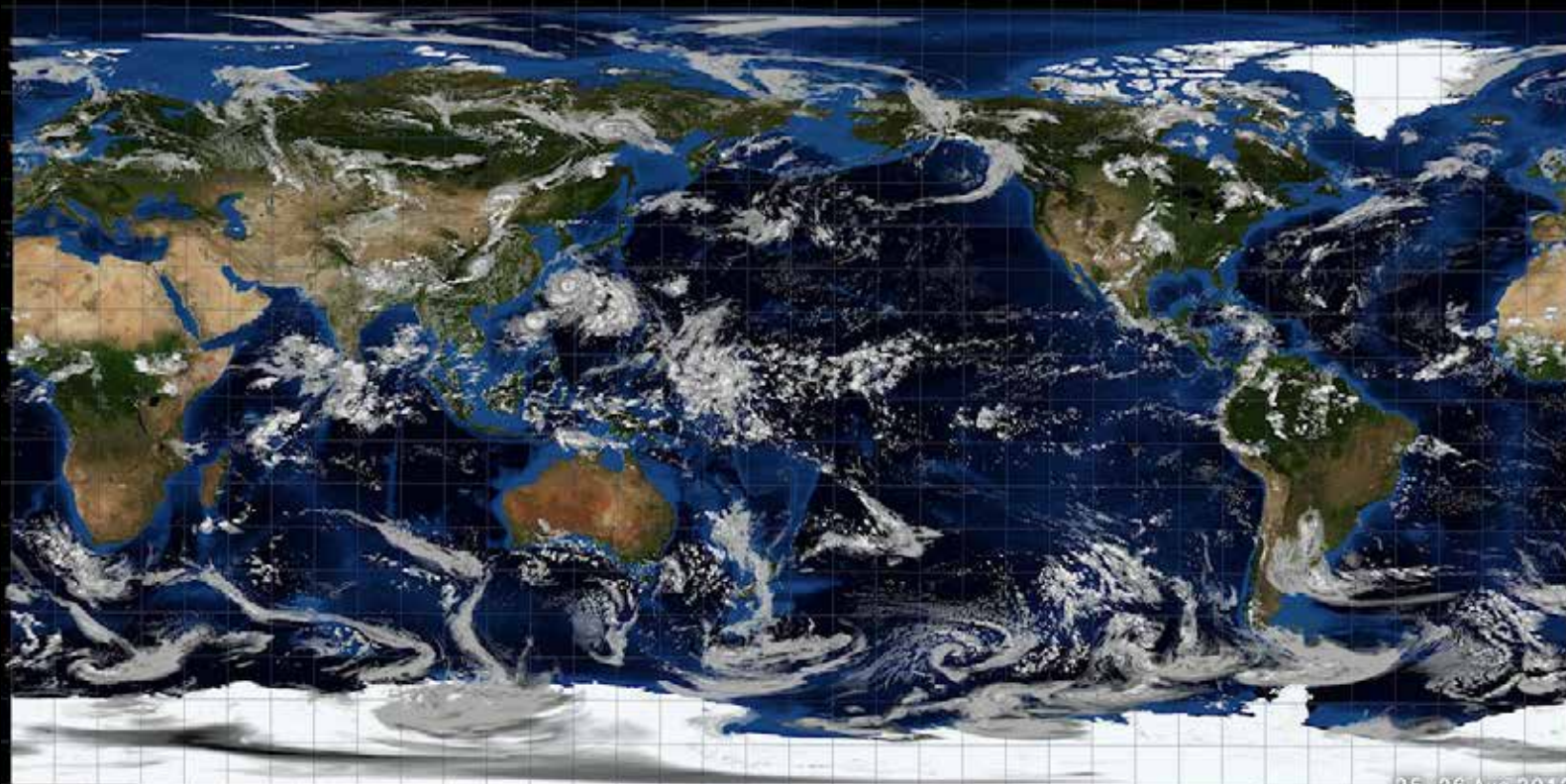


# 高解像度全球非静力学モデルと 衛星データによる連携研究

Collaboration with the High Resolution Global  
Nonhydrostatic Model and Satellite Observations



TimeStep: 14

NICAM 870m simulation

25-26 Aug. 2012  
TY: Bolaven  
© NICAM project

**佐藤正樹** 東京大学 大気海洋研究所

シンポジウム「水惑星の安心を見守る～熱帯降雨観測 (TRMM) 衛星17年間の成果」  
COREDO室町1 日本橋三井ホール2015年2月19日(月)

# 内容

- 全球雲解像モデル
  - 対流雲を解像する超高解像度全球大気モデルNICAM
  - スーパーコンピュータ「京」
- 衛星観測データによる数値モデルの検証
  - 衛星シミュレータ Joint Simulator for Satellite Sensors (Joint-Simulator)
  - TRMM/GPM, 今後の衛星観測ミッション EarthCARE
- 今後のTRMM, GPMの利用について
  - 雲降水スケールのデータ同化
  - GsMAP

# 全球雲解像モデル

## 大気大循環と「積雲対流」

- 大気大循環の駆動源、熱帯収束帯の上昇運動、ハドレー循環
- 台風、熱帯の積雲集団、マッデンジュリアン振動
- モンスーン循環
- 集中豪雨などの極端現象

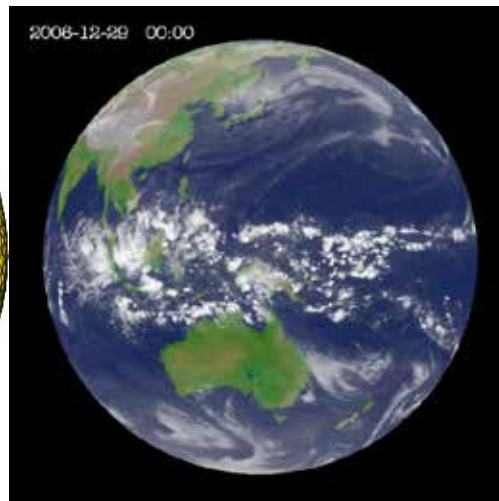
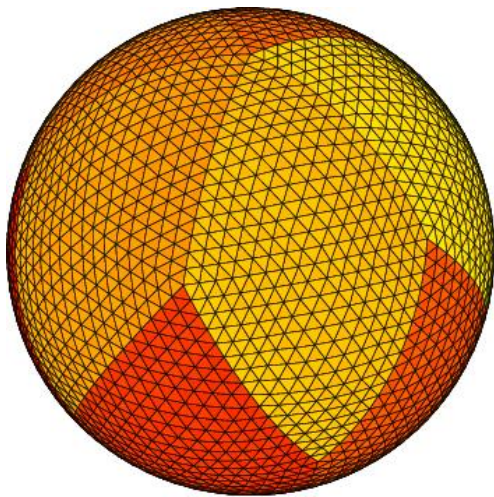
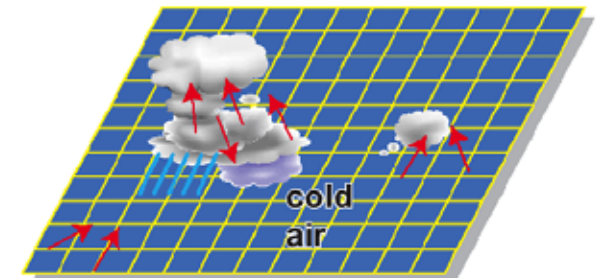
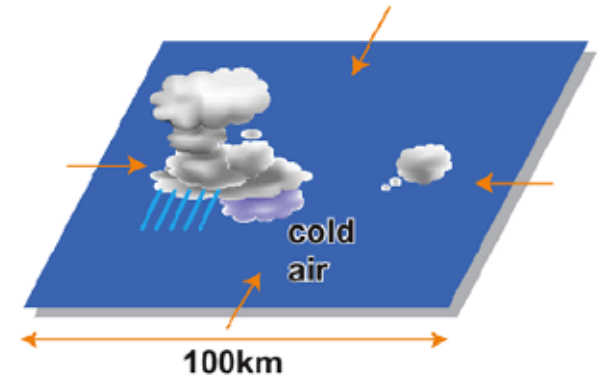
## 気候モデルの不確定性の最大要因

