

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）

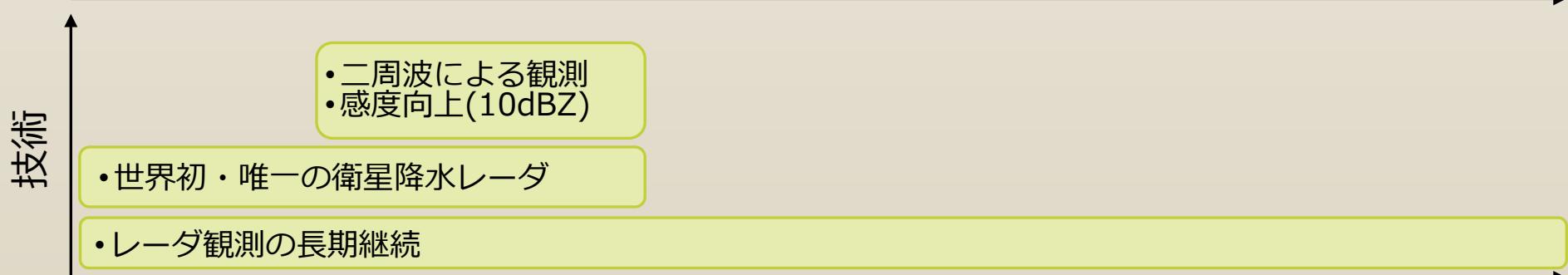
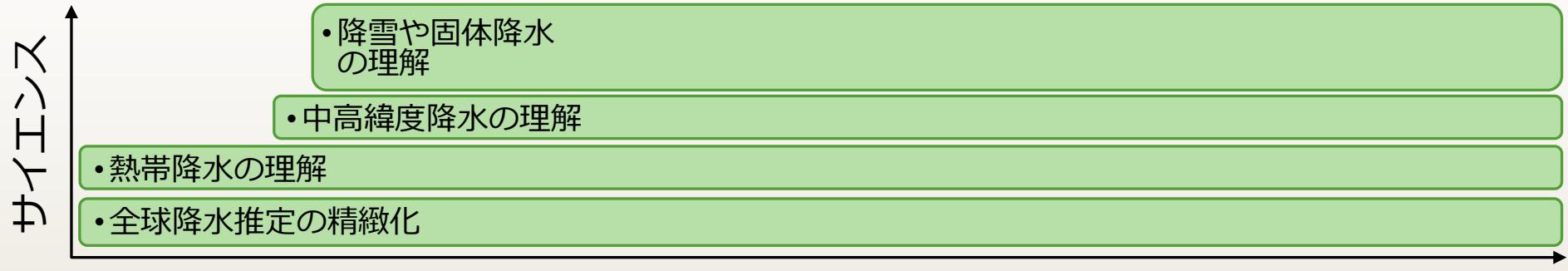
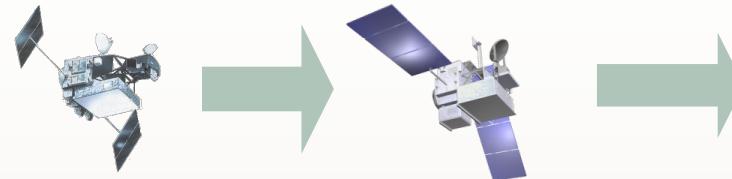
ACCP: Aerosol, Cloud, Convection and Precipitation

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

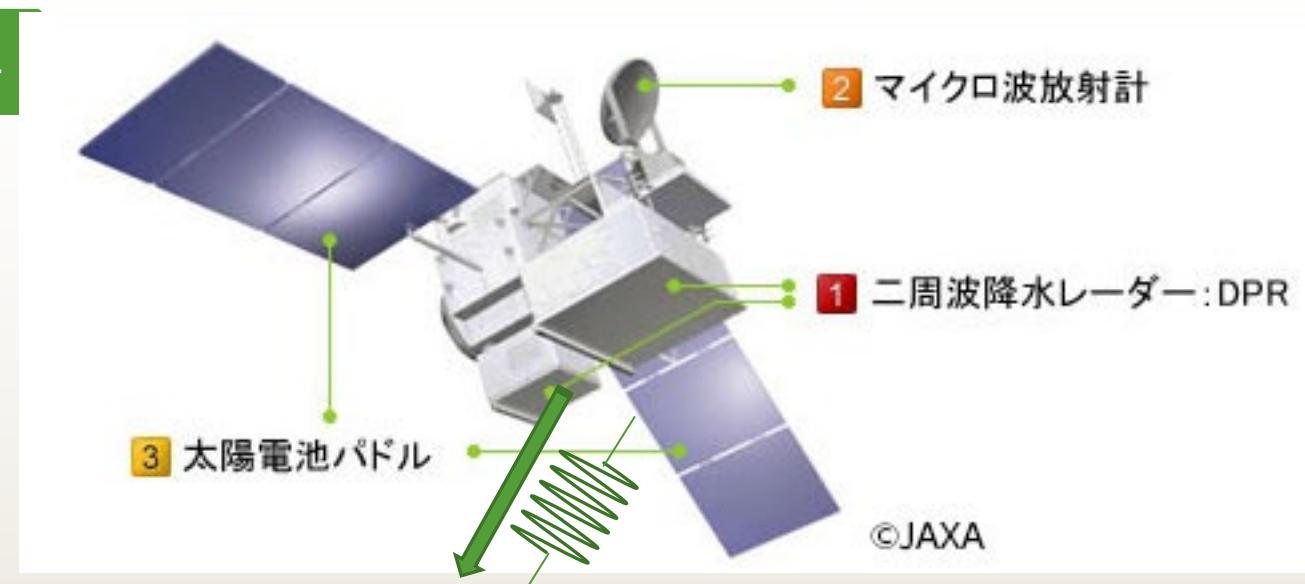
3

TRMM/PR GPM/DPR

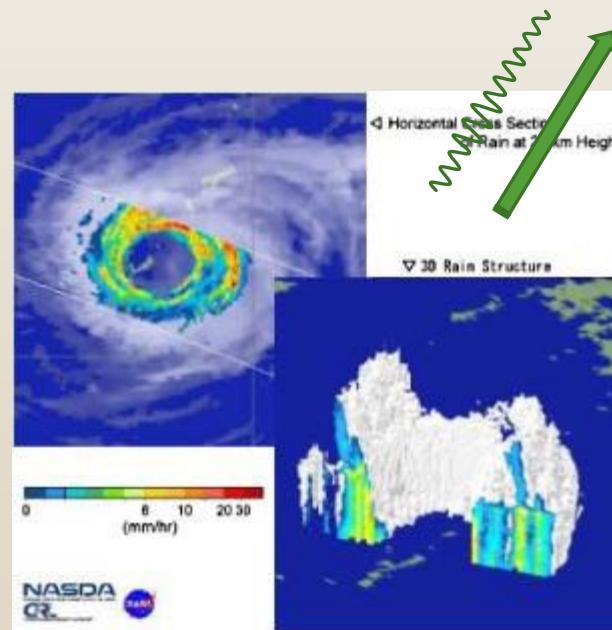


衛星搭載降水観測レーダ (GPM/DPRの例)

