

箱根火山における最近 10 年間 (1989~1998) の地震活動

伊東博^{*}、棚田俊收^{*}

1. はじめに

箱根火山における一番古い地震活動の記録は、1786(天明6)年3月の群発地震である(文部省震災豫防評議會、1941)。この記録では、3月22日から23日にかけて、100回以上の有感地震や鳴動を伴う地震が起こり、芦の湯と底倉の温泉に被害が生じ、二子山で山崩れのあったことが報告されている。2例目は、その約130年後、1917(大正6)年1月の群発地震による活動が大森(1917)によって報告されている。

箱根火山における地震の連続観測は、1959(昭和34)年9月初旬から起こり始めた群発地震を契機として始められた。この群発地震では、箱根・強羅や大涌谷付近で地震による揺れや鳴動が頻繁に感じられ、噴火するのではないかと危機感が高まった。この観測は温泉研究所(当時)に引き継がれ、1989(平成元)年まで続けられた。この間の観測結果は、平賀(1987)によってまとめられ、箱根火山における過去の地震活動や経年変化、箱根火山地震の震源分布と地中温度分布の関係、重力分布による箱根カルデラの地下構造の推定、群発地震と温泉の異常高温の関係などについて報告されている。

その後、温泉地学研究所では1989(平成元)年度に地震観測システムの再整備を図り、箱根火山内及び神奈川県西部地域に観測網の拡充を行うとともに、テレメータによるデータ集中とデータ処理・集録システムを導入した(伊東ほか、1990)。これらにより、箱根火山及び県西部地域の地震活動等についての把握が即時できるようになり、詳細な震源が決定されている(棚田、1999)。

一方、神奈川県西部地域では近い将来M7クラスの地震が発生する可能性が指摘されている(石橋、1985)。そのため、温泉地学研究所では、従来からの火山活動の把握に加え、「神奈川県西部地震」発生メカニズムの解明を目的として、観測を継続している。

ここでは、観測方式を変更した1989(平成元)年4月から1998(平成10)年12月までの観測結果を基に、箱根火山における最近の地震活動について報告する。

2. 震源分布

図1は1989(平成元)年4月から1998(平成10)年12月までに起こった地震の震源分布である。図2に観測点分布を示す。図2中の円はKIN及びKOM観測点から初期微動継続時間(S-P時間)が2秒の範囲を示す。

一般的に、地震発生メカニズムを問わず、火山及びその付近で発生する地震の全てを火山性地震あるいは火

山地震としている。また、どのくらいまでの範囲が火山なのか不明確である(下鶴ほか、1995)。したがって、温泉地学研究所では、箱根火山の地震を箱根火山のカルデラ内とその周辺に発生する地震と考え、カルデラ内の観測点で観測された地震波の検測からS-P時間が2秒以下の地震としている(例えば、平賀ほか、1971;平賀ほか、1978など)。

S-P時間は、震源距離をRとすると

$$R = k \times (S - P \text{時間})$$

となって、Rに比例する。これを大森公式といい、kを大森定数という。kの値は場所によって変わるが、箱根火山におけるk値は、2.5~3.0km/secの値をとることが報告されている(平賀ほか、1971;平賀ほか、1978など)。

本論においても、これに従い、カルデラ内の観測点でS-P時間が2秒以下の地震を箱根火山の地震として扱い、周辺地域の地震と区別している。S-P時間2.0秒は、大森定数を3.0とすると震源距離は6kmに相当する。この範囲は図2の観測点分布中に、KIN及びKOM観測点からの距離として示した。

箱根火山とその周辺地域における震源位置の決定精度は、予測解析法を用いた評価から、観測網内で深さ10kmの震源を仮定した場合、東西方向、南北方向、深さの誤差は1km以内、地震規模(M:マグニチュード)の検知能力はM>0程度と求められている(棚田、1999)。

図1から、箱根火山では地震活動の活発な地域は、カルデラ内西側部分にあたる箱根中央火口丘から芦ノ湖に集中している。地震の深さは、後述する低周波地震を除くと8kmより浅く、それ以深では地震が発生していない。そのほか、この期間中では中央火口丘付近に較べて活動度は低いが、外輪山周辺の地震活動が認められる。外輪山周辺の活動の多くは、箱根カルデラ内北西部の活動であるが、一部はカルデラを越えて発生している。

