

線状降水帯の予測精度向上に向けた 学官連携の方策について

線状降水帯予測精度向上ワーキンググループ（第7回会合）

令和5年12月19日

気象庁

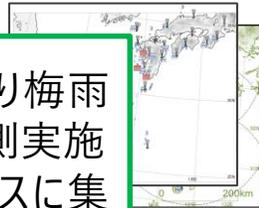
- 3～10ページ目 線状降水帯の機構解明研究
- 11ページ目 線状降水帯の機構解明に関する研究会
- 12ページ目 「富岳」を活用した予測の強化における連携
- 13ページ目 数値予報資料共有Web
- 14ページ目 来年度に向けて

- 大学や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。

集中観測

発生環境場と内部構造を観測

観測データ

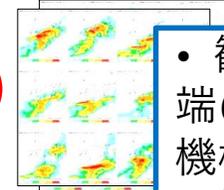


- 連携により、R4年度より梅雨期西日本中心に集中観測実施
- 観測データはデータベースに集約し、参画機関にも共有

機構解明・予測技術向上

発生・停滞・維持等メカニズムの解明
数値予報技術の高度化

数値モデルデータ



- 観測データや「富岳」等の最先端のスパコンを活用し、連携して機構解明研究を実施
- 得られた知見を活用した数値予報の予測精度向上のための研究を実施

参加機関と協力・データ共有

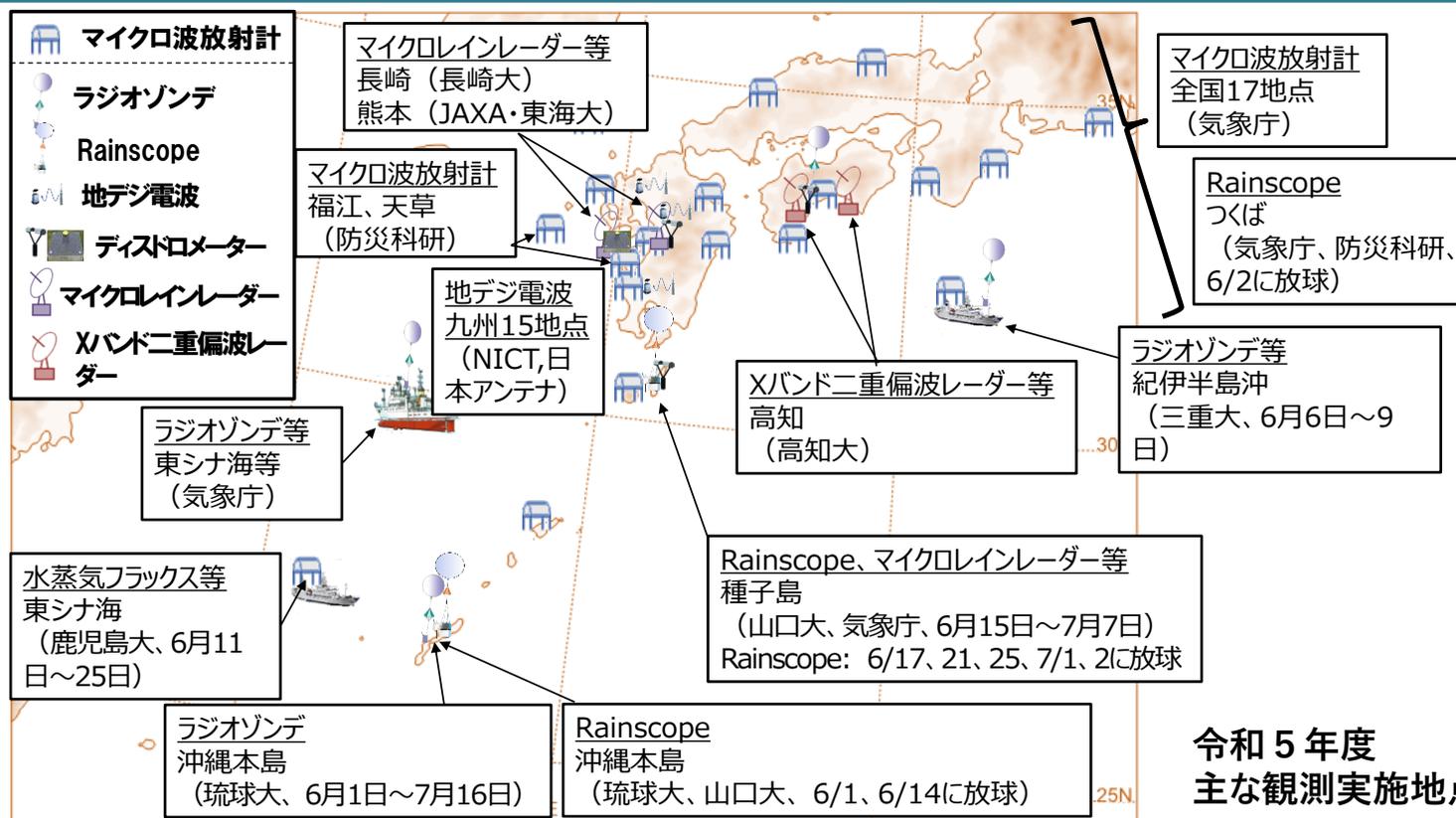
宇宙航空研究開発機構、海洋研究開発機構、**鹿児島大学**、京都大学、**高知大学**、情報通信研究機構、**東海大学**、東京大学、**長崎大学**、名古屋大学、**日本アンテナ株式会社**、福岡大学、**防災科学技術研究所**、**三重大学**、**山口大学**、**琉球大学**

