

桜島火山における震源再決定と自然地震観測

為栗 健*・井口正人*・寺石 眞弘*・大倉敬宏**・園田忠臣*

* 京都大学防災研究所

** 京都大学大学院理学研究科

要 旨

2008年人工地震探査により得られたデータを用いて、桜島の3次元P波速度構造を求めた。桜島北東部の深さ1~2kmには低速度異常が見られた。また、山頂火口北側の北岳付近の下に高速度領域が盛り上がっている。得られた3次元P波速度構造を用いて、A型地震の震源再決定を行った。震源は半無限均質構造で決定したものより数100m浅くなり、浅部の地震は山頂火口の東側に位置するものが多い。今回の解析では2km以深の構造は求められなかった。より深部の構造を明らかにするために、南九州一帯において臨時地震観測を開始した。

キーワード: 桜島火山, 人工地震探査, 3次元P波速度構造

1. はじめに

南岳山頂火口は1955年の爆発的噴火の開始後、現在まで噴火活動を続けているが、2000年以降は山頂噴火活動が低減傾向にあった。そのような活動の中、2006年6月に山頂火口の東側斜面にある昭和火口において58年ぶりに噴火が発生し、2007年以降、噴火回数、規模ともに活発化の傾向をたどっている。2006年の昭和火口噴火前後にA型地震の地震活動、発生領域に大きな変化は見られず、山頂直下浅部でのみ発生していた（為栗ら、2008）。現在、昭和火口における噴火活動は活発になっているが、2008年以降もA型地震の活動に大きな変化は見られない。

山頂付近、特に昭和火口下における地震の発生状況を明らかにするため、2007年以降、京都大学防災研究所附属火山活動研究センター（以下、SVRC）の定常地震観測網より火口近傍に臨時地震観測点を設置して、火山性地震の観測を行っており、現在も継続している。定常地震観測網のうち、山頂南側の観測点では震源決定の走時残差が負、火口に近い観測点は正になることが多い。この残差の違いは地震波伝播経路の速度異常の可能性があり、震源決定結果に影響を及ぼしていると考えられる（為栗ら、2008）。

山頂および昭和火口周辺において発生する地震の正確な震源位置を求めるためには、桜島島内の3次元速度構造を知る必要がある。

2008年11月に桜島および始良カルデラ周辺において人工地震を用いた地震波探査が行われた（井口ら、2009）。本報告では、人工地震探査のデータを用いて、桜島島内の3次元P波速度構造を求め、その構造により震源再決定を行った。また、2008年人工地震探査では得られなかった、より深部の構造解明のために、南九州一帯において臨時地震観測網を展開し、自然地震観測を開始したので報告する。

2. 速度構造解析

2008年11月に桜島島内および始良カルデラ周辺における15ヶ所でダイナマイトの発破を行い、人工地震を用いた地震波探査を行った（井口ら、2009）。8ヶ所の大発破による人工地震を458観測点に設置した地震計によって記録されたP波初動の到達時を用いて、桜島島内の3次元P波速度構造を推定した。また、SVRCの定常地震観測点および臨時地震観測点のP波初動到達時も解析に用いている。初動読取精度が

±0.10s以内のものを選んだ結果、2485個のP波初動の読取値を解析に使用した。3次元速度構造はOnizawa et al. (2007) のトモグラフィーインバージョン法を用いて推定した。初動読取データは読取誤差により3種類の重みがけを行っており、読取誤差±0.01s以内、±0.03s以内、±0.10s以内にデータを分類し、それぞれ読取誤差の逆数を重みがけしている。Fig. 1にインバージョンに使用した1次元P波速度構造を示す。初期データとしての1次元P波速度構造は、海面上は1.0km/s、深さ0-2kmは3.0km/s、深さ2-4.5kmは5.6km/sと仮定した。Fig. 2にインバージョンを行うブロックを示す。波線数を考慮し、ブロックサイズは1km×1km×1kmとした。発破点は桜島島外にもあり、島内ブロックの速度構造を求めるために、島の外側にもブロックを仮定した。そのブロックサイズは3km×3km×3kmとした。今回の解析では、桜島下の2km以深では波線が十分に通っておらず、解の信頼性はなかった。

3. 桜島島内の速度異常

Fig. 3に解析で得られた深さ0km, 1km, 2km断面の3次元速度構造を示す。深さ0km断面では、山頂火口の北～北北西側および南東側が3.0km/s～3.5km/sと高速度である。一方、海岸周辺部は2.0km/s～2.5km/sと低速度となる結果が得られた。深さ1km断面では、桜島南東部の高速度が顕著に見られ、北東部では低速度領域が見られる。深さ2km断面では北東部の低速度領域がより桜島中心部まで及んでいる結果が得られた。

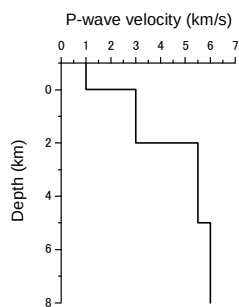


Fig. 1 1-dimensional velocity structure model for tomography inversion.

