

1970年代に箱根で発生した地震の震源再決定

本多 亮*・伊東 博*

Relocation of 1970's earthquake distributions in Hakone region

by

Ryou HONDA* and Hiroshi ITO*

1. はじめに

神奈川県温泉地学研究所（以下、当所）では箱根の地震観測を、1968（昭和43）年に神奈川県土木部から当時の温泉研究所に移管されて以降、現在まで40年間にわたって継続して行ってきた。その間、観測機器や計算機の発展に伴って、観測網や震源決定法などが変化している。現在は、箱根火山内に7点の観測点があり、120Hz サンプリングのデジタル化された速度データが常時観測センターに送信され、時刻精度はGPS時計によって管理されている。震源位置は1次元成層構造を仮定しバイズ理論を用いた非線形インバージョン（Hirata and Matsu'ura, 1987）によって決定され、箱根火山内の地震ではP波の走時残差（O-C）が0.1秒程度である（行竹ほか、2008）。

一方で、観測開始当初の波形記録は煤書きの連続記録であり、紙送りは2mm/secであった。紙記録による記録方式は、80年代に入ってから長時間観測用インク書き方式やサーマルドット記録方式が採用されるなど変遷はあるが、1989年に観測網が一新されるまで続いた（温泉地学研究所、1992）。1980年ごろにコンピュータプログラムを導入するまでの震源決定は、テレメータによって観測所に集められて出力された波形記録からS-P時間を読み取って、大森公式（例えば、宇津、2001）を利用した作図法によって行っていた。当時決定した地震の震源決定結果は、毎年発行される研究所報告に震源分布図として掲載されているが震源の位置情報そのものは未掲載である。また、読み取り原簿には振幅とS-P時間のみ記載されており、各位相の到達時刻は記載されていない。そこで本報告では、1969（昭和44）年から1978（昭和52）年までの読み取り原簿から元データであるS-P時間を取り出し、それを基に1970年代当時に使われていた作図法により、震源決定を試みた結果について報告する。

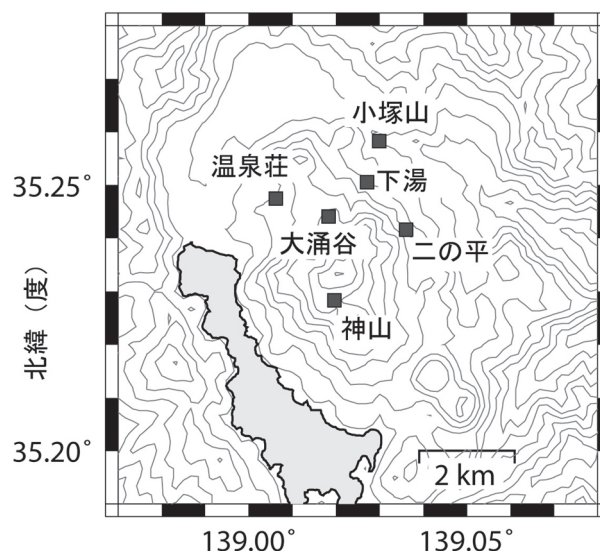


図1 1970年代当時の地震観測網。

表1 観測点座標。現地調査から当時の観測点を特定できた下湯、二の平、小塚山、神山については再度GPSによる測位を行い、温泉荘と大涌谷については平賀（1987）の座標値にもとづき、座標系を世界測地系に変換した。

観測点座標（新測地系）

観測点	緯度(度)	経度(度)	標高(m)
下湯	35.25050	139.0266	730
温泉荘	35.24744	139.0061	840
二の平	35.24230	139.0362	830
小塚山	35.25827	139.0296	600
神山	35.22816	139.0199	1267
大涌谷	35.24411	139.0182	1020

2. 当時の観測網および震源分布の特徴

観測点は、地震観測が温地研に移管されてから1989（平成元）年に観測網が一新されるまで、中央火口丘の大涌谷を囲むように6点配置されていた。図1に観測点

* 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，81-84，2009.

