

2013 年 1 ～ 2 月の箱根火山群発地震活動について（概報）

板寺一洋*・代田 寧*・本多 亮*・原田昌武*・行竹洋平*・道家涼介*・宮岡一樹*・萬年一剛*

Earthquake swarm activity in Hakone Volcano, 2013 January-February (Overview)

by

Kazuhiro ITADERA*, Yasushi DAITA*, Ryou HONDA*, Masatake HARADA*,
Youhei YUKUTAKE*, Ryosuke DOKE*, Kazuki MIYAOKA* and Kazutaka MANNEN*

1. はじめに

箱根火山では、2013 年 1 月初旬から 2 月下旬にかけて、やや活発な群発地震活動が発生した。この間に発生した地震数は約 2000 回で、その多くは M（マグニチュード）1.0 未満の小さなもので無感地震であったが、箱根カルデラ内で有感となった地震も 10 回程度、含まれていた。またこの活動の際、山体が膨らむことを示す地殻変動が GPS や傾斜計などで観測された。

箱根火山では過去にもこのような群発地震活動が観測されている。特に、温泉地学研究所が観測を開始して以降、最大規模であった 2001 年の際には、活発な地震活動とともに火山性の地殻変動も観測されたほか、群発地震活動からやや遅れて、大涌谷北側斜面の上湯場で、そ

れまで全く地熱の兆候のなかった場所に新たな噴気地熱地帯が出現した。

今回の活動に際しては、この 2001 年の活動との比較を行いながら、活動の監視、解析を行うと共に、地震情報の発表等の防災対応を行ってきた。本報告では、今回の活動の概要および、火山防災対策のために当所がとった対応について報告する。

2. 地震活動について

2.1. 概要

小さな地震が短い期間にまとまって発生するような群発地震活動は、これまでも箱根火山でたびたび観測されている。2001 年以後、比較的規模の大きかった群発地

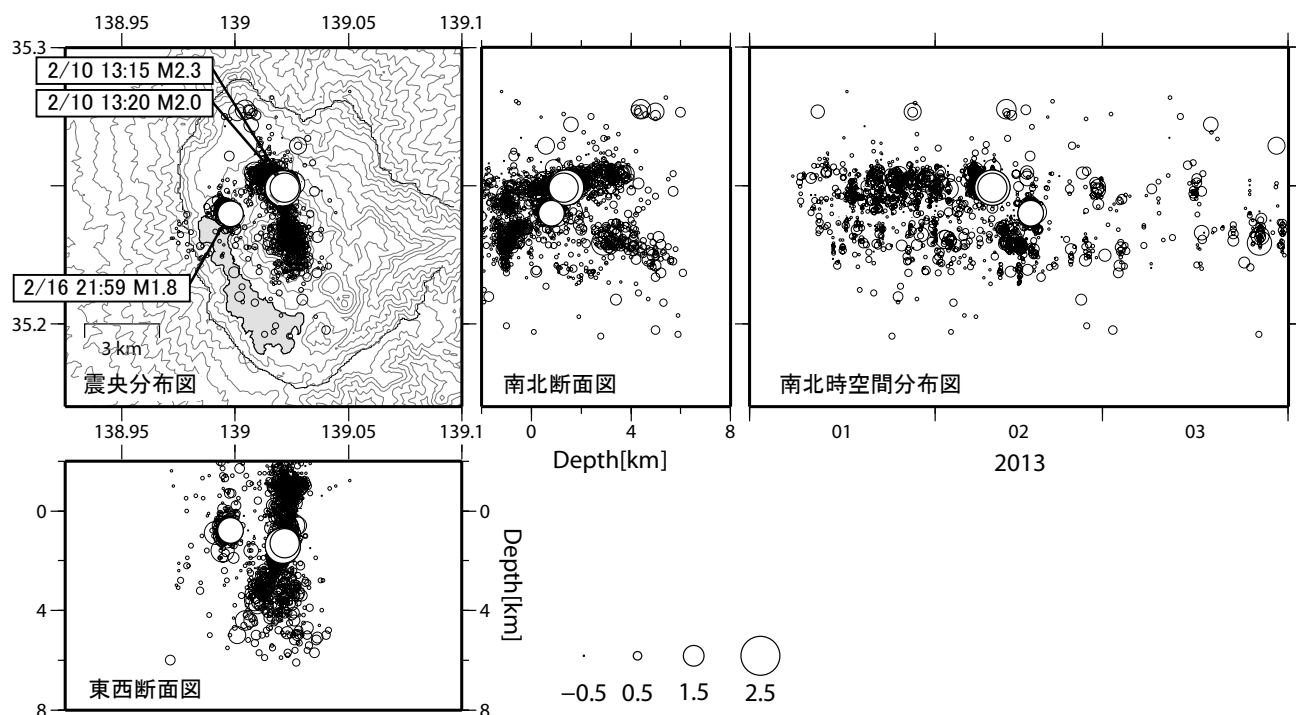


図 1 上段左：2013 年 1 月から 3 月までの震央分布図。上段中：南北断面図。上段右：南北方向の震源の時空間分布図。
下段：震源の東西断面図。

* 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 45 巻, 17-28, 2013 (この原稿はホームページにてカラーでご覧いただけます。)

震活動は 2001、2006、2008～2009 年と 2011 年、および今回 2013 年の 5 回である。この中では、2001 年の活動が最も規模が大きく、今回よりも多くの地震が観測された。また後述するように、2001 年は地殻変動量も大きく、噴気・地熱地帯の拡大などの表面現象も観測された。今回の活動は、地震活動の観点からみて 2001 年に比べると小さな規模であった。

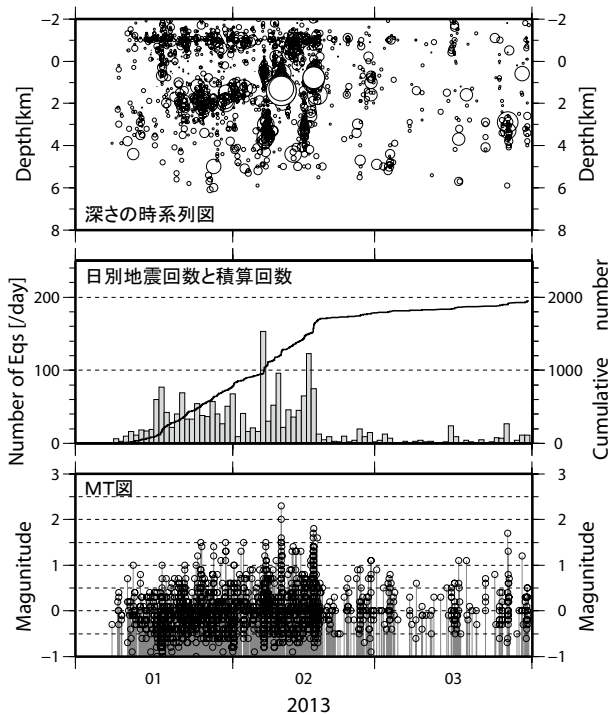


図 2 上段:2013 年 1 月から 3 月までの震源の深さ変化。中段:地震の積算数と日別頻度。下段:M-時間分布図。

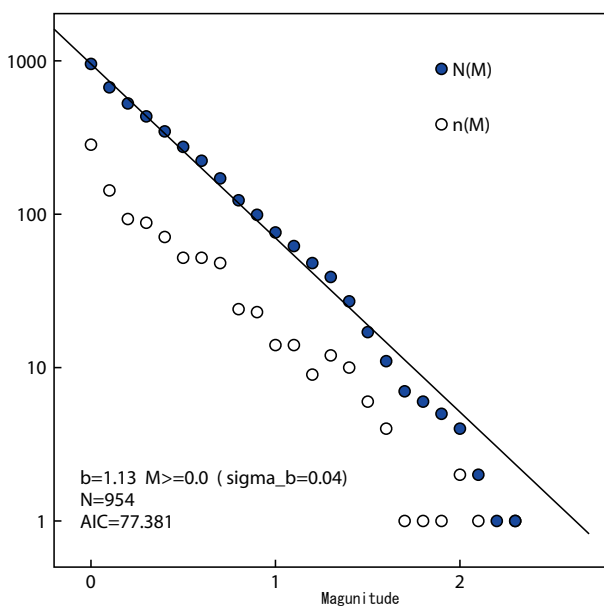


図 3 2013 年の活動の規模別頻度分布図。○ (n) は各 M の度数、● (N) は各 M 以上の積算度数を示す。

表 1 大涌谷、二ノ平、仙石原で有感となった地震と各地点での震度相当値。

日付	時間	マグニチュード	震度相当値		
			大涌谷	二ノ平	仙石原
1月28日	6時12分	1.4	2	-	-
2月 2日	15時03分	1.3	1	1	-
2月10日	13時15分	2.3	3	3	2
2月10日	13時21分	2.0	2	3	1
2月10日	13時34分	1.5	1	2	1
2月10日	15時47分	1.4	1	2	-
2月16日	21時12分	1.4	1	1	-
2月16日	21時23分	1.7	1	1	-
2月16日	21時48分	1.6	1	1	-
2月16日	21時55分	1.4	-	1	-
2月16日	22時07分	1.4	-	1	-
2月28日	6時15分	1.1	-	1	-

