

集中豪雨予測のための水蒸気ライダーの開発

酒井 哲、吉田智、永井智広、小司禎教
(気象研究所気象観測研究部)



概要：

近年、「令和2年7月豪雨」をはじめ、線状降水帯が寄与する集中豪雨が多発し、毎年のように人的被害をもたらしています。線状降水帯の発生・発達には、大気下層(おおむね1.5km以下)から流入する大量の水蒸気大きな影響を与えると考えられています。しかし、その詳細な仕組みは未解明です。このため、線状降水帯がどのようにして起こるのかを解明し、予測精度を向上させるには、大気下層の水蒸気を正確にとらえることが不可欠です。

気象研究所では、水蒸気の鉛直分布を連続的に測定する最新の観測機器「水蒸気ライダー」を開発し、観測を行う研究を進めています。2020年の夏季には長崎県西部において、九州で発生する線状降水帯をターゲットとして観測を行ってきました。本講演では、今年6月25日に長崎県等で発生した線状降水帯に関連する大気下層での水蒸気増加の観測結果を含め、最新の水蒸気ライダーを用いた研究結果を紹介します。

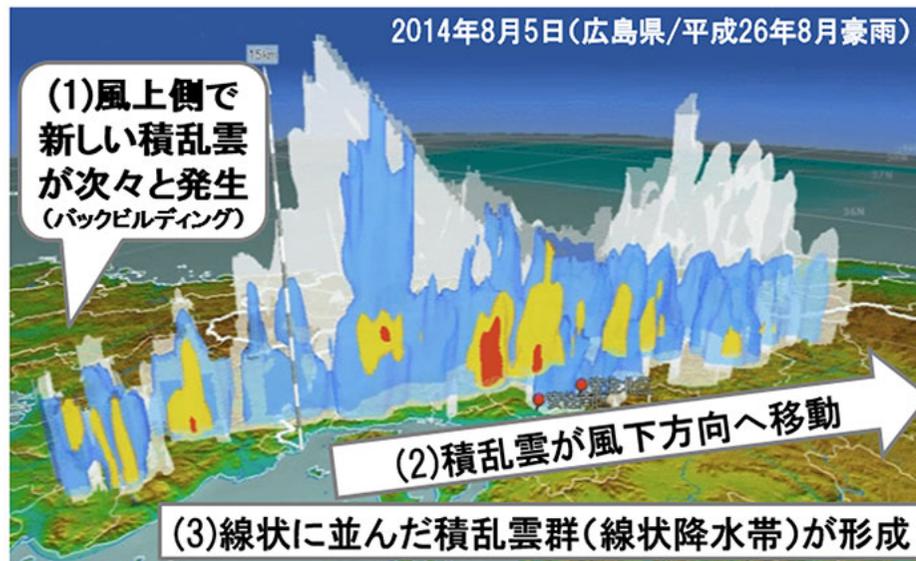
発表内容

1. 線状降水帯について
2. 水蒸気ライダーの開発
3. 観測結果の紹介（令和2年夏季の九州での線状降水帯）
4. 観測システムシミュレーション実験（平成26年8月豪雨）
5. まとめと今後の研究計画

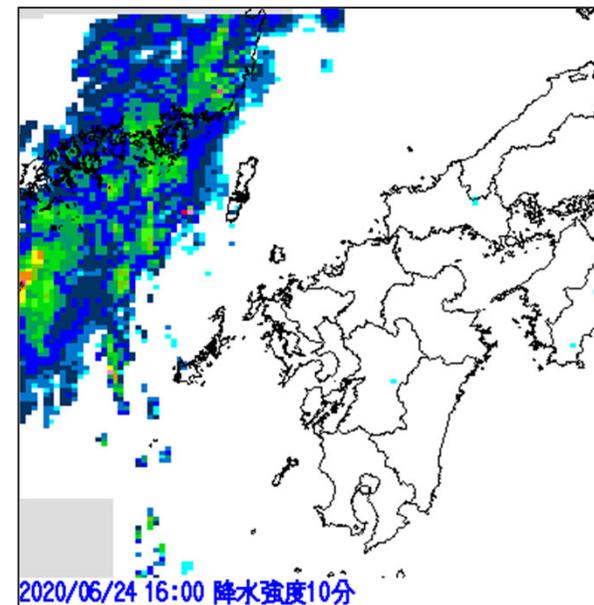
近年、線状降水帯が寄与する集中豪雨が多発

【線状降水帯とは】

- ・ 積乱雲が次々と発生して連なり、大雨が長時間続く。
- ・ 発生すると、災害の危険性が高くなる。
- ・ **その発生は、大気下層での大量の水蒸気流入に起因すると考えられているが、詳細な仕組みは解明されていない。**



線状降水帯の三次元構造。白・青・黄・赤の順番に雨の強さが大きくなる。地図情報は国土地理院地図(色別標高図)を利用(出典:防災科学技術研究所国家レジリエンス研究推進センターWebサイト)



令和2年6月24-25日に九州で発生した線状降水帯のレーダー降水強度分布



集中豪雨の早期予測が求められている

年月	場所	死者・行方不明者数
平成26年8月	西日本から 東日本	74人
平成29年7月	九州北部	43人
平成30年7月	西日本	232人
令和2年7月	西日本から 東日本、東 北地方	86人



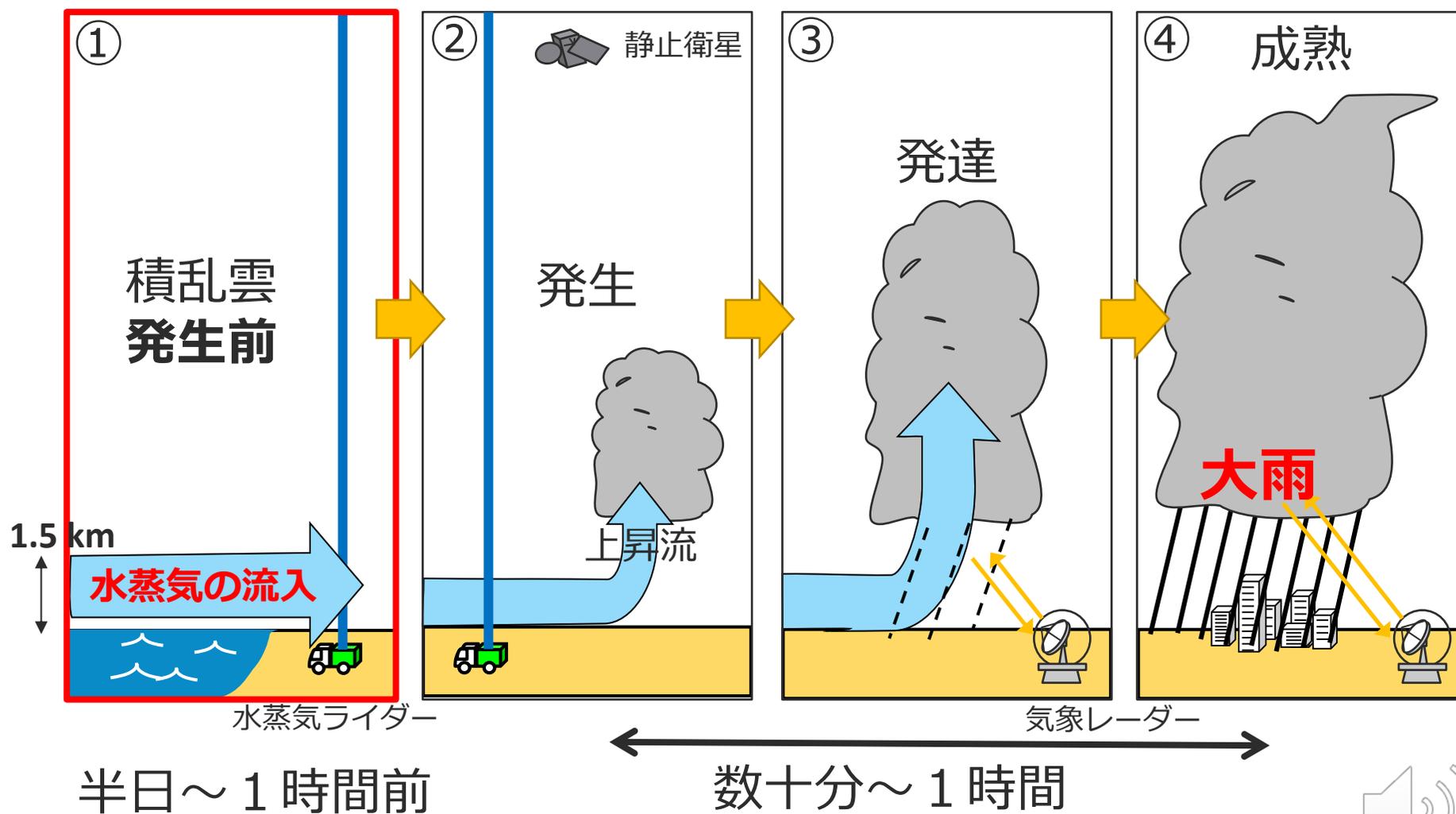
岡山県倉敷市真備町上空から見た浸水状況
(7/9撮影 気象台職員)

平成30年度気象庁災害時気象報告より
https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/saigaiji/saigaiji_2018/saigaiji_201902.html

