



神奈川県温泉地学研究所

平成22年度

# 研究成果発表会講演要旨集

---

日時 平成22年6月16日(水) 13時30分から

場所 温泉地学研究所会議室

# 平成22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22年6月16日(水)13:30-16:00

会場:温泉地学研究所 2階会議室

## 1. 口頭発表

発表時間	演題と概要	発表者
13:30 ~ 13:35	<b>あいさつ</b>	所長 吉田明夫
13:35 ~ 13:50	<b>神奈川県とその周辺における2009(平成21)年の地震活動</b> 当所が、神奈川県西部地域で行っている地震観測の観測結果をもとに、2009年1月~12月までの地震活動について報告します。	伊東博*、本多亮、 原田昌武、行竹洋平、 棚田俊收
13:50 ~ 14:05	<b>箱根の震源分布の時間変化(震源域は広がっている?)</b> 温泉地学研究所では1968年以降、箱根火山の地震観測を継続してきました。本報告では、震源決定法や観測点分布の変化も考慮して、1968年から79年までの地震の震源について再検討しました。その結果、70年代は大涌谷付近に集中していたように見えた震源分布は、実際にはもっと広い範囲に分布していた可能性があることが分かりました。	本多亮*、伊東博
14:05 ~ 14:20	<b>箱根における群発地震発生原因の検討 ~2009年8月箱根・湖尻周辺の地震活動に基づいて~</b> 2009年8月箱根湖尻周辺で発生した群発地震について、稠密な地震観測網を用いて詳細に解析しました。その結果に基づいた、2009年8月湖尻周辺における群発地震の発生原因の一考察を発表します。	行竹洋平*、伊東博
14:20 ~ 14:35	<b>文部科学省プロジェクト「神縄・国府津一松田断層帯における重点的な調査観測」でやろうとしていること</b> 現在、東京大学地震研究所が中心となって実施している、神縄・国府津一松田断層帯の調査観測プロジェクトについて、その全体の概要と、温地研が取り組んでいる内容をご紹介します。	小田原啓*、行竹洋平、 明田川保、棚田俊收
14:35 ~ 14:55	(休憩)	
14:55 ~ 15:10	<b>2009年実態調査からみた湯河原温泉の現況</b> 平成21(2009)年に、湯河原温泉の源泉を一斉に採水して成分分析を行いました。湯河原温泉で温泉成分の一斉調査が行われたのは四半世紀ぶりです。ここでは、その結果から、湯河原温泉の泉質分布などの現況について解説します。	菊川城司*、代田寧
15:10 ~ 15:25	<b>県内大深度温泉水の起源について</b> 化学成分や同位体などのデータに基づいて、神奈川県内の大深度温泉水が、どのように形成されたのかについて発表します。	板寺一洋*、菊川城司、 小田原啓
15:25 ~ 15:45	<b>箱根火山の構造と温泉・地震・地殻変動</b> 箱根は美しい景観と豊かな温泉に恵まれています。一方で群発地震がしばしば発生し、また、近年は新しい噴気口や地殻変動も観測されています。まさに箱根は生きている火山です。本講演では、これらの美しい景観や温泉、群発地震、噴気、地殻変動が箱根火山の活動の現れとして密接に関連していることをお話ししたいと思います。	吉田明夫*
15:45 ~ 16:00	<b>県試験研究機関の改革について一温地研の将来についてご意見をお聞かせ下さいー</b>	杉原英和*

\*印は発表者を表します。

## 2. ポスター展示

### 1) 首都直下地震防災・減災特別プロジェクトの紹介

温泉地学研究所は、平成19年度より首都直下地震防災・減災特別プロジェクトに参画し、東京大学地震研究所と共同して中感度地震観測機器を神奈川県内に構築してきました。本ポスターでは、プロジェクトの概要等を紹介いたします。

### 2) なまずの会の紹介

井戸の水位や温泉温度などを測り、地震に関連する変化を捕らえることを目的とするボランティアグループ“なまずの会”を紹介いたします。

## 目次

1. 神奈川県およびその周辺における 2009(平成 21)年の地震活動 . . . . . 1
2. 箱根の震源分布の時間変化 (震源域は広がっている?) . . . . . 3
3. 箱根における群発地震発生原因の検討  
～2009 年 8 月箱根・湖尻周辺の地震活動に基づいて～ . . . . . 5
4. 文部科学省プロジェクト「神縄・国府津ー松田断層帯における重点的な調査観測」  
でやろうとしていること . . . . . 7
5. 2009 年実態調査からみた湯河原温泉の現況 . . . . . 9
6. 県内大深度温泉水の起源について . . . . . 11
7. 箱根火山の構造と温泉・地震・地殻変動 . . . . . 13

# 神奈川県およびその周辺における 2009(平成 21)年の地震活動

○伊東 博、本多 亮、原田昌武、行竹洋平、棚田俊收

## 1. はじめに

神奈川県西部地域では近い将来マグニチュード(以下、Mとする)7クラスの地震が発生する可能性が指摘され、温泉地学研究所(以下、当所という)では、「神奈川県西部地震」発生メカニズムの解明と箱根火山の活動状況監視を目的として、箱根火山を含む県西部地域で地震及び地殻変動観測を行なっています。また、これらの地震観測と地殻変動観測の自動処理結果は、当所ホームページ (<http://www.onken.odawara.kanagawa.jp>) にほぼリアルタイムで掲載しています。本発表では、2009(平成 21)年の観測結果から神奈川県およびその周辺地域の地震活動について報告します。

## 2. 神奈川県とその周辺地域の地震活動

2009(平成 21)年 1月～12月までの期間、当所で震源を決定した地震数は 3,555 回、そのうち有感地震は 47 回でした(図 1、表 1)。

本期間中に発生した最大の地震は、12月 18日 08時 45分伊豆半島東方沖で発生した M5.1 の地震で、その深さは 4.6km でした。この地震により、静岡県伊東市で震度 5 弱が記録されたほか、神奈川県内では小田原市、中井町、真鶴町で震度 3 が観測されたほか、県内全域で震度 2 から震度 1 の揺れが観測されました(気象庁発表)。

本期間中の地震発生数について、前年(平成 20 年)の地震発生数と比較すると、箱根及び伊豆地域での地震数が増えているのが目立ちます(表 1)。

箱根火山では、地震数が 100 を超える群発地震が 2 月と 8 月に 3 回観測されました。このうち 8 月初旬に発生した群発地震では、1,300 回の地震が観測されました。箱根地域では、これらの群発地震に加え、年間を通して地震活動のレベルが高い状況でした。

神奈川県周辺地域では、12 月に伊豆半島東方沖で群発的な地震活動が観測されました。また、当所の監視区域外ですが、8 月 11 日に駿河湾で M6.5 の地震が発生しました。この地震は東海地震の想定震源域付近で発生したため、テレビなどで大きく取り上げられ心配されましたが、気象庁から想定されている東海地震ではないという結論が発表されました。

本期間中は、これらの箱根及び伊豆地域の地震活動に伴い、多くの地震が発生したため、年間の地震数が増えています。なお、当所の観測網では、これらの地震活動に関連する前駆的な地殻変動の変化は観測されませんでした。

## 3. 箱根火山の地震活動

箱根火山では、2009(平成 21)年 1 月から 12 月までの期間に 2,119 回の地震について震源決定されました。このうち、当所の定義(注)による群発地震活動は以下のとおり 5 回観測されました。

	活動期間	地震数	最大地震	有感地震数
①	2月 8日 00時 09分 ～ 2月 9日 01時 02分	427	M1.7	0
②	7月 29日 02時 15分 ～ 7月 29日 04時 29分	24	M1.2	0
③	8月 4日 19時 05分 ～ 8月 7日 12時 39分	1300	M3.2	2

