

時系列高密度 3 次元地形モデルの構築と地形変動解析の手法 - 雲仙・普賢岳における空間分析 -

近重朋晃・大城一郎・山口文春

Construction of chronological high-density 3D terrain models and analysis methods of terrain variation — Spatial analysis in Mt. Unzen-Fugen area —

Tomoaki CHIKASHIGE, Ichirou OHSHIRO and Fumiharu YAMAGUCHI

Abstract: Volcanic activities of Mount Unzen-Fugen located at the center of Shimabara peninsula had almost completely ceased by May, 1995. Nonetheless, bedrock collapse resulted from weathering and debris flow caused by torrential rains are still arising. In order to review previously implemented non-structural measures such as hazard maps and to defend areas with insufficient structural measurement, Nagasaki Prefecture constructed chronological high-density three-dimensional terrain models (17 models). This paper introduces techniques for microscopic and macroscopic terrain variation analysis of bedrock collapse as well as gully erosion by means of our spatial analysis tools.

Keywords:防災(disaster prevention), 3 次元(3-dimension), 時系列(chronology),
地形変動解析(terrain variation analysis), 空間分析(spatial analysis)

1. はじめに

長崎県島原半島の中央に位置する雲仙・普賢岳(図 1)は, 1990 年 11 月に噴火活動を開始し, 火砕流や土



図 1 雲仙普賢岳の鳥瞰

石流により, 麓の島原市や南島原市深江町に多大な被害をもたらした。噴火活動は 1995 年 5 月にほぼ沈静化したものの, その後も風化による岩盤崩落や豪雨による土石流の発生が続いている。

噴火災害跡地に対してこれまで航空緑化, 治山ダム群, 砂防ダム群, 導流堤等により山体周辺の保全復旧が図られつつあるが, 溶岩ドーム直下の斜面は火山碎屑物で構成され, 平均勾配 32° でギリギリの安定状態となっており, ①局地的集中豪雨による大規模土石流, ②溶岩ドームの風化による岩盤崩落, ③地震による山体崩壊(岩屑なだれ)が懸念されている。

雲仙・普賢岳周辺は火山体と市街地が近接していること, 山体崩壊に対してはハード対策が不可能なことから, ①大規模な斜面変動の局面を想定したシミュレーション解析, ②それを加味したハザードマップの見直し, ③予兆現象を随時的確に捉えるため, 地震や記録的集中豪雨等のイベント発生後だけでなく定期的・継続的なデータの収集が必要であり, それを警戒避難に繋げる多面的なソフト対策が求められる。

長崎県では, これらの火山災害に対するソフト対策を実施するための一つの方法として, 過去に取得した航空写真や航空レーザデータを高密度 3 次元モデル化する情報整備を行っており, 地形変動解析に特化した空間分析ツールも併せて開発した。これを用いたガリ侵食, 岩盤変位等の地形変動解析の手法を示す。

2. 時系列高密度 3 次元地形モデル

雲仙普賢岳地域は 2003~2008 年に航空レーザによ

る 1mDEM が取得されており、それ以前は空中写真測量のデジタルマッピング法によるランダム点配列の数値標高モデル(2.5~5.0mTIN)を作成した。地形モデルは作業中を含め全 22 モデルである(表1)。

表1 GISデータ諸元 ※レーザ：雲仙復興事務所提供

	年	オーバーレイ	地形モデル(源データ)	備考
1	S47(1972)	オルソ・森林基本図	—	森林基本図
2	H3(1991)	オルソ	H3.5.18	航空写真
3	H3(1991)	オルソ	H3.6.7	航空写真
4	H3(1991)	オルソ	H3.9.18	航空写真
5	H4(1992)	オルソ	H4.2.27	航空写真
6	H4(1992)	オルソ	H4.10.6	航空写真
7	H5(1993)	オルソ	H5.5.1	航空写真
8	H5(1993)	オルソ	H5.7.24	航空写真
9	H5(1993)	森林基本図	H5.9.25	森林基本図
10	H6(1994)	オルソ	H6.3.21	航空写真
11	H6(1994)	森林基本図	H6.9.14	森林基本図
12	H7(1995)	オルソ・森林基本図	H7.3.14	航空写真
13	H8(1996)	オルソ・森林基本図	H8.9.15	航空写真
14	H9(1997)	森林基本図	H9.10.8	森林基本図
15	H10(1998)	オルソ・森林基本図	H10.10.9	航空写真
16	H11(1999)	森林基本図	H11.10.4	森林基本図
17	H13(2001)	オルソ・森林基本図	H13.10.14	航空写真
18	H15(2003)	オルソ・地質図	H15.9.27	レーザ
19	H17(2005)	—	—	レーザ
20	H17(2005)	—	—	レーザ
21	H18(2006)	オルソ・森林基本図	H18.9.23	レーザ
22	H20(2008)	オルソ	H20.2.18	レーザ