人的被害を減らすためには、雨量や発生地域・時間等を
早期かつ正確に予測する必要がある。

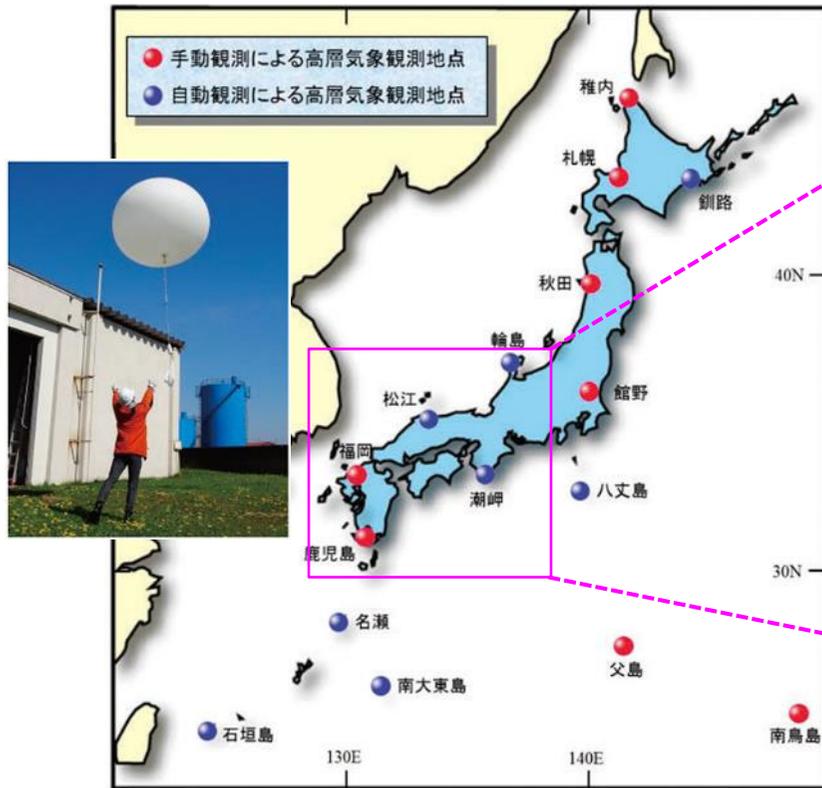


大雨を早期に予測するためには、積乱雲の発生前に大気下層での水蒸気の流入を捉える必要がある



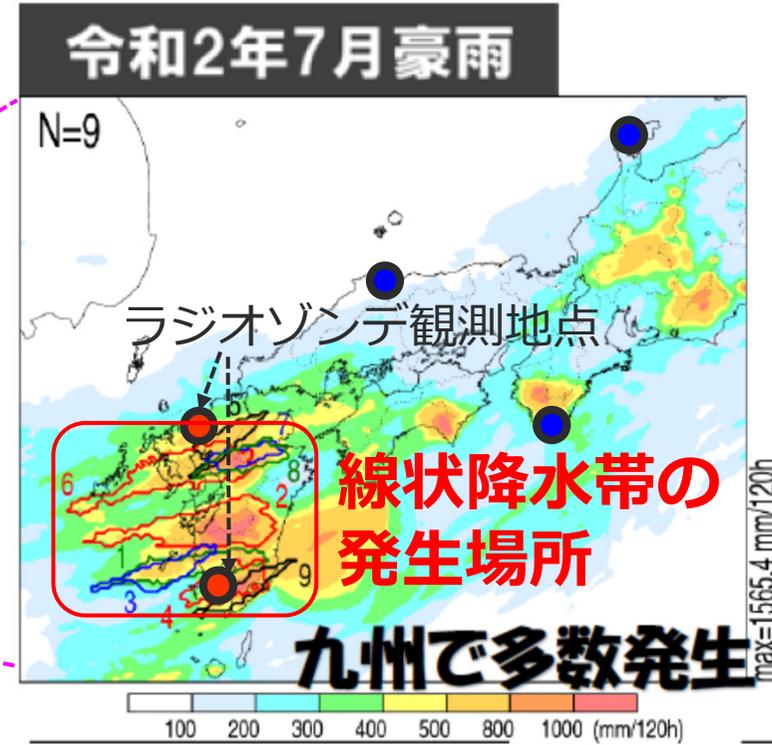
現在の水蒸気観測（大気下層）では、豪雨発生域の風上での観測が不足している

気象庁のラジオゾンデ（気球）観測地点



令和2年4月1日現在

<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/hakusho/2020/images/p065-2.jpg>



