



神奈川県
安全防災局

神奈川県温泉地学研究所

平成 27 年度

研究成果発表会講演要旨集

日時 平成 27 年 12 月 18 日(金) 13 時 00 分から

場所 小田原市民会館 本館 3 階小ホール

平成 27 年度温泉地学研究所研究成果発表会プログラム

日時：平成 27 年 12 月 18 日（金） 13:00～16:00（12:00 受付開始）

会場：小田原市民会館 本館 3 階小ホール

■開会挨拶

13:00-13:05 温泉地学研究所長 里村幹夫

■口頭発表（括弧内は発表者）

(1) 13:05-13:25

「2015 年箱根火山活動の概要と防災対応」（竹中 潤）

(2) 13:25-13:40

「2015 年箱根の地震活動について」（本多 亮）

(3) 13:40-13:55

「2015 年箱根小規模噴火に伴った地震について」（行竹洋平）

質疑応答（13:55-14:05）

(4) 14:05-14:20

「箱根火山活動に伴う地殻変動（1）」

山体膨張から推定される深部マグマだまり」（原田昌武）

(5) 14:20-14:35

「箱根火山活動に伴う地殻変動（2）」

干渉 SAR による大涌谷周辺の浅部膨張」（道家涼介）

質疑応答（14:35-14:45）

休憩（14:45-15:00）

(6) 15:00-15:15

「箱根山 2015 年噴火とその前後の表面現象」（萬年一剛）

(7) 15:15-15:30

「早川の白濁現象とその原因」（菊川城司）

(8) 15:30-15:45

「箱根火山活動の火山ガス観測からのアプローチ」（代田 寧）

質疑応答（15:45-15:55）

■閉会挨拶

15:55-16:00 温泉地学研究所研究課長 竹中 潤

■ポスター展示（休憩時間に研究員が説明します）

(1) 「新しい温泉揭示プレート “Chocotto”」

(2) 「2015 年 4 月からの箱根火山の活動について」

目次

口頭発表

1. 2015年箱根火山活動の概要と防災対応 1
2. 2015年箱根の地震活動について 3
3. 2015年箱根小規模噴火に伴った地震について 5
4. 箱根火山活動に伴う地殻変動（1）山体膨張から推定される深部マグマだまり 7
5. 箱根火山活動に伴う地殻変動（2）干渉SARによる大涌谷周辺の浅部膨張 9
6. 箱根山2015年噴火とその前後の表面現象 11
7. 早川の白濁現象とその原因 13
8. 箱根火山活動の火山ガス観測からのアプローチ 15

ポスター展示

9. 新しい温泉揭示プレート“Chocotto” 17

2015年箱根火山活動の概要と防災対応

○竹中 潤（温泉地学研究所）

1. はじめに

2015年6月末の箱根山（大涌谷）の噴火を中心に、箱根山で観測された火山活動（地震活動、地殻変動、表面現象）の概要とその際にとられた防災対応について解説します。

2. 箱根火山活動の概要

箱根山の火山活動について、温泉地学研究所では、①地震の発生数や発生場所などから見た「地震活動」、②山体の膨張や傾きなどから見た「地殻変動」、③地表面の噴気などから見た「表面現象」のそれぞれの観点から、その活動状況を捉えてきました（図1）。

（1）地震活動

箱根山では、4月26日頃から地震の多い状態が始まりました。当初、地震数は、数日ごとに多い日、少ない日を繰り返しながら、次第に増加し、5月15日には1日に1,100回を超えるまでになりました。そのほとんどは、人が感じない程度（震度1相当未満）のごく小規模の地震でしたが、中には震源に近い場所で最大震度1～4相当となる地震もありました。

主な地震活動域は、大涌谷～神山付近、駒ヶ岳付近、湖尻付近、金時山付近の深さ6km以浅でした。地震活動が活発な場所は時期により異なり、例えば、5月10日頃は駒ヶ岳付近、5月15日頃は湖尻付近、5月31日頃は金時山付近で活発な活動が見られました。

地震活動は、6月に入り鈍化傾向を見せていましたが、6月29日朝に大涌谷付近で活発になり、また、火山性微動と呼ばれる特殊な地震波形も箱根山で初めて観測され、噴火に至りました。また、6月30日には、今回の活動で最大規模となるM3.4（最大震度4相当）の地震が発生しました。

噴火後、地震数は徐々に減少し、11月半ばには、ほぼ今回の活動以前の状況に戻りました。

（2）地殻変動

4月初め頃から、GPS観測により、箱根カルデラ全体の膨張傾向が認められるようになり、また、地震活動が活発化し始めた4月26日頃からは、山の傾きを示す傾斜変動データにも変化が表れ始めました。更に5月7日には、人工衛星による合成開口レーダー（SAR）観測により、大涌谷の温泉造成施設付近の半径約100mの範囲が局所的に最大6cm程度隆起していることが判明し、その後も噴火前までに最大30cm程度まで隆起が続き、

その後、傾斜変動は6月に入り鈍化傾向が見られていましたが、6月29日朝、地震活動の活発化

【地震活動】	【地殻変動】	【表面現象】
4/26 群発活動開始	4月初め: GPS伸び開始 4/26頃: 傾斜変化開始	5/3 蒸気井暴噴を確認
5/4 大涌谷自然研究路と登山道を閉鎖		
5/5 大涌谷浅部で多発 駒ヶ岳深部で発生		
5/6 噴火警戒レベル2(火口周辺規制)に引き上げ		
5/10頃 駒ヶ岳付近で多発 5/15頃 湖尻付近で多発 5/31頃 金時山付近で多発 (地震: 6月に入り鈍化傾向) 6/29朝 再び地震多発、 火山性微動観測	5/7 暴噴蒸気井付近(直径200m) で最大6cm隆起検出 (傾斜: 6月に入り鈍化傾向) 6/29朝: 地震に連動した急激な傾 斜変化観測	(噴気: 6月に入り鈍化傾向) 6/29午後 降灰を観測、 強い噴気を観測、 空振を観測 6/30 新たな火口・噴気孔と噴石 を確認
6/30 噴火警戒レベル3(入山規制)に引き上げ		
噴火後、次第に地震数減少	噴火後、鈍化傾向→停滞	(噴火時ほどではないが)強い噴気継続
9/11 噴火警戒レベル2(火口周辺規制)に引き下げ		
次第に地震数減少 →ほぼ活動開始前の状態に戻る		強い噴気継続
11/20 噴火警戒レベル1(活火山であることに留意)に引き下げ		
		【大涌谷周辺の規制は継続】 強い噴気継続

図1 2015年箱根火山活動の主な経過と防災対応

とともに急激な変化が発生し、噴火に至りました。

噴火後、これら地殻変動は次第に鈍化し、8月半ば以降はいずれも停滞状態となりました。

(3) 表面現象

5月3日に、大涌谷の温泉造成施設にある蒸気井の一つで、蒸気が勢いよく出てコントロールが効かない状態（暴噴状態という）になっていることが確認されました。このような状態になったのは、2001年に火山活動が活発になった時以来のことでした。

その後、この暴噴蒸気井の周辺の領域（半径約100m）でも、新たに高温の強い噴気が出るようになりましたが、これらも6月に入り減少傾向が見られていました。

しかし、6月29日昼過ぎに大涌谷北側の下湯場付近などで降灰が観測され、6月30日には大涌谷の温泉造成施設南側に新たな火口が出来ていることが確認されました。

噴火後、噴気の勢いは徐々に弱まる傾向も見られますが、それでも現在も活動開始以前に比べれば依然強い噴気が出続けています。

3. とられた防災対応

箱根火山防災協議会では、箱根山の火山活動の状況に応じ、以下の防災対応をとりました。

(1) 噴火警戒レベル引き上げ前（レベル1）の対応

5月3日に認められた蒸気井の暴噴を受け、5月4日朝に大涌谷自然研究路と大涌谷に至る登山道の規制が行われました。

(2) 噴火警戒レベル2に引き上げ後の対応

5月5日に大涌谷や駒ヶ岳で活発な地震活動が見られたことから、5月6日朝に噴火警戒レベルが2（火口周辺規制）に引き上げられました。これに伴い、大涌谷から半径440～530mの楕円内の領域と大涌谷に至る県道と箱根ロープウェイの全線が規制され、大涌谷の観光地への立ち入りができなくなりました。

(3) 噴火警戒レベル3に引き上げ後の対応

6月29日に地震活動、地殻変動が活発化し、降灰も観測され、翌日には新たな火口が確認されたことから、6月30日昼過ぎに噴火警戒レベルが3（入山規制）に引き上げられました。これに伴い、早雲山駅から姥子に至る県道が規制され、大涌谷から半径約1.2km内の領域にある別荘地で避難が行われました。

(4) 噴火警戒レベル引き下げ後の対応

8月下旬頃には地震活動の低下と地殻変動の停滞が認められたことから、9月11日に噴火警戒レベルが2に引き下げられ、早雲山駅から姥子に至る県道の規制が解除されました。また、10月30日には、箱根ロープウェイの桃源台駅～姥子駅間の運行が再開されました。

11月半ばには地震活動もほぼ活動開始以前の状態に戻ったことから、11月20日に噴火警戒レベルは1（活火山であることに留意）に戻されました。しかし、二酸化硫黄などの火山ガス濃度が高い状態が続いているため、現在のところレベル2でとられてきた規制は継続されています。

4. おわりに

今回、箱根山では科学的な観測が始まってから初めての噴火を経験しました。今回得られた各種の観測データは、いつか再び起こるであろう火山活動の活発化、特に噴火に備え、大変貴重な財産となるものです。温泉地学研究所では、引き続きデータの解析、調査、研究を進め、箱根山の火山活動メカニズムの解明と噴火予測を目指し、火山災害軽減のため努めていきます。