今回、2013 年 1～2 月の群発地震活動の震源域は芦ノ湖北東側の前期中央火口丘全域で、震源の深さは 5km 以浅であった (図 1)。この活動では、1 月初旬から微小な地震活動が観測され始め、中旬頃から地震数が増加し始めた。1 月下旬頃からはやや規模の大きな地震が混ざり始め、2 月 10 日に大涌谷付近で、同 16 日には湖尻付近で、やや規模の大きな地震が連続して発生した。その後、2 月下旬から、活動は急速に低下していった。1 月から 3 月までの 3 か月間で計 2000 回程度の地震について震源が決定されたが、これらの多くは規模がきわめて小さいものであった。2013 年 1 月 1 日からの地震数と震源の深さの時間変化、M-時間分布を図 2 に示す。また、規模別頻度分布を図 3 に示す。

箱根火山で発生する地震の規模は、通常 M1 程度までの小さいものである。しかし、震源が数キロメートル以浅と浅いことから、気象庁が情報発表に用いている箱根湯本の震度計では震度が観測されない場合でも、例えば、強羅や仙石原などの地域で局所的に有感となる場合があり、防災対策上の課題となっていた。このため、当所では 2012 年に中央火口丘付近で比較的人口の多い仙石原と二ノ平に強震計を設置し、観測を始めた (本多ほか、2012)。今回の群発地震活動では、箱根湯本の震度計で震度 1 以上を観測したものはなかったが、仙石原と二ノ平および以前から独自に観測を行っていた大涌谷の計測震度計では、表 1 に示す地震で、震度 1 から 3 相当となる揺れが観測された。今回の群発活動中、最も大きな地震は、2 月 10 日 13 時 15 分の M2.3 (温地研による) の地震であった。震源の深さが約 1.5km と非常に浅かったことから、震源直上の大涌谷では震度 3 相当の揺れが観測された。

2.2. Double difference 法を用いた震源再決定

今回の地震活動に対し、Double difference (DD) 法 (Waldhauser and Ellsworth, 2000) を用いてより詳細に震

源位置を決定した結果について報告する。解析には温地研により箱根カルデラ内およびその周辺に設置された定常地震観測点データに加えて、気象庁、東京大学地震研究所、(独) 防災科学技術研究所 Hi-net の観測点データを使用した。さらに、2013 年 1 月 17 日よりカルデラ内に設置された 5 点の機動地震観測点のデータも解析に使用した。

2013 年 1 月 1 日から 3 月 31 日までに発生した 1832 個の地震について震源決定を試みた。DD 法のための初期震源位置の決定には、Yukutake *et al.*, (2010) により決定された一次元速度構造を用い、hypsum 法 (Hirata and Matsu'ura, 1987) によって初期震源位置を求めた。本研究では、地震の走時差を相互相関処理ならびに検出走時から求め震源再決定に用いた。DD 法によって震源決定できた地震数は 1825 個であった。

震源は全体的な特徴として、北は台ヶ岳から大涌谷を経て、南は中央火口丘の駒ヶ岳にかけて南北約 3km にわたって分布するほか、やや離れた湖尻付近にもクラスターがある (図 4)。詳細に見た場合の地震活動域は、中央火口丘下 (大涌谷から駒ヶ岳にかけての範囲) の深

さ 1km より浅い領域 (図 4 の C-D 矩形領域) と、大涌谷から台ヶ岳にかけての深さ 0.5 ~ 4km の領域 (図 4 の A-B 矩形領域) と、湖尻付近の深さ 1.0 ~ 1.5km の領域 (図 4 の E-F 矩形領域) の、3 つの領域に分かれる。

A-B 領域では、2013 年 1 月 1 日より地震活動が始まった (図 5)。活動初期は、地震活動域は深さ 3km 付近であったが、1 月中旬頃からバースト的な活動を繰り返しながら、浅い方向に地震活動域が拡大した。また、A-B 領域における震源分布の特徴として、北西-南東あるいは北北西-南南東走向をもった鉛直な面上に震源が集中する傾向が見られる。2 月 10 日に発生した最大地震 (M2.3) は、この領域内の深さ 1.9km 付近に震源が決定された。この地震のメカニズム解は、北西-南東方向に P 軸を持つ横ずれ型であり、一つの節面走向と震源のトレンドは概ね一致する (図 4)。C-D 領域では、2013 年 1 月 9 日から地震活動が始まった。震源は深さ 1km 以浅の極めて浅い場所で、マグニチュードが 0 以下の非常に規模の小さな地震が多く発生する傾向にある (図 5)。E-F 領域は、北北西-南南東走向のほぼ鉛直な面上に分布する傾向が見られる。この領域では、2 月 16

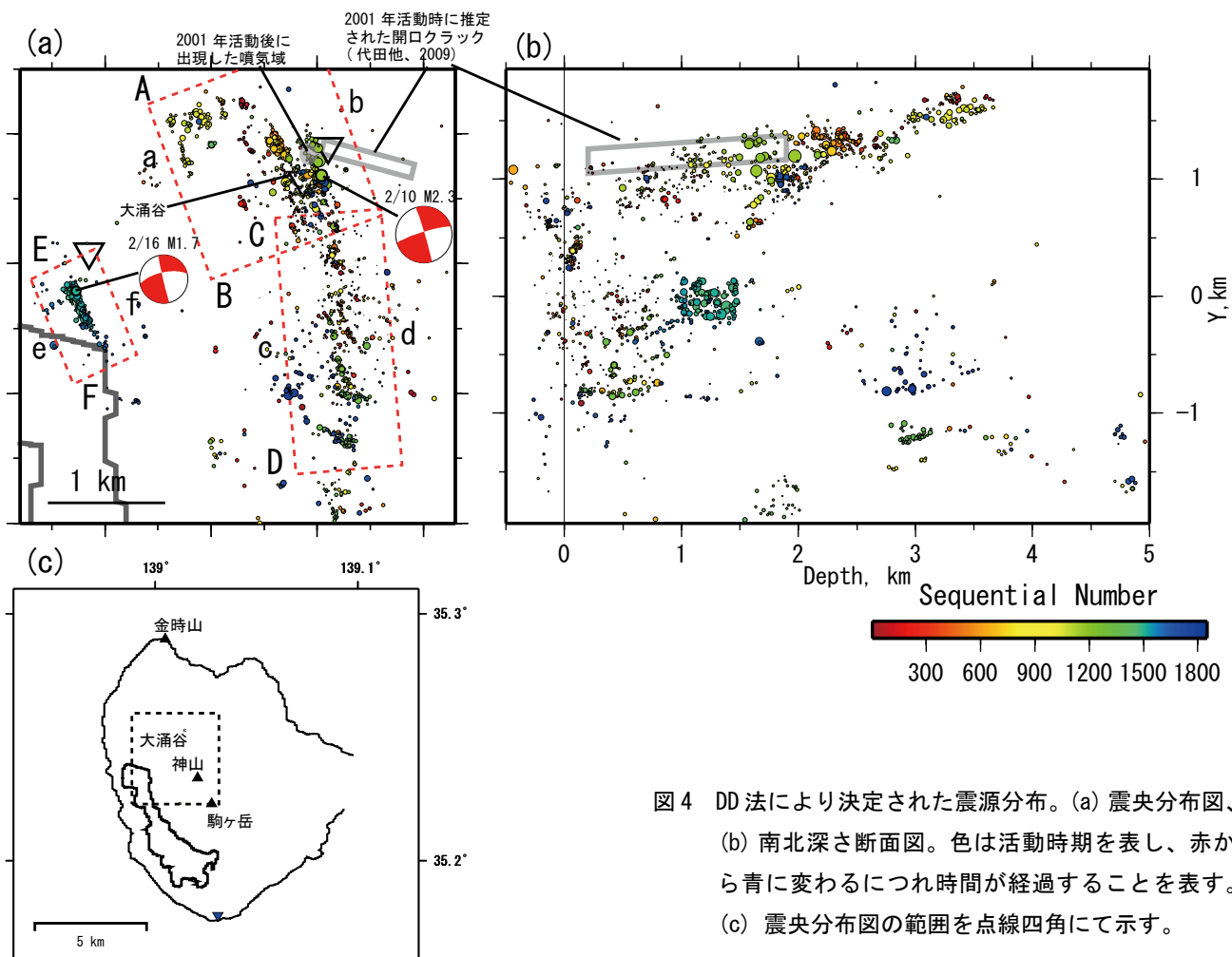


図 4 DD 法により決定された震源分布。(a) 震央分布図、(b) 南北深さ断面図。色は活動時期を表し、赤から青に変わるにつれ時間が経過することを表す。(c) 震央分布図の範囲を点線四角にて示す。

