

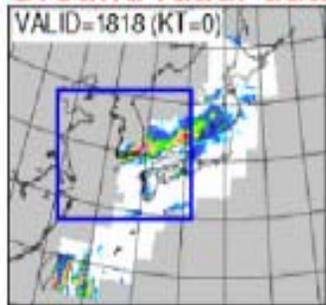


現業での利用

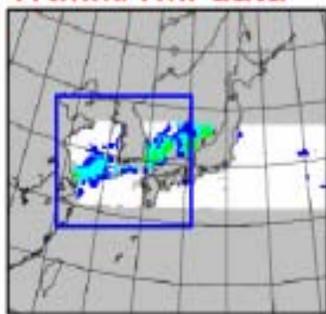
- TRMMデータ同化による予報精度の向上 -

モデルへの入力

Ground radar data



TRMM/TMI data



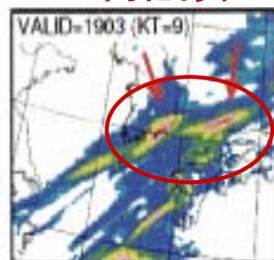
9時間予報と地上観測値の比較

TMI同化なし

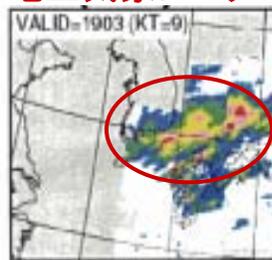


TMIデータを使用することで(左下)、雨量予測が実際の雨量(右下)に近づき、予報の改善が見られる。

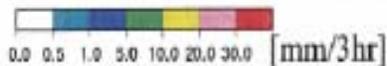
TMI同化あり



地上気象レーダー



9-hrs
Forecast



データ同化とは、数値天気予報において、収集した観測データの情報を数値予報モデルに取り込む(同化する)ことをいう。このとき、予報モデルによる予測の正確さは、集めた観測から作成した現在の状態(初期値)の正確さに依存し、精度良い観測を多数かつ均質に取得することが重要である。

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。

(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)

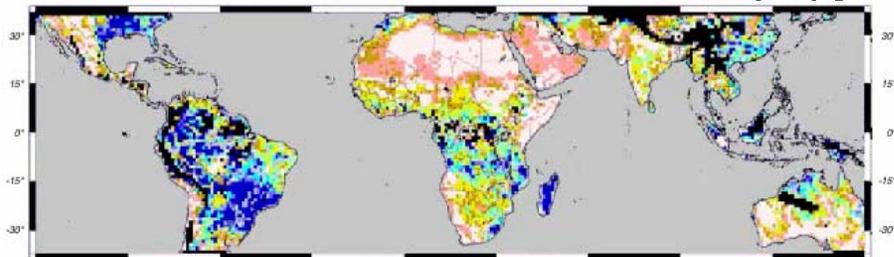
雨量の予測精度向上により、豪雨水害に対する備えが充実し、また発生後の適切な対応が確保されることで、これらの災害による生命・財産・生活に係る被害の軽減への貢献が可能。TRMM/TMIは、気象庁におけるマイクロ波放射計利用の先駆であり、メソモデルでは、2003年にTMI及びSSM/I(AMSR-Eは2004年～)の現業利用、全球モデルでは2006年に現業利用が開始している。



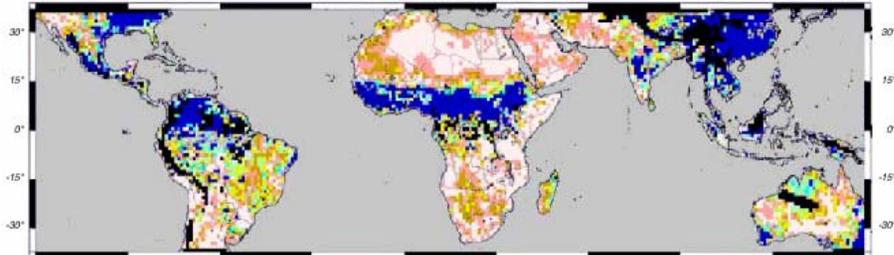
新規プロダクトの開発

- 土壌水分量と海面水温 -

PRによる土壌水分量(左)
1998年2月



1998年8月



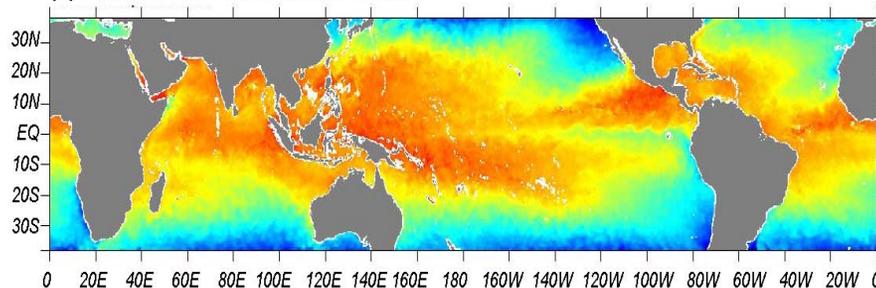
Dry 0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0 Wet

Soil Wetness Index

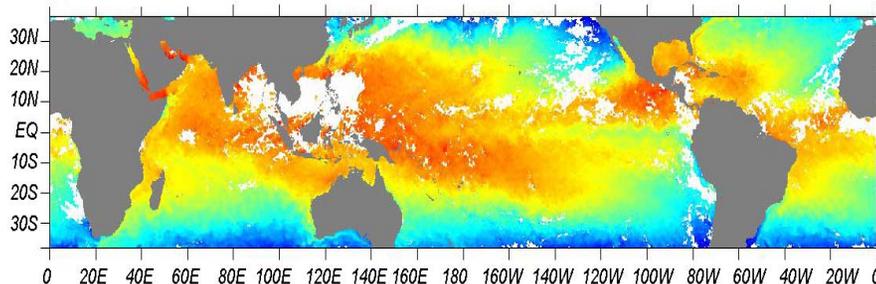
(東京大学生産技術研究所 沖教授との
JAXA共同研究成果)

TMI(右上)とVIRS(右下)による海面水温

(a) TMI SST from 3 to 5 June 1999.



(b) VIRS SST from 3 to 5 June 1999.



