

2015年箱根火山活動における傾斜変動と地震活動の関連性

板寺一洋^{*1}・原田昌武^{*1}・吉田明夫^{*2}

Relationship between ground tilts and earthquake swarms during the 2015 Hakone volcanic activity

by

Kazuhiro ITADERA^{*1}, Masatake HARADA^{*1} and Akio YOSHIDA^{*2}

Abstract

Relationship between ground tilts at stations in the Hakone caldera and earthquake swarms during the 2015 Hakone volcanic activity was investigated. It was found that the time that significant ground tilts were observed coincided with the period when many shallow earthquakes occurred around the station. Because swarm earthquakes are considered to occur when underground fluids intrude into fracture zones (Yukutake *et al*, 2010), our finding suggests that increase of the pressure in the reservoir of underground fluids that exists in a shallow zone generated both the swarm activity and the ground tilts. To elucidate the process how thermal fluids from magma in the depth brought about increase of the pressure in the shallow underground fluids is a very important problem to understand the mechanism of volcanic activity. It is also pointed out that characteristic change in the direction of ground tilt is usually observed at times of heavy rain falls at each station. This feature is considered useful to judge whether an observed unusual ground tilt is caused by volcanic activity or it is due to rain fall.

1. はじめに

箱根火山では、2015年4月24日まで一日数回程度であった地震数が4月25日から増加し始めて、翌26日には「地震数が1時間に10個以上」という温泉地学研究所による群発地震活動の基準（伊東・棚田、1999）を満たし、その日の地震発生数は100回を超えた。その後、地震活動はさらに活発化して、5月15日には一日800回を上回るなど、2001年以降に発生したこれまでの群発地震活動を大きく上回るペースで地震回数が増加していった（原田ほか、2015a）。

この間、5月2～3日には大涌谷の温泉造成用の蒸気井から蒸気が勢いよく噴出する、いわゆる暴噴現象が観測され（原田ほか、2015a）、また5月5日には深さ5kmと、それまでと比べてやや深いところでM2.6の有感地震が発生したことなどから、気象庁は5月6日に噴火警戒レベルを1から2に引き上げた。

地震の主活動域は、2001年以降の箱根の群発活動（原田ほか、2013）と同様、大涌谷から駒ヶ岳にかけての中央火口丘下にあり、4月末から5月初めにかけての活

動初期は特に大涌谷直下の浅部で地震が多発した（原田ほか、2015a）。しかし、日別回数として最大値を記録した5月15日の活動は、湖尻・芦ノ湖北岸で発生している。5月末からはカルデラ内北部の金時山周辺や台ヶ岳周辺で活発であった。6月に入ると地震活動の勢いは落ちたが、台ヶ岳周辺の活動は6月中旬以降も継続し、6月20日には一時的に活発化した。駒ヶ岳直下でも地震発生が続いたものの、6月後半には火山活動は全体として終息に向かっているのではないかと推測された。ところが、6月29日の早朝、大涌谷のごく浅部で地震が多発し始めて、蒸気井のすぐ隣でごく小規模な噴火が発生した（萬年ほか、2015）。噴火に伴い低周波微動も観測された（行竹ほか、2015）。初期のごく浅い地震活動のあと、大涌谷付近では深さ3km程度まで、駒ヶ岳付近では深さ5km程度までの領域で、やや大きめの地震発生が目立ったが、一連の地震活動は短時間で収まった。7月に入ってからは、活発な噴気活動は続いたものの、地震活動はそれ以前と比べて顕著に低下した（原田ほか、2015a）。なお、気象庁は微小な噴火が発生した

*1 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 静岡大学防災総合センター 〒422-8529 静岡県静岡市駿河区大谷 836

論文, 神奈川県温泉地学研究所報告, 第48巻, 1-10, 2016

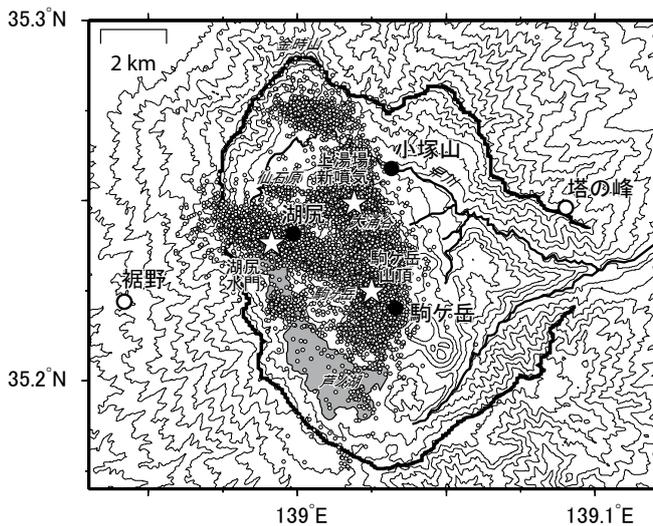


図1 2015年4月1日から8月31日までのカルデラ内の地震の震央分布と傾斜観測点の位置。黒丸は本稿で検討した小塚山、駒ヶ岳、湖尻の各観測点、白丸はそれ以外の塔の峰、裾野の各観測点、星印は特に震源の集中したエリアの中心付近を示す。

Fig.1 Epicentral distribution of earthquakes that occurred during the period from April 1 through August 31, 2015. Black circles indicate tiltmeter observation sites, Kozukayama, Komagatake and Kojiri, where data of which were analyzed in this paper, and white circles indicate the sites, Susono and Tonomine, where data of which were not studied. Stars designate centers of area where swarm earthquakes were concentrated.

ことによって、6月30日に噴火警戒レベルを3に引き上げている。

上述のような群発地震活動に伴って、温泉地学研究所が箱根火山のカルデラ内外に設置した傾斜計（図1に観測点の位置を示す）で顕著な地殻変動が捉えられた。2001年の群発活動の際にも傾斜変動が観測されており、その変化は浅部の開口割れ目と関係していたことが示されている（代田ほか、2009）。噴火に至った6月29日の火山活動のメカニズムを明らかにする上でも傾斜変動データは重要と考えられる（本多ほか、2015）が、本論文では、カルデラ内の小塚山、駒ヶ岳、湖尻の各観測点で通常時のノイズレベルを超える有意な傾斜変動が観測された期間に注目して、傾斜変動とそれらの観測点周辺の地震活動の推移との間に関連性が見られたことについて報告する。

