

Lバンド SAR を用いた微細変位の抽出

○祖父江真一 (JAXA)

Precious Change Detection using interferometry by L-band SAR

* S. Sobue (JAXA)

Abstract— Interferometry using space-based SAR is a powerful tool to detect a precious change on the ground such as crustal deformation. Because most of the areas in Japan is covered with forests and high vegetation, long wavelength SAR observations are very useful to monitor the ground through penetrating vegetation. This paper introduces disaster monitoring using L-band SAR by Japan since 1992 in three generations of satellites, i.e. JERS-1, ALOS and ALOS-2.

Index terms— L-band SAR, ALOS, ALOS-2, interferometry, change detection, Disaster

1 はじめに

わが国の衛星搭載のLバンド合成開口レーダ (SAR) を用いた干渉SAR解析による地表面の微細変化の検出について紹介する. 日本は波長の長い電波 (Lバンド) を用いて, 森林など植生の多いわが国においても, より干渉しやすいSARデータを1992年から3つの衛星により継続観測している. 干渉させて付加価値を生むことに主眼を置き, 精密な測地技術として地震、火山、土砂崩れ, 洪水などの事例を紹介する.

2 わが国のLバンドSAR衛星について

SARは, 雲を透過するとともに夜間でも観測できる利点から災害、安全保障ならびに森林などの地球環境の変化把握などに活用されている. そのSARでは, 現在, 分解能を優先する場合の高い周波数のXバンドから植生への透過性の高いLバンドまで複数の波長がその観測対象ごとに運用されている. そのような中, 森林など植生の多いわが国でも, より干渉性の高いLバンドの開発およびその利用に向けた研究とその成果の社会実装を進めてきた.

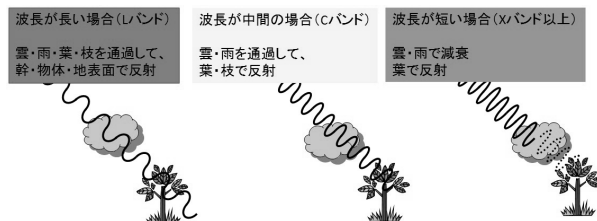


図1. 周波数別の特長

1992年に打ち上げたJERS-1にはじめてのLバンドSARを搭載、観測を開始してから、2006年打ち上げのALOS/PALSAR、そして2014年打ち上げのALOS-2/PALSAR-2とすでに3世代にわたるデータの蓄積とともに、2020年度の打ち上げにむけてALOS-4/PALSAR-3の開発も進められているところである.

LバンドSARについては世界で唯一わが国だけが継続的に研究開発を行い, 世代を経るごとに上位互換となるようにユーザーニーズに応じた性能向上ならびに長寿命化を進めてきた. 図2は, JERS-1からの衛星ごとの空間分解能を比較したものである. JERS-1の18mの

分解能からALOS-2の最大3mというLバンドとしては, 最大の空間分解能へ高分解能化を実現することにより, 地表面が詳細にわかるようになってきている.

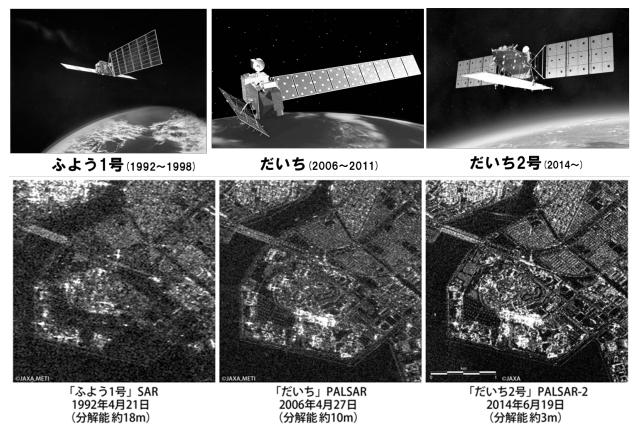


図2 わが国のLバンドSARの歴史

3 ALOS-2の諸元とミッション

ALOS-2 は, 植生の多い日本に適した L バンドの SAR を用いて昼夜・天候の影響を受けずに観測できることが特長を活かし, 次のミッションを実施している.

