

平成30年6月7日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K12849

研究課題名(和文) 典型的監視データと気象レーダーを用いた噴火規模強度に関する指標の即時決定法の確立

研究課題名(英文) Establishment of an immediate determination method for indicators on eruption scale and strength using data of typical volcano monitoring instruments and weather radars

研究代表者

中道 治久 (NAKAMICHI, Haruhisa)

京都大学・防災研究所・准教授

研究者番号：00420373

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：口永良部島噴火に伴う地震と空振のエネルギーと継続時間を求め、地震から噴出量と噴煙高度を推定し、目視観測による噴煙高度との比較を行った。最近の水蒸気爆発に伴う地震と傾斜を比較し、草津白根山・御嶽山・口永良部島の噴火に共通する特徴を明らかにした。気象レーダーにて桜島と霧島山新燃岳の噴煙に対応したレーダー反射強度を検出した。2017年11月13日の桜島南岳噴火は悪天候のため噴煙高度不明とされたが、反射強度から噴煙高度4 kmと推定した。2017年と2018年の新燃岳の噴煙のレーダー反射強度と目視の噴煙高度との対比により、レーダーを用いた噴煙高度測定手法の確立のための基礎データを蓄積することができた。

研究成果の概要(英文)：We obtained the seismic and acoustic energies and durations of 2014 and 2015 eruptions of Kuchinoerabujima. We estimated the altitude of the eruption plume by a force at the seismic source and compare with the plume altitude by visual observation for the 2015 eruption. We compared seismic waveforms and tilt changes of eruptions in Japan and clarified common features of the eruptions of Kusatsushiranesan, Ontakesan and Kuchinoerabujima. We detected the radar reflection intensity corresponding to eruption plumes of Sakurajima and Shinmoedake. We estimated the plume height of the Sakurajima eruption on November 13, 2017 as 4 km by using the radar reflection intensity, although the visual plume height was unknown due to bad weather. By comparing the radar reflection intensities of the 2017 and 2018 eruptions of Shinmoedake with the plume altitudes by visual observation, we accumulated the basic data for establishing a method for estimating altitudes of eruption plumes using weather radars.

研究分野：火山物理学

キーワード：噴火 地震 空振 噴出量 噴出率 気象レーダー レーダー反射強度 噴煙高度

1. 研究開始当初の背景

火山噴火発生時に噴火の規模や様式を把握することは、噴火直後の調査を迅速に行うにあたっての指針を与え、被害把握など災害把握にも有用である。噴火の規模は噴出物の体積(質量)で表し噴出量と呼び、降灰量調査にて推定されることが多いが、広範囲の調査が必要のため迅速性に欠ける。一方、地震や空気振動(空振)の観測は国内外の監視対象火山では必ず行われており、噴火をリアルタイムで認識出来る。よって、地震や空振から噴出量を推定する手法が確立されれば、噴火規模の即時把握に有効である。噴火規模(噴出率)と噴煙高度の関係式が昔から提唱されており、気象レーダーが捉えた噴煙エコーから噴煙高度を求めて噴火規模を推定する試みがなされている。しかし、気象レーダーが火山近傍に設置され実際に噴煙観測を行われた事例は少ない。

2. 研究の目的

噴火規模を噴火発生時に即時に把握するために、地震と空振の観測データや近年噴煙観測のために用いられ始めている気象レーダーを用いて噴出量(率)をリアルタイムに把握するための手法を確立するのが目標である。地震・空振観測は天候に左右されず、火山監視に必須の観測項目であるため、国内外に長年の豊富なデータがある。

3. 研究の方法

近年発生した国内の噴火(霧島新燃岳、口永良部島、桜島、御嶽山、阿蘇山、草津白根山)について地震・空振・傾斜の記録の解析を行った。波形の形状、振動(震動)の継続時間、波動エネルギー、震源に働いた力と継続時間の推定を行った。また、空振から推定した噴出量と、噴煙高度から推定した噴出量の比較を行った。

