

日本温泉科学会第32回大会

会 長 講 演

玉川温泉の地球化学的研究*

日本温泉科学会会長 岩 崎 岩 次
東邦大学理学部教授

会場の皆様、この第32回日本温泉科学会の大会で私たちの長い間の研究“玉川温泉の地球化学的研究”を報告する機会を与えて下さったことは私どもの最も光栄とするところであります。謹んで厚く御礼申し上げます。

玉川温泉は約300年前の延宝8年6月に硫黄山探検者によって発見されたという記録がございます¹⁾。山間僻地、人跡未踏の地のためただ毒水として恐れられ、温泉としては久しく忘れられ、名も〔スカ湯〕(スッパイ)ので、または〔鹿湯〕とも呼ばれていたが、明治15年になってはじめて温泉湯場として許可された。昭和12年8月朝日新聞社の杉村楚人冠の命名で“玉川温泉”(玉川の上流だから)となった¹⁾。

昭和18年(1943年)から玉川温泉研究会が東北大学理学部および医学部の人々を中心として、他の機関の人々との協力によって創立され、玉川温泉の性質とその利用との研究が続けられてきている¹⁾。私どもも昭和27年(1952年)以来この研究会の仕事に参加して二十数年間玉川温泉の化学的特性の測定、確認、およびその性質の変化と、その特性の生成機構の解明のために、名種の数多くの観測および模型実験を実施してきた。玉川温泉研究会の仕事は玉川温泉研究会研究輯録および玉川温泉の総合研究として第6輯(1959)²⁾まで続き、また昭和29年(1954)には玉川温泉研究会十周年誌を発行している。なお昭和38年(1963)に第16回日本温泉科学会大会が今回と同様に湯瀬ホテルに開かれ、玉川温泉研究会の人々の研究が報告された。さらに東京大学教授南英一先生の御定年退官記念として1960~1962年頃までの玉川温泉研究会の仕事の中で地球化学関係のものをまとめたものが“Geochemistry of The Tamagawa Hot Springs”(1963)³⁾である。

その後千葉大学の中川良三助教授、埼玉大学の小沢竹二郎教授、東京大学教養学部の綿抜邦彦助教授、東京工業大学の一国雅巳教授その他の人々の数多くの地球化学的研究で次第に玉川温泉の地球化学的実態が明かにされてきている。

私どもも玉川温泉の大沸泉の特性の生成機構を解明するための研究項目として次の各性質を選んだ。(1)強酸性($\text{pH} \approx 1.2$, $\text{HCl} \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$), (2)高温(98°C), (3) $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ (4)莫大な湧出量(約 10^4 ℓ/min), (5)放出熱量(約 $1.2 \times 10^9 \text{kCal}/\text{day} = 8 \times 10^8 \text{Cal}/\text{min}$, 約 $2 \times 10^{22} \text{erg}/\text{yr}$), (6)高濃度(約 $3 \text{gCl}^-/\ell$, 約 $1.2 \text{gSO}_4^{2-}/\ell$, $> 3.6 \times 10^{-8} \text{tonCl}^-/\text{kCal}$), (7) $\text{Na}^+ < \text{Cl}^-$, (8)放射性ガス(大沸泉Rn約3mache, Tn 約8mache, No.4泉 Rn 10.5mache = $38 \times 10^{-10} \text{Ci}$, Tn 約5800mache), (9)放射性温泉沈殿物(北投石), 放射性硫黄(湯の花), (10)長年月の湧出(200年以上), (11) Cl^- , SO_4^{2-} , Fe, Al, SiO_2 , Ca, Mg, K, Na, F, Br, I, Bなどの成分の温泉中への導入機構, (12)温泉中の成分の含有量の変化。

* 昭和54年8月29日秋田県湯瀬温泉湯瀬ホテルにおいての第32回日本温泉科学会大会会長講演の概要

これらについての研究結果は今まで各種の発表機関の報文誌に多数に報告しつづけてきた。それらは文献表の後の部分に発表年順に示してあるので参照して下さい。それでここでは第1表および第1図に示してある大沸泉の特性とその成り立ちの研究をした結果の大略を述べることで、他は一切省略するので、文献表にある報文を参照していただきたい。

第1表 玉川温泉大沸泉の性質

温度=98°C
 pH <1.2
 湧出量=9.3×10⁹l/min=1.3×10⁷l/day
 =4.7×10⁹l/yr(4.7×10⁶ton/yr)
 熱放出量=1.2×10⁹kcal/day
 =4.2×10¹¹kcal/yr(≒1.7×10²²erg/yr)

	成分含有量 (g/l)	1日の湧出量 (g/day)	1年間の湧出量 (g/yr)
蒸発残留物	3	4 × 10 ⁷	1.5 × 10 ¹⁰
Cl	3	4 × 10 ⁷	1.5 × 10 ¹⁰
SO ₄	1.2	1.5 × 10 ⁷	5.6 × 10 ⁹
F	0.1	1.3 × 10 ⁶	4.7 × 10 ⁸
H ₂ S	0.02	2.6 × 10 ⁵	9.4 × 10 ⁷
H ₂ SiO ₃	0.3	4 × 10 ⁶	1.4 × 10 ⁹
Fe	0.1	1.3 × 10 ⁶	4.7 × 10 ⁸
Al	0.2	2.6 × 10 ⁶	9.4 × 10 ⁸
Pb	0.001	1.3 × 10 ⁴	4.7 × 10 ⁶
Na	0.06	7.8 × 10 ⁵	2.8 × 10 ⁸
Ra	2 × 10 ⁻¹¹	2.6 × 10 ⁻⁴	0.09

