# 4.1 平成 30 年 7 月豪雨(前線及び台風第 7 号による大雨等)<sup>1</sup>

#### 4.1.1 はじめに

平成 30 年 7 月豪雨は、6 月 28 日から 7 月 8 日にか けて西日本を中心に全国的に広い範囲で記録的な大雨 を観測した豪雨である (気象庁 2018)。この節では、平 成 30 年 7 月豪雨の期間中の数値予報の予測状況を確 認する。大雨を引き起こした気象現象が期間と場所に よって異なるため、要因の異なる大雨の予測状況を個 別に確認する必要がある。はじめに大雨をもたらした 要因を簡単に述べる。

東・西日本で発生した大雨の要因を時間順に記述す ると以下のようになる。(1)華中から日本海を通って北 日本付近に停滞していた前線の影響により、6月28日 から29日に東日本と西日本の一部で大雨となった。6 月29日に台風第7号は日本の南海上で発生し、7月1 日に沖縄の西海上を通り東シナ海へ進み、7月2日か ら3日にかけて東シナ海を北北東進した。②台風第7 号は、7月3日夜には北東に向きを変えて対馬海峡を 通過して、7月4日に日本海中部で温帯低気圧に変わっ た。台風第7号の南東側の東・西日本で激しい雨を観 測した地域があった。(3)7月5日朝には台風第7号か ら変わった温帯低気圧は津軽海峡に進み、活発化しな がら南下してきた前線によって、7月5日も東日本と 西日本の太平洋側などで大雨となった。(4)7月6日夜 に朝鮮半島付近に近づいてきた上空のトラフの南東側 で活発化した前線が北上したため、西日本から東日本 で激しい雨となり、(5)7月7日に東・西日本を通過し たトラフの暖域側で局地的な激しい雨が継続する場所 があった。⑥東・西日本への下層の暖湿気の流入は7 月8日も継続し、局地的な激しい雨を観測する場所が あった。

この期間中、東・西日本以外の地域でも大雨や暴風 が発生している。台風第7号の接近・通過による影響 で南西諸島では大雨と暴風が発生しており、台風第7 号から変わった温帯低気圧の影響によって北日本でも 大雨が発生している。

本節では、以下の降水の要因とスケールの異なる3つの期間の大雨について数値予報の予測結果を確認する。

- (A) 7月3日から4日の台風第7号による東・西日本の大雨(上記の②の期間の大雨)
- (B) 7月6日から7日の前線活発化による九州北部・
   中国地方の大雨(④と⑤の期間の大雨)
- (C) 7月8日の東・西日本の局地的な激しい雨(⑥の 期間の激しい雨)

図 4.1.1 と図 4.1.2 に 7 月 3 日から 8 日の天気図、衛

星水蒸気画像、3時間解析雨量を示す。

(A) は、台風第7号が九州の西を北北東進し、7月 3日夜に北東に向きを変えて対馬海峡を通過し、山陰 沖を通過して、日本海中部に達するまでの期間である。 図 4.1.1 の (a) から (c) の期間の解析雨量の分布が示 すように、大雨が降ったのは、台風の中心に近い九州 と、台風の影響によって暖湿気が流入した東・西日本 太平洋側の地域であった。

(B)は、7月6日夜に朝鮮半島付近にあった上層の トラフの接近により活発な前線が西日本を北上して九 州北部や中国地方を中心に大雨が継続した後、7月7 日日中に東・西日本を通過した前線の暖域側に局地的 な激しい雨が継続した期間である。図4.1.1の(g),(h) と図4.1.2の(i)の期間の解析雨量の分布は、7月6日 から7日日中にかけて激しい雨が同じ地域で継続した ことを示している。

(C)の期間には、7月8日9時の水蒸気画像で上層 トラフに対応する明瞭な暗域が東日本に進み、地上の 前線の暖域側の岐阜県などで局地的な激しい雨が発生 した。図4.1.2の(k)の衛星水蒸気画像と解析雨量は、 上層の明瞭なトラフが通過した後の九州南部や四国で も7月8日日中に下層の暖湿気の流入(図略)による 局地的な大雨が降ったことを示している。

以降、本節では、第4.1.2項で (A) の期間について、 台風第7号の全球モデル (GSM) と全球アンサンブ ル予報システム(全球 EPS)の進路予測等の結果と、 GSM24 時間最大降水量ガイダンス (GSM-RMAX24) の結果を確認する。第4.1.3項では、(B)の期間につい て、GSM、全球 EPS、メソモデル (MSM)、メソアンサ ンブル予報システム (MEPS)、局地モデル (LFM) の予 測の初期値毎の変化と、GSM-RMAX24 と MSM24 時 間最大降水量ガイダンス (MSM-RMAX24) と MSM3 時間最大降水量ガイダンス (MSM-RMAX33)の予測 について述べる。第4.1.4 項では (C) の期間について、 全球モデルでは予測できなかった局地的な激しい雨を MSM と LFM がどのように予測していたかを示す。第 4.1.5 項では、これらの3つの期間の予測結果について まとめ、数値予報プロダクトの利用者が留意すべき点 について述べる。

24時間最大降水量ガイダンスについては、第5.1節 で2019年7月4日に改良したことを報告している。本 節では、現象発生当時の資料である改良前の結果を示 し考察しているが、本事例解析から示唆される結果や プロダクト利用上の留意点については、改良前後で大 きな違いはない。

<sup>1</sup> 坂本 雅巳、草開 浩、白山 洋平



図 4.1.1 2018 年 7 月 3 日 9 時から 6 日 21 時の期間の 12 時間毎の天気図(各枠内の上図)、ひまわり 8 号水蒸気バンドの輝度 温度 [°C](中図)と解析雨量による 3 時間降水量 [mm](下図)。



図 4.1.2 図 4.1.1 と同じ。ただし、2018 年 7 月 7 日 9 時から 8 日 21 時の期間。

- 4.1.2 7月3日から4日 台風第7号による東・西 日本の大雨
- (1) 全球モデルと全球アンサンブル予報システムの台 風第7号の予測

図 4.1.3 に GSM と海外の数値予報センターの全球決 定論モデルの台風第7号の予測結果と気象庁の台風解 析の比較図を示す。海外数値予報センターのモデルに ついては本田・坂本 (2018) などを参照いただきたい。

台風第7号は7月1日21時頃に沖縄の西海上を通 過して、7月2日21時頃まで九州の西海上を北北東進 した。この間も中心気圧が下がり、中心付近の最大風 速も大きくなった。その後、7月3日21時頃に対馬海 峡を中心が通過し、7月4日15時に日本海中部で温帯 低気圧に変わった。この間、中心気圧が徐々に上がり、 最大風速も小さくなった。

図 4.1.3 の a) と b) が示すように、6 月 30 日の初期 値では、どのセンターのモデルも台風が東シナ海を北 上して 3 日朝までに朝鮮半島に上陸して、急速に弱ま る予測であった。当庁を含めた 4 つのセンターの予測 は、台風の進路を解析より西側のコースを北上させる 点で一致しているだけでなく、どのセンターも解析よ り北上する速度を速めに予測していた。6 月 29 日まで の初期値の予測も同様であった(図略)。 図 4.1.3 の c) と d) に示すように、7 月 1 日を初期 値とする予測では、どのセンターのモデルも台風第 7 号の中心が 3 日夜に対馬海峡を通過する予測に変わっ た。モデルの中心気圧の予測は、台風解析の値とは一 致しないが、2 日の夜から 3 日朝をピークとして、そ の後徐々に弱まっていく傾向などは、どのセンターの 予測にも共通しており、この傾向は台風解析と整合し ている。

図 4.1.4 に全球 EPS の予測結果を示す。6 月 30 日 を初期値とする予測(図 4.1.4 の a) と b))は、どのメ ンバーも中心が朝鮮半島を通過する予測となっており、 実況の進路を捕捉できていなかった。一方、下 2 枚の 図に示した 7 月 1 日を初期値とする予測は、黒線で示 した解析の進路の周辺に各メンバーの予測が分布して おり、実況を捕捉できていた。7 月 1 日以降は、新し い初期値ほどばらつきが小さくなる予測であった。

以上のことから、7月1日00UTCの全球速報解析 により初期値に最新の観測情報が反映され、台風の進 路予測が実況に近いものになったと考えられる。

図 4.1.5 に、7月1日 00UTC の全球速報解析を行う 時点で入手できた台風第7号の中心付近の観測データ の分布図を示す。7月1日9時の時点では、台風第7号 は沖縄の南海上にある。海洋上に中心がある台風の解



図 4.1.3 当庁を含めた 4 つのセンターの全球決定論モデル の平成 30 年台風第 7 号の進路(各図の中の左図)、中心 気圧 [hPa](右上図)、最大風速 [ノット](右下図)の予測 結果の比較。黒は気象庁の解析(ベストトラック)。赤は GSM の予測。緑は米国環境予測センター、青は英国気象 局、紫は欧州中期予報センターの全球決定論モデルによる 予測結果。上から順に、a)6月30日00UTC、b)6月30 日12UTC、c)7月1日00UTC、d)7月1日12UTCを 予報初期時刻とする予測結果。



図 4.1.4 全球アンサンブル予報システムの平成 30 年台風第 7号の進路(各図の中の左図)、中心気圧 [hPa](右上図)、 最大風速 [ノット](右下図)の予測結果の比較。黒は気象 庁の解析(ベストトラック)。青の破線はコントロールラ ン(摂動を加えない予測)。点線は摂動を加えたメンバー の予測で、初期値から 24 時間後までを桃色、48 時間後ま でを黄色、72 時間後までを橙色、96 時間後までを緑色、 120 時間後までを水色、それ以降を赤色で示す。上から順 に、a)6月30日00UTC、b)6月30日12UTC、c)7月 1日00UTC、d)7月1日12UTCを予報初期時刻とする 予測結果。



図 4.1.5 7月1日 00UTC の全球速報解析で用いた観測の 台風第7号付近での分布図。桃色の星マークは台風ボーガ スの気圧、黒丸は SYNOP と METAR の気圧、緑三角は SHIP 通報の気圧、青三角はブイ観測の気圧、赤矢羽は台 風ボーガスの風、緑矢羽はゾンデ観測の風、紫矢羽は航空 機観測の風、青矢羽は大気追跡風の風、水色矢羽は散乱計 導出風。縦軸は気圧 [hPa] 高度、手前から奥への座標は北 緯 [deg]、横軸は東経 [deg]。この図に示されている観測以 外に、衛星観測輝度温度、衛星 GNSS 掩蔽や地上 GNSS 大気遅延量のデータも利用された。