2017年8月に南九州の火山近傍に設置した小型 X バンド偏波レーダーにて2017年と2018年の霧島新燃岳と桜島南岳の噴火を観測し、レーダー反射強度の時空間変化を求めた。

4. 研究成果

(1) 噴火に伴う地震・空振波形からのパラメータ抽出

① 口永良部島2014年・2015年噴火

口永良部島にて2014年8月3日と2015年5月29日と6月18日に噴火が発生した。噴火に伴う地震と空振から噴出量(率)を導くための基礎的パラメータである波動エネルギーと振動継続時間の算出を行った。2014年の噴火の継続時間は50秒であるのに対し、2015年の噴火は6分であることが明らかになった(図1)。地震と空振の波動エネルギーとその比を他の火山の噴火と対比させて比較した(図2)。そして、2014年と2015年噴火はマグマ水蒸気爆発とされているが、波動エネルギーの特徴は典型的なブルカノ式噴火と同じ

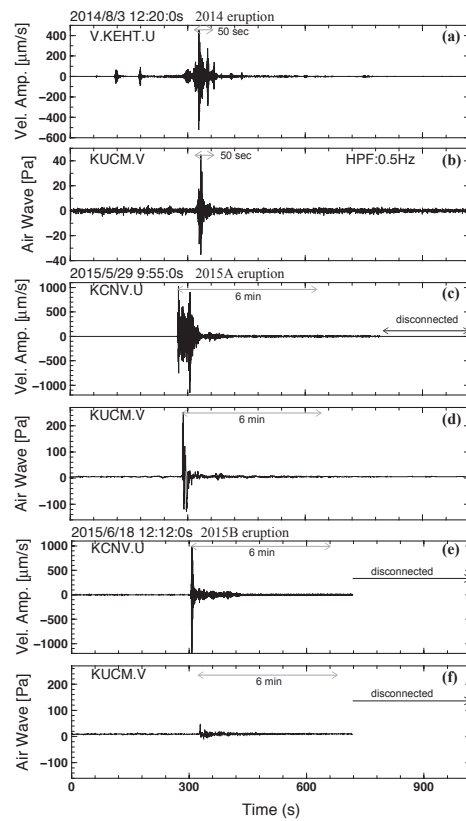


図1. 口永良部島2014年・2015年噴火に伴う地震と空振の波形。

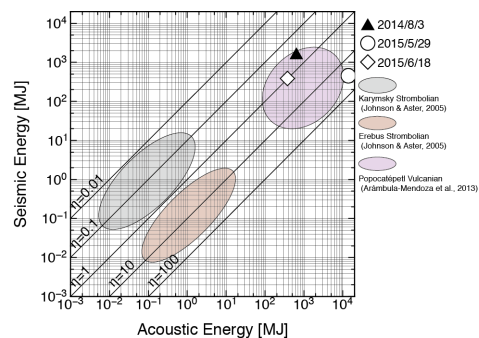


図2. 口永良部島噴火に伴う地震と空振の波動エネルギーの比較。

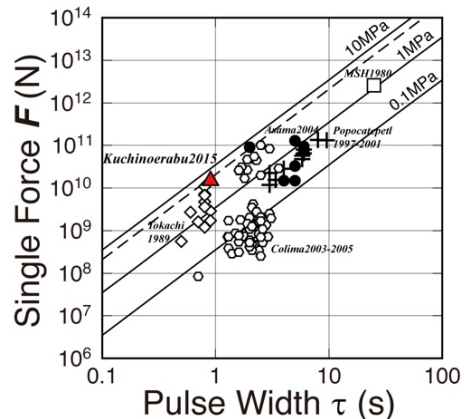


図3. 口永良部島噴火に伴う地震の震源における力の大きさとパルス幅の関係。

で、2015年より2014年の噴火の方が空振よりも地震エネルギーの比が高いことが明らかになった(図2)。また、2015年5月の噴火に伴う地震から力源を推定し、力の大きさとパルス幅を求めた。そして、典型的なブルカノ式噴火と同様で、力から噴出率を推定し噴煙高度に換算したところ、噴煙高度23 kmと推定され、実際の日視観測の9 kmのより有意に高いため、さらなる検討が必要である。