日から17日にかけてバースト的に地震が発生した。他の領域と比較して、規模の大きな地震が多く発生している傾向が見られた。

3. 地殻変動について

上述した2001年以降に発生した規模の大きな群発地震活動では、そのたびにGPSにより山体膨張が観測されている（原田ほか，2010a）。その中でも、2001年の群発地震活動では、傾斜計でも火山活動に伴う地殻変動が観測された。今回の活動においても、GPSだけでなく、

傾斜計でも地殻変動が見られた。ただし、それらの変動は2001年の群発地震活動よりも小さかった。以下に観測項目ごとの特徴を概説する。箱根火山周辺の観測点分布については、図6に示す。なお、2012年までの観測結果については板寺・原田（2013）を参照されたい。

3.1. GPS 測量

温泉地学研究所が箱根火山周辺で行っているGPS測量による観測結果を図7示す。解析にはBernese5.0を使用している（道家ほか，2013）。なお、これらのうち小山観測点は（独）防災科学技術研究所との共同研究によ

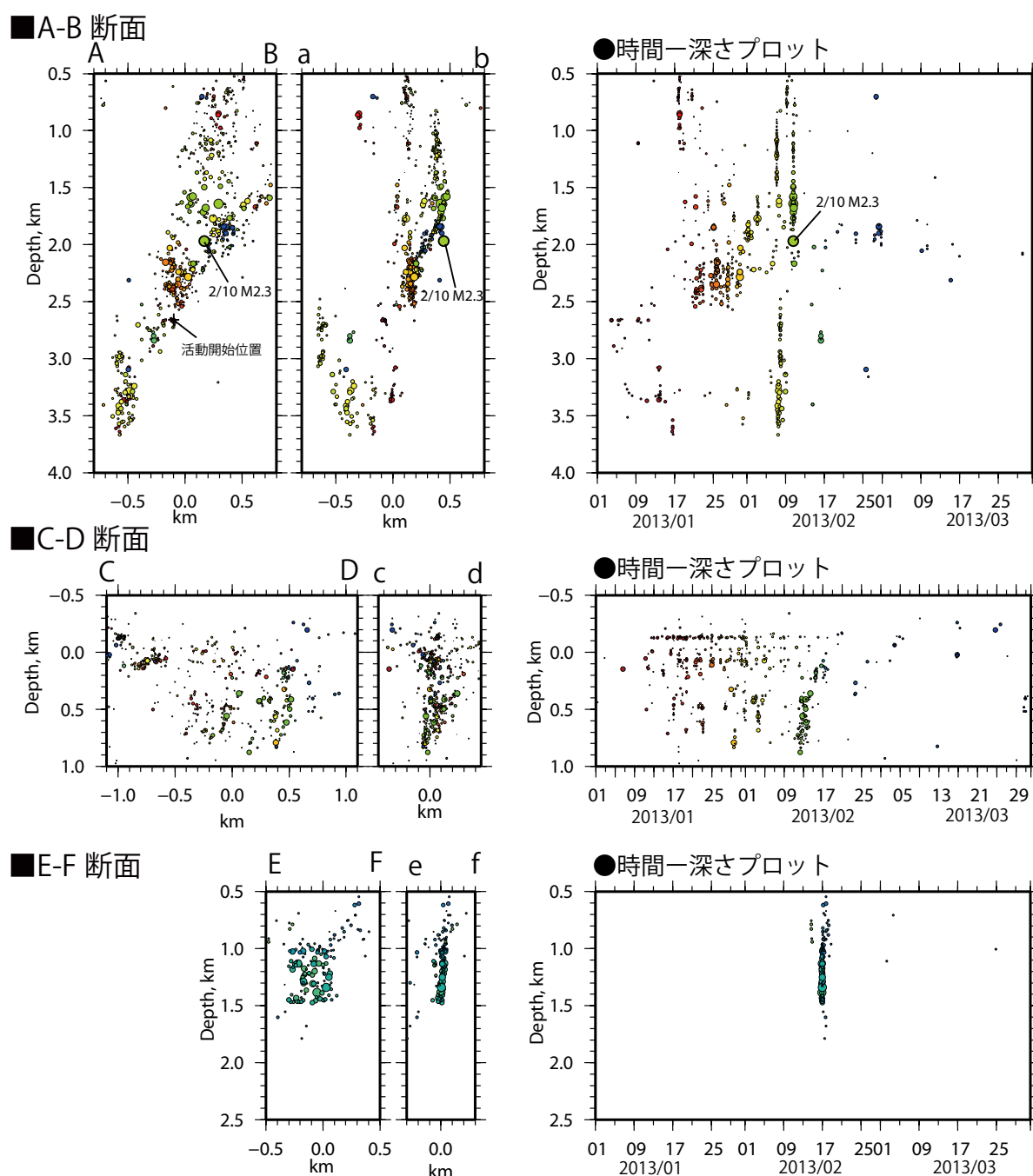


図5 図4のA-B、C-D、E-F方向およびそれに直交する方向の深さ断面図。右列はそれぞれの断面における活動の時系列変化（2013年1月1日から3月31日）を示す。

る観測点である。これらの基線長変化は、真鶴観測点を固定点としてみた各観測点の距離変化である。これを見ると、年周変化が見られる観測点もある。しかし、群発

地震活動が活発化する 2013 年 1 月よりも 1～2 ヶ月前から、箱根－真鶴や小山－真鶴の基線長には約 1cm 程度の伸びが見られる。

図 8 に、箱根火山を中心とした半径 15km 以内の領域について、GPS 変位から求めた 1997 年以降の平均的な面積歪の時間変化を示す。同図には、同じ期間に箱根火山で発生した地震について、地震数積算曲線と月別の地震発生数をあわせて描いている。これを見ると、2001 年以降に発生した 5 回の規模の大きな群発地震活動に伴う山体膨張が観測されている。このうち、2011 年の群発地震活動および地殻変動は火山性の群発地震活動ではなく、3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震によって誘発された地震活動である (Yukutake *et al.*, 2011 ; 原田ほか, 2012a ; Yukutake *et al.*, 2013)。

原田ほか (2011 ; 2013a) や宮岡ほか (2013b) は、箱根火山における群発地震に先行して、山体の深部 (7～10km 以深) でマグマが膨張し、それに伴う地殻変動が

