

# 箱根火山域における 2009 年機動的観測の概要

行竹洋平\*・伊東 博\*・板寺一洋\*・原田昌武\*・本多 亮\*・棚田俊收\*

Seismic observations by a temporary seismograph network in Hakone volcano

by

Yohei YUKUTAKE, Hiroshi ITO, Kazuhiro IITADERA,

Masatake HARADA, Ryou HONDA and Toshikazu TANADA

## 1. はじめに

箱根火山は伊豆半島北端部に位置する第四紀火山であり、有史以後にマグマ噴火があった記録はない。しかし、最近の研究（小林他、2006）により、12 から 13 世紀の間に水蒸気噴火が発生したことが明らかとなっている。さらに、箱根火山カルデラ内では、たびたび有感地震を伴う群発地震が発生しており（例えば、平賀、1987；萬年、2003）、最近では 2001 年に地殻変動を伴う大規模な群発地震が発生した（例えば、代田ほか、2009）。

箱根火山では、群発地震の発生に伴った温泉温度の上昇から、群発地震と地下深部の熱源（マグ溜まり）からの熱水活動との関係が議論されてきた（Okai and Hirano, 1974；Matsuo et al., 1985；萬年、2008）。萬年（2008）は詳細な地質構造から箱根には複数の潜在カルデラが存在することを明らかにし、過去にそれらを形成した古い火道が地下深部からの熱水の通り道となっている可能性を指摘した。群発地震がそうした熱水によって引き起こされていることが十分に考えられる。しかしながら、群発地震が発生する海拔 0km 付近から深さ 5km までの範囲で、実際に熱水活動が存在している直接的な証拠は得られていない。より深部にあると考えられている熱源のマグ溜まりについても同様である。

我々は、地震学的なアプローチを用いて、これらのモデルを検証するための新たな知見を得ることを試みる。具体的には、地下を伝わる地震波の伝播時間を用いた 3 次元速度トモグラフィ法により、箱根火山域における高精度かつ高分解能の 3 次元地震波速度構造を推定する。これまで、箱根火山周辺域において、3 次元速度トモグラフィ法により 3 次元速度構造が推定されてきた（小田ほか、2002；Nakamichi et al., 2007）。こ

れらの研究では、いずれも箱根火山下深さ 7-16km の範囲に低速度域が検知されている。しかし、空間的な解像度が 4-10km であり、上記のモデルの検証には至っていない。

その原因として、1. 地震観測点分布が十分に密ではない、あるいは 2. 解析に使用した地震データ数が少ないことが挙げられる。そこで我々は、機動的な観測網を長期間にわたり設置することにより、多数の地震データの取得を試みる。そうした大量の地震データを用いて、過去の研究より高い分解能で箱根火山域における 3 次元地震波速度構造を推定することを目指している。本論では、研究の第一段階として、2009（平成 21）年に設置した機動的な地震観測の概要を報告する。なお、本報告では定常的な観測点を空間的に補い高密度な観測網を構築するために、一定期間設置する地震観測点のことを「機動的観測」と定義する。

## 2. 機動的観測概要

2009（平成 21）年 5 月末から 8 月中旬にかけて 15 点の観測点を、箱根カルデラ内およびその周辺域に設置した（図 1 および表 1）。これらの観測点の設置により、観測点間隔は温泉地学研究所定常観測点および防災科学技術研究所 Hi-net 定常観測点と併せて、中央火口丘周辺で 2km 以下となった。さらにこれまで観測点カバーレージが悪かった、カルデラ東部、南部および北東部においても、充実した観測網が構築できた。

機動的観測点の設置例として、三島観測点（T. MSM）の設置風景を、写真 1 に示す。この観測点では、高さ 5 m に及ぶ巨大な溶岩露頭の一部に、固有周波数 2Hz の地震計を石膏で固定した。記録用データロガーとして DAT 型記録レコーダー（篠原ほか、1997；羽田ほか、1999）を用いた。三島観測点と同様に、その他 8 点の観

\* 神奈川県温泉地学研究所 〒250-0031 神奈川県小田原市入生田 586

資料, 神奈川県温泉地学研究所報告, 第 41 巻, 77-80, 2009.

