

# New Zealand の 温 泉

九州大学温泉治療学研究所 古 賀 昭 人

((昭和 42 年 11 月 5 日受理))

## Thermal Springs of New Zealand

Akito KOGA

(The Institute of Balneotherapeutics, Kyushu University)

### は じ め に

ニュージーランドには環太平洋火山帯の一つとして幾つかの活火山があり、図1に示すように多くの温泉がある。しかし、主な地熱地帯は北島にあって南島の温泉は何れも温度の低い鉱泉



図 1. New Zealand の温泉の分布

である。北島の温泉群は何れも日本のそれと較べて規模が雄大で特有の光景を形成している。したがって本報告においては北島の温泉の大観について述べることにする。ただし、ここで断わりしておかねばならぬことは、英語で *hotspring* というのは自然湧出しているものに限られ、ボーリングして得たものは *water discharged from drillhole* と区別されるが、日本語の温泉の意味はあいまいで両者を混同しているので、この報告については区別することなく述べたと思う。

## 1. 北島の地熱地帯

図 2 のように Plenty 湾に浮ぶ White Island から南々西の Mt. Ruapehu に至る巾 30 km, 長さ 250 km にわたる地域が北島最大の地熱地帯であり, 両端の二つの火山は現在もお活動中である.

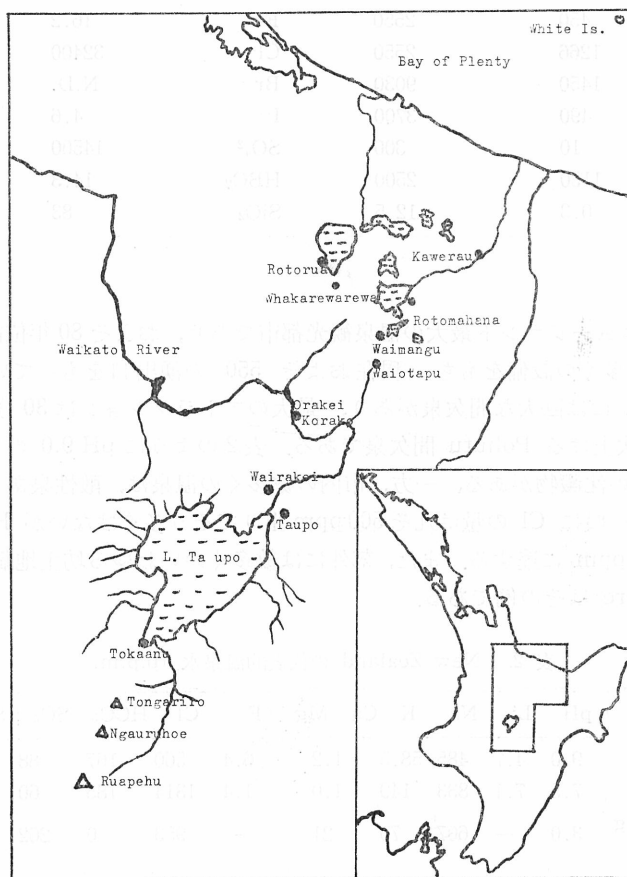


図 2 ニュージーランド北島の地熱地帯

## A. White Island

White Island は, その名の示す通り, 硫黄や変質された岩石で白く見え, 多くの噴気孔と温泉がある. 時々小さい爆発が起っている. 岩石は安山岩で, ここの温泉は酸性で多くの物質を含み, 噴気孔の最高温度は  $570^{\circ}\text{C}$  である. また, 蒸気は  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$  などを多く含み  $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_3\text{BO}_3$  も多い. 表 1<sup>1)</sup> のように温泉水の特徴は  $\text{Cl/F}$  比が低く,  $\text{Cl/B}$ ,  $\text{Cl/As}$  比が高い. 化学成分の大部分は海水源であることは  $\text{D/H}$ ,  $\text{O}^{18}/\text{O}^{16}$  比からも確かめられている.

表 1. White Island の温泉水の成分

	Snow White Clear	Noisy Nellie Crater		Snow White Clear	Noisy Nellie Crater
Temp °C	99	?	Cu <sup>2+</sup>	1.3	25.2
pH	0.65	0.18	Zn <sup>2+</sup>	1.9	25.0
Li <sup>+</sup>	3.8	6.2	Ge <sup>2+</sup>	0.060	0.075
Na <sup>+</sup>	425	19200	Mo <sup>2+</sup>	0.015	0.18
K <sup>+</sup>	450	2550	F <sup>-</sup>	16.2	424
Ca <sup>2+</sup>	1266	2550	Cl <sup>-</sup>	32400	73325
Mg <sup>2+</sup>	1450	9030	Br <sup>-</sup>	N.D.	210
Fe <sup>2+</sup>	490	3700	I <sup>-</sup>	4.6	5.0
Fe <sup>3+</sup>	10	300	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	14500	14800
Al <sup>3+</sup>	1150	2500	HCO <sub>2</sub>	14.3	510
As <sup>3+</sup>	0.3	12.5	SiO <sub>2</sub>	83	112

