

2001(平成13)年箱根群発地震活動に関連した地殻傾斜変動

代田 寧*、棚田俊收*、伊東 博*

Ground tilt changes associated with the 2001 Hakone earthquake swarm

by

Yasushi DAITA*, Toshikazu TANADA* and Hiroshi ITO*

1. はじめに

箱根火山において、2001(平成13)年6月中旬から約4ヶ月間にわたり、中央火口丘北側の大涌谷付近を中心として地震が多発した。この群発地震活動は、現在の観測体制が整備された1989(平成元)年以降では最大規模のものであった(棚田ほか、2002;温泉地学研究所、2002)。当所では、神奈川県西部地域にポアホール型の傾斜計を設置しており、この群発地震活動に伴って地殻の傾斜変動が観測された。

代田ほか(2002)では、群発地震活動の初期の段階における傾斜変動について概要を報告しているが、本報では活動前から終息するまでの各観測点における傾斜変動の詳細について報告するとともに、地殻変動を起こした原因について検討をおこなった。

2. 観測方法

観測方法の詳細については既報(温泉地学研究所、1999;八巻ほか、1990)のとおり、箱根カルデラ内に小塚山、湖尻、駒ヶ岳の3ヶ所、外輪山外側斜面に塔の峰、裾野の2ヶ所、神縄・国府津-松田断層帯付近に岩倉、寄の2ヶ所の合計7ヶ所にポアホール型傾斜計を設置して連続観測をおこなっている。図1に、傾斜観測点の位置(印)とともに群発地震の震央域と大涌谷の位置を示す。観測に用いている傾斜計は力平衡型振子式(南北、東西の水平2成分)で、それぞれ深度約100mの観測井内に設置している。

3. 群発地震活動の概要

2001(平成13)年6月12日から多発した地震の活動状況の詳細は、既報(棚田ほか、2002;温泉地学研究所、2002)に報告されている。ここではその概要について簡単に述べる。

群発地震活動の開始前後における時間別の発生地震数

を表1に、日別の発生地震数と累積地震数を図2に示す。発生地震数には、震源が決定できないマグニチュードの小さな地震も含まれている。6月12日17時頃から、中央火口丘北側の大涌谷付近を中心に地震が多発し始め、ほぼ終息する10月中旬の約4ヶ月間で15000回以上の地震が発生した。この地震活動は6月下旬から7月下旬までの約1ヶ月間が最も活発な時期であり、その期間中の6月29日と7月21日には1日で1000回前後の地震が発生した。今回の活動の中で最大規模の地震は、7月21日に発生したマグニチュード2.9の地震であった。

震源分布の特徴は、大涌谷を中心として南北方向に帯状の分布をしており、その両端が中央火口丘の北端と南端にほぼ一致していることである。また、震源の深さは非常に浅く、おおむね南側から北側に向かって浅くなっている。南側の駒ヶ岳直下で約1~7km、大涌谷付近で表層付近~5km程度、北側の小塚山付近では1~3kmの深さであった。

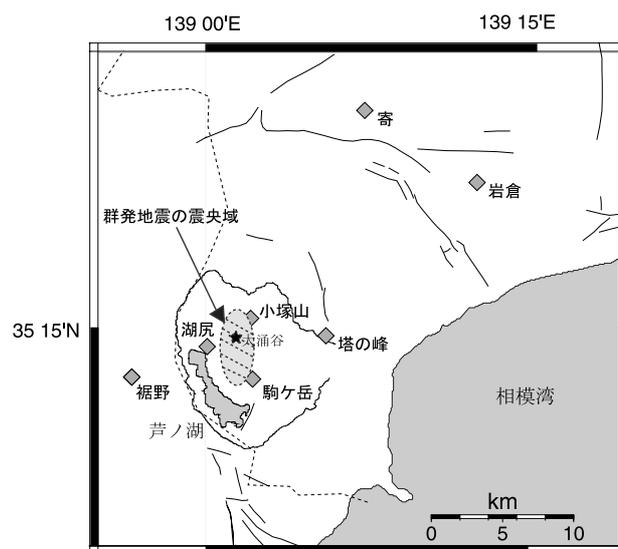


図1 傾斜観測点の位置

* 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34巻, 35 - 44, 2002.

表1 時間別の発生地震数(6月8日~15日)

月日	0時	1時	2時	3時	4時	5時	6時	7時	8時	9時	10時	11時	12時	13時	14時	15時	16時	17時	18時	19時	20時	21時	22時	23時	計
6月8日	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
6月9日	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6月10日	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6月11日	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
6月12日	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	6	11	6	18	12	12	7	76
6月13日	12	21	17	20	19	11	2	4	0	0	1	1	0	0	2	0	0	2	1	0	0	1	0	1	115
6月14日	1	1	4	1	4	8	3	10	5	2	0	0	1	0	0	4	0	0	1	0	0	0	0	1	46
6月15日	1	0	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	2	1	0	0	2	0	0	0	15

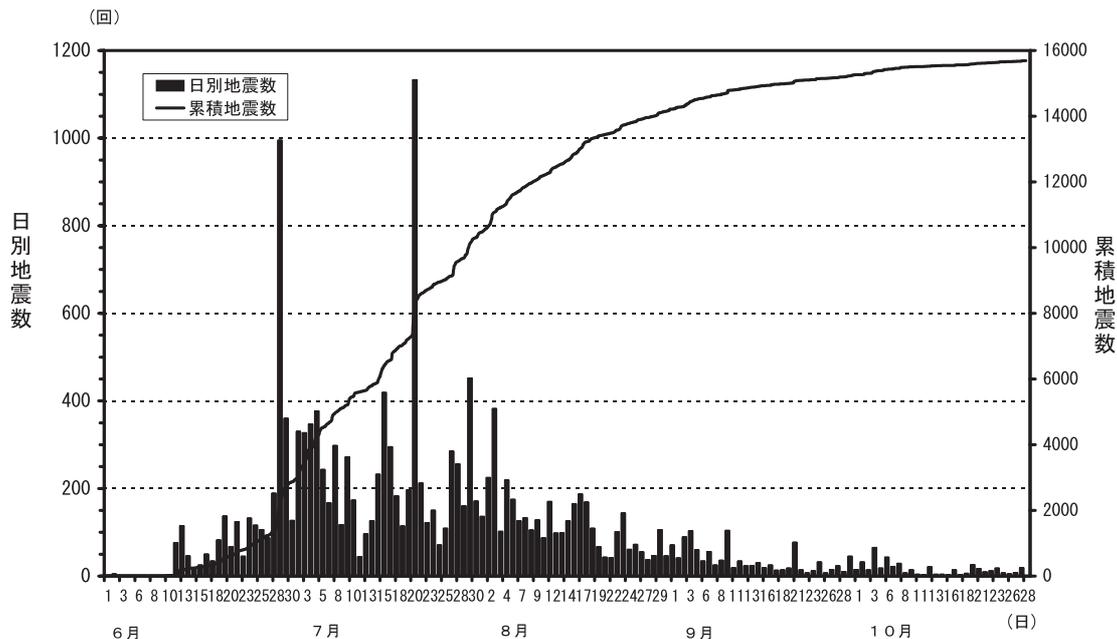


図2 日別発生地震数と累積地震数(2001年6月~10月)

