

箱根大涌谷における湧水の水質調査結果 ～ 2001(平成13)年箱根群発地震に対応して～

菊川城司*

Water quality investigation of springs in Owakudani, Hakone
In correspondence with the 2001 Hakone earthquake swarm

by

Joji KIKUGAWA *

1. はじめに

大涌谷の噴気地帯は、神奈川県足柄下郡箱根町の箱根火山中央火口丘北側(標高800～1150m)に位置する(図1)。

箱根町には大涌谷の他、早雲山、硫黄山にも噴気地帯が存在するが、大涌谷の噴気地帯は、その中でも最大規模のものである。当所の推算(大木ほか、1981)によると、大涌谷の放熱量 8.76×10^6 cal/secは箱根全山の放熱量 33.3×10^6 cal/secの26.3%を占めている。大涌谷では、自然噴気や湧泉の他、蒸気井を掘削し、火山性蒸気と地下水を混合することにより温泉の造成も盛んに行われている。

2001(平成13)年6月中旬から大涌谷を主な震源とする群発地震が発生した。図2に示したように、この群発地震は約4ヶ月間継続し、地震の回数は2001(平成13)年6月12日から11月末までに15816回に達した。また、活動の最も激しかった時期は6月下旬から7月下旬にか

けてであり、最大地震は、7月21日に発生した大涌谷付近の深さ1kmを震源とするマグニチュード2.9の地震であった(棚田ほか、2002)。

箱根火山では、火山活動による群発地震がしばしば発生しているが、2001(平成13)年の群発地震は、現在のテレメータ観測が整えられた1989(平成元)年以降で最大規模のものであり、当所で行っているGPS測量や、光波測量、傾斜観測でも地殻変動が捉えられた(丹保ほか、2002;代田ほか、2002)。また、2001(平成13)年7月に、大涌谷の温泉造成用蒸気井のうちの 하나가大量の蒸気を噴出して破損したが、これも群発地震の影響と考えられている(菊川ほか、2002)。

当所では、この2001(平成13)年群発地震に対応して、主な震源である大涌谷の現地を2001(平成13)年6月から巡回し、地震の影響の有無について調査している。本資料では、大涌谷の噴気地帯の自然湧泉及び坊主地獄などの水質について、これまで調査した結果をまとめた。

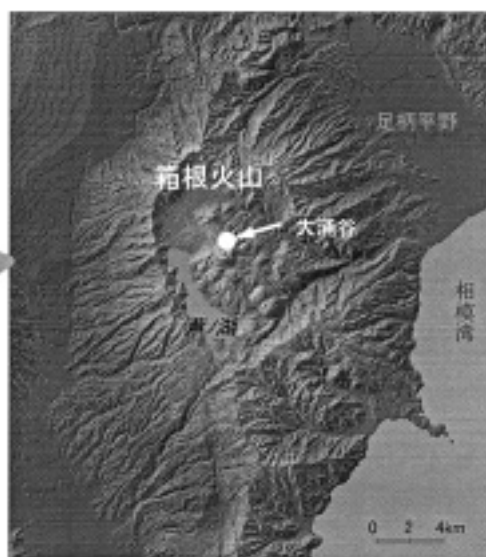


図1 大涌谷の位置

* 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
資料, 神奈川県温泉地学研究所報告, 第34巻, 51 - 58, 2002.

2. 調査方法

試料の採水は、大涌谷の噴気地帯において、自然湧泉1カ所(地点名: A1)、坊主地獄2カ所(地点名: B1、B2)、黒玉子を販売している奥箱根観光(株)が管理している池2カ所(地点名: C1、C2)で行った(図3)。

採水は、群発地震数が増加した2001(平成13)年6月29日から開始し、2002(平成14)年8月5日まで実施した。群発地震の激しかった時期は月に複数回、その後は間隔をあけて採水を行った。なお、地点B2については、2001(平成13)年9月28日から採水を開始した。また、地点C1及びC2については、黒玉子の調理などにより

水質に人為的要素が加わるので、調査開始後の数回で採水を中止した。

測定項目は、水温、pH、導電率、湧出量(自然湧泉のみ)のほか、メタケイ酸、メタホウ酸及び主要なイオン(陽イオン: ナトリウム、カリウム、マグネシウム、カルシウム、アルミニウム、第一鉄、マンガン)の各イオン、陰イオン: 塩化物、硝酸、硫酸の各イオン)について行った。

