

# 2008年岩手・宮城内陸地震の震源地周辺における温泉の主要成分

板寺一洋\*・原田昌武\*・小田原 啓\*・代田 寧\*

Major ion component of Hot Springs around the epicenter of the Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake in 2008

by

Kazuhiro ITADERA\*, Masatake HARADA\*, Kei ODAWARA\*, Yasushi DAITA\*

## 1. はじめに

2008(平成20)年6月14日、8時43分ごろ、岩手・宮城県境付近を震源とするマグニチュード(以下、M)7.2の地震が発生した。気象庁によれば、震源の位置は北緯39度01.7分、東経140度52.8分、深さは8kmであった(図1)。

この地震により、岩手県奥州市と宮城県栗原市で震度6強、宮城県大崎市で震度6弱の揺れを観測し、宮城県栗原市や岩手県一関市を中心に、人的・物的に大きな被害が発生した(消防庁)。気象庁は、この地震を「平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震」(英語名: The Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake in 2008)と命名した。

今回の地震の発震機構は西北西—東南東方向に圧縮軸を持つ逆断層型で、地殻内の浅い地震である(地震調査研究推進本部、2008)。地震を引き起こした断層モデルについては、さまざまな推定が試みられている(たとえば国土地理院、2008)が、地盤の圧縮が卓越し、かつ活火山(栗駒山、鬼首、鳴子)に隣接する地域の活断層により引き起こされたという点から、箱根火山に近接するエリアで発生する可能性が指摘されている神奈川西部地震との類似性があると考えられる。

温泉地学研究所では、地震・地殻変動観測とともに、地震に関連して温泉や地下水に現れる異常変化についても情報収集を進めている。図1に示したとおり震源地の周辺には、多数の温泉地が分布しており、これらの温泉地の一部源泉において、地震前に温度の上昇や湯量の増加が観察されていたことが、一部新聞により報道された。これを受け、2008(平成20)年7月24日から26日にかけて、震源域周辺の源泉を対象とした聞き取り調査および採水調査を実施したので、本稿では、その結果の一部についてまとめた。

## 2. 調査対象井戸の選定と調査内容

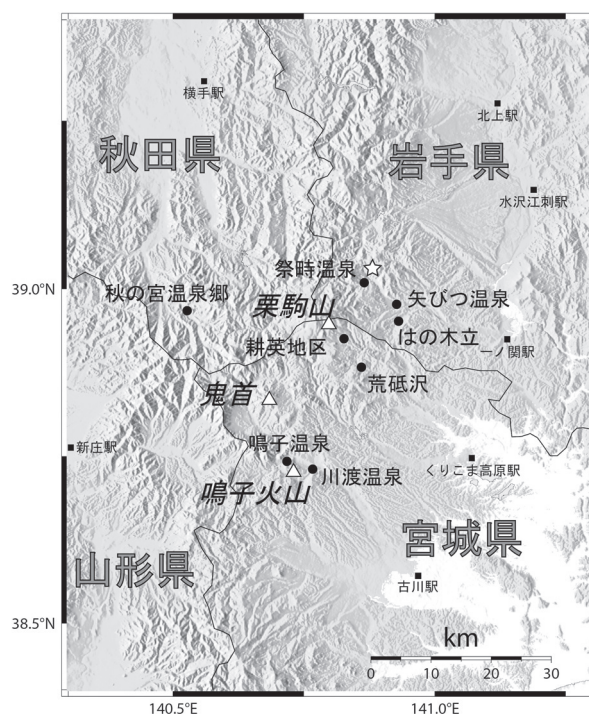


図1 調査対象地域。☆は本震の震央、●は主要な温泉地を示す。

現地調査に先立ち、すでに地震前後の温泉変動についての調査を進めていた東北大学地学教室、大槻憲四郎教授から情報提供を受けた。これと調査期間および被災地への立ち入り可否の状況とを併せて考慮し、調査対象源泉を選定した。調査対象とした源泉の位置を図2に示した。

採水調査の対象としたのは宮城県大崎市の4源泉(No.1~4)、同栗原市の1源泉(No.5)、岩手県一関市の1源泉(No.6)である。このほかに、宮城県大崎市の源泉(間欠泉、No.7)について聞き取り調査を、また、その付近の自噴井戸(No.8)について採水調査を行った。採水試料は研究所に持ち帰り、鉱泉分析法指針に沿って

\* 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40巻, 59-64, 2008.