②最近国内で発生した水蒸気爆発に伴う地震と傾斜の記録の比較

最近発生した国内の水蒸気噴火事例(霧島山:2010年5月27日;口永良部島:2014年8月3日;御嶽山:2014年9月27日;阿蘇山:2015年9月14日;草津白根山:2018年1月23日)について地震動記録と傾斜計記録を収集し、噴火前後の信号について比較を行った。その結果、草津白根山2018年・御嶽山2014年・口永良部島2014年では、噴火の数分前から火山性微動が明瞭となり、加速度的に傾斜変化が進行したあと、噴火と同時にしくは直前に傾斜変化の極性が反転するという共通の特徴が見られることが明らかになった(図4)。

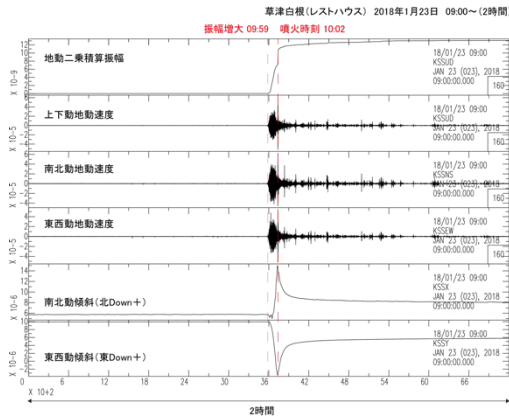


図4. 本白根山2018年1月23日噴火前後の地震と傾斜の変化。

③空振と噴煙高度から推定した噴出量の比較

ブルカノ式噴火や水蒸気爆発など比較的噴火継続時間の短い噴火に伴う地震と噴煙高度との関係を検討した。これらの噴火では空振の波形はパルス状をしており、パルス状の空振波形の噴火では、噴煙はサーマル近似にてモデル化されている。そこで、Terada and Ida (2007)の手法にて既報告値の噴煙高度からサーマルの初期浮力の推定し、浮力から噴煙体積(噴出量) V_b を求めた。また、同じ噴火について空振から噴出量 V_{inf} を推定した。霧島新燃岳、阿蘇山、桜島、口永良部島、Lokon-Empungの5火山の53噴火をデータとした。 V_b と V_{inf} を比較したところ、 V_b/V_{inf} の値は1以上となり、6割以上が3~30の範囲に分布することが分かった(図5)。これにより、空振から噴出量を推定する妥当性が評価できた。

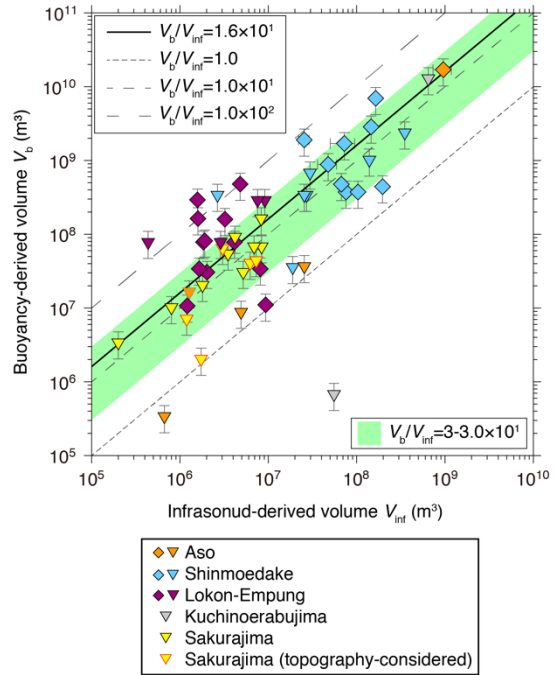


図5. 空振から推定した噴煙体積 V_{inf} と初期浮力から推定した噴煙体積 V_b の関係。

(2)気象レーダー観測による噴煙検知

①霧島山新燃岳2017年・2018年噴火

霧島山新燃岳(標高1421 m)において2017年10月及び2018年3・4月に噴火が発生した際に取得されたレーダー反射強度分布を図6と図7に示す。2017年10月の一連の噴火での気象庁の日視観測から噴煙最高高度は3400 mとされている。10月12日の12時頃にはレーダーエコーは3500 mに達したことがわかる(図6)。

