

Cバンド衛星干渉 SAR 時系列解析による東北沿岸地域の地盤変動モニタリング

日本大学 学生会員 ○染谷 亮太
 日本大学 正会員 羽柴 秀樹
 日本大学 正会員 園部 雅史

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震によって、東北沿岸地域では東向き水平方向に最大5m、鉛直方向に最大1mの沈降が観測されたり。本震後も続く余効変動により、同地域では年間最大約5cmの水平方向の変動と、最大約6cmの隆起が続き、本震翌日から10年間で最大68cmの隆起が観測された¹⁾。これらに対し、国土地理院ではGNSSを用いた観測やLバンド合成開口レーダ(PALSAR)のデータを使用して地盤変動の監視を行っている^{2),3)}。これに対し、フリーで観測情報が入手でき、かつLバンドに比べ波長が短いCバンドのSAR衛星を用いた東北地方太平洋沖地震の余効変動に対する地盤変動の調査やその効果はまだ十分に検討されていない。

本研究では、東北地方太平洋沖地震の余効変動を調査するために、2017年~2019年にSentinel-1衛星により観測されたCバンドによる観測データを用いて、地盤変動を干渉SAR時系列解析から調査し、国土地理院によるGNSSの観測結果と比較検討した。その結果から、地盤変動のモニタリングへの有用性を考察した。

2. 対象地域と使用データ

本研究の対象地域は東北沿岸の余効変動が比較的大きい気仙沼から石巻の範囲とした。使用したSentinel-1衛星データを表-1に示す。観測モードはInterferometric Wide Swath (IWS)モードであり、分解能は衛星進行方向に5m、電波照射方向に20m、観測幅は250kmである。観測データはVH、VV偏波の情報を有しており、軌道方向は南行軌道を使用した。これらの観測データはCopernicus Open Access Hubから入手した。

3. 調査・解析方法

差分干渉処理(DInSAR)は、ほぼ同一の軌道上から観測された2時期のSARデータの位相差から、地表面の変位を抽出する解析手法である²⁾。ここでは、表-1に示すデータ構成のもとで各間隔で連続してそれぞれDInSAR解析を行い、全期間を合算し評価全期間の時系

列的な変動状況を把握した。干渉画像を作成する際に2時期間の干渉度を示すコヒーレンスを用いて0.3以下の領域を除いた。照射方向に26ルック、衛星進行方向に7ルックのマルチルック処理を施した、入力する標高データは国土地理院の基盤地図情報数値標高モデルの10mメッシュを用いた。また、国土地理院によるGNSSの観測結果と差分干渉解析による変位量の結果を比較した。変位量の解析結果は衛星視線方向であるため入射角度を用いて鉛直方向に変換することでGNSSの観測結果と比較できるようにした。比較する電子基準点は2地点とした。

表-1 使用データ (UTC)

ペア	Master (観測日)	Slave (観測日)
a	2017/03/14	2017/06/06
b	2017/06/06	2017/09/10
c	2017/09/10	2017/12/15
d	2017/12/15	2018/03/21
e	2018/03/21	2018/06/13
f	2018/06/13	2018/09/29
g	2018/09/29	2018/12/10
h	2018/12/10	2019/03/04

4. 解析結果

(1) 差分干渉解析による地盤変動の評価

2017年3月から2019年3月までの各期間の変位と全期間の変位の積算を図-1に、Sentinel-1データによるDInSAR解析結果を図-2の(a)~(h)に示す。解析結果は衛星視線方向(東側上空からの視線)の変位を示したものであり、一部期間(b, c, g)を除き解析地域全体で衛星に近づく変位が得られた。また、国土地理院より公開されている地盤の変動図¹⁾(図-3に示す)と比較すると、水平方向について衛星視線方向への変動と