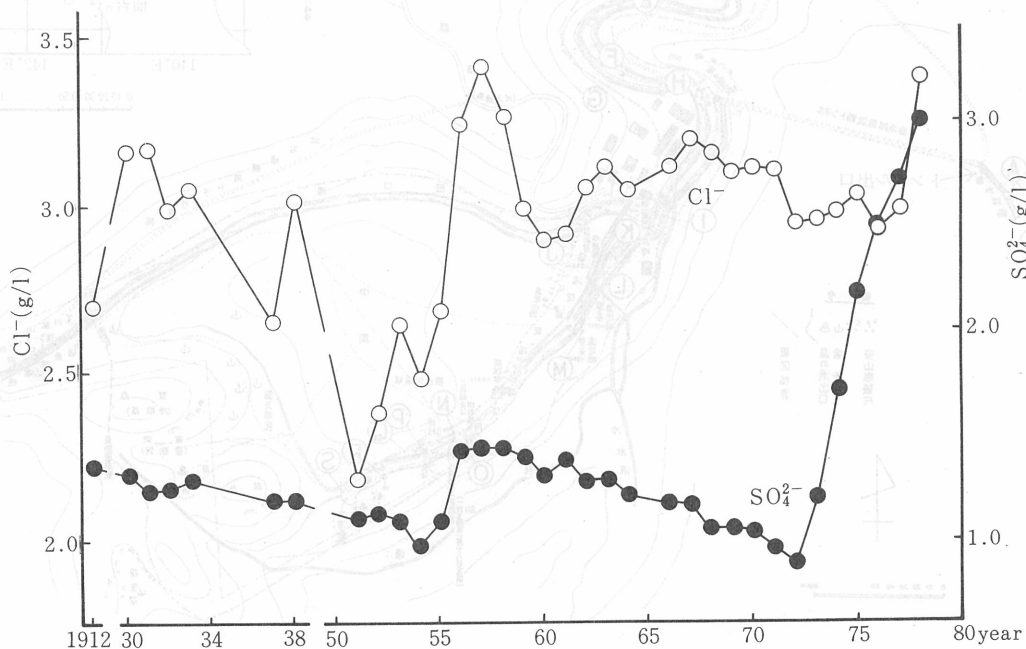


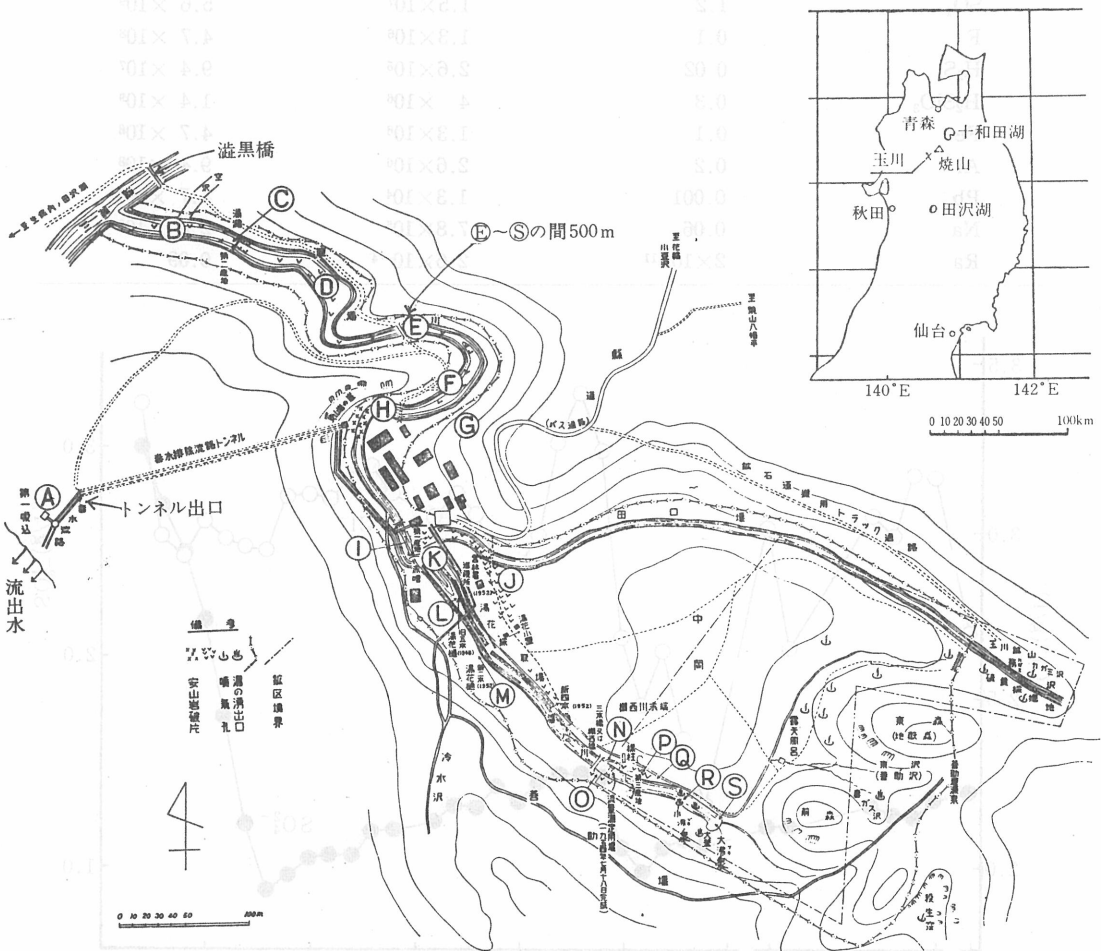
図1 大沸泉の塩化物および硫酸イオンの変化

第2図には玉川温泉の全体の略図を示し、第2表abcには大沸泉周囲の温泉の性質をも示し、第1表の大沸泉の性質との差異を示す。これらの各温泉の性質のすべては、玉川温泉が火山性温泉であるとして、マグマ発散物、火山発散物の分化現象の初期の段階で生成した酸性の $[Cl^- + SO_4^{2-}]$ 泉や $[SO_4^{2-}]$ 泉であるとする説明が容易にできることがわかる(第3aおよび3b図、第3aおよび第3b表参照)。なお大沸泉の温泉水中の SO_4^{2-} の大部分は H_2S の酸化よりも SO_2

第2a表 玉川温泉大沸泉附近の温泉

	pH	Cl(mg/l)	SO ₄ (mg/l)	H ₂ S(mg/l)*
焼山温泉 No.2	1.5	1	7281*	60.3
焼山温泉 No.1	1.7	54	3178*	75.5
さげび沢温泉	2.3	10	1041*	13.2
毒ガス沢	2.4	4	470*	11.9
〃	2.4	3	474*	26.1
殺生くぼ温泉	1.8	3	1044**	—
〃	1.9	2	552***	—
務沢温泉	1.5	28.4	3502**	—
〃	5.0	15	156**	—

*野口喜三雄 et al. **南英一, 綿抜邦彦
***岩崎岩次 et al.



