

## 4.8 観測データの新規導入と利用法の改良

### 4.8.1 はじめに

気象庁の数値予報解析システムでは、初期値解析において様々な観測データが同化されている。初期値精度の向上は、予測精度向上には重要であり、新規観測データの導入や、観測データの利用法の改良が継続的に進められている。

本節では、新規観測データの導入や観測データの利用法の改良に関して、現在進められている主な開発の進捗を報告する。

### 4.8.2 放射伝達モデル RTTOV の更新

衛星により観測された輝度温度の同化では、観測演算子として放射伝達モデルを用い、計算した輝度温度を観測された輝度温度と比較している。放射伝達モデルは、数値予報モデルが出力する気温・水蒸気のプロファイル及び地表面情報を入力として輝度温度を計算する。気象庁では、全球解析への輝度温度同化開始(計盛・岡本 2004; 計盛ほか 2005; 岡本 2007)以来、放射伝達モデルとして、EUMETSAT の NWP-SAF で維持開発されている RTTOV (Eyre 1991) を用いている。現在利用中のバージョンは、2012年にリリースされた RTTOV 10.2 (Saunders et al. 2012) で、2012年11月に利用を開始した。

RTTOV は計算精度向上や機能追加、新規衛星への対応など、常に改良が行われており、数年ごとに新しいバージョンがリリースされている。RTTOV を最新版に更新することにより、最新の技術開発成果を取り込むことができるほか、新たに打ち上げられた衛星のサポートも受けられる。そのため、継続的に輝度温度データを利用する上で RTTOV の更新は重要である。

現時点で最新の RTTOV のメジャーバージョンは 2020年11月にリリースされた 13 (以降 RTTOV-13 とする) で、その後マイナーバージョンとして 13.1 が 2021年11月にリリースされている (Saunders et al. 2020)。現在、現業数値予報システムでの RTTOV-13 への更新作業を行っている<sup>1</sup>。RTTOV-13 への更新による主な変更点としては、以下のようなものがある。これらにより、輝度温度の計算精度向上が期待できるほか、現在進めている全天同化や陸域での利用データ拡大にも寄与する。

- 最新の気体吸収データベースに基づく放射伝達計算用の係数 (以下「係数」とする) の更新
- 複数種類の雲・降水粒子とそれぞれの雲量を考慮した全天候での放射伝達計算
- 赤外波長帯における雲域の輝度温度計算の精緻化
- 陸域の射出率・反射率データベースの更新

<sup>1</sup> 着手時点での最新バージョン 13.0 への更新を行っている。13.1 への更新は当庁での利用範囲に大きな影響はないことから今後の機会に実施する。

現在、輝度温度データは、全球解析、メソ解析、局地解析システムでそれぞれ同化利用されており、これらすべてにおいて RTTOV の更新作業が必要となる。また、利用されているすべての輝度温度センサーに関して、変更による影響の確認が必要となる。そのため、導入に向けた更新作業は、以下のように 2 段階に分けて実施する予定である。まずは、モジュールの差し替えや定数ファイル名の変更など、RTTOV-13 が動作するために必要な最低限の変更を行い、大規模な更新を確実に実施する。その際、係数についてはフォーマットの変更のみとし、現在利用している係数の内容を変更せず、輝度温度の計算結果を大きく変えないようにする。これにより、実装の不備等がバージョンアップによる改善に埋もれて見逃されることを防ぐ。次に、係数の更新を中心とした、計算結果に大きく影響する変更を実施する。その際、統計に基づいて作成されるパラメータ等 (固定値によるバイアス補正量、観測誤差、品質管理に必要な定数等) は、いずれも確認や見直しが必要となる。

現在は、第一段階であるモジュールの差し替え等の実装作業について概ね完了し、動作確認を行っているところである。

### 4.8.3 メソ解析におけるマイクロ波輝度温度の全天同化

全球解析においては、衛星に搭載されたマイクロ波センサーの、雲・降水域を含む輝度温度データの全天同化を 2019年12月に導入した (気象庁 2021a, 第 3.6 節)。メソ解析においても、マイクロ波センサーの全天同化に向けて開発を進めている。その際、メソ解析の特性を踏まえた対処が必要となる。

全球解析と同様に、雲・降水域を含めた輝度温度の計算には、RTTOV のパッケージに含まれる、散乱を考慮した放射伝達モデル RTTOV-SCATT (Bauer et al. 2006) を用いる。前述の RTTOV-13 の導入により、RTTOV-SCATT で用いる雲・降水粒子 (hydrometeor) のフラクシオン<sup>2</sup>を、粒子ごとに別々に与えることができるようになる。MSM の内部では、液相、固相の水として雲水、雲氷、雨、雪、あられの混合比を予報変数に持つ (氏家 2020) ことから、これを活用できる RTTOV-13 の導入は有効である。図 4.8.1 に、メソモデル内で計算される各粒子のフラクシオンを RTTOV-SCATT に与えて計算した、マイクロ波イメージャ AMSR2 の輝度温度を示す。雲・降水域における輝度温度を精度よく計算することができ、全天同化に向けて有効であることが確認できた。

メソ解析では、マイクロ波センサーからリトリブした降水強度を同化している (佐藤 2003) ことが、全

<sup>2</sup> モデル格子内に存在する物質の割合 (0-1)。0 は格子内に物質が存在しないことを、1 は格子内すべてを覆うことを意味する。

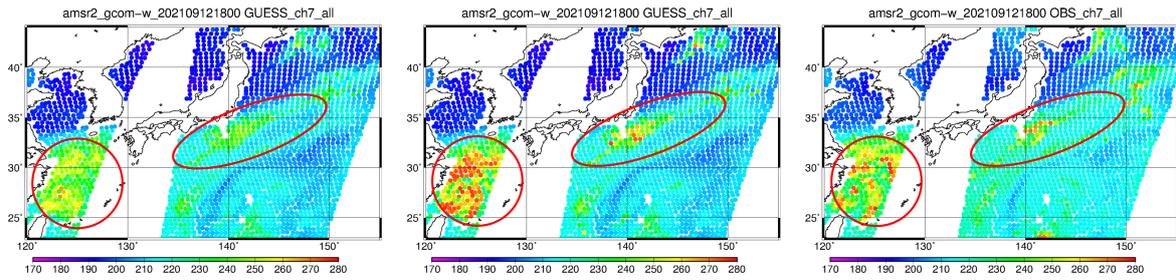


図 4.8.1 雲・降水を考慮した輝度温度の計算値と観測値の違い。GCOM-W/AMSR2/ch7 (19GHz 垂直偏波)。左：すべての雲・降水粒子（雲水、雲氷、雨、雪、あられ）について共通の雲量（放射過程で使用）を与えて計算した輝度温度、中央：それぞれの水物質ごとに診断したフラクションを与えて計算した輝度温度、右：観測値。

球解析とは異なる。メソ解析に全天同化を導入する場合、降水域における観測データが、降水強度のリトリブに使用される観測データと重複することから、リトリブ降水強度の同化は廃止する方向で検討している。その際、全天同化により、リトリブ降水強度と同等のインパクトを得られるかどうかなどを、確認する必要がある。

現在、品質管理および解析本体において雲・降水を考慮した輝度温度の計算を組み込み、全天同化の実装や設定などを確認しているところである。

#### 4.8.4 メソ解析におけるハイパースペクトル赤外サウンダの利用

ハイパースペクトル赤外サウンダは、気温や水蒸気の鉛直分布を得ることのできるセンサーである。線状降水帯や台風の予測に重要な、初期値における大気鉛直構造の精度を、ハイパースペクトル赤外サウンダの利用により向上させることができる。ハイパースペクトル赤外サウンダは全球解析では利用中であるが、メソ解析においては導入を目指して開発を進めているところである。メソ解析では、これまで全球解析から係数を引き継いで使用するバイアス補正などに課題があり、現業利用には至っていなかった（岡本ほか 2020）。その後、2020年3月の asuca-Var の導入（気象庁 2021c）によりメソ解析独自のバイアス補正が可能となったことから、利用に向けた開発を再開した。

メソモデルは全球モデルと比較してモデル上端の高度が低いことも課題のひとつであった。品質管理や解析本体で輝度温度を計算する際、モデル上端より上部の大気プロファイルは標準大気プロファイルの気温減率を用いて補完している。このため、モデル上端より上部に感度のあるチャンネルについては、放射伝達モデルにより計算した輝度温度の誤差が大きく、利用が難しい。また、赤外波長帯での観測は雲の影響を大きく受けることから、雲頂高度より下部に感度のあるチャンネルは、品質管理において除去している。結果として、利用できるチャンネルが多く残らないという課題があった。これに対し、衛星観測データ利用拡充を主な目的として、モデル上端高度を引き上げる計画であ

