

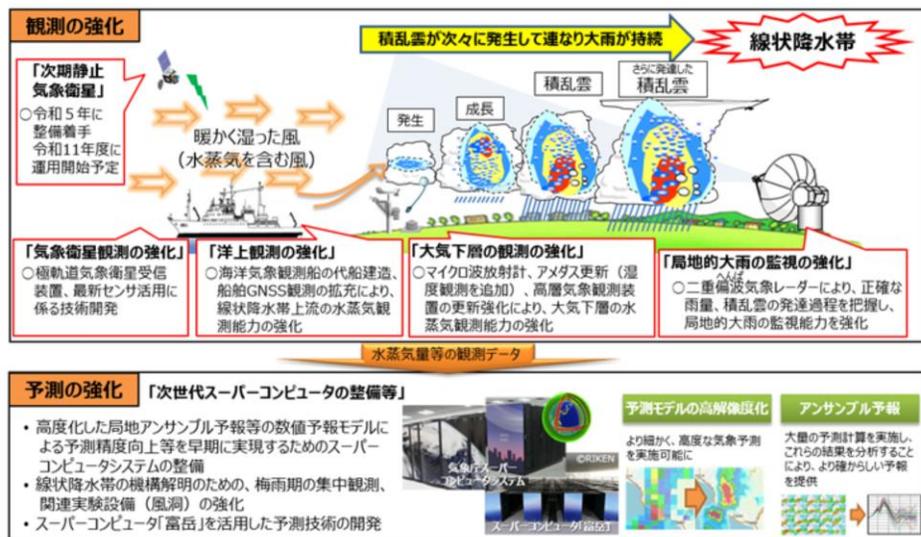


第2章 応用編

2.8 数値予報システムにおける 線状降水帯予測精度向上の取組

線状降水帯の予測精度向上に向けた取組 (観測・予測の強化)

線状降水帯は、現状の観測・予測技術では、正確な予測が困難なため、水蒸気観測等の強化、強化した気象庁スーパーコンピュータや「富岳」を活用した予測技術の開発等を進め、速やかに防災気象情報の高度化に反映し、住民の早期避難に資する情報を提供する。



(気象庁HPより)

https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/jma_suigai/jma_suigai.html

気象庁では、線状降水帯の予測精度向上に向けた取組の強化・加速化として、「観測の強化」、「予測の強化」、「情報の改善」に関する取組を進めている。本節では、多くの取組のうち、水蒸気観測データの数値予報への利用開発と数値予報モデルの改良について紹介する。「観測の強化」としては、「アメダスへの湿度計導入」、「気象レーダーの更新強化」、「洋上の水蒸気等の観測の強化」、「マイクロ波放射計の整備等」、「高層気象観測の強化」、「気象衛星観測の強化」に取り組んでいる。「予報の強化」としては、「スーパーコンピュータ「富岳」を活用した予測技術の開発」に取り組んでいる。

線状降水帯の予測精度向上の強化・加速化に向けた取組状況

令和5年度も引き続き、水蒸気観測等の強化、強化した気象庁スーパーコンピュータや「富岳」を活用した予測技術の開発等を進め、線状降水帯の予測精度を向上するとともに、防災気象情報を充実し、住民の早期避難、地域の防災対応につなげる。

観測の強化 観測の整備の強化及び新規観測データを活用した監視・予測の強化

「アメダスへの湿度計導入」

- 令和4年度までに274地点に整備済み。令和5年度は159地点に整備。
- 令和4年度末にメソ・局地解析で利用開始(本資料集2.4節)。

「気象レーダーの更新強化」

- 令和4年度までに全20地点中10地点で二重偏波レーダーに更新済み。
- 令和5年度は沖縄・松江・新潟・名瀬を二重偏波レーダーに更新(沖縄は4月に更新済み)。
- 随時、メソ・局地解析での反射強度及びドップラー速度データの品質改善を確認し利用開始。