- 格子間隔 10-100km の気候モデルでは積雲対流を解像
- 積雲パラメタリゼーションが不確定性の大きな要因

## 全球雲解像モデル

- 格子間隔 km スケールの全球非静力モデル
- 対流雲を陽に表現
- 非静力学正20面体大気モデル  
Nonhydrostatic Icosahedral Atmospheric Model (NICAM)

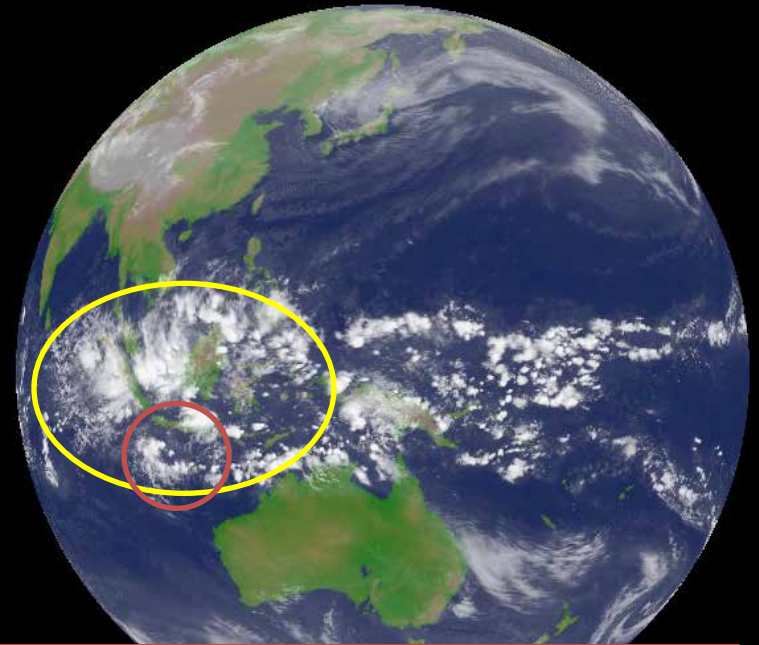
Thunderstorms seen from the Space Shuttle



MTSAT-1R

NICAM

マッデンジュリアン振動に伴う大規模雲集団

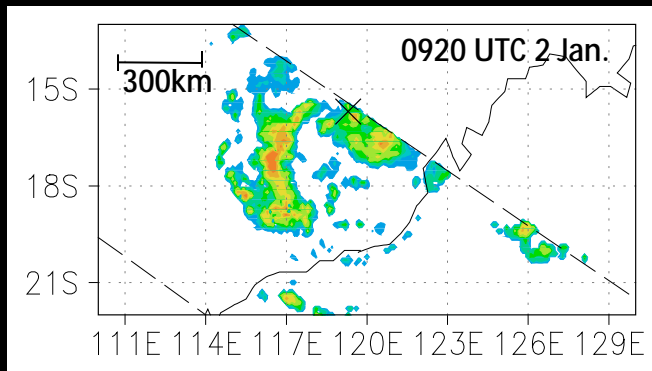


熱帯低気圧 Isobel

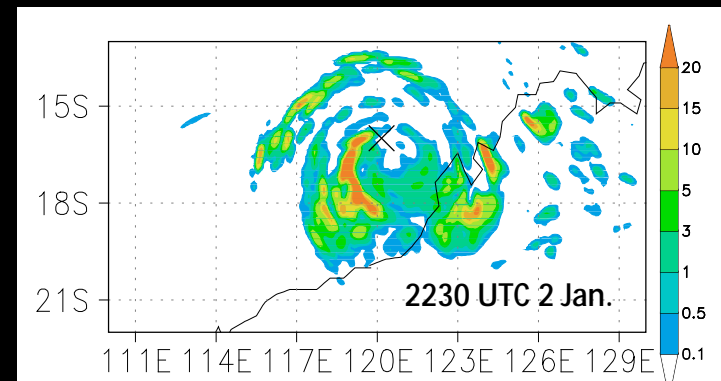
Dec. 29 2006

3.5kmメッシュ全球雲解像しミュレーションにより、熱帯の積雲対流の階層構造を再現：  
マッデンジュリアン振動、積雲クラスター、熱帯低気圧、その内部構造

Surface rain rate (mm hour<sup>-1</sup>) by TRMM-TMI

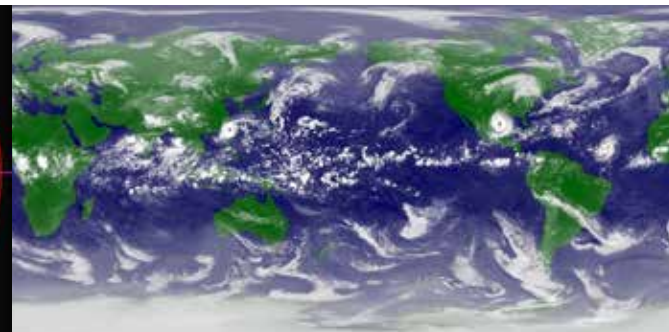
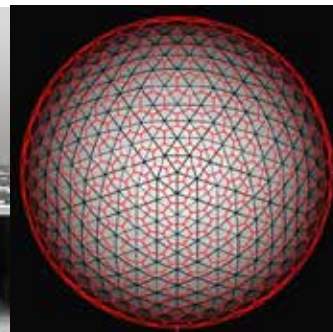


