本邦温泉の地域性について

其の1. 火山地帯温泉

中 村 久 由*

On Regional Properties of Hot Springs in Japan

1. Hot springs distributed in younger volcanic areas

BY

Hisayoshi Nakamura

Abstract

Hot springs in Japan are divided into three groups which are distributed respectively in younger volcanic, semi-volcanic and non-volcanic areas, according to the relation of younger volcanic zones to hot springs. On the other hand, hot springs are classified into two types, namely the one high in Cl' content and the other moderate. Hot springs characterized by high content of Cl' derived from aqueous or igneous origin are situated in tertiary oil fields, tertiary volcanic or hypabyssal rock areas and granite areas.

The following phenomena recognized in thermal areas are important to know properties of hot springs distributed in younger volcanic areas:

- (1) Volcanic gases are higher in content of HCl than fumarolic gases.
- (2) Hot springs emitted from fumarolic areas are divided into two types, the one is saline water type characterized by higher content of Cl' and the other is ground water type by lower of Cl' in ground water.
- (3) According to the abundance of Cl' content in thermal areas, there are two types of hot springs in the centre of thermal activity of altered rock areas. One is the type showing high content of Cl' , the other is low.

The above-mentioned phenomena are considered to depend upon the diffusing flow of volcanic or fumarolic gases through the mother rocks and the depth of circulating ground water. Accordingly, it is probable that HCl contained in volcanic gases is not only dissolved in deep vadose water, but also fixed as halide salts in the wall rocks on the way up to the surface from a volatile source.

Properties of hot springs of such a various range from acidic to alkaline, distributed in younger volcanic areas seems to be influenced by shallow volcanic or fumarolic action in addition to the diffusing flow of volcanic or fumarolic gases and the ascending distance of thermal water to the surface.

* 通産省地質調査所

地学雑誌 Vol. 67, No. 3 (709) 1958

ま え が き

我国における温泉の分布をみると、殆ど大部分は第四紀以降のいわゆる火山帯に密接に相伴つて存在することが判る。然し、温泉の中には少数ではあるが、この火山帯からはずれた地域に位置するものもある。

このように、分布の上からみただけでも、温泉と火山活動との間に、密接な関連のあることがうかがわれる。然し、火山帯というのは新期火山の地理的な分布を連ねたものであるから、火山帯の中に包含される地域であつても、場所によつて新期火山の存在する地域と、その近くに火山の存在しないところが当然出てくる。

一方、新期火山の存在地域は、同時に第三紀以降における火山活動の旺盛な地域に当るので、温泉は第三紀の火山岩・半深成岩・深成岩および火山性堆積物を母岩として湧出する場合が少なくない。また、これらの第三紀火成岩だけがなく各地質時代の岩層を湧出母岩とする湧泉の中で地域的に水成源あるいは火成源の高鹹泉で特徴づけられる幾つかの温泉ないし鉱泉がある。地域的にみると、前者は日本海に沿ういわゆる油田地帯の温泉が主であり、後者は第三紀火山岩ないし半深成岩地帯および花崗岩地帯に存在する幾つかの温泉・鉱泉である。これらの高鹹泉は、温泉の地域性を考える上に重要な意義をもち、かつその化学成分も極めて特徴的なので、これらの高鹹泉を(4)油田地帯温泉 (5)第三紀火山岩ないし半深成岩地帯温泉 (6)花崗岩地帯温泉と呼ぶことにする。

本文は数多い我国の温泉を地域別にとりあげ、おのおのどのような特徴をもち、かつ、その成因の系統がどのように分たれるかという問題に触れたものである。以下、先づ、火山地帯温泉の諸性質を検討してみることにする。

本文を述べるに先立ち、内容について種々御検討いただいた東京都立大学教授野口喜三雄博士および各地の調査に協力を願つた本所前田憲二郎・鈴木孝両技官に対して深甚の謝意を表する次第である。

I. 火 山 地 帯 温 泉

新期火山体およびその周辺に存在する温泉であつた、現在なお噴気露頭を有するものを始め変質帯を伴うものが多い。登別(北海道)・恐山宇曾利(青森県)・玉川(秋田県)・那須(栃木県)・箱根(神奈川県)・万座(群馬県)・霧島(鹿児島県)等がその代表的な例である。

1. 火山地帯温泉の基礎

(1) 火山ガスおよび噴気ガスの特性

温泉の分布が主に新期の火山帯に伴うことは既に述べた通りであるが、この点、現に活動を続ける火山から灼熱の熔岩が流れ、また高温のガス体を発散するなどの事実からみて温泉と火山作用との間に密接な関連が存在することについては殆ど疑問の余地がないようである。

