



## 資料62-3

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62回)R3.9.27

# GPM/DPR後期利用における成果、 並びに米国ACCPミッションにおける降水レーダ後継機の検討状況について

平林 毅

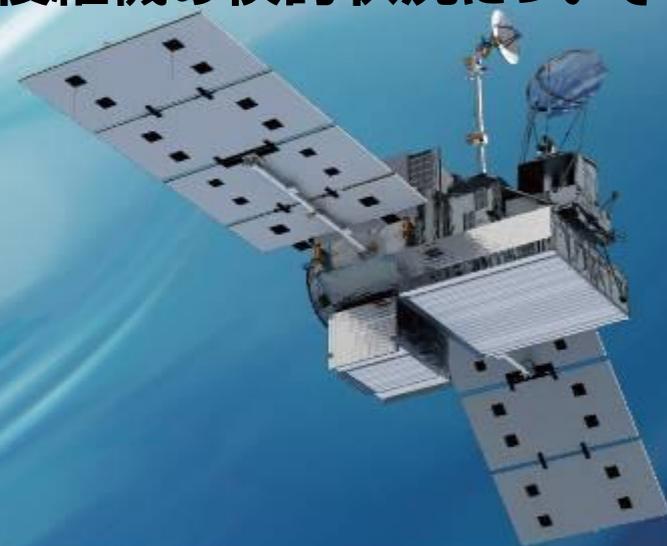
宇宙航空研究開発機構 (JAXA)

第一宇宙技術部門

地球観測統括

2021年9月27日

文部科学省 宇宙開発利用部会



# 報告概要

■JAXAは、熱帯降雨観測衛星(TRMM)衛星搭載の降雨レーダ(PR)(1997～2015年)、全球降水観測(GPM)計画主衛星搭載の二周波降水レーダ(DPR)(2014年～)を開発し、**20年以上続く降水レーダ観測を実施。**

■**衛星搭載降水レーダ**は、全球降水量とその三次元構造を高精度で観測可能な**我が国が強みを有する独自技術。**

宇宙基本計画において「GOSAT-GWや**降水レーダを始め、我が国が強みを有するレーダやマイクロ波放射計等の技術については**、地球規模課題解決に向けたルール作り・政策決定及びSDGs達成に貢献するESG投資判断等の重大な経営判断等に不可欠な地球観測データ等の継続的な確保の観点から、**基幹的な衛星技術として継続的に高度化を推進する。**」とされている。

■2017年、GPM/DPRプロジェクト終了審査を実施し、現在は後期利用を実施。

宇宙開発利用部会（第41回）にて、「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」を報告（平成30年4月開催）

■2016年に、気象庁は世界で初めて衛星搭載降水レーダのデータ定常利用を開始した。  
TRMM、DPRを通じた成果を踏まえ、頻発・激甚化する水災害の人間社会への影響低減や気候変動政策への貢献を見据えた降水レーダ後継機のミッション要求案を検討中。

宇宙基本計画工程表において、令和3年度に降水レーダ後継ミッションの検討とされている。

■NASAよりJAXAに対し、米国の次世代地球科学ミッションである**ACCP(エアロゾル・雲・対流・降水)** 検討への参加要請があり、検討チームに参加。後継機は、TRMM及びGPM衛星に続く日米共同ミッションとして、**ACCPミッションとの協力を視野に入れた実現**を目指しており、検討状況を報告する。