表 1 観測点情報一覧

観測点名	地名	緯度	経度	標高(m)	Channel ID	設置日時	設置状況	ロガー種類	ゲイン(db)	A/Dビット数
T.KRK	鞍掛	35.177815	139.030856	905	9101-9103	2009/6/1	堰堤	DAT	60	16
T.MSM	三島	35.178280	138.975570	540	9111-9113	2009/5/28	露岩	DAT	60	16
T.NGO	長尾	35.263733	138.978140	880	9121-9123	2009/6/1	堰堤	DAT	60	16
T.KIN	金時	35.308224	139.033472	510	9131-9133	2009/6/1	コンクリート	DAT	60	16
T.HKE	箱根園	35.213522	139.009885	750	9141-9143	2009/6/4	コンクリート	DAT	60	16
T.YMO	湯本	35.220680	139.099797	455	9151-9153	2009/6/4	露岩	DAT	60	16
T.TKM	鷹の巣山	35.224210	139.054480	810	9161-9163	2009/6/4	露岩	DAT	60	16
T.OSB	大芝	35.213430	139.033750	920	1101-1103	2009/6/8	コンクリート	白山ロガー	20	24
T.KMB	上湯場	35.249030	139.021020	890	AA01-AA03	2009/6/8	堰堤	白山ロガー	20	24
T.KUN	久野	35.250165	139.062685	485	9171-9173	2009/6/8	堰堤	DAT	60	16
T.WRS	和留沢	35.268053	139.088028	365	9181-9183	2009/6/10	コンクリート	DAT	40	16
T.KMY	神山	35.228160	139.019940	1266	9041-9043	2009/6/29	コンクリート	計測ロガー	6	24
T.NTT	二の平	35.242300	139.036200	830	9011-9013	2009/6/30	コンクリート	近計ロガー	1	24
T.OSS	温泉荘	35.247650	139.004830	835	9031-9033	2009/6/30	コンクリート	白山ロガー	20	24
T.SJJ	最上寺	35.312807	139.067319	320	9201-9203	2009/8/14	露岩	近計ロガー	1	24

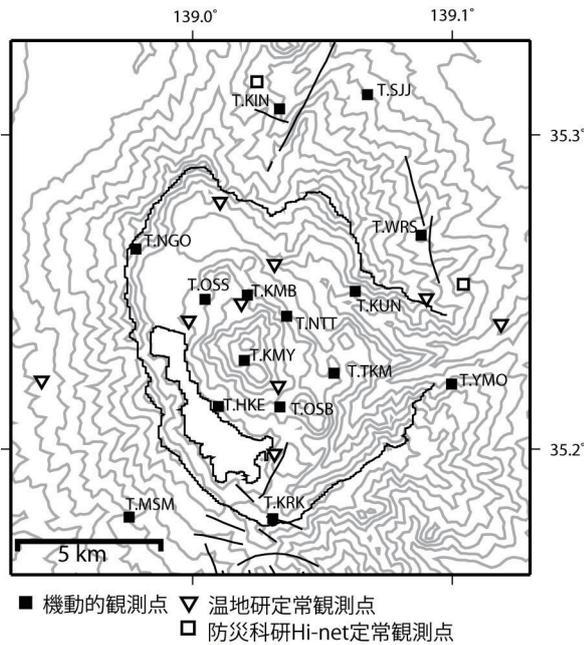


図 1 設置された機動的観測点 (15 点) の分布 (黒四角印)。三角印および白四角印は、温泉地学研究所 (8 点) ならびに防災科学技術研究所 Hi-net (2 点) の定常観測点の位置を表す。

観測点の記録用データロガーにおいても DAT 型記録レコーダを使用した (表 1)。DAT 型記録レコーダーで収録された地震波形記録は、永井・棚田 (2008) の手法に従い、WIN フォーマットファイルに変換し解析に用いた。このほか、白山工業株式会社製データロガーおよび固有周波数 2Hz 地震計の組み合わせの観測点が 3 点、計測技術株式会社製データロガーおよび固有周波数 2Hz 地震計の組み合わせが 1 観測点、近計システム株式会社製データロガーおよび固有周期 2Hz 地震計の組み合わせが 2 観測点となっている (表 1)。