いま、火山作用に伴う諸現象の中から、最も活動の旺盛な時期に発散するいわゆる火山ガスを取上げ、その成分的特徴をあげてみると(第1表)、次の事柄を指摘することができる。すなわち、この火山ガスは殆ど例外なく塩化水素(HCl)を伴うことである。次に、一般にいう噴気地帯から発散する噴気ガスについて、その特徴とみられる点を検討してみると、それは前者とは対立的に殆ど塩化水素を含まず、炭酸ガス(CO_2)および硫化水素ガス(H_2S)などの弱酸性のガスを含有するという点にある。これ迄に行われた噴気ガスの分析は、主に自然の噴気露頭だけに限られていたが、1948年、大分県別府南立石の試錐孔から噴出したいわゆる天然蒸気は、噴気ガスの化学性について貴重な資料¹⁾を提供した。すなわち、第2表はその測定結果の一部であるが、この表をみると、たとえ過熱蒸気を噴出するような場合であつても、噴気ガス成分のみならず、その凝縮水の中にも塩酸の存在が殆ど認められず、自然状態に近い噴気ガスの性質を知る上に極めて注目すべき特性を示している。

このように、火山ガスと噴気ガスの両ガス成分を比較してみた場合、その各々を特徴づける HCl の消長が、いわゆる火山ガスの流動に関連があると考えて、さして不都合でないように思われるが、この現象

第1表 火口ガス化学成分

火 口 ガ ス							同 凝 縮 水											
		CO ₂	CO	H ₂	N ₂	SO ₂		Na ₂ O mg/50 cc	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃ Al ₂ O ₃	Cl	F	NH ₃	TiO ₂	SO ₃		
Kilauea (Hawaii)	I	23.8	5.6	7.2	63.3	0	I	21.4	10.2	12.0	8.0	22.0	56.5	1.8	0.5	48.0		
	II	58.0	3.9	6.7	29.8	1.5	II	31	11	140	10	206	492	—	—	508		
	III	62.3	3.5	7.5	13.8	12.8	E. T. Allen: Jour. Frank. Inst. Vol. 193, 1922 岩崎岩次: 火山の化学											
	IV	59.2	4.6	7.0	29.2	0												
	V	73.9	4.0	10.2	11.8	0												
Ten Thousand Smokes (Alaska)								HCl	HF	H ₂ S								
							水蒸気と共に 噴出されるガ ス量(平均)	% 0.117	% 0.032	% 0.029								
		H ₂	N ₂	O ₂	A	CO ₂	酸性度	Cl	Total S	SO ₄	Si	Fe	Ca, Mg, Ti	Al				
三 原 山 (大 島)	B	12.1	65.4	17.0	1.2	4.3	1.4 N	67.6g/l	0.16	—	0.090	69.8	0	tr (?)	岩崎岩次: 地学雑誌 Vol. 60, No. 3, 1951			
	E	57.1	41.9	0.0	0.8	0.2												
	E	25.9	72.5	0.0	0.8	0.8												
昭和 新山		H ₂ O	CO ₂	H ₂ S	SO ₂		Cl	Br	F	B	NH ₃ -N	Mg	Ca	Si	Fe	Al		
	9081	98.1	1.21	0.00	0.04		830 mg/l	2.6	350	33	1.58	31.2	7.87	51	11.7	12		
	9051	98.5	1.07	0.00	0.02		490	1.35	200	25	1.05	3.0	1.3	40	1.83	10		
	9063	99.3	0.53	0.05	0.02		687	2.1	21	4.7	5.60	6.0	7.5	23	10.6	10		

高橋博, 小六進也: 地質調査所報告 170 号, 1957

は温泉水における Cl' の消長という問題に相通ずるものでもある。すなわち、後で述べるように、自然界には Cl' を含む温泉と Cl' の極めて少ない温泉とが存在し、温泉水におけるこのような Cl' の消長もまた、たんに地下水による稀釈あるいは熱源の衰微ということだけによるのではなく、むしろ、地下水と接する火山性ガス自体の流動に直接の繋りをもつとみなされるからである。この問題は、火山ガスないし噴気ガスによつて生成された噴気性温泉 (および熱気性温泉*) の諸性質を考察する上に極めて重要な内容を含み、火山地帯温泉における最も基礎的な事柄の1つに数えられるものである。

(2) 噴気地帯に伴う温泉水の型

前項で述べたように、自然界には Cl' を含む温泉と、Cl' 含量の極めて少ない温泉とがある。ここでは火山ガスの流動に伴う HCl の消長という問題に関連して、噴気地帯に伴う温泉水の諸性質を取上げ、温泉水における Cl' の消長という問題を検討してみることにする。

火山地帯温泉の中には、しばしば噴気地帯の側面から湧出するものがある。これらの温泉は、成因的に火山ガスないし噴気ガスと密接な関連があることはいうまでもないが、いまその一例として、大分県飯田高原大岳噴気地帯における噴気・温泉群²⁾ をとり上げ、変質帯と噴気・温泉との分布関係を示すと、第1図の通りである。図で示したように、この地域には現在、河原・大岳・小松の三噴気地帯があり、その側面に当る地域から筋湯・疥癬湯等の温泉が湧出する。これらの噴気・温泉群は何れも玖珠川本流および支流に沿う変質帯に伴つて分布するが、両者の関係をみると、より古い時期に生成された変質帯には Cl' を含

