

全球降水観測 / 二周波降水レーダ (G P M / D P R)
プロジェクトの事前評価
質問に対する回答

平成 1 9 年 8 月 7 日

宇宙航空研究開発機構

【本資料に位置付け】

本資料は、平成19年7月24日に開催された第5回推進部会における全球降水観測／二周波降水レーダ（GPM／DPR）プロジェクトの事前評価に関する構成員からの質問に対し、独立行政法人宇宙航空研究開発機構（JAXA）の回答をまとめたものである。

評価項目 1 プロジェクトの目的（プロジェクトの意義の確認）に関連する質問

質問番号	内容
1-1	TRMMについて、その成果等をわかりやすくまとめてほしい。
1-2	副衛星についての状況と今後の取り組みについてまとめてほしい。

評価項目 2 プロジェクトの目標に関連する質問

質問番号	内容
2-1	設計寿命が3年2ヶ月であることの妥当性を示してほしい。
2-2	KuPRにおいて、最小測定降雨強度が、TRMMの0.7mm/hrに対して、0.5mm/hr、と性能向上が図られるとのことですが、それを可能にする主な技術的要因、およびそれを達成するための主な技術課題、を挙げて下さい。
2-3	KaPRの最小測定降雨強度は0.2mm/hrと、KuPRに比べて、大きく高感度化されています。その主要な要因をお示し下さい。 また、参考までに、両レーダの最小測定反射強度（○○dBZ）をお示し下さい。 また、KaPRの送信電力は何ワットが実現可能となったのでしょうか。
2-4	DPR データを利用することによって、マイクロ波放射計による全球的な降水推定の精度を一桁改善できることの原理・仕組みをご説明下さい。 追記 マイクロ波放射計測定データの誤差は、主に、(1)輝度温度の絶対校正に伴う誤差と(2) ΔT_{min} に相当するゆらぎ、からなると思います。前者はDPRによる較正（キャリブレーション）によって改善されるでしょうが、後者には効かない、と思います。つまり、(1)と(2)の比率が実際にどうなっているか、に依存するよう思われます。 これらのことを踏まえてご説明いただければ幸いです。
2-5 (SAC事務局回答)	“今回の評価の範囲は、副衛星群がまだ不確定であり、DPRに限定する”、とのことですが、利用研究は、例えば、説明資料（推進5-2-2）のp. 37に見るように、全球合成降水マップ（時間分解能3時間ないし1時間）を作り、利用者に提供すること、を目指して行われるものと思われます。地上システムも、それを想定して準備されるものと見受けられます(p. 36)。“DPRに（狭く）限定する”、というのは、限定のし過ぎではありませんか。
2-6	科学コミュニティから、少なくとも3時間ごとの水循環の観測が必要と要望されているようですが、今回の説明資料で説明されている主衛星と副衛星群が打上げられれば3時間毎の観測が可能となるのでしょうか？また衛星からの観測は常時全球をカバー出来ないと思いますが、3時間毎の全球データはどのように測定されるのでしょうか？

評価項目 3 開発方針に関連する質問

質問番号	内容
3-1	KaPR では、研究開発段階において、そのハードウェアの主要部分を NICT が担当してきており、今後の開発段階では、その PFM 製作・試験を JAXA が担当する、とあります。連絡・調整のための連絡会を設置するとのことですが、KaPR は高度な技術を要求され、かつ難度の高いレーダシステムであると思われまので、技術者が相互に深く関わり合うことが肝要と思います。研究開発段階では、JAXA の技術者は、NICT 側にどのように関わってきたのでしょうか。今後の開発段階では、PFM 製作・試験等において、研究開発を担当した NICT の技術者の継続的な参加・協力を得ることが重要と思いますが、その点について、どのような方針でおられるのでしょうか。

評価項目 4 システムの選定及び設計要求に関連する質問

質問番号	内容
4-1	“KaPR と KuPR のどちらか片方だけでも動作できるサバイバル性の確保”(p. 28) とあります。一方、2レーダの同時制御を行うために、システム制御部には両者に同時に関わる部分が存在すると思われま。この二つの点を“完全に”両立させた設計をされておられると思いますが、参考までに、注意された点をお教えいただけますか。
4-2	二つのレーダのビームマッチングは重要な要求の一つと思います。ビームをどのようにして合わせ、一致をどのように確認するのでしょうか。
4-3	GPM/DPR に Single Point Failure 項目はありますか？あるとすればどのような対策或いは検討が行われていますか？

