

平成4年8月

総説

玉川温泉(秋田県)はどこからくるか

東邦大学理学部化学教室

岩崎 岩次*

Origin of the Tamagawa Hot Springs
in Akita Prefecture, Japan

Iwaji IWASAKI

Dept. of Chemistry, Faculty of Science, Toho University

Abstract

Our theory on the origin of the Tamagawa Hot Springs in 1963 is that the Tamagawa Hot Springs are volcanic hot springs and have been produced by magmatic emanations (volcanic emanations) mixed with meteoric water which is more than 20 times as much as magmatic emanations. After-wards the theory mentioned above is supported by many investigators who have studied by isotope chemistry, geological method, thermal energy and etc...

1. はじめに

温泉の湧出、起源は古い問題であり、また新しい問題でもある。現在では、人工的にすきな場所に、すきな性質の温泉を自由につくることができて、人類の夢の一つを達成している。この人工温泉には、水、熱エネルギー、および含まれている化学成分の三者が、いろいろと組合さって各々特徴のある温泉を構成していて、その中の一つを欠いても温泉は成立しないのである。

昭和7年秋、岐阜県苗木地方の温泉¹⁾のRnの測定に東京帝国大学の木村健二郎先生の手伝いをしてから著者は、温泉はどこからくるのかという天然に実存する温泉の生成機構の解明の問題に入りこんでしまった。現実の温泉は各生成条件、ことに社会的、地域的条件が時間的、空間的に変動しながら複雑に影響するので、生成機構が複雑になり、解明が困難になる。一つか二つの事実をもとに雨水のしみこんだものとか、海水源だとか、初生水の湧出だとか、そんなに簡単に現実の温泉の湧出機構が完全に説明できるものだろうか。私どもは温泉全体を少なくとも前記の

* この研究は吉池雄蔵、岡村 忍、大森禎子(東邦大理)、小沢竹二郎(埼玉工大)、吉田 稔(東工大理)の協力によって行われたものを、筆者がとりまとめた。

三要素, 水, 熱, 成分など全部についての矛盾のないような温泉生成機構を求めているのである. 特殊な温泉, 例えば放射能温泉²⁾とか, 間欠泉³⁾などでは, それらの湧出口における特別の現象だけを説明できればよいのでその解明は比較的容易のように思われる.

玉川温泉は表1で見られるように, その中の一つの大沸泉は強酸性, 高温であり, 湧出量が非常に大きく, そのため莫大な放熱量($8.3 \times 10^8 \text{ cal/min}$)となり, $\text{Cl} > \text{SO}_4$ 型で放射性温泉ガスや温泉沈殿物(北投石(Ba, Pb) SO_4 や硫黄など)を産出し, 300年間以上も湧出しつづけている特殊な温泉である. 玉川温泉がどこからくるのか, どんな機構で湧出してくるのか, と考えながら1952年以来この特殊な温泉の各特性の生成という問題の究明にのめりこんでしまった⁴⁾.

表1 玉川温泉大沸泉の性質

温度 = 98°C $\text{pH} < 1.2$
 湧出量 = $9.3 \times 10^9 \text{ l/min} = 1.3 \times 10^7 \text{ l/day}$
 = $4.7 \times 10^9 \text{ l/yr} (4.7 \times 10^6 \text{ ton/yr})$
 熱放出量 = $1.2 \times 10^9 \text{ kcal/day} \doteq 8.3 \times 10^8 \text{ cal/min}$
 = $4.2 \times 10^{11} \text{ kcal/yr} (\doteq 1.7 \times 10^{22} \text{ erg/yr})$

	成分含有量 (g/l)	1日の湧出量 (g/day)	1年間の湧出量 (g/yr)
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_2S	0.02	2.6×10^5	9.4×10^7
H_2SiO_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

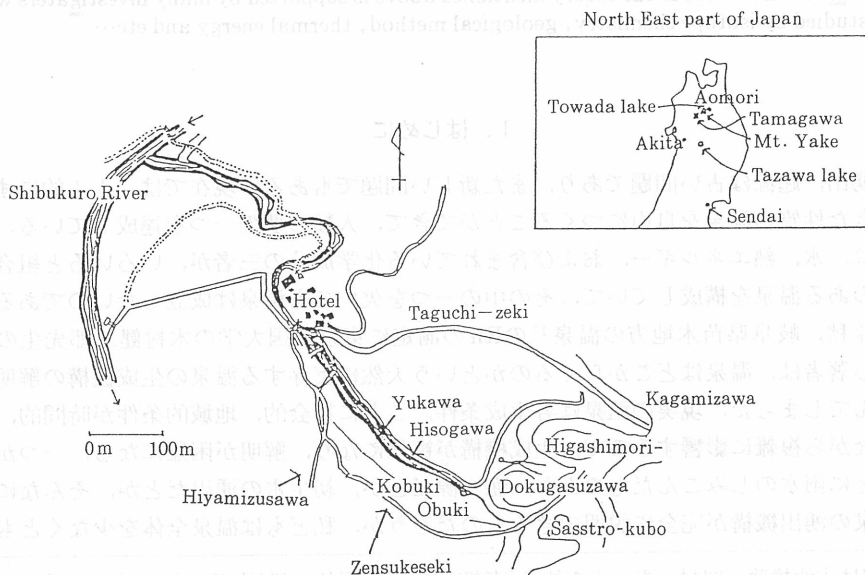


図1 玉川温泉付近図

2. 玉川温泉の概略

図1には玉川温泉の温泉, 噴気口, 流水などの概略⁵⁾を示す. 表2~表4には大沸泉(表1)以外の酸性SO₄型の各温泉や噴気口噴出物などの化学的性質の二三を示す⁵⁾. 湊秀雄博士⁵⁾(1957年)の調査によれば1956年10月には噴気口106, 大きな硫気口4, 湧出口22, 水中に見られる噴気口, 湧出口などが44, で合計176の各種の噴出, 湧出口が認められている.