* 噴気地帯に伴う温泉のように、明らかに火山ガスないし噴気ガスと成因的に関連があるとみなされる温泉を噴気温泉といい、直接、噴気露頭あるいは変質帯の存在しない地域から湧出する温泉の中で、深部で火山性ガスと接触することにより生成されたとみなされる温泉を熱気性温泉と呼んだ。

秋の宮⁶⁾等の温泉で知られており、その他の火山地帯温泉についても地域的に噴気・温泉の分布をみると噴気地帯の外側に気水型温泉の分布する場合が少なくない。

いま述べた事柄の中で、何故温泉水が Cl' 含量の上に消長があるかという問題について、次のような考え方も可能である。すなわち、既に深部にいわゆる熱水と呼ばれる高温の温泉水があり、その一部が地表に近づき、外圧が減少することによつて沸騰を始め、気化した蒸気が噴気地帯を形成し、また熱水の一部

第2図 噴気ガスと地下水との関係を示す模式断面図

が気水型温泉として噴気地帯の側面から湧出するという場合である。地域によつて、このような機構で、2次的に発生した蒸気が存在するところもあるが、初生的な火山ガスの存在、火山ガスと噴気ガスの間にみられる HCl の消長、別府南立石における鑿井噴気の化学性等の諸点を綜括すると、温泉水における Cl' の消長は、本質的に火山ガスないし噴気ガスの流動と、それに接する地下水の滲透深度の両面に最も深い繋りがあると考えられる。いゝかえると温泉現象の中にこのような2つの型の温泉の存在することは、いわば噴気ないし熱水から導かれた噴気性ないし熱気性温泉にのみ見られる現象であるといえよう。従つ

て、この問題を発展させて行くと、たとえ地表に噴気あるいは変質帯の存在しない地域から湧出する温泉の場合でも、化学成分上の特徴を解析することにより、それらの温泉が成因的に噴気ないし熱気に繋りをもつかどうかの判断に、理論的な根拠を与えることになる。この問題のもつ意味は、火山地方のみならず、他の火山岩地帯の温泉についても、その地域性を考える場合の基礎として、重要な内容を含んでいるとみなされるのである。

(3) Cl' 固定帯の設定

前項で述べたように噴気地帯に伴う温泉は気水型温泉と地下水位型温泉とに分たれるが、一方、地域的な噴気、温泉の分布の上から地帯別に分けると、噴気地帯と温泉地帯とに区別される。

ここで噴気地帯というのは、噴気および地下水位型温泉の存在する地域であつて、地表あるいは地表近くに火山ガスないし噴気ガスが接近している地帯をいふ、温泉地帯というのは、難揮発性の塩化物を含む気水型温泉の湧出地帯である。

前述のように、一般に噴気地帯に伴うこの2つの型の温泉は、成因的に一元的に繋りにあると考えて、さして異論はないと思われるが、大岳噴気地帯の場合における火山ガスないし噴気ガスと地下水との接触関係を、いさ少し立ち入って考えてみると次のように説明することができる。すなわち、岩漿から発散した揮発成分が、深部まで滲透した地下水に吸収され、水蒸気の凝縮に伴う潜熱を発生すると同時に、この潜熱によつて加温された地下水は HCl を始めいわゆるガス成分を溶解して酸性となる。遊離塩酸(HCl)を含む強酸性地下水は、酸性のまま湧出するか、または湧出の過程で接触する岩層によつて中和され、いわゆる気水型温泉の性質を帯びようになる。このように、気水型温泉の生成には、火山ガスを発散する火山性エマネーションと、そのガス成分を吸収するまで深部に滲透した相当量の地下水の存在を前提とする。そしてさらに、両者の関係については、深部まで滲透した地下水と、より深部からのエマネーションとがある面で熱力学的な平衡を保ち、その状態で地下水中に HCl 等の強酸性ガスが供給されると考えられる。このような状態にあるとすれば、噴気地帯は、相対的に外圧の低い地域であるということができ、従つて、噴気地帯の形成が外圧としての地下水が少ないことを条件とするのであれば、岩漿からのエマネーションの中に含まれる HCl はその上昇過程で直接、地下水に吸収される機会より、むしろエマネーションによる熱化学的な因子として接触する岩層に働き、蒸気(あるいは気相)圏内であつても、難揮発性の塩化物として固定される筈である。すなわち、噴気あるいは地下水位型温泉に伴う噴気地帯では、ある深さにいけば Cl' 固定帯とでもいふものゝ存在が想定されるのである。

このように考えると、この Cl' 固定帯の上部で噴気ガスが地下水を加温して生成されたのが地下水位型温泉であり、地下水位型温泉を生成した地下水がさらに深く滲透し、蒸気圏内の範囲を狭めつゝ、Cl' 固定帯より下部に達すると、成分的に気水型温泉の特徴を帯びるようになることができる。