Surface rain rate (mm hour<sup>-1</sup>) by NICAM

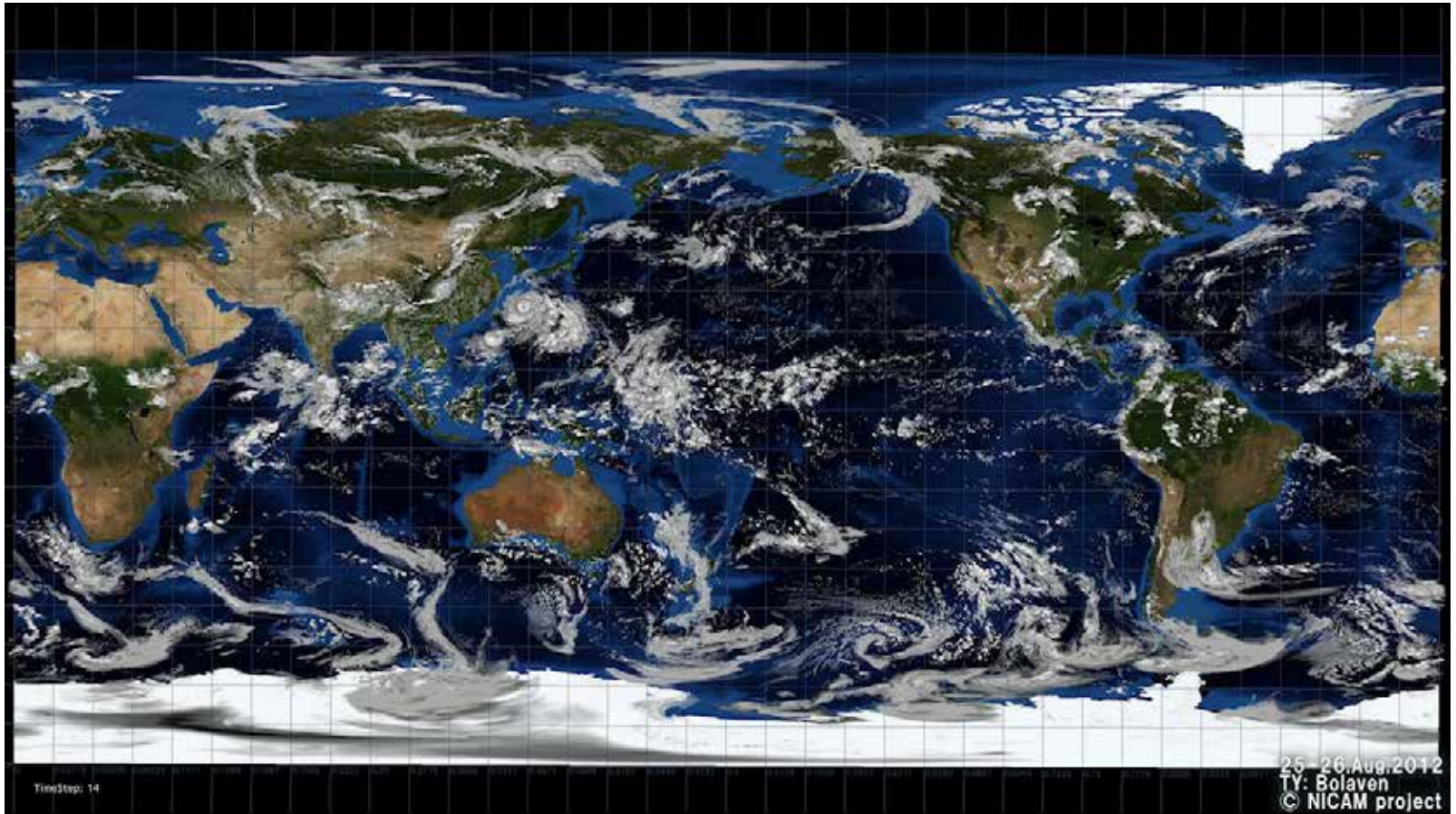


# NICAMを使った研究

- **2000年頃から開発開始: 東京大学+JAMSTEC**  
Tomita and Satoh(2005, *Fluid Dyn. Res.*), Satoh et al.(2008, *J. Comp. Phys.*)
- **2004年: 地球シミュレータを利用した世界初の格子間隔3.5km全球雲解像実験**  
Tomita et al.(2005, *Geophys. Res. Lett.*), Miura et al.(2007, *Science*)
- **2011年より: スーパーコンピュータ「京」(神戸、理研) HPCI 戦略プロジェクト**  
分野3 「防災・減災に資する地球変動予測」  
2週間以上の延長予測、地球温暖化による台風変化  
超高解像度実験: 格子間隔 870m
- **2014年より: ポスト「京」重点課題 FLAGSHIP2020**  
重点課題(4) 「観測ビッグデータを活用した気象と地球環境の予測の高度化」
- **国際的な連携**  
Athena プロジェクト (2009-10): COLA, NICS, ECMWF, JAMSTEC, 東京大学  
G8 ICOMEX (2011-), AIMES(2015-): 日独仏英米



# NICAM 870m 格子シミュレーション スーパーコンピュータ「京」



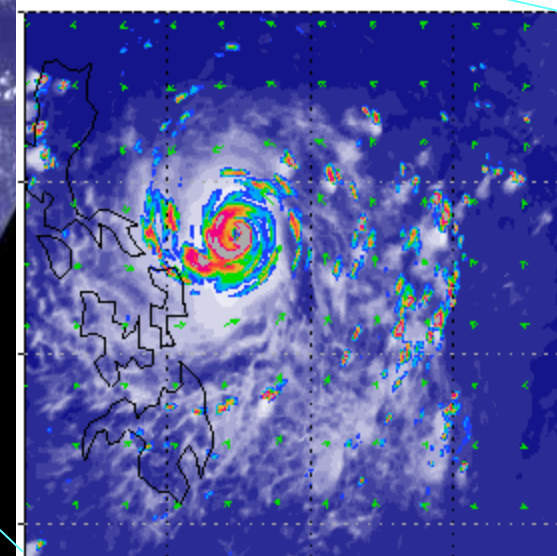
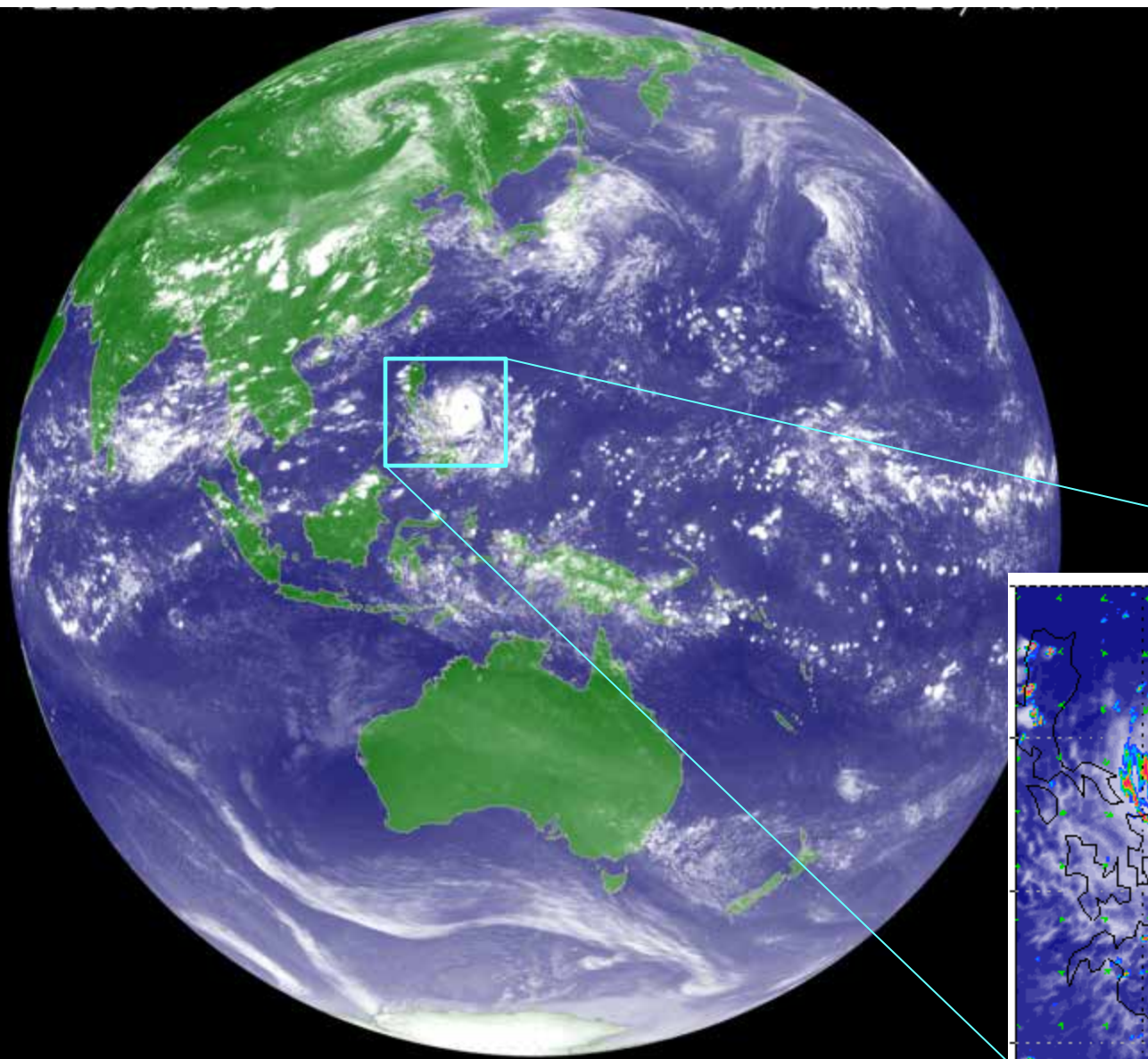
2012年8月25-26日  
台風15号(Bolaven)の多重目壁を再現

[Miyamoto, Y., Y. Kajikawa, R. Yoshida, T. Yamaura, H. Yashiro, and H. Tomita, 2013: Deep moist atmospheric convection in a subkilometer global simulation, Geophys. Res. Lett., 40, 4922-4926.](#)

