



第3章 事例解析編

3.2 令和3年7月の豪雨事例の数値予報の結果

※以下のスライドの説明では、FTは予報時間(例:FT=6は6時間予報)、「～時」は日本時間、図中の「UTC」は協定世界時(例:00UTCは9時)を表す。

本節では、第3.2.1項で鹿児島県の線状降水帯発生事例(2021年7月10日)の概略を示す。次に、線状降水帯が発生した10日を対象として、全球(GSM)、メソ(MSM)、局地(LFM)、メソアンサンプル(MEPS)数値予報システムにおけるモデルおよびガイダンスの予測結果やGSM、MSMとLFMの可降水量の予測と解析値の比較について示す(第3.2.2項)。さらに、線状降水帯に関係するメソ低気圧の予測(第3.2.3項)、環境場(第3.2.4項)、まとめ(第3.2.5項)について示す。



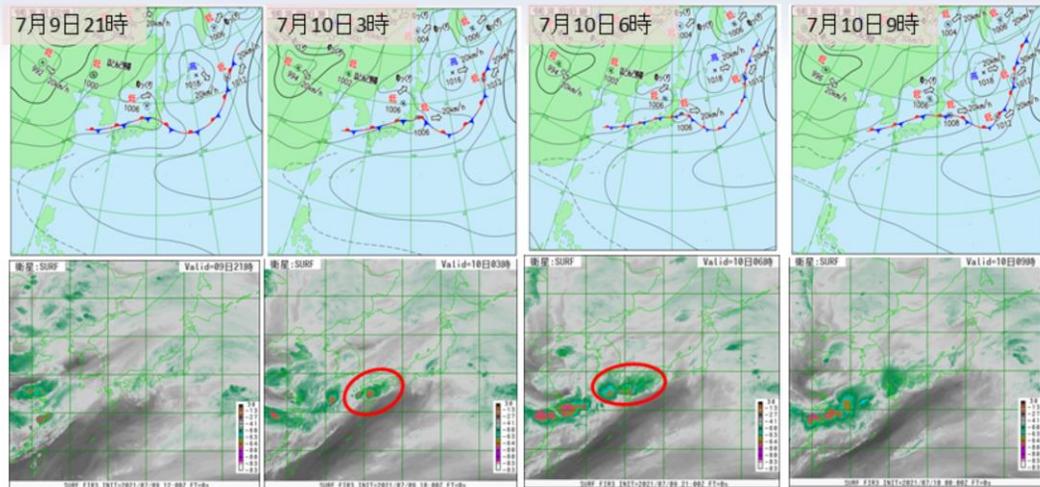
第3章 事例解析編

3.2.1 はじめに

2021年7月9～10日にかけて梅雨前線が対馬海峡から山陰沿岸に停滞した。この前線に向かって暖かく湿った空気が流れ込んだため、大気の状態が不安定となり、宮崎県小林市小林では、7月10日4時10分までの3時間降水量が133.5mm、鹿児島県薩摩郡さつま町さつま柏原では、同日12時40分までの24時間降水量が473mmとなり、それぞれ観測史上1位を更新した。

10日5時30分に鹿児島県、同日5時55分に宮崎県、同日6時10分に熊本県に大雨特別警報が発表された(同日14時32分までに解除)。さらに同日3時29分と7時39分には鹿児島県に線状降水帯の発生に言及した顕著な大雨に関する情報が発表された。

地上天気図・衛星水蒸気画像 (2021年7月9日21時～7月10日9時)

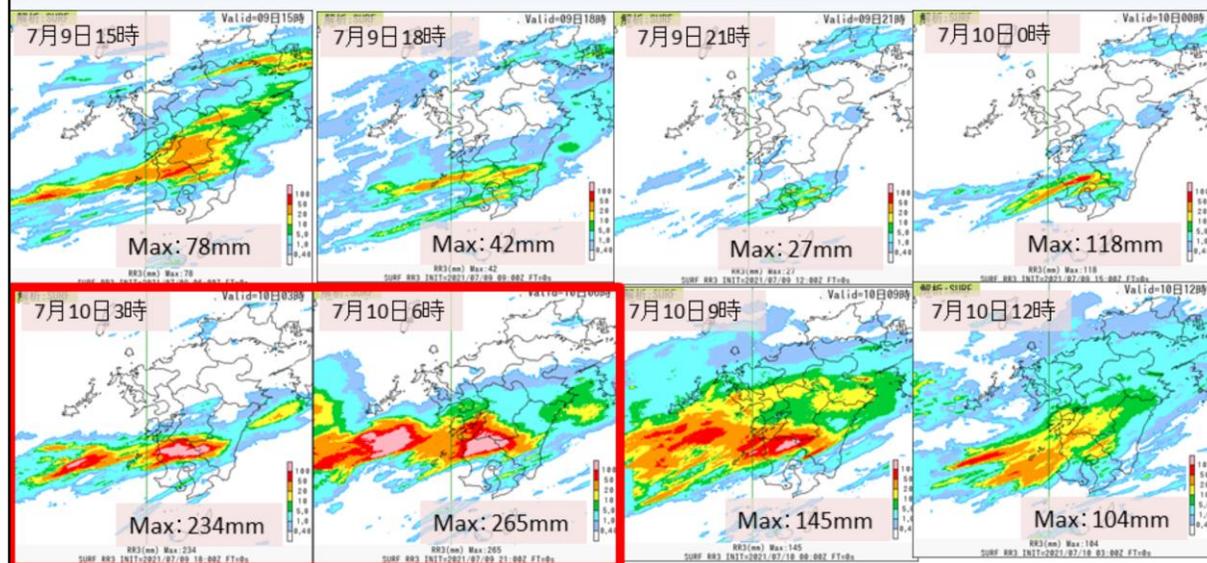


梅雨前線南側の対流雲域が10日未明に急速に発達し、同日明け方に九州南部地方へ移動した。

図は2021年7月9日21時から10日9時にかけての地上天気図(上段)、気象衛星ひまわりによる水蒸気画像(下段)を示す。

梅雨前線南側の対流雲域が10日未明に急速に発達し、同日明け方に九州南部地方へ移動した。

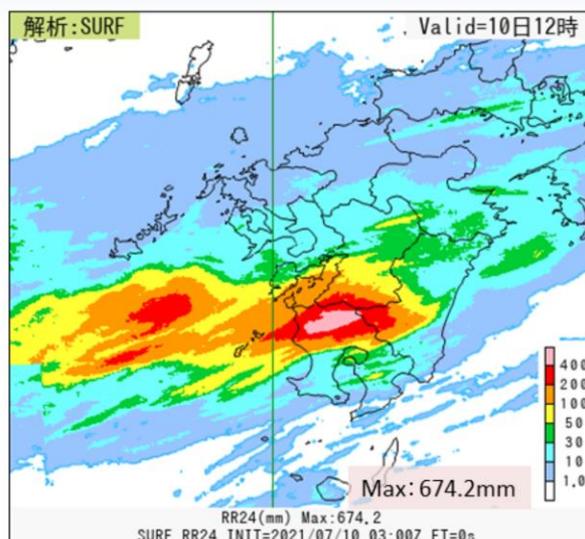
3時間解析雨量時系列 (2021年7月9日15時～10日12時:単位mm)



鹿児島県薩摩地方中心に、線状降水帯が発生したこともあり、赤枠の時間帯で降水量が増加した。

図は2021年7月9日15時から10日12時にかけての3時間解析雨量時系列を示す。鹿児島県薩摩地方中心に、線状降水帯が発生したこともあり、赤枠の時間帯で降水量が増加した。

24時間解析雨量 (2021年7月10日12時: 単位mm)



鹿児島県薩摩地方の降水量の多い区域は、前頁のスライドから7月10日0時～6時の時間帯の降水量によるところが大きい。

図は2021年7月10日12時の24時間解析雨量を示す。
鹿児島県薩摩地方の降水量の多い区域は、前頁のスライドから、7月10日0時～6時の時間帯の降水量によるところが大きいことが分かる。



第3章 事例解析編

3.2.2 鹿児島県の線状降水帯発生事例 (2021年7月10日)

線状降水帯に対応する帯状の降水域が予測できていたかどうかの観点で、GSM、MSM、MEPS、LFMの各数値予報システムにおける結果を示す。以下、2021年7月10日3時および6時対象の事例の結果を示す。

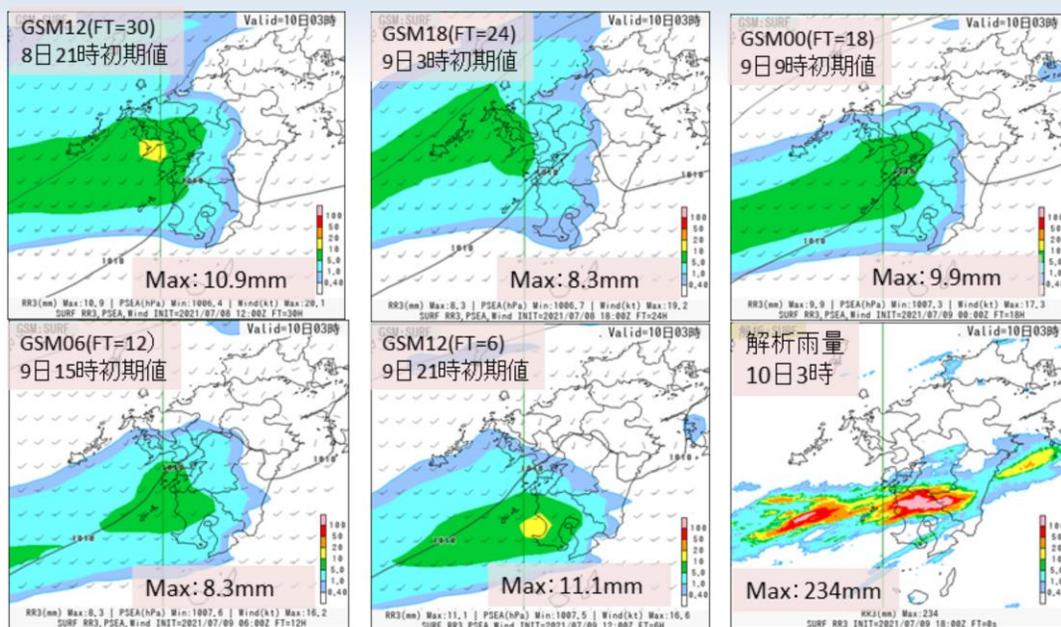


2021年7月10日3時対象の事例

令和3年度数値予報解説資料集

7

3時間降水量 (GSM vs 解析雨量) (2021年7月10日3時対象)



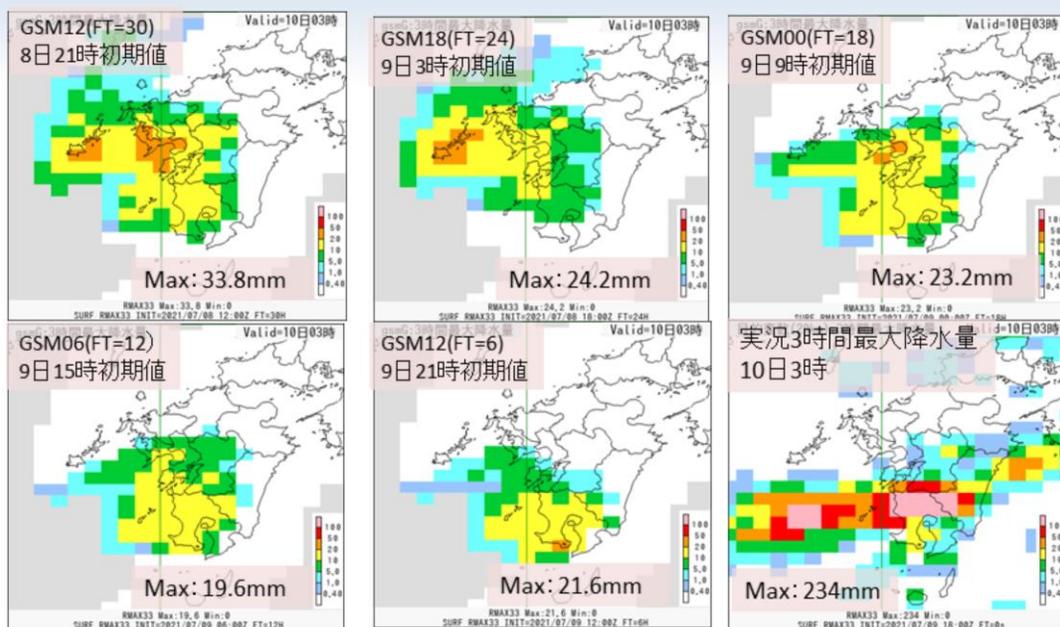
降水分布は実況に比べ、九州南部だけでなく北部にも表現され、領域としては過大であった。降水量の予測は過小であった。

