

降水15時間予報の提供開始

橋 口 祥 治*

1. はじめに

気象庁は、大雨による気象災害が発生するおそれがある場合、大雨注意報、大雨警報（土砂災害、浸水害）などを発表している。警報級の現象は、ひとたび発生すると命に危険が及ぶなど社会的影響が大きいため、警報は警報級の現象が概ね3～6時間先に予想されるときに発表している。また、まだ警報を発表する段階ではないが警報級の現象が概ね6時間以上先に予想されている場合には、「警報に切り替える可能性が高い注意報」を発表している。気象庁ホームページでは、図表形式で、市町村ごとにこれらの警報級の現象が予想される時間帯を赤色で明示している。

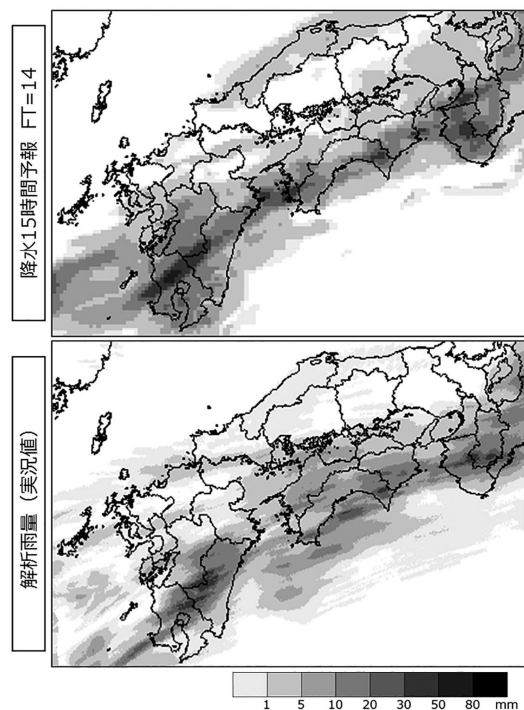
一方、降水量予測については、従来約1km四方で6時間先まで予測する「降水短時間予報」（永田・辻村2006；熊谷2014）を提供していた。そのため、「警報に切り替える可能性が高い注意報」が発表され、6時間以上先に警報級の現象が予想されている場合において、いつどこでどの程度の雨量となる予想であるのか面的に詳細な状況を確認する方法がなかった。

今般、この様な状況をより早い段階で確認し、早めの避難判断の支援に活用できるよう、降水短時間予報の先にあたる7～15時間先の降水量予測を提供する「降水15時間予報」の開発を行った。第1図に降水15時間予報の予測例を示す。この事例では九州地方から近畿地方に強雨域がかかることを前日夕方時点と比較的に良く予測しており、深夜早朝の防災対応を避け、早めの行動を取ることに役立つ。本稿では、この降水

15時間予報の予測手法や活用方法などを紹介する。

2. 降水15時間予報の算出に用いた資料

降水短時間予報（降短）は、EX6（実況補外予測：解析雨量から求めた実況の降水分布を使い、降水の移動ベクトル、地形による発達・衰弱などを求め、6時



第1図 降水15時間予報の予測事例。(上)2018年6月19日18時(日本時間)初期値の14時間先の予測,(下)2018年6月20日08時(日本時間)の解析雨量(実況値)。

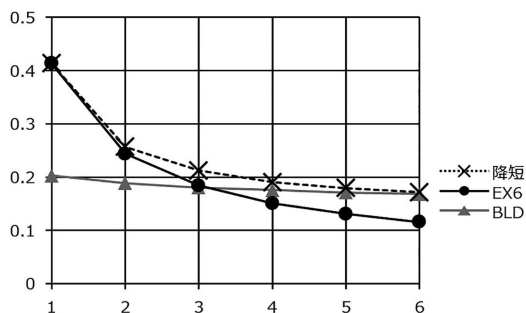
* Shoji HASHIGUCHI, 気象庁予報部。

s_hashiguchi@met.kishou.go.jp

© 2019 日本気象学会

間分の予測値を作成)とBLD (MSM (メソ数値予報モデル) (原 2008; 越智・石井 2013) 及び LFM (局地モデル) (永戸ほか 2010; 永戸ほか 2012; 永戸ほか 2013) の降水量予測を重み付け平均して算出)の重み付け平均で算出している。第2図に示す降水短時間予報のスレツスコア (算出方法は第1表を参照)を見ると, EX6は予報時間の経過につれ精度が低下するため, 降水短時間予報でも6時間先の予報はほとんどBLDが用いられている。そのため, 降水15時間予報は実況補外予測を利用せず, 数値予報資料のみで作成することとした。

