

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 23 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25400448

研究課題名(和文) 火山性・非火山性微動の震源位置とメカニズム解の同時推定法の開発と適用

研究課題名(英文) Development and simultaneous determination of hypocenters and mechanisms of volcanic and non-volcanic tremors

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) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：桜島を対象として、火山性地震や微動の震源をリアルタイムにて推定するシステムを構築した。収録システムの共有メモリにあるデータから解析するため、リアルタイム解析が実現した。なお、ハードディスクに保存されたデータの解析も行える。火山性地震と微動の検出には、二つの長さの異なる時間窓のRMS振幅の変化率を用いている。爆発地震の震源は昭和火口から水平距離1kmの範囲で、鉛直方向は海拔上1kmから海拔下3kmに推定された。2015年8月の群発地震の震源は南岳山頂と昭和火口の周辺の深さ2～8kmに分布した。初動による震源と比べて振幅分布による震源は南東方向へと深さ方向への広がりが顕著である。

研究成果の概要(英文)：We installed the real-time hypocenter determination system for volcanic earthquakes and tremor for Sakurajima. The system directory accesses the shared memory of seismic data and determines hypocenters. The detection method for the system uses time derivatives of root-mean-square amplitudes for two different time-length windows to detect volcanic earthquakes and tremors. The hypocenters of explosion earthquakes are located beneath an area around Showa crater at depths of -1 to 3 km below sea level. The hypocenters of earthquake swarm occurred in August 2015 are located beneath an area around Minamidake summit and Showa crater at depths of 2 to 8 km below sea level.

研究分野：火山物理学

キーワード：火山現象 火山性微動 爆発地震 震源 振幅分布 リアルタイム トリガー機能 共有メモリ

1. 研究開始当初の背景

(1)火山や沈み込み帯において発生する微動や火山性地震は初動が不明瞭であるため震源位置とメカニズムを推定するの容易ではない。火山における地震観測が行われているが、ルーチン解析においては初動にて震源決定出来ない微動や続発した地震の震源は決定されていない。そのため、火山性地震や微動の検知と震源決定をリアルタイムに行うシステムの開発と導入が必要である。

2. 研究の目的

(1)火山性地震や火山性微動の震源位置をリアルタイムにて推定するシステムを構築し運用することが目的である。火山性地震や火山性微動は震動の初動の立ち上がり不明瞭であるが、メカニズムが等方的であるもしくは、地震波の散乱によって遠方では地震波放射パターンがほぼ等方的であると仮定することが可能である。そこで、震源からの距離にしたがって振幅が減衰する(幾何減衰)の特性をつかった震源決定法をリアルタイム震源決定システムに組み込むことが目的である。

3. 研究の方法

(1)定常観測データの量と質、そして確保できる研究時間などの都合から、桜島火山を対象とした。定常観測データをリアルタイム解析して震源決定をするにあたって、観測点数からマイグレーション法を適用するには少なすぎることから、振幅分布を用いる方法を採用した。

(2)WINデータ packets を定常観測データ収録システムの共有メモリに格納後、火山性微動および地震を検出して、振幅分布により震源を決定するシステムである。データをハードディスクに保存することなく震源決定するためリアルタイム解析が可能である。なお、同じシステムにてハードディスクに保存されたデータの解析も可能である。

(3)二つの長さの異なる時間窓(短時間窓と長時間窓)のRMS振幅の変化率を判定基準とした、リアルタイムの火山性地震と火山性微動の検出機能をリアルタイム解析システムに組み込んだ。

(4)振幅分布を用いた震源決定においては各観測点における地震波増幅特性の補正が必要である。そこで、コーダ正規化法にて観測点毎の増幅特性を求めた。2013年~2015年に九州にて発生したM4以上深さ10kmの地震(102個)(図1)の波形に5-9Hzのバンドパスフィルターを施し、コーダ波振幅がノイズ振幅の3倍以上の場合にコーダ波のRMS振幅を求め統計処理をした結果を増幅特性値とした。

4. 研究成果

(1)有村観測坑道観測点(AR1)を基準に各観測点の増幅特性は0.8~7.4の範囲に分布した(表1)。統計処理に使用した地震数が観測点

毎に異なるが、30~90の範囲に入る。SN比が低い傾向の観測点では使用した地震数が少ない傾向がある。

表1. 地震波増幅特性

Station	Amplification factor	SD	# data
AR1	1.0	none	none
AR5	1.090	0.223	48
ARIN	1.120	1.344	37
HAR	0.821	0.878	30
HIK	7.441	6.246	93
KAB	1.180	0.934	44
KOMN	1.270	1.628	36
KURN	1.821	2.769	44
OKO	0.970	0.517	37
V.SFT2	1.541	1.146	55
V.SKA2	2.107	1.148	60
V.SKD2	1.073	0.974	41
V.SKRC	3.334	1.425	79
V.SKRD	3.229	2.880	77