4. 観測結果と考察

2001(平成13)年1月から12月までの観測結果(日データ)を図3に示す。図には南北成分および東西成分の変化(μrad)と、仙石原における日降水量(mm)を示してある。図中の破線は、群発地震が始まった6月12日である。

傾斜観測では、まれに瞬間的なデータの「とび」(傾斜ステップ)を生じることがある。今回の観測期間においても、表2に示したように傾斜ステップが3回生じた。傾斜ステップは小塚山観測点と湖尻観測点でのみ発生し、その方向は両観測点ともに南北成分が南下がり、東西成分が東下がりの変化であった。傾斜ステップが生じた3回とも、大涌谷付近のごく浅いところで同時刻に地震が発生している。傾斜計は有感地震等の大きな衝撃を受けた場合、機械的なとびを生じることがある(佐藤ほか、1980)。今回の傾斜ステップは地震による機械的なとびであると考へ、グラフ上ではこれらの傾斜ステップをオフセット修正してある。

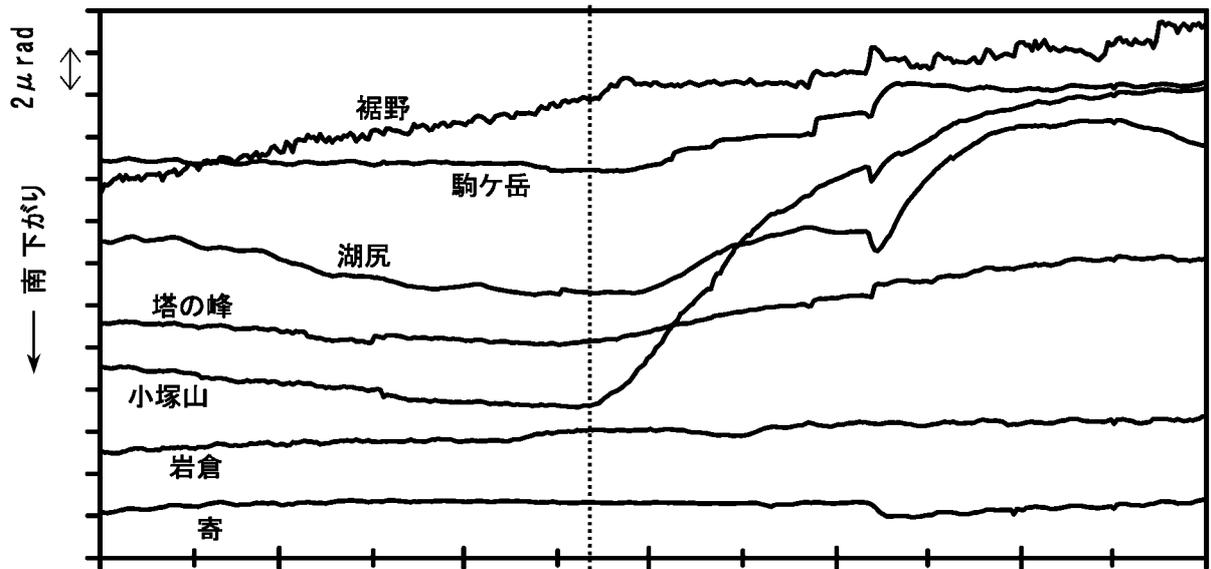
傾斜ステップが小塚山観測点と湖尻観測点でのみ生じ

たのは、これら2つの観測点が震源に近いと考へられる。しかし、大涌谷に設置している計測震度計(明星電気製、GTA-40型)で震度3を記録した6月29日06時16分の地震では、同じように大涌谷付近のごく浅いところで発生しているにもかかわらず、傾斜ステップが生じていない。その他にも、9月10日16時52分に発生した地震(表2)と震源がほぼ同じで、規模が大きいのに傾斜ステップが生じない地震がいくつかあり、傾斜ステップと地震との対応関係については、必ずしも明確ではない。

4.1. 各観測点における傾斜変動

図3から、箱根カルデラ内の小塚山、湖尻、駒ヶ岳観測点、および外輪山外側斜面の塔の峰、裾野観測点において、傾斜方向がほぼ6月中旬から変化していることがわかる。とくに、小塚山観測点において変化が大きいのが特徴である。傾斜計で観測される変化は設置点における変化であり、必ずしも地盤全体の傾斜変動を示しているとは限らない(福井、1992)。しかし、群発地震活動の

