

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

萬 年 一 剛

(2003年1月28日受付, 2003年9月17日受理)

A Re-examination of Hakone Earthquake Swarms by Literature (1917-60): Implications for the Regional Tectonics

Kazutaka MANNEN*

Hakone volcano is situated at the northern tip of the Izu-Mariana volcanic arc in eastern Japan, and area that is both tectonically and volcanically active. Fumarolic activity is observed at post-caldera cone volcanoes within the caldera, and the northern extension of the Kita-Izu fault, the source of a $M7.3$ earthquake in 1930 (Kita-Izu earthquake), traverses the southern part of the caldera. Although there is no historical record of eruptive activity, many intense earthquake swarms have been reported since 1786 within the caldera. In this study, literature on earthquake swarms in 1917, 1920, 1933-35, 1943, 1944, 1953, 1959-60 are re-examined to reveal detailed development of the activity, seismic intensity and the epicentral region of these events. Two epicentral regions are recognized; the central cones region (1), and the southern part of the caldera (2). Earthquake swarms in (1) are often accompanied by rumbles and the main shock is not distinct; successive earthquakes are felt almost continuously during the peak of activity. On the other hand, earthquake swarms in (2) are rarely accompanied by rumbles and have obvious sequence of foreshocks, a mainshock and aftershocks. The largest earthquakes in the swarms in (2) are larger than those in (1). The two epicentral regions are both on the northern extension of the Kita-Izu fault system. Differences in the style of earthquake swarm activity in regions (1) and (2) may be due to differences of the geology and the source depth. Correspondence between fumarolic activity in the solfataras at central cone volcanoes and seismic activity was not observed except for the 1933-35 swarm. Most of the earthquake swarms at Hakone volcano are therefore probably tectonic earthquakes on the Kita-Izu fault system rather than being related to hydrothermal or magmatic activity within the caldera. Earthquake swarms at Hakone appear to have been rare before 1917, and except for 1786, no historical records exist even though one of the most important highways in Japanese history passed across the volcano. An interpretation that attributes the earthquake swarms since 1917 to foreshocks and aftershocks of the 1930 Kita-Izu earthquake would broadly explain the frequency of earthquake swarms at Hakone volcano since the early twentieth century.

Key words: Hakone Volcano, earthquake swarm, historical record, Kita-Izu fault system, caldera unrest

1. はじめに

箱根火山は伊豆半島最北端に位置する第四紀火山である。約50万年前頃に活動を開始し、2回のカルデラ形成期とそれらを挟む3回の山体形成期からなる複雑な山体形成史をもつ(久野, 1972; 平田, 1999)。2回目のカルデラ形成期(約5万年前)後はカルデラ中央部で噴火活

動を繰り返し中央火口丘群を形成した(中央火口丘期)。中央火口丘期の初期はプリニー式噴火による軽石の放出や小型成層火山の形成を伴ったが、3万6千年前以降は溶岩円頂丘の形成とそれに伴うblock and ash flow型の火砕流の発生を繰り返して現在に至っている(小林, 1999)。最新の噴火は大涌谷で発生し、その時期は ^{14}C 測定によって約3000年前と推定されてきたが(小林・他, 1997; 小林, 1999)、これ以降も数回小規模な水蒸気爆発を繰り返しているらしい(小林・他, 2002)。

箱根火山では大涌谷など4カ所で活発な噴気活動を現在も続けており、活火山と認定されている(気象庁, 1996)。有史以来噴火の記録はないとされているが、群発

* 〒250-0031 神奈川県小田原市入生田 586
神奈川県温泉地学研究所
Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture, 586, Iriuda, Odawara, Kanagawa 250-0031, Japan.
e-mail: mannen@onken.odawara.kanagawa.jp

地震活動や噴気活動に関する記録は1786年以降残っている(気象庁, 1996)。こうした記録はこれまでも平賀(1975)などによってまとめられてきたが、カルデラ内に地震計が設置された1960年より古い群発地震活動については最近の活動に比べ規模が大きかったにもかかわらず、十分に論じられてこなかった。そこで、1960年以前の群発地震活動の文献から、活動の推移・震源を明らかにするとともに、近年の観測によって得られた知見と併せてメカニズムなどを再検討した。

2. 観測研究史

箱根群発地震に関する研究は後述する1917年の群発地震に関する一連の仕事をその嚆矢とする。このときにすでに複数の文献で1786年天明箱根群発地震について言及されているが、これは震災予防調査会の大日本地震史料編纂事業によってすでに歴史資料から検出されていたためであろう。1917年群発地震では数編の調査研究報告が著されたが、その後の箱根群発地震は研究者の関心を集めず、1933-35年の群発地震では神奈川県測候所による報告のみとなる。さらにその後は、1952年の群発地震で横浜地方気象台の報告が現れるまで現地調査に基づく報告がなくなり、気象要覧からわずかに発生の概要が知られるだけとなる。

1959年から1960年の群発地震は、規模が大きいかつ長引いたために、神奈川県知事の依頼により、東京大学地震研究所の水上武が中央火口丘北部地域で臨時観測を実施した。これが複数の地震計による観測網が箱根山体内で構築された最初である。この臨時観測網はのちに常設され、東京大学地震研究所から神奈川県に割愛された。このときの観測網では、大涌谷・早雲山両噴気地帯が群発地震の震央地域であることが認識された。

1967年5月に強羅温泉の塩化ナトリウム泉系列の温泉で温泉の温度と塩化物イオンの急激な上昇が観測された(大木・他, 1968)。この事件は、箱根温泉の起源が塩化物泉にあるというモデルが構築されるきっかけとなった事件であるが、同時に前年5~6月の群発地震活動と結びつけて考えられ、箱根火山の噴気地帯で発生する地震がこうした熱水の上昇による体積変化によるものとされた(大木・他, 1968; Oki and Hirano, 1970; 平賀, 1975)。

1959年以降の観測網によって得られたデータに基づく箱根群発地震の総括的な研究が平賀(1987)によって公表されている。平賀(1975, 1987)は1959年より前の群発地震についても文献や気象要覧の記録から、地震の回数や継続期間を明らかにし、カタログ化しているが、詳しい推移の記載や震源の推定は実施していない。

その後、箱根火山の地震観測網は1989年からテレメータ化された観測網に更新されたが、この観測網では箱根火山の微小地震が大涌谷・早雲山両噴気地帯だけでなく、カルデラ北部や南部など箱根火山を南北に縦断する線上で発生していることが明らかとなってきた。このため、文献のみで知られる1959年よりも前の群発地震についても噴気地帯を中心とした活動と判断できない可能性がある。

なお、古文書に基づく箱根群発地震に関する研究は、石橋(1993)にある。石橋(1993)は宇佐美(1987)などにより震源が箱根とされた江戸期の3つの地震、1768(明和五)年、1786(天明六)年、1817(文化十四)年の地震について検討したが、このうち箱根の群発地震は1786年のもののみで、残りは箱根が震源ではない可能性が高いとしている。

3. 本研究で扱う群発地震活動と文献

本報告では平賀(1987)の箱根火山における群発地震活動のカタログ中から、詳しい文献が入手可能であった大正時代以降の7件について検討を行う。これら7件は地震の数や最大マグニチュードの規模から判断して、おおむね大正時代以降の代表的な群発地震活動であったと考えられる。平賀(1987)や気象庁(1996)はこれら以外にも群発地震活動を抽出しているが、いずれも当時の文献が質・量ともに十分でなかったため、本報告では取り扱わなかった。

本報告で取り扱った文献の、ほとんどは、科学的教育訓練を受けた著者による観察と考察が学術雑誌に掲載されたものであり、十分の信頼性を確保していると考えた。一部、学術目的でない入手困難な文献があるが(神奈川県測候所, 1917; 1935a)、これらについても記述は冷静かつ科学的で、観察記録の信頼性は十分であると考え(付録)。当時の新聞については地方版の記述が充実している。東京朝日新聞、東京日々新聞、横浜貿易新報およびこれらその後継紙を中心に、群発地震発生前後の日付のものに目をおしたが、1959~60年の群発地震以外では関連する情報を得られなかった。

4. 文献に見られる異常と群発地震活動

以下、年代順に大正以降の群発地震活動の記載を行う。箱根火山の周辺および箱根カルデラ内の地名については、Fig. 1およびTable 1を参照されたい。本報告中で箱根町という場合、現在の行政単位としての足柄下郡箱根町全域ではなく、芦ノ湖畔の集落である箱根町を指す。

なお、用語に関してあらかじめ断っておく。箱根火山

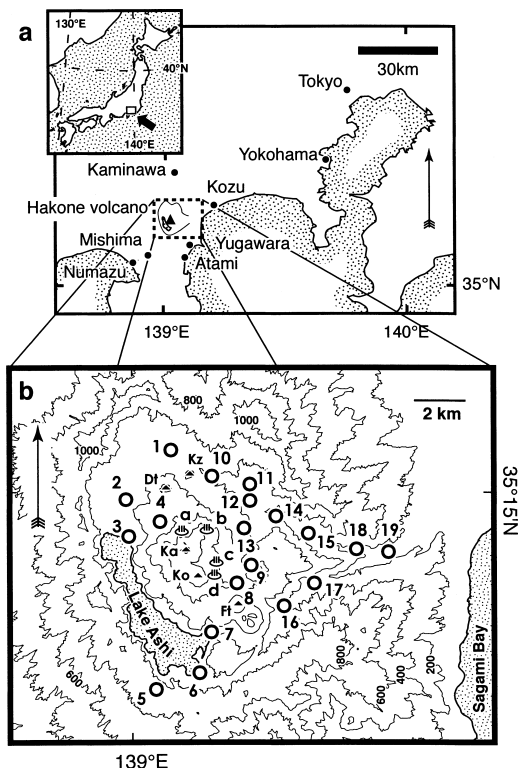


Fig. 1. Index maps of Hakone volcano. a) Locality of Hakone volcano and cities of adjacent area. b) Locality of villages, fumarolic areas, mountain peaks in Hakone caldera. Place names are shown in Table 1.

