

第5章 ガイドンスのトピックス

5.1 12, 24, 48, 72 時間最大降水量ガイドンスの開発・改良¹

5.1.1 はじめに

気象庁では、2019 年 7 月 4 日から GSM48 時間及び 72 時間最大降水量ガイドンスと GSM 及び MSM12 時間最大降水量ガイドンスの部内運用を新たに開始した。これらは、2 日から 3 日先までの総降水量の予測支援や冬季の降雪量予測の支援を目的に新規に開発したガイドンスであり、その予測手法には 24 時間最大降水量ガイドンスと同じ線形重回帰を採用している。また新ガイドンスの部内運用開始と同時に、GSM 及び MSM24 時間最大降水量ガイドンスの改良を実施した。

本節では、まず第 5.1.2 項で新ガイドンスの予測手法をベースとした 24 時間最大降水量ガイドンスの予測手法について述べる。次に第 5.1.3 項と第 5.1.4 項で旧 24 時間最大降水量ガイドンスの課題とその解決のために実施した改良点について述べる。さらに第 5.1.5 項と第 5.1.6 項で各ガイドンスの検証結果と予測事例を紹介し、最後に第 5.1.7 項でまとめと利用上の留意点について述べる。本節では、新規に開発したまたは改良したガイドンスを総称して新ガイドンス、改良前のガイドンスを旧ガイドンスと表記する。また、改良した 24 時間最大降水量ガイドンスに関しては、改良後を新（要素名）、改良前を旧（要素名）のように新・旧を付し、数値予報を区別する場合には新 GSM-（要素名）や MSM-（要素名）のように数値予報の名前を付して表記する。

5.1.2 新ガイドンスの予測手法

12 時間、48 時間及び 72 時間最大降水量ガイドンス（以下、RMAX12, RMAX48 及び RMAX72）には、既存の 24 時間最大降水量ガイドンス（以下、RMAX24）の予測手法をベースに改良を加えた手法を採用した。本項では、改良前の RMAX24 の予測手法の概略を説明する。なお、手法の詳細は白山 (2018) を参照していただきたい。

RMAX24 は、統計手法には線形重回帰を用いて、格子内最大の 24 時間降水量を予測するガイドンスである。説明変数には、24 時間平均降水量ガイドンス（以下、MRR24）と数値予報モデルの GPV から計算した 17 個の説明変数の上位 7 位の主成分を用いている。予測式は過去データを用いた一括学習により作成し、予測精度の向上を狙って予測対象格子と MRR24 によって層別化（工藤 2018）する。また予測式の作成時は、MRR24 は観測の 24 時間平均降水量に置き換える。説明変数の 1 つである MRR24 は、3 時間平均降水量ガイドンス（以下、MRR3）を 24 時間積算した後に頻

度バイアス補正（高田 2018）して予測頻度を補正した格子平均の 24 時間降水量である。RMAX24 の予測式作成時には MRR24 を観測値に置き換えているため、RMAX24 の予測には MRR24 の予測精度が高く、予測頻度が適切であることが重要となる。MRR24 の頻度バイアス補正パラメータは、予測対象格子でのみ層別化し、MRR3 などの他のガイドンスのように初期時刻や予報時間による層別化は行っていない。これは、MRR24 は 24 時間を対象とするため降水の日変化を考慮する必要がなかったり、予報時間によるモデル予測特性の変化が MRR3 の計算時点で考慮されている、といった考えに沿って仕様を決定したためである。

5.1.3 旧 24 時間最大降水量ガイドンスの課題

旧 RMAX24 には、大雨の予測頻度が過多である点と、稀に周囲格子より突出した異常値が生じる点の 2 つの課題があった。これらの課題を残したまま RMAX48 や RMAX72 を開発したところ、同様に大雨の予測頻度が過多になり、また異常値が生じることが確認されたため、予測手法の改良を実施した。本項では、これらの課題について簡単に解説する。

図 5.1.1 は、2014 年から 2017 年までの 4 年間を対象とした旧 GSM ガイドンスの検証図で、(a) は RMAX24 の降水量閾値別エクイタブルスレツスコア（以下、ETS）及びバイアススコア（以下、BI）、(b) は同予報時間別 BI、(c) は MRR24 とその頻度バイアス補正前の 24 時間降水量である MRR24A の降水量閾値別 BI、(d) は (c) の縦軸方向の拡大図である。図 5.1.1 より、旧 GSM-RMAX24 には大雨を観測に比べて高い頻度で予測したり、予報時間に依って予測頻度が大きく変動したりする傾向があることが分かる。この傾向は検証対象とする年に依らず、その原因は予測に用いる旧 GSM-MRR24 の予測頻度が観測頻度に比べて高いことであった。また、この大雨ほど予測頻度が高くなるという特徴は、RMAX24 の利用上の留意点として挙げている現実離れた予測（白山 2018）の発生の原因にもなっている。

もう 1 つの課題の例を図 5.1.2 に示す。図 5.1.2 は、2018 年 3 月 9 日 12 時を対象とする旧 GSM-RMAX24, MRR24, ガイドンスの比率 (RMAX24/MRR24) と対応する時刻の観測の 20 km 格子最大 24 時間降水量である。図 5.1.2 より、栃木県の 1 格子だけ突出した 400 mm/24h を超える予測になっており、周囲格子との比較や観測値との比較からも明らかに異常な予測であることが分かる。調査の結果、この異常値は当該格子において旧 GSM-MRR24 が 80 mm/24h 以上の場合に用いる予測式が、作成時に利用したデータに過度に適合していることが原因と判明した。一般にデータ数が少ない状態で作成された予測式は、その係数の推

¹ 白山 洋平

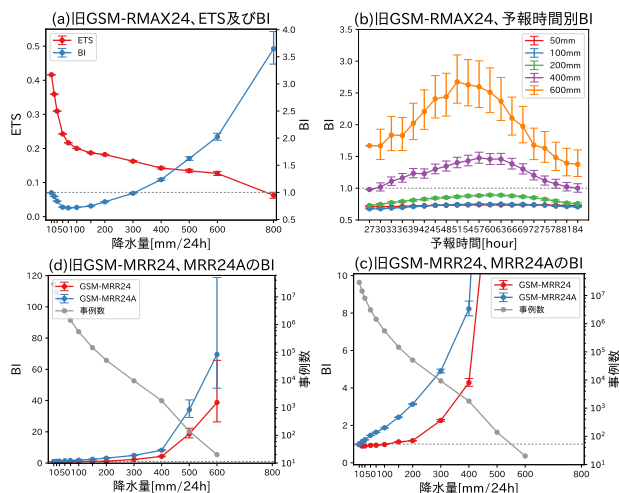


図 5.1.1 2014 年から 2017 年の 4 年間を対象とした旧 GSM ガイドンスの検証図。(a) は旧 GSM-RMAX24 の降水量閾値別 ETS 及び BI、(b) は同予報時間別 BI、(c) は旧 GSM-MRR24 及び MRR24A の降水量閾値別 BI、(d) は (c) の縦軸方向の拡大図。各図ともエラーバーはブートストラップ法で求めた 95%信頼区間を表し、各緑色は図中の凡例の通り。

定精度が低いと考えられるため、旧 RMAX24 の予測式作成時には、平均降水量による層別化毎に一定数（50 個）以上のデータ数を要求し、不足する場合にはその層の予測式は作成しないこととしている。しかし、旧ガイドンスではこの要求するデータ数が 50 個と少な過ぎたため、異常値の発生に繋がる係数の推定精度の低い予測式が作成されてしまったと考えられる。事例は第 5.1.4 項 (4) で改良点と併せて示すが、この他にも予測式作成に用いる観測データの特性によって、予測式が周囲の格子や前後の平均降水量の層別化と異なる特性を持ってしまう例を確認している。ガイドンスの精度や利用しやすさの向上のために、このような予測式の作成方法に起因する異常値の発生を可能な限り抑制する必要があった。

5.1.4 予測手法の改良点

第 5.1.3 項で述べた旧 RMAX24 の課題に対応するため、加えて RMAX24 と同じ予測手法を新ガイドンスに適用しやすくするために、大きく分けて以下の 5 つの改良を行った。そして、改良した新しい手法を用いて GSM 及び MSM-RMAX12 と GSM-RMAX48 及び RMAX72 の開発を実施した。改良点は、最大降水量ガイドンスの入力となる平均降水量ガイドンスの作成部分（(1)～(3)）と最大降水量ガイドンスの予測式の作成部分（(4)及び(5)）に分けられる。主に（1）～（3）が大雨の予測頻度が過多である点に、（4）が周囲格子より突出した異常値が生じる点に対する変更、（5）は課題とは別にガイドンスの予測精度改善のための変更である。以下では、これらを順に述べる。なお、変更前後の仕様の一覧を表 5.1.1 に示す。

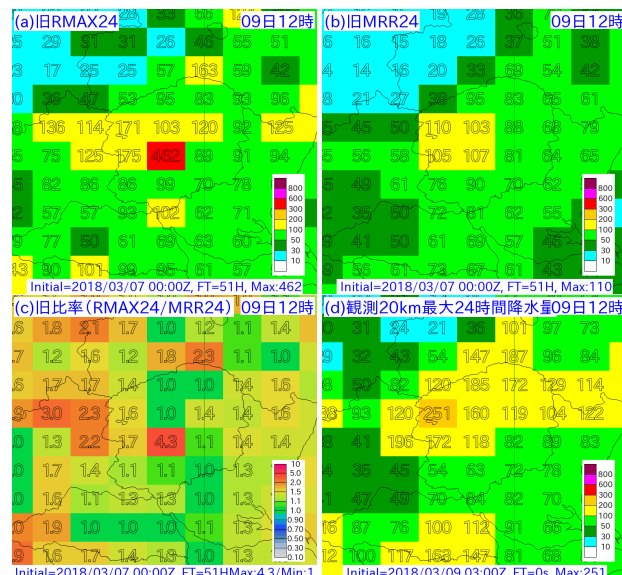


図 5.1.2 2018 年 3 月 9 日 12 時を対象とする旧 GSM-RMAX24 の異常値例。(a) から (c) は旧 GSM-RMAX24、MRR24、ガイドンスの比率 (RMAX24/MRR24)、(d) は観測の 20 km 格子最大 24 時間降水量。

(1) 積算する 3 時間降水量の変更

第 5.1.3 項に示した通り、旧 GSM-MRR24 に大雨ほど予測頻度が過多になる傾向があり、これが旧 GSM-RMAX24 の予測頻度の過多傾向を招いていた。これは、旧 GSM-MRR24A から旧 GSM-MRR24 への頻度バイアス補正による予測の下方修正が十分に機能していないことが原因である。図 5.1.3 (a) は、この予測頻度の過多傾向を違う形で示した図で、旧 GSM-MRR24A、旧 GSM-MRR24、観測値の事例数の棒グラフである。頻度バイアス補正は、予測と観測の事例数を等しくするように予測値の補正を行う手法であるため、仮に適切な予測頻度に補正できていれば旧 GSM-MRR24 と観測値の棒グラフは同程度の長さになるはずである。しかし図示した通り、旧ガイドンスでは 200 mm/24h 以上で下方修正が不十分になっており、大雨ほど予測頻度を適切に補正できていないことが分かる。この原因は頻度バイアス補正で設定している閾値の最大値が 200 mm/24h であり、観測値の取りうる範囲をカバーしきれていないことが一因であると考えられるため、単純にはより大きな閾値を追加して予測の下方修正を強めていけば良い。一方で、GSM-RMAX48 や GSM-RMAX72 の予測に用いる補正前の 48 時間や 72 時間平均降水量ガイドンスを同じ手法で作成することを想定すると、閾値をさらに大きな値に設定する必要があることや、またそのような大きな閾値は逐次更新することが困難になると考えられるため、安易な閾値の追加は好ましくない。そこで、GSM-MRR24A から MRR24 への補正が上方修正となるように変えることを目的に、積算する 3 時間降水量を MRR3 からカルマンフィルタによる降水量予測である MRRA に変更した（図 5.1.4）。これは、カルマンフィルタのような統計的な手法を用いて作成した

