

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5回会合）

令和4年12月27日

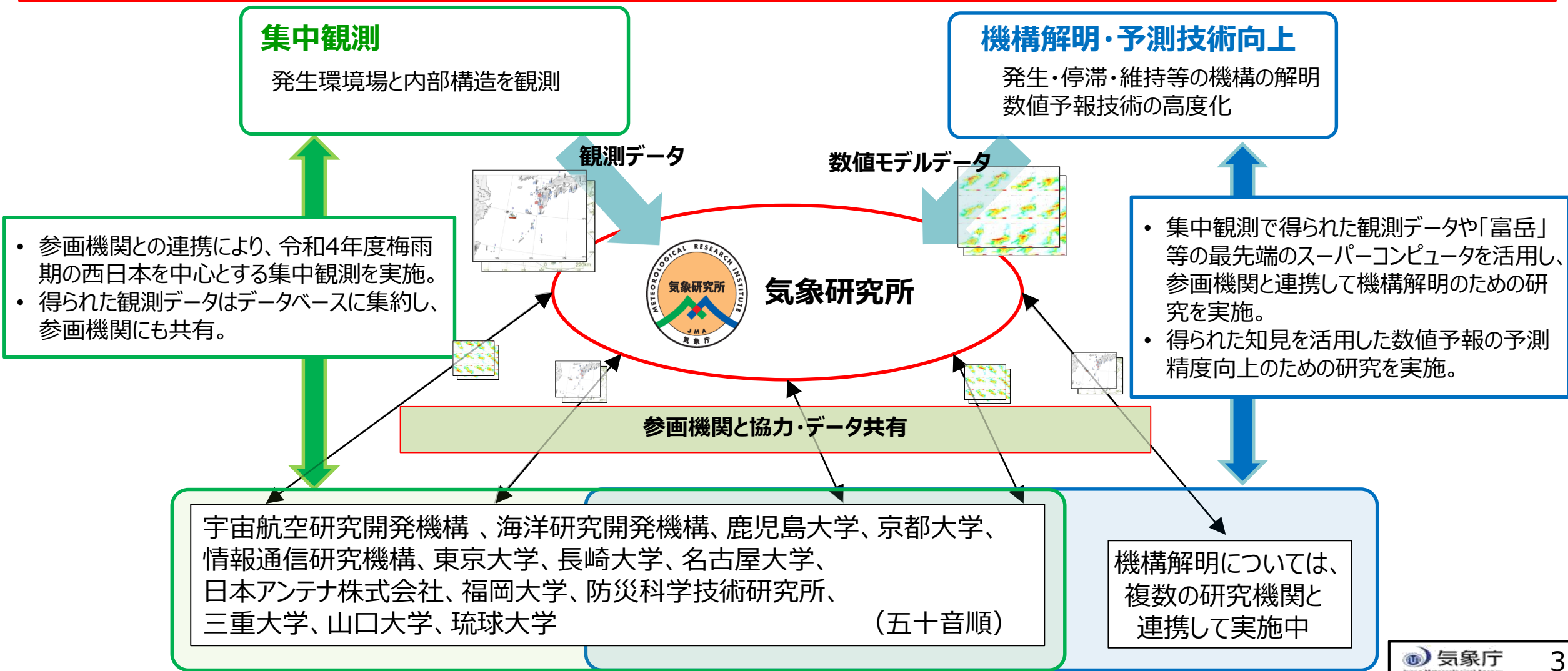
気象庁

資料2の構成

- 3～11ページ目 線状降水帯の機構解明研究
- 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
- 15ページ目 ご議論いただきたい点

