

# 雲降水観測ミッション

高橋 暢宏

名古屋大学宇宙地球環境研究所

2022.06.22 bizEarth 研究会

## 発表概要

- これまでの衛星搭載レーダの紹介、全球の降水データの利用に向けた課題と対応
  - 等時間間隔のグリッドデータが使いやすいが。。。
  - 様々な人工衛星（静止衛星・マイクロ波放射計・レーダ）からの降水情報による全球降水マップ（GSMaP）
- NASA AOS（ACCP）と連携した新たな降水観測ミッション

AOS : Atmosphere Observing System      NASA ミッション名（仮）

ACCP: Aerosol, Cloud, Convection and Precipitation

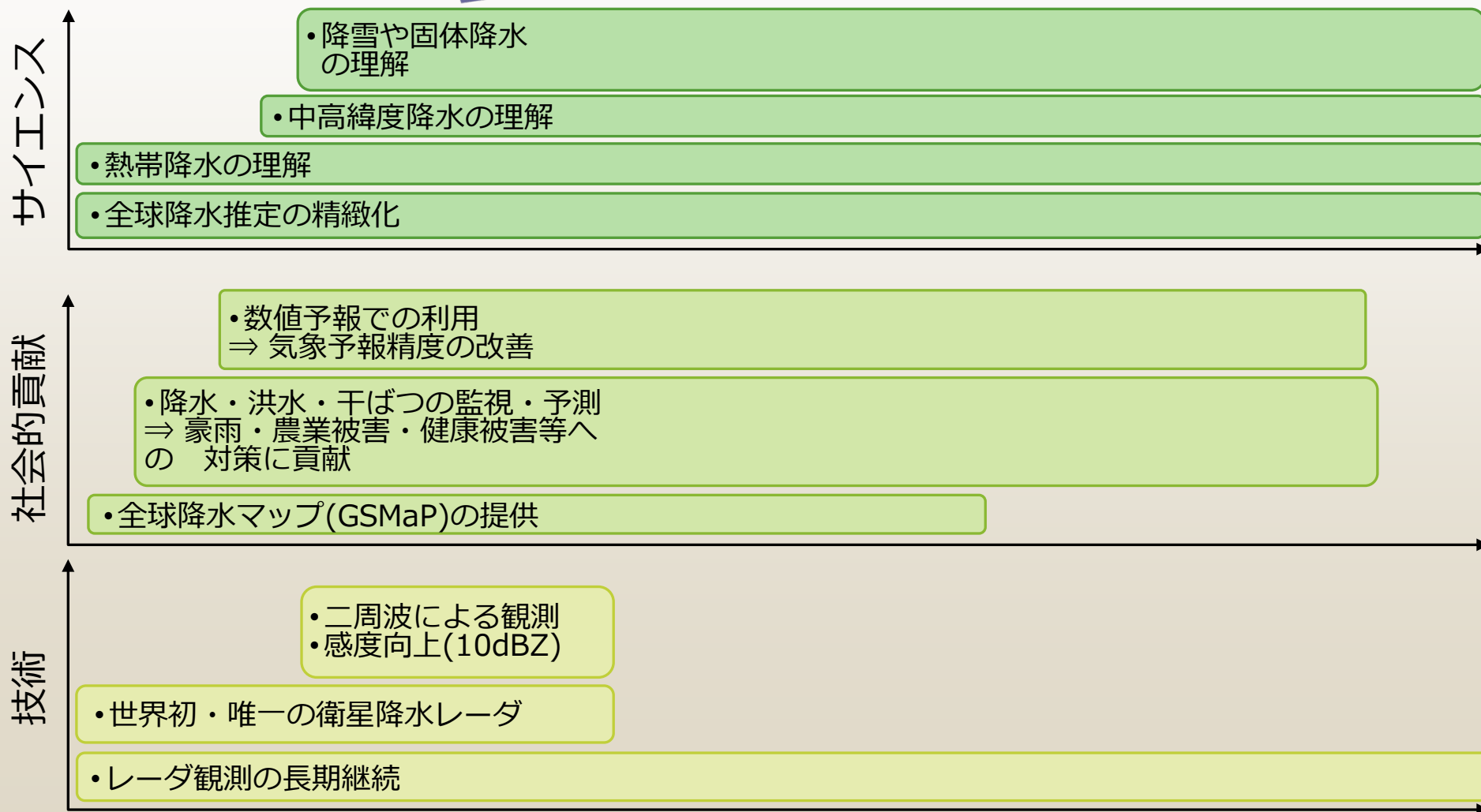
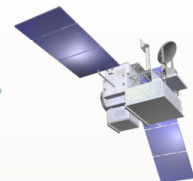
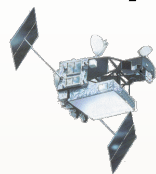
米国ナショナルアカデミーズによるDecadal Surveyによる提案