「洋上の水蒸気等の観測の強化」

- 令和4年度までに東シナ海～西日本太平洋側を巡航する大型の民間船舶10隻にGNSS水蒸気観測装置を整備完了。
- 機動的な気象観測を担う海洋気象観測船「凌風丸」の竣工(令和5年度末)。
- 令和3年8月にメソ解析で気象庁観測船および海上保安庁測量船に搭載されたGNSS水蒸気観測装置から得られる可降水量データの利用開始。令和4年度に民間船舶での利用開始。
- 令和4年度末にメソ解析で可降水量データの改良、局地解析で利用開始(本資料集2.4節)。

「マイクロ波放射計の整備」

- 令和4年度までに西日本及び太平洋南側沿岸域の17箇所に設置完了。
- 令和4年7月にメソ解析の試験運用での利用開始。令和5年度末にメソ・局地解析の本運用での利用開始予定(本節)。

「次期静止気象衛星」

- 令和4年度に整備に着手、令和11年度の運用開始を目指す。

気象レーダー



海洋気象観測船「凌風丸」



次期静止気象衛星



マイクロ波放射計

予測の強化 スーパーコンピュータの利用及び数値予報モデルの高度化

「スーパーコンピュータ『富岳』を活用した開発」

- 開発中の数値予報モデルによる日本全域を対象としたリアルタイムシミュレーション実験を6～10月に実施。(本節)
- 数値予報モデルの精度の改善に関する大学や研究機関との連携を進める。

「気象庁スーパーコンピュータシステムの利用、数値予報モデル改良による予測精度向上」

- 令和5年3月に数値予報モデルの改良。(本節)
- 令和5年3月に導入した線状降水帯予測スーパーコンピュータを利用し、水平解像度2kmの数値予報モデル(予報時間を従来の10時間から18時間に延長した局地モデル)の運用開始(令和5年度末)。(本節)
- ⇒ 令和6年から「県単位での半日前からの予測」を開始。

水蒸気等の観測データ

スーパーコンピュータ「富岳」



線状降水帯予測スーパーコンピュータ

(令和5年6月7日 線状降水帯予測精度向上ワーキンググループ(第6回)資料1より)赤字で加筆



線状降水帯の予測精度向上に向けた取組状況のうち、数値予報での取組状況を赤字で示す。「アメダスへの湿度計導入」について、令和4年度末にメソ・局地解析で利用を開始した。「気象レーダーの更新強化」について、更新された二重偏波レーダーに対して、メソ・局地解析で利用している反射強度及びドップラー速度のデータ品質の改善を確認し、随時利用開始している。「洋上の水蒸気等の観測の強化」について、令和3年8月にメソ解析で気象庁観測船および海上保安庁測量船に搭載されたGNSS水蒸気観測装置から得られる可降水量データの利用を開始した。令和4年度には民間船舶にもGNSS水蒸気観測装置が搭載され、随時それから得られる可降水量データの利用を開始した。令和4年度末にメソ解析で可降水量データの利用法の改良し、同時に局地解析での利用を開始した(本資料集2.4節)。「マイクロ波放射計の整備」について、令和4年7月にメソ解析で試験環境での利用を開始し、令和5年度末にメソ・局地解析で利用開始する予定である。「スーパーコンピュータ『富岳』を活用した開発」について、令和4年に引き続き、令和5年度でも1km LFMでのリアルタイムシミュレーション実験を実施した。「気象庁スーパーコンピュータシステムの利用、数値予報モデル改良による予測精度向上」について、令和5年3月に数値予報モデルの改良、令和5年3月に導入した線状降水帯予測スーパーコンピュータを利用し、令和5年度末に2km LFMの現行10時間予報を18時間予報へ延長して運用開始する予定である。

