



第2章 応用編

2.3 観測データ利用法の改良

概要

- 2020年10月から2021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
2021年3月30日	SYNOP 気温、相対湿度データの全球陸面解析(土壤水分量)への利用開始(2.1節参照)	全球解析
2021年3月30日	SSMIS、AMSR2輝度温度データの全球積雪深解析への利用開始(2.1節参照)	全球解析
2021年5月25日	二重偏波化された東京レーダー反射強度の利用開始	メソ解析、局地解析
2021年5月25日	Metop-C/AMSU-A, MHS輝度温度データの利用開始	メソ解析
2021年6月29日	GOES-17/AMV, CSRデータの利用開始	全球解析
2021年6月29日	全天同化マイクロ波水蒸気サウンダの拡充	全球解析
2021年6月29日	航空機気温データのバイアス補正手法改良	全球解析
2021年6月29日	ハイパースペクトル赤外サウンダIASIのデータセット移行	全球解析
2021年8月31日	船舶GNSS可降水量データの利用開始	メソ解析

本節では、2020年10月から2021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)について扱う。2021年3月30日に導入された、SYNOP 気温、相対湿度データの全球陸面解析(土壤水分量)への利用開始及びSSMIS、AMSR2輝度温度データの全球積雪深解析への利用開始については2.1節を参照されたい。

全球解析における GOES-17 AMV, CSRデータの 利用開始

2021年6月29日～

【概要】

米国の静止気象衛星GOES-17の観測データから算出される大気追跡風 (AMV) 及び晴天放射輝度温度 (CSR) データの利用を開始

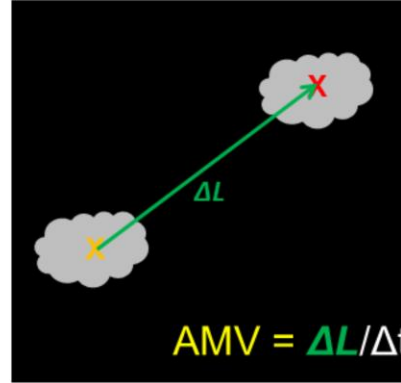
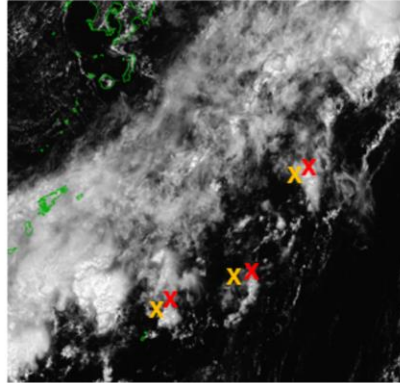
第一推定値の精度が改善

2021年6月29日、全球解析において米国の静止気象衛星GOES-17の観測データから算出される大気追跡風 (AMV) 及び晴天放射輝度温度 (CSR) データの利用を開始した。データ利用開始前に行った性能評価のための実験では、これらのデータを利用することにより、第一推定値の精度改善が確認された。以下では、それぞれのデータの概要と、当該データを利用した実験の結果について示す。

全球解析における
GOES-17 AMV, CSRデータの利用開始

大気追跡風 (Atmospheric Motion Vector) とは

- 時間的に連続する複数枚の衛星画像から雲や水蒸気パターンを追跡し、その移動量を求め、風ベクトルを算出するプロダクト
- 静止気象衛星では広範囲で面的なデータが得られ、特に定常的な観測が少ない海上におけるデータが得られる
- データ同化により対流圏の風の場合にインパクトがある



GOES-17 AMVデータの利用開始について述べる。大気追跡風 (AMV: Atmospheric Motion Vector) は時間的に連続する複数枚の衛星画像から雲の動きを捉え、上空の風向風速を算出する衛星プロダクトである(山下・今井 2007)。直接観測データの少ない海上などにおいて、AMVは風に関する貴重な観測データとなっている。

全球解析における GOES-17 AMV, CSRデータの利用開始

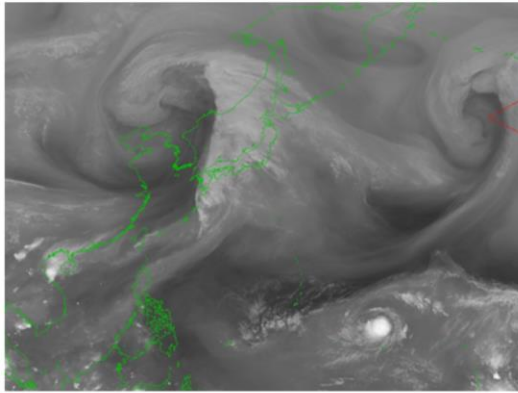
晴天放射輝度温度(CSR: Clear-Sky Radiance)とは

→「晴天ピクセルの輝度温度の領域平均を与えるプロダクト」

水蒸気バンド(バンド8、9、10)が持つ情報

- 水蒸気が多い → 白い(輝度温度が低い)
- 水蒸気が少ない → 黒い(輝度温度が高い)

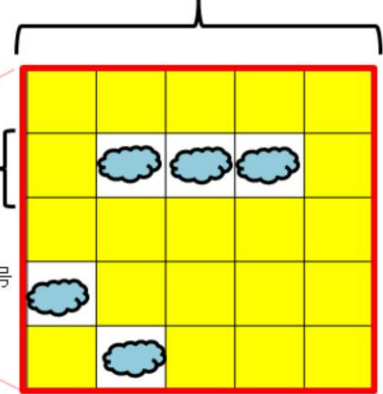
例: ひまわり8号バンド8の画像



1ピクセル毎に
輝度温度を観測。

※1ピクセルの大きさは、
ひまわり8号、GOES-17号
ともに、衛星直下点で
2km格子

領域(セグメントという)
ひまわり8号の場合、16 x 16ピクセル
GOES-17の場合、15 x 15ピクセル



1つのCSR= 内の の平均輝度温度[K]

GOES-17搭載の放射計ABI(Advanced Baseline Imager)には、バンド8、9、10(中心波長: 6.19、6.95及び7.34 μm)の水蒸気バンドがあり、対流圏の中上層の水蒸気に関する情報を持つ。GOES-17のCSRデータは、赤外バンドの観測値から10分間隔で作成されるプロダクトで、15 x 15ピクセルを単位として、この中に含まれる晴天ピクセルの輝度温度を平均したものである。

全球解析における GOES-17 AMV, CSRデータの利用開始

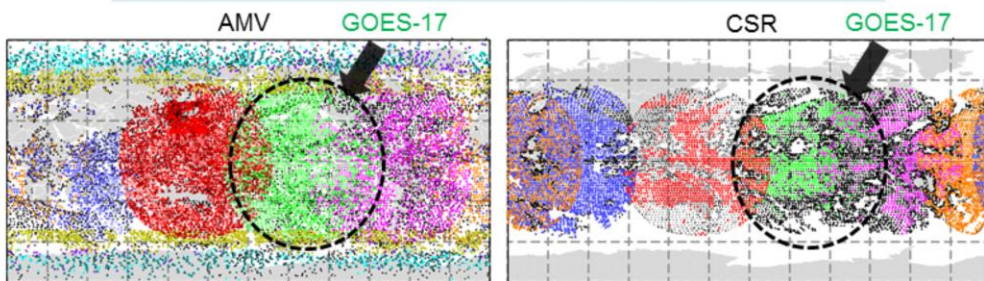
GOES-17 (Geostationary Operational Environmental Satellite-17)

- GOES-16と同型の米国の新世代衛星
- ひまわり8号および9号と同型のセンサーを搭載（ただし衛星内部の冷却装置に不具合あり）
- 2018年3月1日に打ち上げ
- 2019年2月12日からGOES-West（西経137.2度）として運用開始
 - 先代機のGOES-15が2020年3月2日運用終了
- GOES-17のAMV, CSRデータ利用開始により、GOES-Westの観測空白域を解消

