

線状降水帯予測精度向上に向けた技術開発・研究の成果について

気象庁は、線状降水帯予測精度向上に向けた技術開発・研究をオールジャパンで実施しています（令和4年5月31日報道発表¹）。

これまでの解析結果から、線状降水帯の発生しやすい条件及び線状降水帯の内部構造の理解が進展するとともに、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るなどの成果を得ました。今後も発生要因や内部構造の解明を進め、予測精度向上につながる研究を大学等研究機関と連携して更に進めます。

気象庁は、令和2年12月に「線状降水帯予測精度向上ワーキンググループ」を発足し、線状降水帯の予測精度向上に向けた技術開発・研究における大学等の研究機関との連携を検討してまいりました。本ワーキンググループでの検討等も踏まえて、本年6～10月にメカニズム解明のための集中観測やスーパーコンピュータ「富岳」を活用したリアルタイムシミュレーション実験等を実施しました。これまでに得られた主な成果と今後の取組は下記のとおりです。

●線状降水帯のメカニズム解明研究のための高密度な集中観測

線状降水帯の発生等のメカニズム解明研究を加速化するため、気象研究所が中心となり、大学等の14機関と連携して、線状降水帯の発生しやすい条件や線状降水帯の内部構造を把握するための高密度な集中観測を実施しました。気象研究所では、関係する研究者がオンラインで一堂に会する「線状降水帯の機構解明に関する研究会」をこれまでに6回開催し、集中観測や解析の成果を逐次共有するとともに、今後の課題意識を明確にして研究を進めてきました。

<これまでに得られた主な成果>

- 気象庁の臨時のラジオゾンデ観測に加え、大学等研究機関によるラジオゾンデ、ドロップゾンデ、マイクロ波放射計等の一部の観測データは、リアルタイムで気象庁に送られ現業の数値予報や実況監視に利用されました。
- 鹿児島大学、長崎大学、三重大学の3船合同による東シナ海での稠密観測¹の結果を

¹ https://www.jma.go.jp/jma/press/2205/31a/SLMCS_AllJapan20220531.html

¹ 文部科学省 科学研究費補助金（新学術領域研究）の助成により実施する観測と連携して実施

用いた解析により、海面水温の前線による下層大気の気温・風速場の変化が、大雨をもたらす積乱雲の発生に大きく影響する可能性が分かってきました。今後、線状降水帯の発生メカニズムの理解につながることを期待されます。

- 線状降水帯を構成する積乱雲中の降水粒子を直接撮影可能なビデオゾンデ観測について、1事例に限られたものの、山口大学による新規測器 (Rainscope) を用いた観測と初期解析に成功しました。今後、線状降水帯の内部構造の理解につながることを期待されます。
- 集中観測等のデータや数値予報モデルによる実験などを通じ、線状降水帯の発生には下層における大量の水蒸気の流入が重要であること、線状降水帯の発達・維持には降雨によって形成された冷たい空気が大きく影響している事例、地形が発生要因の一つである事例があることなどが確認されました。

<今後の取組>

- 線状降水帯の発生要因となる現象は、低気圧、前線、台風等様々であり、これらの現象毎に必要な条件を詳細に調査するためには更なる観測が必要であることから、来年も、共同研究や各種プロジェクトによる連携も視野に、大学等研究機関と協力して観測を実施します。
- 集中観測データ等を用いた今年の事例の解析、過去事例の解析、高分解能モデルを用いた再現実験等によりメカニズム研究を更に進めます。

●スーパーコンピュータ「富岳」を活用したリアルタイムシミュレーション実験

線状降水帯の予測精度向上のための数値予報技術の開発を加速化するため、文部科学省・理化学研究所の全面的な協力により、世界トップレベルの性能を有するスーパーコンピュータ「富岳」を活用して数値予報モデル開発を進めており、6月1日から10月31日までの期間、開発中の高解像度モデルによるリアルタイムシミュレーション実験を実施しました。

<これまでに得られた主な成果>

- 線状降水帯が発生した事例について、気象庁で現在運用しているMSM(メソモデル; 解像度5km、78時間先まで予測)では予測降水量が実況と比べて過小の場合が多い一方、LFM(局地モデル)では位置ずれ等はあるものの、気象庁で現在運用しているLFM(解像度2km、10時間先まで予測)や「富岳」で開発中のLFM(解像度1km、18時間先まで予測)のように高解像度化することによって強い降水を予測できる事例が増えることを確認しました。

<今後の取組>

- LFM（水平解像度 2km）の予報時間を現在の 10 時間から 18 時間に延長すること（令和 5 年度末予定）や、水平解像度を現在の 2km から 1km に高解像度化すること（令和 7 年度末予定）を目指して、モデル内の雲・対流の表現の改善等、引き続きモデル開発を進めていきます。

