

A new method to monitor water vapor cycles in active volcanoes A new method to monitor water vapor cycles in active volcanoes

GIRONA, Tarsilo¹ ; COSTA, Fidel^{1*} ; TAISNE, Benoit¹
GIRONA, Tarsilo¹ ; COSTA, Fidel^{1*} ; TAISNE, Benoit¹

¹Earth Observatory of Singapore, Nanyang Technological University

¹Earth Observatory of Singapore, Nanyang Technological University

The monitoring of multiple gas species from volcanic plumes in real time is crucial to understand the mechanisms involved in persistent degassing, and can be used to anticipate volcanic unrest and magma ascent towards the surface. Progress in gas remote-sensing techniques during the last decades has led to the development of ultraviolet absorption spectrometers and UV cameras, which enable to monitor SO₂ emission cycles in real time, at very high-frequency (about 1Hz), and from several kilometers away from the volcanic plume. However, monitoring of the more abundant gases, i.e., H₂O and CO₂, is limited to volcanoes where infrared spectrometers and infrared lamps can be installed at both sides of the crater rims. In this study, we present a new and simple methodology to register H₂O emission cycles from long distances (several kilometers), which is based on the light scattered by the micrometric water droplets of condensed plumes. The method only requires a commercial digital camera and a laptop for image processing, since, as we demonstrate, there is a linear correlation between the digital brightness of the plume and its volcanogenic water content. We have validated the method experimentally by generating controlled condensed plumes with an ultrasonic humidifier, and applied it to the plume of Erebus volcano using a 30 minutes-long movie [1]. The wavelet transforms of the plume brightness and SO₂ time series (measured with DOAS [1]) show two common periodic components in the bands about 100-250 s and about 500-650 s. However, there is a third periodic component in the band of about 300-450 s in the SO₂ time series that is absent in the brightness time series. We propose that the common periodic components are induced by magmatic foams collapsing intermittently beneath shallow geometrical barriers composed by bubbles with high content of both H₂O and SO₂, whereas the third periodic component could be induced by foams collapsing beneath a deeper geometrical barrier composed by bubbles with high content of SO₂ but low content of H₂O. This is consistent with the fact that most of the water exsolves at very low pressures. Our new methodology should lead to new insights into magma degassing process and anticipation of volcanic eruptions, in particular when combined with other monitoring methods. [1] Boichu et al. (2010), J. Volcanol. Geotherm. Res. 195:325.

キーワード: volcano, monitoring, phreatic, camera, Mayon, degassing
Keywords: volcano, monitoring, phreatic, camera, Mayon, degassing

火山ガスの CO₂/H₂O 比：噴火ポテンシャル評価のための地球化学的指標 CO₂/H₂O ratio of volcanic gas: Geochemical index for the evaluation of eruptive potential

大場 武^{1*}
OHBA, Takeshi^{1*}

¹ 東海大学理学部化学科

¹Dep. Chem. School Sci., Tokai Univ.

マグマに含まれる揮発性成分で支配的な成分は H₂O と CO₂ である。これらの成分はマグマ中で脱ガスしマグマに浮力を与えることにより噴火を駆動する。噴火前であっても火山ガスを放出している火山は多く、その火山ガスに含まれる H₂O と CO₂ の量は、それぞれの成分がマグマから脱ガスする流量を反映すると考えられる。H₂O と CO₂ を比較すると、メルトに対する溶解度は CO₂ が相対的に小さい。深部マグマ供給源からマグマを供給されていない孤立したマグマチャンバーを考えた時、マグマから放出される流体の CO₂/H₂O 比は次第に低下すると考えられる。よって、火山ガスの CO₂/H₂O 比はマグマに残存する揮発性成分の量の目安となるかも知れない。そこで、各地の火山で火山ガスを採取し、その CO₂/H₂O 比と噴火活動の関係を調べてみた。その結果、火山ガスに含まれるマグマ成分の CO₂/H₂O 比が 0.01 を超えると噴火活動を示す火山が多い。以下にいくつかの事例を挙げる。

岩手山

1998 年に火山性地震が頻発し、地殻変動などの観測からマグマの貫入が推測されたが、結局噴火は起きずに未遂となった。岩手山山頂付近の地熱地帯で採取した火山ガスを分析した結果、マグマ性ガスの CO₂/H₂O 比は 0.008 であり、0.01 に達していなかった。岩手山が噴火しなかったのは、貫入したマグマの揮発性成分の濃度が低く、マグマが浮力を獲得できなかったためと推測される。

霧島山

霧島新燃岳は 2011 年噴火の以前は、山頂火口内に非常に噴出圧の高い噴気孔が存在していた。1994 年に噴気を採取し分析したところ、マグマ性ガスの CO₂/H₂O 比は 0.03 という高い値を示した。その後、2011 年の噴火までの間に火山ガスの観測を行われていない。1994 年の段階で新燃岳の地下には揮発性成分に富むマグマが存在し、噴火の準備段階にあったと推定される。

草津白根山

1982, 1983 年の湯釜火口における水蒸気爆発以来、噴火活動は観測されていない。2000 年に山頂直下の北側山麓噴気地帯で勢いの強い噴気を採取・分析したところ、マグマ性ガスの CO₂/H₂O 比は 0.005 で、0.01 よりも低かった。ところが、2014 年になり火山性地震の頻発と山頂領域の膨張が始まり、2014 年 7 月に北側山麓噴気地帯で観測を行ったところ、マグマ性ガスの CO₂/H₂O 比は 0.025 に増加していた。噴気の SO₂/H₂S や H₂ 濃度は低く、熱水系の温度に異常は見られないが、深部に揮発性成分に富むマグマが貫入したと推定される。今後、火山活動の変化を注意深く観察する必要がある。

キーワード: 地球化学, CO₂, H₂O, 噴火ポテンシャル, magma

Keywords: Geochemistry, CO₂, H₂O, Eruptive potential, Magma

阿蘇中岳 2014-15 年噴出物の時間変化 Temporal variation of the ash component of the 2014-15 Aso Nakadake eruption

下司 信夫^{1*}; 宮縁 育夫²; 宮城 磯治¹; 三輪 学央³
GESHI, Nobuo^{1*}; MIYABUCHI, Yasuo²; MIYAGI, Isoji¹; MIWA, Takahiro³

¹ 産総研・活断層火山, ² 熊本大学教育学部, ³ 防災科学技術研究所
¹IEVG Geological Survey of Japan, AIST, ²Kumamoto University, ³NIED

阿蘇中岳で 2014 年 11 月末から開始した噴火は、2015 年 2 月 11 日現在も少量のスパッターを放出しながらほぼ連続的に火山灰を放出する活動が続いている。火口の外にもたらされている噴出物の大部分は火山灰サイズの粒子であるが、火口縁にはしばしば最大数 10cm 大のスコリア質の火山弾が着地している。

