

時系列干渉 SAR 解析を用いた 衛星による空港施設の広域・面的な変状把握の研究

| | | | | |
|------------|----------|------------|---------|-------|
| 宇宙航空研究開発機構 | 第一宇宙技術部門 | 地球観測研究センター | ○ 穴原 琢摩 | |
| 〃 | 〃 | 〃 | 阿部 隆博 | |
| 〃 | 〃 | 〃 | 佐々木 善信 | |
| 〃 | 〃 | 衛星利用運用センター | 富井 直弥 | |
| | 五洋建設株式会社 | 技術研究所 | 土木技術開発部 | 道前 武尊 |
| | 〃 | 〃 | 〃 | 琴浦 毅 |
| | 〃 | 〃 | 〃 | 西畑 剛 |

1 はじめに

本研究では衛星搭載の合成開口レーダー画像を用いた空港施設の変状、特に変動量モニタリングについて検討を行っており、それらの解析事例について紹介する。同時に、非専門家への普及のために研究開発している自動解析ツールも併せて紹介している。

2 使用する衛星データ

衛星搭載の合成開口レーダー (SAR) の観測画像を利用する。合成開口レーダーはマイクロ波を用いたアクティブセンサであり、昼夜・天候に関わらず安定して定期的に観測が行われている。観測頻度については日本全国において、現在運用中のALOS-2では年間4回程度、計画中のALOS-4では年間20回程度の観測を見込んでいる。海外は地域によって観測頻度が異なり、詳細な観測日や観測範囲などはJAXAのAUIG-2 (<https://aui2.jaxa.jp/openam/UI/Login>) から検索可能である。費用は50km×50km範囲を3mメッシュで記録された画像が1枚あたり8万円となっている。50km×50kmの範囲の3mメッシュ3億点ほどが、衛星飛行中の10秒で観測される。ただしこの観測画像から変動量を分析するには後述する統計分析が必要となっており、統計分析ができなかった箇所については値が得られない仕組みとなっている。

3 解析方法

観測画像には反射マイクロ波の信号強度と位相が記録されており、強度情報と位相情報から変動量を抽出するには統計解析が必要である。本研究では非専門家のユーザ利用への普及を目的とした自動解析ツールを開発しており、衛星データと市販PCを用意するだけで誰でも分析できる仕組みを目指している (次項参照)。

統計的手法に関しては、複数時期の衛星画像を用いることで大気誤差・軌道誤差・標高誤差・電離層誤差などを時系列データから除去する方法をとっている。統計解析法であるため入力する観測画像は多いほど精度が安定するが、画像数の目安としてALOS-2では7枚以上、Xバンド使用の他衛星では10枚以上が推奨される。これらは解析対象に応じてさらに必要になるものの、解析手法と画像選択方法によっては4シーンで可能な解析法の実験・研究も行っている。また、基盤技術の理論的な詳細については、代表的な解析理論では[1]があり、JAXA公表のものでは[2]-[5]があるため、ここでの詳解や精度の検証は割愛する。

4 自動解析ツール

前述の統計解析には適切なパラメータ設定や観測条件に応じた画像ペアの設定が必要であるが、全てツールが代行する仕組みをとっている。通常、観測画像から変動量を抽出する統計解析については人手によるノウハウを用いた作業が不可欠であるため、解析業務に従事する業者への発注またはJAXAや研究機関への委託が必要であるが、本研究では非専門家のユーザ利用への普及を目的とした開発を行っているため、製作しているツールにおける必要操作を極力省いた形となっている。ただし最終結果においてモデル推定の信頼度が低い点を間引く作業については、自動化が不完全であるため従来どおり手作業で行った。これら手作業を要する箇所は今後自動化の手法を検討していく予定である。本ツールによる解析には衛星画像とメモリが32GB以上(2017年現在)の市販PCを用意するのみで操作可能である。入力衛星データはALOS、ALOS-2、TerraSAR-Xに対応している。図1にインストール後の実際のツール画面を示す。事前準備として作成される解析対象フォルダは「衛星データ」と「その他」に分かれ、購入した衛星データを「衛星データ」フォルダに保存することで、残りの操作を図1で行い、対象データの選別と整理は自動で行われる。実際の操作は①場所検索で解析対象エリアを入力、②二時期解析(二時期間の短期解析であり本稿では割愛する)または時系列解析の選択、③実行ボタンを押す、という3ステップで構成されている。①は言語入力(例えば「JAXA 筑波宇宙センター」などの地名入力)やGoogleEarth(©Google)で入力したkmlファイル、経度緯度の記載されたエクセル(©Microsoft、入力データの表形式はツールが自動で判別)に対応している。解析結果を画像やcsvで保存したりGoogleEarth上に重畳して確認したりすることも可能となっている。