- ・防災機関における広域かつ詳細な被災地の情報把握
- ・国土情報の継続的な蓄積・更新
- ・農作地の面積把握の効率化
- ・CO2 吸収源となる森林の観測
- ・船舶、海氷などの海洋観測

この ALOS-2/PALSAR-2 では, ALOS/PALSAR と比べ, 新たな観測モード (スポットライトモード) を追加し, 1~3m の分解能を実現している. これにより, 10m の分解能を持つ PALSAR では選別できない形状の判別を可能とする, より精度の高いデータをユーザーに提供することで, 災害の状況等を詳しく把握することが可能になっている. また, ALOS と異なり, SAR のみを搭載することで, ALOS/PALSAR にはない左右観測機能をもたせることに加えて, 観測可能領域を向上 (870km→2,320km) させ, 迅速に観測できる範囲を3倍程度にまで大幅に広げ, 観測頻度を向上させている. また, この左右の観測機能の実現により, 斜め観測を行う SAR では, 山の影になり観測ができないなど

の状況が発生するものを改善できている。このようにわが国の L バンド SAR の開発、運用においては、ユーザ視点にたった研究開発の継続とその成果の共有を継続するという普及促進活動を続けられているといえる。なお、表 1 は、ALOS-2 の諸元であり、図 3 は衛星の概観図である。

表 1 ALOS-2 諸元

運用軌道	種類	太陽同期準回帰軌道(14日回帰)
	高度	628km(赤道上)
	通過時刻	12:00(正午)@赤道上(降交軌道)
設計寿命		5年(目標7年)
打上	時期	平成26年(2014年)5月24日
	ロケット	H-IIA
衛星	質量	約2トン
	パドル	2翼パネル
ミッションデータ伝送		直接伝送およびデータ中継衛星経由
合成開口レーダ周波数		Lバンド(1.2GHz帯)
観測性能	スポットライト	分解能:1~3m 観測幅:25km
	高分解能	分解能:3/6/10m 観測幅:50/50/70km
	広域観測	分解能:100/60m 観測幅:350/490km

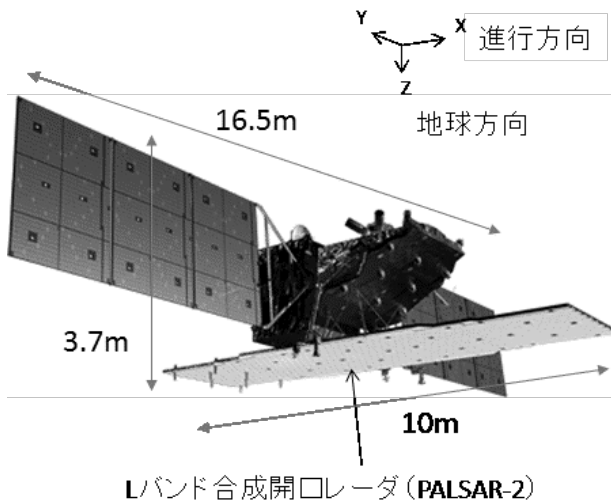


図 3 ALOS-2 概観図

なお、PALSAR-2 では、窒化ガリウム素子の採用し、2次元ビーム走査技術、低消費電力技術、高出力 RF 技術、低発熱技術などのさまざまな最先端技術によって大型(3m×10m)展開フェーズドアレイアンテナを実現し、約 1000 個ものアンテナが目となり地球を観測している。

