

熱帯降雨観測衛星(TRMM) の運用終了について

平成27年1月16日

宇宙航空研究開発機構

理事 山本 静夫

地球観測研究センター

研究領域リーダー 沖 理子

はじめに

- 熱帯降雨観測衛星 (TRMM) は、NASA 開発の衛星に JAXA (当時 NASDA) が情報通信研究機構 (NICT) の協力を得て開発した降雨レーダ (PR) を搭載し、1997 年 11 月に H-II ロケットにより種子島宇宙センターから打上げられた。
- その後、観測運用を 17 年間に渡り継続し、気象／気候及び水循環分野の研究並びに実利用において多大な成果をあげてきた。
- 今般、軌道維持用燃料も残り少なくなり、軌道高度維持が困難となったことに伴い、衛星運用を終了することについて部会の上承を得たい。
- なお、TRMM プロジェクトの事後評価としては、定常運用段階を終了した平成 13 年 3 月に社内審査会を行い、所期のミッション目標を達成したことを確認するとともに、その結果を宇宙開発委員会 (H13 年 4 月開催) に報告した。
- 本日の説明内容は下記の通り。

1. 熱帯降雨観測衛星 (TRMM) の概要
2. TRMM 17 年間の主な成果について
3. TRMM 運用状況と今後の計画
4. まとめ

1. 熱帯降雨観測衛星 (TRMM) の概要

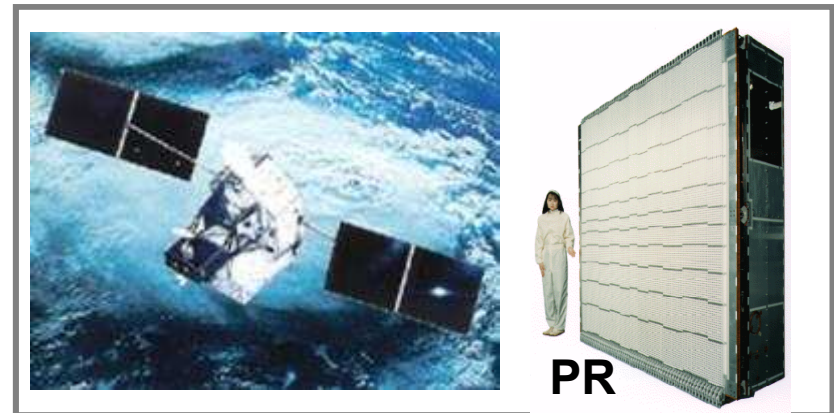
(1) TRMMのミッション

- 全地球上の降雨の2/3以上を占める熱帯・亜熱帯地方の降雨は大気大循環の駆動源であり、その観測を行い、全球水・エネルギー循環のメカニズムに関する知見を深め、気候変動予測の向上や、エルニーニョ現象に関連する異常気象の解明等に役立てることを目的とした。

(2) 衛星の特徴

- 日米共同ミッションで、降雨の観測に特化。降雨推定が可能な3種のセンサ(降雨レーダ、マイクロ波放射計、可視赤外センサ)を世界で初めて同時搭載し、定量的な観測を実施。
- JAXAが情報通信研究機構(NICT)の協力を得て、世界初の衛星搭載降雨レーダ(PR。以下、「PRとする」)を開発、打上げを担当、NASAが衛星とTMI他 4 センサの開発、運用を担当。
- 熱帯・亜熱帯地方を対象とし、軌道傾斜角35度の軌道を選択。降雨の日周変化を観測。

- (3) PRは、17年間にわたり128系統の送受信系を含む全ての部品が正常に動作し、高品質な三次元降雨観測データの安定した取得を達成。



打上げ	平成9年11月28日(日本時間)
軌道高度	約350km(H13年にミッション延長のため、402kmの高度に変更)
軌道傾斜角	約35度 太陽非同期軌道
設計寿命	3年2ヶ月
観測機器	降雨レーダ(PR) TRMM マイクロ波観測装置(TMI) 可視赤外観測装置(VIRS) 雲及び地球放射エネルギー観測装置(CERES) 雷観測装置(LIS)

2. TRMM17年間の主な成果(技術的・科学的意義)

(1) 衛星による降水立体構造データの取得(世界初)とその長期観測(17年間)

- 高精度・高品質なデータ取得⇒降水システム・気候学の進展に寄与
 - これまで陸上の限られた地点データでしか捉えられなかった降雨の日周変化・季節変化を初めて広域かつ面的に定量化。
 - 時空間分解能の向上(250km、月平均) ⇒ (10km、1時間)。
 - 降水推定誤差の低減(100%⇒10~20%)

(2) 長期観測により利用が拡大(実利用分野での活用)

- TRMMデータを数値天気予報に取り入れることで、予報精度の向上に貢献
→ ハリケーン進路予測の改善
- 防災への応用として、洪水・地すべり等の予警報システムへの入力データとしての活用(全球降水マップ)

(3) 降水システム・気候学の進展(例)

- これまで不明だった梅雨前線の南北降水構造の違いに関する新たな知見。
- エルニーニョ・ラニーニャ現象のメカニズムに関する新たな知見(終焉メカニズム)
- 潜熱加熱率の算出により、気候モデルの改善