南北成分



東西成分

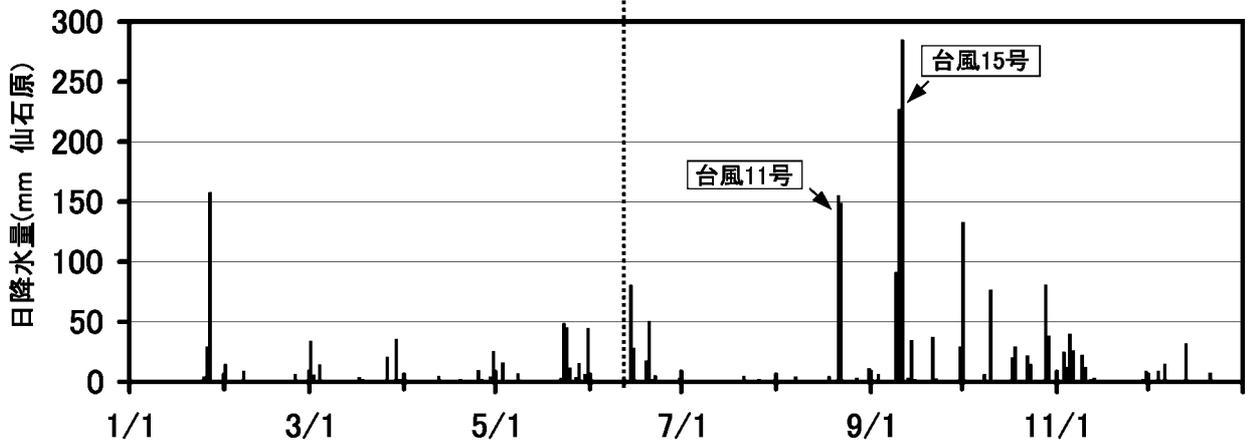
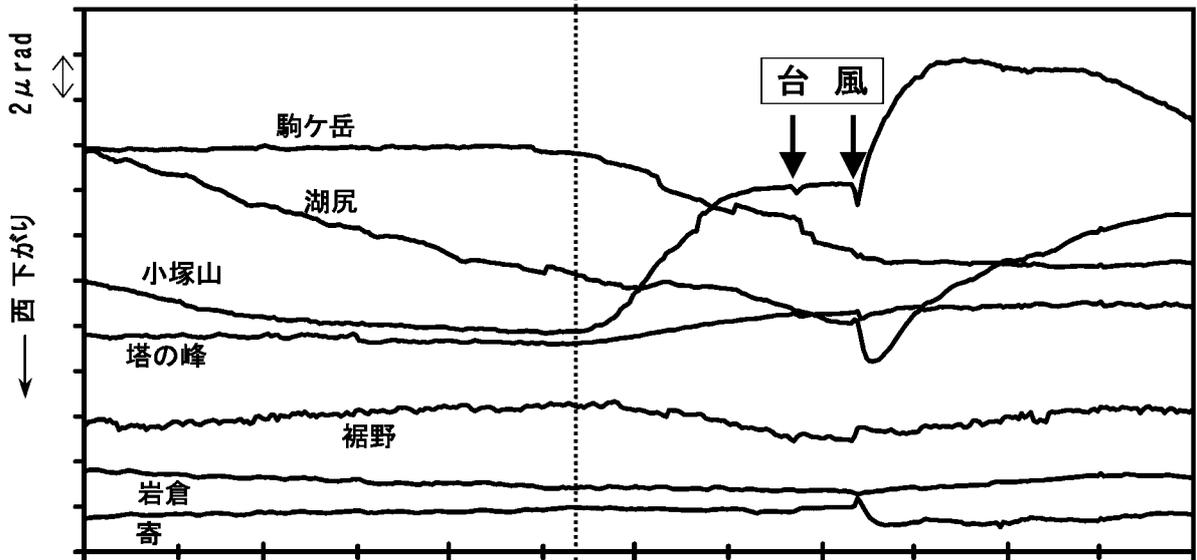


図3 傾斜観測結果(2001年1月~12月)

表2 観測された傾斜ステップ

月 日	時 分	小塚山観測点		湖尻観測点		大涌谷計測震度計	
		南北成分	東西成分	南北成分	東西成分	震 度	加速度(ガル)
7月21日	11:40	南下がり 5.0 μ rad	東下がり 0.9 μ rad	南下がり 3.6 μ rad	東下がり 2.7 μ rad	3	43.2
9月10日	16:52	なし	なし	なし	東下がり 0.2 μ rad	1	2.7
9月21日	09:10	南下がり 3.9 μ rad	なし	南下がり 0.4 μ rad	なし	3	30.9
6月29日	06:16	なし	なし	なし	なし	3	36.1

消長に呼応して複数の観測点で傾斜変化が生じていることから、これらの傾斜変化は群発地震活動に伴う地殻変動と考えられる。なお、岩倉および寄観測点においては、今回の群発地震活動に伴う傾斜変化は認められなかった。

台風15号がもたらした記録的な大雨(仙石原で総雨量600mm)の影響により、湖尻観測点の両成分と小塚山観測点の東西成分は9月中旬から大きく傾斜方向が変化している。そのため、これらの観測点では9月中旬以降の群発地震活動に伴う傾斜変化の識別が難しくなった。また、駒ヶ岳観測点や塔の峰観測点においても降雨の影響が認められる。

台風15号による大雨の影響が現れる以前の9月10日までは、群発地震活動に伴う地殻変動を示していると考えられることから、6月12日から9月10日までの約3ヶ月間における各観測点の傾斜変動ベクトルを図4に示した。図3および図4から、各観測点ごとの詳細な結果について以下に記述する。

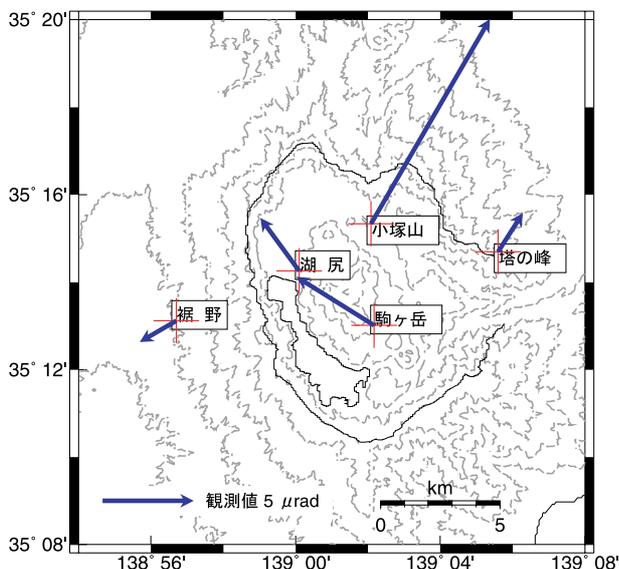


図4 6月12日から9月10日までの傾斜変動ベクトル

(1)小塚山観測点

観測点の中で最も顕著な変化が認められ、6月12日から9月10日までの3ヶ月間に13 μ radの北東下がりの変動を示した(図4)。

次に重要なポイントは、地震活動とほぼ同様の時間的推移を示していることである。地震が多発した6月中旬から傾斜変化が認められ、地震発生数が減少し始めた7月下旬から8月初旬頃に傾斜変化も鈍化し、ほぼ地震活動が終息した10月初旬には傾斜変化は認められなくなった(図3)。両成分の変化グラフ(図3)と累積地震数のグラフ(図2)が同様の曲線を描いていることがよくわかる。

地震発生数が減少し始めた7月下旬から8月初旬頃、南北成分の変化は鈍化したものの依然として北下がり傾向が続いているのに対し、東西成分ではほとんど変化しなくなっている。その後、台風15号の影響により変化がはっきりしなくなったが、活動が終息に向かっていることを考えると、おそらく東西成分の変化は7月下旬から8月初旬頃に終了したものと推測される。したがって、小塚山観測点では当初北東下がりの変動であったものが、7月下旬から8月初旬頃に変動が鈍化するとともに、方向も北下がりへ転じていることになる。この時期は、2回目のパースト的な地震活動が発生した7月21日の直後であり、何らかの活動の変化があったのかもしれない。

