

箱根山の火山活動（2015年6月～2015年9月）*

Volcanic Activities at Mt. Hakone (from June 2015 to September 2015)

神奈川県温泉地学研究所

Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture

1. 6月29日～7月1日の噴火活動

箱根山では、6月29日12:30ごろから強羅付近で降灰が始まった。大涌沢では小規模ながら熱泥流が認められた（第1図）。29日夕方には大涌谷に設置したタイムラプスカメラで、新たに開口した火口から勢いよく噴煙が上がっているのが確認できた（第3図）。噴火では周囲に噴石丘を形成した火口や、噴気孔が新たに開口した（第2図）。このうち火口は30日から1日にかけて移動をした（第4図）。降灰は30日夕方までには認められなくなったが、強い空振や微動は7月1日の早朝に発生し、このときに15-1火口が開口したと考えられる。15-1火口には湯溜まりが形成された。現在も15-1火口の湯溜まりは激しく沸騰しており、その他の噴気孔も活発である。

2. 地震活動

箱根山では、2015年4月26日以降、地震活動が活発化した。その後6月に入り低下傾向にあったが、6月29日7時32分頃から再び活発化し、6月29日、30日の両日は、1日に800回近い地震を観測した（第6図、第7図）。これまでの最大の地震は6月30日06時56分に駒ヶ岳付近で発生したM3.4（当所の解析による）の地震である。

6月29日16時頃より震源が火口近傍の極浅部に推定される2-8Hzに卓越した連続的な微動が上湯場、大涌谷観測点を中心に観測された（第8図、第9図）。29日16時頃以降の微動と空振はほぼ同時に起きているように見える（第10図）。

目視による地震回数の日別変化から今回の活動と2001年の活動の推移を比較すると、両者は概ね同様な傾向を示している（第11図）。

3. 地殻変動

当所が箱根カルデラ内（第5図）に設置した傾斜計では、地震活動が活発化し始めた4月26日頃から傾斜変動が観測され、地震活動と同様に6月に入り鈍化傾向が見られていた（第12図）。しかし、6月29日7時32分頃、大涌谷方向が隆起する傾向を示す傾斜変動がみられ始めた（第13図）。傾斜変動は、駒ヶ岳、湖尻、小塚山観測点（当所）および二ノ平観測点（気象庁）で観測された。また、同時刻帯において、上湯場に設置した広帯域地震計でも、周期150秒程度の長周期の変動が観測され（第14図）、その速度波形を積分して得られた変位波形に、機器特性を考慮した変換係数かけ傾斜変動を推定した（第13図）。同様の操作を他2点の広帯域地震計の記録（丸山南・駒ヶ岳西）にも施し、合計7観測点の傾斜変動（第15図）から圧力源を推定した。その結果、上湯場から神山付近にかけてのごく浅い場所に、北西南東方向に走向を持つ、北東傾斜の開口クラックモデルが得られた（第15図）。

GPSによる基線長変化（第16図）を見ると、6月1日頃を境に変動速度が遅くなっている。そこで、火山活動の開始から5月末まで（Stage I）と、6月初めから噴火前日（6月28日）まで（Stage II）

* 2016年5月30日受付

の2つの期間に区切り、球状圧力源1つを仮定したときの、期間毎の変動源の推定を行った(第17図)。さらに、これら2つの膨張源位置を固定し、体積変化速度を推定したところ、Stage Iの膨張源(神山直下深さ8.4km)は4月初めから膨張をはじめ、6月以降鈍化しているのに対し、Stage IIの膨張源(早雲山のやや東深さ1.6km)の膨張は5月15日頃に開始し、噴火まで継続していることがわかった(第18図)。

その他、今回の活動に伴い光波測量にも若干の変動が見られているが(第20図)、地下水位には特段の変化は見られていない(第21図)。

4. 地表面現象

5月初旬以降、「だいち2号」の干渉SAR解析により、暴噴した大涌谷の蒸気井の周辺で局所的な隆起が継続している様子が確認出来ていたが、噴火後のペアでは認められなくなった(第23図～第26図)。また、地上設置型SARにより、6月29日に、ほぼ同様の場所で急激な地表変位が観測された(第27図、第28図)。

5. その他

大涌谷の水質変化(大湧堰堤直下で採水した沢水)を見ると(第31図)、噴火当日は熱泥流(第1図)のものであるが、温度、カルシウム、硫酸イオンが高い一方、塩化物イオンはとくに大きな変化が見られない。期間中の沢水はいずれも温泉の分類では酸性—カルシウム—硫酸塩・塩化物泉で、大涌谷の蒸気井とほぼ同様であることから、深部熱水ではなく、蒸気井と同様の帯水層から泥流がもたらされたものとみられる。

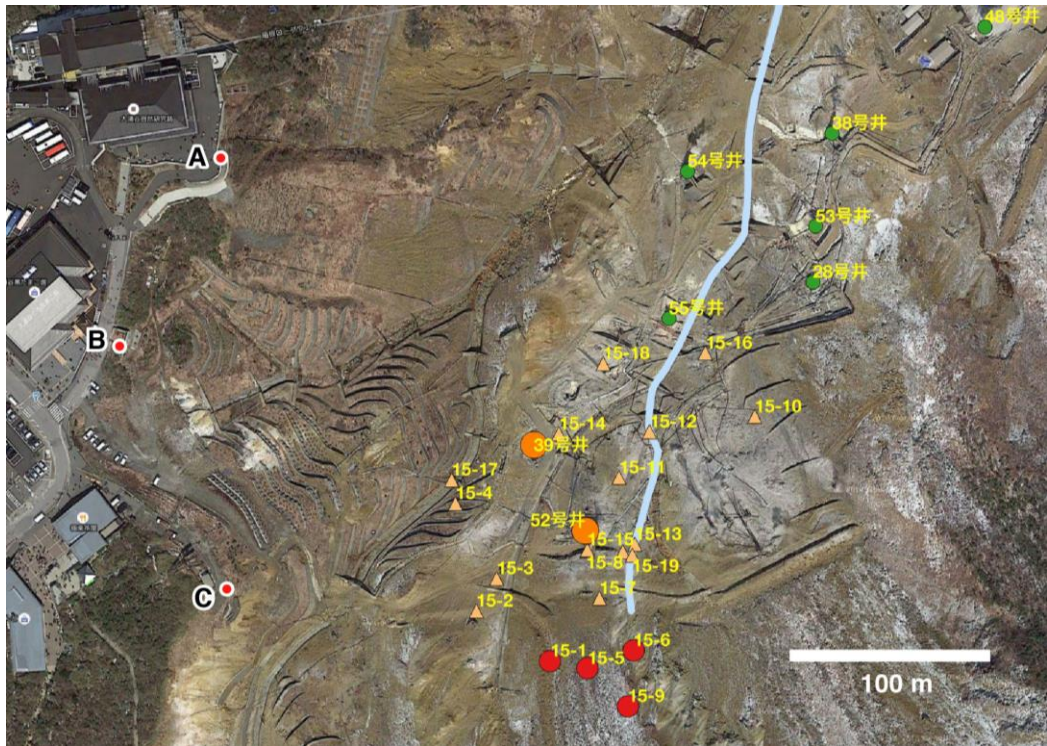
謝辞

本資料の作成に当たっては、国土地理院発行の数値地図50mメッシュを使用した。震源決定については、当所データの他に東京大学地震研究所、防災科学技術研究所および気象庁の地震波形データを利用した。国土地理院によるGNSS観測データを利用した。地殻変動の解析には、気象研究所が開発したMaGCAP-Vを使用した。ALOS-2/PALSAR-2による観測データは、火山噴火予知連絡会衛星解析グループを通して、JAXAから提供いただいた。解析には、防災科学技術研究所が開発したSAR干渉解析ツール(RINC)を使用した。日本工営株式会社には、地上設置型SARの設置・操作および解析についてご協力いただいた。



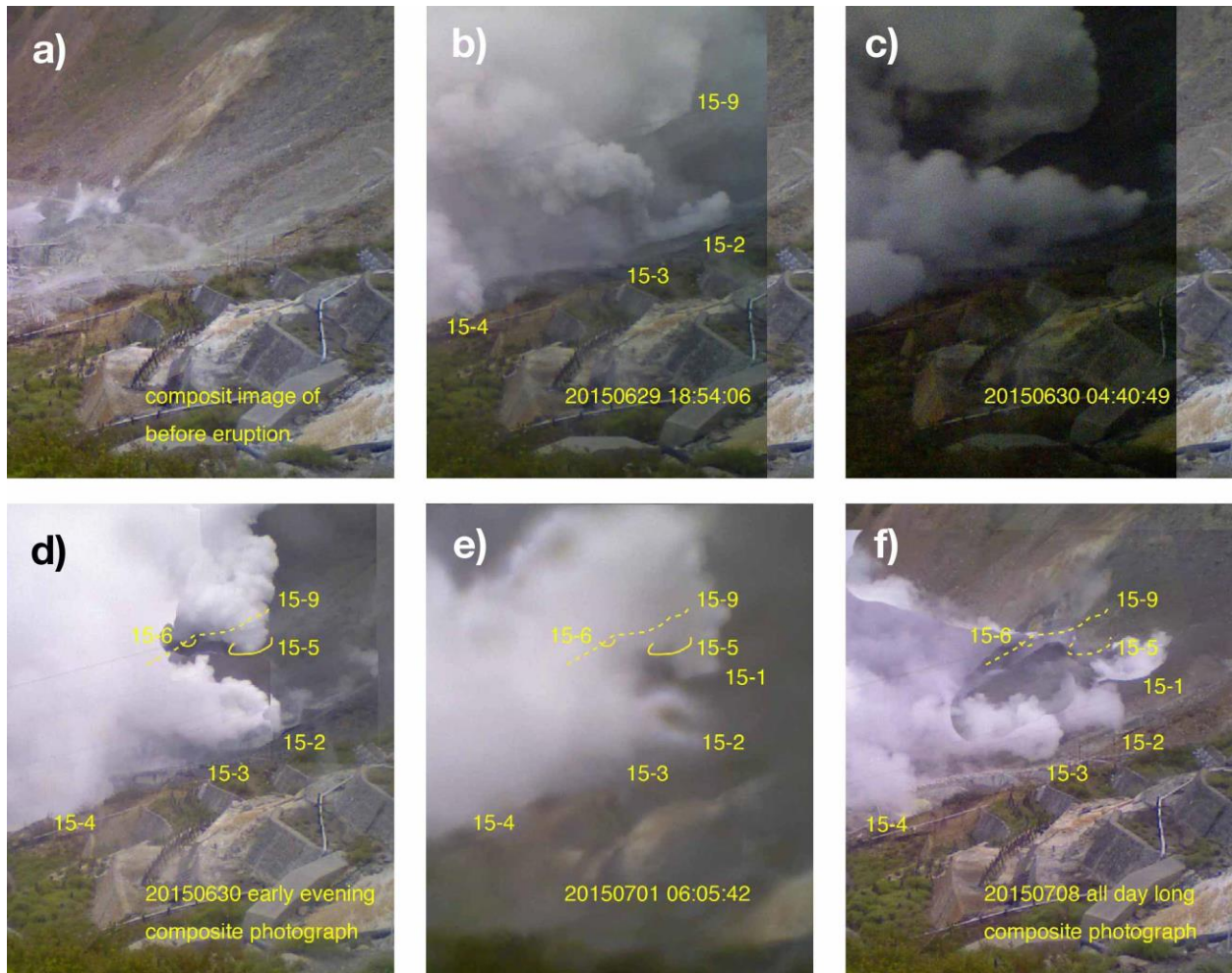
第1図 大涌沢を流下する小規模な熱泥流
材木などとともに流れ下る熱泥流 (左図; 6月29日 15:57 撮影)。材木などは砂防堰堤でトラップされるため下流には泥水しか流下しないが、岸に泥が堆積していることから、以前にはもっと多量の泥流が流れていたことがわかる (右図; 6月29日 15:09 撮影)。

Fig. 1 A small scale mudflow observed going down the Owakuzawa river during the 2015 eruption. Lumber of rustic bridge were flowing down with the mudflow (left, 15:57 of June 29th). Since debris barriers installed in the river trapped large object, only mud flowed in the downstream. Mud on the riverbank proves larger flow in previous (right, 15:09 of June 29th).



