

# 全球降水観測/二周波降水レーダ (GPM/DPR) の開発移行について

平成19年7月24日

宇宙航空研究開発機構

GPM/DPRプロジェクトチーム

プロジェクトマネージャ

小嶋 正弘

# 目次

- ◆ 全球降水観測/二周波降水レーダ (GPM/DPR) の開発移行について
- ◆ 全球降水観測 (GPM) 計画の概要
- ◆ 熱帯降雨観測衛星 (TRMM) の成果
- ◆ 本文
  1. 開発研究移行後の進捗
  2. 背景及び位置付け
  3. 目的
  4. 目標
  5. 開発方針
  6. システム選定および設計要求
  7. 開発計画
  8. リスク管理
- ◆ まとめ

## 全球降水観測/二周波降水レーダ (GPM/DPR) の開発移行について

- 全球降水観測 (GPM: Global Precipitation Measurement) 計画は、二周波降水レーダ (DPR: Dual-frequency Precipitation Radar) 及びマイクロ波放射計を搭載した1機の主衛星と、マイクロ波放射計またはマイクロ波サウンダを搭載した複数機のコンステレーション衛星 (副衛星群) により全球降水の高精度・高頻度観測を行う国際協力ミッションである。主衛星は宇宙航空研究開発機構 (JAXA) と米国航空宇宙局 (NASA) の共同開発であり、JAXAは情報通信研究機構 (NICT) と協力してDPRの開発を行う。
- GPM/DPRは平成14年11月の宇宙開発委員会本委員会で開発研究への移行が認められた。
- 開発研究移行以後
  - ✓ NICTとのDPR開発分担の確定及びNASAとの主衛星打上げ分担の確定
  - ✓ DPR開発仕様及び衛星システムとのインタフェースのベースラインの設定
  - ✓ DPRに採用する技術の成熟度分析と新規技術の識別及び新規技術の試作試験
  - ✓ サクセスクライテリア、開発資金、スケジュール (NASAとの調整による打上げ年度の平成25年度への変更)、実施体制、リスク管理計画の検討・更新を実施し、その妥当性をJAXAで確認した。
- 一方NASAによる主衛星開発は現在基本設計中であり、平成20年末に開発段階に移行が計画されている。平成25年度の打上げに向けて、平成23年度にDPRをNASAに引き渡すマイルストーンでの開発実施についてNASAと調整済み。
- 以上のことから、GPM/DPRは開発研究段階におけるフロントローディング及びNASAとの開発実施に関する調整が終了し、開発移行の準備が整ったため、平成20年度からの開発段階へ移行について、宇宙開発委員会の評価を受けることとする。

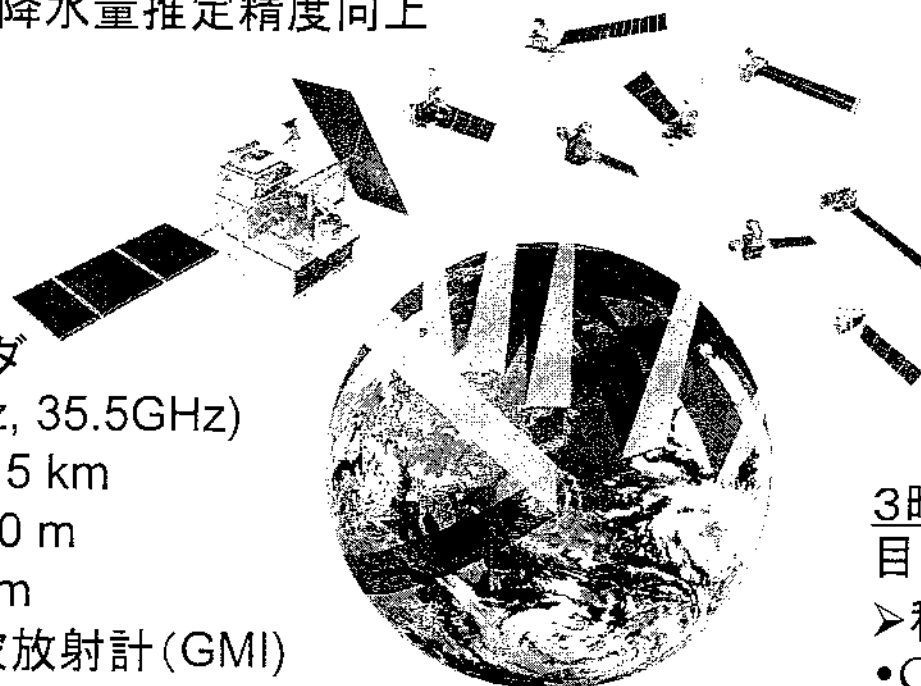
## 全球降水観測(GPM)計画の概要

### 主衛星

#### 目的:

- 降水システムの水平、鉛直構造の理解
- 降水粒子情報の取得
- 副衛星群による降水量推定精度向上

- 二周波降水レーダ  
(DPR: 13.6GHz, 35.5GHz)  
水平分解能: 約 5 km  
鉛直分解能: 250 m  
走査幅: ~245 km
- 多周波マイクロ波放射計 (GMI)
- H-II Aによる打上げ
- 太陽非同期軌道  
軌道傾斜角: 約 65°  
高度: 約 407 km



### 副衛星群

#### 目的:

- 十分な観測頻度  
(降水は時間空間変動の大きな物理量)
- マイクロ波放射計またはマイクロ波サウンダ搭載の衛星群
- 主に太陽同期極軌道
- NASA, NOAA, その他機関により実現

### 3時間毎の全球合成降水マップ

#### 目的:

- 科学的、社会的応用
- GPMパートナーによって提供されるマイクロ波放射計及びマイクロ波サウンダデータの処理

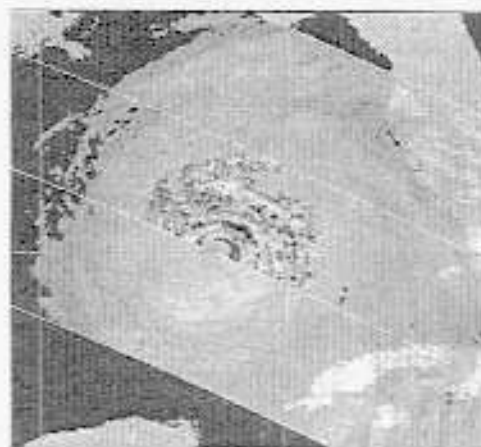
# 熱帯降雨観測衛星 (TRMM) の成果



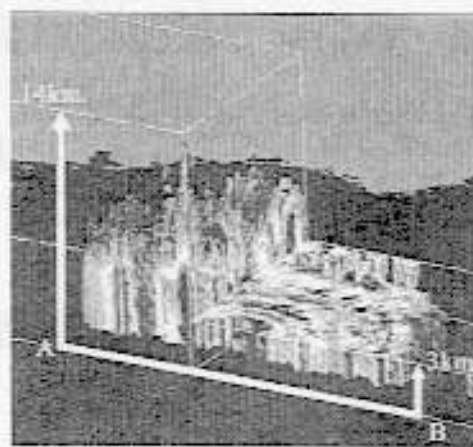
## TRMM 衛星主要諸元

- 熱帯・亜熱帯地域における降水分布の均質かつ正確な観測 (9年を超える観測データの蓄積)
- PRとの同時観測・参照により、マイクロ波放射計の降水推定精度が1桁改善
- 宇宙からのレーダによる、降水システムの三次元構造、日変化、季節変化、エルニーニョ等の長期データに基づく解析
- 洪水予測、数値天気予報、台風経路予測等への利用が拡大
- 潜熱、土壌水分、海面水温、等の新たなプロダクトの開発

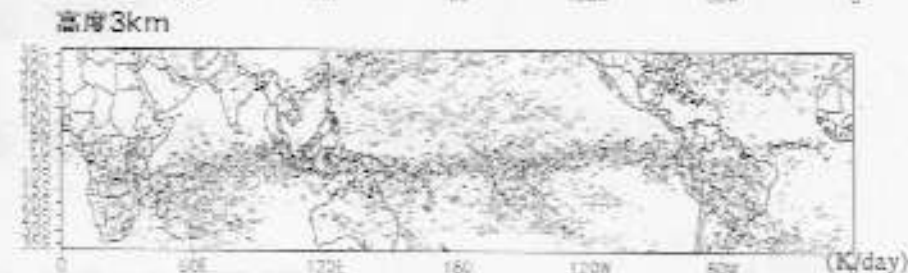
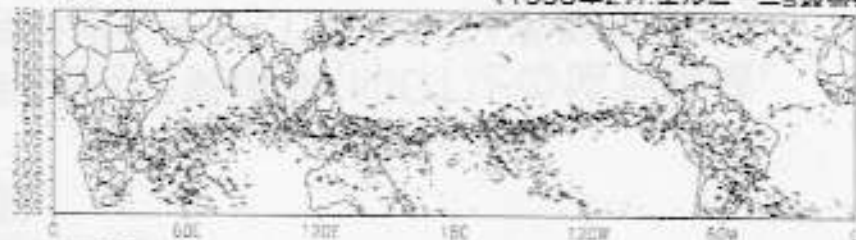
打ち上げ	平成9年11月28日(日本時間)
軌道高度	約350km(H13年にミッション延長のため、高度変更後は402km)
軌道傾斜角	約35度 太陽非同期軌道
設計寿命	3年2ヶ月(現在運用中)
観測機器	降雨レーダ(PR) TRMM マイクロ波観測装置(TMI) 可視赤外観測装置(VIRS) 雲及び地球放射エネルギー観測装置(CERES) 雷観測装置(LIS)



2005年8月、ハリケーン カトリナの観測事例



高度7km (1998年2月:エルニーニョ最盛期)



潜熱加熱率推定結果: 全球水・エネルギー循環の理解

# 1. 開発研究移行後の進捗 経緯

平成14年11月：宇宙開発委員会本委員会－開発研究段階への移行は妥当と確認。

平成15年 8月：NASDA内プロジェクト移行前審査実施。

10月：GPM/DPRプロジェクトチーム発足。

平成16年 4月：開発分担検討結果に基づき、情報通信研究機構(NICT)との協定締結。

5月：DPR担当業者選定、KuPR(Ku帯降水レーダ)T/R UNIT(送受信ユニット)BBM(ブレッドボードモデル)製作・評価着手。

7月：NASA側予算事情により、GPM主衛星打上げ時期が平成19年度から平成22年度に変更。

9月：それまでの技術検討結果に基づき、GPM/DPR開発仕様書を制定。

平成17年 6月：日米政府間交換公文及びNASAとの研究/開発研究段階のMOU締結。

12月：JAXA内プロジェクト進捗確認会を開催し、DPRの計画面及び技術面の検討結果が妥当であることを確認した。

平成18年 3月：NASA側予算事情により、GPM主衛星打上げ時期は平成22年度から平成25年度に再度延期された。

10月：NASAが開発する主衛星とのインターフェース管理文書(ICD)制定。

平成19年 7月：JAXA内開発移行確認会実施。

# 1. 開発研究移行後の進捗

## 平成14年11月の宇宙開発委員会本委員会報告での 「今後の課題」の検討結果

課題	検討結果
<p>1. 関係機関との協力体制</p> <p>・NASAと協力しGPMの国際的な枠組みを具現化</p> <p>・開発段階に向けた関係機関との分担の明確化</p>	<p>・NASAとの研究／開発研究段階の協定を締結。</p> <p>・NASAとGPM主衛星打上げ分担を調整し明確化。</p> <p>・これまで6回のGPM国際ワークショップをNASAとともに開催し、NOAA、CNES、ISRO、欧州気象衛星機関等の副衛星機関及び研究／利用ユーザとの調整を実施。</p> <p>・NICTとの間でDPRの開発分担を調整し、協定及び作業取り決めを締結。</p>
<p>2. 開発計画の確定</p> <p>・開発研究の成果を踏まえた開発計画の確定</p> <p>・利用機関の要望を踏まえたミッション要求、システム仕様の確定</p>	<p>・DPR開発仕様書及びNASAの主衛星とのインタフェース管理仕様書を制定。</p> <p>・平成25年度打上げに基づくDPR開発スケジュールを策定</p> <p>・わが国の地球観測の推進戦略、GPM国際計画ワークショップを通じて集約されたGPM全体のミッション目的・要求、及びTRMMの成果等を踏まえ、GPM利用検討委員会において国内の研究者、利用者との調整をへてミッション要求及びシステム仕様を確定。</p>

# 1. 開発研究移行後の進捗

## 主衛星及び副衛星に関する調整経緯及び状況

### ● GPM主衛星

- 研究/開発研究段階の協定を締結
- 過去2回の打上げ延期はNASAの予算不足によるものであるが、再度の打上げ延期の可能性は極めて小さい。
  - ✓ 本年2月公表のNASA大統領予算でGPMの来年度開発予算の大幅増額
  - ✓ 米国科学アカデミーの米国地球観測に関するディケーダルサーベイ報告書における遅延なきGPM計画実施勧告。
  - ✓ 本年7月のNASA科学局長とJAXA担当理事間のGPMの2013年度打上げを確認する書簡交換
- 今後開発段階における協定の調整を実施予定

### ● 副衛星

- NASA、NOAA、CNES/ISRO、欧州気象衛星機関等の副衛星の開発機関と、GPM国際計画ワークショップ、GPMデータ分科会、地球観測衛星委員会(CEOS)の降水コンステレーション検討チームにおいて技術調整を含む具体的な調整を開始している。なお、実現性の見込みが極めて高いJAXA(GCOM-W)、NASA(NASA副衛星、NPP)、NOAA(NPOESS)、DOD(DMSP)、欧州気象衛星機関(METOP)の副衛星群によりGPMの目的は概ね達成可能
- 副衛星のデータ提供・交換に関しては今後協定の調整を実施

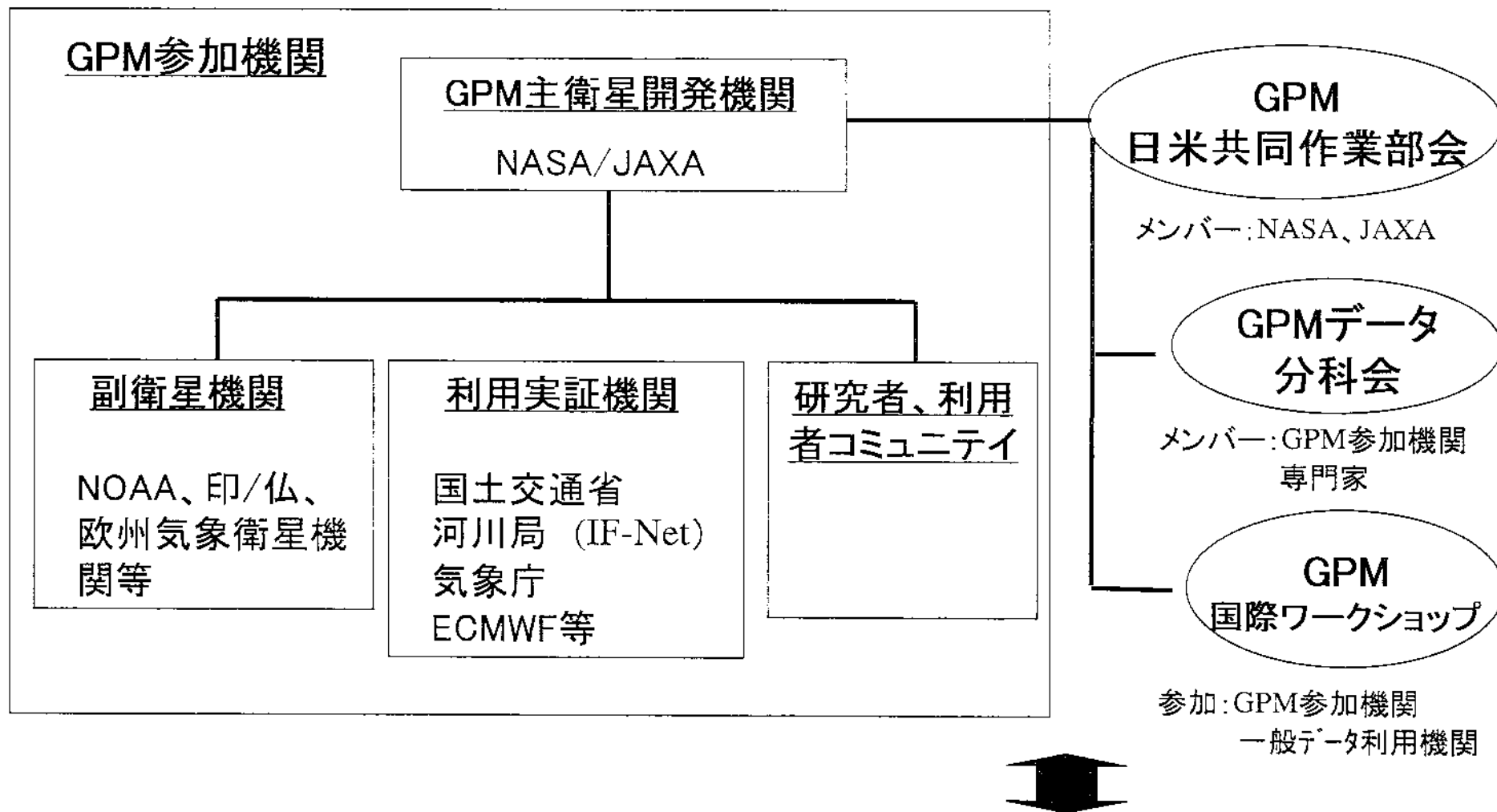


# 1. 開発研究移行後の進捗

## GPMの国際的枠組み

(協力の枠組み)

(検討・調整の枠組み)



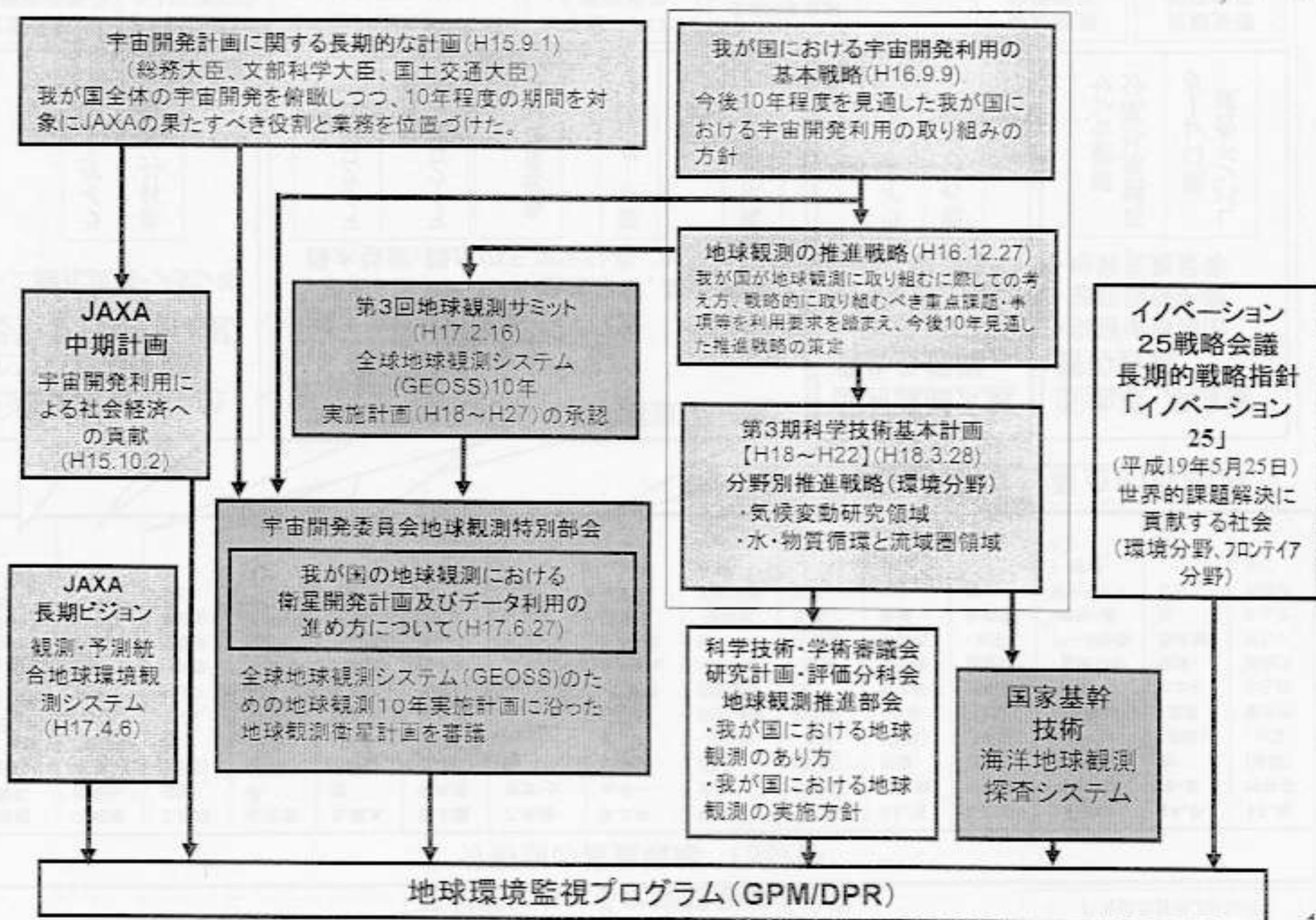
地球観測衛星委員会 (CEOS) 降水コンステレーションのフレームワーク

# 1. 開発研究移行後の進捗

## 開発研究移行後の主な変更点

- NICTとのDPR開発分担の確定
- NASAとのGPM主衛星打上げ分担の明確化
- サクセスクライテリアの明確化
- 開発資金の見直し
- 打上げ時期見直し(平成19年度⇒25年度)に伴う開発スケジュールの設定