表 5.1.1 12 時間、24 時間、48 時間、72 時間最大降水量及び平均降水量ガイダンスの新・旧仕様の比較。

	旧ガイダンス (24 時間のみ)	新ガイダンス
作成対象	GSM: 20 km 格子、MSM: 5 km 格子	
作成方法	平均降水量：3 時間平均降水量ガイダンス (MRR3) を積算し、頻度バイアス補正で予測頻度を補正。最大降水量：線形重回帰	平均降水量：GSM：カルマンフィルタによる 3 時間降水量予測 (MRR3) を積算し、頻度バイアス補正で予測頻度を補正。MSM：3 時間平均降水量ガイダンス (MRR3) を積算し、頻度バイアス補正で予測頻度を補正。最大降水量：線形重回帰
予報対象時間単位	24 時間	12 時間最大・平均降水量：12 時間 24 時間最大・平均降水量：24 時間 48 時間最大・平均降水量：48 時間 72 時間最大・平均降水量：72 時間
予報期間と間隔	GSM：FT=27 から FT=84 まで MSM：FT=24 から FT=39(51) まで 括弧は 00 及び 12UTC 初期値の場合 どちらも 3 時間間隔	GSM： 12 時間最大・平均降水量：FT=15 から FT=84 まで 24 時間最大・平均降水量：FT=27 から FT=84 まで 48 時間最大・平均降水量：FT=51 から FT=84 まで 72 時間最大・平均降水量：FT=75 から FT=84 まで MSM： 12 時間最大・平均降水量：FT=12 から FT=39 (51) まで 24 時間最大・平均降水量：FT=24 から FT=39 (51) まで 括弧は 00 及び 12UTC 初期値の場合、いずれも 3 時間間隔
逐次学習の有無	平均降水量：あり (頻度バイアス補正)、最大降水量：なし	
説明変数	数値予報の GPV から算出した説明変数 (付録 A.2.1) の主成分上位 7 位と 24 時間平均降水量ガイダンス	数値予報の GPV から算出した説明変数 (付録 A.2.1) の主成分上位 7 位と各予報対象時間単位の平均降水量ガイダンス
目的変数	解析雨量 (1 km 格子) から算出した GSM は 20 km, MSM は 5 km 格子内の降水量の最大値。	
層別化処理の対象	平均降水量：格子毎、初期時刻 (MSM のみ、00, 06, 12, 18UTC とそれ以外)、最大降水量：格子毎	平均降水量：格子毎、初期時刻、予報時間 (6 時間区切り)、最大降水量：格子毎、平均降水量
平均降水量による予測式の層別化	24 時間：0~3, 3~5, 5~10, 10~20, 20~30, 30~40, 40~80, 80~120, 120 mm 以上の計 9 通り	12 時間：0~3, 3~5, 5~10, 10~20, 20~30, 30~40, 40 mm 以上の 7 通り 24 時間：0~3, 3~5, 5~10, 10~20, 20~30, 30~40, 40~80, 80 mm 以上の 8 通り 48 時間及び 72 時間：0~3, 3~5, 5~10, 10~20, 20~30, 30~40, 40~80, 80~120, 120~200, 200 mm 以上の 10 通り。
頻度バイアス補正の観測の閾値	24 時間：3, 10, 30, 50, 70, 100, 150, 200 mm/24h	12 時間：1, 3, 5, 10, 30, 50, 100, 200 mm/12h 24 時間：3, 5, 10, 30, 50, 100, 200, 300 mm/24h 48 時間：5, 10, 30, 50, 100, 200, 300, 400 mm/48h 72 時間：10, 30, 50, 100, 200, 300, 400, 600 mm/72h
予測式の作成期間	2008 年 7 月から 2011 年 12 月	2013 年 9 月から 2016 年 12 月
備考	予測式作成に用いるデータ数が 50 個に満たない場合は予測式を作成しない。	予測式作成に用いるデータ数が 100 個に満たない場合は予測式を作成しない。
	予測時には作成できている予測式を降順に探索し、最初に見つかった式を利用する。	

予測式は相対的に発生頻度の高い現象に最適化されやすく、大雨ほど予測頻度は実況の発生頻度に比べて少なくなるために、これを積算した降水量も実況の発生頻度に比べて少ない予測になることを念頭に入れた変更である。このように頻度バイアス補正が上方修正になるように補正前の降水量の作り方を変更することで、大きな閾値の追加を最小限に留めることができる。実際に、MRR3 を積算する方法に変更した例が図 5.1.3 (b) である。図のように、200 mm/24h を超える大雨でも頻度バイアス補正による予測頻度の補正が適切に働くようになる。また、GSM-MRR24 や RMAX24 の予測精度の改善も確認している。なお、MSM ガイダンスには本変更は適用せず、引き続き MRR3 を積算する手法を継続する (図 5.1.4 (b))。

(2) 頻度バイアス補正の閾値の見直し

MRR24 の閾値については、変更前よりも大雨の予測頻度を適切に補正できるようにするため、これまでの最大の閾値 200 mm/24h より大きい 300 mm/24h を追加した。また、少ない降水量に対する予測頻度の補正や設定する閾値の個数が多くなり過ぎないことも念頭に、5 mm/24h の閾値を追加、70, 150 mm/24h の閾値を削除した (表 5.1.1)。12 時間、48 時間、72 時間平均降水量ガイダンス (以下、MRR12, MRR48, MRR72) の閾値については、MRR24 の設定を基に MRR12 であれば 1 mm を加えて 300 mm を除き、MRR48 であれば 3 mm を除いて 400 mm を追加する、というように決定した。

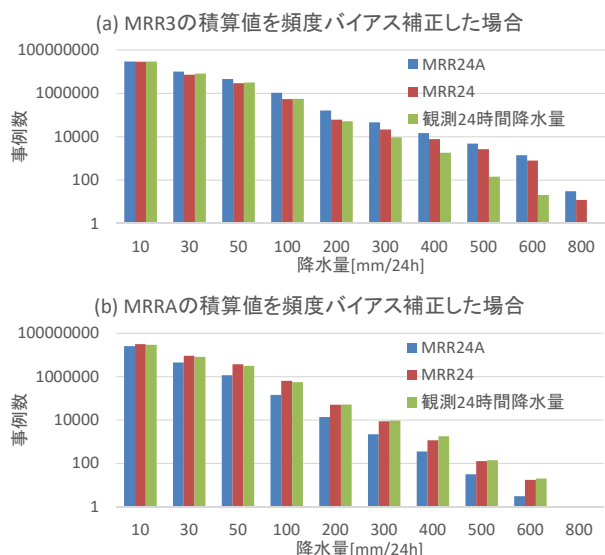


図 5.1.3 GSM-MRR24A 及び GSM-MRR24、観測の 20 km 格子平均 24 時間降水量の事例数の棒グラフ。(a) が旧ガイダンス、(b) が新ガイダンスの棒グラフ、青色は頻度バイアス補正前の GSM-MRR24A、赤色が頻度バイアス補正後の GSM-MRR24、緑色が観測の 20 km 格子平均 24 時間降水量を表す。

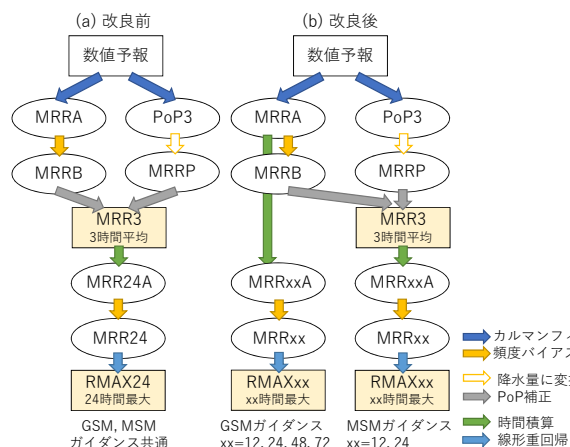


図 5.1.4 降水ガイダンスの構成図。(a) が改良前、(b) が改良後、図中の矢印は右下に示した統計手法を、薄橙色の四角で表した要素は降水ガイダンスの要素を、楕円で表した要素はガイダンス計算過程の中間製品であることを表す。なお、本図では本改良には関わらない降水ガイダンスのプロダクトやその算出過程は図から省略している。また、図中の MRRA, MRRB, MRRP, PoP3 といったプロダクトの詳細や PoP3 から MRRP への変換方法、PoP 補正の詳細については白山 (2018) を参照していただきたい。

(3) 頻度バイアス補正への初期時刻と予報時間による層別化の導入

旧 GSM-MRR24 では、頻度バイアス補正について初期時刻及び予報時間による層別化は行っておらず、全初期時刻、全予報時間で同じ頻度バイアス補正のパラメータを利用して補正を行っていた。旧 MSM-MRR24 では、初期時刻については 00, 06, 12, 18UTC 初期値とそれ以外の 2 通りには層別化していたが、予報時間による層別化は行っていなかった。このような仕様としていた理由は第 5.1.2 項で述べた通りであるが、両

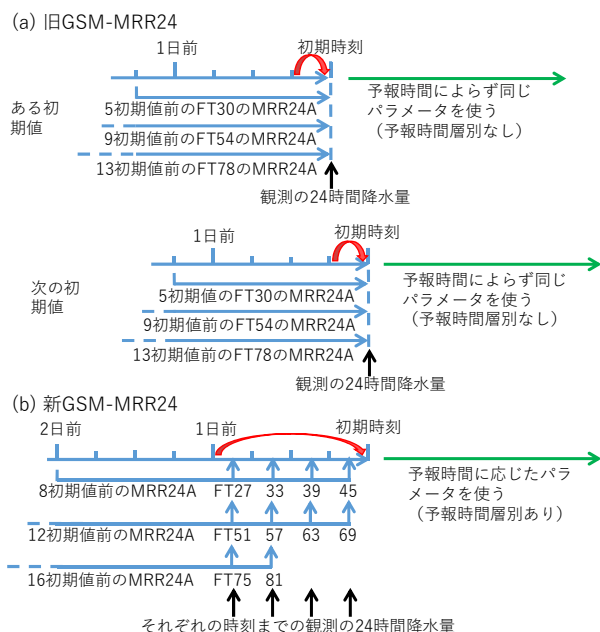


図 5.1.5 初期時刻と予報時間による層別化の導入前後の頻度バイアス補正パラメータ更新の模式図。図は GSM-MRR24 の場合で、(a) が層別化導入前、(b) が層別化導入後。(a) の赤い矢印は 1 初期値前の頻度バイアス補正パラメータを更新することと、(b) の赤い矢印は 4 初期値前の初期値の頻度バイアス補正パラメータを更新することを表す。

層別化が無い場合のようなデメリットがあると考えられた。初期時刻による層別化がない場合は、図 5.1.5 (a) に示すように、GSM-MRR24 では 6 時間前の初期値で更新・利用した頻度バイアス補正パラメータを、過去初期値の予測値と最新の観測値を用いて更新する。そのため一度大雨が発生した場合には、一連の現象で複数回、同じ方向への逐次更新が行われる場合があり、これが過剰なパラメータ更新の原因や後追い予測、予測精度の低下の一因になっていたと考えられる。予報時間による層別化がない場合は、MRR24A の予報時間方向の頻度特性や予測自体の不確実性を考慮したパラメータの更新が行われなかったため、図 5.1.1 (b) のように予報時間によって BI が大きく変動する原因になっていたと考えられる。これらのデメリットに対応するため、初期時刻と予報時間による 2 つの層別化を導入したところ、予測精度を改善し、また予報時間別の予測頻度をほぼ適切に補正できることが確認できた。初期時刻及び予報時間による層別化を導入した頻度バイアス補正パラメータは、例えば GSM-MRR24 であれば初期時刻の 24 時間前を初期値とする予測の頻度バイアス補正パラメータを、初期時刻の 24 時間前から初期時刻までの各時刻の観測値と初期時刻の 48, 72, 96 時間前を初期値とする頻度バイアス補正前の降水量を組み合わせて更新する (図 5.1.5 (b))。MRR12, MRR48, MRR72 についても同様に両層別化を導入する。各平均降水量ガイダンスの違いは頻度バイアス補正パラメータの予報時間による層別化の数だけで、更新の仕組みは同じである。

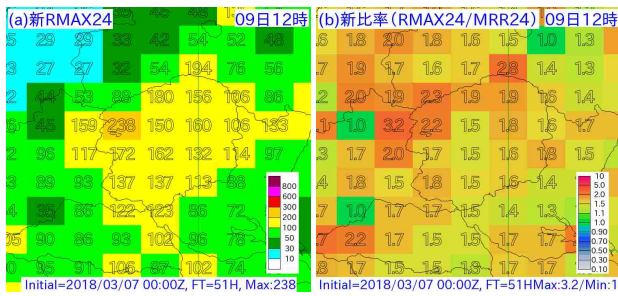


図 5.1.6 2018 年 3 月 9 日 12 時を対象とする、予測式の作成方法を変更した GSM ガイドンスの予測結果。(a) は変更後の RMAX24、(b) は変更後の比率 (RMAX24/MRR24)。なお、MRR24 については図 5.1.2 と同じものを使用。

