



第2章 応用編

2.4 観測データ利用法の改良

概要

- 2022年10月から2023年9月までの間に、気象庁の数値予報システムに導入した観測データの利用に関する主な改良項目(下記赤字)について

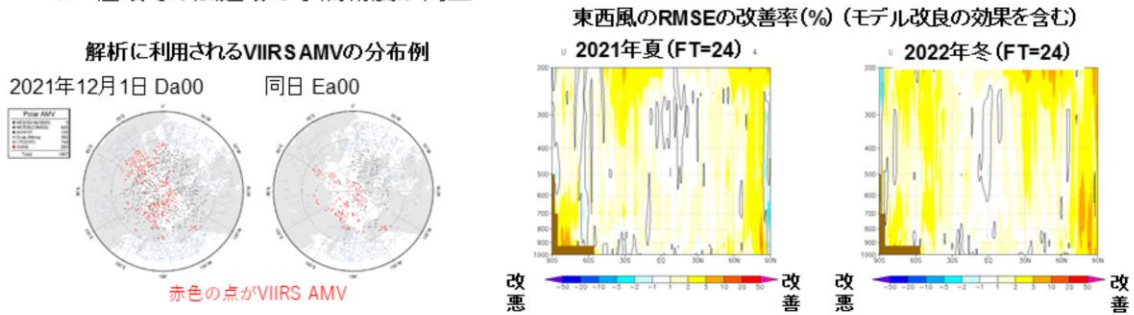
変更日	項目	対象
2022年11月17日	更新された二重偏波レーダー(釧路、種子島、室戸岬、大阪DRAW)の反射強度及びドップラー速度データの利用開始	メソ解析、局地解析、毎時大気解析、三十分大気解析、
2022年12月13日	ひまわり8号からひまわり9号への切り替え	全球解析、メソ解析、局地解析、毎時大気解析、三十分大気解析、全球エーロゾルモデル
2023年3月14日	Metop-B,C/IASI, Suomi-NPP,NOAA-20/CrIS水蒸気チャンネルの利用、 S-NPP, NOAA-20/VIIRS AMVの新規利用開始	全球解析
2023年3月28日	地上湿度(アメダス・気象官署)、船舶GNSS改良 、Metop-B,C/IASI, Suomi-NPP,NOAA-20/CrIS新規利用開始、新しい全球積雪深解析の利用開始	メソ解析
2023年3月28日	散乱計海上風(Metop-B,C/ASCAT)、 アメダス地上湿度、船舶GNSS 、Metop-B,C/IASI, NOAA-20/CrIS新規利用開始	局地解析
2023年5月9日	GOES-18/AMV, CSR新規利用	全球解析

本節前半では、2022年10月から2023年9月までの間に気象庁の全球、メソ、局地数値予報システムに導入した、観測データの利用に関する主な改良項目(新規観測データの利用開始など)について報告する。

全球数値予報システムの改良 観測データ利用の拡充 (AMV)

• 大気追跡風 (Atmospheric Motion Vector, AMV) の利用拡充

- 米国の極軌道衛星 NOAA-20, Suomi-NPP 搭載の VIIRS による観測データから算出される AMV
- 今後利用できなくなる可能性のある極域の AMV (MODIS AMV や AVHRR AMV) を補完
- 高緯度 (60 - 88° N/S) でのデータを利用
- 300hPa より下層のデータを利用 (300hPa より上層ではバイアスが見られる)
- ▶ 極域での風速場の予測精度が向上