Cl' 固定帯の設定は、噴気ガス自体の流動と、それに伴うガス成分の固定という概念で導かれたものであるから、このような考え方を基礎として、火山地帯温泉を取扱つてみると、特に地域的な温泉水の分布は、噴気ガスと地下水との相対的な接触関係、あるいは噴気ガス自体の存在状態を反映する意味で、火山地帯温泉の地域性を解析する場合の手掛りとして重要な役割を果すことになる。

この固定された Cl' がそのまま塩類の形で変質帯の中に保存されるものか、あるいは地下水によつて洗い流されてしまうものかという点については、まだ十分明かでない。然し、噴気地帯に伴う温泉の生成が噴気ガスと地下水との熱力学的な平衡状態に関連あるものとすれば、たとえ固定された Cl' が変質帯の中に塩類の形で残留している場合でも、結局、より深くまで滲透した地下水によつて洗い流されてしまう可能性が強い。一方、後で述べるように、火成源の高鹹泉が、主に半深成下で生成されたとみなされる温泉あるいは鉱泉に限られるという点を考えると、生成環境の差によつて固定された Cl' が、長く岩層中に残留される場合もありうることを示しており、Cl' 固定帯設定の意義は、噴気の流動性を反映するという点だけに留まらず、温泉の成因を系統的に分類する上の手掛りとして、極めて注目に値する事柄を代表して

いるとみなされるのである。

(4) Cl⁻ 含量の分布とその規則性

火山地方の変質帯は、殆どいわゆる噴気作用とそれに伴う温泉水によつて生成されたものが大部分を占める。噴気地帯に伴う温泉水が2つの型で代表されることについては既に述べた通りであるが、一般に変質帯に伴う温泉水の含量の分布をみると、次の2つの形式に分たれることに気がつく。すなわち、1つは中心ほど Cl⁻ 含量が高く、外側に移るほどその含量が遞減する場合であり、他の1つは中心ほど逆に Cl⁻ 含量が低く、外側ほどむしろ含量が増大する場合である。温泉水の Cl⁻ 含量の分布の上にあられたこのような相違が、地下水と火山ガスないし噴気ガスとの接触関係に繋りをもつことについては、噴気地帯に伴う温泉水の諸性質から容易に推定されるところである。前者の例は、火山地帯温泉の中で、Cl⁻ 含量の高い酸性泉の場合が多く、群馬県万座⁹⁾ を始め、同県草津、秋田県玉川、青森県宇利恐山、大分県海老野⁷⁾ 等の温泉がこれに相当する。後者の型は、現在なお噴気地帯を形成する地域に多くみられ、鹿児島県霧島丸尾、宮城県鬼首、大分県大岳等を挙げることができる。Cl⁻ 含量分布の上にあられるこの規則性は、たんに温泉水が地下水によつて機械的に稀釈されるということだけではなく、本質的には温泉化作用*における噴気ガスの流動とそれに作用する外圧との関連によるものと考えられる。

いま述べた2つの形式を模式的に図化すると第2図 (a) および (b) のように表現できる。このうち、(a) は火山ガスないし噴気ガスの流動速度が大で、しかも蒸気圧が地下水より卓越した場合である。この場合は両者の圧力の平衡関係から蒸気帯と地下水帯との接触面を追跡すると、蒸気帯の形態は、地下水帯に入ってから茸状に上に拡った形式をとると考えられる。これに対して (b) は比較的割目が少ないため、噴気ガスの流動速度が小さい場合を示したものであるが、この場合は、たとえ蒸気圧が地下水圧より大であつても、岩圧が働くため地下水帯と蒸気帯との接触面は上方に進むにつれて狭くなる傾向をもつ。

噴気ガスの流動は、結局、蒸気圧と外圧との圧力差によるものであるから、噴気ガスに含まれる HCl の等濃度線あるいは Cl⁻ 固定帯の形態は、噴気ガスの流動速度に支配され、(a) では流動速度に平行するが、(b) では逆に流動方向と交叉する方向に漸次 HCl の濃度が稀薄になるのが特徴的である。

いま述べた2つの型は、噴気ガスの行動を示す最も基本的な形態であるが、同時にこの型の生成如何は、地域的な地質状況に関連があるようにみえる。すなわち、(a) は節理、裂隙、間隙等の発達した地域に附随する現象であり、(b) は比較的割目の少ない岩層に被われた地域にみられるのが一般である。見掛上、両型とも噴気地帯を構成するが、その著しい特徴は (a) の型ではその周辺に温泉を伴わぬのが一般であり、(b) の地帯では噴気地帯の周辺から温泉が湧出するのが普通である。

