

神奈川県温泉地学研究所

平成 28 年度

研究成果発表会講演要旨集

日時 平成 28 年 6 月 24 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 28 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 28 年 6 月 24 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 湖尻潜在カルデラ構造で湧出する温泉の特徴（菊川城司）

箱根火山中央火口丘西側の湖尻潜在カルデラ構造とその周辺で湧出する温泉に関して、成分などの特徴から生成機構について考察した結果を報告します。

(2) 13:25-13:45 芦ノ湖の水収支の再検討（板寺一洋）

芦ノ湖の水収支については、1970 年代と 2000 年代に検討が行なわれています。今回、当時よりも詳細なデータにもとづき、芦ノ湖に関わる水の出入りについて検討したので、その結果について報告します。

(3) 13:45-14:05 微動探査による足柄平野自噴域の地下構造（宮下雄次）

平成 26-27 年度に足柄平野 250 地点で実施した極小アレイ微動探査をもとに、自噴域の被圧地下水帯水層構造について検討した結果について報告します。

14:05-14:25 休憩

(4) 14:25-14:50 2015 年箱根火山活動の概要（本間直樹）

昨年 4 月末頃から箱根山で火山活動が活発となり、6 月には大涌谷でごく小規模な噴火がありました。観測された火山活動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。

(5) 14:50-15:10 干渉 SAR データから推定される箱根火山 2015 年噴火に伴う開口割れ目（道家涼介）

2015 年 6 月末に大涌谷で発生した水蒸気噴火の際、大涌谷から南東方向に延びる板状の割れ目（開口割れ目）が生じました。この開口割れ目について詳細な変動源モデルの推定を行った結果について報告します。

(6) 15:10-15:30 地動ノイズから火山内部の変化を診る（行竹洋平）

常時微動（地動ノイズ）をもとに地震波干渉法解析により箱根火山活動に伴う地震波速度変化を検出したのでその結果を報告します。

(7) 15:30-16:00 神奈川県と静岡県地震防災への取組み（里村幹夫）

静岡大学教員として関わってきた静岡県の地震対策と、温泉地学研究所長として関わっている神奈川県の地震対策の取り組みについて説明し、地震による被害を小さくするために神奈川県民としてどのように取り組むべきかを考えます。

目次

口頭発表

1. 湖尻潜在カルデラ構造で湧出する温泉の特徴	1
2. 芦ノ湖の水収支の再検討	3
3. 微動探査による足柄平野自噴域の地下構造	5
4. 2015 年箱根火山活動の概要	7
5. 干渉 SAR データから推定される箱根火山 2015 年噴火に伴う開口割れ目	11
6. 地動ノイズから火山内部の変化を診る	13
7. 神奈川県と静岡県地震防災への取組み	15

湖尻潜在カルデラ構造で湧出する温泉の特徴

○菊川城司・萬年一剛・代田寧・板寺一洋（温泉地学研究所）

1. はじめに

箱根温泉は箱根火山の恵みで湧出しています。その湧出機構については様々な研究が古くから進められてきましたが、近年、箱根火山の形成史に新たな見解が示され、それとともに箱根温泉の湧出機構についても新しい研究が進められています。

ここでは、箱根火山中央火口丘の西側に位置する湖尻潜在カルデラ構造で湧出する温泉について、その特徴と湧出機構に関する研究成果の紹介をします。

2. 潜在カルデラ構造と温泉（図1，2）

箱根火山には4つの潜在的なカルデラ構造があると考えられています。火山の基盤岩から湧出する箱根湯本温泉、塔之沢温泉などを除くと、大部分の温泉は潜在的カルデラ構造とその周辺に分布しており、このような構造と温泉の間には深い関係があります。潜在カルデラ構造を充填している地層には湖成堆積物の層があり、これが不透水層の役割を果たして熱い温泉を保持する役割を果たしているのです。

地域毎にみると、中央火口丘北東側の強羅潜在カルデラ構造で湧出する温泉は、塩化物イオンの比率が高く、これに硫酸イオン、炭酸水素イオンがどの程度混合するかで特徴づけられています。一方、湖尻潜在カルデラ構造で湧出する温泉は塩化物イオンの割合は低く、硫酸イオンと炭酸水素イオンが主体となりその2者の比率で特徴が決まっています。

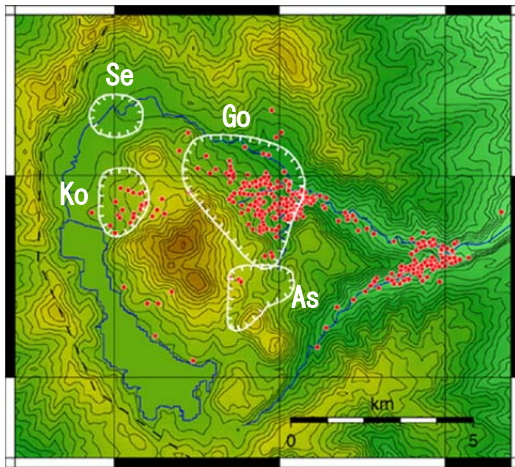


図1 潜在カルデラ構造と温泉分布。

潜在カルデラ構造は白線、源泉の位置は赤丸で示しています。

Go：強羅潜在カルデラ構造

Ko：湖尻潜在カルデラ構造

Se：仙石原潜在カルデラ構造（推定）

As：芦之湯潜在カルデラ構造（推定）



図2 長尾峠から見た湖尻潜在カルデラ構造付近。

中央火口丘の西側、芦ノ湖と台ヶ岳の間に位置します。地表に地形としては現れていません。

3. 湖尻潜在カルデラ構造の温泉（図3～5）

湖尻潜在カルデラ構造の温泉は、硫酸イオンと炭酸水素イオンの比率で4つのタイプ（A-type、B-type、C-type、D-type）に特徴づけられます。また、特異的に塩化物イオンを高濃度に含む1本の源泉（S-type）があり、これらを併せて5つのタイプに分類することができます。この分類は、温泉のわき出す地質や湧出機構と深く関係しています。

A-type は、神山の山崩れ堆積物中を大涌谷から流れる硫酸酸性の水が起源になっています。C-type は後期中央火口丘噴出物中、B-type はその二次堆積物中に湧出する温泉水であり、地質構造的な面から硫酸イオンと炭酸水素イオンの割合が異なっている可能性があります。S-type は、B-type 同様に後期中央火口丘溶岩の二次堆積物から湧出していますが、スポット的にカルデラ内の熱水の影響を受けているものと考えられます。一方、D-type は古期外輪山溶岩や箱根火山の基盤岩といった比較的古い地層から温泉が湧出しています。

以上のように、湖尻潜在カルデラ構造付近の温泉は、塩化物イオンを含む熱水の影響は小さく局所的で、火山ガスに由来する硫酸イオンや炭酸水素イオンが主要な成分となっています。

