

# 地球衛星観測から温暖化と雨の変化を考える

東京大学大気海洋研究所  
高薮縁

(一部非公開資料を除く)





近年日本では、広域豪雨による被害が後を絶ちません。

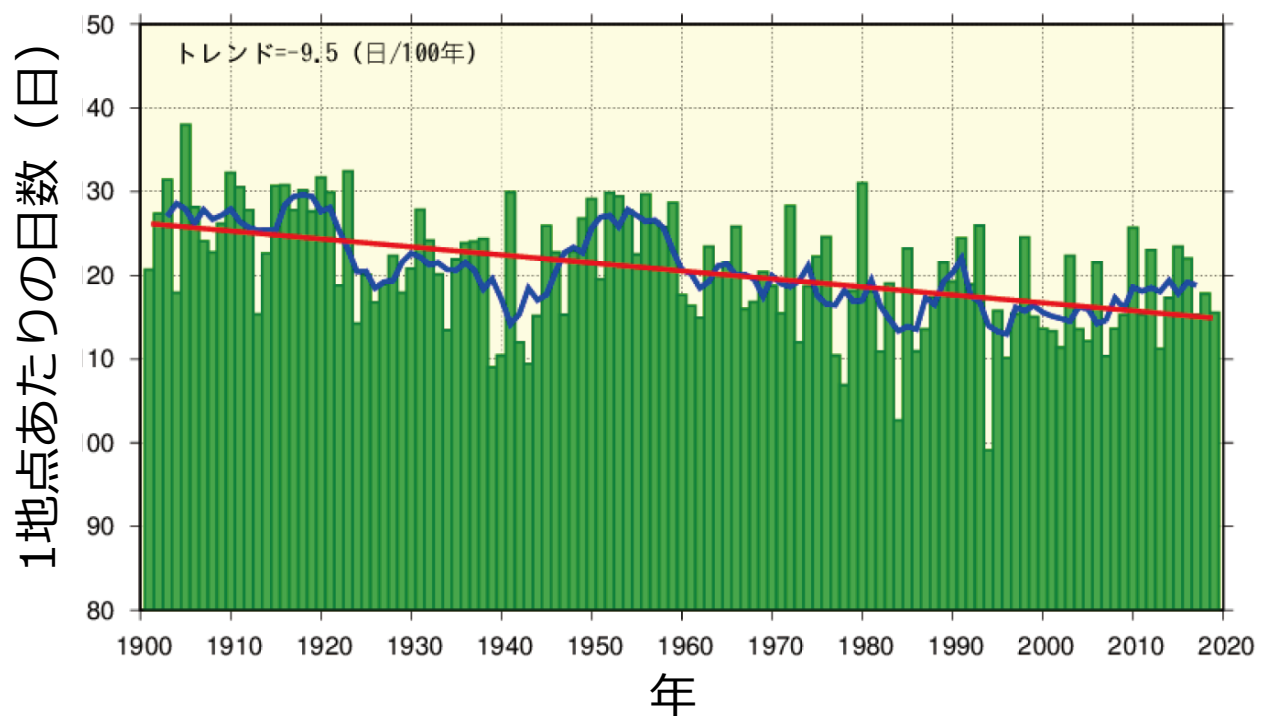
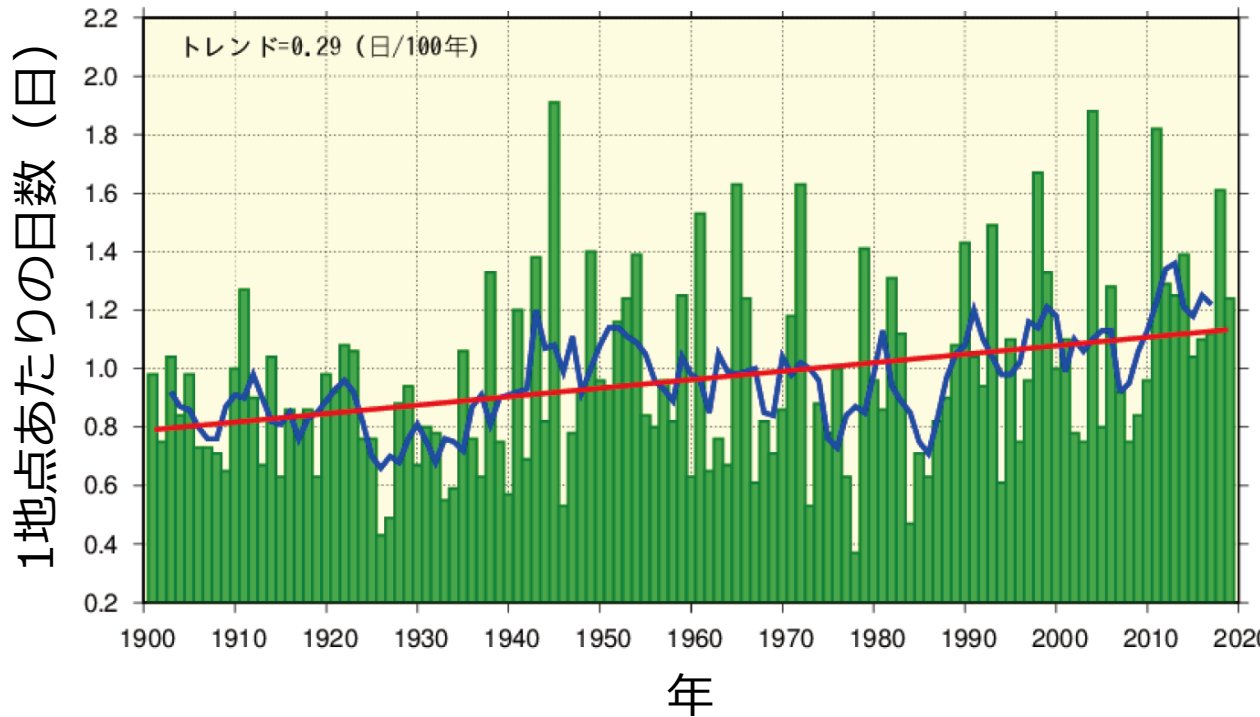