GOES-17 AMV

- GOES-16 AMVと比較して明らかな品質低下を示す期間、時間帯があるため、11-16UTCのデータを通年で不使用とする
- QCに用いるQI閾値を高めに設定（GOES-16も高めに変更）

2021年10月15日00UTCの全球解析で利用されたAMV, CSRのデータ分布



米国大陸を含む領域を観測するGOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) シリーズは、GOES-East (静止位置: 西経 75度) と GOES-West (静止位置: 西経 137.2度) の2機体制で運用されている(下地・岡部 2018)。2019年2月12日にGOES-WestとしてGOES-17が本運用を開始したことに伴い、翌年の2020年3月2日に先行衛星のGOES-15が運用を停止した。以降、GOES-West領域はAMV及びCSRの利用空白域となっており、GOES-17 AMV、CSRの利用開始により、当該空白域が解消する。GOES-17 CSRの利用方法は、GOES-16 CSRの利用方法(Okabe 2020; 数値予報開発センター 2021a)と同様である。一方、GOES-17 AMVについては、GOES-16 AMVと比較して明らかな品質低下を示す期間、時間帯が確認された。AMVの品質低下は放射計ABIの冷却装置の不具合の影響によるものと考えられ、2, 4, 8, 10月の11-16UTCの期間で品質が低下していることから、GOES-17 AMVの11-16UTCのデータは通年で不使用とした。なお、CSRについては、ABIの不具合の影響によって品質が悪化したデータは除外して配信されているため、このような処理は必要ない。また、AMVのQCに利用する品質資料(QI)の閾値変更により予測精度の改善が確認できたことから、GOES-16 AMVのQC処理で用いられた値よりも高めのQIを閾値とし、GOES-16のQC処理においてもQI閾値を高くする変更を適用した。

実験設定

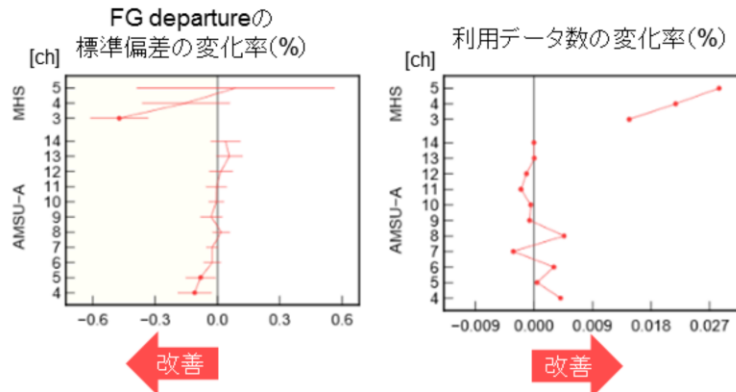
CNTL: 2021年4月時点のルーチン相当の設定

TEST: CNTL + GOES-17 AMV, CSRデータ利用 (GOES-16 AMV QI閾値変更含む)

実験期間: 2020年7月21日～2020年11月11日

マイクロ波サウンダ AMSU-A, MHSの各チャンネルにおける観測値と第一推定値の差の標準偏差と利用データ数の変化率 [%] (北半球)

第一推定値の値が、他の観測データの値に近づいているかどうか？



観測値と第一推定値の差 (FG departure) の標準偏差の減少は解析場の変化を通じた、観測データ同化の影響が現れやすい予測初期での予測値と観測値の差の標準偏差の減少 (改善) を示す。

第一推定値の他の観測データとの整合性が向上すると、QCをパスするデータが増加する。

水蒸気に感度のあるMHSや、対流圏中層の気温に感度のあるAMSU-Aのチャンネルで改善
(第一推定値における水蒸気場や気温場の表現が改善)



GOES-17 AMV及びCSRデータ利用の効果を確認するため、2021年4月時点の現業全球数値予報システムと同等の対照実験 (CNTL) と、これにGOES-17 AMV及びCSRデータを利用するように変更を加えた実験 (TEST) の比較を行った。なお、TESTでは、GOES-16 AMVのQC処理に用いるQI閾値変更を含む。実験期間は2020年7月21日から11月11日で、8月から10月の3ヶ月が検証対象期間である。ここでは、今回の改良には直接関係していないマイクロ波サウンダ (AMSU-A, MHS) の観測データを用いて、第一推定値への影響を示す。マイクロ波サウンダ観測データの観測値と第一推定値の差 (First Guess departure) の統計では、気温に感度のあるAMSU-Aでは対流圏中下層に感度のあるチャンネルでFG departureの標準偏差が減少し、水蒸気に感度のあるMHSにおいても標準偏差が減少した (図)。また、特にMHSの利用データ数が増加しており、第一推定値と観測値の整合性が向上していることがわかる。第一推定値の精度向上は、解析予報サイクルを通じて同化される観測値の影響を受けた結果であり、解析値の精度が向上したことを示唆する。予測については、中低緯度で概ね2日先まで改善傾向を示した (図略)。

これらの結果を受け、2021年6月29日より、GOES-17 AMV及びCSRデータの全球数値予報システムでの利用を開始した。

図: TESTのCNTLに対するマイクロ波気温サウンダAMSU-A、マイクロ波水蒸気サウンダMHSデータの各チャンネルにおけるFG departureの標準偏差と利用データ数の変化率 (%)。標準偏差の図のエラーバーは95%信頼区間、丸い点 (赤色) は変化が統計的に有意であることを示す。

全球解析における 全天同化マイクロ波水蒸気サウンダ の拡充

2021年6月29日～

【概要】

衛星搭載マイクロ波水蒸気サウンダ(ATMS, SSMIS, SAPHIR, MWHS-2)について、晴天域に加えて雲・降水域の観測データの利用を開始

第一推定値の精度が改善
台風進路予測の精度が改善

2021年6月29日、全球解析において、衛星搭載マイクロ波水蒸気サウンダ(ATMS, SSMIS, SAPHIR, MWHS-2)データについて、晴天域に加えて雲・降水域の観測データの利用を開始した。データ利用開始前に行った性能評価のための実験では、これらのデータを利用することにより、第一推定値の精度が改善し、台風進路予測の精度改善が確認された。以下では、データの概要と全天同化センサーを拡充した実験の結果について示す。

ATMS: Advanced Technology Microwave Sounder

SSMIS: Special Sensor Microwave Imager Sounder

SAPHIR: Sondeur Atmosphérique du Profil d'Humidité Intertropicale par Radiométrie

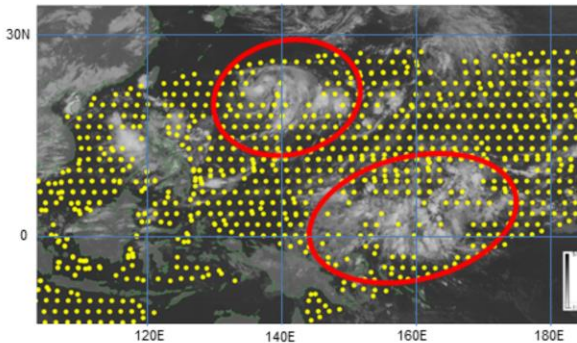
MWHS: Microwave Humidity Sounder

全球解析における 全天同化マイクロ波水蒸気サウンダの拡充

衛星搭載マイクロ波水蒸気サウンダ

- マイクロ波で水蒸気の吸収帯付近の波長を観測する受動型センサ
- 極軌道衛星等の低軌道衛星に搭載
- 大気の水蒸気の鉛直分布に関する情報が得られる

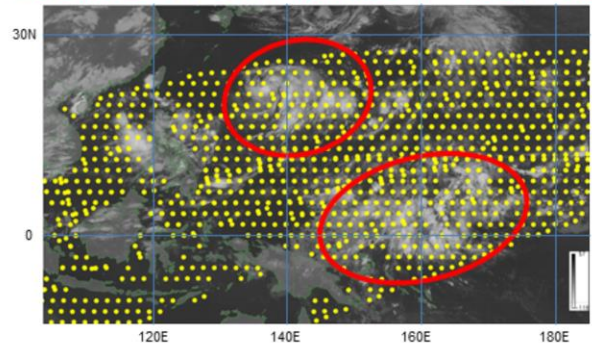
晴天同化: 晴天域のデータだけを同化



全天同化

- 晴天域のデータに加え、雲・降水域のデータを同化

全天同化: 晴・雲・降水域のデータの同化



・2018年7月25日12UTCの全球解析で利用対象となるMegha-Tropiques衛星搭載マイクロ波サウンダSAPHIR(チャンネル6)のデータ分布。背景は7月25日12UTCの衛星赤外面像。