10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 [C]

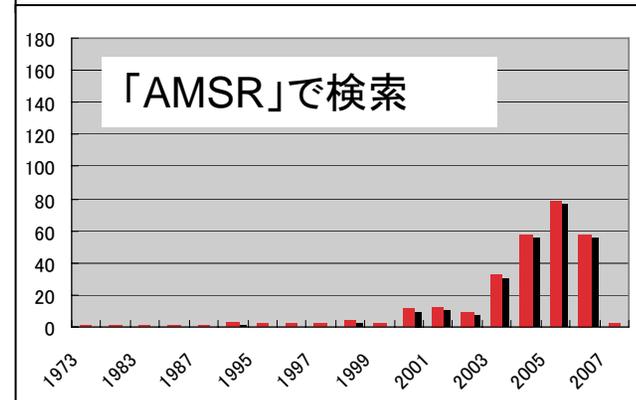
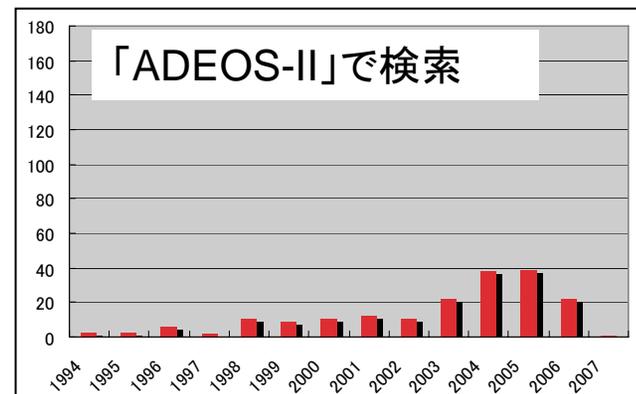
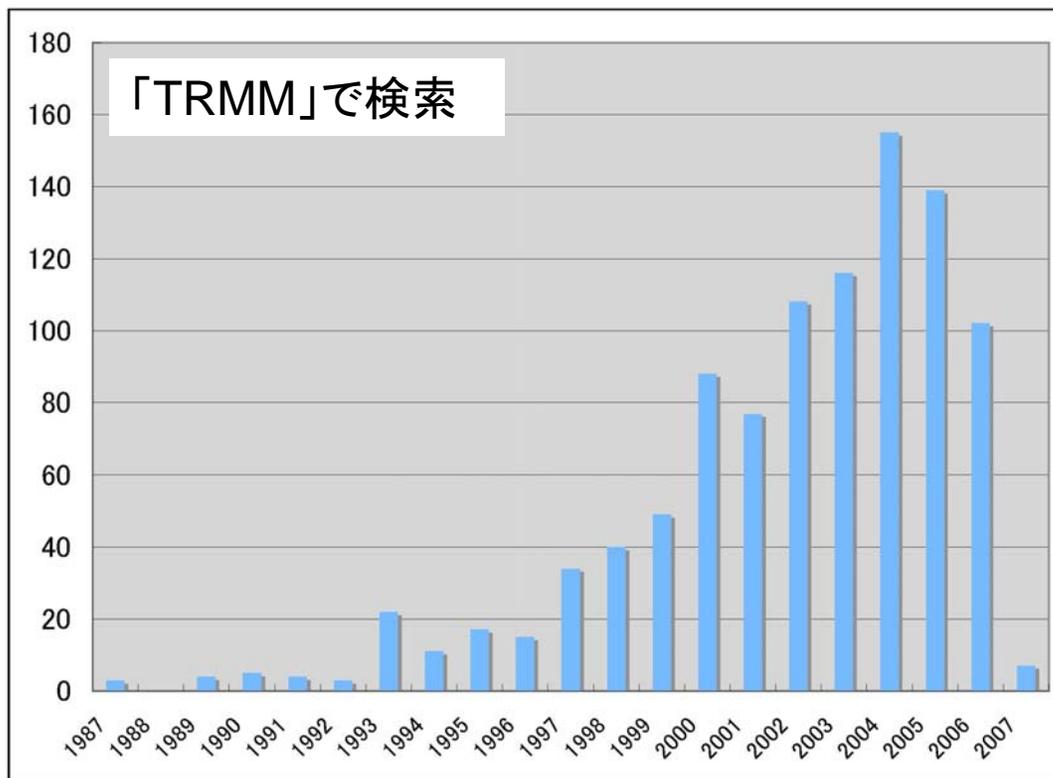
(JAXA/EORC 柴田氏(TMI)
村上氏(VIRS)による)

TRMMデータは、当初計画されていなかった、降水量以外の物理量推定にも利用された。土壌水分算出は、PRが降雨だけでなく、真下の地表面も観測することを利用しており、世界で初めて全球的な推定が可能となった。TMIによる海面水温は、AMSR-Eによる全球海面水温推定の先駆として、10GHz帯を利用して算出された。



TRMM関連の論文数

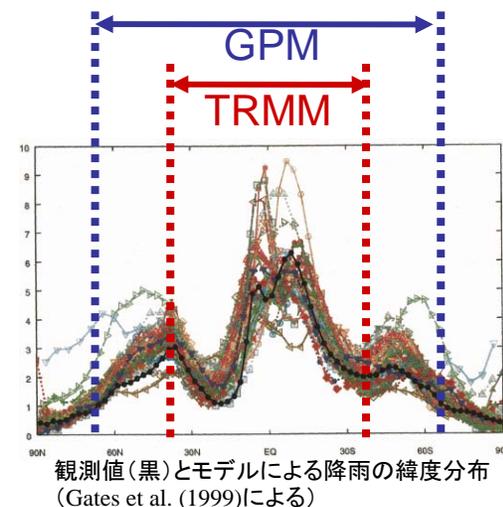
- TRMMに関連する学術論文の出版数は、1997年末の打上げ後順調に数を増やしてきた(下左図)。この調査(2007年3月現在)では2004年(打上げ後7年目)の155件がピークであるが、打上げ後9年目を迎えた2006年にも102件の論文が出版されている。これをJAXAの他衛星・センサと比較すると、ADEOS-II(下右上段)の場合は2005年(打ち上げ後3年目)にピークで39件、AMSR(下右下段)も同様に2005年(Aqua/ADEOS-II打上げ後3年目)にピークで約78件となっている。
- TRMM関連論文数が他と比べて非常に多いのは、TRMMが日米共同のミッションであり、双方に利用者が多いこと、運用及び観測が9年以上の長期にわたって継続していることが最大の理由と考えられる。





