

## 資料41-1

科学技術・学術審議会  
研究計画・評価分科会  
宇宙開発利用部会  
(第41回H30.4.2)

# GCOM-W及びGPM/DPR 定常運用の成果とプロジェクト 終了審査の結果について

平成30(2018)年4月2日

国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構

理事補佐 舘 和夫

◆水循環変動観測衛星(GCOM-W)及び全球降水観測/二周波降水レーダ(GPM/DPR)が、プロジェクト移行時に設定した期間の定常運用を終え、プロジェクトを終了する条件が整ったことから、平成29年10月にJAXAとしてプロジェクト終了審査を実施した(※)。審査項目は以下の通り。

- (1)プロジェクト目標の達成状況の確認
- (2)社会的/政策的/国際的貢献状況や波及効果(アウトカム)の確認
- (3)プロジェクト終了後に移行する事業の確認
- (4)投入した経営資源、実施体制、スケジュール実績の評価
- (5)レッスズラウンドの取り込み状況
- (6)機構横断的に継承すべき教訓・知見等の識別状況
- (7)人材育成結果

(※)両プロジェクトは、水循環変動の解明という共通のアウトカム目的を有しており、ほぼ同時期に定常運用を終了してプロジェクト終了の準備が整ったことから、審査を同時に実施した。

◆本資料は、宇宙開発利用部会がプロジェクトの終了時に実施する「事後評価」に資するものであり、「宇宙開発利用部会における研究開発課題等の評価の進め方について」(平成29年5月9日宇宙開発利用部会決定)における基本的な考え方を踏まえ、JAXA自らが評価実施主体となって実施したプロジェクト終了審査の結果を報告する。

JAXAは、プロジェクトの企画立案と実施に責任を有する立場から、JAXA自らが評価実施主体となって評価を行うことを基本とする。

これを踏まえ、宇宙開発利用部会では、JAXAが実施した評価の結果について、目的、目標、開発方針、開発計画、成果等についての調査審議を行う。

## ■JAXA内審査とプロジェクトフェーズの関係

＜事前評価＞（宇宙開発委員会）

GPM/DPRプロジェクト 平成19年8月27日

GCOM-Wプロジェクト 平成19年6月5日

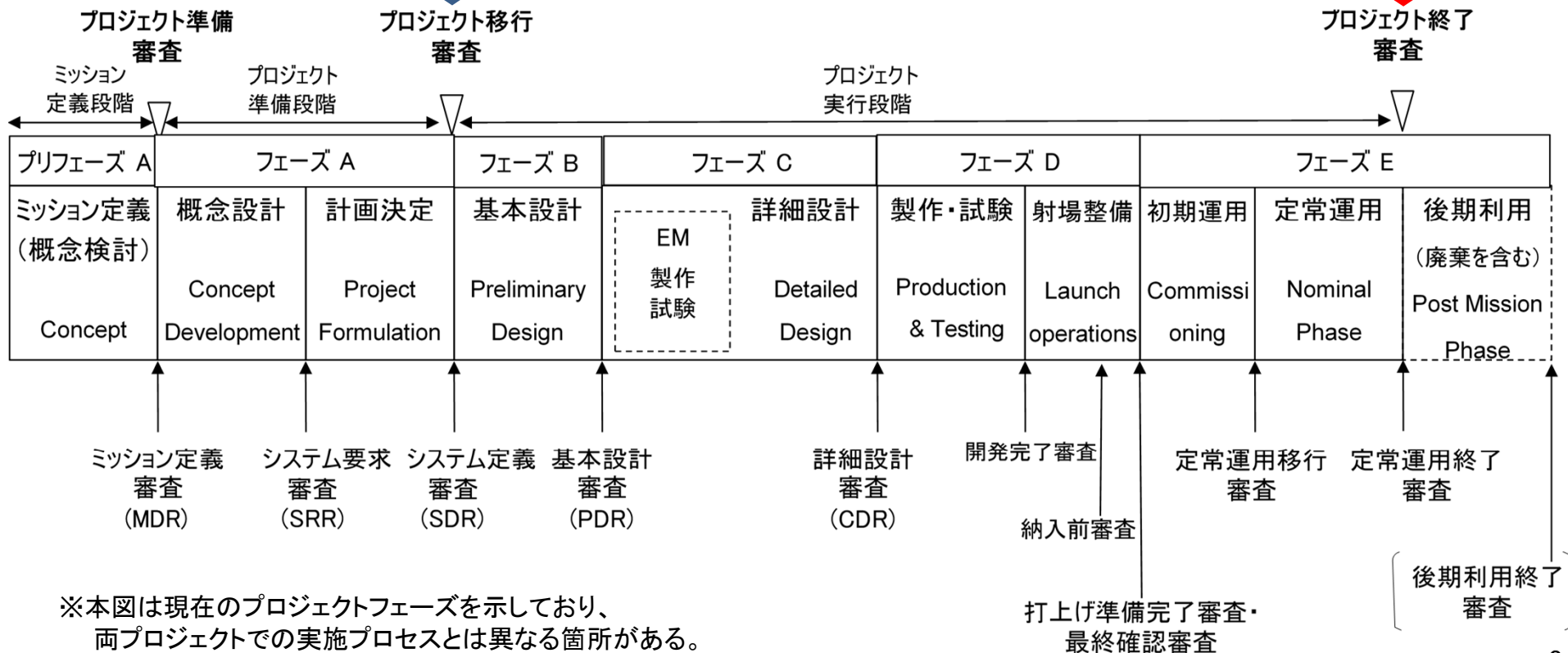
GPM/DPRプロジェクト 平成19年6月28日

GCOM-Wプロジェクト 平成19年2月27日

＜事後評価＞

（今回）

合同で実施  
平成29年10月26日



## 1. GCOM-Wプロジェクトの実施結果

- 1. 1 GCOM-Wの概要
- 1. 2 GCOM-Wプロジェクト目標の達成状況
- 1. 3 GCOM-Wの主な成果

## 2. GPM/DPRプロジェクトの実施結果

- 2. 1 GPM/DPRの概要
- 2. 2 GPM/DPRプロジェクト目標の達成状況
- 2. 3 GPM/DPRの主な成果

## 3. GCOM-WとGPM/DPRの利用における相乗効果で得られた成果

## 4. 後期利用計画

- 4. 1 GCOM-Wの後期利用計画
- 4. 2 GPM/DPRの後期利用計画

## 5. プロジェクト終了審査判定

# 1. GCOM-Wプロジェクトの実施結果

## ■GCOMプロジェクト(GCOM-W/GCOM-C共通)の目標

(平成19年6月 宇宙開発委員会推進部会資料より抜粋)

(1) 地球規模での気候変動・水循環メカニズムを解明する上で有効な物理量(海面水温、土壌水分等)の観測を全球規模で長期間(\*)継続的に行えるシステムを構築し、利用実証すること。

(\*) 気候変動は太陽からのエネルギー入力を主な駆動源としていることから太陽活動周期をカバーする10~15年程度

(2) 衛星により観測されたデータを、他の観測システムのデータやモデルデータなどと統合的に利用できる形態に加工し、利用者に提供すること。

(3) 気候数値モデルを有するユーザ機関と協調した体制を確立することにより、国家の政策決定にかかわる、気候変動メカニズムに関するプロセス研究や気候数値モデルの改善による長期気候変動の予測精度の向上に貢献すること。

(4) 気象予報、漁業情報提供、海路情報管理などを行う実利用機関に対するデータ配信を行い、災害をもたらす激しい気象の予測等の現業分野への貢献を行うこと。

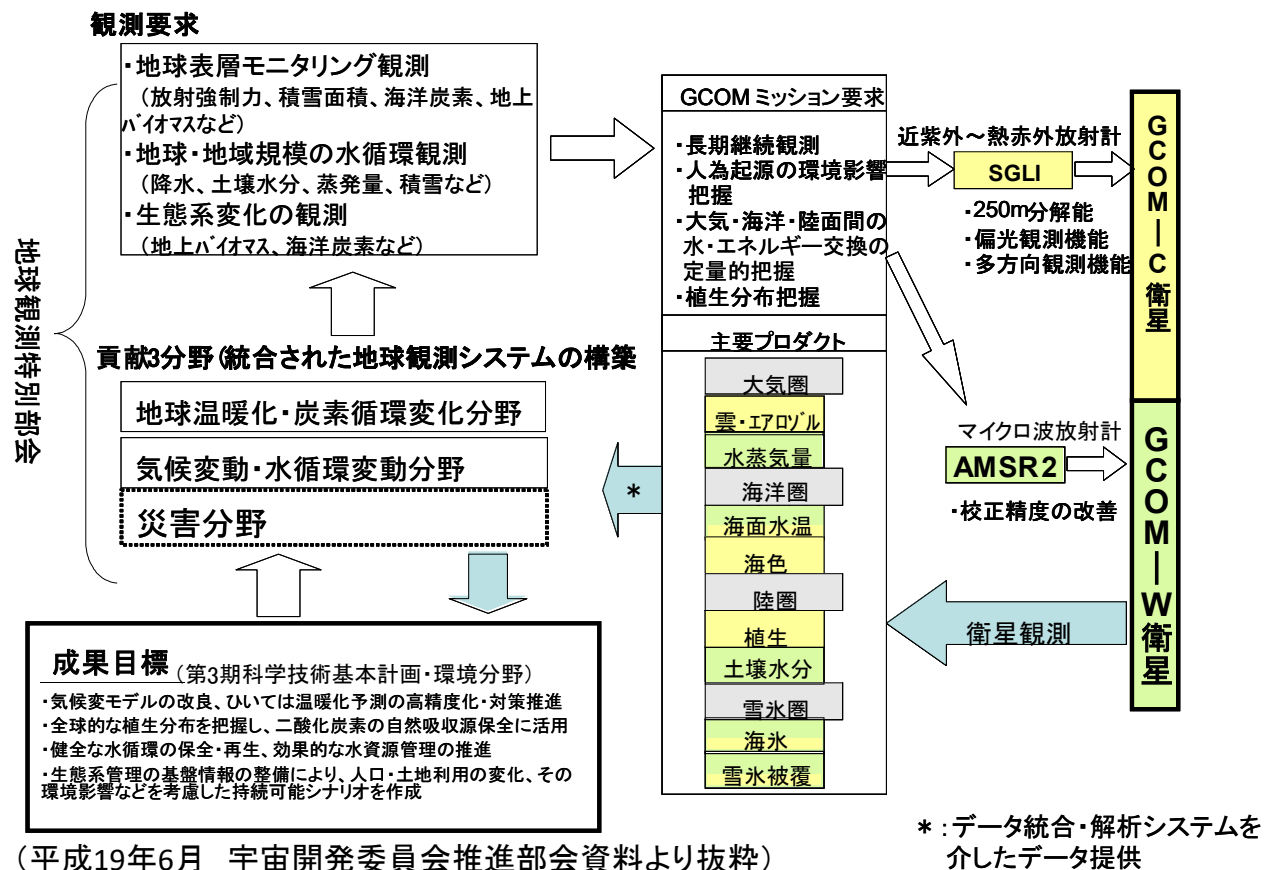
(5) 現在の解析技術では実現困難なプロダクトではあるが、気候変動・水循環メカニズムの解明に有効なものを、新たに生成すること。

# 1.1 GCOM-Wの概要 (2/3)

## ■GCOMミッションの概要

地球環境変動観測ミッション(GCOM)は、主に水循環変動を観測するGCOM-W(水循環変動観測衛星)、気候変動を観測するGCOM-C(気候変動観測衛星)の2種類から構成される。

GCOM-Wは、地球規模での水循環メカニズムの解明のため、地球上の様々な物理量(海面水温、土壌水分等)を全地球規模で継続的に観測するシステムを構築して利用実証するとともに、観測データを気象や漁業等の実利用機関に提供して現業分野への貢献を行うことを目的としたミッションである。