図3は図1中に示した地震の規模別頻度分布である。地震発生頻度の累積回数(N)と地展規模(M)は横軸に地震規模をとり、片対数グラフにプロットすると、

$$\log N = a - bM$$

なる関係(ゲーテンベルグ・リヒターの経験式)が成り立つ。ただし、a、bは定数で、勾配はb値と呼ばれている。

^{*} 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
報告, 神奈川県温泉地学研究所報告 第31巻, 第1号, 45 - 51, 1999

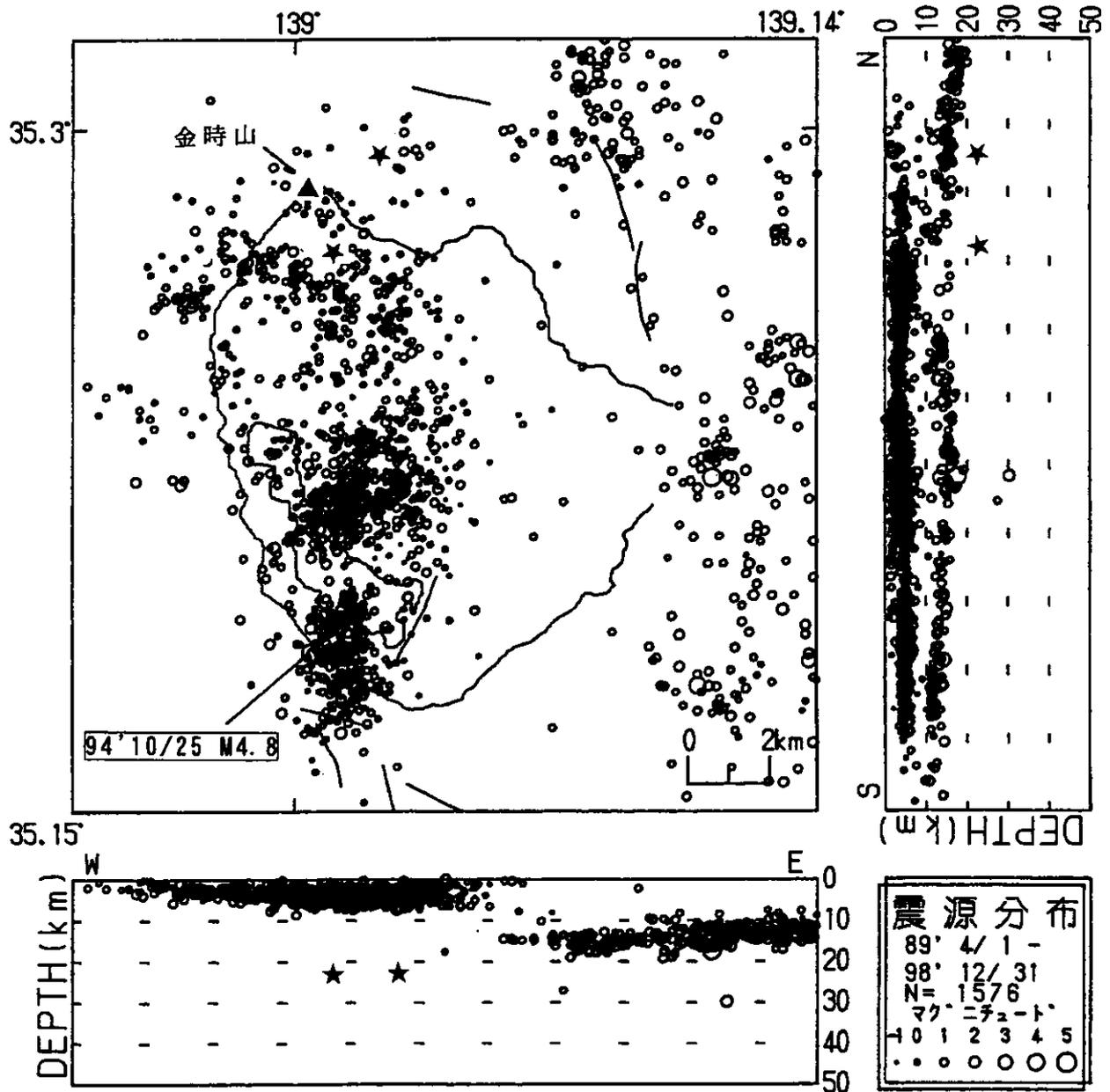


図1 箱根火山の震源分布 (1989年4月~1998年12月)
 (図中の★印は1998年7月13日の低周波地震の震源を示す)