(2)湖尻観測点

湖尻観測点は降雨による影響が非常に大きく、小塚山観測点のように群発地震活動に伴う変化は明瞭ではない。湖尻観測点における降雨量と傾斜変化の関係は、概算で100mmの降雨量に対して約1 μ radの北下がりおよび東下がりの変化を示すことがわかっている(代田ほか、2002)。南北成分の変化を見ると、群発地震が始まった6月12日より遅れて、6月下旬頃から北下がりの変化が

見られる。この変化は8月下旬まで続き、約3 μrad の変化となった(図3)。また、東西成分については長期的な西下がりの変化が続いた後、南北成分とほぼ同時期の6月下旬頃から東下がりの変化に反転する(図3)。これらの北下がりおよび東下がりの変化は降雨に対する変化方向と一致しており、6月14日から22日までに仙石原で合計180 mm降った降雨による影響の可能性はある。180 mmの降雨量に対しては1~2 μrad の変化が期待されるが、東下がりの変化は0.4 μrad 程度と小さく、降雨による影響はあまり現れていない。その理由として、降雨量100 mmに対する約1 μrad の変化量は、梅雨や台風時期のようなある程度まとまった雨(300 mm程度以上)を基準として算出しているため、9日間で180 mm程度の降雨では、雨水の浸透率等の違いにより傾斜変化として現れる変化量が少ないことが考えられる。この東下がりの変化から、もし降雨の影響が小さいと考えると、東下がり比べて変化量が大きい北下がりの変化は地殻変動を示している可能性がある。しかし、降雨による影響を定量的に判断できず、地殻変動だけを正確に抽出できないため、図4には観測結果から得られる変動(3.6 μrad 、北西下がり)をそのまま示してある。

(3) 駒ヶ岳観測点

6月12日から9月10日までの3ヶ月間に、5.0 μrad の北西下がりの変動を示した(図4)。図3の成分ごとに見ると、東西成分では西下がりの変化が5月下旬頃から9月下旬まで認められる。南北成分においても、5月下旬頃から南下がりの変化が認められ、6月下旬頃から北下がりの変化に変わった。また、8月中旬と9月中旬に降雨による北下がりの変化がたびたび見られる。駒ヶ岳観測点は降雨による影響が1 μrad 以下の北および西下がりより小さい(代田ほか、2002)ものの、台風による記録的な大雨であったため、変化が現れたのであろう。

重要なポイントは、南北および東西両成分において5月下旬頃から変化が認められることであり、群発地震活動に先行した変化の可能性はある。傾斜変動が認められなくなり定常的な状態に戻るのも、群発地震活動の終息時期より若干早く9月中旬頃である。したがって、駒ヶ岳観測点における傾斜変動は、群発地震活動よりも早く始まり、早くおさまったと考えられる。群発地震活動に先行した変化については、後で詳しく検討する。

(4) 塔の峰観測点

降雨の影響も少なく、群発地震活動に伴う傾斜変動が明瞭に現れた。地震が多発した6月中旬頃から北下がり

および東下がりの変化を示し、10月中旬頃までその変化が続いた(図3)。変動量は少ないものの、ほぼ小塚山観測点と同様の時間的推移を示し、6月12日から9月10日までの3ヶ月間に北東下がり2.5 μrad の変動を示した(図4)。なお、9月中旬に台風による大雨の影響がわずかに認められる。

(5) 裾野観測点

南北成分および東西成分ともに、観測データの極性(Polarity)が逆転していることが判明した。代田ほか(2002)で報告した結果において、北下がりの変化は南下がり、東下がりの変化は西下がりであったことになる。極性が逆転していた理由は現在のところ明確ではないが、潮汐による変化が裾野観測点だけ逆方向を示していることから判明した。

極性が逆転していたことから、定常的な変化について改めて整理すると次のようになる。まず、降雨の影響はほとんど認められない。また、両成分ともにドリフト的な変化を示し、その変動量はそれぞれほぼ一定で、南北成分では0.8 μrad /月の北下がり、東西成分では0.17 μrad /月の東下がりである。

図3から、両成分ともに地震活動が多発した6月中旬頃から傾斜方向が変化していることがわかる。南北成分では定常的な0.8 μrad /月の北下がりの傾斜が緩やかになり、東西成分では東下がりの変化から西下がりの変化に転じている。その後、9月中旬の台風による大雨の影響が現れ、これを境に変化の方向が変わっているようにも見えるが、明瞭な変化ではない。図4には、地殻変動による傾斜変化だけを抽出するため、定常的な変化を差し引いて示してある。6月12日から9月10日までの3ヶ月間に、裾野観測点は南西方向に2.3 μrad 傾斜したことになる。

4.2. 地震活動に先行した傾斜変動

傾斜計や体積歪計などの観測結果から、地殻変動が群発地震活動に先行して生じることが報告されている(防災科学技術研究所、1998; 東大地震研究所、1997; 気象庁地震予知情報課、1997)。2001年箱根群発地震活動においても、地殻変動が先行して生じていたのかに注目してみる。先述したように、駒ヶ岳観測点では群発地震活動に先行した地殻変動を観測した可能性がある。傾斜変動の時間的な推移を見るため、2001年1月1日から12月31日までのベクトル傾斜図(日データ)を図5に示す。1月1日から5月22日まではほとんど変化がないが、5月23日から群発地震活動に先行した傾斜変動が認めら

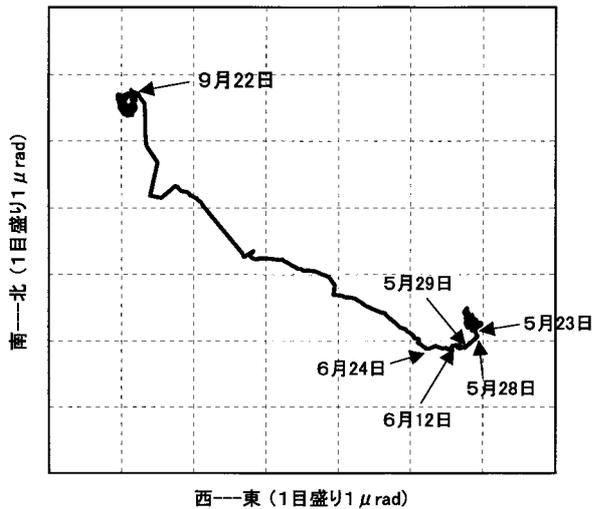


図5 駒ヶ岳観測点におけるベクトル傾動図(2001年1月～12月)

