

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9回会合）

令和6年12月25日

気象庁

線状降水帯の機構解明研究（スライド 3 ～14）

線状降水帯の機構解明に関する研究会（スライド15）

数値予報資料共有Web（スライド16）

ご議論いただきたい点（スライド17）

線状降水帯の機構解明研究：概要

- 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

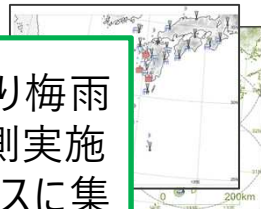
発生環境場と内部構造を観測
成果を機構解明・予測技術向上の研究に共有

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

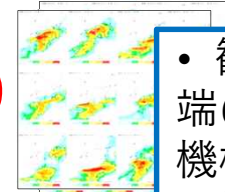
- 連携により、R4年度より梅雨期西日本中心に集中観測実施
- 観測データはデータベースに集約し、参画機関にも共有

観測データ



気象研究所

数値モデルデータ



参加機関と協力・データ共有

- 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

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6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

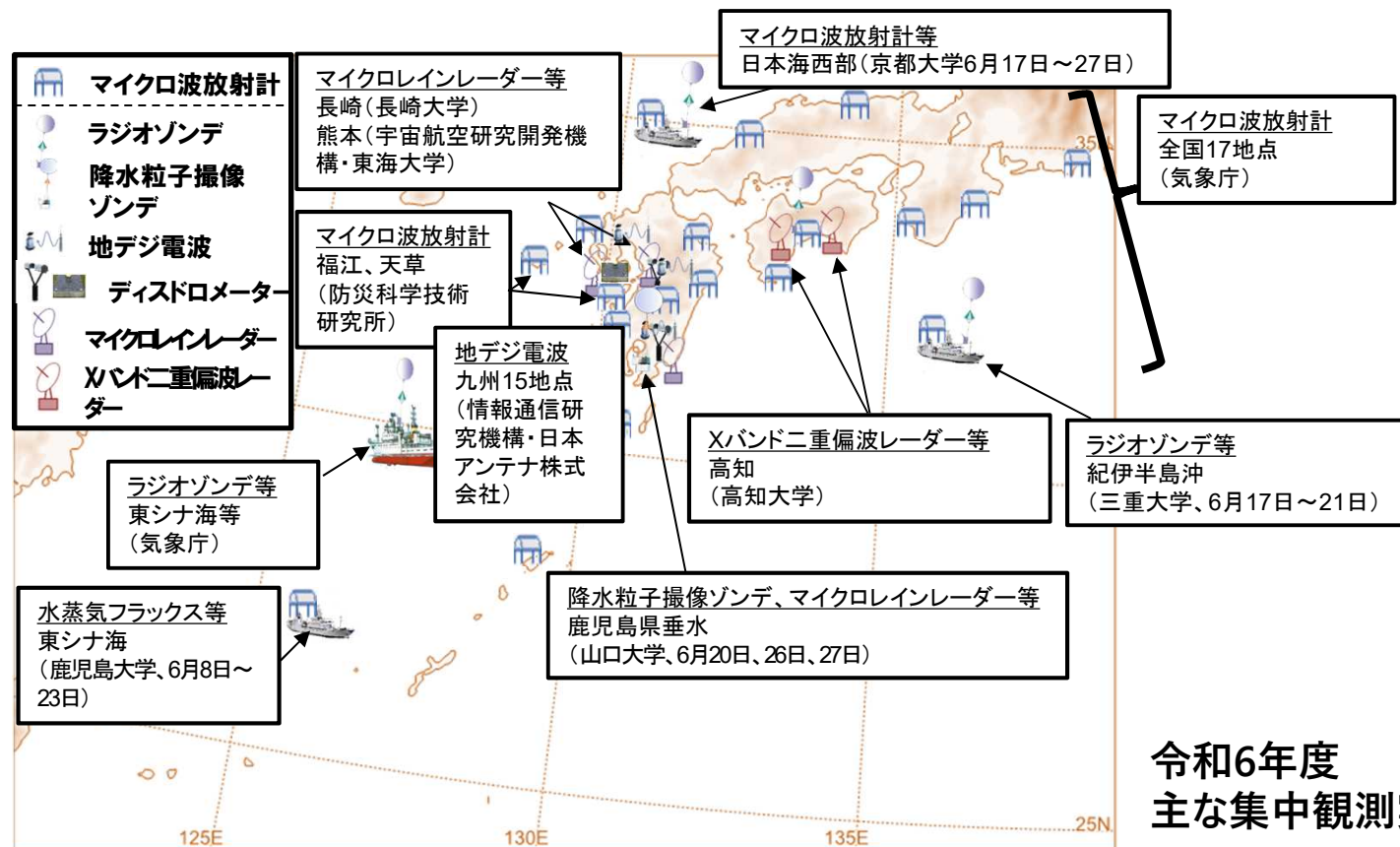
線状降水帯の機構解明研究：取組の進捗状況

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
<p>集中観測</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 大学や研究機関との連携により、令和5年6月～10月に西日本を中心とした観測を実施した。 ✓ 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継続した。 	<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6年6月～10月に観測を実施し、降水粒子撮像ゾンデ観測では融解層付近の降水粒子の貴重なデータを取得、船舶での海面からの水蒸気供給量観測ではデータの品質管理手法を確立してモデル検証に着手した。 ✓ 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継続・推進した。
<p>機構解明</p>	<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、それらの知見を集約するため、線状降水帯の分類表の提案を行った。 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 過去事例について解析を継続するとともに、新たな事例の解析や外部研究者からの意見や研究成果も取り入れながら、分類表をベースに知見の集約を進めた。 ✓ 今出水期の線状降水帯発生時の気象場の特徴について、過去との比較を通じて調査した。
<p>予測技術向上</p>	<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、結果の解析を行った。 ✓ 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、理論的に導出した乱流変動を考慮した運動量輸送の診断式を、中立時について風洞実験と野外観測によって検証するとともに、詳細モデル (LES) に実装して風洞データの再現性を確認した。機能強化した風洞装置の予備実験・調整も実施。 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ これまでの実験によって得られた知見を局地アンサンブル強化の方向性評価に資する形でとりまとめた。また asuca-Varをベースとしたアンサンブルデータ同化システムの開発に着手した。 ✓ マイクロ波放射計について、1 DVARで得られた気温や湿度の鉛直分布を同化してそのインパクトを調べた。 ✓ 不安定領域における診断式の高度化のため、詳細モデル (LES) ・風洞実験・野外観測をもとに、不安定成層における乱流輸送の解析を進めた。