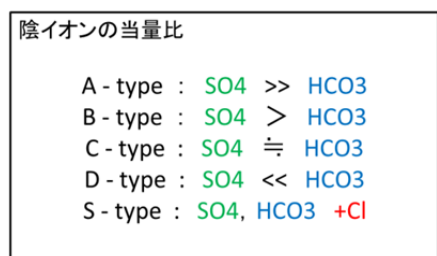


図3 湖尻潜在カルデラ構造付近の温泉のタイプ分類基準。

硫酸イオンと炭酸水素イオンの当量比で分類することで温泉の生成機構の説明ができます。

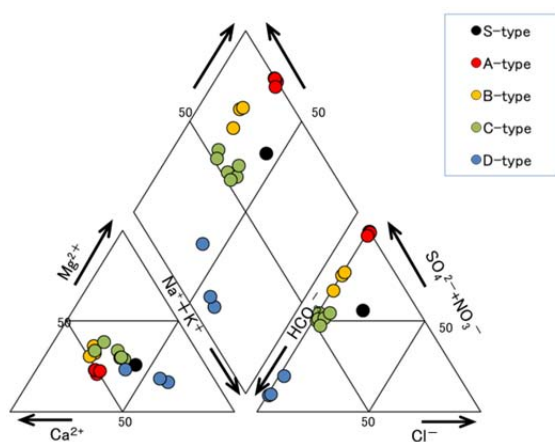


図4 湖尻潜在カルデラ構造付近の温泉のトリニアダイアグラム。

右下の三角形のグラフが陰イオン、左下の三角形のグラフが陽イオンの割合を示しています。

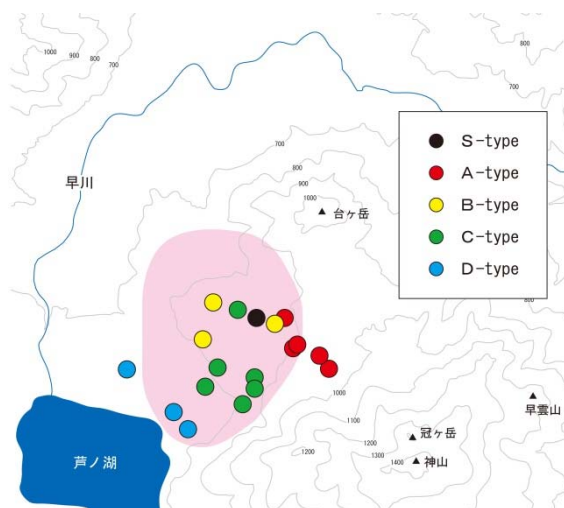


図5 湖尻潜在カルデラ付近の温泉のタイプ分布図。

中央火口丘に近い高標高側に A-type、芦ノ湖側に D-type がまとまって分布しています。S-type の位置は過去に火山の噴出中心があった付近です。

芦ノ湖の水収支の再検討

○板寺一洋（温泉地学研究所）

1. はじめに

箱根外輪山を背に青々と水^たを湛える芦ノ湖の姿は、箱根の豊かな水の象徴であると考えられてきました。環境省の調査によれば、芦ノ湖の面積は約6.9km²、平均水深は25mであり、その貯水量は約1.7億トンと見積もられ、東京ドーム138杯分にも及びます。しかしながら、こうした大量の湖水がどのように維持されているのか、箱根の地下水や温泉にどのように関わっているのかといったことについては、実はあまり良くわかっていません。ここでは、それらを考える手始めとして、芦ノ湖に関わる水の出入り（水収支）について、最近のデータをもとに検討した結果についてご報告します。

2. 水収支とは

「水収支」とは文字通り「水」の「収入と支出」のことであり、「水収支について検討すること」とは、ある地域（流域）に入ってくる水、そして、その地域から出て行く水について、それぞれの内訳と量とを明らかにすること、そして、収支が釣り合っているかどうかについて検討することを指します。

「収支」と聞いて、一番身近に思いつくのは、「おこづかい」や「家計」の収支だと思います。多くの方が、「支出」が「収入」を上回る「赤字」を出さないように様々な工夫をされているのではないのでしょうか。水収支の場合でも、赤字が過ぎれば、地下水の枯渇や地盤沈下などの障害につながります。一方、「収入」が「支出」を上回る「黒字」は、家計にとっては嬉しい話なのですが、水収支の場合には喜んでばかりもいられません。例えば集中豪雨のような場合、短時間のうちに、大量の水が限られた地域に入ってくることになり、洪水などの災害につながるものがしばしばです。こと水収支に関しては、「収入」と「支出」は適度にバランスを保っていることが望ましいのです。

3. 芦ノ湖の収入と支出

この研究で想定している、芦ノ湖の「収入」と「支出」の内訳は次のとおりです。

【収入その①：雨（Rainfall）】箱根地域の年間降雨量は3000mm以上に及びます。湖の主な収入は、湖面（6.9Km²）に直接降る雨ということになります。箱根カルデラ内には、気象庁や神奈川県などにより整備された複数の雨量計があり、実際に降った雨の量を把握することができます。

【収入その②：地下水の流入（Groundwater）】湖の平均水深が25mですから、湖には、湖面へ直接降る雨量（約3m）の8倍以上もの水が蓄えられていることになります。芦ノ湖に流入する大きな河川はありませんから、周囲の山々（20.5km²）から大量の地下水が流れ込んでいることが想像できます。しかしながら、その量を直接測定することはできません。

【支出その①：蒸発（Evaporation）】湖面からは、蒸発により大気中へ水分が放出されています。この量も、直接測定することは難しいのですが、気温や日射量などから推定する方法があります。

【支出その②：深良用水経由の流出（Outflow）】芦ノ湖の集水域は早川の源流部を出口としています。そこには湖尻水門が築かれており、洪水時を除けば、普段は水が流れ出すことはありません。実は、明治以降、芦ノ湖の水利権は静岡県にあります。西側の分水嶺である箱根の外輪山には、江戸時代にトンネルが掘削され、深良用水として、現在でも多量の湖水が発電や灌がい用水として流れ出しています。

4. 水収支の検討

湖の収入と支出の関係性の変化は貯水量 (Storage) を変化 (増減) させ、水位の変化 (上下) として観測することができます。収支が黒字の時には水位が上昇し、逆に赤字の時には水位が低下するといった具合で、貯水量の変化 (ΔS) は、湖の面積 (一定と仮定します) と水位の変化量の掛け算により計算することができます。図 1 に、2005年1月から2013年3月までの期間における月別の雨量(R)、蒸発量 (E)、用水経由の流出量 (O)、水位の変化から計算した貯水量の変化 (ΔS) の推移を示しました。

芦ノ湖の収入と支出、貯水量の変化の関係は、次の数式で表すことが出来ます。

(収入)

(支出)

$$\{\text{雨量}(R) + \text{地下水流入量}(G)\} - \{\text{蒸発量}(E) + \text{用水経由の流出量}(O)\} = \{\text{貯水量の変化}(\Delta S)\} \quad (1)$$

すでに述べた通り、地下水流入量(G)を直接測定することはできませんが、(1)式の形を変えると、

$$G = \Delta S + \{E + O\} - R \quad (2)$$

となり、測定や推定が可能な他の項目の値から計算することが出来ます。

図 1 の一番下のグラフは、こうして計算した地下水流入量(G)の推移を示しています。様々な原因で変動するものの、平均では毎月およそ190万トン、一年間だと、湖面に直接降る雨の量に匹敵する約2千300万トンもの地下水が周りの山々から湖に流れ込んでいることがわかりました。

この結果を、周りの山々に置き換えて考えてみるとどうなるでしょうか。そこには年間7千400万トンの雨が降りますが、大きな河川がないことから、降った雨はすべて一旦地下にしみ込むと考えることにします。そのうち2千300万トンが地下水として湖に流れ込んでいるとすれば、残りはおおよそ5千万トンとなります。そのうち半分が蒸発や植物による蒸散で失われるとしても、2千500万トンが余っている計算になります。