全球解析では、熱帯・中緯度帯で静止気象衛星から算出されたAMV、極域で極軌道衛星から算出されたAMV (極域AMV) および緯度60度帯で極軌道衛星と静止気象衛星の合成画像から算出されたAMV (LEOGEO-AMV) を利用している (山下 2015)。このうち、極域AMVやLEOGEO-AMVにおいては、米国の地球観測衛星TerraおよびAqua搭載のMODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer: 中解像度画像分光放射計) センサによる観測データも利用している (山下 2011)。ただし、TerraおよびAquaの各衛星は設計寿命を大きく超えて運用されていることから、近い将来にこれらの観測データを利用したAMVが算出されなくなる可能性がある。また、NESDIS (National Environmental Satellite Data and Information Service: 米国環境衛星・資料情報局) による、極軌道衛星NOAA19号までに搭載された可視赤外イメージャAVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer: 改良型高分解能放射計) からのAMV算出システムも近い将来に運用を終了する予定である。これらの極域AMVの運用終了に備え、2022年6月30日に欧州気象衛星開発機構 (EUMETSAT) の極軌道衛星Metop搭載のAVHRRから算出されるAMVプロダクトのうち、Metop-B、Cの2機の画像から作成されるDual Metop global coverage wind (EUMETSAT 2016) (以下Dual-Metop AMV) の利用を開始した。

続いて2023年3月14日に、AVHRRの後継としてVIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite: 赤外可視放射計) から算出されるAMV (Daniels, J., et.al. 2022) (以下VIIRS AMV) の利用を開始した。VIIRSはNESDISによる新世代極軌道衛星NOAA20号やSuomi-NPPに搭載されたセンサーである。

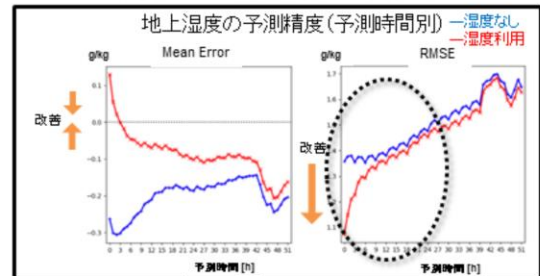
左図に2021年12月1日00UTC全球サイクル解析 (左) と全球速報解析 (右) に実験で利用されたVIIRS AMVの分布 (赤) を左図に示す。他の極域AMVの空白領域にデータが利用されている。右図はVIIRS AMVの利用を含む2023年3月に導入した全球数値予報システム改良時の、東西風1日予測でのRSME改善率を示す。モデルの改良の効果が含まれるものの、極域での風速場の予測精度が向上していることが分かる。

メソ数値予報システムの改良 観測データの利用拡充(地上湿度)

- メソ解析において地上湿度を利用する
 - 気象官署とアメダスの湿度データを利用開始
 - アメダスは令和3年度までに整備された157地点が対象。令和4年度以降に整備された地点についても順次利用開始予定。
- 湿度データ利用のインパクト
 - 地上の湿度と気温の予測が改善
 - 上層の高度場が改善
 - 降水予測が改善する事例を確認



アメダス・SYNOP湿度追加利用単体でのインパクト



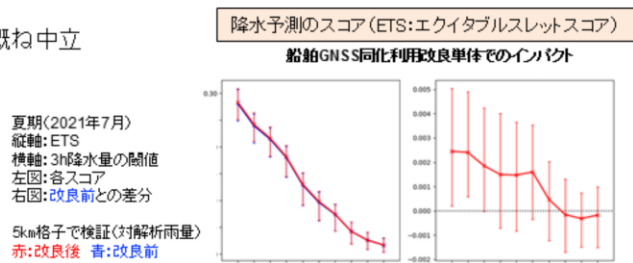
関連資料: 数値予報開発センター年報(令和4年), 100-101.