における群発地震活動ではしばしばコサイスマミックな音響を観測するが、過去の文献のほとんどはこれを鳴動と呼んでいる。鳴動はしばしば地鳴りと同義に用いられるが、噴火などの活動に関連してやや継続時間の長い音を感じることを指す(勝又, 1993)。箱根の群発地震活動の際に聴かれる音は鳴動よりも地鳴りと表現した方が適切であると考え、本文中では地鳴りで統一した。ただし、Table 2 から 4 では、文献の語句を現代語表記に改めた上で、原典とおりに記した。

震度階は 1896 年以降現在まで呼称の変化はあるものの、ほぼ同様に適用できる。しかし、1936 年以前の弱震と強震は正確には「強き方」と「弱き方」に分けられるべきであるのに、原典にしばしばこの記述がない。このため本報告中においては、本文中では原典の記述そのままとし、図中では原典中の記録から推定される震度を現在用いられている震度階に変換してローマ数字に示した。

群発地震の開始時期および終了時期の定義について平賀 (1987) は「1 日の地震数が 5 個以上、その前後の 15

Table 1. List of location in the text. Locality ID is same as Fig. 1b.

locality	name		
1	Sengokubara	仙石原	
2	Sengoku-kogen	仙石高原	
3	Kojiri	湖尻	
4	Ubako	姥子	
5	Hakone-yama weather station	箱根山測候所	
6	Hakone-machi	箱根町	
7	Moto-hakone	元箱根	
8	Ashinoyu	芦之湯	
9	Fuezuka	笛塚	
10	Prefectural hatchery	県養魚場	
11	Miyagino	宮城野	
12	Gora	強羅	
13	Kowaki-dani	小涌谷	
14	Miya-no-shita	宮ノ下	
15	Ohiradai	大平台	
16	Hatajyuku	畑宿	
17	Sukumo-gawa	須雲川	
18	Tounosawa	塔之沢	
19	Yumoto	湯本	
<hr/>			
fumarole	a	Owakidani (Owakudani)	大涌谷
	b	Sounzan	早雲山
	c	Yunohana-zawa	湯ノ花沢
	d	Iwo-yama	硫黄山
<hr/>			
top of mountain	Dt	Daiga-take	台ヶ岳
	Ft	Futago-yama	二子山
	Ka	Kami-yama	神山
	Ko	Koma-ga-take	駒ヶ岳
Kz	Kozuka-yama	小塚山	

日間は地震がないもの」としている。本報告では、この定義にはこだわらず、群発地震活動の推移に着目することを重視し、地震活動がもっとも頻繁であったクライマックスの時期を明らかにし、その前後の推移を記述した。平賀 (1987) の定義は群発地震活動の期間や地震回数を定量的に把握するには便利だが、一連と思われる地震活動を分割してしまう可能性があるからである。

引用文献のうち中央気象台および気象庁が発行している月刊誌である気象要覧に関しては末尾の引用文献には載せず、必要なものに関しては本文中で発行年月を示した。

4-1 1917 年 1 月の群発地震活動

1917 年の群発地震活動は住民にとってかなりの動揺を与えたらしく、噴火するとのデマや、最も活発なときには畑宿の住民が夜間に湯本に避難するなど社会的にもやや混乱を来した(小倉, 1917)。研究者の関心も強くこれ以降の他の群発地震活動に比べても報告が多く残されている(神奈川県測候所, 1917; 中村, 1917; Nakamura, 1917; 小倉, 1917; 大森, 1917a; 1917b)。これらの報告によると、1917 年の群発地震活動の概要は以下のようなものである (Table 2)。

Table 2. Sequence of the Hakone earthquake swarm of January, 1917. After Meteorological Observatory of Kanagawa Prefecture (1917), Ogura (1917) and Nakamura (1917).

日付 (date)	観測事項 (observations)
1月17日 Jan. 17.	小涌谷開花亭の蒸気採取用の隧道中で、異響。28日頃からは孔外でも、ものを落とすような音が聞こえたという。 Abnormal vibration was felt in a tunnel at Kowakidani. Sounds like something being dropped were heard outside the tunnel on and after January 28.
1月24日 Jan. 24.	午後6時頃から9時頃まで、姥子で弱震6回、強震1回。以後日々数回の鳴動。 Six earthquakes of intensity from II to III, and one of earthquake intensity of IV to V were felt at Ubako during 6 to 9 pm. Several under ground rumblings each day were heard since after those earthquakes 芦ノ湯で時々わずかに山鳴りがあり。 Weak underground ramblings were heard occasionally at Ashinoyu.
1月29日 Jan. 29.	昼間に時々、強羅でズシーンズシーンと大砲のような音を聞く。 Sounds like cannon firing were heard occasionally at Gora during the day. 昼間、宮ノ下で2回の軽震。 Two earthquakes of intensity II were felt during the day at Miya-no-shita.
1月30日 Jan. 30.	午前1時頃より、湯ノ花沢で鳴動が観測された模様。 Underground ramblings were heard at Yunohanazawa since 1pm. 午前10時頃、芦ノ湯でやや強い地震。 Slightly strong earthquake were felt at Ashinoyu. 正午頃、元箱根で山鳴りがするように感じる。 Underground ramblings were heard at Moto-Hakone at noon. 午後6時頃より鳴動が起こり、暫時頻繁となる。時々やや強いものも感じられ、湯ノ花沢、姥子、芦ノ湯、強羅、小涌谷、木賀、宮ノ下、箱根等では人心恐々、中には屋外で夜を過ごしたり、山を下りたりするものが出る。 Underground ramblings began about 6pm and became more frequently. Some inhabitants in the caldera took refuge outside their house or village. 湯ノ花沢では棚より飯櫃、瓶が転落。ランプは跳ねとばされる勢いで提灯に代える。 Utensils drops from the shelf at Yunohanazawa. Lamps were knocked over by the tremor.
1月31日 Jan. 31.	午前0時40分頃、強く感じる鳴動。元箱根、宮ノ下、宮城野では時計が止まることもあった。以後次第に鳴動が軽減。湯ノ花沢における最大地震。 The strongest underground rumbling was heard at 0:40am. Tremor stopped some pendulum clock at Moto-Hakone, Miyanoshita and Miyagino. Underground rumblings decreased gradually after that. The strongest earthquake observed at Yunohanazawa. 午前9時30分頃、強い鳴動。姥子における最大地震。 Relatively strong underground rumbling took place at 9:30 am. The strongest earthquake observed at Ubako.
2月1日 Feb. 1.	鳴動は少なかった。 A few underground rumblings took place.
2月2日 Feb. 2.	やや鳴動が頻繁になり、やや強いものもあった。同夜には数は少なく、鳴動も小さくなった。 Frequent earthquakes were felt. Some of them are relatively strong. Fewer earthquakes and weaker underground rumblings were observed in the night. 午後1時、姥子に滞在中の出張員が15分間に9回の震動鳴動を感じ、午後1時10分のは南北に揺れるように感じた。 A dispatched official observed 9 tremor-rumblings in 15 minutes of 1pm at Ubako.
2月3日 Feb. 3.	沈静化する。 Seismic activity stopped.
2月6日 Feb. 6.	このころ鳴動が増加するが、すぐに衰えて沈静化した。 Seismic activity increased but subsided again soon.

最も活発なときは1月30日夕刻から31日朝にかけてであるが、その2週間ほど前から地鳴りなどの異常が中央火口丘近傍で観測された。ただし、大森(1917a)によれば、地鳴りは1917年の数年前から時々感じられるようになったらしい。地鳴りの観測は中央火口丘地域に限られ、湯本では地震を感じるのみであった。

クライマックス時に箱根地域では、湯ノ花沢、小涌谷、元箱根、芦之湯で多数の強い揺れを感じたが、このうち湯ノ花沢では特に地震の揺れが激しかったようである。地震を感じた地域は東が国府津、西が駿東郡東部、南が熱海・三島・沼津、北は足柄上郡神縄の範囲である。いくつかの地震は東京など遠方の地震計でも記録され、特に31日0時40分のもは名古屋の地震計でも記録された。後述する1920年の群発地震活動に比べると地震の回数が極めて多く、縦揺れ成分が卓越していたようである。震動は1~2秒程度のものがほとんどと非常に短く、長くても5秒程度だったらしい。被害としては、畑宿で小亀裂が生じ、このため人家の裏口が小破したというが、ここでは昔から地震の際に時々亀裂を生じたいらしい(中村, 1917)。この一件を除いて建物への被害はないようである。

1917年の群発地震活動の震央域に関しては、地鳴りの聞こえた方向や震度分布をもとに、当時から推定が行わ

れている(Fig. 2)。中村左衛門太郎(中村, 1917; Nakamura, 1917)はとくに詳しく検討を行い、駒ヶ岳と神山の鞍部付近に震央があると考えた。小倉(1917)も住人の話を総合し、また自らも湯ノ花沢で地鳴りを体験した上で同様の結論に至っている。大森(1917a)も湯ノ花沢が震源に最も近いという見解を示し、震源が大涌谷周辺では無いことは明白であると断じた上で、駒ヶ岳、神山を含み芦ノ湖北岸に達する直径約30町(約3270m)の範囲中に数カ所の震源があると考えている。震源を複数個所とした理由は明示されていないが、大森(1917a)は最大地震の時刻が湯ノ花沢と姥子で異なることから(Table 2)、震源が時間とともに若干移動していると考えており、こうした考えに基づいているものと思われる。

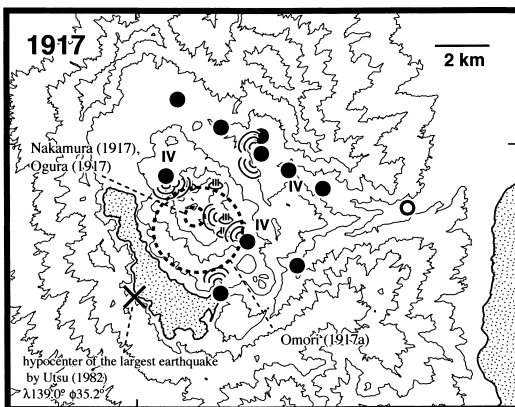
ところで、大森(1917a)の図中で示された震源の範囲を現在の地図上で描くと、大涌谷噴気地帯もこの範囲に含まれてしまう(Fig. 2)。おそらく大森(1917a)の真意は、この群発地震の震源が神山と駒ヶ岳の付近を中心とするものの、それ以上狭い範囲に決定することはできない、ということにあると思われる。

いずれにしても当時の文献に基づく限り、1917年の群発地震はその震源が神山から駒ヶ岳を中心とした地域であると結論できる。宇津(1982)は1月31日0時40分の地震の震源を芦ノ湖西岸(139°E, 35.2°N; $M=4.1/2$)としているが、この震源は実際よりやや西南によりすぎているように思われる。

なお、同年6月にも群発地震活動があったとされるが(たとえば、Kuno, 1962; 平賀, 1987; 気象庁, 1996)、詳しい経緯を知ることはできなかった。

4-2 1920年12月の群発地震活動

1920年の群発地震活動は1917(大正6)年の群発に比べ、地震活動が活発になるまでの地鳴りや地震活動が顕著でないこと、元箱根など中央火口丘南部地域の揺れ方が北部より強かったこと、地震の発生回数が少ないこと、地鳴りは非常に小さいものの揺れた範囲が広いこと、建物に被害が生じるなど揺れが遙かに強いこと、水平動が卓越すること、などの特徴がある。地震活動の推移をTable 3に示す。最も活発な時は12月27日夕方5時30分頃から翌未明ごろまでの数時間で、18時21分の地震は有感距離が長いところで35里に及んだ(気象要覧, 大正9年12月)。神奈川県測候所(1935a)によれば27日夕方から夜半までに箱根町で強震5回、微震または弱震20回以上を感じた。気象要覧(大正9年12月)によれば群発地震活動のあった12月に箱根において小区域地震を3回、同発地震を89回観測した。28日には強震が元箱根で1回感じられたものの活動自体は最も活発なときに比べて大幅に衰退した。それ以後は、毎日数回



- ⊖ observed direction of the ground rumblings
- place where ground rumblings were heard
- place where earthquakes were felt (no rumblings)
- ⊙ epicentral region inferred from literature (see text)

Fig. 2. Distribution of the maximum seismic intensities and reports of ground rumblings of the Hakone earthquake swarm of January, 1917. Seismic intensity shown in this paper corresponds to the present JMA (Japan Meteorological Agency) scale. Hypocenter of an earthquake ($M=4.5$) occurred in 0h40m, January 31, 1917 (Utsu, 1982) is also shown.