(平成19年6月 宇宙開発委員会推進部会資料より抜粋)

### 主な経緯

- 平成19年4月  
プロジェクト開始
- 平成24年5月18日  
打上げ(H-II A21号機)
- 平成24年8月10日  
定常運用開始
- 平成25年1月25日  
輝度温度プロダクト  
一般提供開始
- 平成25年5月17日  
地球物理量プロダクト  
一般提供開始
- 平成29年5月  
定常運用期間終了
- 平成29年10月  
プロジェクト終了審査

## ■衛星システムの概要



- 高性能マイクロ波放射計2 (AMSR2) は、地表面や海面、雲の中の水に関する物理量を、雲を透過して観測。
- 他のマイクロ波放射計に比較して高解像度。
  - ✓ 開口径2m(マイクロ波放射計で世界最大)のアンテナにより、高い空間解像度を実現
- 地表面に感度のある7GHz帯のチャンネルを持つ
  - ✓ 50km程度の空間解像度で観測可能なマイクロ波放射計は、AMSR2と米国Windsatのみ
- 観測幅が広く(約1600km)、観測頻度が高い
  - ✓ 最も観測頻度が低い赤道においても、2日間で昼夜1回ずつ観測可能

観測センサ	高性能マイクロ放射計2 (AMSR2)
観測軌道	太陽同期準回帰軌道 昇交点通過地方太陽時: 13:30 回帰日数: 16日 高度: 約700km
外形寸法	5.1m(X) × 17.5m(Y) × 3.4m(Z)
衛星質量	1937kg
発生電力	3880W以上(設計寿命末期)
設計寿命	5年

中心周波数 [GHz]	地表瞬時視野 Az × El[km]	温度分解能[K] (1σ, 150K)
6.925/7.3	35 × 62	0.34以下
10.65	24 × 42	0.7以下
18.7	14 × 22	0.7以下
23.8	15 × 26	0.6以下
36.5	7 × 12	0.7以下
89.0	3 × 5	1.2以下



## 1.2 GCOMプロジェクト目標の達成状況

地球環境変動観測ミッション(GCOM)第一期(※)の目標とその達成状況を以下に示す。また、サクセスクライテリア(成功基準)の達成状況を次頁に示す。エクストラサクセスを含む全ての基準を達成した。

(※)GCOMは、当初、3世代15年での継続観測を計画。

GCOM第1期(※)の目標	GCOM-Wの達成状況
① 多くの気候変動重要要素(ECVs)を含む標準プロダクトを生成し、提供すること。	サクセスクライテリアで規定した標準プロダクト生成提供を行った。
② 標準プロダクトを他の観測システムのデータと統合的に利用できるような形態に加工し、データ統合・解析システム等へ提供できるシステムを構築すること。	標準プロダクトを利用者のニーズを対応したフォーマットに変換し、標準プロダクトをデータ統合解析システムや外部利用機関・大学等に提供した。
③ データ同化による短期の予測精度の向上を通じてGCOM データの良好な品質を確認し、長期気候変動の予測精度向上に貢献できることを示すこと。 また、気候変動に敏感な北極域雪氷域、エルニーニョ/ラニーニャ等の変動が把握できることを示すことで、GCOM の全球規模観測データが機構数値モデルの検証に有効であることを実証すること。	気象庁・気象研究所やJAMSTECと協力し、AMSR2の輝度温度や土壌水分量、海面水温等をデータ同化し、大気や海洋モデルの短期予報の精度を向上した。また、AMSR2の観測データは、気候変動研究で多く利用されている長期再解析(JRA-55等)にも利用され始めた。極地研究所と連携し、雪氷域・極域の気候変動監視・変動研究や短期海氷分布予測に貢献した。これらのことから、GCOM-Wのデータの良好な品質が確認され、今後、長期気候変動の予測精度向上に貢献できることを示した。
④ 気象庁、海上保安庁、漁業情報サービスセンターへ設定された時間内にデータを配信し、データの有効性を利用実証すること。	サクセスクライテリアで規定したプロダクト生成に関する基準を満足し、各機関に有効に利用された。
⑤ 研究利用機関と協力して、新規プロダクトを生成すること。	利用研究機関と協力して新規研究プロダクトとして高解像度(10GHz)海面水温、全天候海上風速を新規に生成した。

(平成19年6月 宇宙開発委員会推進部会資料より抜粋)

# 1.2 GCOM-Wプロジェクト目標の達成状況

評価条件		ミニマムサクセス	フルサクセス	エクストラサクセス	達成状況
プロダクト生成に関する評価	標準プロダクト (標準精度 <sup>*1</sup> / 目標精度 <sup>*2</sup> )	校正検証フェーズを終了し、外部ニプロダクトリリースを実施すること。リリース基準精度を達成すること。【打上げ約1年後に評価】	標準精度を達成すること。【打上げ5年後(予定運用終了時)に評価】	目標精度を達成するものがあること。【打上げ5年後(予定運用終了時)に評価】	全標準プロダクトが標準精度を達成。 <b>【フルサクセス達成】</b> 一部プロダクト(積算水蒸気量、海面水温、土壌水分量)が目標精度を達成。 <b>【エクストラサクセス達成】</b>
	研究プロダクト (目標精度)			気候変動に重要な新たなプロダクトを追加出来ること。または、目標精度を達成するものがあること。【打上げ5年後(予定運用終了時)に評価】	10GHz海面水温、全天候海上風速の研究プロダクトが目標精度を達成し、一般公開。 <b>【エクストラサクセス達成】</b>
データ提供に関する評価	実時間性	リリース基準精度達成後、打上げ後4年経過時点までの間、稼働期間中に目標配信時間内配信を継続していること。【打上げ約4年後に評価】	リリース基準精度達成後、打上げ後5年経過時点までの間、稼働期間中に目標配信時間内配信を継続していること。【打上げ5年後(予定運用終了時)に評価】		ミッション要求条件書に定められた実利用機関(気象庁、漁業情報サービスセンター)に全球観測データ及び日本周辺観測データの準リアルタイムプロダクトについて、目標配信時間内に配信した達成率は、95%の要求に対して約98%を達成した。 <b>【フルサクセス達成】</b>
	連続観測	リリース基準精度達成後、打上げ後4年経過時点までの間、継続的にデータを提供していること。【打上げ約4年後に評価】	リリース基準精度達成後、打上げ後5年経過時点までの間、継続的にデータを提供していること。【打上げ5年後(予定運用終了時)に評価】		サクセスクライテリアの運用細則に定められた稼働時間95%(目標配信時間を達成できなかったデータも含む)に対して、99.6%を達成した。 <b>【フルサクセス達成】</b>

\*1 標準精度: AMSR、AMSR-E等の実績を踏まえた、有用かつ標準的な精度レベル。

\*2 目標精度: アルゴリズム性能や校正精度改善等の研究要素を多く含む精度レベル。

# 1.3 GCOM-Wの主な成果 (1/5)

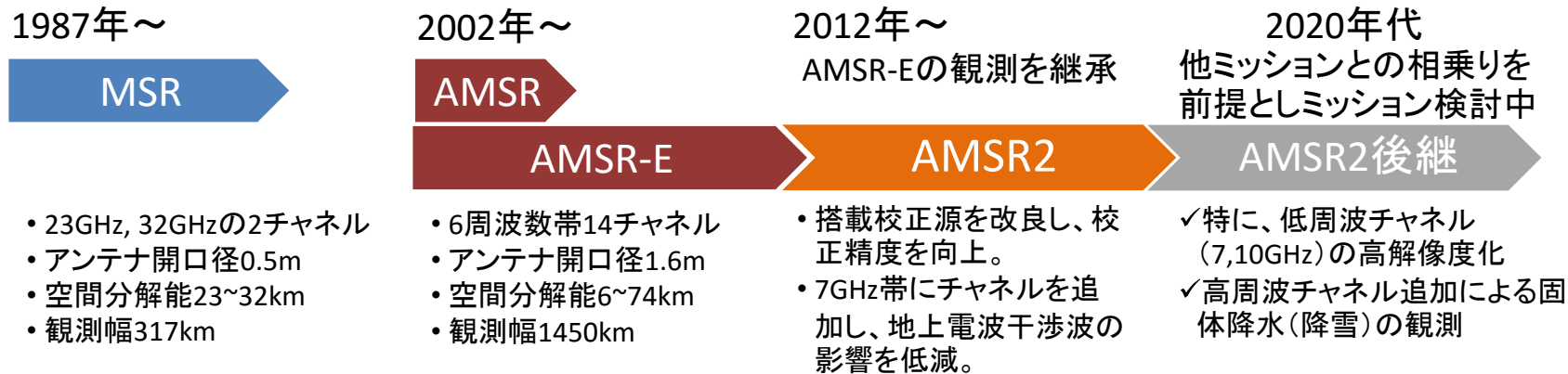
## ■GCOM-W衛星システム開発の成果

### • GCOM-Cとの衛星バス共通化による効果

衛星バスは、GCOM-WとGCOM-C(平成20年度開発着手、29年12月打上げ)の共通性を考慮して設計を行い、両衛星全体として、信頼性向上、コスト低減、開発期間の短縮を図った。

- GCOM-Wは5年間の軌道上寿命を経過した後も全ての機器が所定の機能性能を維持。
- GCOM-C開発中の不具合はGCOM-Wに比較して約27%減少するなど、効率的な開発を実現。

### • 衛星搭載型マイクロ波放射計の発展・継承



観測センサ(AMSR2)は、米国Aqua衛星搭載のAMSR-Eとの観測継続性を図り、可能な範囲で既存技術を活用。校正精度向上や信頼性向上の目的に絞って設計変更を実施。

- 搭載校正源をAMSR-Eから改良した結果、校正精度が向上。海外気象機関からは、周回変動が小さく、他国のマイクロ波放射計に比較して安定性に優れているという評価を受けている。
- AMSR-Eとの直接相互比較により、AMSR-Eから一貫した観測データの継続性を確保。