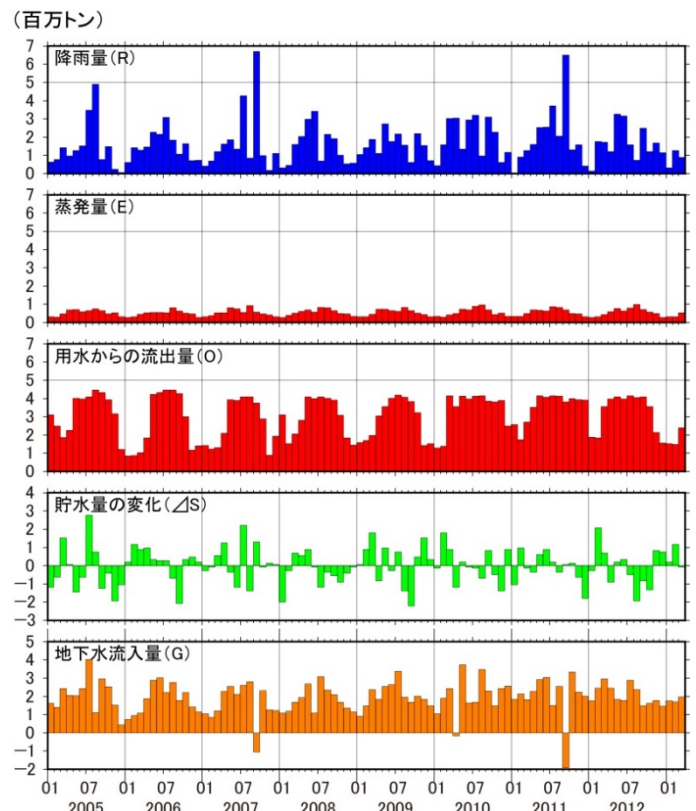


図 1 2005 年 1 月から 2013 年 3 月までの月別の降雨量、蒸発量、用水取水量、貯水量の変化と水収支により計算した地下水流入量

5. おわりに

こうした水収支計算の結果、余った分の水は、以前は、直接強羅側へ流下して温泉を形成していると見られていました。ところが、最近の地下水学的な解析の結果はその可能性が低いことを示しています。それでは、その水はどこに行っているのでしょうか？ 箱根の温泉生成や地震発生の鍵となる熱水系へ関与していると見て、今後、理論的・定量的な検討を進めていきたいと考えています。

謝辞

降雨量の解析には、気象庁の公表値のほか、神奈川県県土整備局による測定値を使用させていただきました。また、静岡県芦湖水利組合からは深良用水の水量データを提供いただきました。ここに記して感謝申し上げます。

微動探査による足柄平野自噴域の地下構造

○宮下雄次（温泉地学研究所）

1. 研究の経緯と概要

神奈川県内で最大規模の自噴井湧水地域である足柄平野中・下部では、1,000本を越す自噴井から1日あたり5万トンを超える豊富な地下水が湧き出しています。この豊かな湧き水は、この地域に住む人たちの飲用水や生活用水として利用されているほか、平野内を流れる小河川や水路の水源となることで、地域の水辺の環境や生態系を守る貴重な環境用水や、水道水源として重要な役割を果たしています。

足柄平野の自噴井の分布については、1961年に最初の調査が行われて以降、これまでに概ね10年程度の間隔で計6回行われています。このうち、2012年度の調査では、1,000地点を越える自噴井を調査し、分布や、自噴量、季節変化などが明らかとなりました。また、2012年度の調査に引き続いて行った2013年度の調査では、自噴井205地点において自噴量の季節変化について調査を行い、平野への水田灌漑に対応して自噴量が増減する灌漑期対応型の自噴井と、顕著な対応が見られない灌漑期非対応型の自噴井に分類し、その主な分布が酒匂川の右岸側と左岸側に分かれていることが明らかになりました(図1)。

足柄平野では、酒匂川の左岸側は右岸側に比べて沖積層中の粘土層が厚く分布しており、2012年度の調査における聞き取りによる自噴井深度分布においても、右岸側に比べて左岸側の自噴井の方が深い傾向にあり(図2)、平野の右岸側と左岸側では、被圧地下水の帯水層構造や涵養機構などが、大きく異なっていると推察されました。

そこで本報告では、足柄平野における自噴井湧水域における被圧帯水層の地質構造を詳細に把握するため、微動アレイ探査によるS波速度構造から、三次元的な地下構造を推定し、自噴井の深度分布との関係や、自噴量の季節変化パターンとの対応について考察を行いました。