れる。すなわち、5月23日から南下がりの変化が現れ、5月28日から29日にかけて南西下がりの変化を示した後、6月24日まで西下がりの変化となった。地震活動が多発し始めた6月12日には、この西下がりの変化が続いており、傾斜方向の変化は見られない。その後、6月24日から北西下がりの変化に変わり、9月22日頃まで続いた後定常的な状態に戻っている。先に述べたように、地震活動が終息するより、また小塚山観測点より、若干早く変動がおさまっている。今回の群発地震活動に先行して、地震発生域(震央)付近の強羅および二の平の2つの源泉において、5月24～26日にかけて各々約3～5の温度上昇が観測されている(石坂ほか、2002)。温泉温度の上昇が認められた5月24～26日は、駒ヶ岳観測点で最初に傾斜方向の変化が現れた5月23日とほぼ一致しており、この時期に箱根火山において、約4ヶ月間続く一連の群発地震活動の発端となる何らかの変化(活動)が生じた可能性が高い。また、変化方向が北西下がりになった6月24日は、バースト的に地震が発生した6月29日の直前であり、地震活動の活発化に関与した変化と考えられる。

次に、最も顕著な変化が認められた小塚山観測点について、地震活動に先行した傾斜変動が現れたかを見てみる。図6に、小塚山観測点におけるベクトル傾動図(時間データ)を示す。図には、6月7日～18日までの変動と、6月7日～14日における24時間ごとの変動を示してある。通常は潮汐の影響による長円を描くような規則的な傾斜変動が生じており、6月13日頃から北東下がりの変動に転じていることがわかる。24時間ごとの変動を見ると、6月11日06時から通常と異なる北下がりの変動が見られるが、まだ定常的な潮汐変化の範囲からは飛

び出していない。6月12日17時頃から群発地震が始まったので、明確ではないが1日半程度先行して傾斜変動が現れた可能性もある。6月12日21時頃からは明瞭に北東下がりの変動が現れているので、この傾斜変動は群発地震活動と同期していることは間違いない。

小塚山観測点とほぼ同じような北東下がりの変動を示した塔の峰観測点についても、同様に先行した変動があったか検討してみる。図7に、塔の峰観測点におけるベクトル傾動図(時間データ)を示す。小塚山観測点と比較して変動量が少ないため、傾斜方向の変化は明確ではない。6月10日および11日は、潮汐による長円を描く変動しか見られず、明らかに定常的な状態である。6月12日からやや定常的ではない変動が生じているようにも見えるが、14日まではほぼ長円を描くような変動である。北東下がりの変動がある程度はつきり見えてくるのは15日頃からであり、群発地震活動の開始とほぼ同時期か、やや遅れて変動が現れたようである。

4.3 地殻変動源推定の試み

当所でおこなっている光波測量及びGPS測量の観測結果(丹保、棚田、2002)、国土地理院のGPS観測結果(西村、村上、2001;国土地理院、2002)から、今回の群発地震活動に伴う地殻変動として、箱根カルデラを中心とした山体の隆起および膨張が観測されている。また、小田原と湯河原に設置された体積歪計の観測結果からも、同様の地殻変動を裏付ける変化が現れている(気象研究所、2002;気象庁地震予知情報課、2002)。図4からわかるように、小塚山、湖尻、塔の峰、裾野の各観測点がカルデラ中央部に対して外側に傾斜していることから、傾斜観測結果においても同様にほぼカルデラ中央部が隆起した変化と考えられる。駒ヶ岳観測点は北西下がりの変化(カルデラ中央部下がり)を示しているため、隆起の中心は駒ヶ岳の南東部にあると推察できる。

ここで、傾斜観測結果を用いて簡単な変動源の推定を試みる。今回の群発地震活動に伴ってカルデラ中央部の隆起があったと考えられるので、体積変化を伴う何らかの火山性の活動が生じたかと推察される。さらに、体積歪計で観測された変化も膨張変化であったこと(気象研究所、2002)、温泉温度の上昇が観測されたこと(石坂ほか、2002)、大涌谷における噴気が激しくなっていること(菊川ほか、2002)なども火山活動の活発化を示唆している。また、GPS観測結果から、箱根カルデラを中心とした等方的な膨張が観測されており、体積増加をもたらす変動源の存在が推測できる(西村、村上、2001;国土地理院、2002)。そこで、地殻変動の力源モデルとして球状圧力