2015年箱根の地震活動について

○本多亮・行竹洋平・原田昌武・道家涼介・萬年一剛・板寺一洋

1. はじめに

2015年4月26日から始まった一連の火山活動では、5月中旬に地震発生数のピークを迎え、その後地震発生数は減少傾向となるなか6月29日に小規模水蒸気噴火が発生したものの、11月にはほぼ終息したとよい状態となりました。本発表では今回の火山活動について、震源分布の時間変化や大涌谷周辺での有感地震数の変化といった地震活動の視点から、その推移について解説を行います。

2. 地震数の推移

温泉地学研究所が地震観測を開始して以来最大の活動だったのは、2001年の群発地震活動でした。図1をみると、今回の活動では2001年に比較して2倍以上の数の地震が発生したことがわかります。一方、活動開始から終息までの期間は2001年と同程度の長さでした。このことは、今回の活動では、小規模な水蒸気噴火が発生したとはいえ、背景となる現象は2001年と2015年で大きく異なっていないことを示しているのかもしれない。

3. 有感地震

今回の活動期間中、箱根湯本の震度計で有感地震となったのは39回でした。一方、温泉地学研究所が大涌谷、二ノ平、仙石原に独自に設置した地震計により、3か所いずれかで有感地震となったのは10月25日までで302回でした。もっとも有感地震が多発したのは、一日当たりの地震数が最も多かった時期と同じ5月15日です。

4. 震源分布と傾斜変動の関係

全体として地震発生数が多かったのは5月中旬ですが、湖尻・駒ヶ岳・小塚山の周辺の地震活動を比較すると、それぞれ活発だった時期が異なります。また、各観測点周辺で地震が多発した時期には、地震と同時に急激な傾斜変動も観測されました。傾斜変動は観測点周辺のごく浅い場所での熱水やガスの動きによるものと考えられますので、地震活動も同様に、熱水などの動きが引き金となって発生していたと考えられます。

5. 地震計でとらえた熱水の貫入現象

水蒸気噴火の直前には、上湯場においた地震計で、浅部に熱水が貫入したことを示す非常に周期の長い波形が観測されました(図2)。箱根においてこのような波形が観測されたのは、観測史上初めてのことです。周辺の傾斜計の記録などと合わせて解析したところ、大涌谷から神山付近のごく浅い場所に、板状の圧力源があることがわかりました。

謝辞

今回の活動中、臨時の地震観測のために、芦ノ湖スカイライン株式会社、東日本電信電話株式会社、株式会社プリンスホテル、大雄山最乗寺、箱根温泉供給株式会社をはじめ、多くの方々にご協力いただきました。記して感謝いたします。

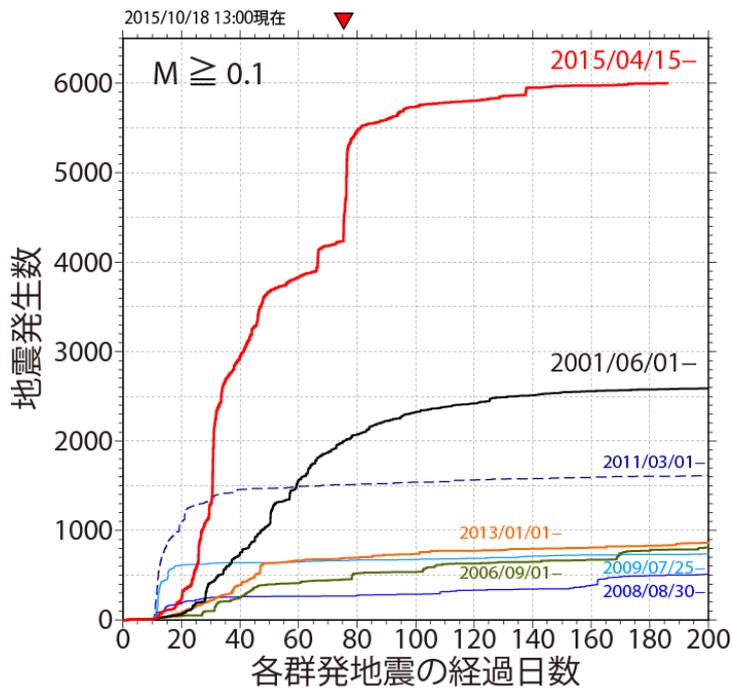


図1 活動開始からの地震発生数の比較

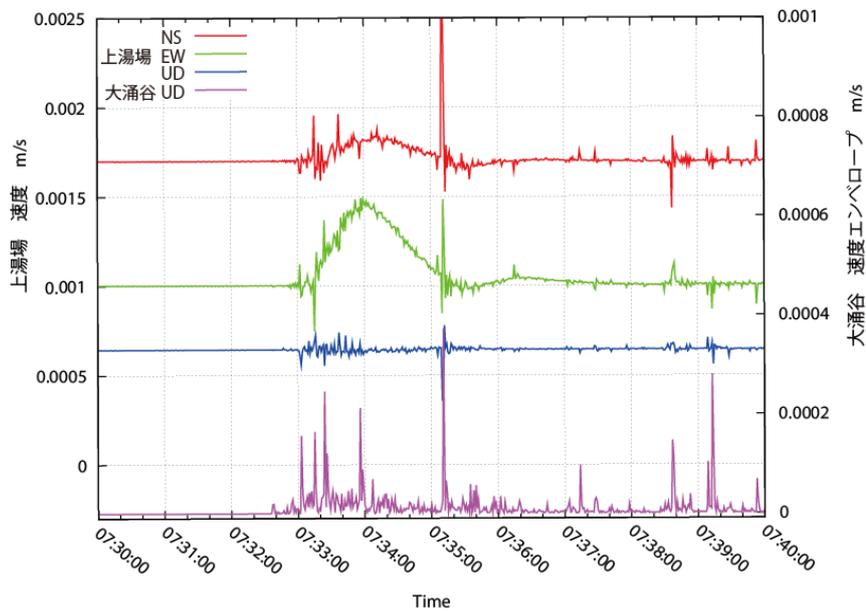


図2 上湯場で観測された長周期波形 (2015年6月29日)

2015 年箱根小規模噴火に伴った地震について

○行竹 洋平

この発表では、2015 年箱根火山における火山活動のうち、特に大涌谷で小規模噴火の発生した 6 月 29 日から 7 月 1 日にかけての地震活動に焦点を当て詳細を報告します。

1. 6 月 29 日から 7 月 1 日にかけての地震活動の特徴

4 月 26 日ごろより箱根火山では地震活動の活発化が観測され、5 月上旬から下旬にかけて地震活動が最も活発な時期でした。6 月に入ってからは一時的な増加はありましたが、全体の傾向としては、地震活動は減少傾向にありました。ところが、6 月 29 日 7 時 32 分ごろより、大涌谷を中心とする領域で、地震活動の急激な増加が認められ、同日午後大涌谷で熱泥流の発生や降灰が観測されました。

6 月 29 日から 7 月 1 日に発生した地震の震源分布を示したのが図 1 になります。地震は 6 月 29 日 7 時 32 分から 16 時にかけては、大涌谷及び早雲山噴気域と湯の花沢噴気域との間の領域、深さ 0~1km で発生しました。その後、翌 30 日にかけて地震活動域は深さ 6km 付近まで拡大していく様子が観測されました。こうした、浅い場所から地震活動が始まり、活動域が深い場所に拡大していく現象は、過去の箱根の地震活動でも観測されております。地下深部にあるマグマが浅い場所に移動した場合、深部から浅部への地震移動が起きるはずですが、それとは逆の移動パターンが観測されました。

2. 箱根で初めて観測された火山性微動

上記で示した“地震”とは、火山学分野では正確には「火山性構造性地震」と分類されます。地震波の縦波と横波が明瞭な地震で、地下で岩石がバキッと破壊される現象です（厳密には断層が急激に滑る）。それとは別に火山では、「火山性微動」という地震波形が観測されることがあります。これは、縦波と横波が明瞭ではなく、比較的ゆっくりとした振動が長い間継続する現象です。火山性微動は、火山性構造性地震のような破壊現象ではなくむしろ、熱水などの地殻流体が移動する過程で発生すると考えられています。

箱根では過去にこのような火山性微動は観測されたことはなかったのですが、小規模噴火の発生した 6 月 29 日から 7 月 1 日にかけて、大涌谷近傍の観測点で観測されました。図 2 で示したのは火口近傍の大涌谷地震観測点で記録された地震波形とその周波数特性になります。火山性構造性地震に対応するパルス状の波形が間欠的に観測されている一方で、それとは別に 2-8Hz (1Hz は 1 秒間に一回振動する波に対応します) の周波数帯域に連続的なシグナルが認められました。これが火山性微動による波形です。火山性微動は大涌谷近傍の観測点で主に観測され、波形データを解析した結果、発震源は火口のごく近傍浅部に決定されました。小規模噴火に伴い、地表付近で熱水が急激に移動するのに伴って、発生したのではないかと考えられます。また火山性微動の活動は、噴火に伴って発生する空振とよく関連していることが分かりました。今後、この火山性微動の発生メカニズムを厳密に研究していくことにより、浅部の熱水がどのような過程で噴出に至るかの理解につながることを期待されます。

謝辞

本研究では、気象庁及び防災科学技術研究所の観測点の地震波形データを使用させていただきました。東京大学地震研究所には機動観測点設置を、また芦ノ湖スカイライン株式会社、NTT 東日本、株式会社プリンスホテル、大雄山最乗寺、箱根温泉供給株式会社をはじめ、多くの方々に観測点設置場所についてご協力をいただきました。