### B. Rotorua

Rotorua 市はニュージーランド最大の温泉観光都市であり、およそ 80 年位前から観光に温泉治療学病院などに多くの設備をもち、現在およそ 550 の湧出口をもっている。市の郊外の Whakarewarewa には巨大な間欠泉があり、最大のアトラクションは 30 分休み、30 分凡そ 30m の高さまで吹上げる Pohutu 間欠泉である。表 2 のように pH 9.0 のアルカリ性の食塩泉で周囲には多くの沈澱物がある。一方、市内の数多くの温泉は、酸性泉あり含重曹食塩泉ありで複雑である。一般に Cl の量は凡そ 500 ppm 止りでそう多くはないが H<sub>2</sub>S の含量は総じて多く最高は 154 ppm に達する。また、郊外には数多くのいわゆる坊主地獄 (mud pool) が散在する。Tiketere はその例である。

表 2. New Zealand の代表的温泉水 (p.p.m.)

Thermal area	pH	Li	Na	K	Ca+Mg	F	Cl	HCC <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	HBO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S
Pohutu geyser	9.0	4.7	485	58.5	1.2	6.4	560	167	88	490	21.6	14
Kawerau (Hole 8)	7.5	7.1	833	149	1.0	1.4	1314	185	60	770	255	—
Waimangu (Frying Pan L.)	3.0	—	607	70	21	—	953	0	262	428	60	—
Waiotapu (Champagne pool)	6.0	9.0	1220	160	35	5.5	2000	280	145	490	117	6
Orakeikorako	8.3	4.0	280	42	3.0	8.5	284	260	220	280	13.6	1.3
Tokaanu (Sp. 14)	7.2	14.8	1170	116	25	1.5	1956	235	42	220	246	0.1
Taupo (Terraces Hotel)	7.4	4.6	405	47	13	1.1	537	240	101	235	38	0.4
Rotokaua (Sp. 6)	2.5	7.8	990	102	22	<1	1433	0	520	340	183	0.2

### C. Kawerau

Kawerau の地熱地帯の開発は水蒸気をパルプ工業に利用するため、製紙会社によってなされた。熱水の組成は Wairakei や Waiotapu のと同様で中性の食塩泉である。ただ両者と違うのは、Kawerau には流紋岩のみならず安山岩のあることで HBO<sub>2</sub> が多いのはそのためと

思われる。(表2参照) また, Kawerau の深部熱水中のガス含量は Waiotapu の5倍, Wairakei の10倍に及んでいる。

#### D. Waimangu (図3)

Rotorua 市から凡そ 20 km 南に巨大な温泉地帯がある。Waimangu とは黒い水という意味で Wai という名がついた地名は水に関係ある所である。ここには、かつて 1900 年から

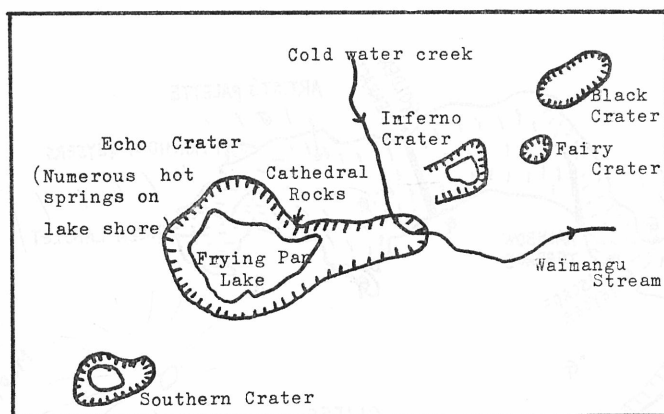


図3 Waimangu

1904年にかけて活動した世界最大の間欠泉があり、泥岩や水蒸気を 300 m も吹き上げていた所で、ときには 450 m にも及び、30 時間休んで 7 時間吹き上げていたという。現在は間欠泉はなくなったが、Frying Pan 湖など直径 300 m もあって 60°C の熱湯がたくわえられている。泉質は表2のように酸性で食塩泉に硫酸が混じたタイプである。

Inferno crater の水も同様な酸性であるが他の多くはほぼ中性か微アルカリ性の食塩泉で多くの赤、橙、ピンク色の沈澱物風景を見せている。特に Warbrick Terrace が美観である。

尚、Waimangu 近くの Rotomahana には近くの間欠泉から沈積した白やピンク色の巨大なテラスを見ることができる。その主成分は  $\text{SiO}_2$  である。

