

TEC 変動が衛星搭載 SAR 観測に及ぼす影響の評価

京都大学大学院 峰山 大 齋藤 昭則 橋本 学

平成 23 年 2 月 28 日

1. 概要

衛星に搭載された合成開口レーダーを用いた干渉法による地表変動の観測の際に、電離圏における電子密度擾乱によって影響を受けている可能性を検証するために、航空宇宙研究開発機構 JAXA が打ち上げた陸域観測衛星 Advanced Land Observation Satellite(ALOS)が搭載する合成開口レーダー Phased Array L-band Synthesized Aperture Radar(PALSAR)によって取得された位相差と GPS 衛星および国土地理院の GPS 受信機網 GEONET(GPS Earth Observation NETwork)を用いて取得した全電子数(Total Electron Content)データの比較を行った。その結果、両者の変動の大きさの間に正の相関がみられ、また両者の変動の空間スケールおよび絶対値もよい対応を示した。これによって、干渉法観測で得られる位相差には電離圏の影響が表れていると結論付けられた。

2. 研究の背景と目的

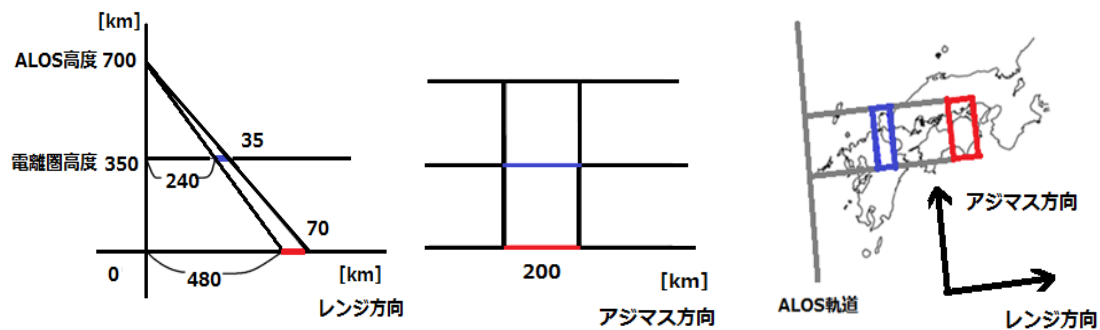
ALOS が搭載しているレーダー観測器 PALSAR を用いた干渉 SAR 法 Interferometry SAR(InSAR)では、同一地点からの後方散乱波の位相を複数回取得し、その差を用いて 2 回の観測間に起きた地表変動の視線方向成分を推定している。しかし、このようにして取得された位相差には、地表変動では説明できないほど大きな変動が観測される場合があり、その大きさは位相差が全て地表変動に起因すると考えると、空間距離 200 km に対して数 10 cm に及ぶ地表変動のシアに相当する。電離圏の影響が示唆されていた。本研究では InSAR 観測で取得された位相差と GPS で取得された全電子数を定量的に比較することで、両者の因果関係を解明することを目的とする。

3. データセット

本研究では干渉 SAR 法によって取得された岡山-室戸岬エリアの幅 70 km、長さ 200 km の位相差マップと、SAR 観測の位置および時刻に対応する位置および時刻の GPS-TEC データを使用した。観測期間は 2006 年 5 月から 2010 年 3 月までのデータを用い、回帰周期である 46 日間隔の位相データが利用可能だが、干渉性のための条件として観測日間隔 1500 日以内、軌道間距離 1000m 以内の組み合わせに限って位相差を算出し、TEC データと比較した。

4. 手法

岡山-室戸岬エリアの位相差データに対応する TEC データの位置は、レーダーの観測視線に沿って地表の観測領域を高度 350 km に投影した領域として定義した。この際、ALOS の軌道高度を高度 700 km で一定と仮定し、電子密度擾乱の発生高度を 350 km で一定と仮定している。また、PALSAR のオフナディア角は 34.5° を用いた。PALSAR が北行軌道で岡山-室戸エリアを観測する際の、対応関係を図で示す。赤線の領域が地表の観測領域を表わし、青線の領域が対応する電離圏領域を表わす。



また、全電子数の変動が InSAR で取得される位相差に与える影響は以下のように評価した。電離圏を通過する際に生じる位相変化は、磁場の効果と中性粒子の衝突の効果を見捨てるならば、媒質の電子密度と電波の周波数にのみ依存し、電子密度に比例して周波数の 2 乗に反比例する形で書ける。これに PALSAR が使用している 1.27GHz を当てはめて、視線方向に積分することによって、電離圏に起因して InSAR で観測される位相差は、次式のように表わせる。