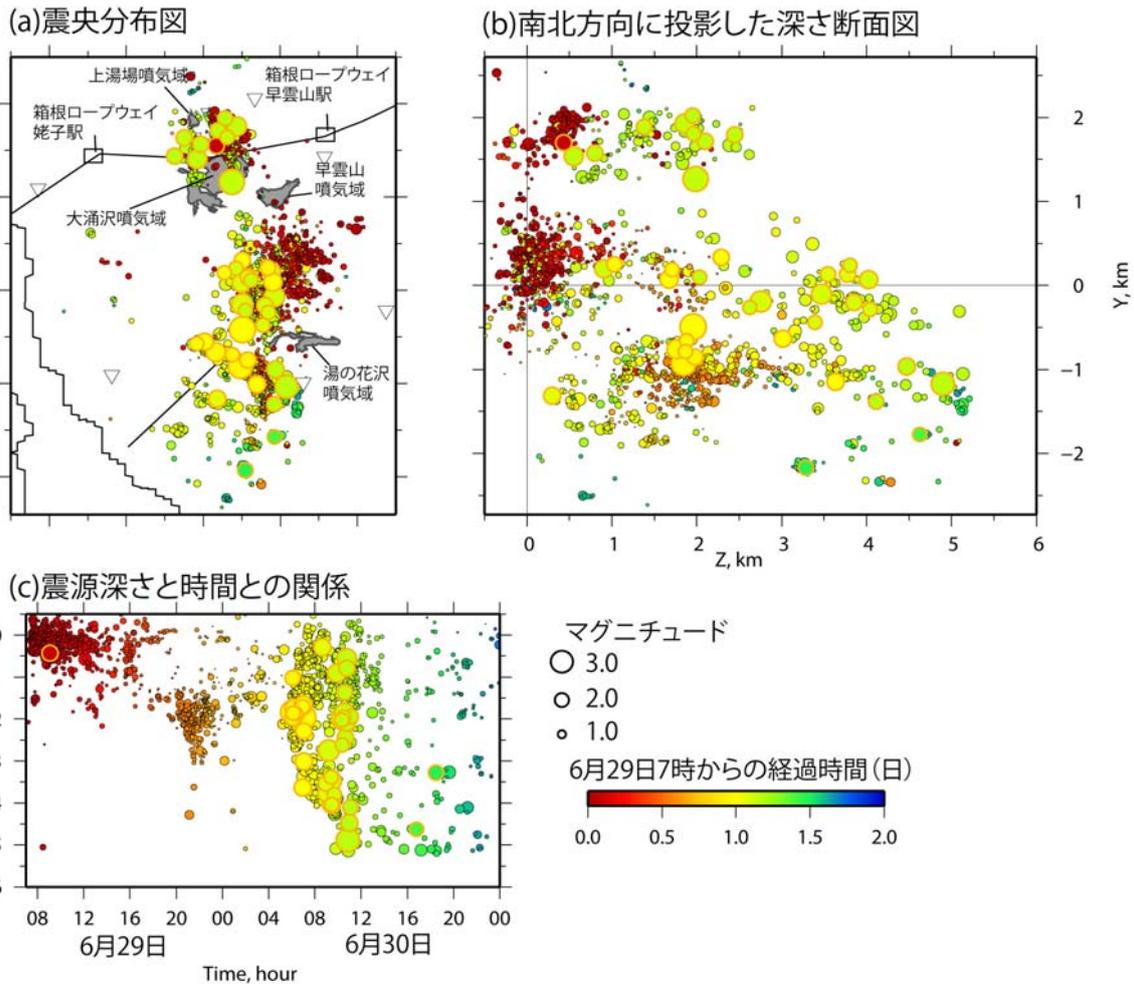


図1 6月29日～30日にかけて発生した地震活動。(a)震央分布図、(b)南北深さ断面図、(c)震源深さと地震発生時との関係。いずれの図も震源が丸で示され、大きさがマグニチュードに対応し、Mが2.0を超える地震はオレンジ色で縁取り。色は地震の発生時刻(6月29日からの経過時間)を示す。

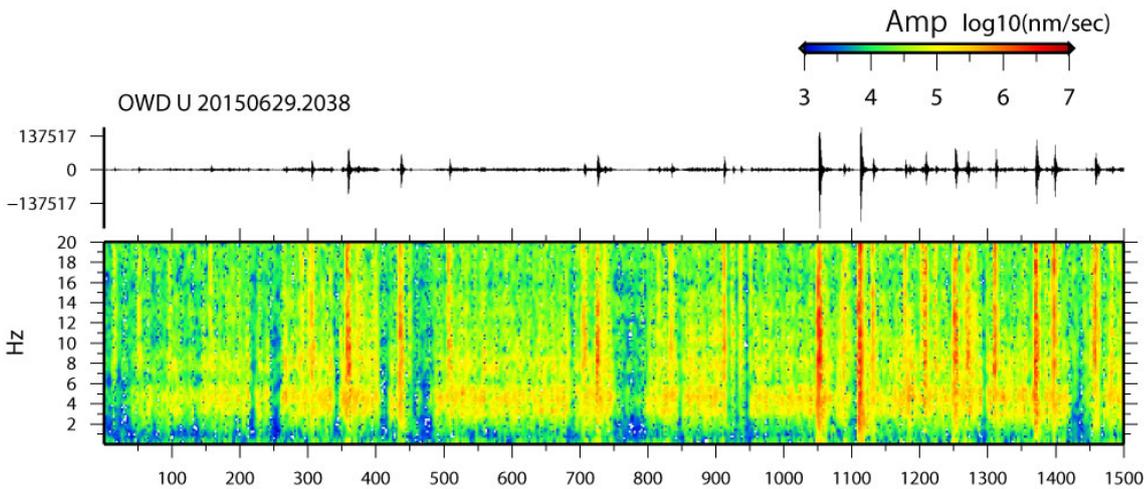


図2 横軸は経過時間2015年6月29日20時38分からの秒数。上は大涌谷観測点の地震波形、下は周波数特性。周波数特性の縦軸は周波数を示し、周波数のうちエネルギーが強いものパルス状波形を示す構造性地震が間欠的に発生している一方で、2-8Hzを卓越周波数とする連続したシグナルも見られ、これが大涌谷近傍を震源とする、火山性微動のシグナルだと考えられる。

箱根火山活動に伴う地殻変動（１） 山体膨張から推定される深部マグマだまり

○原田昌武・道家涼介（温泉地学研究所）

1. はじめに

箱根火山では2001年や2006、2008-2009、2013年としばしば火山活動が活発化し、山体膨張を示す地殻変動や群発地震が観測されています。2015年4月下旬から発生した活動では噴気異常も確認され、これは近年の活動では2001年に次いで2回目です。今回の活動は噴気異常に留まらず、6月29日にはごく小規模な水蒸気噴火に発展しました。

本発表では、2015年4月から始まった火山活動に伴う地殻変動を、これまでの観測史上最大であった2001年の活動と比較し、現時点での活動状況を評価します。また、火山活動の推移を把握するためには深部（深さ7~10km程度）に存在するマグマの状態を知ることが重要です。そのため、深部変動源（膨張源）の時間変化を考えます。

2. 地殻変動

これまでの火山活動の際には、群発地震に先行して山体膨張を示す地殻変動が観測されています。図1に、箱根火山を包囲するGPS観測点の基線長成分をスタッキングした結果を示します。今回の活動についても地震活動の活発化に先行する4月上旬くらいから地殻変動が捉えられており、この変化は2001年の時よりもより明瞭に観測されています。また、2001年の活動の際のそれと比較すると、今回はその変動速度や変位量について概ね同等の変化が現れています。これは、深部膨張源の変化は、今回も2001年も同程度であることを示唆するかもしれません。