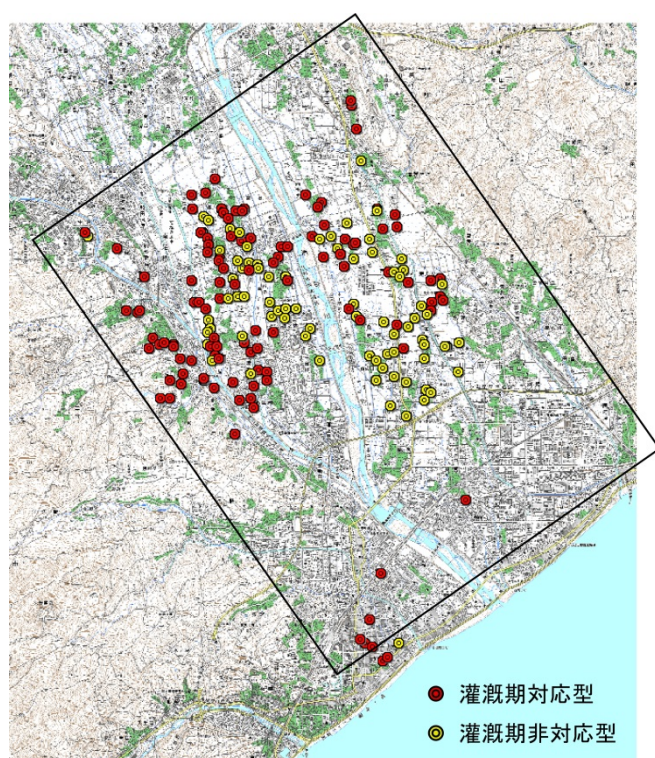


図1 自噴量季節変化パターン分布

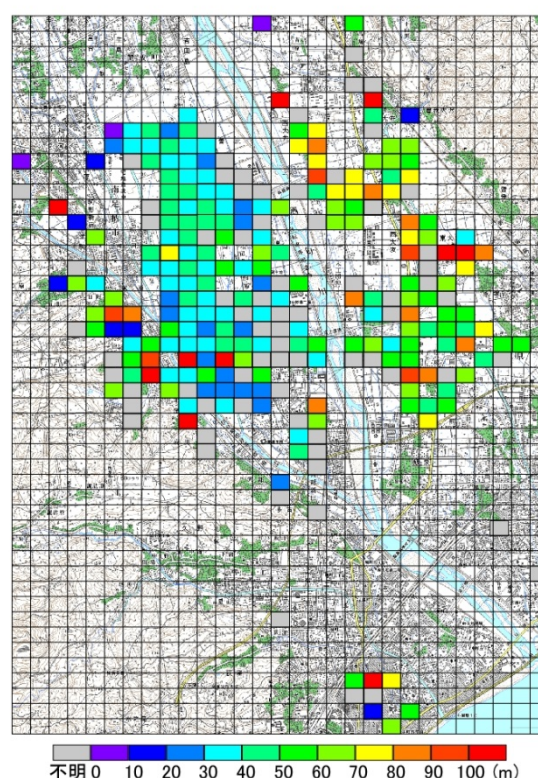


図2 自噴井200mメッシュ平均深度

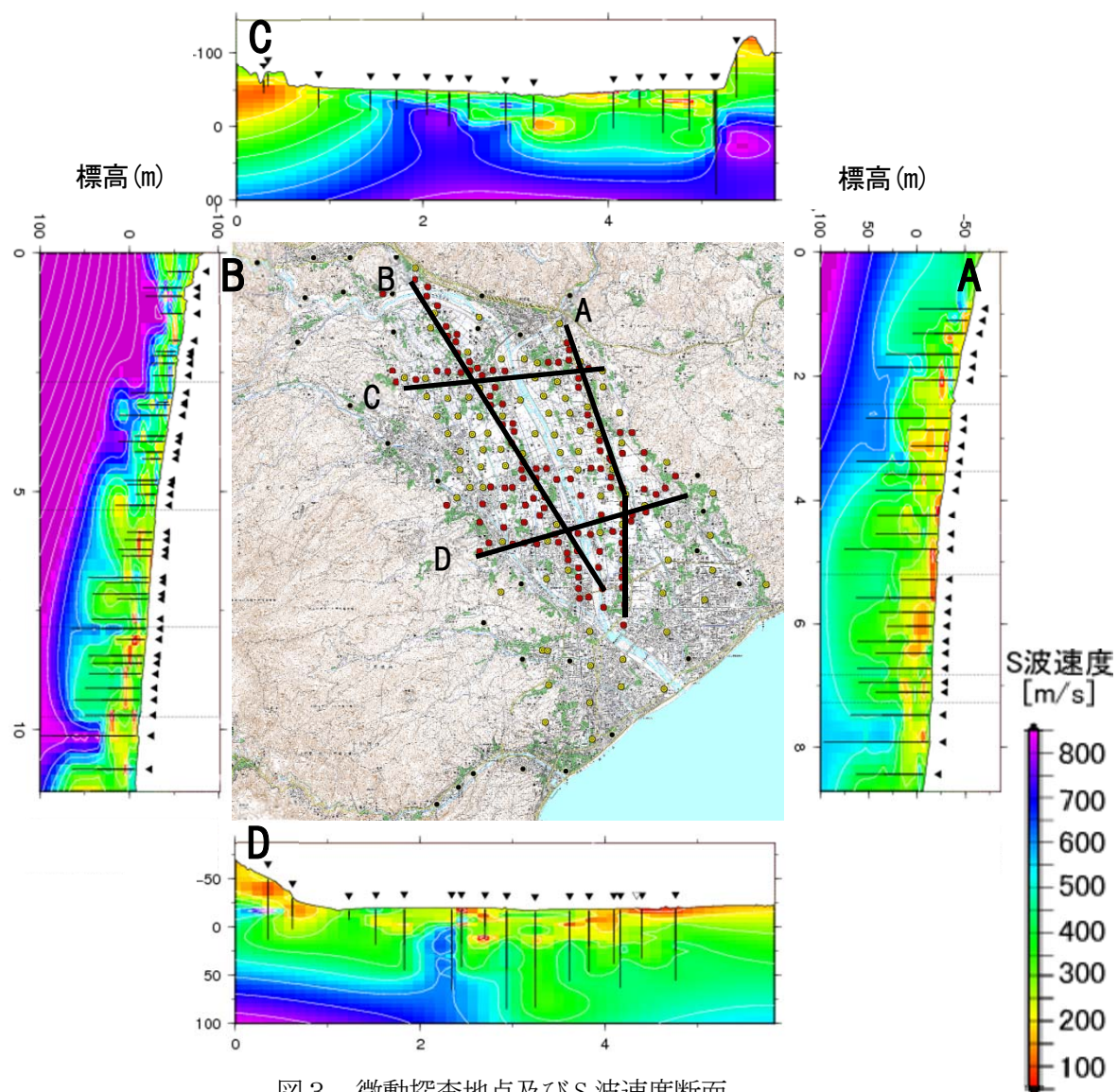
2. 調査方法、期間、及び調査地点

微動アレイ探査は、常時微動探査法の1つであり、人間活動や自然現象によって生じる地表の微小な震動を、地表面で群設置した地震計により観測し、周波数ごとの位相速度から、地盤のS波速度構造を推定する手法です。S波の速度は、波が伝わる固体の種類や固さによって異なり、一般的に基盤岩や砂礫などの固い地質ではS波の速度が速くなり、粘土層やロームなどの軟らかい地質ではS波の伝わる速さは遅くなります。この性質を用いて、S波の速度構造から、地層の帯水層構造の推定を試みました。測定を行うアレイ間隔や解析方法については、様々な方法が提案されていますが、本調査では、先名ほか(2014)により示された解析手法を用いて、アレイサイズを60cmと5mの2種類で探査を行いました。

足柄平野における微動探査は、2014年7～8月にアレイサイズ60cmのみの探査を119地点、60cmアレイと5mアレイを組み合わせた探査を87地点、2016年2～3月に60cm+5mアレイの探査を31地点、合計237地点で行いました(図3)。

3. 結果

解析によって得られた縦断面方向2測線(A, B)、横断面方向2測線(C, D)のS波速度断面を図3に示しました。この結果から、酒匂川を挟んで右岸に比べて左岸では、S波速度が遅い範囲がより深くまで分布しており、難透水層が厚く堆積している(被圧帯水層が右岸に比べて深い)ことが分かりました。



2015 年箱根火山活動の概要

○本間直樹（温泉地学研究所）

1. はじめに

2015 年（昨年）4 月末頃から箱根山で火山活動が活発となり、6 月には大涌谷でごく小規模な噴火がありました。昨年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

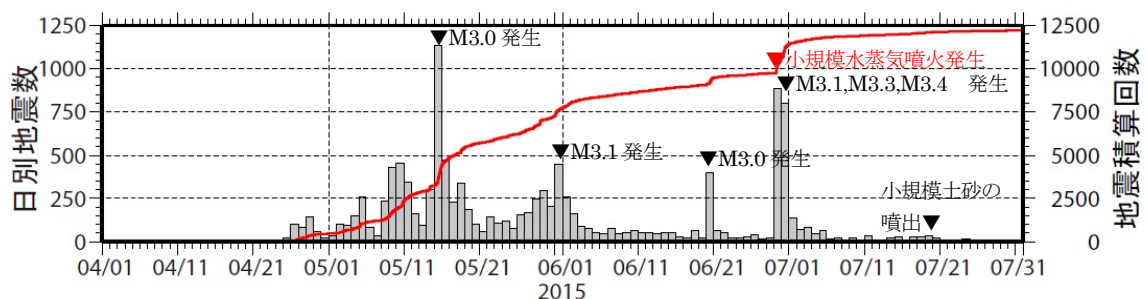
箱根山の火山活動について、温泉地学研究所では、①地震の発生数や発生場所などから見た「地震活動」、②山体の膨張や傾きなどから見た「地殻変動」、③地表面の噴気などから見た「表面現象」のそれぞれの観点から、その活動状況を捉えてきました。

（1）地震活動

箱根山では、昨年 4 月 26 日頃から地震の多い状態が始まりました。当初、地震数は次第に増加し、昨年 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。地震活動は、その活動域を変えながら続きました。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。

昨年 6 月に入り地震活動は、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、昨年 11 月半ばには、ほぼ今回の活動以前の状況に戻りました。



日別地震活動経過図と積算地震回数

(2) 地殻変動

昨年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した。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 6 cm 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しました。

その後、傾斜変動は昨年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、昨年8月半ば以降はいずれも停滞状態となりました。

