

線状降水帯の機構解明と 予測技術向上に向けた研究の進捗

瀬古弘

気象観測研究部

線状降水帯が発生した大雨事例

2014年8月

広島土砂災害 (平成26年8月豪雨)

同時多発的に土石流が発生
死者74人

(出典:平成26年版 消防白書)



土砂災害

2015年9月

平成27年9月関東・東北豪雨

茨城・鬼怒川が決壊・土砂災害
死者8人

(出典:平成27年版 消防白書)



中小河川洪水

2017年7月

平成29年7月九州北部豪雨

山地部の中小河川の氾濫・土砂災害
死者・行方不明者41人

(出典:平成29年版 消防白書)



洪水

2018年7月

西日本豪雨 (平成30年7月豪雨)

各地で河川の氾濫や土砂災害
死者・行方不明者232人

(出典:平成30年版 消防白書)

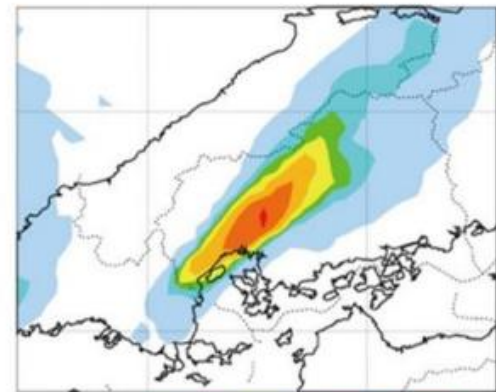
2020年7月

令和2年7月豪雨

熊本・球磨川の氾濫・土砂災害
死者・行方不明者86人

(出典:令和2年版 消防白書)

近年、線状降水帯を伴う大雨による災害が毎年のように発生している。



1 10 20 30 50 100 200 (mm/3h)

気象庁の解析雨量から作成した、平成26年
8月20日4時の前3時間積算降水量の分布



■人吉市 (令和2年7月5日)

緊急研究：集中観測等による線状降水帯の機構解明研究

3

- 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化するとともに、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し、線状降水帯の予測精度向上とより早い段階からの確実な防災・減災対策に貢献する。

課題名：集中観測等による線状降水帯の機構解明研究 研究代表者：永戸久喜 研究連携戦略官

(副課題1) 集中観測の実施 副課題代表者：加藤輝之 台風・災害気象研究部長
・大学等研究機関との連携により、令和4年度梅雨期の西日本を中心とする集中観測を実施

(副課題2) 線状降水帯の機構解明・予測技術の向上の研究 副課題代表者：瀬古弘

(1) 線状降水帯の機構解明

集中観測で得られたデータや高解像度数値予報モデル等を用いて、発生時の線状降水帯周辺の気温や湿度などの状態(環境)を整理し、線状降水帯の気流等の内部構造から、線状降水帯が発生・維持するためのメカニズムを明らかにする研究を行う。

(2) 数値予報技術の高度化

「富岳」等のスーパーコンピューターを用い、集中観測で得られたデータを、数値予測モデルの検証データや初期値改善のためのデータとして利用することにより、線状降水帯の予測精度向上に向けた数値予報技術の高度化に資する研究を行う。

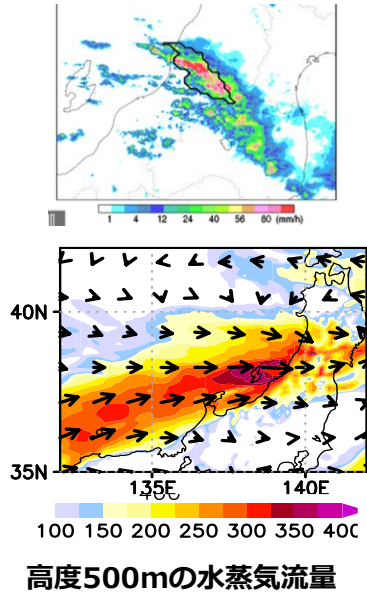
緊急研究の主な成果(一部)

(副課題2) 線状降水帯の機構解明・予測技術の向上の研究

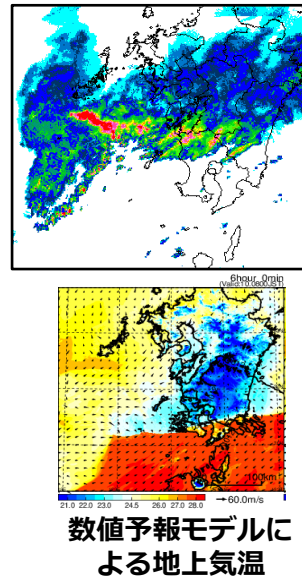
(1) 線状降水帯の機構解明

線状降水帯が発生・維持するためのメカニズムを明らかにする研究を行う。

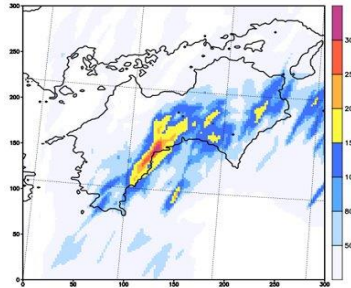
2022年8月3日に山形・新潟で発生した集中豪雨
(発生環境場の解析)



2021年7月10日に発生した九州南部の集中豪雨(内部構造解析)

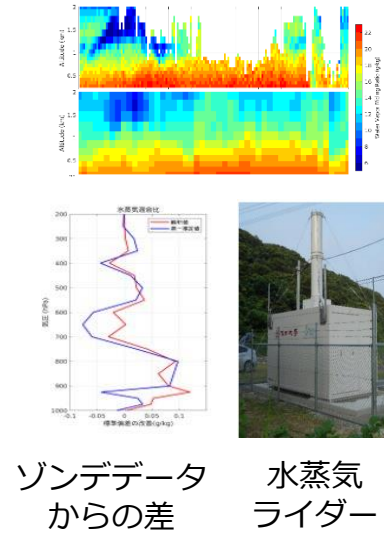


2022年7月5日に発生した高知の線状降水帯(高分解能数値予報モデルを用いた解析)

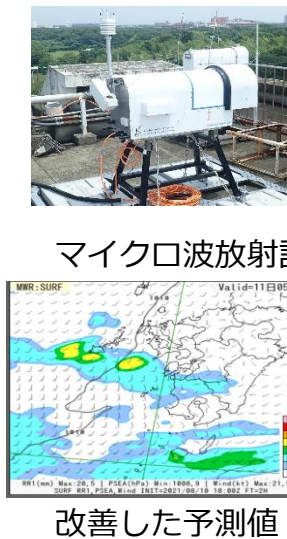


緊急研究の集中観測期間に生じた線状降水帯と類似事例の環境場の比較
(発生環境場の解析)