写真 1 三島観測点の写真

### 3. 記録地震波形例

箱根カルデラ湖尻付近で発生したイベント A (M=1.6) および丹沢山地域で発生したイベント B (M=2.8) (図 2) について、機動的な地震観測網によって観測された地震波形記録上下動成分を図 3 および図 4 にそれぞれ示す。イベント A については、直近に設置された長尾観測点 (T.NGO) で波形が振り切れているが、すべての観測点で P 波の立ち上がりが明瞭に記録されていることが分かる。丹沢山地下で発生した震央距離が 20km のイベント B についても、P 波および S 波の立ち上がりについて明瞭に読み取れることが分かる。機動的な地震観測網では、箱根カルデラ内で発生した地震だけではなく、丹沢山地などの周辺域で発生した地震についても、P 波および S 波の立ち上がりが明瞭に記録されている。機動的な観測網により記録された地震波形記録を、定常観測点の記録と併せて解析することにより、カルデラの浅い領域から、深さ 10km 付近の深い領域に渡り詳細な 3 次元速度構造を推定できることが期待できる。

図 3 および図 4 の和留沢観測点 (T.WRS) および図 4 の大芝観測点 (T.OSB) では、電気ノイズが記録され

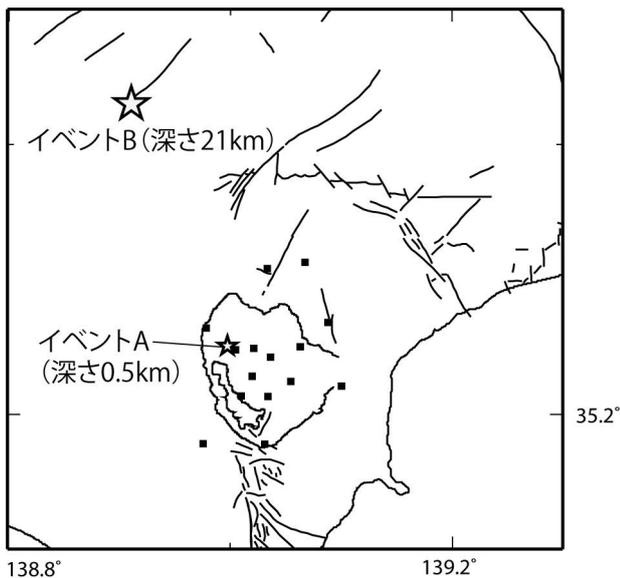


図2 記録された地震波形の震源位置。

ているが、それぞれ地震計からの信号のアーセをとることにより、現在は取り除かれている。また、図4の上湯場観測点 (T. KMB) では、地震波形が記録されていないが、これは設置した地震計の初期不良によるものであり、地震計を交換することにより現在は解決されている。

#### 4. まとめ

我々は、箱根カルデラ内およびその周辺域において、15点の機動的な地震観測点を設置した。これらの観測点では、カルデラ内およびその周辺域で発生した地震について、明瞭な地震波形を記録することができている。今後は、観測点を維持管理するとともに、観測点カバーレージの悪い領域についてはさらに追加の観測点を設置する予定である。この機動的な観測網を今後約1年半継続させ、記録された地震波形記録を用いて、箱根火山域における詳細な3次元速度構造を推定する予定である。

#### 謝辞

本研究は、神奈川県重点基礎研究推進事業（平成21年度）として実施した。名古屋大学田所敬一博士から、データロガーおよび地震計3セットを貸していただいた。京都大学飯尾能久博士には、データロガーおよび地震計2セットを貸していただいた。台湾大学永井悟博士には、DAT型データロガー記録の処理方法ならびにWIN波形の処理方法について、さまざまなアドバイスをいただいた。三島市ならびに株式会社プリンスホテルには、観測点設置の許可をいただいた。記してここに謝意を表します。