地質学的研究⁶⁾⁸⁾および岩石学的研究⁷⁾も多数行われ, 秋田大学の近藤忠三先生⁸⁾は玉川温泉全般の水の流路を地学のおよび電気探査法を使用して研究し, これらの温泉などの水の大部分は循環水(Vadose Water)であると推定している. また昭和30年頃までであったと思われる東森および毒ガス沢の西側の硫黄鉱の鉱石は現在はなくなっている. その他北投石や玉川温泉による岩石土壌の変質現象の研究などについては, 文献5を参照していただきたい.

表2 玉川温泉大沸泉付近の温泉⁵⁾

	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.

表3 玉川温泉地域の火山ガスの化学組成⁹⁾

試料	年月日	温度(°C)	(水を除く)		CO ₂ (%)	R(%)	試料	年月日	温度(°C)	(水を除く)		CO ₂ (%)	R(%)						
			H ₂ S(%)	SO ₂ (%)						H ₂ S(%)	SO ₂ (%)								
大沸	No.1	1953.10.10	98	22	0.1	74	3.9	赤 噌 池	—	16	0.2	78	5.8						
	No.1	1955.10.7	99.6	30.2	0.2	68.2	1.4		殺 生 窪	94	64	2 ?	33	1.0					
	〃	1959.10.1	99.0	35.0	—	63.6	1.4			(噴気孔)	No.1	1954.10.4	93.0	24.6	<0.1	74.5	0.8		
	No.2	1653.10.10	95	23	0.1	71	5.9				No.2	1953.10.11	—	66	0.2	33	0.8		
	〃	1954.10.3	95	24.2	0.1	71.2	4.5				No.3	1956.10.5	90.5	29.9	<0.1	69.2	0.85		
	〃	1958.10.15	86	22.6	<0.1	76.5	3.9				No.4	1958.10.15	55.0	20.2	<0.1	78.8	1.0		
	〃	1959.9.30	87	20.9	<0.1	74.2	4.9			東 森	No.2	1953.10.11	—	53	0.7	45	1.3		
	No.4	1954.10.4	93	18.1	0.1	67.5	14.3				〃	1955.10.7	97.5	31.0	0.1	68.2	0.75		
	〃	1955.10.7	95	29.4	0.1	64.4	6.1				No.3	1960.8.29	99.5	31.7	—	67.3	1.0		
	〃	1956.10.2	92	36.9	<0.1	59.8	3.2				〃	1958.10.15	97.5	26.3	—	72.9	0.8		
	〃	1958.10.15	85	4.4	<0.1	60.1	35.5				No.4	1959.10.2	95.8	29.0	—	69.6	1.4		
	〃	1959.10.12	87	13.3	<0.1	68.2	18.5				大 務	噴No.10	1961.10.12	98	22.9	<0.1	76.2	0.9	
	〃	1960.10.10	83-90.5	15.4	—	63.6	21.0					沢	No.1	1954.10.4	93.0	24.6	<0.1	74.5	0.8
	〃	1960.7.31	92	17.4	—	70.6	12.0						No.3	1956.10.5	90.5	29.9	<0.1	69.2	0.85
	〃	〃	88.7	14.3	—	69.2	16.5			No.4			1958.10.15	95	38.0	<0.1	61.1	0.9	
	No.3	〃	95.5	24.0	—	73.0	3.0			No.5	1953.10.5		44	0.5	52	3.5			
No.8	1953.10.10	—	16	0.1	78	5.8	(噴気孔)	1956.10.5		97.5	31.0	0.07	68.2	0.75					
〃	1955.10.7	94	10.7	<0.1	84.7	4.6													
No.9	1960.7.31	42	16.2	<0.1	83.1	0.7													
ヒソ川	1955.10.7	96	14.9	<0.1	83.9	1.2													
	1961.6.9	91	22.2	—	76.4	1.4													

表4 玉川温泉およびその附近の火山ガスのRnおよびTn含有量⁹⁾

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	c.n.d.	c.n.d.
" 1	"	97	2.9	—	—	" 3	"	—	3	—	—
" 1a	"	97	2.9	—	—	" 3	"	—	3	~2.5	~8
" 1b	1953.10.1	98	2.0	—	—	殺生沢1	1953.10.10	94	12	100	8.3
" 2	"	"	"	"	"	" 2	"	95	—	—	—
(王様)	1952.10.17	93	2.6	~230	88	務沢1	1952.10.17	51.6	12	26	2.1
" 2	1953.10.18	95	1.7	120	71	" 2	"	80	9	31	~3.4
" 3	1952.10.18	93	9.0	—	260	" 3	"	45	21	—	—
" 4	"	94	15	~2300 1200	80	" 4	"	85	9	—	—
" 5	"	98	6.3	~600	95	" 5	1952.10.17	89	10	—	—
" 6	"	96	0.4	~150	380	" 6	"	82	27	—	—
" 7	"	"	"	"	"	" 7	"	95	66	—	—
" 7	"	97	<2	<20	10	" 8	"	96	10	110	11
ヒソ川	"	"	"	"	"	焼山1	1952.10.19	95	5.6	—	—
" 8	"	97.5	3.9	540	90	" 2	"	97	18	—	—
ヒソ川	"	"	(7.4)	(~520)	20	" 2	1953.10.12	93	11	—	—
" 10	1952.10.19	73	3	c.n.d.	c.n.d.	" 3	1952.10.19	95	7	37	5.4
ヒソ川	"	"	"	"	"	" 4	"	88	14	—	—
下流	"	71.6	2.2	c.n.d.	c.n.d.	" 6	1953.10.12	93	11	c.n.d.	—
"	"	"	"	"	"	" 7	"	69	11	10	0.9
毒ガス沢	1952.10.18	90	20	230~24	12~12	叫沢1	1952.10.20	79	16	210	13
" 1	1953.10.18	96	48	~140	2.9 (~3.0)	" 2	"	95	13	—	—
" 2	1952.10.18	91	22	~170	~7.7	" 3	"	98	16	—	—
" 3	"	93	11	330	30						
" 4	"	47	24	—	—						