本期間中において、この経験式に合わせた規模別の地震の起こり方を見てみると、 $M > 0$ の範囲で良い直線関係が成り立っている。このことから、箱根火山とその周辺地域では $M > 0$ 以上の地震について、ほとんど震源が決められていることがわかる。また、この期間中に起こった地震は、ほとんど $M3$ 以下で、最大地震は $M4.8$ であった。

この最大地震 ($M4.8$) は、1994 (平成 6) 年 10 月 25 日箱根外輪山南縁で発生し、震源の深さは 6 km であった (図 1)。この地震は中央火口丘直下の火山性地震とは活動場所が異なっており、北伊豆断層系と外輪山が交差しているところに起こり、余震活動は約 1 ヶ月続いた (伊東ほか、1995)。棚田ほか (1995) は、この地域における過去の地震活動について、1885 (明治 18) 年以降、1923

(大正 12) 年 9 月 1 日関東大地震の余震 ($M6.3$) や 1933 (昭和 8) 年 12 月 8 日北伊豆地震の余震 ($M5.2$)、1920 (大正 9) 年 12 月 27 日に発生した $M5.7$ の地震以外に、ほとんど地震活動のない地域であったことを報告している。

その他の活動として、1998 (平成 10) 年 7 月 13 日箱根カルデラ北部の金時山付近で連続する 3 回の低周波地震が観測された。そのうちの 2 回について震源が決定された。震央 (図 1 中に示した) は金時山付近で、震源の深さは共に 23km、地震の規模は $M1.0$ と $M1.1$ であった (棚田ほか、1998)。これまで箱根火山で、深部低周波地震が観測されたという報告はなく、この深さの地震は極めてまれである。

