

神奈川県西部地域における最近 2 年間の傾斜観測結果

代田 寧*、伊東 博*、棚田俊收*、八巻和幸*²

The latest results of tilt observation for two years in the western area of Kanagawa prefecture
by

Yasushi DAITA*, Hiroshi ITO*, Toshikazu TANADA* and Kazuyuki YAMAKI*²

1. はじめに

温泉地学研究所では、神奈川県西部地震における予知研究の推進や、箱根火山の活動状況を把握するため、地震観測とともに傾斜変化や GPS 測量、光波測量等の地殻変動についても観測を行なっている(温泉地学研究所、1999)。

当所の傾斜観測は、1989(平成元)年4月から箱根火山の3ヶ所に始まり、その後観測点を増設し、現在では神奈川県西部地域を中心に計7ヶ所で観測を行なっている。傾斜観測は、地震の前兆現象を捉えたり、火山の活動状況を把握するのに有効と考えられている。たとえば、地震の前兆現象として傾斜変化が認められた事例が報告されている(力武、1986; 佐藤ほか、1984)。しかし、傾斜変化は降雨や気圧などの気象条件等により影響を受けやすく、その影響の現れ方は観測点ごとに異なる(福井、1992; 佐藤ほか、1980; 田中、1979)。そのため、地震の前兆や火山活動に

伴う変化かどうかを判断するには、各観測点における特徴を把握しておくことが重要となる。

箱根火山において、2001(平成13)年6月12日から、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群発地震が起こり(8月末においても活動は継続中)、それとほぼ同時期にいくつかの観測点において明らかな傾斜変化が認められた。これらの観測結果については、火山噴火予知連絡会に報告した(温泉地学研究所、2001)。この群発地震と傾斜変化に関する詳細な報告については、別に行う予定である。本報では、地震や火山活動に伴う異常な変化を捉えるための判断基準に資するため、主に各傾斜観測点における経年変化や降雨による影響等の特徴について報告するとともに、今回の群発地震に伴う傾斜変化についても一部述べる。

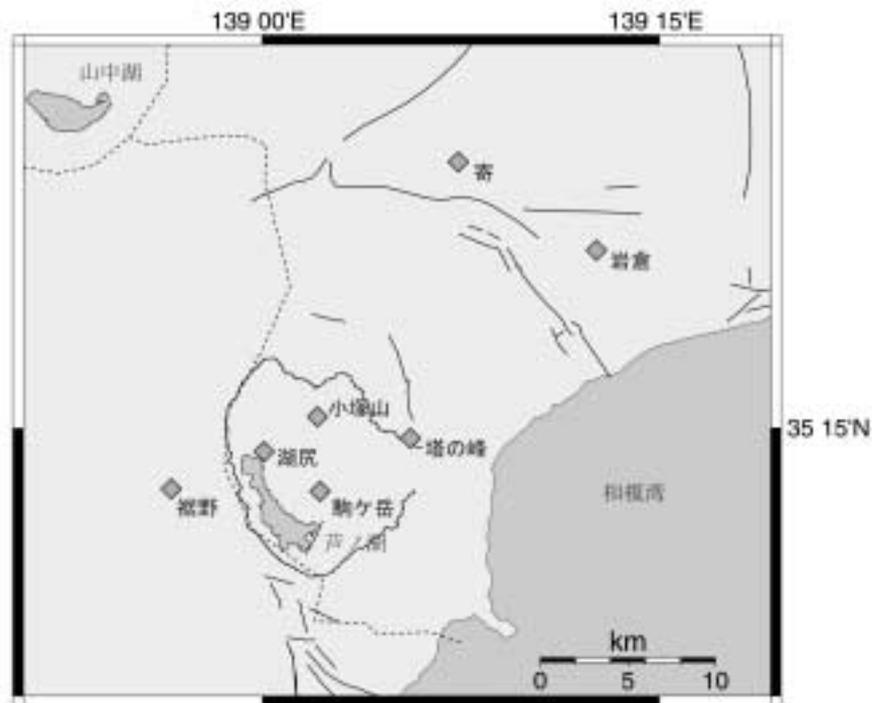


図1 傾斜観測点分布

* 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

*² 元神奈川県温泉地学研究所

報告, 神奈川県温泉地学研究所報告, 第33巻, 43 - 48, 2002.