# 日本の降水の変化

気象庁気候変動監視レポート2019より引用

[51地点平均]  
日降水量100 mm以上の年間日数

[51地点平均]  
日降水量1.0 mm以上の年間日数

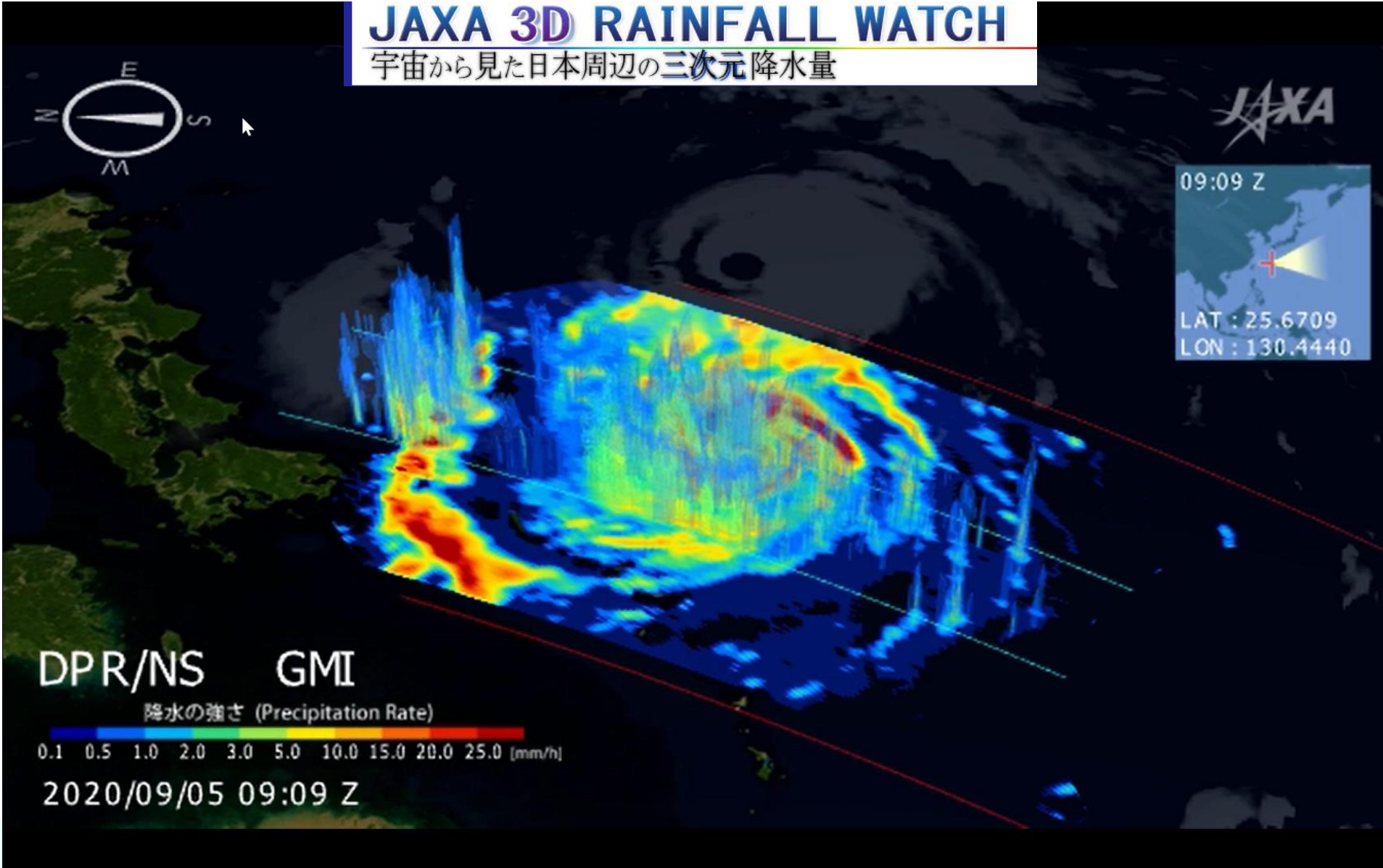


この119年間で大雨の頻度は増える反面、弱い雨を含む降水日数は減少している。  
(トレンドはいずれも99%の信頼度で有意) →雨の降り方の変化

# 雨の降り方を捉える：宇宙からの降雨立体観測

## JAXA 3D RAINFALL WATCH

宇宙から見た日本周辺の三次元降水量



衛星搭載降雨レーダ  
JAXA&NICT

**TRMM PR (Ku)**  
(熱帯降雨観測衛星)  
1997.11-2015.6

**GPM DPR (Ku+Ka)**  
(全球降水観測)  
2014.2.28-現在

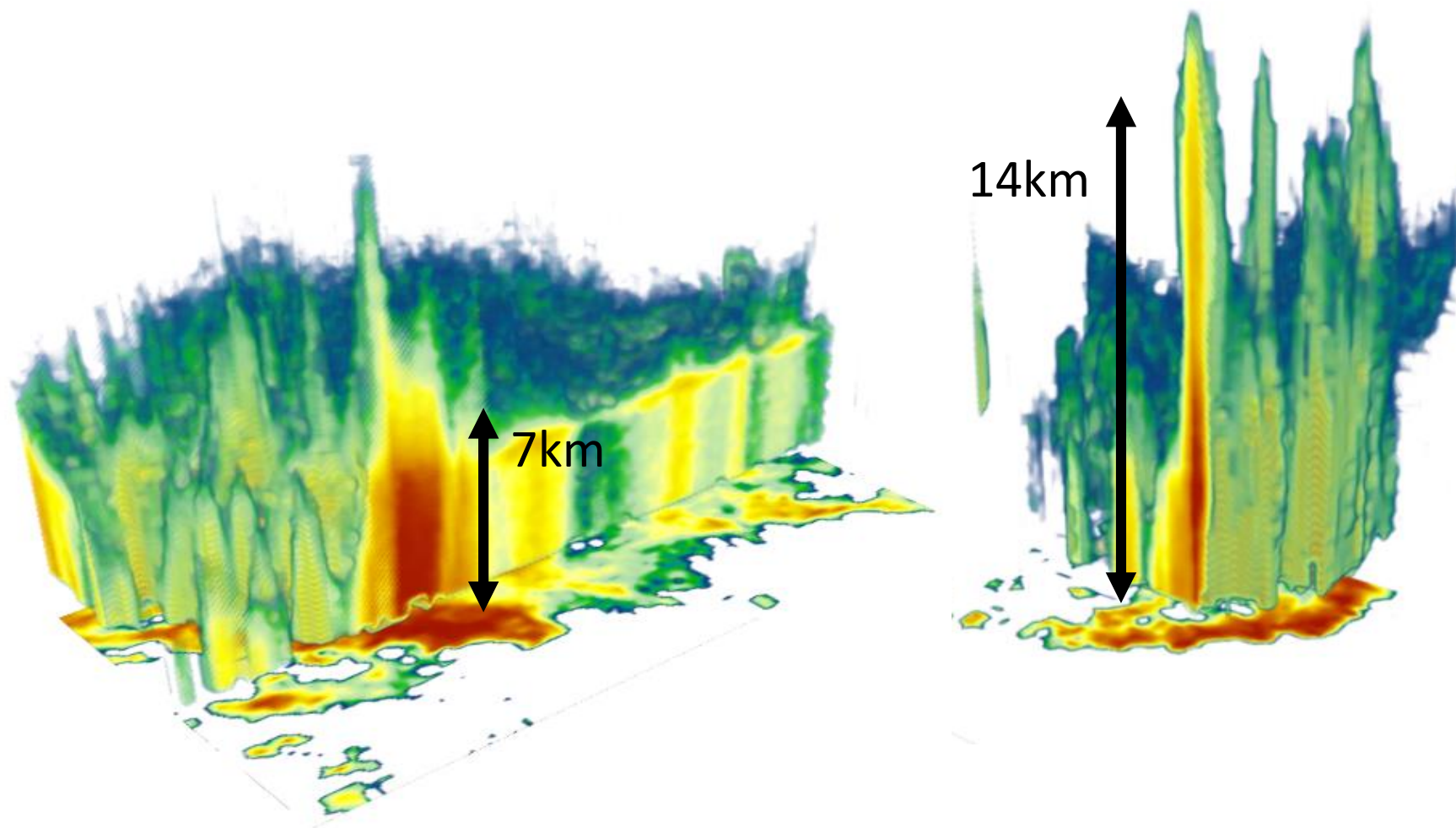
~23年

2020.09.05 台風10号

JAXA提供



# TRMM降雨レーダによる「雨域」立体観測



雨域 = 雨の連続域

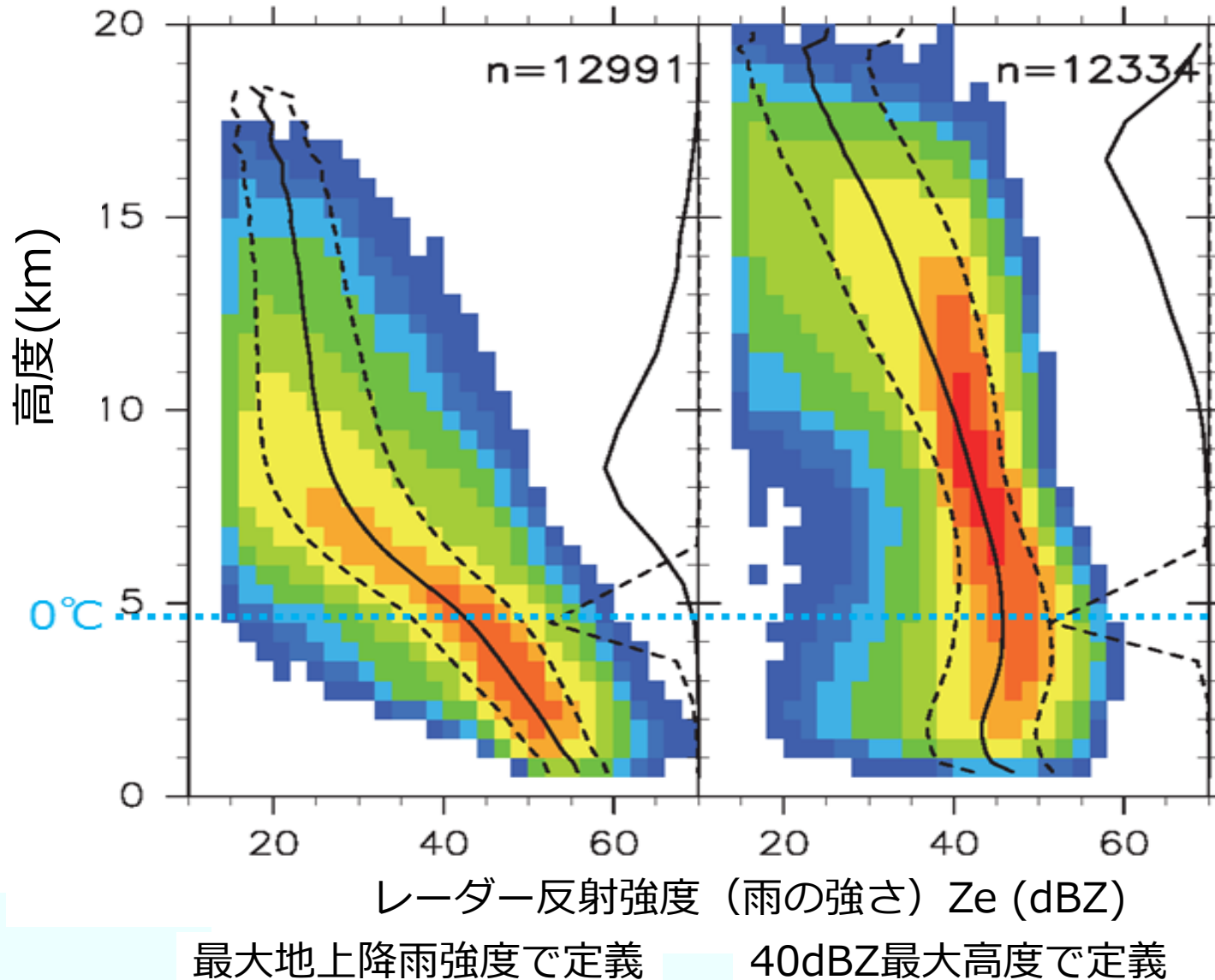
雨を立体的に捉えることによって、高さや対流・層状の区別など、雨の降り方の特徴を把握できます。

# TRMM PR観測：極端降雨と極端対流（上位0.1%）

(a) 極端降雨

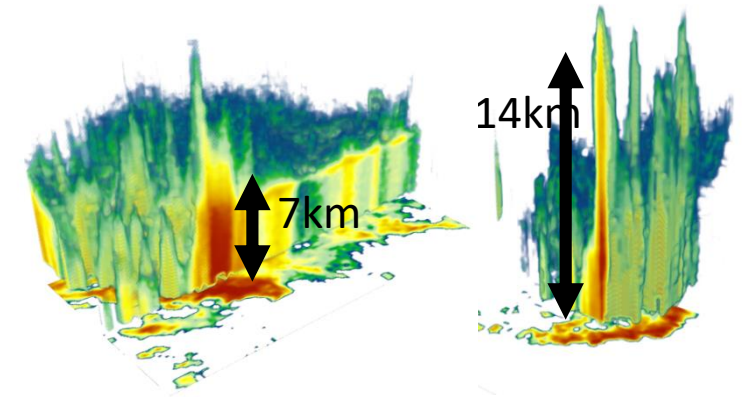
(b) 極端対流

(Hamada et al. 2015, Nature Comm)



降雨ピクセル数(2次元ヒストグラム) 35N-35S陸上

2001.9-2012.8, 8500万個以上の雨域統計  
緯度経度 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ の各格子での極端現象の合成



