

# 高密度地震観測網による火山性地震の震源決定

福岡管区気象台火山監視・情報センター

増田 与志郎

鹿児島地方気象台観測予報課

平松 秀行

京都大学防災研究所

井口 正人・為栗 健

## 1. はじめに

桜島火山は、姶良カルデラの南縁部に生じた安山岩～デイサイト( $\text{SiO}_2$  57～67%)の成層火山で、北岳、中岳、南岳の3峰と権現山、鍋山、引ノ平などの側火山からなる。有史後の山頂噴火は南岳に限られるが、山腹や付近の海底からも噴火している。多量の溶岩を流出した、「天平」、「文明」、「安永」、「大正」、「昭和」の大噴火はすべて山腹噴火である。南岳山頂火口では、1955年(昭和30年)10月の爆発以来、現在に至るまで活発な活動を続けている(気象庁、2005)<sup>1)</sup>。2006年6月には昭和火口で58年ぶりに噴火し、2007年6月および2008年2月にも再び噴火した。いずれの噴火活動も短期間で終了しているものの、2008年2月の噴火では小規模な火碎流が発生するなど、活動は徐々に活発化する傾向にあり、1946年の「昭和」噴火と同程度の噴火が発生する可能性も指摘されている。一方、南岳山頂火口直下では定常的な地震活動が続いているおり、昭和火口の噴火活動に関連する地震活動と区別するためには火山性地震の震源を高精度に決定する必要がある。火山噴火予知計画に基づいて、2007年度の集中総合観測が桜島火山において実施された。本稿では、気象庁(以下、JMA)および京都大学防災研究所附属桜島火山活動研究センター(以下、SVO)の観測点網を併合した高密度地震観測網により火山性地震の高精度震源決定を行なった。

## 2. 観測点網の概要

現在、桜島の島内および沖小島、新島にはJMAが7点、SVOが10点の地震観測点を設置している(図1、表1)。今回の集中総合観測においては、JMAおよびSVOの両観測点を併合した高密度観測点網を使用した。これにより、特に桜島東部の観測点配置が密になった。JMAは観測点をすべて地表に設置しているのに対し、SVOはほとんどの観測点を地中(ボアホール)に設

表1. 地震観測点の概要

所属	観測点	緯度[Deg.]	経度[Deg.]	標高[m]	設置場所	備考
JMA	SKRA	31.5920	130.6128	46	地表	速度型(固有周期1秒)
JMA	SKRB	31.5937	130.6392	455	地表	速度型(固有周期1秒)
JMA	SKRC	31.5553	130.6428	119	地表	速度型(固有周期1秒)
JMA	SKRD	31.5737	130.6945	130	地表	速度型(固有周期1秒)
JMA	SKRE	31.6120	130.6842	135	地表	速度型(固有周期1秒)
JMA	SARM	31.5567	130.6633	90	地表	速度型(固有周期1秒)
JMA	SFTM	31.6047	130.6650	399	地表	速度型(固有周期1秒)
SVO	HAR	31.5942	130.6321	52	ボアホール	広帯域
SVO	ARI	31.5579	130.6632	19	ボアホール	広帯域
SVO	KUR	31.5837	130.7015	-243	ボアホール	広帯域
SVO	KOM	31.6150	130.6860	41	ボアホール	広帯域
SVO	HIK	31.5841	130.6418	544	地表	広帯域
SVO	KOI	31.5905	130.6097	23	地表	速度型(固有周期1秒)
SVO	KAB	31.6051	130.6377	237	ボアホール	速度型(固有周期1秒)
SVO	OKO	31.5457	130.6155	-350	ボアホール	速度型(固有周期1秒)
SVO	SBT	31.5611	130.6353	16	ボアホール	速度型(固有周期20秒)
SVO	SHN	31.6189	130.7241	-332	ボアホール	加速度計