降水15時間予報は, 早い段階での避難判断を支援するため, 一格子一格子を正確に当てることを目指すよりも, 全体の傾向として降水分布をとらえ, 見逃しや大外れが少ない予測となるように設計した。具体的には, 降水15時間予報は, MSMの降水量予測値やMSMとLFMの降水ガイダンス (白山 2018) を用いて重み付け平均を行っているが, 重みを算出する



第2図 降水短時間予報のスレツスコア (2017年)。5 km 格子平均で10 mm 以上の降水を対象としている。横軸は予報時間 (時), 縦軸はスレツスコアを表す。

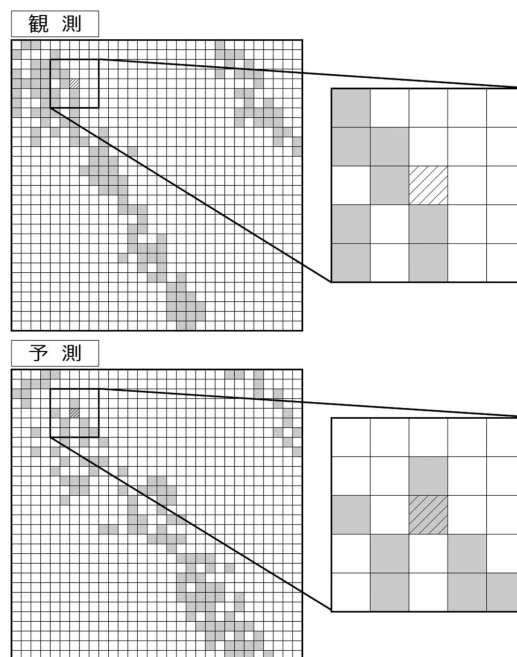
第1表 分割表。A, B, C, D はそれぞれの事例数を表す。本稿で用いるスコアの算出方法は以下の通り。スレツスコア： $A/(A+B+C)$, バイアススコア： $(A+B)/(A+C)$ 。

		実況	
		あり	なし
予報	あり	A	B
	なし	C	D

際, 位置ずれを許容したスコア (FSS: Fractions Skill Score (Roberts and Lean 2008; 幾田 2010)) を用いることとした。

3. FSS について

FSS は位置ずれを考慮し, 一定の範囲内の降水量分布の適切さを示す指標で, 完全予報では1, 無意味な予報では0になる。第3図に降水量予測におけるFSS算出の概念図を示す。第3図の観測と予測は概ね良く一致しているように見えるが, 詳細を見ると全ての格子がずれている。そのため, 一格子一格子を正確に当てることを評価するスレツスコアを算出すると0になってしまい, 全体の降水パターンをおおまかに見たときの印象とは異なる結果となる。しかし, 格子ずれを許容するFSSは異なる評価となる。例えば, 斜線をつけた格子を検証する際, 2格子ずれを許容するFSSを算出する場合にはその周囲5×5格子内の格子数を観測と予測で比較する。この場合, 斜線をつけた格子そのものは観測と予測で一致していないが, 周囲の5×5格子内のしきい値を超える格子数はとも



第3図 降水量予測におけるFSS算出の概念図。降水を観測・予測している格子点上で, しきい値を超過しているセルを塗りつぶしている。

に8で一致している。このような比較を全ての格子に対して行い、FSSを算出すると約0.50となり、観測と予測が概ね良く一致しているという感覚とも一致する。以下にFSSの算出方法を示す。

観測値と予測値について、しきい値以上の場合1、しきい値未満の場合0と二値化することができる。これは、任意のしきい値を q として、観測値 O_r 、予測値 F_r について(1)、(2)のように表せる。

$$I_o = \begin{cases} 1 & O_r \geq q \\ 0 & O_r < q \end{cases} \quad (1)$$

$$I_f = \begin{cases} 1 & F_r \geq q \\ 0 & F_r < q \end{cases} \quad (2)$$

この I_o と I_f に m 格子ずれの空間スケールを考慮し、 $(2m+1) \times (2m+1)$ 格子の領域平均値を(3)、(4)のように算出する。添え字の i, j は格子番号である。

$$O(m)_{i,j} = \frac{1}{(2m+1)^2} \sum_{k=-m}^m \sum_{l=-m}^m I_o[i+k, j+l] \quad (3)$$

$$F(m)_{i,j} = \frac{1}{(2m+1)^2} \sum_{k=-m}^m \sum_{l=-m}^m I_f[i+k, j+l] \quad (4)$$