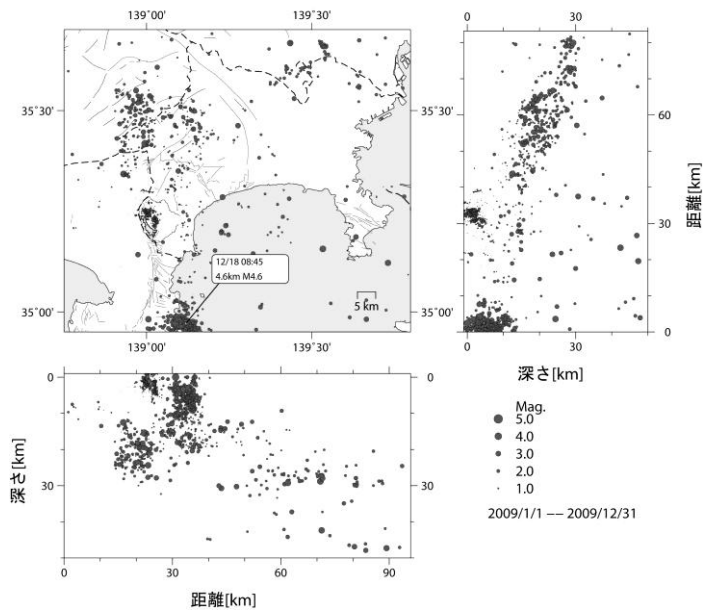


図 1 神奈川県およびその周辺地域の震源分布 (2009 年 1 月～12 月まで)

- ④ 8月9日 00時 02分 ～ 8月10日 03時51分 292 M1.8 0
  - ⑤ 8月11日 06時 56分 ～ 8月12日 11時09分 89 M2.4 0
- (注) 当所では、箱根火山における群発地震活動を「地震回数が1時間に10回以上で、活動期間は前後3時間以上地震なしで区切る」と定義しています。

地震活動の概要

- ① 2月の活動の震源域は神山の直下、震源の深さ(海拔標高)は0～2km付近でした。
- ② 7月の活動は、2時間程度のごく微小な活動で、震源域は大涌谷のごく浅いところでした。
- ③～⑤ 8月の3回の活動は湖尻付近を中心とした深さ0～2kmの浅い領域で発生しました。震央の分布は、いずれも芦ノ湖の北岸付近で、東西に伸びていました。この付近では2007(平成19)年2月28日及び2008(平成20)年9月9日に群発地震が発生していますが、今回は、これらより少し北側での活動でした。

4. 神奈川県内で有感となった地震

2009(平成21)年1月から12月の期間中に、神奈川県内で震度1以上の揺れが観測された地震は96回でした。その内訳は、震度4:1回、震度3:9回、震度2:27回、震度1:59回でした。

県内が有感となる地震のうち、半数程度は12月の伊豆半島東方沖の地震によるものでした。期間中の最大の揺れ(震度4)が観測された地震は8月11日に駿河湾で発生したM6.5によるものでした。そのほかは、おもに関東地方で発生した地震によるものですが、1月2日と8月9日に東海道南方沖(M5.2、M6.8)や6月10日の伊勢湾(M5.0)で起こった地震のように震央距離が遠く深い地震でも有感となることがあります。一般に太平洋側で深い地震が発生すると、神奈川県から遠く離れた地震でも有感となることがあります。これは神奈川県の下に沈み込んでいる太平洋プレートを伝わってくるもので、地震波の減衰が小さい(振幅が大きいまま伝わってくる)ため、いわゆる異常震域が形成されたものです。

5. おわりに

2009(平成21)年の1年間に震源が決定できた地震数では、昨年(2008年)の地震発生数と比較すると、箱根、伊豆地域で地震数が増えています。これは箱根地域で地震数が100を超える群発地震が3回あったことに加え、12月に発生した伊豆半島東方沖の群発的な地震活動が発生したため、年間の地震数が増えたものです。

これらの地域以外では特に目立った地震活動は発生していません。また、傾斜観測や光波測量などによる地殻変動観測では、これらの地震活動に伴う前駆的な変化は認められませんでした。

今後も箱根火山の活動状況の監視とともに、「神奈川県西部地震」発生 of 切迫性が高いと指摘されていることから、当所ではその発生メカニズムの解明に取り組むとともに、地震活動観測及び地殻変動観測を中断することなく注意深く続けてまいります。

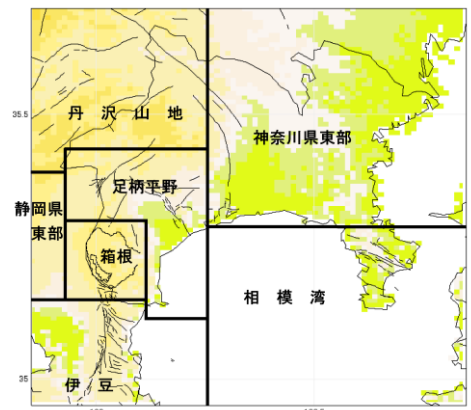


図2 表1に対応する地域区分

	箱根	足柄平野	丹沢山地	県東部	相模湾	伊豆	静岡東部	合計	(有感)
1989年	54	64	99	101	1	32	7	358	
1990年	101	89 (5)	124 (2)	27	0	24	1	366	7
1991年	92 (11)	57 (2)	148 (4)	38 (2)	2	4	3	344	19
1992年	98 (1)	85 (2)	81 (5)	16	4	11	3	298	8
1993年	57 (2)	43 (1)	69 (1)	18 (1)	9	9	0	205	5
1994年	413 (13)	75 (2)	97 (3)	6	3	3	2	599	18
1995年	54 (1)	46	75 (6)	13 (1)	4	9	4	205	8
1996年	38 (1)	45	215 (9)	5	1	35	2	341	10
1997年	99	75 (2)	67 (4)	11	4 (1)	48 (1)	2	306	8
1998年	146	43 (2)	41 (4)	8	6	32 (3)	6	282	9
1999年	45	34 (1)	35 (5)	6	3	10	3	136	6
2000年	211 (3)	47	71 (4)	4 (1)	9 (1)	2	0	344	9
2001年	4113 (1)	70	108 (5)	30	4	12	2	4339	6
2002年	639 (1)	101 (2)	128 (7)	17	4	22 (3)	6	917	13
2003年	226	101	135 (3)	11	1	30	9	513	3
2004年	566 (4)	109	147 (3)	11	4 (2)	24	2	863	9
2005年	138	199 (2)	235 (4)	34	6	43	4	659	6
2006年	1411 (4)	159 (2)	210 (3)	65 (1)	23 (1)	433 (4)	16	2317	15
2007年	486 (6)	187 (4)	223 (4)	82 (2)	15	68	5	1066	16
2008年	815 (3)	129 (1)	226 (3)	75 (3)	18 (1)	32 (1)	11	1306	12
2009年	2119 (3)	220 (5)	231 (1)	74 (1)	33 (1)	865 (36)	13	3555	47
累積数	11921 (54)	1978 (33)	2765 (80)	652 (12)	154 (7)	1748 (48)	101	19319	234

\*1989年は4月～12月までのデータ、括弧内の数字は有感地震数

表1 年別地震数(1989年～2009年)

# 箱根の震源分布の時間変化（震源域は広がっている？）

○本多亮、伊東博

## 1. はじめに

箱根火山は伊豆衝突帯の北端部に位置し、たびたび群発的な地震活動が発生する活火山です。箱根で発生する群発的な地震活動は、伊豆・相模湾北西部の地震・火山活動と相関がみられることが以前から指摘されており（平賀, 1987）、箱根火山は伊豆衝突帯の応力場の変化を反映する「窓」と考えられます。本報告では、箱根周辺の応力場について考察するための基礎資料として、温地研が箱根火山において観測を始めた 1960 年代後半から 1970 年代の震源分布の時空間変化について再検討を行いました。

