

総 説

温泉の化学成分

東京都立大学名誉教授 野口喜三雄

Chemical Constituents of Hot Springs

Kimio Noguchi

Professor Emeritus of Tokyo Metropolitan University

1. 結 言

温泉は通常その湧出地の地下水より温度が高い湧水であるが、水温が高いばかりでなく、普通の地下水や地表水即ち川水と比較すれば種々の化学成分に富んでいる。然し海水と比較すると温泉は概してこれより塩分含量が少く海水より多いものとしては日本では僅に兵庫県有馬温泉¹⁾ 唐櫃鉱泉¹⁾ 長野県の一里塚鉱泉¹⁾ など若干あるに過ぎない。

ソ連のモスコウの温泉療養所では深さ2000mを越える深井戸から地下に埋蔵された岩塩を溶解した水と推定される極めて塩分の多い水(これを嘗めてみた処暫くの間舌の感覚を失って了った程である。)をポンプで汲み上げて水で薄めて飲泉療法や入浴に利用していたが、日本にはこのような濃い塩水はない。一般に温泉は火山地方に多いことは明らかであるから温泉を火山即ち岩漿と関連させて考える事は最も妥当であろう。

2. 化学成分の由来

2.1 静岡県修善寺温泉

通常の温泉例えば静岡県修善寺温泉について見ると筆者の昭和16年の測定であるが、当時修善寺には温泉水を入浴に利用するため堀サクした井戸が約20個あり、これら並に通常の浅井戸4個について水温並に化学成分を調査したところ第1, 2, 3 図²⁾に示す結果が得られた。これらを見ると明らかにClと蒸発残渣、SO₄と蒸発残渣の間には正の直線関係が成立する。また第1 図より温度が上昇するとpHが増す。従ってCl, SO₄, 蒸発残渣に富むアルカリ性の熱水が地下深部から上昇しこれが浅所で、これらの含量の少い中性附近の地下水で種々の割合に薄められることによって、各温泉井戸の水質が決定されていること、即ち2成分系であることが判明した。このような温泉を熱水型温泉といえる。セキレー荘の井戸は桂川の上流に位し修善寺温泉の中心部から地理的にかなり離れているため、修善寺温泉を形成する熱水が分離して上昇する途中通路の岩石によって若干変質したものと想像される。修善寺温泉は熱水に伴うガス即ち温泉ガスが主として窒素からなるため岩石に対する腐蝕力が弱く、このような綺麗な正の直線関係が成立するが、群馬県伊香保温泉のように多量の炭酸ガスを伴う温泉では、成分間に正の直線関係が成立してもかなり点のばらつきが見られる。このことは熱水中に含まれる炭酸ガスが、通路の岩石と反応して岩石中のFe, Ca, Mg, Mnその他が溶出することに基因するであろう³⁾ 修善寺温泉では湯を各旅館へ分湯する計画で6寸の深井戸をいくつか堀サクした。何れも鉄管は入口だけで内部は挿入さ

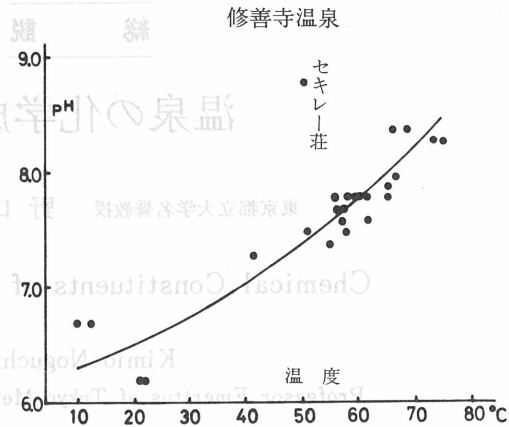
れていない。又これらの井戸は何れも自噴しない。北原式採水器を用いて井戸内の化学成分の垂直分布を調べた結果を第4₁、4₂図及び5図に示した。1号井においては堀サク100mであるが鉄管の口から深さ5mに水面があり、10m間隔で採水し分析した結果、深さ25mまでは水温並にSO₄、Cl、蒸発残渣等の含量が深さと共に急激に上昇し、それより深くなると温度はほぼ一定となり、又SO₄、Cl、蒸発残渣等の含量もほぼ一定となる。但し蒸発残渣は深さ85mで稍増大している。

第4図に示す結果よりこの井戸では、深さ5mから25mの間に多量の地下水が存在し、熱水と地下水の混合が起っているが25mより深い所では地下水の混入がないことが判る。次にII号井についての調査結果を第5図に示した。この場合は堀サク深度は50mである。深さ2.5mに水面があり、始めは2.5m、次いで10m間隔で採水して分析した。