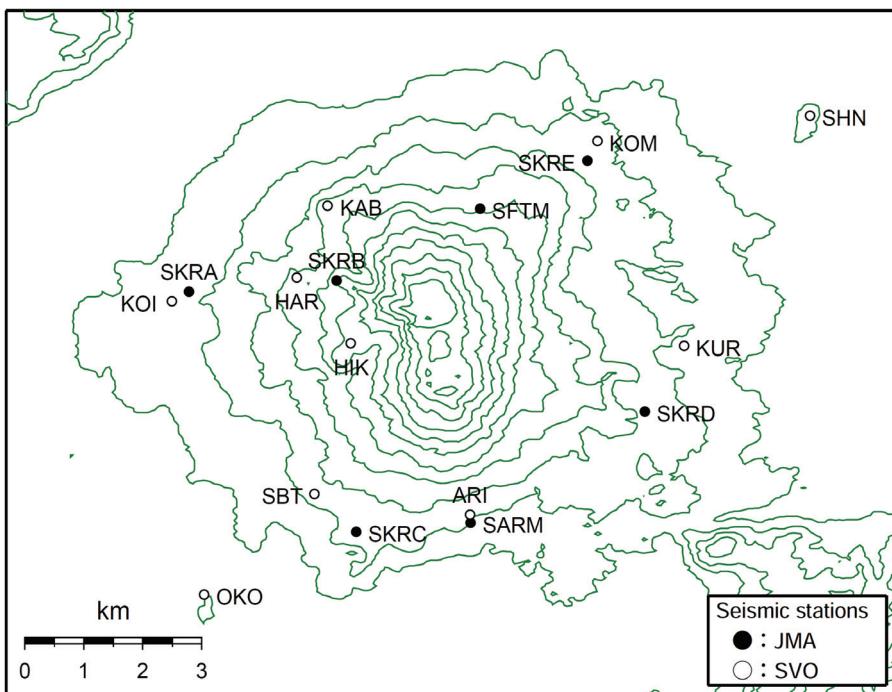


図1. 地震観測点位置図

置しており、地表付近の擾乱ノイズの影響を受けずに S/N の良い波形データが得られている。隣接した位置関係にある SKRB (JMA) と HAR (SVO) における A 型地震の震動波形を図2に示す。地表に設置した SKRB ではノイズレベルが高く、P 波及び S 波の立ち上がりは不明瞭な場合が多い。一方、地中に設置された HAR では P 波及び S 波の立ち上がりは明瞭である。

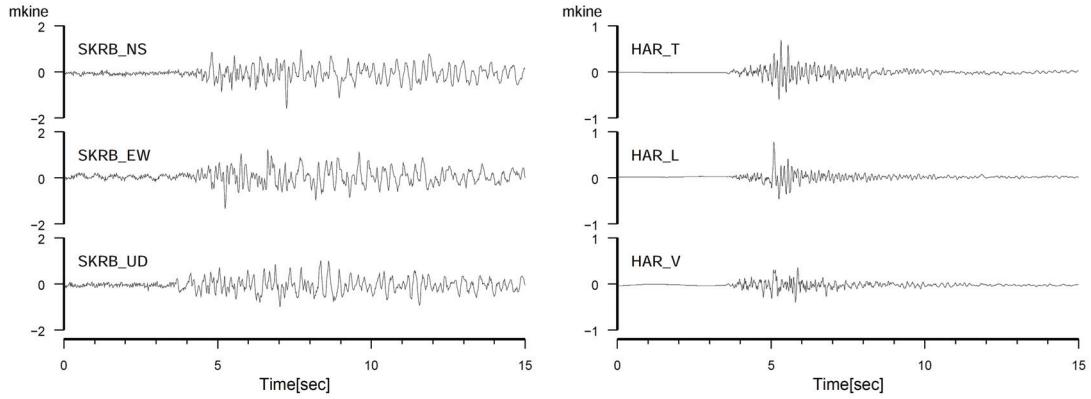


図 2. 隣接する地表設置観測点 SKRB(左)とボアホール観測点 HAR(右)で観測されたA型地震の波形例(3成分)