析では台風ボーガスが注目される場合もあるが、この 時刻の解析には台風ボーガスだけではなく、多くの観 測が全球速報解析で利用されたことがわかる。7月1日 00UTCの全球速報解析では、台風第7号の中心を少し 南東側に移動させるような修正が行われた(図略)。

7月1日00UTC初期値と6月30日12UTC初期値 のGSMの海面気圧の予測結果の比較を図4.1.6に示 す。7月1日00UTCの初期値は、6月30日12UTC初 期値の予測と比較して、台風第7号の中心が少し南東 側に解析されている(図4.1.6のa))。台風の中心位置 の違いは予報が進むとともに明確になり、中心が朝鮮 半島に上陸することなく日本海に進んだ7月4日9時 (図4.1.6のd))の時点では、7月1日00UTC初期値 のGSMの予測は6月30日12TUC初期値のものと比 較して、台風の中心から南側と東側の海面気圧が低く なる予想に変わっている。

図 4.1.7 には、7月1日 00UTC 初期値の GSM の 850 hPa の風の予測と、6月30日 12UTC 初期値の予 測との風速の差を示した。7月1日9時(図 4.1.7 の a))には、台風中心の南側や東側では両者の風速にほ とんど違いはない。台風が九州西海上に進んだ7月3 日9時(図 4.1.7 の c))には、7月1日 00UTC 初期値 の予測は6月30日 12UTC の予測より10 ノット以上 強い風を予測している。7月4日9時(図 4.1.7 の d)) になると、7月1日 00UTC 初期値の予測は西日本の 太平洋側から東日本の風速を6月30日 12UTC 初期値 の予測よりも強めている。東・西日本と、その太平洋 側の海上での下層の西南西から南西の流れは、台風の



図 4.1.6 7月1日00UTC と6月30日12UTC 初期値の GSM の海面気圧 [hPa] の予測。黒線が7月1日00UTC 初期値の予測、緑線は6月30日12UTC 初期値の予測。色 は7月1日00UTC 初期値の予測から6月30日12UTC 初期値の予測を引いた差。予報対象時刻は上からa)7月 1日9時、b)7月2日9時、c)7月3日9時、d)7月4 日9時。



図 4.1.7 7月1日 00UTC 初期値の GSM の 850 hPa の風 の予測と、6月30日 12UTC 初期値の風速の予測との比 較。黒矢羽は7月1日 00UTC 初期値の風速の予測、緑線は風速 [ノット] の等値線。色は7月1日 00UTC 初期値の風速の予測値から6月30日 12UTC 初期値の予 測を引いた差 [ノット]。予報対象時刻は上からa)7月1日 9時、b)7月2日9時、c)7月3日9時、d)7月4日9 時。



図 4.1.8 2018 年 7 月 4 日 0 時を対象とする、(a) 6 月 30 日 12UTC 初期値の GSM-RMAX24、(b) 同 7 月 1 日 00UTC 初期値、(c) 同 7 月 1 日 12UTC 初期値、(d) 観 測の 20km 格子最大 24 時間降水量。降水量の単位はいず れも mm/24h。

南東側の暖湿流に対応している。次の(2)で示すよう に、7月1日00UTC初期値で強く予想されるように なった下層暖湿流の影響を受けた地域は、7月3日か ら4日にかけての大雨が発生し、それが予測できた地 域に概ね対応している。

7月1日 00UTC 初期値では、海外の数値予報セン ターでもそれ以前の初期値の予測に比べて、台風の中 心を南東側に解析する変化が見られた。また、図 4.1.3 では、この初期値以降の台風第7号の予測が進路だけで なく、中心示度や強度の変化傾向についても実況に近 づく変化があったことが確認できる。7月1日 00UTC の台風の中心位置を含めた初期値の修正により、7月4 日までの台風の進路や、中心示度と強度の変化傾向が 予測できるようになった事例であったと考えられる。

(2) で示すように、台風の進路予測が実況に近づいた7月1日00UTCの予報初期時刻からこの期間の大雨の予測も実況に近づいた。東・西日本の大雨を対象に考えると、2から3日程度前の予報初期時刻から大雨の期間と場所が概ね予測できた事例であった。

#### (2) 全球モデルのガイダンス

図 4.1.8 は、台風第7号が九州の西海上から対馬海 峡を通過し日本海に達した7月4日0時を対象とす る、GSM-RMAX24と対応する観測値である。観測 値からは、日本海に進む台風に向かって吹く南風によ って九州南部や四国地方といった太平洋側の地域では 300 mm/24hを超える大雨となっていることが分かる。 前述の通り、台風第7号の予測進路や強度予測は7月1 日 00UTC 初期値を境に概ね実況と一致するように変 わっており、ガイダンスについても同じ1日 00UTC 初 期値以降で九州や四国の降水量予測が一段と増え、実 況に近づいていた。図 4.1.8 (b) 及び (c) からは、九州



図 4.1.9 a) 7月6日21時までの12時間解析雨量 [mm] と、GSM の7月6日21時を対象とする海面気圧 [hPa] の予測値(コンター)と7月6日21時までの12時間降水量の予測値 [mm] の分布(色)。予報初期時刻はそれぞれ、b)7月6日00UTC、c)7月5日12UTC、d)7月5日00UTC、e)7月4日12UTC、f)7月4日00UTC。

北部地方では観測に比べて過剰な予測になっているも のの、太平洋側の地域には 300 mm/24h を超える大雨 を予測しており、GSM-RMAX24 では概ね2日前の時 点で西日本の広い範囲での大雨の発生を予測していた と言える。

# 4.1.3 7月6日から7日前線活発化による九州北 部・中国地方の大雨

# (1) 全球モデルと全球アンサンブル予報システムの予測

7月6日に活発な前線がトラフの接近により日本海 側まで北上し、九州北部と中国地方で広く大雨が発生 して、7日に入ってトラフの東進・通過に伴い、その暖 域側で局地的に活発な対流が発生した。線状降水帯な どのメソモデル・局地モデルが予測対象とする局地的 な集中豪雨の予測結果については(2)で述べる。ここ では、7月6日21時までの12時間降水量の予測の変 化に着目して、GSMと全球 EPS が、どの予報初期時 刻から大雨発生を広域に予測できたのかを確認する。

図 4.1.9 に、7月6日21時までの解析雨量による12 時間降水量と、GSMの7月6日21時までの12時間降 水量の予測を示す。7月4日12UTCまでの初期値の予 測(図 4.1.9 の e)とf))では、50 mm/12h以上の降水 を西日本の太平洋側と東海地方に予想している。7月 5日以降の初期値(図 4.1.9 の b)、c)、及び d))では、 実況(図 4.1.9 の a))で大雨が観測された中国地方や 九州北部に大きな降水量を予測していた。

図 4.1.10 に、7 月 6 日 21 時までの 12 時間に 50 mm 以 上の降水量を予測した全球 EPS のメンバーの割合(超 |過確率| の分布を示す。7月4日の00UTCと12UTC 初期値の全球 EPS の予測(図 4.1.10 の d) と e)) では、 東・西日本に閾値 50 mm/12h の超過確率を予測でき ているが、予測された場所の多くは西日本の太平洋側 と東海地方で、実況(図 4.1.9 の a)) で降水の多かった 九州北部・中国地方にはあまり予測されていない。九 州北部・中国地方に閾値 50 mm/12h の超過確率を予 測できるようになるのは7月5日 00UTC(図 4.1.10 の c))を初期時刻とする予測からである。GSM は全 球 EPS とは水平格子間隔の異なるモデルを使用してい るが、全球 EPS の超過確率は概ね図 4.1.9 の降水量予 測と同様の分布になっている。7月5日以降の初期値 では、九州北部・中国地方に予測される降水量が多く なるとともに、大雨の発生確率も大きく予測されたこ とを示している。

西日本の太平洋側と東海地方に大雨を予測していた 7月4日12UTCの48時間予報値と7月6日12UTC の解析値との比較を図4.1.11に示す。a)の300hPaの 風速の予測では朝鮮半島付近のトラフ周辺で解析値と 比べて風速が弱い誤差があった。また、b)の500hPa 高度では、7月4日12UTC初期値の予測は解析値より も太平洋高気圧の日本の南海上での張り出しが弱かっ た。朝鮮半島付近にあった500hPaのトラフは浅く予



図 4.1.10 全球 EPS の 7 月 6 日 21 時までの 50 mm/12h を閾値とする超過確率 [%]。予報初期時刻はそれぞれ、a) 7 月 6 日 00UTC、b) 7 月 5 日 12UTC、c) 7 月 5 日 00UTC、d) 7 月 4 日 12UTC、e) 7 月 4 日 00UTC。

想されており、c)の 850 hPa では、東・西日本付近の シアーラインの南東側の南西流は解析値よりも弱く予 想されている。この下層の南西流によって運ばれる暖 湿気は解析値で北九州や中国地方の日本海側に達して おり(図略)、実際の下層暖湿流の収束する場所は7月 4日12UTCの予測よりもかなり北であった。図 4.1.11 の右下図でも九州北部から中国地方の辺りで解析の方 が予測より海面気圧が低くなっており、前線の位置が 予測より北であったことが示されている。

図 4.1.12 は、7月5日 12UTC 初期値の GSM の 24 時間予報と予測対象となる7月6日 12UTC の解析を 比較した図である。図 4.1.11 と比較すると、500hPaの 朝鮮半島付近のトラフが浅く、太平洋高気圧の南海上 での張り出しが弱いなど、予報誤差の出現パターンに 共通する特徴が見られる。その一方で、予報対象とな る時刻の解析値との差は、どの要素についても小さく なっている。7月4日 00UTC 以降の7月6日 21 時を 対象とする全ての予測結果(図略)を確認すると、ど の初期値からの予測にも図 4.1.11 と図 4.1.12 に共通す る特徴があるが、新しい初期値ほど誤差が小さくなっ ていることが確認できる。

この予報対象時刻の気象状況については、日本の南海上の太平洋高気圧の張り出しや朝鮮半島付近のトラフの深さの誤差が、初期時刻によらず同様の誤差パターンが成長しやすい事例であったものと考えられる。このように、GSMが同様な誤差を成長させやすい状況の場合は、過去の初期値の予測からの変化も参考にしな

がら、最新の初期値を使って予報の修正を検討し続け る必要がある。GSM は、いつも高気圧の張り出しを弱 く予測するわけではなく、トラフを毎回浅く予想する わけではない。常に同様な誤差が成長しやすい状況が 継続するとは限らないので、前の初期値の GSM や全 球 EPS の予測結果、予測同士の違いを比較しながら状 況を把握する必要がある。