この $O(m)$ と $F(m)$ によって、平均二乗誤差($MSE(m)$)が(5)の通り算出される。 N_x と N_y は検証領域の x 方向と y 方向の格子数。簡単のため検証

領域を矩形領域と仮定している。

$$MSE(m) = \frac{1}{N_x N_y} \sum_{i=1}^{N_x} \sum_{j=1}^{N_y} [O(m)_{i,j} - F(m)_{i,j}]^2 \quad (5)$$

また、観測と予測の二乗和の平均値を参照値($MSE(m)_{ref}$)として算出する。これは、観測と予測の適合がない MSE に相当する。

$$MSE(m)_{ref} = \frac{1}{N_x N_y} \sum_{i=1}^{N_x} \sum_{j=1}^{N_y} [O^2(m)_{i,j} + F^2(m)_{i,j}] \quad (6)$$

さらに、完全予報の場合の平均二乗誤差($MSE(m)_{perfect}$)は0となることを用いて、 $FSS(m)$ は(7)の通り定義される。

$$FSS(m) = \frac{MSE(m) - MSE(m)_{ref}}{MSE(m)_{perfect} - MSE(m)_{ref}} \quad (7)$$

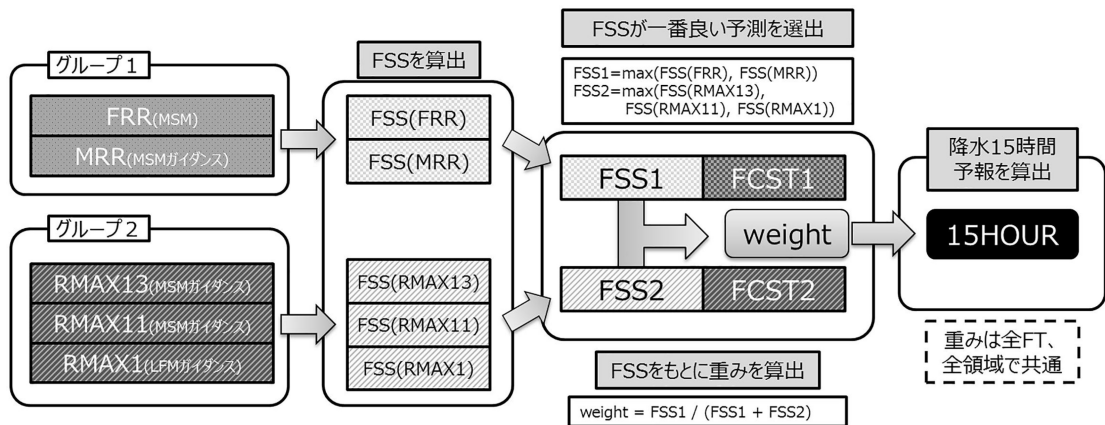
$$= 1 - \frac{MSE(m)}{MSE(m)_{ref}}$$

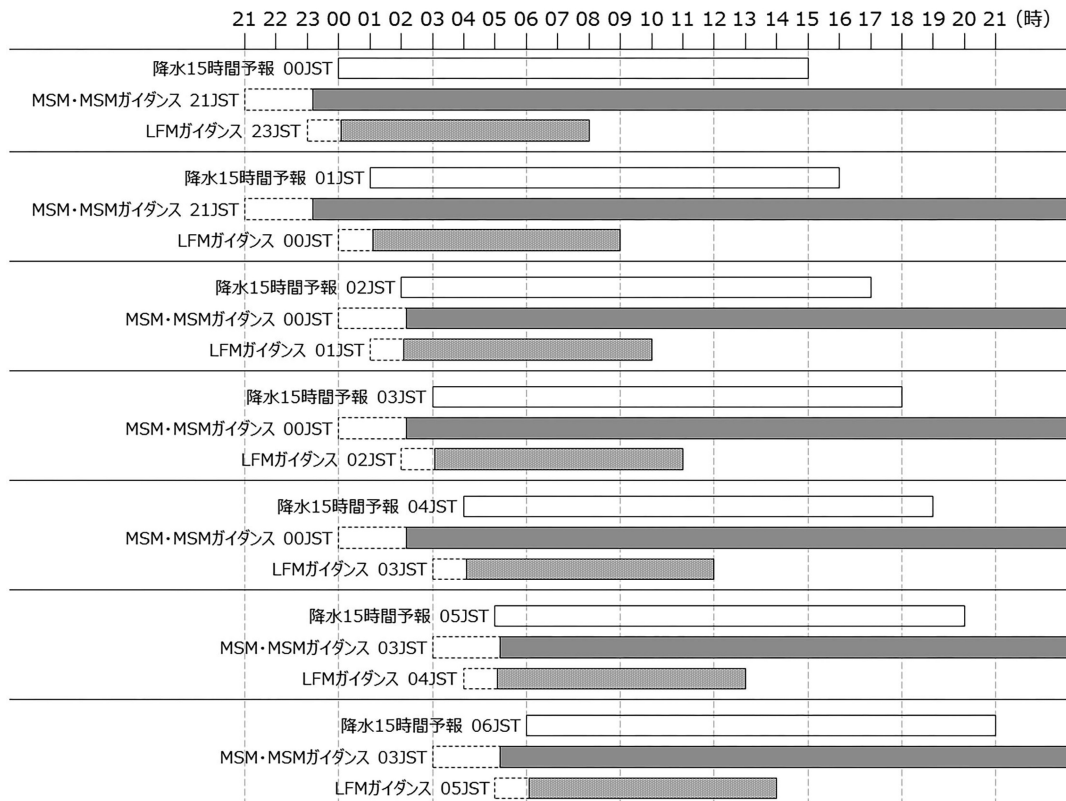
この式から明らかなように、 FSS は0から1の値をとる。

4. 降水15時間予報の予測手法

降水15時間予報は、以下の手順で算出を行う。第4図に算出の流れを示し、第5図に降水15時間予報と算出に用いるMSM・MSMガイダンス、LFMガイダンスの各初期時刻の関係を示す。

①MSMの1時間降水量予測値(FRR)を用いて