2. 傾斜変動

カルデラ内の小塚山、駒ヶ岳、湖尻の各観測点における2015年4月1日から8月31日までの期間の傾斜変動（南北成分及び東西成分）と、カルデラ内に発生した地震（図1）の時間別回数を図2に示す。温泉地学研究所の現行の観測システムでは、各観測点における傾斜計の観測データは、テレメータ装置によって1 Hz サンプリングデータが温泉地学研究所へリアルタイムに送信される。これらの秒値データから、1分ごと（たとえば、欠測の無い場合は毎分60個のデータごと）の平均処理を経て1分値が生成される。図2及び以下の解析では、こうして生成された1分値のうち、毎正時のデータを用いている。

図2から、小塚山（KZY）では地震活動が活発化した4月下旬から5月初めにかけて北方向および東方向に、それぞれ3 μ rad 程度変動し、駒ヶ岳（KOM）では5月10日前後に北方向へ2 μ rad 程度の、また、湖尻（KZR）では5月中旬に西方向への3 μ rad 程度の傾斜変動があったことが見てとれる。

その後、大涌谷でごく小規模な水蒸気噴火が発生した6月29日には、小塚山で北東方向、駒ヶ岳で北西方向への、また、6月30日には、小塚山で北北西方向、駒ヶ岳では西北西方向への明瞭な傾斜変動が観測され、湖尻では東西成分にスパイク状の変動が生じた。これらの傾斜変動には、その間に多発した有感地震によるステップ状の変化も含まれる。本多ほか（2015）は、秒値データを用いて傾斜変動を解析し、6月29日7時32分ごろ観測された火山性微動発生（気象庁地震火山部・火山監視情報センター、2015）の約40秒後に、噴気域の大涌谷方向が隆起する傾斜変動が生じたことを明らかにした。

3. 傾斜変動と地震活動の相関

3.1 有意な傾斜変動期間の抽出

傾斜変動が地震活動と関連していたことを示すにあたって、初めに、通常時と異なる有意な傾斜変動をしていた期間を特定する。この際の基本的な考え方として、本論文では、傾斜計データのある一定の時間間隔の階差変動量が、通常時における同じ階差変動量の分布と比べて大きければ、それは、火山活動に関係した傾斜変動を表しているとみなす。ここでは毎時正時の分値を使って解析しているので、時間間隔としては、1時間、2時間、3時間・・・と、時間の倍数でとることになるが、試行錯誤の結果、25時間階差の場合に、通常時の傾斜変動のばらつきが小さくなることがわかった。これは潮汐の

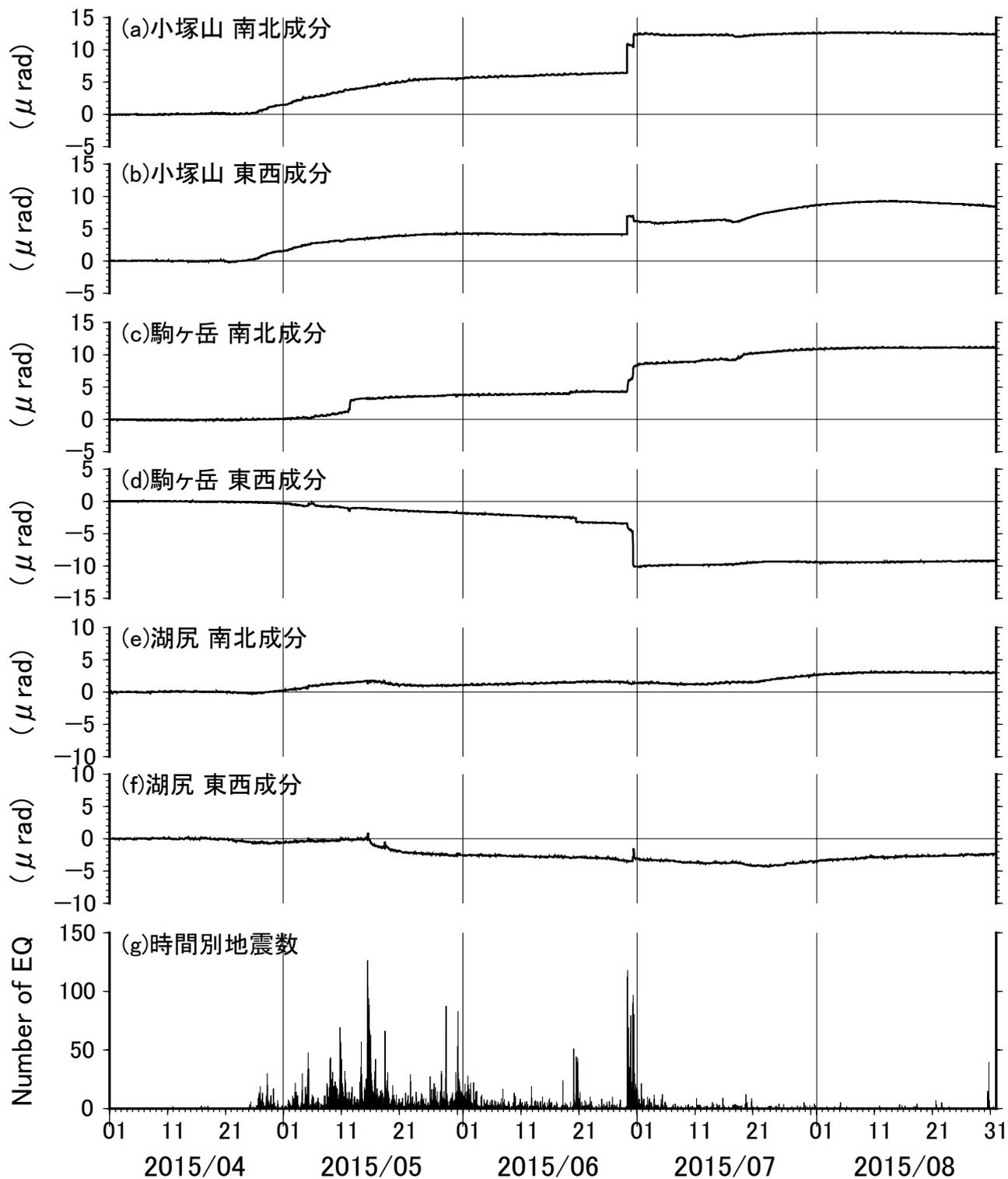
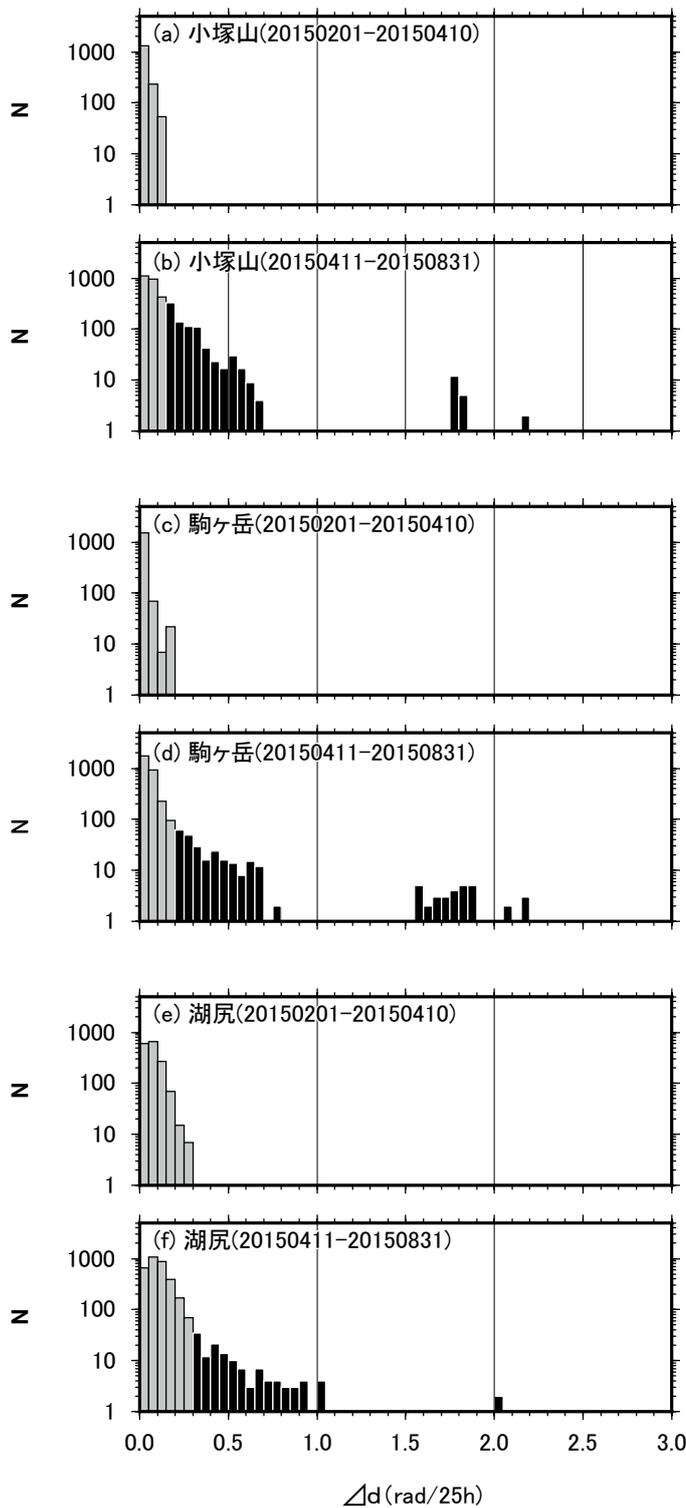


