

陸域観測技術衛星「だいち」(ALOS) の合成開口レーダ PALSARを用いた火山噴火後の土砂災害に関する情報収集

清水武志・石塚忠範

1. はじめに

火山噴火後の土砂災害においては、噴火の程度によって立ち入り禁止区域が火山周縁に設定され現地調査を実施できない場合がある。そのため、対応・対策に不可欠な情報を得る手段が遠隔からの手法に限られる可能性が極めて高い。一方、噴火による噴煙の影響により航空機やヘリコプタの接近が困難な場合など、上空からの計測手法も制限を受ける場合がある。これらの条件下においても、陸域を観測可能な人工衛星に搭載されたセンサによる情報は、定期的に取得できるため、実務への活用が期待される。

火山・土石流チームでは、(独)宇宙航空研究開発機構(以下、JAXA)および気象庁火山噴火予知連絡会が中心となって進めている、地球観測技術衛星「だいち」(ALOS)の土砂災害に対する防災利用実証実験のワーキンググループおよび衛星解析グループに参加してきた。両グループでは、ALOSに搭載されたセンサで観測した情報を災害対策等の実務へ適用する場合の課題や、それに伴ったデータ処理方法に関して、大学、研究機関および行政機関が参加する定期的な会合によって情報を交換している。当チームでは、両グループ活動の一環として火山噴火後の土砂災害に関する情報収集について検討してきた。本稿では、平成23年度から平成25年度に実施した事項のうち、ALOSに搭載された、昼夜や天候によらず陸域観測が可能なフェーズドアレイ方式Lバンド合成開口レーダ(PALSAR)(以下、ALOS/PALSAR)による土砂災害や土砂移動現象の情報収集に関して、強度画像による判読、位相情報による情報収集手法の検討結果について、既往発表資料を要約して紹介する。

2. 強度画像による判読

2.1 方法

PALSARは地表面の物性(水分量など)や形状などに応じて、反射強度が異なる。火山噴火の場合、地形や地表面の状態が著しく変化するため、後方散乱強度が火山噴火などのイベント前後で変化する可能性がある。例えば、2008年2月3日~7日に 10^5m^3 の火砕物を噴出した桜島の噴火、および、2008年5月2日に 10^8m^3 以上の火砕物を噴出したチリのチャイテン火山(Chaitén volcano)の噴火を対象として、火砕物堆積範囲をPALSAR強度画像で比較すると、ある程度の火砕物が堆積した条件で、火砕物堆積範囲が確認された¹⁾。このような特性を利用して、2010年10月26日に噴火したインドネシア・ムラピ火山(図-1)において、噴火前と直後のPALSAR強度画像(表-1)を用い

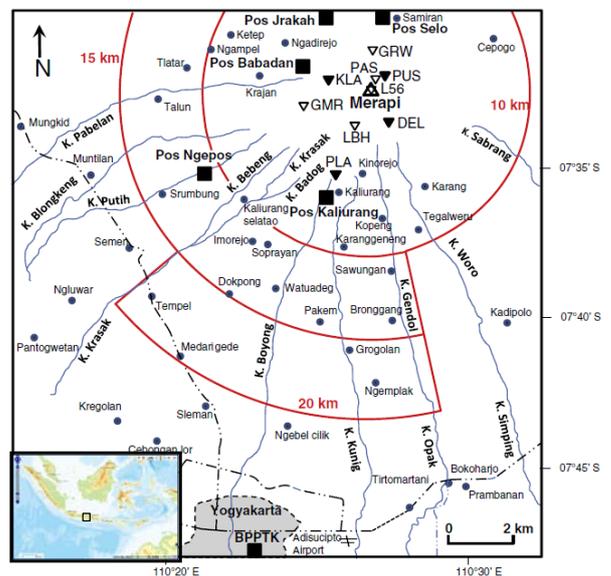


図-1 ムラピ火山位置図と河川名²⁾

表-1 PALSARデータ諸元³⁾

偏波	オフナディア角(°)	軌道方向	観測日時
HH	41.5	南行軌道	2007/09/12
HH	41.5	南行軌道	2010/11/05

Detection technique for sediment movement or disaster related to volcanic eruption using ALOS/PALSAR

