

差分干渉画像¹⁾

衛星合成開口レーダー（SAR）は、電波を斜め下方（図-1のオフナディア角 29°～48°程度。本文では「衛星視線方向」と記述する。）の地表に放射しその反射波からデータを得る観測セン

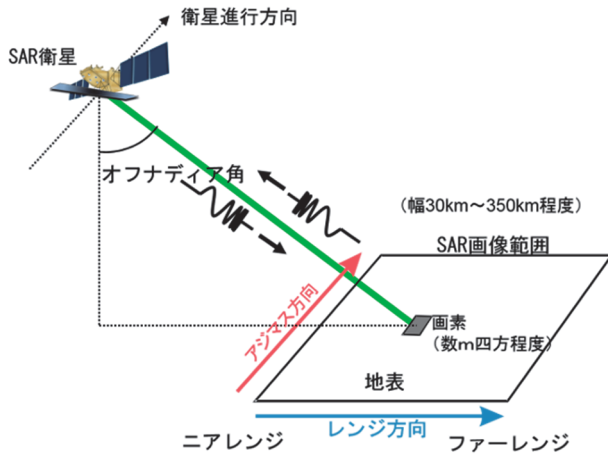


図-1 オフナディア角・アジマス方向・レンジ方向とは
 出典：国土地理院ホームページ、干渉SARの特徴
https://www.gsi.go.jp/uchusokuchi/sar_character.html
 より

サーである。電波は波の性質（山→谷→山を一定の周期で繰り返す。この1周期内での位置を位相と呼び、1周期で元の波形に戻ることから0°～360°又は $-\pi \sim +\pi$ の角度で表す）を持つことから、軌道上の同じ位置からの2回の観測の間に地表の変位があると、観測される波の位置の差（位相差）が生じる。この差を、干渉SAR解析（差分干渉SAR解析）による解析結果である差分干渉画像では、地表が衛星に近づく場合には緑→赤→青→緑、衛星から遠ざかる場合には、緑→青→赤→緑の色で表す。地表の変位が大きく、電波の往復経路が波長（山と山の間隔）と同じだけ変化してしまった場合、波形が再び一致する（位相差が360°=0°に戻る）ため、差分干渉画像では再び緑色に戻る。このため、差分干渉画像では変位が大きくなるにつれて同じ色の順番が繰り返し現れる。そこで、差分干渉画像は、 $-\pi \sim +\pi$ （又は0°～360°）の位相データとして表現できる。

日本の地球観測衛星「だいち」（ALOS）や「だいち2号」（ALOS-2）のSARセンサーはLバンドと呼ばれる1.2GHz帯のマイクロ波を観測に用いており、その波長は約24cmである。電波の

往復を考慮すると、約12cm地面が変位するごとに電波の往復経路は波長1つ分変化し（位相差が0に戻る）、差分干渉画像上では同じ色に戻る。よって変位量が0cm、±12cm、±24cm、±36cm...のところはいずれも同じ色で表される。

参考文献

- 1) 宇宙航空研究開発機構：干渉SAR画像の見かたについて、干渉画像の見かたと解釈
https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS-2/img_up/jpal2_howto_insar.htm

土砂災害研究部 水野正樹

コヒーレンス

コヒーレンス(Coherence：干渉性、可干渉性)とは、電磁波の2つの波動の間で干渉現象が見られる場合において、2つの波動間の干渉性の度合いを示す値で、0～1に規格化された値をとり、1に近づくほど干渉性が良いことを示す。波の相関の程度を示す指標¹⁾である。

干渉SAR処理においてコヒーレンスは、マスター画像（基準画像）とスレーブ画像（比較画像）の2つのSAR画像の干渉性の度合いを示す値で、コヒーレンスが1に近いほど2つのSAR画像の干渉性が高く、得られた干渉縞の信頼度が高いことを意味する。コヒーレンスの計算式を次に示す。

$$\gamma = \frac{|(C_m \cdot C_s^*)|}{\sqrt{(C_m \cdot C_m^*)(C_s \cdot C_s^*)}} \quad \dots (1)^2$$