## 2. データおよび手法

当時の温泉地学研究所報告などによれば、1960 年代後半から 1970 年代の震源分布の特徴は、以下のようなものです（図 1）。

- ① 中央火口丘の大涌谷周辺の深さ 1～2km 付近に集中している。
- ② カルデラ壁付近には地震はない。

一方で、最近の群発地震の震源分布の特徴は、

- ① 箱根カルデラ内の比較的広範囲で微小地震が発生。
- ② 2000 年以降の群発地震の震源域について、それぞれの活動の震源域が相補的（領域が重ならない）。
- ③ 中央火口丘の東側にはほとんど地震が発生しない。
- ④ 南から北に向かって、震源の深さが浅くなる。

といった特徴があります。このような地震活動の変化は、箱根周辺の応力場の変化を反映している可能性があります。そこで、震源決定法や観測網の違いについて考察したうえで、このような変化が本物であるかどうか検証します。

1970 年代までは、煤書きもしくはインク書きの紙記録から、S-P 時間（P 波の到達時刻と、S 波の到達時刻の差）を読み取って、コンパスを使った作図法によって震源を決定していました。現在、この S-P 時間のデータは記録として残っていますが、決定された震源の緯度経度についての記録は無く、地図上にプロットされた図が温地研報告にあるだけです。また、作図法では地下構造を均質なものとして扱い、観測点ごとの高度差は考慮されていません。

そこで、以下のような手順で震源について再検討を行います。

- ① 箱根火山を囲む領域を 500m の格子に区切り、格子点（仮想震源）から各観測点までの P 波、S 波の到達時刻を理論的に計算する。このとき、地下構造は深くなるに従って地震波速度が速くなる成層構造を仮定し、観測点ごとに補正値を与える。
- ② 理論値と観測値の誤差（RMS）が 0.05 秒よりも小さいとき、誤差の逆数（フィットネス計数）をその格子点に割り当てる。
- ③ 群発地震が発生した期間内の全ての地震についてフィットネス計数を計算し、格子点ごとに足し合わせて、その期間内の地震活動がどのあたりで活発だったかを推定する。

### 3. 結果

解析の結果、1970年代に報告されている中央火口丘付近に集中した震源は、実際にはもっと広い範囲に分布していたと考えられることが分かりました(図2)。また、震源域が相補的であることや、北に向かって震源の下限が浅くなる点についても確認できました。

### 4. まとめ

萬年(2003)は、過去の測候所などの記録から1917年から1960年までの群発的な地震活動の震源を検討しました。その結果、震源域は南北に比較的広い範囲に分布していたと推定しており、本報告の結果とも調和的です。従って、近年の震源決定法によって得られている震源域の広がり、1960年代以前を含めて箱根の群発地震の共通した特徴であると考えられます。また、一回の群発地震の活動域はある領域に限られており、時期ごとに少しずつ場所を移しながら発生しています。このことは、それぞれの領域の群発活動の繰り返し期間を観測から推定できれば、次に群発的な活動を起こす場所をあらかじめ予想できる可能性があることを示唆しています。

群発地震の繰り返しや活動度は、周辺の応力場の変化や箱根の地下構造を反映していると考えられます。今回は1970年代の震源分布に着目しましたが、今後1980~90年代の群発震源の震源分布を詳細に検討し、群発地震の特徴を明らかにしていくことで、箱根周辺の応力蓄積過程あるいは伊豆衝突帯の応力場について重要な知見を得られる可能性があります。

### 4. 参考文献

平賀士郎, 1987, 箱根火山と箱根周辺海域の地震活動, 温地研報告, 18, No4, pp273.  
萬年一剛, 2003, 火山, 48, 425-443

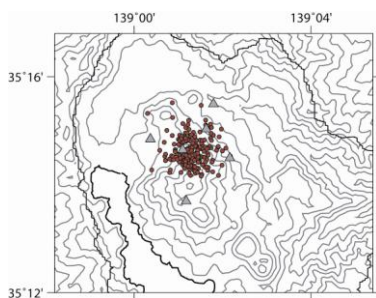


図1 : S-P 時間をデータとし、作図法によって求められた1968年から78年までの震源分布

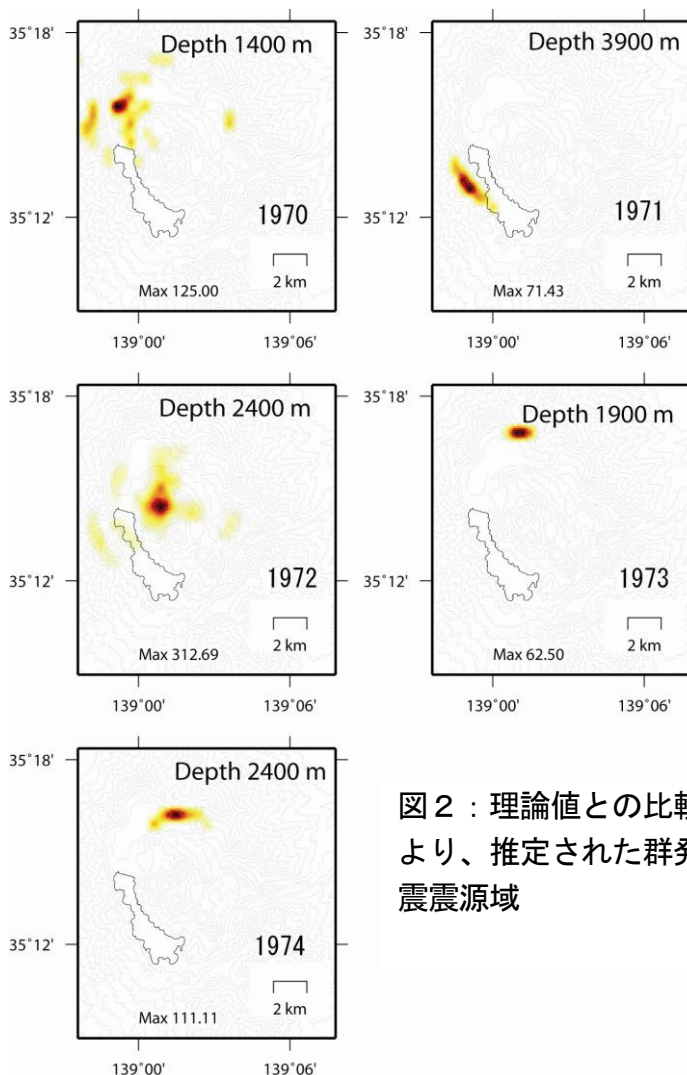


図2 : 理論値との比較により、推定された群発地震震源域

# 箱根における群発地震発生原因の検討

## ～2009年8月箱根・湖尻周辺の地震活動に基づいて～

○行竹洋平、伊東博

### 1. はじめに

箱根火山では、しばしば群発的な地震活動（群発地震）が観測されております。特に、2009年8月4日から約10日間の間に、箱根の湖尻周辺で非常に活発な群発地震活動が発生しました。この群発地震活動は、1995年以降から2009年7月までの間、比較的地震活動が低調だった領域に位置しております。8月4日から12日までの間で、連続波形記録を目視によりカウントした地震数は、1780イベントにおよびました。そのうち温泉地学研究所（以下、温地研）のルーチン処理により1125イベントの震源位置を決定することができました。この期間中、8月6日6時2分にマグニチュード3.1の地震が発生しました。単位時間あたりの地震発生数は、2001年の群発地震活動に匹敵するくらい活発なものでした。

この発表では、温地研の通常の処理で得られた震源の位置を、新たな手法と非常に高密度な地震観測網データを使ってさらに精度良く決定するを行いました。一連の群発地震活動の震源はどのような分布をしているのか、またその活動域が時間的にどのように変化するかを明らかにすることにより、この群発地震が発生したメカニズムについて考察したいと思っております。