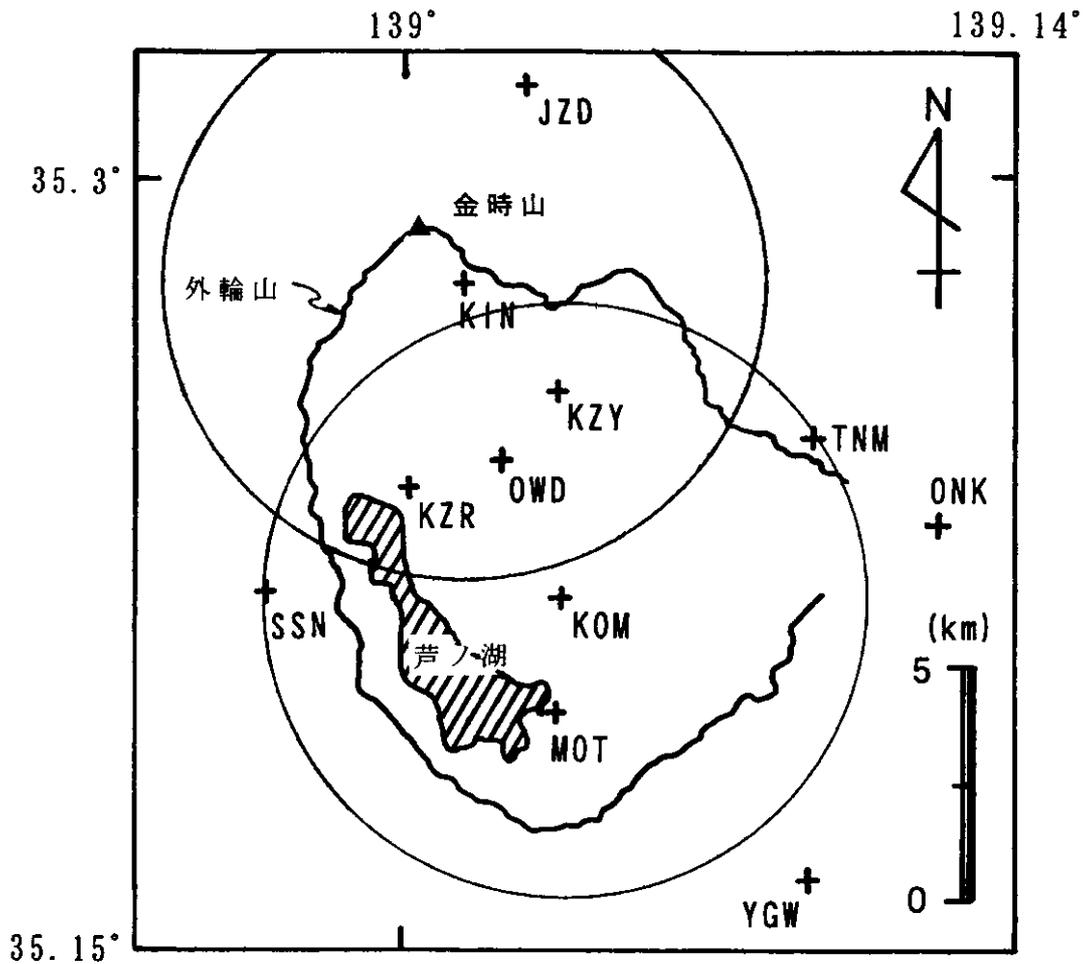


図2 観測点分布

3. 群発地震

箱根火山に起きる地震は、群発して発生することが多く、図1による地震の約50%が群発地震によるものである。図4は図1中から群発地震だけを抜き出した震源分布である。1989(平成元)年~1998(平成10)年までに起こった群発地震の活動期間や最大地震等は表1にまとめた。

群発地震は、地震の起こり方から本震と呼べる顕著な地震がなく、前震・本震・余震を区別することの出来ない一連の活動とされ、活動期間の区切りなどに明確な定義はない。そこで、当所では箱根火山における群発地震を「地震回数は1時間に10回以上、活動期間は前後3時間以上地震なしで区切る」と定義している。それぞれの群発地震は、有感地震が多く含まれる活動や有感地震が含まれない活動など様々な規模の活動がある。これらの活動を一つの尺度に当てはめて分類することは困難である。表1に示した中にも活動期間が1日ないし2日おいて次の群発活動としているものが見られる。上述の定義は、これまでの観測結果から経験的に求めた最小単位の活動を区切るものと考えており、この最小単位を加え合わせた活動の取りまとめ方法などについては今後の課題である。これらのもとに本期間中の群発活動の特徴を試みる。

図1と図4の分布はおおむね似ているが、いくつかの違いが見られる。まず、群発地震の発生地域は、箱根カルデラ内と外輪山周辺部に限られ、外輪山の東側山麓に群発地震は発生していない。また、震源の深さは、他の箱根火山の地震と同様に、8kmより浅く、それより深い地震は発生していない。

