



災害時の人工衛星活用ガイドブック

水害版・衛星基礎編

宇宙航空研究開発機構 衛星利用運用センター
国土交通省 水管理・国土保全局 河川計画課

平成30年3月



1. 人工衛星

- 人工衛星の種類（軌道別）
- 地球観測衛星の周回方向
- 各衛星の観測時間
- 【参考】世界各国の地球観測衛星

2. センサ

- 光学センサとレーダセンサ
- レーダセンサ：合成開口レーダ
- レーダセンサ：観測方向

3. ALOS-2

- ALOS-2の概要
- ALOS-2の軌道（昼観測）
- ALOS-2の軌道（夜観測）
- ALOS-2の観測角度
- ALOS-2の観測幅
- 災害判読のためのALOS-2観測機会



4. SAR画像解析

- SAR画像の主な解析手法
- 後方散乱強度・一時期単偏波
- 災害前後の変化
- 後方散乱強度・二時期カラー合成
- SAR画像解析の留意事項
- SAR画像の留意事項
- SARによる観測・解析の特徴

5. COSMO-SkyMed

- COSMO-SkyMedの概要
- 災害判読のためのCOSMO-SkyMed観測機会

人工衛星の種類 (軌道別)

■ 静止軌道

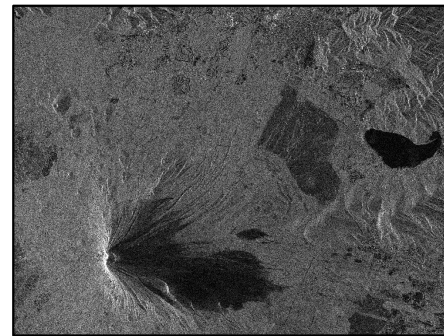
- ✓ 地球の自転と同期して移動する軌道
- ✓ 地上から、いつでも同じ位置に見える
- ✓ 高度約36,000km
- ✓ 通信・放送、気象衛星など



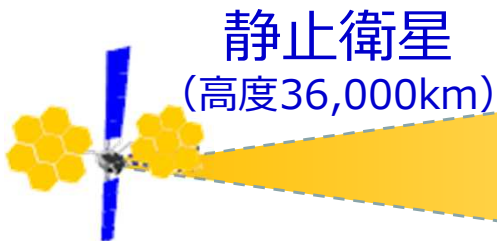
- イリジウム (通信衛星, 米)
- BSAT-3 (放送衛星, 日)
- ひまわり (気象衛星, 日)

■ 地球周回軌道 (極軌道)

- ✓ 地球の周りを周回する軌道
- ✓ 地上のあらゆる場所を通る
- ✓ 地表からの距離が短い (高度数百km)
- ✓ **地球観測衛星**など



- ALOS-2** (日)
- WorldView-4 (米)
- SPOT6 (仏)
- Landsat8 (米)
- COSMO-SkyMed (伊)



地球観測衛星
(高度500~900km)

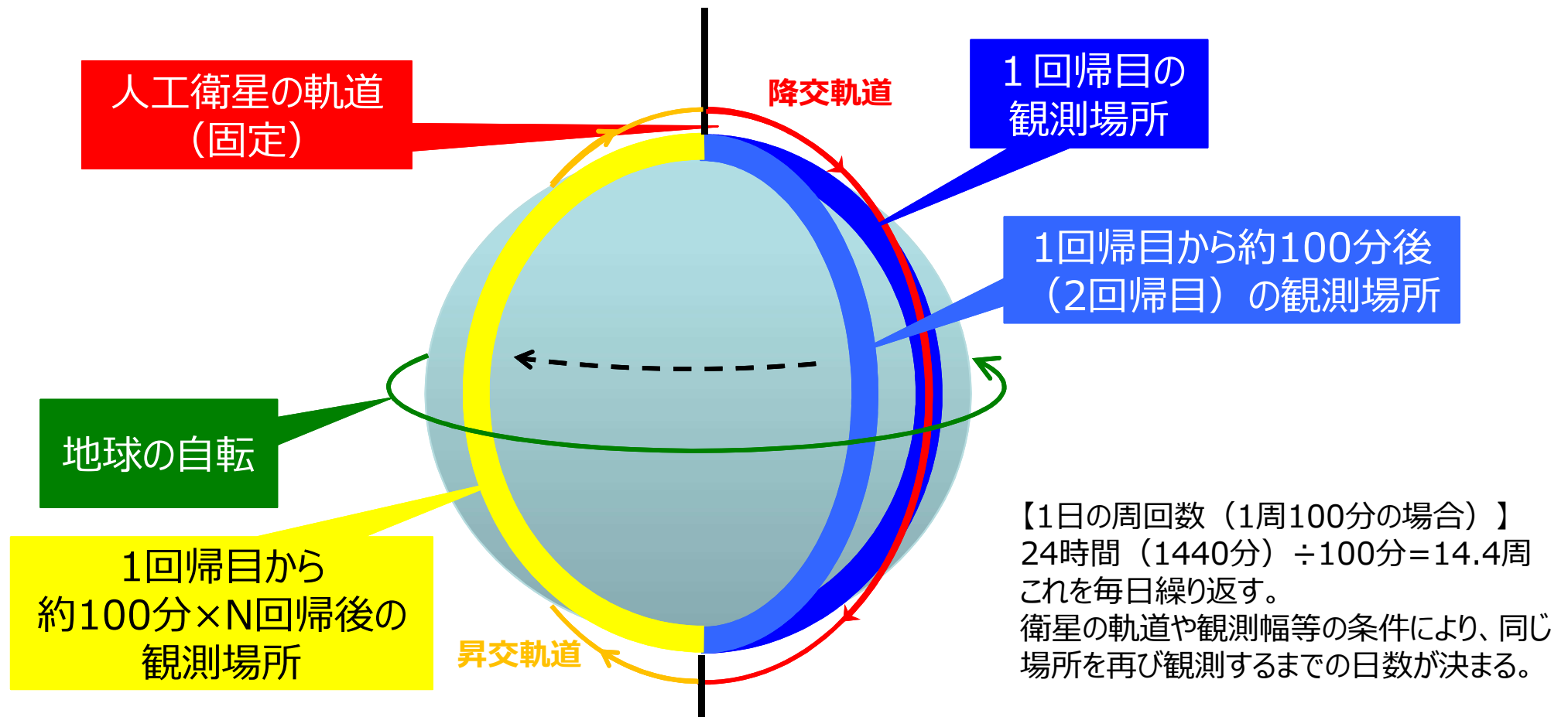
国際宇宙ステーション
(高度400km)

地球
(直径12,756km)

地球観測衛星の周回方向

地球をほぼ南北方向に周回

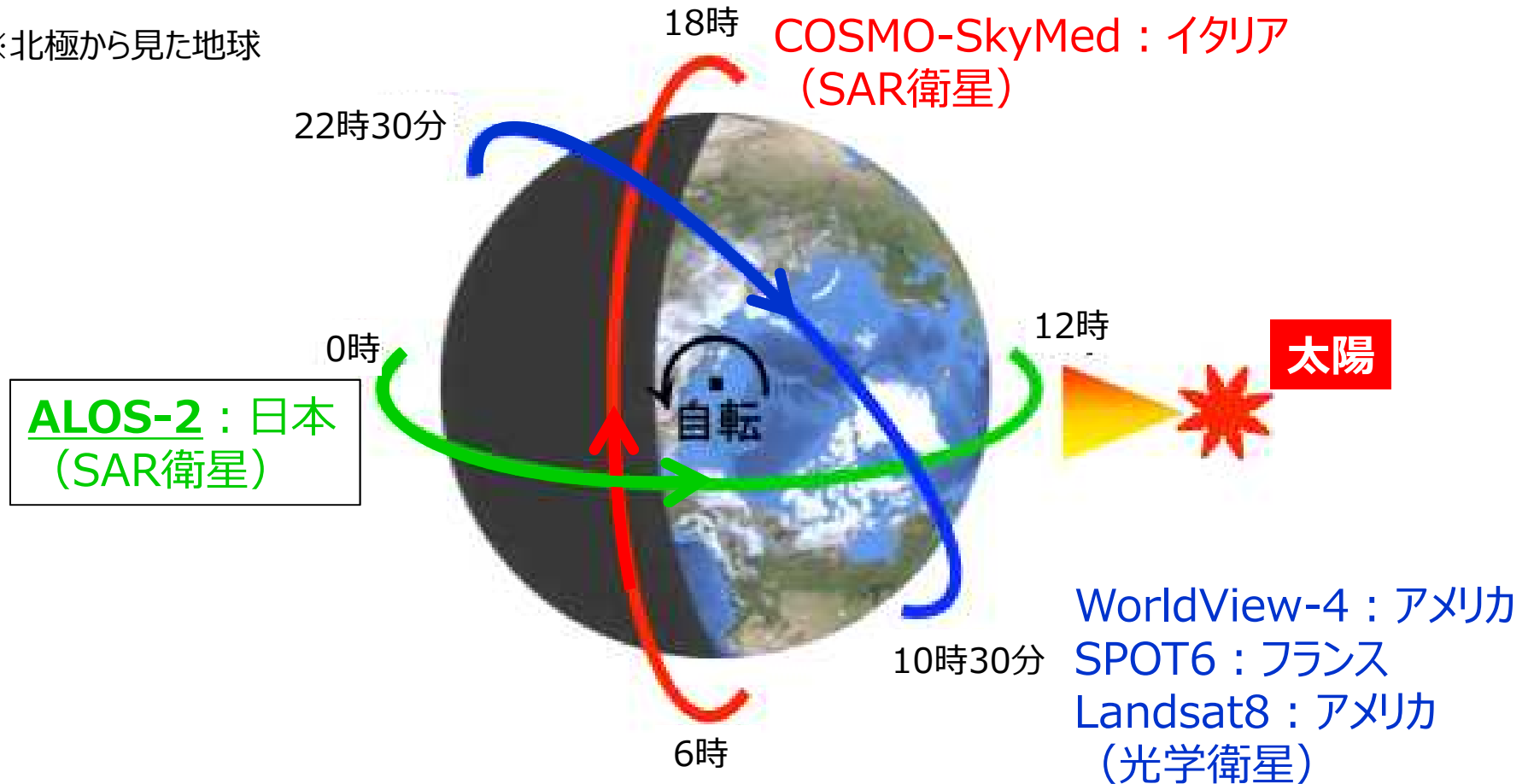
地表から500km～700km上空の宇宙空間にあり、地球をおおよそ100分で1周
その間に地球が自転するため、観測場所が毎回変わる



