

# 合成開口レーダ (SAR)

「合成開口レーダ (SAR)」は、マイクロ波リモートセンシングに広く用いられる能動型センサです。夜間や雨天時も観測が可能のため、災害時の状況把握などにも利用されています。

今回は、この「合成開口レーダ (SAR)」について学習しましょう！

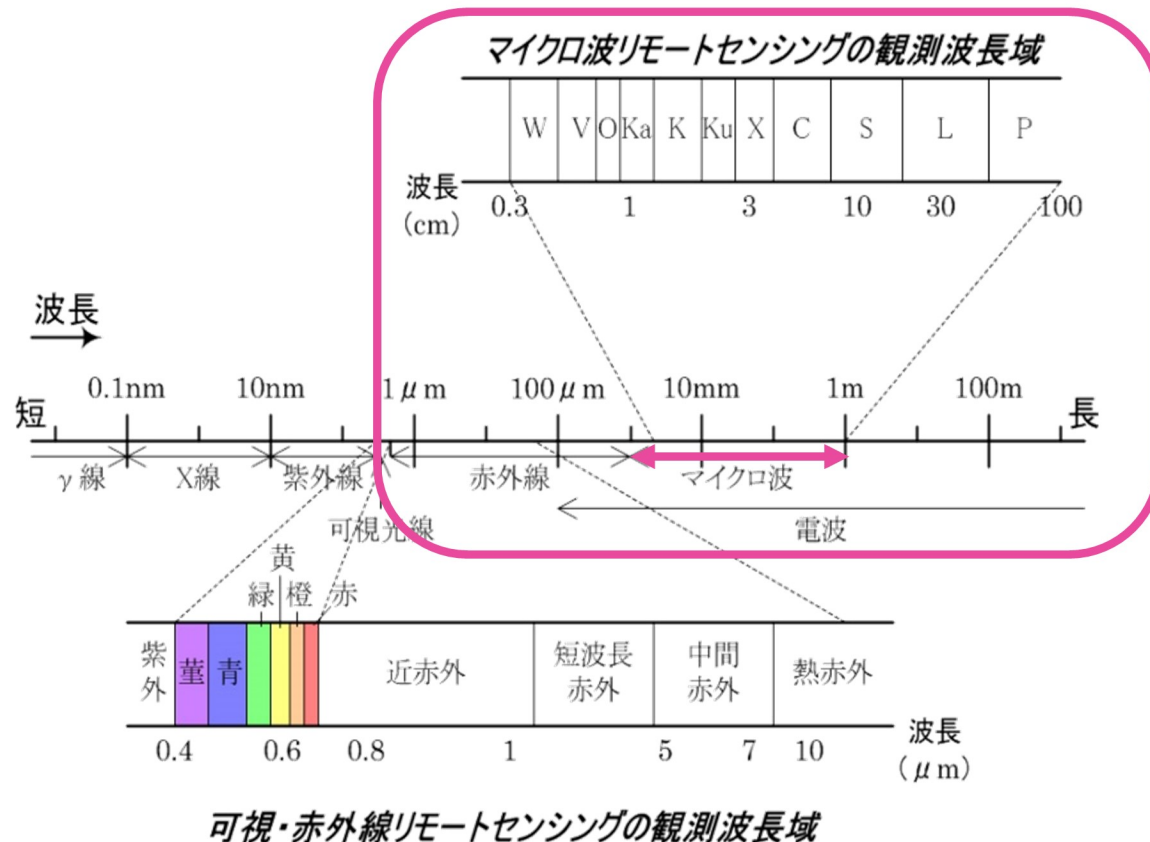


# 1. 合成開口レーダSARとは

合成開口レーダ（SAR : Synthetic Aperture Radar）は、マイクロ波リモートセンシングに広く用いられる能動型センサです。

光学衛星（LANDSATなど）や航空レーザより波長の長いマイクロ波を利用しており、地上に向けて電波を発射し、地表面に当たって跳ね返ってきた反射を受信することにより観測を行っています。