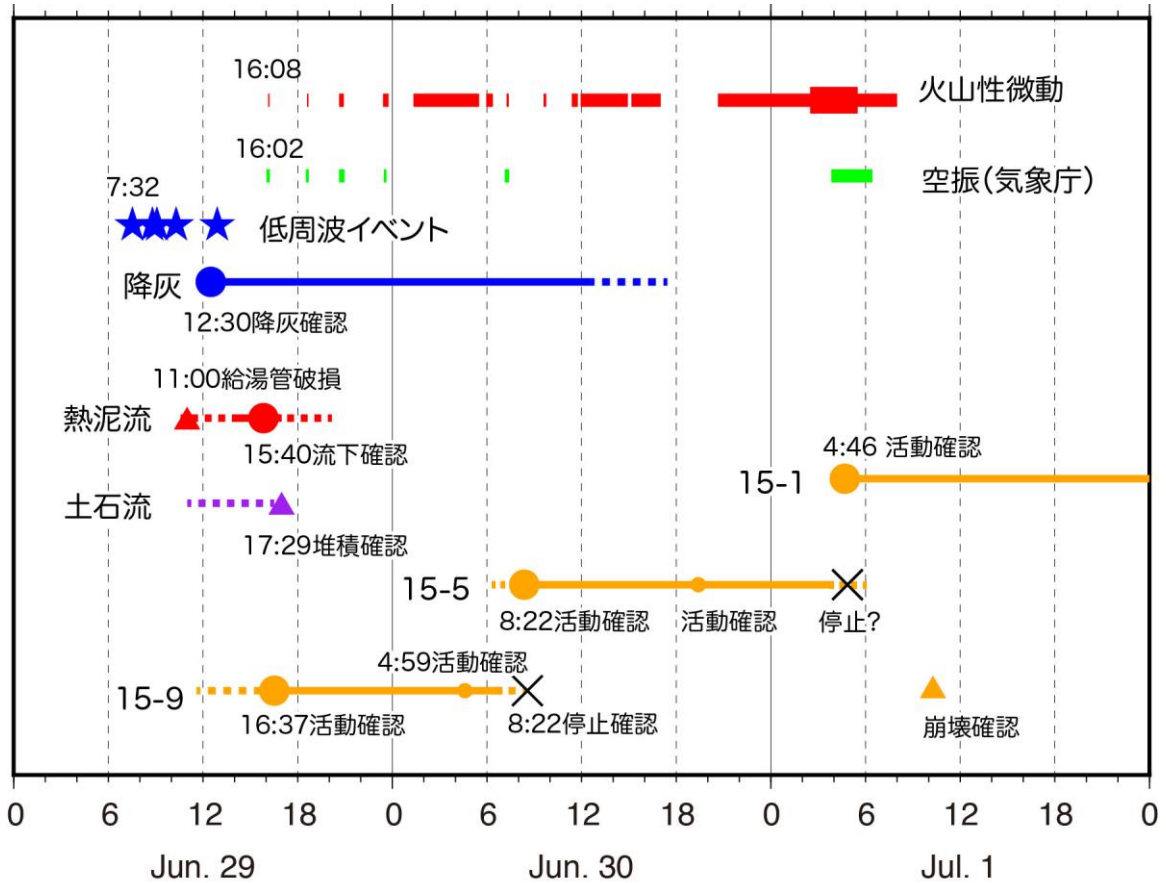
第2図 今回の噴火で生じた火口および噴気孔の分布
赤丸は火口。オレンジの三角は噴気孔。オレンジの丸は今回の噴火前後に暴噴をした蒸気井。緑の丸はそれ以外の蒸気井。

Fig. 2 Distribution of craters and fumarole vents newly formed in the 2015 eruption. Red circle, crater; yellow triangle, fumarole vent; orange circle, blowout steam well during the 2015 activity; green circle, steam well stayed normal during the 2015 activity.



第3図 噴火当日（2015年6月29日～7月1日）とその前後の火口付近の様子

Fig. 3 Vent area taken by a time-lapse camera before (a), during (b-e) and after (f) the eruption (June 29th to July 1st of 2015).

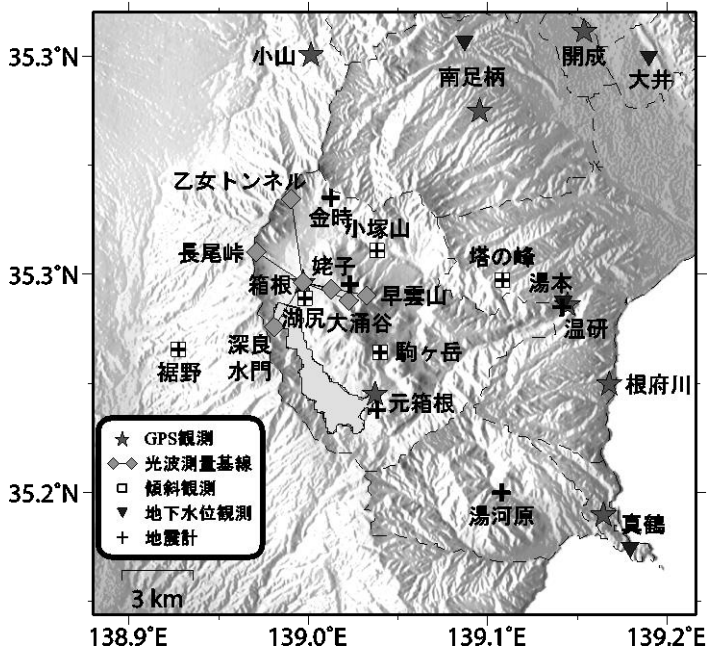


第4図 箱根山 2015 年噴火の時間変化 (6 月 29 日～7 月 1 日)

低周波イベントが 29 日 7 時 32 分頃に始まり、降灰が同 12 時 30 分頃に開始した。しかし大涌谷内の箱根温泉供給の給湯管が同 11 時頃に破損しており、この原因が熱泥流か土石流の発生とみられるため、何らかの噴出現象がこの頃までさかのぼる可能性がある。空振や火山性微動が確認されたのは 29 日の 16 時頃であった。主要な火口ははじめ 15-9 火口であったが、その後、15-5、15-1 と移動した。降灰は 30 日の日中に終了した模様だが、微動や空振は 1 日朝まで続いた。

Fig. 4 Time sequence of the 2015 eruption of Hakone volcano (June 29th to July 1st)

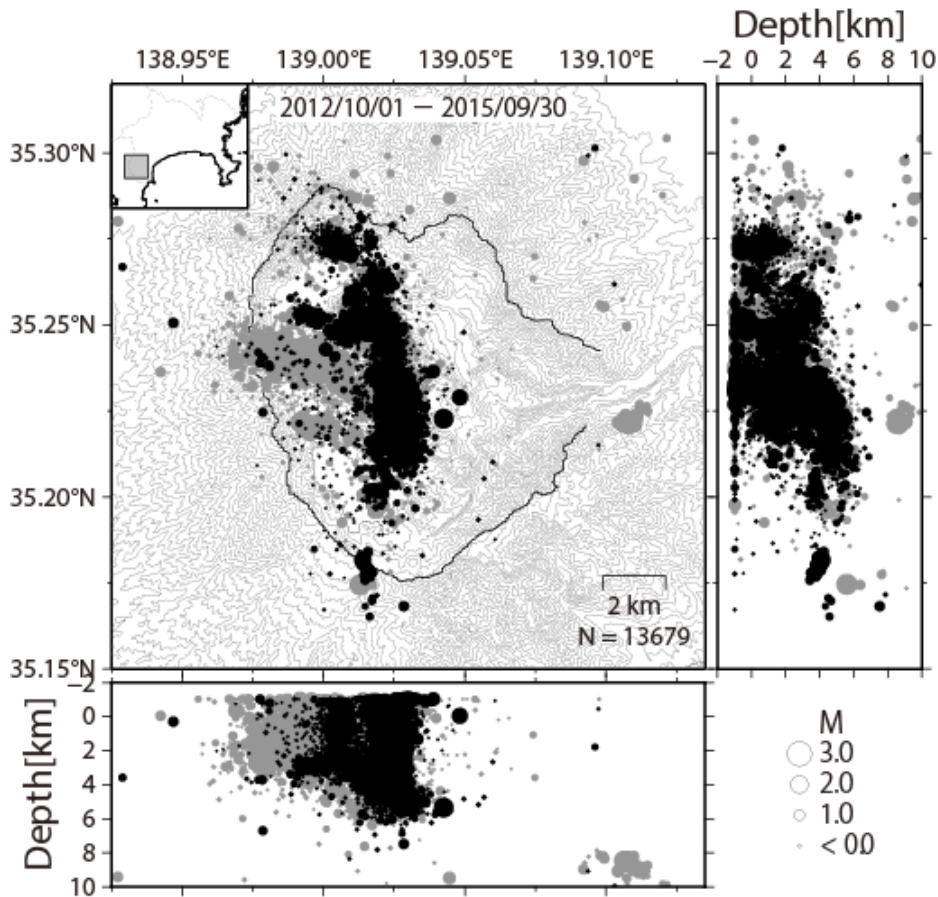
The 2015 eruption is heralded by low frequency events that started 7:32 of June 29th. The ash fall was observed from about 12:30 of 29th. Since a hot-water pipe running across the vent area (Fig. 102) was known destroyed at around 11 am by decline of flow in the pipe, some sort of surface flow related to the eruption would have swept the hot-water pipe away. In this case, the eruption started (as hot lahar) much earlier than the ash fall started. Infrasound and volcanic tremor were observed later than ash fall started; after 16 pm of 29 th. The newly formed 15-9 crater was found erupting at 16:37. Then eruption migrated to west as new craters formed and previously active crater waned. Infrasound and volcanic tremor culminated in the morning of July 1st and then ceased.



第5図 観測点分布図

この地図の作成には、国土地理院発行の『数値地図50mメッシュ(標高)』を使用した。

Fig. 5 Location map of stations developed by HSRI.

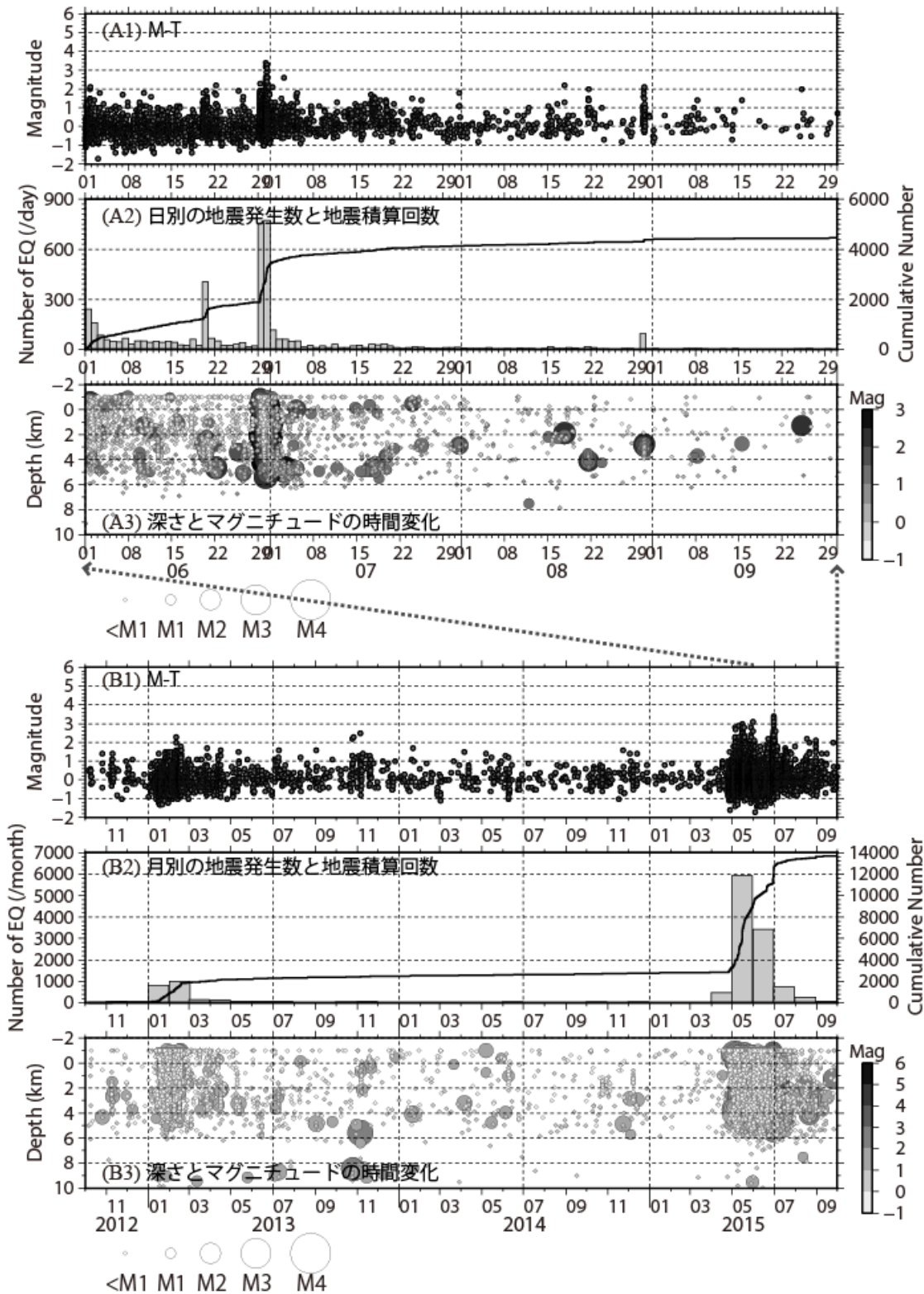


第6図 箱根火山周辺の震源分布(2012年10月1日~2015年9月30日)