Table 3. Sequence of the Hakone earthquake swarm of December, 1920. After Meteorological Observatory of Kanagawa Prefecture (1935a).

日付 (date)	観測事項 (observations)
12月26日 Dec. 26.	午前1時40分, 箱根町で弱震. An earthquake of intensity II to III in Hakone-Machi at 1:40am.
12月27日 Dec. 27.	午前8時44分, 箱根町で弱震. An earthquake of intensity II to III in Hakone-Machi at 8:44am. 朝から元箱根, 箱根町で時々鳴動がある. Several rumblings were heard at Moto-Hakone and Hakone-Machi. 午後5時30分前に強い地震がありその後地震が断続する. Strong earthquake took place before 5:30pm and earthquakes intermittently took place after that. 午後6時30分ごろの地震が最も大きく, この地震で被害が発生した. この日のうちに数十回の有感地震が発生. Strongest earthquake which caused some damages to buildings took place at 6:30pm. Several tens earthquakes took place in this day.
12月28~31日 Dec. 28-31.	毎日数回の地震. Several earthquakes took place everyday.

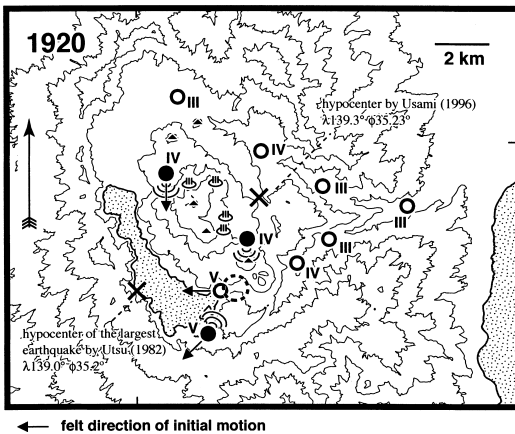


Fig. 3. Distribution of the maximum seismic intensities and reports of ground rumblings of the Hakone earthquake swarm of December, 1920. Hypocenter of the largest earthquake occurred in 18 h 21 m, December 27, 1920 (Utsu, 1982; Usami, 1996) is also shown. Symbols are same as Fig. 2.

の地震を感じる程度であった(神奈川県測候所, 1935a)。気象要覧によると箱根において1月8日に1回, 同10日に3回の地震発生記録がある。

1920年の群発地震活動に関しては, 1917年群発地震活動に比べて文献が少ないが, 加藤(1921)の現地報告はこの地震の震源やメカニズムを考える上で示唆に富んでいる。

加藤(1921)によれば, 姥子では地震のときに「屋根が北より南に突るゝ如く感」じ, 元箱根賽の河原では石塔

の擬宝珠が西にずれたほか, 石碑が西に倒れたという。また, 箱根町の御料局観測所という洋風建築は建物が水平方向時計回りに約1度回転したという。さらに, 箱根町にあった箱根離宮前庭を囲んでいた鉄柵はN56W方向に延びる部分が倒壊したという。地鳴りは姥子と芦之湯で南側から, 箱根町で北北東から聞こえたという。

以上の事柄を地図上にプロットした(Fig. 3)。群発地震活動の震央は震度分布から箱根カルデラの南部に推定される。カルデラ南部で感じられた地鳴りの方向や, 初動の向きを考慮すると震央は二子山付近と考えられる。中央気象台が求めた震源(139°E, 35.2°N; 気象要覧, 大正9年12月)もFig. 3に示した。なお, 宇津(1982)も同じ場所に震源を与えている(M5.7)。この震源は実際よりもやや西に寄りすぎているように思われる。宇佐美(1996)は小涌谷と笛塚の中間付近(139.05°E, 35.23°N)に震源を求めているが, これは震度分布から見て北に寄りすぎているように思われる。

4-3 1933~35年の噴気異常と群発地震活動

1923年大正関東地震および1930年北伊豆地震により, 多数の余震が発生したことで, 箱根において地震を観測した数も増えた。そのため大正関東地震以降に箱根で群発地震が発生しても, 上記大地震の余震と区別が付かなかった可能性がある。この点に考慮する必要があるが, 文献から見る限り箱根における群発地震として認識されているのは1934年末から翌年春先までのものである。

この群発地震は, 地震そのものよりも, 伴って発生しているように見える噴気異常に特異性がある。この噴気

Table 4. Sequence of the fumarolic anomaly and the Hakone earthquake swarm from 1933 to 1935. After Meteorological Observatory of Kanagawa Prefecture (1935a).

日付 (date)	観測事項 (observations)
1933	
2月 Feb.	大涌谷閻魔台の地獄が閉塞し始める。噴気地帯は北西に100m移動し、著しく弱くなる。姥子温泉の湧出量が減少するが、泉温は1度ほど上昇し、39度となる。Fumaroles at Enmadai of Owakidani were becoming ceased. Discharge rate of hot springs at Ubako decreased, meanwhile temperature rise to 39°C (+1°C).
5月11日 May 11.	箱根大涌谷において温泉供給会社が造成タンクを作る工事をしていたところ小規模ではあったが水蒸気爆発が発生し、逃げ遅れた1名が高温の土砂に埋まり死亡した。Vapor explosion occurred at a site of concreting works in Owakidani. A worker was killed in this accident.
1934	
1月 Jan.	姥子温泉に向かう神山の尾根のところどころに噴気。尾根と湖尻道路の交わるところの上方では檜林が数丁枯死する。大涌沢で地すべり。Some fumaroles appeared at the ridge of Kamiyama run down to Ubako. Forest died in several hundreds square meters at upper part of intersect of the ridge and Kojiri road. Landslide at Owakidani.
2月22日 Feb. 22.	午後4時ごろ、駒ヶ岳北西の神山との鞍部で噴気が発生し、噴気の高さが200mに及ぶ。翌日まで活動。At about 4pm, fumes rose from the saddle between Kamiyama and Komagatake and reached up to 200m high. The fumes continued to the next day.
4月 April	姥子で地震4回。Four earthquakes felt at Ubako.
春になって判明か? Ascertained due to spring came?	台ヶ嶽北麓、早雲山北麓、小涌谷~箱根町県境で檜柏類が枯死する。竹類も部分的に枯死する。Oak and cypress trees died around the northern foot of Daiga-take, the northern foot of Sounzan, and Kowakidani to southern Hakone-machi.
5月 May	県水産試験所仙石原孵化場の導水溝南側の地温が著しく上昇する。Ground temperature remarkably rose at prefectural Hatchery.
6月25日 Jun. 25.	硫黄山南西崖上で、長径4 m、短径2.5mの楕円形の噴気孔が新出。噴泥が1 mに及ぶ痕跡があり(8月25日の温度測定で91度)。A new fumarole vent appeared at Iwo-yama.

異常に関しては神奈川県測候所 (1935a) に詳しい (Table 4)。以下、主として神奈川県測候所 (1935a) をもとにこの噴気異常の概要を紹介する。

まず、群発地震が本格化する約2年前の1933年2月に大涌谷の閻魔台と呼ばれる地域の地獄が閉塞しはじめた。5月には小規模な水蒸気爆発で1名が死亡する事故が発生した。この事故は温泉造成のための噴気地帯での工事の際に発生したもので(箱根温泉供給株式会社, 1982)、直接の原因は工事により噴気孔がふさがれたためと考えられる。1934年以降は中央火口丘北部から外輪山南部に至る広い地域で地温の上昇やそれに伴うと考えられる樹木の枯死が認められるようになったほか、各地で新しい噴気孔や噴泥が確認された。特に1934年2月22日には駒ヶ岳と神山の間の鞍部から噴気が噴出し、その高さは200 mにおよび、翌日まで噴出が続いた。この地点は従来から地熱地帯としては認識されておらず、本

報告を執筆前に改めて現地踏査を実施したが地熱兆候はまったく認められなかった。このような地点で噴気が出現したことは注目すべきであろう。なお、当時の気象要覧、新聞を検索したがこの噴気噴出に関する記事は見いだされなかった。

1933~35年の噴気異常は群発地震活動を伴っているが、地表に広範囲な地熱異常が現れているのとは対照的にその活動は低調であるといえる。有感地震や地鳴りは姥子でしか記録がない。1917年や1920年の群発地震活動にくらべて地震の規模がかなり小さかったことは確実であろう。神奈川県測候所 (1935a) によれば、1934年4月頃から地震を感じるようになったが、地鳴りが初めて観測されたのは1934年9月15日のことであり、群発地震活動の活動が活発化したのは1934年12月末以降で、噴気活動の異常出現からはかなり遅れている。

群発地震活動の最も活発なときは1935年1月で、有

Table 4. Continued.