太陽光を利用しないため夜も観測可能なほか、雲を透過するため雨天時も観測できます。



## 2. SAR衛星の種類

◆ 運用されている主なSAR衛星には、主に次のような種類があります。

製造元	Airbus	Thales Alenia Space	Thales Alenia Space	SSTL	三菱電機	NEC
衛星名	①TerraSAR-X ②TanDEM-X ③Spanish PAZ	COSMO-Skymed	Sentinel-1 A/B/C/D	NovaSAR	ALOS-2	ASNARO-2
バンド	X帯	X帯	C帯	S帯	L帯	X帯
分解能	[S]1m(10×10km) [W]16m(1600×100km)	[S]1m(10×10km) [W]16m(30×2000km)	[S]5m(80×80km) [W]25m(400km)	[S]6m(15-20km) [W]30m(140km)	[S]1×3m(25km) [W]100m(350km)	[S]1m(10km) [W]16m(50km)
衛星質量	1340kg	1700kg	2270kg	450kg	2120kg	570kg
観測頻度	1日程度	1日以下	1日以下	1日程度	14日	5日
機数	3	4	2(4)	1(3)	1	1
打ち上げ時期	①2007年6月 ②2010年6月 ③2018年2月	①2007年6月 ②2007年12月 ③2018年10月 ④2010年11月	①2014年4月 ②2016年4月	2018年11月	2014年5月	2018年1月
運用国	①ドイツ ②ドイツ ③スペイン	イタリア	欧州	イギリス	日本	日本

※機数の ( ) は最終的な打ち上げ計画数を表す

出典 : <https://sorabatake.jp/3364/>を基に作成

# 3. SARで得られる情報①

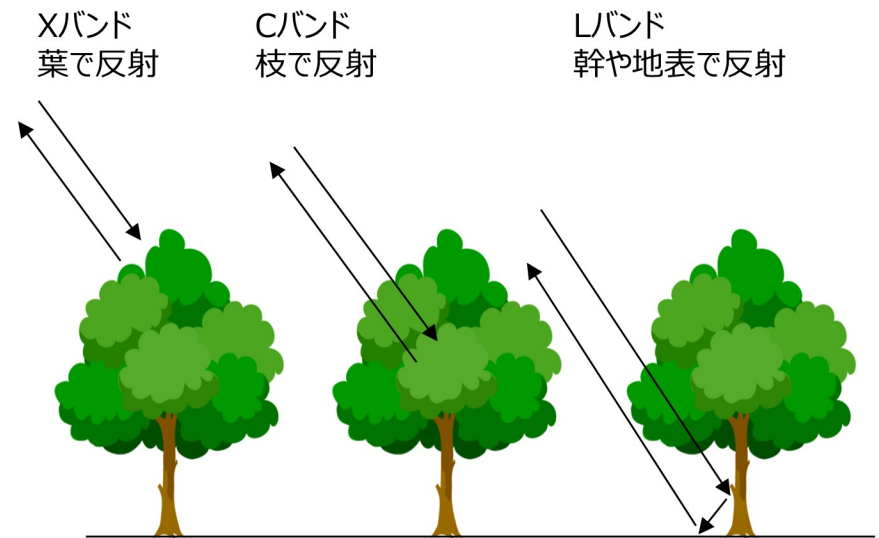
観測周波数は、用いる波長帯によって、Xバンド、Cバンド、Lバンドに区分されます。

Xバンドは、SAR衛星で用いられる波長帯の中では波長が短く、約1mの高分解能を得られます。商用の高分解能SAR衛星は、いずれもXバンドを用いています。電波が葉や草などで反射されるため、小さい地物を観測するのに適していると言われています。

CバンドはカナダのRADARSATで採用されて以来、SAR衛星に多く用いられている波長帯です。Xバンドより波長が長く、樹木の葉は透過しますが、多くは枝で反射されます。