黒丸は2015年6月1日~2015年9月30日、灰色の丸は2012年10月1日~2015年5月31日を示す。

※この地図の作成には、国土地理院発行の『数値地図50mメッシュ(標高)』を使用した。

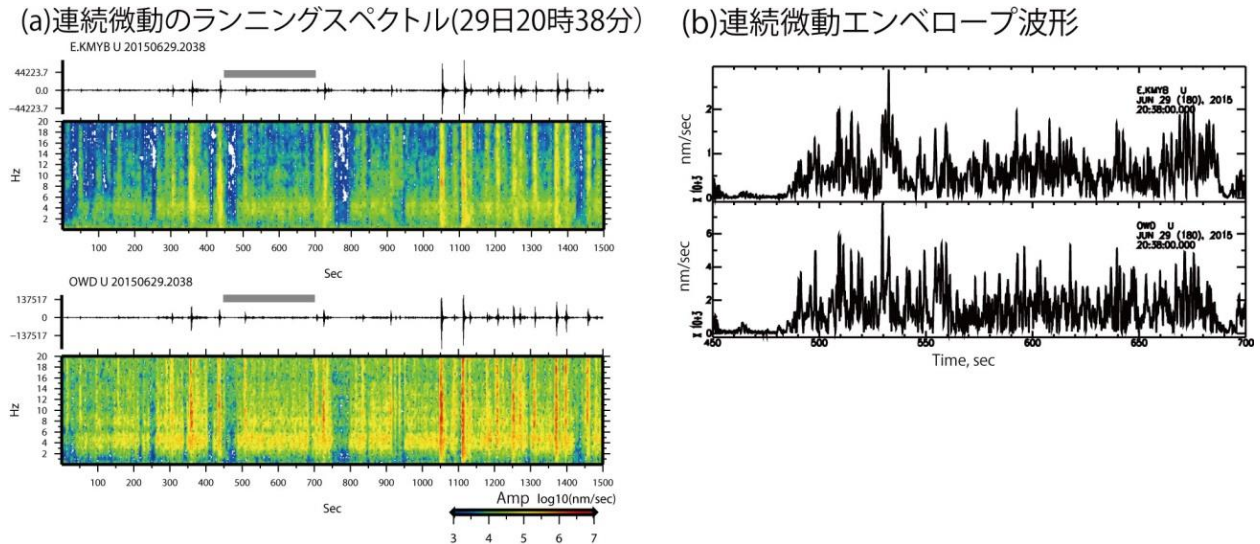
Fig. 6 Epicentral map and cross sections of hypocenters in the north-south and the east-west directions at Mt. Hakone. Black and gray circles represent earthquakes occurred in the periods of June 1, 2015 through September 30, 2015 and October 1, 2012 through May 31, 2015, respectively.



第7図 箱根火山周辺の地震活動 (2012年10月1日～2015年9月30日)

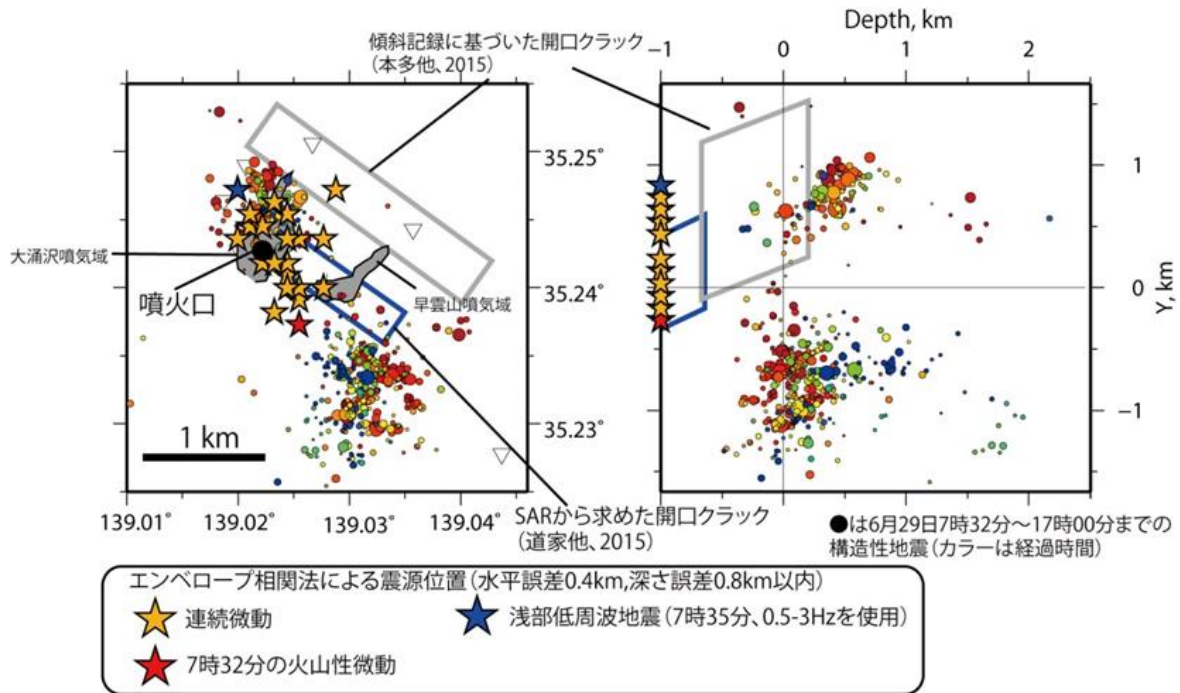
(A)は2015年6月1日～2015年9月30日、(B)は2012年10月1日～2015年9月30日を示す。

Fig. 7 Seismic activities at Mt. Hakone. (A) June 1, 2015 through September 30, 2015. (B) October 1, 2012 through September 30, 2015.



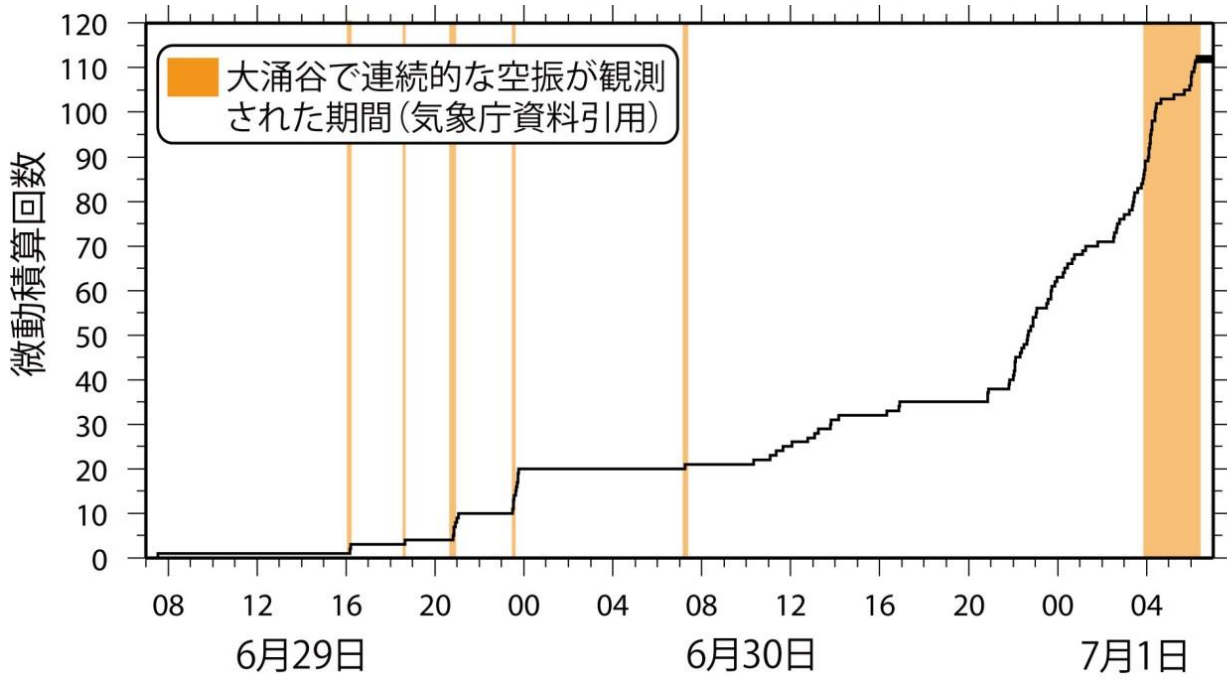
第8図 上湯場観測点（広帯域）と大涌谷観測点（1Hz 速度計）における連続微動の波形例とそのランニングスペクトル（6月29日20時38分より1500秒間）と4-8Hz周波数帯域における速度波形のエンベロープ（(a)の波形のうち灰色線部分に対応）

Fig. 8 (a) Examples of seismic waveforms and their running spectrum of volcanic tremors recorded at Kamiyu (broadband seismometer) and Owakidani (short period seismometer) stations. (b) Envelopes of the volcanic tremors in the frequency range from 4 to 8 Hz.