(五十音順、赤字は令和5年度集中観測実施機関)

機構解明については、複数の大学や研究機関と連携して実施中

項目	昨年度までの取組の実施内容	今年度の取組の進捗状況
集中観測	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 大学や研究機関との連携により、令和4年6月～10月に九州を中心とした西日本において観測を実施した。 ✓ 集中観測データ及び気象庁データのデータベース装置への集約と大学や研究機関への共有を令和4年度から開始した。 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 大学や研究機関との共同研究等の枠組みにより、令和5年6月～10月に観測を実施した。 ✓ 集中観測データ及び気象庁データのデータベース装置への集約と大学や研究機関への共有の継続・推進。
機構解明	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 近年の過去事例を含めて令和4年度までに発生した線状降水帯について、環境場や内部構造に関する解析を実施した。 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 過去事例についての解析を継続するとともに、それらの知見も踏まえて新たな事例の解析も実施し、知見の集約を進めた。
予測技術向上	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 線状降水帯事例を対象に「富岳」による大アンサンブル実験等を行い、結果の解析に着手した。 ✓ 集中観測データの同化実験を行い、降水予測の改善を確認。 ✓ 接地境界層過程の改善に向けて、乱流変動を考慮した運動量輸送の診断式を理論的に導出し、中立時について風洞実験と野外観測によって検証した。 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 線状降水帯事例等の結果の解析を進め、少数アンサンブルの摂動に関する知見が得られるよう取組を継続。 ✓ 集中観測データを活用して、データ同化手法の改良・高度化を図る。 ✓ 理論的に導出した診断式を詳細モデル (LES) に実装して風洞データの再現性を確認するとともに、機能強化した風洞装置の予備実験・調整を実施。

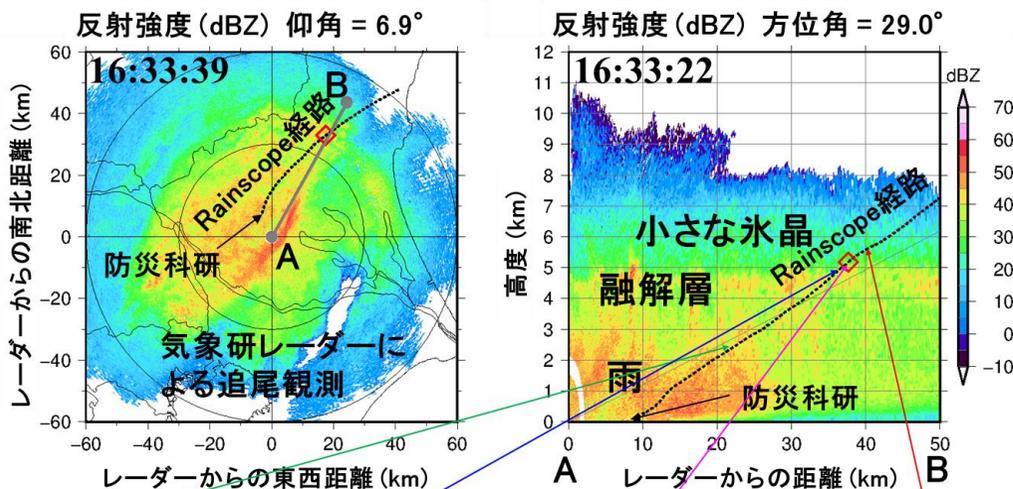
- 大学や研究機関との連携により、6月～10月に西日本を中心とした集中観測を**概ね予定通りに実施**。
 - 沖縄本島のラジオゾンデ観測（琉球大）、福江・天草のマイクロ波放射計観測（防災科研）を数値予報や実況監視に利用
 - 東シナ海において海面からの熱・水蒸気フラックスの観測を実施（鹿児島大）
 - 梅雨前線等に伴う降水システムを対象に降水粒子撮像ゾンデ（Rainscope）観測を、種子島、沖縄、つくばで実施（気象庁・山口大・琉球大・防災科研）
 - 熊本と長崎において、マイクロレインレーダーとディストロメーターによる線状降水帯事例等の降水システム内の降水粒子特性把握のための観測を実施（JAXA・東海大・長崎大）
 - 高知において、二重偏波レーダーによる線状降水帯事例等の降水システムの降水・気流等の構造の観測を実施（高知大）
- 集中観測データ及び気象庁データの**データベース装置への集約と協定参加機関への共有**を実施中。