<https://www.jma.go.jp/jma/press/2007/31a/ro2gou.pdf>に
加筆（図中の数字は線状降水帯が発生した順番）

- 数100km間隔（全国16か所） ← 線状降水帯予測には不十分
- 1日2回（9時と21時）



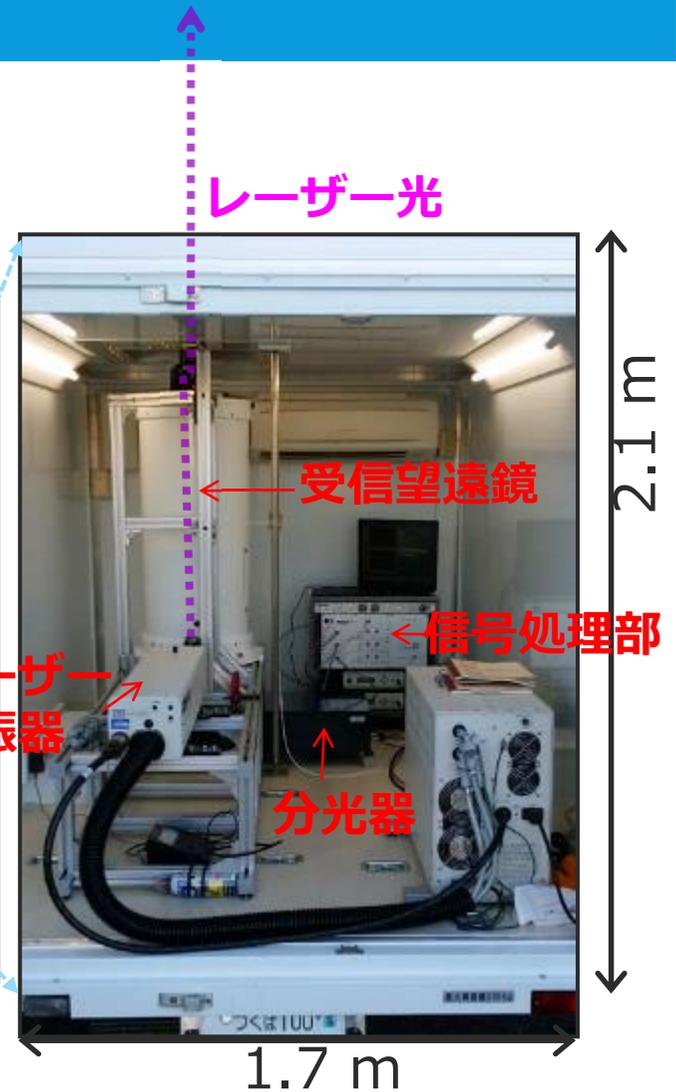
この問題を解決するため水蒸気ライダーを開発



可搬型水蒸気ラマンライダー



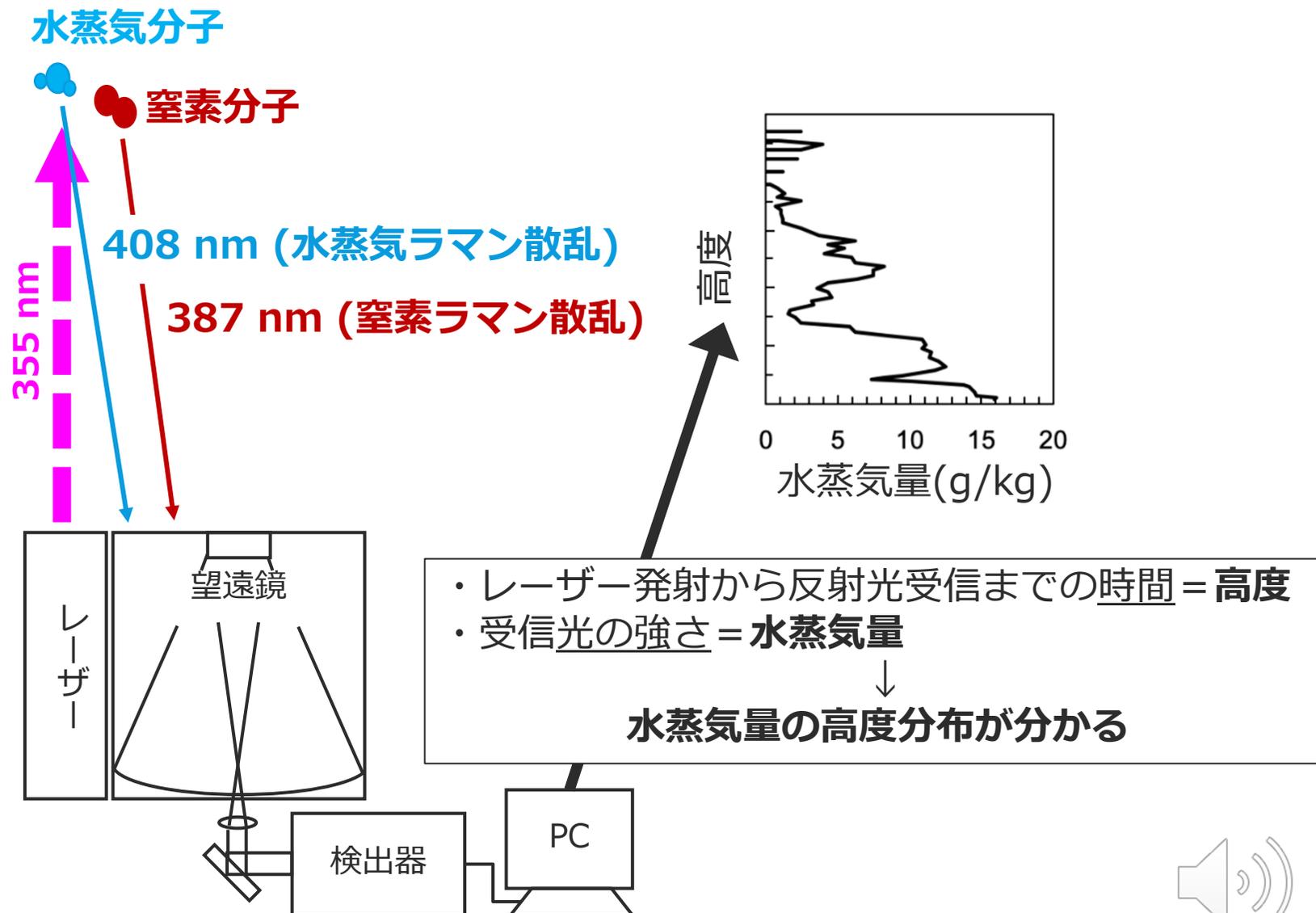
リモートコントロール
携帯回線でデータ転送
約1ヶ月間の無人運転



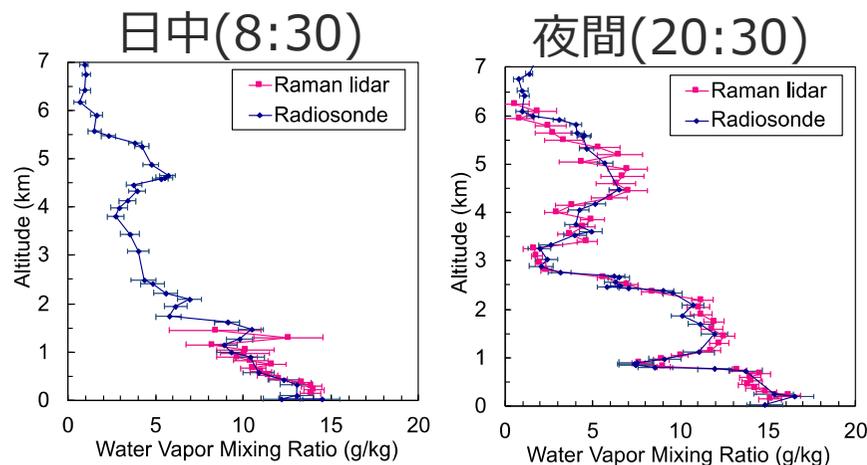
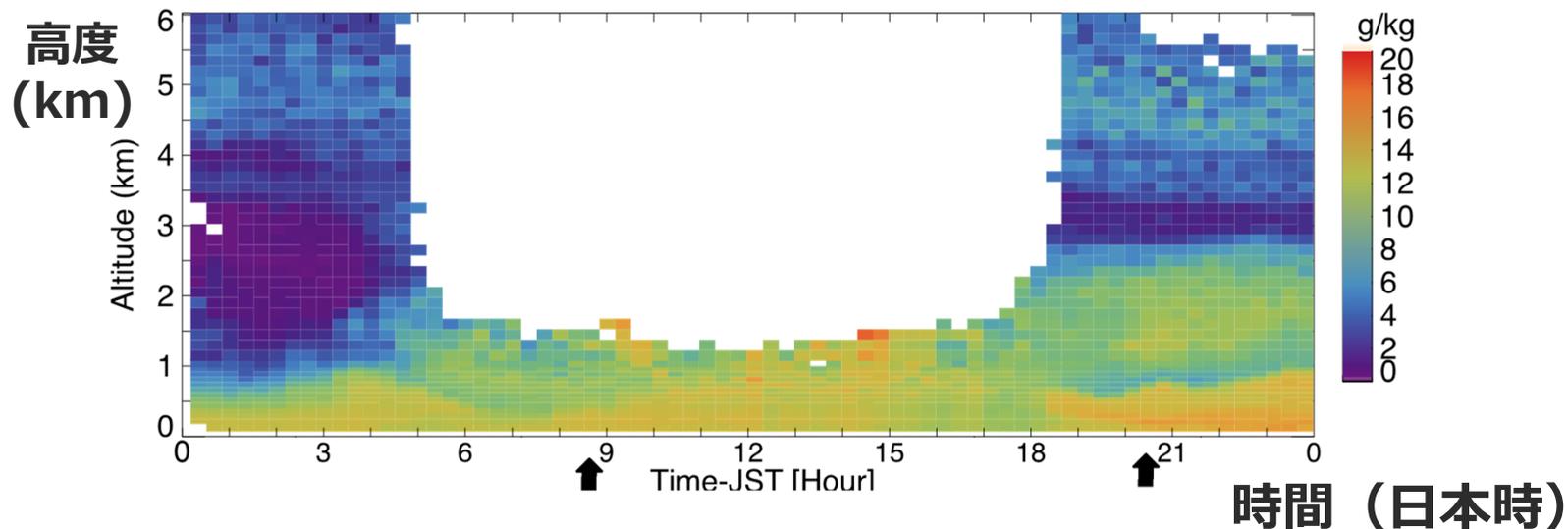
線状降水帯発生域の風上に設置し、水蒸気の鉛直分布を連続観測

ラマンライダーによる水蒸気観測のしくみ

Lidar (Light detection and ranging)



水蒸気ライダー観測例（2016年9月1日、つくば市）



赤：ライダー
青：ラジオゾンデ

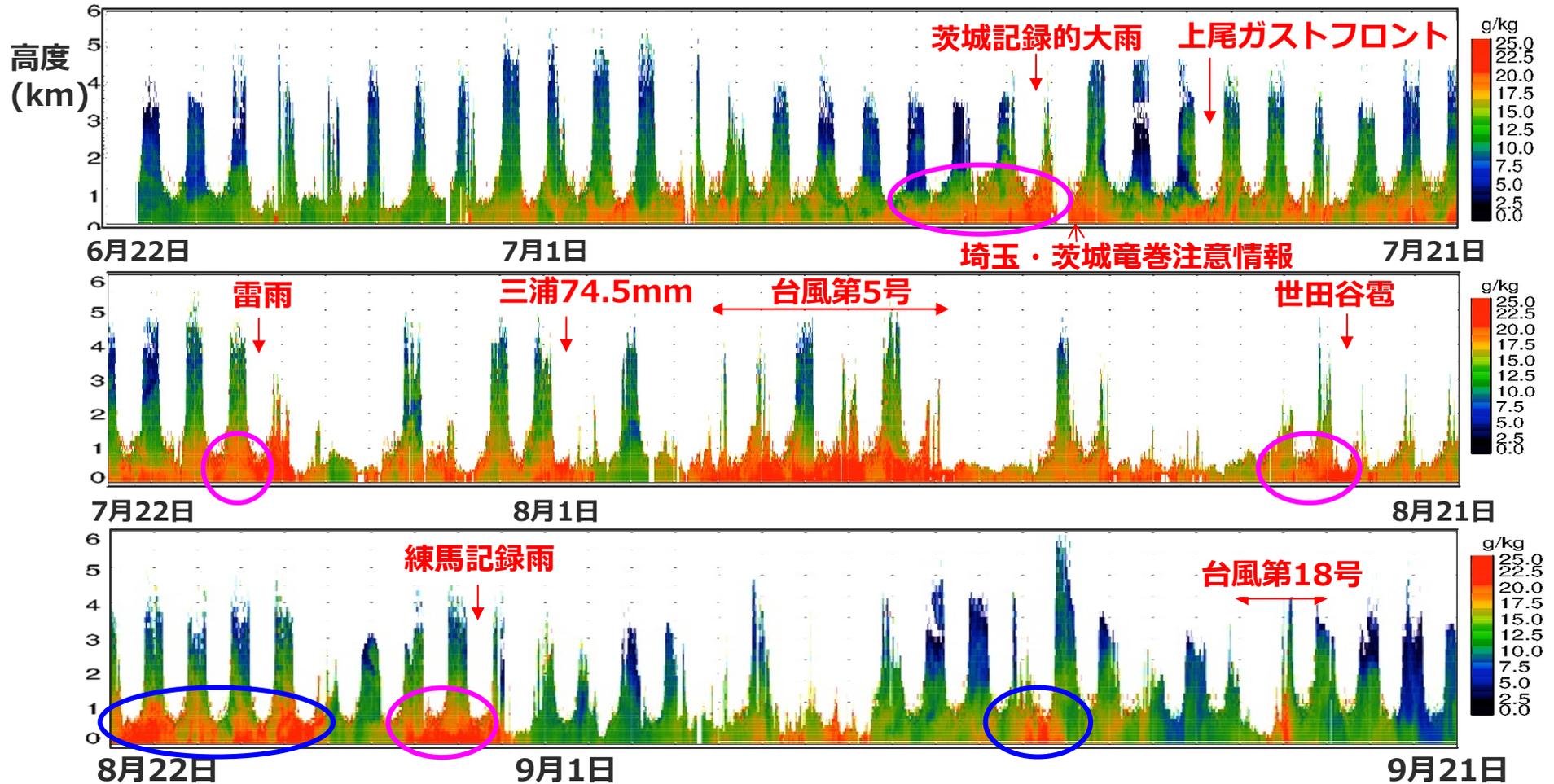
Sakai et al. (2019)