噴火活動の推移を把握するため、噴火初期から定期的に噴出物を採取しその構成粒子の変化を追跡した。噴出物の大部分は本質物からなり、その結晶度・発泡度とも大きなバリエーションがみられる。噴火開始以降 12 月上旬までに噴出した火山灰は、濃褐色～黒色不透明ガラス質粒子及び黒色結晶質粒子がその大半を占めている。12 月中旬以降、発泡した淡褐色ガラス粒子の割合が増加した。その後、淡褐色ガラス質粒子の量は増減しつつも比較的高い含有量(>40%)を保っている。淡褐色ガラス粒子の形状は、比較的发泡度が低く鋭利な破断面で囲まれたもの、発泡度が高くスポンジ状の外形を示すもの、溶融状態で引き伸ばされた形状のもの(ペレーの毛～涙状の粒子)が認められる。12 月 15-16 日ごろ、25-27 日ごろ、及び 1 月 13-16 日ごろの噴出物には、引き伸ばされたガラス粒子が多量に含まれている。石質岩片の含有量は全期間を通して比較的少なく 30% 以下であるが、1 月中旬ごろの噴出物には白色変質岩片が目立つ。石質岩片を多量に含む 1 月中旬ごろの火山灰には、表面が摩耗した粒子や、再結晶化が進んだ粒子などがみられることから、噴出物の火口内へのフォールバックによりリサイクルしている粒子が多く含まれていることが示唆される。

噴火表面現象と噴出物構成物には今のところ明瞭な関係は認められない。

試料採取にあたっては、気象庁、京都大学火山研究センターの協力をいただいた。

キーワード: 噴火, 火山灰, マグマ, 阿蘇

Keywords: eruption, volcanic ash, magma, Aso

Radon monitoring at active volcanoes: achievements and perspectives Radon monitoring at active volcanoes: achievements and perspectives

CORRADO, Cigolini^{1*} ; COPPOLA, Diego¹ ; LAIOLO, Marco¹
CORRADO, Cigolini^{1*} ; COPPOLA, Diego¹ ; LAIOLO, Marco¹

¹DST University of Torino, Italy, ²IGS Kyoto University

¹DST University of Torino, Italy, ²IGS Kyoto University

Understanding the behavior of fluids in hydrothermal systems is a key factor in volcano monitoring and geothermal exploration. Moreover, measuring gas emissions in volcanic areas is strategic for detecting and interpreting precursory signals of variations in volcanic activity, including eruptions and flank instabilities of volcanic edifices.

Among gases, a very peculiar one is radon. Radon is a radioactive gas generated from the decay of uranium bearing rocks, soils and magmas. The role of radon as a potential precursor of earthquakes has been extensively debated. At this stage of knowledge, radon anomalies appear to be better suited to forecast eruptive episodes since we know the loci of volcanic eruptions and we can follow the evolution of volcanic activity. Radon mapping is also an effective tool to assess diffuse and concentrated degassing at the surface. We hereby present a collection of data on Somma-Vesuvius, Stromboli, Villaricca (Chile) and La Soufriere (Guadeloupe, Lesser Antilles).

At Somma-Vesuvius, we used a network for radon monitoring to discriminate signals produced by regional earthquakes from those derived by the local volcanic seismicity. Moreover, the duration of radon anomalies have been used, together with other geochemical and geophysical parameters, to infer the permeability of the hydrothermal reservoir and the ascent velocity of fluids. At Stromboli volcano we were able to detect earthquake-volcano interactions: radon anomalies may be coseismic, precursory, and may also occur with a time-delay in respect to the onset of major regional seismic events. In addition, automatic and real time measurements allow us to detect major changes in volcanic activity. The simultaneous collection of environmental parameters substantially increase the potential role of radon in volcano monitoring since the data are easily collected, transferred, elaborated and filtered by applying Multiple Linear Regression analysis on the radon signal. We hereby propose a methodological procedure that can contribute to improve volcano surveillance in the attempt to mitigate volcanic risk.

キーワード: radon, monitoring, diffuse degassing, volcano surveillance, volcanic risk

Keywords: radon, monitoring, diffuse degassing, volcano surveillance, volcanic risk

2014年2月のインドネシア・ケルト火山噴火に伴う近傍場での電離圏全電子数擾乱のGNSSによる観測 Near Field Ionospheric Disturbance by the 2014 Kelud Volcano Observed by GNSS-TEC

中島 悠貴^{1*}; 日置 幸介¹; 竹尾 明子¹; Cahyadi Mokhamad Nur²; Aditiya Arif³
NAKASHIMA, Yuki^{1*}; HEKI, Kosuke¹; TAKEO, Akiko¹; CAHYADI, Mokhamad nur²; ADITIYA, Arif³

¹ 北海道大学 大学院理学院, ² スラバヤ工科大学, ³ インドネシア地図測量庁

¹Department of Earth Sciences, Hokkaido University, ²Sepuluh Nopember Institute of Technology, ³Geospatial Information Agency (BIG)

2014年2月13日、インドネシア・ジャワ島のKelud火山が噴火した。この噴火はVolcanic Explosivity Indexで4を記録する、比較的大規模なプリニー式噴火であった。本論文では、全地球衛星測位システム(Global Navigation Satellite System; GNSS)を用いて電離圏全電子数(Total Electron Content; TEC)を求める手法(GNSS-TEC法)によって検出された、上空約250 kmの電離圏で発生した波動について解析した。そして、得られた結果を広帯域地震計のデータおよび先行研究の結果と比較することで、励起メカニズムに迫った。

GNSS-TEC解析には、インドネシアのジャワ島およびスマトラ島をはじめとする火山近傍の島嶼にBadan Informasi Geospasial (BIG)、International GNSS Service (IGS)そしてSumatra GPS Array (SuGAR)によって設置された37のGNSS定常観測点から得られたThe Receiver Independent Exchange Format (RINEX)観測データを用いた。

RINEX観測データから算出した斜めTECからは、16:25 UT頃から19:00 UT前後まで続く擾乱が検出された。擾乱は1 km/sで同心円上外向きに伝搬した。スペクトル解析の結果、3.7 mHzと4.6 mHzそして6.7 mHzにピークが見られた。3.7 mHzと4.6 mHzの振動は基準振動モード理論から計算される大気固有周波数とほとんど一致する。6.7 mHzも高調波成分ではないかと考えられるが、高調波成分は特に大気の構造に依存するため、定かではない。

地震観測網、GEOFONの24の広帯域地震計(STS-1)から得られた地震波形の周期10-100秒の成分からは、15:50 UTに強い音波の信号が、そして16:15 UTに発生したレイリー波の信号とそれに続く1時間45分ほど続く音波が観測された。レイリー波は固体部分のなんらかの破壊、そして音波は雑音として検出される大気振動由来の信号であると解釈される。

さらにKelud火山から約200 km離れたGEOFON観測点、UGMで得られた波形を周波数(周期)成分ごとに見た。その結果、周期15-30秒及び100-200秒の成分が18:00 UT頃に収束するのに対して、周期200-300秒の成分は19:00 UT頃まで振動を続けることがわかった。この周期200-300秒の波動は、下層大気自由振動と解釈できる。