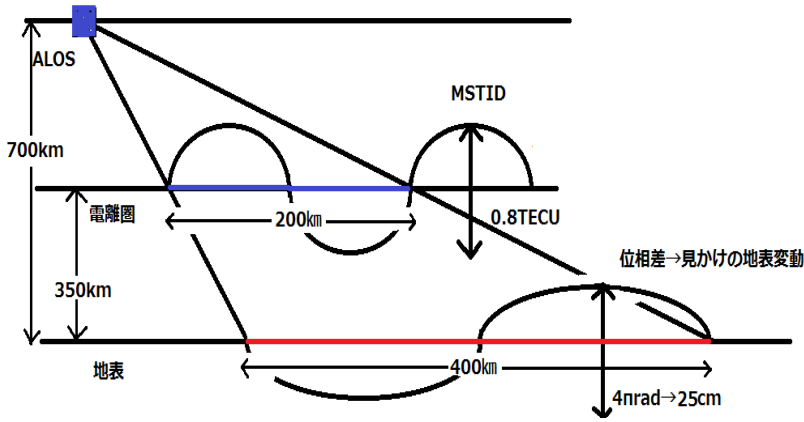
$$\Delta\phi_{ionosphere} [rad] = -5.12\pi\Delta TEC_{vertical} [TECU] \dots(*)$$

ここで、1TECU は $10^{16} \text{ electrons} / \text{m}^2$ を表わす。

5. 両者の空間スケールの評価

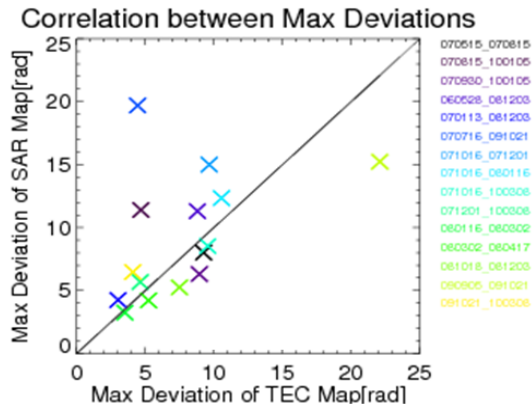
中緯度域に顕著な電離圏擾乱 Middle Scale Travelling Ionospheric Disturbances (MSTIDs) に対して、前項の位置と絶対値の対応関係から推定される InSAR マップ内に現れる位相差構造の空間スケールを評価する。MSTID は波長約 200 km、振幅約 0.4TECU の電子密度擾乱が速度約 100m/s でおよそ南西方向に伝搬する電離圏擾乱現象で、夏季の昼および冬季の夜に発生しやすい傾向が知られている。MSTID の波面方向がアジマス方向に平行であると仮定して、MSTID に起因して InSAR マップ内に現れる位相差構造を推定すると、下図のように波長約 400 km、振幅約 2π [rad] の波状構造となる。2 回の観測時の MSTID が重合すればこの 2 倍の変動となり、山谷間隔 200 km に対して 50 cm に及ぶ見かけの地表変

動シアを説明することができる。



6. 両者の観測データを用いた比較

InSAR 法で取得した位相差データと GPS-TEC データの観測面内での最大偏差の相関を調べた。ただし、位相差データは GPS-TEC の空間分解能である緯度経度幅 1.5° ずつのグリッドで平均化したものを用い、GPS-TEC データは式(*)の対応関係によって、位相差の単位に変換したものを用いた。また、TEC データに欠測の少ないもののみを選ぶために、グリッド化された位相差データのグリッド数に対する、有効な GPS-TEC データのグリッド数が 0.8 以上のもののみを用いた。



位相差と TEC 差の面内の最大偏差の相関図

横軸が TEC 差の面内の最大偏差を、縦軸が位相差の面内の最大偏差を表わす。

直線の傾きは 1。

その結果、両者の間には高い相関が認められた。

7. まとめ

ALOS/PALSA を用いた干渉法で取得された位相差と GPS-TEC データの比較を行った。その結果、両者の変動の大きさの間に正の相関がみられ、また両者の変動の空間スケールおよび絶対値もよい対応を示した。これによって、干渉法観測で得られる位相差には電離圏の影響が表れていると結論付けられた。