

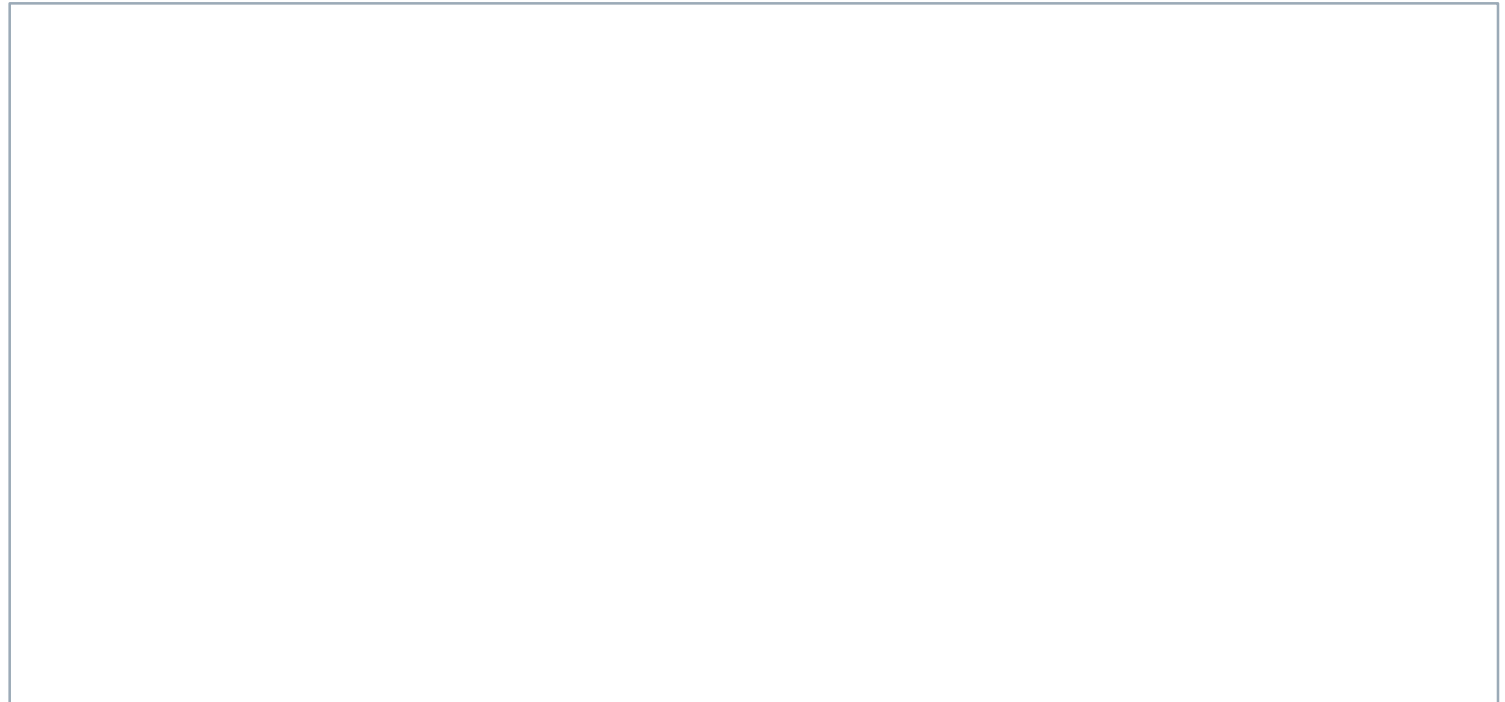
衛星搭載合成開口レーダ

9GHz帯航空機搭載型合成開口レーダーシステム作業班
(第1回)

東海大学情報技術センター 須藤 昇

● 内容

1. 人工衛星によるリモートセンシングの
2. 衛星SARの概要
3. 合成開口レーダ (SAR)の基礎
4. 合成開口レーダ搭載衛星とその運用状況
5. 合成開口レーダの地上分解能



1. 人工衛星によるリモートセンシング

● 衛星によるリモートセンシングについて

- 人工衛星によるリモートセンシングでは、衛星に観測センサを搭載して地球を観測する技術
- 衛星に搭載したセンサは、地球上の陸域、海域、雲などが反射した、あるいは自ら放射した電磁波（光や電波）を観測
- 得られたデータを解析することにより、地表の土地利用、森林、農作物などの状況や、海面の温度や色、雲の状態や雨の強さなど、様々な情報が取得可能

例：我が国の「陸域・海域観測衛星」である、「だいち」では、以下の3つのセンサーを搭載

PRISM：

可視域から近赤外域までの全ての光を観測し、対応する白黒画像を取得する高分解能(2.5m)パナクロマチック（全整色）センサ

AVNIR-2：

可視域から赤外域の複数の波長帯（バンド）の光をバンド毎に分けて計測する マルチスペクトル（多波長）センサ、分解能(10m)

PALSAR：

衛星のアンテナよりマイクロ波を照射し、その電波の反射強度を計測することにより、対象物（地表面）の画像化を行うレーダセンサ
夜間や悪天候時であってもデータを取得することが可能（分解能は10m）

宇宙開発戦略本部 リモートセンシング政策検討ワーキンググループ 第1回会合資料より 抜粋



● センサの種類

(1)光学センサ

a)可視・近赤外リモートセンシング

太陽光が地上の物体で反射する可視光線や近赤外線をとらえて観測

反射の強さより、植物、森林、田畑の分布状況、河川や湖沼、市街地等といった地表の状態を識別

b)熱赤外リモートセンシング

太陽の光を浴びて暖められた地表の表面から放出される熱赤外線をとらえて観測

放射の強さにより、地面や海の表面温度、火山活動や山火事等の状況を計測

(2)マイクロ波センサ

a)能動型

地球観測衛星に載せられたセンサからマイクロ波（電波）を発射し、地表面から反射されるマイクロ波をとらえて観測

地表面の状況や災害等の監視、降雨等の計測

b)受動型

地表面から自然に放射されているマイクロ波を観測

自然に放射されるマイクロ波の強さは、海面温度、積雪量、氷の厚さ等を観測に最適

能動型マイクロ波センサ

マイクロ波散乱計

土壌水分や雨などの情報。海上風の情報。

代表的なマイクロ波散乱計： TRMM/PR, SeaWinds, ADEOS NSCAT

合成開口レーダー(SAR; Synthetic Aperture Radar)

地形測量が可能。微小な地形変位を観測可能。

代表的な合成開口レーダー： JERS1/SAR, ERS/SAR, RADARSAT, SIR-C

その他：マイクロ波高度計。(通常のレーダーに近い)

● マイクロ波バンド帯域

1mm～1mの波長の電磁波は、マイクロ波と呼ぶが、マイクロ波は、さらに波長により、Pバンド、Lバンド、Cバンド、Xバンド等に分類されている

合成開口レーダでは、このうち、Lバンド、Cバンド、Xバンドがマイクロ波リモートセンシングで使われている

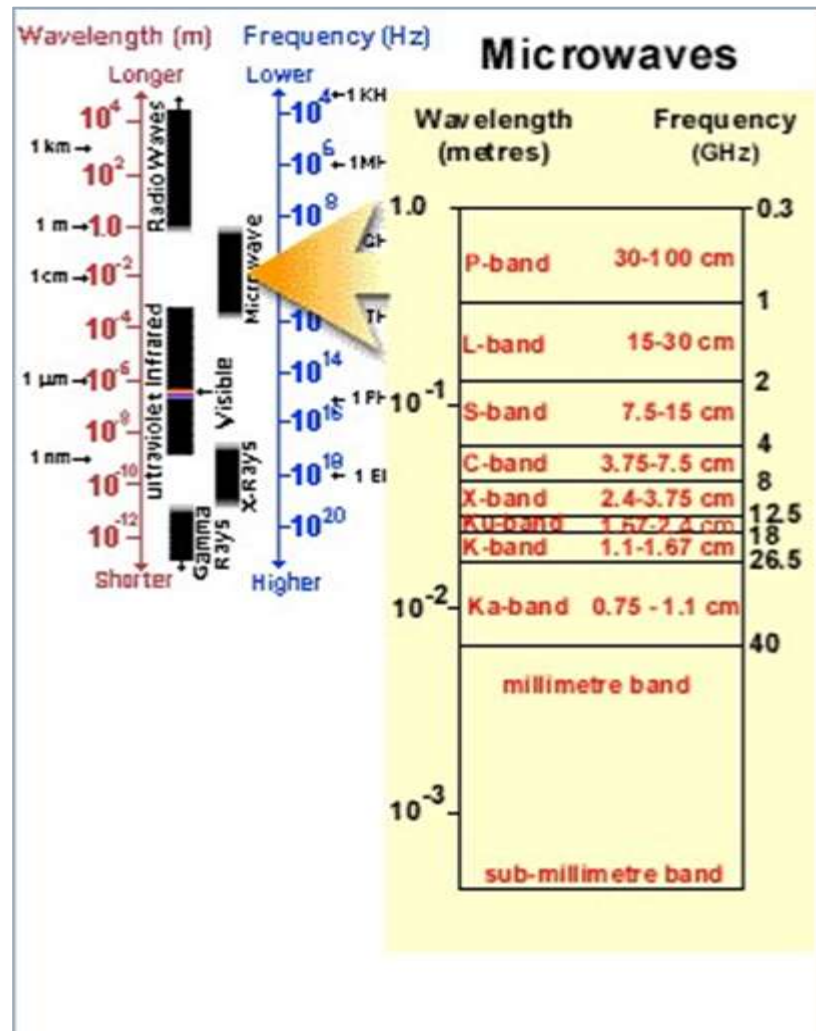
低い周波数ほど透過能力が高く、雲だけでなく植生の中にも浸透する

またXバンドなど高い周波数ほどターゲットの表面で散乱しやすくなる性質がある

一方、物体の大きさが波長に近い場合、共振を起こし、反射強度が強くなることもある

したがって、観測しようとするターゲットの大きさと散乱性質や伝搬媒質の特徴を調べた上で、レーダを設計し、データを解析する必要がある

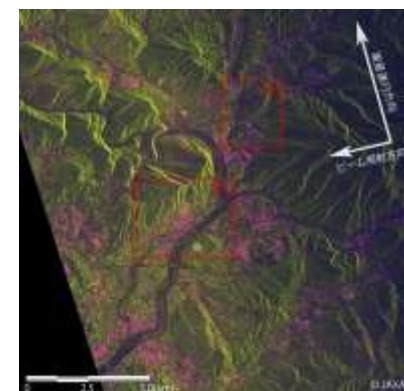
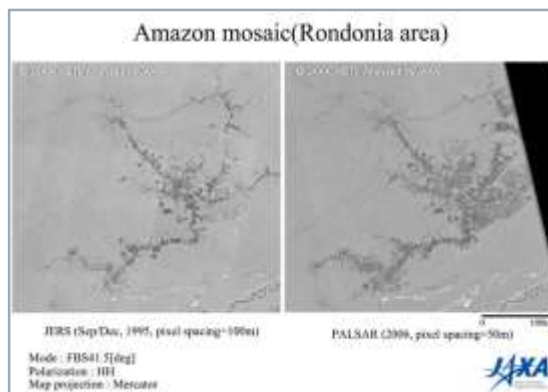
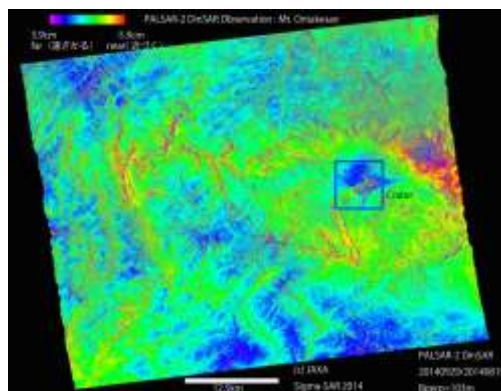
地上のより細かな状況を把握するためには、高地上分解能の実現が可能なXバンドが適していることが知られている