3. 3次元地理情報システム(3D-GIS)

行政が求める 3D-GIS は、高いオペレーション能力を必要とせずシンプルで直感的な操作性と高速動作を有しなければならない。一方で地形変動解析に関してはプロフェッショナル GIS と同程度の機能を持ち、複数モデル間の互換空間解析機能を有しなければならない。

本研究で用いた 3D-GIS は、GIS エンジン GeoCompoV3(株)シーズ・ラボ)をベースとする専用アプリケーション WingBeat(扇精光(株))である。主に表示はオルソ写真で可視化されており、それを高速表示するため7層のピラミッド構造とし、視距に応じてブロックデータ(400×400m)の精度を自動で切り替えている。

3D-GIS のキーワードは「視覚化」、「品質(精度)」、「空

表2 GISの機能／拡張機能及びツール

目 的	番号	機能・ツール
視覚化	①	中心投影・平行投影切替
	②	可視化・オーバーレイ (オルソ写真、森林基本図、地質図)
	③	複数モデルの透過重ね合せ
品質及び精度	④	ワイヤフレーム表示
	⑤	勾配着色(濃淡)
	⑥	標高差分着色(濃淡)
	⑦	標高差分体積計算
	⑧	断面図作成
	⑨	断面データエクスポート (CSV,DXF)
空間解析 時空間解析	⑩	DEM、TINデータエクスポート (特定部分のデータ切出)
他分野への応用	シミュレーション解析	

間解析」、「他分野への応用」(貞広, 2007)であり、地形変動解析はこれらを踏まえたシステムでなければならない。これを具現化するため、本システムは表2の機能及びツールを有している。これらをうまく組み合わせることで非常に複雑な解析が容易に行える。

4. 地形変動解析

大まかな地形判断や傾向、異常箇所の把握は、2モデル間の差分着色などの可視化に始まる。ここでは地形変動の解析手法として、噴火当初から現在に至るまでの地形モデルを比較し、山体の挙動と噴火沈静化後のガリ発達過程を表2のツールを用いて例示する。

地形変動解析は、2モデルの比較を次手順で行う。

- ① ベースとなる地形モデルを表示する
- ② 比較対象地形モデルを選択し標高差分着色する
- ③ 表示画面を平行投影へ切り替える
- ④ ターゲットエリア(崩壊、堆積、侵食地の境界)を多角形ツールでトレースする
- ⑤ 標高差分堆積計算を実行する

また、複数モデルによる断面図作成では、④、⑤を次の④'、⑤'に読み替えた。

- ④' ターゲットライン(複折線による谷縦断、山腹主断面、谷横断)をラインツールで描く
- ⑤' 表示する地形モデルを選択し断面作成を実行する

4. 1. 山体変動解析

4. 1. 1. 噴火開始時の山体の膨張

旧地形と噴火当初のモデル比較を行う。噴火当初の 1991 年 5 月 18 日は、最初に溶岩ドームが出現(地獄跡火口)した2日前に撮影された航空写真であり、これを元に地形モデルを作成した。当時山頂付近は、多くの地割れが発生していたと記録されており、マグマの供

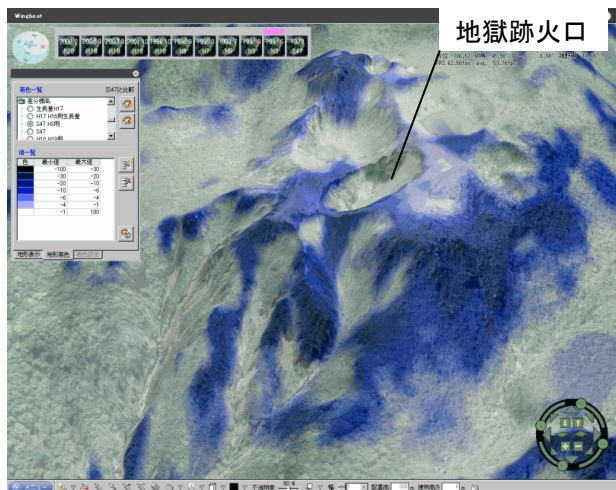


図2 噴火当初の山体膨張量の濃淡表示
(1991年5月と1972年地形モデルの比較)