Lバンドは、Cバンド、Xバンドより波長が長く電波が枝や草を通過するため、幹や地表面に近いところの様子がわかりやすいという特徴があります。植生が多い日本の国土を観測するために有利な波長帯となっており、日本のSAR衛星（JESR-1, ALOS-1/PALSAR, ALOS-2）はLバンドSARです。

名称	Xバンド	Cバンド	Sバンド	Lバンド	Pバンド
観測周波数	8~12GHz	4~8GHz	2~4GHz	1~2GHz	0.25~0.5Hz
波長(nm)	24~37.5	37.5~75	75~150	150~300	300~1000
	短い	←————→			長い
透過性	小さい	←————→			大きい
代表的な衛星名	TerraSAR-X COSMO-SkyMed	RADARSAT ENVISAT Sentinel-1	NovaSAR	ALOS ALOS-2	Biomass



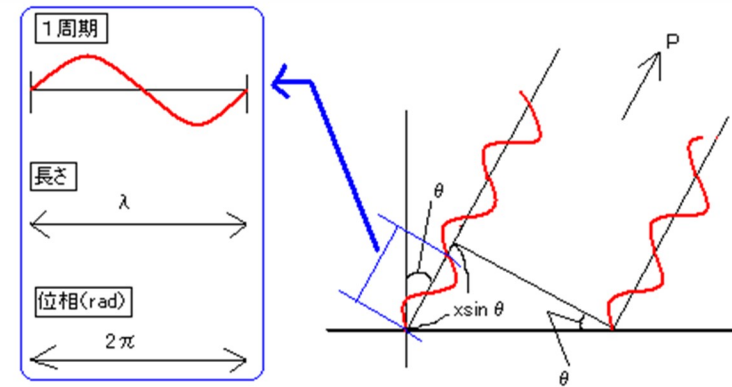
透過性の概念図

# 3. SARで得られる情報②

◆ SARで得られる情報は、大きく分けて3つあります。

## ① 地表面の凹凸がわかる「散乱強度」

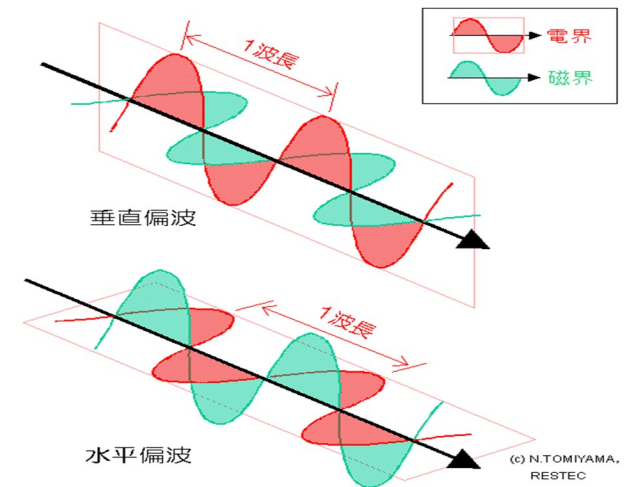
衛星から地表に向けて発射されたマイクロ波が地表面から反射する際、地表面の状況によって帰ってくる波の強さが変わります。これを、「後方散乱強度」といいます。散乱強度は物体の形状によっても変化するため、光学衛星では得られない、地物の形状を推定することが可能です。



位相の概念

## ② 二次期の変位を知ることができる「位相」

SARは、数cmから30cmの波長で地表を観測しています。これだけの長い波長なので、波のどの部分が返ってきたのかを観測することができます。2度の観測の差（位相差）を解析することで、地物がどのくらい動いたかを知ることができます。



多偏波の概念

## ③ 地物の識別ができる「偏波」

SARの電波は、垂直偏波と水平偏波という振動方向の違いがあります。垂直偏波で発射して水平偏波で受信する、など、異なる振動方向の電波を観測することによって地物を識別することが可能となります。発射した電波をどう反射するかが物体の特性によって異なるため、都市部と森林を見分けるなど地物の識別に利用できます。