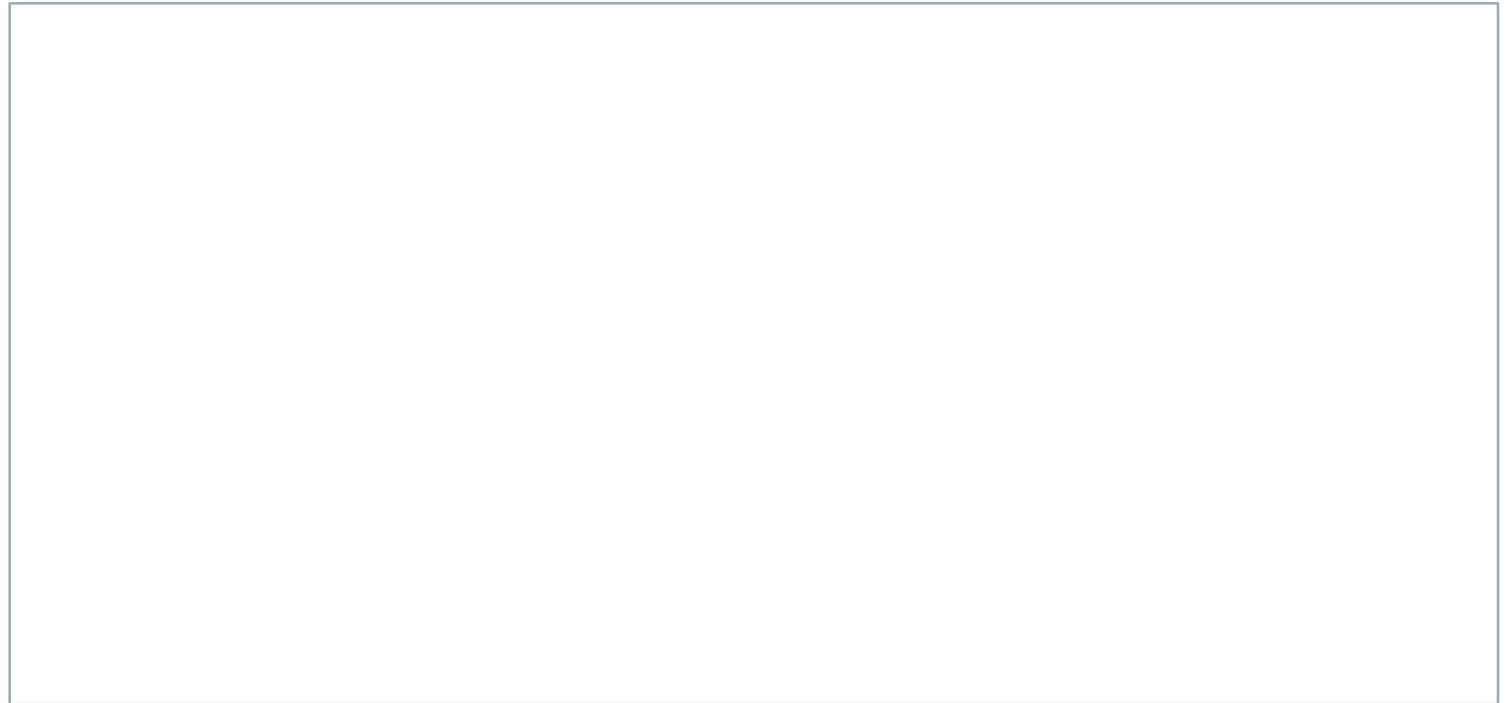


● SARデータの利用方法

SARデータの利用方法としては、以下の方法がある

- 散乱強度データの、 σ_0 の値を使い、判別等に使用
例えば、森林伐採や水稲の生長に伴い、反射強度が変化する
→ 伐採監視や水田の面積を計測したりすることが可能
- SARのデータの、位相情報の利用（Interferometry解析）
→ 地表の高度や地震による地殻変動、地下水のくみ上げによる地盤沈下等を観測
- SARのデータの、偏波の情報の利用（Polarimetry解析）
地表物からの散乱で偏波面が変化
→ 地表物の分類
- 樹木の、高さや樹木の種類による偏波の反射の違いの利用
→ Interferometry とPolarimetry を組み合わせて、バイオマス量の推定が可能

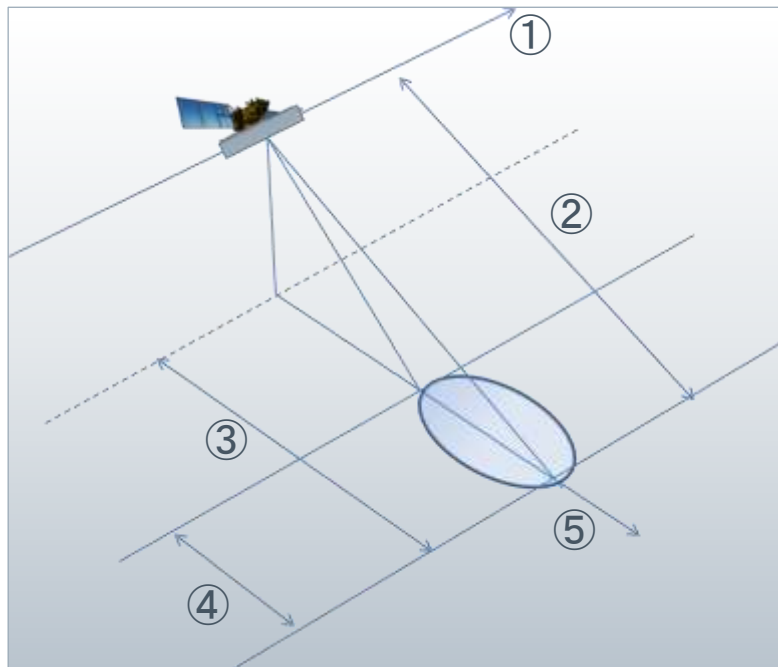




2. 合成開口レーダ (SAR)の基礎

● SAR観測の基礎用語（1）

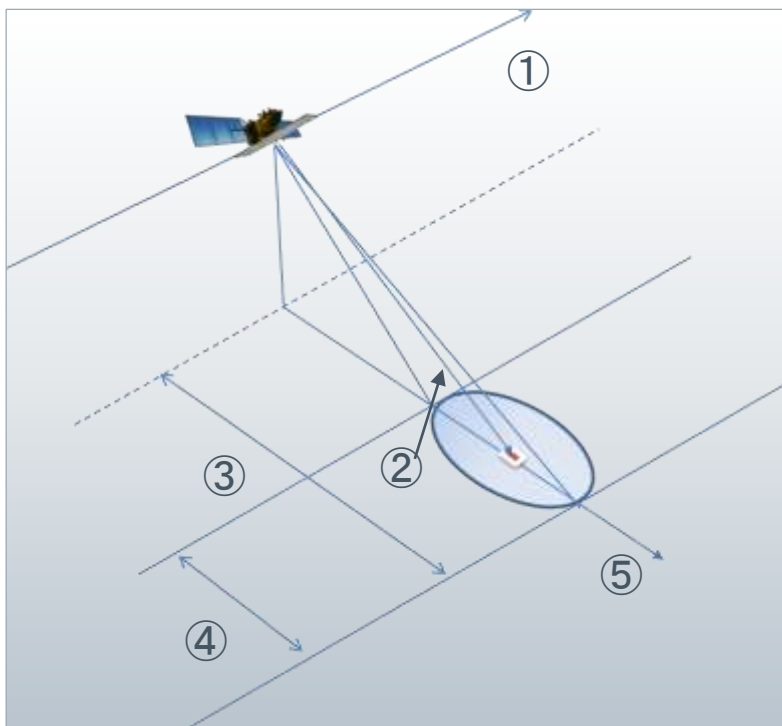
TRIC



- ① Azimuth direction
(アジマス方向)
SAR搭載衛星の飛行方向
- ② Slant range
(スラントレンジ)
SARから地上の対象物までに引かれた線
この線に対象物から反射されたデータが記録される。
- ③ Ground range
(グランドレンジ)
SAR衛星の直下から地表面上の対象物の位置の方向
- ④ Swath
(スワス)
レンジ方向の画像 シーンの幅。
- ⑤ Range direction
(レンジ方向)
衛星の飛行方向から直角に対象物に向かう方向

● SAR観測の基礎用語（1）

TRIC

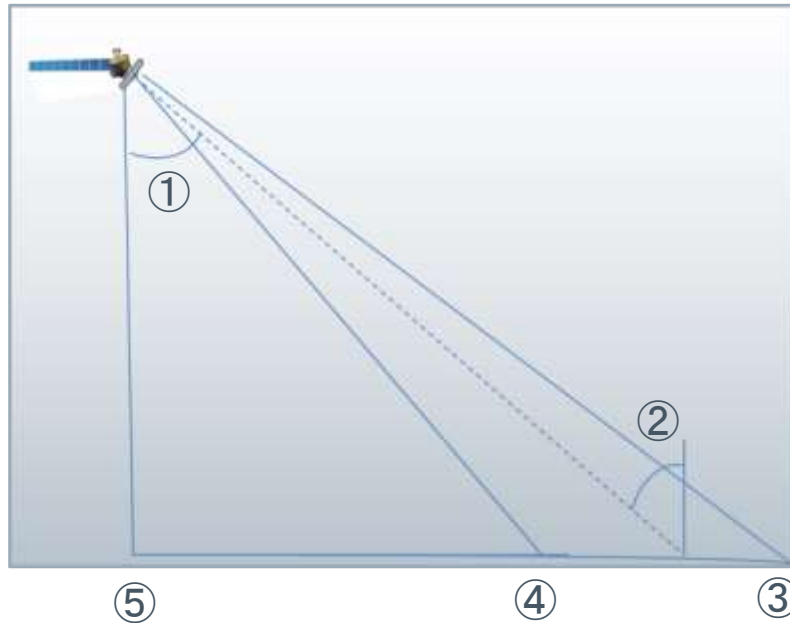


- ① Azimuth direction
(アジマス方向)
SAR搭載衛星の飛行方向
- ② Slant range
(スラントレンジ)
SARから地上の対象物までに引かれた線
この線に対象物から反射されたデータが記録される。
- ③ Ground range
(グラウンドレンジ)
SAR衛星の直下から地表面上の対象物の位置の方向
- ④ Swath
(スワス)
レンジ方向の画像 シーンの幅。
- ⑤ Range direction
(レンジ方向)
衛星の飛行方向から直角に対象物に向かう方向

● SAR観測の基礎用語（2）

TRIC

衛星の進行方向後ろから見た図



地球は球形なので、

②入射角 > ①オフナディア角となる

① Off nadir angle

(オフナディア角)

衛星の直下と衛星から対象物を覗いた線とがなす角

② Incident angle

(入射角)

対象物の法線と対象物から衛星まで引いた線とがなす角

③ Far range

(ファーレンジ)

SARが地表を照射する範囲のうち、衛星から遠い部分

④ Near range

(ニアレンジ)

SARが地表を照射する範囲のうち、衛星に近い部分

⑤ Nadir

(ナディア)

衛星から地表への真下の地点

● 合成開口とは

- レーダは、自ら電波を発出し、対象物から反射された電波を受信し映像化する
- 通常、レーダーで観測する場合、分解能を向上させるためにはレーダーのアンテナの指向性を絞って細いビームを照射すればよいが、指向性を高めるにはアンテナを大きくする必要がある
- 人工衛星からレーダー電波を照射して、地表で10メートル、あるいはそれより高い分解能を達成するのに必要なアンテナの指向性を得るためには、アンテナの大きさ「開口」が1キロメートルを越える
- 衛星に搭載する機器としては非現実的な大きさになるそのため、人工衛星の安定高速飛行を利用して、レーダービームの幅全体を使用して連続観測を行う
- 連続観測したデータをドップラー処理することによって、あたかも大きいな開口のアンテナで観測したように分解能を高めるように工夫したものが合成開口レーダである