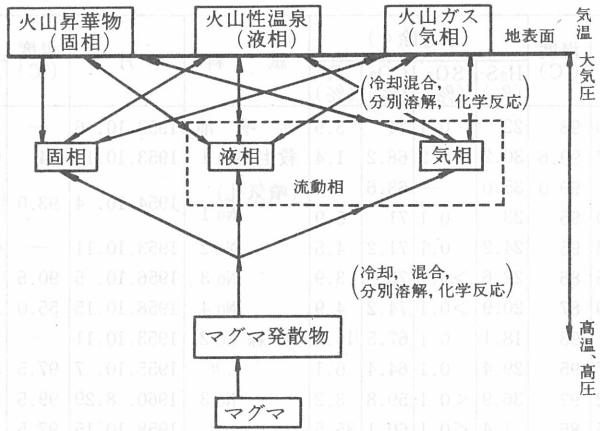
第2図 玉川温泉の略図

第2 b表 玉川温泉地域の火山ガスの化学組成

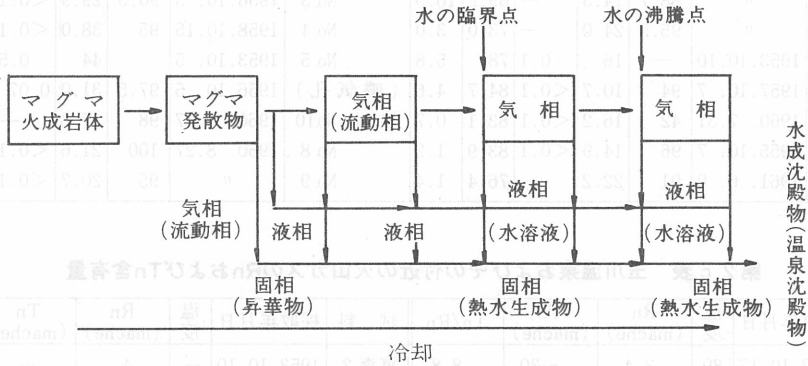
試料	年月日	温度 (°C)	(水を除く)				試料	年月日	温度 (°C)				
			H ₂ S (%)	SO ₂ (%)	CO ₂ (%)	R (%)				H ₂ S (%)	SO ₂ (%)	CO ₂ (%)	R (%)
大沸 No.1	1953.10.10	98	22	0.1	74	3.9	赤噲池	1953.10.6	—	16	0.2	78	5.8
No.1	1955.10.7	99.6	30.2	0.2	68.2	1.4	殺生窪No.1	1953.10.11	94	64	2?	33	1.0
"	1959.10.1	99.0	35.0	—	63.6	1.4	(噴気孔)						
No.2	1953.10.10	95	23	0.1	71	5.9	No.1	1954.10.4	93.0	24.6	<0.1	74.5	0.8
"	1954.10.3	95	24.2	0.1	71.2	4.5	No.2	1953.10.11	—	66	0.2	33	0.8
"	1958.10.15	86	22.6	>0.1	73.5	3.9	No.3	1956.10.5	90.5	29.9	<0.1	69.2	0.85
"	1959.9.30	87	20.9	>0.1	74.2	4.9	No.4	1958.10.15	55.0	20.2	<0.1	78.8	1.0
No.4	1954.10.4	93	18.1	0.1	67.5	14.3	東森 No.2	1953.10.11	—	53	0.7	45	1.3
"	1955.10.7	95	29.4	0.1	64.4	6.1	"	1955.10.7	97.5	31.0	0.1	68.2	0.75
"	1956.10.2	92	36.9	<0.1	59.8	3.2	No.3	1960.8.29	99.5	31.7	—	67.3	1.0
"	1958.10.15	85	4.4	<0.1	60.1	35.5	"	1958.10.15	97.5	26.3	—	72.9	0.8
"	1959.10.12	87	13.3	<0.1	68.2	18.5	No.4	1959.10.2	95.8	29.0	—	69.9	1.4
"	1960.10.10	83-90.5	15.4	—	63.6	21.0	大噴 No.10	1961.10.12	98	22.9	<0.1	76.2	0.9
"	1960.7.31	92	17.4	—	70.6	12.0	務沢 No.1	1954.10.4	93.0	24.6	<0.1	74.5	0.8
"	"	88.7	14.3	—	69.2	16.5	No.3	1956.10.5	90.5	29.9	<0.1	69.2	0.85
No.3	"	95.5	24.0	—	73.0	3.0	No.4	1958.10.15	95	38.0	<0.1	61.1	0.9
No.8	1953.10.10	—	16	0.1	78	5.8	No.5	1953.10.5	—	44	0.5	52	3.5
"	1957.10.7	94	10.7	<0.1	84.7	4.6	(噴気孔)	1956.10.5	97.5	31.0	0.07	68.2	0.75
No.9	1960.7.31	42	16.2	<0.1	83.1	0.7	焼山 No.10	1960.6.7	98	27.8	—	71.7	0.5
ヒソ川	1955.10.7	96	14.9	<0.1	83.9	1.2	No.8	1960.8.27	100	21.6	<0.1	77.6	0.8
	1961.6.9	91	22.2	—	76.4	1.4	No.9	"	95	20.7	<0.1	78.4	0.9

第2 c表 玉川温泉およびその付近の火山ガスのRnおよびTn含有量

試料	採取年月日	温度	Rn (mache)	Tn (mache)	Tn/Rn	試料	採取年月日	温度	Rn (mache)	Tn (mache)	Tn/Rn
大沸 0	1952.10.17	89	3.4	~30	8.8	東森 2	1953.10.10	—	4	—	—
" 1	"	97	2.9	—	—	" 3	"	—	3	—	—
" 1a	"	97	2.9	—	—					~2.5	~8
" 1b	1953.10.10	98	2.0	—	—	殺生沢	1953.10.10	94	12	100	8.3
" 2	1952.10.17	93	2.6	~230	88	1					
(王様)						2	"	95	—	—	—
" 2	1953.10.10	95	1.7	120	71	務沢 1	1952.10.17	51.6	12	26	2.1
" 3	1952.10.18	93	9.0	—	260	" 2	"	80	9	31	~3.4
" 4	"	94	15	~2300 1200	80	" 3	"	45	21	—	—
" 5	"	98	6.3	~600	95	" 4	"	85	9	—	—
" 6	"	96	0.4	~150	380	務沢 5	1952.10.17	89	10	—	—
" 7	"	97	<2	<20	10	" 6	"	82	27	—	—
ヒソ川	"	97.5	3.9 (7.4)	540 (~520)	90	" 7	"	95	66	—	—
" 8	"	97.5	3.9 (7.4)	540 (~520)	90	" 8	"	96	10	110	11
ヒソ川	"	97.5	3.9 (7.4)	540 (~520)	90	焼山 1	1952.10.19	95	5.6	—	—
" 10	"	97.5	3.9 (7.4)	540 (~520)	90	" 2	"	97	18	—	—
ヒソ川	1952.10.19	73	3	—	—	" 2	1953.10.12	93	11	—	—
下流	"	71.6	2.2	—	—	" 3	1952.10.19	95	7	37	5.4
"	"	71.6	2.2	—	—	" 4	"	88	14	—	—
毒ガス沢	1952.10.18	90	20	230	12	" 6	1953.10.12	93	11	—	—
" 1	1953.10.10	96	48	140	2.9	" 7	"	69	11	10	0.9
" 2	1952.10.18	91	22	170	7.7	叫沢 1	1952.10.20	79	16	210	13
" 3	"	93	11	330	30	" 2	"	95	13	—	—
" 4	"	47	24	—	—	" 3	"	98	16	—	—