各衛星の観測時間

- 地球上のどの地域も午前、午後に1度ずつ観測
- ALOS-2の場合、観測する地域の上空を、(その地域の現地時間の) 昼12時頃と夜0時頃に上空を飛ぶように設計
- ALOS-2の場合、昼12時頃には北から南へ通過(降交軌道)、夜0時頃には南から北へ通過(昇交軌道)

※北極から見た地球



【参考】世界各国の地球観測衛星

運用中の代表的なSAR衛星

衛星名	ALOS-2	COSMO-SkyMed ^{※1}	TerraSAR-X (TanDEM-X)	RADARSAT-2
分解能	3m	3m	3m	8m
基数	1基	4基	2基	1基
波長帯 (波長の長さ)	Lバンド (23.5cm)	Xバンド (3.1cm)	Xバンド (3.1cm)	Cバンド (5.7cm)
観測幅	50km	40km	30km	50km
回帰日数	14日	16日	11日	24日
運用機関	JAXA (日本)	ASI (イタリア)	DLR (ドイツ)	MDA (カナダ)

※1:年10災害まで観測要請が可能 (p22,23参照)
ALOS-2の観測機会がない場合の活用を検討

* ALOS-2及びCOSMO-SkyMed以外の記載の衛星は、大規模災害（総理を本部長とする災害対策本部が設置される災害）時に観測要請が可能

運用中の代表的な商用光学衛星 (* 日本では現在運用機なし。2020年度に先進光学衛星ALOS-3打ち上げ予定)

衛星名	RapidEye	WorldView-1	WorldView-2	WorldView-3	WorldView-4	GeoEye	Landsat-8	Pleiades1A,1B	SPOT6,7	
分解能	白黒	-	0.5m	0.46m	0.31m	0.31m	0.41m	15m	0.5m	1.5m
	カラー	6.5m	-	1.85m	1.24m	1.24m	1.64m	30m	2m	6m
基数	5基	1基	1基	1基	1基	1基	1基	2基	2基	
観測幅	77km	17.6km	16.4km	13.1km	13.1km	15.2km	185km	20km	60km	
回帰日数 (再訪日数) ^{※2}	5.5 (1.0) 日	5.9 (1.7) 日	3.7 (1.1) 日	4.5 (1.0) 日	4.5 (1.0) 日	11 (3.0) 日	16 (16) 日	26 (1.0) 日	26 (1.0) 日	
運用機関	Planet (アメリカ)	DigitalGlobe (アメリカ)	DigitalGlobe (アメリカ)	DigitalGlobe (アメリカ)	DigitalGlobe (アメリカ)	DigitalGlobe (アメリカ)	USGS/NASA (アメリカ)	Airbus DS (フランス)	Airbus DS (フランス)	

※2: 回帰日数・・・衛星が再び同じ場所に戻ってくるまでの日数

再訪日数・・・(衛星の向きを傾けるなどにより、) 再び同じ場所を観測できるようになるまでの日数

○地球観測衛星には、**光学センサ**を利用するものや**レーダセンサ (SAR)** を利用するものがある。

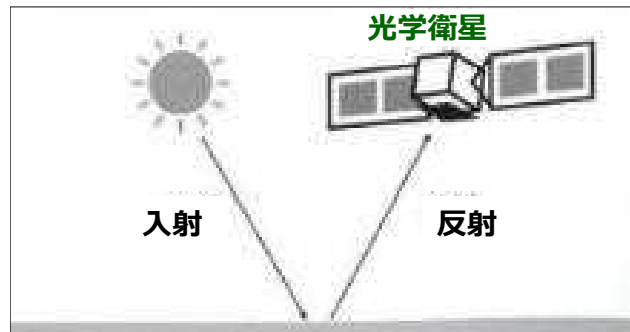
光学センサ

自然の放射光や反射光を観測

⇒夜間観測不可

⇒雲に遮られる

⇒一般の写真と同様な解釈が可能



レーダセンサ (SAR)

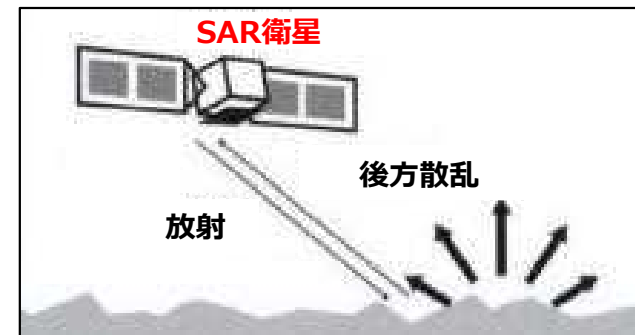
自ら電波 (マイクロ波) を出し、その反射波 (後方散乱) を観測

マイクロ波の特性上、雲 (小さな水滴) を透過する

⇒昼夜関係なく観測可能

⇒天候に関わらず観測可能

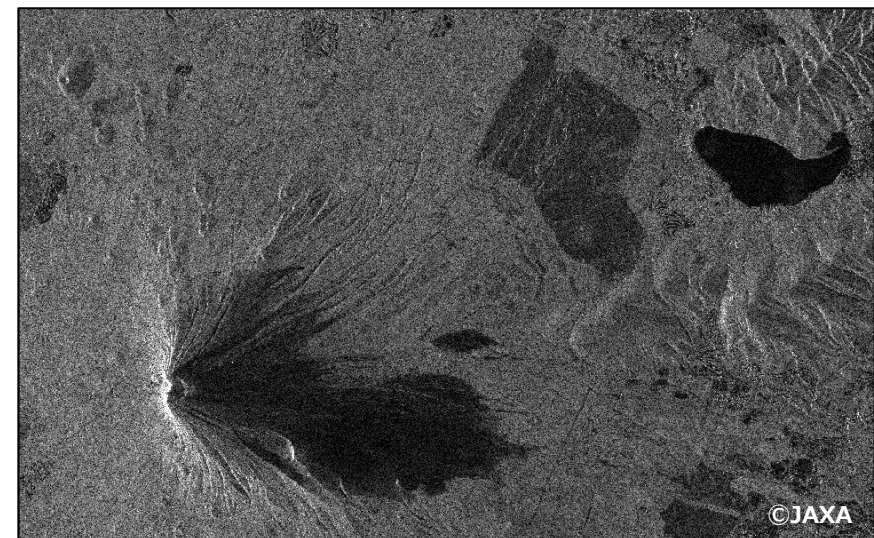
⇒画像解釈には専門知識が必要



2. センサ



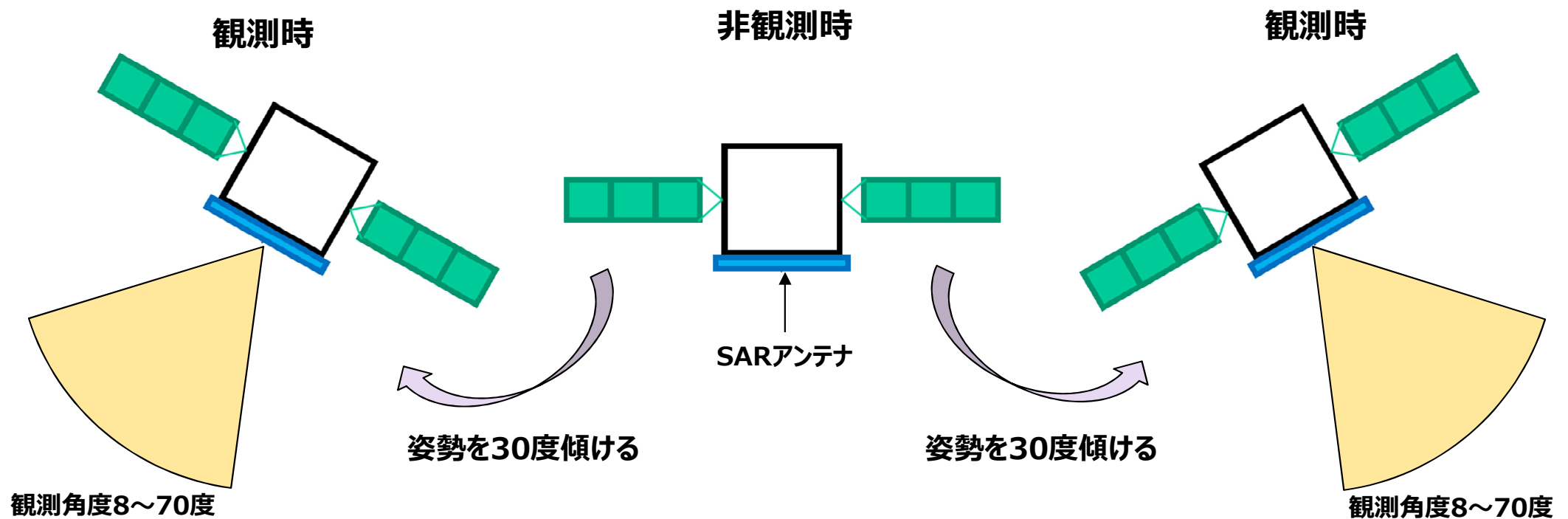
光学センサによる観測例 (富士山周辺)



