

t' はアジマス方向の時間変数, BD はドップラーバンド幅で, プラットフォーム速度 V と合成開口時間 T_0 の関数として以下の式で定義される。

$$BD = 2V / (\lambda R) \quad (2)$$

$L = VT_0$ は合成開口長で衛星搭載 SAR では $T_0 = 0.5 \sim 2.5$ s なので, $V = 7$ km/s とすると長さ 3.5~17.5 km の仮定の開口、つまりアンテナが合成されたことになる。この仮定のアンテナ長は参照信号の開口時間 T_0 で設定されるので任意の可変アンテナ長になる。

時間分解能は $1/BD$ なので、空間分解能は以下の式となる。

$$\Delta X = V / BD = \lambda R / (2L) \quad (3)$$

例えば、波長 $\lambda = 24$ cm の L-バンド SAR で、 $R = 700$ km、 $L = 17.5$ km での分解能は 4.8 m となる。

2.3.3 合成開口レーダの画像の特徴

合成開口レーダは、前節にも示したとおり、衛星から斜めにマイクロ波を照射して、対象からの後方散乱波を計測する技術であるため、山地などの地形は斜めに倒れ込んで見えるのが特徴である。

SAR 衛星は、観測対象が平坦面の場合には、平面位置の手前から奥に向かって順番に電波が照射されるため、後方散乱波も実際の平面位置の順番に受信する。そのため、地物の位置関係は正しく記録される。しかし、図 2.15 の AB のように、電波の入射角よりも勾配が急な山地斜面などでは、水平位置で衛星から見て手前に位置する低標高の谷部（図 2.15 の A）よりも奥に位置する高標高の尾根部（図 2.15 の B）の方が衛星との直線距離が近くなるため、後方散乱波の受信順序が逆転する現象が生じる。このような場合は、画像化したときに尾根部と谷部で位置関係が逆転しているので、白く圧縮された画像となる。このような現象をレイオーバーという。また、尾根部と谷部が逆転するほどではないが、受信間隔が短い場合で画像が圧縮される現象をフォアショートニングという。さらに、マイクロ波が尾根部に遮蔽されて、尾根線の裏側が見えない状態になることもある。このような現象をレーダシャドウという。

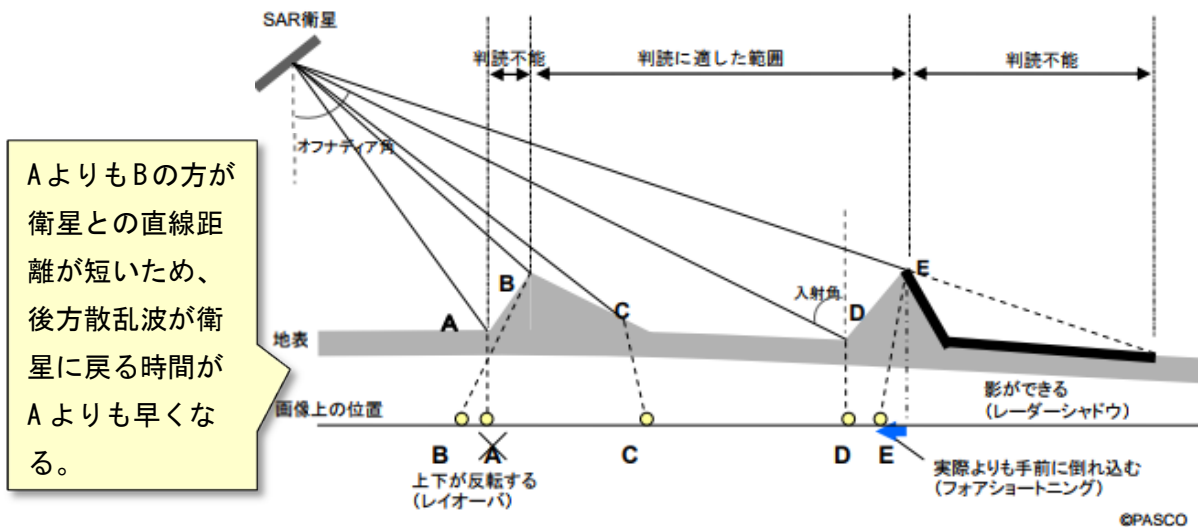


図 2.15 SAR 画像の特徴 (国総研資料第 791 号)