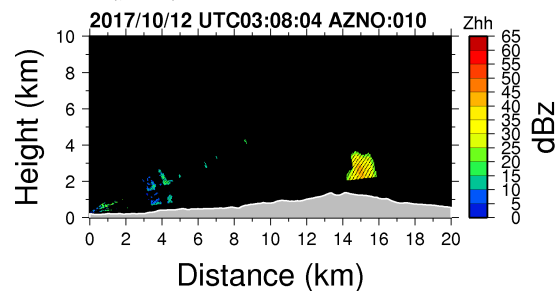


図6. 霧島山新燃岳2017年10月12日12時頃の噴火時のレーダー反射強度。

2018年3月9日のブルカノ式噴火では目視高度は海拔4633 mに達しており、レーダーエコーの高度は約5000 mまで確認できた(図7)。2018年4月5日のブルカノ式噴火では海拔高度3932 mにおいて雲入りと目視観測にて報告されている。レーダーではエコーが約9000 mの高度まで観測されている(図8)。気象衛星データの解析により、噴煙は約9400 mまで上がったと推定されており、レーダーエコーの高度は気象衛星の解析結果とほぼ一致している。したがって、曇天時においてもレーダーエコーから噴煙高度を推定する有用性が確

かめられ、レーダー観測により即時的に噴火規模推定をする道筋が開けたと言えよう。

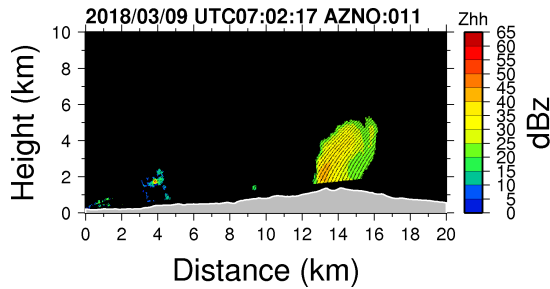


図7. 霧島山新燃岳 2018年3月9日16時頃の噴火時のレーダー反射強度.

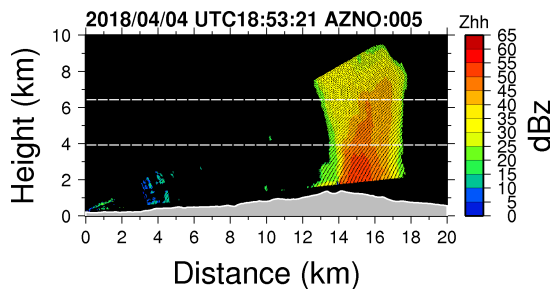


図8. 霧島山新燃岳 2018年3月9日16時頃の噴火時のレーダー反射強度.

② 桜島南岳 2017年噴火

桜島では、ブルカノ式噴火が頻繁に発生するが、2017年11月13日22:07に発生した南岳山頂火口の噴火は2017年の桜島の噴火では最大規模である。山頂上空に雲がかかっていたため、噴煙高度は報告されていないが、火口から5.6 km西にある火山観測所のレーダー観測にて、海拔高度約4 kmまでエコーを追跡できた(図9)。また、桜島南西20 kmの地点に設置されたレーダーにて海拔高度4.2 kmに噴煙のエコーが検出されているが、高度6.2 kmでは検出出来ていないことから、この噴煙は4 km以上の高度に到達したと推定される。よって、複数のレーダーを使うことでより噴煙高度推定がより正確になることが示された。

