

熱帯降雨観測計画17年がもたらした 降水科学の新展望

東京大学大気海洋研究所
JAXA招聘研究員
GPMプロジェクトサイエンティスト

高藪 縁



TRMMが捉えた2014年8号台風

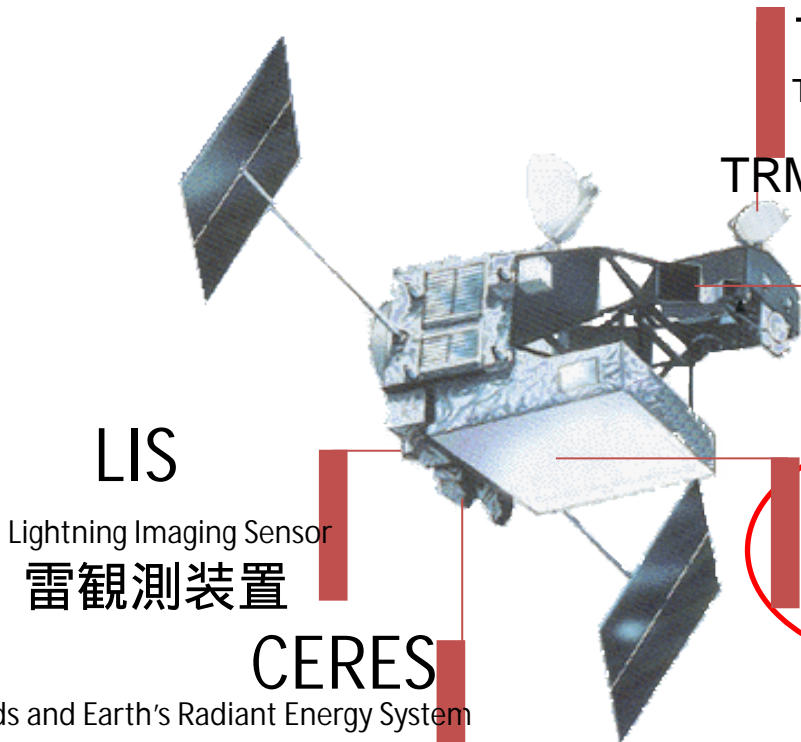
TRMM/PRが捉えた沖縄の南海上の台風8号による降雨
(2014年7月7日15時41分頃[日本時間])

Rain by Super Typhoon "NEOGURI" in the south of Okinawa
observed by TRMM/PR around 06:41Z on July 7, 2014

1997年11月にTRMMによって初めて宇宙に打ち上げられた降雨レーダは
雨の立体構造を17年間観測してきました



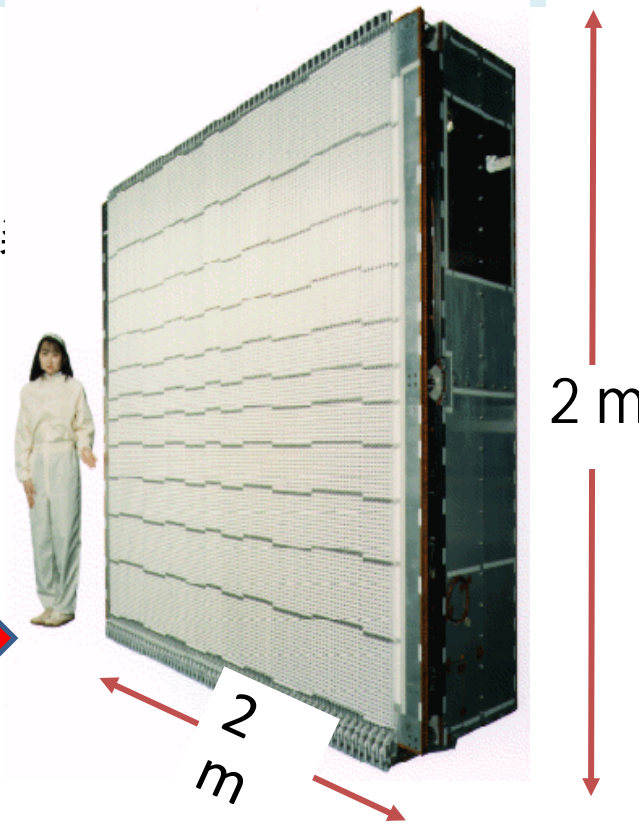
TRMMと降雨レーダ（PR）



TMI
TRMM Microwave Imager
TRMMマイクロ波観測

VIRS
Visible Infrared Scanner
可視赤外観測装置

PR
Precipitation Radar
降雨レーダ

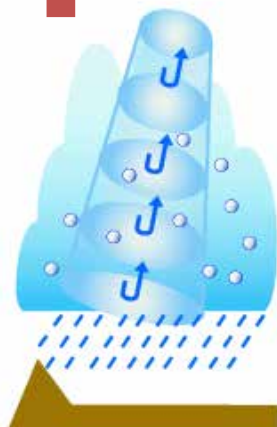


衛星搭載Radar観測

- 電波を発信。雨粒や雪などにより反射されてレーダに戻る。
- 雨粒までの距離、雨の強度がわかる。



「雨のCTスキャン」

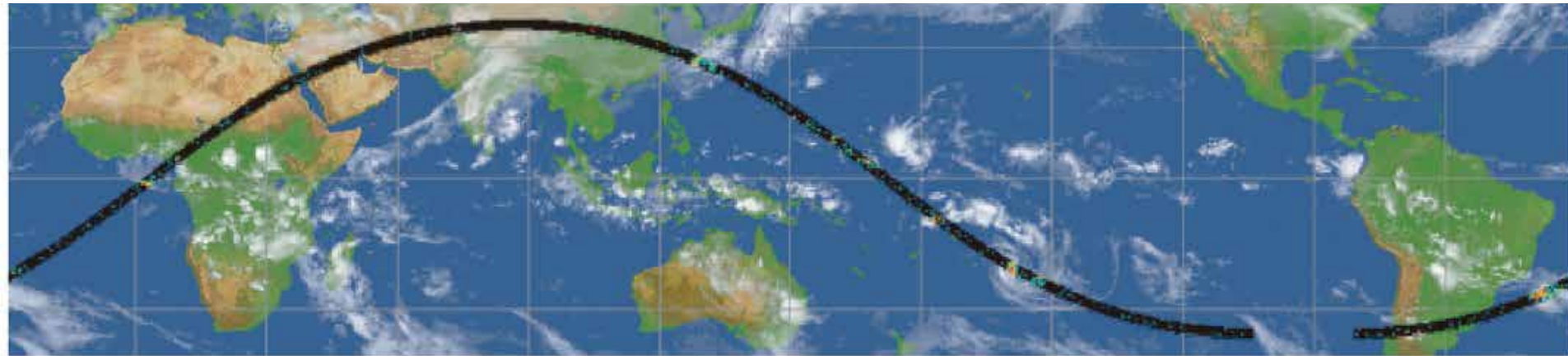




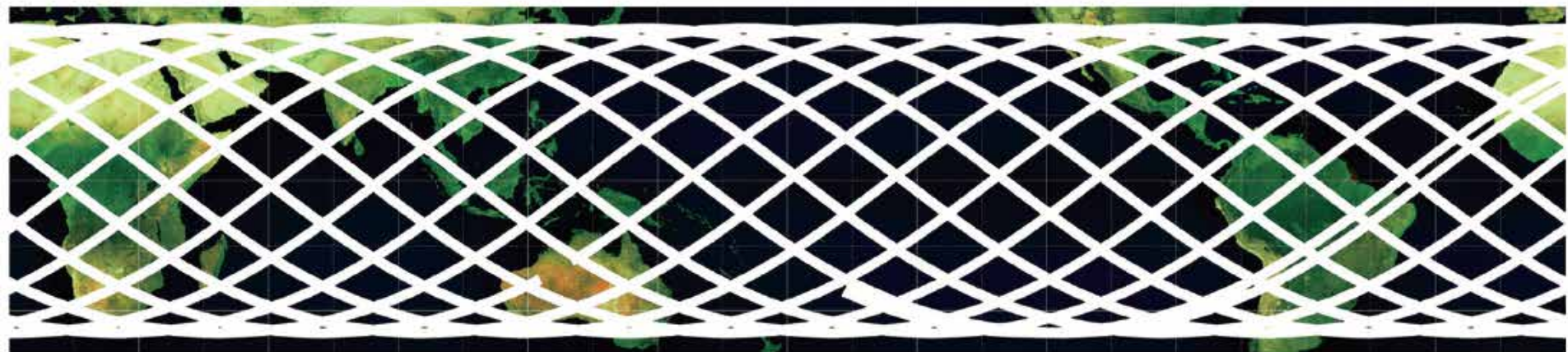
TRMM降雨レーダ (PR)の観測範囲

PRの走査幅 215km-245km 観測範囲 36N-36S 太陽非同期

1軌道のPR観測範囲



1日分のPR観測範囲 (約16周)