図2 (a)(b) 小塚山、(c)(d) 駒ヶ岳、(e)(f) 湖尻の各観測点における南北方向、東西方向の傾斜変動（上向きはそれぞれ北方向、東方向）と (g) 時間別の地震発生数（2015年4月～8月）。

Fig.2 Changes in the tilt at the Kozukayama station (a), (b), at the Komagatake station (c), (d), and at the Kojiri station (e), (f), where (a), (c), (e) show changes in the north-south direction, and (b), (d), (f) show those in the east-west direction. (g) Hourly number of swarm earthquakes.



影響による傾斜変動（代田ほか、2003）が、この階差をとることによって除かれるためと考えられる。板寺（2003）は、地下水位の時間値に残る潮汐の影響を、25時間の移動平均処理によって取り除くことができること、また、25時間階差を1時間ごとにずらしてとっていくことは25時間移動平均をとることと同義であることを示している。

図3は、駒ヶ岳、湖尻、小塚山の各観測点における、定常時と火山活動時における傾斜ベクトル変動量 (Δ

図3 傾斜変動の大きさの度数分布。(a)、(b)小塚山、(c)、(d)駒ヶ岳、(e)、(f)湖尻。(a)、(c)、(e)は2015年火山活動が始まる前の期間：2015年2月1日—4月10日。(b)、(d)、(f)は2015年火山活動が活発な時期を含む期間：2015年4月11日—8月31日。(b)、(d)、(f)では、(a)、(c)、(e)の傾斜変動の範囲内の棒グラフを同じ灰色で示す。

Fig.3 Histograms showing frequencies of magnitude in the tilt change during 25 hours at stations Kozukayama (a), (b), Komagatake (c), (d), and Kojiri (e), (f), where (a), (c), (e) represent the frequency distribution during the period from February 1 through April 10, before the occurrence of the 2015 Hakone volcanic activity, and (b), (d), (f) represent that during the period from April 11 through August 31, during the time of the volcanic activity, where bars in the ranges that were observed in the period before the occurrence of the 2015 Hakone volcanic activity are shown in grey color.

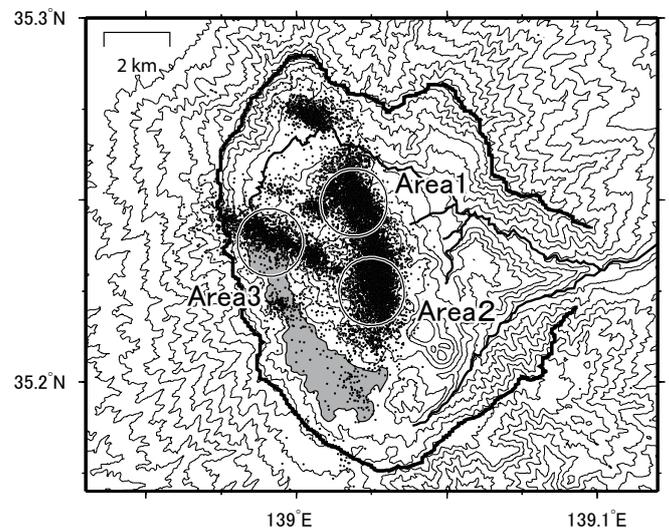


図4-1 2015年4月1日—8月31日の期間に発生した地震の震央分布と、上湯場新噴気、駒ヶ岳山頂、湖尻水門をそれぞれ中心とした半径1kmの円。

Fig. 4-1 Epicentral distribution of earthquakes that occurred during the period from April 1 through August 31, 2015. Circles show areas of 1km from Kamiyuba-Shinfunaki (Area 1), Komagatake-Sancho (Area 2), and Kojiri-Suimon (Area 3), respectively.