表1 傾斜観測点の位置と設置深度

観測点名	緯度(N)	経度(E)	標高	観測井掘削深度	傾斜計設置深度
湖尻	35° 14'15.30"	139° 00'05.84"	780m	104m	98m
小塚山	35° 15'20.24"	139° 02'04.93"	552m	104m	101m
駒ヶ岳	35° 13'00.67"	139° 02'10.19"	1049m	101m	90m
塔の峰	35° 14'41.49"	139° 05'35.86"	549m	110m	90m
裾野	35° 13'07.32"	138° 56'42.30"	279m	87m	84m
岩倉	35° 20'35.23"	139° 12'36.36"	73m	101m	97m
寄	35° 23'18.00"	139° 07'30.11"	300m	101m	97m

2. 観測方法

観測点は、箱根カルデラ内に湖尻、小塚山、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ヶ所である(表1、図1)。傾斜計(明石、福尾、1977; 佐藤ほか、1980)は南北、東西の水平2成分であり、それぞれ深度約100mの観測井内に設置されている。観測計器類の仕様やテレメータ手法など、観測方法の詳細は既報(温泉地学研究所、1999; 八巻ほか、1990)のとおりである。

3. 観測結果と考察

1999(平成11)年6月から2001(平成13)年8月までの観測結果を図2に示す。上図が南北成分の変化、下図が東西成分の変化である。これらの図中における下方向の変化は、南北成分では地盤南下がり、東西成分では地盤西下がりを示している。また、縦軸は1目盛りが2 μ radianであり、1 μ radianは1km先の地面が1mm上下する傾きに相当する。傾斜データは、地震等により機械的な「とび」が生じる場合があるが、ここでは全体的な変化や特徴が分かりやすいようにこれらの「とび」をオフセット修正してある。また、空白はデータの欠測である。なお、図中の破線は、群発地震が始まった6月12日を示している。

3.1. 各観測点における特徴

2001(平成13)年6月12日から始まった箱根群発地震活動に伴う傾斜変化が生じる以前の、1999(平成11)年6月から2001(平成13)年5月末までの約2年間における各観測点の特徴をまとめると次のようである。

(1) 湖尻観測点

全体的な傾向として、1999(平成11)年7月を基準とすると、2001(平成13)年5月末までの約2年間で南北および東西両成分は4~5 μ radianの南下がり、および西下が

り傾向を示した。しかし、これらの傾向は決して単純な変化ではない。まず、梅雨時期になると、傾斜方向は約1ヶ月間で南北成分は2~3 μ radianの北下がり、東西成分は3~4 μ radianの東下がりと反転する。降雨の影響による北東へ傾く傾斜変化は数ヶ月続き、その後翌年の梅雨時期まで指数関数的に南および西方向に下がる(南西に傾く)傾向となる。したがって、湖尻観測点は降雨の影響を受けやすく、梅雨や台風の時期では地震活動や火山活動などによる異常変化を捉えにくい可能性がある。