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**。



集中観測の概要

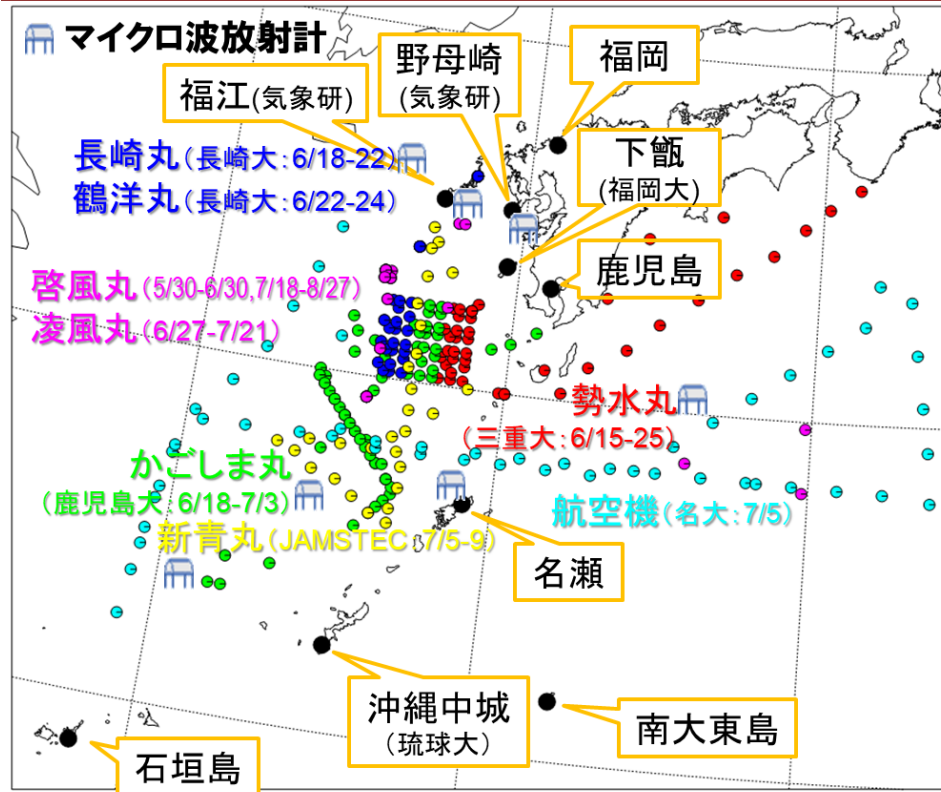
◆ 線状降水帯の発生環境場（特に水蒸気）の観測

- 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

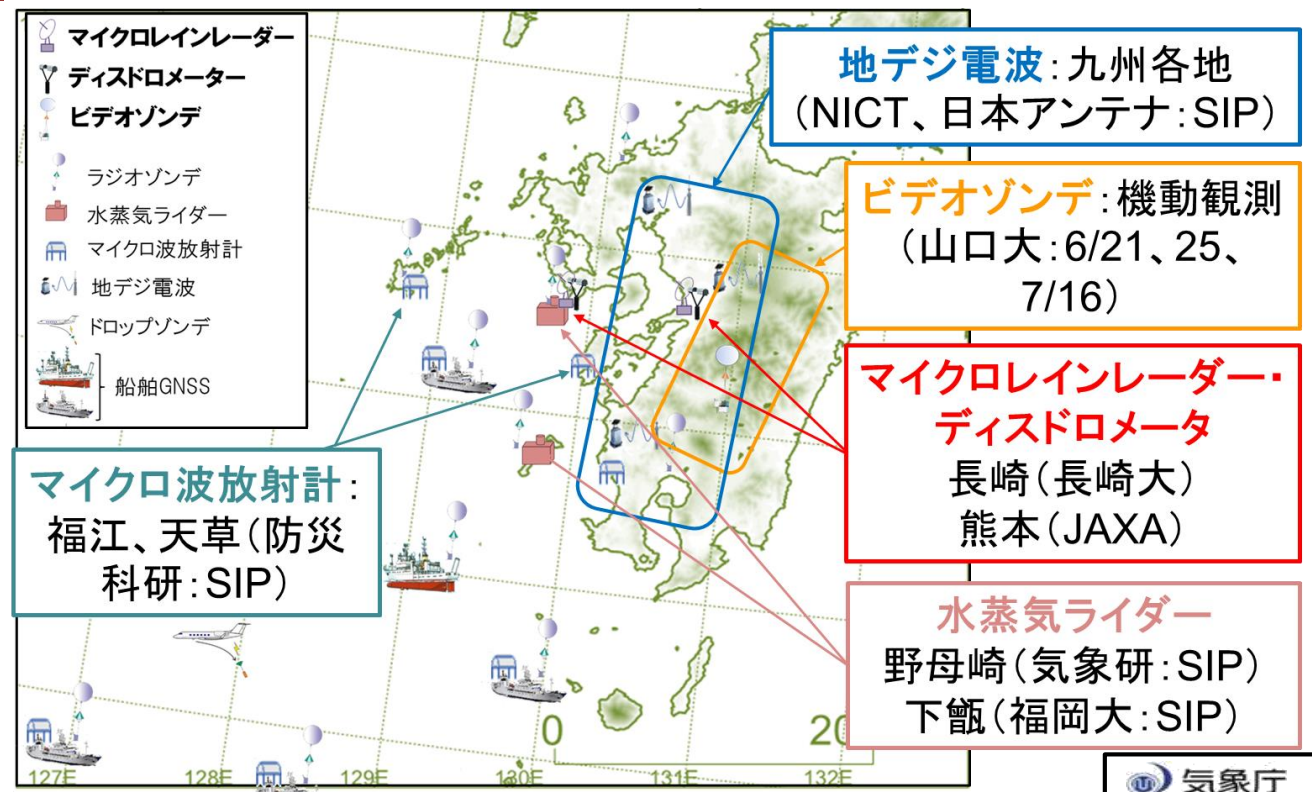
◆ 線状降水帯の内部構造の観測

- 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