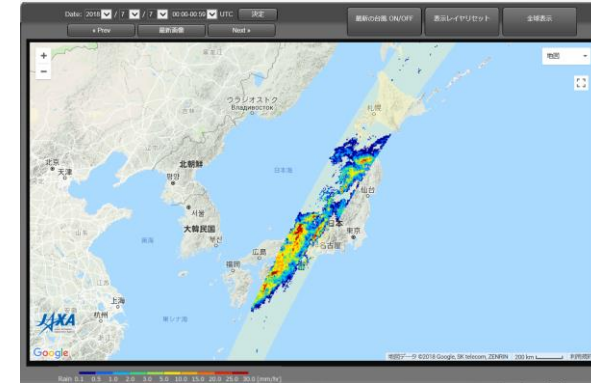
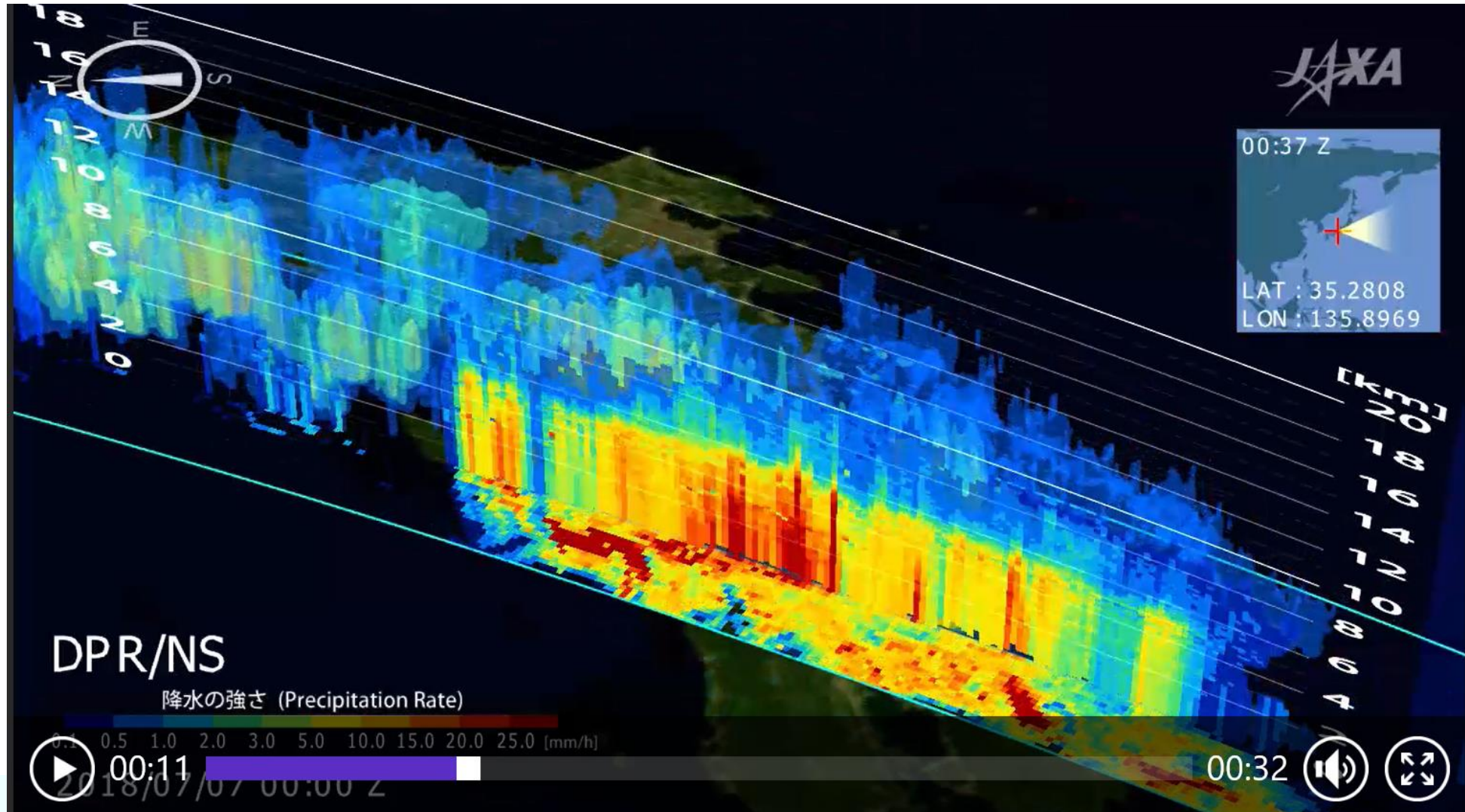
多湿で比較的安定な大気

不安定な大気

➡ 豪雨は必ずしも高い対流からもたらされる訳ではない

# GPM DPR による2018年7月豪雨の観測

2018年7月7日 9:38JST



降雨頂が10km  
を超える雨は  
ほとんどない

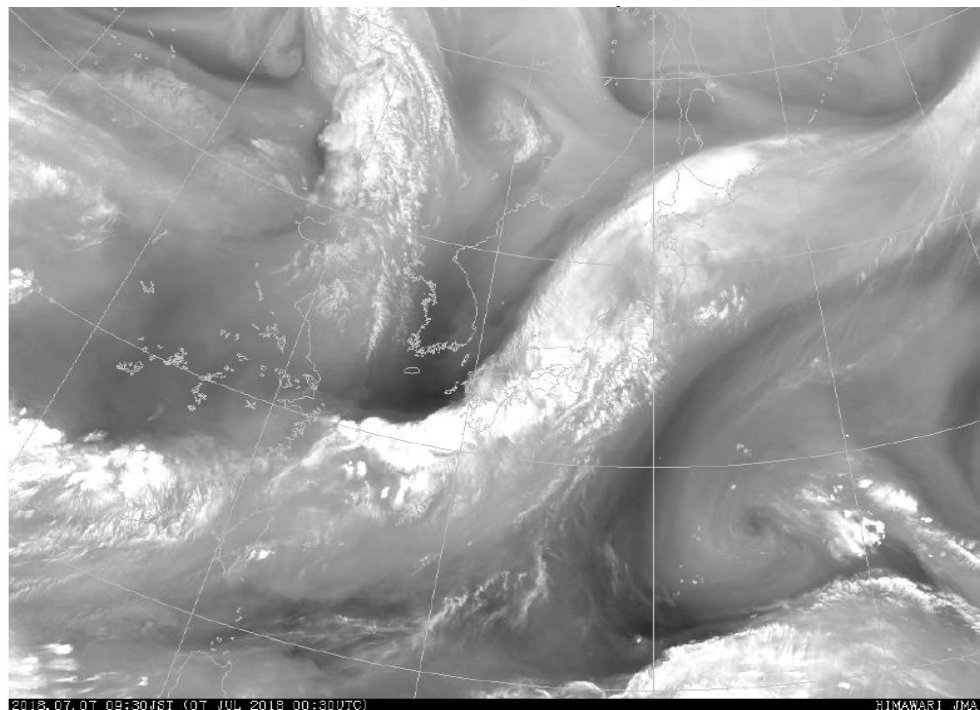
JAXA提供



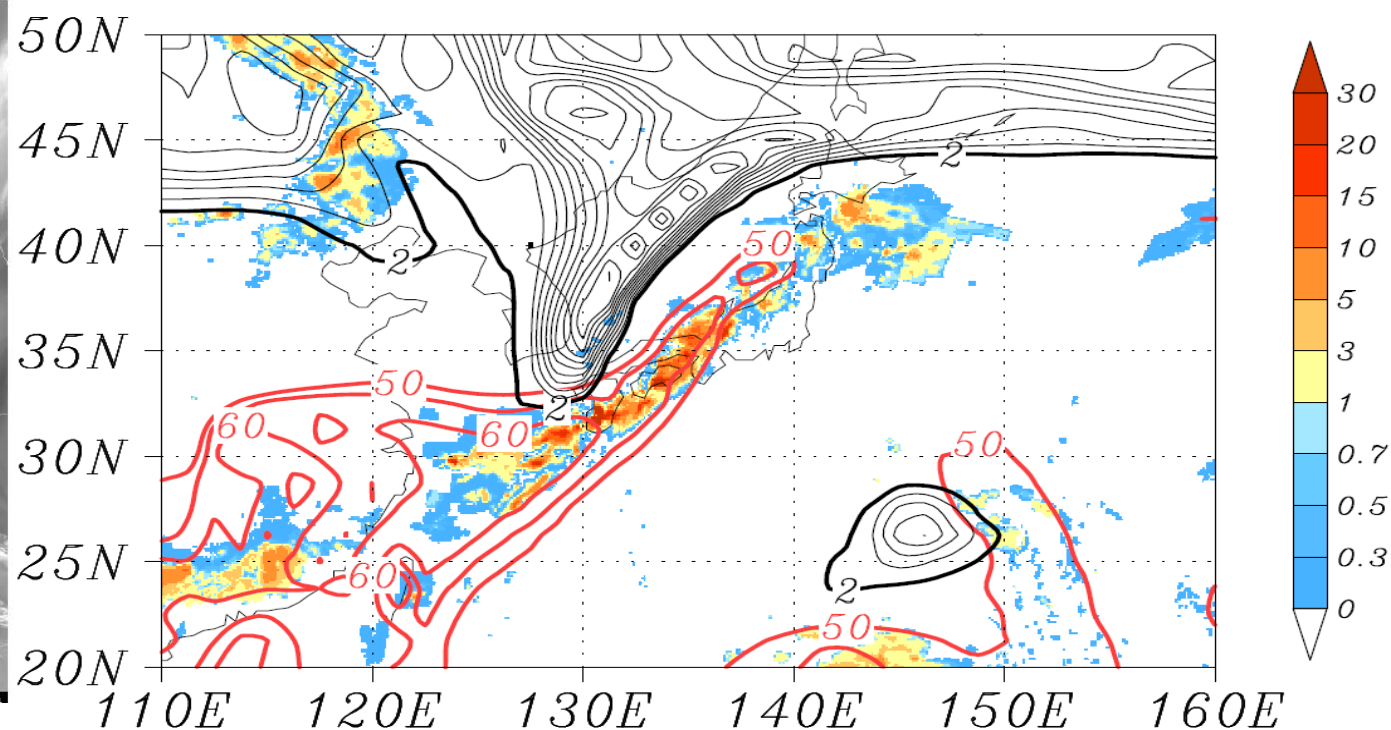
# 2018年7月豪雨の大規模場

2018年7月7日09時(日本標準時)

ひまわり8号 水蒸気画像(気象庁提供)



雨量(カラー)、上空渦位(黒線)、大気水蒸気量(赤線)