給による山体膨張が指摘されていた。そこでモデル間の標高差分を着色(濃淡)(図2)し、その境界域を多角形ツールでトレースし体積計算を行なった。結果、膨張

体積は 597,400m³であった。

4. 1. 2. 旧地形と沈静化時の山体の比較

同様に、噴火以前の 1972 年とほぼ沈静化した 1995 年 3 月の地形モデルから地形変化の少ない箇所(+3~-20m)を黒で塗り潰し、それ以外の変化の著しい箇所をトレースして標高差分体積計算を行った(図3)。

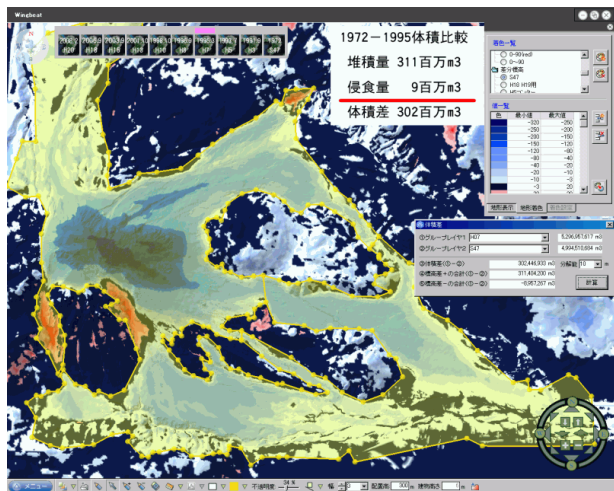


図3 火山堆積物の範囲と体積計算
(1995年3月と1972年地形モデルの比較)

堆積量:3億1千万m³, 侵食量:1千万m³, 差し引き3億m³となった。因みに終息時に国土地理院が発表した値は2億7千万m³である。

4. 1. 3. 沈静化後から現在までの山体変動

雲仙普賢岳(平成新山)の山頂部の破碎溶岩丘は、冷却破碎が進み、自重により圧密沈降していることがGPS観測によって明らかとなっており、10年間で4.8m、近年では年間15cm沈降していると報告されている(松島, 2007)。また溶岩ドームとその周辺域は風化・侵食により地形が年々変化している。1995年3月から2006年12月までの地形変動箇所を図4に示す。

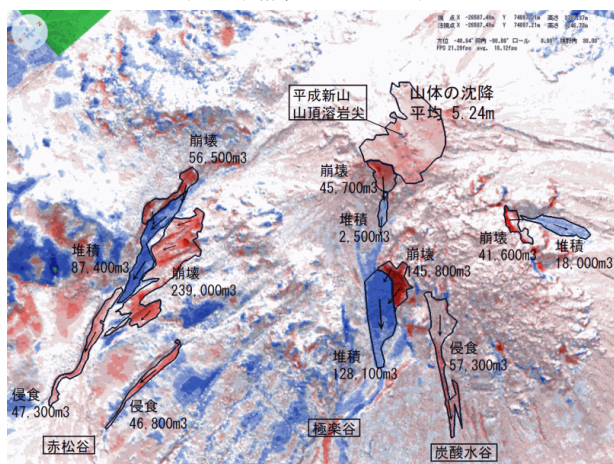


図4 溶岩ドームと周辺域の地形変動状況
(2006年12月と1995年3月地形モデルの比較)

平成新山の山頂部から東側の破碎溶岩丘では、標高差分体積÷面積により平均 5.24m 沈降している。

また、主な岩盤崩壊とその直下の堆積物の計算結果は、図4のとおりである。

最近では、九州大学地震火山観測センターにおいて2007年10月3日~4日に計10回ほど崩落波形を観測していたため、2006年12月と2008年2月の地形モデルを比較した。標高差分着色(濃淡)すると南斜面に新たな崩壊箇所が明瞭に認められ、崩壊・堆積部の体積計算から2,600m³崩壊したことが分かった(図5)。

