは、出現頻度の小さい大雪等の予測においては予測値が過小になる傾向があるため（機械学習での回帰予測において一般的に見られる性質）、統計的に求めた過去の観測データの出現頻度と同程度になるように予測値を調整する手法である。

³ ニューラルネットワークの各種パラメータを段階的に変えて精度を調べる手法

降雪量ガイダンスは各格子を予測対象としているが、ニューラルネットワーク及び頻度バイアス補正の予測式が作成可能なのは観測データを利用できる積雪深計設置地点のみであるため、すべての格子で予測を行うために以下の処理を行う。まず、各格子に近い積雪深計設置地点を3地点選び、3つのニューラルネットワークに当該格子の説明変数を適用し、それぞれの出力値に頻度バイアス補正を行う。これによって3つの予測値が出力されるので、それを距離及び標高から計算した重み付けで平均する。これにより、すべての格子に対してその付近の予測特性を反映した予測値を得ることができる。

なお、最終的な予測にするために、続く以下の処理を行っている。

- (a) 予測対象期間のモデル降水量が0.01 mm未満、または気温ガイダンスが4.5℃以上で降雪量を0 cmとする（気温ガイダンスについては3.5℃から段階的に0 cmとする）
- (b) 求めた6, 12時間降雪量予測から、説明変数SRRに応じて3時間降雪量に分配する。複数の3時間降雪量が算出されるので、それらを平均化して3時間降雪量とする。この3時間降雪量から積算して6, 12, 24時間降雪量とする。
- (c) 2 cm以下の降雪量に関して降水量ガイダンス及び降水種別ガイダンスとの整合処理を行う。この整合処理は上記で求めた降雪量が、降水量ガイダンス及び降水種別ガイダンスから算出される降雪量より少ない場合に後者で置換える処理としている。

3.6.3 検証

改良した各降雪量ガイダンスの精度検証結果について、旧版との比較の観点で示す。改良版については、各年の検証時にはその年を抜いたデータセットで学習したネットワークを用いている（交差検証）。

図3.6.1には、2021年12月～2024年3月のGSM, MSMそれぞれの12時間降雪量ガイダンスのエクイタブルスコア(ETS)、バイアスコア(BI)を示した。検証図についてはどれも改良版を赤線、旧版を青線で表している。改良版のETSは40～50 cm/12hの高閾値を除いて大きく向上していることが分かる。また、BIについてはいずれも30 cm/12h付近までは改良前後で差は大きくないが、40 cm/12h以上では改良版はBIが小さい傾向がある。ここで高閾値の精度の傾向に着目する。改良版では50 cm/12hの大雪時で予測精度を示すETSが同程度であるものの、予測頻度を示すBIが減少しており、特にMSMではその傾向が顕著である。これは旧版に比べ空振りが減少していることを示している。旧版ではもともと予測精度が低い高閾値での過大な予測値による空振りのケースが多かったが、改良版ではそれを軽減した。ETSでは改良版、旧版ともに1 cm/12hの予測精度がより高閾値で

ある3 cm/12hに比べて低い傾向がある。この要因は弱雪の予想の難しさに加え、強風により付近に積もった雪が積雪深計の測定部付近に堆積することで1cmの降雪が意図せず観測される、といった観測測器由来のものが原因の一部である。

図3.6.2には、2023年12月～2024年3月のMEPS12時間降雪量ガイダンスのアンサンブル平均によるETS, BI、および同ガイダンスの各メンバー予測値による20 cmを閾値とした超過確率⁴のブライアスキルスコア(BSS)を示した。ETS, BIについてはGSM, MSMと同様の傾向を示しており、ETSは30 cm/12hまでは大きく向上し、BIは高閾値ほどより予測頻度を抑える傾向である（アンサンブル平均では一般的に、頻度の少ない高閾値の予測頻度が過少傾向になることに留意）。超過確率については、旧版のBSSはいずれのFTでも負値になっており確率情報として気候値に劣っているが、改良版では旧版から大きく改善しすべてのFTで正值であり、確率情報としても有効性が示されている。

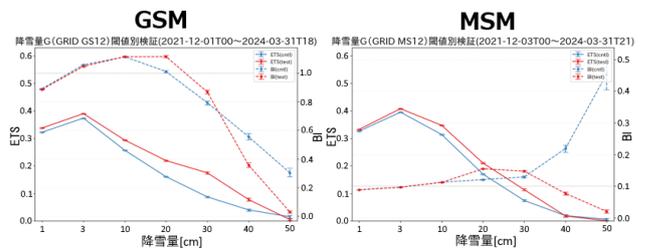


図 3.6.1 GSM 降雪量ガイダンス（左図）、MSM 降雪量ガイダンス（右図）のETS（実線）、BI（破線）比較。共に12時間降雪量予測の全国平均のスコア。改良版を赤線、旧版を青線で表示。