第9図 エンベロープ相関法 (Obara, 2002) による連続微動の震源位置と、噴火口、構造性地震、傾斜計と SAR 記録に基づいた開口クラックモデルとの関係

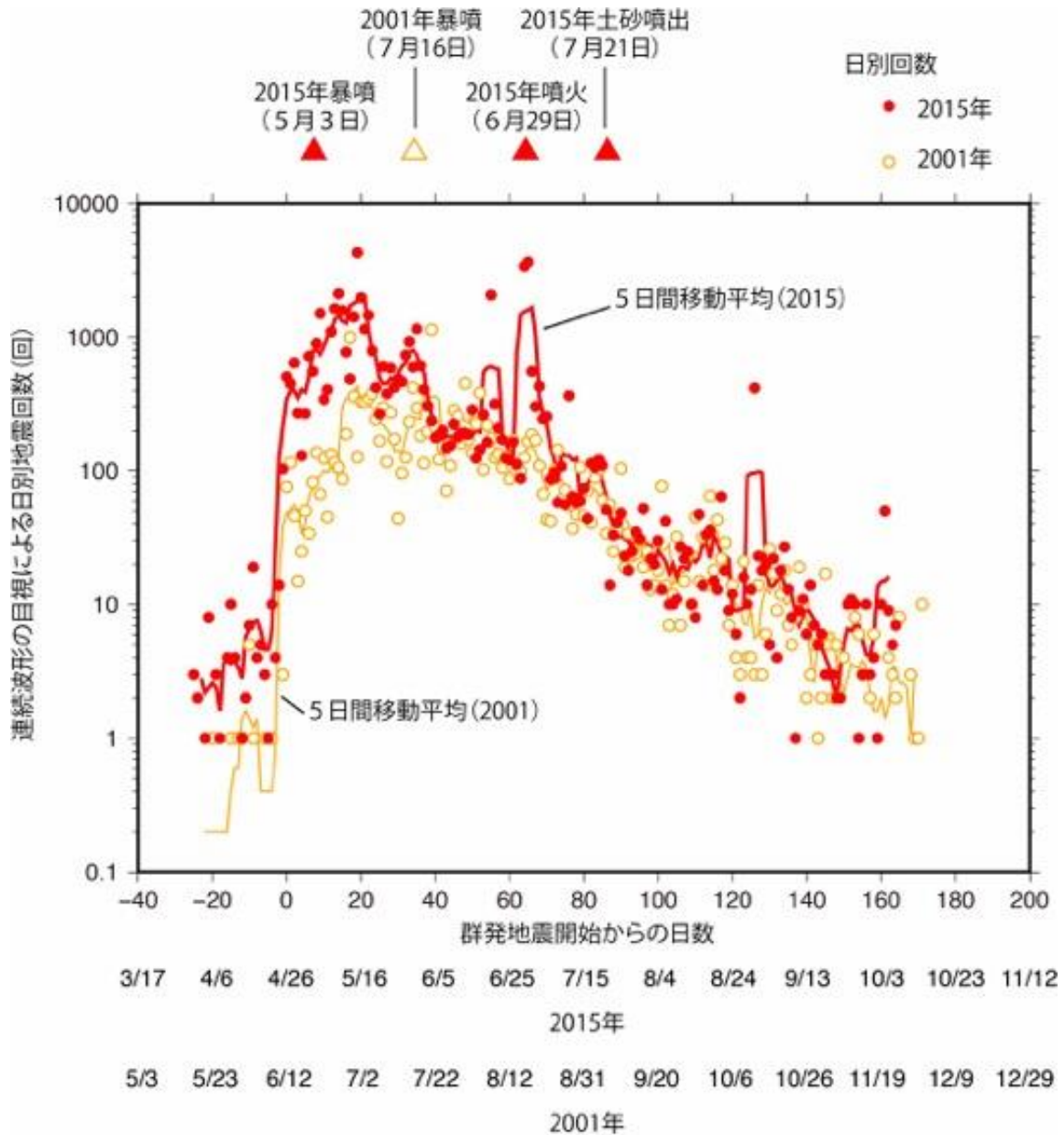
Fig. 9 Source locations of volcanic tremors estimated by the envelope correlation method (Obara, 2002). The locations of crater, tectonic earthquakes and open crack sources obtained by the tilt changes and SAR data are also shown.



第10図 連続微動積算回数と空振記録との関係

微動の発生数は、連続波形記録を1分毎に切り出し、その中に連続微動に対応するコヒーレントな波群が複数観測点で認められた場合、1回としてカウントした。

Fig. 10 Cumulative number of volcanic tremors, and its relation to the infrasonic record.

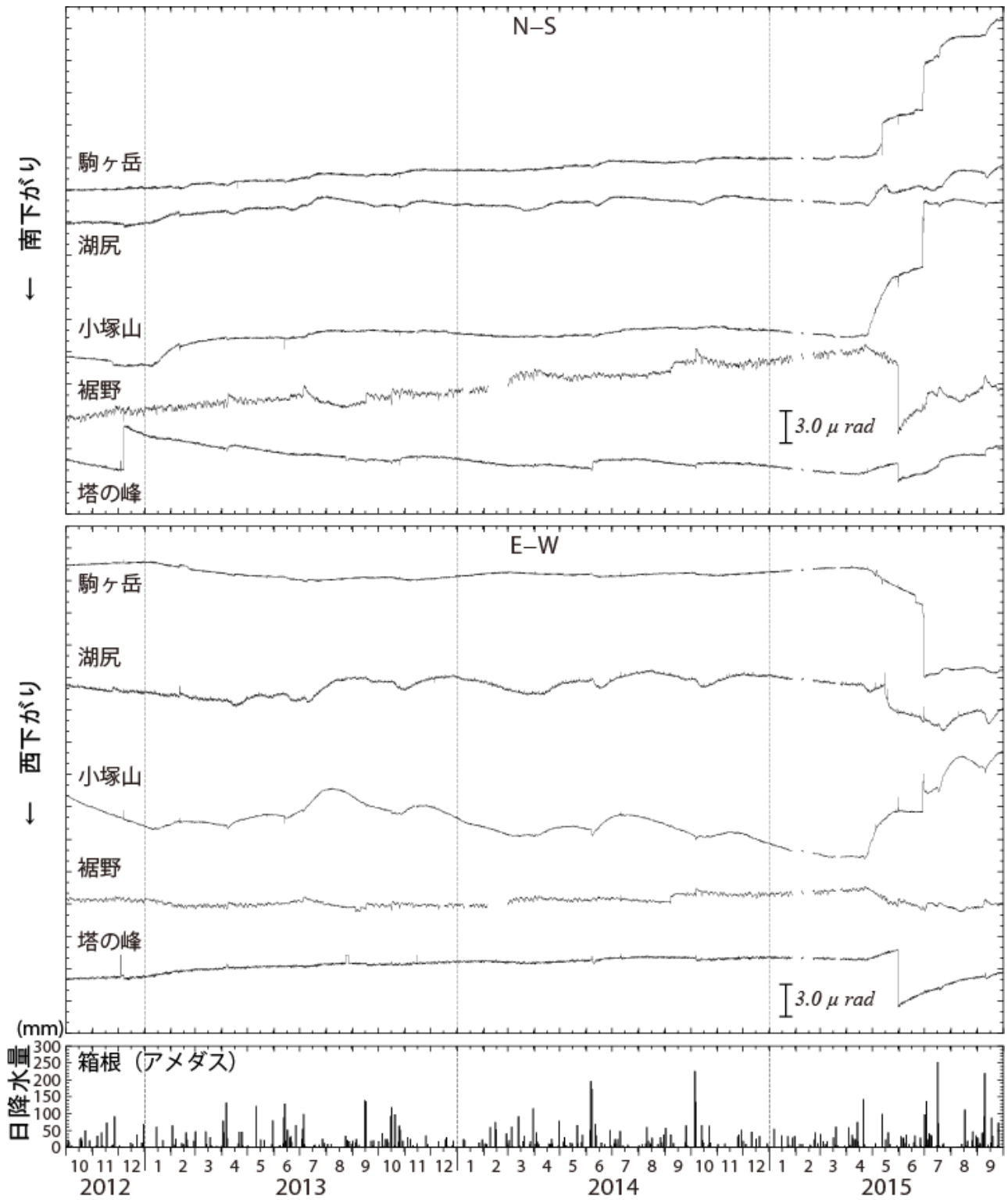


第11図 目視による地震回数の日別変化

群発地震開始の日を0日とし、2015年と2001年の推移を比較した（2015年は4月1日～10月7日、2001年は5月23日～11月30日）。2015年、2001年ともに指数関数的な増加と減少を基調とし、減少期にバックグラウンドの数十倍程度のスパイク状の地震数増加が時折あることがわかる。2015年噴火前後にも指数関数的な減少に変化は認められなかった。

Fig. 11 Change of seismicity

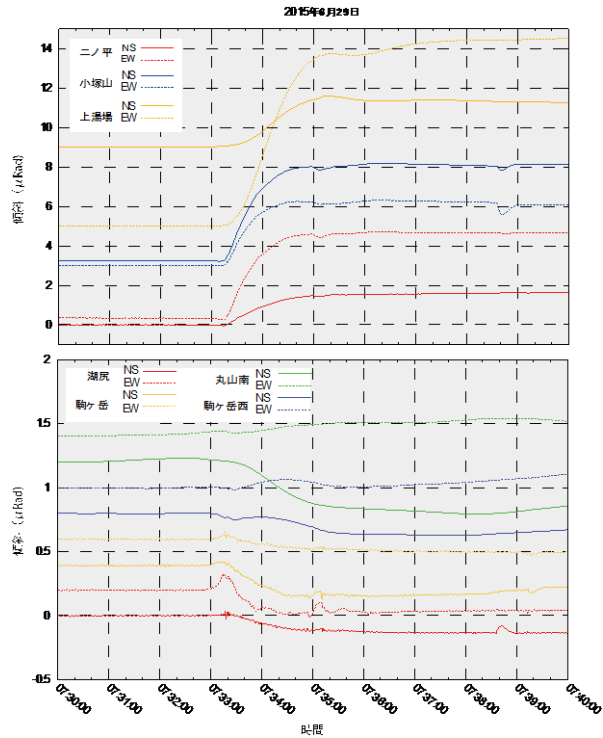
Daily numbers of earthquake detected from sequential waveform are shown for unrests of 2015 (red) and 2001 (orange) are shown. Day 0 is defined as the date earthquake swarm initiated. Basically, both events show exponential surge and waning of earthquake number and there is no significant difference between 2015 and 2001. During the waning stage, there are several spikes of earthquake swarm and one of it resulted in an eruption in 2015.



第12図 傾斜変動 (2012年10月1日～2015年9月30日)

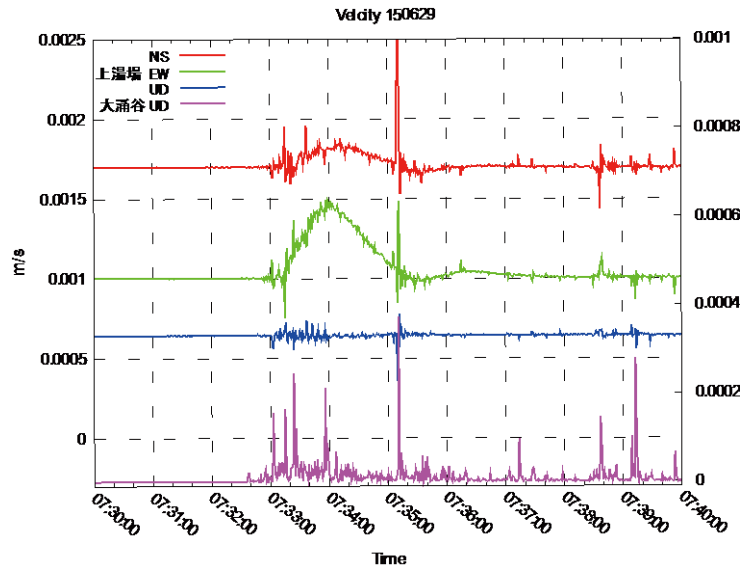
ステップや異常値の一部は取り除いている。日降水量は気象庁アメダス観測点(箱根)を使用した。

Fig. 12 Tiltmeter data in the period from October 1, 2012 to September 30, 2015.