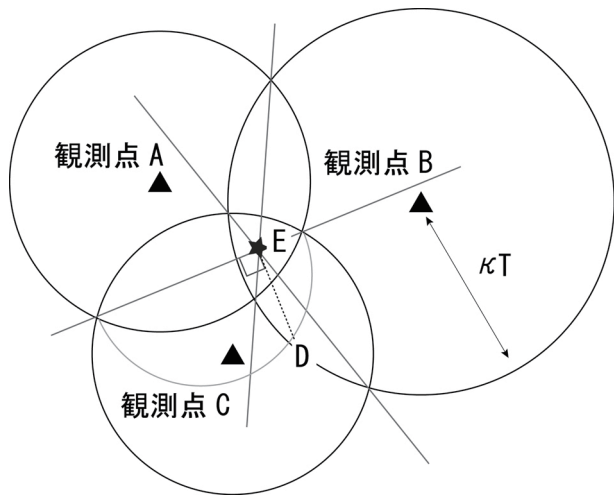


図2 大森公式を用いた作図法による震源決定の例。各観測点を中心に、大森公式から推定される震央距離 R を半径とする円を描き、共通弦の交点を震央 (E) とする。次に一つの弦を直径とする半円を描き、E を通り、その弦から立てた垂線が半円と交わる点を D とすれば、線分 ED の長さが震源の深さになる。

分布を、観測点の座標を世界測地系に直したものを、表 1 に示す。観測点座標は平賀 (1987) に記載されているが、現地調査から当時の観測点を特定できた下湯、二の平、小塚山、神山については再度 GPS による測位を行い、座標を取得した。温泉荘と大涌谷については平賀 (1987) から引用し、座標系を世界測地系に変換した。平賀 (1987) によれば、当時の震源分布の特徴として以下のことがあげられる。

1. 箱根カルデラ中央に震源が集中し、カルデラ壁近くにはない。
2. 特に大涌谷、早雲山噴気地帯直下に集中しており、その範囲は半径 2km 以内である。
3. 震源深さは -500m から 4km の範囲で、海拔 0km 付近に集中する。

3. 作図法による震源の再決定

作図法による震源決定は、大森公式

$$R = \kappa T \quad (1)$$

を用いて行われる。ここで、 R は震央距離、 κ は大森係数、 T は S-P 時間である。 κ は P 波速度 V_p 及び S 波速度 V_s を用いて以下のように表現できる。

$$\kappa = V_p V_s / (V_p - V_s) \quad (2)$$

震源決定を行う際には、 V_p/V_s を 1.73 として大森係数

表 2 1972 年の作業記録から推定した、大森係数と S-P 時間の関係。

大森係数 κ	平均 S-P 時間 (秒)
2.3	1.2 < S-P
2.5	0.9 < S-P ≤ 1.2
2.8	0.65 < S-P ≤ 0.9
3.0	0.45 < S-P ≤ 0.65
4.0	S-P ≤ 0.45

を通常の地震で 7~8、火山の地震で 3~5 程度にするのが一般的である。しかし、当所では大森係数を観測された S-P 時間によって 2.0~2.5 の間の値とすることが多かった (平賀, 1987)。この値は 1.8km/s 程度の P 波速度を仮定していることになる。本報告では当時の震源分布を再現するためこの仮定を踏襲する。ただし、読み取り原簿には震源決定に使用した大森係数の値は記載されておらず、1972 (昭和 47) 年の作業記録の一部に記載があるだけである。そこで、大森係数の選択がなるべく当時と同じになるよう、地震ごとの大森係数の値が残されていた 1972 (昭和 47) 年の記録から、S-P 時間の平均と選択された係数の関係を調べ参考とした (表 2)。ただし、実際に作図すると必ずしも交点がうまく求められないものもあるため、最終的には複数の大森係数について作図結果を見比べて、妥当と思われる係数の値を選択した。図 2 に、作図法の具体例を示す。