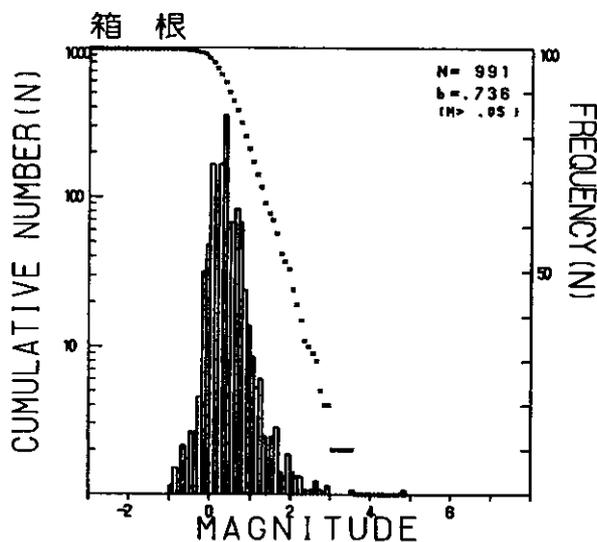


図3 規模別頻度分布

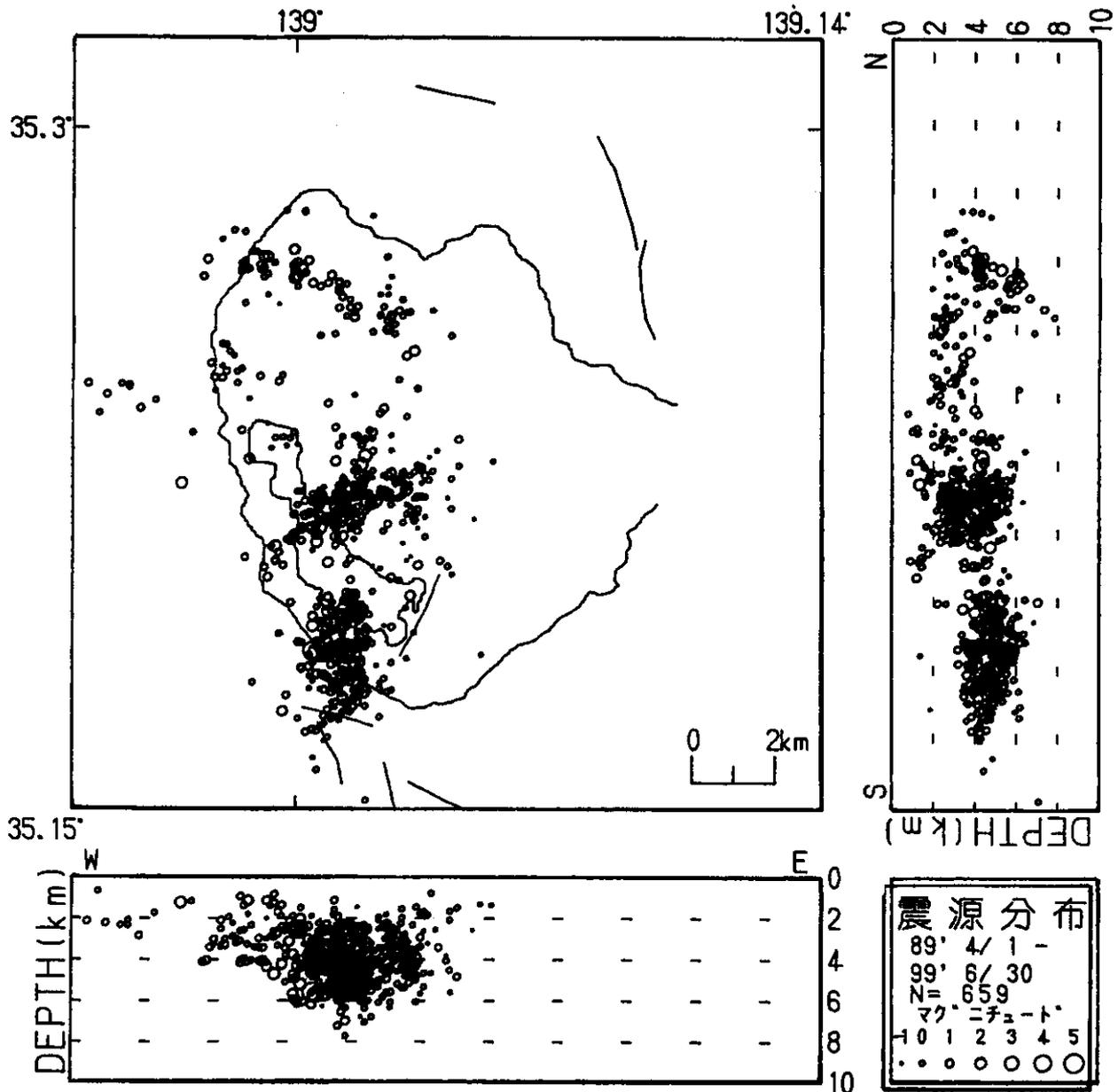


図4 群発地震の震源分布

外輪山を越えた北部と西部では、群発地震の分布が対照的である。カルデラ北部の外輪山を越えた地域では、中央火口丘付近に較べると地震そのものが少ないが、群発地震はほとんど発生していない。方、この地域よりもやや活動度の低いカルデラ西部の外輪山を越えた地域では群発地震が発生していることなどがわかる。

4. 時空間分布

図5は図1の範囲における南北方向の時間・空間変化である。ただし、震源は10kmより浅い地震のみを图示した。

図6は図5から群発地震だけを抜きだした結果である。図5と図6から、箱根火山の地震活動について時空間の集中性など、いくつかの興味深い活動の変化が見てとれる。

カルデラ南部(0~5km付近)では、先に述べた1994(平成6)年10月の最大地震(M4.8)以後、活動は低い。

しかし、M4.8の地震が起こる前の1992(平成4)年頃から、この地域では散発的に地震が起こっていたことがわかる。

中央火口丘付近(5~10km付近)では、活動が最も高く、群発地震もこの地域に集中している。しかし、1996(平成8)年頃から、群発活動の低下が認められる。

カルデラ北部(10~15km付近)の金時山付近から外輪山を越えた北西部地域では、1994(平成6)年に群発地震が起こっている。中央火口丘付近に較べると活動度は低いが、散発的に地震が起こっている。しかし、中央火口丘付近の活動が低下した1996(平成8)年頃を境に、この地域の活動が活発になっていることがわかる。この期間は、前述したように1998(平成10)年7月に金時山付近深部において低周波地震が観測されている。地震活動の活発化とあわせ、たいへん興味深い変化である。

表1 箱根火山の群発地震 (1989年～1998年)