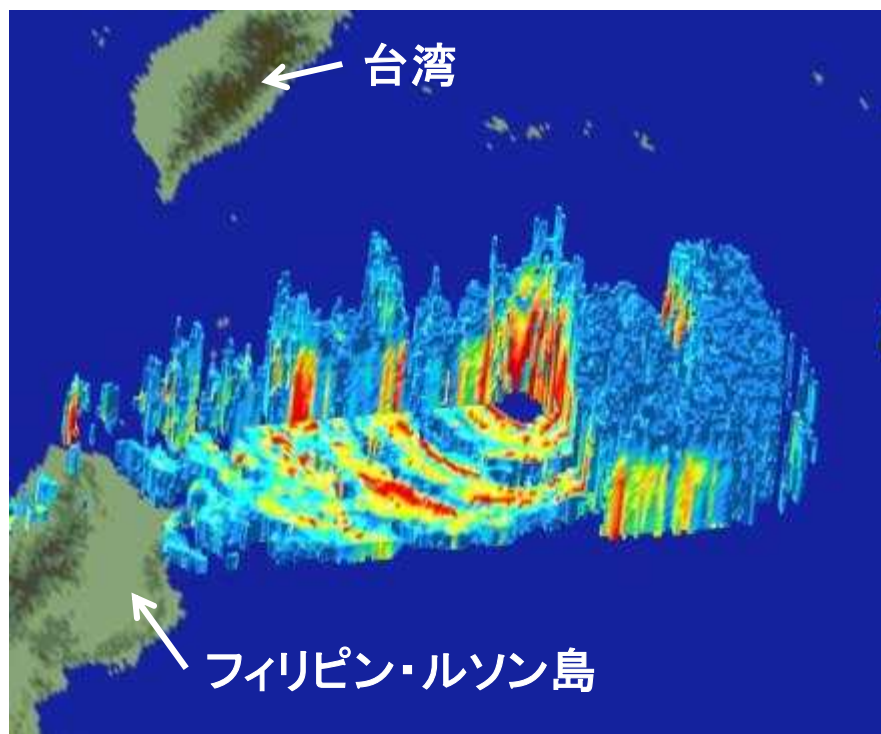
長期観測で、当初目的を上回る科学成果が得られ、気候モデルの検証に貴重な観測データが得られた。長期継続データの見込みが得られたことにより、現業システムでの利用が進み、後期利用段階の14年間で定着した。

以下では、TRMMの**主に後期運用段階(2001年1月~)の成果**を示す。

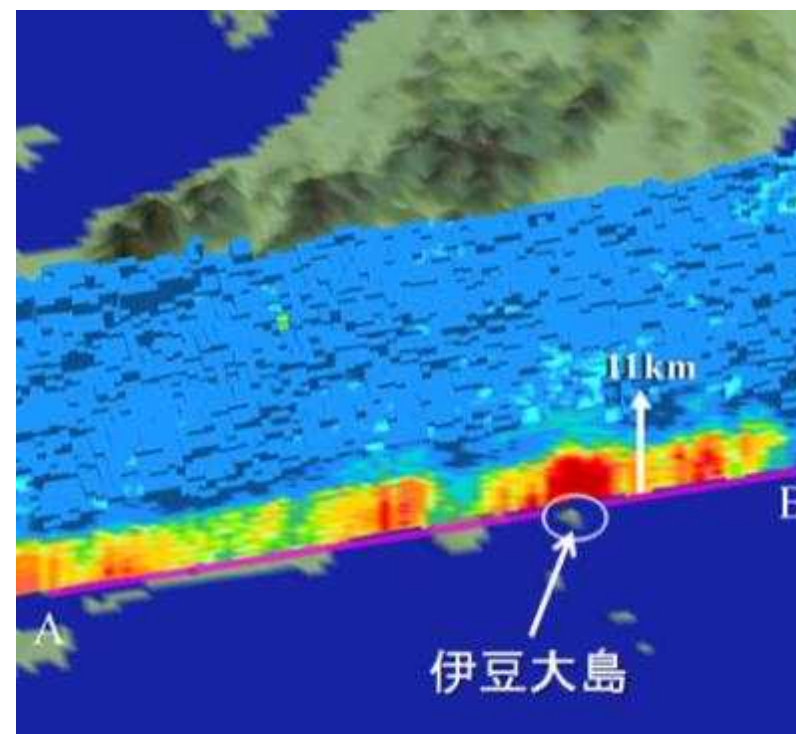
2.1 PRによる3次元の降雨観測

1997年～

3次元の降雨観測はPRが世界初
後期運用期間中も様々な気象現象の把握に貢献



2007年10月5日の午前10時(日本時間)頃にPRが観測した大型の台風15号「クローサ」による雨の分布の立体構造。この後、台湾と中国に上陸し、被害をもたらした。