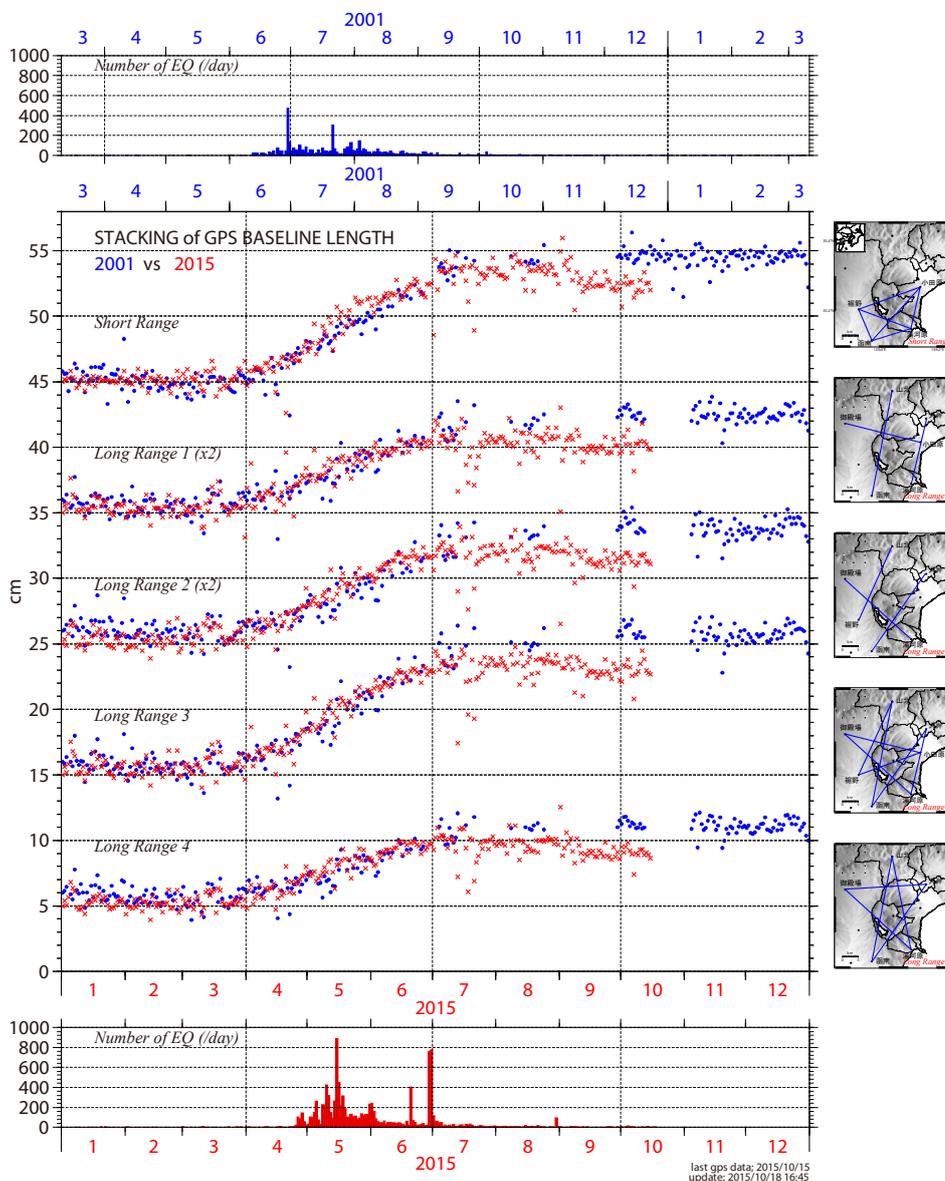


図1 スタッキング波形と地震活動。赤は2015年、青は2001年の箱根群発地震活動を示す。右の地図は、スタッキング解析処理に用いた基線の組み合わせを示す。

3. 変動源（膨張源）

GPS による基線長変化を見ると、6 月 1 日頃を境に変動速度が遅くなっています（図 2）。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）の 2 つの期間に区切って、それぞれの変動源の推定を行いました。計算には MaGCAP-V（気象研究所作成の計算プログラム）を使用しました。求める変動源については球状圧力源 1 つを仮定し、グリッドサーチによって膨張源を求めました（図 3、4）。その結果、Stage I は、神山直下の深さ 8.4km、体積変化量 $5.7 \times 10^6 \text{m}^3$ 、Stage II は、早雲山のやや東の深さ 1.6km、体積変化量 $2.0 \times 10^5 \text{m}^3$ と推定されました。

次に、このようにして求められた 2 つの膨張源の位置を固定し、体積変化量の時間変化のみをグリッドサーチによって求めました。Stage I の膨張源は 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 の膨張源は 5 月 15 日頃から膨張を開始し、噴火まで継続していることがわかりました。

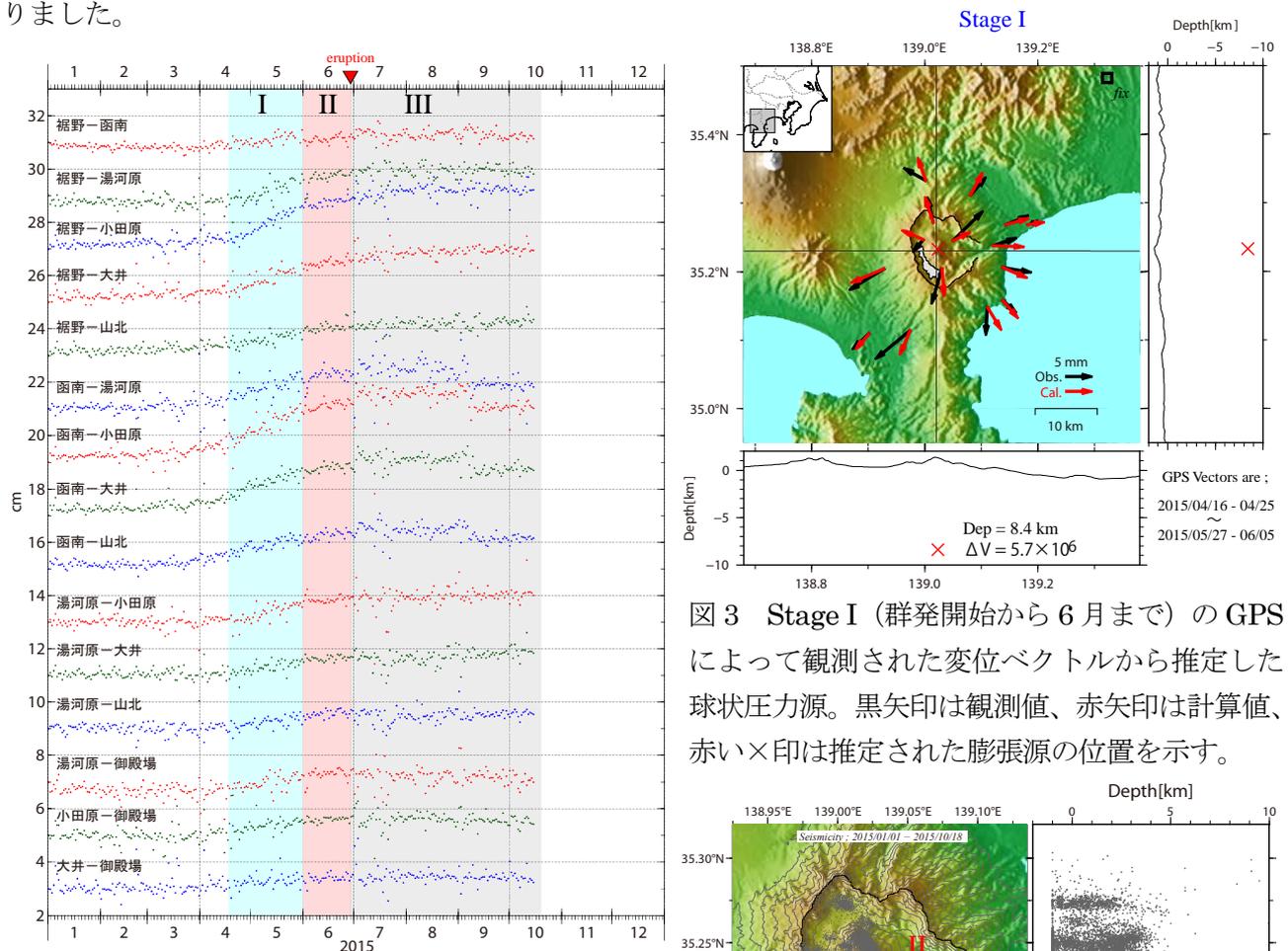
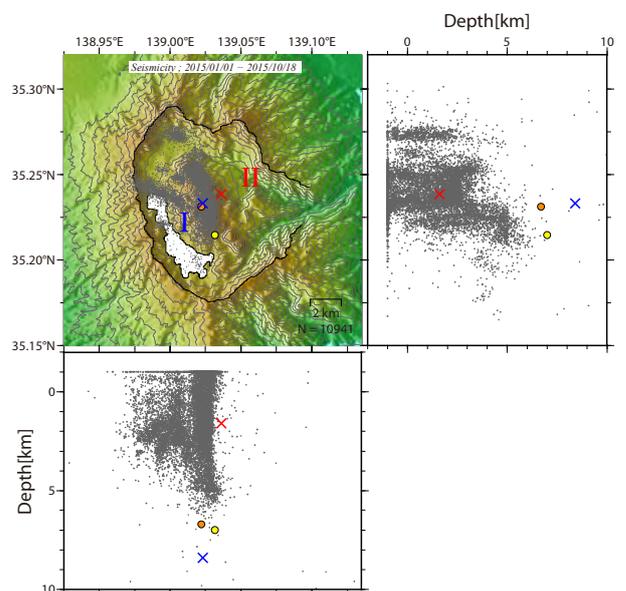


図 3 Stage I（群発開始から 6 月まで）の GPS によって観測された変位ベクトルから推定した球状圧力源。黒矢印は観測値、赤矢印は計算値、赤い×印は推定された膨張源の位置を示す。

図 2 GPS によって観測された各基線長の時間変化

図 4 球状圧力源の位置と地震活動。青および赤の×印は Stage I, II の膨張源を示す。また、オレンジ色の○印は、2015 年 4 月から 8 月の期間から求めた膨張源を、黄色の○印は代田ほか（2009）による 2001 年の膨張源を示す。



箱根火山活動に伴う地殻変動（2）

干渉 SAR による大涌谷周辺の浅部膨張

○道家涼介・原田昌武・竹中 潤（温泉地学研究所）

2015 年 4 月下旬からの箱根火山の活動では、大涌谷の温泉供給施設（蒸気井）において噴気の異常が認められ、人工衛星『だいち 2 号（ALOS-2）』搭載の合成開口レーダー（SAR）により局所的な隆起が捉えられました。本発表では、その時間的な推移と、さらにその結果から推定される地下浅部の圧力源について紹介します。

干渉 SAR により捉えられた大涌谷の地表面変位

合成開口レーダーでは、衛星から電波を送信し、地表面で反射された反射波を受信し地表面の状態を観測します。1 回目の観測と 2 回目の観測の間で地表面に変位が生じた場合、それが反射波の位相のずれ（波の山谷のずれ）として捉えられます。これが地表面の変位を捉える原理（干渉 SAR）です。なお、干渉 SAR による地表面の変位は、衛星の視線方向に対する変位として観測されます。この手法により大涌谷における地表面の変位を捉えた結果の一部を図 1 に示します。

2015 年 5 月 6 日に箱根山の噴火警戒レベルが 2 に引き上げられたことを受けて、5 月 7 日に『だいち 2 号』による緊急観測が行われました。その結果、2014 年 10 月 9 日の 1 回目の観測に対して、噴気異常が認められた蒸気井を含む直径約 200m の範囲が、衛星の視線方向（東側上空）に近づく変位が観測されました（図 1a）。その変位量は、最大で約 6cm でした。その後、いくつかの異なる観測条件も含め、複数の観測条件で、繰り返し緊急観測が行われました。それらの結果をまとめると以下の通りです。