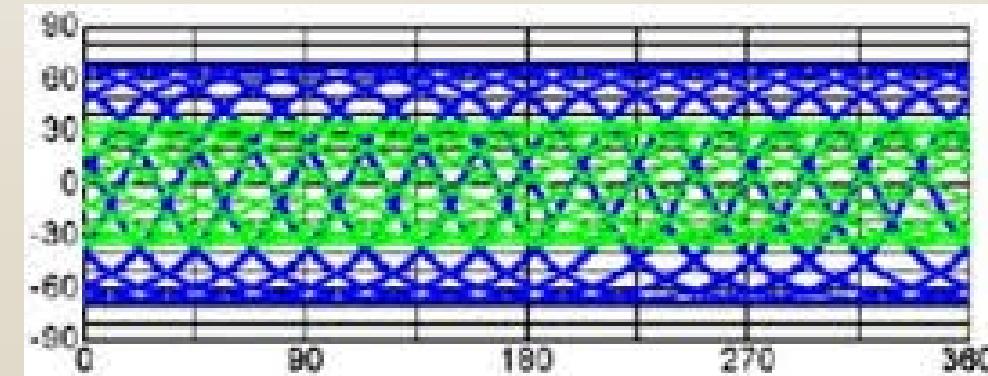
4



- 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

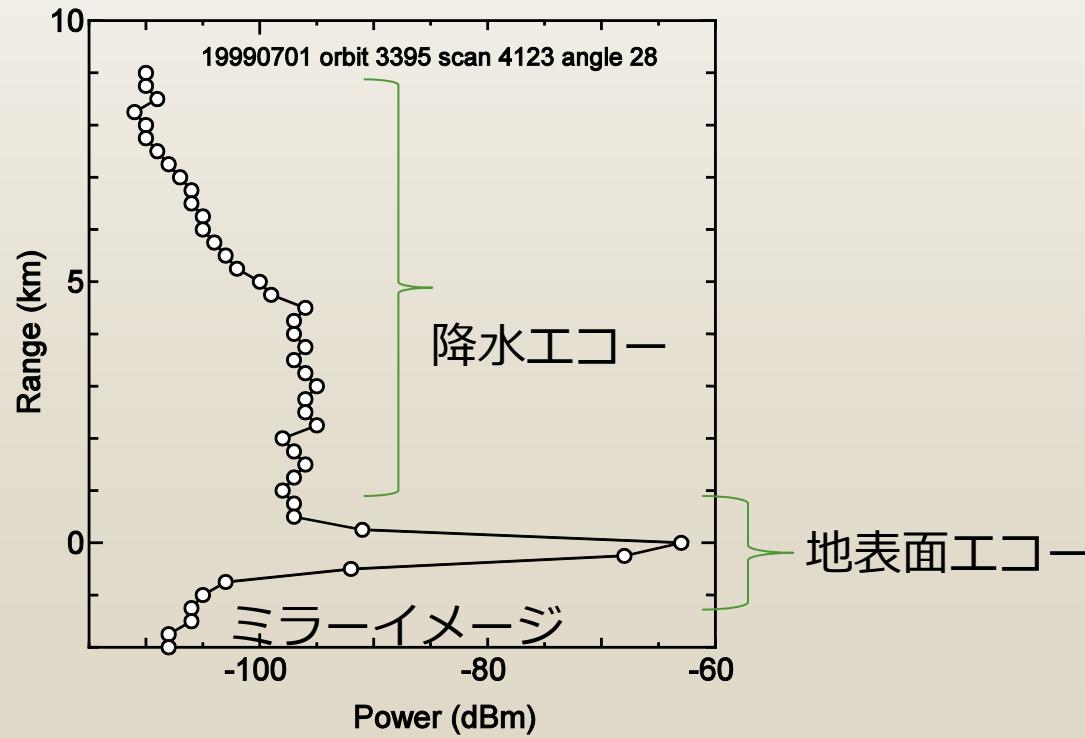
走査幅の問題

5

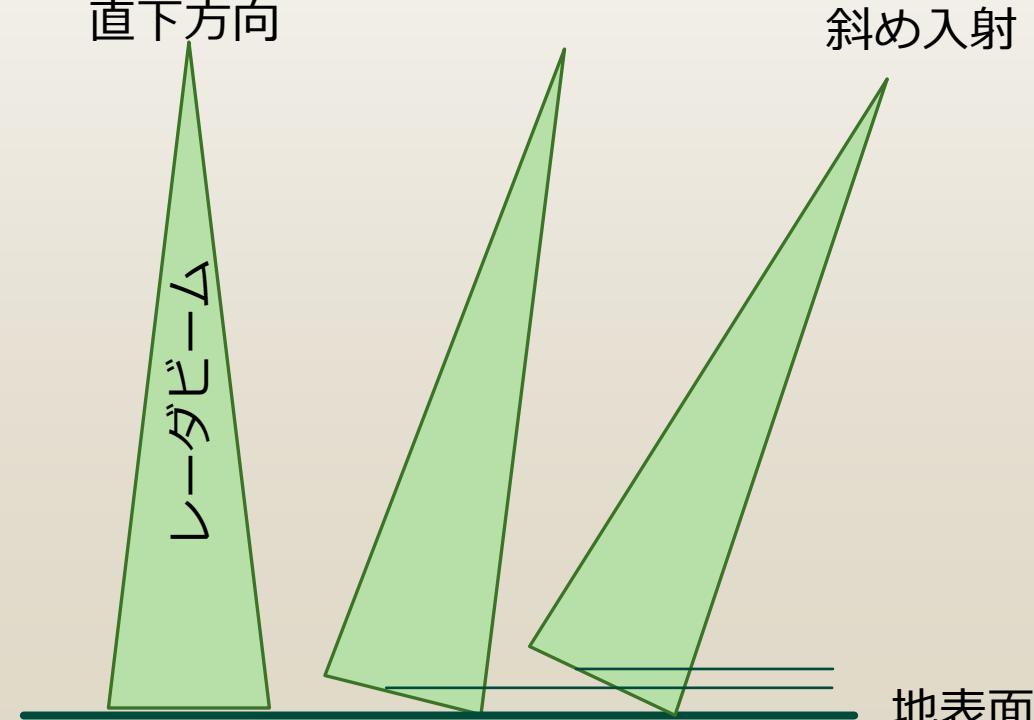
► 典型的な衛星搭載レーダの観測エコープロファイル

- 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と走査幅が限られる。

レーダ観測による鉛直プロファイル



直下方向



GSMaP開発へ：人工衛星搭載センサによる降水推定の比較

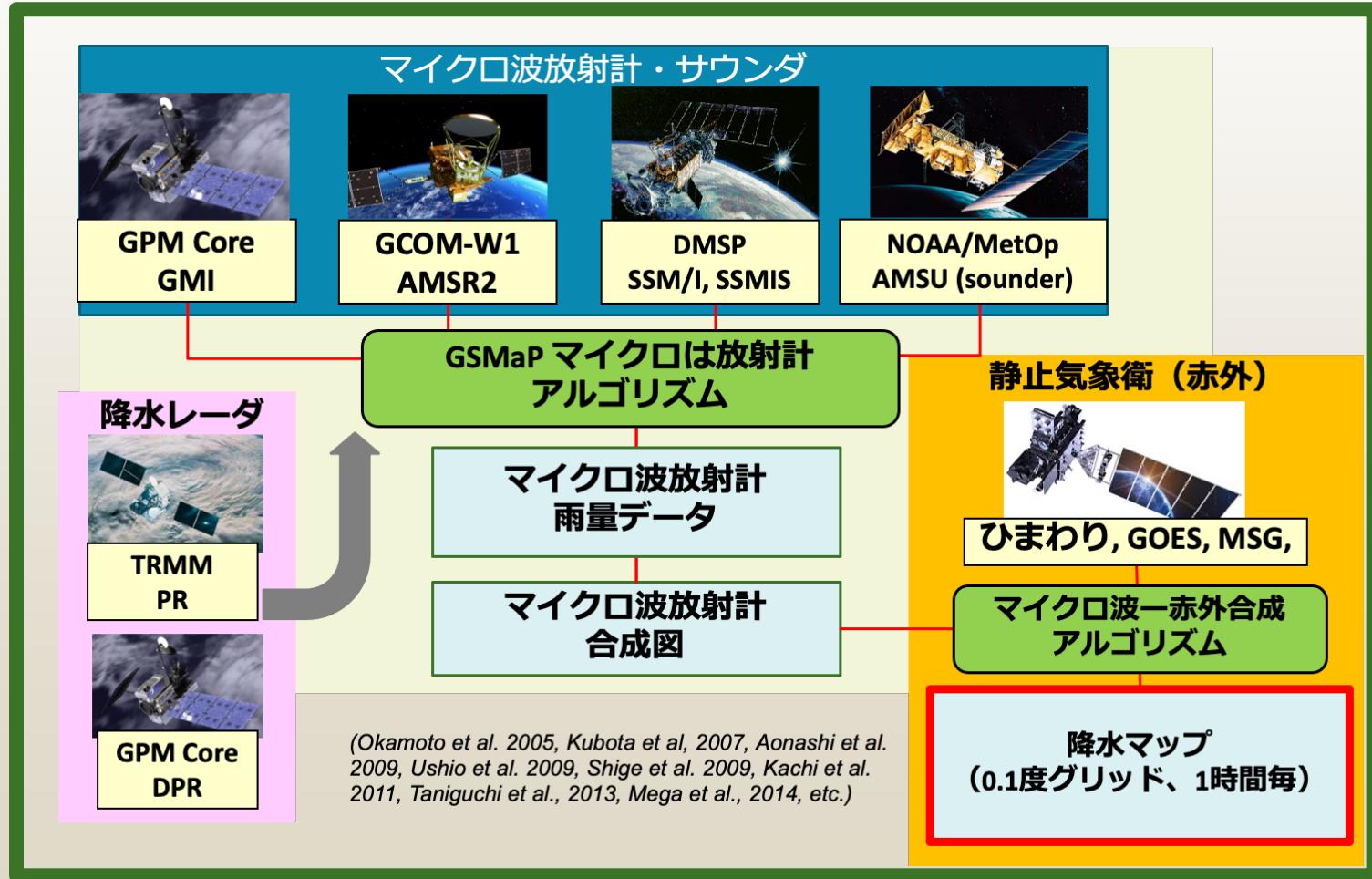
6

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ヤ等のデータで学習 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ヤ	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