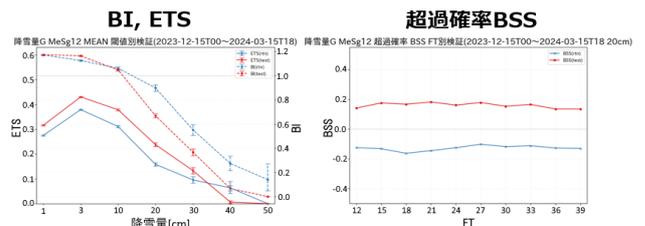


図 3.6.2 MEPS 降雪量ガイダンスのETS（実線）、BI（破線）比較（左図）および20 cmを閾値とした同超過確率のBSS比較（右図）。共に12時間降雪量予測の全国平均のスコア。改良版を赤線、旧版を青線で表示。

3.6.4 事例

ここでは2つの事例について、改良版と旧版の比較結果を示す。予測、観測はいずれも12時間降雪量を対象としている。

1つ目の事例として図3.6.3に2024年2月5日の関東地方の大雪事例のMSM降雪量ガイダンスの予測、観測結果を示す。この日は地上天気図にあるように、関

⁴ ある閾値を超えるメンバーの割合を確率とみなしたもの

東の南海上を低気圧が東進し、低気圧北側の寒気の流入により関東地方に降雪がもたらされた。東京のアメダス地点で 9 cm/12h、その他平野部でも 10 cm/12h 前後の積雪を観測し、関東では広く大雪となった。ガイダンスの予測においては、旧版は赤丸で囲んだ付近の多くは 5 cm/12h 未満となっているが、改良版では 10 cm/12h 前後の降雪を広い範囲で予測しており、観測された降雪量に近い予測ができていた。また、GSM 降雪量ガイダンスでも同様に、旧版では過少な予測であったが改良版では観測に近い予測であった（図略）。

2 つ目の事例として図 3.6.4 に 2024 年 1 月 16 日の日本海側の大雪事例の MSM 降雪量ガイダンスの予測、観測結果を示す。この日は千島近海には発達した低気圧、中国付近には高気圧があり、日本付近は典型的な冬型の気圧配置となっており、日本海側では寒気の流入により広く降雪がもたらされた。ここでは新潟県と群馬県の県境付近（図中の赤丸）に注目する。観測では降雪は新潟県よりも更に内陸の群馬県北部等の関東側の山地でピークを示している。一方でガイダンスの予測では、旧版では新潟県側の山沿いで 30~40 cm/12h の大雪の予測範囲が広がっているが、改良版では群馬県境付近の山地で強い予測となっており、より観測に近い予測になっていることが分かる。旧版では、冬型の気圧配置において実際の降雪地点よりもやや風上側に降雪のピークを予想する傾向があったが、改良版ではこの傾向が解消され、より観測に近い予想になった。

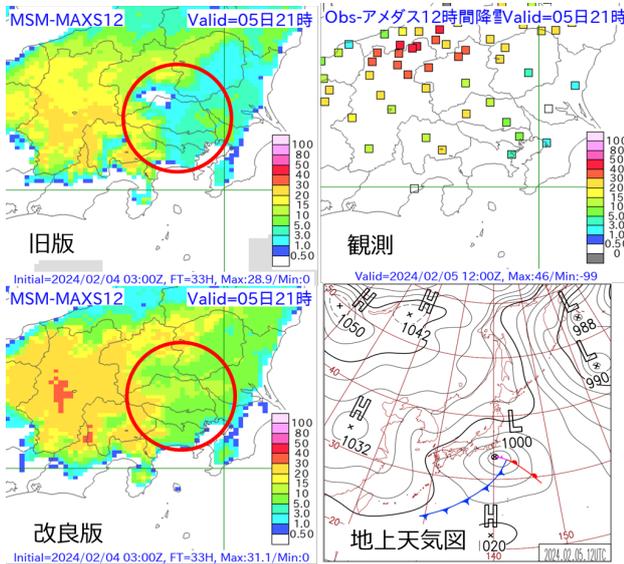


図 3.6.3 2024 年 2 月 5 日 21 時を対象とした、(左上) 旧版 MSM12 時間降雪量ガイダンス、(左下) 改良版 MSM12 時間降雪量ガイダンスの予測 (いずれも FT=33)、(右上) 前 12 時間降雪量 (アメダス観測及び部外観測)、(右下) 日本周辺域地上天気図。