- 1) 群発地震発生以降、5 月中は急激な隆起が認められました（図 1a～c）。最初期（5 月 7 日時点、図 1a）は、変位域の全体で隆起が認められましたが、その後は南西側にピークを持つような変位が観測されました（図 1b、c）。
- 2) 6 月に入り、変位にやや鈍化が認められました（図 1d）。
- 3) 6 月 29 日～7 月 1 日にかけて発生した水蒸気噴火の発生前後では、火口の北側から東側にかけて隆起しました（衛星視線方向に最大で 7～8cm、図 1e）。
- 4) 噴火後は、やや衛星から遠ざかる変位が認められています（図 1f、g）。

なお、図 2 は、5 月中に急激な変位が観測されたピーク付近（図 2 右図の星印の位置）において、衛星視線方向へ近づく変位の累積値の時間変化をグラフ化したものです。これによれば、複数の観測条件で、群発地震後の 5 月中に衛星視線方向に近づく変位が急激に生じたことが分かります。

干渉 SAR 解析結果から推定される地下浅部の圧力源

大涌谷で生じた局所的な地表面変位は、ごく狭い範囲に限られることから、地下の非常に浅いところで熱水や水蒸気による圧力の高まりが生じた結果と推測されます。地表面の変位からその圧力源を推定した結果、地表面から約 60～80 m 程度の深さで体積変化（膨張）があったと考えられます。

さらに、水蒸気噴火が発生した前後の干渉解析のペアでは、大涌谷から南東方向に延びる直線を境に地表面の変位が認められました。これは、地下で熱水や水蒸気が板状の割れ目（開口割れ目）を押し開く様な変化があったと仮定すると、説明することができます。周囲の傾斜計など他の観測結果と合わせて考えると、突発的にこの様な開口割れ目状の変化が生じた結果、その北西端に位置する大涌谷における浅部の膨張が励起され、水蒸気噴火に至ったと推測されます。

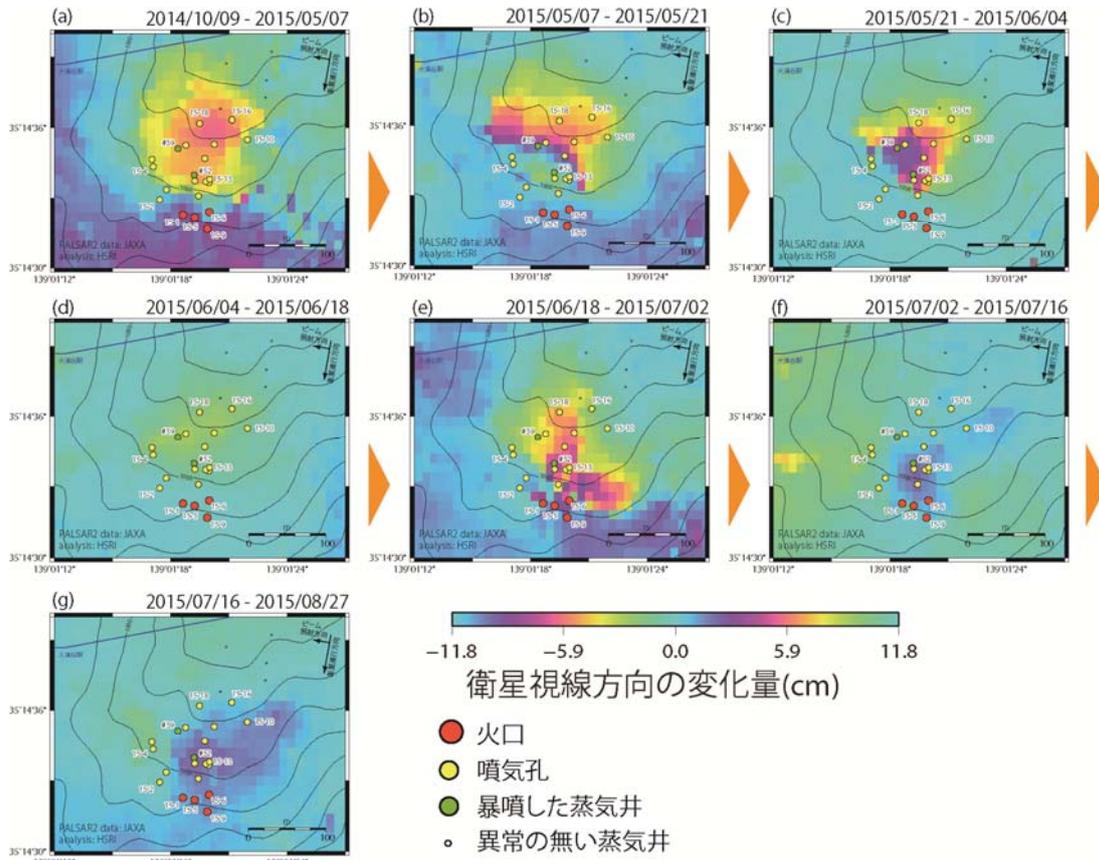


図1 干渉 SAR 解析結果の一部（南行軌道・右観測，大涌谷付近における入射角は 42.8° ，Path18）。図中の等高線の間隔は 25m。青線は箱根ロープウェイの索道を示す。凡例の正が衛星から遠ざかる変位（水色→紫色→黄色の順に変化）、負が衛星に近づく変位（水色→黄色→紫色の順に変化）を示す。カラースケールは位相を変位に直したものであるため、 $\pm 2\pi$ （約 $\pm 11.8\text{cm}$ ）を超える変位が生じた場合は、同一のカラースケールを繰り返す。

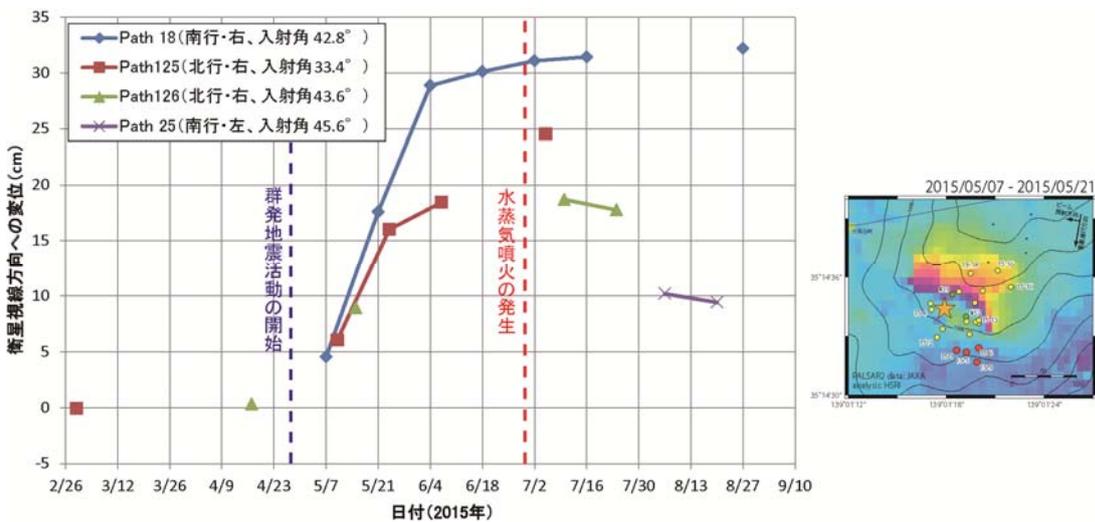


図2 大涌谷の地表面変位の時間変化。右図中の星印の地点における累積変位（衛星視線方向への変位）について、観測条件（Path）毎にその時間変化を示した。同一観測条件での観測間隔が最短（2週間）の場合のみを直線をつないだ。Path 25については、累積変位量の基点が、群発地震発生以後の2015年5月28日であることに留意。

ALOS-2/PALSAR-2 データは、火山噴火予知連絡会衛星解析グループ（火山WG）を通して、JAXA から提供されたものです。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）および sarmap 社の SARscape を使用しました。

箱根山 2015 年噴火とその前後の表面現象

○萬年一剛・菊川城司（温泉地学研究所）

1. 表面現象の推移

2015 年 4 月 26 日から始まった一連の火山活動では、5 月 3 日ごろ 39 号蒸気井の暴噴が始まったことにより、地表に異常が現れました。その後、39 号蒸気井の暴噴は 6 月頃までに沈静化しましたが、周辺の地表から噴気が現れるようになりました。また、地面にはところどころ亀裂が認められるようになり、亀裂から噴気が発生して、亀裂には硫黄の昇華物が付着するものもありました。亀裂は、39 号井の周辺が隆起したことに伴って形成されたと考えられます。

噴火は降灰が認められたことから 6 月 29 日 12 時 30 頃に開始したものとみられます。しかし、温泉供給会社の配管は 11 時頃に損傷があったらしいことから、このころまでに火口が生じて、熱泥流が流下した可能性があります。熱泥流は 15 時過ぎに大涌沢を流下している様子が確認されました。噴火後は 52 号井が激しく暴噴していますが、39 号井はほとんど噴気をしていません。52 号井は噴火前からやや活発になっていたようです。

2. 噴火中の変化

噴火が発生した 6 月 29 日から 7 月 1 日にかけては、天候が悪かったうえ、複数の火口・噴気孔から激しく噴気していたため、地表の様子がよくわかりませんでした。その後の調査により、噴火によって、大小の火口・噴気孔が 20 以上形成されたことがわかりました（図 1）。今回は、周りに噴出物が溜まって小さい丘（噴石丘）を作ったものを火口、その他を噴気孔と呼んでいます。また、火口・噴気孔には 15-1、15-2 といったような名前をつけました。15 は「2015 年の」という意味で、ハイフンの次の数字は見つかった順番の番号です。

これらのうち 15-6、15-9、15-5、15-1 が火口で、概ねこの順番に形成されましたが（図 2）、15-6 および 15-9 火口の周辺に形成された噴石丘は 7 月 1 日までに崩壊しました。