GSMの3時間降水量について、2021年7月10日3時を対象とした結果を示す。

図は、上段の2021年7月8日21時初期値の30時間予報から順番に7月9日21時初期値の6時間予報までの結果を示す。また、2021年7月10日3時対象の解析雨量の結果を示す。降水量の単位はいずれもmmである。

降水分布は実況に比べ、九州南部だけでなく北部にも表現され、領域としては過大であった。降水量の予測は過小であった。

3時間降水量 (GSM最大降水量ガイダンス vs 実況) (2021年7月10日3時対象)

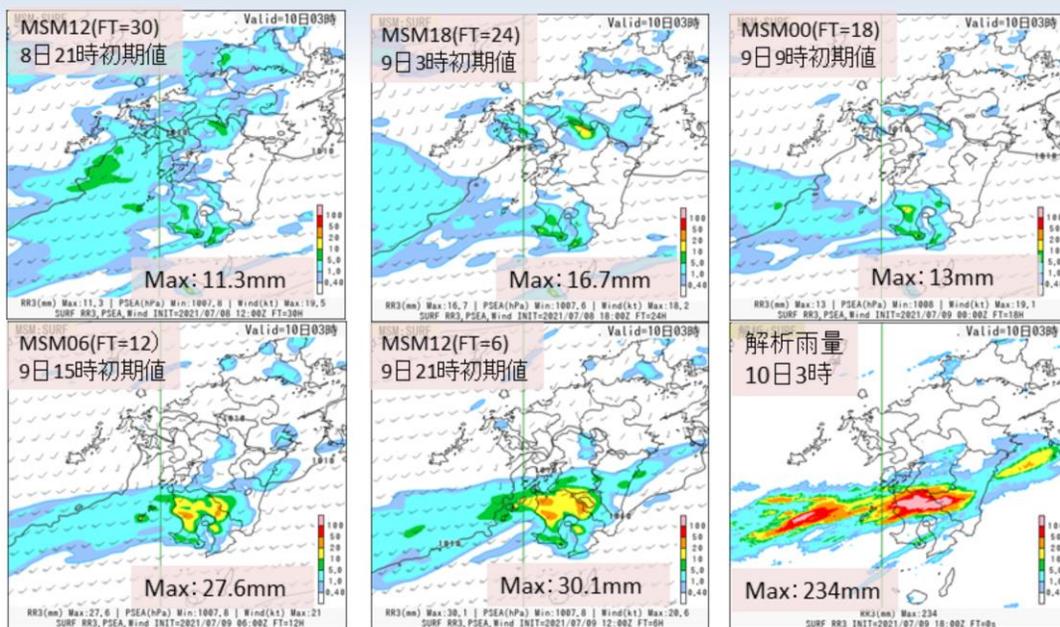


モデル予測から実況に近づける補正がなされていたが、降水量の予測は過小であった。

GSM3時間最大降水量ガイダンスの結果を示す。図の並びは、前頁のGSMと同様である。また、2021年7月10日3時対象の観測の20km格子3時間最大降水量の結果を示す。降水量の単位はいずれもmmである。

モデル予測から実況に近づける補正がなされていたが、降水量の予測は過小であった。

3時間降水量 (MSM vs 解析雨量) (2021年7月10日3時対象)

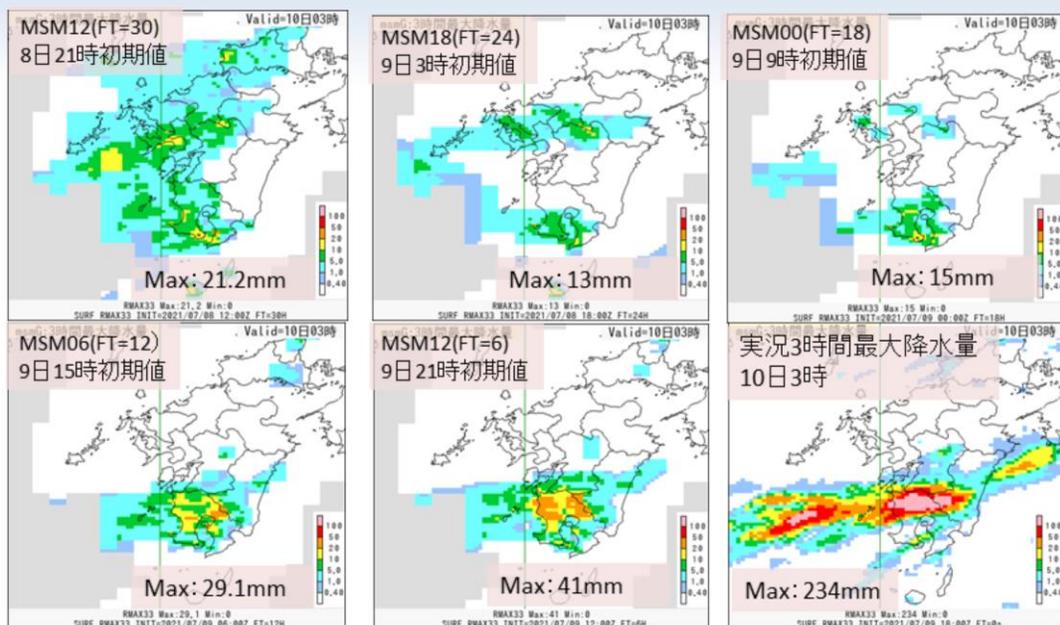


降水分布は12時間前(9日15時初期値予測)から概ね実況並みに表現されていたが、降水量の予測は過小であった。

MSMの3時間降水量について、2021年7月10日3時を対象とした結果を示す。図は、上段の2021年7月8日21時初期値の30時間予報から順番に7月9日21時初期値の6時間予報までの結果を示す。また、2021年7月10日3時対象の解析雨量の結果を示す。降水量の単位はいずれもmmである。

降水分布は12時間前(9日15時初期値予測)から概ね実況並みに表現されていたが、降水量の予測は過小であった。

3時間降水量 (MSM最大降水量ガイダンス vs 実況) (2021年7月10日3時対象)

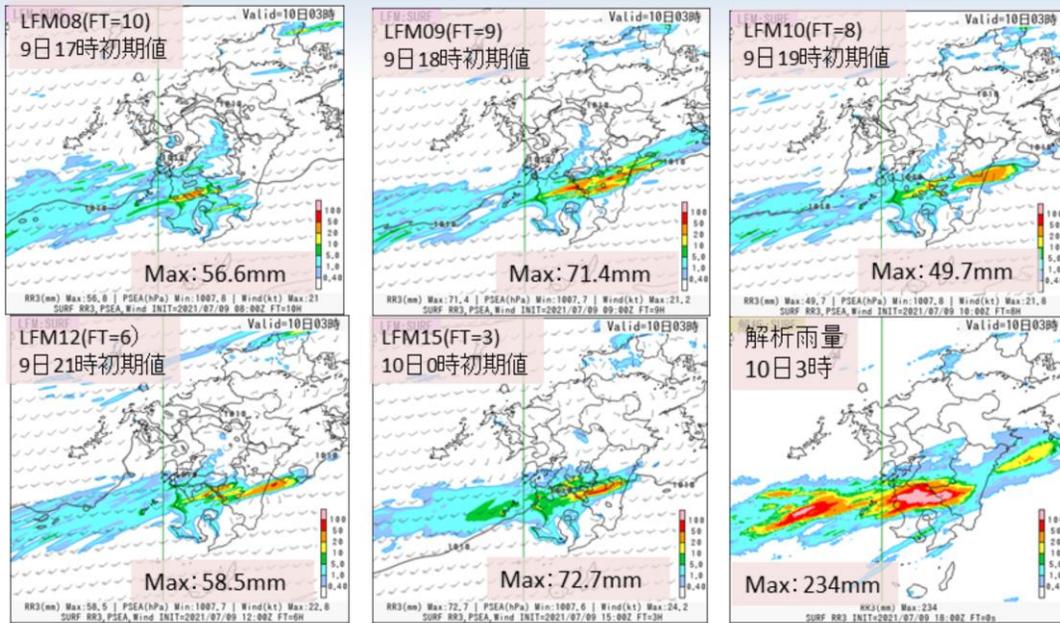


モデル予測から実況に近づける補正がなされていたが、降水量の予測は過小であった。

MSM3時間最大降水量ガイダンスの結果を示す。図の並びは、前頁のMSMと同様である。また、2021年7月10日3時対象の観測の5km格子3時間最大降水量の結果を示す。降水量の単位はいずれもmmである。

前頁のモデル予測から実況に近づける補正がなされていたが、降水量の予測は過小であった。

3時間降水量(LFM vs 解析雨量) (2021年7月10日3時対象)



降水分布は概ね実況並みに表現されていたが、降水量の予測は過小であった。

LFMの3時間降水量について、2021年7月10日3時を対象とした結果を示す。図は、上段の2021年7月9日17時初期値の10時間予報から順番に7月10日0時初期値の3時間予報までの抜粋した結果を示す。また、2021年7月10日3時対象の解析雨量の結果を示す。降水量の単位はいずれもmmである。

降水分布は概ね実況並みに表現されていたが、降水量の予測は過小であった。

MEPS3時間最大降水量ガイダンス(10日3時対象)

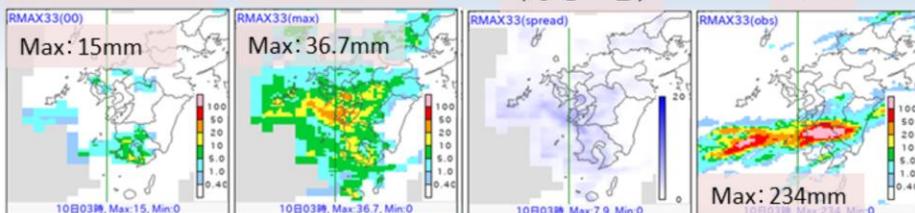
MSM3時間最大降水量G

アンサンブル最大

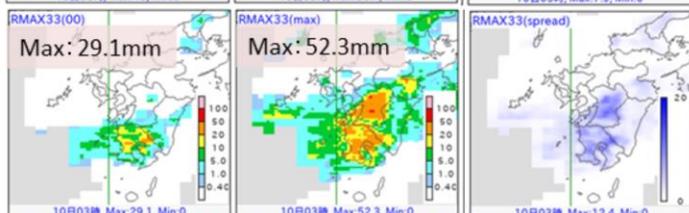
スプレッド
(ばらつき)

実況

9日9時初期値
(FT=18)

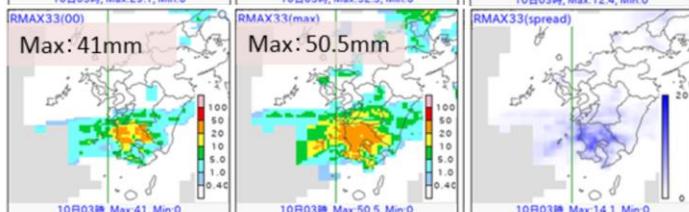


9日15時初期値
(FT=12)



- 12時間前の9日15時初期値予測から鹿児島県薩摩地方を中心に20mm以上の区域の降水量が予測されているメンバーが増えた
- 直近の予測では前項の予測メンバーがさらに増加、ばらつきも小さくなり、鹿児島県内に集中し、実況に近づく傾向が見られた
- 実況のような200mmを超えるような降水量を予測したメンバーは見られず、過小な予測であった