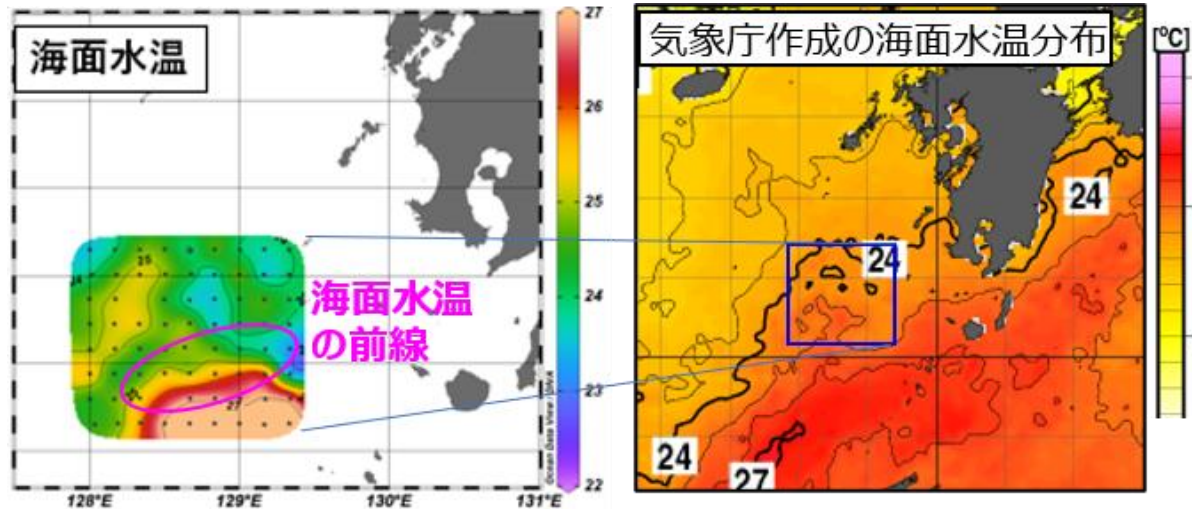
九州付近の観測実施マップ



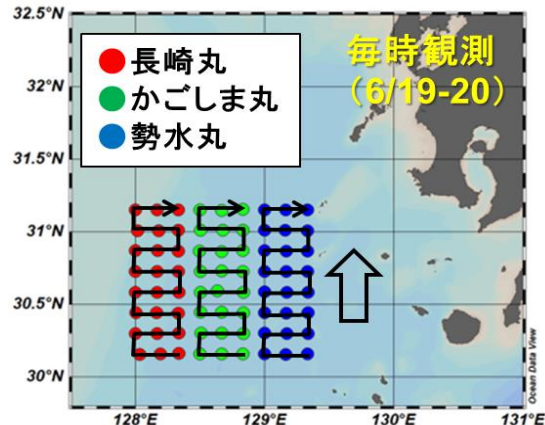
集中観測における観測成果例

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。

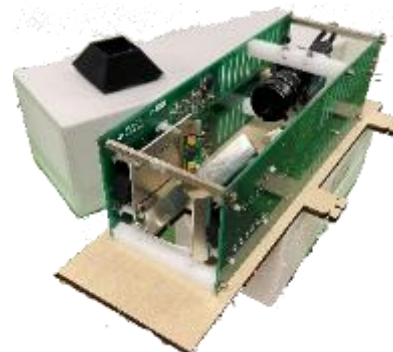


3船が南側からジグザクに北上し、1時間毎に高層ゾンデ観測、海洋観測を実施

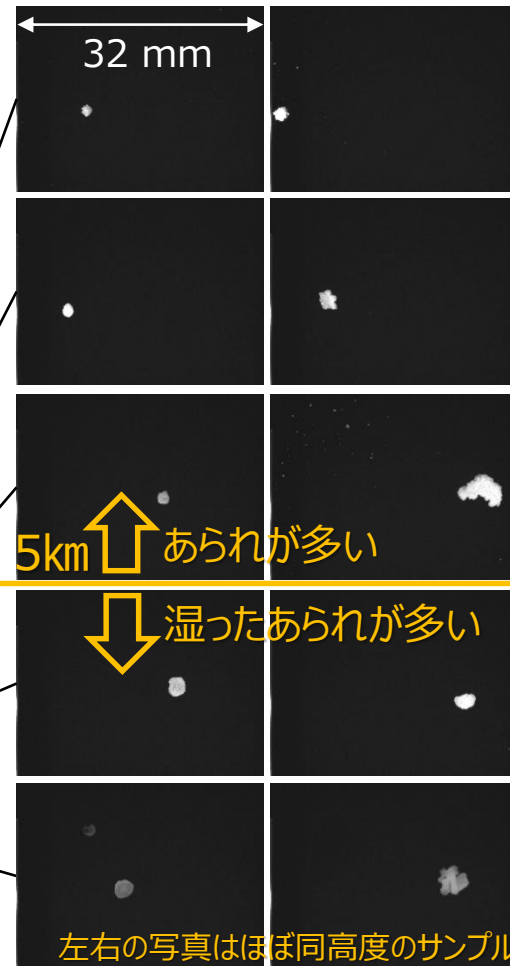
ビデオゾンデによる観測

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