これらの技術開発や研究の概要については、別紙を参照ください。

問合せ先：

総務部 企画課 田中（全般に関すること）

電話 03-6758-3900（内線 2231）

情報基盤部 情報政策課 高橋（予報モデルの技術開発に関すること）

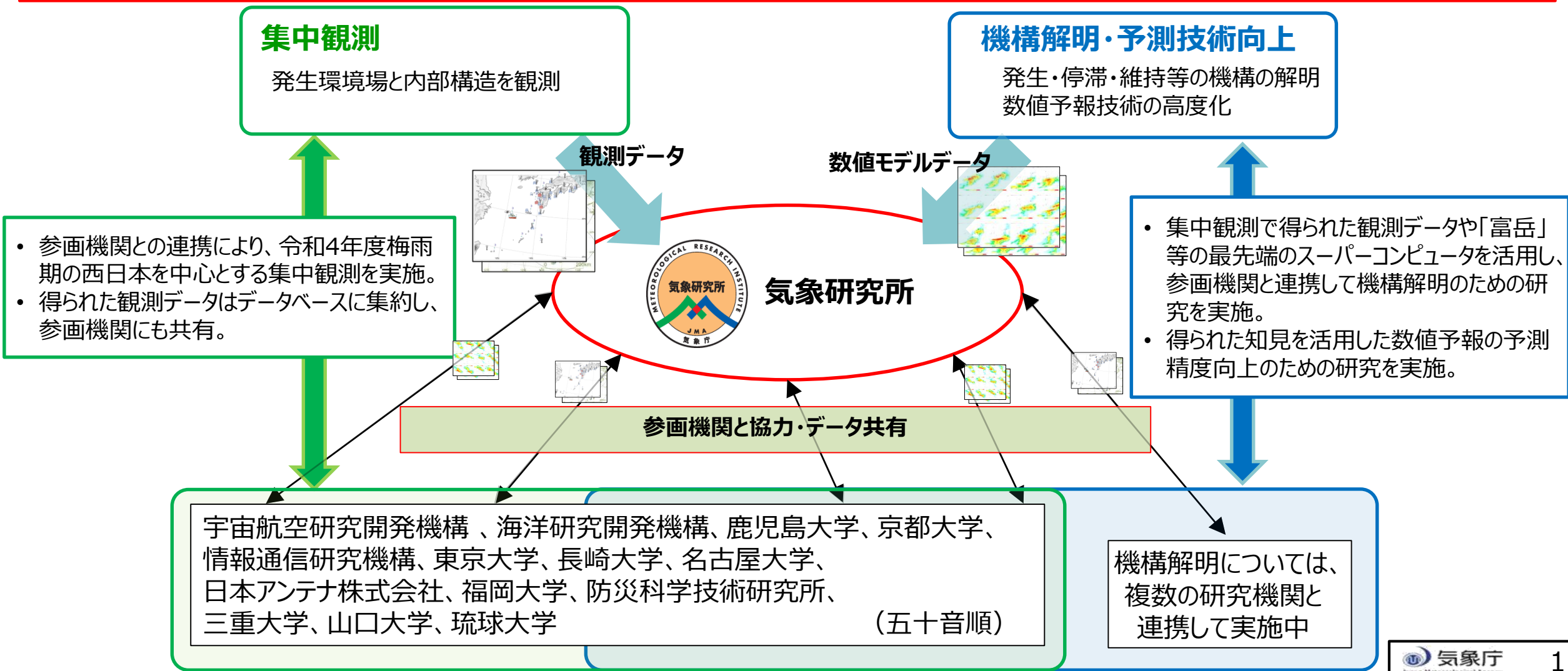
電話 03-6758-3900（内線 3117）

気象研究所 企画室 藤原（集中観測に関すること）

電話 029-853-8535（内線 203）

集中観測等による線状降水帯の機構解明研究

- **大学等研究機関との連携のもと、集中観測等によって線状降水帯の発生・停滞・維持等の機構解明を加速**するとともに、それら観測データや知見を用いて**数値予報の精度向上に繋がるような研究を実施**。
- 本研究を推進するため、**参画機関との協力・データ共有のための協定を締結**。



宇宙航空研究開発機構(JAXA) *1
海洋研究開発機構(JAMSTEC) *2
鹿児島大学 *1 *3
京都大学 *2
情報通信研究機構(NICT) *4
東京大学 *2
長崎大学 *1 *3
名古屋大学 *4
日本アンテナ株式会社 *4
福岡大学 *1 *4
防災科学技術研究所 *1 *4
三重大学 *1 *2 *3
山口大学 *1
琉球大学 *1

※五十音順

*1 各機関と気象研究所との2者もしくは3者で共同研究契約を締結(予定を含む)

*2 これらの機関が文部科学省 科学研究費補助金(基盤B)の助成、および東京大学大気海洋研究所の全国共同利用研究航海として海洋研究開発機構の東北海洋生態系調査研究船「新青丸」により実施する研究と連携

*3 これらの機関が文部科学省 科学研究費補助金(新学術領域研究)の助成により実施する研究と連携

*4 これらの機関が内閣府 戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)で実施する研究と連携

集中観測で用いた観測手段と観測要素

| 観測手段 | 観測要素 |
|-------------|------------------------------|
| ラジオゾンデ | 上空の気圧、気温、湿度、風向・風速 |
| GNSS | 上空の可降水量(鉛直積算水蒸気量) |
| 海上気象観測 | 海上の気圧、気温、湿度、風向・風速、海面水温等 |
| マイクロ波放射計 | 上空の可降水量、水蒸気量と気温の鉛直分布 |
| 水蒸気ライダー | 上空の水蒸気量の鉛直分布 |
| 地デジ電波 | 地表付近の屈折率(水蒸気量と気温で決まる) |
| ドロップゾンデ | 上空の気圧、気温、湿度、風向・風速 |
| マイクロレインレーダー | 上空の雨滴の粒径分布と落下速度、レーダー反射率の鉛直分布 |
| ディストロメーター | 地表付近の雨滴の粒径分布、落下速度、降水強度 |
| ビデオゾンデ | 上空の降水粒子の種類、粒径、落下速度 |