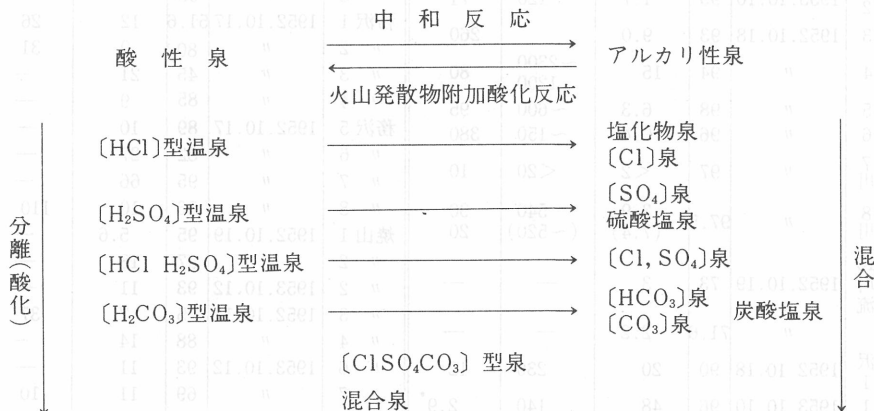


第3 a 図 マグマ発散物からの火山発散物の生成



第3 b 図 マグマ発散物の正常の冷却による火山発散物生成のありさま

第3 a 表 火山性温泉間の関係



- b-1) ① マグマ水からくる温泉系列
- ② 酸性泉→(化学反応)→中性泉→アルカリ性泉

- ② 中性泉→(化学反応)→アルカリ性泉
- ③ アルカリ性泉
- b-2) 火山昇華物からくる温泉系列
 - ① 酸性泉→(化学反応)→中性泉→アルカリ性泉
 - ② 中性泉→(化学反応)→アルカリ性泉
 - ③ アルカリ性泉

第3 a表 火山ガスの分類

噴出温度	水以外の化学成分	
	I 1200℃～800℃	HCl, SO ₂ , CO ₂ , H ₂ >H ₂ S, N ₂
II 800～100℃	A: HCl, SO ₂ , H ₂ S, CO ₂ >N ₂ , H ₂	
	B: SO ₂ , H ₂ S, CO ₂ >N ₂ >HCl, H ₂	
III 100℃～60℃	H ₂ S, CO ₂ >N ₂ >SO ₂ >H ₂	
IV 60℃以下	CO ₂ >N ₂ >H ₂ S	

b-3) 火山ガス(表2, 火山ガスの分散による)からくる温泉系列

- ① 高温の火山ガス, HCl, SO₂, H₂S, CO₂, N₂など, 水溶液〔酸性〕HCl, H₂SO₃, H₂S, H₂S, H₂CO₃
 - ① 高温の水溶液〔HCl〕型泉→(化学反応)→中性泉〔Cl〕型泉(塩化物泉)
 - ② 硫黄の酸化によるH₂SO₄の生成:〔H₂SO₄〕型泉→(化学反応)→中性泉〔SO₄〕型泉(硫酸塩泉)
 - ③ ①と②との混合で〔HCl, H₂SO₄〕型→〔H₂SO₄・HCl〕型→(化学反応)→中性泉〔Cl・SO₄〕型泉
 - ④ 分離したCO₂が水に溶けるか, または化学反応が進みpHが大きくなるとCO₂が溶解〔H₂CO₃〕型泉(炭酸泉)→(化学反応)→〔HCO₃〕型泉→〔CO₃〕泉→炭酸塩泉
 - ⑤ 分離しない閉鎖系では, 全部が混合して反応が進むと〔HCl〕型泉→〔HCl・H₂SO₄〕型泉→〔Cl・SO₄〕型泉→〔Cl・SO₄・H₂CO₃〕型泉→〔Cl・SO₄・HCO₃〕型泉→〔Cl・SO₄・CO₃〕型泉混合型泉
 - ① 系列のものには高濃度のものがある。
- ② 火山ガス SO₂, H₂S, CO₂, N₂など. 水溶液(酸性), H₂SO₃, H₂S, H₂CO₃など.

ここでは〔HCl〕型, 〔Cl〕型の温泉は生成しない(混合する地下水中のCl⁻以外はCl⁻は少量である). 硫黄の酸化

 - ①〔H₂SO₄〕型泉→(化学反応)→中性泉〔SO₄〕型泉(硫酸塩泉)
 - ②〔H₂CO₃〕型泉→(化学反応)→〔HCO₃〕型泉→〔CO₃〕泉, 炭酸塩泉
 - ③ ①と②とが混合して生成する時

〔H₂SO₄〕型泉→〔SO₄〕型泉→〔SO₄・H₂CO₃〕型泉→〔SO₄HCO₃〕型泉→〔SO₄・CO₃〕型泉
- ③ 火山ガス H₂S, CO₂, N₂など

水溶液(酸性) H₂S, H₂CO₃など

 - ①〔H₂S〕型の温泉はほとんど知られていない. ただH₂Sガスの多い, 噴気口附近の水にこれに近いものがあるが, 極めて例外的である. これが酸化されて〔H₂SO₄〕型泉ができる. これが普通である. この後は②の場合と同様の変化で同様の系列の温泉をつくるが, 一般

にこの系列の温泉は濃度は小さく、また遊離硫黄（時にはコロイド硫黄）が伴うことが多い。

④ 火山ガス CO₂, N₂など

水溶液(酸性) H₂CO₃など

[H₂CO₃]型泉→(化学反応)→[HCO₃]型泉→[CO₃]型泉

第 4 a 表 H₂SO₃の自己酸化還元反応によるH₂SO₄の生成

岩石粉末	実験条件	残留H ₂ SO ₃ の量(mM)	生成したH ₂ SO ₄ の量(mM)	生成した硫黄(S)の量(mM)	SO ₄ 生成の割合(%)	H ₂ SO ₄ /S
ナ シ	A	6.51	2.36	1.10	23.6	2.1
	B	3.43	3.79	1.80	37.9	2.1
玄武岩	A	0.69	5.96	2.38	59.6	2.5
	B	0.36	5.68	2.69	56.8	2.1
安山岩	A	0.26	5.89	2.75	58.9	2.1
	B	0.14	5.25	2.95	52.5	2.1
花コウ岩	A	1.03	5.60	2.70	56.0	2.1
	B	2.68	3.89	1.72	38.9	2.3

実験条件A：岩石粉末 2 g を0.5MのH₂SO₃の溶液20mlと混合

実験条件B：岩石粉末 2 g を0.5MのH₂SO₃溶液と0.5M塩酸の混合溶液と混合

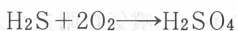
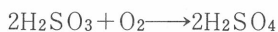
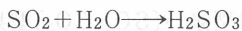
これらをアンブルにつめて、CO₂を通して空気を透い出して105℃に熱して、1週間反応させて、硫酸の生成量を見た。