評価項目1 プロジェクトの目的（プロジェクトの意義の確認）に関連する質問

【質問番号 1-1】

【質問内容】

TRMMについて、その成果等をわかりやすくまとめてほしい。

【該当箇所】 推進5-2-2

【回答者】 JAXA

【回答内容】

P6-19に熱帯降雨観測衛星（TRMM）の概要及び成果についてまとめます。

【質問番号 1-2】

【質問内容】

副衛星についての状況と今後の取り組みについてまとめてほしい。

【該当箇所】 推進5-2-2

【回答者】 JAXA

【回答内容】

P20-26に副衛星についての状況と今後の取り組みについてまとめます。



熱帯降雨観測衛星 (TRMM) の概要

● ミッションの当初の目的

- 全地球上の降雨の2/3以上を占める熱帯・亜熱帯地方の降雨観測は大気大循環の駆動源であり、その観測を行い、全球水・エネルギー循環の解明に役立てる。たとえば、気候変動予測、エルニーニョ現象に関連する異常気象、長期予報等の研究に寄与する。

● TRMMの長期観測によって得られた成果

- PRによるマイクロ波放射計の精度向上
- 長期間のデータ蓄積による、降水システム気候学の発展
- 数値天気予報や洪水予測等の短期スケールの現象にも利用が拡大
- 海面水温、土壌水分等の新たなプロダクトの開発

● 衛星の特徴

- **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。特に、能動型のセンサである**降雨レーダは降水の3次元構造を測定可能**。
- 熱帯・亜熱帯地方を対象とし、**太陽非同期準回帰(軌道傾斜角35度)軌道**を選択。降雨の**日周変化**を観測。



日米共同ミッション

日本:PR開発
衛星打上

米国:衛星バス,TMI,
VIRS,CERES,
LISの開発
衛星運用

打ち上げ	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、高度変更後は402km)
軌道傾斜角	約35度 太陽非同期軌道
設計寿命	3年2ヶ月(現在運用中)
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)



TRMMの成果

- 世界で初めての衛星搭載降雨レーダ(PR)の高品質・高信頼性を実証
- 複数センサによる降雨の正確な観測
 - PRの3次元情報による、マイクロ波放射計の降水推定精度の向上
- PRによる降水システム気候学の進展
 - 9年を超える降水の長期観測。PRの均質な観測が威力を発揮。
 - 台風の観測
 - 日周変化・季節変化
 - エルニーニョ・ラニーニャ
 - 潜熱加熱量の算出
- 現業での利用
 - 数値天気予報における利用は、TRMM打ち上げ前は研究的に行われていたが、TRMMが先駆けとなり、AMSR-Eを含めた現業利用が進んだ。
- 新規プロダクトの開発
 - 土壌水分
 - 海面水温
- 長期観測の意義
 - 長期にわたる観測継続により、分野の裾野が広がり、さらに利用が拡大した
 - 豊富なデータにより、降水に関するより確かな気候値・統計値を提供可能



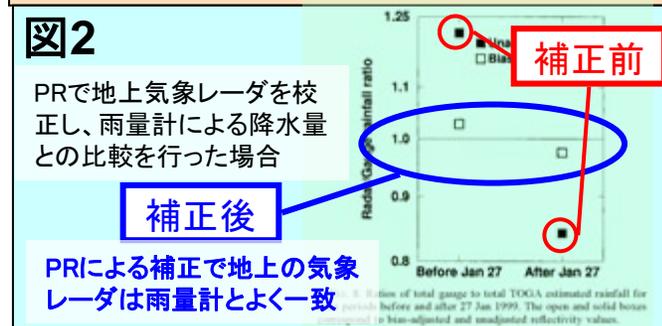
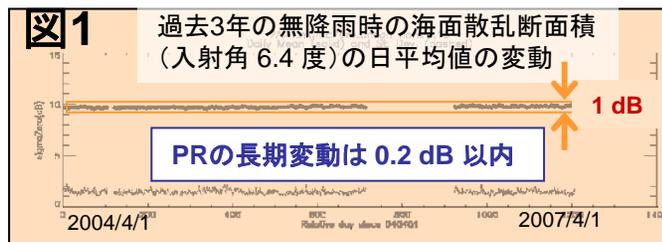
世界で初めての衛星搭載降雨レーダ (PR) の 高品質・高信頼性を実証

PRシステムの構成

- パルス信号送信機として高電圧電源を使わない固体化増幅器 (SSPA) の利用
- 128系統の送受信系からなるアクティブフェイズドアレイで高速走査を行い、機械的な駆動部の排除