【集中観測】成果概要

大学や研究機関との連携により、6月～10月に九州を中心とした西日本で**集中観測を概ね予定通りに実施**。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。

- ・ 福江・天草のマイクロ波放射計観測（防災科研）を実況監視に利用。
- ・ 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観測を、鹿児島県垂水で実施（山口大）。
- ・ 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実施（高知大）。

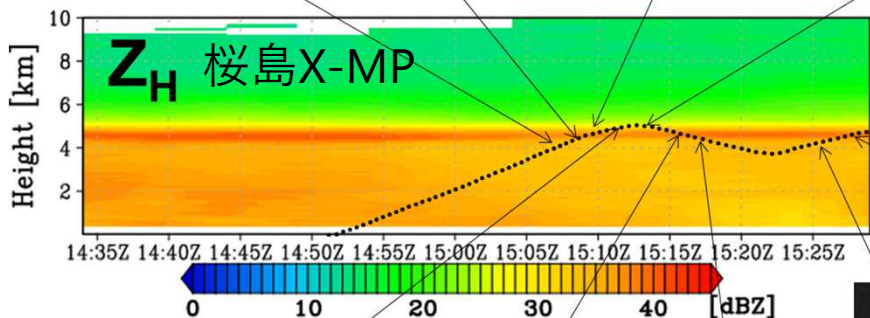
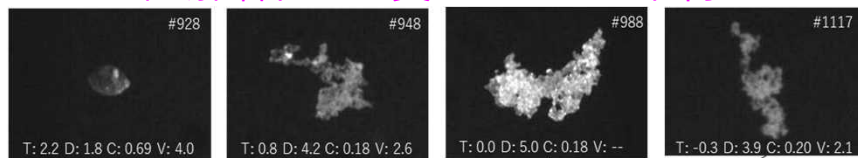


【集中観測】観測成果例（Rainscope観測）

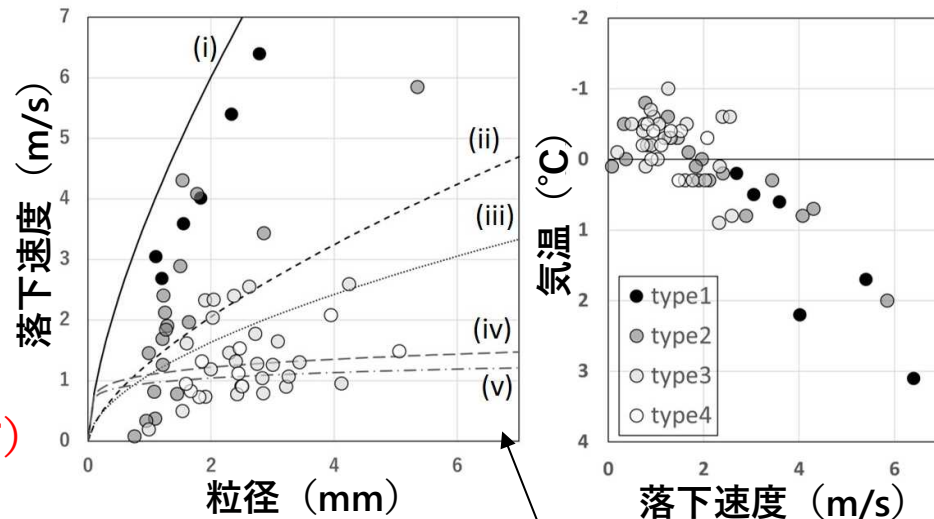
降水粒子撮像ゾンデ観測により、融解層付近の降水粒子の貴重なデータを取得。

観測年月日	放球時刻	備考
2024/6/20	14:51	浮力が足りず融解層前後で水平飛行 ↑ 降雪がRainscopeに降り積もったため
2023/6/20	16:51	雲頂高度11.4km（1724画像）
2023/6/26	13:49	高度5kmで落下（桜島噴煙の影響？）
2023/6/27	19:38	雲頂高度12.5km（1380画像）
2023/6/27	22:03	高度9kmで送信停止（データ5kmまで）

6月20日14:51放球事例（層状性降水雲融解層内の粒子分布）
融解層付近の貴重なデータを取得



← 5mm →



(i)～(v)：経験曲線。(i) 水滴 (Atlas et al. 1973),
(ii) 塊状霰 & (iii) 六花霰 (Locatelli and Hobbs 1974),
(iv) 濃密雲粒付雪片 & (v) 雲粒付雪片 (Ishizaka 1995)

- 粒子形状、透明度などから経験的に、融解度合いをtype1～4に分類
 - type1：ほとんど融けている粒子
 - Type4：元の形状をほぼ残している粒子
- 元の形状がわからなくなる程度に融解が進むと落下速度が急激に大きくなる傾向を確認
- 気温が高くなるほど落下速度が大きくなる傾向を確認

