

箱根姥子湧泉の泉質連続観測

平野 富雄, 田嶋 継子

神奈川県温泉研究所*

(昭和44年1月20日受理)

Geochemistry of the Ubako Hot Springs, Hakone Volcano

By

Tomio HIRANO and Yoriko TAJIMA

(Hot Spring Research Institute of Kanagawa Prefecture)

(Odawara, Kanagawa)

(Abstract)

Thermal waters of the Ubako Hot Springs are chemically observed from March to December, 1968. Relationships among the contents of dissolved materials, especially meta-silicic acid, pH, temperature, and outflow are closely related with rainfall. Following three types of hot spring activities are recognized in the temperature-meta-silicic acid diagram (Fig. 4).

(1) At the beginning of outflow and during March and June, hot springs seem to be saturated with dissolved materials of volcanic rocks.

(2) From July to October rainfall predominates and outflow of thermal waters also increases. The content of meta-silicic acid, however, decreases and deviates below the solubility curve of amorphous silica.

(3) From November rainfall gradually diminishes accompanied with decreasing of outflow. The content of meta-silicic acid again increases and approaches to the solubility curve of amorphous silica.

Some considerations on the origin of the Ubako Hot Springs are briefly discussed.

* 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8号 (1969)

まえがき

箱根姥子温泉（元元箱根村4号*）は箱根火山中央火口丘の一つ神山の北西に位置し（図1）、神山崩堆積物の岩石の亀裂から弱酸性（pH3）の温泉が古くから自然湧出している（Ishizu, 1915）。昭和40年より大涌谷、姥子周辺において温泉ボーリングがはじめられ温泉採取に成功した。自然湧出している温泉と新規掘さく源泉との関係が問題となり、昭和42年9月より姥子温泉調査を実施することになった（大木ほか9名, 1969）。

この報告は姥子温泉調査の一環として行なったものである。姥子湧泉はこの地域の降水量が多くなりだす3月中旬より湧出をはじめ11～12月まで湧出をつづけ、降水量が著しく少ない冬期には自然湧出はほとんどとまる。湧泉の湧出量、泉温、pH、溶存物質等は降水量と密接な関係がある。

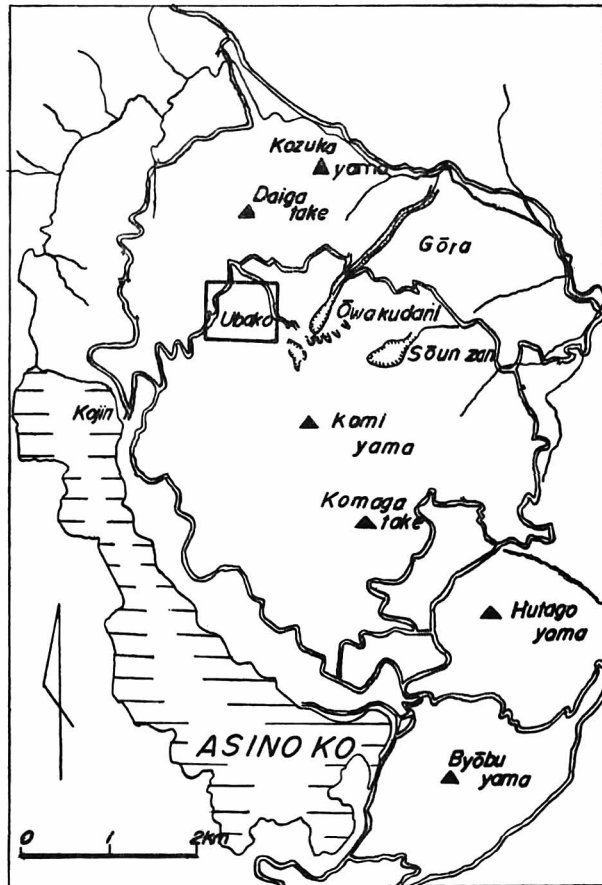


図1 箱根姥子湧泉

* 小田原保健所温泉台帖番号を示す。

湧出地：神奈川県足柄下郡箱根町元箱根字姥子 156 番地。

謝 辞

この調査をするにあたり姥子温泉秀明館西村秀一氏は自然湧出源泉における測定に協力された。東京大学物性研究所田村正平先生、大道寺英弘先生には原子吸光分析法の御指導をして頂いた。神奈川県温泉研究所関本一雄所長、穂津正雄課長からは終始温かい激励をいただいた。大木靖衛研究科長には大涌谷、姥子附近の地質や連続観測結果について有益な御意見をいただき、さらに本原稿を校閲して頂いた。平賀士郎主任研究員、広田茂氏、河西正男氏は温度連続観測のさい分析試料の採取に協力された。以上の方々に厚くお礼申しあげる。