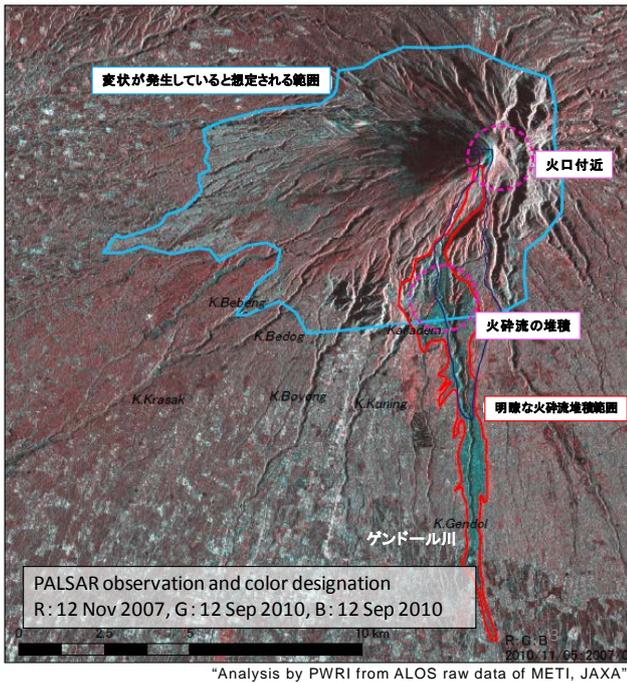


図-2 噴火前後のPALSARによるRGB合成画像

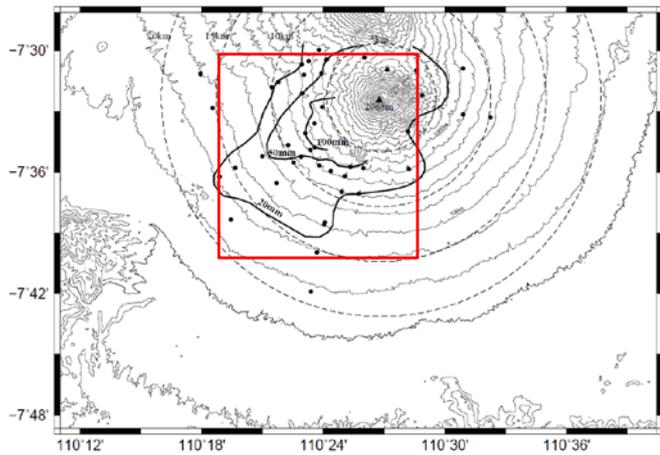


図-3 現地調査に基づく等層厚線図(文献⁵⁾を加筆)

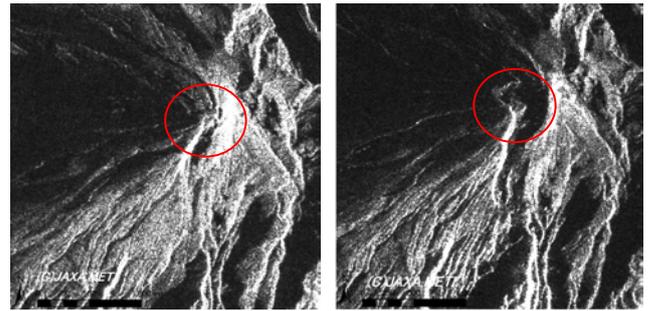
て、火山噴火に伴う土砂移動に関する情報の取得可能性について検討した³⁾。

本章では情報取得のために、2種類の画像表現を使う。ひとつはモノクロ画像で、後方散乱強度が大きければ白、小さければ黒に配色して表現する。もうひとつRGB合成画像で、カラー画像の{赤、緑、青}のチャンネルに{噴火前、噴火後、噴火後}のPALSAR強度画像をそれぞれ対応させて表現する。噴火後に反射強度が増加すると赤に、減少すると青緑(シアン)に変化するため、視覚的に変化を確認できる。

