

知っておきたいキーワード

SAR (合成開口レーダ)

～人工衛星の眼に迫る～

橋本 真太郎[†]

[†] 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 (JAXA)

"Synthetic Aperture Radar (SAR): Explore "the eyes" of satellites" by Shintaro Hashimoto (Research Unit III (JEDI), Research and Development Directorate, Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA), Tokyo)

キーワード：衛星，合成開口レーダ，SAR，干渉SAR，成分分解，マイクロ波

まえがき

SAR (Synthetic Aperture Radar：合成開口レーダ) は，人工衛星，航空機等の飛翔体に搭載されるレーダの一種である。昨今，宇宙ドメインの技術革新によって宇宙開発の参入障壁が下がり，NewSpaceと呼ばれる，従来の政府主導ではない民間ベンチャー等の

新興勢力が宇宙ドメインに台頭してきている。このNewSpaceにおいて，SARを搭載した小型地球観測衛星の開発が多くされており，近年注目され始めている技術である。

SARはマイクロ波 (300 MHz～300 GHz) の電磁波を対象 (地球表面など) に照射し反射波を取得する能動型センサであり，その反射波を分析および画

像化して対象物を観測する。対象物から反射された電磁波を後方散乱波といい，対象物の散乱面等によって変化する反射強度を後方散乱係数という。この後方散乱係数を輝度値に変換することで白黒の濃淡ある「SAR画像」が得られる (図1)。

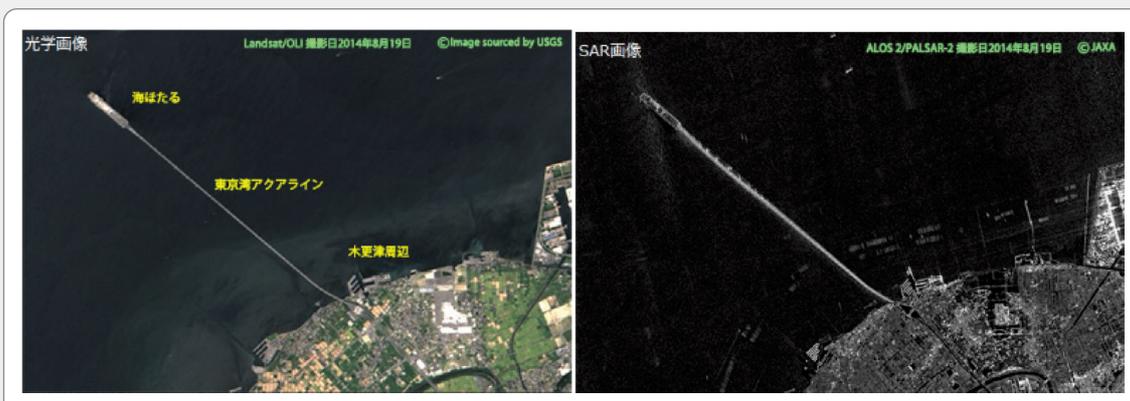


図1 光学画像とSAR画像の比較¹⁾

SARの特徴

SARには大きな特徴が2つある。1つ目は、一般的な光学カメラの受動型センサーと異なり太陽光を必要としない、および可視光よりも波長が長いマイクロ波を使うため、雨、雲および大気等を透過する点である。これらにより

SARは昼夜を分かたず、あらゆる天候でも観測が可能である(図2)。このため、観測衛星の多くにSARが採用されている。

2つ目は、一般的なレーダと異なり、「合成開口」する点である。一般的にレーダはアンテナを大きくすることでSN比を高め、分解能を上げることが

できる。しかし、大きなアンテナを飛行体に取り付けることは物理的に難しい。そこで、移動しながら電磁波を送受信することで、仮想的に大きな開口を持ったアンテナを合成する技術が「合成開口」なのである(図3)。