年	活動期間	地震数	最大地震	有感数
1989(平成1)年	① 6月29日01時55分～6月29日03時53分	17	29日02時33分 M 1.5	0
	② 8月15日11時42分～8月15日22時07分	18	15日21時57分 M-0.4	0
	③ 8月18日04時29分～8月18日05時43分	22	18日04時52分 M 1.2	0
1990(平成2)年	① 2月15日16時47分～2月15日23時12分	18	15日20時36分 M 2.3	0
	② 2月20日17時16分～2月21日08時28分	46	21日03時53分 M 2.2	0
	③ 8月11日07時51分～8月11日09時26分	38	11日07時51分 M 1.7	0
1991(平成3)年	① 4月22日10時06分～4月22日12時48分	329	22日10時25分 M 2.0	8
	② 4月22日17時35分～4月22日20時45分	27	22日18時58分 M 2.2	2
	③ 10月30日01時15分～10月30日05時18分	29	30日04時13分 M 1.3	0
	④ 12月7日17時48分～12月7日21時44分	47	7日20時57分 M 1.6	0
1992(平成4)年	① 5月10日02時43分～5月10日06時51分	117	10日03時53分 M 1.4	0
	② 8月11日05時41分～8月11日06時15分	12	11日05時56分 M 1.5	0
	③ 8月31日17時50分～9月1日05時17分	31	31日21時23分 M 1.8	0
	④ 9月14日17時28分～9月14日18時38分	17	14日18時17分 M 1.3	0
	⑤ 10月16日12時02分～10月16日12時33分	15	16日12時13分 M 1.4	0
	⑥ 11月30日06時15分～11月30日15時50分	57	30日08時33分 M 2.0	1
	⑦ 12月5日19時08分～12月6日00時39分	22	5日21時46分 M 2.6	0
1993(平成5)年	① 8月29日20時20分～8月29日21時27分	14	29日21時01分 M 2.5	0
	② 10月26日01時04分～10月26日18時28分	32	26日01時06分 M 0.8	0
1994(平成6)年	① 4月6日15時23分～4月6日16時44分	60	6日16時17分 M 2.7	0
	② 4月23日01時05分～4月23日01時39分	13	23日01時27分 M-0.1	0
	③ 5月18日06時31分～5月18日11時11分	23	18日07時49分 M 1.9	5
	④ 8月5日02時29分～8月5日04時40分	25	5日02時29分 M 2.9	1
	⑤ 10月5日00時47分～10月5日09時57分	32	5日02時19分 M 1.6	0
	⑥ 10月22日02時14分～10月22日18時58分	122	22日03時22分 M 3.6	3
	⑦ 10月25日15時06分～10月28日22時58分	1299	25日15時06分 M 4.8	1
	⑧ 11月2日03時06分～11月3日07時36分	35	2日17時15分 M 2.2	0
	⑨ 11月12日05時25分～11月13日07時40分	172	12日05時22分 M 2.2	0
	⑩ 12月17日23時18分～12月18日03時16分	37	17日23時24分 M 2.2	2
	⑪ 12月25日06時06分～12月26日09時19分	464	25日09時27分 M 2.1	1
1995(平成7)年	① 1月25日11時24分～1月25日14時33分	44	25日11時30分 M 2.9	0
	② 7月16日03時49分～7月16日15時59分	47	16日06時12分 M 0.3	0
	③ 7月16日20時27分～7月17日18時33分	90	17日01時41分 M 0.7	0
	④ 7月18日21時42分～7月20日09時09分	71	19日21時37分 M 0.2	0
	⑤ 7月22日18時54分～7月23日00時06分	20	22日19時16分 M 0.9	0
	⑥ 9月29日03時44分～9月29日09時08分	128	29日05時08分 M 0.6	0
1996(平成8)年	① 1月22日13時21分～1月23日15時26分	52	23日04時54分 M 1.0	0
1997(平成9)年	① 11月14日07時24分～11月14日11時13分	34	14日09時01分 M 1.6	0
1998(平成10)年	① 4月13日05時37分～4月13日06時20分	31	13日05時47分 M 1.6	0
	② 6月14日01時36分～6月15日00時09分	22	14日02時10分 M 1.5	0
	③ 10月13日01時26分～10月14日15時34分	80	13日03時10分 M 2.1	0