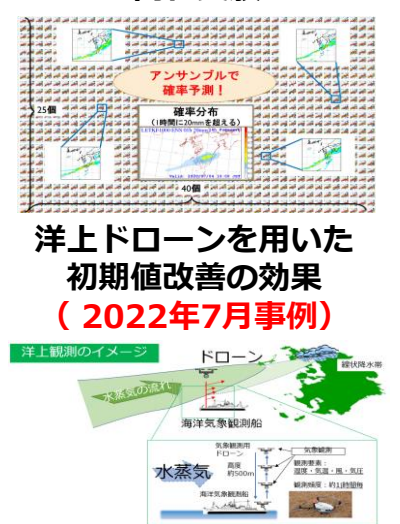
2022年出水期の九州の水蒸気ライダーデータのインパクト調査



マイクロ波放射計データを用いた初期値改善の効果



2022年7月18-19日に対馬及び九州で発生した線状降水帯のアンサンブルデータ同化実験



ここでは赤枠の成果を発表

これらの他にも今年の集中観測データを用いた解析は、現在、精力的に遂行中

1. 線状降水帯の機構解明

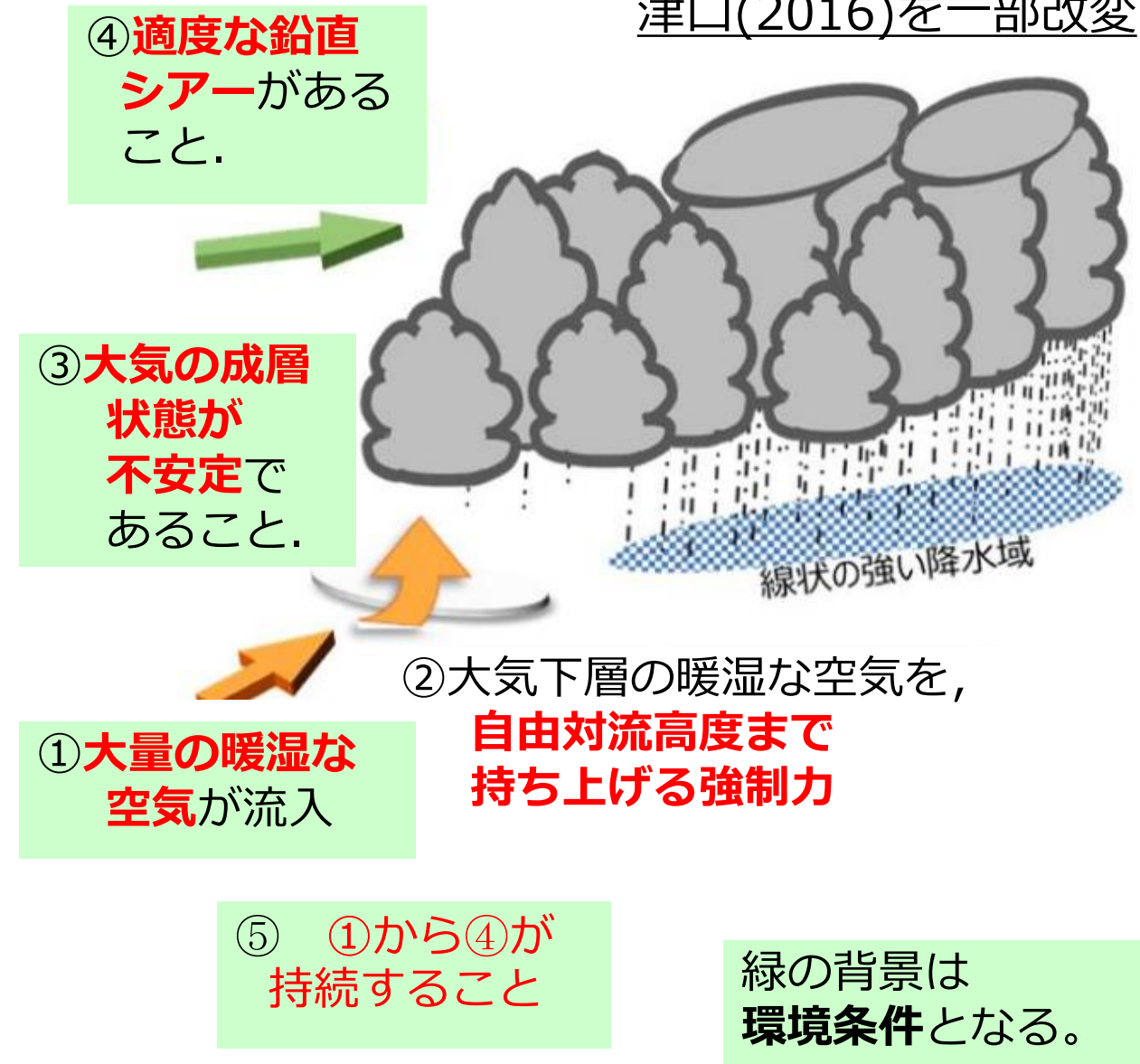
==線状降水帯の発生環境場==

線状降水帯の発生時の条件

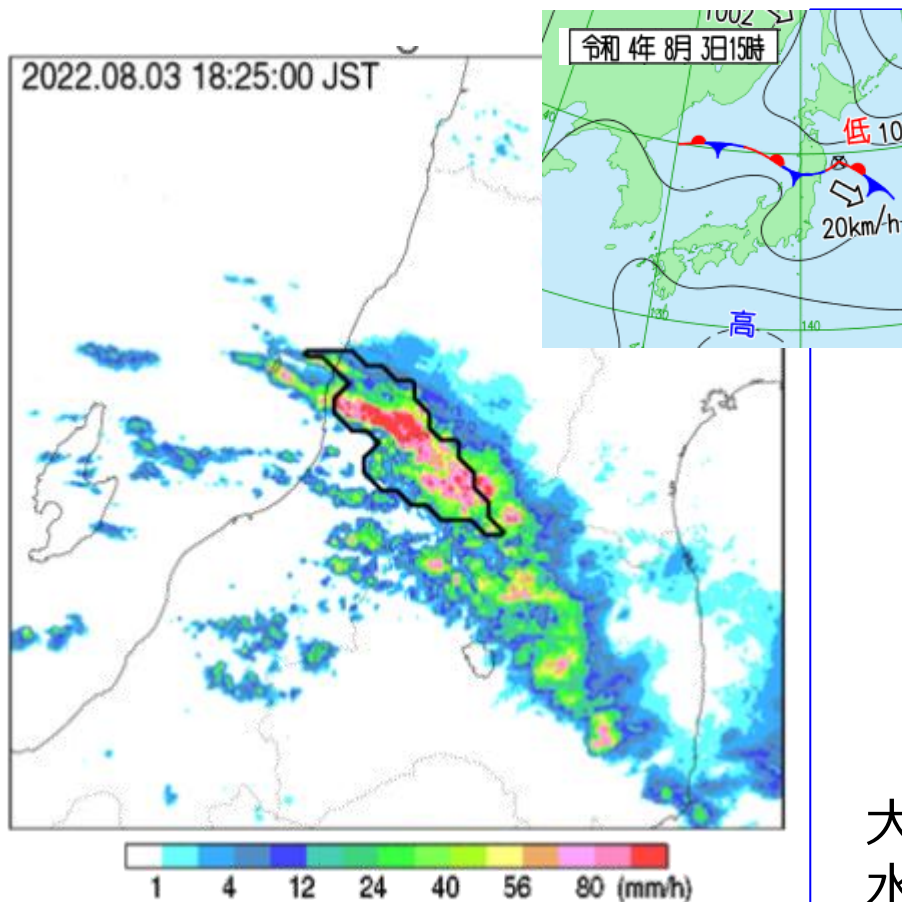
線状降水帯(再掲)：次々と発生する発達した雨雲（積乱雲）が列をなした、組織化した積乱雲群によって、**数時間にわたってほぼ同じ場所**を通過または停滞することで作り出される、線状にのびる**長さ50～300km**程度、**幅20～50km**程度の強い降水をともなう雨域。

- ①線状降水帯を構成する積乱雲の源となる**大量の暖湿な空気**が、大気下層（高度1 km 以下）から流入すること。
- ②大気下層の暖湿な空気を、浮力のみで空気塊が上昇していけるようになる高度（**自由対流高度**）まで持ち上げる**強制力（地形、冷氣塊等）**が存在すること。
- ③**大気成層状態が不安定**であること。具体的には、自由対流高度が低く、浮力が無くなる高度が高いこと。
- ④積乱雲が持続し列を作るために、**水平風が鉛直方向に風速や風向が適度に異なる**（鉛直シアがある）こと。
- ⑤①から④が持続すること

津口(2016)を一部改変



2022年8月3日に山形県・新潟県で発生した集中豪雨について

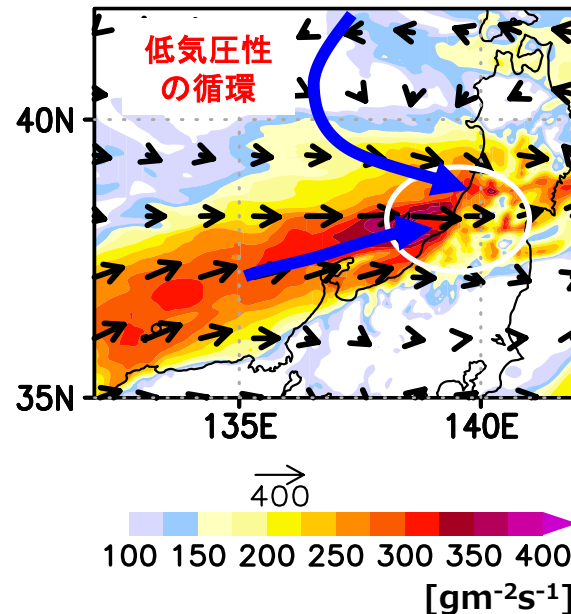


栃本・廣川(2022)から

線状降水帯の発生時の条件

- ① 大量の暖湿な空気が流入
- ② 自由対流高度まで持ち上げる強制力
- ③ 大気の成層状態が不安定
- ④ 適度な鉛直シア
- ⑤ ①から④が持続すること

高度500mの 気流と水蒸気流量



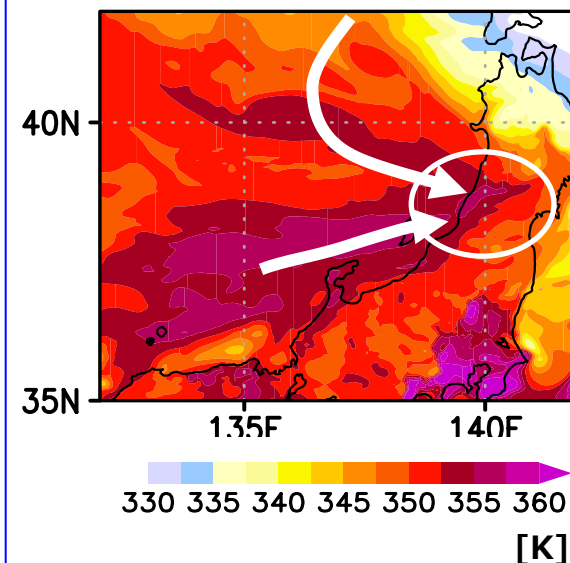
大きいほど多量の水蒸気が降水域に流れ込んでいる。

① **大量の暖湿な空気が**継続的に流入することを満たす

東北西方の低気圧性循環との収束が西南西からの気流を持ち上げる。

② **自由対流高度まで**持ち上げる。

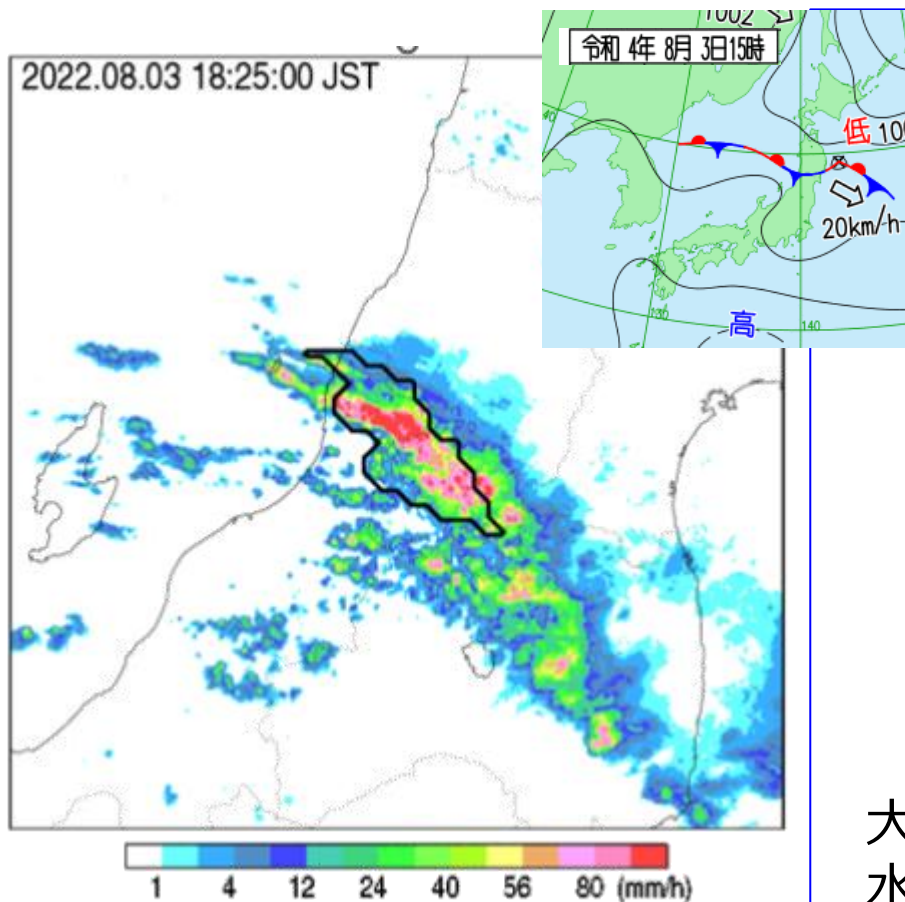
高度500mの 相当温位



暖かく湿っているほど大きな値になる。

③ **大気の成層状態が不安定**であることを満たす

2022年8月3日に山形県・新潟県で発生した集中豪雨について

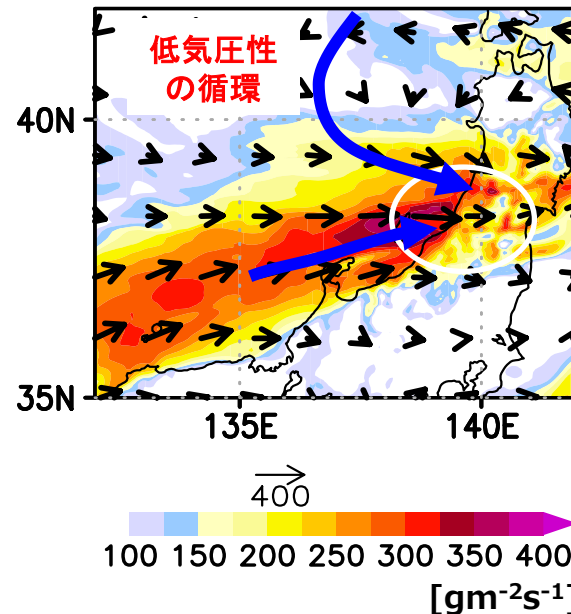


栃本・廣川(2022)から

線状降水帯の発生時の条件

- ① 大量の暖湿な空気が流入
- ② 自由対流高度まで持ち上げる強制力
- ③ 大気の成層状態が不安定
- ④ 適度な鉛直シアー
- ⑤ ①から④が持続すること