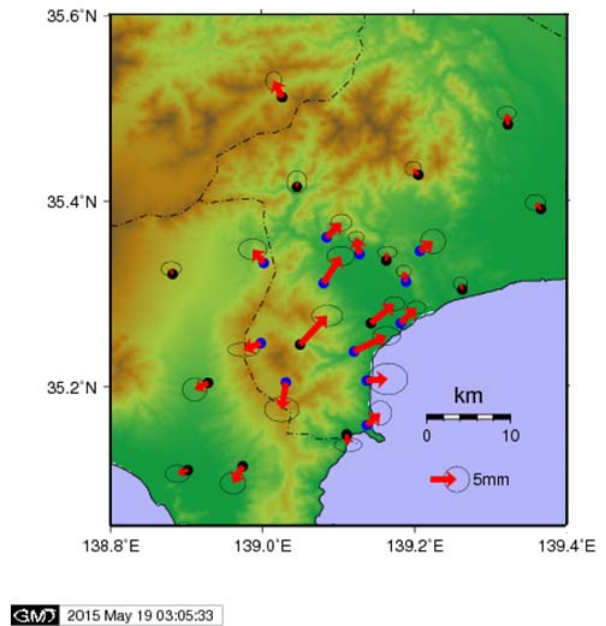
(3) 表面現象

昨年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。

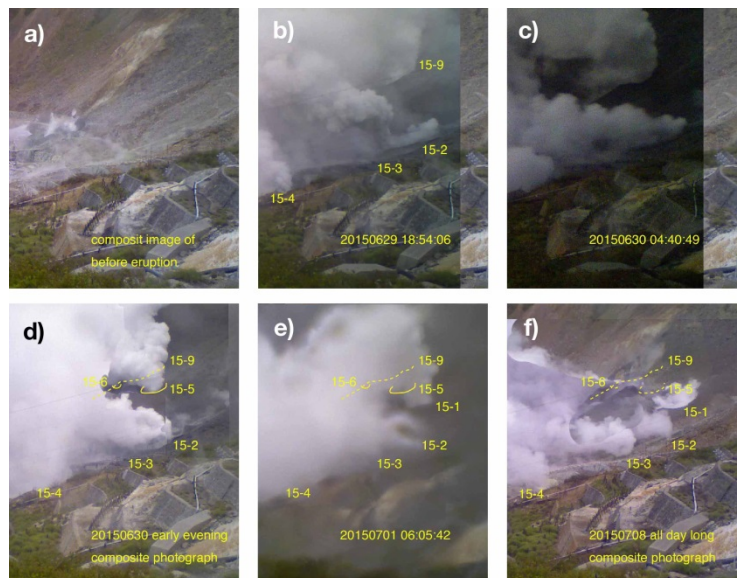
このような状態になったのは、2001年に火山活動が活発になった時以来のことでした。その後、この暴噴蒸気井の周辺の領域（半径約 100m）でも、新たに高温の強い噴気が出るようになりましたが、これらも昨年6月に入り減少傾向が見られていました。

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。



1 か月間の水平方向の変位
(2015 年 4/19 から 5/18 の差)



噴火当日 (2015 年 6 月 29 日～7 月 1 日) と
その前後の大涌谷の様子

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

蒸気井の暴噴を受け、昨年5月4日朝に大涌谷自然研究路と登山道の一部が規制されました。

(2) 噴火警戒レベル2に引き上げ後の対応

活発な地震活動により昨年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

昨年6月29日に地震活動、地殻変動が活発化し、降灰も観測されました。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。

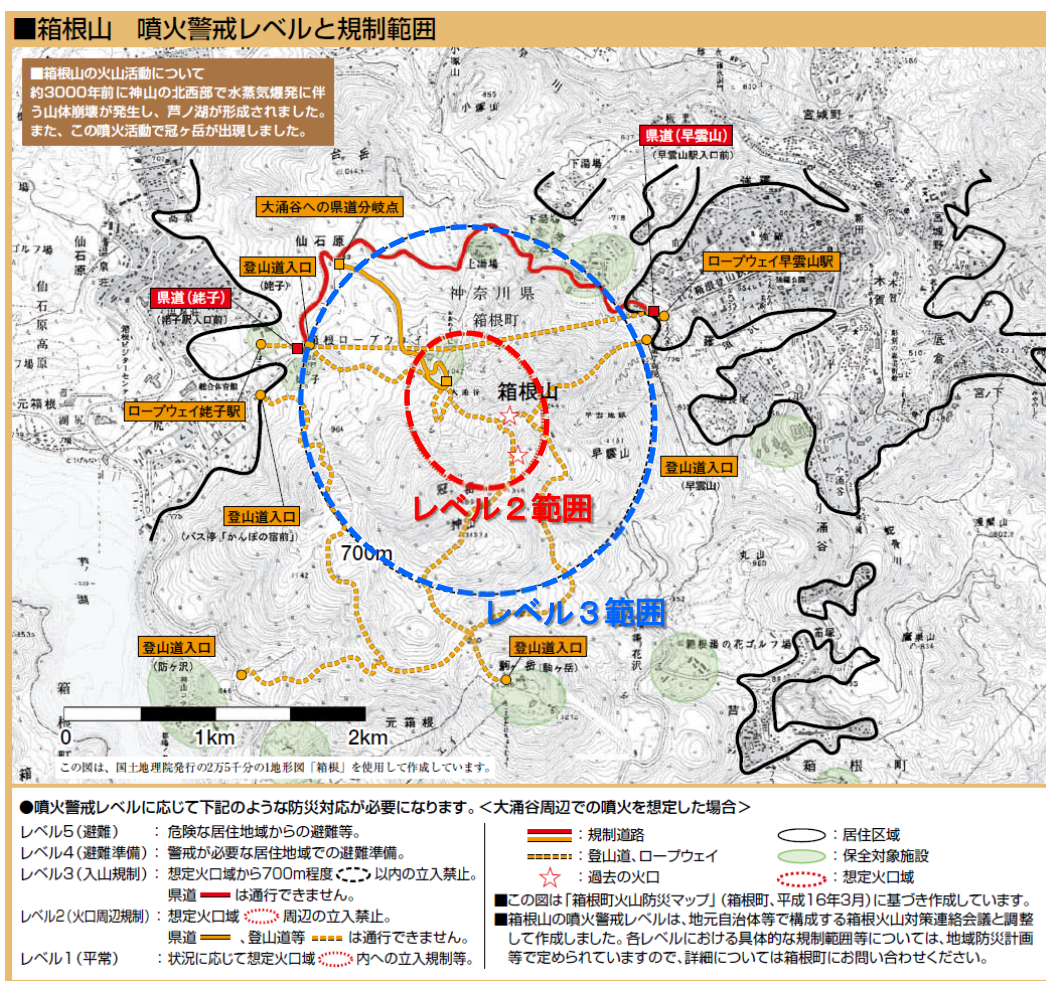
(4) 噴火警戒レベル1引き下げ後の対応

その後活動の低下が認められたことから、昨年9月11日に噴火警戒レベルが2に引き下げられ、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。これにより早雲山駅から姥子に至る県道の規制が解除され、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。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、レベル2でとられてきたその他の規制は継続されました。

(5) 今後の対応

その後、火山ガス濃度も次第に落ち着いてきており、ガスの濃度の監視や安全対策に目途がついたため、2016年（今年）4月23日に箱根ロープウェイの姥子駅～大涌谷駅間の運行が再開されました。また、大涌谷内に設定されたレッドゾーンが変更され、イエローゾーンとなりました。事業者は必要な装備を整え町に届ければ、大涌谷に立ち入ることが可能となりました。

今後もガス濃度の推移を監視し、必要な安全対策をとった上で、段階的に大涌谷園地への立ち入りが解除されることとなります。



箱根山 噴火警戒レベルと規制範囲

4. おわりに

これまでに箱根山では、火山活動の高まりが何回もありました。昨年の活動では、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。噴火は極小規模で、その後火山ガスの放出は続いているものの、火山活動は終息に向かっています。

しかし、いずれ山活動の活発化し噴火するよう様な事態が来るかもしれません。温泉地学研究所は、そのような状況に備えるために、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。

干渉 SAR データから推定される箱根火山 2015 年噴火に伴う開口割れ目

○道家涼介（温泉地学研究所）

はじめに

神奈川県西部に位置する箱根火山では、2015 年 4 月下旬より地震活動が活発化し、6 月 29 日～7 月 1 日にかけて小規模な水蒸気噴火が発生しました。地震活動の活発化以後、宇宙航空研究開発機構（JAXA）が運用する人工衛星だいち 2 号（ALOS-2）搭載の合成開口レーダー（PALSAR-2）による緊急観測が繰り返し行われ、大涌谷において局所的な隆起が観測されました。また、水蒸気噴火直後の観測においては、大涌谷から南東方向に延びる直線を境として、北東側が衛星に近づく地殻変動が観測されました。本発表では、この地殻変動をもたらしたと考えられる開口割れ目について詳細に検討した結果について報告します。