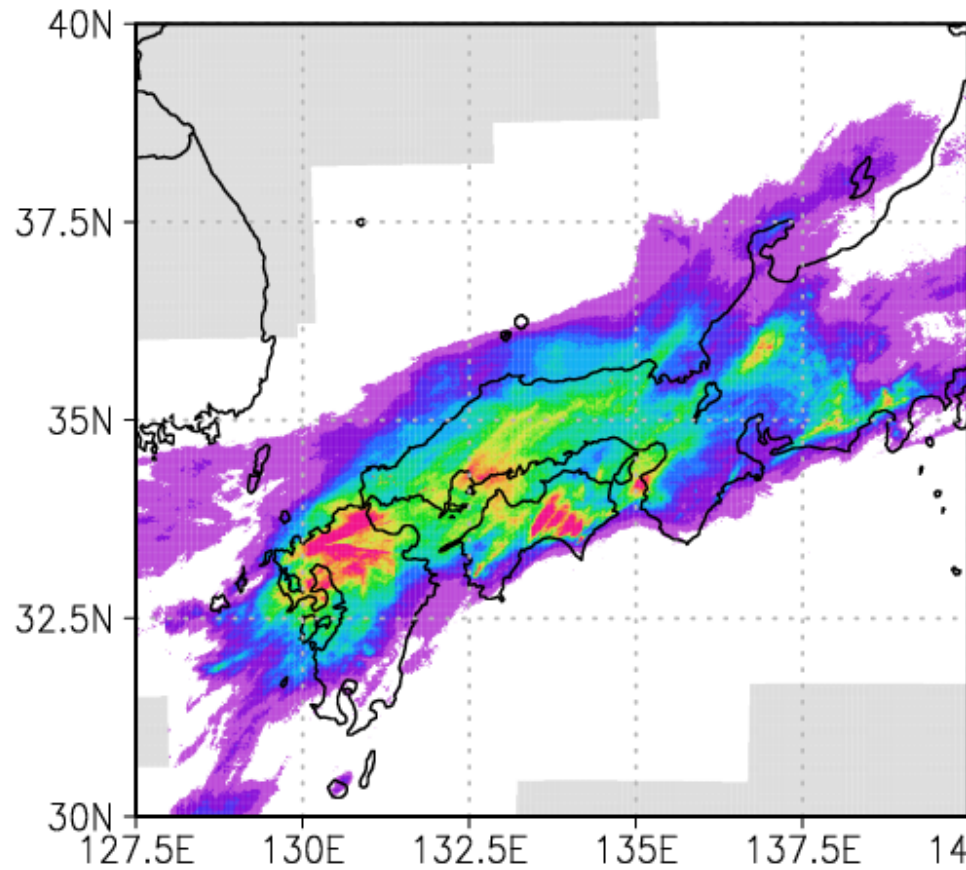
→上空の蛇行するジェットの影響も受けて降水が強化

Yokoyama et al. 2020, JMSJ

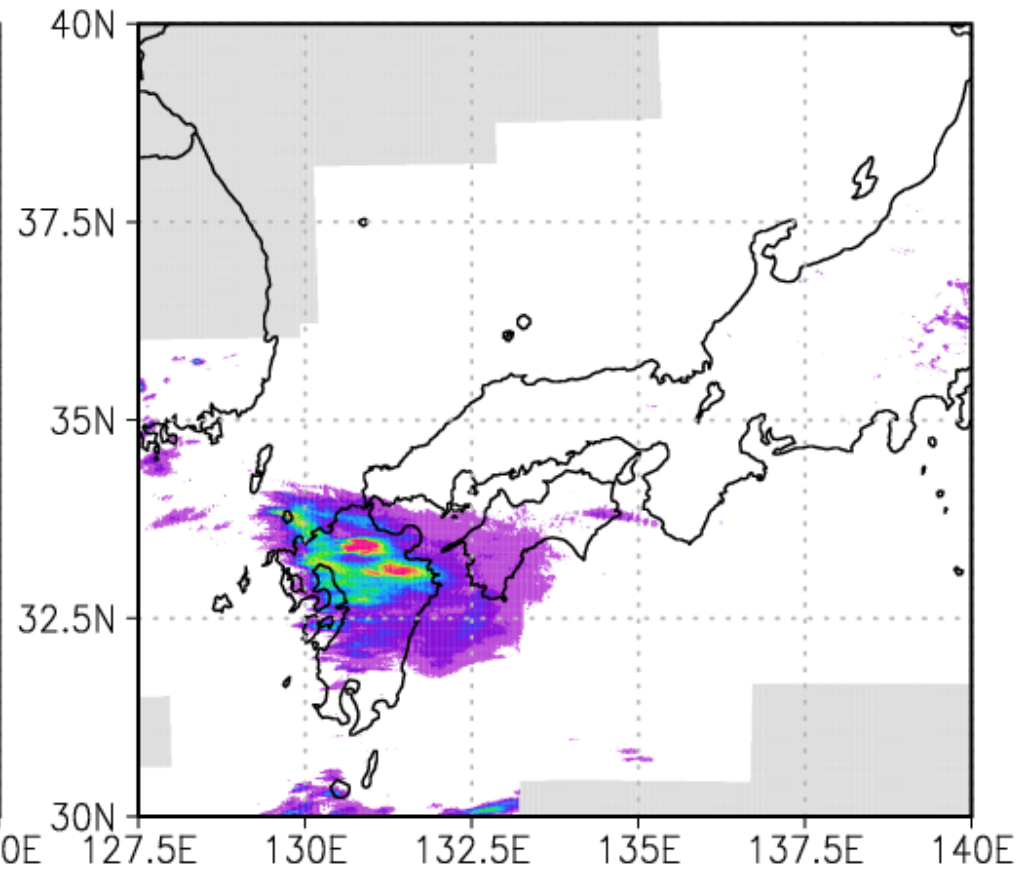


# 24時間積算雨量：2017年九州北部豪雨との比較

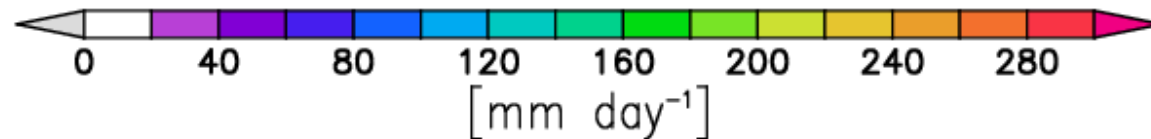
## 2018年7月豪雨



## 2017年九州北部豪雨



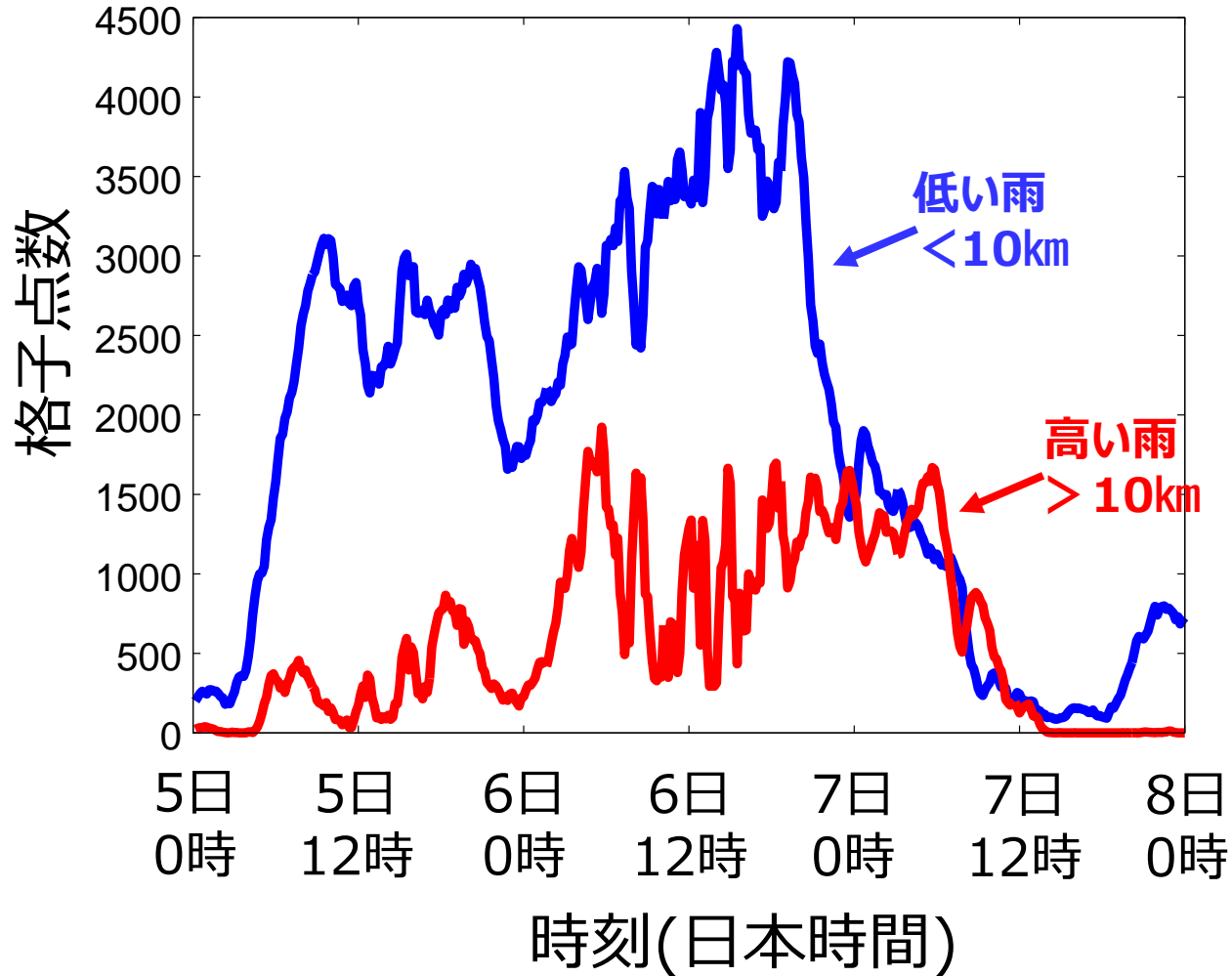
7月6日00時～7月7日00時



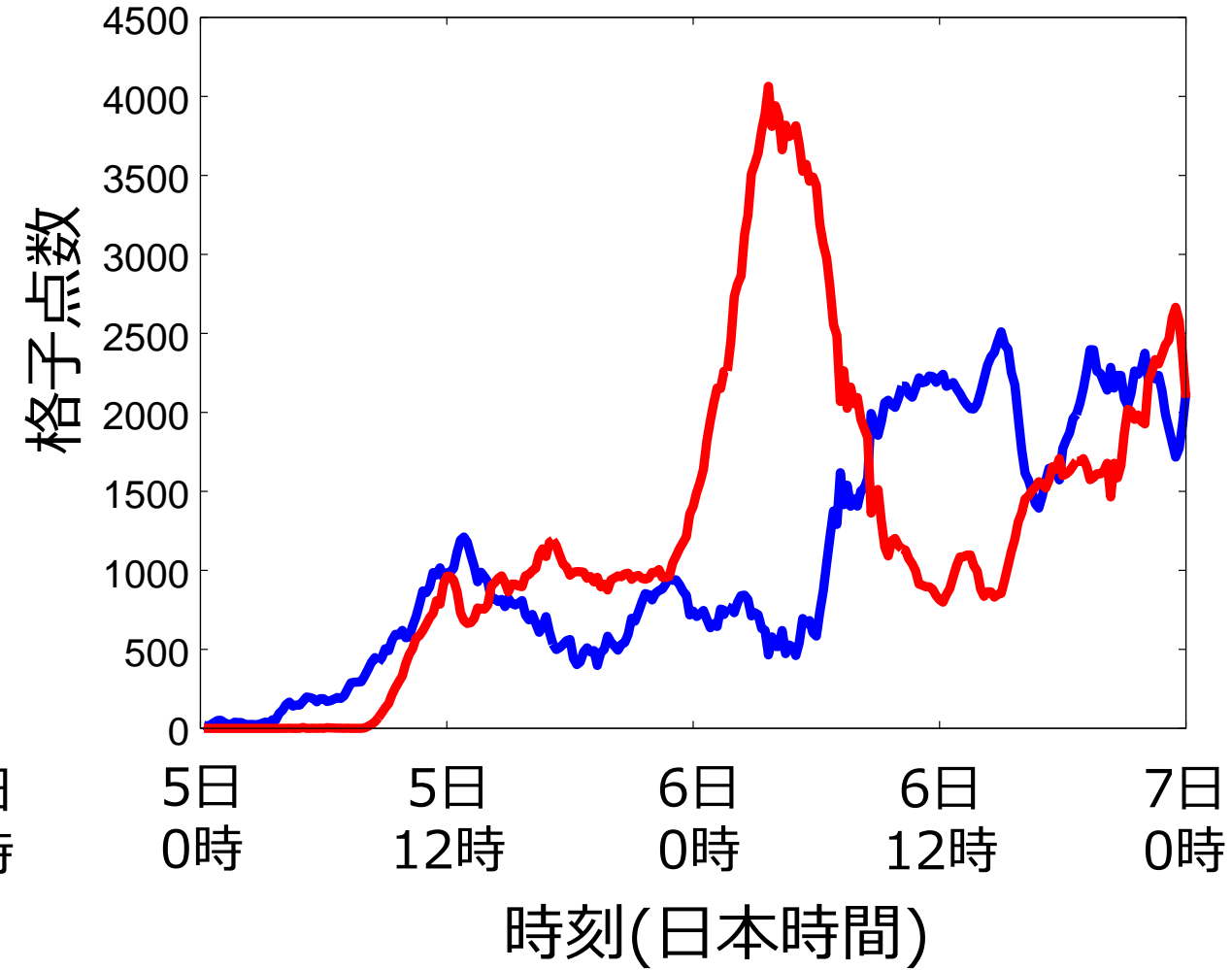
