

衛星地球観測コンソーシアム（CONSEO）気候変動シリーズ第4弾
「気候変動の最新科学研究『世界がおかしい。地球は大丈夫なのか？』
2024年10月23日

気候予測に衛星は使われているのか？

久保田 拓志

宇宙航空研究開発機構（JAXA）第一宇宙技術部門
地球観測研究センター（EORC）

- 衛星地球観測データの果たす役割

- “過去を理解し、現在を知り、未来を予測”

- 過去：全球均一な観測データの蓄積

- 現在：地球環境の監視

- 未来（気象モデルや気候モデルとの連携）

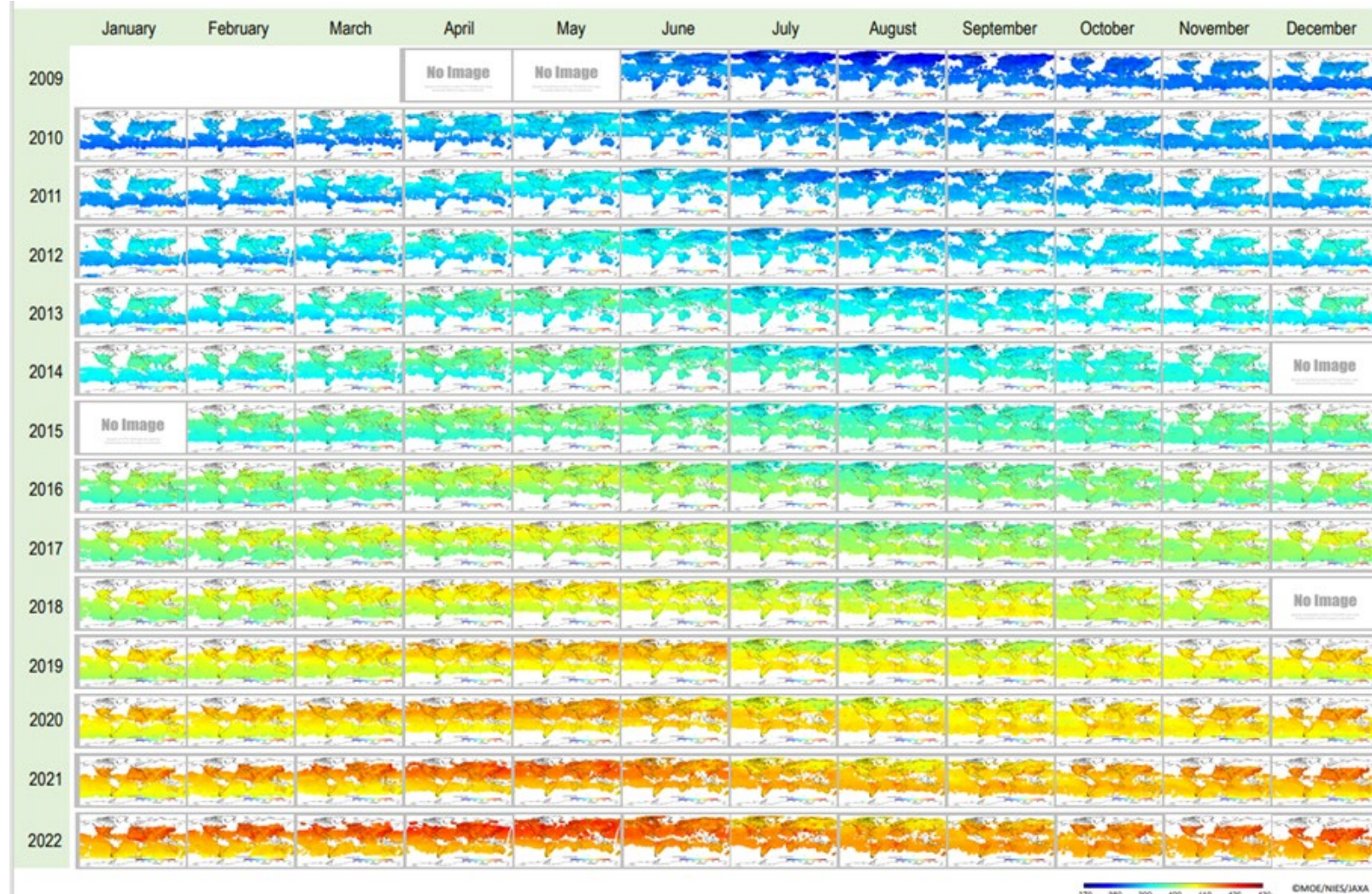
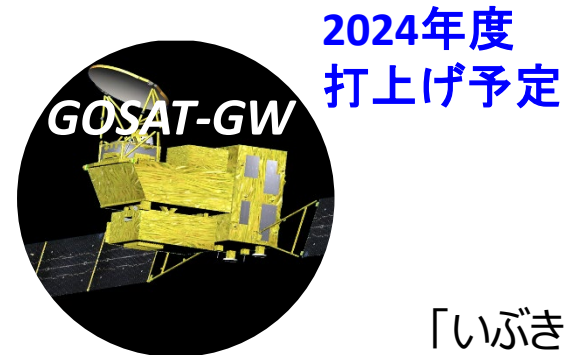
- 短期/同化・初期値改良（気象予報、洪水予測、大気汚染等）

- 長期/より正確な気候変動予測のためのプロセス解明、モデル検証

過去：全球均一な観測データの蓄積・温室効果ガス（GHG）

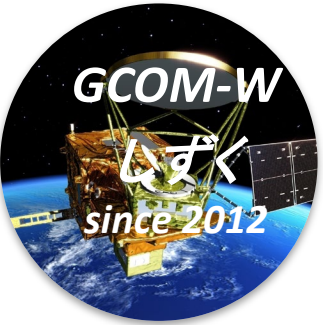
温室効果ガス
Greenhouse
gases (GHG)

温室効果ガス観測技術衛星GOSATシリーズで蓄積された長期にわたるGHGデータ：
Greenhouse gases Observing SATellite (GOSAT) & GOSAT-2



「いぶき（GOSAT）」が2009年から2022年にかけて宇宙から観測した全球の二酸化炭素濃度

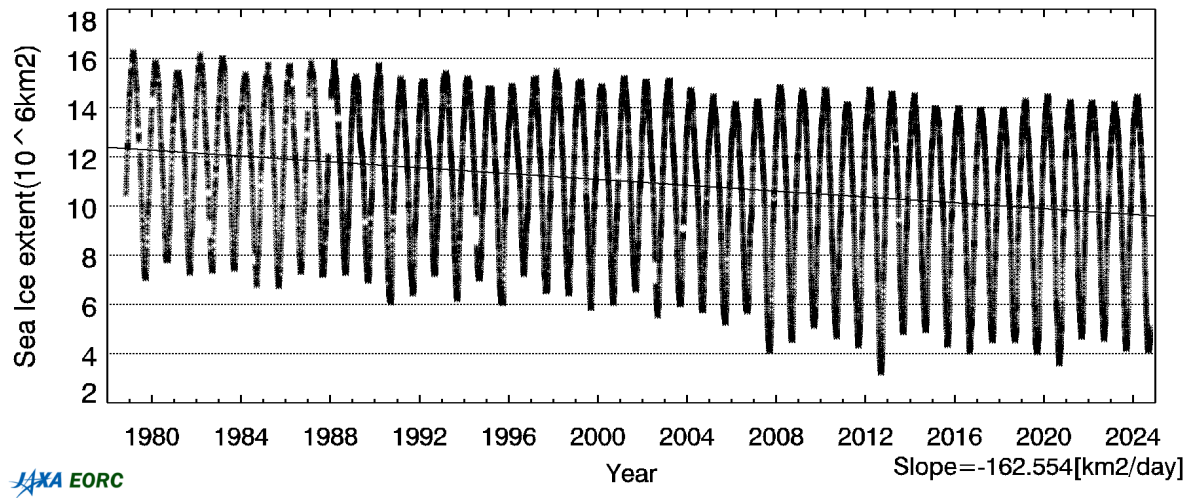
過去：全球均一な観測データの蓄積・海氷



地球温暖化の中で、極域では海氷域面積の減少等、様々な変化が起っている。
AMSRシリーズのようなマイクロ波放射計等を搭載した衛星が極域の海氷を監視している。

北極海における
海氷面積変化
(1978年以降)

Daily Sea Ice Extent Trends (Northern Hemisphere) (1978/11/01-2024/10/11)