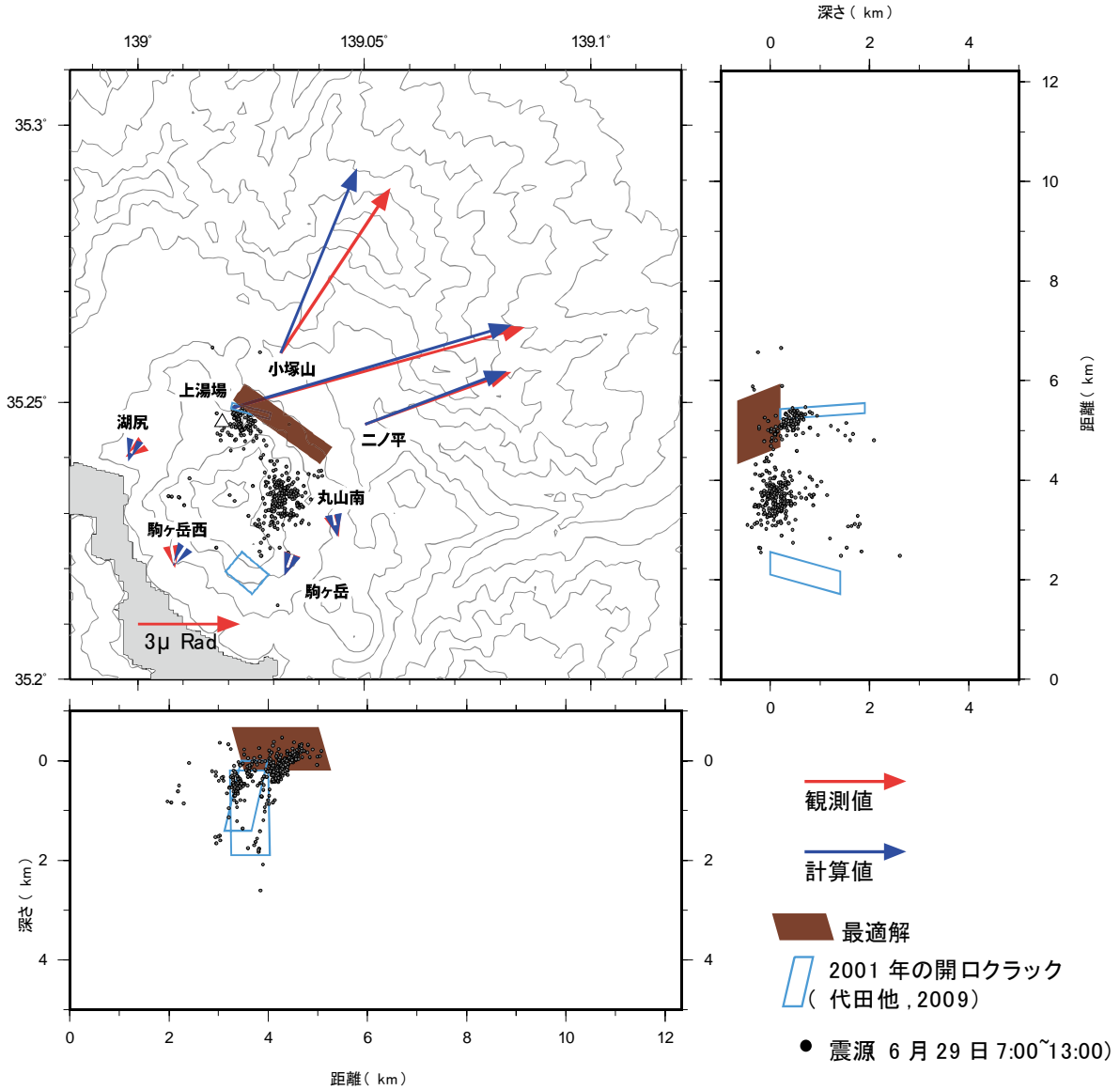
第13図 6月29日7時30分から10分間の傾斜変動
上湯場、丸山南、駒ヶ岳西は、広帯域地震計の記録を積分して得られた変位波形に、変換係数をかけて傾斜にしたもの。

Fig. 13 Tilt records for ten minutes from 7:30 in June 29.
Tilt records at KMYB (yellow lines in the top panel), KOMW (blue lines in the bottom panel) and MRYS (green lines in the bottom panel) are obtained from displacement waveforms observed by broadband seismometers.



第14図 上湯場観測点の広帯域地震計で観測された長周期地震動（6月29日7時30分から10分間の速度波形）

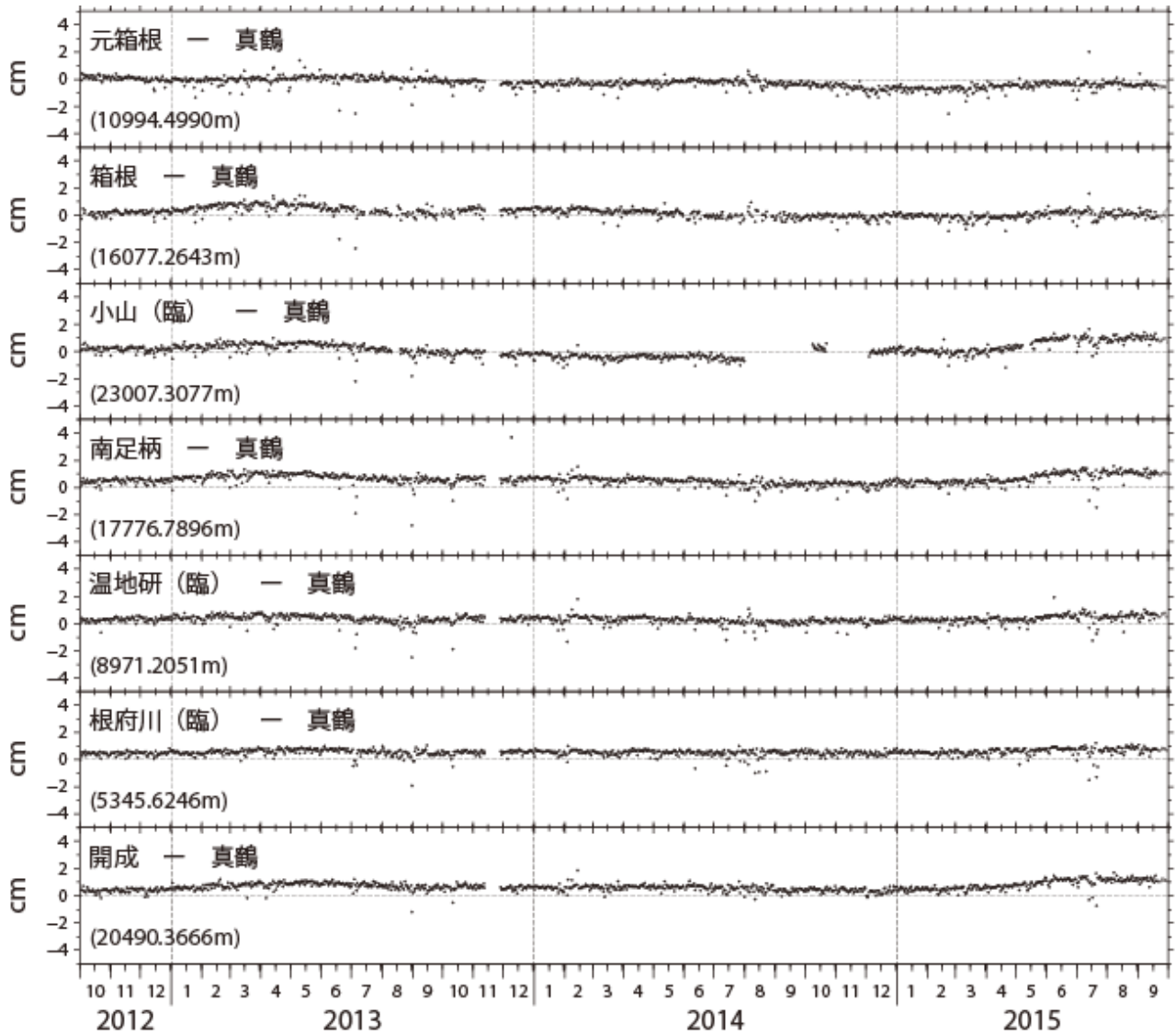
Fig. 14 Long period ground motions observed by a broadband seismometer at Kamiyuba on June 29, 7:30. Top three traces are NS, EW and UD components of velocity waveforms observed at Kamiyuba, respectively. The bottom trace is envelope of UD component observed at OWAKUDANI.



サイズ	2174.6 × 963.6 (m ²)
上端標高	668 (m)
傾斜角	64.2 (°)
走向	305.8 (°)
開口量	5.3 (cm)
貫入量	104835 (m ³)

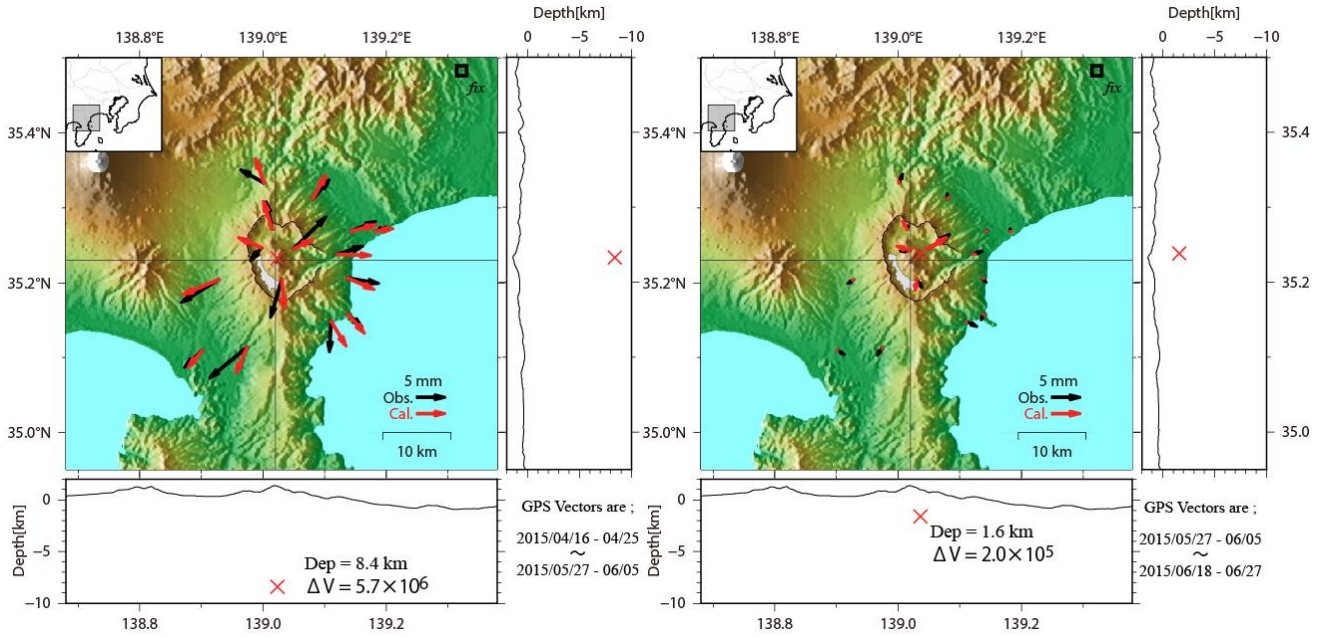
第15図 図13の傾斜変動記録の7時30分と36分の差から求めた傾斜ベクトルと、逆解析によって推定した開口クラックモデル
クラックモデルの導出には気象研究所のMAGCAP-Vを使用した。

Fig. 15 The best fit model of an open crack obtained by inversion analysis of tilt records. Red and blue arrows show observed and calculated tilt vectors, respectively. Tilt changes shown by red arrows were calculated from tilt records for the first 6 minutes shown in Fig. 13. We used MAGCAP-V, developed by MRI, for the inversion analysis.



第16図 GPS 基線長変動 (2012年10月1日~2015年9月30日)

Fig.16 Time variation of baseline lengths obtained by GPS in the period from October 1, 2012 to September 30, 2015.