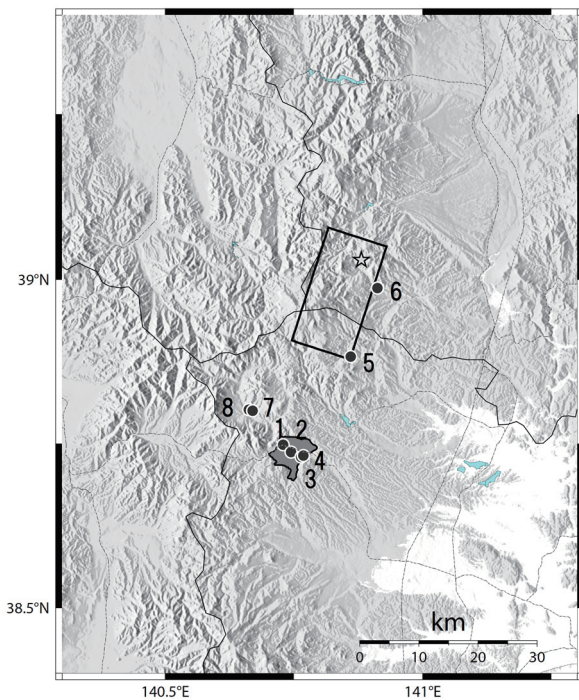


図2 調査対象源泉の位置 長方形で囲んだ領域はG E O N E Tデータに基づき国土地理院が推定した震源断層モデルの投影、ハッチをかけた領域は、中村・前田（1959）による鳴子・中山平湖成層の主な分布域を示す。

成分分析を行った。

温泉法では、温泉を公共の浴用、又は飲用に供する者には、登録分析機関による定期的な温泉成分分析と、その結果に基づく温泉成分の掲示が義務付けられている。今回採水調査の対象とした源泉においては、平成5～17年の間、それぞれ1回ずつの成分分析を実施しており、源泉所有者から、そのデータの提供を受けた。これらの結果は6月14日の地震発生直前の状況を示すものではないが、今回の採水試料の分析結果との比較を行った。

### 3. 現地調査の結果

現地調査の結果として、源泉の状況、現地測定による温度・pH・電気伝導度、直近の分析結果による泉質名、聴き取りの結果等を表1にまとめた。

宮城県大崎市の4源泉のうちNo.1と2はナトリウム-炭酸水素塩泉であり、No.3と4は含硫黄-ナトリウム-炭酸水素塩・硫酸塩泉であった。温泉温度は53.3～80.8℃と高温で、鳴子火山の影響を受けているものと推察される。電気伝導度は1200～1900 $\mu$ S/cmであり、最も高温のNo.1は、電気伝導度も高い値であった。源泉の深度は94～580mと様々だが、No.2と3は自噴し

ており、No.1と4も自噴はしていないものの静水位が地表付近にある（聴き取りによる）ことから、いずれも高い被圧状態にあると考えられる。これらの源泉のうち、No.1では本震発生前日に、またNo.3では本震発生の十日ほど前から、湯量が増加したことが観察されている。また、No.2と4では、地震後に湯量の増加が観察されている。

宮城県栗原市の源泉（No.5）の深度は800mで、調査源泉中では最深であるが、源泉温度は約42℃（聴き取りによる）、電気伝導度は148 $\mu$ S/cmと調査源泉中では最も低く、泉質は単純温泉であった。この源泉は、大規模な地すべりが発生した荒砥沢ダムの近傍に位置しているが、地震前後に湯量や温度の異常は観察されていない。