# 3. SARで得られる情報③



**後方散乱強度の利用**：後方散乱で反射されてきた強度を画像に変換すると、地表面の物質の様子がわかります。強度が弱いほど黒く、強いほど白く表示されています。

上半分の真っ黒い部分は海です。水面は後方散乱強度がほぼゼロとなり、真っ黒に見えます。

画面中央の白っぽい部分は都市です。都市は直角で堅い物体が多く存在し、強い後方散乱となるため、白っぽく見えます。同じ構造物でも、表面が平らで滑らかな舗装道路は黒く見えています。

画面下方は森林です。森林を構成する樹木では電波は体積散乱となり、樹木のさまざまな部分で多数反射されるため、色々な明るさの灰色に見えます。



	散乱プロセス	対象物の例	反射回数	後方散乱強度
①	鏡面反射	水	1回	ほぼゼロ
②	表面散乱	道路、草	1回	とても弱い
③	コーナー反射 (2回散乱)	建物	2回	強い
④	体積散乱	樹木、積雪	多数	弱い

## 4. 利用事例①

後方散乱強度の利用：SAR画像は悪天候でも、夜間でもデータの観測が可能なおことから、災害発生直後の状況把握に利用されています。

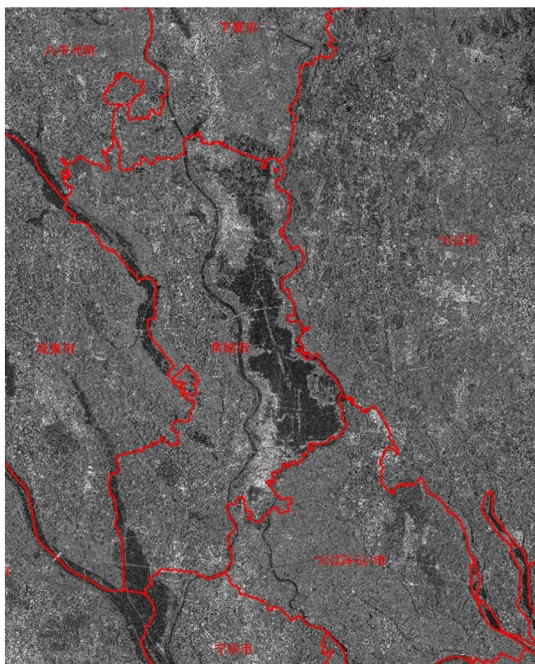
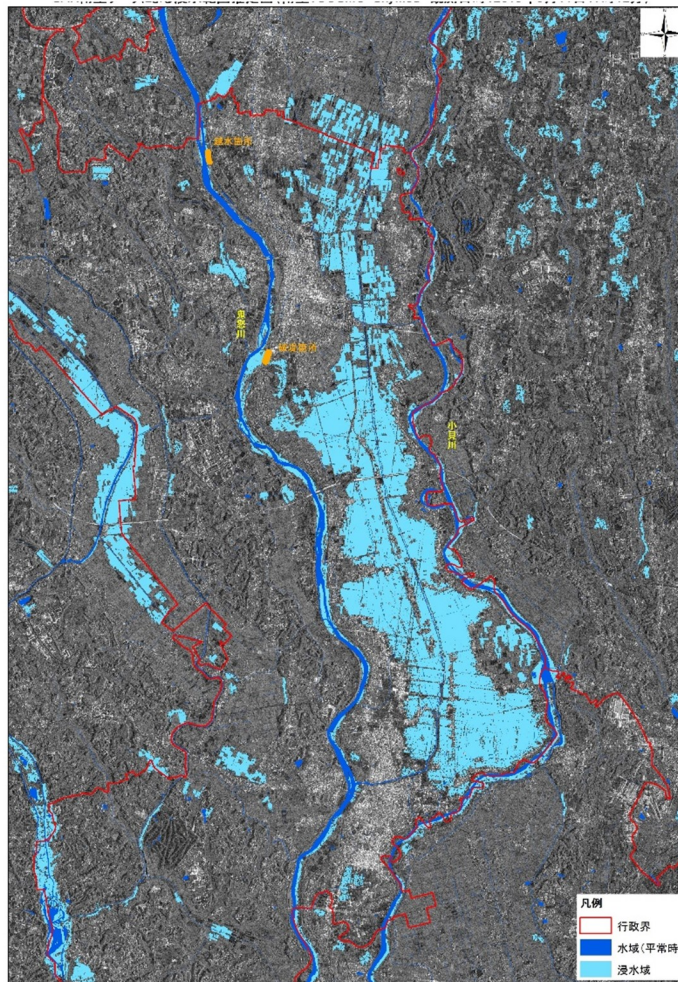