3. 玉川温泉の生成機構⁴⁾⁵⁾⁹⁾

大沸泉(表1)とその下流の温泉(酸性Cl>SO₄型),これとは著しく異なる性質をもつ,表2,表3及び表4に示す酸性SO₄型の温泉及び噴気口や流水など,合計176⁵⁾のいろいろの水質のすべては,玉川温泉が火山性温泉で,マグマ発散物,火山発散物及びその分化して出来た生成物が,約20倍もの多量の地下水と混合して生成したものである.大沸泉などはその初期の段階の液相で生成するCl-SO₄型の酸性泉で,その他はそれと分離したガスが地下水と混合して,それ以後生成した酸性SO₄型温泉とガスであると1963年に結論した⁵⁾⁹⁾.図2¹²⁾及び図3¹²⁾には,マグマ発散物が地表に噴出する時に火山発散物となり,その際の種々の生成条件によって,各種の物質を生成する模様の大略を示した¹⁰⁾¹²⁾.化学的研究には目的の場所の物質が入手できて,その物質が何であるか,その性質が何を示しているのか,またその物質の変化の状況などによって,その場所の温度,圧力などを知り,その時の現象を推定するもので,物質が得られなければ化学的研究は不可能である^{12a)}.それが出来ない時は仕方がないので人工マグマや人工マグマ発散物,人工火山発散物をつくって,代用品として模型実験によって現象を推定していくより他に方法はない.マグマ発散物の実態が不明のため,私どもは火山岩,火成岩などの中の残留しているマグマガスなどを高温にし,追出して人工マグマガスを得た¹¹⁾¹²⁾(表5).他方日本の火山ガスの多数を測定してその噴出温度と化学組成との関係を求めて表6¹³⁾を得た.これでマグマ発散物および火山発散物の化学組成の大略は推定できると思われる.火成岩中に極めて少ない(0.0n%)塩素や硫黄などは火山ガスの中に多いが,Si,Al,Feなどの岩石中に極めて多い成分が火山ガス中

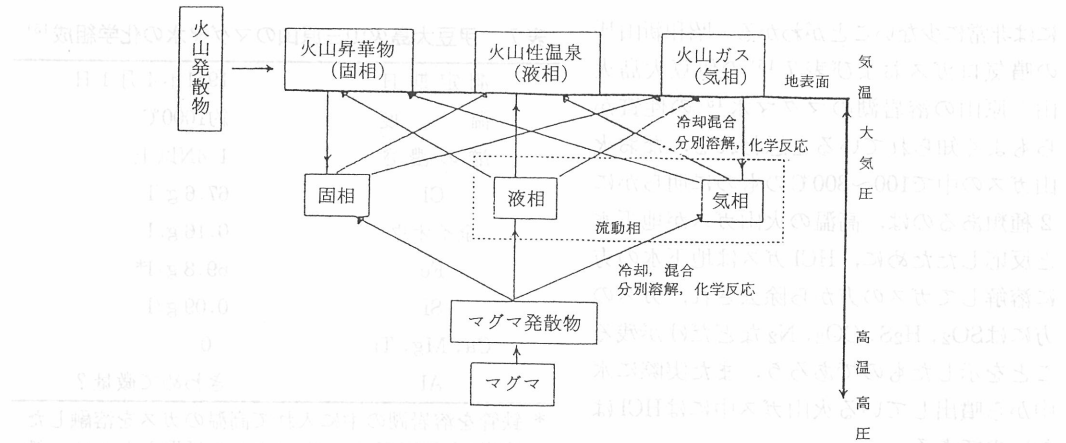


図2 マグマ発散物の分化現象によるマグマ発散物からの火山発散物の生成¹⁰⁾¹²⁾

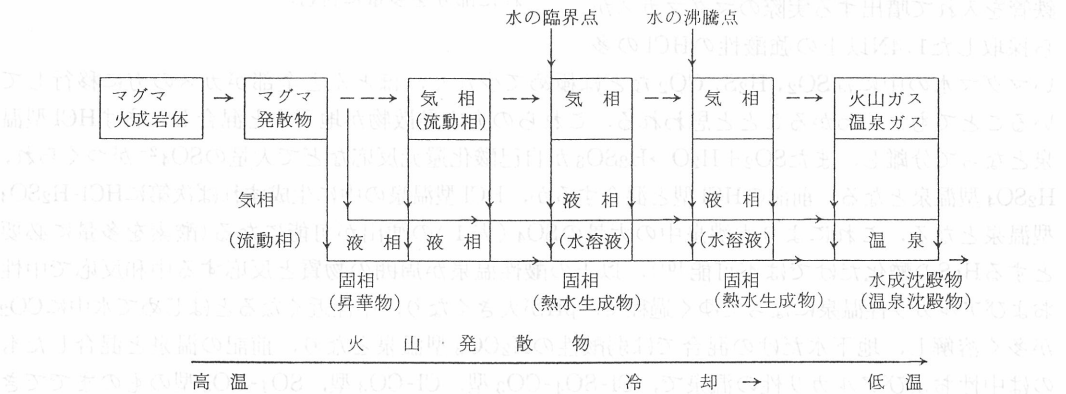


図3 マグマ発散物の正常の冷却による火山発散物生成のありさま¹⁰⁾¹²⁾

表5 火成岩の加熱によって放出される火山ガスの最大の量に対する割合(体積)¹¹⁾¹²⁾

温度	H ₂ O	CO ₂	N ₂	CO	H ₂	Cl	F	S
300℃	70	30	95	0	0	0	0	20
500℃	90	85		0	5	30	5	50
800℃	95	90		10	20	60	10~90	90
1200℃		95		95	>95	>95	>95	>95