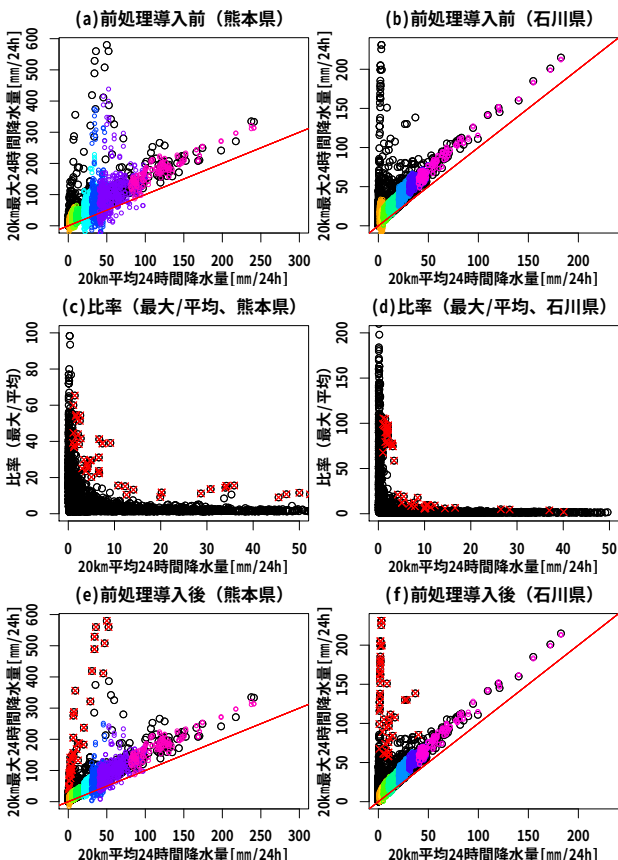


図 5.1.7 格子平均降水量に対して格子最大降水量が大きい格子の例。(a) 及び (b) は観測の 20 km 格子平均 24 時間降水量と 20 km 格子最大 24 時間降水量の散布図に前処理導入前の手法で作成した従属予測結果を重ねた図、(c) 及び (d) は観測の 20 km 格子平均 24 時間降水量と 20 km 格子最大 24 時間降水量の比率の散布図、(e) 及び (f) は (a) 及び (b) と同じ観測値の散布図に前処理導入後の従属予測結果を重ねた図。左列は熊本県のある格子、右列は石川県のある格子を対象としており、各図の黒丸は観測データを、色付きの点は従属予測を、赤線は $y = x$ の対角線を、黒丸に付した赤×は前処理によって予測式作成に利用しなくなったデータを表す。また、従属予測の色の違いは平均降水量による層別化を表す。

(4) 予測式の層別化の変更と予測式作成データに対する前処理の導入

第 5.1.3 項で述べたような異常値の発生を抑制することを狙って、予測式の作成方法を 3 点変更した。

1 点目に、予測式の平均降水量による層別化の見直しを行った。適切な層別化は予測精度の改善に寄与するが、発生頻度の少ない大雨用の予測式を少ないデータ数で作成することは、予測係数の推定精度を下げ、予測精度の低下や異常値の発生を招くと考えられる。そこで、旧 RMAX24 の平均降水量による層別化の精査を行い、大雨の予測に有効でないと判断した 120 mm/24h 以上の予測式は、新 RMAX24 では作成しないように変更した。RMAX12, RMAX48 及び RMAX72 についても同様の視点で検討を進め、RMAX12 の予測式は 120 mm/12h 以上に加えて 80 mm/12h の予測式も作成しない仕様に、RMAX48 と RMAX72 については 120 mm の予測式は残しつつ、200 mm 以上の予測式を追加する仕様にした。

2 点目に、予測式作成時に要求するデータ数の制限を従来の 50 個から 100 個に変更し、よりデータ数の多い層でのみ予測式を作成するようにした。1 点目の変更と同じく、少ないデータ数で作成した予測式の係数は推定精度が低いと考えられるためであり、この変更も予測精度の低下や異常値の発生の防止に寄与すると考えられる。第 5.1.3 項で述べた栃木の事例 (図 5.1.2) は、この変更によって問題の発生していた 80 mm/24h 以上用の予測式が作成されなくなり、周囲より突出した予測は発生しなくなることを確認している (図 5.1.6)。

3 点目に、予測式作成に使用するデータへの前処理を新たに導入した。図 5.1.7 は、熊本県と石川県のある格子の予測式作成データへの前処理の導入例である。(a) 及び (b) は観測の 20 km 格子平均 24 時間降水量と 20 km 格子最大 24 時間降水量の散布図に前処理導入前の手法で作成した従属予測結果を重ねた図、(c) 及び (d) は観測の 20 km 格子平均 24 時間降水量と 20 km 格子最大 24 時間降水量の比率の散布図、(e) 及び (f) は (a) 及び (b) と同じ観測値の散布図に前処理導入後の従属予測結果を重ねた図である。全国の前測対象格子の中には、図 5.1.7 のように格子平均の降水量に対して非常に大きい格子内最大の降水量が観測される格子が存在するが、旧 RMAX24 ではこのようなデータであっても特別な処理を施さず予測式を作成していた。そのため、熊本県の例では 50 mm/24h 前後の青色や紫色の層の予測式が、石川県の例では平均降水量が少ない層の予測式が非常に大きな最大降水量を再現するような予測特性を持っており、周囲の格子や前後の平均降水量による層別化と傾向の異なる予測が生じ、異常値の発生や予測精度の低下を招いていたと考えられる。観測結果を再現するような予測式を作成するという観点では、傾向の異なるデータを除去せずに予測式を作成するのが正しいと考えられるが、利用のしやすさや予測精度を念頭に作成手法を変更した。具体的には、最大降水量と平均降水量の比に着目し、この比を基準にして各層毎に傾向の外れたデータを除去してから予測式を作成した。データ除去の基準は調査結果を

踏まえて、また格子によって外れ値が出現しやすい平均降水量が異なる点にも対応できるように、層毎の比の平均を μ 、標準偏差を σ として、 $\mu+4\sigma$ 以上に設定した。このような前処理を導入することで傾向の異なるデータが予測式作成に使われることが減るため、異常値の発生頻度が減少したり、予測精度が向上する。

(5) 予測式作成期間の更新

2013年3月に運用を開始した旧ガイダンスの予測式は、2008年7月から2011年12月までの3年6か月の当時の数値予報ルーチンのデータを用いて作成している。2019年10月現在運用されている数値予報モデル(GSMはGSM1705; (米原 2017)、MSMはasuca; (原 2017))の予測特性は旧ガイダンスの予測式作成当時から変化しているため、予測式をこの運用中の数値予報モデルの予測特性に近いGPVデータから再作成することで予測精度の改善が期待できる。そこでRMAX24の予測式を、2013年9月から2016年12月の3年4か月のデータを用いて再作成した。この作成期間は、予測式作成を旧ガイダンスと同程度の期間を用いて行うこと、また独立検証期間を確保しつつ可能な限り最新の数値予報モデルと同じ予測特性のデータが多く含まれるようにすることを考慮して設定した。また、3年4か月の期間のうち、GSM1705やGSM1603 (米原 2016)、asuca への数値予報モデルの変更時に実施された再予報が存在する期間については再予報のデータを優先して使用し、残りの期間については数値予報ルーチンのデータを利用した。RMAX48などの新ガイダンスについても、同じ2013年9月から2016年12月のデータを用いて予測式を作成した。

5.1.5 統計検証

新規開発または改良した最大降水量ガイダンスについて、統計検証を基に改善点や利用上の留意事項について述べる。検証期間は2017、2018年の2年間、検証領域は全国を対象、検証に用いた初期値はGSMガイダンスが全初期値(00, 06, 12, 18UTC)、MSMガイダンスが03, 09, 15, 21UTC初期値である。ガイダンスの計算には、GSMはGSM1705 (米原 2017)、MSMはasuca (原 2017) による再予報または数値予報ルーチンによる計算結果を用いている。なお、GSMガイダンスとMSMガイダンスを比較する場合には、MSMガイダンスを20 km 格子中に含まれる5 km 格子の最大値に変換して格子サイズを揃えてから検証している。

(1) 48 時間、72 時間最大降水量

図5.1.8は、GSM-RMAX48及びGSM-RMAX72と新GSM-RMAX24の積算値の予測精度比較で、上段から順に降水量閾値別BI、ETS、空振り率を示している。検証した予報時間はGSM-RMAX48がFT=51から84、GSM-RMAX72がFT=75から84で、比較対象に示している新GSM-RMAX24の積算値は、GSM-

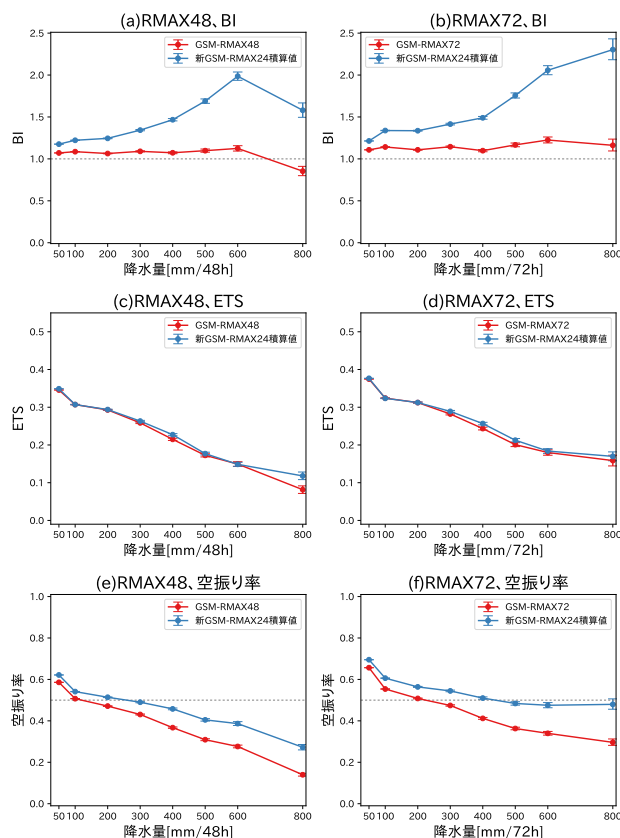


図 5.1.8 2017 年から 2018 年を対象とした、GSM-RMAX48 及び RMAX72 と新 GSM-RMAX24 の積算値との予測精度比較図。(a), (c) 及び (e) は GSM-RMAX48 と新 GSM-RMAX24 の積算値の降水量閾値別 BI, ETS 及び空振り率、(b), (d) 及び (f) は GSM-RMAX72 と新 GSM-RMAX24 の積算値の降水量閾値別 BI, ETS 及び空振り率。各図ともエラーバーはブートストラップ法で求めた 95%信頼区間を表し、各線色は図中の凡例の通り。

RMAX48 に対しては新 GSM-RMAX24 を 2 時刻分積算した降水量、GSM-RMAX72 に対しては 3 時刻分積算した降水量の検証結果である。図 5.1.8 より、GSM-RMAX48 及び GSM-RMAX72 は 800 mm の大雨まではほぼ適切な予測頻度で予測しており、新 GSM-RMAX24 の積算値に見られるような大雨を予測し過ぎる傾向は見られない。予測精度は、新 GSM-RMAX24 の積算値に 400 mm 以上で劣る場合が見られるが、予測頻度や空振り率の違いを考慮すれば、総合的に見て GSM-RMAX48 や GSM-RMAX72 の方が 2 日から 3 日先までの総降水量の予測に有用と考えられる。

図 5.1.8 は非降水事例も含む検証結果であるため、GSM-RMAX48 や GSM-RMAX72 の利用が想定される顕著な大雨事例に絞った検証も実施した。この検証では、2017 年から 2018 年の 2 年間について、GSM-RMAX48 または観測の 48 時間降水量が 400 mm を超えた格子が 50 格子を超えた日を大雨事例、抽出されなかった残りの日を非大雨事例とした²。大雨事例として