GPMに向けた課題

- 熱帯地域から全地球の降水観測
 - 温帯低気圧帯域も含むほぼ全球の、液相(強い雨～弱い雨)・固相(降雪・霰など)を含む降水システムの正確な観測
 - 陸上も含めた中・高緯度での降雨レーダによるマイクロ波センサの降水推定精度の向上
 - GPM主衛星において、軌道傾斜角65度を選択
 - GPM/DPRでの降水の高感度観測
- PRでの1周波観測の限界
 - PRとTMIの降水推定の差は、海上で、最初の一般公開プロダクトであるVer.4(H10.10公開)では40%程度あったが、Ver.5(H11.11公開)では24%、現在のVer.6(H16.6公開)では10%程度となっている。ただし、陸上など、地域・季節毎に比較する20%より大きい
 - ユーザから正確な降雨推定(月平均10%以内)の要求があるが、TRMMの1周波観測ではアルゴリズムの改良で対応できる限界があり、要求に答える精度を実現するためには2周波観測が必須
 - GPM/DPRでのKu帯とKa帯の2周波による降水の高精度観測
- 高頻度観測
 - 変動の激しい降水現象に対しては、高頻度の観測が必要
 - 観測データの現業利用のために、高頻度観測の要求
 - GPMでのマイクロ波放射計／サウンダを搭載した副衛星群との連携観測
- 長期、継続的な観測
 - TRMMからの降雨レーダとマイクロ波放射計の同時観測データの継続と蓄積
 - GPM主衛星に降水レーダ(DPR)とマイクロ波放射計(GMI)を搭載
- 準リアルタイムでの利用
 - 洪水や天気予報などの現業利用では、準リアルタイムでの配信を要求
 - GPMによる観測データの準リアルタイム配信



GPM計画の副衛星の現状と今後の取り組みについて

宇宙航空研究開発機構

1. 現状

(1)副衛星のコンセプトと役割

- GPM計画における副衛星は、GPM計画専用開発される衛星ではなく、固有のミッション目的を有する衛星のうちGPM計画に利用可能なものを利用するというのが基本コンセプト
 - GPM計画専用の副衛星はNASA副衛星、ブラジル副衛星のみ
- 降水量推定には、ほとんどのマイクロ波放射計、マイクロ波サウンダデータが利用できる。

(2)利用可能な副衛星数のGPM/DPRミッション目的への影響

- 副衛星の数の減少により、GPMの降水観測頻度はゆるやかに低下する。
 - 特定の副衛星が欠けることによりGPMの観測頻度が急激に低下することは無い。
- 表1に示す副衛星のうち、実現が確実で、データ取得の準リアルタイム性を有し、GPM計画への参加を明確にしている日米の副衛星群(青で色付けした部分)により、図1のケース1に示すようにGPM/DPRのミッション目的は概ね達成可能。

(3)現時点での副衛星データ入手の見通し

- NASAはDOD、NOAA、EUMETSATと既存の協力枠組みを有しており、NASAを通じて、NASA副衛星、NPP、NPOESS-C1/C2、DMSP-19/20、METOP-B/Cのデータを入手可能。

(4)副衛星の状況がJAXAのGPM/DPR地上システム開発に与える影響

- JAXAのGPM/DPR地上システムは、副衛星の数の増減にフレキシブルに対応できる仕様としており、現時点で副衛星がきちんと決まっていないと開発に支障をきたすことは無い。

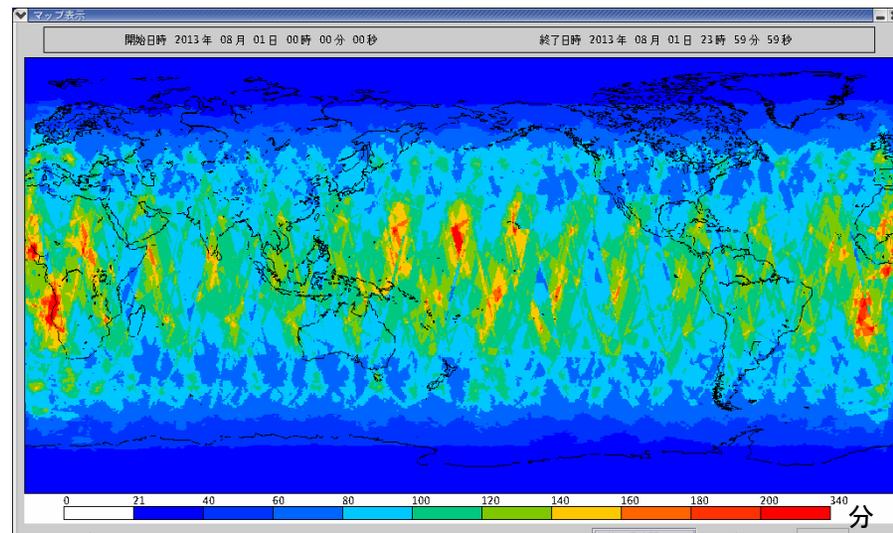
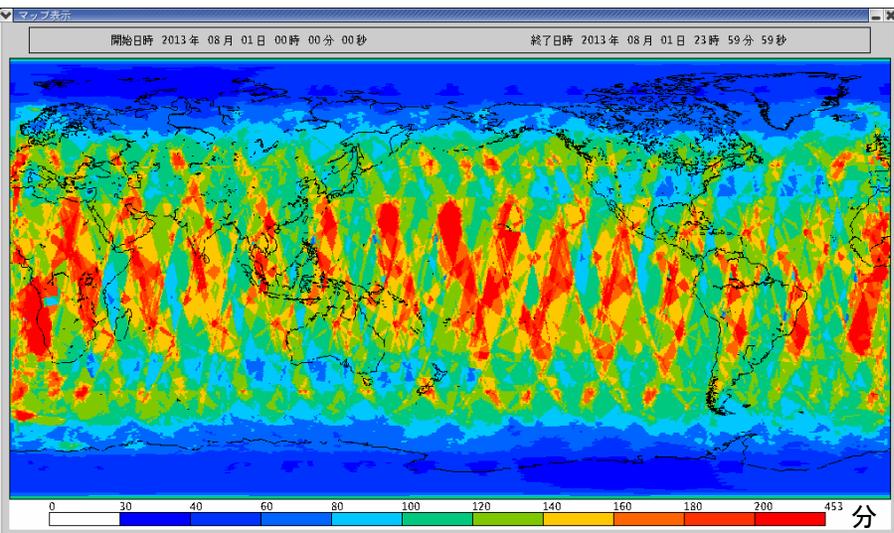
2. 今後の主要な検討、調整事項

