

第2節 地震部門

はじめに

当所の地震観測事業は、神奈川県土木部の所管していた箱根地震観測所が1968（昭和43）年4月に温泉研究所へ移管されて始まった。観測所が移管された後、いくたびかの群発地震が発生した。これらの群発地震や地震活動の経年変化の観測結果から、箱根火山における過去の地震活動や箱根カルデラ内の震源分布、箱根群発地震の特性等を明らかにすることが出来た。

箱根火山は相模湾の北西端に接し、伊豆半島の付け根にある活火山である。有史以来噴火の記録はない。しかし、今から約4,500年前に中央火口丘・二子山が形成され、次いで約3,100年前に中央火口丘・神山（冠ヶ岳）が大水蒸気爆発を起こした。この水蒸気爆発は神山山体北西部を崩壊させて、大量の土石流が流出し、芦ノ湖を誕生させた。この水蒸気爆発は1888（明治21）年7月15日の会津磐梯山の大水蒸気爆発と類似する程の規模であった（久野、1952）。神山の水蒸気爆発の200年後、爆裂火口底にマグマが貫入し、溶岩ドームが形成され、ドームの尾根を貫いて冠ヶ岳の尖塔が現れた（大木・袴田、1975）。そのさい、火砕流も発生した。現在も激しい噴気活動をしている大涌谷は、この爆裂火口底に位置する。また、1953（昭和28）年7月26日に早雲山噴気地帯において大規模な山崩れが発生し、死者10名、全壊家屋1を出した（気象庁、1975）。箱根には現在も大涌谷、早雲山、湯の花沢の3地域に硫気地帯があり、活発な噴気活動が見られる。このような噴気活動、地震活動などから見ても、箱根火山は今後も噴火の可能性のある火山である。

1990年代に神奈川県西部地域にマグニチュード（M）7級の地震が発生するであろうと指摘されている。そのため、科学技術庁では1987（昭和62）年度から「M7級内陸地震の予知に関する研究」のプロジェクトチームを結成し、予知手法の開発に関する研究を進めている。神奈川県ではこのような状況をふまえ1989（平成元）年度から「神奈川県西部地震問題懇話会」を設け、その地震像、被害の特徴及び対応策について検討した。検討結果は1990（平成2）年3月に「神奈川県西部地震に関する提言」としてまとめられた。この提言の内容を受け、1991（平成3）年6月「神奈川県西部地震対策検討会」が設置され、「県西部地震対策基本指針」の策定を進めている。

一方、温泉地学研究所では、これまでの30年間の調査研究成果によって伊豆大島や三宅島の噴火前後に箱根の群発地震活動が活発になることを明らかにした。地殻の弱点となっている箱根火山は鋭敏な地殻の歪計である。プレートが歪み、地震を起こす状態になると箱根の火山活動に異常が現れるものと考えられる。そのため、県西部地震の予知研究では、箱根火山の活動状況を監視の一つの柱として、県西部地域の観測体制を充実・強化している。

1 神奈川県による箱根火山の地震観測

1・1 箱根火山における地震観測の始まり

箱根火山は活火山である。有史以来噴火の記録はないが活発な噴気活動、温泉活動が古くから知られている。記録に残された箱根で最初の群発地震は、1786（天明6）年3月22日から23日にかけての活動である（武者、1943）。この群発地震は二子山の山崩れ、芦の湯、底倉の温泉に被害をもたらした。

大森房吉（1917）は1917（大正6）年2月3日から11日にわたり箱根火山の群発地震を宮の下富士屋ホテルに設置した百倍微動計で174回の地震を観測し、宮の下から4.3kmのところを震央とした。箱根火山で初めての地震計による観測である。

1930（昭和5）年6月からは静岡の三島側候所にウィーヘルト地震計が設置され、箱根火山の地震を含んだ周辺の地震が気象要覧に公表されるようになった。

1・2 神奈川県土木部による箱根火山の地震観測

1959（昭和34）年9月初旬から箱根の強羅、大涌谷付近に地震および鳴動が頻繁に感じられ、大地震の前兆ではないかと地元の人々が不安をつのらせた（写真2・2・1）。10月1日、内山岩太郎神奈川県知事は、この地震についての科学的調査と火山爆発の可能性についての検討を、浅間火山と取り組み噴火予知の研究をしていた東京大学地震研究所の水上武教授と、箱根火山の地質を詳しく研究し

ていた東京大学理学部地質学教室の久野久教授に依頼した。

10月5日から水上教授をはじめ地震研究所の研究者が箱根に立てこもり地震観測を始めた。地震計が山中に配置され、電線を張りめぐらして大涌谷上湯の旅館「冠峰楼」の一室に地震観測所が設けられた。後に、地震研究所から温泉研究所へ割愛され、箱根火山の地震の解明に多くの成果を残した平賀士郎は、この当時は地震研究所の観測スタッフとして調査に参加していた。図2・2・1に地震計設置場所を、表2・2・1に地震観測網の概要を示した。

これらの調査から、地震の震源位置を観測データに基づいて求めると、震源は神山の地下1～4kmの位置に集中していた。これらの地震は、浅間火山で噴火の前に発生するごく浅い地震（B型地震）ではなく、噴火に直接関係のないやや深い地震（A型地

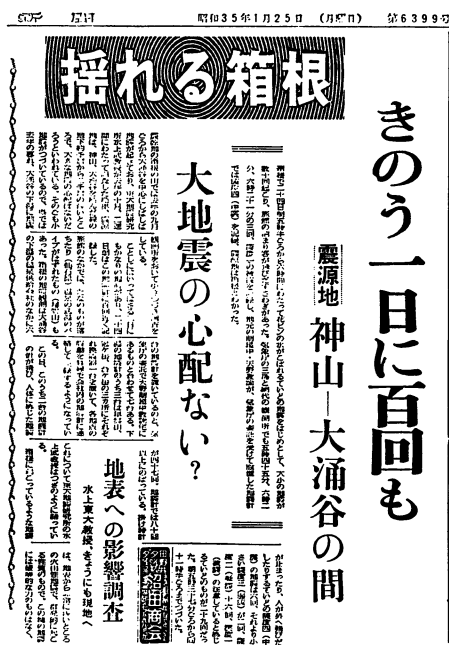


写真2・2・1 1960（昭和35）年1月25日
神奈川新聞

震) であることが判明した。水上教授からこの群発地震は噴火の前兆ではないとの判断が発表された。久野教授は「箱根火山は人間の老齢期に例えることができ、大噴火は発生しないにしても、この程度の群発地震や神山の水蒸気爆発は発生することもあり得るので注意しなければならない」と述べている。