² GSM-RMAX72 または観測の 72 時間降水量が 400 mm を基準に抽出した場合と事例が大きく変わらなかったため 48 時間降水量で抽出した。

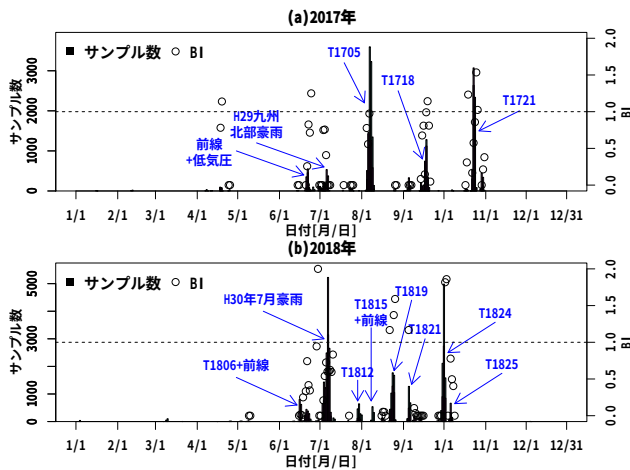


図 5.1.9 2017 年から 2018 年を対象とした、日々の GSM-RMAX48 または観測の 48 時間降水量が 400 mm を超えたサンプル数の時系列図。(a) が 2017 年、(b) が 2018 年、丸印は日々の GSM-RMAX48 の BI を表す。なお、図中の T から始まる表記は、例えば T1705 であれば 2017 年台風第 5 号を指す。

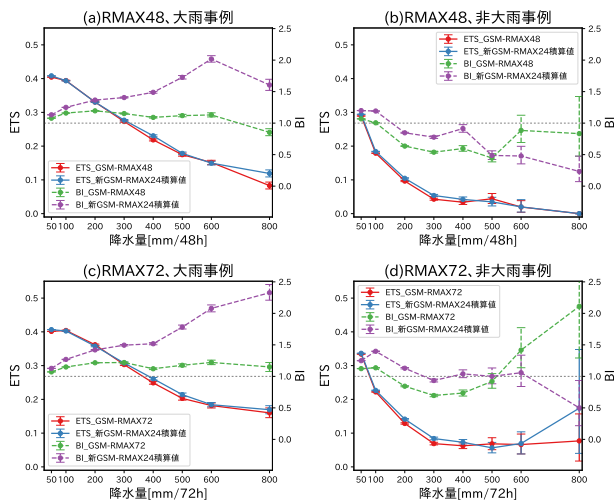


図 5.1.10 2017 年から 2018 年の事例を大雨事例と非大雨事例に分けた場合の GSM-RMAX48 及び RMAX72 の新 GSM-RMAX24 の積算値との予測精度比較図。(a) は GSM-RMAX48 の大雨事例、(b) は GSM-RMAX48 の非大雨事例、(c) は GSM-RMAX72 の大雨事例、(d) は GSM-RMAX72 の非大雨事例を対象とした、新 GSM-RMAX24 の積算値との降水量閾値別 ETS 及び BI の比較図。図の見方は、図 5.1.8 に同じ。

抽出した日は、図 5.1.9 に示した平成 30 年 7 月豪雨などの台風や総観スケールの現象が該当しており、これらの事例で適切な予測精度になっていれば新ガイダンスはその役目を十分達成できると考えられる。このようにして分離した大雨事例と非大雨事例について、GSM-RMAX48 及び RMAX72 と新 GSM-RMAX24 の積算値の検証を実施した結果が図 5.1.10 である。なお、検証した予報時間は図 5.1.8 と同じである。図 5.1.10 より、大雨事例に絞った検証を実施しても GSM-RMAX48 と RMAX72 は積算値よりも予測頻度が適切かつ予測精度

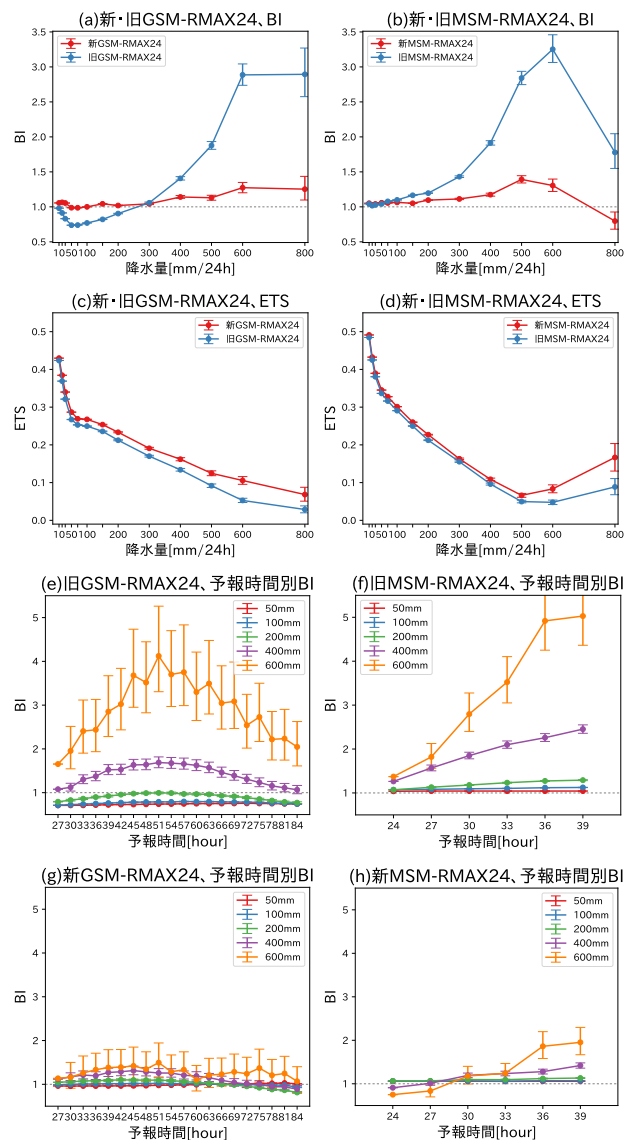


図 5.1.11 2017 年から 2018 年の 2 年間を対象とした、新・旧 GSM 及び MSM-RMAX24 の予測精度比較図。(a), (c), (e) 及び (g) は新・旧 GSM-RMAX24 の降水量閾値別 BI 及び ETS、旧 GSM-RMAX24 の予報時間別 BI、同新 GSM-RMAX24、(b), (d), (f) 及び (h) は新・旧 MSM-RMAX24 の降水量閾値別 BI 及び ETS、旧 MSM-RMAX24 の予報時間別 BI、同新 MSM-RMAX24 を表す。その他の図の見方は、図 5.1.8 に同じ。

を維持しており、利用が想定されるような台風や総観スケールの現象による総降水量の見積りに有効に利用できると考えられる。非大雨事例については積算値よりも予測頻度・精度ともに劣る傾向が見られ、その予測精度も大雨事例に比べて大幅に低い。そのため、GSM-RMAX48 や RMAX72 は大雨事例として抽出されたような時間・空間スケールともに大きい現象以外での利用は有効でなく、ガイダンスの利用場面の選択が必要である。

(2) 24 時間最大降水量

図 5.1.11 は、GSM 及び MSM の新・旧 RMAX24 の予測精度比較で、上から降水量閾値別 BI、ETS、旧

RMAX24 と新 RMAX24 の予報時間別 BI を示している。検証した予報時間は、GSM ガイダンスが FT=27 から 84, MSM ガイダンスは FT=24 から 39 である。新 GSM 及び MSM-RMAX24 は、ともに大雨ほど予測頻度が過多になる傾向が改善し、予測精度も改善していることが分かる。また両ガイダンスとも第 5.1.3 項で述べた大雨の予測頻度が過多であったり、予報時間に依って予測頻度が大きく変動する傾向が改善しており、防災気象情報などの降水量予測の見積もりにおいて利用しやすくなると言える。

図 5.1.12 は、GSM 及び MSM の新 RMAX24 同士の予測精度比較で、降水量閾値別 ETS 及び予報時間別 ETS を示している。検証した予報時間は、新 GSM-RMAX24 が FT=27 から 42 (予報時間別 ETS は 84)、新 MSM-RMAX24 は FT=24 から 39、新 GSM-RMAX24 と比較するために、新 MSM-RMAX24 は前述の方法で 20 km 格子に変換してから検証している。図 5.1.12 より、予測精度は新 MSM-RMAX24 の方が良い傾向はあるものの、予報時間後半や 400 mm/24h を超える大雨については同等か新 GSM-RMAX24 の方が良い場合もあることが分かる。予報時間後半ほど MSM-RMAX24 の GSM-RMAX24 に対する優位性が小さくなる点や、400 mm/24h を超える大雨に対しては GSM-RMAX24 の方が精度の良い傾向がある点は、白山 (2018) に示した 2016 年を対象とした検証結果³と同様であり、利用に際して留意が必要である。本改良では新 GSM-RMAX24 の方が予測精度の改善幅が大きかったため、2016 年の検証結果よりも両ガイダンスの精度差が縮まっている。また白山 (2018) では、RMAX24 は台風をはじめとした顕著な大雨時に現実離れした予測をする場合があるため、このような場合にはガイダンスの量的な予測をそのままは使用せずに大雨のポテンシャルを表す定性的な情報として取り扱う必要があると指摘している。この点については、本改良によって大雨の予測頻度が大きく観測頻度に近づいているため、このような現実離れした予測の発生回数が大きく減ることを確認している。ただし、現実離れした予測が全く発生しなくなるわけではないので、ガイダンスと過去の観測値との比較などから過大な予測の可能性が疑われる場合には、引き続きその利用方法に留意する必要がある。

(3) 12 時間最大降水量

RMAX12 は降雪量の予測支援を目的としたガイダンスであるため、寒候期の検証結果を示す。図 5.1.13 は、2018 年 9 月から 2019 年 2 月を対象とした GSM 及び MSM-RMAX12 の検証結果で、全国を対象とした降水量閾値別 BI 及び ETS, 5 mm/12h の BI の格子検証図である。検証した予報時間は、GSM ガイダンスが FT=15 から 84, MSM ガイダンスは FT=12 から 39 で

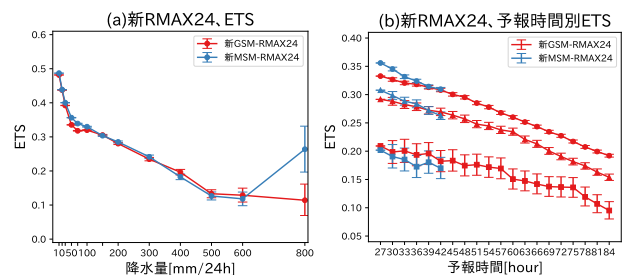


図 5.1.12 2017 年から 2018 年の 2 年間を対象とした、新 GSM-RMAX24 と新 MSM-RMAX24 の予測精度比較図。(a) は降水量閾値別 ETS、(b) は予報時間別 ETS。(b) の降水量閾値は、100 mm/24h (丸)、200 mm/24h (三角)、400 mm/24h (四角) である。また、(b) は横軸に新 GSM-RMAX24 の予報時間を取り、新 MSM-RMAX24 は予報対象時刻が揃うように 3 時間ずらしてプロットしている。その他の図の見方は図 5.1.8 に同じ。

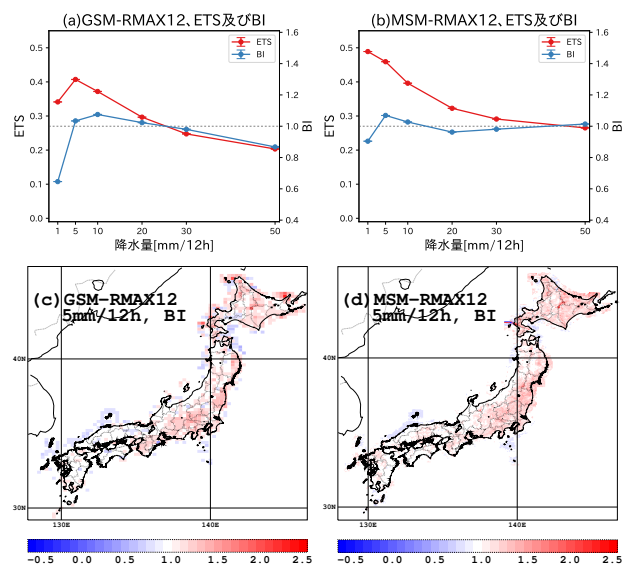


図 5.1.13 2018 年 9 月から 2019 年 2 月を対象とした、GSM 及び MSM-RMAX12 の検証結果。(a) は GSM-RMAX12 の降水量閾値別 BI 及び ETS、(b) は同 MSM-RMAX12、(c) は GSM-RMAX12 の 5 mm/12h の BI の格子検証図、(d) は同 MSM-RMAX12。(a) 及び (b) の図の見方は、図 5.1.8 に同じ。