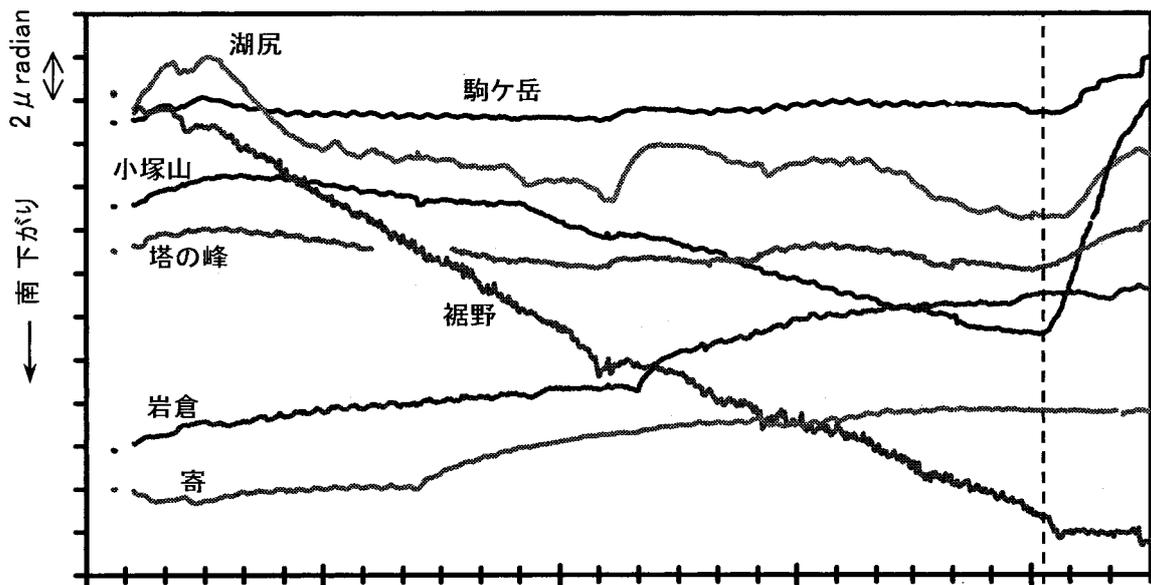
降雨量と傾斜変化の関係を調べると、1999(平成11)年6月の降雨量570mmに対して、南北成分で北下がり約3 μ radian、東西成分で東下がり約5 μ radianの傾斜変化が生じている。また、2000(平成12)年6月では、降雨量360mmに対して南北成分で北下がり約3 μ radian、東西成分で東下がり約4 μ radian変化していた。概算ではあるが、降雨量100mmに対し約1 μ radianの変化となる。たとえば、佐藤ほか(1984)は箱根火山外輪山北東部に位置する足柄傾斜観測点において、降雨量100mmに対して約1 μ radianの変化が生じると報告しており、湖尻観測点の降雨に応答する傾斜変化量とほぼ同じである。

なお、八巻ほか(1990)は、降雨による変化は芦ノ湖の増水と関係していると述べている。しかし、降雨期の傾斜は芦ノ湖とは逆方向の北東側に傾いており、芦ノ湖の増水との関係は再検討する必要がある。

(2) 小塚山観測点

全体的な傾向として、1999(平成11)年7月を基準とすると、2001(平成13)年5月末までの約2年間で南北成分は5 μ radian程度の南下がり、東西成分は4 μ radian程度の西下がりの傾向を示した。南北成分は比較的単純な傾向を示しており、梅雨時期においても1999(平成11)年で1 μ radian程度、2000(平成12)年ではほとんど変化がみられなかった。しかし、東西成分は南北成分と異なり、降雨の影響が