9日21時初期値
(FT=6)



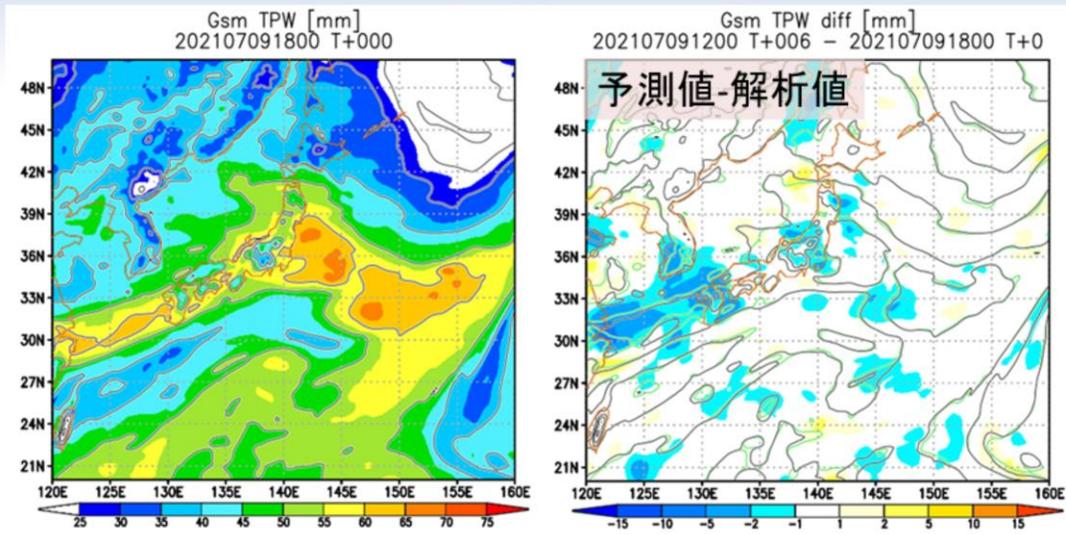
G:ガイダンスの略記

2021年7月10日3時を対象としたMEPS3時間最大降水量ガイダンスの結果を示す。右上図が2021年7月10日3時の観測の5km格子3時間最大降水量、左側からMSM3時間最大降水量ガイダンス、MEPS3時間最大降水量ガイダンスメンバー最大値、スプレッド(ばらつき)を示し、上段から下段に向かって、7月9日9時初期値18時間予報、7月9日15時初期値12時間予報および7月9日21時初期値6時間予報の結果をそれぞれ示す。降水量の単位はいずれもmmである。スプレッドは、青色が濃いほどスプレッドが大きいことを示す。

以下の特徴が見られた。

- 12時間前の9日15時初期値予測から鹿児島県薩摩地方を中心に20mm以上の区域の降水量が予測されているメンバーが増えた
- 直近の予測では前項の予測メンバーがさらに増加、ばらつきも小さくなり、鹿児島県内に集中し、実況に近づく傾向が見られた
- 実況のような200mmを超えるような降水量を予測したメンバーは見られず、過小な予測であった

GSMの可降水量の予測と解析値の比較 (2021年7月10日3時)

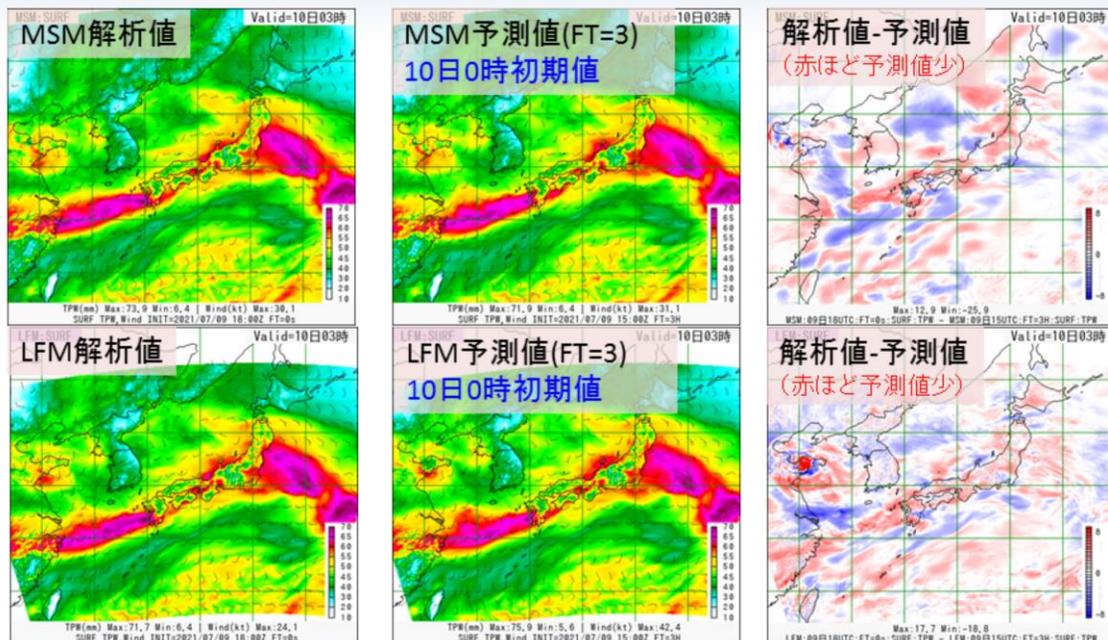


大雨となる前の可降水量の予測は解析値に比べて、東シナ海の前線上で少なかった。

2021年7月10日3時を対象としたGSMの可降水量の予測と解析値の比較結果を示す。左図が2021年7月10日3時の可降水量の解析値、右図が6時間前の初期値の予測値の解析値との差分の結果である。

大雨となる前の可降水量の予測は解析値に比べて、東シナ海の前線上で少なかった。

MSMとLFMの可降水量の予測と解析値の比較 (2021年7月10日3時)



2021年7月10日3時を対象としたMSM(上段)とLFM(下段)の可降水量の予測と解析値の比較結果を示す。左図が2021年7月10日3時の可降水量の解析値、中央図が3時間前(10日0時)の初期値の予測値、3時間前初期値の予測値と解析値との比較を示す。特徴は以下のとおりである。

大雨となる直前の予測可降水量は以下の領域で少ない傾向がみられた(10日0時以前の初期値降水量予測は実況に比べて過小)。

- ・ 前線とその周辺
- ・ 日本の南の亜熱帯高気圧内(特に縁辺部)

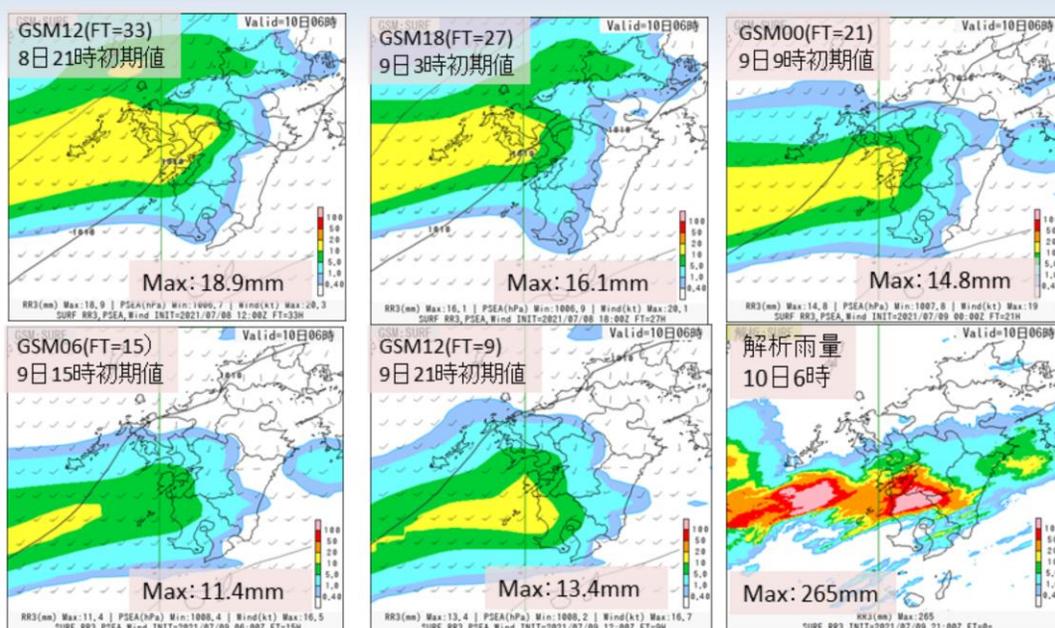


2021年7月10日6時対象の事例

令和3年度数値予報解説資料集

16

3時間降水量 (GSM vs 解析雨量) (2021年7月10日6時対象)



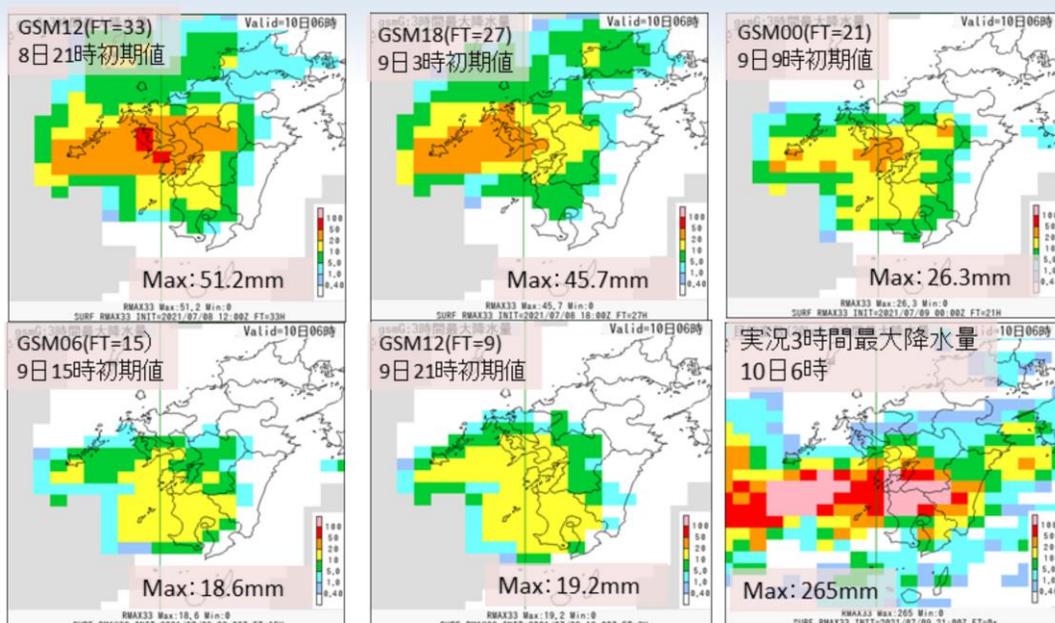
降水分布は27時間前までは、実況に比べて九州北部にも表現されていて、過大であった。降水量の予測は過小であった。

GSMの3時間降水量について、2021年7月10日6時を対象とした結果を示す。

図は、上段の2021年7月10日6時初期値の33時間予報から順番に7月9日21時初期値の9時間予報までの結果を示す。また、2021年7月10日6時対象の解析雨量の結果を示す。降水量の単位はいずれもmmである。

降水分布は27時間前までは、実況に比べて九州北部にも表現されていて、過大であった。降水量の予測は過小であった。

3時間降水量 (GSM最大降水量ガイダンス vs 実況) (2021年7月10日6時対象)