ある。閾値検証図より、GSM-RMAX12 の 1 mm/12h には予測頻度の過少傾向が見られるものの、これ以外の閾値については概ね適切な予測頻度になっていることが分かる。一方で、格子検証図から予測頻度の傾向を地域別に見ていくと、太平洋側の地域や北海道を中心に予測頻度がやや高い傾向があるが、東北地方の日本海側や北陸地方については適切な予測頻度であることが見て取れる。この地域差の原因は、観測の降水頻度が季節や地域によって変化することと頻度バイアス補正が観測特性の季節変化に弱いことである。降水頻度の多い暖候期の観測特性に応じて更新された補正傾向が、降水頻度の少ない寒候期に残ってしまい補正が不十分になっていると考えられる。利用に際しては地域による予測頻度特性の違いに留意する必要がある。

³ 図 4.2.11 を参照。

5.1.6 事例検証

新規開発または改良した最大降水量ガイダンスについて、改善点や利用上の留意点、活用例を表す事例を紹介する。なお、図 5.1.14 から図 5.1.17 に示している予測誤差の差分図は、比較する両予測の予測誤差の絶対値の差を図示している。

(1) GSM-RMAX48 の新 GSM-RMAX24 の積算値に対する改善例（平成 30 年台風第 24 号）

平成 30 年台風第 24 号 (T1824) は、9 月 30 日 20 時頃に和歌山県に上陸した後、北東に進んだ。図 5.1.14 は、2018 年 10 月 1 日 0 時を対象とした GSM-RMAX48 や新 GSM-RMAX24 の積算値などである。図示した 27 日 12UTC 初期値の GSM の T1824 の進路予測は、それまでの初期値の予測よりもベストトラックに近づき、GSM-RMAX48 は西日本の太平洋側を中心とした大雨を 2 日前時点で予測できていた。この GSM-RMAX48 の予測を新 GSM-RMAX24 の積算値と比べると、地域毎の予測のピーク値や赤色で表される 300 mm/48h 以上の広がり方がより実況に近く、また予測誤差は東海地方から西日本、南西諸島にかけていずれの地域でも減少しており改善が確認できる。これは、新 GSM-RMAX24 の積算値は 2 時刻分の予測を積算するために降水量が多くなりやすいことや、統計手法を用いて直接 48 時間降水量を求める GSM-RMAX48 の方が積算値よりも大雨の予測頻度が適切である傾向（図 5.1.8）を示している。

(2) 顕著な大雨事例（平成 30 年 7 月豪雨）

図 5.1.15 及び図 5.1.16 は、平成 30 年 7 月豪雨での新・旧 GSM 及び MSM-RMAX24 と GSM-RMAX48 及び RMAX72 とそれぞれに対応する観測値などである。ここでは、大雨特別警報が発表された 6 日から 7 日にかけての大雨について、数値予報モデルが西日本での前線の停滞を予測し始めた 5 日 00UTC 初期値以降のガイダンスを示す。図 5.1.15 は、6 日の日降水量を対象とする新・旧 MSM-RMAX24 と、7 日の日降水量を対象とする新・旧 GSM-RMAX24、観測値、新・旧ガイダンスそれぞれの予測誤差の差分図である。MSM-RMAX24 については新・旧ガイダンスの予測に大きな傾向の違いはなく、また予測誤差も増減が混在しているため、中立な結果となっている。一方、GSM-RMAX24 については中国地方を中心に新ガイダンスの方が実況に近い予測となっており改善していることが分かる。この改善は、RMAX24 の入力に用いる MRR24 が実況に近づいたことが主な要因であることを確認しており、平均降水量ガイダンスの作成方法の変更による改善例と言える。

図 5.1.16 は、6～7 日の総降水量を対象とした GSM-RMAX48 と、8 日 12 時までの 72 時間を対象とした GSM-RMAX72 と対応する新 GSM-RMAX24 の積算値、観測値、新ガイダンスと積算値それぞれの予測誤

差の差分図である。GSM-RMAX48、RMAX72 のどちらも太平洋側の地域ではやや改善が卓越しているが、中国地方では新 GSM-RMAX24 の積算値の方が実況に近い予測となっている。この原因は、RMAX48 や RMAX72 の入力に用いる MRR48 や MRR72 が少なかったためであることを確認しており、長時間続く大雨の少ない地域であるほど統計的な手法で 48 時間や 72 時間降水量を求めることが難しいことを示している。図 5.1.9 で抽出したような太平洋側の地域での大雨事例では、RMAX48 や RMAX72 を基本に据えた利用で問題ないと考えられるが、長時間続く大雨事例の少ない地域においては RMAX24 の積算値の方が実況に近いケースが確認されている点には留意する必要がある。

(3) RMAX24 の改善例（平成 29 年台風第 21 号）

図 5.1.17 は、平成 29 年台風第 21 号 (T1721) 事例での 2017 年 10 月 23 日 0 時を対象とした新・旧 GSM-RMAX24 と対応する観測値である。T1721 では、東西日本の広い範囲で 100 mm/24h を超える大雨となり、特に紀伊半島の南東側では 600 mm/24h を超える大雨となった。この事例では、GSM は初期時刻が古いほど T1721 の予測進路を西寄りに、また北上速度を遅く予測していたこともあり、(a) の旧 GSM-RMAX24 (19 日 12UTC 初期値) では紀伊半島に降水予測が集中し、観測値とピーク値で比較して 200 mm 程度多い予測となっていたが、(b) の新 GSM-RMAX24 ではやや軽減されていることが分かる。旧ガイダンスでは MRR24 の下方修正が効きづらいために大雨や予報時間後半の予測頻度が過多であった傾向が、改良によって軽減された例と考えられる。また、(c) の予測誤差の差分からは東西日本の広い範囲で新 GSM-RMAX24 が予測誤差を減らしていることも分かる。これは、図 5.1.11 に示した 50～100 mm/24h を中心とした予測頻度の改善に対応しており、頻度バイアス補正の設定変更や MRRA 積算への変更の効果と考えられる。(e)～(g) 図に、GSM の予測進路が 19 日 12UTC 初期値よりもベストトラックに近づいた 21 日 12UTC 初期値のガイダンスを示す。同様に紀伊半島のピーク値で比較すると、旧 GSM-RMAX24 は観測値より 100 mm 程度少ない予測、新 GSM-RMAX24 は観測値より 80 mm 程度多い予測になっているため、この点では新 GSM-RMAX24 は改善しているとは言えないが、紀伊半島以外の地域については新 GSM-RMAX24 の方が予測誤差を減らしており、改善していることが確認できる。

(4) RMAX12 の活用例

図 5.1.18 は、2018 年 12 月 18 日 21 時を対象とした MSM-RMAX12、MSM12 時間降雪量ガイダンス (土田 2018)、これらに対応する 12 時間降水量と 12 時間降雪量の観測値である。この日は、西から冬型の気圧配置が緩む中、上空には強い寒気が入っており、北海道では空知地方から上川地方南部で降雪が続いたため、日降雪

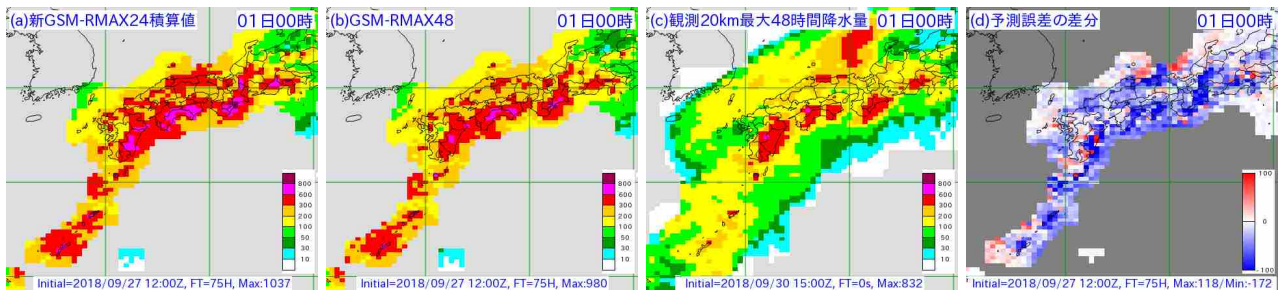


図 5.1.14 T1824 事例での 2018 年 10 月 1 日 0 時を対象とする、(a) 新 GSM-RMAX24 の積算値、(b) GSM-RMAX48、(c) 観測の 20 km 格子最大 48 時間降水量、(d) 両予測の予測誤差の差分図。(a) 及び (b) は 2018 年 9 月 27 日 12UTC 初期値の FT=75、(d) は青い (赤い) ほど GSM-RMAX48 (新 GSM-RMAX24 の積算値) の予測誤差が少ないことを表す。

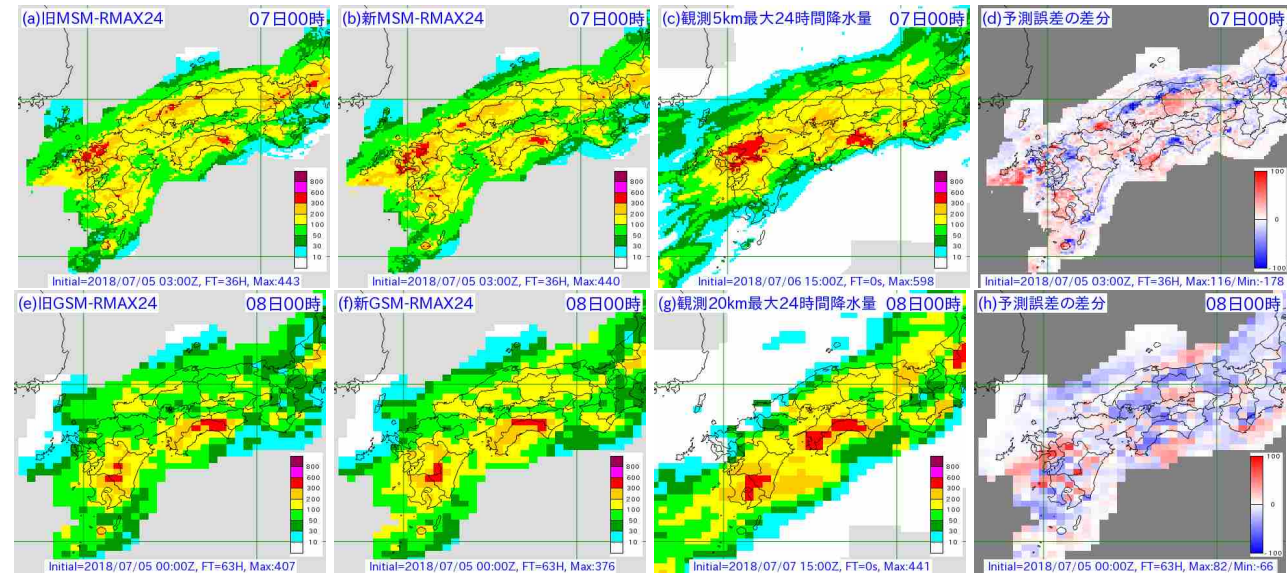


図 5.1.15 平成 30 年 7 月豪雨事例での新・旧 GSM 及び MSM-RMAX24 の予測結果。(a) ~ (d) は 7 月 6 日の日降水量を対象とする、旧 MSM-RMAX24、新 MSM-RMAX24、観測の 5 km 格子最大 24 時間降水量、新・旧ガイダンスの予測誤差の差分図。(e) ~ (h) は 7 月 7 日の日降水量を対象とする、旧 GSM-RMAX24、新 GSM-RMAX24、観測の 20 km 格子最大 24 時間降水量、新・旧ガイダンスの予測誤差の差分図。(a) 及び (b) は 7 月 5 日 03UTC 初期値の FT=36、(e) 及び (f) は 7 月 5 日 00UTC 初期値の FT=63、(d) 及び (h) は青い (赤い) ほど新ガイダンス (旧ガイダンス) の予測誤差が少ないことを表す。