3. 現在の様子

15-1 火口は現在残っている最大の火口で、直径は約 20m あります。中には泥溜まりがあり、泥が沸騰していますが、噴火直後よりは沸騰の激しさはやや低下したように見受けられます。15-5 火口の底には現在、直径 1m 程度の噴気孔があります。

多数の噴気孔のうち、15-2 から 15-4 は園地側にあるために噴気に隠れることが少なく、頻繁に観察されています。これらの噴気孔から出ている噴気は沸点以上であると見られます。

4. 今後の課題

11 月 20 日、箱根山の噴火警戒レベルは 1（活火山である事に留意）に下がりました。しかし、大涌谷園地では時折 10ppm を越える二酸化硫黄ガスが観測されています。これは、大涌谷の中の火口、噴気孔、蒸気井から放出されている噴気が高温なためです。大涌沢園地が元に戻るためには、噴気温度の低下を待つことが基本となりますが、蒸気井で温泉造成を開始することも効果がある可能性があります。今後はこれらの放出源からのガス放出量やガスの種類を個別に観測する必要があります。

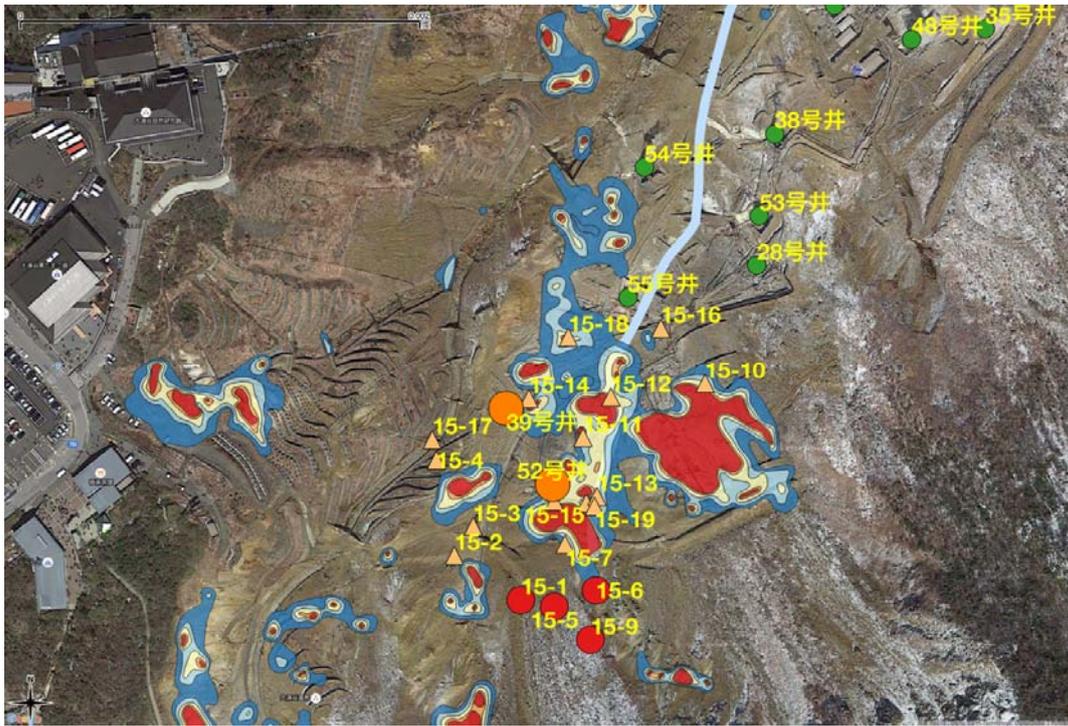


図1 大涌谷に形成された火口（赤丸）、噴気孔（黄色三角）と暴噴した蒸気井（オレンジ丸）。その他の蒸気井を緑丸で示した。塗りつぶしは2011年に観測された地下50cmの温度分布。火口、噴気孔はかならずしも地温が高いところに形成されたわけではないことがわかる。

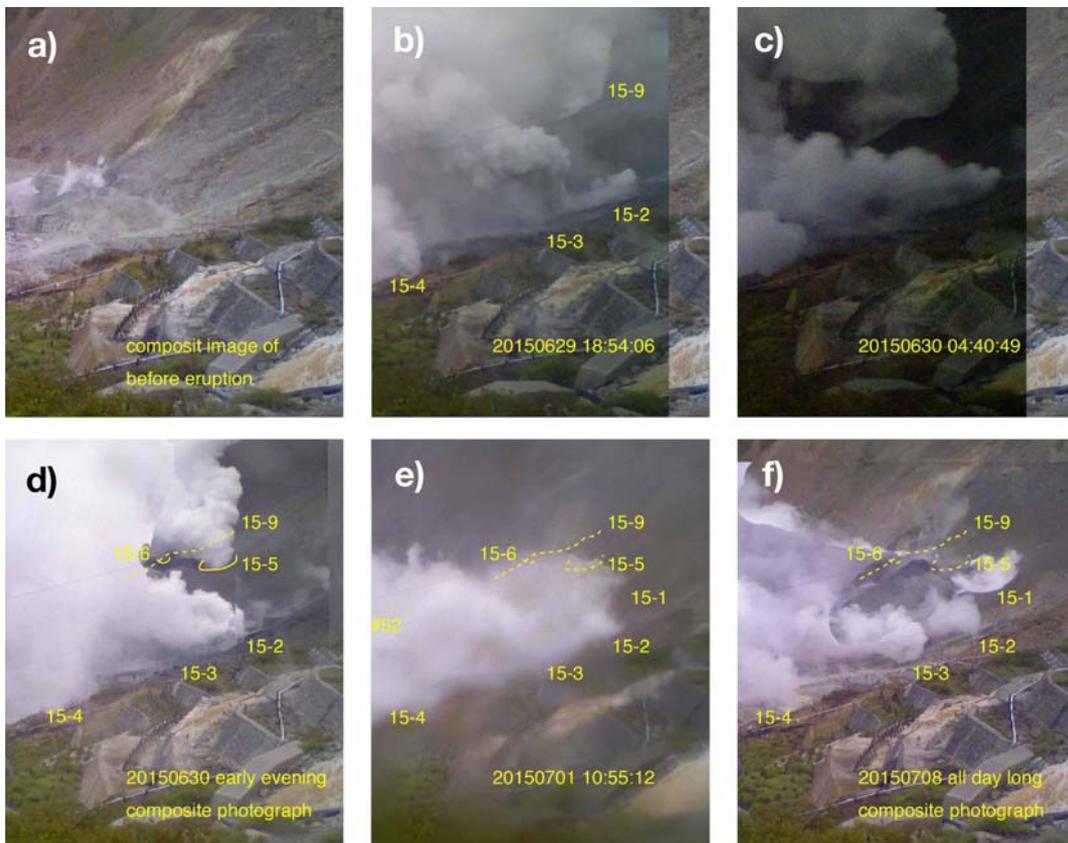


図2 噴火前後の火口付近の様子。火口が形成された地域には噴気の兆候はなかった(a)。火口は15-9がはじめに形成されたが(d)、その後活動は15-5(e)、15-1と移動した(f)。

早川の白濁現象とその原因

○菊川城司（温泉地学研究所）

箱根火山の活動活発化に伴って早川が長期間にわたり白濁する現象が認められ、7月上旬には SNS やマスコミなどでも盛んに取り上げられ話題となりました。

早川の白濁は、支流である大涌沢からの流入水が原因となっています。大涌沢は噴気地帯である大涌谷を源流としており、その河川水には元々温泉成分が含まれています。そのため、大雨の影響などで大涌沢が増水すると、早川の白濁現象が発生することが従来からありました。

今回の火山活動活発化によって、大涌沢で噴出する蒸気量が増加したり、新しい噴気孔ができたりしたために大涌沢の水量と温泉成分含有量が増加しました。これが長期間にわたって継続したため、早川の白濁も長期にわたり大きな問題となったのです。

白濁は今年4月下旬頃から認められ、以降継続しました。特にごく小規模な水蒸気噴火の起こった6月下旬から7月上旬にかけては、温泉成分を含む水と共に大量の泥が流出し、川岸に粘土質の泥が堆積する現象も見られました。