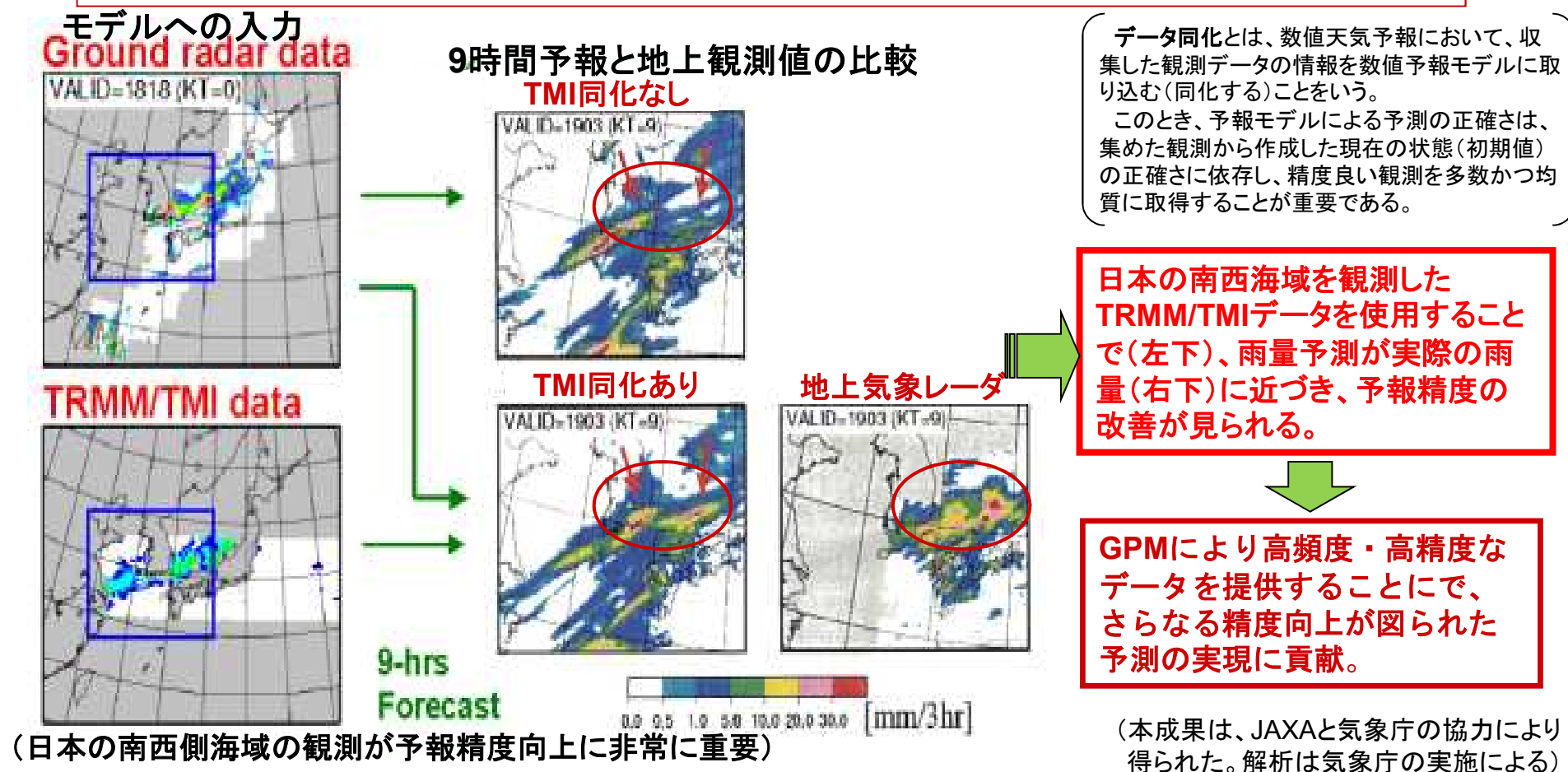


2013年10月16日の午前1時(日本時間)頃にPRが観測した台風26号に伴って発生した雨の分布の立体構造。このとき、伊豆大島で豪雨が発生し、大きな被害が出た。

2.2 実利用への貢献

(TRMMデータ同化による降水予報精度の向上) 2003年～

TRMMデータの入力により、降水予報の精度が格段に改善



雨量の予測精度向上により、豪雨水害等による生命・財産・生活に係る被害の軽減への貢献が可能。
TRMM/TMIは、気象庁におけるマイクロ波放射計利用の先駆であり、メソモデルでは、2003年にTMI及びSSM/I(AMSR-Eは2004年～)の現業利用、全球モデルでは2006年に現業利用が開始している。

2.2 実利用への貢献(世界の雨分布速報 **GSMaP**) 2008年～

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

TRMM/PRの後期利用データの安定提供がベースとなり実現



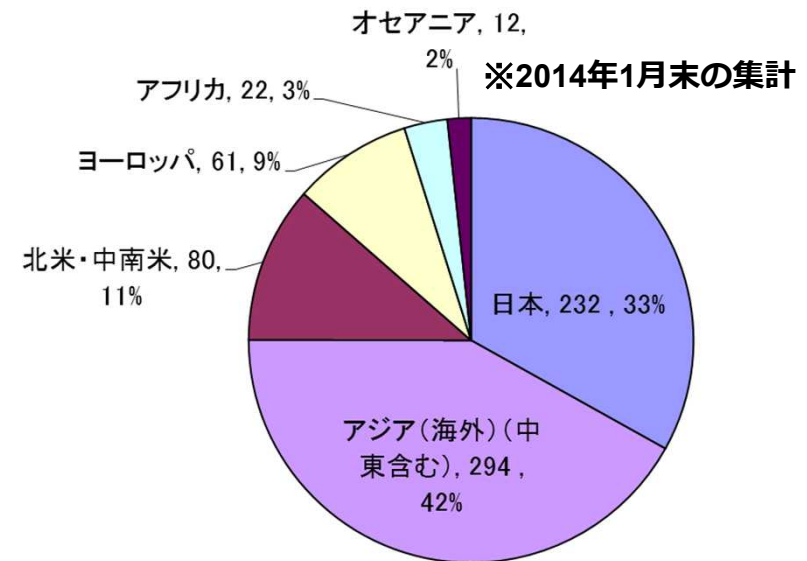
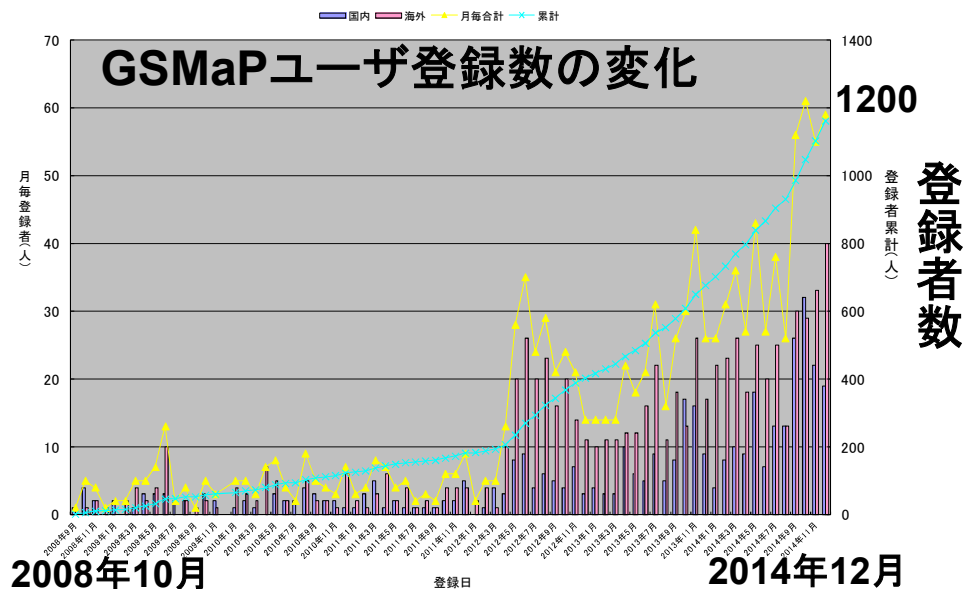
Rain 0.1 0.5 1.0 2.0 3.0 5.0 10.0 15.0 20.0 25.0 30.0 [mm/hr]