り（第 4.4 節）、より多くのチャンネルが利用できるようになる見込みである。

現在、Metop に搭載の IASI と Suomi-NPP および NOAA-20 に搭載の CrIS について、利用に向けた開発に取り組んでいる<sup>3</sup>。現時点の性能評価試験では、全球解析で利用中のチャンネルを候補とし、モデル上端による悪影響の少ないチャンネルを選んで利用した。雲判別などの品質管理処理は全球解析に準じた。変分法バイアス補正の説明変数は、現在 asuca-Var において他のセンサーとも共通で用いられている変数（軌道の上昇下降フラグ、衛星天頂角、地表面温度）と定数を用いた。性能評価試験の結果として、気温や水蒸気の第一推定値に改善の傾向が見られた他、気温や降水の予測精度に中立または改善の傾向が確認されており、詳しい分析を進めているところである。

#### 4.8.5 陸域マイクロ波輝度温度同化における地表面射出率の動的推定

輝度温度の同化では、数値予報モデルが出力する気温・水蒸気のプロファイルとともに、地表面の温度や射出率などの情報を放射伝達モデルに入力し、輝度温度を計算している。その際、これらの地表面の情報の誤差は計算される輝度温度の誤差となり、ひいては大気の解析場・予測場の誤差につながる。とりわけ大気下層に感度のあるチャンネルの輝度温度では、地表面情報の影響は大きい。大気下層は線状降水帯など顕著現象の環境場として重要であり、地表面情報の取り扱いの高度化は、顕著現象の予測精度の向上に資する。

ここでは、全球解析への導入に向けて気象研究所とともに取り組んでいる、陸域におけるマイクロ波気温サウンダの地表面射出率の動的推定について記す。マイクロ波気温サウンダのチャンネルのうち、低い高度に感度のある AMSU-A のチャンネル 5-7 および、ATMS のチャンネル 6-8 を対象とし調査を行っている。これらのチャンネルは、地表面情報の精度の影響を受けやすいことから、現業数値予報システムにおいては現在、

<sup>3</sup> 全球解析では Aqua に搭載の AIRS も使用していたが、既にデータ配信が終了しているためメソ解析での開発は行わない。

陸上では不使用、または標高が高い場合に不使用としている。

全球解析では、マイクロ波サウンダの輝度温度同化における陸域射出率として、RTTOV に内包されている月別の気候値データ CNRM Atlas (Karbou et al. 2010) を利用している。しかし、陸域の射出率は時空間変動が大きく、気候値の利用では精度が十分ではない場合がある。そこで、射出率を観測データごとに動的に推定し、より正確な地表面情報を得ることを目指す。これにより、陸域を中心に、大気下層の気温場の解析精度や予測精度の向上が期待できる。

射出率の推定には、上記の射出率気候値の作成と同じ手法 (Karbou et al. 2006) を用いる。ある周波数  $\nu$ 、衛星天頂角  $\theta$  の輝度温度  $T_b(\nu, \theta)$  は、晴天域のマイクロ波放射伝達方程式を用いると、地表面温度  $T_s$ 、地表面射出率  $\varepsilon(\nu, \theta)$ 、大気の下向き放射  $T_a^\downarrow(\nu, \theta)$ 、上向き放射  $T_a^\uparrow(\nu, \theta)$ 、大気透過率  $\Gamma$  から、以下のように表される。

$$T_b(\nu, \theta) = T_s \varepsilon(\nu, \theta) \Gamma + \{1 - \varepsilon(\nu, \theta)\} \Gamma T_a^\downarrow(\nu, \theta) + T_a^\uparrow(\nu, \theta) \quad (4.8.1)$$

大気の下向き放射  $T_a^\downarrow(\nu, \theta)$ 、上向き放射  $T_a^\uparrow(\nu, \theta)$ 、大気透過率  $\Gamma$  は、RTTOV を用いてモデル変数から算出できる。(4.8.1) 式を射出率について変形すると、

$$\varepsilon(\nu, \theta) = \frac{T_b(\nu, \theta) - T_a^\downarrow(\nu, \theta) \Gamma - T_a^\uparrow(\nu, \theta)}{(T_s - T_a^\downarrow(\nu, \theta)) \Gamma} \quad (4.8.2)$$

となり、観測輝度温度、モデル変数、地表面温度から射出率を推定することができる。また、(4.8.1) 式を地表面温度について変形すると、

$$T_s = \frac{T_b(\nu, \theta) - (1 - \varepsilon(\nu, \theta)) T_a^\downarrow(\nu, \theta) \Gamma - T_a^\uparrow(\nu, \theta)}{\varepsilon(\nu, \theta) \Gamma} \quad (4.8.3)$$

となり、観測輝度温度、モデル変数、射出率から地表面温度を推定することができる。開発当初は、地表面温度にモデル変数を用い、射出率のみを推定して利用することを検討していた。しかし調査の過程で、地表面温度についても推定値の利用が夜間の乾燥地域を中心に有効であることが確認でき、地表面温度も推定することとした。なお簡便のため、地表面温度の推定に使用する地表面射出率には、動的に推定した射出率ではなく、前述の気候値データを用いた。射出率及び地表面温度の推定には、透過率の高い 31.4 GHz、50.3 GHz のチャンネル (AMSU-A、ATMS ともチャンネル 2, 3) をそれぞれ用いている。チャンネルの最適な組合せや、地表面温度推定に用いる射出率の妥当性については調査中である。

陸域において地表面射出率と地表面温度を上記のように推定し、輝度温度の同化に用いる変更を加えた全

球同化サイクル実験 (2018 年 8 月を対象) を実施し、効果を確認した。動的に推定した射出率は、期間平均では気候値と同程度であった。しかし、輝度温度の計算値と観測値の差異の標準偏差を確認すると、サハラ砂漠からアラビア半島及び中央アジアを中心に減少しており、輝度温度の計算値の誤差が減少していることが確認された。これは、動的推定により射出率の変動を適切にとらえ、輝度温度計算に反映できた結果と考えられる。予測値に関しては、輝度温度の計算値の誤差が顕著に減少したアフリカ北部からアラビア半島付近において、気温や高度場に誤差の減少が見られ、精度の向上が確認できた。

今後は、降水により射出率が推定できない場合の対処、海氷や雪氷域への適用の検討、冬季における動作確認など、現業システムでの利用に向けてさらに調査を行う。さらには、他の輝度温度センサーへの適用や、メソ解析、局地解析への適用についても検討する。

#### 4.8.6 メソ解析・局地解析におけるマイクロ波サウンダ ATMS の利用

NOAA が運用する、次世代現業極軌道衛星 JPSS シリーズ衛星の Suomi-NPP<sup>4</sup> および NOAA-20 には、マイクロ波サウンダ ATMS が搭載されており、全球解析で利用されている (平原 2017; 村田・亀川 2020)。全球解析での利用に引き続き、メソ解析においても ATMS の利用に向けた開発を行っている (気象庁 2021b)。ATMS の利用により、AMSU-A や MHS と同様、対流圏における気温や水蒸気の鉛直分布の改善が期待される。

メソ解析において性能評価試験を実施したところ、気温チャンネルのバイアス補正が不十分であることが分かり、原因の特定や対処の検討を行っているところである。また今後は、局地解析においても同様に、ATMS の利用に向けた調査を行う予定である。

#### 4.8.7 メソ解析・局地解析における二重偏波レーダーの利用

メソ解析及び局地解析では、全国に 20 地点ある気象庁の一般気象レーダーの反射強度とドップラー速度、及び 9 地点の空港気象レーダー (DRAW) のドップラー速度を同化に利用している。これらのレーダーの二重偏波レーダーへの更新が進められており、一般気象レーダーについては 2020 年 3 月に東京レーダーが最初に更新された後、2021 年 7 月までに福井、大阪、福岡、広島、名古屋、仙台のレーダーが更新された (図 4.8.2 の赤丸のレーダー)。DRAW についても 2020 年 3 月に福岡が、2020 年 10 月に新千歳が更新されている<sup>5</sup>。これらの更新レーダーについて、データ同化で使

