

干渉SAR時系列解析による地盤沈下のモニタリング

衛星リモートセンシングで地盤の変動を捉える技術

キーワード：リモートセンシング, SAR, 干渉SAR時系列解析, 地盤沈下モニタリング

先端技術研究所 **かねた** 真一・カルナーチラカ アミラ

はじめに

SARは合成開口レーダー（Synthetic Aperture Radar）の略称で、マイクロ波と呼ばれる電磁波を用いたリモートセンシング技術です。SARは人工衛星や航空機に搭載することで、昼夜・天候状況を問わない観測能力や、位相情報を用いて対象物の変動を調べる干渉解析といった特長を持っています。「合成」という言葉は、移動しながら観測したデータを合成することで、実際のアンテナよりも大きくて、より性能の高い仮想的なアンテナを作り出し、得られるデータの解像度を高める手法であることを意味しています。

本稿では干渉解析の一種である、干渉SAR時系列解析を紹介します。図1は干渉SAR時系列解析で用いられる

干渉SAR時系列解析

SARのデータは、画素ごとに振幅と位相の二種類の情報を持っています。干渉SAR解析は二時期に観測されたSAR画像の位相の変化を調べることで、対象物のわずかな形状変化を捉える技術です。地震前後のSARデータを使って、震央を中心とした地盤変動分布を調べることができます（図2左）。ただし、ワンペアだけのデータでは大気状況による影響による誤差と地盤変動の判別ができない場合があります。

干渉SAR時系列解析は、一定期間の間に連続して観測した数十枚のSARデータ（通常は一年以上）を統計的に処理することで干渉解析に含まれる誤差を軽減させ、時

| 衛星名 | ALOS-2 | SENTINEL-1A/1B | オペレーター | JAXA | ESA |
|-------------|-----------|-------------------|-------------|-----------|-------------------|
| 国 | 日本 | 欧州 | 国 | 日本 | 欧州 |
| バンド | L | C | バンド | Japan | Europe |
| 周波数 | 1.2 GHz | 5.405 GHz | 周波数 | 1.2 GHz | 5.405 GHz |
| 打ち上げ年 | 2014 | 1A:2014 / 1B:2014 | 打ち上げ年 | 2014 | 1A:2014 / 1B:2014 |
| 観測周期 | 14日 | 12日 | 観測周期 | 14日 | 12日 |
| 幅 | 70 km | 250 km | 幅 | 70 km | 250 km |
| 干渉解析可能な観測回数 | 4 | 30 | 干渉解析可能な観測回数 | 4 | 30 |
| 解像度 | 20m (PRN) | 10m | 解像度 | 20m (PRN) | 10m |
| 観測精度(地上分解能) | 5m | 14m (x7) | 観測精度(地上分解能) | 5m | 14m (x7) |

図1 干渉解析で用いる主要なSAR衛星

主要な人工衛星であるALOS-2(宇宙航空研究開発機構)、Sentinel-1(欧州宇宙機関)の概要です。

今回の事例ではデータが無償公開されているSentinel-1を使っています。

系列の変動量や、期間中の変動速度(単位は通常cm/年もしくはmm/年)を求める手法です。

時系列での変動量は期間中に発生した陥没等の突発的な事象、変動速度は期間中を通じた地盤沈下等の調査に適しています。このため、地盤沈下や盛土切土、各種構造物の変動モニタリングへの活用が期待されています。

2022年度以降の打ち上げが予定されているALOS-4では、日本国内を中心として干渉性の高いLバンドSARのデータが現在の5倍、年間20シーン程度観測される計画です。

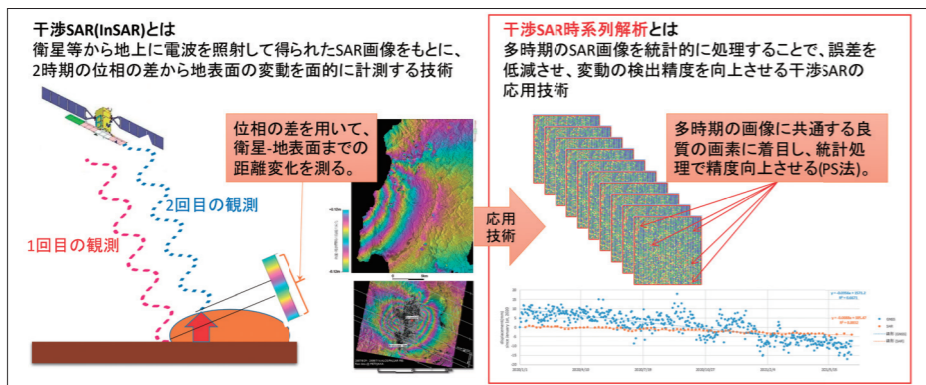


図2 干渉SAR解析(左)、干渉SAR時系列解析(右)