解析結果およびモデル推定結果

ALOS-2/PALSAR-2 により取得された 2 時期のデータを解析（干渉 SAR 解析）することにより、その間の地表面の変位（衛星の視線方向の変位）を計測することができます。図 1 は、2015 年 6 月 18 日と 7 月 2 日のデータを使用して解析を行った結果です。大涌谷の局所では、衛星に近づく変位（6 cm 以上）が認められます。さらに、大涌谷から南東方向に 1.5～2 km の直線を境とする変位が推定され、その東側で衛星に 3～4 cm 近づく変位が観測されました。

この地殻変動を説明するために、大涌谷周辺から早雲山付近にかけて、板状の割れ目（開口割れ目）が存在し、それが開くことにより地表の変位がもたらされたと考え、理論計算を行いました。その結果、大涌谷付近を北端とする長さ 1320 m、幅 292 m、上端の標高約 863 m、走向（北を 0° とする角度） 319.9° 、傾斜（水平が 0° ） 82.2° 、開口量約 14.5 cm の開口割れ目を仮定すると、この地殻変動が説明できることが分かりました（図 2）。また、その体積変化量は、約 $5.6 \times 10^4 \text{ m}^3$ と求まりました。

さらに、開口割れ目の位置、走向・傾斜を固定し、面上を $50 \times 50 \text{ m}$ に区切り、領域毎の開口量を推定した結果が図 3、4 です。その結果、割れ目面の中央浅部（大涌谷の南 200～500m）、南端部付近の 2 ヶ所で大きな開口量（最大で 1 m 以上）が得られました。また、このモデルによる体積変化量は $6.6 \times 10^4 \text{ m}^3$ と求まりました。図 2 のモデルでは一枚の割れ目が均質に 10 数 cm 開くことにより地殻変動を説明したのに対し、図 3、図 4 ではその割れ目面上の 2～3 ヶ所が局所的に大きく開く場合でも地殻変動を説明することが可能ということを示します。

考察

推定された開口割れ目両端の深さ 2 km 以浅には、6 月 29 日～7 月 1 日に発生した地震の震源の集中域が認められます（図 2、3）。また、開口割れ目が推定された位置は、過去の活動により形成された火口様の凹地が集中して分布する位置（小林、2008）と概ね対応します。加えて、箱根火山において現在活発な噴気地帯である大涌谷、早雲山、湯ノ花沢が、この開口割れ目の近傍に分布することから、北西 - 南東走向の既存の構造に熱水や水蒸気が入り込んだことにより、地表面の変位がもたらされたと考えられます。傾斜計のデータからは、2015 年 6 月 29 日の午前 7 時 33 分頃からの約 1 分間で、開口割れ目が形成されたことが示されており（本多ほか、2015）、干渉 SAR から推定される開口割れ目も、この時間に形成された可能性が高いと考えられます。すなわち、開口割れ目の貫入が、その北端に位置する大涌谷の浅部にある熱水だまりを励起し、6 月 29 日からの水蒸気噴火に至ったと考えられます。

謝辞

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を通して JAXA よりご提供頂きました。ここに記して感謝します。

参考文献

本多 亮ほか (2015) 火山学会 2015 年秋季大会, P48.

小林 淳 (2008) 神奈川県立博物館調査研究報告 (自然科学), 13, 43-60.

行竹洋平ほか (2015) 火山学会 2015 年秋季大会, P96.