## 2. 背景及び位置づけ



## 2. 背景及び位置づけ

H18.7.27宇宙開発委員会  
計画部会資料より引用

### 「我が国における地球観測のあり方」

#### 分野別の推進戦略 15分野

1.地球温暖化 (課題) ・全球的把握 ・大気観測 ・陸域炭素循環と生態系観測など	2.地球規模水循環 (課題) ・水循環統合観測など	3.地球環境 (課題) ・エアロゾル、オゾン等大気汚染物質観測など	4.生態系 (課題) ・複合的な観測拠点整備 ・観測標準手法の確立など	5.風水害 (課題) ・衛星観測と気象水文観測の連携促進など	6.大規模火災 (課題) ・森林火災の発見と状況把握など	7.地震・津波・火山 (課題) ・地震・津波の定常的・長期的観測網の構築など	8.エネルギー・鉱物資源 (課題) ・高度衛星観測センサーの開発など	9.森林資源 (課題) ・森林資源量の実態把握システム構築 ・森林炭素固定量把握など	10.農業資源 (課題) ・農地実態把握 ・農業生産量把握など	11.海洋生物資源 (課題) ・西部北太平洋観測体制の整備など	12.空間情報基盤 (課題) ・空間情報基盤整備 ・地球地図整備など	13.土地利用及び人間活動に関する地理情報 (課題) ・農地分布データ整備 ・都市・集落分布データ整備など	14.気象・海象 (課題) ・衛星による気象・海象観測など	15.地球科学 (課題) ・対流圏大気から超高層大気に至る大気観測など
---	---------------------------------	---	--	--------------------------------------	------------------------------------	--	--	---	--	---------------------------------------	---	--	-------------------------------------	---

#### 5つのニーズに対応した重点的取組み

##### ①地球温暖化にかかわる現象解明・影響予測・抑制適応

・二酸化炭素・メタン等

ライダー

赤外分光計

##### ①地球温暖化にかかわる現象解明・影響予測・抑制適応

##### ②水循環の把握と管理

##### ④風水害被害の軽減

・積雪、雲エアロゾル植生分布、海面温度、降水強度・降水の三次元分布、水蒸気

マイクロ波放射計

マイクロ波散乱計

多波長放射計

雲レーダ

降水レーダ

##### ③対流圏大気変化の把握

・ガス状・粒子状物質の三次元分布観測等

ライダー

紫外分光計

##### ⑤地震・津波被害の軽減

・災害情報抽出  
・被害情報把握  
・地殻変動量等

可視赤外高分解能センサー

Lバンド合成開口レーダ

温室効果ガス観測技術衛星 (GOSAT)

次期温室効果ガス観測技術衛星

地球環境変動観測ミッション (GCOM-W) (GCOM-C)

全球雲エアロゾル観測衛星 (EarthCARE)

全球降水観測 (GPM)計画

陸域観測技術衛星 (ALOS)

次期災害監視衛星ミッション

## 2. 背景及び位置付け 国内政策からの要求

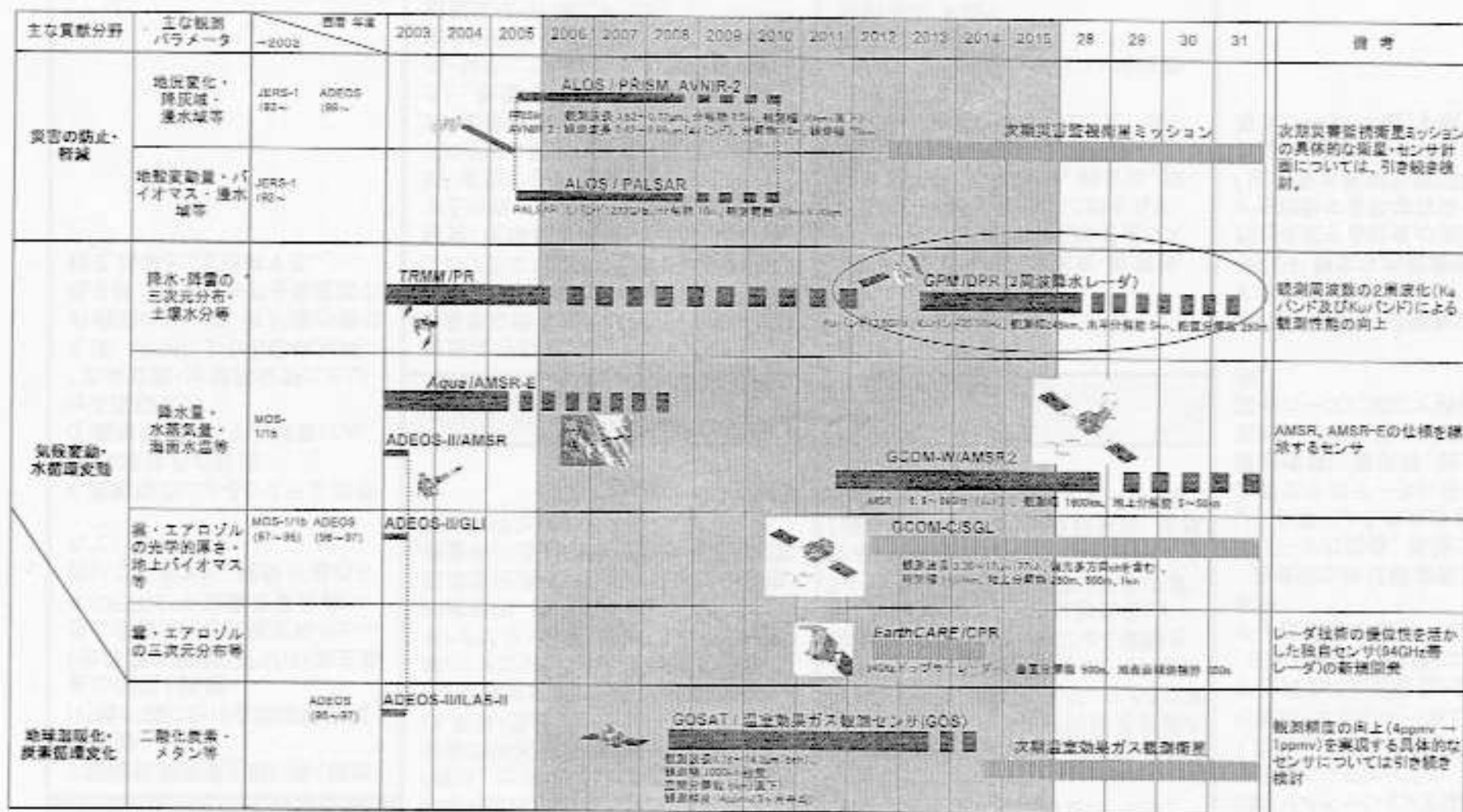


<p>我が国の地球観測における衛星開発計画及びデータ利用の進め方について(H17.6.27)</p>	<p>地球観測の推進戦略(H16.12.27)</p>		<p>長期戦略指針 「イノベーション25」(H19.6.1)</p>
<p>2.地球観測衛星を取り巻く現状の認識 (2)我が国における地球観測衛星の現状と課題 「全球降水観測(GPM)計画主衛星に搭載される二周波降水レーダ(DPR)が宇宙開発委員会において了承され、開発が進められている。」</p> <p>6.国際協力によるシステム構築 (2)国際協力の計画 ①衛星観測システム構築における国際協力 「気候変動・水循環分野においては、GPMによる国際観測網の構築において、我が国が優位性を持つ降水レーダを衛星群の校正基準として提供する。」</p>	<p>IV.分野別の推進戦略 2.地球規模水循環 「降水、土壌水分、水蒸気等の水循環要素の衛星観測能力を向上させる。」 14.気象・海象 「衛星観測を用いた全球の降水分布、雲・エアロゾル分布、対流圏の水蒸気・オゾン・温室効果ガス分布、対流圏風分布、海上風ベクトル、海面水温、海洋塩分濃度、土壌水分等に係る物理量等の長期継続観測の実施と実用化に向けた取組を進める。」</p>	<p>地球観測調査検討ワーキンググループ 地球規模水循環部会報告(H16.11)</p> <p>2-3 今後10年で取り組む方向性と目標 「わが国はこれまでの研究開発実績の強みを活かし、降水レーダ、マイクロ波放射計、(中略)等を高度化して、地上観測ネットワークデータによる検証を通して観測精度を向上に務める。」 2-4 今後10年間程度の取り組みの重点事項 「降水レーダ、マイクロ波放射計、合成開口レーダ、可視・赤外イメージャ等の開発研究を推進」</p>	<p>5章「イノベーション立国」に向けた政策ロードマップ 1.社会システムの改革政略 4)環境・エネルギー等日本の科学技術力による成長と国際貢献 ・日本の優れた環境・エネルギー技術等の世界への発信、実証 先進的な地球観測衛星の観測データの提供、地球シミュレータ等による未来の水や気候の変化予測データの提供、災害関連情報の提供等、我が国の優れた環境技術の成果を途上国のニーズに応じて積極的に提供。</p>
<p>第3期科学技術基本計画【H18～H22】 分野別推進戦略(H18.3.28)</p>			
	<p>Ⅲ環境分野 2.重要な研究開発課題 (2)気候変動研究領域 プログラム1温暖化総合モニタリング研究「地球表層環境を全球的に把握する技術である衛星による観測を(中略)実施する必要がある」 プログラム6地球規模水循環変動研究「衛星観測によるモニタリングデータと、数値モデルによる推定値とを統合・解析して地球規模の水循環の変動を把握する」 別紙Ⅲ-2 P152、P158 「衛星搭載降水レーダ(DPR)を全球降水観測計画(GPM)の主衛星に搭載するために開発する」</p>	<p>Ⅵフロンティア分野 3.戦略重点科学技術 海洋地球探査システム 「衛星による全球的な観測・監視技術(中略)により「海洋地球探査システム」を構築し、全地球に関する多様な観測データの収集、統合化、解析、提供を行っていく必要がある。 海洋地球探査システムには、以下の技術が含まれる ・衛星による温室効果ガスと地球表層環境の観測」 別紙Ⅵ-2 P327 (DPRの開発) 「世界初の衛星搭載二周波降水レーダ(DPR)を開発」</p>	<p>表P63「世界的課題解決に貢献する社会(環境分野)」 表P64「健全な水循環を保ち自然と共生する社会の実現シナリオを設計する科学技術」 「全球降水観測計画(GPM)の主衛星に搭載するために二周波降水レーダ(中略)を開発」</p>

## 2. 背景及び位置付け



### 我が国の地球観測衛星開発計画におけるGPM/DPRの位置づけ



既存計画   
 新規計画   
 GEOSS10年実施計画対象期間   
 凡例: 衛星名/センサ名   
 国産衛星/国産センサ   
 海外衛星/海外センサ

## 2. 背景及び位置づけ



全球降水観測/二周波降水レーダ(GPM/DPR)は、国家基幹技術の海洋地球観測探査システムの衛星観測監視システムを構成するものである。

国家基幹技術として、宇宙から深海底下まで、わが国の総合的安全保障に不可欠な観測・探査活動(地球観測、災害監視、資源探査)の基盤となるシステムを確立する。



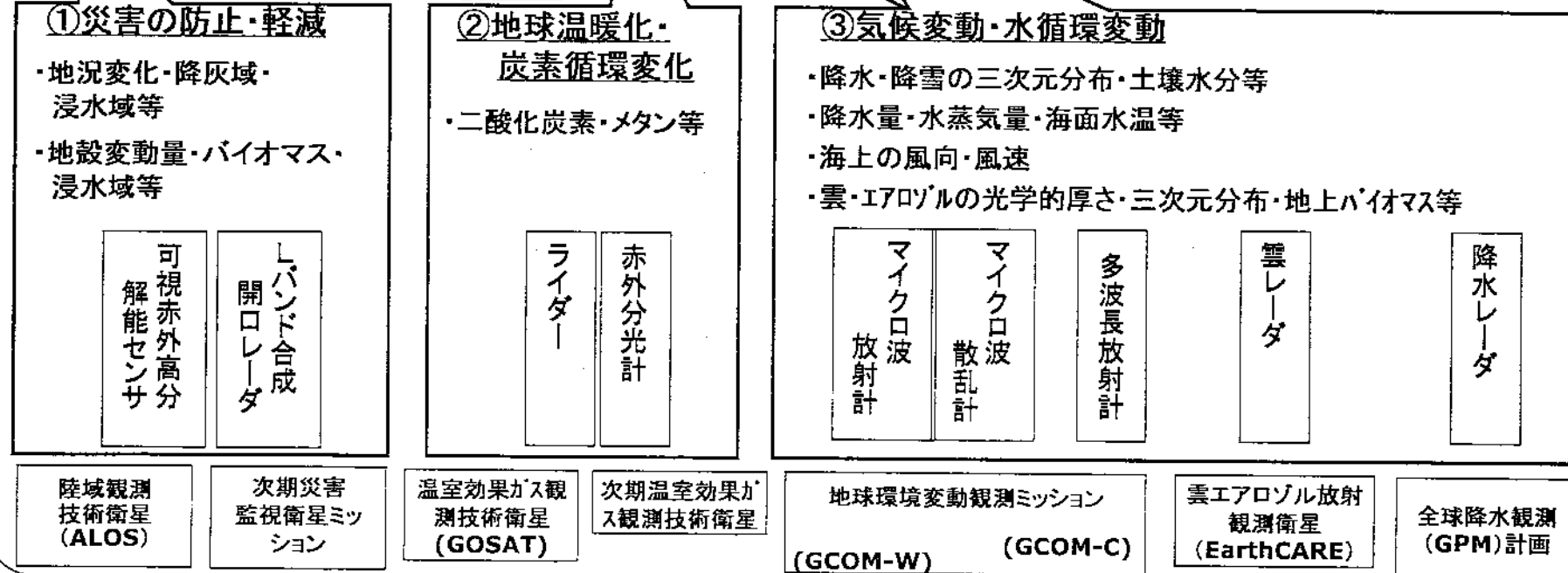
## 2. 背景及び位置づけ

### 「GEOSS10年実施計画と我が国の貢献3分野」

#### GEOSS10年実施計画(9つの社会経済的利益分野)

<b>①災害の防止・軽減</b> (課題と範囲) ・山火事 ・火山 ・地震 ・地盤沈下 ・洪水 ・沿岸災害 ・津波 ・水関連災害 ・激しい気象現象 ・汚染イベント	<b>②人間の健康と福祉</b> (課題と範囲) ・栄養 ・水質 ・大気の大気質 ・B領域紫外線 ・熱波寒波 ・疾病媒介動物 ・健康統計	<b>③エネルギー資源管理</b> (課題と範囲) ・エネルギー需要と供給の気象に 関係した変動 ・エネルギーインフラに 対するリスク ・再生可能エネルギー ・汚染と温室効果ガス排出	<b>④気候変動</b> (課題と範囲) ・大気中 ・海洋 ・陸上 ・水上 ・水 での気候システム 変数	<b>⑤水資源管理の向上</b> (課題と範囲) ・降水 ・土壌水分 ・流量 ・湖沼や貯水池の 水位 ・積雪面積 ・氷河と氷 ・蒸発散 ・地下水 ・水利用	<b>⑥気象情報</b> (課題と範囲) ・正確でタイムリーな短期- 中期予報に必要 な気象変数	<b>⑦生態系の管理と保護</b> (課題と範囲) ・主要な生態系の 広がり ・有益な特性値 ・錯乱レジーム ・生態系変化要因	<b>⑧農業及び砂漠化</b> (課題と範囲) ・穀物生産 ・家畜と漁業統計 ・食料安全保障と 旱魃予測 ・農地 ・劣化指数 ・栄養素バランス ・営農組織 ・土地被覆変化	<b>⑨生物多様性の保護</b> (課題と範囲) ・生態系の領 域と条件種の 分布と現状 ・鍵を握る個体 群における遺 伝的多様性
--	--	--	--	--	--	---	---	--

#### 我が国の貢献3分野





# 3. 目的

## 政策からGPM/DPR目的設定までの流れ

我が国の地球観測における衛星開発計画及びデータ利用の進め方について (H17.6.27)	第3期科学技術基本計画【H18~H22】分野別推進戦略(H18.3.28)	地球観測の推進戦略(H16.12.27) ・降水、土壌水分、水蒸気等の水循環要素の衛星観測能力を向上させる。(IV.2.) ・衛星観測を用いた全球の降水分布、(中略)に係る物理量等の長期継続観測の実施と実用化に向けた取組を進める。(IV.14.)	地球観測調査検討WG地球規模水循環部会報告(H16.11) ・降水レーダ、マイクロ波放射計、(中略)等を高度化して、地上観測ネットワークデータによる検証を通して観測精度を向上に務める。」
・気候変動・水循環分野においては、GPMによる国際観測網の構築において、我が国が優位性を持つ降水レーダを衛星群の校正基準として提供する。(6.(2)①)	衛星観測によるモニタリングデータと、数値モデルによる推定値とを統合・解析して地球規模の水循環の変動を把握する(Ⅲ2.(2)プログラム5)		

気候・水循環コミュニティからの要望	水文コミュニティからの要望	気象コミュニティからの要望
<ul style="list-style-type: none"> <li>○少なくとも3時間ごとの全球観測が必要。(水循環部会*)</li> <li>○気候・水循環変動監視やモデル検証に、変動シグナルが判別できる精度が必要(月平均で約10%)。(WCRP、GCOS)。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○少なくとも、3時間ごとの全球観測が必要。(水循環部会*)</li> <li>○洪水予警報システムでの準リアルタイム利用。広域河川で日雨量40%の誤差。(IFNet)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○少なくとも、3時間毎の全球観測が必要(水循環部会*)。</li> <li>○気象予報システムにおける初期値作成のための利用。全球降水を3時間毎、観測後2.5時間以内(気象庁)。</li> </ul>

\* CSTP環境P17地球観測調査検討WG各部会(H16.11)

### 現状 (TRMM/PRの成果と課題)

<p>&lt;成果&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・マイクロ波放射計の降水推定精度が1桁改善(全球平均で10~20%程度)</li> <li>・洪水予測、数値天気予報、台風経路予測等への利用が拡大</li> </ul> <p>&lt;課題&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・降水は変動が激しく観測頻度が不十分。高緯度地方の衛星観測がない。局地的な水資源問題に対処するには時空間分解能が不十分。(水循環部会*)</li> <li>・豪雨洪水時の河川の状況を観測・監視するのに十分な時空間分解能がない。(自然災害部会*)</li> <li>・気候変動・水循環把握、気候変動予測モデルの検証高度化に全球の高頻度、高精度の継続的観測が必要。(定常観測部会*)</li> <li>・日雨量レベルでも地上観測がない地域が大半。(IFNet)</li> </ul>
--

### GPM/DPRへの要望

<p>&lt;観測領域の拡大&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・温帯低気圧帯域の弱い雨を含む降水分布のより正確な観測 →高感度な降水の観測</li> </ul> <p>&lt;観測頻度の向上&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・マイクロ波放射計又はマイクロ波サウンダを搭載した副衛星群との連携観測 →高頻度な降水の観測</li> </ul> <p>&lt;レーダ観測の継続と精度向上&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・レーダによるマイクロ波放射計及びマイクロ波サウンダの降水推定精度の向上 →高精度な降水の観測</li> </ul> <p>&lt;日変化の観測&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・時間変動スケールの短い降水の日変化・降水システムの構造を観測 →太陽非同期軌道による観測</li> </ul>
--