集中観測の概要

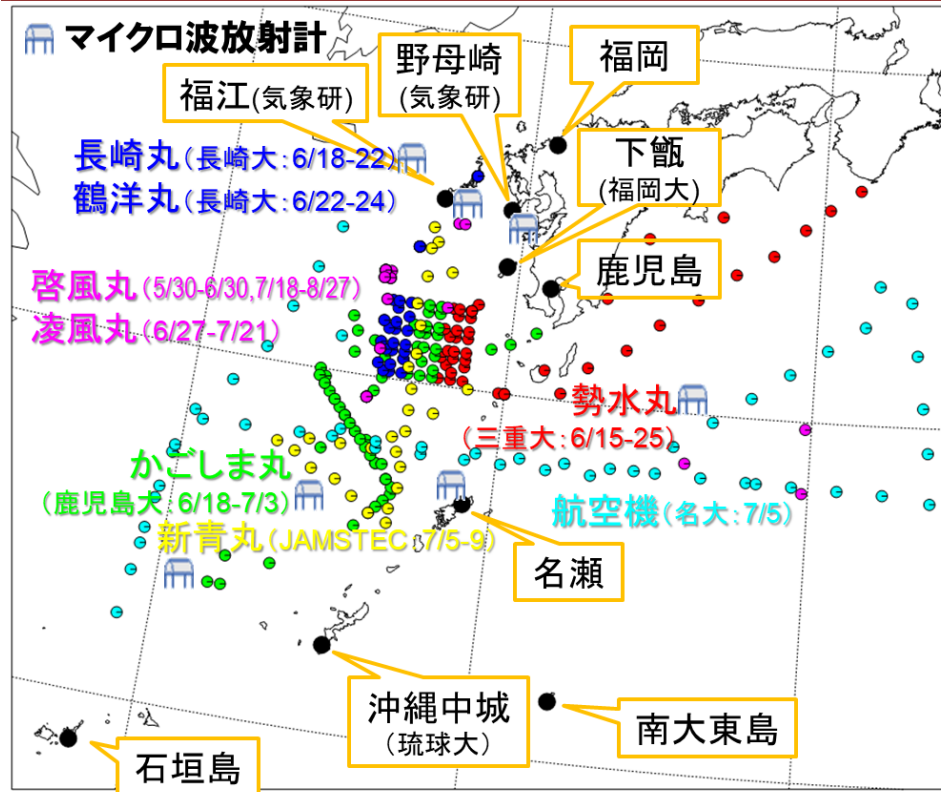
◆ 線状降水帯の発生環境場（特に水蒸気）の観測

- 線状降水帯の発生・維持に影響を及ぼす環境場を定量的に把握するための観測を行う。
- 特に重要な水蒸気については、九州付近に流入して線状降水帯発生の主要因となる水蒸気量とその時間変化を把握する。
 - 東シナ海を中心とした海上において船舶・航空機を用いた観測
 - 陸上において各種リモートセンシング等を用いた観測

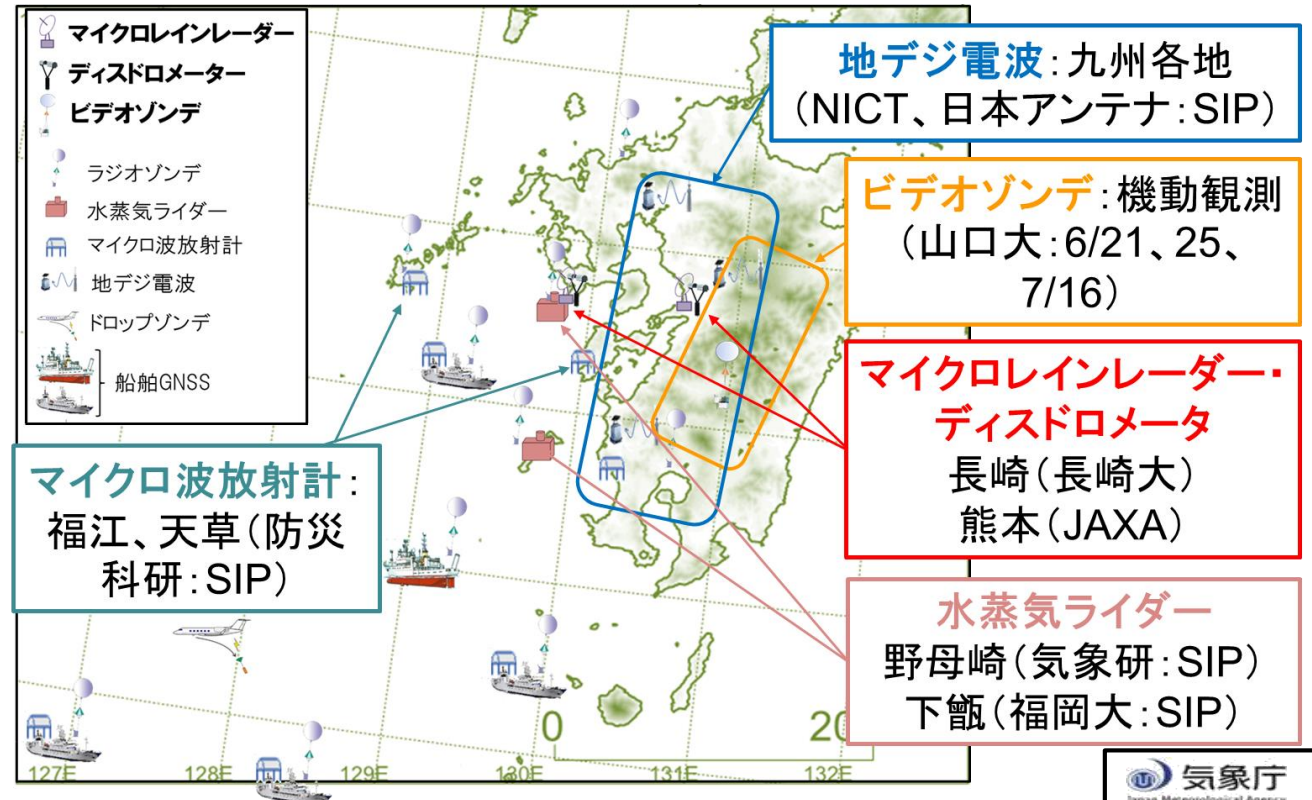
◆ 線状降水帯の内部構造の観測

- 線状降水帯の停滞・維持に影響を及ぼす内部構造とその時間変化を詳細に把握するための観測を行う。
- 線状降水帯を構成する積乱雲や積乱雲群とそれらに伴う気流の構造と時間変化を把握、雲微物理特性についても明らかにする。
 - 雲微物理に着目した詳細な観測
(マイクロレインレーダー、ディストロメーター、ビデオゾンデ)