岩手県一関市の源泉（No.6）の温度は64.4℃、電気伝導度は調査源泉中では最も高く、泉質はナトリウム-塩化物・硫酸塩泉であった。この源泉の直近で、橋梁が崩落する被害を生じたが、地震前後に湯量や温度の異常は観察されていない。

参考のため訪れた間欠泉（No.7）では、今回の地震前後の異常は観察されていない。その近傍の自噴井戸（No.8）の詳細は不明だが、温度が23.2℃、電気伝導度が283 $\mu$ S/cmと、地下水としては高い値であった。

### 4. 温泉成分の分析結果

調査対象源泉において今回採取した試料の成分分析結果（以下、今回の結果）を、それぞれの源泉における直近の成分分析結果（以下、前回の結果）と併せて表2に示した。なお、今回の分析では、現地で採取した試料を研究所に持ち帰り、分析を実施するまで時間を要した関係で、遊離硫化水素の分析を行っていない。

表2に掲げたデータのうち主要な陽イオン（Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>）および陰イオン（Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>）の濃度により、ヘキサダイアグラム（図3）、トリリニアダイアグラム（図4）を作成した。2時期のデータがある源泉について、図3では「前回の結果」と「今回の結果」とを上下に並べ、図4においては、「前回の結果」を小さい凡例で、「今回の結果」を大きな凡例で、それぞれ示した。

宮城県大崎市の4源泉（No.1～4）については、陽イオンではNa<sup>+</sup>（+K<sup>+</sup>）、陰イオンではHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>が代表的な成分であり、さらに、No.1、3、4ではSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>が陰イオン全体に占める割合も高くなっている。前回と今回の結果を比較すると、No.1では今回の濃度の方が若干高く、No.2では今回の濃度の方が低くなっているものの、図4においては、前回と今回の結果を示す点は僅かにずれてい

表1 対象源泉等の現地調査結果

No.	所在地	調査日	形態	温度(°C)	現地pH	電気伝導度	湧出量(L/min)	泉質名(前回の温泉分析結果による)	備考・聞き取り結果など
1	宮城県大崎市	2008/7/24	約280m揚湯泉	80.8	7.64	1.96 mS/cm		ナトリウム-炭酸水素塩泉	・2本の源泉の混合 ・地震前日に湯量が約1.5倍に増加 ・地震直後約2倍に増加、徐々に戻った
2	宮城県大崎市	2008/7/25	580m自噴泉	53.3	6.95	1.235 mS/cm	73.3	ナトリウム-炭酸水素塩泉	・タンクからの湧出量 ・地震前の変化なし ・地震後に温度2°C上昇、湯量も2割増加
3	宮城県大崎市	2008/7/25	136m自噴泉	57.5	7.2	1.220 mS/cm		含硫黄-ナトリウム-炭酸水素塩・硫酸塩泉	・6月上旬から自噴高上昇、湯量も増加 ・温度、湯の華には異常なし ・地震後、湯の華が黒ずむ ・トリチウムの調査で、年代が30年と解析
4	宮城県大崎市	2008/7/25	94m揚湯泉	55.3	7.41	1.256 mS/cm		含硫黄-ナトリウム-炭酸水素塩・硫酸塩泉	・自噴 ・地震後に湯量増加
5	宮城県栗原市	2008/7/25	800m揚湯泉	約42	7.76	148.3 μS/cm		単純温泉	・浴室内の湧出口から採水したため、源泉温度は聴き取り ・地震前の異常なし
6	岩手県一関市	2008/7/26	揚湯泉	64.4	6.95	3.26 mS/cm		ナトリウム-塩化物・硫酸塩泉	・地震により送湯管が破損するも、源泉に異常なし
7	宮城県大崎市	2008/7/25	18m間欠泉						・地震による被害は軽微 ・聞き取りのみ、地震前後の変化はなし
8	宮城県大崎市	2008/7/25	不明自噴地下水	23.2	9.23	0.283 mS/cm	387.3		・全量補足していないので、湧出量は参考。