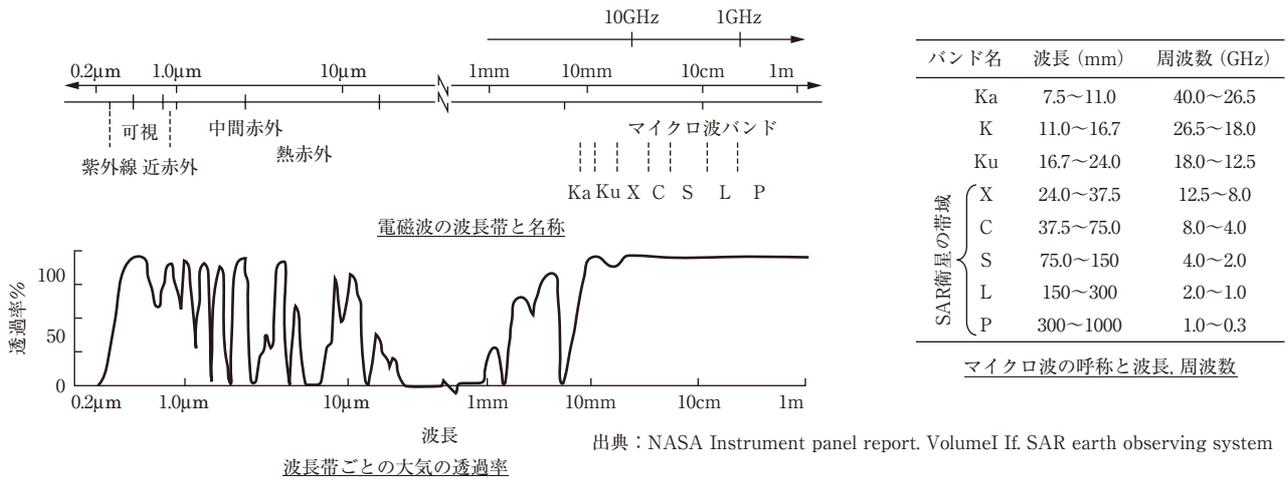


図2 各波長帯と大気透過率の関係²⁾

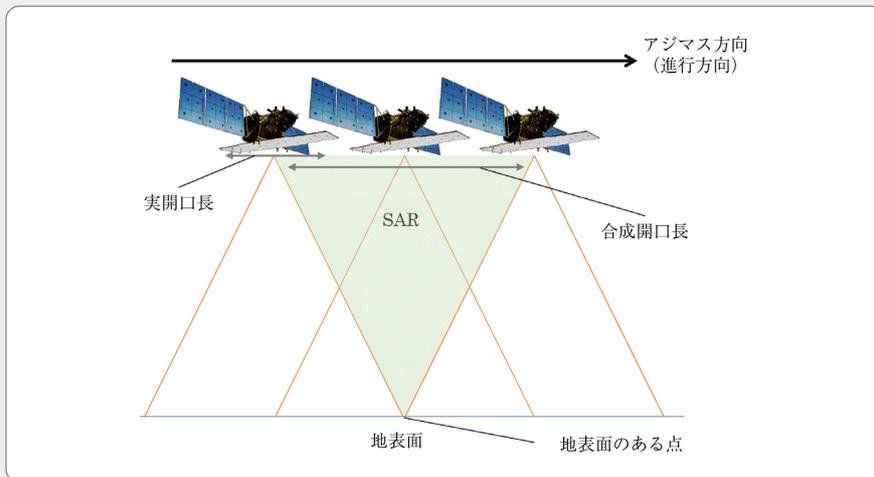


図3 合成開口のイメージ図

SARのレベルと用途

SARはデータ処理の度合いに応じて、レベルが割り当てられており、各々で用途が異なる。

JAXAが所有するALOS衛星では、主なレベルはL0, L1.0, L1.1, L1.5と分けられている⁴⁾。各レベルの処理は表1に示す通りである。L0は、電磁波を受信したセンサが出力した直後の(工学値に変換される前の)Rawデータ

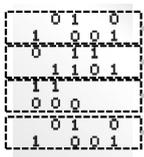
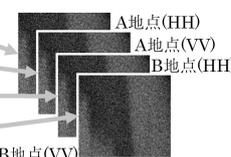
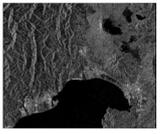
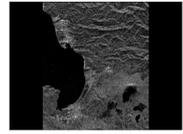
で、各センサによって値が異なり、一般化された単位を持たないため、一般の方が利用することは難しいであろう。