また、変質帯の構成という面からみると、(a) は中心より外側に向つて変質の程度が微弱になるのに対して、(b) の地帯ではむしろ層状に変質の度合を変えて行く傾向がみえる。群馬県万座温泉⁹⁾ における変質帯の分布は (a) に相当するものであり、岩手県松川¹⁰⁾ およびニュージーランドのワイラケイ地方⁹⁾ ではむしろ (b) の型に属する変質帯の構成を示している。

いま述べた (a)、(b) 両型の噴気地帯が、さらに時間の経過に伴い地下水の影響をうけ、噴気地帯から温泉地帯へ移行した場合の状態を示したのが第2図 (a)' および (b)' である。(a)' では中心ほど Cl⁻ 含量が高く、外側に移るほど Cl⁻ が遞減するのに対して、(b)' では中心ほど Cl⁻ が少なく、外側ほど逆に Cl⁻ が増大する。前者の例はすでに述べた恐山、万座、立山を始め Cl⁻ 含量の高い酸性泉がこれである。また、一般の温泉地帯でも伊豆修善寺、吉奈、湯ヶ島¹⁰⁾ 等の中心ほど Cl⁻ 含量の高い温泉は、本質的に (b)' の型と同じ性質のものと考えられ、伊豆古奈長岡温泉¹⁰⁾ のように外側に移るほど Cl⁻ 含量が増加し、かつ温泉の分布範囲の広い地帯は、(b)' の型をあらわすものとみることができる。

以上で、火山ガスないし噴気ガスの行動が地域的な地質状況の違いによつて、基本的な2つの型に分た

* 註 地下水が火山性ガスと接触することによつて温泉化する作用を指す。

れ、しかもその各々の型は、温泉水の Cl' 含量の分布に規則性を与えることについて述べた。噴気地帯における2つの型の存在は、火山地帯温泉の基礎として重要な意味をもち、変質帯をもたぬ一般の温泉についても、 Cl' の分布と地質構造との間に関連のあることを示しており、火山地帯温泉の地域性に関する事柄だけでなく、地熱開発あるいは温泉探査等の面においても基礎的な問題を提供するものである。

2, 地域的な温泉水の化学性

火山地帯温泉がその存在する場所の違いよつて、どのような化学成分の相違を示すかという問題は、いわば火山地帯温泉の地域性に繋る大きな課題の1つである。勿論、この地域性の問題は、たんに化学的性

第3図 秋田県秋の宮・皆瀬温泉分布図

第4図 秋田県秋の宮・皆瀬温泉群ミリ当量数比較図

質の面だけでなく、この化学性に繋りをもつ構造的な要素も含まれることはいふ迄もない。構造的な問題については、他の機会に取り上げる予定にしているので、ここでは、火山地帯温泉の中から代表的な2, 3の例を選び、地域的な化学性の変化を検討してみることにする。

なお、冒頭で触れたように、火山地帯温泉といつても、その存在する場所によつて、化学性は比較的多様である。然し、この問題は、結局、噴気ガスと地下水との相対的な接触関係によつて支配されるものであり、特に、温泉水における Cl^- の量的な変化は、この問題の解析に極めて大きな役割を果すものである。従つて、以下述べようとする2, 3の地域についても、主に Cl^- の量的な変化とそれに対応する成分的特徴に焦点をしばり、地域的な温泉水の化学性の問題に触れてみることにする。

第3図は、秋田県雄勝地方に所在する秋の宮および皆瀬温泉群の分布を示したものである。この図から明らかなように、この地域の温泉群は、中心に川原毛、泥湯、柳湯、荒湯等の噴気地帯およびそれに伴う温泉があり、その外側に鷹の湯、湯の岱、小安、大湯等の温泉地帯がある。地域的に、これらの温泉がいかなる性質をもつかという点を検討するため、中心から外側に向つて成分相互の関係を比較すると第4図および第3表の通りである。

第3表 秋田県秋の宮・皆瀬温泉群化学成分表 (単位 mg/l)