群発地震を通して協力を得た水上武、久野久の両教授と神奈川県の関係は土木部による火山観測事業を通して引き継がれた。

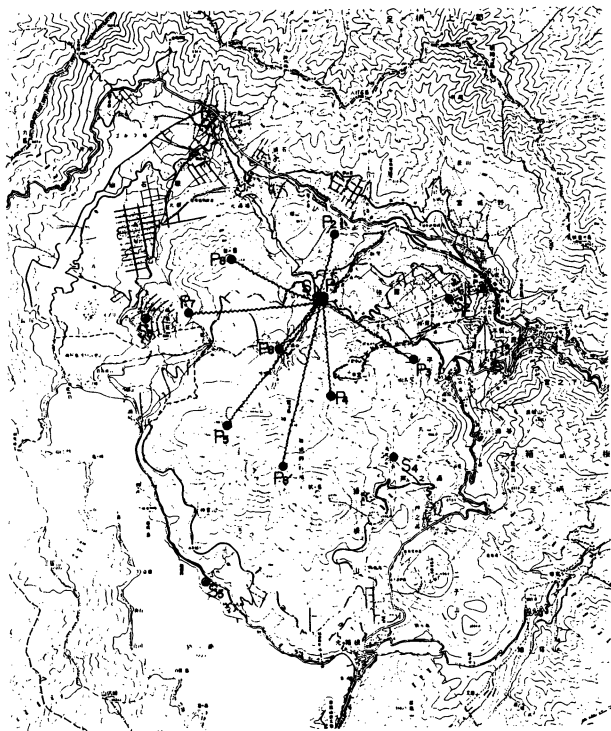


図 2・2・1 東京大学地震研究所による地震計の設置位置
(S) 地震計、(P) 換震器、

場 所	地 震 計 種 類	記録紙の速度	感 度
箱根観測所 S ₁ (下湯)	加速度地震計 上下1成分 水平1成分 (南北)	4 mm/sec 4	2.1 gal/mm 2.1
強 羅 S ₂	同 上 上下1成分 水平1成分 (東西)	2 2	1.7 2.1
温 泉 荘 S ₃	同 上 上下1成分 水平1成分 (東西)	2 2	1.7 2.1
湯 の 花 沢 S ₄	同 上 水平1成分 (南北) (東西)	2 2	2.0 2.1
箱川キャンプ場 S ₅	変位地震計	2	350倍(変位) 10 ⁻⁴ mm/mm (速度)
箱根観測所 P ₁	換 震 器 速度型 上下動	10~30	10 ⁻⁴
養 鱒 場 P ₂	同 上 上下動	10~30	10 ⁻⁴
二 の 平 P ₃	同 上 水平動	10~30	2×10 ⁻⁵
冠 ケ 岳 東 P ₄	同 上 水平動	10~30	10 ⁻⁴
冠 ケ 岳 西 P ₅	同 上 上下動	10~30	10 ⁻⁴
大涌谷富士見茶屋 P ₆	同 上 上下動	10~30	10 ⁻⁴
温 泉 荘 P ₇	同 上 水平動	10~30	10 ⁻⁴
台 ケ 岳 山 頂 P ₈	同 上 上下動	10~30	10 ⁻⁴
冠 ケ 岳 南 P ₉	同 上 上下動	10~30	10 ⁻⁴

表 2・2・1 地震観測網の概要

1・3 箱根地震観測所の発足

1959（昭和34）年9月から1960（昭和35）年4月にかけて発生した群発地震が終息した後、神奈川県土木部は1960（昭和35）年度から箱根下湯に地震観測所を開設し、箱根火山における地震の連続観測を始めた（写真2・2・2）。浅間、阿蘇に次ぐ日本で3番目の火山観測所の誕生である。この当時の国内の火山研究の状況は、1940（昭和15）年以来、一時学会活動を停止していた「日本火山学会」が1956（昭和31）年に復活し、1962（昭和37）年には気象庁が火山観測整備五カ年計画を発足させ、火山噴火予知に向けて整備計画が始められた時期であった。

箱根火山では、地震観測に加えて、大涌谷における地中温度の連続観測が行われるようになった。箱根火山の群発地震の震源は大涌谷付近に集中していることが明らかになったので、地震活動による噴気活動の変化が地表に現れると考えられた。そのために、大涌谷の噴気地帯の地中へサーミスタ温度計を埋設して連続観測を行った（写真2・2・3）。地震計設置場所を図2・2・2、地中温度の測定点を図2・2・3に示す。

観測方法は地震・地中温度とも有線遠隔記録方式の常時観測である。記録紙交換は箱根下湯にある箱根温泉供給株式会社の職員に委託された。観測記録は東京大学地震研究所の水上研究室に郵送され、解析された。観測機器の点検・保守には地震研究所員が東京を朝一番に出て、箱根で調整、点検が終わると下湯からの最終バスの時間となってしまったと言う。



写真2・2・2 1960（昭和35）年～1972（昭和47）年までの神奈川県箱根地震観測所（1961年1月）



写真 2・2・3 大湧谷の地中温度観測（1961年1月）

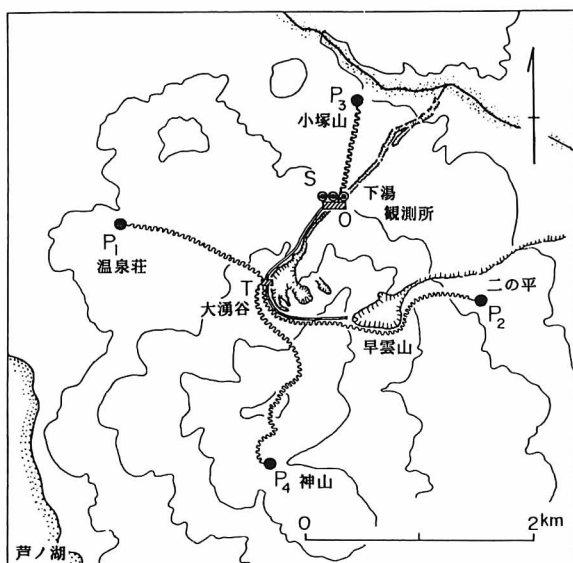


図 2・2・2 地震観測所開設後の地震計設置位置

O：箱根地震観測所、T：大湧沢ケーブルターミナル、
S：石本式3成分加速度計、P：高倍率電磁式地震計

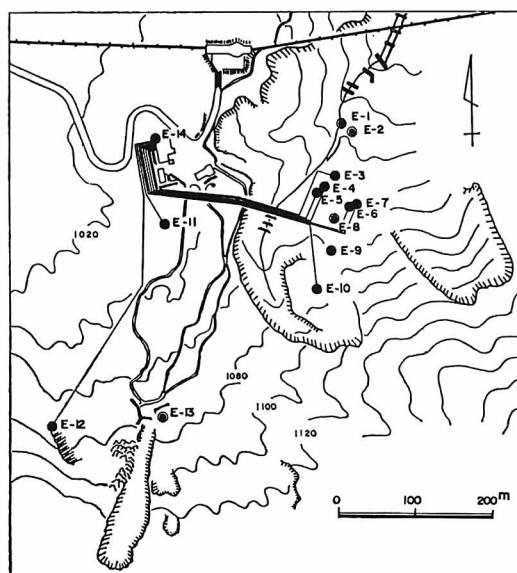


図 2・2・3 箱根大湧沢の地中温度観測位置

●：サーミスタ埋設地点 ◎：直接温度観測地点
—：通信線

1・4 1966（昭和41）年の箱根火山の群発地震と1967（昭和42）年の箱根温泉温度異常上昇現象

1967（昭和42）年5月23日に箱根強羅地区の一部の温泉の温度が急激に20℃も上昇した。温泉温度の急激な上昇は火山爆発の前兆である場合が多い。今までこの様な異常現象は見られなかったので、住民はこの異常現象を噴火や群発地震の前兆ではないかと心配した。温泉研究所は小田原保健所の協力を得て、中央火口丘周辺に分布している源泉の温度を短期間に測定した。異常高温は早雲山の東側山麓の二の平、強羅付近に限られていたが、徐々に標高の低い底倉温泉（蛇骨）でも温度が上昇した。しかし異常高温になったのは、ごく狭い範囲に分布している塩化物泉だけであった（大木他、1968）。