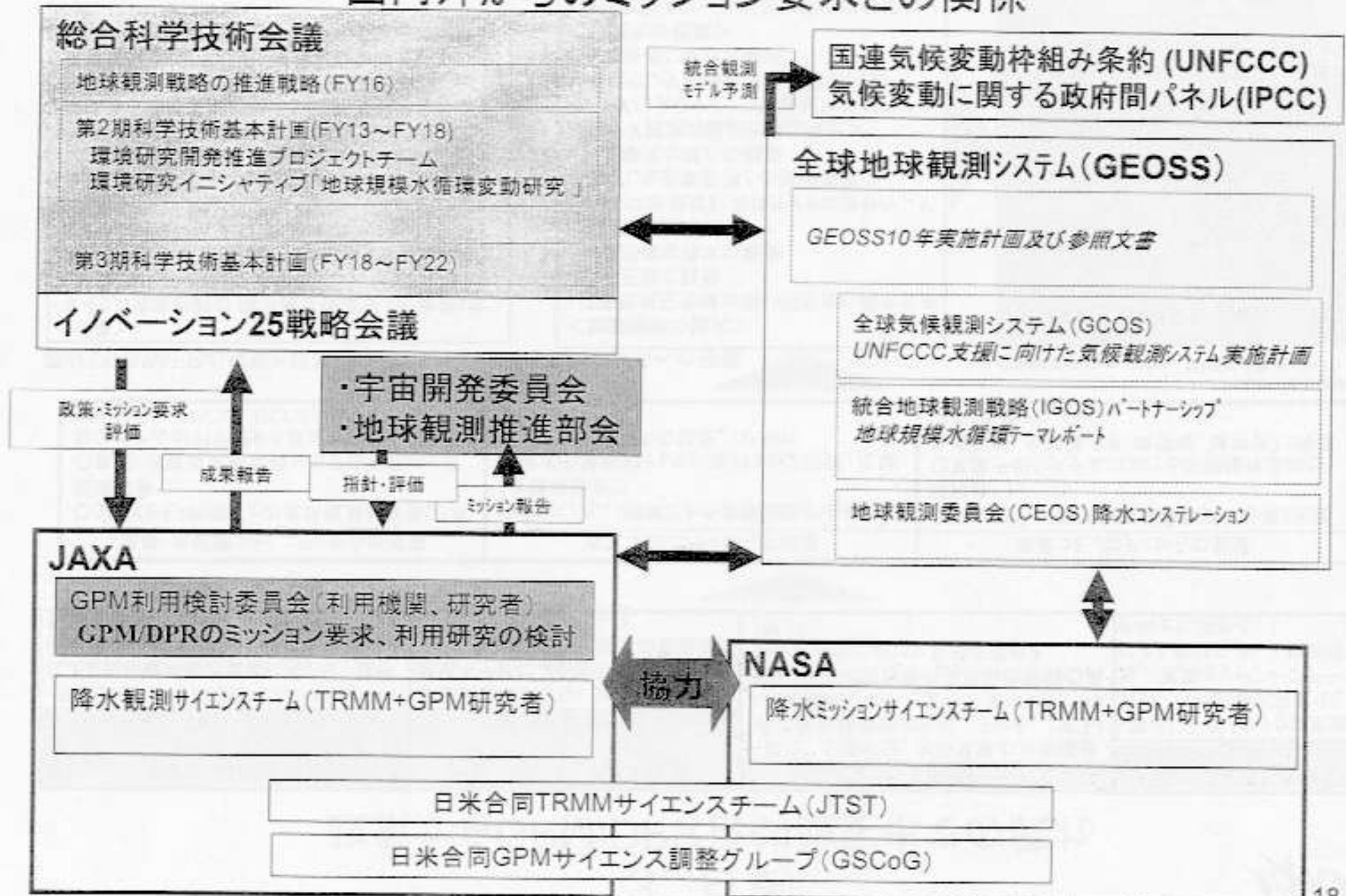
### GPM/DPRの目的

<ul style="list-style-type: none"> <li>・気候変動・水循環変動の解明のための高精度・高頻度な全球降水観測データの取得</li> <li>・全球合成降水マップの準リアルタイム配信による、データ利用手法の技術開発</li> <li>・DPRデータを利用して、極数衛星のマイクロ波センサ(マイクロ波放射計およびマイクロ波サウンダ)データからの降水推定精度向上手法の開発、技術実証</li> <li>・洪水予測、数値天気予報精度向上、台風予測精度向上等の実利用及び現業利用、風水害防災への利用等、GPM/DPR総合システムの利用実証</li> <li>・TRMM/PRの技術を継承・発展させた二周波降水レーダの技術実証</li> </ul>
---

### 3. 目的



## 国内外からのミッション要求との関係



# 4. 目標



## 国際GPM計画の目標とJAXA GPM/DPRプロジェクトの目標

### GPM/DPRの目的

- 気候変動・水循環変動の解明のための高精度・高頻度な全球降水観測データの取得
- 全球合成降水マップの準リアルタイム配信による、データ利用手法の技術開発
- DPRデータを利用して、複数衛星のマイクロ放センサ(マイクロ波放射計およびマイクロ波サウンダ)データからの降水推定精度向上手法の開発、技術実証
- 洪水予測、数値天気予報精度向上、台風予測精度向上等の実利用及び現業利用、風水害防災への利用等、GPM/DPR総合システムの利用実証
- TRMM/PRの技術を継承・発展させた二周波降水レーダの技術実証

### GPM/DPR総合システムに対するミッション要求条件

- 月平均全球降雨量の緯度分布の推定精度±10%以内を達成
- 軌道傾斜角約65度の太陽非同期軌道\*からの、感度0.2mm/hrでの降水の常時観測を実施
- 広域河川(20,000m<sup>2</sup>以上)の日雨量推定精度±40%以内を達成
- GMI及び副衛星群搭載マイクロ波センサレベル1データ受信後30分以内で配信、60分以内で全球合成降水マップ準リアルタイムプロダクトを作成・配信

### 国際GPM計画に対するミッション要求条件(参考)

- 全球降水の観測
  - ・固体降水を含めた観測
- 高精度観測
  - ・降水の鉛直構造の観測
  - ・固体降水の識別
  - ・弱い降水の観測、雪の観測
  - ・雨滴粒径分布情報取得
  - ・DPRを用いた副衛星群による降水量推定精度向上
- 高頻度観測
  - ・日変化の観測
  - ・高頻度な観測と迅速なデータ処理・提供

\*太陽非同期軌道:極軌道副衛星の校正、降水の日変化・季節変化等の降水システムの構造を観測するために選定

## 4. 目標 DPRのサクセスクライテリア

ミッション要求条件	ミニマムサクセス (判断時期: 初期C/O完了から1年後)	フルサクセス (判断時期: ミッション期間[3年]終了時)	エクストラサクセス (判断時期: ミッション終了審査時)
月平均全球降雨量の緯度分布の推定精度±10%以内を達成	<ul style="list-style-type: none"> <li>●DPRによる日本国内の12ヶ月平均降雨量と、日本のアメダス雨量計による12ヶ月平均降雨量との差が±10%程度となること。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●DPRによる長期間の平均降雨量と、世界各地の地上雨量計ネットワークによる長期間の平均降雨量の差が±10%以内となること。</li> </ul>	—
軌道傾斜角約65度の太陽非同期軌道からの感度0.2mm/hrでの降水の常時観測を実施	<ul style="list-style-type: none"> <li>●KuPR又はKaPRにより、0.5mm/hrの感度で、降水の常時観測ができること。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●DPRが機能・性能を満足し、0.2mm/hrの感度で、降水の常時観測ができること。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●ミッション期間を超えて、DPRが機能・性能を満足し、0.2mm/hrの感度で、降水の常時観測ができること。</li> </ul>

## 4. 目標

### 国際協力により達成されるミッション要求条件と その評価指標(参考)

#### NASAの分担分が正常に機能して達成されるミッション要求条件とその評価指標

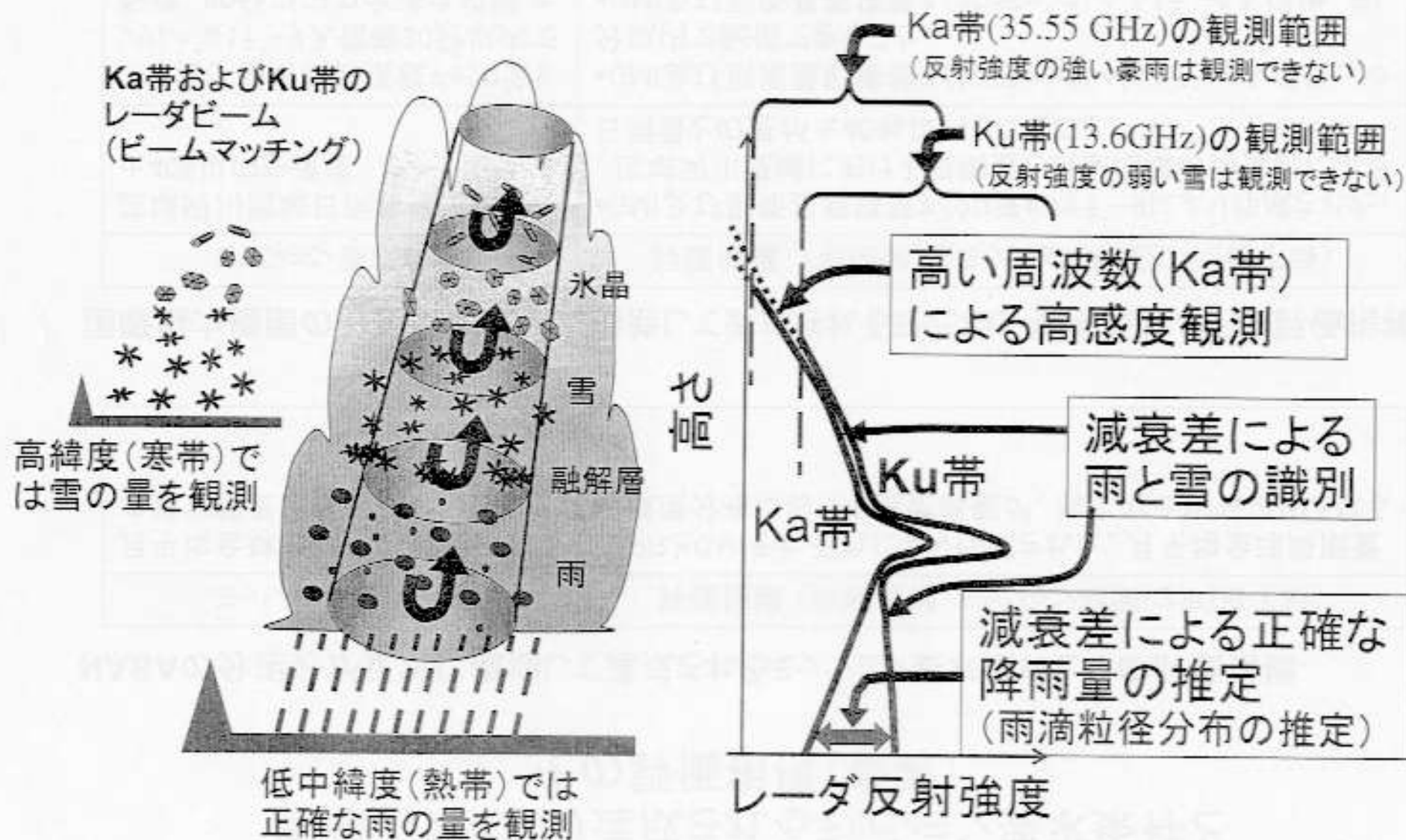
ミッション要求条件	評価指標 (判断時期: ミッション期間[3年]終了時)
月平均全球降雨量の緯度分布の推定精度±10%以内を達成	<ul style="list-style-type: none"> <li>●DPRとGMIそれぞれにより作成された、月平均全球降雨量の緯度分布における推定誤差が、海上で±10%以内となること。</li> </ul>

#### 国際協力機関の分担分が正常に機能して達成されるミッション要求条件とその評価指標

ミッション要求条件	評価指標 (判断時期: ミッション期間[3年]終了時)
広域河川流域日雨量推定精度±40%以内を達成	<ul style="list-style-type: none"> <li>●GMI及び副衛星群搭載マイクロ波センサデータにより作成された、広域河川流域における日雨量と当該地域の雨量計による日雨量との差が±40%以内となること。</li> </ul>
GMI及び副衛星群搭載マイクロ波センサレベル1データ入信後30分以内で配信、60分以内で全球合成降水マップ準リアルタイムプロダクトを作成・配信	<ul style="list-style-type: none"> <li>●GMI及び副衛星群搭載マイクロ波センサレベル1データ入信後、30分以内で配信できること。</li> <li>●GMI及び副衛星群搭載マイクロ波センサレベル1データ入信後、60分以内で全球合成降水マップ準リアルタイムプロダクトを作成・配信できること。</li> </ul>

# 4. 目標

## 二周波観測の意義



## 5. 開発方針

- DPR開発については、ミッション要求の達成および確実な開発を基本方針とする。
  - ミッション要求の開発仕様への確実な反映
  - 信頼性の向上
  - ステップを踏んだ開発方式及び開発スケジュール
  - JAXAとNASAの技術的要求の整合性に留意した開発

## 5. 開発方針 NICTとの開発分担

<p>開発研究段階</p> <p>&lt;JAXA &gt;</p> <p>DPR 全体システム取り纏め・技術管理</p> <p>KuPR システムEM 製作・試験</p> <p>KuPR 熱構造モデル製作・試験</p> <p>KaPR 熱構造モデル製作・試験</p> <p>&lt;NICT &gt;</p> <p>KaPR システムEM の製作・試験</p> <p>KaPR 送受信系のPFM 用デバイス評価</p>	<p>開発段階</p> <p>&lt;JAXA &gt;</p> <p>DPR (KuPR, KaPR) PFM 製作・試験</p> <p>&lt;NICT &gt;</p> <p>DPR 軌道上評価支援</p>
---	---

### NICT-JAXAの連絡・開発体制の強化

- 連絡会を設置
- JAXA、NICT、開発メーカーからなる3者会議で連絡・調整を実施
- インタフェース部分のみでなく全体について相互に出席して確認・審査を実施



## 6. システム選定および設計要求

### GPM/DPR総合システムの仕様設定

平成15年10月プロジェクト移行前審査  
 ミッション要求条件書を設定し、  
 それに基づき、GPM/DPR総合シス  
 テム仕様を設定。それに基づきGP  
 M/DPR開発仕様及びミッション運用系  
 /利用研究系システム仕様を設定

GPM/DPRミッション要求条件書



GPM/DPR総合システム仕様書



GPM/DPR開発仕様書  
 ミッション運用系/利用研究系システム仕様書



平成17年12月  
 GPM/DPR開発仕様書を改訂した。

GPM/DPR開発仕様書

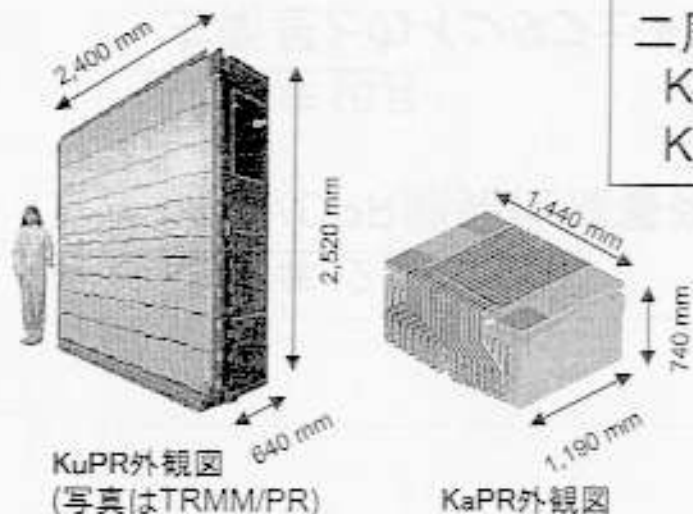
平成18年10月  
 主衛星とのインタフェース管理仕様書  
 を制定した。

GPM主衛星-DPRインタフェース  
 管理仕様書

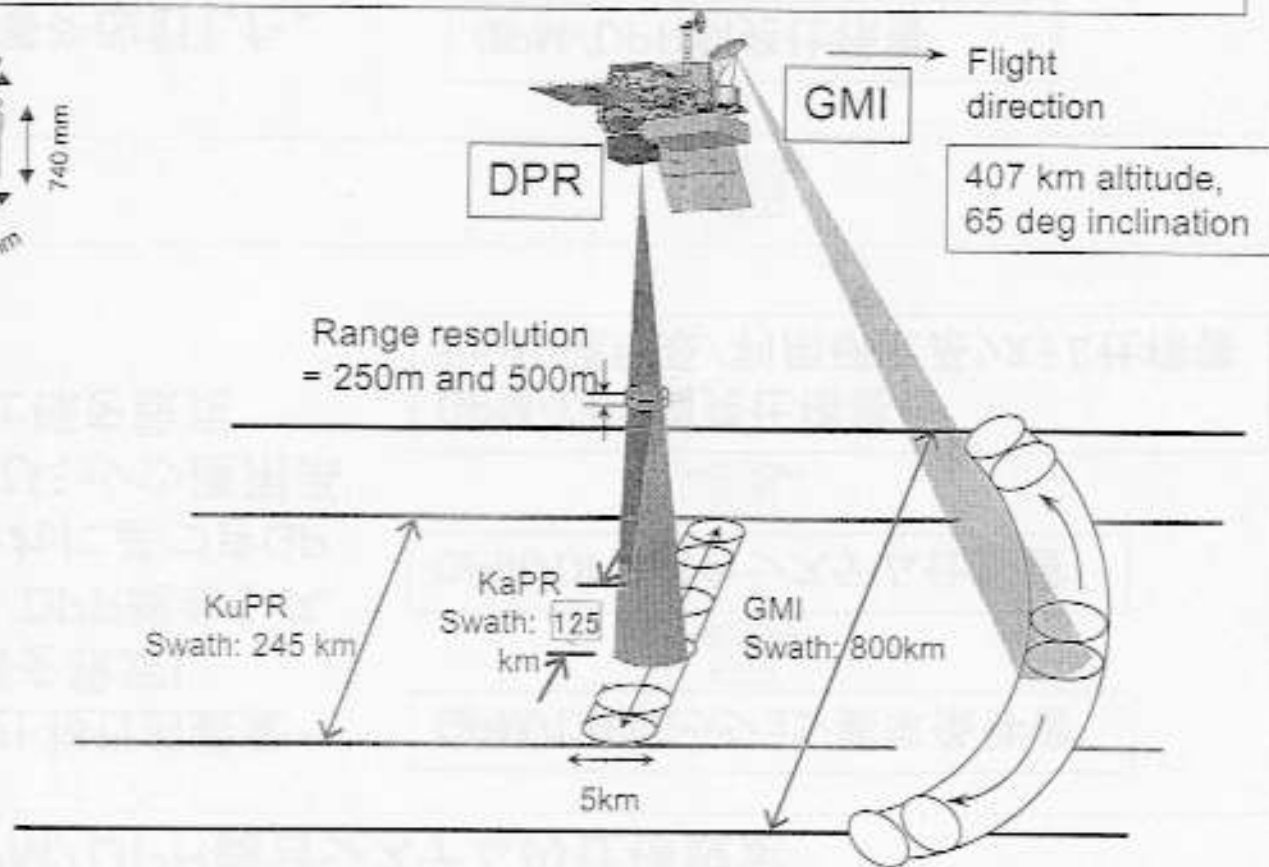
# 6. システム選定および設計要求

## DPRの概要(1/2)

二周波降水レーダは二つのレーダから構成される  
 Ku帯降水レーダ: KuPR (13.6GHz)  
 Ka帯降水レーダ: KaPR (35.55GHz)



項目	仕様
ミッション機器	二周波降水レーダ(DPR) GPMマイクロ波放射計(GMI)
ロケット	H-IIAロケット
設計寿命	3年2ヶ月
質量	3,500kg(DPR:792kg)
軌道種別	太陽非同期円軌道
軌道高度	407km
軌道傾斜角	65度



DPRの観測概念図

## 6. システム選定および設計要求

### DPRの概要(2/2)

	KuPR	KaPR
中心周波数	13.597 , 13.603 GHz	35.547 , 35.553 GHz
距離分解能 パルス幅	250 m 1.67 $\mu$ s	250 m / 500 m 1.67 $\mu$ s/3.34 $\mu$ s
水平分解能 ビーム半値幅	5.2 km (at nadir) 0.71° $\pm$ 0.02° (at nadir)	5.2 km (at nadir) 0.71° $\pm$ 0.02° (at nadir)
走査幅	245 km	125 km
走査周期	0.7 sec	0.7 sec
観測高度	地表面より19 kmまで	地表面より19 kmまで
最小測定降雨強度	0.5 mm/hr	0.2 mm/hr
受信電力測定精度	$\pm$ 1 dB	$\pm$ 1dB
ビームマッチング精度	< 1000 m	
データレート	< 108.5 kbps	< 81.5 kbps
質量	< 456 kg	< 336kg
消費電力	< 406 W	< 304 W
寸法	2.4 $\times$ 2.5 $\times$ 0.6 m	1.4 $\times$ 1.1 $\times$ 0.7 m

## 6. システム選定および設計要求

### DPRの信頼性向上

- ・ミッション全損につながる単一故障点を極力避ける構成を検討  
→TRMM PRで存在したKuPRまたはKaPRの全損となる単一故障点を排除
- ・KuPRとKaPRどちらか片方だけでも動作できるサバイバル性の確保
- ・放電確認試験、熱制御材の耐環境性・耐久性・帯放電対策
- ・KuPR-KaPR間ハーネスのデブリ対策

# 6. システム選定および設計要求

## DPRシステム 技術成熟度及び評価計画



構成要素名	主要機能	実績	新規技術識別	評価計画*	
				試作モデル	EM等
(センサシステム)					
DPR	二周波降水レーダ	—			○
KuPR	Ku帯降水レーダ	TRMM/PR			○
KaPR	Ka帯降水レーダ	—			○
(サブシステム・コンポーネント)					
アンテナ系	マイクロ波パルスの送信 レーダエコーの受信	—	導波管薄肉化 (KuPR、KaPRとも)	○	○
送受信系	送信マイクロ波パルスの増幅、分波 受信マイクロ波エコーの合波、増幅、 帯域制限	—	新規デバイス開発及びT/R ユニット化 (KuPR、KaPRとも)	○	○
周波数変換・ 中間周波数部	送信パルスの発生、アップコンバート 受信エコーのダウンコンバート、増幅	TRMM/PR			○
システム制御デ ータ処理部	レーダ制御、観測データ処理、コマンド ・テレメトリ処理	—	2レーダ同時制御 可変パルス繰り返し周波数 ビームマッチング 新規FPGA (KuPR・KaPR共通)	○	○
計装系	電氣的・機械的接続	TRMM/PR			○
熱制御系	KuPR及びKaPR内の温度制御	TRMM/PR			○
構造系	KuPR及びKaPR内コンポーネントの支持	TRMM/PR			○

\* : フライトモデルに先立ち、新規技術と識別された項目について試作モデルで確認。また、KuPR/KaPRとも32系統(PFMIは128系統)の部分システムエンジニアリングモデル(EM)、熱構造モデルによる設計確認を行う。