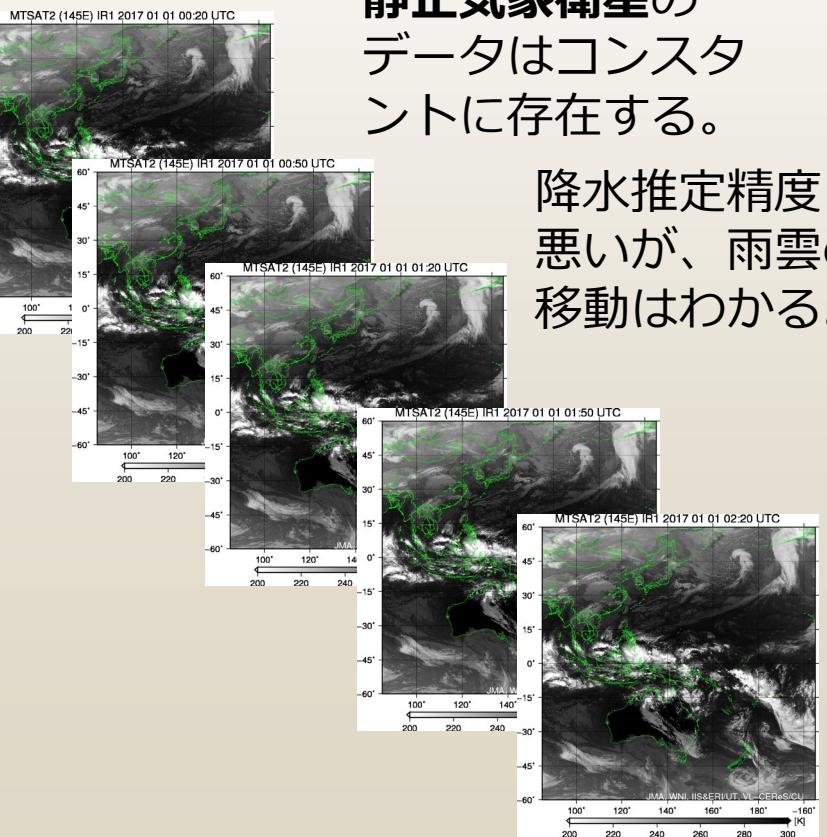
GSMaPの作成

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

背景

9

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。

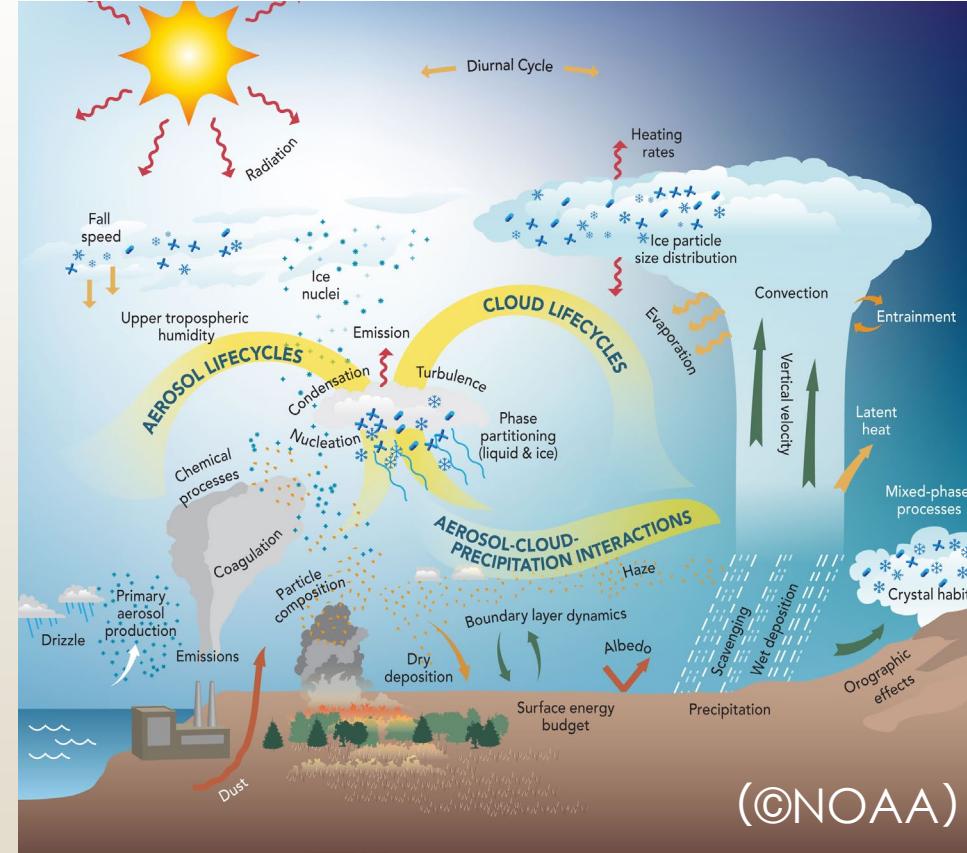
目的:気候システムの鍵となる雲と降水相互作用の理解

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



TRMMとGPMによる
降水量の定量化

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)