- しかし、合成開口によって向上するのは衛星の進行方向（アジマス方向）の分解能だけである
- 直交方向（レンジ方向）の分解能を向上するにはパルス圧縮技術を用いる

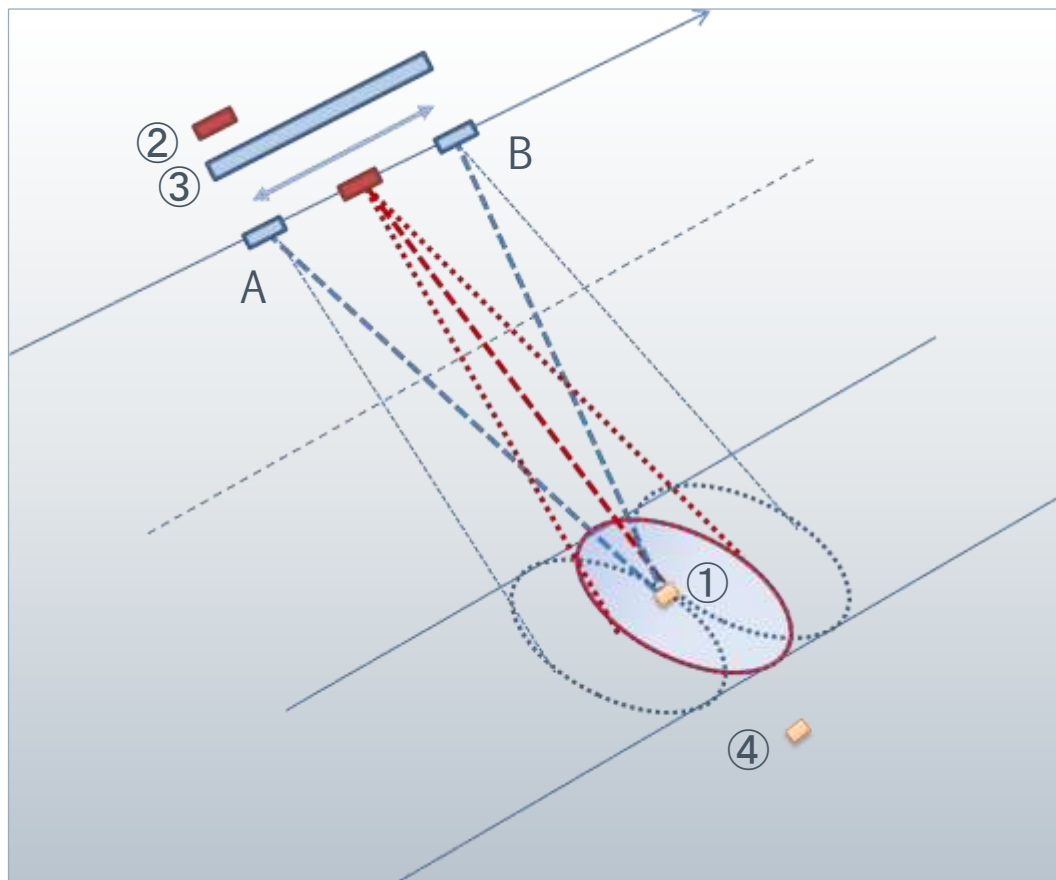
● 合成開口の仕組み

人工衛星の安定高速飛行を利用してレーダービームの幅全体(図の楕円の部分)を使って連続観測を行う

右の図の場合、軌道上AからBまで、連続して観測が可能となる

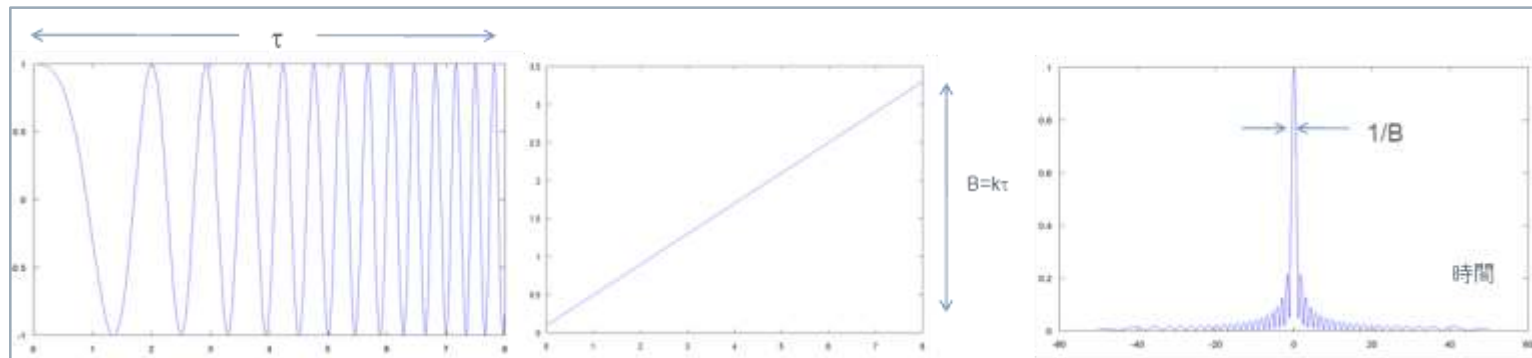
地上の一点に注目した場合、SARセンサはその点からの信号を位相整合することにより、仮想的に長大なアンテナを合成することが出来る

- ① : 地上観測点
- ② : 実開口レーダー
- ③ : 合成開口レーダー
- ④ : 地上分解能



● パルス圧縮技術

- 合成開口技術だけでは、飛ぶ方向と直交する方向（レンジ方向）の分解能は変化しない
- 直交方向の分解能は、アンテナと目標の間の距離分解能に依存する
- 高分解能を実現するためには、送信波のパルス幅を小さくすればよい
- パルスのエネルギーはパルスのピーク電力とパルス幅で定義されるが、ピーク電力には限界があるので、必然的に、パルス幅が広くなる
- レンジ分解能を上げるためにパルス幅を狭くするとパルスのエネルギーが小さくなり、信号対雑音比(SNR)が低下する
- そこで、パルス圧縮技術（チャープ変調）を用いて、送信電力を大きくしたまま見かけ上の送信パルス幅を小さくする
- チャープ変調とは、周波数を時間に対して直線的に変化させる変調方式である
- 合成開口とチャープ変調により、高高度から高い地上解像力を得ることが可能となる



チャープ変調によるパルス圧縮

● SARのレンジ方向の分解能

通常レーダでは、右に示すようなパルス信号が使われている

信号処理で重要なパラメータは、パルス持続時間 (τ) とパルス繰り返し周期 (T_r) である

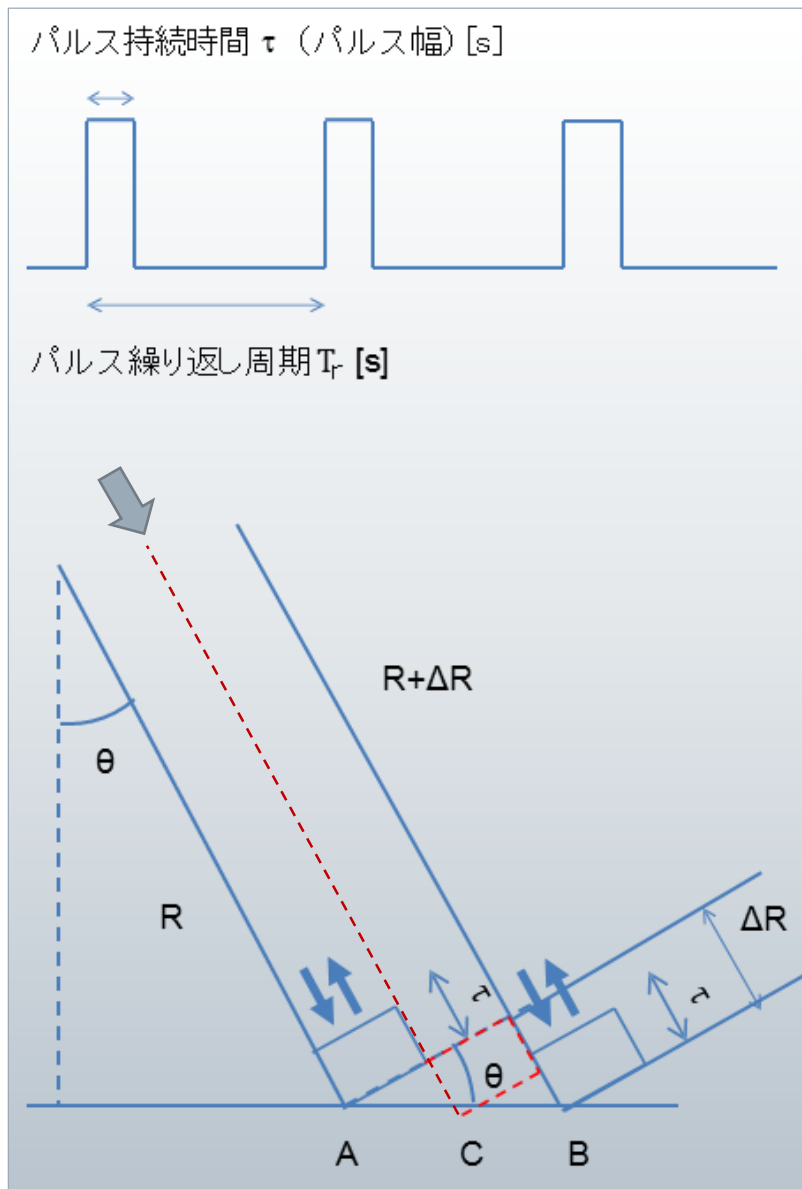
レンジ方向の分解能は、パルス持続時間 (τ) に比例する

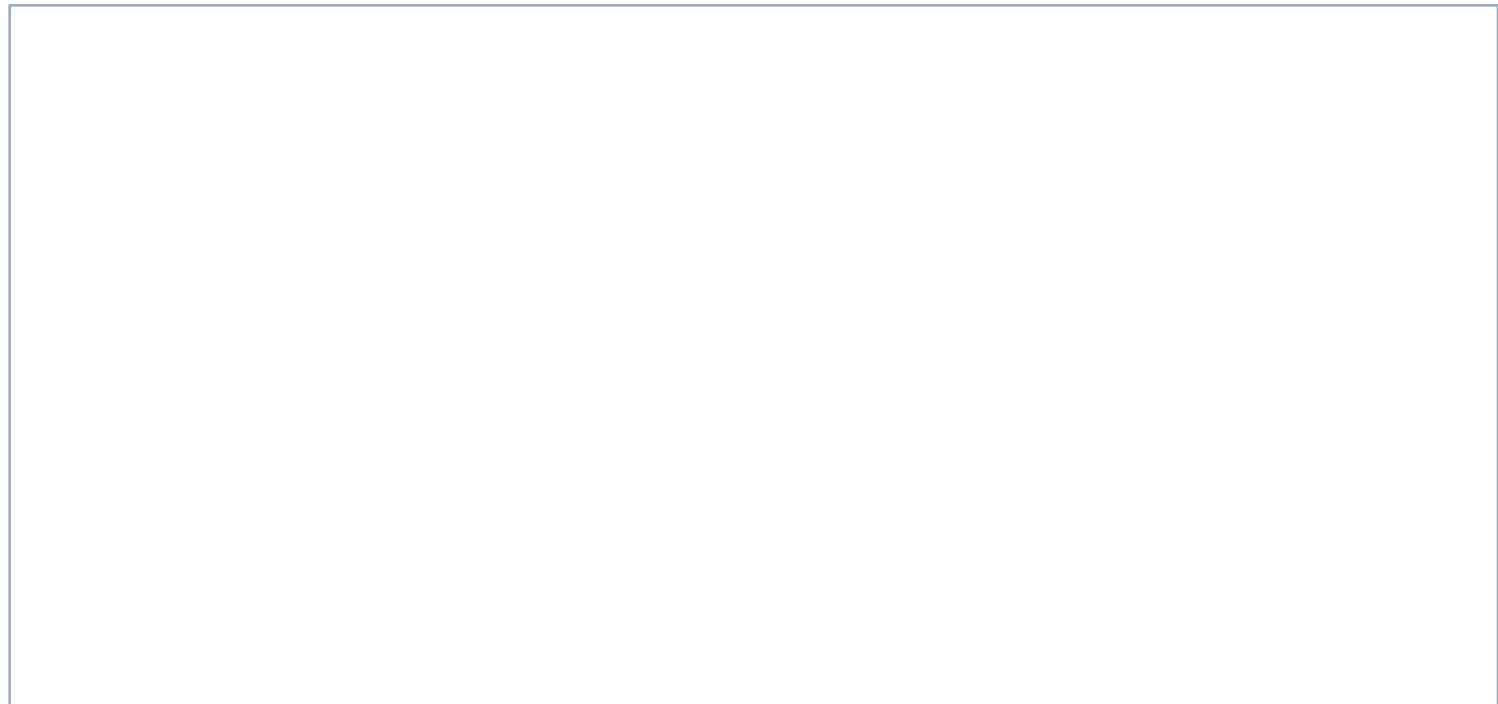
右の図は、左上から、パルス持続時間 (τ) のレーダーパルスを照射し地上のA点、B点を観測しているとする