最近では火山活動の低下により、大涌沢の河川量も減少し、早川への流入量も本来の量に戻りつつあります。

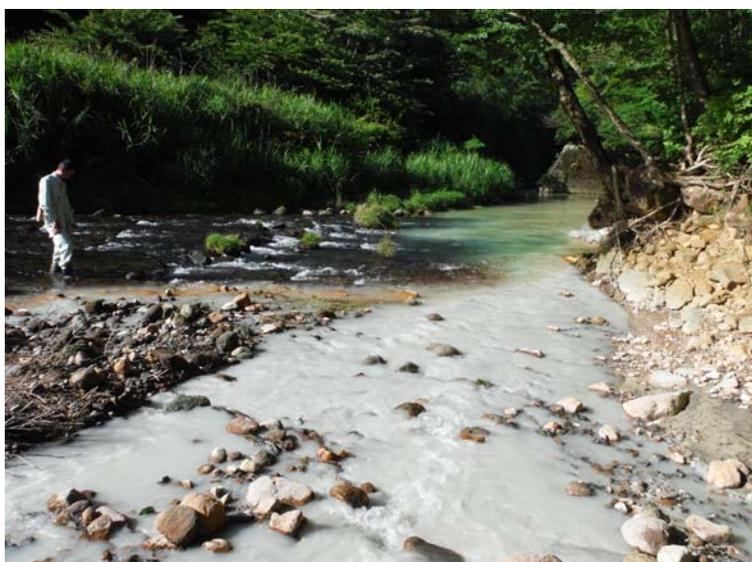


【写真1】

岩崎橋付近（箱根町宮城野）の早川。数十メートル上流で大涌沢が合流している。

堰堤は酸化鉄の沈着によりオレンジ色を呈している。

（2015年6月30日撮影）



【写真2】

早川、大涌沢合流地点の様子。

左側が早川上流。写真下部が大涌沢上流。

写真中央付近で早川の透明な河川水に大涌沢の白濁した河川水が合流して写真上部方向に流れている。

（2015年7月15日撮影）



【写真3】

小規模な水蒸気噴火直後の大涌沢の河川水（早川合流直前で撮影）。

温泉成分を大量に含有するほか灰色の粘土質を含んだ泥流となっている。

（2015年6月30日撮影）



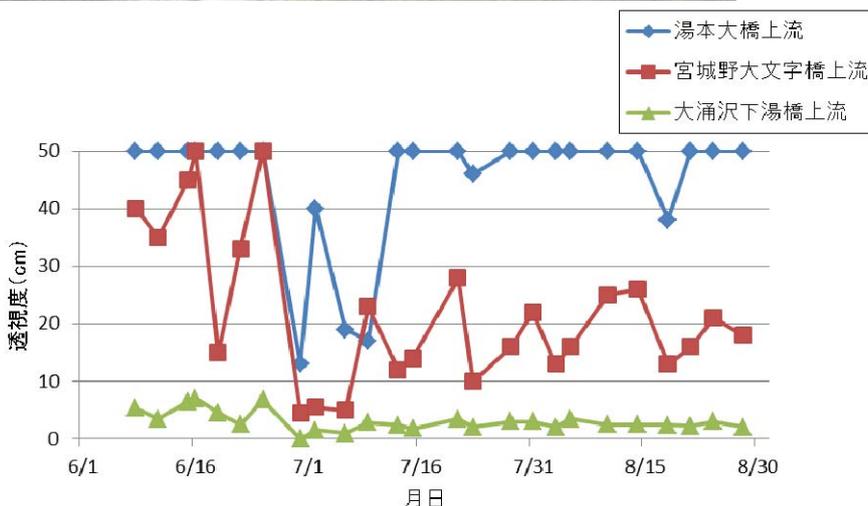
【写真4】

大涌谷橋付近（箱根町仙石原）の大涌沢。

写真下部が上流である大涌谷側。

周辺の植物は火山ガスの影響で枯れており、樹木には硫黄が付着しているため白色を呈している。

（2015年7月22日撮影）



【図1】早川と大涌沢の透視度。

箱根町役場の測定結果から作成。透視度 50cm 以上は 50cm としてプロットした。

6月下旬から7月上旬に小規模噴火したため透視度が低下している。

（透視度とは、水の濁りや着色の程度の指標となるデータで、数値が大きいほど透明度が高い。）

箱根火山活動の火山ガス観測からのアプローチ

○代田 寧¹、大場 武²、谷口無我²、板寺一洋¹ (1 温泉地学研究所、2 東海大学)

1. はじめに

箱根火山では、4 月下旬から地震が多発し、山体が膨張する地殻変動が観測され、さらに小規模な水蒸気噴火が発生するなど、近年では最も活発な活動であったといえます。

これまで我々は、継続的に大涌谷周辺の火山ガス（噴気）を直接採取・分析し、その組成変化と箱根火山活動との関係について調べてきました。ここでは、これまでの研究成果を整理するとともに、2015 年の活動における観測結果を紹介し、箱根火山の活動予測に対する火山ガス観測の有効性と課題について報告します。

2. 採取・分析方法のメリット・デメリット

火山ガスの採取・分析方法は、一般に Ozawa (1968) の方法がベースとなっています。これは、アルカリ溶液を入れた注射筒を用いて火山ガスを吸引し、主要な成分を溶液中に溶かし込んで採取する方法です。このガス成分が溶け込んだ溶液を実験室に持ち帰り、滴定などの手分析や機器分析により成分の測定をします。

また、水素や窒素などのアルカリ溶液に溶けない成分（R-gas といいます）は、ガスクロマトグラフという機器を用いて分析します。ここではこの方法を「吸収法」と呼ぶことにしますが、この方法のメリットは、火山ガスの成分を詳細に調べることができるため、それぞれの成分の比率などから地下の状況をより詳しく把握することができる点にあります。このことは、火山活動の状況を把握するうえで大変重要なデータとなります。一方で、分析に日数を要するため、すぐには結果が出ないこと、ある程度の専門的な分析技術が必要なこと、測定頻度を増やすには限界があること、などのデメリットがあります。

また我々は、検知管を用いた簡便な方法でも観測をおこなっています（「検知管法」と呼ぶことにします）。検知管法は、測定できる成分が限られるため、詳細なガス組成を把握することは難しいですが、現場ですぐに結果が出るというメリットがあります。そのため、測定頻度を増やすことができ、特定の成分の時間変化を詳しく調べるには有効な方法です。また、専門的な技術をあまり必要としない点もメリットの一つといえます。

このように、吸収法と検知管法にはメリットとデメリットがあることから、二つの方法を併用して観測をおこなうことが重要であると考えています。継続的に観測をおこなっているのは、図 1 に示す A、B、C の 3 地点です。これらのうち、A は温泉造成のための深度 500m のボーリング孔で、B と C は自然噴気です。また、A と B は従来から噴気活動が活発な領域に、C は近年活発になった領域（新噴気域）に位置します。

3. これまでの成果

これまでの継続的な観測から得られた主な成果をまとめると、以下のようになります。

- ・地点 A、B において、2001 年、2006 年、2008 年の群発地震活動に関連して、火山ガス中の C/S 比

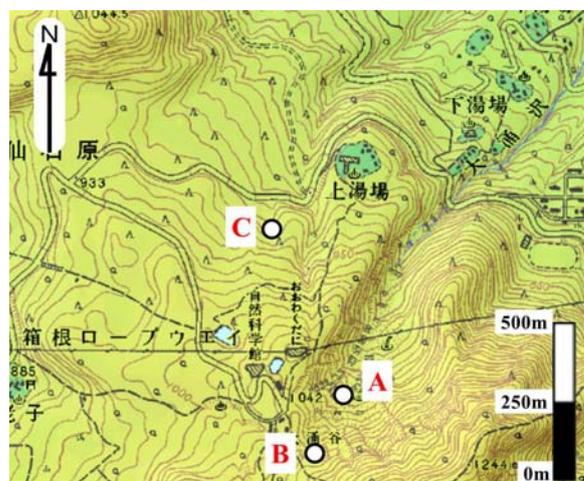


図 1 サンプルング孔の位置

(硫化水素と二酸化硫黄の合計濃度に対する二酸化炭素濃度の割合) や $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 比 (水蒸気に対する二酸化炭素濃度の割合) が増加する可能性があることを見出したこと。

- ・ボーリング孔よりもサンプリングが簡便な自然噴気においても、火山活動に関連した変化が現れており、継続的に観測するサンプリングポイントとしては自然噴気が適切だと考えられること。
- ・近年活発になった新噴気域 (地点C) においても、火山活動に関連した変化が認められたこと。
- ・2013年の群発地震活動時に、地点Cにおいて測定頻度を10日に一回程度に高めて測定したことにより、C/S比 ($\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比) の変化がわずかに地震活動に先行している可能性や地震活動の消長に対応していることなど、関連性がより詳細にわかったこと。

これらのことから、火山ガス成分を継続的に測定することは、火山活動の状況を把握する上で重要であると考えています。また、火山活動に対応して変化する CO_2 、 H_2S 、 SO_2 は、検知管を用いて簡易測定できるメリットがあり、火山活動が活発化した際に測定頻度を高めることが可能であるとともに、火山活動の状況を迅速に評価するための有用なデータになり得ると考えています。

4. 2015年の活動に関連した変化

図2に、地点Cにおける2012年1月から2015年11月までのC/S比の時間変化を示しました。2015年の活動においても、ほぼ地震活動に対応してC/S比が変化していることがわかります。以下に主な結果を整理してまとめます。

- ・地震活動が活発化した4/26の2日前の4/24に観測を実施していますが、その際にはC/S比の有意な増加は認められませんでした。
- ・2013年と比較して、C/S比の増加速度が速いことがわかりました。これは、今回の活動規模が2013年と比較して大きかったことに対応している可能性があり、C/S比の増加速度 (傾き) が活動規模を推測するうえでの指標になる可能性があります。
- ・地震数が減少してきた5月中旬以降もC/S比の増加傾向は継続しており、地震数が減少しても火山活動はまだ低下していないとの判断に寄与できるものと考えられます。
- ・C/S比の最高値が、小規模噴火の発生とほぼ同時期であり、その後急速に低下していることから、火山ガスの組成変化からも火山活動のピークは小規模噴火の時期であったといえます。
- ・11月現在、C/S比はまだ定常的な値までは戻っていません。
- ・C/S比の最高値が、2013年と2015年のどちらの活動でもほぼ同じ値であり、何らかの意味があるものと考えています。このことが、活発化のメカニズムを推定するうえで重要な知見になるかもしれません。
- ・地点Bにおいて、 H_2O の安定同位体比が2月中旬頃から低下し、地震活動の活発化に伴い増加する変化が今回初めて認められました。このことは、 H_2O の安定同位体比を継続的に測定することにより、活発化の予測に寄与できる可能性を示していると考えられます。

