

箱根強羅温泉の温度異常上昇と温泉成分の変化について

平野富雄, 大木靖衛, 田嶋綾子

神奈川県温泉研究所*

(昭和43年1月20日受理)

Effect of Anomalous Temperature on the Chemical Composition
of Thermal Water, Gora Hot Springs, Hakone Volcano

By

Tomio HIRANO, Yasue ŌKI, and Yoriko TAJIMA

(Hot Spring Research Institute of Kanagawa Prefecture)

(Odawara, Kanagawa)

(Abstract)

Temperature of thermal water discharged from some drill holes in Gora and the surrounding area jumped 20 °C on 23rd of May, 1967 and continued at that temperature for five months. Chemical analysis of the thermal waters has been made to observe the effect of abnormal temperature on the chemical composition of thermal waters. The sodium chloride content as well as that of dissolved silica distinctly increases with rise in temperature of thermal water. The variation in sodium chloride is closely related to the geothermal activity of Hakone Volcano.

* 神奈川県小田原市南町2-4-45

神奈川県温泉研究所報告 第6号 (1968)

まえがき

昭和42年5月23日に箱根強羅地区の一部の温泉の温度が急激に上昇した。強羅温泉は噴気活動の活発な早雲地獄の末端に広がった扇状地様の台地にあるので、早雲山地熱地帯と関係があることが考えられた(湯原他1966)。中央火口丘周辺に分布する多数の温泉の調査の一つとして、これらの温泉の地球化学的な調査を実施した。異常現象は約5ヶ月続いたのち、急激に泉温が低下し一応通常の温度にもどった(大木他1968)。

異常現象は強羅ばかりでなく、小涌谷や底倉地域を含め、神山熔岩流でおおわれる地域全体に広がっていることが化学組成のうえでも明りようであった。異常現象の原因は早雲地獄地熱地帯の地下に発生し、強羅、小涌谷両方面に移動して行ったものと推定された。

この報告では異常現象が発生したことによって温泉の成分がどのように変化したかを詳細に記載し、地質学的調査の結果と合わせて地球化学的な考察を行うことにする。

泉 温 分 布

図1は中央火口丘周辺の泉温(涌出口)分布図である(大木他1968)。温度異常上昇の著しいのは強羅地区ばかりでなく小涌谷、底倉にも認められる。異常現象は神山火山体の噴出物でおおわれる地域で、その東側つまり強羅、小涌谷部分に限られることに注目しなければならない。

大涌谷、姥子、芦之湯、湯の花などの中央火口丘をとりまくように分布している温泉には全く温度異常は認められなかった。

温泉の溶存物質総量の分布

異常現象によって泉質がどのように変化したかを知るために主に温度上昇の著しい温泉について化学分析を行った(表1)。表1には温度上昇以前の分析値を比較のために記載した。泉温の^{*}変化しないものは化学成分もほとんど変化しないことが明らかであったので、今回の調査以前の温泉の分析値も用いて強羅、小涌谷地域の温泉の溶存物質総量の分布図を描いた(図2)。なお分析方法は厚生省鉱泉中分析法に準じ、元素の分離はイオン交換樹脂法によった(大木他1962)。珪酸はモリブデンブルー比色法については平野が^{**}詳細な再検討を行い、十分な精度のあることを確認したのちその方法を用いた。