この図では、A点とB点からの信号の反射パルスは分離できるが、C点より内側は分離できなくなることがわかる

従って信号が分離できる限界はパルス持続時間 (τ) となることになる

そこで、SARではパルス圧縮技術 (チャープ変調) を用いて送信電力を大きくしたまま見かけ上の送信パルス幅を小さくして分解能の向上を図っている





3. 合成開口レーダ搭載衛星とその運用状況

● SAR搭載人工衛星一覧

衛星名/センサ名	開発機関	打上げ日	周波数	偏波、分解能
ERS-1/AMI	欧州宇宙機関	1991.7.17	5.3GHz	偏波： VV
ERS-2/AMI	(ESA)	1995.4.21	(Cバンド)	分解能： 30m
ENVISAT/ASAR	欧州宇宙機関	2002.3.1	5.3GHz	偏波： single, dual
	(ESA)		(Cバンド)	分解能： 30-1000m
JERS-1/SAR	通商産業省/NASDA	1992.2.11	1.275GHz	偏波： HH
			(Lバンド)	分解能： 18m
ALOS/PALSAR	産業経済省/JAXA	2006.1.24	1.270GHz	偏波： single, dual, quad
			(Lバンド)	分解能： 10-100m
ALOS-2/PALSAR-2	産業経済省/JAXA	2014.5.24	1.257GHz	偏波： single, dual, quad
			(Lバンド)	分解能： 3-100m
RADARSAT-1	カナダ宇宙庁 (CSA)	1995.11.4	5.3GHz	偏波： HH
			(Cバンド)	分解能： 9-147m
RADARSAT-2	カナダ宇宙庁 (CSA)	2007.12.14	5.405GHz	偏波： single, dual, quad
			(Cバンド)	分解能： 3-100m
TerraSAR-X	ドイツ航空宇宙センター (DLR)	2007.6.15	9.95GHz	偏波： single, dual, quad
TanDEM-X		2010.6.21	(Xバンド)	分解能： 1-16m
COSMO-SkyMed	イタリア宇宙庁 (ASI) イタリア防衛省	2007.6.7	9.6GHz	偏波： single, dual
		2007.12.8	(Xバンド)	分解能： 1-100m
		2008.10.24		
		2010.11.5		

- 現在運用しているSAR搭載衛星
 - ALOS-2 (日本)
 - RADARSAT-2 (カナダ)
 - TerraSAR-X・Tandem-X (ドイツ)
 - COSMO-SkyMed (イタリア)

● ALOS-2

- ALOS-2（陸域観測技術衛星2号、だいち2号）は、宇宙航空研究開発機構（JAXA）が、地図作成、地域観測、災害状況把握、資源調査などへの貢献を目的として開発した「だいち」の後継の地球観測衛星
- 高度628kmの太陽同期準回帰軌道を14日で回帰
- 地球観測用小型赤外線カメラ「CIRC」、船舶自動識別信号受信機「SPAISE2」を搭載することにより、海上における船舶の識別も可能
- JAXAは尖閣諸島など領土の領有権を巡る問題への対応利用も視野



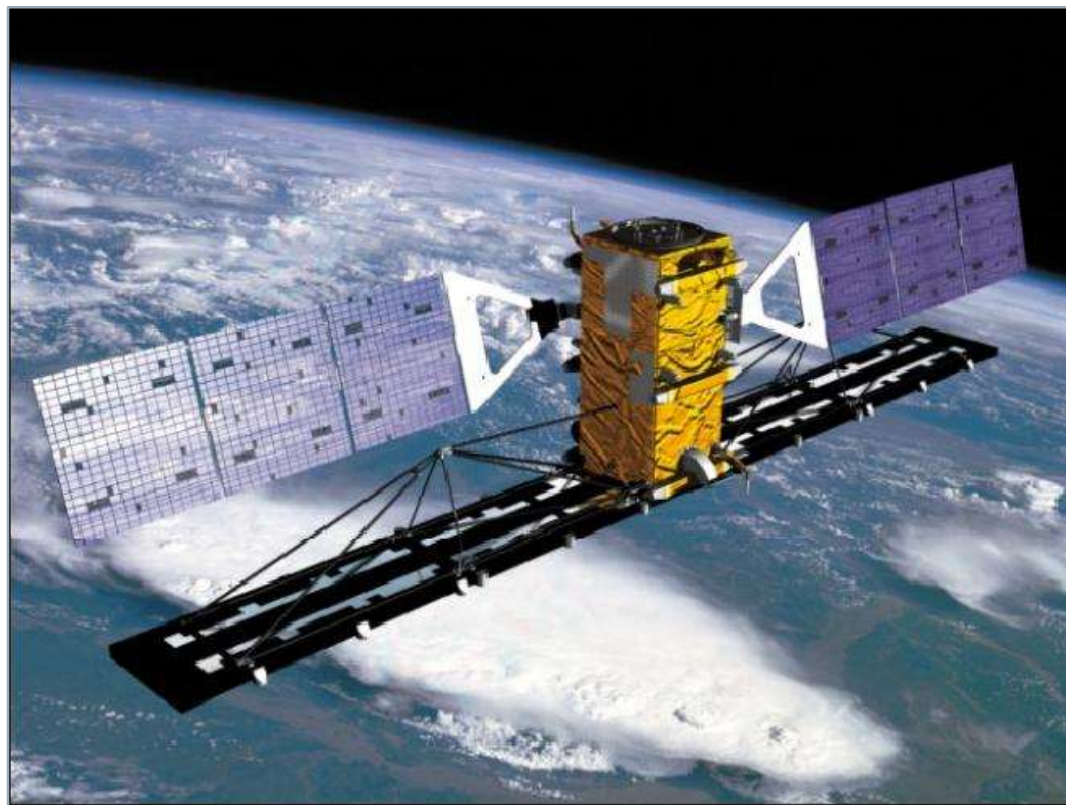
● ALOS-2搭載PALSAR-2の諸元

軌道	太陽同期準回帰軌道
高度	628km
周期	97分
軌道傾斜角	97.9度
赤道通過地方 太陽時	12:00±15min
回帰	14日

観測モード	スポットライト	ストリップマップ			ScanSAR 広域観測
		高分解能 [3m]	高分解能 [6m]	高分解能 [10m]	
周波数	1257.5 MHz L-band (22.9 cm wavelength)	1257.5 MHz or 1236.5 / 1278.5 MHz,selectable			
帯域幅	84MHz	84MHz	42MHz	28MHz	14MHz
入射角	8° ~ 70°				
空間分解能	レンジ×アジマス3 × 1m	3m	6m	10m	100m
観測幅	レンジ × アジマス25 × 25km	50km	50km	70km	350km
			(FP: 30km)	(FP:30 km)	5ルック
観測可能偏波	SP	SP/DP	SP/DP/FP/ CP	SP/DP/FP/ CP	SP/DP
	SP: 単偏波 (HH or VV or HV) 、 DP: 2偏波 (HH+HV or VV+VH 切替)				
	FP: フルポラリ (HH+HV+VH+VV) 、 CP: コンパクトポラリ (試験モード)				

● RADARSAT-2

- 「RADARSAT-2」は、カナダ宇宙局（CSA）と MacDonalD, Dettwiler and Associates Ltd.(MDA)が共同で開発、2007年12月の打ち上げ以降、すでに6年の運用実績
- 氷・環境モニタリング、災害監視、海洋での原油の流出や海上探査、洪水や積雪エリアのマッピング、地表状態（リアメント）の把握が可能
- SARは斜め方向にマイクロ波を発射し観測するが、RADARSAT-2号では左右どちらの方向にも傾けることが可能



● RADARSAT-2搭載SARの諸元

軌道	太陽同期準回帰軌道
高度	798km
周期	100.7分
軌道傾斜角	98.6度
赤道通過地方 太陽時	18:00（赤道を南から北へ通過）
回帰	24日

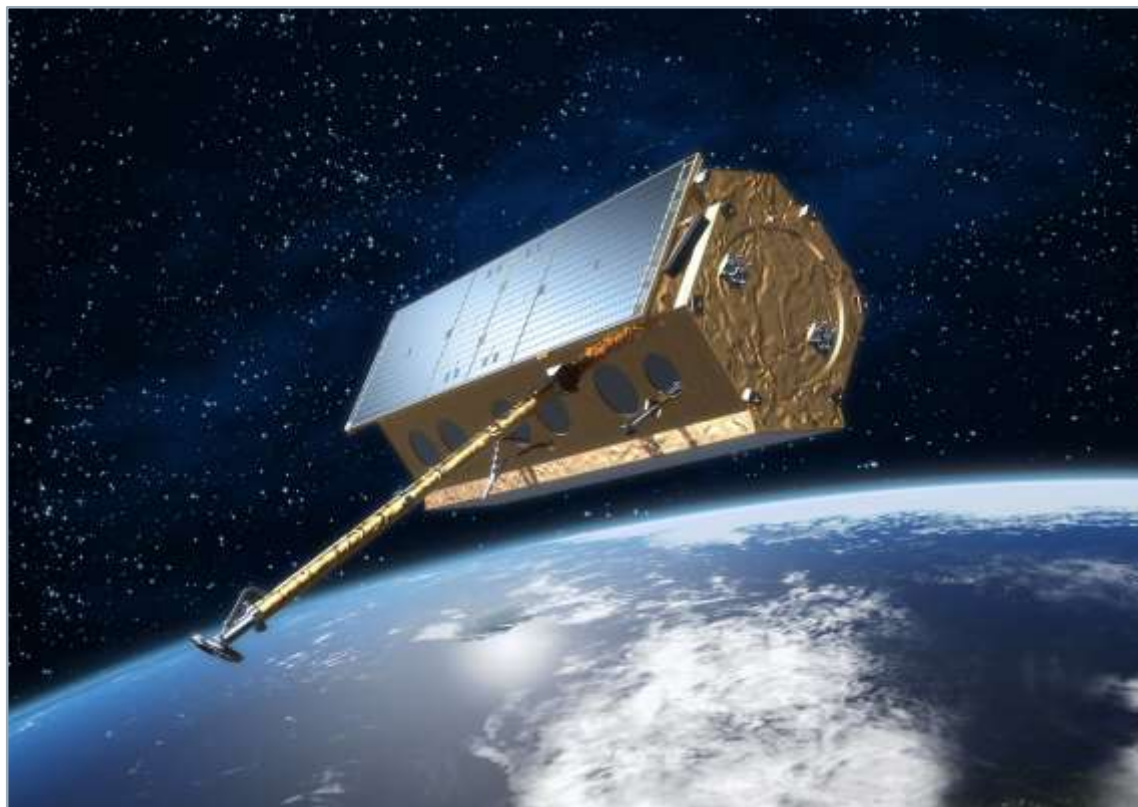
周波数	5.405 GHz, C-band (5.5 cm wavelength)
帯域幅	11.6, 17.3, 30, 50, or 100 MHz
観測モード	次のスライドに記載

