

箱根火山を含む伊豆半島北東部における地震活動, 3次元P波速度構造および地中温度分布について

棚田俊收¹⁾

1. はじめに

伊豆半島北東部およびその周辺地域には、北から順に箱根火山、湯河原火山、多賀火山、宇佐見火山そして東伊豆単成火山群が並んでいる。これらの火山は第四紀末に形成され、周囲では温泉が湧出し、日本でも有数の観光地となっている。箱根、湯河原や熱海などの温泉は火山性の温泉で、高い泉温と豊かな湧出量が有名である。

これらの火山と温泉がある伊豆半島東側では、地殻の浅いところで地震が発生しており、場所によっては、活発な群発地震活動が観測されている。たとえば、同半島東方沖では1970年代より群発地震活動が続き、1989年には海底噴火を伴った。火山活動と地震活動の間に、密接な関係が存在することを示した現象と言える。

伊豆半島東方沖の北側にあたる相模湾沿岸の陸域(箱根火山東麓)では、震源が南北方向に分布している。この分布は箱根や湯河原火山に平行で、深さは10~20km前後である。また、箱根火山のカルデラ内では、深さ6kmより浅いところに地震活動が集中している。Ito (1993)によれば、地殻内地震における深さの下限は、地殻の熱構造に対応しており、地殻熱流量が大きいところでは深さの下限が浅くなるはずである。

そこで、本論では、箱根火山を含む伊豆半島北東部で発生する地震の分布と地下の熱構造との関連について考察を加えた。まず、神奈川県温泉地学研究所のデータを用い、箱根・湯河原地域における地震の分布や同地域の3次元P波速度構造を紹介する。最後に、源泉の調査から得た地中温度分布との比較を試みる。

2. 箱根火山および湯河原周辺の地震活動

温泉地学研究所では現在、箱根火山を含む神奈川県西部を中心に地震・地殻変動観測網を展開している(伊東ほか, 1990)。その震源決定能力は箱根火山でマグニチュード0クラスまで、周辺地域(観測網内)ではマグニチュード1クラスである。この観測網で得た1990年から1996年までの震源分布を第1図に示す。

震源分布によれば、伊豆半島北東部には地震の密集地が3ヵ所ある。

一つは、箱根カルデラ内で発生している。深さは6kmよりも浅い。この地震は、箱根火山の活動に関連した火山性地震である。

二つ目は、箱根カルデラ南縁に密集している。この地震は、1994年10月25日に発生した地震(M4.8)の活動域である。震源の深さは5km前後と浅く、北伊豆断層系とカルデラとの交差域で発生した(神奈川県温泉地学研究所, 1995)。

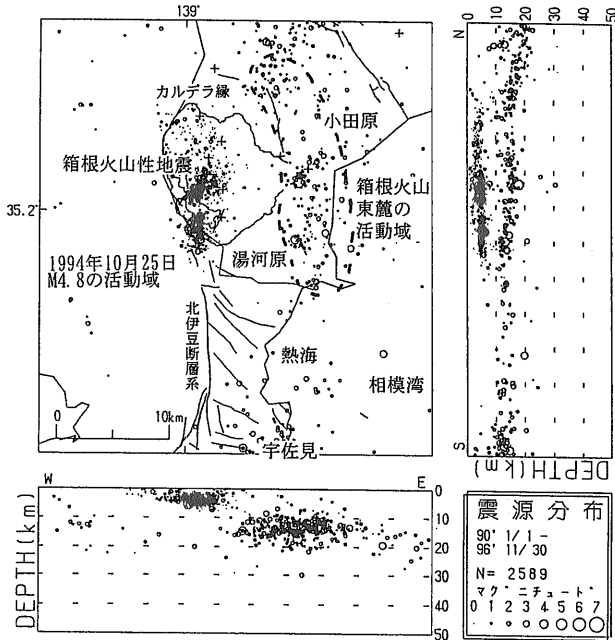
三つ目は、箱根火山東麓の地震である。震源は、箱根・湯河原火山と平行に延びている。この南北方向の分布は、両火山中心部から東へ10km程度ずれており、その間には地震活動はほとんどない。深さは10~20kmの範囲である。この活動域で1990年8月5日にM5.1の地震が発生した。震源は深さ約16km前後であった(伊東ほか, 1991)。