TRMM観測の特長

雨の立体観測

- 各地の雨の特徴の把握
- 雨をもたらす気象の仕組みの理解
- 雨に伴う大気加熱の推定
- 雨の微物理に関連する情報

太陽非同期観測：一日のいろいろな時刻の観測

- 雨の日変化観測

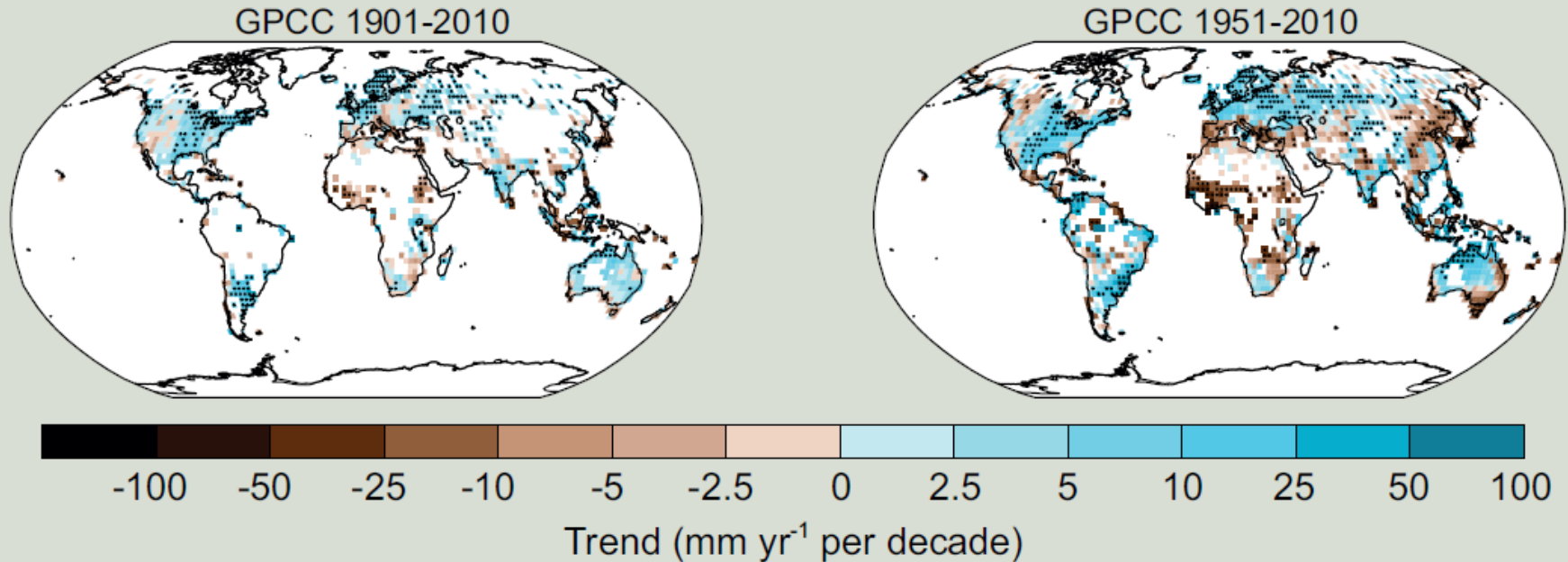
マルチセンサー観測

- 様々な物理量の同時観測
- 測器による推定雨量の相違
 降雨システムのより深い理解
 高精度の降雨推定

17年の長期観測

- 地形に固定した詳細な雨の特徴
- 世界各地の極端降雨の研究

20世紀に観測された降水量変化 (GPCC)