### (2) メソモデル・局地モデルの予測

本期間の MSM および LFM の予測結果について報 告する。

まず、24時間降水量について予測結果を確認する。 図 4.1.13 に 7 月 7 日 0 時までの解析雨量と MSM の 24 時間降水量を示す。39 時間予報(7 月 5 日 00UTC 初 期値)の段階から中部・中国・四国地方で 200 mm/24h を超える雨量を予測しており、前線に伴うスケールの 大きな降水については、比較的早い段階からこれらの 地域で大雨が発生する可能性を捉えていたといえる。 MSM の一般的な予測特性として、予報後半は側面境 界条件を与える GSM の影響を強く受ける。本事例に おいて、7 月 5 日以降の初期値の GSM では総観場をよ く再現できており(図 4.1.12)、このことが MSM でも 大雨発生の可能性を捉えられたことの一因と考える。

中国地方については、広島県での 200 mm/24h を 超える大雨は予測していたが、その面積は実況と比べ て広く、岡山県や鳥取県での予測降水量は過大であっ た。九州北部地方の降水については 36 時間予報(7月 5日 03UTC 初期値)の結果が実況と最も近く、長崎



図 4.1.11 7月4日 12UTC を初期値とする GSM の 48 時間予報と7月6日 12UTC の解析値との比較。a) は、300 hPa の風 [ノット]の予測値(黒羽根)、風速の予測値の分布(緑線)、風速の予測値から解析値を引いた差(色)。b) は、500 hPa ジオ ポテンシャル高度 [m] の予測値(黒線)、解析値(緑線)、予測値から解析値を引いた差(色)。c) は、850 hPa の風[ノット] の予測値(黒羽根)、風速の予測値の分布(緑線)、風速の予測値から解析値を引いた差(色)。d) は、海面気圧 [hPa] の予測 値(黒線)、解析値(緑線)、予測値から解析値を引いた差(色)。



図 4.1.12 7月5日 12UTC を初期値とする GSM の 24 時間予報と7月6日 12UTC の解析値との比較。図の配置と表示要素 は図 4.1.11 と同じ。



図 4.1.13 2018 年 7 月 7 日 0 時を対象とする 24 時間降水量。左上から、解析雨量、7 月 5 日 12UTC 初期値、09UTC 初期値、00UTC 初期値、00UTC 初期値の MSM 予想降水量。単位はいずれも mm/24h。

県・佐賀県・福岡県での 400 mm/24h を超える大雨を 予測している。しかし、各初期時刻ごとの予測を比べ ると 200 mm/24h 以上の雨量の予測にばらつきが大き く、初期値が新しくなるにつれて実況の降水量・分布 に近くなるという一般的な傾向は見られなかった。

大雨の可能性について MEPS(当時は試験運用期間 中)の結果を用いた降水量の超過確率を確認する。図 4.1.14 に、7月7日0時までの24時間降水量について、 100 mm/24h, 200 mm/24h をそれぞれ閾値とする超過 確率を示す。中国地方の降水について図 4.1.13 の解析 雨量と対応させて確認すると、100 mm/24h を閾値と する超過確率は 39 時間予報(7月5日 00UTC 初期値) では 40%以上で、初期値が新しくなるとともに確率が 上がり、27時間予報(7月5日12UTC初期値)では広 範囲で 90%を超えていた。実況で 200 mm/24h を超え た広島県や九州北部地方の超過確率について、39時間 予報(7月5日00UTC初期値)、33時間予報(7月5 日 06UTC 初期値) では 10%未満であったが、27 時間 予報(7月5日12UTC初期値)では広島県で40%以 上、九州北部地方で30%以上となっており、初期値が 新しくなるとともに超過確率が高くなっていた。

次に、24時間より短い時間での局地的な大雨につい て、その予測結果を確認する。図 4.1.15 に、7 月 6 日 21 時までの解析雨量、MSM, LFM の 3 時間降水量を 示す。清野ほか (2018) によると、本期間中に線状降水 帯が複数形成されており、特に、広島県や九州北部地方 に形成された線状降水帯が平成30年7月豪雨期間中の 総降水量に対して4割から6割の寄与をしていたこと が示されている。図 4.1.15 に示した解析雨量でも、広 島県付近に線状降水帯に対応した降水分布が確認でき る。広島県志和では 20 時の 3 時間降水量が 112.5 mm を記録するなど、この降水帯が形成された地域では局 地的な大雨となった。MSM でも線状の降水域を予測し ており、その位置と強度は7月6日00UTC初期値より 新しい初期値から実況に近い予測となっていた。LFM では9時間予報(7月6日03UTC初期値)の段階か ら線状の降水域を予測していた。降水量は実況と同様 に 100 mm/3h を超える大雨を予測しているが、降水 域は MSM よりもやや北に予測していた。

九州北部地方では線状降水帯により、佐賀県嬉野で 18時10分の3時間降水量が175mmを記録するなど、 局地的な大雨となった。7月6日21時までの3時間降水



10.0 20.0 30.0 40.0 50.0 60.0 70.0 80.0 90.0 100.0 10.0 20.0 30.0 40.0 50.0 60.0 70.0 80.0 90.0 100.0 10.0 20.0 30.0 40.0 50.0 60.0 70.0 80.0 90.0 100.0

図 4.1.14 2018 年 7 月 7 日 0 時を対象とする MEPS の 24 時間降水量の超過確率 [%]。上段は 100 mm/24h を閾値とする超 過確率、下段は 200 mm/24h を閾値とする超過確率。左列から、7 月 5 日 12UTC 初期値、06UTC 初期値、00UTC 初期値 の MEPS 予想降水量から算出した。

量について、MSM では24 時間予報(7月5日03UTC 初期値)の段階で九州北部地方で100 mm/3h 以上の 降水を予測しているが、初期値ごとに降水帯の位置や 強度は大きく異なっていた(図略)。リードタイムが 短い3時間予報(7月6日09UTC初期値)、6時間予 報(7月6日06UTC初期値)では実況に近い予測がで きていた。LFM では9時間予報(7月6日03UTC初 期値)の段階から継続して実況に近い降水分布を予測 していたが、降水域の面積は実況やMSMと比べて狭 かった。

さらに細かい時間間隔で雨量分布を実況とモデル予 測で比較する。図 4.1.16 に、7 月 6 日 18 時から 21 時 までをそれぞれ対象とする 1 時間降水量を示す。時間 経過と強雨域の位置に着目すると、実況では広島県付 近に 50 mm/h を超える強雨域が 3 時間にわたって停 滞しており、「数時間にわたってほぼ同じ場所で通過ま たは停滞する」という線状降水帯の特徴が現れている。 一方、LFM の予測について 50 mm/h 以上の雨域の動 きに着目して比較すると、同じ場所に停滞することな く、上空の気流と同じ北西方向に移動していることが わかる。多くの場合、線状降水帯はバックビルディン グ型の構造(暖湿気流入側で次々と積乱雲が発生、発 達・衰弱しながら風下に移動する)を持っていること が知られており、清野ほか (2018)では今回の事例でも 同様の構造であった可能性を指摘している。LFM が予 測した雨量分布から推測すると、暖湿気流入側での積 乱雲の持続的な発生が表現できておらず、このため降 水帯が同じ場所に停滞できていないと考えられる。

短時間の局地的な大雨の発生確率について、MEPS の予測値を用いて確認する。図4.1.17に、7月6日21時 までの3時間降水量について、50 mm/3h,100 mm/3h をそれぞれ閾値とする超過確率を示す。九州北部地方 の大雨については24時間予報(7月5日12UTC初期 値)でも50 mm/3hを閾値とする超過確率が20%程 度となっており、複数のアンサンブルメンバーによっ て降水が表現されていたことがわかる。一方、広島県 付近の大雨については12時間予報(7月6日00UTC 初期値)の段階で30%以上となっているが、それ以前 の初期値による予報では10%程度もしくはそれ未満で あった。また、100 mm/3hを閾値とする超過確率はど ちらの地域でも10%未満であった。アンサンブル各メ ンバーが予測した100 mm/3h以上の降水域(図4.1.17



図 4.1.15 2018 年 7 月 6 日 21 時を対象とする 3 時間降水量。左から、解析雨量、7 月 6 日 03UTC 初期値 LFM 予想降水量、 7 月 6 日 00UTC 初期値 MSM 予想降水量。単位はいずれも mm/3h。



図 4.1.16 2018 年 7 月 6 日 18 時から 21 時をそれぞれ対象とする 1 時間降水量。上段は、解析雨量、下段は 7 月 6 日 03UTC 初期値 LFM 予想降水量。単位はいずれも mm/h。

下段の桃色線)を見ると、どの初期値でもいずれかの メンバーが九州北部地方の大雨を予測していたことが わかる。事後検証の観点では、大雨の可能性を捉えて いたと見ることもできるが、大雨をこれから予測する 立場で予測資料を見た場合、半日以上のリードタイム をもって短時間大雨を予測することは困難であったと いえる。

# (3) 全球及びメソモデルのガイダンス

図 4.1.18 に 7 月 7 日 0 時を対象とする GSM-RMAX24と対応する観測値を示す。前述の通り、GSM は初期時刻が古い予測ほど西日本の太平洋側や東海地 方を中心に大雨を予測する傾向があり、大雨特別警報 が発表された九州北部地方や中国地方に 200 mm/24h を超える大雨を予測するようになったのは7月5日の 初期値になってからであった。この GSM の予測に対応して、4日 12UTC 初期値の GSM-RMAX24 は西日本の太平洋側や東海地方が降水予測の中心になっており、注目される中国地方には 100 mm/24h を超える降水はほぼ予測されていなかった(図 4.1.18 (a))。5日 00UTC 初期値の GSM-RMAX24 では、中国地方を含む西日本のほぼ全域で 100 mm/24h 以上、場所によっては 200 mm/24h を超える大雨を予測するようになったものの、300~400 mm/24h の大雨が観測され、大雨特別警報が発表された九州北部地方や中国地方に対す



MEPS (Initial:2018/07/05 18Z) Probability map for Precipitation (50mm/3h) [%] (T+018)

10.0 20.0 30.0 40.0 50.0 60.0 70.0 80.0 90.0 100.0 10.0 20.0 30.0 40.0 50.0 60.0 70.0 80.0 90.0 100.0 10.0 20.0 30.0 40.0 50.0 60.0 70.0 80.0 90.0 100.0

図 4.1.17 2018 年 7 月 6 日 21 時を対象とする MEPS の 3 時間降水量の超過確率 [%]。上段は 50 mm/3h を閾値とする超過 確率、下段は 100 mm/3h を閾値とする超過確率。左列から、7 月 6 日 00UTC 初期値、7 月 5 日 18UTC 初期値、12UTC 初期値の MEPS 予測値。桃色線は MEPS 各アンサンブルメンバーの 3 時間降水量で 100 mm/3h の等値線のみ示した。