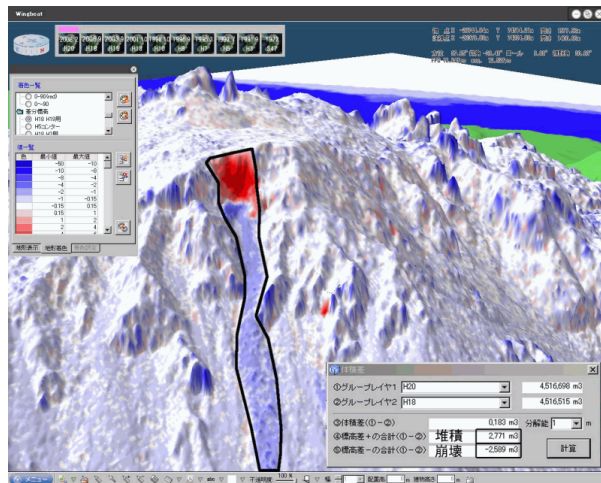


図5 溶岩ドームと南斜面の地形変動状況
(2008年2月と2006年12月地形モデルの比較)

4. 2. ガリ侵食解析

4. 2. 1. 沈静化後から現在までのガリ侵食

平成新山南東側の炭酸水谷と極楽谷(写真1)は火山碎屑物が侵食された深さ約30mの深いガリであり、山体周辺の中でも土石流による土砂生産が最も活発な箇所である。2006年6月に極楽谷で土石流が発生し、炭酸水谷も土砂流出が著しいことから2005、2006年地形モデルの差分標高から土砂移動実態解析を行った(図6)。



写真1 南斜面の航空写真

いことから2005、2006年地形モデルの差分標高から土砂移動実態解析を行った(図6)。

標高差分着色(濃淡)の結果、極楽谷では標高750m付近において溪岸が崩壊し、土砂が生産されていることが分かる。炭酸水谷では標高800m付近から土石流が発生し、一部はガリ内の巨石により抑止され16,800m³が堆積し、残りの土砂は極楽谷と合流後、谷出口まで達し、流路幅を急激に広げる治山ダム群で抑制され、その規模は19,900m³である。

当地区内で最も下刻の著しい地点での横断面を図7、現地状況を写真2に示す。炭酸水谷は2006年6月

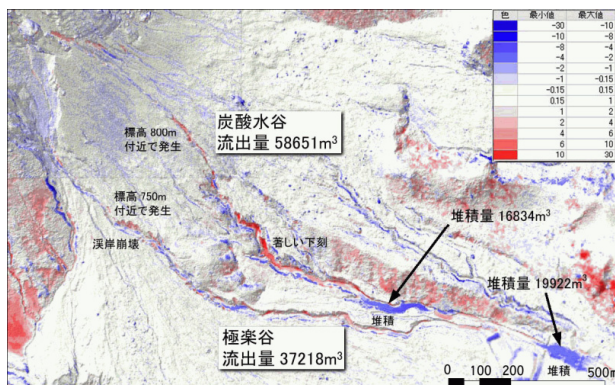


図 6 炭酸水谷と極楽谷のガリ侵食状況
(2006 年 12 月と 2005 年 10 月地形モデルの比較)