### 3. 波形検測

今回の集中総合観測においては、2007年5月～2007年12月に発生した火山性地震のうち、立ち上がりが比較的明瞭なイベントを選定した。それらについて、JMA および SVO 両観測網の波形データを交換し検測を行い、検測値データの併合処理により高精度の震源決定を行なった。集中観測の期間において、初動を精度良く読み取れたイベントは少なく、対象イベント数は A 型地震が 26 個、B 型地震が 16 個、爆発地震が 1 個の計 43 個であった。JMA と SVO の波形ファイルを結合し、地震波形検測支援プログラム win(ト部・東田, 1992)<sup>2)</sup>を用いて、双方の観測点の P 波および S 波到達時刻の検測を行なった。地表設置の観測点ではノイズ等の影響で読み取りの誤りが生じやすいため、隣接する地中設置の観測点の波形と比較しながら検測を行なった。

win の検測においては初動が到達したと推定される時間的な幅を読み取る。この時間幅を「読み取り誤差」と呼ぶこととする。初動の立ち上がりが明瞭な場合、サンプリング間隔と同程度の読み取り誤差で初動を確定できるが、立ち上がりが不明瞭な場合、読み取り誤差は大きくなる。図 3 に各観測点における検測の読み取り誤差の度数分布を示す。A 型地震では、P 波初動は概ね 0.03 秒以内の読み取り誤差で確定している。S 波初動の読み取り誤差は概ね 0.04～0.1 秒であり、P 波初動の 2～3 倍の読み取り誤差となっている。B 型地震や爆発地震では、A 型地震に比べ読み取り誤差が大きく、震源決定精度も悪くなると考えられる。全体的に、地表設置観測点に比べ地中設置観測点は初動の立ち上がりが明瞭で、読み取り誤差が小さい。地表設置観測点でも、HIK, SARM, SFTM といった観測点では比較的明瞭に初動を検測できた。南岳からの距離が長いことが影響しているのかもしれないが、地中設置観測点でも島東部の観測点 (KUR, KOM) は P 波初動の立ち上がりが不明瞭であり、読み取り誤差が大きい。地表設置観測点の