測定法は、鉱泉分析法指針に準拠し、当所で通常行っている温泉分析と同様の手法を用いた。

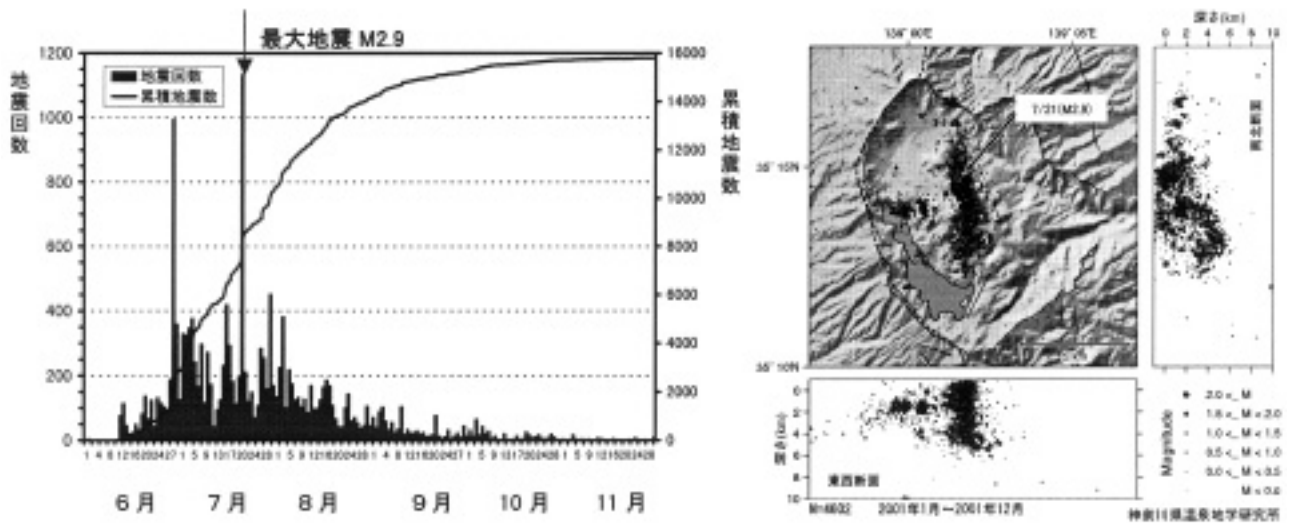


図2 2001年箱根群発地震の地震発生回数(6~11月)及び震源分布(1~12月)(棚田ほか、2002)

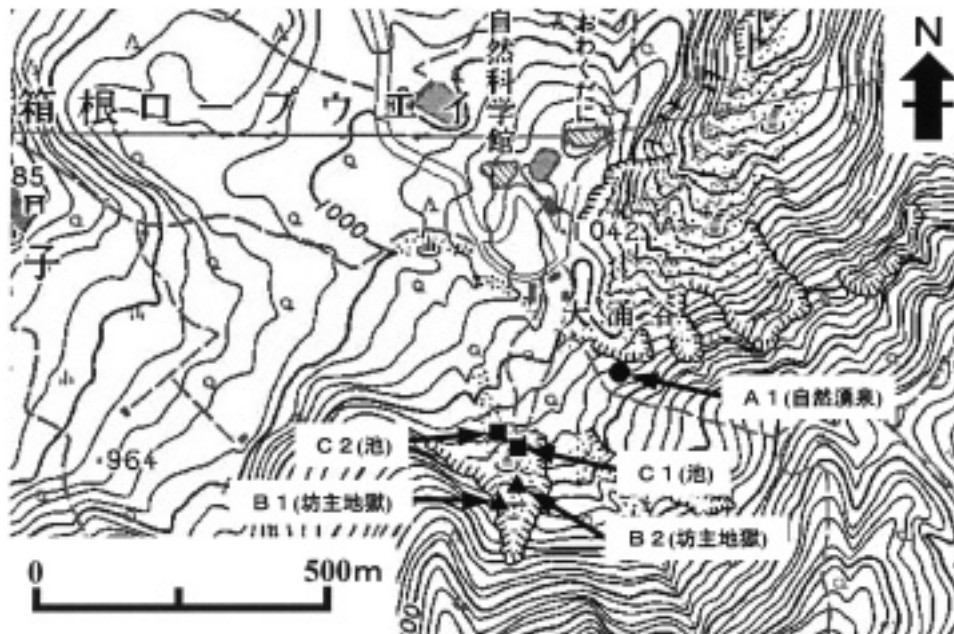


図3 採水地点(国土地理院発行1:25000地形図箱根から抜粋、加筆)

3. 調査結果

各調査地点の測定結果を付表1から付表5に示した。なお、地点C1及びC2については、先に述べたとおり人為的要素が加わっているため、これ以降の調査結果の記述からは省略した。

3.1. 水温及び湧出量

自然湧泉(A1)及び坊主地獄(B1、B2)の水温の経時変化を図4に、自然湧泉(A1)の湧出量の経時変化を図5に示した。

水温は、調査期間中の平均でA1が61.8、B1が96.0、B2が89.7であった。水温の経時変化について、調査開始時から採水しているA1及びB1についてみると、A1及びB1ともに地震活動の盛んだった2001(平成13)年7月18日に小さなピークがみられ、群発地震の終息後(2001(平成13)年11月以降)の平均値は、活動時(2001年11月以前)の平均値よりも約1低下していた。