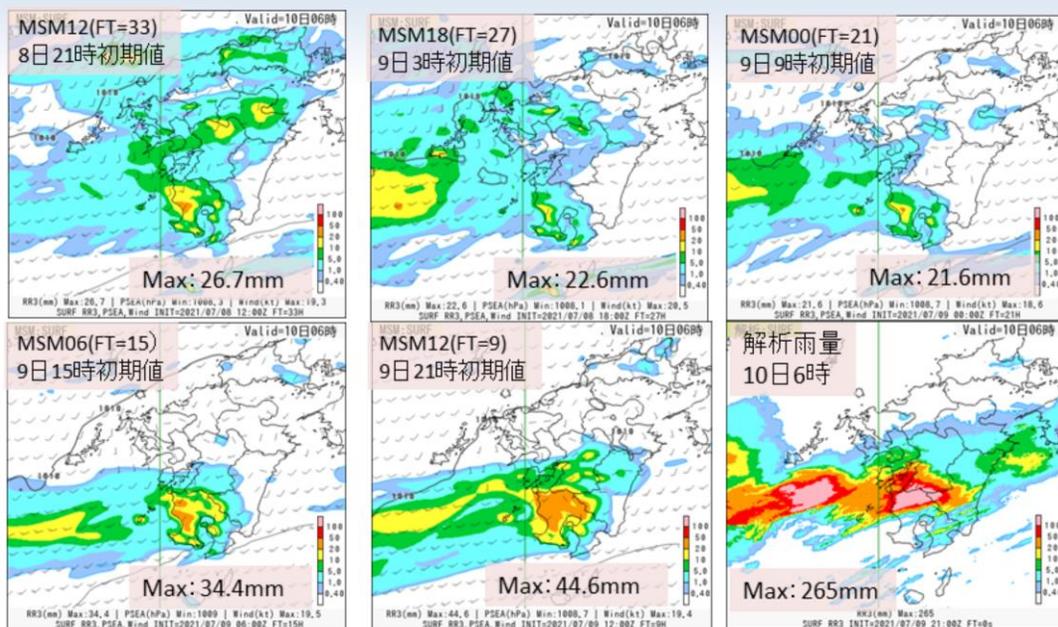


モデル予測から実況に近づける補正がなされていたが、27時間前までの予測降水量は実況に近かったが、全体的に予測降水量は過小であった。

GSM3時間最大降水量ガイダンスの結果を示す。図の並びは、前頁のGSMと同様である。また、2021年7月10日6時対象の観測の20km格子3時間最大降水量の結果を示す。降水量の単位はいずれもmmである。

前頁のモデル予測から実況に近づける補正がなされていたが、27時間前までの予測降水量は実況に近かったが、全体的に予測降水量は過小であった。

3時間降水量 (MSM vs 解析雨量) (2021年7月10日6時対象)

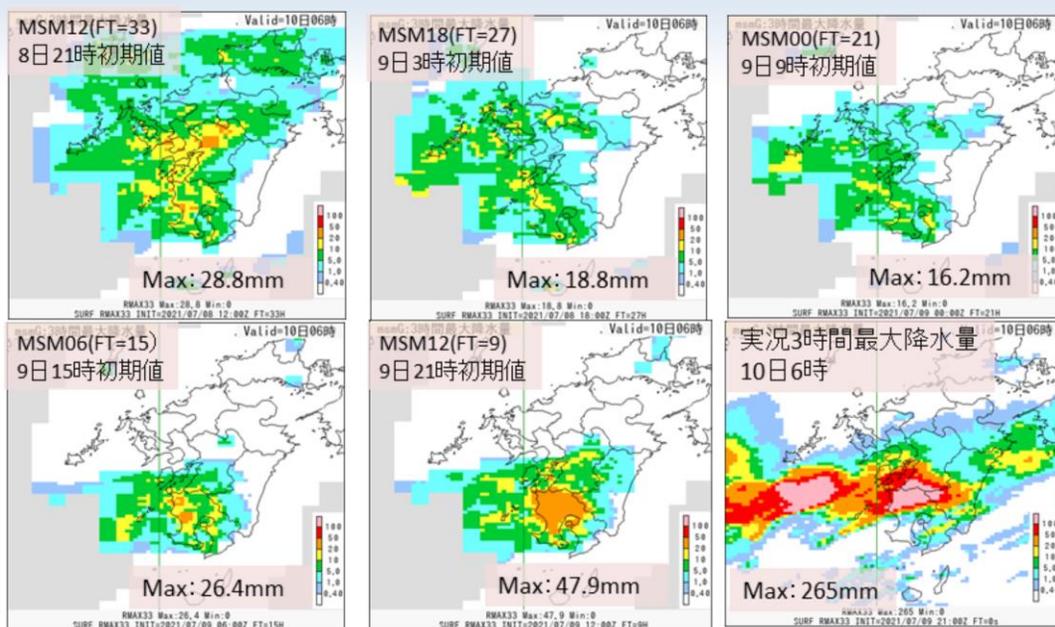


降水分布は18時間前(9日12時初期値予測(図略))から概ね実況並みに表現されていたが、降水量の予測は過小であった。

MSMの3時間降水量について、2021年7月10日6時を対象とした結果を示す。図は、上段の2021年7月8日21時初期値の33時間予報から順番に7月9日21時初期値の9時間予報までの結果を示す。また、2021年7月10日9時対象の解析雨量の結果を示す。降水量の単位はいずれもmmである。

降水分布は18時間前(9日12時初期値予測(図略))から概ね実況並みに表現されていたが、降水量の予測は過小であった。

3時間降水量 (MSM最大降水量ガイダンス vs 実況) (2021年7月10日6時対象)

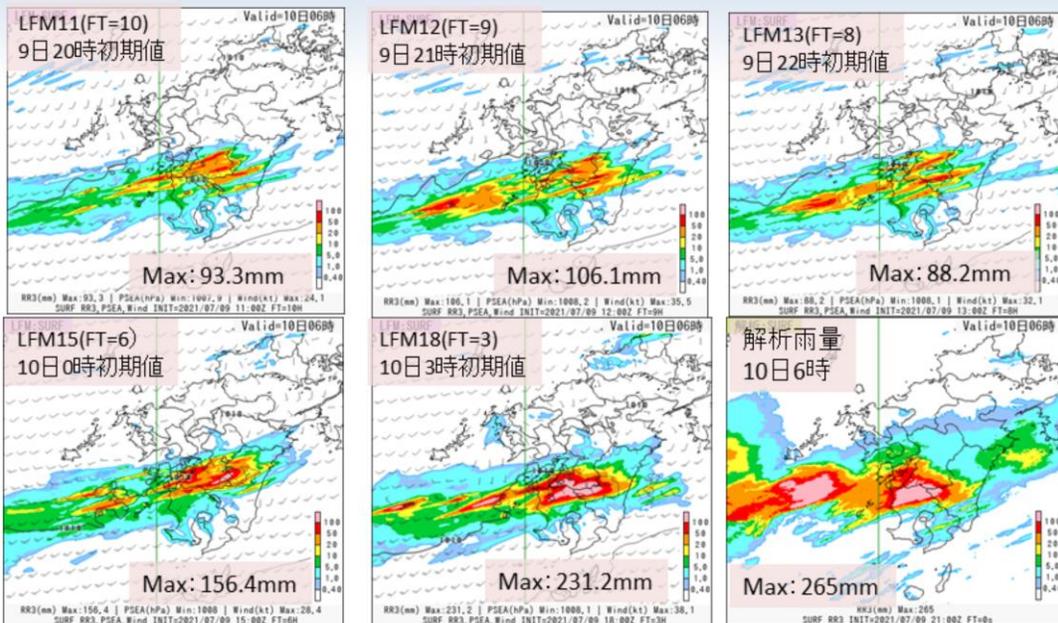


モデル予測から実況に近づける補正がなされていたが、降水量の予測は過小であった。

MSM3時間最大降水量ガイダンスの結果を示す。図の並びは、前頁のMSMと同様である。また、2021年7月10日6時対象の観測の5km格子3時間最大降水量の結果を示す。降水量の単位はいずれもmmである。

前頁のモデル予測から実況に近づける補正がなされていたが、降水量の予測は過小であった。

3時間降水量(LFM vs 解析雨量) (2021年7月10日6時対象)



降水分布は概ね実況並みに表現されていた。降水量の予測は3時間前の予測では実況に近かったが、それ以前は過小であった。

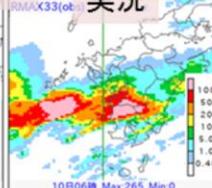
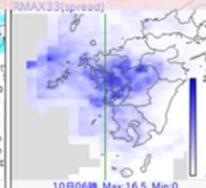
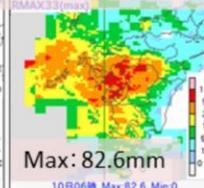
LFMの3時間降水量について、2021年7月10日6時を対象とした結果を示す。図は、上段の2021年7月9日20時初期値の10時間予報から順番に7月10日3時初期値の3時間予報までの結果を示す。また、2021年7月10日6時対象の解析雨量の結果を示す。降水量の単位はいずれもmmである。

降水分布は概ね実況並みに表現されていた。降水量の予測は3時間前の予測では実況に近かったが、それ以前は過小であった。

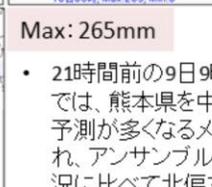
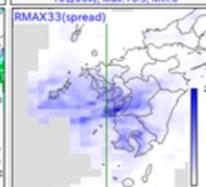
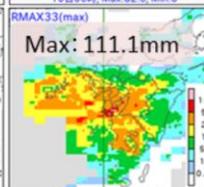
MEPS3時間最大降水量ガイダンス(10日6時対象)

MSM3時間最大降水量G アンサンブル最大 スプレッド(ばらつき)

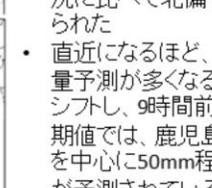
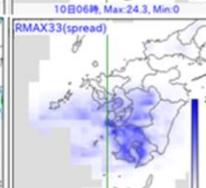
9日9時初期
期値 (FT=21)



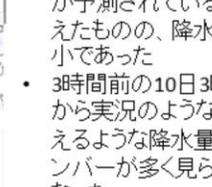
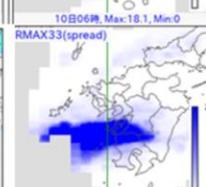
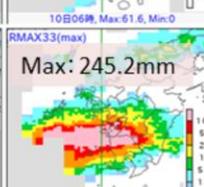
9日15時初
期値 (FT=15)



9日21時初
期値 (FT=9)



10日3時初
期値 (FT=3)



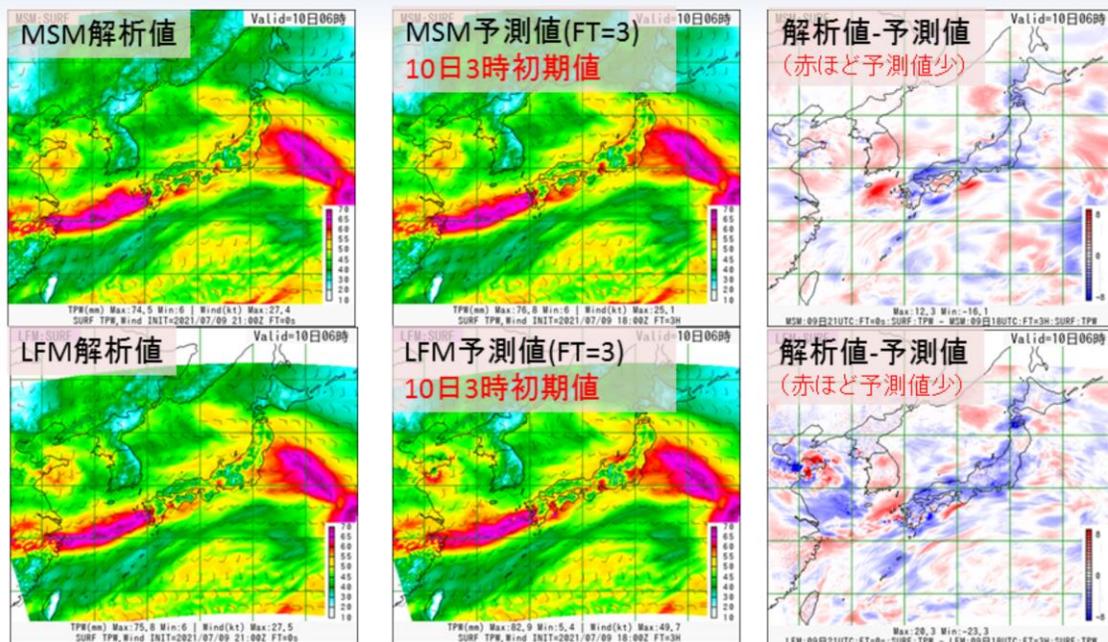
- 21時間前の9日9時初期値予測では、熊本県を中心に降水量予測が多くなるメンバーが見られ、アンサンブル最大では実況に比べて北偏する傾向が見られた
- 直近になるほど、徐々に降水量予測が多くなる地域が南へシフトし、9時間前の9日21時初期値では、鹿児島県薩摩地方を中心に50mm程度の降水量が予測されているメンバーが増えたものの、降水量予測は過小であった
- 3時間前の10日3時初期値予測から実況のような200mmを超えるような降水量を予測したメンバーが多く見られるようになった