長所：水蒸気量の高度分布を連続観測できる

短所：日中高度1 km以上や厚い雲より上は観測できない



水蒸気ライダー観測例 (2018年6月~9月, 川崎市)

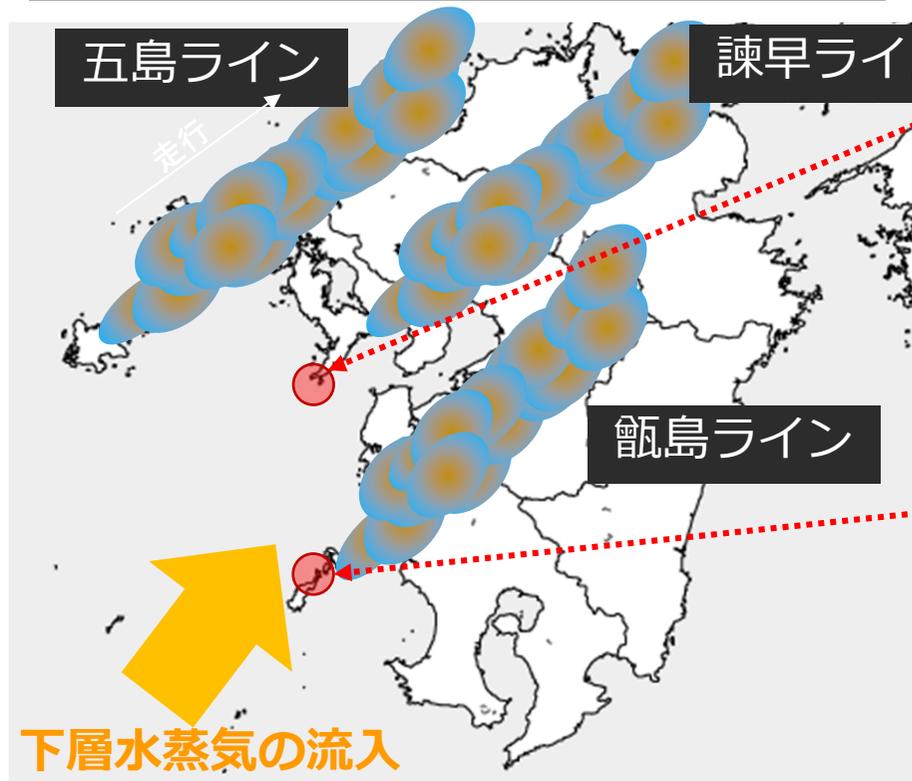


- ・ 首都圏で発生する局地的大雨をターゲットに観測を実施
- ・ 大雨に先行した下層 (高度約1 km以下) の水蒸気増加を観測
- ・ ただし、先行時間には幅があり、水蒸気増加後に必ず大雨が降るわけではない



線状降水帯をターゲットとした九州西岸での水蒸気ライダー観測を開始

線状降水帯が頻発する3地域



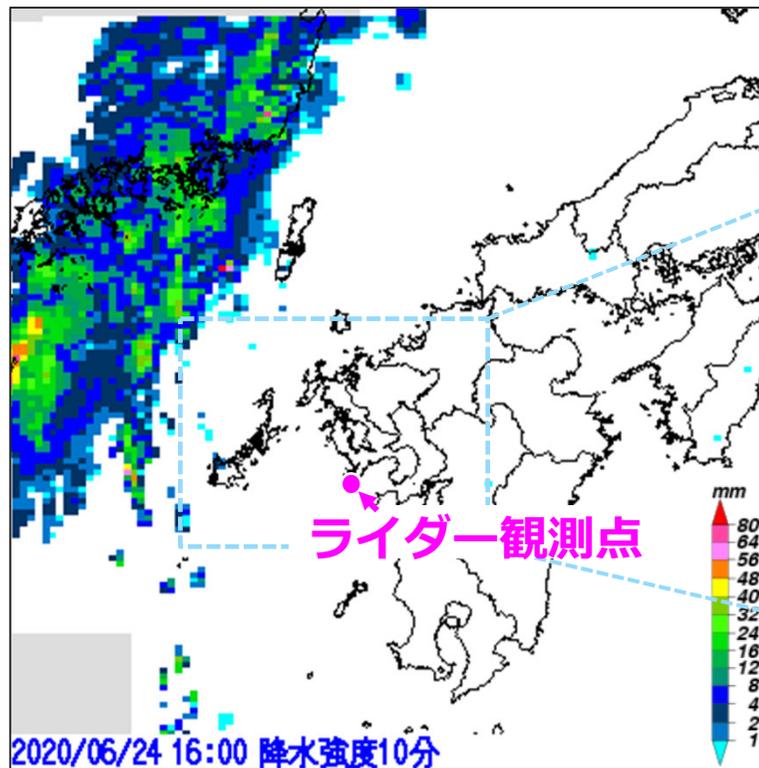
長崎市野母崎
2020/6/19より



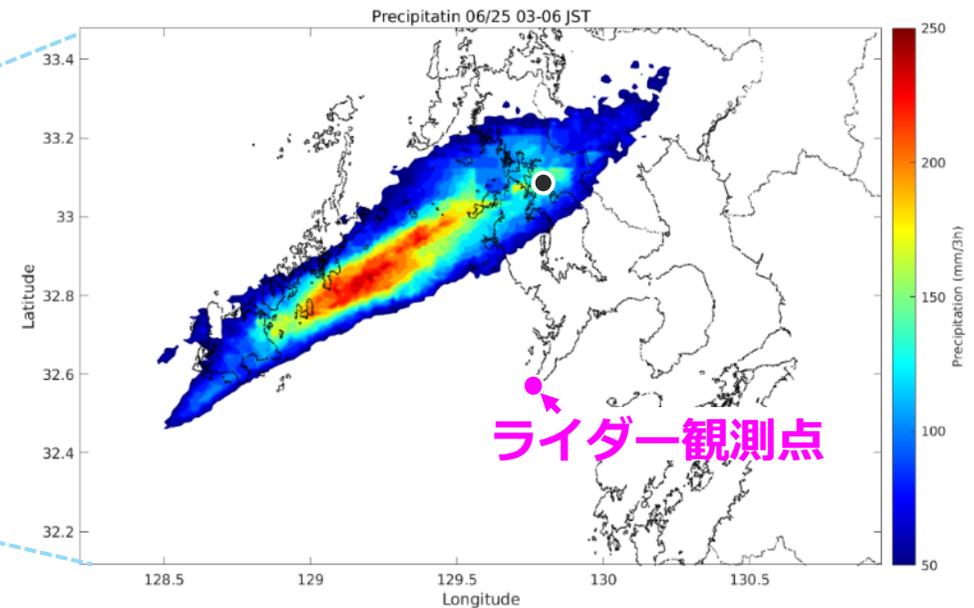
鹿児島県下甕島
2020/8/29より

今回は長崎での線状降水帯に関連する観測結果を紹介

2020年6月24-25日の線状降水帯



降水強度 (10分毎)

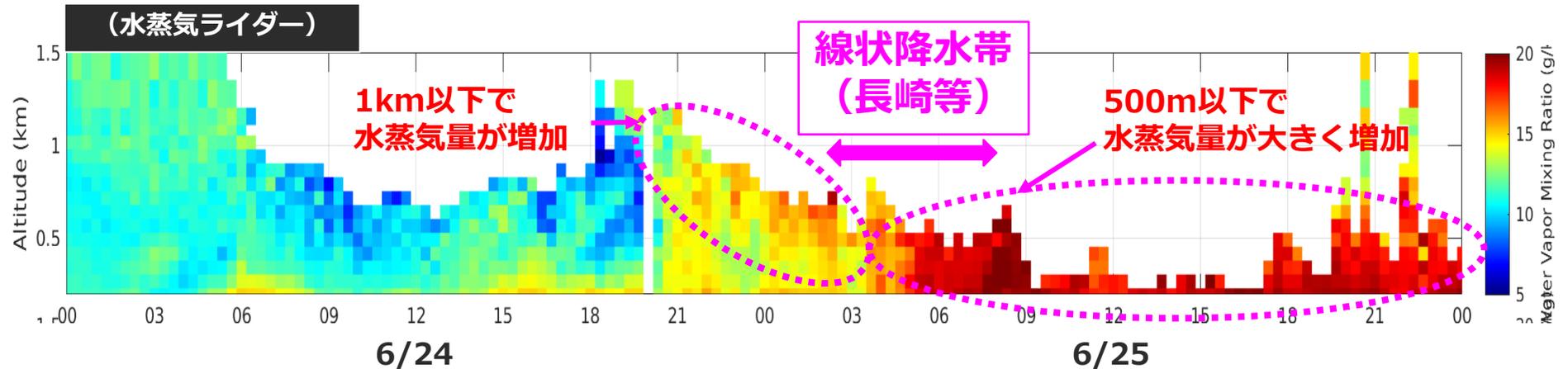


解析雨量 (6/25 03-06 JST 積算)