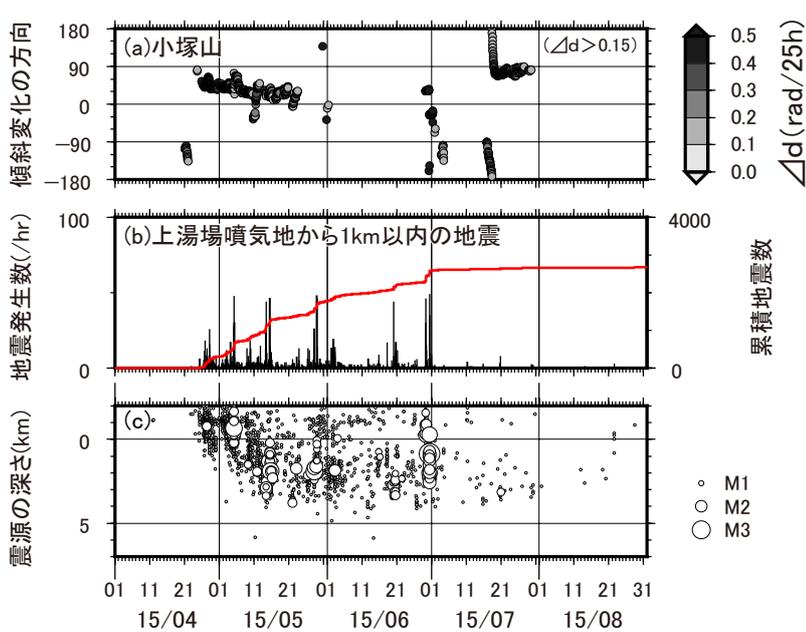


図 4-2 (a) 小塚山の傾斜計が有意な変化を示した時の傾斜方向。色は傾斜の大きさを示す。(b) 上湯場新噴気から 1km 以内に発生した地震の時間別発生数と積算、及び (c) 震源の深さの時系列。

Fig.4-2 (a) Direction of tilt when the magnitude is larger than the significant level at the Kozukayama station, Color indicates magnitude of the tilt change. (b) Hourly number of earthquakes and the cumulative number, and (c) the depth-time distribution of earthquakes that occurred in the Area 1 in the map of Fig. 4-1.

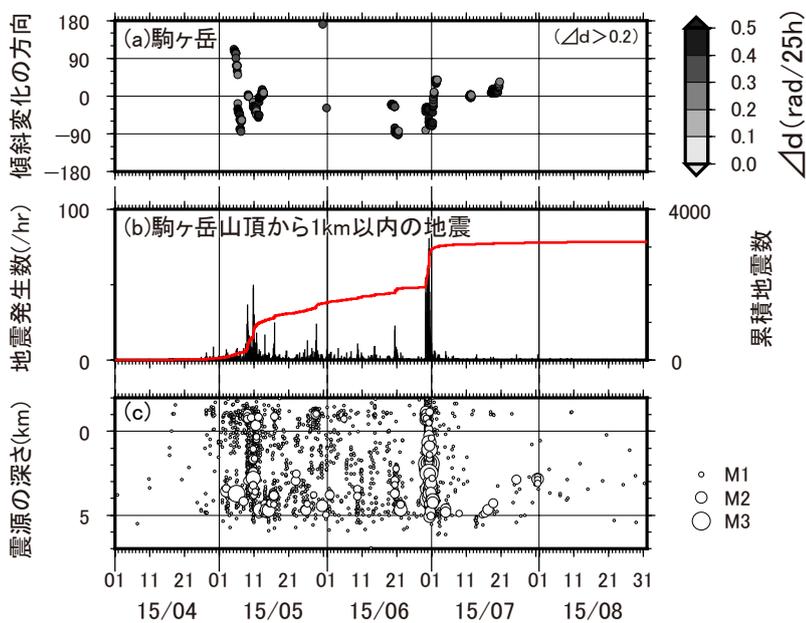


図 4-3 (a) 駒ヶ岳の傾斜計が有意な変化を示した時の傾斜方向。色は傾斜の大きさを示す。(b) 駒ヶ岳山頂から 1km 以内に発生した地震の時間別発生数と積算、及び (c) 震源の深さの時系列。

Fig.4-3 (a) Direction of tilt when the magnitude is larger than the significant level at the Komagatake station, Color indicates magnitude of the tilt change. (b) Hourly number of earthquakes and the cumulative number, and (c) the depth-time distribution of earthquakes that occurred in the Area 2 in the map of Fig. 4-1.

d) の 25 時間階差の頻度分布を示したものである。傾斜ベクトル変動量は、傾斜のベクトル変化の絶対値を表す(板寺・吉田, 2015)。ここで定常時としては 2015 年箱根火山活動が始まる前の 2015 年 2 月 1 日から 4 月 10 日までをとり、一方、火山活動時として 4 月 11 日から 8 月 1 日までをとった。

3.2 各観測点における傾斜変動と地震活動の相関

図 4-1 は、2015 年 4 月 1 日から 8 月 31 日の期間に発生した地震の震央分布に、上湯場新噴気、駒ヶ岳山頂、湖尻水門をそれぞれ中心とした 1 km の円を描いたもので、以下、小塚山観測点については Area 1、駒ヶ岳観測点については Area 2、また、湖尻観測点については Area 3 で発生した地震と、それぞれの観測点における

傾斜変動との相関を調べる。図 4-2 は、小塚山観測点での傾斜変動の大きさと方向を示したグラフに、Area 1 の地震の時間別回数とその積算及び深さの時系列を下に並べて示したもの、そして図 4-3、図 4-4 は、それぞれ、駒ヶ岳観測点、湖尻観測点についての同様な図である。ここで、傾斜ベクトルの変化は、図 3 に示した定常時の傾斜変動量の頻度分布の上限以上の変動量を観測した時だけを取り出してプロットしている。また、変化の方向は、真北を基準とし、東回りを正、西回りを負としている。すなわち、縦軸の 0 度は真北を、+ 90 度と -90 度はそれぞれ真東と真西を、180 度と -180 度はともに真南を示す。