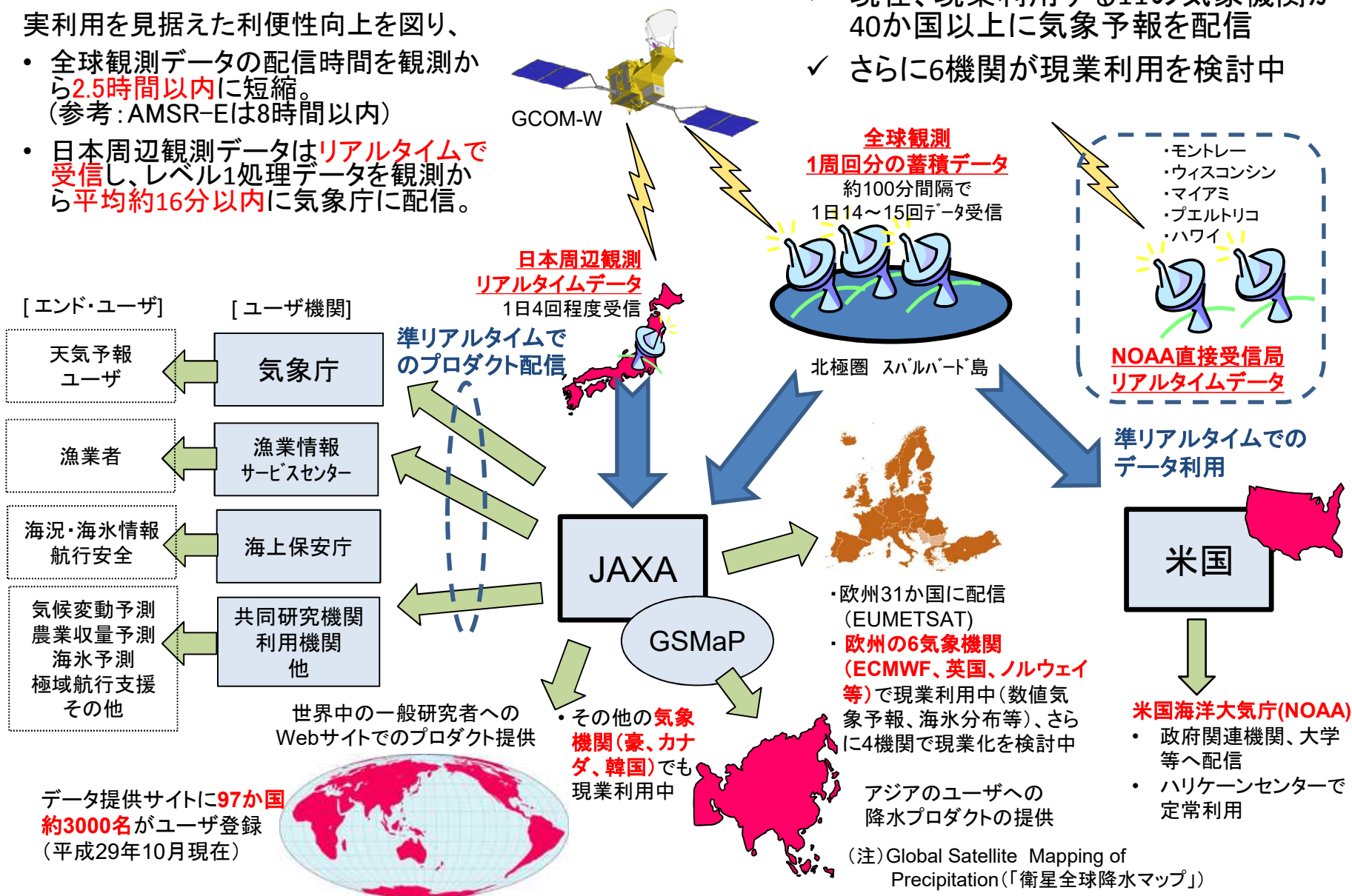
平成26年度 文部科学大臣表彰において、「水循環変動観測衛星による高精度マイクロ波観測技術の開発」が科学技術省を受賞  
 平成25年、第23回日経地球環境技術賞において、「第1期水循環変動観測衛星「しずく」の開発」が優秀賞を受賞

# 1.3 GCOM-Wの主な成果 (2/5)

## ■GCOM-W利用の概要

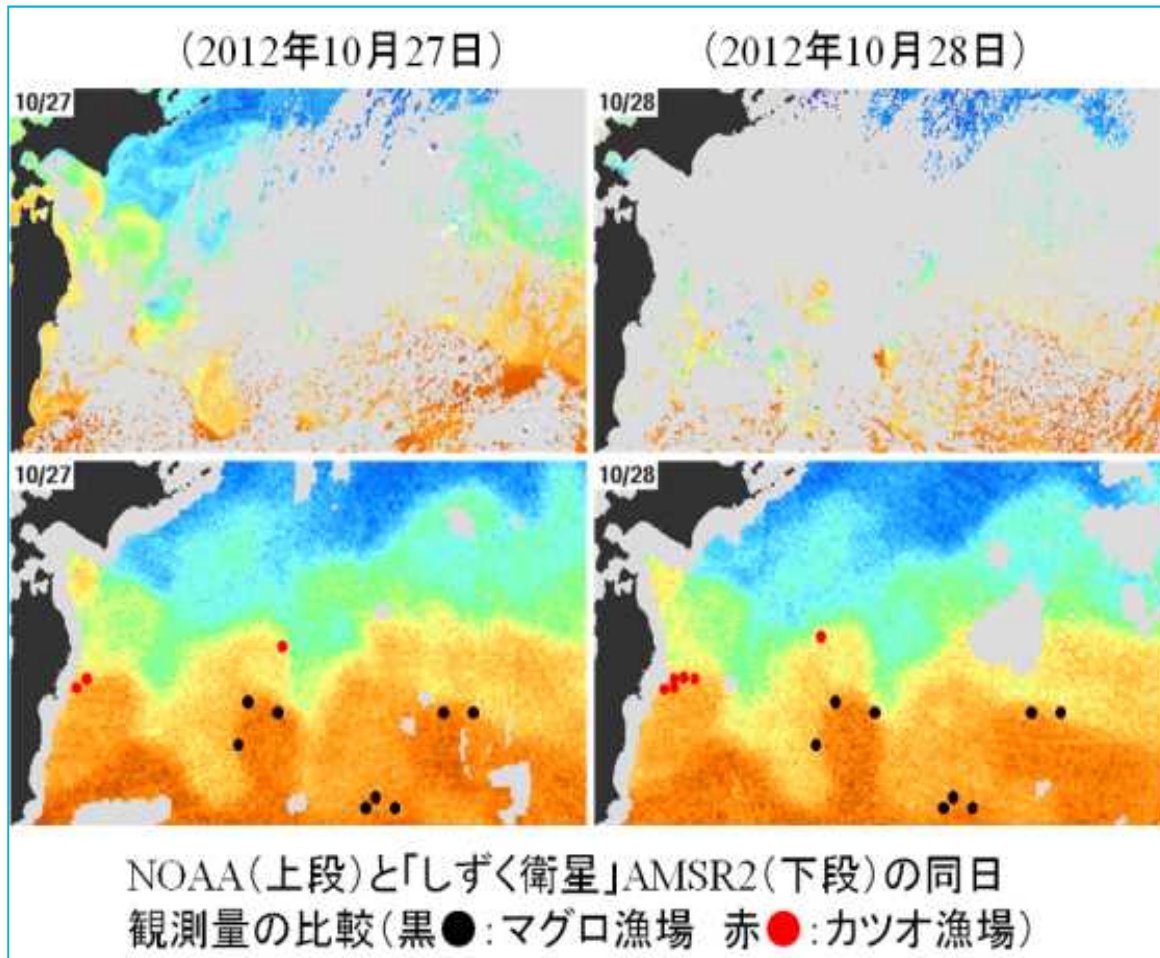
実利用を見据えた利便性向上を図り、

- 全球観測データの配信時間を観測から**2.5時間以内**に短縮。  
(参考: AMSR-Eは8時間以内)
- 日本周辺観測データは**リアルタイム**で受信し、レベル1処理データを観測から**平均約16分以内**に気象庁に配信。



AMSR2海面水温データは、漁業情報サービスセンターが作成する漁海況情報に定常的に利用されており、漁船の漁場選定などに活用→**漁船の燃油を16%節減**

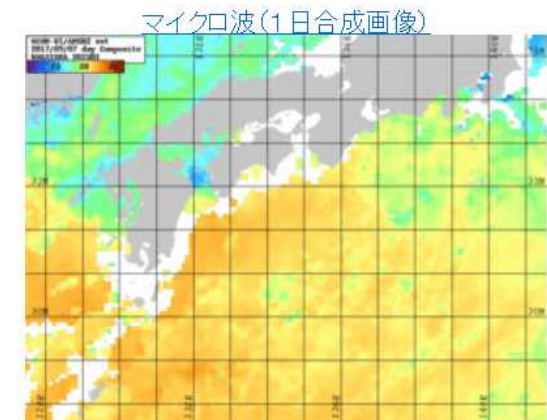
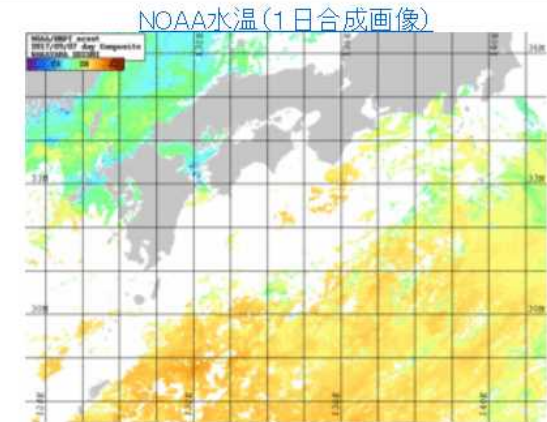
和歌山県水産試験場のウェブサイトでも、他衛星海面水温や漁場情報と共に公開



(漁業情報サービスセンター提供)

平成25年宇宙開発利用大賞  
内閣総理大臣賞をJAFICが受賞

人工衛星画像(毎日数回更新)



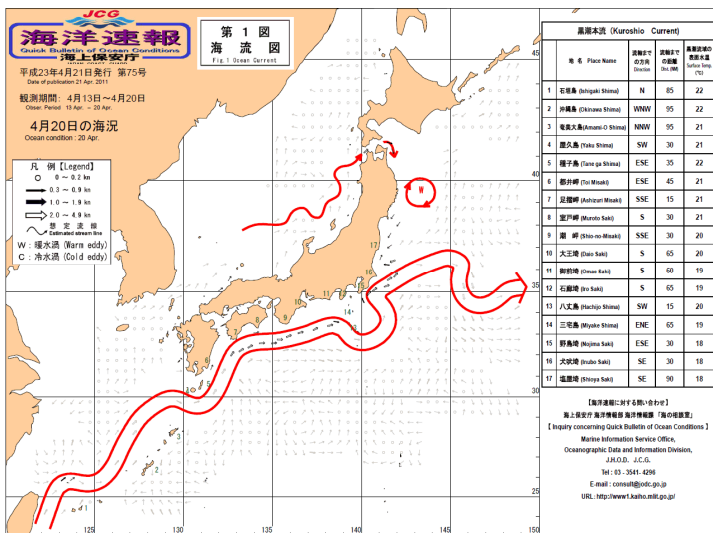
和歌山県水産試験場  
<http://wasuishi.sakura.ne.jp/>

### 海上保安庁でのAMSR2データの現業利用

- 海上保安庁で船舶の航行安全及び経済運航のために公開している「海洋速報」(日本周辺海域)の作成に、2013年からAMSR2高解像度(10GHz)海面水温、2017年から標準海面水温を定常的に利用。
- 海上保安庁で海難防止及び船舶の航行安全のために公開している「海水速報」(冬季オホーツク海及び北海道周辺)の作成に、2012年からAMSR2海水密接度データを定常的に利用。

#### 海洋速報

毎日発行 (土日、祝祭日を除く)



被雲等により可視画像が取得できない場合の黒潮流路の把握に役立っている。

#### 海水速報図

毎日発行 (流水のある期間)



オホーツク海の海水氷監視における長年の衛星データ提供に対して、JAXA第一宇宙技術部門が海上保安庁長官より表彰 (2017年9月)

(海上保安庁提供)

