

### Three-dimensional deformation and its uncertainty derived by integrating multiple SAR data analysis methods

#森下 遊<sup>1</sup>

1: 国土地理院

Yu Morishita<sup>1</sup>

1: Geospatial Information Authority of Japan

#### 1. はじめに

衛星測位技術の精度及びリアルタイム性の向上に伴い、高精度な測位情報の利用が様々な分野で拡大している。測位情報の利用には、地図等の既存の地物の地理空間情報が不可欠であり、それらは整合したものである必要がある。しかし、地殻変動の大きい日本では、既存の地物の位置は有意に変化するため、その整合性が保てなくなる場合がある。あらゆる利用者が測位情報を正確に利用するためには、4次元の国家座標を適切に管理し、国家座標と整合した測位情報を取得できる仕組みの構築が必要である。国家座標を正確に管理するには、地表の変動を時空間的に詳細に把握する必要がある。これまで地表変動は主に電子基準点で計測してきたが、配点間隔は約20kmであり、空間分解能には限界がある。特に大地震時には複雑な地表変動が発生し、電子基準点のみでは局所的な変動の詳細を正確に検出することは不可能である。これまでは、複雑で顕著な変動が発生した領域における既存国家基準点の位置情報の更新のために、発災後に基準点上での現地測量を実施しており、長い時間と労力を要していた。実際、2011年東北地方太平洋沖地震では発災から7か月以上、2016年熊本地震では4か月以上を全点の更新までに要した。

SARであれば、地震前後のデータを解析することにより、地震時の地表変動を高空間分解能で迅速に計測することが可能である。SARデータを利用した変動計測のための解析手法としては、主に干渉SAR、SBI (Split-bandwidth interferometry; 例えば、Jiang et al., 2017, GRL)、ピクセルオフセットの3種類がある。干渉SARは最も高精度であるが、レンジ方向の1次元の変動しか得られず、また変動勾配の大きな領域では干渉性が低下して変動が得られない。SBIとピクセルオフセットは、1つのデータペアからレンジ及びアジマスの2次元の変動が得られ、大変動域でも変動が得られやすいという利点があるが、計測精度は干渉SARと比較して大きく劣り、またアジマス方向は顕著な電離層誤差が含まれやすい。1つのデータペアからは1次元もしくは2次元の変動しか得られないが、複数の方向からのデータを組み合わせることで、3次元の変動場を導出することができる。

本発表では、これら3つの解析手法と複数観測方向からの変動データを統合的に利用して、3次元変動場とその理論的誤差を導出する手法を提案する。また、ALOS-2の実データを利用して本手法を2つの地震事例に適用し、精度検証を行った結果を紹介する。

今後打ち上げが予定されているLバンドSAR衛星であるALOS-4及びNISARは、ALOS-2よりも広い観測幅と高い観測頻度を持ち、主な観測方向が左右に分かれているので、3次元変動場導出の機会が増加すると共に、迅速性が向上し、国家座標の管理に貢献することが期待できる。

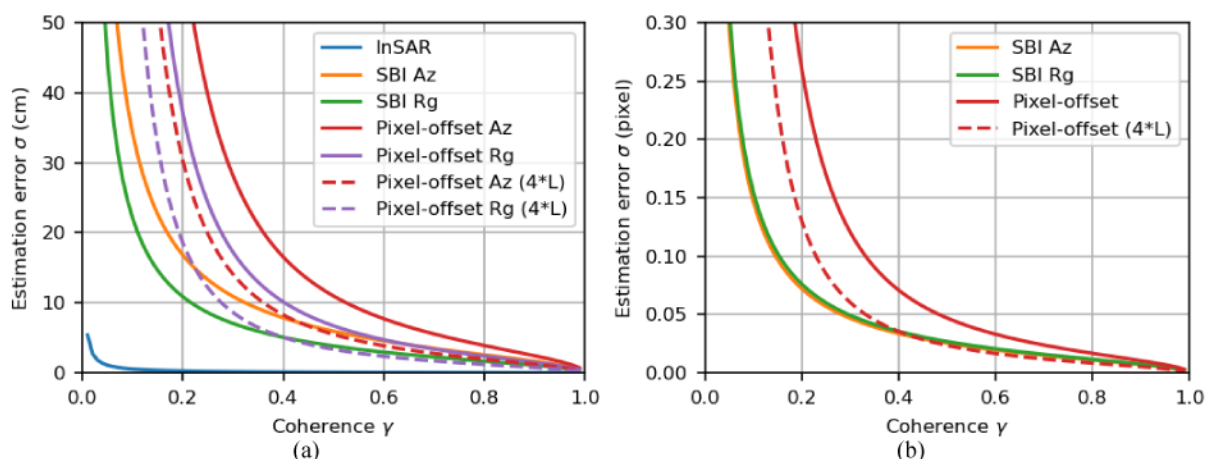


図. 各手法におけるコヒーレンス低下に伴う誤差。パラメータはALOS-2 Uモード、16×16ルック、 $L=155$ 、 $p_{spa}=1.43\text{m}$ （レンジ）、 $2.34\text{m}$ （アジマス）に基づく。(a)cm単位。(b)ピクセル単位。

## 2. 誤差の導出と3次元解析手法

SARから得られる変動データに含まれる主な誤差要因は、コヒーレンス低下と大気誤差である。コヒーレンス低下による誤差は、干渉SAR、SBI、ピクセルオフセットそれぞれに対して、

$$\frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{1-\gamma^2}{2\gamma^2 L}} \quad (\text{Rodriguez and Martin, 1992, IEEE Proc. F})、\quad \frac{3\sqrt{3}}{4\pi} \sqrt{\frac{1-\gamma^2}{\gamma^2 L}} p_{spa} \quad (\text{Bamler and Eineder, 2005,}$$

$$\text{IEEE GRSL})、\quad \sqrt{\frac{3}{10L} \frac{\sqrt{2+5\gamma^2-7\gamma^4}}{\pi\gamma^2}} p_{spa} \quad (\text{De Zan, 2014, IEEE GRSL})$$

で各ピクセルの値を計算できる。ここで、 $\lambda$  は波長、 $\gamma$  はコヒーレンス、 $L$  は独立サンプル数、 $p_{spa}$  はピクセルスペーシングであり、SBIでは帯域分割比率1/3を仮定している。図によると、干渉SARの誤差は他よりも非常に小さい。SBI及びピクセルオフセットの誤差は $\gamma>0.4$ で0.1ピクセル以下であり、経験的な誤差とも一致している。大気誤差は、各ピクセルの値を推定することは不可能であるが、各変動データの代表値を変動データそのものから計算し、それを利用する。

3次元変動場は、重み付き最小二乗法で推定する (Morishita et al., 2016, GRL)。上述の方法で推定した観測データの推定誤差を重みとして利用することで、計測精度が大きく異なる3解析手法の変動データを合わせて解くことができ、また各ピクセルにおける3次元変動量の解の標準誤差も同時に推定することができる。

## 3. 2016年熊本地震及び2016年鳥取県中部の地震における事例検証

本手法を2016年熊本地震及び2016年鳥取県中部の地震のALOS-2 (Uモード) データに適用した。その結果、先行研究と同様な3次元変動場が得られた。標準誤差 ( $1\sigma$ ) は、十分な干渉SARデータが存在する領域では、東西、上下成分が約1cm、南北成分が約4cmとなった。GNSSや水準測量の結果と比較したところ、推定誤差と同等の結果が得られた。干渉SARで変動量が得られない断層沿いの大変動域でも、SBIやピクセルオフセットによって3次元変動量が計算できており、その誤差は10cm程度と推定された。