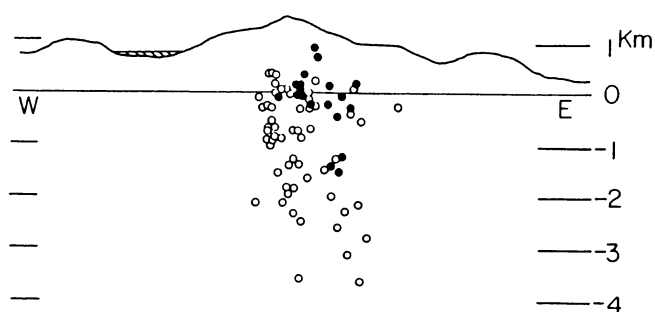
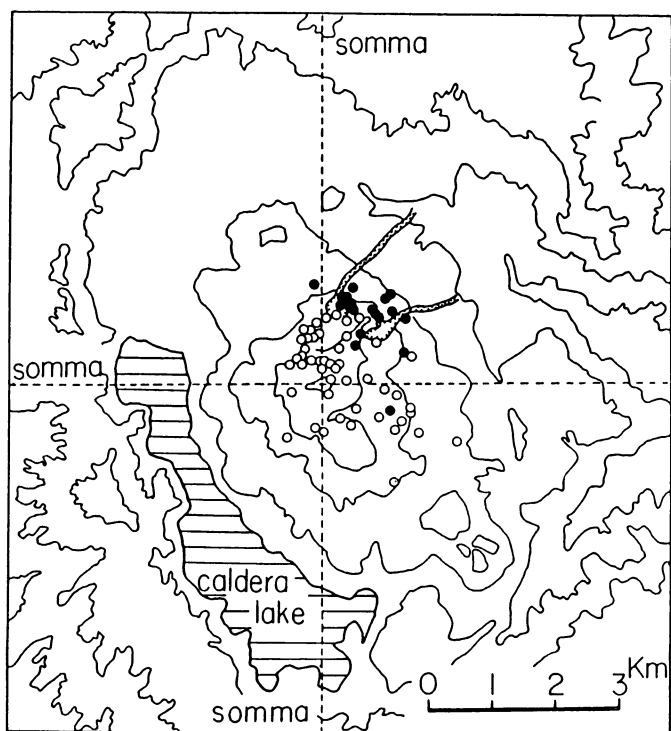


図2・2・4
1952（昭和34）年～1960（昭和35）
年の群発地震（白丸）と1966（昭和41）
年の群発地震（黒丸）の震源分布

異常高温現象が発生する約1年前、1966（昭和41）年6月から7月にかけて有感地震を含む箱根群発地震が発生した（水上、1976）。1966（昭和41）年の群発地震は1959（昭和34）年～1960（昭和35）年の群発地震と比較すると、震源が浅くなった（図2・2・4）。震源は中央火口丘である神山の山体の内部、標高は700～800mの位置から海面下1,500mにわたって分布し、平面的には大涌谷と早雲山の中間部に密集していた。この1966（昭和41）年の群発地震の震源が上部へ移動したということは、神山山体に通ずる火道に地下深部から急激に高温熱水が上昇し、浅い震源をもった群発地震を発生させたものと考えられる。そして約1年間を経過してこの高温の温泉は強羅方面と小涌谷、底倉（蛇骨）方面に到達した。もし、深部からの熱水上昇量がこの時の2倍になれば、火山爆発（水蒸気爆発）の可能性のある事件であった。箱根火山の火山活動を常時監視するためには、火山地震を連続観測すると同時に箱根火山の代表的な温泉の温度、噴気地帯の地中温度の連続観測を続ける必要がわかった。

2 温泉研究所による箱根火山の地震観測

2・1 温泉研究所による箱根火山の地震活動及び火山活動の監視

土木部の所管であった箱根火山の地震観測によって地熱（温泉）活動と地震活動は密接な関係にある事が明らかになった。そのため、土木部の地震観測事業は1968（昭和43）年4月、これまで温泉や地熱に関する調査研究を行ってきた温泉研究所で合わせて行う事となり、土木部から移管された。温泉研究所が土木部から引き継いだ「箱根火山の地震観測事業」は箱根火山の地震と噴気地帯の地中の温度を測定して火山活動を監視し、火山災害に対する防災対策に役立てることであった。移管された地震観測網は土木部から引き継いだものをそのまま使用したが、大涌谷の地中温度観測点は一部変更

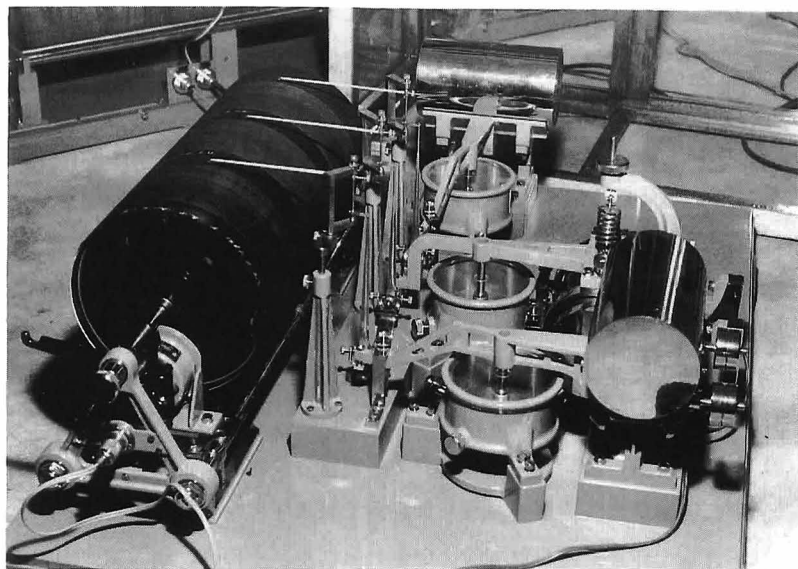


写真2・2・4
石本式3成分加速度計
（1961年1月）

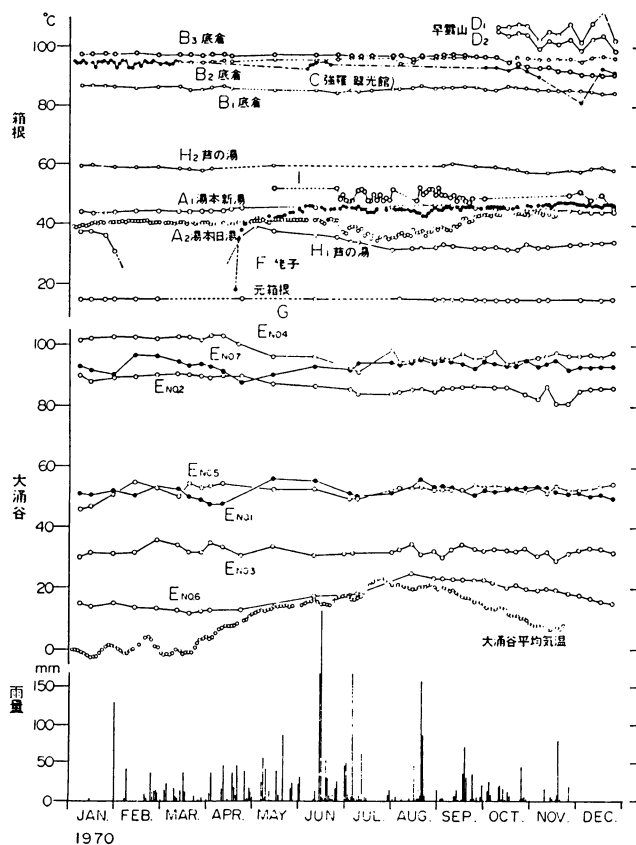


図 2・2・5 1970 (昭和45) 年
箱根火山における泉温、地中温
度および大涌谷の降水量

した(図 2・2・5)。しかし、大涌谷および早雲山の噴気地帯の地中温度観測は、降雨や気温の季節的変動による影響が大きく測定方法に問題があるので、1971 (昭和46) 年で中止した。