レーダセンサによる観測例 (富士山周辺)

合成開口レーダ（SAR：Synthetic Aperture Radar）

- 人工衛星等から**マイクロ波**を横斜め下方に照射し、その反射波の**後方散乱強度**と**位相**を受信する能動型（アクティブ）センサ※
- 小さなアンテナを移動させながら観測することで、大きなアンテナでの観測と等価な画像を得られるようにしたもの

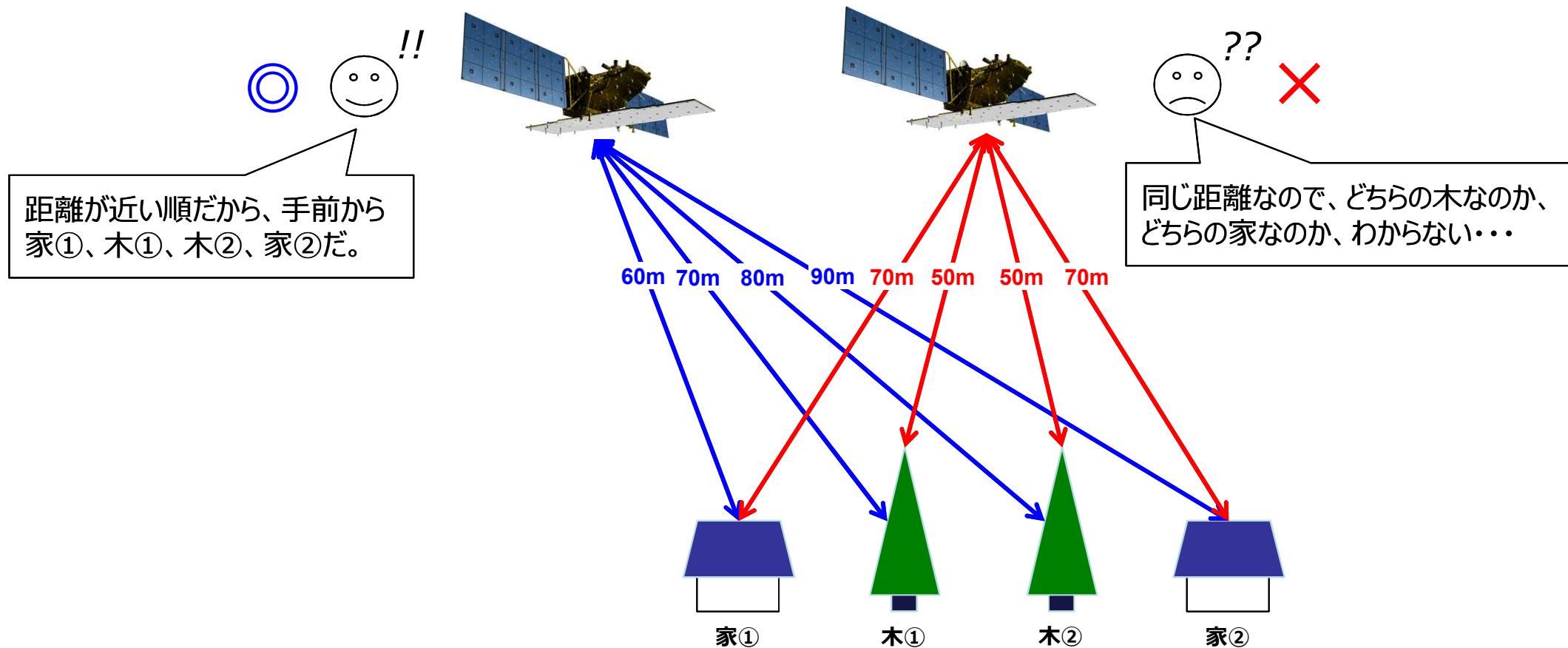


※自ら電波（マイクロ波）を出してその反射波を見るセンサ

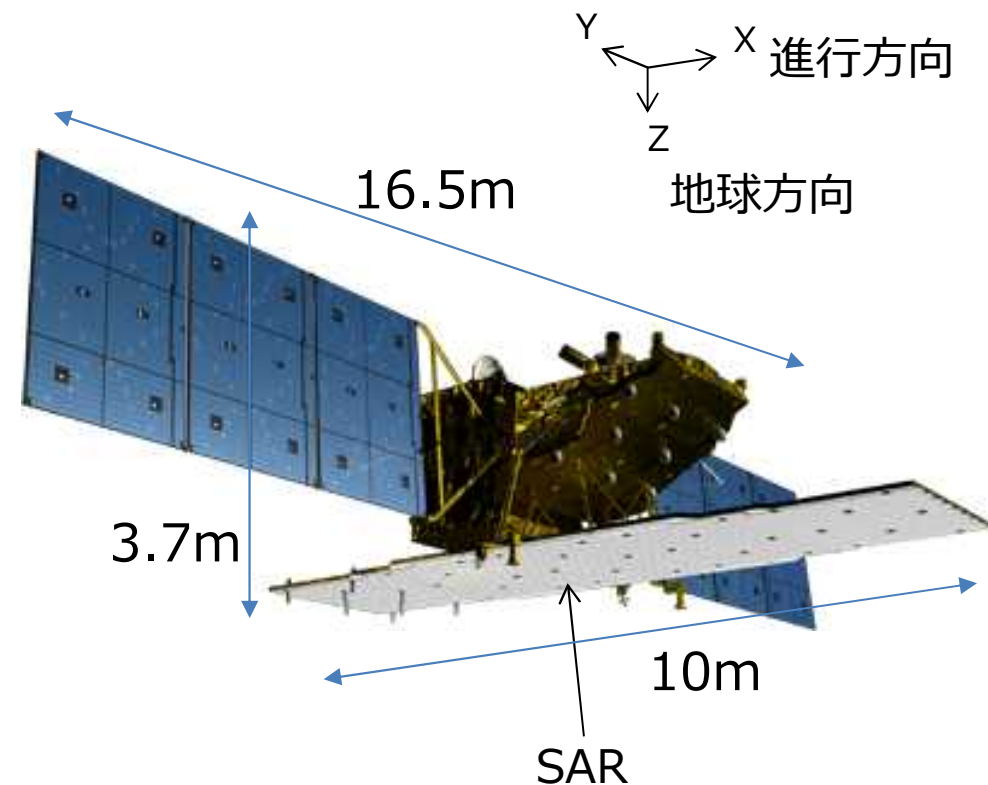
SARによる観測では、アンテナからマイクロ波を発射し、地表で反射（散乱）したマイクロ波を同じアンテナで再び受信