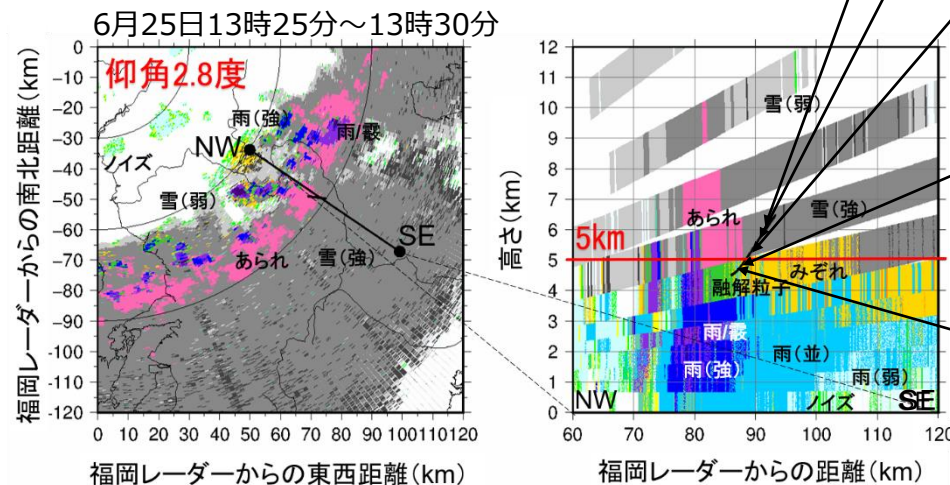


※上空の降水粒子の種類、粒径、落下速度を観測



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



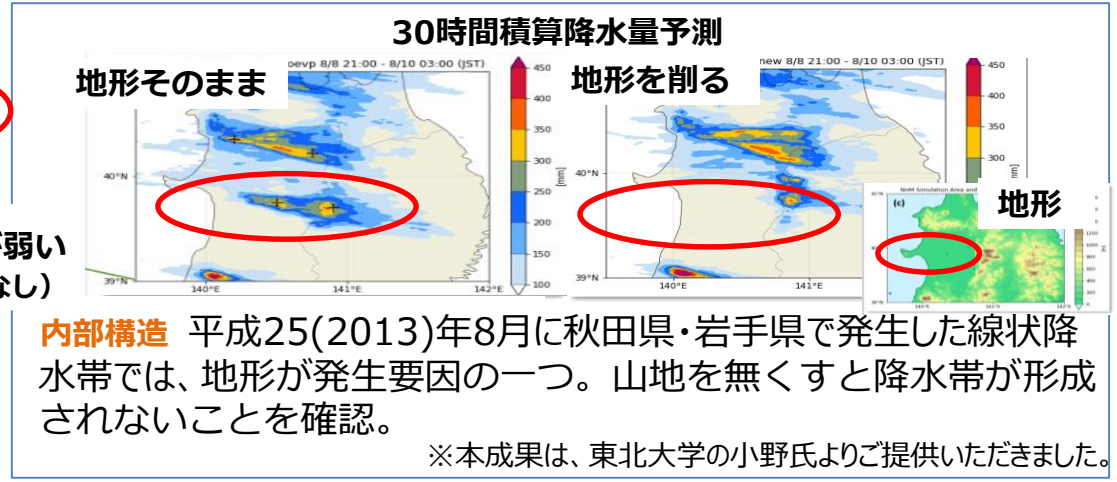
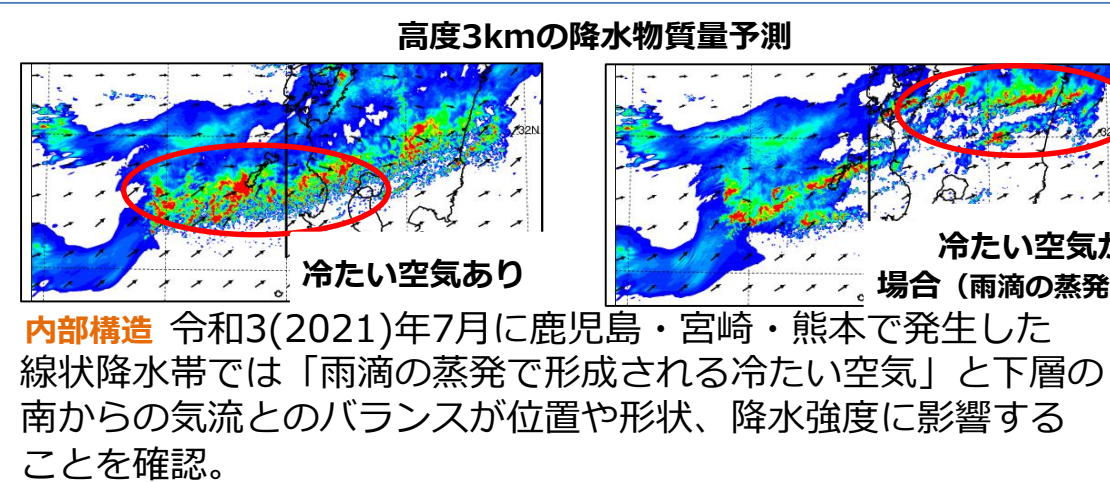
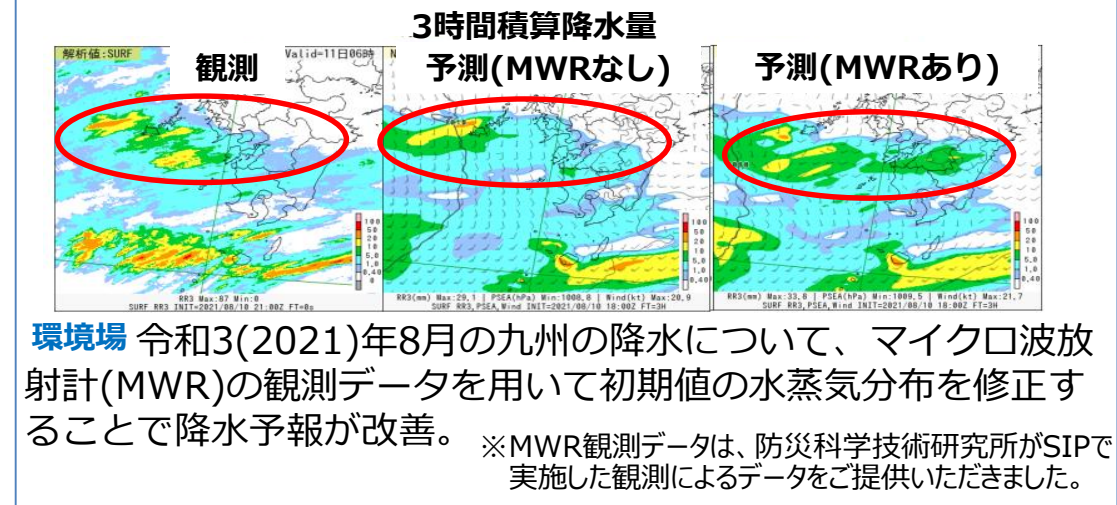
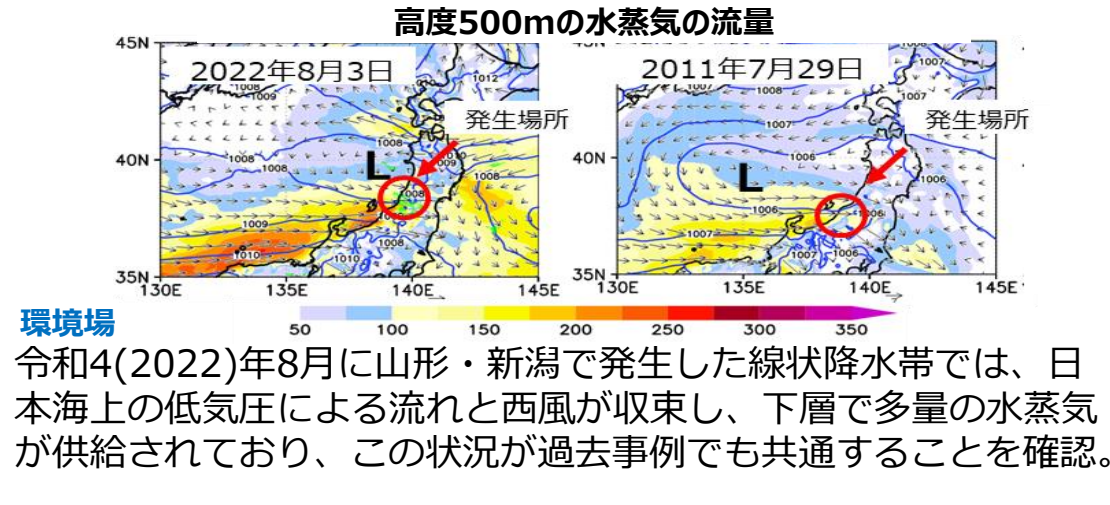
線状降水帯の機構解明・予測技術の向上に係る研究概要