7月5日12時～7月6日12時

# 高い雨と低い雨の時系列 (気象庁レーダ九州北部域)

## 2018年7月豪雨

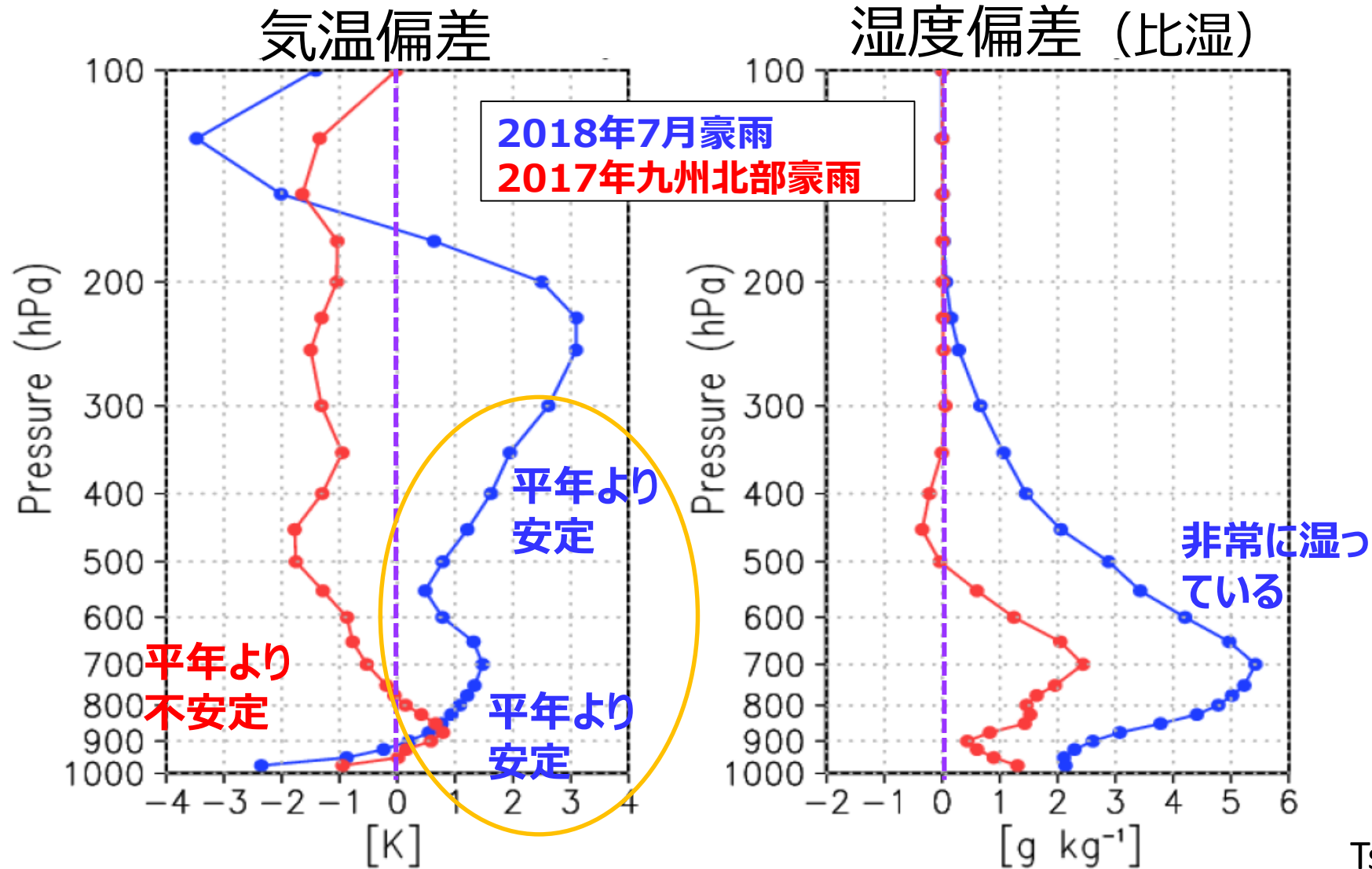


## 2017年九州北部豪雨



赤線 : エコ-頂高度が10 km以上  
青線 : エコ-頂高度が10 km未満

# 環境場の比較 (平年値からの偏差)

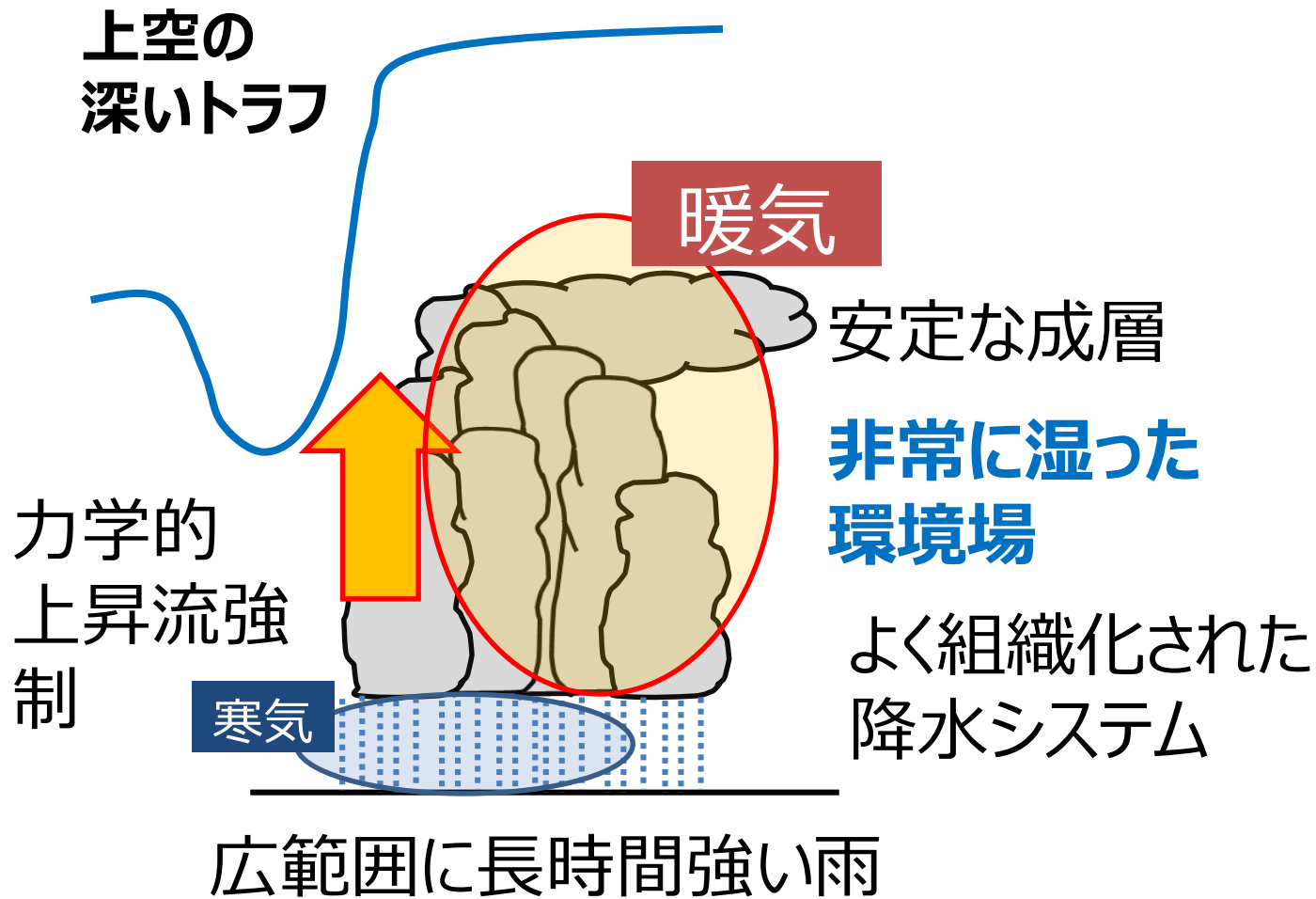


➡それぞれTRMM統計による 日本域の極端降水、日本域の極端対流 の場によく対応

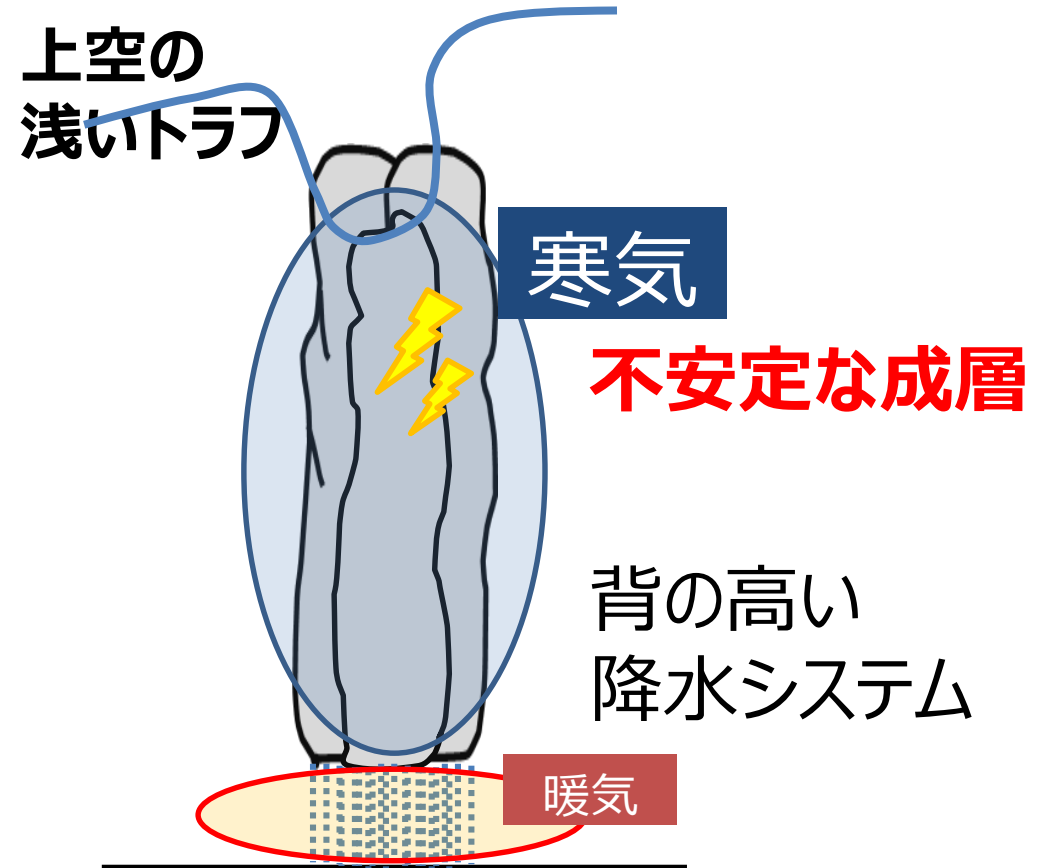
# 2種類の豪雨と環境場の特徴

Tsuji et al. 2020, JMSJ