エアロゾルや雲から降水形成までのプロセス

▶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-雲レーダー-降水レーダー

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

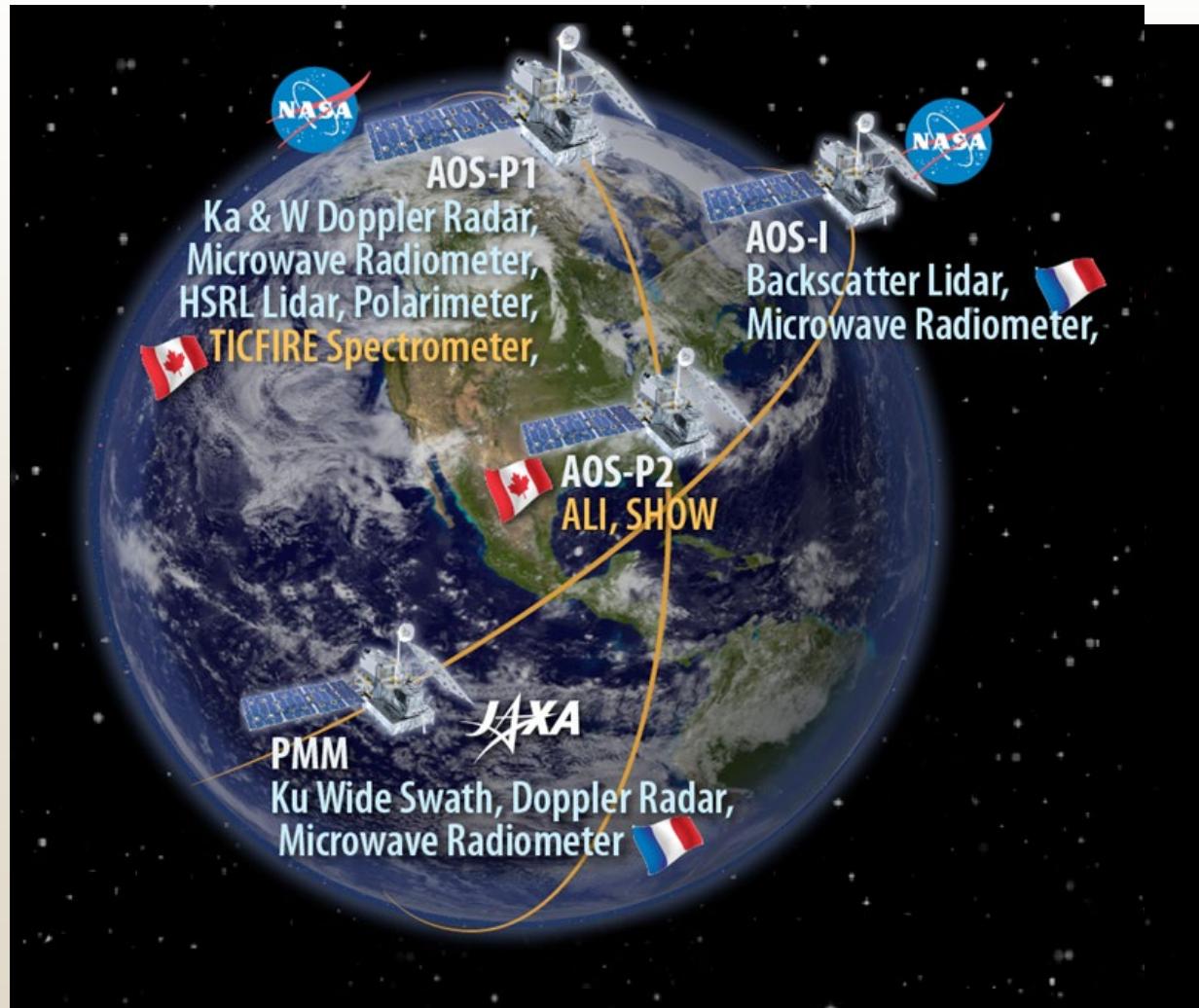
▶プロセス間を結びつける運動学的情報

- ▶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帯レーダーは搭載しない）

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

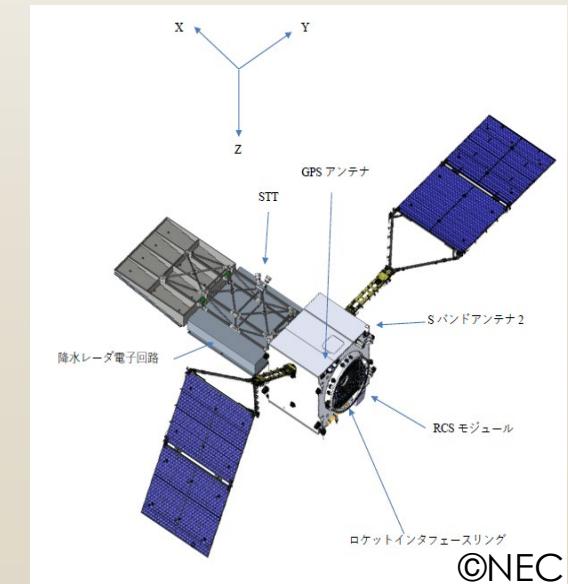
