

IAEG Bulletin 紹介(5)

衛星 SAR を利用した地表面変動の検出に関する研究紹介

国際委員

山下久美子

1.はじめに

第2回の Bulletin 紹介にて、菊地輝行国際委員より GB-InSAR を用いた斜面動態モニタリングに関する研究紹介がなされたが、南海トラフ地震を筆頭として今後発生が懸念されている広域複合災害への対応や、建設現場の生産性向上を図る i-Construction の推進など、働き手が減少していく中でこれからの技術社会を渡り歩いていくには、リモートセンシングを有効活用していくことがひとつ重要であると考えられる。

リモートセンシング技術のひとつに、衛星 SAR (Synthetic Aperture Radar、合成開口レーダー) が挙げられる。昼夜、天候を問わずに地表面の状態を広域で観測することができるため、地震や火山活動による地殻変動の把握や大規模崩壊による河道閉塞箇所の判読、構造物の変状検知など様々な場面で活用されている¹⁾²⁾³⁾など。

日本では現在、陸域観測技術衛星 2 号 (だいち 2 号) を JAXA が開発・運用しており、日々観測を行っている。海外に目を向けると、アメリカやヨーロッパなどで開発された様々な人工衛星が打ち上げられており、オープン&フリー化されているデータも増えてきている⁴⁾。

今回紹介する論文は、ドイツが開発した SAR 衛星「TerraSAR-X」の観測データを用いて、スペイン・バルセロナにあるムンジュイックの丘における地表面変動を解析したものである。観光などで訪れたことがある方もいらっしゃるのではないだろうか。

2.紹介論文の概要

紹介する論文は、Bulletin の第 75 巻 1023～1032 ページに掲載された「Detection of ground movements in Montjuïc (Barcelona) using TerraSAR-X data」である⁵⁾。本論文の執筆者のうち、Luca Tanteri と Nicola Casagli は、イタリアのフィレンツェ大学の所属、María Cuevas-González, Núria Devanthéry, Michele Crosetto は、スペインの Centre Tecnològic de Telecomunicacions de Catalunya の所属である。以下、論文の構成に沿って概要を述べる。また、論文には引用されていない有用と思われる日本語論文も適宜追加した。

なお、本論文はオープンアクセスとなっており、Creative Commons Attribution 4.0 International License が適用されている。

Introduction

- ・ この論文では、解析期間で後方散乱特性が変化しない点 (PS 点) を抽出し、それらのピクセルでの変動を推定する PSI (Persistent Scatterer Interferometry) という方法を使用する。
- ・ 通常の InSAR 解析では、観測期間における植物の成長や入射角の違いによる干渉度低下が起こるが、PSI では PS 点のピクセルのみを抽出して変動を追跡するため、ノイズが小さい干渉結果を得ることができる⁶⁾。PS 点となり得る地表の物体は主に人口構造物や岩であり、それらが密に分布する都市部や植生及び積雪の

ない山肌などで良好な結果が得られやすいが、植生が多い森林地域ではデータがうまく取得できないこともある。

- ・ PSI は、沈下、斜面不安定性、地すべり、都市部の変動などのさまざまな現象の検出、特性評価、および監視に広く使用されており^{8) 9) 10)}など、広範囲で発生する変動現象の包括的な見通しを得ることができると同時に、個々の地物を測定する機能を持っている。なお、PSI は文献⁸⁾などで従来から知られている PSInSAR を含み、より一般的な手法を表す用語である。
- ・ 本研究では、バルセロナの都市圏が撮影された 2007 年 12 月から 2009 年 11 月までの 28 の TerraSAR-X 画像を使用し、現在進行中の地表面変動の検出を行った。

Study area

- ・ ムンジュイックの丘は標高 184.8 m、イベリア半島の北東海岸にあるバルセロナの都市部に位置する。
- ・ 地形学的観点から見ると、南部の Llobregat 川デルタと北部の丘陵からの支流によって形成された新しい沖積堆積物を特徴とする、平坦な周辺地域に囲まれた「島」である。
- ・ この丘の地質は、浅い海成相によって特徴付けられ、中新世のアルコース質砂岩などが強く珪化した 200m 以上の厚さの地層からなり、古生代の変成岩と砂岩からなる周辺域とは異なり特徴的である¹¹⁾。特に豊富な海棲動植物化石を含む砂岩は“Montjuïc Sandstone”と呼ばれ¹²⁾、特徴的な岩質組成から多くの採石場が開発され、1970 年代初めまで採掘が行われていた。
- ・ 現在は植物園や 1992 年オリンピックのためにスポーツ会場などが建設され、バルセロナの観光資源として重要な場所となっている。

Materials and methods

- ・ 本研究では、TerraSAR-X 衛星に搭載された X

バンド (3.1 cm 波長) センサによる StripMap モード (解像度 3 m) およびアセンディング軌道で取得された 28 個の SAR シーンを使用した。撮影期間は 2007 年 12 月 30 日～2009 年 11 月 22 日。

- ・ PS 点のパラメータには、平均変位速度または変形速度、変形時系列、および残留地形誤差 (RTE) が含まれる。PS 点と地形モデルから推定された RTE を使用することで、より正確なジオコーディングが可能となる¹³⁾。この PSIG 分析により 540 万以上の PS 点を生成した。

Results and discussion

■ Site1 : 野球場周辺

Palau St. Jordi スポーツ競技場周辺は、最大 12 mm / 年で衛星から遠ざかる変位が観測され、特に野球場周辺の地盤変動が目立つ。

現地調査の結果、PS 点で変位が見られる地点 (TS1, TS3 地点) での街灯の損傷やアスファルトの亀裂が確認された。

図-1. Pérez de Ròzas 野球競技場周辺における PSIG 分析および現地調査結果

Copyright 2018 Springer International Publishing AG. Part of Springer Nature.