北極海の家氷域面積が2024年9月13日に年間最小値を記録～衛星観測史上5番目の小ささ～

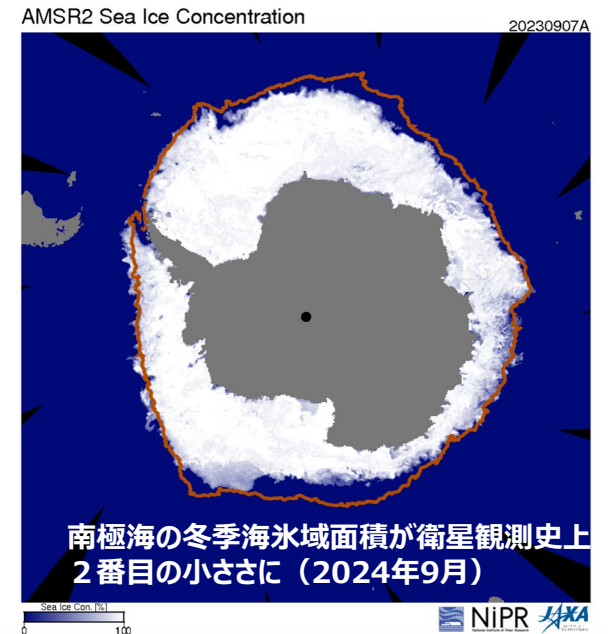
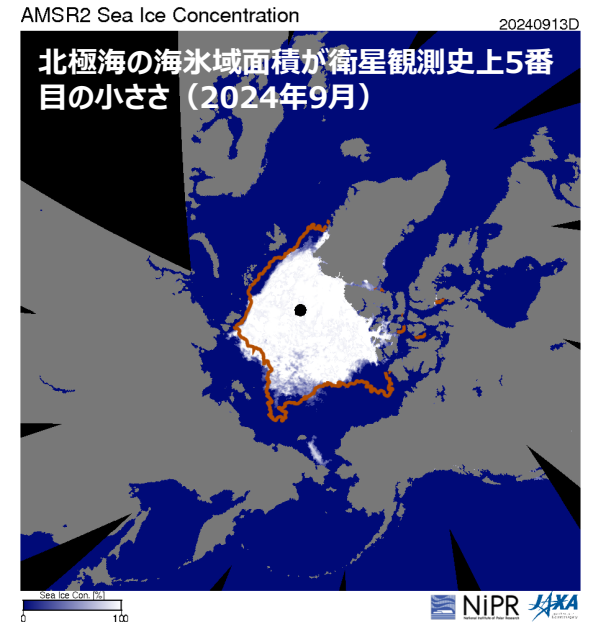
<https://earth.jaxa.jp/ja/earthview/2024/09/24/8268/index.html>

南極海の冬季海氷域面積が衛星観測史上2番目の小ささに

<https://earth.jaxa.jp/ja/earthview/2024/10/11/8306/index.html>

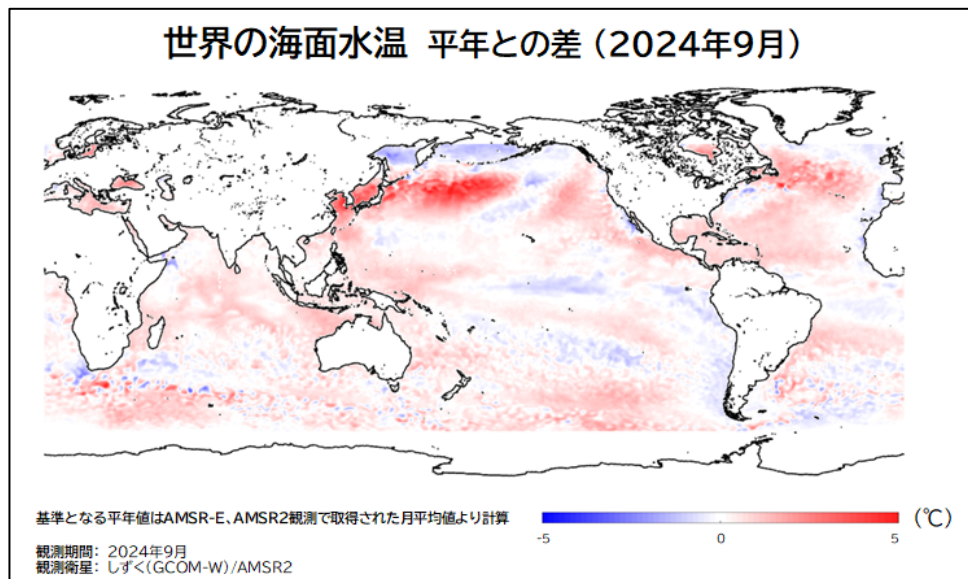
JASMES (JAXA): <https://kuroshio.eorc.jaxa.jp/JASMES/climate/>

北極域データアーカイブ(国立極地研究所): <https://ads.nipr.ac.jp/vishop/#/monitor>

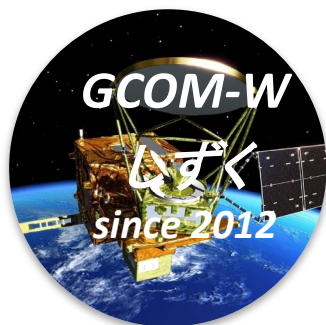


過去：全球均一な観測データの蓄積・海面水温

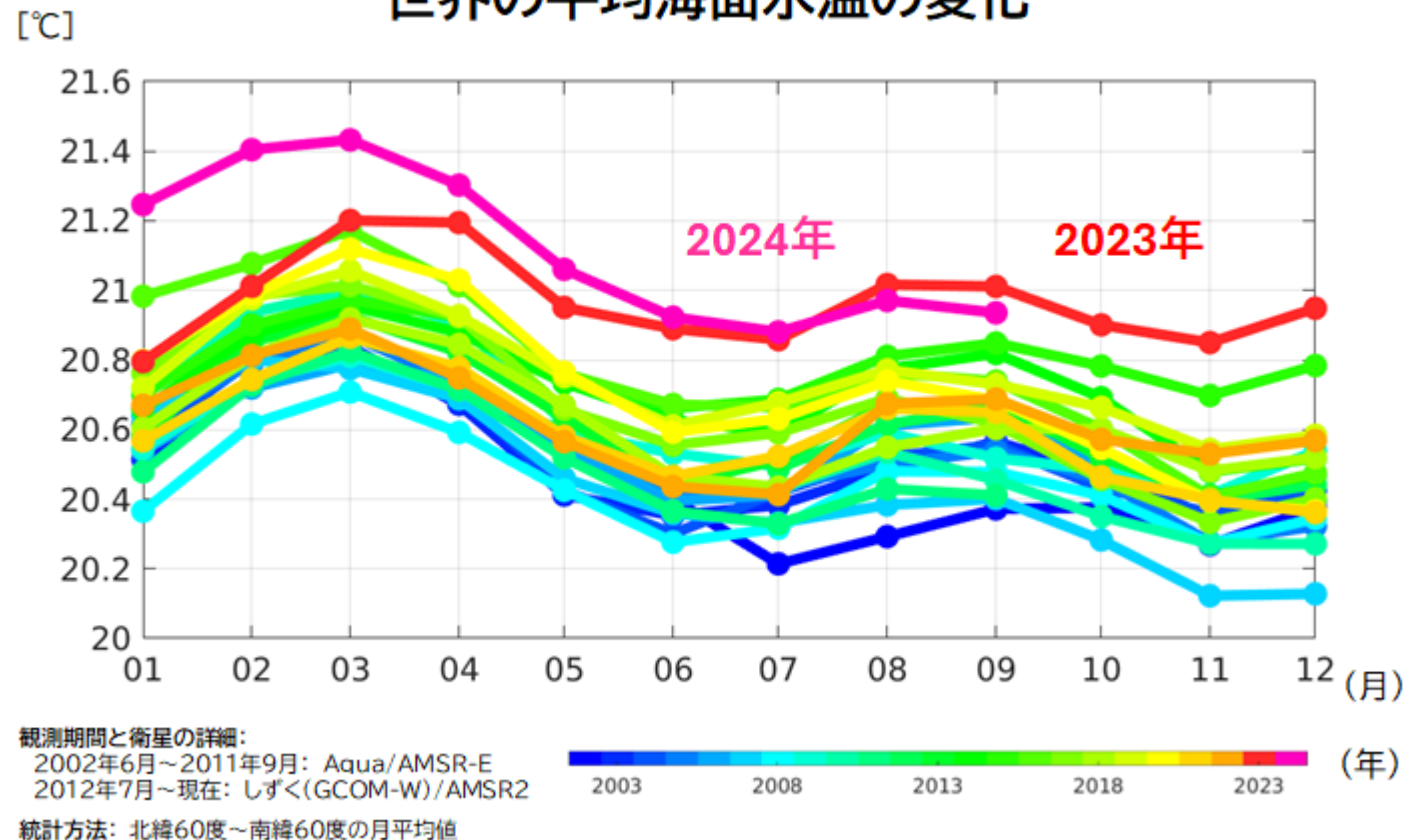
全球平均海面水温は平年と比べ高温の状況が2023年3月から続いており、2024年9月も高温だった昨年と同程度となっている。