2021年7月10日6時を対象としたMEPS3時間最大降水量ガイダンスの結果を示す。右上図が2021年7月10日6時の観測の5km格子3時間最大降水量、左側からMSM3時間最大降水量ガイダンス、MEPS3時間最大降水量ガイダンスメンバー最大値、スプレッド(ばらつき)を示し、上段から下段に向かって、7月9日9時初期値21時間予報、7月9日15時初期値15時間予報、7月9日21時初期値9時間予報および7月10日3時初期値3時間予報の結果をそれぞれ示す。降水量の単位はいずれもmmである。スプレッドは、青色が濃いほどスプレッドが大きいことを示す。

以下の特徴が見られた。

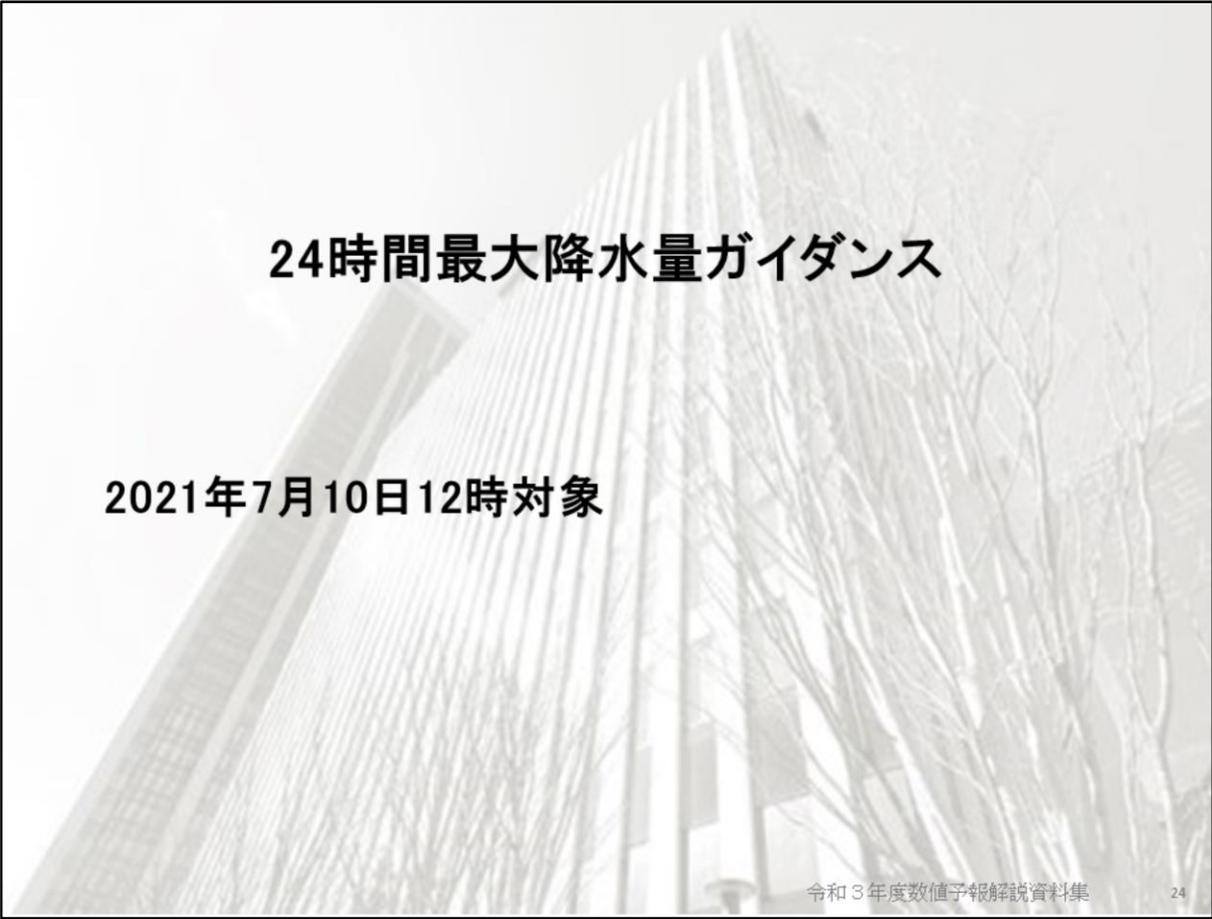
- 21時間前の9日9時初期値予測では、熊本県を中心に降水量予測が多くなるメンバーが見られ、アンサンブル最大では実況に比べて北偏する傾向が見られた
- 直近になるほど、徐々に降水量予測が多くなる地域が南へシフトし、9時間前の9日21時初期値では、鹿児島県薩摩地方を中心に50mm程度の降水量が予測されているメンバーが増えたものの、降水量予測は過小であった
- 3時間前の10日3時初期値予測から実況のような200mmを超えるような降水量を予測したメンバーが多く見られるようになった

MSMとLFMの可降水量の予測と解析値の比較 (2021年7月10日6時)



2021年7月10日3時を対象としたMSM(上段)とLFM(下段)の可降水量の予測と解析値の比較結果を示す。左図が2021年7月10日3時の可降水量の解析値、中央図が3時間前(10日0時)の初期値の予測値、3時間前初期値の予測値と解析値との比較を示す。特徴は以下のとおりである。

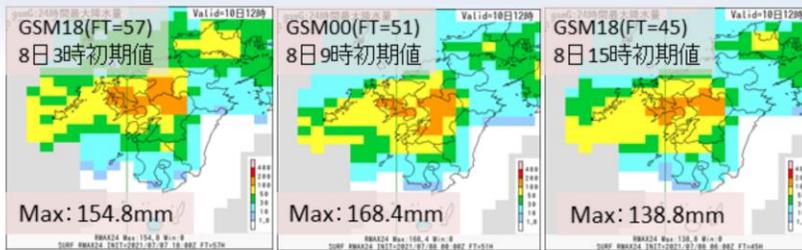
大雨となった後の予測可降水量は解析値に比べて日本列島沿いで多い傾向が見られた(10日3時初期値の降水量予測は実況に近い予測)。ただし、東シナ海では少ない傾向であった。



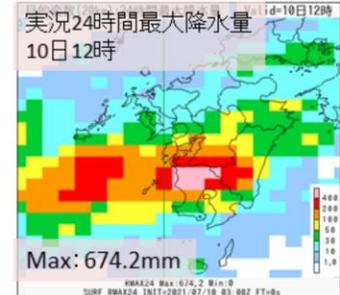
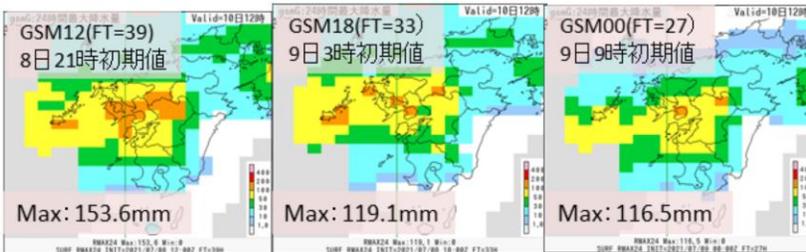
24時間最大降水量ガイダンス

2021年7月10日12時対象

24時間降水量 (GSM最大降水量ガイダンス vs 実況) (2021年7月10日12時対象)



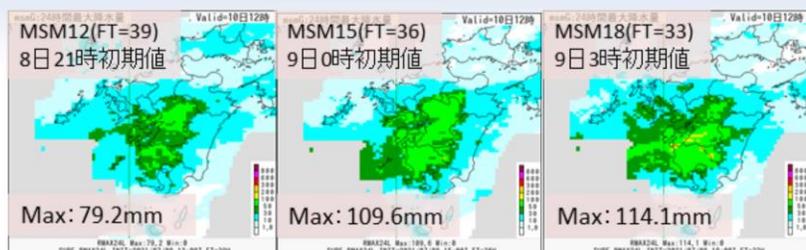
100mm以上の区域(橙色)に着目すると、実況比で過小。降水量の多い地域が九州北部寄りであった。モデルによる3時間降水量の予測が実況に比べて少なく、北偏ぎみであったことが要因の1つと考えられる。



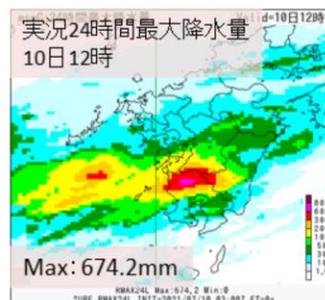
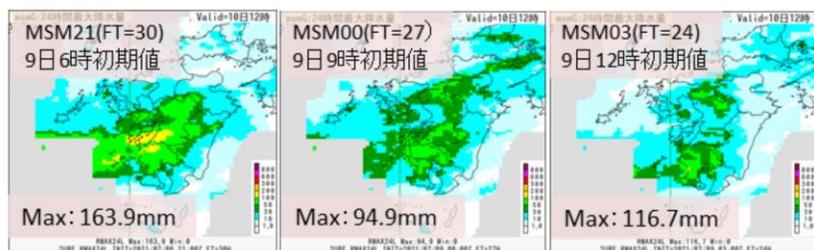
GSM24時間最大降水量ガイダンスの結果を示す。図は、上段の2021年7月8日3時初期値の57時間予報から順番に7月9日9時初期値の27時間予報までの結果を示す。また、2021年7月10日12時対象の観測の20km格子24時間最大降水量の結果を示す。降水量の単位はいずれもmmである。

100mm以上の区域(橙色)に着目すると、実況比で過小であり、降水量の多い地域が九州北部寄りであった。モデルによる3時間降水量の予測が実況に比べて少なく、北偏ぎみであったことが要因の1つと考えられる。

24時間降水量 (MSM最大降水量ガイダンス vs 実況) (2021年7月10日12時対象)



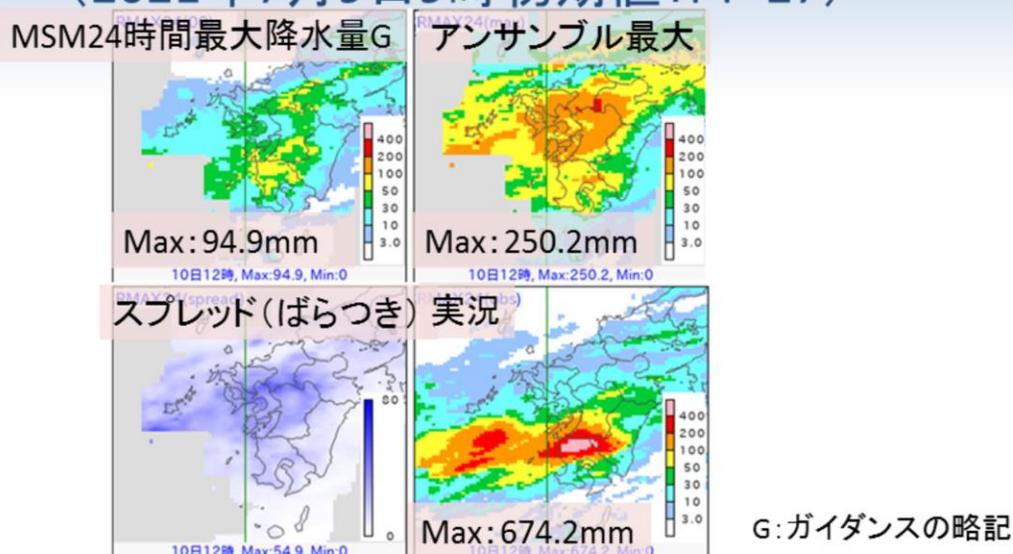
200mm以上の区域(橙色)に着目すると、実況比で過小。モデルによる3時間降水量の予測が実況に比べて少なかったことが原因の1つと考えられる。