A1の湧出量については、調査開始時の2001(平成13)年6月29日から減少し、8月28日に急激に湧出量が増加していた。これは、6月29日から8月20日間の降雨が合計で21mmであったものが、8月21日、22日の2日間で302.5mmの大雨が降ったため、湧出する水量が急激に増加したものと考えられた。調査を開始した2001(平成13)年6月29日から2002(平成14)年8月5日までの間の箱根町仙石原(箱根町消防署仙石原分遣所)における日別降水量を図6に示した。

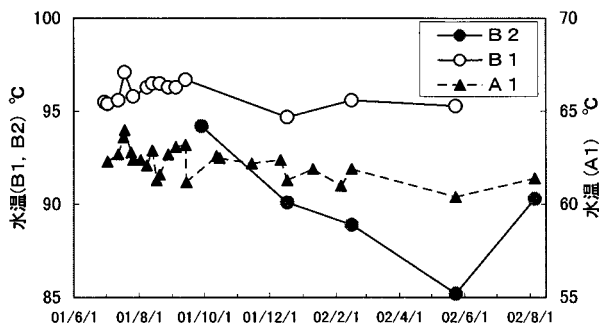


図4 水温の経時変化(2001年6月29日～2002年8月5日)

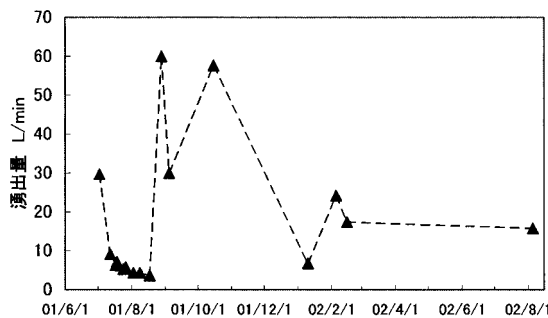


図5 自然湧泉(A1)湧出量の経時変化(2001年6月29日～2002年8月5日)

3.2. pH及び導電率

自然湧泉(A1)及び坊主地獄(B1、B2)のpHの経時変化を図7、導電率の経時変化を図8に示した。

pHは、調査期間中の平均でA1が3.46、B1が2.13、B2が2.26であった。また、導電率の平均はA1が791 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 、B1が9249 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 、B2が6624 $\mu\text{S}/\text{cm}$ であった。

pHの経時変化についてみると、A1は調査開始時から徐々に減少し、2001(平成13)年8月28日に急激に増加した。これは、先に述べた湧出量の場合と同様に、直前にあった大雨の影響によるものと考えられた。B1についても、A1ほど顕著ではないが大雨の影響がみられた。長期的にみるとA1、B1、B2ともに降雨の少ない冬季に減少し、降雨の多い夏季に増加する傾向がみられた。

導電率の経時変化は、A1、B1ともに調査開始時から徐々に上昇し2001(平成13)年8月28日に急激に低下しており、直前にあった大雨の影響が現れていた。

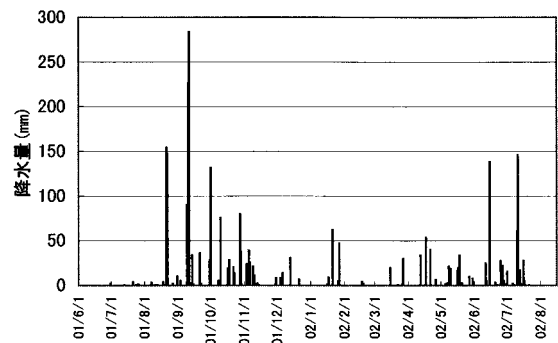


図6 箱根仙石原の日降水量(2001年6月29日～2002年8月5日)

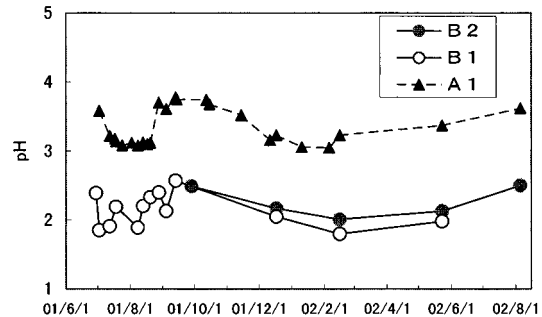


図7 pHの経時変化(2001年6月29日～2002年8月5日)

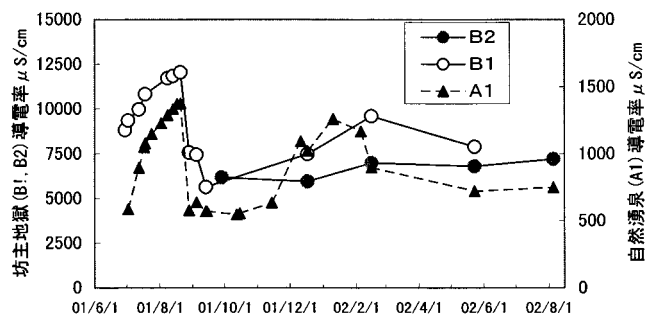


図8 導電率の経時変化(2001年6月29日～2002年8月5日)