AMSR2が捉えた2024年9月の海面水温偏差分布



世界の平均海面水温の変化



AMSRシリーズが捉えた全球月平均*海面水温の季節変動。
*南緯60度～北緯60度の海域の月平均。

<https://earth.jaxa.jp/ja/earthview/2024/10/08/8302/index.html>

過去：全球均一な観測データの蓄積・降水

JAXAでは、20年以上の長期にわたり、熱帯降雨観測衛星TRMMと全球降水観測計画GPMを通して衛星搭載降水レーダを開発、運用し、**宇宙から世界の雨を観測**している。

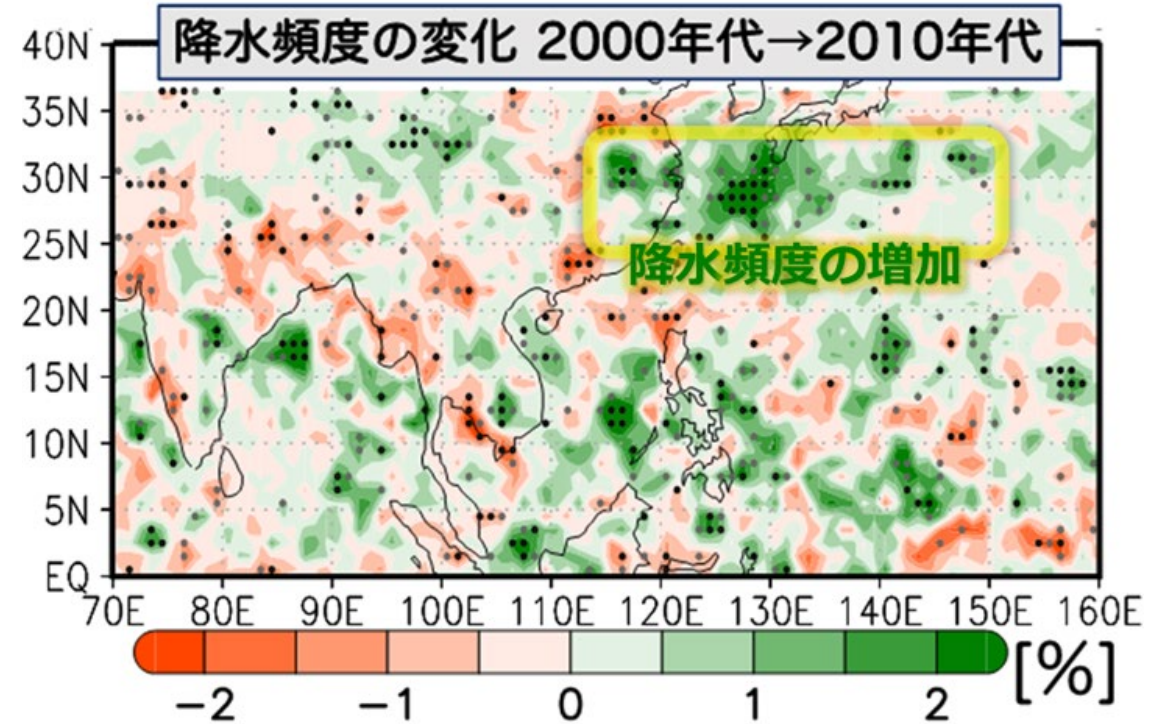
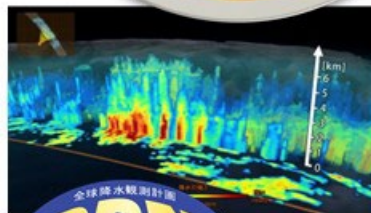
Tropical Rainfall Measuring Mission
熱帯降雨観測衛星 TRMM

1997 - 2015



Global Precipitation Measurement Mission
全球降水観測計画 GPM

2014 - Present



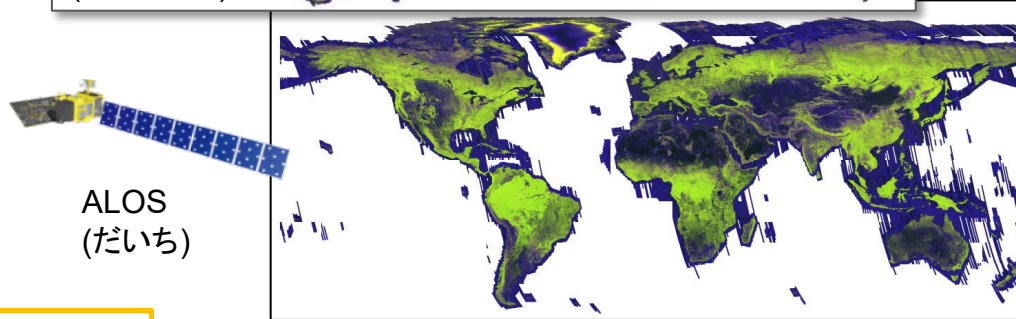
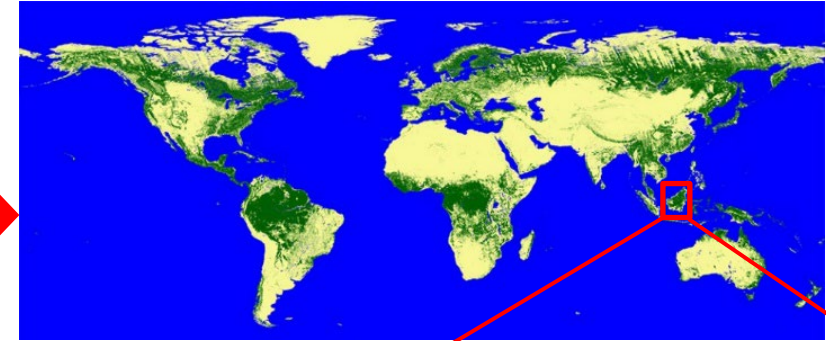
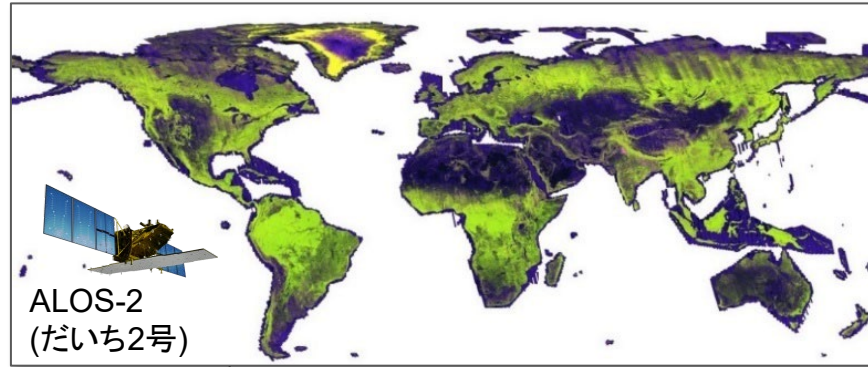
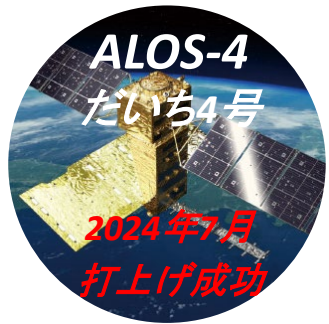
- 日本を含む東アジアに自然災害を引き起こす梅雨前線の降水活動が、最近10年間は非常に活発であることを、TRMM/GPMによる長期間の衛星観測により明らかにした。
- 梅雨前線の活発化が、令和2年7月豪雨（2020年）など、最近の梅雨期の気象災害の頻発に強く関連している可能性を示唆。

Takahashi and Fujinami (2021, *Scientific Reports*)