試料 玄武岩2, 安山岩2, 石英安山岩2, 流紋岩1, 黒ヨウ石2, 花コウ岩2
Cl, F, Sは化学分析, H₂O, CO₂, H₂, CO, H₂は質量分析による。

表6 火山ガスの分類¹²⁾¹³⁾

	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

には非常に少ないことがわかる。昭和神山¹⁴⁾の噴気ロガスおよび表7¹⁵⁾の伊豆大島火山三原山の溶岩湖のマグマ水¹⁵⁾の性質からもよく知られていると思われる。なお火山ガスの中で100~800℃のものに明らかに2種類あるのは、高温の火山ガスが地下水と反応したために、HClガスは地下水の方に溶解してガスの方から除去され、ガスの方にはSO₂, H₂S, CO₂, N₂などだけが残ることを示したものであろう。また実際に水中から噴出している火山ガス中にはHClはないのである。

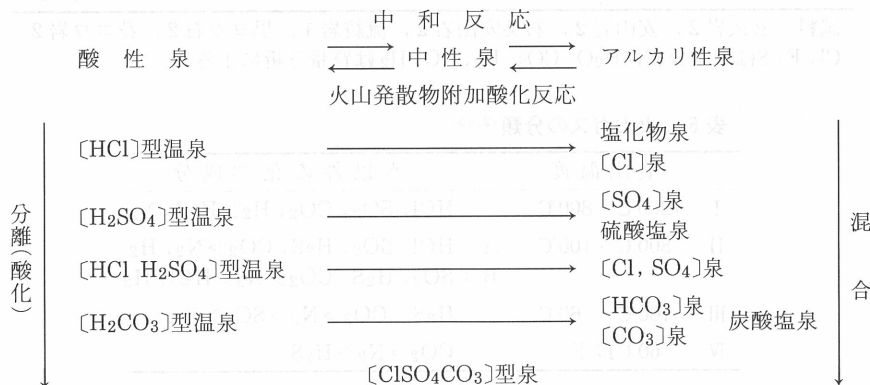
これは表7¹⁵⁾の三原山の溶岩湖の中に鉄管を入れて噴出する実際のマグマガスから採取した1.4N以上の強酸性のHClの多いマグマ水の中にはSO₂, H₂S, CO₂などは極めて少なく、ほとんど全部がガスの方に移行していることでもよくわかることと思われる。これらの火山発散物が地下水と混合し、まずHCl型温泉となって分離し、またSO₂+H₂O→H₂SO₃が自己酸化還元反応などで大量のSO₄²⁻がつくられ、H₂SO₄型温泉となる。前記のHCl型と混合するか、HCl型温泉の中に生成すれば次第にHCl-H₂SO₄型温泉となる。これにより大沸泉中の大量のSO₄(表1)の湧出が可能になる(酸素を多量に必要とするH₂Sの酸化だけでは不可能¹⁰⁾)。以上の酸性温泉が周囲の物質と反応する中和反応で中性およびアルカリ性温泉になってゆく過程で、pHが大きくなり、中性近くなるとはじめて水中にCO₂が多く溶解し、地下水だけの混合では弱酸性のH₂CO₃型温泉となり、前記の温泉と混合したものは中性およびアルカリ性の温泉で、Cl-SO₄-CO₃型、Cl-CO₃型、SO₄-CO₃型のものまでできることになる⁴⁾⁹⁾¹²⁾。表8¹⁰⁾¹²⁾には火山発散物が地下水と混合して生成する各温泉の生成順序とそれらが周囲や通路の物質との反応で中和されて中性泉及びアルカリ性泉となる過程を示す。また反対に火山発散物が付加されれば逆の過程となるなど、種々の複雑な生成過程を経て種々の温泉が生ずることになる。一般に前記の高温の火山発散物が水と反応すると、先ずHCl型の酸性泉が形成され、これが中和されると、はじめて中性のNaCl型及びさらにアルカリ性NaCl型温泉となるもので、D.E. White博士¹⁶⁾の説と異なり火山性温泉では最初に中性NaCl型温泉にはな

表7 伊豆大島火山三原山のマグマ水の化学組成¹⁵⁾

測定期日	1951年4月1日
温度	約1000℃
酸の濃さ	1.4N以上
Cl	67.6 g/l
全イオウ	0.16 g/l
Fe	69.8 g/l*
Si	0.09 g/l
Ca, Mg, Ti	0
Al	きわめて微量?