そして、世界に展開された78の広帯域地震計(STS-2)からなる観測網、GSNから得られた地震波形の周期100-1000秒の成分を確認した。スローネス解析から、Kelud火山からレイリー波速度で伝搬する波動が存在することがわかった。そしてそれらの波動から得られた震源時間関数をスペクトル解析した。その結果、GNSS-TECとほぼ同様の3.7 mHz、4.8 mHzおよび6.7 mHzを含むいくつかのピークを確認することができた。

以上の地震波形やその他気象衛星による観測などとの比較から、今回、GNSS-TEC法によって、火山の連続的噴火によって励起される大気自由振動、噴火終了後の1時間程度続く自由振動のゆるやかな減衰を観測したと考えた。Kelud火山付近から伝搬するレイリー波は検出されたが、大気自由振動が固体地球の振動を励起したものと推測している。

本論文で得られた解析結果は、火山噴火によって発生した大気共振の空間構造の時間発展を電離圏において初めて観測したものである。今後は、Kelud火山近傍の大気構造を考慮した基準振動モード解析から、Kelud火山周辺での固有振動数の理論値を算出し、比較を進める必要がある。そして、インフラサウンドや大気光カメラのデータをはじめとする各種観測データとの比較を進め、より詳細なメカニズムの解明を進めなければならない。

キーワード: GNSS, GPS, 火山, 電離圏, 超低周波音, 大気共振

Keywords: GNSS, GPS, Volcano, Ionosphere, Infrasound, Atmospheric resonance

メラピ火山の2011年から2013年までの地盤変動と複合モデル化 Combination Mogi and Yokoyama models for ground deformation in 2011-2013 at Merapi volcano

Aisyah Nurnaning^{1*}
AISYAH, Nurnaning^{1*}

¹ 火山地質災害軽減センター
¹CVGHM

Merapi is a strato volcano located at the border of central Java Provinces and Yogyakarta Special Region, Indonesia. After a big eruption in 2010, eruptions with VEI I occurred on 15 July 2012, 22 July 2013 and 18 November 2013. Characteristic of eruption is one of the indicators of volcano hazard mitigation; therefore this research has a purpose to estimate locations of pressure source and magma supply volume during the period from 2011 to 2013, based on ground deformation obtained by 3 GPS (Global Positioning System) stations installed in December 2010 and 5 additional stations in June 2013. The baselines beyond the summit crater show extension. This means that Merapi has already entered into inflation process immediately after the 2010 eruption. The amounts of extension of the baselines from the summit area to the navigation stations range from 5 mm to 15 mm and the displacements of GPS point varied in 2 mm to 50 mm.

Locations and volume increase of the pressure source were estimated by using Mogi and Yokoyama models. The depth of pressure source before eruption on 15 July 2012 is 9.8 km and the increase volume is 45 million m³. Ground deformation related to the eruptions on 22 July and 18 November in 2013 is modeled by two pressure sources; a deep source of Mogi type and a shallow one of Yokoyama type. The pressure sources are located at depths of 10.9 km and 4.5 km for the eruption in July and are 8.1 km and 2.9 km for November eruption. Increase in volume of the pressure sources for these eruptions is 10 million m³.

Keywords: Ground deformation, GNSS, Merapi volcano, pressure source

Monitoring system of Kelud volcano, Java, Indonesia before and after the February 13, 2014 eruption

Monitoring system of Kelud volcano, Java, Indonesia before and after the February 13, 2014 eruption

NANDAKA, I gusti made agung^{1*}

NANDAKA, I gusti made agung^{1*}

¹Center for Volcanology and Geological Hazards Mitigation Indonesia

¹Center for Volcanology and Geological Hazards Mitigation Indonesia

Kelud volcano is located on the island of Java, Indonesia is a very active volcano. The last eruption occurred on February 13, 2014. Monitoring network of Kelud before the eruption on Feb 13, 2014, consists of five Seismic stations, two Tiltmeter stations, one Water Temperature Sensor, and one CCTV. Tiltmeter data show a gradual change since the beginning of 2011. A few days before the eruption of February 13, 2014 tiltmeter the data showed a sharp rise. Increase in seismic activity observed since the end of November 2013 and then recorded more frequently in mid January up to early February 2014. It made alert level of Kelud was raised to Level II on 2 February 2014. All monitoring stations recorded intensive increase in volcanic activities after the alert level was raised to Level III on 10 February. The appearance of continuous tremors with over scale amplitude on 13 February 2014 at 21:11 WIB (local time) caused alert level was upgraded to Level IV. Eruption started at 22:50 WIB on February 2014, less than 2 hours after upgrading of alert level.

Eruption with VEI of 3-4 destroyed all of instruments, except one seismic station still work which is located 5 kilometers south of the crater. After the eruption, Center for Volcanology and Geological Hazard Mitigation (CVGHM) has added several instruments of monitoring. The monitoring network at Kelud is currently equipped with 5 Seismic stations, 2 Tiltmeters, 2 CCTV, and 3 additional stations which are equipped with seismic and CCTV for monitoring Lahar. In 2015, the network will be added with 3 stations of Seismic, Tiltmeter and continuous GPS as part of Project SATREPS. Until February 2015, activity of Kelud volcano is relatively quiet with volcanic earthquakes less than 10 events/month and domination of tectonic earthquakes. Visually, the activity in the crater is weak emission. Alert level of Kelud volcano is Level I.

キーワード: Kelud volcano, Multiparameter monitoring

Keywords: Kelud volcano, Multiparameter monitoring

干渉 SAR 時系列解析により検出された弥陀ヶ原火山・地獄谷の膨張性地殻変動 Locally-distributed inflational deformation at Midagahara volcano, Japan, detected by InSAR time series analysis

小林 知勝^{1*}; Hanssen Ramon F.²

KOBAYASHI, Tomokazu^{1*}; HANSEN, Ramon F.²

¹ 国土交通省国土地理院, ² デルフト工科大学

¹ GSI of Japan, ² Delft University of Technology

はじめに：弥陀ヶ原火山は、富山県の立山に位置する活火山である。山頂部に近い室堂平地域の地獄谷では、以前から活発な熱・噴気活動が存在しているが、近年、地獄谷の熱活動が活発化している。地獄谷では江戸時代に噴火活動が発生しているほか、複数の水蒸気爆発の堆積物が知られており、今後、水蒸気爆発の発生に至ることが懸念されている。一般的に、水蒸気爆発は、地下の熱水システムへの熱供給を通して起こると考えられているが、これに伴い地盤の膨張が進行することが期待される。地殻変動は、地下の圧力状況を知る有効な情報であり、活動の評価指標として重要な観測量であるが、これまで室堂平周辺で行なわれた GPS 基線長解析からは、有意な地殻変動は検出されていない。従って、仮に変動があるとしても、地獄谷およびその周辺の狭い領域で小規模で進行していると推察される。地殻変動の有無や進行状況を把握するには、高い計測精度と空間分解能を持った干渉 SAR 時系列解析が有効と考えられる。