ラジオゾンデ・航空機によるドロップゾンデ観測実施マップ



九州付近の観測実施マップ



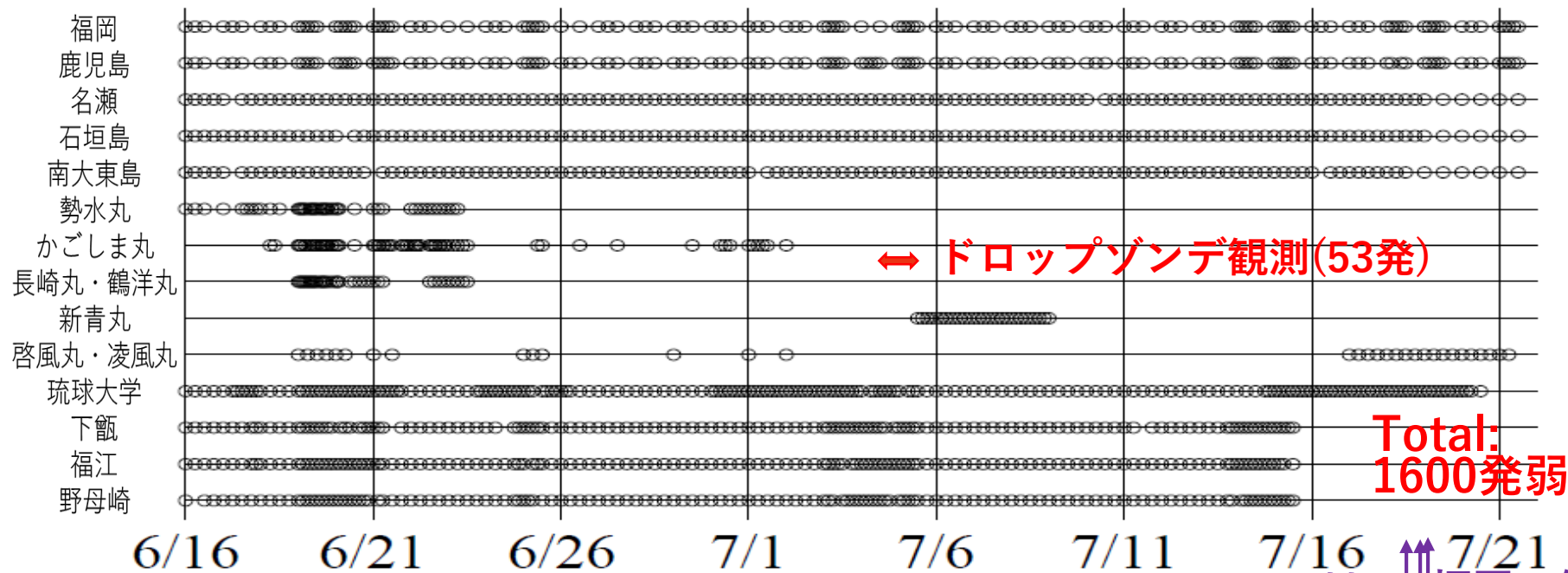
各機関で実施した観測の種類、期間

| 担当機関 | | 観測手段 | 重点実施期間 6/16~7/15 | 7/18~19 線状降水帯発生 (九州北部) |
|----------------------------|--|------------------|--|---------------------------|
| 気象庁 | | ラジオゾンデ (船舶) | 6月~10月 | |
| | | GNSS (船舶) | | |
| | | 海上気象観測 (船舶) | | |
| | | マイクロ波放射計 (陸上) | | |
| | | ラジオゾンデ(陸上: 気象官署) | | |
| | | ラジオゾンデ(陸上: 委託) | 6/16~7/21 | 7/2~10月 |
| | | | 6/16~7/15 | |
| 戦略的イノベーション創 造プログラム(SIP) | 防災科学技術研究所 福岡大学 情報通信研究機構 日本アンテナ 名古屋大学 | マイクロ波放射計 (陸上) | 6月~10月 | |
| | | 水蒸気ライダー (陸上) | | |
| | | 地デジ電波 (陸上) | | |
| | | ラジオゾンデ(陸上) | | |
| | | ドロップゾンデ (航空機) | | |
| | | | 6/16~7/15 | 7/5に実施 |
| 科学研究費補助金 (新学術領域研究) | 三重大学 鹿児島大学 長崎大学 | ラジオゾンデ (船舶) | 三重大: 6/15~25 鹿児島大: 6/18~7/3 長崎大: 6/18~24 | |
| | | マイクロ波放射計 (船舶) | | |
| | | GNSS (船舶) | | |
| | | 海上気象観測 (船舶) | | |
| 科学研究費補助金 (基盤B) | 京都大学 海洋研究開発機構 東京大学 | ラジオゾンデ (船舶) | 7/5~9 | |
| | | マイクロ波放射計 (船舶) | | |
| | | GNSS (船舶) | | |
| | | 海上気象観測 (船舶) | | |
| 琉球大学 | | ラジオゾンデ(陸上) | 6/16~7/20 | 未実施 |
| | | ビデオゾンデ (陸上) | | |
| 宇宙航空研究開発機構 長崎大学 | | マイクロレインレーダー (陸上) | 5/25~10月 | |
| | | ディストロメーター (陸上) | | |
| 山口大学 | | ビデオゾンデ (陸上) | 6/21、6/25、7/16に実施 | |



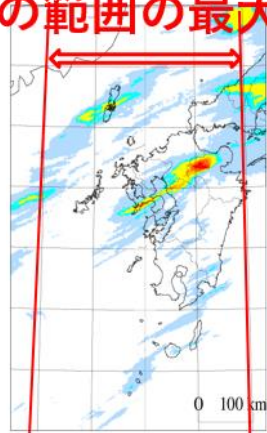
線状降水帯がなぜその場所で発生するのか(なぜ発生しないのか)を解明するため、発生の有無に関わらず連続して観測を実施
線状降水帯の発生の可能性等を踏まえ、この期間の中で随時観測を実施