るに過ぎないことから、2回の結果に明らかな違いがあるとは判断できない。

宮城県栗原市の源泉(No.5)の泉質名は単純温泉であるが、陽イオンではCa<sup>2+</sup>、陰イオンではSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>が、それぞれ代表的な成分であった。今回の調査対象とした他の源泉と比較して、濃度自体は1オーダー程度低い(図3)。前回に比べて今回の方が濃度は低くなっており、かつ、陰イオンに占めるHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>の割合が増加している(図4)が、この原因については不明である。

岩手県一関市の源泉(No.6)については、陽イオンではNa<sup>+</sup>、陰イオンではCl<sup>-</sup>およびSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>が、それぞれ代表的な成分であった。前回と今回の結果を比較すると、濃度・主要イオン組成とも概ね変化していないと判断される。

自噴地下水(No.8)は、陽イオンではNa<sup>+</sup>、陰イオンではCl<sup>-</sup>およびSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>が代表成分であり、源泉に比べて成分濃度自体は低かった。

### 5. 地震に関連した温泉の異常について

今回調査対象とした源泉のうち、地震前後に湯量の変化が観察された源泉(No.1~4)が所在する、鳴子温泉から川渡温泉にかけての地域の温泉について、中村・前田(1959)は、鳴子火山の基盤を構成する第三紀の鳴子・中山平湖成層を湧出母岩(温泉貯留層)としていること、湖成層に含まれるガス水と滲沼(鳴子火山のカルデラ湖)からの酸性地下水の影響を受けHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>およびSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>で特徴づけられることを報告している。上述のとおり、源泉

No.1~4もHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)を主要な溶存成分としていることから、鳴子・中山平湖成層を温泉貯留層とする温泉を採取していると考えられる。

さらに、中村・前田(1959)によれば、鳴子・中山平湖成層の主な分布域は、鳴子温泉から川渡温泉にかけての地域を中心とした東西、南北それぞれ数kmの範囲であり、今回の地震断層の南近傍に相当する(図2)。また、この湖成層の特徴として、層理を示す礫岩と泥岩からなり、浮石質凝灰岩を頻りに挟むことが述べられている。こうした構造は、地下水にとっての加圧層と被圧帯水層との重なりに対応するので、源泉No.1~4がいずれも高い被圧状態にあったことも、これらの源泉が鳴子・中山平湖成層を温泉貯留層としていることを支持している。

源泉状況の確認は感覚に拠るものであり、その方法や頻度が源泉所有者によって異なっているため、今回の聴き取り結果をもとに、地震発生との関連などについての定量的な議論をすることはできない。しかしながら、聴き取りを行った源泉所有者は、いずれも日常的に源泉の状況に細かく気を配っていることから、地震の発生前に「湯量が1.5倍に増加した(No.1)」とか「自噴高さが上昇した(No.3)」といった具体性のある聞き取り結果には信頼性があると考えられる。

4章で述べた結果から、地震に関連した泉質の変化が無かったものとすれば、温泉に熱や成分を供給している機構自体は影響を受けていなかったこととなる。一方、地震前に観察された現象は、どちらも被圧地下水の水位