● RADARSAT-2搭載SARの諸元

	Beam modes	Nominal swath width	Incidence angles to left or right side	Nr. of looks Range x Azimuth	Spatial resolution (m)	Swath coverage left or right (km)
RADARSAT-1/2 modes with selective polarization Transmit H or V Receive H or V or (H and V)	Standard	100 km	20° - 49°	1x4	25 x 28	250-750
	Wide	150 km	20° - 45°	1x4	25 x 28	250-650
	Low incidence	170 km	10° - 23°	1x4	40 x 28	125-300
	High incidence	70 km	50° - 60°	1x4	20 x 28	750-1000
	Fine	50 km	37° - 49°	1x1	10 x 9	525-750
	ScanSAR wide	500 km	20° - 49°	4x4	100x100	250-750
	ScanSAR narrow	300 km	20° - 46°	2x2	50 x 50	300-720
New RADARSAT-2 modes (beyond those offered by RADARSAT-1)						
Polarimetric: transmit H, V on alternate pulses Receive H, V on any pulse	Standard Quad polarization	25 km	20° - 41°	1x4	25 x 28	250-600
	Fine Quad polarization	25 km	20° - 41°	1x1	11 x 9	400-600
Selective single polarization Transmit H or V Receive H or V	Multi-look fine	50 km	30° - 50°	2x2	11 x 9	400-750
	Ultra-fine	20 km	30° - 40°	1x1	3 x 3	400-550

● TerraSAR-X

- TerraSAR-Xはドイツ政府機関のドイツ航空宇宙センター（DLR）とヨーロッパの大手航空宇宙企業EADS社傘下のEADS Astrium社との官民連携事業によって開発され運用されるドイツの衛星
- さらに2010年に打ち上げられた同型の衛星TanDEM-X（タンダムエックス）と連携した観測を行うことで高精度の3次元の地形データも取得可能
- 衛星の運用は科学研究と商用事業に半分づつ使われる形で稼働時間をシェア
- これらのスケジュールされたサービスの他に、TerraSAR-Xは突発的な災害・自然現象への対処



● TerraSAR-X SAR (TSX-SAR) の諸元

軌道	太陽同期
高度	514km
周期	94.85分
軌道傾斜角	97.4度
赤道通過地方 太陽時	18:00±15分 (赤道を南から北へ通過する時刻)
回帰	11日

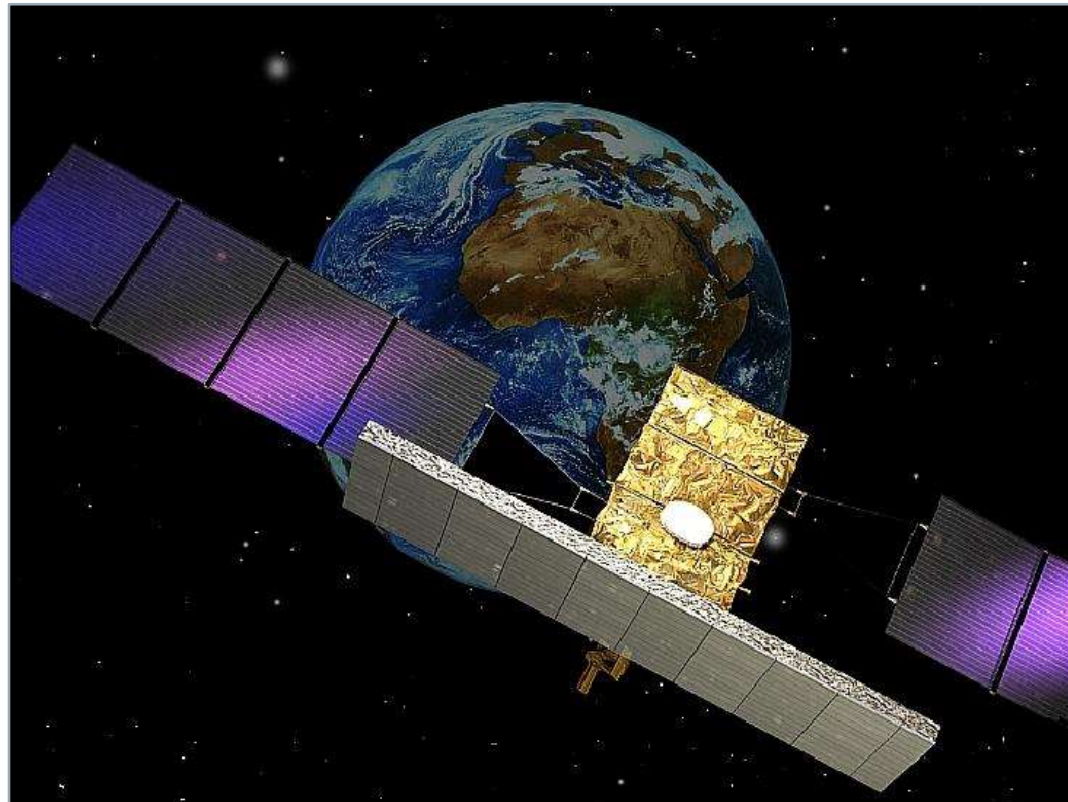
周波数	9.65 GHz, X-band (3.1 cm wavelength)
帯域幅	,31.25 81.25, 100, 150, or 300 MHz
観測モード	次のスライドに記載

● TerraSAR-X SAR (TSX-SAR) の諸元

撮影モード	偏波	標準シーンサイズ	空間分解能	
			レンジ×アジマス	プロダクト
Staring SpotLight (ST)	単偏波 (HH又はVV)	4 km×3.7 km	0.6×0.24 m	0.9-1.8 m
高分解能SpotLight (HS) 300MHz	単偏波 (HH又はVV)	5-10 km×5 km	0.6×1.1 m	1.1-1.8 m
高分解能SpotLight (HS)	単偏波 (HH又はVV)	10 km×5 km	1.2×1.1 m	1.4-3.5 m
	二重偏波 (HH/VV)	10 km×5 km	1.2×2.2 m	2.2-3.3 m
SpotLight (SL)	単偏波 (HH又はVV)	10 km×10 km	1.2×1.7 m	1.7-3.5 m
	二重偏波 (HH/VV)	10 km×10 km	1.2×3.4 m	3.4-3.5 m
StripMap (SM)	単偏波 (HH又はVV)	30 km×50 km	1.2×3.3 m	3.3-3.5 m
	二重偏波 (HH/VV又はHH/HV又はVV/VH)	15 km×50 km	1.2×6.6 m	6.6 m
ScanSAR (SC)	単偏波 (HH又はVV)	100 km×150 km	—	18.5-19.2 m
Wide ScanSAR (WS)	単偏波 (HH又はVV)	270 km×200 km	—	40 m

● COSMO-SkyMed

- COSMO-SkyMedはイタリアの軍事研究所と国防省が資金を出し、イタリア宇宙機関（ASI）が実施している主に地中海盆地地域を観測するための地球観測衛星システムを構築する4基の衛星の名称
- 軍民両方の使用を意図
- 4基の中型衛星は高度620km、回帰日数16日の太陽同期準極軌道に投入し地球全域をカバー
- 関心のある地域の観測はどのような天候でも1日に数度繰り返し観測可能
- 映像はイタリアやその他の国の安全保障、地震災害の解析、環境災害の監視、農業マッピングに利用

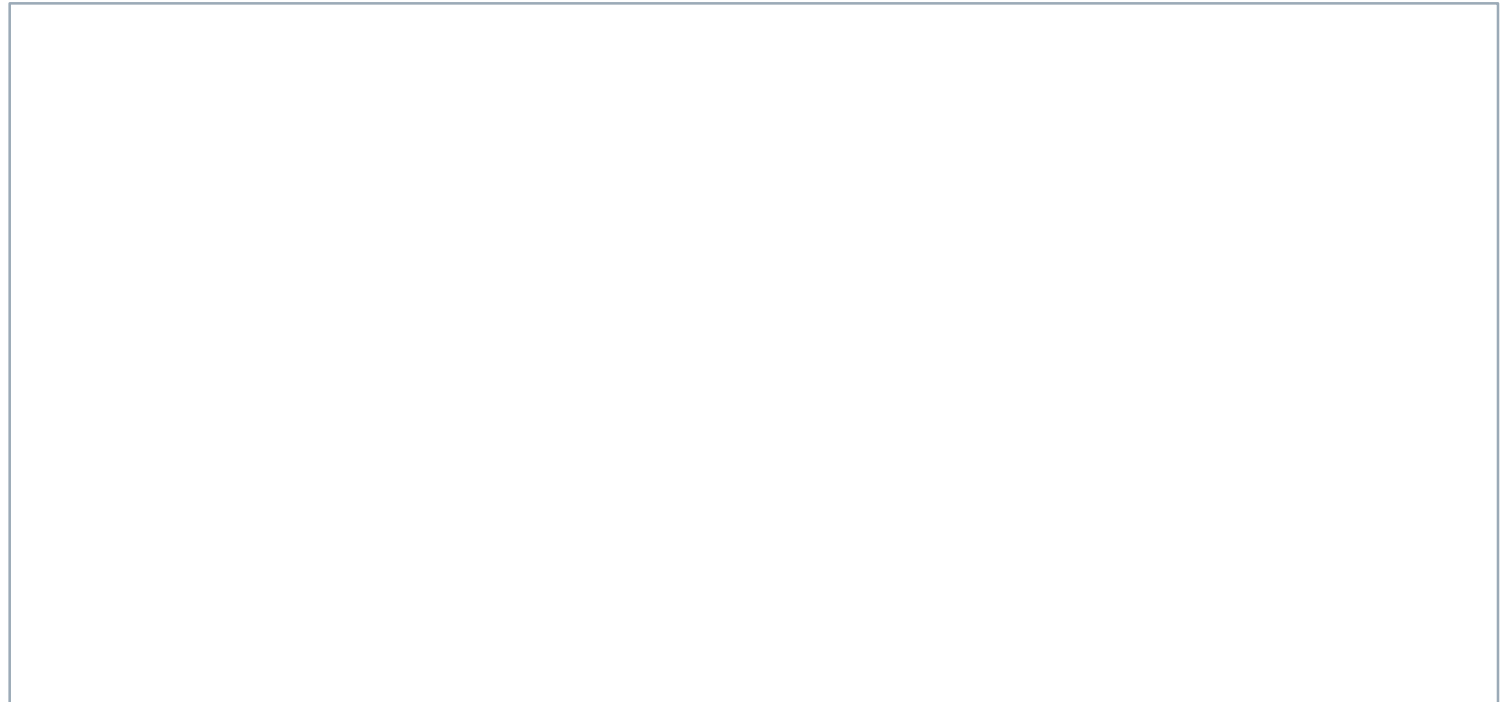


- COSMO-SkyMed(Synthetic Aperture Radar-2000)の諸元

軌道	太陽同期ダウンスク軌道
高度	619.6 km
周期	97.1分
軌道傾斜角	97.86度
赤道通過地方 太陽時	6:00 (赤道を南から北へ通過)
回帰	16日 (4機コンステレーションでは数時間以内に同一地点の観測が可能)

周波数	9.0 GHz, X-band (4.6 cm wavelength)
帯域幅	11.25, 30.0 41.25, 80.25, 108.75, 176.25, or 180.75 MHz