画像解析等を行う場合はL1.5以上で処理されたデータを使うことが多い。概ねL1.5以上からSAR画像と呼ばれ始める。L1.5以上の高次処理を行う場合は幾何補正や雑音除去などの処理を行うことが多く、これは各SAR衛星のプロダクトによって大きく変わることがある。L1.5までは呼称が変化する

ことはあっても、どのSAR衛星も基本的に似たような処理がある。

L1.1までは位相情報が含まれているため、同じ場所でデータ取得時期の異なるSARデータがあれば、干渉させることができる。これを干渉SARと呼び、主に地滑りや地盤沈下等の地盤の変化を確認することに用いられている(図4)。

表1 SARの処理レベル³⁾

処理レベル	L0	L1.0	L1.1 (SLC)	L1.5
情報	Rawデータ, 数値	位相情報, 数値	位相情報, 画像	輝度値, 画像
処理	 <p>Rawデータ (信号情報)</p>	 <p>A地点(HH) A地点(VV) B地点(HH) B地点(VV)</p> <p>シーン切り出し + 偏波分離</p>	 <p>1ルック圧縮 (結像)</p>	 <p>マルチルック圧縮 + 地図投影</p>
用途	一般的にはなし	より高次の処理を行う場合のベース	位相情報があるため、干渉SAR等に用いられる	画像解析等に最も使われる。Geoコーディングされているため扱いやすい。