雲下で海水氷域が識別できない海域を主とした海水氷勢力把握のために使用。

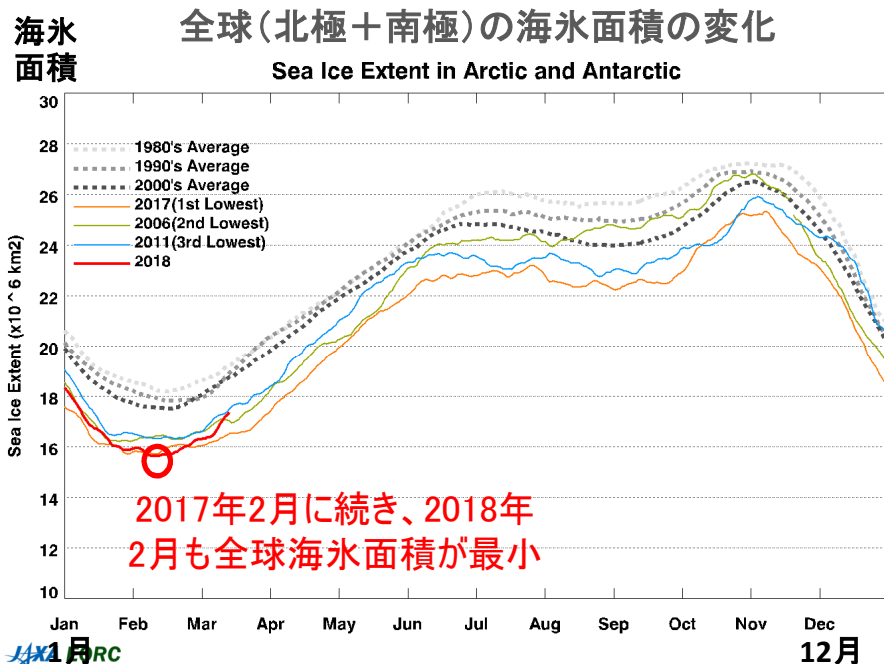
### AMSR2で南北両極での海氷面積の減少傾向を明らかに

- 極域環境の変動は「気候変動のカナリア」であり、AMSR2は毎日極域を10km解像度で観測可能→**極域海氷監視の基本情報**
- IPCC第5次評価報告書で、北極海海氷面積の減少傾向は報告されていたが、**南極海海氷面積には減少傾向は見られなかった。**
- AMSR2は、2012年9月に北極海氷面積の**史上最小値**を観測(右下)。
- さらに、2014年9月に南極海氷面積の**史上最大値**を観測したが、2017年2月に**全球海氷面積が史上最小値**、3月に南極海氷面積も**史上最小値**を観測、さらに**2018年2月も全球海氷面積最小値を更新**(左下)。
- 南極の海氷減少は**研究者間でも予想されておらず**、昨年に研究が開始されたところ。この傾向が今後も継続するか、**継続的な監視が重要**。

北極海海氷分布の変化



30年で大きく減少



両極域でこれまでにないスピードで変化が起きているのをいち早く検知

南極の海氷面積の増加傾向が2016年以降急激な減少に転じた？  
→今後の監視、将来予測が重要

## 2. GPM/DPRプロジェクトの実施結果

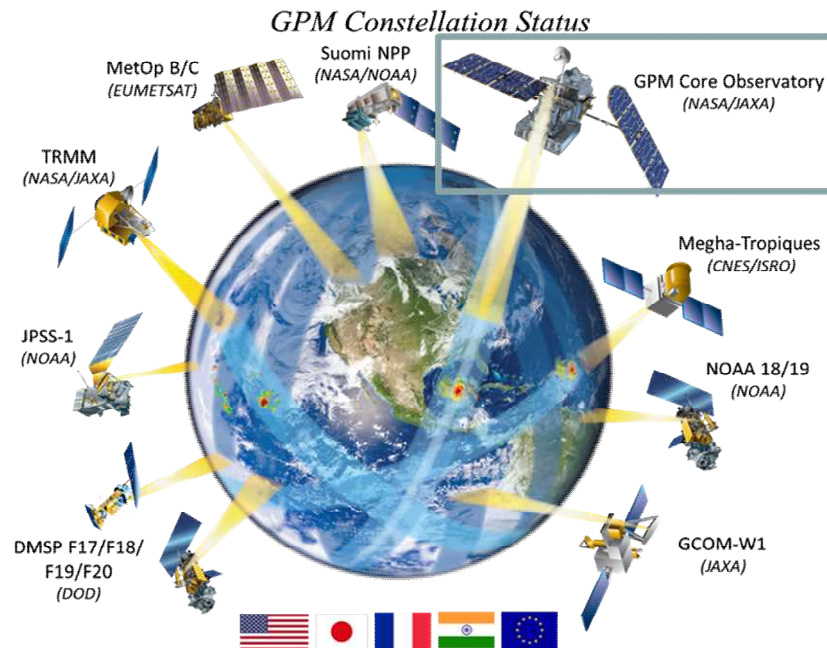


## ■ミッションの概要

全球降水観測(GPM)計画は、社会生活にも直結する**降水の高精度・高頻度**観測を目的とする。主衛星搭載の二周波降水レーダ(DPR)により高精度観測を、マイクロ波放射計を搭載した複数機のコンステレーション衛星群により高頻度観測を実現する。

- GPM主衛星は、JAXAとNASAの共同開発。
- DPRは、JAXAが情報通信研究機構(NICT)と協力して開発。
- コンステレーション衛星群は、各国のマイクロ波放射計搭載衛星(GCOM-Wを含む)と国際協力連携することにより実現。
- コンステレーション衛星群を利用した、全球衛星降水マップ(GSMaP、準リアルタイム版、及びリアルタイム版)をGPM/DPRプロジェクトとして開発。

※本資料では、プロジェクト終了審査の対象である、DPRの開発・利用成果、及びGSMaPの開発・利用成果について報告する。



### 主な経緯

- 平成19年 4月 開発開始
- 平成25年10月 GPM/DPR開発完了
- 平成26年 2月28日 打上げ(H-II A23号機)
- 平成26年 5月 定常運用開始
- 平成26年 9月 プロダクト一般提供開始
- 平成29年 4月 定常運用期間終了
- 平成29年10月 プロジェクト終了審査

# 2.1 GPM/DPRの概要(2/2)

## ■GPM主衛星の概要



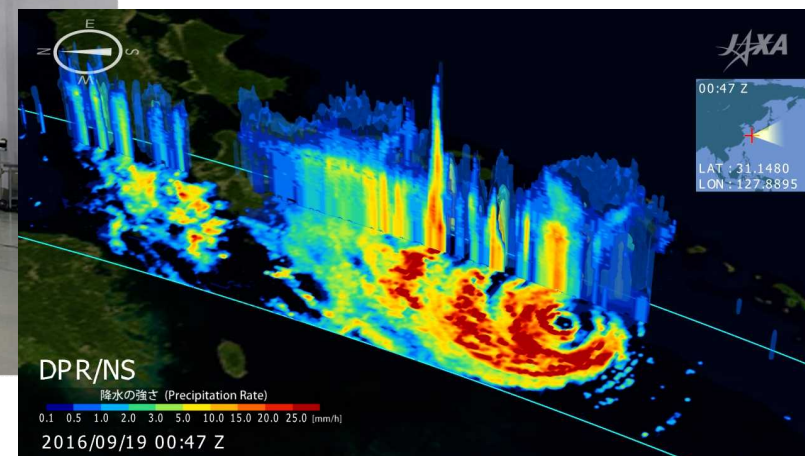
観測センサ	二周波降水レーダ(DPR)[JAXA] マイクロ波放射計(GMI)[NASA]
観測軌道	太陽非同期軌道 軌道傾斜角:65度 高度:約407 km
外形寸法	5.0 m(X) × 13.0 m(Y) × 6.5 m(Z)
衛星質量	3,850 kg
発生電力	1,950W以上
設計寿命	3年2月

## ■二周波降水レーダ(DPR)の概要

- 二周波降水レーダ(DPR)は、日本が開発した世界初の熱帯降雨観測衛星(TRMM)搭載降雨レーダ(PR)の技術を継承・発展させた、Ku帯降水レーダ(KuPR)と、**世界初のKa帯降水レーダ(KaPR)**の2つのレーダにより、全球降水量とその三次元構造を高精度で観測。



項目	KuPR	KaPR
中心周波数[GHz]	13.6	35.55
距離分解能[m]	250	250
水平分解能[km]	5.2	5.2
走査幅[km]	245	120
最小測定降雨強度[mm/h]	0.5	0.2



衛星搭載降水レーダ技術は日本が世界を牽引

DPRが観測した台風の三次元構造

### 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

#### 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  
 \*\*GPM/DPR目的は3年2ヶ月の寿命で達成可能

- 全てのフルサクセスを達成した。

ミッション要求条件	ミニマムサクセス	フルサクセス	エクストラサクセス	達成状況
月平均全球降雨量の緯度分布の推定精度 ±10% 以内を達成	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。【初期機能確認完了から1年後に評価】	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。【ミッション期間[3年]終了時】	—	2014年6月から2016年5月までの2年間で、降雪時のデータは除く。気候区分により、6つのエリアを設定。すべてのエリアで±10%未満。【 <b>ミニマムサクセス達成</b> 】 アメリカ合衆国内の雨量計補正済み地上レーダを利用。2014年6月から2016年3月までの期間で、冬季を除く16ヶ月間について、平均で-7.0%となり「±10%以内」を満たす。【 <b>フルサクセス達成</b> 】
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	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。【初期機能確認完了から1年後に評価】	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。【ミッション期間[3年]終了時】	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。【ミッション終了審査時】	センサの健全性を校正実験及び海面エコー強度の長期間変動から確認。KaPR (HS)で0.19mm/hとなり、フルサクセスの達成を確認。 データ取得要求はNASA-JAXA Joint Requirementsで98%以上と規定されており、KuPR:99.22%、KaPR:99.17%での常時観測を達成している。【 <b>フルサクセス達成</b> 】 現在、ミッション期間を超えて、上記を維持しており、 <b>エクストラサクセスを達成</b> している。

- 全ての達成指標を達成した。(達成指標は他機関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	達成指標	達成状況
月平均全球降雨量の緯度分布の推定精度±10%以内を達成	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。 【ミッション期間[3年終了時に評価]】	解析期間:2014年6~2015年5月について、平均で8.6%、10%以内となる格子は、DPR 74.2%であり、達成指標を満たす。 <b>【達成指標達成】</b> ※補足説明資料(38ページ)に数値根拠を記載
広域河川流域日雨量推定精度±40%以内を達成	GMI及び副衛星群搭載マイクロ波放射計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。【ミッション期間[3年終了時に評価]】	検証期間は雨量の多い夏季(2015年6-8月の3カ月)、約2万平方キロ領域として、緯度経度1.5度格子で評価。日本、米国の地上雨量計で補正した地上レーダデータとの相対誤差の平均が±40%未満で、達成指標を満たす。 <b>【達成指標達成】</b> ※補足説明資料(39ページ)に数値根拠を記載
GMI及び副衛星群搭載マイクロ波放射計レベル1データ入信後、30分以内で配信、60分以内で準リアルタイムプロダクトを作成・配信できること	レベル1データ入信後、30分以内で配信できること。【ミッション期間[3年終了時に評価]】	30分以内の配信要求を達成。 GMI L1B: 平均1分14秒 SAPHIR L1A: 平均1分45秒 <b>【達成指標達成】</b>
	レベル1データ入信後、60分以内で準リアルタイムプロダクトを作成・配信できること。【ミッション期間[3年終了時に評価]】	60分以内のデータ作成・配信要求を達成。 DPR L2: 平均17分37秒 DPR/GMI複合 L2: 平均1分33秒 GSMaP L3: 平均29分42秒 <b>【達成指標達成】</b>

## 2.3 GPM/DPRの主な成果(1/4)

### • 二周波降水レーダの開発成果

#### ➤ TRMM/PR から技術を継承したことによる効果

- ✓ TRMM/PRの技術を継承・発展させ、**世界初の衛星搭載二周波降水レーダを開発した。**
- ✓ TRMM/PRは、128系統の個別の送受信系で構成されていたが、GPM/DPRでは8系統の送受信系で構成される送受信モジュールを開発し、試験の効率化を図った。

