

箱根の温泉と群発地震活動と伊豆衝突テクトニクス — 試論 —

吉田明夫*

An introductory study toward a unified model combining hot springs, swarm activities
and collision tectonics in and around Hakone volcano, central Japan

by

Akio YOSHIDA *

Abstract

Noting first an intriguing feature that earthquake swarm areas and distribution of hot springs are spatially separated in the Hakone caldera, we discuss possible reasons why earthquake swarms are likely to occur in the west side and many hot springs are found in the east side from various view points. Then, we show that the observation by Suzuki (1971) that Hakone volcano is inclined to the east is considered to be a manifestation of the accumulated motion of the Tanna and Hirayama faults, and point out that the boundary separating swarm areas and hot springs corresponds to the northern extension of the Tanna fault. Based on the analysis about the data of tri-angular and leveling observations, Tsuboi (1932) estimated that the crustal block on the western side of the Tanna fault moved at the 1930 Kita-Izu earthquake. The fact that most aftershocks occurred to the west of the Tanna fault, as revealed by Yoshida and Hamada (1990), accords to the estimation. We think the western area of the Hakone caldera is in the extensional strain field owing to the intermittence of the Tanna and Hirayama faults and many cracks in the east-west direction may be developed there. It is likely that swarm earthquakes occur making use of such structures. On the other hand, thermal waters are supposed to flow to the east due to the inclination of Hakone volcano. The accumulated displacement that make the eastern side on the Tanna and Hirayama faults subside relative to the western side is considered to represent the movement accompanying the subduction of the Philippine Sea plate. Therefore, it is possible that not only hot springs and swarm earthquakes but also the inclination of Hakone volcano as well as the fault displacements are all related to each other through the tectonic scheme in the northeastern region of the Izu Peninsula.

1. はじめに

1960年代末に、箱根に湧出する温泉の成因を、カルデラの基盤構造や中央火口丘での噴気活動、群発地震活動、それに地下水流動や地温分布と合わせて総合的に論じたモデルが提唱された。その、いわゆる大木・平野モデル (Oki and Hirano, 1970) は、以来、40年にわたって、箱根の温泉を論じるときのみならず、箱根火山に関わる様々な問題を議論する際の基本的な枠組みを提供してきた。しかし、最近になって、大木・平野モデルにおいて根幹をなしている考えと合わない事実の指摘が相次いでいる。例えば、地下水頭の分布の詳細な調査を行った町田ほか (2007) は、地下水が中央火口丘下を通過して西から東へ流れているとは考え難いこと、強羅潜在カルデラ (萬年, 2008) 内の高温高塩化物泉の西北西—東南東走向の分布は温泉水の流れの方向を表しているとは見られないことを指摘し、それとの関連で1960年代末の温泉

の異常昇温現象を再解析した板寺ほか (2010a) は、かつて昇温域が西から東へ次第に拡大・移動したと推定されたのはみかけで、実際は高温高塩化物泉の分布域の東端部でもっとも早い時期に昇温が始まったことを明らかにした。また、硫酸塩炭酸水素塩泉中の炭酸水素イオンは、大木・平野モデルでは有機物起源とされたが、中央火口丘周辺のいくつかの源泉で火山ガスに由来するものも含まれているという分析結果が出されているほか (代田ほか, 2010)、強羅地区の多くの温泉で硫酸イオン濃度と重炭酸イオン濃度との間に相関関係が見られることから、重炭酸イオンが火山活動に起源を持つ可能性が指摘されている (菊川ほか, 2010)。更に、群発地震活動は、1970年代以前、噴気の活発な大涌谷周辺で発生していると考えられていたが、実際は当時においても、近年と同様にカルデラ内の広い範囲で発生していたことが本多ほか (2010) によって示された。