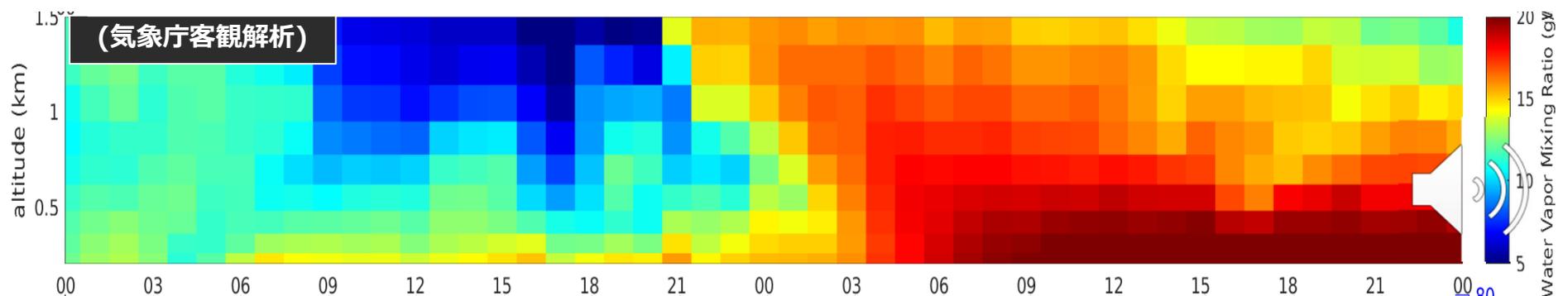
- 最大雨量: 245mm(海上)
- 佐世保で1時間最大78.5mm



観測結果（6月24-25日の線状降水帯）



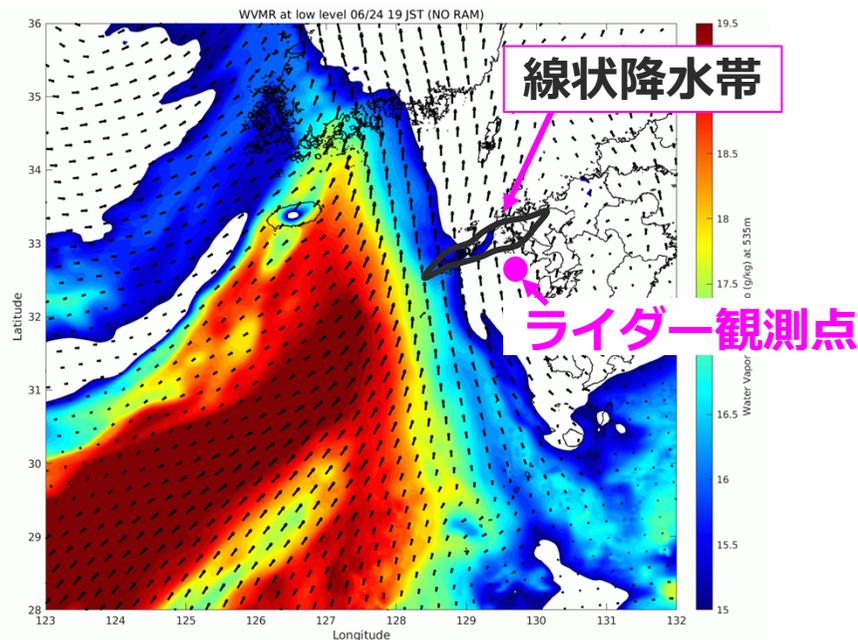
- **24日21時**頃から高度1 km以下の水蒸気量が増加
- 線状降水帯の形成（25日2-8時）に伴い、**25日3時**頃から高度約500m以下で水蒸気量が**大きく増加**
- 観測された下層の水蒸気の構造は、詳細は異なるものの客観解析で得た結果（下図）とほぼ整合的



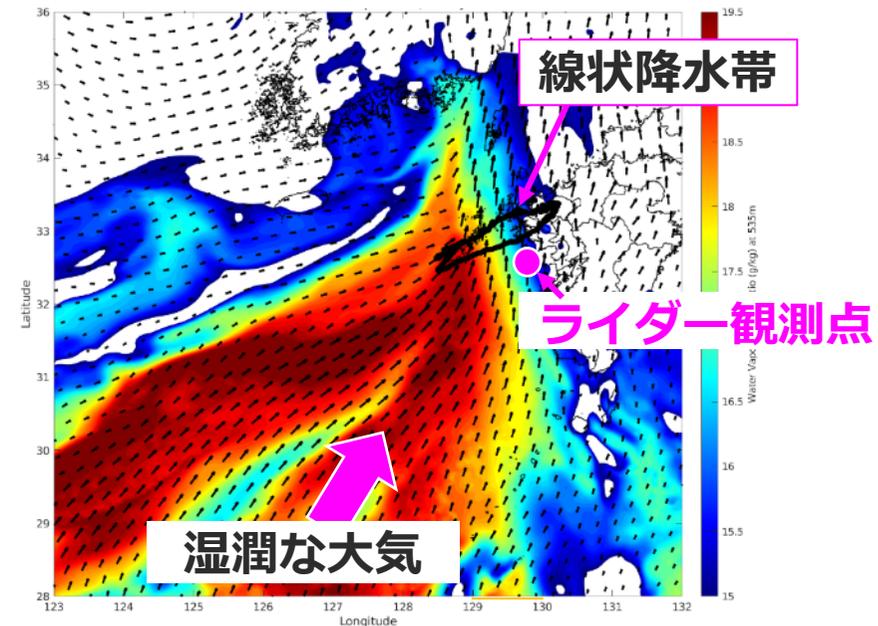
水蒸気流入の状況

気象庁客観解析による下層（高度約500m）の水蒸気量

2020/6/24 19時から6/25 11時



2020/6/25 3時



→
30m/s

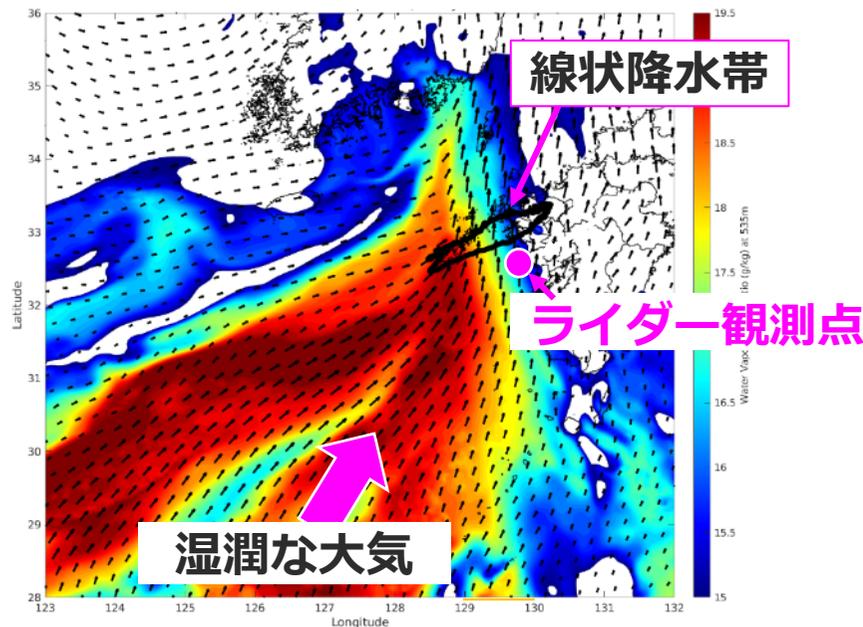
- ・ 赤い部分が水蒸気量の多い領域。
- ・ 黒で囲んだ領域は00-03JSTの積算降水量が50 mm/3h以上の線を示す。