第 4 b 表 100℃における酸素と硫化水素との溶液中の硫酸の生成

フラスコ中に500mlの蒸留水中に20gの岩石粉末を加えて、H₂S+O₂(1+2)の混合ガスを100℃の水浴で熱してあるフラスコ中に約12週間連続通して水溶液中に生成された硫酸を測定した。

岩石粉末	溶液中を通ったH ₂ Sの量	生成した溶液のpH	生成した硫酸の量	
			mg	生成割合(%)
ナ シ	1500 l	3.3	10.3	15×10 ⁻⁶
玄武岩(伊豆地方)	1500 l	4.3	667.	100×10 ⁻⁶
玄武岩(大島火山)	1200 l	3.1	146	27×10 ⁻⁶
安山岩(玉川温泉)	1200 l	3.2	119	22×10 ⁻⁶
石英安山岩(三瓶山)	1200 l	3.2	90	17×10 ⁻⁶
流紋岩(神津島)	1900 l	3.4	54	6×10 ⁻⁶
花コウ岩(筑波山)	1900 l	3.2	88	10×10 ⁻⁶
緑色凝灰岩	1200 l	3.4	113	21×10 ⁻⁶

ガスの水溶液H₂SO₃の自己酸化還元反応によることの模型実験が第4 a および第4 b 表に示してある（なおこの点は名古屋大学の小穴進也教授らの硫黄同位体組成の研究からも支持されている）

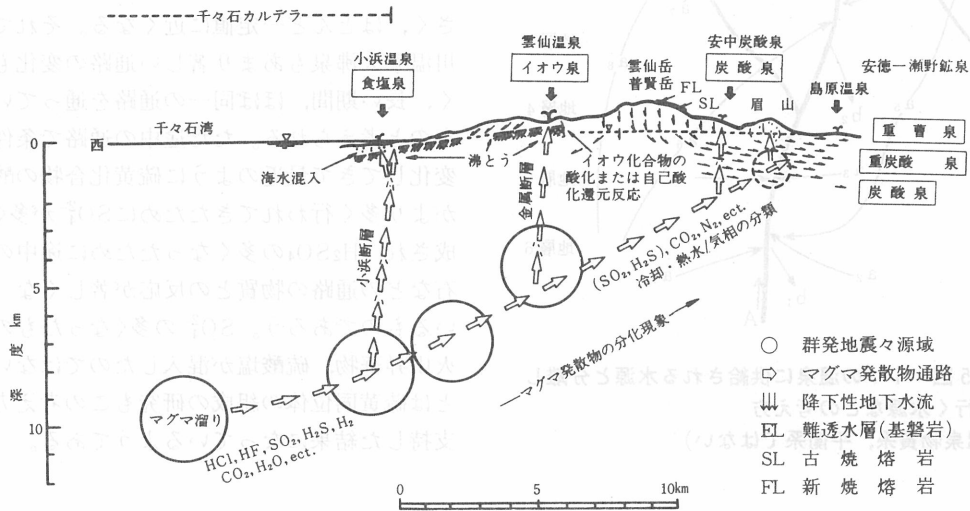


もちろん大沸泉周囲の温泉でCl⁻含有量の極めて小さいH₂SO₄酸性の温泉は第3 b 表に示したようにSO₂, H₂S, CO₂などを主とした火山ガスから誘導されたとしてよく、その時主としてH₂S

が酸化されて H_2SO_4 となったものもあるであろう（特に H_2SO_4 の濃度の小さい温泉）。

火山性であるから熱および火山ガス（火山発散物）などの多量の供給を受けて Cl^- , SO_4^{2-} などが多量に長年月続いて湧出されてもよいことが説明つく（岩石中にはClもSも大体0.01~0.02%が多いため、それらからの多量の Cl^- , SO_4^{2-} などの生成は極めて困難）。

このような考え方で一地域の温泉群、噴気孔群の性質がマグマ分化現象で美事に説明されている例として、太田一也(1973)⁴⁾の研究した雲仙火山地域における火山性温泉の生成機構の模式図を第4図に示す。

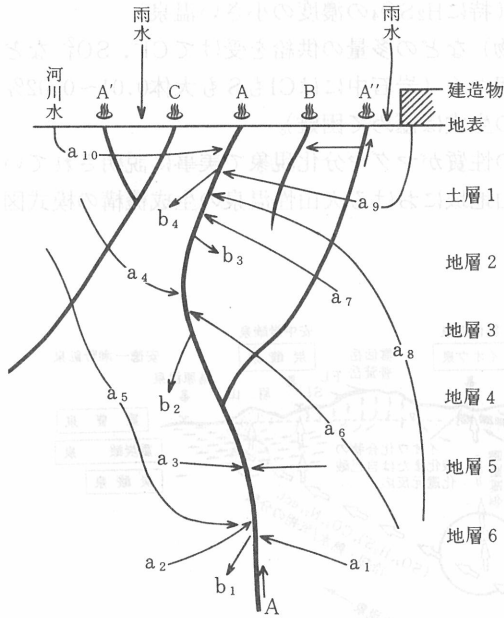


第4図 雲仙火山地域における火山性温泉の生成機構模式図(太田一也(1973))⁴⁾

マグマ発散物および火山発散物などと地下水とが混合して生成したこれらの温泉が、その生成する時およびその後地表に湧出するまでに通過する周囲や通路の物質との相互作用によって、ある成分は溶解してきて温泉中に付加され、濃度が大きくなることになる。他方、ある成分は逆に沈殿したり、吸着、イオン交換、ガス発生などの現象によって温泉から分離して除去されたりして濃度は小さくなる。また地下水や他の水の混入で全体が希釈されて濃度の小さくなることもある。噴気孔の火山ガスの直接の凝縮水などの研究から一般の玉川温泉の大沸泉のような大きな火山性温泉でも大体マグマ発散物（火山発散物）の凝縮水が地下水で約10~20倍に希釈されて湧出してきているものと考えられる。すなわちマグマ水は約5%程度ではないかと思われる。濃度の小さい H_2SO_4 泉ではほとんどの水が地下水に近いものと思われる(第5図)。それで温泉の性質、ことにpHなどは著しく変化して行くことが、模型実験でよくわかる。

しかしながら長時間(長い期間)ほぼ同一の経路を通して地表に湧出している時には、その周囲の物質との相互作用が長い間行われていて、溶解するものはほとんど溶解してしまい、もうそんなに多くは溶解してこないことになる。それで温泉の性質もあまり変化しないで湧出してくるということも模型実験(第6図)でよくわかるのである。