MSM24時間最大降水量ガイダンスの結果を示す。図は、上段の2021年7月8日21時初期値の39時間予報から順番に7月9日12時初期値の24時間予報までの結果を示す。また、2021年7月10日12時対象の観測の5km格子24時間最大降水量の結果を示す。降水量の単位はいずれもmmである。

200mm以上の区域(橙色)に着目すると、実況比で過小であった。モデルによる3時間降水量の予測が実況に比べて少なかったことが原因の1つと考えられる。

MEPS24時間最大降水量ガイダンス(10日12時対象) (2021年7月9日9時初期値:FT=27)



熊本県を中心に降水量予測が多くなるメンバー、九州北部に線状の降水量予測を持つメンバーが見られたが、実況のような400mmを超えるような降水量を予測したメンバーは見られず、過小な予測であった。

大雨のポテンシャルの予測ができていたかという観点で、2021年7月10日12時を対象として、2021年7月9日9時初期値27時間予報のMEPS24時間最大降水量ガイダンスの結果を確認する。

図は、上段が右から順にMSM24時間最大降水量ガイダンス、MEPSのアンサンブル最大、下段が右から順にスプレッド(ばらつき)、7月10日12時の観測の5km格子24時間最大降水量を示す。降水量の単位はいずれもmmである。スプレッドは、青色が濃いほどスプレッドが大きいことを示す。

熊本県を中心に降水量予測が多くなるメンバー、九州北部に線状の降水量予測を持つメンバーが見られたが、実況のような400mmを超えるような降水量を予測したメンバーは見られず、過小な予測であった。

鹿児島県の線状降水帯発生事例のまとめ (2021年7月10日)その1

- 3時間降水量
- (GSM・GSM最大降水量ガイダンス)
 - 10日3時および6時対象共に、降水分布は実況に比べ、九州南部だけでなく北部にも表現され、領域としては過大かつ降水量の予測は過小であった
- (MSM・MSM最大降水量ガイダンス)
 - 10日3時および6時対象共に、降水予測分布は12～18時間前から概ね実況並みに表現されていたが、降水量の予測は過小であった
- (LFM)
 - 10日3時および6時対象共に、降水分布は概ね実況並みに表現されていたが、予測降水量は過小であったが、10日6時対象については、予測降水量は3時間前の予測では実況に近かった

2021年7月10日の鹿児島県の線状降水帯発生事例について、このスライドを含む以下4枚のスライドにまとめた。

鹿児島県の線状降水帯発生事例のまとめ (2021年7月10日)その2

- 3時間降水量
- (MEPS最大降水量ガイダンス)
 - 10日3時対象:直近の予測ほど、鹿児島県薩摩地方を中心に50mm程度の降水量が予測されているメンバーが増加したが、**実況のような200mmを超えるような予測降水量のメンバーは見られず、過小な予測であった**
 - 10日6時対象:直近になるほど、徐々に降水量予測が多くなる地域が南へシフトし、9時間前初期値では、鹿児島県薩摩地方を中心に50mm程度の降水量が予測されているメンバーが増えたものの、**降水量予測は過小であった。3時間前初期値予測から実況のような200mmを超えるような降水量を予測したメンバーが多く見られるようになった**

鹿児島県の線状降水帯発生事例のまとめ (2021年7月10日)その3

- 24時間降水量
- (GSM最大降水量ガイダンス)
 - 200mm以上の区域に着目すると、実況比で過小であった。また、降水量の多い地域が九州北部寄りである。モデルによる3時間降水量の予測が実況に比べて少なく、北偏ぎみであったことが要因の1つと考えられる
- (MSMおよびMEPS最大降水量ガイダンス)
 - MEPSガイダンスでは、熊本県を中心に降水量予測が多くなるメンバー、九州北部に線状の降水量予測を持つメンバーが見られたが、実況のような400mmを超えるような降水量を予測したメンバーは見られず、過小な予測であった。MSMガイダンスについても過小な予測であった。モデルによる3時間降水量の予測が実況に比べて少なかったことが原因の1つと考えられる

鹿児島県の線状降水帯発生事例のまとめ (2021年7月10日)その4

- 可降水量の予測と解析値の比較
- (GSM:10日3時対象)
 - 大雨となる前の可降水量の予測は解析値に比べて、東シナ海の前線上で少なかった
- (MSM・LFM:10日3時対象)
 - 大雨となる直前の可降水量の予測は少ない傾向(10日0時以前の初期値降水量予測は実況に比べて過小)
 - 前線とその周辺
 - 日本の南の亜熱帯高気圧内(特に縁辺部)
- (MSM・LFM:10日6時対象)
 - 大雨となった後の可降水量の予測は解析値に比べて日本列島沿いで多い傾向(10日3時初期値の降水量予測は実況に近い予測)。10日3時時点の大雨に関する観測情報が数値予報システムに取り込まれたことが要因の1つと考えられる。東シナ海では可降水量は少ない傾向



第3章 事例解析編

3.2.3 メソ低気圧

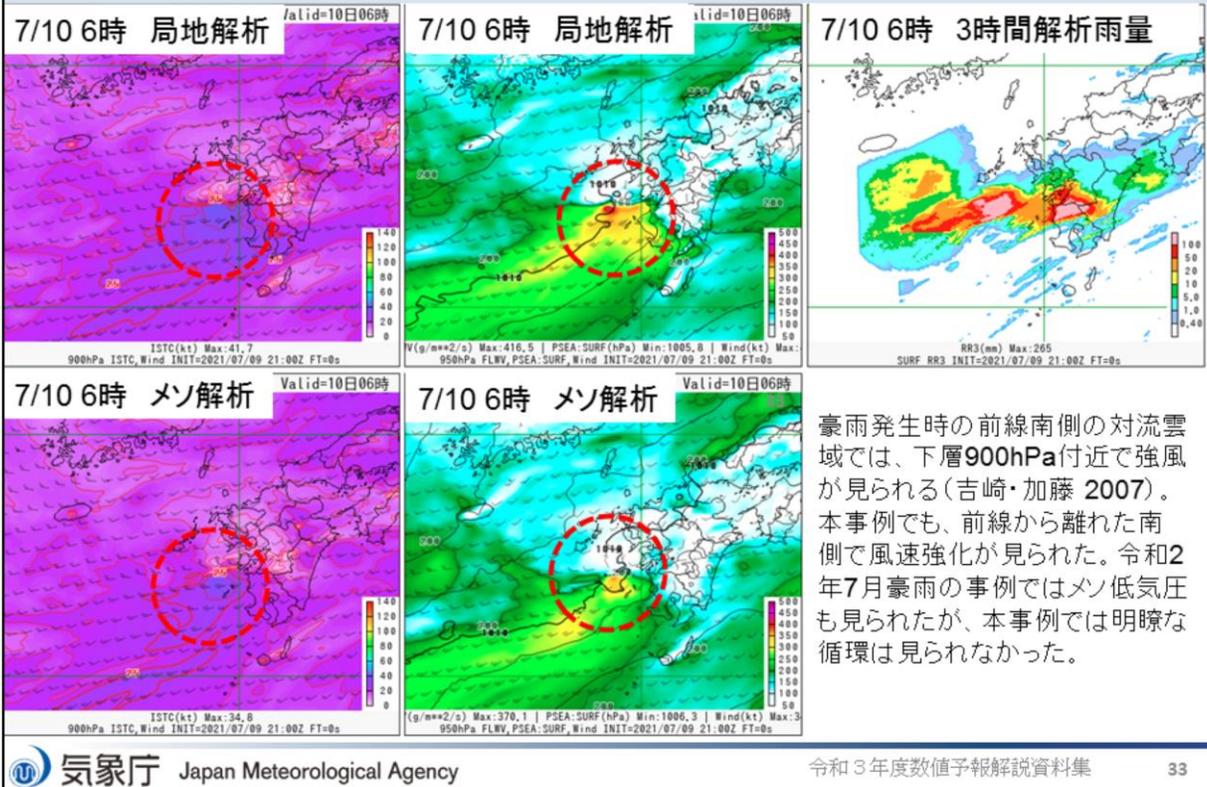
豪雨発生時の前線の南側では、下層900hPa付近で強風が見られる。また、それに伴い、メソ低気圧が形成される。これは、積乱雲が繰り返し発生することで、大量の潜熱エネルギーが積乱雲内に放出されて大気が暖まり、その結果、大気の密度が小さくなるため、下層の気圧が下がることによりメソ低気圧が形成される。このメソ低気圧に吹き込む力によって下層に強風が作り出される(吉崎・加藤 2007)。

メソ低気圧に関して明確な定義はないが、本項では、対象とする擾乱が大きさが200 km程度で、海面更正気圧が周囲に比べて低くかつ反時計回りの風向の変化が見られ、地上風速が10m/s以上のやや強い風を伴っているものをメソ低気圧と呼ぶこととする。

令和2年7月豪雨においても、豪雨発生時にメソ低気圧の存在を確認している(Araki et al. 2021; 気象庁 2021)。

本項では、2021年7月10日6時を対象としたものについて、局地解析およびメソ解析において、適切にメソ低気圧が解析および予測されているか確認する。

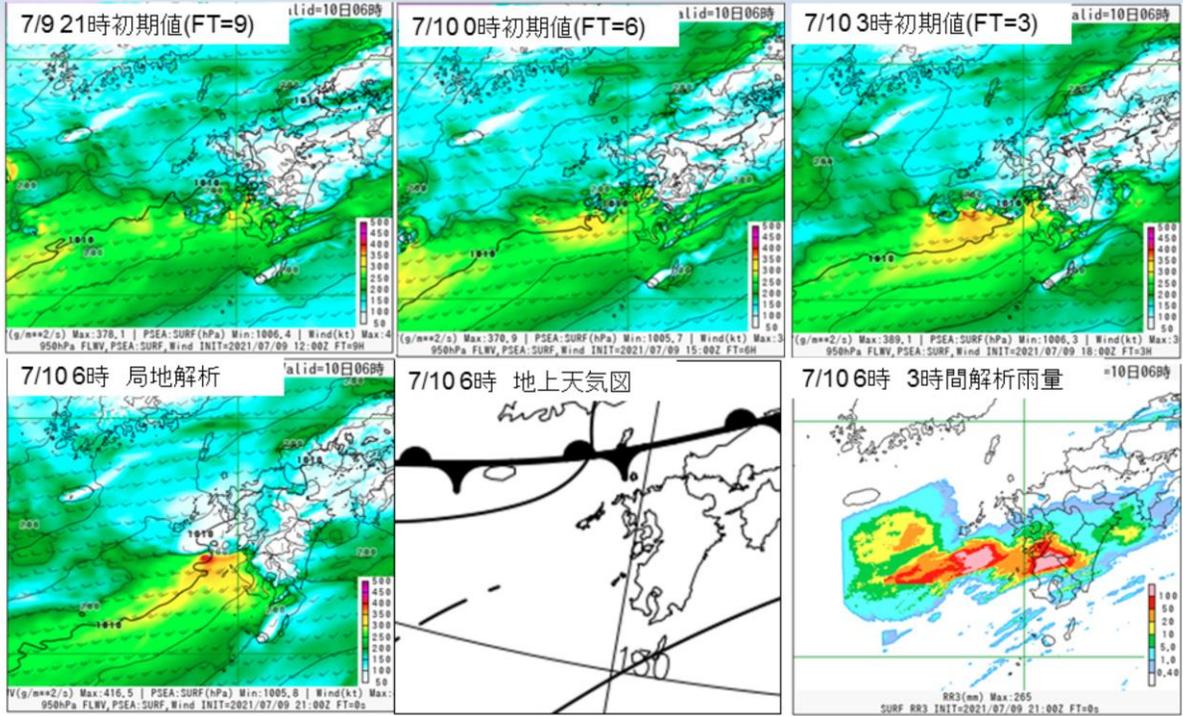
令和3年7月の豪雨事例のメソ低気圧(10日6時対象)