3.6.5 今後

大雪による災害の被害軽減のため、引き続き降雪量予測の精度向上を図っていく。まずは複数のモデルを

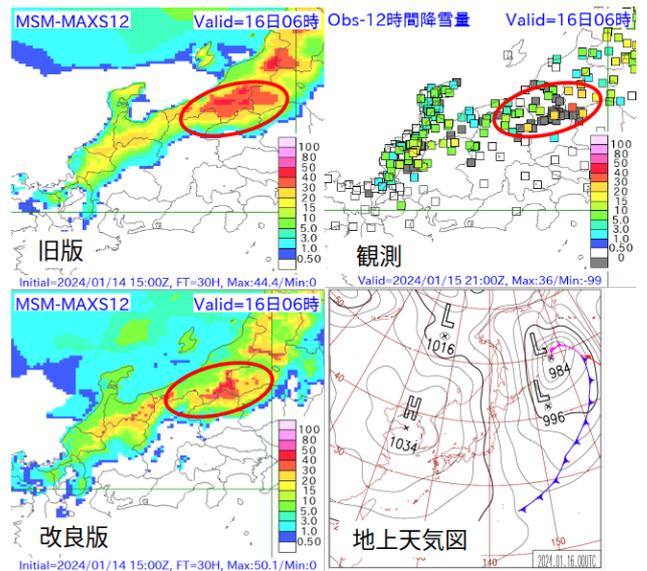


図 3.6.4 2024 年 1 月 16 日 06 時を対象とした、(左上) 旧版 MSM12 時間降雪量ガイダンス、(左下) 改良版 MSM12 時間降雪量ガイダンスの予測 (いずれも FT=30)、(右上) 前 12 時間降雪量 (アメダス観測及び部外観測)、(右下) 同日 09 時を対象とした日本周辺域地上天気図。

入力としてランダム誤差の軽減が期待される、より精度の高いマルチモデル降雪量ガイダンスに重点を置き、開発を進める予定である。

参考文献

Diederik P. Kingma, Jimmy Ba, 2015: Adam: A Method for Stochastic Optimization. *International Conference on Learning Representations 2015*.
 工藤淳, 2018: ニューラルネットワーク. 数値予報課報告・別冊第 64 号, 気象庁予報部, 48-61.
 高田伸一, 2018: 頻度バイアス補正. 数値予報課報告・別冊第 64 号, 気象庁予報部, 78-80.
 土田尚侑, 2018: 降雪ガイダンス. 数値予報課報告・別冊第 64 号, 気象庁予報部, 119-131.

3.7 全球化学輸送モデルのオゾン同化における観測データの品質管理強化

3.7.1 はじめに

数値予報課では、紫外線情報の作成などを目的として、オゾン量の解析・予測を行う全球化学輸送モデルを運用している (JMA 2024)。また、衛星観測データを用いたオゾン全量の同化手法や観測データの品質管理などに関する開発を進めており、2024年11月に観測データの品質管理の強化および解像度変換処理の見直しなどの変更を現業化した。

3.7.2 変更項目

観測データに関する変更として以下の2点の変更を行った。

- 品質管理にグロスエラーチェックを追加：気候学的には正常な値域であるものの第一推定値との乖離が大きい異常な観測値が空間的な広がりをもって現れることが年間数回程度の頻度であり (図 3.7.1 において議論)、既存の品質管理手法では排除することができていなかった。そのため、新たに観測値と第一推定値との差 (O-B) の絶対値が 50DU を超える観測を排除するようにした。
- 冗長な解像度変換処理の廃止：過去のシステムとの処理の互換性などの経緯で、0.25 度等緯度経度 (LL) 格子の観測データを 1.0 度 LL 格子へ変換後にモデル格子 (TL159；約 1.125 度) へ変換する多段階の処理を行っていた。この冗長な変換処理が原因で不要な内挿誤差が発生していることから、処理を見直し 0.25 度 LL 格子の観測データをモデル格子へ直接変換するようにした。