地震観測は有線隔離記録方式で記録装置は煤書きであった。地震計は現在 (1991年) 地表設置式の地震観測施設に用いられている地震計と同型の固有周期 1 Hz の水平動地震計が 1 成分設置されていた。観測の感度は変位倍率で 4,000 倍であった。また、観測所には石本式 3 成分加速度計を設置した(写真 2・2・4)。記録紙交換は箱根温泉供給株式会社の職員に引き続き委託し、記録紙の回収は、ほぼ週 1 回行った。観測所の位置や記録方式に若干の変更があったが、この観測システムは 1988 (昭和 63) 年度に観測システムがテレメータ化されるまで 29 年間続いた。

この間、箱根火山の地震観測によって、カルデラ内の震源分布や地震活動の経年変化等が明らかになった。さらに、箱根火山地震の活動と伊豆半島付近海域の地震活動に相補的な関係があることや箱根群発地震の群発期間、発生間隔等の特徴が明らかになった。

一方、国では 1973 (昭和 48) 年、文部省の諮問機関である測地学審議会の建議により、同年、国会で「活動火山対策特別措置法」が制定された。翌年から 5 ヶ年計画で気象庁・大学等による第一次火山噴火予知計画が実施され、観測施設や観測機器の整備強化が進められた。その後、第二次火山噴火

予知5ヶ年計画、第三次火山噴火予知5ヶ年計画、1989（平成元）年からは第四次火山噴火予知5ヶ年計画が進められている。これらの計画の実施により、気象庁及び大学等による観測施設、観測機器及び研究体制は飛躍的に向上した。

地震観測の維持管理

有線隔離記録方式による地震観測では1988（昭和63）年に観測システムが整備されるまでは、山中に敷設された電線の維持管理に担当者の多大な労力が費やされた。箱根山中の地震観測点から下湯の観測所まで鋼線入りの通信線（1TT）が立木の枝などを利用し引かれていた。これらの電線は、降雪、強風、雷、野鼠・野兎、草刈等によって断線し、欠測がしばしば発生した（写真2・2・5）。特に、雷が鳴るとどこかしらの地震計のコイルの断線、もしくは電線の断線が発生するような状態であった。電線がアンテナとなり雷を誘導してしまうためである。そのため、シールド線に替えてみたり、電線の製造時にネズミの寄つかない臭いを塗ってもらったが効果は見られなかった。

断線修理はテスター、ニッパ、ビニールテープ、地震計のコイルを持ち、断線箇所を見つけ出して補修する。断線箇所を見つけるには観測所で地震計からの入力電線をショートした後、断線箇所が地震計のコイルか、電線かわからないため、地震計まで電線を伝って山の中を歩くこととなる。途中、電線のつなぎ目を開き、テスターで抵抗を測り断線箇所の方向を見つけるという作業の繰り返しであった。神山観測点のあった駒ヶ岳から大涌谷へ下る途中で夕方となり、富士山の裾野に沈む夕日を見ながら帰ったことなどが思い出される。

この時代の増幅器は真空管式で電力増幅には6AQ5という双3極管が使用されていた。真空管のプレート電圧260V、ヒータ電圧12Vという時代である。しかし、電気機器類が真空管からトランジスタへと移り変わり真空管の製造が廃止されるにしたがい、1978（昭和53）年頃に真空管式増幅器の使用に終止符が打たれた。しかし、この有線隔離記録方式による観測は1988（昭和63）年に観測システムが整備するまで続けられた。

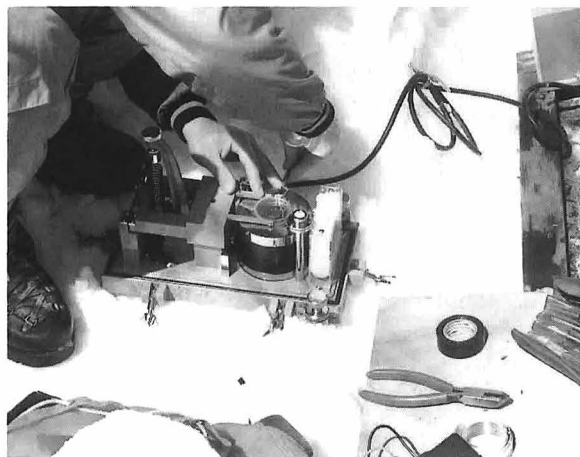


写真2・2・5 (a)地震計のコイル交換（1986年3月）

2・2 箱根地震観測所の箱根町立大涌谷自然科学館への移転

1970（昭和45）年8月12日、箱根町長亀井一郎から県知事津田文吾へ観測所を自然科学館へ移転してほしいとの要望書が出された。1971（昭和46）年11月に自然科学館建設事務局長の加藤泰夫と当時の温泉研究所長大木靖衛との間に、移転に関する覚え書きが交わされ、観測所の移転が決められた。1972（昭和47）年4月、箱根町立大涌谷自然科学館内に移転した観測計器は自然科学館の主要展示物の一つとなった（写真2・2・6）。

記録紙の交換は自然科学館の職員に依頼した。移転当初の地震観測装置は1日巻きのドラムが2本セットされた煤書き式記録を用いていたため、毎日6ヶ所の観測点の煤付けには2時間程度かかっていた。また、煤付けは、慣れないと石油ランプの火が近づきすぎて記録紙が焦げ、黒く成りすぎたり、ニスで手がベトベトになるなど苦労があった（写真2・2・7 煤付け作業手順）。



(b)電線の修理（1986年3月）

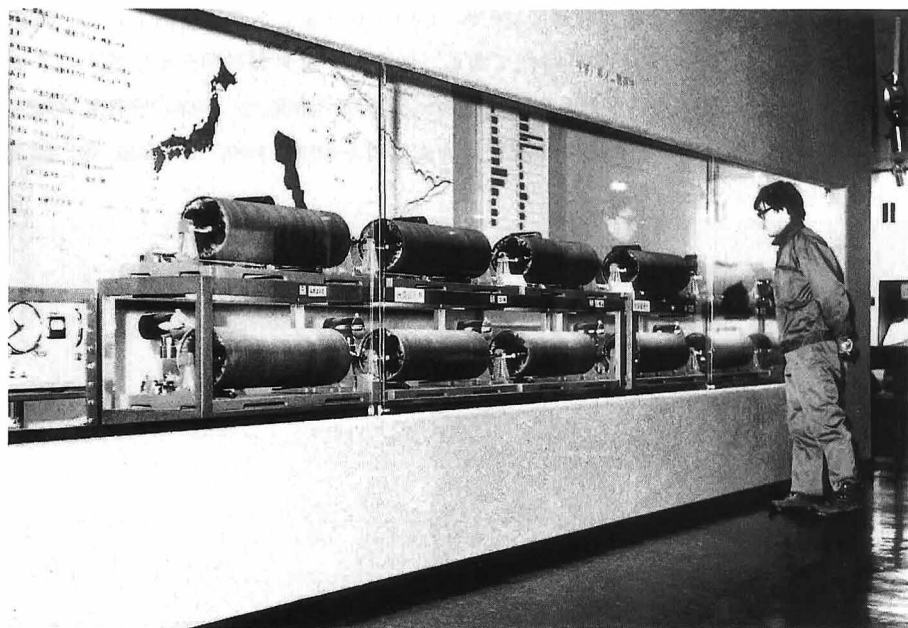
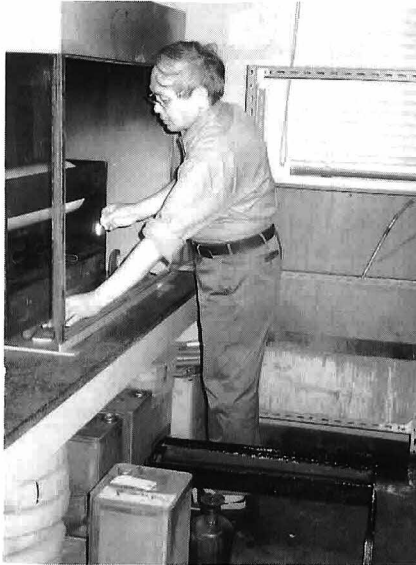