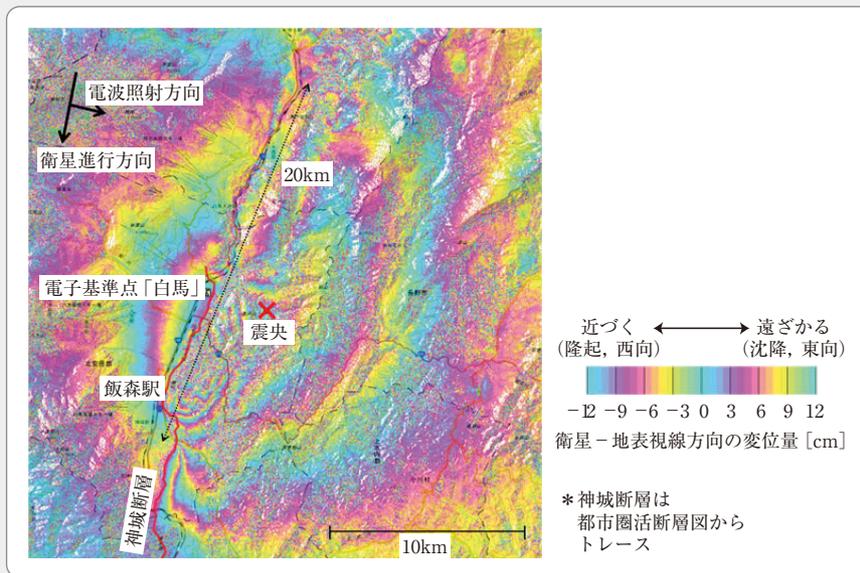


図4 地震時における地殻変動検出(干渉SAR)⁵⁾

波長と偏波

SARはマイクロ波の中でも特にL, C, およびXバンドの波長が用いられている。Lバンドのように波長が長い場合は、自然物である草木を透過し地表面

で散乱が発生する(図5)。Cバンドでは枝および樹幹で散乱が発生する。Xバンドでは草葉で散乱が発生する。

これらの帯域は、観測対象に応じて使い分けられており、例えば、地盤沈下を観測する場合はLバンドを用いる。

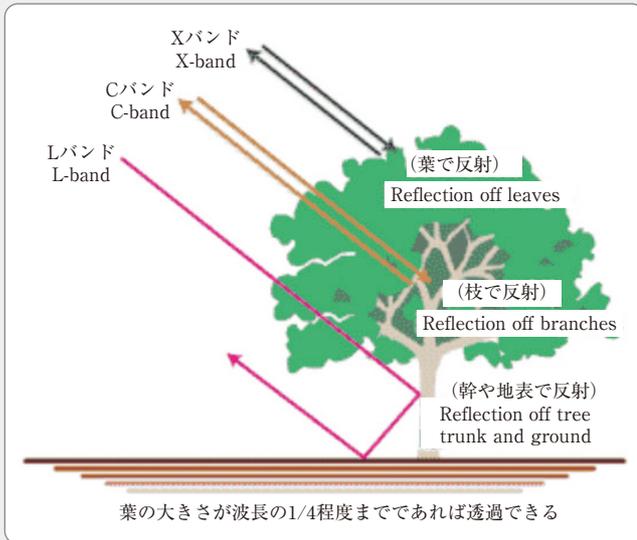


図5 バンドにおける透過性²⁾

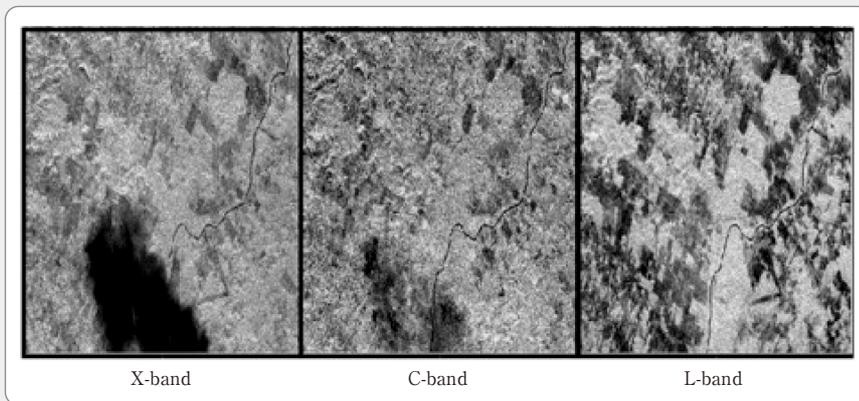


図6 各バンドにおける見え方の違い⁵⁾

図6に各バンドの見え方の違いを示す。

SARは電磁波を放つ際に、電解ベクトルの向きに応じて水平(H: Horizontal)および垂直(V: Vertical)の偏波を使い分けている(図7)。それぞれ送受信の組み合わせでHH, HV, VVおよびVHといった単偏波がある。

例えばHV単偏波は、水平偏波で送信して垂直偏波を受信するということである。対象物から散乱される過程で電解ベクトルの向きが変わることがあるため、対象物によっては、特定の単偏波が見やすいといった組み合わせがある。また、すべての単偏波を組み合わせることで、対象物から何回反射されて返ってきた電磁波なのかを計算的に求めることもできる(後述)。なお、SARの仕様によって取得できる偏波が限られる場合もある。

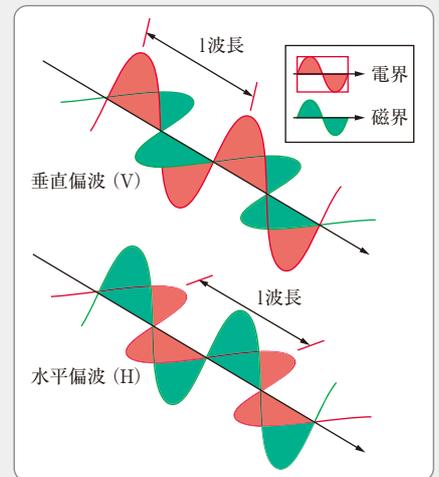


図7 垂直偏波, 水平偏波のイメージ図²⁾

散乱と物体識別

SARから発した電磁波は、対象物にあたって散乱される際に、鏡面反射、表面散乱、コーナー反射、および体積散乱といった主に4つの散乱が発生する(図8)。ここで、それぞれの反射回数に着目すると1回反射、2回反射、および複数反射の3つに分類できる。

前述した通り反射の際に電解ベクトルの向きが変わることから、HH, HV, VVおよびVHの4偏波を用いることで、受信した電磁波が何回反射されて返ってきたのかを求めることができる。これを成分分解という。成分分解

を行うことで、対象の識別を大まかに行うことも可能である。

図9は茨城県の霞ヶ浦付近の光学画像およびSARの成分分解を行った画像である。これから、構造物および自然

物の大まかな土地被覆分類ができていくことが確認できる。今回使った手法は、Freeman Duran Decompositionといった電磁波のスペクルノイズを排除してから成分分解を行う手法である。