2018年7月豪雨



2017年九州北部豪雨

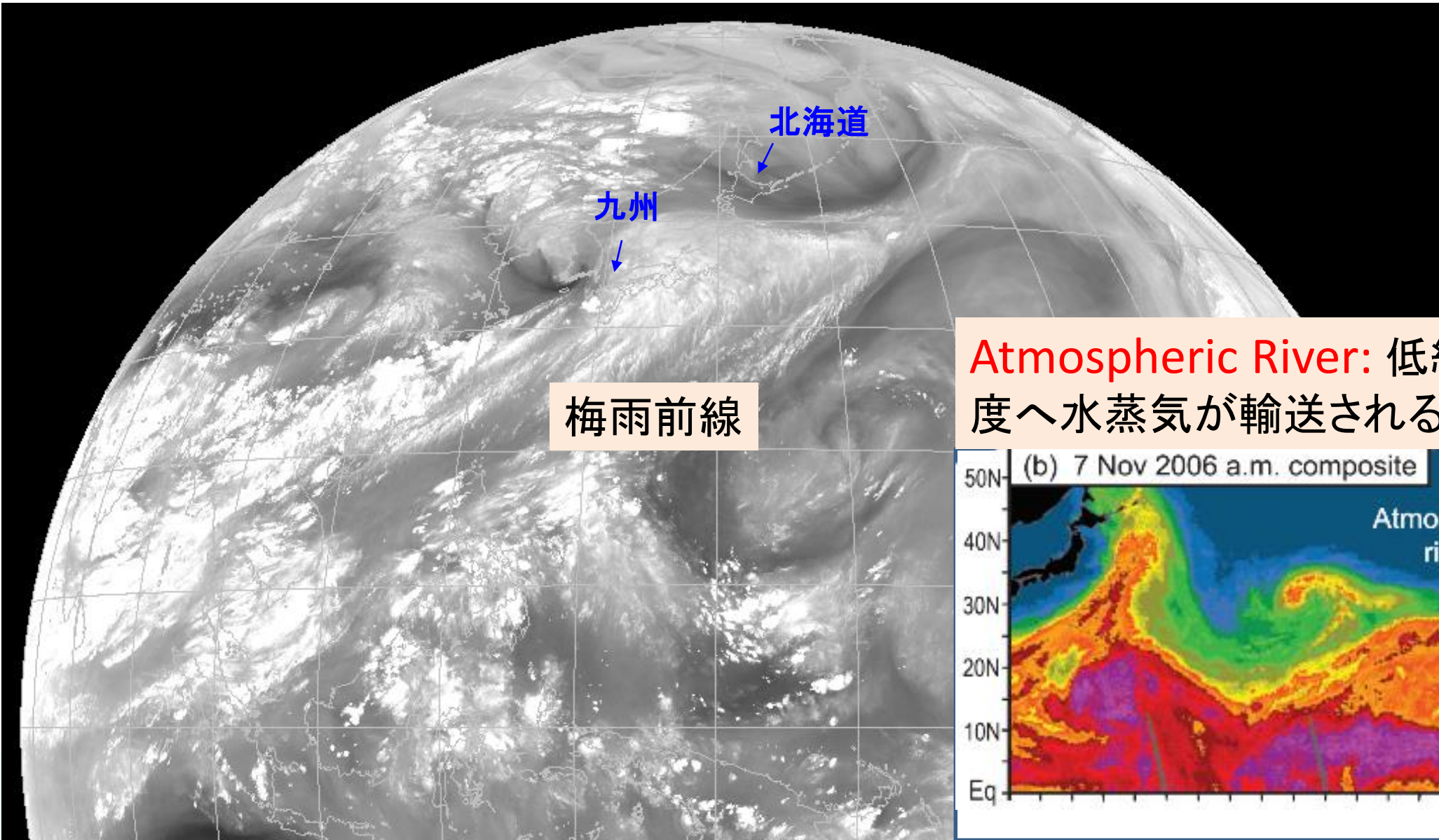


狭い範囲に短時間非常に強い雨

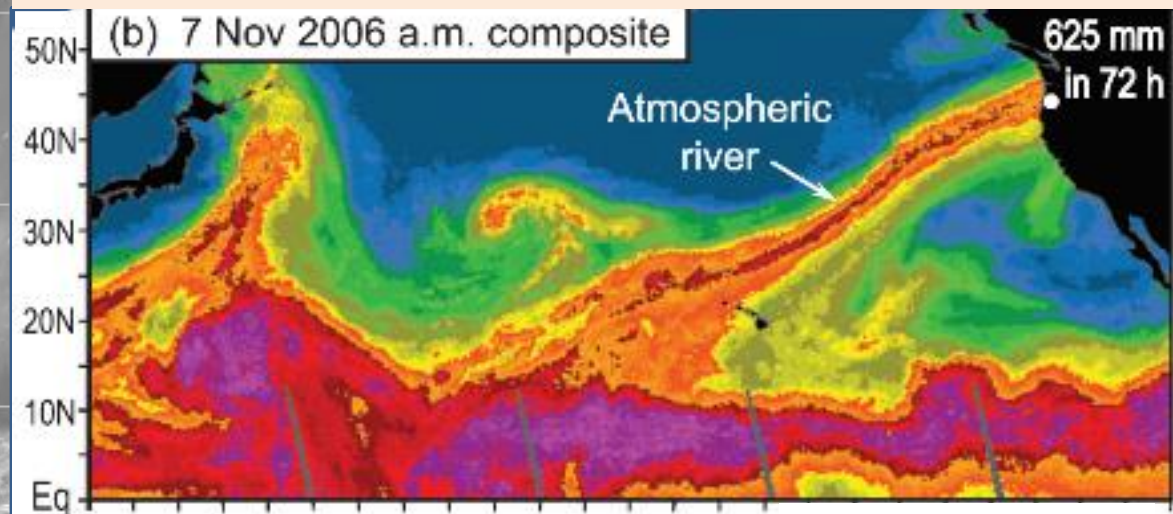
➡ 雷雨は大気が不安定な時に降るが、集中豪雨は、必ずしも大気が不安定になって降るものではない

# 2020年7月豪雨（球磨川氾濫） ひまわり8号水蒸気画像

2020.7.3 1830JST



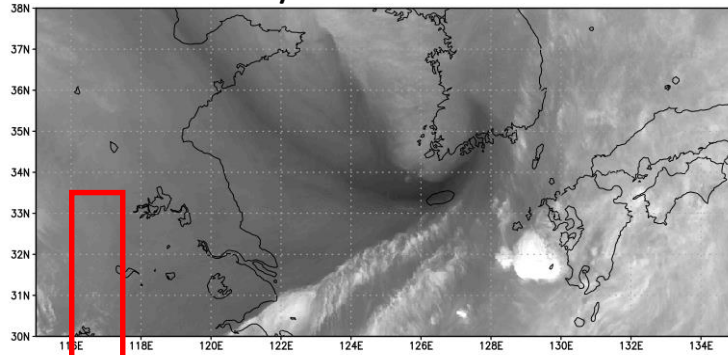
**Atmospheric River:** 低緯度から中高緯度へ水蒸気が輸送される細長い帯状域。