る予測は不十分なままであった(図 4.1.18 (b))。

MEPS (Initial:2018/07/06 00Z) Probability map for Precipitation (50mm/3h)

[%] (T+012)

図 4.1.19 に同じ 7 月 7 日 0 時を対象とする MSM-RMAX24 と対応する観測値を示す。5 日 00UTC 初期 値の FT=39 では、西日本のほぼ全域で 100 mm/24h 以上、所々200 mm/24h を超える大雨を予測しており (図 4.1.19 (a))、同じ初期時刻の GSM-RMAX24 と同 程度に広範囲での大雨の発生のポテンシャルを表現し ていた。直近の予測となる5 日 12UTC 初期値では、広 島県、岡山県、佐賀県、長崎県、福岡県において周囲 よりも降水を集中させる傾向が明瞭になったが、九州 北部地方については観測された 300~400 mm/24h の 大雨は予測できていなかった(図 4.1.19 (b))。

次に短時間での局地的な大雨に対する予測結果を確認する。図4.1.20に、7月6日18時及び21時を対象とする MSM-RMAX33と対応する MSM の3時間降水 量予測、観測値を示す。前述の通り、MSM は位置や強度、時間に実況とのずれはあるものの、広島県や佐賀県で観測された局地的な大雨に対応する線状の降水域を予測しており、大雨が発生するシグナルを表現していた。MSM-RMAX33は、MSM の降水予測に対応し

て広島県付近や九州北部地方で降水を予測しているが、 6日21時を対象とする九州北部地方の降水予測につい ては、MSM の予測した 100 mm/3h を超える降水は下 方修正されている。この下方修正は、MSM-RMAX33 のベースになっている MSM3 時間平均降水量ガイダン スが MSM よりも降水量を少なく予測したことが原因 である。下方修正によってガイダンスの方が実況に近 くはなっているが、局地的な大雨が発生するかもしれ ないという MSM のシグナルは却って見えにくくなっ ていると言える。通常 MSM3 時間平均降水量ガイダン スでは、MSM の降水量予測を下方修正することで予 測頻度を適切に保っている (白山 2018) が、この補正 が影響したと考えられる。同様の理由でガイダンスが モデルより降水量を少なく予測したことで大雨のシグ ナルを見えにくくしてしまう例は、平成29年7月九州 北部豪雨でも発生しており (欠畑・白山 2018)、このよ うな特徴は顕著な大雨の発生が想定される状況ほど留 意する必要があると考えられる。

MEPS (Initial:2018/07/05 12Z) Probability map for Precipitation (50mm/3h) [%] (T+024)



図 4.1.18 2018 年 7 月 7 日 0 時を対象とする、(a) 7 月 4 日 12UTC 初期値の GSM-RMAX24、(b) 同 7 月 5 日 00UTC 初期 値、(c) 観測の 20km 格子最大 24 時間降水量。降水量の単位はいずれも mm/24h。



 
 Initial=2018/07/05 00:00Z, FT=39H, Max:445
 Initial=2018/07/05 12:00Z, FT=27H, Max:432
 Initial=2018/07/06 15:00Z, FT=0s, Max:598

 図 4.1.19
 2018 年 7 月 7 日 0 時を対象とする、(a) 7 月 5 日 00UTC 初期値の MSM-RMAX24、(b) 同 7 月 5 日 12UTC 初期 値、(c) 観測の 5km 格子最大 24 時間降水量。降水量の単位はいずれも mm/24h。



Initial=2018/07/06 00:002, FT=12H, Max:152
Initial=2018/07/06 00:002, FT=12H, Max:132
Initial=2018/07/06 00:002, FT=12H, Max:132
Initial=2018/07/06 12:002, FT=05, Max:143
図 4.1.20 2018 年 7 月 6 日 18 時及び 21 時を対象とする MSM-RMAX33 と MSM モデル 3 時間降水量予測、解析雨量の 3
時間積算。(a) 及び (b) は 7 月 6 日 00UTC 初期値の FT=9、(d) 及び (e) は同 FT=12、降水量の単位はいずれも mm/3h。

## 4.1.4 7月8日 東・西日本の局所的な激しい雨

7月8日は、上空のトラフは西日本を通過しさらに 東進するが、九州・四国地方では南からの下層暖湿気 の流入が継続しており、前線による広範囲の大雨や大 気不安定による局地的な大雨が主体となった。 図 4.1.21 に、7月8日6時までの解析雨量、MSM, LFMの3時間降水量を示す。四国地方では、連日の大雨 に加えて、8日の朝にかけて、高知県宿毛で263 mm/3h を記録するなどの局地的な大雨が発生したことにより、 同日6時に愛媛県および高知県に大雨特別警報が発表 された。



図 4.1.21 2018 年 7 月 8 日 6 時を対象とする 3 時間降水量。上段: 左から、解析雨量、LFM 予測降水量(左から、7 月 7 日 18UTC, 15UTC, 12UTC 初期値)。下段: MSM 予測降水量(左から 7 月 7 日 18UTC, 15UTC, 09UTC、7 月 6 日 21UTC 初期値)。単位はいずれも mm/3h。

愛媛県や高知県での降水予測に着目すると、MSM で は、初期値によって位置が大きく異なっていた。LFM では実況と同様に 100 mm/3h を超える降水量が予測 されているものの、MSM と同じく降水域の位置が初期 値ごとで大きく変わっていた。3時間予報では、MSM・ LFM ともに、観測データ同化による初期値改善によ り最も実況に近い降水分布を予測しているが、それよ り長いリードタイムでの予測は困難であったといえる。 予測された強雨域の特徴については、実況では強雨域 が沿岸部から内陸へ伸びているのに対し、LFM の予測 は沿岸部の降水がほとんど表現されておらず、強雨域 は実況よりも北にずれている。このことは、これまで に知見として得られている「LFM では対流活動の発生 が実況と比べて遅い」こと (原ほか 2015)、したがって 実況と比べて強雨域が風下にずれることと深く関連し ていると考えている。

図 4.1.22 に MSM および LFM の 975 hPa 高度の相 当温位と風の予測を示す。両モデルとも、どの初期値 においても、相当温位 350 K以上の暖湿気が九州南部・ 四国地方の西側に流れ込んでいる様子がわかり、成層 不安定な場がモデルで予測されていることがわかる。 豊後水道付近ではどの初期値でも南風〜南南西風が卓 越しており、高知県や愛媛県への暖湿気流入が確認で きる。また、四国西部沿岸域では、いくつかの初期値 で南風と南南西風の収束を予測しており、対流活動が 発生しやすい環境であったといえる。

九州南部にかかる降水帯に対応した九州の西海上の

相当温位不連続帯について、MSM では初期値が新しく なるにつれてより南側に予測しており、降水帯の位置 や強度も実況に近づいている。九州南部における LFM の予測雨量は MSM よりも実況に近いが、LFM が予測 した不連続帯は MSM やメソ解析よりも北にずれてお り、それと対応して降水帯の位置も実況より北にずれ ていた。

#### 4.1.5 予測結果のまとめ

本節では、第4.1.1 項で平成 30 年7月豪雨の概要を 述べた後、異なるスケールの現象によって大雨が発生 した3つの期間に着目して数値予報の予測結果を確認 した。

第4.1.2項の台風第7号は7月1日00UTC初期値の 段階で中心位置等が精度良く解析されたことで、大雨 の2から3日前から予測ができた事例であった。GSM と全球 EPS だけでなく海外数値予報センターのモデル でも同等のリードタイムをもって予測が実況に近づい た。台風の予測が実況に近づくことで、24時間最大降 水量ガイダンスの予測も実況に近づいた。

第4.1.3 項の活発な前線による大雨の発生自体はあ る程度リードタイムを持って予測できたが、GSM と 全球 EPS は、この事例について太平洋高気圧の張り出 しとトラフの深さに予報時間と共に増大する誤差が生 じる状況であった。この誤差は予報時間が短くなると 共に小さくなった。大雨が発生する場所を特定できる リードタイムは 1.5 日程度だった。MSM は当時 39 時 間予報を行っており、MSM の予測対象期間に入る時



図 4.1.22 2018 年 7 月 8 日 3 時を対象とする 975hPa 高度の相当温位 [K] と風 [m/s]。上段: 左から、メソ解析、LFM 予測 (左から、7 月 7 日 15UTC, 12UTC, 09UTC 初期値)。下段: MSM 予測(左から 7 月 7 日 15UTC, 12UTC, 06UTC、7 月 6 日 18UTC 初期値)。

期には側面境界条件を与える GSM の予報誤差がある 程度小さくなっており、MSM には GSM の気圧配置に 関する予報誤差の影響は小さかった。GSM 及び MSM の 24 時間最大降水量ガイダンスは、それぞれのモデ ルの予測に準じたリードタイムで大雨の発生は予測し ていたが、大雨特別警報が発表された九州北部地方や 中国地方で観測された降水量には達しない予測であっ た。前線の暖域側に線状降水帯が発生することを MSM と LFM は、ある程度予測できていたが、発生場所や 激しい雨の継続する期間を精度良く予測できてはいな かった。MSM の 3 時間最大降水量ガイダンスは、概ね MSM の予測に即して局地的な大雨を予測していたが、 予測頻度を保つために行う補正が却って MSM が予測 した大雨のシグナルを見えにくくする例も見られた。

第4.1.4項の事例については、解析雨量やレーダー反 射強度といった降水現象と関連するデータを初期場の 作成に使用する MSM や LFM でも 6 時間以上前に激 しい雨の発生する場所を特定するのは難しく、LFM で は激しい雨の発生する場所が初期値毎に異なり、直前 の初期値になるまで、実況に近い位置に激しい雨を予 測できなかった。7月8日の大雨については長いリー ドタイムをもって予測するのは困難な事例であったと いえる。モデルで再現できなかった背景には、対流活 動の発生や維持についてまだまだ未解明なことが多く、 それらをモデルに取り込めていないことや、モデルが 持つ系統誤差(例えば、地上日射量や下層水蒸気量の 過少傾向など)によって対流発生に必要な環境場が十 分に再現できない場合がある、などの理由がある。今 後も、様々な検証や改良を通じて数値予報の精度向上 に努めていきたい。

この節に示したように、大雨等の要因となる気象現 象のスケールを理解して、そのスケールに合わせた数 値予報モデルのプロダクトを利用する必要がある。2日 以上のリードタイムを持って広範な大雨のポテンシャ ルを予測する場合はGSM、全球 EPS が適しているが、 十分なリードタイムをもって予測することが困難なシ アーラインや地形性収束による小さなスケールの現象 は MSM, LFM の予測を参照することが一般的には有 効である。また、MSM の予報の不確かさは MEPS を 参照していただきたい。

数値予報モデルが予測対象とする現象スケールなど を理解した上で、数値予報モデルの誤差の傾向を把握 することが重要になってくる。適正な初期値を作成す ることでかなり長いリードタイムをもって予測できる 現象もあれば、モデルの系統誤差が同じような分布で 継続する事例や、予報対象時刻の直前にならなければ 予測が難しいような事例もあることを示した。前の初 期値からの予測の変化なども考慮して、数値予報シス テムの予測結果と実況の違いに注意を払い、数値予報 プロダクトを利用していく必要がある。

# 参考文献

欠畑賢之, 白山洋平, 2018: 事例調査: 平成 29 年 7 月九 州北部豪雨. 平成 30 年度数値予報研修テキスト, 気 象庁予報部, 48-53.