# 降水観測レーダミッション

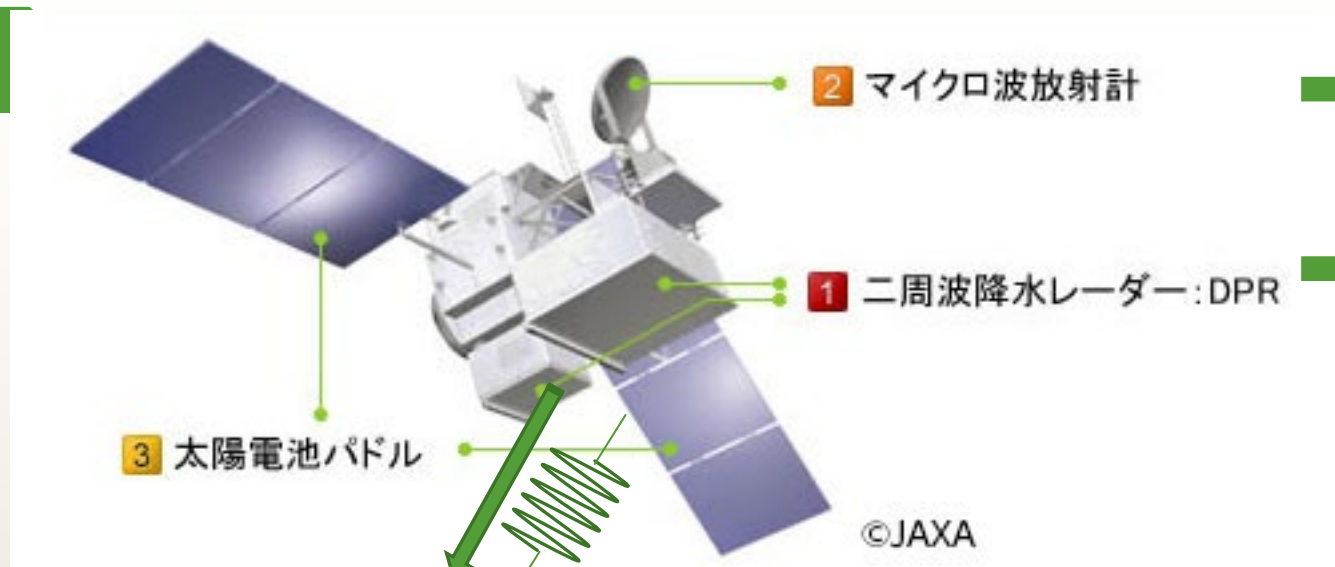
3

TRMM/PR

GPM/DPR

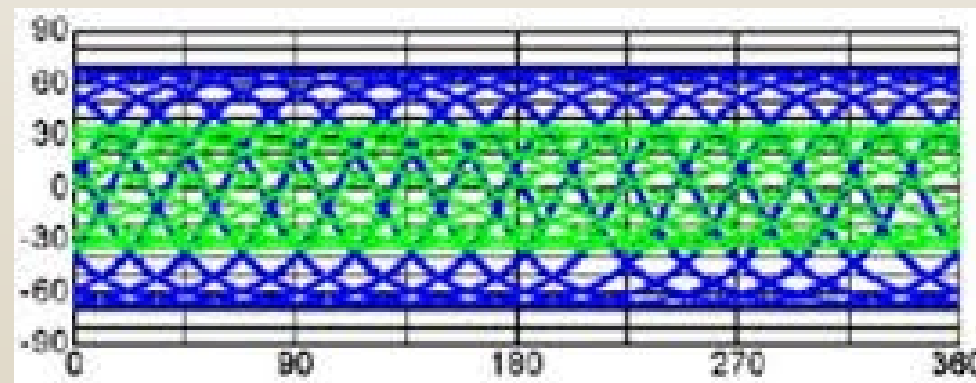
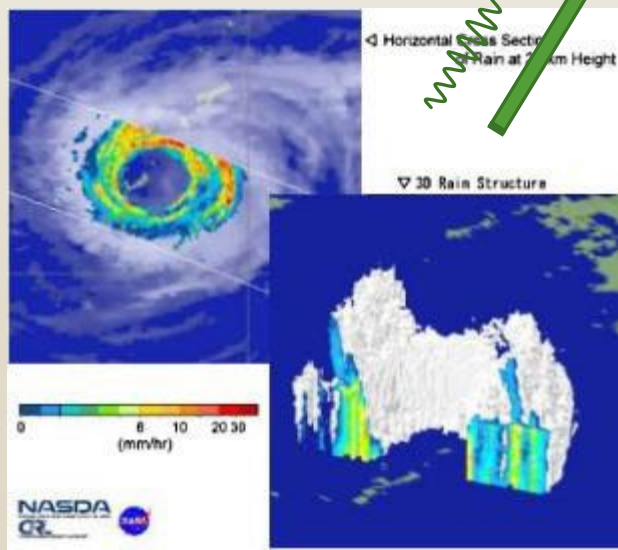


# 衛星搭載降水観測レーダ（GPM/DPRの例）



- ➡ 他のセンサにない、**3次元構造**の観測が可能（メリット）
- ➡ **走査幅は250 km**程度なので、地球全体をカバーするには1ヶ月以上かかる。（デメリット）

観測精度は良いが、カバレッジがわるい。  
→利用に向かない。



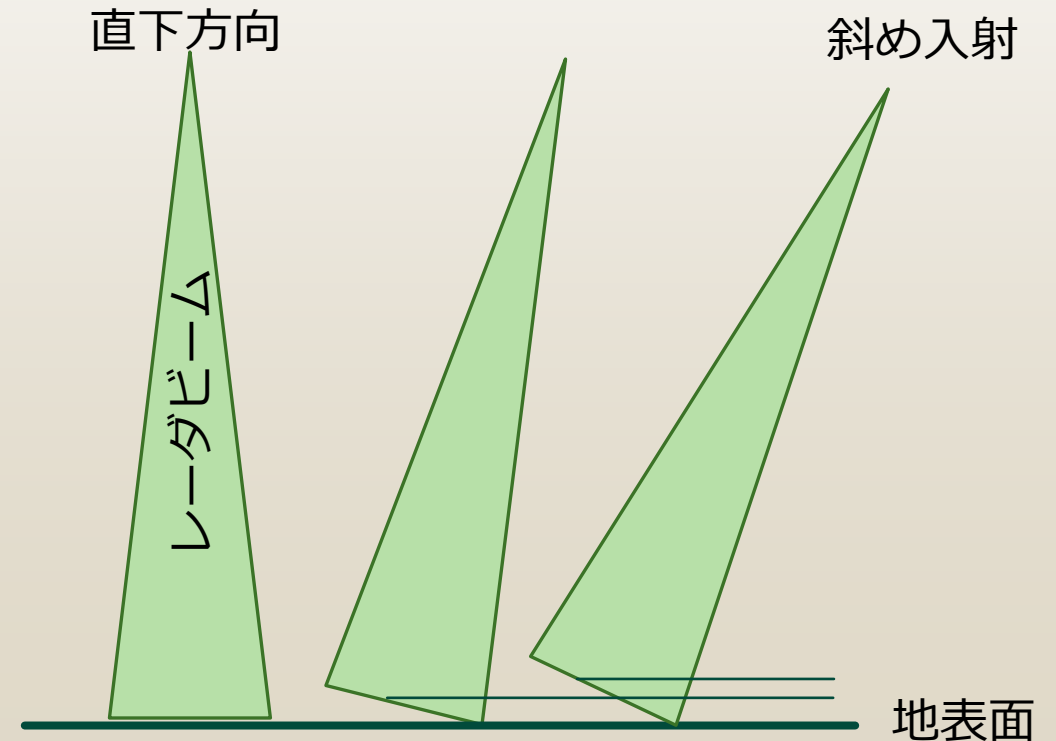
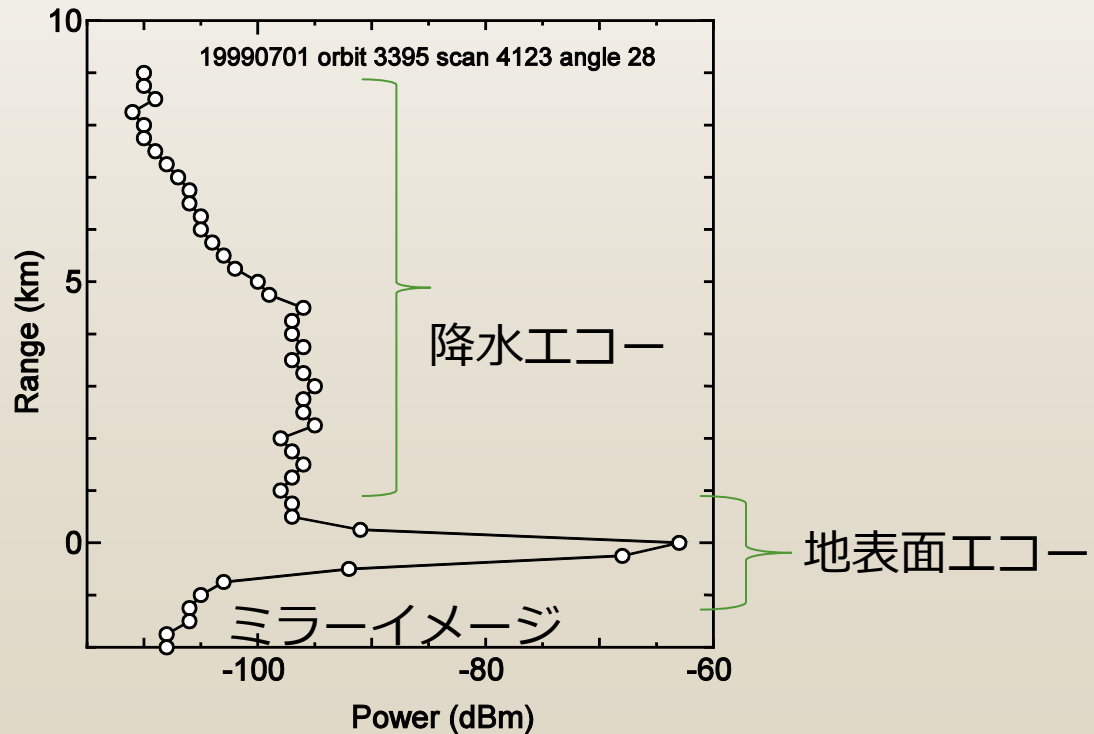
TRMM/PR（緑）とGPM/DPRの一日分の観測範囲

# 走査幅の問題

5

- 典型的な衛星搭載レーダの観測エコープロファイル
  - 地表面エコーが圧倒的に強い信号を返す。
  - そのため斜めの入射角では降水のエコーが地表面エコーにマスクされる  
＝低い高度の降水が観測できない。
  - 降水プロファイルを得ようとする走査幅に限られる。

レーダ観測による鉛直プロファイル



# GSMaP開発へ：人工衛星搭載センサによる降水推定の比較

6

センサー	時間分解能	空間分解能	降水推定	その他
可視・赤外放射計 (静止気象衛星)	10分毎（ひまわり）、 他の地域は 30分毎	水平方向のみ 可視：1km 赤外：2km	赤外を利用。 降水からの赤外放射は上 端の雲でマスクされてい る。	地球全体の観測には6機 程度の衛星が必要。 降水推定の高度化にはマ イクロ波イメージャ等の データで学習 陸上は、雨量計データを 後処理で利用
マイクロ波 イメージャ	1日で地球全 体をカバー	水平方向のみ 低周波：10-20 km 高周波：数km	地表面・降水（雨・雪） の放射・散乱の積算値が 観測される。 降水構造をモデル化して 降水量を推定	降水推定の高度化には レーダによる降水構造の データ等を利用
レーダ	全球観測に は1か月以上	水平方向 5 km 鉛直方向 250 m	直接的な降水のプロファ イルの情報が得られる。	レーダは3次元のデータ 取得が可能