2.2 結果

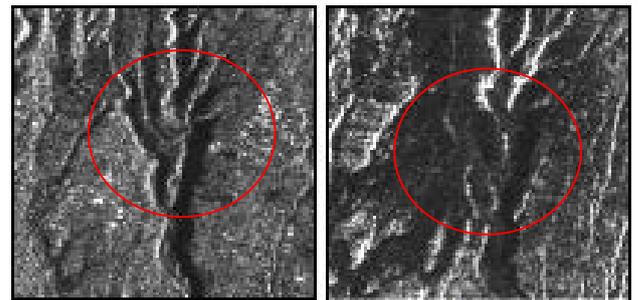
(1)火砕流の影響範囲や堆積範囲

表-1に示す噴火前後のPALSAR画像で作成した



"Analysis by PWRI from ALOS raw data of METI, JAXA"

図-4 噴火前(左)、後(右)の火口地形変化³⁾



"Analysis by PWRI from ALOS raw data of METI, JAXA"

図-5 噴火前(左)、後(右)の河道埋積³⁾

RGB合成画像を図-2に示す。火口から南の河川沿いに青緑の範囲が存在する。2010年11月5日に発生したゲンドール川(K. Gendol)を埋積した大規模な火砕流の流下方向と一致している。また、ゲンドール川周辺の青緑の範囲は、火砕流熱風部による被災家屋や樹木損傷の領域⁴⁾を反映していると考えられる。

(2)火山灰の堆積範囲

図-2を見ると、全ての方位の山腹に、薄い青緑の領域が存在している。この外縁を結ぶと図-2のように山頂を囲む、西方に伸びた領域が抽出できる。図-3に示す火山灰堆積厚の等値線⁵⁾と比較すると、概ね40 mm以上の堆積厚の線と一致する。なお、図-2の領域を図-3の赤枠で示したものの、図-2はオルソ化していないため、山体の形状などは一致しない。

(3)火山体地形の変化

図-4に図-2の「火口付近」を拡大し、噴火前後の強度画像を比較した図を示す。山頂付近で地形変化と考えられる明らかな反射強度の分布の差異が確認される。噴火により火口形状が変化した位置²⁾と概ね一致する。

(4)河道の埋塞

図-5に図-2の「火砕流の堆積」を拡大し、噴火前後の強度画像を比較した図を示す。河道内は噴

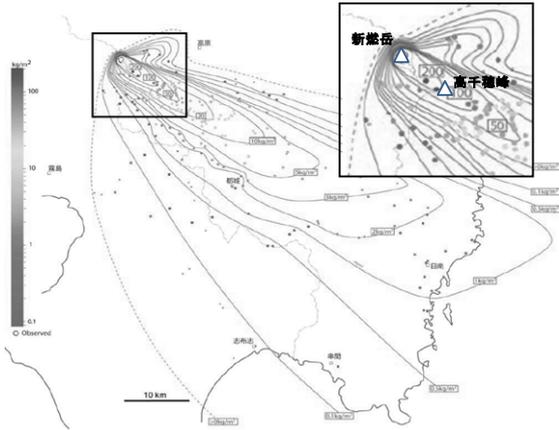


図-6 噴火後の降灰状況⁷⁾ (右上は火口付近の拡大図で図-7および8とほぼ同じ範囲を示す。)

表-2 PALSARデータ諸元 (文献⁸⁾ を修正)