【集中観測】観測成果例（顕熱・潜熱フラックス観測）

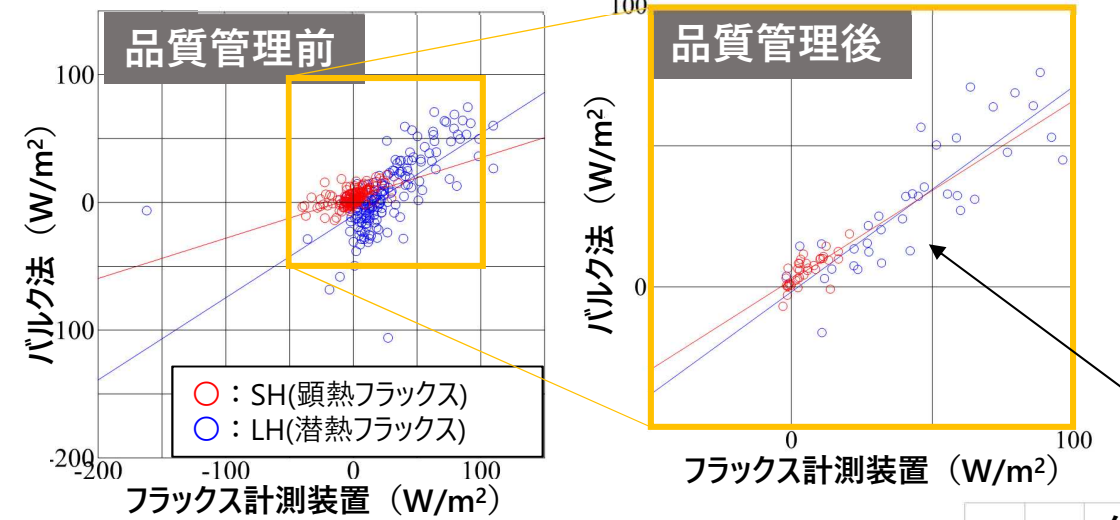
海面から大気への水蒸気供給量の観測データの品質管理手法を確立するとともに、モデル検証に着手。

2024年
6月8-21日

バルク法（潜熱フラックス/MSMに導入）

$$LH = L_v C_q V_{srf} (q_{vs}(SST) - q_{vsrf})$$

L_v : 水から水蒸気への蒸発熱、 C_q : 水蒸気のパルク係数、 V_{srf} : 海上の風速($m s^{-1}$)、
 $q_{vs}(SST)$: 海面水温 SST に対する飽和混合比($g kg^{-1}$)、 q_{vsrf} : 海上の大気の混合比($g kg^{-1}$)



船舶搭載乱流フラックス計測装置



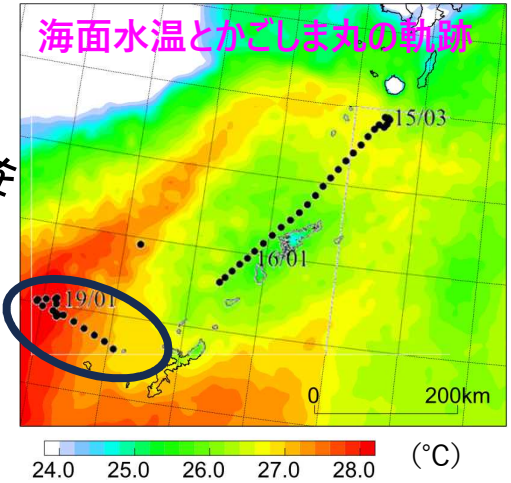
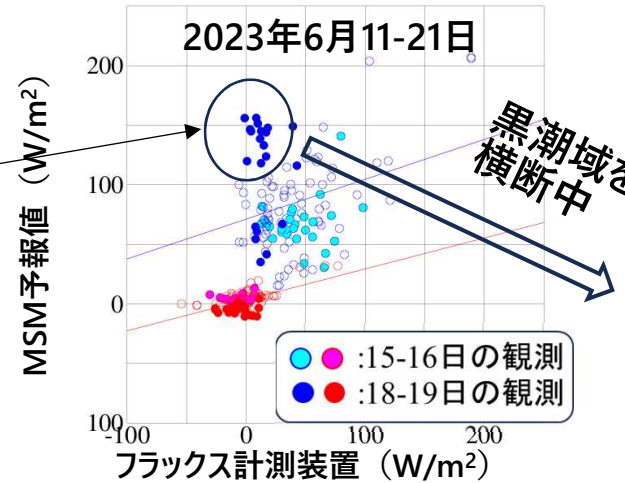
超音波風速計で測定した水平・鉛直の風3成分と、赤外線H₂O/CO₂アナライザで測定した水蒸気量の変動(20 Hz)を用いた大気乱流理論に基づく渦相関法で算出

回帰直線上におおむね乗っており、問題なく観測されていることが確認できる。

LHの観測値が0付近であるにも関わらず、MSM予報値が100W/m²以上



SSTの分布の違いに加えて、その分布が水平風速に与える影響により予報値の過大に繋がっている可能性



【機構解明】発生形態の体系的な分類表の更新

- 線状降水帯の発生形態の分類表について、**線状降水帯予測精度向上WG委員等の庁外研究者の協力も得ながら更新**作業を継続。
 - 内容については第10回線状降水帯の機構解明に関する研究会（10/9）、気象学会秋季大会（11/14）で発表。
- 令和6年度の線状降水帯事例の分類表への当てはめを実施。