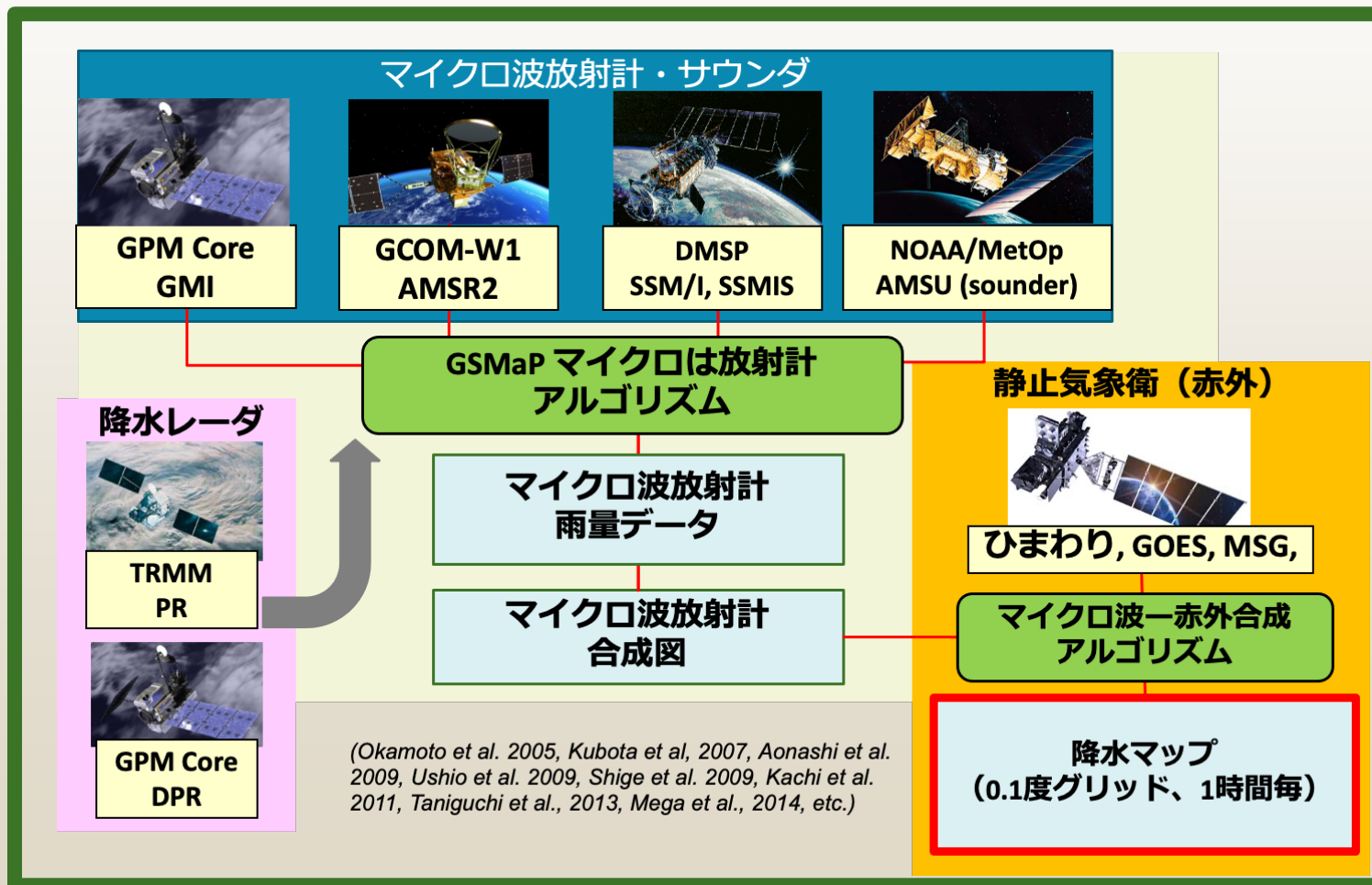
# GSMaPの作成

7

- マイクロ波放射計による降水推定を基本とする
- レーダのデータはマイクロ波放射計アルゴリズムの基礎データとなる（例 降水プロファイル）
- 静止気象衛星のデータは雨域の移動の推定に利用

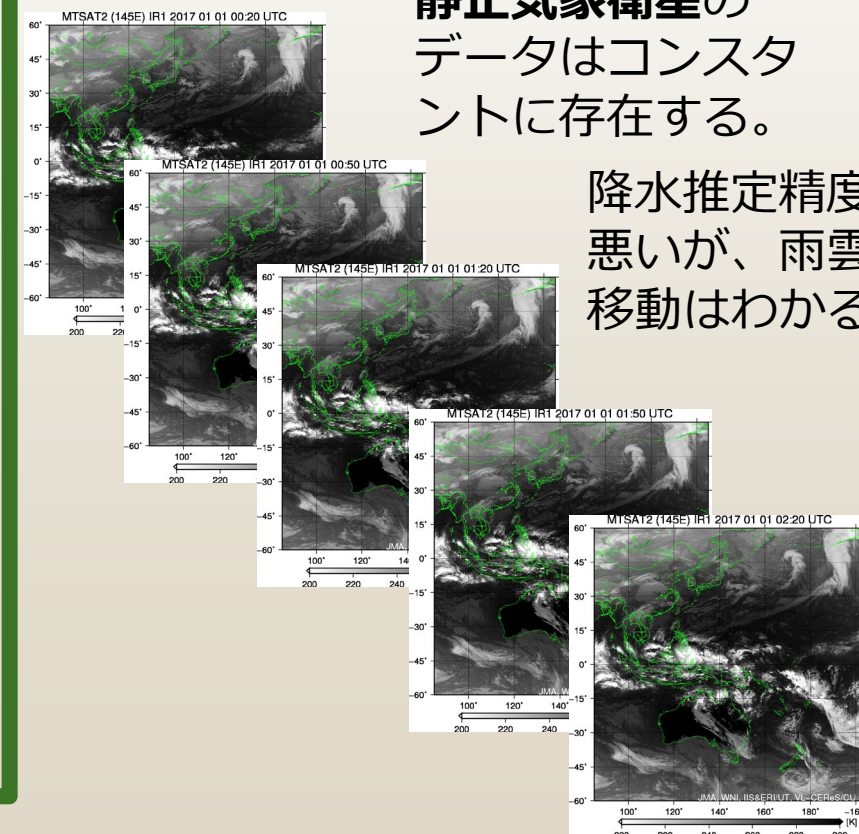


**マイクロ波放射計**：1時間で地球全体をカバーするには、数十機必要



**静止気象衛星のデータ**はコンスタントに存在する。

降水推定精度は悪いが、雨雲の移動はわかる。



## PMMミッションKuDPRの開発

➡ 降水レーダ観測 TRMM/PR (1997-2015) GPM/DPR (2014-)

- ➡ 全球の降水量見積りの改善
- ➡ 全球の降水システムの理解の深化
- ➡ マルチサテライトによる全球降水マップ (GSMaP, IMERG)へ発展
  - ➡ 洪水予報や気象監視に活用

➡ post-GPM ミッション検討 (2008- )

▼ 2010 : 4つのミッション提案

[雲・降水観測、降水レーダコンステレーション、多センサによる熱帯観測、静止軌道からのレーダ観測]

▼ 2012 : 2機のDPRレーダによる時間差観測

▼ 2015 : DPRを高感度化・走査幅拡大・高密度観測

▼ **2018 : 高感度ドップラー速度観測 (単周波)**

Key concepts:

- ➡ 多センサによる同期観測
- ➡ 複数衛星によるサンプリング頻度の増加

科学ターゲット:

- ➡ 雲-降水過程の全球的理解の向上
- ➡ 全球降水推定精度の向上 (特にGSMaP)