宇宙基本計画の2021年取組みで「NASAで計画中のA-CCPミッションとの相乗りを見据えつつ検討を進める」とされる。

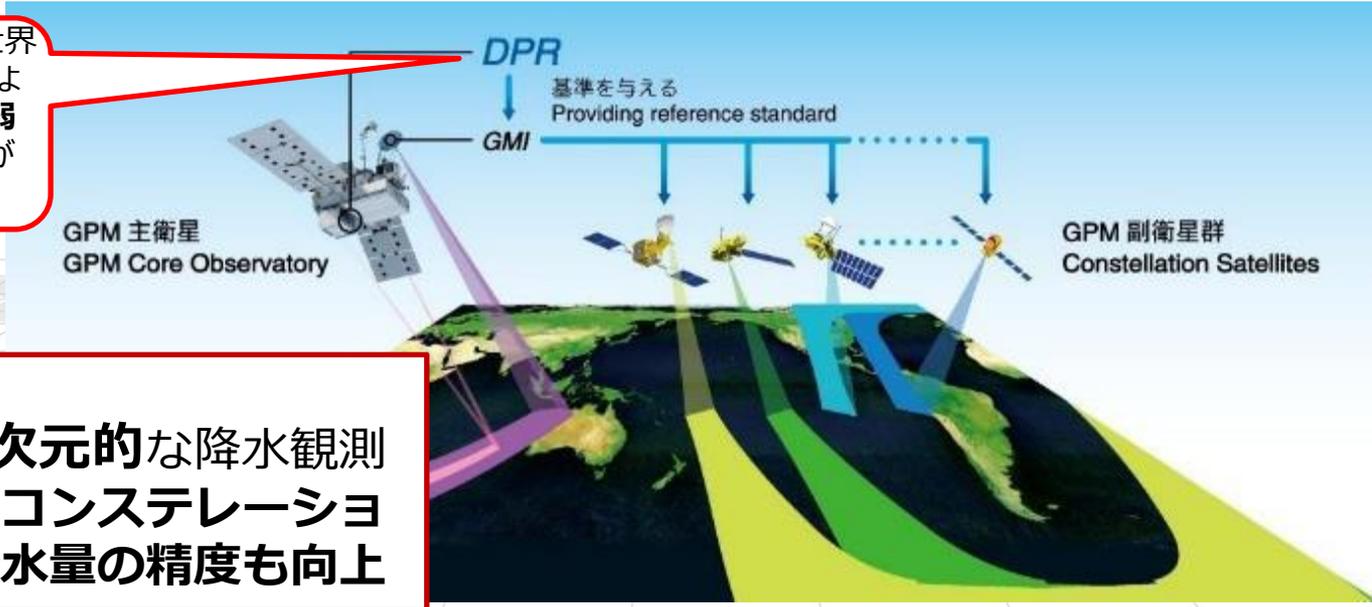
# 1. GPM/DPRの概要

## ■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。JAXAとNASAが中心となり、主衛星搭載の二周波降水レーダ（DPR）による高精度観測を、国内外の機関により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る高頻度観測を実現する。

- 二周波降水レーダ（DPR）は、JAXAと情報通信研究機構（NICT）の共同開発（設計寿命は3年2か月）。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。2017年より後期運用中。**
- コンステレーション衛星群を利用した、衛星全球降水マップ（GSMaP）を開発。

衛星搭載降水レーダ技術は日本が世界を牽引。Ka帯を加えた二周波観測により、TRMM/PRでは観測できなかった**弱い雨の観測**や**降水粒子情報の取得**が可能となった。



**DPRの役割：**  
**高精度・高感度・3次元**的な降水観測  
➡主衛星のみならず、**コンステレーション衛星群からの推定降水量の精度も向上**

# 2. GPM/DPR後期利用の成果 (長期観測による意義価値の創出)



## (1) 高精度な衛星降水データの提供とそれによる長期解析

- TRMMから蓄積している約20年の長期降水レーダデータセットを用いた研究により、**2020年に九州地方に甚大な被害をもたらした令和2年7月豪雨等、梅雨前線の降水活動が最近10年間には非常に活発化している**ことが示されるなど、新たな知見が得られた。(英国ネイチャーリサーチScientific Reports誌発表)

## (2) 衛星全球降水マップ(GSMaP)の高度化と利用の拡がり

- 2000年3月以降**21年を超える長期間のGSMaP降水データセット**を整備して公開。GSMaPによる干ばつ解析が、**WMOの気候に関する声明**で取り上げられた。【P6参照】
- 2019年6月からリアルタイム衛星全球降水マップ(GSMaP\_NOW)の**全球版**を公開。**南洋州などの島嶼国気象局をはじめとしたサイクロンの監視**などで活用。【P6参照】
- 2020年8月にGSMaPを用いたリアルタイム降水予報を「GSMaPxNEXRA 全球降水予報」として公開。  
➔衛星降水観測データを直接利用する等による**5日後までの予報の実現**は世界初。
- JAXAと気象庁気象研究所の共同研究で、**GSMaPを用いた台風強度予報ガイダンス**の検討を実施。  
➔従来に比べて**最大で13%の精度改善**を示した。(米国気象学会Weather and Forecasting誌発表)