解析手法：解析には、弥陀ヶ原火山を撮像した ALOS/PALSAR の SAR データを使用した。立山は1年間の多くを雪に閉ざされた場所であり、非積雪期である7月から10月の限られた期間のデータのみが利用可能である。その結果、解析に利用できた画像データは、2007年9月から2010年10月までの12枚であった。地殻変動解析には PSI 法を適用した。ただし、解析領域は山間部のため、PS 点の密度が低いことが予想される。そこで本解析では、PS 点に加えて、Phase Liking 法により位相を最適化させた DS 点も加えて使用した。PS 点においては、分散指標を利用した PS 候補点の取得方法は、画像数が少ない場合は精度が良くないため、単一の SLC 画像から PS 候補点を抽出する SCR 法も用いた。一方、Phase Linking 法による解析では、まず初めに、2 標本 KS 検定を用いて統計的に同質のピクセルを抽出してマルチルック処理を行った後、Phase Linking 処理を実施した。最終的に利用する計測点の選択には、Spatio-temporal consistency 法による位相評価指標を用いた。本解析では 10mm を閾値とした。結果的に、解析領域の全画素 720,000 点中、PS 点は 7094 点、最適化された DS 点は 82,138 点が抽出された。

解析結果：解析の結果、地熱活動の活発な地獄谷の領域で、膨張性地殻変動が検出された。地殻変動は、鍛冶屋地獄等、現在活発な噴気・熱水活動が地表で見られる領域とほぼ一致しており、その値は最大約 4cm/yr に達する。変位の時系列データは、ほぼ直線状に推移しており、非定常な変動は有意には見られない。このことから、最低でも 2010 年までは、ほぼ一定速度で時間的に安定した変動をしていたようである。変動域は局所的でおおよそ数百mの広がりにとどまり、その広がりから、変動をもたらす力源はごく浅部にあることが示唆される。シル状の矩形クラック 1 枚の開口を仮定して、Simulated Annealing 法によりモデリングを行ったところ、深さ 100m での開口クラックが最適解として求められた。さらに詳しいモデルを得るために、深さ 100m の位置に、100 × 100m サイズの矩形パッチで構成される開口シルを仮定し、開口分布をインバージョンにより求めところ、主な開口は鍛冶屋地獄周辺直下の局所的な広がりにとどまり、最大約 10cm/yr の開口速度が見積もられた。

謝辞：本研究は JSPS 科研費 25350494 の助成を受けたものです。

キーワード：弥陀ヶ原火山, 干渉 SAR 時系列解析, 地殻変動

Keywords: Midagahara volcano, InSAR time series analysis, Crustal deformation

桜島火山における重力変動―地殻変動シグナルとの対比 Short-term gravity signal during major eruptions at the Sakurajima volcano since 2012

大久保 修平^{1*}; 山本 圭吾²; 井口 正人²; 武多 昭道¹; 田中 愛幸¹; 今西 祐一¹
OKUBO, Shuhei^{1*}; YAMAMOTO, Keigo²; IGUCHI, Masato²; TAKETA, Akimichi¹; TANAKA, Yoshiyuki¹; IMANISHI, Yuichi¹

¹ 東京大学地震研究所, ² 京都大学防災研究所

¹Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, ²Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

[1] はじめに

桜島火山では2009年以降、昭和火口からの活発な噴火活動が継続し、爆発回数は年間数百回から千回に達している。この期間内に実施した絶対重力連続観測のうち、2011年までのデータと解釈とはすでに報告した(Okubo et al., IAVCEI 2013)。今回は2012年以降のそれについて、桜島島内の歪・傾斜記録とも対比して議論する。

[2] 手法

重力観測データには、降雨等に伴う陸水変動による重力擾乱(Kazama and Okubo, 2009)や、不圧地下水の潮汐等(Okubo et al 2014)、火山活動とは独立な要因で変化する成分が含まれている。これらの擾乱を除去して得た重力シグナルと、桜島島内2か所(ハルタ山、有村)の歪・傾斜記録に見られる、特に顕著な山体膨張・収縮イベントとを対比した。具体的には、イベントごとに重力データを切り出して、それらをスタック計算した。その際、イベントの先行過程(山体膨張)と緩和過程(山体収縮)のタイムスケールが微妙に異なることや、爆発に伴って地盤振動が大きい時間帯での重力測定精度低下も考慮し、可能な限り、統計的に厳密な形でのスタック記録を作成した。

[3] 結果

山体膨張の最後の2～3時間から、約5マイクロガルの重力減少が生じ、山体収縮に急転後の2～3時間で重力値が元に戻るという結果が得られている。講演では、さらにこれらの変動を生じる物理モデルについて議論する予定である。

キーワード: 絶対重力, 歪・傾斜記録, ブルカノ式噴火, 桜島火山

Keywords: absolute gravity, crustal strain, vulcanian eruption, Sakurajima

傾斜記録から推定される小規模爆発過程—新燃岳, 口永良島, 御嶽山— Source process of small volcanic explosions as inferred from tilt records: Shinmoe-dake, Kuchierabu-jima, and Ontake-san

西村 太志^{1*}

NISHIMURA, Takeshi^{1*}

¹ 東北大・理・地球物理

¹Geophysics, Science, Tohoku Univ.

火山噴火の際に、どのようなタイムスケールでマグマやガスが噴出するかについて、噴出物採取や火山噴煙のモニタリングが半直接的で有効な方法である。一方、山体変形を捉える測地測量は、山体下の圧力源の時空間変化を捉えることに有効で、霧島山では傾斜計記録と噴煙高度がよく相関していることが示された（例えば、Kozono et al. 2004）。近年の火山観測網の整備により、水蒸気爆発やマグマ水蒸気爆発のような小規模の噴火においても、噴火前後の山体変形が傾斜計に記録されている。今回、この記録の時間的特長を調べ、小規模爆発のメカニズムについて考察したので報告する。

2014年9月27日の御嶽山の水蒸気爆発は、火口南東約3 kmに位置する気象庁田の原観測点の傾斜計にその前兆的膨張に加えて、噴火継続中の山体変形が記録されている。11時52分に始まったとされる爆発の直後から、山体が次第に火口方向に沈降していく様子が捉えられている。2014年8月3日の口永良部島のマグマ水蒸気爆発では、12時27分頃から噴火に伴うと考えられる空振が観測されている。火口から北東約2.5 kmの新岳北東山麓点の傾斜計は、その頃から大きく変動し、空振振幅が小さくなる数十秒後から、次第に火口方向の沈降を示す。2010年5月27日の新燃岳の水蒸気爆発では、傾斜計の記録に加えて火口内の映像記録（Kato & Yamasato, 2013）から、噴火発生時から火口方向が沈降していくことがわかる。これらの沈降は、ほぼ指数関数的に減少し、時定数はそれぞれ、上述した火山の順に、それぞれおよそ3分、20秒、3分である。