南北成分



東西成分

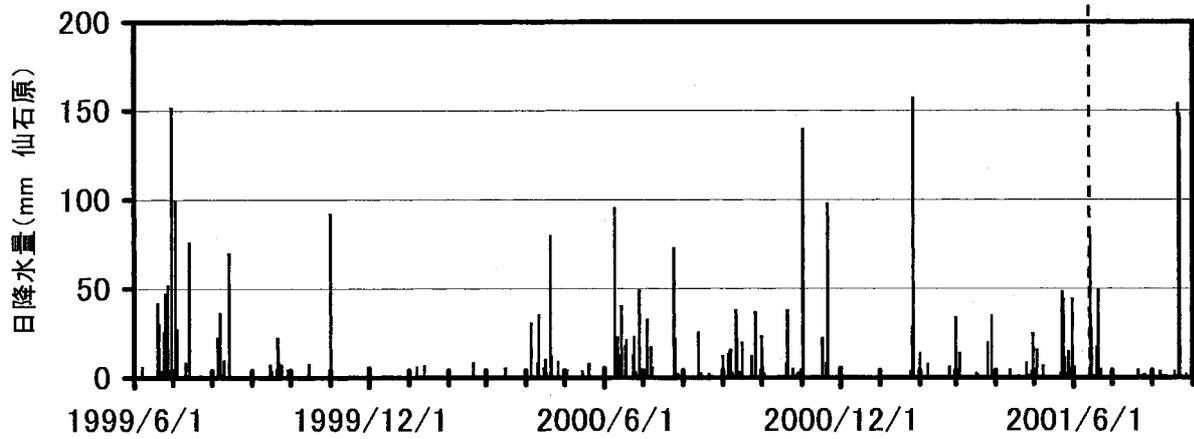
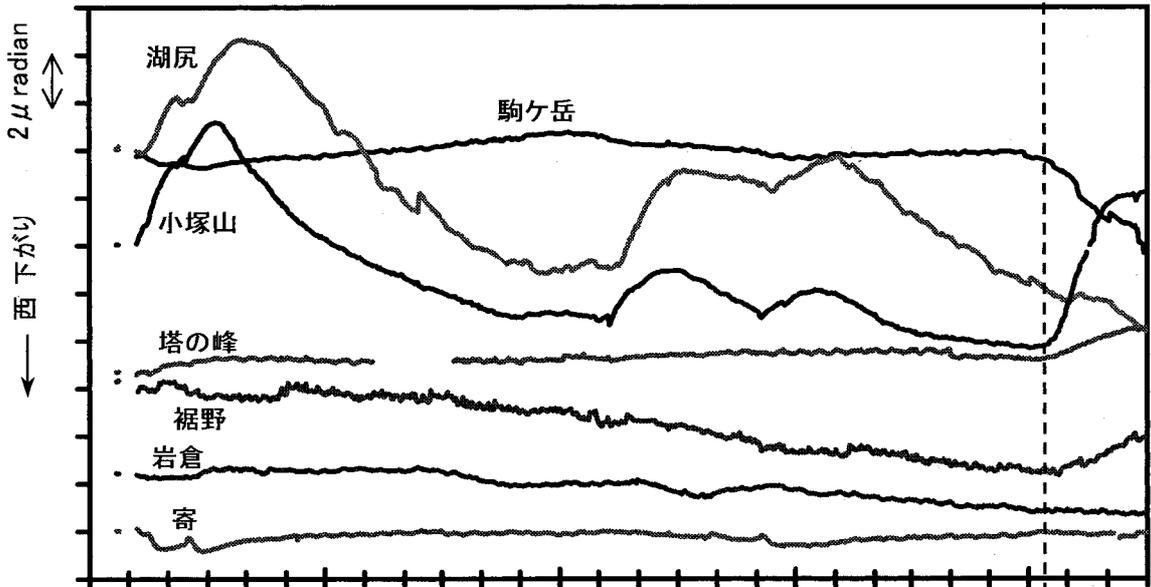


図2 傾斜観測結果(1999年6月～2001年8月)

明瞭に現れた。まず、梅雨時期になると、東西成分の傾斜方向は3～5 μradian 東下がりと変化する。降雨の影響による傾斜変化は数ヶ月続き、その後翌年の梅雨時期まで指数関数的に西方向に下がる傾向となる。この変化は湖尻観測点の東西成分とほぼ同じ傾向を示しており、降雨量100mm に対する変化量は約1 μradian となった。

(3) 駒ヶ岳観測点

1999(平成11)年7月を基準とすると、2001(平成13)年5月末までの約2年間で南北および東西両成分ともほとんど変化していない。また、降雨の影響による変化は1 μradian 以下の北および西下がり小さい。したがって、駒ヶ岳観測点は降雨による影響が少なく、地震等による傾斜変化を見出しやすい観測点といえる。