分析: 前田憲二郎

		水温 (°C)	pH	H ₂ S	Cl'	SO ₄ ''	*M.Oアルカリ度 ミリ当量/l	Na·	K·	Ca··	Mg··	Al···	Fe··	Fe···	H ₂ SiO ₃
秋の宮温泉群	鷹の湯	84	7.2	1.1	718.1	24.7	1.60	407.2	48.1	25.1	0.7	1.0	1.5	0	162.5
	湯の岱	70	7.2	0.5	622.3	23.9	1.20	366.3	32.2	32.2	0.7	1.0	1.5	0	114.4
	荒湯(1)	97	3.2	1.0	16.0	151.4	—	4.3	0.8	9.1	3.3	3.0	13.0	0	89.7
	〃(2)	95	3.0	1.0	16.0	54.3	—	3.9	0.5	6.0	2.2	0.2	0.6	0	45.5
	湯の又	47	6.8	0.8	16.0	0.1	6.53	127.1	3.9	26.1	0.9	0.8	2.5	0	159.9
皆瀬温泉群	小安滝向	80	8.0	2.0	213.7	107.8	1.12	151.5	13.2	21.1	0.7	0.5	1.5	0	213.2
	〃元湯	60	6.6	3.4	33.7	15.6	0.92	13.8	2.4	9.1	0.7	1.5	5.0	0	15.6
	〃湯元	54	6.5	0.8	16.0	11.5	0.30	13.8	2.4	7.0	1.1	1.5	5.0	0	16.9
	大湯(1)	100	8.4	8.7	222.5	106.2	1.80	190.8	14.8	8.0	0.7	0.6	1.3	0	254.8
	〃(2)	99	8.6	4.1	301.4	143.2	1.40	247.4	19.1	9.0	0.7	0.5	5.0	0	425.1
	棚湯	92	3.2	1.5	14.2	44.4	—	5.5	0.2	5.0	3.1	1.3	6.0	0	16.9
	泥湯 (川端湯)	99	4.5	34.1	273.9	128.4	—	93.2	20.9	58.3	34.3	2.5	3.0	0	157.3
	〃(上湯)	74	2.3	0.5	44.3	415.6	—	4.3	0.2	17.1	10.3	8.4	26.0	0	167.7
川原毛	92	1.2	0.5	1296.9	957.2	—	62.2	45.2	134.7	137.0	100.6	72.6	0	330.2	

単位 mg/l * この値に 61 をかけたものが一般に HCO₃' として表現されている。

第4図から明らかなように、中心から外側へ向つて温泉水の液性は酸性から中性ないしアルカリ性に変化する。次に、各成分の分析値をミリモル数に換算し、各々の温泉における量的な関係を比較してみると、第4図(D)のようになる。この図をみて、先づ注目を引くのは川原毛温泉についてである。この温泉は pH 1.2 という強酸性であり、著量の Cl' と SO₄' で特徴づけられる。そして、陽イオンのミリモル数の合計が Cl' だけのミリモル数に及ばないことから判断して、川原毛の温泉は初生的に遊離塩酸および硫酸を含有するとみなすことができる。いゝかえると、川原毛の強酸性泉は地下水が、地下浅所で HCl および SO₂ などを含むいわゆる火山ガスと接触し、水中に溶解した HCl および H₂SO₄ がなお、中和されるに至らぬうちに湧出したものである。この種の温泉は、火山地帯温泉の多い我国でも例が少なく、僅かに秋田県玉川¹¹⁾、富山県立山地獄谷等で知られているに過ぎない。このように、川原毛温泉は、その生成の場からいつて、火山地帯温泉の中でも最も浅い相を代表するものであり、秋の宮・皆瀬温泉群においても火山作用の中心地域に相当することを示している。

前述のように、川原毛温泉における特徴は、Cl' に対してアルカリ金属のミリモル数が極めて少ないことである。これに類する型は、泥湯、鷹の湯、湯の岱等であり、これに対して小安滝向、大湯等では全く対蹠的にむしろ Cl' に対するアルカリ金属のミリモル数が遙かに過剰な値を示す。

いま挙げた対立的な2つの型は、必然的に SO₄' と Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ との関係にも繋りをもつ。すなわち、前者の型は SO₄' のミリモル数に対して、Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Al⁺⁺⁺ 等の合計が遙かに過剰であり、後者では逆に SO₄' のそれより低い値を示している。

温泉水の間でみられるこの2つの型がいかなる原因によるかという問題に関連して、先づ考えられることは初生的な温泉水の酸性度の問題である。川原毛の温泉が塩酸と酸であることは既に述べたが、各温泉における初生的な酸性度も川原毛の場合と同じように、深部で火山ガスと接触し温泉化した地下水中の HCl の濃度によつて支配されるものと思われる。このように考えると、泥湯の川端湯、鷹の湯、湯の岱等のように、比較的 Cl' 濃度の高い温泉は、基本的に川原毛の温泉と同じように、酸性の状態から始つて接

蝕岩層から岩石成分を溶出させ、各々類似の進化系統を辿って湧出したと考えられる。勿論、現在、湧出口で測定される pH の値は初生的な温泉水のそれではなく、温泉化した地下水が地表へ湧出する迄の距離と時間によつて異なる。すなわち、その温泉水がなお、 HCl および H_2SO_4 を含むか、これらの強酸が中和され CO_2 の溶存と HCO_3^- の生成が許される状態にあるか、あるいはまた、さらに進化して CO_2 が全く HCO_3^- に置き換えられるかによつて、液性も酸性から中性およびアルカリ性の方へ動くことになる。泥湯、鷹の湯、湯の岱等における pH は、現在 CO_2 を溶存することによるものである。