対象物からの信号は、アンテナから近い順に記録される

⇒ 斜め観測をする必要がある。



ALOS-2（エアロス・ツー）：JAXA所有のSAR衛星

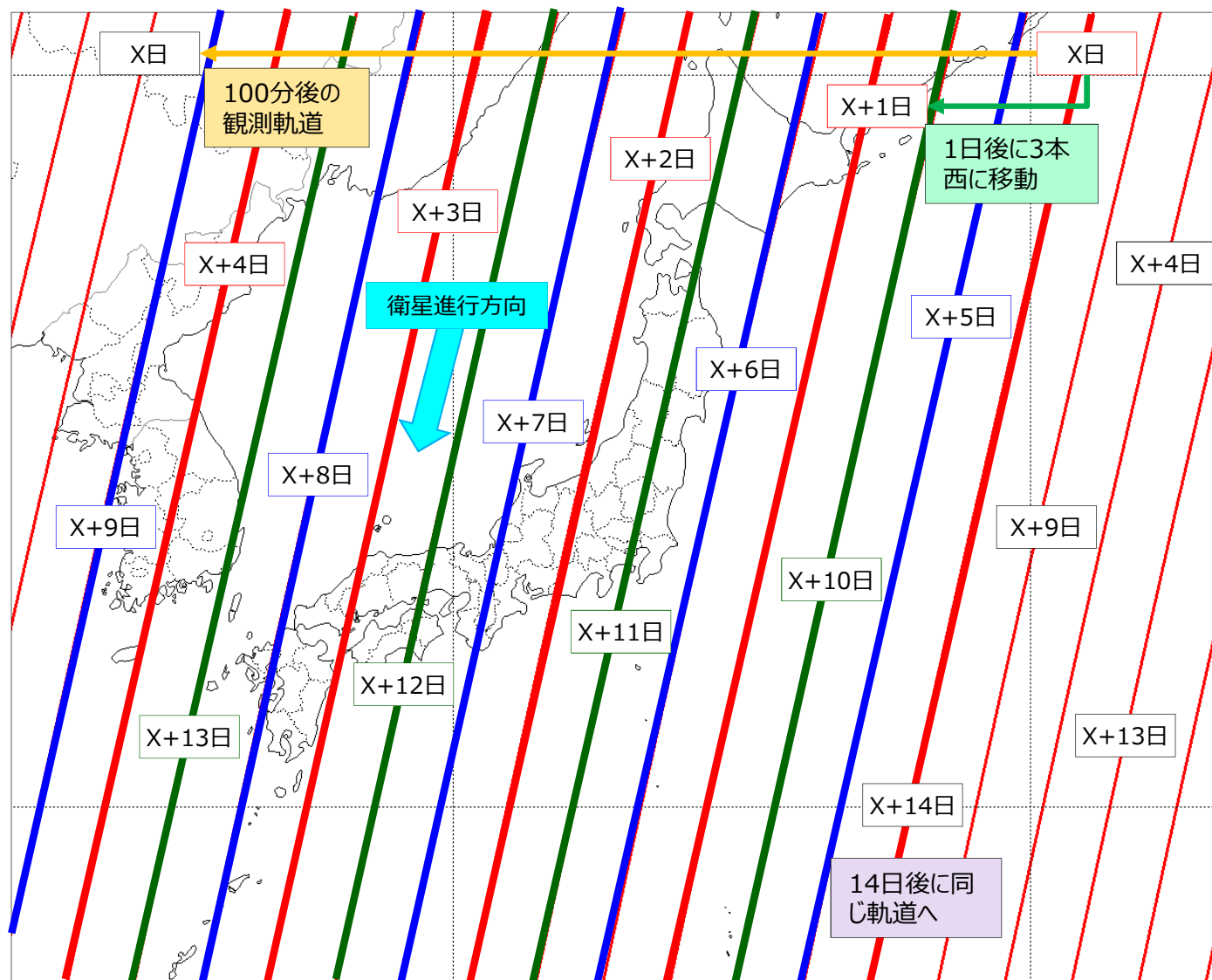


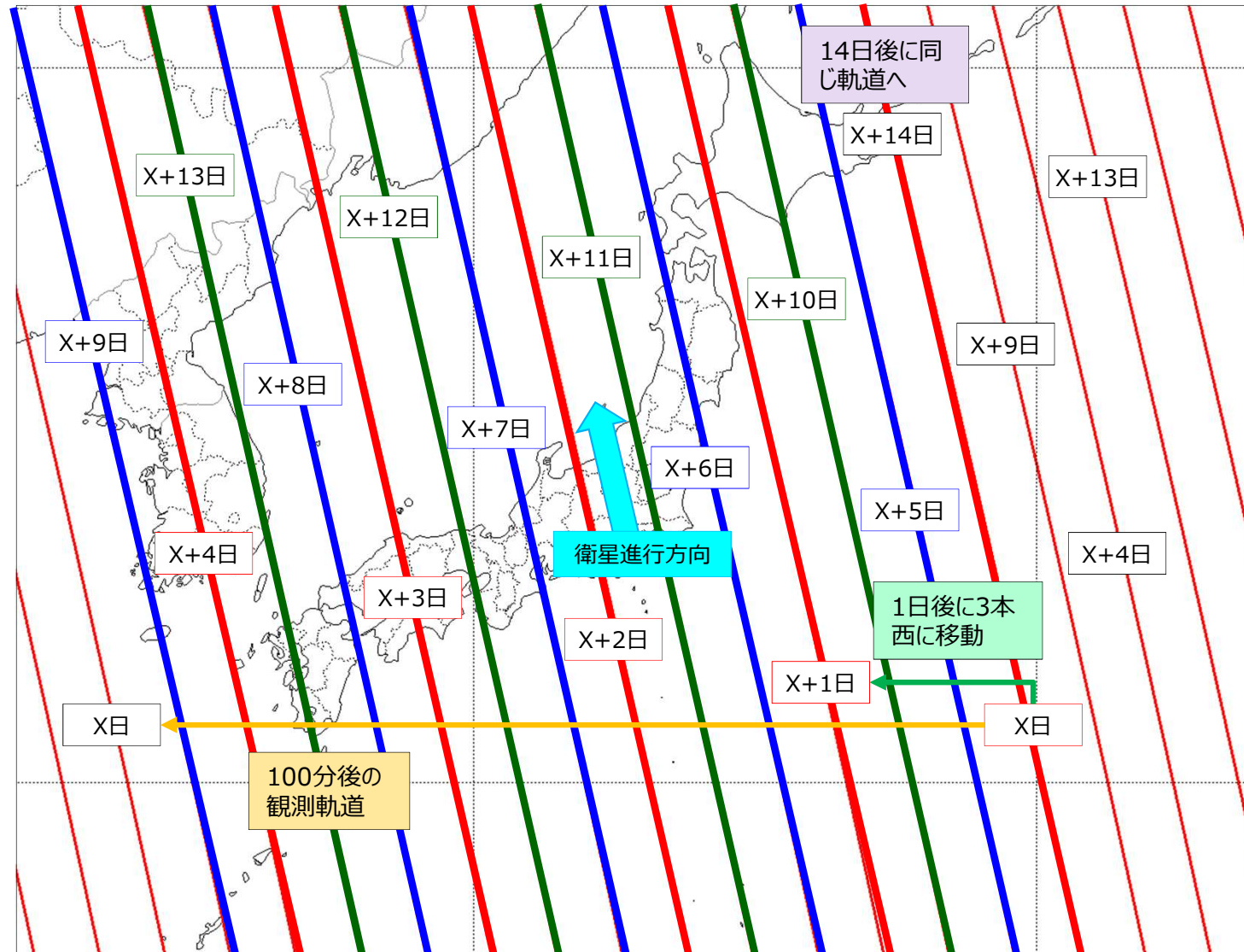
ALOS-2軌道上概観図

運用軌道	種類	太陽同期準回帰軌道（14日回帰）
	高度	628km（赤道上）
	通過時刻	12：00（正午）@赤道上（降交軌道）
設計寿命		5年（目標7年）
打上げ	打上げ日	平成26年（2014年）5月24日
	ロケット	H-IIA
衛星	質量	約2トン
	パドル	2翼パネル
ミッションデータ伝送		直接伝送およびデータ中継衛星経由
合成開口レーダ周波数		Lバンド（1.2GHz帯）
観測性能	スポットライト	分解能：1～3m 観測幅：25km
	高分解能	分解能※：3/6/10m 観測幅：50/50/70km
	広域観測	分解能：100/60m 観測幅：350/490km

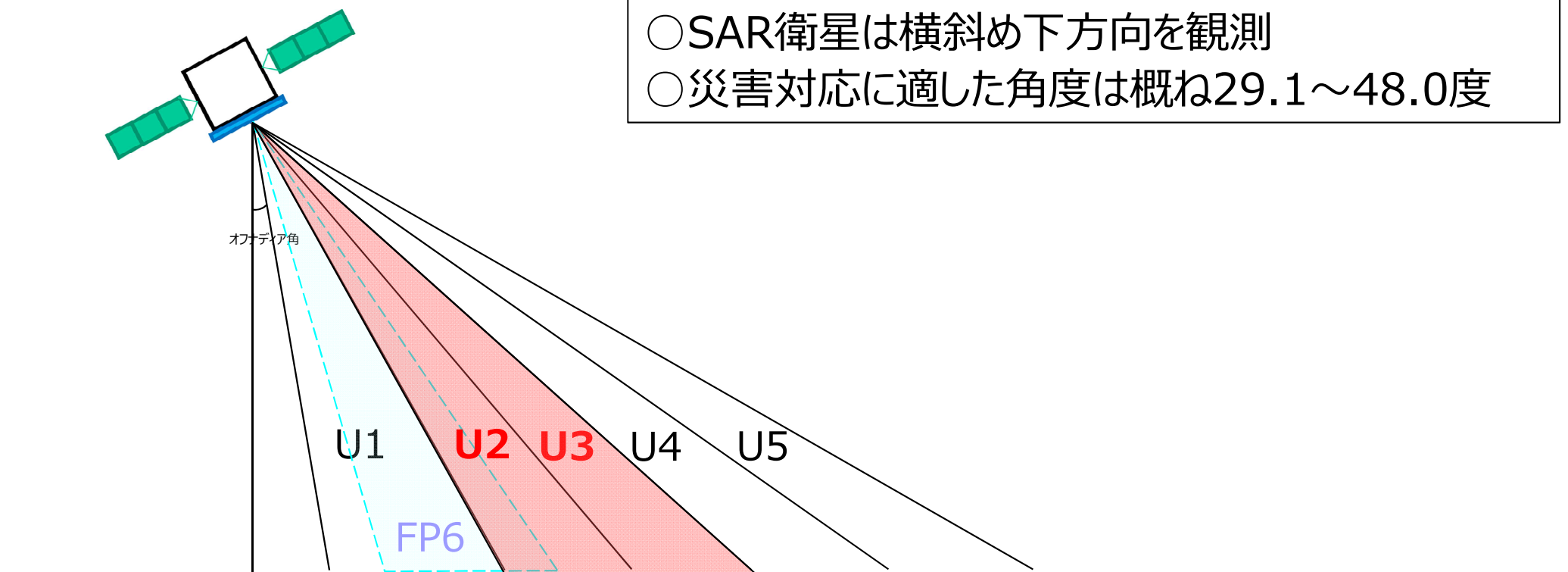
※分解能とは、1ピクセル当たりの大きさを表したものであり、判別できる大きさを表したものではない。一般的に特定の対象を見るためには、その対象物が分解能の10～20倍程度の大きさが必要。