* 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

論文, 神奈川県温泉地学研究所報告, 第42巻, 1-8, 2010

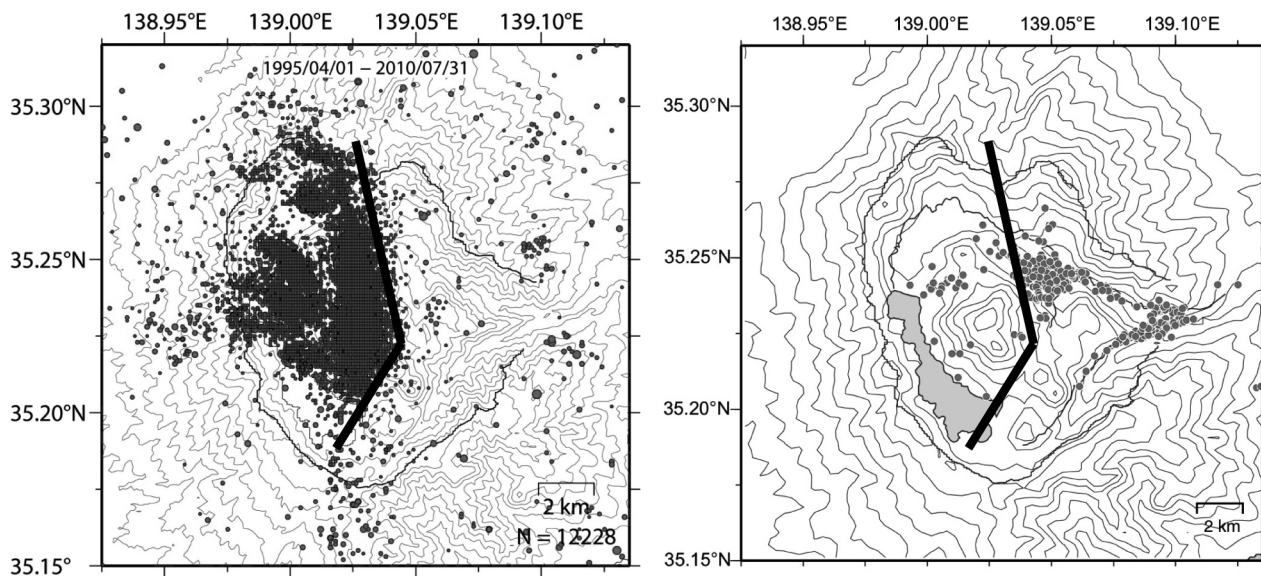


図1 (左) 箱根カルデラ内に発生した10km以浅の地震の震央分布。期間は1995年4月 - 2010年7月 (右) 箱根カルデラ内の温泉の分布。地震の分布域と温泉の分布域は重ならない傾向を持っているように見える。

Fig. 1 Left panel: Epicentral distribution of shallow earthquakes whose depth is equal to or less than 10km, occurred during the period from April 1995 through July 2010. Right panel: Distribution of hot springs in the Hakone caldera. Note the tendency that occurrence area of swarm earthquakes and distribution of hot springs are not spatially overlapped.

本論では、第2節で、温泉の分布域と群発地震発生域とが互いに重ならない傾向を示すことに注目する。次いで第3節では、40年近く前に指摘されながら、その原因が不明だった箱根火山の東への傾動(鈴木, 1971)が、実は、周辺の活断層の動きを反映したものであることを述べる。そして第4節では、丹那 - 平山断層のテクトニックな意義に触れながら、温泉の分布及びその成因、群発地震活動、箱根火山の形態等の種々の地学的な事柄が、伊豆半島北東端部におけるフィリピン海プレートの沈み込み様式を仲立ちとして相互に関連している可能性を指摘して、それらすべてを結びつけた統一モデル構築に向けての予備的な考察を行う。

2. 温泉の分布と群発活動域の空間的相補性

図1は最近20年間に箱根カルデラ内に発生した10km以浅の地震の震央分布と温泉の分布を並べて示したものである。南北方向の太い折れ線は両図で同じところに引いてあるが、一見して、地震は折れ線の西側、温泉はその東側に多く分布していることがわかる。すなわち、地震の活動域と温泉の分布域との間に空間的な相補性が認められる。折れ線は箱根の中央火口丘の東縁にあたっているため、地震は中央火口丘の直下と、その西側の芦ノ湖や仙石原の下で活発に起きていると言える。2001年6-10月の群発活動では、1万回以上に及ぶ非常に多数