PR性能の校正及び経年変化の監視

- 内部校正・動作解析モード及び送信電力モニタによる各部の健全性の監視
⇒128系統の送受信系を含む全ての部品で健全動作中
- ARC (能動型反射器) を使った外部校正 (年2回) によるレーダ総合性能の校正
⇒PR校正の絶対精度 ± 1 dB 以内の確認



無降雨時の海面散乱断面積の変動から推定されるPRの長期変動は0.2 dB 以内と極めて安定 (図1)

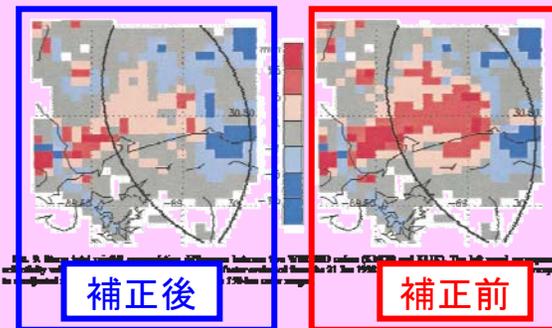


Flying Rain Gauge (PRを基準として、地上の気象レーダ間・雨量計間の相互比較を可能とする校正器) としての利用が可能 (図2、図3)

図3

PRで2台の地上気象レーダを校正し、両者の降水量の比較を行った場合

補正後は2台の気象レーダ間の降水量の差が小さくなる



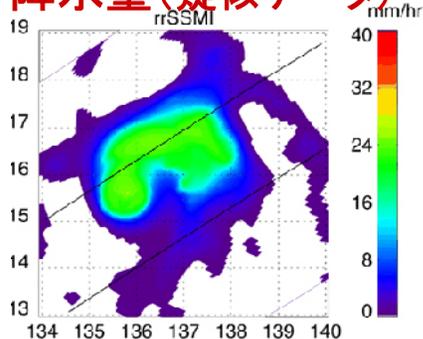
PRは、9年以上の期間にわたり、128系統の送受信系を含む全ての部品が故障無く動作し、高品質な三次元降雨観測データの安定した取得を達成。観測領域 (南緯35度から北緯35度) での地上の気象レーダ間・雨量計間の相互比較を可能とする校正器としての役割 (Flying Rain Gauge) を実現。



複数センサによる降雨の正確な観測

- PRによる、マイクロ波放射計の降水推定精度の向上 (1/2) -

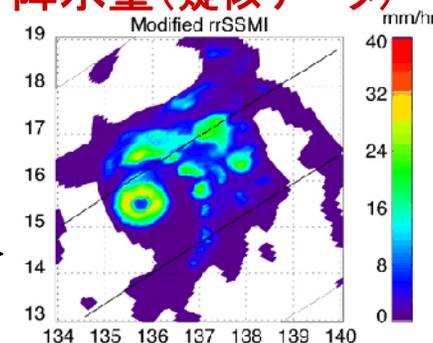
改良前のSSM/I 降水量(疑似データ)



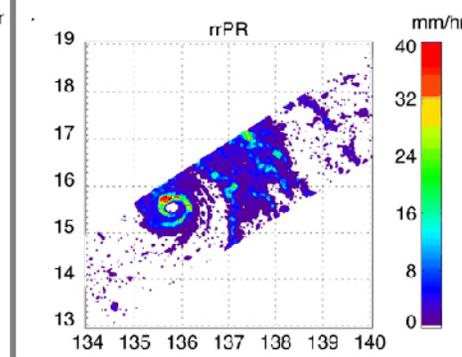
PRとTMIの同時観測の比較から得られた知見により、アルゴリズムを改良。分解能の粗いSSM/Iに適用すると、これまで判別できなかった細かい構造を推定可能。



改良後のSSM/I 降水量(疑似データ)



PRによる降水量



注) SSM/Iは米国衛星(DMSP)搭載のマイクロ波放射計

	アルゴリズムにおける主な仮定	PRとの比較からわかった事、その影響
マイクロ波放射計 (海上)	<ul style="list-style-type: none"> ●氷結高度は既知 ●雨の鉛直分布の形は場所に依らない。 ●水平方向の非一様性はどこでも変わらない。 	氷結高度推定法の誤差評価 鉛直分布の地域依存性 非一様性の地域及び降雨強度依存
マイクロ波放射計 (陸上)	<ul style="list-style-type: none"> ●雲頂付近の氷晶などの氷の分布と地表付近の雨の強度の関係は一定 ●すべての雨は氷による散乱を伴う。温かい雨はない。 	比例係数の検証 氷を伴わない暖かい雨の定量的評価
レーダ	<ul style="list-style-type: none"> ●雨滴粒径分布 ●対流性降雨における相変化(氷と水の分離)の高さ 	粒径分布の地域依存性