高度500mの 気流と水蒸気流量



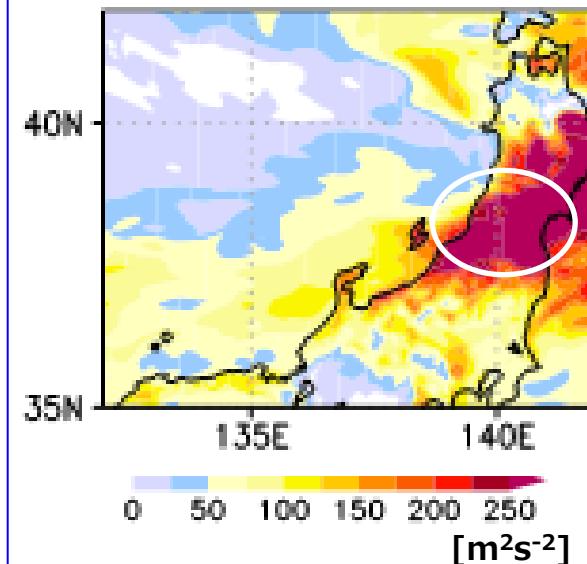
大きいほど多量の水蒸気が降水域に流れ込んでいる。

① **大量の暖湿な空気が**継続的に流入することを満たす

東北西方の低気圧性循環との収束が西南西からの気流を持ち上げる。

② **自由対流高度まで**持ち上げる。

鉛直シアーを表す指数 (ヘリシティ)