の地震が、主として中央火口丘に沿って発生した。その後の2006年9-10月、2009年8月の群発活動は芦ノ湖や仙石原で発生している。本多(2009)は、近年のこれらの群発地震の発生域が互いに重ならない傾向を示すことを指摘している。また、Yukutake et al. (2010a; 2010b)はDouble Difference methodを用いて精密に震源を計算し直し、群発地震が西北西 - 東南東走向のほぼ鉛直な面に沿って、しかも幅が約100mという薄いゾーン内で起きていることを明らかにした。なお、前述したように、1960 - 1970年代には、地震は大涌谷周辺直下で起きていると見られていたが(平賀, 1987) 1970年代の震源を再解析した本多ほか(2010)は、当時も現在と同じような震源分布をしていたことを明らかにしており、箱根カルデラ内の地震活動が中央火口丘とその西側で活発という特徴は、最近だけの傾向ではないと考えてよいと思われる。

一方、温泉は地震に比べて分布の集中度がより顕著である。先述したように、図1の太い実線の東側に多いとはいうものの、東側領域に広く分散して分布するというよりも何ヶ所にクラスターをつくっている。その中で最も顕著なのは中央部の強羅地区である。菊川ほか(2010)によって、ここには6つのタイプの温泉が湧出していることが示された。その中で注目されるのは、マグマからの熱水が起源と考えられる高温高塩化物泉が箱

根カルデラ内のここだけに存在していることと、一方で、塩化物イオン濃度が低くて熱水起源の塩化物泉の混入はないと推定される温泉の中に、酸素同位体比から考えて火山性の水蒸気の寄与を考えざるを得ないタイプの温泉が見られることである（板寺ほか、2010b）。後者のタイプの温泉の存在は、強羅地区で少なくともかつては火山性ガスの噴出があったことを示唆する。そうした推測は、同地区に潜在カルデラが存在するという、萬年（2008）によって提案された説とも付合する。なお、湖尻付近にも温泉群が見られるが、そこにも潜在カルデラの存在が推定されている（萬年、2008）。

箱根の温泉は強羅と湖尻地区のほかに、駒ヶ岳の西及び東の山麓と、早川と須雲川沿い及びそれら二つの川の合流点付近に分布する。早川と須雲川の合流点付近にある箱根湯本は箱根で最も早く開かれた温泉場として知られている。この箱根湯本や早川沿いの塔之沢温泉や大平台温泉は、その泉質から、強羅地区に湧出する温泉のように箱根の火山活動が直接関わって生じた温泉ではなく、伊豆半島の基盤岩の割れ目に胚胎された温泉と考えられている（大木靖衛ほか、1981；菊川・板寺、2008；菊川・ほか、2010）。

以上、述べたように、箱根カルデラ内の温泉は、過去及び現在の火山活動と関係した、強羅、湖尻、それに駒ヶ岳の西及び東山麓のものと、基盤岩から湧出する早川及び須雲川沿いのグループとに、大きく二つに分けられる。前者は中央火口丘をとりまくように分布していて、駒ヶ岳西麓を除く他の温泉群地域には潜在カルデラの存在が推定されている（萬年、2008）。こうしたことから、箱根カルデラ内のなぜその場所に温泉があるのかという問いに対しては、中央火口丘の火山活動、潜在カルデラ、基盤岩というキーワードによって、現象論的とはいえ、一応の答えが用意されている。それに対して、群発地震活動がなぜ中央火口丘下とその西側でのみ起きて東側では発生しないのかという設問には、いまだ解答が与えられていない。

最近、群発地震について次のような特徴が明らかにされている：

1. 震源の深さは10kmより浅く、ほとんどが地表から5km以内で発生している（棚田ほか、2002）。
2. 中央火口丘沿いの活発なゾーンでは南の駒ヶ岳付近で相対的に深く、北に向かって次第に浅くなって大涌谷付近では下限が地表から3kmほどである（棚田ほか、2002）。
3. 個々の群発活動では、ほぼ鉛直で西北西—東南東走向、厚さは100mに満たない薄い2km×3kmほど

のゾーン内で地震が発生している（Yukutake et al., 2010a）。

4. 地震のメカニズム解の一つの節面は地震が発生している面とほぼ重なる（Yukutake et al., 2010b）。
5. 最近10年間に起きた群発地震の発生域は互いに重ならない傾向がある（本多、2009）。