* 鉄管を溶岩湖の中に入れて高温のガスを溶融した溶岩(大気圧下のマグマ)中から採取したため、鉄管中に冷却してできた塩酸のために鉄管の溶解された部分を多量に含む。

表8 火山性温泉間の関係



らないのである。強いアルカリ性の地下水の多量と反応する時にはCl-SO₄-CO₃型となる⁴⁾⁹⁾。

玉川温泉地域では火山ガスの供給量(噴出量)が多いため、各種の酸性でSO₄型の温泉が多い。単純な炭酸泉は見られないようである。実際に噴気口ガスを善助堰の水に入れてつくった人工温泉も酸性SO₄型であった。玉川温泉大沸泉などでも高温の火山ガス(火山発散物)と比べると図4⁹⁾で見られるように火山発散物が約20倍もの多量の地下水と混合して出来ていることもよくわかることと思われる。火山発散物の性質、地下水の成分、それらの混合比、混合の度数、付加反応、成分の分離反応やそれらの時間間隔による反応の進行程度の差、温度、圧力などが簡単に、或は甚だ複雑に空間的、時間的变化とともに入り乱れて、繰り返し、実際に起こっているのであろう。その結果、図5¹⁰⁾に示したように、お互に湧出口の近いところの温泉でも必ずしも似ていないのである。

他方火山発散物中には極めて少量しか存在していない金属元素(Al, Fe, Caなど)は、玉川温泉大沸泉(表1)で見られるように多い。表7の三原山の溶岩流からの強酸性のマグマ水中にはほとんどそれらは存在していない。また熱水から蒸発分離する蒸気中にも熱水に比べて金属元素が極めて少ないことが、岩手県松川地熱発電所の蒸気井で知られている^{15a)}。それでこれらの成分は、主として温泉水が周囲や通路の岩石その他と反応し溶解し、温泉中に取り入れられたものであると考えて、岩石鉱物などの溶解実験を行って、1963年には玉川温泉中の金属元素の大部分は周囲および通路の物質と温泉水との反応によって、温泉中に取り入れられたものと結論した⁹⁾。その後玉川温泉の大沸泉と玉川温泉の岩石(安山岩)とを、大沸泉の下流の温泉場の現地で連続的に120時間及び250時間反応させた時に、温泉水中に溶解してくる金属元素の量の時間的変化を測定した結果を図6¹⁷⁾及び図7¹⁷⁾に示す。同一の岩石粉末の中に温泉水を連続的に通して行くと、反応の初期には非常によく溶解するが、時間が経過するに従って次第に溶解する量が小さくなり、120時間とか250時間も温泉水を通すと出て来る温泉水中には金属元素は極めて少量しか溶解してこない。それ故大沸泉のような濃度の高い温泉の場合には、このような条件での通路の物質からの影響はほとんどないと思ってよい。それでこのように普通は一定の通路を通して湧出している温泉では、長い年月の間に反応が進み、周囲の物質とはほとんど定常状態になっていて、金属元素