## (3) 民間利用への広がり

- 2019年4月、tenki.jpでGSMaPを利用した実況・予報情報を公開開始
- ほぼ日のアースボールで、GSMaPによるリアルタイムの降水表示をサービス化

## (4) 表彰

- 台風による被害を軽減するべく設立された政府間組織である台風委員会 (Typhoon Committee) の「**キンタナール賞**」受賞 (水災害・リスクマネジメント国際センター、国際建設技術協会とJAXAのジョイントチーム)
- 日本気象学会の表彰を3年連続で受賞 (2018~2020年度、計5名、TRMMやGPMに関する貢献)



日本気象協会天気予報専門メディア「tenki.jp」

「tenki.jp x JAXA世界の雨雲の動き」ウェブサイトから国内一般向け世界の気象情報としてGSMaPを利用。

# 3. GPM/DPRの主な成果 (気象庁での現業利用例など)

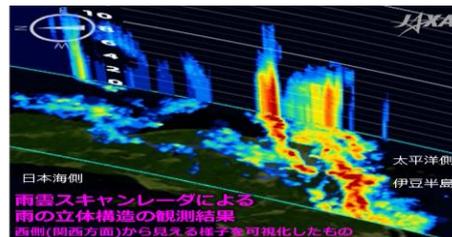
## 気象予報精度向上への貢献

気象庁は、2016年3月からGPM主衛星データを気象予報※に定常利用中。

※全球数値予報モデル  
メソ数値予報モデル

衛星搭載降水レーダデータ (DPR) の数値予報システムでの利用は、世界の気象機関で初めて。

2021年7月上旬に熱海で土砂災害が発生した際のGPM/DPRによる降水の立体構造 (2021/7/3)

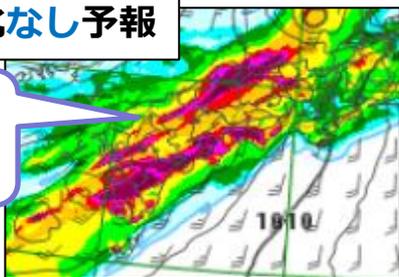


<https://www.eorc.jaxa.jp/news/2021/nw210705.html>

GPM/DPRデータを数値モデルに取り込むことで平成30年7月豪雨の降水予報精度向上 (2018年7月7日0UTCを初期値とした24時間降水予測値と観測との比較)

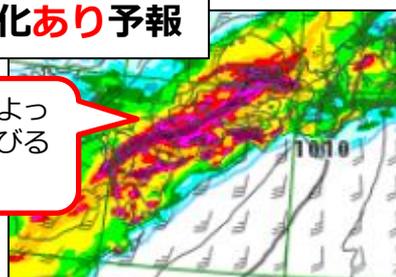
DPR同化なし予報

雨域が南北に分断されてしまっている

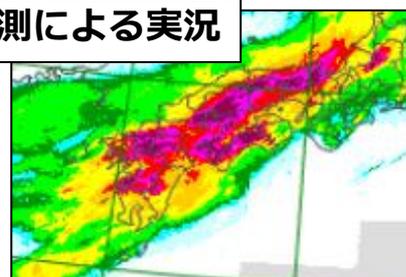


DPR同化あり予報

DPR同化によって東西にのびる豪雨を予測



地上観測による実況

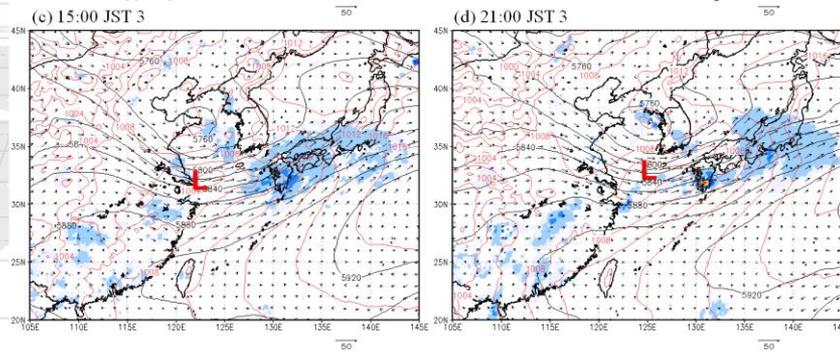


図は気象庁提供

## 線状降水帯観測への貢献

気象庁気象研究所の報道発表「令和2年7月豪雨における九州の記録的大雨の要因を調査 ~小低気圧による極めて多量の水蒸気流入で球磨川流域の線状降水帯が発生~」の研究成果を示す論文 (Araki et al. 2021) で、線状降水帯の環境場の把握にGSMaPが使われている。