偏波	オフナディア角 (°)	軌道方向	観測日時
HH	34.3	北行軌道	2010/11/20
HH	34.3	北行軌道	2011/2/20

火前後で黒色であるため変化が抽出できないものの、噴火前画像において河川を分離していた尾根が、噴火後画像においては黒色に変化した。火砕流堆積物の堆積により河道が埋塞されたと考えられる。現地写真でもゲンドール川が分流する場所に火砕流堆積物が厚く堆積している⁶⁾。

3. 位相情報を用いた判読

3.1 方法

処理レベルの低いPALSARプロダクトでは位相情報を含むデータが提供される。そのため、振幅から算出される反射強度だけでなく、位相情報も活用できる。これら双方の情報を利用して、2011年1月27日に噴火した霧島（新燃岳）を対象（図-6）として、火山灰の堆積域および堆積厚の情報をPALSARで得るための検討結果を紹介する⁸⁾。表-2に用いたPALSARデータを示す。JAXAで開発されたSIGMA-SARを用いて、コヒーレンス解析および差分干渉SARを行なった。前者は、2つのPALSARの画像に対して、反射強度と位相の双方を考慮したコヒーレンス（相関性）を得る解析方法である。地表面の状況が変化すると2つの画像の相関性が低下することを利用して、火山灰堆積域を抽出する。後者は位相の変化を得る方法である。火山灰の堆積範囲によって高さが変わ

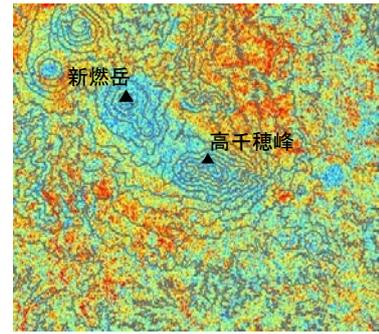


図-7 コヒーレンス解析結果 (文献⁸⁾ を修正)

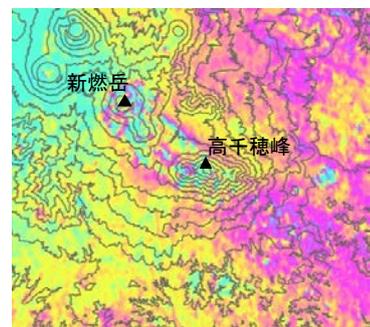


図-8 差分干渉SAR解析結果 (文献⁸⁾ を修正)

ると、2時期に撮影した画像間の位相が変化し、その差が縞模様として表現される。ただし、初期干渉縞には地表面変化以外にも、地形の起伏による縞（地形縞）や、電磁波が地表に到達するまでに水蒸気や電離層の影響を受けることに起因する誤差が含まれている。地形縞について国土地理院の50mメッシュ標高を用いて推定した干渉縞によって除去している。先行研究⁹⁾と同様に、その位相差と波長から火山灰堆積厚の推定も試みた。

3.2 降灰範囲・堆積厚

図-7に噴火前後のコヒーレンス解析結果を示す。新燃岳と高千穂岳を囲む楕円形のコヒーレンス低下領域が確認される。この範囲は、火山噴火予知連絡会で報告された火山灰分布（図-6）と比較すると、概ね50 kg/m²～100 kg/m²の等重量線と整合する。以前当チームで調査した火山灰の見かけ単位体積質量1.25 g/cm³を用いる¹⁰⁾と、約4～8 cmの堆積厚に相当する。

一方、図-8を見ると、図-7とほぼ同じ領域に地

表面の変化と推定される楕円形の縞模様が見える。PALSARの波長23.6 cmからレーダ照射方向の位相差を変位に換算し、入射角（オフナディア角；表-2）を用いて地表面鉛直方向の変位に直すと、位相差 2π （図-10）の位置で約14cm程度の鉛直方向の地表面の変化が観測されたことに相当する。コヒーレンス解析による範囲と比べて大きな値であるものの現地調査結果とは概ね整合した。現地調査結果はポイントのデータであり、位相情報による堆積厚は空間平均的な値であるため、その評価には注意を要する。ただし、差分干渉SARで火山灰層厚を推定した研究事例は多くはない。

