

差分干渉SARによる地殻変動検出の精度評価 そのノウハウと応用

Evaluation of the Accuracy of Differential Interferometric SAR: its Advanced Techniques and Applications

小林 茂樹 [1], 大久保 修平 [2], 藤井 直之 [3]

Shigeki Kobayashi [1], Shuhei Okubo [2], Naoyuki Fujii [3]

[1] 宇宙開発事業団, [2] 東大・地震研, [3] 名大・理・地震火山セ

[1] EORC, NASDA, [2] Earthquake Res. Inst., Univ. Tokyo, [3] RCSV, Grad. Sch. Sci., Nagoya Univ.

これまでJERS-1やERS1/2の差分干渉SAR解析により岩手山、伊豆半島、雲仙、北薩、御前崎、神津島などの地殻変動を検出してきた。解析ノウハウを蓄積するとともに様々な誤差評価を行った。例えば、垂直軌道間距離 B_p が約500mでその推定誤差が1%ならば、標高2000mの地形に対して約2cmの視線距離変化の誤差が（残差地形縞として）生じ得る。そこで、座標誤差の最小化法、軌道縞および地形縞のフラットニングによる軌道の微調整により B_p の推定誤差1%以下を精度評価基準としている。

1. はじめに

我々はこれまでJERS-1やERS1/2の差分干渉SAR解析を多くのケースで試み、岩手山、伊豆半島、雲仙、北薩、御前崎、神津島などの地殻変動を検出すると同時に多くの解析ノウハウを蓄積してきた。差分干渉SAR解析は、衛星軌道の不確定性をはじめとした様々な誤差要因のために最適な解析パラメーターを把握するまでに多くの手間と物理的考察が必要である。ここでは、我々が蓄積してきた基本的な解析ノウハウをまとめ、その上で実際の地殻変動の測地学的な精度評価・水蒸気ノイズ研究への問題提起を行う。

2. 解析ノウハウ

【1】画像再生

(1)注目する場所が中心に来るようにシーン移動させた後にフルシーンで画像再生する。(2)海を多く含む場合には、フルレンジが陸域となるライン領域をできるだけ含ませたり、海域にマスクをしてドブラー係数を精密に推定する。(3)国土地理院DEMと同じBessel楕円体上に投影する。

【2】InSAR処理

(1)Master/Slaveのマッチングでは、Tiepointを100点近くできるだけ万遍なく分布するようにfitting関数の形を工夫する。fittingのRMSは02ピクセル以下が必要。(2)軌道推定は、initial state vectorを使って衛星運動のパラメーターを計算する方法(Klinkrad, 1995のorbit propagator法)から始めて、Master/Slaveの座標誤差の最小化による相対的な軌道を推定する方法(timing errorの補正など)、軌道縞のフォワードモデリングによるフラットニングで軌道パラメーターを微調整する方法を併用し、最終的には実際のInSAR phase（地形縞）のFRINGEレートと推定した B_p との関係から最適なものを選び、 B_p の推定誤差を1-2%以内に抑える。

【3】DinSAR処理

(1)Master/DEMのマッチングではまずcontrol pointとして楕円体高を与え、またMaster座標系とDEM座標系のずれを補正する。シミュレートした後方散乱強度画像とMaster振幅画像の間のTiepointは数十点以上を選び出し、fitting誤差を0.2-0.3ピクセル以内に抑える。(2)軌道情報に従って、各地点の地形縞変化率を求めて地形縞をシミュレーションする。(3) B_p が長い場合には、予め周波数領域でdecorrelation filterを施すとよい。(4) B_p 、Yawの微調整で残差軌道縞と残差地形縞を取り除く。地殻変動がほとんどないと仮定できる領域があれば最小2乗法によって残差地形縞を補正する。 B_p の誤差が1-2%以上ならば(1)から再計算させ収束させる。ここで残差軌道縞に対する軌道修正量と残差地形縞に対する修正量との整合性についてチェックする。

3. 解析の問題点

JERS-1の場合、 $B_p(m)$ の推定誤差が $a\%$ のとき標高 $H(m)$ あたりに生じる残差地形縞はざっと見積もると $= H a B_p^2 / 5000000$ (radian)となり、視線距離変化誤差 s に換算すると、 $s = H a B_p / 400000$ (cm)となる。すなわち B_p の長さ約500mでその推定誤差が1%ならば、標高2000mの地形に対して約2cmの視線距離変化の誤差が（残差地形縞として）被ってくることになる。一般的には、【2】(2)の座標誤差を用いた軌道推定法は B_p が長い場合ほど決定精度はよくなり、例えば伊豆半島のような複雑な形状をした山岳地域において B_p が700m以上であっても1-2%程度の誤差で軌道が決まる。この過程を繰り返せばさらに精度が増す。しかし、残差軌道縞や残差地形縞のフラットニングに関して（たとえ、それを最小2乗法的に行うにしても）問題がないわけではない。もし水蒸気ノイズのトレンド成分が（解析範囲内の）軌道縞のトレンドに似ていたり、あるいは水蒸気ノイズが標高に相関する性質を持っていれば、両方のフラットニングにおける軌道誤差はくい違ってくる可能性がある。岩手山のような（1500m以上の）独立峰の場合には頂上部ほどマイクロ波の経路が短くなるので、水蒸気量の鉛直構造がMasterとSlave時期で変わるだけでも見かけ上標高に相関のある残差が生じることも十分に考えられる。

4. 差分干渉SARの応用

本ポスター発表では、岩手山西域の広域隆起活動と1998年9月の岩手県内陸北部の地震、東伊豆群発地震活動に伴う地殻変動などのDinSAR解析事例と、GPSなどと合わせたモデリングの結果などをお見せする。とくにJERS-1のascending/descendingの両軌道からの観測による変動ベクトルの計測結果についても紹介する。