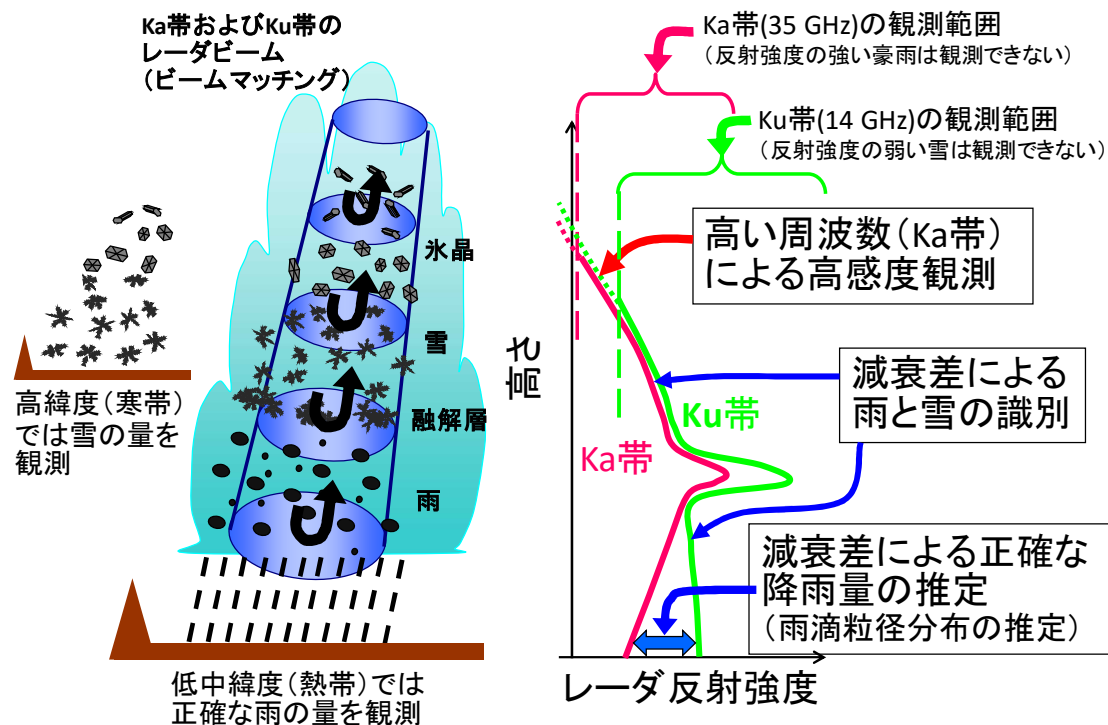
#### ➤ ビームマッチング

- ✓ Ku帯とKa帯の降水レーダの瞬時視野を合わせ、二周波による降水観測データの取得を可能とした。**二周波観測による降水粒子情報を活用した降水推定手法を開発し、降水推定精度を向上**(日本域で、PRの推定誤差-32.6%が、DPRでは-1.5%に減少)させた。

#### ➤ 感度の向上

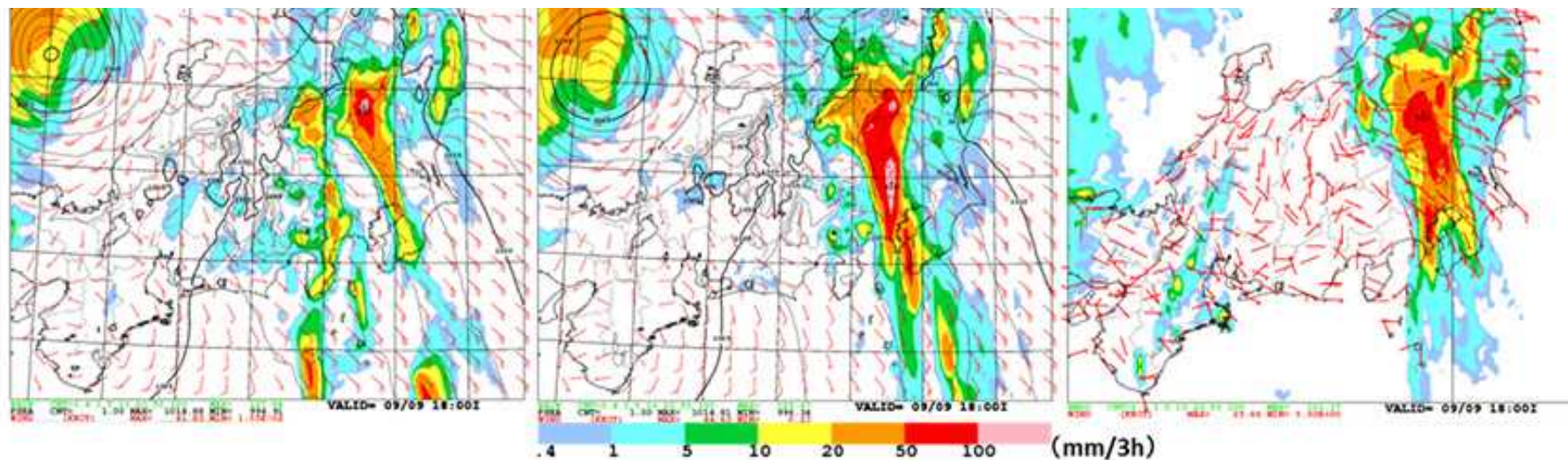
- ✓ GPM/DPRでは、感度の向上により、TRMM/PRに比べて、**弱い降水も観測可能**となった。

### 二周波観測の意義



### 気象庁での現業利用例

- ✦ 気象庁は、2016年3月からGPM主衛星データの定常利用(全球数値予報モデル、メソ数値予報モデル)を開始。数値予報システムでの、DPRのような衛星搭載降水レーダデータの利用は、**世界の気象機関で初めて**である。
- ✦ 日本列島には台風が南海上から接近するが、南海上の降水観測データは非常に限られている。**DPRが観測した降水の立体構造**に基づいた、3次元的な水蒸気分布を気象予測に用いることにより、精度の向上に役立っている。



33時間予測値(DPR無し)

33時間予測値(DPR有り)

実際の雨量

平成27年9月関東・東北豪雨の気象庁メソ数値予報モデル(MSM)の33時間予測値で、GPM主衛星搭載二周波降水レーダ(DPR)データを使用することで(中央下)、雨量予測が実際の雨量(右下)に近づき、予報精度の改善が見られる。

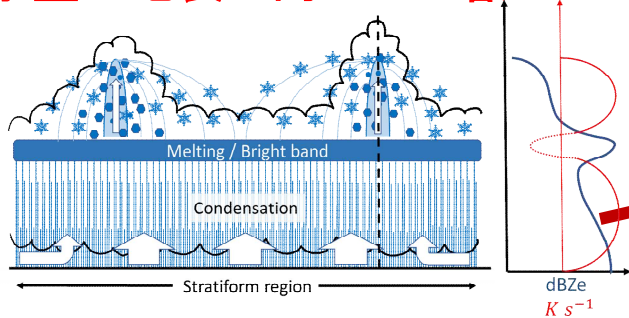
(気象庁とJAXAの共同プレスリリースより引用)

### DPRで熱帯と中緯度の雨の違いが明らかに

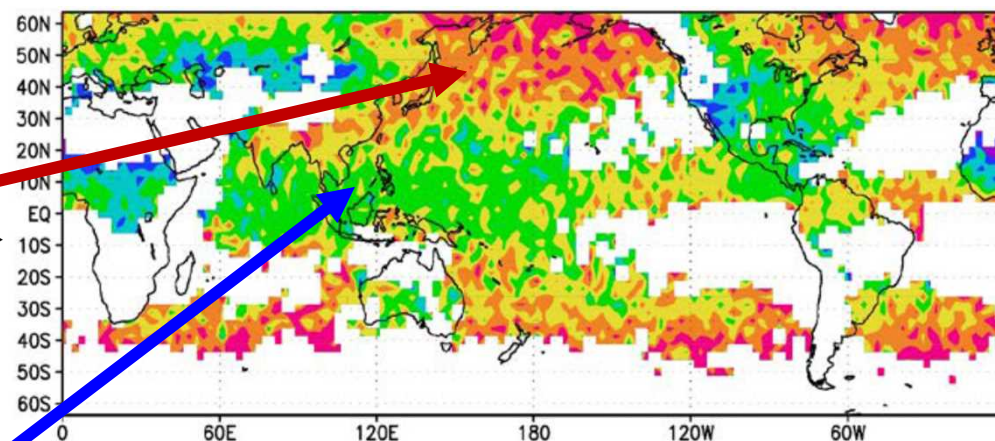
- DPRはTRMM/PRで観測できなかった緯度35～65度を観測している。それにより、**世界で初めて**中緯度も含めた世界中の降水の鉛直構造の違いが明らかになった (Kobayashi et al. 2018, *QJRMS*)。
- このような雨の降り方の情報は、降水の鉛直構造の仮定が降水推定精度に直結する**GSMaPのマイクロ波放射計からの降水推定手法の改良に役立った**。
- 今後、気象・気候モデルの検証データとして、降水過程の改良に役立てられる見通し。

雨水量は地表に向かって増加

中緯度の温暖前線の模式図

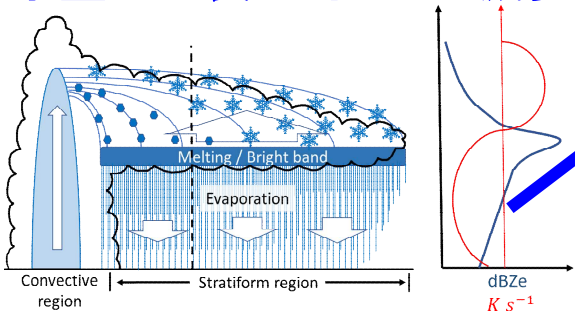


GPM/DPRデータの北半球夏季の解析結果



雨水量は地表に向かって減少

熱帯のメソ対流系システム (MCS) の模式図



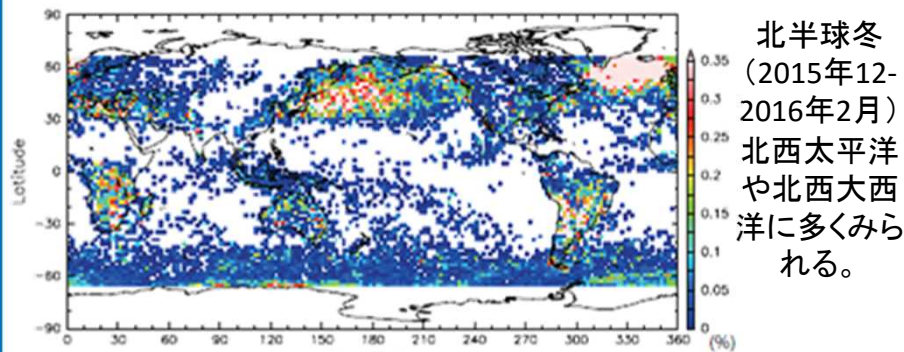
Kobayashi, K., S. Shige, and M. K. Yamamoto, 2017: Variable nature of stratiform precipitation from the tropics to extratropical latitudes seen by GPM. Part I: Vertical structure of radar reflectivity below the bright band. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, accepted. (英国王立気象学会誌)



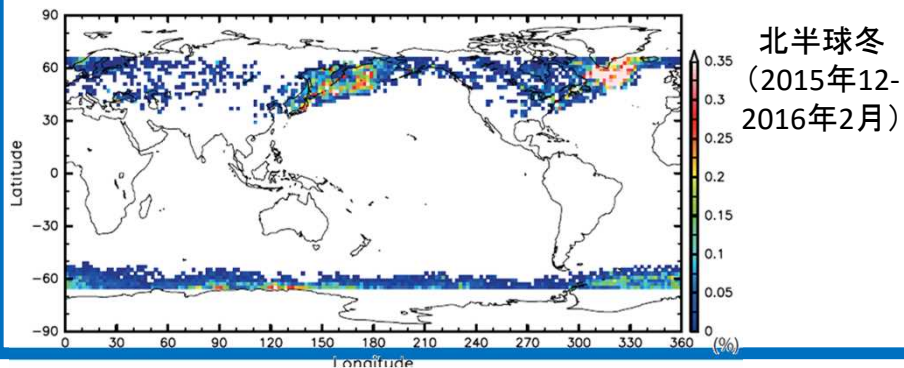
### DPRで初めて得られた雹や霰の世界分布図

- 一周波では得られないが、**二周波で可能に。**
- **北半球冬**では地表面まで達する固体降水は、陸上よりも海上で多く、**これまでの限られた知見とは異なる結果** (Iguchi et al. 2018, JTECH)。
- 雹は農作物への被害など社会影響も大きい。
- 今後、気象モデルの降水過程の改良に役立てる計画。