写真2・2・6 箱根町立自然科学館内に移転した箱根地震観測所（1972年11月）

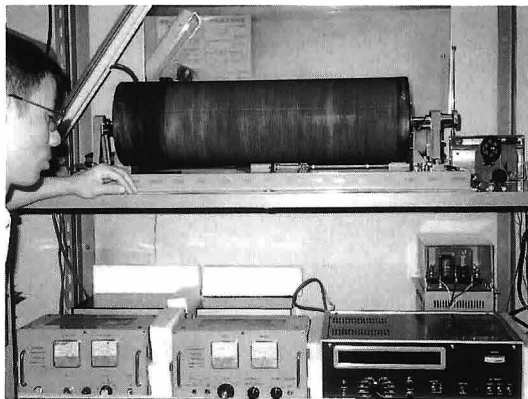
写真 2・2・7 煤付け作業手順（1984年 9 月）



(a)石油ランプに火をつける



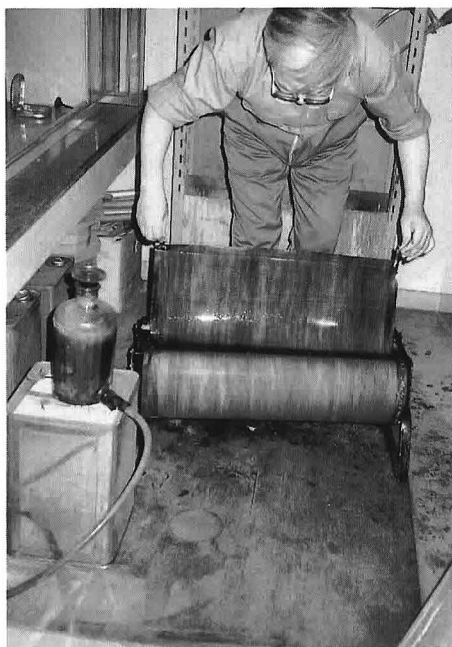
(b)ドラムを回転させながら記録紙に煤をつける



(c)記録計にセットし、観測する



(d)地震の無い場所を選び、記録紙をナイフで切り放す



(e)ニスの中に記録紙をそっとくぐらせる



(f)ニスを良くきって、乾燥させて完成

2・3 記録方式及び震源決定法の変遷

地震記録の整理は、記録紙を週に1回程度回収し、地震波の初期微動継続時間（S－P）が2秒以下の箱根カルデラ内に発生する地震に限って検測した。

検測は煤書きの記録紙に朱墨で時間を記入することから始められる。当時の記録には時計の分マーク、時マークしか記録されていなかったため、時マークが何時のものか判らない。また、分マーク間の時間もドラムを回転させるギアのバックラッシュなどによりばらつきがあり、読み取りの精度は1/10秒程度であった。地震波形の読み取りには0.2×100mmのガラス板スケールに拡大レンズのついたルーペ（写真2・2・8）を用い、地震波の到達時刻、（S－P）時刻、波形の最大振幅等を検測した。

この記録方式は1982（昭和57）年4月に、全ての記録装置を煤書き方式から長時間観測用インク書き方式およびサーマルドット記録方式に変更されるまで続けられた（写真2・2・9）。インク式の記録計に変更されてからは、それまで毎日行っていた煤書きドラムの記録紙の交換がなくなった。



写真2・2・8 煤書き記録紙の検測（1991年10月）

地震波形検測後の震源決定は、1978（昭和53）年までは3点以上の（S－P）時間が読みとられた地震について図式解法で求められていた。この時代は時刻精度が低く、今のようにコンピュータが普及していなかったため作図による図式解法が一般的に用いられていた。

図式解法による震源決定

震源を求める図式解法とは、観測された初期微動継続時間（S－P時間）から大森公式と呼ばれている関係式により震源を求める方法である。大森公式は

$$\text{震源距離} = k \times (\text{S－P時間})$$



写真 2・2・9 1982 (昭和57) 年に煤書き方式から変更された記録計 (1984年 6 月)

で表される。ここで、 k は大森常数 (km/sec) と言い、一般の構造性地震について $6 \sim 8 \text{ km/sec}$ が適用されるが、箱根火山の地震では $2 \sim 4 \text{ km/sec}$ を用いた。

この大森公式により、各観測点毎の ($S-P$) 時間から求められた震源距離を半径として各観測点毎に円を描く。3 観測点以上の円が描かれると、それらの円の交点が震央となる。震源の深さは震央と、任意の一観測点を結んだ直線に立てた垂線の長さから求めることが出来る (図 2・2・6)。この方式の利点は、地震波到達時間の検測精度が悪くても ($S-P$) 時間が求められれば震源が決定できることにあった。

コンピュータによる震源決定

当所におけるコンピュータを用いた震源決定は1975 (昭和50) 年、東京大学地震研究所の汎用機で使用されていた多点震源決定用プログラム (HD-500) のプログラムリストを、当時横浜の県政総合センターにあった電算システム課分室の汎用計算機 (FACOM M160AD) に入力して用いたことが最初である (写真 2・2・10)。この頃の計算機の利用は2~3ヶ月分の観測データのリストを持ち込み、自ら入力カードを作成し、計算結果を待つという状況であった。その後、1978 (昭和53) 年11月にアメリカ地質調査所 (U.S.G.S.) から HYPO71 (Lee, W.H.K. et al., 1975) という震源計算プログラムを入手し、地震研究所のプログラムと合わせ、箱根火山及びその周辺の地震波速度構造などを従来の図式解法により求められていた震源計算結果と調和するよう検討しながら試行稼働した。

箱根カルデラの地下構造は、中央火口丘の噴出物を主とするカルデラ底堆積物中に箱根火山地震の震源が集中しているため、ここを地震波速度構造の第一層 (P 波速度、 1.8 km/sec) とし、厚さは地