TRMMを中心に、複数のマイクロ波放射計・静止気象衛星IR情報を複合した、「**世界の雨分布速報**」(**GSMaP**)を開発・公開中。**1時間**平均、**0.1度**格子で、観測から**約4時間**後に提供。

- ・ 全球ブラウザ画像、Google Map上での領域表示、Google Earth用KMZファイル、動画などを簡易に利用可能。
- ・ 研究者向けに、テキスト及びバイナリのデータも提供。
- ・ 洪水予測、気象サービスや作物予測等の実利用分野での利用実証が進んでいる。

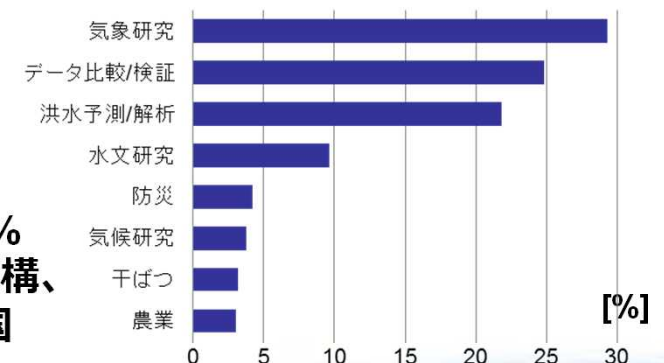
2.2 実利用への貢献（GSMaPユーザの広がり） 2008年～

GSMaPの一般公開を開始後、特にこの数年間で利用者が急増



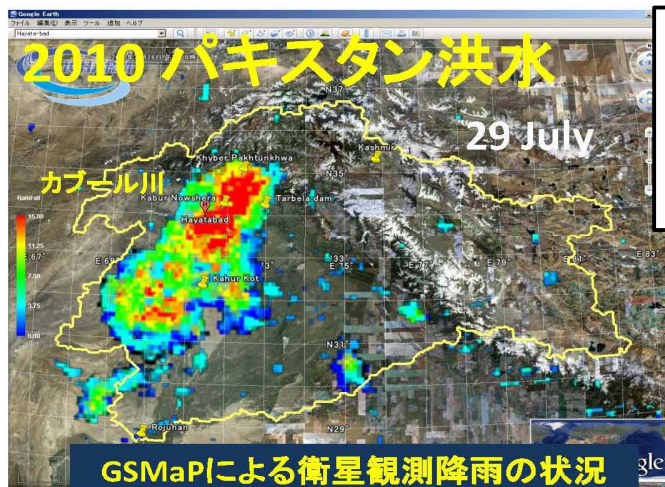
- GSNaPを公開した2008年10月以降、ユーザが増え続けている（TRMMが後期運用期間に観測し続けた効果）
- 2014年12月末で登録者数約1200人
- 海外からの利用も多い（全体の約70%）
- 利用目的では「気象」「気候」分野が約30%
- 「洪水」「干ばつ」「防災」等、水関連の災害分野の利用も約30%
- 土木研究所水災害・リスクマネジメント国際センター、水資源機構、ユネスコ、JICA、フィリピン気象庁、損保ジャパン・RESTEC等国内外の機関で利用されている。