### 2. データおよび手法

この研究のポイントの一つに、群発地震が発生している時に、活動域の周辺に非常に高密度な地震観測網が構築されていたという点があります。箱根カルデラ内およびその周辺域では、温地研、防災科研Hi-net、東京大学地震研究所により、15点の常設の観測点が設置されております。ここでは、これらの常設の観測点に加えて、群発地震が発生する前から設置していた14点の機動的な地震観測点のデータも使用しました（図1）。これらの地震観測点と定常地震観測点を合わせることで、非常に高品質のデータを取得することができました。

もう一つのポイントは、震源を精度よく決定するため、Double Difference (DD)法という手法を用いた点です。通常震源を決める場合、観測点で記録された地震波の到達時間を使います。DD法では、近接して発生した地震の到達時刻の差を使って震源を決定します。この手法を用いることにより、通常の処理と比較して飛躍的に震源の決定精度を向上することができます。

### 3. 結果と考察

上記の高品質な地震データおよびDD法を用いて、震源を決定した結果非常に興味深いことが明らかになりました。一つは、群発地震が長さ数100mから1kmのほぼ鉛直な面の上に集中して分布しているという点です（図2）。さらに、それぞれの面から幅約80m以内の非常に狭い範囲に群発地震は発生していることも明らかになりました。これまで箱根カルデラ内で発生した群発地震活動の多くは、ほぼ鉛直な面に集中して分布していることが先行研究から明らかになっておりますが（例えば、行竹他、2008）、今回の結果はそれを裏付けるものです。

さらに、それぞれの面上に分布している地震活動に着目してみると、地震活動域が時間と共に変化していることが分かりました。地震活動は、ある地点から始まって、そこから時間とともに拡散してくように活動域が変化するのであります。



これらの現象を説明できる一つのモデルとして、高圧な地殻内の流体（熱水）が断層破砕帯に陥入し、それが拡散していくことにより群発地震が誘発された可能性が挙げられます。断層破砕帯は、一般的にまわりの岩盤と比較して桁違いに流体を通しやすいという性質があり、また観測された地震活動域の拡散の速さは、過去の研究で推定された断層破砕帯内を拡散する流体の速さと概ね調和的だからです。箱根の群発地震については、以前から Oki and Hirano (1970) や 萬年 (2007) により、地下の高圧流体の移動により誘発される可能性について議論されてきました。今回得られた研究結果は、このような群発地震と地殻流体との関係を裏付けるものかもしれません。

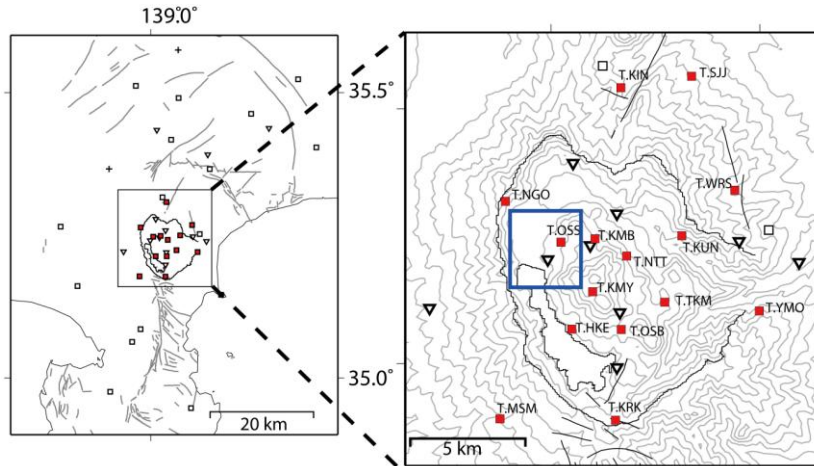


図1 箱根カルデラ域に構築された観測点分布。■が機動的な観測点の位置を表します。右図の□で囲まれた領域は、2009年8月の群発地震発生域を表します。

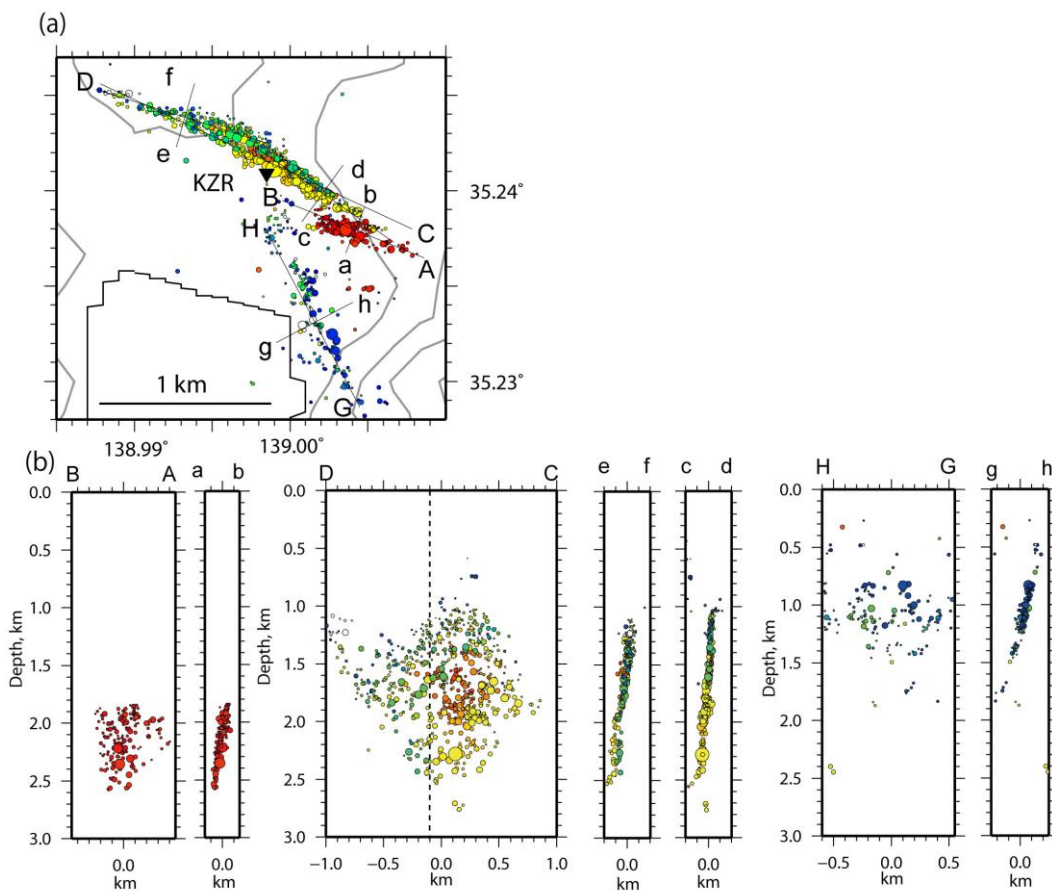


図2 稠密地震観測データを用いて決定された群発地震の震源分布。(a)震央分布図、(b)図2(a)のA-BからG-H測線に沿った、震源深さ断面図。

# 文部科学省プロジェクト「神縄・国府津－松田断層帯 における重点的な調査観測」でやろうとしていること

○小田原啓、行竹洋平、明田川保、棚田俊收

## 1. はじめに

神縄・国府津－松田断層帯は、神縄断層、国府津－松田断層、松田北断層、日向断層、平山断層からなる一連の活断層群であり、その海域延長部は相模トラフへと続くとされています。

文部科学省の地震調査研究推進本部が公表している、日本全国の活断層長期評価によると、同断層帯を震源とする地震の今後 30 年発生確率が最大 16%と、全国の活断層型地震で最も高い予測となっています。

そこで文部科学省では、平成 21 年度より 3 カ年計画で、「神縄・国府津－松田断層帯における重点的な調査観測」の研究公募を行い、審査の結果、東京大学地震研究所、(独) 防災科学技術研究所、(独) 産業総合技術研究所、東北大学大学院理学研究科、東京工業大学そして神奈川県温泉地学研究所からなるオールジャパン体制で本プロジェクトを実施することになりました。