GSMaPを用いた線状降水帯の環境場の把握 (図はAraki et al. 2021から引用)



Araki et al. (2021, SOLA, <https://doi.org/10.2151/sola.2021-002>)

# 3. GPM/DPRの主な成果 (GSMPの開発やWMO等での国際展開)

## 20年以上の長期GSMPを活かした 世界気象機関WMOプロジェクトでの多雨・干ばつの監視

- 長期データセットの統計から極端現象の検出が可能となることを活かし、2018年1月、WMOは東南アジア太平洋地域を対象とした衛星データを用いた異常気象監視プロジェクトを実施。
- JAXAも参加し、20年以上の長期GSMPデータと統計を活用した多雨・干ばつの指標となる情報を提供。
- WMO傘下アジア太平洋地域の気象水文機関がそれらを使った極端気象を監視。

豪州の干ばつに対し、地上のセンサでは捉えきれない広域情報を衛星観測で得られる特徴が認められ、**WMOの気候に関する声明**でGSMPの干ばつ解析が取り上げられた。

GSMPによる干ばつ指数

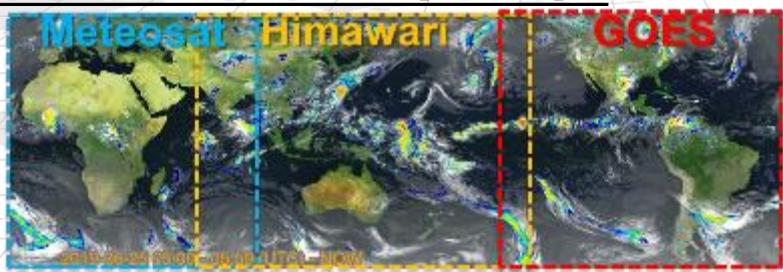


WMO Statement on the State of the Global Climate in 2019  
<https://public.wmo.int/en/our-mandate/climate/wmo-statement-state-of-global-climate>

2020年発行 WMOの公式ジャーナル (WMO Bulletin)  
<https://public.wmo.int/en/resources/bulletin/wmo-space-based-weather-and-climate-extremes-monitoring-demonstration-project>

## 全球リアルタイムGSMPの開発による インド太平洋地域の降水現況把握の高度化

気象庁ひまわりやEUMETSAT、NOAAの即時観測データを活用し、**リアルタイムでの雨分布 (GSMP\_NOW)**の全球版を公開 (2019年6月)。



**世界の雨がほぼ実時間で利用可能に!**

**島嶼国気象局での降水の現況監視などに役立てられている**



バヌアツ気象局にて撮影

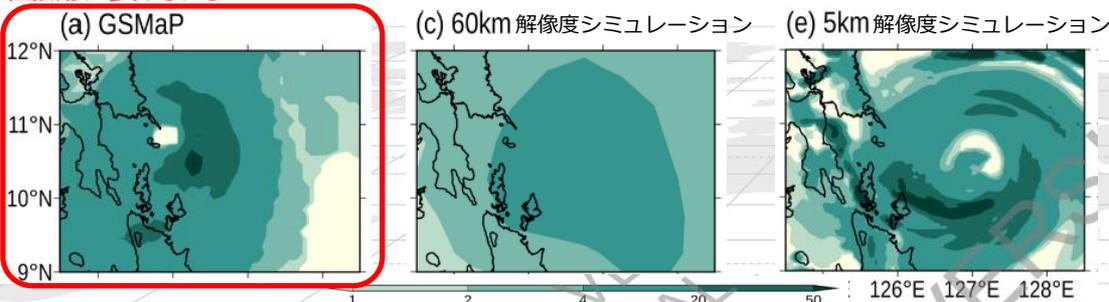
# 3. GPM/DPRの主な成果 (IPCC/AR6)