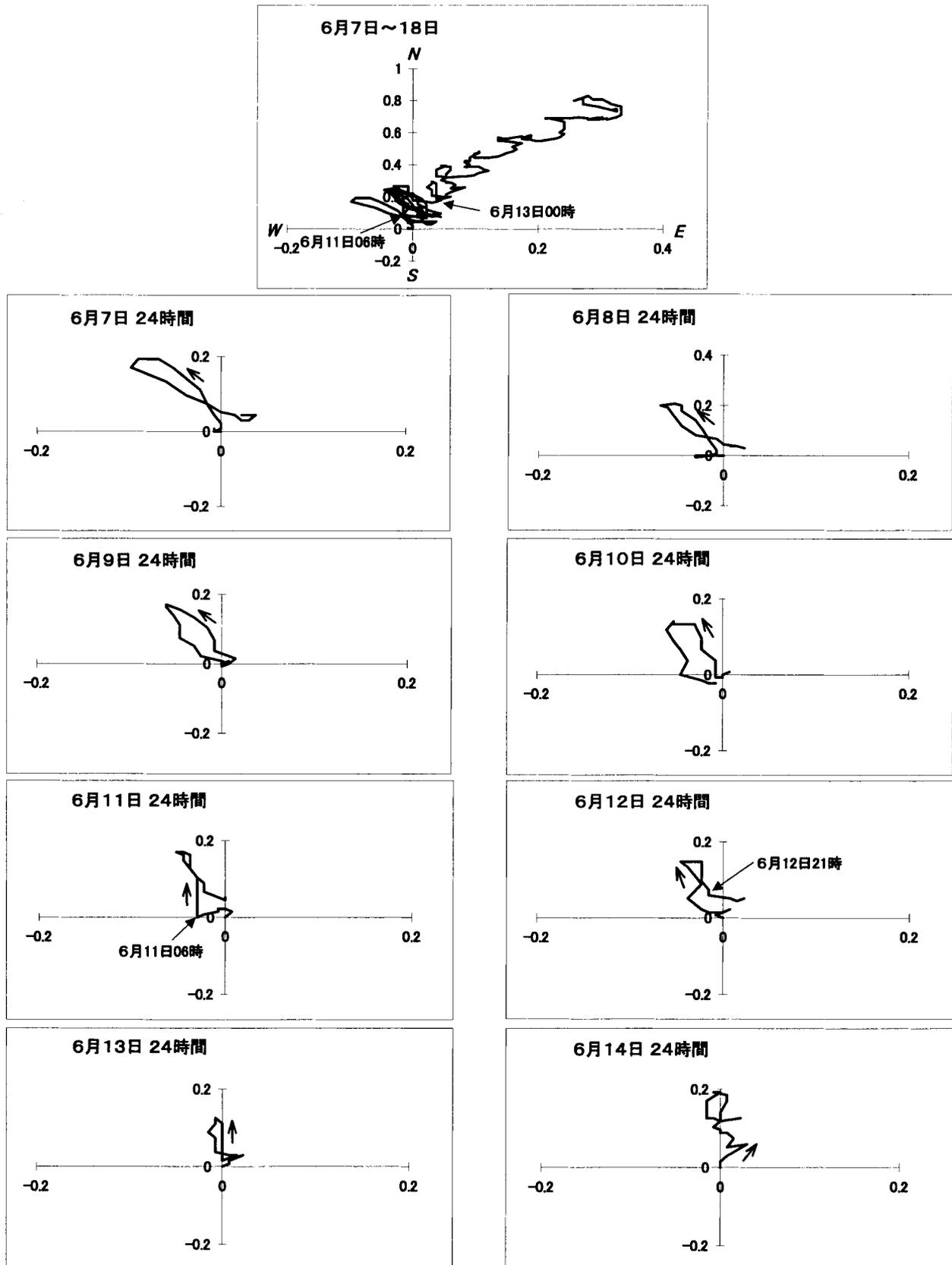


図6 小塚山観測点におけるベクトル傾動図(1目盛り0.2 μrad)
 1番上の図は6月7日~18日までの傾動を示す(原点は6月7日00時)
 2番目以降は7日~14日における24時間ごとの傾動を示す(原点は00時)

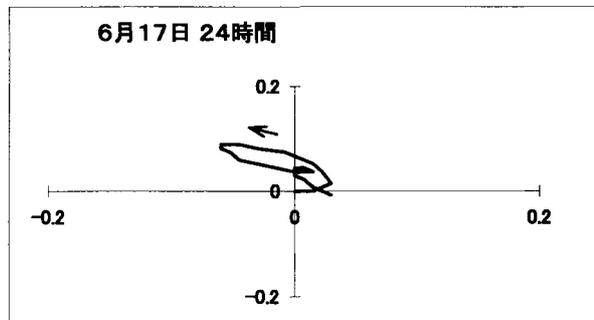
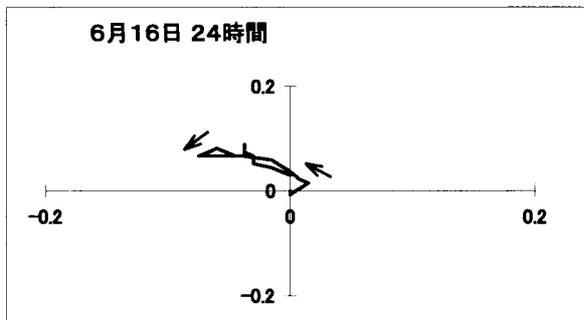
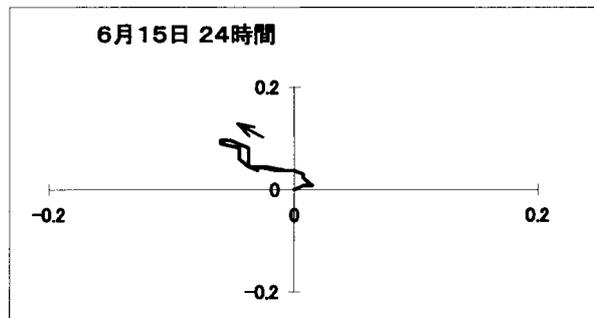
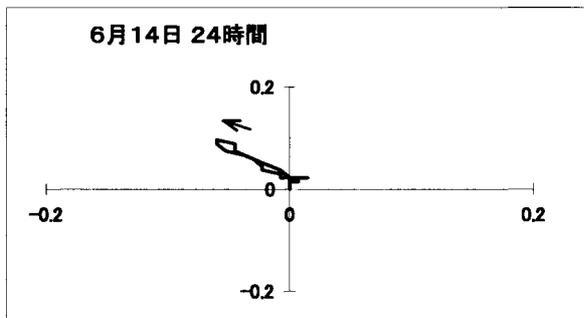
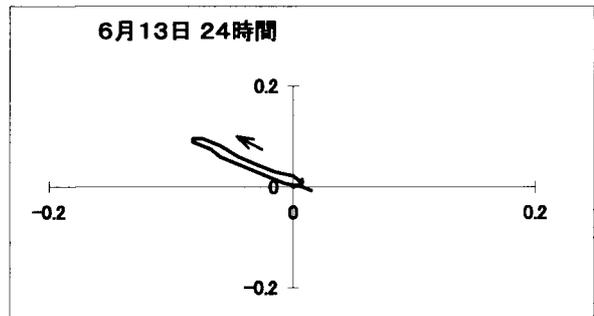
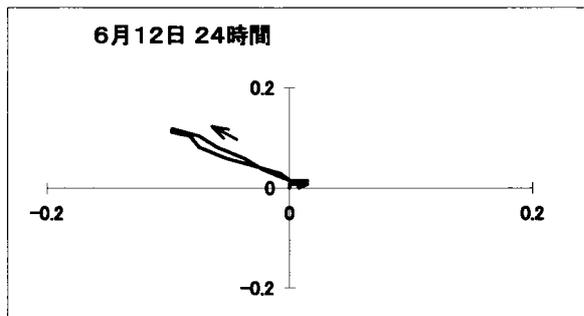
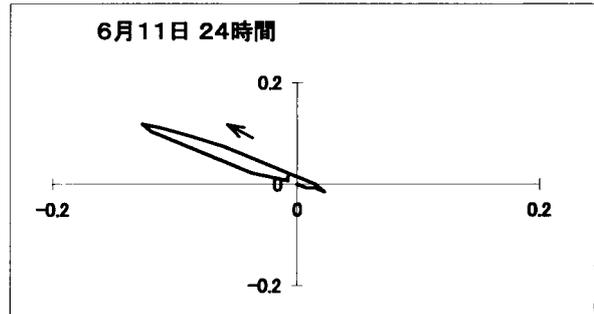
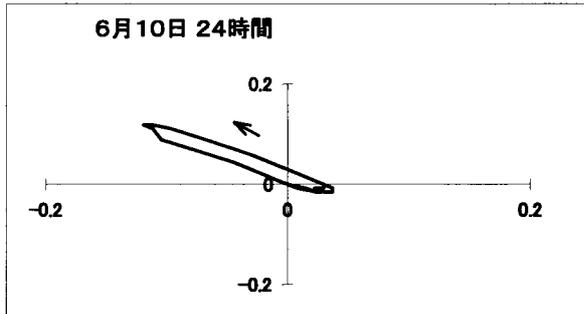
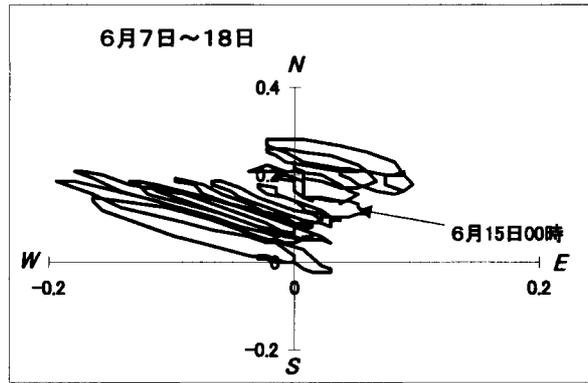