* 神奈川県温泉研究所の分析値のないものは中央温泉研究所の分析値を記載した。

** 平野、未発表

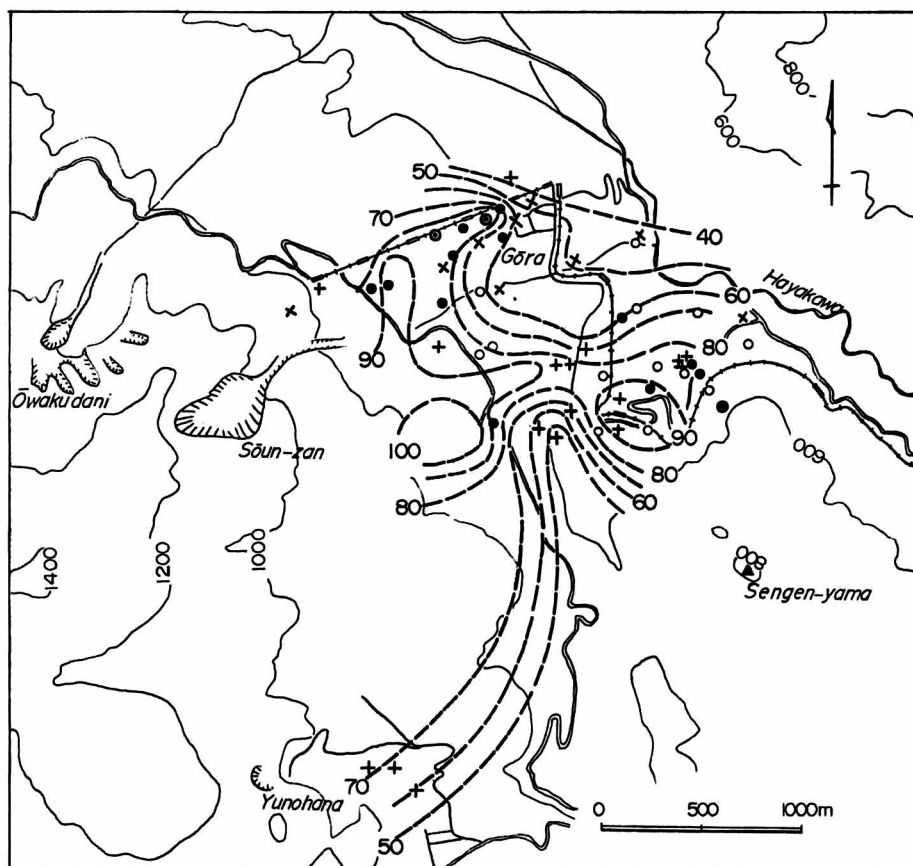


図1 箱根火山カルデラ内の泉温分布図 (単位 °C)

(大木他 1968)

◎泉温上昇 $>10^{\circ}\text{C}$

●泉温上昇 $>4^{\circ}\text{C}$

○泉温上昇 $<4^{\circ}\text{C}$

+泉温変化なし

×泉温低下

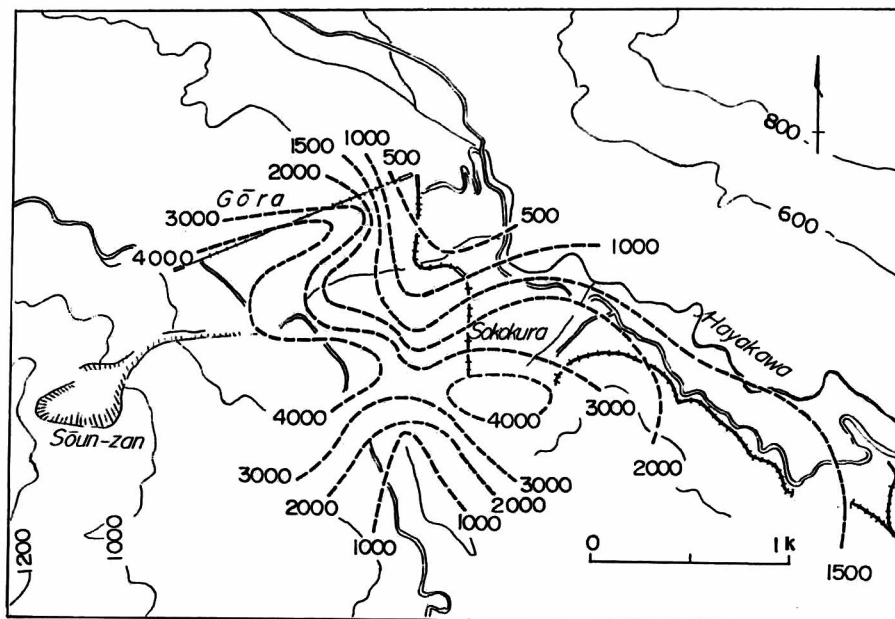


図2 強羅，小涌谷，底倉，大平台温泉の溶存物質総量分布図
(単位 p.p.m)