令和5年度
主な観測実施地点

Rainscope観測例 (2023年6月2日の台風第2号に伴う降水)

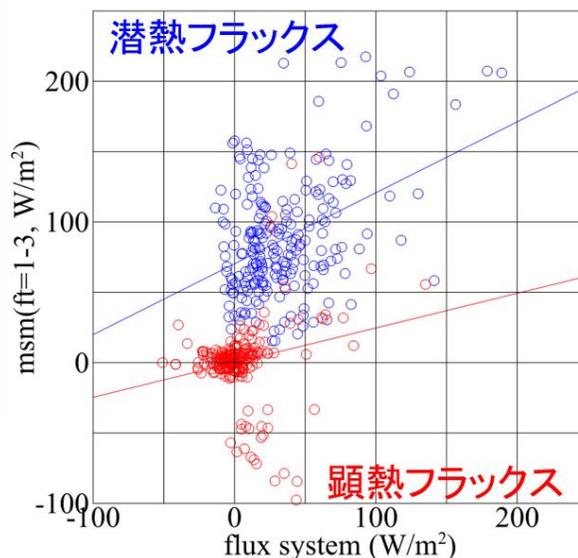
実施機関: 気象庁、防災科学技術研究所



- 線状システムの内部構造の把握のため、雲内の降水粒子の直接観測を実施し、**下層で大粒の雨滴がある一方、融解層より上空はごく小さな氷粒子のみであったことを確認した。**
- 今後、雨滴が融解層以下で急速に成長した可能性を調査し、得られた知見を線状降水帯の内部構造の把握や二重偏波レーダーによる実況監視・直前予測の改善に活かしていく。

かごしま丸(東シナ海上)による海面からの熱・水蒸気供給量の観測(2023年6月11~25日)とメソモデル予報値との比較

実施機関: 鹿児島大学



- 線状降水帯の発生環境場の形成に寄与する海面から大気への熱・水蒸気供給量の観測を実施。
- 観測の結果、本観測の範囲では**メソモデルで予測される海面からの熱・水蒸気供給が過大傾向**であることがわかった。
- 海面からの熱・水蒸気供給量の把握、及び観測データを用いた数値予報モデルの検証を進める。

【機構解明】これまでの知見の集約と今後の課題

これまでの事例解析の蓄積により、線状降水帯は極めて多様であることが明らかになってきた。そのため、線状降水帯の**発生、停滞、維持、消滅**といった機構解明に向けて、線状降水帯の**発生形態の分類**に基づいた体系的な理解が必要であり、発生環境場や内部構造の特徴を含めてその構築を進めている。