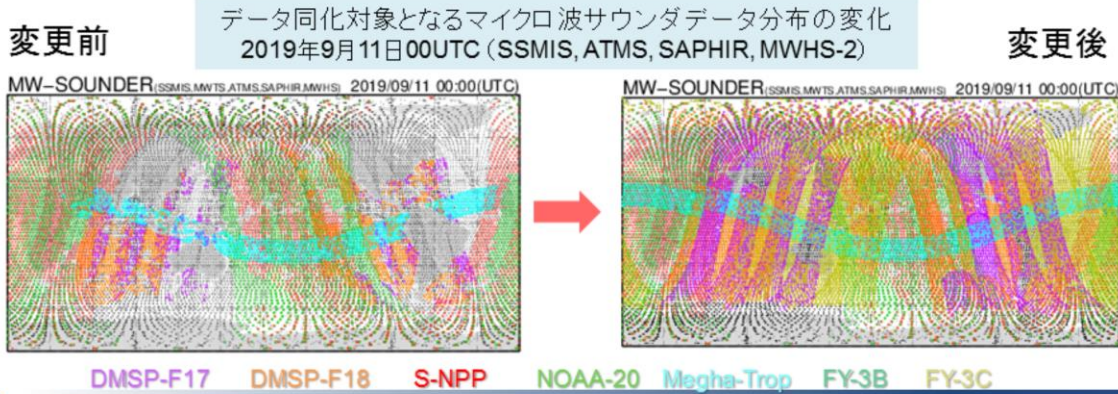
衛星に搭載されたマイクロ波センサー(イメージャやサウンダ)によって観測される輝度温度には、地球表面の状態や、大気の状態(気温、水蒸気量、雲や降水粒子)に応じた放射や散乱などの様々な情報が含まれる。これらの情報を含む輝度温度を数値予報の初期値解析で適切に同化することで、初期値としてより現実に近い大気状態を作成することができる。気象庁の数値予報システムにおいて、マイクロ波センサーをはじめとする輝度温度データは、これまで晴天域のデータのみが利用(晴天同化)されてきた(佐藤・江河 2007、計盛 2015)が、2019年12月11日から、雲・降水域を含むマイクロ波輝度温度データの同化(全天同化)が開始された。これにより、雲・降水の情報がより多く取り込まれ、解析値や予測値において、特に水蒸気場の精度が改善された(数値予報開発センター 2021b)。

全球解析における 全天同化マイクロ波水蒸気サウンダの拡充 衛星搭載マイクロ波水蒸気サウンダ

- 既に全天同化(2019/12/11~): Metop, NOAA/MHS, GPM/GMI
- 晴天同化から全天同化に変更: Suomi-NPP, NOAA-20/ATMS, DMSP/SSMIS, Megha-Tropique/SAPHIR
- 新規に全天同化: FY-3/MWHS-2

QC変更(主な項目)

- マイクロ波水蒸気サウンダデータの観測誤差変更
- SSMISがMHSで間引かれるのを停止
- SSMIS, SAPHIRの183GHzチャンネルの陸域利用追加
- 可降水量が少ないところはデータを使わないようになっていたが、海上では利用するように変更



気象庁 Japan Meteorological Agency

令和3年度数値予報解説資料集

10

2019年12月の全天同化への移行においては、十分な調査や評価が未完了であったいくつかのマイクロ波水蒸気サウンダについては引き続き晴天域のみのデータを利用していた。今回の改良では、米国のSuomi-NPP衛星及びNOAA-20衛星搭載のATMS、米国のDMSP衛星搭載のSSMIS、フランス国立宇宙研究センターとインド宇宙機関のMegha-Tropiques衛星搭載のSAPHIR、中国のFY-3衛星搭載のMWHS-2を対象に、いずれも水蒸気の吸収帯183GHz付近のチャンネルを全天同化する(数値予報開発センター2021c)。図に、当該データのカバレッジの変化を示す。全天同化への変更、陸域での利用、間引きの変更、新規センサー(MWHS-2)の利用などにより、利用データ数が増加している。また、今回の変更では、マイクロ波水蒸気サウンダデータのQCについても、すでに全天同化となっているセンサーも含め、見直しを行った。

Metop: Meteorological Operational Satellite

NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration

GPM: Global Precipitation Measurement

GMI: GPM Microwave Imager

Suomi-NPP: Suomi National Polar-orbiting Partnership

DMSP: Defense Meteorological Satellite Program

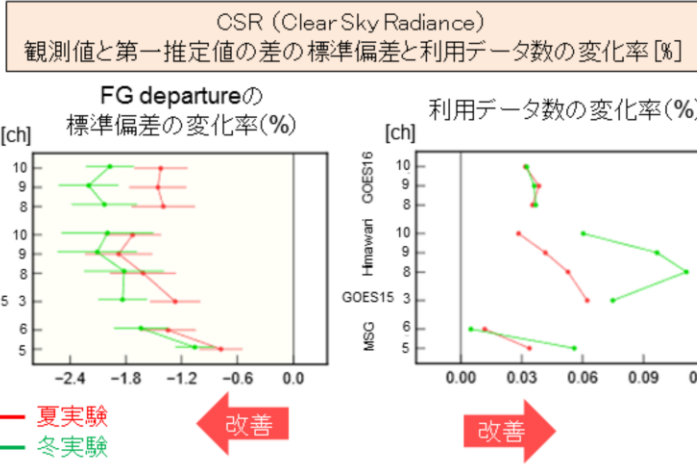
FY: Feng-Yun

実験設定

CNTL: 2020年10月時点のルーチン相当の設定

TEST: CNTL + 全天同化センサーの拡充

実験期間: 夏実験: 2019年7月10日～9月11日、冬実験: 2019年12月10日～2020年2月11日



第一推定値の値が、
他の観測データの値に
近づいているかどうか？

観測値と第一推定値の差 (FG departure) の標準偏差の減少は解析場の変化を通じた、観測データ同化の影響が現れやすい予測初期での予測値と観測値の差の標準偏差の減少(改善)を示す。

第一推定値の他の観測データとの整合性が向上すると、QCをパスするデータが増加する。

水蒸気に感度のあるCSRについて改善
(第一推定値における水蒸気場の表現が改善)



マイクロ波水蒸気サウンダ全天同化センサー拡充の効果を確認するため、2020年10月時点の現業全球数値予報システムと同等の対照実験(CNTL)と、これに全天同化センサー拡充の変更を加えた実験(TEST)の比較を行った。実験期間は2019年7月10日から9月11日(夏季)、2019年12月10日から2020年2月11日(冬季)で、8月及び1月のそれぞれ1ヶ月が検証対象期間である。ここでは、今回の改良には直接関係していない晴天放射輝度温度CSRの観測データを用いて、第一推定値への影響を示す。対流圏中上層の水蒸気に感度のあるCSRデータの観測値と第一推定値の差(First Guess departure)の統計では標準偏差が減少した一方、利用データが増加しており、第一推定値と観測値の整合性が向上していることがわかる(図)。第一推定値の精度向上は、解析予報サイクルを通じて同化される観測値の影響を受けた結果であり、解析値の精度が向上したことを示唆する。