泉温上昇と化学成分の変化

泉温上昇によって化学成分の変化した様子を見るために温泉中の主要陽イオン Na^+ 、 Ca^{++} 、 Mg^{++} 、主要陰イオン Cl^- 、 SO_4^{--} 、 ΣCO_2 のモル比を図に投影した(図3，図4)。異常現象の前の点と異常現象の際の点とを線で結んだ。陽イオンにおいては温度上昇によって Na^+ が増加し、 Ca^{++} 、 Mg^{++} が相対的に減少し、陰イオンにおいては Cl^- が増加し、 SO_4^{--} 、 ΣCO_2 が減少している。つまり泉温が上昇すればより NaCl 型の泉質に移化することが明りようである。 Cl^- の増加と温度上昇とがはっきりと対応しているのでその関係を図5に示す。泉温が 25°C 以上上昇した強羅翠光館源泉(元宮城野村50号)の Cl^- 増加は特に顕著である。

図6は強羅で最も温度上昇のはげしかった翠光館源泉の泉温の連続観測の結果である(大木他1968)。昭和41年6月小田原保健所温泉課の調査では 64.0°C であったが、最高 96°C に達し 90°C 以上の高温が5ヶ月間続いて昭和42年10月27日より急に低下しはじめ昭和43年1月12日では 65.5°C を保っている。揚湯量はほとんど変化していない。図7a，7bは同源泉の主要イオン比の三角図である。高温中は NaCl 型の泉質を持ち、低温に移ると SO_4^{--} 、 ΣCO_2 が増加し、 Cl^- 量が低下することが明らかである。