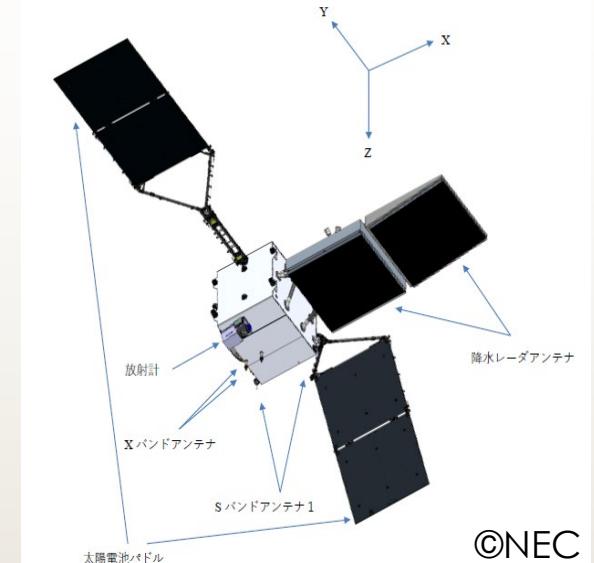
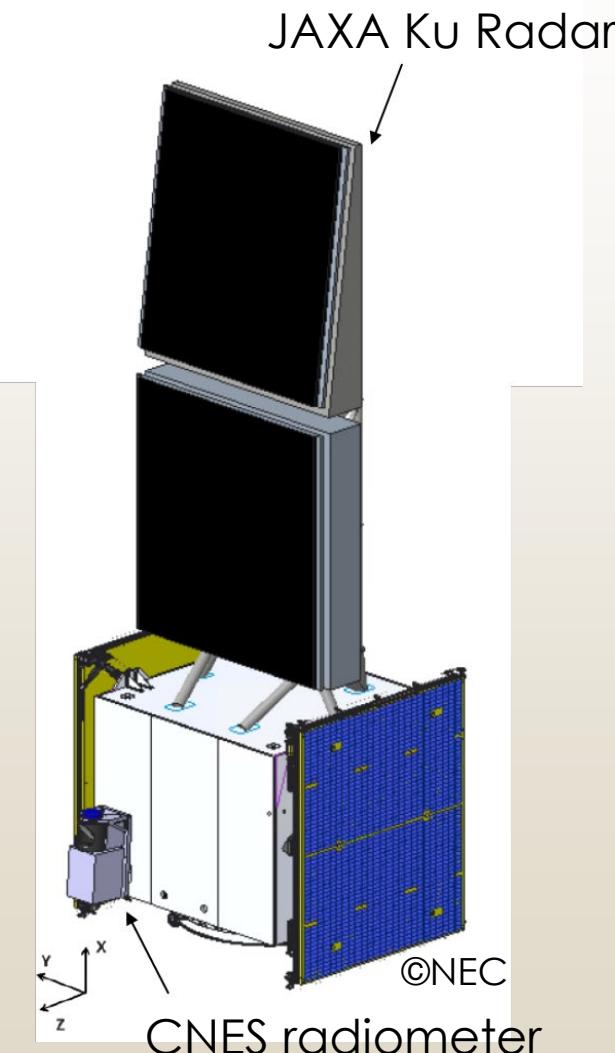
人工衛星の主要諸元

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

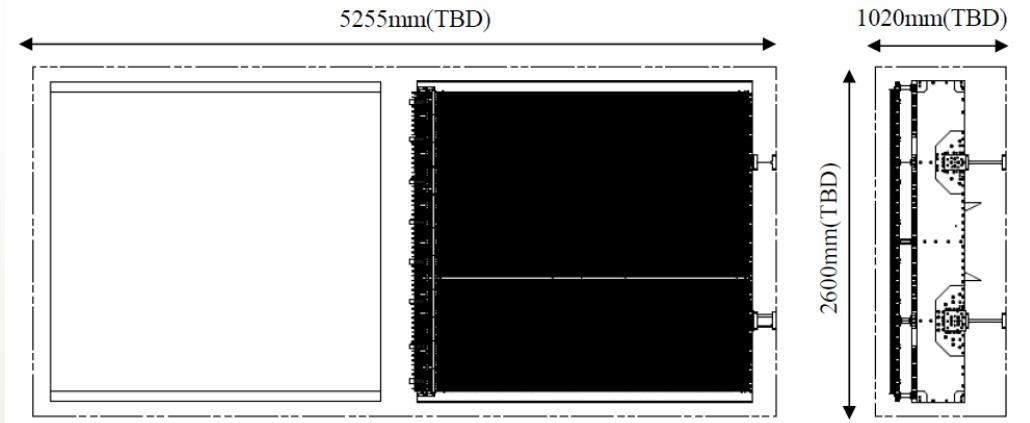
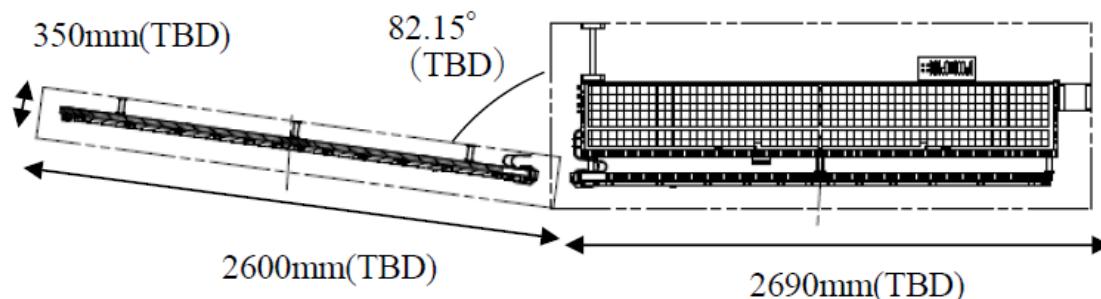
DPCA (displaced phase center antenna)



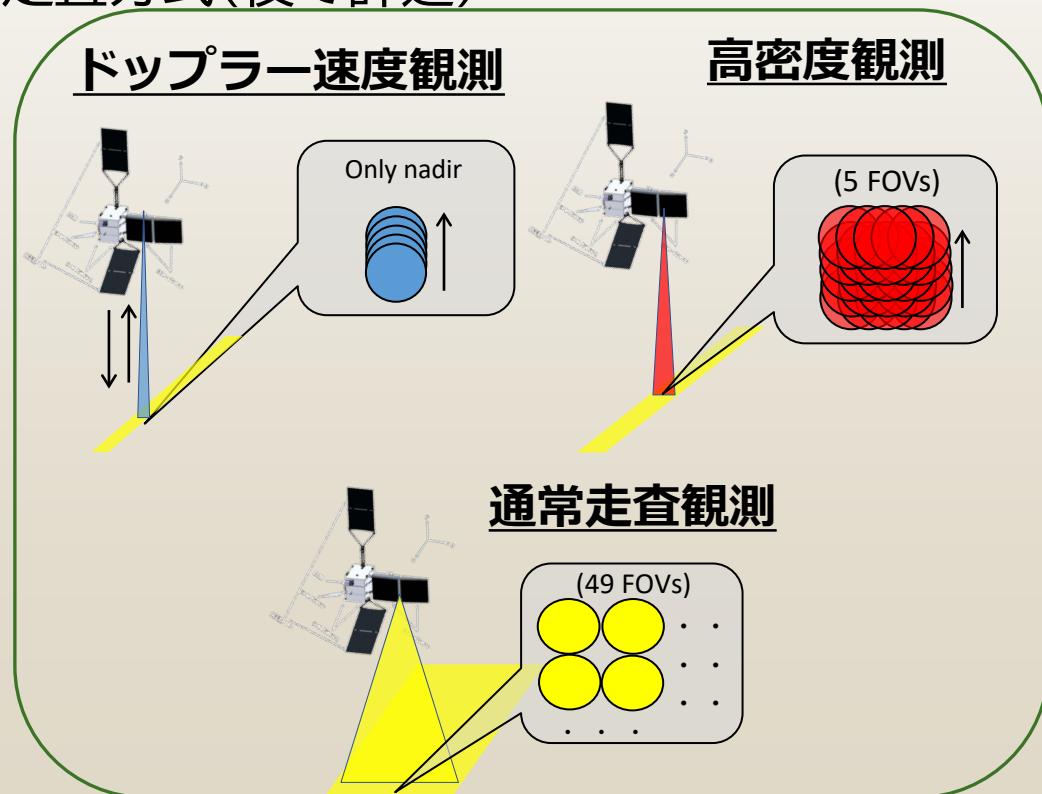
Ku帯ドップラーレーダ (KuDPR) の概要

14

Ku帯ドップラーレーダ外観



走査方式(後で詳述)