図 1 自動解析ツール画面

5 解析結果例

前述の解析ツールを用いた結果例を下記に示す。使用データは L バンドの ALOS-2 および X バンドの TerraSAR-X を用いており、両者で観測仕様や費用などは異なる。特に解析対象によって精度や解析の向き不向きが異なる点に注意が必要である。TerraSAR-X については多数の観測画像を用いて点での出力（分解能およそ $2\text{m} \times 2\text{m}$ ）を行っている一方で、ALOS-2 では少数のシーン数で面での出力（分解能 $3\text{m} \times 3\text{m}$ を平均処理し $30\text{m} \sim 50\text{m}$ 程度）としている。

ナポリ・カポディキノー国際空港、イタリア

衛星: TerraSAR-X
 期間: 15/01/22-16/07/03
 観測: 23回



図 2 TerraSAR-X の観測画像 23 シーンを入力とした解析結果例。

メキシコシティ国際空港、メキシコ

衛星:ALOS-2
期間:15/10/07-17/10/04
観測:6回



図 3 メキシコシティ周辺の地盤沈下の解析例。メキシコシティ国際空港は画像中心に位置している



図 4 メキシコシティ国際空港の航空写真 (©Google)。

各解析結果は衛星データから自動ツールを用いて算出されたもので、ツールの機能として結果を GoogleEarth 上に投影している。図 2 では TerraSAR-X を用いた解析を行っている。入力シーン数は 23 枚となっており、精度が安定するのに十分な時系列データ数であるため、解析結果の精度は比較的安定していると思われる。敷地内の建物や滑走路末端などに年あたり 1cm 程度未満の沈下が見られるが、大規模なものではないため施設は安定していると考えられる。一部沈下が年間 3cm 程度に達する箇所が橋梁と道路に見受けられたが、詳

しい原因や実際の管理上の扱いについては不明である。本稿では現地測量との比較は行っていないため、これらの結果の検証精度については算出していない。一方で図 3 にはメキシコシティ周辺の地盤沈下の解析結果を示している。メキシコシティは地下水の汲み上げが原因とされる地盤沈下が近年疑われており、ALOS-2 の解析結果でも沈下量の空間分布が可視化されている。実際の観測画像は 50km×50km で図 3 で解析された範囲より広域であるが、本稿では範囲を絞って掲載している。特に画像中心に位置しているメキシコシティ国際空港の航空写真を図 4 に示しており、この範囲における ALOS-2 による解析結果を図 5、TerraSAR-X によるものを図 6 で各々示している。解析結果画像から ALOS-2 の計測点の密度が TerraSAR-X と比較して高いように見受けられるが、実際は 30m 程度に平均化しているため大きく差が出ているわけではない点は注意が必要である。それぞれの結果から、空港敷地内で画像右方向に向けて 5cm 程度沈下が大きくなっていることが判る。メキシコシティのように広域地盤沈下の地域における空港の変動量を空間的に可視化できる場所も衛星解析の利点といえる。

6 おわりに

本稿では、衛星搭載の SAR 画像を用いた変動量解析について、空港施設の変動量把握の解析事例を紹介した。解析対象の衛星データは ALOS-2 と TerraSAR-X を用いており、それらの特性に応じた解析結果を出力し掲載している。同時に、非専門家への普及のために研究開発している自動解析ツールも併せて紹介し、その操作についても簡単に紹介した。本稿で示した解析は事例の一部でしかないので、今後は非専門家による自動解析ツールの試用を通して実際の運用や適応方法について検討を進めていく予定である。