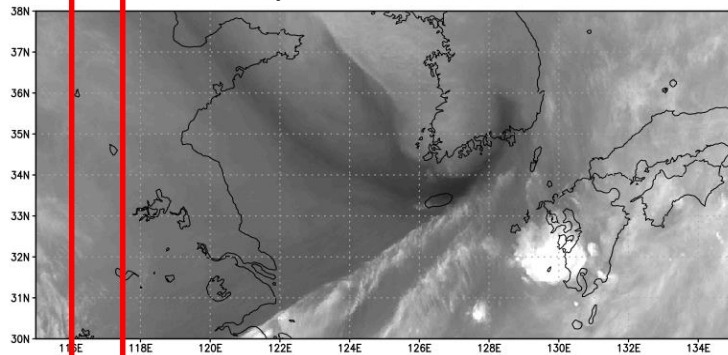
Ralph et al. (2011) より

# 2020年7月豪雨 (球磨川氾濫) ひまわり8号水蒸気画像

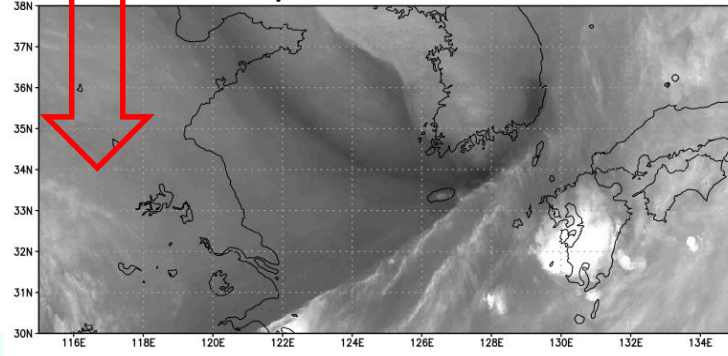
2020 7/3 18JST



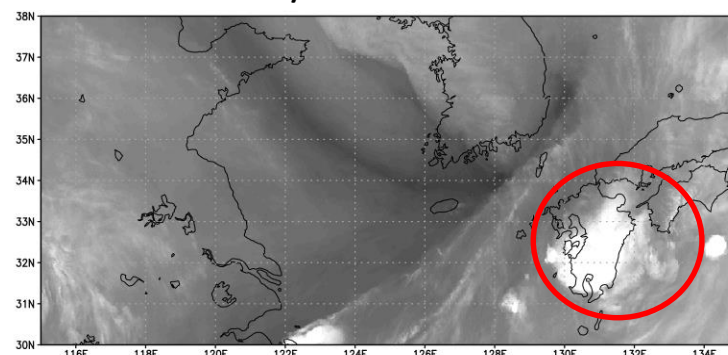
7/3 19JST



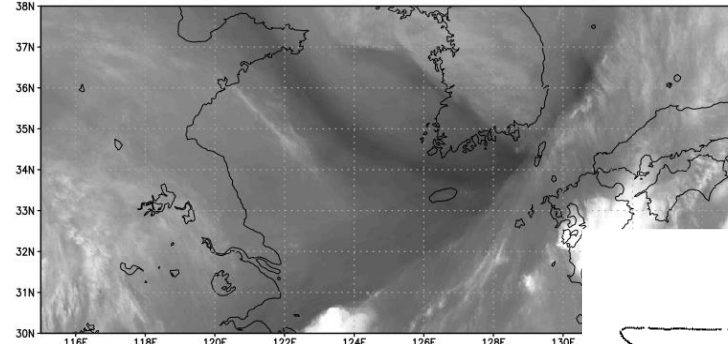
7/3 20JST



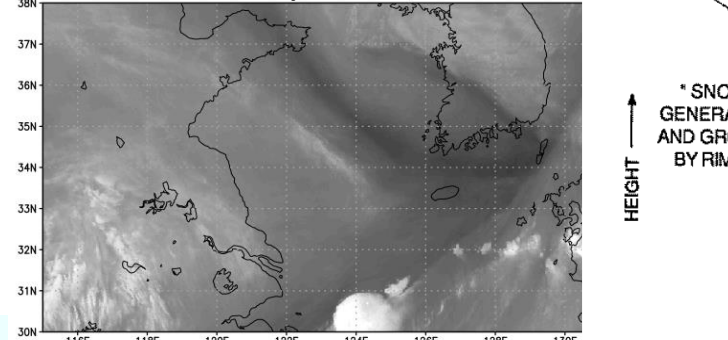
7/3 21JST



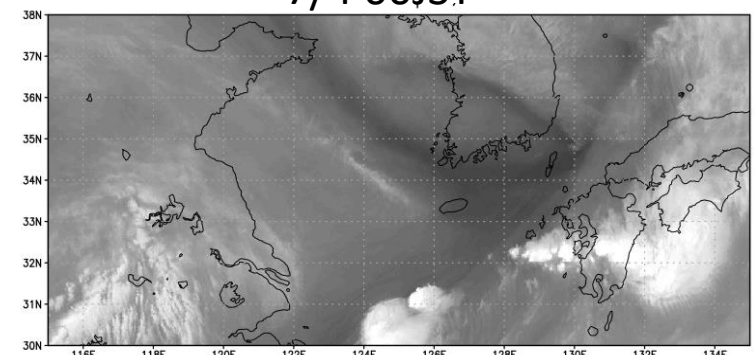
7/3 22JST



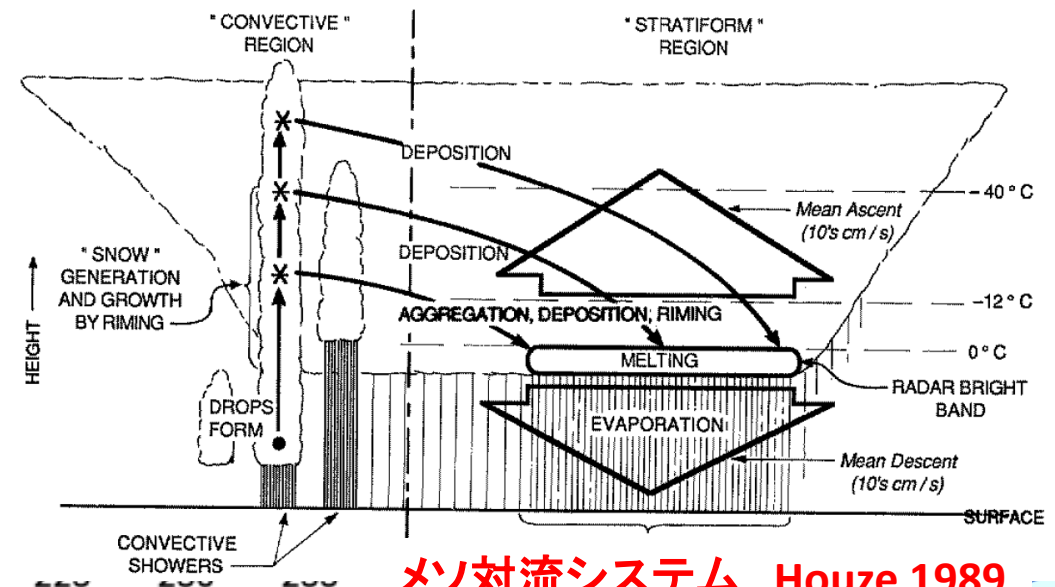
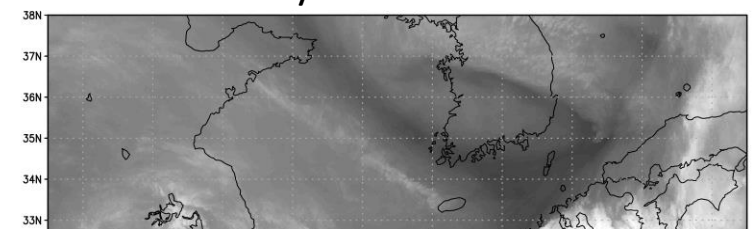
7/3 23JST



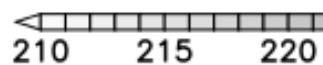
7/4 00JST



7/4 01JST



ひまわり8号band08(水蒸気, 6.2μm) 輝度温度



メソ対流システム Houze 1989

# 気候変動に伴う降水特性の変化予測

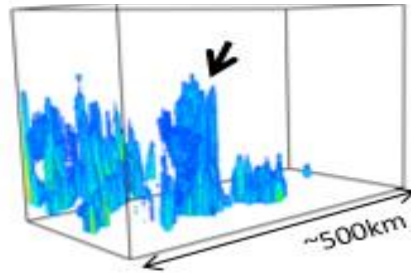
将来予測: 気候モデルの利用が必要  
気候モデル: 降水特性までは議論できない



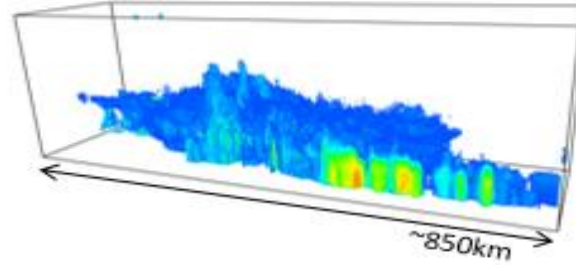
衛星観測による降雨特性解析とモデル予測の  
組み合わせ

大量の雨域観測データ  
から初夏日本域の降雨  
特性を形態的に分類

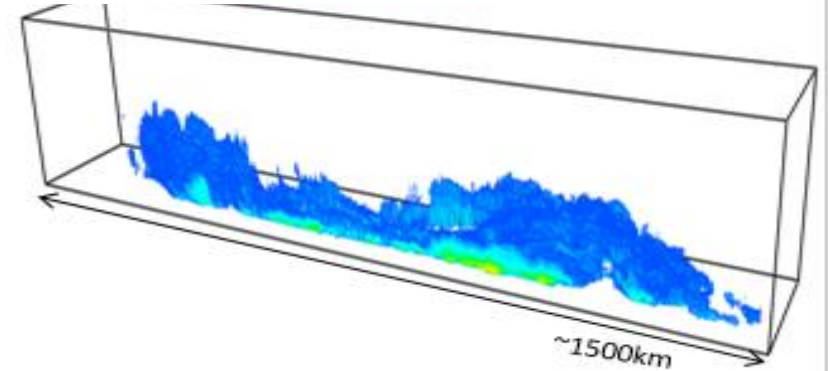
a. 小面積タイプ



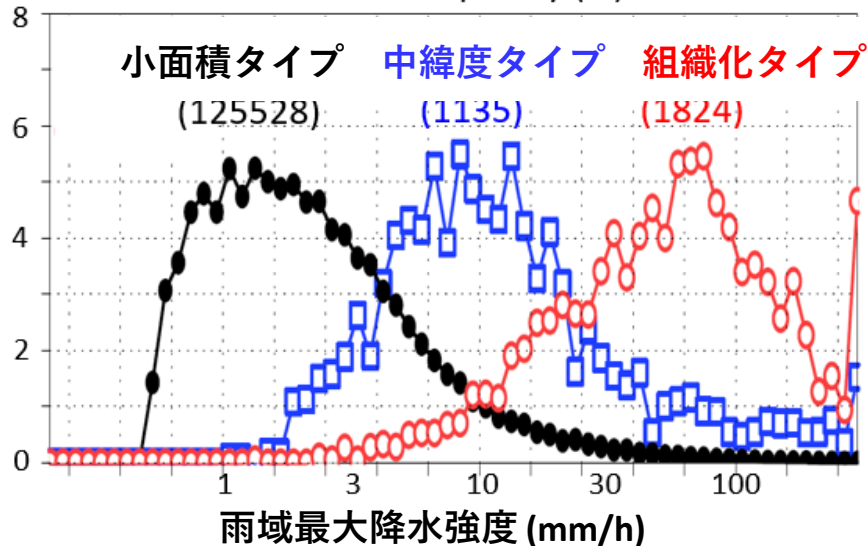
b. 組織化タイプ



c. 中緯度タイプ



最大降水強度頻度分布 (タイプ毎正規化)



大規模環境場  
(海水温、大循環鉛直流)



降雨タイプ別降水量

# 気候変動に伴う降水特性の変化予測

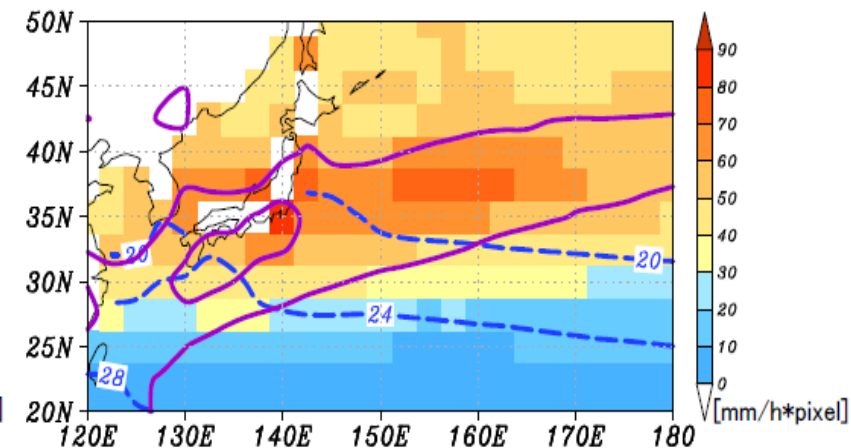
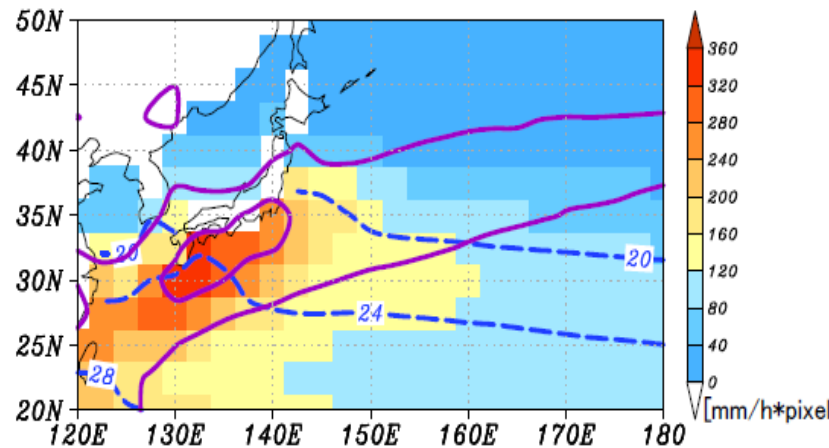
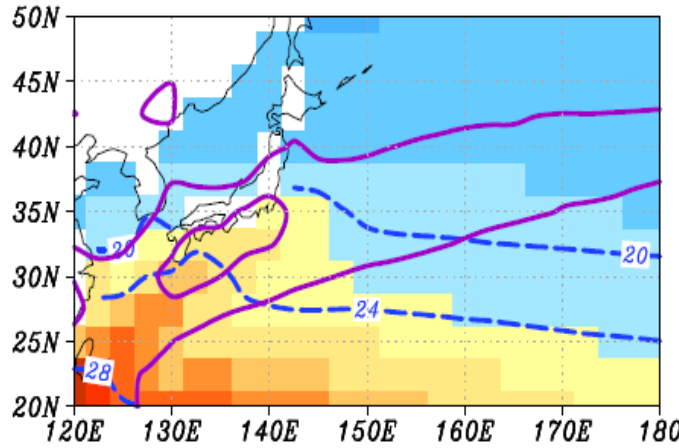
LUTとCMIP5の25気候モデルの大規模場を利用