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。

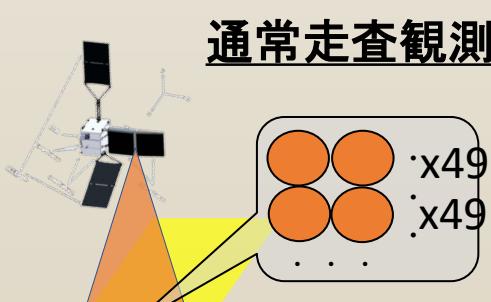
ドップラー速度観測



高密度觀測

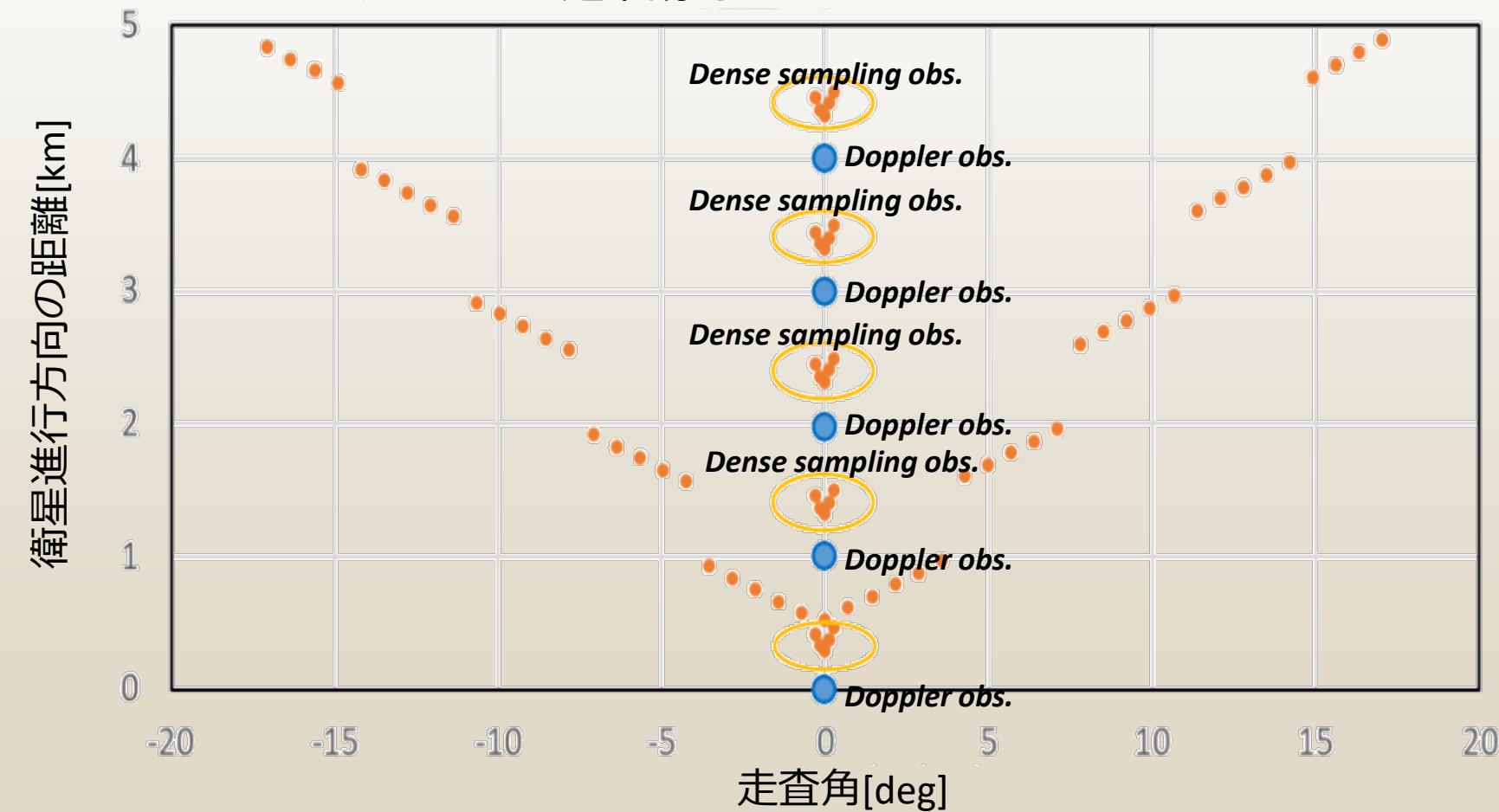


通常走査観測



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	DPRと同じ
Range Sampling	m	250	250	125	DPRと同じ
Swath @407km	km	No Scan	9	255	DPRと同じ
Observation Height	km	17**	19	19	
Transmit Pulse Width	μ s	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)			

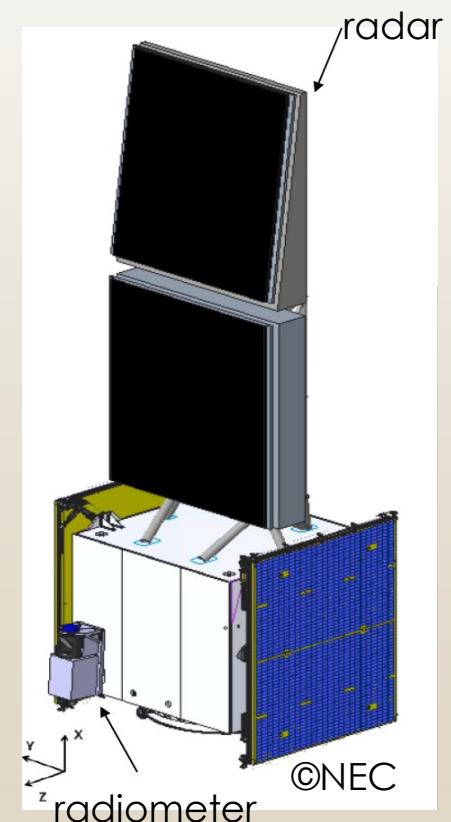
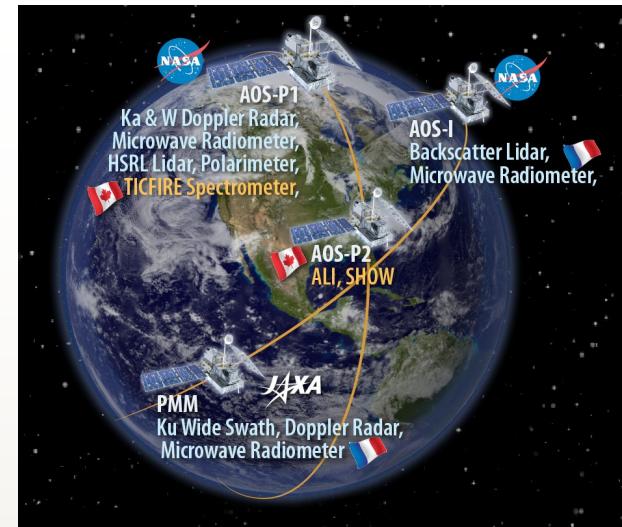
*Overall performance of Doppler observation including satellite motion etc. will be < 2 m/s.