当所では、観測点高度を海拔 800m (平賀, 1987) として震源決定を行っていた。従って、作図法から直接得られた深さに対して 800m を減じたものが、震源の深さになる。この過程についても踏襲した。

4. 再決定された震源分布

図 3 に再決定した全ての地震の震源分布を、図 4 に 1970 年の震源分布について平賀 (1987) の結果と比較したものを示す。再決定された震源分布は、大涌谷周辺に集中しており深さ方向の分布も含めほぼ温地研報告に掲載されている震源分布図を再現している。一方、1990 年代後半以降の震源は、東西は湖尻から早雲山、南北は金時山から元箱根付近まで、箱根カルデラ内で比較的広い範囲に分布しており (たとえば、棚田, 2008)、70 年代の分布とは大きく異なる。

震源データは、紙面の都合上ここでは一部のみ記載 (表 3) するが、今後の研究等で利用しやすいよう win

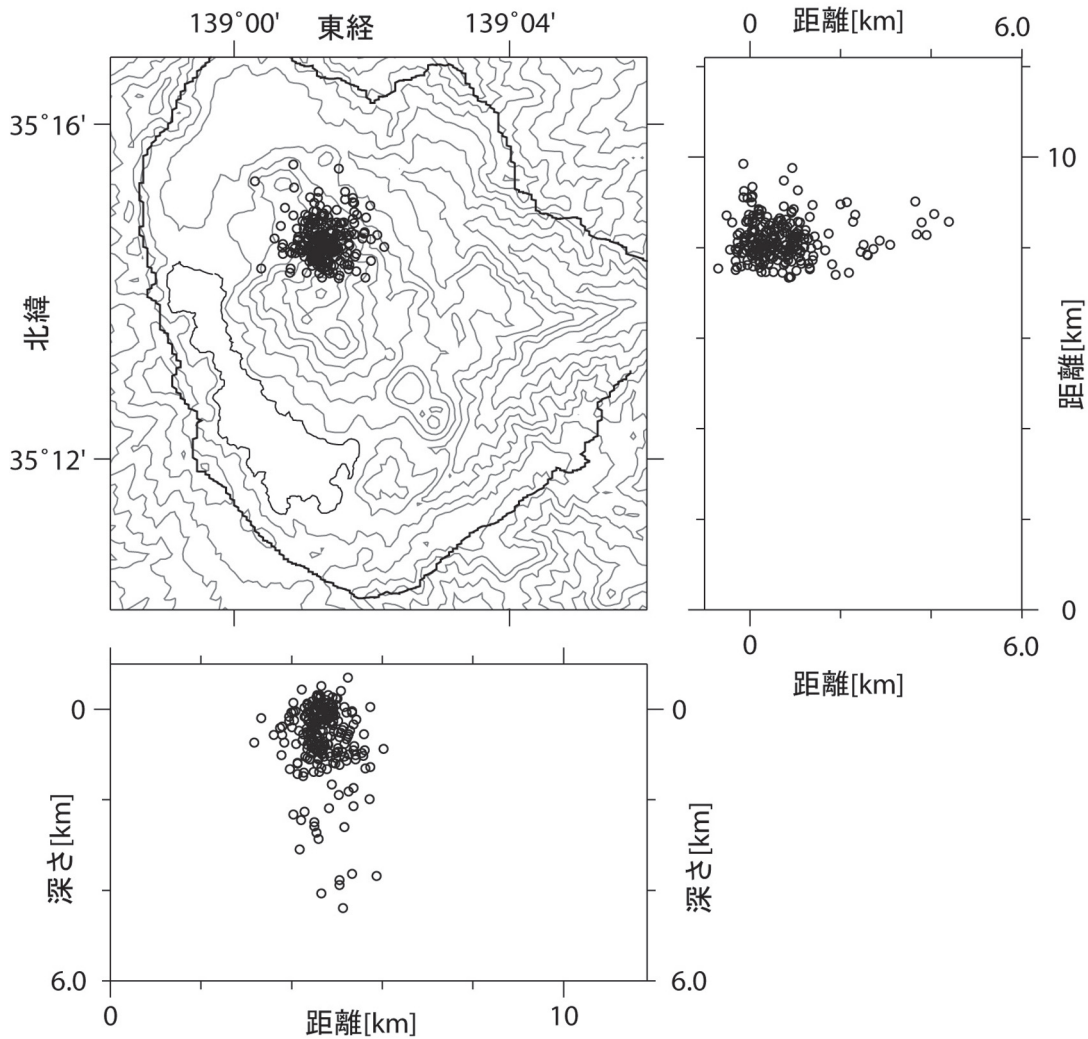


図3 作図法によって再決定された震源分布図。平賀（1987）によって示された震源分布の特徴を再現している。

システムで使用される final 形式（卜部・東田，1992）でサーバーに保存した。

5. まとめ