図 2.16 左のように、山頂など標高の高い地点は、低い地点よりも衛星の SAR アンテナに接近するために SAR 画像ではレンジ方向に近寄った位置に表現される。山頂 A 点は地図上では A' の位置にあるはずであるが、SAR 画像上では SAR アンテナから等距離の A'' の位置に現れている。そのため、SAR 画像では山が衛星側に倒れこんで見え、この現象は衛星に近いほど顕著になる。フォアショートニングによる歪みが顕著になると、遠い点が地形図上の手前の地点の上へ覆いかぶさってレイオーバーとなり、図 2.16 右の山頂の A 点が麓の B 点よりも手前に画像化される。この場合、画像上の A'' B 間には情報の重なりが起こり、正しい情報は得られない。

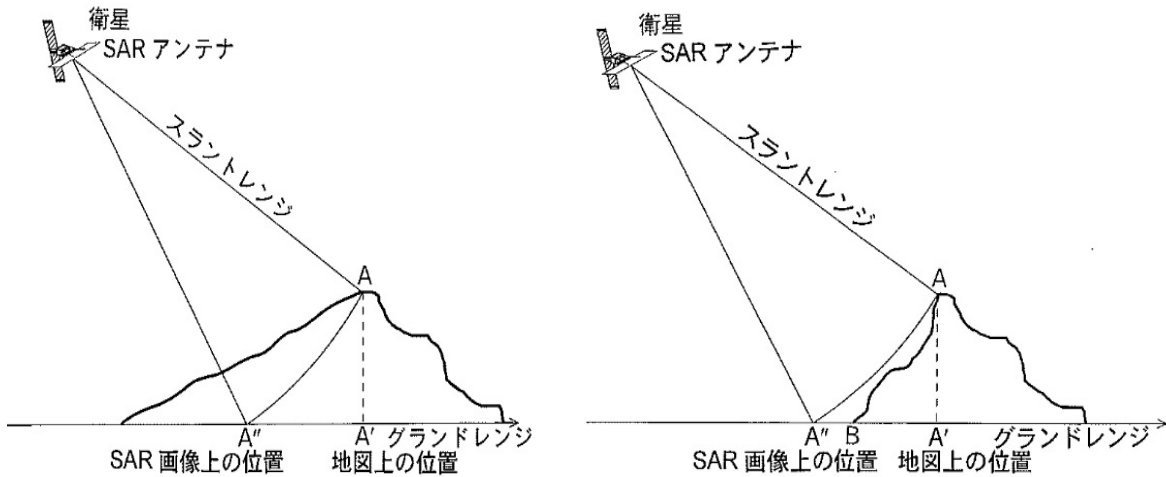


図 2.16 フォアショートニング・レイオーバーのイメージ (出典：飯坂譲二監修，1998，合成開口レーダ画像ハンドブック，朝倉書店，東京，208p)

3. 差分干渉 SAR 解析

差分干渉 SAR 解析 (DInSAR 解析) とは、陸域観測衛星の L バンド合成開口レーダ観測により得られた 2 時期の位相データを干渉処理することにより、地表面の変動を把握する技術である。差分干渉 SAR による変位計測の概念図を図 3.1 に示す。

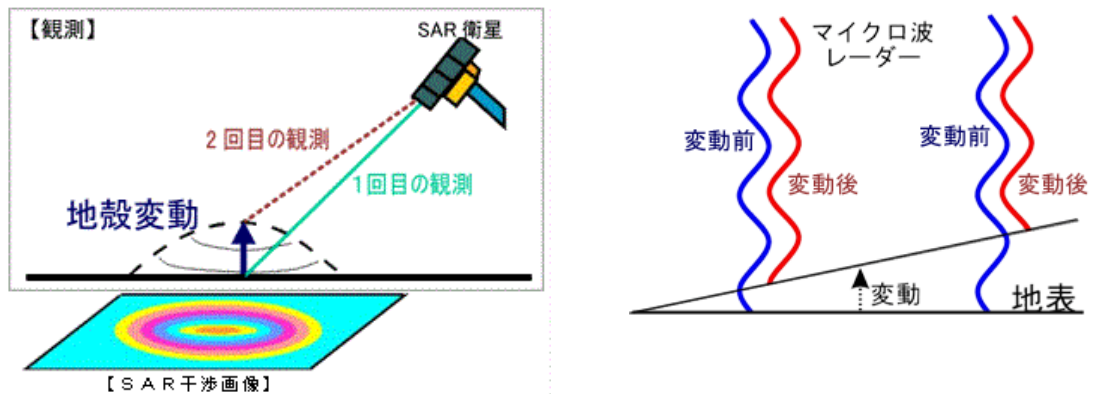


図 3.1 DInSAR 解析による変位計測の概念 (国土地理院 HP より)