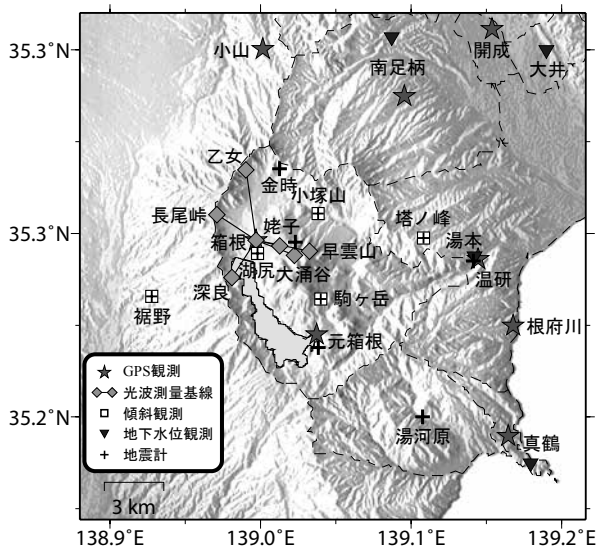


図 6 観測点分布図。

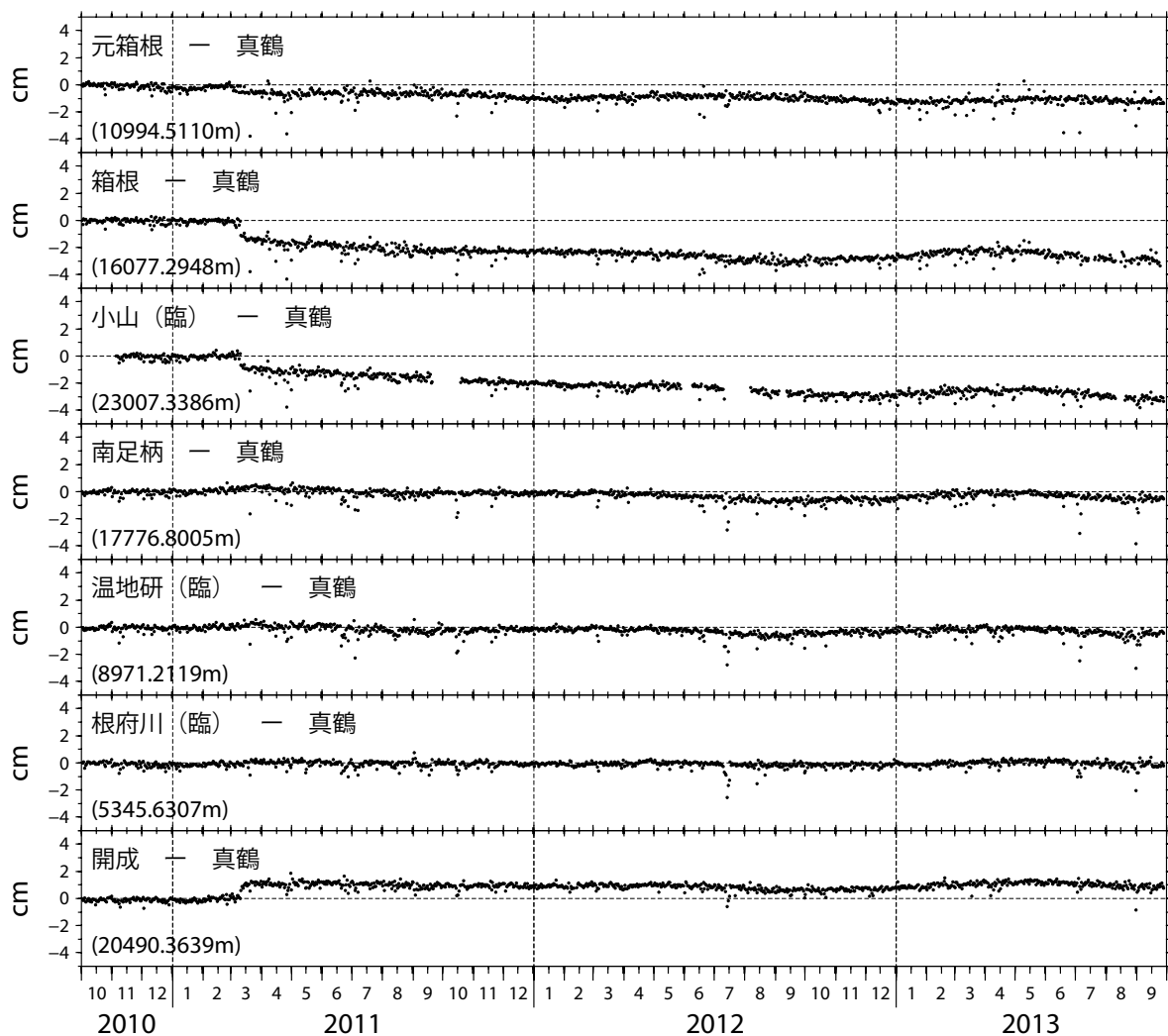


図 7 GPS 基線長変動 (2010 年 10 月 1 日～2013 年 9 月 28 日)。真鶴観測点を中心とした、各観測点の基線長変化。精密歴を用いた解析結果を示す。小山観測点は、(独) 防災科学技術研究所との共同研究による観測点である。