- 日本全域をくまなく観測するために、毎日の通過軌跡を少しずつずらして観測
- ALOS-2は、14日後に同じ場所に帰ってくるように設計





- SAR衛星は横斜め下方向を観測
- 災害対応に適した角度は概ね29.1~48.0度



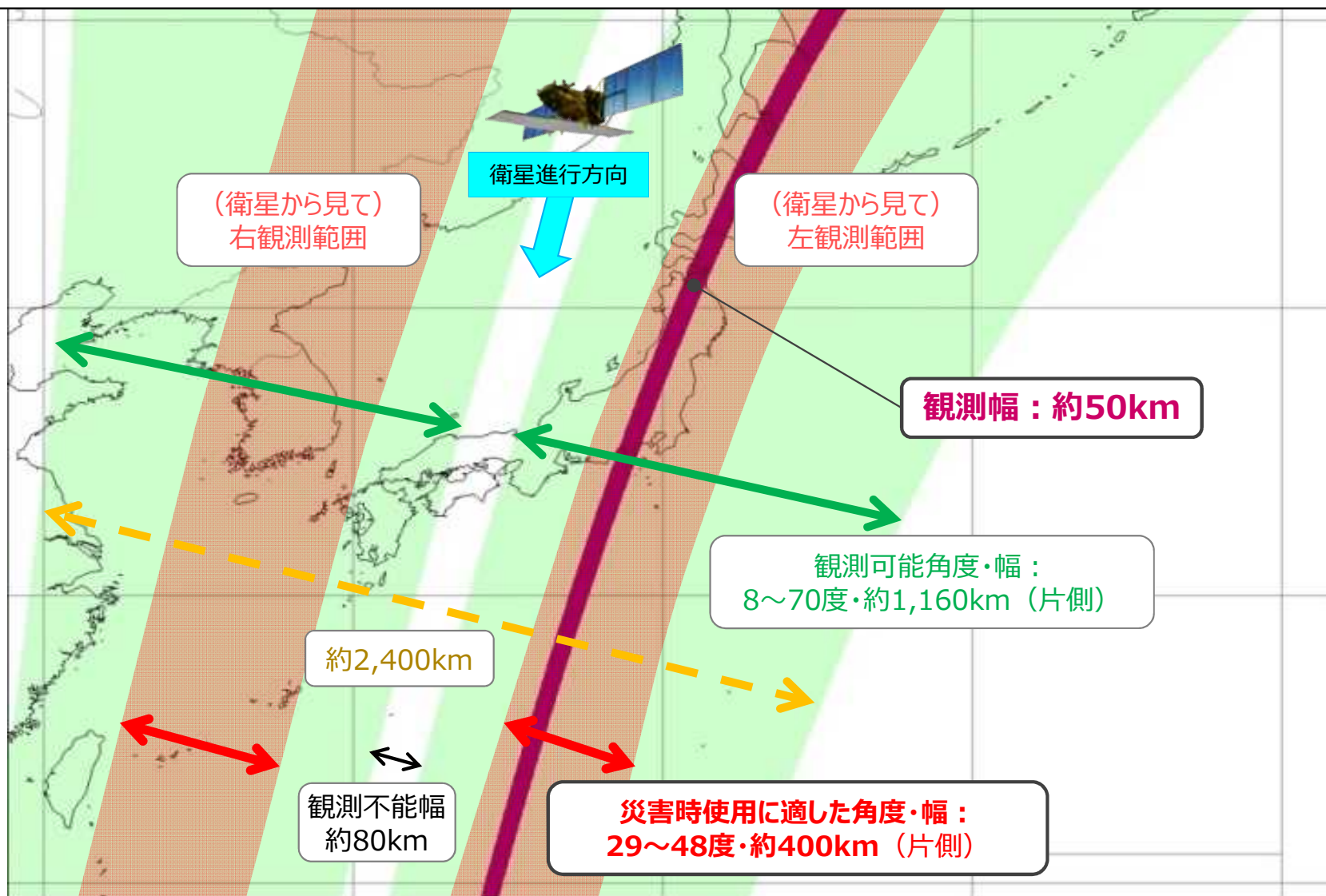
通常観測範囲 (災害時使用にも適した範囲)

ビーム区分	U1					U2				U3				U4				U5						
ビーム番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
オフナディア角 (°)	9.6	13.9	18.0	21.9	25.6	29.1	32.4	35.4	38.2	40.6	42.7	44.7	46.4	48.0	49.5	50.9	52.1	53.3	54.3	55.3	56.2	57.0	57.7	58.4

ビーム区分	FP6						
ビーム番号	1	2	3	4	5	6	7
オフナディア角 (°)	17.8	21.5	25	28	30.4	32.7	34.9

※ U○ : 単偏波観測
 FP6 : 多偏波観測 (浸水判読には現時点では未活用)

- 災害判読に適した観測幅は左右それぞれ約400km
- うち、一度の観測で観測できる幅は約50km（一度の観測では設定パス（角度）を変更できない）
- 衛星の真下の幅約80kmの部分は観測不可



浸水域推定のためのALOS-2観測機会事例

ALOS-2観測周期：14日、観測場所：徳島県徳島市

DAY	DAY 1		DAY 2		DAY 3		DAY 4		DAY 5		DAY 6		DAY 7	
	昼	夜	昼	夜	昼	夜	昼	夜	昼	夜	昼	夜	昼	夜
浸水域		○	○		△		△	○	○	△		○	○	
観測時間	13:06	23:58	11:50	0:18	12:11	23:03	12:31	23:23	12:52	23:44	11:36	0:05	11:57	0:25

DAY	DAY 8		DAY 9		DAY 10		DAY 11		DAY 12		DAY 13		DAY 14	
	昼	夜	昼	夜	昼	夜	昼	夜	昼	夜	昼	夜	昼	夜
浸水域	△	○	○	△		△		○	○			○	○	
観測時間	12:18	23:09	12:38	23:30	12:59	23:51	11:43	0:11	12:04	22:56		23:16	12:45	

○：浸水抽出に適した条件（ビーム：U2-6～U3-14）で、観測に適している

△：天候（主に風）に依存するが、判読可能な条件（ビーム：U1-1～U1-5）で、観測が可能

観測機会回数： 18回/14日間（○ = 12回、△ = 6回）

⇒ 浸水域推定の観測機会として、1日1回程度の機会がある

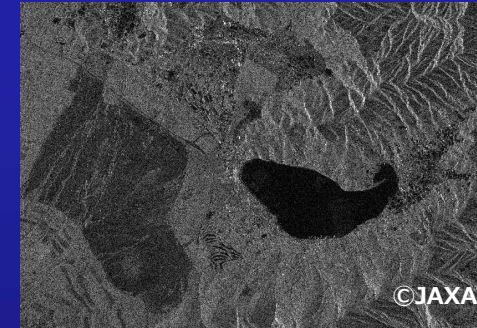
SAR画像の主な解析手法

浸水判読に用いる手法

後方散乱強度解析

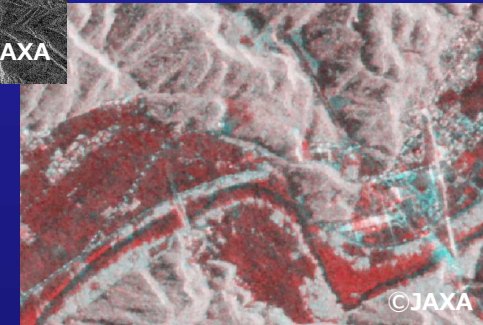
一時期単偏波 (詳細p16)

一度の観測のみの画像で、電波の後方散乱強度（反射強度）の違いによりおおよそその地形・地形被覆を把握



二時期カラー合成 (詳細p18)

同じ観測条件の二時期の単偏波SAR画像を合成することで地表被覆の変化を把握



その他の主な手法

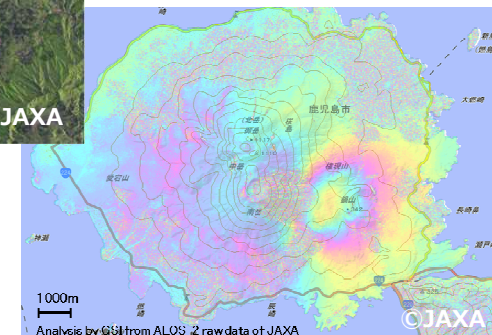
一時期多偏波カラー合成

一度の観測で複数の偏波（垂直・水平）の反射強度の違いにより土地被覆の状況を把握



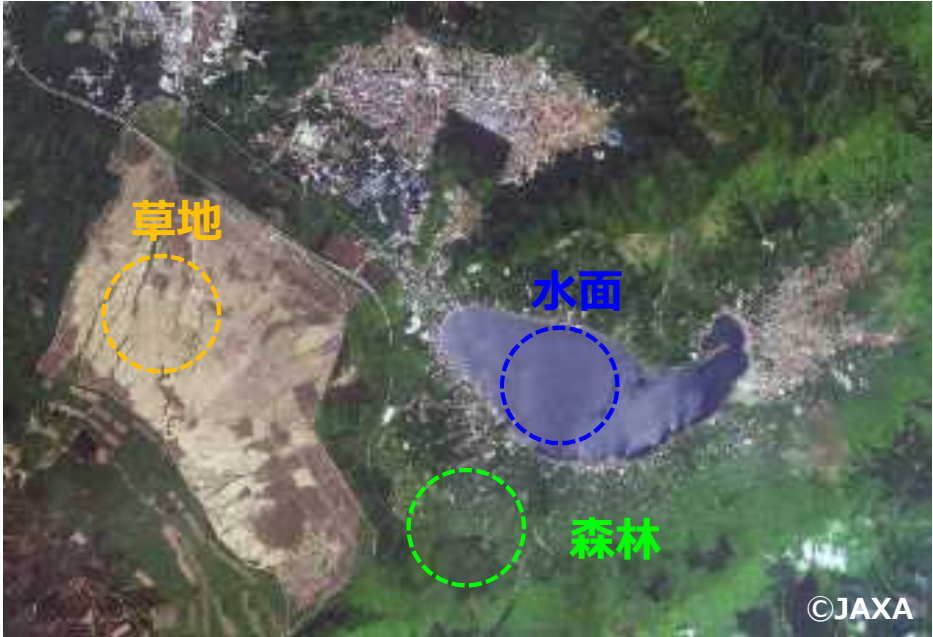
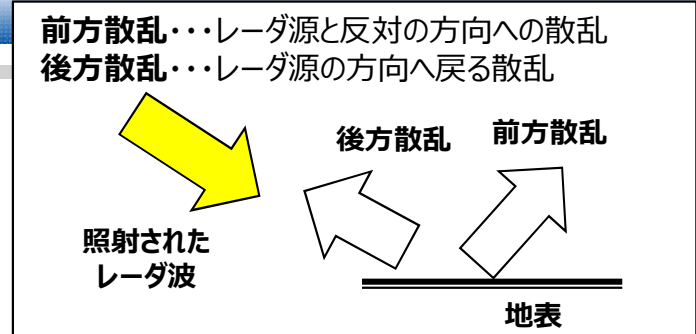
二時期干渉解析