この特長をNishimura (1998) で提案されている噴火の力学モデルと比較した。このモデルは、噴火直前に体積 V の溜まりに蓄えられていた火山性流体が断面積 S の火道を通じて、疑似理想気体で表現した火山性のガスが等エントロピー過程のもとで噴出する。モデルパラメータは、 $S v_0 / V$ (v_0 は初期噴出速度) の他に、ガスの比熱比、噴火前の溜まりの増圧量 dP である。マグマ溜まり内の圧力 $P(t)$ と、各火山で観測された傾斜変動と比較すると、その時間変化は非常によい一致を見る。この一致は、水蒸気爆発は山体下に蓄えられた疑似理想気体が火道から噴出するという単純なモデルで十分表現できることを示唆している。また、時定数から S, V, v_0 と比熱比の関係を求めることができる。水蒸気爆発やマグマ水蒸気爆発の記録は少なく、まだ3例に限られるが、今後のデータの蓄積、あるいは、他の異なる様式の噴火との比較により、その発生過程の詳細が明らかになると期待される。

キーワード: 水蒸気爆発, 傾斜, 山体変形, 小規模爆発, マグマ水蒸気爆発

Keywords: phreatic explosion, tilt, volcano deformation, small explosion, phreatomagmatic explosion

A fullwaveform seismic event location method for volcano monitoring operations A fullwaveform seismic event location method for volcano monitoring operations

GRIGOLI, Francesco^{1*}; CESCA, Simone²; KRIEGER, Lars³; RIVALTA, Eleonora²; AOKI, Yosuke⁴
GRIGOLI, Francesco^{1*}; CESCA, Simone²; KRIEGER, Lars³; RIVALTA, Eleonora²; AOKI, Yosuke⁴

¹Institute of Earth and Environmental Sciences, University of Potsdam, Germany, ²GFZ German Research Centre for Geoscience, Section 2.1 Earthquake and Volcano physics, Germany, ³School of Earth and Environmental Sciences, University of Adelaide, Australia, ⁴ERI, Earthquake Research Institute, University of Tokyo, Japan

¹Institute of Earth and Environmental Sciences, University of Potsdam, Germany, ²GFZ German Research Centre for Geoscience, Section 2.1 Earthquake and Volcano physics, Germany, ³School of Earth and Environmental Sciences, University of Adelaide, Australia, ⁴ERI, Earthquake Research Institute, University of Tokyo, Japan

Automated seismic event location procedures are very important tasks in almost all seismological applications, including seismic monitoring of volcano activity. The large datasets produced during these operations pushed the development of new automated location methods. Seismic waveforms recorded in volcanic environments are often characterized by low signal-to-noise ratio, thus a successful data analysis requires noise robust automated location procedures. Standard automated location methods based on automated picking of the main seismic phases (generally only P and S first onsets) are prone to fail with noisy data, limiting the location performance. In this work we apply the waveform stacking location method developed by Grigoli et al. (2013, 2014) to volcanic environments. This is a noise robust and picking free location method that exploits the full waveform information content of seismic recordings. Starting from raw seismograms, the first step of the location process consists in the computation of a P-phase and a S-phase stacking functions. For the P phase we use the STA/LTA of the vertical energy trace, whereas for the S we use the STA/LTA of a trace obtained using the principal eigenvalue of the instantaneous covariance matrix (Vidale 1991). For a given source location, we sum both P and S stacking functions along the theoretical travel times corresponding to the selected hypocenter. To locate a seismic event we iterate this procedure for all samples of the recorded traces and for all possible source locations within a predetermined seismogenic volume. In this way we retrieve a multidimensional coherence matrix whose absolute maximum corresponds to the spatio-temporal coordinates of the seismic event. Here we present an application to a sample dataset for the 2011 unrest at Kirishima volcano, Japan. We show that this automated location method is particularly suitable for volcano monitoring applications, where large datasets are produced and need to be processed fastly.

キーワード: Seismic event location, Volcano seismology, Microseismic monitoring
Keywords: Seismic event location, Volcano seismology, Microseismic monitoring

2D AND 3D SEISMIC ATTENUATION TOMOGRAPHIES IN ACTIVE VOLCANOES 2D AND 3D SEISMIC ATTENUATION TOMOGRAPHIES IN ACTIVE VOLCANOES

PRUDENCIO, Janire^{1*} ; TAKEO, Minoru¹ ; AOKI, Yosuke¹ ; IBANEZ, Jesus²
PRUDENCIO, Janire^{1*} ; TAKEO, Minoru¹ ; AOKI, Yosuke¹ ; IBANEZ, Jesus²

¹Earthquake Research Institute, University of Tokyo, ²Andalusian Institute of Geophysics, University of Granada

¹Earthquake Research Institute, University of Tokyo, ²Andalusian Institute of Geophysics, University of Granada

One of the last major challenges in volcano-seismology has been to obtain the internal structure of volcanoes by using seismic tomographic inversions and discern the role played by the fluids involved in volcanic eruptions. Despite this progress, a few indeterminations are present in the geological interpretation based on the tomography images, due to the resolutions limits of the tomography techniques and the difficulty in associating the physical parameters deduced by the tomography with the rock properties. The most common way to solve this lack of coverage is to perform active seismic experiments. However, working with active data, P-wave tomography images are straightforward, while S-wave images, on the contrary, are almost impossible due to the lack of direct S-wave generation by shots. Moreover, the unclear association of the tomography-deduced parameters with the rock properties is a well known uncertainty of the current seismological research, which despite from lab work carried out till now, needs more advances.

A way to partly overcome these difficulties is to jointly interpret tomography images based on the measurement of different physical quantities. Thus, there are a few (but increasing) cases in which velocity tomography is associated with seismic wave attenuation imaging. This association is essential in volcanoes, where a correct interpretation of the spatial distribution of the physical properties in terms of partial melt materials is necessary.

The Coda-Normalization (CN) method is the more novel method for estimating seismic attenuation, which measures the decrease of the seismic energy. The attenuation parameter can be obtained by measuring the direct P- or S-wave energy and the coda-wave energy, calculating their ratio and inverting the given equation. On the other hand, the presence of magma in volcanic regions leads to the hypothesis that the predominant cause of seismic energy attenuation is the heat dissipation mechanism (intrinsic attenuation), but observations show that in volcanoes the heterogeneities (scattering attenuation) are the widely predominant cause of energy dissipation. Using the Transport equation in the asymptotic diffusion approximation, we are able to obtain which is the contribution of each phenomena to seismic energy attenuation and to separately obtain intrinsic and scattering seismic attenuation 2D images.

Results of the present work will help to better constrain the P-wave velocity images obtained in Deception, Teide, Asama and Stromboli volcanoes (among others) and will give soon other useful quantitative constraints for a complete geological and volcanological interpretation which will help to prepare a more accurate volcano-dynamic models.