※ 表中の赤字はR5年度に解析を実施したもの

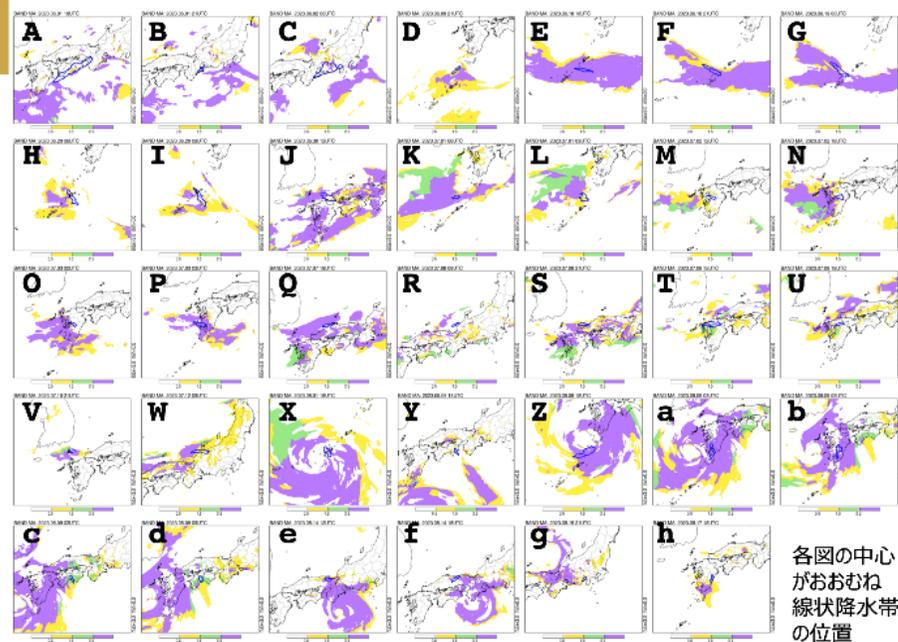
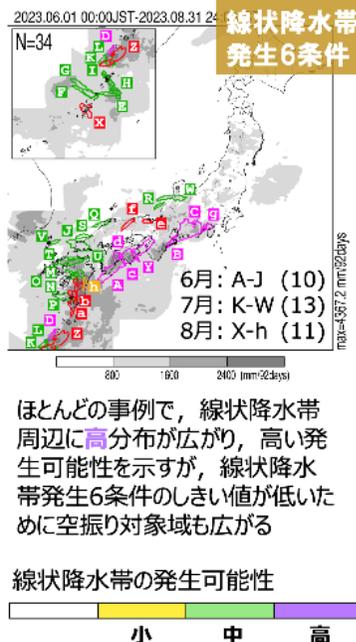
線状降水帯の発生形態の分類		近年の主な事例	発生環境場の着目要因	内部構造 (発達・維持機構)	大まかな予測の難しさ	
総観スケールの前線帯内または近傍の現象		<ul style="list-style-type: none"> H30年7月豪雨 R3年8月九州北部 R5年7月九州北部 	令和5年度は発生6条件の有用性を確認①	<ul style="list-style-type: none"> MAULの有効性 中・下層の水蒸気フラックス収束大 多量の下層水蒸気② 	<ul style="list-style-type: none"> 雨滴粒径の増大が雨量増大に寄与④ 	低
前線南側の顕著な不安定場内の現象 (総観スケールの前線に伴う力学的な影響小)	局地的な収束線が影響(メソ低が影響した事例が多)	<ul style="list-style-type: none"> R2年7月球磨川 R4年8月山形・新潟 H23年7月新潟・福島 		<ul style="list-style-type: none"> E-CAPEの有効性 		中
	トリガーは弱く、対流自身によって組織化したもの	<ul style="list-style-type: none"> H29年7月九州北部 R3年7月九州南部 			<ul style="list-style-type: none"> 鉛直シアとコールドプールのバランス関係がシステムの構造を規定③ 	高
	地形の影響が大	<ul style="list-style-type: none"> H25年8月東北 				中
台風に伴うもの	台風遠隔(アウトターレインバンドや地形の影響など)	<ul style="list-style-type: none"> R4年7月四国 R5年6月四国 R5年9月房総 		<ul style="list-style-type: none"> 地形の影響 メソ擾乱の影響 		中
	台風コア域(壁雲やインナーバンド)	<ul style="list-style-type: none"> R1年9月伊豆 			低	

課題

- 線状降水帯を体系的に理解するため、発生環境場と内部構造(発達・維持機構)等について事例数を増やした調査を継続し、未解明な部分についての解析やこれまでの知見の検証を行う。
- 予測技術や各種情報の改善に資するため、線状降水帯発生6条件について長期的な検証や新たな予測指数の調査を通じ、より適切な指標となるよう改良を行う。
- 予測精度向上のため、これらの取組を踏まえた数値モデルの問題点に関する調査を継続する。