<sup>4</sup> Suomi-NPP は JPSS シリーズの準備衛星であるが、JPSS シリーズと同等のセンサーが搭載されている。

<sup>5</sup> これらレーダーの更新以前に 2016 年 3 月に羽田、関西、2016 年 12 月に成田、2018 年 12 月に那覇、2019 年 11 月に中部の DRAW が更新されている。

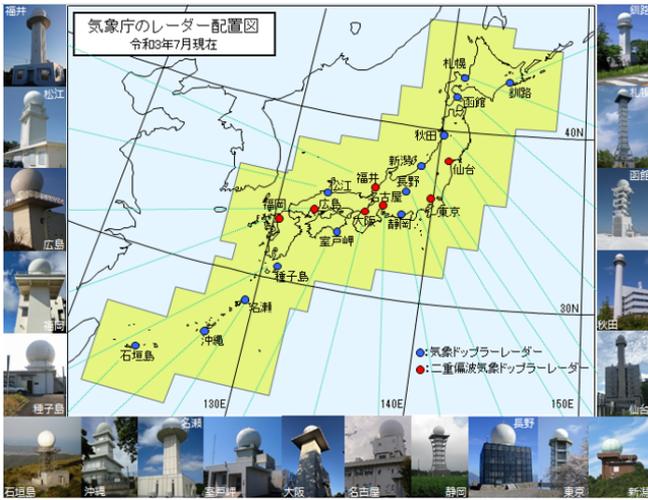


図 4.8.2 2021 年 7 月時点での気象庁一般気象レーダーの二重偏波レーダーへの更新状況。気象庁ホームページより。

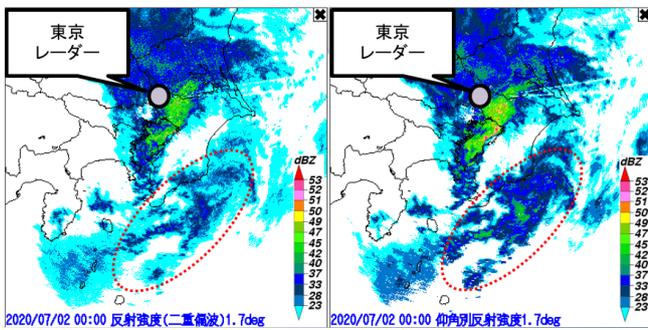


図 4.8.3 降雨減衰補正なし(左)とあり(右)の反射強度の比較。仰角は 1.7 度。ただし、降雨減衰補正なしの方位分解能は、0.35°、ありの方位分解能は 0.7°である。観測時刻は 2020 年 7 月 2 日 00JST。赤点線で囲った領域は降雨減衰補正の有無による違いが顕著な領域を示す。

用する反射強度とドップラー速度の品質等を調査したうえで現業での利用を再開した。

本項では、東京レーダーの反射強度の利用(2021年5月に現業化)、及び東京レーダー以降に更新が完了したレーダーの利用(2021年11月に現業化)に向けたメソモデル、局地モデルに関する性能評価について報告する。なお、東京レーダー・福岡 DRAW のドップラー速度の現業利用については、気象庁(2021d)を参照願いたい。

### (1) 東京レーダーの反射強度の利用

#### (一) 二重偏波化された東京レーダーの反射強度

二重偏波化された東京レーダーの反射強度は、偏波情報を用いた降雨減衰補正と非降水エコーの除去によりデータ品質が向上している。降雨減衰補正の有無による反射強度の比較を図 4.8.3 に示す。東京レーダーの南東方向にやや強い降水域が存在し、この雨域による降雨減衰の影響で、「減衰補正なし」はその後方にある赤点線で囲んだ領域の降水が「降雨減衰補正あり」より弱くなっている。

#### (二) 反射強度の同化手法と品質管理

地上レーダーの反射強度は、第一推定値の相対湿度とレーダーシミュレータで計算した反射強度の関係から相対湿度に変換され、これを疑似観測として同化している(幾田(2011)、幾田(2014))。なお、レーダーシミュレータは C バンド帯(5.3GHz)における雨・雪・霰の反射強度を推定しており、アンテナパターンやビームの屈折は考慮しているが、降雨減衰は考慮していない。

品質管理では、以下の条件に該当するデータを除外し、同化に使用しないようにしている。

- レーダーサイトからの距離が 200km 以上
- 仰角 5.6 度以上
- 気温 0 度未満で推定された相対湿度
- 反射強度の D 値(観測値 - 第一推定値)と、相対湿度の D 値が逆符号

#### (三) メソ、局地の性能評価試験の設定

メソ実験は 2020 年 12 月時点相当、局地実験は 2021 年 3 月時点相当の解析予報システムをコントロール実験(CNTL)とし、CNTL に加え東京レーダーの反射強度を同化に利用した実験をテスト実験(TEST)とした。検証期間は 2020 年 4 月 11 日から 2020 年 7 月 10 日である。ここでは主にメソ実験の性能評価試験の結果について報告する。

#### (四) 実験結果

##### (i) メソ解析における東京レーダーの反射強度、相対湿度の特性

図 4.8.4 にメソ解析における東京レーダーとそれ以外のレーダーの反射強度の観測値と第一推定値の散布図の比較を示す。東京レーダー以外のレーダー(右図)では、観測値が概ね 15dBZ から 30dBZ の領域の  $y=x$  の線よりやや上側の赤い点線で示した領域におけるサンプル数が多くなっている。降雨減衰の影響を受けたことにより、反射強度の観測値が第一推定値よりも小さくなったと考えられる。一方、降雨減衰補正が適用された東京レーダー(左図)はこの領域のサンプル数が減少しており、観測値と第一推定値との整合性が向上している。

図 4.8.5 に反射強度から推定した疑似相対湿度の D 値ヒストグラムを示す。東京レーダー(左図)は降雨減衰補正により反射強度が強くなった影響で他のレーダーと比較して平均値がやや大きくなっているが、標準偏差は小さくなっている。局地解析についても概ね同様の傾向であった。

##### (ii) メソ・局地モデルの降水予測への影響

東京レーダーの反射強度データが予測に与える効果を分かりやすくするため、東京レーダーを中心とした緯度 6 度×経度 6 度の領域を対象として検証を行った。図 4.8.6 は 3 時間降水量 1mm のメソモデルの降水予測ス

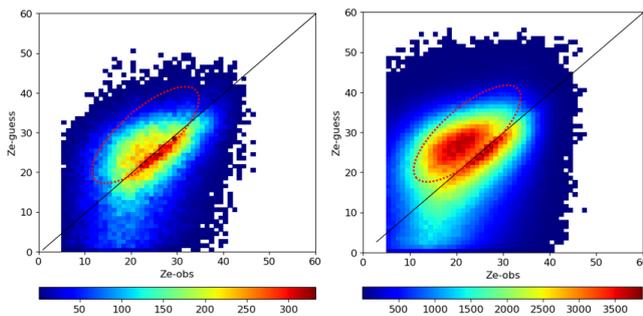


図 4.8.4 メソ解析における東京レーダー（左）とそれ以外のレーダー（右）の反射強度の散布図の比較。横軸は観測、縦軸は第一推定値。単位は dBZ。シェードはサンプル数を示し、暖色系ほどサンプル数が多い。赤点線で囲った領域は両者の違いが顕著な領域を示す。

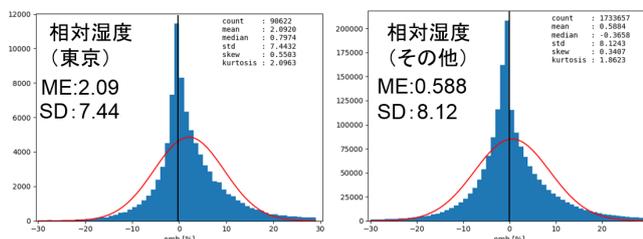


図 4.8.5 メソ解析における東京レーダー（左）とそれ以外のレーダー（右）の疑似相対湿度の D 値ヒストグラムの比較。横軸は疑似相対湿度の D 値 (%)、縦軸はサンプル数。図中の ME は平均、SD は標準偏差である。

コア (20km 格子平均) である。バイアスコア (左列) は、予報時間を通して改善傾向がみられ、一部の予報時間では有意な改善となっている。エクイタブルスレットスコア (ETS、右列) は概ね中立である。3 時間降水量 10mm の降水予測スコアも概ね同様であった。3 時間降水量 20mm 以上の降水予測スコアは、FT=24hour 以降のバイアスコアがやや悪化する傾向が見られたものの、ETS は概ね中立であった。以上、一部でやや悪化のインパクトがみられるものの、総合的には中立からやや改善のインパクトを確認した。