#### E. Waiotapu

Rotorua から凡そ 30 km 南に Waiotapu (神聖な水) がある。ここの圧巻は Champagne pool であろう。温度は約 90°C、平均の深度は約 100 m だが直径は 200 m、その名のように炭酸ガスの泡がふつふつとしており、遠くから見ると水蒸気の雲が湖面をおおっている。pH は 6.0 で食塩泉である。その周囲は広大なテラスに恵まれ、赤、ピンク、黄、緑の水面は画家のパレットみたいにかわいらしい。Champagne pool から溢れ出た温泉は下流に流れ、凡そ 1 km にわたりシリカのテラスを作っている。それはいわゆる百枚皿、千枚皿の形を作り、実際にテラスをさらさらと流れる温泉水の Cl や  $\text{SiO}_2$  の量を測ると、Cl は次第にくくなって行き、 $\text{SiO}_2$  は次第に減少してゆく。過剰の  $\text{SiO}_2$  は沈澱し水の蒸発と共に Cl は次第に濃縮されて行くものと思われる。

最近、Waiotapu 地区で地熱発電のテストボーリングが行われている。やはり中性の食塩泉である。なお、Waiotapu の近くには、いわゆる坊主地獄 (mud pool) がある。



### F. Orakeikorako (図 4)

Orakeikorako は Waikato 河畔にあるが、1961 年ダムが作られて Ohakuri 湖が生じる以前は凡そ 1000 個の温泉や間欠泉があり非常な壮観を呈していたが、現在その四分の三は水中に没した。しかし、対岸からモータボートで行けば、ただよう水蒸気煙の中に滝の様に温泉水は金色、緑、オレンジ色に輝いた沈澱物の上を流れている。ここのテラスはエメラルド、レイ

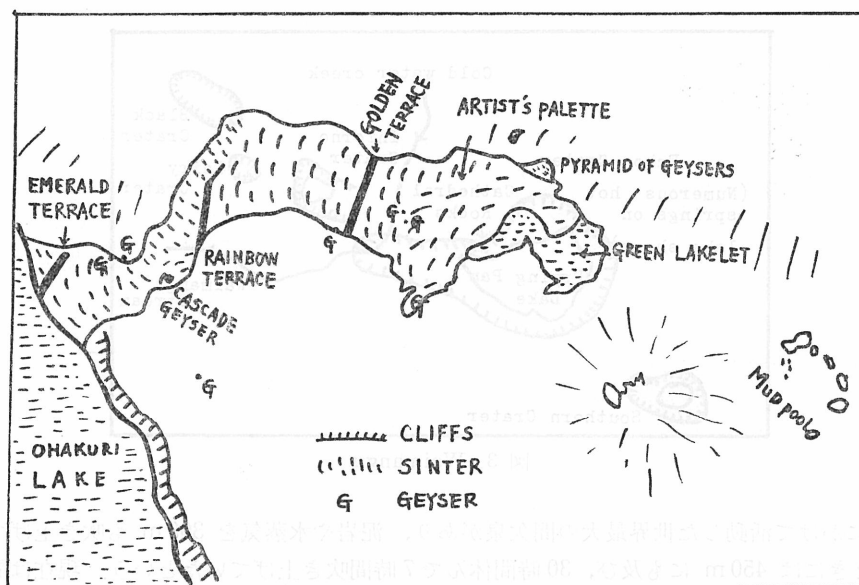


図 4 Orakeikorako

ンポー、ゴールデンテラスと呼ばれ、ある種の藻がおおっている所もある。所々に間欠泉やプールもあって湧出する温泉は莫大である。ここの温泉水は  $\text{Cl}$  は 250~400 ppm,  $\text{HCO}_3$  は 100~300 ppm,  $\text{SO}_4$  は 50~250 ppm で中性である。 $\text{Cl}$  が案外少なく、 $\text{SO}_4$  や  $\text{HCO}_3$  が多いのは少なくとも一部は水蒸気で加熱されていることを示している。

この附近も地熱発電用のテストボーリングが行われている。

### G. Tokaanu

Tokaanu は Taupo 湖の南端にあり、数多くの温泉、間欠泉、泥地獄がある。 $\text{Cl}$  も 1000~2000 ppm で中性食塩泉であるが、 $\text{SiO}_2$  はそう多くはなく地下温度も凡そ 160°C 位である。

### H. Taupo

Taupo 湖の東北端にあり、Waikato 河もここより発する。河畔の Spa Hotel 附近には間欠泉が多い。これは河の水位により活動する。Taupo の町のホテルには温泉プールや浴場をもっているのもあるが、その多くは単純泉である。