しかし、上のような特徴によって、何故、箱根カルデラ内の群発地震の発生が中央火口丘とその西側に限られるのかを理解するのは難しい。一般に群発地震はどのようなところで起きると考えられているのだろうか。Mogi（1967）は、群発地震発生域と地質・地体構造の比較から、群発地震は地殻の不均一度が大きくて破砕の進んだところで起きやすいと推定している。これから一つの可能性として、箱根カルデラ内で、中央火口丘から西側において破砕度が大きいということが考えられる。Yukutake et al.（2010a）は、箱根カルデラ内に南から続く丹那断層と、カルデラの北側に存在する平山断層の、それぞれ左横ずれ運動によって、それらの断層の中間域が引っ張り場となり、その領域で破砕が進んでいる可能性があることを指摘している。

活動的な火山地域で観測される群発地震の発生原因としてよく知られているのは浅所へのダイクの貫入である。その典型例として伊豆半島東方沖の活動を挙げることができる。伊豆半島東方沖の群発地震の場合、貫入してくるダイクの走向は北西—南東であり、それはその地域のテクトニックな最大主圧力軸の方位に相当する（井元ほか、1981）。そして群発地震のメカニズム解もテクトニックな応力場と一致している。これに対し、上で挙げた4番目の性質は、面状に分布する地震メカニズム解の主圧力軸がその面の走向に斜交していることを示している。これは震源分布が延びる方向と主圧力軸の方向が一致する伊豆半島東方沖の群発地震と異なる特徴である。また、箱根では2001年以来、地殻変動が3回観測されているが、それらの膨張源と推定された開口クラックの場所と群発地震が生じている薄い面状ゾーンの位置は一致していない（原田ほか、2009）。地殻変動が最も大きく観測された時期と群発地震の最盛期の間にもずれがある。いずれにしても、箱根でダイクが浅所に貫入していることを示唆する事実は何もない。したがって、箱根カルデラの西側で群発地震が発生するのは、そこでダイクの貫入が生じているからではないと言ってよい。

火山周辺で噴火とかダイク貫入とかに伴って群発地震が発生するのは、その近辺で急激な応力の増加が生じるためと考えられる。前述のように、箱根火山では群発地震に伴うダイクの貫入はないと見られるが、地震を起