同じ観測条件の二時期の反射波の位相差から地表の高さの変動を把握

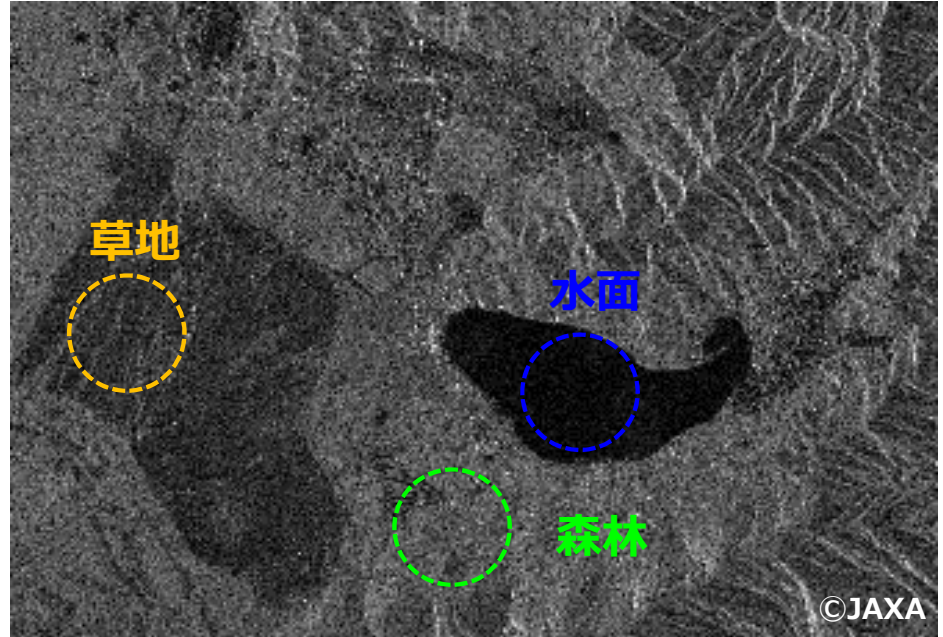


後方散乱強度・一時期単偏波観測

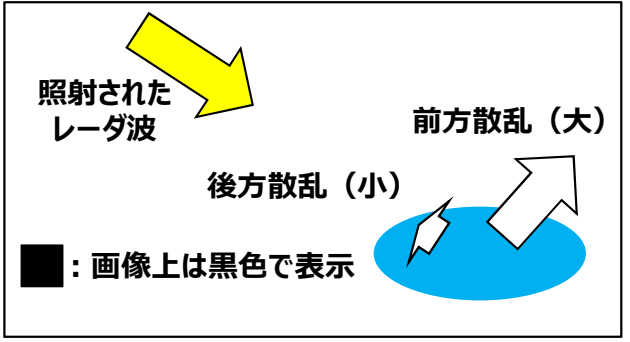
- レーダ波の後方散乱（反射波）を受信し、その強度を白黒で画像化
- 後方散乱強度（反射強度）の違いから、おおよその地形・地表被覆を把握



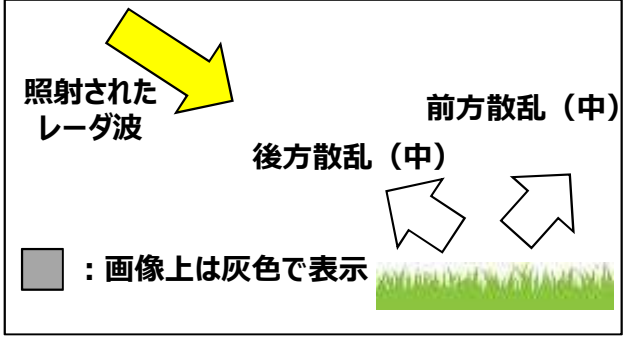
光学衛星画像



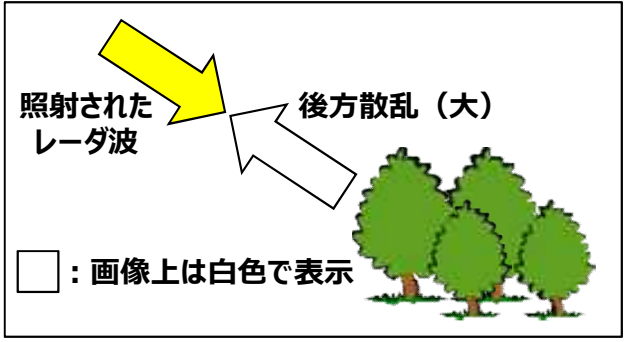
SAR衛星画像



水面の場合の見え方

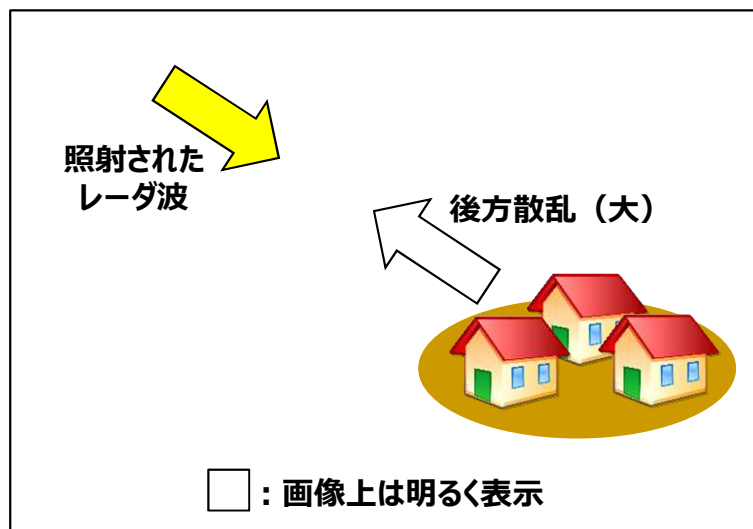


草地の場合の見え方

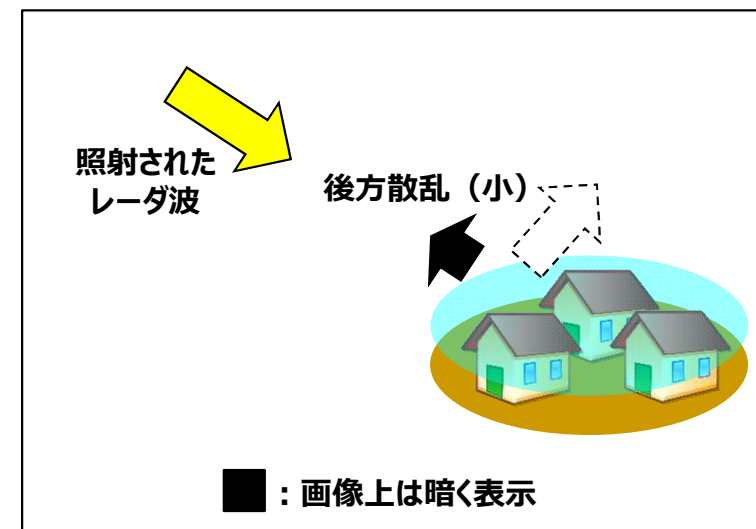
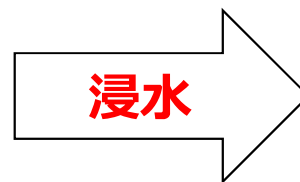