### I. Wairakei

Taupo の北方 8 km に世界第 2 位の地熱発電所のある Wairakei がある。発電能力は現在凡そ 20 万 KW である。発電所に送るための水蒸気を供給する井戸は現在まで 100 個以上掘られ、その内 65 本位が使用されているが白煙もうもうと天に押し騒音もあって一大工場地帯

の観を呈する。毎年5本位づつ補給するために掘さくされており全体の output はほぼ一定である。現在、井戸から分離された熱水は使用されずに捨てているが、もし、これを使えば 25万 KW になるといわれている。

Wairakei の地質は図5のように表層は凡そ 150m の軽石層、その下には 50m の不透水層のちみつな砂岩や泥岩層の柔らかい岩石がある。この下には再び多孔性の軽石や Rhyolite (流紋岩) であり、地下 600m には ignimbrite の厚い層がある。そして地下 3km には grey-wacke (硬砂岩) の基盤がある。

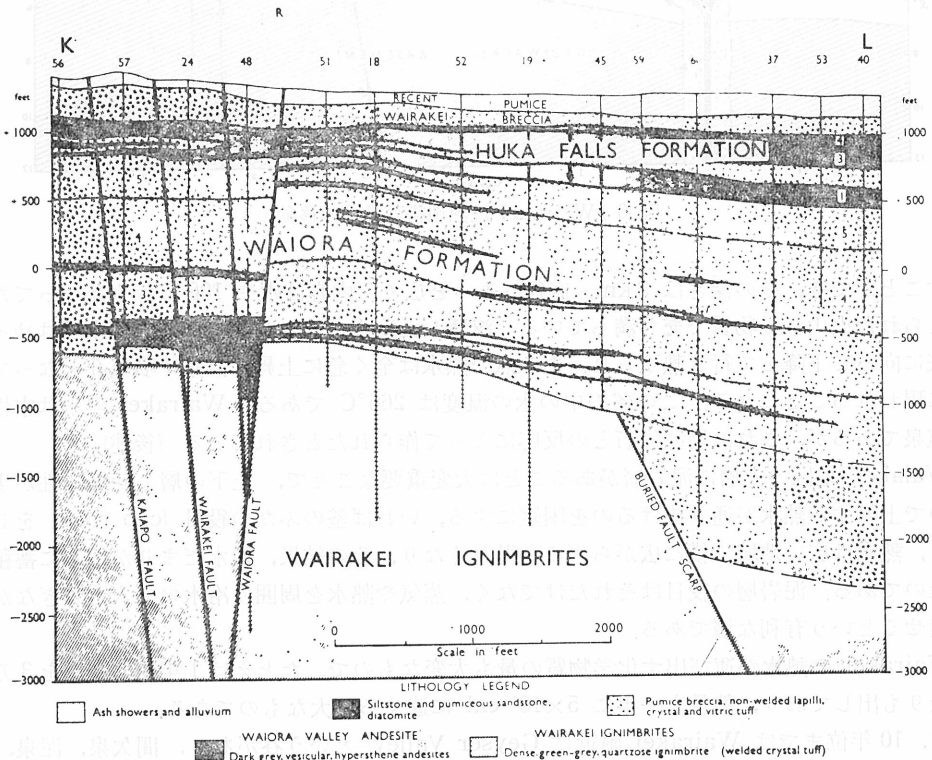


図5 Wairakei の地質断面図

上層に泥岩層があることは、昔ここが湖底であったことを示している。そして、これは 50 万年前に作られたといわれている。それ故に下の breccia や ignimbrite はもっと古いわけで多分 100 万年かそれ以前である。最近の 1 万年間に数多くの火山の爆発物による軽石層の堆積があり、もっとも最近では凡そ 1700 年前にそれが起ったとされている。

地質時代の種々の時代に断層運動も起り、その断層にそっての大地の動きは、岩石を分裂粉碎し深所から熱水が上昇してくるような渗透性の地帯を作りあげた。

Wairakei の熱水系は図6のような行動をとるものと考えられており、この熱水だまりの中に深さ 200~1400 m, 平均 700m位の井戸が掘られて熱水を取り上げていくことになる。

Wairakei の熱水はもっぱら雨水の地下循環説がとられているが、トリチウム ( $^3\text{H}$ ) の測定から凡そ 10年の年令があるといわれている。つまり Wairakei 地区は一つの巨大な釜とみ