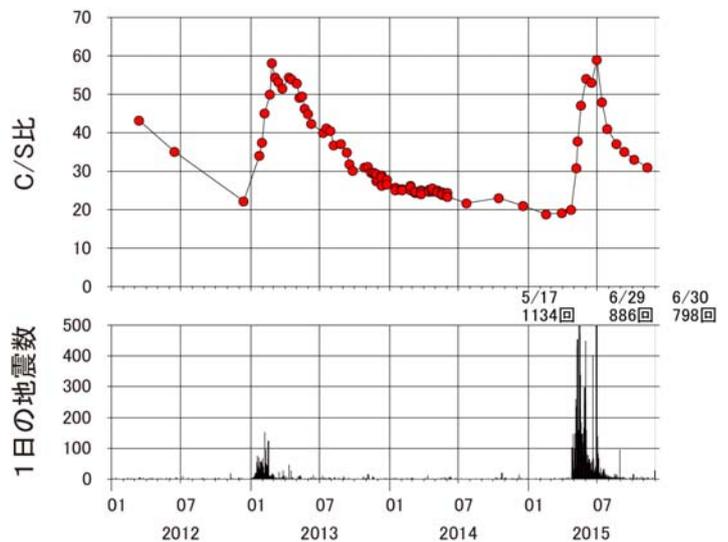


図2 C/S比の時間変化と日別地震数の推移

5. おわりに

火山ガスの観測には時間と労力が必要であり、検知管法であっても測定頻度に限界があります。そこで、当所では、火山ガスの連続観測装置の設置を進めています。

新しい温泉掲示プレート “Chocotto”

○菊川城司（温泉地学研究所）

温泉の利用者にその魅力をわかりやすく伝える新しいタイプの温泉掲示プレート“Chocotto”、その特徴と利用している施設をご紹介します。

Chocotto は、温泉地学研究所と箱根ジオパーク推進協議会、県西地域県政総合センター、箱根温泉協会、湯河原温泉旅館協同組合が協力して作成したものです。入浴する方の利便性はもちろん、ジオサイトの目印、未病対策にも活用されています。

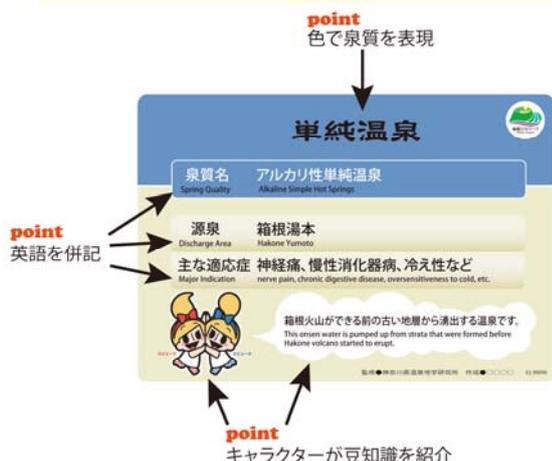


Chocotto って何？

温泉掲示プレート“Chocotto”（読み方は「ちょこっと」）は、入浴する人が温泉のことをちょこっとわかるように作られました。実際の大きさはちょこっとした A4 サイズ。主に県西地域の温泉浴場に掲示しています。

Chocotto の特徴

- ◆特徴その1 泉質が一目でわかる色分け！
泉質名で7色に色分け。サブ的な泉質も小さく色で表示。
- ◆特徴その2 源泉地や主な適応症のシンプルな表示！
湧き出す場所と治療効果が期待できる症状が一目でわかります。
- ◆特徴その3 温泉の科学的な豆知識も！
科学的な豆知識をキャラクター「はこジ郎」、「ゆたぼんファイブ」、「ミビョーナ&ミビョーネ」が紹介。
- ◆特徴その4 外国からのお客様向けに英語を併記！
県西地域の豊かな「onsen」を海外の方にも楽しんでいただけます。



泉質と Chocotto の色との関係

	主 泉 質	マークで使用する色
1	単 純 温 泉	青
2	塩 化 物 泉	緑
3	硫 酸 塩 泉	オレンジ
4	炭 酸 水 素 塩 泉	紫
5	硫 黄 泉	黄
6	酸 性 泉	赤
7	そ の 他	灰

Chocotto を導入している施設 (温泉地欄の色は、施設で掲示している Chocotto の色を表しています。)

温泉地	施設名	住所
箱根湯本	湯本富士屋ホテル	足柄下郡箱根町湯本256-1
箱根湯本	花紋	足柄下郡箱根町湯本435
箱根湯本	ホテルマイユークル梓月	足柄下郡箱根町湯本468-1
箱根湯本	箱根金湯苑	足柄下郡箱根町湯本520-1
箱根湯本	弥坂湯	足柄下郡箱根町湯本577
箱根湯本	ホテル仙景	足柄下郡箱根町湯本592
箱根湯本	吉池旅館	足柄下郡箱根町湯本597
箱根湯本	ますとみ旅館	足柄下郡箱根町湯本656
箱根湯本	早雲足洗いの湯和泉	足柄下郡箱根町湯本657
箱根湯本	かつば天国	足柄下郡箱根町湯本777
箱根湯本	天成一園	足柄下郡箱根町湯本682
箱根湯本	ホテル河鹿荘	足柄下郡箱根町湯本688
箱根湯本	弥次喜多の湯	足柄下郡箱根町湯本694
箱根湯本	箱根水明荘	足柄下郡箱根町湯本702
箱根湯本	箱根湯本温泉 湯さか荘	足柄下郡箱根町湯本茶屋35
箱根湯本	近江屋旅館	足柄下郡箱根町湯本茶屋116
箱根湯本	箱根パークス吉野	足柄下郡箱根町湯本茶屋139-5
箱根湯本	山紫園	足柄下郡箱根町湯本茶屋149
箱根湯本	ホテル南風荘	足柄下郡箱根町湯本茶屋179
箱根湯本	箱根湯本ホテル	足柄下郡箱根町湯本茶屋184
箱根湯本	箱根湯本温泉 ホテルおかた	足柄下郡箱根町湯本茶屋191
箱根湯本	ホテルおくゆもと	足柄下郡箱根町湯本茶屋211
箱根湯本	雉子亭 豊栄荘	足柄下郡箱根町湯本茶屋227
箱根湯本	小田急ホテルはつばな	足柄下郡箱根町須雲川 20-1
塔之沢	福住楼	足柄下郡箱根町塔之沢74
塔之沢	よきや	足柄下郡箱根町塔之沢81
塔之沢	元湯 環翠楼	足柄下郡箱根町塔之沢88
塔之沢	ホテル紫雲荘	足柄下郡箱根町塔之沢92
大平台	箱根大平台温泉組合	足柄下郡箱根町大平台583
宮ノ下	明星館	足柄下郡箱根町宮ノ下170
宮ノ下	富士屋ホテル	足柄下郡箱根町宮ノ下359
宮ノ下	月廻屋	足柄下郡箱根町宮ノ下413
底倉	そこのらの湯つたや	足柄下郡箱根町底倉240-1
小涌谷	源泉の宿 千條	足柄下郡箱根町小涌谷449
小涌谷	箱根小涌谷温泉 三河屋旅館	足柄下郡箱根町小涌谷503
強羅	栗師の湯 吉浜	足柄下郡箱根町強羅1300-39
強羅	湘山開発	足柄下郡箱根町強羅1300-63
強羅	老人福祉センターやまなみ荘	足柄下郡箱根町強羅1320-185
強羅	箱根登山鉄道 事業部温泉事業所	足柄下郡箱根町強羅1300-329

温泉地	施設名	住所
二ノ平	箱根ホテル小涌園	足柄下郡箱根町二ノ平1297
宮城野	勝俣楼	足柄下郡箱根町宮城野913
宮城野	宮城野温泉会館	足柄下郡箱根町宮城野922
仙石原	仙石原いこいの家	足柄下郡箱根町仙石原870
仙石原	川涌の湯 マウンテビュー箱根	足柄下郡箱根町仙石原885
仙石原	ホテル箱根ハウエトル	足柄下郡箱根町仙石原1244
仙石原	ホテル花月園 (注)	足柄下郡箱根町仙石原 1244-2
仙石原	萬岳楼	足柄下郡箱根町仙石原1251
仙石原	仙郷楼	足柄下郡箱根町仙石原1284
湖尻	箱根高原ホテル	足柄下郡箱根町元箱根164
芦ノ湖	箱根グリーンハイツ	足柄下郡箱根町元箱根103
芦ノ湖	『旅人の宿』箱根レイクウイラ	足柄下郡箱根町元箱根103-354
芦ノ湖	和心亭豊月	足柄下郡箱根町元箱根90-42
芦ノ湖	箱根ホテル(富士屋ホテルレイクビューエアネックス)	足柄下郡箱根町箱根65
芦ノ湖	匠の宿佳松	足柄下郡箱根町箱根521
芦ノ湯	鶴鳴館 松坂屋本店	足柄下郡箱根町芦ノ湯57
湯ノ花沢	箱根湯の花温泉ホテル	足柄下郡箱根町芦ノ湯93
湯河原	湯河原ロイヤルハイツ	足柄下郡湯河原町中央1
湯河原	ホテル眺望山荘	足柄下郡湯河原町宮下698-25
湯河原	旅館グリーン荘	足柄下郡湯河原町宮上234
湯河原	おんやど憲	足柄下郡湯河原町宮上361
湯河原	若林	足柄下郡湯河原町宮上370
湯河原	ふきや	足柄下郡湯河原町宮上398-4
湯河原	ここめの湯	足柄下郡湯河原町宮上562-6
湯河原	中屋旅館	足柄下郡湯河原町宮上606
湯河原	湯河原千代田荘	足柄下郡湯河原町宮上637
湯河原	むろらん荘	足柄下郡湯河原町宮上683
湯河原	大滝ホテル	足柄下郡湯河原町宮上750-1
湯河原	お宿なお	足柄下郡湯河原町宮上775-25
小田原	小田原コロナワールド天然温泉コロナの湯小田原店	小田原市前川219-4
南足柄	モタン湯治おんりゆー	南足柄市広町1520
大井	いこいの村あしがら	足柄上郡大井町柳280
中川	かくれ湯の里 信玄館	足柄上郡山北町中川1577-6
中川	魚山亭やまぶき	足柄上郡山北町中川1897-90
横浜	いなり湯	横浜市中区大和町1-12

※順不同(2015年6月30日現在)
 ※専入施設には、一部温泉供給事業者などが含まれています。
 施設の詳細は各施設のホームページなどをご確認下さい。
 (注) のついで施設では青色の Chocotto も利用しています。