NASAのACCP (Aerosol, Cloud, Convection and Precipitation)に  
参画することにより実現する。

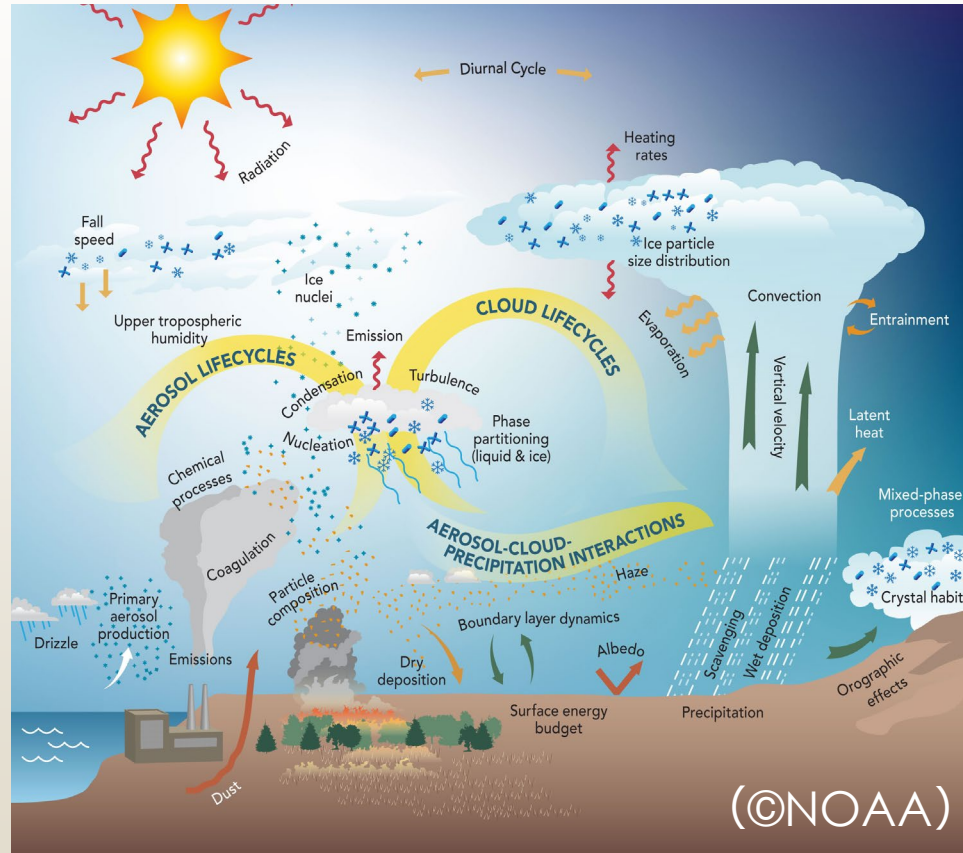
# 目的:気候システムの鍵となる雲と降水相互作用の理解

10

現在

## 各素過程の理解

- 降水の特徴（降水量、ストーム頂、日変化、潜熱）
- 雲の特徴
- 水雲・氷雲の放射特性
- 全球のエアロゾル分布



将来

## プロセス間の相互作用の特徴づけ

- エアロゾル-雲-降水過程の定量的な評価
- 水物質やエアロゾルの広いダイナミックレンジでの観測
  - 各プロセスを結びつける運動学的観測

+ 長期的な変動の監視  
(GPMからの継続性)

TRMMとGPMによる  
降水量の定量化



エアロゾルや雲から降水  
形成までのプロセス

# Ku帯ドップラー降水レーダミッションのコンセプト

11

## ■ 広いダイナミックレンジでの観測

- エアロゾル－雲－降水

- ライダー－雲レーダ－降水レーダ

  - エアロゾル観測（例えばライダー）、雲観測（例えば雲レーダ）は 米国 ACCP機器による

## ■ プロセス間を結びつける運動学的情報

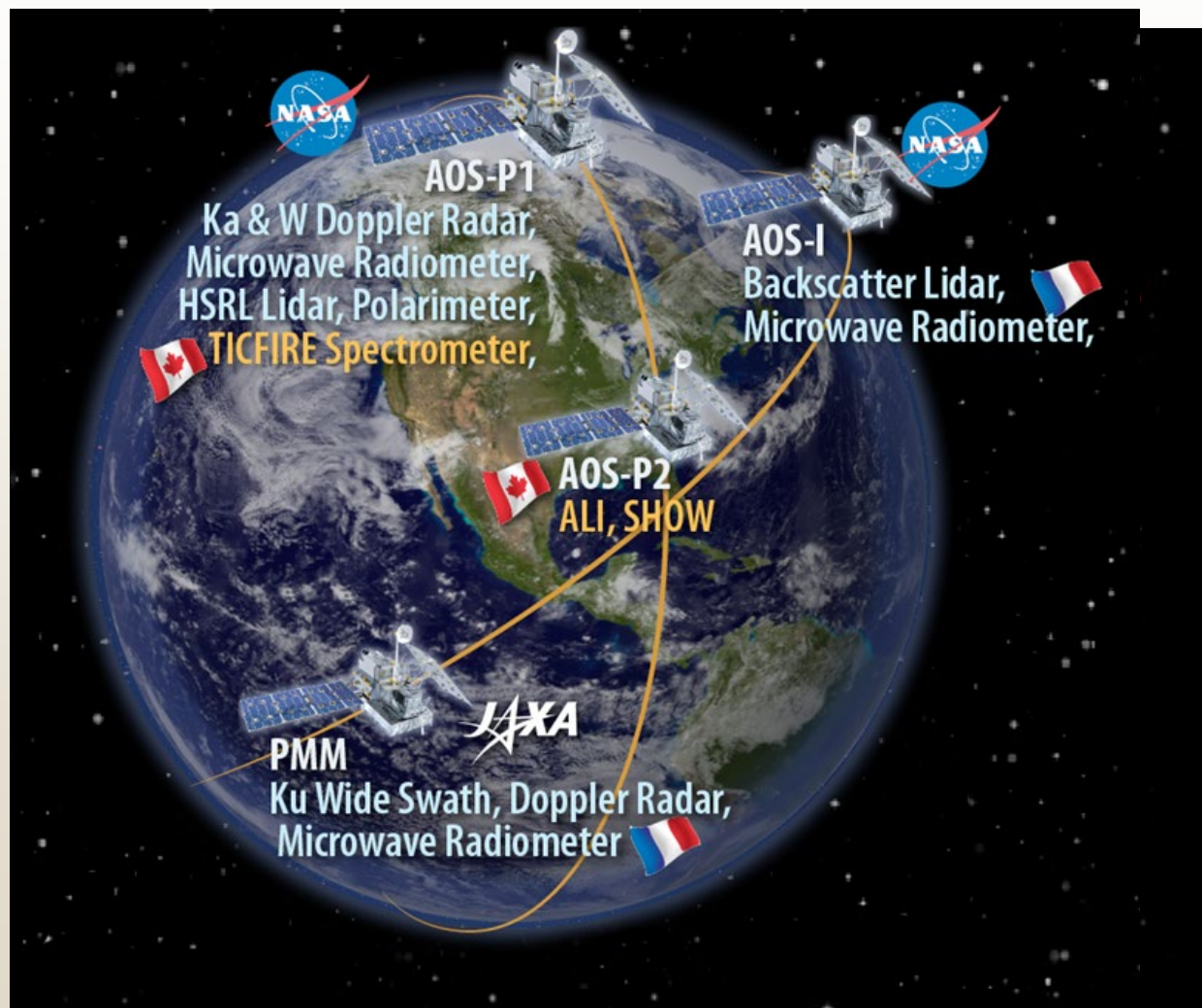
- ドップラー速度観測

## ■ 長期的な変動の監視（GPMからの継続性）

- TRMM/PR, GPM/DPRの走査を継続（ただし、Ka帯レーダは搭載しない）

# NASA AOS ミッション

(AOS: Atmosphere Observing System)



- 極軌道に2機（2030年12月）
  - Ka&W ドップラーレーダ
  - HSRL ライダー
  - 偏光計
  - 赤外分光計（CSA）
- 傾斜軌道に2機（2028年7月）
  - Ku ドップラーレーダ（JAXA）
  - マイクロ波放射計（CNES x 2）
  - 後方散乱ライダー