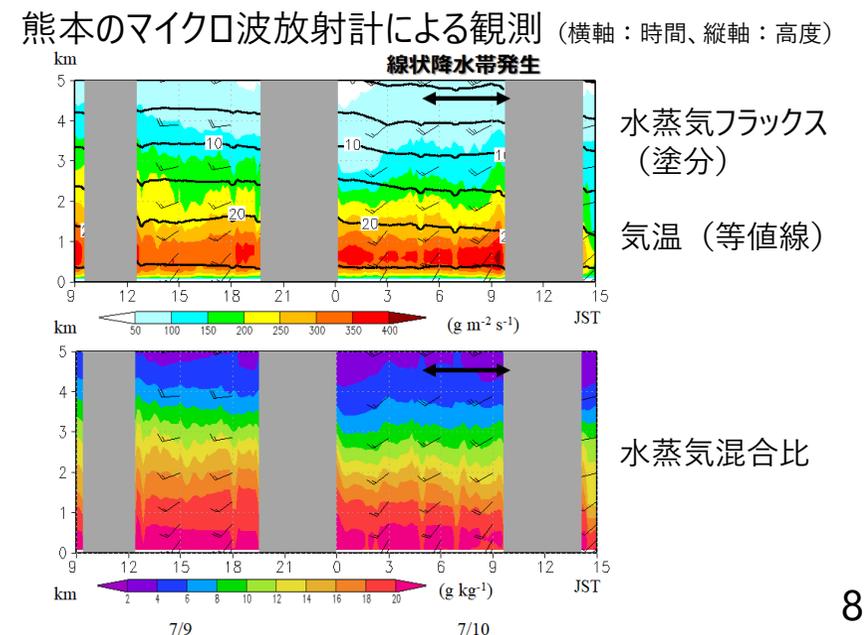
線状降水帯発生6条件を中心としたR5年度の事例についての調査①

- 2023年6～8月に生じた線状降水帯34事例を対象に、発生環境場の特徴を評価し、「線状降水帯発生6条件」の有用性を確認した。
- 線状降水帯発生6条件の統計的な検証や今後の改善により、予報現業での活用促進と予報作業の改善を図る。



線状降水帯の下層水蒸気場を中心とした発生環境場の解析②

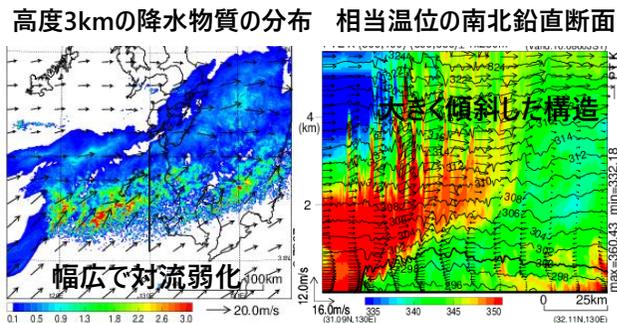
- マイクロ波放射計で観測に成功した2023年7月10日の事例について、同じ九州北部で近年発生した過去の顕著事例と環境場の特徴を比較し、大気下層の水蒸気量が極めて大きかったことを確認した。
- 今後、マイクロ波放射計による水蒸気・気温の推定手法の改良と活用促進により、発生環境場の特徴の把握や予報現業での実況監視の改善が期待される。



線状降水帯の構造と発達・維持機構③

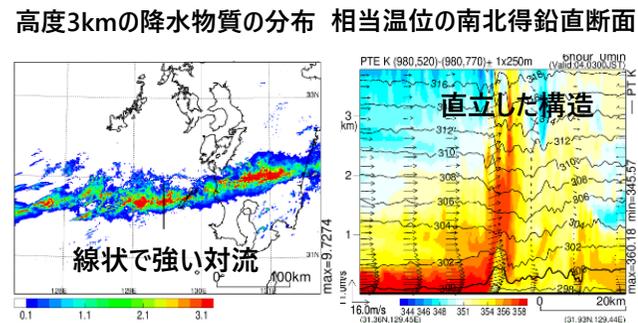
- 線状降水帯の内部構造を数値シミュレーションを用いて詳細に解析。
- 線状の降水システムにおいて、鉛直シアと地表面付近の冷氣塊（コールドプール）の強さのバランス関係が構造を規定し、発達・維持に影響を及ぼすことを確認。
- 数値モデルの再現性の検証と課題の把握に活用されることが期待される。