観測モード	観測幅	解像度	偏波
Spotlight	10 km x 10 km	1 m以下	HH, VV, HV,またはVH (いずれか1つ)
HIMAGE (Stripmap)	40 km	3-15 m	
WideRegion (ScanSAR)	100 km	30 m	
HugeRegion (ScanSAR)	200 km	100 m	
Ping Pong (Stripmap)	30 km	15 m	HH, VV, HV,またはVH (いずれか2つ)



4. 合成開口レーダの地上分解能

- 合成開口レーダの地上分解能

➤ ここでは、SARの分解能の理論式は省略し、結果を示す

- アジマス方向の分解能： R_a

アジマス方向のアンテナ長を l [m] とすると

$$R_a = \frac{l}{2} [m]$$

- レンジ方向の分解能： R_r

チャープ信号の帯域幅を B [Hz]、光の速度を c [m/s] とすると

$$R_r = \frac{c}{2B} [m]$$

- グラウンドレンジの分解能は： R_g

入射角を θ [°] とすると

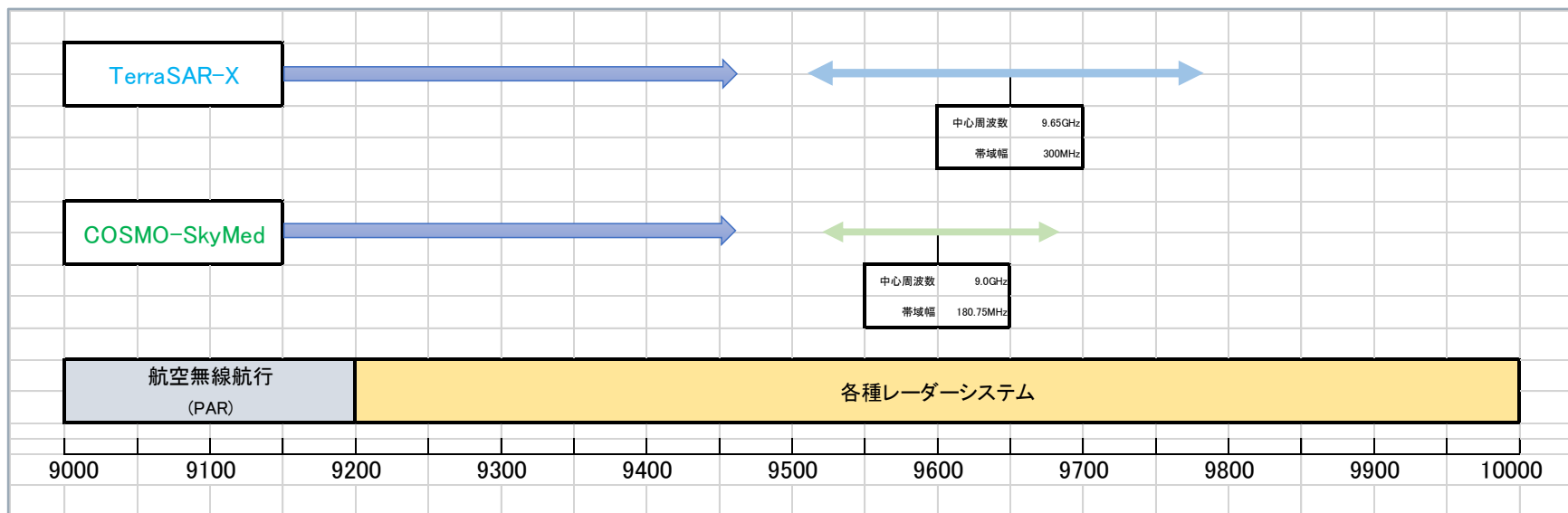
$$R_g = \frac{c}{2B \sin \theta} [m]$$

PALSAR-2の諸元

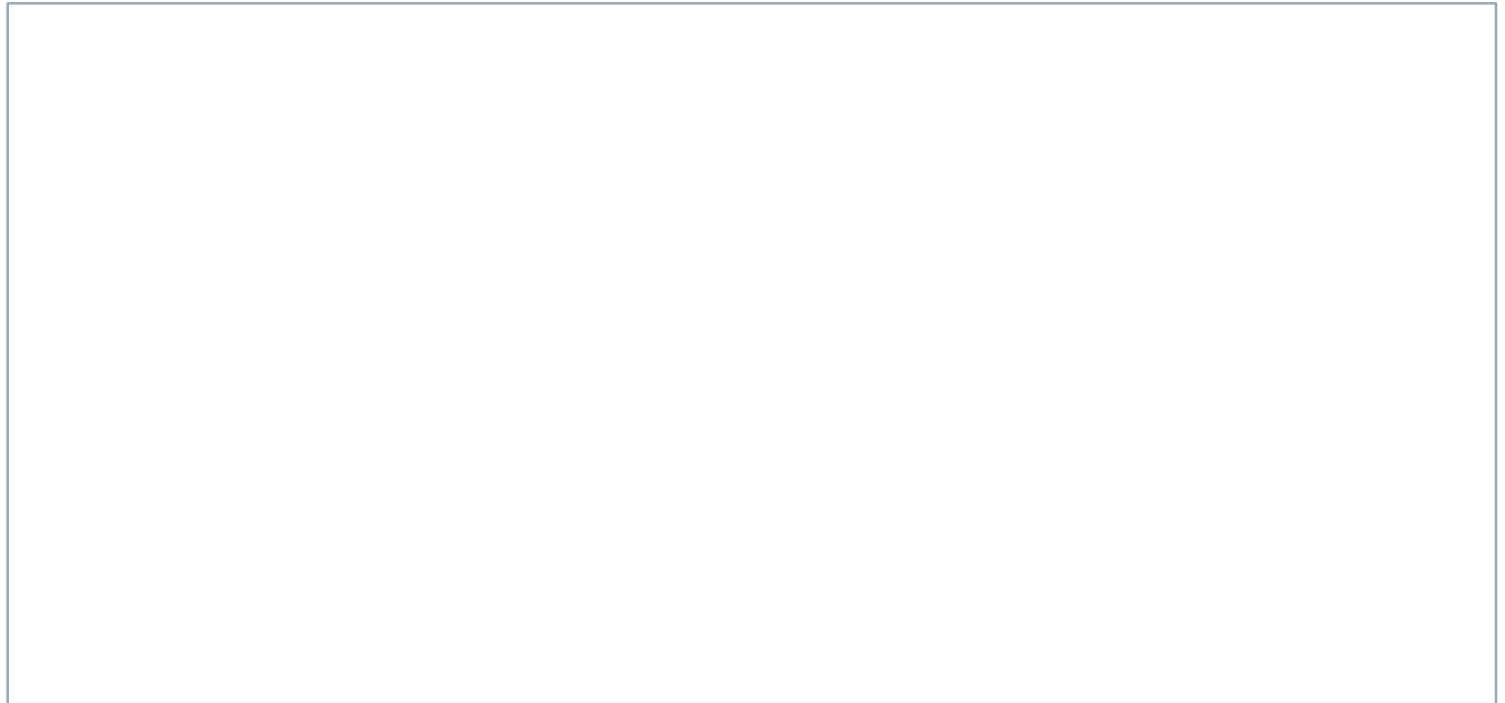
観測モード	スポットライト		ストリップマップ		ScanSAR	
周波数	1257.5 MHz L-band (22.9 cm wavelength)		1257.5 MHz or 1236.5 / 1278.5 MHz, selectable			
帯域幅	84MHz		84MHz	42MHz	28MHz	14MHz
入射角	8° ~ 70°					
アンテナサイズ	3m×10m (5枚構成：2m×5枚)					
空間分解能	レンジ×アジマス3× 1m		3m	6m	10m	100m

地上分解能を向上するのは帯域幅がキーとなる

● X-Band衛星搭載SARの使用帯域と9 GHz帯の周波数割当



- SARセンサは単バンドであるが、昼夜、天候にかかわらず高分解能のデータが取得できる利点を持つ
- DEMの作成、安全保障、地震災害の解析、環境災害の監視、農業マッピング等のSARデータの主利用目的には高分解能でさらに精度の高いデータが必要と考えられる
- 高分解能データにより、SAR画像特有のスペckルノイズの改善のためのルック処理の効果が向上する
- ユーザーの立場としては、SARの高分解能化は解析精度を向上のための急務であると考え



補足

● インターフェロメトリ処理

SARによって観測されるデータには、後方散乱の情報に加えて、軌道上のSARと地上の観測対象との間の距離に依存するマイクロ波の位相情報が含まれている

インターフェロメトリ処理とは、軌道上にある衛星に搭載されたSARが極めて近い位置から観測した2つの観測データを干渉させて位相情報の差を解析するものであり、標高データの作成や地形の変移を計測する手法

なお、干渉させる2つのSAR画像のうち、一方を「マスタ画像」、もう一方を「スレーブ画像」と呼ぶ

インターフェロメトリ処理を行うことで、標高データの算出が可能

差分インターフェロメトリ処理を行うことで、地形変移を抽出することが可能

● 標高データ算出処理の概要

SARのインターフェロメトリ処理による標高データの算出の幾何学的な原理は以下の図に示す

図より、標高 (h) は以下の式で算出することができる

$$h = H - r \times \cos \theta$$

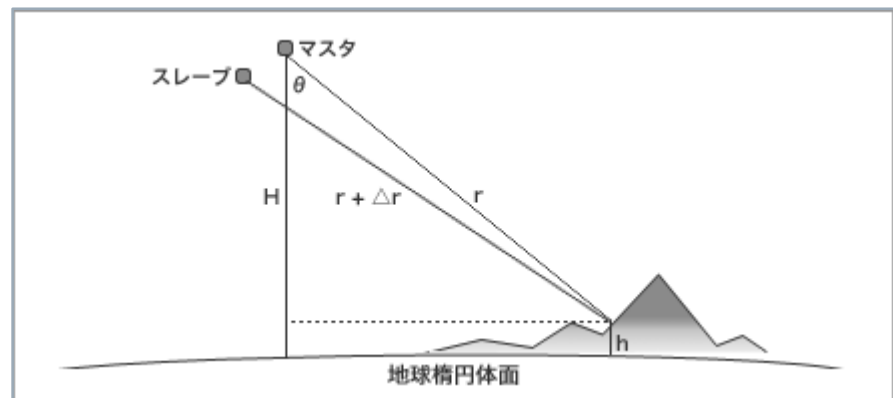
ここで、衛星の高度 (H) と、衛星と観測対象の距離 (r) は衛星の軌道や姿勢データから取得

それより、 θ (オフナディア角) の値を求め、標高 (h) を算定する

このオフナディア角を、 Δr に起因する2つのSAR画像の位相差から算定することが、SARインターフェロメトリ処理による標高データ算出の原理である

なお、衛星の高度 (H) と、衛星と観測対象の距離 (r) を正確に定めることが、標高データの精度に大きく影響する

よって、衛星の軌道データや姿勢データの精度は、SARインターフェロメトリ処理による標高の算出に極めて重要な要素となる



- TerraSAR-X・TanDEM-X
コンステレーションシステム

近接した軌道をフォーメーション飛行する
2機SAR衛星によるコンステレーション
(TerraSAR-X・TanDEM-X)

TerraSAR-X・TanDEM-X
コンステレーションシステム(右上)

タンデム軌道(右中)

取得したDEMで作成したIcelandの鳥
瞰図(右下)