地上設置型マイクロ波放射計の整備

- 線状降水帯を引き起こす幅数百キロメートル規模の水蒸気の流入を捉えるため、水蒸気の高度分布を測定可能なマイクロ波放射計を令和4年度までに西日本及び太平洋南側沿岸域の17箇所に設置完了。
- 上空の風を測定しているwindプロファイラ観測点と併設し、水蒸気の流入を正確に捉える。
- 線状降水帯メカニズム解明に利用するとともに、実況監視にも最大限活用。



マイクロ波放射計

<観測データの利用について>

- 令和4年度中に計17か所設置完了し、予報現業での実況監視等に利用開始。
- 数値予報での利用については、試験環境の下で可降水量のデータ同化をリアルタイムで実施し、データ同化の結果を確認した後、令和5年度末までに利用を開始する。



水蒸気観測網

地図出典：地理院地図（加工して利用）

（令和5年6月7日 線状降水帯予測精度向上ワーキンググループ（第6回）資料1より）

線状降水帯の予測精度向上に向けた取組状況のうち、「観測の強化」として「マイクロ波放射計の整備」について説明する。線状降水帯を引き起こす幅数百キロメートル規模の水蒸気の流入を捉えるため、水蒸気の高度分布を測定可能な地上設置型マイクロ波放射計の整備を進めて、令和4年7月に名瀬に整備された後、令和4年度末までに右図の17地点に整備が完了した。随時、実況監視等に利用している。

地上設置型マイクロ波放射計の利用方法

- 大気からのマイクロ波の輝度温度を測定し、気温や水蒸気の鉛直プロファイルを得るための受動型機器。
- 測定要素
 - 輝度温度14ch(水蒸気に感度:22.24, 23.04, 23.84, 25.44, 26.24, 27.84, 31.40GHz
気温に感度:51.26, 52.28, 53.86, 54.94, 56.66, 57.30, 58.00 GHz)
 - 輝度温度からのリトリーブ物理量(気温・水蒸気の鉛直プロファイル、可降水量、鉛直積算液水量等)
 - 地上気象要素(気温、気圧、相対湿度、感雨等)
 - 赤外放射(9.6-11.5 μm) 等々
- 測定間隔:最短1秒周期
 - 10分毎に平均されたものを利用
- 特徴
 - 時間・空間(鉛直方向)的に高分解能。ただし、降水時は品質が悪化する。
- 数値予報での利用方法
 - 「名瀬」に設置されたマイクロ波放射計のリアルタイムデータ取得を令和4年7月2日から開始。
 - 令和4年7月15日から、マイクロ波放射計可降水量データを試験的にリアルタイムで同化し、データ品質と予測への影響を確認。
 - 令和4年度末に計17か所の設置が完了。令和5年度末にメソ・局地解析で利用開始予定。

