

無人航空機による地形測量に基づいた雲仙普賢岳における溶岩ドームの挙動の解析

東京大学大学院 ○堀田 紀文

神戸大学大学院 大海 陸人, ゴメス・クリストファー

宮崎大学農学部 篠原 慶規

1. 背景と目的

長崎県島原半島に位置する雲仙普賢岳の溶岩ドームは、1997年から実施されている精力的なモニタリングによって、平均して5.6cm/年の変形を続けていることが報告されている(雲仙・普賢岳溶岩ドーム崩壊ソフト対策検討委員会, 2021)。溶岩ドームの変形の監視は防災上重要であり、変形のメカニズムや要因、破壊条件を明らかにすることで、より精度の高い対策が可能となる。重力変形や火山ガスなどに加え、降雨が溶岩ドームの崩壊に影響を及ぼす可能性も指摘されており(Kelfoun et al., 2021)、溶岩ドームの複雑な内部構造を考慮すれば、降雨の浸透プロセスに伴う不安定化は、すべり面の形成などにより溶岩ドームの形状変化に現れる可能性がある。

雲仙普賢岳では、光波測距や地上設置型の合成開口レーダー(GBSAR)による計測が実施されているが、固定点からの距離の変化だけでは、溶岩ドーム全体の変化について十分な情報が得られない。航空レーザー測量や各種のリモートセンシングで取得されるデータの解析は有効だと考えられる。無人航空機による写真測量もそのうちの1つである。本研究では、無人航空機による測量結果を雲仙普賢岳における既存のモニタリングデータと比較し、溶岩ドーム全体の変形について検討を行う。

2. データと方法

図1に示すように、溶岩ドームのモニタリングは、光波測距は2地点、GBSAR観測は一地点、いずれもドームの変位が大きいと考えられる東～南東方向から継続的に実施されている。光波測距のターゲットは消失や新設などもありその数は変動するが、10点強の測点が維持されている。GBSARについては、走査で得られたデータを19分割することで、複数領域の距離の変化が分かるようにしている。投影された観測ブロックも図1に示した。本研究では、主にGBSARについて、2013年6月から2023年5月までのデータを用いた。

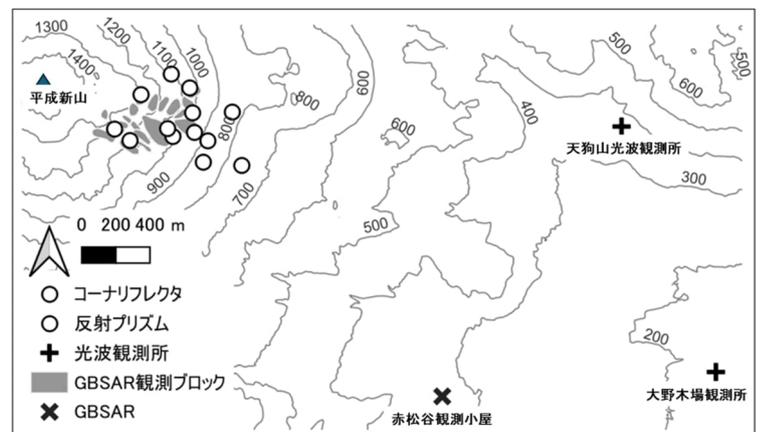


図1 雲仙普賢岳溶岩ドームのモニタリング状況

無人航空機による測量は、2019年9月(DJI, P4R)と2024年6月(DJI, M3T)に実施した。それぞれ、妙見岳付近から、溶岩ドーム上から離着陸した。得られた空撮画像から後処理(Agisoft, Metashapeを使用)により3次元モデルを作成した。2時期の3次元モデルにおいて、同一地点の座標を複数取得し、その差分から変位を求めた。

3. 結果

図2に、GBSARによる変位を示す。観測ブロックは、変位パターン、大きさに着目すると、2019年頃から上昇傾向に転じたV字型の変位を示すブロック、単調減少するが変位量が小さいブロック、変位量が大きいブロックと、大きく3つのグループに分けることができる。なお、相互相関を求めた結果、RF-BNを除けば、V字型の変位を示すブロックも含めて全ての観測データは高い相関を示した。最大値はタイムラグなしで得られており、ノイズが少なく安定的な変位が検出されていると言える。