# KU帯レーダ（KuDPR）と衛星の外観

13

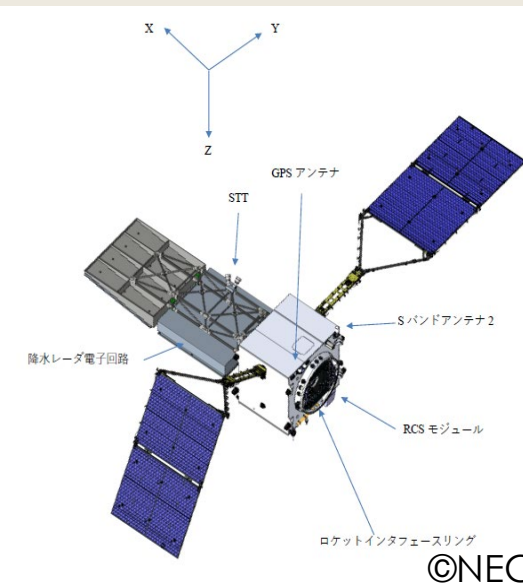
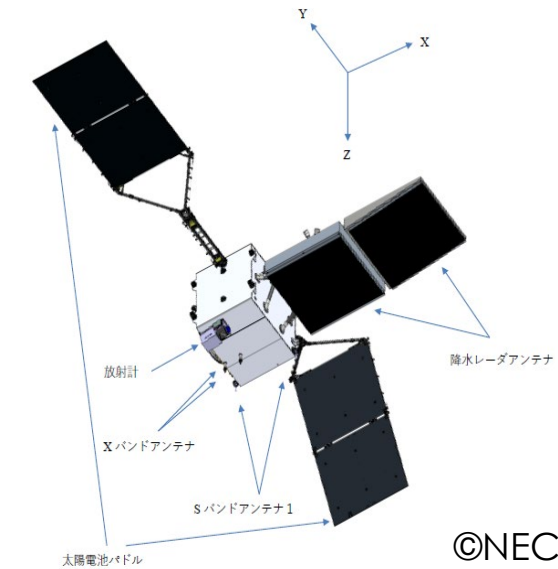
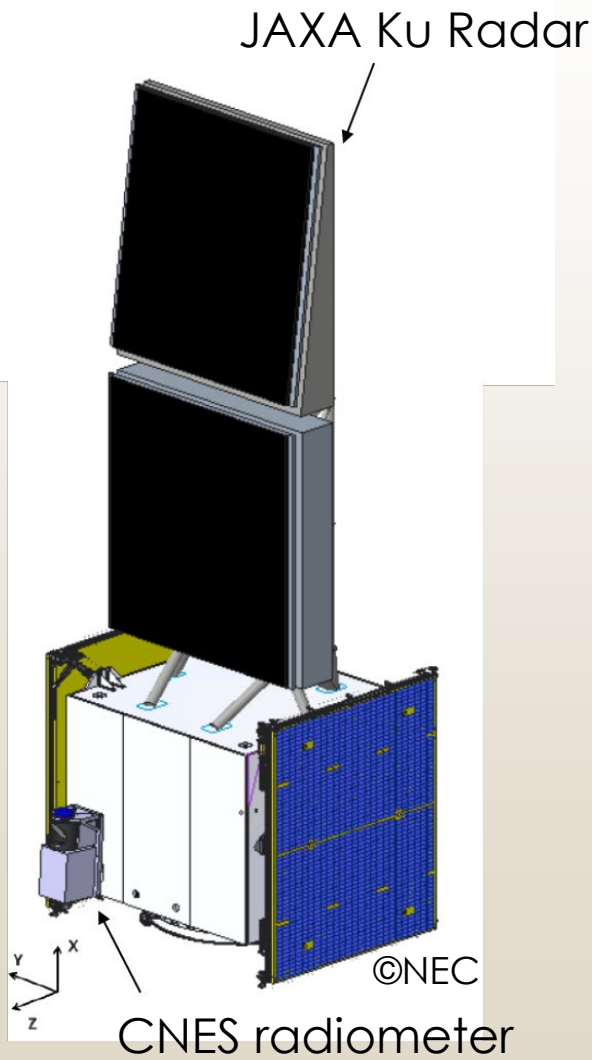
## 人工衛星の主要諸元

Orbit	Inclination	Inclined (55 degrees)
	Altitude	407km
Size	Less than 2.9 x 2.2 x 7.5m (stowed)	
Mass	Less than 2500kg	
Power	1900W (TBC)	
Life (consumables)	5 years after launch	
Observation duty	100%(TBC)	
Mission data transmission	X-band : 220Mbps	
Instruments	Ku radar Microwave radiometer	

## 衛星と機器のインターフェース仕様

	Ku radar	CNES radiometer
Measurement method	Phased-array, DPCA	Scanning
Mass	574kg(Maximum)	48kg (Maximum)
Power consumption	730W (Maximum)	84 W (Maximum)
Data rate	7Mbps	150kbps

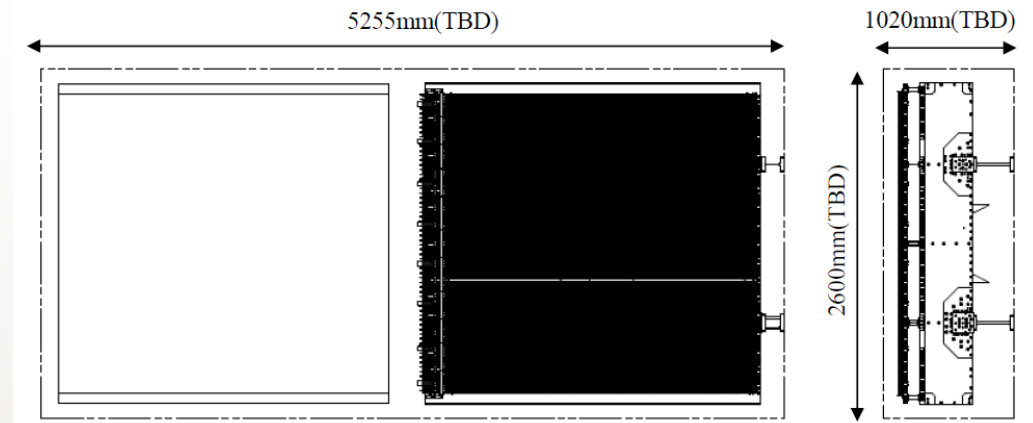
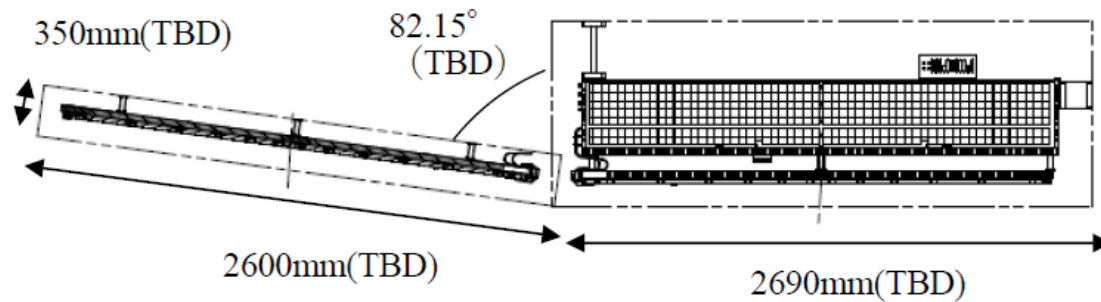
DPCA (displaced phase center antenna)



# Ku帯ドップラー降水レーダ (KuDPR) の概要

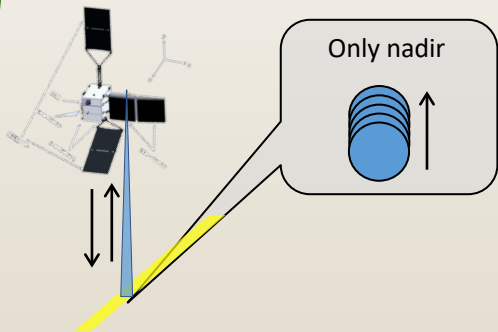
14

## Ku帯ドップラーレーダ外観

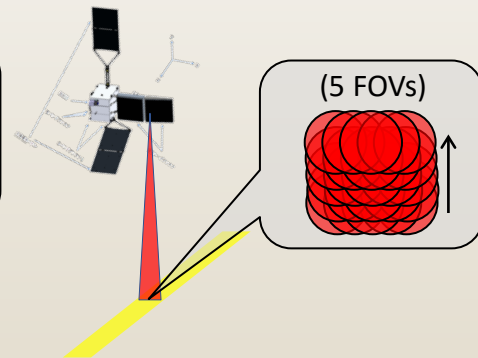


走査方式(後で詳述)