大涌谷、姥子周辺の温泉

姥子湧泉は神山山崩堆積物 (CC₉)(Kuno, 1950) の岩石の亀裂から自然湧出している温泉で泉温40~49°C, pH 3 の硫酸酸性である。すでに大涌谷、姥子周辺において十数本の深い温泉ボーリングが行なわれ、地表より数100 mまでの間に浅深2層の温泉帯水層があることが知られており、各帯水層の温泉はその化学組成でも硫酸塩泉^{*}、重炭酸塩硫酸塩泉に分類されている(表1-1~1-3, 大木ほか2名, 1968)。地表から20~50mの浅層の温泉は40~60°C, pH 2~3 の硫酸酸性で神山山崩堆積物 (CC₉) に胚胎し、流速50~100 m/日で冠岳から姥子方面に流れている(大木ほか9名, 1969)。姥子湧泉はこの浅層の酸性硫酸塩泉がいったん地表に出たものであり再び山崩堆積物の中を流れ、しだいに深層温泉帯水層に吸収され重炭酸塩硫酸塩泉に移化して行く(図2, 大木ほか, 1969 原図)。姥子温泉調査で問題となった温泉は浅層の酸性硫酸塩泉で地表から200~300mの深層の重炭酸塩硫酸塩泉は姥子湧泉と直接関係がないとされた(大木ほか9名, 1969)。

姥子湧泉の泉質の連続観測

姥子湧泉の泉質の連続観測を主としてこの地域の降水量^{**}と関連づけて、1968年3月より同年12月まで行なった。連続観測の記録を表2, および図3に示し、湧泉の化学分析の結果を表3に示した。なお自然湧出泉の分析試料の泉温は、試料を採取するときに測定したものである。

降水量と湧出量: この地域の降水量が10日間積算で80~120mmに達すると6日目に姥子湧泉は自然湧出をはじめめる。1968年2月29日に50mmの降水があり3月8日までに積算降水量は130mmに達して、その6日後の3月14日から自然湧出がはじまった。

積算降水量の増加とともに湧出量は増加するが10~15日間降水がないと湧出量は著しく減少し(5月下旬~6月上旬, 11月中旬~12月上旬), 降水量が非常に少ない冬期には遂に自然湧出は停