第5図 初期時刻が00～06時における降水15時間予報の予報時間と算出に用いる MSM・MSM ガイダンス及び LFM ガイダンスの初期時刻と予報時間の関係、算出に用いる数値予報資料は、利用可能になる時間帯以降を塗りつぶしている。

MSM の 3 時間平均降水量ガイダンス ($MRR3$)、3 時間最大降水量ガイダンス ($RMAX33$)、3 時間内 1 時間最大降水量ガイダンス ($RMAX31$) を 1 時間値に変換する ($MRR3 \rightarrow MRR$, $RMAX33 \rightarrow RMAX13$, $RMAX31 \rightarrow RMAX11$)。 $MRR3$ は 3 時間降水量予測値であるため、 MRR を算出するにあたり、 (8) のように FRR に応じた比例配分を行う。 $RMAX33$ も同様に 1 時間値である $RMAX13$ に変換する。 $RMAX31$ は 3 時間内で最大となる 1 時間降水量であるため、 $RMAX11$ を算出するにあたり、 (9) のように $RMAX31$ に FRR の当該時刻の予測値と 3 時間内の最大予測値の比率を乗じる。

$$MRR(FT3) = MRR3 \times \frac{FRR(FT3)}{\sum FRR(FT1 \sim 3)} \quad (8)$$

$$RMAX11(FT3) = RMAX31 \times \frac{FRR(FT3)}{\max(FRR(FT1 \sim 3))} \quad (9)$$

②①で準備した FRR や MRR などの降水の予測値を表す数値予報資料を下記のようにグループ 1 とグループ 2 に分け、降水15時間予報の初期時刻における解析雨量と各予報との FSS を算出し、スコアが一番良い予測値をグループごとに選出する。グループ 2 の $RMAX11$ は LFM の最大降水量ガイダンスである。選出された予測値とスコアをそれぞれ $Fcst1$, $FSS1$, $Fcst2$, $FSS2$ とする。
グループ 1 : FRR , MRR
グループ 2 : $RMAX13$, $RMAX11$, $RMAX1$