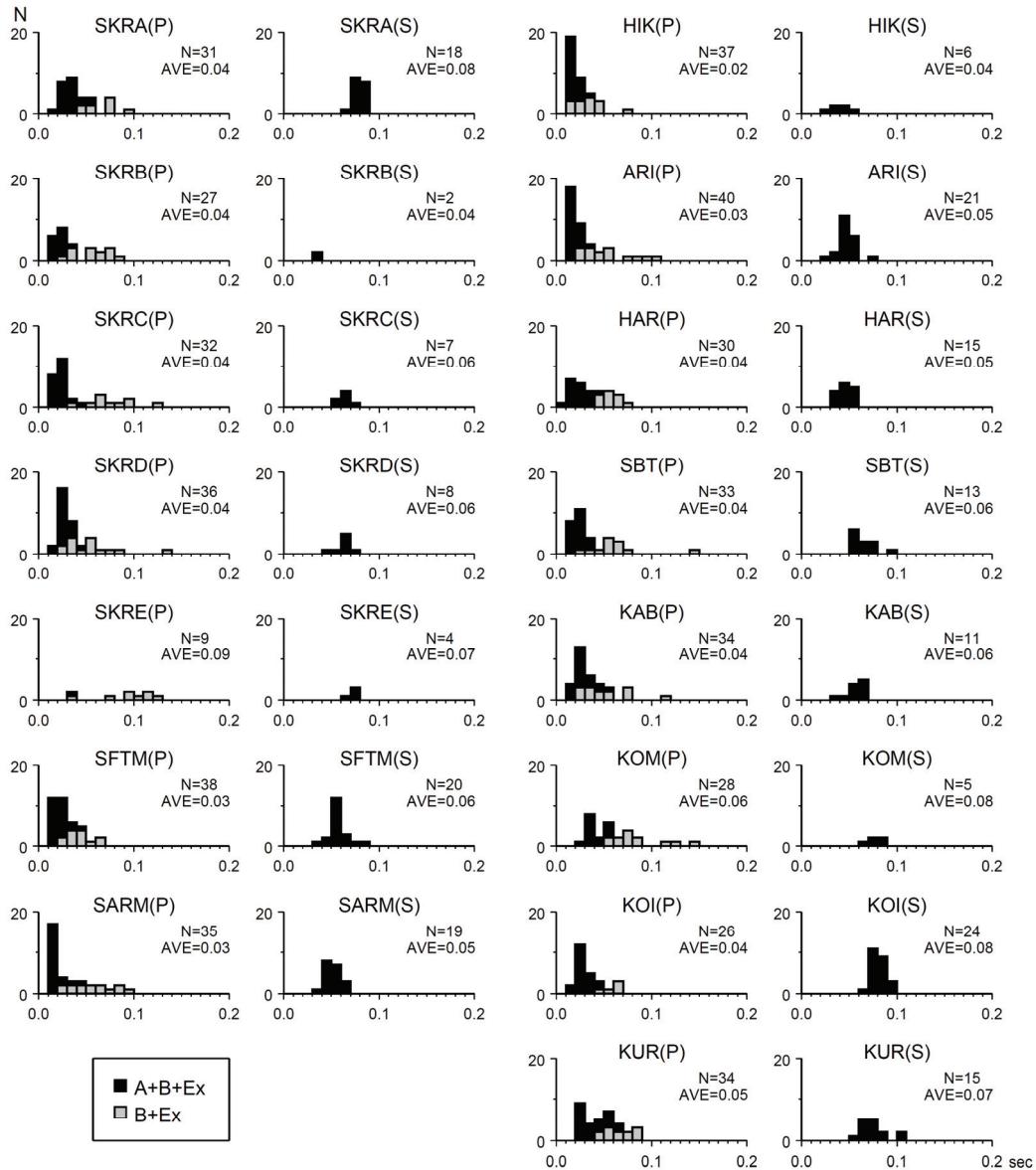


図 3. 初動検測における読み取り誤差の度数分布。検測数(N)および平均(AVE)は全イベントに対してのものである。

SKRD はP波初動が比較的明瞭に読めているため、観測点配置を考えても重要な観測点である。なお、理由は後述するが、OKO 及び SHN は検測対象から除外している。

#### 4. 震源決定

桜島周辺の JMA および SVO の観測点におけるP波初動およびS波初動の到達時刻を用いて火山性地震の震源位置を求めた。震源決定精度を低下させないために、A 型地震については「P 波の到達時刻読み取り数が 10 個以上、かつ、S 波の到達時刻読み取り数が 5 個以上」のイベントのみ、B 型地震および爆発地震については「P 波の到達時刻読み取り数が 10 個以上」の