- プログラムのには、GPMパートナー間で交換する主衛星、副衛星データの取り扱いや、得られた成果の利用に関するルールが主な調整事項
 - GPM日米共同作業部会、GPM国際計画ワークショップ、CEOS降水コンステレーション検討チーム等の場で調整実施中。(図2参照)
- 技術的には、GPM計画に合わせるための衛星や観測機器の仕様の副衛星機関との調整はほとんど必要なく、地上におけるデータ配信・データ処理の方法が主要な調整事項。
 - GPMデータ分科会(過去2回開催、JAXA/NASA/NOAA/ESA/気象庁/国際洪水ネットワーク/コロラド大学等が出席)、CEOS降水コンステレーション検討チームの場で調整実施中。
- 副衛星協定の形態としては、
 - ①多機関間協定
 - ②JAXA/NASAをコアとする協定
 - ③二機関間総当りの協定等が考えられるが、GPM計画におけるJAXAのプレゼンスの発揮、調整の容易性等を検討した上で形態を検討し、具体的な交渉に着手する。
- また、今後もGPM国際計画ワークショップ、CEOS降水コンステレーション検討チーム活動を通じて、新たな副衛星パートナーの獲得に努める。

表1 GPMの各副衛星の状況

| 衛星名 | 衛星開発／運用国 (機関) | 衛星の状況 | 搭載センサのGPMでの 使用目的への合致性 | 観測データ 取得の準リ アルタイム性 | 衛星開発／運 用機関のGPM 計画への参加 意思表示 | 備考 |
|---------------------|----------------------|------------------|--------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------|
| NASA副衛星 | 米(NASA) | ○2010年から開発 開始 | ○(主衛星と同じマイクロ波放射計) | ○ | ◎ | NASAからデータ 取得可能 |
| NPP | 米(NASA/NOAA/ DOD) | ○衛星組み立て中 | ○(マイクロ波サウンダ) | △ | ○ | NASAからデータ 取得可能 |
| NPOESS— C1、C2 | 米(NOAA) | ○開発中 | ○(C1はマイクロ波サウ ンダ, C2はマイクロ波 放射計) | ○ | ○ | NASAからデータ 取得可能 |
| NOAA-N' | 米(NOAA) | ○衛星試験中 | ○(マイクロ波サウンダ) | ○ | ○ | NASAからデータ 取得可能 |
| DMSP- F18/19/20 | 米(DOD、衛星運用 はNOAA) | ○衛星試験中 | ○(マイクロ波放射計) | ○ | ○ | NASAからデータ 取得可能 |
| GCOM-W1 | 日(JAXA) | ○開発研究 | ○(マイクロ波放射計) | ○ | ◎ | GPMでのデータ利 用可能 |
| Megha- Tropiques | 印／仏 (ISRO/CNES) | ○開発中 | ○(マイクロ波放射計) | X | ○ | データ利用調整中 |
| METOP-B、 C | 欧州(EUMETSAT) | ○開発中 | ○(マイクロ波サウンダ) | ○ | ○ | NASAからデータ 取得可能 |
| FY-3C,3E | 中国 | △ | △(マイクロ波放射計) | △ | △ | |

図1. 地上の任意の地点を何分おきに観測ができるかのシミュレーション結果例 (ケーススタディ)



ケース1
GPM主衛星運用時期とオーバーラップし、準リアルタイムでデータが入手できる衛星のうち、日米の衛星群のみのケース
(GPM主衛星、NASA副衛星、GCOM-W、DMSP-18/19、NPOESS-C1/C2)

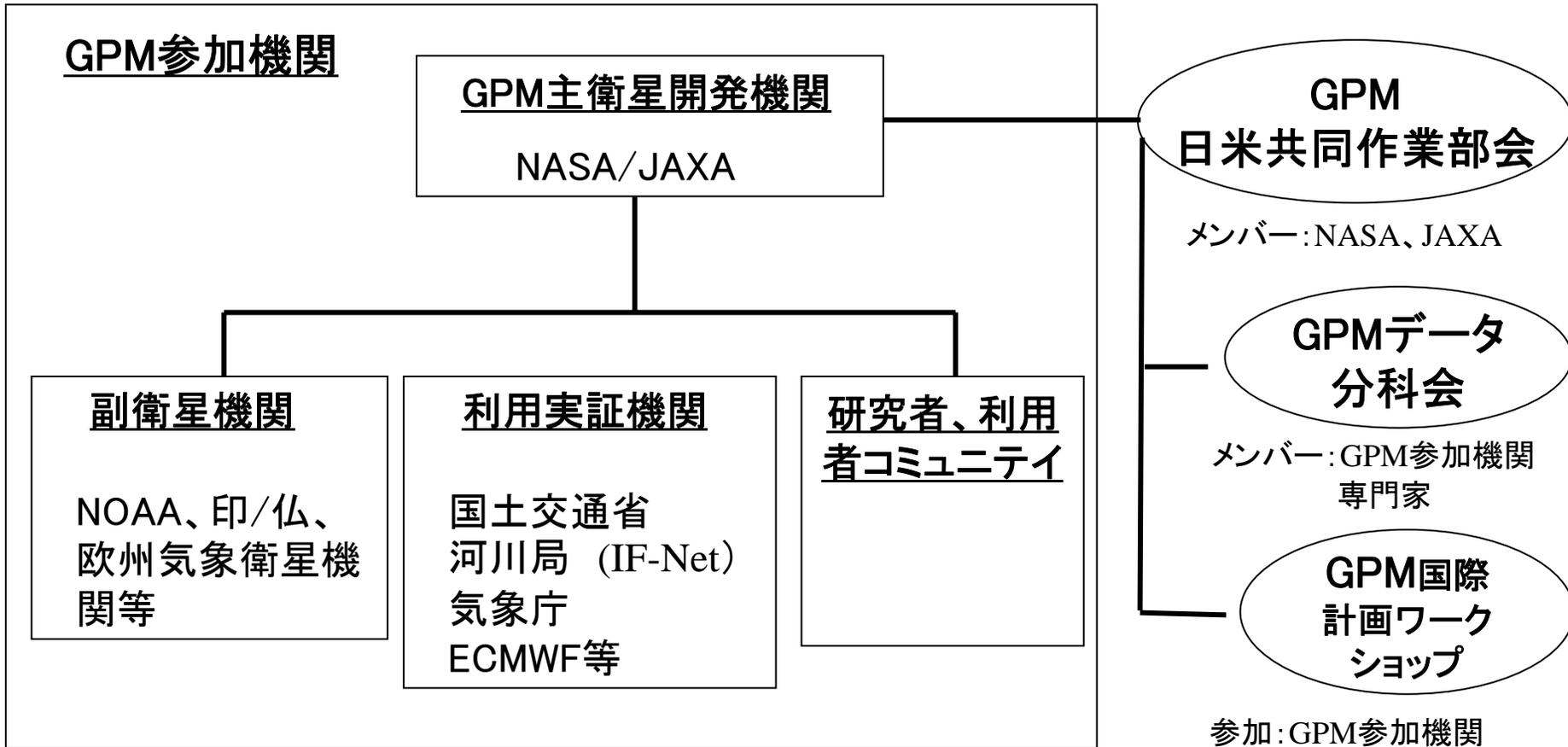
ケース2
ケース1に加えて欧州、及び準リアルタイム性に劣るNPP、及び欧州のMETOP-Bを追加したケース
(GPM主衛星、NASA副衛星、GCOM-W、DMSP-18/19、NPOESS-C1/C2、NPP、METOP-B)