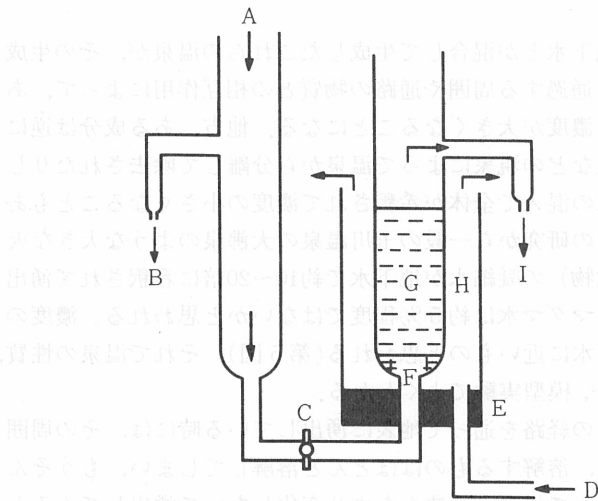
これらの温泉の周囲の岩石などとの相互作用、反応、変化などは、温泉と岩石などが何かの原因(例えば地震など)により今までと異った部分で新しく反応をはじめると極めて著しく反応が進み、組成の変化することがはげしく、鉄などの成分の濃度は数倍にもなる(第5a表)。そのように濃度の最高になる反応時間も、また最高濃度も各成分および温泉の性質および反応物質(岩石



第5図 1つの温泉に供給される水源と分離して行く水源などの考え方
(温泉物質系, 平衡系ではない)

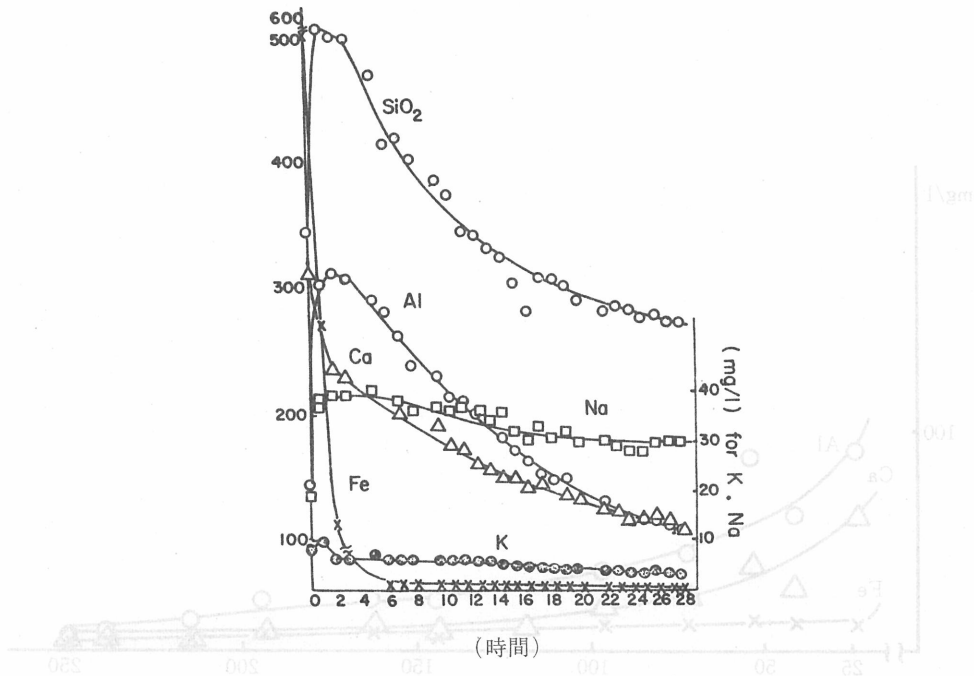
など)の性質によって著しく異なることも模型実験(第6図および第5表 a b)でよく示されている。したがって湧出する温泉の組成はこの時から反応時間によって著しく異なるのである(平衡系ではない)。

しかしながら、いずれも反応時間が長時間になると濃度の変化は極めて小さくなる(第6図)。すなわち温泉水の濃度変化も極めて小さく、ほとんど一定値に近くなる。それで玉川温泉大沸泉もあまり著しい通路の変化もなく、長い期間、ほぼ同一の通路を通っているものと考えられる。ただ途中の通路で条件が変化してきて最近のように硫黄化合物の酸化がより多く行われてきたために SO_4^{2-} が多く生成され、 H_2SO_4 の多くなったために途中の岩石などの通路の物質との反応が著しくなっているものであろう。 SO_4^{2-} の多くなったものは火山昇華物、硫酸塩が混入したのではないことは硫黄同位体の組成の研究もこの考え方を支持した結果になっているようである。

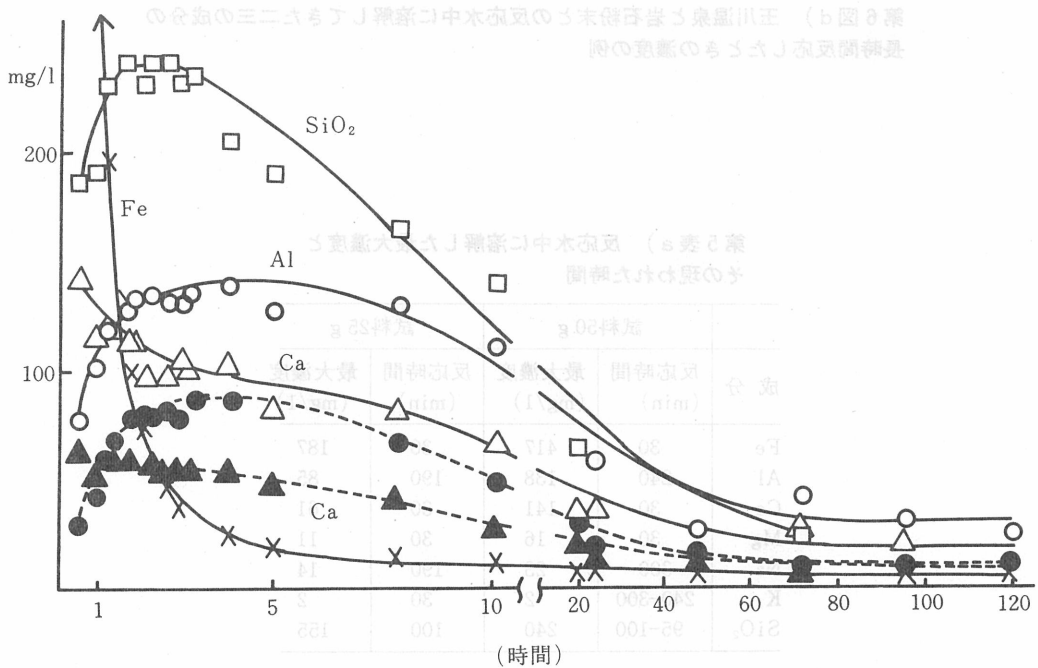


- A = 反応用温泉水
- B = 温泉量の調節器
- C = コック
- D = 恒温室用温泉水供給口
- E = ゴムせん
- F = ガラスウール
- G = 反応用粉末岩石試料
- H = 恒温室
- I = 反応水流出口