3.3 . 陽イオン

主要な陽イオンについて、調査期間中における当量百分率の平均値を表1に示した。

A1ではカルシウムイオンが38.21%と最も多く、次いでナトリウムイオン、マグネシウムイオンの順であった。B1ではアルミニウムイオンが67.91%と最も多く、次いで第一鉄イオンの14.35%であった。また、B2ではアルミニウムイオンの52.21%、カルシウムイオンの21.15%、第一鉄イオンの13.05%の順となっていた。B1及びB2でアルミニウムイオンと第一鉄イオンの当量百分率

表1 主要陽イオンの当量百分率(平均値)

	(単位は%)		
	自然湧泉 (A1)	坊主地獄 (B1)	坊主地獄 (B2)
Na ⁺	30.79	2.09	2.83
K ⁺	2.55	0.21	0.09
Mg ²⁺	22.90	7.70	10.48
Ca ²⁺	38.21	7.61	21.15
Al ³⁺	3.34	67.91	52.21
Fe ²⁺	2.02	14.35	13.05
Mn ²⁺	0.18	0.13	0.20

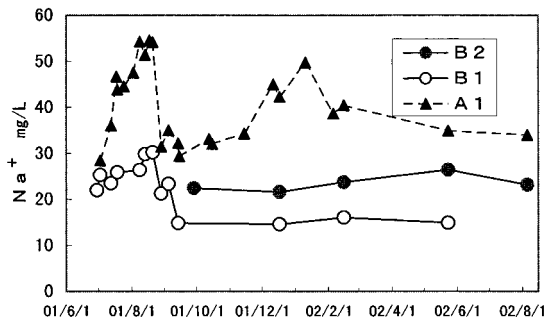


図9 ナトリウムイオンの経時変化(2001年6月29日～2002年8月5日)

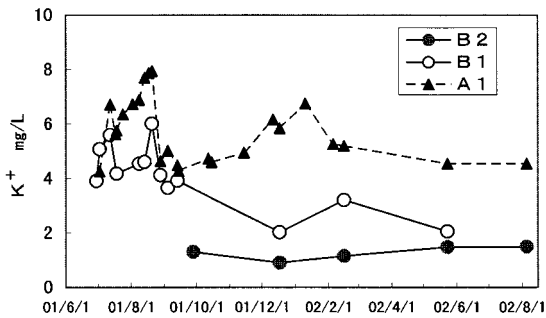


図10 カリウムイオンの経時変化(2001年6月29日～2002年8月5日)

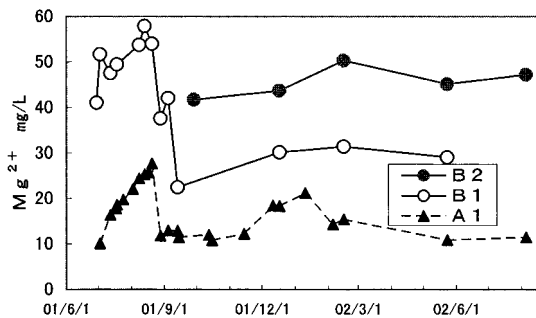


図11 マグネシウムイオンの経時変化(2001年6月29日～2002年8月5日)

が高くなっているのは、調査地点の岩石の変質作用が進んでおり、このためにこれらのイオンが溶出しているものと考えられる。

各陽イオンの経時変化についてみると、ナトリウムイオン、カリウムイオン、マグネシウムイオン、カルシウムイオン、アルミニウムイオン及びマンガンイオンは、pHや導電率と同様に、2001(平成13)年8月下旬に降雨の影響による濃度の急激な減少がみられた。第一鉄イオンについては、A1の地点では、同様に降雨の影響がみられたが、B1については、降雨による濃度減少は現れず、

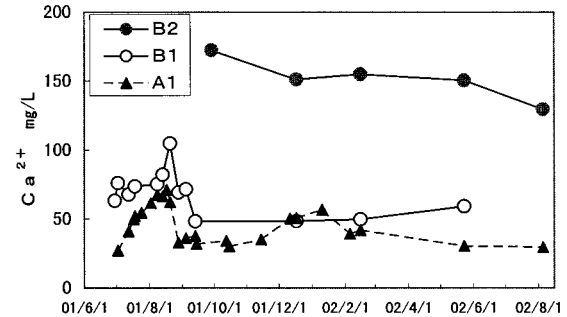


図12 カルシウムイオンの経時変化(2001年6月29日～2002年8月5日)