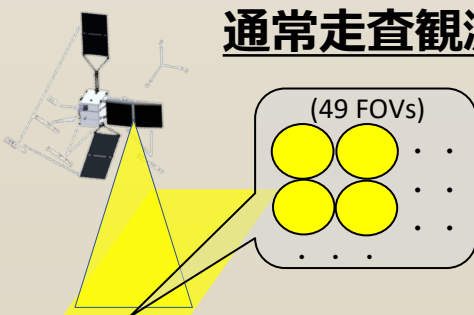
### ドップラー速度観測



### 高密度観測



### 通常走査観測



## ユーザー要求に基づくレーダ性能要求のまとめ

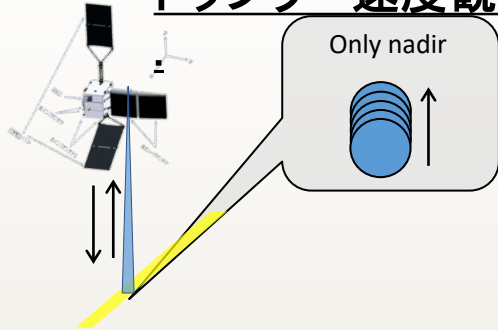
	Doppler	Dense sampling	Normal scan
Doppler velocity	2 m/s	N/A	N/A
Sensitivity	4 dBZ	6 dBZ	12 dBZ
Resolution	500 m vertical 5 km horizontal	500 m vertical 5 km horizontal	250 m vertical 5 km horizontal
Observation height	15 km	18 km	18 km

フィージビリティスタディ後のレーダの性能  
解析結果を次のスライドに示す。

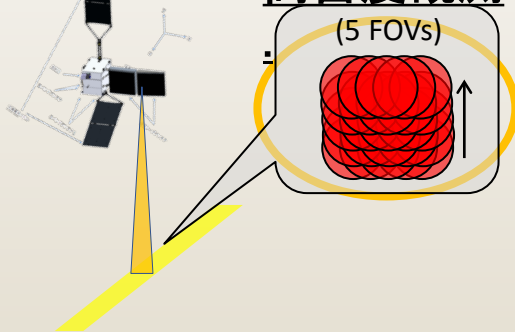
# 走査方式

15

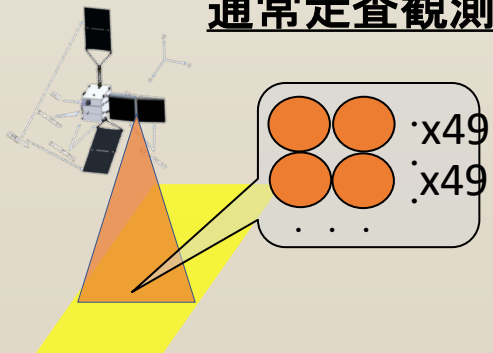
## ドップラー速度観測



## 高密度観測

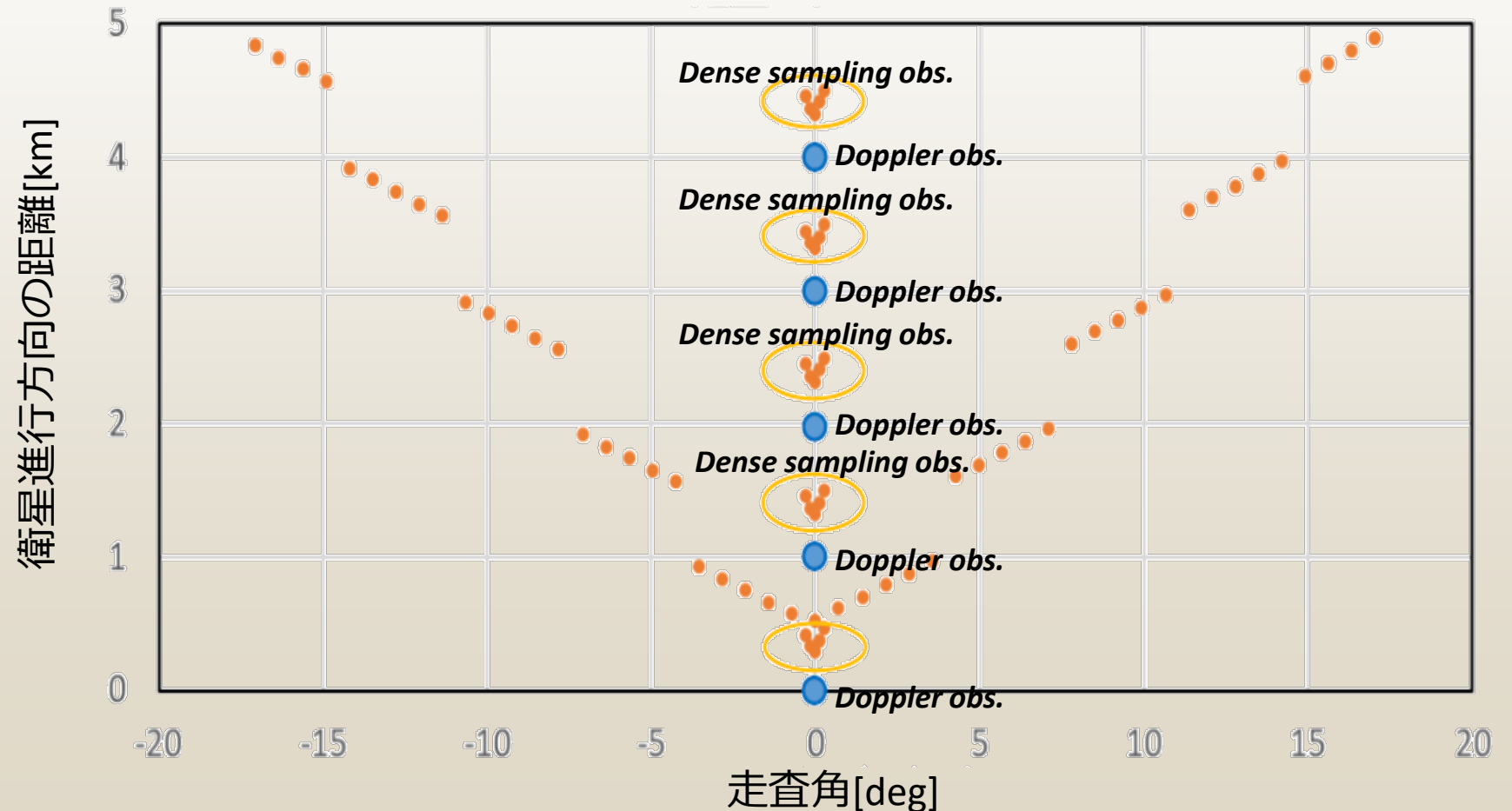


## 通常走査観測



以下を約0.7秒で実施 (=衛星移動距離5 km)

1. 進行方向に1km毎にドップラー速度観測 (直下のみ)
2. ドップラ速度観測に続いて直下付近での高密度観測 (5 ビーム)
3. 49アングルビンの通常観測



# レーダの主要諸元

16

Antenna Size	Along-Track	m	2.1 × 2		
	Cross-Track	m	2.1		
Measurement Mode		-	Doppler*	Dense	Normal
Doppler Measurement Accuracy (assuming no errors by the satellite motion, with uniform precipitation)		m/s	0.4 @S/N=10dB (Z=19.26dBZ) 0.24 @S/N=20dB (Z=29.26dBZ)	DPCA (displaced phase center antenna)	
Spatial Resolution @Nadir & 407km	Along-Track	km	5.0	5.0	5.0
	Cross-Track	km	5.0	5.0	5.0
Spatial Sampling @407km	Along-Track	km	1.0	1.0	5.0
	Cross-Track	km	No Scan	1.0	5.0
Range Resolution		m	500	500	250
Range Sampling		m	250	250	125
Swath @407km		km	No Scan	9	255
Observation Height		km	17**	19	19
Transmit Pulse Width		μs	3.2	3.2	1.6
Zmin @407km	@Nadir	dBZ	9.26	9.26	15.28
Zs	@Nadir	dBZ	3.8	5.61	11.63
Peak Transmit Power		W	2,907 (TRM 50Wmax)		