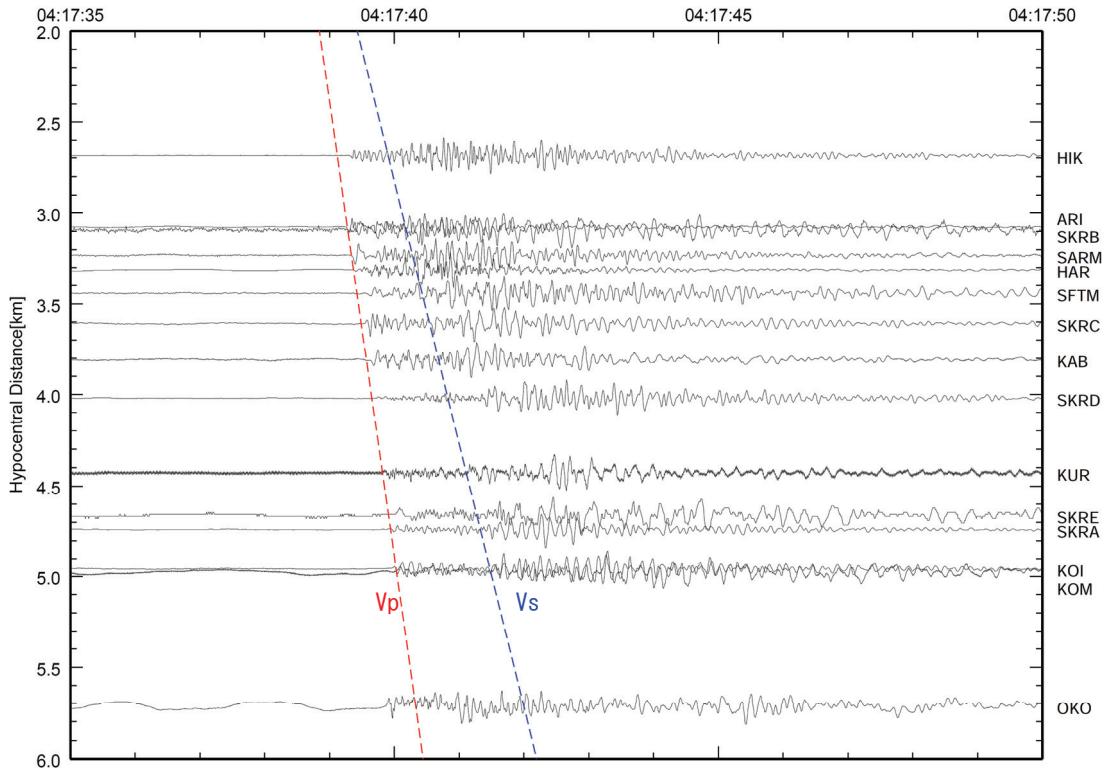


図 4. 2007 年 9 月 7 日 04 時 17 分の A 型地震のペーストアップ。破線は P 波, S 波の理論走時。

イベントのみ、それぞれ震源決定を行なった。その結果、震源決定できたのは A 型地震が 22 個、B 型地震が 13 個、爆発地震が 1 個の計 36 個であった。地震波速度構造は  $V_p=2.5\text{km/s}$ ,  $V_p/V_s=1.73$  の半無限均質構造を仮定し、震源計算プログラム HYPOMH (Hirata and Matsu'ura, 1987)<sup>3)</sup>により震源計算を行なった。HYPOMH では、先に述べた読み取り誤差に応じた重みがデータに課される。南岳山頂火口直下の深さ約 2.6km に震源が求まった A 型地震の速度上下成分のペーストアップを図 3 に示す。なお、本稿においては、震源の深さは海平面からの深度により表す。観測された地震波の P 波および S 波到達時刻は仮定した理論走時と概ね一致しており、桜島火山の浅い部分については  $V_p=2.5\text{km/s}$  は妥当な速度であると思われるが、姶良カルデラ縁に位置する OKO は明らかに到達時刻が早く、P 波と S 波の到達時刻差から見ても他の観測点より明らかに地震波速度の速い領域を地震波が通過している。このため、OKO は震源計算から除外している。また、SHN に設置されているのは加速度計であり、集中観測期間に発生した地震の規模程度では初動の読み取りは困難であるため、検測対象から除外した。

震源位置を図 5 に、各観測点における走時残差[(観測走時) - (理論走時)]の度数分布を図 6 に示す。走時残差は概ね、地表設置観測点ではプラス、地中設置観測点ではマイナスとなつたが、残差の大きさは観測点毎に異なり、構造の不均質性が影響していると考えられる。集中観測の対象となったイベントは初動が明瞭に読み取れるような比較的規模の大きいイベントに限ら