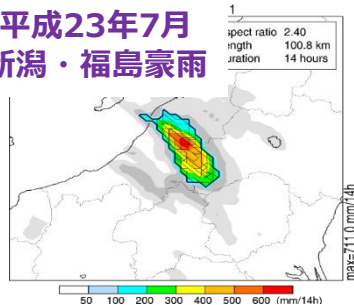


ある程度大きな値の場合に積乱雲は列に並び、持続する。

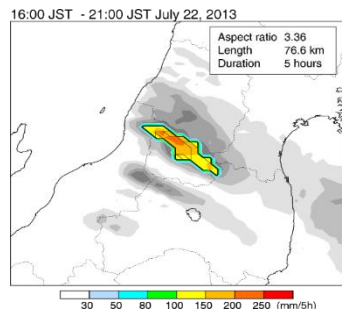
④ **適度な鉛直シアー**があることを満たす

山形県・新潟県で発生した過去の集中豪雨との比較

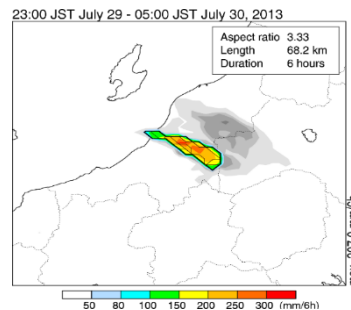
平成23年7月
新潟・福島豪雨



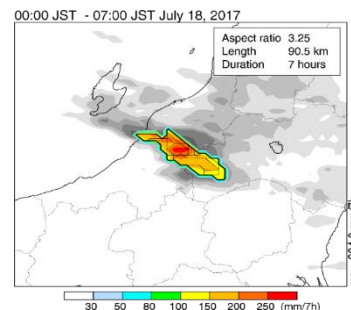
2011年
7月29日 06時



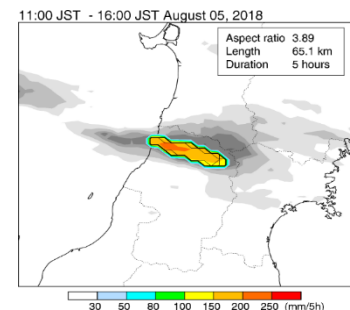
2013年
7月22日 15時



2013年
7月29日 21時

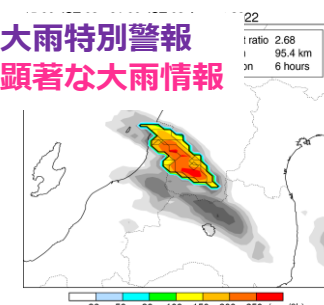


2017年
7月17日 21時



2018年
8月5日 09時

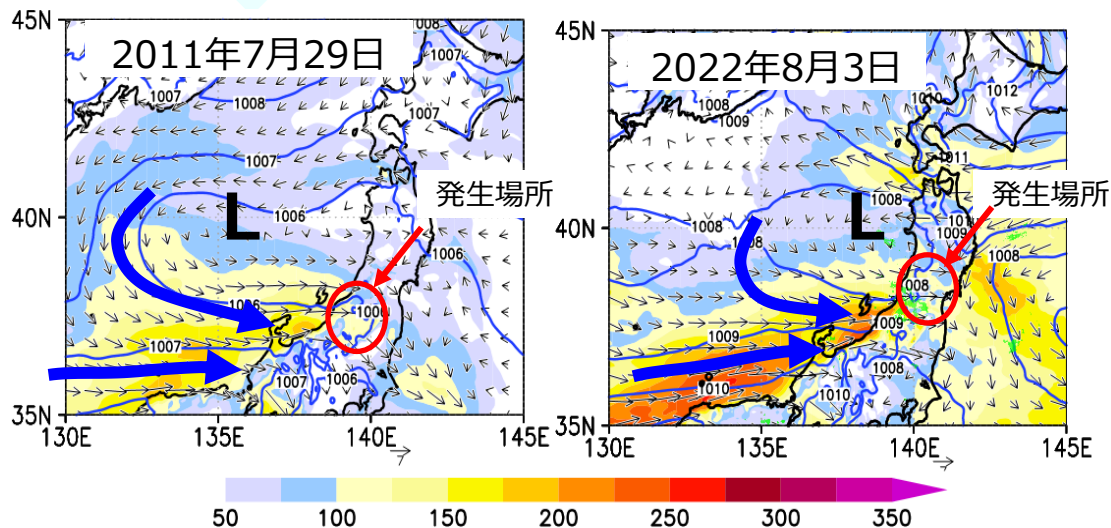
大雨特別警報
顕著な大雨情報



2022年
8月3日 12時

栃本・廣川(2022)から

高度500mの水蒸気の流量の豪雨期間内平均



- 東北西方の低気圧性循環が豪雨に関わる収束場の形成
・ 維持や強い水蒸気の供給の維持に貢献

● 過去6事例と共通の特徴

- 下層で多量の水蒸気が流れ込んでいる。
- 東北西方に低気圧性循環が存在し、豪雨発生期間中、同じような場所に停滞・維持。

⇒線状降水帯発生時の条件の

⑤線状降水帯が発生しやすい条件①から④が持続することを満たしていた。

線状降水帯の発生時の条件

- ① 大量の暖湿な空気が流入
- ② 自由対流高度まで持ち上げる強制力
- ③ 大気の成層状態が不安定
- ④ 適度な鉛直シア
- ⑤ ①から④が持続すること