γ は、2画像間のコヒーレンス（干渉性）。 $\langle \rangle$ は平均処理。添字 m はマスター画像（基準画像）、 s はスレーブ画像（比較画像）を表す。コヒーレンス γ は、各々の画像の平均電力で規格化されており、0から1までの値を取る。この式(1)は、2つのSAR画像間の位相差を平均処理計算することで位相のそろい具合を定量化している。例えば、地震等で地表面が乱れて凹凸状況が不規則に変化すると、位相差がそろわなくなり、コヒーレンス値は小さくなる。

また、コヒーレンス値の分布画像をコヒーレン

ス値画像という。

なお、本文の研究においては、干渉性が良好なコヒーレンス画像（コヒーレンス値が1.0付近の高い値を示す面積が広い画像）を選定しつつ、概ね干渉縞ができるコヒーレンス値0.7を崩壊発生有無の閾値として、コヒーレンス値0.3を作図におけるBC法とMCF法の境界の閾値として用いた。

参考文献

- 1) 日本天文学会：天文学辞典
<https://astro-dic.jp/coherence/>
- 2) 地震調査研究推進本部 地震調査委員会：「合成開口レーダーによる地震活動に関連する地殻変動観測手法」報告書（本編）、pp.6～7
<http://www.jishin.go.jp/main/eisei/>

土砂災害研究部 水野正樹

アンラッピング

差分干渉画像の変位情報は、軌道上の同じ位置からの2回の観測による位相差で、 $-\pi \sim +\pi$ の周期をもつ位相データとして表現されており、そのままでは衛星から視線方向の距離変化すなわち変位量の絶対値を得ることができない。実際の変位量を求めるために、この 2π の任意性を取り除くことをアンラッピングという¹⁾。Branch Cut法を始めとして様々な方法が開発されている。

「だいち」(ALOS)におけるアンラッピングの概念を図-2に示す。

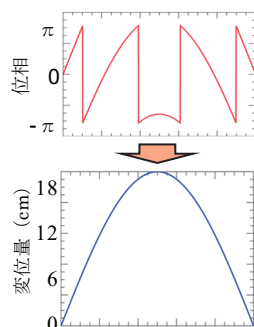


図-2 アンラッピングの概念 (ALOS)

・ Branch Cut法

Branch Cut法（以下、BC法）は、コヒーレンスが高い場合には非常に精度よくアンラッピングすることが可能であるが、低干渉域による位相不連続の影響を強く受けてアンラッピングエラーが生じやすい。BC法では、あるピクセルから別のピクセルを通して元のピクセルに戻ってくるような周回積分を考えると、どのような経路を選んでも位相の積分値は0になる。位相の不連続点を見つけ、これら不連続点を避けた経路でアンラッピングを行う。

・ Minimum Cost Flow法

Minimum Cost Flow法（以下、MCF法）は、精度が低い傾向にあるが位相の連続性能が良い結果が得られる方法である。MCF法は基本的にはBC法の処理を踏襲するが、画像全体の連続性を重視して位相処理を行う。BC法よりも比較的広い領域でアンラッピング処理を行うことが可能である。経路によって矛盾が生じる部分では、 $360^\circ \times N$ （Nは整数）分の傾きがあると考えられる。画像全体（全ての隣接するピクセル間）について、それぞれNの値を適切に推定することで矛盾のないアンラッピングが可能となる。Nを推定するにあたり、画像全体でNの和を最小化し、かつ矛盾のないアンラッピングを行う。

参考文献

- 1) 地震調査研究推進本部 地震調査委員会：「合成開口レーダーによる地震活動に関連する地殻変動観測手法」報告書（本編）、p.17
<http://www.jishin.go.jp/main/eisei/>

土砂災害研究部 水野正樹