(4) 塔の峰観測点

1999(平成11)年7月を基準とした約2年間において、南北および東西両成分は1 μradian 程度の南下がりおよび東下がりの傾向を示した。降雨の影響による変化は南北成分でしか認められず、その北下がりの変化量も1 μradian 以下であった。

(5) 裾野観測点

約2年間で、南北成分は約19 μradian 南下がり、東西成分は3 μradian 程度西下がりの傾向を示した。降雨の影響による変化は両成分ともほとんど認められないが、他の観測点に見られない短周期の変化が認められる。なお、南北成分における約19 μradian の変化はほぼ一定の傾きで、その変化量は約0.8 μradian/月である。

(6) 岩倉観測点

約2年間で、南北成分は約7 μradian 北下がり、東西成分は約1 μradian 西下がりの傾向を示した。また、降雨の影響による変化は両成分ともほとんど認められない。ただし、2001(平成12)年7月30日を境として、南北成分が変化している。これはデータにオフセットが生じた後発生しており、このような現象は地震の衝撃により傾斜計を入れた耐圧容器が動いてしまったことなどが原因と考えられ

る(佐藤ほか、1980)。しかし、この時間にオフセットを生じさせるような地震は発生していないことから、原因は不明である。

(7) 寄観測点

約2年間で、南北成分は3 μradian 程度北下がりの傾向を示した。東西成分はほとんど変化していない。また、降雨の影響による変化は両成分ともほとんど認められない。

2001(平成12)年2月11日、山梨県東部でマグニチュード4.4の地震が発生した。この地震によって傾斜記録にオフセットが生じ、南北成分の傾斜方向が変化した。それ以降約1年間北下がりの変化が続いたが、2001年からは地震前と同じような安定した状態になったと思われる。

3.2. 2001(平成13)年6月箱根群発地震活動に伴う傾斜変化

2001(平成13)年6月12日から箱根火山において発生した群発地震活動に伴う傾斜変化が、箱根カルデラ内の湖尻、駒ヶ岳、小塚山観測点、および外輪山斜面の塔の峰、裾野観測点において認められた。

群発地震が始まった6月12日から8月末までの約2ヶ月間における傾斜変化量を表2に示した。とくに、小塚山観測点で変化量が多い理由は次の2点が考えられる。

第一点目は、先述した降雨の影響である。この年の5月下旬から6月初旬にかけて、箱根仙石原では約360mmの降雨があった。小塚山傾斜データにおける降雨の応答量は東下がり約1 μradian/100mmである。そのため表2に示した東西成分の変化量には、3～4 μradian の降雨の影響が含まれている。同様なことが湖尻観測点の両成分についてもいえる。

第二点目は、この群発地震の震央域は大涌谷を中心に南北方向にそれぞれ2km程度のびており、また震源の深さが非常に浅い(温泉地学研究所、2001)ことが影響していると考えられる。小塚山観測点はこの震央域北東部に位置することから、群発地震活動による地殻変動の影響が大きく現れたのかもしれない。

いずれにしても、小塚山観測点の南北成分は、群発地震活動に伴う傾斜変化が大きく現れ、しかも降雨による影響

表2 2001年6月12日から8月末までの約2ヶ月間における傾斜変化量(μradian)

	湖尻	小塚山	駒ヶ岳	塔の峰	裾野	岩倉	寄
南北成分	北下がり 2.9	北下がり 10.7	北下がり 2.6	北下がり 2.0	南下がり 1.1	変化なし	変化なし
東西成分	西下がり 1.9	東下がり 6.5	西下がり 4.0	東下がり 1.3	東下がり 1.4	変化なし	変化なし