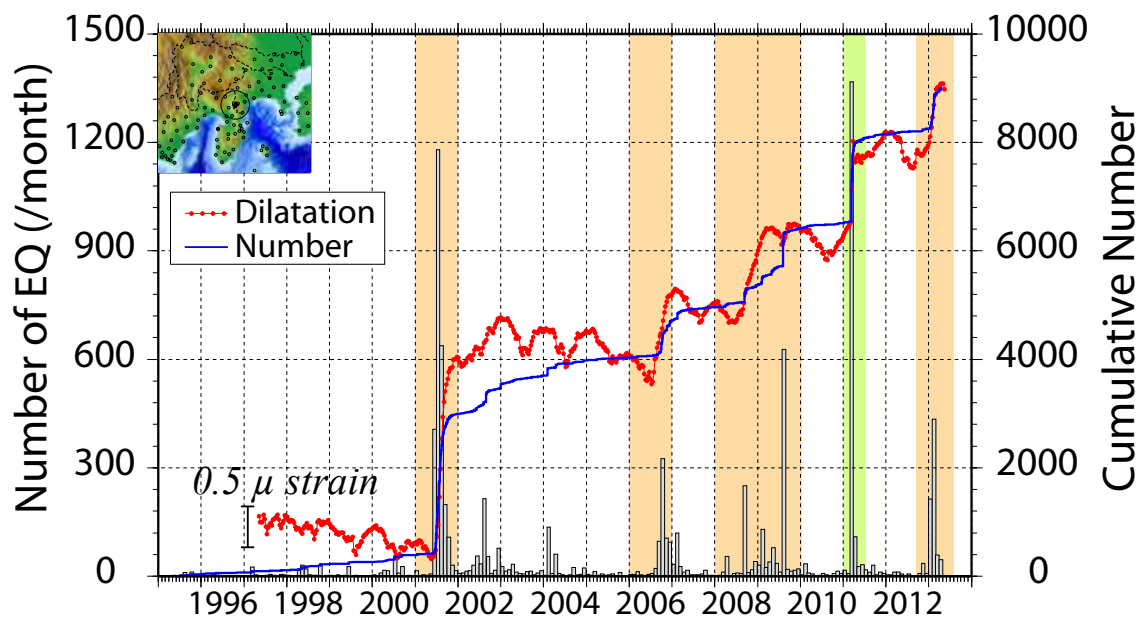


図 8 箱根火山を中心とした半径 20km 以内の領域の GPS 変位から求めた平均的な面積歪と地震活動の比較（原田ほか，2013a より）。

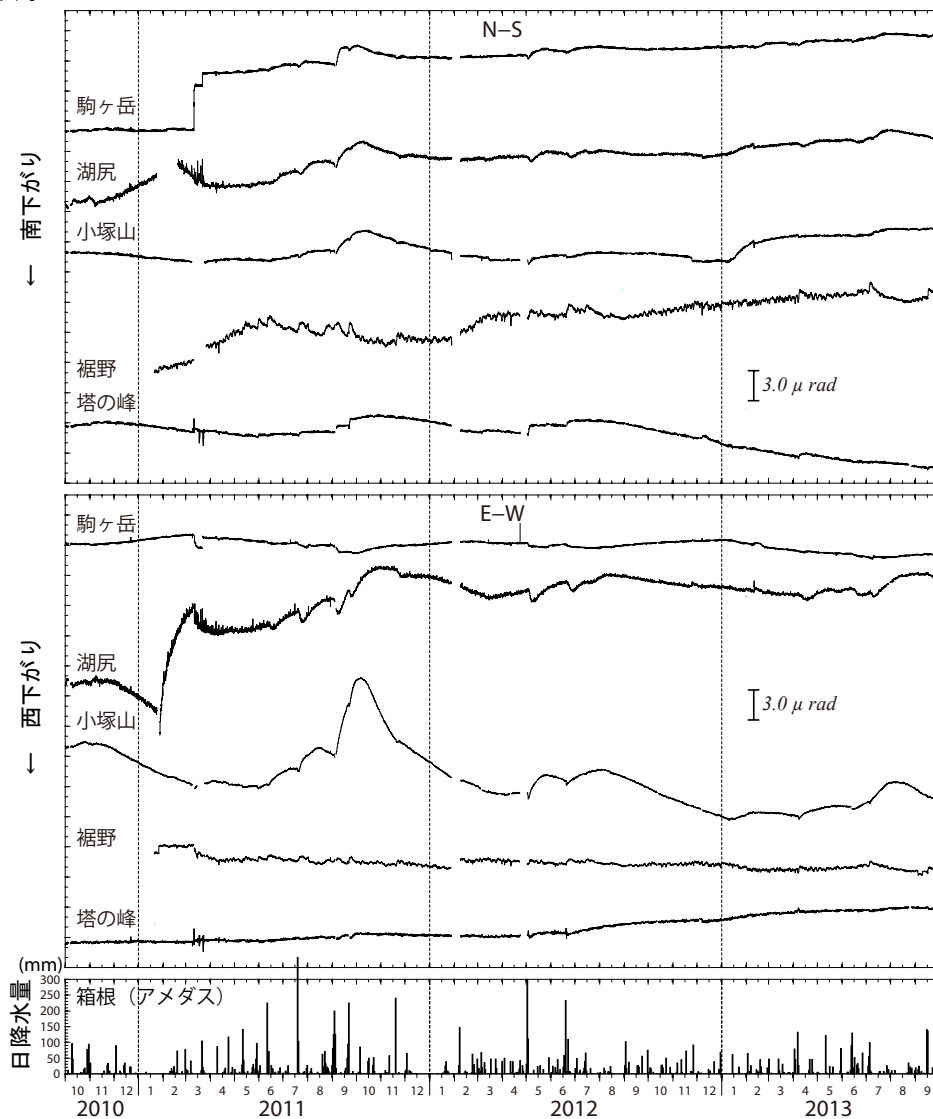


図 9 傾斜変動（2010 年 10 月 1 日～2013 年 9 月 30 日）ステップや異常値の一部は取り除いている。日降水量は気象庁アメダス観測点（箱根）を使用した。

GPS による膨張歪や山体膨張を示す基線長変化として捉えられていると解釈している。今回の活動においても山体膨張が捉えられており、山体深部にあるマグマだまりの膨張があったと推定される。一方、面積歪の変化量を比較すると、その膨張量は 2001 年ほどではなかったことがわかる。

3.2. 傾斜計

2010 年 10 月 1 日から 2013 年 9 月 30 日までの 3 年間の傾斜変動を図 9 に示す。また、比較のため、2013 年の群発地震活動の前後（2012 年 12 月 1 日～2013 年 5 月 31 日）の駒ヶ岳・湖尻・小塚山観測点の傾斜変動を図 10 に示す。これらの図を見ると、GPS の場合と違い、群発地震活動が活発化した 1 月上旬から、特に駒ヶ岳、湖尻、小塚山観測点においてそれまでのトレンドとは異なった火山性の傾斜変動が観測されている。

箱根火山における群発地震活動の際に火山性の傾斜変動が明瞭に観測されたのは、2001 年の群発地震活動に次いで今回の活動が 2 回目である。そこで、2001 年と今回（2013 年）の群発地震活動に伴う傾斜変動を比較したものを図 11 に示す。この図から、これら 2 回の群発地震活動に伴う傾斜変動ベクトルの向きがほぼ一致しており、2001 年と今回の群発地震活動には同じような変動源があったと考えられる。代田ほか（2009）は 2001 年の群発地震活動に伴う傾斜変動をモデル化し、駒ヶ岳付近の深さ 7km に位置する球状圧力源と、大涌谷浅部と駒ヶ岳浅部（上端の深さ 0.2km および 0km）の開口割れ目の 3 つの変動源により説明できるとしてい

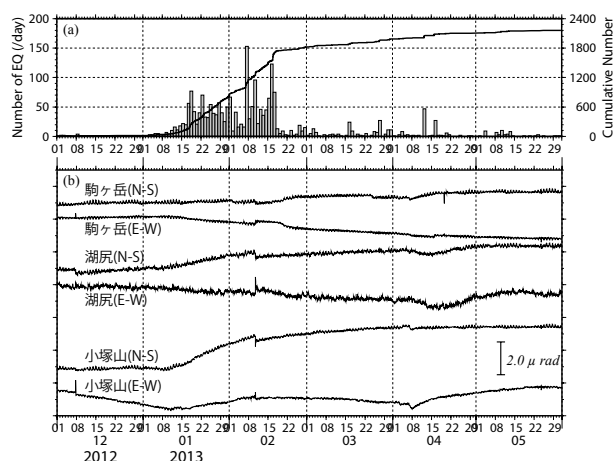


図 10 2013 年の群発地震活動時の地震活動と傾斜変動（神奈川県温泉地学研究所，2013b）。(a) 箱根火山における日別の地震発生数と地震積算回数。(b) 駒ヶ岳・湖尻・小塚山観測点の傾斜変動（2012 年 12 月 1 日～2013 年 5 月 31 日）。

る。傾斜変動は、特に浅部の開口割れ目が増圧することによって変化すると考えられる。傾斜変動のパターンが類似していることから、今回の群発地震活動も、2001 年とほぼ同様な 3 つの変動源で概ね説明できると考えられる（宮岡ほか，2013a）。ただし、傾斜変動の向き自体は今回と 2001 年とではほぼ一致しているものの、傾斜変動量は 2001 年に比べて今回は、最大でも 1/4 程度と小さい。そのため、変動源の体積増加量も 2001 年よりは小さかったと考えられる。

3.3. 光波測量および地下水位

2010 年 10 月 1 日から 2013 年 9 月 30 日までの 3 年間の光波測量による観測結果を図 12 に示す。箱根（仙石原）を中心とした各観測点までの基線長の変動を見ると、日周変化や年周変化が顕著であり、一見して群発地震活動に伴うような変化は見られない。しかし、2001 年の群発地震活動時の光波測量観測データを解析した丹保ほか（2005）は、年周変化を取り除くことによって火山性の基線長変化を検出している。そのため、今回の群発地震活動についても同様の解析を行えば、深良水門、早雲山、大涌谷の基線で変動が見られる可能性があり、今後の課題である。

また、2010 年 10 月 1 日から 2013 年 9 月 30 日までの 3 年間の地下水位の観測結果を図 13 に示す。各観測点

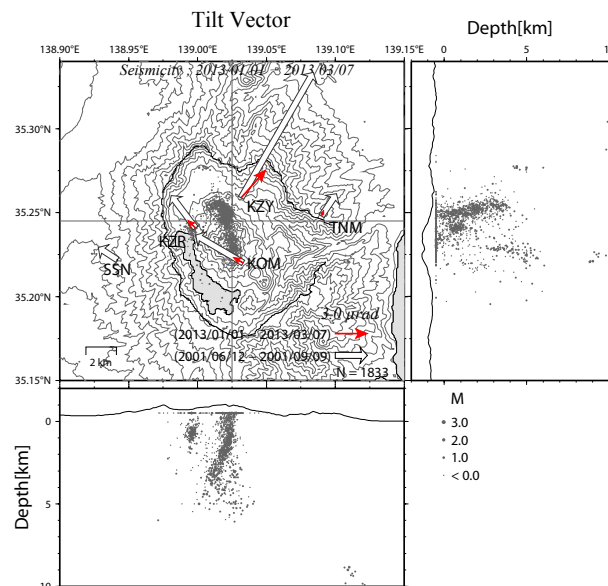


図 11 2013 年と 2001 年の箱根群発地震活動に伴う傾斜変動ベクトルの比較（神奈川県温泉地学研究所，2013a）。細いベクトルは 2013 年 1 月 1 日～3 月 7 日、白抜きのベクトルは 2001 年 6 月 12 日～9 月 9 日の変動を示す。また、灰色の点は 2013 年 1 月 1 日～3 月 7 日の震源分布を示す。

とも箱根火山における群発地震活動の震源域から離れているため、顕著な変化は観測されていない。

4. 地表面現象について

2001 年の活動の際には、蒸気井の暴噴（辻内ほか、2003）や新たな噴気地熱地帯の出現など、火山活動の活発化を示す現象が観測された。そこで、噴気活動などの地表面現象について、2001 年の活動と比較しながら今

回の活動について以下に整理する。

4.1. 新噴気域の変化

2001 年の活動以後、これまで噴気活動がみられなかった大涌谷北側斜面において、新たな噴気（新噴気域）が認められるようになった（図 14(b) の A ～ E）。当所では、新噴気域の状況を調査・監視するため、図 14(b) の A、B、C 領域付近（図 14(a) の ● 印）において 2008