## 6. システム選定および設計要求

### DPRのフロントローディング計画及び実施状況(1/5)

段階	計画	実施状況
1	DPRのシステム設計を行い、TRMM/PRからの変更点、新規技術を識別する。	新規技術を含むものとして、アンテナ系の導波管薄肉化、送受信系の新規デバイスおよび送受信ユニット化、システム制御データ処理部の2レーダ同時制御、可変パルス繰り返し周波数制御、ビームマッチング、新規FPGAを識別した。
2	新規技術を含むものの試作・評価を実施する。	アンテナ系薄肉化導波管スロットアンテナBBM(KuPR、KaPR)、送受信モジュールデバイス及び送受信ユニットBBM(KuPR、KaPR)、2レーダ同時制御・可変パルス繰り返し周波数制御・ビームマッチング機能を有するシステム制御データ処理部BBM及びプロトタイプソフトウェアの試作・評価を行い、実現性を確認した。
3	試作・評価結果に基づき、エンジニアリングモデル等の製作・評価計画を策定する。	新規FPGAの評価計画を策定した。 32系統のKuPR及びKaPR部分システムエンジニアリングモデル、熱構造モデルの製作・評価計画を策定した。 プロトフライトモデルの試験計画を策定した。
4	エンジニアリングモデル等の製作・試験	新規FPGAの評価、32系統の部分システムエンジニアリングモデル、熱構造モデルの設計・製作・試験を順調に実施中であり開発移行までに完了する見込みである。

注)KaPRのデバイス、T/R UNIT BBM、システム制御データ処理部及びプロトタイプソフトウェアの試作・評価、KaPRシステムEMはNICTが実施

## 6. システム選定および設計要求

### DPRのフロントローディング計画及び実施状況(2/5)

(1) 薄肉化スロットアンテナ(KuPRはJAXA、KaPRはNICTで実施)

① 試作モデル範囲

- ・KuPR及びKaPRの薄肉化導波管スロットアンテナ単体

② 試作モデル評価結果

- ・試作した薄肉化導波管スロットアンテナ単体について、機械強度特性、電気性能(導波管損失、電圧定在波比、ビーム半値幅、サイドローブ、ビーム傾き角)を評価した。
- ・機械強度特性はKuPR、KaPRとも問題なし。
- ・電気特性については、KuPRはビーム傾き角、KaPRは導波管損失以外は全て目標性能を達成した。
- ・ビーム傾き角は導波管内径寸法誤差によるものであり、素管の段階で寸法測定を行い精度のよいものを使用することにより対応可能である。
- ・導波管損失については、KaPRシステムでの損失配分見直しにより問題ない。

③ エンジニアリングモデル等での評価計画及び状況

- ・KuPRについて32系統の部分システムエンジニアリングモデルによる電気性能確認を実施中。KaPRについては32系統の部分システムエンジニアリングモデルにて電気性能を満足することを確認した。
- ・構造・熱設計を概ね完了。熱構造モデルを製作し、アンテナサブシステムの強度、アライメント、熱設計を確認する予定。

## 6. システム選定および設計要求

### DPRのフロントローディング計画及び実施状況(3/5)

#### (2) KuPR送受信モジュールデバイス及び送受信ユニット

##### ① 試作モデル範囲

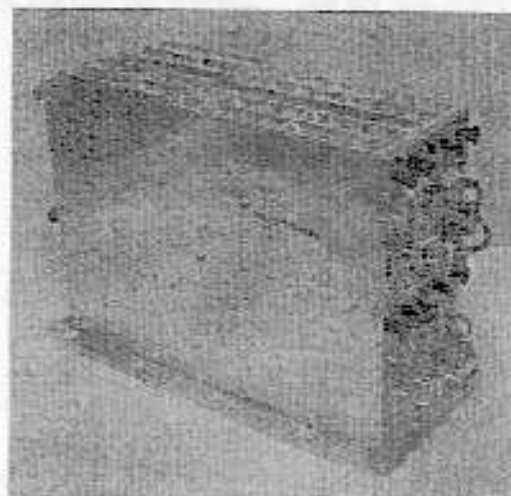
- ・送受信(T/R)モジュールデバイス開発: 移相器・スイッチ・中間増幅器・振幅制限増幅器の集積回路試作、高出カトランジスタ試作
- ・8台のT/Rモジュール(電気モデル2台、熱ダミー6台)からなるT/RユニットBBMの試作

##### ② 試作モデル評価結果

- ・新規デバイスについて概ね目標性能を達成した。
- ・T/Rユニットについては、当初出力電力、受信利得、雑音指数、消費電力が目標性能を満足しなかったため、設計変更を行い、変更点を反映した送受信モジュールの再試作を行った。その結果、消費電力を除く全ての目標機能・性能を達成した。消費電力はDPR全体での配分を見直すことにより対処することで問題ない。

##### ③ エンジニアリングモデルでの評価計画と状況

- ・4台のT/Rユニットを製作し、設計検証及び耐環境性確認を行う。また32系統のKuPR部分システムエンジニアリングモデルに組み込んで電氣的機能・性能の確認を行う計画。
- ・設計を完了し、現在T/Rユニットの製作を順調に実施中。



KuPR T/R UNIT BBM



## 6. システム選定および設計要求

### DPRのフロントローディング計画及び実施状況(4/5)

#### (3) KaPR送受信モジュールデバイス及び送受信ユニット(NICTで実施)

##### ① 試作モデル範囲

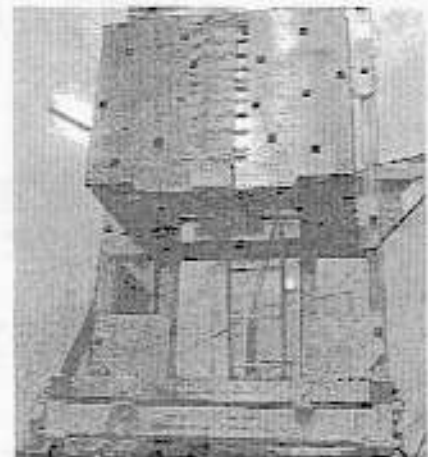
- ・送受信モジュールデバイス開発: 高出カトランジスタ、移相器、固体電力増幅器(SSPA)・低雑音増幅器(LNA)・移相器(PHS)に使用するハイブリッド集積回路の試作
- ・8台のT/Rモジュール(電気モデル2台、熱ダミー6台)からなるT/RユニットBBMの試作

##### ② 試作モデル評価結果

- ・新規デバイスについて概ね目標性能を達成。
- ・T/Rユニットについては、当初出力電力、雑音指数が目標性能を満足しなかったため、設計変更を行い、変更点を反映した再試作を行った。その結果、全ての目標機能・性能を達成した。

##### ③ エンジニアリングモデルでの評価計画と状況

- ・4台のT/Rユニットを製作し、設計検証及び耐環境性確認を行う。また32系統のKaPR部分システムエンジニアリングモデルに組み込んで電氣的機能・性能の確認を行う計画。
- ・T/Rユニットの製作を完了。32系統のKaPR部分システムエンジニアリングモデルに組み込んで電氣的機能・性能試験を順調に実施中。



32系統のKaPR部分システムエンジニアリングモデル(NICT)

## 6. システム選定および設計要求



### DPRのフロントローディング計画及び実施状況(5/5)

- (4) 2レーダ同時制御、可変パルス繰り返し周波数制御、ビームマッチング機能を有するシステム制御データ処理部BBM及びプロトタイプソフトウェア(NICTで実施)  
新規FPGAの評価(JAXAで実施)
- ① 試作モデル範囲
    - ・システム制御・データ処理部BBM及び搭載ソフトウェアのプロトタイプを試作
  - ② 試作モデル評価結果
    - ・システム制御・データ処理部BBMにプロトタイプソフトウェアを搭載して試験を行った。その結果、2レーダ同時制御、可変パルス繰り返し周波数制御、ビームマッチング機能を含む目標機能・性能を達成した。
    - ・搭載ソフトウェアについてはソフトウェア要求仕様及びプロトタイプソフトウェアの設計結果に対する独立検証を実施し、その結果を反映した。
    - ・プロトタイプソフトウェアを組み込んだシステム制御・データ処理部BBMを32系統のKaPR部分システムエンジニアリングモデルと組み合わせて動作確認を実施した。
  - ③ エンジニアリングモデルでの評価計画と状況
    - ・新規FPGAの評価。システム制御・データ処理部EMを製作し、搭載ソフトウェアと組み合わせ、設計検証及び耐環境性確認を行う。また32系統のKuPR部分システムエンジニアリングモデルに組み込み電氣的機能・性能を確認を行う計画。
    - ・新規FPGAの評価を実施中。システム制御・データ処理部EMの製作を完了し、今後試験を実施する。

## 6. システム選定および設計要求

### 地上システム

地上システムは、ミッション運用系システム、利用研究系システムから構成される。追跡管制システムはNASAの分担となる。現在、システムの概念検討・概念設計、アルゴリズム開発のための準備を実施中である。

運用の低コスト化・信頼性向上のため、

- ・既存のデータ処理システムの開発・運用における資産、培ったノウハウを継承、発展、活用し、開発期間の短縮とコスト削減を図る。
- ・運用の自動化を最大限考慮する。また、少人数の要員で運用できるよう、動作状況のモニタ機能、問題発生時の調査・解析手段を充実させる。
- ・NASAとの協力により共有ソフトウェア開発を分担する。

#### ーミッション運用系システム

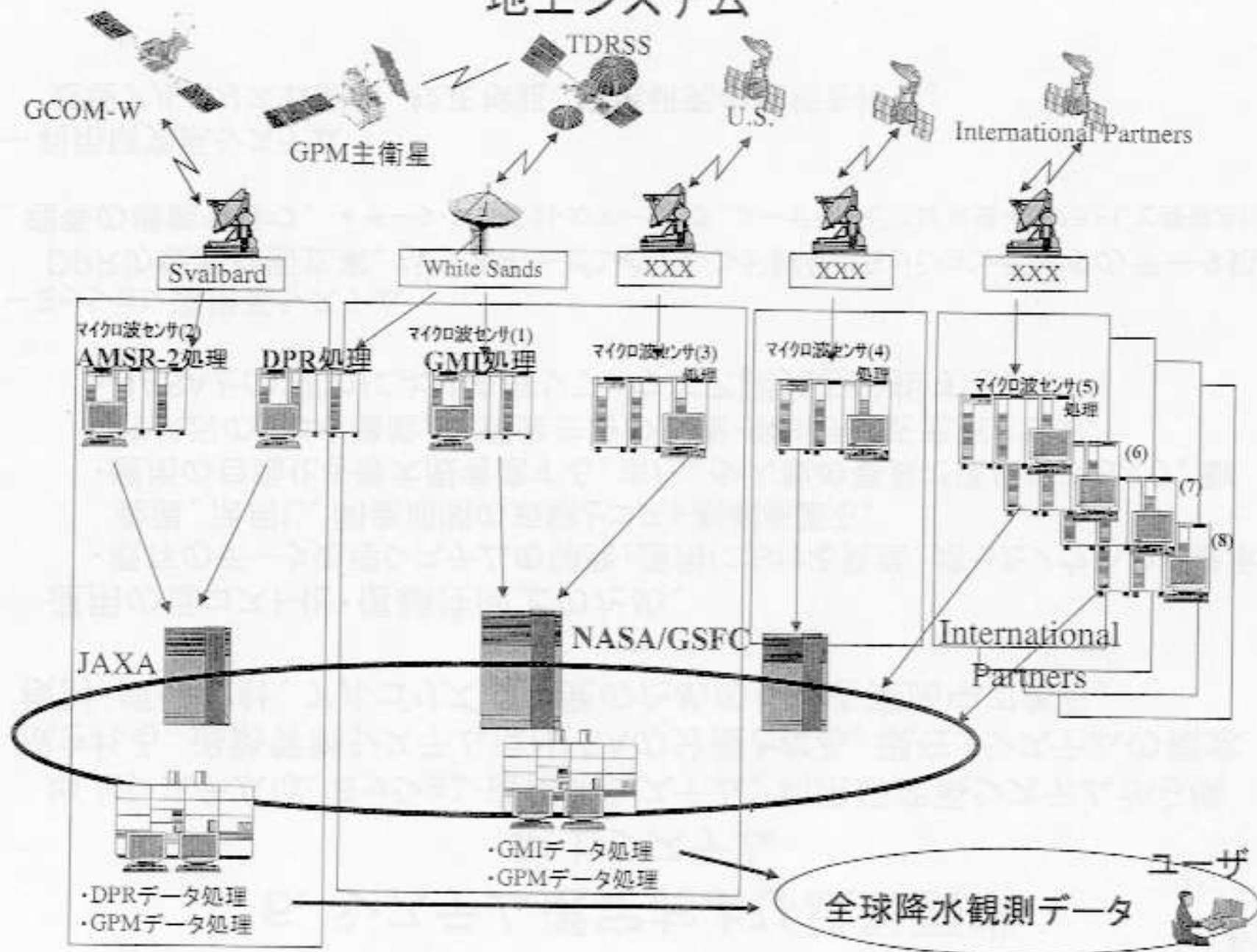
DPRの観測計画立案、ハウスキーピングトレンド評価、ミッションデータのデータ処理等の機能を持つ。\*データ・プロダクトのアーカイブ、ユーザサービスは共通インフラとして整備される