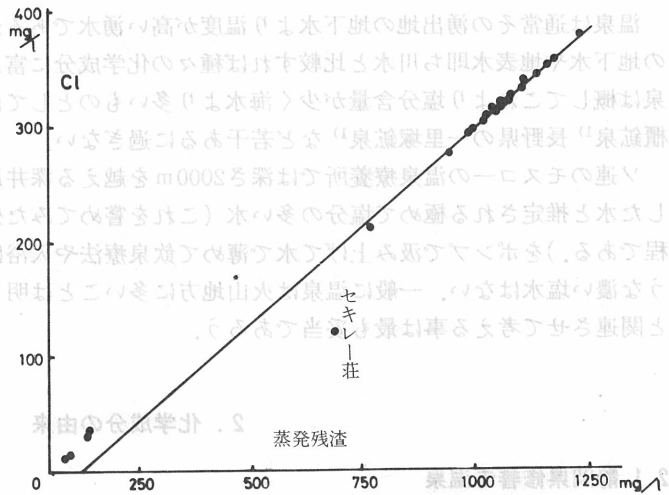
第5図を見ると深さ5mにて熱水に富む水が湧出して、60℃を示し、20mでは逆に地下水に富む水が湧出して41℃まで下り、50mでは再び熱水に富む水が湧出して64℃まで上昇した。

pH、Cl、SO₄は何れも温度とほぼ平行して変化した。深さ5mにて湧出する高温の熱水は地中の割目を上昇して比較的地下水と接触せずに、浅所まで上昇したものと想像される。

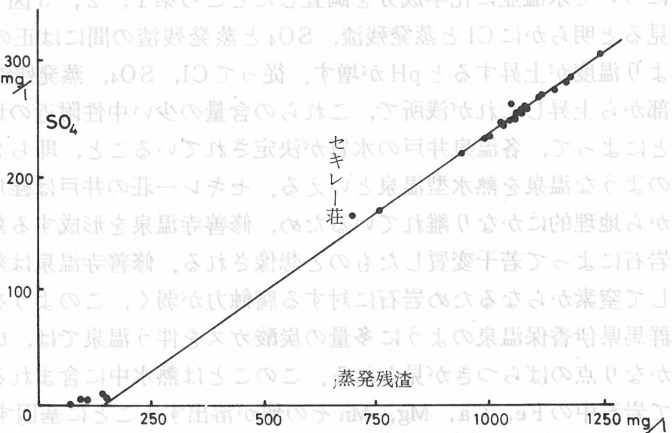
次に修善寺温泉観音洞堀サク井戸における化学成分の垂直分布を第6図に示した。この場合はボーリングの深さ180m、水面の深さ8mである。水温は深さ8mにては