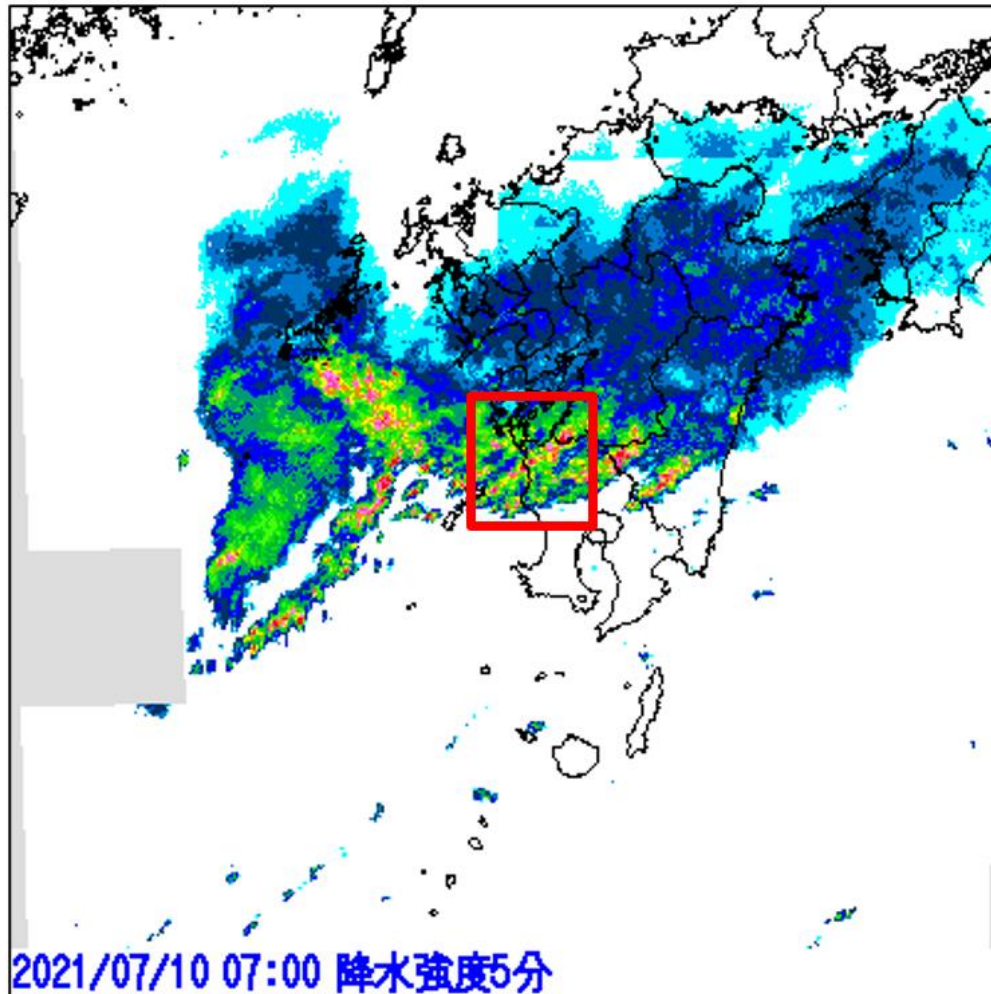
2. 線状降水帯の機構解明

==内部構造に関わる解析 冷氣塊の効果==

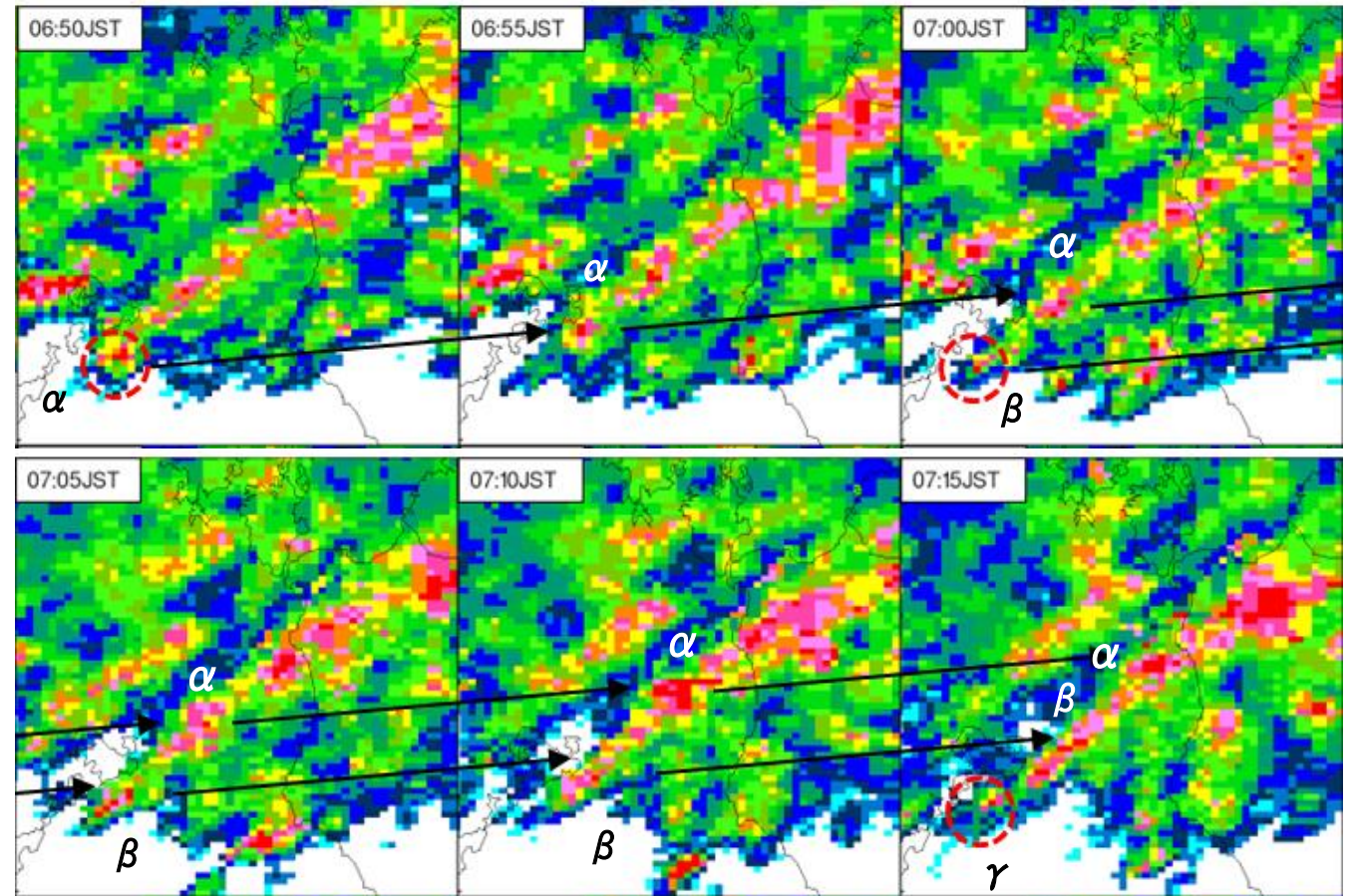
2021年7月10日に発生した九州南部の集中豪雨の概要

益子(2022)
から 11

実況 レーダーによる降水強度



06時50分-07時15分にかけて5分間隔で表示

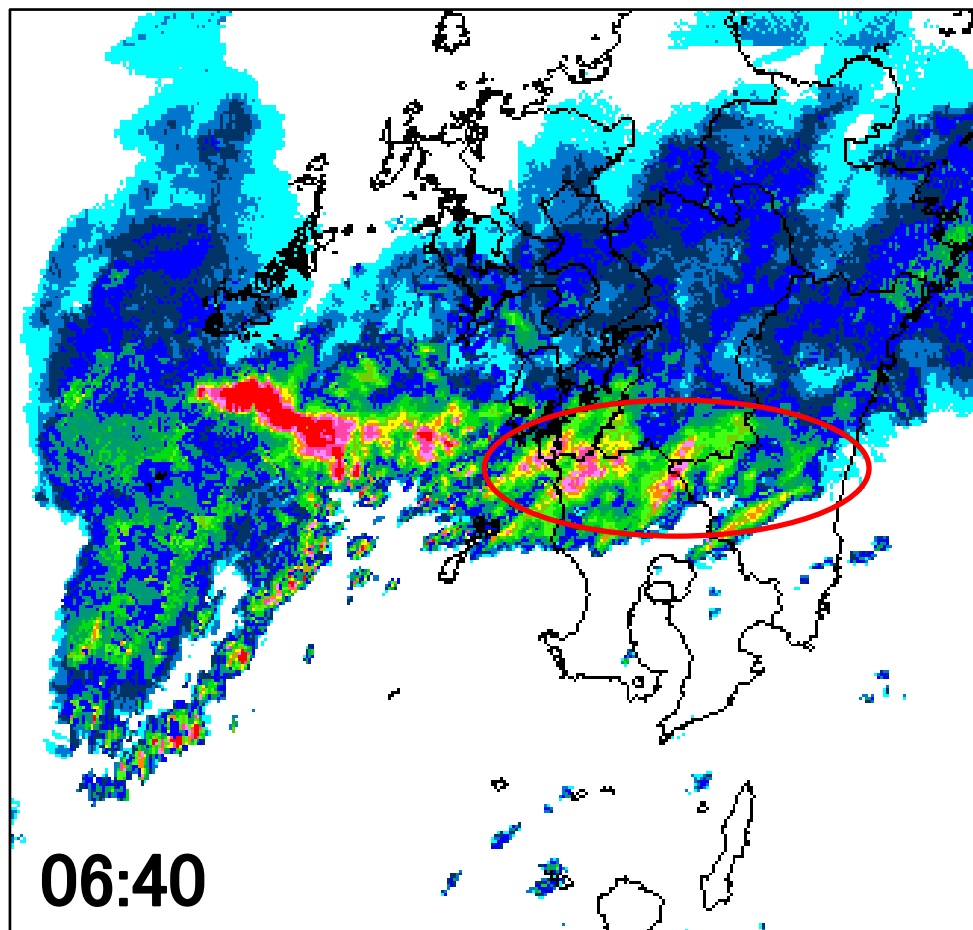


個々の積乱雲はバックビルディング型形成

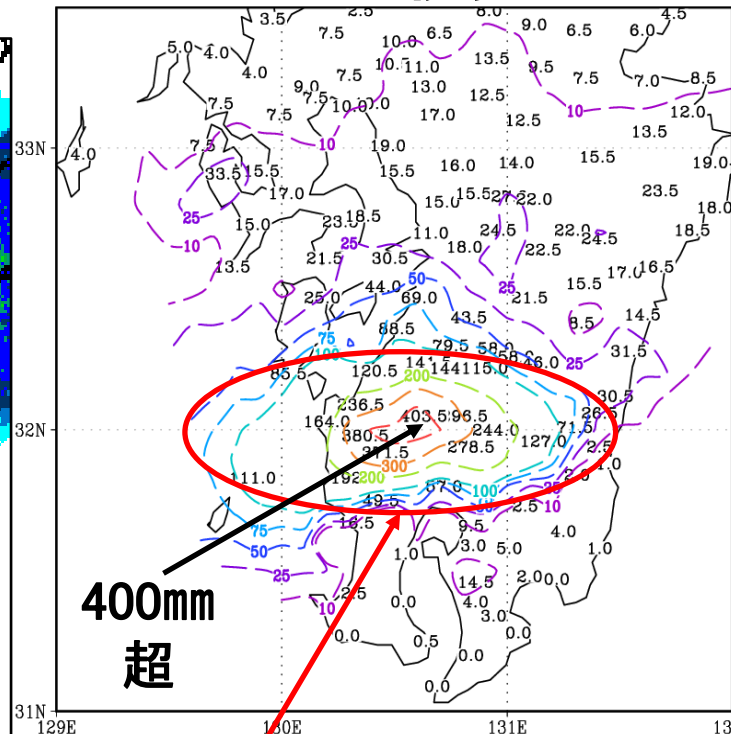
2021年7月10日に発生した九州南部の集中豪雨の概要

益子(2022)¹²
から

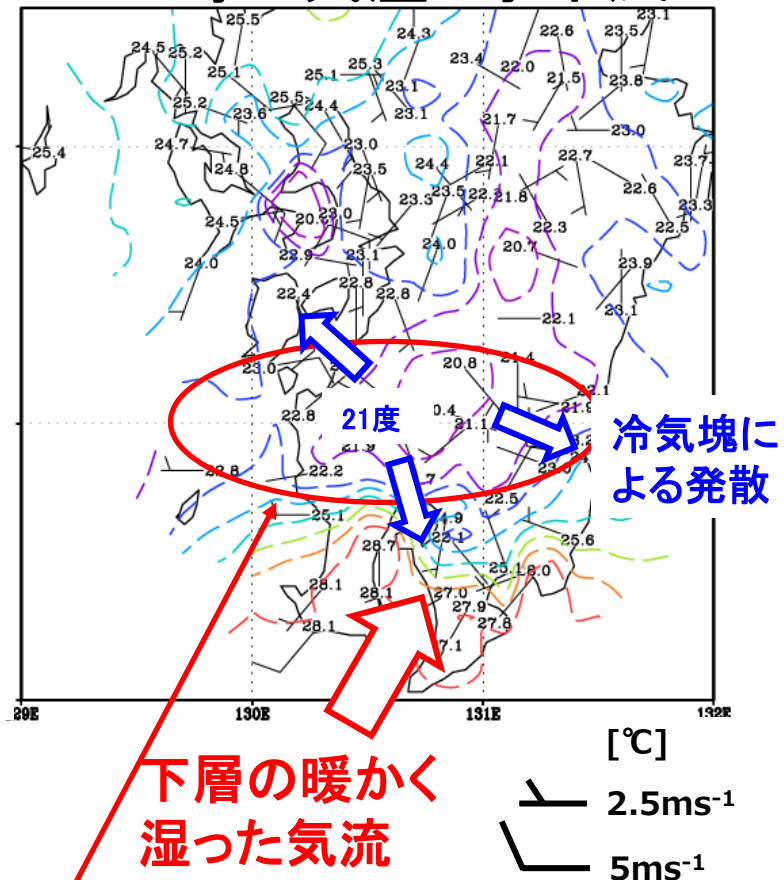
実況 レーダーによる降水強度



00-12時 積算降水量



07時の気温と水平風



- ・ 降水域で雨滴が蒸発し、大きく気温が低下。冷氣塊が形成された。
- ・ ②暖湿な南西風と冷氣塊からの発散がバランスよく収束。

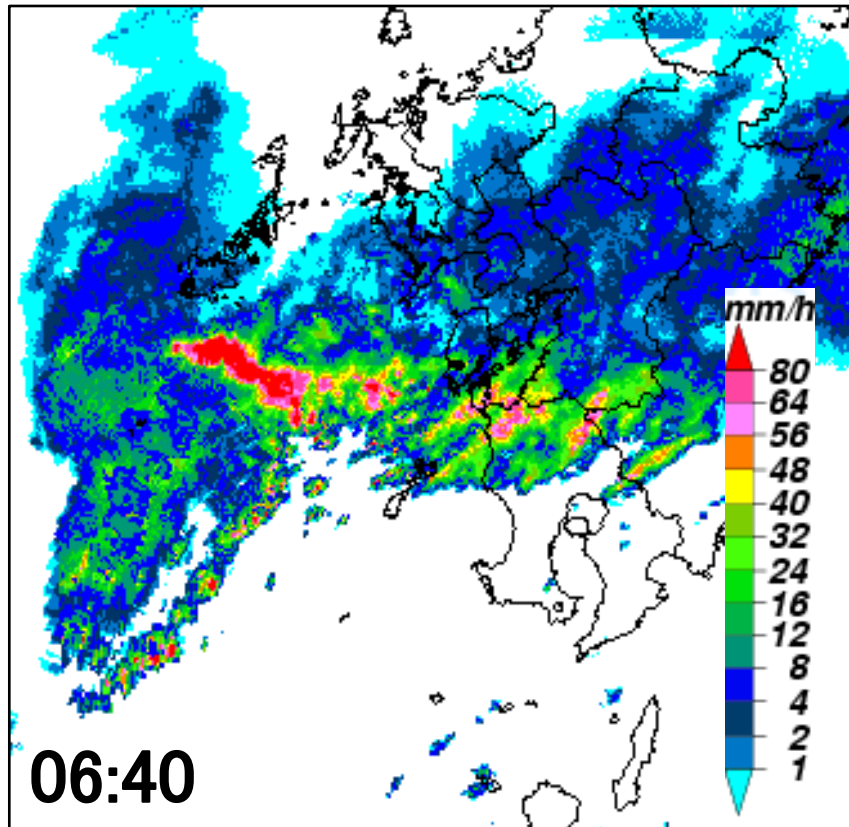
2021年7月10日に発生した九州南部の集中豪雨の概要

益子(2022)
から

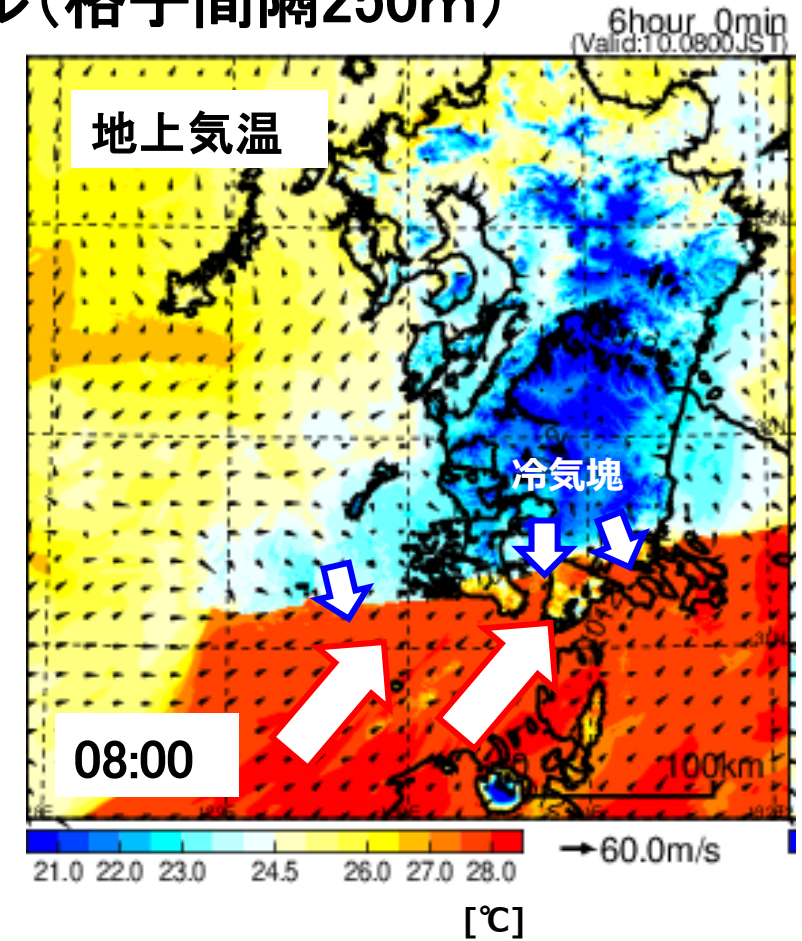
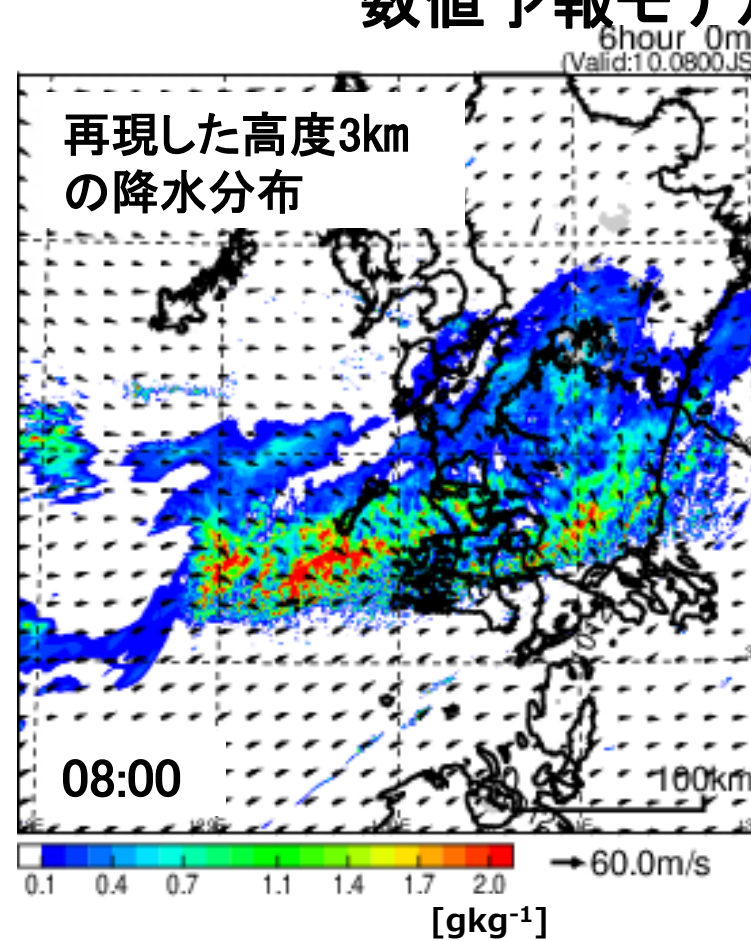
13

実況

レーダーによる降水強度



数値予報モデル(格子間隔250m)



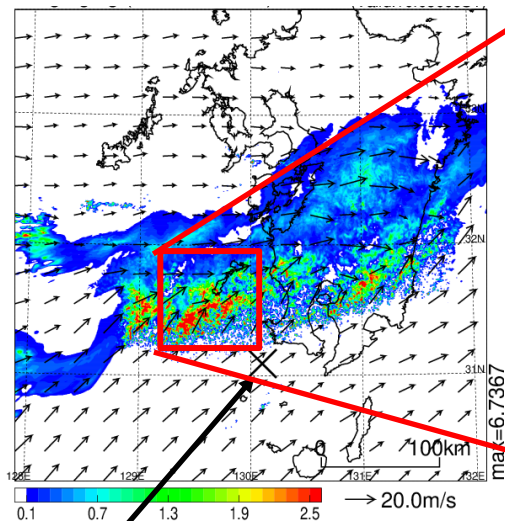
降水は実況より弱く、降水域の移動が約80分遅れているが、降水域の形状の特徴や顕著な冷氣塊の形成はよく再現できている。