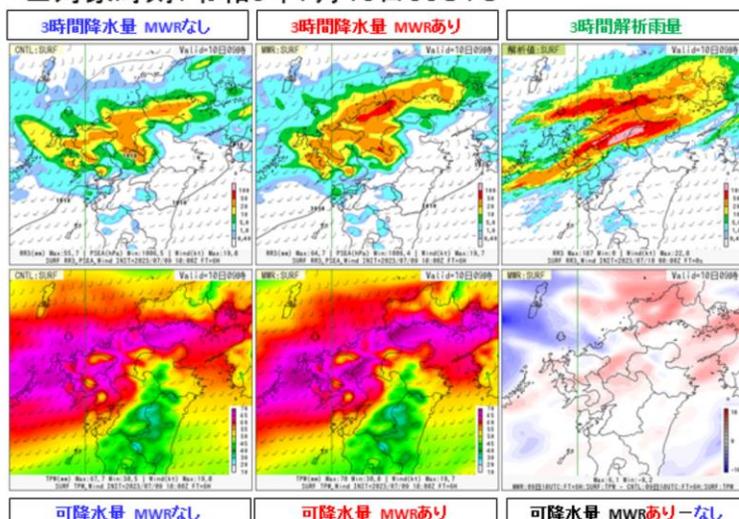
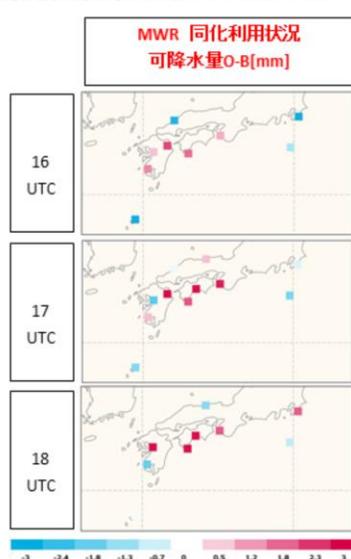
地上設置型マイクロ波放射計は、大気からのマイクロ波の輝度温度を測定し、気温や水蒸気の鉛直プロファイルを得るための受動型機器である。観測した輝度温度を基に、気温、水蒸気の鉛直プロファイル、可降水量などの物理量を推定値(リトリーブ値)として求めることが可能である。時間、空間的に高分解能であることが特徴であるが、測定原理上、降水時には観測データの品質が悪化することに注意が必要となる。数値予報システムにおいては、なるべく早期のデータ利用を目指し、まずメソ解析において、地上GNSS等での同化利用実績がある可降水量データの利用に向けて開発を進めている。令和4年7月15日から試験的にリアルタイムでメソ解析へ同化し、予測への影響を確認しつつ、随時追加された地点に対して、同化利用に向けた開発を進めている。令和4年度末に計17か所への設置が完了したことにより、局地解析への同化利用の開発を進めて、令和5年度末にメソ・局地解析で利用を開始する予定である。

地上設置型マイクロ波放射計の 同化による降水表現の改善事例

メソ解析での地上設置型マイクロ波放射計(MWR)可降水量データの利用例

■解析時刻: 7月9日18UTC

■対象時刻: 令和5年7月10日00UTC



線状降水帯の表現が改善傾向。

地上設置型マイクロ波放射計の同化による降水表現の改善事例を示す。令和5年7月9日18UTCのメソ解析でマイクロ波放射計可降水量の利用に有無による予測結果を示す。

左図は解析時刻の同化ウィンドウで利用したマイクロ波放射計可降水量のO-B(観測値と第一推定値の差)の分布、右図は6時間予測での前3時間降水量(上段)と可降水量(下段)の比較結果である。この時間帯では、四国から九州にかけての多くの地点で、マイクロ波放射計可降水量の観測値は第一推定値よりも多かった。それが解析値に反映されることにより、九州北部で発生した線状降水帯域での可降水量が増大し、降水量が多くなったと考えられる。

このように、マイクロ波放射計を広範囲に用いることで、線状降水帯の表現が改善傾向であることが示された。

令和4年度末の改良(メソモデル、局地モデル、メソアンサンブル予報システム)(1)

※令和5年3月7日報道発表資料より

(1) 観測データの利用法改良、新規利用開始

- ・アメダス湿度 (メソ・局地：利用開始)
- ・船舶搭載GNSS観測装置による水蒸気観測データ(可降水量) (メソ：利用法改良、局地：利用開始)
- ・欧州の極軌道衛星に搭載されたマイクロ波散乱計による海上風データ (局地：利用開始)

降水予測の改善を達成
- 観測データの高度利用など、今後の線状降水帯予測精度向上に向けた更なる開発にもつながる成果 -

●改良項目の例

・強化した水蒸気観測データの利用拡充 (メソ、局地モデル) アメダス湿度計



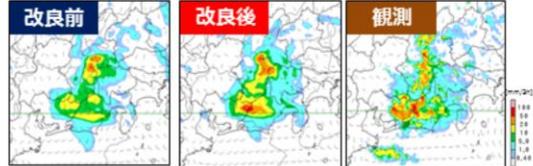
地上付近および洋上の水蒸気量に関する、より多くの情報を数値予報で利用

船舶GNSS



●改良の効果

・事例：夏季不安定降水の予測改善 (メソモデル) 令和3年7月13日21時を対象とした6時間予測の3時間降水量



アメダス湿度計データ利用などの効果により不安定降水の予測が改善

(令和5年6月7日 線状降水帯予測精度向上ワーキンググループ(第6回)資料1より)