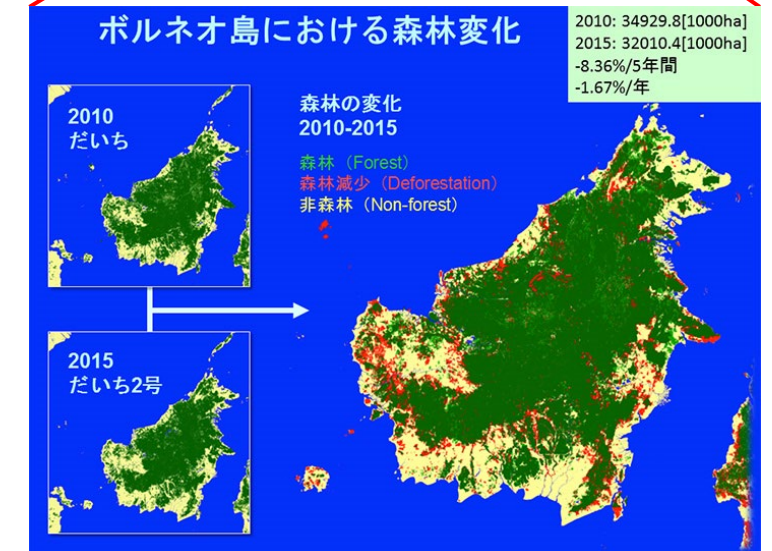
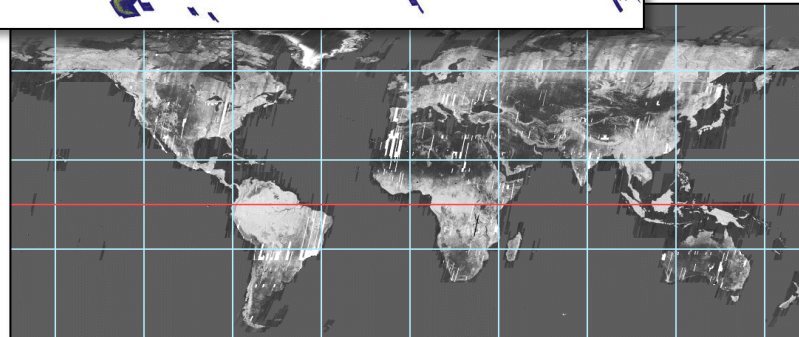
<https://earth.jaxa.jp/ja/earthview/2021/08/02/5584/>

過去：全球均一な観測データの蓄積・森林

- 近年、熱帯域・亜寒帯域では森林減少が進行しており、森林面積の把握や保全は、温暖化対策の政策決定のための重要な取組み
- JAXAはLバンド合成開口レーダ（SAR）による全球モザイク及び「森林/非森林マップ」を提供
- JERS-1（1996）～ ALOS（2007-2010）～ ALOS-2（2014-）～ ALOS-4（2024-） > **25年以上の長期データを蓄積**

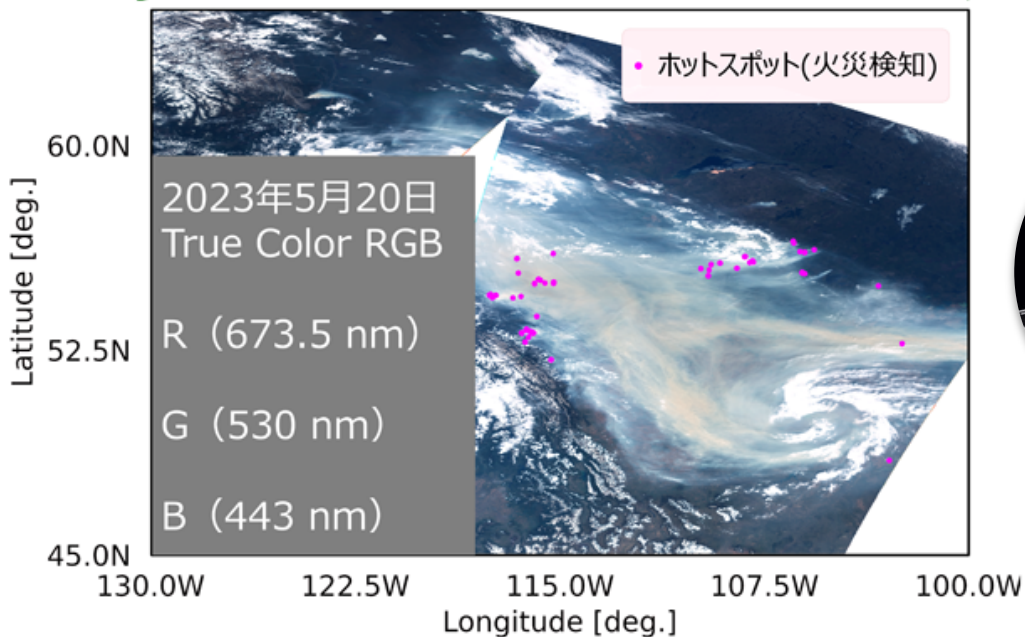
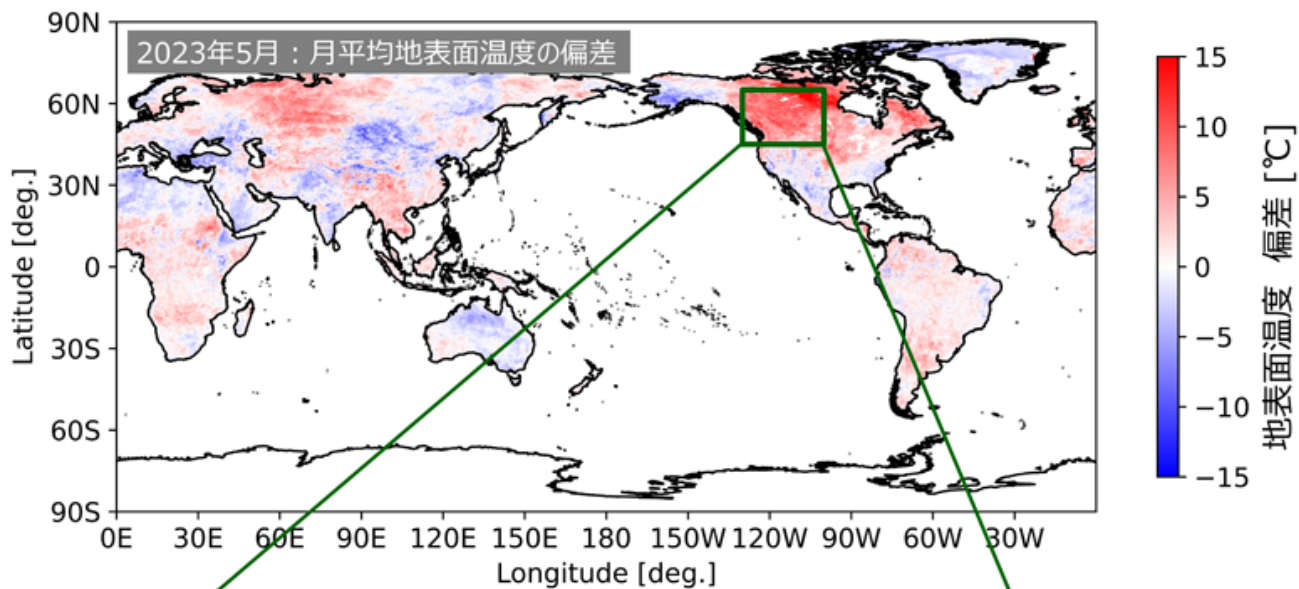


JERS-1
(ふよう1号)



全球PALSAR-2/PALSAR/JERS-1
モザイクおよび森林・非森林マップ
https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/jp/dataset/fnf_j.htm

現在：地球環境の監視・森林火災、地表面温度



- 2023年はそれまでの年と比較して、明らかに“暑い”年となり、この異例の暑さは森林火災に対しても影響を及ぼしていると考えられる。
 - 左上図は、JAXAの運用する地球観測衛星「しきさい」(GCOM-C)が捉えた2023年5月の地表面温度の偏差(平年値からの差)を示したものの。
 - 特にカナダにおいて平年よりも10°C程度高い地表面温度が観測され、同時期に大規模な森林火災が発生していたことがわかる
- (左下図：2023年5月20日に観測された火災による煙の様子)。