日付 (date)	観測事項 (observations)
1934	
8月中旬 mid. Aug.	姥子温泉の湧出口の上方30mにある水井戸の温度が上昇し、白濁する。Water temperature rose and become clouded in a well at Ubako.
9月15日 Sep. 15.	午前11時45分ごろ大涌谷で地震。閻魔台で地鳴りを聞く。At about 11:45, an earthquake felt at Owakidani. Underground rumbling also heard at Enmadai at Owakidani.
9月24日 Sep. 24.	鳴動2回。Two underground rumblings were heard.
10月10日 Oct. 10.	箱根山測候所(海の平)で硫黄臭を観測。Sulfurous smell was observed at the Hakone-yama weather station.
10月頃 c. Oct.	閻魔台上方の道路面で6個の新噴気孔。Six new fumaroles appeared at the upper part of Enmadai.
12月中旬 mid. Dec.	姥子で一日20回程度の地震が観測されるようになる日が出てくるようになる。In some days, over twenty earthquakes were felt at Ubako.
12月下旬 late Dec.	冠ヶ岳(神山の北)頂上の地面よりわずかながら湯気が立つようになったという。Very weak steaming appeared at the summit of Kanmurigatake (north of Kami-yama) by hearsay.
1935	
1月8~9日 Jan. 8-9.	大涌谷閻魔台の噴気が勢いを増し、北に移動。硫黄山付近の地温が上昇。Fumaroles at Enmadai became active and move to northward. Ground temperature at Iwo-yama increased.
1月 Jan.	姥子温泉で有感地震が激増。22回。Sudden increase of felt earthquake at Ubako. Twenty-two earthquakes were felt.
1月26日 Jan. 26.	午後11時45分、姥子で地震の際にドロドロという地鳴りを初めて感じ、その後30日に1回、31日に6回、地鳴りを感じるようになる。At about 11:45pm, underground rumbling before earthquake observed for the first time at Ubako. Underground rumblings were observed; one in Jan 30 and six in Jan 31.

感地震を1カ月間に22回姥子で観測した。しかし、2月に入ると急激に活動が低下した。神奈川測候所は最も活発なときを過ぎた1935年2月18日から1年1カ月にわたって姥子に大森式簡単微動計を設置し連続観測を行い、姥子付近に震央を有する地震として有感地震4回、無感地震8回を記録した(神奈川測候所, 1935b)。神奈川測候所(1935b)は震源を決定することは困難であったが、初期微動が明瞭な地震では初動方向がおおむね西を指し、初期微動継続時間が0.7秒前後と2-3秒前後の2群があること、体感的にほぼ東南東から突き上げられるような動きが感じられることから、震源は大涌谷とそれよりやや南の2カ所にあると推察している。現在の観測データからは初期微動継続時間が約0.7秒だと、その震源は箱根カルデラ内であると断定できる。しかし、2~3秒となると、その震源は箱根古期外輪山の周辺に位置する可能性が高い。

Fig. 4に噴気や植物の枯死などの表面異常の見られた

地域と姥子とそこで得られた地震波の初動方向を示す。外輪山南部から強羅にかけての直線上に植物の枯死が認められる。これは、1930年の北伊豆地震の際に断層や亀裂が認められた地域に一致する。地温上昇と関連する可能性は否定できないが、神奈川測候所(1935a)にそれを明確に支持する記述はない。北伊豆地震の際に出来た断層や亀裂と関係するものかもしれない。

なお、1933年12月8日に古期外輪山南側外側斜面でM5.2のやや大きい地震が発生しているが、この地震は1934年12月末以降に活発化した群発地震とは別の、単独の地震であろう。神奈川測候所(1935a)にこの地震に関する記述はない。

4-4 1943年4月の群発地震活動

1943年の群発地震活動に関しては箱根地域での詳しい記録は入手することができなかった。気象要覧の記録から状況の推移は以下のようにまとめることが出来る。

1943年4月13日頃から箱根火山の地震と思われるも

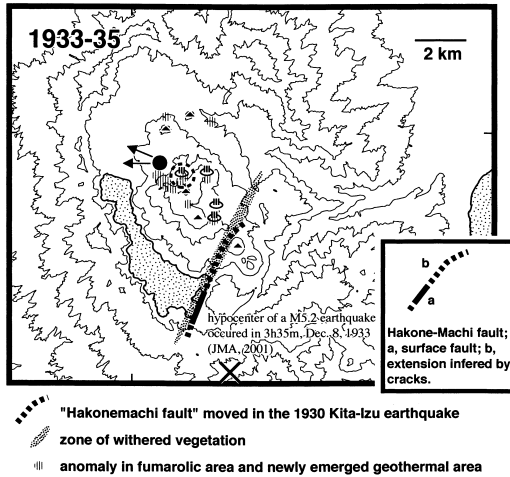


Fig. 4. Distribution of ground rumblings, zone of withered vegetation, anomaly in fumarolic area and newly emerged geothermal area from 1933 to 1935. Symbols are same as Fig. 3. Hypocenter of an earthquake which occurred long before the climax of the earthquake swarm (January, 1935) is also shown for reference (see text).

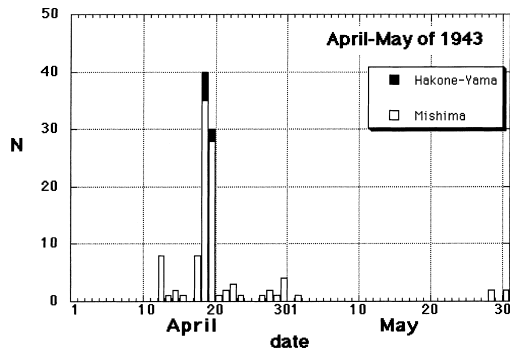


Fig. 5. Daily frequency (N) of earthquakes in "Mishima" and "Hakone-yama" in the catalog of "Weather Service Bulletin" (a monthly report issued by the Central Meteorological Observatory), from April to May of 1943.

のが三島で観測された。箱根を震源と断定できないのは、箱根の地震を観測しうる気象官署である三島測候所と箱根山測候所のうち、三島測候所にしか地震計がないためである。地震回数の最も活発な時は4月19日と20日頃で、この2日間で三島では61回の地震が観測された。また4月中に三島では95回の箱根を震源とすると思われる地震が観測された。Fig. 5に気象要覧にある地震記録を日別回数で示す。なお気象要覧中の震央地名欄を三島とするか箱根とするかの判断基準については、資料が残っておらずよくわかっていない。震央地名が三島

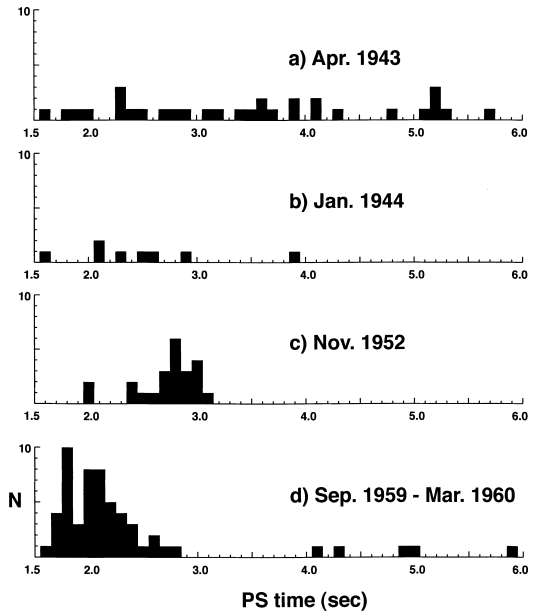


Fig. 6. Frequency of PS time of Hakone earthquake swarms, observed at Mishima weather station. After *Weather Service Bulletin* [a and b], Kawase *et al.* (1954) [c] and Tanaka and Amano (1960) [d].

となっている地震に、箱根を震源とする地震が含まれていることは確実に、本論文中のグラフでは三島と箱根の両方を示す。

三島で観測された地震はいずれも無感地震であったが、芦之湯では19・20日の両日に有感地震が6回(最大で震度4)観測された。また、箱根山観測所では13日から20日の間に有感地震を4回観測した。三島で観測された初動方向は北西ないし西北西である。

震源は箱根山測候所で観測された地震の三島における初期微動継続時間が3秒以下であることから箱根カルデラ内にあると考えてよい。ただし、三島測候所で観測された初期微動継続時間は3秒台、5秒台、およびそれ以上のものも多数ある(Fig. 6)。三島測候所における初期微動継続時間が5秒台だとすると、その震源は静岡県伊東市沖の群発域や丹沢山地の地震もふくまれる。また、三島で観測した初動方向は、箱根を震源と考えるには調和的ではない。しかし、当時の地震計のドラム回転速度は遅く、記録も微細であったために読み間違いがあり、実際の初期微動継続時間ももっと短かった可能性がある。さらに、三島一点でしか記載がないことは、地震が箱根で発生していた可能性を示唆している。なぜならば、初期微動継続時間が気象要覧にある5秒台およびそれ以上であれば、横浜、甲府、伊東などの気象官署でも

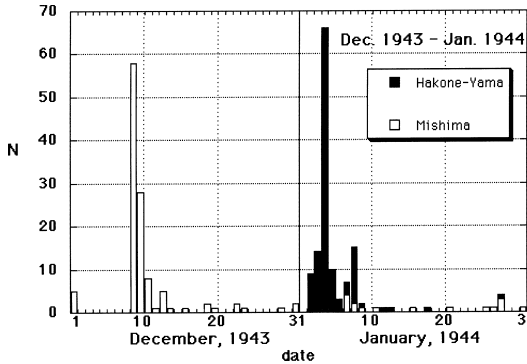


Fig. 7. Daily frequency (N) of earthquakes in “Mishima” and “Hakone-yama” in the catalog of “Weather Service Bulletin”, in December 1943 and January 1944.

観測される可能性が高いからである。なお、平賀 (1987) によれば、1943 年の群発地震活動は 4 月 13 日から 5 月 2 日までである。

4-5 1944 年 1 月の群発地震活動

1944 年の群発地震活動に関しても箱根地域での詳しい記録は入手することができなかった。気象要覧 (昭和 19 年 1 月) の記録を見ると状況の推移は以下のようにまとめることができる。Fig. 7 に群発地震活動前後の日別地震回数を示す。

1944 年 1 月になってから箱根付近を震源とする地震が多くなった。最大の地震は 1 月 3 日 23 時 27 分頃の地震で、芦ノ湯で震度 5 を記録したほか、広い地域で揺れを感じた (最大有感半径は約 110 km)。気象要覧 (昭和 19 年 1 月) の「火山現象」欄によれば、地震回数の最も活発な時は 1 月 4 日前後で 4 日の三島での地震回数は 68 回、うち 3 回が有感であった (「地震」欄では地震回数は 66 回で回数に齟齬をきたしている)。1 月の一カ月間で合計 142 回の地震が観測されたが、ほとんどが 3 日から 8 日の 6 日間で発生した。9 日以降は一日あたり 1、2 回のことが多かった。

1 月 3 日 23 時 27 分頃に発生したこの群発地震活動中で最大の地震について気象要覧 (昭和 19 年 1 月) は箱根火山の北にある足柄峠付近 (139°E , 35.3°N) に、気象庁 (1982) はこの地震について御殿場付近 ($138^{\circ}53'02''\text{E}$, $35^{\circ}20'01''\text{N}$) に震源を推定しているがその後さらに改訂されて気象庁 (2003) では芦ノ湖南部 ($139^{\circ}00'\text{E}$, $35^{\circ}12'\text{N}$; $M=5.1$) とされている。最大震度を記録したのが芦ノ湯であることや南側ほど揺れ方が強いことからみて、実際の震源は箱根カルデラの南部である可能性が高く最近の改訂された震源の方が支持できる (Fig. 8)。気象要覧中で初期微動継続時間を記載した地震数は少ない

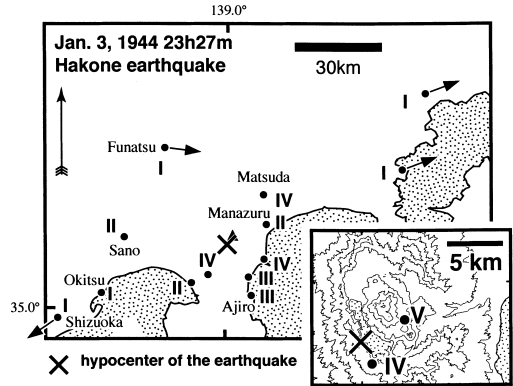


Fig. 8. Distribution of seismic intensity and initial motion of the maximum earthquake of 1944 earthquake swarm and hypocenter reported by “The Annual Seismological Bulletin of Japan for 2001” (a CD-ROM catalog issued by JMA) is also shown.