③FSS をもとに重みを算出する.

$$weight = \frac{FSS1}{FSS1 + FSS2} \quad (10)$$

④重み付け平均を行い, 降水15時間予報 $F15H$ を算出する. このとき, 重みは全 FT , 全領域で共通とする. また, 最大降水量ガイダンスの予測範囲外はグループ1のスコアが一番良い予測値で埋める.

$$F15H = Fcst1 \times w1 + Fcst2 \times w2 \quad (11)$$

$$[w1 = weight, w2 = (1 - weight)]$$

⑤グループ2からLFMの最大降水量ガイダンス ($RMAX1$) を選出している場合, LFMの予報最終時刻は9時間であるため, それ以降のデータがない. LFMの予報最終時刻 (降水15時間予報では $FT = 8h$ もしくは $FT = 7h$) は次の予報時刻とのギャップを小さくするため, $RMAX1$ の利用率を下げ ($w2'$) つつ, 下げた分の重みはグループ2の2番目にスコアが良い予測 ($Fcst2'$) の加算に用いる.

$$F15H = Fcst1 \times w1 + Fcst2 \times w2 + Fcst2' \times (w2 - w2') \quad (12)$$

それ以降はグループ1の1番スコアが良い予測とグループ2の2番目にスコアが良い予測で同様に降水15時間予報を算出する.

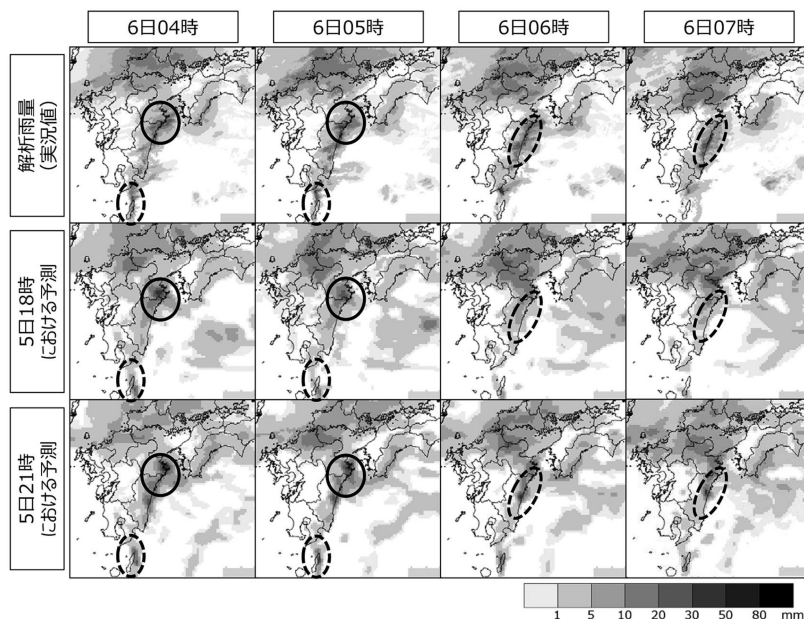
5. 降水15時間予報の活用

第1図に示したように, 前日夕方の時点で夜間から翌朝にかけての降水量分布を比較的良く予測できる場合もあるが, 利用に当たって留意すべき点もある. 以下に事例を示しながら利用上の留意点を述べる. なお, 第6図~第8図のカラー版は, 配信資料に関する

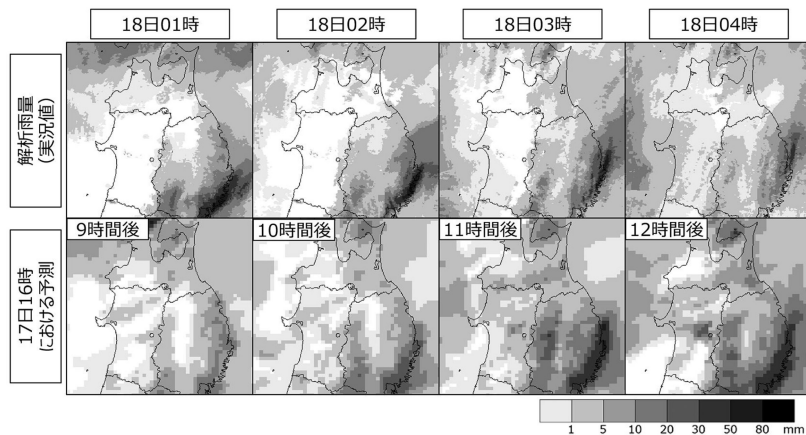
技術情報第479号 (<https://www.data.jma.go.jp/add/suishin/jyouhou/pdf/479.pdf>, 2018.11.8閲覧) の別添2で参照できる.