続いて、令和4年度末に実施した、数値予報の改良について示す。3つの点において観測データの利用法改良、新規利用開始を行った(本資料集2.4節参照)。一つ目として、メソ・局地解析でアメダス湿度データの利用を開始した。二つ目として、メソ解析で船舶に搭載されたGNSS水蒸気観測装置から得られる可降水量データの品質管理処理の改良し、同時に局地解析での利用を開始した。三つ目として、局地解析でこれまで利用していなかった欧州の極軌道衛星に搭載されたマイクロ波散乱計による海上風データの利用を開始した。

令和4年度末の改良(メソモデル、局地モデル、メソアンサンブル予報システム)(2)

※令和5年3月7日報道発表資料より

- (2) 局地モデルの改良(物理過程、モデル標高等)
- (3) メソアンサンブル予報システムにおいて、モデルの不確実性によるアンサンプルのばらつきへの考慮

●改良の効果

前項の観測データ利用拡充の効果と併せて線状降水帯や降水確率の予測精度向上を達成

- 数値予報モデルの高度化など、今後の線状降水帯予測精度向上に向けた更なる開発にもつながる成果 -

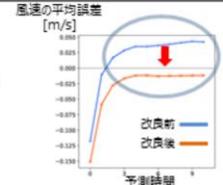
・地上風速の予測改善(局地モデル)

夏季の予測時間別検証結果

改良によって、地上風速が強すぎる誤差が減少



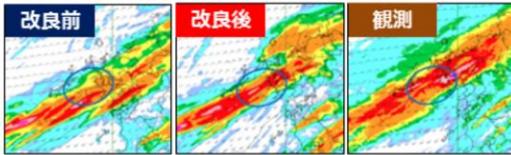
水蒸気の流れなどの予測が良くなることで降水予測の改善にもつながる



●改良の効果

・事例：線状降水帯の予測改善(局地モデル)

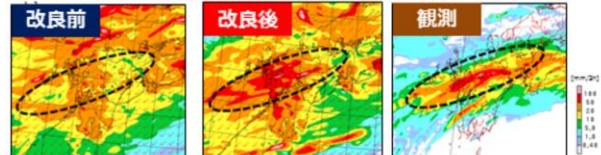
令和3年8月14日4時を対象とした9時間予測の3時間降水量



改良によって、予測される強雨域の位置が改善

・事例：線状降水帯の予測改善(メソアンサンブル予報システム)

令和3年8月12日15時を対象とした36時間予測の3時間降水量(アンサンブル最)



モデルの不確実性を考慮することによって線状降水帯を表現するメンバーが増加し、実況をより捕捉するようになる

(令和5年6月7日 線状降水帯予測精度向上ワーキンググループ(第6回)資料1より)

局地モデルでは、物理過程を高度化し、モデル標高をより高品質なデータセットから作成するよう変更した(本資料集2.3節参照)。その結果、地上風速が強すぎる誤差が減少し、地上風速の予測が改善した(右上図)。これにより、水蒸気の流れなどの予測が良くなることで、降水予測の改善にもつながる。線状降水帯予測の改善事例として、左下図に令和3年8月14日4時を対象とした9時間予測の3時間降水量を示す。予測される強雨域の位置が改善した。メソアンサンブル予報システムにおいても、モデルの不確実性を考慮する手法を取り入れた(本資料集2.2節参照)。右下図に示す線状降水帯事例において、線状降水帯を表現するメンバーが増加し、実況をより捕捉するようになった。