* 硫酸塩泉はさらに浅層の酸性硫酸塩泉および地中を流動中に中和された中性硫酸塩泉(一般に深い温泉孔井)に分けられている。

** 神奈川県気象月報(神奈川県農政部, 横浜気象台共編)による。

止する。

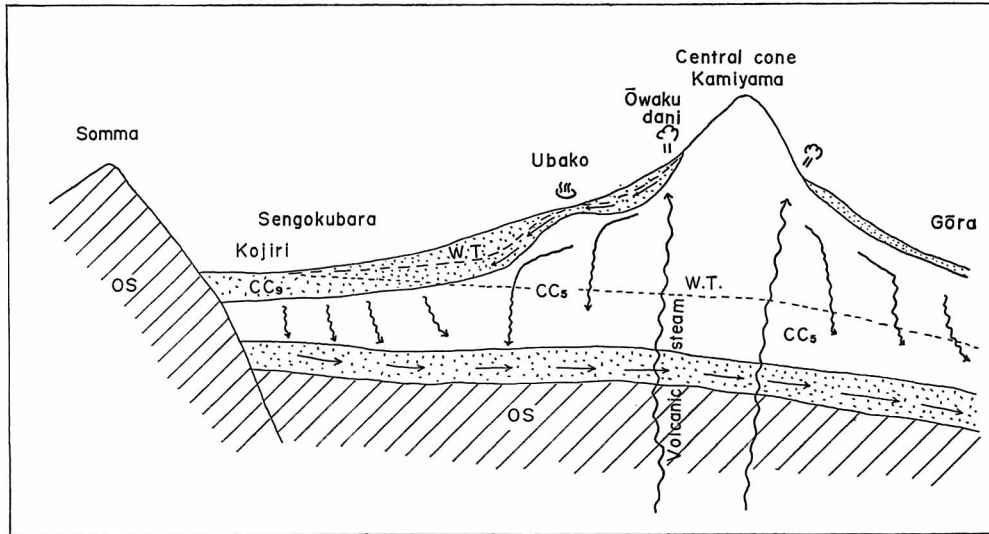


図2 姥子附近の温泉湧出機構 (大木ほか9名)

降水量と溶存物質：自然湧出泉が湧出をはじめた3月に3試料，4，6，7，10，11，12月に各1試料，計9試料を採取し，化学成分（ H^+ ， Li^+ ， K^+ ， Na^+ ， Ca^{++} ， Mg^{++} ， Fe^{++} ， Al^{+++} ， Cl^- ， SO_4^{--} および H_2SiO_3 ）を分析した（表3）。さらに温度連続観測（広田ほか2名，1969）のさい採取した全試料（42試料）につきpH， H_2SiO_3 ，蒸発残留物を測定し， H_2SiO_3 ，蒸発残留物と泉温の関係を図4に示した。図4によれば泉温と H_2SiO_3 ，総溶存物質（蒸発残留物と等しいとする*）の関係は三つの型に分けることができ，この地域の降水が地熱や蒸気であたためられ湧出することを示している。

〔I〕 湧出を開始する3月から降水量の増加と共に湧出量が増して6月下旬まで。

〔II〕 夏期をむかえ著しく降水量が増し自然湧出量が最も多くなる（据付のノッチでは測定不能で大体2000~3000 l /分）7月上旬から10月下旬まで。

〔III〕 しだいに降水量が減り湧出量が減少しだす11月上旬から12月中旬まで。

以上の3型で温泉の各主要成分も総溶存物質の増減とほとんど同じ傾向を示すが，温度変化に対し Ca^{++} ， Na^+ ， SO_4^{--} ， H_2SiO_3 の増減が特に著しく， K^+ ， Mg^{++} は比較的一定している（表3）。