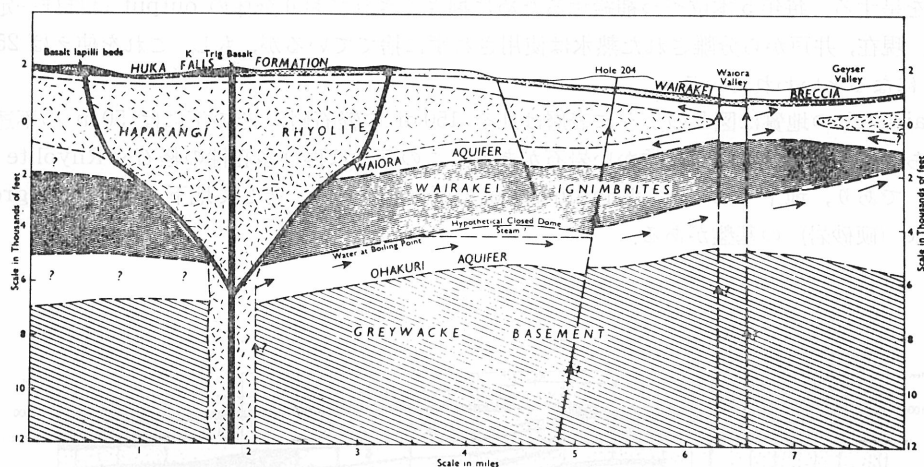


図 6 Wairakei 地熱地帯の熱水の移動

なすことができ、その深さは 3 km、直径はもっと広く、内容は水や 100 万年もかかってたくわえられた火山活動物質で充ち満ちている。滲透した冷水（たとえば Taupo 湖水）はゆっくり底に向って下降して行き熱せられ、ある点で熱水は全く急に上昇し温泉や噴気孔となって地上に現われることになる。この釜の中の水の温度は 266°C である。Wairakei 熱水は中性の食塩泉であるが、これは周囲岩石との反応によって作られたとされている（後述）。

Wairakei 地区の上層に泥岩層があることは大変重要なことで、上下の層より滲透性が少ないので上昇する熱水が通り抜けるのを困難にする、いわば釜のふたの役目 (cap rock) をしており、熱水は広い地域に横に広がらざるを得なくなり、その結果、熱水だまりが地下に蓄積されたのである。泥岩層の役目はそれだけでなく、蒸気や熱水を周囲の冷水の混入を防ぎながら取出せるという有利な層である。

Wairakei の熱水が運び出す化学物質の量も大変なもので、たとえば 1 年間に食塩を 3 万トン余りも出しており、熱量も一年に  $5 \times 10^{15}$  cal に達する莫大なものである。

尚、10 年位までは Wairakei 附近に Geysir Valley という谷があり、間欠泉、泥泉、酸性泉、中性食塩泉など多数の自然湧出泉があったが、Wairakei の開発が進むにつれ、次第に衰弱しており、現在では間欠泉は活動しなくなった。他の温泉群もやがて消滅して行く運命にあると思われる。

## 2. New Zealand の温泉

### 2. 1. 温泉の成因

火山地熱地帯の温泉の成因として古来からあくまで岩しょう水 (magmatic water)、火山性水 (volcanic water) などであるとし、これに地表循環水との混合で説明されてきた。そして、D.E. White<sup>2)</sup> らに代表される学者は、1. 岩しょうの型と晶出の時期、2. 岩しょうからの分離の途中、もしくは分離後の各時期における火山発散物の温度と圧力、3. 途中で混合する循環水ならびに他の非火山性水の化学組成および滲透の深さとその混合比、4. 壁岩との反

応などにより火山性水の組成がきまると考えており、日本の地球化学者もこれに同調している。

温泉の成因としては図7のように幾つかの地下熱水の作られる構造が考えられる。かんたんに云えば、図7Aで示すように冷たい水が地下深部に至りマグマから熱と化学成分を受けて対流により上昇して地下に熱水だまりを作るとするのが上記古来の説である。しかし、いわゆる火山性水は化学的特長として食塩を主成分とする中性の温泉であるが、同位元素組成による研究によれば直接火山性起源の水の温泉への混入はそれ程多くはなく最大5%を越えないといわれて来た。そして、現在の新しい学問は、いかなる温泉でも岩漿水の混入は無であるといわれている<sup>3)</sup>。マグマからの水の供給がないということは必然的に図7Bの成因説を生み出すことになる。つまり、冷水は地下にもぐるけれども、地下深く、たとえば3km深くに不透水の基盤でもあった場合、その水は基盤下のマグマからの熱を伝導で受けるけれども化学物質は受けられそうもないと云った型の熱水があるはずである。もちろん、そこには異常に高い地熱勾配があるであろう。そして、化学成分は周囲岩石との高温高压下の反応によって水中に溶出されるであろう。それによって、地下に熱水だまりがあるとすれば、中性ないし微アルカリ性の