気象庁では線状降水帯の予測精度向上のための取り組みの一環として、地上水蒸気量分布の解析精度向上による大雨の予測精度向上を目的に、令和3年(2021年)3月以降、全国のアメダス観測所への湿度計の整備が進められている。右上図に整備状況を示す。この整備を受け、2023年3月28日にメソ解析にて、令和3年(2021年)度までに整備された157地点を対象にアメダス湿度データの利用を開始した。併せて、気象官署での湿度データの利用も開始した。今後も整備された地点についても、随時利用を開始する予定である。

MSMにおける湿度データ利用のインパクトとして、統計的検証により、地上の湿度と気温の予測、上層の高度場の改善が示された。また、降水予測が改善する事例を確認した。特にインパクトが見られた地上湿度予測精度を右下図に示す。地上の湿度観測データを利用することによって、平均誤差が改善し、予報初期においてRMSEが改善した。

メソ数値予報システムの改良 観測データの利用手法改良(船舶GNSS)

- 船舶GNSS可降水量データで以下の品質管理処理の改良を実施
 - 地上GNSS可降水量を船舶GNSS可降水量よりも優先的に利用する。
 - GNSS解析で用いた衛星の数 <7 のデータを除去する。
 - GNSS解析にかかれた時間 <30分のデータを除去する。
 - 間引き距離として 30km以内のデータを除去する。
 - メソ領域の境界のデータ除去する。
 - 動的QCの導入
 - 動的qcの導入により、精度が良いと考えられるD値(観測値と第一推定値の差)の大きな観測データの利用を拡充
- 船舶GNSS利用の改良単体でのインパクトは概ね中立
 - 夏の降水予測は、やや改善



関連資料:数値予報開発センター年報(令和3年), 61-65.

気象庁では線状降水帯の予測精度向上のための取り組みの一環として、数値予報での船舶GNSS観測データ利用を進めており、2021年8月にメソ解析において気象庁観測船および海上保安庁測量船による船舶GNSS可降水量の利用を開始した(数値予報開発センター 2022)。令和4年(2022年)度からは民間船舶(旅客船、貨物船)10隻の協力を得て観測体制が拡充され、随時利用を開始した。また、2023年3月28日にメソ解析にて、船舶GNSS観測データの品質管理手法を改良し、より効果的に船舶GNSS観測データを利用するよう改良を行った。事前に実施した実験の結果では、改良単体でのMSMへのインパクトは概ね中立であったが、夏の降水予測でやや改善していた(右下図)。

メソ数値予報システム 改良による予測特性の変化

- メソ数値予報システム
 - 夏期の弱い降水(1mm/3h)について予測前半を中心に改善
 - 予測前半を中心に夏期における地上気温、地上比湿の負バイアスが大きく解消し、RMSEも改善
 - 夏期の予測前半の高度、冬期の925hPa気温予測を改善
 - GSMの改良(2023年3月)による側面境界値変更の影響
 - 冬期の高度の予測改善
 - 冬期の対流圏中・上層の風の予測改善
 - 夏期の予測後半(FT=39-48)の500hPa高度の予測改悪
 - 海面更正気圧の予測改悪

これまで説明したメソ解析への改良を含む、2023年3月28日に現業化したメソ数値予報システム改良による予測特性の変化について記す。

- 夏期の弱い降水(1mm/3h)について予測前半を中心に改善
- 予測前半を中心に夏期における地上気温、地上比湿の負バイアスが大きく解消し、RMSEも改善
- 夏期の予測前半の高度、冬期の925hPa気温予測を改善
- GSMの改良(2023年3月)による側面境界値変更の影響
 - 冬期の高度の予測改善
 - 冬期の対流圏中・上層の風の予測改善
 - 夏期の予測後半(FT=39-48)の500hPa高度の予測改悪
 - 海面更正気圧の予測改悪

側面境界値による改悪については、その影響をさらに調査の上、今後の開発への課題とする。

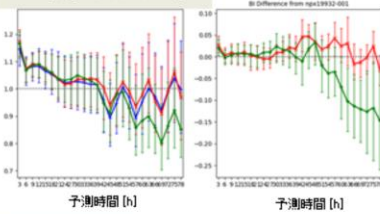
メソ数値予報システム 降水スコア (1mm/3h)