2021年7月九州南部大雨



コールドプールが鉛直シアに比べて極めて強い状態

2020年7月球磨川豪雨

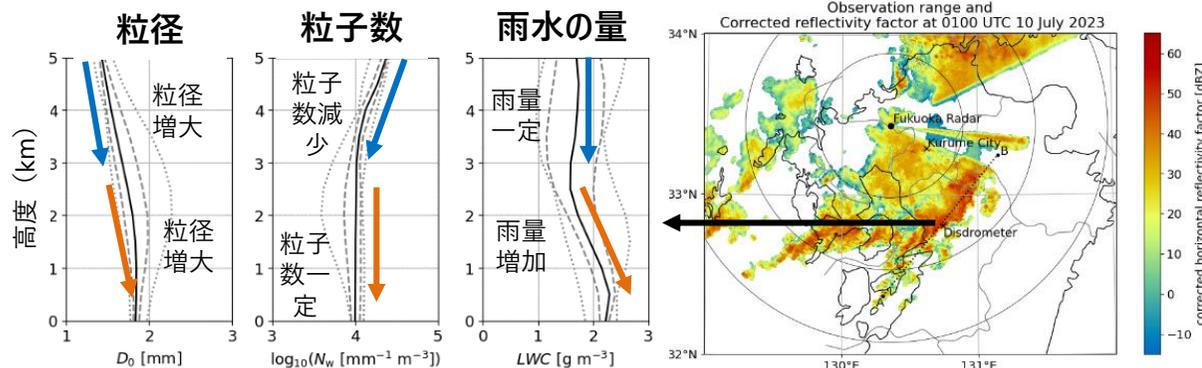


コールドプールと鉛直シアがバランス状態に近い

線状降水帯内部の雨滴粒径分布の解析④

- 線状降水帯内部の雨滴粒径分布の鉛直構造を二重偏波レーダーで詳細に解析。
- 降水システム内部の代表的な雨粒の大きさ・数・雨水の量の推定により、地上に近い高度で雨粒が成長していることを明らかにした。
- 二重偏波レーダーによる強雨の実況把握・直前予測や数値予報モデルの検証に活用。

2023年7月九州北部大雨



Unuma (2023, submitted to SOLA, under review)

• 令和5年度の実施状況・主な成果

- 「富岳」を用いた大アンサンブル実験
 - 線状降水帯事例等の大アンサンブル実験結果の解析により、少数アンサンブルの参照値として用いる大アンサンブルの確率予測精度向上とその組成に関する知見を得た。
- 集中観測データを用いたデータ同化技術の開発
 - 集中観測データを活用してデータ同化手法の改良・高度化を行い、降水予測精度が向上することを確認。
- 風洞実験等を活用した接地境界層過程の改善
 - 昨年度までに理論的に導出した地表面フラックス診断式を詳細モデル(LES)に実装して風洞・露場データの再現性向上を確認。

• 今後の課題

課題：予測技術向上に向けた各研究課題の継続的な実施・推進が必要。

- 大アンサンブル確率予測を参照値とした少数アンサンブル確率予測の評価・改善の取組と、そこから得られた知見の活用による局地アンサンブルの設計への貢献。
- 集中観測データ等を活用した、数値予報モデルの物理過程の検証及びデータ同化研究の推進。
- 機能強化した風洞装置を用いた不安定温度成層時の実験とそれに基づく接地境界層過程の検証・改良。

開催趣旨と概要

- 線状降水帯WG第3回会合（令和3年12月）の議論を受け、線状降水帯の機構解明研究の着目点・観測手法等を議論するための研究会を設置（座長：竹見委員、事務局：気象研究所）。
- 機構解明研究の計画や進捗等を報告し、議論・意見交換を行うことによって、その内容を研究に反映させるとともに、関連機関・研究者との連携推進や新たな連携の構築に資することを目指す。
- 令和4年2月からこれまで計8回の研究会をオンライン開催。国内の研究者（WG委員と関係者及び機構解明研究参加の研究者、学生等も含む）、気象庁関係官ら100～150名程度が参加。

今年度の開催状況

- 第8回会合を令和5年10月12日に開催。線状降水帯の情報提供に係る雨量プロダクトや数値予報モデルについて、検証結果や課題、開発計画等を含む話題提供があった。
 - 今出水期の集中観測、線状降水帯事例の概要（気象研究所）
 - 線状降水帯に関する情報（顕著な大雨に関する気象情報）に用いる雨量プロダクトについて（気象庁）
 - 今出水期の線状降水帯事例に関する予測結果と数値予報モデルの課題（気象庁）
 - 極端大気現象の予測精度向上に関する展望（伊藤（耕）委員）