湿潤な大気が25日3時頃からライダー観測点を通過

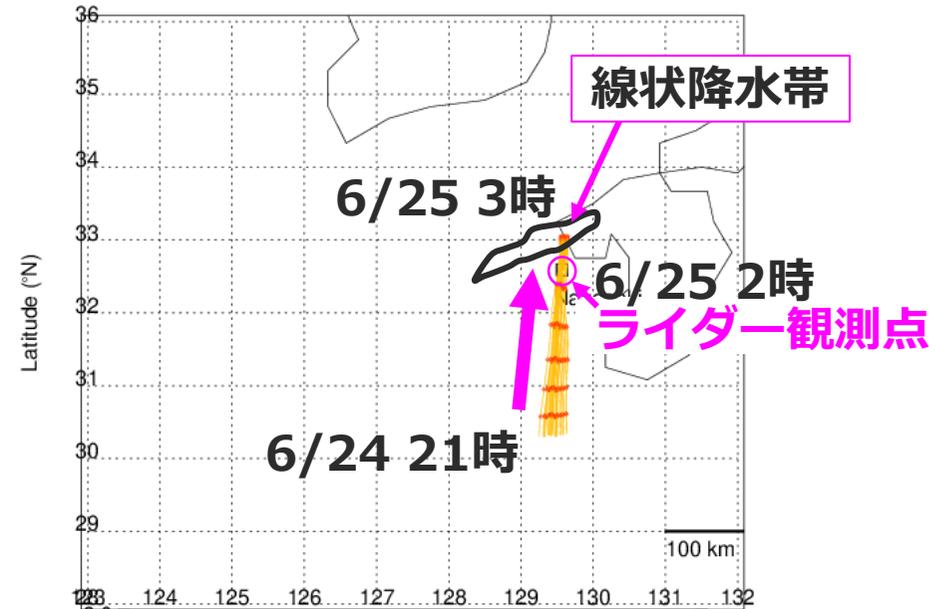
水蒸気流入の状況

気象庁局地解析による下層（高度約500m）の水蒸気量

2020/6/25 3時



空気塊の流れ



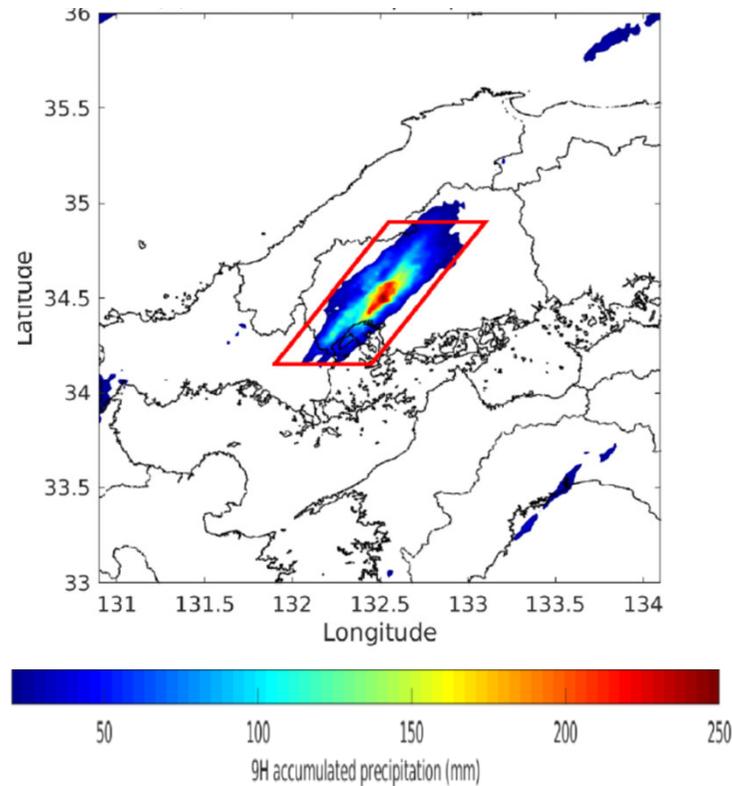
ライダー上空を通過した湿潤な大気は約1時間後に線状降水帯へ移動



観測システムシミュレーション実験 (模擬ライダー観測で最適な観測場所を選定)

平成26年8月豪雨を想定

8月19日21時-20日6時の解析雨量(mm/9時間)



広島県広島市の土砂災害

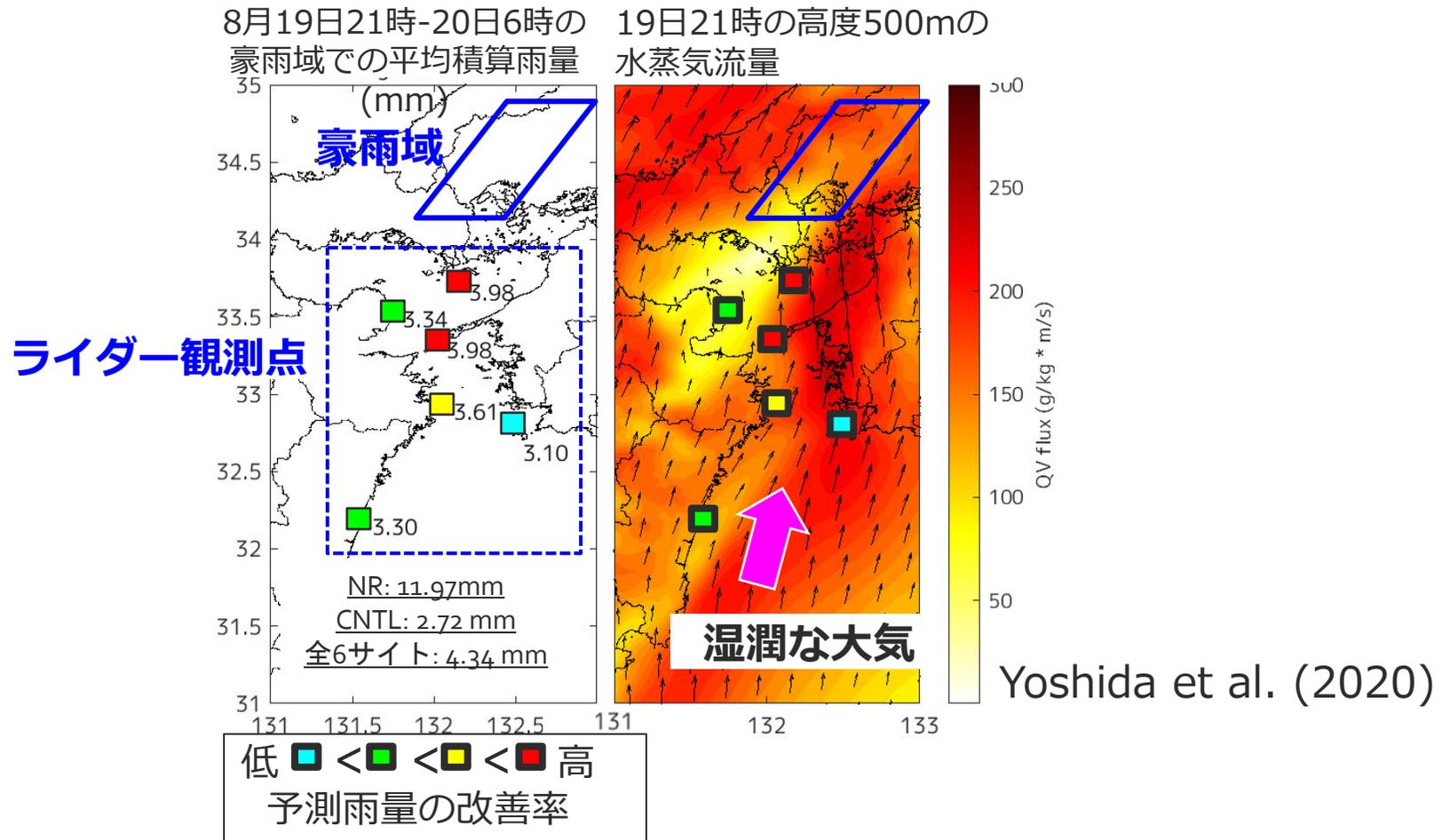


平成26年度災害時自然現象報告書 (気象庁本庁作成)
https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/saigaiji/saigaiji_201404.pdf

広島市で最大24時間降水量257.0mmを記録

観測システムシミュレーション実験 (模擬ライダー観測で最適な観測場所を選定)

平成26年8月豪雨を想定

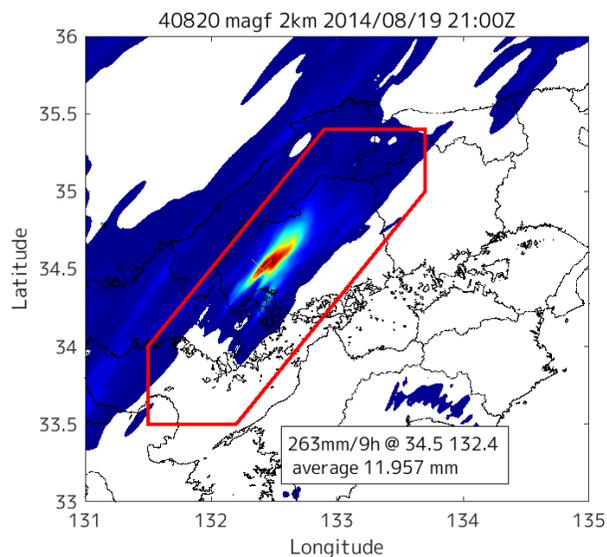


この事例では、水蒸気を多く含んだ気塊が豪雨域に供給される点にライダーを設置すると予測雨量の改善率が高い。

観測システムシミュレーション実験 模擬ライダー観測データを用いた降水量予測

H26年8月広島豪雨を想定
佐多岬にライダーを設置

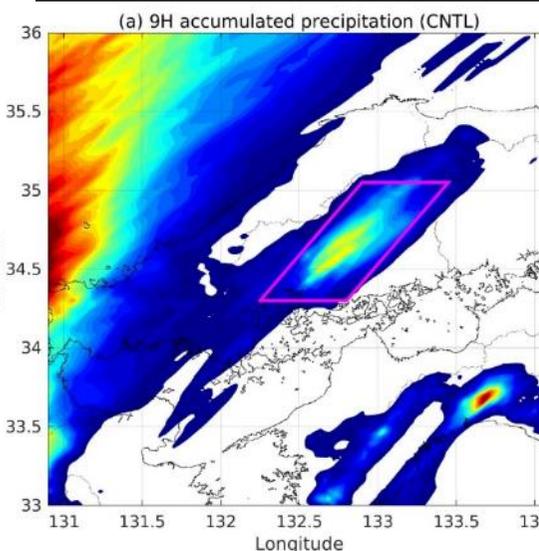
正解(真値)