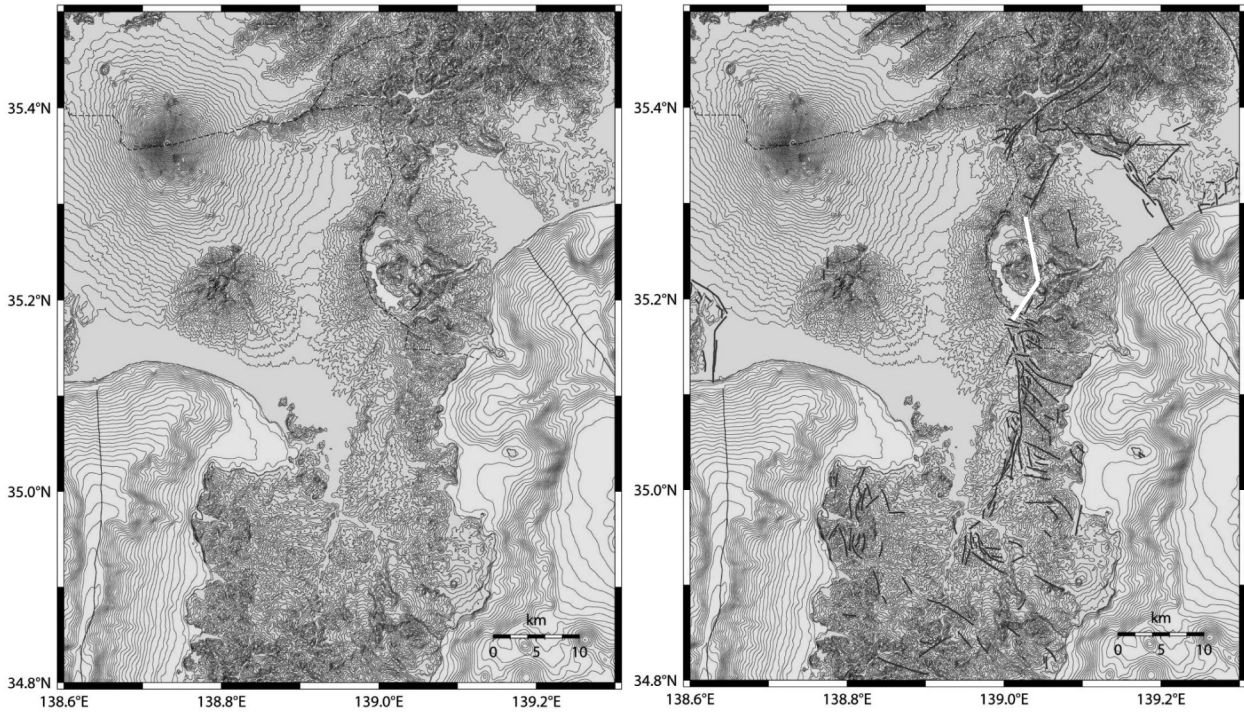


図2 伊豆半島北部の地形図。右側の図には丹那断層（黒実線）と図1の境界線（太い白線）が示されている。

Fig. 2 Topographic map around northern part of the Izu Peninsula. Solid lines and white thick line in the map on the right panel represent surface traces of the Tanna fault and the border shown in Fig.1, respectively.

こす有効応力の急な上昇をもたらす要因は他にもある。それは水である。1965年に長野県松代で発生した群発地震では大量の地下水が地表に流出し、その流出が終わるとともに活動が収束していった。松代地震はいうならば水噴火が原因で起きたという説が有力である（例えば、中村、1971）。箱根の群発地震の場合にも、薄い面状のゾーン内で震源が1点から広がっていった傾向が見られることから、水がそのゾーン内に注入されて、その拡散に伴って地震が誘発されたのではないかと考えが提案されている（Yukutake et al., 2010b）。もし、そうだとしたら、そのような水の注入が中央火口丘の東側で生じない理由は何か？箱根の東側では多くの温泉が湧出しており、むしろ、地下水は東側で豊富なようにも見える。ただし、一般に、温泉を伴う火山周辺地域において、温泉が湧き出しているからといってその付近で群発地震が発生するわけではないことも事実である。温泉が常時湧出しているということは、地下水の通り道がしっかりとつくられていて、そのために、温泉水や地下水内の圧力が急に増大して断層運動を起こしやすくするような状況が生じないようになっているということも考えられる。また、温泉水が豊富に存在することによって地下温度が高い状態に保たれ、応力の増大があっても岩盤が脆性破

壊を起こさないくらい的高温になっているという可能性もあるかもしれない。しかし、ほぼ直線的な境界を境に、その東側だけが地下数kmで400近い温度になっているというのは、想像し難い。地質構造の違いによって、例えば、堆積岩と火成岩が接するところで、片方の岩体に地震が多く見られることはしばしばある（例えば、吉田ほか、1993）。しかし、箱根カルデラの東側と西側で岩体が大きく異なっているとは考えにくい。

以上、箱根カルデラの東側で群発地震が発生しないことの原因について、破砕度が西側に比べて小さい、地下水圧が急上昇しない状況になっている、地震発生層の温度が脆性破壊を起こさないくらい高くなっている、岩体が異なる等、想定される事柄をいくつか挙げた。どれも確証はない。次節では、別の視点から、箱根カルデラの東西で群発地震活動や温泉の分布が非対称なことの背景にこの地域のテクトニクスが関係している可能性について述べる。

3. 箱根火山の傾動と丹那断層

鈴木（1971）は、箱根の古期外輪山の東側斜面の傾斜が西側斜面に比べて急であることや、火山の中心側が落ち込む環状断層が東側斜面にだけあって西側斜面にない

ことなどから、箱根火山は東に傾斜していると推定した。火山体が自身の重みや浸食によって変形することは珍しくないが、一方向に傾くということは他の火山では知られていない。