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

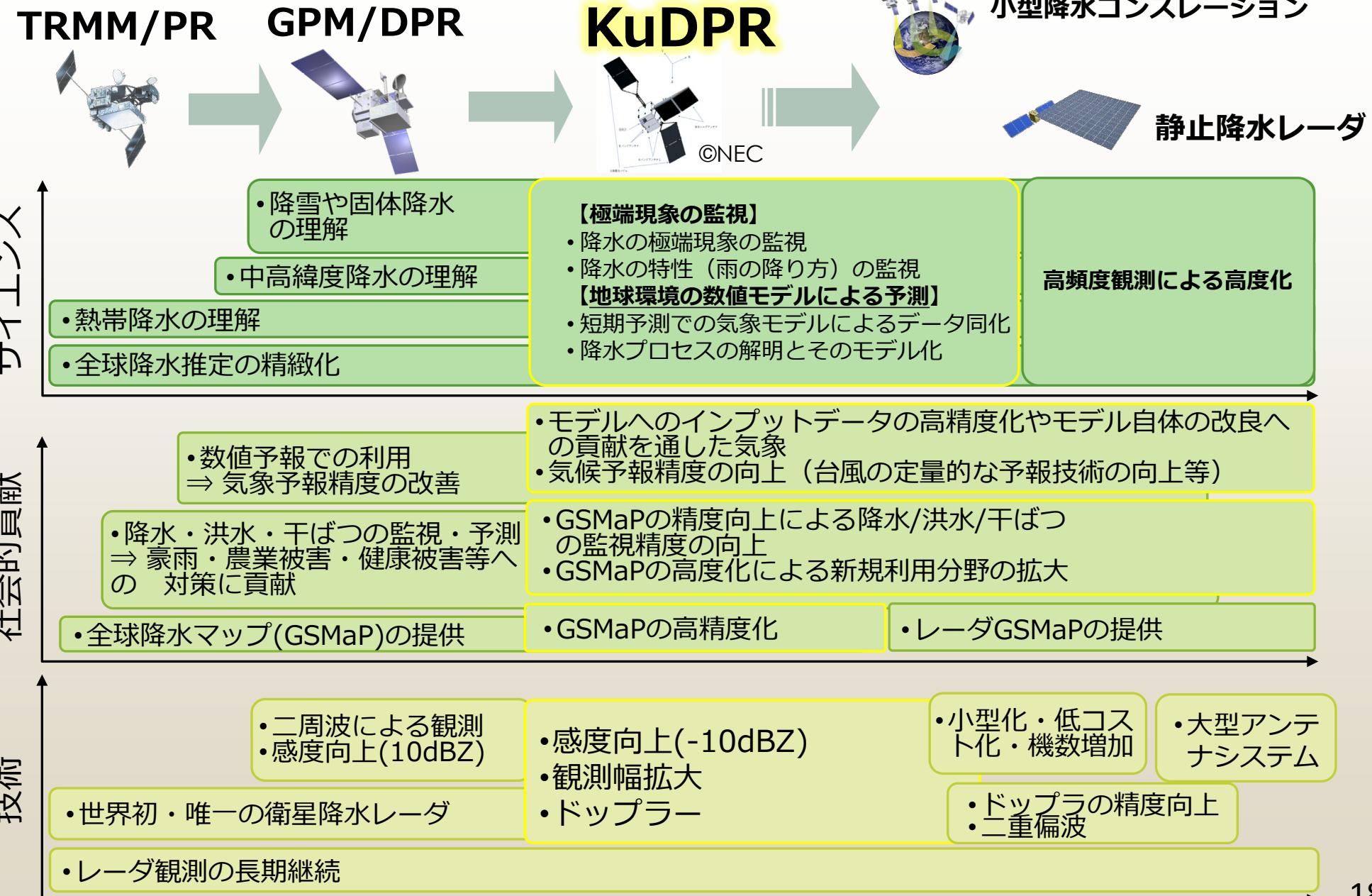
まとめと今後の計画

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

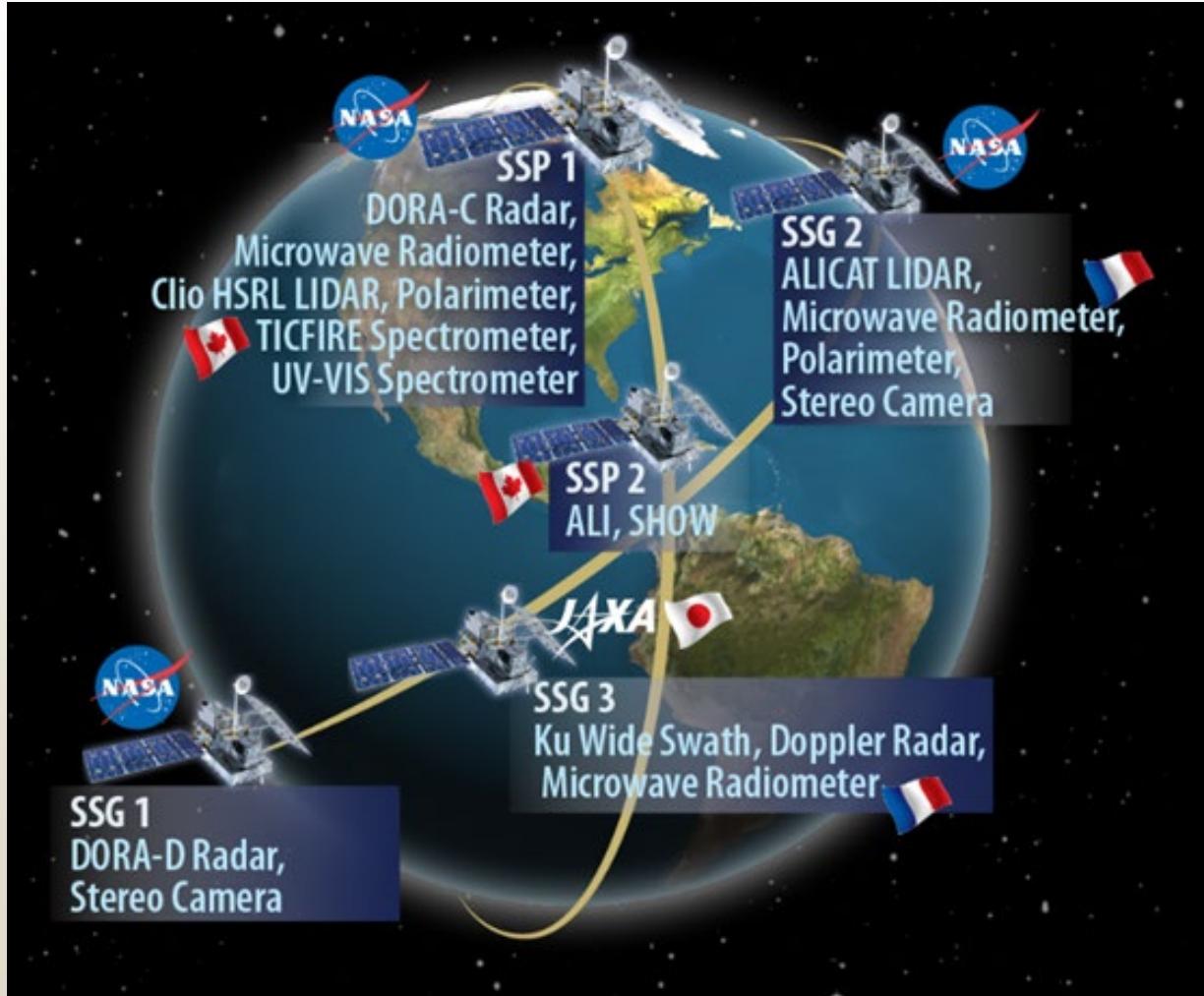


将来降水観測レーダミッションのロードマップのイメージ (JAXA提供)



NASA AOS ミッション (2021前半くらい)

(AOS: Atmosphere Observing System)