# 衛星データによる全球雲解像モデルの検証

3.5km格子NICAM  
2008年6月20日  
12UTC

台風 Fengshen



# Joint-simulator

## (Joint Simulator for Satellite Sensors)

### 衛星シミュレータ

数値モデルの結果から衛星のシグナルを計算

観測からリトリーブされた物理量ではなく、シグナル値により観測とモデルを比較・検証

JAXA-NASA-名大で開発が進められる

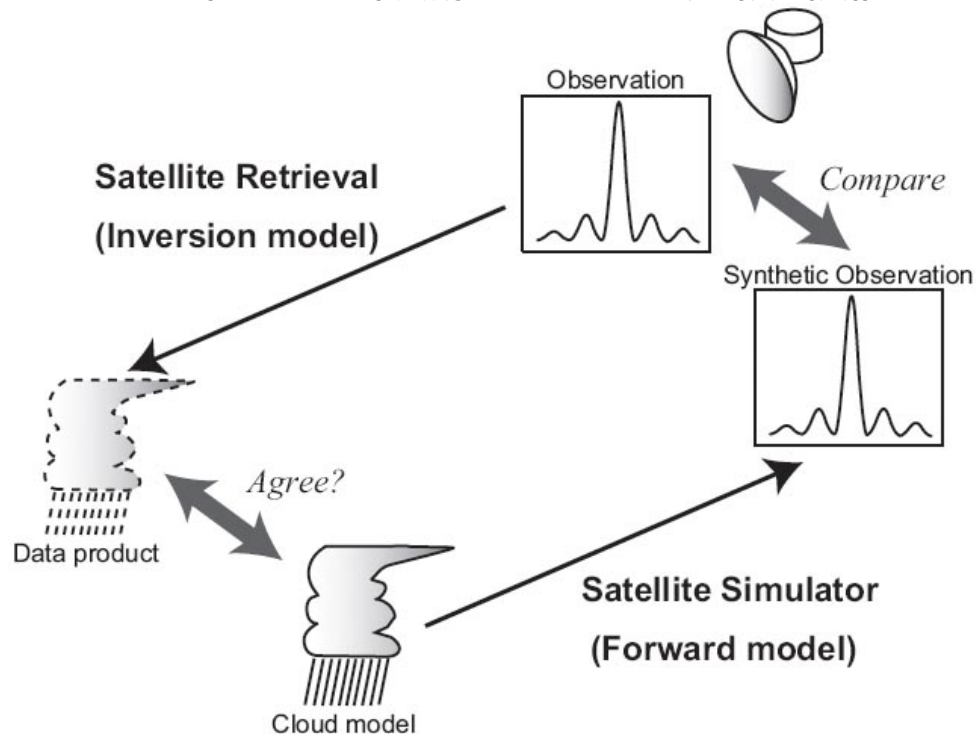
センサー間の整合性のとれたマルチセンサー衛星シミュレーター

EarthCARE (2018)衛星を念頭に開発

### 雲、エアロゾルの検証

フォワード計算によるシグナル値の比較により、直接的に不確定性を評価

例：雲粒、雨粒の効果を分けて評価可能



### アルゴリズム開発

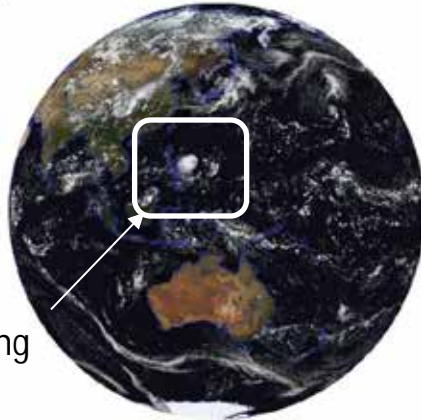
リトリバル、データ同化



# NICAMシミュレーションへのJoint-simulator の適用例

Hashino et al. (2013, *J. Geophys. Res.*)

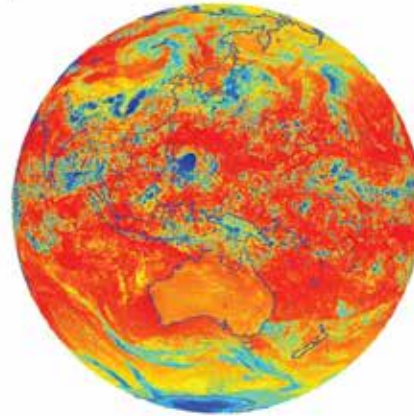
a) 可視 0.62  $\mu\text{m}$



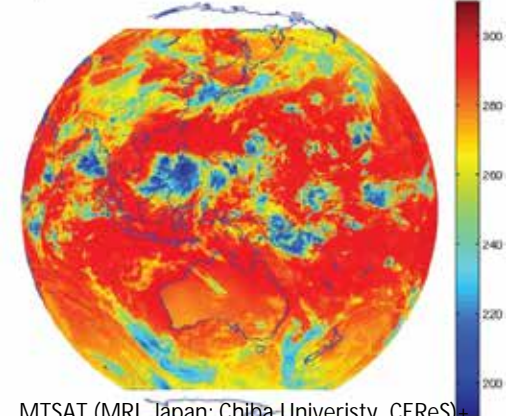
Background:  
Blue Marble:  
Next  
Generation,  
NASA

台風Fengsheng

b) 赤外 10.8  $\mu\text{m}$  TB [K]

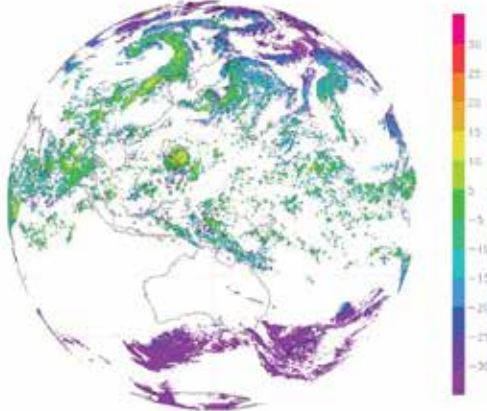


c) 赤外 (観測) 10.8  $\mu\text{m}$  TB [K]

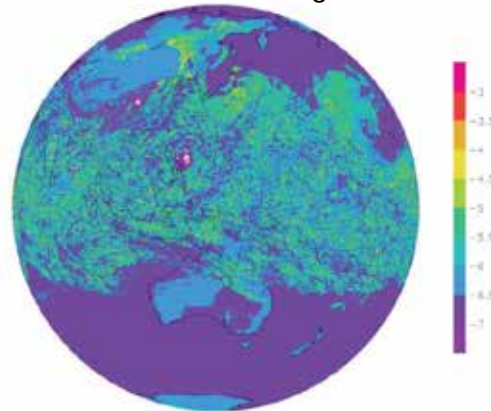


MTSAT (MRI, Japan; Chiba University, CERES)  
globally-merged IR (CPC, NOAA)

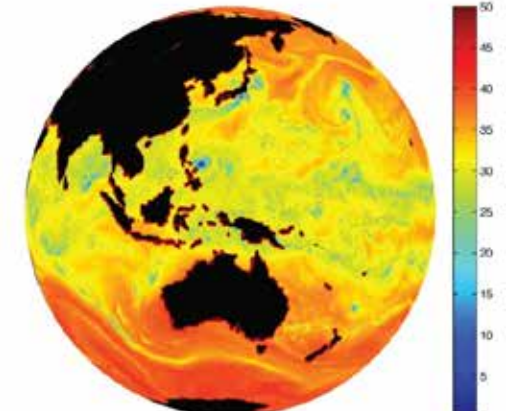
d) 雲レーダー (高度10km)  
94 GHz CPR [dBZ]



e) ライダー (高度14km)  
532 nm 反射因子Log10[1/m/str]