鹿児島県の線状降水帯発生事例に関係するメソ低気圧に関して、局地解析およびメソ解析において、適切に解析されているか確認する。上段が局地解析、下段がメソ解析で、左図は、900hPa風向風速(単位:ノット、風速は塗りつぶし)、中央図は、地上気圧(単位:hPa、コンター)と950hPa水蒸気フラックス(単位:gm-2s-1)と風向風速(単位:ノット)、右図が3時間解析雨量(単位:mm)である。対象日時は、2021年7月10日6時である。

本事例でも、赤点線円で示したように、前線から離れた南側で風速の強化および水蒸気フラックスの極大域(局地解析で約416 gm-2s-1、メソ解析で約370 gm-2s-1)が見られた。しかしながら、メソ低気圧は、令和2年7月豪雨の事例では見られたが、本事例では明瞭な循環は見られず、直前の時間帯では衛星による散乱計海上風観測もなく、メソ・局地モデル予測でも確認できなかった(図略)。

LFMによる水蒸気フラックス強化の予測結果 (2021年7月10日6時対象)



図の上段は、7月10日6時対象としたLFMの海面更正気圧(1hPa毎)と風向風速(矢羽根:単位:ノット)、および水蒸気フラックス(塗りつぶし:単位:gm-2s-1)のFT=3からFT=9までを示す。また、下段左図は、前述のFT=0である。下段中央は、10日6時の地上天気図、下段右図は、10日6時の3時間解析雨量(単位:mm)である。

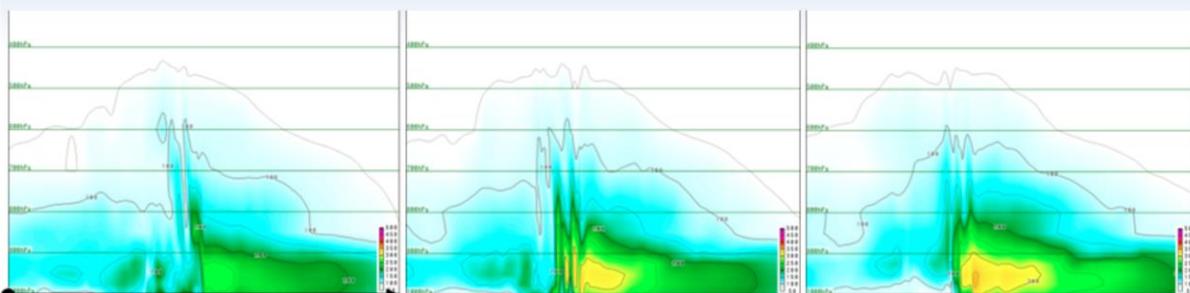
メソ低気圧は、前頁で述べた通り、解析および予測ができなかった。本事例では、前頁のメソ解析では水蒸気フラックスの極大域が、局地解析に比べてかなり小さかったことから、LFMの水蒸気フラックスの予測状況を初期値別に比較することとした。実況に近い降水強度を予測できるようになった10日3時初期値以降において、水蒸気フラックスの強化が予測されていた。

LFMによる水蒸気フラックス強化の予測結果 (2021年7月10日6時対象: 129.3E上の鉛直断面図)

7/9 21時初期値(FT=9)

7/10 0時初期値(FT=6)

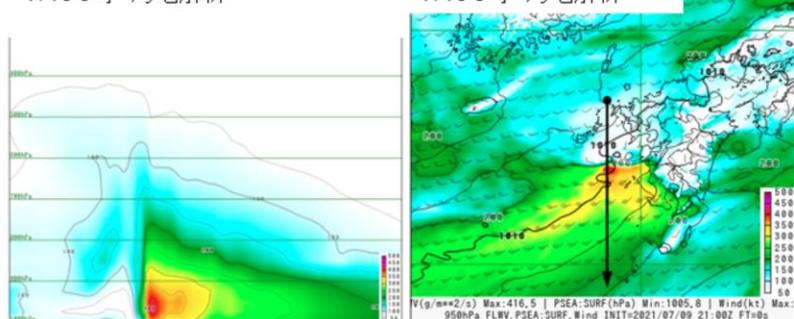
7/10 3時初期値(FT=3)



7/10 6時 局地解析

7/10 6時 局地解析

Valid=10日06時



新しい初期値ほど水蒸気フラックスが強化され、コントラストが明瞭になっていた。

FT=9では水蒸気フラックスは300 gm-2s-1未満となっていたが、FT=3では350 gm-2s-1以上となっていた。

図は、前頁と同じ対象時刻(7月10日6時)のLFMの水蒸気フラックス(単位: gm-2s-1)を、水蒸気フラックスの極大域が存在する九州西方海上について、黒矢印における鉛直断面図として示す。新しい初期値ほど水蒸気フラックスが強化され、コントラストが明瞭になっていた。FT=9では水蒸気フラックスは300 gm-2s-1未満となっていたが、FT=3では350 gm-2s-1以上となっていた。線状降水帯の降水強度を表現できるようになったのがFT=3以前であることを反映している。また、概ね900hPaより上層では、解析・予測共に300 gm-2s-1より大きい水蒸気フラックスがないことが確認でき、下層の水蒸気フラックスの予測変化が大きいことが分かる。

まとめ

- 豪雨発生時の前線の南側では、下層900hPa付近で強風が見られる。また、それに伴い、メソ低気圧が形成される
- 2021年7月10日の令和3年7月の豪雨事例において、MSMやLFMの予測結果等からメソ低気圧の存在について確認することができなかった
- 水蒸気フラックスが強化されていることは確認できたことから、少なくとも水蒸気フラックスの適切な予測が必要であることは示唆される

2021年7月10日の令和3年7月の豪雨事例でのメソ低気圧に関して、まとめた。

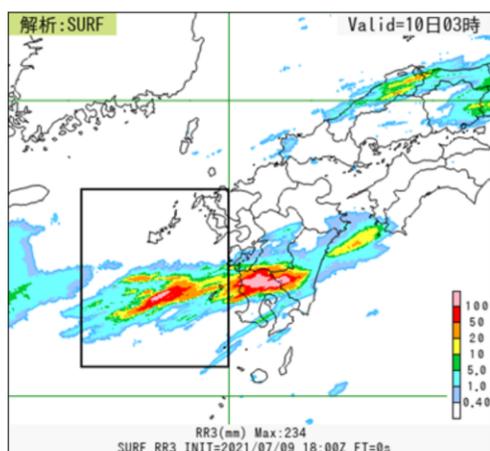


第3章 事例解析編

3.2.4 環境場

豪雨をもたらした環境場

GSMおよびMSMの気温・水蒸気混合比・水平風速・水蒸気フラックスの検証領域での鉛直プロファイル(期間平均と平均場の差分)を予報時間(FT)ごとに示す。



検証領域(矩形領域)
127.5E - 130.0E, 30.5N - 33.5N

令和3年7月の豪雨事例

- 平均場:2016年~2020年の7月上旬
 - ・ GSM解析値:7月1日 9時 - 11日 3時
 - ・ MSM解析値:7月1日 9時 - 11日 6時
- 期間平均:2021年7月8日~7月10日
 - ・ GSM予報値:7月8日 9時 - 11日 3時
 - ・ MSM予報値:7月8日 9時 - 11日 6時

令和2年7月の豪雨事例

- 平均場:2016年~2020年の7月上旬
- 期間平均:2020年7月3日~7月5日
 - ・ GSM予報値:7月3日 9時 - 6日 3時
 - ・ MSM予報値:7月3日 9時 - 6日 6時

令和3年7月の豪雨事例の環境場について、気温(単位:°C)・水蒸気混合比(単位:g/kg)・水平風速(単位:m/s)・水蒸気フラックス(単位:gm-2s-1)がどれくらい予測できていたかを確認するために、期間平均値の平均場からの差分について、GSMおよびMSMの鉛直プロファイルかつ予報時間(FT)別に示し、令和2年7月豪雨(熊本・鹿児島での大雨特別警報事例)と比較する。この令和2年7月豪雨事例は、本事例に近い場所で発生したことから比較対象とした。検証領域は、九州で豪雨がもたらされていることから、その上流にあたる九州西海上の東経127.5度~130.0度、北緯30.5度~33.5度の矩形領域とした。平均場の期間と令和3年7月の豪雨事例および令和2年7月豪雨(熊本・鹿児島での大雨特別警報事例)の期間は以下に示すとおりである。

平均場:

GSM解析値の期間平均:2016年~2020年の7月上旬(7月1日 9時~11日 3時)

MSM解析値の期間平均:2016年~2020年の7月上旬(7月1日 9時~11日 6時)

令和3年7月の豪雨事例(2021年 7月8日~10日)

GSM:7月8日 9時~7月11日 3時、MSM:7月8日 9時~11日 6時

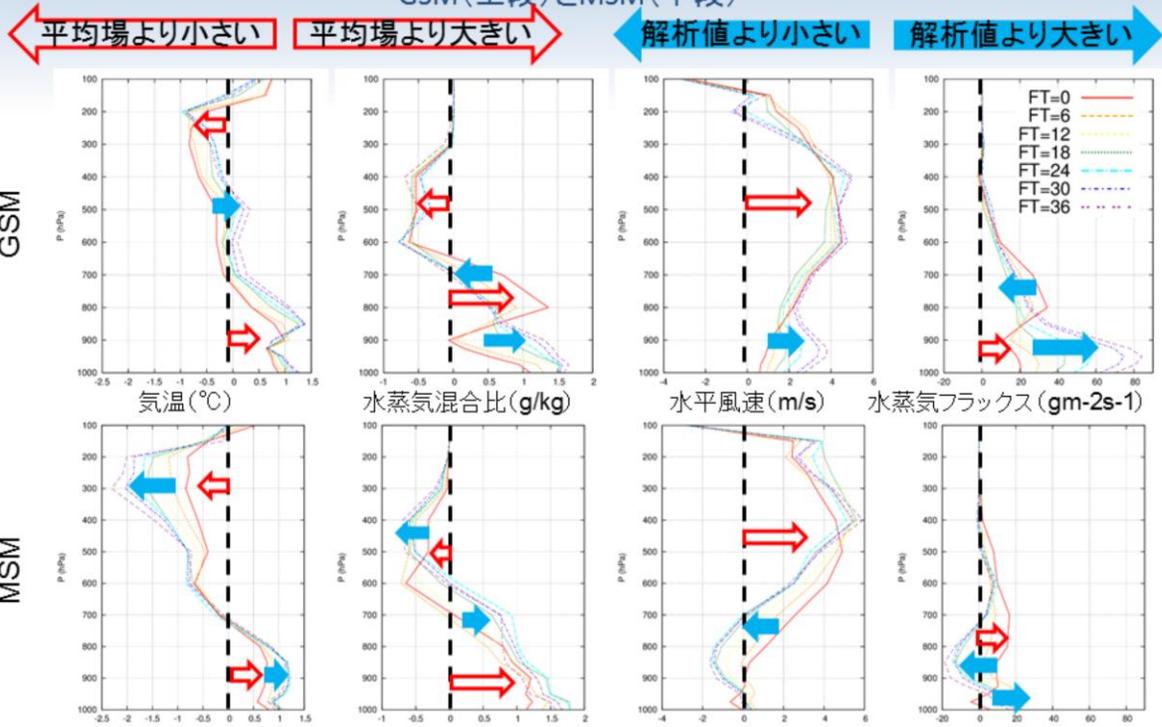
令和2年7月豪雨

2020年 7月3日~5日: 熊本・鹿児島での大雨特別警報事例期間

GSM:7月3日 9時~7月6日 3時、MSM:7月3日 9時~7月6日 6時

令和3年7月の豪雨事例 各要素の鉛直プロファイル(平均場との差分)