SAR 衛星は、マイクロ波を照射してその後方散乱波を記録するが、それは衛星との距離ではなく、マイクロ波の位相情報を取得している。そのため、2 時期で同じ対象物を観測した場合、対象物に変化がなければ、位相に変化はない。したがって、干渉処理をしても位相差が 0 となる。一方、対象物に変化があった場合は、位相が変化するため、干渉処理をすると位相差が生じる。差分干渉 SAR 解析ではこの位相差を計算し、それを変位量にする。

差分干渉 SAR 解析の一般的な流れを以下に示す。

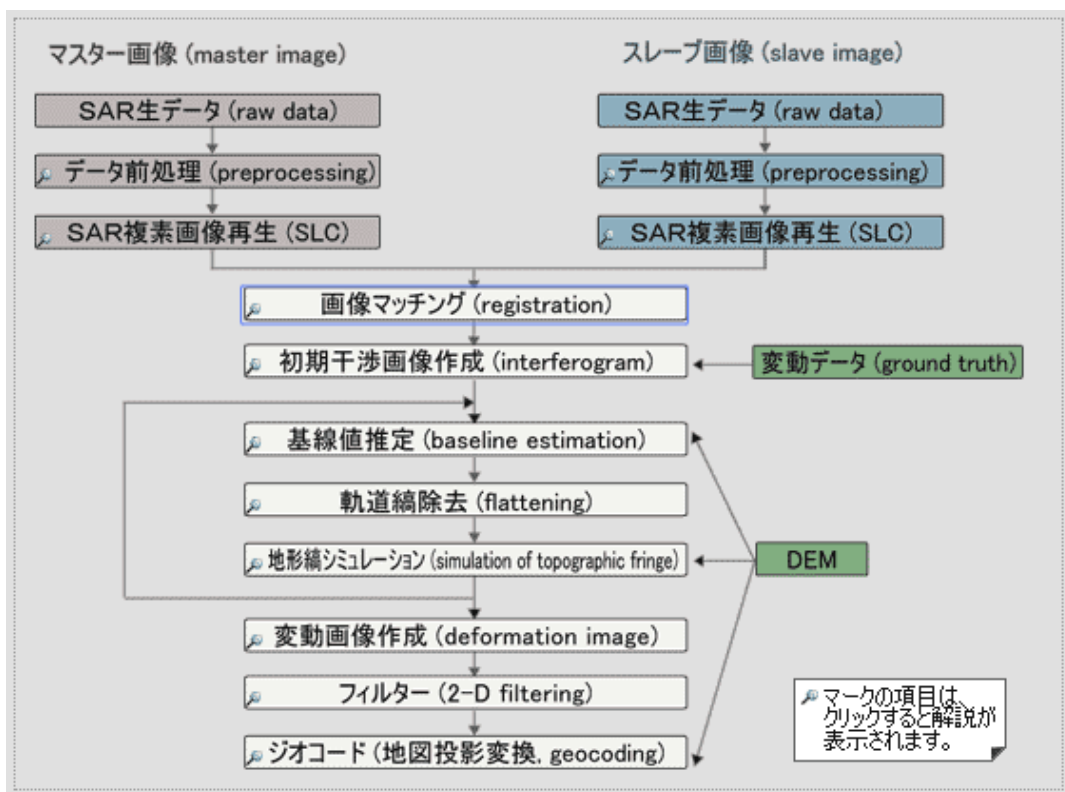


図 3.2 差分干渉 SAR 解析の流れ (国土地理院 HP より)

差分干渉 SAR 解析で得られるのは位相差であり、0 から 360 度の値となる。そのままでは変位量としてわからないため、周期として折りたたまれている（ラップされている）値を元に戻す処理をする。これを位相アンラップ処理という。アンラップ処理をすることで、変位量変位量を得ることができる。

図 3.3 は干渉処理によって得られた位相（図の下段の赤線）とそれを変動量にアンラップ処理したものの（図の上段の青線）を示している。本業務で利用する ALOS-2 の波長は 11.8cm（L バンド）のため、1 周期で 11.8cm 変動したことになる。下の図では、4 周期分あるので、 $11.8\text{cm} \times 4 = 47.2\text{cm}$ の変動があったことになる。