②暖湿な南西からの気流と冷氣塊からの発散が**収束**。

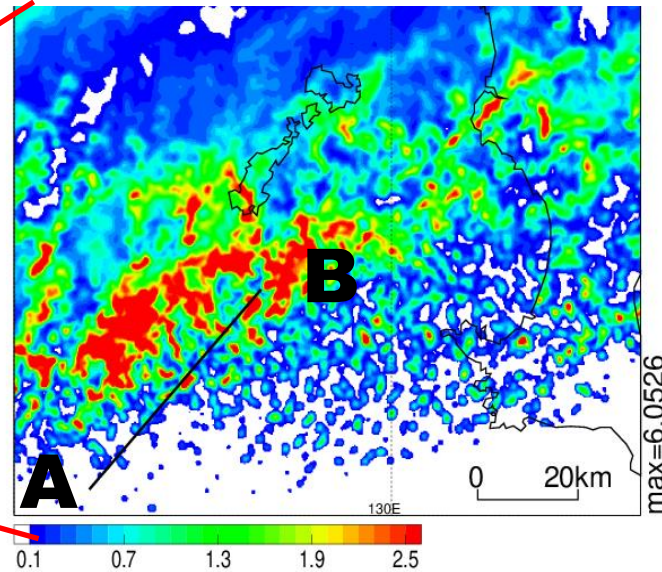
再現された降水帯の内部構造

益子(2022)
から 14

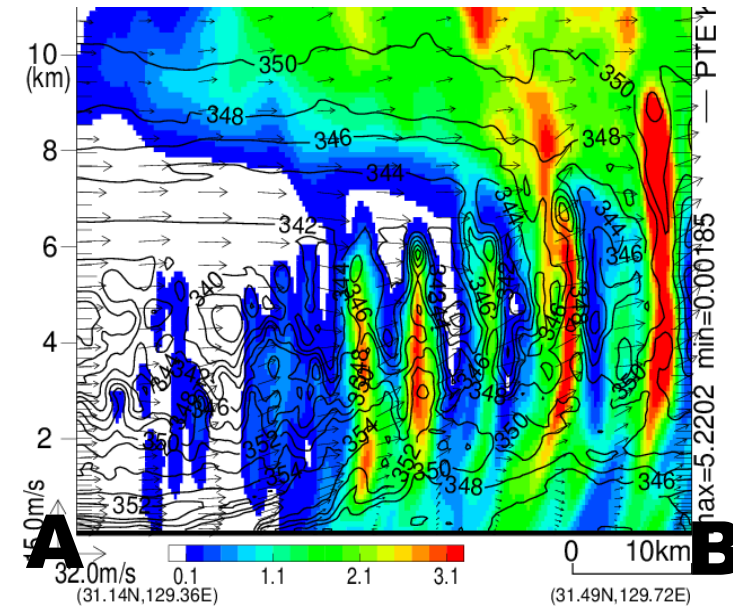
高度3kmの降水域



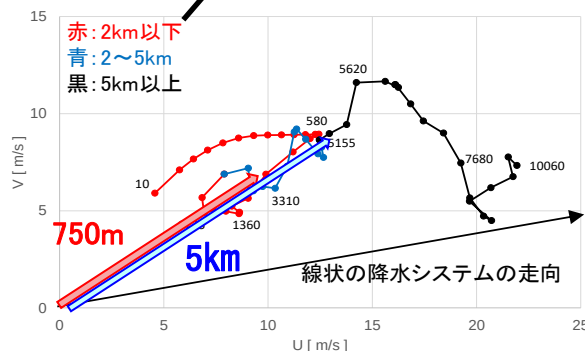
高度3kmの降水分布



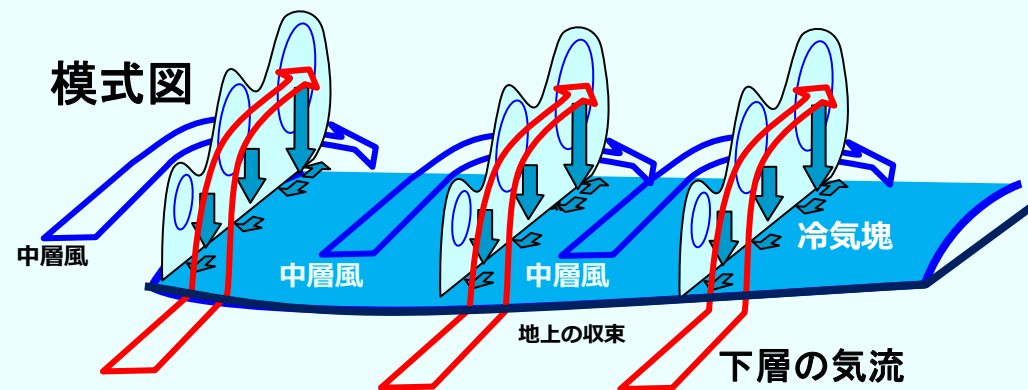
左図のABに沿った降水の鉛直断面図



- 幾列もの強い積乱雲群が、南西から北東方向にのびる。
- 冷氣塊上で対流が発達、北側に層状性降雨域。



×での水平風の鉛直分布
下層750mと中層5kmがほぼ同じ風向で、
個々の積乱雲群はそれに沿っている



②大気下層の暖湿な空気を、
自由対流高度まで
持ち上げる強制力は、
冷氣塊

冷氣塊の効果

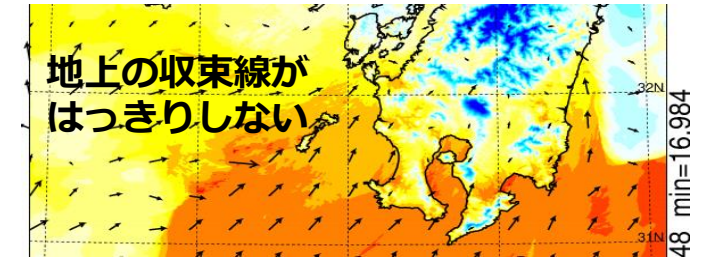
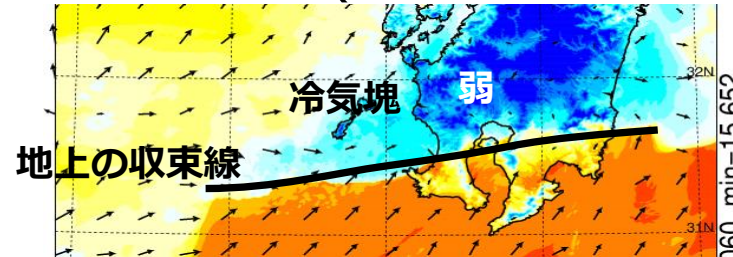
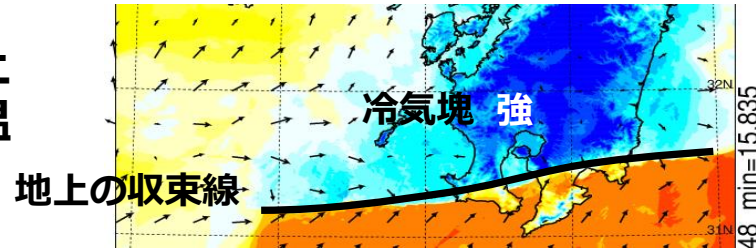
益子(2022)
から 15

冷氣塊：強

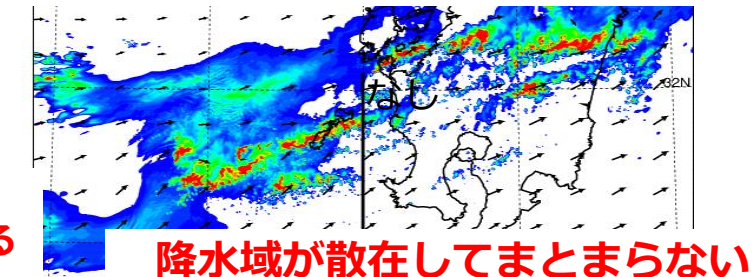
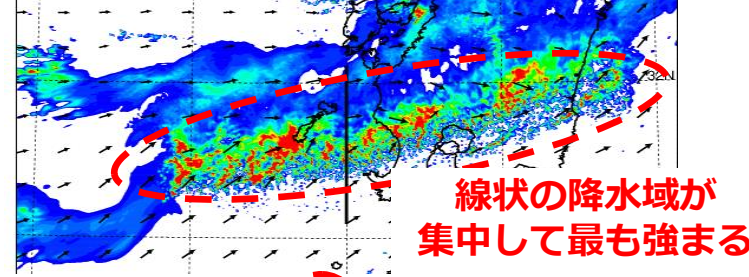
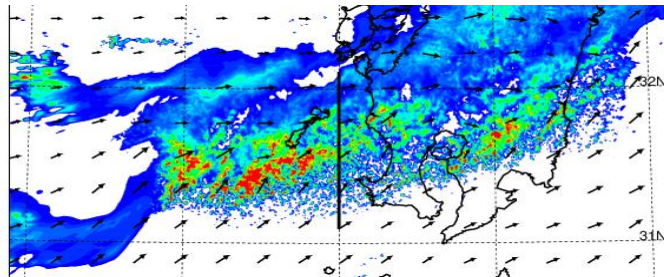
冷氣塊：弱(蒸発を弱める)

冷氣塊：なし(蒸発なし)

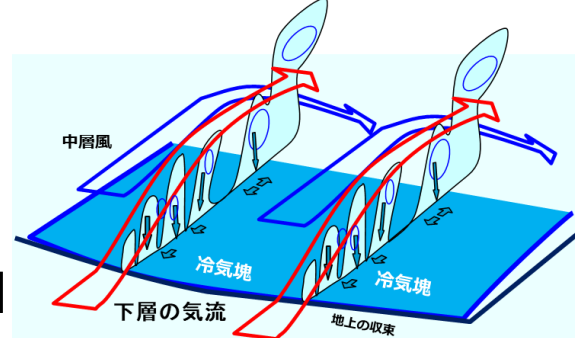
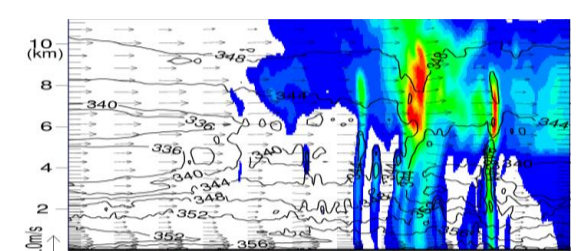
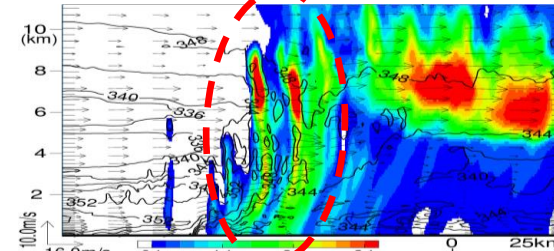
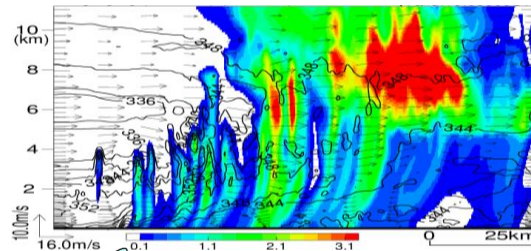
地上
気温



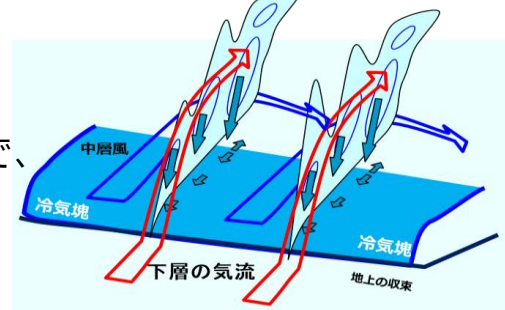
高度
3kmの
降水域



降水の南北
鉛直断面図



冷氣塊が強すぎると収束場所が上空ほど冷氣塊側に傾くことで、降水が広範囲に広がり弱くなる。



下層の南からの気流と冷氣塊が**バランス**して、降水域が集中して強く降る。

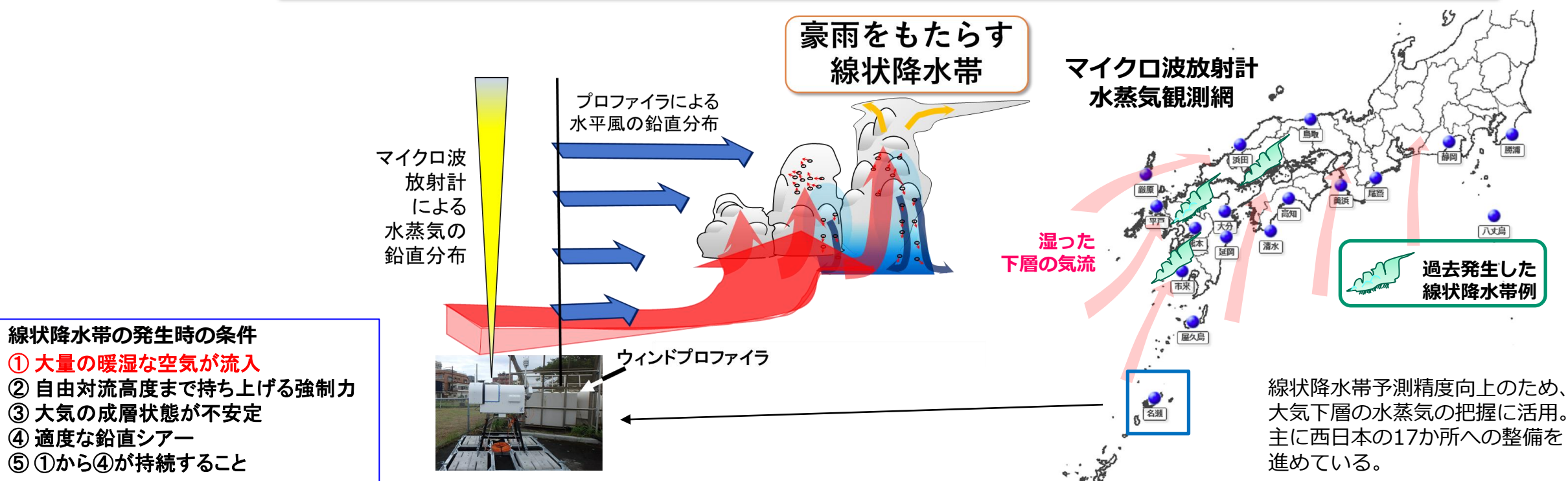
地上の収束線が不明瞭になり、降水域がまとまらない

模式図

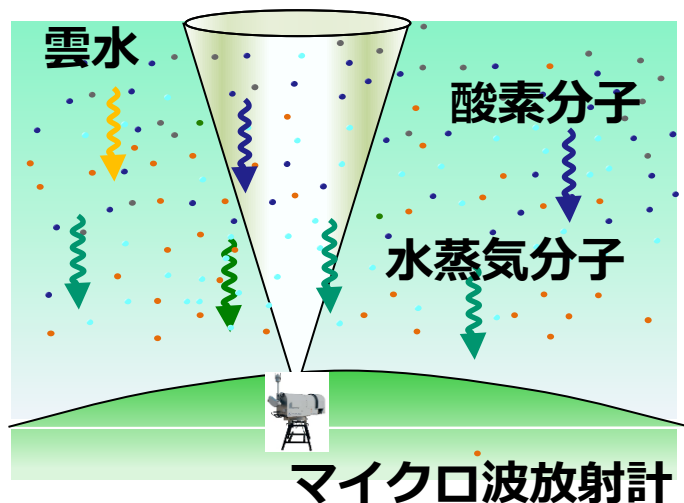
3. 数値予報技術の高度化の進捗

マイクロ波放射計(MWR)観測網

- 気象庁では、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西日本中心の17箇所に設置。
- 上空の風を測定しているウィンド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、可能な限り早く実況監視にも最大限活用。