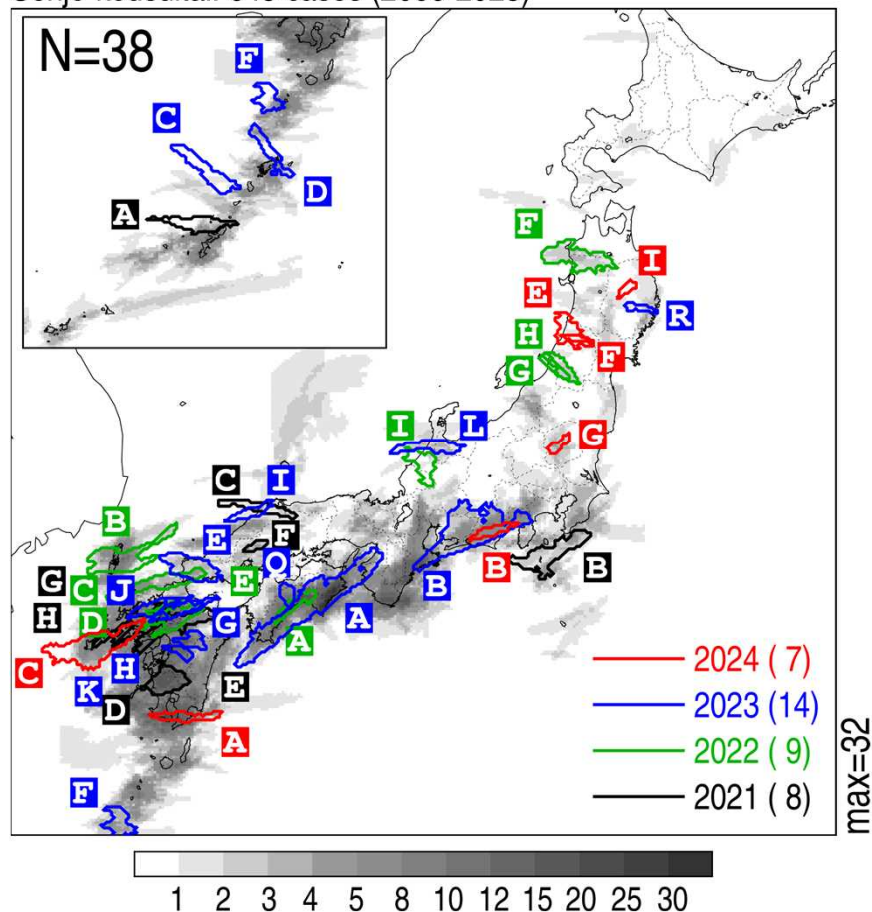
更新した線状降水帯の分類表

R6年事例の当てはめ

線状降水帯の発生形態の分類		近年の主な事例	発生環境場の着目点	発達・維持機構や内部構造	数値モデル (~1km)による再現の難易度	R6年の事例	半日前予測
A. 総観スケールの前線本体に伴う現象	1. 総観スケールの前線に伴う力学的な影響のもと、広域の対流域の一部が局所的に強化	<ul style="list-style-type: none"> H30年7月豪雨（福岡県など） R3年8月九州北部 	<ul style="list-style-type: none"> MAULの存在 中・下層の水蒸気フラックス収束大 前線上の小低気圧 	<ul style="list-style-type: none"> 複数の線状メソ対流系による場合が多い 	低	<ul style="list-style-type: none"> 6/28 10:40 静岡県 6/21 05:10 鹿児島県 9/20 05:40 秋田県 9/21 09:00 石川県 	<ul style="list-style-type: none"> × ○ × ×
B. 前線南側などの顕著な不安定場内の現象	1. 広域の対流域の一部が局所的に強化	<ul style="list-style-type: none"> R5年7月九州北部 	<ul style="list-style-type: none"> 多量の下層水蒸気フラックス 前線上の小低気圧 	<ul style="list-style-type: none"> 複数の線状メソ対流系による場合が多い 雨滴粒径の増大が雨量増大に寄与 	中	<ul style="list-style-type: none"> 7/25 22:40 山形県 7/25 13:00 山形県 7/14 07:40 長崎県五島 	<ul style="list-style-type: none"> × × ○
	2. 局地的な収束線が影響（小低が影響した事例が多）	<ul style="list-style-type: none"> R2年7月豪雨（球磨川） R4年8月山形・新潟 H23年7月新潟・福島豪雨 H29年7月九州北部豪雨 	<ul style="list-style-type: none"> 前線上の小低気圧の循環に伴う局地的な収束線 海陸分布や地形などの影響を受けた局地的な収束線 	<ul style="list-style-type: none"> 1つの停滞性の線状メソ対流系による場合が多い 	中	<ul style="list-style-type: none"> 8/27 19:50 岩手県 8/26 00:20 栃木県 	<ul style="list-style-type: none"> × ×
	3. 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"> R3年7月九州南部 	<ul style="list-style-type: none"> 大きな不安定度 	<ul style="list-style-type: none"> 1つの停滞性の線状メソ対流系による場合が多い 鉛直シアとコールドプールのバランス関係 	高		
	4. 地形の影響が大	<ul style="list-style-type: none"> H25年8月東北 H26年8月豪雨（広島市） 	<ul style="list-style-type: none"> 大気の成層状態や風、山岳の形状など 	<ul style="list-style-type: none"> 山岳風下域に形成される収束線など 	中		
C. 台風の影響を強く受けたもの（発達した低気圧を含む）	1. 台風遠隔（多量の水蒸気フラックスと地形や前線の影響など）	<ul style="list-style-type: none"> H25年10月伊豆大島 R4年7月四国 R5年6月四国・東海 H29年10月紀伊半島 	<ul style="list-style-type: none"> 多量の水蒸気フラックスと地形の影響 台風北東側を中心とした総観スケールの前線強化 	<ul style="list-style-type: none"> 地形性上昇流やシーダー・フィーダー効果 前線強化過程 アウトターレインバンド 	中	<ul style="list-style-type: none"> 8/28 03:20 宮崎県 8/29 18:30 徳島・香川県 8/31 13:50 三重県 7/25 01:00 八重山 	<ul style="list-style-type: none"> ○ ○ ○ ×
	2. 台風コア域	<ul style="list-style-type: none"> R元年9月伊豆半島 	<ul style="list-style-type: none"> 台風の遅い移動速度 	<ul style="list-style-type: none"> 台風の壁雲やインナーバンドなど 	低	<ul style="list-style-type: none"> 8/28 19:40 種・屋久島 8/29 05:20 鹿児島県 	<ul style="list-style-type: none"> ○ ○