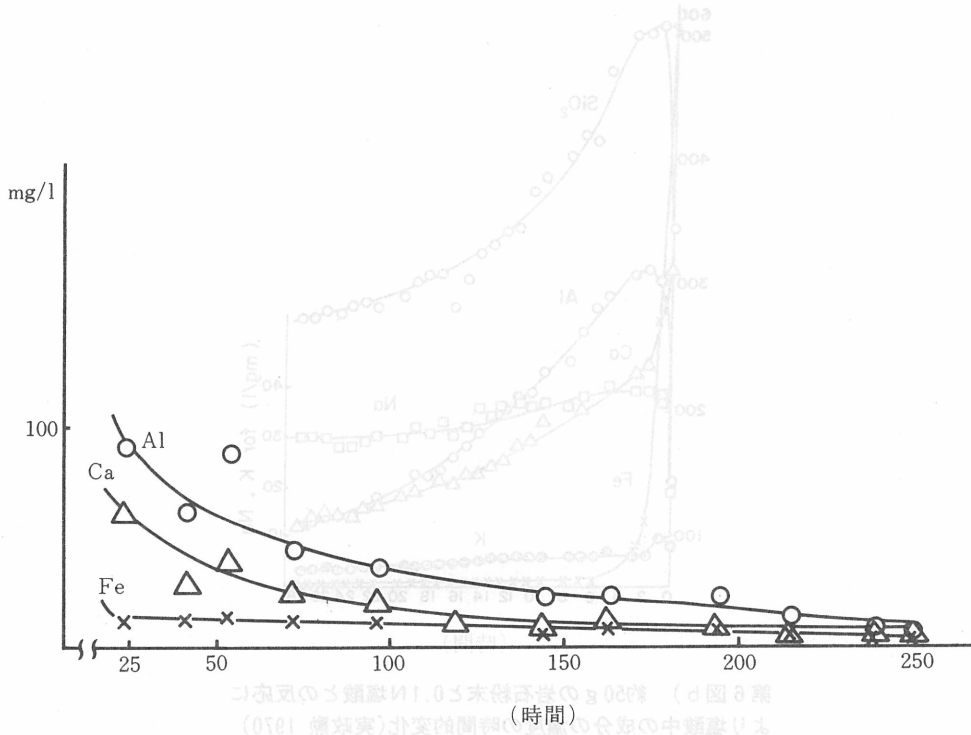
第6図 a) 流動法による温泉水と岩石との反応水の測定装置の例



第6図b) 約50gの岩石粉末と0.1N塩酸との反応により塩酸中の成分の濃度の時間的变化(実政勲 1970)



第6図c) 玉川温泉と岩石粉末との反応水中に溶解してきた二三の成分の主として反応初期の濃度变化の例 ----- 25g ———— 50g



第6図d) 玉川温泉と岩石粉末との反応水中に溶解してきた二三の成分の長時間反応したときの濃度の例

第5表a) 反応水中に溶解した最大濃度とその現われた時間

成分	試料50 g		試料25 g	
	反応時間 (min)	最大濃度 (mg/l)	反応時間 (min)	最大濃度 (mg/l)
Fe	30	417	30	187
Al	240	138	190	85
Ca	30	141	30	61
Mg	30	16	30	11
Na	300	23	190	14
K	240-300	2	30	2
SiO ₂	95-100	240	100	155

第5表b) 75±4℃における玉川温泉と安山岩粉末50g
との約6ml/minの温泉流中に溶解してくる成分の反応時間
による大小の順序

Reaction time	Order in concentrations
30 min	Fe > SiO ₂ > Ca > Al > Mg > Na > K
50 min	Fe > SiO ₂ > Ca > Al > Na > Mg > K
78 min	SiO ₂ > Fe > Ca > Al > Na > Mg > K
95 min	SiO ₂ > Fe > Al > Ca > Na > Mg > K
100 min	SiO ₂ > Al > Ca > Fe > Na > Mg > K
135 min	SiO ₂ > Al > Ca > Fe > Na > K > Mg
170 min	SiO ₂ > Al > Ca > Fe > Na > Mg > K
300 min	SiO ₂ > Al > Ca > Na > Fe > K > Mg
465 min	SiO ₂ > Al > Ca > Na > Fe > Mg > K
613 min	SiO ₂ > Al > Ca > Na > Fe > K > Mg
20 hr	Al > SiO ₂ > Ca > Na > Fe > Mg > K
24 hr	Al > Ca > Na > Fe > SiO ₂ > Mg > K
48 hr	Al > Ca > Na > Fe > K > Mg > SiO ₂
72 hr	Al > Ca > SiO ₂ > Na ≅ Fe > Mg > K
96 hr	Al > Ca > Na > Fe > Mg > K > SiO ₂
120 hr	Al > Ca > Fe > Na > Mg > K > SiO ₂

文 献

- 1) “玉川温泉研究会”：温泉，**29**，18～20 (1961)
- 2) 玉川温泉研究会報告：I～VI，(1959)
玉川温泉研究会十周年誌 (1954)
- 3) “Geochemistry of The Tramagawa Hot Springs (1963)”
Dedicated to Professor Eiiti Minami.
- 4) 太田一也：“島原半島における温泉の地質学的研究”，
九州大学理学部島原火山観測所研究報告，第8号，1～33 (1973)

以下発表年順に私どもの研究報告を示す。

玉川温泉の放射性ガス成分，岩崎岩次，桂 敬，下島 光，鎌田政明：玉川温泉研究会十周年誌，
141～143 (1954)

泉効計によるラドン及びトロン測定について，岩崎岩次，桂 敬：玉川温泉の総合研究，第4
輯，29～35 (1956)

Radioactivity of volcanic gases in Japan，岩崎岩次，桂 敬，下島 光，鎌田政明：Bull. Volcano-
logique，**18**，103～123 (1956)

玉川温泉の性質についての考察，岩崎岩次，桂 敬，下島 光，小沢竹二郎，吉田 稔，鎌田政
明：玉川温泉の総合研究，第5輯，15～25 (1957)

Fractionation of sulfur isotopes during oxidation，岩崎岩次，福島 博，下島 光：Bull. Chem. sec,
Japan，**31**，495 (1958)

