

修士学位論文要約（令和2年3月）

合成開口レーダ画像からの地表変動の検出に関する研究

今井 陽稀

指導教員：青木 孝文

Ground Deformation Detection from Synthetic Aperture Radar Images

Haruki IMAI

Supervisor: Takafumi AOKI

Detection of ground deformation is one of fundamental topics in remote sensing. A Synthetic Aperture Radar (SAR) has been used to obtain images representing geometrical properties of ground surface. SAR images can be taken in nearly all weather conditions and in nearly all time. This paper proposes a ground deformation detection method using image correspondence matching, which employs Phase-Only Correlation to estimate displacement between two SAR intensity images with sub-pixel accuracy. Through experiments using airborne SAR intensity images of the Kumamoto earthquake, we demonstrate that the proposed method exhibits the efficient performance on detecting ground deformation.

1. はじめに

地震や噴火などの災害発生時に救助活動や復旧活動を行うためには、迅速に災害状況を把握する必要がある。その中で、災害で生じた地表変動の観測は、広範囲を遠隔から観測する必要があるため、一般にリモートセンシングが用いられている。リモートセンシングで用いられる合成開口レーダ (Synthetic Aperture Radar: SAR) は、昼夜や天候を問わない観測が可能であり、災害の観測や解析で利用されている¹⁾。特に、航空機 SAR は、迅速かつ自由な航路での観測が可能のため、災害発生時の地表変動の観測に適している。従来の SAR を用いた地表変動の検出手法は、画像間の位置がほぼ一致している人工衛星 SAR で取得された画像を想定しているため、自由な航路の航空機 SAR で取得された SAR 画像から地表変動を検出することが困難である。本論文では、位相限定相関法 (Phase-Only Correlation: POC)²⁾ を用いて SAR 画像間の微小な視差を推定し、SAR 画像に生じる画像変調の影響を除去することで、航空機 SAR 画像から地表面の変動を検出する手法を提案する³⁾。熊本地震の発生前後に取得された航空機 SAR 画像を用いた評価実験を通して、提案手法の有効性を示す。

2. 画像対応付けを用いた地表変動の検出

提案手法では、画像間を対応付けて得られる視差に基づき地表変動を検出する。画像対応付けにより得られる視差は、SAR 画像特有の画像変調によって生じる位置ずれを含むため、そのままでは地表変動を検出することができない。そこで、画像対応付

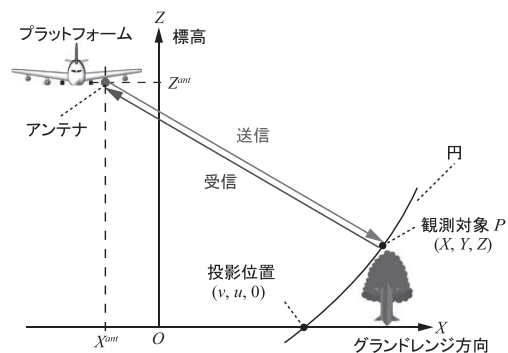


図1 航空機 SAR の投影原理

けにより得られる視差から画像変調により生じる位置ずれを除去することで、地表変動を検出する。

図1に航空機 SAR の投影原理の概説図を示す。ある観測対象 P は、アンテナを中心として位置 P を通る円と標高 0m の基準面との交点に投影される。この投影原理から、レーダ座標系で表される観測対象 P の3次元座標 (X, Y, Z) とその投影点 (u, v) との間以下に以下の投影モデルが定義できる。

$$u = \alpha_u Y \tag{1}$$

$$v = \alpha_v (\sqrt{r^2 - (Z^{\text{ant}})^2} + X^{\text{ant}}) \tag{2}$$

$$r = \sqrt{(X - X^{\text{ant}})^2 + (Z - Z^{\text{ant}})^2} \tag{3}$$

ここで、 Z^{ant} はアンテナ高度、 X^{ant} はアンテナから原点までの水平位置を示す。また、 α_u と α_v は各方向の画像分解能 [m/pixel] の逆数を表す定数