* 自然湧出泉はpHが低く炭酸物質を含まないので総溶存物質量 \equiv 蒸発残留物である。

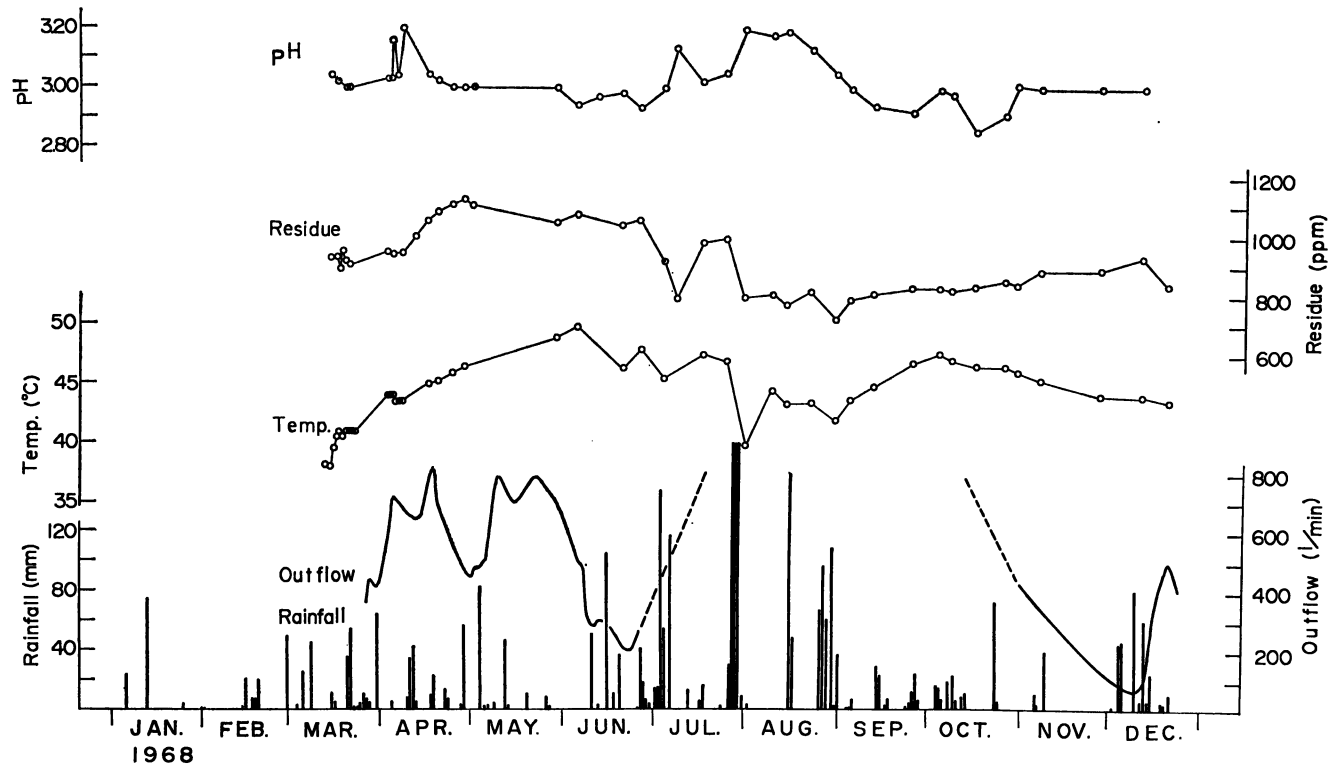


図3 姥子湧泉の連続観測結果

表 1—1 酸性硫

分析番号	源泉名	採水年月日	泉温 (°C)	深さ (m)	揚湯量 (ℓ/min)	pH	蒸発残留物	H ⁺	Li ⁺
143	西村秀一 外	41. 7.11	39.5	自然湧出	—	3.2	721	0.504	0.032
144	仙石高原開発株 式会社 (4号)	41. 7.11	46.5	91	491	2.9	763	1.31	0.020
146	西村秀一	41. 7.18	43.6	60	40	3.3	924	0.483	0

表 1—2 中性硫

分析番号	源泉名	採水年月日	泉温 (°C)	深さ (m)	揚湯量 (ℓ/min)	pH	蒸発残留物	Li ⁺	K ⁺
222	仙石高原開発株 式会社 (6号)	43. 8.24	78.0	414	74	6.3	1967	0.060	20.5

表 1—3 重炭酸

分析番号	源泉名	採水年月日	泉温 (°C)	深さ (m)	揚湯量 (ℓ/min)	pH	蒸発残留物	Li ⁺	K ⁺
145	仙石高原開発株 式会社 (A号)	41. 7.11	43.5	690	82	7.6	910	0	12.5
181	杉山秀雄	42. 2.24	57.5	525	79	8.1	1269	0.068	12.1
182	仙石高原開発株 式会社 (B号)	42. 2.24	55.0	610	108	8.0	1342	0.020	10.7
224	杉山秀雄	43.10.11	62.8	515	70	8.2	1733	0.112	21.5

(分析番号は神奈川温研分析番号を示す。分析値の単位は ppm.)

降水量と泉温および pH: しいに降水量が増し湧出が始まると〔I〕湧出量の増加と共に泉温は高くなり最高49.7°Cまで上昇した。降水量が増加し湧出量が著しく増す夏期には〔II〕, 泉温はやや降下する。例えば降水量が特に多かった7月27~29日のあとは泉温は39.5°Cまで下った。降水後の泉温降下は2~4日で現われ、湧出初期に降水後6日目に自然湧出を始めたのと比べれば、この時期の降水が湧泉に与える影響は早い。これは大涌谷周辺よりはむしろ姥子周辺の降水が滲透したものと考えられる。夏期から秋期さらに初冬になるにつれ〔III〕, 降水量の減少とともに自然湧出量も減るが逆に泉温は徐々に上昇の傾向を示す。湧出量が更に減少し毎分300ℓ程度になると泉温は下りだす。しかしこの間の溶存物質量は泉温の低下にもかかわらず増加して、その溶存物質量は〔I〕に近づいていく。