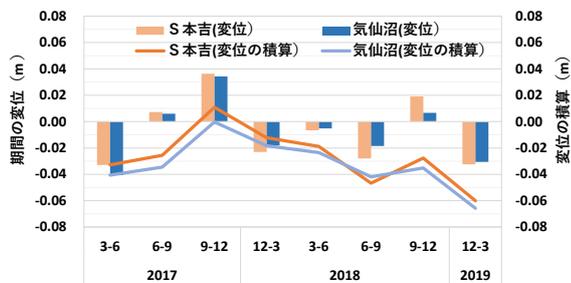


図-1 各観測ペアの変位と変位量

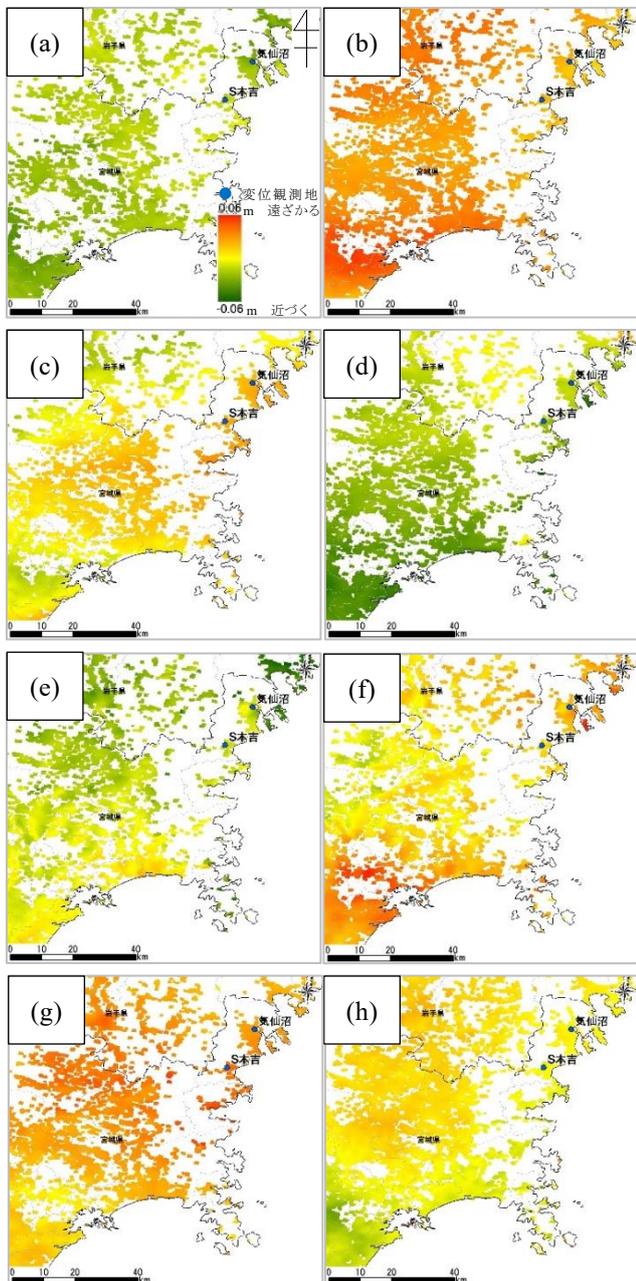


図-2 各観測ペアの変位 (衛星視線方向)

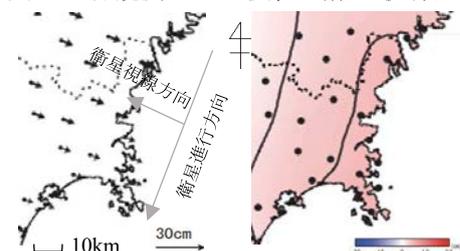


図-3 GNSSの変動図 (左:水平 右:鉛直)

ほぼ同じ向きとなっており、変位方向については整合性が取れたといえる。一方で一部期間において衛星から遠ざかる変位になった理由として、大気中の水蒸気等による影響が一つの要因として考えられる。

(2) 差分干渉解析による変位量の精度比較

より詳細な変位の検討のため、GNSSの鉛直方向の観測結果とDInSAR解析結果による変位量の結果の比較表を表-2に示す。DInSAR解析結果は衛星視線方向の変位であるため、入射角情報から鉛直変位に変換した。入射角は一律に30°に設定した。なお、ここでの観測地点は気仙沼、S本吉の2地点を対象とし、隆起方向をプラスとし、GNSSによる変位観測地点を図-2に示す。比較した結果、変位方向は隆起方向で同様であり、2地点ともGNSSの変位量よりもやや過少傾向であることがわかった。これはSentinel-1の分解能が5×20mと低いことや大気中の水蒸気による影響などが過小傾向の要因となったと考えられる。

表-2 GNSSと解析結果の比較(隆起方向をプラス)

GNSS	GNSS 観測結果	差分干渉解析結果
気仙沼	0.090m	0.076m
S本吉	0.080m	0.069m

5. おわりに

本研究では、東北地方太平洋沖地震の余効変動において、Sentinel-1のSARデータを用いてDInSAR時系列解析を行い、地盤変動のモニタリングと変位量の精度検証を行った。対象地域においてGNSSによる地殻変動図の観測結果と同様の傾向が得られた。また、精度検証においては、2地点ともやや過少傾向となった。今後は衛星画像の数を増やし継続的にモニタリングをするとともに2点以上の観測点での精度検証を行う予定である。また、2.5次元解析を行い鉛直方向の変位量のみならず、水平方向の変位量についても検討していく予定である。

参考文献

- 1) 国土地理院：日本列島の地殻変動, <https://www.gsi.go.jp/kanshi/> (2022年1月9日閲覧)
- 2) 国土地理院：国土地理院の干渉SAR, https://www.gsi.go.jp/uchusokuchi/gsi_sar.html (2022年1月14日閲覧)
- 3) 国土地理院：だいち2号SAR干渉解析による熊本地震に伴う地殻変動の検出, <https://www.gsi.go.jp/common/000147110.pdf>