<https://earth.jaxa.jp/ja/earthview/2023/12/25/7899/>

地球全体の降水を迅速に可視化した「衛星全球降水マップ(GSMaP)」

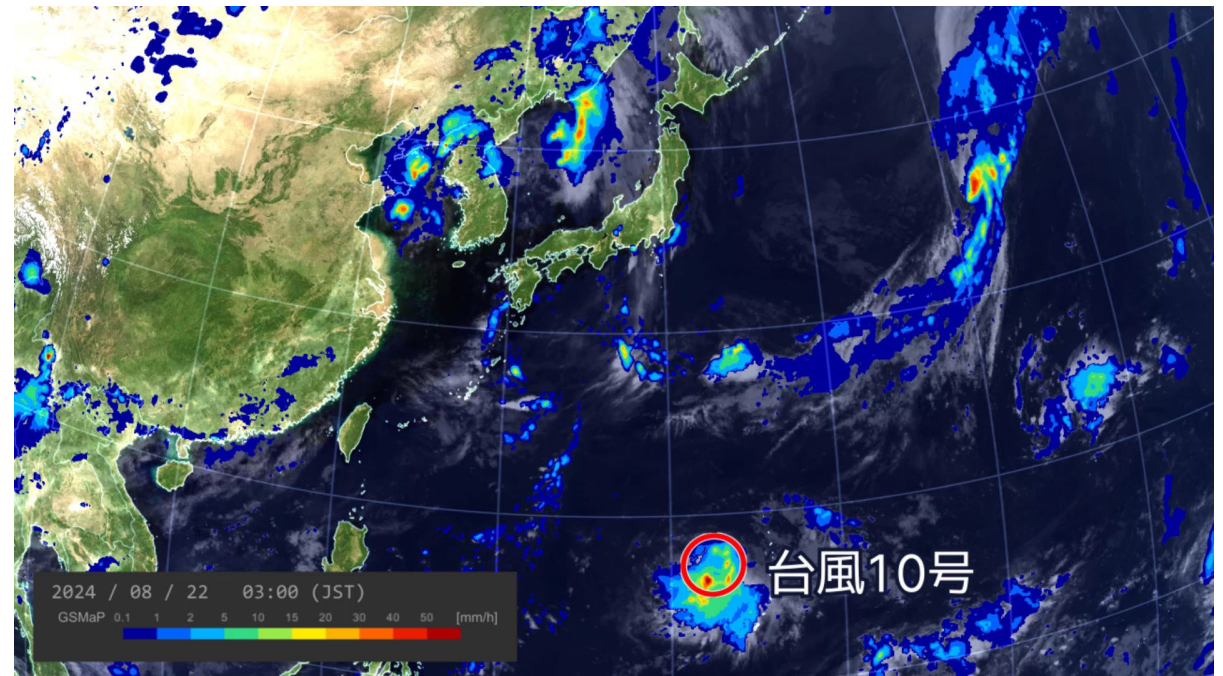
- JAXAでは、全球降水観測計画（GPM）主衛星や「しずく」衛星等の国内外の地球観測衛星及び気象衛星の観測データを統合し、**地球全体の降水量を可視化した「GSMaP」**を開発し、インターネットで無償提供中。
 - ✓ **世界の雨分布速報** (<http://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP/>)
 - ✓ 分解能：緯度経度0.1度格子、1時間毎
- **気候モデルの検証での利用(例: IPCC AR6/WG1 Figure 10.8)**等に加えて、降水データが不足する海外での降水監視、洪水予測や農業等の実利用分野での利用が進んでいる。

GSMaPによる令和6年台風第10号の観測

- 台風第10号は進路予測が非常に困難で、度々進路が変わり、また、大雨や土砂災害、竜巻など各地で大きな被害をもたらした。

色：GSMaPによる降水（時間雨量）

白：ひまわり9号による雲

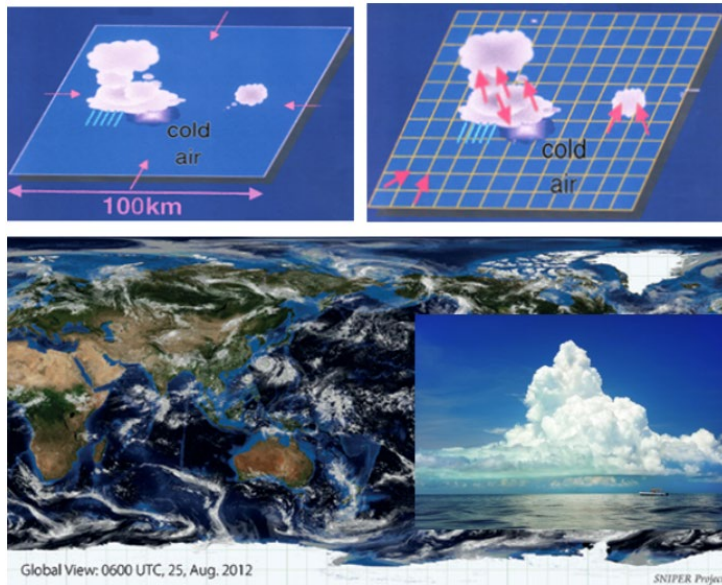


プロセス研究の例 - エアロゾル・雲・対流・降水のプロセス

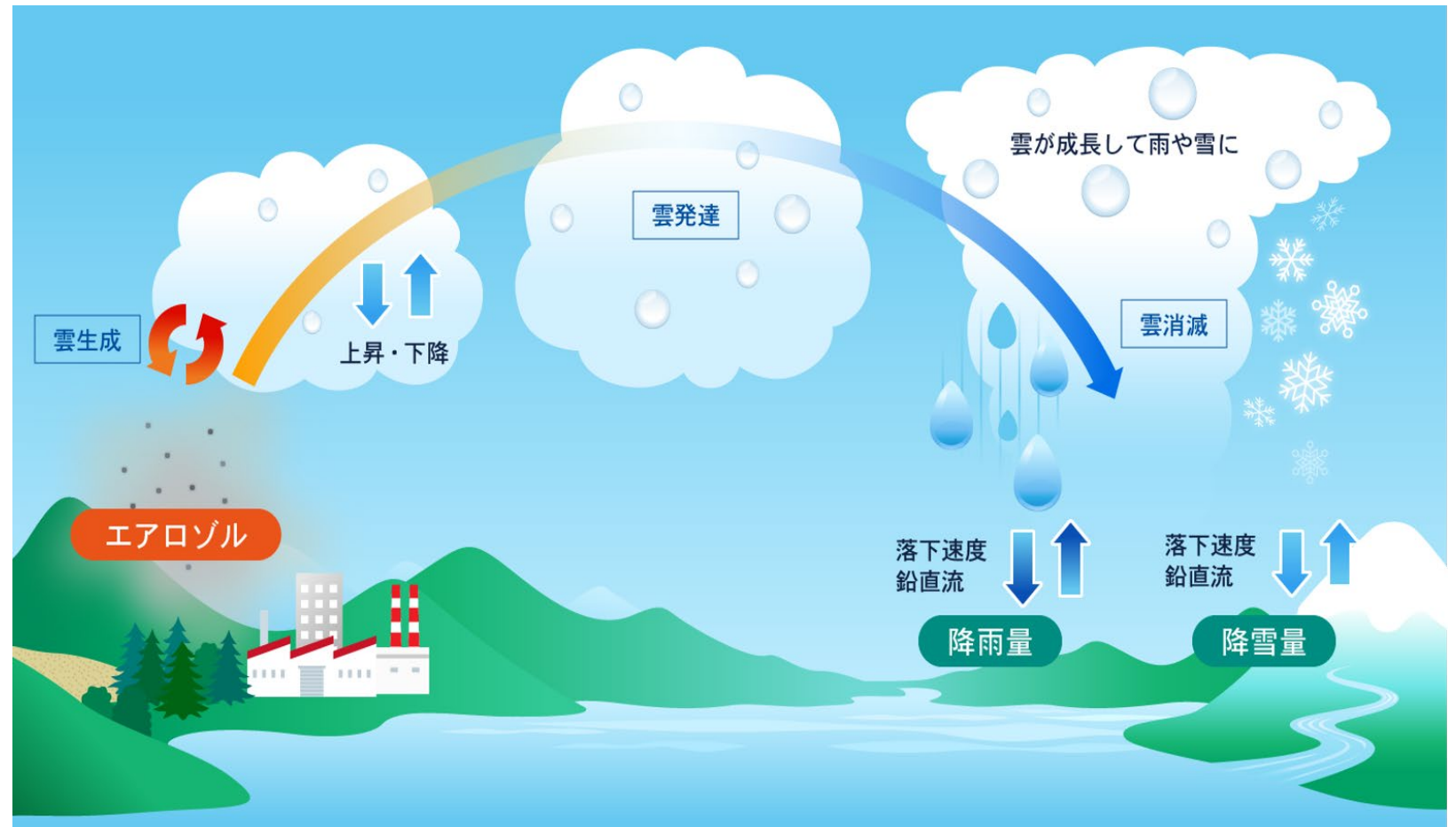
- 雲とエアロゾル（（大気中に浮遊する微粒子））は気候変動予測に最も大きな不確実性をもたらしており、地球の放射収支に対して影響を与える。雲/エアロゾルに関する気候変動メカニズム」の理解に必要な全球の観測データが求められている。