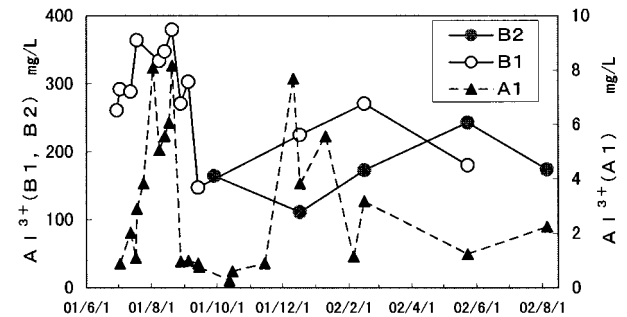


図13 アルミニウムイオンの経時変化(2001年6月29日～2002年8月5日)

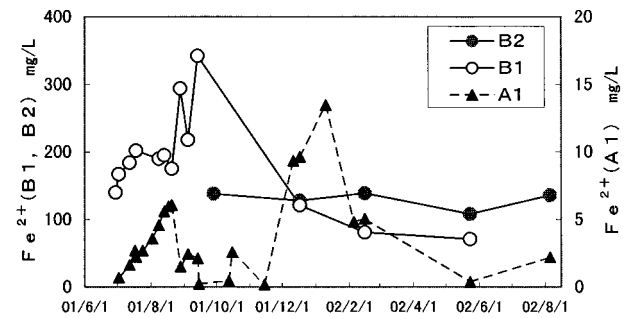


図14 第一鉄イオンの経時変化(2001年6月29日～2002年8月5日)

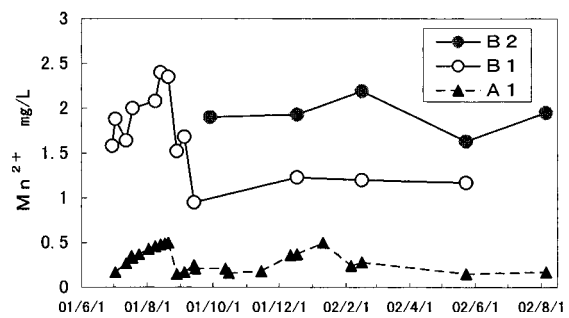


図15 マンガンイオンの経時変化(2001年6月29日～2002年8月5日)

2001(平成13)年9月13日に濃度のピークがみられた(図9~15)。

3.4. 陰イオン

主要な陰イオンについて、調査期間中における当量百分率の平均値を表2に示した。

陰イオンは、A1、B1及びB2ともに硫酸イオンがほとんどを占めており、硫酸イオンの当量百分率は平均値でA1が97.70%、B1が99.85%、B2が99.87%であった。硫酸イオンの経時変化についてみると、A1は調査開始時から徐々に増加し2001(平成13)年8月28日に急激に減少した。これは、先に述べたpHなどの場合と同様に、直前にあった大雨の影響によるものと考えられた。B1についても、A1と同様の大雨による濃度の低下がみられた(図16)。

塩化物イオンについては、当量百分率の平均でA1が2.30%、B1が0.15%、B2が0.13%と低濃度であった。また、塩化物イオンの経時変化については、硫酸イオンのような降雨による濃度減少もみられるものの、B1では調査開始時から徐々に増加し2001(平成13)年8月8日をピークにその後減少する傾向がみられた(図17)。

表2 主要陰イオンの当量百分率(平均値)

	自然湧泉 (A1)	坊主地獄 (B1)	坊主地獄 (B2)
Cl ⁻	2.30	0.15	0.13
SO ₄ ²⁻	97.70	99.85	99.87

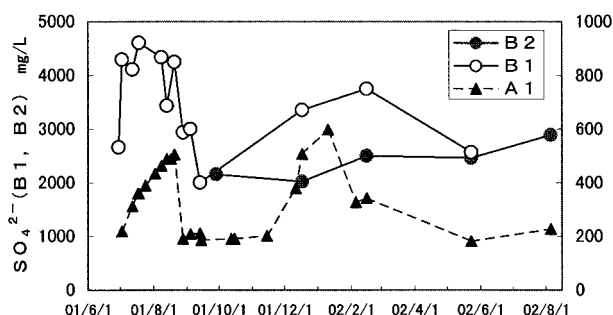


図16 硫酸イオンの経時変化(2001年6月29日~2002年8月5日)

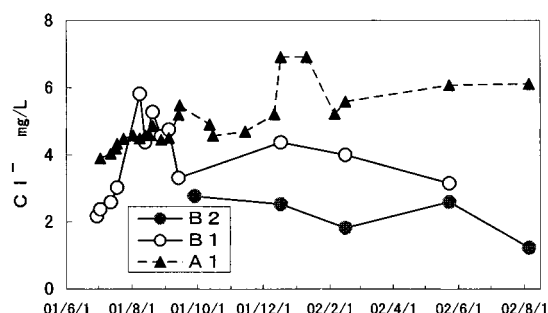


図17 塩化物イオンの経時変化(2001年6月29日~2002年8月5日)

4. まとめ

大涌谷噴気地帯の自然湧泉及び坊主地獄の水質について、箱根群発地震の影響を調査するため、2001(平成13)年6月29日から2002(平成14)年8月5日まで調査を行った。