3. 箱根火山および周辺の3次元P波速度構造

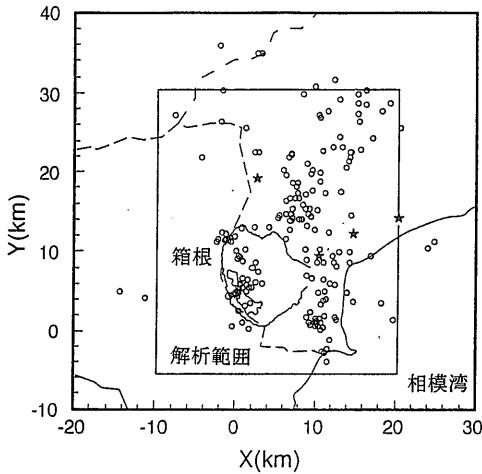
次に、神奈川県温泉地学研究所の地震・地殻変動観測網で得た走時データをもとに箱根火山および周辺の3次元P波速度構造について解析を試みた。

1) 神奈川県温泉地学研究所:
〒250 神奈川県小田原市入生田586

キーワード: 箱根火山, 地震活動, 3次元P波速度構造, 地中温度分布



第1図 箱根火山を中心とした震源分布(温泉地学研究所資料による)。実線は、活断層、箱根カルデラ縁および県境を示す。十印は観測点。



第2図 3次元P波速度構造解析範囲。丸印は解析に使用した地震。星印は人工地震と採石の発破点。

データは、箱根火山および周辺地域で発生した約3,000個の地震から、P波初動が少なくとも7観測点以上で明らかに記録した地震を用いた。さらに、解析範囲内の人工地震3点と採石発破1点のデータを加え、計2,082個のP波初動の読み取り値をもとに解析した。

解析には、Thurber (1983)による3次元速度構造と震源の同時決定プログラム SIML3を使用した。3次元解析範囲は、30(南北)×35(東西)×15(深さ)kmで、格子間隔は5×5×5kmとした。第2

図に解析範囲と使用した地震の震源分布とを示す。初期モデルは、温泉地学研究所におけるルーチン観測用の構造とした(神藤ほか, 1996)。

解析結果は、口絵5-1に、深さ別の速度構造を示した。口絵5-2には、南北方向の断面図を示した。

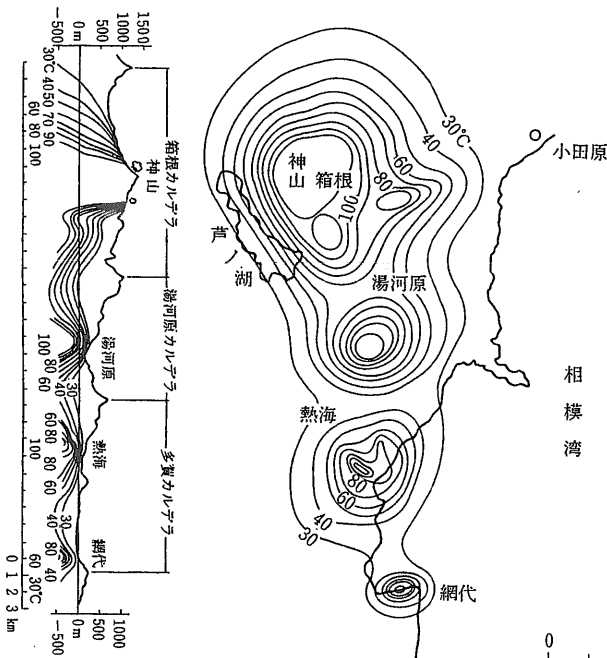
4. 伊豆半島北東部における地中温度分布

箱根火山を含む伊豆半島では、第四紀火山に関連した火山性温泉が分布している。Oki and Hirano (1974)は、伊豆半島北東部において温泉ボーリング孔の内部温度を測定し、海拔標高-400mにおける地中温度分布を作成した(第3図)。