- ケース1でも低緯度付近の一部を除き3時間以内で観測可能
- ケース2ではほとんどの地域を3時間以内に観測可能
- 低傾斜角の副衛星がもう1機あると、観測頻度はさらに向上
- NASA副衛星は、利用可能な副衛星群を考慮し、観測頻度が最大となる最適な軌道傾斜角を今後選定して打ち上げられる予定

図2. GPMの国際的枠組み

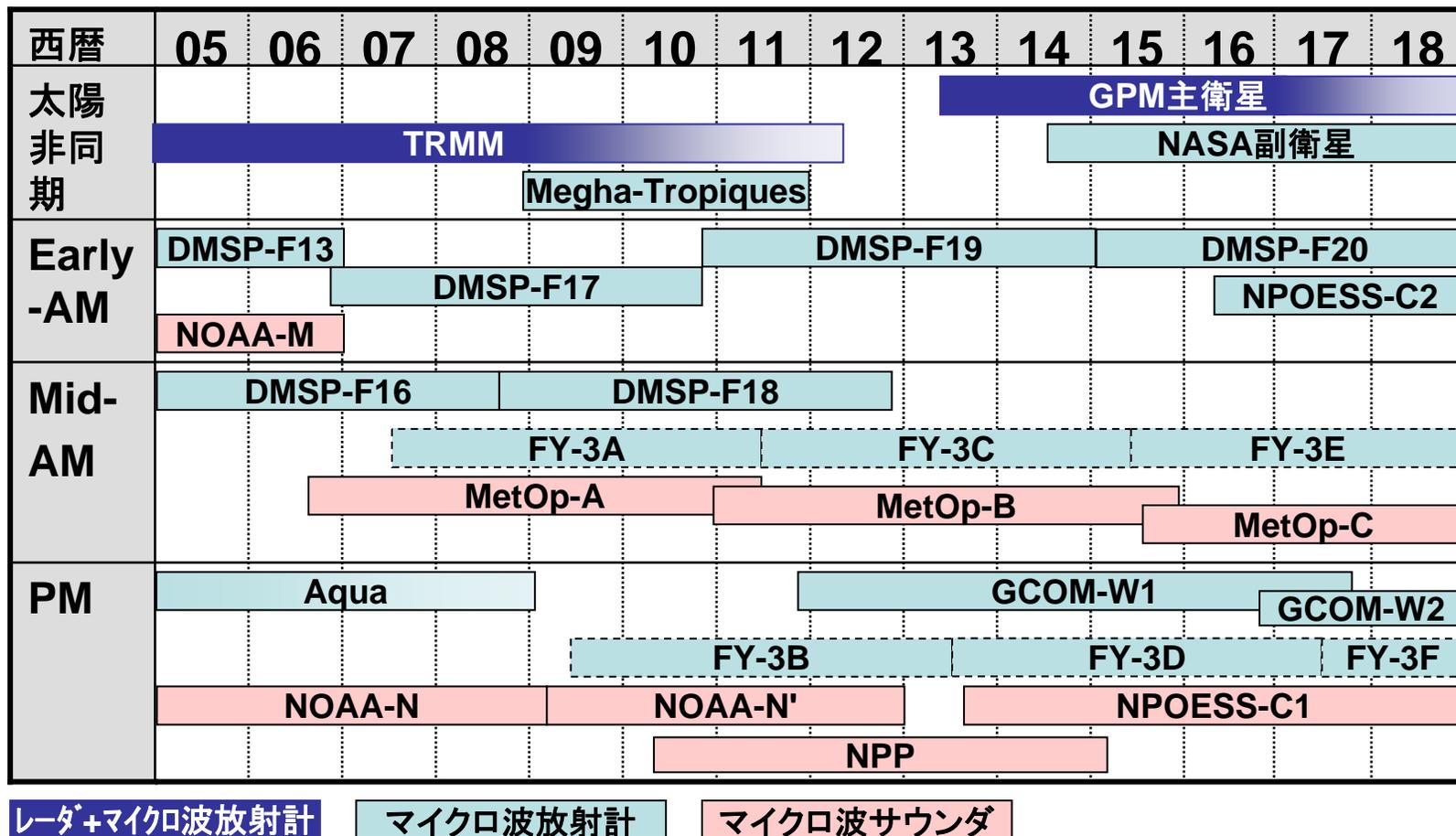
(協力の枠組み)

(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

図3. 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)