12mm/9h

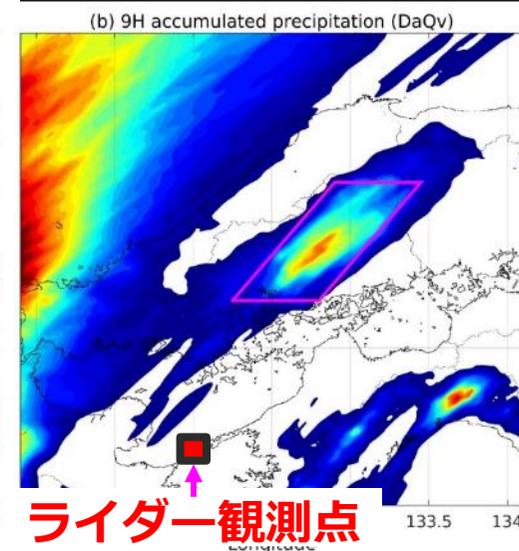
模擬ライダー観測

なし



8.1mm/9h

あり



10.4 mm/9h

風上側で水蒸気ライダー観測を行い、予報モデルにデータを
組み込むことで**降水量の予測精度が改善**

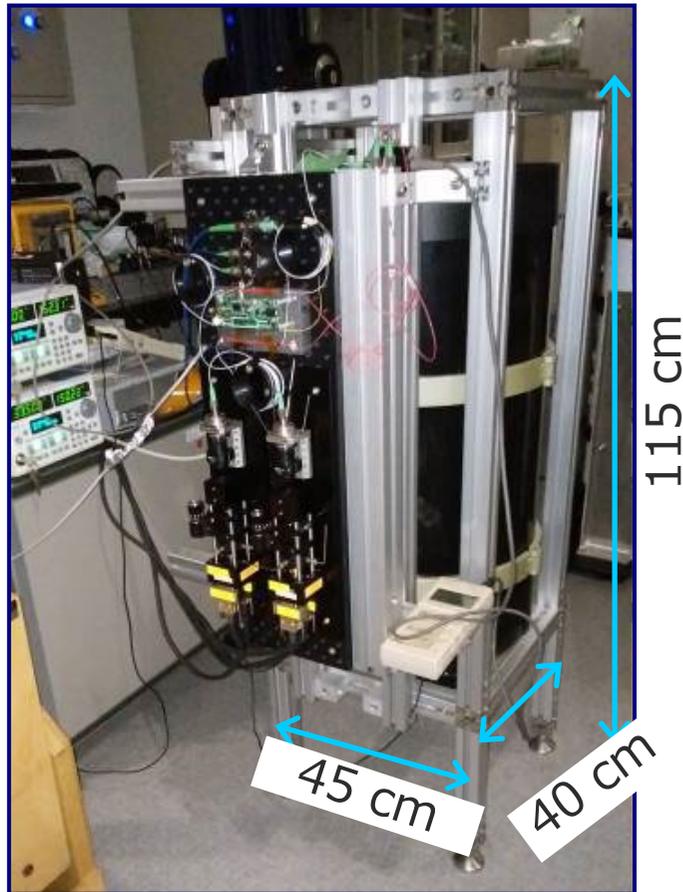
まとめ

- 集中豪雨予測のための水蒸気ライダーを開発し、観測を行う研究を進めている。
- 令和2年夏季の長崎県西部において、線状降水帯発生に先行する大気下層の水蒸気増加の観測に成功した。
- 平成26年8月豪雨について、模擬観測データを用いたシミュレーションを行い、風上にライダーを設置し観測データを予報モデルに組み込むことで、降水量の予測精度が改善した。

今後の研究計画

- ライダー実観測データを予報モデルに組み込み、豪雨予測への効果を明らかにする。
- 豪雨予測の精度向上を目指し、他の観測手法（GNSS、衛星、地上観測等）と組み合わせた最も効果的な観測システムを検討する。
- 次世代型ライダー（水蒸気・風同時計測ライダー）の開発に取り組む。

次世代型ライダー(DIAL方式)の開発



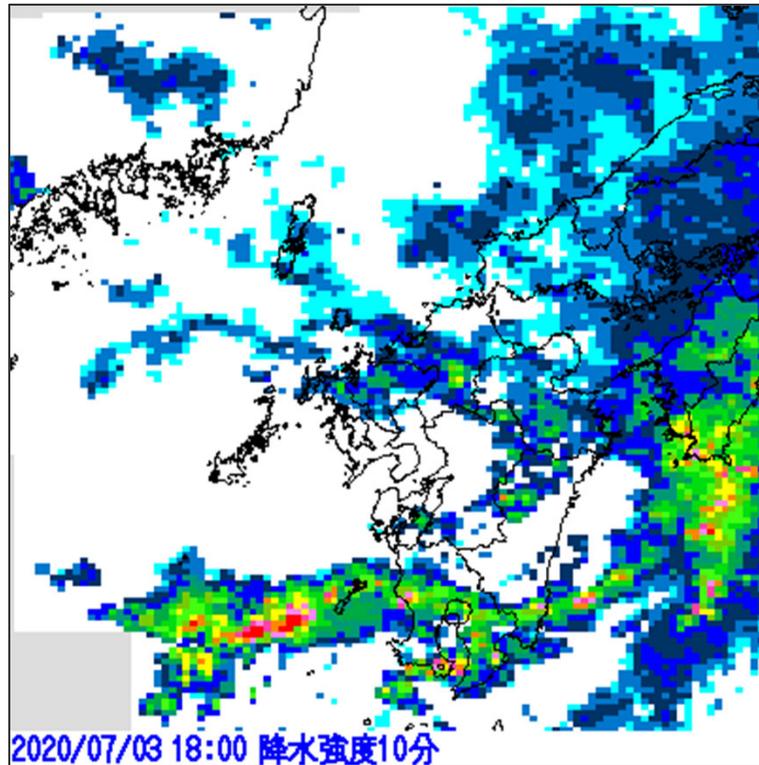
総重量~100 kg

ラマン方式(従来型)と比較した
メリット:

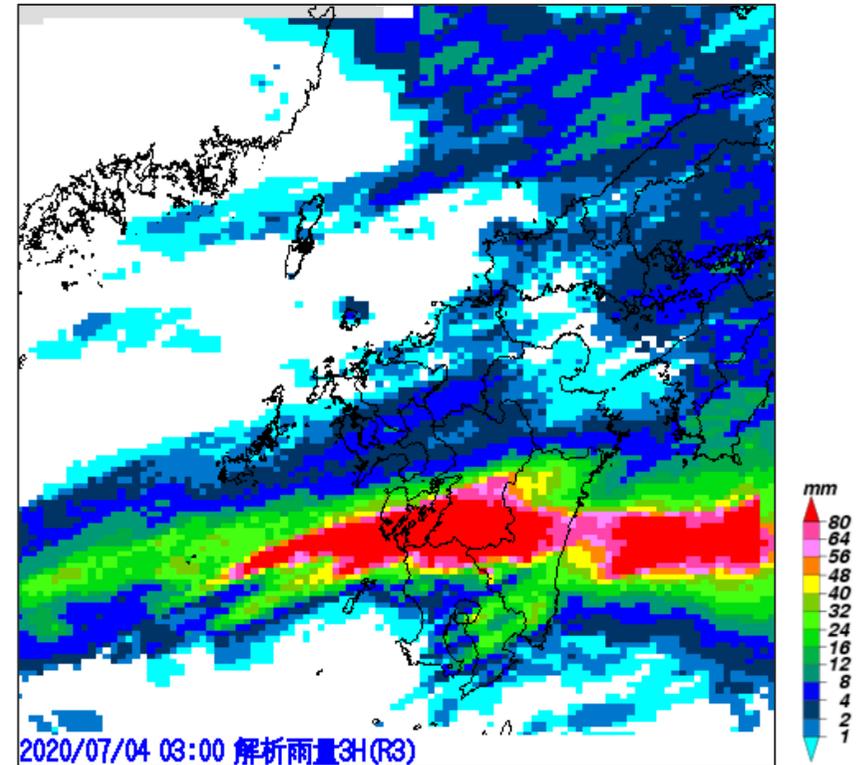
- 昼夜問わず高度1km以上まで観測
 - メンテナンスが容易
 - 小型・軽量
- 都立大学と共同開発中

* 水蒸気・風同時計測ライダーを
共同開発予定

2020年7月3-4日の線状降水帯



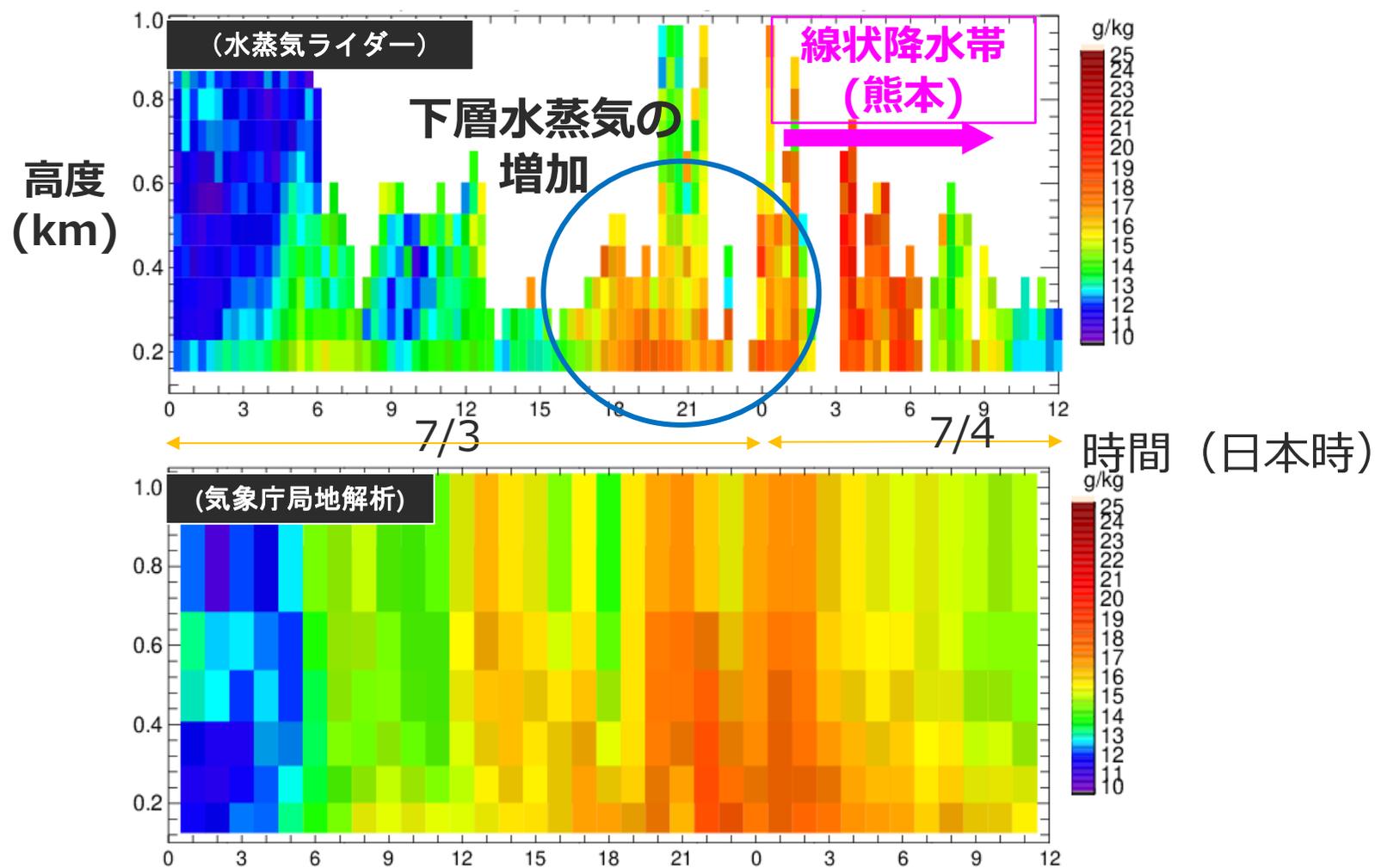
降雨強度 (10分毎)