- 気象庁, 2018: 平成 30 年 7 月豪雨(前線及び台風第 7 号による大雨等. 災害をもたらした気象事例 平成 30 年 7 月 13 日.
- 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.
- 清野直子,津口裕茂,廣川康隆,加藤輝之,2018:平成30 年7月豪雨の局地的な特徴.気象庁気象研究所研究成 果報告会平成30年11月10日,URL http://www. mri-jma.go.jp/Topics/H30/301110/all.pdf.
- 原旅人,伊藤享洋,松林健吾,2015: asuca が導入され た局地数値予報システムの特性.平成27年度数値予 報研修テキスト,気象庁予報部,9-23.
- 本田有機,坂本雅巳,2018:気象庁全球モデルの展望. 数値予報課報告・別冊第65号,気象庁予報部,12-15.

#### 4.2.1 はじめに

8月28日03時にマーシャル諸島近海で発生した平 成30年(2018年)台風第21号(T1821)は西へ進み、 31日09時にマリアナ諸島の西海上で勢力が最大とな り猛烈な台風(最大風速55 m/s、中心気圧915 hPa) となった。T1821は北西に進路を変えて日本の南を北 上し、9月4日03時に四国の南に達した。その後、北 北東に進路を変えて非常に強い勢力を保ったまま、4日 12時前、徳島県南部に上陸し、4日14時前には、兵庫 県神戸市付近に再上陸、本州を通過し日本海を北上、5 日09時に間宮海峡で温帯低気圧となった。T1821の上 陸・通過に伴い、西日本から北日本にかけて大荒れの 天気となり、特に四国地方や近畿地方では、猛烈な風 が吹き、猛烈な雨が降ったほか、記録的な高潮となり、 大阪府および兵庫県内で浸水害が発生した(大阪管区 気象台 2019)。

本節では、T1821の事例を取り上げ、数値予報モデ ルによる進路予測、ガイダンスによる降水および風の 予測について検証した結果を解説し、最後に利用上の 留意点について述べる。

# 4.2.2 T1821の進路予測

#### (1) 全球モデルによる進路予測

図 4.2.1 に、T1821 に対する全球モデル (GSM) の 8 月 28 日 00UTC から 9 月 4 日 12UTC まで 12 時間 ごとの初期値について、132 時間先までの進路予測を 気象庁ベストトラック (ベストトラック) と比較して 示す。8 月 29 日 12UTC 初期値まではベストトラック より東よりの進路を予測し、それ以降の初期値から日 本の南で北西に進路を変えた 9 月 1 日 00UTC 初期値 まではベストトラックより西寄りに予測する場合が多 かった。9 月 1 日 12UTC 初期値以降は、北上の遅れが みられた初期値はあるものの進路予測はベストトラッ クに近い予測となった<sup>2</sup>。

## (2) 全球アンサンブル予報システムによる進路予測

図4.2.2 に、T1821 に対する全球アンサンブル予報シ ステム (GEPS) の進路予測を示す。8月31日12UTC 初期値(図4.2.2 上図)では、各メンバーの予測はコ ントロールランを中心に東西に広く分布しており、予 測の不確実性が大きいことを示している。多くのメン バーは日本の南で転向し本州を指向していたが、西側 の進路を予測したメンバーの中には南西諸島を指向し たものが6メンバーあった。大きく西側に外れるメン バーが相当数みられたのは9月1日00UTC 初期値ま でで、9月1日12UTC 初期値(図4.2.2 下図)以降は T1821(D0027) Typhoon Forecast and Analysis



図 4.2.1 T1821 に対する全球モデルの 8 月 28 日 00UTC か ら 9 月 4 日 12UTC まで 12 時間ごとの初期値について、 132 時間先までの進路予測。黄土線は 8 月 28 日 00UTC から 8 月 29 日 12UTC 初期値までの予測、青線は 8 月 30 日 00UTC から 9 月 1 日 00UTC 初期値までの予測、紫線 は 9 月 1 日 12UTC から 9 月 4 日 00UTC 初期値までの 予測、黒線は気象庁ベストトラックによる解析。



図 4.2.2 T1821 に対する全球アンサンブル予報システムの 進路予測。上図は 8 月 31 日 12UTC 初期値、下図は 9 月 1 日 12UTC 初期値の進路予測。点線はアンサンブルメン バーによる進路予測。青色の点線はコントロールラン、そ の他の色の点線は各メンバーの予報対象期間を示し、桃色 が FT=0 から FT=24 まで、黄色が FT=24 から FT=48 まで、橙色が FT=48 から FT=72 まで、緑色が FT=72 から FT=96 まで、水色が FT=96 から FT=120 まで、赤 色が FT=120 から FT=132 まで。黒線は気象庁ベストト ラック。

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> 成瀬 由紀子 (第 4.2.1 項および第 4.2.2 項)、山田 和孝 (第 4.2.3 項、第 4.2.4 項および第 4.2.5 項)

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> ただし、2019 年 9 月 2 日 00UTC 初期値では 9 月 1 日 00UTC 初期値と同様に西寄りに予測していた。



図 4.2.3 図 4.2.2 の 8 月 31 日 12UTC 初期値(上図)で、コントロールランより大きく西側へ外れた 6 メンバーの平均とコン トロールランを含む全メンバーの平均の差。上段は海面更正気圧 [hPa]、下段は 500 hPa ジオポテンシャル高度 [gpm]。実線 は全メンバーの平均値、陰影は 6 メンバーの平均と全メンバーの平均の差を示す。左図が FT=0、中央図が FT=24、右図が FT=48。



図 4.2.4 全球解析における 9 月 2 日 12UTC の 300 hPa 風。陰影と緑実線は風速、矢羽は水平風。単位はいずれも ノット。



図 4.2.5 T1821 に対するメソモデルの9月2日 00UTC か ら9月4日 06UTC まで6時間ごとの初期値について、39 時間先までの進路予測。赤線はメソモデルによる9月2日 00UTC から9月3日 00UTC 初期値までの予測、緑線はメ ソモデルによる9月3日 06UTC から9月4日 06UTC 初 期値までの予測、青線は全球モデルによる9月4日 06UTC 初期値の予測。黒線は気象庁ベストトラックによる解析。

全メンバーが四国地方から近畿地方を指向する予測に なった。GEPS で大きく西側へ外れるメンバーがなく なったタイミングは、GSM の進路予測がベストトラッ クに近い予測となったタイミングと一致していた。

図 4.2.3 に、進路が南西諸島を指向した 6 メンバーの 平均と、コントロールランを含めた全メンバーの平均 の海面更正気圧 (PSEA) と 500 hPa ジオポテンシャル 高度 (Z500) の差を示す。FT=0 (図 4.2.3 左図) をみ ると、6メンバーの平均は全メンバーを平均した台風 中心より東から南側で PSEA は負偏差、Z500 は正偏 差となっていた。その後、FT=24(図4.2.3中央図)、 FT=48 (図 4.2.3 右図) と予測が進むと PSEA、Z500 ともに台風中心の南から南西側で負偏差となり、進路 が南西側にずれていったことを示している。進路の予 測が大きく西側へ外れたメンバーの初期摂動の入り方 には、T1821の事例では、台風中心の南東側で PSEA を低く、Z500を高くするという特徴があった。図 4.2.4 に、T1821が日本の南を北西進した9月2日12UTC の 300 hPa 風の全球解析値を示す。図 4.2.4 をみると、 日本の南には太平洋高気圧縁辺流に対応する南風が解 析されているが、東経 135 度より西側(チベット高気 圧の東側にあたる) では弱風または北から北東の風が 卓越していた。このことは、少し西寄りの進路を予測 するだけで台風の北上は遅くなり、8月31日12UTC 初期値の一部のアンサンブルメンバーにみられるよう な西側に流される予測になることと整合している。

#### (3) メソモデルによる進路予測

図 4.2.5 に、T1821 に対するメソモデル (MSM) の 9 月 2 日 00UTC から 9 月 4 日 06UTC まで 6 時間ごと の初期値について、39 時間先までの進路予測を示す。 9 月 2 日 00UTC から 9 月 3 日 00UTC 初期値までは、



図 4.2.6 T1821 に対するメソアンサンブル予報システムに よる 9 月 3 日 12UTC 初期値の進路予測。青線がコント ロールラン、赤線が各メンバー、緑線がアンサンブル平 均を示す。

MSM はベストトラックより西寄りを予測しており北 上も遅かった。その後、台風の進路が北へと変わった9 月3日06UTC 以降の初期値では、やや北上の遅れは みられるものの進路予測のベストトラックとの整合性 はよくなった。また、9月3日06UTC 初期値以降でも 日本海中部まではベストトラックとの整合性はよかっ たが、北海道の西海上を北上し間宮海峡へ進んだ期間 は、ベストトラックおよび GSM より西寄りを予測し ており予測誤差が大きかった。

#### (4) メソアンサンブル予報システムの進路予測

日本海中部までの進路予測で、MSM の予測がベス トトラックとの整合性がよくなった9月3日12UTC 初 期値について、当時は部内試験運用中<sup>3</sup>であったメソア ンサンブル予報システム (MEPS) による T1821 に対 する進路予測を図 4.2.6 に示す。MEPS の進路予測で は、日本海に抜けた後の予測のばらつきが大きくなっ ている。これは、上層の寒冷渦の予測のばらつきが大 きい (図略) ことに対応していると考えられる。MSM による予測はベストトラックから西側へのずれがあっ たが、MEPS は実況を捕捉しており、MSM による予 測の不確実性が大きいことを表現できていた。