## 気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 第6次評価報告書 第1作業部会報告書 (AR6/WG1報告書 : 2021年8月公開) への貢献

- AR6において「大雨の頻度と強度は、陸域のほとんどで、1950年代以降増加している (確信度が高い)」とされた。
- GPM/DPRを用いて初夏の日本付近の雨の降り方は将来どう変わるかを解析し、**豪雨の危険度の高い地域の拡大等、将来の雨の降り方の変化に警鐘**を鳴らしている東京大学 高菟縁教授の研究グループの成果 (Yokoyama et al. 2019) 等が示された。
  - ✓ 東京大学 高菟縁教授の研究グループ「初夏の日本付近の雨の降り方は将来どう変わるか? ~衛星搭載降水レーダ観測と気候モデル予測の複合利用による将来変化推定~」2019年6月、プレスリリース発出 (<https://www.aori.u-tokyo.ac.jp/research/news/2019/20190620.html>)
- 降水は気温などの他物理量に比べ温暖化による変化や影響把握が難しい。**降水変化の精確な把握や気候モデルの評価には観測が望ましく、全球観測が可能な衛星による情報が有効な手段**であり、GPM、TRMMやGSMaPに関する論文が多数、引用されている。
- 特にGSMaPは、気候モデル評価を示すFigure 10.8にGSMaPの画像を示され、また謝辞に、**GSMaP提供に関するJAXAへの感謝**を示されることで、JAXAの衛星データ提供の存在感を大きく示している。

GSMaPがIPCCの図で直接用いられている IPCC AR6/WG1報告書 Figure 10.8より引用



Typhoon Haiyanの事例でのGSMaP、数値シミュレーション(解像度60kmと5km)による降水量比較。熱帯低気圧の精確なシミュレーションのためには、対流を許容する解像度が必要であることを示す材料として利用されている。

## GSMaPを提供するJAXAへの謝辞 (Chapter 10)

Final Government Distribution	Chapter 10	IPCC AR6 WG1
1	<b>Acknowledgements</b>	
2		
3	We acknowledge the E-OBS dataset and the data providers in the ECA&D project ( <a href="https://www.ecad.eu">https://www.ecad.eu</a> ) for their help and the Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) for delivering the GSMaP (Global Satellite Mapping of Precipitation) data to us. The invaluable contributions from Lisa van Aardenne (South Africa),	
4	Peng Cai (China), Joseph Ching (China), Hui He (China), Kenshi Hibino (Japan), Yukiko Imada (Japan),	
5	Nazrul Islam (Saudi Arabia), Isadora Christel Jiménez (Spain) and Misako Kachi (Japan) are also greatly	
6	acknowledged. We acknowledge the World Climate Research Programme for coordinating the modelling	
7	intercomparison projects CMIP and CORDEX and thank the climate modelling groups for producing and	
8	making available their model output.	
9		
10		
11		

# 4. 降水レーダ継続の必要性・コミュニティからの期待



**GSMaPは、実利用ユーザからアカデミアまで、様々なコミュニティで利用が広がっており、GSMaPの維持・発展が望まれている。GSMaP開発においては降水レーダの観測データが基準となることから、降水レーダによる降水観測の継続が必要。**

## 【気象】

海上や地上観測網が不十分な地域での降水監視



インド太平洋気象機関



民間企業



## 【防災】

災害対応における発災前の判断材料・国際河川等で上流側の降水情報が入手困難な地域での洪水解析



インド太平洋防災機関



## 【農業】

農作物生産監視・食糧安全・  
海外農家向け天候保険(干ばつによる農作物被害に備え、負担損失を低減)



農林水産省  
農業気象情報衛星モニタリングシステム (JASMAI)



民間企業

## 【気候監視】

持続的多雨/少雨の検出  
(土砂災害や干ばつ等の発生  
リスクを監視し災害に対応)