2021-2024年出水期(6-8月)の線状降水帯(台風本体除く)

Senjo-kousuitai: 645 cases (2006-2023)



陰影は、2006-2023年に抽出された線状降水帯645事例をもとにした5km格子別出現頻度を示す

各要素の値は、年別事例数による平均値を示す

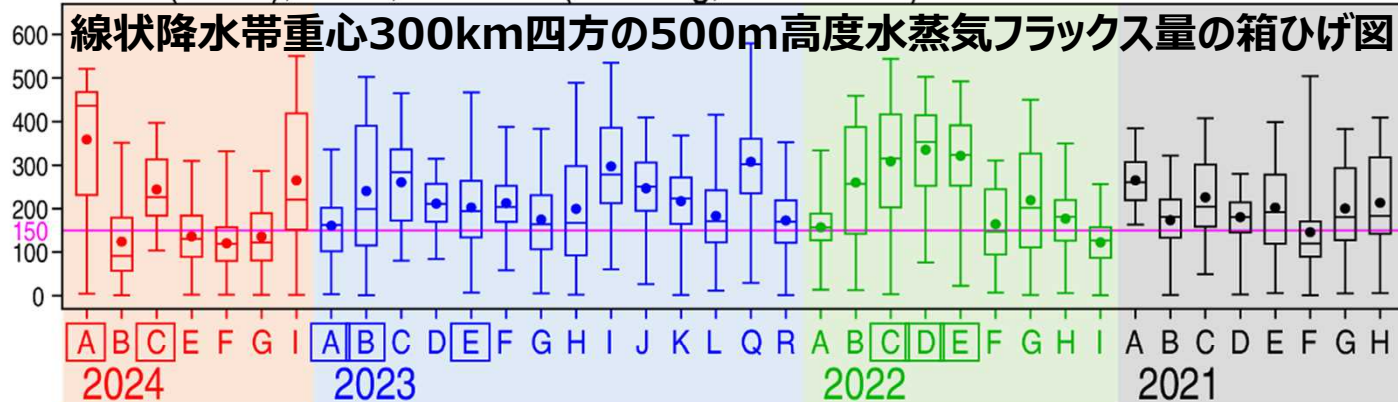
	2021年	2022年	2023年	2024年
事例数	8	9	14	7
持続時間	5.8	6.4	7.3	5.3
長さ	147	117	131	108
面積	3189	2803	3456	2421
最大R1	83.8	94.0	87.5	83.1
最大R3	185.0	193.0	192.1	174.5
総降水量	262.8	265.0	306.3	219.5

台風本体(中心から500km)で生じた事例を除いた場合、2024年は2021-2023年よりも**時空間スケールが小さく、降水量も少ない**。総降水量の差は全総観場の統計よりも顕著な差が見られる。

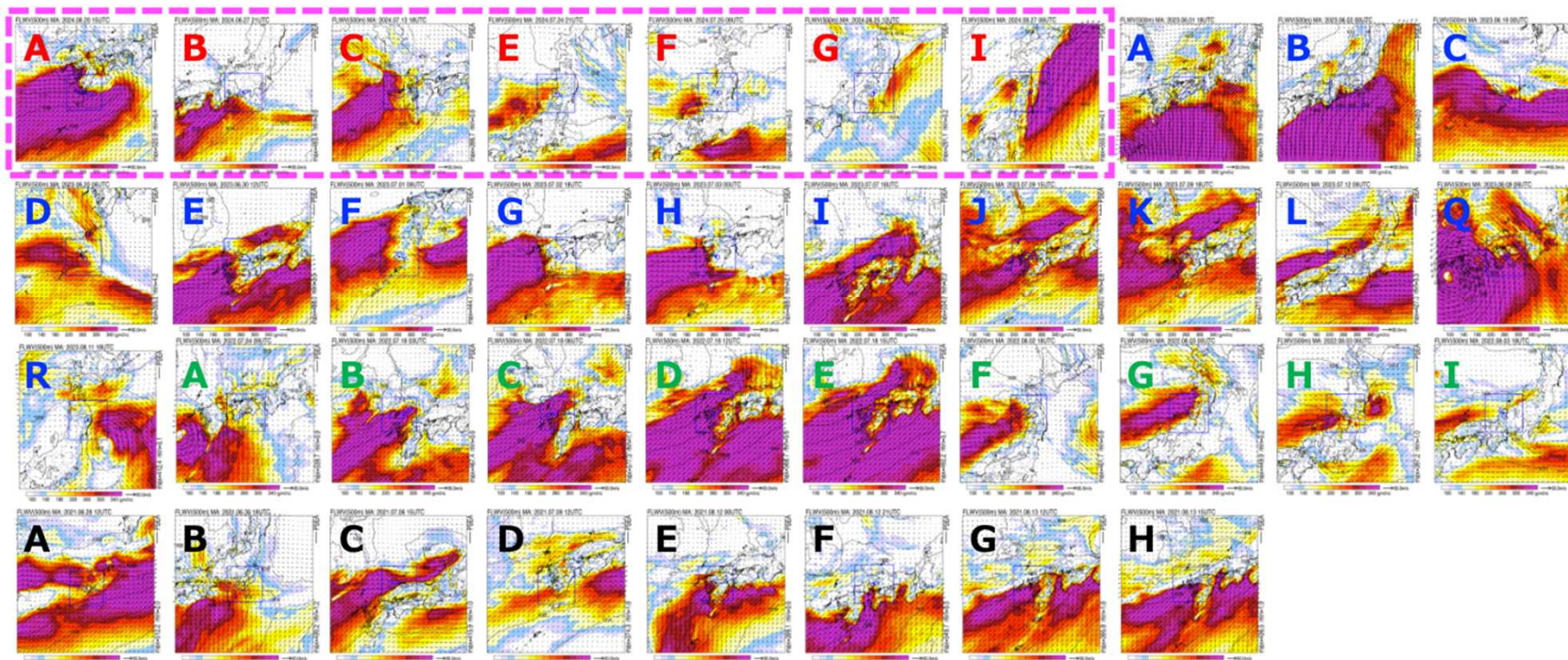
※台風本体とそれ以外の総観場の事例の環境場比較は難しいため、本解析では台風本体の事例は除く。