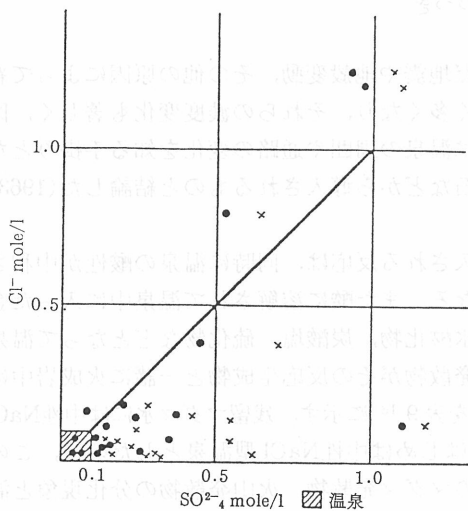


図4 温泉水と火山ガス凝縮水との濃度関係⁹⁾

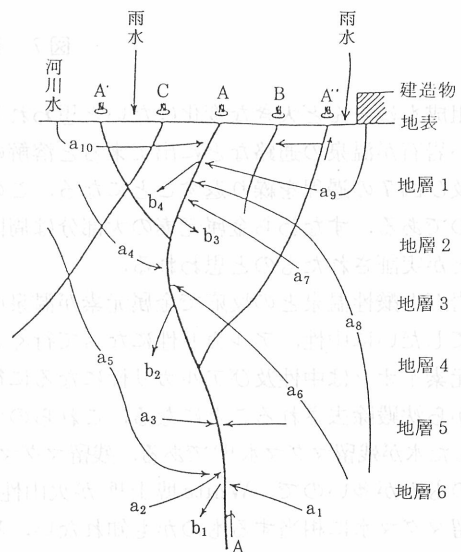


図5 1つの温泉に供給される水源と分離して行く水源などの考え方

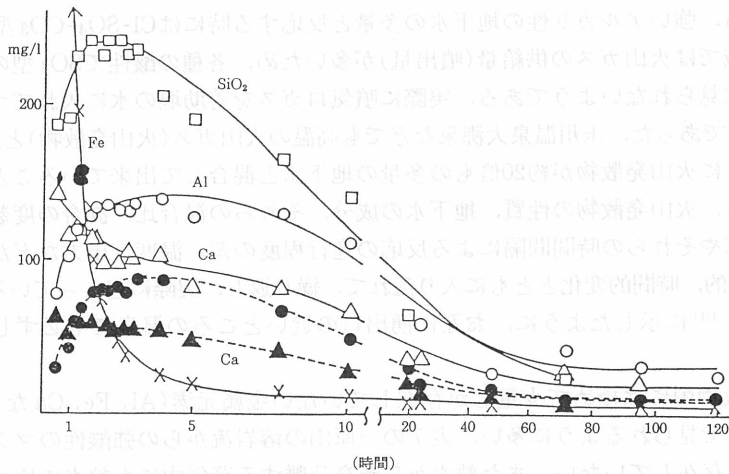


図6 玉川温泉と岩石粉末との反応水中に溶解してきた二三の成分の主として反応初期の濃度変化の例¹⁷⁾25 g ——50 g

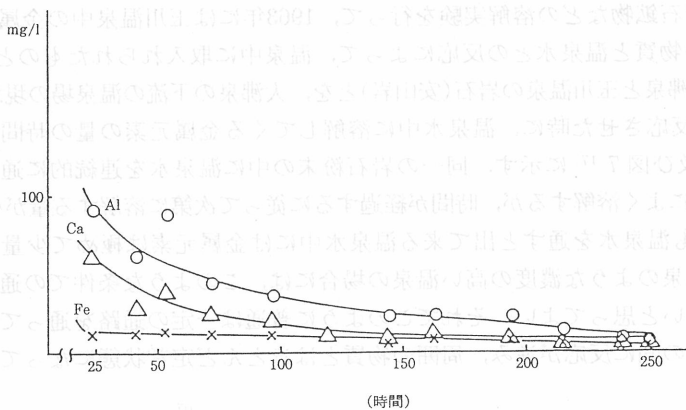


図7 図6のつづき

の組成もほとんど大きな変化はないと思われる。ただ地震や地殻変動、その他の原因によって新しい岩石が温泉の通路などに出て来ると溶解は著しく多くなり、それらの濃度変化も著しく、図6及び図7の過程を繰り返すことになる。この現象は温泉の周囲や通路の変化を知る手掛りとなるのである。すなわち金属元素の大部分は周囲の岩石などから導入されるものと結論した(1963)ことが実証されたものと思われる。

岩石と酸性温泉との反応で金属元素が温泉中に導入される反応は、同時に温泉の酸性が中和されてしだいに中性、アルカリ性になって行くことになる。また酸に溶解されて温泉中に入った金属元素イオンは中性及びアルカリ性になるに従って水酸化物、炭酸塩、硫化物などとなって温泉水から沈殿除去されることになる。これらのマグマ発散物とその反応生成物と一緒に火成岩中に残った水が残留マグマ水¹⁸⁾である。残留マグマ水の例を表9¹⁸⁾に示す。残留マグマ水には中性NaCl型のものが多いので、White博士¹⁶⁾が火山性温泉のはじめは中性NaCl型温泉としたのは、この残留マグマ水に相当するものかも知れない。私どものマグマ発散物、火山発散物の分化現象と温泉との関係の考え方をみごとに示して下さった、太田一也博士の雲仙火山地方の温泉群の分布図¹⁹⁾を図8に示す。

表9 残留マグマ水の化学組成(mg/l)¹⁸⁾

	浜田市 (菅原健博士らによる)			伊万里 (岩崎らによる)	今津(福岡市) (国分信英博士らによる)
Na ⁺	139	491	511	30	115
K ⁺	—	120	54.7	29	53.8
Ca ²⁺	76	112	92.0	126	15.5
Mg ²⁺	22	11	14.0	—	5.1
Fe	4.1	2.3	2.18	0.7	2.2
Al ³⁺	11	16	5.4	<0.6	0.05
NH ₄ ⁺	0.08	14	0.13	0.8	0.1
Cl ⁻	170	732	869	10	170
NO ₃ ⁻	4.4	97	4.4	0.03	0.48
NO ₂ ⁻	21	0.54	0.69	0.005	2.4
SO ₄ ²⁻	173	326	167	4	66
SiO ₂	35	28	24.6	42	1.4
CO ₃ ²⁻	—	—	47.0	—	—

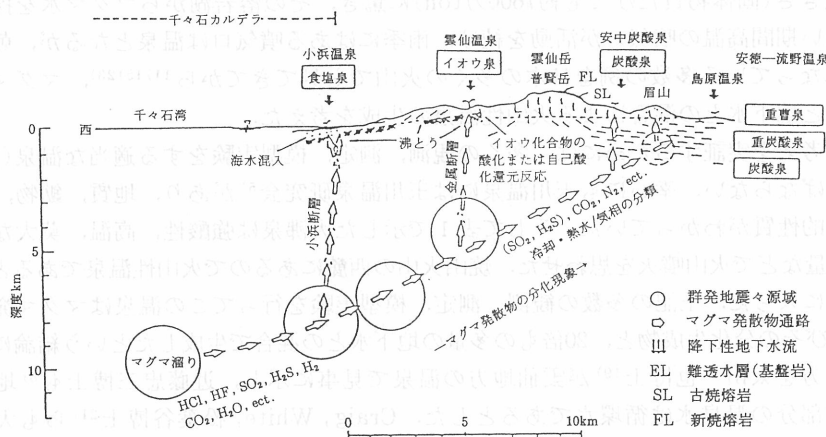


図8 雲仙火山地域における火山性温泉の生成機構模式図 [太田一也(1973)]

4. 酸素及び水素の同位体組成比からの水の性質の研究

米国ではかつて質量分析計の優秀なものが開発され、同位体の分析測定が容易になり、1960年頃からH. Craig, D.E. White博士らにより、雨水、河川水、地下水、噴気口蒸気、温泉などの多種多数の水の酸素、水素の同位体組成比の組織的な研究が行われ(1963, 1969)¹⁶⁾²⁰⁾ 温泉の水の大部分は天水(循環水)であって、他の地球内部からの水があるとしても5%以内であろうと結論した。日本でも玉川温泉などについて松葉谷治博士、酒井均博士ら(1983, 1985)²¹⁾がCraigらの他の温泉と同じ様な結果を得ている。これは私どもの結論(1963)とも同様である。ただ松葉谷らは玉川温泉はCl-SO₄型の熱水のあることを指摘し、私どものマグマ発散物、火山発散物と地下水と混合した、Cl-SO₄型温泉の生成を支持しているようでもある。