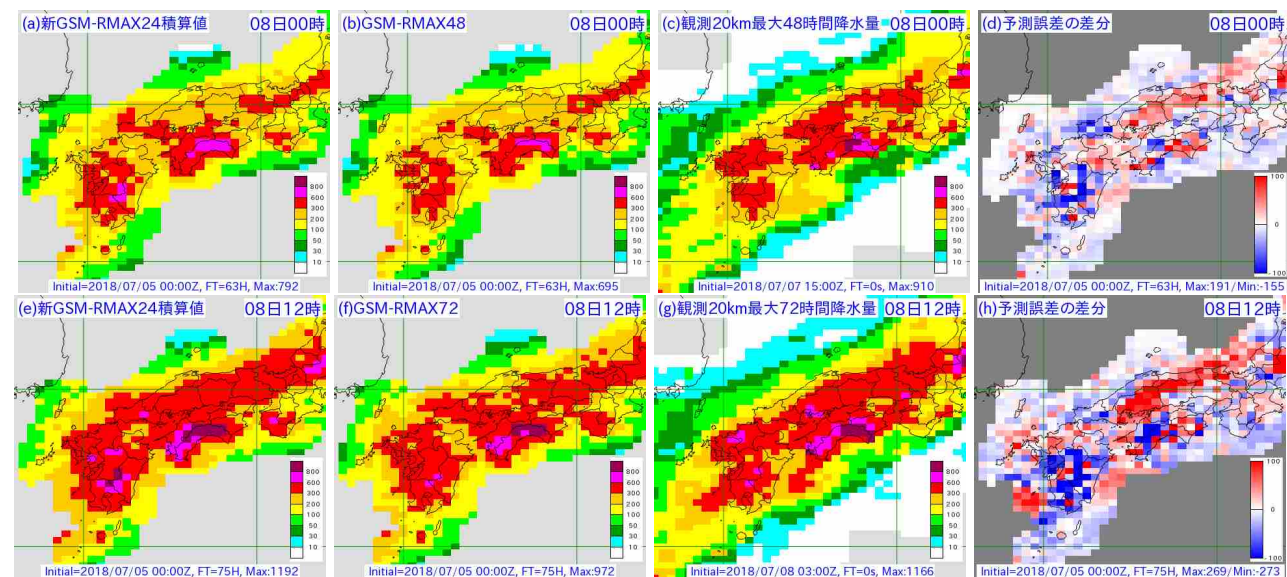


図 5.1.16 平成 30 年 7 月豪雨事例での GSM-RMAX48 及び RMAX72 の予測結果。(a) ~ (d) は 7 月 6~7 日の総降水量を対象とする、新 GSM-RMAX24 の積算値、GSM-RMAX48、観測の 20 km 格子最大 48 時間降水量、両ガイダンスの予測誤差の差分図。(e) ~ (h) は 7 月 8 日 12 時までの 72 時間降水量を対象とする、新 GSM-RMAX24 の積算値、GSM-RMAX72、観測の 20 km 格子最大 72 時間降水量、両ガイダンスの予測誤差の差分図。いずれも 7 月 5 日 00UTC 初期値、(a) 及び (b) は FT=63、(e) 及び (f) は FT=75、(d) 及び (h) は青い (赤い) ほど GSM-RMAX48 または RMAX72 (新 GSM-RMAX24 の積算値) の予測誤差が少ないことを表す。

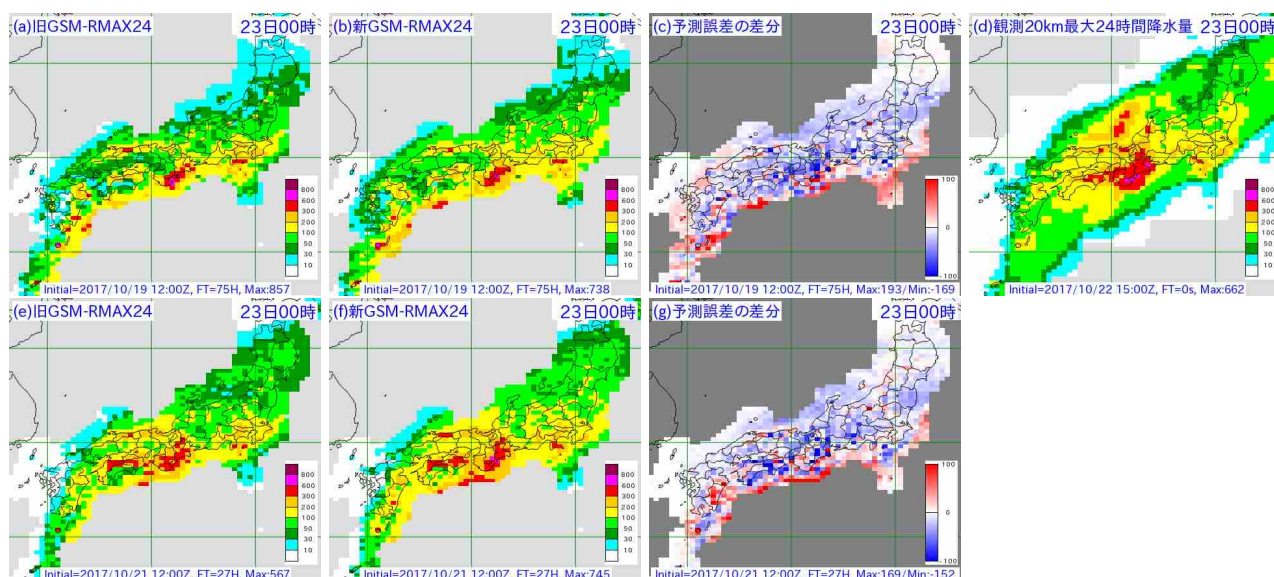


図 5.1.17 T1721 事例での 2017 年 10 月 23 日 0 時を対象とする、新・旧 GSM-RMAX24 の予測結果。(a) 及び (b) は 19 日 12UTC 初期値の旧 GSM-RMAX24 と新 GSM-RMAX24、(c) は新・旧ガイダンスの予測誤差の差分図、(d) は観測の 20 km 格子最大 24 時間降水量、(e) 及び (f) は 21 日 12UTC 初期値の旧 GSM-RMAX24 と新 GSM-RMAX24、(g) は新・旧ガイダンスの予測誤差の差分図。(c) 及び (g) は青い (赤い) ほど新ガイダンス (旧ガイダンス) の予測誤差が少ないことを表す。

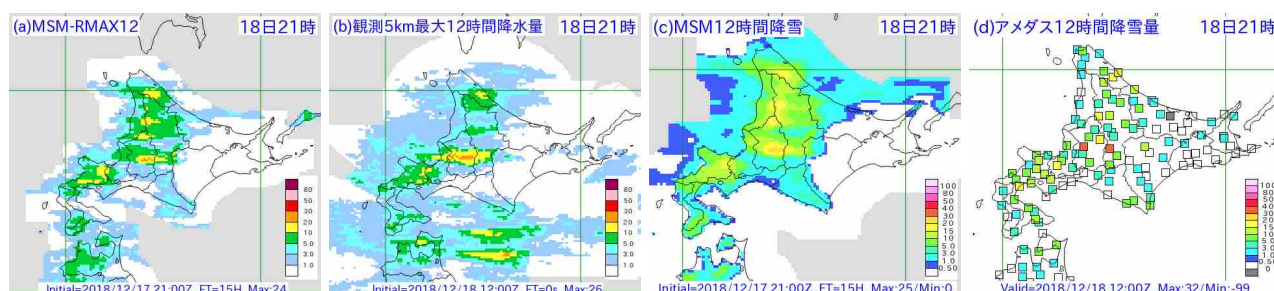


図 5.1.18 2018 年 12 月 18 日 21 時を対象とする、MSM 最大降水量及び降雪量ガイダンスの予測結果。(a) は MSM-RMAX12、(b) は観測の 5 km 格子最大 12 時間降水量、(c) は MSM12 時間降雪量ガイダンス、(d) はアメダスによる観測の 12 時間降雪量。(a) 及び (c) は 2018 年 12 月 17 日 21UTC 初期値の FT=15。(d) の橙色の 2 地点が美唄及び富良野。

量が美唄で 45 cm、富良野で 41 cm と共に 12 月の極値を更新した。図 5.1.18 の MSM12 時間降雪量ガイダンスに注目すると、空知地方から上川地方南部にかけてピーク値で 25 cm/12h の予測をしており、実際に大雪となった地域は捉えているものの、観測値に比べるとやや少ない予測になっている。ここで MSM-RMAX12 に注目すると、同地域には 20 mm/12h 以上、ピーク値では 25 mm/12h の予測をしている。降雪時の気温が -1°C から -3°C と低いため雪水比 (降水量から降雪量への換算比率 (降雪量/降水量 [cm/mm])) を 1 倍以上として降雪量を見積もると、降雪量ガイダンス程度の降雪となりうるもののほか、局地的にはさらに多くなる可能性を検討することも可能と考えられる。

5.1.7 利用上の留意点と今後の課題

12 時間・48 時間・72 時間最大降水量ガイダンスの新規開発と 24 時間最大降水量ガイダンスの改良を実施した。統計検証及び事例検証の結果から、48 時間及び 72 時間最大降水量は台風や総観スケールの現象による大雨を中心とした 2 日から 3 日先までの総降水量の見

積もりに、12 時間最大降水量は日本海側を中心とした予測降雪量の見積もりに利用できると考えられる。また、24 時間最大降水量ガイダンスについては、GSM、MSM ガイダンスともに予測精度や予測頻度特性が改善しており、従来よりも降水量予測の見積もりに利用しやすくなると言える。これらの新ガイダンス及び改良した 24 時間最大降水量について、第 5.1.5 項と第 5.1.6 項を踏まえた特徴と利用上の留意点について以下にまとめる。

- ① 48 時間及び 72 時間最大降水量ガイダンスは、新 24 時間最大降水量ガイダンスの積算値よりも予測頻度が適切で予測精度は同程度である。台風や総観スケールの現象による大雨に事例を絞った検証でも同様の傾向を確認しており、総降水量の見積もりに有効に利用できる。ただし、長時間続く大雨が少ない地域においては、24 時間最大降水量ガイダンスの積算値の方が実況に近いケースも確認しているため、利用に際しては留意が必要である。

- ② 新 GSM 及び MSM24 時間最大降水量ガイダンスの優劣は、旧 24 時間最大降水量ガイダンスの場合 (白山 2018) と変わらず基本的には MSM ガイダンスの方が優位であるが、精度差は改良前よりも縮まっている。ただし、予報時間後半になるほど MSM ガイダンスの優位性が小さくなる点や、400 mm/24h を超える大雨の予測精度は GSM ガイダンスの方が良い傾向である点に留意が必要である。
- ③ 旧 24 時間最大降水量ガイダンスには、台風をはじめとした顕著な大雨時に現実離れた予測をする場合があった (白山 2018) が、今回の改良によってそのような予測の回数が大きく減少する。ただし、現実離れた予測やこれまで観測したことがない予測が全く発生しなくなるわけではないため、ガイダンスと過去の観測値との比較などから過大な予測の可能性が疑われる場合には、引き続き利用方法に留意する必要がある。また、同じ予測手法を採用した 12 時間・48 時間・72 時間最大降水量についても、利用に際して同様の留意が必要である。
- ④ 12 時間最大降水量ガイダンスは、寒候期、全国平均及び 1 mm/12h の予測頻度に過少傾向が見られる他は概ね適切な予測頻度で予測することを確認している。しかし、太平洋側の地域や北海道では予測頻度がやや高い傾向を確認しているため、利用に際して留意する必要がある。

これらの点に留意して、各最大降水量ガイダンスを有効に活用していただきたい。

今後の課題としては、まず MSM12 時間または 24 時間平均降水量ガイダンスの計算のために積算する 3 時間降水量を、GSM ガイダンスの場合と同じ MRRA に変更することが挙げられる (第 5.1.4 項 (1))。GSM ガイダンスと同様に、本変更を行うことで予測精度の改善が期待できるためである。第 5.1.5 項 (3) では、寒候期の RMAX12 の予測頻度に地域差があり、その原因が MRR12 の頻度バイアス補正の逐次学習にあると述べた。より寒候期に適応した統計関係になるよう、頻度バイアス補正や最大降水量の予測式に新たな層別化を導入することなどを検討したい。また、本節で報告した最大降水量ガイダンスは MRR3 やその作成過程の MRRA が入力値になっているため、さらなる予測精度の改善のためにはこれら入力値の予測精度向上が必要である。MRR3 や MRRA については、説明変数の見直しやカルマンフィルタの各種パラメータなどの統計関係の再作成が必要と考えており (白山 2018)、今後開発を進めていく計画である。

参考文献

工藤淳, 2018: 手法の分類. 数値予報課報告・別冊第 64 号, 気象庁予報部, 20-23.