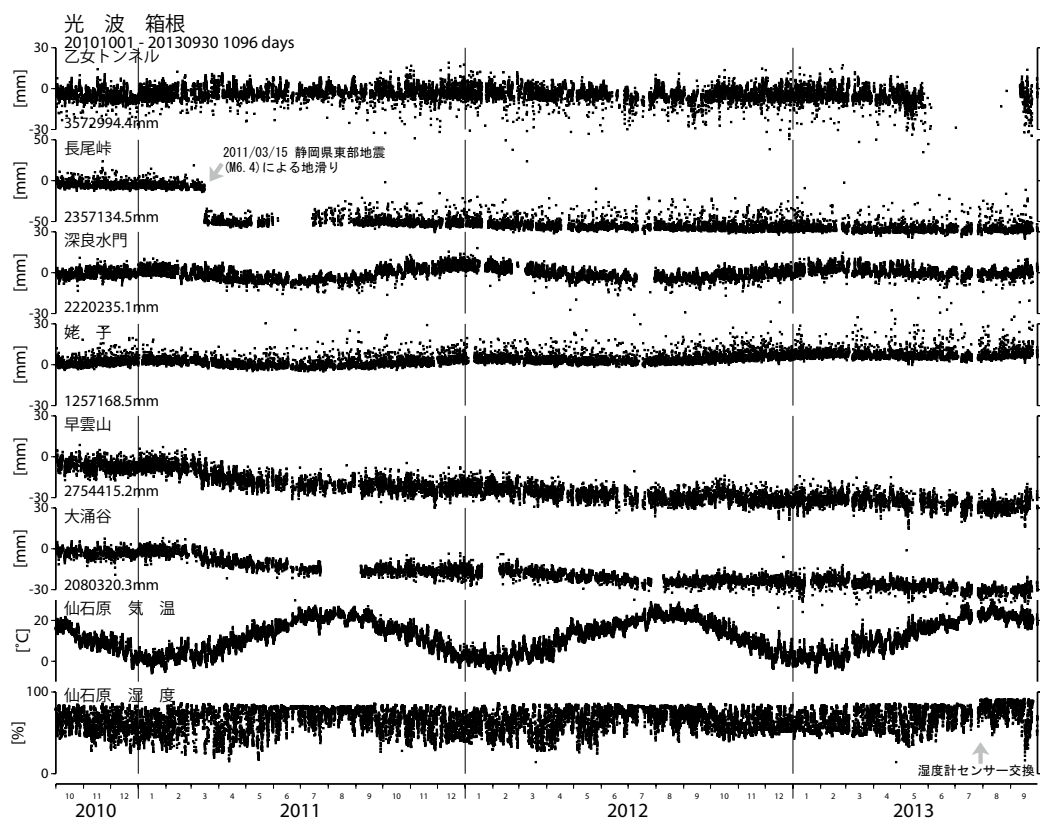


図 12 光波測量（2010 年 10 月 1 日～2013 年 9 月 30 日）。

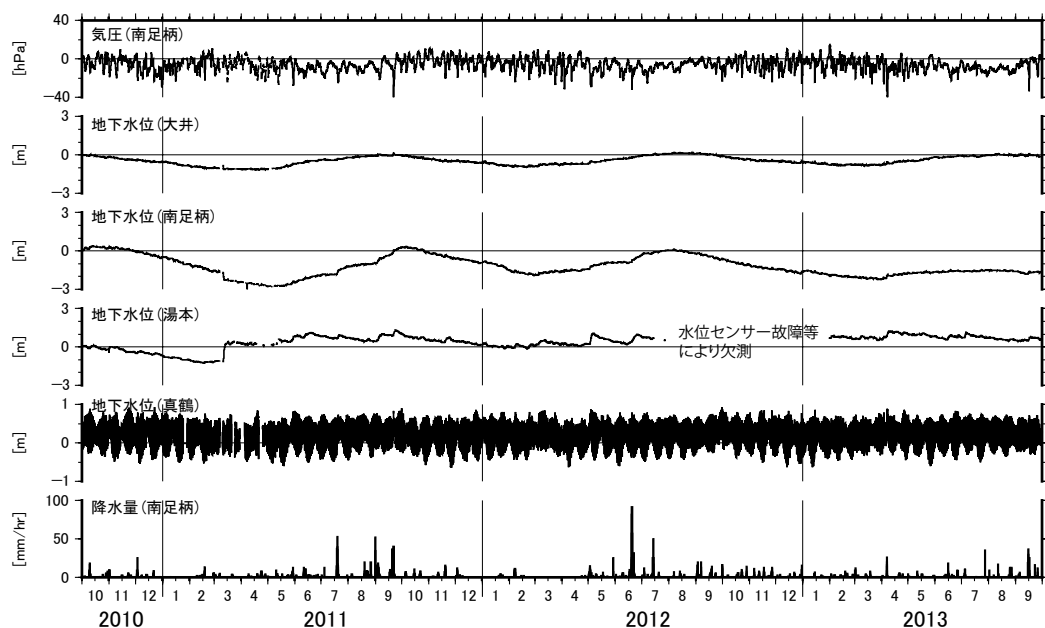


図 13 地下水位変動（2010 年 10 月 1 日～2013 年 9 月 30 日）。

年 12 月から火山ガス濃度（二酸化硫黄、硫化水素）と地温の連続観測をおこなっている（原田ほか，2010b）。その観測データからは、群発地震の活動前後における顕著な変化は認められなかった。当所ではこれとは別に、E 領域（図 14(b)）の噴気孔において、継続的に噴気ガスの採取・測定を実施している。その結果、今回の活動の前後で噴気ガス成分の変化が認められた。過去の活動においても同様な変化があったことは指摘されているが（大場ほか，2008；代田・板寺，2010）、今回は時間的に密な繰り返し測定を行ったことで、成分の変化がわずかに群発地震に先行して生じる可能性が見いだされた。この結果については、別報（代田，2013）で詳細に報告する。

2011 年夏頃からは E 領域の活動が活発になるなど、噴気域は拡大あるいは移動している。そこで、当所では噴気活動（地熱活動）の広域的な変化を監視する目的で、新噴気域を見渡せる箱根外輪山の尾根上から（図 14(a)の □）熱赤外カメラによる観測を月に 1 回程度実施している（原田ほか，2012b；原田ほか，2013b）。熱赤外画像からは、C、D、E 領域において周辺より地表面温度の高い地熱異常領域は明瞭に確認できるものの（特に E 領域では顕著である）、今回の群発地震活動に伴うような高温領域の面積変化などは確認できなかった（図 15）。

また、2012 年の 12 月中旬から始めていた 1 m 深地中温度の連続観測においても、火山活動の活発化に伴う温度上昇などの変化は観測されなかった。

4. 2. 溶融硫黄の流出（硫黄燃焼事件）

2013 年 3 月 6 日の朝、以前から噴気活動が認められていた大涌谷・湖尻自然探勝路沿いの噴気地帯（図 14(b)の ◎印）において火災があった。消火活動を行った箱根温泉供給株式会社の社員へ聴き取り調査をしたところ、青白い炎であったことやガス検知器が二酸化硫黄を検知したことから、硫黄が燃焼していたものと思われる。

当所では、その日のうちに現地に赴き調査をおこなった。その結果、火災があった付近に複数の硫黄が流れた跡を確認した。流れた硫黄の厚さは厚くても数 mm、長さは長いもので 4 m 程度であった。この溶融硫黄の固まりの多くは表面が乾燥した「かさぶた」のようなテクスチャをしており、流れた後に時間が経過していると思われるが、中には新鮮なものもあった。硫黄の流出口（供給源）については、消火活動で表面が乱されていたこともあって追跡できなかった。付近の地中温度を計測したところ、104℃（50-70cm 深）に達している地点があり、硫黄の融点には届かないものの、水の沸点を超える温度が確認された。一時的に地温が上昇し、溶融硫黄が流れ出た可能性もある。しかしながら、硫黄が自然発火するほど高温（232℃、国立天文台編，2011）になったとは考えにくく、わずかながら新聞や雑誌の燃えかすを確認したこともあり、火災（硫黄の燃焼）の原因が人為的であった可能性がある。