図: TESTのCNTLに対するGOES-16、ひまわり8号、GOES-15、MSG(Meteosat-8、11)衛星の各チャンネル(バンド)におけるCSRデータのFG departureの標準偏差と利用データ数の変化率(%)。標準偏差の図のエラーバーは95%信頼区間、丸い点は変化が統計的に有意であることを示す。赤色は夏実験、緑色は冬実験の結果を示す。

実験設定

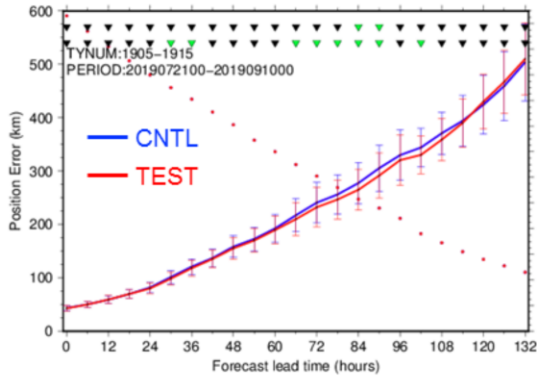
CNTL: 2020年10月時点のルーチン相当の設定

TEST: CNTL + 全天同化センサーの拡充

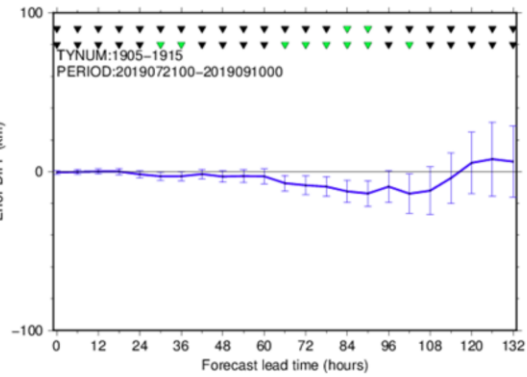
実験期間: 夏実験: 2019年7月10日~9月11日、冬実験: 2019年12月10日~2020年2月11日

台風進路予測

台風中心位置予測誤差



台風中心位置予測誤差の差
(TEST - CNTL)



台風進路予測について、概ね改善傾向

また、台風進路予測の検証では概ね改善傾向を示した(図)。

これらの結果を受け、2021年6月29日より、全球数値予報システムにおいてマイクロ波水蒸気サウンダ全天同化センサーを拡充した。

全球解析における 航空機気温データの バイアス補正手法改良

2021年6月29日～

【概要】

全球解析での航空機気温データのバイアス補正において、カルマンフィルタを用いた手法を導入

北半球の500hPa高度予測などが改善

2021年6月29日、全球解析における航空機気温データのバイアス補正において、カルマンフィルタを用いた手法を導入した。導入前に行った性能評価のための実験では、バイアス補正手法の改良により、北半球の500hPa高度予測の改善などが確認された。以下では、新しいバイアス補正手法の概要と実験の結果について示す。

全球解析における 航空機気温データのバイアス補正手法改良

航空機気温データ

- 広域にわたって取得することができる高層の直接観測データ
- 数値予報モデルに対するバイアスが存在
 - 航空機の測器の取付け位置、感部の汚れ、測器システム特有の誤差などの影響

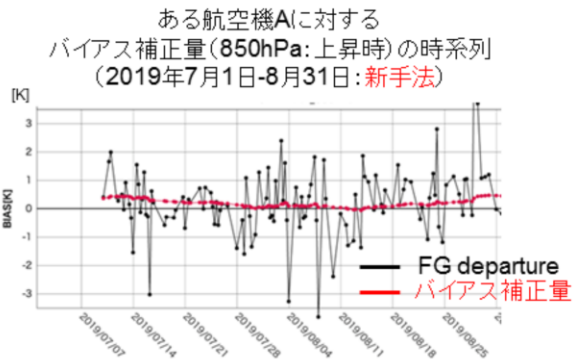
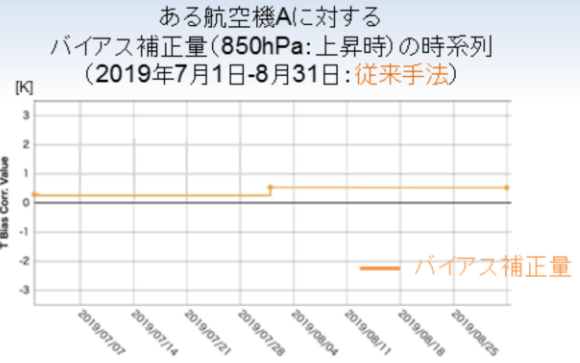
従来のバイアス補正手法

- 航空機別、飛行高度別に前月の観測値と第一推定値の差 (FG departure) 統計を用いてバイアス補正量を算出
 - 1ヶ月間はバイアス補正量が固定
 - サンプル不足の場合はバイアス補正なしで利用



新しいバイアス補正手法

- カルマンフィルタを用いた手法により、航空機別、飛行高度別、飛行状態(上昇、下降、巡航)別にバイアス補正量を逐次更新



気象庁では、民間航空機の気温や風等の気象観測データを入手して、数値予報の初期値解析に利用している。航空機の気温観測データには、ラジオゾンデの観測等と比較して機体ごとのバイアスが存在することが知られており、データ同化に使用するためには適切に補正して利用する必要がある。従来の全球解析では、月に1度航空機毎に1か月分の気温データの観測値と第一推定値の差 (First Guess departure) を集計し、それを基に航空機毎・高度毎のバイアス補正量を算出して次月の航空機の気温データの補正に利用している(酒匂 2010; 太田 2020)。しかしながら、本手法には以下のような課題がある。

- 補正量の更新は月に1回であり、バイアス傾向が月の途中で変化しても次月まで補正值が更新されない。
- 前月の機体・高度毎のデータ数が80以上の場合のみ補正量が計算される。データ数が必要数に満たない場合は、補正量が計算されないため、バイアス補正值は0となる。

これらの課題を解決するため、全球解析において、航空機気温データのバイアスの推定値をカルマンフィルタにより導出する手法を開発した(数値予報開発センター 2021d)。図は、ある航空機に対するバイアス補正量の従来手法及び新手法の時系列を示す。従来手法では1ヶ月間バイアス補正量が一定となっているのに対し、新手法では解析時刻ごとに最新の観測値の情報を反映したバイアス補正值が算出されていることが分かる。

全球解析における 航空機気温データのバイアス補正手法改良

実験設定

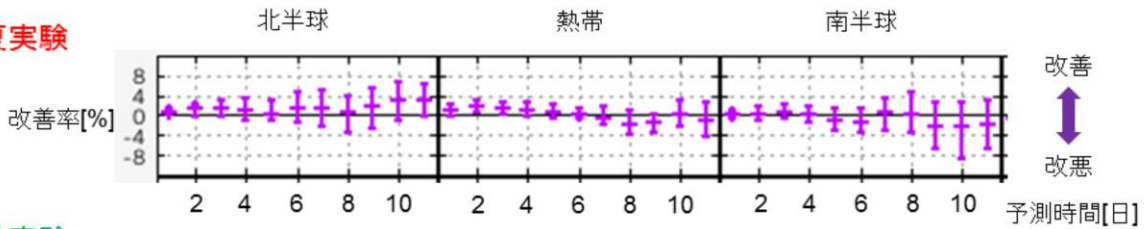
CNTL: 2020年10月時点のルーチン相当の設定

TEST: CNTLの航空機気温バイアス補正を従来手法から新手法に変更

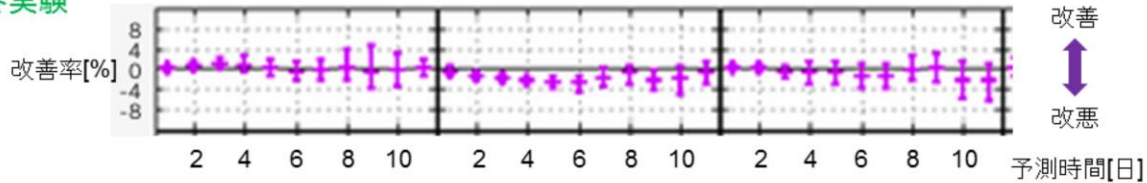
実験期間: 夏実験: 2019年7月10日～9月11日、冬実験: 2019年12月10日～2020年2月11日