降水15時間予報はMSM, MSMの降水ガイダンスを用いていることから, MSMの初期値が3時間毎に変わるタイミングで予測が大きく変化する場合がある. このような事例を第6図に示す. 5日18時の予測では, 6日04~05時における大分県と宮崎県の県境付近の強い降水域 (実線で示す) が予測できている. さらに, 5日21時の予測では, 5日18時の予測では予測できていなかった6日04~05時における種子島付近の強い降水域や6日06~07時における宮崎県付近の強い降水域 (どちらも点線で示す) が予測されるようになる. このように, MSMの初期値が変わることで予測が大きく変化する場合がある.

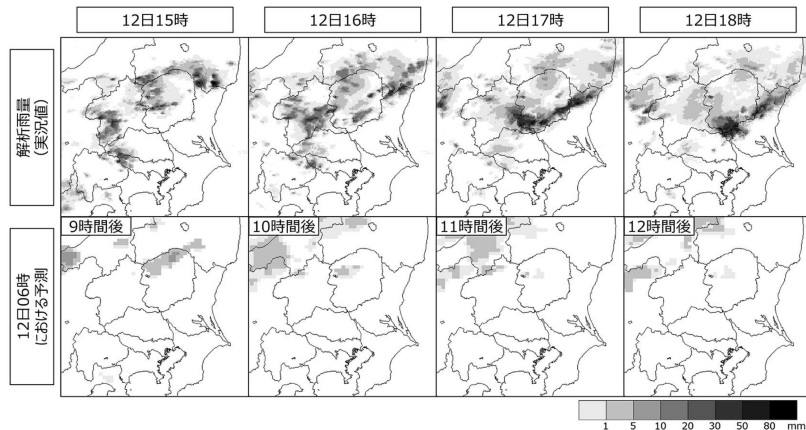
第7図に予測と実況の時間ずれが生じている事例を示す. 降水15時間予報は17日16時の時点で18日03時に東北太平洋側に強い降水を予測しているが, そのタイミングは実況よりも2時間ほど遅くなっている. このように, 低気圧等の進むスピード等により, 予測と実況の時間ずれが生じる場合がある. 同様に, 予測と実況の位置や強度のずれが生じる場合もある.



第6図 (上) 解析雨量 (実況値), (中) 降水15時間予報: 2017年10月5日18時 (日本時間) 初期値の予測, (下) 降水15時間予報: 2017年10月5日21時 (日本時間) 初期値の予測.



第7図 (上) 解析雨量(実況値), (下) 降水15時間予報: 2017年9月17日16時(日本時間) 初期値の予測。



第8図 (上) 解析雨量(実況値), (下) 降水15時間予報: 2017年7月12日06時(日本時間) 初期値の予測。

第8図に降水15時間予報で降水の予測ができなかった事例を示す。12日の昼過ぎから夕方にかけて関東地方では局地的に強い降水域が分布しているが、降水15時間予報ではまったく予測することができていない。このように、大気不安定による局地的な大雨等では、降水の予測ができない場合がある。

第9図に降水短時間予報と降水15時間予報のつながりを示す。この例では、降水15時間予報で7時間先に東北日本海側にやや強い降水域を予測しているが、降水短時間予報の6時間先の予測では弱く、両予報間でギャップが生じている。降水短時間予報はEX6とBLDを重み付け平均しており、6時間先の予測では