また国土地理院では、令和4年4月に「衛星合成開口レーダー地盤変動測量 作業規程」を公開し、Lバンド

2.5次元解析

SAR衛星は一般的に南極と北極を結ぶ軸に対してわずかに傾いた軸(軌道傾斜角と呼ばれALOS-2で7.9度)に沿って地球を周回し、通常は進行方向に対して右側を観測します。北行軌道は西から東側を観測、南行軌道は東側から西側を観測するので、干渉SARの解析では東西二方向からもとめた変動量(衛星・対象地域間の斜線方向)を求めることができます。

2.5次元解析では東西二方向の変動量を、垂直方向と東西方向に分離する手法です。これにより地盤や構造物といった対象の変動をより具体的に捉え、水準測量等の既往情報と比較も可能になります。

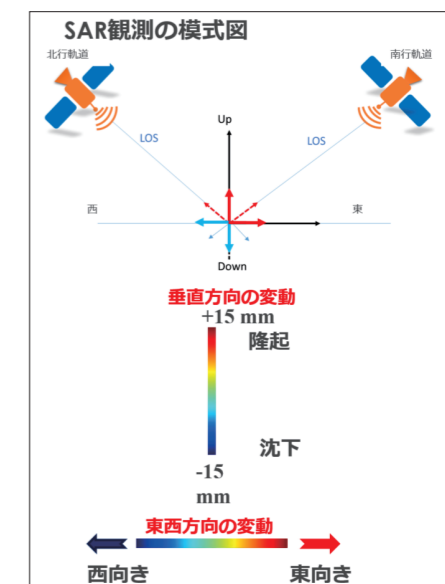


図3 2.5次元解析の概要

解析事例

図4は、京王線つじヶ丘駅(東京都調布市)周辺を対象とした干渉SAR時系列解析の事例です。

この地区では2020年から東京外かく環状道路のトンネル掘削工事が行われており、同年10月18日に住宅街の一部で陥没事故が発生しています。

この解析ではSentinel-1のInterferometric Wide Swathモード(観測幅250km、30m/画素)の観測データ、期間は2019年1月から2021年8月末まで、北行軌道と南行軌道合わせて159枚分のデータを使っています。

図4は、同地区での東西方向の変動の積算値を示しています。図中の赤点が東側方向の水平移動、青点が西側方向の水平方向です。図中の南東から北西方向に走る赤線がトンネルの路線を中心として、西側では東向きの変動(赤色点)、東側では西向きの変動(青色点)が分布しています。図5が東西方向の変動量積算値の時系列推移です。赤線がトンネル西側、青線がトンネル東側の変動で、陥没事故前の9月頃から、15mm程度の明確な変動傾向の違いが表れていることがわかります。

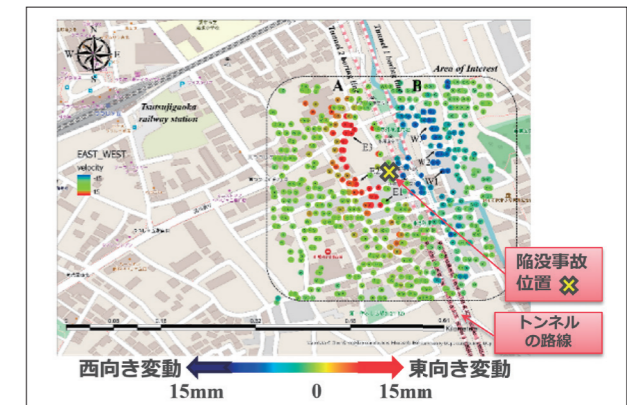


図4 東西方向の変動量積算値

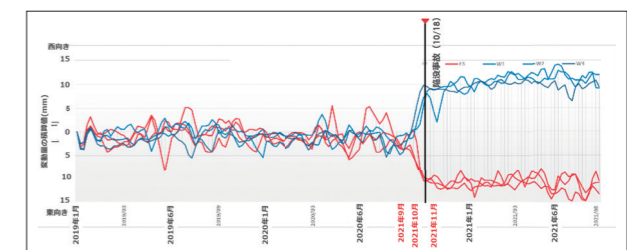


図5 東西方向の変動量積算値

おわりに

本稿では、衛星SARや干渉SAR時系列解析の概要と、解析事例を紹介しました。本技術は新規衛星の開発・打上等の動向を受けて今後大きく進展が見込まれると予想

されます。今後は大規模盛土・道路等の構造物・斜面などのモニタリングといったさまざまな社会問題の解決に貢献研究開発を進めていく予定です。