利用分野別割合

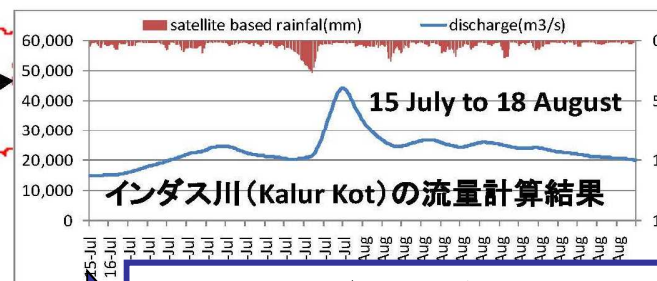
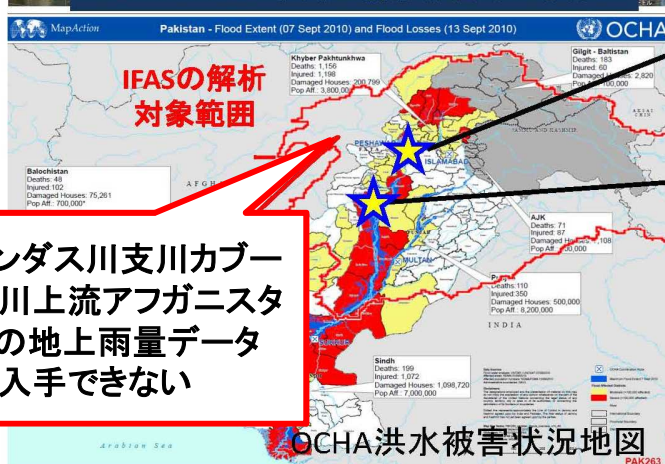
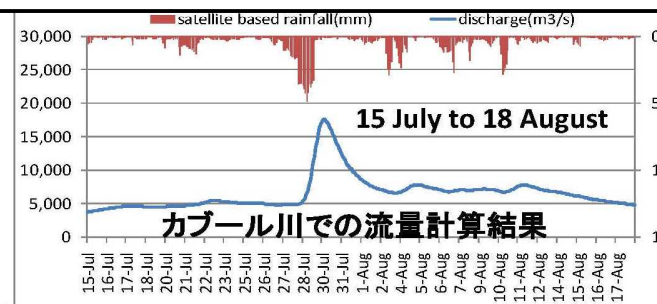


2.2 実利用への貢献(洪水警報への利用事例(パキスタン)) 2012年～

ユネスコとの共同プロジェクトで、洪水警報システムの入力となる降雨量データにGSMPを利用



「パキスタンにおける洪水警報と管理能力の戦略的強化プロジェクト」(ユネスコ2012-2014年度)において、2014年6月までにインダス-IFASシステムを導入。現在、**運用中**。



地上雨量データが入手できない場合でも、**衛星観測雨量を活用して洪水予測が可能。**

2.3 TRMMに関連するその他の成果

(1) TRMMに関連する学術論文の出版数は左上図のとおり。
主な例(詳細は参考資料参照):

- ①観測データ蓄積によりはじめて高解像度の信頼性ある降水分布データを取得
- ②「高い雨が強い雨をもたらす」という従来の常識を覆す知見を獲得
- ③梅雨前線の南北降水構造に関する新たな知見

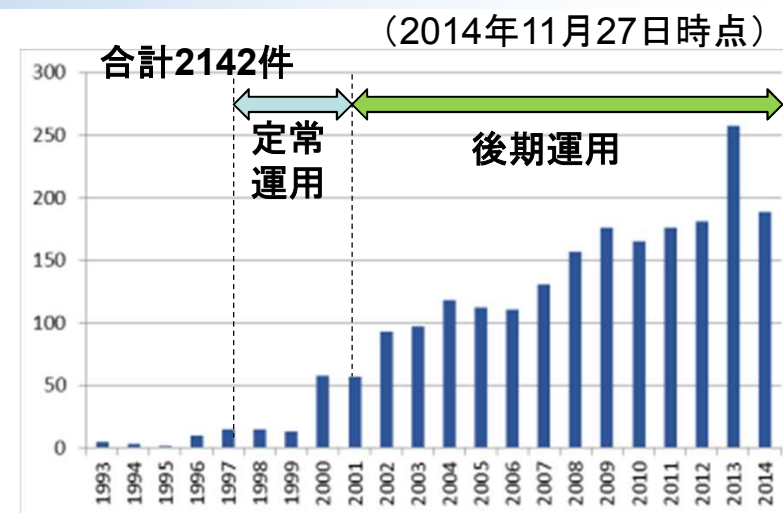
(2) Web of Science(トムソンロイター)に登録されているTRMM関連論文1942件(2014年3月17日現在)について、被引用数は2万件以上であり、h指数(*)は73。

(3)「気候変動に関する政府間パネル(IPCC)」第5次評価報告書(IPCC AR5)では、数値気候モデルを使って将来の気候変動を予測しているが、モデルの検証用としてTRMMによる降水観測データが使用された(左下図)。

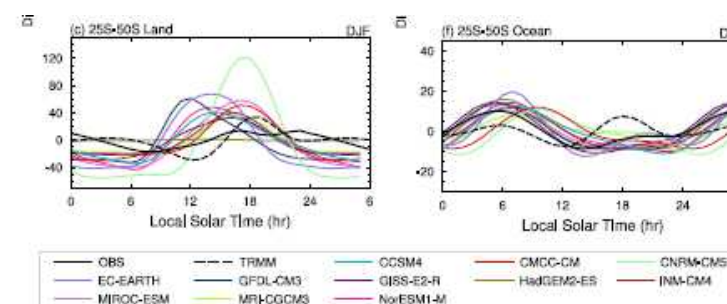
(4) 文部科学大臣表彰、郵政大臣表彰等外部表彰の受賞

(5) その他、情報発信

- プレスリリース及び記事掲載 18件(掲載23誌)
- TV報道 13回
- 学会誌における特集号発行 5回



TRMMの年代別論文数
(Web of Science 2014/11/27検索)



IPCC第5次評価報告書(IPCC AR5)における
TRMMデータの利用

※h指数:トピックや著者等の論文の被引用に関する指標。少なくともx回以上引用された論文がx本あるということ。たとえば、同様の調査では「はやぶさ」のh指数は21である。