【機構説明】 令和6年出水期：水蒸気フラックス量

FLWV(500m), dT=0, NXY=61 (Jun-Aug, 2021-2024) [A] [C] は半日前予測の適中事例を示す



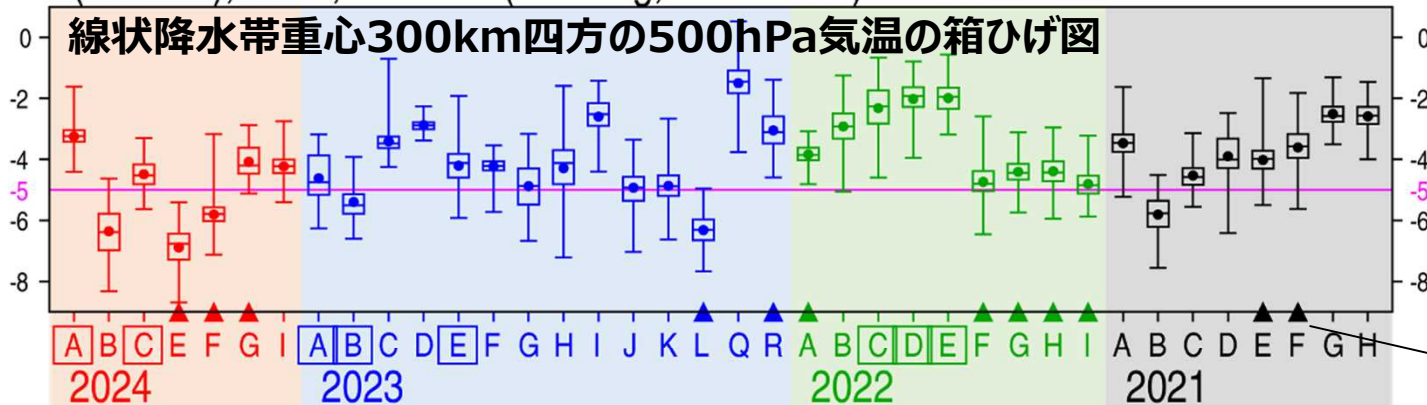
2024年は下層風が
大きくないことで、**水蒸気フラックス量が過去事例よりも小さい**
場合が多い（相当温位の過去事例との差は小さい）



【機構説明】令和6年出水期：中層気温

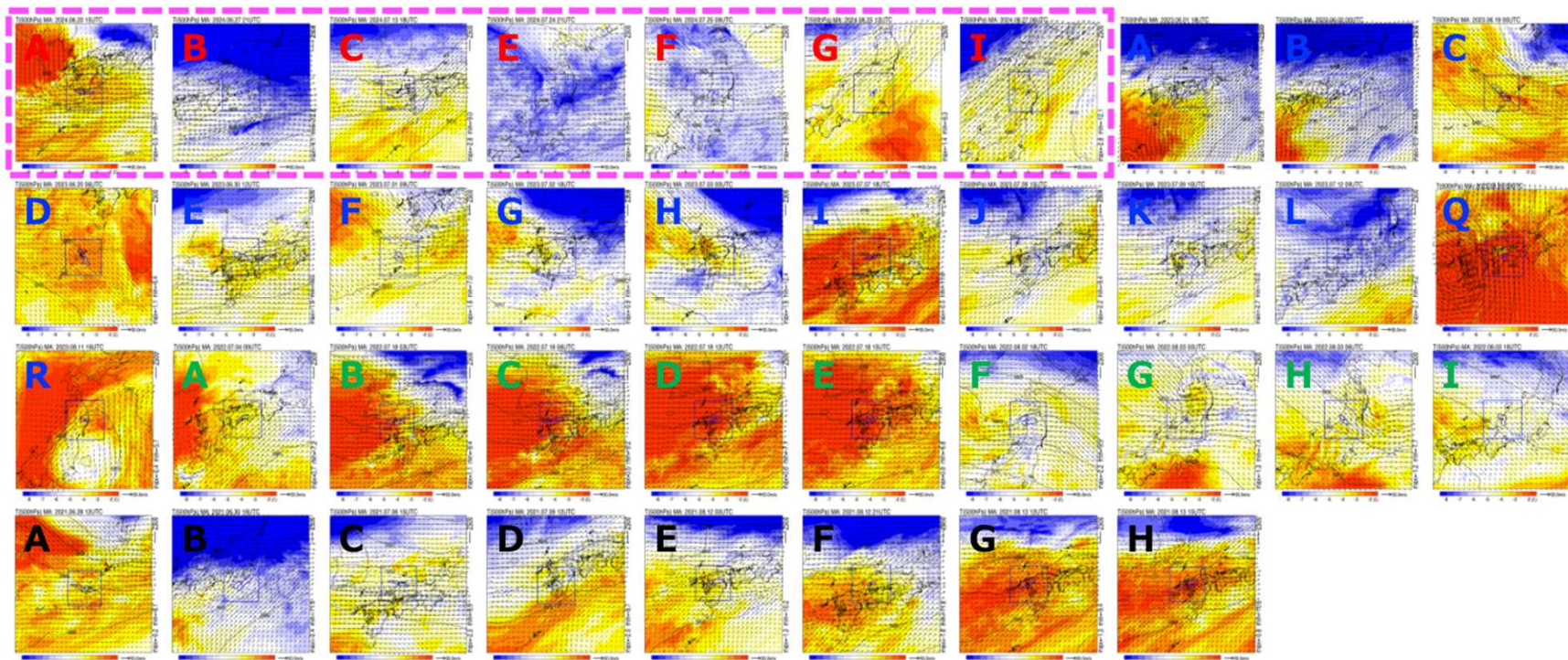
T(500hPa), dT=0, NXY=61 (Jun-Aug, 2021-2024)