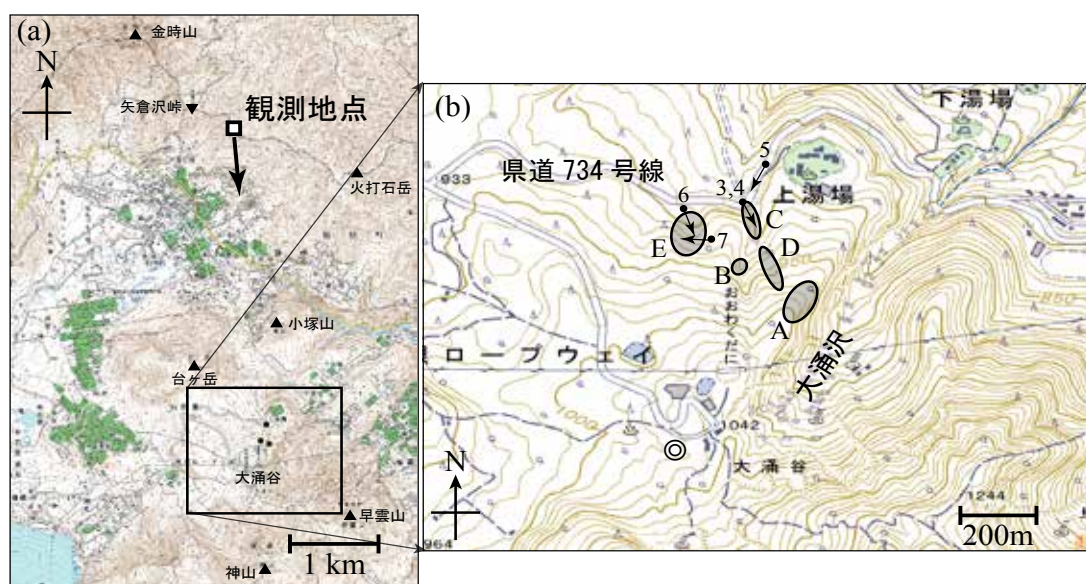


図 14 大涌谷北側斜面の噴気位置。(a) □は図 15 における熱赤外カメラの観測地点、矢印は観測方位を示す。●は当所の火山ガス・地温の連続観測点。(b) 大涌谷周辺の拡大図。A～Eは大涌谷北側斜面の新噴気域。◎印は溶融硫黄を確認した場所。この地図の作成には、国土地理院による地形図を使用した。（原田ほか，2012b より）

4.3. その他

上記のほか、蒸気井所有者への聞き取り調査から圧力が高まった様子はなかったこと、大涌谷園地協議会が測定している二酸化硫黄の濃度にも変化はなかったことがわかっている。しかしながら、2001 年の際の新たな噴気域の出現は、活動の終息後で、地震活動とのタイムラグがあったことなどから、今後も地熱異常地域の拡大や移動があるのかを追跡していく必要がある。

5. 防災対応について

今回の活動では、当所において、活動に対応するために休日夜間の参集や待機を含めた臨時体制を組むと共に、箱根町および箱根火山対策連絡会議の主立った機関

(県安全防災局、県自然環境保全センター、横浜地方気象台) などと密な情報交換を行いながら、防災対応にあたった(図 16)。

当所では活動の高まりにあわせ、地震波形処理など活動推移の監視、関係機関との連絡や情報発表を行うための体制を敷き、対応にあたった。地震回数が増加し、傾斜計でわずかな変化が認められ始めた 1 月 18 日に地震活動観測情報の第 1 号を発表し、その後の情報発表は、3 月末までに 25 回を数えた。またさらに、これらの情報と共に、地震活動などのリアルタイムデータについて、1 月 18 日 09 時 50 分から当所のウェブサイトにて特設ページを開設し、公開を行った。

箱根火山では、箱根町が事務局を務める箱根火山対策

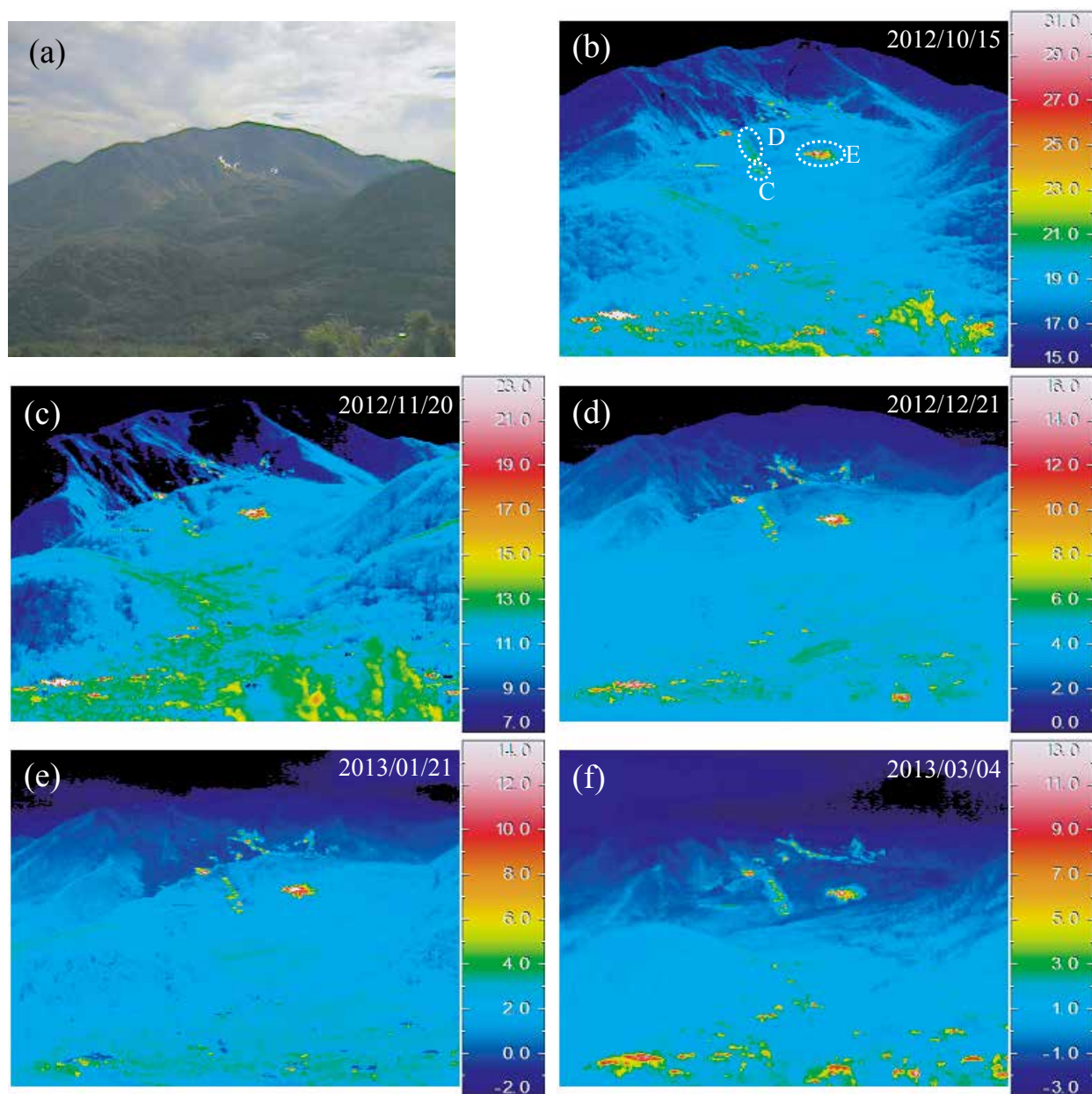


図 15 外輪山からの熱赤外カメラによる (a) 可視画像と (b) ~ (f) 熱赤外画像。(b) の C ~ E は図 14 (b) の領域に対応する。(原田ほか, 2013b より)

連絡会議を中心に、防災対応がとられることとなっている。また平成 21 年（2009 年）3 月から気象庁による噴火警戒レベルが導入されており、レベルに応じ、取るべき防災対策が定められている。噴火警戒レベル導入以来、箱根火山の噴火警戒レベルは 1（平常）であった。これまで最も規模が大きかった 2001 年の活動はレベル導入前に発生したものであったが、レベル 2（火口周辺規制）に相当するとされている。仮に、今回の活動が高まっていった場合には、レベルの引き上げに至る可能性もあったことから、2 月 5 日には、関係機関が集まり、観測される現象やレベル切り替え基準などについての確認を行った。

2 月 10 日と 16 日には大涌谷などで人が揺れを感じるような、やや大きな地震が発生し、それ以降、テレビ等での箱根山の活動に関する報道が急増した。そのため、地元住民等から、その後の活動の推移や経済活動への影響を心配する問い合わせが寄せられるようになった。このことから、2 月 22 日に箱根町を通じ、観光業者を主な対象として活動状況のお知らせを提供した。さらに 3 月 8 日にも箱根火山対策連絡会議として、現時点で噴火を心配する段階にないことなどを知らせる情報を公表し、箱根町、気象庁、温泉地学研究所などのウェブサイトへの掲載も行った。