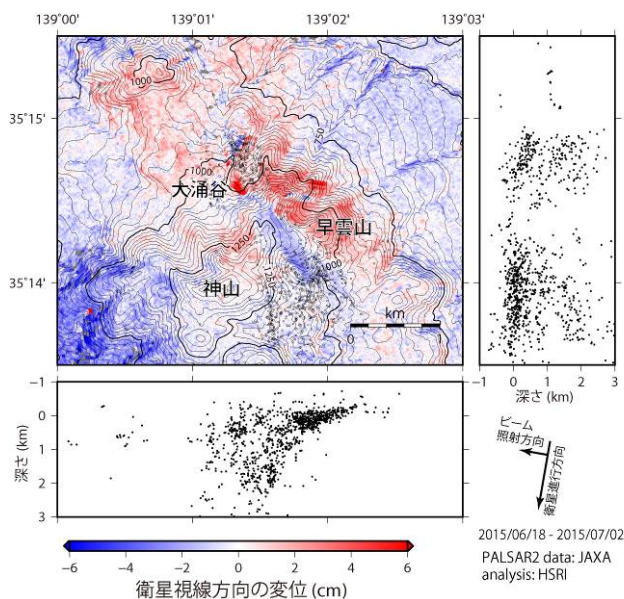


図1 2015年6月18日と7月2日のペアの干渉 SAR 解析結果。正の値が衛星に近づく変位を示す。震源の分布は、行竹ほか (2015) による。

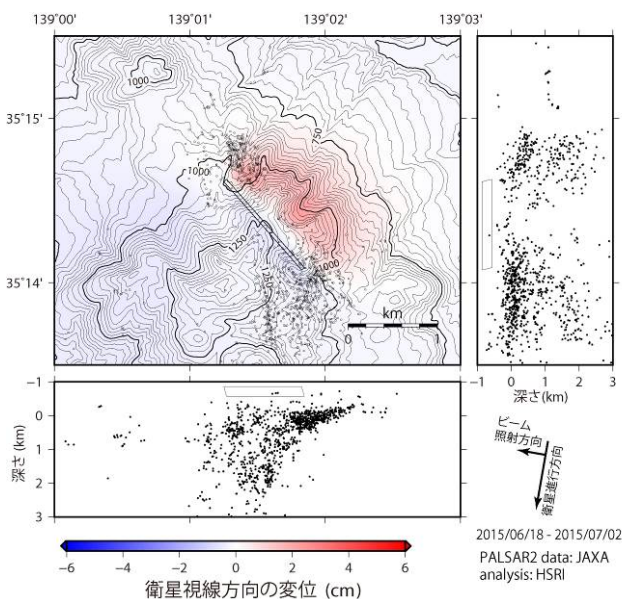


図2 単一の開口割れ目を推定したモデル。図中の四角形が開口割れ目を示す。図の背景色はモデルから計算される理論的な変位量を示す。

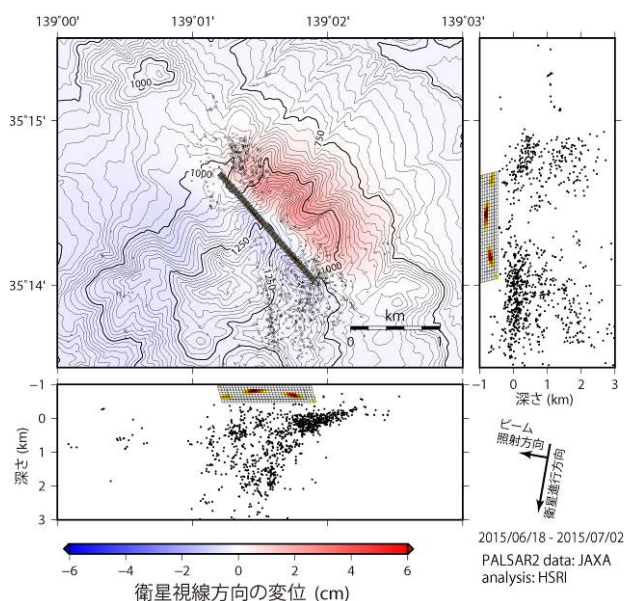


図3 50m×50mの領域毎の開口量分布を推定したモデル。図の背景色はモデルから計算される理論的な変位量を示す。

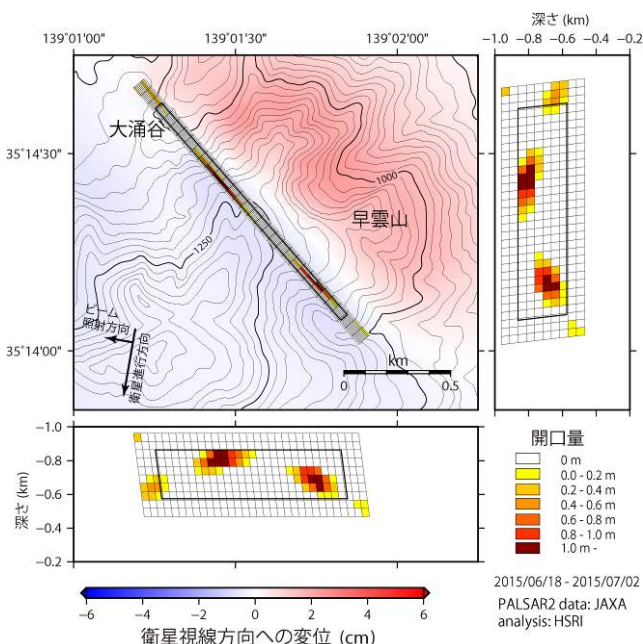


図4 図3のモデルの開口割れ目部分の拡大図。内側の太線が、図2で推定した単一の開口割れ目に対応する。

地動ノイズから火山内部の変化を診る

○行竹洋平（温泉地学研究所）

はじめに

地震計を使って地面の揺れを測定すると、地震が起きてなくても地面は常に揺れていることが分かります。これは海洋や風によって、あるいは人間活動によって生じる揺れで、これを地動ノイズ（常時微動）と呼びます。地震波形の解析をするとき、この地動ノイズは除外して扱われますが、この発表では地動ノイズを逆に利用して地下の情報を得る新たな試みについて紹介します。

地動ノイズを利用して地下を知る

これまで邪魔者扱いされてきたこの地動ノイズを使って、地下内部の構造を推定するという画期的な手法が最近開発されてきました。この手法は専門家の間では地震波干渉法と呼ばれています。

地震波干渉法の原理を簡単に説明すると以下のようになります。地動ノイズは地震観測点に対しては四方八方様々な方向から到来してきます。こうした状況のもとで、2つの観測点 A と B で記録された同じ時間の地動ノイズ波形に対して相互相関という処理を施します。すると、観測点 AB 間を伝わる地震波を求められることができます（理論的な証明は、中原・2015 をご覧ください）。地動ノイズの相互相関処理により、観測点 A に震源があり、そこから発せられた地震波を観測点 B で記録する状況を仮想的に作り出すことができます。この仮想的な地震波形には観測点 A と B 周辺の地下内部の構造に関する情報が含まれています。通常地震データから地下の情報を得るには、自然に発生する地震や人工的に起こした発破などを利用しますが、この方法をつかえばこうした地震データが利用できない場所や時間でも地下の情報を知ることができます。

この手法の大きな利点は、地動ノイズは常時励起されているため、それを利用することにより地下構造の時間変化を高い時間分解能で推定可能になることです。先に示した例において、観測点 A と B との間を伝搬する地震波形（観測点 A と B の地動ノイズの相互相関関数）を 1 日毎に推定することを長期間にわたって行うとします。もし両者の観測点の間の地下構造に何らかの時間的な変化が起きた場合、それが地震波形の変化として検出できる可能性があります。実際、このような解析をとおして、大地震や火山活動に伴う地下構造の時間変化を検出した研究例が多く報告されるようになりました。

箱根火山の活動に伴う地下構造変化の検出

この発表では、地震波干渉法を用いて箱根火山の火山活動に伴い地下の構造の変化が起きていないかどうかについて調べてみました。今回ターゲットとしたのは、2011 年東北地方太平洋沖地震直後におきた地震活動、及び 2013 年に起きた群発地震活動です。2011 年の活動時には、東北地方太平洋沖地震直後から約 1 ヶ月間箱根火山で地震が活発な状態が続き、外的な影響により誘発されたものだと考えられています。2013 年の活動時には、1 月初旬より 2 月の下旬にかけてカルデラ内で群発地震が発生し、さらに山体の膨張を示す地殻変動が観測されました。この地殻変動は火山深部の深さ 10km 付近のマグマ溜りの膨張及び浅部の熱水溜りの膨張が原因であると考えられています。

図に示したのは箱根カルデラ内の駒ヶ岳観測点及び大涌谷観測点で記録された地動ノイズに対して上記の地震波干渉法を適用した結果得られた、観測点近傍での地震波速度変化率の時間変化を表します。地震波速度変化率とは基準となる地震波速度に対する変化量の割合で、負の符号は地震波速度が低下したことを意味します。2011 年東北地方太平洋沖地震後はどちらの観測点にも -0.5% 程度の速度低下が認められます。こうした傾向は箱根カルデラ内のその他の観測点でも見られました。一方、

2013 年活動の際には駒ヶ岳観測点近傍で 2012 年末から徐々に速度が低下していることが、大涌谷観測点近傍では 1 月末に急激な速度低下が推定されました。駒ヶ岳観測点で見られた 12 月頃から始まる速度低下は箱根の山体膨張の開始時期、大涌谷観測点で見られた 2013 年 1 月末の速度低下は火山浅部での地殻変動の開始時期に対応します。そのため、この速度低下の原因は火山内部でのこうした地殻変動に伴って生じたひずみ変化が原因ではないかと考えられます。一方、2011 年の速度低下はカルデラ全域で見られることから、東北地方太平洋沖地震の大きな地震動により火山内部の熱水分布が影響を受けたことによるものではないかと考えられます。

従来は除外されていた地動ノイズを利用した解析により、火山活動に伴う地下のわずかな変動を検出できることが分かりました。この手法をリアルタイムで行い、他の地殻変動観測データなどと比較することにより、火山の状態がよりの確に把握できることが期待されます。

謝辞

本研究では、防災科学技術研究所 Hi-net、気象庁観測点の地震波形データを使用させていただきました。

引用文献

中原 恒 (2015), 地震波干渉法 その 1 歴史的経緯と原理, 地震 第 2 輯, 68, 75-82.

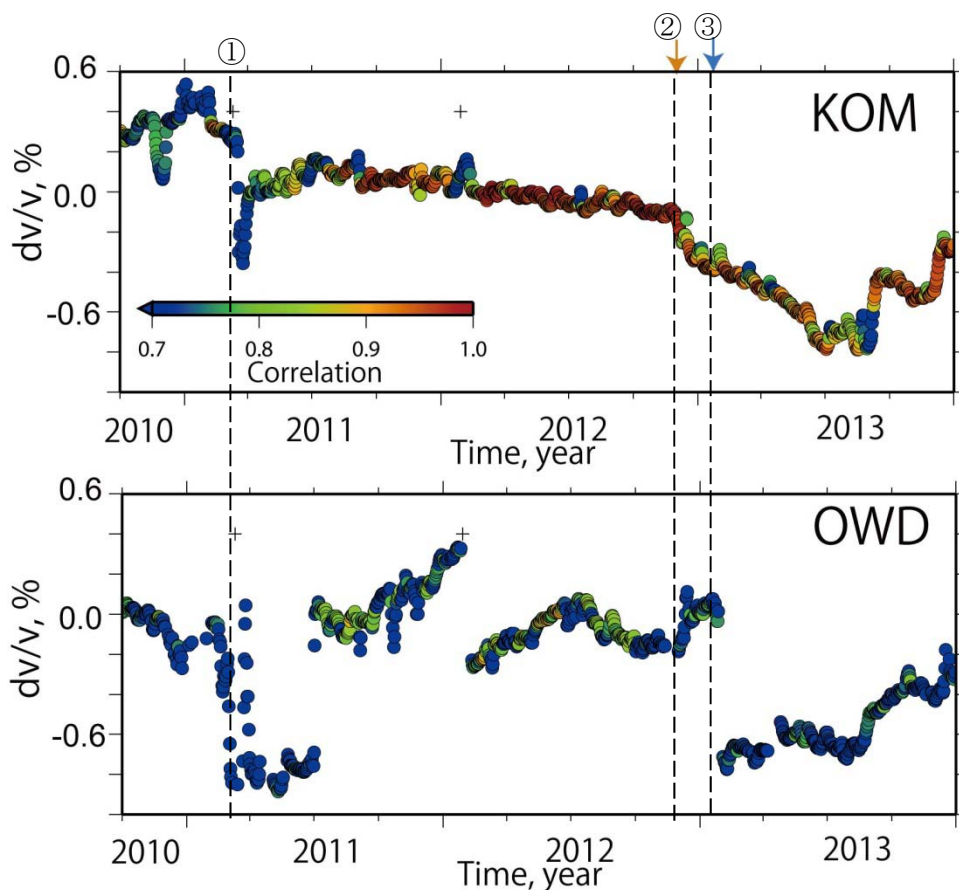


図 駒ヶ岳観測点（上段）と大涌谷観測点（下段）における速度変化率（ dv/v ）の時間変化. ①2011 年東北地震、②基線長変化開始時期、③2013 年群発地震開始時期