5. 放出熱量の研究

この問題については福富孝治博士のすばらしい研究²²⁾がある。地下水が地下深所まで侵入してマグマから熱エネルギーだけを岩石の伝導熱で受け取り、再び上昇して温泉として湧出する地下水起源の温泉の熱エネルギーの収支を理論的に計算した。また実際の温泉の熱エネルギーの放出量の研究も行っている。その結果、湧出量が増大すれば最高水温は低下することになる。 $10^{8.5}$ Cal/min以上の熱量を放出する大温泉では、ただ単に熱源のマグマからの伝導熱だけでは不足で、どうしてもマグマから他の熱の伝達法を考えなければならない。また湧出量の莫大な温泉では高温のものは生成できないことになる。すなわちマグマ発散物の直接混入による熱伝達を考えなければならないとして、玉川温泉もその中に入ることを示しているのである。ここに熱源問題として、玉川温泉の生成はマグマ発散物の地下水への参加が絶対に必要であるという強い指示が得られたのである。

6. 結論

1950~1951年の伊豆大島火山三原山の大噴火¹⁵⁾を実際に見て、そのエネルギーの大きさや物質移動の大きさ(固体物質だけでも約7600万ton)に驚き、その溶岩湖からマグマ水を採取した。噴火後の長い期間高温の噴気口が活動を続け、雨季にはある噴気口は温泉となるが、乾期には再び噴気口になっている多数の例を日本の多くの火山でも見てきてから¹¹⁾¹⁵⁾²³⁾、マグマ発散物、火山発散物と地下水との混合による火山性温泉の生成を考えた。

これらの考えを実証するためには、多くの観測、測定、模型実験をする適当な温泉(実験場)を選ばなければならない。幸いにも玉川温泉には玉川温泉研究会⁵⁾があり、地質、鉱物、岩石、水理及び化学的性質がわかっていた。そして表1で示した大沸泉は強酸性、高温、莫大な湧出量、大きな放熱量などで火山噴火を思わせた。焼山火山の西麓にあるので火山性温泉であると思い1952年から研究に入った。上記の多数の観測、測定、模型実験を行ってこの温泉はマグマ発散物、火山発散物及びその分化生成物と、20倍もの多量の地下水との混合で生成したという結論に達した。

この考え方を太田一也博士¹⁹⁾が雲仙地方の温泉で見事に示し、近藤忠三博士も⁸⁾地学的水理研究から大部分の温泉は循環水であるとした。Craig, White, 松葉谷博士²¹⁾らも大部分は循環水(天水)で、それ以外の水があるとしても5%以内であるとした。特に松葉谷博士²¹⁾²²⁾らは、玉川温泉ではCl-SO₄型の地熱水がマグマ発散物、火山発散物と、20倍もの多量の地下水とが混合して出来たとする私どもの玉川温泉生成の考え方を支持した結論になっている。さらに福富孝治博士²²⁾は玉川温泉のような莫大な放熱量(8.3×10^8 cal/min以上)の温泉生成には、マグマからの伝導熱だけでは生成は不可能で、どうしてもマグマ発散物などが直接に導入されてはじめて生成可能になると、私どものマグマ発散物、火山発散物と地下水との混合する考え方を強力に支持して下さっている。ただここでマグマ発散物は必ずしも初生物質ではないので、マグマ水も初生物質をなほほど含んでいるかは不明である。

このように私どもの玉川温泉の火山性温泉の生成論はその後の研究とは矛盾しないばかりか、熱源問題では強力に支持されているのである。

しかしながら、この莫大な量の水のものは雨水や雪だとしても、何処でどんなふう集って、いつどこでマグマ発散物、火山発散物およびその分化生成物と混合してCl, -SO₄型熱水となり、それらが蒸発して蒸発分離が起こって、いかなる性質の熱水や蒸気ができて、さらに、金属元素はどんな化合物として導入されているか、金属元素の化合物の性質なども少しもわかっていない

のである。一番大切なことはこの温泉は何時まで続くかである。これらは物理学、化学及び地質学など温泉生成に関係する諸学科の共同研究団体である日本温泉科学会の皆様の知識を教えてください、さらに一歩でも深く研究したいと思い、皆様の御支援を切に御願ひする次第である。

