第1編 基礎知識編

1. SAR 画像の特徴と留意点

1.1 SAR の原理

河道閉塞箇所判読に用いる SAR とは、Synthetic Aperture Radar の略であり、日本語では 合成開口レーダーと呼ばれる。SAR は、マイクロ波を地表面に斜めに照射し、地表面からの 後方散乱波を受信する能動型センサである。SAR 衛星のマイクロ波は、雲を透過することが でき、観測に太陽光を必要としないため、全天候で観測でき、夜間の観測も可能である(図 -1.1.1)。

以下、本マニュアルでは人工衛星搭載 SAR での SAR 画像撮影を前提としているが、航空機 搭載 SAR を用いた SAR 画像撮影も可能である。



図-1.1.1 マイクロ波と大気・雲・雨の関係 出典:リモートセンシング技術研修テキスト 「マイクロ波リモートセンシング」 1.マイクロ波の特徴 マイクロ波と大気・雲・雨の関係 (RESTEC 製作・編集) より

ここで、「合成開口」の意味は以下のとおりである。

一般に画像の解像度は、アンテナが大きいほど高い。しかしアンテナの物理的なサイズに 限界があるためアンテナを大きくすることで解像度を上げることには限界がある。そこで、 小さなアンテナを移動することにより、仮想的に大きなアンテナを合成する技術が、合成開 口である(図-1.1.2)。

能動型センサとは受動型センサに対するもので、以下のように区別される。

- 1) 能動型:対象物に向けて電磁波などを照射し、その反射波を受信して地表面の状態を 把握する。レーザ計測やSAR がこれに当たる。
- 2) 受動型:対象物から反射,放射される電磁波を計測する。通常の光学画像がこれに当 たる。





図−1.1.3 単偏波 SAR 画像 (平成 23 年 9 月台風 12 号災害 2011/9/5 撮影 TerraSAR-X 奈良県五條市 赤谷 他)

衛星画像の特徴は、以下のようにまとめられる。

- ・非常に広い範囲を一度に観測できる(衛星:10~数100 km 幅, cf. 航空機:数 km 幅)。
- ・地球の全表面を一定の周期で観測できる。

1.2 SAR 画像と光学画像の違い

図-1.1.4 に同一箇所の光学画像と単偏波 SAR 画像を並べて示した。 単偏波 SAR 画像と光学画像の主な違いは以下のとおりである。

- ・ 単偏波 SAR 画像はマイクロ波の反射強度を表すモノクロ画像であり、光学画像と比較 すると、直感的な地被状況の判別(裸地と植生の違い等)が困難。
- ・ SAR 画像は斜め下方に撮影するため、鳥瞰図のようなイメージとなり、画像のゆがみ や倒れ込み等が特徴的である(詳細は「1.5 SAR 画像の特徴」を参照)。



1.3 波長(バンド)の違い

電磁波は波長により図-1.1.5のように呼ばれる。現時点で運用されている SAR 衛星では主 にL、C、X バンドが用いられている。波長の長い電磁波の方が樹木などを透過しやすい。



出典:SRTM の観測原理(詳細)その1 (JAXA) <http://iss.jaxa.jp/shuttle/flight/sts99/mis_principle_1.html>に加筆

1.4 偏波

偏波とは、時間的に変動する電場の振幅と振動方向の関係を記述するものであり、電界ベクトルの向きにより水平偏波(振幅が進行方向に対して水平:H)と垂直偏波(振幅が進行方向に対して垂直:V)に分類され、送受信の組合せでHH、HV、VH、VVと表現される(1文字目:照射、2文字目:受信)。単偏波画像とは、これらHH、HV、VH、VVのいずれか1つの偏波による後方散乱強度の画像である(主にHH 偏波が用いられる)。後方散乱強度とは、SAR衛星のアンテナから照射したマイクロ波が対象物で散乱し、アンテナ方向へ戻ってくる強度を示している。



1.5 SAR 画像の特徴

SAR 衛星は衛星の進行方向(アジマス方向)に対し, 直角方向 (レンジ方向)に斜め下方に マイクロ波を照射する (図-1.1.7)。入射角 (鉛直線とマイクロ波の照射方向のなす角度) が可変の衛星が多い。



・オフナディア角:衛星の鉛直直下と衛星のレーダー照射方向のなす角度

・入射角:対象物の天頂方向から見た衛星のレーダー照射方向のなす角度

※地球が球体であるため、オフナディア角と入射角は異なり、入射角>オフナディア角となる。

対象物からの散乱は表面散乱であり、媒質と媒質の境界面で散乱する。媒質の誘電率が大きいほど散乱は強く、後方散乱は表面の粗さが大きいほど強い(図-1.1.8 左)。また、人工構造物(建物など)による二重散乱も発生する(図-1.1.8 右)。



SAR 画像の特徴的な現象として図-1.1.9 に見られるものがある。

図-1.1.9 中の E は、高い建物や山などが実際の平面位置よりアンテナに近い位置に表示 される現象である(フォアショートニング)。

図-1.1.9中のBは、建物の壁や急斜面など(入射角よりも急な勾配を持つマイクロ波に正対する面)では上部の方が下部よりもアンテナに近くなるため(通常は上部の方がアンテナから遠い)、画像上で上下が反転し白くつぶれる現象である(レイオーバ)。

図-1.1.9中のEより衛星アンテナから遠い箇所は、電磁波の照射源側と反対側の斜面が陰 影部となる現象である(レーダーシャドウ)。



このような関係があるので、急峻な山岳地においては、対象物の位置、形、向き、勾配に よっては見えづらい地形・地物がある。レーダーシャドウは影であるから、画像上で真黒く なり、その中にあるものは一切見えない。