図7 塔の峰観測点におけるベクトル傾動図(1目盛り0.2 μrad)
 1番上の図は6月7日~18日までの傾動を示す(原点は6月7日00時)
 2番目以降は10日~17日における24時間ごとの傾動を示す(原点は00時)

源(Mogi, 1958)を仮定し, そのモデルパラメータの推定をおこなった. 球状圧力源モデル(茂木モデル)は, 火山地帯における地殻変動を説明するために広く用いられているものである. このモデルには, 変動源のパラメータとして緯度, 経度, 球状圧力源の中心点の深さ, および体積変化量の4つがあり, これらのパラメータを少しずつ変化させ, 計算値と観測値の残差二乗和が最も小さくなる値を最適解とした.

6月12日から9月10日までの約3ヶ月間における観測データ(図4)から計算した結果, 圧力源(変動源)の位置は図8の印のように, 駒ヶ岳観測点のほぼ直下(35°21'5"N, 139°03'9"E), 深さ3.6kmの場所に求まり, $3.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ の体積増加があったと推定された. 図8には, このモデルから計算される変動量を観測値とともに示してある. しかしこのモデルでは, 湖尻観測点と塔の峰観測点における計算値が観測値より大きく, 小塚山観測点では計算値が小さくなる. 小塚山観測点で生じた大きな変動は, 駒ヶ岳直下付近を圧力源とした山体の隆起および膨張では説明がつかず, 他のモデルを考える必要がある. また, 湖尻観測点と塔の峰観測点において計算値が大きくなったのは, 変動量が多い小塚山観測点の影響によるものと考えられる. そこで, 小塚山観測点の結果を除いて計算したところ, 圧力源は駒ヶ岳の南東約1.5km(35°20'9"N, 139°04'9"E), 深さ5.0kmの場所に求まり(図9の印), 体積増加量は $3.6 \times 10^6 \text{ m}^3$ となった. わずかに南東方向に移動し, 深さもやや深い位置になったが, こちらのモデルの方が小塚山観測点以外は観測値に近い結果となった. いずれにしても, 圧力源は駒ヶ岳

直下付近の5kmより浅い位置に推定されたが, 小塚山観測点の変動が他の観測点と比較してかなり大きいことなど, 単純な山体の隆起・膨張だけでは説明できず, 今後さらに地殻変動のメカニズムについては検討していく必要がある.

地震活動に先行して最初に傾斜変動が生じた駒ヶ岳観測点は, 推定された圧力源のほぼ直上に位置しており, この圧力源の変化に敏感に反応した可能性がある. また, ほぼ同時期に温泉温度の上昇が観測されており, 一連の活動における始まりといえるかもしれない.

今回の群発地震活動の中心は震央域が大涌谷付近であり, 小塚山観測点はちょうどその北東に位置する. また, 小塚山観測点における傾斜変動は群発地震発生とほぼ同期して生じている. これらのことから, 大涌谷付近で地震を発生させるような火山活動があり, その火山活動により大きな北東下がりの変動が生じたと推察できる. 一つの仮説ではあるが, 駒ヶ岳直下付近に火山活動が生じ, 活動的になった熱水等が大涌谷付近へ上昇したり, 地震や傾斜変動を生じさせたりしたのかもしれない. 震源の深さが駒ヶ岳でやや深く, 北(大涌谷)に向かって浅くなっていることとも矛盾しない. また, 駒ヶ岳直下の地震は, 深さ3~6kmのところに集中しており, 推定された圧力源の位置と一致する. しかし, 小塚山観測点の大きな傾斜変動を定量的に説明できるのか, 熱水等が動いた物的証拠があるのかといった課題もあり, 今後は傾斜変動だけではなく, その他の地殻変動観測結果や, 地震活動の詳細な解析, 地球化学的なデータも含めて, 今回の活動のシナリオを解明していくことが重要である.