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 2 - 1】

【質問内容】

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。

【該当箇所】 推進 5 - 2 - 2

【回答者】 J A X A

【回答内容】

以下の通り回答致します。

1. TRMMが長期間運用可能となった理由

- TRMMの設計寿命は3年2ヶ月であり、最悪ケースで3年2ヶ月を保証する燃料を搭載した。軌道高度は、降雨レーダの感度を考慮して350kmの高度が当初選択された。
- TRMMが打上げから10年を超える運用が可能となっているのは、開発時点での最悪ケースの解析に対して打上げ後の軌道上での大気摩擦による軌道高度低下量が小さかったことと、打上げ3年9ヶ月後に軌道高度を350kmから大気摩擦の小さい400kmに変更したことによる。
- なお、TRMMの搭載燃料の量は、開発時点での最悪ケースで3年2ヶ月分を保証する量を搭載していた。

2. GPM主衛星の設計寿命について

- GPM主衛星の設計寿命に関する技術的要件は、限られた寿命を有するものの寿命（機械的可動部やバッテリー等）と搭載燃料の量である。
 - ハードウェアが本来有している限られた寿命以上の設計寿命は設定できない。また寿命保証は寿命にマージンを加えた長期間の寿命試験で行われる。なお、新たに長寿命を有するハードウェアを新規開発が必要となる場合は多大な開発経費と開発リスクが発生する。
 - 搭載燃料の量は主として衛星軌道高度で決まり、GPM主衛星の場合はDPRの感度の確保及びTRMMの運用実績を考慮して407kmに設定された。燃料の量が多くなるほど大きな燃料タンクが必要となり、また衛星構体の大型化と質量増となる。
- GPM主衛星の設計寿命は、ミッション目的やミッション要求の達成と、開発コストや衛星コンフィギュレーション上の制約を含む技術的な制約のトレードオフの結果から、設計寿命を3年2ヶ月とし燃料は5年分を保証する量を搭載することが決定された。
 - GPM主衛星の3年2ヶ月の計画ミッション期間中に、主衛星搭載DPRとGMIの同時観測により、TRMMで実現した熱帯・亜熱帯域のみならず、中・高緯度までのほぼ全球にわたる、精度のよい、3次元構造も含めた降水シス

テムの基礎データを取得可能である。

- 降水推定精度向上手法の開発は、最低年周期1サイクル分の全球データ取得が必要である。年々の降水変動の幅及びTRMMの経験を踏まえると、3年のデータがあれば実現可能である。
- 全球水循環基礎データ取得については、3年2ヶ月のミッション期間で年周期を3サイクル観測することになり、降水の日周変化や季節変化の年々変動を把握するのに必要なデータを取得可能である。
- GPM主衛星の搭載燃料5年分は最悪ケースの場合であり、ノミナル条件では10年分に相当する。
- 米国の研究者・利用者とNASAのGPMプロジェクトは、過去のNASA衛星の実績を踏まえ、3年2ヶ月を保証するように開発された衛星は、TRMMと同様十分長い期間運用できるという考え方である。
- JAXAにおいては平成15年8月に実施したプロジェクト移行前審査会(審査委員長:経営企画担当理事)、平成17年12月に実施した予備設計確認会(審査委員長:宇宙利用推進本部長)において、GPMの寿命も含めて審査が行われ、妥当との判断がされている。これらの審査会、確認会には外部の研究者・利用者が審査員として参加している。
- GPMの寿命(設計寿命3年2ヶ月、燃料は5年分搭載)については、日米双方のプロジェクトサイエンティストも参加する日米共同作業部会、過去6回開催したGPM国際計画ワークショップ、過去5回開催した利用検討委員会において、日米を含む世界中の研究者・利用者に公表され、研究者・利用者を含めて了解されている。

3. DPRの設計寿命

- DPRの設計寿命は、NASAの主衛星の設計寿命にあわせて3年2ヶ月としており、GPM利用検討委員会で了解されている。
- DPRの寿命については、5年の寿命にクリティカルな要因は無い。
 - DPRは、回転部等の可動部がないこと、電源は衛星バスから供給されバッテリーを有しておらず、寿命にクリティカルなものが無い。
 - 放射線や原子状酸素の影響解析や試験は3年2ヶ月の条件で実施しているが、設計マージンの範囲で5年の動作が見込める。
- DPRの3年2ヶ月後の残存確率の仕様値は0.8であるが、現時点の解析値は0.9以上である。また、5年後の残存確率は0.8前後と推定している。なお、参考に、TRMM搭載降雨レーダの3年2ヶ月後の残存確率解析値は約0.75である。
- 従って、DPRは5年間動作する実力を有しており、利用者の運用延長の期待にこたえられると考えている。

【質問番号 2 - 2】

【質問内容】

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。

【該当箇所】 推進 5 - 2 - 2

【回答者】 J A X A

【回答内容】

最小測定降雨強度は、レーダと観測対象との幾何学的位置関係、レーダ出力電力、受信機の性能を示す雑音指数、及び、観測データと雑音データのサンプル数により算出されます。

KuPR では、これらのパラメータを PR より向上することにより、0.5mm/hr の最小測定降雨強度を実現しています。その主な技術的要因としては二つあります。一番目は「送信出力電力の向上 (PR での 500.0 W を KuPR では 1013.5 W)」です。そのための主な技術課題は高出力パワーFET の開発で、これまでのデバイス試作及び BBM 製作・試験により、所望の性能が得られる高出力パワーFET の開発が完了しています。二番目は「観測データと雑音データのサンプル数の増大」です。そのための主な技術課題は可変パルス繰り返し周波数の採用です。これについては、これまでのシステム制御・データ処理部及び搭載ソフトウェアの試作により、可変パルス繰り返し周波数採用の実現性の確認が完了しています。

【質問番号 2 - 3】

【質問内容】

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。

【該当箇所】 推進 5 - 2 - 2

【回答者】 J A X A

【回答内容】

KaPR の高感度化は、送信パルス幅を 2 倍にし、受信帯域を半分にする観測ビームの採用で実現しました。その詳細を以下に記述します。

KaPR (35.55 GHz) では、KuPR (13.6 GHz) に比べ波長の短い (周波数の高い) 電波を使用するために、降雨エコー受信電力の増大が、周波数の比の二乗、

$$10 \times \log_{10} (35.55 / 13.6)^2 \cong 8.35 \text{ dB}$$

ありますが、レーダ出力電力が KaPR で 146.5 W 、KuPR で 1013.5 W であることから、

$$10 \times \log_{10} (146.5 / 1013.5) \cong -8.40 \text{ dB}$$

その効果がほぼ相殺されてしまいます。そのために、KaPR では、最小測定降雨強度の向

上を、KuPR が 1 スキャンの観測を行う時間に、二種類の観測ビームで、半分の観測幅のスキャンを 2 回を行う方式を採用し実現します。

最初の観測ビームは、二周波観測ビームと呼ばれ、KaPR と KuPR の 2 台のレーダによる観測体積を同一にするため、ビーム方向を一致させ、送信パルス幅も同一の $1.60 \mu\text{sec}$ で (レンジ分解能は 250 m) 同時観測します。このモードでは、降雨減衰補正の二周波法による高精度の降水強度推定を目的とします。