また、2つの時期の SAR の観測データを利用し、災害などの地殻の微細な変動を把握するための干渉 SAR(Interferometry) を高精度かつ高頻度で実現するために、衛星の位置精度・回帰精度の向上を図っている。具体的には、2周波搬送波測位型 GPS 受信、高精度自律軌道制御などを活用し、衛星の軌道を 500m のチュ

ーブの中に維持するという運用を実現している(図 4 のとおり)。

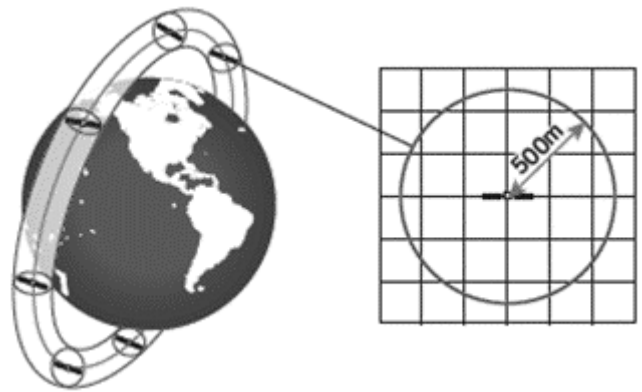


図 4 軌道維持(500m チューブ)の概念図

なお、ユーザ視点から見た場合の ALOS から ALOS-2 への改善点は次のとおりとなる。

- ✓ 迅速性の向上: ALOS の SAR 観測は最長 3 日待つ必要があったが、ALOS-2 は概ね 12 時間毎に観測が可能
- ✓ 干渉性の向上: 自律軌道制御による精密な軌道保持(半径 2.5km 以内→500m 以内)により、短い基線長を実現。ScanSAR 同士の干渉可能性も向上。
- ✓ ベースマップを整備(昇交、降交、右、左観測、複数入射角): 干渉ペア観測の待ち時間短縮。三次元解析も可能とした。

これらによって、防災ユーザ(防災関係機関、自治体など)が自ら適切な緊急観測方法を選択できるようになったというニーズへの直接対応が可能となるとともに、広域観測により災害の全体像をいち早く把握し、防災ユーザ等の初動オペレーションに貢献できるようになった。また、短時間間隔での繰り返しの観測により、復旧オペレーションに貢献できるようになった。衛星を発展かつ継続することで定常的に利用できるようになった結果として、防災ユーザにおいても、地震、火山においては SAR 解析ワーキンググループを設置し、研究者と連携したユーザ側での解析が進むことになり、衛星データの知見が省庁にも広がっている。これらは社会実装の推進という「衛星によるリモートセンシングとその活用」というコトづくりでの意味力の向上とともに、L バンド SAR を利用することで防災等の分野の社会課題の解決力の向上が実現できたと見なすことができると考える。

4 災害観測

L バンド SAR の観測データは地震・火山による地殻変動観測、地盤沈下の監視、ダムの変位計測、台風・津波による冠水状況の把握、土砂崩れの状況把握、オホーツク海の海水監視による船舶への情報提供などで活用されている。この中で微細な変動の把握のためには干渉 SAR が活用されている。干渉 SAR