- 線状降水帯に関する学術的な問い（線状の降水システムはどのような機構（メカニズム）で発生するのか？その位置を決定する要因は？その持続性を左右する要因は？）に対し、メカニズムを意識して解析を実施する必要がある。
⇒ 大学等研究機関の研究者にも参画いただき、高分解能な数値モデルや高頻度・高密度データを用いて、**内部構造**（気流や冷氣塊等の構造）と**環境場**（線状降水帯周辺の大気場）の解析を実施中

		研究内容	対応
(a) 線状降水帯の機構解明	(ア)線状降水帯の実態把握と機構解明のための事例解析的研究	環境場からシステム全体の事例解析 高分解能な数値モデルや高頻度・高密度データによる降水種別や気流構造、冷氣塊等の解析	内部構造と環境場
	(イ)数値予報を活用した線状降水帯の診断的予測技術に関する研究	統計調査	環境場
	(ア)集中観測データを用いた数値予報モデルの物理過程の検証と改良及びデータ同化技術の開発	新しい観測データを用いた同化実験の実施、新しい雲微物理スキームの開発と検証	内部構造と環境場
(b) 数値予報技術の高度化	(イ)「富岳」を利用した高解像度大アンサンブル予測システム（EPS）の開発・実行と現業化を想定した少数アンサンブル等の利用方法の開発・調査	大EPS実験環境の構築、及びその出力を用いた応用技術の開発	環境場

線状降水帯の機構解明・予測技術の向上の成果と今後の方針

● 研究成果



● 今後の方針

項目	線状降水帯に関する学術的な問い
予測精度向上に繋がる手法の明確化	<ul style="list-style-type: none"> どのように数値モデルを用いた再現実験や感度実験を行うとメカニズムが明らかになるのか？ 半日先、数時間先の数値予測を向上させるためには、どのような観測や技術・手法が必要か？

「現象のメカニズム解明」のまとめをしつつ「予測精度向上に繋がる手法の明確化」に向けた取組を進める。

線状降水帯の機構解明に関する研究会①

開催の趣旨と目的

- 第3回会合（令和3年12月24日）の議論を受け、線状降水帯ワーキンググループ委員を中心とする研究会を設置（座長：竹見委員、事務局：気象研究所）
- 機構解明を中心として、そのために必要な研究の着目点・観測手法等について議論
- 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旨とする

研究会の概要

- 令和4年2月より、1～3か月に1回程度のペースでオンライン開催
第1回：2月17日、第2回：3月22日、第3回：4月21日、
第4回：6月2日、第5回：9月7日、第6回：11月30日、
第7回：令和5年2月27日（予定）
- 国内の研究者（集中観測参加機関の研究者、学生等も含む）、気象庁関係官ら100～150名程度が参加
- 話題提供の概要：これまでの研究のレビュー、近年の過去事例の振り返り、集中観測と機構解明・予測技術向上研究の計画・進捗、現業数値予報の課題と研究への期待、等

シンポジウムの開催

- 上記の研究会のほか、日本気象学会2022年度春季大会において、令和4年5月19日にシンポジウム「線状降水帯に関する研究の最前線と今後の展望」～メカニズム解明、観測、予測の現状と将来～を開催した。（ファシリテーター：佐藤委員）