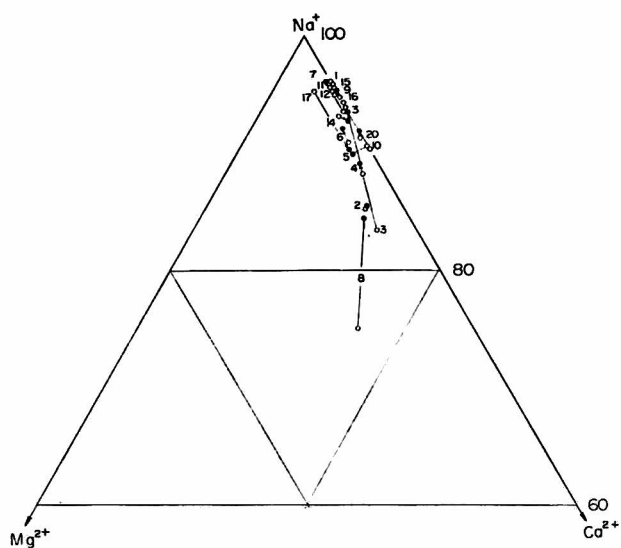


図3 強羅，小涌谷，底倉，大平台温泉の陽イオン比の変化（モル百分率）

- 泉温異常上昇後の分析
 - 泉温異常現象以前の分析
- 番号は表1と同じ。

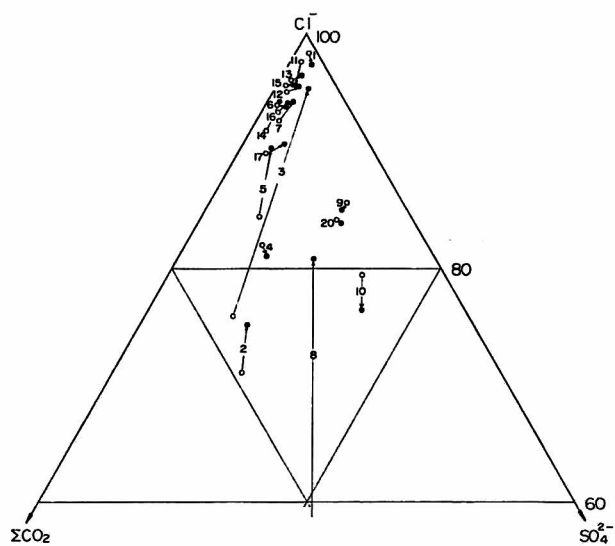


図4 強羅，小涌谷，底倉，大平台温泉の陰イオン比の変化（モル百分率）

番号等は図3と同じ。

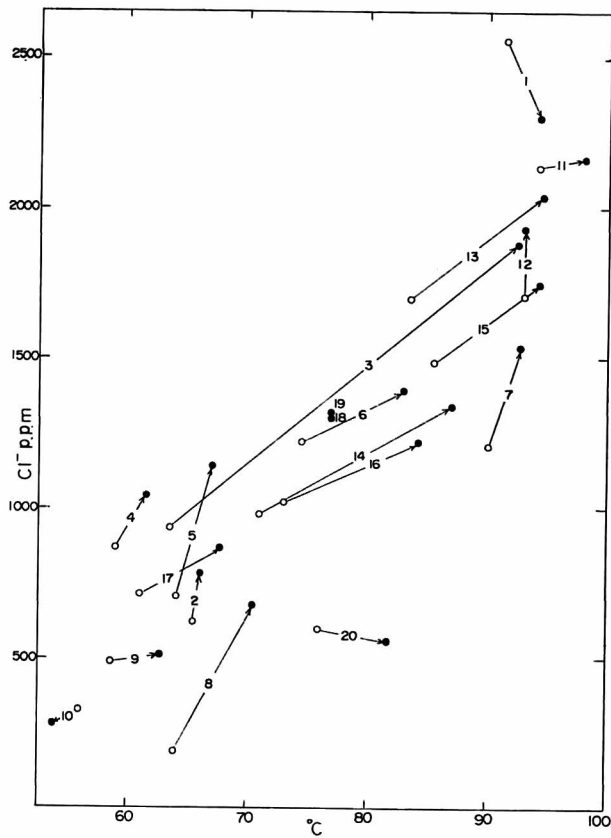


図5 塩素イオンの泉温による変化
番号等は図3と同じ。

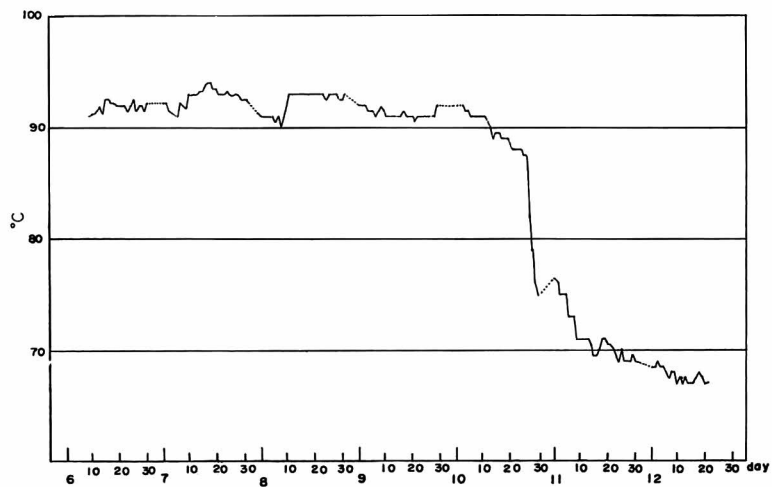


図6 翠光館源泉（元宮城野村50号）の温泉温度連続観測

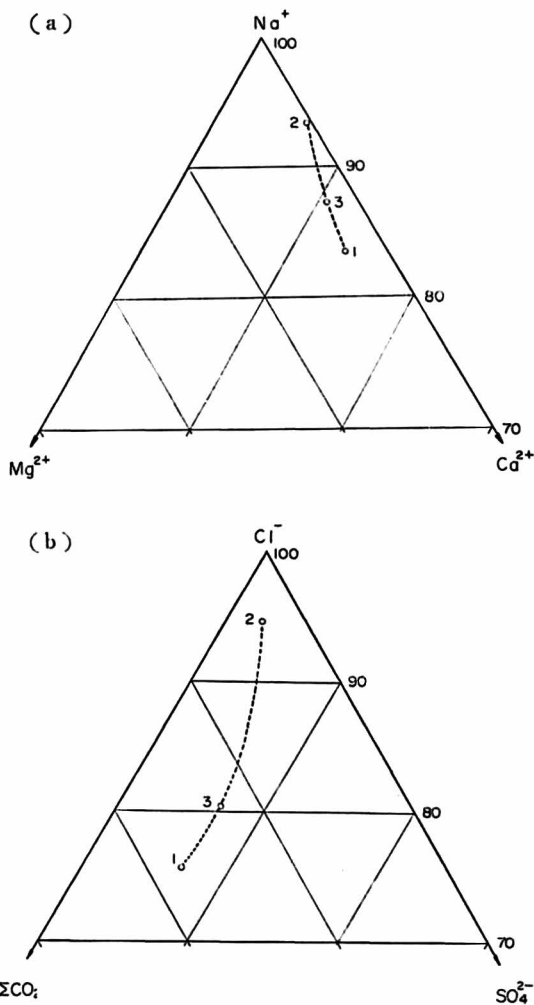


図7 翠光館源泉のイオン比の変化（モル百分率）

- a 陽イオン
b 陰イオン
1. 63.5°C (36.7.5)
 2. 92.7°C (42.6.22)
 3. 70.8°C (42.11.18)

図8は同源泉の温度と主要陰イオンとの相関関係を示す図である。92.7°Cのときの Cl^- 量は63.5°Cのときの Cl^- 量の2倍であり、 SO_4^{2-} 量は逆に92.7°Cのときは63.5°Cのときのほぼ1/2に減少している。 ΣCO_2 は92.7°Cにおいて63.5°Cのときの1/4の量に減少し、変化の割合が大きい。高温に変化してから揚湯装置のエア管にアラゴナイトの結晶がスケールとして付着し、月1回のスケール除去の作業が必要となった。これは明らかに ΣCO_2 の一部が CaCO_3 として水溶液系外に除去されていることを意味し、温度上昇にともなって ΣCO_2 が他の陰イオンの増減の比率よりも大きくなったことと考えられる。

表1 強 羅, 小 涌 谷, 底 倉,

試料番号	源 泉 名	採 水 日 年 月 日	泉 温 (C°)	深 さ (m)	揚 湯 量 (l/min)	pH	蒸 発 残 留 物	Li ⁺	K ⁺	Na ⁺
1	株式会社 勝 俣 組	41. 2.18	91.5	506	94	7.7	4940	2.43	154	1490
*	(元宮城野村81号)	42. 6.22	94.3	506	159	7.5	4488	2.08	161	1325
