

干渉 SAR 時系列解析による千葉県内の地盤変動量の推定と漏水箇所分析

20T0220A 内山 明音

指導教員：丸山 喜久，劉 ウェン

1. 研究背景と目的

現在、日本の水道では年間2万件を超える漏水・破損事故が発生している¹⁾。水道管の法定耐用年数は40年とされており、高度経済成長期に整備された施設の老朽化に伴う漏水事故が懸念されている。また、漏水調査を行う技術者の高齢化や退職に伴う水道事業における人手不足が問題となっている。そこで、水道管路の漏水を効率的に検知するための新たな手法が求められている。

漏水の原因には、経年劣化による腐食、交通荷重、地盤変動によるひずみなどいくつかある。これらの原因の中で、本研究では、地盤変動により管路にひずみが生じることで、漏水が発生するという点に着目した。そこで、衛星合成開口レーダ（SAR）画像を用いた干渉処理に基づく地盤変動のモニタリングを行った。干渉 SAR 時系列解析には、広範囲の地盤変動を長期的に観測することができるという利点がある。

そこで本研究では、2015年から2022年までに千葉県を撮影した ALOS-2 画像を用いて、干渉 SAR 時系列解析より地盤変動量を推定し、水道管の漏水箇所との関連性を分析した。

2. 使用データ

対象地域は図-1 に示す千葉県船橋市から勝浦市までの範囲である。対象地域内の千葉県営水道の給水エリアでは、28箇所の漏水が報告されている²⁾。

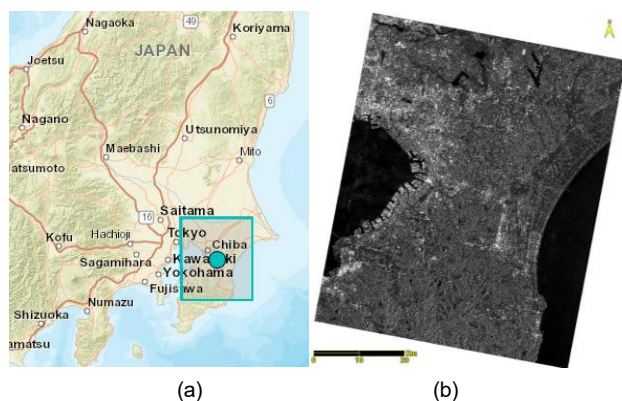


図-1 (a)対象地域の範囲；(b)ALOS-2 衛星強度画像の一例

本研究で使用した SAR データは、陸域観測技術衛星 2 号「だいち 2 号」(ALOS-2) が 2015 年 1 月から 2022 年 11 月までに撮影した 16 枚の画像(2 枚 / 年)である。ALOS-2 は 2014 年 5 月 24 日に打ち上げられた「だいち」の後継機である³⁾。ALOS-2 に搭載して

いるレーダセンサ PALSAR-2 は地上 3 m 分解能を有する L バンドのセンサであり、災害状況の把握、森林分布の把握や地殻変動の解析など様々な目的で使われている。L バンドのマイクロ波は、透過性が高く木の枝葉を透過しやすいため、地表面の形状を捉えることができる。

本研究で使用した ALOS-2 衛星画像は下降軌道の右観測、StripMap モードで撮影したものである。センサのオフナディア角が 32.4 度、処理レベル 1.0 の complex データとして提供された。スラントレンジの地上分解能は 1.4 m × 2.0 m (R × A)である。

3. 干渉 SAR 時系列解析による地殻変動量の推定

(1) 干渉 SAR 時系列解析

SAR センサは、アンテナから電波を発射し、観測する対象物に当たって反射された電波を観測する。電波は雲などを透過するため、天候に左右されず、また昼夜を問わず定期的に観測できる利点がある⁴⁾。

干渉 SAR 解析とは、電波の位相を利用して地表面の変化を調べる手法である。地表の同一地点に対して 2 時期に SAR 観測を実施し、反射波の位相差を取ることによって、その期間内に起きた地表の変動を捉える技術である⁵⁾。

干渉 SAR 時系列解析は、異なる時期の観測データを用いて作成した多数の干渉画像を統計的に処理することにより、SAR 干渉画像に含まれる大気や軌道誤差に起因する誤差を低減することで、個別の干渉画像では捉えることが困難な微小な地表の動きとその時間変化を捉えることができる解析手法である^{6) 7)}。干渉 SAR 時系列解析では、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、時系列の変動量や、期間中の変動速度を求めることができる。本研究では SBAS 法 (Small Baseline Subset Method) を用いて、千葉県を撮影した ALOS-2 の干渉 SAR 時系列解析を行う。SBAS 法は、短い垂直基線長および短い観測間隔の干渉 SAR 画像を多数作成し、観測日時ごとの時系列の変位を算出する技術である。

2) SBAS 法による地殻変動の推定

32 ペアの干渉結果を用いて、対象地域の地盤変動を推定した。干渉で得られる位相差はセンサの観測方

向における変動量であるため、センサの観測角を用いて垂直方向の変動量に変換した。推定された 2015 年から 2022 年までの 8 年間に於ける垂直方向の平均変動速度を空間解像度 10 m/pixel にリサンプリングし、図-2 に示す。