とは SAR レーダの観測データを干渉させ、電波の位相の違いを見ることで、数 cm の精度で地殻変動等を計測手法である。図 5 に、干渉 SAR の原理を示す。

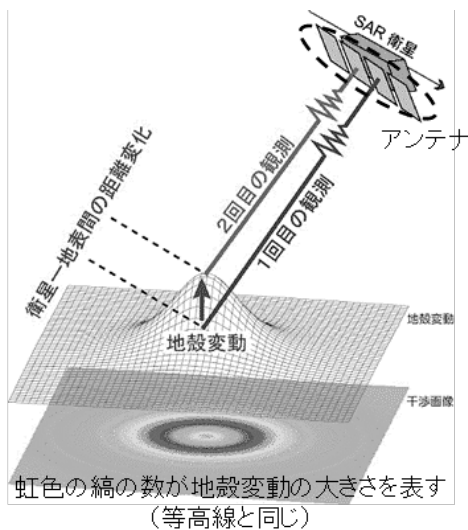


図 5 干渉 SAR (Interferometry) の原理

当該の干渉 SAR を用いた事例のうちから箱根の解析結果を次に示す。国土地理院は 2015 年 5 月 8 日、神奈川県にある箱根山の大涌谷で、直径約 200 メートルの範囲が最大約 6 センチ隆起（陸地が周囲に対して高くもりあがる）したと発表した。この解析は ALOS-2 の観測データをもとに行われた（図 6 参照）。この隆起は、気象庁によって地表に設置された傾斜計で観測された山体の膨張傾向との合致が確認されている。

<http://www.gsi.go.jp/kikakuchousei/bousaichousei/h27-hakoneyama-index.html>

なお、日本国内以外の事例としてのハワイ、インドネシアなどの火山、地殻変動の場合においては、高い植生の領域あるいは大規模な地殻変動の行った領域での他の周波数の SAR の干渉性には問題があり、海外においても利用が進んでいる。

5 価値の観点による考察

ALOS-2 緊急観測については、定常運用開始後、国内 328 回、海外 272 回実施している。この中には、箱根山火山、熊本地震、関東・東北豪雨、西日本豪雨、北海道洪水・地震、霧島山噴火などの観測が含まれている。JERS-1、ALOS の時代には、防災関係省庁は、衛星を活用した土砂災害調査の検討、災害後にスケジュールなど確認をして観測、災害発生が報告された地域を観測という形で、あくまでも実証というフェーズをでなかった。しかしながら、植生の多く自然災害が多発する日本の状況に有利な L バンド SAR の継続化、高機能化を進めていくことで、当該関係省庁においても、土

砂災害調査の一手段として認識されるとともに、当該省庁が自ら ALOS-2 の観測日程を踏まえた計画的な観測による災害前のベース情報の蓄積とともに、リスク情報を踏まえて観測タイミング・範囲を決定することが実現できるようになってきている。また、前述のように、継続観測による微細な変化の把握は、気象庁による噴火警戒レベルの見直しの参考になるなど、意思決定に有用な手段となった。特に、箱根山の警戒区域の設定の判断においては、ALOS-2 による地殻変動の継続モニターにより、警戒区域の見直しでインフラの早期再開の判断などにつながった。

また、この後の継続観測による微細な変化の把握は、気象庁による噴火警戒レベルの見直しの参考になった。火山、地震、土砂崩れといった災害状況把握とともに減災のための対応とともに、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・マネジメント技術においてダム、自然堤防、港湾施設、空港滑走路の地盤変動に伴う形状変化や地盤沈下の分野において利用にむけてのガイドライン作成などが制定、公表されている。具体的には、地盤沈下については、『地盤沈下観測等における衛星活用マニュアル』を環境省が制定している。

<http://www.env.go.jp/houdou/gazou/6132/6914/2356.pdf>

この中では、「(1) 新しい観測技術の導入として、近年、衛星を用いた電子基準点等の新たな観測技術が開発されつつあり、精度の向上や経費の軽減が図られる可能性があるため、地盤高等の観測において、これまでと同様の精度や成果が得られるのであれば、新たな観測技術を導入あるいは併用することができるものとする。」と記載されている。これによって、地方自治体等における地盤沈下観測の監視費用の削減、特に重要度に応じた観測点の取捨選択が可能、ならびに面的管理が容易であり、デジタルデータ利用で解析時間短縮、水準点が無かった場所で早期発見・対策の実施が可能といった効果が期待されている。