f) マイクロ波 Pol diff for 19GHz



IR  $T_b$

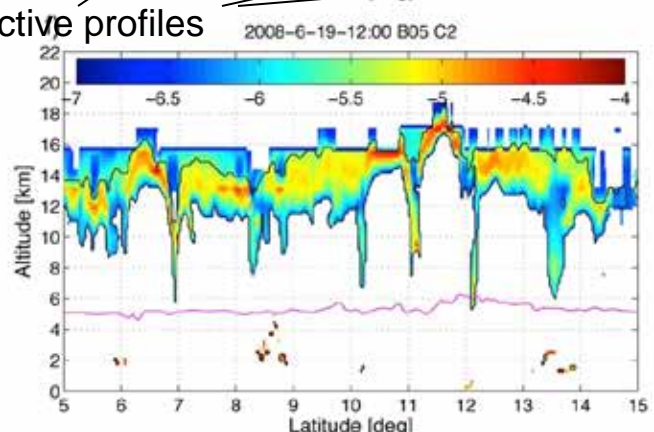
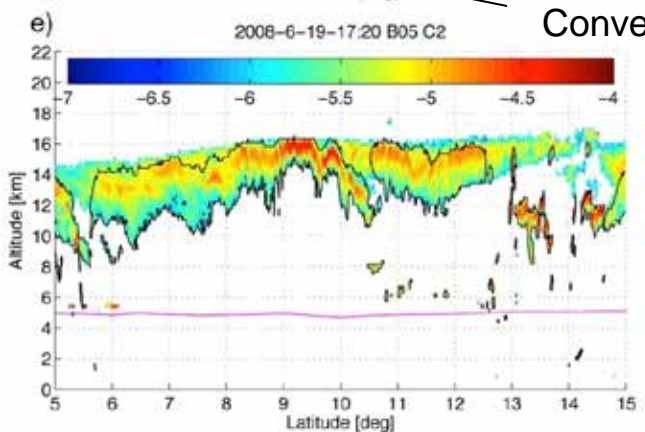
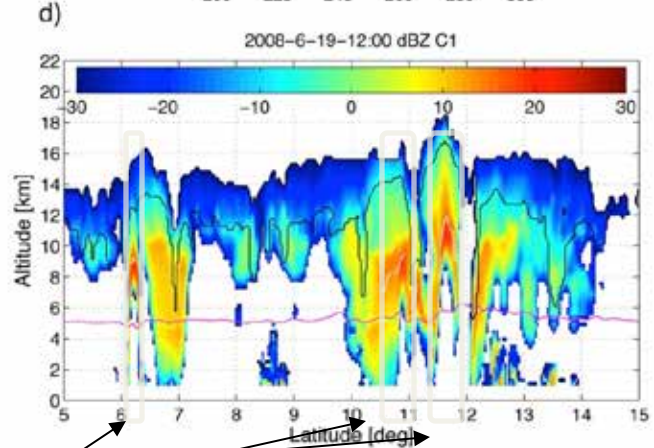
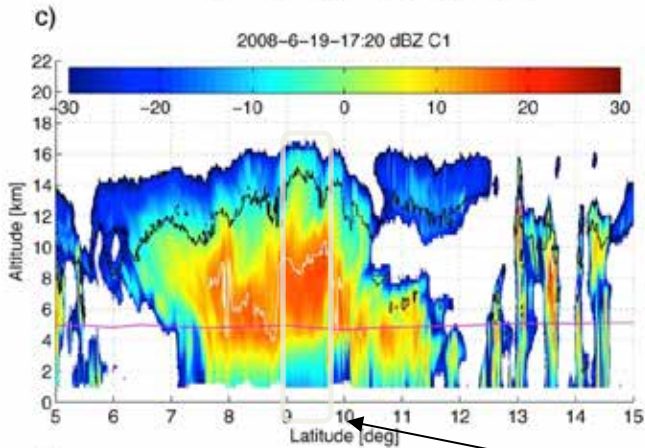
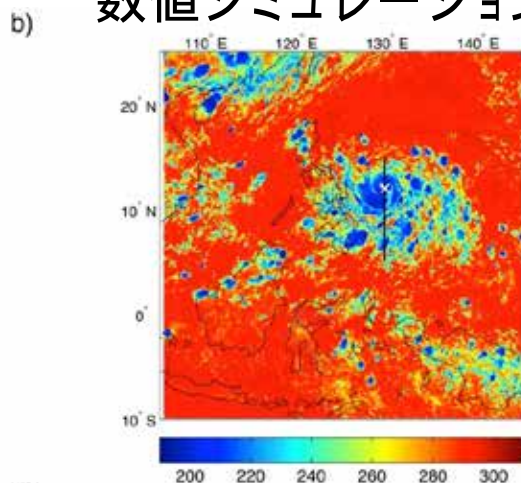
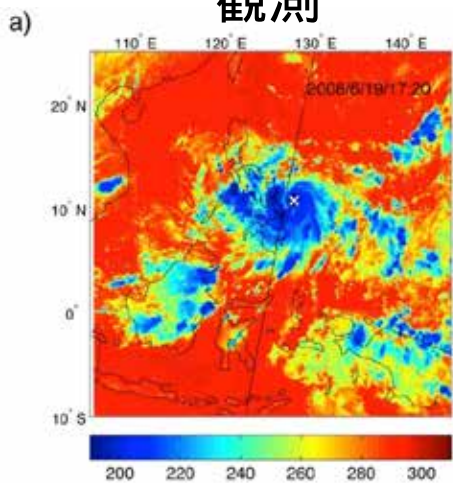
CloudSat 95 GHz

CALIPSO 532 nm

観測

数値シミュレーション

# 台風Fengshen の比較



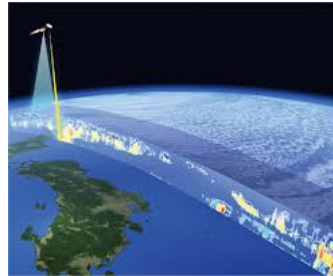
Convective profiles

- Overlap regions of C1 and C2 mask (black lines) extends up to ~4 km both in OBS and NICAM.
- The altitude of multiple scattering onset (white lines, Battaglia et al. 2011) and high  $b_{532}$  suggest the convective profiles.
- Simulation: a lack of radar reflectivity found in the convective cores where water contents are high.
- Both of OBS and NICAM show the dark band.

## (2) 観測ビッグデータを活用した高度な同化手法と全球規模の災害を伴うイベントの高精度発生予測

ブレークスルーの着目点: **これまで使われてない新たな衛星データを大量に活用**

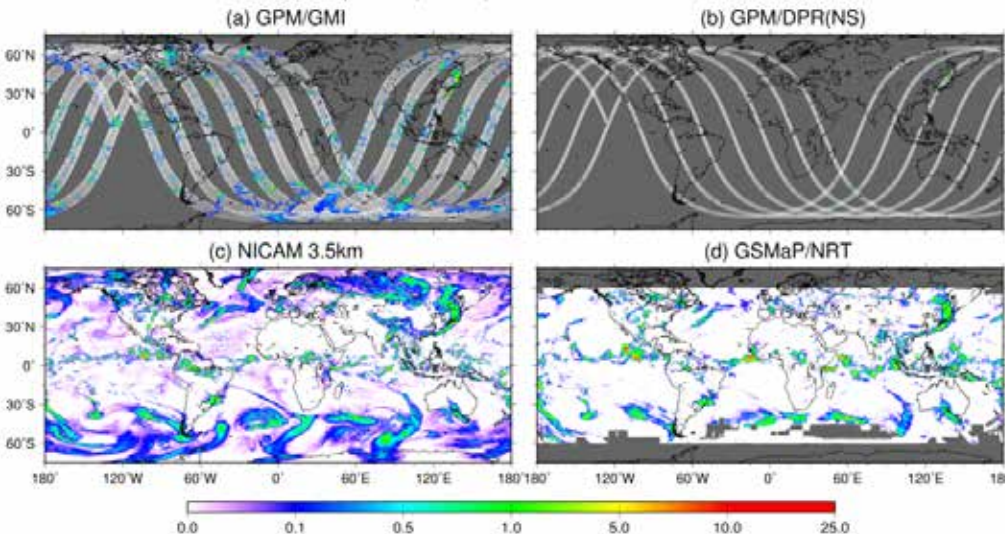
GPMやひまわり8・9号などの新しい高頻度・高分解能データが利用可能になっている。