[A] [C] は半日前予測の適中事例を示す

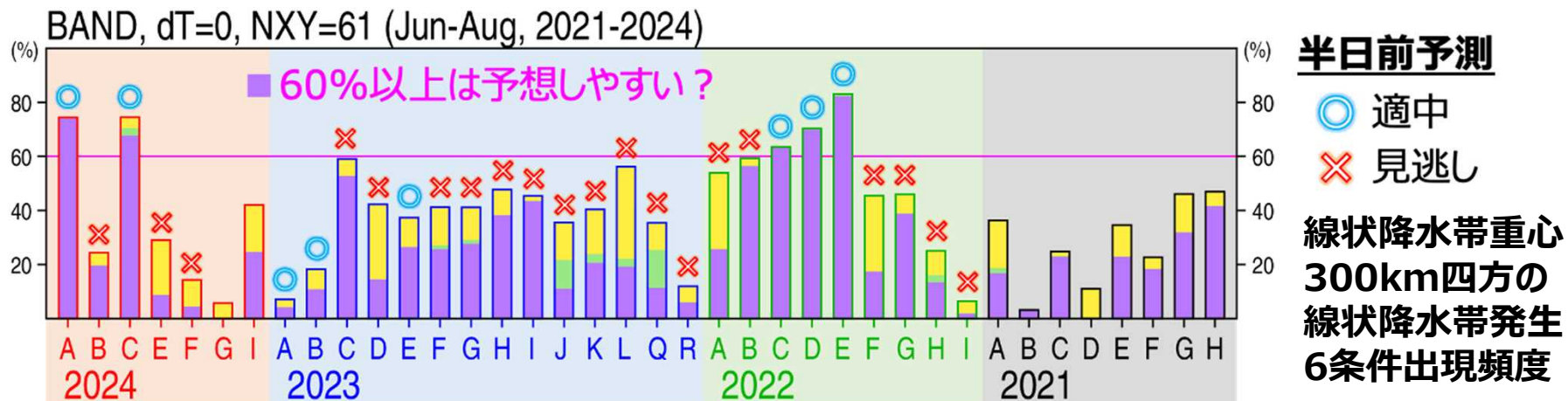


2024年は過去事例よりも中層気温が低い場合が多い
(高渦位の寄与?)