今後の開催について

- 今後も以下のような内容を中心に開催予定。
 - 機構解明・予測技術向上に向けた各種研究の進捗・成果の共有・議論
 - 研究成果を予測精度向上に繋げるための方策等の検討・議論



線状降水帯の機構解明に関する研究会
（第8回、令和5年10月12日）

これまでの取組

- 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」の政策対応枠において、令和3年度より「豪雨防災、台風防災に資する数値予報モデル開発」課題を実施し、局地モデル（水平解像度1km）、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。
- 開発中の**局地モデル（水平解像度1km）**を用いて**リアルタイムシミュレーション実験**（予測領域：令和4年度は西日本、令和5年度は全国に拡張）を実施。
- 令和4年度に**メソ数値解析予報実験システムを「富岳」上に構築し、大学の研究者に試行として利用いただき、実験システム利用にあたっての技術的課題等についてフィードバックを得た。**

令和5年度の「富岳」活用の成果

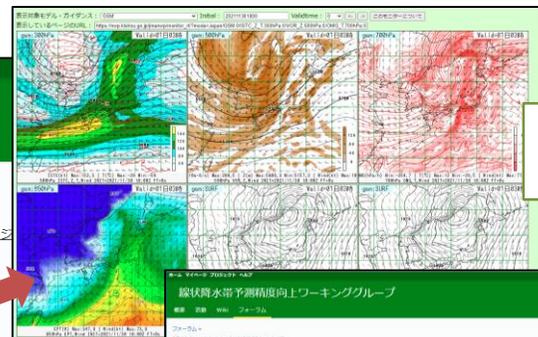
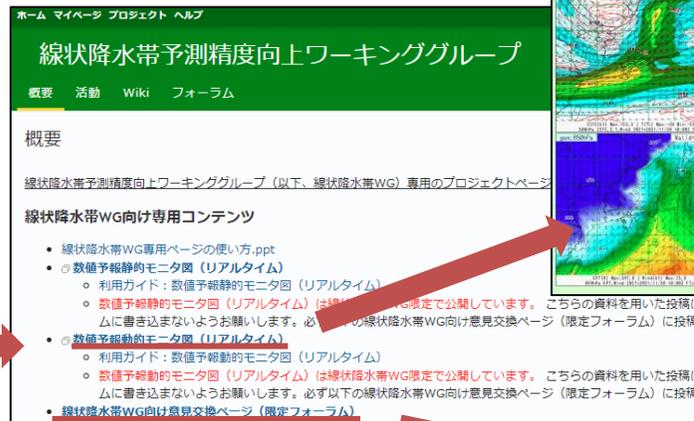
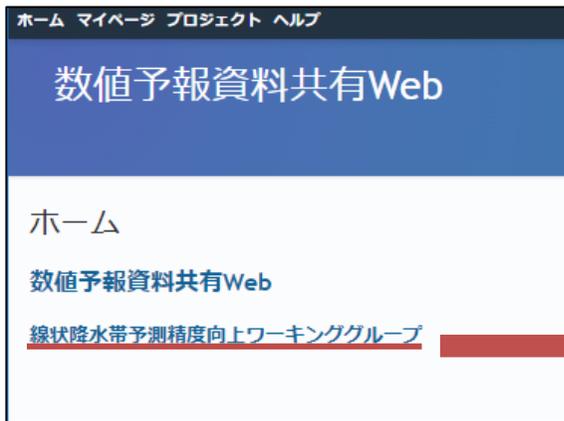
- 局地モデルの**水平解像度を2kmから1kmに高解像度化することにより、強い降水を過大に予測する傾向は残るものの、緩和されることが分かった。**
- 数値モデルの**予測計算の高速化に関する開発を実施した。**この開発で得られた知見を局地モデルの予測時間延長（令和5年度末予定）に活用する予定。

新たな学官連携の取組

- 線状降水帯の予測精度向上に向けては、観測データの更なる高度利用が重要であり、**大学や研究機関が有する先端的な知見を活用することで、観測データの高度利用に係る開発の更なる加速化が期待される。**
- このため、令和4年度に構築した実験システムを活用した新たな取組として、**二重偏波気象ドップラーレーダーやひまわり晴天放射輝度のデータ利用をテーマとした共同研究**提案を募集し、外部有識者を含む選定委員会による選定を経て、大学や研究機関との共同研究（3件）を進めている。