線状降水帯の機構解明に関する研究会②

これまでの研究会で扱った内容、得られた成果・知見等

- 近年の顕著事例に関する研究レビューを実施。九州付近の典型的な線状降水帯の二つのタイプとその特徴、線状降水帯発生に係るメソ低気圧等のトリガーとなる現象、停滞・維持に係る冷氣塊等の内部構造を理解することの重要性、機構解明における理想化実験やアンサンブル予報の有用性等を確認。今後、過去事例も含めた様々な事例について、これらの得られた知見に着目した研究・解析の必要性についても確認。
- 集中観測と機構解明・予測技術向上研究の計画・進捗を報告。各観測の実施状況と初期解析結果、マイクロ波放射計観測データの同化開発・実験結果をはじめ、各種研究の実施状況を共有。更に、研究成果を予測精度向上に繋げるための着目点や各機関との連携による研究の取組について提案・議論。今後も各研究の実施状況について幅広く共有するとともに、研究成果を予測精度向上に繋げていくための方策に関する議論継続の必要性を確認。
- 現業数値予報の現状と課題等について数値予報課から共有。予測精度向上に向けた予報モデル・観測データ利用・アンサンブル予報それぞれにおける課題と課題解決に向けた研究への期待、今出水期に発生した主な線状降水帯の予測状況等が共有され、数値予報にとって重要な水蒸気観測とは何か、各事例で予測がうまくいかなかった要因等について議論された。今後も数値予報の課題や予測がうまくいかなかった事例について共有・議論していくことの必要性を確認。

今後の開催について

- 次回は令和5年2月27日に開催を予定。
- 日本気象学会2023年度春季大会（令和5年5月16日（火）～5月20日（土））において、専門分科会「線状降水帯の機構解明・予測技術向上に向けた研究の成果と今後の課題」（世話人：佐藤正樹（東大大気海洋研）、竹見哲也（京大防災研）、永戸久喜（気象研）、加藤輝之（気象研）、瀬古弘（気象研））を開催予定。

✓ なぜそこで**発生**するのか

降水系の発生に主な影響を及ぼす環境場の条件とトリガーとなる現象・要因の理解

✓ なぜ**停滞**するのか

降水系の停滞に主な影響を及ぼす環境場の条件と内部構造の特徴及びそれらの相互作用の理解

✓ なぜ**維持**されるのか

降水系の維持に主な影響を及ぼす環境場の条件と内部構造の特徴及びそれらの相互作用の理解

✓ いつまで続くのか（**消滅**）

降水系の停滞・維持に影響を及ぼす各種条件等が解消される要因の理解

線状降水帯の機構解明のポイント（現状・課題、今後の取組）

項目	現状	取組の状況(主な成果)	課題	今後の取組など
発生	<ul style="list-style-type: none"> ✓ これまでの研究により、線状降水帯が発生しやすい環境場の各要素とその条件（線状降水帯発生6条件）が明らかになってきている。 ✓ 一方で、線状降水帯は様々な状況・場所で発生するため、個々の事例の状況を確認するとともに、それらを基に条件の改善・見直し等を行う必要がある。 ✓ 発生のトリガーとなるような各種現象に関する理解も必要。 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 2022年の出水期の事例を抽出し、注目すべき事例発生時の環境場について、<u>線状降水帯発生6条件の各要素の状況を調べ、その特徴を取りまとめた。</u> ✓ 2022年8月の<u>東北・北陸の事例について</u>、過去事例も含めて環境場を調べたところ、東北西方の低気圧性循環による下層収束場の形成と維持等の<u>いくつかの特徴が、過去事例と共通していること</u>が判明。 ✓ 2013年8月に秋田県・岩手県で発生した線状降水帯では、<u>地形が発生源の一つ</u>であることを確認(東北大学・小野氏の研究から)。 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 環境場について、客観解析や集中観測データを用いて、主に線状降水帯の発生期間の特徴を調査してきたが、<u>発生タイミングに関わる特徴の把握（環境場の変化や発生のトリガーに関する理解）が不十分</u>。 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 引き続き<u>様々な事例について調査を行う</u>とともに、線状降水帯発生6条件について、解析期間を広げて発生前後についても調べることで、発生タイミングや降水量等を表現可能かどうかを確認する。 ✓ <u>発生のトリガーとなるような各種現象に関する調査</u>も進める。 ✓ 得られた知見は、診断的予測の改善や数値予報モデルの検証・改良に資する。
停滞	<ul style="list-style-type: none"> ✓ これまでの研究により、線状降水帯の停滞・維持には、発生しやすい環境場の状況が継続することに加え、その下で、線状降水帯を構成する積乱雲群等の内部構造が影響を与えていることが示唆されている。 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 2021年7月の九州の事例について、下層に形成される冷氣塊の強まりと構造変化に注目して解析した。本事例において、<u>冷氣塊は風の鉛直シアとのバランスによって線状降水帯を構成する積乱雲群の発生・発達に影響を与え、線状降水帯の発達・維持・停滞に重要な役割を果たしていることが示された。</u> 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ <u>内部構造について</u>、高分解能モデルで再現できた事例数、観測データを用いた高分解能な解析の事例数も少なく、<u>さらなる事例の蓄積が必要</u>。 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 引き続き、様々な事例について<u>高分解能モデルによる再現実験とその結果を用いた解析を進める</u>とともに、より包括的に理解・評価するため、環境を理想化した実験を行う。 ✓ レーダー等を用いた高分解能な解析についても進める。 ✓ 得られた知見は、数値予報モデルの検証・改良に資する。
維持	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 事例によって環境場や内部構造が異なるため、様々な事例についての調査が必要。 			
消滅	<ul style="list-style-type: none"> ✓ これまでの研究により、線状降水帯の消滅には、発生しやすい環境場の状況の終焉が影響することが示唆されている。 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 特段の取組無し 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 環境場について、主に線状降水帯の発生期間の特徴を調査してきたが、<u>消滅に関わる特徴の把握が不十分</u>。 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 線状降水帯発生6条件について、解析期間を広げて<u>消滅期についても調べる</u>ことで、消滅時の各条件の特徴を確認する。 ✓ 得られた知見は、診断的予測の改善や数値予報モデルの検証・改良に資する。