図1 COSMO-SkyMedの後方散乱強度画像（提供：国際航業）

図2 上図から浸水範囲を抽出し、水色に着色したもの（提供：国際航業）



イタリアの高分解能レーダ衛星COSMO-SkyMed（コスモ-スカイメッド）で浸水想定範囲を抽出した例：2015年9月11日の関東・東北豪雨災害で鬼怒川と小貝川に挟まれた地域を撮影したものです。

図1は撮影されたレーダデータを後方散乱強度画像に変換したものです。黒く見えているところが水面と推察されます。図2は、図1を基に画像解析を行い、衛星撮影時点での浸水推定範囲を抽出したものです。水色で着色したところが、浸水と推定された範囲です。通常水が流れている河川は、浸水範囲をわかりやすくするため、濃い青に着色し、浸水範囲と区別しています。

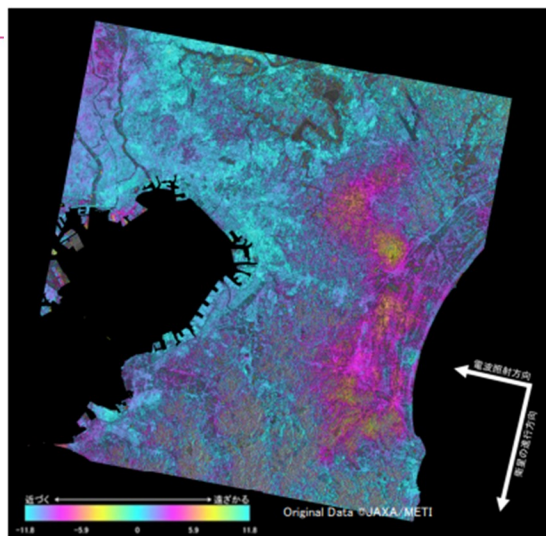
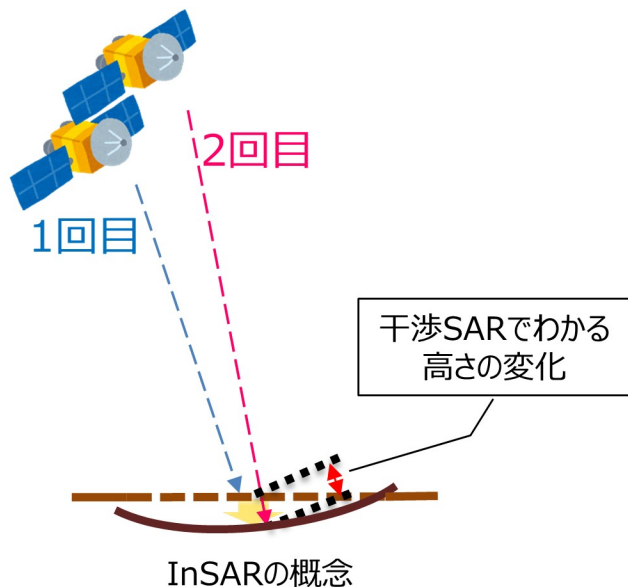
COSMO-SkyMed Product © ASI (2015) processed under license from ASI - Agenzia Spaziale Italiana. All rights reserved. Distributed by e-GEOS