## 2. プロジェクトの全体像

本プロジェクトは、(1)断層帯の三次元的形状・断層帯周辺の地殻構造解明のための調査観測、(2)断層活動履歴や平均変位速度の解明のための調査観測、(3)断層帯周辺における地震動予測の高度化のための研究、の 3 つのサブテーマから構成されています。さらにサブテーマの下に各研究機関が分担実施する研究テーマが設定されています。

サブテーマ (1) 断層帯の三次元的形状・断層帯周辺の地殻構造解明のための調査観測

- ①制御震源地震探査による地殻構造の解明 (東京大学地震研究所)
- ②自然地震観測に基づく断層周辺の広域的 3 次元構造調査 (防災科学技術研究所)
- ③神縄・国府津－松田断層帯北縁部 (箱根火山-丹沢山地) の地震活動と構造不均質の調査 (神奈川県温泉地学研究所)
- ④神縄断層西方延長の比抵抗構造探査 (東京工業大学)

サブテーマ (2) 断層活動履歴や平均変位速度の解明のための調査観測

- ①浅海域での国府津-松田断層の活動様式の解明 (産業総合技術研究所)
- ②神縄-国府津・松田断層帯の変動地形と活動様式・活動性の解明 (東北大学大学院理学研究科)
- ③地質学的手法に基づく国府津－松田断層帯北縁部の活断層に関する調査研究 (神奈川県温泉地学研究所)

サブテーマ (3) 断層帯周辺における地震動予測の高度化のための研究 (東京大学地震研究所)

## 3. 温泉地学研究所が実施するプロジェクト

温泉地学研究所は、2 つの研究テーマを担当しています。

1 つめは、サブテーマ(1)③において、「神縄・国府津－松田断層帯北縁部 (箱根火山-丹沢山地) の地震活動と構造不均質の調査」を担当しています。ここでは、箱根火山と丹沢山地の間において、機動的な地震観測を実施し、自然地震や採石発破のデータを取得します。また、温泉地学研究所や (独) 防災科学技術研究所などの定常的観測点のデータとあわせて解析することによって、地震活動および

構造不均質の存在を明らかにします。これらは、活断層の存在を示唆する重要な情報となります。

2つめは、サブテーマ(2)③において、「地質学的手法に基づく、国府津－松田断層帯北縁部の活断層に関する調査研究」を担当しています。ここでは、国府津－松田断層帯の北縁部に位置する山北町・南足柄市周辺の活断層について、地表地質調査、地形判読、ボーリング調査等をおこない、活断層の詳細な位置、平均変位速度、活動履歴等を明らかにするものです。

#### 4. 平成 21 年度の成果

「神縄・国府津－松田断層帯北縁部（箱根火山－丹沢山地）の地震活動と構造不均質の調査」

##### 1) 断層帯北縁部近傍の採石発破の地震観測とその震源決定

神縄・国府津－松田断層帯北縁帯近くにある採石場 2 箇所において、機動的地震観測と測量を実施し、採石発破の発破時間と位置を確定しました。温泉地学研究所の既存地震観測網および防災科学技術研究所等の基盤的観測網のデータに基づいて、上記の採石発破の震源決定をおこない、測量を実施した発破点とのずれを求めました。さらに、平成 21 年度の震源データから、採石発破と推定される地震を抽出し、その傾向を調べました。その結果、真の発破点位置よりも北西方向に 1.5km 前後ずれる傾向がありますが、3.2km 離れた 2 箇所の発破を分離できる精度を有することがわかりました。

##### 2) 震源・発震機構解の予備的解析

温泉地学研究所が決定した震源と、気象庁一元化データの震央分布を比較し、深さ 6km 以深の地震活動はほぼ同様であることを確認しました。それより浅い活動については、温泉地学研究所の既存地震観測網では小規模な砕石発破の震源まで決定できており、その震源決定能力から神縄・国府津－松田断層帯付近における浅い地震活動は発生していないことが示唆されます。

また、気象庁が決定した発震機構解を収集し、断層帯近傍での発震機構解の断層タイプの特徴や圧縮軸(P 軸)分布について検討しましたが、神縄・国府津－松田断層帯北縁帯付近(採石場付近)では、1997 年 10 月から 2009 年 7 月までに 1 個の地震についてしか発震機構解がきまっていません。

「地質学的手法に基づく、国府津－松田断層帯北縁部の活断層に関する調査研究」

##### 1) 既存ボーリング資料の整理・精査の結果

山北町丸山では大大特において 3 本のボーリング調査が行われており、大大特山北南観測井では、ローム層の下位に箱根古期火山噴出物(0S)が見られます(林ほか、2006)。一方、山頂および山腹(南西麓)ボーリングでは足柄層群が見られます(林ほか、2006)。

##### 2) 現地調査の結果

丸山公園敷地内においてボーリング調査を実施しました。孔底深度は 37.14m でした。その結果、深度 36.10m までがローム層、それより下位が足柄層群の火山角礫凝灰岩であることがわかりました。このことから、丸山公園内の斜面に丸山断層の位置を制約することが出来ました。

##### 3) 次年度以降のボーリング地点の選定案

約 2600 年前の御殿場泥流堆積面に変位を与えている可能性がある日向断層前縁部の推定断層において群列ボーリングを実施し、得られた地質試料をもとに年代測定を予定しています。

#### 5. さいごに

このプロジェクトで得られた研究成果は、学術論文等において発表されるほか、広く一般に公表する予定です。本調査研究に対し、皆様のご理解・ご協力をお願いいたします。

# 湯河原温泉の現況

○菊川城司、代田 寧

## 1. はじめに

湯河原温泉の規模は、神奈川県内の温泉地の中でも箱根温泉に次いで大きく、平成 20(2008)年の神奈川県データのデータによれば県全体の 626 源泉中 109 源泉を占め、その割合は県内温泉の約 17%を占めます。(神奈川県保健福祉部生活衛生課、2008)。

湯河原温泉は、主に千歳川及び藤木川に沿って源泉が分布しています。最も源泉が集中しているのは、千歳川と藤木川の合流地点から藤木川に沿って不動滝付近までの地域で、古くからの源泉が集まっており、温泉場地区と呼ばれ親しまれています。また、不動滝近辺の地域は不動滝地区、さらに藤木川上流の奥湯河原温泉とも呼ばれる地域は広河原地区、千歳川と藤木川の合流地点から千歳川の上流に沿って源泉の分布する地域は泉地区と呼ばれています。また、近年掘削された源泉は、海岸沿いや新崎川沿いにも分布しており海岸地区と呼ばれます。

ここでは、平成 21(2009)年に湯河原温泉を一斉調査した結果から、湯河原温泉の現況について紹介します。

## 2. 結果

調査は 93 源泉で行いました。湯河原温泉の源泉のうち 85%(109 源泉中 93 源泉)で調査を実施しており、今回の結果が湯河原温泉の現在の姿をほぼ現していると考えられます。

地区別にみると、温泉場地区及び不動滝地区は、海岸地区、広河原地区、泉地区と比べて、高温で pH の高い源泉が分布するのが特徴です。海岸地区は、泉温が比較的低温、非常に成分濃度の高い塩化物泉が分布します。広河原地区及び泉地区は、泉温は海岸地区よりも高く、カルシウム-硫酸塩泉（旧泉質名:石膏泉）が分布するのが特徴です。