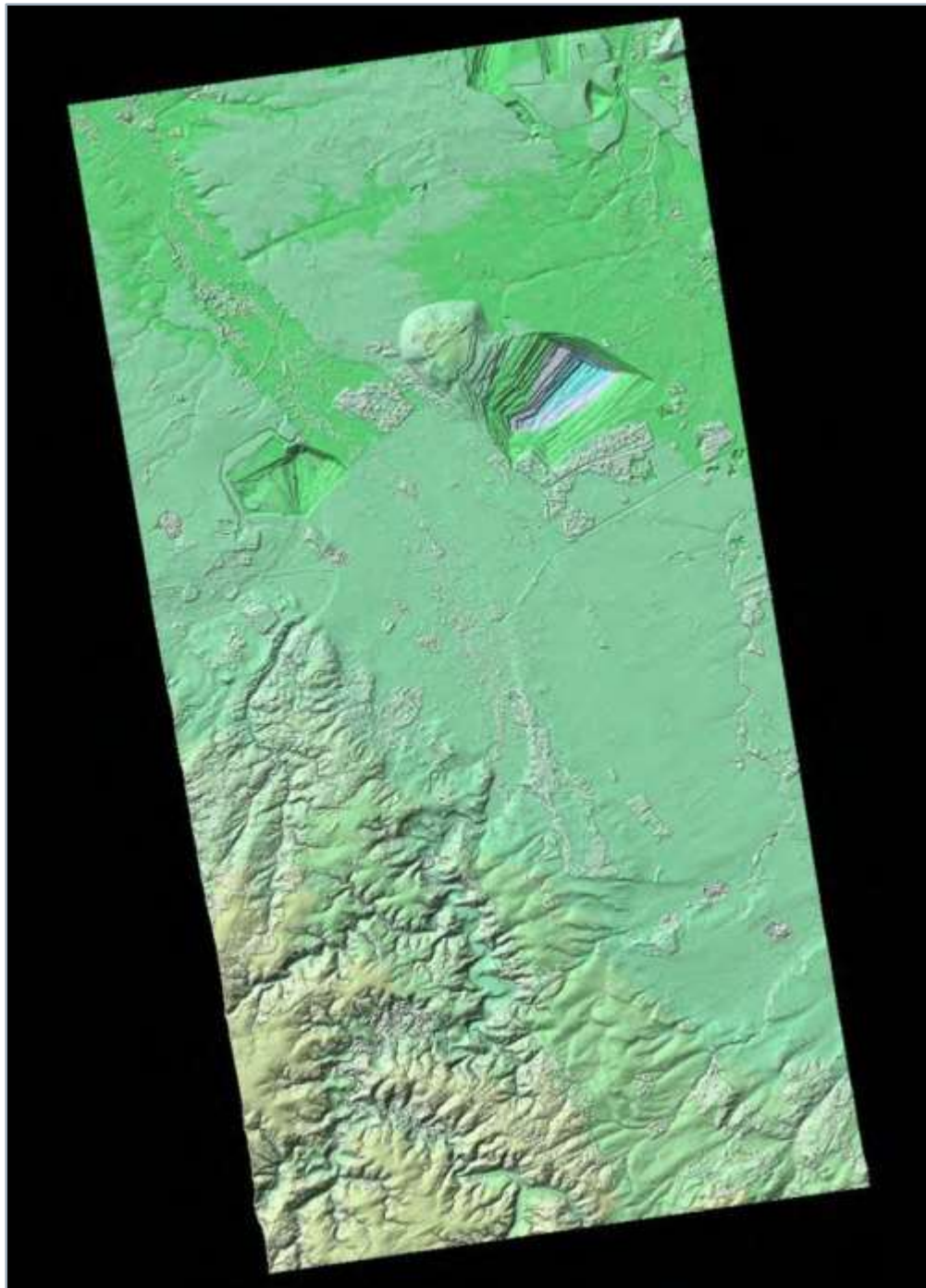
© DLR



- TerraSAR-X·TanDEM-X
解析例

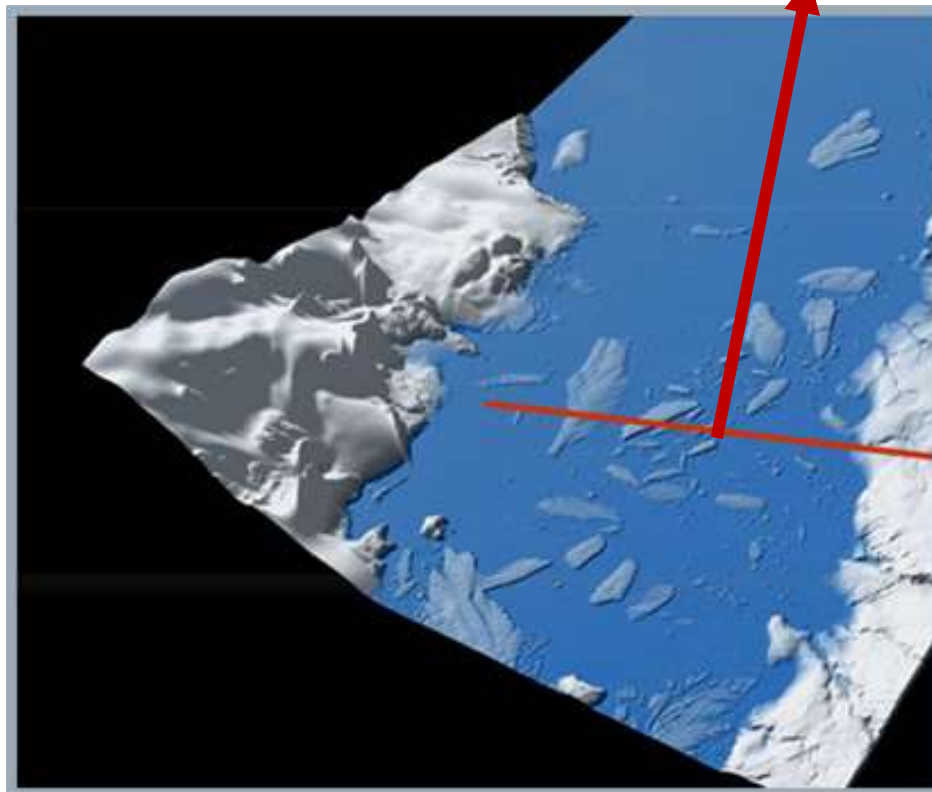
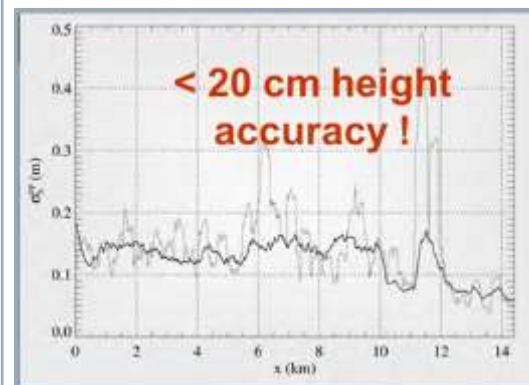
資源監視

TanDEM-X Digital Elevation Model
Brown Coal Mining Hambach,
Germany



- TerraSAR-X・TanDEM-X
解析例

海氷の観測例 (精度検証)



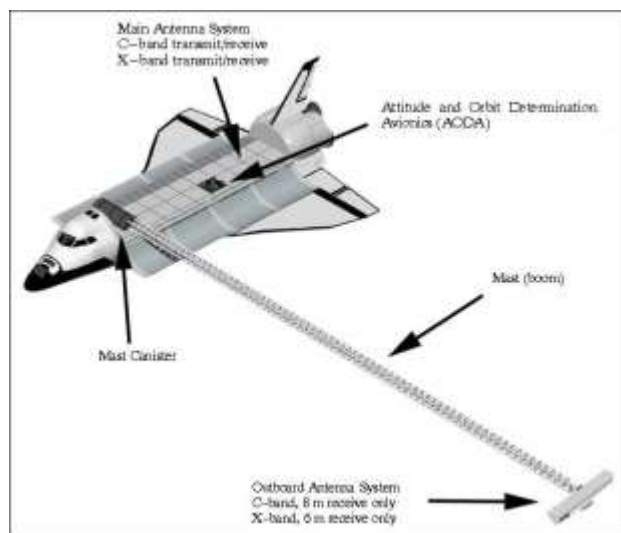
- TerraSAR-X・TanDEM-X
解析例

DEMの精度の比較

SRTM :

2000年のSTS-99ミッション

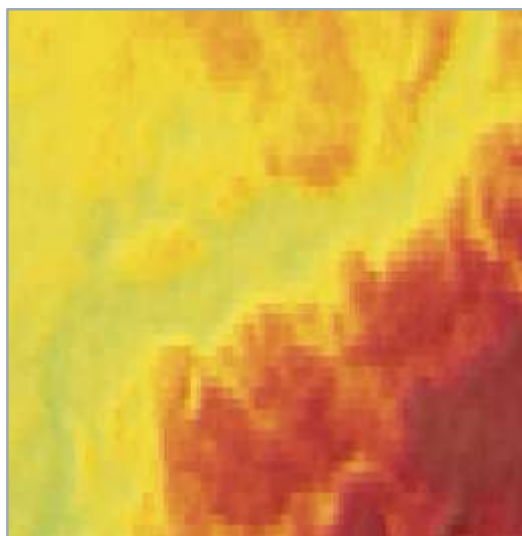
スペースシャトルに搭載したレーダーで、
地球の詳細な数値標高モデルを作
製することを目的としたミッション



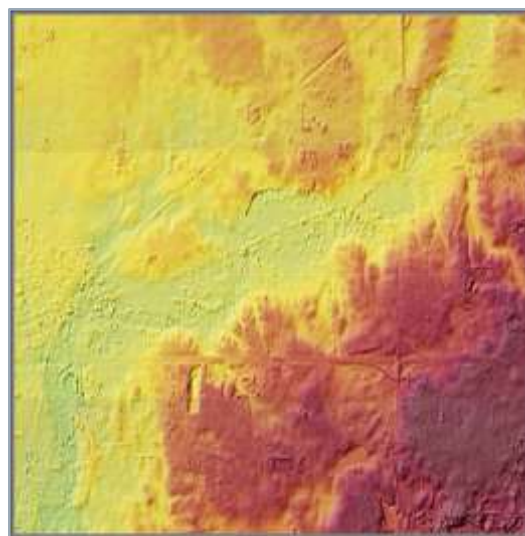
© NASA

WorldDEM :

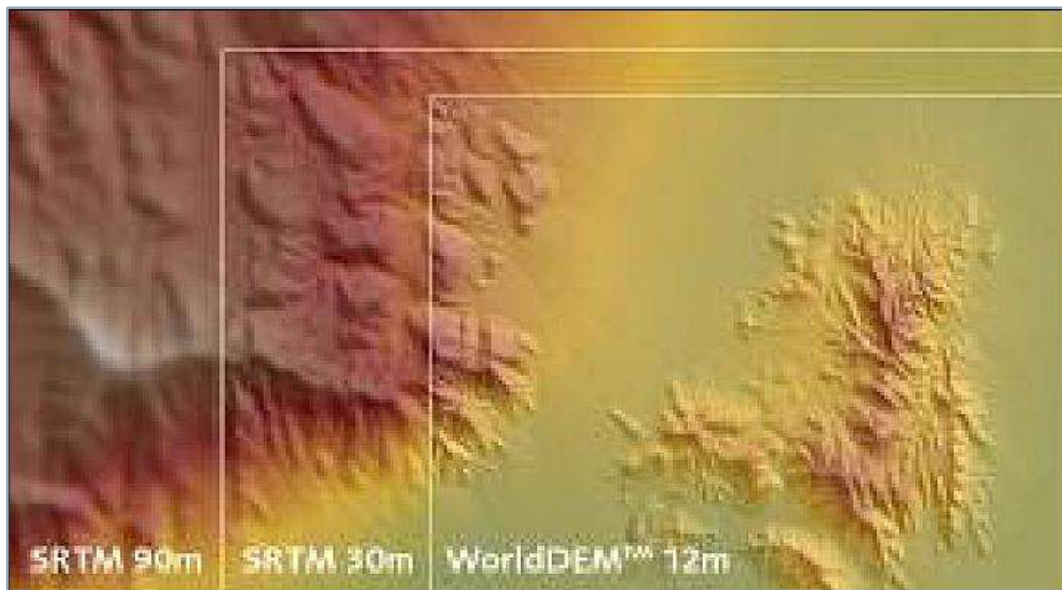
TerraSAR-X・TanDEM-Xで作成
した12 (m) 解像度のDEM



SRTM(2000)