## 4. 利用事例②

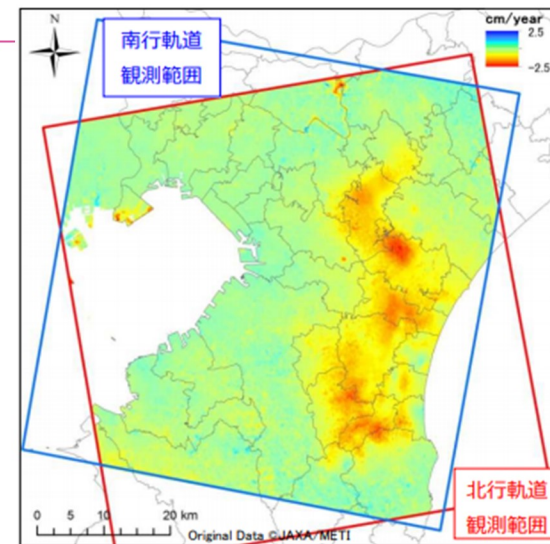
**地表面の高さ変化の観測**：干渉SAR（InSAR：インターフェロメトリーサー）という手法を使って、広範囲での地盤沈下を観測することができます。干渉SARは、異なる時期に観測した地表までの衛星からの距離と、観測時の衛星位置を基に、衛星から地表面までの距離の変化を捉える手法です。

まず、干渉しやすい2時期のSARデータを選定して処理を行い、2時期間の地盤の変化量を抽出します。これをペアといい、複数時期のペア画像でそれぞれの時期の変化量を算出します。SARは夜間でも観測可能なので、北行軌道（衛星が南から北へ移動）、南行軌道（衛星が北から南へ移動）の両側から観測したデータを用いることでより精度を向上することが可能です。これらの結果をすべて重ね合わせ処理し、微細な地盤変動を面的に捉えることができます。

この手法は環境省が発行したマニュアル（「地盤沈下観測等における衛星活用マニュアル」環境省、平成29年3月）で詳しく述べられています。



2007年と2010年間の地盤高変化量



ペアの変化量を複数時期分重ねあわせたスタッキング解析結果

「地盤沈下観測等における衛星活用マニュアル」環境省、平成29年3月  
<https://www.env.go.jp/press/files/jp/105997.pdf>



# 5. SAR衛星の今後の展望

## ◆ 小型SAR衛星

SAR衛星は電力を消費するため、小型化することは難しいとされてきました。しかし、技術の進歩や開発の工夫により、小型化に成功する企業が出てきています。小型化すると低価格になり、多くの衛星を打ち上げられるようになることから、観測頻度の向上につなげることができます。

## ◆ Sバンド衛星

イギリスのSSTLが開発した「NovaSAR-S」は、Sバンドを使用する珍しいSAR衛星で、2018年に打ち上げられ、観測を開始しています。SバンドはLバンドとCバンドの中間で、解像度や透過性など全てにおいて中性的なデータが得られる衛星と言えます。

## ◆ SAR画像のカラー化

SAR衛星は、昼夜を問わず観測ができ、雲も透過するため、光学画像の課題を解決する画期的な手法として注目されてきました。しかし一方で、SAR画像は直観的に地物を捉えづらいという声も上がっています。そこで考え出されたのが、このSAR画像を着色するという試みです。SARで得た凸凹など表面特性の情報から、自動的に物体を認識し、それらしい色をつけています。

## ◆ 技術の進歩とともに、SAR画像はより使いやすく、より私たちにとって身近な技術となっていくでしょう。

# お問い合わせ先

## 公益社団法人日本測量協会 へのお問い合わせはこちら

測量継続教育センター 測量技術教育部

Mail : kyouiku@jsurvey.jp



### ソクジョの会は積極的に働きたい女性を応援します！

当面は日本測量協会ホームページにて、  
活動予定等をお知らせいたします。

URL : <http://www.jsurvey.jp/jg.htm>

Mail : sokujyo@jsurvey.jp