GPM衛星による降水観測データ



ひまわり8・9号による高頻度観測データ



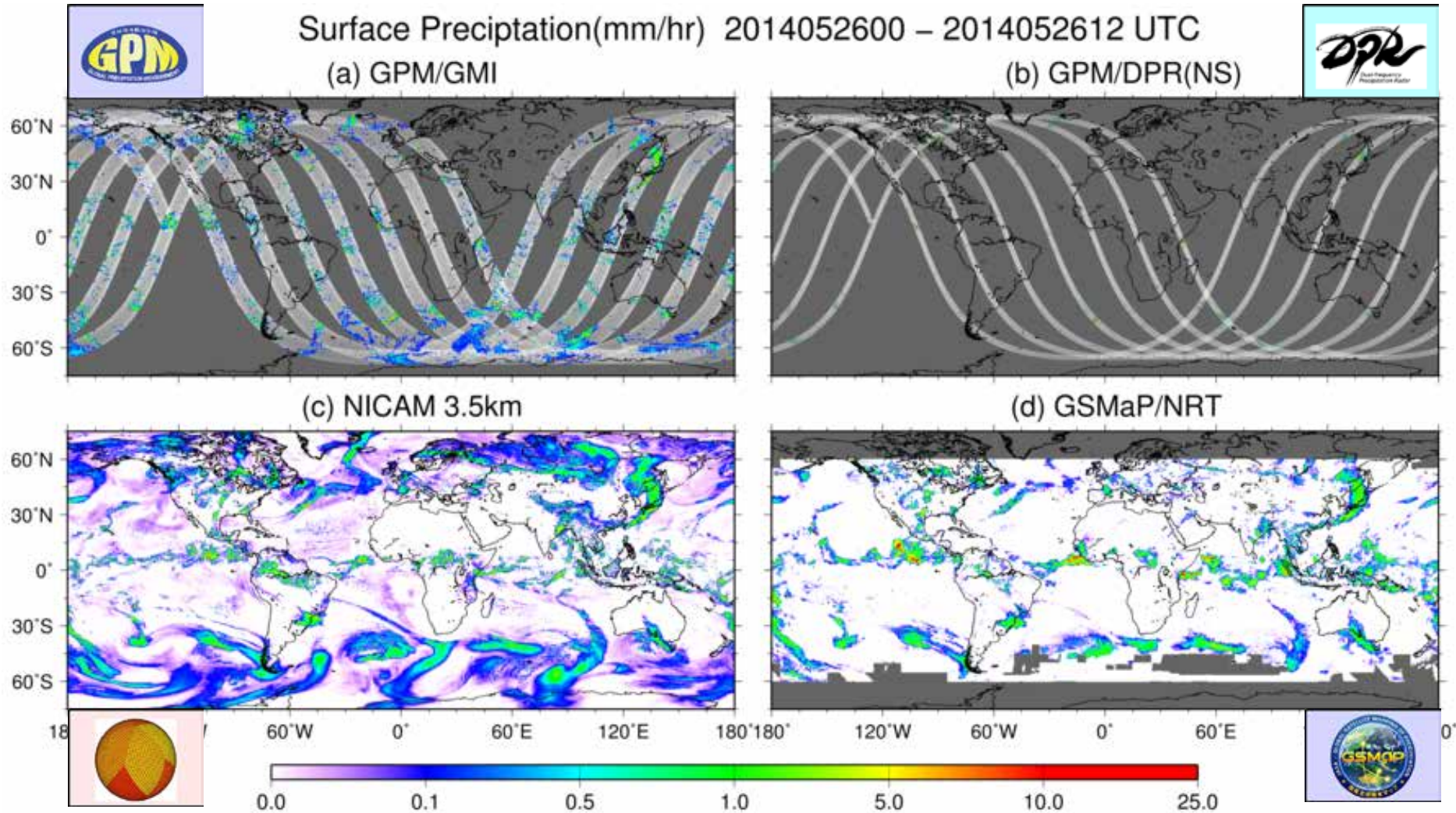
GPMの観測データのフットプリント(上段)と数値モデルの降水域(下段左)と観測された降水域(下段右)。

GPMなどのこれまでに使われていない高頻度・高分解能の衛星データを、高度なデータ同化手法によって活用し、詳細な全球予報を得る。これにより、

- ・台風などの災害を伴う現象の発生に関わる理解の増進
- ・予報技術の向上による人命と財産の保護に貢献する。得られた全球予報を(1)「防災情報に資するための高精度予測」に利用し、予報精度向上の可能性を検討する。

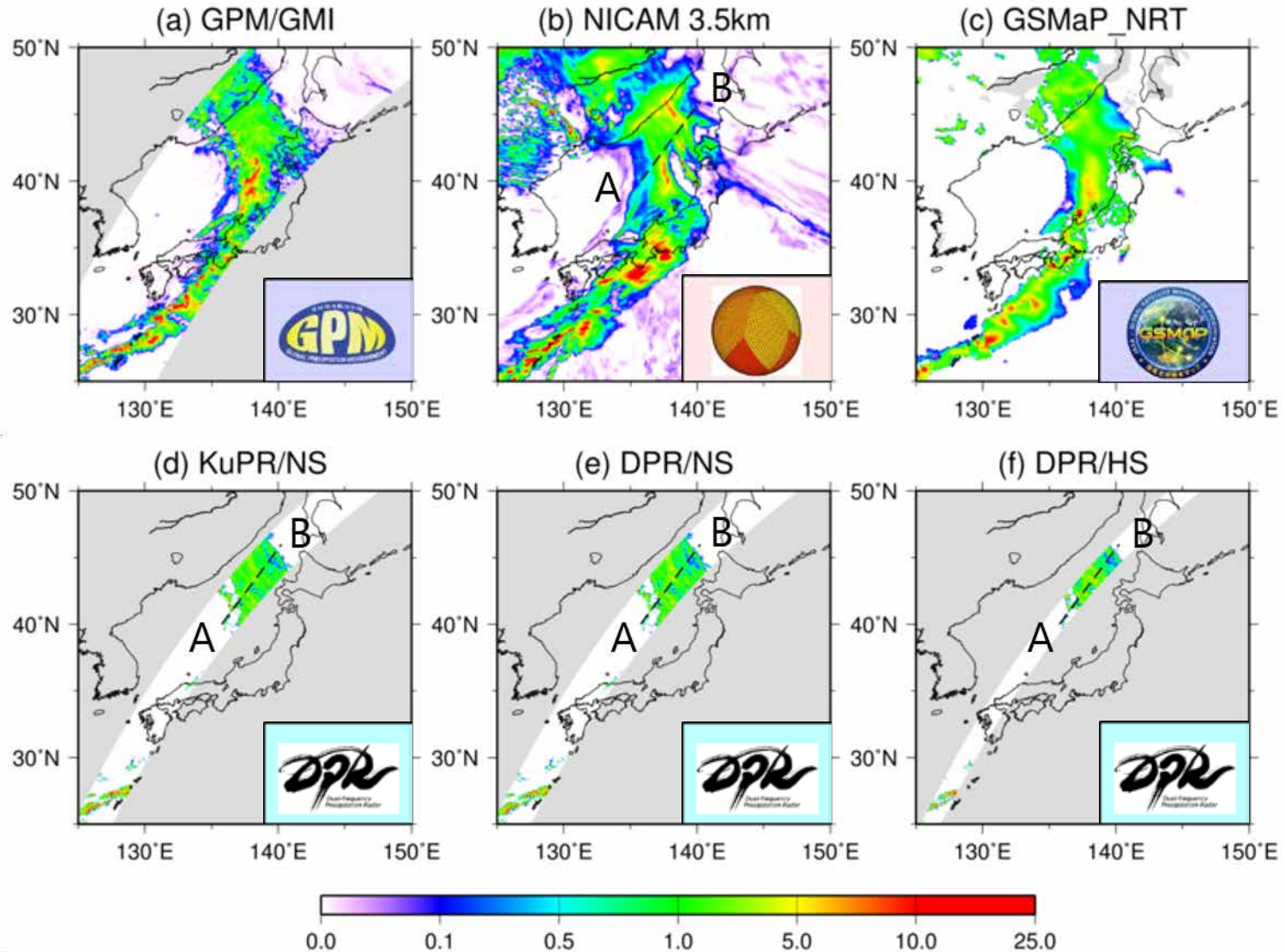
**これまで使われてない新しい衛星データの観測ビッグデータによって、  
全球規模の災害を伴うイベントの高精度な発生予測を達成・実現する。**