統計検証

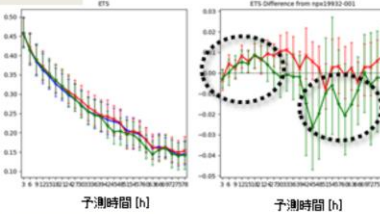
夏期

2021年6月26日~7月31日

バイアスコア



ETS

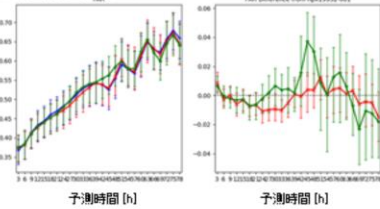


—改良前
—改良後
—改良後(側面境界値の改良も含む)

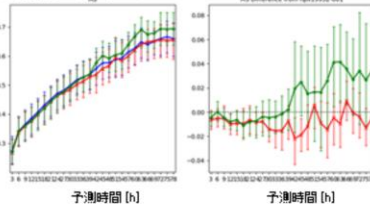
改善
↓
改善

• 予測前半でのETSの改善傾向、見逃し率、空振り率の減少

空振り率



見逃し率



改善
↑
改善

• FT36以降では、バイアスコア・ETS・見逃し率が悪化傾向

縦軸: 各スコア
横軸: 予測時間
左図: 各スコア
右図: 改良前との差分
20km格子で検証

2023年3月28日に現業化したメソ数値予報システムへの改良による降水スコアを示す。20km検証格子に対して、3時間1mm降水量を閾値とした、解析雨量に対するバイアスコア(左上図)、ETS(右上図)、空振り率(左下図)、見逃し率(右下図)の予測時間推移を示す。それぞれの図の左側が改良前(青線)、側面境界値を同じ条件下にした改良後(赤)、2023年3月14日に現業化したGSM改良を側面境界値とした改良後(緑)の各スコアの値、右図が改良前を基準にした差分を示す。エラーバーは95%の信頼区間を示している。統計期間は2021年6月26日~7月31日である。

予測前半でETSが改善傾向となっており、観測データの新規利用及び利用法改良の効果が表れている。予測後半は側面境界値の影響を受けやすくなっており、GSM改良を側面境界値とした場合、バイアスコアが減少、ETS・見逃し率が悪化傾向となった。

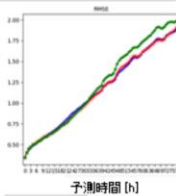
メソ数値予報システム 対地上観測のRMSE

統計検証

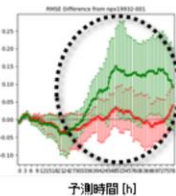
夏期

2021年6月26日~7月31日

海面更正気圧



比湿



改善

改善

改善

改善

改善

改善

改善

改善

改善

改善

改善

改善

改善

改善

改善

改善

改善

改善

改善

改善

改善

改善

改善

改善

改善

改善

改善

改善

改善

改善

改善

改善

改善

改善

改善

改善

改善

改善

改善

改善

改善

改善

改善

改善

改善

改善

改善

改善

改善

改善

改善

—改良前
—改良後
—改良後(側面境界値の改良も含む)

- 予測前半で気温・比湿のRMSEが減少
- 予測後半で海面更正気圧のRMSEが増加

縦軸: 各スコア
横軸: 予測時間
左図: 各スコア
右図: 改良前との差分

2023年3月28日に現業化したメソ数値予報システムへの改良による地上要素のRMSEを示す。地上観測に対する海面更正気圧(左上図)、比湿(右上図)、気温(左下図)、風速(右下図)の予測時間推移を示す。それぞれの図の左側が改良前(青線)、側面境界値を同じ条件下にした改良後(赤)、2023年3月14日に現業化したGSM改良を側面境界値とした改良後(緑)の各スコアの値、右図が改良前を基準にした差分を示す。エラーバーは95%の信頼区間を示している。統計期間は2021年6月26日~7月31日である。