小塚山観測点では 4 月下旬から 5 月中旬にかけて、定常時のノイズレベルを超える有意な傾斜変動が観測され

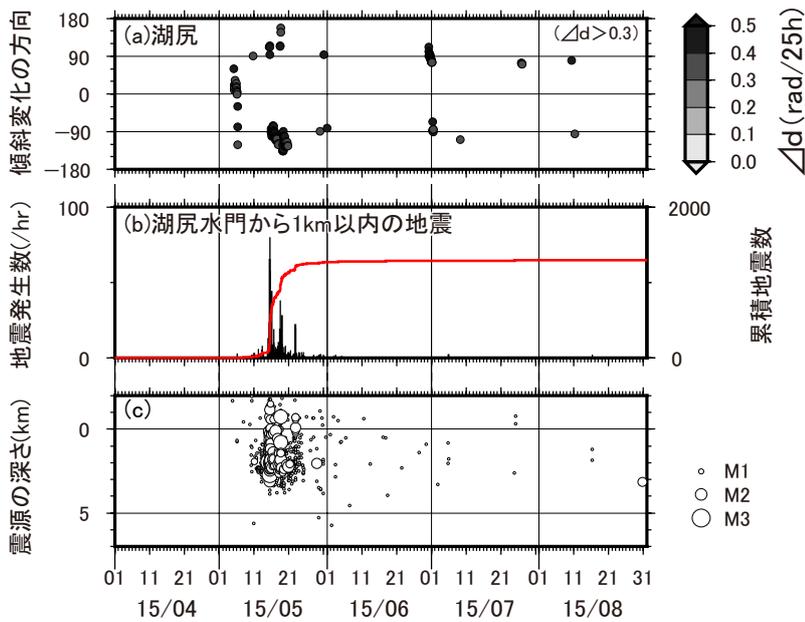


図 4-4 (a) 湖尻の傾斜計が有意な変化を示した時の傾斜方向。色は傾斜の大きさを示す。(b) 湖尻水門から 1km 以内に発生した地震の時間別発生数と積算、及び (c) 震源の深さの時系列。

Fig.4-4 (a) Direction of tilt when the magnitude is larger than the significant level at the Kojiri station, Color indicates magnitude of the tilt change. (b) Hourly number of earthquakes and the cumulative number, and (c) the depth-time distribution of earthquakes that occurred in the Area 3 in the map of Fig. 4-1.

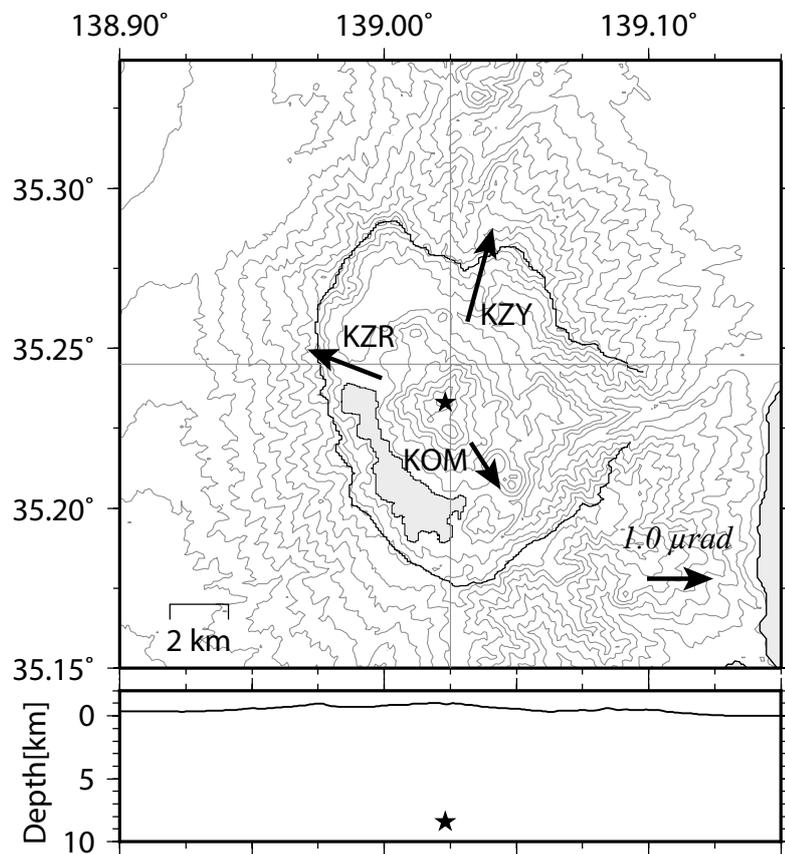


図 5 駒ヶ岳下の深さ 8.4km に置いた球状圧力源で $5.7 \times 10^6 \text{m}^3$ の体積膨張を仮定した場合に、傾斜計観測点で推定される傾斜変動。この体積膨張は GNSS 観測点の 2015/04/16-25 の平均座標と 05/27-06/05 の平均座標から求めた。星印は圧力源の位置を示す。

Fig.5 Change in the tilt at the Kozukayama, Komagatake, and Kojiri stations when a volume increase of $5.7 \times 10^6 \text{m}^3$ at a depth of 8.4km beneath Mt. Komagatake is assumed. This volume increase was estimated from the difference of average coordinate values at GNSS stations between the periods April 16 – April 25 and May 27 – June 5. A black asteroid mark shows the location of the source.

たが、その期間は、大涌谷直下で深さ 2 km より浅い地震活動が活発だった。地震回数を見ると 5 月下旬や 6 月 20 日前後にも大涌谷近辺で地震活動があったが、活動の中心は 5 月初旬に比べてやや深いところにあった。5 月下旬に浅いところでも起きているが、それらはすべてマグニチュード 0.0 以下の極小さな地震である。小塚山観測点の傾斜変動は、大涌谷直下の浅い地震活動と相関

がみられたと言える。なお、地震活動が始まる前の 4 月 20 日頃に、25 時間階差が最大で $0.3 \mu\text{rad}$ を超えるような南西方向の有意な傾斜変動があったことが見てとれるが、これは後述するように、火山活動でなく降雨の影響によるものと考えられる。