TanDEM-X (2013)



- COSMO-SkyMed
コンステレーションシステム

- 4機コンステレーション

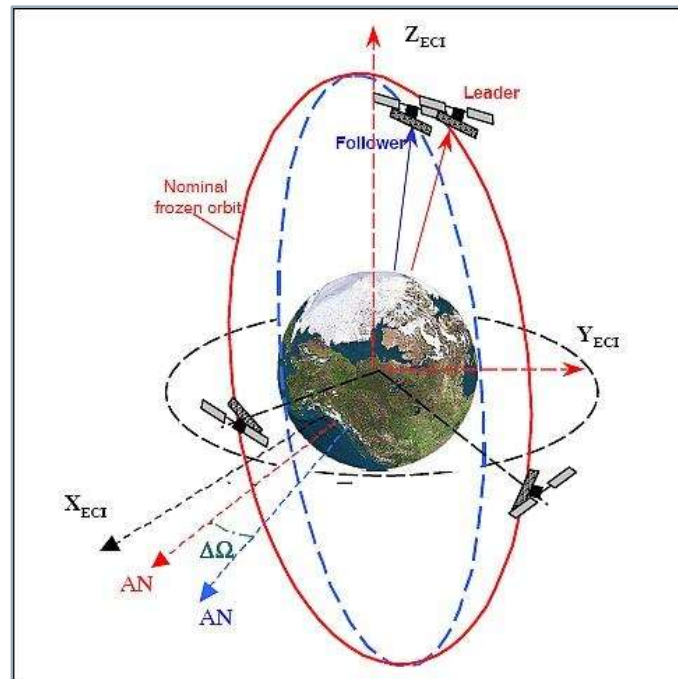
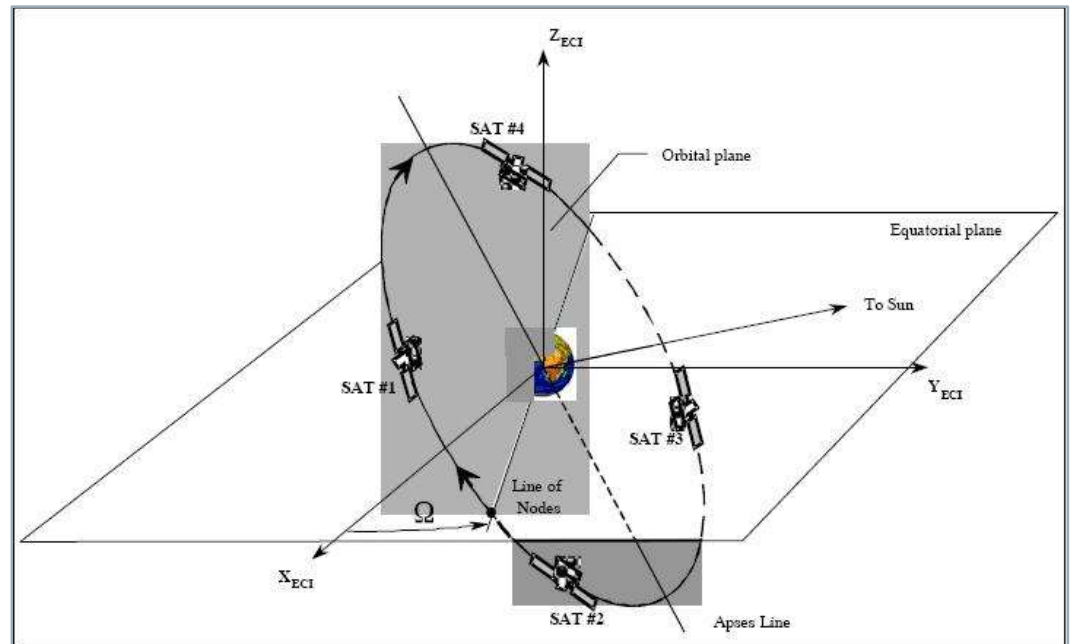
同一軌道に4機の衛星を配置することで
高い撮影頻度を実現している

COSMO-SkyMed constellation in
nominal configuration (図上)

- Tandem-like interferometry

一日後の観測データをペアで使用可能

Tandem interferometric
configuration in different orbital
planes (図下)



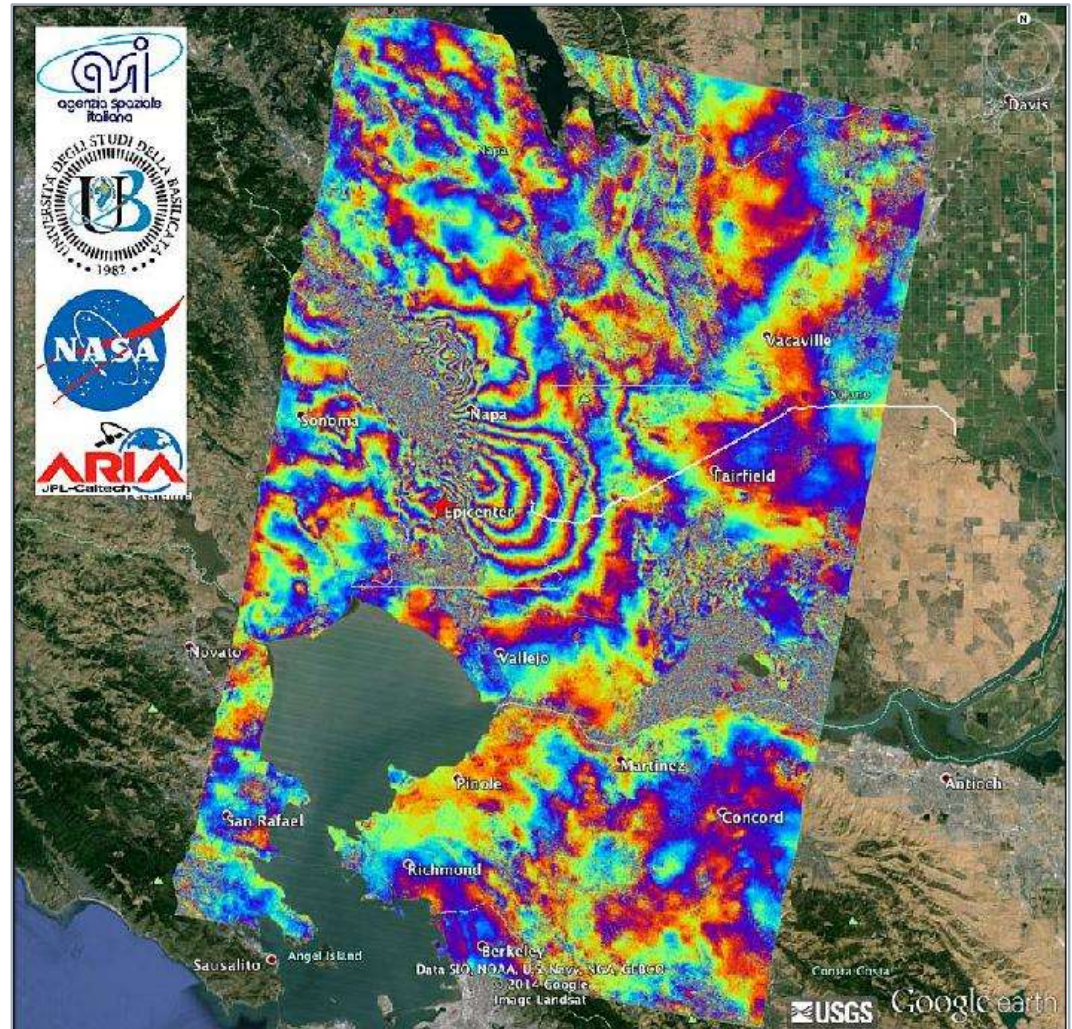
(image credit: ASI)

- COSMO-SkyMed
解析例 1

差分インターフェロメトリ処理による地形
変移抽出例

A magnitude 6.0 earthquake
struck southern Napa county
northeast of San Francisco, CA, on
Aug. 24, 2014

COSMO-SkyMed interferogram
showing the South Napa
earthquake deformation field



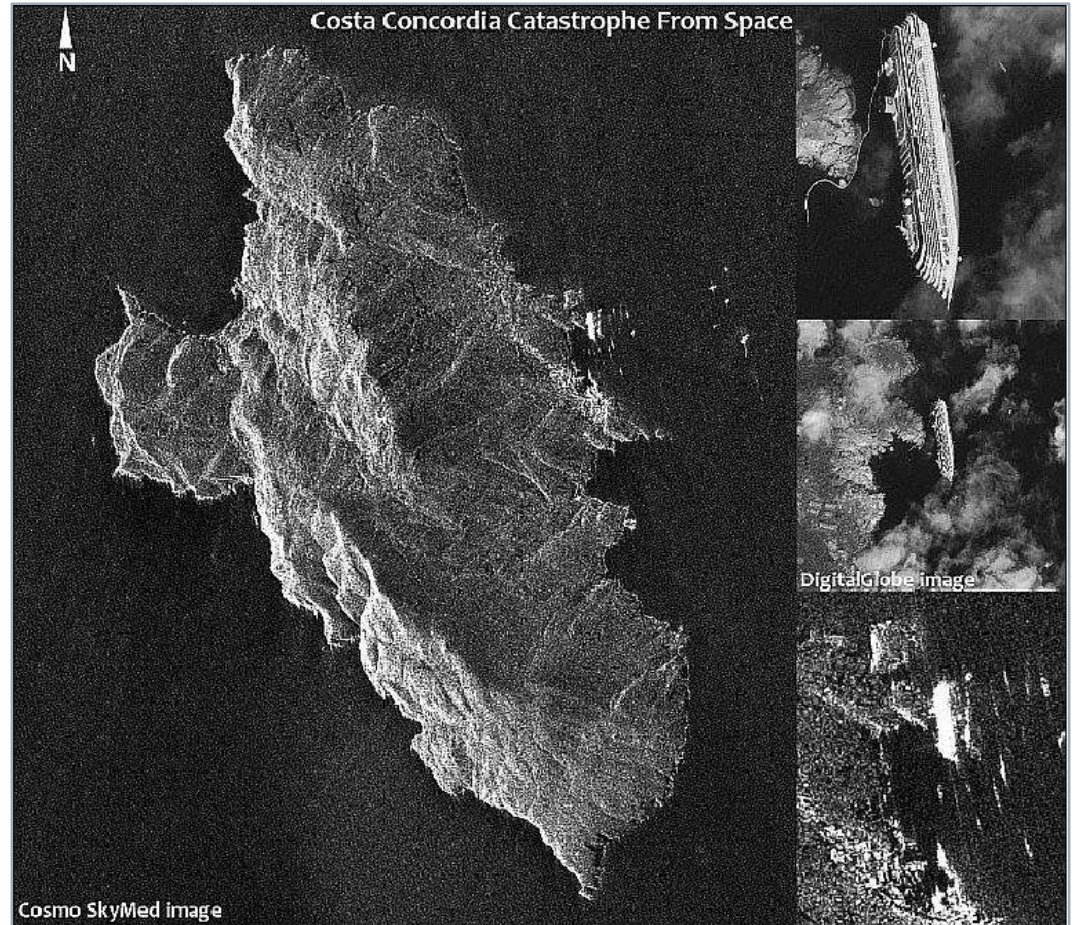
(image credit: ASI, UB, NASA, ARIA)

- COSMO-SkyMed
解析例 2

高い撮影頻度を生かした災害・事故等の監視例

The ocean liner hit a reef on January 13, 2012 and tipped over. The Costa Concordia was carrying about 3,200 passengers and a crew of 1,000 when it ran aground, according to news reports. The accident killed 11 people, with more than two dozen others still missing (as of January 20, 2012).

COSMO-SkyMed radar image (left) showing the catastrophe of the Costa Concordia ship on the island of Giglio, Italy



(image credit: ASI)