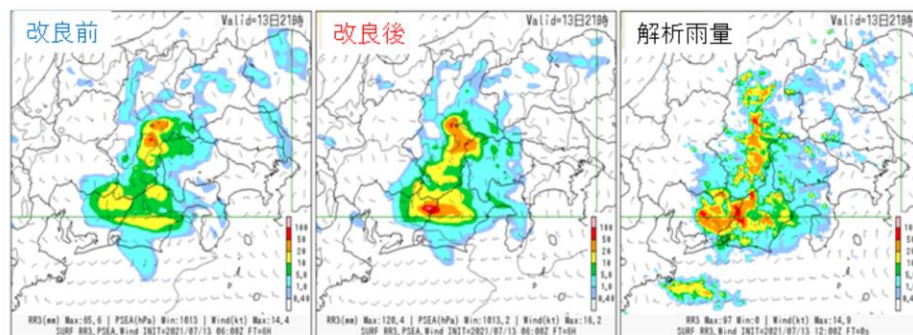
予測前半で気温と比湿のRMSEが減少しており、観測データの新規利用及び利用法改良の効果が表れている。予測後半は側面境界値の影響を受けやすくなっており、GSM改良を側面境界値とした場合、海面更正気圧のRMSEが増加して悪化傾向となった。なお、予測後半の比湿・気温・風速のスコアの値そのもの傾向は、予測値が00UTC、12UTC初期値のみしかなく、スコアの日変化が見えていることによるものである。

メソ数値予報システム

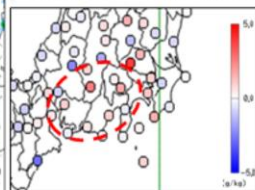
2021年7月13日12UTCの東海地方の不安定降水の事例

事例

2021年7月13日06UTC初期値の6時間予測（3時間降水量）



初期時刻における地上比湿の(観測値) - (第一推定値)



愛知県、静岡県、長野県南部付近では、地上比湿観測が初期値を湿らせる方向に修正

- 愛知県東部、静岡県西部、長野県南部で改良前に比べて改良後の予測降水量が増加し、より実況に近づいている。
- 主に地上比湿観測の利用によって、この事例での改善が見られたと考えられる。

2023年3月28日に現業化したメソ数値予報システムへの改良によって、不安定降水予測の改善が見られたため、その事例を示す。図は東海地方で不安定降水が起こった2021年7月13日06UTC初期値の6時間予測の比較図である。図の左から改良前、改良後、解析雨量の前3時間降水量[mm]、右図は改良後の初期値に用いた地上観測値の第一推定値との差[g/kg]である。

改良後の初期値では、地上比湿観測データが同化されたことにより、愛知県、静岡県、長野県南部付近で湿らせる方向に修正されていた。これにより、該当地域の予測降水量が増大して、より解析雨量に近づいた。主に地上比湿観測の利用によって、この事例での改善が見られたと考えられる。