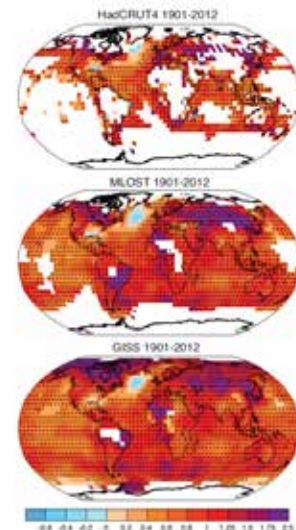


- 気温はほぼ全球で上昇している。
- 降水は地域差のある複雑な変化をする。

- 何が降水の降り方を決めているのか？
- 降水に「異変」は起きているか？

降水の特性と気候との関係を調べる必要

IPCC AR5 WGI



気温上昇

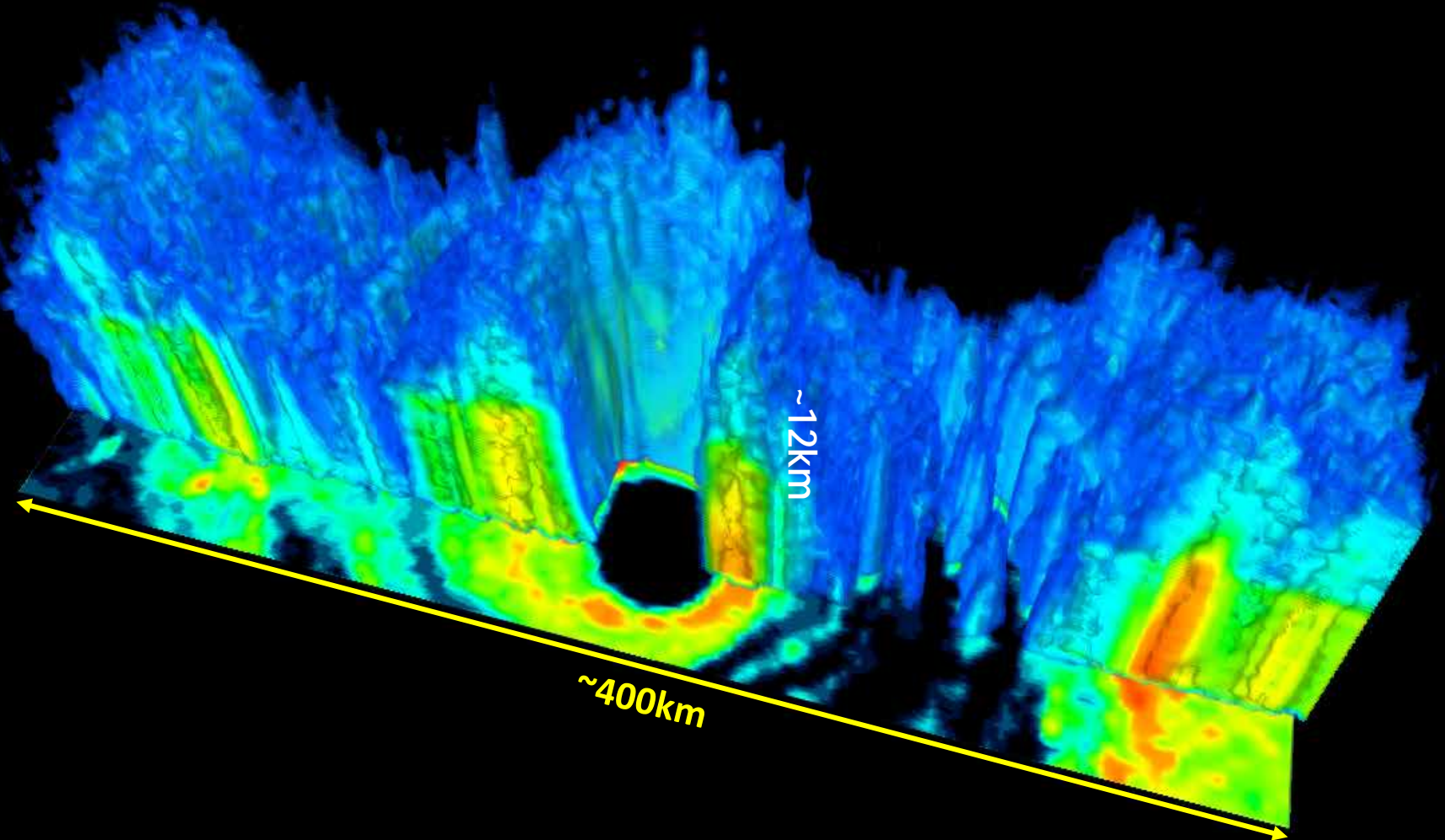


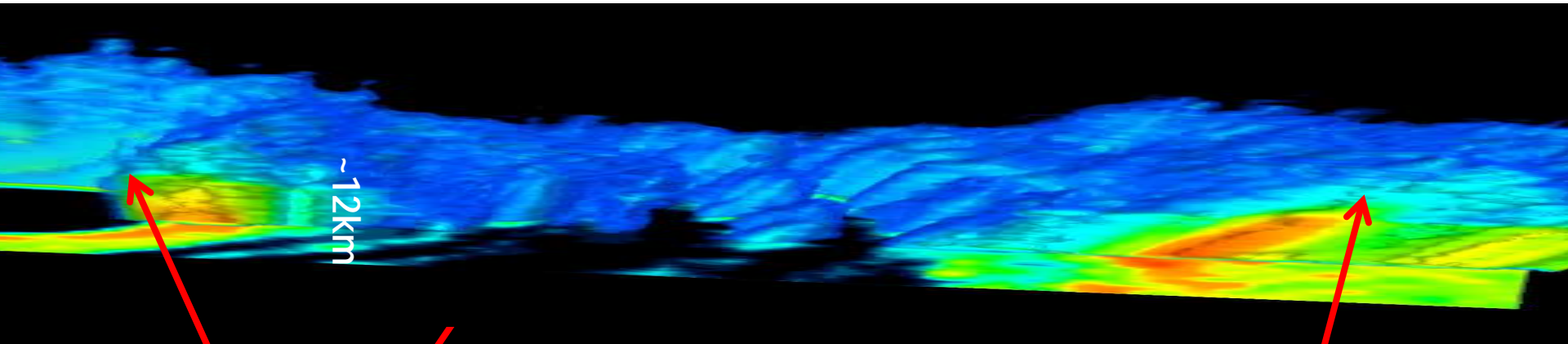
雨の立体観測



TRMM PRが捉えた台風

2014年8号台風 Typhoon NEOGRI





~12km

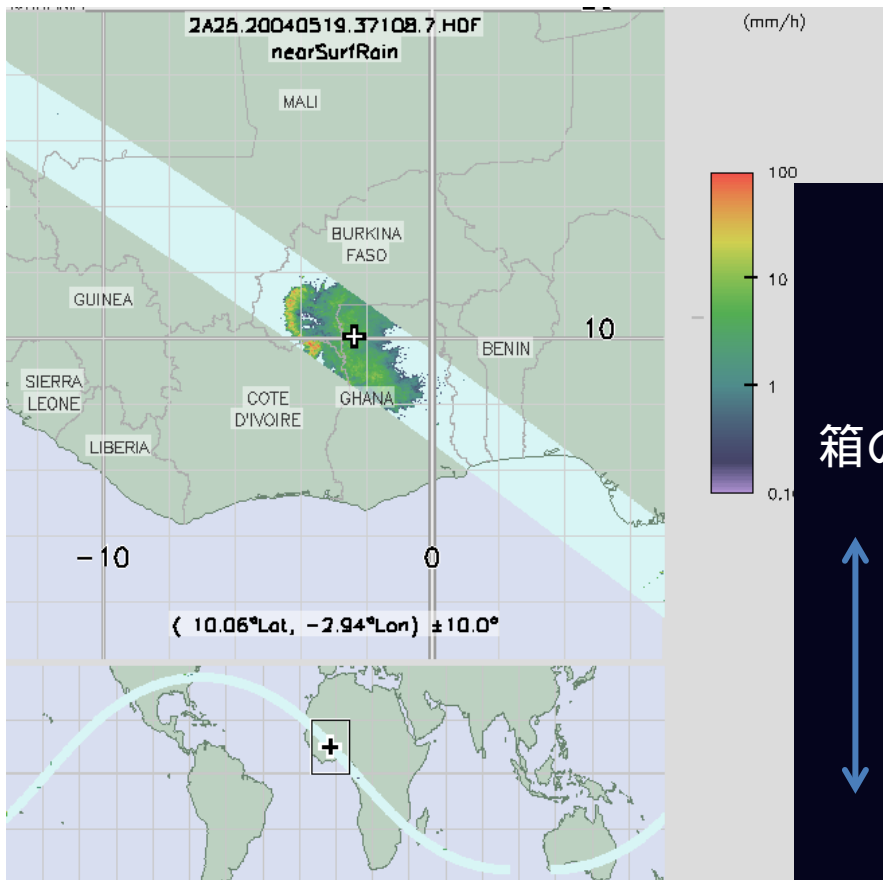
すり鉢状の目の壁雲の雨

傾いた対流の構造



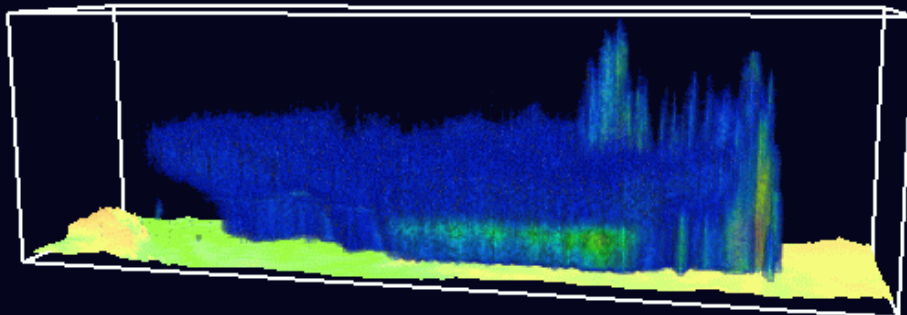
TRMM降雨レーダ

降雨の立体構造観測



アフリカ大陸: 水平500km規模のスクールライン

箱の高さ20km



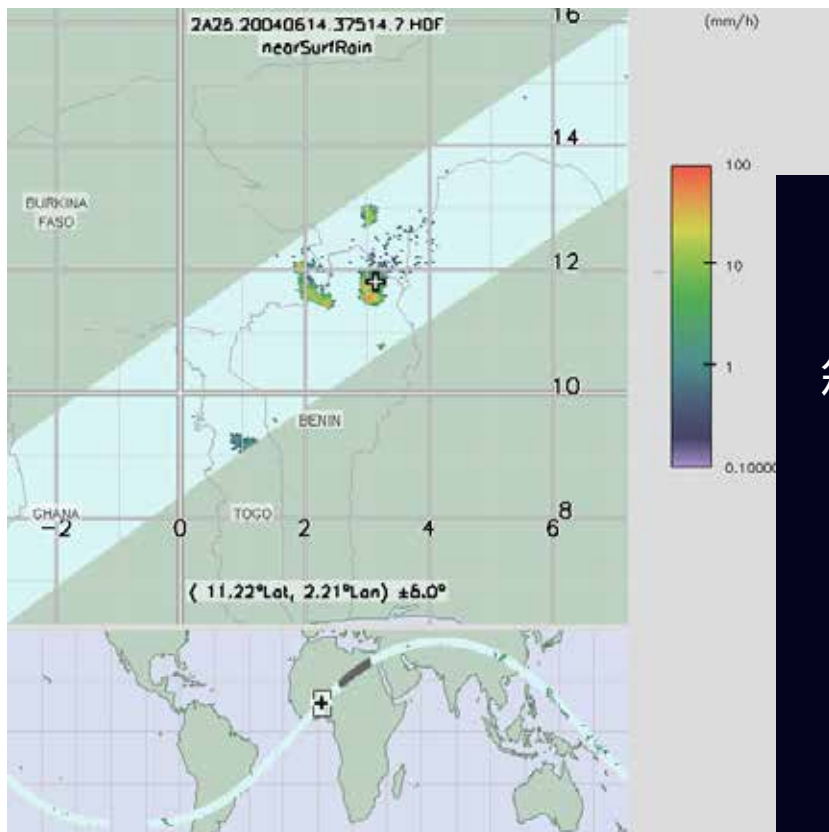
約500km



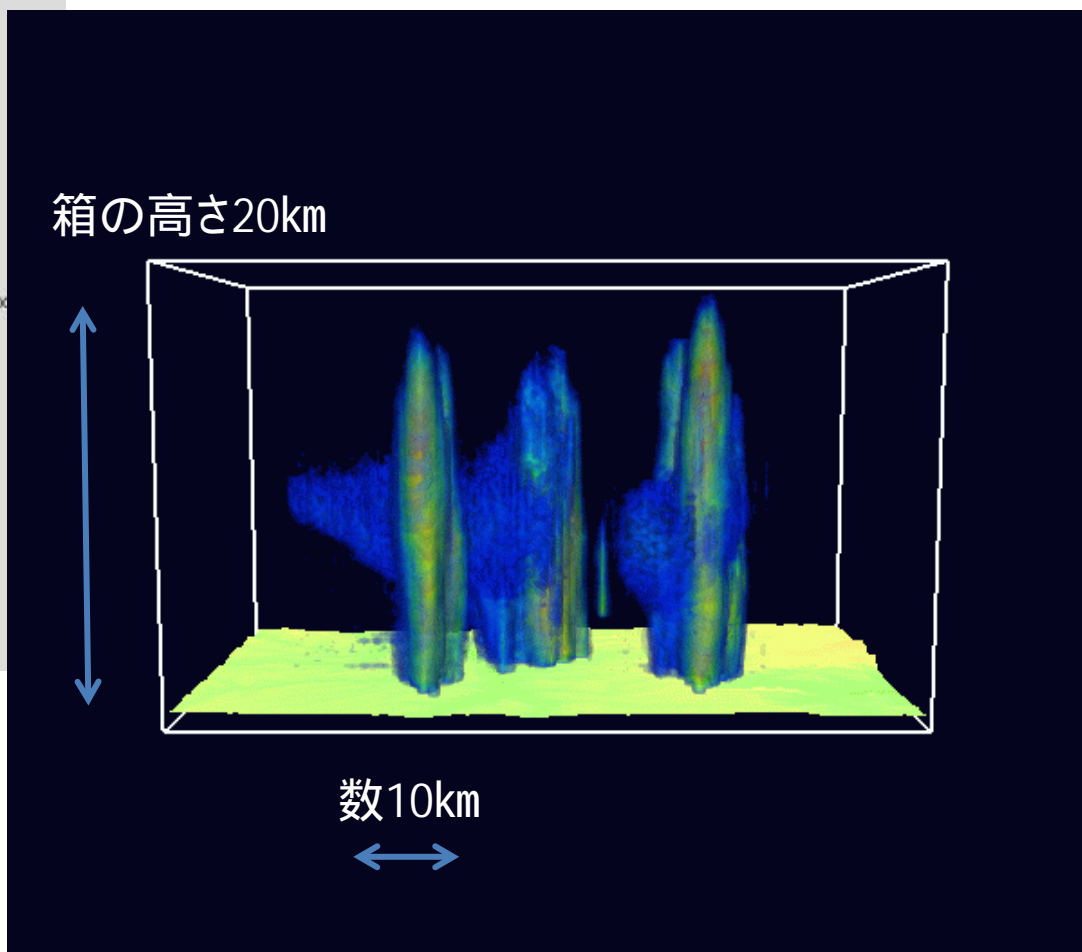


TRMM降雨レーダ

降雨の立体構造観測



アフリカ大陸：水平数10km規模の雷雨



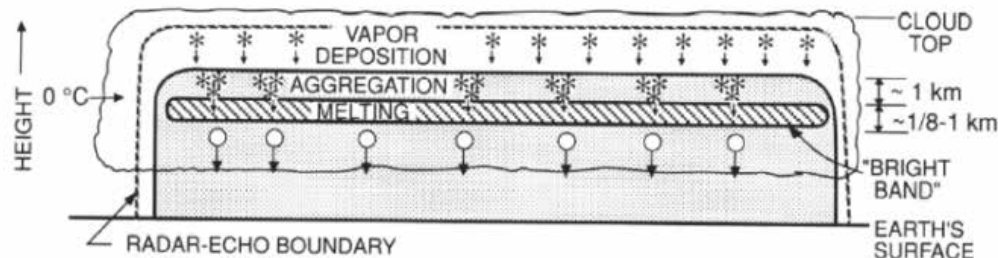
雨の立体観測：層状雨・対流雨の区別



層状雨

一様に広がった雲に伴う
穏やかな雨

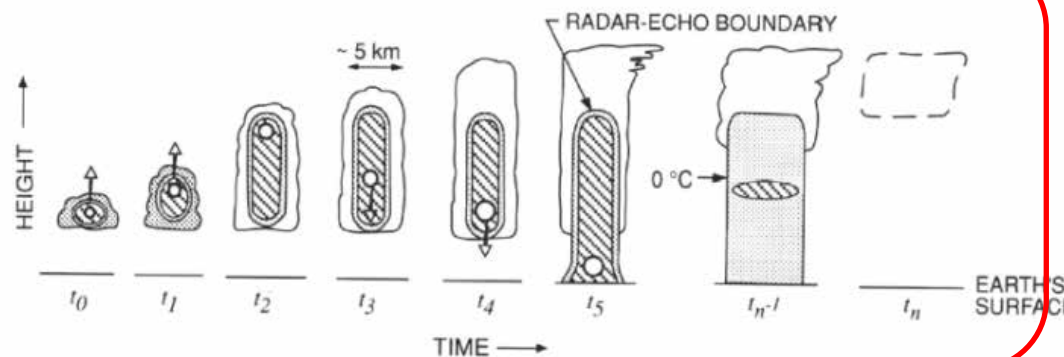
レーダシグナルの特徴 Houze 1994



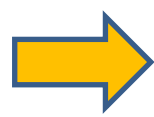
(a)