文 献

- 1) 弘中佳夫, 岩崎岩次, 苗木地方の鉱泉のラドン含量, 岩鉱誌 9, 87-88 (1933)
- 2) 岩崎岩次, 温泉におけるラドンの分布, 化学の研究 8, 1-42 (1950); 温泉中のRa-226の分布と強放射能泉の生成機構, 温泉工学 6, 18-28, 112-114 (1968); 165-168 (1969); 7, 16-24, 109-114 (1969)
- 3) 岩崎岩次, Geochimical investigation of geysers in Japan, Bull. Tokyo Inst. Technology (東工大紀要) No. 46, 1-60 (1962)
- 4) 岩崎岩次, 玉川温泉の地球化学的研究, 温泉科学 30(3), 104-117 (1979)
- 5) Geochemistry of the Tamagawa Hot Springs(1963), Dedicated to Professor Eiiti Minami.
- 6) 津屋弘達: 玉川温泉研究会, 第十周年誌(1954); 椎川誠 秋田県玉川温泉周辺の地質—付鉱床, 秋田大学学芸学部研究紀要, 自然科学, 5, 1-23(1955)
- 7) 河野義礼, 青木謙一郎: 八幡平及びその周辺火山群の岩石, 火山, II 4 (No.2) 61-76 (1959)
- 8) 近藤忠三, 玉川温泉群及び北投石について, 東北研究, 6 (1), 17-21 (1955); 電気探査法による玉川温泉群の地学的研究, 秋田大学学芸学部研究紀要, 5 (1955); A consideration of the origin of Tamagawa Hot Spring, Akita Prefecture. (文献5)の中p.73-82 (1963); 玉川温泉の地質について, 温泉科学 14, 38-50 (1963)
- 9) I. Iwasaki, T. Katura, T. Tarutani, T. Ozawa, M. Yoshida, B. Iwasaki, H. Hirayama and M. Kamada, Geochemical studies on Tamagawa Hot Spring. (文献5)の中のp.7-72 (1963)
- 10) 岩崎岩次, 温泉の化学—温泉の生成機構を中心として—, 温泉科学, 27(2/3), 42-69(1976)
- 11) I. Iwasaki, T. Ozawa, M. Yoshida, T. Katura, B. Iwasaki, M. Kamada, Nature of volcanic gases and volcanic eruption, Bull Volcanologique II, (26), 73-81 (1963)
- 12) 同上, Differentiation of magmatic emanation; Bull. Volcanologique II 27 (79), (1964); Bull. Tokyo Inst. Technology, No.74, 1-57 (1966).
岩崎岩次, 吉田稔, 牧野一郎, 米原範伸, マグマ発散物から火山昇華物生成の模型実験, 火山, II (9), 1-8(1964); 岩崎岩次: マグマ発散物の分化現象と火山発散物, 火山, II (10), 238-245(1965); マグマ発散物の分化現象と温泉の性質との関係, 日本地球化学会ニュース, No. 32, 10-13 (1965)
- 12a) 岩崎岩次, 地熱資源探査における化学的方法の適応性の検討, 地熱, No.17, 37-44 (1968)
- 13) 文献12と同じ, M. Hirayama, Volcanic Gases in Japan, Bull Tokyo Inst. Technology No. 47, 1-54 (1963)
- 14) 高橋清, 小穴進也, 昭和新山の地質学的物理学的地球化学的研究, 地質調査所報告, 170, 115 (1959); S. Oana, Bull. Volcanologique, II 24 (49), (1963)
- 15) 岩崎岩次, 伊豆大島火山の地球化学的研究, 地学雑誌 60, 140-143 (1951); 岩崎岩次, 桂 敬, 下島光, 小沢竹二郎, 樽谷俊和, 佐藤京子, 火山, II, 3, 70-79 (1958)
- 15a) 岩崎岩次, 松川地熱地域の噴出蒸気, 地熱, No.12, 38-51 (1967)
- 16) D.E. White, Thermal waters of volcanic origin, Bull, Geol. Survey America, 68, 1637-1658 (1957); Thermal and mineral waters of the United States—brief review of possible origins, XXIII (International Geological Congress, vol. 19, 269-286 (1969)
- 17) 岩崎岩次, 吉池雄蔵, 吉田征子, 大森禎子, Studies by the dynamic method on the reaction of rocks

- with hot spring water of the Tamagawa Hot Springs in Japan, 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, 温泉科学, 27 (1), 1-16 (1976)
- 18) 岩崎岩次, 国分信英, 桂 敬, Residual magmatic waters in cavities of trachyandesitic basalt in Imari district, Saga Prefecture, Japan, Bull. Chem. Soc. Japan. 29, 379-387 (1956)
- 19) 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, 研究所報告, No. 8, 1-33 (1973)
- 20) H. Craig, Isotopic variation in meteoric waters, Science 133, 3465 (1961); The isotopic geochemistry of water and carbon in geothermal areas, Nuclear Geology on Geothermal areas, Spoleto 1963. Editor E. Tongiorgi (Consiglio Nazionale delle Ricerche Laboratorio di Geologia Nucleare, Pisa), 17-53 (1963)
- 21) 松葉谷治, 酒井均, 佐々木昭, 秋田県, 青森県の黒鉱地域及びその周辺の温泉についての同位体化学的研究, 地質調査所月報 26 (1), 1-11 (1975); 松葉谷治, 越中浩, 小室昭一, 秋田県の温泉の同位体地球化学的調査報告, 秋田大学鉱山学部地下資源研究施設報告, 48, 11-24 (1983); 松葉谷治, 地熱水の同位体地球化学, 地熱エネルギー, 10 (2), 112-126; (3), 151-160 (1985); 11 (1), 31-36 (1986)
- 22) 福富孝治, 地下水が地下増温率でできる温泉の性質, 北海道大学地球物理学研究報告, (13), 53-70 (1965); 温泉のエネルギーとその起源, 温泉科学, 29 (2), 88-102 (1978)
- 23) 岩崎岩次, なぜ火山は煙を出すか, 地熱, 第23号, 35-44 (1970); 温泉の成分は何処から来るか, 中央温泉研究所第12回研修会要旨, 1-39頁(1972)
- 10) 岩崎岩次, 温泉の起源と地質学, 温泉科学, 25(2), 1-12 (1978)
- 11) I. Iwasaki, T. Ozawa, M. Yoshida, H. Iwasaki, M. Kanada, Nature of volcanic gases and volcanic eruption, Bull. Volcanology, J. 26, 73-81 (1963)
- 12) M. I. Differentiation of magmatic emanation, Bull. Volcanology, J. 27, 1-57 (1965)
- 13) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 14) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 15) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 16) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 17) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 18) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 19) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 20) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 21) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 22) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 23) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 24) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 25) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 26) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 27) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 28) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 29) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 30) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 31) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 32) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 33) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 34) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 35) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 36) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 37) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 38) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 39) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 40) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 41) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 42) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 43) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 44) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 45) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 46) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 47) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 48) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 49) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 50) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 51) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 52) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 53) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 54) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 55) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 56) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 57) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 58) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 59) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 60) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 61) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 62) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 63) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 64) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 65) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 66) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 67) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 68) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 69) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 70) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 71) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 72) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 73) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 74) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 75) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 76) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 77) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 78) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 79) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 80) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 81) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 82) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 83) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 84) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 85) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 86) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 87) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 88) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 89) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 90) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 91) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 92) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 93) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 94) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 95) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 96) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 97) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 98) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 99) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)
- 100) 岩崎岩次, 吉田隆, 地熱エネルギーと火山, 地熱, 25(2), 1-12 (1978)