水温については、自然湧泉、坊主地獄ともに、2001(平成13)年7月18日に小さなピークがみられ、群発地震中は地震後に比べて平均で約1 高くなっていた。

湧出量、pH、導電率については、明らかに群発地震の影響とみられる変化は現れず、降雨の影響が大きく現れていた。

主要イオン成分についても、降雨による濃度減少が顕著に現れていた。しかし、坊主地獄の第一鉄イオン及び塩化物イオンについては、他のイオンと異なった挙動をしており、第一鉄イオンは2001(平成13)年9月13日に、塩化物イオンは2001(平成13)年8月8日に、それぞれ濃度のピークがみられた。

今回の報告では、群発地震発生後に対応した結果であり、地震発生以前の状況が全く把握できていないため、地震発生前後の比較はできなかった。しかし、今後繰り返し起こるであろう箱根の火山性地震対策に資するため、さらに平穏時のデータを収集していくことは重要である。

謝辞

大涌谷での採水は、平野浩二所長をはじめ研究部の皆様にご協力していただいた。特に、大山正雄専門研究員には、再三にわたり自然湧泉の採水を行っていただいた。また、奥箱根観光(株)玉子茶屋には調査場所を、箱根町消防署には仙石原の降水量のデータを提供していただいた。

以上の方々に感謝いたします。

参考文献

- 代田寧、伊東博、棚田俊收、八巻和幸(2002) 神奈川県西部地域における最近2年間の傾斜観測結果、温地研報告, 33, 43-48.
- 代田寧、棚田俊收、伊東博(2002) 2001(平成13)年箱根群発地震活動に関連した地殻傾斜変動、温地研報告, 34, 35-44.
- 平野富雄、栗屋徹、石坂信之、大木靖衛(1985) 大涌谷地すべり対策調査(昭和59年度)水質調査、温地研報告, 16(5), 13-20.
- 菊川城司、石坂信之、板寺一洋、大山正雄(2002) 箱根大涌谷蒸気造成泉の化学成分について、第55回日本温泉科学大会講演要旨集, 36.

大木靖衛、平野富雄、小鷹滋郎、粟屋徹、大山正雄、杉山茂夫（1981）箱根温泉誌（ ），温地研報告，12（5），201-203．

棚田俊收、代田寧、伊東博、袴田和夫（2002）2001(平成13)年箱根火山の群発地震活動について，温地研観測だより，52，1-4．

丹保俊哉、棚田俊收（2002）2001(平成13)年箱根群発地震活動に伴う光波・GPSの変化，温地研観測だより，52，5-12．

付表1 自然湧泉(A1)の測定結果

(単位はmg/L、ただし温度は℃、湧出量はL/min、導電率は μ S/cm)

年月日	2001/7/2	2001/7/12	2001/7/17	2001/7/18	2001/7/24	2001/7/26	2001/8/2	2001/8/8	2001/8/13	2001/8/17	2001/8/20	2001/8/28	2001/9/4
温度	62.3	62.7	63.6	64.0	62.8	62.4	62.4	62.1	62.9	61.3	61.6	62.7	63.1
湧出量	30	9	6	7	5	6	4	4	-	4	-	60	30
pH	3.58	3.22	3.18	3.14	3.08	-	3.12	3.08	3.13	3.10	3.12	3.70	3.61
導電率	587	896	1049	1077	1148	-	1229	1289	1334	1373	1375	579	638
メタケイ酸	285	325	316	318	325	-	-	345	346	-	348	260	273
メタホウ酸	0.32	0.88	0.26	0.06	0.38	-	-	0.56	0.34	-	0.00	0.37	0.37
Na ⁺	28.5	36.0	46.7	43.9	44.6	-	47.6	54.3	51.4	54.5	54.2	31.4	35.0
K ⁺	4.26	6.72	5.62	5.76	6.35	-	6.73	6.89	7.70	7.88	7.95	4.64	5.02
Mg ²⁺	10.1	16.4	17.8	18.6	19.8	-	22.1	24.4	25.3	25.8	27.7	11.8	13.0
Ca ²⁺	27.1	41.1	50.0	52.2	54.5	-	61.7	67.5	66.5	71.2	62.4	32.9	36.1
Al ³⁺	0.88	2.02	1.10	2.90	3.84	-	8.09	5.06	5.58	6.07	6.74	0.97	1.00
Fe ²⁺	0.69	1.65	2.70	2.24	2.71	-	3.59	4.58	5.61	5.99	8.17	1.51	2.43
Mn ²⁺	0.17	0.27	0.35	0.33	0.37	-	0.43	0.46	0.48	0.49	0.50	0.15	0.17
Cl ⁻	3.89	4.04	4.19	4.33	4.48	-	4.58	4.49	4.59	4.59	4.86	4.45	4.50
SO ₄ ²⁻	219	312	360	359	390	-	434	463	490	488	505	191	208

(下段に続く)

(上段から続く)