地上マイクロ波放射計 (MWR) : RPG-HATPRO-G5



RPG-HATPRO-G5

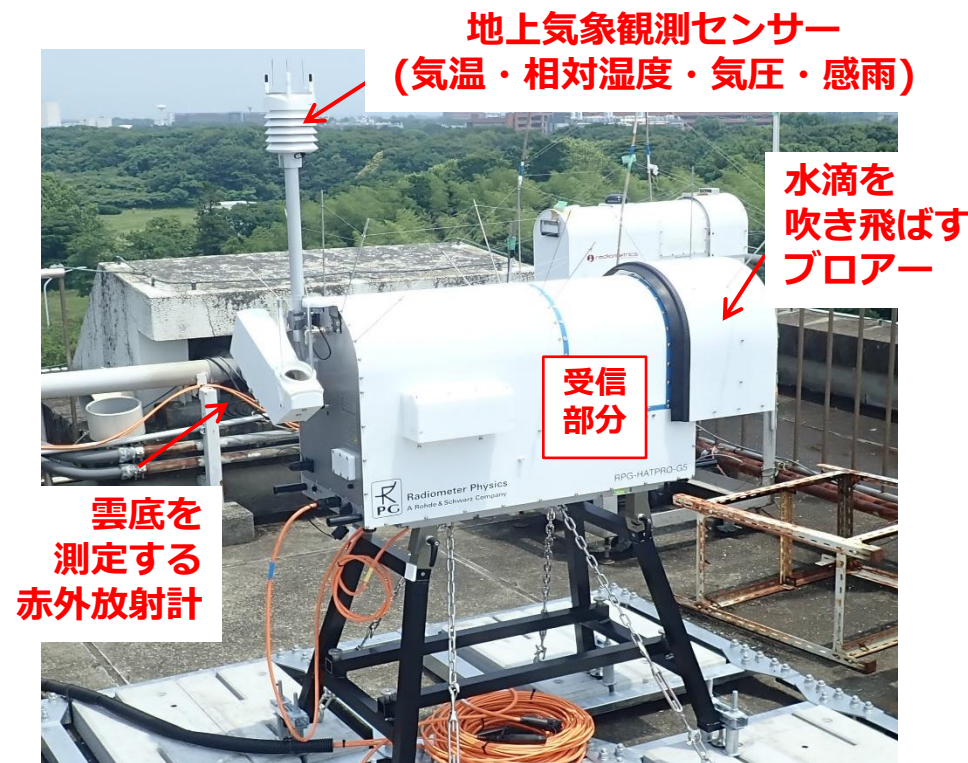
計測周波数	22-31 (7 ch), 51-59 (7 ch) GHz
ビーム幅 (バンド幅)	3.9-4.6, 1.8-2.2° (230-2000 MHz)
分解能	0.1~1 K
観測頻度	1秒~数分

●観測項目

- ・大気・雲のマイクロ波放射強度 (=輝度温度)
- ・受動型/高頻度観測 :
1秒~数分 間隔
- ・長期間観測が可能
※各データは1秒単位で
取得中

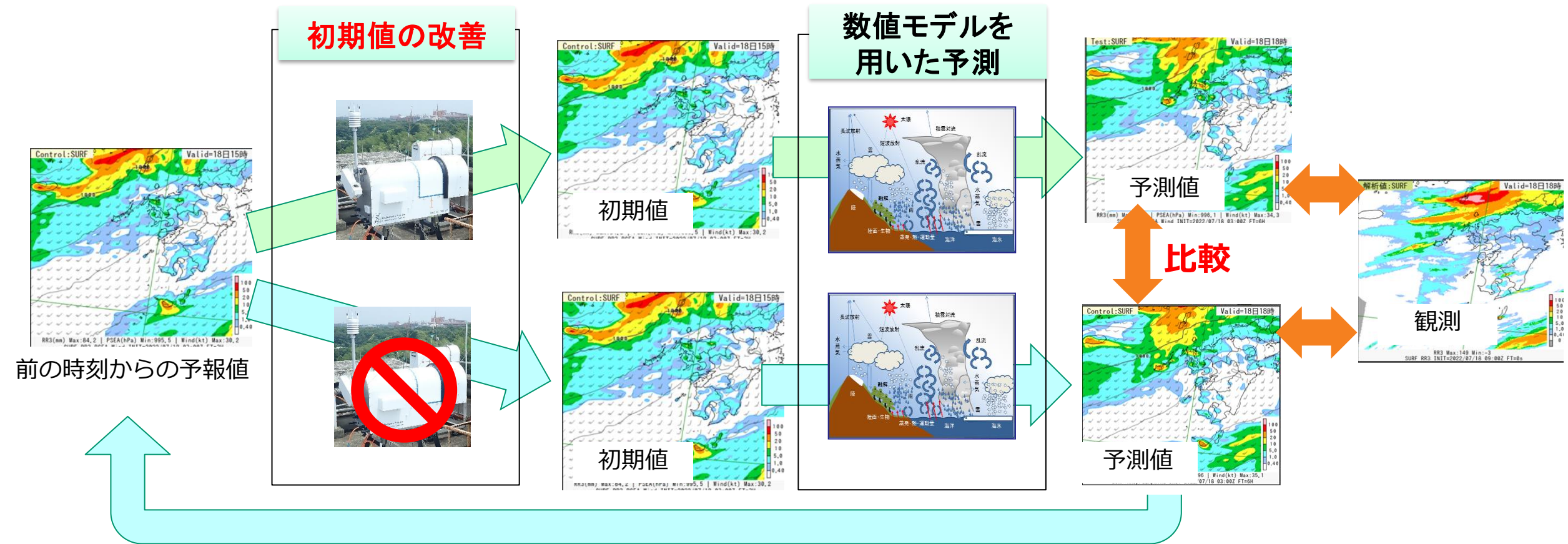
●推定可能な物理量

- ・鉛直積分量 :
水蒸気量の鉛直積算値
(可降水量)
雲水量の鉛直積算値
- ・鉛直プロファイル(推定) :
水蒸気量・気温



RPG社製マイクロ波放射計

数値予報実験の概要



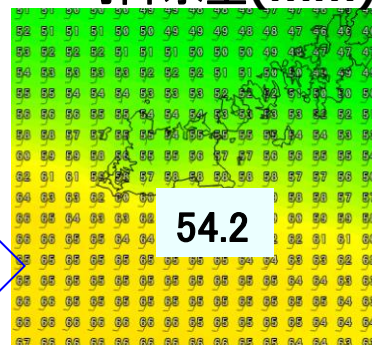
- ・「数値予報モデル」には気象庁の現業と同じシステムを利用。
- ・「初期値の改善」で気象庁の現業予報で利用している観測データを用いて、数値予報モデルの初期値を改善。
- ・見たい時刻の初期値の時だけ、上側でマイクロ波放射計データも利用する。
- ・予測結果を比較し、マイクロ波放射計データの効果を調べる。

マイクロ波放射計データを用いた初期値改善の効果

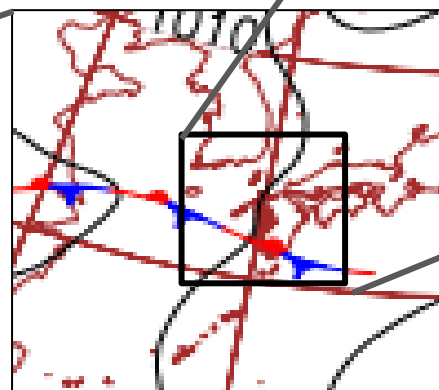
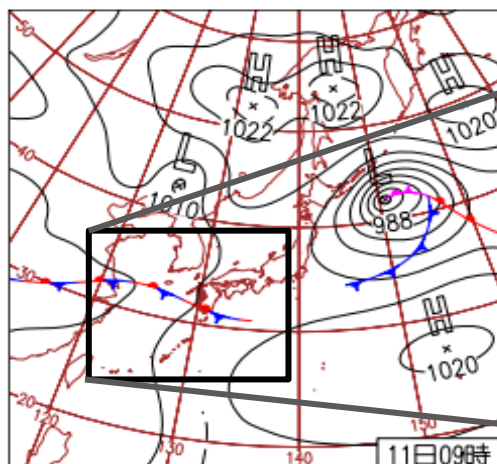
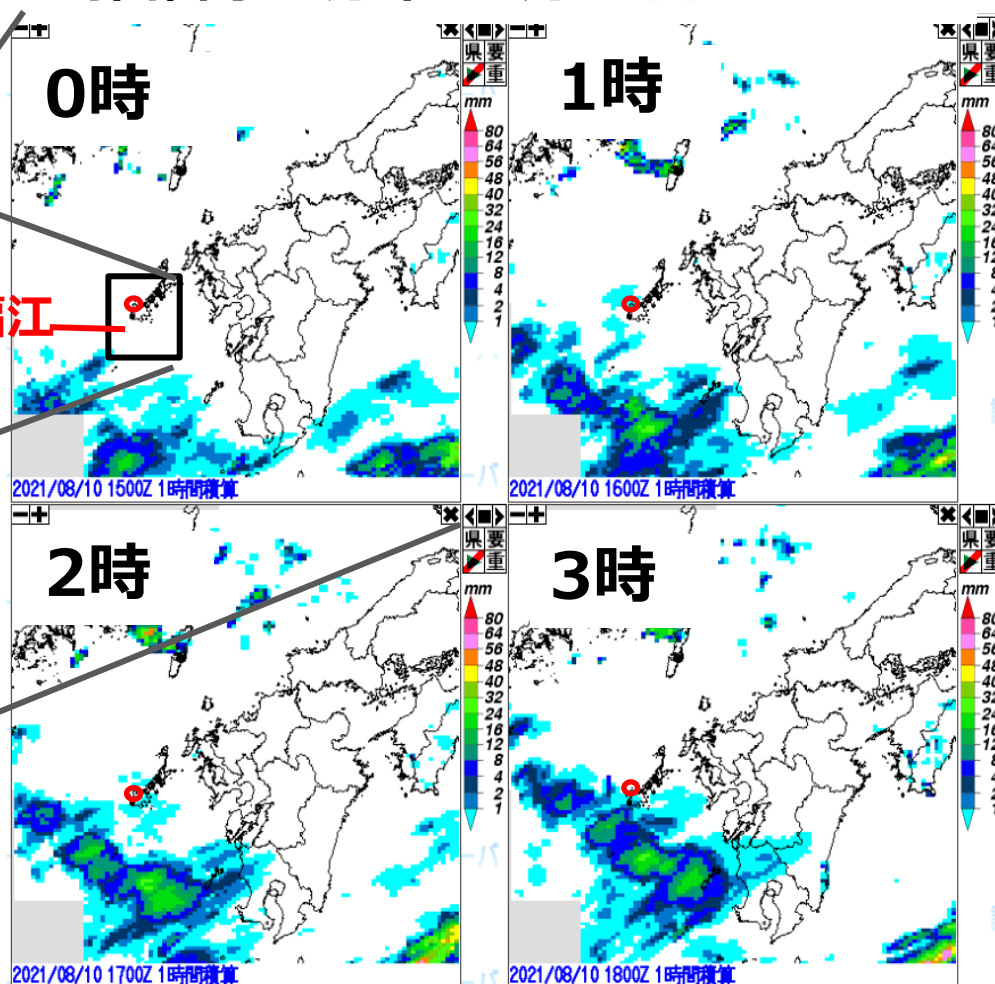
幾田ほか (2022)から

- ・ 期間：2021年8月11日0-3時。
- ・ 観測データ：マイクロ波放射計の2分毎の輝度温度。
五島列島の福江の赤丸の位置。
- ・ 状況：8月11日0-3時は、
停滞前線が北上中。
降水開始直前の状況。
南西側で可降水量が多い。

可降水量(mm)



1時間降水量分布：8月11日



マイクロ波放射計の観測データは「第二期SIP」からご提供いただきました。

マイクロ波放射計データを用いた初期値改善の効果

1時間雨量(観測)