- エアロゾルの雲への影響
- エアロゾルと雲の放射効果
- 雲から降水への過程

気候モデルの雲過程の例



上図はJAMSTECホームページより引用
<https://www.jamstec.go.jp/sdgs/j/case/016.html>



EarthCARE (はくりゅう) は、日本と欧州の世界最先端の技術で、雲やエアロゾルの大問題に挑戦するミッション

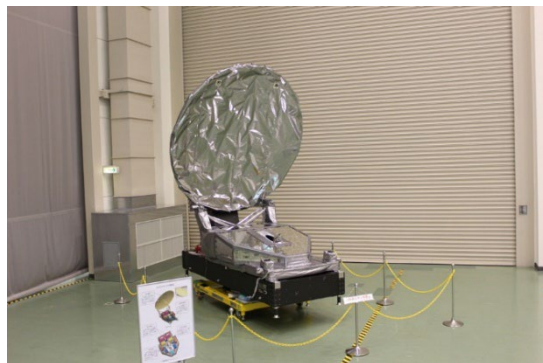
Earth Clouds, Aerosol and Radiation Explorer
雲エアロゾル放射ミッションEarthCARE
(日欧共同ミッション)

EarthCARE衛星の観測装置

- CPR** 雲プロファイリングレーダ
- ATLID** 大気ライダ
- MSI** 多波長イメージャ
- BBR** 広帯域放射収支計

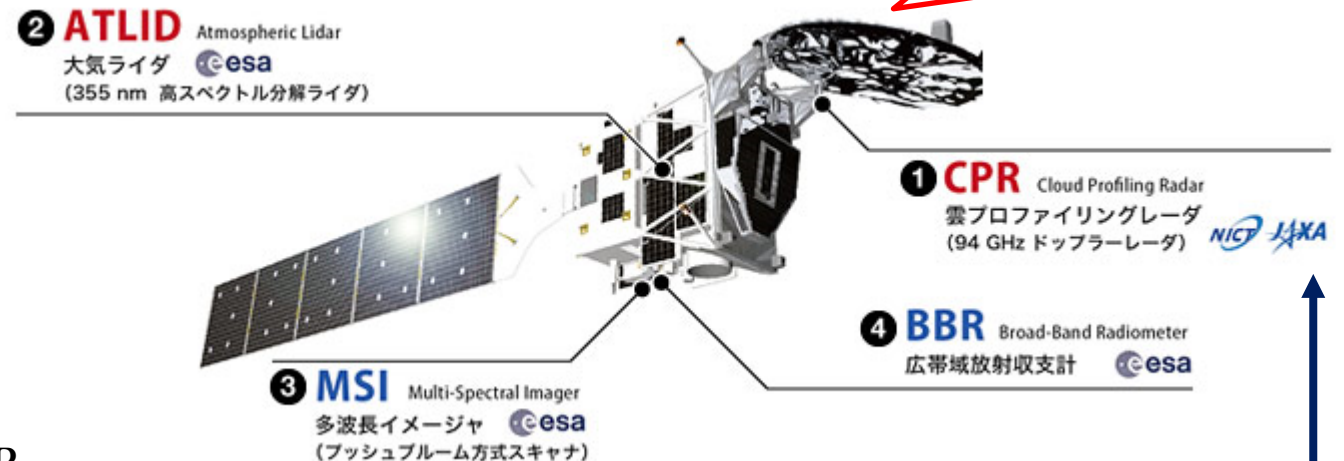
世界初の衛星搭載ドップラー雲レーダCPR

CPRに用いる大型アンテナは、衛星搭載観測センサとして**世界最大の直径2.5m**



今、Hotな話題!

2024年5月29日
Space Xのファルコン9ロケットで打上げ成功!



宇宙航空研究開発機構(JAXA)・情報通信機構(NICT)が開発した**ドップラー雲レーダ**。

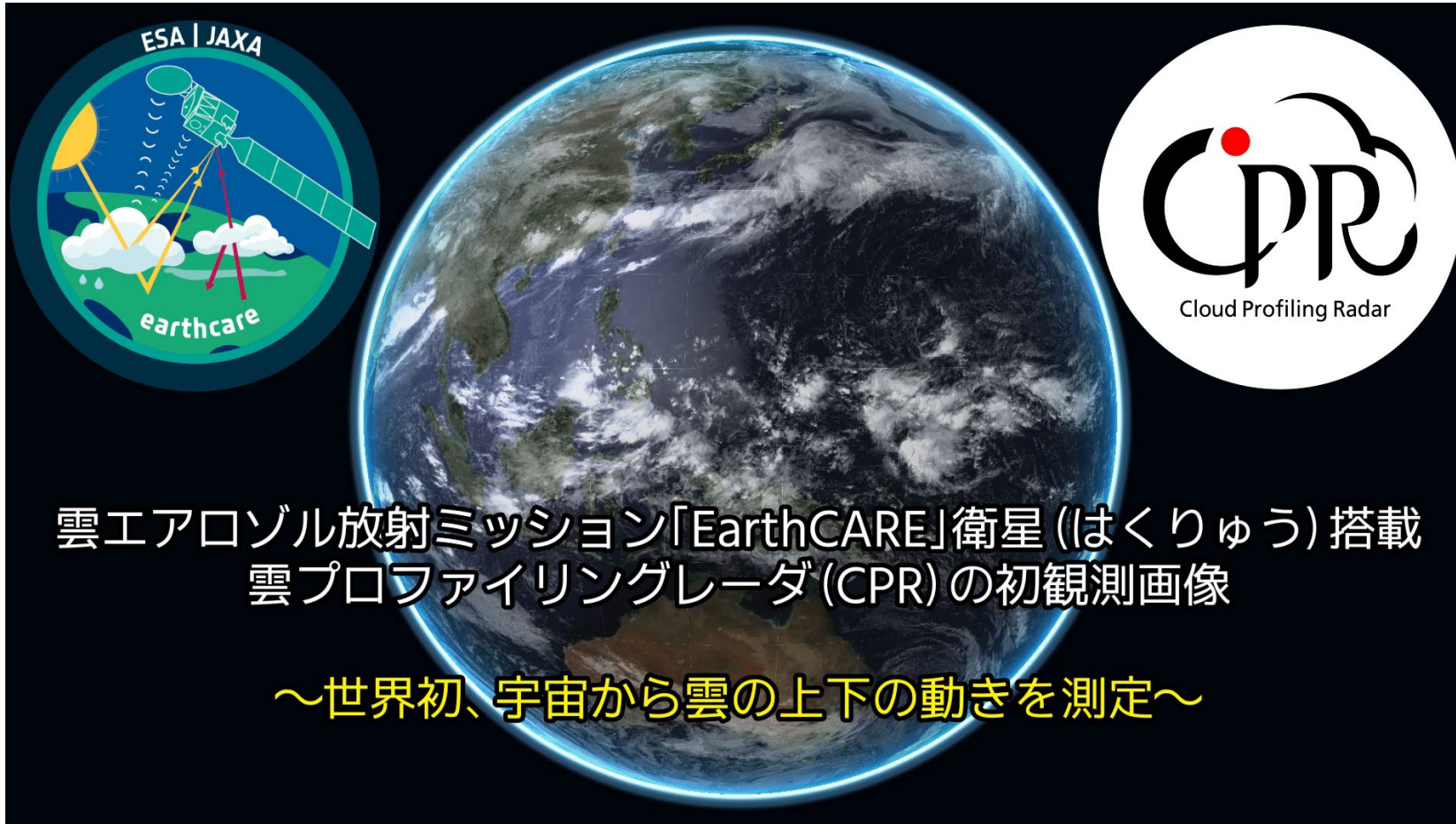
雲の高さ分布だけでなく動きもわかる!

ドップラー速度計測機能がスゴイ!