対流雨

大気を上下にひっくり返す雲に伴う強い雨



TRMM 降雨レーダにより、世界
で初めて地球規模で層状雨・対流
雨の区別がつくようになった



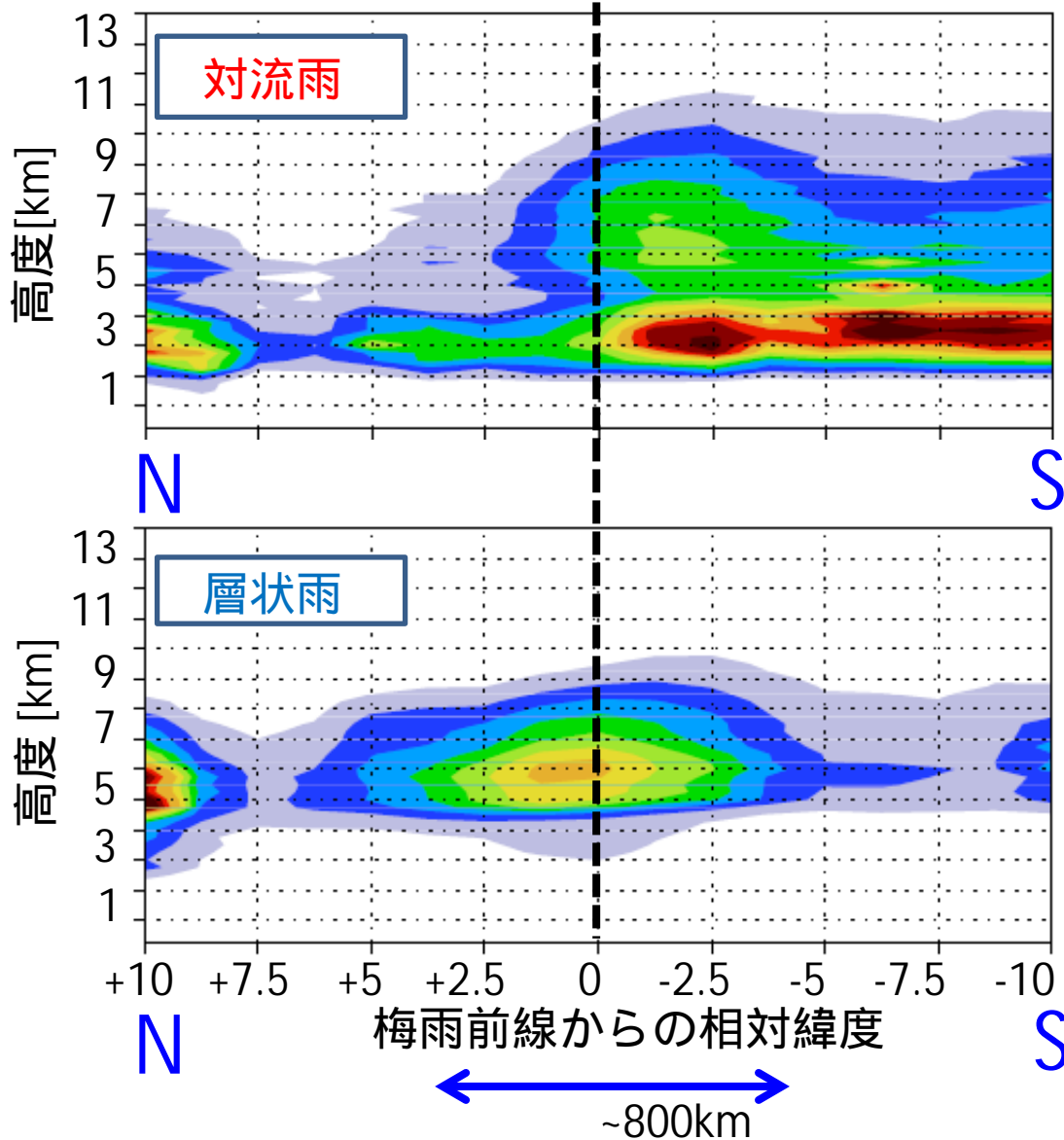
雨を降らすシステムの
特徴の理解



梅雨前線の南北降水構造に関する新たな知見

降雨頂高度の分布

(Yokoyama et al. 2014, JCLIM)



西日本
梅雨前線の南と北で
降雨特性が異なる

北側：前線に伴う層状雨が多い
梅雨のしとしと雨

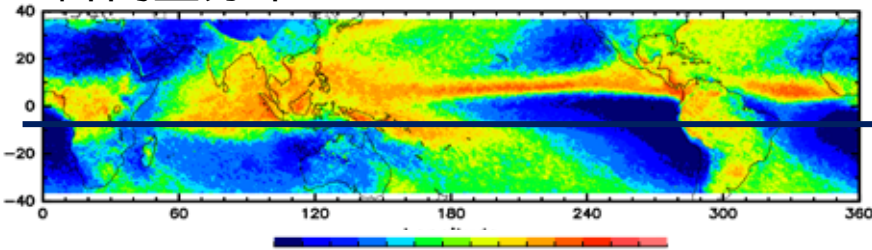
南側：雲クラスターに伴う背の高い対流雨が多い
梅雨末期の集中豪雨

気候変化などによる
ジェット気流の位置
の小さなずれ
雨の様子を急変
させる可能性



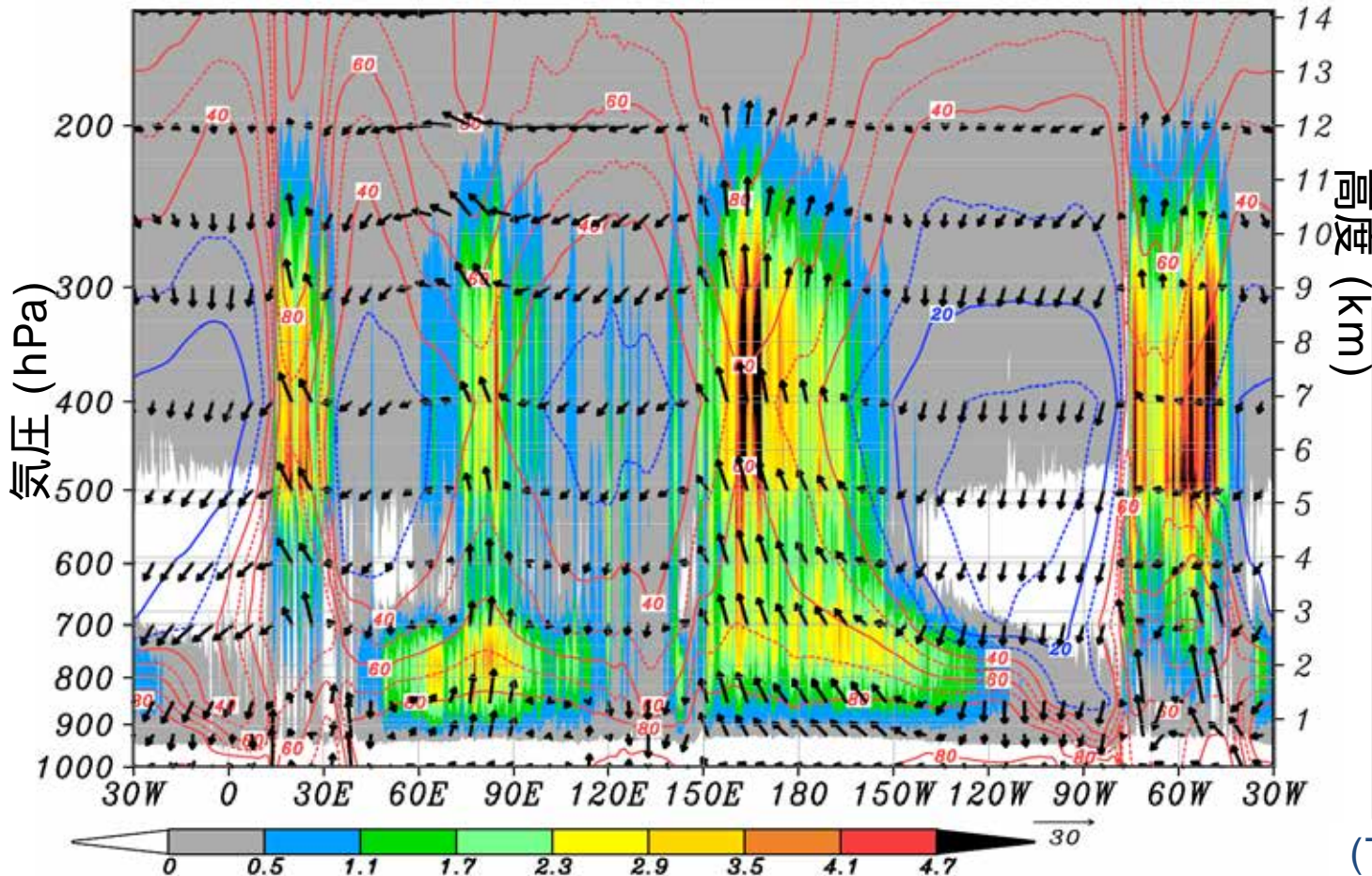
TRMM 潜熱加熱 東西鉛直分布

降雨量分布



世界で初めて雨に伴う潜熱加熱のグローバルな3次元分布を雨のレーダ観測から推定 (Shige et al. 2004他) = 大循環の駆動源

SON98-05 10S



色：潜熱加熱
：東西鉛直風
等値線：湿度

大規模下降域で中層が乾いていると水温が高くて雄大積雲で止まり積乱雲にならない

気候モデルの積雲の取り扱いに重要な示唆を与える

(Takayabu et al. 2010)

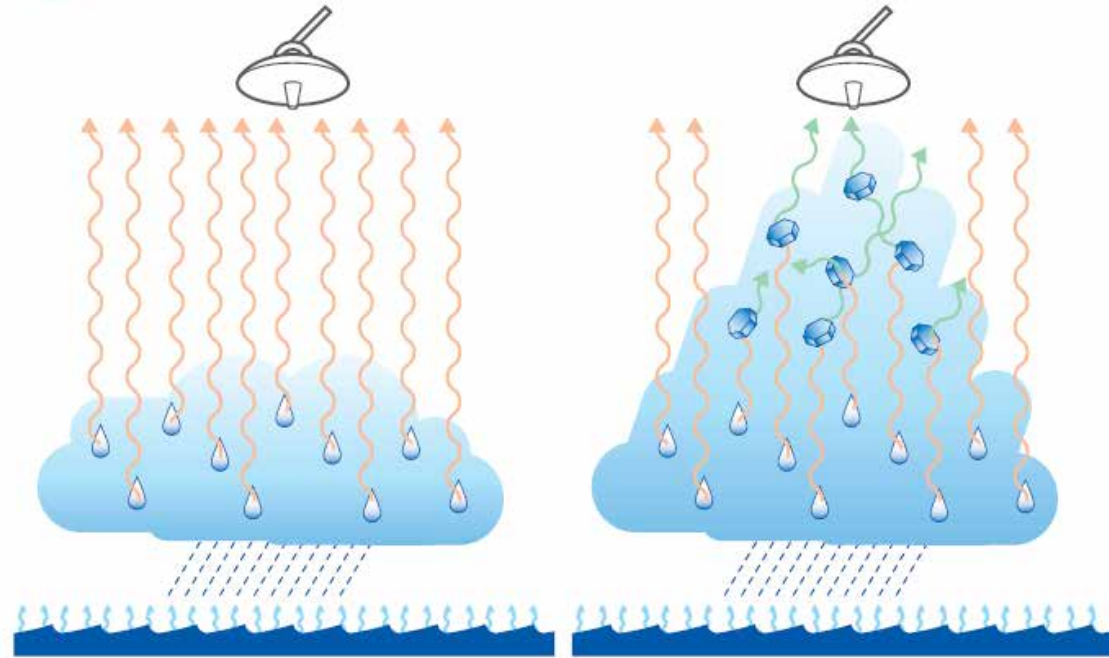
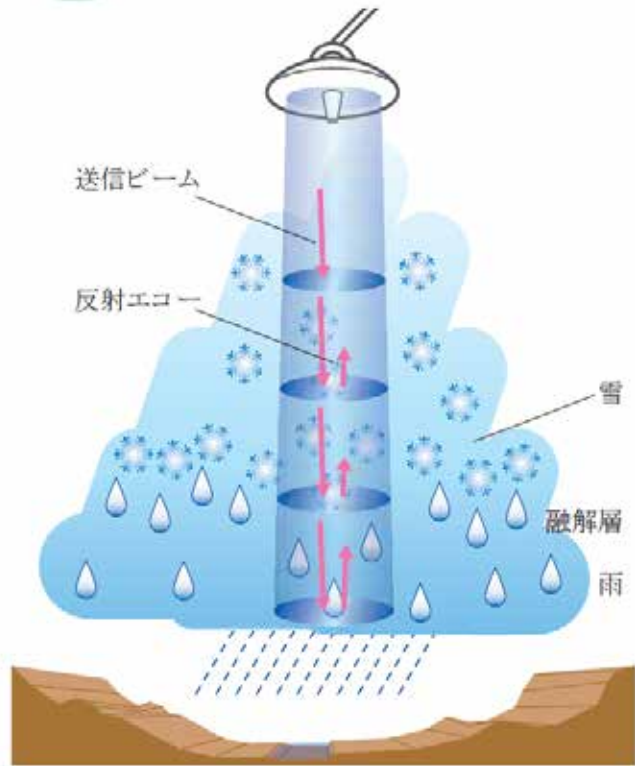