2	箱根登山鉄道株式会社	41. 4.22	65.5	351	104	8.4	1851	0.265	39.8	441
*	公園3号(元宮城野村86号)	42. 6.22	66.1	351	85	8.3	2141	0.332	43.0	519
3	株式会社 翠 光 館	36. 7. 5	63.5	409	80	8.25	2316		46.0	590
*	(元宮城野村50号)	42. 6.22	92.7	409	72	8.1	3691	1.50	52.8	1125
**		42.11.18	70.8	409	72	8.2	2625	0.52	46.2	688
4	株式会社 勝 俣 組	41. 3.11	59.0	500	100	8.2	2130	0.316	38.2	560
*	公園下(元宮城野村88号)	42. 6.22	61.6	500	95	8.2	2561	0.364	48.5	694
5	株式会社 富 士 ラ ン ド	37. 2.15	64.2	391	101	8.4	1632	0.520	39.4	454
*	ホテル3号(元宮城野村55号)	42. 6.22	67.0	391	90	8.1	2399	1.00	57.4	655
6	株式会社 富 士 ラ ン ド	36. 7. 5	74.5	266		8.0			65.0	675
*	ホテル2号(元宮城野村59号)	42. 6.22	83.0	266	78	8.2	2866	1.28	78.2	978
7	山 本 と し 子 外	40. 8.11	90.1	260	96	7.9	2637	1.17	70.5	720
*	(元温泉村85号)	42. 6.22	92.8	260	93	8.3	3121	1.42	90.4	920
8	有限会社 箱根温泉興業	40.10. 8	64.0	384	97	8.5	1075	0.140	14.3	196
*	山田勇司(元宮城野村80号)	42. 6.22	70.5	384	84	8.2	1759	0.520	39.2	440
9	浜ゴム不動産株式会社	39. 7.17	58.7	700	154	8.3	1165	0.092	2.44	362
*	浜ゴム7号(元温泉村123号)	42. 6.28	62.8	700	119	8.5	1188	0.040	5.40	388
10	浜ゴム不動産株式会社	41. 3.15	56.0	704	161	9.1	890.5	0.032	2.04	254
*	浜ゴム4号(元温泉村126号)	42. 6.28	54.0	704	144	9.1	804.5	0.010	2.20	233