一方、小安滝向および大湯における陰、陽イオンの量的な関係をみると、上述の各温泉とは異り、明らかに Cl^- に対してアルカリ金属のミリモル数が過剰である。なぜこのような状態をとるかという点については、一応次のように考えることができる。すなわち、前者の諸温泉に比べ、これらの温泉の Cl^- 含量が比較的少ないことから推察すると、深部で温泉化した地下水の酸性度は比較的低く、このため地表へ湧出する迄の間に、前者より相対的に結合関係がさらに進化した状態をとるということである。事実、温泉の液性はアルカリ性であり、硫化物の一部は水硫化物の形をとつて溶存する。そしてこの場合 HS^- は一般にアルカリ金属と結合しやすい傾向があるので、第4図の(D)をみても、滝向、大湯では SO_4^{2-} の含量に比べ、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} のミリモル数が比較的小さく、結果的に SO_4^{2-} の増大に伴い、アルカリ金属もまた増加を来したことが判る。いゝかえると、滝向、大湯における SO_4^{2-} およびアルカリ金属の増加は、アルカリ金属の水硫化物が地表近くで酸化され、2次的に水硫化物がアルカリ金属の硫酸塩になり、総体的にみて、 Cl^- に対してアルカリ金属のミリモル数が過剰となつたと解釈されるのである。

以上述べたのが秋の宮・皆瀬温泉群の概略であるが、その諸性質を綜括すると、次のように要約できる。すなわち、この地域の中心にある川原毛、泥湯、栴湯、荒湯などは地表ないし地表近くになお噴気が存在し、噴気地帯に伴う温泉のみならず、その外側にある鷹の湯、湯の岱、湯の又、大湯、小安等の温泉地帯においても、温泉水の諸性質が、地下水と潜在噴気との相対的な深度差に関連をもつことによつて、地域的に火山地帯温泉としての体系を整えているということである。

秋の宮・皆瀬温泉群の実例は、一地域内に遊離塩酸を含む強酸性の温泉に始つて、アルカリ性の温泉まで存在する多様な温泉水の相互関係を示している。然し、地域的になお、次のような化学性をもつ温泉がある。例えば、群馬県万座温泉⁶⁾ もまた、我国における代表的な火山地帯温泉の1つであるが、この地域の温泉水は、かなりアルカリ金属の量が多いが(第5図)、液性はなお pH 1.7 という酸性である。すなわち、第5図の陰陽イオンの成分含量比較図から判るように、アルカリ金属の含量は Cl^- とほぼ当量か、あるいはむしろ過剰の傾向にあり、川原毛の場合に比べアルカリ金属の含量が著しく増大していることを示している。なおこの地域は、中心ほど Cl^- 含量が高く、側方に移るほど含量が遞減する典型的な地域である。また、次の例として、鹿児島県霧島地方の温泉群⁷⁾ の中から丸尾温泉をとり上げ、その性質を述べると次の通りである。霧島地方における噴気・温泉の分布は、かなり広い範囲を占めており、丸尾温泉はその一部であるが、こゝは噴気・温泉の共存地域であつて、変質帯の中心に噴気露頭があり、その外縁に温泉が存在する。温泉水の化学成分をみると極めて Cl^- 含量の少ないものが中心近くにあり、外方に向うほど Cl^- 含量が増大し、同時に Cl^- と HCO_3^- との間に負の相関関係がある。この地域の温泉は pH 6.3~7.9 の間にあり、 HCl および H_2SO_4 は何れも中和され、pH に影響を与える因子は CO_2 の溶存によるものである。いゝかえると、同じ変質帯の中から湧出する温泉でもこの地域の温泉は、殆ど遊離強酸を含まず、従つて温泉水中に CO_2 および HCO_3^- の溶存を許すほど前二者に比べ、さらに進化した状態にあることを物語っている。

温泉の中には HCO_3^- と共存状態にある CO_2 が殆ど消費されたため、炭酸塩の加水分解、あるいは水硫化物の存在等によつて液性がアルカリ性を示すものがある。前述の秋の宮・皆瀬温泉群における小安滝向、大湯温泉はこの例に相当する温泉であつて、分布の上からみると、このアルカリ性の温泉は分布地域の最も外側に位置を占める場合が多い。

上で挙げた幾つかの例は、火山地帯温泉の中で特に変質帯を伴うものの中から選り出した例であるが、いま説明したように同じ変質帯に伴う温泉水の場合でも、場所によつて比較的多様な化学性を示している。然し、系統的に温泉水の成分変化を組立てみると、この化学成分の多様性は、結局、火山ガスないし噴気ガスの流動状態と、それに接する地下水の相対的な滲透深度に関連があり、さらにいわゆる熱源の深さという要素が、いわゆる火山性エマネーションの化学性に大きな影響を与えていることを知る。火山活動の生じる深さという面からみると、火山地帯はいわば最も浅い場を代表するものであり、従つて、火山地帯温泉の地域性も、結局、この浅い熱源の存在で支配され、比較的多様な化学性で特徴づけられるとみなされるのである。