2.4 外部機関による評価

(1) NASA

- 後期運用中の地球観測ミッションについて、その科学・社会的価値を評価し、ミッション継続の是非を判断するSenior Reviewを、2年に一度実施している。
- 最新レビューは2013年に13のミッションに対して実施されており、TRMM衛星は、科学評価(5点満点の5点)と利用評価(3段階の最高ランクVery High)の両方で最高評価であり、両者をあわせると、13ミッション中で最も評価が高かった。
(例えば、Aqua衛星とTerra衛星は科学評価が4.9点、利用評価がVery High、QuikSCATは科学評価が5点、利用評価がHigh)

(2) 世界気象機関(WMO)

- 平成24年9月に発行された、WMO統合全球観測システム(WIGOS)の実施計画にて、重要な宇宙からの観測システムのひとつとして、降雨レーダとマイクロ波放射計の同時降水観測が挙げられており、TRMMで実現した太陽非同期の降雨レーダ観測をGPMおよびその後継ミッションで継続することがCGMS主導のアクションとして設定された。

(3) 全球地球観測システム(GEOSS)

- 平成26年3月に発行された、GEOSS Water Strategy Reportにて、重要度の高い水循環変数のひとつとして「降水量」が挙げられている。さらに、最も精度の高い降水観測センサとして、TRMM衛星のPRと後継のDPRが挙げられており、衛星搭載降水レーダの定常的運用、および、さらに進化した次世代レーダの開発が推奨された。

3. TRMMの運用状況と今後の計画

- 衛星を運用しているNASAは、衛星に搭載されている燃料の残量から、2014年7月18日をもって軌道維持マヌーバの実施を終了するとの判断。(残燃料はデブリ回避マヌーバ用として使用予定。)
- 以来、衛星は徐々に高度を下げ、10月5日に、降雨レーダ(PR)の観測範囲の下限である392.5kmに達したため降雨レーダの後期運用を終了した。(これ以降、PRは実験観測に移行)
- 現在のTRMMの高度は約363km。
- TRMM衛星は、軌道高度335kmに到達した時点(4月上旬予定)で衛星運用を終了することとしたい。(NASA/JAXA)
- 3月下旬 NASA/HQ主催のミッション終了審査予定(JAXAも参加)
- 衛星運用終了後、NASA/JAXA共同でTRMM運用終了を公表予定

4. まとめ

- 熱帯降雨観測衛星 (TRMM) は、設計寿命を大幅に超えて17年間に渡り観測を継続し、気象／気候及び水循環分野の研究並びに実利用において多大な成果をあげてきた。
- TRMMについては、軌道高度維持用燃料の枯渇に伴い、高度335kmに達した時点で衛星運用を終了したい。
- なお、TRMMの後継機にあたるGPMが既に運用中(2014年2月打上げ)であり、TRMMの成果を引き継ぎ、気象／気候及び水循環の分野で重要な観測データを蓄積しつつある。降水レーダを基としたこれらのデータは世界唯一であり、日本が強みを発揮する分野であることから、継続的な観測によって新たな成果創出に努めたい。

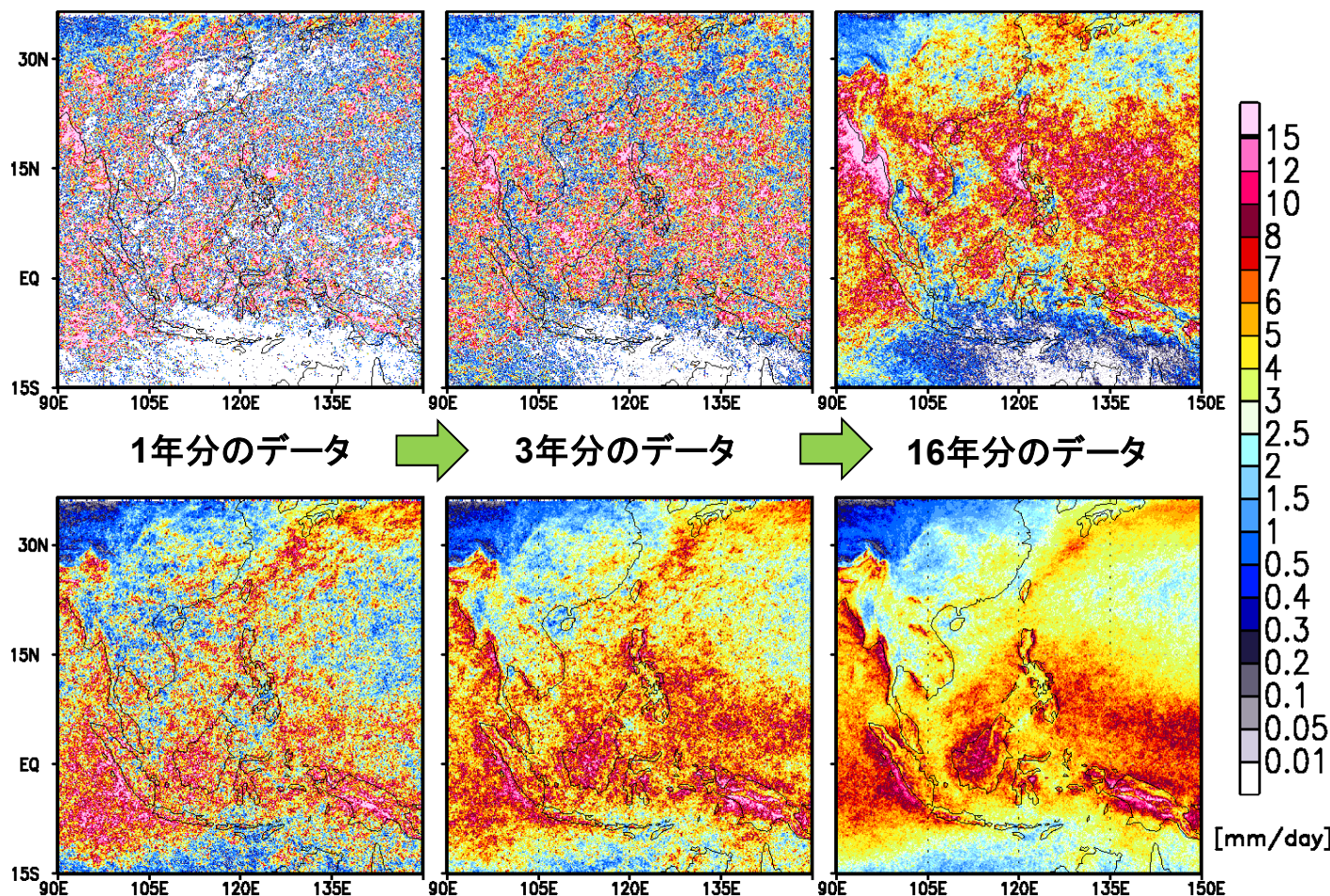
(参考)