以上の変更は、前者は発生頻度が小さいこと、後者は変化量が小さいことから、長期間の統計検証においては解析・予測精度や予測特性への影響は軽微であることが想定される。

また、モデルの精度に関わらない維持管理に関する以下の変更も同時に適用した。

- 将来シナリオに基づいたガス排出量境界条件データを与える入力ファイルに 2025 年までのデータしか格納されていなかったため 2035 年まで期間を延長した。
- 次期季節予測システム (CPS4) のオゾン濃度の初期条件の作成に使用する予定の出力を追加した。
- モデルの計算結果を書き出して一度処理を終了し、その計算結果から再度計算を再開するリスタート機能の改修や、一部のサブルーチンの不具合修正を行った。

3.7.3 試験結果

2023年6月から2024年5月の1年間を対象として、全球化学輸送モデルの業務化試験 (以下、TEST) を実行した。対照実験 (CNTL) には 2024年3月時点の

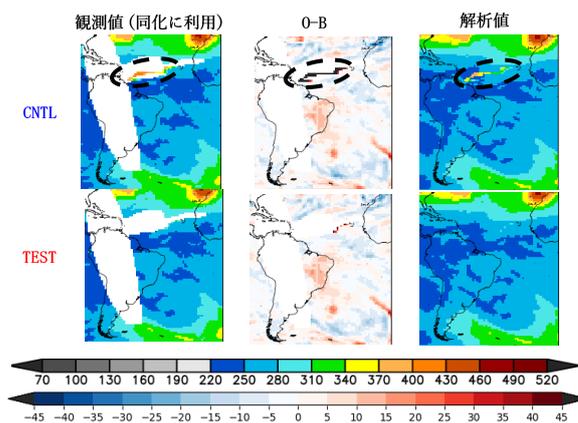


図 3.7.1 観測値の異常事例 (2024年3月22日)：(上) CNTL、(下) TEST の左からオゾン全量 [DU] の同化に利用した観測値、O-B、解析値。破線で囲った領域は CNTL で観測の異常値が同化された様子。TEST では O-B が 50DU を超えた観測は排除された。

ルーチン相当の結果を使用した。TEST と CNTL の比較の概要を以下に示す。

- 観測値の異常がみられた事例 (図 3.7.1) では、CNTL では黒破線の楕円で囲んだ領域の中央部にみられる異常な観測値を排除することができず、大きな O-B がみられたとともにそれらが同化されたために解析値にもその影響が表れていた。一方で、TEST ではグロスエラーチェックの追加により異常な観測値を除去できるようになった。
- 図 3.7.2 に実験期間の東西平均オゾン全量の O-B と解析値の時系列を示す。観測データの冗長な解像度変換が原因で、CNTL では南北勾配が大きな季節・領域の O-B に縞状のノイズがみられたが、TEST では解消した。解析値の変化は大きいところで 5DU 程度 (変化率は概ね 0.5% 以下) であり、変更内容から想定されるとおり変化は非常に小さかった。
- 図 3.7.3 に初期時刻の 12 時間前から 12 時間後 (初期時刻前は解析期間にあたる) までの日平均のオゾン全量を分光光度計観測で検証した結果を示す。変更内容から想定されるとおり精度は TEST と CNTL でほぼ変わらず、他の予報時間でも同様であった。Aura/MLS 観測やオゾンゾンデ観測に対する鉛直プロファイルの検証でも解析・予測精度や予測特性はほぼ変わらなかった (図略)。

3.7.4 まとめ

全球化学輸送モデルで利用している観測データの品質管理の強化および解像度変換処理の見直しなどの変更を加えて業務化試験を行った。その結果、これまで排除できていなかった観測異常値の混入事例に対して異常値の排除が可能になったことを確認した。また、変更内容から想定されるとおり解析・予測精度への影響は軽微であった。上記の改良を 2024年11月に現業化