# 12-hour surface precipitation (mm h<sup>-1</sup>)



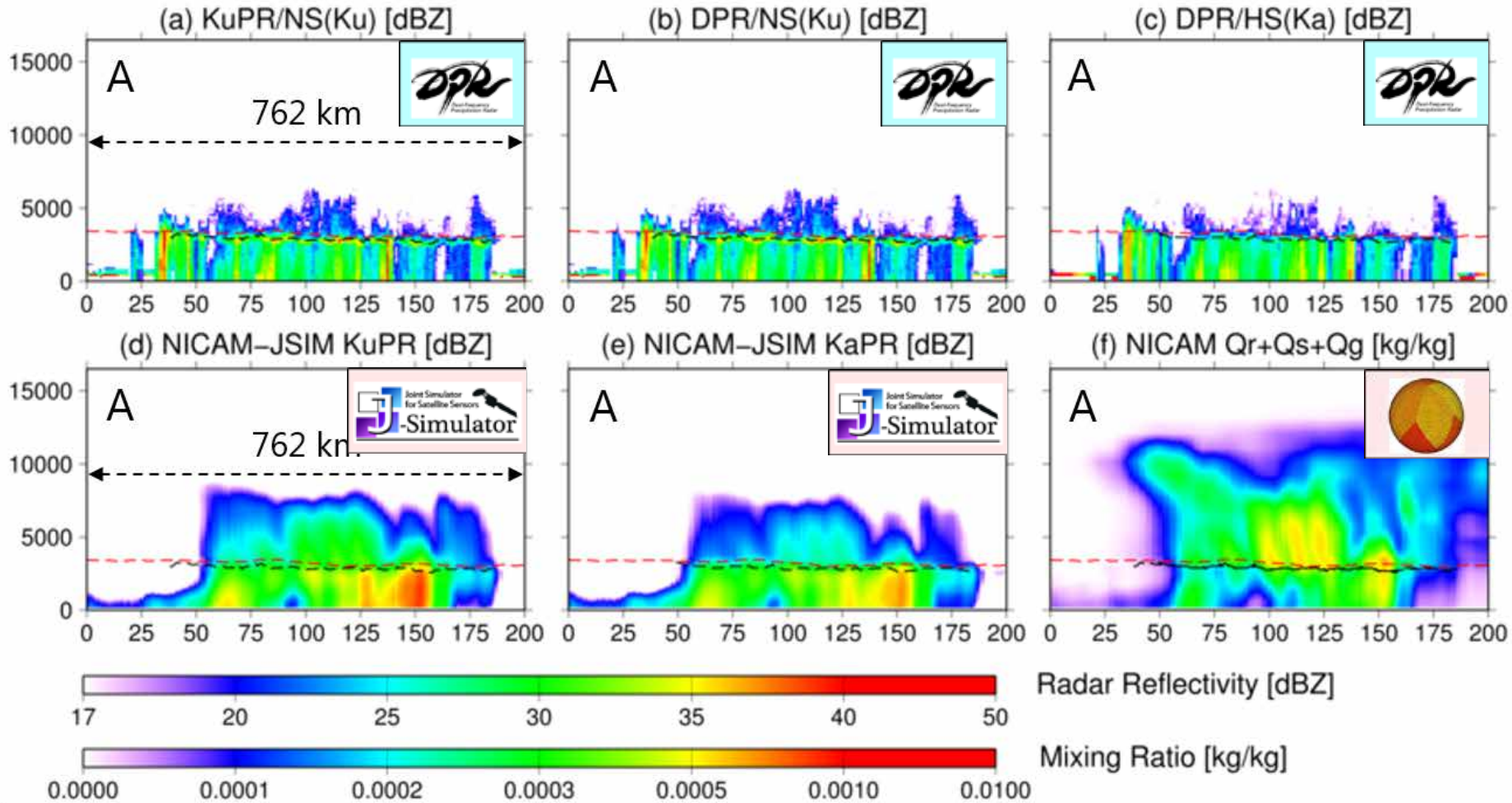
# Case 1: Surface Precipitation (Japan)

Surface Precipitation (mm/hr) 201405260800 UTC



# Case 1: Vertical Structure (Japan)

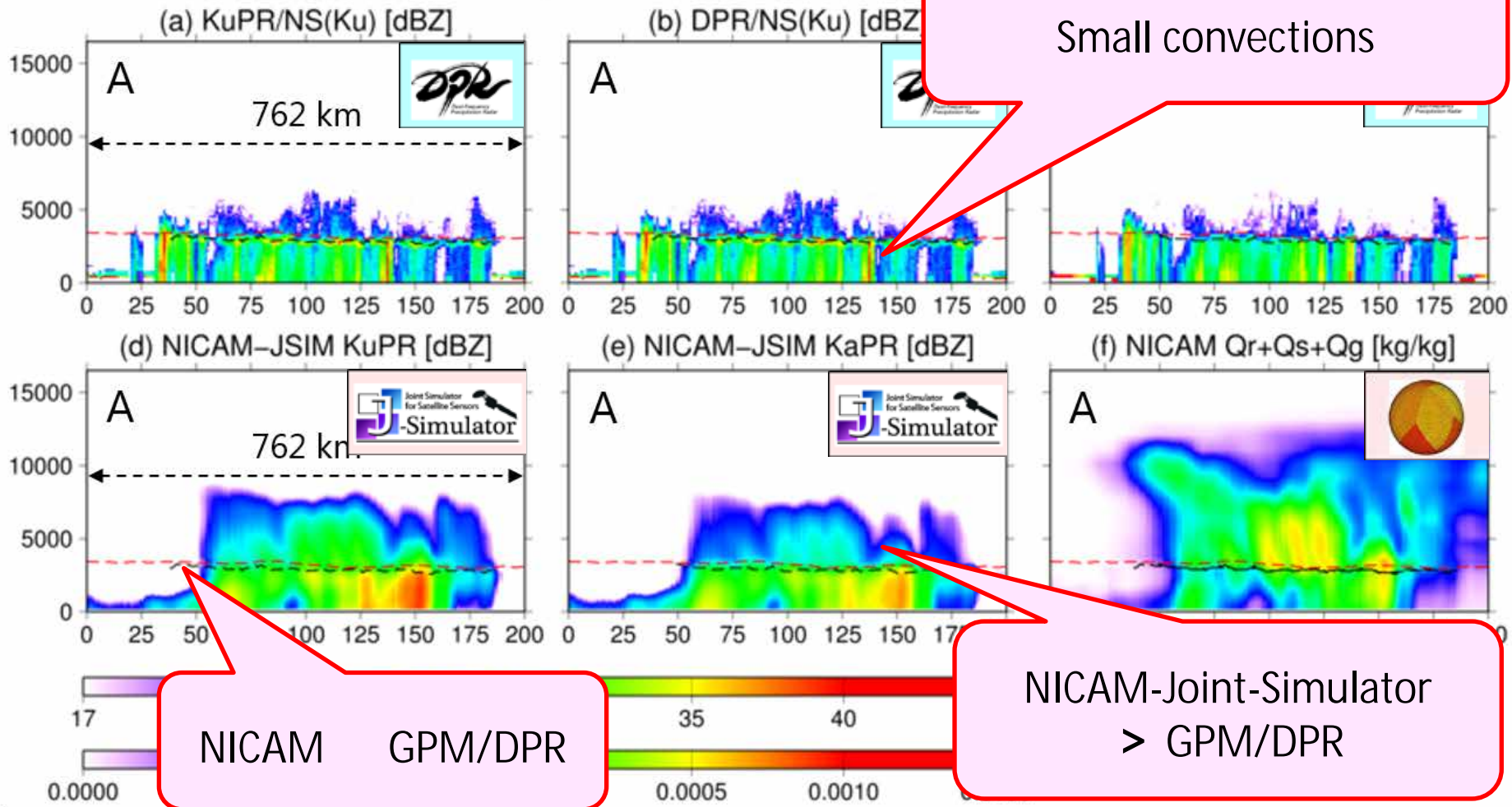
Vertical Section (Radar Reflectivity and Mixing Ratio) 2014052608 UTC