通常、湧泉のpHは3.00±0.05で一定している。しかし、著しい降水があるとpHはやや高くなる(pH3.2)。これは降水が湧泉の溶存物質量や泉温に与えた影響と一致している。すなわち著しい降水により湧出量は増加するが泉温と総溶存物質量は減少し、pHは高くなる。

酸 塩 泉

K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	計	Cl ⁻	HSO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	計	H ₂ SiO ₃	総 計
5.48	33.5	61.7	15.2	10.7	127	8.23	11.7	349	369	207	703
2.52	31.0	64.6	15.6	9.14	124	7.19	34.4	392	434	200	758
6.00	38.0	86.8	21.8	12.0	165	7.06	7.3	454	468	255	888

酸 塩 泉

Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	計	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	計	CO ₂	H ₂ SiO ₃	総 計
169	211	70.2	471	33.5	1099	14.8	—	1147	17.7	251	1901

塩 硫 酸 塩 泉

Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	計	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	計	CO ₂	H ₂ SiO ₃	総 計
63.0	119	39.6	234	18.4	282	360	0.42	661	21.6	176	1093
88.5	140	84.9	326	19.8	381	590	1.72	993	14.2	244	1577
64.0	169	68.2	312	10.6	596	288	0.68	895	8.98	231	1447
145	173	102	442	21.6	699	526	2.48	1249	7.97	275	1974