神奈川県と静岡県の地震防災への取り組み

○里村幹夫（温泉地学研究所）

はじめに

今年の4月、熊本県地方を震度7の地震が2回も襲い、大きな被害が出ました。神奈川県も静岡県も、大地震に襲われる可能性の高い県であり、両県とも早くから地震防災に取り組んできました。筆者は、長年静岡大学で教員として大学や学生の地震防災に携わるとともに、静岡県の地震防災行政にも間接的にかかわってきました。現在は温泉地学研究所の所長として、神奈川県の地震防災行政に関与しています。

両県が行っている地震防災の取り組み項目を羅列すると、ほとんど同じものが並びます。ただ、項目ごとの力の入れ方は、県によって違いがあります。両県の地震対策を比べることは、それぞれの地震対策の質の向上させる上で、さらには他の自治体における災害対策の向上のために重要でしょう。

神奈川県の地震対策の特徴

神奈川県では、災害対策を担う安全防災局に多くの現役の警察官や自衛隊OBがメンバーとして加わっています。また、大災害が発生したことを想定して、在日米軍も参加した「ビッグレスキューかながわ」という大規模な防災訓練に力を入れています。神奈川県は、県独自での対応が困難になるような災害発生に備えて、外部機関との連携を重視しています。

また、神奈川県が行っている地震被害想定では、単に被害がどの程度出るかということだけではなく、災害が発生したとき、いつまでにどのような対応がどこまでとれるのか、対応が不十分なまま長時間残るのは何か、というようなシナリオ作りにとっても力を入れています。これは、地震が起こったときに、どのような対応が有効かを考えるためです。

こうしたことから、神奈川県では、災害が発生したときいかに有効な対応が取れるかに力を入れているように感じます。神奈川県は、東日本大震災の被災地への行政支援も積極的にかつ息長く続けています。また、今年の熊本県への行政支援も熱心です。これらの支援も結果的に神奈川県が大きな災害を被った時の対応に結びつくことです。

静岡県の地震対策の特徴

静岡県の地震防災対策の中心は、家の耐震診断、耐震補強、家具の固定、また津波対策なら堤防の整備、河口の水門の設置、避難タワーや避難マウントの設置などによる避難地の確保や、そこへ至る階段の整備など、ハード面の整備です。被害が起こった後の対応よりも、まずは災害を小さくすることに力を入れています。

1976年にM8クラスの東海地震の発生が指摘された(石橋、1976)ことを受け、その翌年に地震予知連絡会に「東海地域判定会」が作られ、さらに1978年には東海地震の発生を視野に入れた大規模地震対策特別措置法（大震法）が作られました。この法律は、地震予知ができることを前提としているので実情に合っていないとの批判の声もあがっていますが、地震予知の推進と同時に建物の耐震化や津波・山崩れ対策の施設の整備などの事前対策をうたっており、静岡県はこの法律をもとにして地震対策を進めました。特にこの法律をもとに政府から出された財政特例措置法による地震対策緊急整備事業費や、静岡県独自で行った法人税の超過課税の費用が地震対策の特にハード面の整備に使われました。地震財政特例法で静岡県が使った事業費は昭和55年から平成16年までで約7774億円（うち国費が3735億円）、同じ期間の神奈川県の事業費は1428億円（うち国費が558億円）です（中央防災会議、

2002)。すべてがハード面の整備に使われたわけではありませんが、静岡県は東海地震対策としていかに多額の費用を使ったかがよくわかる数字です。

静岡県は、このように東海地震の発生が言われたばかりの初期のころからハード面の整備に力を入れてきましたが、一般家屋の耐震化をより明確にしたのが阪神・淡路大震災の教訓をもとに設定した地震対策アクションプログラム 2001 です。この中で、静岡県は住宅の耐震化のための「プロジェクト『TOUKAI-0』」を中心に据えて、家屋の倒壊ゼロを目指して耐震化に力を入れています。

もう1つ静岡県で感じるのは防災教育に力を入れていることです。静岡県は、幼稚園、保育園の段階から防災教育を行っている。教室にある自分が座る椅子の上に置く座布団は防災ずきんと兼用であり、防災訓練の時にこれを使うのはもちろん、結果的に常に防災を意識することになります。小学校では、東海地震がどのようにして起こるのかということが何度も教え込まれています。

他県から静岡県に引っ越した人が驚くのは、静岡県は家具の耐震固定がとても進んでいることです。静岡大学にいたとき、新たな同僚教員をいろんな地域から迎えましたが、みんなが口にしたのが、静岡では家具の購入と同時に家具を固定のが当たり前のように行われるので驚いたということでした。これらも長年の防災教育の積み上げの成果でしょう。

おわりに

神奈川県は、大正の関東大震災以降、大地震に見舞われていませんが、中央防災会議(2013)からは首都直下地震が今後30年間に70%の確率で発生するとされ、被害想定も出されています。また、地震調査研究推進本部(2016)から発表されている今後30年以内に震度6弱以上に見舞われる確率は、横浜市において、全国の県庁所在都市の中で千葉市に次いで高いなど、神奈川県が地震災害に見舞われる可能性が高いことが指摘されています。防災担当の行政職員の尽力は言うまでもなく、県民の中にも地震防災にとっても熱心な活動をしておられる方も多いのですが、多くの一般県民の皆さんの地震防災に対する意識はいかがでしょうか？

以前より静岡県の防災行政に関してきた経験と、神奈川県温泉地学研究所所長として体感している神奈川県の地震防災行政の現場の状況をもとに、両県の地震防災対応の特徴について述めました。神奈川県が静岡県から学ぶべき点も多いと感じています。静岡県では、東海地震が明日起こっても不思議ではないと言われたことが契機となり、政府からの多額の税金がつぎ込まれたこともあって、津波防止の堤防の整備、建物の耐震化、大型家具の固定等が進みました。減災のために必要なハード面の強化には、多額の財源が必要です。神奈川県では今年度から法人税の超過課税を「災害に強い県土づくりの推進」に割り振ることになりました。これによる防災力強化を期待しています。

最後に自画自賛になりますが、神奈川県が文句なく誇れる点に触れておきます。それは、県として温泉地学研究所という地震や火山の研究機関を所有していることです。これは単に地震や火山についてのデータを自力で取得できるということだけではありません。行政の立場に加え、地震学、火山学といった観点も交えて、自ら災害への対応を考えることができるという強みがあるということを強調しておきます。

参考文献

中央防災会議(2002) 東海地震対策の現状等の概要. 東海地震専門調査会(第3回)資料.

中央防災会議(2013) 首都直下地震対策検討ワーキンググループ最終報告の概要. 防災対策推進検討会議 首都直下地震対策検討ワーキンググループ

石橋克彦(1976) 東海地方に予想される大地震の再検討 ―駿河湾地震の可能性―. 地震予知連絡会会報、17、126-132.

地震調査研究推進本部地震調査委員会(2016) 全国地震動予測地図 2016年版.