上空も含めた強い固体降水の割合(季節別)



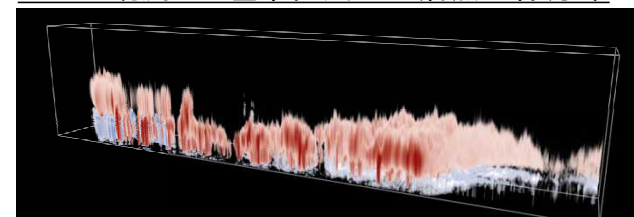
地表面に達していると考えられる強い固体降水の割合(季節別)



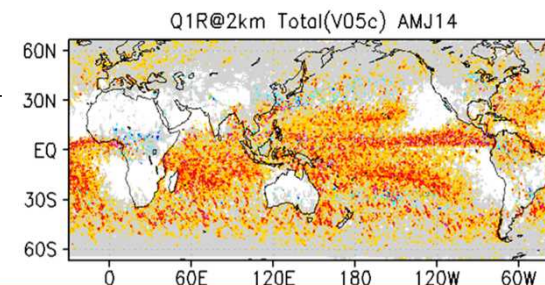
### DPRから全球の大気の3次元潜熱加熱分布を推定

- Sherwood et al. (2014)により、気候モデル間の気候感度のばらつきが**潜熱加熱の鉛直構造の再現性**に依存することが指摘されているが、それを検証する観測データがなかった。
- DPRを用いて降水に伴う大気の3次元潜熱加熱分布(SLH)を**全球で推定しプロダクト化した** (Takayabu et al. 2017)。
- SLHは、気候モデルの検証データとして役立てられたり、さらには爆弾低気圧の急発達のメカニズムに迫る解析などに利用されたりする見通し。

DPRで観測した温帯低気圧の潜熱立体分布



高度2kmでの季節平均した対流の潜熱加熱(SLH)の全球分布



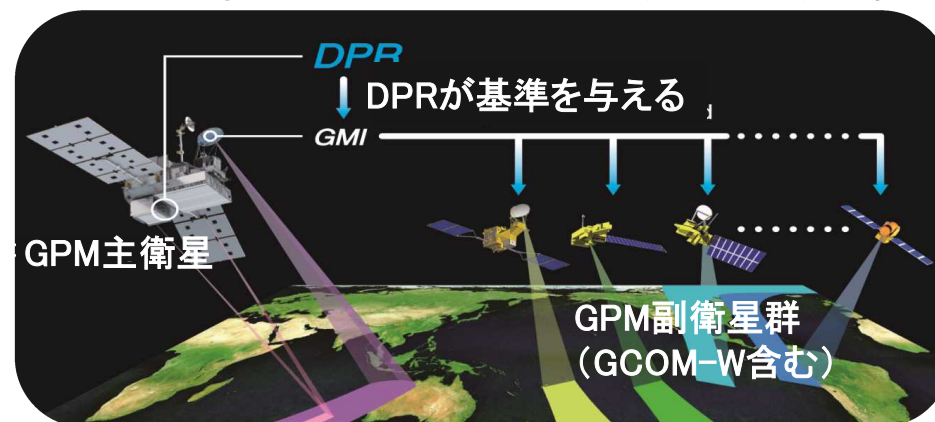
### 3. GCOM-WとGPM/DPRの利用における 相乗効果で得られた成果

### 3. GCOM-WとGPM/DPRの利用における 相乗効果で得られた成果

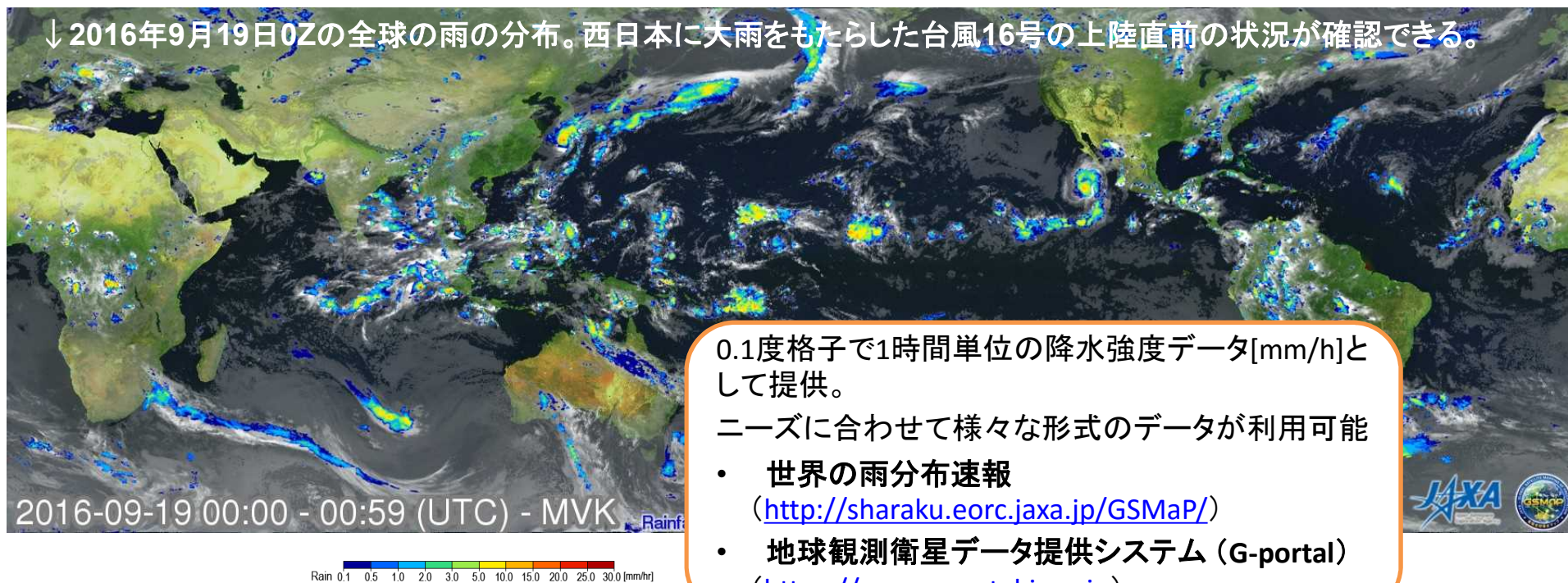
#### ■ 衛星全球降水マップ(GSMaP)の開発

- GPM JAXA標準プロダクトとして、高頻度観測を実現した**衛星全球降水マップ(GSMaP)**を開発
- GPM/DPRデータを利用して改良するとともに、AMSR2は、唯一の午後軌道のマイクロ波放射計として重要なデータを提供した。
- GSMaPの精度向上にDPRが重要な役割を果たしている
  - 複数衛星のバイアス補正に寄与
  - DPRをデータベース作成に用いた降水推定

#### DPRは衛星全球降水マップ(GSMaP)の要



↓ 2016年9月19日0Zの全球の雨の分布。西日本に大雨をもたらした台風16号の上陸直前の状況が確認できる。



0.1度格子で1時間単位の降水強度データ[mm/h]として提供。

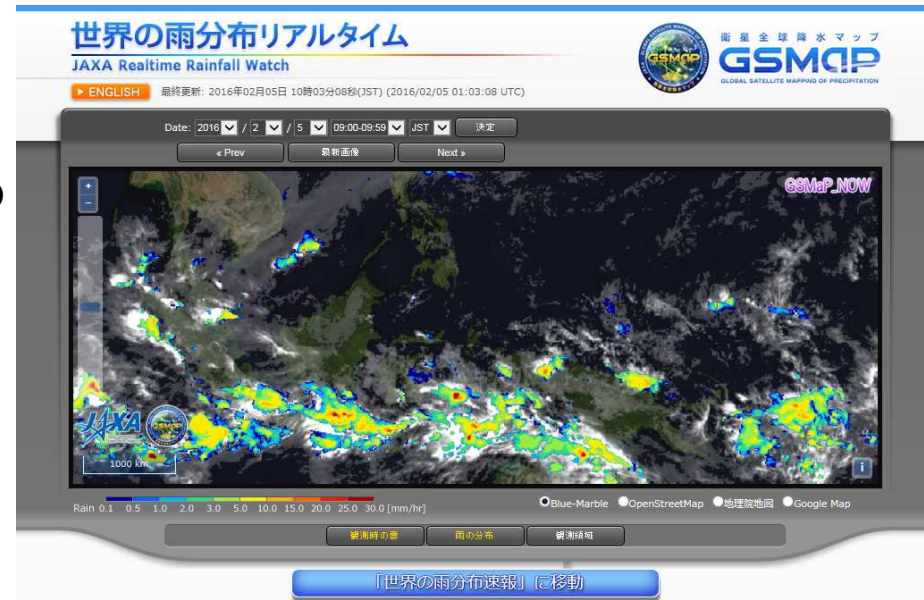
ニーズに合わせて様々な形式のデータが利用可能

- 世界の雨分布速報  
(<http://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP/>)
- 地球観測衛星データ提供システム (G-portal)  
(<https://www.gportal.jaxa.jp>)

### 3. GCOM-WとGPM/DPRの利用における相乗効果で得られた成果

#### ■ GSMaPのリアルタイム版(GSMaP\_NOW)への進展

- GSMaPは、観測終了後、約3時間後までの衛星観測データを収集し、4時間後に提供。
  - ユーザからは、速報性が重要な降水モニタリング・洪水予測等のために、より早いデータ提供が求められた。
- 新たに、レイテンシ(観測からデータ取得までの時間)が短いAMSR2直接受信データなどを入力とした**GSMaPリアルタイム版(GSMaP\_NOW)**を開発し、気象衛星「ひまわり」のデータも活用して、「世界の雨分布リアルタイム」として公開(平成27年11月)。
- 提供速度の向上により、小笠原村やアジア太平洋域でのGSMaP利用者の拡大につながった。(次ページ参照)



[http://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP\\_NOW/](http://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP_NOW/)

- ✓ 現在は、静止気象衛星「ひまわり」の観測範囲領域に限定されるが、今後、EUMETSATやNOAAの静止気象衛星データを早いレイテンシで入手・処理することで、領域を全球に拡張する計画。

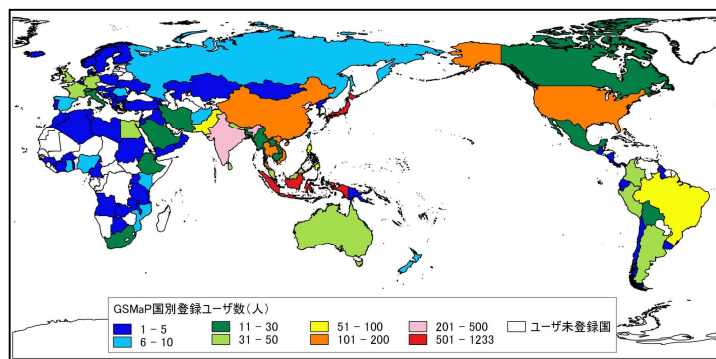
平成28年度 文部科学大臣表彰において「準リアルタイム衛星全球降水マップ技術の振興」が科学技術賞を受賞