マルチセンサー観測の効果

レーダ観測とマイクロ波観測

降雨レーダ

マイクロ波放射計：海上



能動型センサー

電波を照射し雨粒や氷粒からの反射光を観測

受動型センサー

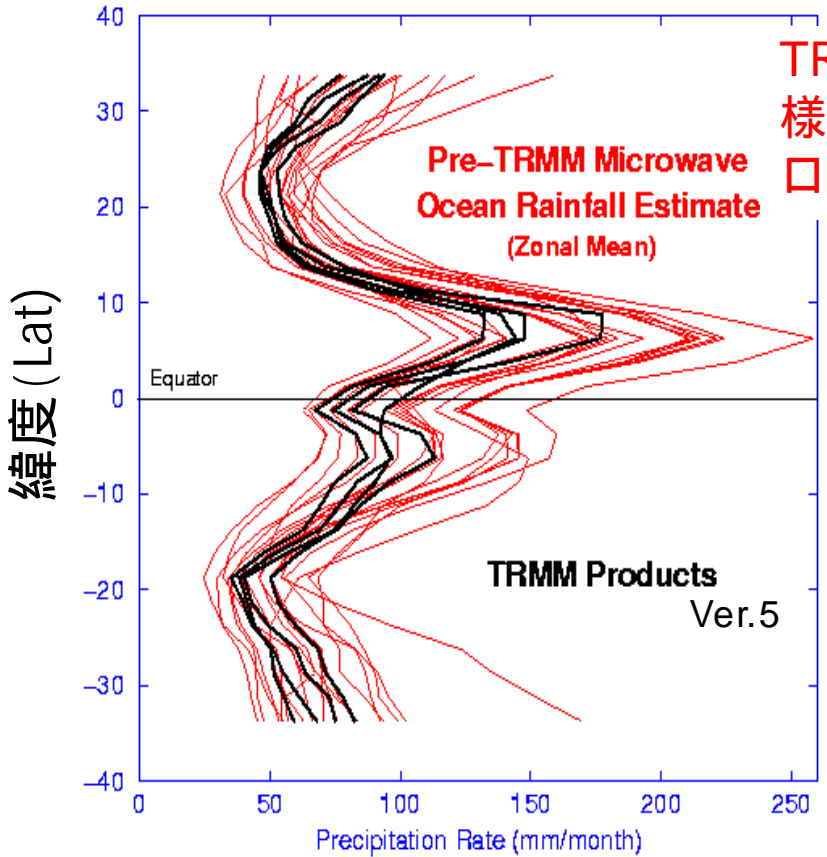
雨粒や氷粒から放射・散乱される電磁波を受け取って観測

推定する地上雨量に差

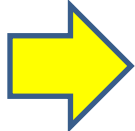


TRMM ビフォーアフター：降水量推定手法の高精度化

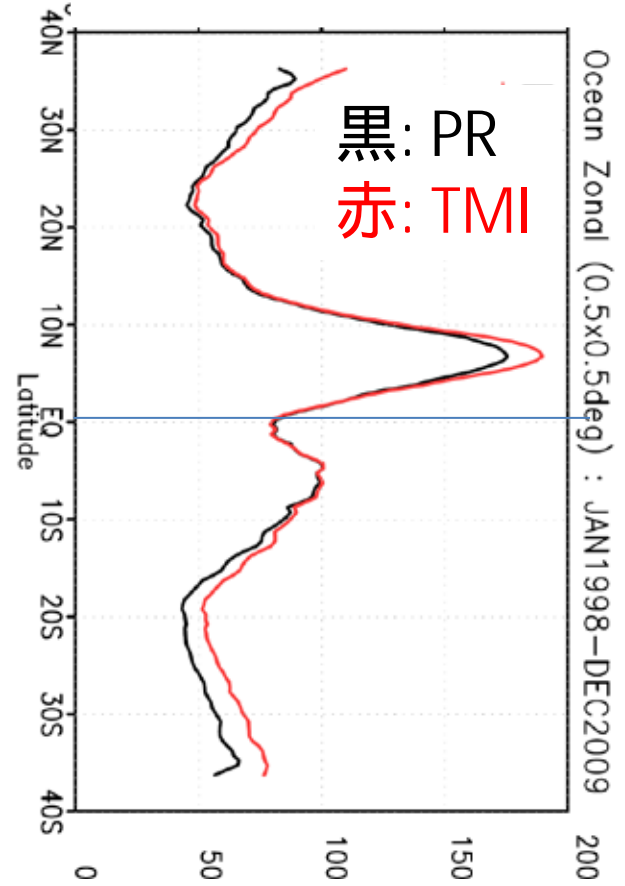
TRMM前 & 初期TRMM.v5 (Adler, 2001)



TRMM以前の
様々なマイクロ波衛星観測



最新TRMM.v7



黒: PR
赤: TMI

各緯度での平均降雨 (mm/month)

各緯度での平均降雨量 (mm/month)

- TRMM以前の衛星搭載マイクロ波放射計による降雨推定はばらつき大
- レーダー観測により、マイクロ波降雨推定手法が高精度化 よい一致

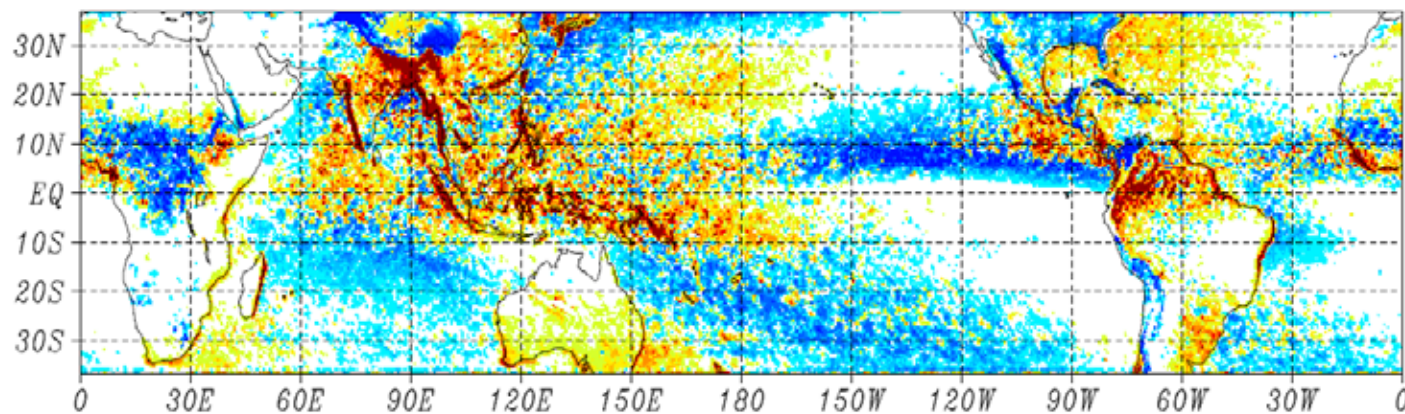
(JAXA久保田博士提供)



TRMM降雨レーダとマイクロ波による降雨推定の差

PR3A25.v7-TMI3A12.v7 98-12

6-8月



赤系
PR > TMI

青系
PR < TMI

RESTEC
東上床氏提供

「なぜだろう」から生まれる降水科学

- 大規模場：推定値の相違が大気の水蒸気量に依存 (Berg et al. 2006)
- 雲物理：雨粒の大きさの違い (西太平洋：大粒、東太平洋：小粒) に依存 (Shige et al. 2008)
- 大気擾乱：西太平洋と東太平洋では大規模大気擾乱 (数1000km) の構造が異なる (Yokoyama and Takayabu, 2012)

降雨システムの理解の深まり

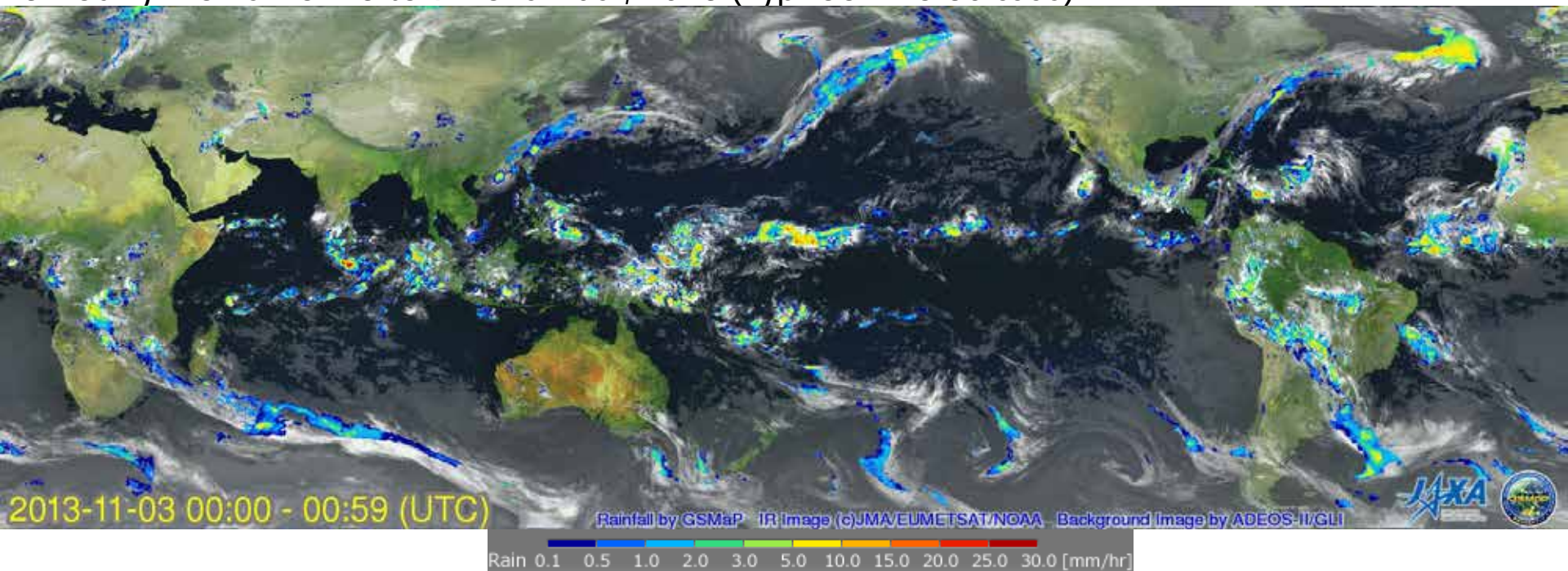
精度の高い降雨推定に還元



GSMaP 複数マイクロ波衛星観測による高解像度降雨マップ

<http://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP/>

3-hourly movie from 3 to 9 November, 2013 (Typhoon No.30 case)