#### ー利用研究系システム

処理アルゴリズム開発、校正検証、応用研究の機能を持つ。

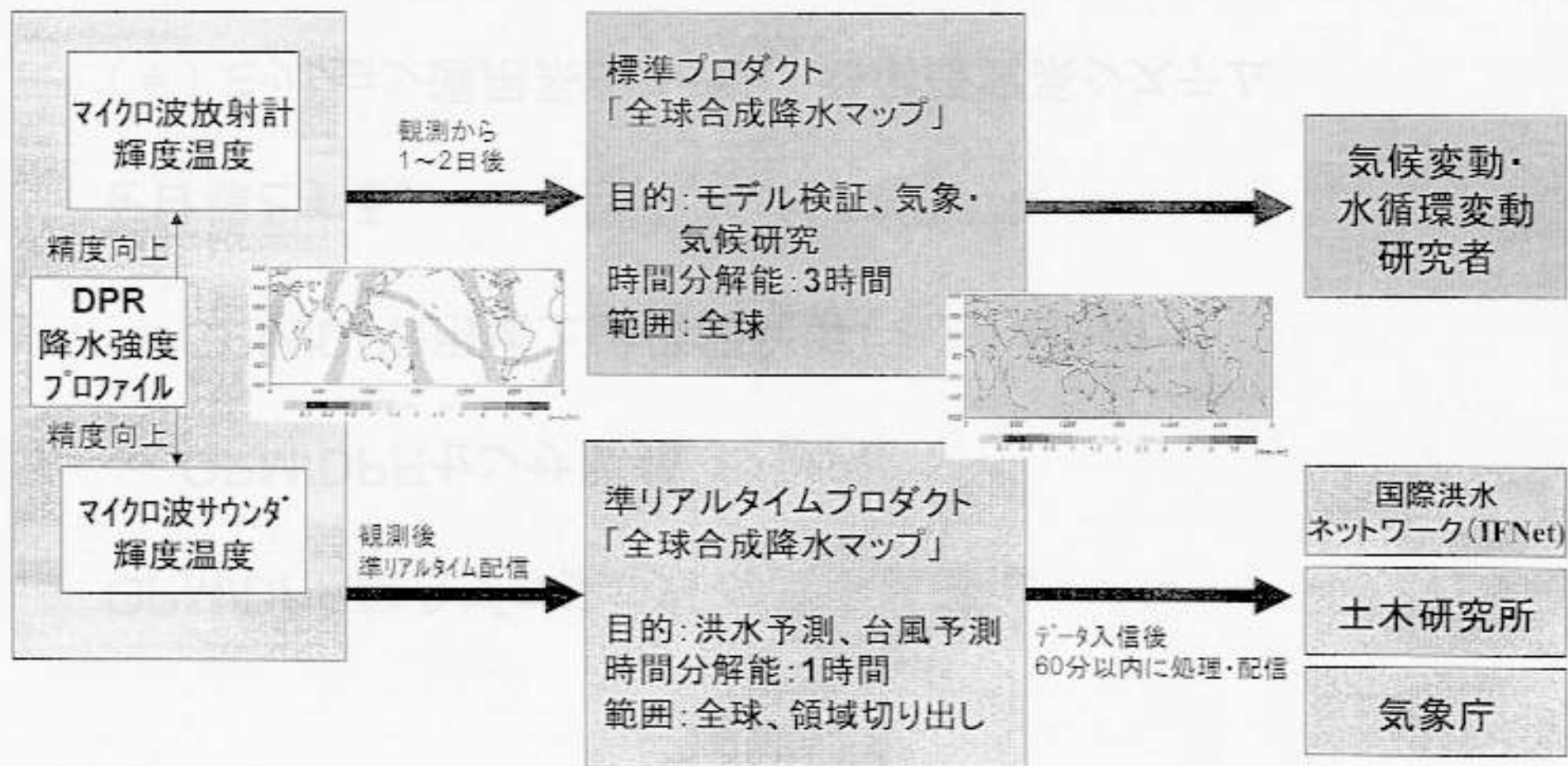
# 6. システム選定および設計要求

## 地上システム



## 6. システム選定および設計要求 利用研究

全球合成降水マッププロダクトの作成と利用者への提供までの流れ



## 7. 開発計画 資金計画

GPM/DPR総合プロジェクトの資金計画は

- GPM/DPRセンサ開発 92億円
- GPM/DPR用地上設備開発等（\*）18億円

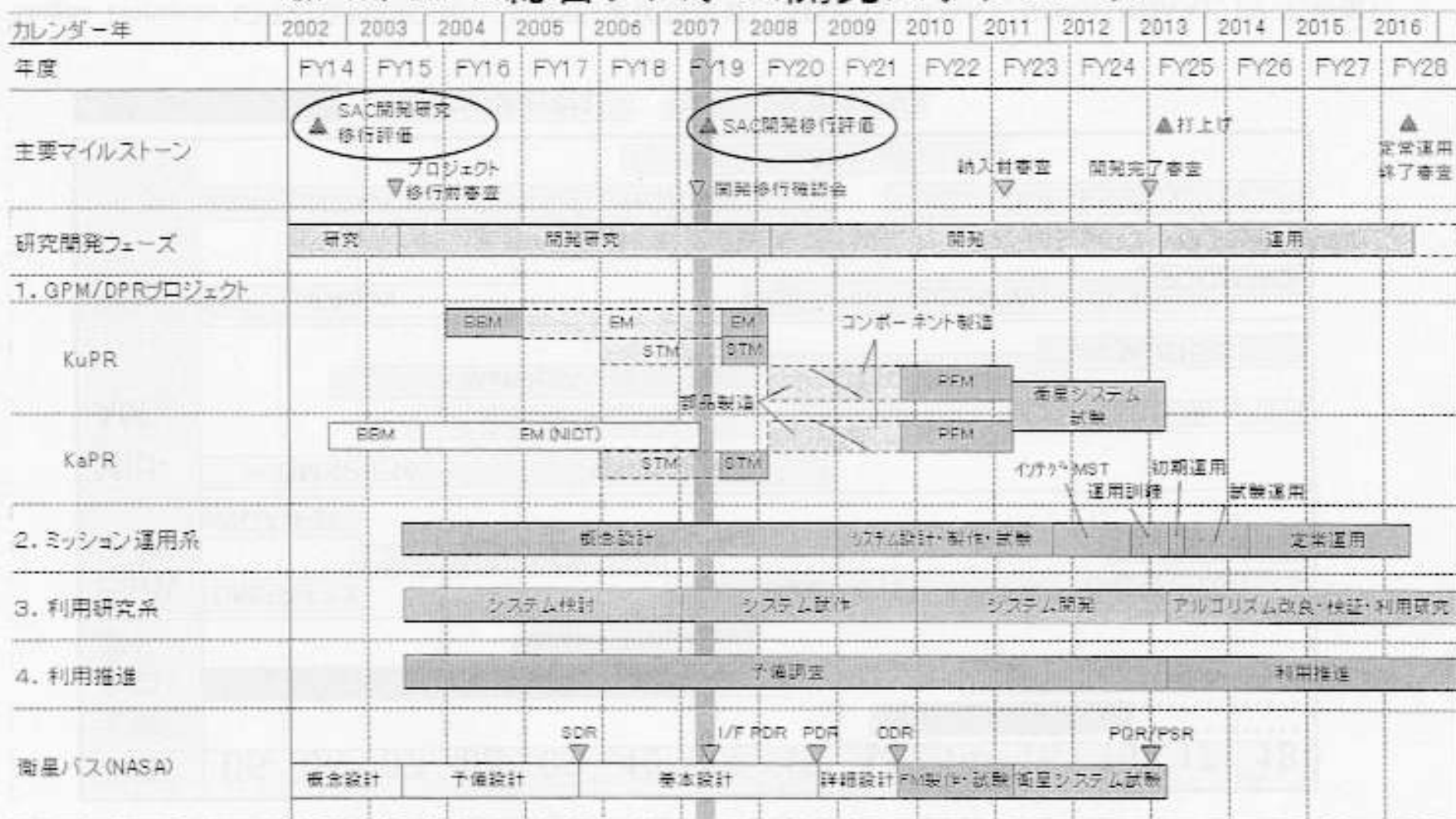
を目標とする。

（\*）ミッション運用系システム、利用研究系システム

# 7. 開発計画



## GPM/DPR総合システム開発スケジュール

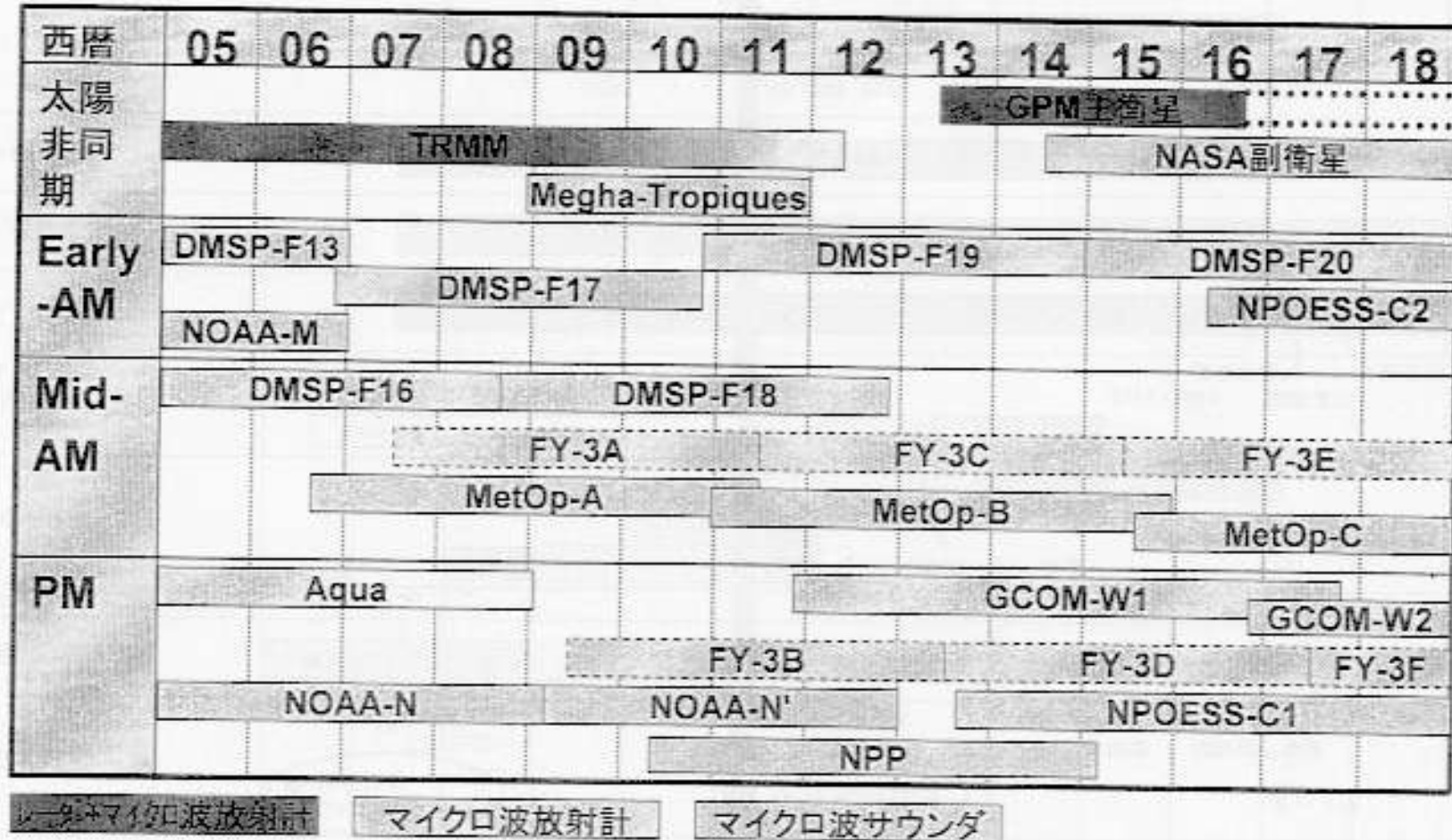


- \* NASAから打上げの2年前にDPRの引渡しを求められている。
- \* PFMの組み立て・システム試験、米国への輸送を経て、DPRのNASAへの引渡しまでに約1.5年必要
- \* DPRの256台の送受信系を製造するため、PFM用部品及びコンポーネント製造に2年弱の期間が必要  
→これらより平成20年度からPFMの部品製造に着手する必要がある。

# 7. 開発計画



(参考) 副衛星群の打上げ時期



Megha-Tropiques (CNES[仏]/ISRO[印])、DMSP(米国防総省)、NPOESS(NOAA)、NOAA(NOAA)、FY-3(中国)、MetOp(欧州気象衛星機関)、Aqua(NASA)、GCOM-W(JAXA)、NPP(NASA/NOAA/米国防総省)



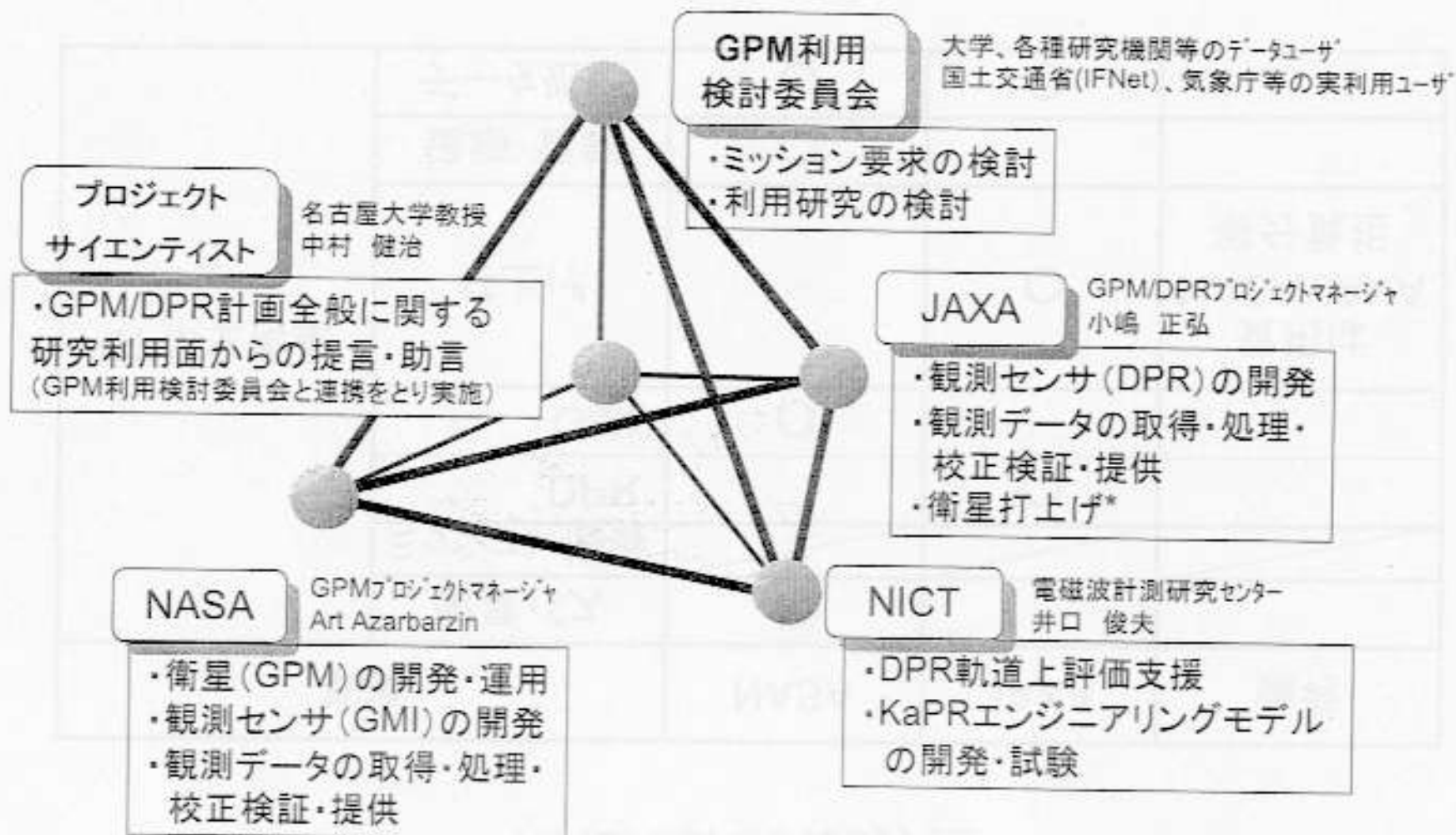
## 7. 開発計画 NASA-JAXAの分担



事項		NASA	JAXA	備考
GPM主衛星	衛星バス	○		
	ミッション機器	/	/	/
	DPR		○	
	GMI	○		
	打上げ		○	費用は NASA/JAXA 等分負担
	追跡・管制	○		
	データ処理	○	○	

# 7. 開発計画

## JAXA—協力機関の実施体制



\*衛星打上げはJAXA/NASA共同で実施する

## 7. 開発計画

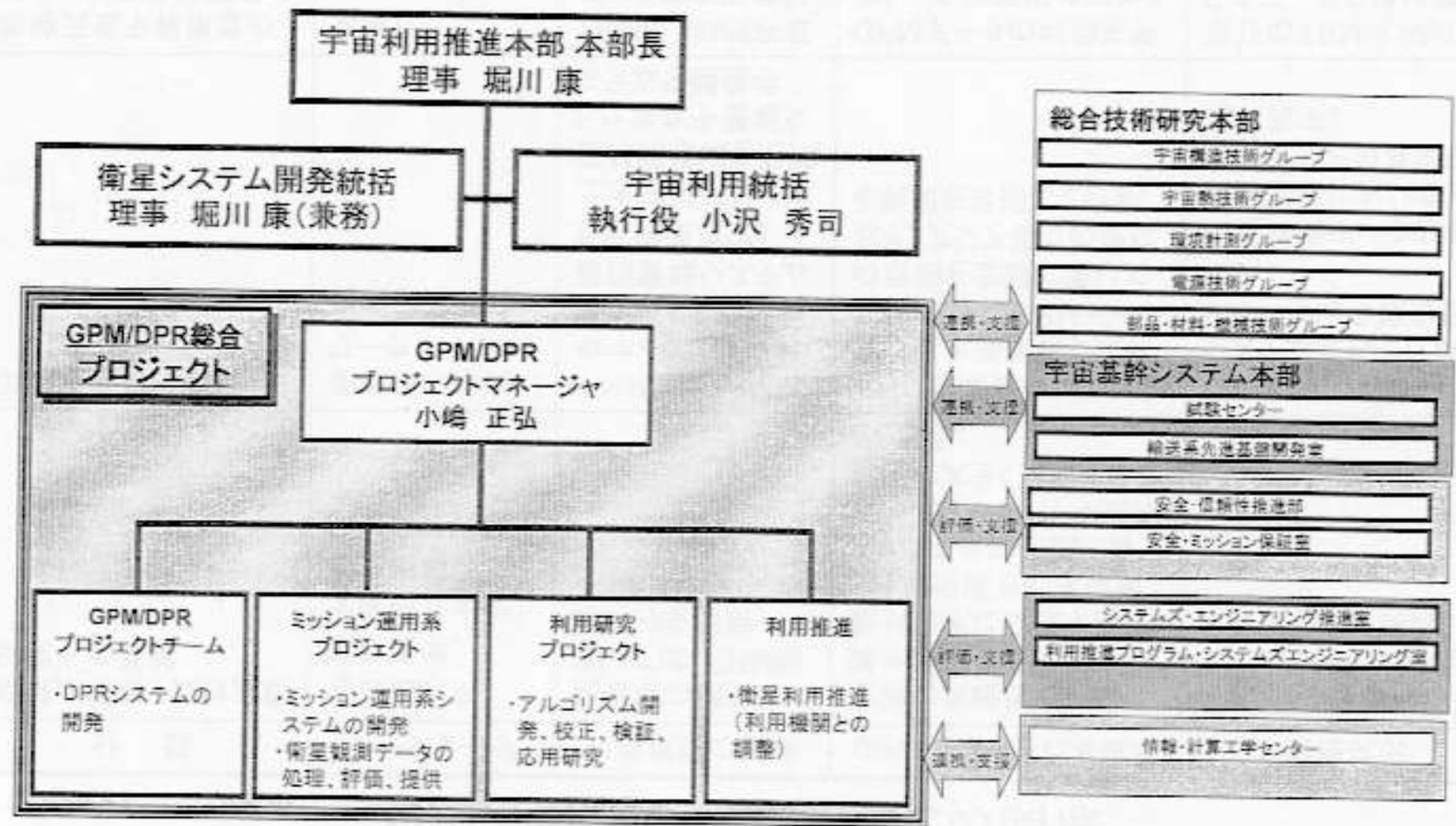
### 利用分野及び利用機関との関係

分野	データユーザ	利用実証の現状	GPMで期待される成果	調整状況
全球水循環、気候変動研究への貢献	名古屋大学、 東京大学、 大阪府立大学、 気象研等 RIで研究実施	熱帯域の研究においては、TRMMのデータを利用	全球の高精度・高頻度降水観測により、気候変動が降水に及ぼす影響、地球規模での水循環メカニズムの把握に貢献し、GEOSS10年実施計画に大きく貢献することとなる。	FY19から降水科学ミッション研究公募による共同研究を開始。
洪水予警報への貢献	国際洪水ネットワーク(IFNet) 土木研究所	IFNetではTRMMやマイクロ波放射計データを用いて豪雨警報システムを試験運用中。 土木研究所は、衛星降雨情報を活用した洪水予警報システムを開発中	IFNet豪雨警報システム及び洪水予警報システムは、ともにGPMデータの活用を念頭に置いており、アジア等での更なる利用を目指している。	現在のIFNet豪雨警報システム立ち上げ時より、IFNetとの協力を継続。 衛星降雨データの精度評価等において土木研究所との共同研究実施中。
数値天気予報精度の向上、台風予報精度の向上	気象庁	TRMM、AMSR-Eデータ等を現業利用中	GPMデータの利用を予定し、予報精度の更なる向上が図れる。	現在のTRMM,AMSR-Eのデータ交換に関する気象庁との協定を継続。GPM主衛星打ち上げ後に、本協定にGPMを追加予定。

\* 上記のデータユーザとの調整は利用検討委員会にて実施されている。

# 7. 開発計画

## JAXA社内での実施体制



## 7. 開発計画

### 衛星開発企業との責任分担

– GPM/DPRにおいては、契約企業との責任分担は以下のように行う。

- JAXAは、ミッション要求をブレークダウンして、DPRシステムに対する開発仕様を設定することに責任を持つ。
- 契約企業は、JAXAが設定した開発仕様を満足するDPRシステムの設計と製造を行い、製造した物が開発仕様を満足することを試験等で立証する責任を有する。

## 8. リスク管理



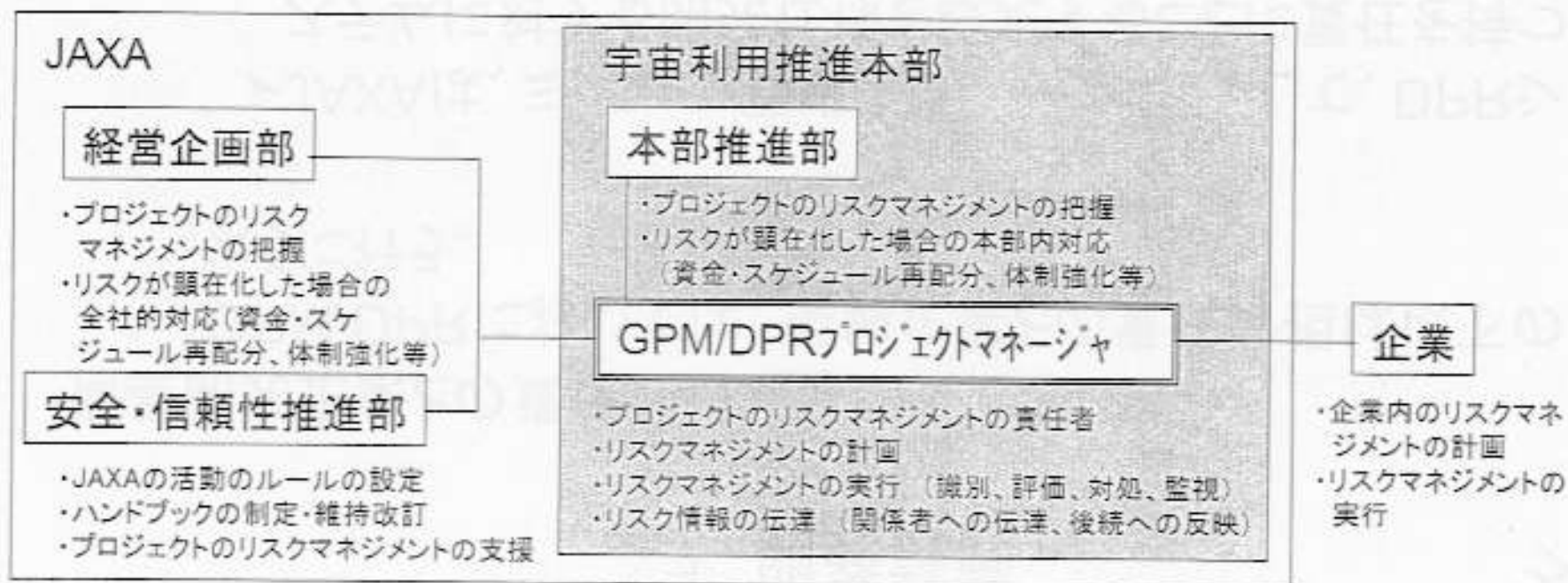
### (1) リスク管理方針

GPM/DPRプロジェクトのリスクについては、JAXAの標準である「リスクマネジメントハンドブック」(JMR-011)に基づき、「GPM/DPR総合プロジェクトリスク管理計画書」としてまとめ、開発期間を通して維持管理を行う。

### (2) リスク管理の実施計画

#### ➤ リスク管理体制の構築

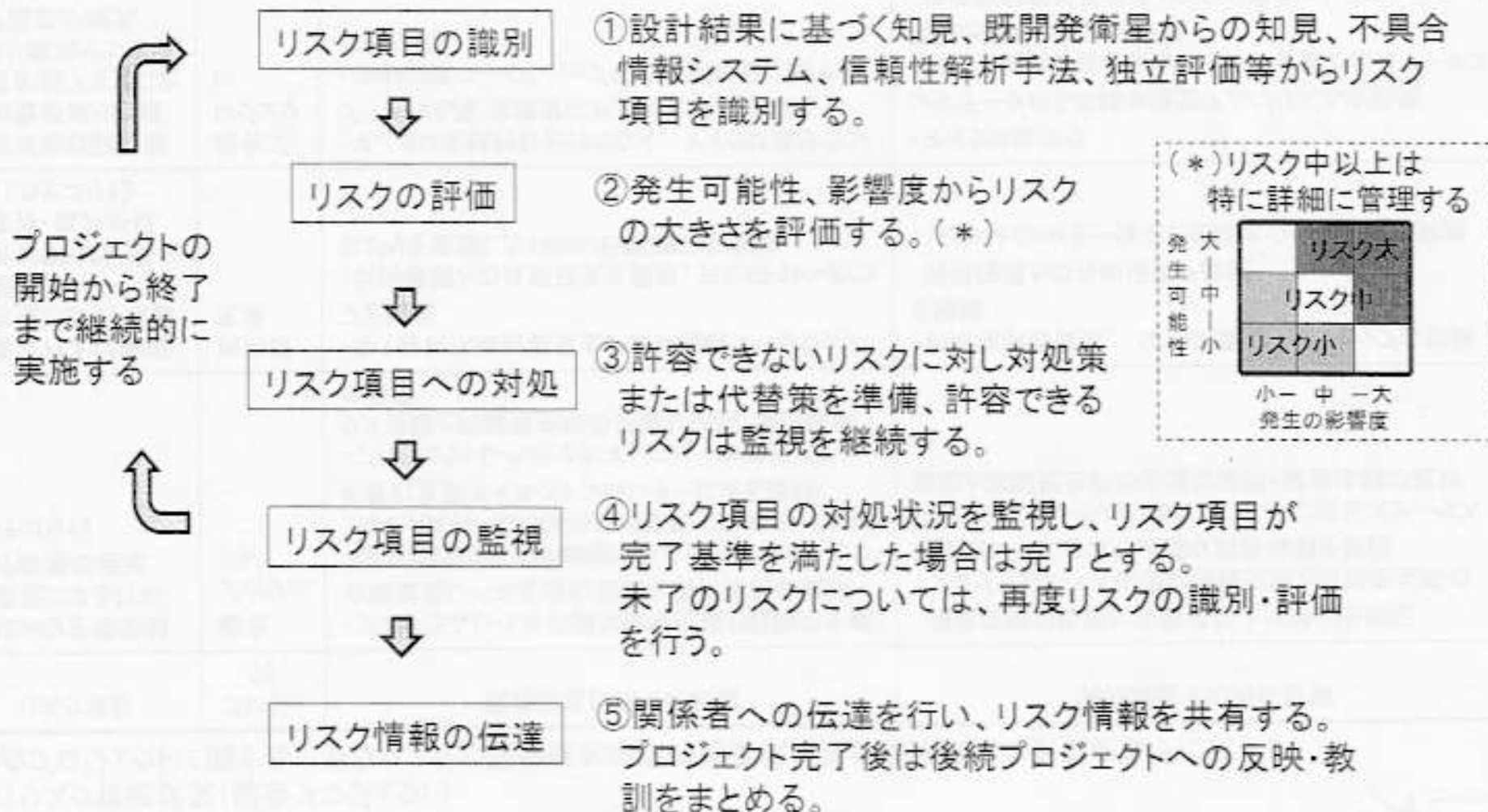
プロジェクト内外の役割と責任を決定し、リスク管理を実行する体制を構築する。



## 8. リスク管理

### ▶リスク管理の実行

プロジェクトの開始から終了まで、継続的に以下のリスク管理を実行し、開発へのフィードバックを図る。



## 8. リスク管理



### (3) リスク管理状況(総合プロジェクト)

総合プロジェクトに関する主要なリスクの開発研究段階の処置状況及び開発段階の計画を以下に示す。

リスク項目	プロジェクト	開発研究段階での処置	開発段階での対応計画
NASAの主衛星開発遅延による打ち上げ時期の遅延 【カテゴリ1】	総合プロジェクト	<ul style="list-style-type: none"> <li>・プログラムレベルの密な情報交換と問題発生時の経営者レベルを含む迅速な調整体制の構築</li> <li>・開発段階の協定が締結されるまでの措置として、NASA局長－JAXA担当理事間での打ち上げ時期を含む主要マイルストンのレターによる確認</li> <li>・プロジェクトレベルでのマンスリーな相互ステータス確認と問題発生時の迅速な連絡・調整体制の構築</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・開発段階の協定に主衛星打ち上げ時期を明記</li> <li>・プログラムレベルの密な情報交換と問題発生時の経営者レベルを含む迅速な調整体制を継続</li> <li>・プロジェクトレベルでのマンスリーな相互ステータス確認と問題発生時の迅速な連絡・調整体制の維持</li> </ul>
主衛星打ち上げ時期の遅延により、水循環関係のユーザ・科学者のGPM計画への支持・協力が低下 【カテゴリ1】	利用研究系	<ul style="list-style-type: none"> <li>・年1回利用検討委員会、GPM国際ワークショップを開催</li> <li>・利用機関との共同研究を開始。またGPMへのつながりを意識したTRMM公募研究を実施</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・利用検討委員会、GPM国際ワークショップの開催を継続</li> <li>・利用機関との共同研究を継続</li> <li>・TRMMとGPMを一体化した降水の公募研究を実施</li> </ul>
利用可能な副衛星群の数が減り観測頻度が低下することにより降雨サンプリング誤差が増大 【カテゴリ1】	総合プロジェクト	<ul style="list-style-type: none"> <li>・マイクロ波放射計だけでなく、マイクロ波サウンダデータも降水推定に利用する検討を実施</li> <li>・GPM国際ワークショップ等での副衛星に関する情報交換</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・マイクロ波サウンダデータからの降水推定アルゴリズムを開発</li> <li>・副衛星機関を含む全GPMパートナー間でのステータス確認と調整の体制を構築</li> <li>・地球観測衛星委員会(CEOS)降水コンステレーションのフレームワークを活用した新規副衛星の獲得</li> </ul>
H-IIAの技術トラブルによる打ち上げ延期 【カテゴリ1】	総合プロジェクト	<ul style="list-style-type: none"> <li>・H-IIAと同等の代替ロケットによる打ち上げについてNASAと調整した結果、NASAからはH-IIA以外での打ち上げは考えない旨の回答を得た</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1年程度の遅延の場合は、打ち上げを遅延させる。それを超える遅延の可能性が生じた場合は、NASAとの調整を行う</li> </ul>