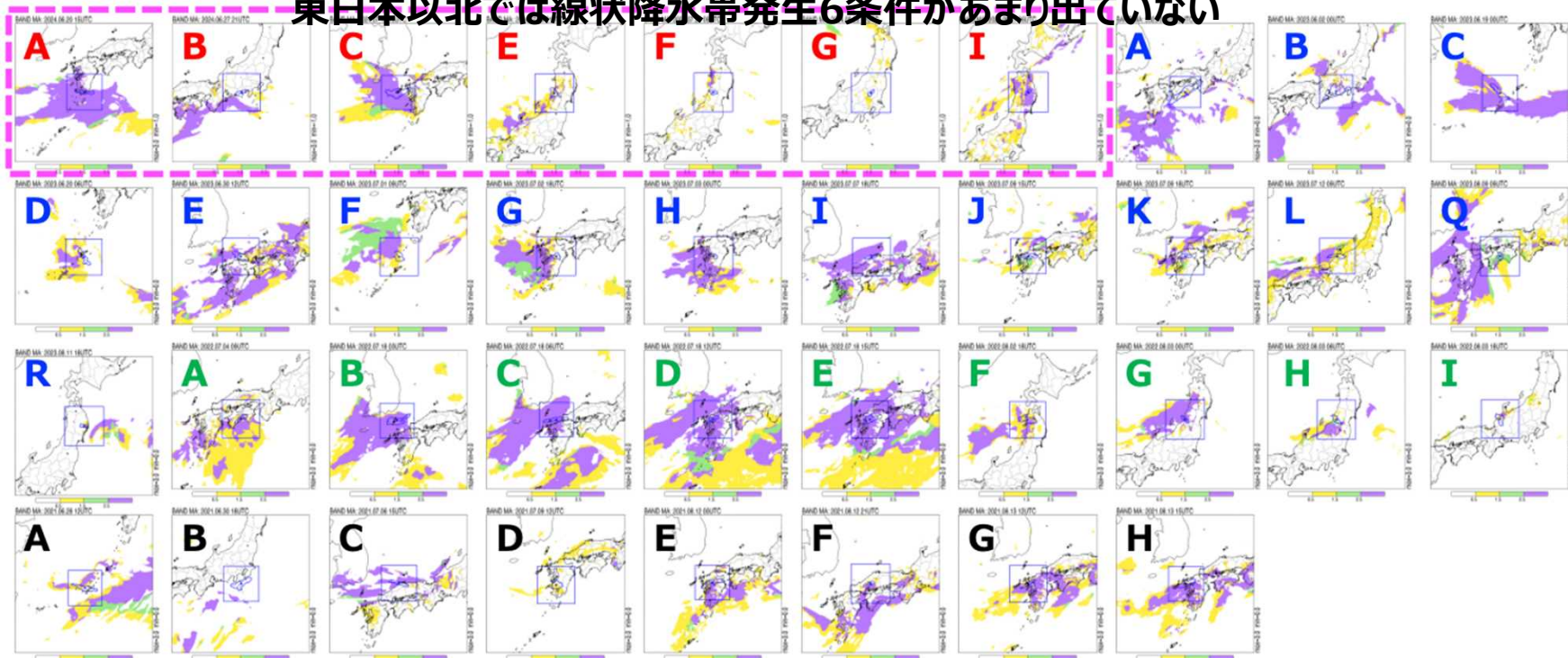
▲は周辺に高渦位域が広がっている事例を示す



【機構解明】令和6年出水期：6条件出現頻度



東日本以北では線状降水帯発生6条件があまり出ていない



- 2024年出水期（6～8月）は、線状降水帯が14事例発生した（停滞前線6事例、台風本体7事例、その他1事例）。
- 2021～2024年出水期の線状降水帯38事例（台風本体を除く総観場で生じた事例に限る）の発生環境場を、事例発生直前のメソ解析を用いて比較した。
- 2024年の線状降水帯事例は、2021～2023年の事例よりも時空間スケールが小さく、降水量も少ない。
- 2024年は下層暖湿気流入（500m高度水蒸気フラックス量）が過去事例よりも小さい場合が多かった一方、中層気温は低い場合が多かったことが特徴的である。
- 半日前予測が適中した事例では、線状降水帯発生6条件が広範囲に広がっている場合が多い傾向がみられたが、東日本以北ではこのような傾向が見られることは少なかった。
- 発生環境場の気候値差から特徴が確認できるか、今後解析を進める予定。

令和6年度 of 取組状況・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、局地アンサンブルによる確率予測を行う開発を行う際に、考慮すべきシステム構成に関する知見を提供した。

確率予測を目的にアンサンブルシステムを構築するとき、初期値や境界値、パラメータ等に対して摂動を与えるが、それぞれ同じ自由度（ランク）を与えなくてはならない。

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

- 今年度までに実施した不安定温度成層時の実験により、運動量および温度の鉛直フラックスを取得、解析を実施。
- 特に乱流変動の強度や特徴的な時間スケールの評価を行い、不安定領域における地表面フラックスの診断式の高度化に向けた新しいスキームの構築、検証中。

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。

- 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。
- 風洞実験・野外観測などから不安定領域における多様な成層状態のデータをさらに収集し、新しいスキームの検証を進める。

開催趣旨と概要

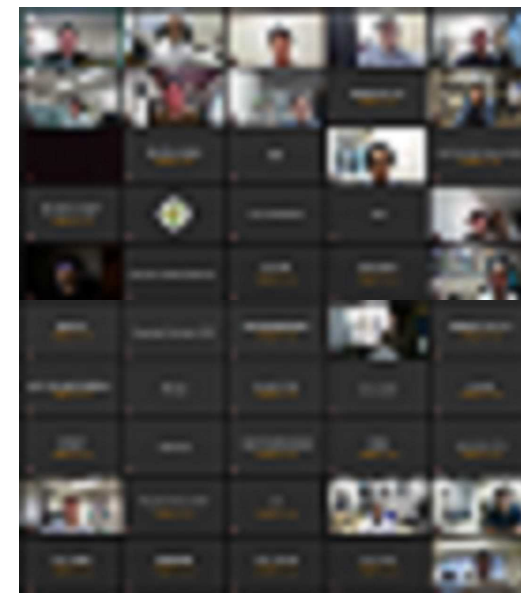
- 線状降水帯WG第3回会合（令和3年12月）でのWG委員からのご意見を受け、線状降水帯の機構解明研究の着目点・観測手法等を議論するための研究会を設置（座長：竹見委員、事務局：気象研究所）。
- 機構解明研究の計画や進捗等を報告し、技術的事項に係る議論・意見交換を行うことによって、その内容を研究に反映させるとともに、関連機関・研究者との連携推進や新たな連携の構築に資することを旨とする。

今年度の開催状況

- 第10回研究会を令和6年10月9日に開催。数値予報モデルやその検証手法の開発進捗、機構解明研究の成果報告等を含む話題提供があった。
 - 集中観測：今年度概要、船舶現地観測（気象研究所、三重大学）
 - 線状降水帯の事例解析、発生形態に関する分類（気象研究所）
 - 数値予報モデルやその検証手法の開発進捗（気象庁）

今後の開催について

- 第11回研究会を令和7年2月28日に開催し、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、及び研究成果を予測精度向上に繋げるための方策等の検討・議論を行う。
- 引き続き、技術的事項に係る議論・意見交換にご協力いただきたい。



線状降水帯の機構解明に関する研究会
(第10回、令和6年10月9日)

ご議論いただきたい点

数値予報技術高度化に向けた学官連携強化

- 数値予報技術高度化に係る気象庁の問題意識や開発課題等について、機構解明研究会等で共有・議論を行っているところ、**数値予報の予測精度向上に向けた更なる学官連携策**として、どのような取組を進めていくべきか、ご議論いただきたい。
 - ⇒ 例) 発生形態の分類表で「総観スケールの前線本体に伴う現象」に分類される線状降水帯事例（特に東北・北陸の事例）について、事例解析・再現実験等に学官連携で重点的に取り組むことで、予測が困難であった要因を解明する、など。

集中観測・メカニズム解明における学官連携強化

- メカニズム解明研究や予測精度向上に資するデータ同化研究、数値予報モデルの検証等、**集中観測データの効果的な利活用**についてご議論いただきたい。
 - ⇒ 例) メカニズム解明やデータ同化、数値予報モデル検証に対する観測データの有用性に関する調査研究を実施し、知見や情報の共有する、など。

機構解明研究会や数値予報資料共有Web等による議論・意見交換の促進

- メカニズム解明等に資する**知見の共有並びに相互コミュニケーションの深化を図るための議論・意見交換の促進策**についてご議論いただきたい。
 - ⇒ 例) 数値予報資料共有Webのフォーラムを利用し、発生形態の分類表の更新を継続するとともに、分類表に基づく線状降水帯事例の知見集約を進める、など。
 - ⇒ 例) 数値予報実験や事例解析といった調査研究の成果の共有等を進めるとともに、調査研究への観測データ利活用（ニーズ）と集中観測実施（シーズ）のマッチングを促進する、など。