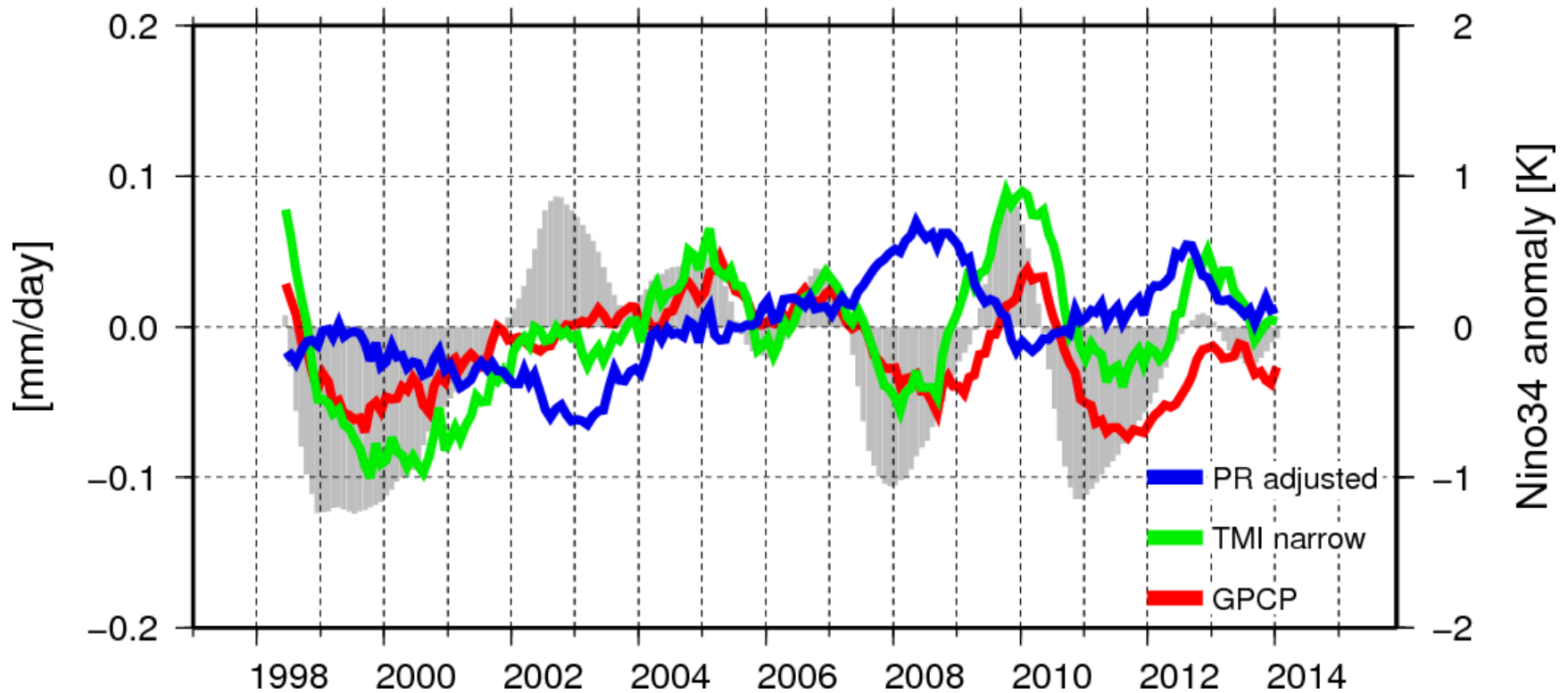
GSMaPは複数衛星のマイクロ波放射計観測データを組み合わせて作る約10km格子、1時間間隔の雨の推定マップです。TRMM観測による雨に対するより深い理解は、このような高分解能の降雨マッププロダクトの精度向上に役立っています。



約17年間の降水量変動のデータ比較

2002-2008, 月平均からの偏差

Precipitation anomaly (35S–35N globe)



衛星の高度変更などの影響を補正した連続データ

PRで観測された降水量の時間変動は、

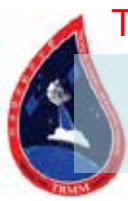
TMIやGPCPと比較して異なる時間変動をもつ (JAXA金丸博士提供)

Monthly anomalies from 2002-2008 (7-yr)

Data are smoothed by a 13-month running average



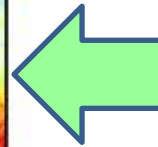
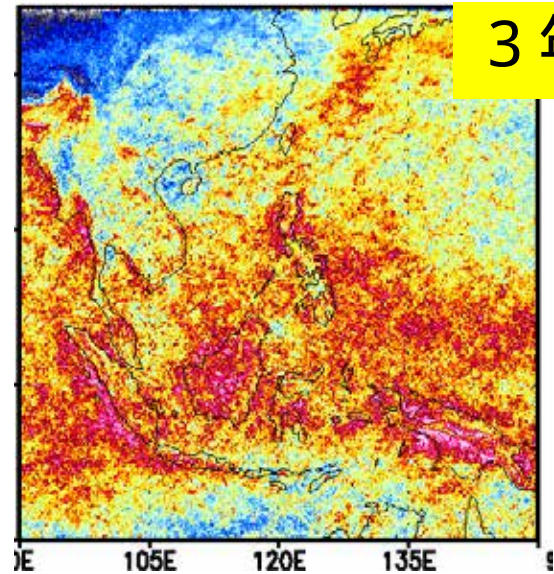
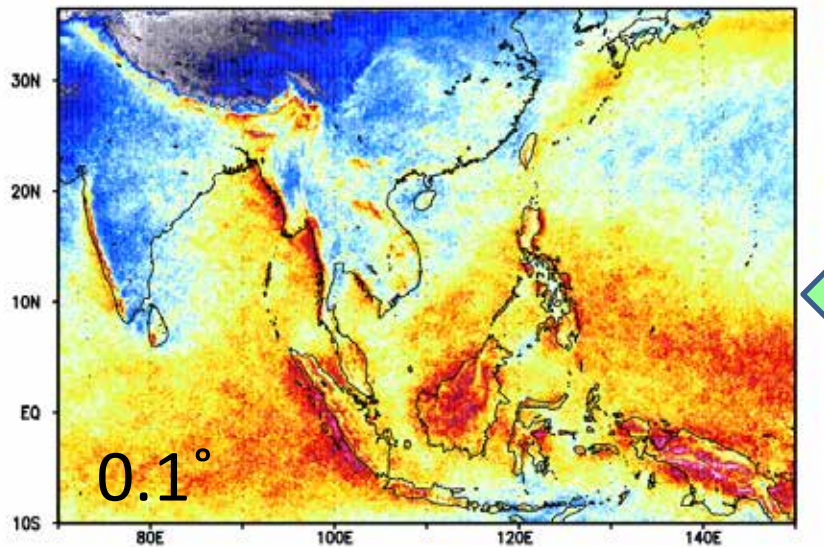
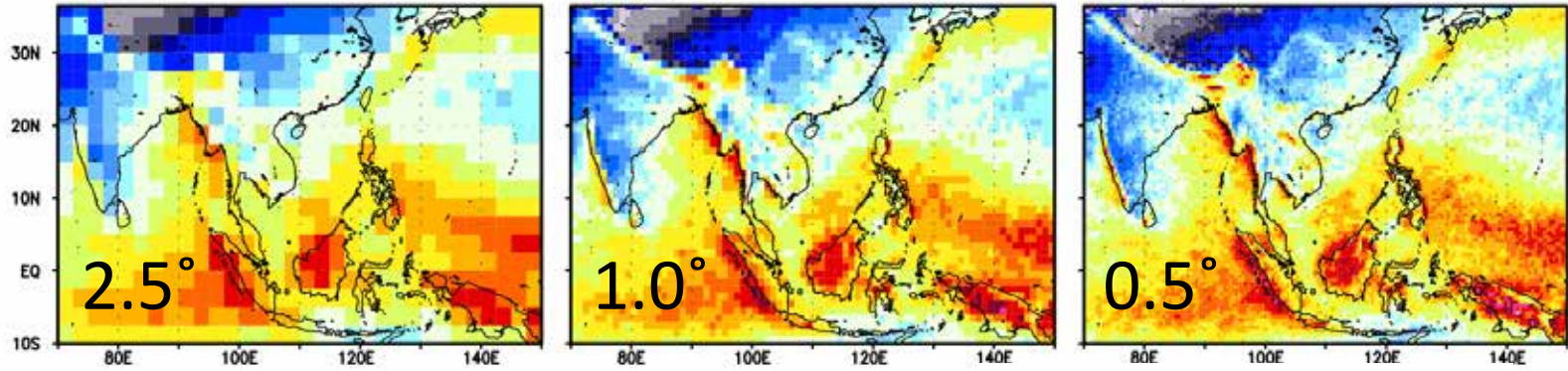
雨の分布の詳細な把握



地形に固定した雨 (Hirose 2014)

(+ 地形に関する推定誤差)

緯度1° ~ 111km



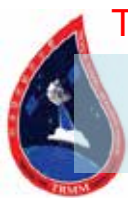
3年分

0.05 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 1 1.5 2 2.5 3 4 5 6 7 8 10 12 15 [mm/c]