500hPa高度予測の解析値に対するRMSEの改善率

夏実験



冬実験



予報初期を中心に改善傾向(特に北半球)



カルマンフィルタを利用したバイアス補正手法の効果を確認するため、2020年10月時点の現業全球数値予報システムと同等の対照実験(CNTL)と、これに新しいバイアス補正手法を導入した実験(TEST)の比較を行った。実験期間は2019年7月10日～9月11日(夏季)、2019年12月10日～2020年2月11日(冬季)で、2019年8月及び2020年1月のそれぞれ1ヶ月が検証対象期間である。ここでは、500hPa高度予測の解析値に対するRMSEの改善率を示す。予報初期を中心に改善傾向であり、特に北半球で改善を示している。

これらの結果を受け、2021年6月29日より、全球数値予報システムにおいて航空機気温データのバイアス補正手法の改良を導入した。

メソ解析における Metop-C / AMSU-A, MHS 輝度温度データの利用開始

2021年5月25日～

【概要】

欧州気象衛星開発機構(EUMETSAT)が運用する極軌道衛星Metop-Cに搭載されたマイクロ波サウンダAMSU-A、MHSの輝度温度データの利用を開始

第一推定値の精度が改善

2021年5月25日、メソ解析において欧州気象衛星開発機構(EUMETSAT)が運用する極軌道衛星Metop-C搭載のマイクロ波サウンダAMSU-A、MHSの輝度温度データの利用を開始した。データ利用開始前に行った性能評価のための実験では、これらのデータを利用することにより、第一推定値の精度改善が確認された。以下では、データ利用の概要と、当該データを利用した実験の結果について示す。

メソ解析における Metop-C / AMSU-A, MHS輝度温度データの利用開始

Metop-C

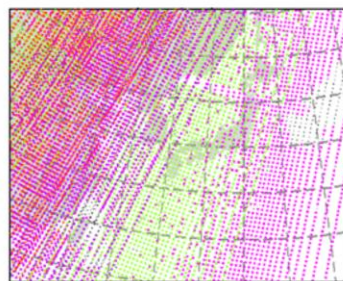
- 2018年11月7日に打ち上げられた極軌道衛星
- 運用はEUMETSAT
- 現業極軌道気象衛星Metopシリーズの3機目
- 地球観測を行う多数のセンサーを搭載
 - AMSU-A, MHS, IASI, ASCAT, GRASなど

マイクロ波サウンダAMSU-A, MHS

- 極軌道衛星に搭載される受動型センサ
- 複数波長で地球からの放射強度を測定
- 大気的气温や水蒸気の鉛直分布に関する情報が得られる

データ分布例

メソ解析で利用されたデータ分布
(2021年10月23日 03UTC)



AMSU-A

- NOAA-15
- NOAA-18
- Metop-A
- Metop-B

Metop-C

↑ NEW!

MHS

- Metop-B

Metop-C

↑ NEW!

主に03, 12UTCでデータ増

衛星搭載マイクロ波サウンダは、地球大気や地表面からのマイクロ波放射の強度(輝度温度)を複数の周波数(チャンネル)で測定し、大気的气温や水蒸気の鉛直分布に関する情報を取得するセンサである(岡本 1999)。マイクロ波気温サウンダAMSU-Aは、60GHz帯の酸素の吸収帯を利用したセンサーで、大気の透過率が様々に異なる複数のチャンネルを持ち、それぞれ対流圏から成層圏の様々な高度の気温に感度を持つ。気象庁の数値予報システムにおいては、EUMETSATが運用する極軌道衛星Metopの他、米国が運用する極軌道衛星NOAAやAquaに搭載されているAMSU-Aを利用中である(岡本 2007; 計盛 2011; 江河 2015)。マイクロ波水蒸気サウンダMHSは、183GHz帯の水蒸気の吸収帯を利用したセンサーで、この周波数帯には3つのチャンネルを持ち、対流圏中上層の水蒸気量に感度を持つ。AMSU-Aと同様に、Metopの他、NOAAに搭載されているMHSを利用中である。今回の改良では、メソ解析において2018年11月7日に打ち上げられたMetop-C衛星搭載のAMSU-A, MHS輝度温度データの利用を追加する(数値予報開発センター 2021e)。この変更により、03UTC、12UTCの解析時刻を中心に利用データ数が増加する(図)。

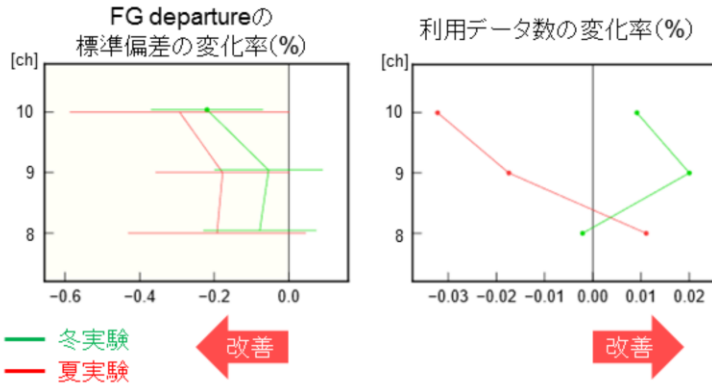
実験設定

CNTL: 2020年10月時点のルーチン相当の設定

TEST: CNTL + Metop-C / AMSU-A, MHS

実験期間: 冬実験:2020年1月15日～2月25日、夏実験:2020年6月26日～7月31日

Himawari-8 CSR (Clear Sky Radiance)
観測値と第一推定値の差の標準偏差と利用データ数の変化率 [%]



第一推定値の値が、
他の観測データの値に
近づいているかどうか?

観測値と第一推定値の差 (FG departure) の標準偏差の減少は解析場の変化を通じた、観測データ同化の影響が現れやすい予測初期での予測値と観測値の差の標準偏差の減少(改善)を示す。

第一推定値の他の観測データとの整合性が向上すると、QCをパスするデータが増加する。

水蒸気に感度のあるCSRについて改善傾向(特に冬季)
(第一推定値における水蒸気場の表現が改善)



Metop-C搭載のAMSU-A, MHS輝度温度データ利用による効果を確認するため、2020年10月時点の現業メソ数値予報システムと同等の対照実験(CNTL)と、これにMetop-C衛星搭載AMSU-A及びMHS利用追加の変更を加えた実験(TEST)の比較を行った。実験期間は2020年1月15日から2月25日(冬季)、2020年6月26日から2020年7月31日(夏季)である。ここでは、今回の改良には直接関係していない晴天放射輝度温度CSRの観測データを用いて、第一推定値への影響を示す。対流圏中上層の水蒸気に感度のあるCSRデータの観測値と第一推定値の差(First Guess departure)の統計では標準偏差が減少した一方で、利用データ数はほとんど変化しておらず、第一推定値と観測値の整合性が向上していることがわかる(図)。第一推定値の精度向上は、解析予報サイクルを通じて同化される観測値の影響を受けた結果であり、解析値の精度が向上したことを示唆する。予測精度は変更前後で概ね中立であった(図略)。

これらの結果を受け、2021年5月25日より、メソ数値予報システムにおいてMetop-C搭載のAMSU-A, MHS輝度温度データの利用を開始した。

図: TESTのCNTLに対するひまわり8号の各チャンネル(バンド)におけるCSRデータのFG departureの標準偏差と利用データ数の変化率(%)。標準偏差の図のエラーバーは95%信頼区間、丸い点は変化が統計的に有意であることを示す。赤色は夏実験、緑色は冬実験の結果を示す。