1 時間降水量 5mm の局地モデルの降水予測スコア (10km 格子平均) では、予報初期 (FT=1~2hour) に ETS でやや悪化の傾向が見られるものの、それ以降は概ね改善傾向であった。1 時間降水量 1mm の降水予測スコアについても同様の傾向であり、1 時間降水量 10mm、20mm の降水予測スコアについては概ね中立であった。以上、メソモデル、局地モデルの降水予測へのインパクトは中立からやや改善であることを確認した。

## (2) 2020 年度更新レーダー及び仙台レーダーの利用再開

### (一) メソ、局地の性能評価試験の設定

メソ実験、局地実験ともに一般気象レーダーの福井、

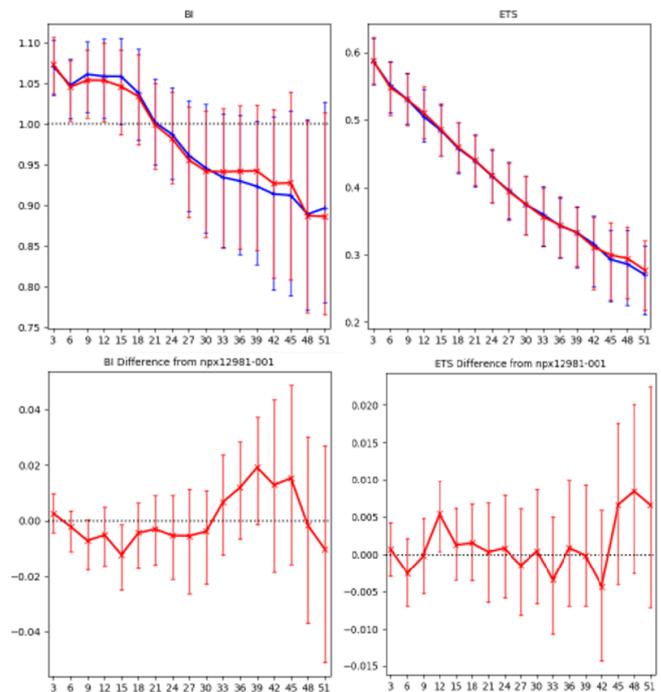


図 4.8.6 二重偏波東京レーダーの反射強度がメソの降水予測スコアに与える影響を示す図。東京レーダーの反射強度なし (CNTL:青線) とあり (TEST:赤線) の 3 時間降水量 1mm のバイアスコア及び ETS (上段) と、それらの TEST-CNTL の差 (下段)。横軸は予報時間 [hour]。検証格子は 20km × 20km で参照値は解析雨量。エラーバーは有意検定 95%信頼区間を示す。

大阪、福岡、広島、名古屋、仙台と新千歳 DRAW (以後、新規更新レーダー) の利用が再開されていない 2021 年 5 月時点相当の解析予報システムをコントロール実験 (CNTL) とし、福井、大阪、福岡、広島、名古屋、仙台の反射強度とドップラー速度、及び新千歳 DRAW のドップラー速度を同化に利用した実験をテスト実験 (TEST) とした。メソ実験の検証期間は 2021 年 6 月 14 日から 2021 年 7 月 14 日、局地実験の検証期間は 2021 年 6 月 15 日から 2021 年 7 月 14 日である。

### (二) 新規更新レーダーのデータ品質

新規更新レーダーの反射強度についても東京レーダーと同様に降雨減衰補正により第一推定値との整合性が向上する傾向が見られた。メソ解析における、反射強度から推定された疑似相対湿度の D 値平均、標準偏差を表 4.8.1 に示す。新規更新レーダーの疑似相対湿度の D 値平均は既に同化に利用されている東京レーダーと比較してやや小さい。標準偏差は概ね同等である。局地解析における、反射強度から推定された疑似相対湿度の D 値平均、標準偏差を表 4.8.2 に示す。東京レーダーと比較すると、平均はやや小さく、標準偏差は同等かやや小さいが、違いは大きくない。

新規更新レーダーのメソ解析及び局地解析それぞれにおけるドップラー速度の D 値平均、標準偏差を表

表 4.8.1 新規更新レーダーと東京レーダーのメソ解析における疑似相対湿度の D 値統計

サイト名	平均 (%)	標準偏差 (%)	サンプル数
仙台	1.90	7.50	33290
名古屋	1.20	7.09	29897
福井	1.65	7.49	31274
大阪	2.05	7.05	36795
広島	1.53	7.60	38205
福岡	2.25	8.08	44484
東京	2.71	7.29	61466

表 4.8.2 新規更新レーダーと東京レーダーの局地解析における疑似相対湿度の D 値統計

サイト名	平均 (%)	標準偏差 (%)	サンプル数
仙台	0.188	7.15	240821
名古屋	-0.948	6.89	317356
福井	-0.516	7.05	236869
大阪	-0.047	6.83	337522
広島	-0.349	6.71	316802
福岡	-0.164	7.20	265525
東京	0.602	7.33	482567

4.8.3、表 4.8.4 に示す。ドップラー風速の品質についても東京レーダーとほぼ同等の精度であることが分かる。

(三) メソモデル、局地モデルの降水予測への影響  
メソモデルの降水予測に与える影響を確認するため、3 時間降水量 20mm の降水予測スコア (20km 格子平均) を図 4.8.7 に示す。新規更新レーダーによるデータ利用領域拡大の影響を受けて、主に予報の初期を中心に空振りと見逃しが減少するため、ETS は改善傾向となっている。予報後半では負バイアスが拡大して見逃しが増えた影響で、有意性はないものの ETS はやや改悪傾向である。3 時間降水量 10mm 及び 30mm の降水予測スコアもおおむね同様の傾向であった。

図 4.8.8 は局地モデルにおける 1 時間降水量 5mm の降水予測スコア (10km 格子平均) を示す。メソ実験同様、データ利用領域拡大により予報前半を中心に空振りと見逃しが減少するため、ETS は概ね改善傾向がみられる。1 時間降水量 1mm 及び 10mm の降水予測スコアについては予報初期で改善が見られるものの、中盤以降は中立であった。1 時間降水量 20mm の降水予

表 4.8.3 新規更新レーダーと東京レーダーのメソ解析におけるドップラー速度の D 値統計

サイト名	平均 (m/s)	標準偏差 (m/s)	サンプル数
新千歳 DRAW	-0.150	2.31	36928
仙台	-0.197	2.54	70452
名古屋	-0.128	2.85	123417
福井	-0.057	2.61	91616
大阪	-0.114	2.65	109854
広島	-0.195	2.59	105841
福岡	0.022	2.61	84536
東京	-0.194	2.54	99840

表 4.8.4 新規更新レーダーと東京レーダーの局地解析におけるドップラー速度の D 値統計

サイト名	平均 (m/s)	標準偏差 (m/s)	サンプル数
新千歳 DRAW	-0.134	2.02	64329
仙台	-0.214	2.22	122726
名古屋	-0.107	2.50	216387
福井	-0.071	2.25	161961
大阪	-0.137	2.23	193205
広島	-0.155	2.24	183683
福岡	-0.011	2.18	145248
東京	-0.190	2.17	173502

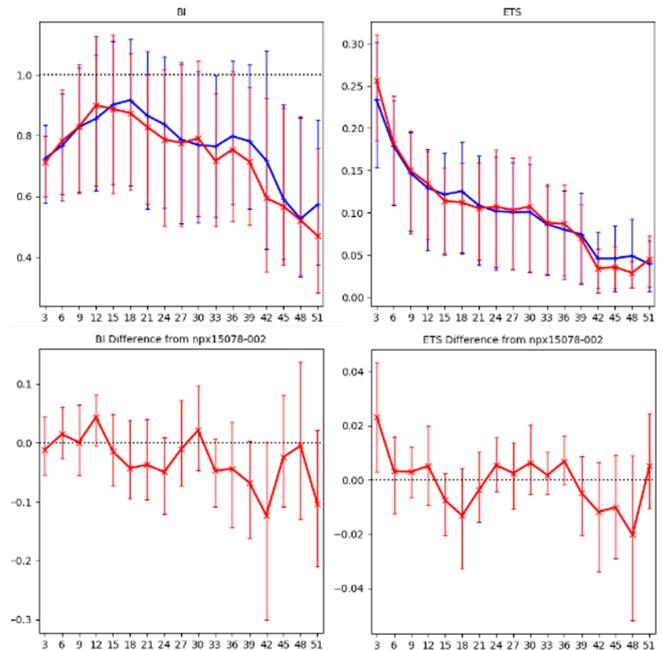


図 4.8.7 新規更新レーダーがメソの降水予測スコアに与える影響を示す図。CNTL (青線) と TEST (赤線) の 20km 格子平均の 3 時間 20mm 降水量のバイアススコア及び ETS (上段) と、それらの TEST と CNTL の差 (下段)。横軸は予報時間 [hour]。参照値は解析雨量。エラーバーは有意検定 95%信頼区間を示している。