- Genesis of sulfate in acid hot springs, 岩崎岩次, 小沢竹二郎: Bull. Chem. Soc. Japan, **33**, 1019 (1960).
- Determination of oxygen in some minerals using pyrite, 岩崎岩次, 桂 敬, 吉田 稔: Bull. Chem. Soc. Japan, **33**, 1340~1345 (1960).
- 噴気孔ガスの放射性成分の供給源について, 鎌田政明: 日化誌, **82**, 1000~1005 (1961)
- 玉川温泉大ブキNo.4 噴気孔ガスの放射性成分の含有量の変化, 鎌田政明: 日化誌, **82**, 1143~1147 (1961)
- ボーリング孔からの噴出ガスの放射性成分の含有量, 鎌田政明: 日化誌, **82**, 1153~1156 (1961)
- 一つの噴気孔群における噴気孔ガスの放射性成分含有量の差異, 鎌田政明: 日化誌, **82**, 1337~1342 (1961)
- 一つの火山地方における噴気孔ガスの放射性成分含有量の差異, 鎌田政明: 日化誌, **82**, 1342~1345 (1961)
- 本邦火山の噴気孔ガスのラドン含有量, 鎌田政明: 日化誌, **82**, 1346~1350 (1961)
- Chemical composition of volcanic gases in Japan, 岩崎岩次, 小沢竹二郎, 吉田 稔, 桂 敬, 岩崎文嗣, 鎌田政明: Bull. Volcanologique, **24**, 23~48 (1962).
- Volcanic gases in Japan, 岩崎岩次, 小沢竹二郎, 吉田 稔, 桂 敬, 岩崎文嗣, 鎌田政明, 平山光衛: Bull. Tokyo Inst. Technology, **No.47**, 1~54 (1962).
- 玉川温泉の地球化学的研究, 岩崎岩次: 温泉科学, 第14巻第2号, 27~37 (1963).
- Geochemical studies on Tamagawa Hot Spring, 岩崎岩次, 桂 敬, 樽谷俊和, 小沢竹二郎, 吉田 稔, 岩崎文嗣, 平山光衛, 鎌田政明: "Geochemistry of The Tamagawa Hot Springs," P. 7~77 (1963)
- Alteration of rock by volcanic gas in Japan, 岩崎岩次, 平山光衛, 桂 敬, 小沢竹二郎, 小坂丈子, 鎌田政明, 松本幡郎: Bull. Volcanologique, **27**, 63~78 (1964).
- Differentiation of magmatic emanation, 岩崎岩次, 小沢竹二郎, 吉田 稔, 桂 敬, 岩崎文嗣, 鎌田政明: Bull. Volcanologique, **27**, 79 (1964): Bull. Tokyo, Inst. Technology, **No.74**, 1~57 (1966).
- 火山ガス, 小沢竹二郎: 火山, II, 10巻, 221~232 (1965)
- 火山昇華物, 小坂丈子: 火山II, 10巻, 205~213 (1965)
- 温泉, 鎌田政明: 火山II, 10巻, 214~220 (1965)
- マグマ発散物の分化現象と火山現象, 岩崎岩次: 火山II, 10巻, 238~245 (1965)
- マグマ発散物の分化現象と温泉の性質との関係, 岩崎岩次: 日本地球化学会ニュース, **No.22**, 10~13 (1965)
- Differentiation of volcanic emanation around the boiling point of water in geothermal region in Japan, 岩崎岩次, 小沢竹二郎, 吉田 稔: Bull. Volcanologique, **29**, 517~528 (1966).
- 温泉中のラジウム (Ra-226) の分布と強放射能泉の生成機構, 岩崎岩次: 温泉工学, 第6巻, 18~28, 112~114 (1968); 165~168 (1969); 第7巻, 16~24, 109~114 (1969).
- 温泉の化学, 岩崎岩次: 温泉科学, 第21巻, 第2号, 49~64 (1970).
- 火山ガスおよび温泉, 岩崎岩次, 小沢竹二郎: 日本地熱調査会編 "日本の地熱資源", 53~93 (1970).
- 玉川温泉地帯の火山発散物, 岩崎岩次: "火山化学" P. 83~88 (1970)
- 酸性条件下での安山岩の岩石成分の溶出, 実政 勲: 東京工業大学大学院修士課程学位論文, 1~24, (1970)
- Experiments on hydrothermal process by dynamic method. 岩崎岩次, 小沢竹二郎, 吉田 稔, 実政 勲, 小坂丈子, 大森禎子: International Association of Geochemistry, Moscow Symposium (1971) の講演要旨.
- Chemical composition of hot springs in Japan, 岩崎岩次, 山谷和久: Proc. of symposium on Hydro-

geochemistry and Biogeochemistry (Tokyo Japan, 1970), vol. 1, (Hydrogeochemistry) 93~104 (1973).

Studies by the dynamic method on the reaction of rocks with hot spring water of the Tamagawa Hot Springs in Japan, 岩崎岩次, 吉池雄蔵, 吉田征子, 大森禎子: Pub. No.119 of the International Association of Hydrological Science, Proc. of the Grenoble Symposium, France, (1975), P.119~127 (1975).

玉川温泉における岩石と温泉水との連続反応による温泉水の濃度変化, 岩崎岩次, 吉池雄蔵, 吉田征子, 大森禎子: 温泉科学, 第27巻, 第1号, 1~16 (1976).

温泉の化学—温泉の生成機構を中心として—, 岩崎岩次: 温泉科学, 第27巻, 第2, 3号, 42~69 (1976).

玉川毒水の水質(その1)—鉄の含有量—, 岩崎岩次, 吉池雄蔵, 吉田征子, 大森禎子, 安田清江: 工業用水, No.224, 28~38 (1977).

温泉と地獄, 岩崎岩次: 温泉, 第45巻, 第3月, (No.503), 8~10 (1977).

水質表現法の水化学的考察, 岩崎岩次: 工業用水, No.232, 13~32 (1978).

玉川温泉のシリカ含有量, 岩崎岩次, 吉池雄蔵, 岡村 忍: 地球化学討論会, 1972年9月11日講演

Introduction of ingredients into the Tamagawa Hot Springs, 岩崎岩次, 小沢竹二郎, 吉田 稔, 吉池雄蔵, 吉田征子, 大森禎子, 岡村 忍, 谷津雅子: 日米合同化学会議, ACS/CSJ. Congress, (Hawaii) 1979年4月6日講演

大沸泉(玉川温泉)の性質の変化, 岩崎岩次, 吉池雄蔵, 岡村 忍, 大森禎子, 谷津雅子: 日本火山学会, 1979年5月9日講演

最近の玉川温泉(大沸泉)の性質の変化, 吉池雄蔵, 岩崎岩次, 岡村 忍, 大森禎子: 日本温泉学会, 1979年8月29日講演