### 3. GCOM-WとGPM/DPRの利用における 相乗効果で得られた成果

#### ■ 衛星全球降水マップ(GSMaP)の国際展開

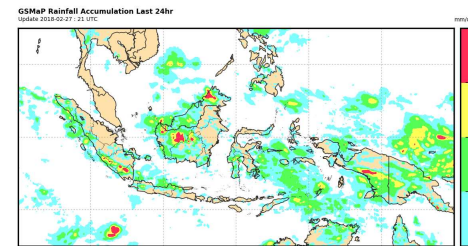
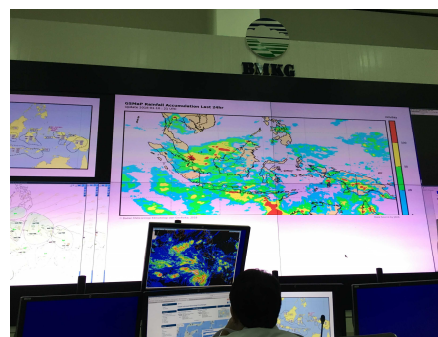
- GSMaPのリアルタイム配信技術の開発による効果として、EORC「世界の雨分布速報」「世界の雨分布リアルタイム」の登録者数が2018年2月末までに、約3700名、113ヶ国まで増加。
- インドネシア気象庁など**アジア太平洋12機関でGSMaPは降雨モニタリングや気象解析の現業に用いられている**。国内では、小笠原村の防災、観光、ビジネスで利用されている。
- GSMaPを入力とした総合洪水解析システム(IFAS、水災害・リスクマネジメント国際センターが開発主体)は、現在、パキスタン気象局で運用中、他アジア4ヶ国で導入実施。

#### 「世界の雨分布速報」の登録者の分布



2018年2月末までに登録者は世界113ヶ国に広がっている。登録数の国別割合では、アジアが78%(日本を除くアジアが45%で、インドネシアが最多)を占める。

#### インドネシア気象庁(BMKG)での利用



<http://satelit.bmkg.go.id/BMKG/>

(左: BMKG予報現業室でのGSMaP利用、右: BMKG作成図例)  
BMKGでは独自でGSMaP処理を行い、現業での降水監視での利用や、気象予報の検証や、積算雨量の解析、現業の予警報の精度向上のための研究に用いている

# 3. GCOM-WとGPM/DPRの利用における相乗効果で得られた成果

## ■ GSMaPの農業分野での利用

### – GSMaPを使った「天候インデックス保険」

- ミャンマーの農家に対して、GSMaPを使った「天候インデックス保険」を損害保険ジャパン日本興亜株式会社とリモート・センシング技術センター (RESTEC) が共同開発。衛星降水観測を活用した『天候インデックス保険』は、**日本初**。
- 第2回宇宙開発利用大賞の「内閣府特命担当大臣 (宇宙政策) 賞」を受賞 (右図)。

### – 農林水産省の海外食料需給レポート

- 南米の大豆の需給に関する記述等、FY28ではグラフが37か所、空間分布図が25か所、**衛星データ**の中では最も利用箇所数が多い計62か所でGSMaPのデータが利用されている (2番目に多いGCOM-W土壌水分量は8か所)。

「地球観測衛星データを活用した天候インデックス保険の開発」が第2回宇宙開発利用大賞「内閣府特命担当大臣賞」を受賞 (<http://www8.cao.go.jp/space/prize/jirei-fy27-3.pdf>)

第2回宇宙開発利用大賞  
内閣府特命担当大臣(宇宙政策)賞

**事例名** 地球観測衛星データを活用した天候インデックス保険の開発

**受賞者** 損害保険ジャパン日本興亜株式会社  
損保ジャパン日本興亜リスクマネジメント株式会社

**事例の概要**  
受賞者は、日本などの地球観測衛星から推定された雨量(GSMaP)<sup>※1</sup>を活用し、ミャンマーの小規模農家を対象にした『天候インデックス保険』を一般財団法人リモート・センシング技術センター (RESTEC) と共同で開発した。その結果、地上気象観測データに関するインフラが整備されていない途上国においても、『天候インデックス保険』を開発できることを実証した。『天候インデックス保険』は、気候変動に対する適応策として注目されているものであり、今後は、本技術も活用して、ミャンマーだけでなく、気象災害に脆弱な東南アジアの多くの小規模農家に対して、『天候インデックス保険』を積極的に展開していく。

※1 JAXA提供

**ポイント・具体的成果等**

- 市場拡大への貢献**  
これまで、地上気象観測データに関するインフラが整備されていない途上国では、天候インデックス保険の開発が困難であったが、本商品の開発により上記の問題が解決され、ターゲットとなる東南アジアでの潜在市場規模は農業従事者数に相当する1億人超に拡大した。
- 産業、生活、行政の高度化及び効率化への貢献**  
この保険により、農家は干ばつによる収入減少リスクに備えることが可能となる。極端な天候リスクに対する農家の強靱性を高めることで、ミャンマーのGDPの約4割を占める農業の発展に貢献する。
- 技術への貢献**  
GSMaPを活用した天候インデックス保険の開発は日本初の事例。地球観測衛星データの活用可能性拡大に貢献するものであった。
- 普及啓発への貢献**  
GSMaPを活用した、気候変動に対する適応策としての保険開発の事例として、日本だけでなく、ミャンマーにおいても多くのメディアで取り上げられた。現在、ミャンマー以外の国における活用の検討も進行中である。

**ミャンマー専用の天候インデックス保険**

対象地域	ミャンマーの中央低地帯 (マダガスカル、バングラデシュ)
保険対象者	小規模の農家
対象作物	米、ゴム
対象リスク	干ばつ(雨不足)のリスク
補償内容	GSMaPの雨量が事前に定めた水準を下回った場合に、事前に定めた金額を保険金としてお支払いします。

**マダガスカル島の降水量**

**2003年5月**

**2010年5月**

**【図表について】**  
上 : ミャンマー専用の天候インデックス保険の概要  
中 : GSMaPデータを用いて作成した、マダガスカル島の各年各月の累積雨量  
下(左) : GSMaPデータを用いた、ミャンマー全土の累積雨量マップ (左: 2005年5月の雨が少ない年、右: 2010年5月の雨が深い年)  
下(右) : 農家へのヒアリング調査の様子

問合せ先 損害保険ジャパン日本興亜株式会社  
〒160-8333 東京都新宿区西新宿1-2-6-1  
03-3349-3111 (代表) <http://www.sjnk.co.jp/>

## 4. 後期利用計画

### <目的>

高頻度で高解像度、かつ全天候型の全球海面水温観測や極域の海水観測等、GCOM-W/AMSR2の観測運用を継続し、観測データを提供して科学・実利用の拡大を図るとともに、GCOM-C(平成29年12月打上げ)との同時観測や、新たな現業利用の開拓等を通じて成果の最大化を図ることを目的とする。

### <後期利用段階で意義・価値を継続・発展させる取組>

- 利用機関との協力による利用の継続と発展
  - 気象庁、海上保安庁、国立極地研究所、漁業情報サービスセンター、ウェザーニューズ社
  - NOAA、EUMETSAT及び欧州気象機関、豪気象局等の各国気象局
  - GSMaPデータの実利用機関(パキスタン気象局、アジア太平洋気象機関、小笠原村等)
- 後継ミッションにもつなげる利用研究
  - GCOM-Cや、GPM等の他衛星との複合利用による相乗効果
  - 新規プロダクトの公開(陸域積算水蒸気量、海水厚等の開発)
  - AMSR-E/AMSR2の長期観測データによる気候データレコード(CDR)の開発と公開
- 新規分野での利用拡大
  - 海洋状況把握(MDA)分野での利用
  - 結合モデルを通じた農業的干ばつの予測(ICHARM)
  - 北極海航路等での利用船舶増加に伴う極域航行での利用拡大(商船三井、国立極地研究所)
  - AMSR2を同化した高解像度海洋モデルの利用(JAMSTEC、名古屋大学、各県水産試験場)

### <運用方針>

- 定常運用段階と同等のデータ提供サービス品質を保てるように、システムを維持、運用する。
  - 衛星管制運用はGCOM-Cとの一部共通化によるコスト低減を図る。
  - 軌道上運用の長期化に対し、データ処理・配布を、より効率的・合理的に実施するため、JAXA共通設備の利用に段階的に移行する。



### <目的>

- 気候変動・水循環への衛星利用の実現と、衛星を横断的に活用した成果の創出や最大化を目指し、以下の様に設定する。
  - 気候変動・水循環への衛星利用のための高精度・高頻度な全球降水観測データの取得・提供
  - 降水推定精度向上のためのアルゴリズム改良によるGPMデータの利用拡大
  - 後継ミッションに向けての技術データ取得

### <後期利用段階で意義・価値を継続・発展させる取組>

- 降水推定精度のさらなる向上のため、Ka帯降水レーダの観測幅を拡大し、二周波による降水観測幅を拡大する。
- GPM/DPRで実現した、世界初の衛星による中高緯度の3次元降水観測を継続し、データが蓄積することで、中高緯度も含めた降水システム・気候学が大きく進展する可能性がある。後期利用段階では、下記の研究課題を推進する。
  - 降水推定精度向上のためのアルゴリズム改良・プロダクト検証
  - 高精度・高頻度な全球降水観測データの気候変動・水循環研究への利用
  - 社会貢献に結びつく実利用研究(洪水予測、水資源管理、気象予報、農業分野など)
- 後期利用段階の利用推進の方針
  - 気象や洪水については、予報精度向上や社会実装を進めており、現業機関が主体的に取り組んでいる活動と連携しながら、引き続き、最大限の成果が得られるように活動する。
  - 利用拡大においては、リソースを集中させて共同研究やユーザーニーズへの対応等を行うことで、新たな分野での利用や、定常的な利用につなげるよう注力する。

### <運用方針>

- 軌道上運用の長期化に対し、より効率的・合理的に地上運用を行うため、地上システムを共通設備の利用に段階的に換装を実施していく。

## 5. プロジェクト終了審査判定

# 5. プロジェクト終了審査判定

## GCOM-W 及びGPM/DPR プロジェクト終了審査 判定結果

平成29年10月26日  
審査委員長 理事 山本静夫

GCOM-W は、地球規模での水循環メカニズムの解明のため、地球上の様々な物理量を全地球規模で継続的に観測するシステムを構築して利用実証するとともに、観測データを気象や漁業等の実利用機関に提供して現業分野への貢献を行うことを目的としたミッションである。

GPM 計画は、我が国(\*1)が分担する二周波降水レーダ(DPR)及びNASAのマイクロ波放射計を搭載しH-IIAで打ち上げた主衛星と、世界各国のマイクロ波放射計を搭載した複数機のコンステレーション衛星群によって、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。

1. 審査の主要項目は以下の通り:

- プロジェクト目標の達成状況の確認
- 社会的/政策的/国際的貢献状況や波及効果(アウトカム)の確認
- プロジェクト終了後に移行する事業の確認
- 投入した経営資源、実施体制、スケジュール実績の評価
- その他

注1: DPRについては、NICTがKaPR電気システムエンジニアリングモデルの開発を、JAXAがKuPR電気システムエンジニアリングモデル、KuPR熱構造モデル、KaPR熱構造モデル、DPRのPFMの開発・運用、データ取得・処理設備の開発・運用、及び、利用研究等を分担した。審査の範囲は、JAXA分担部分を対象としている。

2. 審査結果

上記1項の項目に沿って審査した結果、概要は以下のとおりであり、要処置事項を確実に実施することを条件に、両プロジェクトの終了と後期利用段階への移行は妥当と判断した。