スーパーコンピュータ「富岳」を活用した 数値予報技術の開発

- 文部科学省・理化学研究所の全面的な協力を得て、スーパーコンピュータ「富岳」の政策対応枠課題により、高解像度数値予報モデル（水平解像度1kmの局地モデル：富岳1kmLFM）、局地アンサンブル予報システム、全球モデル等の開発を進めている。
- 令和4年6月～10月に、開発中の富岳1kmLFMを用いたリアルタイムシミュレーション実験を西日本で実施し、高解像度化した数値予報モデルでは線状降水帯の予測が向上する傾向が確認された。
- 局地モデルの予報時間延長（令和5年度末、2km10時間⇒2km18時間）や高解像度化（令和7年度末、2km18時間⇒1km18時間）に向けて、令和5年6月8日～10月31日において、同様のリアルタイムシミュレーション実験を全国で実施。

<富岳1kmLFMの仕様>

	富岳 1km LFM	2km 局地モデル (現業運用中)
水平解像度	1km	2km
領域	日本域	日本域
水平格子数	3161 x 2601	1581 x 1301
予報時間	18時間	10時間
実行頻度	2回/日 (03, 15 UTC)	24回/日

- 令和4年度は、先行研究にて線状降水帯の発生頻度が多い西日本をリアルタイムシミュレーション実験の対象領域としたが、令和5年度は全国を対象とする
- 2km局地モデルを1km高解像度化、予報時間を10時間から18時間に延長
- モデル本体、初期値、境界値は2km 局地モデルと同一設定

1kmLFMリアルタイムシミュレーション実験の対象領域
(現業運用中の2km局地モデルと同一領域)



局地モデル(LFM)

(令和5年6月7日 線状降水帯予測精度向上ワーキンググループ(第6回)資料1より)加筆

最後に、スーパーコンピュータ「富岳」を活用した数値予報技術の開発について述べる。気象庁は文部科学省・理化学研究所の全面的な協力を得て、スーパーコンピュータ「富岳」の政策対応枠課題により、「富岳」へ数値予報モデルを移植し、水平解像度1kmのLFMだけでなく、局地アンサンブル予報システム、高解像度の全球モデル等の開発を進めている。令和4年6月～10月に、「富岳」上で開発中の1kmLFMを用いたリアルタイムシミュレーション実験を西日本で実施し、令和5年6月～10月のリアルタイムシミュレーション実験では、領域を現業LFMと同じ全国領域で実施した。このリアルタイムシミュレーション実験の成果を活かし、令和5年3月に稼働した「富岳」の同型機となる線状降水帯予測スーパーコンピュータ上で、令和5年度末に2kmLFMの予報時間を18時間に延長する予定である。さらにリアルタイムシミュレーション実験と同様となる、1km LFM18時間予測の令和7年度末の現業化に向けた開発を進めている。

参考文献

- 気象庁, 2023: 線状降水帯予測精度向上ワーキンググループ(第6回)
https://www.jma.go.jp/jma/kishou/shingikai/kondankai/senjokousuitai_WG/part6/gaiyou.html
- 数値予報開発センター, 2022: メソ解析における船舶GNSS可降水量の利用. 令和3年度数値予報開発センター年報, 気象庁数値予報開発センター, 61-65.
- 数値予報開発センター, 2023: 水蒸気観測データの数値予報での利用に関する開発. 令和4年度数値予報開発センター年報, 気象庁数値予報開発センター, 99-102.
- M. Higuchi, 2022: Operational Use of Shipborne GNSS-derived Precipitable Water Vapor in JMA's Mesoscale NWP System. WGNE Blue Book: Research Activities in Atmospheric and Ocean Modelling , Rep. 52, 1.07-1.08.
- R. Toguchi, T. Iriguchi, 2023: Operational use of humidity observations from AMeDAS in JMA's localscale and mesoscale NWP systems. WGNE Blue Book: Research Activities in Atmospheric and Ocean Modelling , Rep. 53, 1.25-1.26.