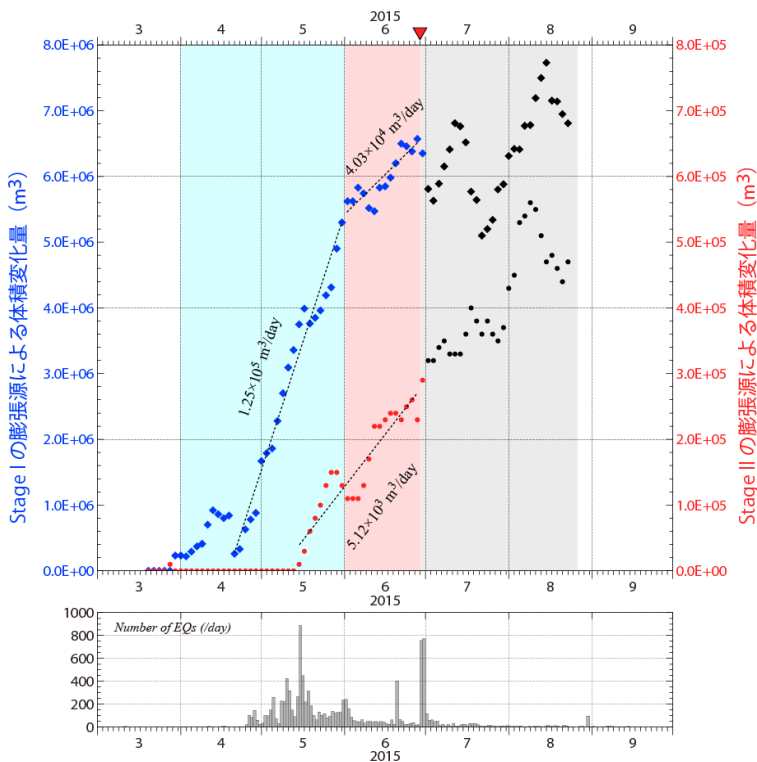


	Lon. [deg.]	Lat. [deg.]	Dep. [km]	ΔV [m ³]
Stage I	139.0231	35.2330	8.4	5.7E+06
Stage II	139.0363	35.2384	1.6	2.0E+05

第17図 GPSデータから推定した球状圧力源モデル

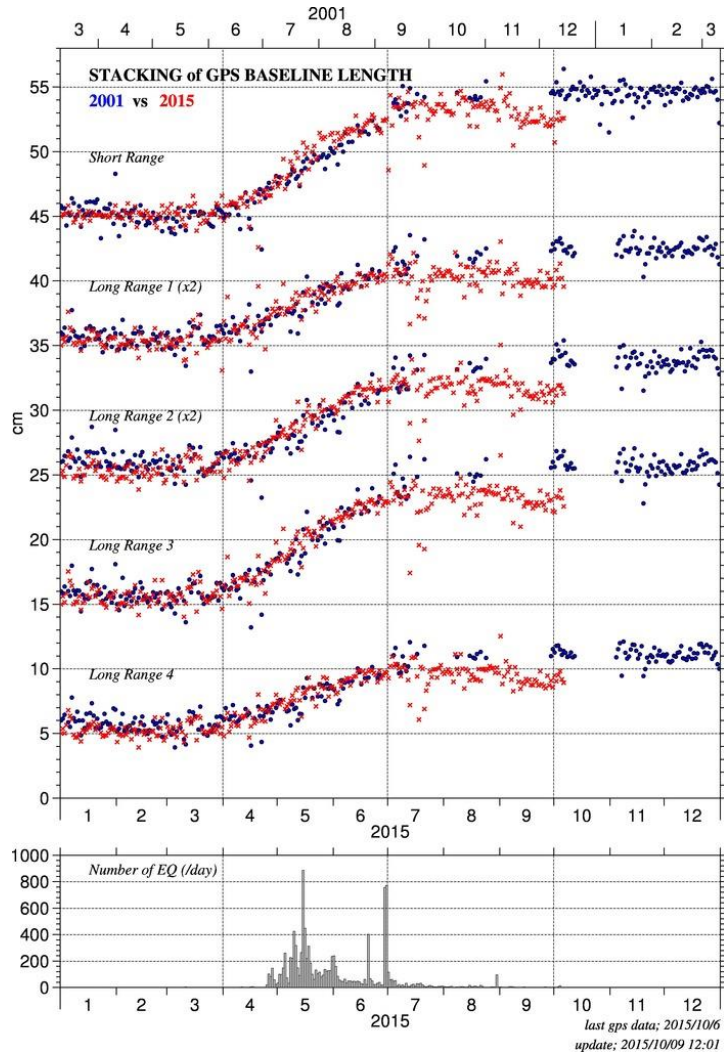
(左) 2015年4月16日から6月5日 (Stage I)、(右) 5月27日から6月27日 (Stage II) の変動から求めたモデル。

Fig.17 Source model estimated from GNSS data in the periods (left map) from April 16 to June 5, 2015 and (right map) from May 27 to June 27, 2015.

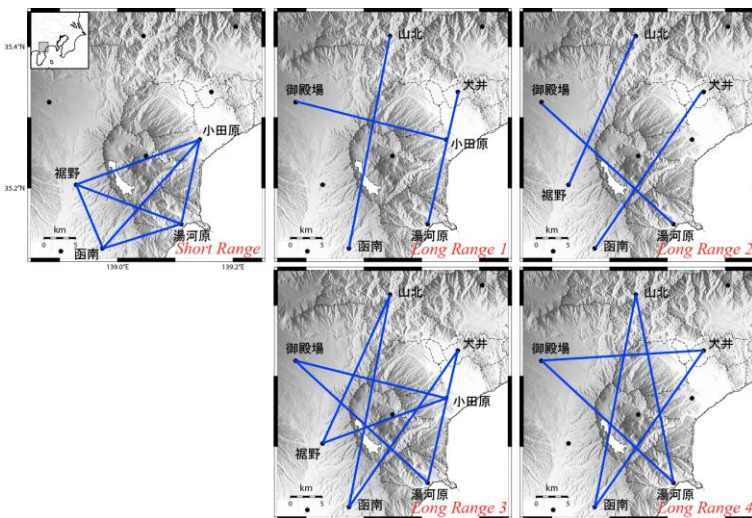


第18図 球状圧力源による体積変化量の時間変化 (積算値) 青は Stage I (深さ 8.4km)、赤は Stage II (深さ 1.6km) の膨張源の変化を示す。グラフ上の赤い逆三角は噴火を示し、それ以降は変位ベクトルが極小さいため、黒色でプロットしている。

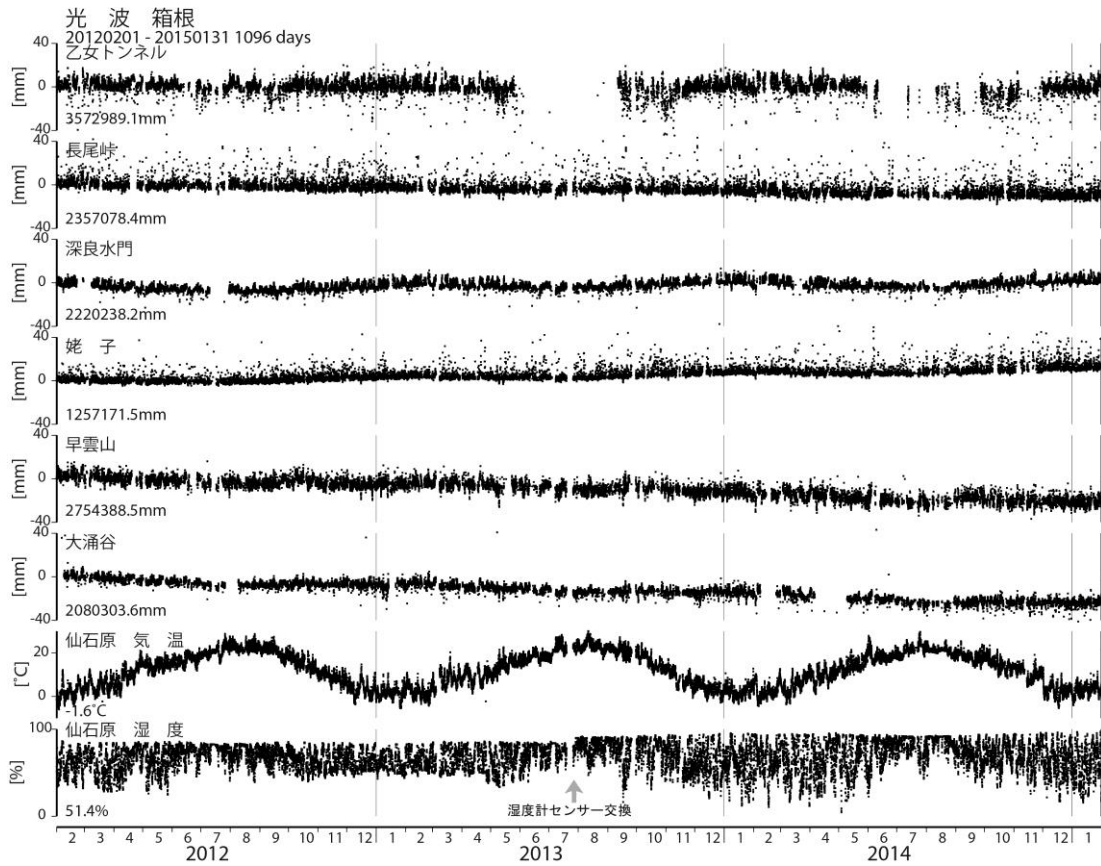
Fig.18 Estimation of the volume change of two Mogi-source. Blue is the source of Stage I and red is the source of Stage II.



第 19 図 GPS の基線長データをスタッキングした波形。
赤丸は 2015 年、青丸は 2001 年の変動を示す。(下段) 2015 年の日別地震数。
Fig.19 Time variation of stacked GPS baseline lengths. Red and blue circles indicate the 2015 and 2001, respectively. (Lower) Daily number of earthquakes at Hakone volcano.

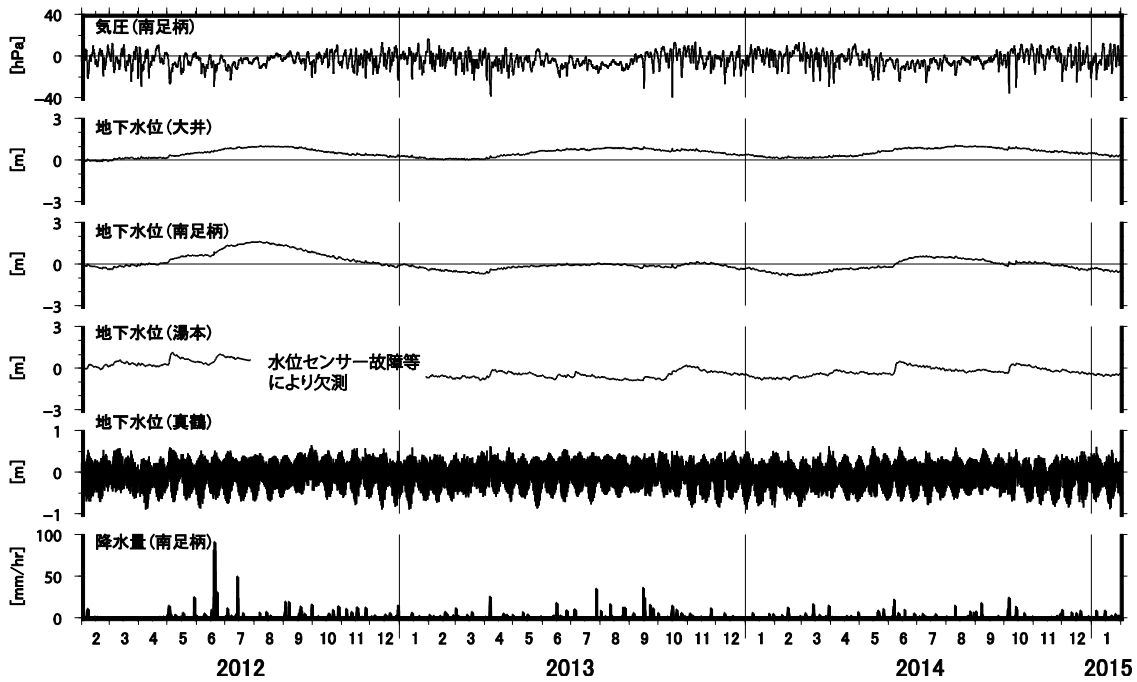


第 20 図 スタッキングに使用した
基線網
Fig.20 The map shows network for
stacking calculation.