また、レーダーシャドウに画像上で類似するものとして、なめらかで平坦な面が上げられ る。平滑な水面、駐車場、グラウンドなどは、照射した電波が鏡面反射して、反射波がアン テナに帰ってこない。そのため、これらは画像上で黒くなりレーダーシャドウに類似する。 周辺の状況から判断する必要がある。

レイオーバも画像上では白くつぶれてしまい、情報を得ることができない。フォアショー トニングは対象物の形をゆがめるので、判読の際は常にそのことを念頭に置き、実際の形状 を復元しながら判読を進める。



2. 衛星画像利用の留意点

2.1 観測条件

人工衛星に搭載された SAR の波長帯や分解能、撮影条件等のスペックの違いを考慮し、河 道閉塞箇所の判読に適した条件を以下に示す。

A) 照射方向

SAR 画像は、照射方位と崩壊斜面方位の関係により抽出率に偏りが生じ、照射方位が片側 のみの SAR 画像では 50~70%程度の抽出率となる。このため、<u>片側照射方向の画像では読み</u> とれない範囲において河道閉塞が発生している可能性を考慮する必要がある。時間を追って 逆側からの照射画像を取得すると、河道閉塞の見逃しを減らすことができる。

B)入射角

SAR 画像取得時の入射角は、小さくなるとレイオーバとなり、大きくなるとレーダーシャ ドウとなり河道閉塞抽出に影響を及ぼすため、一定程度の入射角を確保する必要がある。概 ね35°~50°程度が望ましい。

C) 判読可能な崩壊発生規模

紀伊半島における判読結果からは、平面投影面積 1ha 程度未満の現象規模は、単偏波 SAR 画像から確認が困難である。このため、<u>単偏波 SAR 画像から抽出された河道閉塞は、概ね 1ha</u> 以上の深層崩壊等によるものと解釈する必要がある。

D)分解能

<u>河道閉塞を抽出する際の単偏波 SAR 画像の空間分解能は、3m 程度より高いことが望ましい</u>。 しかし、3m より高分解能な SAR 画像は、より詳細な現地状況が判読されるが、衛星の性能に より観測幅が大幅に狭くなることに注意を要する。(各衛星の画像仕様は、巻末資料 1.2 の表 -1.3、表-1.5、表-1.7 を参照)

E)バンドの違い

Lバンド・Cバンド・Xバンドの違いによって視認性に大きな差は生じないため、<u>災害発生</u>時には画像取得が早い衛星画像を選定することが望ましい。

2.2 アーカイブ画像(災害発生前)の活用

緊急撮影されたものと同じ仕様(衛星、モード、軌道、入射角など)の SAR 画像のアーカ イブ画像があれば、画像を重ね合わせたスタック画像を作ることで、二時期間の変化を容易 に抽出することができる。図-1.2.1 は奈良県十津川村付近のスタック画像の例である。赤の バンドに災害前の 2010 年 12 月 13 日撮影の画像を、緑・青のバンドに 2011 年 9 月台風 12 号 災害後の 2011 年 11 月 19 日の画像を当てはめるとこのような画像が得られる。この画像では、 前の画像よりも暗くなったところは赤く、明るくなったところは青く表現されるので、新た に生じた河道閉塞の湛水面(黒くなるので)は赤くなり、崩壊地は裸地化(明るいトーンに なる)して青くなるので、簡単に見分けることができ、判読の効率が上がる。



3. 河道閉塞箇所の地形的特徴

河道閉塞は山腹斜面に発生した地すべりや深層崩壊などにより生じた土砂が河道を塞ぎ、 上流側に水が湛水する現象である(図-1.3.1)。判読の際に鍵となる、他の土砂災害と違う 地形的な特徴を挙げると次のようである。

①深層崩壊や地すべりなど大規模な斜面崩壊が近くに発生する。

→大きな裸地、露岩地が出現する。崩れた後が馬蹄形、板状などの形状を呈し、凹地が 出現する。

②堆積土砂が斜面直下に堆積したり、河道沿いに移動して谷をせき止める。

→谷を塞ぐ大規模な堆積物が出現する(水みち、谷の連続性が絶たれる)。

③閉塞箇所の上流に湛水域が形成され、時間とともに広がる。

④越流が始まればガリ等が形成されたり、土石流が発生することもある。

⑤斜面下部の道路、橋梁、集落等の人工構造物を埋没させる。

→これらが消滅する。道路などの連続性が絶たれる。

つまり、大きな凹地形(滑落崖)と明瞭な地形境界(裸地化による樹木との高さの差、滑 落崖や亀裂による段差)の出現、大きな凸地形(堆積物)、これら新たな裸地による周辺との 地被状況の差、谷・水道や道路の連続性の消滅、湛水域の形成といった地形要素が判読の鍵 となる。



図-1.3.1 河道閉塞発生状況(奈良県十津川村栗平) (上:斜め写真、下:単偏波 SAR 画像)

4. 河道閉塞判読の実例(平成23年台風12号災害)

平成23年(2011年)9月の台風12号により紀伊半島で発生した河道閉塞の判読の例を時 系列に示す。

<9月2日>

午前 11:30 衛星画像のアーカイブ状況の整理、撮影シミュレーション

<9月4日>

- 午後 9:00 撮影計画作成開始
- 午後 11:00 撮影計画作成完了

<9月5日>

- 午前 1:30 撮影オーダー依頼
- 午後 5:53 衛星 SAR 撮影、地上局での受信
- 午後 8:10 プロダクト作成完了、データの提供
- 午後 9:00 頃 判読作業開始
- <9月6日>
 - 午前 1:30 頃 判読作業終了

平成23年(2011年)9月の台風12号災害における判読結果を図-1.4.1に示す。画像の範 囲に含まれる河道閉塞11箇所のち7箇所で抽出できた。