(注) カテゴリ1: JAXA/プロジェクトのコントロールが困難な外的要因が主で、必要に応じて追加コスト、スケジュール見直しを要するもの  
 カテゴリ2: 内的要因が主で、開発研究段階で新たにリスクとして識別されたもの  
 カテゴリ3: 内的要因が主で、開発研究段階で処置するため開発段階でリスクが大幅に低減するもの



## 8. リスク管理



### (3) リスク管理状況(DPR)

プロジェクトに関する主要なリスクの開発研究段階での処置状況及び開発段階での計画を以下に示す。

リスク項目	サブシステム	開発研究段階での処置結果	開発段階での対応計画
DPRの開発上の不具合に起因する主衛星打上げ時期の遅延 [カテゴリ3]	DPRシステム	<ul style="list-style-type: none"> <li>・DPR及びGPM主衛星の適切なスケジュールマージンの確保</li> <li>・将来入手困難となり代替が無い可能性が高い部品のリストアップ</li> <li>・問題発生時のNASA・との迅速な連絡・調整体制の構築</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・メーカーとの開発スケジュール共有等によるDPRの綿密なスケジュール管理</li> <li>・将来入手困難となり代替が無い部品の必要最小限の予備の確保</li> <li>・問題発生時のNASA・との迅速な連絡・調整体制の維持</li> </ul>
新規フィールドプログラマブルゲートアレイ(FPGA)であるRTAX2000について予期しない問題点等が発生し、開発スケジュールが遅延 [カテゴリ2]	システム制御データ処理部	<ul style="list-style-type: none"> <li>・RTAX2000をメイン、JAXA認定品ゲートアレイ化をバックアップとする方針を策定</li> <li>・フライトロットと同一の部品を調達し、部品単体及びEMに組み込んだ評価試験を実施中。</li> <li>・試験結果に基づきRTAX2000使用の最終判断を実施予定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・開発研究段階で本リスク対処は完了予定</li> </ul>
可変パルス繰り返し周波数を含む新規開発ソフトウェアの検証不十分により不具合を衛星試験フェーズに持ち越す [カテゴリ3]	システム制御データ処理部	<ul style="list-style-type: none"> <li>・プロトタイプソフトウェアを製作し、システム制御データ処理部BBM上での動作確認を実施。</li> <li>・EM用ソフトウェアをシステム制御データ処理部EMに搭載し試験実施中</li> <li>・ソフトウェアの要求仕様及びEM用ソフトウェアについて独立検証を実施中</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・PFMフェーズでソフトウェアの変更が必要になった場合、必要に応じてEMに搭載した試験の実施、変更部分の独立検証等を実施</li> </ul>

(注) カテゴリ1: JAXA/プロジェクトのコントロールが困難な外的要因が主で、必要に応じて追加コスト、スケジュール見直しを要するもの

カテゴリ2: 内的要因が主で、開発研究段階で新たにリスクとして識別されたもの

カテゴリ3: 内的要因が主で、開発研究段階で処置するため開発段階でリスクが大幅に低減する見込みのもの

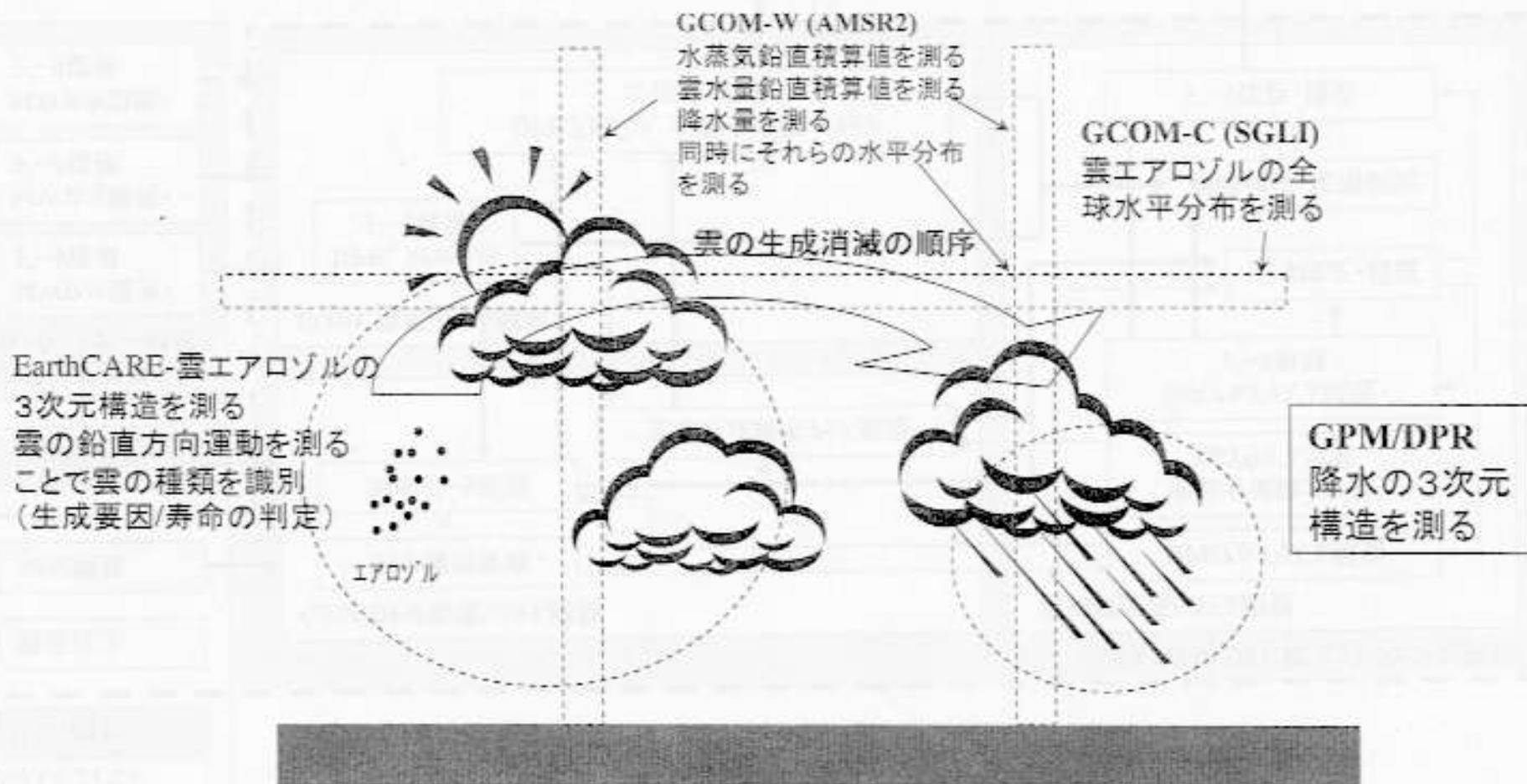
## まとめ



- NICTとのDPR開発分担を確定した。  
(5項 開発方針)
- ミッション要求からブレークダウンして開発仕様のベースラインを設定した。  
(6項 システム選定および設計要求 GPM/DPR総合システム)
- TRMM PRの開発実績及び技術を活用し、かつ信頼性・サバイバビリティを強化したDPRシステムの仕様確定及び基本設計を実施した。採用する技術の成熟度の分析と新規技術の識別を行い、新規技術については試作・評価により妥当性を確認するとともに、開発段階での開発計画を策定した。  
(6項 システム選定および設計要求 DPRシステム)
- 開発研究段階で設定したリスクの対処が完了し、開発段階での対応計画を策定した。また、以上の作業結果及びGPM主衛星打上げ時期の変更を反映して、開発計画(開発資金、スケジュール、実施体制)、リスク管理計画を更新した。  
(7項 開発計画、8項 リスク管理)
- NASAとのGPM主衛星打上げ分担と主衛星とDPRの技術的インタフェース条件の明確化がなされた。

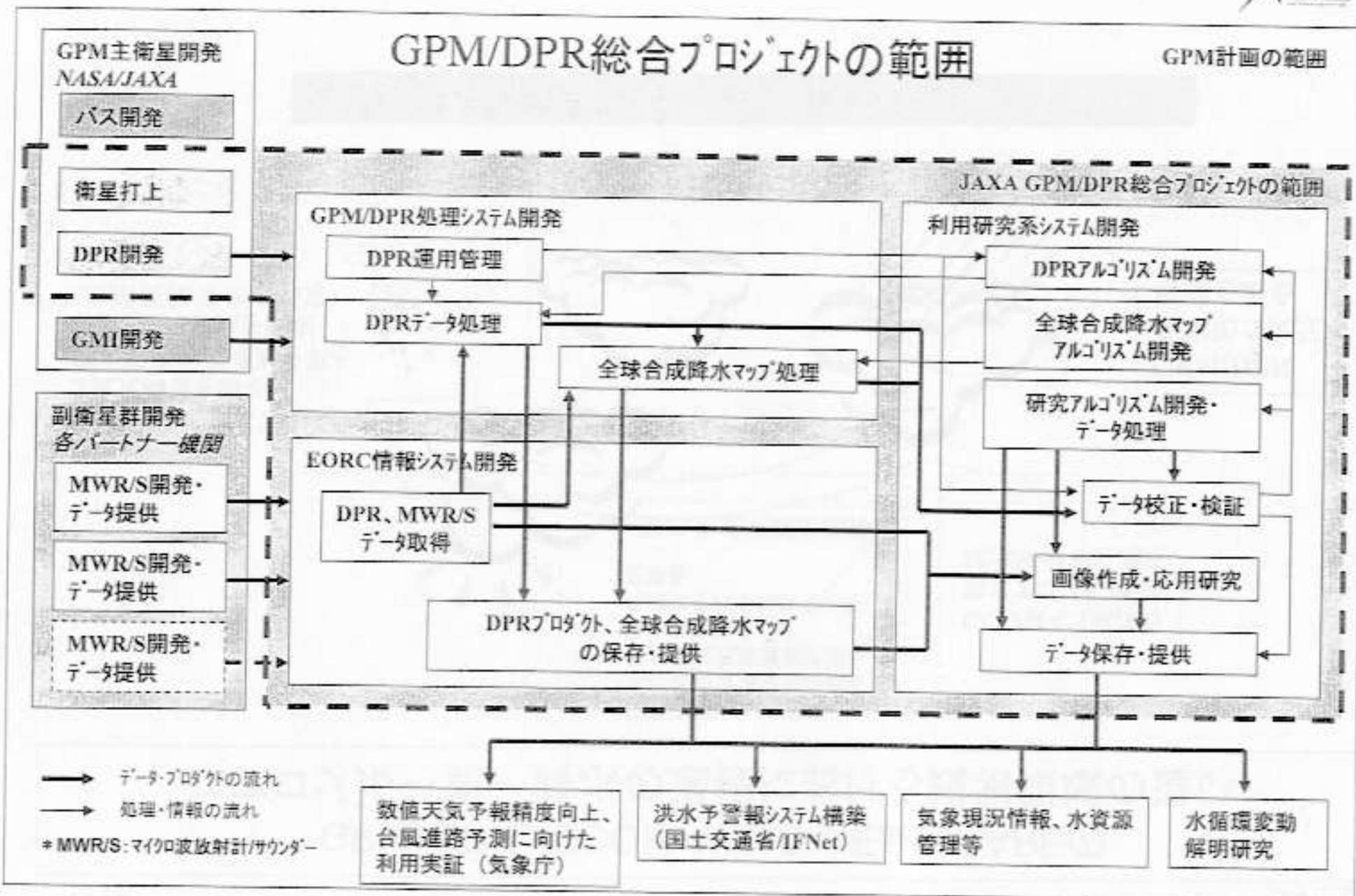
以上から、開発研究段階のフロントローディングを完了し  
GPM/DPRの開発段階移行の準備が整った。

# GPM/DPR、GCOM-W/-C、EarthCAREの エアロゾル～雲～降水の過程における観測領域の違い



# GPM/DPR総合プロジェクトの範囲

GPM計画の範囲



# DPRの最小観測降水強度

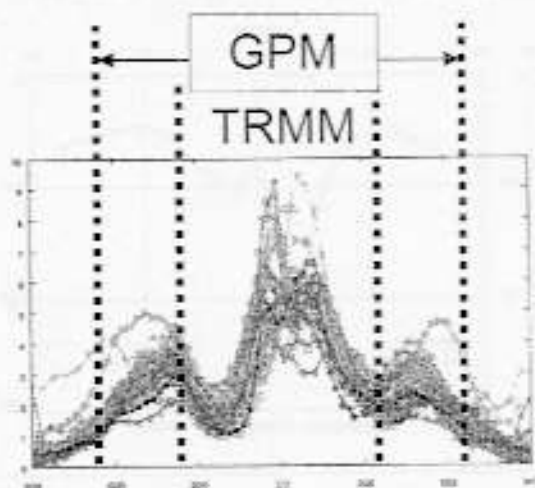
- TRMMは主要な降水帯である、熱帯を観測(全球降水の2/3)  
→強い降水が多い
- GPMは第二の主要な降水帯である温帯低気圧の緯度帯までを観測(全球面積の95%)  
→弱い降水が多い  
→降雪の観測が必須

## 雨の場合

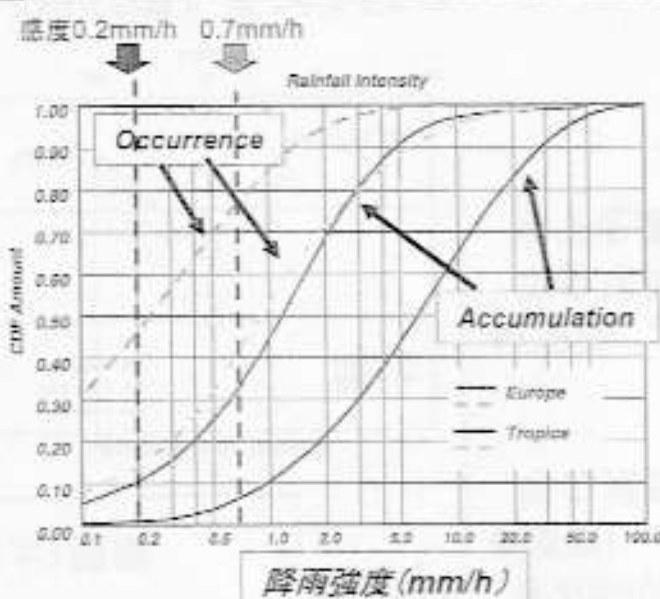
- TRMM(熱帯・亜熱帯)  
✓PRの最小観測降水強度0.7mm/h  
→弱い降水量の見逃し率:約35%
- GPM(全球降水)  
✓DPRの最小降水観測強度 0.2mm/h  
→弱い降水量の見逃し率:約10%

## 雪の場合

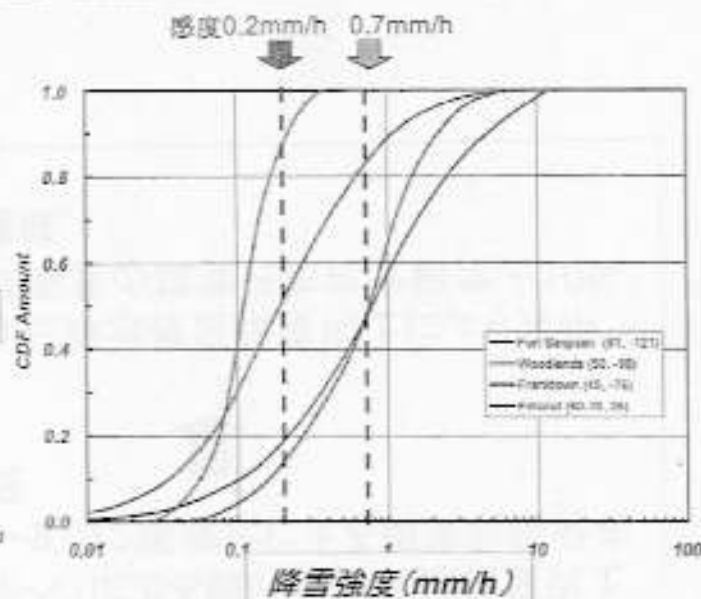
- TRMM(熱帯・亜熱帯)  
✓PRの最小観測降水強度0.7mm/h  
→降雪量の見逃し率:50~80%
- GPM(全球降水)  
✓DPRの最小降水観測強度:0.2mm/h  
→降雪量の見逃し率:10~50%



(左)観測値(黒)とモデルによる降雨の緯度分布 (Gates et al. (1999)による)



(中)降雨強度(右)降雪強度に関する累積分布関数。降雨強度は降雨頻度及び降雨積算の両方を示す。(P. Joeによる)



## ミッション要求の意味・根拠

- ✓水循環の変動は全球的であり、その実態把握には、全球的に均質な観測が必要である
- ✓降水は、水循環及び気候変動の重要なファクターであり、全球的な観測が必要である
- ✓GPMで初めて、全球面積の95%以上の地域を精度良く観測可能となる

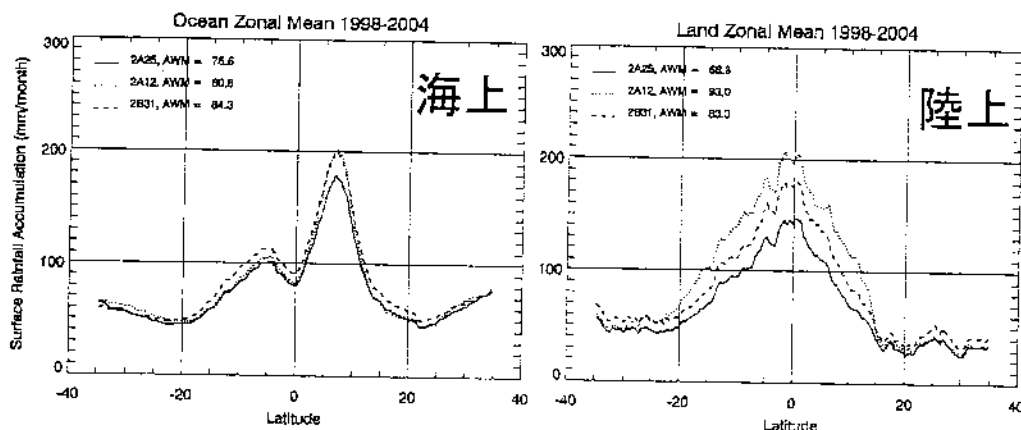
## TRMMにおける状況

- TRMM搭載降雨レーダ (PR) とマイクロ波放射計 (TMI) の相対誤差  $\pm 20\%$  (陸上)  $\sim \pm 10\%$  (海上) 程度



## GPM/DPRで達成するミッション要求

- 降雨レーダの高感度化 (0.7mm/hから0.2mm/hへ) による弱い雨の推定精度向上
  - 降雨レーダの2周波化による雨滴粒径分布等の推定
- ↓
- DPRによる降水推定精度向上により月平均全球降雨量の緯度分布推定精度  $\pm 10\%$  以下を達成