DPRと同じ

DPRと同じ

DPRと同じ

高感度化

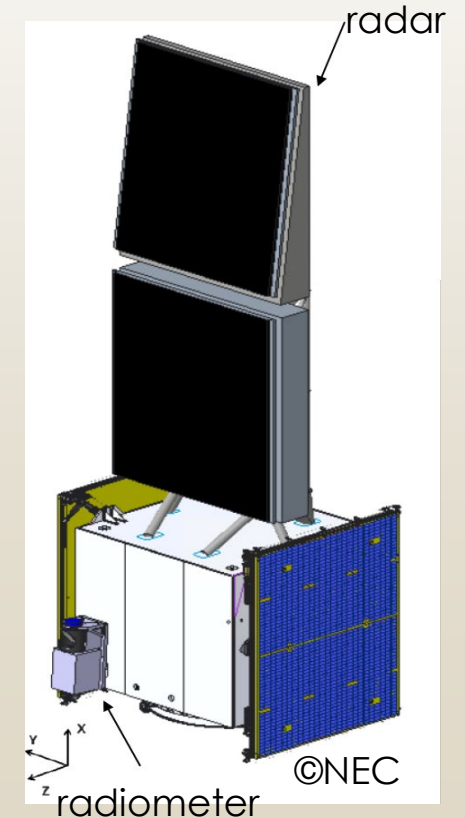
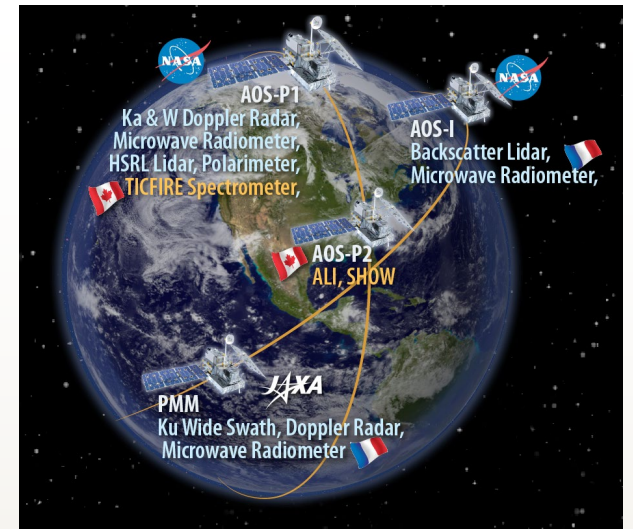
\*Overall performance of Doppler observation including satellite motion etc. will be < 2 m/s.

\*\*Observation height of mirror image is set as 3 km, following the design of TRMM/PR and GPM/DPR

# まとめと今後の計画

17

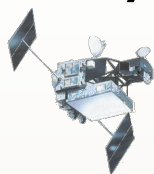
- ▶ KU帯ドップラー降水レーダ (KuDPR)
  - ▶ 傾斜軌道 (軌道傾斜角55度)
  - ▶ GPMのKuPRより10 dB 程度感度向上
  - ▶ ドップラー速度観測( < 2 m/sの精度) (直下観測)
  - ▶ 走査幅は250 km、直下付近は高密度観測
- ▶ 研究開発状況
  - ▶ レーダの仕様については本格開発に向けた詳細な検討へ
  - ▶ アルゴリズム開発の検討
    - ▶ プロダクトリストの検討 (ドップラー速度データ活用等)
    - ▶ 単周波レーダによる降水推定精度の維持の方法
  - ▶ JAXAでの審査会状況
    - ▶ ミッション定義審査 MDR (mission definition review) 2021年10月
    - ▶ システム要求審査 SRR (system requirement review) 2022年6月
    - ▶ NASAMCR (Mission Concept Review) 2022年5月



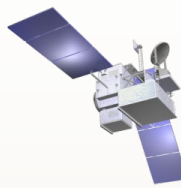
# 将来降水観測レーダミッションのロードマップのイメージ (JAXA提供)