メソ、局地解析における 二重偏波化された東京レーダー反射強度の 利用開始

2021年5月25日～

【概要】

二重偏波化された東京レーダーについて、反射強度データの利用を開始

降水予測精度の変化は中立であったものの
降水予測のバイアス改善

2021年5月25日、メソ、局地解析において二重偏波化された東京レーダーの反射強度データの利用を開始した。データ利用開始前に行った性能評価のための実験では、当該データを利用することによる降水予測精度の変化は中立であったものの、バイアス改善などの傾向が確認された。以下では、データ利用の概要と、当該データを利用した実験の結果について示す。

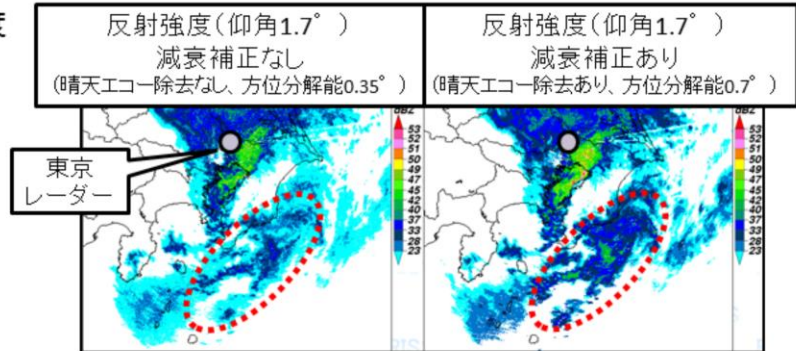
メソ、局地解析における 二重偏波化された東京レーダー反射強度の利用開始

気象レーダー

- 全国20地点ある気象レーダーの反射強度データは、メソ、局地解析で利用されている
- 気象レーダーは、令和元年度から二重偏波化の更新中
- 東京レーダーが最初に更新。令和2年3月5日から運用開始
- 従来製品の反射強度データも、偏波情報による非降水エコー除去や降雨減衰補正で品質向上

観測例

- 東京レーダー: 反射強度
(2020年7月2日0時)



メソ解析では、2011年6月から気象レーダーのレーダー反射強度から推定された相対湿度を同化し、メソモデルの初期値を作成している(幾田 2011)。また、局地解析でも2013年1月から同様の手法によるデータ同化を行っている(永戸ほか 2013; 幾田 2015)。

気象庁では、現在気象レーダーの更新を順次進めており、2020年3月に東京の気象ドップラーレーダー(以後、東京レーダー)が更新され、二重偏波化とスキャンシーケンス変更が行われた。更新後の東京レーダーの反射強度は強雨等によって発生する降雨減衰が補正された上で通報されるようになり、減衰補正なしの場合と比べて通報されるレーダー反射強度が強くなるなど、品質が向上している(図)。

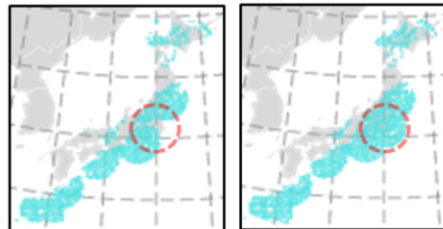
メソ、局地解析における 二重偏波化された東京レーダー反射強度の利用開始

東京レーダーのデータ利用状況

- レーダー更新後、ドップラー速度は2020年10月より利用開始(メソ、局地解析)
- 一方、反射強度の利用については予測精度に一部悪化がみられたため、利用開始を見送った。今回調査期間を延長し、改めてデータ特性や予測精度を確認

反射強度の同化手法(従来通り)

- 第一推定値の反射強度をレーダーシミュレーターで推定
- 第一推定値の反射強度・相対湿度・気温の関係を用いて観測値の反射強度から相対湿度を推定
- 推定した相対湿度を品質管理後に同化



利用データ分布の変化例(メソ解析)
(2020年6月28日03UTC)

関東地方の空白域が埋まる。間引き処理はレーダーからの距離に近いデータが優先されるため、関東地方は東京レーダーのデータが多く利用される。

品質管理(従来通り)

- サイトから200km以上は利用しない
- 仰角5.6度以上は利用しない
- 高度2km以下は利用しない(解析雨量で用いている反射強度を重複利用しない)
- 観測の反射強度は5dBZ未満を利用しない
- 固相(雪・霰)から計算した反射強度は利用しない
- 反射強度の観測値と第一推定値の差と、推定した相対湿度の値と第一推定値の差が逆符号なら利用しない
- 間引き(水平:メソ30km/局地5km、鉛直:500m)

更新後の東京レーダーのドップラー速度は、更新前とほぼ同等の品質を持っていることが確認できたため、2020年10月22日からメソ、局地解析での利用を開始した(数値予報開発センター 2021f)。一方、反射強度の利用については事前の調査によって予測精度の一部悪化がみられたため、利用開始を見送り、関東地方はレーダーデータの空白域となっていた(図)。今回、調査期間を延長し、改めてデータ特性や予測精度を確認した。反射強度の同化手法、品質管理手法については、従来の方法と同様である。

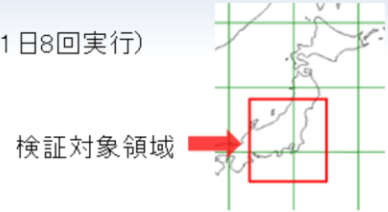
。

メソ、局地解析における 二重偏波化された東京レーダー反射強度の利用開始

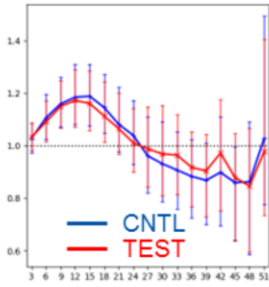
実験設定

CNTL: メソ: 2020年12月時点、局地: 2021年4月時点のルーチン相当の設定
 TEST: CNTL + 東京レーダー反射強度利用
 実験期間: 2020年4月6日～7月10日(メソ、局地ともに1日8回実行)

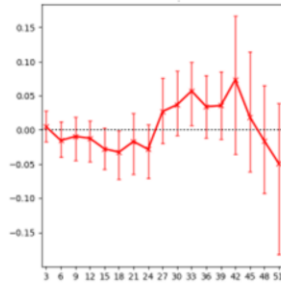
降水予測検証(メソ)
 10mm/3h(20km格子平均)
 予報時間別



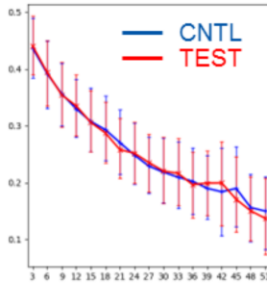
バイアスコア



バイアスコアの差
(TEST-CNTL)



エクイタブルスレットスコア エクイタブルスレットスコアの差
(TEST-CNTL)



バイアスコアは改善傾向、エクイタブルスレットスコアは概ね中立

東京レーダーの反射強度データ利用による効果を確認するため、2020年12月時点の現業メソ数値予報システム及び2021年4月時点の現業局地数値予報システムと同等の対照実験(CNTL)と、これらに東京レーダーの反射強度データ利用を加えた実験(TEST)の比較を行った。CNTLでは、東京レーダーの反射強度のデータは使用されていない。実験期間は2020年4月6日から2020年7月10日である。ここでは、メソ数値予報システムの降水予測検証の結果を示す。降水検証については、東京レーダーの効果を適切に把握するため、関東近辺を検証対象領域とし(右上図)、陸域を対象に20kmの水平格子間隔、対解析雨量で検証を行っている。検証結果については、10mm/3h以上の降水についてバイアスコアは改善傾向がみられ、エクイタブルスレットスコアは概ね中立であった。