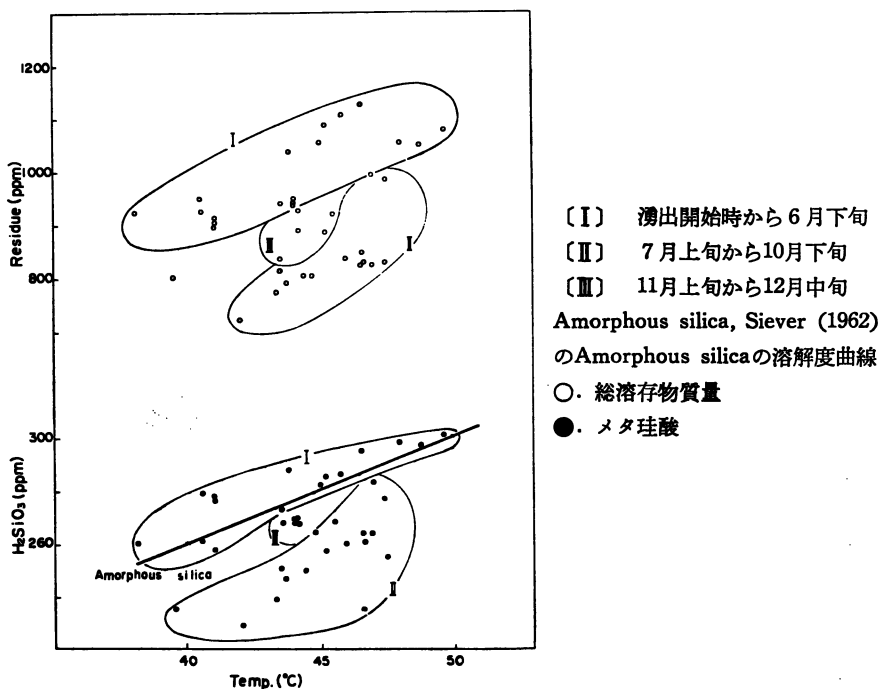


図4 姥子湧泉の泉温と蒸発残留物およびH₂SiO₃の関係

表2 姥子湧泉の連続観測記録

採水年月日	泉温(°C)	湧出量(ℓ/min)	pH	蒸発残留物 (ppm)	H ₂ SiO ₃ (ppm)
43. 3. 14	38.0	—	3.04	923.5	261
15	39.5	—	n.d	n.d	n.d
16	40.5	—	3.02	924.3	279
17	41.0	—	3.02	888.8	276
18	40.5	—	n.d	946.9	261
19	41.0	—	3.00	911.0	278
20	41.0	—	3.00	900.2	258
21	41.0	—	n.d	n.d	n.d
22	41.0	—	n.d	n.d	n.d
43. 4. 2	44.0	535	3.03	944.6	268
3	44.0	—	3.03	933.8	269
4	44.0	720	3.16	937.6	268
5	43.5	—	3.04	n.d	268
6	43.5	—	n.d	n.d	n.d
7	43.5	—	3.20	939.0	273
16	45.0	—	3.04	1050.2	282
19	45.2	—	3.02	1081.9	285
24	45.8	560	3.00	1106.5	286
28	46.5	—	3.00	1126.0	295
43. 5. 1	n.d	480	3.00	1105.0	292
29	48.8	705	3.00	1048.0	297
43. 6. 5	49.7	490	2.94	1076.0	301
12	n.d	310	2.97	n.d	265
20	43.8	225	2.98	1036.0	288
26	48.0	276	2.93	1051.0	298
43. 7. 3	45.5	—	3.00	917.8	268
8	n.d	—	3.13	789.0	254
17	47.5	—	3.02	982.4	277
25	47.0	—	3.05	991.6	283
31	39.5	—	3.20	797.7	236
43. 8. 9	44.4	—	3.18	801.5	250
14	43.3	—	3.19	770.5	239
22	43.5	—	3.13	812.0	251
30	42.0	—	3.05	718.0	229
43. 9. 3	43.7	—	3.00	784.1	247
12	44.8	—	2.94	803.4	264
25	46.7	—	2.92	828.5	261
43. 10. 4	47.5	—	3.00	826.3	255
8	47.0	—	2.98	817.5	264
16	46.6	—	2.85	823.8	264
26	46.6	400	2.91	848.0	235
30	46.0	440	3.01	836.5	260
43. 11. 7	45.2	355	3.00	883.0	257
27	44.1	147	3.00	888.0	270
43. 12. 11	44.2	82	3.00	924.0	268
19	43.5	506	n.d	832.5	n.d

表3 姥子湧泉

採水年月日	泉温 (°C)	湧出量 (ℓ/min)	pH	蒸発残留物	H ⁺	Li ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺
43. 3. 14	38.0	—	3.04	923.5	1.00	0.028	36.0	5.80	76.1
3. 18	40.5	—	n.d	946.9	0.322	0.032	34.0	5.88	91.4
3. 20	41.0	—	3.30	900.2	1.00	0.0	35.8	6.40	75.7
4. 5	43.5	—	3.04	n.d	1.00	0.0	37.6	6.50	78.4
6. 5	49.7	490	2.94	1076	1.18	n.d	42.7	8.90	87.4
7. 31	39.5	—	3.20	797.7	0.635	0.004	31.3	5.78	67.4
10. 4	47.5	—	3.00	826.3	1.00	0.0	31.0	6.10	73.2
11. 7	45.2	355	3.00	883.0	1.00	0.0	34.0	6.22	81.8
12. 11	44.2	82	3.00	924.0	1.00	0.0	37.0	7.25	83.8

(分析値の単位はppm)

考 察

大涌谷，姥子周辺の酸性硫酸塩泉が神火山崩堆積物中に胚胎するしくみを，姥子湧泉の連続観測の結果をもとに考察する。

この地域の浅層の酸性硫酸塩泉は大部分が降水により涵養されていることが降水量と湧出量，総溶存物質質量，pHなどの関係から明らかにされた。この型の温泉の主要イオン (Na^+ ， Ca^{++} ， SO_4^{--} 等)の供給源については平野ほか(1965)や，大木ほか(1968)が記載している。

最近，石英や無定形シリカの溶解度が多くの研究者により種々の方法で測定されている。各研究者によりシリカの溶解度は多少こととなっているが，図4に Siever (1962)の無定形シリカの溶解度曲線*を記入すると〔I〕の分布とよく一致している。湧出初期から6月にかけて〔I〕，姥子湧泉は帯水層中を岩石(火山ガラス)とほとんど溶解平衡を保ちながら流れていると考えられる。降水量が多くなる夏期は〔II〕，湧出量が多くなるにつれて湧泉は〔I〕からのずれが大きくなり，降水による稀釈効果とみることができる。降水量が減り湧出量が減少しだすと〔III〕， H_2SiO_3 総溶存物質質量は〔I〕に近づいていく。