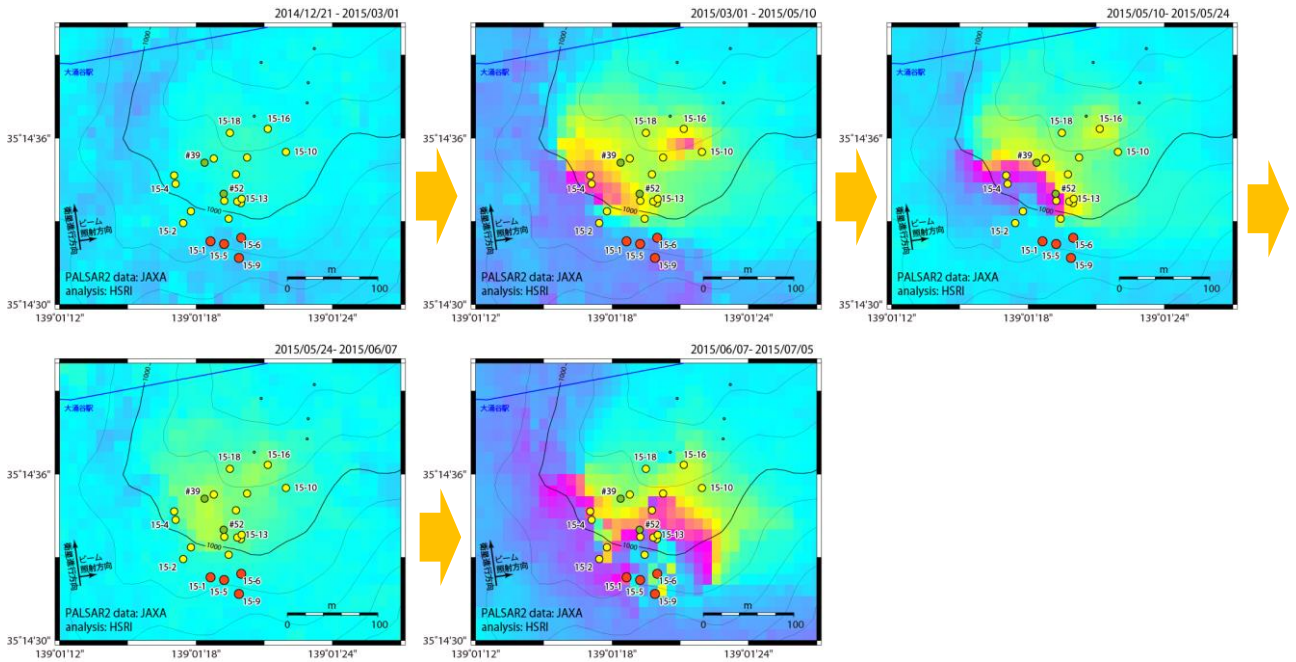
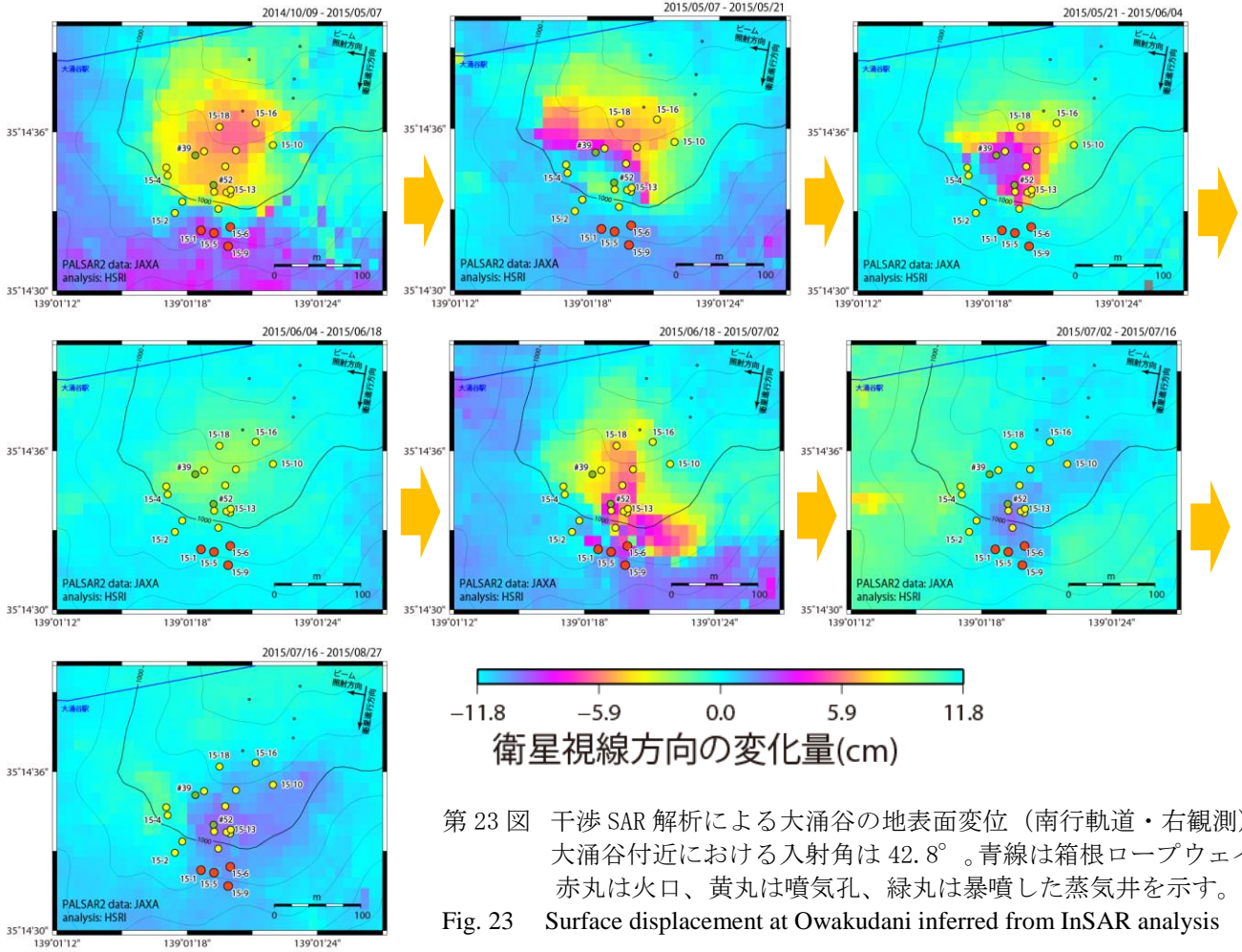
第21図 光波測量 (2012年10月1日～2015年9月30日)

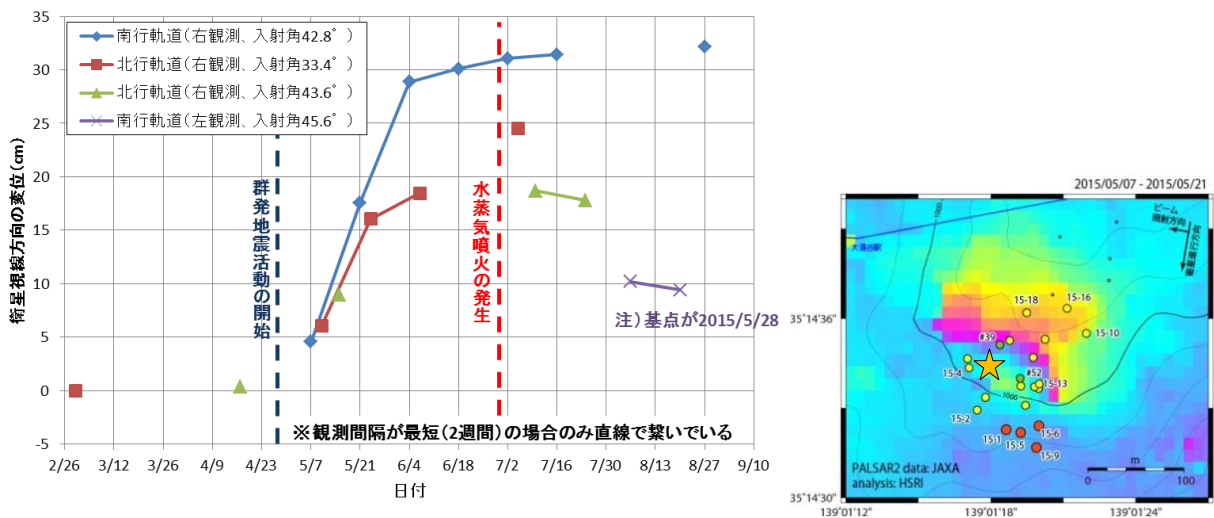
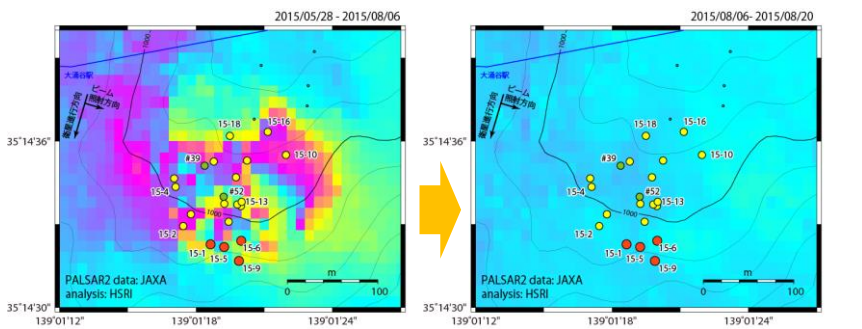
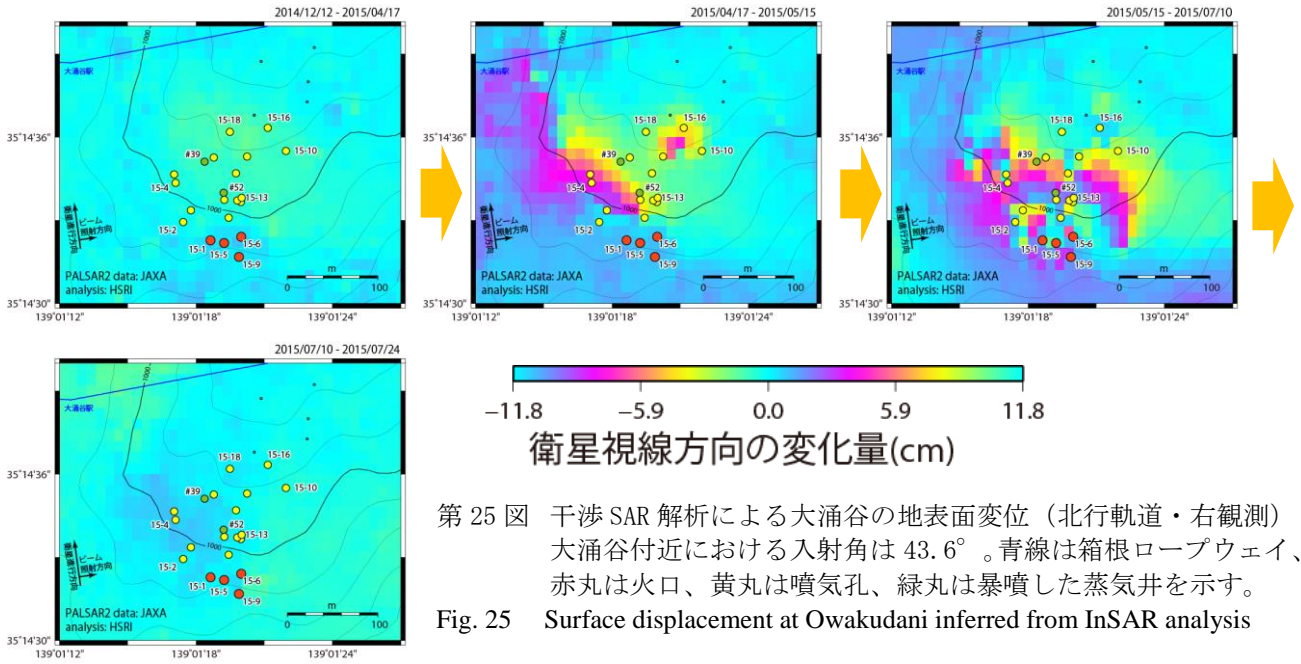
Fig. 21 Time variation of baseline lengths obtained by EDM (Electric Distance Measurement) in the period from October 1, 2012 to September 30, 2015.