高層ゾンデ観測実施と降水状況

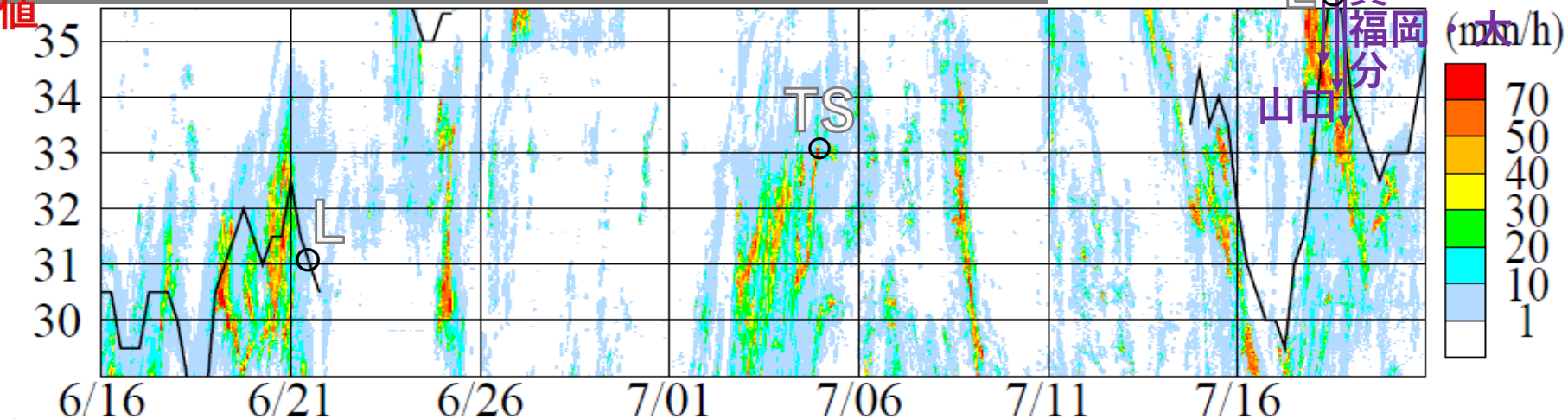


解析雨量 (128-132Eの最大値) の緯度-時間断面図

この範囲の最大値



7月19日4時



↑ 気象庁発表線状降水帯

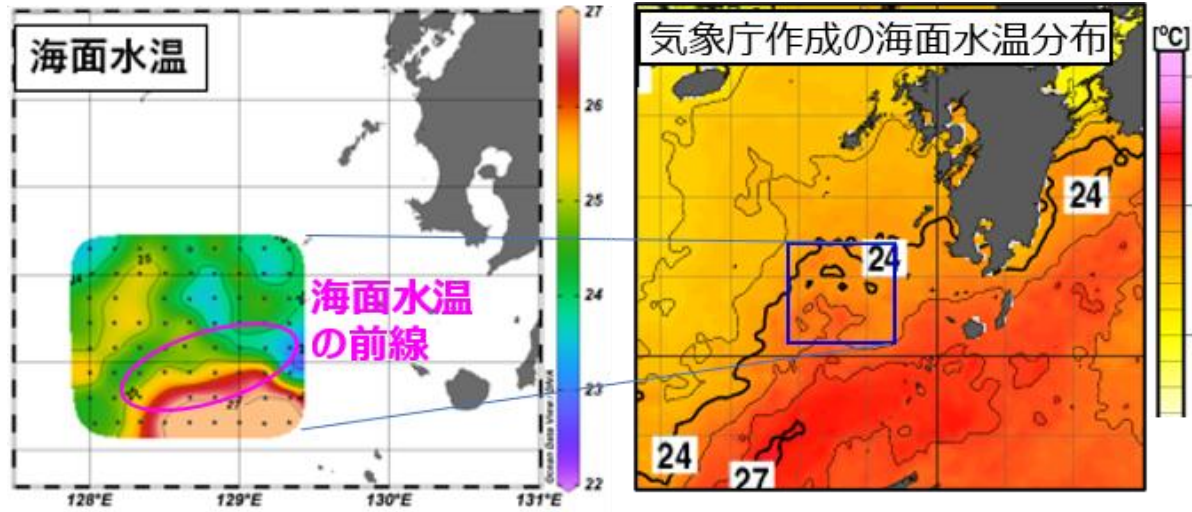
— 130Eでの前線の位置

L : 低気圧
TS : 台風

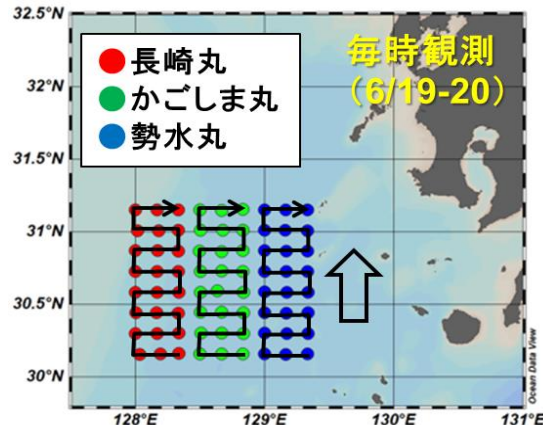
集中観測における観測成果例

3船合同による稠密観測(1時間ごとの高層観測など)

鹿児島大学、長崎大学、三重大学と気象研究所との共同研究の成果



海面水温の前線によって、下層大気温度にも大きな変化が生じ、大気下層の風の収束が強まり、大雨をもたらす積乱雲の発生に大きく影響する可能性が分かってきた。

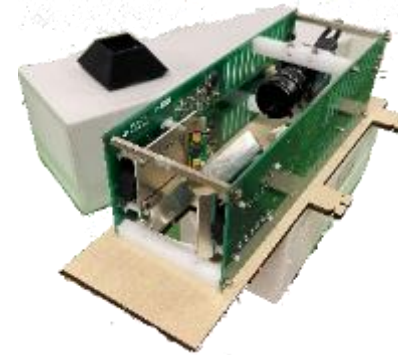


3船が南側からジグザクに北上し、1時間毎に高層ゾンデ観測、海洋観測を実施

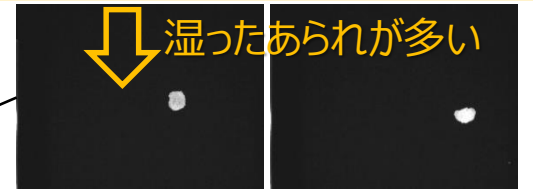
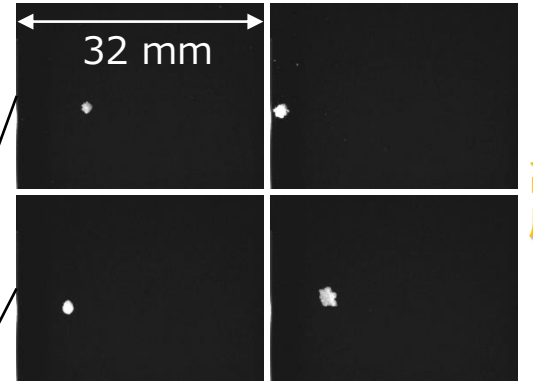
ビデオゾンデによる観測