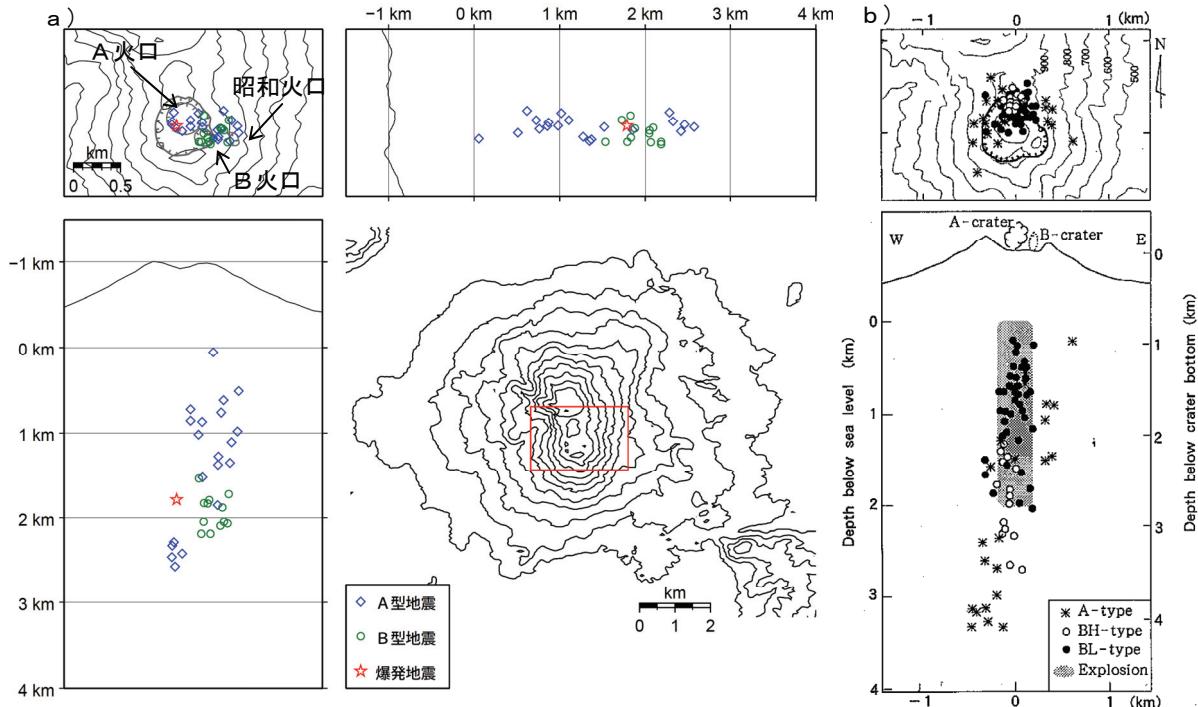


図 5. a) 今回決定した火山性地震の震源分布。左上:震央分布。左下:東西断面における震源分布。右上:南北断面における震源分布。震央分布は右下図の枠内。  
b) Iguchi(1994)による震源分布。上:震央分布。下:東西断面における震源分布。

れるが、A型地震の震源は主に南岳山頂火口直下の深さ0.5~2.5kmに分布する。2km以深のA型地震はA火口直下で発生しているが、2km以浅では震源分布はそれよりも東側のB火口や昭和火口直下に分布している。深いA型地震の震源分布は深いA型地震の震源分布に比べ水平方向に広がりを持つ。深いA型地震は深いA型地震に比べ全体的に走時残差が大きく、桜島火山浅部で特に構造の不均質性が強いと考えられる。B型地震の震源は深いA型地震同様に、主にB火口や昭和火口直下の深さ2km付近に分布した。集中観測期間に爆発的噴火が南岳山頂火口から発生しており、対応する爆発地震の震源はA火口直下の深さ2km付近に求まつたが、震央位置はB型地震よりも西側であった。B型地震および爆発地震はP波初動到達時刻のみを用いて震源決定しているため、A型地震に比べ深さの精度が悪い。B型地震の震央位置は深いA型地震とほぼ同じであり、実際には深いA型地震と同程度の深さで発生していると考えられる。今回、高密度観測網により決定された震源位置は同様の速度構造で決定された過去の結果(井口, 1989<sup>4)</sup>; 西, 1971<sup>5)</sup>; 山里, 1987<sup>6)</sup>; Iguchi, 1994<sup>7)</sup>)に比べ、B火口や昭和火口直下の深いところに多く分布している。A火口直下に震源が求まつたイベントは少なく、また、Iguchi(1994)<sup>7)</sup>による震源分布よりも南側に求まっている。このことは観測点配置の違いが影響しているかもしれない。南岳山頂火口(特にB火口)と昭和火口は距離が短く、今回得られた震源分布から南岳山頂火口直下の地震活動と昭和火口直下の地震活動を区別することはできなかつた。