Yokoyama et al. 2019, JCLIM

a. 小面積タイプ (現在)

b. 組織化タイプ (現在)

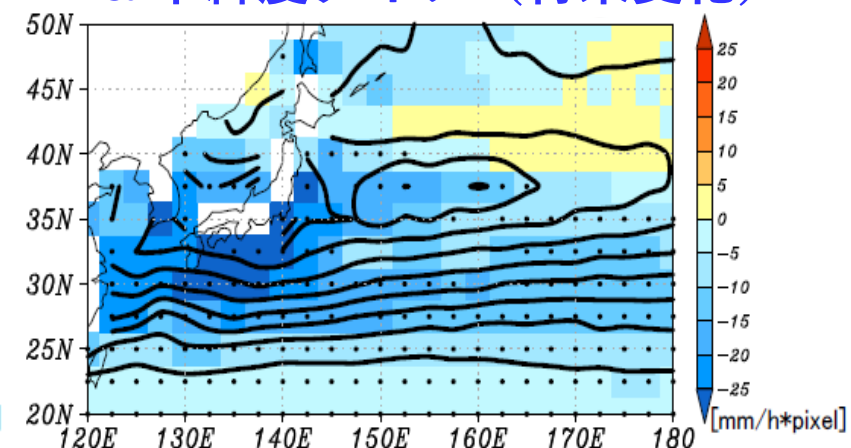
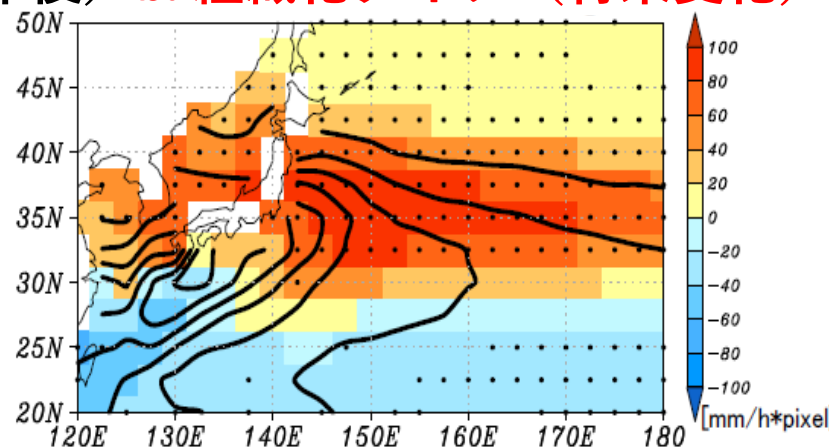
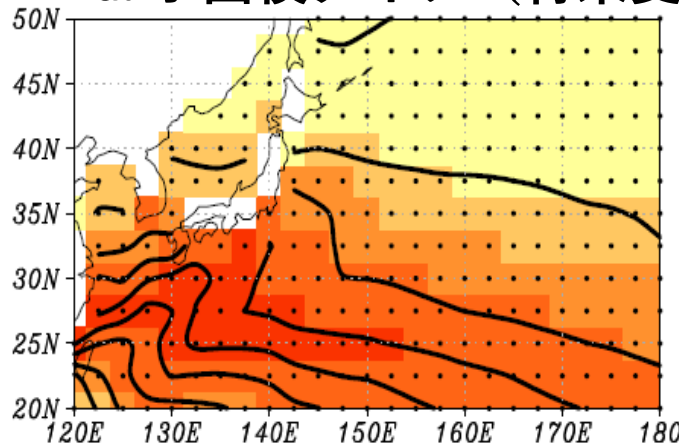
c. 中緯度タイプ (現在)



a. 小面積タイプ (将来変化100年後)

b. 組織化タイプ (将来変化)

c. 中緯度タイプ (将来変化)



※黒点(・)は、90%以上のモデルで将来変化の符号が一致する場所を示す。

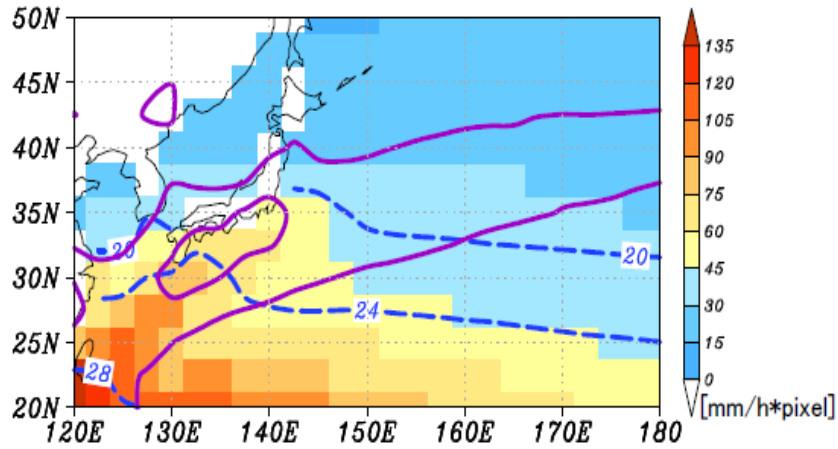


# 気候変動に伴う降水特性の変化

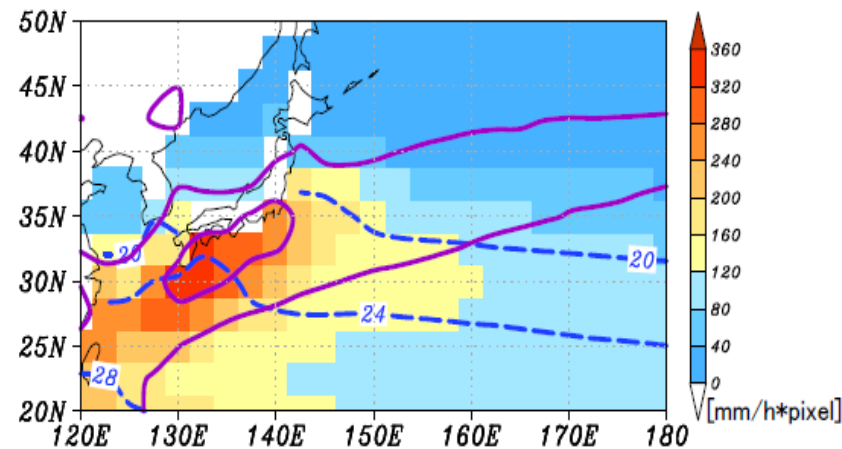
LUTとCMIP5の25気候モデルの大規模場を利用

Yokoyama et al. 2019, JCLIM

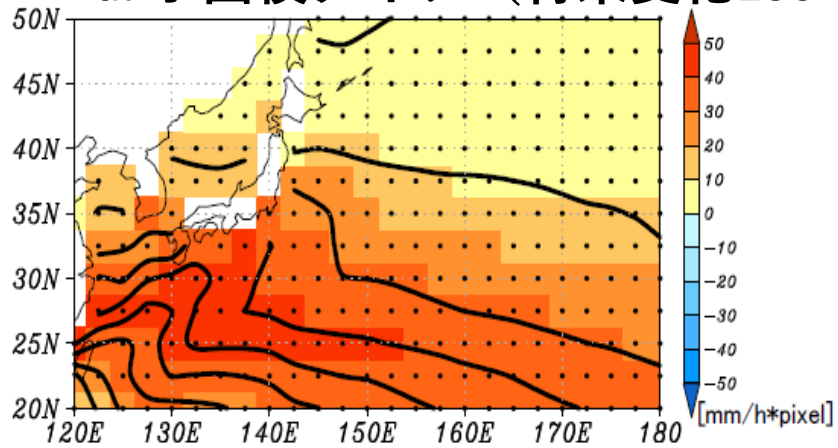
a. 小面積タイプ (現在)



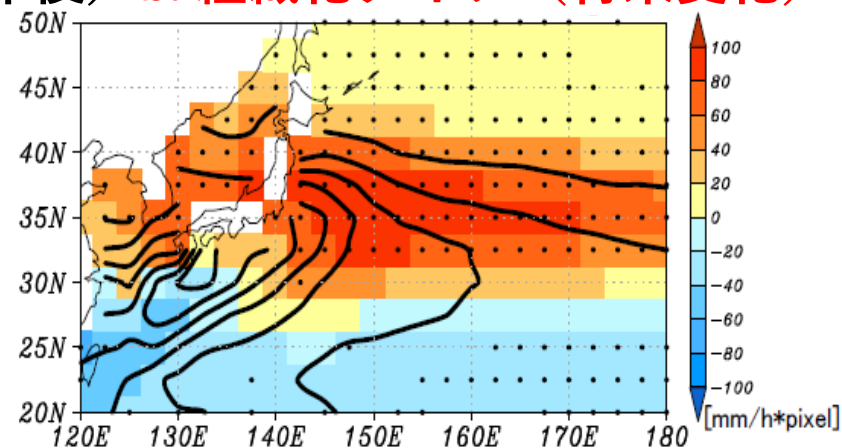
b. 組織化タイプ (現在)



a. 小面積タイプ (将来変化100年後)



b. 組織化タイプ (将来変化)



社会への発信

組織化タイプ(集中豪雨)  
降水域が北上



関東、東北、日本海側で、  
将来、集中豪雨が増える  
可能性

※黒点(・)は、90%以上のモデルで将来変化の符号が一致する場所を示す。

# まとめ

- 日本域で強い雨が増え、弱い雨も含めた雨の頻度は減っている。  
→雨の降り方が変化している。→集中豪雨はどのような雨だろうか？
- 衛星搭載降雨レーダによる雨域統計解析  
→非常に強い雨は必ずしも背の高い対流を伴わない  
→比較的安定で非常に湿った大気環境でのメソシステム  
(2018年7月豪雨もそのような状況) →上空の力学も重要
- 例えばAtmospheric Riverは非常に湿った環境を用意する  
→AR内では大きく組織化した雨域が多い  
→地球温暖化に伴ってARカバー域は増加：強雨域の増加を示唆
- 気候モデルによる将来実験と衛星観測知見の組み合わせ  
→将来、関東、東北、日本海側での集中豪雨が増える可能性