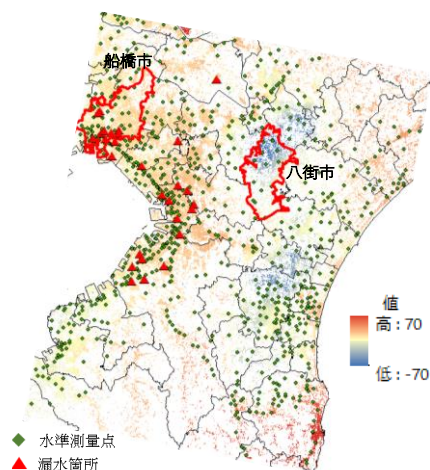


図-2 推定された 2015 年から 2022 年までの平均垂直変動速度

4. 地盤変動の推定精度の検証

千葉県が公開する毎年の水準測量データを用いて、干渉 SAR 時系列解析で推定された地盤変動量を検証した。対象地域内では 809 個の水準測量点が存在し、その位置を図-2 の緑丸で示す。地盤沈下が目立った八街市と、地盤変動がほとんどなかった船橋市を例とし、水準測量点の観測データと推定された変動量の比較した。その結果、八街市において干渉 SAR 時系列解析の結果は地盤沈下の傾向をとらえることができていた。このことから、地盤変動量が大きな地域においては、干渉 SAR 時系列解析の結果は地盤沈下の傾向をとらえることができるということが出来る。一方で、地盤変動がほとんどなかった船橋市においては、干渉 SAR 時系列解析によって地盤変動量を推定することはやや困難であった。このことから、地盤変動量が±10 mm 以下の地盤変動については干渉 SAR 時系列解析によって変動量を推定することはやや困難と考えられる。

5. 地盤変動と漏水データの比較

千葉県水の漏水データを用いて漏水箇所付近の地盤変動量を調べた。使用した漏水データの漏水箇所は図-2 のとおりである。

図-3 は漏水箇所付近の地盤変動量のグラフと航空写真である。グラフは漏水点から半径 10 m 以内に含まれるピクセルの地盤変動であり、縦軸は 2015 年 1 月と比較したときの変動量である。千葉市中央区の漏水箇所については、漏水発生日より前に約 20 mm の地盤沈下があった。これは干渉 SAR 時系列解析の

RMSE 以上の大きさの地盤沈下であることから、この地盤変動が漏水の原因の一つと考えられる。一方で、船橋市の漏水箇所については、漏水発生日より前に大きな地盤変動はなく、漏水には他の要因が影響しているものと考えられる。

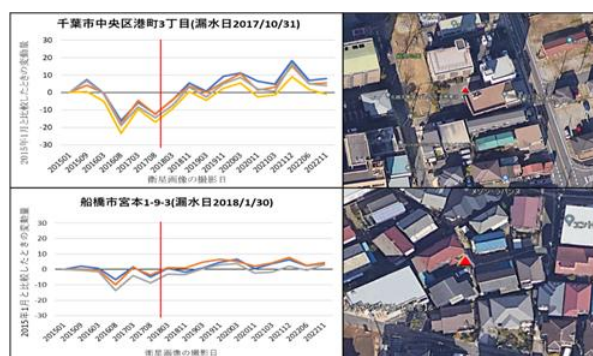


図-3 漏水箇所付近の地盤変動量(左)と付近の航空写真(右)

6. まとめ

干渉 SAR 時系列解析の結果と千葉県の水準測量データを比較したところ、干渉 SAR は誤差±10 mm 程度で地盤変動をとらえることができていた。このように、干渉 SAR 時系列解析を用いて地盤変動を予測することが可能である。

漏水箇所付近の地盤変動を分析した結果、千葉市中央区の漏水箇所に関しては、漏水発生前に約 20 mm の地盤沈下が発生していることがわかった。一方、船橋市の漏水箇所で大規模な地盤沈下は推定されなかった。この地点の漏水では、経年劣化や交通荷重など他の要因が影響しているものと考えられる。

今回用いた漏水データの発生箇所付近は、地盤変動が目立っている地域ではなかった。今後は地盤沈下量が大きいといわれている浦安市などの漏水データを用いて、地盤変動と漏水の関係を明らかにしていきたいと考えている。

参考文献

- 1) (社) 日本水道協会：平成 29 年度水道統計（施設・業務編），第 100-1 号，2019
- 2) 安江崇志，劉ウェン，丸山喜久：管網端部での水圧低下に基づく漏水発生予測に向けた機械学習の利用，AI・データサイエンス論文集，土木学会，Vol. 4, No. 3, pp. 245-253, 2023.
- 3) 宇宙航空開発機構 (JAXA)：ALOS-2 Solution Book, 2018. Available: https://www.satnavi.jaxa.jp/files/document/pdf/ALOS_JP_web.pdf
- 4) 畚野 信義：合成開口レーダ，日本リモートセンシング学会誌，1(1)，pp. 49-93, 1981
- 5) 藤原智，飛田幹男：地表変動検出のための干渉 SAR 画像作成技術，測地学会誌，45，pp. 283-295, 1999.
- 6) 福島 洋：StaMPS パッケージを用いた PS 干渉 SAR 解析，測地学会誌，57(2)，pp. 41-48, 2011.
- 7) 三村 祐介，石塚 師也，小田 義也，窪田 健二：ALOS-2 データを用いた 2016 年熊本地震前後の九重山の地表変動の推定，物理探査，73，pp. 136-148, 2020.