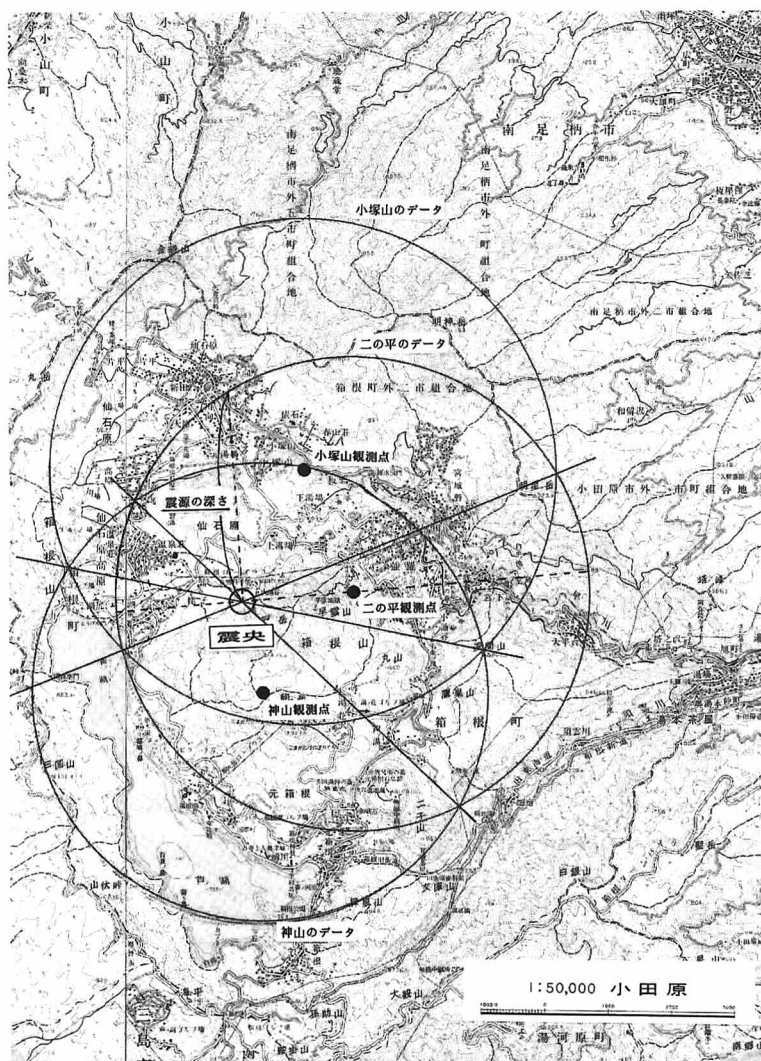


図2・2・6
図式解法による震源決定

表から海面下1kmまでとした。第二層は箱根付近の基盤の湯ヶ島層群とし、地質構造などを参考にし、P波速度を3.5km/sec、厚さは海面下3.5kmとした。第三層は四万十層の地震波速度を参考に、P波速度を5.0km/sec、厚さは6.0kmまでとした。第三層より深いところに箱根火山地震はほとんど発生していないが第四層として海面下6.0km以下のP波速度を6.0km/secとした。第四層の境界及びP波速度は東京大学地震研究所が南関東、伊豆地域の震源決定計算に使用している値と整合するよう定めた(図2・2・7)。この速度構造モデルによって求められた震源位置は、今までの図式解法によって求められた震源位置および気象庁・地震月報の震源位置とほぼ一致することを確認した。

これらの試行後、1979(昭和54)年度から、これまでの作図による震源決定法を廃止し、計算機による震源データとなった。その後、この頃より普及してきたパーソナルコンピュータ(NEC PC-8000、

以下パソコンと呼ぶ)を購入し、汎用機のフォートラン言語で書かれた地震研究所のプログラムをパソコンのベーシック言語に移植した。データの入出力やデータベース機能などは手作りした。現在運用中の震源計算プログラムは、パソコンに移植したプログラムを基本に若干の改良を加え、日本電気(株)製のパソコン(PC-9801T)およびエンジニアリングワークステーション(EWS4800/50)等により震源計算を行っている。



写真 2・2・10 県政総合センター内の電算システム課分室において(1978年12月)

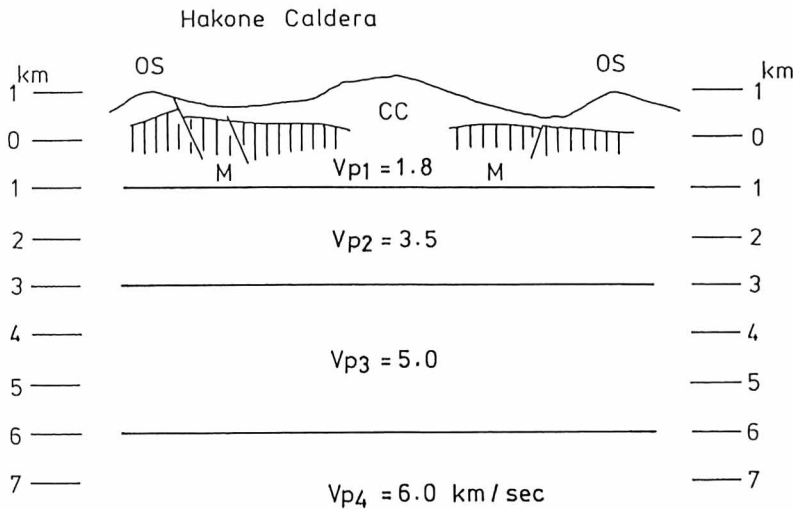


図 2・2・7 箱根火山の地震波速度構造

2・4 雷による地震観測施設の壊滅

箱根地震観測施設の個々の観測施設が雷によって断線状態になる被害は観測所開設以来、しばしば発生していた。なかでも、1979(昭和54)年8月18日の大涌谷付近の落雷では、大涌谷自然科学館内の地震観測施設は壊滅的被害を受けた。記録計が煤書き式からインク式の長時間記録計となり、増幅器も真空管式からトランジスタ式に変わった約1年後である。8月18日午前9時4分、雷による雑信号がかなり記録されたため大涌谷自然科学館の袴田和夫学芸員は地震計からの入力コネクターを抜き取り、雷に備えた。つまり、各地震観測点から観測所に入ってくる電線を断線状態にしておいた。その後、10時22分大涌谷付近に落雷があったため、記録計等の電源を商用電源のコンセントから抜こうとしたが、その時にはすでにコンセントから青白い火花が出ていて、観測室に入ることもできないほどの状態であったという。そのため、地震観測装置に商用電源を通じて雷による異常な高電圧が加わり、増幅器6台、地震観測装置2台、換振器6台など、ほとんどの観測計器が破損してしまった。また、

換振器からの電線も各所で断線し、観測所の機能が完全に回復するのに3ヵ月を要した。落雷による事故は天災ではあったが、当時の平賀士郎温泉地質科長は温泉研究所を所管していた県衛生部に始末書を提出し、補正予算によって観測施設は復旧された。

この際、各地震計から自然科学館までの電線も全て張り替えられた。電線の総延長は18kmで、各観測点までの距離は以下のとおりである。

二の平観測点：4.8km 小塚山観測点：4.0km

神 山 観 測 点：3.8km 温泉荘観測点：2.6km

下 湯 観 測 点：2.6km 大涌谷観測点：0.2km

この事故を契機に、その後の観測所の設備には電源の耐雷トランスや地震計からの入力に避雷装置（アレスタ）が取り付けられたが、箱根のような高地における雷の直撃では、現在でも被害を受ける可能性は避けられない。

2・5 箱根火山臨時火山情報取扱い要領の成案

横浜地方気象台は活動火山である箱根火山に対する防災体制の整備を計画した。1980（昭和55）年5月から横浜地方気象台を中心に県の関係機関、西湘地域の関係自治体と検討を重ねた結果、「箱根火山臨時火山情報取扱い要領」が成案し、同要領は1982（昭和57）年6月1日から実施された（図2・2・8）。要領実施後、温泉地学研究所の地震等に関するデータが神奈川県防災消防課、気象庁の横浜地方気象台に流れるようになったが、成案後これまでに箱根火山の臨時火山情報が発表されたことはない。

箱根火山臨時火山情報は横浜地方気象台が発表するものである。また、横浜地方気象台が必要と判断した場合は、全国機動観測班が出動する場合もある。気象庁地震火山部の火山機動観測班は1985