GSM(上段)とMSM(下段)



令和3年7月の豪雨事例の気温(単位:°C)・水蒸気混合比(単位:g/kg)・水平風速(単位:m/s)・水蒸気フラックス(単位:gm-2s-1)の平均場からの差分鉛直プロファイルを示す。各グラフは令和3年7月の豪雨事例の期間中の解析値(FT=0)および6時間~36時間予測値(FT=6~FT=36)を示す。以下に特徴を示す。

①気温

- ・解析値および予測値共に200~600hPaまで平均場比で低い傾向、800hPaから下層で高い
- ・GSMでは300~800hPaと地上付近で予測値は解析値比で高い
- ・MSMでは200~600hPaで予測値は解析値比で低く、800hPaから下層で高い

②水蒸気混合比

- ・解析値では400~600hPaで平均場比で少なく、GSMでは700~800hPaと地上付近、MSMでは800hPaから下層で多い
- ・GSMでは700~800hPaで予測値は解析値比で少なく、900hPaから下層は多い傾向がみられる
- ・MSMでは300~500hPaで予測値は解析値比で少なく、600hPaから下層は多い傾向がみられる

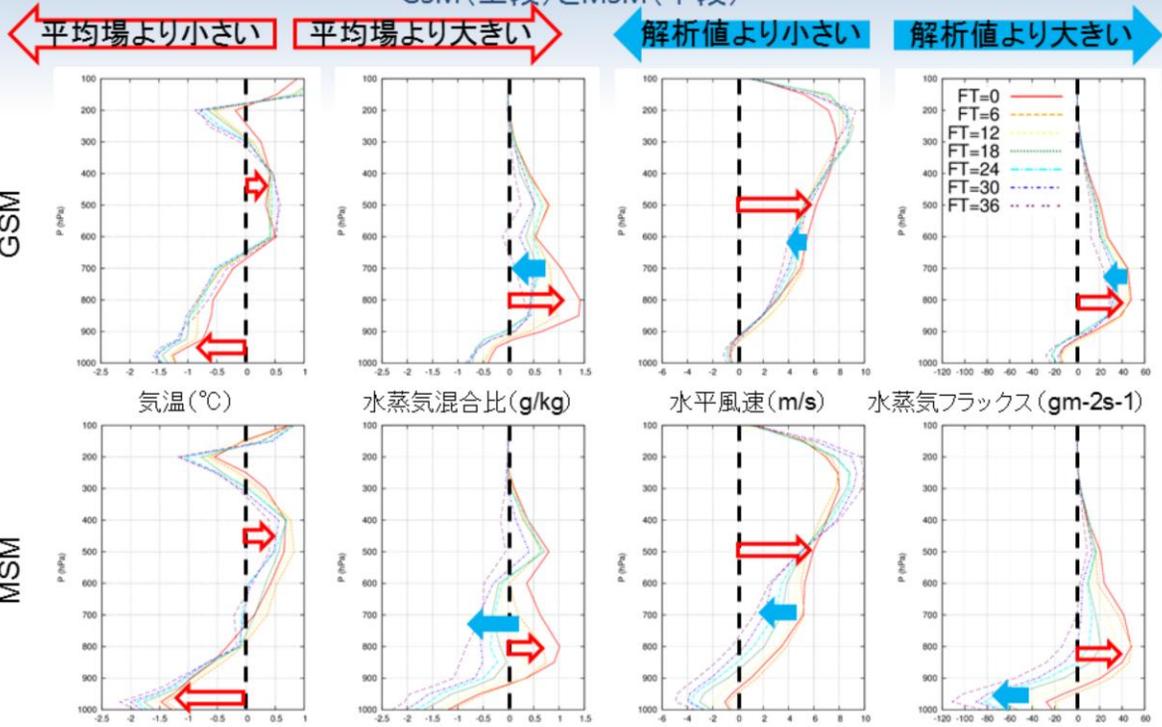
③水平風速

- ・解析値ではGSMでは200~900hPaで平均場比で強く、MSMでは200~800hPaで強い
- ・GSM予測値では、900hPaから下層で解析値比で風速が強い傾向がみられる
- ・MSM予測値では、500~900hPaで解析値比で風速が弱い

④水蒸気フラックス

- ・解析値ではGSMでは600hPaから下層で平均場比で多く、MSMでは500~900hPaで多い
- ・GSM予測値では700~800hPaで解析値比で少なく、900hPaから下層で多い
- ・MSM予測値では500~900hPaで解析値比で少なく、地上付近で多い傾向がみられる

令和2年7月豪雨事例(熊本・鹿児島での大雨特別警報事例)
各要素の鉛直プロファイル(平均場との差分)
GSM(上段)とMSM(下段)



令和2年7月豪雨(熊本・鹿児島での大雨特別警報事例)の気温(単位:°C)・水蒸気混合比(単位:g/kg)・水平風速(単位:m/s)・水蒸気フラックス(単位:gm-2s-1)の平均場からの差分鉛直プロファイルをGSMおよびMSM別に示す。各グラフは令和2年7月豪雨期間中の解析値(FT=0)および6時間~36時間予測値(FT=6~FT=36)を示す。以下に特徴を示す。

①気温

- ・解析値および予測値共に300~600hPaまで平均場比で高く、800hPaから下層では低い

②水蒸気混合比

- ・解析値では400~900hPaで平均場比で多い
- ・GSMでは400~900hPaの予測値は解析値比で少ない
- ・MSMでは600hPaから下層の予測値は解析値比で少ない

③水平風速

- ・解析値および予測値共に800hPaから上層で平均場比で強い
- ・GSM予測値では、400~700hPaで解析値比で風速が弱い傾向がみられる
- ・MSM予測値では、FT=6を除き500hPaより下層で解析値比で風速が弱い

④水蒸気フラックス

- ・解析値では400~800hPaより下層で平均場比で多い
- ・GSM予測値では600~800hPaで解析値比で少ない
- ・MSM予測値ではFT=6を除き、600hPaより下層で解析値比で少ない

まとめ

	令和3年7月の豪雨事例	令和2年7月豪雨 (熊本・鹿児島での大雨特別警報事例)
気温	解析値、予測値共に200～600hPaまで平均場比で低い傾向、800hPaから下層では高い GSMでは300～800hPaと地上付近で予測値は解析値比で高い MSMでは200～600hPaで予測値は解析値比で低く、800hPaから下層で高い	解析値および予測値共に300～600hPaまで平均場比で高く、800hPaから下層では低い
水蒸気混合比	解析値では400～600hPaで平均場比で少なく、GSMでは700～800hPaと地上付近、MSMでは800hPaから下層で多い GSMでは700～800hPaで予測値は解析値比で少なく、900hPaから下層で多い MSMでは300～500hPaで予測値は解析値比で少なく、600hPaから下層で多い	解析値では400～900hPaで平均場比で多い GSMでは400～900hPaの予測値は解析値比で少ない MSMでは600hPaから下層の予測値は解析値比で少ない
水平風速	解析値ではGSMでは200～900hPaで平均場比で強く、MSMでは200～800hPaで平均場比で強い GSM予測値では、900hPaから下層で解析値比で風速が強い傾向がみられる MSM予測値では、500～900hPaで解析値比で風速が弱い	解析値、予測値共に800hPaから上層で平均場比で強い GSM予測値では400～700hPaで解析値比で風速が弱い MSM予測値では、FT=6を除き、500hPaより下層で解析値比で風速が弱い
水蒸気フラックス	解析値ではGSMでは600hPaから下層で平均場比で多く、MSMでは500～900hPaで多い GSM予測値では700～800hPaで解析値比で少なく、900hPaから下層で多い MSM予測値では500～900hPaで解析値比で少なく、地上付近で多い傾向がみられる	解析値では400～800hPaより下層で平均場比で多い GSM予測値では600～800hPaで解析値比で少ない MSM予測値ではFT=6を除き、600hPaより下層で解析値比で少ない



令和3年7月の豪雨事例の環境場の違いについて、令和2年7月豪雨の熊本・鹿児島での大雨特別警報事例と比較した。その結果を表にまとめた。以下に簡単に特徴を述べる。

共通点としては、大気中層付近の水蒸気フラックスが解析値比で少ないことが挙げられる(GSMでは700～800hPa付近、MSMでは600～900hPa)。

一方で、令和3年7月の豪雨事例では、豪雨時には見られない以下の特徴が見られた。

気温場では、令和2年7月豪雨の時は600hPaから上層では平均場比で高く、下層で低い状態であったが、令和3年7月の豪雨事例では、その逆となっていた。水蒸気混合比を見ると、700hPaから下層で平均場に比べて多いことは共通であったことから、令和2年7月豪雨時と比べて、大気の状態は不安定であったことが示唆される。

その他は、以下のとおりである。

- ・GSM、MSMの水蒸気混合比予測値が800～900hPaから下層で解析値より多い傾向
- ・GSMの風速予測値が900hPaから下層で解析値比で強い傾向
- ・GSM、MSMの水蒸気フラックスの予測値が900hPaから下層あるいは地上付近で多い傾向



第3章 事例解析編

3.2.5 まとめ

令和3年7月の豪雨事例の数値予報の結果のまとめ (その1)

- 鹿児島県の線状降水帯発生事例
 - 3時間降水量予測
 - GSMとGSMガイダンス: 過小
 - MSMとMSMガイダンス: 過小
 - LFM: 過小(10日6時対象については、予測降水量は3時間前の予測では実況に近い)
 - MEPS最大降水量ガイダンス: 過小(10日6時対象については、3時間前初期値予測から実況のような200mmを超えるような降水量を予測したメンバーが多く見られるようになった)
 - 24時間降水量予測
 - GSMガイダンス: 過小
 - MSMとMEPSガイダンス: 過小

第3.2.2項から第3.2.4項にかけて述べた、令和3年7月の豪雨事例の数値予報結果について、このスライドを含む以下3枚のスライドにまとめた。

令和3年7月の豪雨事例の数値予報の結果のまとめ (その2)

- 鹿児島県の線状降水帯発生事例(続き)
 - 可降水量の予測と解析値の比較
 - GSM: 東シナ海の前線上で予測可降水量が少なかった
 - MSM・LFM: 10日3時対象: 大雨となる直前の可降水量の予測は少ない傾向
 - 前線とその周辺
 - 日本の南の亜熱帯高気圧内(特に縁辺部)
 - MSM・LFM: 10日6時対象: 大雨となった後の可降水量の予測は解析値に比べて日本列島沿いで多い傾向(10日3時初期値の降水量予測は実況に近い予測)。東シナ海では可降水量は少ない傾向

令和3年7月の豪雨事例の数値予報の結果のまとめ (その3)

- メソ低気圧
 - メソ低気圧の存在について確認することができなかった
 - 水蒸気フラックスが強化されていることは確認できたことから、少なくとも水蒸気フラックスの適切な予測が必要であることは示唆される
- 環境場
 - 令和2年7月豪雨の熊本・鹿児島での大雨特別警報事例と比較
 - (共通点)
 - 大気中層付近の水蒸気フラックスが解析値比で少ない
 - (相違点)
 - 大気の状態は不安定
 - GSM、MSMの水蒸気混合比予測値が800～900hPaから下層で解析値より多い傾向(平均場比でも多い)
 - GSMの風速予測値が900hPaから下層で解析値比で強い傾向
 - GSM、MSMの水蒸気フラックスの予測値が900hPaから下層あるいは地上付近で多い傾向

参考文献

- Araki, K., T. Kato, Y. Hirockawa and W. Mashiko, 2021: Characteristics of Atmospheric Environments of Quasi-Stationary Convective Bands in Kyushu, Japan during the July 2020 Heavy Rainfall Event. SOLA, 17, 8–15.
- 気象庁 2021: 令和2年7月豪雨の数値予報の結果. 令和2年度数値予報解説資料集, 気象庁情報基盤部, 28-35.
- 吉崎正憲, 加藤輝之, 2007: 豪雨・豪雪の気象学. 応用気象学シリーズ4. 朝倉書店, 187pp.