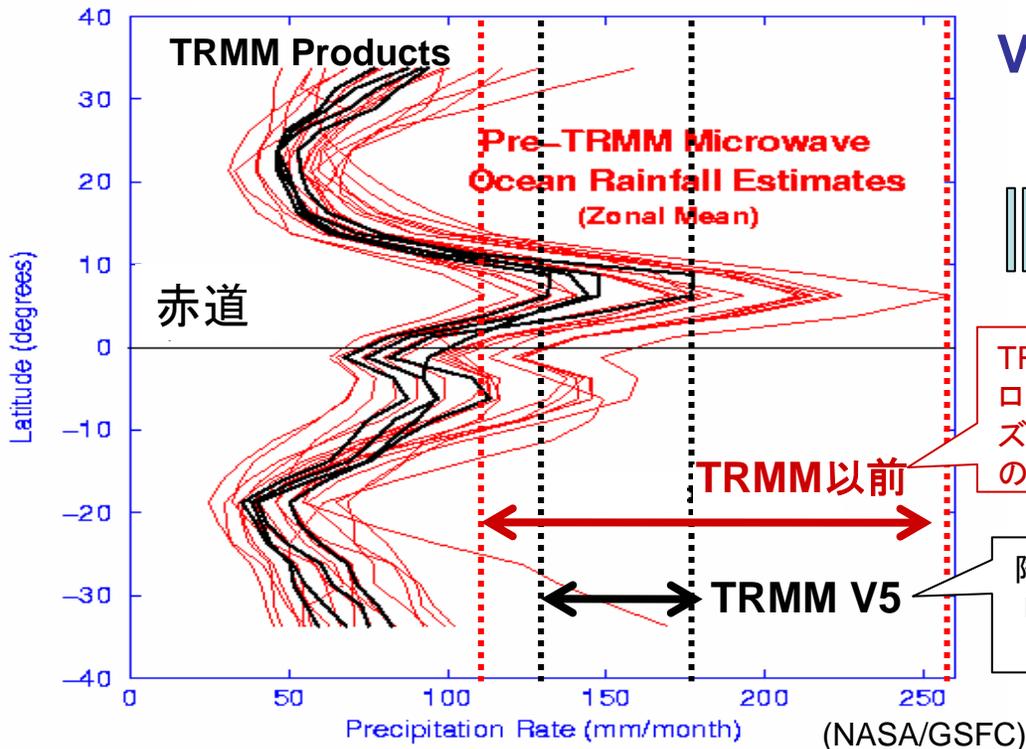
TRMMでの複数センサの同時観測により、それぞれの降水推定アルゴリズムにおける仮定の問題点が明らかになり、アルゴリズムの大幅な改善が進んだ。



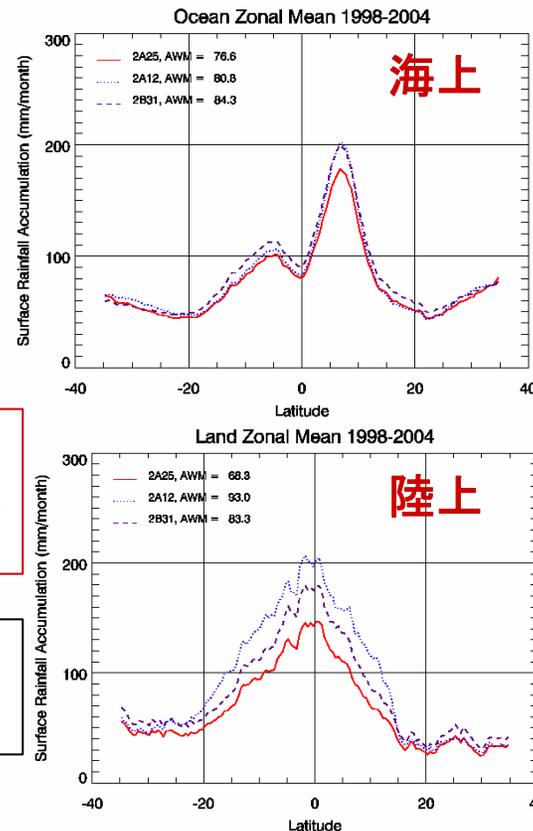
複数センサによる降雨の正確な観測

- PRによる、マイクロ波放射計の降水推定精度の向上(2/2) -

年・緯度平均降水量 (mm/month)