▶ 極軌道に2機

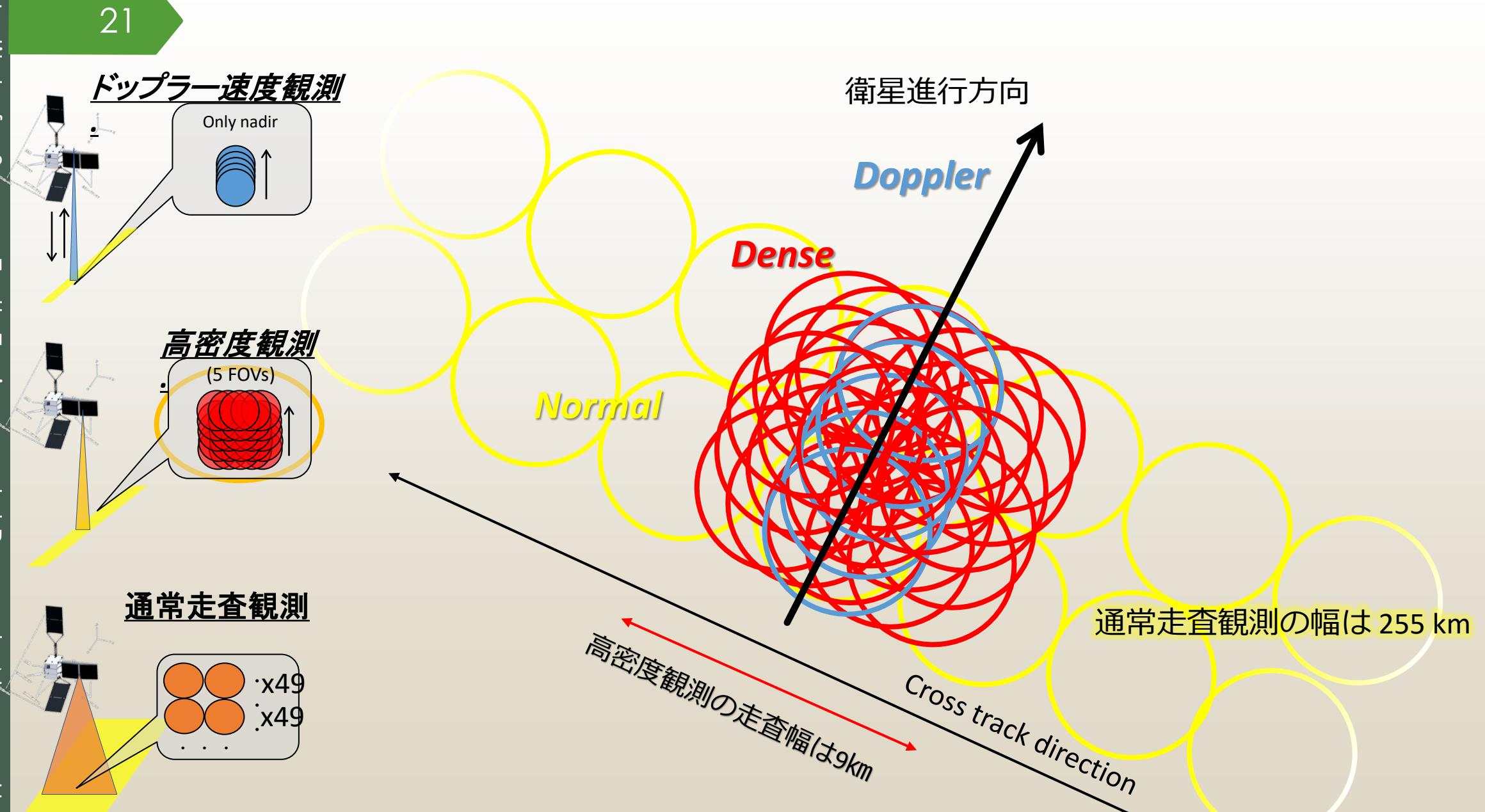
- ▶ Ka&W ドップラーレーダ
- ▶ HSRL ライダー
- ▶ 偏光計
- ▶ 赤外分光計 (CSA)
- ▶ 放射計

▶ 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)

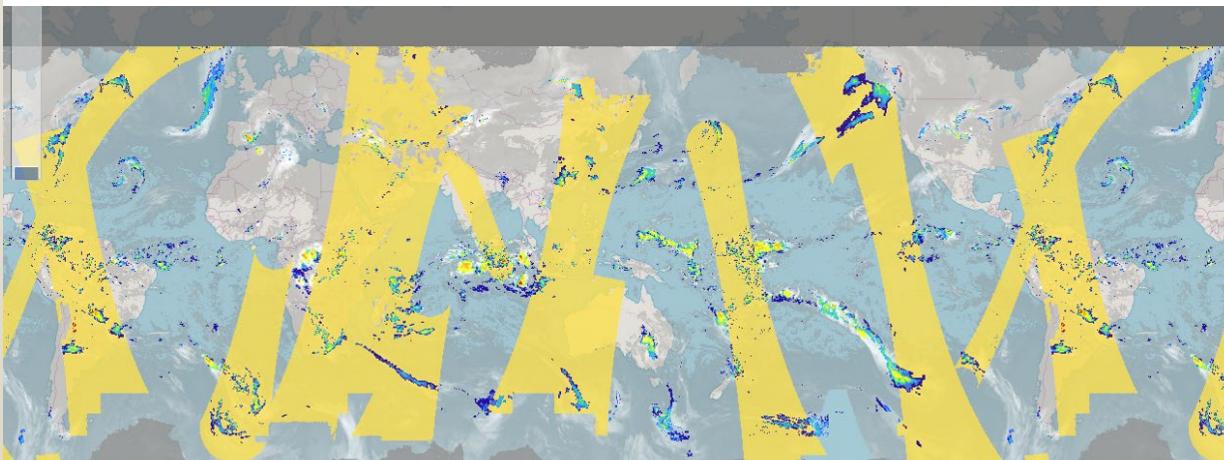
21



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