このほか、火山噴火予知連絡会、地震予知連絡会、地震調査委員会および内閣府等への状況説明を適宜、行った。

このような対応を取りながら活動の推移を見守り、地震活動、地殻変動ともに落ち着いてきた 3 月末には臨時の体制を解き、平常の体制とした。

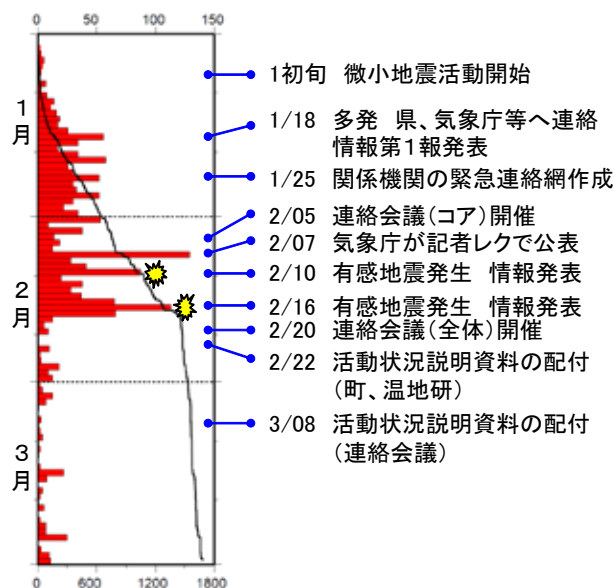


図 16 温泉地学研究所がとった防災対応の時系列図

6. まとめ

箱根火山では、2013 年 1 月から 2 月にかけて、活発な群発地震活動が観測された。これまで最も規模が大きかった 2001 年の群発地震活動と比較した場合、今回の活動の規模は地震活動、地殻変動とも小さかった。また、現在までに、2001 年に見られたような蒸気井の暴噴や新しい噴気地熱地帯の出現も認められず、火山活動としての規模は小さく、現時点で噴火を心配する状況にはないと言える。

その一方で、箱根火山では 2001 年以降、数年おきに群発地震活動が発生し、そのたびに山体が膨らむことを示す地殻変動が観測されている。今後もこのような活動が繰り返すと考えられることから、地下深部の変動源のモニタリングなど箱根火山の観測体制を強化する必要がある。

群発地震活動の中心であり、現在も噴気を上げる噴火口である大涌谷には年間を通して多数の観光客が訪れる。2001 年と同程度あるいはそれよりも大きな活動になった場合には、これらの観光客の安全・安心の確保も重要な課題となる。そのため、噴気地帯における地温や火山ガス濃度など、地表面現象のリアルタイムでの監視体制を構築すると共に、それらの現象に即応出来るよう、さらに防災対応を強化していく必要があると考えている。

謝辞

気象庁、東京大学地震研究所、(独)防災科学技術研究所 Hi-net より提供された地震波形データを使用させて頂いた。F. Waldhauser 博士から hypoDD プログラム コードを提供していただいた。

GPS 測量の小山観測点は、(独)防災科学技術研究所(島田誠一博士)との共同研究による観測点である。日降水量は気象庁アメダス観測点(箱根)のデータ、面積歪の解析には、国土地理院による GPS 観測データ(F3 解)を、それぞれ使用させていただいた。

新噴気域における 1 m 深地中温度の連続観測については、東京工業大学火山流体研究センターの寺田暁彦博士にご協力いただいた。新噴気域の熱赤外カメラによる観測については、温泉地学研究所の小田原啓氏、松沢親悟氏にご協力いただいた。

ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

代田 寧 (2013) 箱根火山において 2013 年 1 月から発生した群発地震活動に伴う噴気ガス組成の時間変化、

- 温地研報告, 45, 29-34.
- 代田寧・板寺一洋 (2010) 2001 年以後に箱根火山大涌谷北側斜面に現れた噴気中のガス組成等の時間変化, 温地研報告, 42, 49-56.
- 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, 火山, 54, 223-234.
- 道家涼介・原田昌武・宮岡一樹・里村幹夫 (2013) 神奈川県を対象とした Bernese による GPS 統合解析表示システムの構築, 温泉地学研究所報告, 45, 63-70.
- 原田昌武・明田川保・伊東博・本多亮・行竹洋平・板寺一洋・吉田明夫 (2012a) 2011 年東北地方太平洋沖地震によって誘発された箱根火山の群発地震活動, 地震 2, 64, 135-142.
- 原田昌武・細野耕司・伊東博・明田川保・小林昭夫・本多亮・行竹洋平・吉田明夫 (2011) 箱根火山における群発地震活動に先行する地殻の膨張, 日本地球惑星科学連合大会, SVC048-P02.
- 原田昌武・細野耕司・小林昭夫・行竹洋平・吉田明夫 (2010a) 富士山周辺及び箱根カルデラの膨張歪と低周波地震活動, 火山, 55, 193-199.
- 原田昌武・宮岡一樹・行竹洋平・小林昭夫・本多亮・板寺一洋・伊東博・明田川保・吉田明夫 (2013a) 箱根火山における群発地震活動と地殻歪, 日本地球惑星科学連合大会, SVC48-14.
- 原田昌武・小田原啓・松沢親悟・代田寧・板寺一洋・寺田暁彦 (2012b) 箱根大涌谷の北側斜面における近年の地表面変化と熱赤外カメラによる観測, 温地研報告, 44, 55-62.
- 原田昌武・棚田俊收・伊東博 (2010b) 箱根大涌谷北側斜面における火山ガス・地温の連続観測, 温地研報告, 42, 57-61.
- 原田昌武・寺田暁彦・小田原啓・代田寧・板寺一洋・行竹洋平・松沢親悟 (2013b) 2001 年箱根群発地震活動以後に活発化した大涌谷北側斜面の新噴気について, 日本地球惑星科学連合大会, SVC48-P24.
- Hirata, N. and M. Matsura (1987) Maximum-likelihood estimation of hypocenter with original time eliminated using nonlinear inversion technique, Phys. Earth Planet. Interior, 47, 50-61.
- 本多亮・伊東博・行竹洋平・原田昌武・代田寧・板寺一洋・宮岡一樹 (2012) 箱根の新たな強震観測点について, 温地研報告, 44, 63-66.
- 板寺一洋・原田昌武 (2013) 神奈川県西部地域における 2012 (平成 24) 年の地殻変動観測結果, 温泉地学研究所観測日より, 63, 45-52.
- 神奈川県温泉地学研究所 (2013a) 箱根山の火山活動について, 火山噴火予知連絡会会報, 印刷中.
- 神奈川県温泉地学研究所 (2013b) 箱根山の火山活動 (2013 年 2 月～5 月), 火山噴火予知連絡会会報, 印刷中.
- 国立天文台編, 2011, 理科年表平成 24 年版, 丸善.
- 宮岡一樹・原田昌武・道家涼介 (2013b) 箱根火山群発活動に先行する GPS 変化の検出, 日本地震学会秋季大会, P2-09.
- 宮岡一樹・原田昌武・本多亮・行竹洋平 (2013a) 2013 年箱根火山の群発地震活動に伴う地殻変動とその変動源の推定, 日本地球惑星科学連合大会, SVC48-P25.
- 大場武・代田寧・澤穀・平徳泰・攪上勇介 (2008) 箱根カルデラ中央火口丘大涌谷地熱地帯における火山ガス組成の時間変化, 温地研報告, 40, 1-10.
- 丹保俊哉・棚田俊收・伊東博・代田寧 (2005) 光波測量基線網で捉えられた 2001 年箱根火山の群発地震活動に伴う地殻変動, 測地学会誌, 51, 45-48.
- 辻内和七郎・鈴木征志・栗谷徹 (2003) 箱根大涌谷で 2001 (平成 13) 年に発生した蒸気井の暴噴事故とその対策, 温地研観測日より, 53, 1-12.
- Waldhauser, F. and W. L. Ellsworth (2000) A double-difference earthquake location algorithm: Method and application to the Northern Hayward fault, Bull. Seismol. Soc. Am., 90, 1352-1368.
- Yukutake, Y., Honda R., Harada M., Aketagawa T., Ito H., and Yoshida A. (2011) Remotely-triggered seismicity in the Hakone volcano following the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Earth Planets Space, Vol. 63, 737-740.
- Yukutake, Y., Miyazawa M., Honda R., Harada M., Ito H., Sakaue M., Koketsu K., Yoshida A (2013) Remotely triggered seismic activity in Hakone volcano during and after the passage of surface waves from the 2011 M9.0 Tohoku-Oki earthquake, EPSL, Vol. 373, 205-216.
- Yukutake, Y., T. Tanada, R. Honda, M. Harada, H. Ito and A. Yoshida (2010) Fine fault structures in the geothermal region of Hakone volcano, revealed by well-resolved earthquake hypocenters and focal mechanisms, Tectonophysics, 489, 104-118.