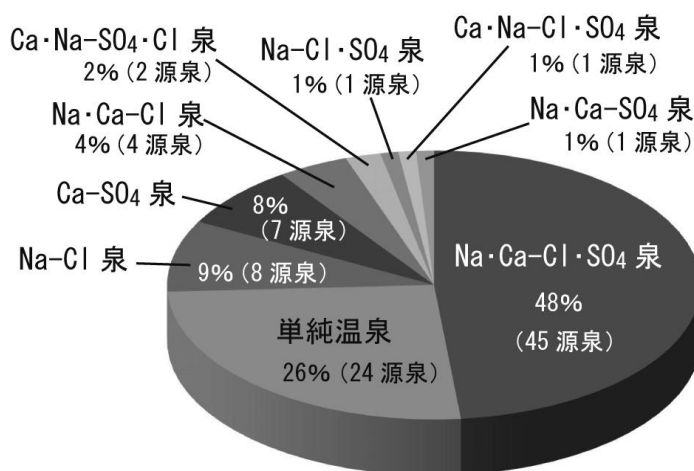


図 1 湯河原温泉の泉質の割合 (2009 年)

ナトリウム・カルシウム-塩化物・硫酸塩泉（旧泉質名：含石膏-食塩泉）が全源泉の約半数を占めています。次いで単純温泉の割合が高くなっています。

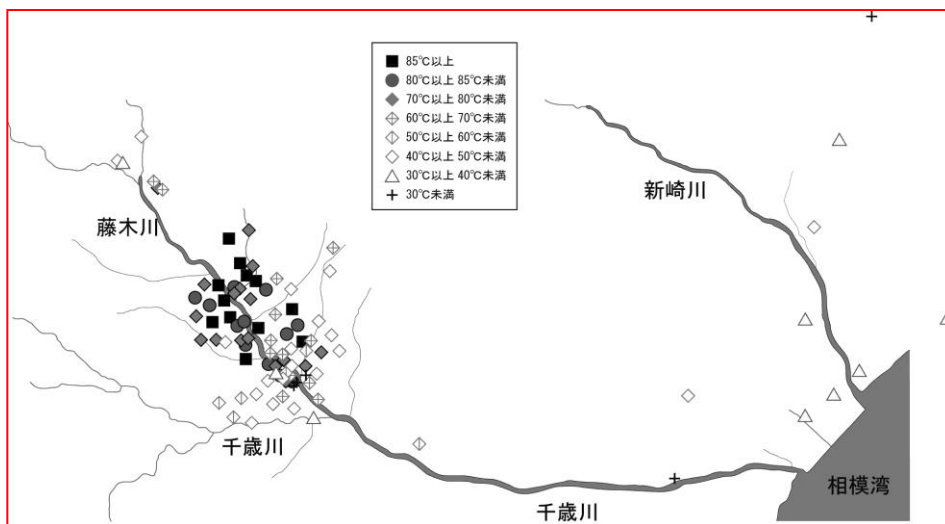


図2 湯河原温泉の泉温の分布 (2009年)

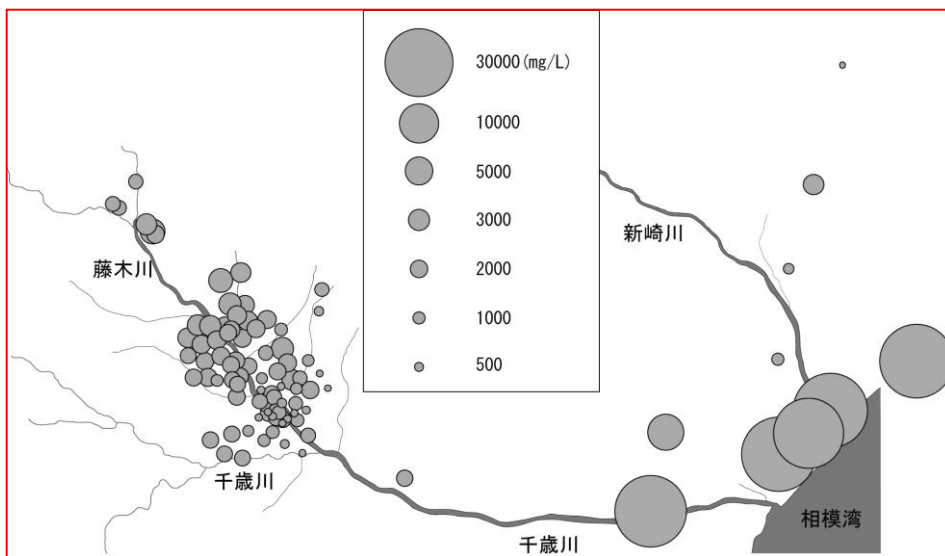


図3 湯河原温泉の成分総計の分布 (2009年)

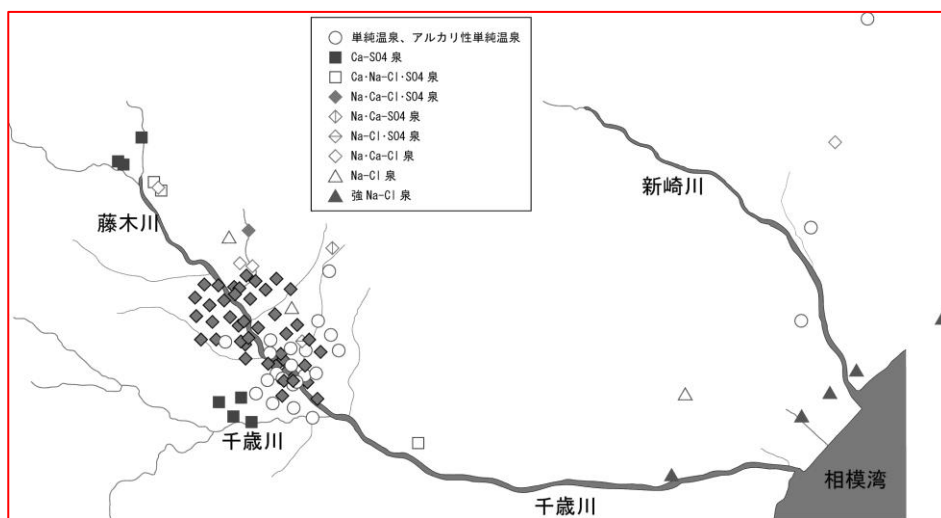


図4 湯河原温泉の泉質の分布 (2009年)

# 県内大深度温泉水の起源について

○板寺一洋、菊川城司、小田原啓

## 1. はじめに

現在、神奈川県内には、70本以上の大深度温泉井(おんせんせい)があり、深さ1000m以上の地下から温泉が汲み上げられています。その多くは、箱根や湯河原など古くからの温泉地ではなく、ここ十年ぐらいの間に横浜・川崎など都市部に掘削されたものです。私たちにとって、温泉がより身近なものになってきたとも言えますが、無制限な開発や利用は温泉の枯渇につながることは言うまでもありません。

温泉地学研究所では、大深度温泉井が掘削される度に、事業者の皆様の御協力を得て、地質試料や温泉成分などのデータを収集しています。ここでは、そうしたデータを総合して様々な視点から整理・解析することにより、神奈川県中央部から東部で利用されている大深度温泉水の起源について検討した結果を紹介します。

## 2. 大深度温泉の3つのグループと海水・天水との関わり

県内の大深度温泉は、成分の特徴などから、次の3つのグループに分類できることがわかりました(図1)。

- ・グループ1：現在の海水の希釈系にあり、主に沿岸部に分布する。
- ・グループ2：化石海水の希釈系にあり、県中央～東部の広い範囲に分布する。
- ・グループ3：雨水が地層中の成分を溶かしこんだと思われ、海水等の関与はない。

主に丹沢山地周辺に分布する。

温泉井戸を掘削した時の井戸の水位をもとに描いた、海拔-1000m付近の温泉水(深部の地下水)の水頭分布は図2のとおりです。

図2によれば、県西部から中央部では丹沢山地から東側の低地および南側の海岸へ向かって水頭が低くなっており、ほぼ地形の概況に対応した分布が認められます。県中央部では、相模川低地から相模原台地にかけての範囲に水頭分布の谷が認められます。一方、県東部では、県中～西部に比べて勾配は小さいものの、内陸部に水頭値の低い領域が存在しており、周囲からの地下水の流入の可能性もあることを示しています。