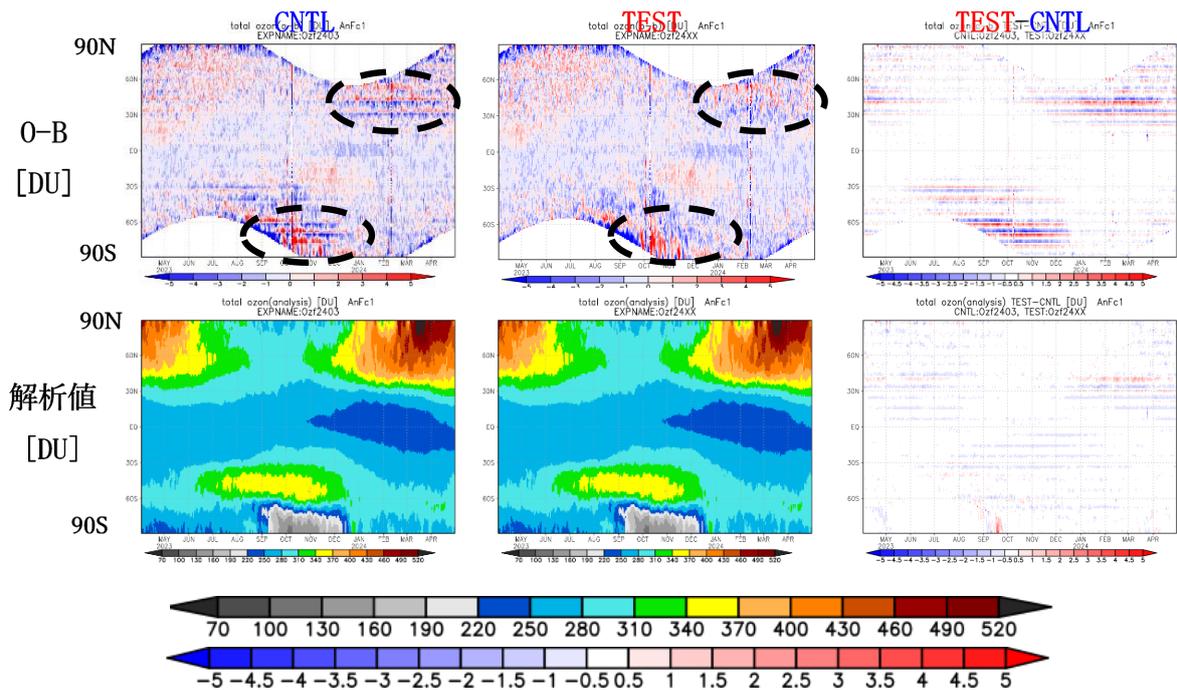


図 3.7.2 東西平均オゾン全量 [DU] の (上) O-B と (下) 解析値の時系列。左から CNTL、TEST、TEST-CNTL。破線で囲った領域で CNTL に縞状のノイズがあるが TEST では解消した。

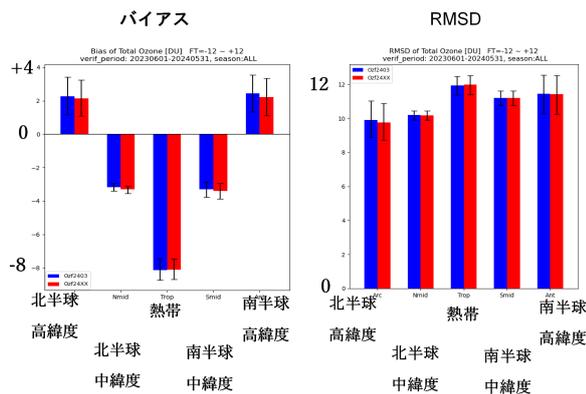


図 3.7.3 初期時刻の 12 時間前から 12 時間後までの日平均オゾン全量の対分光光度計検証結果。CNTL (青) と TEST (赤) に対するオゾン全量 [DU] の (左) バイアスと (右) 二乗平均平方根差の結果。エラーバーはブートストラップ法で見積もられた 95% 信頼区間。

した。

参考文献

JMA, 2024: *Outline of the Operational Numerical Weather Prediction at the Japan Meteorological Agency*. Japan, 262 pp., (Available online at <http://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-center/nwp/outline2024-nwp/index.htm>).

3.8 気候データ同化システムの観測データ利用拡充

3.8.1 はじめに

長期再解析の目的は、季節アンサンブル予報システム等の各種数値予報モデルの開発及び精度評価、地球温暖化等の気候監視や異常気象分析業務等に利用可能な、長期間の均質で高品質な気候データセットの作成及び提供である。2023年5月以降、当庁の業務では気象庁第3次長期再解析 (JRA-3Q: Japanese Reanalysis for Three Quarters of a Century; Kosaka et al. 2024) が利用されている。JRA-3Qは1947年9月以降を解析対象としており、気象庁第2次長期再解析 (JRA-55: Japanese 55-year Reanalysis; 古林ほか 2015) 以降の現業全球数値予報システム及び海面水温 (SST) 解析の開発成果や、国内外の気象機関等によるデータレスキュー、衛星運用機関による衛星データの再処理による過去の観測データ拡充の成果等を活用することにより、JRA-55よりも品質が向上している。JRA-3Qは2019年8月から本計算を開始し、2022年11月末に過去期間のすべての計算を完了した。また、2021年10月からはJRA-3Q版気候データ同化システム (以下、気候データ同化システムと呼ぶ) の準リアルタイム運用を開始している。