11	山 谷 義 一	33. 8.15	94.2	223	117	8.0	3670		116.5	1256
*	(元温泉村105号)	42. 6.28	98.0	223		8.1	4201	2.10	147	1280
12	滝 徹	30.10. 4	93.0	217	117	8.3	3454		105.0	1020
*	(元温泉村104号)	42. 6.28	93.1	217		8.2	3847	1.86	131	1150
13	藤 田 観 光 株式会社	35. 3.22	83.5	180	35.5	8.2	3375		67.5	1030
*	小涌園5号(元温泉村89号)	42. 6.28	94.5	180	98	8.1	4002	1.82	137	1220
14	箱根観光温泉株式会社	35. 3.22	71.0	185	69	8.2	2055		50.0	610
*	今田富雄(元温泉村79号)	42. 6.28	87.0	185		7.9	2717	1.28	81.9	746
15	磯 崎 正 造	35. 3.22	85.5	198	121	8.4	3005		15.5	920
*	(元温泉村93号)	42. 6.28	94.3	198		7.9	3499	1.70	112	1008
16	太 田 す が	29. 3.16	73.0	199	59.4	8.2	2130		62.0	630
*	(元温泉村86号)	42. 6.28	84.2	199	68	7.9	2498	1.20	80.0	710
17	曾 我 高 次 郎	27. 9. 1	61.0	225		7.3	1401		50.0	460
*	(元温泉村96号)	42. 6.28	67.8	225		7.7	1843	0.825	49.4	490
18	富 士 屋 ホ テ ル 株式会社	42. 6.28	77.0			6.6	2693	1.22	80.0	740
*	(元温泉村30号)									
19	富 士 屋 ホ テ ル 株式会社	42. 6.28	87.0			6.5	2719	1.22	80.0	750
*	(元温泉村33号)									
20	対 星 館 野 中 儀 一 郎	30.10. 4	76.0	410	160	8.1	1478		9.0	430
*	(元温泉村98号)	42. 6.28	81.8	410	204	8.4	1408	0.180	7.68	404