## 4.2.3 降水予測について

前項において、GSM 及び MSM の進路予測について 確認した。その結果、GSM については日本に上陸した 2日半前の9月1日12UTC 初期値以降、MSM につい ては9月3日06UTC 初期値以降、ベストトラックに 近い予測が出来ていたことを示した。本項では降水量 予測について示す。

台風の接近と上陸に伴い、四国地方や近畿地方、東

海地方で総降水量が 300 ミリを超えたところがあり、 台風接近に伴う短時間強雨も観測された (大阪管区気象 台 2019)。以下では、GSM と MSM による 24 時間降 水量ガイダンス (白山 2018)の予測結果を確認した後、 MSM と LFM による短時間強雨の予測を確認する。な お、ここで示す 24 時間降水量ガイダンスの予測結果は 現象発生当時の降水ガイダンスに基づくもので、第5.1 節で解説する改良後のガイダンスで再計算したもので はない。本事例では改良前後の予測結果に大きな違い は見られなかった。

図 4.2.7 は、24 時間降水量がピークを迎えた9月5 日 03 時の観測の 24 時間最大降水量と 9 月 3 日 00UTC 初期値及び9月1日12UTC初期値のGSM24時間最 大降水量ガイダンス (GSM-RMAX24) の予測結果を、 図 4.2.8 は 9 月 5 日 03 時の観測の 24 時間最大降水量と 9月3日15UTC初期値及び9月3日03UTC初期値の MSM24 時間最大降水量ガイダンス (MSM-RMAX24) の予測結果を、それぞれ示す。図 4.2.7 によると、GSM-RMAX24 は 3 日前(1 日 12UTC 初期値)には、四国 地方や近畿地方、東海地方で 300 ミリを超える予測を するなど、実況に近い分布で大雨を予測できていた。 また、前日(3日00UTC初期値)には3日前より、東 海地方の予測が更に実況に近くなっている。図4.2.8 に よると、MSM-RMAX24の初期値変わりは小さく、実 況で大雨となった徳島・高知、紀伊半島、東海地方、東 海~北陸の山間部での大雨を予測していた。

続いて、MSM の 3 時間降水量の予測について、台 風が四国に上陸する直前の 9 月 4 日 12 時と日本海に抜 けた 9 月 4 日 18 時の結果を確認する。図 4.2.9 に 9 月 4 日 12 時を対象とした実況と予測を示す。39 時間予 測では、台風中心位置が実況よりも南寄りに予測され ていたが、それより新しい初期値では、台風の位置は 実況と対応が良くなり、台風による降水、下層暖湿気 流入に伴う四国南部から東海での南斜面での降水をよ く表現できていた。一方で、中国地方については、実 況よりも降水量が多く予測される傾向が見られた。ま た、図 4.2.10 に 9 月 4 日 18 時を対象とした実況と予 測を示す。MSM による台風の位置の予測が良好であっ たため、台風本体による降水域や、下層暖湿気流入に よる東海地方の降水について、39 時間予測でもよく表 現できていた。

図4.2.11 に、9月4日12時を対象とした実況とLFM による予測を示す。LFMでは、東海地方から関東地方 にかけて、線状に延びる降水域をより明瞭に表現して いる。しかし、これらの局地的な強雨域の表現につい ては実況からの位置ずれが見られ、初期値変わりが大 きい。

#### 4.2.4 風の予測について

本台風では、四国地方や近畿地方では猛烈な風が観 測され、観測史上1位を更新したところが多数あった

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> 2019 年 6 月 27 日 00UTC 初期値より正式運用を開始した。



図 4.2.7 9 月 5 日 03 時までの観測の 24 時間最大降水量と GSM-RMAX24 の比較。左から、観測の 24 時間最大降水量 [mm/24h]、3 日 00UTC 初期値の 42 時間予測値の GSM-RMAX24[mm/24h]、1 日 12UTC 初期値の 78 時間予測値の GSM-RMAX24[mm/24h]。



図 4.2.8 9月5日 03 時までの観測の 24 時間最大降水量と MSM-RMAX24 の比較。左から、観測の 24 時間最大降水量 [mm/24h]、3日 15UTC 初期値の 27 時間予測値の MSM-RMAX24[mm/24h]、3日 03UTC 初期値の 39 時間予測値の MSM-RMAX24[mm/24h]。



図 4.2.9 9月4日12時までの観測の3時間降水量と MSM による3時間降水量予測の比較。左から、観測の前3時間降水量 [mm/3h]、3日06UTC 初期値の21時間予測値 [mm/3h]、2日12UTC 初期値の39時間予測値 [mm/3h]。予測値の実線は 海面更正気圧 [hPa]、矢羽は地上面の風 [ノット]。



図 4.2.10 9月4日18時までの観測の3時間降水量と MSM による3時間降水量予測の比較。左から、観測の前3時間降水量 [mm/3h]、3日12UTC 初期値の21時間予測値 [mm/3h]、2日18UTC 初期値の39時間予測値 [mm/3h]。予測値の実線は 海面更正気圧 [hPa]、矢羽は地上面の風 [ノット]。



図 4.2.11 9月4日12時までの観測の3時間降水量とLFMによる3時間降水量予測の比較。左から、観測の前3時間降水量 [mm/3h]、4日00UTC初期値の3時間予測値[mm/3h]、3日21UTC初期値の6時間予測値[mm/3h]。予測値の実線は海 面更正気圧 [hPa]、矢羽は地上面の風 [ノット]。



図 4.2.12 9月4日00時から9月5日00時を対象とした、(a) 大阪府の関空島と(b) 兵庫県の明石の30分ごとの風速 [m/s] の実況(黒)と MSM による地点予測時系列(9月3日12UTC 初期値以降を赤、それ以前を青で表示。色が濃いほど新しい 初期値による予測結果)を示す。

(大阪管区気象台 2019)。ここでは、MSM による風の 予測について、地上観測地点の観測値と比較する。代 表的な地点として、図 4.2.12 に、9月4日00時から9 月5日00時を対象とした、大阪府の関空島と兵庫県の 明石の30分ごとの風速の観測値と MSM の予測値の時 系列を示す。MSM による台風の位置の予測がベスト トラックに近づいた9月3日12UTC 以降の初期値で は、風速の変化傾向がよく表現されるようになった。

#### 4.2.5 まとめ

T1821の事例について、数値予報モデルとガイダン スの予測結果を確認した。

進路予測については、北上の遅れが見られた初期値 はあるものの、GSM は日本に上陸した2日半前の9月 1日12UTC 初期値以降、MSM は9月3日06UTC 初 期値以降、ベストトラックに近い予測となった。それ 以前の初期値については、日本の南海上で北西に進路 を変える頃を中心にベストトラックと比較して西寄り の進路を予測する傾向が見られた。また、MSM では 台風が北海道の西海上を北上する期間にベストトラッ クおよび GSM より西寄りを予測し予測誤差が大きく なった。GEPS では、9月1日 00UTC 初期値まではベ ストトラックより大きく西側に外れ南西諸島を指向し たメンバーがあったが、9月1日12UTC 初期値以降は 全メンバーが四国地方から近畿地方を指向する予測と なった。大きく西側に外れる進路予測をするメンバー がなくなったタイミングは、GSMの進路予測がベスト トラックと近い予測になったタイミングと一致してい た。部内試験運用中であった MEPS では、MSMの予 測誤差が GSM の予測誤差より大きかった期間につい て予測のばらつきが大きくなっており、MSM による 予測の不確実性が大きいことを表現できていた。

本事例については、台風の進路予測が実況に近づい てからは、四国地方や近畿地方、東海地方の大雨の分 布や、近畿地方での強風の時間変化がよく予測できて いた。LFM による強雨の予測は、初期値毎に位置ず れ、強度のばらつきなどが見られた。

この事例による予測結果を踏まえて、数値予報シス テムの予測結果の利用に際しては、MSM の進路予測 は必ずしも GSM の進路予測より予測誤差が小さいと は限らないことに留意する必要がある。台風の予測位 置は風や雨の量的な予測に大きな影響を与える。MSM の予測がどの程度ばらつく可能性があるかを検討する 際の参考として MEPS の予測結果を活用していただき たい。

# 参考文献

- 大阪管区気象台, 2019: 災害時気象報告「平成 30 年台風 第 21 号による 9 月 3 日から 5 日にかけての暴風、高 潮等」. 災害時自然現象報告書 2019 年第 1 号, 1–153. 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.

#### 4.3.1 はじめに

平成 30 年 (2018 年) 台風第 24 号 (T1824) は、9 月 21 日 15 時にマリアナ諸島近海で発生し、沖縄の南を 北西に進んだ。9 月 28 日から 29 日にかけて、非常に 強い勢力で沖縄地方に接近した。29 日 12 時以降は北 東に向きを変え、徐々に加速しながら、30 日 20 時頃に 和歌山県田辺市付近に上陸した。その後、東日本から 北日本を縦断し、10 月 1 日 9 時に日本の東海上で温帯 低気圧に変わった。T1824 の接近・通過に伴い、広い 範囲で暴風、大雨、高波、高潮となり、特に南西諸島 及び西日本・東日本の太平洋側を中心に、これまでの 観測記録を更新する猛烈な風または非常に強い風を観 測した所があったほか、紀伊半島などで過去の最高潮 位を超える高潮を観測した所があった (気象庁 2019)。

ここでは、T1824の進路と強度、降水、風の数値予 報モデルによる予測について調査した結果を説明する。 まず、第 4.3.2 項は全球モデル (GSM) とメソモデル (MSM)、メソアンサンブル予報システム (MEPS) に よる台風予測結果、第 4.3.3 項は MSM と MEPS によ る降水予測、第 4.3.4 項は MSM による風の予測結果 を示す。第 4.3.5 項ではガイダンスによる降水量予測結 果を示す。最後に、数値予報モデルとガイダンスによ る予測結果についてまとめる。

## 4.3.2 GSM と MSM、MEPS による台風予測

T1824 に対する GSM と MSM の台風進路とベスト トラックとの比較結果を図 4.3.1 に示す。比較する予測 期間は初期値において T1824 の中心位置が MSM の予 測領域に存在した 2018 年 9 月 25 日 12UTC から 10 月 1 日 00UTC まで、12 時間ごとである。GSM は 84 時 間予測まで、MSM は 51 時間予測(当時は部内試験運 用中)まで描画する。