地中温度分布の特徴は、以下のとおりである。高温度域が4ヵ所あり、箱根、湯河原、多賀火山などの各カルデラに対応している。カルデラ内の等温線はほぼ同心円を描くが、その大きさは各火山によって異なる。全体としては4ヵ所の高温度域を結ぶように、南北方向に温度の高い等温線が延びている。

5. 震源分布, 3次元速度構造および地中温度分布との比較

まず、箱根、湯河原、多賀火山などの各カルデラを結ぶような高温度域について検討する。



第3図
 海拔標高-400mにお
 ける地中温度分布 (Oki
 and Hirano, 1974を一部
 変更).

この南北方向に延びる高温度の等温線内(およそ60度以上)では、地震がほとんどない(第4図). 3次元速度構造から求めた深さ10kmでの速度分布からは、箱根や湯河原火山のカルデラに一致して低速度領域が広がっている(口絵5-1). 速度が地殻内の温度に依存するものだとすれば、この低速度領域は相対的に高温となる。そのため、岩石は脆性破壊を起こせず、流動変形が生じ、地震発生数が少なくなっていると考えられる。

次に、同高温地域域の東側について検討する。

地震は、地中温度約60度より低い地域下で発生している(第4図). 震央は箱根火山東麓で、深さ10~20kmである。3次元速度分布によると、この地震群は、速度が相対的に低いところよりも高いところで多く発生している(口絵5-2).

地中温度分布の値は、地殻熱流量や地殻内の温度を直接示すものではない。しかし、地中温度分布の高温部が第四紀火山のカルデラに一致していることから、この地中温度分布は地殻の熱構造を反映していると考えられる。

熱構造と地震の深さ分布の関係について、Ito (1993)は、火山付近では、熱構造の変化が地殻内の破壊強度を左右すると説明している。

地中温度分布や3次元速度構造における震源の分布から考えて、箱根火山東麓の地震群は、火山

周辺の熱構造の変化に対応し、Ito (1993)の説明を裏付けている。

一方、箱根カルデラ内では、地震は一様に分布せず、中央火口丘よりも西側に偏っている。

箱根の地震発生モデル(平賀, 1987)では、地中温度分布の最高温部に地震活動が集中し、火山性蒸気と関連して地震活動が発生していると述べている。今回得た震源分布と過去の震源分布との違いは、地震活動が時代によって異なっているのか、観測網の変更のために震源決定に偏りが生じたのかは、今後の検討課題である。