赤線: TRMM以前のマイクロ波放射計アルゴリズムによる降水推定
黒線: TRMMバージョン5のPRとTMIによる降水推定



TRMMバージョン6の、赤線がPR、青線がTMIの降水量。の緯度別帯状平均。
(J. Stout, NASA/GSFCによる)

TRMM以前は降水推定手法の違いによる差が大きく、最も少ない推定と多い推定の間の差が100%以上(左、赤線)。TRMM以後は、この誤差が大幅に減っており、現在(Ver. 6)では、海上で10%以下(右上)、陸上は地域にもよるが全球平均で20%程度(右下)となっている。

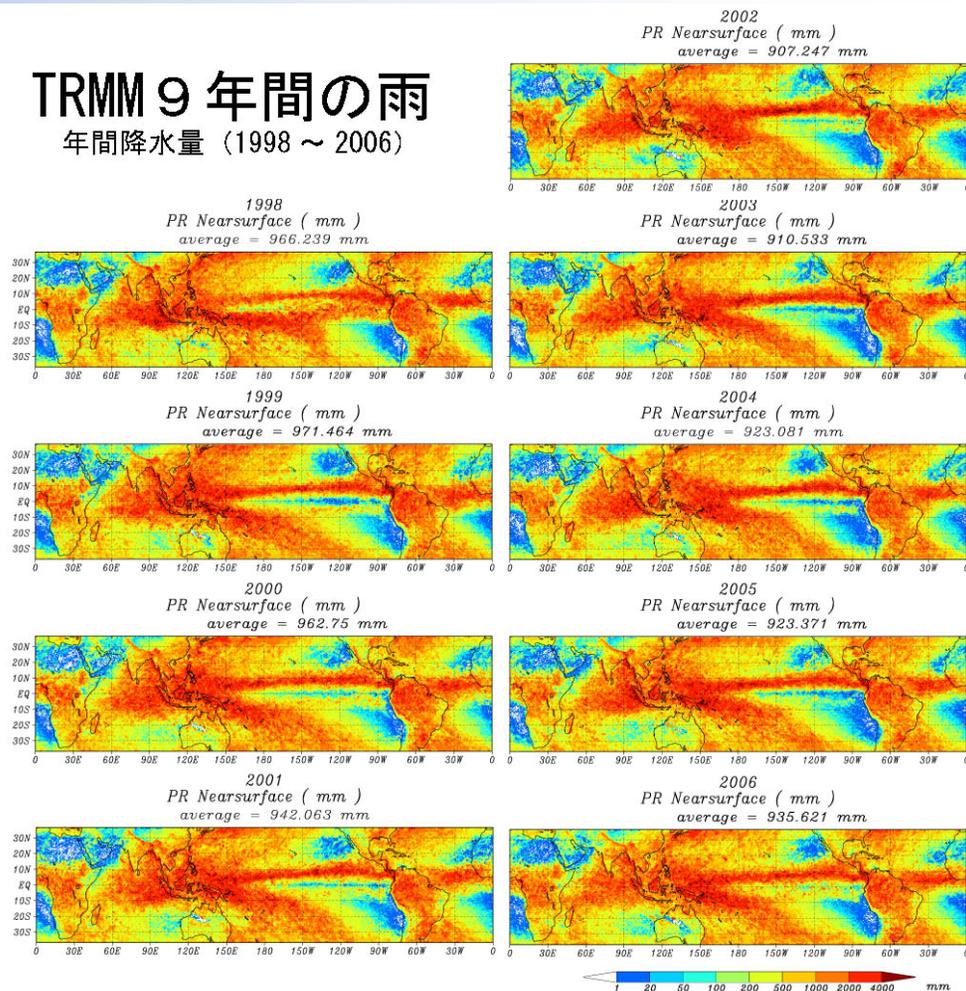


PRによる降水システム気候学の進展 - 9年を超える降水の長期観測 -

● TRMMは打ち上げから9年以上を経過し、PRによる初めての9年間の3次元の熱帯降雨データが蓄積されており、PRの特長である均質な観測が威力を示した。

- エルニーニョやラニーニャの時期が重なった1998年、2002年、2003年、2006年の降雨パターンは、他年と異なっている。
- 東西に延びる赤道収束帯、低緯度乾燥帯、大陸西岸沖の少雨帯等、良く知られている全球の降水パターンは明瞭に現れている。