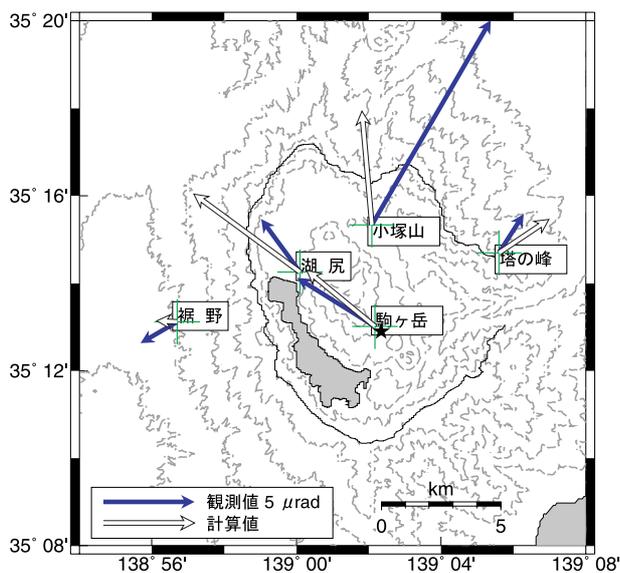


図8 全観測データを用いた計算により推定された圧力源の位置(印, 駒ヶ岳観測点のほぼ直下, 深さ3.6km)とその傾斜変動ベクトル

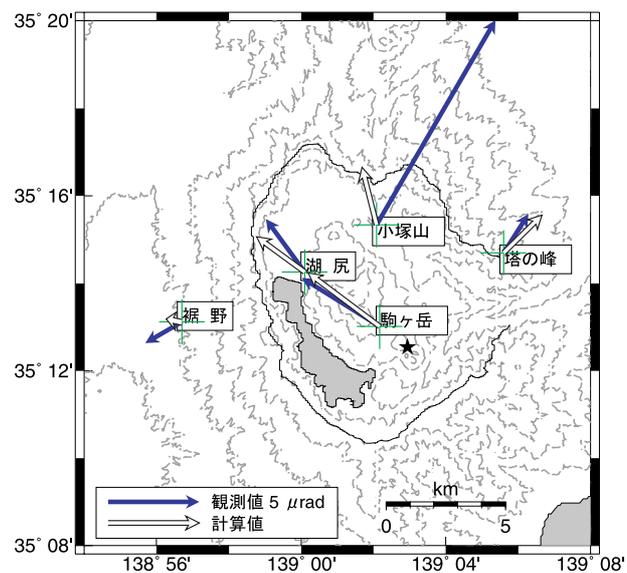


図9 小塚山観測点のデータを除いた計算により推定された圧力源の位置(印, 駒ヶ岳観測点の南東約1.5km, 深さ5.0km)とその傾斜変動ベクトル

5. まとめ

箱根火山において、2001(平成13)年6月中旬から約4ヶ月間続いた群発地震活動に伴い、地殻の傾斜変動が観測された。その概要をまとめると以下のとおりである。

- (1) 箱根火山周辺の小塚山、湖尻、駒ヶ岳、塔の峰、裾野観測点において、傾斜方向がほぼ6月中旬から変化した。同時期に複数の観測点で傾斜変化が生じたことから、群発地震活動に伴う地殻変動と考えられる。
- (2) 小塚山観測点の変化が最も顕著であり、その時系列変化は地震の発生数と同様の推移を示した。また、塔の峰観測点においても、変動量は小さいものの同様の推移を示した。
- (3) 6月中旬から9月中旬までの各観測点における変動量は、小塚山観測点が13 μrad の北東下がり、湖尻観測点が3.6 μrad の北西下がり、駒ヶ岳観測点が5.0 μrad の北西下がり、塔の峰観測点が2.5 μrad の北東下がり、裾野観測点が2.3 μrad の南西下がりであった。
- (4) 駒ヶ岳観測点において、群発地震活動に先行した変化が5月23日頃から認められた。この変化は、一連の活動の発端として生じた可能性もある。
- (5) 観測された傾斜変動は、主としてカルデラ中央部を中心とした山体の隆起によるものと考えられる。球状圧力源を仮定した場合、駒ヶ岳直下付近の深さ3~5 kmの場所で、 $3.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ 程度の体積増加があったと推定された。しかし、全ての観測結果を説明することはできず、今回生じた地殻変動のメカニズムをさらに詳しく解明することが今後の課題である。
- (6) 裾野観測点において、観測データの極性(Polarity)が逆転していることが判明した。

謝辞

防災科学技術研究所の上田英樹博士や山本英二主任研究員、岡田義光企画部長には、地殻変動源パラメータの推定プログラムの利用ならびに助言をいただいた。また、温泉地学研究所の丹保俊哉特別研究員には多大なご協力をいただいた。ここに記すとともに、感謝の意を表します。

参考文献

防災科学技術研究所 (1998) 伊東沖群発地震活動に前駆する傾斜変動, 地震予知連絡会会報, 60, 334-355.
代田寧、伊東博、棚田俊收、八巻和幸 (2002) 神奈川県西部地域における最近2年間の傾斜観測結果, 温地研報告, 33, 43-48.

福井敬一 (1992) 傾斜観測資料の解析, 気象庁地震火山部火山対策室編, 火山観測指針(参考編), 気象庁, 219-233.
石坂信之、板寺一洋、菊川城司 (2002) 箱根群発地震と温泉温度等の変化, 第55回日本温泉科学会大会講演要旨集, 19.
菊川城司、石坂信之、板寺一洋、大山正雄 (2002) 箱根大涌谷における蒸気造成泉の化学成分について, 第55回日本温泉科学会大会講演要旨集, 36.
気象庁地震予知情報課 (1997) 伊豆半島およびその周辺の地震活動, 地震予知連絡会会報, 58, 229-238.
気象庁地震予知情報課 (2002) 箱根山付近の地震・地殻活動(2001年6月中旬からの変化), 地震予知連絡会会報, 67, 104-107.
気象研究所 (2002) 箱根の微小地震活動(2001年6月~)に伴う歪変化, 地震予知連絡会会報, 67, 108-114.
国土地理院 (2002) 箱根山とその周辺地域の地殻変動, 火山噴火予知連絡会会報, 80, 34-40.
Mogi, K. (1958) Relations between the eruptions of various volcanoes and the deformations of the ground surfaces around them., Bull. Earthq. Res. Inst., 36, 99-134.
西村卓也、村上亮 (2001) 2001年7月の箱根火山の地殻変動, 日本火山学会2001年度秋季大会講演予稿集, 43.
温泉地学研究所 (1999) 温泉地学研究所における「神奈川県西部地震」の取り組み, 温地研報告, 29, 3-40.
温泉地学研究所 (2002) 2001年箱根火山の群発地震活動について, 火山噴火予知連絡会会報, 80, 45-48.
佐藤春夫、高橋博、山本英二、福尾信平、上原正義、寺沢康夫 (1980) 孔井用傾斜計による地殻傾斜観測方式の開発, 地震2, 33, 343-368.
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, 温地研観測だより, 52, 1-4.
丹保俊哉、棚田俊收 (2002) 2001(平成13年)箱根群発地震活動に伴う光波・GPSの変化, 温地研観測だより, 52, 5-12.
東大地震研究所 (1997) ボアホール地殻活動総合観測装置で観測された伊豆半島東方沖群発地震, 地震予知連絡会会報, 58, 254-263.
八巻和幸、小鷹滋郎、伊東博、棚田俊收、大木靖衛 (1990) 箱根火山・傾斜変化解析システム, 温地研報告, 21(3), 87-102.