表2 対象源泉等の成分分析結果

分析終了日/採水日	1		2		3		4		5		6		8	
	1993/10/30	2008/7/24	2004/10/12	2008/7/25	1993/6/11	2008/7/25	1994/1/21	2008/7/25	2002/8/21	2008/7/25	2005/2/17	2008/7/26	2008/7/25	2008/7/25
実験室pH	7.1	7.78	7.0	7.24	7.2	7.41	6.7	7.54	8.1	7.53	7.5	7.37	8.80	
温度(°C)	78.5	80.8	47.1	53.3	58.2	57.5	55.8	55.3	37.5	64.3	64.3	64.4	23.2	
導電率(μS/cm)	1852	1852	1030	1030	1130	1130	1118	1118	120.6	120.6	314.0	314.0	246	
成分総計(mg/kg)	1660.0	1820.8	1565.5	1158.9	1116.5	1161.8	1170.3	1142.4	126.5	103.7	2298.0	2298.0	226.1	
陽イオン														
水素イオン														
リチウムイオン	0.2	0.2	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	<0.1	0.0	0.3	0.3	0.0	
ナトリウムイオン	379.4	431.0	349.5	243.0	207.4	226.0	207.4	230.0	12.5	5.7	570.4	638.0	41.2	
カリウムイオン	28.7	27.8	17.9	11.6	8.2	7.9	9.0	8.0	0.7	0.3	7.6	6.4	0.7	
マグネシウムイオン	4.0	3.6	7.5	3.7	8.1	8.0	7.8	7.4	1.0	1.8	12.8	12.0	0.9	
カルシウムイオン	21.4	22.8	21.7	8.5	41.5	35.5	41.3	32.5	21.3	13.0	71.1	72.6	6.4	
ストロンチウムイオン	0.2	0.0	<0.1	0.0	0.3	0.1	0.2	0.0	<0.1	0.0	2.2	0.0	0.0	
鉄イオン	0.4	0.6	0.2	0.6	0.2	0.0	0.1	0.0	1.9	2.3	0.6	0.6	0.0	
アルミニウムイオン	<0.1	0.0	<0.1	0.0	0.1	0.0	0.3	0.0	0.3	0.2	0.0	0.1	0.1	
マンガンイオン	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	<0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	
亜鉛イオン	<0.1	0.0	<0.1	0.0	<0.1	0.0	<0.1	0.0	<0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	
アンモニウムイオン	0.5	8.3	8.9	8.3	1.7	3.2	1.4	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.5	
陽イオン計	435.0	486.2	405.9	275.8	267.7	280.9	268.1	278.1	41.0	23.4	662.8	732.3	49.9	
陰イオン														
水酸イオン	0													
フッ素イオン	0.3	0.6	<0.1	0.4	0.2	0.7	0.5	0.7	<0.1	0.1	2.8	2.6	0.3	
塩化物イオン	123.6	110.0	44.0	20.7	36.8	34.2	35.9	35.4	6.8	4.0	524.6	548.0	29.3	
硫酸イオン	0.3		<0.1		4.1	0.0	8.1	0.0	<0.1	0.0	0.2			
硝酸イオン	0.0				0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				
硫酸イオン	163.6	156.0	10.9	17.7	130.2	193.0	160.6	178.0	42.0	22.3	524.8	571.0	33.2	
炭酸水素イオン	696.2	814.0	902.4	576.6	492.2	444.1	500.0	443.3	22.9	27.3	338.4	308.0	31.3	
炭酸イオン	0.0	4.2	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.1	0.8	0.3	1.5	
硝酸イオン	0.1				0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0		
リン酸水素イオン	0.2		11.2		0.4		0.4		<0.1					
ケイ酸水素イオン	0.0	2.5	0.0	0.6	0.0	0.9	0.0	0.9	0.0	0.1	0.3	0.3	8.7	
ケイ酸イオン	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
メタホウ酸イオン	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.5	0.4	0.4	
臭素イオン	0.1				0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	1.0	1.2	0.0	
陰イオン計	984.8	1088.1	988.7	616.8	666.3	674.0	706.4	659.4	71.7	54.5	1393.0	1431.9	105.0	
遊離成分														
メタケイ酸	216.7	209.5	182.2	199.4	170.5	172.1	192.1	170.1	13.7	24.2	71.4	65.6	70.2	
メタホウ酸	23.5	15.0	7.1	4.5	11.9	5.0	3.6	5.1	0.1	0.2	31.3	42.2	1.0	
遊離二酸化炭素	96.1	22.0	131.9	61.4	13.7	29.7	38.5	29.6	11.0	1.5	14.3	26.2	0.1	
メタ亜七酸	<0.1		1.6		0.1		0.1		<0.1					
遊離硫化水素	0.3		<0.1		2.9		18.4		<0.1		0.1			
遊離成分計	336.6	246.5	322.8	265.3	199.1	206.8	252.7	204.8	24.8	25.8	117.1	134.0	71.2	
微量成分														
銅		0.0		0.0	<0.02	0.0	<0.02	0.0	<0.01	0.0	<0.01	0.0	0.0	
鉛	<0.02	0.0	<0.01	0.0	<0.0005	0.0	<0.0005	0.0	<0.0005	0.0	<0.0001	0.0	0.0	
水銀	<0.0005	0.0	<0.0005	0.0	<0.0005	0.0	<0.0005	0.0	<0.0005	0.0	<0.0001	0.0	0.0	
ヒ素	0.0	0.0	1.1	0.9	0.1	0.1	0.1	0.1	<0.005	0.0	0.0	0.0	0.0	
カドミウム	<0.002	0.0	<0.002	0.0	<0.002	0.0	<0.002	0.0	<0.002	0.0	<0.0001	0.0	0.0	
微量成分計	0.0	0.0	1.1	0.9	0.1	0.1	0.1	0.1	<0.002	0.0	<0.0001	0.0	0.0	