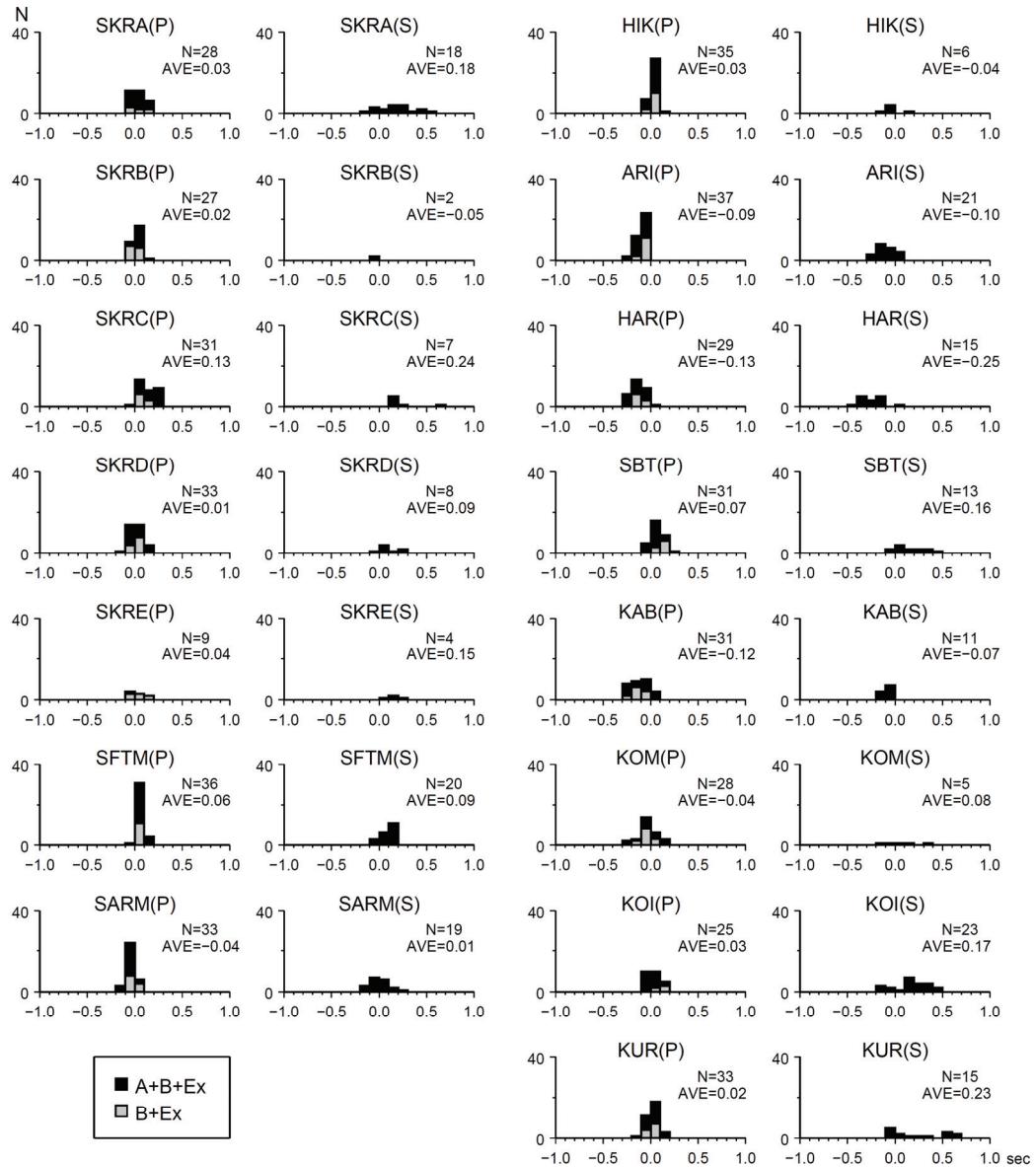


図 6. 各観測点の走時残差の度数分布。検測数(N)および平均(AVE)は全イベントに対してのものである。

## 参考文献

- 1) 気象庁(2005): 日本活火山総覧(第3版), 543-564.
- 2) ト部卓・東田信也(1992): win-微小地震観測網波形検出支援のためのワークステーション・プログラム(強化版), 地震学会講演予稿集, No.1, C22-P18.
- 3) Hirata, N. and Matsu'ura, M. (1987): Maximum-likelihood estimation of hypocenter with origin time eliminated using non-linear inversion technique, Phy. Earth Planet. Inter., Vol. 47, 50-61.
- 4) 井口正人 (1989): 火山性地震 BL・BH の初動の押し引き分布, 京都大学防災研究所年報,

第 32 号 B-1, 13-22.

- 5) 西 潔 (1971): 桜島火山の火山性微小地震と爆発の研究(2)－火山性地震の震源分布－, 京都大学防災研究所年報, 第 14 号, 113-121.
- 6) 山里 平(1987) : 桜島爆発地震の初動分布, 火山, 第 32 卷, 289-300.
- 7) Iguchi, M.(1994) : A vertical expansion source model for the mechanisms of earthquakes originating in the magma conduit of an andesitic volcano, Sakurajima, Japan, Bull. volcanol. Soc. Japan, Vol. 39, 49-67.

(Received on March 11, 2008)