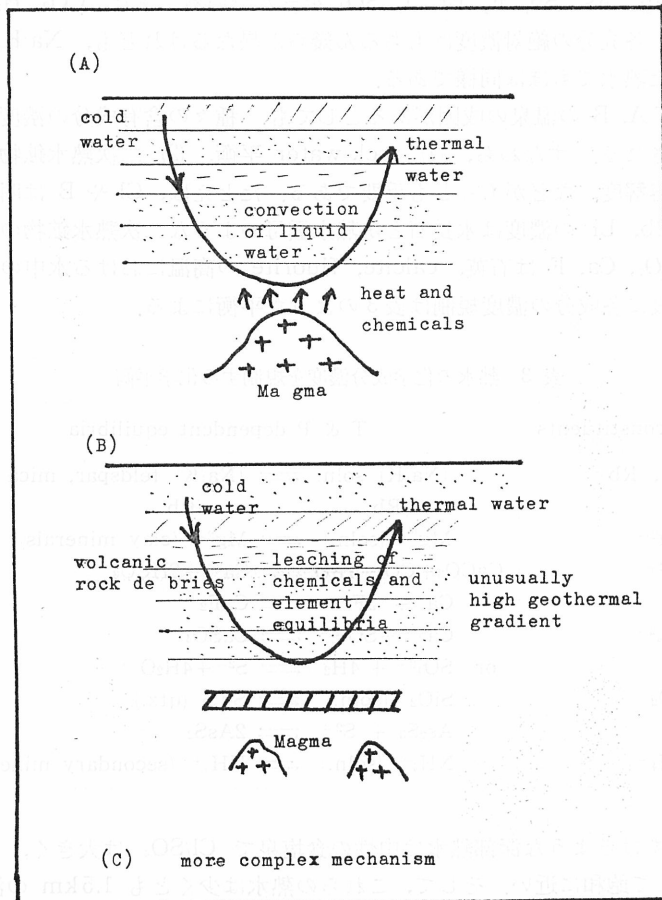


図 7 A, B 温泉水中の化学成分の起原

食塩泉タイプの温泉が生ずるはずである。地表の水が深部に行って熱せられて地下熱水を作る時間は、Wairakei では  $^3\text{H}$  の実験によって凡そ 10 年といわれている。

その他、もっと複雑なメカニズムがあるかも知れないが New Zealand の大多数の地下熱水は図 7B の方式で説明できるとされている<sup>4)</sup>。

## 2.2. New Zealand の温泉の成因

北島の地熱地帯の温泉水は 2 つのグループに区別することができる。第 1 のグループは、ほぼ中性で主成分として NaCl, KCl を含む。Tokaanu, Taupo, Wairakei, Orakeikorako, Waikite, Waiotapu, Rotorua や Kawerau がそうである。第 2 のグループは主として  $\text{SO}_4$  を含む酸性泉で Te Kopia, Tikitere や Karapiti などである。多くの地域で両方のタイプが混じているのがあるが一般にどちらか一方が優勢である。

Wairakei, Waiotapu, Kawerau や Orakeikorako などポーリングしてえられた熱水の化学分析の結果は表 4 にあげられるが、第 1 や第 2 のグループとも直接あるいは間接に高温の中性食塩泉から導かれたものであることが示される。今までに得られた深部熱水は化学的にむしろお互いに同様であり主として NaCl, KCl,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{HBO}_2$  を含んでおり、他に微量の Li, Rb, Cs, Ca, Mg, As, Sb, F, Br, I,  $\text{SO}_4$  を含んでいる。また、 $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$  なども微量含んでいる。各成分の絶対濃度はもちろん幾らか異なるけれども、Na/K, Cl/B, Na/Li などの比は違った熱水でもほぼ同様である。

先にあげた図 7 A, B の温泉の成因があるとしても、種々の含有成分の濃度は多くの因子によって当然制御される。すなわち、(1) rock/water 平衡、(2) 二次熱水鉱物の形成、(3) 制限される鉱物の溶解度、などがもっとも重要である。たとえば、Cl や B は明かに第 (1) の因子により、K, Rb, Li の濃度は氷長石とか熱水雲母のような二次熱水鉱物の形成によって制御され、一方  $\text{SiO}_2$ , Ca, F は石英, calcite, fluorite の高温における水中の溶解度によって制御される。一般に各成分の濃度規制は表 3 のような平衡による。

表 3 熱水の化学成分濃度を規制する化学平衡

Water constituents	T & P dependent equilibria
K <sup>+</sup> , Rb <sup>+</sup>	(Na/K) soln. $\rightleftharpoons$ (Na/K) feldspar, mica /Rb $\rightleftharpoons$ /Rb
Mg <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup> (soln.) $\rightleftharpoons$ Mg <sup>2+</sup> (clay minerals)
Ca <sup>2+</sup>	$\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^-$
F <sup>-</sup>	$\text{Ca} + 2\text{F}^- \rightleftharpoons \text{CaF}_2$
$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Ca}^{++} + \text{SO}_4^{2-} \rightleftharpoons \text{CaSO}_4$ or $\text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}_2 \rightleftharpoons \text{S}^{2-} + 4\text{H}_2\text{O}$
$\text{SiO}_2$	$\text{SiO}_2$ (soln.) $\rightleftharpoons$ $\text{SiO}_2$ (qtz.)
As	$\text{As}_2\text{S}_3 + \text{S}^{2-} \rightleftharpoons 2\text{AsS}_2$
$\text{NH}_4^+$	$\text{NH}_4^+$ (soln.) $\rightleftharpoons$ $\text{NH}_4^+$ (secondary minerals)