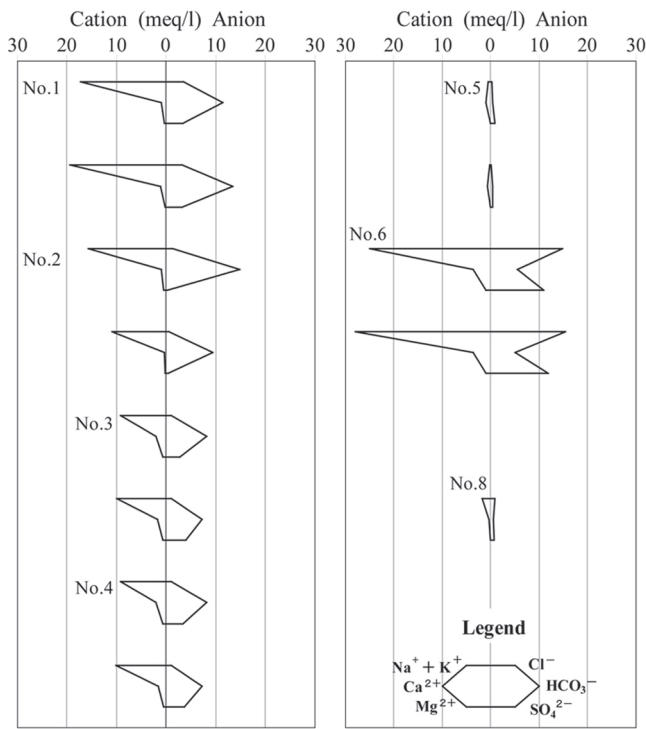


図3 調査対象源泉の主要成分組成を示すヘキサダイアグラム

が上昇したことを示唆している。被圧地下水の水位は体積歪計として扱える（小泉ほか、2004）ので、温泉貯留層の体積歪のみが増大したことになる。温泉貯留層となっている鳴子・中山平湖成層は、地震断層の南近傍の限られた領域に分布していることから、地震発生に関する応力変化の影響が表れた可能性が考えられる。

地震発生後については、「温度上昇（No.2）」や「湯の濁り（No.3）」などが観察されている。これらについては、地震発生により温泉貯留層が何らかの影響を受けた可能性のほか、地震の揺れの直接的な影響により、源泉を含む温泉ゆう出経路（人為的に構築された温泉の通り道）が損傷するなどの異常が生じた可能性なども考えられる。