6 まとめ

本論文では、わが国の L バンド SAR の研究開発および現在運用されている ALOS-2 PALSAR-2 の状況の提供とともに、干渉 SAR の概要および災害における事例としての箱根山の事例を紹介した。今後も ALOS-2 とその後継機である ALOS-4 による L バンドの継続観測による高頻度、高分解能ならびにユーザ要求にしたがった観測および必要な時間内での情報提供が進んでいくものと期待される。このように、JERS-1 に始まり現在の ALOS-2 そして今後の ALOS-4 へと続くわが国の継続的な L バンド SAR を採用した衛星観測は、その観測技術だけではなく防災等の分野の利用省庁との協力による観測データの政府事業への利用の定着化の推進が進められている。また、国際的な枠組みでのセンチネルアジア、国際災害チャータによって、世界各地に L バンド SAR データを活用した研究や社会実装を推進してい

る。このように、衛星によるリモートセンシングとその活用というコトづくりに対して、わが国の固有の技術とその社会実装等形で活動の幅を広げる役割として

大きく貢献していると考えられ、さらに ALOS-4 に向けて発展していくものと期待している。

箱根山・大涌谷 - 高分解能になって見えた事象

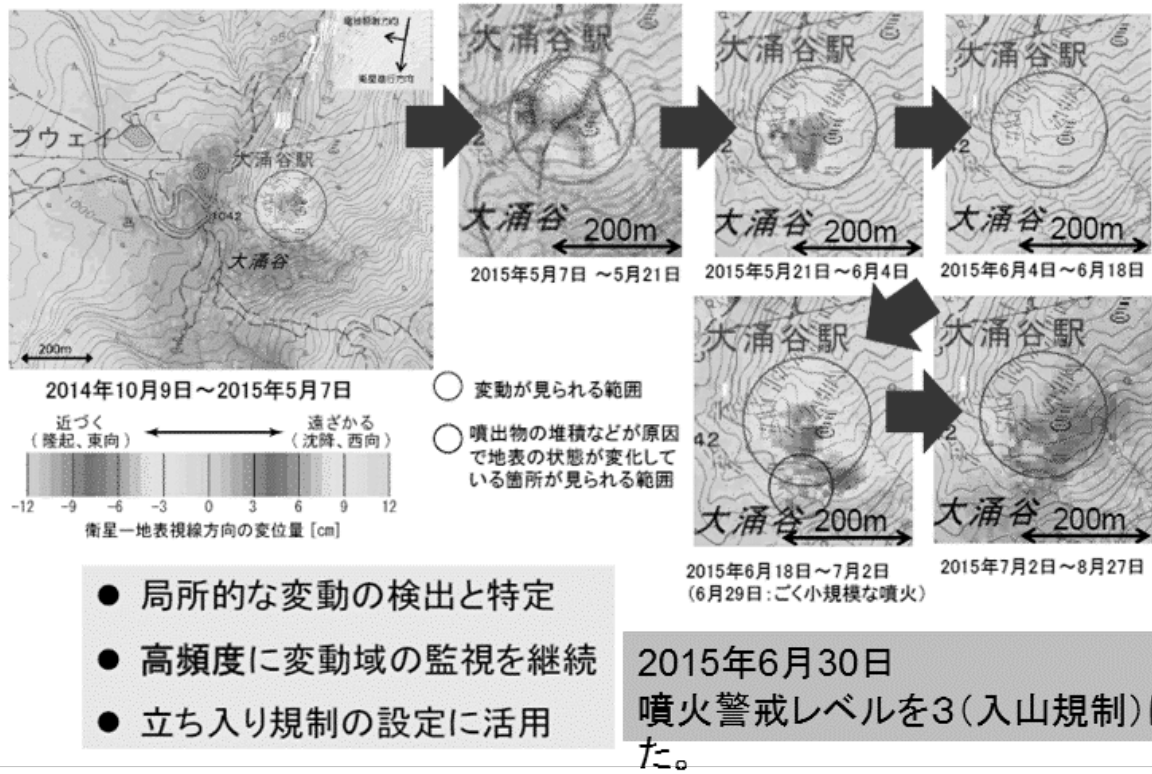


図6 箱根山のLバンドSAR 干渉解析による地殻変動の継続監視