## 【教育】

京都大学・教科書出版・民間企業等

教材・地球儀を使った教育ツール等での利用

## 【公衆衛生】

長崎大学等

マラリア等の感染症のリスク評価での利用

## 【その他】

民間企業等、報道メディア、など

水資源管理・エネルギー・メディア・安全保障等

## 【アカデミア】

- 降水レーダデータユーザコミュニティ (『DPR後継ミッションに対するユーザからの提言報告書』2018年3月第2版)  
「…上記の(ドップラー観測、感度向上等)要求仕様を満たすことで、国内外問わず他分野からのニーズが高い全球降水マップの精緻化や、世界初の降雨のドップラー観測による気象・気候モデル改善などが期待できる。…」(抜粋)
- 日本学術会議の提言を受けたTFリモセン分科会 (『地球観測グランドデザイン』2018年4月、2020年10月)  
「TRMM、GPMから続く降水観測ミッションの継続・発展のため、NASA/ACCPと協力するなど、国際共同で早期に実現することが望ましい。」(抜粋)
- JAXA/EORC外部有識者委員会 (『衛星による水循環グランドプラン』2019年5月)  
「日本が取り組むべき科学的課題」のうち、複数が降水レーダの継続性を支持。

## 【国際機関】



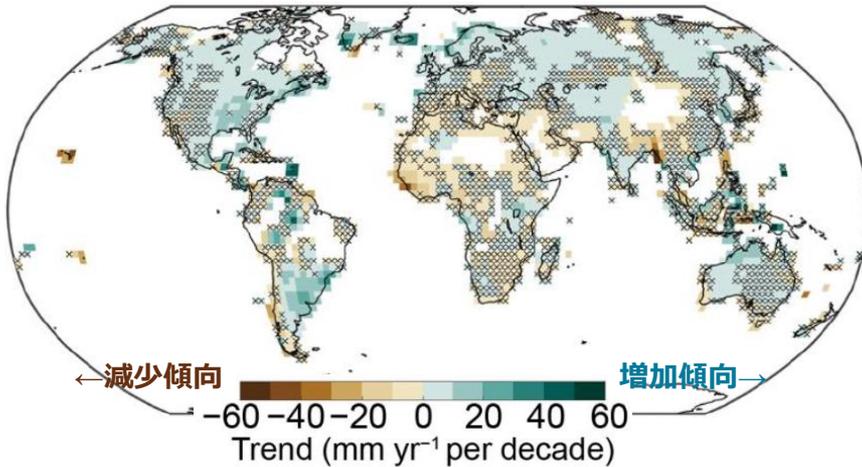
気象衛星調整部会 (CGMS)から  
JAXA理事長宛のサポートレターCGMS

- 気象業務等における降水レーダデータの継続性が将来的な優先課題となっている。
- JAXAによるTRMMやGPMで提供してきた降水レーダデータ及びGSMaPのデータセットの価値を認識し、JAXAに対して次世代降水レーダの立上げを期待・支援する。

# 5. 降水レーダ後継機で目指すミッション

気候変動による世界の雨雪の時空間変化を把握し、  
雲降水システムを解明する。

頻発・激甚化する水災害の**人間社会への影響を低減する。**

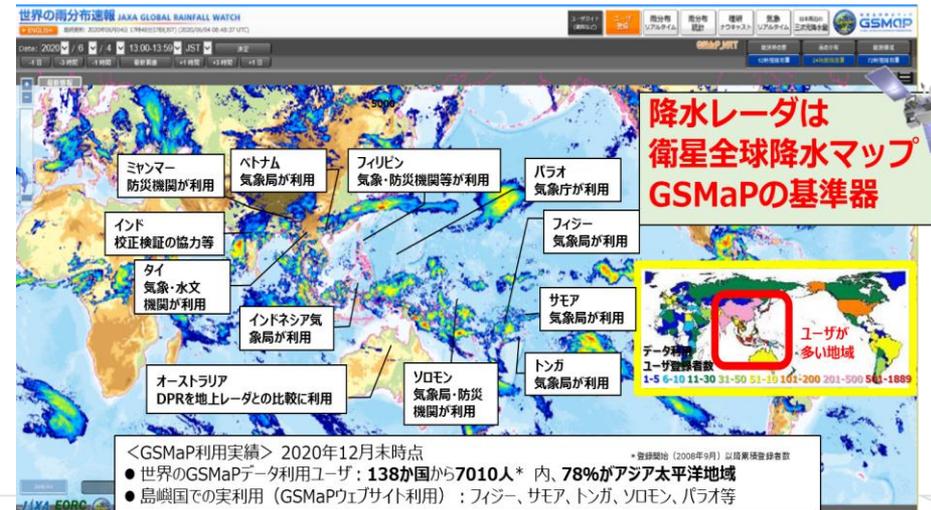


観測された世界の降水量の変化

(1901年から2019年。IPCC AR6 Fig.2.15aを引用)