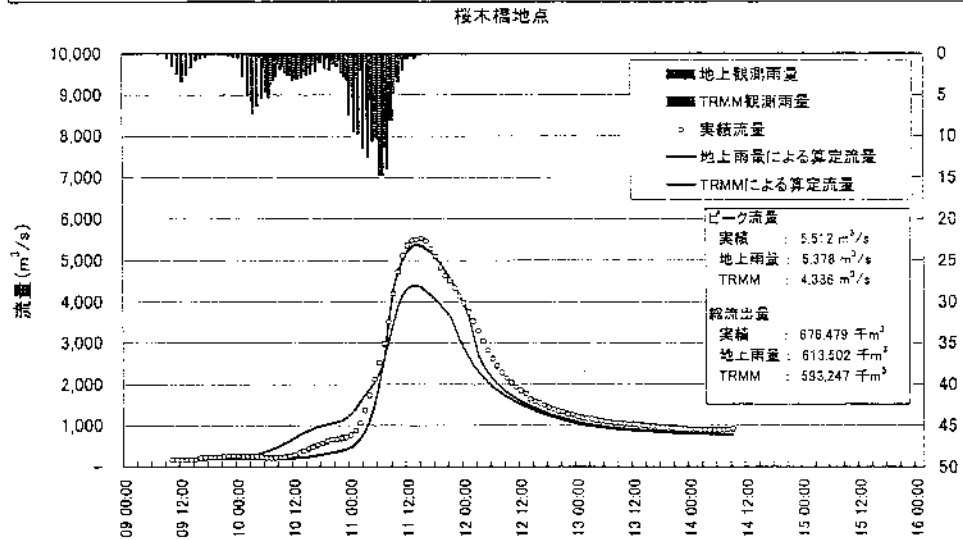
赤線がPR、青線がTMIの降水量。1998-2004年の海上、陸上それぞれの緯度別帯状平均。海上では全球的に  $\pm 10\%$  以内の相対誤差だが、陸上は全球平均で  $\pm 20\%$ 、地域によってはそれ以上となる。(J. Stoutによる)

## ミッション要求の意味、根拠

- ・ 気候変動・水循環変動モニタリング、気候モデル検証の観点からの降水観測に対する要求
  - ✓ 気候、水循環の起こりうる変動のシグナルが識別できる精度が必要 (米国学術研究会議, 1999)
  - ✓ 月平均降水量推定に対する要求として、 $10\%$  (世界気候研究計画(WCRP), 1990)
  - ✓ 典型的な精度要求として、月積算のスケールで実効値として誤差  $10\%$  以下 (全球気候観測システム(GCOS), 2006)

TRMMにおける状況

- TRMM降雨レーダ及びTRMM/TMI、AQUA/AMSR-E、DMSP/SSM/I等のマイクロ波放射計データを使用
- ✓利根川流域等、日本の河川域でのケーススタディ結果 日雨量推定誤差～最大60%
- ✓北上川における雨量及び流量推定のケーススタディ結果 下記に示す。



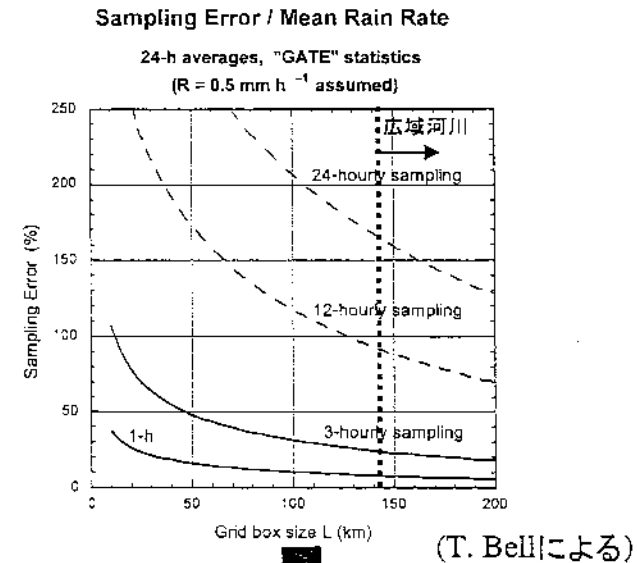
北上川での流量推定の衛星と地上観測比較。流域面積は2,000～7,500km<sup>2</sup>。(国土交通省及び国際建設技術協会による)

ミッション要求の意味、根拠

- 国際洪水ネットワーク(IFNet)事務局へのヒアリング結果
- ✓衛星観測メッシュサイズに比べて十分流域面積の大きい河川では、流域の地形条件の影響が低減され、衛星による日雨量推定結果は実測にかなり近い。
- ✓日雨量計も存在しない地域(全世界の大半)、上流国の降雨情報が下流国に伝わりにくい国際河川では、衛星による降雨観測データの意義は非常に大きい
- ✓広域河川(20000m<sup>2</sup>以上)の洪水予警報による実利用実現のためには日雨量推定精度±40%以内が必要

GPM/DPRで達成するミッション要求

- DPRデータを用いたマイクロ波放射計/サウンダによる降雨のリトリバル誤差低減
- マイクロ波放射計/サウンダ搭載副衛星群を用いた観測頻度向上による降雨のサンプリング誤差低減



- 広域河川日雨量推定精度±40%以内を達成

# 1. 海陸を問わない均質な降雨強度の分布の観測

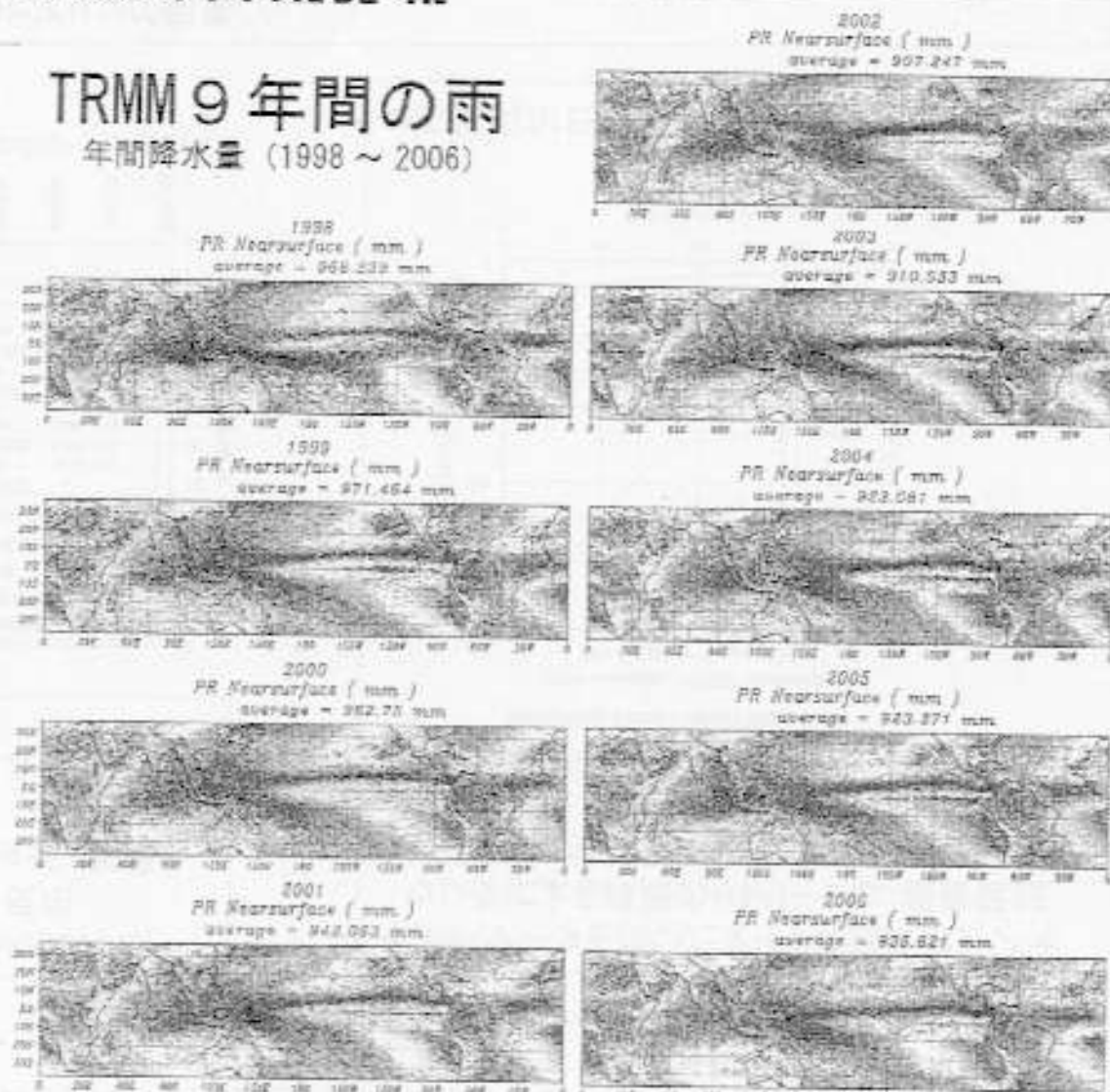
## - 9年間の降雨分布 -

TRMMは打ち上げから9年以上を経過し、PRによる9年間の熱帯降雨データが蓄積されている。

1. 過去9年間のこの地域の年間降水量の平均値は、938mm/年である。
2. 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。
3. 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。

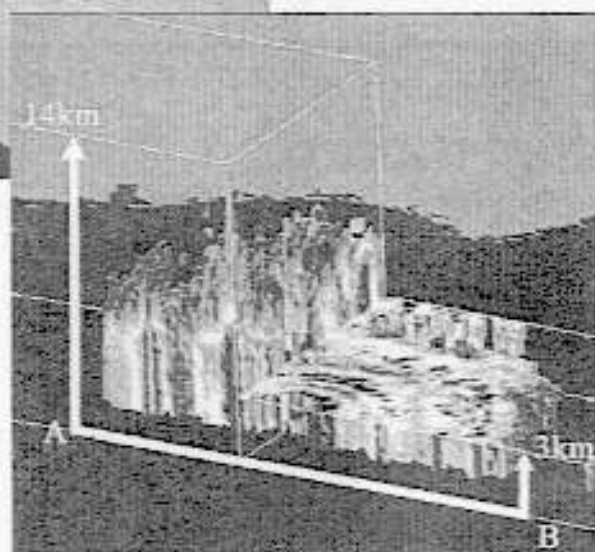
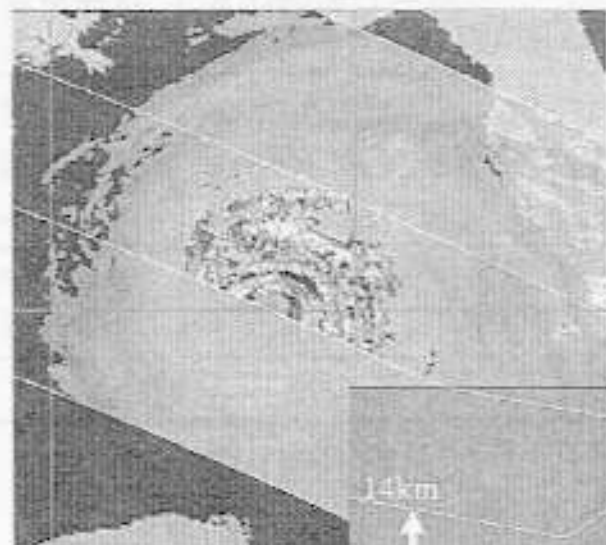
水循環メカニズム解明に向けた長期間の貴重な統計データが提供できるようになってきた。

### TRMM 9年間の雨 年間降水量 (1998 ~ 2006)

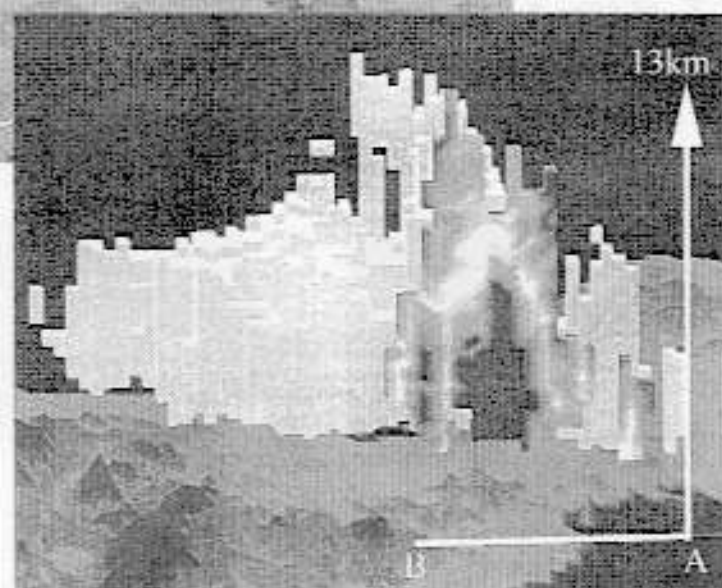
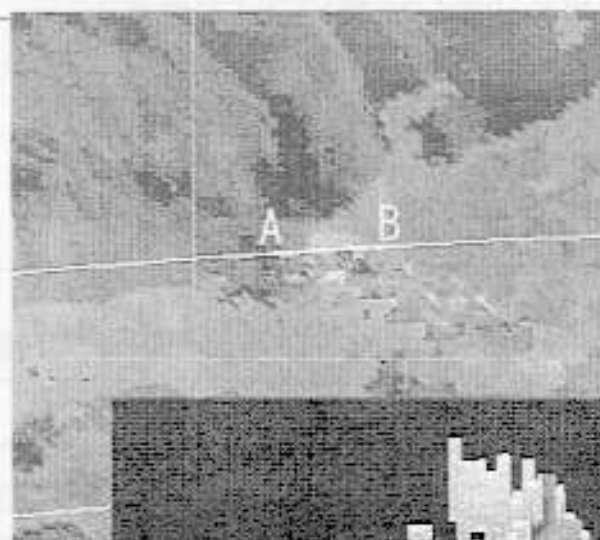




## 2. 降雨の3次元構造の観測



ハリケーン カトリーナ (2005年) の3次元構造



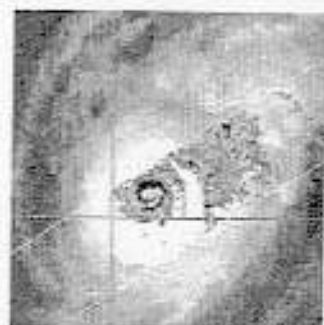
福井豪雨 (2004年) の3次元構造

PRによって海上も含めた降雨の詳細な3次元構造の観測が可能になった。

### 3. 宇宙からの降雨観測技術の確立

#### 3.1 PR/TMIによる降水量推定精度の向上

PR



10 GHz



19 GHz



37 GHz



85 GHz

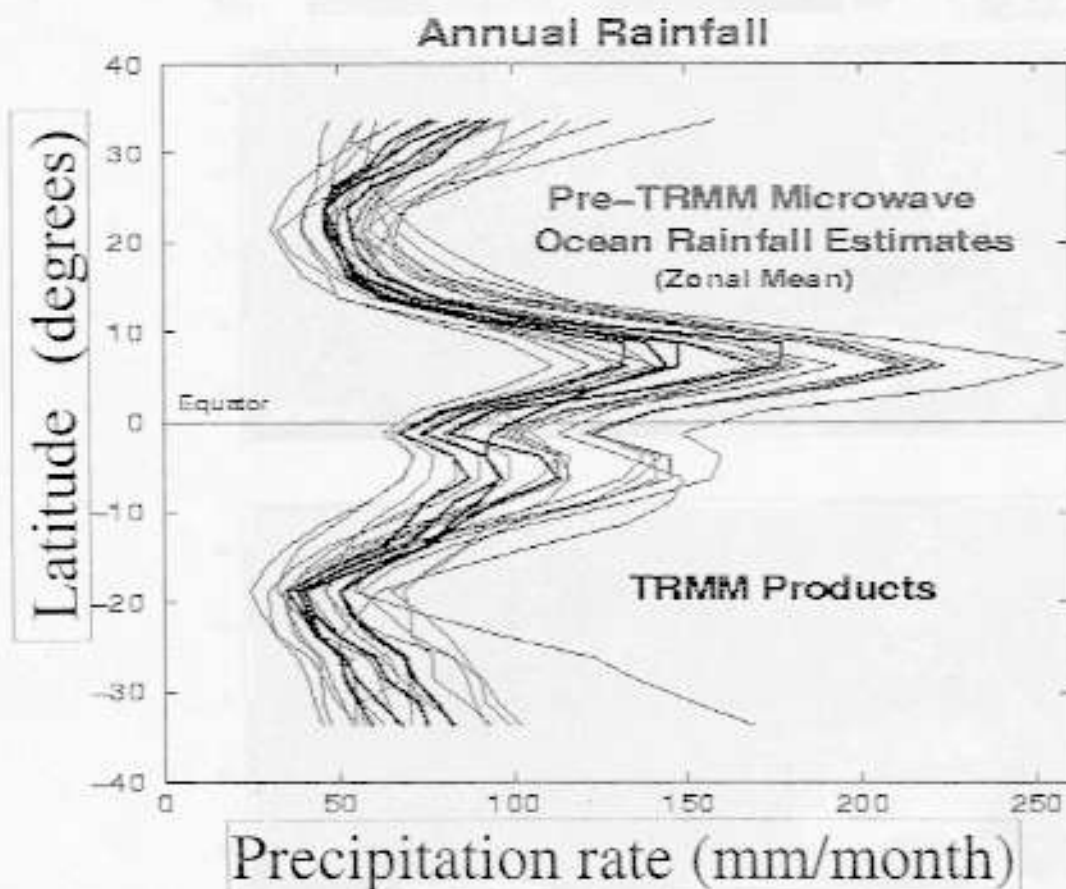


- 同時観測によりそれぞれのアルゴリズムにおける仮定の問題点が明らかになりアルゴリズムが大幅に改善された。

	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
赤外線による観測	● 雲頂温度(雲の高さ)と地表での降雨強度には統計的に一定の関係がある。	PRとの比較からわかった事、その影響 比例係数の地域依存性の定量的評価
マイクロ波放射計(海上)	● 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)	● 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	● 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

### 3. 宇宙からの降雨観測技術の確立

#### 3.1 TRMMによる降水量推定精度の向上



- 緯度平均降水量 -

赤線：TRMM以前の  
マイクロ波放射計  
による推定

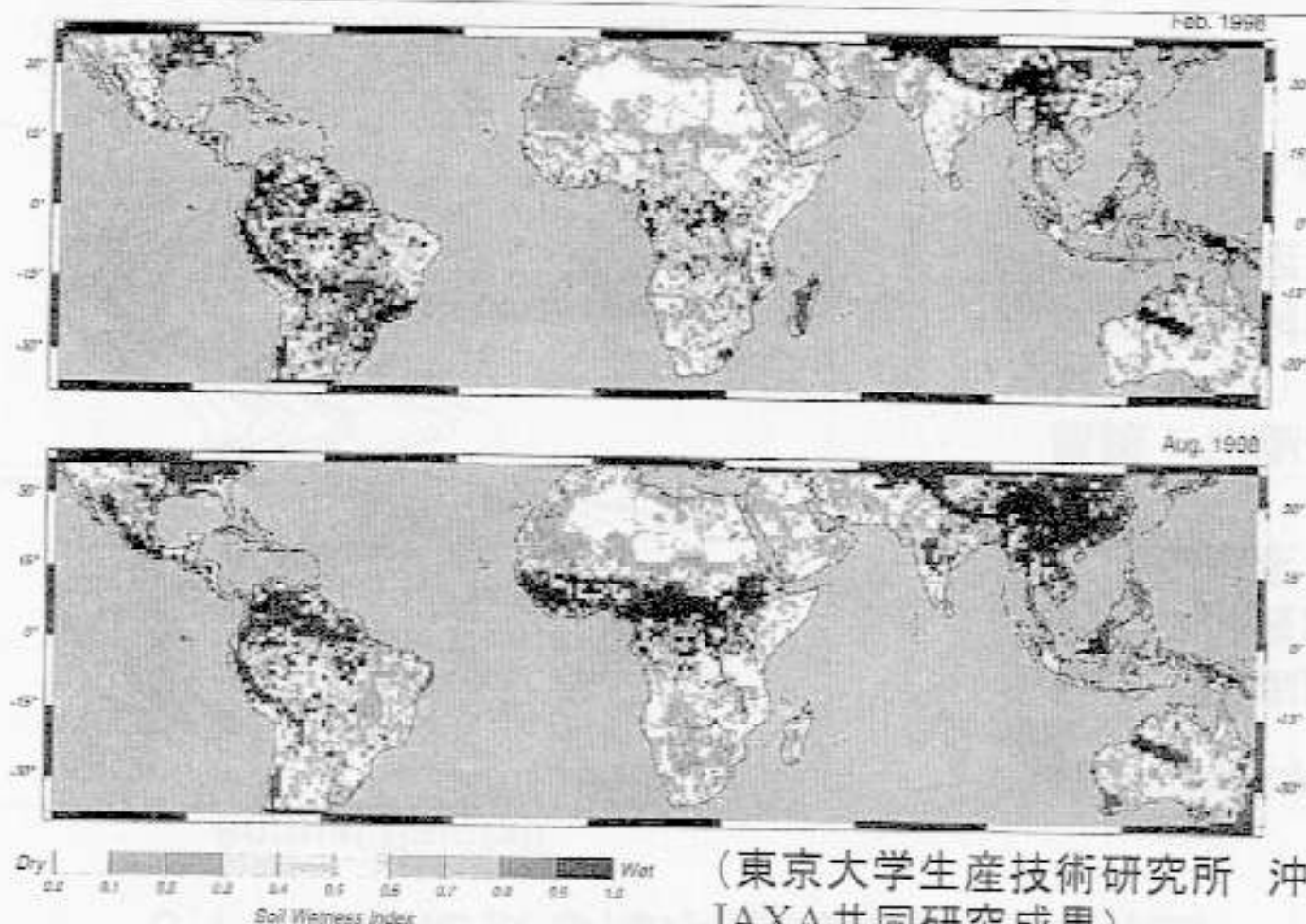
黒線：TRMMの降雨  
レーダ (PR) とマイ  
クロ波放射計 (TMI)  
による推定

(NASA/GSFC)