測スコアについては、FT=1hour では ETS は改善傾向であるが、2 から 7 時間予測では空振りと見逃しが増加して改悪傾向であった。

図 4.8.9 に局地モデルにおける TEST (中央) と CNTL (左) の降水予測の比較を示す。TEST では新規更新レーダーの利用によって観測データが予報初期値に取り込まれ、赤点線で囲んだ領域の降水予測が実況 (右) に近づいているのが確認できる。

#### 4.8.8 メソ解析における Metop-C/ASCAT 海上風データの新規利用

Metop-C/ASCAT は EUMETSAT が運用する極軌道衛星に搭載されたマイクロ波散乱計で、観測の少ない海上の風を観測可能な測器である。観測された海上風は、データ同化で予報初期値に取り込むことで、風の収束・発散等、海上の風の場の予測精度向上に貢献し、擾乱等の予測精度向上も期待できる。なお全球解

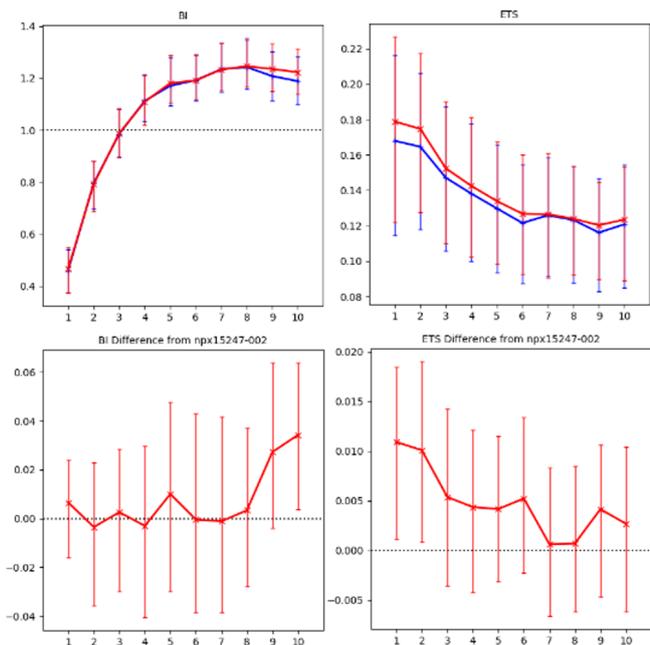


図 4.8.8 新規更新レーダーが局地モデルの降水予測スコアに与える影響を示す図。CNTL (青線) と TEST (赤線) の 10km 格子平均の 1 時間 5mm 降水量のバイアスコア及び ETS (上段) と、それらの TEST と CNTL の差 (下段)。横軸は予報時間 [hour]。参照値は解析雨量。エラーバーは有意検定 95%信頼区間を示している。

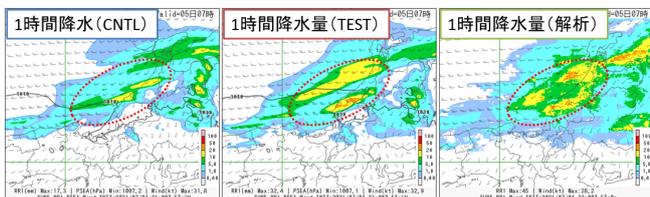


図 4.8.9 新規更新レーダーの利用が局地モデルの降水予測に与える影響。予報初期時刻 2021 年 7 月 4 日 21UTC の 1 時間後の予測を示す。左は CNTL の予測、中央は TEST の予測、右は実況 (解析雨量) である。カラーは 1 時間降水量 (単位は mm/h) を示す。

析では、Metop-C/ASCAT 海上風は 2019 年 12 月から現業利用が開始されている。

マイクロ波散乱計の観測においては、既にメソ解析で利用されていた Metop-A の運用が 2021 年 11 月 14 日に終了し、データ同化での利用数が減少した。これによってメソモデルの予測精度低下が懸念されたことから、これまでメソ解析では利用されていなかった Metop-C/ASCAT 海上風データを同一シリーズの Metop-A、B と同様の設定で現業利用するための調査を実施した。

まず、Metop-C/ASCAT のデータ品質を調査し、表 4.8.5、表 4.8.6 に示すとおり、東西風、南北風とも Metop-A、B と同等であることを確認した。また、Metop-A の運用停止を想定して Metop-A を利用せず Metop-C を同化に利用した場合、Metop-B との観測領域の重なりによって Metop-A、Metop-B を利用した場

表 4.8.5 メソ解析における Metop-A、-B、-C の ASCAT 海上風の東西風に関する D 値統計。統計期間は 2020 年 6 月 26 日 00UTC から 2020 年 7 月 31 日 21UTC。

衛星名	平均 (m/s)	標準偏差 (m/s)
Metop-A	-0.141	1.60
Metop-B	-0.180	1.51
Metop-C	-0.151	1.49

表 4.8.6 メソ解析における Metop-A、-B、-C の ASCAT 海上風の南北風に関する D 値統計。統計期間は 2020 年 6 月 26 日 00UTC から 2020 年 7 月 31 日 21UTC。

衛星名	平均 (m/s)	標準偏差 (m/s)
Metop-A	-0.296	1.69
Metop-B	-0.255	1.60
Metop-C	-0.261	1.56

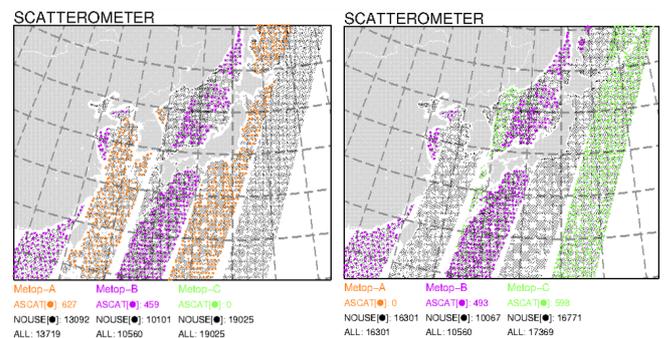


図 4.8.10 Metop-A、Metop-B を利用した場合 (左) と Metop-B、Metop-C を利用した場合 (右) の ASCAT 海上風のメソ解析におけるデータ分布の比較。オレンジ色は Metop-A、紫色は Metop-B、黄緑色は Metop-C の ASCAT 海上風であり、これらはメソ解析に利用されたデータの分布を示す。黒色はデータ同化に利用されなかった ASCAT 海上風データである。解析時刻は 2020 年 7 月 3 日 03UTC。

合よりデータ利用数が 15~20%減少するが、Metop-B のみ利用する場合に比べると 40%程度増加することが分かった (図 4.8.10)。

これらの調査によりデータ品質と同化での利用データ数の減少の緩和について概ね期待通りの結果が得られたため、Metop-A、Metop-B の ASCAT を利用した実験をコントロール実験、Metop-B、Metop-C の ASCAT を利用した実験をテスト実験として性能評価試験を行ったところ、主に同化に利用されるデータ数減少の影響で一部予測精度が悪くなる要素はみられるものの、総合的にはこれまでの解析場の精度が概ね維持され、予測に対しても中立程度のインパクトが確認できたことから、2021 年 12 月からメソ解析での現業利用を開始した。

#### 4.8.9 今後の予定

ここで述べた観測データの導入・改良のうち、一部については 2022 年 6~7 月頃の適用に向けて準備を進

めている。また、年度後半の2023年2月頃にも、モデルの変更とともに現業システムへの適用を行う予定である。

これに加え、インド洋を観測するMeteosat-8からMeteosat-9への切り替え、ひまわり8号から9号への切り替え、GOES-17からGOES-18への切り替えなど、運用中の衛星の世代交代への対応や、プロダクトの仕様変更への対応なども予定している。