が、三島で観測された群発地震活動の初期微動継続時間はほとんどが 3 秒以下であった (Fig. 6)。最大地震のそれも 2.9 秒であることから、この群発地震活動の震源は箱根カルデラ内もしくはその近辺にあることを支持する。

平賀 (1987) の定義によれば、1944 年の群発地震活動は 1943 年 5 月 29 日から 1944 年 4 月 18 日までのほぼ 1 年の長きにわたる。中央気象台が震央地名を三島としたものを箱根の群発地震活動と認定するのはやや強引に見える、さらなる検証を必要とするが、少なくともこの期間に箱根山における地震活動が活発であったことは気象要覧の他の記述から明らかである。Table 5 には気象要覧の地震および火山活動の欄における箱根山関連の記録を抽出して示しているが、平賀 (1987) が指摘した期間のほとんどの月で箱根では何らかの地震活動の記録がある。本研究では、箱根カルデラ内で有感地震があった 1943 年 4 月と 1944 年 1 月の 2 つを分離して記載をしたが、全体としてこの 2 年間の箱根地域における地震活動が活発であったことは確かであろう。

4-6 1952 年 11 月の群発地震活動

1952 年の群発地震活動に関しては川瀬・他 (1954) に詳しい。同報告によれば、1952 年の群発地震活動は 11 月 23 日夜半から 24 日未明にかけてが最も活発で、大涌谷、姥子、元箱根では震度 1 程度の連続的な揺れおよび 2~3 分ないし 20 分くらいおきに震度 2 から 3 の地震を感じた。しかし、強羅、宮ノ下、箱根町では連続的な揺れを感じず、有感回数も少なかった。地震は地鳴りを伴った。震度と地鳴りの観測地点および方向の分布を Fig. 9 に示す。

Table 5. List of reports on Hakone volcano in "Weather Service Bulletin" from 1942 to 1944. Original text in Japanese.

年次 year	月 month	事項 chapter	詳細 description
昭和17年 1942	12月 Dec.	中部地方の地震 Earthquakes in Chubu region	10回の有感地震と50回の無感地震があった。之らは主として長野市附近及び箱根山付近に起こったものである。 There were ten felt and fifty unfelt earthquakes. These earthquakes occurred mainly near Nagano-city and near Mt. Hakone.
昭和18年 1943	4月 Apr.	地震 Earthquakes	中旬以後箱根山及三島付近に（中略）小地震が群発したことも著しい現象であった。 It is remarkable that small earthquakes frequently occurred near Hakone and Mishima since the mid April.
		火山現象 Volcanic phenomena	本4月、箱根山の火山性地震とおもはれるものが全月95回うち有感地震が10回観測された。この有感地震のうち19日には中震が2回、19日および20日にそれぞれ1回の弱震があった。 Ninety five earthquakes (ten of them are felt), inferred to be volcanic origin in Hakone, were observed in the April. Two earthquakes of intensity IV and an earthquake of intensity III were observed on the 19th. An earthquake of intensity III was observed on the 20th.
	6月 Jun.	火山現象 Volcanic phenomena	本6月箱根山の火山性地震とおもはれるものが1回観測された。 An earthquake inferred to be volcanic origin in Hakone was observed in the June.
	8月 Aug.	地震 Earthquakes	其の他箱根山附近の地震活動が幾分活発になつた（中略）事は稍々注目すべき事である。 Increase in seismicity in Hakone and environs is rather noticeable.
		火山現象 Volcanic phenomena	本8月箱根山の火山性地震とおもはれるものが全月11回うち軽震1回、微震3回計有感地震が4回観測された。 In the August, eleven earthquakes, inferred to be volcanic origin in Hakone, were observed. An earthquake intensity of II and three earthquakes intensity of I were felt.
	10月 Oct.	火山現象 Volcanic phenomena	本10月、箱根山の火山性地震が全月1回観測された。 In the October, a volcanic earthquake of Hakone was observed.
	11月 Nov.	地震 Earthquakes	三島にて34回の局発的無感地震を観測したが箱根山付近に起こったものかも知れない。 Thirty four local unfelt earthquakes were observed at Mishima. These earthquakes may have occurred in Hakone and its environs.
	12月 Dec.	地震 Earthquakes	今月中主な現象は火山付近における小地震の群発で主に三島測候所で観測された箱根火山付近と見做されるもの（全部無感） Remarkable phenomenon in this month is frequent small earthquakes observed in Mishima weather station inferred to occur in Hakone volcano and environs (all unfelt).

震源に関して川瀬・他 (1954) は考察を行っていないが、この報告に記載されている地鳴りの方向や震度分布からみて神山から大涌谷付近に震源があると考えられる。

川瀬・他 (1954) は大涌谷噴気地帯における新噴気孔、硫黄山噴気地帯の活発化、仙石高原・小涌谷・仙石原の

泉温等の異常について現地住民の話を収録しているが、同時に著しい異常は認められなかったと結論している。

群発地震がクライマックスを迎える4日前の19日14時15分頃に箱根山付近でやや大きい地震があった。この地震の震源は気象庁 (1982) によればカルデラ南部地域 (139°05' E, 35°11' N) でマグニチュードは3.6とされ

Table 5. Continued.

年次 year	月 month	事項 chapter	詳細 description
昭和19年 1944	1月 Jan.	地震 Earthquakes	1年ほど前からひんぱんに活動をはじめた箱根山付近の地震は、有感・無感地震ともに数を増し、ことに、3日4日には地震が多かった。 Seismicity in Mt. Hakone and its environs had been active since about a year ago, increased. There were many earthquakes, especially on the 3rd and 4th of this month.
		火山現象 Volcanic phenomena	箱根山付近に震央を有すると思われる地震が全月で142回、うち有感が12回、三島その他の地震計と区内観測所で観測された。 In this month, 142 earthquakes (12 of them were felt) that possibly originated in Hakone and its environs were observed by seismograph at the Mishima weather station and other observatory.
	2月 Feb.	火山現象 Volcanic phenomena	箱根山に震央を有すると思われる微動が三島測候所で次のように記象された。 Tremors possibly originated at Mt. Hakone were recorded at the Mishima weather station as following.
	3月 Mar.	火山現象 Volcanic phenomena	火山性地震とおもわれるものが18回、おもに三島、時には船津でも観測された。 Earthquakes inferred to be volcanic were observed 18 times mainly at Mishima, but in some cases also at Funatsu.
	4月 Apr.	火山現象 Volcanic phenomena	箱根山 附近に震央を有すると思われる地震が三島測候所で7日に2回、18日に1回観測された。 Mt. Hakone: Earthquakes possibly originated in Mt. Hakone and its environs were observed at the Mishima weather station twice on 7th and once in 18th.
	6月 Jun.	火山現象 Volcanic phenomena	箱根山の火山性地震と思われるものが19日、29日、30日にそれぞれ1回ずつ観測された。19日は有感地震だった。 Earthquakes possibly originated in Mt. Hakone were observed once in a day on the 19th, 29th and 30th. The earthquake on the 19th was felt.
	7月 Jul.	火山現象 Volcanic phenomena	14日に箱根山で有感地震が1回観測された。 An felt earthquake was observed at Hakone-yama weather station on 14th.
	8月 Aug.	火山現象 Volcanic phenomena	箱根山附近の地震と思われるものが全月9回（おもに三島）観測された。 Nine earthquakes possibly originated in Hakone and its environs were observed mainly at Mishima.
	9月 Sep.	地震 Earthquakes	箱根山附近の地震と思われるものが次のように三島・船津その他で観測された（7回）。 Earthquakes possibly originated in Hakone and its environs were observed (7 times) at Mishima, Funatsu and other stations.

ている。この地震について川瀬・他(1954)は詳しく触れていないが、このあと群発地震が本格化するまで少なくとも有感地震はなかったようである。またこの地震の震源は群発地震の震源域と異っており、本論文では19日の地震を1952年の群発地震には含めないこととした。

4-7 1959年9月から1960年4月の群発地震活動
1959年から1960年にかけて発生した群発地震活動に関して、田中・天野(1960)に詳しい。同報告によれば、この群発地震活動は1959年9月1日に始まり、8カ月間にわたって活動を繰り返した。この間11月中旬から12月下旬にかけては地震活動が穏やかであった。何

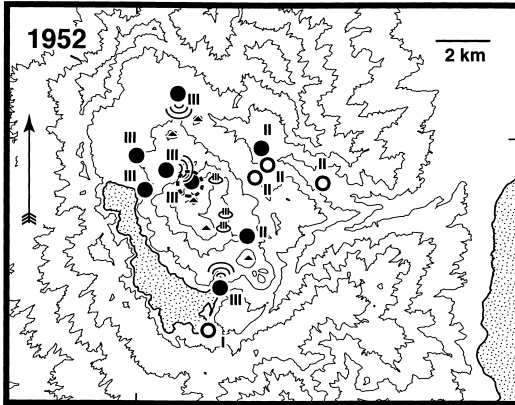


Fig. 9. Distribution of the maximum seismic intensities and reports of ground rumblings of the Hakone earthquake swarm of November, 1952. Symbols are same as Fig. 2.