光波測距の観測結果にはV字型の変位を示す地点は存在しなかった。方向が異なるために単純な比較はできないが、GBSARによる測定結果と同程度、またはそれ以上の変位(観測点からの距離の減少)を示していた。

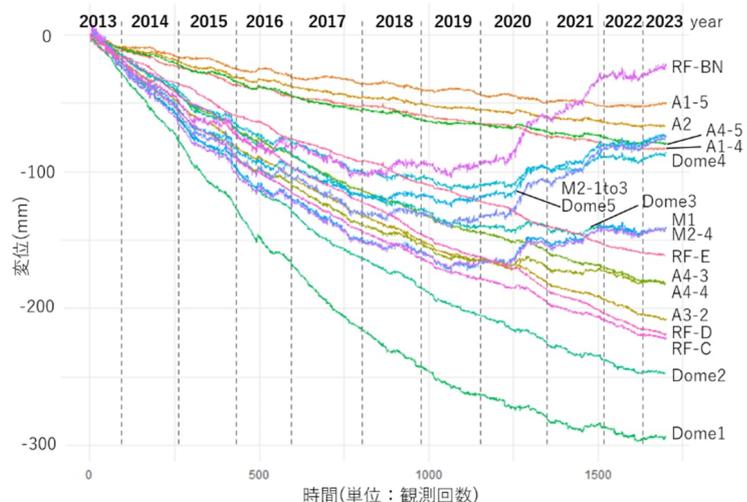


図2 GBSARで記録されたドーム変位

図3に、無人航空機による測量から得られた2019年～2024年のドーム上の変位を示す。飛行高度の制限(500m)や、位置座標の取得において、不動点とみなしやすい岩盤面や巨岩表面などを中心としたために礫や土壌面が中心となる低標高域での抽出が少なくなったため、GBSARの観測ブロックを十分に網羅することはできなかった。また、GBSARの観測ブロックでは、V字型の変位を示したもの(クラスター1)と、変位が小さかったもの(クラスター2)は、それぞれ同一エリアに隣接して存在していることが分かった。

無人航空機による測量から得られた変位は、隣接地点で似た傾向を有しつつ、全体として系統的な分布を示していること、クラスター2周辺での変位が小さいことなどから、ある程度実態を表しているかと判断できる。

光波測距やGBSARにおいて、過去に大きな変位が観測されていたDome1, 3, 4付近の変位が大きい一方、変位の方向は、溶岩ドームで行われてきた従来の観測では検知しにくい点には注意が必要である。