森林の場合の見え方

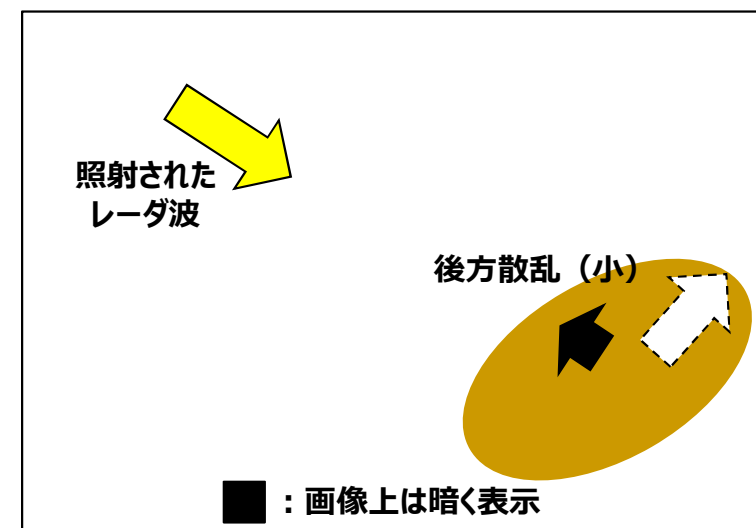
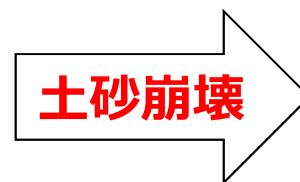
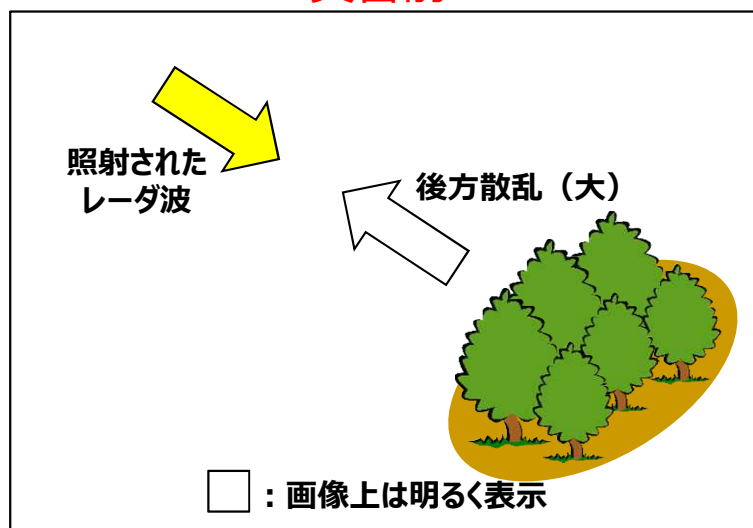
災害前後の二時期の単偏波観測の後方散乱強度を比較することで、地表被覆の変化を推定することができる



災害前



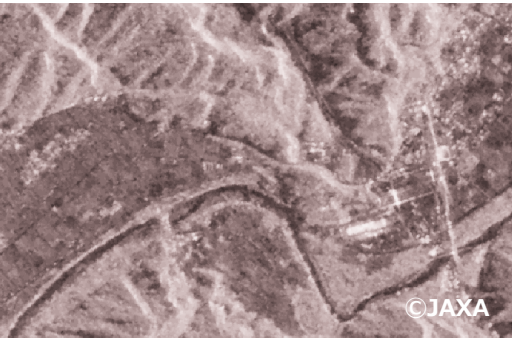
災害後



後方散乱強度・二時期カラー合成

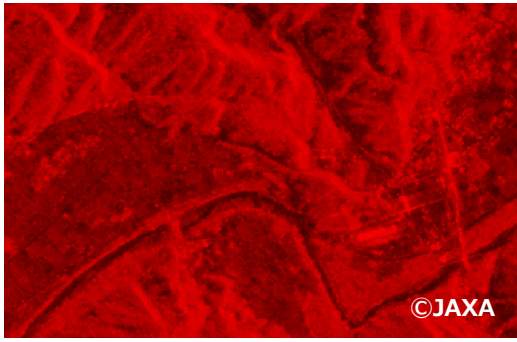
災害前の画像に赤、発災後の画像に青と緑を割当てて画像を作成

合成画像は、光の三原色により、変化が有る箇所のみ赤色・水色になる
= 赤色・水色箇所が被害箇所（被害の可能性がある箇所）と判別できる



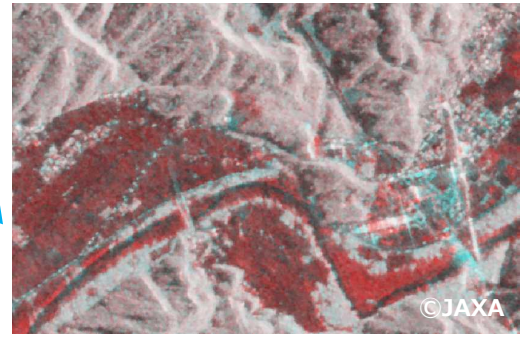
災害前画像

着色

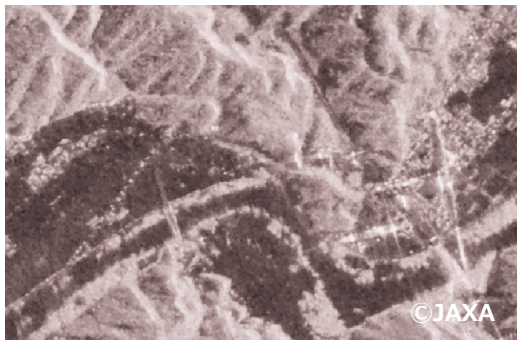


災害前画像 (赤色)

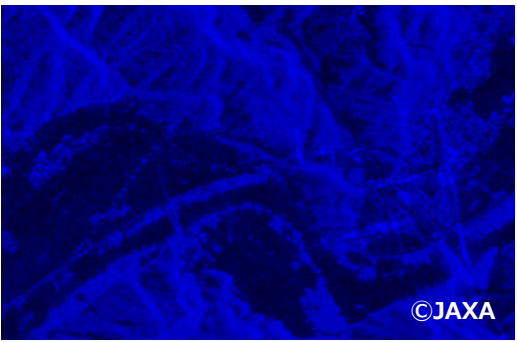
カラー合成



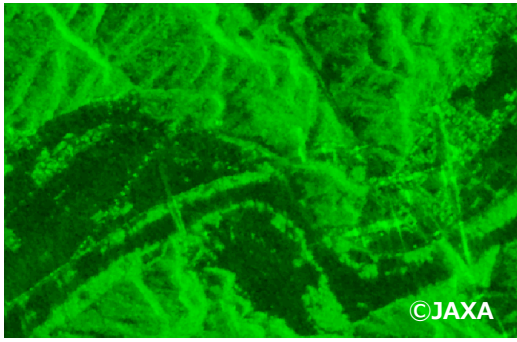
カラー合成画像



災害後画像



災害後画像 (青色)



災害後画像 (緑色)



浸水状況

出典：岩手県沿岸広域振興局岩泉土木センター資料（平成28年11月）
http://www.pref.iwate.jp/dbps_data/_material/_files/000/000/049/390/setsumeikaisiryu161108h.pdf



光の三原色

※災害後観測と同じ条件の、災害前の観測画像（アーカイブ）がある場合のみ二時期カラー合成が可能

SAR画像解析の留意事項

災害に起因しない変化がある箇所でも、災害前後の合成画像で、被害（の可能性のある）箇所と判読されることがある

逆に、被災していても、後方散乱強度が変わらなければ被害箇所と判読できないこともある

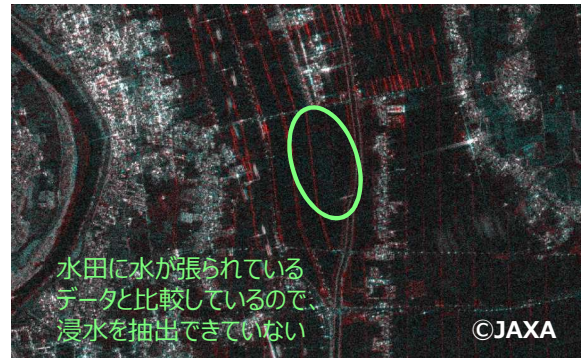
- 季節変化： 農地（水稻や農作物の成長）の変化
- 土地利用の変化： 建造物の建築、駐車場 等



2016年8月17日 平時の光学衛星画像 ©Airbus DS (2016)