気候データ同化システムについて、2024年8月20日に観測データの利用拡充を行った。本節では、本変更の概要を説明する。

3.8.2 観測データ利用拡充の概要と影響評価

解析値の精度を維持することを目的として、全球解析に導入された新規観測データを随時、気候データ同化システムにも導入している。今回の変更で導入した新規観測データは、Metop-CのIASI、GOES-18の晴天輝度温度 (CSR) と大気追跡風 (AMV)、Dual-Metop AMV、VIIRS AMV、及びNOAA-21のATMSとCrISである。

気候データ同化システムに新規観測データを導入することによる影響を調査するため、2023年12月10日～2024年2月11日を対象としてインパクト実験を行った。以下、当時の気候データ同化システム相当の実験をCNTL、CNTLに新規観測データを同化した実験をTESTと呼ぶ。

図3.8.1はO-B (観測値と第一推定値の差) の標準偏差のCNTLに対する変化率である。AMSU-A、MHS、ラジオゾンデの相対湿度、ラジオゾンデの東西風、航空機観測の東西風について、TESTの方がCNTLよりもO-Bの標準偏差が減少していることが分かる。これらの観測データの利用方法に変更はないことから、このことは解析値の精度が向上していることを示唆している。

図3.8.2、図3.8.3に2024年第6半旬 (1月26日～1月30日) におけるTESTとCNTLの差の半旬平均値、

及び参考のためJRA-3QとJRA-55の差の半旬平均値を示す。また、図3.8.4には2024年1月におけるTESTとCNTLの差の月平均値、及びJRA-3QとJRA-55の差の月平均値を示す。TESTとCNTLの差はJRA-3QとJRA-55の差よりも十分小さくなっており、循環場への影響は小さいことが分かる。このことから、解析値の長期間の均質性への影響は小さいと言える。

3.8.3 今後の予定

気候データ同化システムについては、今後も定期的に観測データ利用拡充を行うことにより、解析値の精度維持に務める。

将来の課題としては、週間～季節予報を担う全球・季節アンサンブル予報システムの高度化には、2018年12月時点の全球現業データ同化システムに基づいて作成しているJRA-3Qよりも更に高品質な再解析データが必要不可欠である。このため、現在の現業数値予報システムに導入されているハイブリッド同化 (気象庁2021a) やアウトーループ、衛星輝度温度データの全天同化 (気象庁2021b) などを再解析にも反映させ、雲・降水域を含めより多くの観測情報を取り込むことにより、精度向上を図ることが必要と考えられる。また、大気・陸面・海洋データ同化の高度化や、気象研究所と連携した大気海洋結合同化の研究開発を行い、その有用性についてパイロット (試験的) 再解析をとおして評価することも計画している。

近年急速に発展している人工知能・機械学習における教師データ等としての利用の観点を含めて、再解析データの仕様に関しても拡充が求められる。第6回世界気候研究計画 (WCRP) 再解析国際会議 (令和6年10月) などを通じて得られた再解析の利活用状況に関する情報や計算機資源の状況も踏まえつつ、検討を進めていく予定である。

参考文献

- 気象庁, 2021a: ハイブリッド同化の全球解析への導入. 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, 18-22.
- 気象庁, 2021b: マイクロ波輝度温度全天同化とアウトーループの全球解析への導入. 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, 23-28.
- 古林慎哉, 太田行哉, 原田やよい, 海老田綾貴, 守谷昌己, 小野田浩克, 大野木和敏, 釜堀弘隆, 小林ちあき, 遠藤洋和, 宮岡健吾, 高橋清利, 2015: 気象庁55年長期再解析 (JRA-55) の概要. 平成26年度季節予報研修テキスト, 気象庁地球環境・海洋部, 66-115.
- Kosaka, Y., S. Kobayashi, Y. Harada, C. Kobayashi, H. Naoe, K. Yoshimoto, M. Harada, N. Goto, J. Chiba, K. Miyaoka, R. Sekiguchi, M. Deushi, H. Kamahori, T. Nakaegawa; T. Y. Tanaka,