二つ目の観測ビームは、高感度観測ビームと呼ばれ、送信パルス幅を二周波観測ビームの 2 倍の $3.20 \mu\text{sec}$ とし (レンジ分解能は 2 倍の 500 m と劣化している)、トータルの送信出力を 2 倍にし、受信機の帯域を半分とすることで、雑音レベルを半分にするこ
とで、合わせて 6 dB の感度向上を行います。

コンポーネント PDR でのレーダパラメータによる、高感度観測ビームでの KaPR の最小測定反射強度は 11.81 dBZ 、KuPR の最小測定反射強度は 17.66 dBZ となります。

【質問番号 2 - 4】

【質問内容】

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) T_{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。

【該当箇所】 推進 5 - 2 - 2

【回答者】 J A X A

【回答内容】

提出いたしました資料では、TRMM の PR データの利用によって、マイクロ波放射計の降水推定精度が 1 桁改善したと述べました。以下に、PR データの利用によって大幅な改善が進んだ理由を説明します。

マイクロ波放射計は低周波と高周波チャンネルのそれぞれで得られる情報の組み合わせで降雨を推定しています。低周波チャンネルは鉛直積算した降水としての情報は定量的といわれていますが分解能が悪く、また高周波チャンネルは分解能の点では優れていますが上空の氷晶を観測していることとなります。マイクロ波放射計では、各チャンネルからの放射を正しく説明するように、降水システムの鉛直構造の仮定を用いて、降水強度を推定しています。TRMM では、PR が優れた分解能で詳細な降水の 3 次元情報を同時に取得していますので、センサの同時観測データを比較することにより、マイクロ波放射計アルゴリズムにおける仮定の問題点の改善が進み、降水推定精度が大きく向上しました。

他方、DPR における精度改善は、PR における実績がベースラインとなります。PR が DPR になることによる精度向上の考え方を以下に示します。

DPR においては、中・高緯度域の弱い雨や雪・霰などの固体降水も観測可能なように高感度化を行い、Ku 帯と Ka 帯の二周波観測を実施して、雨滴粒径分布などの新たな情報を取得可能となることにより、DPR 自身の降水推定アルゴリズムの改善が進み、精度が向上します。さらに、マイクロ波放射計との同時観測データを比較することにより、マイクロ波放射計アルゴリズムにおける仮定の問題点の改善を行い、さらなる降水推定精度向上が可能となります。

なお、PR と TMI の比較から具体的にわかった各アルゴリズムの問題点は、追加提出した「熱帯降雨観測衛星 (TRMM) の成果」の 5 ページの表にまとめられています。

以下、追記のご質問について回答します。

まず、GPM 主衛星及び副衛星群搭載のマイクロ波放射計は、各々が軌道上で、自身で観測した輝度温度の校正を行います。輝度温度の主な誤差には、ご指摘の通り、輝度温度の絶対校正に伴う誤差と、温度分解能 (T) による誤差があります。 T による誤差の低減は困難ですが、絶対校正における誤差はセンサの軌道上校正やセンサ間校正等により改善可能と考えます。

一方、DPR はマイクロ波放射計の輝度温度を降水量に変換する部分で、降水推定に伴う誤差 (リトリバル誤差) の改善を行います。一般に、リトリバル誤差による降水推定のばらつきは、輝度温度の絶対校正における誤差よりも数倍以上大きいいため、その改善は、輝度温度誤差の低減よりも大きな効果をもたらします。

【質問番号 2 - 5】

【質問内容】

“ 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。

【該当箇所】 推進 5 - 2 - 2

【回答者】 SAC 事務局

【回答内容】

SAC 事務局により回答

【質問番号 2 - 6】

【質問内容】

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？

【該当箇所】 推進5 - 2 - 2

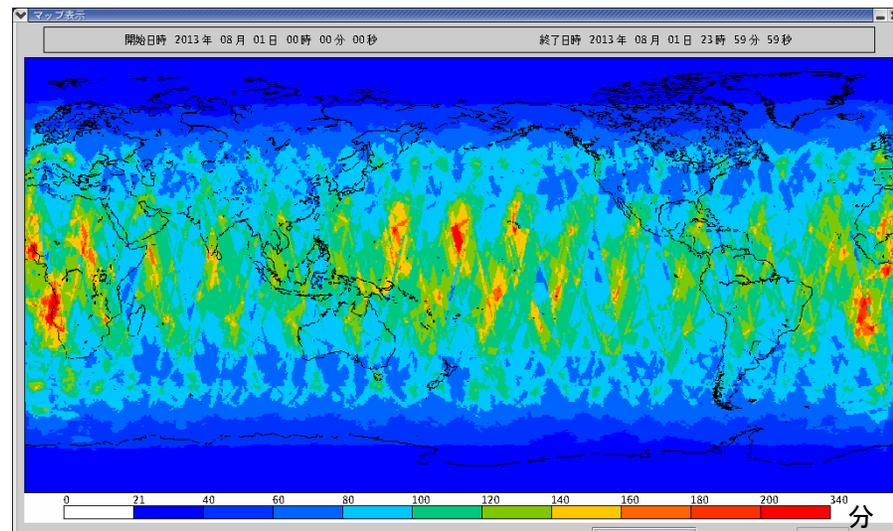
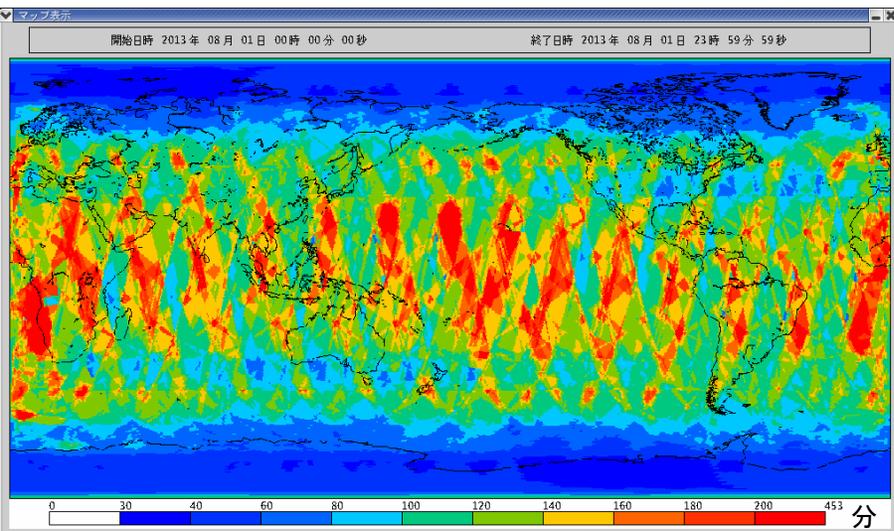
【回答者】 JAXA