度か活動が活発なときがあり、そのときには数時間ないし1日前後の間に夥しい地震が発生することがあった。震源は神山付近の深さ1~3 kmのものが多かった。これとは別に、水上(1959, 1960)は1959年10月に2週間にわたって大涌谷付近に地震計を設置して観測を行ったが、震源は大涌谷南部の地表下1~2 kmに推定されている。1960年2月21日0時47分には神山付近の地下数 km で $M4.0$ の地震があり、強羅で震度4を記録した(田中・天野, 1960)。有感範囲は20 km 程度であったが石巻から徳島までの広い範囲で地震計に地震が記録された。なおこの最大地震は気象庁(1982)によれば震源はカルデラ南部の $139^{\circ}01'$, $35^{\circ}12'$ に求められている ($M=4.5$)。すべての地震が大涌谷南部で発生したとする水上(1959, 1960)の結論は再検討の余地があるかもしれない。

この群発地震では地震の活動度と潮汐の間に関連が認められ、低潮時に地震が多かった(田中・天野, 1960)。田中・天野(1960)がまとめた初動方向の分布は、北西南東圧縮軸の横ずれ断層運動と矛盾しない。三島測候所における初期微動継続時間は2秒前半半以下のものが多く、1943, 1944, 1952年の各群発地震活動のもの比べて短い。箱根の群発地震活動では三島測候所における初期微動継続時間が3秒以下であるのが妥当であるが、1943, 1944, 1952年の各群発地震活動で初期微動継続時間に違いがある(Fig. 6)。特に両方とも箱根を震源とすることが確実であろう1952年の群発地震と、1959~60年の群発地震の間でも初期微動継続時間に微妙な違いがある。波形記録が残っていれば再検討が必要であろう。

5. 箱根群発地震活動の震央域と地震の特徴

4章で扱った各群発地震活動の震央域、群発地震活動の継続時間、最大地震の震度やマグニチュードなどをTable 6にまとめた。

カルデラ内に地震計が整備される1959年以前の箱根群発地震活動の震源については、これまで漠然と中央火口丘地域一帯とされてきた。しかし、4章で示したように各群発地震活動直後の報告によれば、その震源域は決して一様ではない。各文献の推定、および文献を元に推定した各群発地震活動の震央域は、神山から駒ヶ岳付近を中心とする中央火口丘地域と、二子山付近以南のカルデラ南部地域の2つに分類できた(Fig. 10)。

中央火口丘地域の活動は、宇津(2001)の分類に従えば、第一種の群発地震(C-1型)に属すると思われる。活動域は、さらに分類できる可能性がある。一つは大涌谷直下付近で、1934~35年、1952年の群発地震活動の主要な震源地であると考えられる。もう一つは神山の南を中心とする地域で1917年の群発地震活動の震源地である。1959~60年の群発地震活動は両者を包括したような震源分布を示している。

一方、二子山以南のカルデラ南部地域は、1920年および1944年の群発地震活動の震央域である。これらの群発地震活動では、第一種の群発地震に重なって通常的地震(本震-余震型)が発生したと解釈できる。この地域には1930年の北伊豆地震の際に活動した北伊豆断層系の一つである箱根町断層の存在が知られており、1920年および1944年の最大地震は、このような北伊豆断層系の断層で発生したのであろう。なお、群発地震の最中に飛び離れて大きい本震が起こるような例は伊豆地方に多いことがわかっている(Utsu, 1981)。

川瀬・他(1954)は箱根火山の群発地震活動に、前震、本震、余震の経過を辿って地震が増減するタイプと、だらだらと地震の頻度が大きくなり最も活発なときにはほとんど連続的に地震を感じやがて減少するタイプの2タイプあることを指摘した。また前者は地鳴りをほとんど伴わないが、後者は地鳴りが観測されることも記している。川瀬・他(1954)の記述は本研究で明らかになった震央域の分類と一致しており、震央域によって異なる群発地震活動の特徴を的確に表現している。

6. 群発地震活動の地学的意義

6-1 群発地震活動の原因

火山やその周辺で発生する地震が、マグマや熱水の活動に伴って発生するものか、あるいは構造的のものであるのかを区別する作業は難しいが、火山活動を評価する上で重要である。野原・他(2000)は最近群発地震が発

Table 6. Summary of the Hakone earthquake swarms in this paper.

earthquake swarm	January, 1917	December, 1920	1933-35	April, 1943	January, 1944	November, 1952	September, 1959- April, 1960
epicenter region	saddle of Kamiyama and Komagatake?	near Futagoyama and Moto-Hakone	Near Owakidani and the south?	northern part of the caldera to central cones area?	southern part of the caldera?	Kamiyama and Owakidani	near Kamiyama
duration	1 month	1 week	? (*0)	2 weeks	1 month	2 weeks	8 months
duration of climax	2 days	12 hours	<1 month (*0)	2 days	4 days	12 hours	10 times of 6-34 hours
maximum intensity in JMA scale and observation point	IV (~V?) Ubako	V Moto-Hakone and Hakone-Machi	II (~III?) Ubako	IV Ashinoyu	V Ashinoyu	III central cones area	IV Gora
maximum distance of perceptibility (R)	<20 km	<80 km	<3 km	<10 km	110 km	<10 km	<20km
M of maximum earthquake (*1)	2.5	4.1	0.3	1.7	4.5	1.7	2.5
M of maximum earthquake (*2)	$4\frac{1}{2}$ (*3)	5.7 (*3)	- (*4)	-	5.1 (*5)	- (*4)	4.5 (*6)
number of felt earthquake and the observation point	over 300 at Ubako	c.100? at Moto-Hakone and others	22 at Ubako	10 at Ashinoyu	12 at Hakone-yama weather st.	52 at Sengokubara	437 at Gora
earthquake number observed in Mishima				95	142	41	179
mode of PS time in Mishima (sec)				5.2	2.1	2.8	1.8
occurrence of the main shock	no apparent main shock	apparent	no apparent main shock	no apparent main shock	apparent	no apparent main shock	no apparent main shock
rumbblings	○	○	○	?	?	○	○

*0, sporadic weak earthquakes and many hydrothermal anomalies were observed during the period. The climax was in January of 1935 but the earthquakes were weak. *1, calculated from the relation; $M = -1.0 + 2.7 \log R$ (Ichikawa, 1960). *2, based on previous catalogues. *3, Utsu (1982). *4, an intense individual earthquake took place in Hakone before the climax of earthquake swarm. See text for detailed information. *5, based on a CD-ROM issued by JMA(2003); "Annual Bulletin The Annual Seismological Bulletin of Japan for 2001". *6, JMA (1982).

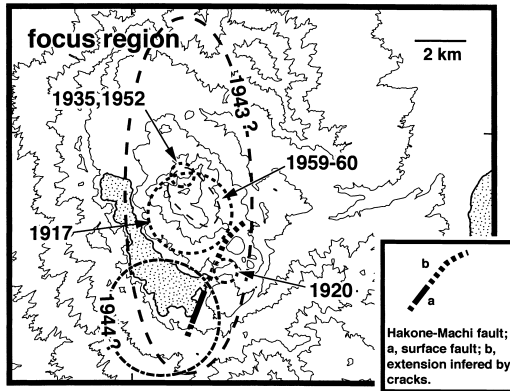


Fig. 10. Epicenter regions of Hakone earthquake swarms.

生した、岩手、鬼首、焼岳、御岳などの火山周辺では活断層などから求められる歪速度が比較的高いことから、火山活動以外に歪みのエネルギーが地震の原因となっている可能性を指摘している。伊豆-マリアナ弧と本州弧の衝突帯にある箱根火山も歪速度が大きい地域にあるといえ、群発地震が構造的である可能性を検討する必要がある。

前章で示したように、箱根火山で発生する群発地震活動のうち、カルデラ南部地域で発生する地震は、火山活動の中心地である噴気地帯から遠く、北伊豆断層系で発生する構造的な地震と考えられる。最近の観測におけるカルデラ南部地域の地震を例にあげると、1994年10月25日に芦ノ湖南部で発生した地震は、震源の深さは約5 kmで、北西南東方向に圧縮軸を持つ横ずれ型断層型のメカニズム解を有し、火山で発生する構造的な地震と考えられている(伊東・他, 1995; 鶴川, 1995)。歴史上発生したカルデラ南部地域の群発地震活動もこれと同様のものであろう。先に示した1920年および1944年の群発地震における最大地震で観測された初動方向の分布は、上記メカニズムと矛盾しない。

一方、中央火口丘地域を震央域とする群発地震は、従来の説では箱根火山の熱水活動と関連していると考えられてきた。Kuno (1962) は噴気地帯における泥流の発生や、噴気孔の移動や活動などの変化が群発地震活動の前後に認められることを指摘し、噴気活動と地震活動の間にいくらかの関係があると述べている。その後、大木・他 (1968) は1967年5月に強羅温泉で食塩泉型温泉の温度と塩化物イオン濃度が急激に上昇した観測事実と前年の1966年5~6月の群発地震活動を関連づけ、地下深部からのCl型熱水の上昇による体積変化が箱根群発地震活動の原因となっていると考えた。

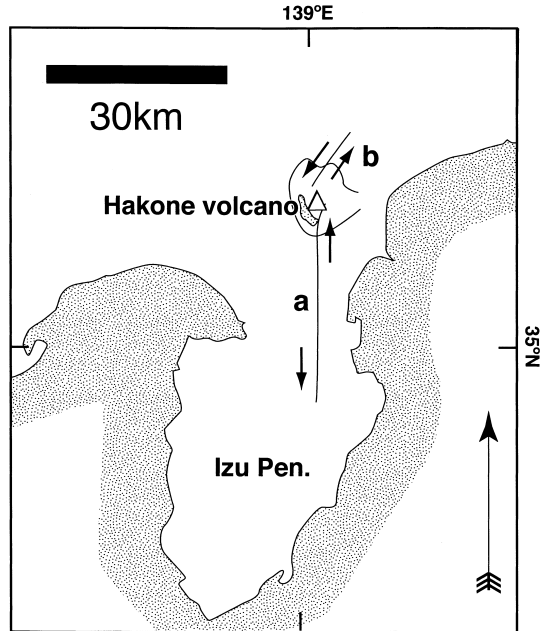


Fig. 11. Schematic map of the Kita-Izu fault (a) and the Hirayama fault (b).