年月日	2001/9/13	2001/9/14	2001/10/12	2001/10/15	2001/11/14	2001/12/11	2001/12/17	2002/1/10	2002/2/5	2002/2/15	2002/5/23	2002/8/5	平均値
温度	63.2	61.2	62.6	62.5	62.2	62.4	61.3	61.9	61.0	61.9	60.4	61.4	61.8
湧出量	>2	-	-	58	-	-	-	7	24	17	-	16	24
pH	3.78	3.75	3.74	3.68	3.52	3.16	3.23	3.06	3.05	3.23	3.37	3.62	3.43
導電率	570	571	548	555	636	1093	1023	1260	1169	898	722	749	816
メタケイ酸	246	244	-	258	264	-	293	321	-	292	261	265	271
メタホウ酸	0.37	0.00	-	0.40	0.21	-	0.29	0.35	-	0.33	0.23	0.51	0.30
Na ⁺	32.2	29.4	33.1	32.1	34.3	45.0	42.3	49.7	38.6	40.5	34.9	34.0	37.2
K ⁺	4.48	4.28	4.73	4.60	4.95	6.17	5.84	6.76	5.27	5.21	4.54	4.54	5.11
Mg ²⁺	12.9	11.5	12.0	10.9	12.2	18.5	18.3	21.2	14.3	15.4	10.9	11.5	14.1
Ca ²⁺	37.7	31.9	34.2	30.2	35.1	50.4	50.7	56.8	39.4	42.0	30.5	29.7	39.1
Al ³⁺	0.90	0.77	0.27	0.60	0.90	7.69	3.83	5.58	1.15	3.19	1.24	2.25	2.36
Fe ²⁺	2.12	0.23	0.47	2.59	0.19	9.36	9.66	13.49	4.83	5.06	0.38	2.21	4.22
Mn ²⁺	0.25	0.21	0.21	0.16	0.18	0.36	0.37	0.50	0.24	0.28	0.15	0.17	0.26
Cl ⁻	5.20	5.48	4.91	4.57	4.69	5.22	6.92	6.92	5.22	5.58	6.08	6.11	5.57
SO ₄ ²⁻	211	186	191	191	203	379	507	598	328	343	182	228	296

付表2 坊主地獄(B1)の測定結果

(単位はmg/L、ただし温度は℃、導電率は μ S/cm)

年月日	2001/6/29	2001/7/2	2001/7/12	2001/7/18	2001/7/26	2001/8/8	2001/8/13	2001/8/20	2001/8/28	2001/9/4	2001/9/13	2001/10/15	2001/12/17
温度	95.5	95.4	95.6	97.1	95.8	96.3	96.5	96.5	96.3	96.3	96.7		94.7
pH	2.39	1.85	1.91	2.19	-	1.89	2.20	2.33	2.40	2.13	2.57		2.05
導電率	8830	9360	9980	10830	-	11730	11850	12050	7570	7440	5630	噴気のみ	7480
メタケイ酸	444	456	414	388	-	419	437	407	379	367	332	のため	367
メタホウ酸	4.88	4.55	5.64	2.13	-	1.59	2.98	2.33	3.69	2.72	3.24	採水不可	1.42
Na ⁺	22.0	25.3	23.5	25.9	-	26.4	29.8	30.2	21.2	23.3	14.8		14.6
K ⁺	3.91	5.08	5.60	4.18	-	4.55	4.61	6.02	4.12	3.65	3.92		2.02
Mg ²⁺	41.0	51.7	47.6	49.5	-	53.8	57.9	54.0	37.6	42.1	22.5		30.1
Ca ²⁺	63.3	76.1	67.9	73.8	-	75.3	82.3	104.8	69.4	71.5	48.3		48.5
Al ³⁺	261	292	288	364	-	334	348	380	271	303	147		225
Fe ²⁺	140	167	184	202	-	190	195	175	294	218	342		121
Mn ²⁺	1.58	1.88	1.64	2.00	-	2.08	2.40	2.35	1.52	1.68	0.95		1.23
Cl ⁻	2.17	2.38	2.59	3.02	-	5.82	4.38	5.27	4.56	4.75	3.32		4.37
SO ₄ ²⁻	2664	4294	4109	4608	-	4335	3435	4250	2936	2999	2003		3358

(下段に続く)

(上段から続く)

年月日	2002/2/15	2002/5/23	2002/8/5	平均値
温度	95.6	95.3		95.5
pH	1.80	1.98		1.89
導電率	9600	7890	噴気のみ	8745
メタケイ酸	399	343	のため	371
メタホウ酸	1.16	1.14	採水不可	1.15
Na ⁺	16.1	14.9		15.5
K ⁺	3.21	2.06		2.64
Mg ²⁺	31.4	29.1		30.3
Ca ²⁺	49.8	59.2		54.5
Al ³⁺	271	180		226
Fe ²⁺	81	71		76
Mn ²⁺	1.20	1.17		1.19
Cl ⁻	4.00	3.15		3.58
SO ₄ ²⁻	3752	2571		3162