「富岳」を活用した予測の強化における連携

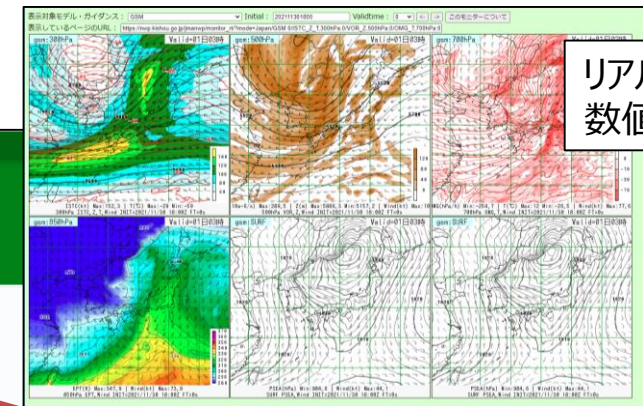
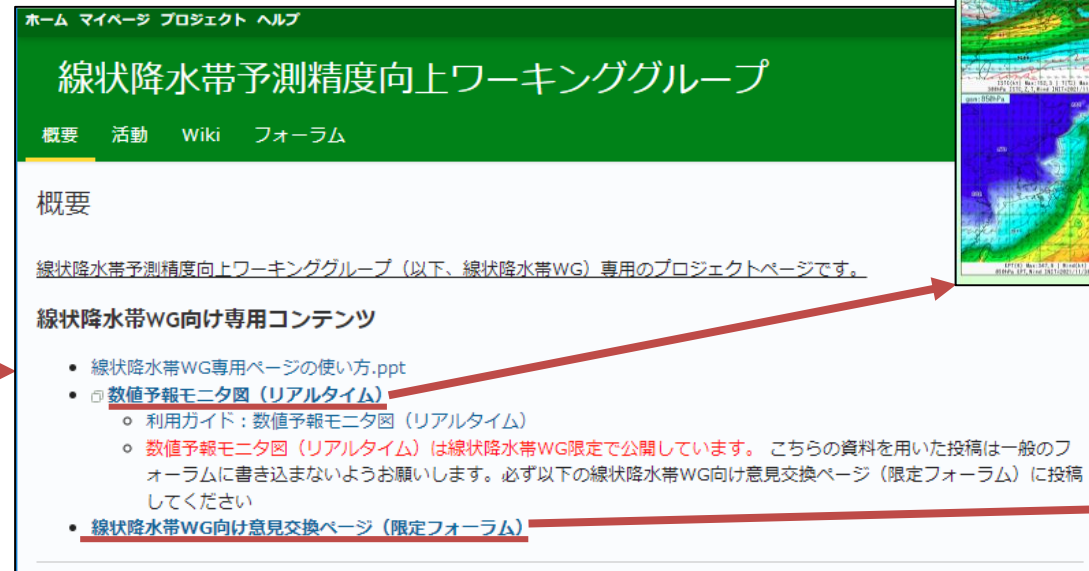
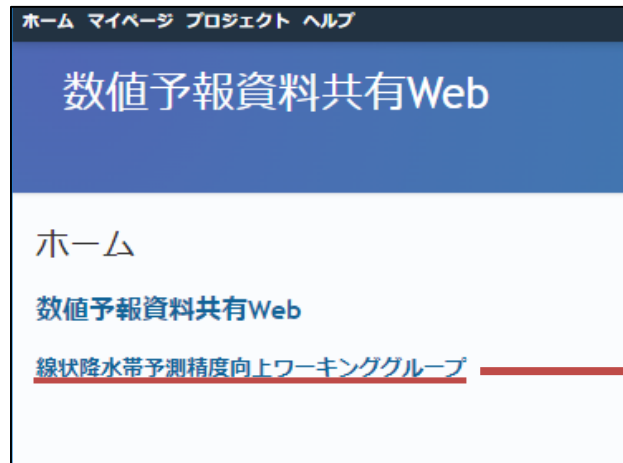
「富岳」を活用した取組

- 令和2年度より成果創出加速プログラムの「防災・減災に資する新時代の大アンサンブル気象・大気環境予測」課題にて局地アンサンブルの開発を行うとともに、令和3年度より政策対応枠の「豪雨防災、台風防災に資する数値予報モデル開発」課題にて局地アンサンブルや全球モデル等の開発を行っている。
- また、これらの開発を効率的に行うため、気象庁で運用している最新の現業数値予報システムと同等の実験システム（以下、実験システム）の「富岳」への移植・構築を進めている。
- **文部科学省や理化学研究所、大学等の研究機関の協力を得て、線状降水帯予測に資する以下の課題に関する開発を加速化する。**
 - ✓ 高解像度数値予報モデル（解像度1km）の開発
 - ✓ 気象庁スーパーコンピュータと「富岳」間の回線を整備し、令和4年度出水期をかけた、開発中の高解像度数値予報モデルを「富岳」上でリアルタイムで試験的に実行
 - ✓ 赤外サウンダデータ、ひまわり大気追跡風データ等の高密度・高頻度データの同化技術開発、二重偏波レーダーデータの偏波情報の利用開発

加速化のための連携強化

- 「富岳」の計算機資源と気象庁が構築した実験システムを活用し、大学・研究機関等と連携して上記の加速化課題に関する開発を連携して進めて参りたい。
 - ✓ 令和4年度は一部の研究者の先生方に本実験システムによる動作確認を含む実験を試行頂き、システム利用やマニュアル整備について有意義なコメントを頂いた。