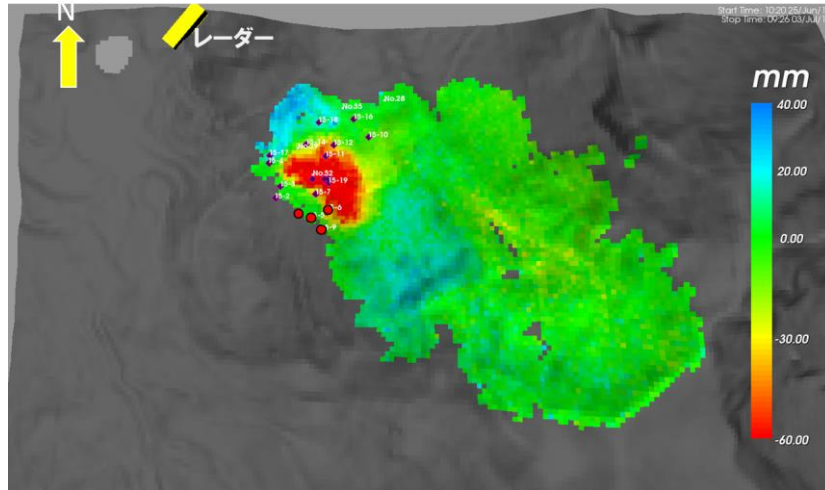


第22図 地下水位変動 (2012年10月1日～2015年9月30日)

Fig. 22 Time variation of ground water level in the period from October 1, 2012 to September 30, 2015.

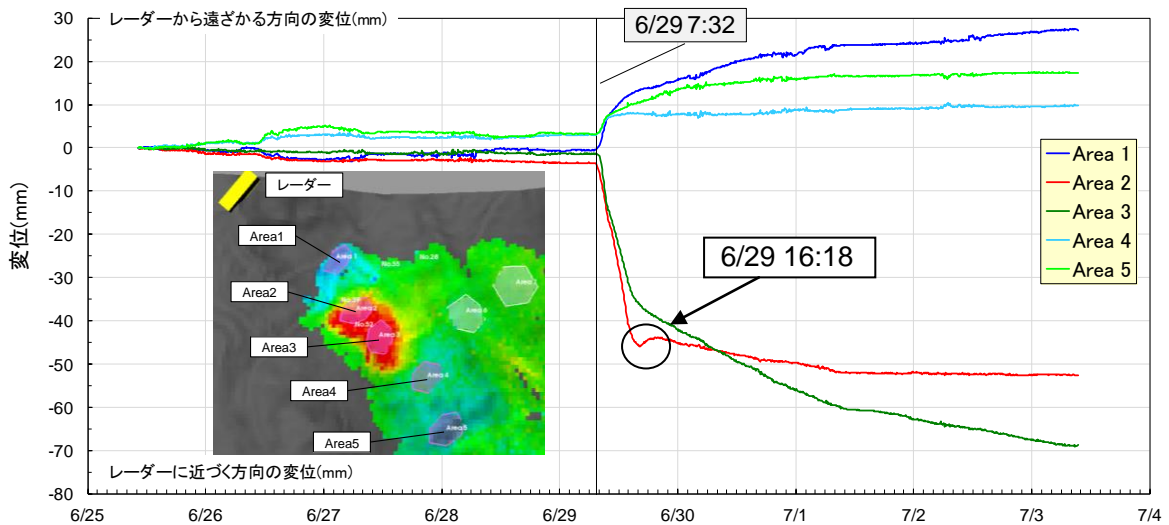






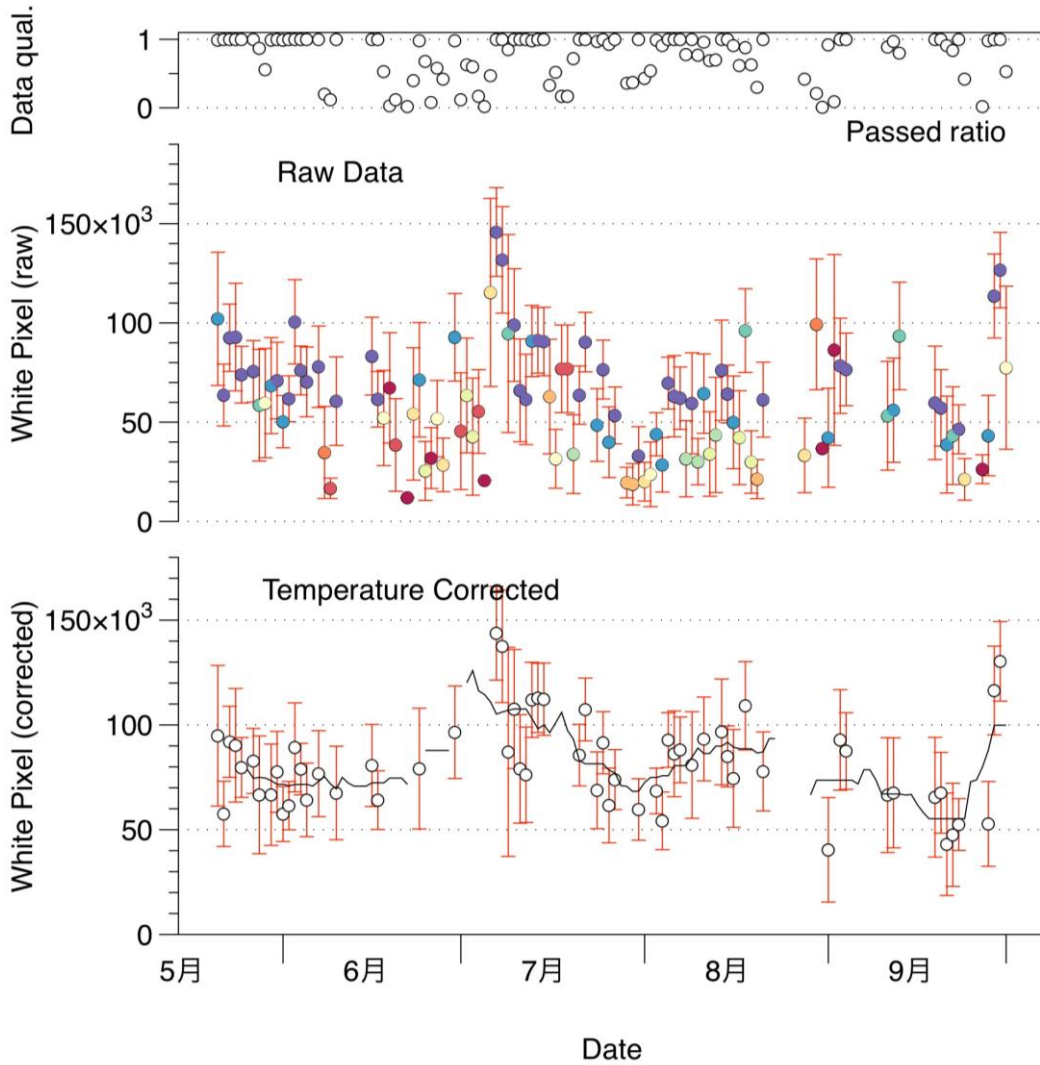
第28図 地上設置型 SAR によるレーダー視線方向の変位量分布(期間: 6月25日 10:20- 7月3日 9:26)
 1ピクセルは5×5m。観測機器(レーダー)は、箱根ロープウェイの大涌谷駅舎付近に設置し、水平から15°見下ろす形で観測を実施した。火口(赤丸)および噴気孔(◆)の位置・番号は、神奈川県温泉地学研究所・伊豆ジオパーク推進協議会(2015; 予知連報告)による。

Fig. 28 Surface displacement at Owakudani observed by Ground-Base SAR



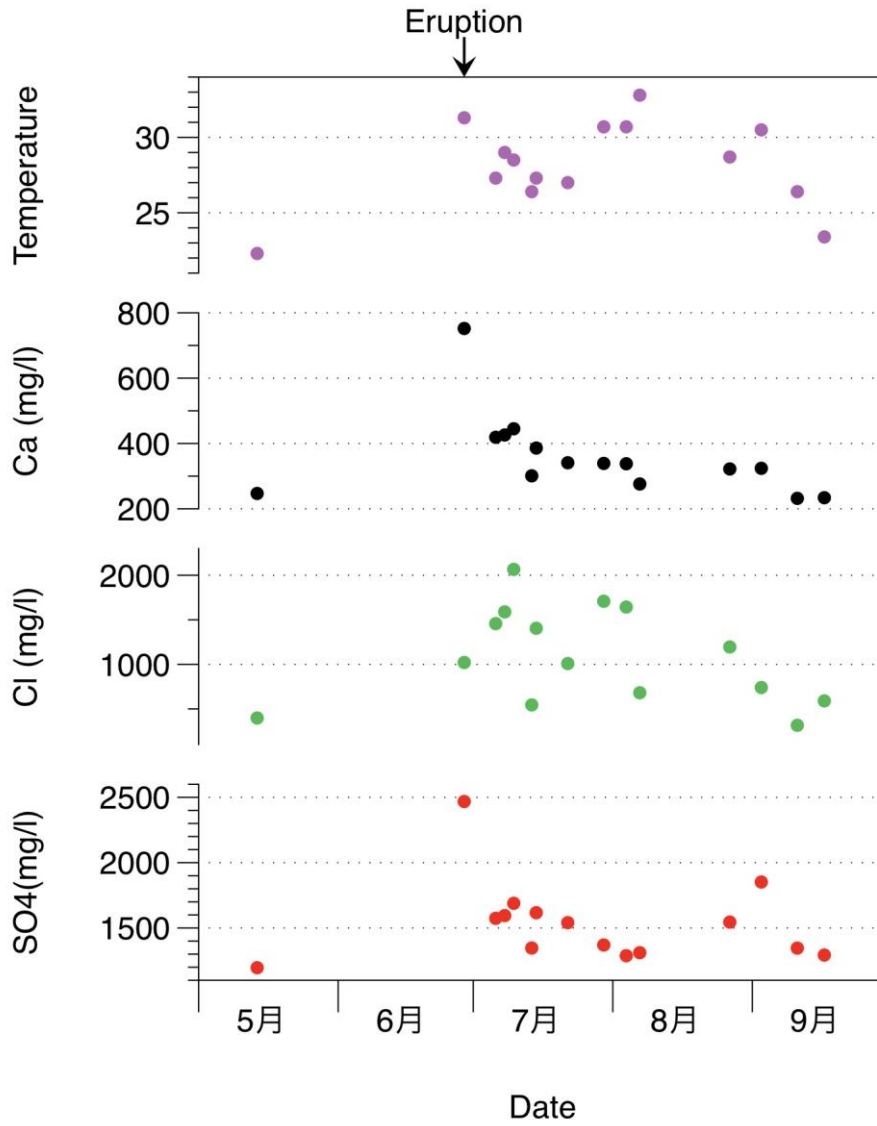
第29図 地上設置型 SAR によるエリアごとの変位(エリア内に含まれるピクセルの平均値)の時間変化
 6月29日の7時26分頃を中心とするシーンの直後から16時18分までの約9時間で急激な変位が認められた。この間の変位の中心は、Area2、Area3であった。16時18分頃を境に変位速度の低下が認められるものの、Area3では変位の継続が認められた。

Fig. 29 Time variation of surface displacement in each area observed by Ground-Base SAR



第30図 大涌谷に設置したタイムラプスカメラの映像から推定される噴気量の変化(5月21日～10月1日) 11:45 から 12:15 の画像について、HSV 色空間で S 値が 0 から 40、V 値が 200～255 (白色) のピクセル数を ImageJ で測定したもの。すべてのデータをプロットしたのが中段。安定な晴れの日のみプロットしたのが下段。上段は 1 日に撮影されたものの中で晴れの判定がされた画像の割合。晴れの判定は自動で行い、試行錯誤により V 値が 128～255 の値を持つピクセルが 450,000 ピクセルを未満でかつ、V 値が 200～255 の値を持つものが 10,000 ピクセルを越えるものとした。

Fig. 30 Change of visible fumarole activity at Owakudani monitored by a time-lapse camera (May 21st to October 1st, 2015). For every shot taken between 11:45 to 12:15, number of white pixel (defined as S=0~40, V=200~250 in the HSV color space) is counted and the average is represented as the amount of visible plume of the day. Only data of stable fine days are presented. Ratio of available photo (top), raw number of white pixel (middle) and temperature corrected number of white pixel (bottom).



第31図 大涌沢の水質変化（大湧堰堤直下で採水した沢水）
 Fig. 31 Water quality change of Owaku-zawa river.