駒ヶ岳直下では、5 月 8 日から 10 日にかけて浅い地震活動が活発で、その期間に駒ヶ岳観測点で北西方向へ

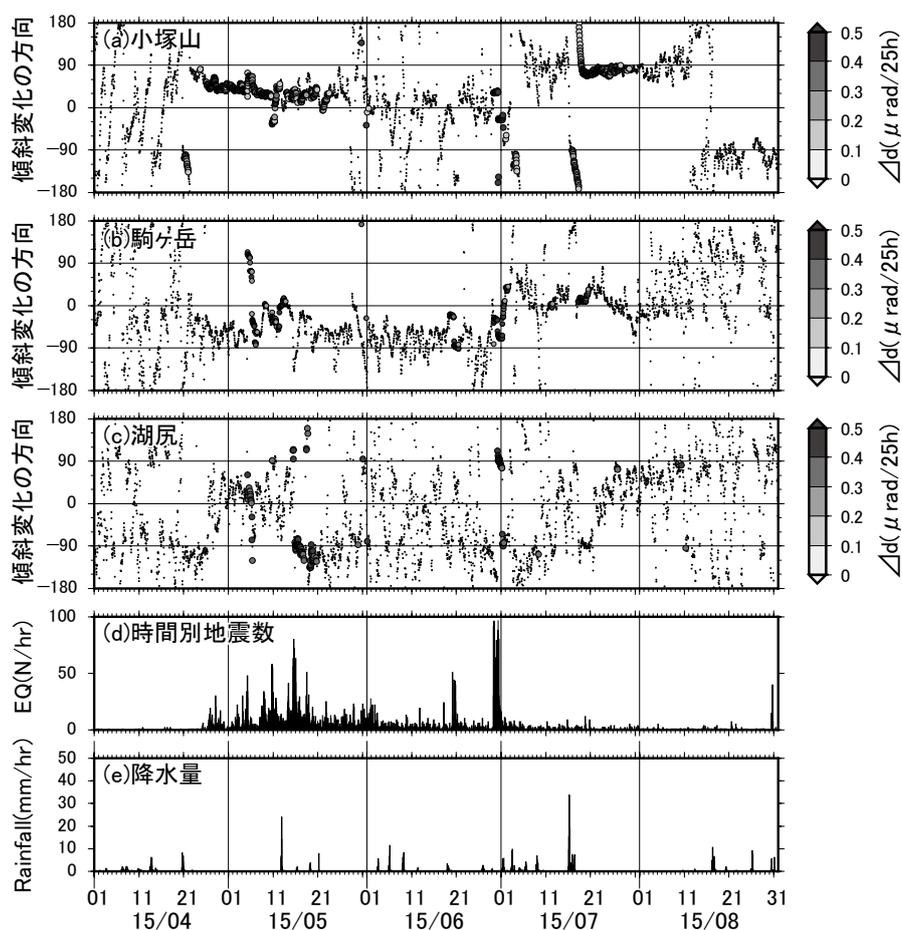


図6 (a)小塚山、(b)駒ヶ岳、(c)湖尻における傾斜変動方向、(d)時間別地震発生数、(e)降水量の推移 (2015年4月~8月)。

Fig.6 Change in the direction of tilts at (a) Kozukayama, (b) Komagatake, and (c) Kojiri, respectively. (d) Hourly number of swarm earthquakes. (e) Precipitation at Hakone-Yumoto during the period from April through August, 2015.

の有意な傾斜変動があった。大涌谷で微小な噴火が観測された6月29日には駒ヶ岳直下でも初め浅い地震活動が活発化しており、その時、駒ヶ岳観測点で明瞭な傾斜変動が生じた。浅い地震活動の見られた5月28日から29日にかけても、定常時の上限の、有意な値に近い傾斜変動があった。このように、駒ヶ岳観測点でも、その直下の浅い活動に対応して有意な傾斜変動が見られたと言える。ただし、6月20日に駒ヶ岳直下で発生した地震活動は震源の深さが2~4kmとやや深かったにもかかわらず、それに伴って有意な傾斜変動が観測されたことが注目される。

芦ノ湖北岸の湖尻周辺では、図4に見るように、5月中旬に非常に活発な地震活動が発生したが、この活動に際して、湖尻観測点で明瞭な傾斜変動が観測された。

なお、5月30日に各観測点で有意な変化が生じているのは、小笠原西方沖で発生したM 8.1の巨大地震の際のコサイスミックな変化を表している。また、5月初旬に駒ヶ岳や湖尻で有意な傾斜変動があったように見えるのは、中央火口丘下の大き目の地震に伴って生じたコサイスミックなステップ状の変化を反映したものである。

以上のように、小塚山、駒ヶ岳、湖尻の各観測点では、その近辺で浅い活発な地震活動があった時に、25時間

階差で有意な傾斜変動が観測されたということが出来る。例外は、6月20日前後の駒ヶ岳の変化である。

GNSS観測データからは、2015年の箱根山火山活動の際、駒ヶ岳直下の深さ8.4km付近に膨張源があったと推定されている(原田ほか、2015b)。箱根山の膨張は地震活動の活発化に先行して4月初旬に始まり、6月初めにややその速度が低下して、7月に入るとほぼ止まった(原田ほか、2015b)。この膨張源が傾斜計の各観測点で有意な傾斜変動を与えたかどうかを見るために、原田ほか(2015b)のStage I(4月中旬から5月末)の箱根山の膨張による傾斜変動を調べた結果が図5である。これを見ると、小塚山、駒ヶ岳、湖尻の各観測点では、膨張に伴って、それぞれ、北方向、南東方向、西方向の変化があったとみられる。この傾斜変動は、Stage Iの期間における25時間階差の平均値に直すと、小塚山、駒ヶ岳、湖尻の各観測点で、それぞれ約0.04 μ rad、0.04 μ rad、0.03 μ radとなるので、いずれも、定常時の変化の範囲内の大きさであったと言える。

4. 火山活動時における傾斜方向

図6は、2015年4月1日から8月31日までの小塚山、駒ヶ岳、湖尻の各傾斜計観測点の25時間ごとの傾斜変

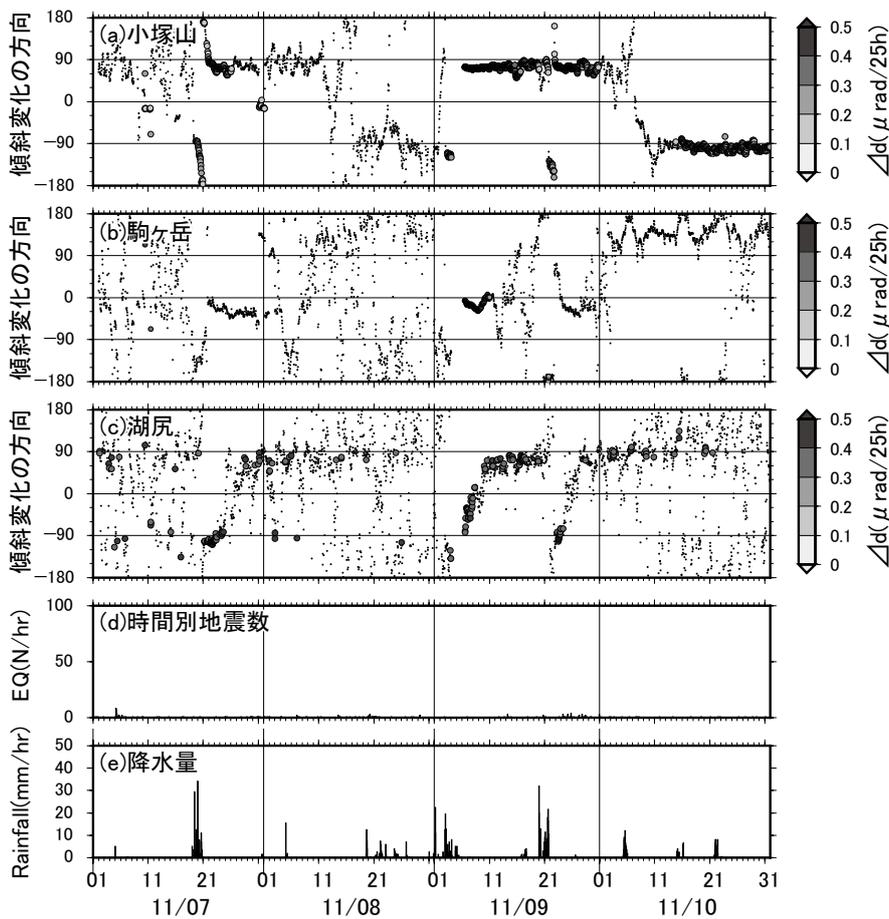


図7 図6に同じ。ただし、期間は2011年7月から10月。
Fig.7 Same as Fig 6 except for the analysis period that is July - October in 2011.