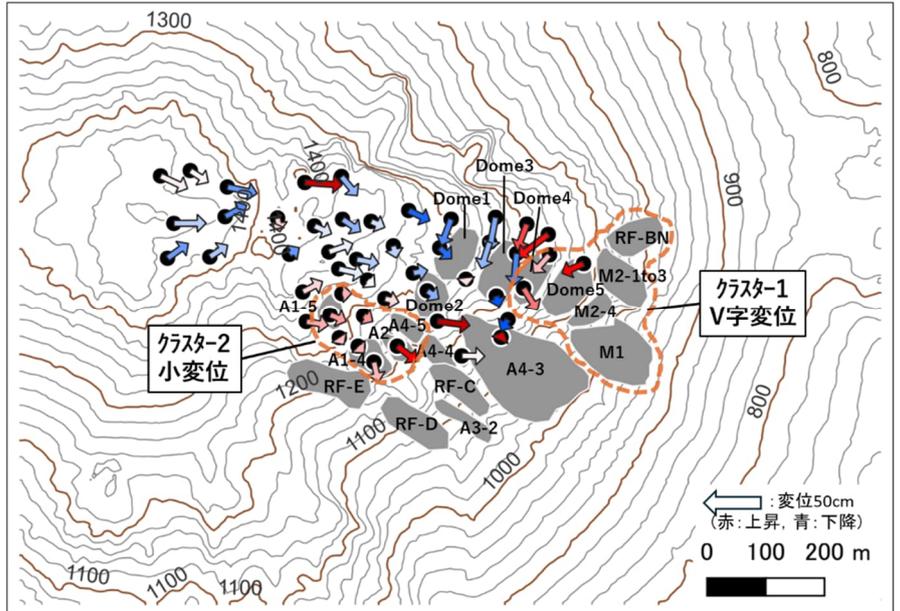


図3 無人航空機による測量から得られた変位の分布

4. 考察

各点で単調減少を示す光波測距の結果は、溶岩ドームが重力の影響で変形していると考えられる。それに対して、GBSARの観測結果に見られるV字型の変位をどう解釈すれば良いだろうか？GBSAR観測は、固定された測定範囲内での変化を検出し、特定地点の変位を測定しているわけではないという点で、光波測距や無人航空機による測量結果と性質が異なる。例えば、トップリングのような形で、Dome1付近が倒れ込む一方で、クラスター1付近が陥没しているなら、結果の説明はできる。一方で、無人航空機の測量結果からは、Dome1付近ではむしろ標高が低下しているのに対して、クラスター1のDome4, 5付近では標高が増大している。GBSARの観測結果との整合性を無視すれば、これはドーム内部ですべり面が形成され、はらみ出しが生じているとも解釈できる。

合成開口レーダーは地表面の状態の影響も受ける。対象斜面では植生の侵入や土砂移動も生じているため、さらなる検討が必要であるが、いずれにしても、測量結果は、Dome1から下部の斜面が連動して変位していることを示唆している。図4に示すGBSARデータの移動平均からの残差を見ると、変位パターンが大きく異なるDome1とM2-1to3において、

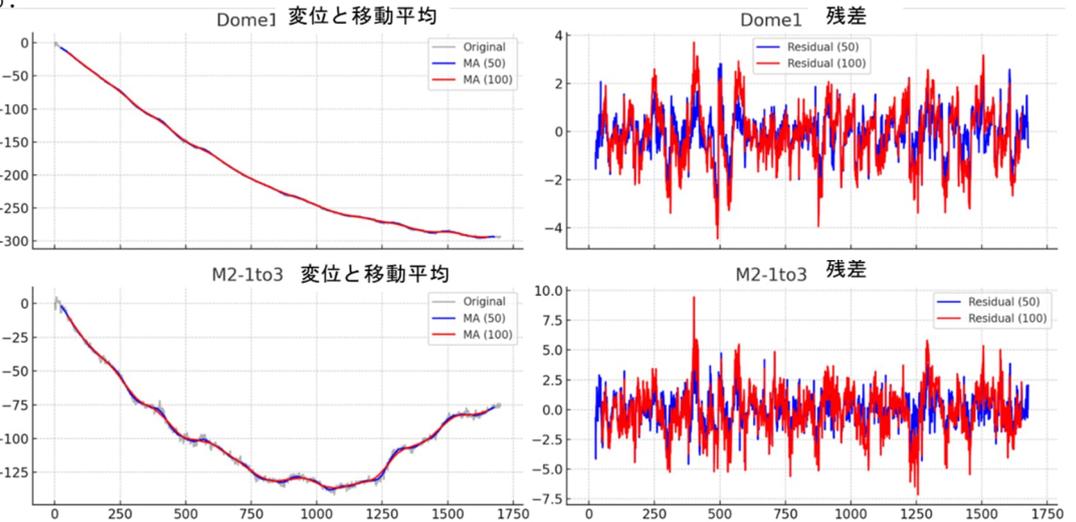


図4 GBSARによる変位とその移動平均、残差の例

大きな変位が生じるタイミングが一致していることが分かる。すべり面の形成などを通して、特定部位での溶岩ドームの変形が生じている可能性を、今後降雨などとの対応関係から検討していく必要がある。

引用文献：Kelfoun et al., 2021, Bull Volcanol 2021, 83 (2), 8. 雲仙・普賢岳溶岩ドーム崩壊ソフト対策検討委員会, 2021, 第11回 雲仙・普賢岳溶岩ドーム崩壊ソフト対策検討委員会討議資料。