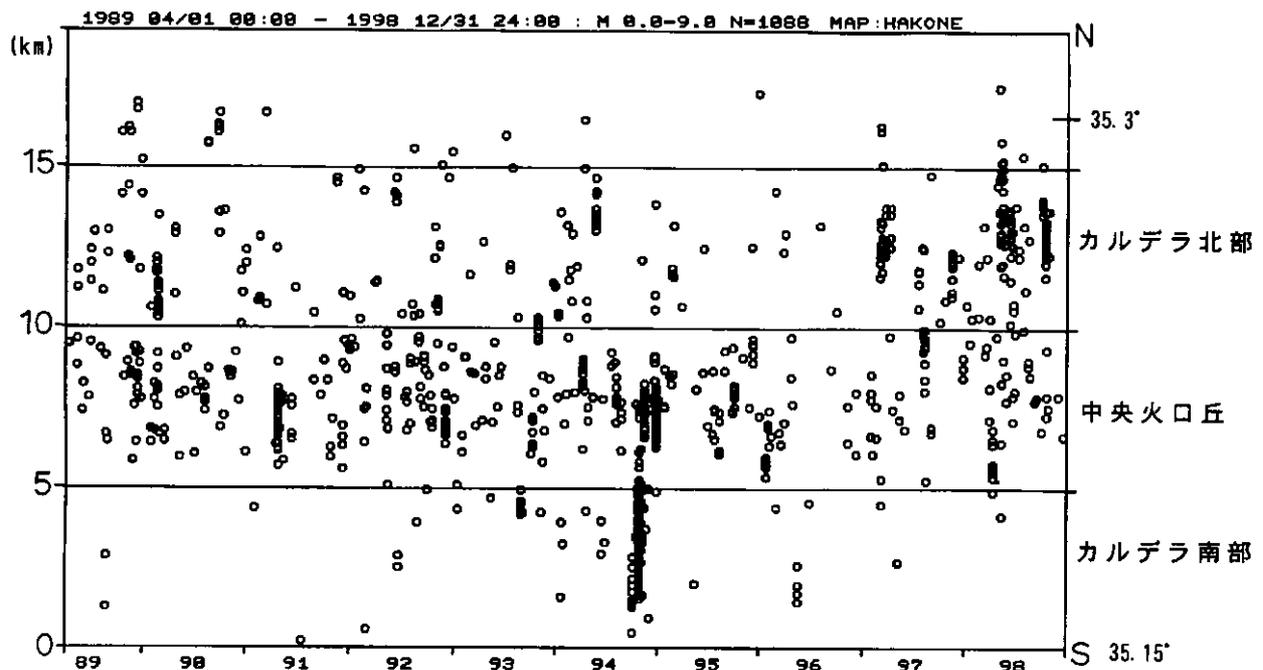


図5 時空間分布

5. まとめ

温泉地学研究所の行っているルーチン観測データを用い、箱根火山における最近の地震活動をまとめた。その結果、以下のようなことが特徴としてあげられる。

(1) 地震活動の活発な地域は、箱根中央火口丘から芦ノ湖に集中している。地震の深さは 8km より浅い。箱根で発生する群発地震のほとんどは、この地域に集中している。

(2) 1989 (平成元) 年 4 月以降、中央火口丘付近に較べて活動度は低い。外輪山周辺の地震活動が観測されている。外輪山周辺の活動の多くは、箱根カルデラ内北西部の活動であるが、一部の活動はカルデラを越えて発生している。

(3) 群発地震の発生地域は、箱根カルデラ内と外輪山周辺部に限られ、他の地域では発生していない。

(4) 1996 (平成 8) 年頃から中央火口丘付近の活動が低下している。この活動の低下とは逆に、この頃を境にカルデラ北部の金時山周辺地域の活動が活発になっている。

(5) 1989 (平成元) 年以降の最大規模の地震は、1994 (平成 6) 年 10 月 25 日箱根外輪山南縁に発生した M4.8 の地震であった。この地震は中央火口丘直下の火山性地震とは活動場所が異なっており、北伊豆断層系と外輪山が交差しているところに起こった。この付近では、関東大地震や北伊豆地震の余震を除くと 1920 (大正 9) 年に発生した M5.7 の地震以降、ほとんど地震活動のない地域である。

(6) 1998 (平成 10) 年 7 月金時山付近の深さ約 20km で深部低周波地震が観測された。低周波地震発生前後の 6 月や 10 月には金時山付近、深さ約 6km で群発地震が発生