次に，この酸性硫酸塩泉は降水が大涌谷，姥子の地熱地帯で蒸気や地熱によってあたためられたものであり，深所の高温高压の Cl^- を含む流体によっていないことを温泉の化学組成から示そう。浅層の酸性硫酸塩泉の主成分である SO_4^{--} の供給源は大部分が噴気ガスの主成分である H_2S で，地表ちかくで酸化されて生じたものである。また，姥子湧泉の化学成分で Na/Cl の比(原子比)をとってみると5.6~9.2であり，高温高压の NaCl を多量に含む地下深所の火山ガスに供給源をもつと考えられている強羅附近の塩化物泉(大木ほか2名，1968)では Na/Cl は0.92~1.07である。

姥子湧泉の酸性硫酸塩泉の Cl^- が高温高压の NaCl を含む火山ガスからすべて供給されるとしても，強羅の塩化物泉**の数100分の1である。火山岩は少量の塩素を含有しており岩石からも Cl^- は供給されるから，実際には Cl^- を含む流体はほとんど浅層の酸性硫酸塩泉に関与していないと考えられる。

の 化 学 組 成

Mg^{2+}	Fe (Total)	Al^{3+}	計	Cl^-	HSO_4^-	SO_4^{2-}	計	H_2SiO_3	総 計
21.1	0.179	15.2	155.4	9.11	29.0	474	512	261	928
20.9	0.072	16.2	168.8	9.19	10.7	487	506	261	936
19.6	0.015	15.0	153.4	9.87	32.3	480	522	258	933
21.2	0.026	16.1	160.8	9.59	30.1	484	523	268	952
24.3	0.099	22.6	187.2	7.15	52.4	526	586	301	1074
18.9	0.0	11.1	135.1	6.34	17.1	451	425	236	796
18.5	0.0	12.4	142.3	6.93	28.6	424	459	255	856
19.4	0.0	13.0	155.5	6.99	30.4	450	487	257	900
20.0	0.0	13.4	163.3	6.84	32.3	480	519	268	950

参 考 文 献

- Chareot, G. (1957), *L'analyse Qualitative et les Reactions en Solution*. Masson et Cie, Paris.
- 曾根, 田中の訳あり (共立出版)
- 平野富雄, 大木靖衛, 田嶋綾子 (1965), 箱根大涌谷の温泉沈積物, 温泉工学会誌 Vol. 3, No. 3 131—138
- 広田 茂, 平賀士郎, 河西正男 (1969), 箱根火山における温泉および地中温度の連続観測, 神奈川温研報告, No. 7, 31—38
- Ishizu, R. (1915), *The mineral Springs of Japan*, Sankyo, Tokyo
- 神奈川県農政部, 横浜気象台共編, 神奈川県気象月報, No. 210—
- Krauskopf, K. B. (1967), *Introduction to Geochemistry*. 166—170, McGraw-Hill, Newyork
- Kuno. H. (1950), *Geology of Hakone Volcano and adjacent areas. Part I*, Jour. Fac. Sci. Univ. Tokyo, Sec. II. Vol. 7, Parts 3—5, 257—279
- 大木靖衛, 平野富雄, 田嶋綾子 (1968), 箱根温泉の成因, 神奈川温研報告, 神奈川温研報告, No. 6, 35—50
- 荻野喜作, 広田 茂, 小鷹滋郎, 小沢 清, 平賀士郎, 河西正男, 平野富雄, 田嶋綾子, 岩田義徳 (1969), 箱根姥子温泉調査報告, 神奈川温研報告, No. 8, 1—12
- Siever, R. (1962), *Silica solubility, 0—200°C, and the diagenesis of Siliceous sediments*, Jour. Geol. Vol. 70, No. 2, 127—150

注P 21) * SiO_2 を H_2SiO_3 に換算して記入した。メタケイ酸 (H_2SiO_3)—オルトケイ酸 (H_4SiO_4) でも同じ——の酸解離定数は $\text{pk}_1=9.9\sim 10.0$ であるから (Charlot, 1957), pH 9 以下では (pH 2 ぐらいまでか) シリカの溶解度はpHにほとんど影響されない (Krauskopf, 1967)。シリカの溶解量はpH 3 ではほとんど温度によってきまりpHの影響を受けないとした。

**塩化物泉の Cl^- は1800~2500ppm。