GSM による進路予測を見ると、2018 年 9 月 25 日 12UTC の初期値では西北西に逸れる。9 月 26 日 00UTC 初期値では転向するものの、予報初期に西進し 過ぎてベストトラックより西に逸れる。全球アンサンブ ル予報システムでも 2018 年 9 月 26 日 00UTC まで実 況を捕捉できていなかった(図略)。9 月 26 日 12UTC から 27 日 12UTC までの初期値では、予報初期に実況 から西にずれる傾向が徐々に小さくなり、ベストトラッ クに近づく。9 月 28 日 00UTC 以降の初期値ではほぼ ベストトラックに沿って進行した。2018 年 9 月 26 日 00UTC から 28 日 12UTC までの 6 時間ごとの 11 初期 値で平均した 72 時間進路予測誤差は 186 km で、2017 年の 72 時間進路予測誤差の平均値(295 km, Japan Meteorological Agency (2018)の表 4.8)と比べて小さ く、日本に接近、上陸してからの進路予測精度は高い事 例であった。120時間進路予測誤差は566 km で、2017 年の120時間進路予測誤差の平均値(478 km, Japan Meteorological Agency (2018)の表4.8)と比べて大き く、予測時間によって進路予測精度が大きく異なって いた(図略)。予測初期の精度が良くとも予測後半まで 良いとは限らないので、なるべく最新の予測結果を参 照する必要がある。

MSM の進路予測を見ると、9 月 27 日 12UTC 以前 の初期値では GSM と同様にベストトラックの西側に 逸れる傾向が見られた。9 月 28 日 00UTC 以降の初期 値では、進路予測は概ねベストトラックに沿うが、日 本に上陸するあたりから北西側にずれる傾向が見られ た。また、9 月 28 日 00UTC から 9 月 29 日 00UTC 初期値の予測では進行が早かった。36 時間進路予測誤 差は 9 月 26 日 00UTC から 29 日 00UTC までの 6 時 間ごとの 13 初期値の平均で MSM は 73 km、GSM は 50 km で、この事例では GSM の方が進路予測誤差が 小さかった。

本事例において MEPS (当時は部内試験運用中)に よる進路予測が実況をどのように捉えていたのか調査 するため、図 4.3.2 に進路予測結果を示す。2018 年 9 月 26 日 12UTC と 9 月 27 日 00UTC の進路予測は、す べてのメンバーが MSM と同様にベストトラックの西 側に逸れてしまい、実況を捕捉できていなかった。9 月 27 日 12UTC から 9 月 28 日 12UTC までの初期値で は、予測した進路がベストトラックの周りにばらつい ており、実況を捕捉できていた。9 月 29 日 00UTC 以 降は予測期間後半でのばらつきが大きくなり、かつ北 側にずれるメンバーが多くなっていた。

中心気圧の予測を見ると(図 4.3.3 上図)、2018 年 9 月 26 日から 29 日まではベストトラックに比べて GSM は初期値が 10-15hPa 浅く、MSM は 5-10 hPa 浅かっ た。GSM、MSM どちらも予測時間が長くなるほど過 発達傾向であり、GSM は 72 時間予測で 20hPa ほど深 まる事例が見られた。米原 (2017) より、GSM1705 で は 2015 年 6 月 20 日から 10 月 11 日の夏期試験におけ る 72 時間予測のバイアスはほぼゼロだが、事例別に見 ると ±20 hPa の誤差を持つこともあるのが分かる。米 原 (2017)の図 1.2.8 を見ると、ベストトラックに比べ て発達期では中心気圧の予測が浅いのに対し、衰弱期 では衰弱傾向が予測できずに過発達になることが示さ れている。図 4.3.3 で見られた GSM の過発達傾向は米 原 (2017) で示された発達ステージに応じた誤差特性と 矛盾しない。MSM による T1824 の予測は、FT=18 で 平均的にバイアスはゼロとなり、それ以降は過発達し て実況より 5-10 hPa ほど深まる傾向であった。9月 30 日から10月1日にかけての上陸に伴う衰弱は、GSM と MSM ともに変化傾向をよく捉えていた。

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> 沢田 雅洋(第 4.3.1 項から第 4.3.4 項)、白山 洋平(第 4.3.5 項、第 4.3.6 項)



図 4.3.1 GSM と MSM による 2018 年台風第 24 号の予測結果。黒線がベストトラック、赤線が GSM による予測、青線が MSM による予測。予測初期時刻 2018 年 9 月 25 日 12UTC から 10 月 1 日 00UTC までの結果を左上から右下の順に並べる。



図 4.3.2 MEPS による 2018 年台風第 24 号の予測結果。黒線がベストトラック、赤線が MEPS による予測。予測初期時刻 2018 年 9 月 26 日 12UTC から 9 月 30 日 00UTC までの結果を左上から右下の順に並べる。



図 4.3.3 GSM と MSM による 2018 年台風第 24 号の予測 結果。上が中心気圧 [hPa]、下が最大風速 [ノット] の予測 結果。黒線がベストトラック、赤線が GSM による予測、 青線が MSM による予測。

最大風速<sup>2</sup>の予測を見ると(図 4.3.3 下図)、初期値 では GSM と MSM ともに、実況より 10-20 ノットほ ど弱かった。予測時間が長くなるとどちらのモデルの 予測も発達して実況の強度に近づく。しかし、ベスト トラックで見られる通り実況ではほぼ定常か衰弱過程 にある。モデルの初期値が実況より弱い時は、モデル の台風が実況の強度に達するまで発達することがある。 本事例で見られるように、予測初期で起こるモデルの 発達過程(あるいはスピンアップ)を見て、実況でも 発達過程にあると判断すると、実況とは異なる解釈を する可能性がある。

## 4.3.3 MSM と MEPS による降水量予測

MSM と MEPS による降水分布予測の様子を示すた め、解析雨量との比較結果を図 4.3.4 に示す。対象事例 は 2018 年 9 月 30 日 06UTC の 6 時間降水量で、解析雨 量によると九州で 200 mm/6h 以上、四国で 150 mm/6h 以上の降水量があった。MSM による予測は一貫して降 水量の多かった地域(九州、四国地方)を捉えていた。 しかし、実況に比べて降水量を過大に予測する初期時刻 が多かった。9 月 28 日 15UTC から 9 月 29 日 12UTC

初期値(39-18時間予測)では、四国において実況で見 られない 200 mm/6h 以上の降水を予測していた。加 えて、9月30日00UTC初期値(6時間予測)でも九州 において 200 mm/6h 以上の降水域、四国沖北部におい て 60 mm/6h 以上の降水域が実況よりも広がっていた ことが確認できる<sup>3</sup>。MSM による降水量が過大だった のは、台風予測の位置ずれ、MSM の台風過発達傾向、 MSM の降水過多バイアスなどの複数の要因が重なって 生じたと考えられる。9月28日15UTCから9月29日 03UTC 初期値(39-27 時間予測)は台風が実況より北 東側に先行し、四国南に位置している。このため、台風 の壁雲などに伴う強雨が四国地方の過大な降水量をも たらす要因の1つとなった。台風の強度について注目 すると、9月28日15UTCから9月29日03UTC初期 値(39-27時間予測)の中心気圧は946-948 hPa、9月 29日 06UTC から 9月 29日 21UTC 初期値(24-9時 間予測)は950-952 hPaと長い予測時間ほどベストト ラックの 955 hPa より深かった。台風に伴う降水は強 い台風ほど増える傾向があるので(例えば、Yokoyama and Takayabu 2008)、長い予測時間では過発達した台 風に伴う降水が降水量増加に寄与した可能性がある。 降水過多バイアスについては、MSM の特性として夏 季の降水バイアススコアは強い降水ほど1より大きい 傾向があることが報告されている (安斎 2018)。台風の 位置ずれが比較的小さい9月29日18UTCから9月30 日 00UTC 初期値(12-6 時間予測)において過大な降 水量となったのは、降水過多バイアスが影響している と考えられる。

本事例における降水を MEPS でどの程度捉えてい たのか調べるため、各格子において MEPS の 21 メン バーの予測の中で最大となる 6 時間降水量(以下、メ ンバー最大降水量)および 100 mm/6h の超過確率を 図 4.3.5 に示す。メンバー最大降水量を見ると、36 時 間予測でも実況で大雨となった九州、四国地方を捉え ていた。初期値が変わっても、メンバー最大降水量分 布は一貫して大雨となった地域を捉え、新しい初期値 ほど強い降水域の広がりが限定されていた。強い降水 域の広がりが狭まったのは、新しい初期値ほど台風の 位置のばらつきは小さく(図 4.3.2)、台風に伴う強い 降水域は限定されたことが要因の 1 つと考えられる。

超過確率分布を見るとメンバー最大降水量分布で見ら れた傾向と同じく、新しい初期値ほど強雨域が絞られて いく。超過確率90%以上の地域は、実況の100 mm/6h の雨となる領域とほぼ重なっていた。実況で100 mm/6h の雨がなかった地域に注目すると、瀬戸内海や中国地 方において9月28日18UTC初期値(36時間予測)で は超過確率が50%に達する地域が見られるが、9月29 日18UTC初期値(12時間予測)では10%未満となる ことが確認できる。ただし、新しい初期値では実況と

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> 最大風速は、台風中心位置から半径 500km 以内の高度 10m の最大風速である。

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> ただし、海上における解析雨量の精度は雨量計による補正 ができないため、陸上に比べて劣る可能性がある。



図 4.3.4 2018 年 9 月 30 日 06UTC を対象時刻とする、6 時間降水量の解析雨量と MSM による予測。左上が解析雨量とメソ 解析の等圧線、左から 2 番目が 30 日 00UTC 初期値の MSM による予測で、以降は MSM の初期値を 3 時間ごとにずらし て表示。等圧線は 5 hPa 間隔。降水量の単位は mm/6h。

比べて MEPS の 100 mm/6h の強雨域は狭く、見逃し が生じていた。実況で 100 mm/6h の降水があった鹿 児島県に注目すると、9月28日18UTCから9月29 日 12UTC 初期値(36-18 時間予測)では超過確率が 10-30%、9月29日18UTC初期値(12時間予測)で は超過確率が 60%あったにもかかわらず、9 月 30 日 00UTC 初期値(6時間予測)では超過確率が10%未満 となり、実況の大雨を見逃していた。加えて、日向灘で は9月29日06UTCから29日18UTC初期値(24-12 時間予測)の超過確率が 50%を超える地域があるが、 9月30日00UTC初期値(6時間予測)では超過確率 が10%未満となる地域が確認された。このように本事 例では24時間以上前から大雨となる大半の地域を高い 確度で予測しつつも、一部見逃しが見られた。現時点 においては、見逃しを軽減するには、MEPS だけでは なく GSM や LFM による降水予測、降水ガイダンス なども併せて参照する必要がある。