PRとTMIの同時観測により、それぞれのアルゴリズムを改良した結果、打ち上げ前は100%以上あったアルゴリズム間の相対誤差がPRとTMI間で10%以下（バージョン6）になった。

### 3. 宇宙からの降雨観測技術の確立

#### 3.2 PRによる土壌水分量の算出

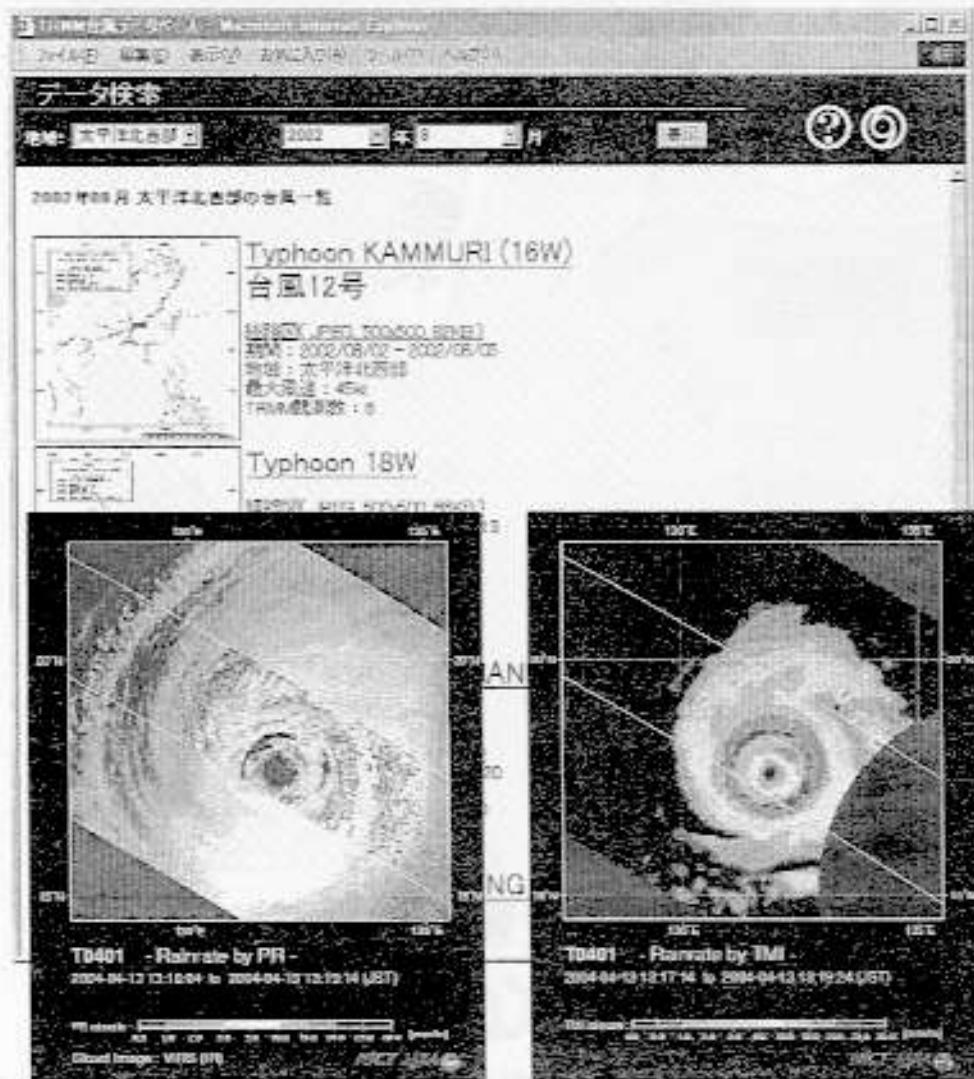


PRは降雨だけでなく、真下の地表面も観測することを利用して、世界で初めて土壌水分を推定することが可能となった。

# 3. 宇宙からの降雨観測技術の確立

## 3.3 TRMM台風データベースと台風速報 -

### 検索結果画面

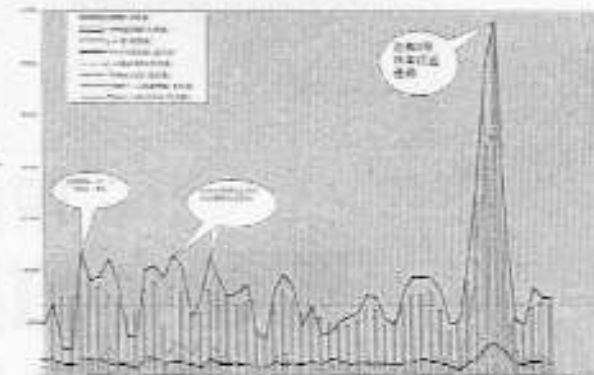


### TRMM台風データベース

- TRMMで観測された台風をデータベース化
- Web上で台風を検索し、画像表示
- データ (PR, TMI, VIRS) のダウンロードも可能
- TRMMの成果として蓄積された台風情報を、インターネットで容易に利用できるようになった。

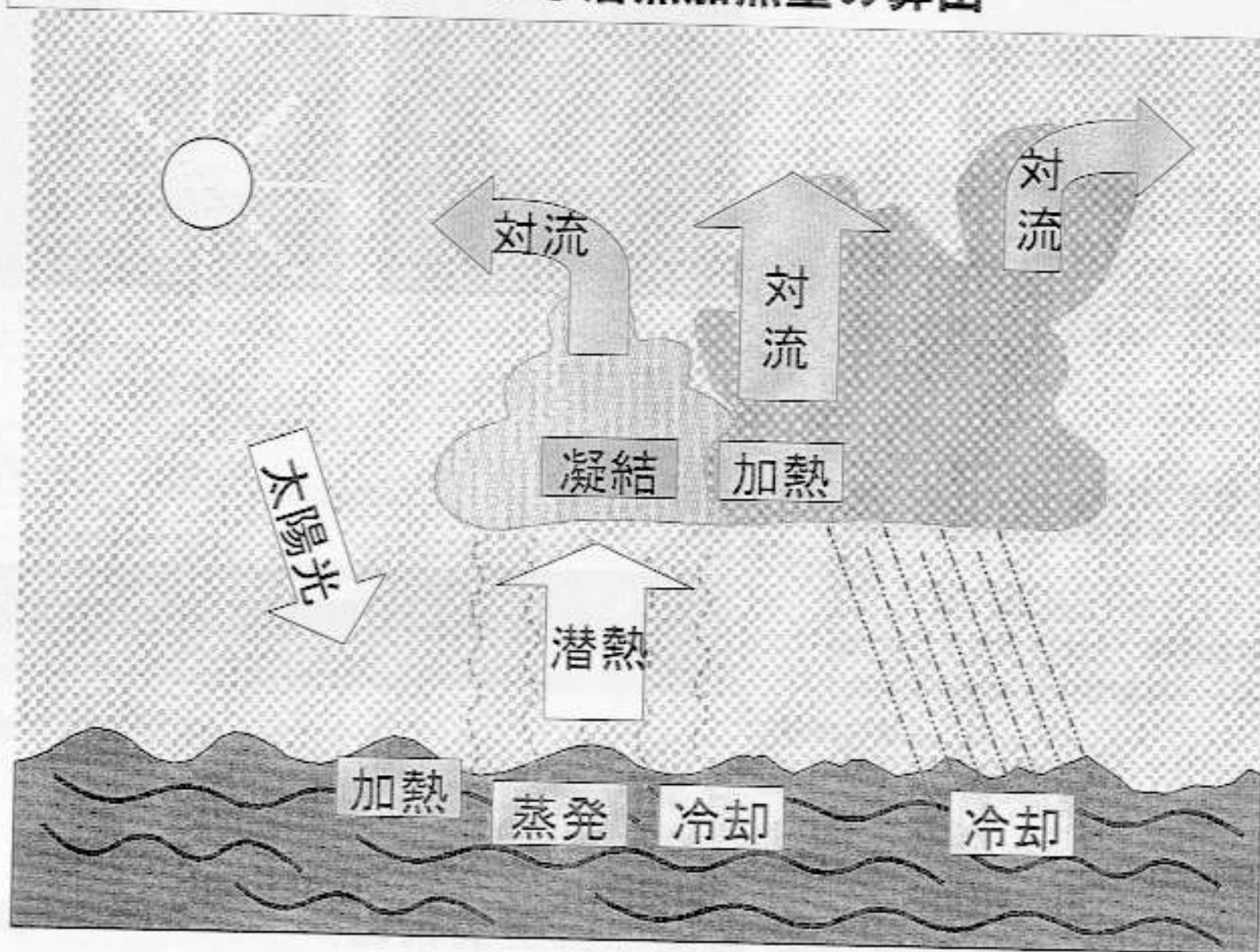
### TRMM台風速報システム

- TRMMで観測した台風データを準リアルタイムでWeb上に掲載 台風接近時にアクセス急増 (最大14000件)
- 災害情報の一つとして活用可能であり、安全安心な社会の構築に貢献



# 4. 全球の水・エネルギー循環の評価

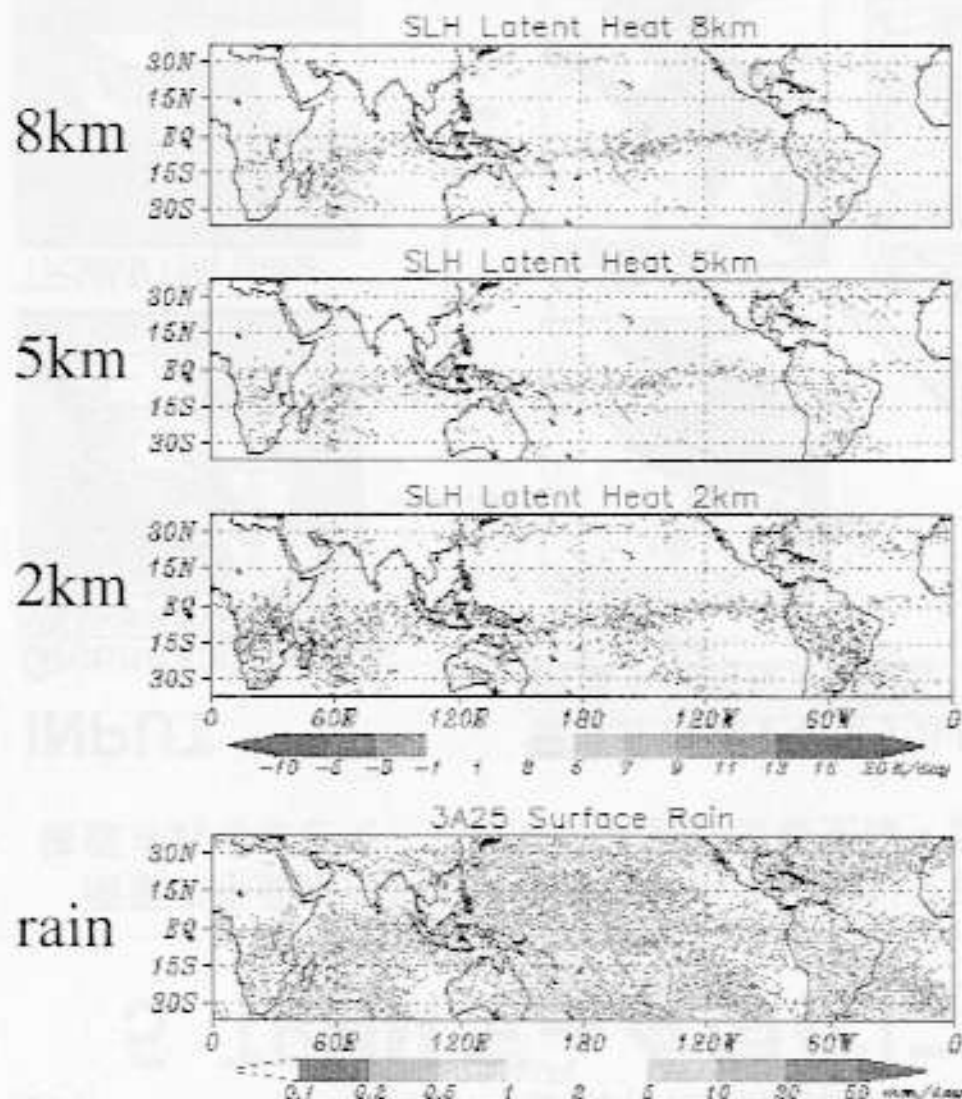
- 降雨による潜熱加熱量の算出 -



## 4. 全球の水・エネルギー循環の評価

### - 降雨による潜熱加熱量の算出 -

SLH Latent Heat Mean, Feb 1998



降水の正確な鉛直構造の算出



PRプロダクトを用いた潜熱加熱量  
プロファイル算定アルゴリズム  
の開発・検討



潜熱による大気加熱の鉛直構造  
を算出することにより、全球の  
水・エネルギー循環の評価

(高度別の降雨による潜熱加熱量の分布で、暖色系統が加熱、寒色系統が冷却を示している。)

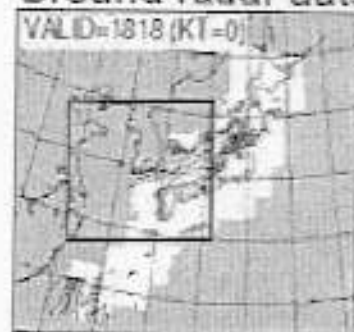
(東京大学気候システム研究センター 高  
数教授とのJAXA共同研究成果)

## 5. TRMMデータ同化による予報精度の向上

雨量の予測精度向上により、豪雨水害に対する備えが充実し、また発生後の適切な対応が確保されることで、これらの災害による生命・財産・生活に係る被害の軽減への貢献が可能

### INPUT

Ground radar data



TRMM/TMI data



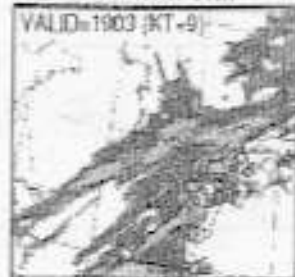
9-hrs  
Forecast

気象庁数値予報モデルにTRMM/TMIデータを用いる事により豪雨の雨量予測精度が向上。

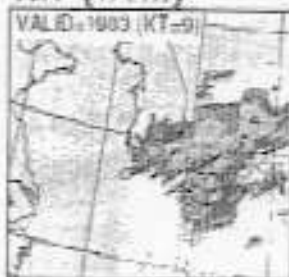
4D-VAR. without TMI



4D-VAR. with TMI



R/A (Truth)



TRMM/TMIデータを使用することで、雨量予測が実際の雨量に近づき、予報の改善が見られる。

GPMにより高頻度・高精度なデータを提供することにより、さらなる精度向上をはかった予測の実現に貢献できる。

0.0 0.5 1.0 2.0 10.0 20.0 30.0 [mm/3hr]

(本成果は、JAXAと気象庁の協力により得られた。解析は気象庁の実施による)



# GPM/DPRで期待される研究・利用分野

## 全球水循環及び地球環境変動

- ・全球水循環
- ・地球環境変動
- ・地球表層の水循環システム

## 大気科学

- ・熱帯・亜熱帯の降雨特性
- ・降水日変化
- ・台風
- ・中高緯度の大気じょう乱
- ・潜熱加熱
- ・亜熱帯の降雨
- ・中緯度の降雨
- ・寒冷域、中・高緯度の降雨
- ・モンスーン
- ・全球エネルギー循環
- ・雲物理
- ・雷
- ・山岳域の降水
- ・気候モデルにおける降水

雪氷圏

水文

海洋

農業

洪水予警報

### 気候変動に関する国際連合枠組条約(UNFCCC)

国連の下に、気候変動によって引き起こされる課題に取り組むための政府間行動に対する包括的な枠組みとして、1994年に発効。

### 気候変動に関する政府間パネル(IPCC)

地球温暖化の実態把握と予測、影響評価を行い、得られた知見に基づく政策立案者への助言や一般への情報提供を目的として、世界気象機関(WMO)と国連環境計画(UNEP)との協力の下に1988年に設立された政府間機構。IPCCによりまとめられた報告書は、気候変動枠組条約などの、国際的な地球温暖化対策の検討における科学的な裏付けとして用いられている。

### 全球地球観測システム(GEOSS)

第3回地球観測サミットにおいて承認された「全球地球観測システム(GEOSS)10年実施計画」に基づき、各国・国際機関の人工衛星や地上観測などの多様な観測システムを連携することによって構築する、世界全域を対象とした包括的で持続的な地球観測を行うためのシステム。利用者の要求に基づき、社会経済的利益に必要な情報を提供することを目的とする。

### 地球観測に関する政府間会合(GEO)

「GEOSS10年実施計画」を実際に推進するための作業計画の策定、進捗状況の管理等を行うことを目的とした組織であり、全体会合(閣僚級または高官級)、執行委員会、常設委員会(ユーザーインターフェースや科学技術などの複数の委員会の設置について検討中)、事務局等から構成される。

### 世界気候研究計画(WCRP)

世界気象機関(WMO)が中心となって行っている世界気候計画(WCP)のサブプログラムの一つ。1980年に、WMO、国際科学会議(ICSU)および国連教育科学文化機関(UNESCO)の政府間海洋学委員会(IOC)がスポンサーとして設立された。気候の予測可能性および人間活動の気候影響を究明することを、全体にわたる目的とする。

### 全球気候観測システム(GCOS)

1992年に設立された、国際モニタリング計画。気候関連問題に対処するために必要な観測と情報の取得と、すべての潜在的な利用者によるそれらの利用が確実となることを目的とする。世界気象機関(WMO)、国連教育科学文化機関(UNESCO)の政府間海洋学委員会(IOC)、国際科学会議(ICSU)および国連環境計画(UNEP)が共同のスポンサーである。気候システム監視、気候変化の検知と起因、気候変動と変化の影響評価と適応の支援、経済発展への応用、気候システムの理解・モデル・予測の理解向上のための研究に必要とされる、必要な総合的な観測を提供可能な、長期的かつユーザー主導の定常システムたることを目的とする。

### 統合地球観測戦略パートナーシップ(IGOS-P)

衛星による観測と地上観測を統合して効率的な全球観測戦略(IGOS)を実現することを目的として1998年に設立された、宇宙及び地上観測システムの計画を調和する国際的・総合的な枠組み。地球観測衛星委員会(CEOS)等の宇宙機関と国連環境計画(UNEP)、世界気象機関(WMO)等の国際機関の全14のパートナーにより構成され、海洋、全球炭素、全球水循環、陸域災害、大気化学、沿岸、陸域、雪氷等の各テーマに関する地球観測戦略を策定し、順次実施している。

### 地球観測衛星委員会(CEOS)

宇宙からの地球観測活動に関する国際的な調整を目的として1984年に設置された、各国の宇宙機関による国際組織。衛星計画並びにデータフォーマット、サービス等の開発における参加機関間の協力、地球観測システムの相補性及び互換性の向上に向けた技術情報の交換などを実施する。CEOSの組織は本会合、戦略実施チーム(SIT)、校正・検証作業部会、情報システム・サービス作業部会、教育訓練作業部会及び常設事務局から構成され、日本はSIT議長の他、欧州、米国と共に常設事務局を分担。

2006年に、GEOSSの宇宙パートへの貢献として、地球観測衛星のヴァーチャル・コンステレーションであるCEOSコンステレーション構想を提唱。現在、陸域撮像、大気組成、海面高度、降水の4つが設定されている。

### 国際洪水ネットワーク(IFNet)

洪水の被害を減らす活動や知識の共有、支援のため、国土交通省が中心となって設立された国際ネットワーク。その一環として、TRMMなどの地球観測衛星による降水観測情報を用い、降雨予測及び洪水予測を行う全球洪水予警報システム(GFAS)を、第3回世界水フォーラムにおいて国土交通省が提唱し、JAXA(当時はNASDA)が協力して推進した。GFASは2006年よりインターネット上で試験運用中である。

### 地球規模水循環部会(水循環部会)／自然災害・地図作成・資源探査部会(自然災害部会)／定常観測部会

総合科学技術会議(CSTP)が、地球観測に関する我が国における今後の取組にあたっての基本的な考え方を明確にするために、重点分野推進戦略専門調査会環境研究開発推進プロジェクトチームの下に設置した、地球観測調査検討ワーキンググループの部会。ワーキンググループは、地球観測の各分野の学識有識者から構成された9つの部会(地球温暖化部会、地球規模水循環部会、地球環境部会、自然災害・地図作成・資源探査部会、定常観測部会、地球科学部会、データ部会、国際対応部会、生態系部会)から構成される。

これらの部会において、地球観測の各分野の現状、観測ニーズ、今後の取組方針(優先的に取り組むべき課題・事項)等について集中的な調査・検討を実施し、部会報告書としてまとめられた。部会報告書は、「地球観測の推進戦略」(平成16年12月に総合科学技術会議で決定)の参照文書として位置づけられる。

### マイクロ波放射計とマイクロ波サウンダ

地表及び大気から周囲へ放射される熱エネルギーのうち、電波領域であるマイクロ波の微弱な放射を検出することにより、地表(海面、陸面、海水面など)の温度、塩分濃度、土壌水分、海上風速、水蒸気量、降水量、大気成分などを観測するセンサ。

マイクロ波は可視光や赤外線に比べて波長が長く雲や雨による減衰を受けにくいこと、及び太陽光を必要としないことから、天候、昼夜の別無く観測を行うことが可能。

放射計(イメージャ)とサウンダの違いは、イメージャは本来、地球表面などの映像を取得するためのリモートセンサであり、マイクロ波センサでは主に窓領域の周波数を用いている。他方、サウンダはセンサ視線方向のプロファイルを求めるリモートセンサであり、そのため吸収線(マイクロ波の場合、酸素、水蒸気)付近の周波数を主に用いている。