さて、表 4 にあげるような深部熱水は中性の食塩泉で Cl/ $\text{SO}_4$  は大きく、この温度では方解石や石英に対して飽和に近い。そして、これらの熱水は少なくとも 1.5km の深さにまで広がっている熱水だまりにある。この熱水 (200°~300°C) は、ガス成分 ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ) を 0.01~

表 4 New Zealand の深部熱水の組成濃度 (p.p.m.)

Source	Depth (m)	Temp. (°C)	pH	Li	Na	K	Rb	Cs	Mg	Ca	F	Cl	Br	I	SO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	HBO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S
Hole 44 Wairakei	695	260	8.4	14.2	1320	225	2.8	2.5	0.03	17	8.3	2260	6.0	0.3	36	660	117	1.0
Hole 6 Waiotapu	915	275	8.9	6.6	860	155	2.4	0.8	0.06	10	7.5	1450	4.7	0.2	52	470	56	2.0
Hole 2 Orakeikorako	1150	260	9.1	3.1	550	54	0.3	0.4	—	<1	5.7	546	—	1.0	142	480	31.5	—
Hole 7a Kawerau	870	278	6.9	7.6	915	152	0.85	0.85	0.16	3.5	1.2	1473	—	—	60	760	273	—

0.1 mole % 含んでいる。裂目や滲透しやすい岩石の路を通過して地表に現われると CO<sub>2</sub> を失い、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、silicate や BO<sub>3</sub><sup>-</sup> イオンの緩衝作用によって僅かにアルカリ性になるのである。もちろん、地表近くで低含有成分の地表水にうすめられるだろうが、化学的比は深部熱水と同様である。

Tikitere, Te Kopia, Karapiti などでは地下の深部熱水は地表に達しないが沸騰によって作られた水蒸気は容易に地上に現われる。CO<sub>2</sub> や H<sub>2</sub>S のような酸性ガスを含む水蒸気は表面水に凝縮し、H<sub>2</sub>S の酸化によって硫酸酸性水を作る。これらのプールが一般に動かない時は、酸により地表岩石をリーチすることによって、Fe, Al, 或いは高濃度の Ca, Mg を含むことがある。

二者が混合したタイプ、つまり Cl や SO<sub>4</sub> にとむ温泉がある。Wairakei 近くの Rotakawa がそうである。この成因には二つの方法がある。一つは中性の食塩泉がよどんでおり、これに水蒸気に含まれている H<sub>2</sub>S の表面酸化により、その酸度と SO<sub>4</sub> 量を増加した場合と、中性の食塩泉に含まれた SO<sub>4</sub> の大部分が深所で酸化されて HSO<sub>4</sub><sup>-</sup> を作ったかのどちらかである。HSO<sub>4</sub><sup>-</sup> の温度による酸解離恒数の違いで、その熱水は地下の高温中性から表面の温度の下った酸性の温泉に変化する。

高温熱水系に存在する化学物質の起源に関して、マグマ起源説が支持されて来たのは、種々の地熱地帯の火山岩の元素の濃度が未知であり研究がなされていなかったので、周囲岩石と熱水との相互作用により導入するという見方が無視されて来たからである。Na, K, Ca, SiO<sub>2</sub> のような主な岩石組成の水における濃度は rock/water の相互作用によって影響されるとして最近認められて来たが、Cl, F, B, N のような火成岩の微量元素は同意されなかった。つまり、別に研究の裏付けとしてでなく無条件に深部のマグマ流体の導入による以外に考えられないとして来たのである。

最近、New Zealand の Ellis, Mahon<sup>5)</sup> らによるオートクレーブを使用した高温高压下の岩石と水との反応実験によって、熱水中のすべての成分元素は図 7B のようにあくまで岩石と熱水との反応によって溶出しようとし、Wairakei その他の深部熱水の化学成分の意味づけに用いられて来た。事実、その方面の研究が進むにつれ、次第にこの説が世界的に認められつつある。

### 2. 3. New Zealand の地熱地帯の温泉

New Zealand の北島の大部分の温泉は主として流紋岩地帯 (pumice, rhyolite, ignimbrite) にある。Rotokawa を除き、大部分の温泉水は同様な化学的特長を持ち、pH も 6 から 9 の間にある。