## 参考文献

- Bauer, P., E. Moreau, F. Chevallier, and U. O’Keeffe, 2006: Multiple-scattering microwave radiative transfer for data assimilation applications. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **132**, 1259–1281.
- Eyre, JR, 1991: A fast radiative transfer model for satellite sounding systems. *ECMWF Tech. Memo 176*.
- 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, 2014: レーダー反射強度の同化手法の改良. 平成26年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 100–101.
- Karbou, Fatima, Élisabeth Gérard, and Florence Rabier, 2006: Microwave land emissivity and skin temperature for AMSU-A and-B assimilation over land. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society: A journal of the atmospheric sciences, applied meteorology and physical oceanography*, **132**, 2333–2355.
- Karbou, Fatima, Elisabeth Gérard, and Florence Rabier, 2010: Global 4DVAR assimilation and forecast experiments using AMSU observations over land. Part I: Impacts of various land surface emissivity parameterizations. *Weather and Forecasting*, **25**, 5–19.
- 計盛正博, 岡本幸三, 2004: ATOVS 輝度温度の直接同化. 数値予報課報告・別冊第50号, 気象庁予報部, 93–104.
- 計盛正博, 大和田浩美, 福田和代, 2005: ATOVS レベル1C 輝度温度の直接同化. 数値予報課報告・別冊第51号, 気象庁予報部, 82–89.
- 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.
- 岡本幸三, 大和田浩美, 藤田匡, 別所康太郎, 高橋昌也, 太田芳文, 計盛正博, 大塚道子, 瀬古弘, 石田春磨, 上清直隆, 石元裕史, 林昌宏, 安藤昭芳, 横田寛伸, 2020: ひまわり8・9号後継衛星検討のためのハイパースペクトル赤外サウンダの数値予報インパクト調査. 測候時報, **87**, 99–150.
- Saunders, R., J. Hocking, P. Rayer, M. Matricardi, A. Geer, N. Bormann, P. Brunel, F. Karbou, and F. Aires, 2012: RTTOV-10 science and validation report. Tech. rep., EUMETSAT NWP SAF, 31 pp. [https://nwp-saf.eumetsat.int/oldsite/deliverables/rtm/rtm\\_rttov10.html](https://nwp-saf.eumetsat.int/oldsite/deliverables/rtm/rtm_rttov10.html).
- Saunders, R., J. Hocking, E. Turner, S. Havemann, A. Geer, C. Lupu, J. Vidot, P. Chambon, C. Köpken-Watts, L. Scheck, and others, 2020: RTTOV-13 science and validation report. Tech. rep., EUMETSAT NWP SAF, 0 pp. [https://nwp-saf.eumetsat.int/site/download/documentation/rtm/docs\\_rttov13/rttov13\\_svr.pdf](https://nwp-saf.eumetsat.int/site/download/documentation/rtm/docs_rttov13/rttov13_svr.pdf).
- 氏家将志, 2020: 雲過程. 数値予報課報告・別冊第66号, 気象庁予報部, 45–55.
- 佐藤芳昭, 2003: メソ解析へのマイクロ波放射計データ同化. 平成15年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 7–12.
- 平原洋一, 2017: 全球解析におけるSuomi-NPP/ATMS輝度温度データの利用開始. 平成29年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 70–72.
- 村田英彦, 亀川訓男, 2020: NOAA-20搭載ATMSおよびCrIS輝度温度データの利用開始. 令和元年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 58–60.
- 気象庁, 2021a: マイクロ波輝度温度全天同化とアウトグ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.
- 気象庁, 2021b: メソ解析におけるマイクロ波サウンダATMSの利用. 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, 106.
- 気象庁, 2021c: メソ解析の改良. 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, 48.
- 気象庁, 2021d: レーダー更新に伴う品質調査. 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, 105–105.

## 4.9 統合型気温ガイダンス（格子形式）の開発

### 4.9.1 はじめに

数値予報開発センターでは、高精度でシームレスな5日先までの予測と誤差情報の作成を目的として、複数の数値予報結果や観測データをAI技術の活用によって最適に組み合わせる統合型ガイダンスの開発を2018年度から行っている。2019年1月からは理化学研究所革新知能統合研究センター（理研AIP）との共同研究を開始し、2020年8月には降水、風（地点形式）、気温（地点形式）の統合型ガイダンスの部内試験運用を開始した（気象庁2021）。

2020年度以降も新規要素追加や改良に向けた開発を継続しており、この中で、統合型気温ガイダンス（格子形式）について、既存のガイダンスを上回る予測精度を持つことが確認できたことから、2021年10月に部内試験運用を開始した。統合型気温ガイダンス（格子形式）は、統合型ガイダンスで目指している面的な予測情報を提供するガイダンスであり、現在開発中の統合型降雪量ガイダンスの入力データとしても利用される。ここでは統合型気温ガイダンス（格子形式）の仕様と作成手法、検証結果等を述べる。

### 4.9.2 仕様

統合型ガイダンスは、1日12回、GSMガイダンスとMSMガイダンスの初期値更新の都度、その時点で最新のガイダンス（ただしLFMガイダンスはMSMガイダンスと同じ00, 03, …, 21UTC初期値のもの）を用いて作成される。表4.9.1に部内試験運用開始時点での統合型気温ガイダンス（格子形式）の仕様を示す。本仕様はMSM気温ガイダンス（格子形式）（三戸2018）に準じる。

表 4.9.1 部内試験運用開始時点での統合型気温ガイダンス（格子形式）の仕様

作成対象	5 km 格子
基準とする数値予報モデル	MSM
入力ガイダンス	統合型気温ガイダンス（地点形式）
予報対象時間	毎正時
予報期間と間隔	FT=1 から FT=39 まで 1 時間間隔 (00, 12UTC 初期値では FT=51 まで)

### 4.9.3 作成手法

統合型気温ガイダンス（格子形式）は、現行の気温ガイダンス（格子形式）（三戸2018）と同様に、モデル地上気温予測値と地点形式の統合型気温ガイダンスの差分（モデルからの修正量）を、地形（海陸比、モデル標高）を考慮して周囲の格子に分配することで全格子での予測値を作成する（図4.9.1）。統合型ガイダンスには対応する数値予報モデルが存在しないため、基準となるモデル地上気温はMSMの予測値を使用する。

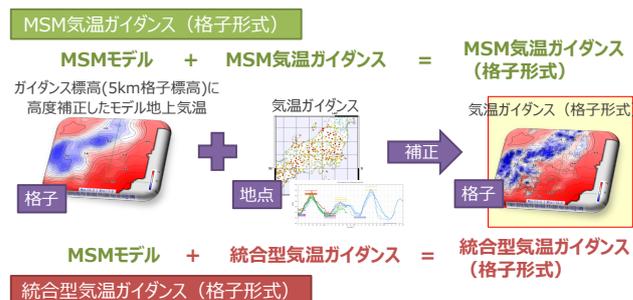


図 4.9.1 統合型気温ガイダンス（格子形式）算出の模式図。

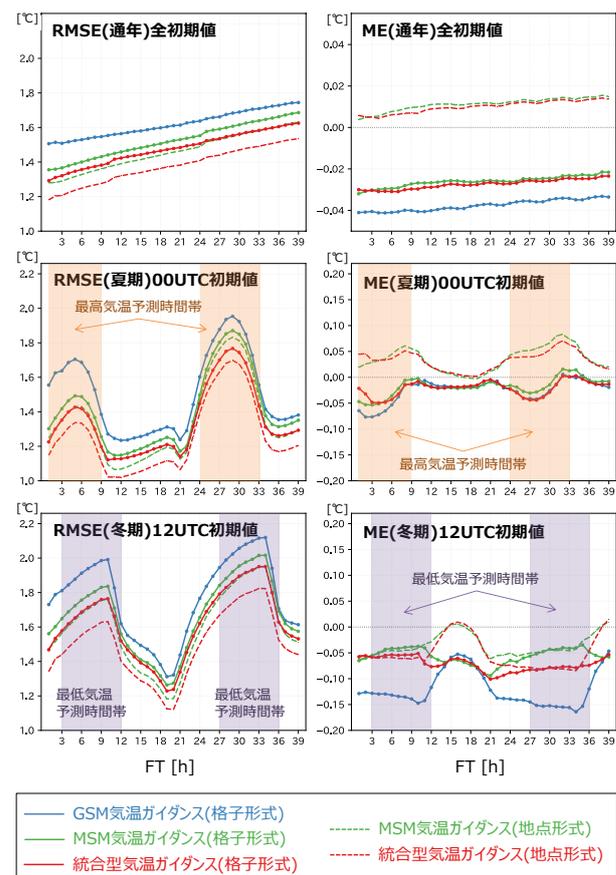


図 4.9.2 統合型気温ガイダンス（格子形式）の予報時間別・検証期間別検証結果。左列はRMSE、右列はME、上段は通年の全初期値、中段は夏期の00UTC初期値、下段は冬期の12UTC初期値の検証結果。実線は格子形式ガイダンスの検証結果、破線は地点形式ガイダンスの検証結果。