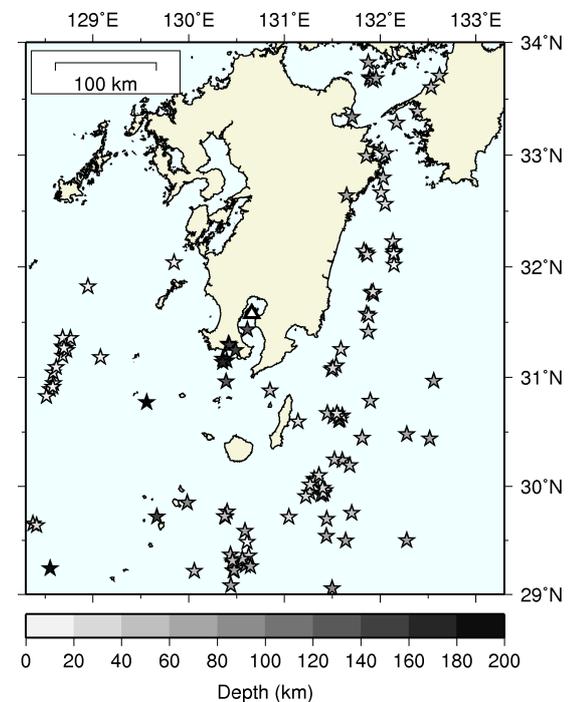


図1. 地震波増幅特性補正值推定に使用した地震の震央分布。

(2)爆発地震と噴火微動の震源は昭和火口から水平距離1kmの範囲に推定されるが、鉛直方向は海拔上1kmから海拔下3kmに推定され、

ばらつきが大きい結果となった。一方、調和振動的な火山性微動の震源は昭和火口から水平距離 1km の範囲かつ、鉛直方向はほぼ 0km の深さに安定的に推定された。

(3)2015 年 8 月 15 日の群発地震に手法を適用したところ、震源は南岳山頂と昭和火口の周辺の深さ 2~8km に分布した (図 2)。

(4)初動による震源決定結果と比較した (図 2)。初動による震源は南岳山頂直下 2-4km に集中して分布しているが、振幅分布による震源は北西-南東方向に広がっている。特に南東方向への広がりが顕著であり、深さ方向へは 8km へと広がっている。

(5) また、GNSS、傾斜計、伸縮計データから推定した貫入ダイクの位置 (図 2 の矩形) と比較したところ、初動による震源は貫入ダイクに比べて 1km 程度西に位置するが、振幅分布による震源は貫入ダイクの直下に位置する (図 2)。振幅分布による震源と貫入ダイクの位置から、マグマ貫入に際して周辺にて地震が発生し、そして火山構造性地震を起こさない深さ (深さ 2km より浅い部分) にマグマが貫入して停止したと解釈することができる。

(5) 今後は、現在稼働中のリアルタイム震源決定システムの解析結果を用いて、振幅分布による震源の広がりについて検討を進めていく予定である。

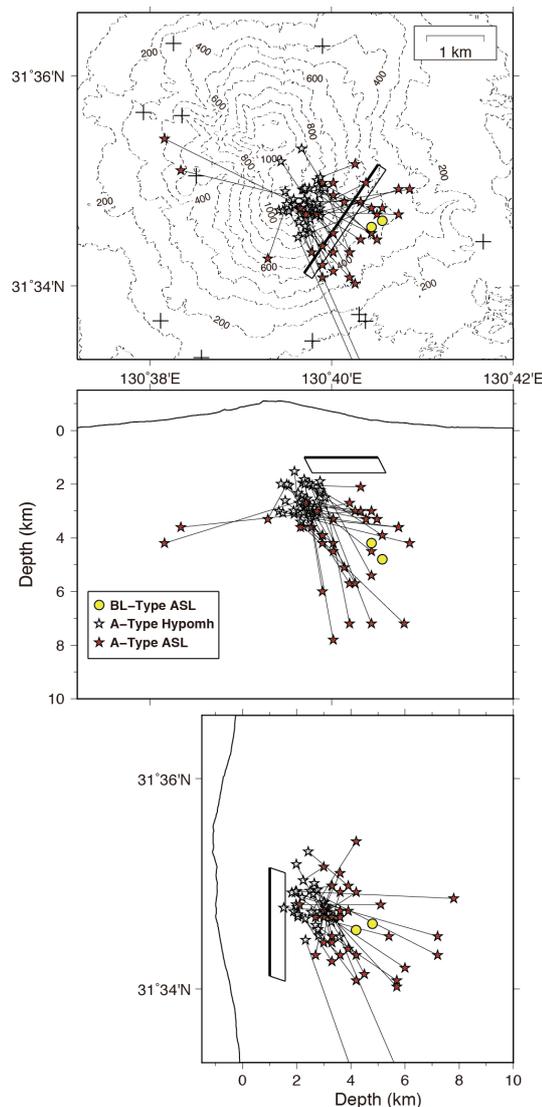
図 2 (右上)。震源決定結果。赤星は振幅分布を用いたリアルタイム震源決定結果で、白抜き星は初動読み取りによる震源決定結果である。赤星と白抜き星とを結ぶ線は同じ地震であることを示す。矩形は Hotta et al. (2016) による貫入ダイク位置と形状を示す。黄色丸は振幅分布を用いて決定した低周波地震 (BL 型) の震源を示す。