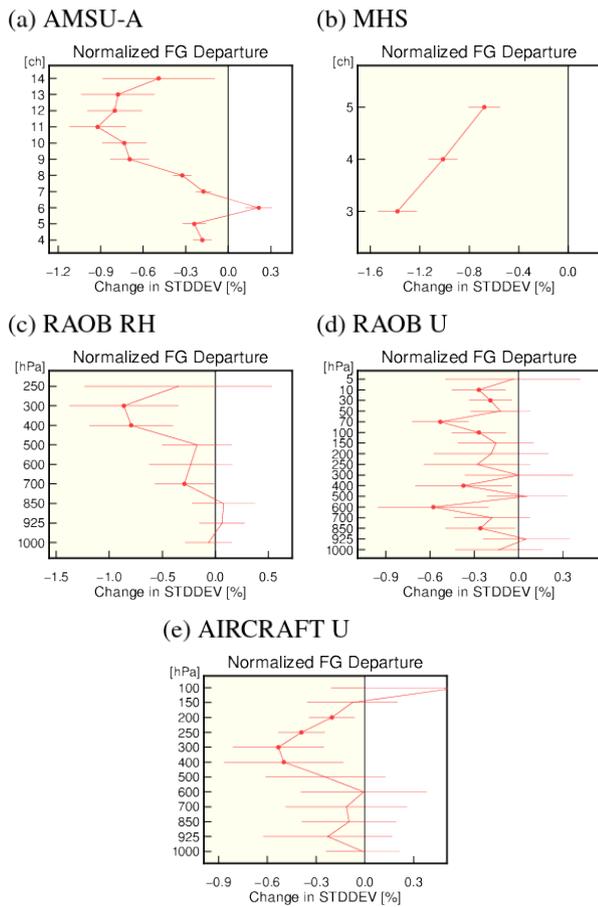
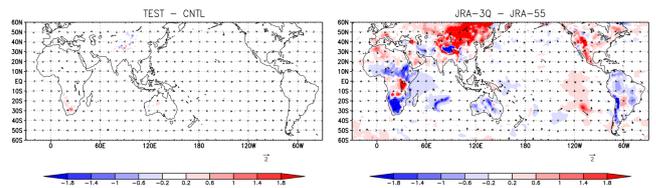


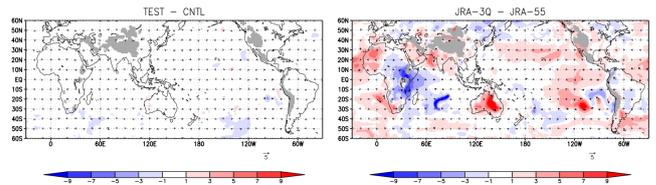
図 3.8.1 観測値と第一推定値との差 (O-B) の標準偏差の TEST の CNTL に対する変化率 [%]。統計期間は 2023 年 12 月 21 日~2024 年 2 月 11 日。(a) マイクロ波気温サウンダ AMSU-A、(b) マイクロ波水蒸気サウンダ MHS、(c) ラジオゾンデの相対湿度、(d) ラジオゾンデの東西風、(e) 航空機観測の東西風。縦軸は (a)(b) はチャンネル番号、(c)-(e) は気圧高度を表す。標準偏差の図のエラーバーは 95%信頼区間、丸い点は変化の正負が統計的に有意であることを示す。

T. Tokuhira, Y. Sato, Y. Matsushita, and K. Onogi, 2024: The JRA-3Q reanalysis. *J. Meteor. Soc. Japan*, **102**, 49–109.

(a) Psea and surface wind



(b) Geopotential height and wind at 850hPa



(c) Geopotential height and wind at 200hPa

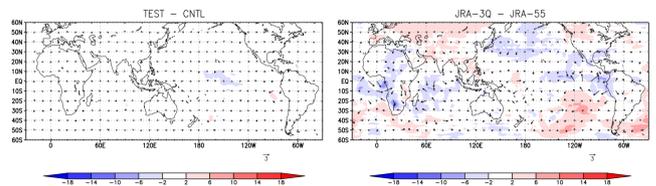
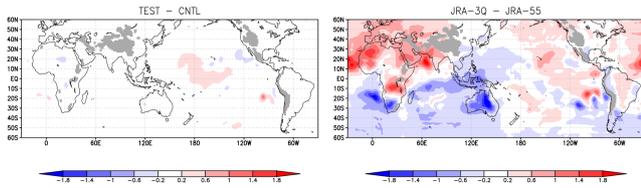
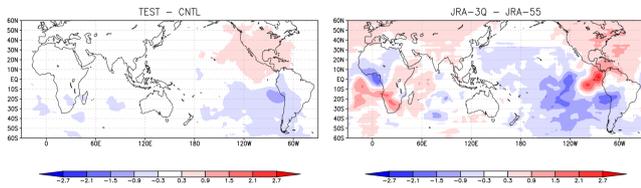