雲プロファイリングレーダ (CPR) の初観測画像を公開

～世界初、宇宙から雲の上下の動きを測定～

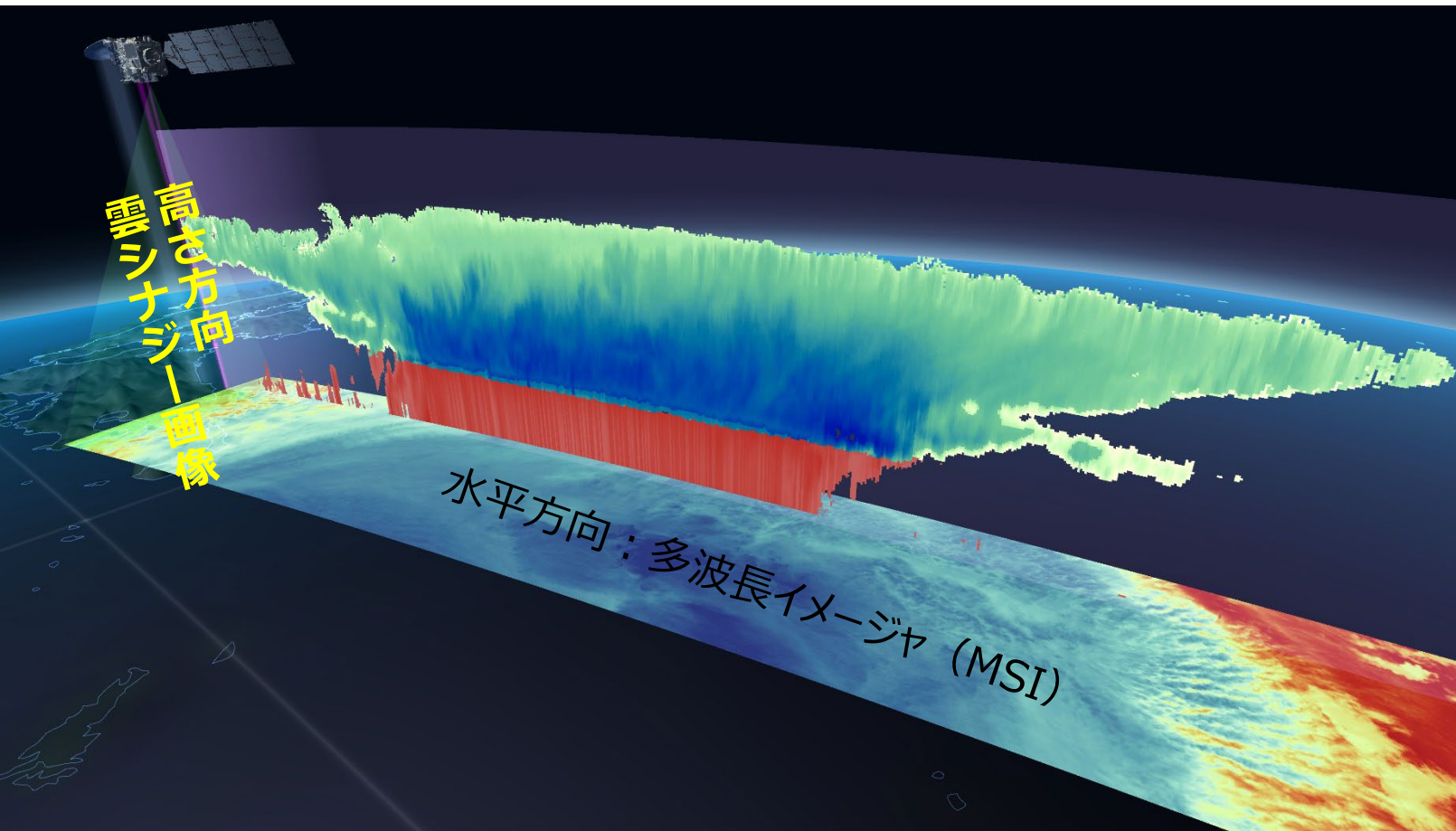
https://www.jaxa.jp/press/2024/06/20240627-1_j.html



- 2024年6月13日13時頃に、CPRは日本の東海上にある**梅雨前線上の雲域**を観測。
- CPRは上空約13kmに達する雲分布を捉えた。
- 高度約5kmより下の高さで**ドップラー速度が下方向に大きくなる特徴が確認**→**雨滴の速い落下速度**を示す。
- →CPRによる梅雨前線をはじめとしたさまざまな雲域における観測を通して、**雲粒が降雨へ成長するメカニズムの理解や、それにより、気象モデルや気候モデルの雲降水過程の改良**に貢献。

<https://www.youtube.com/watch?v=LcgDQWHMiOQ>

はくりゅう雲シナジー初画像：日本列島に接近中の令和6年台風第10号の観測結果
観測時刻：2024年8月28日 2時 (日本標準時)



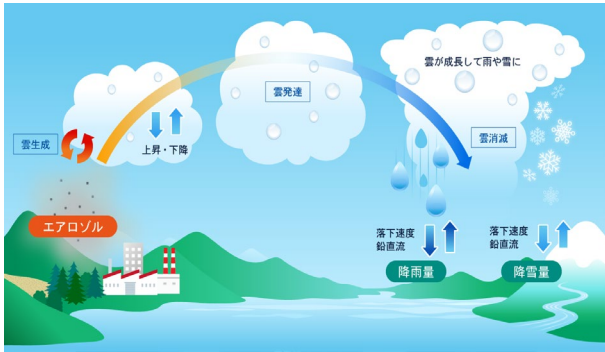
- 雲による温暖化への影響は、**温暖化予測における最大の不確実要因**。
 - ✓ 雲が気候システムに与える効果は、雲の高さや重なり方、雲の種類などにより大きく影響される。
- はくりゅうのシナジー観測による**精緻な観測データ**
 - ✓ レーダは厚い雲、ライダは薄い雲やエアロゾルに感度がある
 - ✓ レーダとライダを組み合わせることで、**より幅広い雲の種類を高さ方向に観測可能**
 - ✓ さらにイメージャも複合することで、**雲の量をより正確に測定**する。

はくりゅうによるシナジー雲画像の公開

～複数センサを組み合わせることにより実現する精緻な雲観測～

<https://www.satnavi.jaxa.jp/ja/news/2024/10/04/9923/index.html>

気候予測に対するJAXA地球観測衛星の貢献 ～エアロゾル-雲-対流-降水のプロセス解明～



エアロゾル-雲のプロセス解明への貢献

雲エアロゾル放射ミッション「EarthCARE」
(with ESA)



EarthCARE観測データの研究成果により雲・エアロゾルに関する気候変動メカニズムの科学的根拠の追究

将来計画

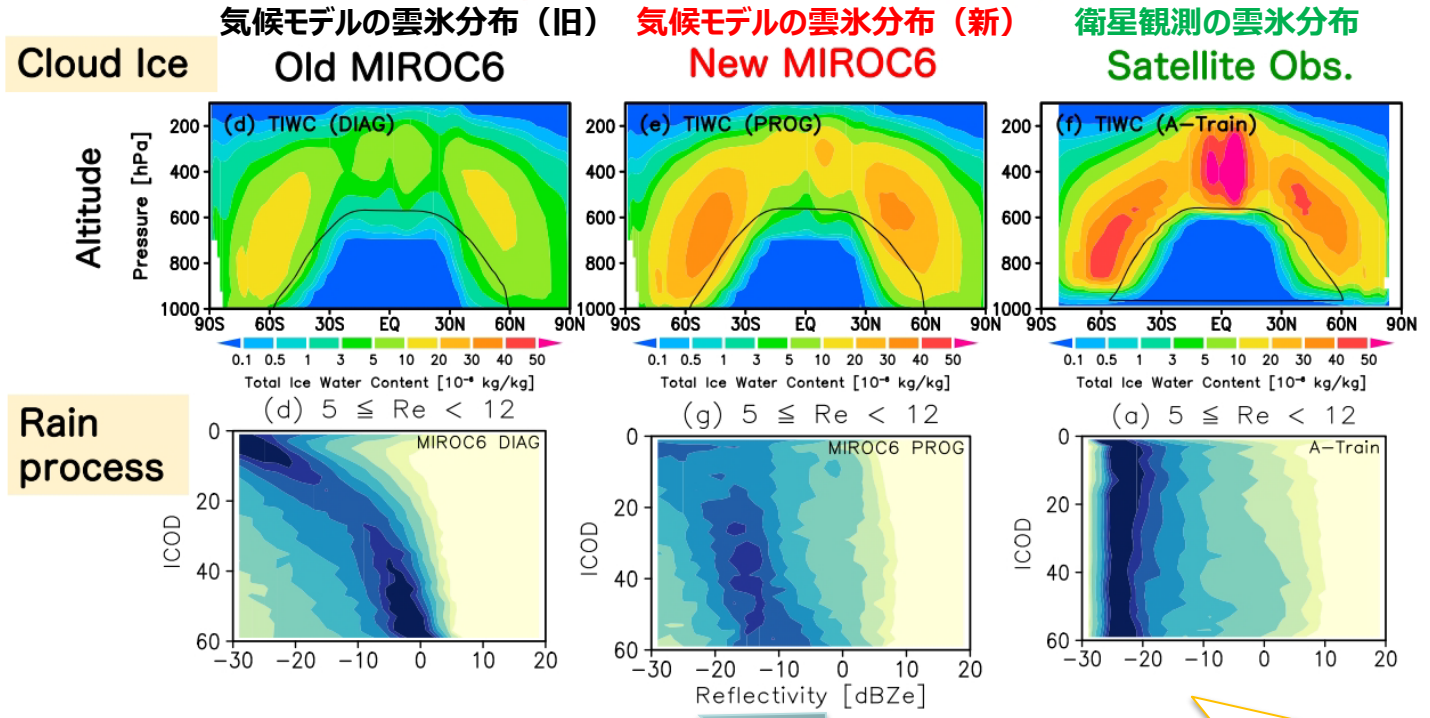
衛星観測を用いた気候モデル (MIROC6) の雲微物理のプロセスの評価

(東京大学 鈴木教授提供)