### 4.9.4 検証結果

ここでは統合型気温ガイダンス（格子形式）の検証結果を示す。検証期間は2018年6月5日から2021年6月4日の3年間で、6, 7, 8月を夏期、12, 1, 2月を冬期とする。検証に用いる実況値は全アメダス地点での観測値とし、格子形式ガイダンスではアメダス地点の周辺4格子からの内挿値を予測値とする。

図4.9.2に統合型気温ガイダンス（格子形式）の予報時間別・検証期間別のRMSEとMEを示す。格子形式の気温ガイダンスを比較すると、統合型気温ガイダンスはいずれの予報時間・検証期間においてもGSMおよびMSMガイダンスよりもRMSEが小さく、予測精

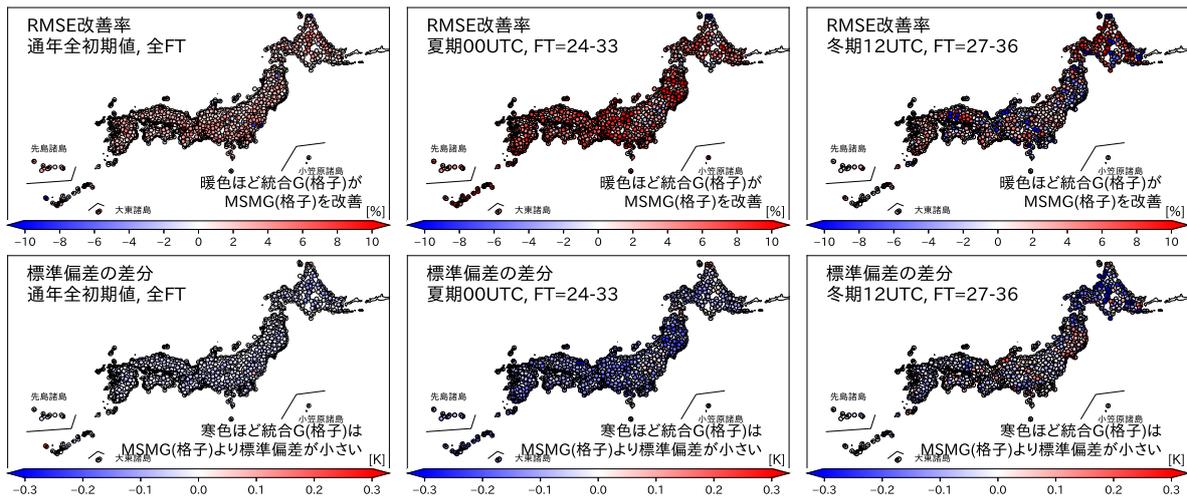


図 4.9.3 統合型気温ガイダンス（格子形式）の対 MSM 気温ガイダンス（格子形式）での地点別・検証期間別検証結果。上段は RMSE 改善率、下段は標準偏差の差分、左列は通年の全初期値、中央は夏の 00UTC 初期値、右列は冬の 12UTC 初期値の検証結果。

度が高い。格子形式ガイダンスと地点形式ガイダンスを比較すると、統合型・MSM ガイダンスとも、地点形式ガイダンスの方が格子形式ガイダンスよりも RMSE が小さい。これは地点形式ガイダンスがアメダス地点での観測値を目的変数として直接予測しているのに対し、格子形式ガイダンスは格子点での予測値からアメダス地点での予測値を間接的に算出しているため、地点を対象とした検証では後者の方が一般に不利になるためである。しかしながら、統合型気温ガイダンス（格子形式）は MSM 気温ガイダンス（地点形式）に近い予測精度を持っており、特に予報後半や、夏の最高気温予測時間帯、冬の最低気温予測時間帯では同等の予測精度を持っている。ME を見ると、地点形式ガイダンス、格子形式ガイダンスとも絶対値としては 0 に近く、全般にバイアスは小さい。ただし、格子形式ガイダンスは地点形式ガイダンスよりもやや負バイアス傾向となっている。この要因としては、格子形式ガイダンスの検証では周囲 4 点からの内挿でアメダス地点の気温を求めているが、実際のアメダス地点は谷筋に位置するなど、平均的にはアメダス標高の方が低くなるためと考えられる。

図 4.9.3 に、統合型気温ガイダンス（格子形式）の MSM 気温ガイダンス（格子形式）に対する RMSE 改善率と標準偏差の差分を示す。ここでは交差検証として、最近接アメダス地点を利用しないで作成した格子形式ガイダンスの予測精度を示す。RMSE 改善率と標準偏差の差分の定義は以下の通りである。

$$\text{RMSE 改善率} = \frac{\text{RMSE}_m - \text{RMSE}_i}{\text{RMSE}_m} \quad (4.9.1)$$

$$\text{標準偏差の差分} = \sigma_i - \sigma_m \quad (4.9.2)$$

ここで RMSE と  $\sigma$  はアメダス観測を真値とした RMSE と標準偏差を、添字  $i, m$  は統合型気温ガイダンス（格子形式）と MSM 気温ガイダンス（格子形式）を示す。

図 4.9.2 で示した通り、GSM ガイダンスと MSM ガイダンスを比較した場合、MSM ガイダンスの精度が高いため、ここでは MSM ガイダンスとの比較のみ示している。RMSE 改善率を見ると通年では全国ほぼ全ての地点で統合型気温ガイダンス（格子形式）が MSM 気温ガイダンス（格子形式）を改善していることがわかる。特に夏の最高気温予測時間帯での改善が大きい一方で、冬の最低気温予測時間帯などでは改悪している地点も見られる。標準偏差の差分を見ると、RMSE で改善が見られる地点での改善と整合しており、統合型ガイダンスがランダム誤差を軽減することで RMSE を改善していると言える。

#### 4.9.5 まとめと今後の開発予定

地点形式の統合型気温ガイダンスをもとに面的な気温を予測する統合型気温ガイダンス（格子形式）を開発した。統合型気温ガイダンス（格子形式）は GSM および MSM の気温ガイダンス（格子形式）を上回る予測精度を持つことが確認できたため、2021 年 10 月に部内試験運用を開始した。今後は、2022 年度末の本運用開始を目指し、格子形式での確率情報（超過確率）の開発、GSM 高解像度化対応、MSM 予報時間延長対応のほか、現在の手法をベースラインとして、深層学習を用いた面的気温ガイダンスの開発、理研 AIP との共同研究の成果の取り込みなど、最新の AI 技術を用いた予測精度改善のための開発にも取り組んでいく予定である。

#### 参考文献

- 三戸洋介, 2018: 気温ガイダンス. 数値予報課報告・別冊第 64 号, 気象庁予報部, 132-143.
- 気象庁, 2021: 統合型ガイダンス. 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, 107-110.