#### 参考文献

- 代田寧・棚田俊收・丹保俊哉・伊東博・原田昌武・萬年一剛 (2009) 2001年箱根群発地震活動に伴う傾斜変動と圧力源の時間地震変化、火山、54, 223-234.
- 羽田敏夫・酒井要・小林勝・橋本信一・井上義弘・三浦禮子・田上貴代子・松原誠 (1999) デジタルオーディオ記録機 (DATレコーダー) を用いた地震観測 (1997-1998 東北合同観測), 東京大学地震研究所彙報, 5, 39-64.
- 平賀士郎 (1987) 箱根火山と箱根周辺海域の地震活動. 神奈川県温泉地学研究所報告, 18, 149-273.
- 小林淳・萬年一剛・奥野充・中村俊夫・袴田和夫 (2006) 箱根火山大涌谷テフラ群 — 最新マグマ噴火後の水蒸気爆発堆積物、火山、51, 245-256.
- 永井悟・棚田俊收 (2008) DAT型レコーダーを用いた神奈川県西部における臨時地震観測、神奈川県温泉地学研究所報告、60、69-74.
- 小田義也・棚田俊收・八巻和幸・伊東博 (2002) 箱根火山の3次元速度構造と震源の再決定、物理探査、55、145-156.
- Oki, Y. and T.Hirano (1974) Hydrothermal System of the Hakone Volcano, Proceedings of a United State -Japan cooperative Science Seminar at Hilo, Hawaii, 153-166.
- 萬年一剛 (2003) 文献による箱根群発地震活動の再検討 (1917 ~ 1960); 箱根群発地震活動の地学的意義、火山、48、425-443.
- 萬年一剛 (2008) 箱根カルデラ - 地質構造・成因・現在の火山活動における役割 -, 神奈川県博調査研報 (自然)、13、61-76.
- Matsuo, S., Kurakabe, M., Niwano, M., Hirano, T., Oki, Y., Origin of thermal waters from the Hakone geothermal system, Japan, 1985, Geochemical Journal, 19, 27-44.
- Nakamichi, H., Watanabe, H., Ohminato, T., 2007, Three-dimensional velocity structures of Mount Fuji and the South Fossa Magna, central Japan, J. Geophys. Res., 112, B03310, doi:10.1029/2005JB004161.
- 篠原雅尚・平田直・松田茂夫 (1997) DATを用いたGPS時計付き低消費電力大容量デジタルレコーダ、地震、2, 50, 119-124.