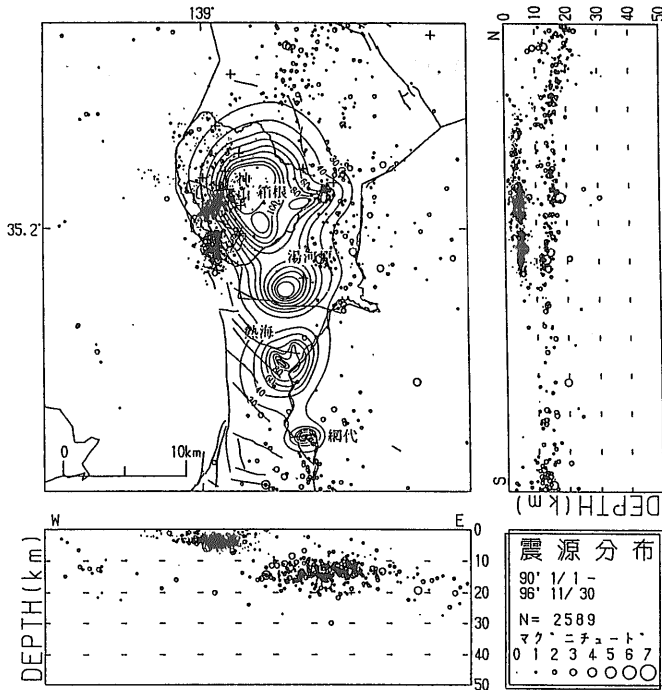
6. おわりに

神奈川県温泉地学研究所のデータを用い、箱根火山を含む伊豆半島北東部における地震の分布、3次元P波速度構造と地中温度分布を紹介した。

3次元速度構造や地中温度分布を橋渡しとして、地震の活動域や非活動域が、地殻の熱的構造と一致しているを示した。

しかし、すべての地震分布が熱的構造だけで説明できるわけではない。たとえば、地下からの熱の供給や深層熱水の流動が、浅い地震活動の有無に反映している可能性も十分にある。

たとえば、大木・平野(1971)は、温泉に含まれ



第4図
震源分布(第1図)と地中
温度分布との関係。

参考文献

平賀士郎(1987):箱根火山と箱根周辺海域の地震活動.神奈川温地研報告,18巻,149-273.

伊東 博・小鷹滋郎・棚田俊收・長瀬和雄・横山尚秀・平野富雄・荻野喜作・大木靖衛(1990):温泉地学研究所の地震・地下水位観測システムについて.神奈川温地研報告, 21巻,3号, 71-86.

伊東 博・棚田俊收・八巻和幸・小鷹滋郎(1991):1990年8月5日小田原直下地震(M5.1)の概要.神奈川温地研報告, 22巻,69-76.

Ito, K. (1993): Cutoff depth of seismicity and large earthquakes near active volcanoes in Japan. Tectonophysics, 217, 11-21.

神藤史明・棚田俊收・伊東 博・飯塚 進(1996):箱根火山およびその周辺地域の3次元P波速度構造.地球惑星科学関連学会予稿集, 294.

神奈川県温泉地学研究所(1995):1994年10月25日箱根外輪山の地震(M4.8)について.地震予知連絡会会報, 53巻,255-266.

Oki,Y and Hirano, T. (1970): The Geothermal System of the Hakone Volcano. U.N. Symposium on the Development and Utilization of Geothermal Resources, Pisa. Geothermics, Spec. Issue 2, 1157-1166.

大木靖衛・平野富雄(1971):伊豆・箱根の温泉.伊豆半島,東海大学出版会,133-154.

Oki,Y and Hirano, T. (1974): Hydrothermal system and seismic activity of Hakone volcano, The Utilization of Volcanic Energy, Proc.US-Japan Seminar, 13-40.

Thurber,C.H. (1983): Earthquake locations and three dimensional crustal structure in the Coyote Lake area, central California, J.Geophys.Res., 88,8226-8236.

TANADA Toshikazu (1997): The seismicity, 3D velocity structure and the subsurface temperature of thermal water in the northeast area of Izu peninsula, Japan.

<受付:1997年8月5日>

る塩化物泉の地域差が,地熱活動の強さに反映していると述べている.伊豆半島から箱根にかけての地域では,典型的な食塩泉は箱根温泉の第3帯でしか報告されていない.このことは,箱根では現在もマグマ起源の火山エネルギーが地下から供給されていることを示している(Oki and Hirano, 1970).しかし,湯河原などでは,箱根のような典型的な食塩泉が存在しないため,地下からの火山エネルギーの供給が弱いと考えられる.そのため,浅い地震が発生できないのかもしれない.

これまで,温泉に関する調査結果は,水文学・地球化学的データとして扱われることが主であった.しかし,本研究では温泉の成因と精度の高い震源分布等を組み合わせ解析することにより,地殻内の熱構造や強度を推定できる可能性を示した.

また,今回引用した海拔標高-400mの地中温度分布は,1960年代当時の資料をもとに描かれた.今後は,さらに多くの資料を収集し,より正確な熱構造を解明していく予定である.

謝辞:本研究を進めていくにあたって,温泉地学研究所前所長である平野富雄博士をはじめとする温泉班,地下水班,地質班,地震班の役員には,多くのご指摘と助言を頂いた.ここに深く謝意を表す.