2015年7月31日と2015年9月11日のカラー合成画像 ©JAXA



2016年5月20日と2015年9月11日のカラー合成画像 ©JAXA



2015年7月31日 稲穂が実り始めている画像 ©JAXA



2015年9月11日 平成27年9月 関東・東北豪雨による浸水時の画像 ©JAXA



2016年5月20日 水田に水が張られ、田植え前後の画像 ©JAXA

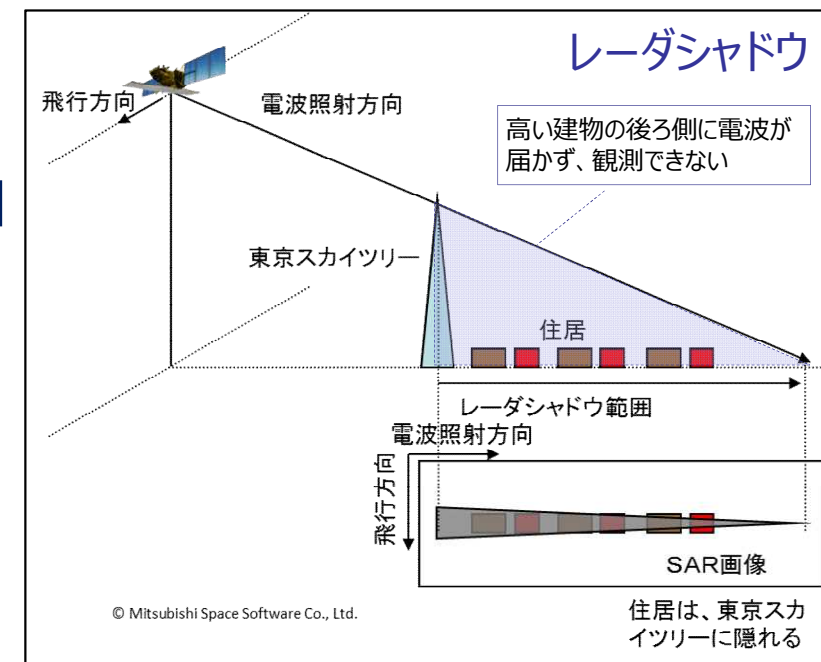
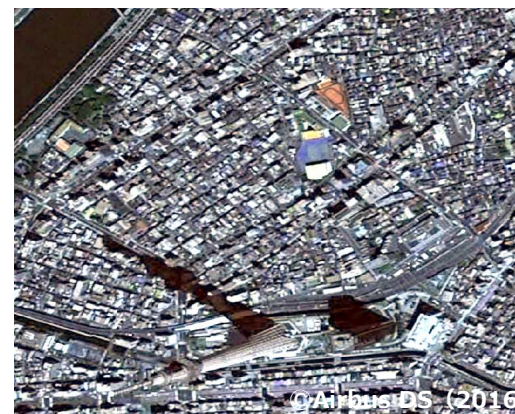
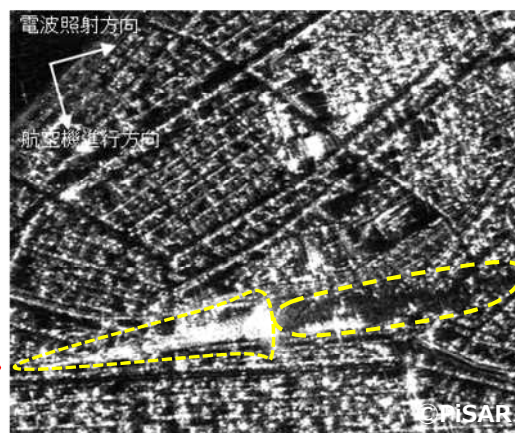
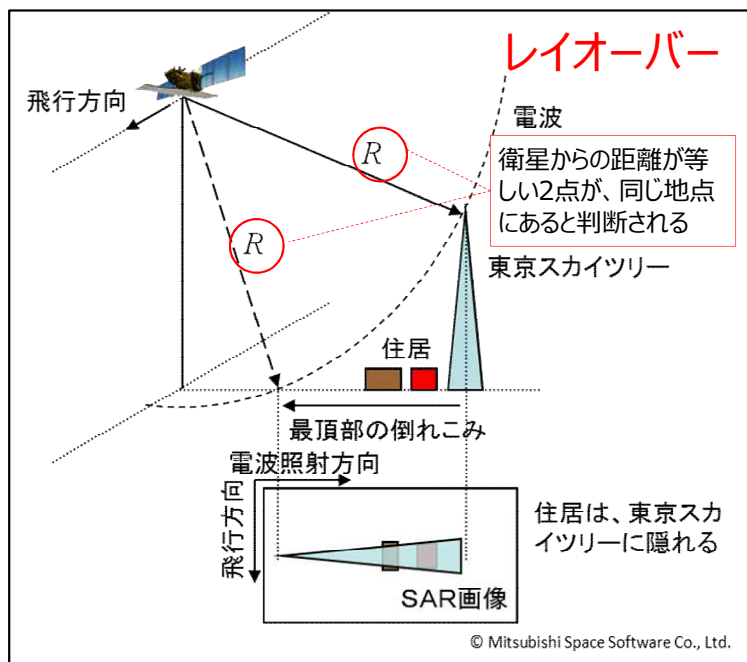
- SAR画像は、観測手法の特性上、以下のような現象が発生するので注意が必要

レイオーバー

高い建物が、衛星から近い距離にあると判断され、倒れて見える現象

レーダシャドウ

高い建物が壁となり、建物の後ろ側に電波が当たらず、情報が得ることができない現象



レイオーバー、レーダシャドウの事例
(東京スカイツリー)

利点

人工衛星
広域観測可能
衛星軌道
(高高度) からの
広域観測

マイクロ波
悪天候時観測可能
大気、雲、雨の
影響を受けにくい

アクティブセンサ
夜間観測可能
自ら電波を照射
太陽光を
必要としない

(偏波観測)
土地被覆分類可能
電波送受信時の
水平・垂直成分の
組み合わせ

欠点

人工衛星
方向依存性
観測範囲は
衛星軌道に依存
(ほぼ南北方向)

人工衛星
観測機会
衛星回帰の
タイミングに依存
常時観測不可

横斜め下方観測
画像の歪み
SAR観測
原理にもとづく
倒れ込み等

後方散乱強度
画像解釈の複雑さ
光学画像とは
全く異なる
見え方

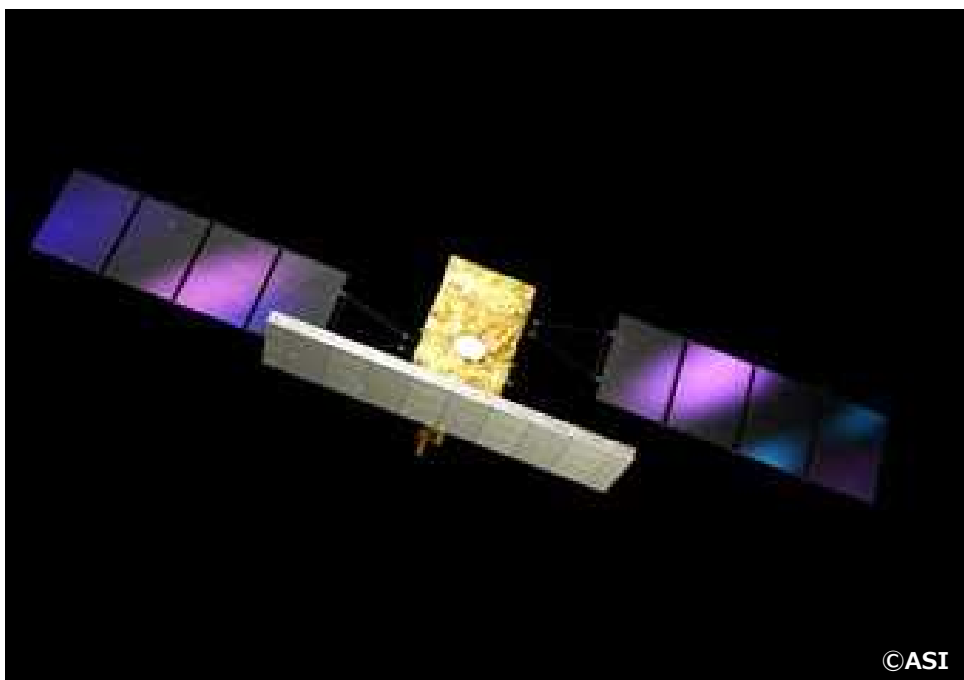
@国土技術政策総合研究所土砂災害研究室

地震・豪雨等の広域災害時の初期段階において、航空機調査等が困難な際に、
大規模浸水、土砂崩落の『有無』・『位置』・『規模』の推定に有効

COSMO-SkyMed (コスモ・スカイメッド) : イタリア宇宙局 (ASI) 所有のSAR衛星

JAXAとイタリア宇宙局(ASI)との協定により、災害発生時に年10災害まで観測依頼が可能
(主に浸水災害を想定)

ALOS-2の観測機会がない場合に活用を検討



©ASI

運用軌道	種類	太陽同期準極軌道 (16日回帰)
	高度	620km (赤道上)
	通過時刻	18:00@赤道上 (降交軌道)
設計寿命		5年
打上げ	打上げ日	1号機 : 2007年6月7日 2号機 : 2007年12月9日 3号機 : 2008年10月24日 4号機 : 2010年11月6日
合成開口レーダ周波数		Xバンド (9.6GHz帯)
観測性能 (抜粋)	SPOTLIGHT-2	分解能 : 1m 観測幅 : 10km×10km
	STRIPMAP HIMAGE	分解能 : 3m 観測幅 : 40km×40km
	SCANSAR WIDE REGION	分解能 : 16m 観測幅 : 100km×100km

浸水域推定のためのCOSMO-SkyMed観測機会事例

COSMO-SkyMed観測周期：16日、観測場所：徳島県徳島市

DAY	DAY 1				DAY 2				DAY 3				DAY 4				DAY 5				DAY 6			
	朝	朝	夕	夕	朝	朝	夕	夕	朝	朝	夕	夕	朝	朝	夕	夕	朝	朝	夕	夕	朝	朝	夕	夕
浸水域	△		○		△		△		○		△	△	△	△	○		△	△	△		△		△	
観測時間	6:21		17:52		5:49		17:40		6:43		17:34	17:58	5:37	6:01	17:52		5:37	5:55	17:46		5:55		17:46	
衛星番号	3		3		1		1		4		4	1	2	4	4		3	2	2		3		3	

DAY	DAY 7				DAY 8				DAY 9				DAY 10				DAY 11				DAY 12			
	朝	朝	夕	夕	朝	朝	夕	夕	朝	朝	夕	夕	朝	朝	夕	夕	朝	朝	夕	夕	朝	朝	夕	夕
浸水域	○		△		△	△	○		△		△		△		△		△		△	△	△		△	
観測時間	5:43		17:34		5:37	6:01	17:52		5:55		17:46		5:49		17:40		5:49		17:40	17:58	5:37		17:58	
衛星番号	1		1		4	1	1		4		4		2		2		3		3	2	1		3	

DAY	DAY 13				DAY 14				DAY 15				DAY 16			
	朝	朝	夕	夕	朝	朝	夕	夕	朝	朝	夕	夕	朝	朝	夕	夕
浸水域	△		△		△		△		○		△	△	△	△	△	△
観測時間	5:55		17:46		5:49		17:40		5:43		17:34	17:58	5:43	6:01	17:34	17:52
衛星番号	1		1		4		4		2		2	4	3	2	3	2

○：浸水域抽出に適した条件（ビーム：右観測、H4-4～H4-9、アーカイブ有）で、観測に適している

△：判読が可能な条件（ビーム：右観測、H4-0A～H4-22、アーカイブ無）で、観測が可能

観測機会回数：40回/16日間（○＝6回、△＝34回）

⇒浸水域推定の観測機会として、1日に2回以上の機会がある