キーワード: Seismic attenuation, Scattering, Tomography, Volcano-Seismology

Keywords: Seismic attenuation, Scattering, Tomography, Volcano-Seismology

Preliminary ambient seismic noise study in the Tatun Volcano Group of Taiwan Preliminary ambient seismic noise study in the Tatun Volcano Group of Taiwan

HUANG, Yu-chih^{1*}; LIN, Cheng-hong²; KAGIYAMA, Tsuneomi¹
HUANG, Yu-chih^{1*}; LIN, Cheng-hong²; KAGIYAMA, Tsuneomi¹

¹Aso Volcanological Laboratory, Kyoto University, Kumamoto, Japan, ²Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taipei, Taiwan

¹Aso Volcanological Laboratory, Kyoto University, Kumamoto, Japan, ²Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taipei, Taiwan

The Tatun Volcano Group (TVG) is located in the northern tip of Taiwan and also beside Taipei metropolis. TVG is one of the potentially active volcano regions on the Taiwan Island and was predominantly active in the Quaternary. Besides, an active fault (named Shanchiao Fault) transits the center of the TVG along the northeastern orientation. Since the major geothermal activities expose on the surfaces along the hanging wall of the Shanchiao Fault, it is thought to be a passage for gas, fluid, and magma. But the magma chamber and detailed velocity structures below the TVG are not well resolved.

Studying continuously ambient seismic noise to obtain S-wave velocity structure beneath a densely seismic array is well performed around the world in the past decade. Seismic activity at TVG has been monitored by a dense seismic array with around 20 permanent broadband stations operated by Taiwan Volcano Observatory at Tatun (TVO). Since 2014, there are 20 more temporal broadband stations widely and evenly installed at TVG, supported by Central Geological Survey (CGS) of Taiwan. It is a good opportunity to study ambient seismic noise to investigate more detailed S-wave velocity structure in the shallow crust and searching for possible candidates of magma chamber beneath TGV. In the meanwhile, we can also relocate seismic events and compare seismicity with the newly velocity structure derived from ambient seismic noise. Furthermore, it is a possibility to search any velocity variances relate to large seismic events like Shilin earthquake happened on February 12, 2014.

キーワード: ambient seismic noise, Tatun Volcano Group, Taiwan

Keywords: ambient seismic noise, Tatun Volcano Group, Taiwan

モンテカルロ・フォノン法による西之島から父島への空振到達可能性の評価 Atmospheric effect on infrasound detectability at Chichi-jima from Nishino-shima assessed by a Monte Carlo phonon method

市原 美恵¹; 菊地 淳仁^{2*}; ラカンナ ジョルジオ³; 菅野 洋¹; 西田 究¹
ICHIHARA, Mie¹; KIKUCHI, Junji^{2*}; LACANNA, Giorgio³; KANNO, Yo¹; NISHIDA, Kiwamu¹

¹ 東京大学地震研究所, ² 東京大学大学院理学系研究科, ³ フィレンツェ大学
¹ERI, University of Tokyo, ²Dept. Earth and Planetary Science, University of Tokyo, ³University of Florence

Nishino-shima volcano in some 1000 km south of Tokyo is active since November, 2013. The new island keeps growing and is almost swallowing the original Nishino-shima island. We installed infrasonic stations to Chichi-jima, which is the closest inhabited island in 130 km to the east of Nishino-shima, and have been detecting clear infrasonic signals from Nishino-shima since May 2014. The detection of infrasound at such a distance obviously depends on the atmospheric structure. Here we present a simple method to evaluate the atmospheric effect, which is crucial for interpreting the infrasonic observation to the change of volcanic activity. The method is similar to the Monte Carlo phonon method proposed by Shearer and Earle (2004) to investigate seismic scattering wave fields.

A million phonon particles were transmitted from the ground to the atmosphere in random directions between zero and 90 degrees in the vertical plane cutting from Nishino-shima to Chichi-jima. Ray-tracing calculation (Tahira, 1982) was performed for each particles assuming one dimensional atmospheric structure with the effect of wind advection in the plane. We counted the number of the particles that reached Chichi-jima in the area of the infrasound stations spanning about 1 km, and regarded that the number represented the infrasound energy that reached the stations. Perfect reflection was assumed on the sea surface, but the particles that were trapped in the bottom layer thinner than the scale of the infrasonic wave length were eliminated. The calculation was performed for atmospheric structures from May to December 2014, using the data from radiosonde measurements twice a day by the Japan Meteorology Agency.

The calculated infrasonic energy arrivals were compared with the power of the signal from Nishino-shima detected by the infrasonic array at Chichi-jima. The calculation and the observation showed similar tendencies in general confirming that detection/non-detection of infrasound at Chichi-jima was controlled by atmospheric conditions. However, discrepancies were found in the beginning of May and in the end of June. The calculation shows infrasound was detectable, but it was not detected by the observation. These were the periods with low growth rates of the new island according to the satellite image analysis (Maeno et al., 2014). We conclude that in these periods the non-detection was due to the lack of the infrasonic source at Nishino-shima and not due to the propagation effect.

Although information for the atmospheric structure is limited, this simple method provides a first-order evaluation for the atmospheric effects and improves the interpretation of the infrasonic data at Chichi-jima for Nishino-shima activity.

キーワード: 火山, 空振, モニタリング, 噴火, 波動伝播

Keywords: Volcano, Infrasound, Monitoring, Eruption, Wave propagation

桜島火山昭和火口における火砕流を伴う噴火の特徴 Characteristics of Eruptions Accompanied with Pyroclastic Flow at Sakurajima Volcano's Showa crater

為栗 健^{1*}; 井口 正人¹
TAMEGURI, Takeshi^{1*}; IGUCHI, Masato¹

¹ 京都大学防災研究所

¹ Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

1. はじめに

桜島火山では1955年以降、山頂火口においてブルカノ式と呼ばれる爆発的噴火を繰り返している。東側山腹の昭和火口では2006年に58年ぶりに噴火が再開し、2009年以降、噴火活動が活発化している。2010年から2013年まで毎年800回を超える爆発的噴火を繰り返しており、爆発回数の増加とともに噴火規模が大きくなっている。2014年は爆発回数が約500回と減少したが、噴煙高度が3000~5000mに達する噴火が多く発生している。爆発的噴火の特徴として、火山弾の放出、衝撃波の発生、急激な火山灰や火山ガスの放出が上げられるが、山腹にある昭和火口の爆発的噴火ではそれらに加えて、火砕流の発生が上げられる。火砕流は高温の火砕物や火山ガスが山腹斜面を高速で流れ下るもので、火山噴火の中で最も危険な現象の一つである。すべての爆発的噴火において火砕流を伴うわけではなく、同規模の爆発的噴火でも火砕流が発生しない場合もあり、昭和火口における火砕流発生メカニズムの解明には至っていない。今後、昭和火口の噴火活動がさらに活発化した際には、大規模な火砕流の発生も考えられ、その発生予測が防災上、必要不可欠であり、そのためには昭和火口で発生する火砕流を伴う噴火の発生メカニズムを解明することが重要である。本研究では地球物理学的火山観測から火砕流発生を決定付ける要因を検出し、噴火準備過程の段階で火砕流の発生予測を行うことを目的とする。