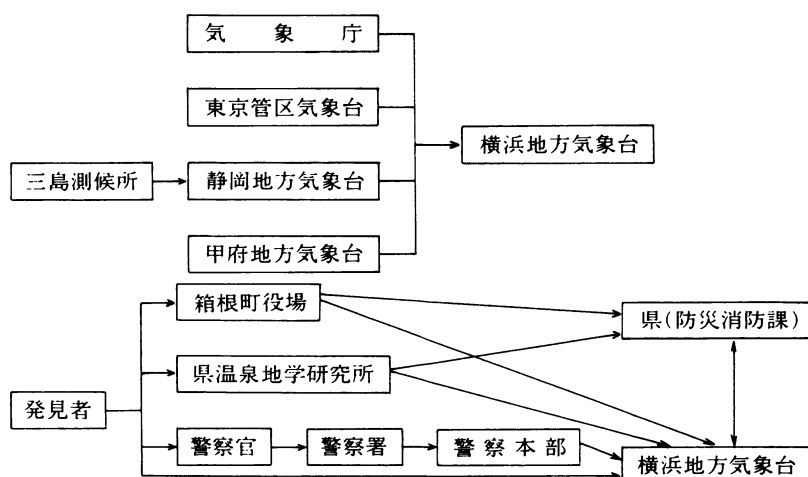


図2・2・8 箱根火山情報に関する情報の収集・伝達体制

(昭和60)年8月29日～9月17日、箱根火山の活動状況を把握するため基礎観測調査を行った(1986(昭和62)年9月、火山機動観測実施報告(第22号))。

2・6 箱根地震観測所の調査・研究成果のまとめ

1968(昭和43)年に土木部から箱根火山の地震観測を引き継いでから現在までの研究成果は次のようにまとめることが出来る。

【箱根火山における過去の地震活動】

記録に残された最初の箱根群発地震は1786(天明6)年3月である。この活動により山崩れが発生し、家屋の破損があった(武者、1943)。次の群発地震は1917(大正6)年1月に発生した。この活動は夜から朝にかけて有感地震が続発し、しかも鳴動を伴ったため住民は恐怖を募らせた。また、畑宿ではキレツが入ったため住民は湯本へ避難した(大森、1917)。その後、1917(大正6)年6月と1920(大正9)年12月に箱根群発地震が相次いで発生した。この地震が強かったため畑宿の住民が夜タイマツをたきながら列をなして避難した。しかし、報告としては有感地震および鳴動回数の報告があるだけであり、地震計による観測はなされなかった。(朝倉、1917、神奈川県測候所、1935、気象庁、1975)。このように箱根火山の群発地震は、1786(天明6)年から現在にいたるまで、実に26回記録されている(表2・2・2)。箱根群発地震活動は日本の地熱地帯における群発地震活動のうちで最も活発なものの一つである(平賀、1980)。

【箱根火山の温泉湧出量と放熱量】

箱根火山全山の温泉湧出量は約18,000ℓ/min(26,000m³/day)である。この他に火山性水蒸気を用いて地下水などを加熱する温泉造成が行われている。温泉造成量は約6,000ℓ/min(8,600m³/day)である。噴気地帯の放熱量と温泉湧出による放熱量を合わせた箱根火山の放熱量は 33.3×10^6 cal/secとなる。温泉の湧出によるものが52.6%、噴気地帯からのものが47.4%となる(大木他、1981)。この放熱量は小規模な火山噴火に匹敵する。

【箱根地震活動の経年変化】

箱根地震観測所の設置以後は、1980(昭和55)年



写真2・2・11 1974(昭和49)年 伊豆半島沖地震で崩れた伊廊崎燈台(1974年5月)

表 2・2・2 箱根の群発地震

	群 発 期 間				日数	鳴動	総地震数	有感数	型式	記 事
1	年 月 日	~	月 日		2	有	>100	>100	短	箱根で初めての群発地震
2	1786 3 22	~	3 23		47	有	>300		長	畑宿にキレツ入る
3	1917 1 17	~	3 4		4	有	>100		短	
4	1917 6 21	~	6 24		6	有	>100		短	1923年9月1日 関東大地震 M=7.9 あり
5	1920 12 26	~	12 31		3		19	0	短	三島の地震記録あり
6	1932 8 10	~	8 12		35	有	25	25	長	
7	1935 1 7	~	2 11		14		25	1	短	
8	1940 7 1	~	7 14		2		17	0	短	
9	1941 9 29	~	10 1		3		9	8	短	
10	1943 3 6	~	3 9		19		103	11	長	
11	1943 4 13	~	5 2		326		459	16	長	1944年12月7日 東南海地震 M=8.0 あり
12	1943 5 29	- 1944 4 18			34		39	1	長	
13	1945 8 14	~	9 17		13		16	0	長	
14	1946 7 4	~	7 17		102		52	0	長	
15	1946 8 2	~	11 12		8		11	1	長	1946年12月21日 南海地震 M=8.1 あり
16	1946 12 13	~	12 21		41	有	89	43	長	
17	1952 11 8	~	12 18		11	有	15	9	長	1953年7月26日 早雲山地すべり
18	1953 1 20	~	1 30		42	有	30	7	長	地震の連続観測を始める
19	1959 9 2	~	10 13		101	有	136	18	長	
20	1959 12 22	- 1960 4 1			12		5	0	長	1年後異常高温になる
21	1966 7 14	~	7 26		(1)		(15)	0	微小	
22	1971 7 31	~	7 31		39		(222)	24	長	
23	1972 3 7	~	4 14		(1)		(11)	0	微小	
24	1973 12 4	~	12 4		(2)		(15)	0	微小	
25	1974 12 15	~	12 16		(1)		(9)	0	微小	
26	1979 2 1	~	2 1		(1)		(11)	0	微小	
26	1979 6 30	~	6 30		(1)		(11)	0	微小	

までに7回の小規模な群発地震を記録している（平賀、1987）。また、1973年～1980年は箱根火山の地震活動は明らかに低下している。この時期、伊豆半島付近海域では1974（昭和49）年の伊豆半島沖地震（ $M=6.9$ 、写真2・2・11）以後、地震活動が活発になり、群発地震が続発した。そして、1978（昭和53）年の伊豆大島近海地震（ $M=7.0$ ）、1980（昭和55）年の伊豆半島東方沖地震（ $M=6.7$ ）へと発展した。箱根火山地震の活動と伊豆半島付近海域の地震活動との関係は不明な点が多いが、両者の活動は相補的である。また、1980（昭和55）年以後の箱根火山は活発な活動期に入ったと言えよう。

【箱根火山地震の震源分布】

1959（昭和34）年～1960（昭和35）年の箱根群発地震を契機として箱根火山における微小地震観測が行われるようになり、今まで不明であった震源位置の詳細が解明された（水上、1960）。そして、現在までの観測結果から次のようなことがわかった（図2・2・9）。

- (1)箱根カルデラの中央に震源が集中し、カルデラ壁の近くにはない。
- (2)震源は大涌谷、早雲山硫気地帯の直下に集中し、その範囲は半径2 kmの円内にある。
- (3)震源の深さは非常に浅く、地表下500 mから海面下4 kmの範囲に分布している。
- (4)震源は海拔0 m付近に集中している。

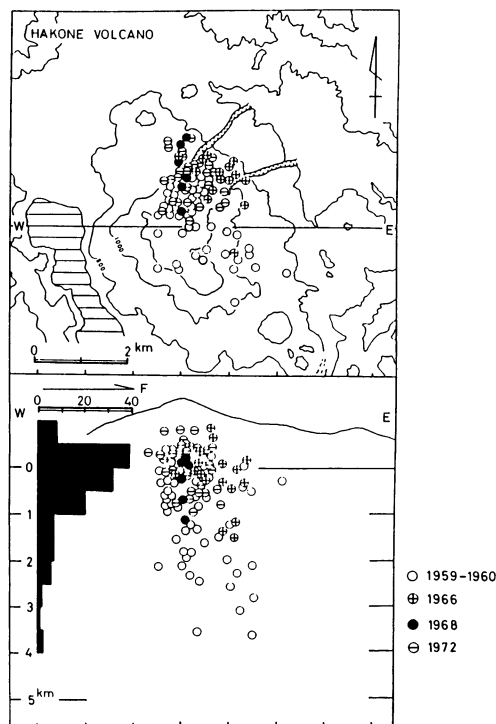


図2・2・9 主な箱根群発地震の震源分布図
1959（昭和34）年～1972（昭和47）年

【箱根火山地震の震源分布と地中温度の関係】

箱根火山地震の震源はカルデラの中央部、すなわち大涌谷、早雲山などの硫気地帯の直下に集中している。中央火口丘の大涌谷、早雲山の硫気地帯を含む中央部の海拔0 mにおける地中温度は100℃の等温線で囲まれ、その中に地震が発生している（図2・2・10）。大部分の地震は温泉帯水層のある海拔0 m付近に発生し、海面下に下がるほど少なくなり、海面下4 kmより深いものはほとんどない。以上のような震源分布から、箱根火山地震の発生はマグマ溜から火道を上昇してくる高温熱水と密接に関係していることがわかった（Oki & Hirano, 1970, 1974）。