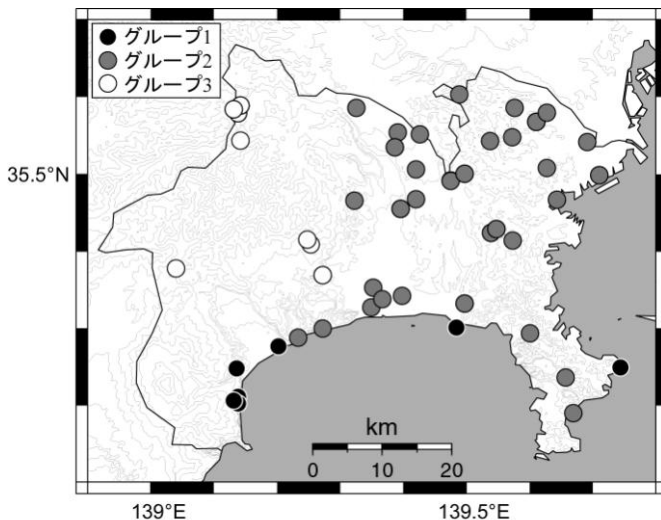


図1 県内大深度温泉の3つのグループ

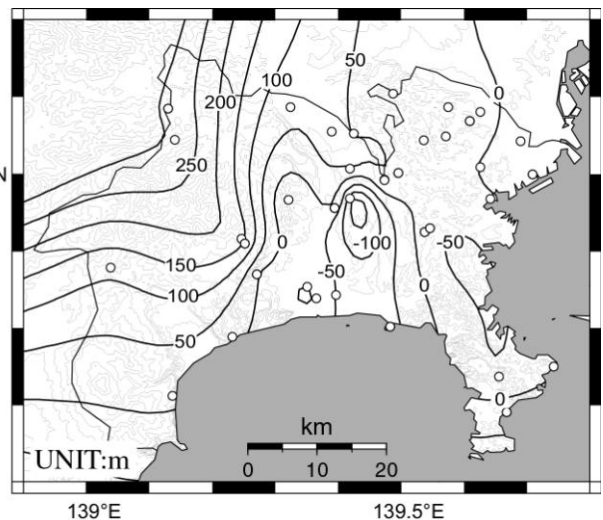


図2 海拔-1000m付近の水頭分布

### 3. 東部と西部で異なる形成過程

グループ2の温泉について、化石海水が単純に希釈された場合と、実際の温泉水との成分濃度を比較したところ、たとえば、カルシウムイオン( $\text{Ca}^{2+}$ )とナトリウムイオン( $\text{Na}^+$ )とでは、濃度の増減が逆相関の関係にあり(図3)、その地理的分布(図4)にも特徴があることがわかりました。

西部に分布する大深度温泉水では、単純な化石海水の希釈の場合に比べて、 $\text{Ca}^{2+}$ が増化し、それと同等量の $\text{Na}^+$ が減少していました。これは、地層中の $\text{Ca}^{2+}$ と化石海水中の $\text{Na}^+$ のイオン交換反応の影響を受けているためと考えられます。

一方、中央から東部の大深度温泉水では $\text{Ca}^{2+}$ が減少し、 $\text{Na}^+$ が増加しています。 $\text{Ca}^{2+}$ の減少分と比べて、 $\text{Na}^+$ の増分が多いことから、西部の大深度温泉とは逆向きく地層中の $\text{Na}^+$ と化石海水中の $\text{Ca}^{2+}$ の間でのイオン交換に加えて、地下水の流入と地層中の炭酸物質( $\text{CaCO}_3$ )の溶解の影響を受けているものと推察されます。

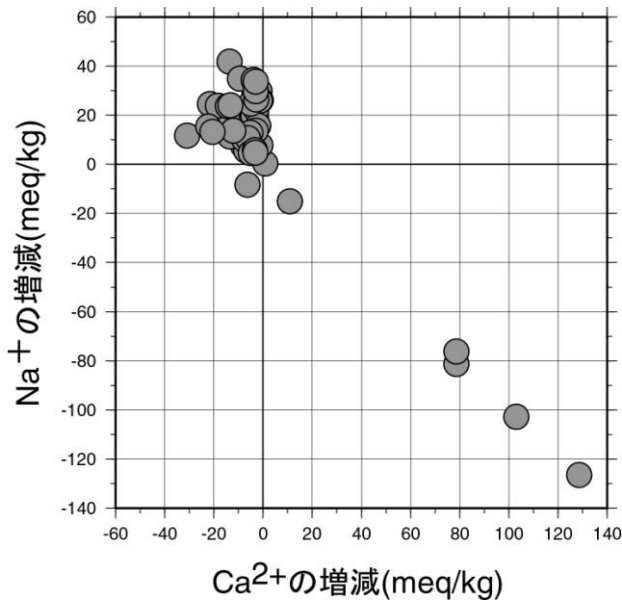


図3 化石海水の希釈との比較におけるグループ2の温泉水のCaイオンとNaイオンの増減

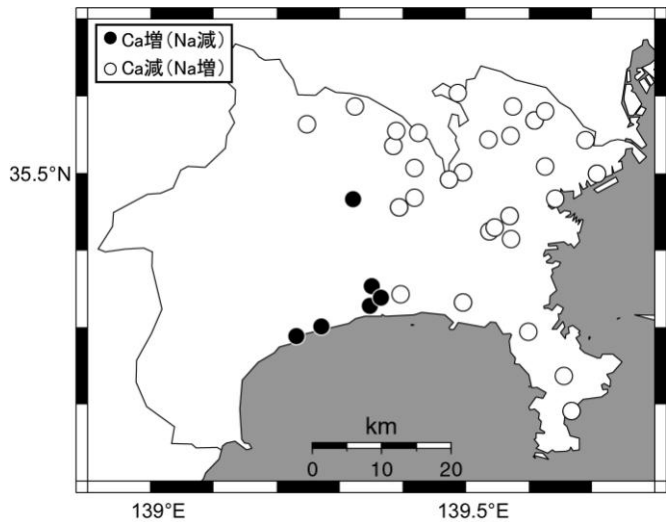


図4 化石海水の希釈との比較におけるグループ2の温泉水のCaイオン増減の分布

### 4. おわりに

神奈川県内の大深度温泉水の特徴について検討した結果、県内の大深度温泉には3つのグループが存在することや、各グループの温泉は、地理的にも異なった地域に分布していることが明らかになり、県東部と西部、および丹沢山地周辺で、成因が異なっていることが推察されました。今後の課題として、①温泉取水層の水理学的な特性を明らかにする、②その空間的な広がりや温泉水の流動量の定量化を図る、③海水(化石海水)の変質や地層との相互作用について検討を進めることなどを挙げることが出来ます。こうした取り組みを進めることによって、現在、神奈川県としての課題にもなっている大深度温泉の保全や有効利用のためのルール作りに、科学的根拠を提供することができると期待されます。

### 参考文献

板寺一洋、菊川城司、小田原啓 (2010) 神奈川県の大深度温泉水の起源, 温泉科学, 59(4), 320-339.