TRMM 9年間の雨 年間降水量 (1998 ~ 2006)



全球降水の2/3を占める熱帯・亜熱帯域の降水の実態を長期間観測することで、水循環メカニズムの解明に向けて、貴重な気候値・統計データが提供可能となった。



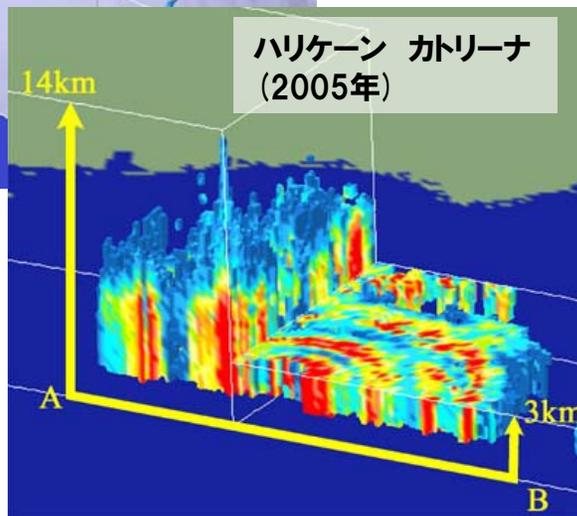
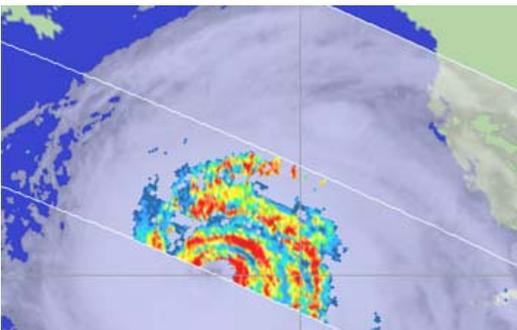
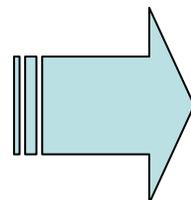
PRによる降水システム気候学の進展

- 台風観測の蓄積と公開 -

PRによる台風・ハリケーン・サイクロンの3次元構造の観測

台風速報(クイックルック画像)と台風データベース(画像・データ)の公開

情報の蓄積と公開



TRMM台風速報

Asia

Top > アジア Documents English

過去2ヶ月の台風 Last up date: 2007/07/26 16:56(JST)

- 02A(GONU) 6/2 -6/7
- 03B(NONAME) 6/21 -6/26
- 台風03号(TORAJI_03W) 7/4 -7/5
- 04B(NONAME) 6/28 -6/29
- 台風04号(MAN-YI_04W) 7/7 -7/16

最近の台風画像

PR/VIRS観測画像 TMI観測画像 観測範囲

台風04号 (MAN-YI_04W) 衛星情報

- 観測日時: 2007/07/16 05:03(JST)
- データ範囲: 29.7N-40.6N 140.1E-154.8E

台風勢力(2007/07/16 03:00(JST))

- 中心気圧: 985 hPa
- 最大風速: 23 m/s

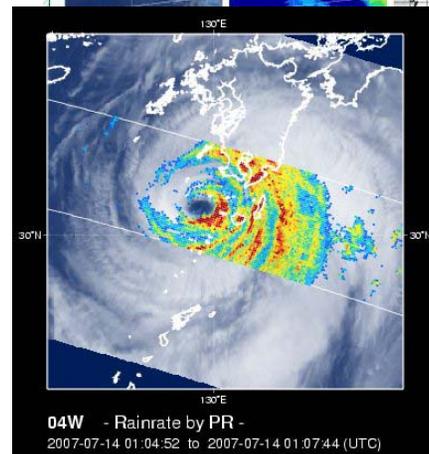
台風04号 (MAN-YI_04W) 衛星情報

- 観測日時: 2007/07/15 07:34(JST)
- データ範囲: 28.5N-39.6N 131.1E-144.6E

台風勢力(2007/07/15 07:00(JST))

- 中心気圧: 965 hPa
- 最大風速: 35 m/s

台風04号 (MAN-YI_04W) 2007-07-14



2007年台風4号



これまで観測のなかった、海洋上の台風・ハリケーン・サイクロンのさまざまな発達段階を捉えたデータを取得→台風研究の基礎データとして蓄積・公開