(分析値の単位 p.p.m, 深さは温泉孔井の深度を示す。 源泉名()内は小田原保健所源泉番号を示す。)

大平台温泉の分析表

* 温度異常上昇後の分析値
** 平常温度回復後の分析値

Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	計	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻⁻	計	CO ₂	H ₂ SiO ₃	総計	分析者
114	0	1760	2568	81.5	29.7		2679	2.19	415	4856	田島、平野
119	0	1607	2300	103	39.3		2442	8.36	325	4383	田島、平野
106	16.8	604	617	226	287	2.11	1131	2.75	295	2033	平野、田島
127	17.5	707	781	229	295	1.74	1307	3.56	302	2320	平野、田島
169.0	21.59	826.6	932.5	223.9	363.6	3.850	1523.9	4.94	179.9	2535.3	中央温泉研究所 分析
135	0.25	1315	1874	127	95.1	0.35	2096	1.83	201	3614	田島、平野
144	17.7	897	1063	248	283	1.33	1599	4.29	154	2659	平野、田島
114	9.86	722	865	169	223	1.05	1257.5	3.38	240	2223	平野、田島
130	10.8	884	1038	231	267	1.26	1537	4.05	289	2714	平野、田島
82.2	0.48	577	705	99.0	162	1.19	967		142	1685	高橋、田島
111	11.6	836	1136	75.1	160	0.59	1371	3.07	244	2454	平野、田島
99.15	8.254	847	1220	32.80	118.1	0.396	1371	2.84	136.2	2358	中央温泉研究所 分析
107	9.49	1174	1393	67.7	115	0.54	1576	1.74	279	3030	平野、田島
92.6	2.44	887	1209	62.4	133	0.47	1405	4.39	268	2564	田島、平野
65.2	1.48	1079	1533	80.7	108	0.64	1723	1.30	336	3138	田島、平野
75.2	23.8	309	190	270	207	1.89	669		222	1200	平野
112	18.2	610	675	229	127	0.60	1032	1.93	271	1915	田島、平野
35.0	0	400	485	158	40.8	0.48	684		69.7	1154	田島、平野
33.8	0	427	510	166	48.0	0.49	725		86.6	1239	田島、平野
46.9	0	303	326	161	43.2	1.65	532		79.0	914	平野、田島
36.7	0	272	288	163	45.9	1.75	499		55.6	827	田島、平野
93.79	1.692	1468	2135	53.50	56.26	0.22	2245		286	3742	中央温泉研究所 分析
96.2	0	1525	2151	87.4	115	0.42	2354	2.20	394	4275	田島、平野
84.0	2.20	1211	1705	50.9	117	1.38	1874		289	3374	中央温泉研究所 分析
90.2	0	1373	1930	88.4	95.4	0.45	2114	1.81	374	3863	田島、平野
88.67	3.241	1189	1698	41.15	94.15	0.44	1834		239.5	3263	中央温泉研究所 分析
103	0	1462	2033	82.2	71.6	0.26	2187	1.38	374	4025	田島、平野
68.43	5.776	734	978.6	37.86	132.1	0.618	1149.2		176.4	2059	中央温泉研究所 分析
97.0	7.52	934	1334	65.4	115	0.27	1515	3.60	260	2713	平野、田島
73.83	4.411	1014	1482	32.92	100.9	0.74	1617		220.4	2851	中央温泉研究所 分析
95.6	2.85	1220	1742	69.2	94.2	0.22	1906	2.94	332	3460	平野、田島
67.0	0	759	1016	38.0	103.7	1.23	1159		203	2121	中央温泉研究所 分析
80.9	3.79	876	1219	63.0	90.1	0.21	1372	2.81	254	2505	平野、田島
25.5	4.2	540	711	48.0	111		870		65.0	1475	中央温泉研究所 分析
78.5	8.36	627	863	78.8	105		1047	4.40	251	1930	田島、平野
102	6.15	930	1300	60.0	132		1492	28.6	252	2702	田島、平野
103	6.15	940	1314	63.8	124		1502	34.7	253	2730	田島、平野
51.0	1.0	491	596.2	196.0	69.8	0.51	862.5		158.6	1512	中央温泉研究所 分析
47.6	0	459	558	192	61.2	0.45	812		112	1383	平野、田島

高温の温泉は著しく NaCl に富み SO_4^{--} , ΣCO_2 に乏しい泉質であることを図8は示す。一方、強羅、小涌谷地域の低温 (40°C) の温泉は SO_4^{--} や ΣCO_2 に富み Cl^- に乏しい。泉温が中間の場合は高温と低温の温泉の混合として考えても成分的には不都合はない。

図9は異常温度の認められた温泉中の溶存メタ珪酸の量を異常現象以前の量と比較し、泉温との相関を求めるために描いた図である。強羅、小涌谷地域の温泉中のメタ珪酸の量は溶液が amorphous silica 又は石英と平衡にある場合の溶解度曲線の中に位置している (FOURNIER, R.O., ROWE, J. J., 1966)。溶存メタ珪酸の量が明りように増加していることも確かに地中の温泉帯水層中の温度が $20\sim 30^\circ\text{C}$ 上昇していることを指示するものであろう。

大木地 (1968) は昭和41年6月~7月の間に神神火山の地下で発生した群発地震で代表される地熱活動のエネルギーが約一年後に泉温の変化として強羅、小涌谷地域の泉温異常上昇として現れたことを明らかにした。温泉中の化学成分の変動もその見解を支持する。すなわち、早雲地獄の直下で強羅温泉帯水層 (大木地1968) 中にふき込む地下深部よりの熱水の温度が上昇し、その中に含まれる NaCl の量が増大したので早雲地獄から強羅および小涌谷、底倉に向う高温泉の系列の泉温が上昇し、 Cl^- の量が増大した。泉温異常上昇が大涌谷や姥子温泉、芦之湯方面に全く認められないのは、大木地 (1968) が主張しているように温泉の流れが本質的にはカルデラの西側から中央火口丘の下を通過して東側の強羅方面に向っていることによるものと考えられる。