熱水活動が活発になり、熱水が地表近くまで上昇してくることは、1967年5月の強羅地区における泉温上昇(大木・他, 1968)や、2001年群発地震時の大涌谷等での異常(辻内・他, 2003)、1933年から35年の噴気異常現象の存在などからも明らかである。しかし、1917~1959年の群発地震活動の文献を調査した結果、必ずしもすべての群発地震活動で熱水活動の変化が報告されていないことや、熱水活動の活発化が認められるときに観測される群発地震の規模がさほど大きくないことがわかった。このことは、中央火口丘地域においても、箱根火山のマグマや熱水の活動と関連しない構造的な地震が混在している可能性を示唆している。

箱根火山はその北側を山北付近から箱根北方に延びる平山断層に、その南側を伊豆半島中央部を縦断し芦之湯に至る北伊豆断層系によって切られていることが地形的に明らかである (Fig. 11)。中央火口丘付近では断層の存在が地形的に明らかでないが、両断層系は中央火口丘の地下で接続していると考えられており (たとえば、天野・他, 1986; Ito *et al.*, 1989)、小山 (1993) はこうした考えに基づき、丹那断層から平山断層につながる一連の左横ずれ断層系を、丹那-平山構造線と呼んだ。北伊豆断層系は最初の定義では箱根町断層をその北限とするが(松田, 1972)、中央火口丘直下に伏在し、平山断層に延びていると考えられる。

中央火口丘付近で発生する箱根群発地震は基本的にこ

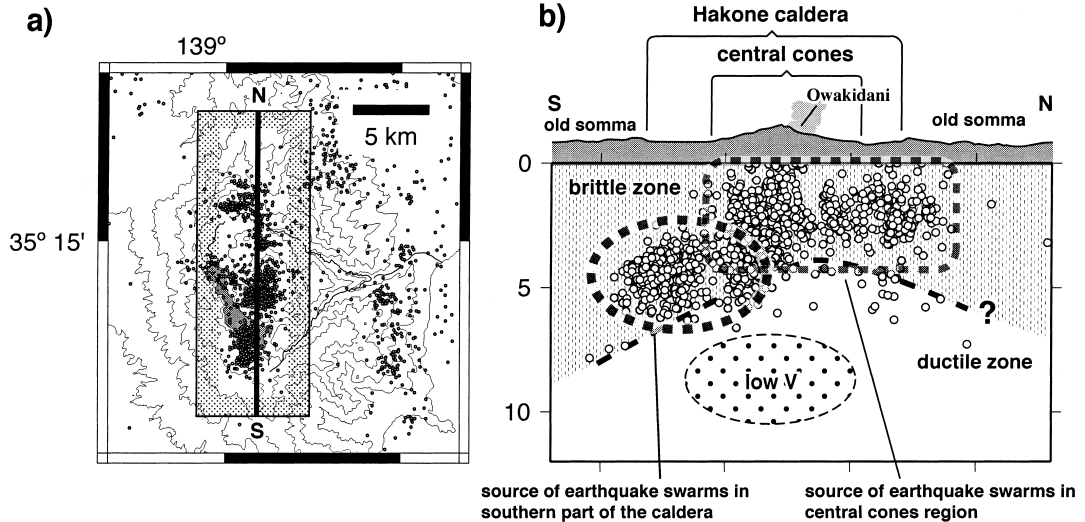


Fig. 12. a) Epicenter distribution of Hakone and adjacent area from 1989 through 1998. (after Oda *et al.*, 2002). b) Schematic view of N-S section inferred from P-wave velocity structure (Oda *et al.*, 2002) and source of earthquake swarms of each regions. Vertical projection for earthquakes within the rectangle in a) is also shown.

うした伏在する北伊豆断層系北側延長部の活動にともなう地震であり、熱水の上昇に伴う断層強度の変化の他、周辺の地震火山活動に伴う地殻応力の変化にトリガーされて発生しているのであろう。

この考えは近年の観測からも支持されるように見える。たとえば、2001年に発生した群発地震活動ではGPSや傾斜計により山体の膨張が観測された大規模なものであったが(たとえば、代田・他, 2002)、その震央域は箱根中央火口丘を南北に貫き、その位置と伸張方向は丹那-平山構造線と一致し、震源メカニズム(酒井・棚田, 2001)の多くも北西南東圧縮で丹那-平山構造線周辺の応力場と矛盾しない。また、地震計による常時観測が始まって以来、箱根火山で発生している微小な群発地震活動が伊豆地域の火山活動に連動して活発化するようにみえることが明らかになっている(大木・他, 1988)。

同じ北伊豆断層系上にありながら、中央火口丘付近とカルデラ南部とで地震の発生様式に違いが生じるのは地質的、熱的な構造の違いによるものであろう(Fig. 12)。カルデラ南部は地熱兆候がなく地震の下限も深さ6 kmほどと比較的深いのが、北に行くほど地震の下限は浅くなり、地熱地帯が存在する中央火口丘北部付近では深さ3 kmほどになる(棚田・他, 2002)。中央火口丘の直下深さ8 km付近では低速度域が確認されている(小田・他, 2002)。こうした地震の深さ分布や、地震波速度分布は熱的な構造を強く反映しているためと考えられる。中央火口丘地域で発生する群発地震の規模が比較的小さく、明

瞭な本震を伴わないのは、地震発生層のほとんどが地質構造の複雑な地下浅部にあるためであろう。カルデラ南部の群発地震は、中央火口丘付近に比べ地震発生層が深く、比較的均質な基盤の中で最大地震をはじめとする多数の地震が発生するため、発生様式が伊豆半島の内陸地震におけるそれ(Utsu, 1981)に近くなるのであろう。

6-2 1930年北伊豆地震と箱根群発地震

箱根火山の群発地震は文献記録を信用する限り、1786年の一件を除けば1917年以前の記録はなく、1917年以降頻発している。今後とも、1917年以前の文献史料について精査する必要があるが、1917年以前の群発地震は稀であったか、少なくとも規模が大きくなかったためであると考えられる。箱根群発地震が北伊豆断層系とその北側延長上で発生していることを考慮に入れると、これが大正期以降に頻発するのは、北伊豆断層系を震源とする地震である1930年北伊豆地震に関連して活動度が増したためであると考えられる。

箱根群発地震に関しては従来から、1917年以降のものは大正関東地震(1923年)に、また1786年のものは天明小田原地震(1782年)と年代的に近接していることから、その関連性が注目されてきた(たとえば、平賀, 1975; 石橋, 1993)が、ここでは北伊豆断層系の地震活動と連動している可能性について指摘したい。

天明小田原地震については、石橋(1993)が西相模湾断裂で発生したと考えているが、この地震は被害地域が北に寄っていることから、震央域は足柄平野の北西から

山北付近にあるものと考えられる(宇佐美・他, 1984; 石橋, 1993). また天明小田原地震は前震的な活動が文献記録から検出されており(宇佐美・他, 1984), 前震・本震・余震型である可能性が高い。震央域は北伊豆断層系北部と, 前震・本震・余震型の発生様式は伊豆地域の内陸地震の特徴(Utsu, 1981)と一致する。このことから, 天明小田原地震は西相模湾断裂の活動ではなく, 北伊豆断層系北側延長の活動としてもよいと考えられる。

箱根群発地震はいわゆる小田原地震と関係して発生しているように見えるが, 上に述べたように北伊豆断層系の一連の活動として見ることも可能である。今後は北伊豆地震と関東地震により箱根地域の応力場がどのように変化したのかを, シミュレーションなどにより評価することで, 箱根群発地震の発生メカニズムについてより詳しく検討することが必要であろう。

7. まとめ

箱根火山の群発地震の震央域は神山から駒ヶ岳付近と, カルデラ南部地域の2つに分類できる。前者を震央域とする群発地震活動は明瞭な主震を伴わず, 地鳴りを伴う。後者を震央域とする群発地震活動は, 前震・本震・余震型の推移をたどり, 地鳴りをあまり伴わない。

カルデラ南部地域の群発地震は, 近年の地震観測網による観測から明らかなように, 構造的なものでマグマや熱水が関与している可能性は低い。一方, 神山から駒ヶ岳付近の群発地震も, 群発地震と噴気地熱異常が必ずしも対になって現れるわけではなく, また, 地震の規模に比例して噴気・地熱異常が現れるわけでもない。むしろ噴気・地熱異常と関係すると思われる群発地震は規模が小さい。こうした事実は, 中央火口丘付近の群発地震にはマグマや熱水の活動以外に, 構造的な地震が混在している可能性を示唆している。

箱根火山は丹那断層から平山断層に連なる丹那-平山構造線によって切られており, 箱根の群発地震の多くは北伊豆断層系およびその北側延長の丹那-平山構造線上の地震活動と考えられる。群発地震の活動様式が中央火口丘付近とカルデラ南部とで異なるのは, 熱的構造により, 地震発生層の下限が異なるためであろう。箱根群発地震が1782年以降, 1917年まで無かったか活動が低調であったと推定されるが, これは箱根群発地震が北伊豆断層系の地震活動である1930年北伊豆地震と関連して活動度が変化したためと考えられる。

謝 辞

箱根群発地震を記録し続けたすべての先達に敬意と感謝を表したい。とくに, 神奈川県測候所による1917年お

よび1935年の出版物の実質的な著者である朝倉慶吉と高木健の周到な観察と詳細な報告がなければ1917年および1933~35年の群発地震の様子を知ることは不可能であった。また, 本書で引用した文献の多くは神奈川県温泉地学研究所の故平賀士郎氏が検出したものである。

神奈川県温泉地学研究所の棚田俊収氏には最近の箱根群発地震の活動をふまえて詳細な議論をしていただいた。査読者の浜田信生, 小山真人両氏には詳細な意見をいただいた上, 見落としていた文献や記述を教えていただき, 本報告は大きく改善された。横浜地方気象台の皆様は未検出の文献を教えていただき閲覧・複写する機会を与えてくださった。Abstractの英文校閲はニュージーランド地質核科学研究所のSteven Sherburn氏にお願いをした。東京都立大学の小田義也氏には震源データの提供をしていただいた。伊藤順一, 寺田暁彦, 山下浩史, 横尾頼子, 蛸子貞二の各氏には文献複写や新聞検索の労をとっていただいた。以上の皆様に感謝申し上げる。

引用文献

- 天野一男・高橋治之・立川孝志・横山健治・横田千秋・菊池純(1986) 足柄層群の地質-伊豆微小大陸の衝突テクトニクス。北村信教授記念地質論文集, 7-29。
- 代田 寧・棚田俊収・伊東 博(2002) 2001(平成13)年箱根群発地震活動に関連した地殻傾斜変動。神奈川県温泉地学研究所報告, 34, 35-44。
- 箱根温泉供給株式会社(1982) 箱根温泉供給社史。260 p。
- 平賀士郎(1975) 箱根火山の地震。箱根火山(日本火山学会編), 103-138。
- 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。
- 平田由紀子(1999) 箱根火山の発達史。神奈川県立博物館調査研究報告(自然科学), 9, 153-178。
- 市川政治(1960) 地震の規模と最大有感距離。験震時報, 25, 13-17。
- 石橋克彦(1993) 小田原付近に発生した歴史地震とその地学的意義。地学雑誌, 102, 341-353。
- 伊東 博・棚田俊収・八巻和幸・大山正雄(1995) 1994年10月25日箱根外輪山に発生したM4.8の地震について。神奈川県温泉地学研究所観測だより, 26, 33-38。
- Ito, T., Kano, K., Uesugi, Y., Kosaka, K. and Chiba, T. (1989) Tectonic evolution along the northernmost border of the Philippine sea plate since about 1Ma. Tectonophysics, 160, 305-326。
- 神奈川県測候所(1917) 大正六年一月 箱根山鳴動踏査報告。12 p。
- 神奈川県測候所(1935a) 箱根山の過去及び現状。18 p。
- 神奈川県測候所(1935b) 神奈川県測候所年報第参篇(地震), 3-14。
- 加藤常次郎(1921) 箱根山調査の件。東洋学芸雑誌, 38, 86-90。
- 勝又 護(1993) 地震・火山の事典。東京堂出版, 318 p。
- 川瀬二郎・竹山一郎・野口憲男(1954) 箱根山のひん発