総 括

(1) 我国の温泉は新期火山に伴う火山地帯温泉と、高鹹泉で特徴づけられる油田地帯温泉、第三紀火山岩および半澱成岩地帯温泉、花崗岩地帯温泉

(2) 火山地帯温泉の地域性を考察するための基礎として、次の幾つかの項目をあげることができる。すなわち (i) 火山ガスと噴気ガスの成分的相違 (ii) 噴気地帯に伴う温泉水の型 (iii) 温泉化作用における Cl' 固定帯の設定 (iv) 温泉水の Cl' 含量とその規則性等である。

(3) 先づ火山ガスと噴気ガスとの間でみられる成分的相違であるが、一般に火山ガスは塩化水素(HCl)の存在で特徴づけられ、これに対して噴気ガスは硫化水素(H_2S)、炭酸ガス(CO_2)等の弱酸性のガス成分を主体とする。この両ガス成分における HCl の消長は、火山ガスの流動によるものであり、この関係は、温泉水における Cl' の消長という問題にも関連がある。

(4) 噴気地帯に伴う温泉水には、 Cl' 含量に乏しいものと Cl 含量で特徴づけられるものとの2つの型がある。(3)で述べた現象にも関連して、噴気地帯における2つの型の存在は火山ガスないし噴気ガスの流動と、それに接する地下水の滲透深度の違いに繫りがある。

(5) 噴気地帯に伴う温泉に、上述の2つの型が存在するのであれば、岩漿からのエマネーションの中に含まれる HCl は、その上昇過程で、直接地下水に吸収されるだけでなく、熱化学的因子として接触する岩層に働き、蒸気あるいは気相圏内であつても難揮発性の塩化物として固定される管である。すなわち、噴気地帯のある深さに、いわば Cl' 固定帯といふものゝ存在が設定される所以である。

(6) 変質帯に伴う温泉水の Cl' 含量の分布には2つの型式がある。1つは中心ほど Cl' 含量が高く、外側に移るほど逓減するものであり他の1つは、中心ほど逆に Cl' 含量が低く、外側ほどむしろ増大する場合である。この現象は、火山ガスないし噴気ガスとそれに作用する外圧との関連によるものとみなされるが、その何れの型をとるかについては、その地域の地質状況にも繫りがある。すなわち、前者は、節理、裂隙等の発達した地域に附随するのに対して、後者に比較的割目の少ない岩層に被われた地域にみられるのが一般である。なお、変質帯の構成という面からみると、前者では中心より外側に向つて変質の程度が微弱になるのに対して、後者の地域では、むしろ層状に変質の度合を変えて行く傾向がある。

(7) 火山地帯の地域的な温泉水の化学性を示す例として、秋田県秋の宮・皆瀬温泉群の場合をあげたが、この地域には pH 1.2 という塩酸々性で特徴づけられる川原毛温泉に始つて、 pH 8.6 の大湯温泉に至るまでの多様な温泉が存在する。然し、系統的に温泉水の成分変化を組み立てみると、この化学成分の多様性は、結局、火山ガスないし噴気ガスの流動状態と、それに接する地下水の滲透深度に関連があり、さらにいわゆる熱源の深さという要素も火山性エマネーションの化学性に大きな影響を与えていることが判る。火山地帯は最も浅い火山活動の場であり、従つて火山地帯温泉の地域性も、この浅い熱源の存在に支配され、比較的多様な化学性で特徴づけられるとみなすことができる。

文 献

- 1) 野口喜三雄, 上野精一: 大分県別府白竜噴気孔の化学成分, 工技庁地熱発電試験研究報告書(第一集), 1952(昭 27)
- 2) 中村久由, 安藤武: 大分県大岳地熱地帯調査報告—特に 変質帯と 噴気温泉との 関係について—, 地調月報, 5 卷 8 号, 1954(昭 29)
- 3) 地熱グループ: 宮城県鬼首地熱地帯の基礎的研究, 近刊
- 4) 地熱調査班: 鹿児島霧島地熱地帯調査報告, 地調月報, 6 卷 10 号, 1955(昭 30)
- 5) 中村久由, 前田憲二郎, 鈴木孝: 秋田県秋の宮・皆瀬温泉調査報告, 地調月報, 6 卷 11 号, 1955(昭 30)
- 6) 中村久由, 比留川貴: 群馬県万座温泉調査報告—特に 変質帯と 噴気・温泉との 関係—, 地調月報, 8 卷 1 号, 1957(昭 32)
- 7) 地熱調査班: 宮崎県海老野地熱地帯調査報告, 地調月報, 6 卷 10 号, 1955(昭 30)
- 8) 角清愛: 岩手県松川地熱地帯地質調査報告, 地質調査所受託調査資料
- 9) A. Steiner: Hydrothermal Rock Alteration at Wairakei, New Zealand. Econ. Geol. Vol. 48, No. 1, 1953
- 10) 静岡県衛生部編: 静岡県伊豆地方温泉調査報告, 静岡県衛生部, 1957(昭 32)
- 11) 野口喜三雄, 上野精一: 玉川温泉調査報告, 玉川温泉研究十週年誌, 1954(昭 29)