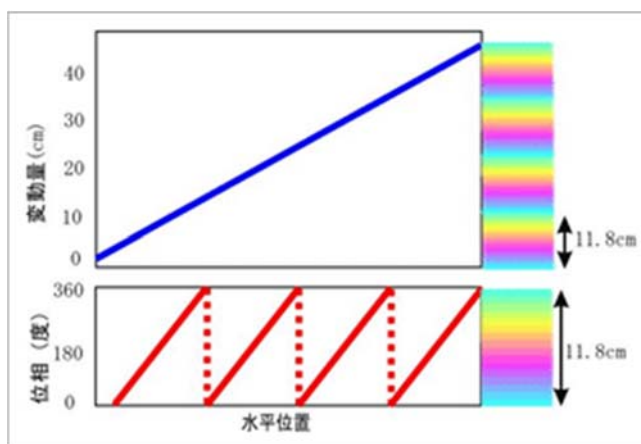


図 3.3 位相アンラップ処理のイメージ（国土地理院ウェブサイトより）

差分干渉 SAR 解析の特徴をまとめると以下のようなになる。

- ◆ SAR 衛星は衛星と対象物の線上の位相情報を記録しているため、変位量は衛星と対象物の線上の変化となる
- ◆ 位相情報の解析をするため、原理的には cm 以下の変位量も算出することができる（実際には、大気や地形による影響を受けるため、cm 以下の変位とすることは難しい）
- ◆ ALOS-2 では 1 つのシーンで $50\text{km} \times 50\text{km}$ （ALOS は $70\text{km} \times 70\text{km}$ ）と広範囲のデータとなるため、1 回の解析で広域の変位箇所を抽出することができる
- ◆ 対象物の変化が激しい（斜面崩壊などで元地形とまったく異なる形状になったときなど）ときは、干渉することができない
- ◆ 衛星が記録する位相の情報には、地表面の変化のほかに、衛星の軌道、大気の影響、地形によるものなど様々な情報が含まれているため、差分干渉 SAR 解析を実施するときにこれらの影響を除去する必要がある

4. 衛星情報の収集

解析に用いるデータは、北行軌道及び南行軌道とし以下の時期を購入した。

【データ諸元】

表 2 解析データ一覧（北行軌道）

パス NO : 130、フレーム NO : 660、観測方向 : 右、オフナディア角 : 32.4、偏波 : HH

NO	観測日時	備考
1	2016/06/16	災害前
2	2018/03/22	災害前

表 3 解析データ一覧（南行軌道）

パス NO : 23、フレーム NO : 2940、観測方向 : 右、オフナディア角 : 32.4、偏波 : HH

NO	観測日時	備考
1	2018/03/05	災害前
2	2018/07/09	災害後

購入したデータのイベント時系列を以下に示す。

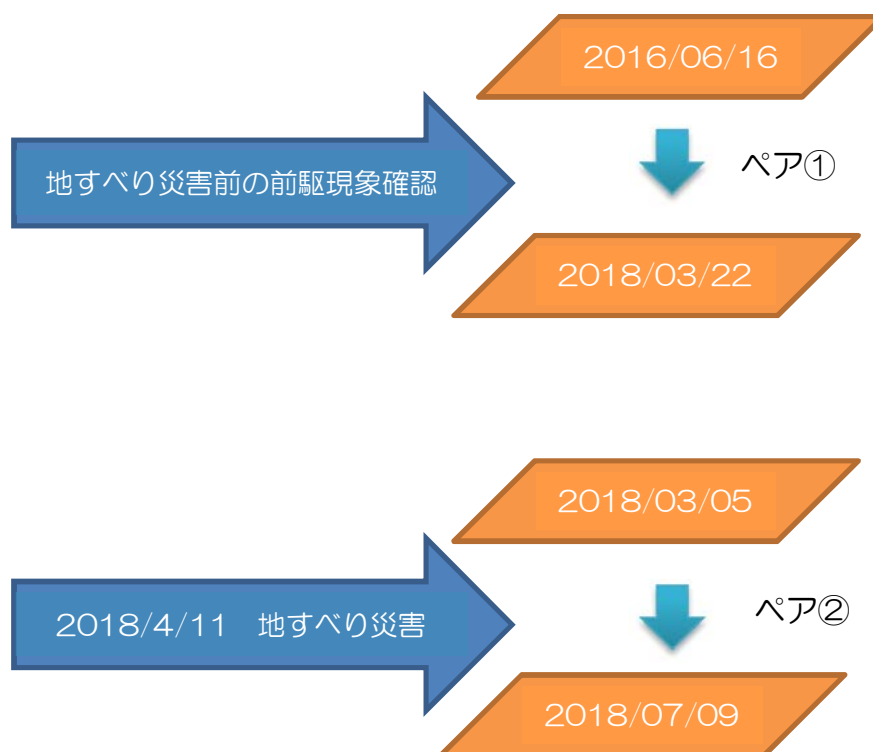


図 4.1 イベント時系列