謝辞：本研究は戦略的イノベーション創造プログラム(SIP) インフラ維持管理・更新・マネジメント技術／モニタリングシステムの現場実証／衛星およびソナーを利用した港湾施設のモニタリングシステムの構築の研究開発（管理法人 NEDO）の助成を受けて実施された。

参考文献

- [1] Ferretti, A., Prati, C. & Rocca, F. Permanent scatterers in SAR interferometry. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 39, 8-20 (2001).
- [2] 富井直弥 他, 衛星及びソナーを利用した港湾施設のモニタリングシステムの構築, 港湾, vol. 92, pp. 30-31, (2015)
- [3] 夏秋 嶺 他, 合成開口レーダー干渉解析を利用した災害時の港湾被害の検出, 海洋開発論文集 B3(海洋開発) Vol. 72, No. 2 (2016)
- [4] 穴原 琢摩 他, 衛星観測による干渉 SAR 解析を用いた港湾施設の変状の計測, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 72, No. 2 (2016)
- [5] 佐々木 善信 他, 衛星干渉 SAR 解析を利用した空港施設の広域・面的な変状把握手法の研究開発, 第 17 回空港技術報告会, 2017

衛星:ALOS-2
期間:15/10/07-17/10/04
観測:6回

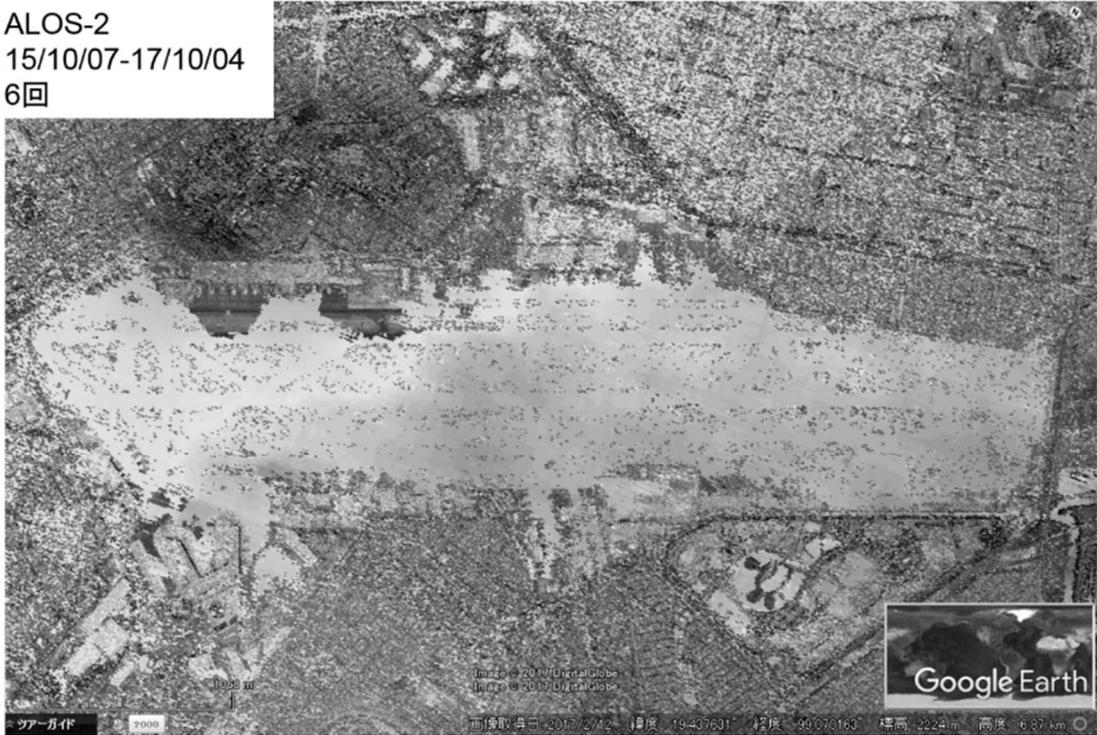


図 5 ALOS-2 の観測画像 6 シーンを入力とした解析結果例。

衛星:TerraSAR-X
期間:11/07/01-11/12/24
観測:9回



図 6 TerraSAR-X の観測画像 9 シーンを用いた解析結果例。