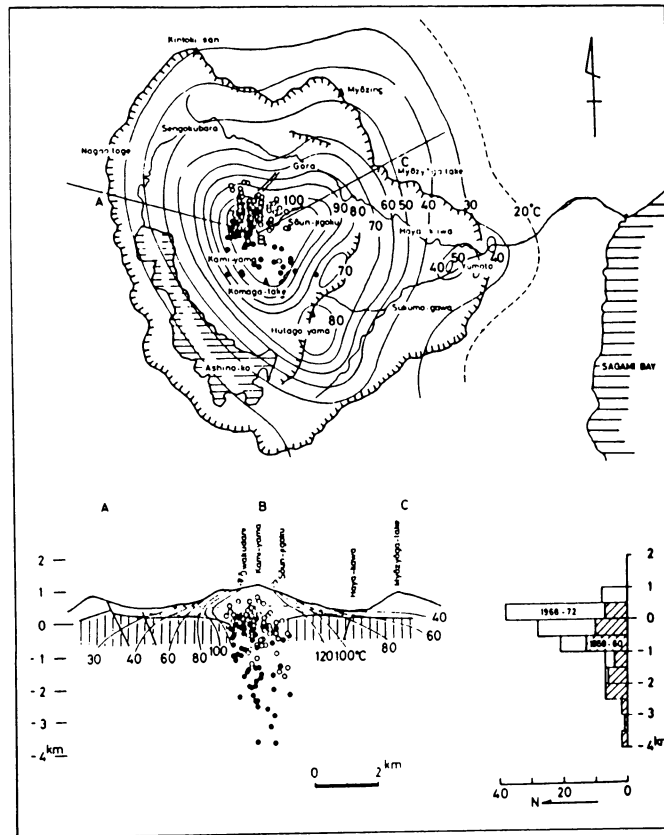


図 2・2・10 箱根火山の地中温度分布と震源分布

● : 1959 (昭和34) 年～1960 (昭和35) 年の震源

○ : 1966 (昭和41) 年～1972 (昭和47) 年の震源

【箱根群発地震と三宅島・伊豆大島の噴火】

図 2・2・11 に 1960 (昭和35) 年から現在までの箱根火山の地震活動と三宅島、伊豆大島の噴火活動を示す。図から、箱根群発地震と伊豆大島および三宅島の噴火活動は活動時期に良い相関がみられ、箱根火山の活動と伊豆・相模湾北西部における広域応力場の相関が示唆された (平賀、1987)。

群発地震は飛び抜けて大きい地震がなく、地震活動の変化に規則性がないという特性を持つ。しかし、一連の群発地震の活動が終息すれば活動期間内の最大地震を決めることが出来る。1930 (昭和5) 年以降、地震計による観測が始められてからの資料を基にして、箱根群発地震の最大地震を見出し、最大地震のマグニチュードと群発活動期間の相関を調べた (図 2・2・12)。図から箱根群発地震では最大地震のマグニチュード (M_0) と活動期間の長さ (P 、単位は日数) は比例し、その関係は次式にあてはまる事が分かった。

$$M_0 = 1.24 \log P + 1.4$$

この関係式から、過去の地震計の記録の無い群発地震の活動記録から最大地震を推定することが可能となった。また、群発地震の活動が減少し始めたときは、それまでの最大地震から活動が終息する日を推測する事が可能となる。

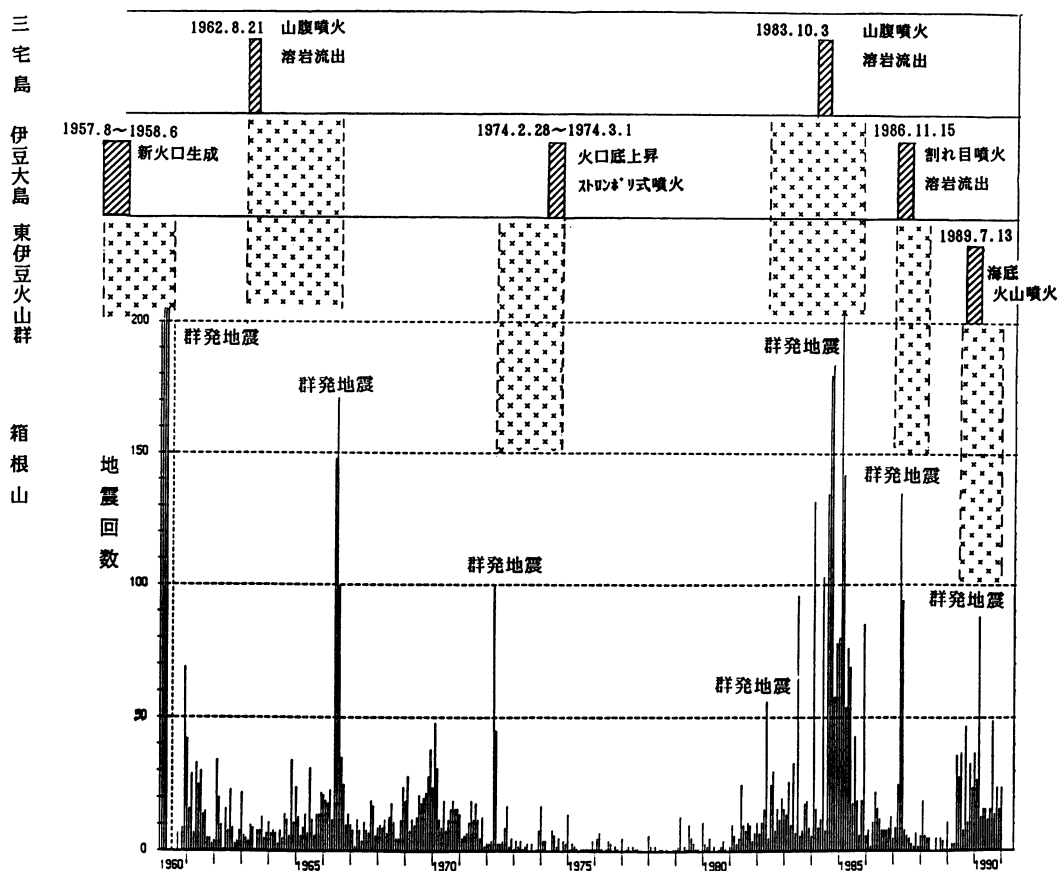


図2・2・11 箱根火山地震と伊豆諸島の噴火活動

3 弾性波探査

3・1 秦野盆地における弾性波探査

1971 (昭和46) 年12月~1972 (昭和47) 年1月、秦野盆地における地下水調査の一環として、秦野市の依頼により弾性波探査を行った。秦野盆地中央部の基盤は従来の試錐調査および地質調査から90~100mより深いと推定されていた。この基盤を調査する目的で3測線の弾性波探査を計画した。発破孔は、水無川沿いに深さ約10mのものを3本掘さくした。この掘さくは研究所のボーリングマシンで研究員が交代で行ったが、水無川の礫層中であつたことや冬の寒さなどにより、かなりの労力と日数を必要とした。発破作業は周辺の工場が静かになる夜間に実施された。当日は、雪が降る寒い夜で