改良の効果

メソ、局地解析における 二重偏波化された東京レーダー反射強度の利用開始

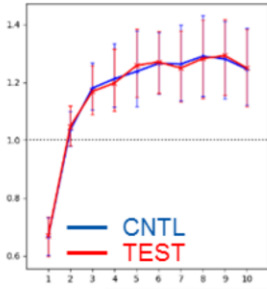
実験設定

CNTL: メソ: 2020年12月時点、局地: 2021年4月時点のルーチン相当の設定
TEST: CNTL + 東京レーダー反射強度利用
実験期間: 2020年4月6日～7月10日(メソ、局地ともに1日8回実行)

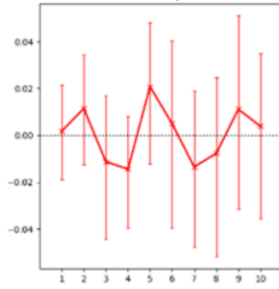
降水予測検証(局地)
5mm/1h(10km格子平均)
予報時間別



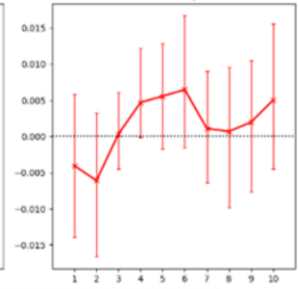
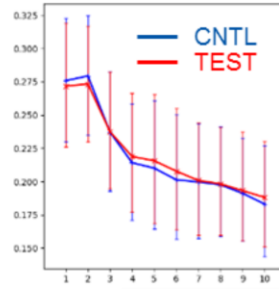
バイアスコア



バイアスコアの差
(TEST-CNTL)



エクイタブルスレットスコア エクイタブルスレットスコアの差
(TEST-CNTL)

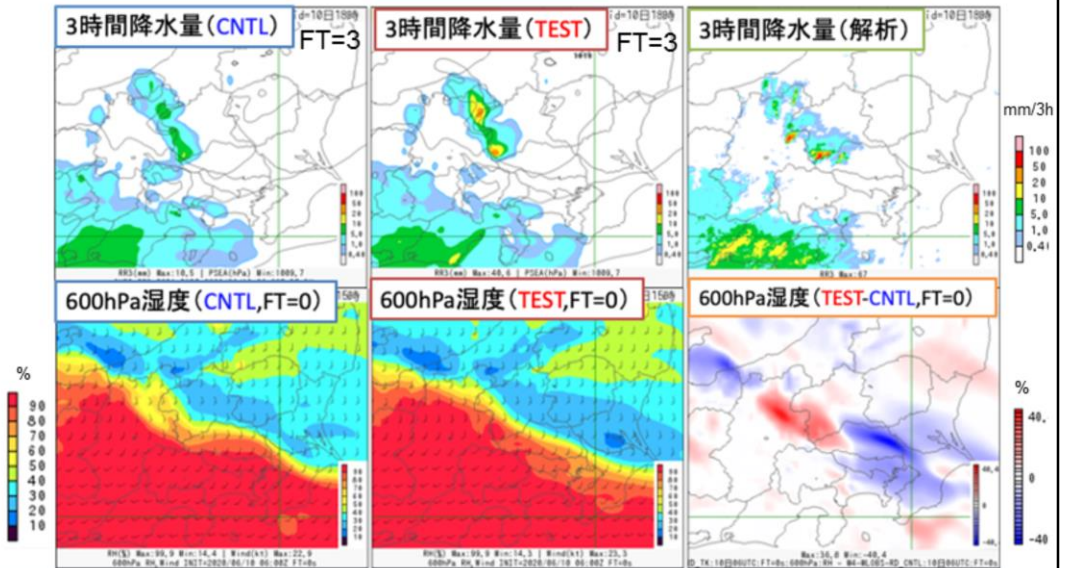


バイアスコアは中立
エクイタブルスレットスコアは予報初期でやや改悪、それ以降はやや改善傾向

同様に、局地数値予報システムの降水予測検証の結果を示す。5mm/1h以上の降水について、バイアスコアは中立であり、エクイタブルスレットスコアは予報初期でやや改悪、それ以降はやや改善傾向であった。

改善事例(メソ)

2020年6月10日 06UTC 初期値



関東地方における湿度の解析値に差異。関東地方の降水予測に改善がみられる

次に、東京レーダーの反射強度データ利用によるメソ数値予報システムの改善事例を示す。図は、2020年6月10日06UTCを初期値とした予測事例で、解析値では関東甲信地方の湿度分布にCNTLとTESTで差異がみられ、長野県、群馬県付近でTESTの方が600hPa付近で湿度が高く、3時間予測のTESTの降水量が解析雨量に近づいている。

これらの結果を受け、2021年5月25日より、メソ、局地数値予報システムにおいて東京レーダーの反射強度データの利用を開始した。

メソ解析における 船舶GNSS可降水量データの 利用開始

2021年8月31日～

【概要】

船舶搭載GNSS観測装置から算出される可降水量データの利用を開始

降水予測精度の変化は中立であったものの
予測改善事例がみられた

2021年8月31日、メソ解析において、船舶に設置されたGNSS受信機の観測データから算出される可降水量データの利用を開始した。データ利用開始前に行った性能評価のための実験では、当該データを利用することによる降水予測精度の変化は中立であったものの、降水予測が改善する事例が確認された。以下では、データ利用の概要と、当該データを利用した実験の結果について示す。

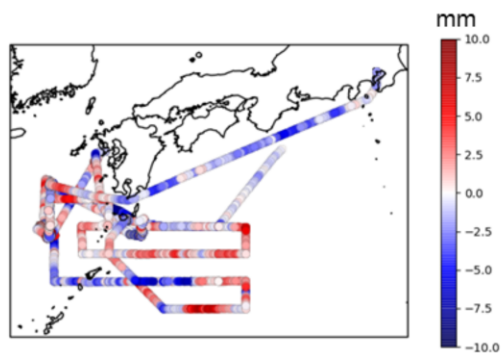
メソ解析における 船舶GNSS可降水量データの利用開始

地上GNSS可降水量

- GNSS (Global Navigation Satellite System) とは、GPS (米国)、Galileo (欧州)、GLONASS (ロシア)、QZSS (日本) などの衛星測位システムの総称
- 衛星から発した電波が地上に設置した受信機に届くまでの時間から、衛星から受信機までの水蒸気に関する情報が得られる
- 複数の衛星を用いて受信機上空の水蒸気に関する情報(天頂大気遅延量)が算出される
- 気象庁では、国土地理院の整備するGEONETから取得した約1,300地点の地上GNSS観測点のデータから天頂大気遅延量を解析して可降水量の算出を行い、メソ解析ではこの可降水量データを同化している

船舶GNSS可降水量

- 船舶に受信機を設置し、上空の水蒸気量(可降水量)を算出
- 今回の改良では、気象庁観測船(凌風丸、啓風丸)のほか、海上保安庁の協力を得て同庁測量船に設置された機器により算出された可降水量を利用



船舶GNSS可降水量(凌風丸)の観測値とメソ解析における第一推定値の差の分布
(2021年6月1日~2021年7月15日)

メソ解析では、2009年10月から国土地理院のGEONET(GPS Earth Observation NETwork system)による約1,300地点で解析される鉛直積算水蒸気量(地上GNSS可降水量)をデータ同化している(石川 2010)。一方、令和2年7月豪雨により多大な被害を及ぼした線状降水帯の予測精度向上をはじめとする防災気象情報の高度化のため、令和3年度から海上保安庁と気象庁において船舶GNSS観測を行い、洋上の水蒸気観測を強化している。今回の改良では、気象庁観測船(凌風丸、啓風丸)のほか、海上保安庁の協力を得て同庁測量船(4隻)に設置された機器により算出された可降水量データの利用を開始した。この変更により、洋上の水蒸気量に関する情報を利用することが可能となる(図)。