山口大学と気象研究所との共同研究の成果

新しい測器 (Rainscope) による初期解析に成功した

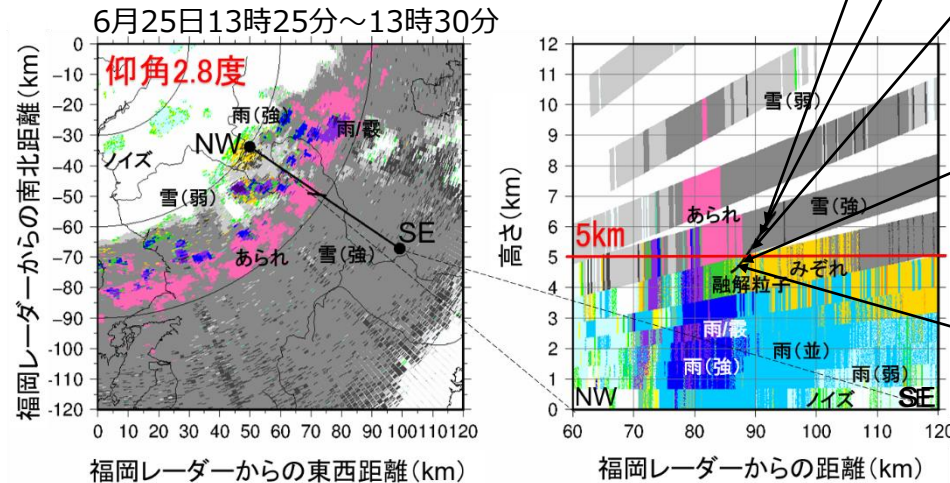


※上空の降水粒子の種類、粒径、落下速度を観測



福岡レーダーによる降水粒子判別結果

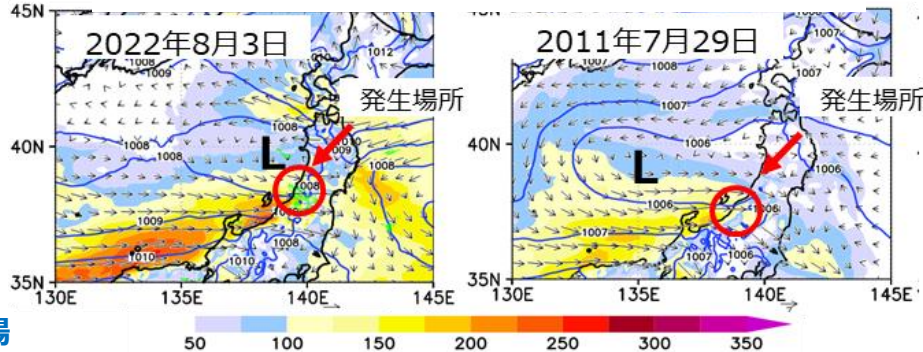
Rainscope観測との比較から降水粒子判別を改良予定



線状降水帯の機構解明・予測技術の向上の成果

● 研究成果

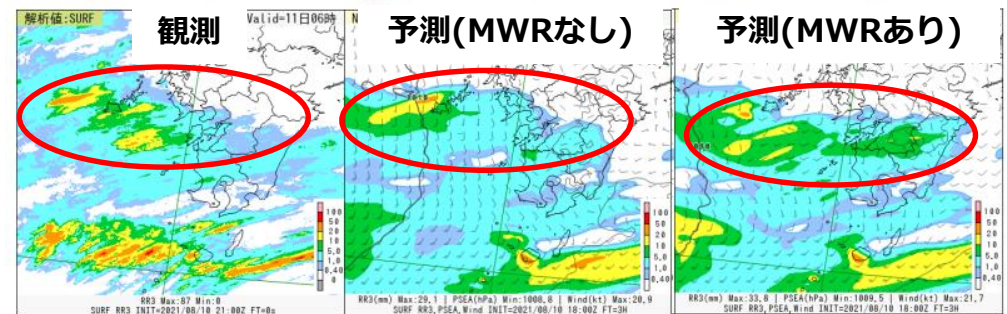
高度500mの水蒸気の流量



環境場

令和4(2022)年8月に山形・新潟で発生した線状降水帯では、日本海上の低気圧による流れと西風が収束し、下層で多量の水蒸気が供給されており、この状況が過去事例でも共通することを確認。

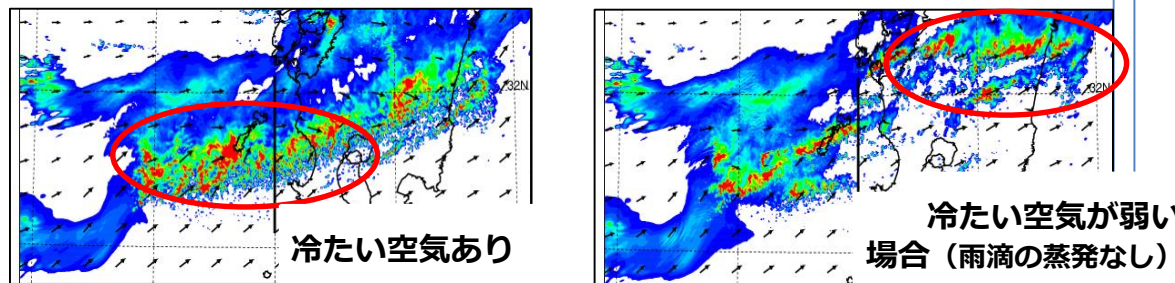
3時間積算降水量



環境場 令和3(2021)年8月の九州の降水について、マイクロ波放射計 (MWR) の観測データを用いて初期値の水蒸気分布を修正することで降水予報が改善。

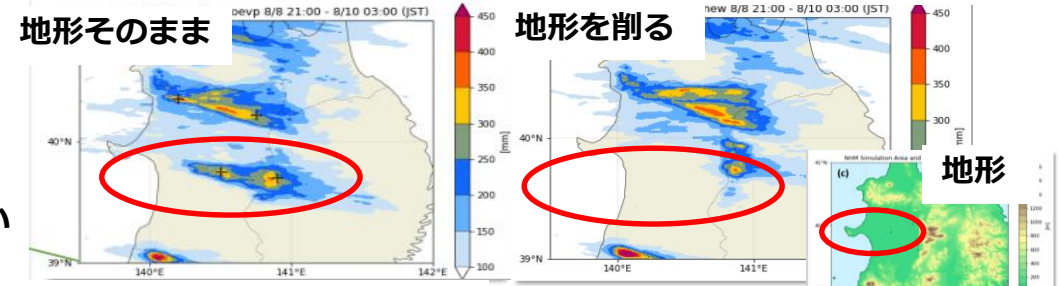
※MWR観測データは、防災科学技術研究所がSIPで実施した観測によるデータをご提供いただきました。