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 8 件)

- ① 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, 火山, 査読有, 61 巻, 2016, 119-154
- ② Tsutsui, T., Iguchi, M., Tameguri, T., Nakamichi, H., Structural evolution beneath Sakurajima Volcano, Japan, revealed through rounds of controlled seismic experiments, J. Volcanol. Geotherm. Res., 査読有, 315 巻, 1-14, DOI:10.1016/j.jvolgeores.2016.02.008
- ③ 浜口博之, 植木真人, 中道治久, 1888 年磐梯山水蒸気爆発に関するノート (3) 1888 年の水蒸気爆発論考に潜むジレンマ, 火山, 査読有, 59 巻, 2014, 287-298



- ④ 中道治久・他, 2013 年桜島人工地震探査の概要と 2008 年探査との比較, 京都大学防災研究所年報, 査読無, 57B 巻, 2014, 125-137
- ⑤ Nakamichi, H., Yamanaka, Y., Terakawa, T., Horikawa, S., Okuda, T., Yamazaki, F., Continuous long-term array analysis of seismic records observed during the 2011 Shinmoedake eruption activity of Kirishima volcano, southwest Japan, Earth Planets Space, 査読有, 65 巻, 2013, 551-562, DOI:10.5047/eps.2013.03.002
- ⑥ Terakawa, T., Yamanaka, Y., Nakamichi, H., Watanabe, T., Yamazaki, F., Horikawa, S., Okuda, T., Effects of pore fluid pressure and tectonic stress on diverse seismic activities around the Mt. Ontake volcano, central Japan, Tectonophysics, 査読有, 608 巻, 2013, 138-148, DOI:10.1016/j.tecto.2013.10.005
- ⑦ Nishimura, T., Iguchi, M., Yakiwara, H., Oikawa, J., Kawaguchi, R., Aoyama, H., Nakamichi, H., Ohta, Y., Tameguri, T., Mechanism of small vulcanian

eruptions at Suwanosejima volcano, Japan, as inferred from precursor inflations and tremor signals, Bull. Volcanol., 査読有, 75 巻, 2013, 779, DOI:10.1007/s00445-013-0779-1

- ⑧ 中道治久, 青山裕, 西村太志, 八木原寛, 太田雄策, 横尾亮彦, 井口正人, 諏訪之瀬島火山における火口に近接した地震系アレイ観測-2010年10月~11月実施-, 京都大学防災研究所年報, 査読無, 56B 巻, 2013, 227-235

[学会発表] (計7件)

- ① 中道治久, 井口正人, 為栗健, 園田忠臣, 2014年・2015年口永良部島火山噴火に伴う地震・空振の比較, 日本火山学会秋季大会, 2015年9月28日~30日, 富山大学(富山市)
- ② Nakamichi, H., Iguchi, M., Triastuty, H., Hendrasto, M., Mulyana, I., Seismic activity prior the 2014 eruption of Kelud volcano, east Java, Indonesia comparison with the 2007 eruption, Cities on Volcanoes 8, September 9-13, 2014, Yogyakarta (Indonesia)
- ③ 中道治久, 井口正人, Triastuty, H., Hendrasto, M., Mulyana, I., 2014年ケルウト火山噴火に先行した地震のエネルギー放出量, 日本火山学会秋季大会, 2014年11月1日~4日, 福岡大学(福岡市)
- ④ 中道治久, ・他, 2013年桜島人工地震探査の概要と2008年実施探査との比較, 日本地球惑星科学連合大会, 2014年4月28日~5月2日, パシフィコ横浜(横浜市)
- ⑤ Nakamichi, H., Activities and source mechanisms of volcanic deep low-frequency earthquakes and its implication for deep crustal process in magmatic arc, AGU Fall Meeting (招待講演), 2013年12月9日~13日, San Francisco (USA)
- ⑥ 中道治久・他, 反射法探査データを用いた昭和火口の爆発地震のアレイ解析, 日本火山学会秋季大会, 2013年9月29日~10月1日, 猪苗代町体験交流館(猪苗代町)
- ⑦ Nakamichi, H., Yamanaka, Y., Terakawa, T., Horikawa, S., Okuda, T., Yamazaki, F., Detection and location of weak continuous tremor episodes using a seismic array during the 2011 Shinmoedake eruption activity of Kirishima volcano, southwest Japan, IAVCEI General Assembly, 2013年7月20日~24日, 鹿児島市

[その他]

ホームページ等

<http://www.svo.dpri.kyoto-u.ac.jp/svo>

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