- 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を共有するとともに、意見交換用のページ（フォーラム）を設置（令和3年7月～）
- 今年度は、数値予報資料共有Webの機能を拡張し、利便性を向上させるとともに、「富岳」を活用したリアルタイムシミュレーション実験結果や、不安定指数等の新たな要素を追加した。
- 線状降水帯が発生した際に、数値予報システムの予測結果に関する速報的な検証資料の共有を行った。



- 線状降水帯の機構解明研究における連携
 - 大学等研究機関と、共同研究や各種プロジェクトによる連携も視野に観測を実施
 - 大学等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、集中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
 - 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た、数値予報モデル開発や高頻度・高密度観測データの同化技術開発等の推進
- 数値予報資料共有Web
 - 意見交換を更に活発化させる方策を検討

- 線状降水帯の機構解明研究における連携
 - 集中観測に関する振り返りと、今後の進め方に関して
 - 線状降水帯の発生・停滞・維持等の機構解明の解明や数値予報技術の高度化に向けた研究の推進に係る更なる連携に関して
- 線状降水帯の機構解明に関する研究会
 - 今年度の取組の振り返りと、今後の進め方等に関して
- 「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た、数値予報モデルや観測データの高度利用手法の開発に関して
- 数値予報資料共有Web
 - リアルタイムな数値予報資料（「富岳」リアルタイムシミュレーション実験の結果も含む）の利用や、速報検証資料の共有、意見交換等、今年度の取組の振り返りと、更なる活用に関して

【参考】線状降水帯の機構解明に関する研究会の議題

第1回（令和4年2月17日（木）13:30～17:00）

- ・「集中観測等による線状降水帯の機構解明研究」について 永戸久喜（気象研）
- ・線状降水帯研究に関するレビューと課題 加藤輝之（気象研）
- ・近年の線状降水帯について 廣川康隆（気象研）
- ・令和3年7-8月の線状降水帯事例について 益子渉（気象研）

第2回（令和4年3月22日（火）13:30～17:00）

- ・線状降水帯の予測に関する現業数値予報の課題と機構解明研究への期待 計盛正博（気象庁数値予報課）
- ・集中観測の計画
 - 気象庁・気象研の観測計画～線状降水帯の機構解明に向けて 清野直子（気象研）
 - 第2期SIPにおける水蒸気観測とデータ同化予報実験の概要 清水慎吾（防災科研）
- ・過去事例の振り返り
 - 2018年7月豪雨と2017年7月九州北部豪雨の対照的特徴 辻宏樹（東大大気海洋研）
 - 2017年および2018年の7月に日本において発生した豪雨期間の降雨特性およびその環境条件 竹見哲也（京大防災研）

第3回（令和4年4月21日（木）13:30～17:00）

- ・集中観測の計画
 - 科研費新学術hotspot2の観測計画 立花義裕（三重大生物資源）
 - 東シナ海の大気循環と集中豪雨の日変化に着目した南西諸島における高層観測 山田広幸（琉球大理）
- ・過去事例の振り返り
 - 2017年7月5日に九州北部地方に記録的な豪雨をもたらした線状降水帯の発生・維持過程 川野哲也（九大理）
 - 線状降水帯の高解像度理想化実験 伊藤純至（東北大理）

第4回（令和4年6月2日（木）14:00～17:30）

- ・集中観測の計画
 - 集中観測の実施概要 加藤輝之（気象研）
 - 全球降水観測計画(GPM)二周波降水レーダ(DPR)の観測と集中観測で目指す内容 久保田拓志（JAXA）
 - 新しい降水粒子撮像ゾンデRainscopeによる梅雨集中観測計画 鈴木賢士（山口大院創成）
- ・過去事例の振り返り
 - 令和2年7月4日に九州南部で豪雨を生じた梅雨前線低気圧への上層トラフの影響 栃本英伍（気象研）
 - 大アンサンブルを用いた線状降水帯の理解と確率予測 川畑拓矢（気象研）

第5回（令和4年9月7日（水）13:30～17:00）

- ・今出水期に発生した線状降水帯事例
 - 今出水期に発生した線状降水帯事例と発生環境場の概要 廣川康隆・栃本英伍（気象研）
 - 2022年6月～8月にかけて発生した線状降水帯および関連する事例における数値予報システムにおける予測結果について 山下浩史（気象庁数値予報課）
- ・集中観測の実施状況
 - 集中観測の実施状況の概要について 加藤輝之（気象研）
 - SIPプロジェクトにおける2022年観測報告 清水慎吾（防災科研）
 - 科研費と気象庁との共同研究による2022年梅雨期東シナ海三隻同期大気海洋観測速報 立花義裕（三重大生物資源）
- ・機構解明と予測技術向上に向けた研究の概要 瀬古弘（気象研）

第6回（令和4年11月30日（水）13:30～17:00）

- ・ドロップゾンデを用いた水蒸気量の水平・鉛直断面観測の概要と初期解析結果 篠田太郎（名大ISEE）
- ・2022年8月3日に山形・新潟で発生した集中豪雨に関わる循環場および環境場について 栃本英伍（気象研）
- ・平成29年7月九州北部豪雨をもたらした線状降水帯の3DVAR+IAUを用いた内部構造解析 下瀬健一（防災科研）
- ・地上マイクロ波放射計観測網による水蒸気観測と同化実験結果 荒木健太郎・幾田泰醇（気象研）
- ・第2回「線状降水帯の機構解明・予測技術の向上」発表会の報告 瀬古弘（気象研）