サンプルエラーが軽減



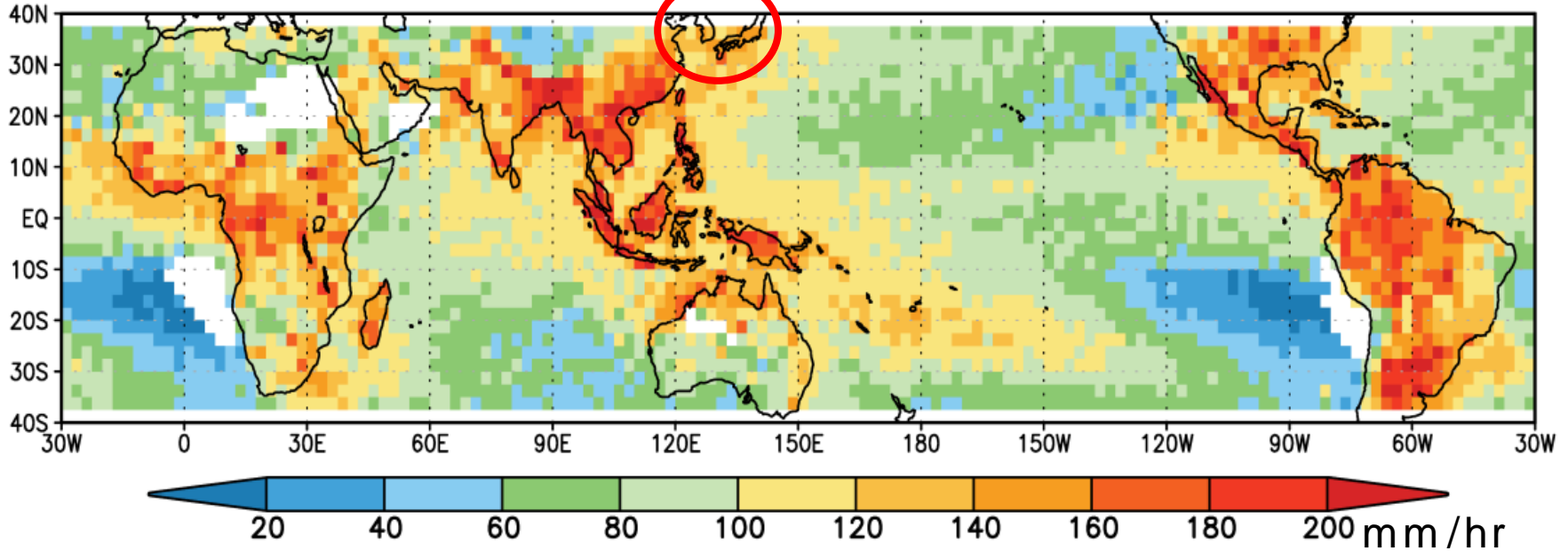
極端降雨の研究



各地の極端降雨の強度 2001-2012

上位0.1%の「極端降雨」の強さ

8500万個の雨域統計



Hamada, Murayama, Takayabu (2014, J. Climate)

- 地域毎（約300km四方）で雨域を集計「豪雨」の特徴を調査
- どの程度の雨が「豪雨」になるかは、地域により異なる
- 日本域の「豪雨」は比較的強い。面積は広いが降雨頂はさほど高くない（図略）



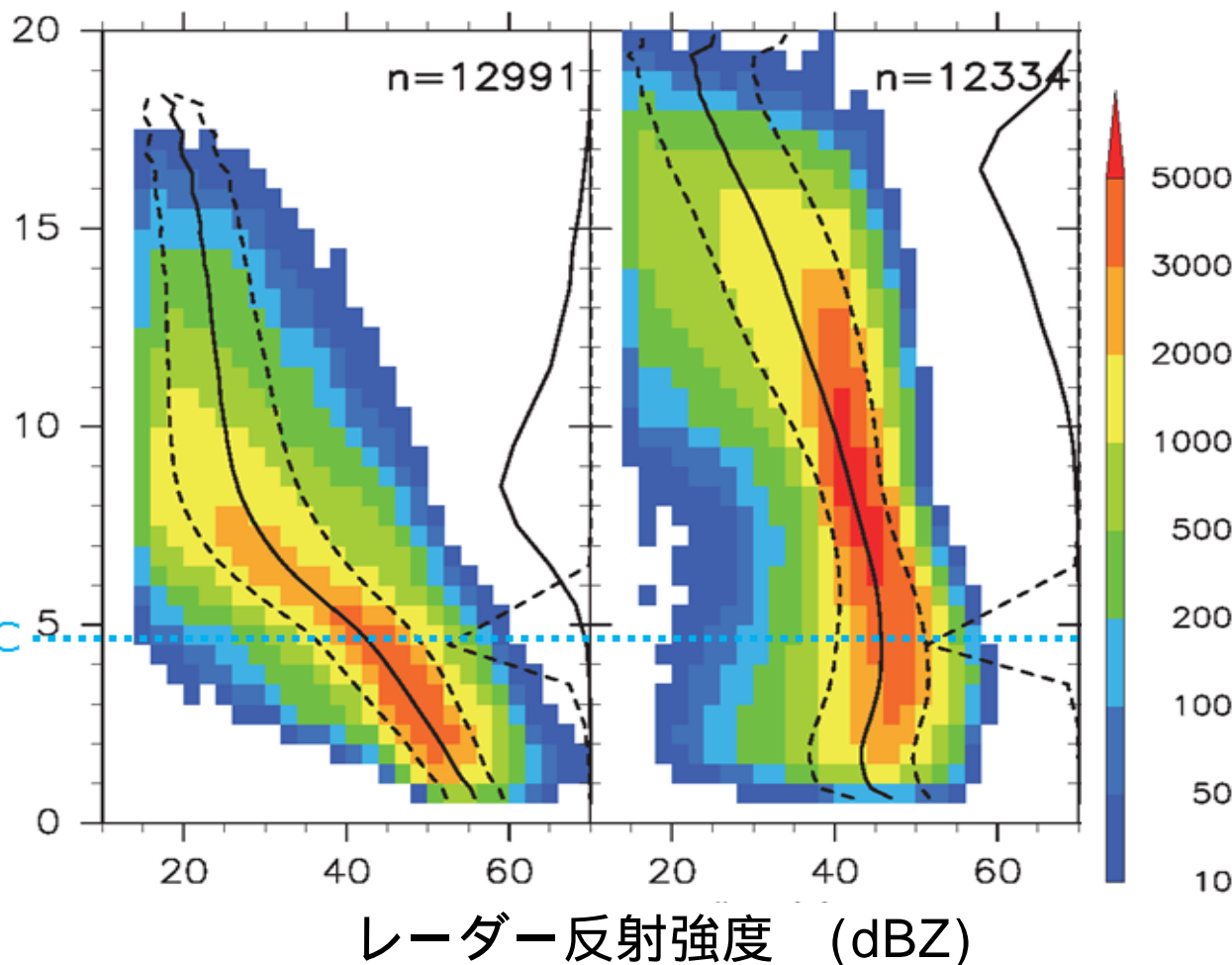
極端に強い雨 vs 極端に高い雨の鉛直構造

(Hamada et al. , in press)

TRMM観測域陸上, 各2.5度格子での上位0.1%

極端に強い雨

極端に高い雨



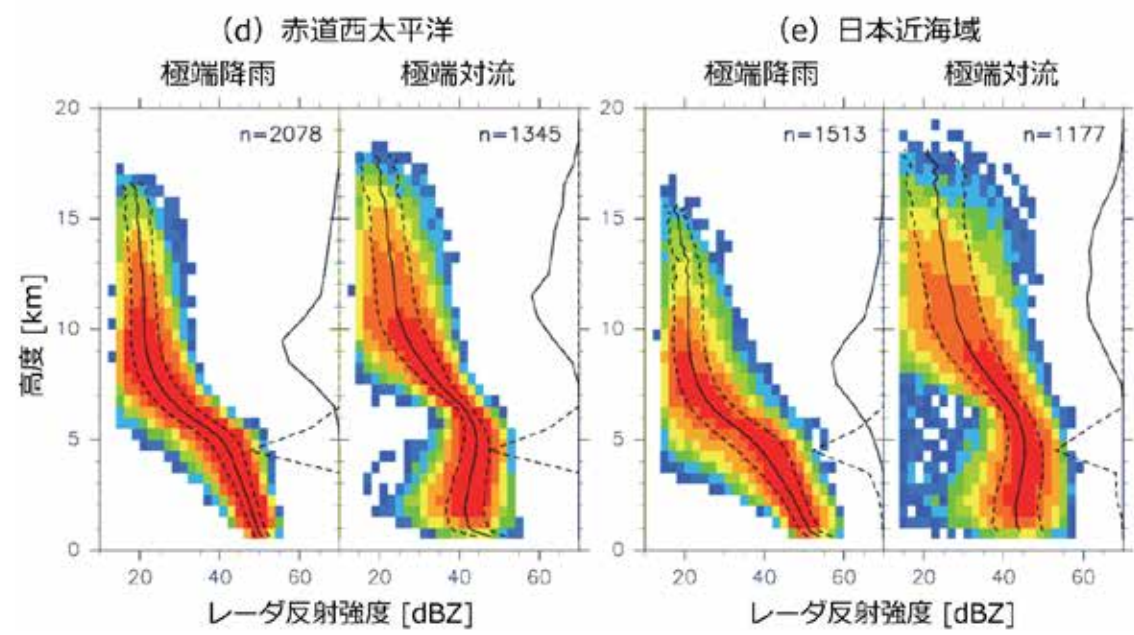
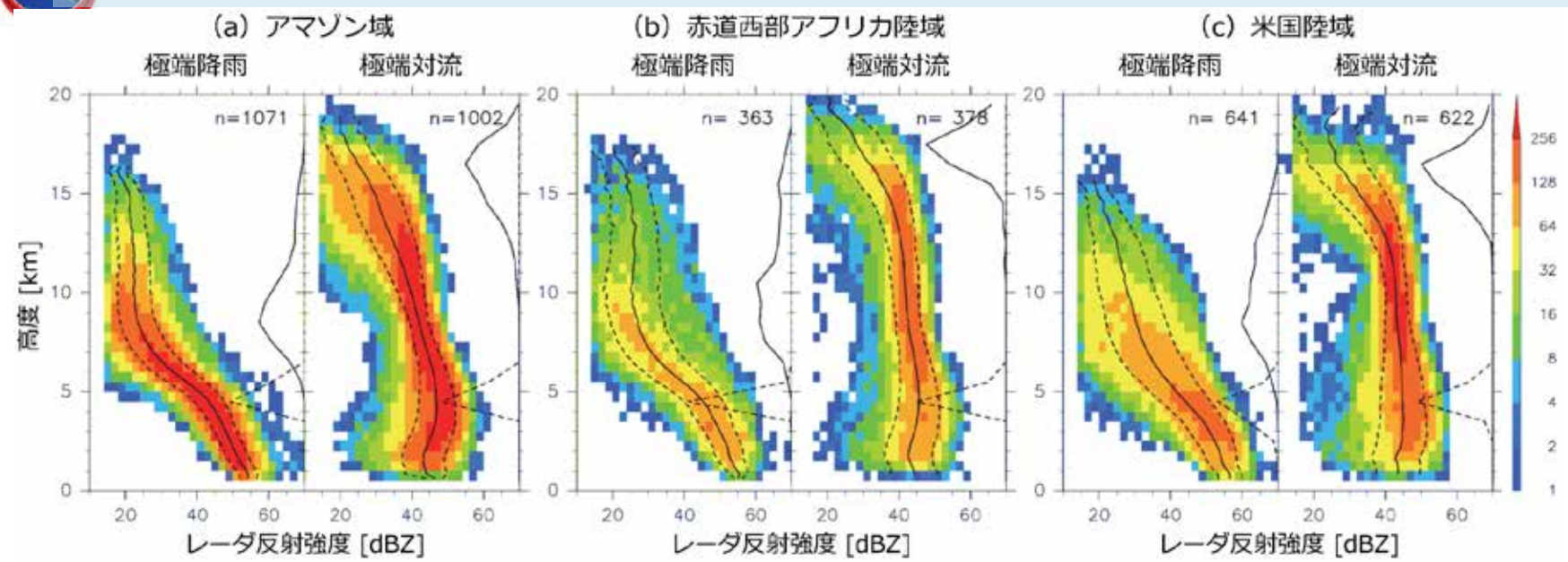
2001-2012年
8500万個の雨域統計