今回得られた震源分布と最近の震源分布に、見かけ上大きな違いが生じる主たる原因は、仮定している速度構造の違いや観測点分布の違い、さらには観測点高度をきちんと考慮しているかといったことが考えられる。特に速度構造について、大森係数を 2.5 とした場合は P 波速度にして約 1.8km/s 程度の半無限媒質を仮定することに対応するが、現在の速度構造は深さ 5km 以浅では 5.5km/s となっている。現在の地震観測網は 1989(平成元)年に更新され、観測点数が増え機器の更新によって位相の読み取り精度も飛躍的に向上した。このとき、O-C などのデータから速度構造の妥当性について検討し、現在の速度構造を採用している。

箱根周辺の応力場や火山活動の変化について考えるとき、震源分布の時間変化は重要な情報となり得る。本資料の震源分布は当時の観測網及び当時の震源決定法で決められた震源であり、必ずしも実際の震源分布の時間変化を示すものではないと考えられる。今後震源分布の時間変化を議論するためには、観測網や震源決定手法の違いによる震源分布のずれを考慮する必要がある。

参考文献

- 宇津徳治（2001）地震学第3版，共立出版株式会社，376.
- 平賀士郎（1987）箱根火山と箱根周辺海域の地震活動，温地研報告，18, 1-125.
- Hirata, N. and Matsu'ura M. (1987) Maximum-likelihood estimation of hypocenter with origin time eliminated using nonlinear inversion technique, Phys. Earth Planet.