文献調査等の結果、変動が発生している地域は 20 世紀半ばまで採石場として利用され、その後ゴミで埋め立てられたことが分かった。一方、TS2 地点では過去の開発がなく地盤が安定しているため、顕著な変位は見られない。

■ Site2 : Costa i Llobera 庭園

Costa i Llobera 庭園付近でも Miramar Road と庭園の一部 (Site 2a) および Miramar Road のトンネル入口付近 (Site 2b) で変動が検出されている。

Site 2a では 4~5 mm / 年で衛星から遠ざかる変位が観測されており、庭園の下にある岩壁

と急斜面が特徴である。この崖は前述した“Montjuic Sandstone”が広く露出し、裾には崩落した岩石が厚く堆積している。また、この地域は過去に砂岩採石場になっていたため、そのずりで堆積物の厚さが更に増したと考えられ、変位の原因はこれらの堆積物の不安定性に起因するものと考えられる。

Site 2b では Miramar Road のトンネル入り口に隣接する、坂道になった小さな駐車場で変位が見られ、4.5~7 mm / 年で衛星に近づく変位が観測されている。調査の結果、この坂道の箇所は細粒で低固結の土砂と砂岩礫による盛土であることが分かった。

図-2. Costa i Llobera 庭園周辺における PSIG 分析結果 (一部抜粋)

Copyright2018 Springer International Publishing AG. Part of Springer Nature.

3. 終わりに

今回の論文は有名観光地であるスペイン・バルセロナをフィールドとして衛星画像解析を実施し、現地調査から変位が見られる根拠付けを行った。その結果、今回紹介した3カ所では、それぞれ異なる要因が地表面変動に影響していることが分かった。

応用地質のフィールドでは、遠隔で得られるデータを解析するだけでなく、現地に足を運んでの情報収集、歴史的背景を調査・考察することも重要である。地域でのハザードマップ作成においては、長年その土地に住んでいる住民の知見が重宝される。近年では災害が発生すると、この土地では過去にも同じ災害があったというような、被災履歴の話題が報道で取り上げられることも増えたように感じる。

日進月歩の最新技術と、その土地が現在まで積み重ねてきた歴史の融合が、今後あらゆる分野でより一層求められてくるのではないかと思う。

参考文献

- 1) 神山嬢子, 國友優, 阪上雅之, 長井義樹 (2016) : 干渉 SAR 解析による斜面変動範囲推定手法の検討, 写真測量とリモートセンシング, 55(3), pp.187~190
- 2) 水野正樹, 神山嬢子, 江川真史, 佐藤匠, 蒲原潤一 (2014) : 2 偏波 SAR 画像による大規模崩壊及び河道閉塞箇所の判読調査手法(案), 国土技術政策総合研究所資料, No.791
- 3) 佐藤弘行, 金銅将史, 小堀俊秀, 小野寺葵 (2017) : 衛星 SAR による 19 基のロックフィルダムの外部変形計測, 土木技術資料, 59(9), pp.36~41
- 4) 経済産業省 製造産業局 宇宙産業室 (2017) : 政府衛星データのオープン&フリー化及び利用環境整備に関する検討会報告書
- 5) Luca Tanteri, María Cuevas-González, Núria Devanthéry, Michele Crosetto, Nicola Casagli (2016) : Detection of ground movements in Montjuic (Barcelona) using TerraSAR-X data, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 75(3), pp.1023-1032
- 6) 福島洋 (2011) : 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.
- 7) 森下遊, 鈴木啓, 小林知勝 (2013) : 干渉 SAR 時系列解析による微小な変位量で進行する地盤変動監視の実用化へ向けて, 地理院時報, 124, pp.125~132
- 8) Ferretti A, Novali F, Bürgmann R, Hilley G, Prati C (2004) : InSAR permanent scatterer analysis reveals ups and downs in San Francisco Bay area, Eos Transactions American Geophysical Union, 85(34), pp.317-324
- 9) Lubitz C, Motagh M, Wetzel HU, Kaufmann H (2013) : Remarkable urban uplift in staufer im Breisgau, Germany: observations from TerraSAR-X InSAR and leveling from 2008 to 2011, Remote Sensing, 5(6), pp.3082-3100
- 10) 山中雅之, 森下遊, 大坂優子 (2013) : 干渉 SAR 時系列解析による地盤沈下の検出, 国土地理院時報,

124, pp.1~14

11) Alfaro A, Pujades LG, Goula X, Susagna T, Navarro M, Sànchez J, Canas JA (2001) : Preliminary map of soil's predominant periods in Barcelona using microtremors, *Pure and Applied Geophysics*, 158, pp.2499–2511

12) Lourenço PB, Ramos LF, Vasconcelos G (2004) : On the cyclic behaviour of stone dry masonry joints, In: 13th international brick and block masonry conference, Amsterdam, July 4–7, 2004

13) Devanthéry N, Crosetto M, Monserrat O, Cuevas-González M, Crippa B (2014) : An approach to Persistent Scatterer Interferometry: the PSIG chain, *Remote Sensing*, 6(7), pp.6662–6679