2. 解析

火砕流の発生メカニズムを解明する上で重要な情報は爆発時の火道内の物理状況である。爆発前に発生する前駆地震や微動、山体膨張、爆発的噴火に伴う爆発地震、火口底のガス溜まりにおける圧力蓄積などに火道内の物理状況を知る情報が含まれていると考えられる。地盤変動、火山性地震、空気振動、火山ガス、映像等の観測によって爆発的噴火および火砕流のデータを収集し、火砕流発生に関わる物理パラメータを明らかにする必要がある。地震および地盤変動観測から爆発前の火山性地震や微動の発生状況、山体膨張プロセスを詳細に調べ、火道内におけるマグマの蓄積や脱ガス過程を解明する。ガス溜まりの破裂の際には衝撃波が発生し、その後、火山ガスや火山灰が急速に放出される。火砕流の発生にはその放出量や速度も関係している可能性がある。本発表では多種の観測項目の中から火砕流を伴う爆発的噴火前の地盤変動と火山性地震の発生パターンについて報告する。

爆発前には山体膨張を示す地盤変動が観測される。膨張は噴火の30分~3時間ほど前から開始するものがほとんどであるが、火砕流を伴う噴火の膨張はその中でも比較的長い時間をかけているものが多い。また、爆発前に前駆地震を伴う事象が観測されることがある。前駆地震は時間とともに発生頻度が上がり、振幅が大きくなる傾向がある。火砕流を伴う噴火の前に発生する前駆地震は、発生頻度は多いものの、振幅はさほど大きくならず噴火に至る傾向があることが分かった。

キーワード: 桜島火山, 火砕流, 爆発的噴火

Keywords: Sakurajima volcano, pyroclastic flow, explosive eruption

Recent seismic volcanic activity at Deception Island volcano (Shetland Islands, Antarctica).

Recent seismic volcanic activity at Deception Island volcano (Shetland Islands, Antarctica).

SERRANO, Inmaculada^{1*}; CARMONA, Enrique¹; TORCAL, Federico²; DIAZ, Alejandro¹; JIMENEZ, Vanessa¹; LORENZO, Francisco¹; ALMENDROS, Francisco javier¹
SERRANO, Inmaculada^{1*}; CARMONA, Enrique¹; TORCAL, Federico²; DIAZ, Alejandro¹; JIMENEZ, Vanessa¹; LORENZO, Francisco¹; ALMENDROS, Francisco javier¹

¹Andalusian Institute of Geophysics, Granada University, Spain, ²Pablo Olavide University, Seville, Spain

¹Andalusian Institute of Geophysics, Granada University, Spain, ²Pablo Olavide University, Seville, Spain

Deception Island is the most active volcano in the South Shetland Islands region, having erupted at least 6 times since it was first visited 160 years ago. The 15-km-diameter island is horseshoe-shaped and has a flooded caldera (Port Foster) measuring about 6 x 10 km and a maximum depth of 190 m. All historical eruptions have been relatively small in volume. Evidence for present-day volcanic activity at Deception Island includes fumaroles and hydrothermal activity, resurgence of the floor of Port Foster, and seismicity. Seismic monitoring has been going on since 1986 during austral summer surveys, in which volcano-tectonic earthquakes (VT), long-period events (LP) and volcanic tremors, among others, have been recorded with a local network and seismic arrays.

In this work we analyze the results of the last two Antarctic campaigns conducted by the Spanish research team (2013-2014 and 2014-2015). Although seismic volcanic activity remained at relatively low levels in the 2013-2014 campaign, a notable increase has been observed in the current campaign (the highest number of LP/VT events in one day is 1500/100). In this paper we will be discussing the initial results obtained from our analysis of the data, focusing our attention on particular periods of intense LP and VT activity.

These variations may be related to alterations in the shallow hydrothermal system of Deception Island. In some periods VT distributions are temporally and spatially homogeneous, with a generally low level of seismicity in certain specific particular areas. These patterns may be caused by different processes, involving regional stresses and local tectonic destabilization induced by volcanic activity. We investigated how these events may have influenced volcano dynamics. Overall, this study suggests that there has been a significant reactivation of the volcano since the 2013-2014 Antarctic campaign.

キーワード: seismic array, seismic network, volcano seismology, Shetland Islands, Antarctica

Keywords: seismic array, seismic network, volcano seismology, Shetland Islands, Antarctica

桜島火山における反復地震探査(2014年観測)

The sixth round of the repetitive seismic experiment in Sakurajima Volcano, Japan. The experiment 2014.

筒井 智樹^{1*}; 井口 正人²; 中道 治久²; 為栗 健²; 池田 啓二³; 大島 弘光⁴; 山本 希⁵; 野上 健治⁶;
大湊 隆雄⁷; 小山 崇夫⁷; 前田 裕太⁸; 大倉 敬宏²; 清水 洋⁹; 八木原 寛¹⁰; 小林 励司¹⁰;
前川 徳光⁴; 平原 聡⁵; 渡邊 篤志⁷; 堀川 信一郎⁸; 松廣 健二郎⁸; 吉川 慎²; 園田 忠臣²;
関 健次郎²; 平野 舟一郎¹⁰; 平松 秀行³; 通山 尚史³; 河野 太亮³
TSUTSUI, Tomoki^{1*}; IGUCHI, Masato²; NAKAMICHI, Haruhisa²; TAMEGURI, Takeshi²; IKEDA, Keiji³;
OSHIMA, Hiromitsu⁴; YAMAMOTO, Mare⁵; NOGAMI, Kenji⁶; OHMINATO, Takao⁷; KOYAMA, Takao⁷;
MAEDA, Yuta⁸; OHKURA, Takahiro²; SHIMIZU, Hiroshi⁹; YAKIWARA, Hiroshi¹⁰; KOBAYASHI, Reiji¹⁰;
MAEKAWA, Tokumitsu⁴; HIRAHARA, Satoshi⁵; WATANABE, Atsushi⁷; HORIKAWA, Shinichiro⁸;
MATSUHIRO, Kenjiro⁸; YOSHIKAWA, Shin²; SONODA, Tadaomi²; SEKI, Kenjiro²; HIRANO, Shuichiro¹⁰;
HIRAMATSU, Hideyuki³; TORIYAMA, Naofumi³; KONO, Taisuke³

¹ 秋田大学, ² 京都大学, ³ 気象庁, ⁴ 北海道大学, ⁵ 東北大学, ⁶ 東京工業大学, ⁷ 東京大学, ⁸ 名古屋大学, ⁹ 九州大学, ¹⁰ 鹿児島大学

¹ Akita University, ² Kyoto University, ³ Japan Meteorological Agency, ⁴ Hokkaido University, ⁵ Tohoku University, ⁶ Tokyo Institute of Technology, ⁷ University of Tokyo, ⁸ Nagoya University, ⁹ Kyushu University, ¹⁰ Kagoshima University