Michibata et al. (JAMES '19; ACP '20)

Michibata & Suzuki (GRL '20)

Climate model improvement



エアロゾル-雲-対流-降水のプロセス解明への貢献

NASAが現在、国際的に計画を進めている衛星コンステレーション構想の中で、JAXAは降水レーダ衛星として精密な降水や対流の把握を担うことで、エアロゾル-雲-対流-降水の全体プロセスを明らかにする

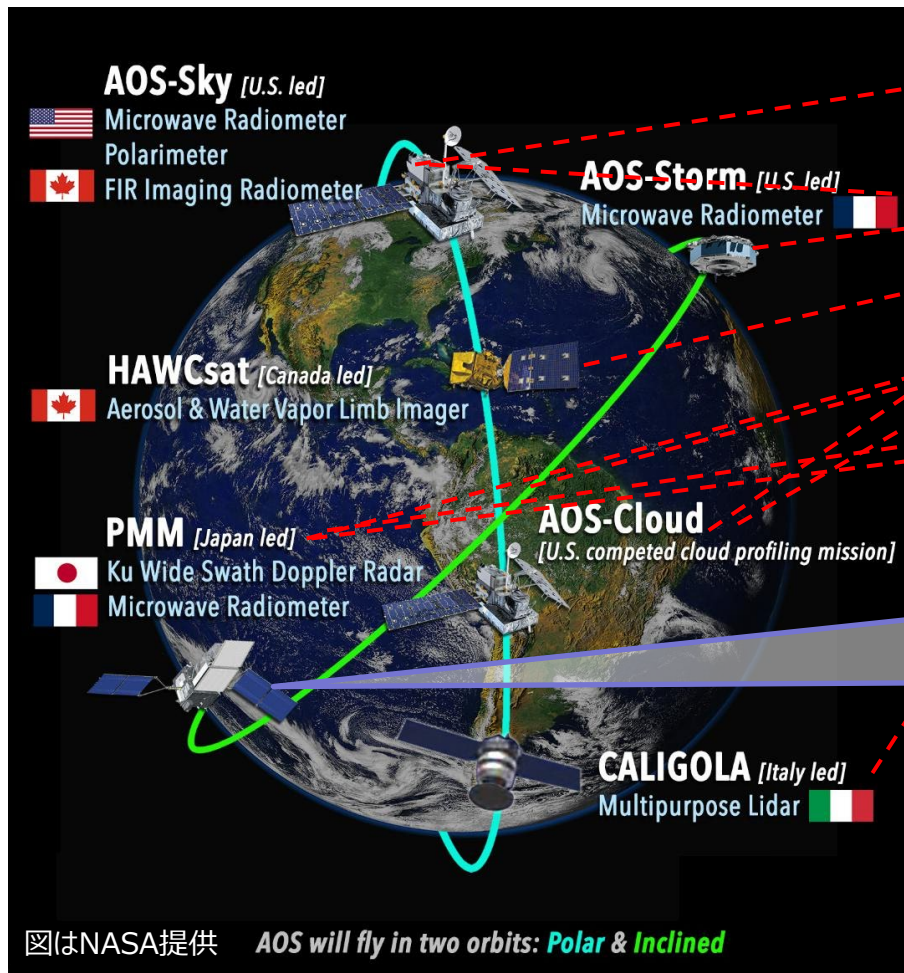
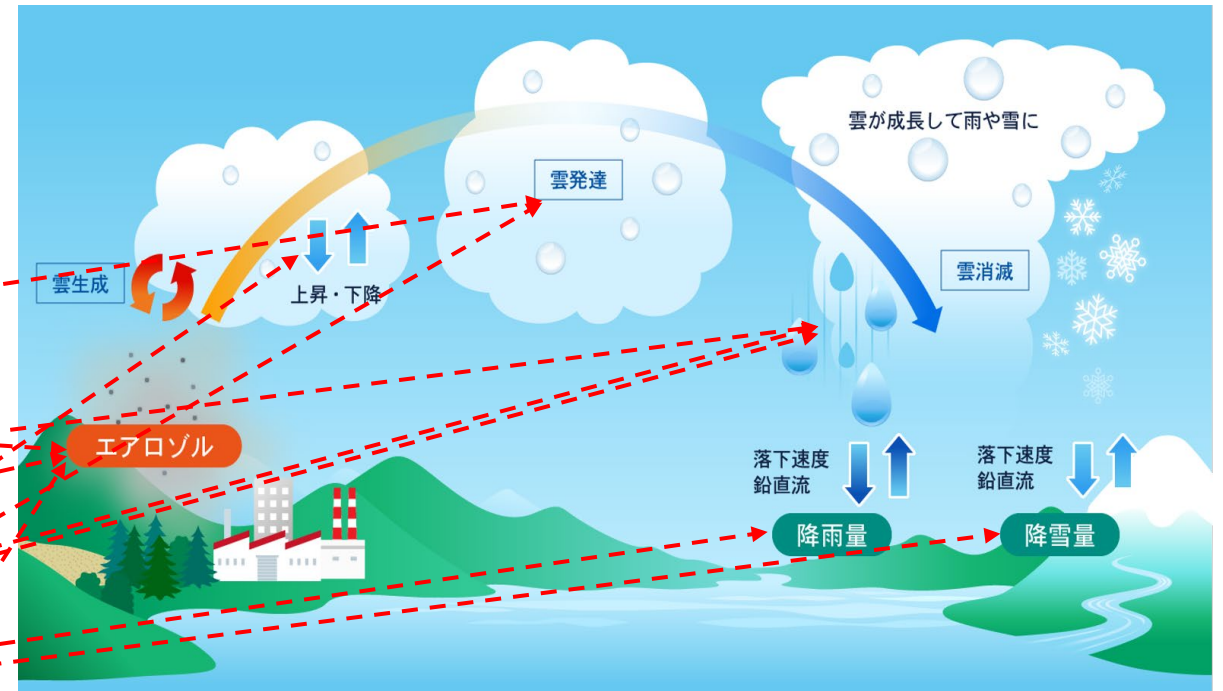
衛星観測をもとに、気候モデルの開発が進められている。
→ 全球的な観測が可能な衛星観測が気候モデル開発に貢献。

豪雨の予測精度向上の貢献

将来の衛星ミッション：AOS & PMM

NASAが現在、国際的に計画を進めている衛星コンステレーション計画AOSの中で、**JAXAは降水レーダ衛星として** 精確な降水や対流の把握を担うことで、エアロゾル-雲-対流-降水の全体プロセスを明らかにする

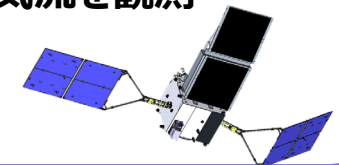
エアロゾル・雲・対流・降水のプロセス



JAXAの開発する「降水レーダ衛星 (PMM)」:

- ドップラー降水レーダにより、降水の分布に加えて、降水粒子の落下速度や上昇気流を観測

2028年度に打上げ予定



- 衛星地球観測データの果たす役割
 - “過去を理解し、現在を知り、未来を予測”
 - 過去：全球均一な観測データの蓄積
 - 例：GHG, 海氷, 海面水温, 森林, 降水, …
 - 現在：地球環境の監視
 - 例：森林火災, 地表面温度, 降水, …
 - 未来（気象モデルや気候モデルとの連携）
 - 短期/同化・初期値改良（気象予報、洪水予測、大気汚染等）
 - 長期/より正確な気候変動予測のためのプロセス解明、モデル検証
 - » 雲エアロゾル放射ミッションEarthCARE（はくりゅう）：2024年5月打上げ
 - » 将来の衛星ミッション：NASAのAOS計画とJAXA降水レーダ衛星（PMM）