# 4.3.4 MSM による風の予測

台風に伴う風速分布の予測結果について確認するた め、MSM による風速分布予測とメソ解析の比較結果 を図 4.3.6 に示す。メソ解析では台風の東から南東側で 風速 30–35 m/s の暴風が見られるのに対して、MSM では予測時間が長いほど最大風速が大きく、南東象限 にピークが見られた。予測時間が長いほど最大風速が 強い傾向は、ベストトラックとの比較でも見られ(図 4.3.3)、メソ解析とベストトラックのどちらと比べて も最大風速が強めの傾向であった。面的な観点で見る と、9月29日 09UTC から9月29日 21UTC 初期値 (21–9時間予測)では、メソ解析より35 m/s 以上の風 速域が広がっていた。さらに、9月28日 15UTC から 9月29日 06UTC 初期値(39–24時間予測)では、メ ソ解析では見られない40 m/s 以上の風速域が予測さ れていたことが確認できる。

本節での比較結果の注意点として、メソ解析は台風 ボーガスの影響を受けるため強度・構造が実況とは異



図 4.3.5 MEPS によるメンバー最大 6 時間降水量予測(左、 単位は mm/6h)と 100 mm/6h 以上となる超過確率分布 (右、単位は%)。対象時刻は 2018 年 9 月 30 日 06UTC。青 線は実況で 100 mm/6h となった領域。上から 30 日 00UTC 初期値の MSM による予測で、以降は MSM の初期値を 6 時間ごとにずらして表示。下の図ほど初期値が古くなる。

なる可能性もあり、メソ解析が真値とは限らないこと が挙げられる。対象時刻 2018 年 9 月 30 日 06UTC で 同化された台風ボーガスは 952 hPa で、第一推定値を 強めるインクリメントが解析されている(図略)。ベス トトラックと比較すると、対象時刻 2018 年 9 月 30 日 06UTC での中心気圧と最大風速はそれぞれ 955 hPa、 80 ノット (約 40 m/s) に対し、メソ解析は 957 hPa、 35 m/s で、実況より弱めの可能性がある。より実況に 即した比較をするには、地上レーダー観測などとの比 較が必要である。

#### 4.3.5 降水ガイダンスの予測

前項では、数値予報の予測結果についての調査結果 を述べた。本項では、降水ガイダンス (白山 2018)の 予測結果について述べる。なお、GSM24時間最大降水 量ガイダンスについては、第 5.1 節で 2019 年 7 月 4 日 より改良したことを報告している。本項では、現象発 生当時の資料である改良前の結果を示しているが、本 事例解析から示唆される結果については改良前後で大 きな違いはない。

図 4.3.7 は、T1824 が西日本の太平洋側を北東進し た9月30日の日降水量に対応する、10月1日0時の GSM24時間最大降水量ガイダンス (GSM-RMAX24) とそれに対応する観測値である。前項で述べた通り、 GSM の予測進路は27日12UTC 初期値以降はベスト トラックに近づき、多くの初期値で30日夜に紀伊半島 付近に上陸する予測になっていた。このようなGSM の予測に対してGSM-RMAX24も、西日本太平洋側 の広い範囲に300 mm/24hを超える大雨を一貫して予 測しており、これらの地域には2日以上のリードタイ ムを持った大雨の予測ができていた<sup>4</sup>。

次に短時間の降水予測に注目する。図4.3.8は、T1824 が紀伊半島に上陸する直前、四国沖を東北東へ進んで いた9月30日18時を対象とする、MSM1時間最大降 水量ガイダンス (MSM-RMAX31) とそれに対応する 観測値である。MSM の台風の予測進路が概ね適切で あったため、1 日先の MSM-RMAX31 の降水予測の範 囲は概ね適切であったが、紀伊半島や四国、中国地方 では 50 mm/h 以上の非常に激しい雨の予測範囲が観 測よりも広く、また所によっては 100 mm/h を超える 過剰な降水を予測してしまっている。このような傾向 は GSM1 時間最大降水量ガイダンスも同様で(図略)、 本事例では台風上陸時の短時間の降水を対象とした降 水ガイダンスの予測は過大傾向が非常に強かった。両 ガイダンスに見られたこの過剰な降水予測は、1時間 最大降水量ガイダンスの計算に用いる3時間平均降水 量ガイダンス (MRR3) 時点の予測が多かったことや、 MRR3 に乗じる 3 時間平均と 1 時間最大の比率(1 時 間最大/3時間平均)が大き過ぎたことが原因と考えら れる。前者については、本事例では GSM, MSM ともに

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> 予報時間が長いほど 600 mm/24h を超える大雨を広く予 測する傾向が見られる。これは当時の GSM-RMAX24 の課 題であった、予報後半ほど大雨の予測頻度が高くなる傾向に 対応しているが、この傾向は 2019 年 7 月に実施したガイダ ンスの改良 (5.1) によって解消されている。



図 4.3.6 2018 年 9 月 30 日 06UTC を対象時刻とする、高度 10 m のメソ解析による風速分布と MSM による予測の風速分布。 左上がメソ解析、左から 2 番目が 30 日 03UTC 初期値の MSM による予測で、以降は MSM の初期値を 3 時間ごとにずら して表示。等圧線は 5 hPa 間隔。風速の単位は m/s。

数値予報モデルの降水量予測の時点で観測値より多い 傾向が見られた他、特に GSM3 時間平均降水量ガイダ ンスではガイダンスによるモデル降水量の上方修正に 過剰傾向があったことも MRR3 時点の予測が多くなっ たことに影響していた。後者の MRR3 に乗じる比率に ついては、図 4.3.9 に MSM-RMAX31 の例を示す。図 4.3.9 (a) の MSM-RMAX31 の算出に用いた予測の比 率は、台風本体の降水域において低くても1倍である が、図 4.3.9 (b) の観測の 20 km 格子平均 3 時間降水 量と20km格子最大前3時間最大1時間降水量から算 出した観測の比率は 0.7 倍前後になっており、予測の 比率は観測の比率よりも高かったことが分かる。降水 が格子内で偏在しやすく格子平均と格子最大の比率が 大きくなりやすい不安定性の降水現象であれば1倍以 上の比率で問題ないが、本事例のような台風本体によ る降水では格子平均と格子最大の降水量の比が1倍を 下回ることが殆どであるため、この高い比率がガイダ ンスの予測が過剰になる原因になっている。

このように現在の1時間最大降水量ガイダンスでは、 現象によっては格子平均と格子最大の比率を適切に求 めることが出来ていないと考えられる。このような場合 には、1時間最大降水量ガイダンスの予測をその算出の 基になっている3時間平均降水量ガイダンス程度まで、 またはこれよりさらに少ない降水量まで下方修正を検 討することが必要である。なお1時間最大降水量ガイ ダンスについては、最後にニューラルネットワークの 重み係数を最適化したのが2010年であるため、その後 の数値予報モデルの改良による予測特性の変化に対応 させるための再学習が必要と考えている(白山2018)。 この再学習に併せて、現在よりも適切な比率が算出で きるように手法の改良を検討していく計画である。

#### 4.3.6 まとめ

本節では、T1824の事例について数値予報モデルと 降水量ガイダンスの予測結果を確認した。

GSM による進路予測結果については、2018 年 9 月 26 日以前の初期値では転向を捕捉できず、進路予報誤 差が大きくなった。9 月 26 日から 9 月 29 日の初期値 では、GSM の 72 時間進路予測は 2017 年平均進路予測 誤差と比較して誤差が小さく、また 36 時間進路予測は



図 4.3.7 2018 年 10 月 1 日 0 時を対象とする GSM24 時間 最大降水量ガイダンスと対応する観測値。(a) は 9 月 27 日 12UTC 初期値の FT=75、(b) は 9 月 28 日 12UTC 初期 値の FT=51、(c) は 9 月 29 日 12UTC 初期値の FT=27、 (d) は観測の 20km 格子最大 24 時間降水量。



図 4.3.8 2018 年 9 月 30 日 18 時を対象とする MSM1 時 間最大降水量ガイダンスと対応する観測値。(a) は 29 日 09UTC 初期値の FT=24、(b) は観測の 5km 格子最大前 3 時間最大 1 時間降水量。



図 4.3.9 2018 年 9 月 30 日 18 時を対象とする (a)MSM1 時 間最大降水量ガイダンスの計算に用いる 3 時間平均と 1 時 間最大の比率、(b) 観測の 20 km 格子最大前 3 時間最大 1 時間降水量と 20 km 格子平均 3 時間降水量の比率。

同期間の MSM の進路予測と比べても誤差が小さかった。しかし、120 時間進路予測で見ると、2017 年の平 均進路予測誤差と比較して約 90 km 大きかった。

MSM と MEPS の降水予測については、36 時間前か ら大雨となる地域をある程度捕捉していたが、初期値 によっては降水の過多傾向が見られたり、予測時間が 6 時間でも大雨地域の見逃しが生じていた。MSM の風 予測はベストトラックやメソ解析と比較して、風速が 大きい傾向が見られた。 降水量ガイダンスについては、西日本太平洋側の広 範囲での大雨を GSM24 時間最大降水量ガイダンスは 2日以上のリードタイムを持って予測できていた。一 方で、台風上陸時の短時間の降水を対象とした1時間 最大降水量ガイダンスには、観測値よりも過剰な降水 を予測する傾向が見られた。

数値予報資料については、予測初期が実況と合って いても予報時間後半では誤差が大きくなりうるため、 可能な限り最新の予測結果を参照して頂きたい。また、 大雨の見逃しを軽減するため、1つの数値予報プロダ クトだけでなく、ガイダンスを含む複数のプロダクト を併せて参照して頂きたい。降水量ガイダンスについ ては、気象現象に応じた層別化はしていないため、統 計関係は発生頻度の多い気象現象に対して最適化され やすい。そのため、台風などの相対的に頻度の少ない 現象に対しては適切な予測が出来ない場合があること に留意して、適切に修正して利用する必要がある。

#### 参考文献

- 安斎太朗, 2018: メソモデル、局地モデルの検証. 平成 30 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 43-45.
- 気象庁, 2019: 災害時気象報告「平成 30 年台風第 24 号 による 9 月 28 日から 10 月 1 日にかけての暴風・大雨 等」. 災害時自然現象報告書 2019 年第 3 号, 191pp.
- 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.
- 米原仁, 2017: 全球数値予報システムの特性の変化. 平成 29 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 8–30.
- Japan Meteorological Agency, 2018: Annual report on the Activities of the RSMC Tokyo - Typhoon center 2017.
- Yokoyama, C. and Y. N. Takayabu, 2008: A Statistical Study on Rain Characteristics of Tropical Cyclones Using TRMM Satellite Data. *Mon. Wea. Rev.*, **136**, 3848–3862.