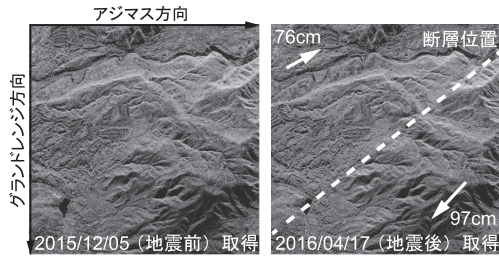


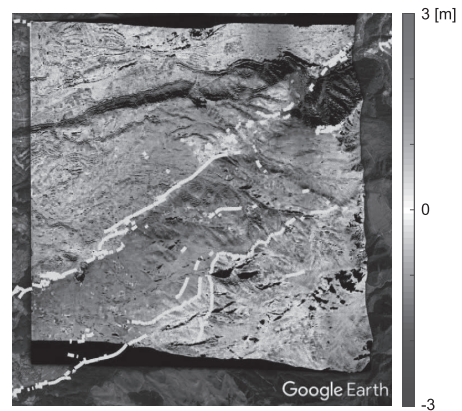
図 2 使用した SAR 画像

である。図 1 から、投影位置は実際の位置よりもアンテナ側に倒れこむことがわかる。この現象は、SAR 特有の画像変調の 1 つであるフォアショートニングと呼ばれる。フォアショートニングによる倒れ込み量と方向は観測航路によって決まる。そのため、観測航路が異なっていた場合は、倒れこむ量と方向が異なり、画像間に位置ずれが生じる。

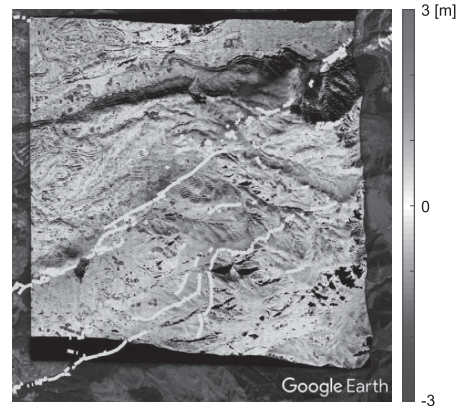
提案手法は、(i) パラメータの設定、(ii) 画像対応付け、(iii) パラメータの最適化、(iv) 画像変調の補正の 4 つの処理で構成される。まず、SAR 画像と共に提供される観測情報から、地表変動の検出に必要なパラメータを設定する。次に、2 枚の SAR 画像間の密な対応付けを行う。この際、POC を用いることで、ノイズの多い SAR 画像間を正確に対応付ける。次に、画像間の対応関係を用いて、地表変動の検出に最適なパラメータを求める。最後に、画像対応付けから求めた視差から画像変調により生じる位置ずれを除去する。画像変調によって生じる位置ずれは、航空機 SAR の投影原理に基づき、観測対象の 3 次元形状から推定する。

3. 提案手法の評価実験

提案手法の有効性を評価するために、熊本地震 (2016 年 4 月 16 日に本震発生) 発生前後に熊本県阿蘇山周辺を観測したデータセットを使用し、地表変動の検出を行う。図 2 に使用した画像を示す。地震後の画像上に、地震により発生した断層の大まかな位置と観測領域付近の電子基準点が検出した変動を示す⁴⁾。左下から右上に大きな断層が走っており、断層の上下の領域がそれぞれ矢印の方向へずれたことがわかっている。図 3 に、提案手法により検出された変動を Google Earth 上にマッピングした結果を示す。なお、黄色い線は産業技術総合研究所が公開している断層位置を示している^{5) 6)}。調査により判明した断層と提案手法により検出されたずれの境界が一致している。また、観測領域付近の電子基準点が検出したずれの方向と、提案手法が検出したずれの方向が一致している。以上のことから、



(a) アジマス方向の変動



(b) グランドレンジ方向の変動

観測された断層

図 3 検出結果

提案手法により地表変動を検出可能であることがわかる。

4. まとめ

本論文では、SAR 画像から画像対応付けを用いて地表変動を検出する手法を提案した。熊本地震前後に航空機 SAR で取得したデータを用いて、提案手法が地表変動を検出可能であることを示した。

文献

- 1) 大内和夫, リモートセンシングのための合成開口レーダの基礎, 東京電機大学出版局, 2004.
- 2) K. Takita et al., "A sub-pixel correspondence search technique for computer vision applications," IEICE Trans. Fundamentals, vol.E87-A, no.8, pp.1913-1923, Aug. 2004.
- 3) H. Imai et al., "A method for observing seismic ground deformation from airborne SAR images," Proc. Int'l Geosci. Remote Sens. Symp., pp.1506-1509, Aug. 2019.
- 4) "国土交通省 国土地理院," <http://www.gsi.go.jp/>.
- 5) 産業技術総合研究所, "産業技術総合研究所 (2019) 活断層データベース 2019 年 4 月 26 日版 産業技術総合研究所研究情報公開データベース db095," <http://www.eorc.jaxa.jp/jjfast/>.
- 6) 粟田泰夫ほか, 平成 28 年熊本地震を踏まえた総合的な活断層調査 平成 28~30 年度成果報告書, 文部科学省研究開発局, 国立大学法人九州大学, 2019.