メソ解析における
船舶GNSS可降水量データの利用開始

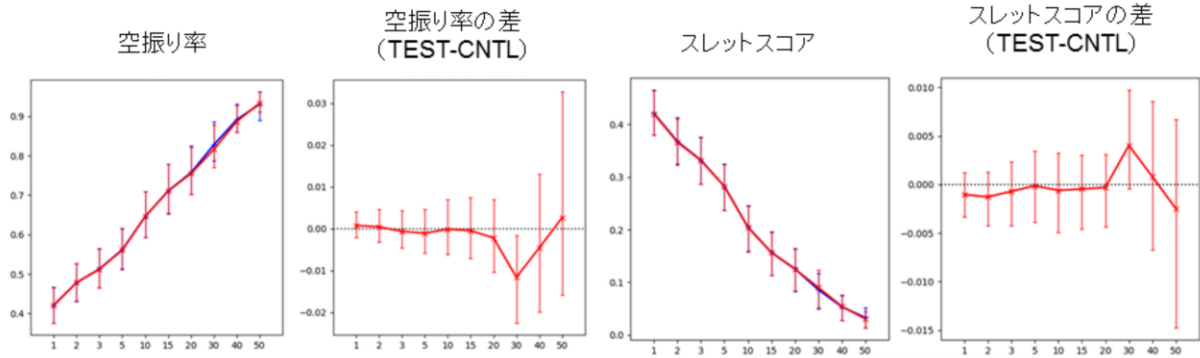
CNTL: 2021年6月時点のルーチン相当の設定

実験設定

TEST: CNTL + 船舶GNSS可降水量

(気象庁観測船2隻6/1～、海上保安庁測量船2隻7/9～)

実験期間: 2021年6月1日～7月15日

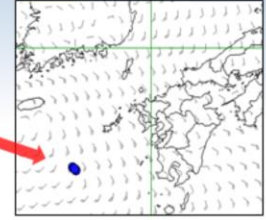
降水予測検証(メソ)
20km格子平均
閾値別(前3時間降水量)概ね中立
(閾値30mm/3hでは空振り率、スレットスコアがやや改善)

船舶GNSS可降水量データ利用による効果を確認するため、2021年6月時点の現業メソ数値予報システムと同等の対照実験(CNTL)と、これに船舶GNSS可降水量データ利用を加えた実験(TEST)の比較を行った。実験期間は2021年6月1日から2021年7月15日である。実験期間中、気象庁観測船2隻のデータは6月1日以降、海上保安庁測量船については2隻のデータは7月9日以降で利用可能であった。ここでは、降水予測検証の結果を示す。降水検証については、陸域を対象に20kmの水平格子間隔、対解析雨量で検証を行っている。検証結果については変更前後で概ね中立であり、閾値30mm/3hでは空振り率、スレットスコアがやや改善した。

メソ解析における 船舶GNSS可降水量データの利用開始

改善事例

2021年6月3日 00UTC初期値のメソ解析で利用された
船舶GNSS可降水量データ分布(凌風丸)

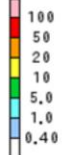
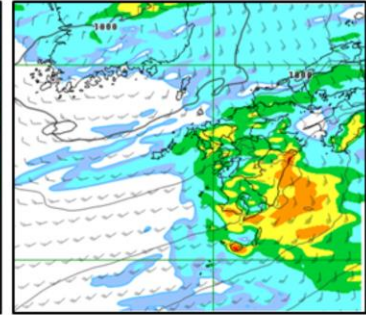
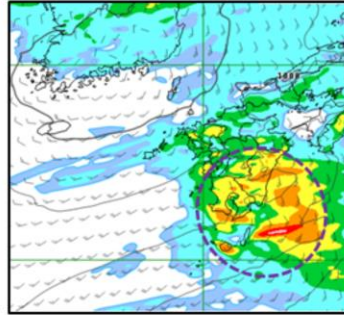
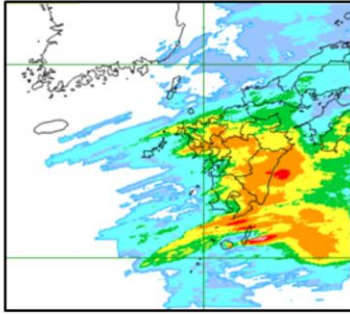


2021年6月3日 00UTC初期値 FT=9

3時間降水量
(解析雨量)

3時間降水量
(船舶GNSSあり)

3時間降水量
(船舶GNSSなし)



九州南部の降水について、船舶GNSS可降水量が利用されることで
実況の降水量分布に近づいた

次に、船舶GNSS可降水量データ利用によるメソ数値予報システムの改善事例を示す。図は、2021年6月3日00UTCを初期値とした予測事例 (FT=9) で、船舶GNSS可降水量データを利用した実験では、九州南部の降水分布、降水量が解析雨量に近づいている。

これらの結果を受け、2021年8月31日より、メソ数値予報システムにおいて船舶GNSS可降水量データの利用を開始した。

参考文献

- 幾田泰醇, 2011: メソ解析におけるレーダー反射強度データの同化. 平成23年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 9-12.
- 幾田泰醇, 2015: レーダー反射強度. 数値予報課報告・別冊第61号, 気象庁予報部, 40-42.
- 石川宣広, 2010: 地上GPSデータのメソ解析での利用. 数値予報課報告・別冊第56号, 気象庁予報部, 54-60.
- 永戸久喜, 原旅人, 倉橋永, 2013: 日本域拡張・高頻度化された局地モデルの特性. 平成25年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 18-41.
- 江河拓夢, 2015: マイクロ波サウンダ. 数値予報課報告・別冊第61号, 気象庁予報部, 47-49.
- 太田行哉, 2020: 航空機観測データ. 数値予報課報告・別冊第66号, 気象庁予報部, 120-123.
- 岡本幸三, 2007: ATOVS直接同化. 数値予報課報告・別冊第53号, 気象庁予報部, 58-70.
- 計盛正博, 2011: メソ解析における衛星観測輝度温度データの同化. 平成23年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 3-8.
- 計盛正博, 2015: マイクロ波イメージャ. 数値予報課報告・別冊第61号, 気象庁予報部, 50-54.
- 酒匂啓司, 2010: 航空機気温データのグローバル解析での利用. 平成22年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 33-37.
- 佐藤芳昭, 江河拓夢, 2007: マイクロ波放射計. 数値予報課報告・別冊第53号, 気象庁予報部, 91-105.
- 下地和希, 岡部いづみ, 2018: グローバル解析における米国静止気象衛星GOES-Eastデータの利用中断とその影響調査. 平成30年度数値予報課研修テキスト, 気象庁予報部, 14-18.

参考文献

参考文献

- 数値予報開発センター, 2021a: GOES-16 CSRの全球解析への利用. 令和2年度数値予報開発センター年報, 気象庁数値予報開発センター, 16-17
- 数値予報開発センター, 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. 令和2年度数値予報開発センター年報, 気象庁数値予報開発センター, 23-28
- 数値予報開発センター, 2021c: 全球解析におけるマイクロ波水蒸気サウンダの全天同化センサーの拡充. 令和2年度数値予報開発センター年報, 気象庁数値予報開発センター, 104-105
- 数値予報開発センター, 2021d: 航空機気温バイアス補正の改良. 令和2年度数値予報開発センター年報, 気象庁数値予報開発センター, 103-104
- 数値予報開発センター, 2021e: メソ解析におけるMetop-Cデータの利用. 令和2年度数値予報開発センター年報, 気象庁数値予報開発センター, 105-106
- 数値予報開発センター, 2021f: レーダー更新に伴う品質調査. 令和2年度数値予報開発センター年報, 気象庁数値予報開発センター, 106
- 山下浩史, 今井崇人, 2007: 大気追跡風(AMV). 数値予報課報告・別冊53号, 気象庁予報部, 36-56.
- Okabe, I., 2021: Operational use of GOES-16 clear-sky radiance (CSR) data in JMA's global NWP system. *Research activities in Earth system modelling. Working Group on Numerical Experimentation. Report No. 50*, 1.17-1.18.