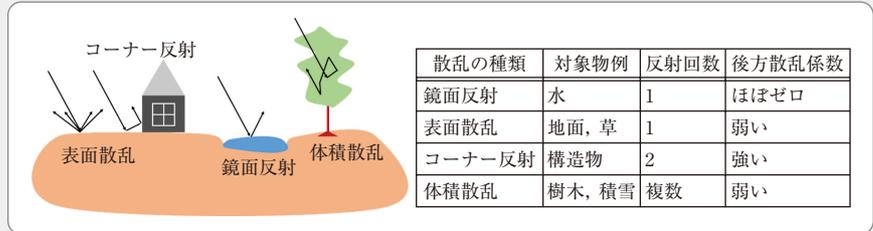


図8 主な散乱の種類

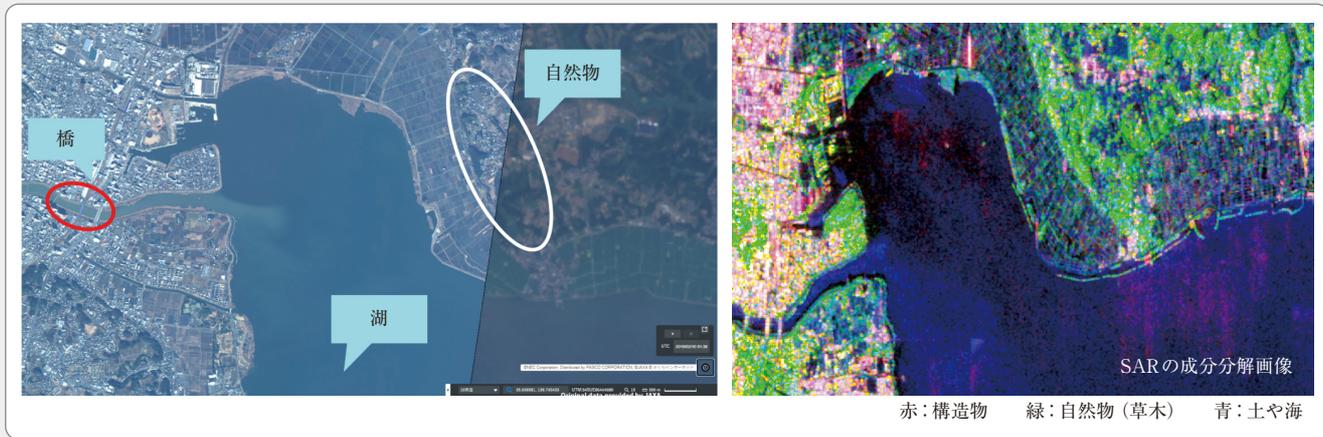


図9 SAR画像の成分分解による土地被覆の分類⁶⁾

むすび

本稿ではSARの概要、基本的な原理、および用途について説明してきた。SARはその特殊性から扱ったことのある人は限られていると考えるが、今後NewSpaceの隆盛と伴に、画像解析事業等の業的な市場へSARが流れこんでくることが想定されるため、本稿で大筋をつかんでみてはいかだろうか。(2021年5月25日受付)

参考文献

- 1) SED: "SARの画像", https://www.sed.co.jp/sug/contents/edu/edu9a_sarexampleuse.html
- 2) 国土技術政策総合研究所研究資料: "第1編 合成開口レーダ(SAR)画像に関する基本事項"
- 3) 宙畑: "【図解】衛星データの事前処理とは~概要, レベル別の処理内容と解説~", <https://sorabatake.jp/9192/>
- 3) JAXA: "陸域観測技術衛星2号(ALOS-2) PALSAR-2レベル1.1/1.5/2.1/3.1プロダクトフォーマット説明書(CEOS SARフォーマット)", p2
- 4) JAXA: "長野県北部を震源とする地震における「だいち2号」干渉SARによる変動の検出について", <https://www.sapc.jaxa.jp/topics/2014/news1201.html>
- 5) L. Villard, et. Al: "Forest Biomass from Radar Remote Sensing", Land Surface Remote Sensing in Agriculture and Forest (2016)
- 6) 宙畑: "SAR画像の偏波を使った構造物推定(偏波の成分分解)", <https://sorabatake.jp/13778/>



橋本真太郎 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構(JAXA)研究開発員。宇宙機向けAI, セキュリティ, およびS/Wアーキテクチャ標準等の研究に従事。