(参考)降水システム・気候学への貢献

2014年

観測データ蓄積によりはじめて高解像度の信頼性ある降水分布データを取得

長年のデータ蓄積により、地域別の降雨分布の詳細を解明



当初目標は、

- ・3年の観測データで
- ・5度格子
- ・500km分解能

の降雨分布を得ること



長期運用の結果、

- ・17年間のデータ蓄積で
- ・0.1度格子
- ・10km分解能

の高分解能な降水分布図がはじめて作成可能になった。
空間的欠測もなく、地形に固定された降雨分布が明瞭である。

蓄積年数別の8月平均(上)および年平均(下)の降水分布。

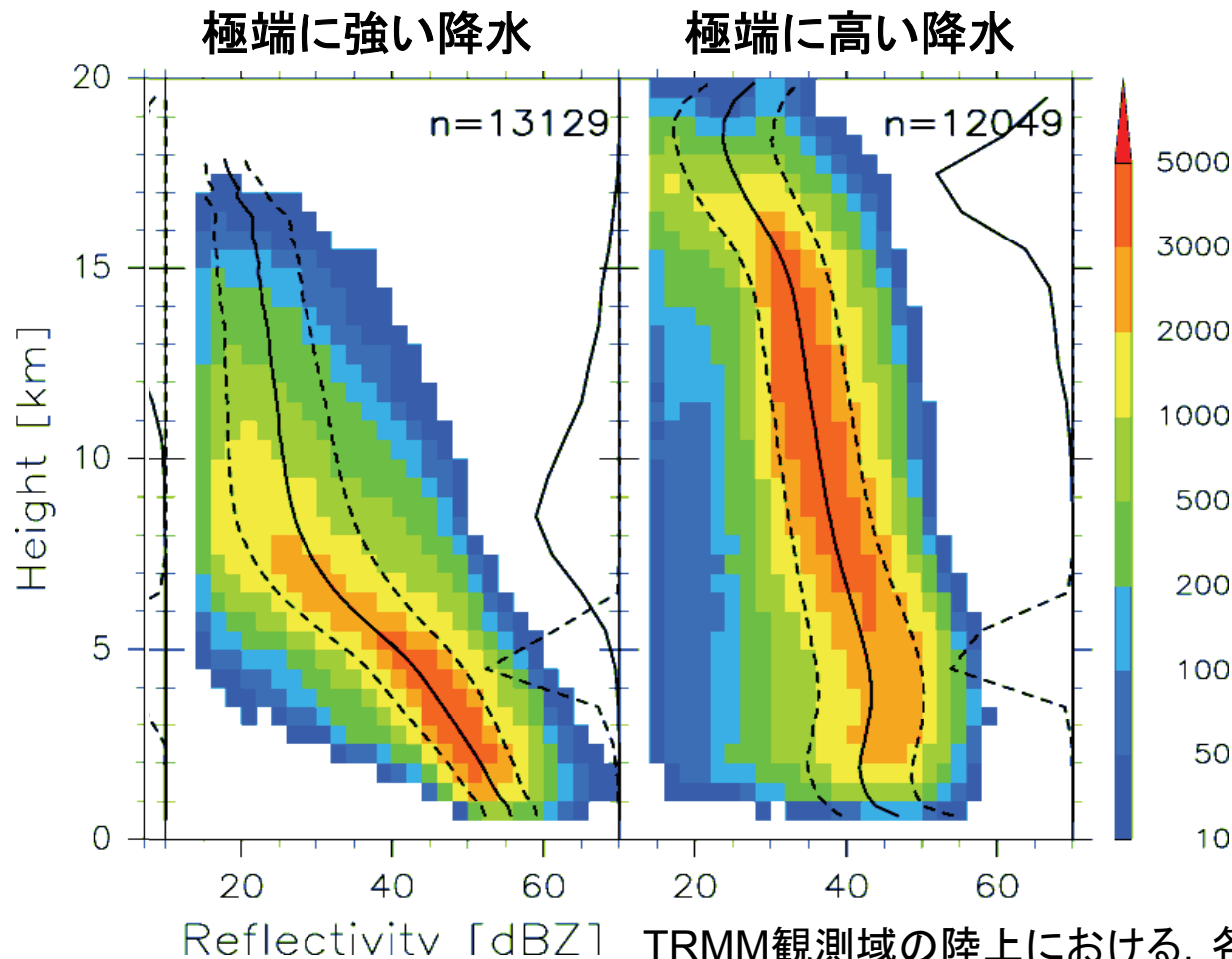
地域レベルの降水データを正しく得るには、長期データが不可欠であることを示す例

(Hirose 2014, AOGS)