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.

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.

原旅人, 2017: メソ数値予報システムの改良の概要. 平成 29 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 42-47.

米原仁, 2016: 全球数値予報システムの物理過程改良の概要. 平成 28 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 1-3.

米原仁, 2017: 全球数値予報システムの改良の概要. 平成 29 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 1-7.

5.2 最大降水量・降雪量・最大風速ガイダンスの精度評価¹

5.2.1 はじめに

気象庁が GSM や MSM の予測結果から日々作成するガイダンスのうち、最大降水量、降雪量（格子形式）、最大風速の各ガイダンスは、大雨や大雪、暴風（強風）・暴風雪（風雪）といった警報・注意報の発表や、防災気象情報に掲載される降水量や降雪量、風速の量的な予報値の検討を目的として、これまでは気象庁内でのみ利用されてきた。今般、報道機関や民間気象会社が防災気象情報の解説を行う際に利用することなどを想定して、これら 3 つのガイダンスの提供を 2019 年 11 月から開始した。本節では、GSM 及び MSM の最大降水量、降雪量（格子形式）、最大風速の各ガイダンスの最新の精度検証結果について解説する。なお、各ガイダンスの作成手法や詳細な仕様、利用上の留意点については数値予報課報告・別冊第 64 号第 4 章（気象庁予報部 2018）及び第 5.1 節を参照いただきたい。

5.2.2 最大降水量ガイダンス

配信を開始する最大降水量ガイダンスには、GSM から作成する GSM 最大降水量ガイダンス（20 km 格子）と MSM から作成する MSM 最大降水量ガイダンス（5 km 格子）があり、それぞれ 1 時間最大降水量（RMAX31）、3 時間最大降水量（RMAX33）、24 時間最大降水量（RMAX24）の 3 つの要素から構成される。これらの最大降水量ガイダンスでは、格子内最大の降水量をニューラルネットワークや線形重回帰を用いて、格子内平均の降水量である平均降水量ガイダンスと数値予報モデルの GPV から計算した説明変数から予測する。

まず、数値予報モデルの降水量予測に対する最大降水量ガイダンスの利点を述べる。図 5.2.1 は、2018 年 6 月 20 日 18 時を対象とする GSM の 24 時間降水量予測と GSM ガイダンスの RMAX24、24 時間積算した解析雨量、20 日 9 時の日本域地上天気図である。この日は梅雨前線上の低気圧が東進したことで西日本を中心に大雨となり、九州から近畿地方までの広範囲で 100 mm/24h、局地的には九州地方で 300 mm/24h を超える大雨を観測した。この大雨に対して、前日の 19 日 00UTC を初期時刻とする GSM は、まとまった降水を西日本の広い範囲に予測するものの、100 mm/24h を超える予測範囲は観測値よりも狭く、また九州地方の降水量予測の最大値は観測値の半分以下であった。これは、主に数値予報モデルの降水量は予測対象であるモデル格子の平均的な降水量を表すために、より水平格子間隔の細かい解析雨量と比較すると降水量が過小になる傾向があったり、モデルが表現できる空間スケ-

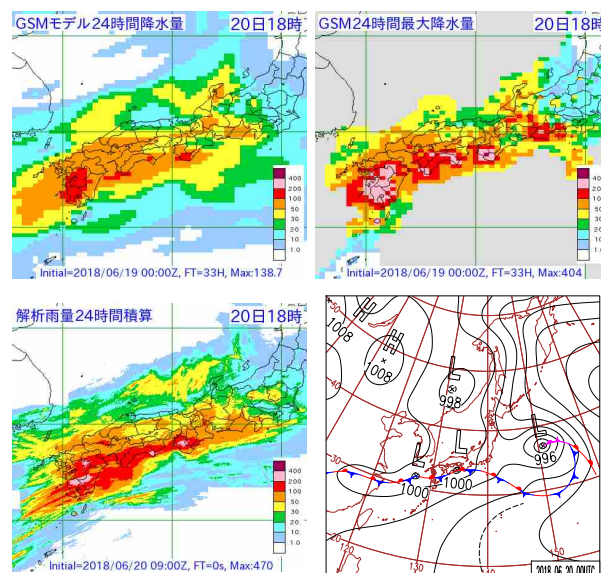


図 5.2.1 2018 年 6 月 20 日 18 時を対象とする、GSM の 24 時間降水量予測（左上）、GSM24 時間最大降水量ガイダンス（右上）、解析雨量の 24 時間積算（左下）、20 日 9 時の日本域地上天気図（右下）。降水量の単位はいずれも mm/24h。

ルよりも小さい現象によって降水が発生することがあるためである。一方で、最大降水量ガイダンスはモデルよりも 100 mm/24h を超える大雨を広く予測し、また九州地方でも最大で 400 mm/24h 近い降水を予測しており、モデルの降水量予測よりも観測値に近づいている。最大降水量ガイダンスは、予測対象格子に含まれる降水量の最大値を予測対象とした統計手法を用いることで、格子の平均的な降水量を予測する数値予報モデルでは予測できない、観測値に近い降水量を予測することができる。

次に、GSM 及び MSM 最大降水量ガイダンスについての統計検証の結果を示し、その結果から読み取れる特徴を説明する。なお、本項で示す検証結果は、第 5.1 節で解説した改良後のガイダンスを対象にしたものである。

図 5.2.2 は夏期（2018 年 6～8 月）を検証対象期間とした GSM 及び MSM ガイダンスの RMAX31、RMAX33 の比較図、図 5.2.3 は通年（2018 年 1 年間）を対象とした RMAX24 の比較図で、両図とも左から降水量の閾値別エクイタブルスレットスコア（ETS）、バイアススコア（BI）、予報時間別の ETS を示している。検証に用いた初期値は、GSM ガイダンスが 00, 06, 12, 18UTC 初期値、MSM ガイダンスが 03, 09, 15, 21UTC 初期値である。また予報時間は、図 5.2.2 では GSM ガイダンスが FT=6 から 27（予報時間別 ETS は FT=84）、MSM ガイダンスが FT=3 から 24（同 FT=39）、図 5.2.3 では GSM ガイダンスが FT=27 から FT=42（予報時間別 ETS は FT=84）、MSM ガイダンスが FT=24 から FT=39 である。なお、格子サイズの異なる GSM ガイダンスと MSM ガイダンスを比較するために、MSM ガイダンスを 20 km 格子中に含まれる 5 km 格子の最大

¹ 白山 洋平（第 5.2.1 項、第 5.2.2 項）、土田 尚侑（第 5.2.3 項）、井藤 智史（第 5.2.4 項）

値に変換することで格子サイズを揃えてから検証している。

図 5.2.2 の RMAX31 及び RMAX33 については、80 mm/h 以上や 100 mm/3h 以上といった対象事例が少ない大雨を除けば、MSM ガイダンスの方が GSM ガイダンスよりも予測精度が高くなっており、MSM ガイダンスの方が夏期の短時間の降水予測に優れていると言える。また、予報時間別 ETS 図からは、MSM の予報時間内は MSM ガイダンスの方が GSM ガイダンスより精度が高いこと、また予報時間半日程度までが特に高いことが分かる。これらは、MSM の方が数値予報モデルの水平格子間隔が細かく地形の表現が精緻で強雨の表現が良いこと、またメソ解析において解析雨量やレーダー反射強度データを同化(本田ほか 2018)するなど初期時刻に近い予報時間の降水表現が良いことが、ガイダンスにも反映されているためと考えられる。BI については、RMAX31 では 80 mm/h 以上で観測よりも高い頻度で大雨を予測したり、RMAX33 では雨量が多くなるほど観測に比べて予測頻度が低くなる傾向が見られるため、利用に際して予測の空振りや見逃しに留意する必要がある。

図 5.2.3 の RMAX24 については、閾値別 ETS から 400 mm/24h だけ GSM ガイダンスの精度が MSM ガイダンスを上回っているものの、これ以外では MSM ガイダンスの方が精度が高くなっていることが分かる。また、予報時間別 ETS から予報時間後半ほど MSM ガイダンスの GSM ガイダンスに対するアドバンテージが小さくなる傾向も見取れる。BI については、RMAX31 や RMAX33 とは異なり、両ガイダンスとも概ね適切になっており、実際に大雨が観測される頻度と同程度の頻度で大雨を予測する傾向があることが分かる。以上のことから、MSM の予測する気象場と実況の対比や、気象場に依存する MSM と GSM の誤差特性の比較から MSM ガイダンスの利用を控えるべき理由がある場合を除いて、基本的には MSM ガイダンスの予報時間内では GSM ガイダンスよりも MSM ガイダンスの利用を優先することを推奨する。

5.2.3 降雪量ガイダンス²

降雪量ガイダンスは全国の 5 km 格子毎を対象に降雪量を予測する格子形式のガイダンスであり、GSM 及び GSM ガイダンスから作成される GSM 降雪量ガイダンスと、MSM 及び MSM ガイダンスから作成される MSM 降雪量ガイダンスがある。予報要素は前 3 時間降雪量、前 6 時間降雪量、前 12 時間降雪量、前 24 時間降雪量である。降雪量の予測には、予測降水量に気温に応じた経験的な雪水比を掛けて降雪量を見積もる雪水変換法を使用する。本ガイダンスを利用することで、全国の降水及び気温の予測分布に対応した降雪

量の予測分布を直接把握できる。

ここでは、全国のアメダス地点で観測された 1 時間積雪深差から求めた降雪量を観測値とした降雪量ガイダンスの検証結果を示す。検証は 6, 12, 24 時間降雪量を対象に行った。検証対象の初期値は GSM ガイダンスが 00, 06, 12, 18UTC、MSM ガイダンスが 03, 09, 15, 21UTC である。予報時間は、6 時間降雪量は GSM ガイダンスが FT=9 ~ 30、MSM ガイダンスが FT=6 ~ 27、12 時間降雪量は GSM ガイダンスが FT=15 ~ 36、MSM ガイダンスが FT=12 ~ 33、24 時間降雪量は GSM ガイダンスが FT=27 ~ 36、MSM ガイダンスが FT=24 ~ 33 を対象とした。なお、検証地点の予測値は周囲の 4 格子点を線形内挿することにより求めた。

図 5.2.4 に降雪量閾値別の ETS 及び BI を示す。ETS は全予報要素で MSM ガイダンスが GSM ガイダンスを上回っており、MSM ガイダンスの方が予測精度が高いことが分かる。これは入力となる降水量ガイダンスや気温ガイダンスの予測精度が MSM ガイダンスの方が高いことによると考えられる。BI は 6, 12 時間降雪量では降雪量が多いほど値が小さく、それぞれ 10 cm/6h, 20 cm/12h 以上の降雪に対しては 1 を下回っており、観測頻度よりも予測頻度が少ない。6, 12 時間降雪量は大雪の見逃しに留意が必要である。一方、24 時間降雪量の BI は降雪量が多いほど値が大きく、観測頻度よりも予測頻度が多い。ただし、観測の降雪量は 1 時間積雪深差から求めているため、圧密などによる新積雪の沈降により実際よりも観測頻度が少ないことを考慮する必要がある。24 時間降雪量の検証ではこの影響が大きいことから、実際の降雪量に対しては検証結果で示したほど予測頻度は過大でないと考えられる。

5.2.4 最大風速ガイダンス

最大風速ガイダンスは、GSM から作成される GSM 最大風速ガイダンスと、MSM から作成される MSM 最大風速ガイダンスがあり、それぞれアメダス地点の前 3 時間内の最大風速とその風向(16 方位)を 3 時間間隔で予測している。現在配信している風ガイダンスは 1 時間毎の定時の風を予測する定時風ガイダンスであるため、前 1 時間内に観測された最大風速と比較すると弱めの値となる。このため、今回配信を開始する最大風速ガイダンスの方が、防災気象情報への解説などの利用には適していると言える。

最大風速ガイダンスの統計検証結果を図 5.2.5 と図 5.2.6 に示す。検証期間は 2018 年の 1 年間で、GSM 最大風速ガイダンスは 00, 06, 12, 18UTC 初期値、MSM 最大風速ガイダンスは 03, 09, 15, 21UTC 初期値の検証結果である。図 5.2.6 の予報時間は、GSM 最大風速ガイダンスが FT=9, 12、MSM 最大風速ガイダンスが FT=6, 9 を利用した。全ての予報時間を用いない理由は、事例数の少ない強風時の検証での事例依存を軽減