- (1) 両プロジェクトとも、目標として設定したサクセスクライテリアを達成し、気象分野、水産分野、さらには民間での実利用も進展したと判断した。対外的な賞の受賞も得ている。(文科大臣表彰科学技術賞、海上保安庁長官よりの表彰等)
  - (ア) GCOM-Wについては、日米欧の気象機関が、定常業務として予報業務等に用いているほか、ウェザーニュース社や漁業情報サービスセンターなどの民間利用も定着しつつある。
  - (イ) GPM/DPRについては、気象庁が、DPRの立体的観測を導入することによる日本域の降水予測の改善を確認し、定常的な数値気象予報に活用されている。
  - (ウ) 両プロジェクトのデータも活用して相乗効果により開発された衛星全球降水マップ(GSMaP)は、アジア太平洋の12機関で降雨現況モニタリングや気象予報の現業に用いられているほか、洪水予測の入力情報としても利用されている。
- (2) 科学的な成果については、第一宇宙技術部門として実施した外部評価(これまで両プロジェクトに直接関与していない有識者5名。委員長は日本気象学会理事長 岩崎教授)において評価を得ている。プロジェクト終了審査としても、その評価を踏まえ、気象分野を中心に科学的な成果も得られつつあると判断した。
- (3) これまで15年を超える水循環に関する衛星観測を継続してきたことで、我が国の水循環に関する政策文書(水循環基本計画、海洋基本計画、我が国の北極政策、等)において、衛星による全球水循環観測の有用性が述べられているものの、我が国の宇宙政策においては両ミッションに関する継続的な計画が明示されていない状況である。
- (4) このため、水循環に関する重要性をよりアピールしていく必要がある。そこで、以下のように検討を進めることとし、計画の具体化を要処置事項とした。「将来の地球上の水の分布を予測することを目標として、気候モデルと衛星データの組合せによって水循環の予測精度向上を目指す。そのために国内の研究者を糾合した体制を構築し、この体制を中心に具体的なシナリオ検討を行い、宇宙政策への反映を行うべく関係省庁に働きかけを行う。」
- (5) なお、GCOM-Wは、元NASA長官ゴールディン氏を委員長とする「開発基本問題に係る外部諮問委員会」の助言を受けた後に取り組んだ初めてのプロジェクトである。JAXAと企業の責任分担に関する改善や、システムエンジニアリング及びプロジェクトマネジメントの改善に取り組んだ。

# 補足説明資料

Web of Science (トムソン・ロイター社)による論文数、被引用数(平成30年3月20日実施)

- “AMSR2 (AMSR-2含む)” で検索: 論文数266件、被引用数820件
- “AMSR” で検索: 論文数1,781本、被引用数26,984件
- “GPM, Global precipitation measurement” で検索: 論文数442、被引用数3,638
- “TRMM” で検索: 論文数3,914、被引用数76,550
- “GSMaP” で検索: 論文数122、被引用数1,552

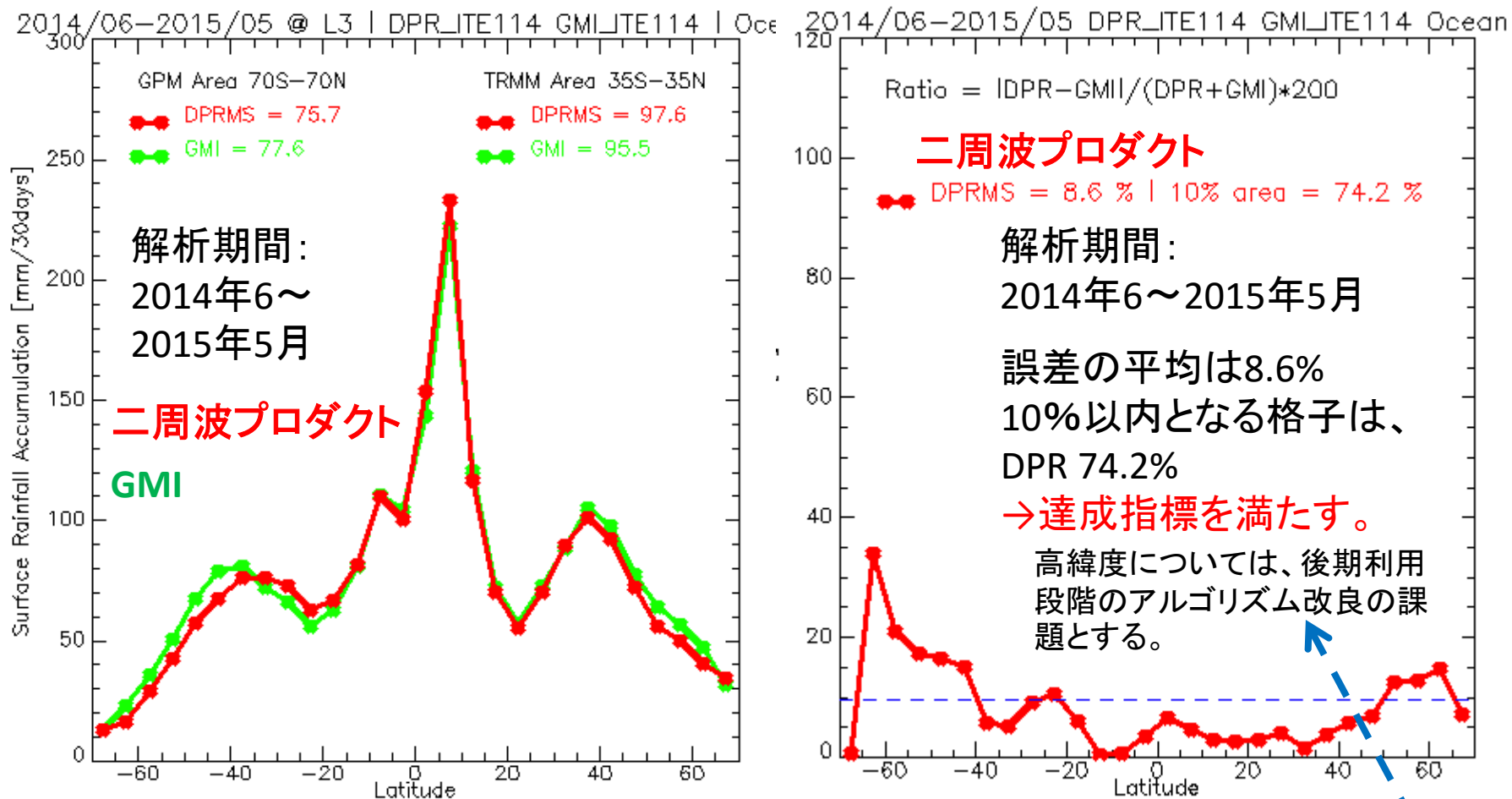
### 主な論文

- Ohshima, K. I *et al.*, 2013: Antarctic Bottom Water production by intense sea-ice formation in the Cape Darnley polynya. *Nature Geoscience*, **6**, 235–240.
- Liu, W.T. and X. Xie, 2017: Space observation of carbon dioxide partial pressure. *JSTARS*, **10**, 2151–1535.
- Kobayashi, K., S. Shige, and M. K. Yamamoto, 2017: Variable nature of stratiform precipitation from the tropics to extratropical latitudes seen by GPM. Part I: Vertical structure of radar reflectivity below the bright band. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, accepted.
- T. Iguchi, N. Kawamoto and R. Oki, 2018: Detection of intense ice precipitation with GPM/DPR, *J. Atmos. Oceanic Technol.*, in press.

$$(\text{誤差}) = (\text{DPR月平均降水量} - \text{GMI月平均降水量}) / (\text{DPR月平均降水量} + \text{GMI月平均降水量}) \times 200(\%)$$

## 海上の帯状平均値の比較

## 海上の帯状平均値の誤差の分布

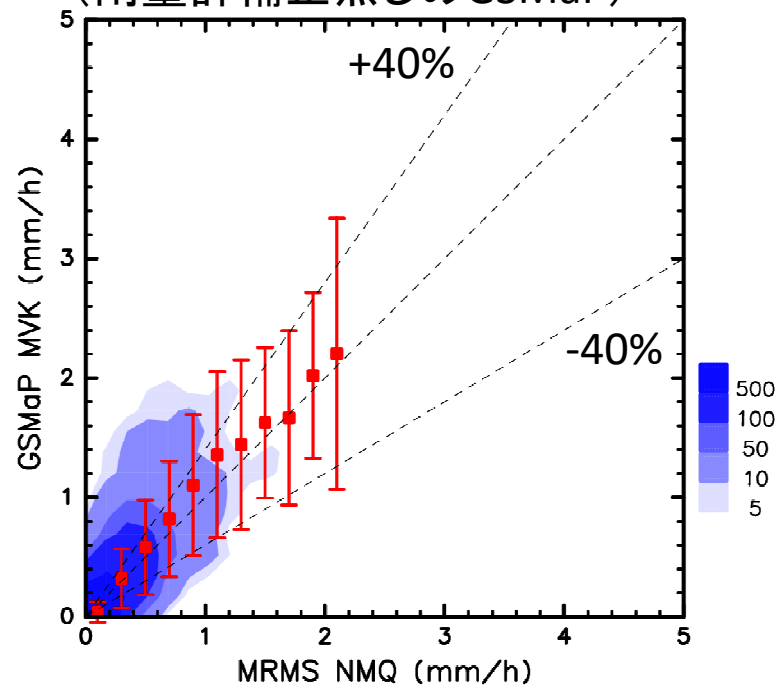


本解析は降雪も含んで比較しているが、高緯度のDPRとGMIの差は、両者の雨雪判別手法で降雨域と降雪域の地域が異なることによって生じる違いが大きき要因として考えられる。

- 地上レーダデータの降水強度で0.2mm/hr間隔で相対誤差を求め、その相対誤差が±40%未満であることを評価する

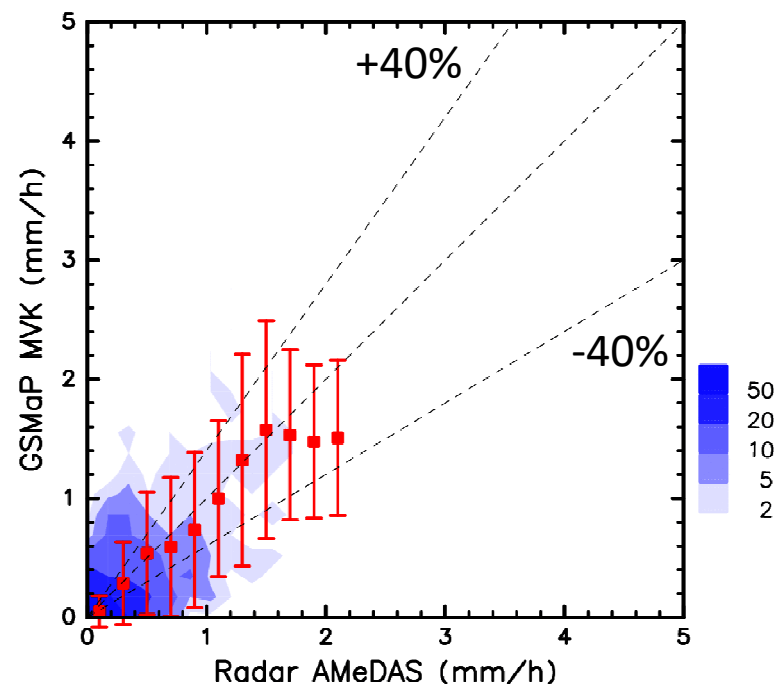
米国での結果

(雨量計補正無しのGSMaP)



日本での結果

(雨量計補正無しのGSMaP)



サンプル数が20個以上存在するすべての地上レーダの降水強度において、相対誤差の平均が±40%未満。→達成指標を確認。

日本での結果で、GSMaPの1.5mm/hrより強い降水で過小評価を示す傾向は、地形性豪雨と関連していると考えられる(米国の気象条件では地形性豪雨は頻繁ではないため、米国での結果にはそのような傾向はない)。

なお、雨量計補正したGSMaPも同様に達成していることを確認している。