## 気候変動にかかる科学的知見

世界中ほとんどの地域で上昇している気温とは異なり、降水量の長期変化傾向は地域によって異なる



## 衛星全球降水マップGSMaP

インド太平洋地域で水災害監視や農業気象・水資源管理で利用中

# 5. 降水レーダ後継機で目指すミッション

## TRMM・GPMでの課題 (Before)

- 気象予報改善に、DPRによる強い雨雪の三次元降水情報が貢献。しかし、DPRで捉えきれない弱い雨雪は気象予報で活用できていない。
  - **降雪感度の限界**が課題であり、弱い雨雪の観測が必要。
- 気象予報で使われる気象モデルでの降水は不確実性が大きく、集中豪雨、低気圧、台風の気象予報に課題がある。
  - 雨雲内の大気鉛直速度について多くの気象モデルで再現性が低いことが、限られた地上観測から知られているが、特に**雨雲中の大気が鉛直に流れる速度に関する観測情報が不足**している。

## GPM/DPR観測の概念図

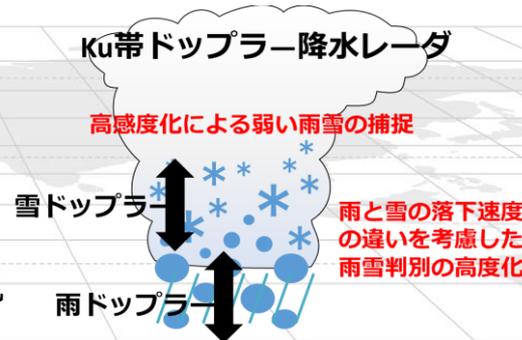


## 土砂災害・風災害や雪害に関する 予測向上の取り組みが必要

## 次期降水レーダで目指す姿 (After)

- 弱い雨雪を含む三次元降水情報により、**豪雨や大雪などの気象予報を改善**。
  - **感度向上**：弱い雨雪をとらえ、捕捉出来る降雪量が9割以上（現状は約5割\*）に改善し、降雪の見逃しを低減。
- 観測情報に基づき、気象モデルにおける降水の発生・発達・衰退の精緻な再現を行うことにより、**気象予報を改善**。
  - 降水ドップラー速度観測を通じて**大気鉛直速度を把握**し、観測的知見に基づき、気象モデルの雲・降水過程の表現を改良し、高度化する。

## 次期降水レーダ観測の 概念図



\*アラスカの事例(Aoki and Shige 2021)

# 6. 降水レーダ後継ミッションの検討



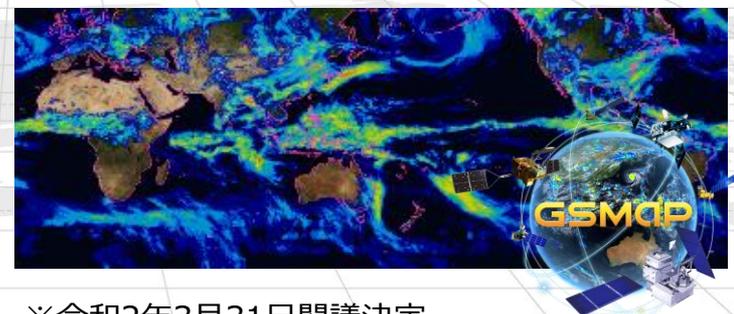
## TRMM/GPMの継続性（Ku帯降水レーダ観測）を確保した上で、日本が優位性を持つ降水レーダ技術を高度化



- ① **高感度化** : 雪や弱い雨の検知
- ② **世界初のドップラー降水速度観測** : 雨雲中の大気が鉛直に流れる速度

- 台風強度の予測精度など、土砂・風災害に関連した**日本の気象予報精度向上を目指す**。  
➡ DPRでは、GSMaPを用いた台風強度予報において最大で13%の精度改善の実績あり。  
➡ 数日前からの大規模水災害に備えた広域避難を目指す。  
例：高齢者・障害者の避難にかかる十分な時間の確保、交通機関の計画運休など