高度3kmの降水物質質量予測



内部構造 令和3(2021)年7月に鹿児島・宮崎・熊本で発生した線状降水帯では「雨滴の蒸発で形成される冷たい空気」と下層の南からの気流とのバランスが位置や形状、降水強度に影響することを確認。

30時間積算降水量予測



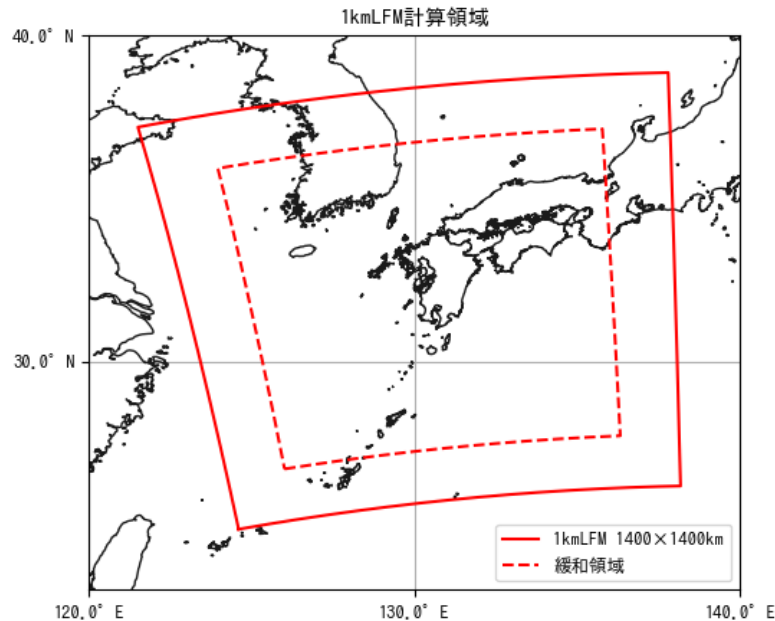
内部構造 平成25(2013)年8月に秋田県・岩手県で発生した線状降水帯では、地形が発生要因の一つ。山地を無くすと降水帯が形成されないことを確認。

※本成果は、東北大学の小野氏よりご提供いただきました。

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」の成果創出加速プログラムや政策対応枠課題により、高解像度数値予報モデル、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）を用いたリアルタイムシミュレーション実験を実施した。**
- 実験の結果、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。
- 本実験の成果も活用し、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）を目指す。

<富岳1kmLFMの仕様>



1kmLFMリアルタイムシミュレーション実験の対象領域(赤実線枠内の九州南部を中心にした領域)

※点線は側面境界値からの緩和領域

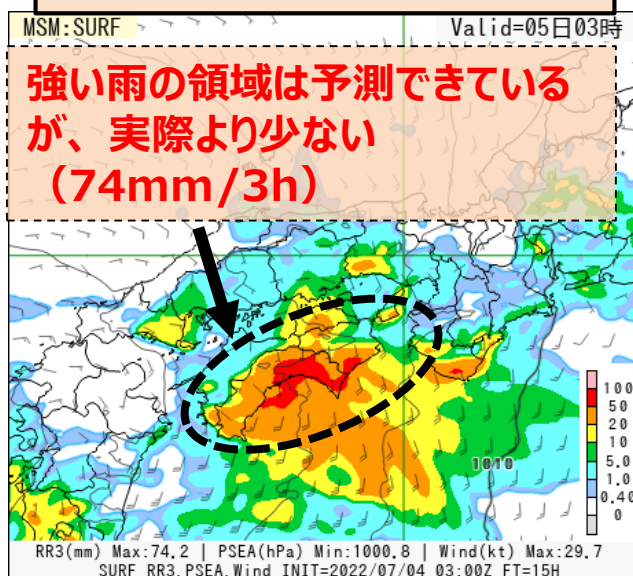
| | 富岳 1km LFM | 2km 局地モデル (現業運用中) | メソモデル (現業運用中) |
|-------|----------------------|----------------------|------------------|
| 水平解像度 | 1km | 2km | 5km |
| 領域 | 西日本狭領域 | 日本域 | 日本と周辺海域 |
| 水平格子数 | 1400 × 1400 | 1581 × 1301 | 817 × 661 |
| 予報時間 | 18時間 | 10時間 | 78時間(最大) |
| 実行頻度 | 2回/日 (03, 15 UTC) | 24回/日 | 8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、その後、西日本以外の領域で発生した事例についても追加実験を実施。

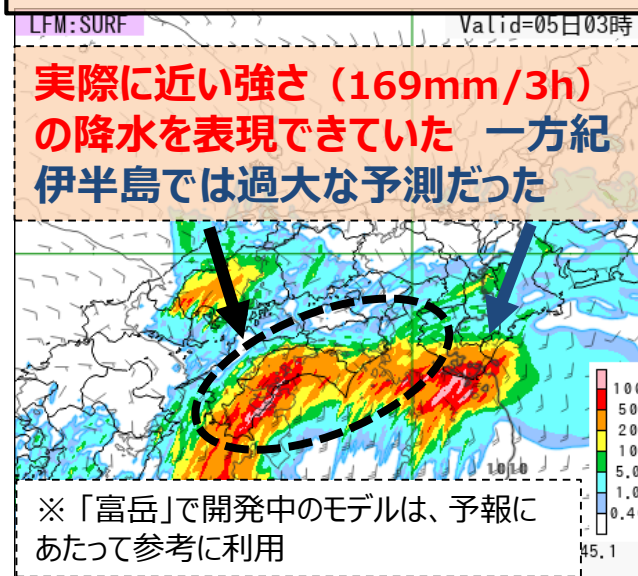
- ・2km局地モデルを1km高解像度化、予報時間を10時間から18時間に延長
- ・モデル本体、初期値、境界値は2km 局地モデルと同一設定