4. まとめ

2.の結果を見ると、定性的に噴火前と比べて変化した箇所を調べることを目的とする場合、噴火前のアーカイブ画像が蓄積されていて、噴火後の撮影を同じような観測条件で行えば、土砂災害に関わる多くの情報を抽出できる可能性があることが分かった。

一方、3.の位相情報を用いた解析において、火山灰の範囲はコヒーレンス画像を用いて抽出することができた。また、観測頻度が高く分析する条件が通常より良好であったこと、雨を経験した火山灰であるため噴火直後のような乾燥した状態とは誘電率等の地表面特性が異なること、地表面高の変化値の精度は現時点では評価が十分でないなどに留意する必要があるものの、堆積厚も計測できる可能性が示された。

謝 辞

PALSARは、経済産業省及びJAXAが所有するものである。PALSARデータは、衛星解析グループを通じて提供を受けたものである。PALSARの画像化や解析にはJAXA島田政信氏により開発されたSIGMA-SAR⁽¹⁾を利用した。御礼申し上げます。

参考文献

- 1) Y. Nakano, T. Yamakoshi, T. Shimizu, K. Tamura and S. Doshida: The evaluation of eruption induced sediment related disasters using satellite remote sensing - Applications for emergency response, International Journal of Erosion Control Engineering, Vol.3, No.1, p.34-42, 2010
- 2) Surono, P.Jousset et al.: The 2010 explosive eruption of Java's Merapi volcano-A '100-year' event, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 241-242, p.121-135, 2012
- 3) Y. Nakano, T. Shimizu, T. Yamakoshi, T. Ishizuka: Utilization of satellite-equipped synthetic aperture radar as a tool to immediately update volcanic hazard maps, Seminar Mitigasi Bencana Alam dan Ulang Tahun ke 10 Program Pendidikan Bencana di MTPBA-FTUGM, ISBN 978-602-98759-1-1, p.79-83, 2011
- 4) 山田孝：2010年にメラピ火山で発生した火砕流熱風部による家屋被害の特徴、砂防学会発表会概要集、pp.462～463、2012
- 5) 清水武志、山越隆雄、木佐洋志、中野陽子、森田耕司、石塚忠範：2010年10月ムラピ火山噴火における降下火砕堆積物分布調査、土木技術資料、第56巻、第3号、pp.33～36、2014。
- 6) 植野利康、吉田桂治：インドネシア・メラピ山2010年噴火以降の土石流災害報告、砂防学会誌、第64巻、第2号、pp.54～57、2011。
- 7) (独)産業技術総合研究所・アジア航測(株)：第120回火山噴火予知連絡会資料(その1)霧島山、pp.64～67、2011
- 8) 中野陽子、清水武志、山越隆雄、木佐洋志、石塚忠範：合成開口レーダの位相情報を活用した降下火砕物の堆積分布および堆積深の推定、砂防学会誌、Vol.66、No.4、pp.44～47、2013
- 9) 小澤拓：衛星搭載SARによる火口変化の抽出、「平成23年霧島山新燃岳噴火に関する緊急調査研究」報告書1-6、pp.50～57、2011
- 10) 清水収、地頭園隆、下川悦郎、山越隆雄、木佐洋志、瀧口茂隆、杉山光徳：霧島山新燃岳の2011年1月噴火による降灰とその後の土砂移動、砂防学会誌、Vol.64、No.3、pp.46～56、2011
- 11) M. Shimada: Verification processor for SAR calibration and interferometry, Advances in Space Reseach, Vol.23, No.8, pp.1477-1486, 1999

清水武志



(独)土木研究所つくば
中央研究所土砂管理研究
グループ火山・土石流
チーム 研究員
Takeshi SHIMIZU

石塚忠範



(独)土木研究所つくば
中央研究所土砂管理研究
グループ火山・土石流
チーム 上席研究員
Tadanori ISHIZUKA