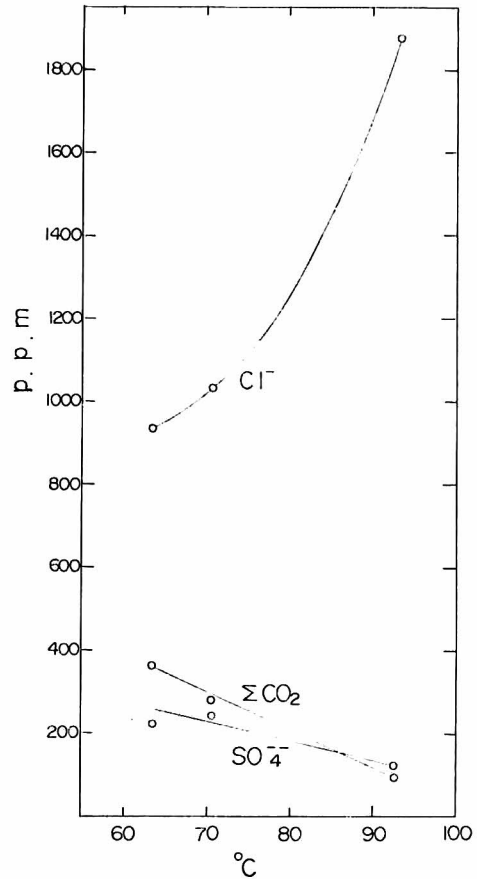


図8 翠光館源泉の温度と陰イオン溶存量の変化

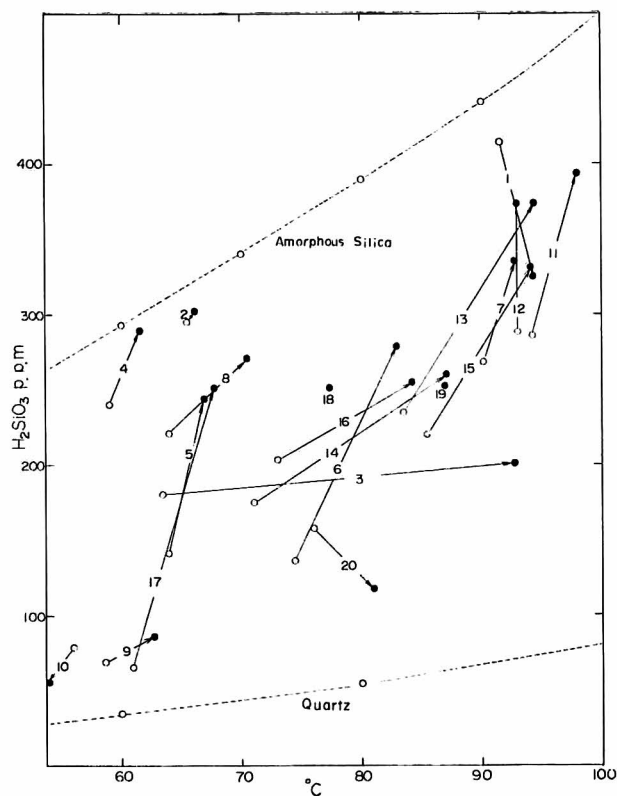


図9 溶存メタ珪酸の泉温による変化
番号等は図3と同じ。

Amorphous silica, Quartz. の溶解度
曲線は FOURNIER, R.O. et al (1966)
による。

謝 辞

温泉試料の採水にあたり各源泉所有者のお世話になった。神奈川県小田原保健所温泉課内田正男課長はじめ課員の皆様は調査に協力された。A. E. MacDonald 先生は原稿の一部を校閲して下さい。神奈川県温泉研究所轟秀雄所長，穂津正雄庶務課長からは終始温かい激励をいただいた。小椋藤幸技師，大口健志技師，広田茂技師は野外調査や資料整理に協力していただいた。以上の方々に厚くお礼申しあげる。

参 考 文 献

- FOURNIER, R.O., ROWE, J.J. (1966) : Estimation of underground temperatures from the silica content of water from hot springs and wet-steam wells. *American Journal of science*, vol. 264, 685—697
- 大木靖衛他3名 (1962) : イオン交換樹脂とキレート滴定法による岩石の分析 (2), *地質学雑誌* vol. 68, 329—333
- 大木靖衛他5名 (1968) : 箱根強羅温泉の温度異常上昇とその水理地質学的考察, *神奈川温研報告*, No 6, 1—20
- 湯原浩三他4名 (1966) : 箱根強羅温泉の水理学的熱的構造と大涌谷地熱地帯との関連性, *防災科学技術総合研究報告* vol. 8, 29—42