図 3.8.2 2024 年第 6 半旬 (1 月 26 日~1 月 30 日) における TEST と CNTL の差の半旬平均値 (左列)、及び JRA-3Q と JRA-55 の差の半旬平均値 (右列)。(a) 海面気圧 (陰影: hPa) と地上風 (ベクトル: m/s)、(b) 850hPa 高度 (陰影: gpm) と風 (ベクトル: m/s)、(c) 200hPa 高度 (陰影: gpm) と風 (ベクトル: m/s)。

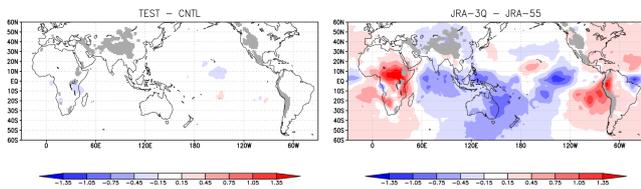
(a) Stream function at 850hPa



(b) Stream function at 200hPa



(c) Velocity potential at 850hPa



(d) Velocity potential at 200hPa

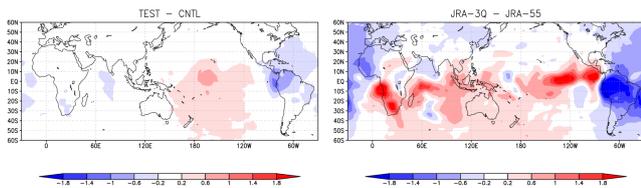
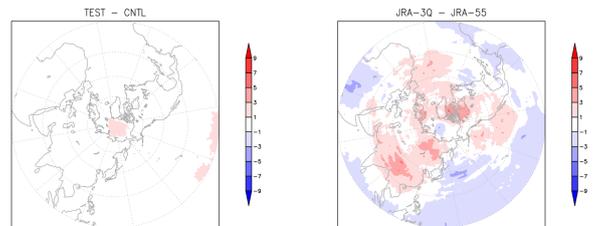
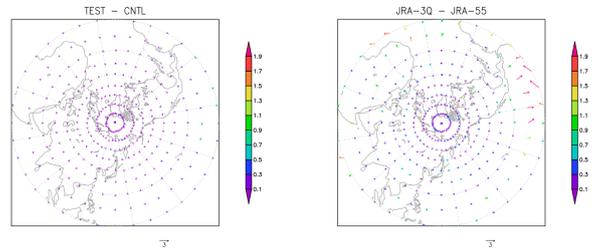


図 3.8.3 2024年第6半旬(1月26日~1月30日)における TEST と CNTL の差の半旬平均値(左列)、及び JRA-3Q と JRA-55 の差の半旬平均値(右列)。(a)850hPa 流線関数 ($\times 10^6 \text{ m}^2/\text{s}$)、(b)200hPa 流線関数 ($\times 10^6 \text{ m}^2/\text{s}$)、(c)850hPa 速度ポテンシャル ($\times 10^6 \text{ m}^2/\text{s}$)、(d)200hPa 速度ポテンシャル ($\times 10^6 \text{ m}^2/\text{s}$)

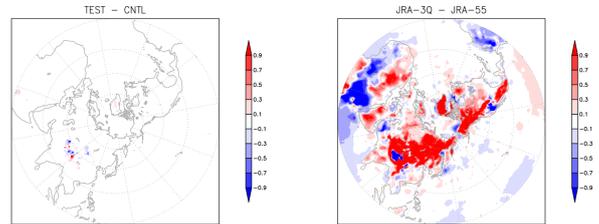
(a) Geopotential height at 500hPa



(b) Wind at 200hPa



(c) Psea



(d) Temperature at 850hpa

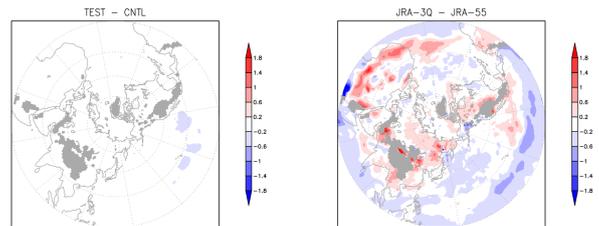


図 3.8.4 2024年1月における TEST と CNTL の差の月平均値(左列)、及び JRA-3Q と JRA-55 の差の月平均値(右列)。(a)500hPa 高度 (gpm)、(b)200hPa 風ベクトル (m/s)、(c)海面気圧 (hPa)、(d)850hPa 気温 ($^{\circ}\text{C}$)。