図2は伊豆半島北部の地形図である。これから、等高線の間隔は箱根火山の東側の方が西側に比べて確かに狭くなっている様子が見える。しかし、図2をよく見ると、等高線の混み具合の違いは箱根火山体に限らずに、その南と北の地域でも同様な傾向があることがわかる。そして南側ではその境界がちょうど丹那断層のところにあたっている。50mメッシュのデジタル地形データを用いて描いた伊豆半島北東部における傾斜角の空間分布を見ても、丹那断層及びその北方への延長を境に、明らかに東側で傾斜が大きい(吉田ほか, 2010)。なお、丹那断層の南端部付近で断層の東側の方が傾斜が緩くなっているのは、そこでは地形が西傾斜になっているためと考えられる。西傾斜のところでは東に傾けば傾斜角は小さくなる。

丹那断層は左横ずれで、東側地塊が50万年ほどの間に西側に相対的に北へ1kmずれていることがKuno(1936)によって明らかにされた。Kuno(1936)はそのことに加えて、丹那断層の動きは純粋な横ずれではなく、同期間に東側の方が100m落ちていることを地形解析によって示した。1930年北伊豆地震の際の断層運動も、そうした50万年間の累積断層変位と整合的であったことを指摘している。なお、北伊豆地震のときの断層運動について、Tsuboi(1932)は地殻変動解析から実際に動いたのは断層の西側の地塊であったと推定しているが、そのことのテクトニックな意義については議論のところで述べる。

北伊豆地震の際に断層ずれが芦ノ湖の南端部でも観察されたことが知られている(松田, 1972)。萬年(2008)によれば丹那断層は箱根カルデラの中を更に北に延びる。ここで注目したいのは、この箱根カルデラ内に推定される丹那断層の延長部が、地震の分布と温泉の分布を分ける、前述の境界線のちょうど南半部と一致していることである。北半部の境界線のところには断層は認められていないが、原田ほか(2009)は、2001年以降3回観測された箱根火山の膨張は、その境界線の北半部の直下に開口割れ目が生じたとすれば説明できることを示した。この開口割れ目を箱根カルデラの北方へ延長した先に平山断層がある。

われわれは箱根火山体とその北部地域で、丹那断層を北に延長した線を境に東側地塊が東側に傾斜していることと、丹那断層の地質学的な累積変位が断層の東側の

沈降を示していることとは関係があると考えている(吉田ほか, 2010)。そして、丹那断層をカルデラ内に延長した線及びそれに続く開口割れ目膨張源を境にその東側で温泉が多いこと、特にマグマからの熱水を起源とする温泉が東側にのみ湧出していることや、一方、群発地震がその西側でのみ見られることも、実は丹那断層の東落ちの動きと関係しているのではないかと推測している。もし、そうした推測が的を射ているとすると、カルデラ内の温泉や群発地震発生域の分布に見られる箱根火山の特徴は、伊豆半島の衝突テクトニクスと関わりを持っていることになる。何故なら、丹那—平山断層系の活動は、伊豆半島の衝突及び相模トラフからのフィリピン海プレートの沈み込み様式と密接に関係していると考えられるからである。次にそのことについて考察する。

4. 議論

丹那断層のテクトニックな意味について、吉田ほか(1979)は、三角測量データの解析で得られた関東から伊豆にかけての地殻変動や重力ブーゲー異常の特徴、神縄断層の活動様式の東部と西部での差違、引張場で形成される単成火山群が伊豆半島北東部に存在すること等から、その左横ずれ運動は、伊豆単性火山群域から丹那断層、平山断層、神縄断層に続く線を境に、伊豆半島の北東端部が、ユーラシアプレートと衝突して押し合いながら駿河トラフに向かう西方への動きを持つ伊豆半島の主部と分離して、相模トラフから沈み込むフィリピン海プレートに追従する動きを表すという考えを提案した。神縄断層はその東方で、大磯丘陵側が競りあがる逆断層成分を持つ国府津—松田断層に続いているので、前節で記述した丹那断層とその延長を境にした東側地域の低下とを合わせると、丹那断層と国府津—松田断層で挟まれた地域—以下、真鶴ブロックと呼ぶ—は周辺域に対して沈降する動きをしているということが出来る。なお、小山(1995)はほぼ同じブロックに相当する区域を真鶴マイクロプレートと名づけているが、独立したプレートと呼べるかどうか疑問があるので、ここではブロックとしておく。