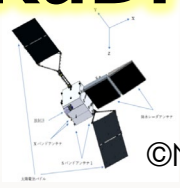
TRMM/PR



GPM/DPR



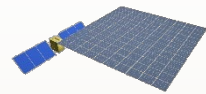
KuDPR



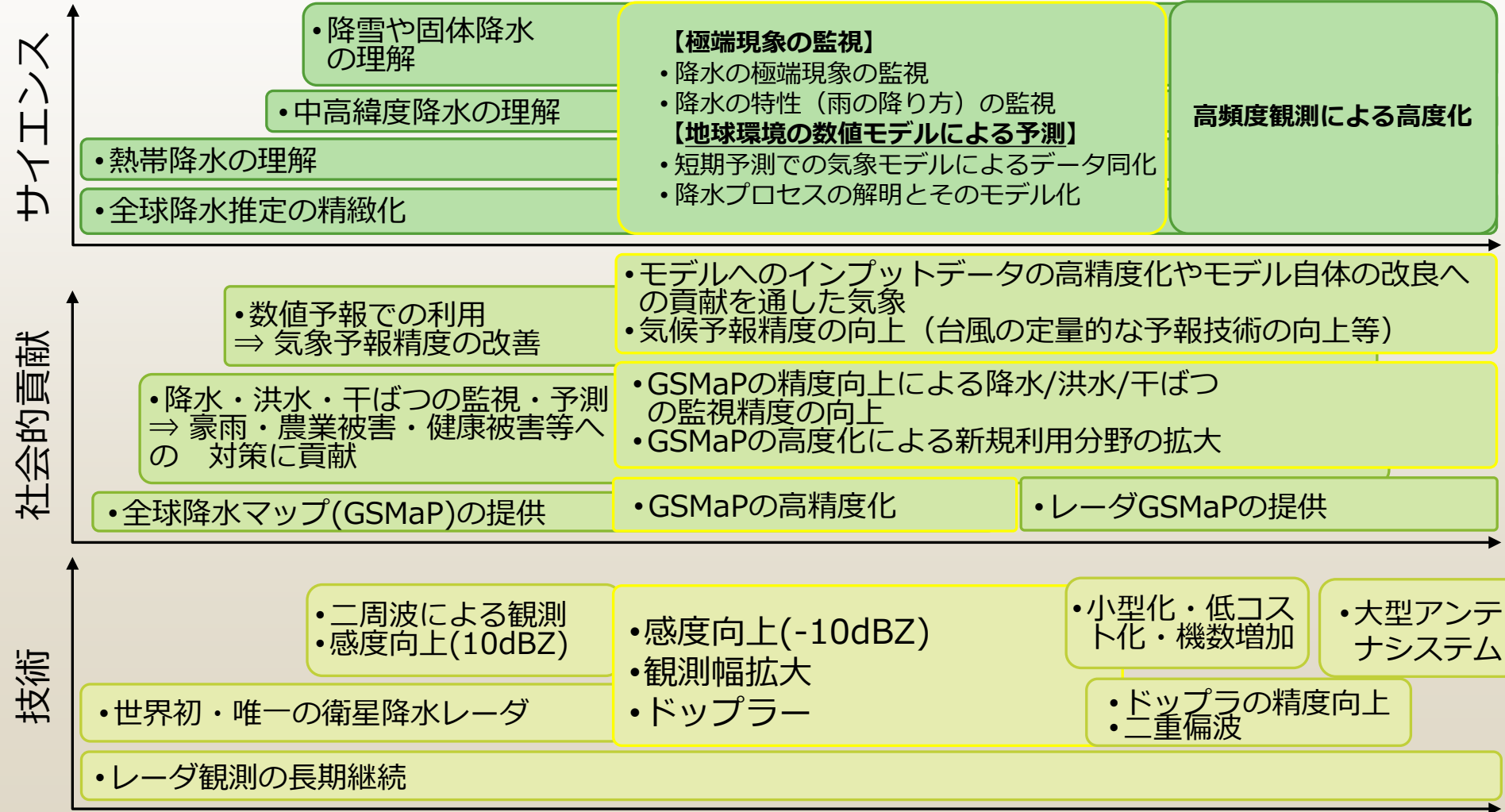
©NEC



小型降水コンスレーション



静止降水レーダ

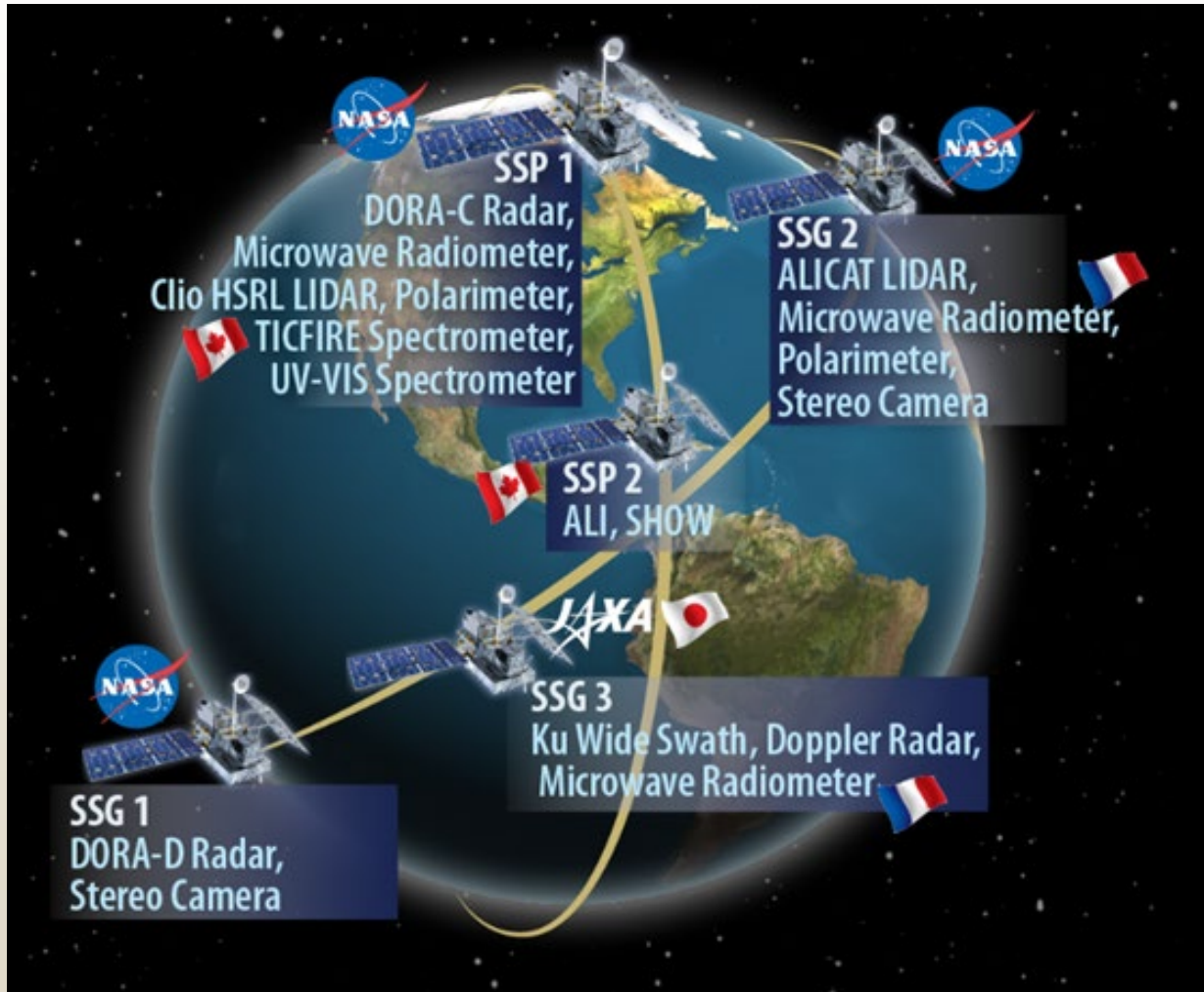




# NASA AOS ミッション (2021前半くらい)

(AOS: Atmosphere Observing System)

20



## ■ 極軌道に2機

- Ka&W ドップラーレーダ
- HSRL ライダー
- 偏光計
- 赤外分光計 (CSA)
- 放射計

## ■ 傾斜軌道に3機

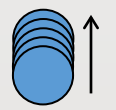
- Ku ドップラーレーダ (JAXA)
- Ku ドップラーレーダ (JPL)
- マイクロ波放射計 (CNES x 2)
- 後方散乱ライダー
- 偏光計
- ステレオカメラ

# 走査方式（続き）

21

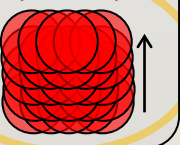
## ドップラー速度観測

Only nadir

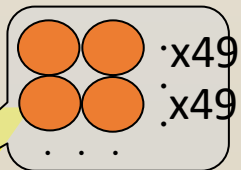


## 高密度観測

(5 FOVs)



## 通常走査観測



衛星進行方向

Doppler

Dense

Normal

通常走査観測の幅は 255 km

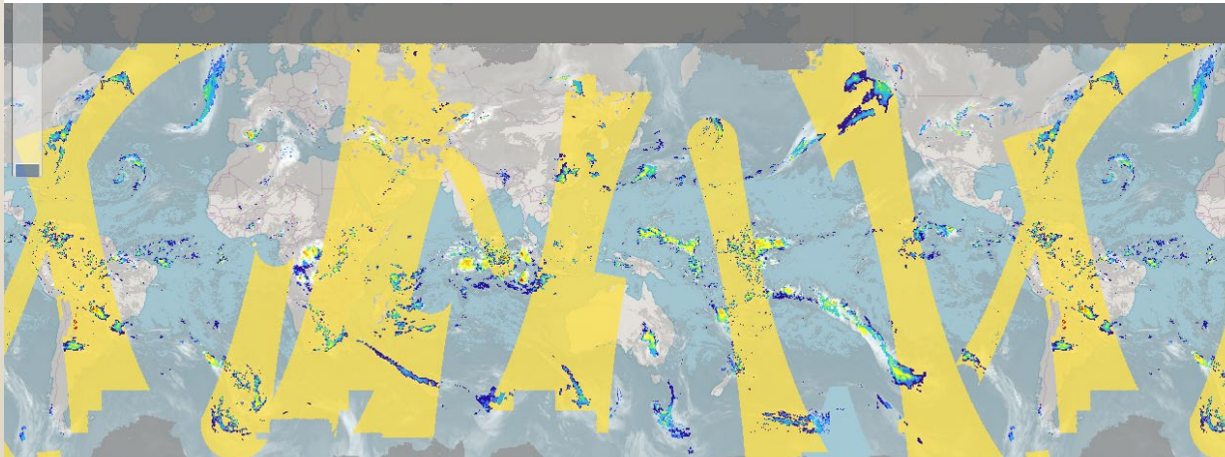
高密度観測の走査幅は9km

Cross track direction

# 可視・赤外センサによる降水推定（静止気象衛星）

22

- 広範囲で、一定間隔でデータが取得できるので**使いやすい**
- 可視画像は、**雲の有無**はわかるが昼間のみ
- 赤外画像は、**雲頂温度（雲が高さ）**を示すので、**降水推定に利用**
  - 積乱雲のように高く発達する雲をイメージすると使えそう。
  - 高いところにあっても雨を降らせない雲も沢山ある。
- **降水推定：経験則**に基づいて推定する
  - 観測温度（輝度温度という）と降水強度を関係づける。
  - ある輝度温度以下に一律に一定の降水強度を与える。
  - AI（ニューラルネット）を使って、他の精度のよいセンサから学習する。
  - 他の**衛星データによる補正**
  - **地上雨量計による補正**



## 静止気象衛星による降水推定例

- 黄色でハッチしたところは、マイクロ波放射計による。
- それ以外が静止気象衛星（赤外画像からの推定）

# マイクロ波放射計の観測原理（放射伝達過程）

23

海上



陸上