- - - : GPM/DPR bright band height (m), - - - : NICAM 0 height (m)

# Case 1: Vertical Structure (Japan)

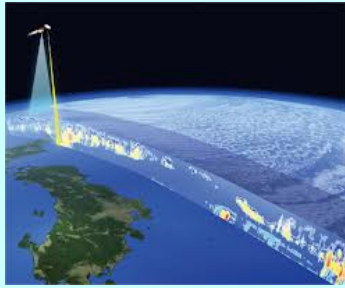
Vertical Section (Radar Reflectivity and Microphysics)



- - - : GPM/DPR bright band height (m), - - -: NICAM 0 height (m)

# 全球降水観測データ同化計画

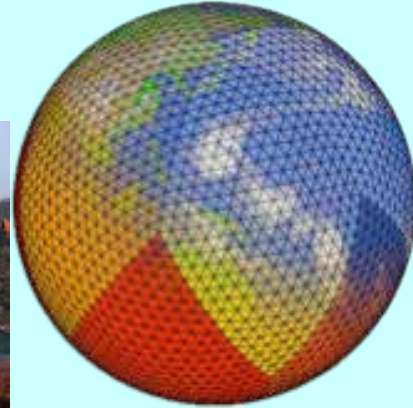
TRMM/GPM



LETKF



NICAM



Local Ensemble Transform Kalman Filter (*Hunt et al. 2007*)

- 詳細な降水過程を含む全球モデルNICAMに、実用的なアンサンブルデータ同化手法LETKFを適用し、衛星による降水観測データを有効に活用するデータ同化手法を確立
- NICAM-LETKFによって解析される全球降水分布は、これまでのGSMaPとは異なる方法で推定された新たな全球降水マップとして期待



# 降雨プロダクト GSMaP



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

## 次世代 GSMaP

n 数値モデルによる同化を利用

NICAMによる降水同化  $dx < 10\text{km}$

n 多様な衛星データの利用

Joint-Simulator

n 雲・雪・降水粒子の4次元場解析

# Some first results

Time: 2011 11/01 06UTC

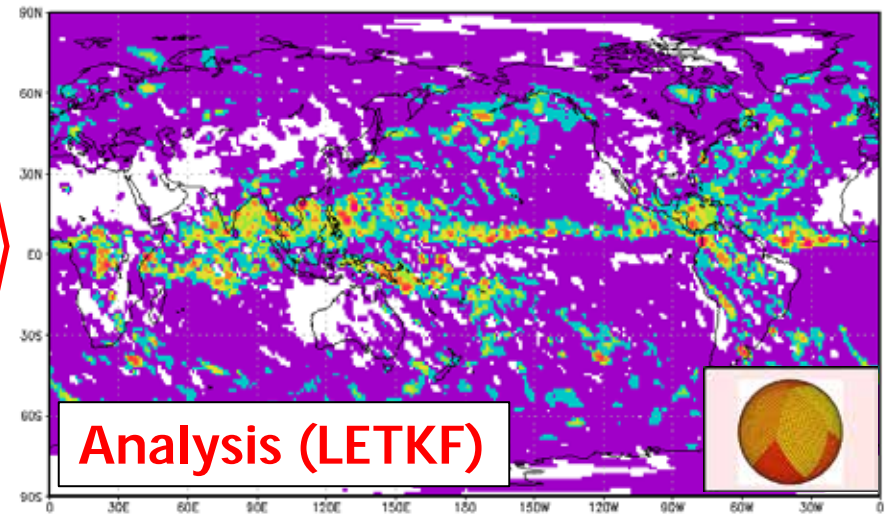
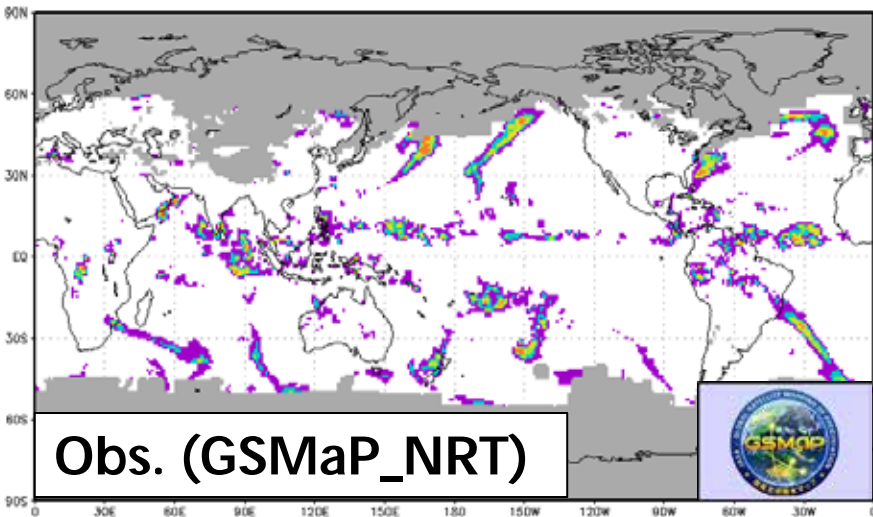
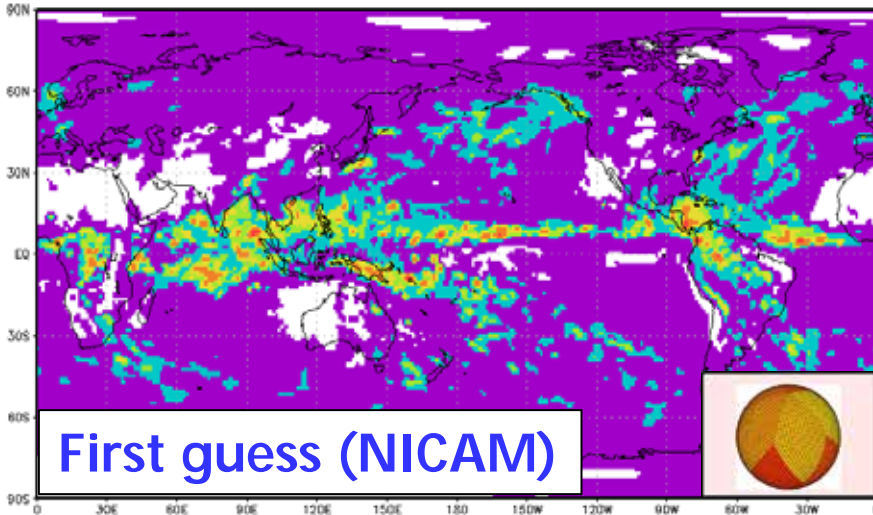
6-hourly precipitation (mm/6hr)

First guess (NICAM)

Obs. (GSMaP\_NRT)

Analysis (LETKF)

After the first assimilation step



# まとめ

- NICAMによる全球雲解像計算
  - 雲微物理を考慮したkmスケールの全球計算
  - 地球シミュレータ、京、東大等で比較的容易に計算できるようになってきた
- 衛星観測データによる数値モデルの検証
  - 多用な衛星データの利用
  - 衛星シミュレータ Joint-simulator によるシグナル値による検証
- 今後のTRMM, GPMの利用について
  - 降雨データの同化
  - NICAM-LETKFによる雲・雪・降水の4次元プロダクト
    - 衛星シミュレータと高解像度全球非静力モデルによる雲・雪・降水の同化
    - “Level 4” の時代 = retrieval が不要