令和4年7月5日3時頃に高知県で発生した線状降水帯

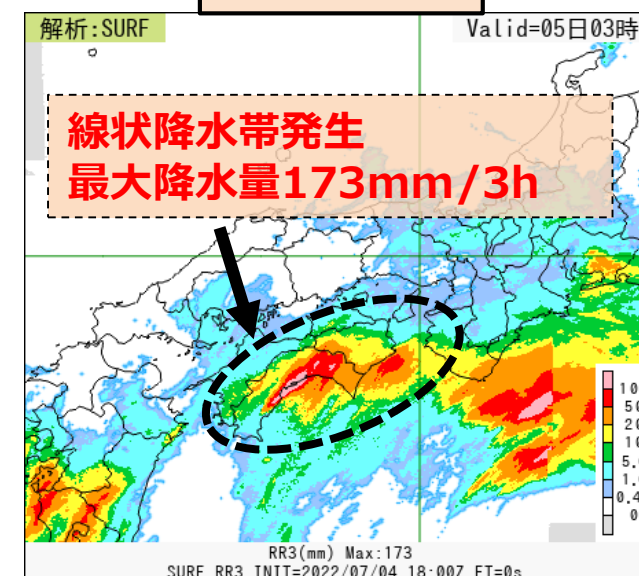
現業5kmメソモデルの予測
(15時間前からの予測)



「富岳」1km局地モデルの予測
(15時間前からの予測)



実際の降水
(観測)

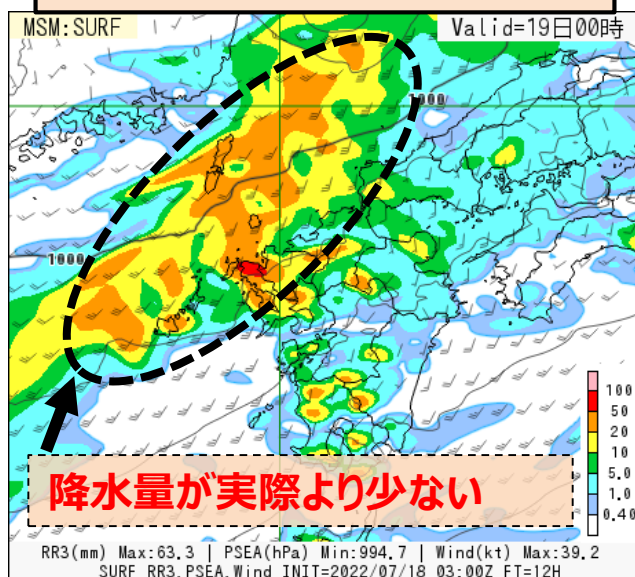


15時間前からの予測において、

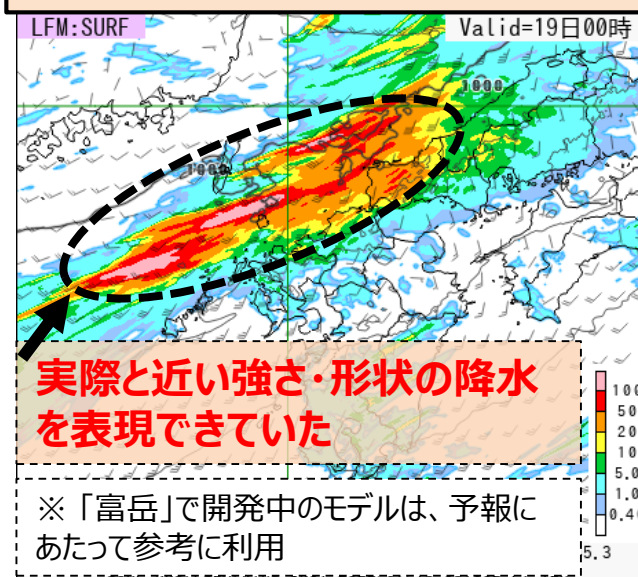
- 【左図】 気象庁スパコンで現業運用中の水平解像度5kmのメソモデル(MSM)による予測:
 - ・ 四国南岸で強雨が降る予測はできていたが実際の降水量に比べて過小。
- 【中図】 「富岳」で開発中の水平解像度1kmの局地モデル(LFM)の実験による予測:
 - ・ 実際に近い強さの降水を表現したが、降水域は実際に降った場所からずれていた。
 - ・ また、広島や紀伊半島などで過大な予測。

令和4年7月19日0時頃に山口県で発生した線状降水帯

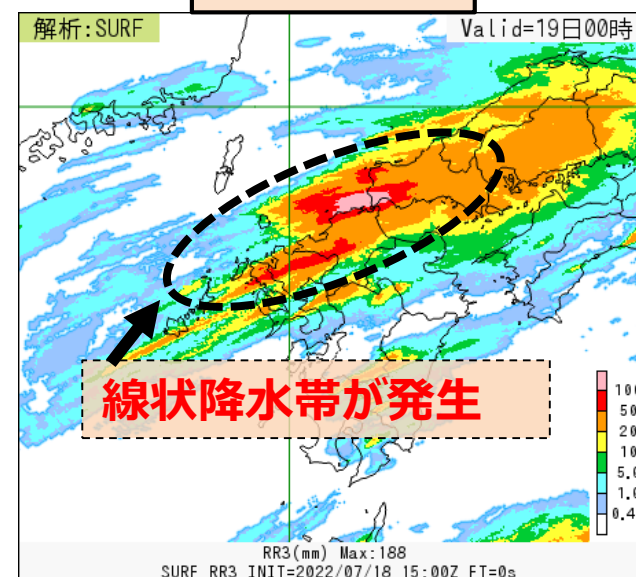
現業5kmメソモデルの予測
(12時間前からの予測)



「富岳」1km局地モデルの予測
(12時間前からの予測)



実際の降水
(観測)



12時間前からの予測において、

- 【左図】 気象庁スパコンで現業運用中の水平解像度5kmのメソモデル(MSM)による予測:
 - ・ 降水帯が幅広く広がっており、降水量も実際の降水量に比べて過小。
- 【中図】 「富岳」で開発中の水平解像度1kmの局地モデル(LFM)の実験による予測:
 - ・ 実際に近い強さ・形状の、強雨域が局所的に集中した「線状降水帯」を予測。