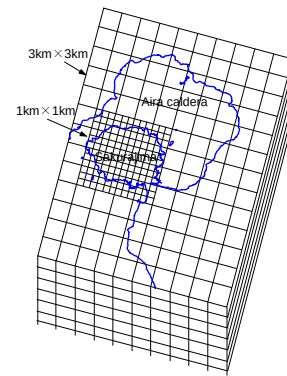


Fig. 2 Schematic of inversion block.

Fig. 4に深さ0km断面と南岳山頂火口を通る深さ方向の東西、南北断面の速度構造を示す。高速度の盛り上がりが南岳山頂火口の北北西側に見られる。この高速度の盛り上がりは北岳付近の下に位置し、古い桜島火山の山体によるものかもしれない。深さ1km断面における北東部の低速度異常は深さ2km断面でも見られ、より桜島中心部に向かっていている。これは駒澤ら（2008）の重力基盤深度が鍋山付近から始良カルデラに向かって深くなっており、その深度が海水準下2kmを越えている事と調和的である。また、大隈半島から桜島南東部においては基盤が表層付近にあり、本解析の桜島南東部の高速度領域と一致する。前述したSVRCの定常地震観測網の南側の観測点で残差が負になることが多いのは、この高速度領域のためであろう。

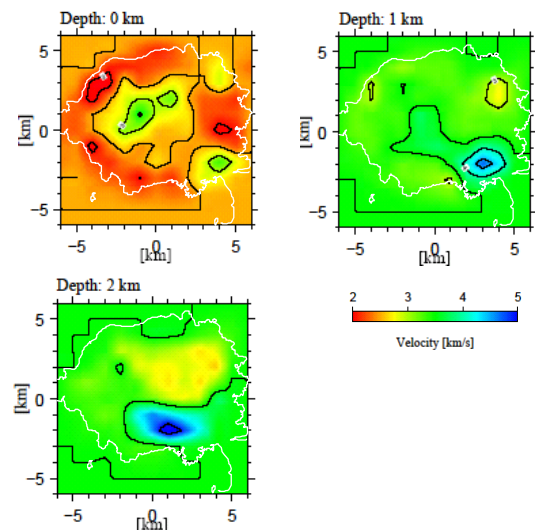


Fig. 3 Three-dimensional P-wave velocity model.

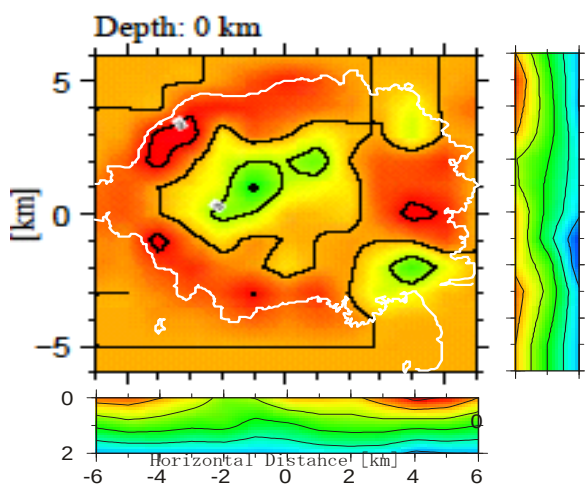


Fig. 4 Cross sections of EW and NS at the summit crater of three-dimensional P-wave velocity model.

4. 震源再決定

得られた3次元P波速度構造を用いて、2001年～2009年に発生したA型地震の震源再決定を行った。本解析では2km以深の構造が得られなかったため、深さ2km以下はFig. 1の1次元速度構造を使用している。震源決定の精度を落とさないため、定常観測網でP波初動の到達時刻読み取り数が8個以上、S波の読み取り数が4個以上のものについて解析対象とした。なお、S波については得られたP波速度に対して、 $V_p/V_s = 1.73$ を用いて計算している。

Fig. 5に震源決定結果を示す。震源分布は大きく分けて2ヶ所あり、2003年～2004年に多く発生した桜島南西部と山頂付近である。2km以浅の地震の平均残差は半無限均質構造の場合は0.08s、3次元速度構造の場合は0.04sであり、3次元速度構造を使用することにより残差が向上した。3次元速度構造を用いた震源位置は深さが数100mほど浅くなる。南岳山頂付近で発生している地震については火口の山頂直下1kmより深い地震は全体的に200mほど東側に移動した。浅部の地震については、一定方向への震源位置の変化は見られないが、南岳山頂火口内に求まっていた震源は西に移動し、火口の西端付近に決定された。北岳付近で発生する地震は北東から南西方向に列をなすように分布している。これはFig. 3の北岳付近の高速度領域の南端に位置する。