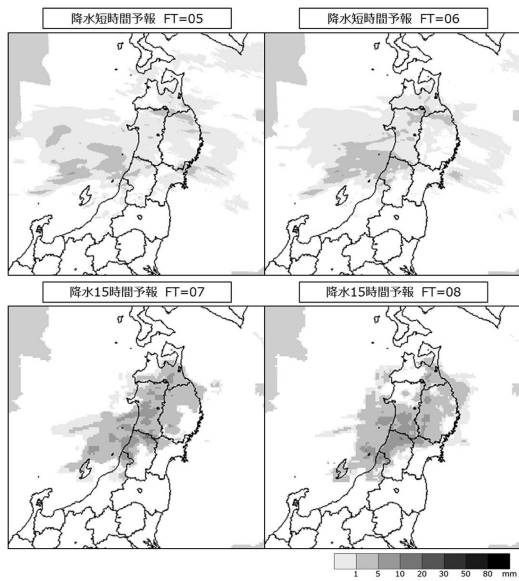
BLDの使用比率が大きくなる。しかし、この例のように6時間先の予測におけるEX6の使用比率が比較的大きい事例では、降水短時間予報の6時間先の予測と降水15時間予報の7時間先の予測でギャップが生じる場合がある。

6. 統計検証結果

2017年7月、2017年10月、2018年1月の3ヶ月間を対象として統計検証を行った。5 km 格子、陸域周辺格子で解析雨量を真値としてFSSとバイアスコア(算出方法は第1表を参照)を算出する。FSSの算出においては、6格子ずれを許容する。これは約65 km 四方で、概ね富山県程度の広さで比較することに対応する。検証対象は降水15時間予報、MSMの平均降水量ガイダンス(MRR)、降水短時間予報(参考として6時間先まで5 km 格子平均)である。

第10図と第11図に統計検証の結果を示す。降水15時間予報の精度は降水短時間

予報の予報時間後半と同程度かやや低くなっている。予報期間を通して降水15時間予報はMSMの平均降水量ガイダンスよりFSSの値が大きく、MSMの平均降水量ガイダンスに比べ全体の傾向として降水分布をよりよくとらえていることを示している。バイアスコアは1よりやや大きく、1時間降水量10 mm以上の降水を対象とすると1.8程度になっている。降水短時間予報やMSMの平均降水量ガイダンスに比べて対象とする降水量を予測する頻度がやや高いものの、見逃しが少ないことを示唆しており、降水15時間予報が目指す「全体の傾向として降水分布をとらえ、見逃しや大外れが少ない予測」であるといえる。

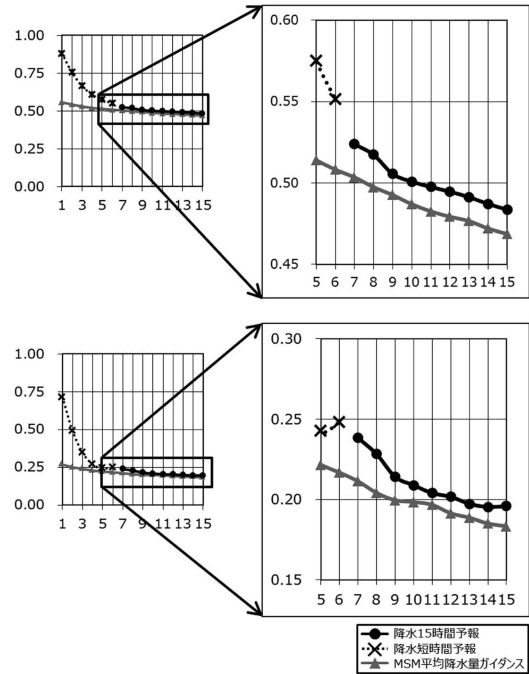


第9図 (上) 降水短時間予報の5時間先, 6時間先の予報, (下) 降水15時間予報の7時間先, 8時間先の予報 (どちらも2017年10月10日10時 (日本時間) 初期値)。

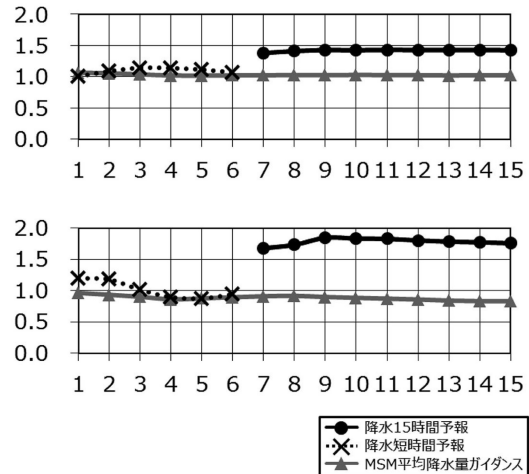
7. おわりに

降水15時間予報を用いることで, これまで降水短時間予報による6時間先までだった降水量予測を15時間先まで確認することができ, 例えば台風等により夜間から明け方のいつ頃, どこで大雨となる見込みかについて前日夕方の時点で把握できるようになる。このことにより, 特に夕方に発表された注意報において, 夜間から翌日早朝に大雨警報 (土砂災害) に切り替える可能性が高い旨言及されている場合に, 内閣府の避難勧告等に関するガイドライン (内閣府 2017) で必要とされている「避難準備・高齢者等避難開始」の発令や高齢者等の避難開始の判断を支援する手段として活用できる。