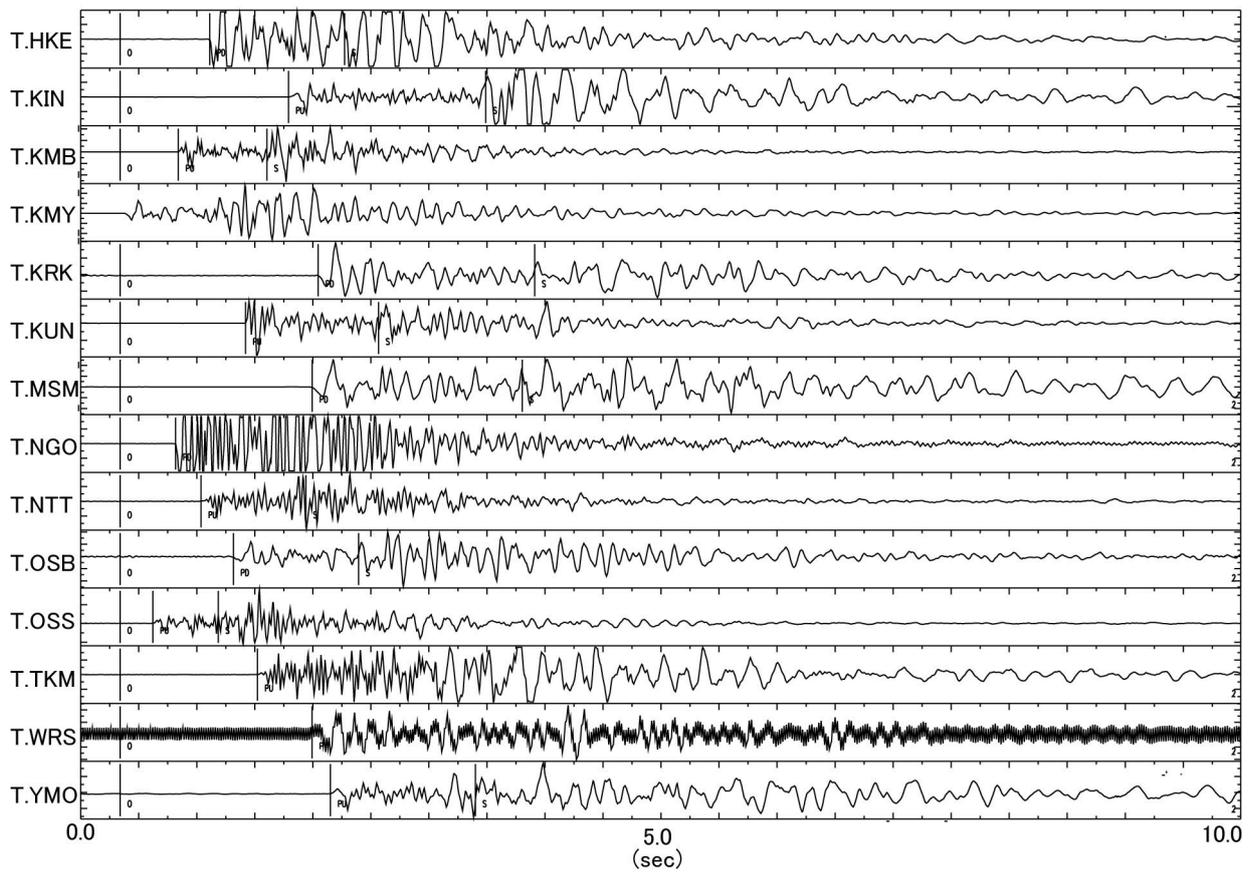


図3 図2イベントAの機動的地震観測網で記録された地震波形（上下動成分）。

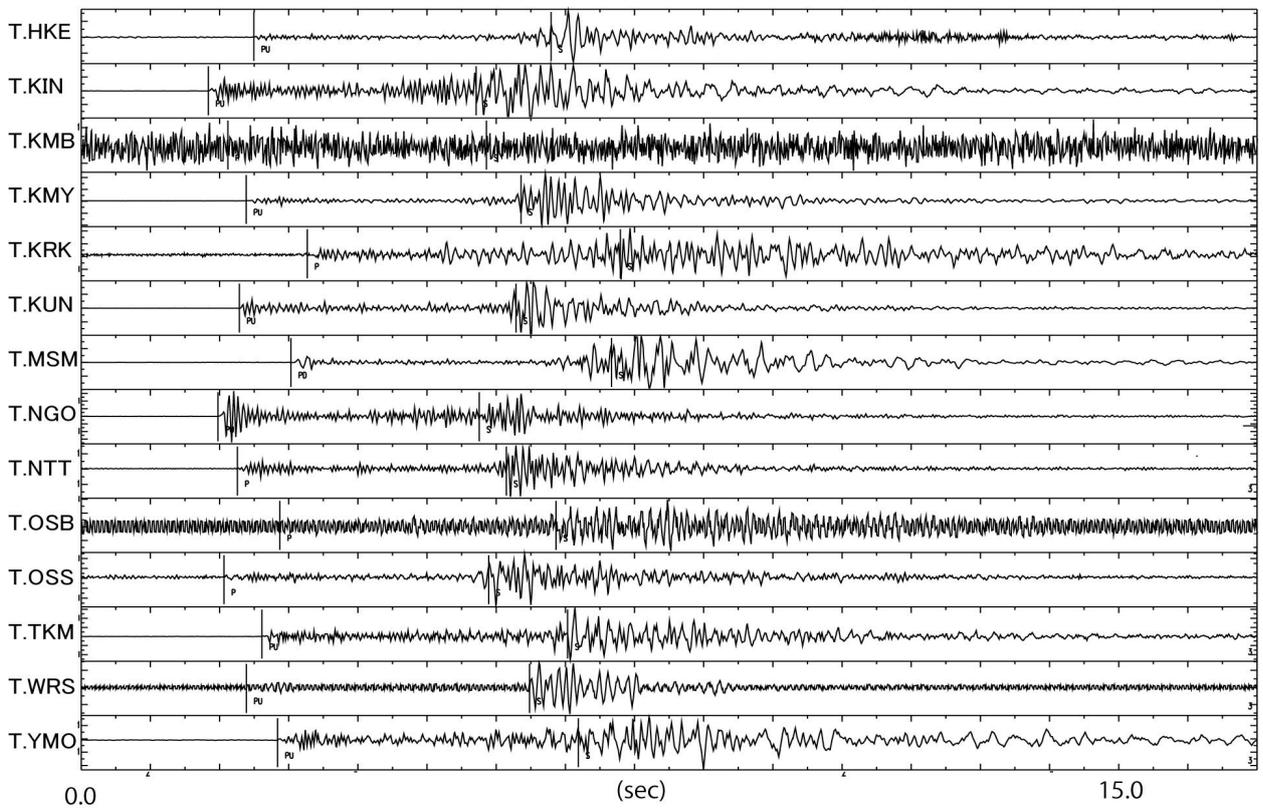


図4 図2イベントBの機動的地震観測網で記録された地震波形（上下動成分）。