(参考)降水システム・気候学への貢献

(極端に強い降水と極端に高い降水の違いに関する新たな知見) **2015年**

「高い雨が強い雨をもたらす」という従来の常識を覆す知見を獲得



熱帯亜熱帯陸上の各地域において、最も強い雨は、必ずしも非常に高い対流を伴った雨ではないことが示された。この結果は、最も高い雨が最も強い雨をもたらすといった**従来の常識に疑問**を呈する。

鉛直情報のないマイクロ波や(よくて)雲頂高度の情報しかない赤外画像ではこのようなことは、わからない。

(Hamada et al. 2015, accepted)

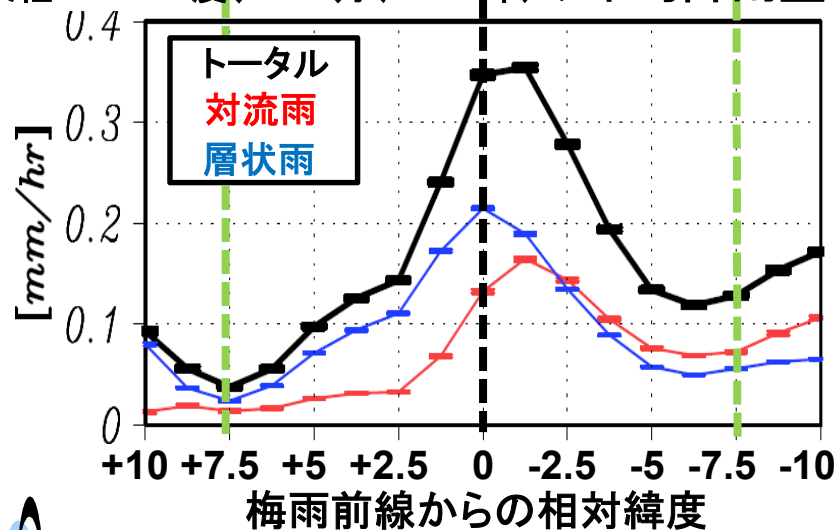
Reflectivity [dBZ] TRMM観測域の陸上における、各2.5度格子での上位0.1%の強い地表降水vs 高い降水イベントの鉛直構造

(参考)降水システム・気候学への貢献

(梅雨前線の南北降水構造に関する新たな知見) 2014年

①宇宙からの観測で雨の種類の違いを可能に

東経122-145度、6~7月(98-11年)の平均降雨量

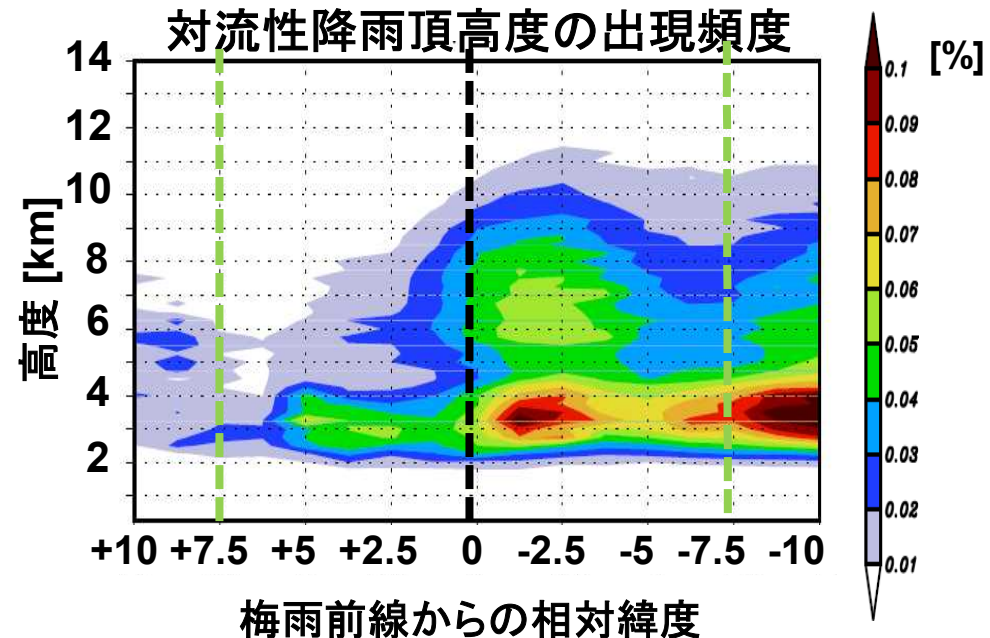


PRによる雨の3次元観測から
対流雨・層状雨の区別を実現

対流雨: 大気を上下にひっくり返す
雲に伴う強い雨

層状雨: 一様に広がった雲に伴う
穏やかな雨

②梅雨前線の南北での降雨構造の違いを判別



梅雨前線の南と北では降水構造が違う

- ・南側では、雲クラスターからもたらされる、背の高い対流雨が多い。
- ・北側では、停滞前線に伴う層状雨が多い。

PRデータが気候モデルの検証に用いられ、将来の
降雨予測の精度向上につながる。

(Yokoyama et al. 2014, J. Climate)