「高い雨が強い雨
をもたらす」
という常識を覆す

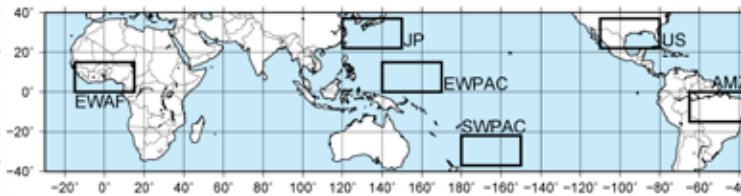
豪雨特性の正しい
理解
→ 有効な防災対策



地域に依らず普遍的なコントラスト



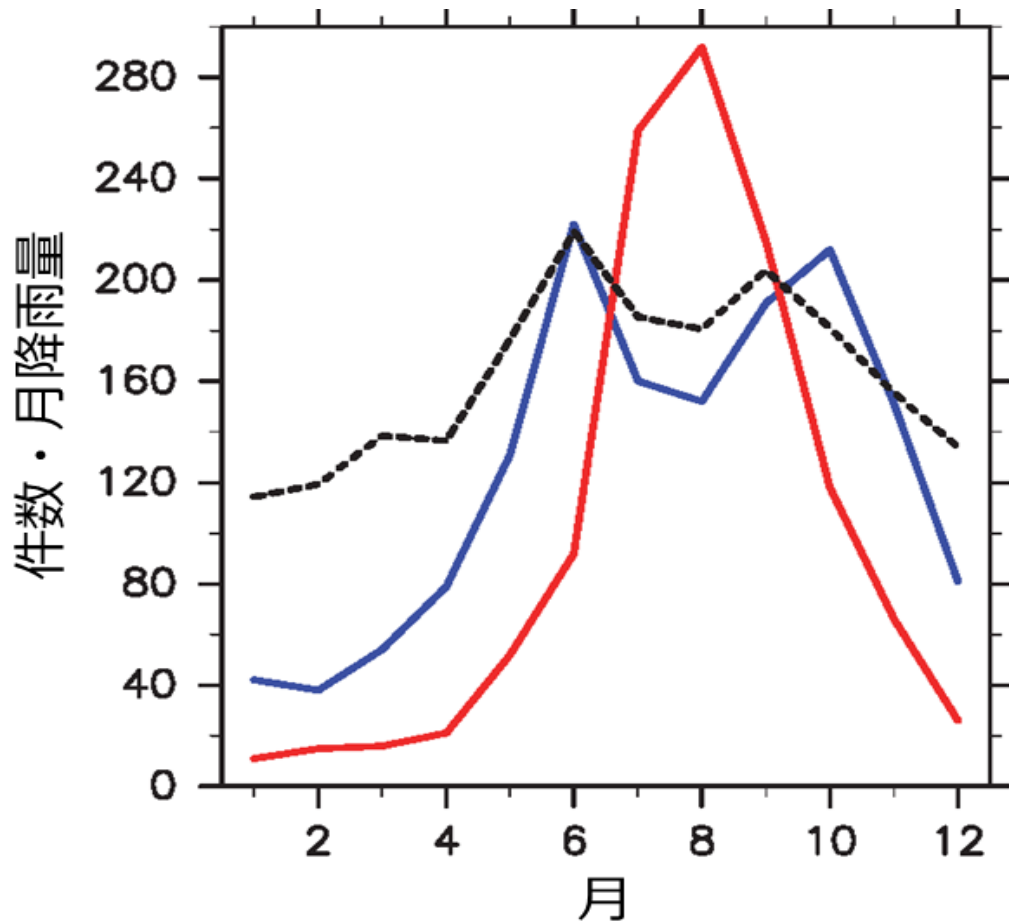
- 地域、海陸によらず、普遍的な特徴
- 背の高いシビアストームが有名なアメリカ大陸上でも最も強い雨は比較的背が低い





極端降雨をもたらす大気環境

日本近海域での頻度の季節変化



総降水量

極端に強い雨

極端に高い雨

極端に強い雨は総降雨量の多い季節に頻度が高い

(Hamada et al. , in press)

TRMM全域での統計から、大気下層が湿潤な時には強い雨が、大気不安定な時には高い雨が多いことが判明

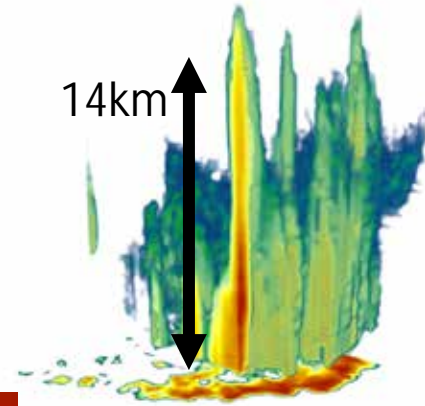
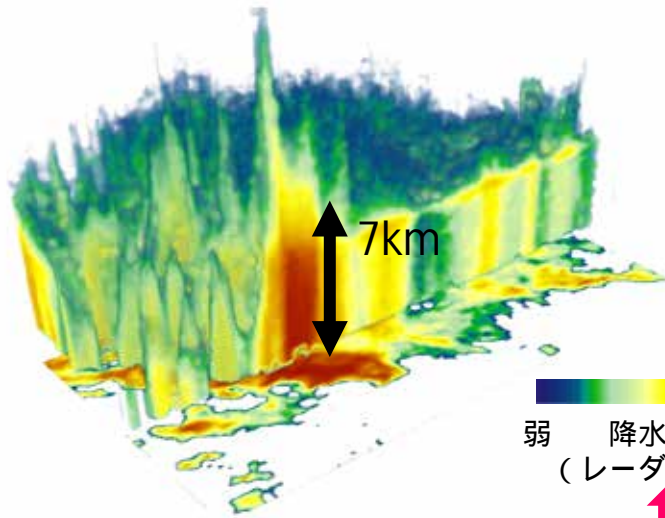


極端に強い雨と極端に高い雨の特徴

極端降雨（最も強い雨）

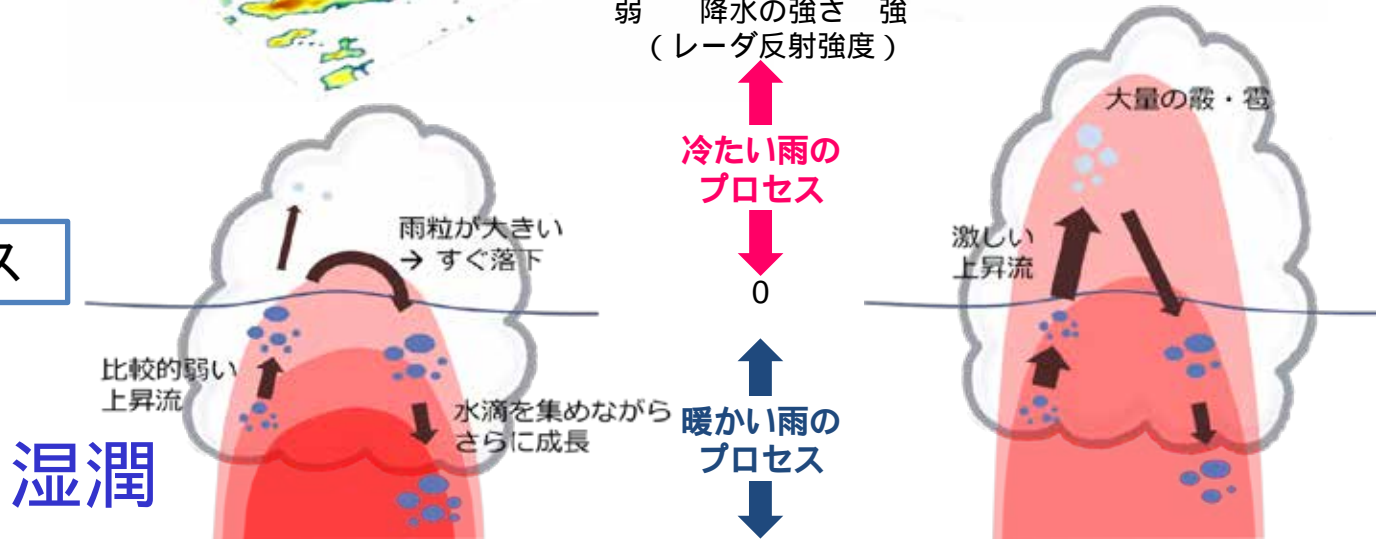
極端対流（最も高い雨雲）

TRMM降雨レーダ観測による立体構造



弱 降水の強さ 強
(レーダ反射強度)

降水プロセス



豪雨特性の正しい把握

正しい備え



TRMMの長期観測による新しい降水科学

- 立体観測でグローバルに「降水特性を測る」
- 測器による推定雨量の違い 降水システムの理解
より高精度な降雨量推定
高解像度降雨推定GSMaPの精度向上
- 雨に伴う大気加熱を地球規模で定量化
モデル検証・大気循環の理解
- 雨の分布の詳細な把握：地形の効果，日変化
- 地域毎の「豪雨」の研究
- 極端に高い雨が極端に強い雨をもたらすのではない
従来の常識を覆す知見
豪雨特性の正しい理解 より良い災害対策
- TRMMが数値モデルの雨の検証の標準データとなる
- 天気予報の初期値に降水観測が利用（同化）される道が開けた
- GPM主衛星との1年間の同時観測：GPMの精度向上



Thank you