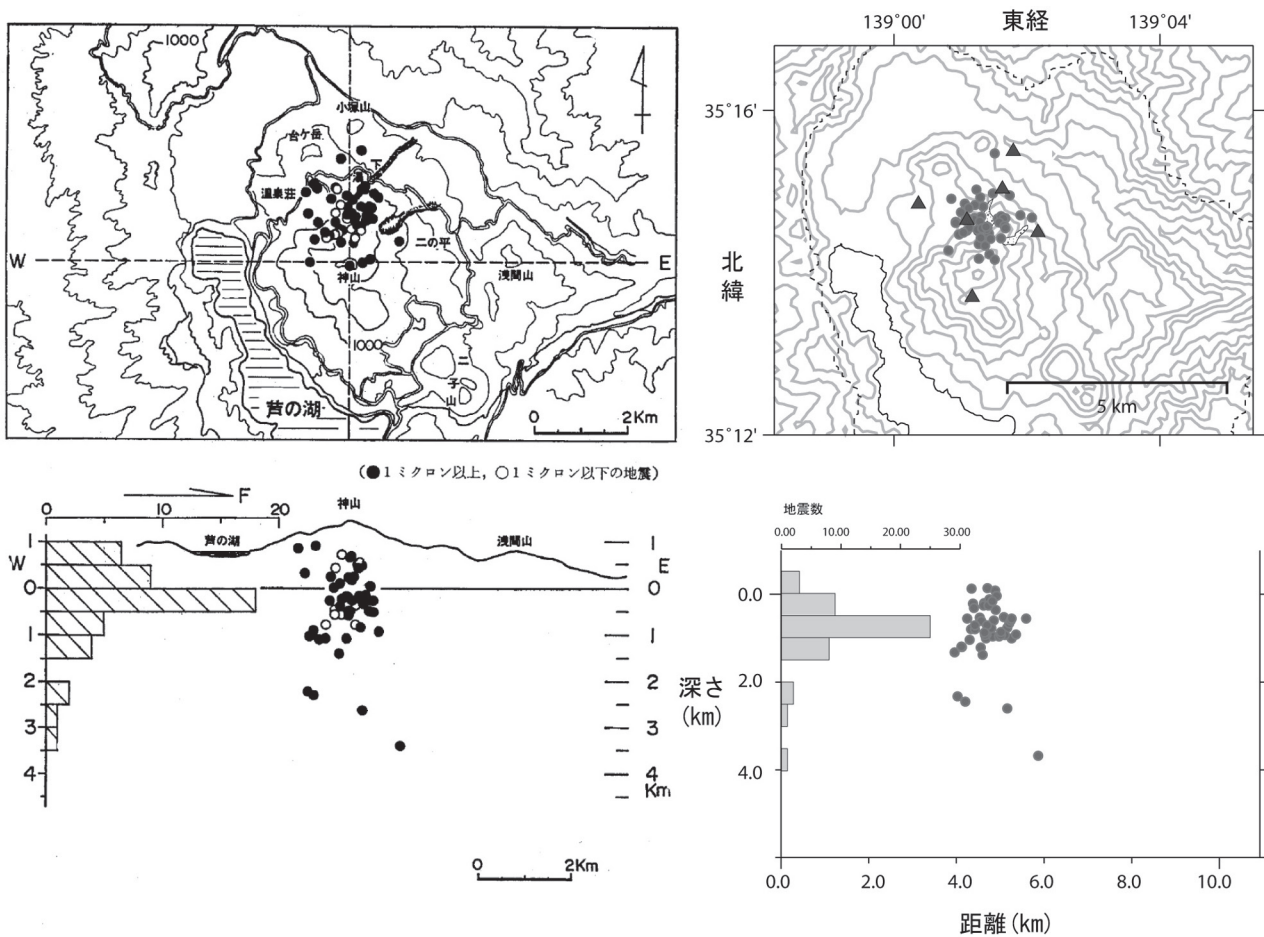


図4 1970年の震源分布図と深さの頻度分布。(左)平賀(1987)に加筆修正。(右)今回再決定して得られた分布。

表3 winシステムで用いられる final 形式の震源情報テーブル。ただし、験測者名が入る列には使用した大森係数の値を入れた。マグニチュードは決定していないので、9.9とした。

年月日時分秒	緯度 (度)	経度 (度)	深さ (km)	M	験測者	地域
78 12 18 23 20 0.0	35.24248	139.01690	1.48	9.9	K2.8	HAKO
78 11 02 18 34 0.0	35.25174	139.02690	-0.05	9.9	K3.0	HAKO
78 06 24 16 00 0.0	35.24373	139.03320	1.28	9.9	K2.8	HAKO
77 12 07 02 08 0.0	35.24205	139.01160	1.01	9.9	K2.8	HAKO
} 以下省略 }						

Inter, 47, 50-62.

温泉地学研究所(1992) 神奈川県温泉地学研究所 30年のあゆみ(特集号), 温地研報告, 23,316.

棚田俊收(2008) 箱根火山の地震活動(1990~2007)とその発生機構、神奈川博調査研報(自然), 13,187-194.

ト部卓・東田進也(1992) win-微小地震観測網波形験

測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.2, 331.

行竹洋平・棚田俊收(2008) 箱根火山で発生する群発地震の精密震源決定, 温地研報告, 40,35-50.