- 地震について。 験震時報, 19, 24-30.
- 気象庁 (1982) 改訂 日本付近の地震の表 (1926年~1960年). 気象月報 別冊第6, 1-109.
- 気象庁 (1996) 日本活火山総覧 (第2版). 500 p.
- 気象庁 (2003) 地震年報 平成13年 (CD-ROM).
- 小林 淳 (1999) 箱根火山の最近5万年間のテフラ層序と噴火史. 第四紀研究, 38, 327-343.
- 小林 淳・萬年一剛・奥野充・袴田和夫 (2002) 箱根火山大涌谷周辺で発見した最新期の水蒸気爆発に伴う堆積物. 日本火山学会講演予稿集, 2, 94.
- 小林 淳・奥野 充・中村俊夫 (1997) 箱根古期外輪山小斜面に分布する中央火口丘起源の火砕流堆積物の¹⁴C年代. 火山, 42, 355-358.
- 小山真人 (1993) 伊豆半島の火山とテクトニクス. 科学, 63, 312-321.
- Kuno, H. (1962) Hakone. In *Catalogue of the active volcanoes of the world including solfataras fields Part XI, edited by (the international volcanological association eds.)*, 70-80.
- 久野 久 (1972) 箱根火山地質図および同説明書. 箱根火山地質図再版委員会. 52 p.
- 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.
- 水上 武 (1959) 箱根, 早雲山附近の地震及地鳴りに関する調査報告. 神奈川県土木部砂防課, 2 p.
- 水上 武 (1960) 箱根火山, 神山附近の群発地震活動及び鳴動に関する調査観測報告. 29 p.
- 中村左衛門太郎 (1917) 箱根地震に就きて. 気象集誌, 36, 67-76.
- Nakamura, S. (1917) On the Hakone earthquakes in January 1917. *J. Meteor. Soc. Japan*, 36, 15-22.
- 野原 壯・郡谷順英・今泉俊文 (2000) 活断層 GIS データを用いた地殻歪速度の推定. 活断層研究, 19, 23-32.
- 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.
- 小倉 勉 (1917) 箱根火山鳴動に就て. 地質学雑, 24, 140-149.
- 大木靖衛・袴田和夫・伊東 博 (1988) 箱根の逆さ杉. かなしんブックス10, 神奈川新聞社, p 183.
- Oki, Y. and Hirano, T. (1970) The geothermal system of the Hakone volcano. *Geothermics special issue* 2, 1157-1166.
- 大木靖衛・荻野喜作・平野富雄・広田 茂・大口健志・守矢正則 (1968) 箱根強羅温泉の温度異常上昇とその水理地質学的考察. 神奈川県温泉研究所報告, 1, 1-20.
- 大森房吉 (1917a) 箱根山の鳴動に就きて. 東洋学芸雑誌, 34, 129-137.
- 大森房吉 (1917b) 箱根山の鳴動に就きて (承前). 東洋学芸雑誌, 34, 203-210.
- 酒井慎一・棚田俊收 (2001) 2001年箱根の地震活動. 日本地震学会講演予稿集 2001年秋季大会, P 006.
- 棚田俊收・代田 寧・伊東 博・袴田和夫 (2002) 2001 (平成13)年箱根火山の群発地震活動について. 神奈川県温泉地学研究所観測だより, 52, 1-4.
- 田中康裕・天野 宏 (1960) 箱根火山の群発地震活動および箱根周辺の地震. 験震時報, 25, 1-12.
- 辻内和七郎・鈴木征志・粟屋 徹 (2003) 箱根大涌谷で2001 (平成13)年に発生した蒸気井の暴噴事故とその対策. 神奈川県温泉地学研究所観測だより, 53, 1-12.
- 鶴川元雄 (1995) 1994年10月25日箱根付近の浅発地震. 地震予知連絡会会報, 53, 233-238.
- 宇佐美龍夫 (1987) 新編日本被害地震総覧. 東京大学出版会, 434 p.
- 宇佐美龍夫 (1996) 新編日本被害地震総覧 [増補改訂版]. 東京大学出版会, p 234.
- 宇佐美龍夫・関田康夫・勝間田明男・芦谷公稔・鹿島薫・橋口能明・木下幹夫・伊藤純一 (1984) 天明の小田原地震 (1782-VIII-23) について. 地震2, 37, 506-510.
- Utsu, T. (1981) Seismicity of the Izu Peninsula and its vicinity from 1901 through 1980 with some remarks on the characteristics of foreshocks activities. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 56, 25-41.
- 宇津徳治 (1982) 日本付近のM6.0以上の地震および被害地震の表: 1885年~1980年. 震研彙報, 57, 401-463.
- 宇津徳治 (2001) 地震学第3版. 共立出版, p. 201-205.

付録 (神奈川県測候所の出版物について)

本報告で扱った神奈川県測候所 (1917), および神奈川県測候所 (1935a) は報告書ないし一般向け情報提供を目的とする文献で, 入手閲覧が他の文献に比べて困難であるため, その信頼性に関する情報について付記する必要があると考えてここで紹介する. なお引用部分については原則本文のままとしたが, カタカナ表記をひらがな表記に, 旧字体を新字体に改めた.

神奈川県測候所 (1917) は神奈川県測候所が発行した「大正六年一月 箱根山鳴動踏査報告」という題名の活版印刷物である. 1917 (大正6)年3月20日に横浜市で印刷された. 本研究では小田原市立図書館所蔵のものを閲覧した. 報告書の形をとっているが, 印刷後すぐに市町村に配布されたらしく, 小田原市立図書館所蔵のものには金目村役場 (現在は神奈川県平塚市の一部) 1917 (大正6)年3月27日の受領印が認められる.

内容は, 前書き, 「鳴動発作前の状況」, 「鳴動並びに地震区域」, 「鳴動の強弱」, 「地獄と温泉並びに其温度」, 「温泉又は泉水の変化」, 「鳴動の原因」からなる. 最終章を除いてすべて現地における実地調査および住民への聞き取り調査の結果が述べられており, 記述は科学的である. 最終章の「鳴動の原因」は大森房吉の説について紹介をしている.

明示はないが, おそらく当時の所長である朝倉慶吉が実質的な著者であろう. そのように推定できるのは, この報告書と同じ内容のものが一部, 朝倉の名前で気象集誌に報告されているからである (中央气象台, 1917). 横浜地方気象台 (1996) によれば, 朝倉の生年, 出身地は不

明であるが、我が国における気象観測の黎明期から携わり多数の論文を著した。大森房吉とも親交があり、箱根や丹沢における地震の研究も実施し多数の論文を著したらしいが、大正関東地震の際に多くが焼失した。朝倉は神奈川県測候所長在任中に大正関東地震の際に崩壊した建物の下敷きとなり他界したが、彼の学問的な高い評価は当時の中央気象台長の弔辞から読みとれる。

神奈川県測候所 (1935a) は神奈川県測候所が発行した「箱根山の過去及現状」という題名の謄写版印刷物で、1935 (昭和 10) 年 2 月 12 日に東京市で印刷された。本研究で閲覧したのは横浜地方気象台所蔵のものである。頒布形態は不明である。

内容は「自序」、「箱根山の過去状態」、「箱根山の現状」、「今後の予想」からなる。この印刷物の内容もほとんどは現地調査と住民からの聞き取りが主である。

この印刷物の目的は「自序」に明かである。これによれば、「近時箱根山山中の硫黄山、大涌谷付近に小変化あることにより、直ちに今にも箱根火山が噴火するの如く考え、誇張の言を為すものあり、為めに地元の各温泉場の蒙る迷惑は勿論察するに余りあり。また学術研究者等にも多大の不便を与えつつある」。しかしながら「同山の活動力は (中略) 最早噴火する如きことはなく」「人畜に害を及ぼす程のことなき様に」考えられる。そこで「此際一般の疑惑を解かんが為に、茲に本所に於て調査せる事実を網羅せる、この小冊子を物し公表することとした」のであるという。要するに、住民が冷静に行動するよう、調査結果の公表を行ったというのであるが、内容は本文でふれたように多数の異常現象について詳しく書かれている。この箱根の異常について最終章で、「今回は (中略) 今日に至るまで連続して次ぎ次ぎに異象発作

しつつありて、全く前二回 (注; 1917 年および 1920 年の群発地震) と揆を異にするが如く見受けられる」と結論をしている。これは 1933~35 年の噴気異常・群発地震を当時、異常な事態であると認識していたことを示しており、注目に値する。しかし、同書の中で「現時は既往と異り、仙石原温泉供給会社により大涌谷付近の噴気および伏流水の状況」が変化したことや「丹那断層による歪力の変化と共同作用」したため前 2 回と異なった活動をしているのかもしれないので、今後とも注意深く観察すべきだとしている。

神奈川県測候所 (1935a) は著者が所長の高木健であることが明示してある。高木は、1878 年東京市に生まれ、新潟中学を卒業後気象台に就職した。各地の測候所を回ったのち朝倉の後を受けて神奈川県測候所長に就任し、1939 年までその職にあった。高木は 1930 年 11 月 26 日に発生した北伊豆地震にも遭遇したが、その前震が頻発していた 22 日に現地入りし 23 日、現地の住民を前に近い将来丹那断層が活動する地震が発生する旨呼びかけたという。北伊豆地震と神奈川県測候所の対応は大木・他 (1988) に詳しい。高木が当時の水準から見て箱根とその周辺の地質を十分理解していたこと、また観察者として非常に優れた人物であったことは疑いないように思われる。神奈川県測候所 (1935a) も観察と伝聞を書き分けていることや、同書の刊行目的からみて、記述に関しては十分信頼に値する報告書と見るべきであろう。

引用文献

- 中央気象台 (1917) 箱根大涌谷噴出状況. 気象集誌, 36, 354-355.
横浜地方気象台 (1996) 神奈川の気象百年, 215 p.
(編集担当 西村太志)