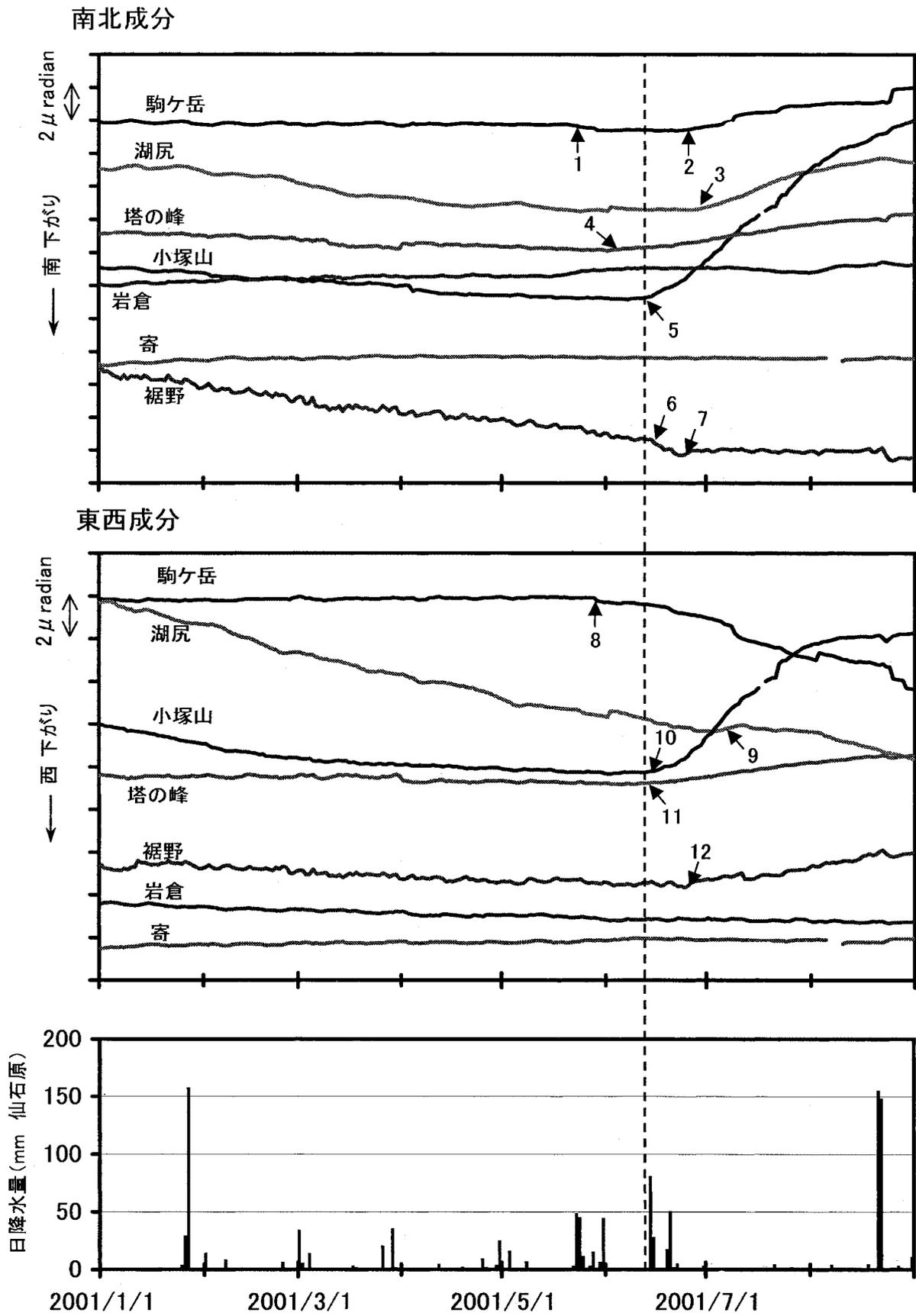


図3 傾斜観測結果(2001年1月~8月)