- レーダ高度化により、**GSMaPを高精度化**。食料・農業・農村基本計画※では衛星データを活用し、食料輸出国等における気象や主要農作物の作柄の把握・モニタリングを充実させるための研究を行うとされる。農業に影響のある干ばつや多雨などの極端現象をGSMaPで監視することで海外食料供給を把握し、



※令和2年3月31日閣議決定

### 日本の食糧安全保障に貢献。

# 7. 米国におけるACCPミッション検討経緯と状況

## ACCPミッション検討経緯

- 2018年1月、米国NASA等の衛星地球観測に関わる今後10年の地球観測の指針 (Decadal Survey) において、**エアロゾル(A)、雲・対流・降水 (CCP)** を最優先(大型予算) **観測対象**として290のRFIから選定し、NASAにおいてACCPミッションの検討が開始された。
- NASAよりJAXAに対し、ACCP検討への参加要請があり、ACCPと降水レーダはシナジー効果が高いため、2019年8月よりJAXA及び国内科学者もACCPミッション検討チームに参加。
- 2021年5月、NASAは最終アーキテクチャを決定、プリフェーズA (概念検討) へ移行。JAXA降水レーダ後継機は概念検討において継続検討する衛星となり、当該検討に協力することとなった。

## ACCPが目指すミッション

**極端気象や気候変動を駆動する**  
**エアロゾル-雲-対流-降水※**  
**のプロセスを明らかにする。**

- 国際協力 (日本のほか米・日・仏・加・独が検討に参画) で構築する複数衛星によるコンステレーション、航空機による同時観測でミッションを実現。
- 日本は、強みを有するレーダで降水観測 (※)を分担。

NASAの科学目標の図 (一部加筆)



# 8. ACCPミッションとの協力で目指すミッション

## ACCPミッションにおいてJAXA降水レーダが担う役割

- JAXA降水レーダは、**精確な降水の把握**を担う
- ACCPミッション参画によって降水観測に留まらない包括的な大気観測を通じて、**気象・気候モデルの改良に貢献**

➔**単独ミッションよりも更なる気象予報精度向上につなげる。**



- Decadal Surveyにおいて、NASAの“ACCP”は最優先観測対象（ACCPの他、3つある）の中で、**予算規模が最大の**ミッション。
- 最終の観測アーキテクチャ案では、**極軌道衛星2基、傾斜軌道衛星3基**で構成される衛星コンステレーションとなっており、レーダやライダー、放射計、カメラなどの**様々な種類のセンサの搭載**が検討されている。
- JAXAが降水レーダ衛星をもってACCPに参画することで、エアロゾル・雲・対流・降水に係る様々な観測情報を活用したシナジープロダクトの開発や科学研究を効果的に実施可能。

**気候変動政策に係る宇宙分野での日米協力のシンボルとなることを目指す。**

## 9. まとめ

- 2017年以降、GPM/DPRを後期運用することで、降水レーダの長期観測による意義価値が創出されている。
  - ✓ DPRは、2016年以降、**気象庁の気象予報（数値予報システム）**で定常利用中。西日本に大きな被害をもたらした、**平成30年7月豪雨**についても、DPRによる予測精度の向上効果を確認。
  - ✓ 降水レーダによる長期解析（**梅雨前線の降水活動が、最近10年間には非常に活発**）、GSMaPの高度化と利用の拡がり（WMO、インド太平洋地域での利用）等
- 後継ミッションでは、これら成果を踏まえ、頻発・激甚化する水災害の人間社会への影響低減や気候変動政策への貢献を目指す。
- 降水レーダ技術の高度化により、**集中豪雨（線状降水帯含む）・豪雪・大雪**などに関連した気象予報の改善が期待できる。
- NASAにおけるACCPミッションへ参画することにより、気象予報精度の向上においてさらなる成果創出を狙う。また、気候変動政策に係る宇宙分野での日米協力のシンボルとなることを目指す。
- 今後、JAXAにおける降水レーダ後継ミッションの立ち上げにむけて関係機関等との調整を進める。