動の推移と、時間別の地震発生数および温泉地学研究所の地下水位観測点（湯本）における時間降水量を示したものである。傾斜変動のプロットに当たっては、ベクトル変動量が図3に示した定常時の傾斜変動量の頻度分布の上限以上の変動量を観測した時のみ印を大きくしてプロットしてある。

図6を見ると、火山活動が始まってからは各観測点とも傾斜方向のばらつきが小さくなって、地震活動が活発だった5月下旬までの期間、小塚山では主に北東から北方向へ、駒ヶ岳では北西から西方向の傾斜変動があったこと、また、湖尻では、その周辺で地震活動が活発化した5月中旬までは北方向へ、そして中旬から下旬には西方向に傾斜したことがわかる。2001年および2013年の群発地震活動時においても、各観測点でほぼ同様な方向の傾斜変動が見られた。

著者らは、傾斜方向のばらつきが小さいことは、火山活動に関する傾斜変動を反映している可能性があると考えている。そうした視点からすると、地震活動が低調になった5月下旬以降も、駒ヶ岳では傾斜変動量は小さいもののほぼ一定方向の傾斜が継続しており、小塚山でも、いったんばらつきが大きくなったものの、6月20日以降、再び小さくなっていったことには注意すべきかもしれ

ない。ただし、こうした傾斜方向のばらつきの小さい状況の継続が6月29日の水蒸気噴火とどう関わっていたかは不明である。

5. 雨の影響による傾斜変動

図6から、まとまった降雨があった7月中旬に、湖尻では北西方向から北東方向へ、小塚山では西方向から南方向を経て、最終的に東方向へ向かう反時計回りの顕著な傾斜方向の変化があったことが見てとれる。これと非常によく似た傾斜方向の変化は、2011年7月19日から20日、同9月20日から21日（図7）や、2014年6月5日から7日（図8）等、これまで多量の降雨があったときにしばしば観測されている。こうしたことから、2015年の活動において7月中旬に見られた傾斜方向の変化は火山活動に伴うものではなく、7月16日の多量の降雨によって生じたものと見てよいと考えられる。この見方を側面から支持する事実として、カルデラ内の地震活動が7月以降、それ以前と比べて明瞭に低下したこと（図4）、また、原田ほか（2015b）によるGNSSデータ解析では、箱根山の膨張が6月末の微小噴火の後、7月初旬には止まったと推定されることが挙げられる。

降雨時に小塚山観測点の傾斜方向を反時計回りに変化

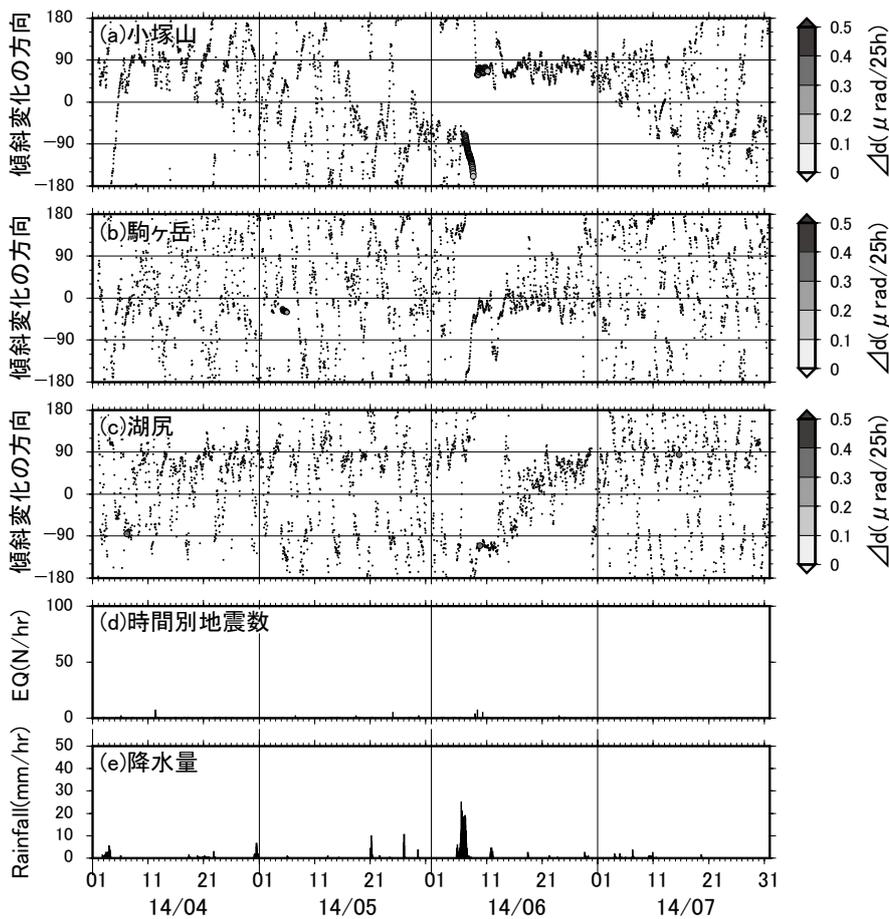


図8 図6に同じ。ただし、期間は2014年4月から7月。

Fig. 8 Same as Fig 6 except for the analysis period that is April – July in 2011.