が少ないため、今後の箱根火山の活動状況を把握するうえで重要な指標になると考えられる。実際に、8月中旬頃から地震の発生数が少なくなり、火山活動の低下が推測されたが、ほぼ同時期から傾斜変化が鈍化しているように見受けられる。

ここで、群発地震活動発生時期と傾斜変動発生時期との関係について見てみる。ただし、本震・余震型の地震と異なり、小規模の地震が断続的に発生する今回のような群発地震では、傾斜変化が地震に先行して(前兆として)現れたかどうかを明確には判断し難いことは念頭に置いておく必要がある。

群発地震活動の発生前後における傾斜変化がわかりやすいように、2001(平成13)年1月から8月までの結果を図3に示した。図3には、群発地震活動に伴う傾斜変化の始まりと思われる部分に矢印を付した。破線が群発地震が始まった6月12日である。湖尻および裾野観測点の両成分では、群発地震活動発生後に変化が生じている(矢印3、6、7、9、12)。一方、塔の峰観測点の南北成分と駒ヶ岳観測点の東西成分では、群発地震活動発生前から変化が生じているように見え(矢印4と8)群発地震活動発生の前兆を示している可能性がある。また、小塚山観測点の両成分と塔の峰観測点の東西成分では、群発地震活動の発生時期とほぼ同時期に変化が生じており、直前の情報が得られるかもしれない。駒ヶ岳観測点の南北成分では、群発地震活動発生前から変化しているようにも見えるが(矢印1)発生後のようにも見える(矢印2)。

このように、傾斜観測結果から群発地震活動発生の前兆を捉えられる可能性はあるが、駒ヶ岳および小塚山観測点の東西成分、塔の峰観測点の南北成分の変化は先述した降雨による変化方向と一致しているため、群発地震活動発生前に変化があったかどうかを判断することは難しい。また、傾斜計で測定される変化は設置点における変化であり、必ずしも観測点近傍の地盤全体の傾斜を示しているとは限らない(福井、1992)。そのため、地震の前兆か否かを判断するには、複数の観測点におけるデータについて、気象などの影響を取り除いた変化を総合的に検討する必要がある。

4. おわりに

傾斜観測を行うことは、地震の前兆現象や火山の活動状況を捉えるのに有効な手段であるが、降雨や気圧などの気

象条件、地形や地質などの影響を受けやすく、しかも観測点ごとにその影響の現れ方が異なるため、データの解釈が難しいのも事実である。当所の傾斜観測点では、湖尻観測点の両成分および小塚山観測点の東西成分で降雨による影響が大きく、異常な傾斜変化を確実に捉えるには何らかのデータ処理が必要になるかもしれない。いずれにしても、異常な傾斜変化を捉えるためには、複数の観測点におけるデータを解析し、総合的に判断する必要がある。

また、2001(平成13)年6月12日から箱根火山で起こっている群発地震において、火山活動の活発化によると思われる明らかな傾斜変化が認められた。本報では、この群発地震と傾斜変化との関係については概略ふれる程度にとどめたが、今後詳細な結果について報告したい。また、傾斜以外のデータも含めてモデル解析を行ない、箱根火山における群発地震の発生メカニズムの検討を行なっていくことも重要な課題である。

参考文献

- 明石和彦、福尾信平 (1977) ポアホール型地震計及びひずみ計、精密機械、43、499-505.
- 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.
- 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 (2001) 第90回火山噴火予知連絡会資料力武常次 (1986) 傾斜・歪による前兆カタログ、地震前兆現象 予知のためのデータ・ベース、東京大学出版会、27-32.
- 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.
- 佐藤春夫、立川真理子、大久保正 (1984) 山梨県東部の地震(1983年8月8日)に先行した異常な地殻傾斜変化、地震2、37、197-250.
- 田中寅夫 (1979) 傾斜計・伸縮計記録に現れる降雨の影響とそのシミュレーション、測地学会誌、25(2)、91-100.
- 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.