前節で、北伊豆地震の断層運動の際に動いたのは西側の地塊であったと考えられていることを述べた。このことは、丹那断層の東側では沈下しながら北に向かう動きが定常的に存在するのに対して、西側は北部で押し合っているため、東側の動きに引きずられた西側ブロックが地震時に反発すると考えると理解できる。丹那断層とその延長を境に定常的な地殻変動が異なることは近年のGEONET観測結果でも明らかに見てとれる(防災科学

技術研究所、2010)。

それでは、上で述べたことと、2節で示した温泉の分布と群発活動域の空間的相補性とはどう関係するか。これについて、著者は次のように考えている。真鶴ブロックは一つの地塊として一体的な動きをしているのに対して、丹那断層及びその延長の西側領域は、丹那断層に接する区域、箱根火山体、及び箱根の北側と、真鶴ブロックに比べて細分化されている。丹那断層は箱根カルデラ内に続くと述べたが、変位量はカルデラに入って次第に落ちていっていると考えられる。温泉と群発活動域を分けている北部境界では地下に開口割れ目が生じることがあっても、その際の地殻変動から見て左横ずれ的な断層運動はあったとしても小さいはずである。また、箱根の北側にある平山断層はカルデラ内に延びてきてはいないと見られる。このことから、箱根カルデラ内の西側は、南北方向の引張場となっており、恐らくそこでは東西走向の割れ目が生じやすくなっていて、そうした既存の割れ目ゾーンで群発地震が発生しているのではなかろうか。

また、温泉が何故、カルデラの東側に多いかということについては、真鶴ブロックが西側に相対的に沈降しているために、マグマからの熱水が東側に流れ出しやすいと考えれば説明ができそうである。万年の提唱する強羅潜在カルデラの存在も、もちろん温泉の分布に関係しているはずである。

以上、群発地震が何故、箱根カルデラの西側で見られ、一方、温泉は東側で多いか、また、その境界が何故、丹那断層とその延長にあたっているのかについて、一つの考え方を述べた。まだ、検証されなければならない事柄はたくさんある。その意味で、これはあくまでも試論である。

5. まとめ

箱根カルデラ内西側の群発地震発生域と、温泉の分布域とを分ける境界がちょうど丹那断層とその延長にあたっていることを指摘した。そして、丹那断層とその延長を境に、何故、両者の間に空間的相補性が見られるかについて、伊豆半島北東端部のテクトニクスの視点から考察した。本論で提案した考え方は次の通りである：丹那断層西側は東側の真鶴ブロックに比べて細分化されており、箱根カルデラ内は、カルデラの南側に延びる丹那断層と北側の平山断層が途切れたところにあたっていて引張場となっている。そのため、そこには東西性の割れ目ができやすい状況となり、そうした既存の割れ目で群発地震が発生する。また、東側に温泉が多く分布するのは、