5. 自然地震観測

2008年人工地震探査で得られた3次元速度構造では、深さ2km以深の構造が得られていない。始良カルデラ基盤以深の構造、始良カルデラおよび桜島のマ

グマ供給系などを明らかにするためには、探査深度

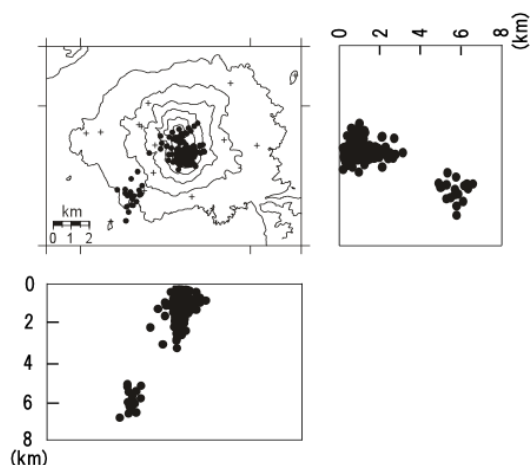


Fig. 5 relocated hypocenters of A-type earthquakes during 2001-2009.

をより深くする必要がある。そのため、鹿児島県および宮崎県南部の南九州一帯において、自然地震観測を行うことにした。始良カルデラ周辺に17ヶ所の臨時地震観測点を設置した (Fig. 6)。データロガーは近計システム社製EDR-X7000を使用し、250Hzで収録を行っている。地震計は2Hz3成分型 (近計システム社製KVS-300) を12台、1Hz3成分型 (Mark Products L4C) を5台設置した。バッテリーは48Ah、4GByteのCFカードを3枚使用することにより、3ヶ月間の連続観測が可能である。今後は、京都大学防災研究所火山活動研究センターの定常地震観測点および海底地震観測、防災科学技術研究所のHi-net観測点のデータと統合を行い、自然地震のP波、S波到達時を用いて、3次元速度構造を求める予定である。

6. まとめ

2008年人工地震探査で得られたデータを用いて、桜島島内の3次元速度構造を推定した。桜島北東部には低速度異常が見られる。また、山頂火口北側の北岳付近の下に高速度領域が盛り上がっている。A型地震の震源再決定を行った結果、半無限均質構造の震源決定より走時残差は改良された。震源位置は山頂直下の場合、数100m浅くなり、火口の東側で発生したA型地震はより東側に位置する結果が得られた。



Fig. 6 Location of temporary seismic stations. Red circles and squares indicate 2Hz and 1Hz seismometers installed temporarily, respectively. Yellow and white circles around Aira caldera indicate permanent stations operated by SVRC and Hi-net stations of National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, respectively.

桜島および始良カルデラのより深部の構造を明らかにするために南九州一帯において、自然地震観測を開始した。

謝 辞

本解析に使用した人工地震探査データは2008年桜

島人工地震探査グループのメンバーによって得られたものである。また、臨時観測においては、鹿児島県、設置場所各市町の関係者、各森林管理署、土地所有者の方々に協力をいただいた。皆様に謝意を表する。

参考文献

- 井口正人・他82名（2009）：2008年桜島人工地震探査の目的と実施，京都大学防災研究所年報，第52号B，pp. 293-307.
- 駒澤正夫・中村佳重郎・山本圭吾・井口正人・赤松純平・市川信夫・高山鉄朗・山崎友也（2008）：桜島の重力異常について－火山の密度から見た内部構造－，京都大学防災研究所年報，第51号B，pp. 261-266.
- 為栗 健・井口正人・山崎友也・高山鉄朗（2008）：桜島火山における火山性地震観測の強化，第10回桜島火山の集中総合観測，pp. 19-25.
- Onizawa, S., Oshima, H., Aoyama, H., Mori, H., Maekawa, T., Suzuki, A., Tsutsui, T., Matsuwo, N., Oikawa, J., Ohminato, T., Yamamoto, K., Mori, T., Taira, T., Miyamachi, H. and Okada, H. (2007): P-wave velocity structure of Usu volcano: Implication of structural controls on magma movements and eruption locations, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Vol. 160, pp. 175-194.

Relocation of A-type earthquakes at Sakurajima Volcano and observation of natural earthquakes

Takeshi TAMEGURI*, Masato IGUCHI*, Masahiro TERAISHI*, Takahiro OHKURA**, Tadaomi SONODA*

* Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

** Graduate School of Science, Kyoto University

Synopsis

Three-dimensional P-wave velocity structure of Sakurajima volcano was investigated by using data of 2008 active seismic survey of Sakurajima. A low velocity anomaly at the depth of 1-2 km of NE part and high velocity anomalies below the Kitadake and SE part of the summit crater were detected. Hypocenters of A-type earthquakes were relocated by using obtained the three-dimensional velocity structure. The hypocenters moved to 200-300m shallower part than those determined by using homogeneous structure. And,

Shallow earthquakes moved to 200m east. We started temporary seismic observations around Aira caldera, in order to investigate deeper structure of Sakurajima volcano and Aira caldera.

Keywords: Sakurajima volcano, artificial explosion experiment, three-dimensional P-wave velocity structure