局地数値予報システムの改良 観測データの利用拡充

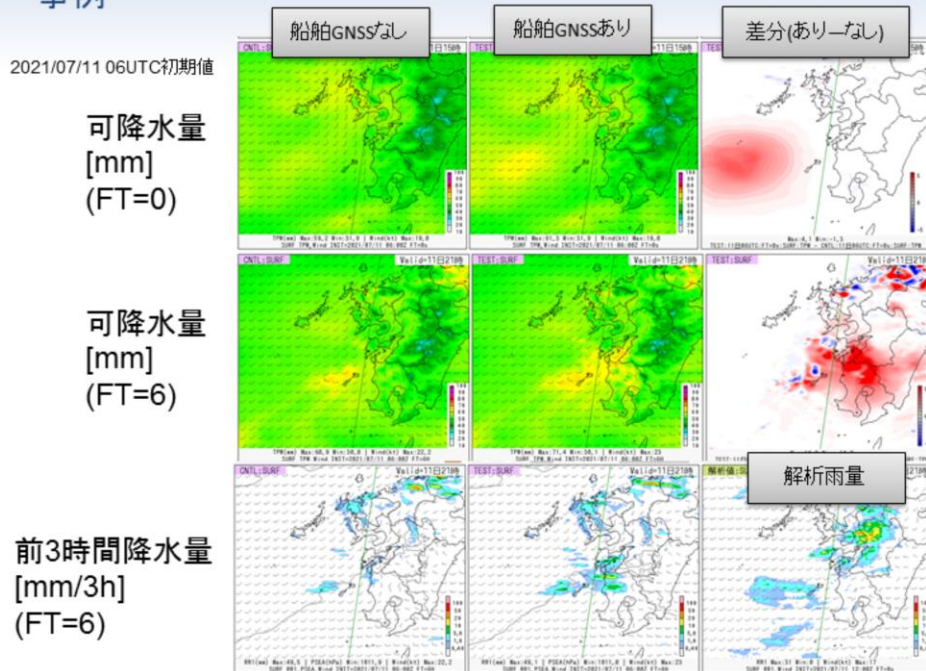
- **マイクロ波散乱計による海上風プロダクトの利用を開始**
 - Metop-B,C/ASCAT海上風を利用開始
 - QC処理の実装はメソ解析の内容を踏襲
 - AMVの下層データなどを中心に観測値と第一推定値との整合性向上を確認
- **船舶GNSS可降水量データの利用を開始**
 - QC処理は概ねメソ解析と同様。
 - ただし、間引き距離が20km、動的qdは導入しないという違いがある。
 - 水蒸気に感度のある衛星観測において第一推定値との整合性向上を確認
- **アメダス湿度データの利用を開始**
 - 既に利用されているSYNOP湿度データにアメダス地点を追加
 - 夏季の地上比湿の乾燥バイアスが改善

2023年3月28日に現業化した局地数値予報システム改良のうち、観測データの利用拡充に関する改良の概要を示す。これらの改良含む全体的な予測特性の変化については、2.3節 局地数値予報システムの改良を参照願いたい。

局地数値予報システム

船舶GNSS可降水量の利用による影響

事例



2023年3月28日に現業化した局地数値予報システムの改良のうち、船舶GNSSから得られた可降水量の新規利用で効果が見られた事例を示す。図は2021/07/11 06UTC初期値の船舶GNSS可降水量の利用有無による違いを示した事例である。上段は初期値における可降水量[mm]解析値で、左から船舶GNSS可降水量の利用なし、船舶GNSS可降水量の利用あり、利用ありと利用なしの差分、中段は可降水量の6時間予測、下段は前3時間降水量[mm]で、左から船舶GNSS可降水量の利用なし、船舶GNSS可降水量の利用あり、解析雨量である。

上流となる東シナ海にあった船舶GNSS可降水量を利用することにより、初期値でその領域での可降水量を増加させ、それが6時間予測で、熊本県での降水量を増大させる効果が表れていた。

参考文献

- 気象庁数値予報開発センター, 2022: 地表面解析の高度化, 数値予報開発センター年報(令和3年), 15.
- 気象庁数値予報開発センター, 2022: メノ解析における船舶GNSS可降水量の利用, 数値予報開発センター年報(令和3年), 61-65.
- 気象庁数値予報開発センター, 2023: アメダス湿度データ利用に関する開発, 数値予報開発センター年報(令和4年), 100-101.
- 山下浩史, 2011: 全球解析におけるMODIS極域大気追跡風の利用法の改良. 平成23年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 13-19.
- 山下浩史, 2015: 大気追跡風. 数値予報課報告・別冊61号, 気象庁予報部, 70-77.
- Daniels, J., et.al, 2022, Enterprise Algorithm Theoretical Basis Document For Derived Motion Winds, Ver. 4.0, Feb. 2022, https://www.star.nesdis.noaa.gov/jpss/documents/ATBD/ATBD_EPS_Winds_DMW_v4.0.pdf
- EUMETSAT, 2016: AVHRR L2 Wind product ATBD, 1-24.