² これまで「最大降雪量ガイダンス」と呼称していたが、本テキスト以降は「降雪量ガイダンス」と呼称する。

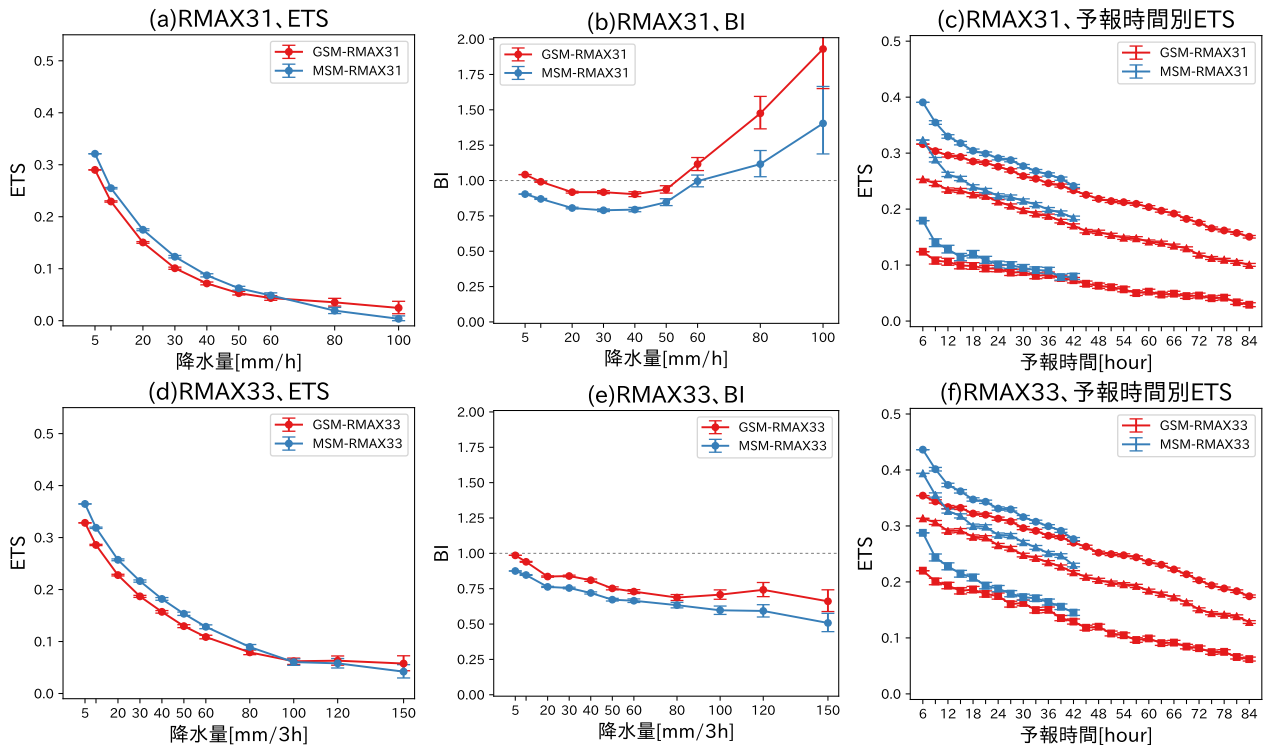


図 5.2.2 GSM 及び MSM の RMAX31, RMAX33 の予測精度比較。検証対象期間は 2018 年 6 月～8 月で、(a) ～ (c) は RMAX31 の ETS, BI 及び予報時間別 ETS、(d) ～ (f) は RMAX33 の ETS, BI 及び予報時間別 ETS。(c) 及び (f) の横軸には GSM-RMAX31 または RMAX33 の予報時間を取り、MSM-RMAX31 または RMAX33 は 3 時間ずらしてプロットしている。また、(c) 及び (f) の降水量閾値は、5 mm/h または 5 mm/3h (丸)、10 mm/h または 10 mm/3h (三角)、30 mm/h または 30 mm/3h (四角) である。各図ともエラーバーはブートストラップ法で求めた 95%信頼区間を、赤線は GSM-RMAX31 または RMAX33、青線は MSM-RMAX31 または RMAX33 を表す。

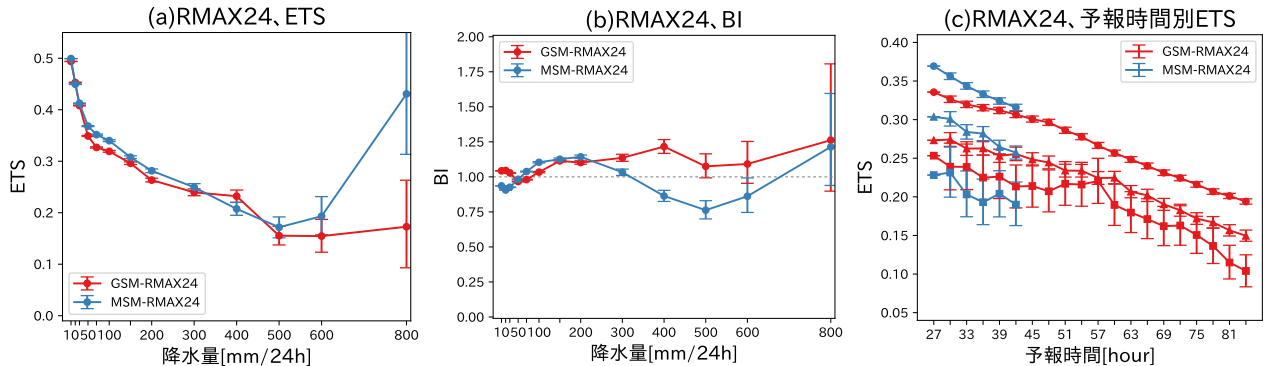


図 5.2.3 GSM-RMAX24 と MSM-RMAX24 の予測精度比較。検証対象期間は 2018 年の 1 年間で、(a) は ETS、(b) は BI、(c) は予報時間別 ETS。(c) の降水量閾値は、100 mm/24h (丸)、200 mm/24h (三角)、400 mm/24h (四角) で、赤線は GSM-RMAX24、青線は MSM-RMAX24 を表す。また、(c) は横軸に GSM-RMAX24 の予報時間を取り、MSM-RMAX24 は予報対象時刻が揃うように 3 時間ずらしてプロットしている。その他の図の見方は、図 5.2.2 に同じ。

するためであり、ある予報対象時刻の観測に対して複数の初期時刻のガイダンス値で検証しないように予報時間を設定している。

図 5.2.5 に予報時間毎の風速の二乗平均平方根誤差 (RMSE) と平均誤差 (ME) を示す。ME を見ると、GSM 最大風速ガイダンスは負バイアス、MSM 最大風速ガイダンスは正バイアスとなっているが、いずれも概ね 0.1 m/s 以下と誤差は小さい。RMSE は、いずれも予報時間が進むほど誤差が大きくなっていることが分かる。また、FT=30 以降は同じ程度の誤差となっているが、FT=27 までは MSM 最大風速ガイダンスの

方が誤差は小さくなっており、基本的には MSM ガイダンスの方が精度が高くなっている。

一方で、風速毎の ETS と BI を示した図 5.2.6 では、風速 20 m/s までは MSM 最大風速ガイダンスの方が ETS が高いものの、それより大きな風速では GSM 最大風速ガイダンスの方が ETS が高くなっていることが分かる。これは GSM 最大風速ガイダンスでは風速 20 m/s より大きいにも関わらず BI が 1 に近いのに対して、MSM 最大風速ガイダンスでは BI が 1 より小さくなっているためである。このため、風速 20 m/s を超えるような強風時においては、GSM 最大風速ガイダ

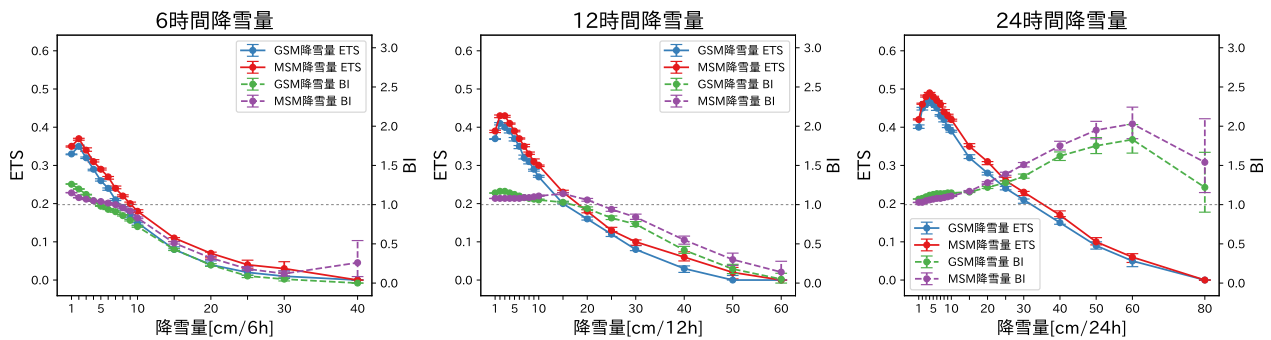


図 5.2.4 降雪量ガイダンスの降雪量閾値別の ETS 及び BI。検証期間は 2017 年 12 月～2018 年 2 月及び 2018 年 12 月～2019 年 2 月の 2 か年。左が 6 時間降雪量、中が 12 時間降雪量、右が 24 時間降雪量を対象とした検証で、青線が GSM ガイダンスの ETS、赤線が MSM ガイダンスの ETS、緑線が GSM ガイダンスの BI、紫線が MSM ガイダンスの BI である。エラーバーはブートストラップ法で求めた 95%信頼区間を表す。

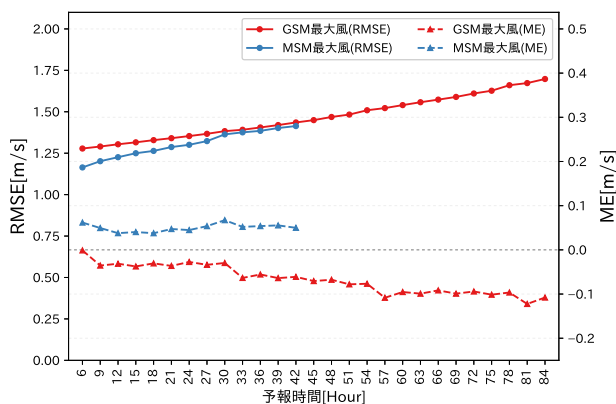


図 5.2.5 最大風速ガイダンスの予報時間毎の風速の RMSE (実線、左軸) と ME (破線、右軸)。赤線が GSM 最大風速ガイダンス、青線が MSM 最大風速ガイダンスを示す。予報時間は GSM 最大風速ガイダンスから見た予報時間であり、MSM 最大風速ガイダンスは予報対象時刻が同じになるように 3 時間ずらしてプロットしている。

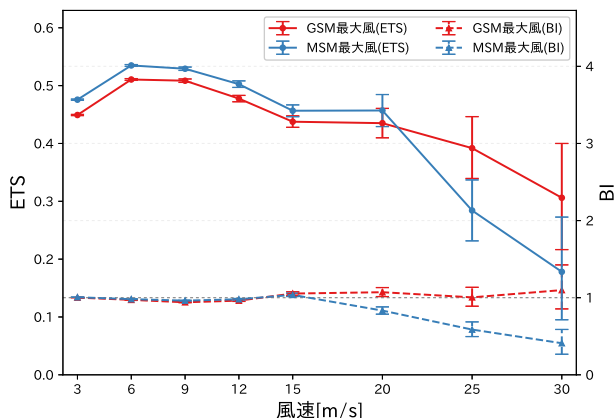


図 5.2.6 最大風速ガイダンスの風速の閾値毎の ETS (実線、左軸) と BI (破線、右軸)。赤線が GSM 最大風速ガイダンス、青線が MSM 最大風速ガイダンスを示し、エラーバーはブートストラップ法で求めた 95%信頼区間である。

参考文献

気象庁予報部, 2018: ガイダンスの解説. 数値予報課報告・別冊第 64 号, 気象庁予報部, 94-232.
 本田有機, 藤田匡, 計盛正博, 室井ちあし, 佐藤芳昭, 2018: データ同化. 平成 30 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 84-89.

ンスの利用も検討して欲しい。