付表3 坊主地獄(B2)の測定結果

(単位はmg/L、ただし温度は°C、導電率は $\mu\text{S/cm}$)

年月日	2001/9/28	2001/12/17	2002/2/15	2002/5/23	2002/8/5	平均値
温度	94.2	90.1	88.9	85.2	90.3	89.7
pH	2.49	2.17	2.01	2.13	2.50	2.26
導電率	6180	5950	6990	6800	7200	6624
メタケイ酸	472	460	455	496	418	460
メタホウ酸	2.44	1.31	2.33	2.16	1.84	2.01
Na ⁺	22.4	21.6	23.7	26.4	23.2	23.5
K ⁺	1.30	0.91	1.15	1.48	1.49	1.26
Mg ²⁺	41.7	43.7	50.4	45.2	47.3	45.6
Ca ²⁺	172	151	155	151	129	152
Al ³⁺	165	111	173	243	174	173
Fe ²⁺	138	128	139	108	136	130
Mn ²⁺	1.90	1.93	2.19	1.63	1.95	1.92
Cl ⁻	2.77	2.53	1.82	2.60	1.23	2.19
SO ₄ ²⁻	2158	2023	2503	2463	2893	2408

付表4 池(C1)の測定結果

(単位はmg/L、ただし温度は°C、導電率は $\mu\text{S/cm}$)

年月日	2001/6/29	2001/7/2	2001/7/12	2001/7/18	2001/8/8	2001/8/13	2001/8/20	2001/8/28	2001/9/4	2001/9/13	2001/9/28	2001/10/15	平均値
温度	89.1	86.6	86.4	90.6	90.9	91.0	90.0	89.7	91.6	91.2	90.7	90.1	89.8
pH	2.53	2.20	2.36	2.42	2.16	2.47	2.45	2.56	2.33	2.88	2.64	2.30	2.44
導電率	4700	4940	3820	5080	7430	7680	8100	4670	5670	2370	4440	3890	5233
メタケイ酸	422	438	376	-	-	-	-	-	-	-	-	-	412
メタホウ酸	3.62	3.34	3.09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.35
Na ⁺	20.6	23.5	31.7	32.4	41.3	38.3	40.1	17.2	24.4	8.1	20.1	14.9	26.1
K ⁺	1.89	2.85	4.22	2.43	3.20	1.71	1.89	0.93	1.40	2.64	1.43	1.36	2.16
Mg ²⁺	35.2	41.7	39.5	51.5	83.2	87.9	-	33.0	47.3	11.7	33.3	23.9	44.4
Ca ²⁺	69	81	75	96	144	357	-	62	88	25	64	47	101
Mn ²⁺	1.62	1.88	1.45	2.27	3.65	3.90	4.19	1.55	2.12	0.50	1.54	1.05	2.14
Cl ⁻	1.40	0.93	1.91	2.14	1.40	3.08	4.19	3.40	3.66	3.37	3.51	3.28	2.69
SO ₄ ²⁻	2064	2103	1702	738	3671	3922	4368	2018	2766	1770	2044	1697	2405

付表5 池(C2)の測定結果

(単位はmg/L、ただし温度は°C、導電率は $\mu\text{S/cm}$)

年月日	2001/6/29	2001/7/2	2001/7/12	2001/7/18	2001/8/8	2001/8/13	2001/8/20	2001/8/28	2001/9/4	2001/9/13	2001/9/28	2001/10/15	平均値
温度	91.1	91.7	86.6	92.7	93.9	93.9	94.8	93.1	92.5	92.4	92.5	91.4	92.2
pH	3.20	3.10	2.96	2.97	2.94	3.24	3.05	3.15	2.90	2.95	3.18	2.93	3.05
導電率	1926	2180	1835	2260	2790	2540	3060	2380	2680	2050	2110	2140	2329
メタケイ酸	262	280	271	-	-	-	-	-	-	-	-	-	271
メタホウ酸	1.43	1.14	1.69	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.42
Na ⁺	24.6	30.6	31.6	27.0	35.1	40.0	44.2	28.3	28.0	11.1	25.4	25.3	29.3
K ⁺	10.3	13.9	11.5	11.7	11.9	16.1	17.3	11.8	10.6	0.3	9.1	11.2	11.3
Mg ²⁺	23.0	29.7	25.4	26.7	43.2	42.2	53.4	30.1	31.7	15.5	27.0	25.1	31.1
Ca ²⁺	297	323	207	343	385	400	474	357	324	144	278	232	314
Mn ²⁺	0.93	1.08	0.88	1.13	1.58	1.18	1.52	1.10	1.10	0.63	0.79	0.71	1.05
Cl ⁻	19.3	25.0	10.4	14.0	17.9	30.3	39.3	27.0	22.5	7.2	20.3	20.9	21.2
SO ₄ ²⁻	974	1165	923	805	1337	1318	1648	1145	1148	870	1048	1009	1116