種々の温泉水の濃度には凡そ 10 倍の変動がある。Orakeikorako が最低で Tokaanu が最高である。地下の熱水だまりの濃度とボーリングによりとられた地表の温泉は同様ではない。たとえば Wairakei では地下の熱水だまりの温度は 260°C であり地表では水蒸気と水とに分離するので、その濃縮ファクターは凡そ 1.46 である。そのファクターはむしろ Waiotapu や Kawerau で高く、地下の温度はそれぞれ 295°C と 285°C である。

すべての水は数 ppm の Li を含む ( $\text{Na/Li}=20\sim 40$ )。Rb, Cs は K のモル濃度の 0.01 ~ 0.001 である。

Ca は 50 ppm を越えない。地下温度が最高である Kawerau の熱水が最低である。このことは Ca が温度依存の溶解平衡によって濃度に制限を受けていることを意味している。

Mg の濃度は非常に低い。深部熱水 (250~280°C) 中の濃度は 0.01~0.1 ppm のオーダーである。それは  $\text{MgCO}_3$  や  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  の溶解平衡による。地表で低温度では Mg の濃度は数 ppm になる。

Mahon<sup>6)</sup> によれば F 含量は地下温度と溶液の組成により決るが、ふつう 1~12 ppm である。ある温泉では Cl/F が深部熱水より低いのがあがるが、これは上昇途上に周囲岩石からのリーチングによるものである。

$\text{SO}_4$  の量は、ばらばらだが最低は 12 ppm である。高濃度のものは  $\text{Fe}^{3+}$  イオンによる地下の酸化によるか、古い S の沈積物の水解 ( $4\text{S} + 3\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 3\text{H}_2\text{S} + \text{H}_2\text{SO}_4$ ) による。大抵の温泉水の湧出速度は速いので  $\text{H}_2\text{S}$  の地表酸化はそれ程重要ではない。

Wairakei では水中の  $\text{SiO}_2$  量は測定された地下温度での石英の溶解度によく一致している<sup>7)</sup>。地層を上昇するとき、水は 260°C から冷却するので水中の  $\text{SiO}_2$  は岩石に沈澱することによって減少する。

B に関しては 2 つの水系のグループがある。Cl/B が 20~30 で、もう一つは 6~10 である。最高温度地帯は後者のグループで Cl/B が低い所は F 含量も低く高温熱水だまりの特長である。

また、深部熱水で余り地表水の影響を受けていない ( $\text{SO}_4$  や  $\text{HCO}_3$  の少ない) 熱水に関しては Na/K は温度に反比例する傾向がある<sup>5)</sup>。つまり、孔底温度が高いほど K が多く、したがって Na/K は低くなる。温度指示をする元素である。

### お わ り に

以上、かんたんに New Zealand の温泉について、その大要を述べて来た。New Zealand の温泉は Wairakei の地熱発電の成功によって種々解明されつつあるし、温泉の成因に関して新しいモデルの岩石と熱水との反応によって成分は溶出されたという説を生み出し、しかも着々成功しつつある。そのためには、多くのオートクレーブを使った高温高圧実験の裏付けがあり、温度と圧力による化学平衡の理論がある。我が国の温泉地球化学者としても多くの学ぶ点

があるが、化学物資の起源に関しては、安定同位元素比の測定により解明さるべきであろう<sup>8)</sup>。  
目下の急務である。

## 文 献

- 1) GLOVER, R.B.: The Chemistry of White Island Fumaroles and Springs 1965, Geochemical circular. N.Z. (1965).
- 2) WHITE, D.E.: Thermal Waters of Volcanic Origin, Bull. Geol. Soc. Am., **68**, 1637 (1957).
- 3) 杉崎隆一: D/H および  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  からみた juvenile water について, 地球化学討論会, (1967).
- 4) ELLIS, A.J.: Volcanic Hydrothermal Areas and the Interpretation of Thermal Water composition, Bull. Volcanol., **29**, 575 (1966).
- 5) ELLIS, A.J., MAHON, W.A.J.: Natural hydrothermal systems and experimental hot-water/rock interactions, Geochim. Cosmochim. Acta, **28**, 1323 (1964); Part II, *ibid*, **31**, 519 (1967).
- 6) MAHON, W.A.J.: Fluorine in the Natural Thermal Waters of New Zealand, N.Z.J. Sci., **7**, 3 (1961).
- 7) MAHON, W.A.J.: Silica in hot water discharged from drillholes at Wairakei, New Zealand, N.Z.J. Sci., **9**, 135 (1966).
- 8) 古賀昭人: ワイラケイ-ニュージーランドの地熱地帯, 地熱, No. 9, 3 (1967).