数値予報資料共有Web（線状降水帯WG向け専用）

- 線状降水帯発生時等に現象や予報の状況を共有するため、リアルタイムに数値予報資料（「富岳」リアルタイムシミュレーション実験結果を含む）を共有するとともに、意見交換用のページを設置（令和3年7月2日～）。
- 線状降水帯事例について、予報の精度や実況の誤差が生じた要因について、意見交換を実施。意見交換を促進する目的で、線状降水帯事例の技術的速報検証（数値予報システムによる予測に関するまとめ）を気象庁担当者が提供。
- 線状降水帯発生事例についての要因分析での連携
 - 議論を深めるため、「線状降水帯の機構解明に関する研究会」に向けた準備や詳細な分析にもご活用もいただきたい。



線状降水帯予測精度向上ワーキンググループ

線状降水帯WG向け議論の広場

投稿番号	投稿日時	閲覧数	返信数	ステータス
202107020001	2021/07/02 13:40	0	0	閉鎖済み
202107020002	2021/07/02 13:40	0	0	閉鎖済み
202107020003	2021/07/02 13:40	0	0	閉鎖済み
202107020004	2021/07/02 13:40	0	0	閉鎖済み
202107020005	2021/07/02 13:40	0	0	閉鎖済み
202107020006	2021/07/02 13:40	0	0	閉鎖済み
202107020007	2021/07/02 13:40	0	0	閉鎖済み
202107020008	2021/07/02 13:40	0	0	閉鎖済み
202107020009	2021/07/02 13:40	0	0	閉鎖済み
202107020010	2021/07/02 13:40	0	0	閉鎖済み

フォーラムにおいてスレッドを立て、様々な情報共有や意見交換を実施

線状降水帯の機構解明研究における連携

- 大学や研究機関と、共同研究や各種プロジェクトによる連携に基づき観測を実施。
- 大学や研究機関に機構解明研究への参画呼び掛けを継続するとともに、観測データ等を用いた解析、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機構解明研究を更に進展。
- 機構解明研究会での議論等も踏まえ、数値予報技術の高度化につながる手法を明確化。

線状降水帯の機構解明に関する研究会

- 研究で得られた知見や手法等を共有し、意見交換を通じて課題を更に深掘り・明確化。
- 予測精度向上のための気象庁の課題を共有し、研究成果を予測精度向上に繋げるための着目点や研究の提案・促進。

「富岳」を活用した予測の強化における連携

- 「富岳」に構築した気象庁の実験システムを活用し、数値予報における観測データの利用手法高度化を通じた線状降水帯の予測精度向上に向けた共同研究を推進。
- 現業数値予報システムの直接的な改良に資する研究成果を出せるように連携を進める。

• 線状降水帯発生 6 条件

① **鉛直シア**：ストームに相対的なヘリシティ (SREH) $\geq 100 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$

※ ストームに相対的なヘリシティ：積乱雲が鉛直軸回りに回転しやすいかの指標

② **対流発生**：500 m高度から自由対流高度までの距離 (DLFC) $< 1000 \text{ m}$

※ 自由対流高度までの高さ：空気塊が自ら上昇するようになるまでの高さ、大気不安定度に関連する

③ **水蒸気供給**：500 m高度の水蒸気フラックス (水蒸気の流入量) $\geq 150 \text{ g m}^{-2} \text{ s}^{-1}$

④ **上空の湿度**：湿度 (500 hPa, 700 hPa) $\geq 60 \%$

※ 500 hPaは約5500 m、700 hPaは約3000 mの高度に対応

⑤ **上昇流域**：鉛直流 (700 hPa, 400 km平均) $\geq 0 \text{ m s}^{-1}$

⑥ **対流発達**：500 m高度の気塊の平衡高度 $\geq 3000 \text{ m}$

※ 平衡高度：空気塊の浮力がなくなる高度

参考文献 加藤輝之, 2017: 中小規模気象学.

• MAUL (湿潤絶対不安定層)

- 飽和状態にある大気成層の気温減率が湿潤断熱減率より大きい状態を湿潤絶対不安定といい、湿潤絶対不安定な状態にある鉛直層を湿潤絶対不安定層 (Moist Absolutely Unstable Layer: MAUL) と呼ぶ。この成層状態である限りは、湿潤対流が持続することになる。

参考文献 竹見哲也, 2023: 湿潤絶対不安定層 (MAUL). 天気, 70, 553-555.

• E-CAPE (Entraining CAPE)

- エントレインメントを考慮した対流有効位置エネルギー (CAPE)