謝辞

本調査を実施するにあたり、東北大学地学教室、大槻

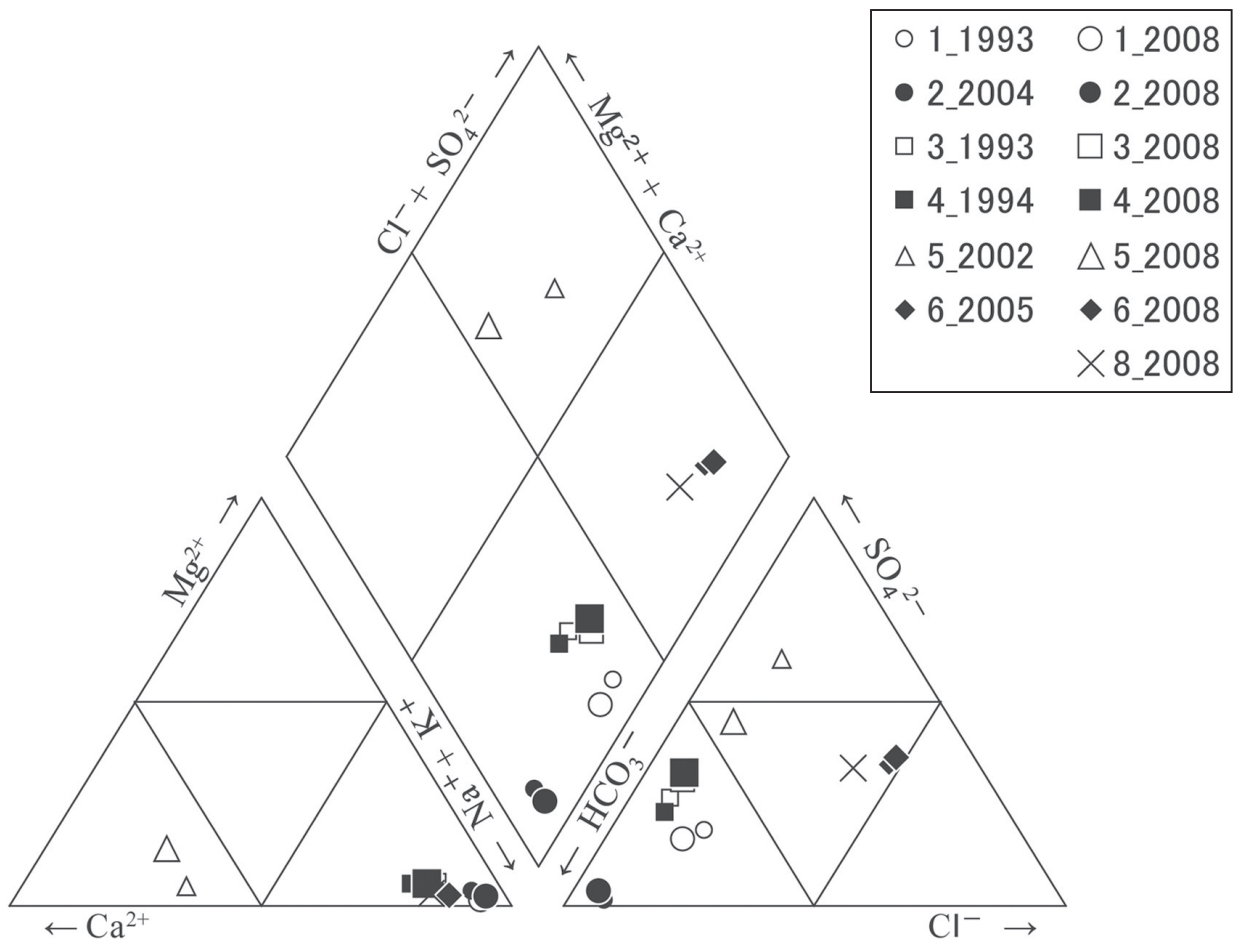


図4 調査対象源泉の主要成分組成を示すトリリニアダイアグラム

憲四郎教授からは源泉に関する情報を提供していただきました。調査対象とした源泉所有者の皆様には、快く調査に協力していただくとともに、成分分析データを提供していただきました。以上の方々に心より感謝申し上げます。

#### 参考文献

小泉尚嗣、高橋誠、松本則夫、佐藤努、大谷竜、北川有  
一（2004）地震予知研究における水文学的・地球

化学的手法の役割、地質ニュース、596、11-16.  
国土地理院（2008）平成20年（2008年）岩手・宮城  
内陸地震に伴う地殻変動（第2報）、平成20年6月  
18日発表資料  
中村久由、前田憲二郎（1959）宮城県鳴子・川渡・中  
山平温泉について、地調月報、10、3、227-235.  
消防庁（2008）平成20年（2008年）岩手・宮城内陸  
地震（第74報）