真鶴ブロックが西側に相対的に沈降する動きを持っていることによって、マグマからの熱水が東側に流れ出しやすいためではないかと想定される。

謝辞

関連する多くの事実について教示を受けるとともに、それぞれ専門的な視点から批判的かつ建設的な意見をいただいた、温泉地学研究所の研究者すべてに深く感謝します。

参考文献

- 防災技術研究所(2010) 関東地方宇の GEONET 観測網による地殻変動(2006年11月~2009年11月)、地震予知連絡会会報, 83, 135-138.
- 代田 寧・大場 武・菊川城司・板寺一洋(2010) 湖尻・芦ノ湖地区の温泉に含まれる炭酸の炭素安定同位対比(序章), 温泉科学, 投稿中.
- 原田昌武・小林昭夫・細野耕司・吉田明夫(2009) 2001年箱根群発地震活動以後の箱根から富士山にかけての地殻変動, 温地研報告, 41, 7-14.
- 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, 149-272.
- 本多亮(2009) 最近の箱根群発地震活動に見られる震源域の相補的關係, 地震予知連絡会会報, 83, 98-100.
- 本多亮・伊東 博・行竹洋平・原田昌武・吉田明夫(2010) S-P 時間に基づく再解析によって明らかになった1970年代の箱根群発震源域の特徴, 火山学会誌, 印刷中.
- 井元政二郎, 唐鎌郁夫, 松浦律子, 山崎文人, 吉田明夫, 石橋克彦(1981) 1980年伊豆半島東方沖群発地震活動の発震機構, 地震 2, 34, 481-494.
- 板寺一洋・菊川城司・吉田明夫(2010a) 1960年代に箱根の温泉で観測された温度上昇, 地球惑星科学関連学会合同大会, SVC061-10
- 板寺一洋・菊川城司・吉田明夫(2010b) 箱根強羅潜在カルデラ内に湧出する温泉の新しい分類, 温泉科学, 酸素(・水素)同位体比から見た強羅温泉の成因, 温泉科学, 投稿中.
- 菊川城司・板寺一洋(2008) 箱根湯本地区温泉の泉質経年変化の評価 - 成因の解明に向けて, 神奈川県立博物館調査研究報告, 13.195-210.
- 菊川城司・板寺一洋・吉田明夫(2010) 箱根強羅潜在カルデラ内に湧出する温泉の新しい分類, 温泉科学, 投稿中.
- 小山真人(1995) 西相模湾断裂の再検討と相模湾北西部

- の地震テクトニクス, 地学雑誌, 104, 45-68.
- Kuno, H. (1936) On the displacement of the Tanna fault since the Pleistocene, Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo, 14, 619-631.
- 棚田俊収・代田 寧・伊東 博・袴田和夫 (2002) 2001年箱根火山の群発地震活動について, 温泉地学研究 所観測だより, 52, 1-4.
- 町田 功・板寺一洋・萬年一剛 (2007) 箱根強羅地区における高温 NaCl 泉の供給源地, 地下水学会誌, 49, 327-339.
- 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 —, 神奈川県立博物館調査研究報告, 13, 61-76.
- 松田時彦 (1972) 1930年北伊豆地震の地震断層, 星野通平・青木 斌編, 伊豆半島, 東海大学出版会, 73-93.
- Mogi, K. (1967) Regional Variation of Aftershock Activity, Bull. Earth. Res. Inst., 45, 711-726.
- 中村一明 (1971) 水噴火としてみた松代地震, 日本火山学会 1971年秋季大会講演要旨, 33.
- Oki, Y. and T. Hirano (1970) The Geothermal System of Hakone Volcano, Geothermics-special issue 2, U.N. Symposium on the development and utilization of geothermal resources, Pisa, Vol.2, Part 2, 1157-1166.
- 大木靖衛・平野富雄・小鷹滋郎・粟屋 徹・大山正雄・杉山茂夫 (1981) 箱根温泉誌 (I), 温地研報告, 12, 157-248.
- 鈴木隆介 (1971) 箱根火山の地形, 箱根火山, 日本火山学会, pp185.
- Tsuboi, C. (1932) Investigation on the deformation of the earth's crust in Idu Peninsula connected with the Idu earthquake of Nov. 26, 1930, Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo, 10, 435-448.
- 吉田明夫・藤井陽一郎・今永 勇 (1979) 伊豆半島周辺域のテクトニクス, 地震学会講演予稿集, 53.
- 吉田明夫・原田昌武・小田原 啓 (2010) 丹那断層東側地塊の東傾斜とそのテクトニックな意義, 地学雑誌 投稿中.
- 吉田明夫・大久保泰邦・佐藤興平 (1993) 地質ニュース, 468, 6-15.
- Yukutake, Y., H. Ito, R. Honda, M. Harada, T. Tanada, A. Yoshida (2010a) Fine fracture structures in the geothermal region of Hakone volcano, revealed by well-resolved earthquake hypocenters and focal mechanisms, Tectonophysics, 489, 104-118.
- Yukutake, Y., H. Ito, R. Honda, M. Harada, T. Tanada, A. Yoshida (2010b) Fluid-induced swarm earthquake sequence revealed by precisely determined hypocenters and focal mechanisms in the 2009 activity at Hakone volcano, Japan, J. Geophys. Res., in press.