【回答内容】

改訂版説明資料(P41)にある主衛星と副衛星群が打上げられた場合に、地上の任意の地点を何分おきに観測ができるかのシミュレーション結果例を、次頁の図1に示します。図1のケース2が、主衛星と想定される全ての副衛星群を用いたシミュレーション結果で、全球のほとんどの地域が1日平均で3時間以内(白からオレンジ)に観測可能となることが示されています。

また、3時間毎の全球データ(全球合成降水マップ)は、主衛星と副衛星群により、時刻Tから時刻T+3の間に観測された、個々の衛星の降水観測データの合成により作成されます。個々の衛星の観測データのみでは、常時全球をカバー出来ませんが、上述のケース2で示されたように、主衛星と副衛星群の全ての観測データを合成することにより、3時間の時間間隔でほぼ全球をカバーできることとなります。それでも、完全には全球をカバーできませんので、必要に応じて、時刻T以前の観測データからカルマンフィルター等を用いて類推した降水データにより補完する処理も行います。

図1. 地上の任意の地点を何分おきに観測ができるかのシミュレーション結果例



ケース1

GPM主衛星、NASA副衛星、GCOM-W、
DMSP-19/20、NPOESS-C1/C2

ケース2

GPM主衛星、NASA副衛星、GCOM-W、
DMSP-19/20、NPOESS-C1/C2、NPP、
METOP-B

- ケース1でも低緯度付近の一部を除き3時間以内で観測可能
- ケース2ではほとんどの地域を3時間以内(白からオレンジ)に観測可能
- 低傾斜角の副衛星がもう1機あると、観測頻度はさらに向上
- NASA副衛星は、利用可能な副衛星群を考慮し、観測頻度が最大となる最適な軌道傾斜角を今後選定して打ち上げられる予定

評価項目 3 開発方針に関連する質問

【質問番号 3-1】

【質問内容】

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るので、技術者が相互に深く関わる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。

【該当箇所】 推進 5-2-2

【回答者】 JAXA

【回答内容】

研究開発段階においては、JAXA、NICT と契約企業（JAXA、NICT とともに NEC と契約）の三者を一同に介した三者協議会を月 1 回の頻度で実施し、DPR に関する全ての技術調整、技術打ち合わせを合同で行なっています。また、インタフェース部分のみではなく KaPR の NICT 担当分全てに関しての設計審査に JAXA も出席し、NICT 担当分となる契約範囲におきましても、JAXA 契約分と同等の設計確認を行っています。

開発段階においても、上記の三者協議会や設計審査において、NICT が研究開発で担当した KaPR 電気システムについて、NICT 技術者が継続的に JAXA を支援することを JAXA-NICT 間の作業取り決めにて規定しています。

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 4-1】

【質問内容】

“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す。

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。

【該当箇所】 推進5-2-2

【回答者】 JAXA

【回答内容】

DPR は一台で KuPR、KaPR の両方を制御することが可能なシステム制御・データ処理部 (SCDP) を有します。この SCDP を KuPR (主系)、KaPR (冗長系) にそれぞれ一台ずつ、計二台搭載することで、冗長化を図っています。搭載位置を KuPR、KaPR にそれぞれ一台ずつとすることで、KuPR-KaPR 間の接続ハーネス断の場合にも、KuPR および KaPR にそれぞれ搭載された2台の SCDP が KuPR および KaPR を個別に操作することができます。また、KuPR または KaPR のうち1台が観測不能となった場合でも、もう一方のレーダは、搭載されている SCDP により観測が可能となっています。これらの観測における、主衛星との I/F についても NASA と調整が済みしております。

【質問番号 4-2】

【質問内容】

二つのレーダのビームマッチングは重要な要求の一つだと思います。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。

【該当箇所】 推進5-2-2

【回答者】 JAXA

【回答内容】

2つのビームの合わせ方についてですが、設計段階ではビームマッチングの要求を満足するよう誤差配分を行い、誤差要因の管理を行っています。

また、打ち上げ後は、地上に設置したレーダ校正機を用いて KuPR 及び KaPR のパルスを受信し、各ビームの中心を推定することで、ビームマッチング (ミスマッチング) を確認します。これにより、ミスマッチングが確認された場合は、地上からコマンドを送信し、SCDP からの制御により、アロングトラック (衛星進行) 方向のずれは送受信のタ

イミングを調整することで、また、クロストラック方向のずれは 128 系統なら構成されるアレーアンテナの位相を調整することで修正します。

【質問番号 4-3】

【質問内容】

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？

【該当箇所】 推進 5-2-2

【回答者】 JAXA

【回答内容】 DPR は KuPR と KaPR から構成されますが、DPR が全損（すなわち KuPR、KaPR とも全損）となる Single Point Failure 項目はありません。KuPR が全損、あるいは KaPR が全損となる Single Point Failure 項目としては、KuPR あるいは KaPR それぞれについて、構体の破損と、アクティブフェーズドアレイで構成される送受信系の電源系ハーネスのショートがあります。前者については適切な設計マージン、製造管理、試験・検査で対処します。後者については前者と同様の対処とする方法と、ショートを起こした部分を分離する等の設計で対処する方法を検討中です。

以上