した。

この報告は温泉地学研究所、地震観測施設運営費及び経常研究費によった。

参考文献

- 平賀士郎、広田茂、河西正男、鈴木征志 (1971) 箱根火山における地震活動調査, 1970, 温地研報告, Vol. 2, No. 1, 1-20.
- 平賀士郎、伊東博、袴田和夫 (1978) 箱根火山における地震活動調査, 昭和 52 年 (1977), 温地研報告, Vol. 10, No. 2, 29-36.
- 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, Vol. 18, No. 4, 1-126.
- 石橋克彦 (1985) 小田原付近の大地震発生の可能性, 月刊地球, 7, 420-426.
- 伊東 博、小鷹滋郎、棚田俊收、荻野喜作、長瀬和雄、横山尚秀、平野富雄、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, 温地研報告, Vol. 21, No. 3, 71-86.
- 伊東 博、棚田俊收、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, 神奈川温地研報告, Vol. 26, No. 3, 33-38.
- 文部省震災豫防評議会 (1941) 増訂大日本地震史料, Vol. 3, 4-5.
- 大森房吉 (1917) 箱根山ノ鳴動ニ就キテ, 東洋学芸雑誌, Vol. 34, No. 427, 203-210.
- 下鶴大輔、荒牧重雄、井田喜明編集 (1995) 火山の辞典, 朝倉書店.

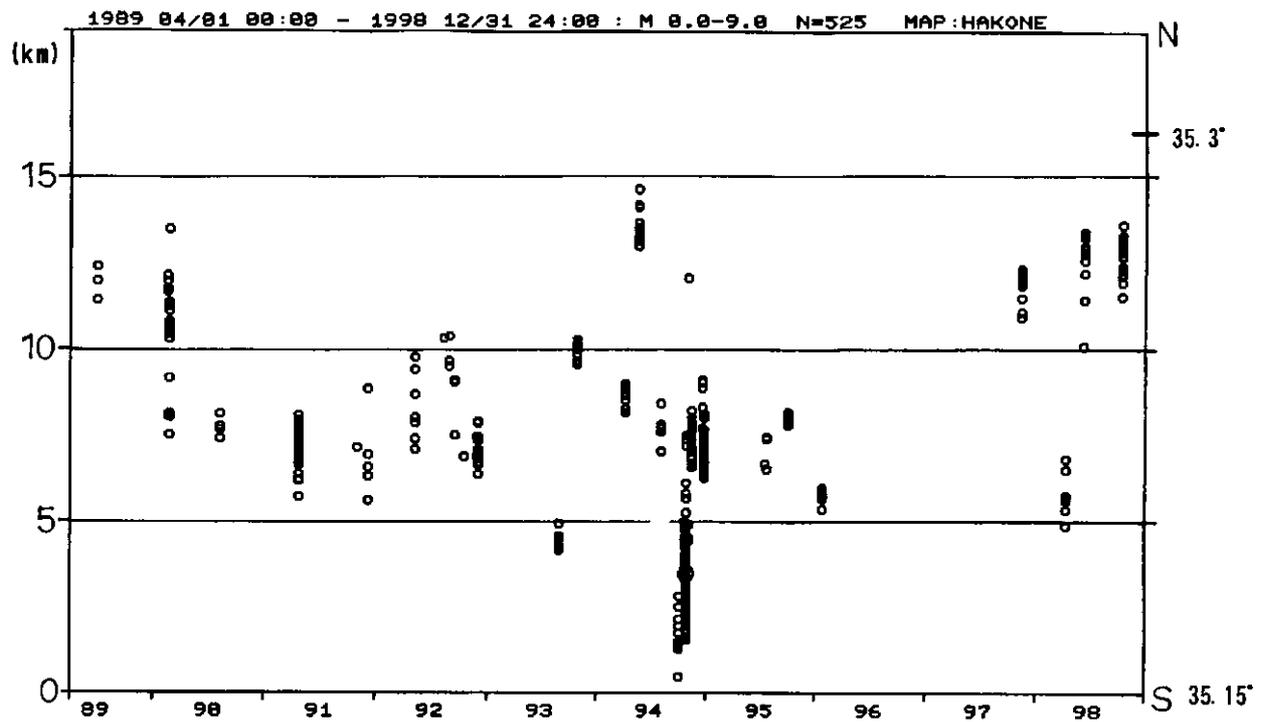


図6 群発地震の時空間分布

棚田俊收、伊東 博 (1995) 北伊豆断層系北端部における箱根外輪山の地震活動について, 日本地震学会講演予稿集 1995 年度秋季大会, B97.

棚田俊收、八巻和幸、伊東 博、鶴川元雄 (1998) 箱根金時山付近の地震活動と深部低周波地震の特徴, 日

本地震学会講演予稿集 1998 年度秋季大会, P27.

棚田俊收 (1999) 温泉地学研究所の地震観測網における震源決定精度と検知能力, 温地研報告, Vol. 29, No. 1・2, 47-56.