させる原因は何だろうか。これについては、同観測点が箱根外輪山の北斜面と中央火口丘の北斜面の間を流下する早川の北岸側に位置していることに注目すると、多量の降雨時におけるそれぞれの斜面への雨水の浸透と早川の流量の増大が、ある時間差をもって地盤荷重を変化させているのではないかと考えられる。いずれにしても、降雨時における各観測点の傾斜方向の特徴的な変動パターンは、降雨に対するそれぞれの観測点での傾斜変動特性を示しているとみられ、それらを把握しておくことは、観測された傾斜異常が火山活動に伴うものかどうかを判断する上で有効な手段になると期待される。

なお、小塚山で、2015年の8月中旬に東方向から西方向へと向かう顕著な傾斜方向の変化が見られたが(図6)、それに対応する地震活動の活発化や降雨は観測されていない。小塚山では同様の変化が、やはり地震活動も降雨も観測されていない2011年の8月中旬や10月上旬にも見られた(図7)。この変動の要因については不明であるが、観測点近傍の地下水位の急激な変化を表わしているのかもしれない。

6. 議論とまとめ

2015年箱根火山活動の際に、カルデラ内の小塚山、

駒ヶ岳、湖尻に設置されている傾斜計で有意な傾斜変動が観測された時期は、それらの観測点近傍で活発な地震活動が見られた時期と対応していることを示した。特に浅い地震が多発した時に顕著な傾斜変動が観測されている。箱根の火山性地震は、約10kmの深さにあると推定されるマグマ溜まりからの熱水や火山ガスなどの流体が上昇する過程で岩盤の破碎構造帯に侵入し、そこで脆性破壊を誘発することによって発生すると考えられている(Yukutake *et al.*, 2010; Yukutake *et al.*, 2011; 原田, 2014)。しかしながら、今回の箱根群発地震活動では、むしろ浅いところから地震が起き始めて、その後、深い方に震源が移っていく様子も見られた(行竹ほか, 2015)。このことは、マグマ溜まりから上昇してくる熱水が直接、群発地震活動を引き起こしているだけでなく、地表下の比較的浅いところにも熱水層があって、その熱水の圧力が高まって浅層岩盤の弱面に侵入し、それが地震を発生させるという機構も働いたのではないかと推定される。本論文で解析した傾斜変動の直接的な要因は地震発生そのものではなく、地震発生を引き起こした熱水層の圧力の増大と考えるべきであることに注意したい。この浅い熱水層の圧力の高まりが、マグマ溜まりからの火山性流体の上昇とどう関係していたかを明らかに

することは、今回の箱根火山活動の仕組みを理解するにとどまらず、将来、再び火山活動が生じた際に、その推移を予測する上で非常に重要な問題であることは間違いない。

本論文で明らかにした、各観測点の傾斜変動とそれぞれの観測点近傍の浅い地震活動との相関性は、この問題を考察する手掛かりを与えるものであるが、更に深く追及していくためには、本稿で解析した傾斜変動の時間値だけでなく、もっと時間分解能を上げた、毎分あるいは毎秒毎の変化に着目した調査が必要である。

なお、各観測点では、降雨時にそれぞれ特徴的な傾斜変動が現れる。このことは、観測された傾斜変動が火山活動と関係したものであるかどうかを判断する上で、有効な手段になると考えられる。

謝辞

解析データの準備は、温泉地学研究所総合研究システムのデータベース機能を活用した。温泉地学研究所の関係各位に感謝申し上げます。二人の匿名の査読者のコメントは原稿を改善する上で、たいへん有益でした。記して感謝します。

参考文献

- 代田 寧・棚田俊收・原田昌武・伊東 博 (2003) 潮汐変化と遠地震を用いた温泉地学研究所傾斜計センサー方位の検証, 神奈川県温泉地学研究所報告, 35, 33-40.
- 代田 寧・棚田俊收・丹保俊哉・伊東 博・原田昌武・萬年一剛 (2009) 2001 年箱根群発地震活動に伴った傾斜変動と圧力源の時間変化に関する研究, 火山, 54, 223-234.
- 原田昌武・行竹洋平・宮岡一樹・本多 亮・板寺一洋・道家涼介・里村幹夫・吉田明夫 (2013) 箱根火山における群発地震活動の分類, 神奈川県温泉地学研究所報告, 45, 1 - 8.
- 原田昌武 (2014) 地学の豆知識第 5 回 ~火山活動の見方~, 温地研観測だより, 64, 21 - 26.
- 原田昌武・板寺一洋・本多 亮・行竹洋平・道家涼介 (2015a) 2015 年箱根火山活動に伴う地震活動と地殻変動の特徴 (速報), 神奈川県温泉地学研究所報告, 47, 1-10.

- 原田昌武・道家涼介・本多 亮・行竹洋平・板寺一洋・萬年一剛・竹中 潤・里村幹夫・宮岡一樹 (2015b) 2015 年箱根火山活動に伴う地殻変動とその変動源の推定, 日本火山学会 2015 年度秋季大会講演予稿集, P95.
- 本多 亮・行竹洋平・原田昌武・加藤孝司・宇平幸一・森田裕一・酒井慎一 (2015) 箱根山のごく小規模噴火に先立って 2015 年 6 月 29 日に観測された傾斜変動と火山性微動について, 日本火山学会 2015 年度秋季大会講演予稿集.
- 板寺一洋 (2003) 地下水位観測データの簡易な補正法と異常判定の基準について, 神奈川県温泉地学研究所報告, 35, 47-52.
- 板寺一洋・吉田明夫 (2015) 2015 年箱根火山活動時の傾斜変動と地震活動の相関, 神奈川県温泉地学研究所報告, 47, 11-22.
- 伊東 博・棚田俊收 (1999) 箱根火山における最近 10 年間 (1989 ~ 1998) の地震活動, 神奈川県温泉地学研究所報告, 31(1), 45-52.
- 気象庁地震火山部・火山監視情報センター (2015) 箱根山の火山活動解説資料 (平成 27 年 6 月), http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/monthly_v-act_doc/tokyo/15m06/315_15m06.pdf.
- 萬年一剛・道家涼介・原田昌武・本多 亮・板寺一洋・菊川城司・行竹洋平・竹中 潤 (2015) 箱根火山 2015 年噴火の推移, 日本火山学会 2015 年度秋季大会講演予稿集, A3-12.
- Yukutake, Y., Tanada, T., Honda, R., Harada, M., Ito, H. and Yoshida, A., (2010) Fine fracture structures in the geothermal region of Hakone volcano, revealed by well-resolved earthquake hypocenters and focal mechanisms, *Tectonophysics*, 489, 104-118.
- Yukutake, Y., H. Ito, R. Honda, M. Harada, T. Tanada, and A. Yoshida (2011) Fluid-induced swarm earthquake sequence revealed by precisely determined hypocenters and focal mechanisms in the 2009 activity at Hakone volcano, Japan, *J. Geophys. Res.*, 116, B04308, doi:10.1029/2010JB008036.
- 行竹洋平・本多 亮・原田昌武・道家涼介・齊藤竜彦・上野友岳・酒井慎一・森田裕一 (2015) 2015 年箱根火山の地震活動について, 日本火山学会 2015 年度秋季大会講演予稿集, P96.