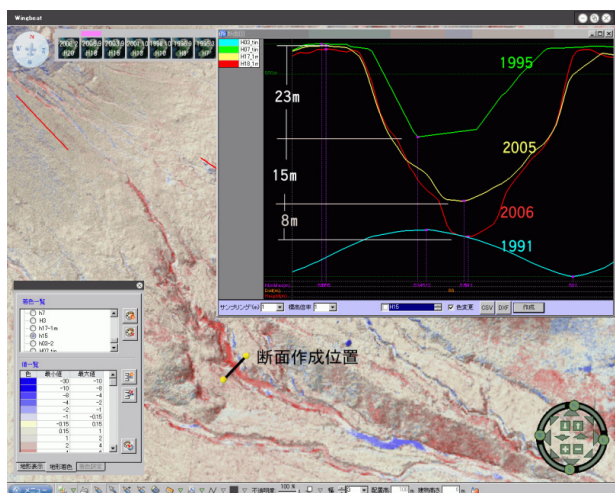


図 7 炭酸水谷の時系列断面表示

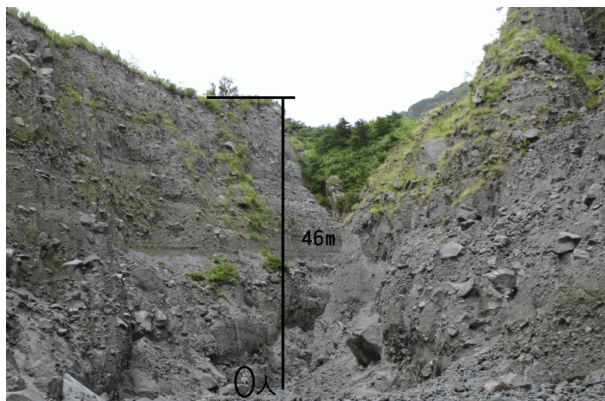


写真 2 図 7 で示す地点のガリ侵食状況

の土石流により 8m 縦侵食し、ガリの深さは 46m となった。なお、この侵食により旧地山に達したことも分かる。

4. 2. 2. 土石流発生源

溶岩ドーム前面には火山碎屑物が堆積し、豪雨時に溶岩ドームの凹部、亀裂部に雨水が集中し溶岩ドームと火山碎屑物の境界域でガリが発達している。火山碎屑物の堆積域では下流側に向い下刻侵食が進行すると考えられるが、実際は標高 950m 付近の溶岩ドーム前面で形成されたガリが標高 900m 付近で一旦浅くなり、標高 800～600m 付近で再び下刻侵食が起こっている。

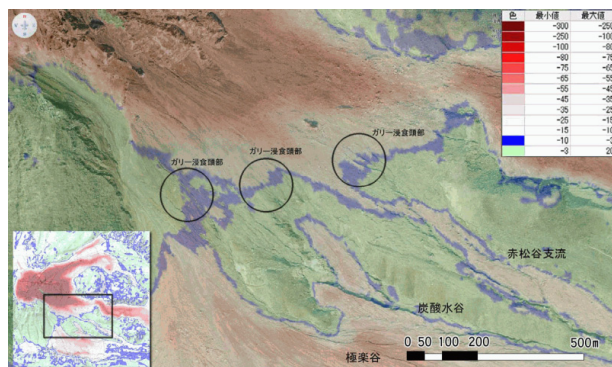


図 8 地形モデル標高差分によるガリ侵食頭部（○記）
(1995 年 3 月と 1972 年地形モデルの比較)

図8において噴火沈静後の 1995 年と旧地形の 1972 年との標高差分を求めると○記の箇所はおよそ 10m 上昇している。ところがここは、沈静直後に炭酸水谷、極楽谷の中でもガリ侵食が著しい箇所である。そしてこの箇所と 2006 年に炭酸水谷で発生した土石流の発生源並びに極楽谷の著しい溪岸崩壊箇所が図8と図6の対比のとおり一致する。このことから、豪雨により発生した表面流は溶岩ドーム直下の粗鬆な崖錐堆積物斜面で地下に浸透するが、図8の濃色帯状で示す旧地山との境界部、すなわち上述の土石流発生源並びに溪岸崩壊源のところで再び湧出し、活発な崩壊・下刻侵食を起こしているものと推定される。

5. まとめと今後の展開

防災分野における 3D-GIS に求めるものは、まずマクロ的に事象全体を把握し、どの箇所にミクロ的な分析が必要かを直感的に把握することである。次に空間分析ツール群をうまく組み合わせ、その事象を短時間で簡単に分かりやすく表現し、定量化することである。

本稿では、3D-GIS を用いて雲仙普賢岳の火山活動開始期から終息期までの地形変動量を明らかにし、現在の炭酸水谷、極楽谷の土石流発生地点、溪岸侵食点を特定した。更に、生産域および土砂生産量の算出が可能であることを示した。

なお、当地区においては、地震がトリガーとなった場合の山体崩壊解析を行っている。こうした大規模災害は、ハード対策では到底防ぎきれないので、ソフト対策として被災範囲(もしくは危険区域)や崩壊規模を想定するものである。特にすべり面形状は、火山体の形成過程から地下構造を把握し、更に空中物理探査データ(1999 年実施)も考慮し、専用ソフトで立体モデルを作成する。このように、シミュレーション実施のために地形モデルを切り出し、専用解析ソフトへエクスポートするなど「防災分野への応用」に供するため時系列高密度3次元地形モデルの情報整備を進めている。

参考文献

長崎県島原振興局林務課(2008)「平成 19 年度雲仙地区
火山地域総合治山調査等業務報告書」