解析雨量 (7/4 00-03 JST 積算)

- 最大1時間降水量120mm以上
- 7月3日21時～4日10時の積算最大降水量約700mm

観測結果②（7月3-4日、熊本等で線状降水帯発生）

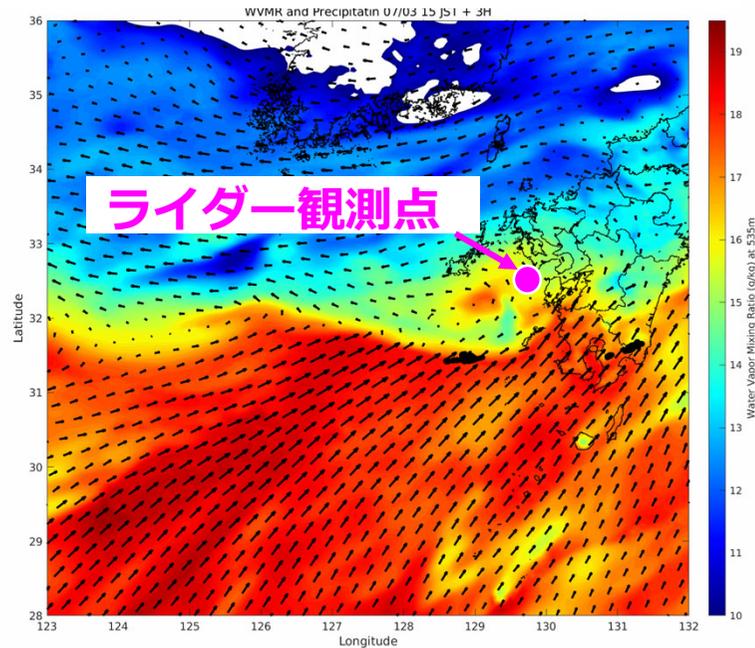


- ・ 線状降水帯発生約6時間前に、高度500m以下で20g/kg以上の多量の水蒸気量を観測。
- ・ モデル計算で得た結果より高度300m以下の水蒸気量が多い。

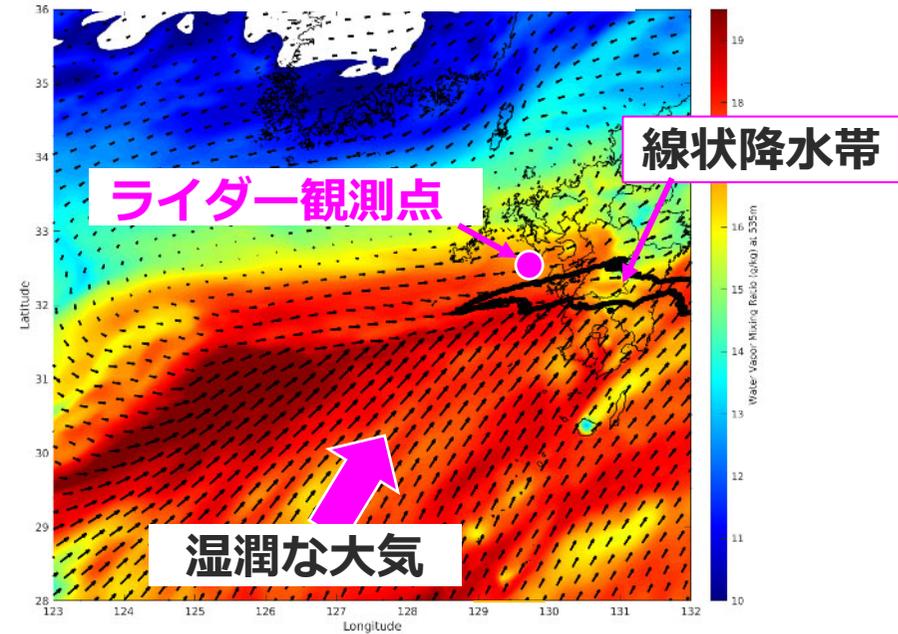
水蒸気流入の状況

気象庁局地解析による下層（高度約500m）の水蒸気量

2020/7/3 15時から7/4 6時



2020/7/4 0時

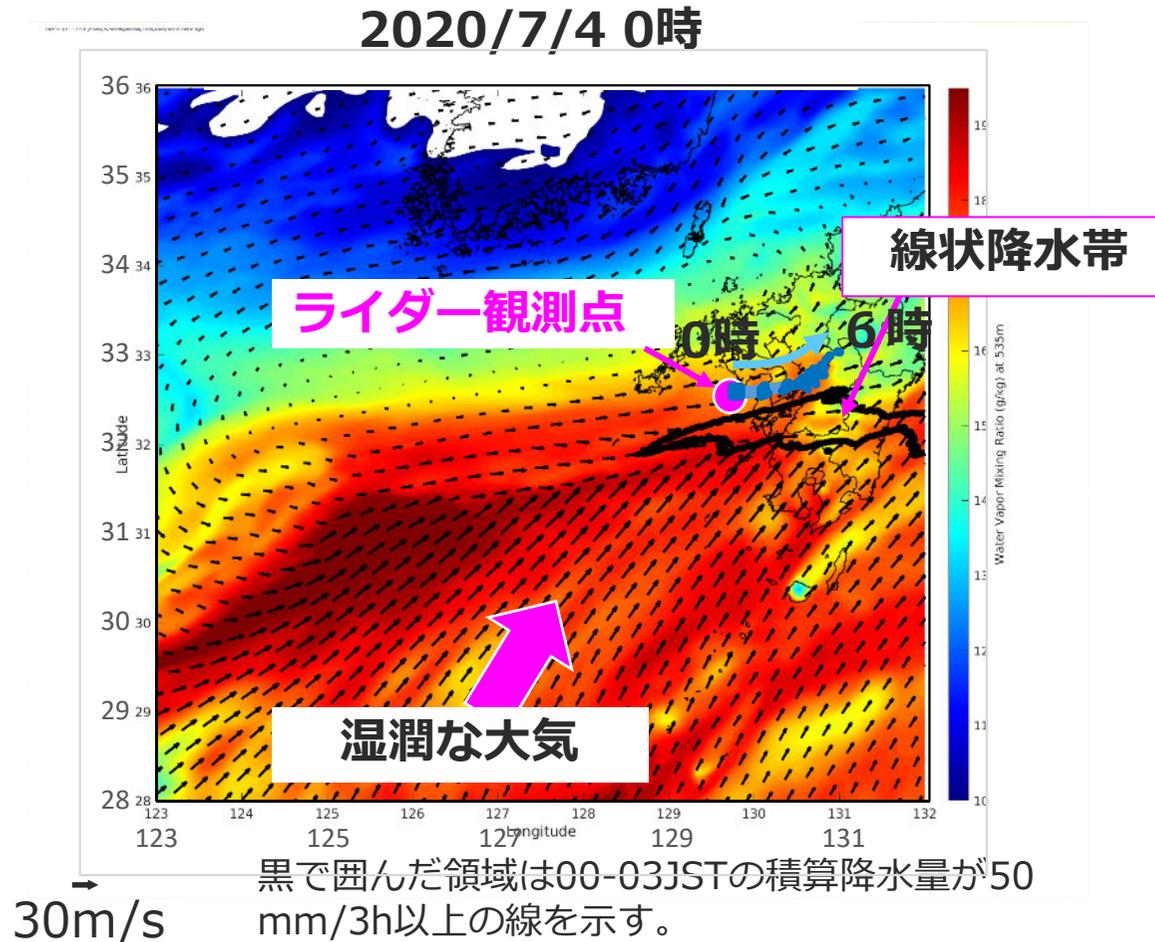


- ・ 赤い部分が水蒸気量が多い領域。
- ・ 黒で囲んだ領域は00-03JSTの積算降水量が50 mm/3h以上の線を示す。

湿潤な大気先端がライダー観測点を通過

水蒸気流入の状況

気象庁局地解析による下層（高度約500m）の水蒸気量



ライダー上空の湿潤な空気は東へ移動