桜島火山における第6回目の反復反射法地震探査について報告する。本探査はマグマの動きに関連した地下構造の変化の検出を目的として行われている。

2009年12月から毎年12月に、桜島北部の2つの測線において同一仕様の反射法地震探査を繰り返して実施している。総観測点数は年ごとに異なるが、毎年必ず実施している主測線は225点の臨時地震観測点と14ヶ所の発破点から構成されている。各臨時地震観測点は白山工業製LS-8200SDと4.5Hz上下動地震計で統一して構成され、各発破点では20kgのダイナマイトによる発震を行っている。2014年観測は枝測線も合わせて263点の臨時観測点を展開した。

2014年観測では従来の繰り返し観測に加えて、発破点近傍での地動加速度観測と含水爆薬による発破の観測も行った。これらの観測はすべて2つの測線が交差する発破点(KOME; S07)で実施した。地動加速度観測には発破孔からの距離約10m~70mの間に4点の加速度計を設置した。加速度計のうち1台はフォースバランス型三成分加速度計(Metrozet社TSA-100)を発破孔から10mの地点に設置した。のこり3台は過減衰型三成分加速度計(アカシ製JEP-6A3)を用いて、1台を30m地点に置いたほか、2台を本測線上の反復観測点に併設した。加速度記録はシモレックス社製SC-ADL1000HVおよびSC-ADH10KPを用いて現地収録を行った。また、含水爆薬はダイナマイト発破孔から15m離れた地点で20kgを用いて比較発破を実施した。

本観測の発破作業は2014年12月4日晚に、枝測線の発破は12月3日午後に実施された。本測線に設置された観測機材は98.5%が正常に動作し、約17Gbyteの波形データを得ることができた。これまでの反復探査で得られた記録と比較した結果、今回の本測線の波形データは桜島北東部の地下における反射の強さが2009~2011年の平均レベルに戻っていたことを示唆していた。

また爆薬の比較では含水爆薬は同薬量のダイナマイトの約8割の最大加速度を示し、些細な波形の差異を示していた。しかし本測線上における観測波形ではほぼ同じRMS振幅を示したことから、今後も含水爆薬による反復観測の継続が可能であると考えられる。

本研究は文部科学省による「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」、および気象庁経費、京都大学防災研究所経費の支援を受けた。観測に用いた機材の大部分は東京大学地震研究所から借用した。加速度観測では岩田知孝氏(京大防災研)とシモレックスの協力をいただいた。また観測に当たり鹿児島地方気象台の支援を受けた。ここに記して謝意を表する

キーワード: 桜島火山, 反復地震探査, 反射法地震探査, 構造の時間変化, 火山の地下構造, マグマ

Keywords: Sakurajima Volcano, Repetitive seismic experiment, Reflection seismology, Structure evolution, Volcanic structure, Magma

クラック分布に基づいた富士山周辺における応力場の時空間分布の推定 Spatial and temporal analysis of stress fields inferred from crack distributions in the Mt. Fuji volcanic area

蘭 幸太郎^{1*}; サベジ マーサ²; ブランギエ フローレント³; 大湊 隆雄¹; 青木 陽介¹
ARARAGI, Kohtarō^{1*}; SAVAGE, Martha²; BRENGUIER, Florent³; OHMINATO, Takao¹; AOKI, Yosuke¹

¹ 東京大学地震学研究所, ² ウェリントン・ヴィクトリア大学地球物理学科, ³ ジョゼフフーリエ大学地球科学研究所
¹Earthquake Research Institute, University of Tokyo, ²Victoria University of Wellington, Institute of Geophysics, ³Institut des Sciences de la Terre, University Joseph Fourier

火山地域において応力は噴火の性状や地質の形成に大きな影響を与えることが知られている。富士山周辺では東北地方太平洋沖地震直後に Mw5.9 の余震が発生しており、定常的あるいは非定常的な応力下にあると考えられる。本研究では Hi-net の観測点に加え、東大地震研、気象庁、および防災科研が富士山周辺に展開している地震観測網を用いて S 波スプリッティングおよび地震波干渉法による解析を行い、富士山周辺のクラックの時空間分布による応力場の定量化を目指した。

S 波スプリッティング解析を行った結果、富士山周辺における S 波の偏向方向について a) 山体周辺では放射状 b) 山体から離れた場所では北西-南東方向の二つのパターンが認められた。また、深さと S 波の到達時間差の関係より、異方性は地表から 4km より浅い部分に分布していることが示唆された。こうした異方性はダイクやクラックによるものと考えられるが、火山周辺におけるこれらの空間分布について、先行研究 (e.g. Nakamura, 1977; Acocella and Neri, 2009) より山体荷重および広域の応力場との関連が示唆されていた。本研究ではこれらの考えに基づいて富士山周辺の 2 タイプの異方性を説明するため、応力モデリングを行った結果、実際の異方性の分布と調和的な結果が得られたため本地域の地下のクラックの分布は二つの異なる応力の影響下にあると考えた。

S 波スプリッティング解析は精度の限界のため、微小な時間変化をとらえることは難しい。一方で地震波干渉法は固定された観測点間での微小な地震波速度変化をとらえることができる。Brenquiere et al. (2014) において、本地域では東北地方太平洋沖地震後に地震波速度が低下したことが指摘されている。本研究では Brenquiere et al. (2014) では使用されていない富士山山体近傍のデータを用い、地震波干渉法を行った。上下動のみ使用した予備解析において、先行研究と調和的な結果が得られた。今後は、より時間的、空間的に精度を上げた解析を試み、東北地方太平洋沖地震および Mw5.9 の影響についても検討を行う予定である。

キーワード: 富士山, S 波スプリッティング, 地震波干渉法, 微小亀裂, 東北地方太平洋沖地震, 異方性

Keywords: Mt. Fuji, Shear wave splitting, Seismic interferometry, microcrack, Tohoku-Oki Earthquake, seismic anisotropy

インドネシア LUSI 泥火山噴火にともなう地殻変動 Ground deformation associated with the eruption of Lumpur Sidoarjo mud volcano, east Java, Indonesia

青木 陽介^{1*}; Sidiq Teguh Purnama²
AOKI, Yosuke^{1*}; SIDIQ, Teguh purmana²

¹ 東京大学地震研究所, ² バンドン工科大学

¹Earthquake Research Institute, University of Tokyo, ²Institute of Technology Bandung

Ground deformation associated with the eruption of Lumpur Sidoarjo mud volcano between 2006 and 2011 has been investigated from Synthetic Aperture Radar images. Marked subsidence has been observed to the west of, as well as around, the vent. Line-of-sight changes in the both areas decayed since the middle of 2008 with a time constant of 1.5-2.5 years, implying that the ongoing eruption won't last long. This uniform decay time indicates that the western part is connected to the eruption center since the middle of 2008 to form a system with stationary geometry. Our observation that the decay started later to the west than around the vent suggests that the subsidence to the west has been triggered by the mud eruption. A simple modeling suggests that 1) the conduit needs to be narrower at depth than at the surface, 2) the effective rigidity of the mud needs to be lower than that estimated from the drilled sample, or both to explain the observed decay constant of the deformation.

キーワード: 泥火山, 地殻変動, 合成開口レーダー, 時系列解析

Keywords: Mud volcano, Ground deformation, Synthetic Aperture Radar, Time-series analysis