# 箱根火山の構造と温泉・地震・地殻変動

吉田明夫

## 1. はじめに

箱根は美しい景観と豊かな温泉に恵まれた日本でも有数の観光地です。その一方で、群発地震がしばしば発生し、また、近年は新しい噴気孔や地殻変動も観測されるなど、安全面においても十全の配慮を必要とする活火山です。温泉地学研究所は、温泉源の科学的な調査と泉質・泉温の長期的モニターを行ってその保全を図るとともに、合わせて開発と利用に資するという趣旨で1961年に設立されました。その設立当初から、噴気等の地熱活動や群発地震の発生が温泉水の形成と密接に関係していると想定され、それは当時として、また現時点で見ても卓見だったのですが、そうした考えの基に、源泉の分布と群発地震の発生、火山からの熱放出を総合的に説明するモデルが1970年に提案されました。箱根の温泉を大きく4つのタイプに分けて、それぞれのタイプの温泉の成因とそれらの空間分布を箱根火山の熱構造や基盤構造と関連づけて説明しようとしたその統一モデル（大木・平野モデル）は、今でも箱根の温泉の成因を論じる上で基本的な枠組みを与え、出発点となっています。しかし、その統一モデルの提唱から40年余り経過する間に、特に最近になって箱根のカルデラ構造や群発地震の発生メカニズム等に関して、当時からすると思いもかけなかった発見がありました。本講演では、最近明らかになってきた注目すべき事実について紹介しながら、そうした新たな知見を組み込んだ新しい統一モデルの提案に向けての試みについてお話ししたいと思います。

## 2. 40年前に提唱された統一モデル（大木・平野モデル）

大木・平野モデルでは、箱根の温泉が、温泉水中の陰イオンを基に大きく4つのタイプに分けられています。第Ⅰ帯の温泉は酸性の硫酸塩泉で大涌谷や早雲山の近辺で見られ、火山ガスが地下水に溶け込んで生成されたもの、第Ⅱ帯の温泉は重炭酸イオンが卓越することで特徴づけられ、その重炭酸イオンは地下水が地層中を流動する間に有機物から供給されたものとみなされました。そして塩化物イオン（NaCl）濃度が他と比べて著しく高く、かつ高温の第Ⅲ帯の温泉は、マグマから分化した熱水の混入を表していると考えられました。また、塩化物イオンの他に、硫酸イオンや重炭酸イオンも含む第Ⅳ帯の温泉は、第Ⅱ帯の温泉と第Ⅲ帯の温泉が混合したものと推定されました。

これらの各グループの温泉の分布域も特徴的で、第Ⅰ帯の温泉は噴気が観測される場所、第Ⅲ帯の温泉は早雲山の東側の帯状領域、第Ⅳ帯の温泉は第Ⅲ帯の温泉の東側一帯、そして第Ⅱ帯の温泉は第Ⅲ帯領域を含みながら中央火口丘をとりまくように分布しています。温泉に含まれるイオンの起源についての考察と、こうした空間分布の特徴から、大木・平野は、彼らのモデルを「熱い目玉に冷たいまぶた」と比喩的に表現しています。熱い目玉は地下のマグマを表し、それから吹き出したガス成分が第Ⅰ帯の温泉を形成し、液体成分が帯水層に湧出して第Ⅱ帯の温泉の基となり、更にそれが地下水で薄められて第Ⅳ帯の温泉がつくられるというわけです。Ⅰ、Ⅲ、Ⅳ帯の温泉が中央火口丘から東側に順に分布することは、地下水が西から東に流れていることによると考えられました。

## 3. 新たな知見

上に述べたような温泉成因モデルを支持する決定的な証拠と考えられたものに、1966年の初夏に強羅地区を中心とする温泉に生じた異常昇温があります。このときには、10度以上にも及ぶ著しい温度上昇が短時日に観測されて驚かせました。高温の温泉が分布する範囲を期間別に調べた図などを基に、当時は、昇温領域が次第に東に拡大してきたと解釈されたのですが、新しい解析の結果、温度上昇の



開始が早かったのはむしろ上昇域の東の端にあたる底倉地域の温泉であることがわかりました。地下水が箱根の中央火口丘を越えて西から東へ流れているとする見方に対しても、海面高度を基準とした地下水位分布の詳細な検討から疑問が持たれています。また、第Ⅱ帯の温泉に含まれる重炭酸イオンは、大木・平野モデルが想定したような有機物由来でなく、マグマ起源ではないかと見られる結果も出されています。マグマ起源の場合は重炭酸イオンに含まれる重い炭素同位体 ( $^{13}\text{C}$ ) の割合が有機物起源の場合よりも大きくなるので(植物の光合成では軽い炭素を含む二酸化炭素の方が優先的に利用されるため、木片等で見られる重い炭素同位体の割合は、海中や空気中の二酸化炭素の中の重い炭素同位体の割合よりも小さくなります)、炭素同位体比を調べると、その二酸化炭素がマグマ起源か有機物起源かの識別ができるのです。また、資料は十分ではありませんが、もし、重炭酸イオンがマグマ起源とすると、第Ⅱ帯の温泉の成因について、従来とは別の考え方をする必要がでてきます。

箱根火山の地質構造についても、革新的な考えが出されています。それは箱根が単一の大きなカルデラ構造をしているのではなく、いくつかのカルデラを内蔵した複合的な火山であって、昔は富士山よりもむしろ八ヶ岳に似た姿をしていたのではないかという考えです。興味深いことに、第Ⅲ帯及びそれに隣り合う第Ⅳ帯の温泉のほとんどが、それらの複数個あるカルデラの中でも最大規模の強羅カルデラの中に分布していることです。

#### 4. 新たな統一モデルに向けて

西から東へ向かう地下水の流れがいろいろなタイプの温泉の空間分布を規定しているのではないとすると、何が温泉の分布を決めているのでしょうか？私は、それを考えるにあたって、地震の分布と、マグマ起源の熱水を含む第Ⅲ帯、Ⅳ帯の温泉の分布域との間に見られる空間的な相補性に注目したいと考えています。図1、2で太い折れ線は同じところに引いてありますが、地震の大半はその線の西側、一方、第Ⅲ帯、Ⅳ帯の温泉は、その線の東側に分布していることが見てとれます。かつて、箱根火山は東に傾いていると指摘されたことがあります。傾いているのは箱根火山だけでなく、その南にある丹那断層、北にある平山断層の東側地塊についても同様に東への傾動が見られることがわかりました。マグマからの熱水(第Ⅲ帯、Ⅳ帯の温泉)が丹那断層と平山断層をつなぐ線の東側に浸出しているように見えるのは、もしかして、カルデラ構造に加えて、この伊豆半島北東端部における広域テクトニクスに由来する基盤の傾きとも関係している可能性が考えられます。それはまた、群発地震が何故、中央火口丘とその西側の地下で発生するかということとも関連しているはずで

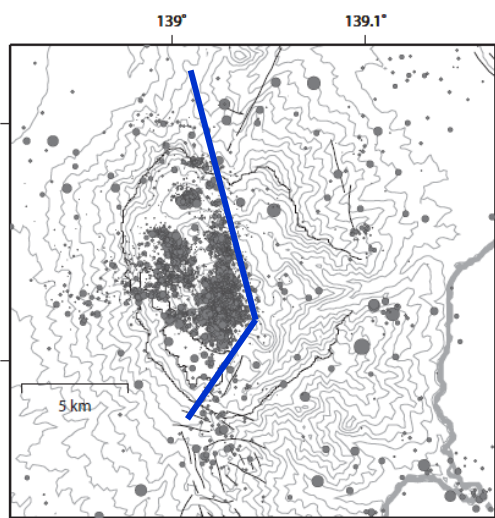


図1 震源分布 (1995年～2009年)

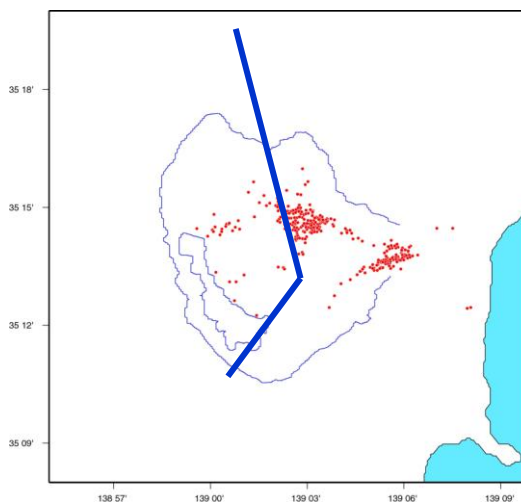


図2 温泉の分布。折線は図1と同じ。