また, 2018年6月20日の降水15時間予報の運用開始と同時に気象庁ホームページに「今後の雨」ページ (<https://www.jma.go.jp/jp/kaikotan/index.html> 2018.11.8閲覧) を開設し, 解析雨量, 降水短時間予報, 降水15時間予報を連続的に確認できるようにしている (第12図)。確認したい地域に移動することや拡大・縮小が自由にできるようになっているほか, 危険度分布 (太田 2017) や雨雲の動き (高解像度降水ナウキャスト (木川 2015)) との切り替えもスムーズにできる。スマートフォンでの表示にも対応しており,



第10図 降水15時間予報, 降水短時間予報, MSM 平均降水量ガイダンスのFSS. (上) 1 mm 以上, (下) 10 mm 以上の降水を対象。各グラフの横軸は予報時間 (時), 縦軸はFSSを表す。



第11図 降水15時間予報, 降水短時間予報, MSM 平均降水量ガイダンスのバイアスコア. (上) 1 mm 以上, (下) 10 mm 以上の降水を対象としている。各グラフの横軸は予報時間 (時), 縦軸はバイアスコアを表す。



第12図 「今後の雨」ページ。(左) パソコン・タブレットでの表示例, (中) スマートフォンでの表示例, (右) 「今後の雨」ページのコード。

前述のような防災対応のほか、日常生活において、朝出かける前に夜までの雨の予報を確認することや、夜寝る前に翌日午前中の雨の予報を確認することなどの利用が考えられる。

日頃から「今後の雨」ページの使い方や予測の特性に親しんでおくことで、情報の確認をスムーズにし、早めの避難につなげることができるので、日常的に「今後の雨」ページを確認いただきたい。

参 考 文 献

- 永戸久喜, 石田純一, 藤田 匡, 石水尊久, 平原洋一, 幾田泰醇, 福田純也, 石川宜広, 吉本浩一, 2010: 局地数値予報システムの概要. 平成22年度数値予報研修テキスト, 1-3.
- 永戸久喜, 藤田 匡, 石田純一, 2012: 局地モデルの本運用. 平成24年度数値予報研修テキスト, 72-86.
- 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, 18-41.
- 原 旅人, 2008: 現業メソ数値予報モデルの概要. 数値予報課報告別冊, (54), 18-26.
- 幾田泰醇, 2010: 高分解能モデルの降水予報精度評価に適した検証手法. 平成22年度数値予報研修テキスト, 11-17.

木川誠一郎, 2015: 高解像度降水ナウキャストにおける降水の解析・予測技術について. 平成26年度予報技術研修テキスト, 77-86.

熊谷小緒里, 2014: 降水短時間予報の改善. 平成25年度予報技術研修テキスト, 67-71.

永田和彦, 辻村 豊, 2006: 解析雨量及び降水短時間予報の特性と利用上の注意点. 平成18年度量的予報研修テキスト, 9-24.

内閣府, 2017: 土砂災害の避難勧告等. 避難勧告等に関するガイドライン② (発令基準・防災体制編), 27-34.

http://www.bousai.go.jp/oukyu/hinankankoku/h28_hinankankoku_guideline/pdf/hinankankokugaidorain_02.pdf (2018.11.8閲覧).

越智健太, 石井憲介, 2013: メソモデルの領域拡張・予報時間39時間化の概要. 平成25年度数値予報研修テキスト, 1-2.

太田琢磨, 2017: 大雨・洪水警報作業に用いる新しい指数. 平成28年度予報技術研修テキスト, 30-41.

Roberts, N. M. and H. W. Lean, 2008: Scale-selective verification of rainfall accumulations from high-resolution forecasts of convective events. Mon. Wea. Rev., 136, 78-97.

白山洋平, 2018: 降水ガイダンス. 数値予報課報告別冊, (64), 95-118.