## 4.10 大雨発生確率ガイダンス

### 4.10.1 はじめに

近年、平成30年7月豪雨、令和2年7月豪雨などの顕著な大雨災害が相次いで発生している。このため、気象庁では、令和4年度出水期より、半日程度前から線状降水帯による大雨への警戒を呼びかける情報の提供を開始する予定である。数値予報開発センター（数値予報モデル基盤技術開発室）では、その情報の支援資料として、令和2年度後半から「大雨発生確率ガイダンス」の開発を行っており、令和3年度の部内試験運用を経て、令和4年度からの本運用開始を予定している。また、このガイダンスは部内利用だけでなく部外にも直接配信される計画となっており、顕著な大雨の可能性の大小を示すプロダクトとして庁外でも利用して頂く予定である。

### 4.10.2 仕様

大雨発生確率ガイダンスの本稿執筆時点（2022年1月時点）での仕様を表4.10.1示す。

大雨発生確率ガイダンスは、確率型ガイダンスとして実績のある発雷確率ガイダンス（土田 2018）と同じくロジスティック回帰を採用する。本稿執筆時点では、2018年～2021年の6～8月の説明・目的変数のデータを用いて予測式の係数を計算している。

目的変数は該当5km格子を中心とした55km四方のどこかで3時間100mmまたは150mm以上の降水の有無としている。これは領域の広げ方は違うものの、発雷確率ガイダンスと同じ手法である。目的変数とする対象領域を広げることにより、サンプル数を増やし、予測精度を向上させることができる。

層別化処理の対象は初期時刻、予報時間、地域としている。発雷確率ガイダンスと似ているが、夏季の大雨をターゲットとしているため、季節変化の層別化処理は入っていない。また、適切なサンプル数を確保するために、層別化した地域数も発雷確率ガイダンスの35地域に比べて少ない。

予測の時間間隔は、発雷確率ガイダンスの3時間間隔と異なり、1時間間隔としている。これにより確率のピークを時間的により詳細に予測することができる。

説明変数には、線状降水帯発生条件（加藤 2015）及びMSM降水量ガイダンス（白山 2018）を参考として、大雨の予測に特化した説明変数を採用している。

### 4.10.3 検証

MSM大雨発生確率ガイダンスの、本稿執筆時点での精度検証結果を示す。図4.10.1は、検証期間2019～2021年6～8月の、九州地方でのMSM大雨発生確率ガイダンスのブライアスキルスコア（BSS）である。ここでは2019年から2021年の各年を除いて係数を作成し、除いた年で検証を行った交差検証の結果を示す。

表 4.10.1 大雨発生確率ガイダンスの仕様

作成対象	5 km 格子（等緯度経度格子）
作成対象とするモデル	MSM, MEPS
予測対象	3時間降水量が100,150 mm 以上となる確率
作成手法	ロジスティック回帰
予測対象時間単位	3時間（対象時刻及び前後1時間）
予測期間と時間間隔	FT=3～39（00,12UTC 初期値は51）の1時間間隔
逐次学習の有無	なし
説明変数	3時間降水量、500 m 高度水蒸気フラックス、500 m 高度相当温位、地形性上昇流×比湿、700 hPa 上昇流
目的変数	対象とする5 km 格子を含む周囲11格子（55 km 四方）の範囲のどこかで3時間降水量が100 または150 mm 以上となるか否か。
層別化処理の対象	初期時刻、予報時間、地域（北日本、東日本、西日本、九州、南西諸島の5つ）
備考	MSM で作成した予測式を MEPS に適用してメンバーごとの確率を作成。

100 mm/3h 以上、150 mm/3h 以上の BSS 共に正となっており（赤線）、確率予測として有効性があることが示されている。

図4.10.2に信頼度曲線を示す。100 mm/3h 以上の予測の信頼度曲線（左図）については右肩上がりになっており（赤線）、高確率ほど大雨が発生する確率が高くなっていることが確認できる。一方、150 mm/3h の信頼度曲線（右図）では10%を超えるとほぼ横這いになっており、確率として使えるのは10%程度までということが分かる。

なお、九州地方では線状降水帯による大雨が多く発生し、このため予測精度も高くなりやすい。このため全国で検証した場合を別途確認すると、九州より精度が低く、特に北・東日本での予測精度は低い状況であった（図略）。このため、今後さらなる改良に向けて開発を継続する必要がある。

### 4.10.4 事例

大雨発生確率ガイダンスの例として、2020年7月4日朝に球磨川が氾濫した大雨特別警報の事例を示す。図4.10.3は、2020年7月4日6時を対象とした100, 150 mm/3h 以上のMSM大雨発生確率ガイダンスで、7月3日18時を初期値とする12時間後の予測及び対応する実況の3時間降水量である。この事例は、MSMの予測精度が高かったこともあり、解析雨量の3時間積算降水量100 mm 以上の領域に対して、大雨発生確率ガイダンスでは、100 mm/3h 以上の確率が約40%、150 mm/3h 以上の確率が約15%の予測が出ていた。

図4.10.4は、7月4日5時を対象とした100 mm/3h

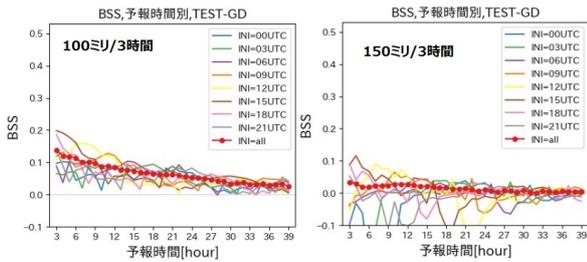


図 4.10.1 検証期間 2019~2021 年の 6~8 月における MSM 大雨発生確率ガイダンスのブライアスキルスコア。左が 100 mm/3h 以上、右が 150 mm/3h 以上の確率のスコア。各線は初期値毎のスコアで、赤線が全初期値をまとめたスコア。検証領域は九州地方、予報時間は 3~39 時間、交差検証によるスコア。

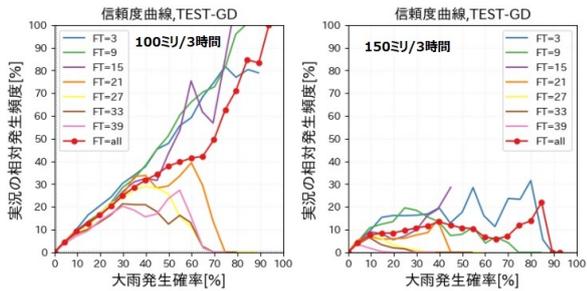


図 4.10.2 MSM 大雨発生確率ガイダンスの信頼度曲線。左が 100 mm/3h 以上、右が 150 mm/3h 以上の確率予測の検証結果。検証期間、領域などは図 4.10.1 に同じ。

以上の MEPS 大雨発生確率ガイダンスの予測（全 21 メンバー）で、7 月 3 日 15 時を初期値とする 14 時間後の予測である。この予測でも、多くのメンバーが線状降水帯による大雨の発生の可能性を予測していた。

#### 4.10.5 今後

この大雨発生確率ガイダンスは 2022 年 6 月に運用開始となる予定であるが、線状降水帯などの大雨の予測は非常に難しく、今後さらに有効な説明変数の調査などガイダンスの改良を引き続き行う予定である。また、ガイダンスへの入力となる数値予報モデルの改良や、モデルの初期値の解析精度の改善や観測データの利用方法の改善も必要である。

その他、当ガイダンスを使って線状降水帯を検出するプロダクトの開発も行っており、将来的には顕著な

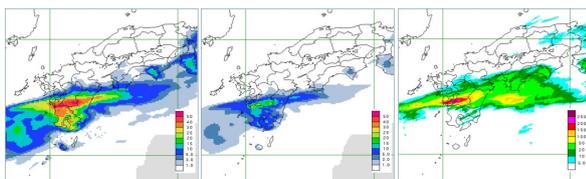


図 4.10.3 2020 年 7 月 3 日 18 時初期値の MSM 大雨発生確率ガイダンスの事例。左が 100 mm/3h 以上の確率、中が 150 mm/3h 以上の確率で共に 12 時間後の予測。右が対応する実況の 3 時間降水量。

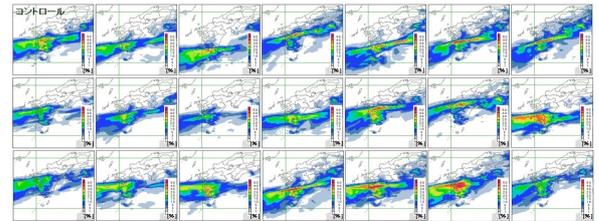


図 4.10.4 2020 年 7 月 3 日 15 時初期値の MEPS 大雨発生確率ガイダンスの事例。100 mm/3h 以上の確率の 14 時間後の予測。

大雨をもたらす線状降水帯の発生確度も提供する計画である。

#### 参考文献

- 加藤輝之, 2015: 線状降水帯発生要因としての鉛直シアと上空の湿度について. 平成 26 年度予報技術研修テキスト, 気象庁予報部, 114-132.
- 白山洋平, 2018: 降水ガイダンス. 数値予報課報告・別冊第 64 号, 気象庁予報部, 95-118.
- 土田尚佑, 2018: 発雷確率ガイダンス. 数値予報課報告・別冊第 64 号, 気象庁予報部, 165-176.