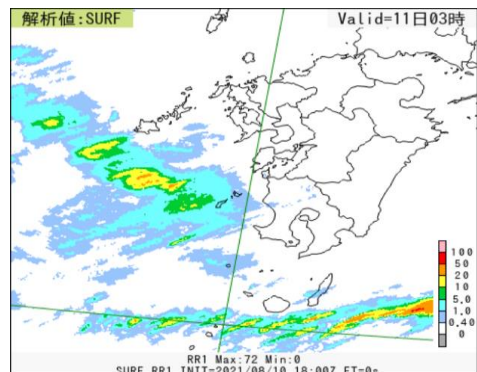
1時間雨量
(MWRなし)

1時間雨量
(MWRあり)

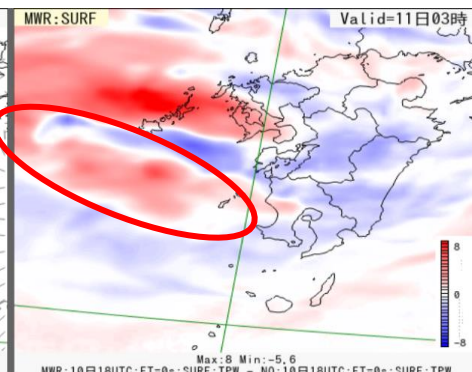
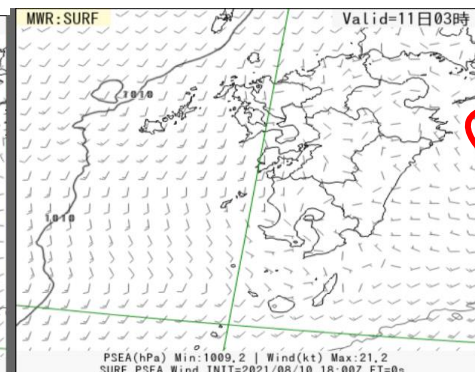
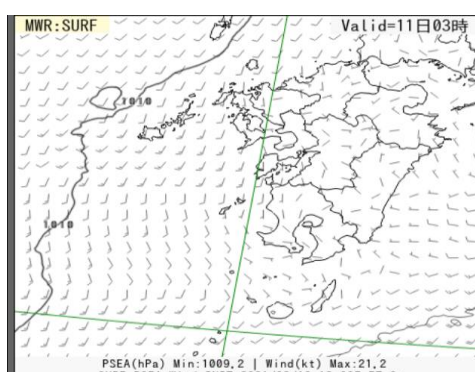
可降水量の差
(MWRありーなし)

幾田ほか (2022)から

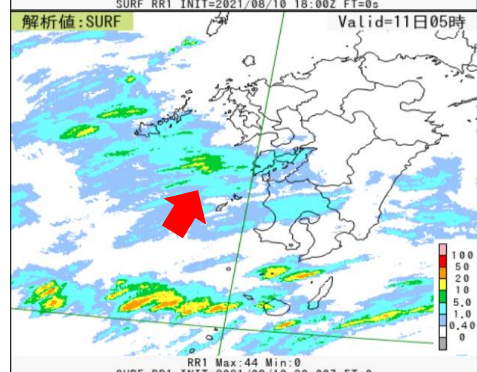
8月11日3時



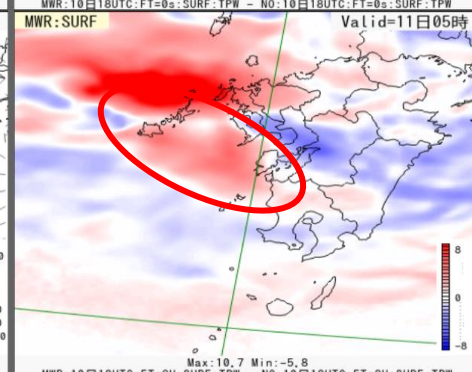
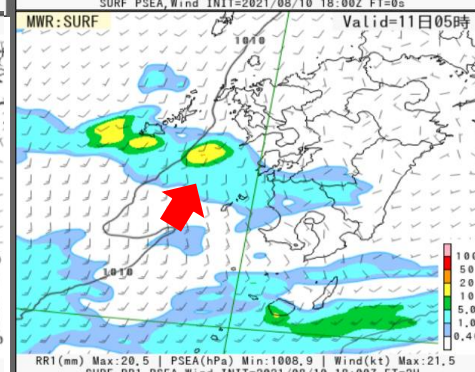
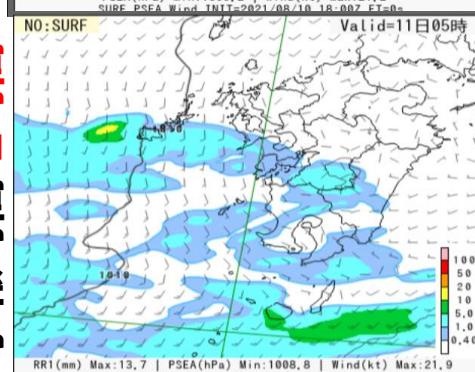
予報時間 0時間



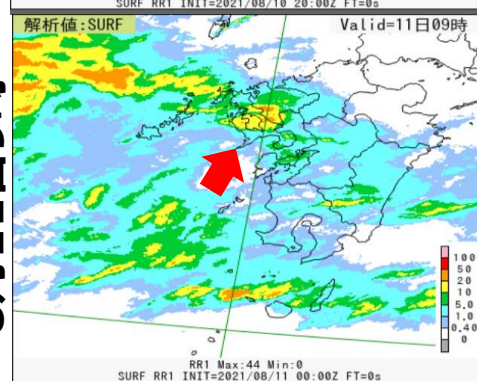
8月11日5時



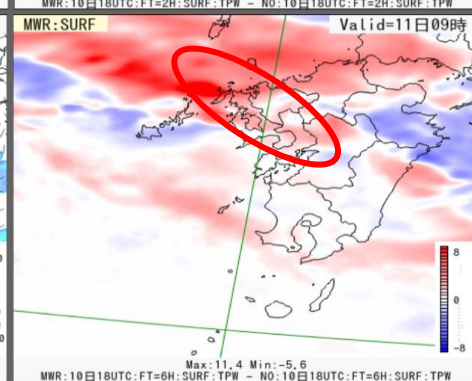
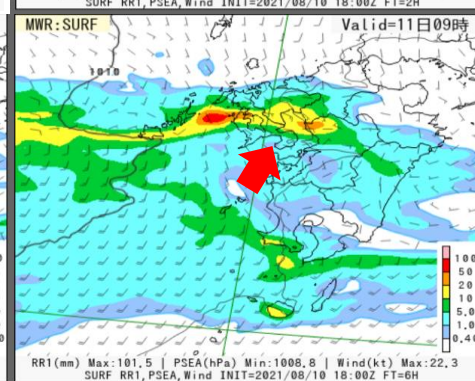
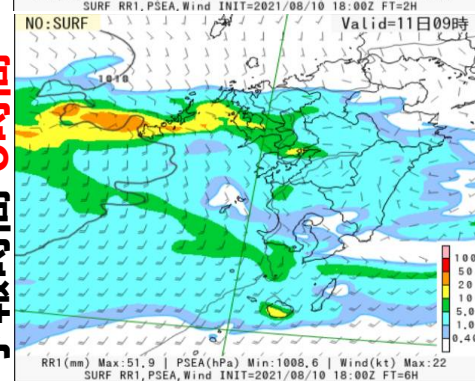
予報時間 2時間



8月11日9時



予報時間 6時間



・マイクロ波放射計(WMR)の輝度温度を2分毎に利用。

・マイクロ波放射計を使うと東シナ海の水蒸気量が増加(赤丸)。

・可降水量の増加域が北東に移動し、降水分布も観測に似たものに改善(赤矢印)。

4. まとめと今後の取り組み

線状降水帯の発生・維持機構の解明

○線状降水帯発生時の環境場

- ・山形県・新潟県に発生した線状降水帯を見ると、**東北西方の低気圧性循環によって降水域に流れ込む水蒸気の流量が大きかったことなどが共通していた。**

⇒今後、環境を示す指数について、アンサンブル予測(わずかな差を与えた初期値から多数の予測をする方法)等も用いて、降水量に係わる気温や湿度等の状態(環境)を定量的に評価する。

○線状降水帯の内部構造

- ・**幾列も短い降水帯ができる形態の降水帯**について、**冷氣塊が自由対流高度**（浮力のみで空気塊が上昇していけるようになる高度）**まで持ち上げる強制力**であった。**冷氣塊が強すぎると降水の強度を弱めてしまう**ことが分かった。

⇒今後、より事例数を増やす。環境を単純にした高分解能な予報実験を行う。

4. まとめと今後の取り組み

予測技術向上に向けた研究

○新しい観測データの利用

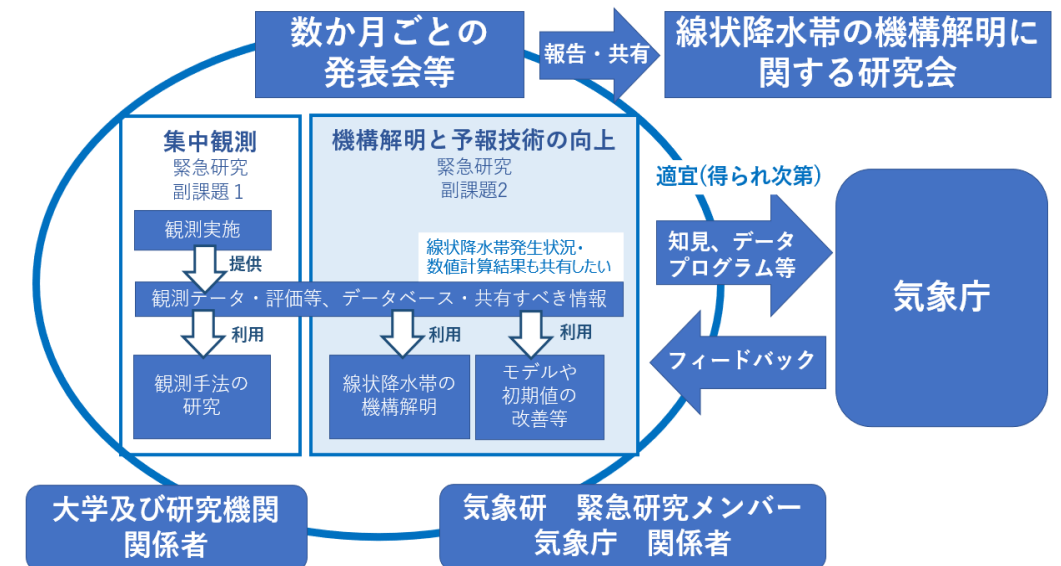
- ・ **マイクロ波放射計を用いて初期値を改善すると、降水予報が改善する事例がある**ことがわかった。

⇒今後、観測データの最適な利用頻度や、複数種類の観測を同時に利用する実験を行い、最適な利用法を開発する。

他機関との連携等

- ・ 成果を報告する発表会を大学等の研究機関の方にも参加していただきながら、研究を進めています。
- ・ 気象庁現業予報に得られた知見を活かすように、気象庁本庁との連携も深めます。

今後の機構解明と予測技術向上に向けた進め方(提案したいもの…)



ご清聴ありがとうございました

謝辞：本研究における福江のMWRの観測データは「第2期戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）」からご提供いただきました。気象庁情報基盤部数値予報課が開発したメソNAPEXを用いました。ここに記して感謝します。