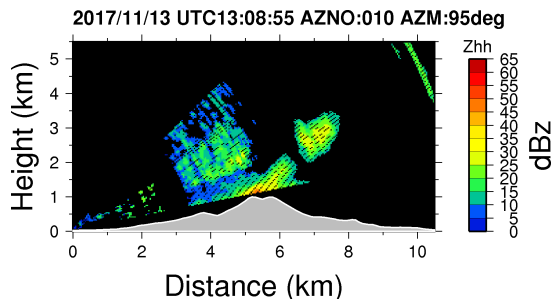


図9. 桜島南岳 2017年11月13日22時頃の噴火時のレーダー反射強度.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5件)

- ① Nakamichi, H., Iguchi, M., Tameguri, T., Sonoda, T., Quantification of seismic acoustic waves to characterize the 2014 and 2015 eruptions of Kuchinoerabujima Volcano, Japan, *Journal of Natural Disaster Science*, 38, 2017, 65–83
https://www.jsnds.org/jnds/38_1_5.pdf
- ② Iguchi, M., Nakamichi, H., Tameguri, T., Yamamoto, K., Mori, T., Ohminato, T., Saito, E., Contribution of monitoring data to decision making for evacuation from the 2014 and 2015 eruptions of Kuchinoerabujima Volcano, *Journal of Natural Disaster Science*, 2017, 31–47
https://www.jsnds.org/jnds/38_1_3.pdf
- ③ Fee, D., Izbekov, P., Kim, K., Yokoo, A., Lopez, T., Prata, F., Kazahaya, R., Nakamichi, H., Iguchi, M., Eruption mass estimation using infrasound waveform inversion and ash and gas measurements: Evaluation at Sakurajima Volcano, Japan, *Earth and Planetary Science Letters*, 2017, DOI:10.1016/j.epsl.2017.09.043
- ④ Yamada, T., Aoyama, H., Nishimura, T., Iguchi, M., Hendrasto, M., Volcanic eruption volume flux estimations from very long period infrasound signals, *Geophysical Research Letters*, 2017, 44, 143–151, DOI:10.1002/2016GL071047
- ⑤ Nishimura, T., Iguchi, M., Hendrasto, M., Aoyama, H., Yamada, T., Ripepe, M., Genco, R., Magnitude-frequency distribution of volcanic explosion earthquakes, *Earth Planets and Space*, 2016, 68, 125, DOI:10.1186/s40623-016-0505-2

[学会発表] (計 4件)

- ① 中道治久, 井口正人, 下村誠, 竹中悠亮, 南九州の火山における小型 X バンド偏波レーダーの展開と噴火観測事例, 日本地球惑星科学連合大会, 2018年5月20日～24日, 幕張メッセ(千葉市)
- ② 中道治久, 青山裕, 地球物理学的多項目観測から見た噴火過程, 日本火山学会秋季大会, 2017年9月21日～23日, 熊本大学(熊本市)
- ③ 山河和也, 市原美恵, 石井杏佳, 青山裕, 西村太志, 室内実験及び Stromboli 空振観測の MUSIC 法による小規模アレイ解析, 日本火山学会秋季大会, 2017年9月21日～23日, 熊本大学(熊本市)
- ④ 山田大志, 青山裕, 西村太志, 井口正人, Hendrasto Muhamad, ブルカノ式噴火に付随して発生する連続噴煙に伴う長周期震動, 日本地球惑星科学連合大会, 2016年5月22日～26日, 幕張メッセ(千葉市)

6. 研究組織

(1)研究代表者

中道 治久 (NAKAMICHI, Haruhisa)
京都大学・防災研究所・准教授
研究者番号：00420373

(2)研究分担者

青山 裕 (AOYAMA, Hiroshi)
北海道大学・理学研究院・准教授
研究者番号：30333595

(3)連携研究者

大石 哲 (OISHI, Satoru)
神戸大学・都市安全研究センター・教授
研究者番号：30252521

(4)研究協力者

山田 大志 (YAMADA, Taishi)
防災科学技術研究所・火山防災研究部門・
特別研究員
寺田 暁彦 (TERADA, Akihiko)
東京工業大学・理学院・講師