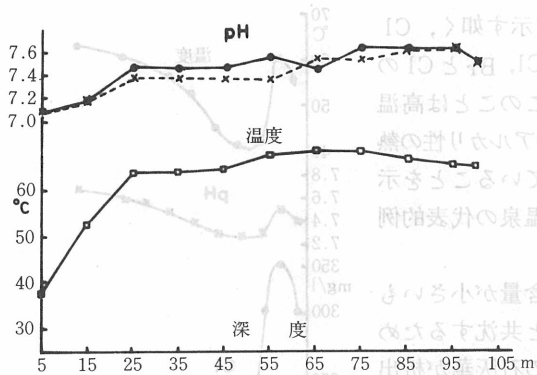
第1図 修善寺温泉における水温と pH との関係



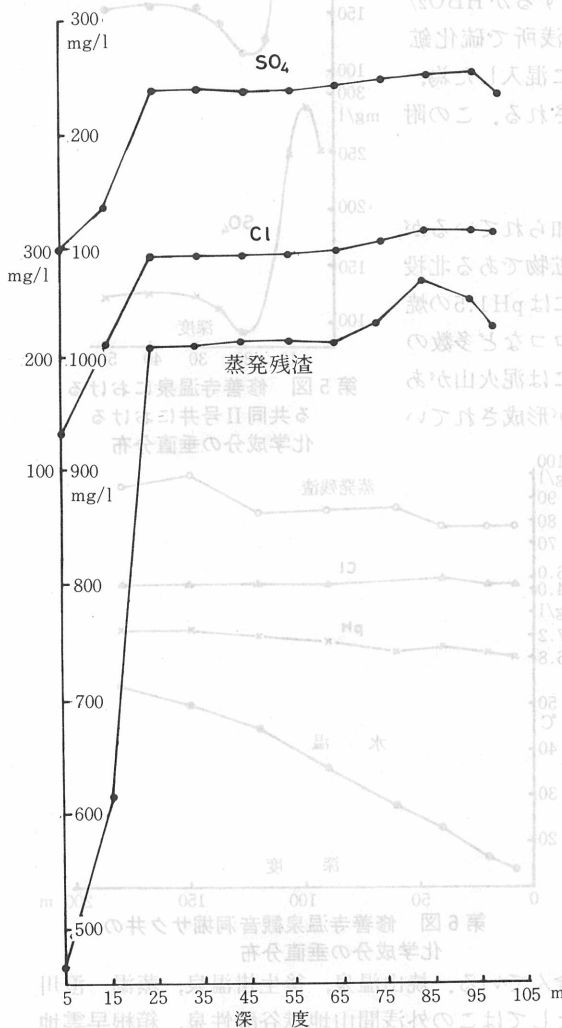
第2図 修善寺温泉における Cl と蒸発残渣の関係



第3図 修善寺温泉における SO₄ と蒸発残渣の関係



第4.1図 修善寺温泉共同1号井における化学成分の垂直分布



第4.2図 修善寺温泉における共同1号井における化学成分の垂直分布

13.8℃を示し、この地域における通常の地下水の温度を示すが、これが深さと共に上昇し、深さ180mでは54.0℃を示した。一方pHは8mにて6.8を示すが、深さと共に稍増大し180mでは7.3を示した。又、Clは8mにて4.7mg/lを示すが深さを増しても殆ど一定で180mにて5.1mg/lを示すに過ぎない。

蒸発残渣は8mにて78.4mg/lを示すが深さと共に稍増大し深さ180mにて95.6mg/lを示すに過ぎない。要するにこの場合は地下水に熱水は混入せず地下水が岩石を伝わる伝導熱で温められたと推定されるもので、その化学組成は通常の地下水と大差ない。即ちこれを地下水型温泉と呼ぶことが出来る。修善寺温泉は明らかに熱水型温泉であるがその中心部から離れた処にこのような地下水型温泉が存在することは注意すべき現象であろう。尚地下水型温泉は25℃の長野県春日湯沢温泉⁴⁾のほか群馬県伊香保温泉にても熱水型温泉の周辺に見られる。

2.2 長野県山の内温泉群

長野県山の内温泉群には湯田中、安代、洗、地獄谷、角間等の温泉が含まれ水温最高98℃を示す高温の温泉群であるが、湧出地域の長さは約5kmに及んでいる。温度の分布を第7図に示す⁵⁾。

そのうち最高温度を示す湯田中4号の組成を第1表⁵⁾に示した。

第1表 山の内温泉湯田中4号井の化学組成

昭和42. 5. 3 測定

水温	98℃	アルカリ度	1.07meq/l
pH	8.4	(メチルオレンジ)	
Na	228 (mg/l)	遊離炭酸(CO ₂)	0 (mg/l)
K	49 (")	H ₂ S	1.6 (")
Li	0.217(")	HBO ₂	92.7 (")
Ca	33.9 (")	Cu	0.002(")
Mg	18.3 (")	Zn	0.028(")
Fe	0.02 (")	V	<0.001(")
Mn	0.11 (")	As	1.22 (")
SO ₄	211 (")		
Cl	648 (")		
pn	2.92 (")		
I	0.51 (")		

山の内温泉群は第8, 9, 10, 11, 12, 13図に示す如く, Clと水温, ClとNa, NaとK, FとCl, HBO_2 とCl, BrとClの間に何れも明らかに正の直線関係が成立する. このことは高温度のCl, Na, K, F, Cl, BHO_2 , Br等に富むアルカリ性の熱水に地下水が混入して各源泉の水質が形成されていることを示すもので二成分系である. これらは即ち熱水型温泉の代表的例である.

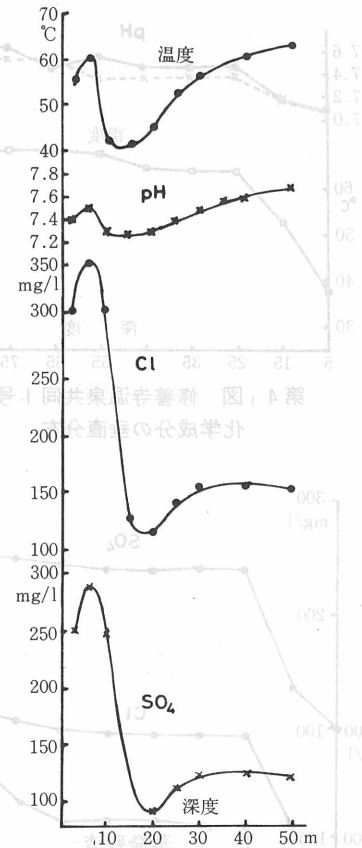
第11図にては沸騰泉ではCl含量に比較してF含量が小さいものが若干あるが, これらはFが炭酸カルシウムと共沈するためと想像される. 実際にこれらの噴出孔には多量の石灰華が析出している.

又, 山の内温泉群の中で荒井河原附近の源泉のみ弱酸性で, pH4.0, 水温56.7°C, Cl 167mg/l, SO_4 416mg/lを呈するが HBO_2 /Cl比は他の温泉水と一致することを考慮すれば浅所で硫化鉱が酸化されて生じた硫酸が地下水にとけて熱水に混入した為, 弱アルカリ性の熱水が酸性に転じたものと推定される. この附近の岩石には黄鉄鉱の結晶が相当含まれている.

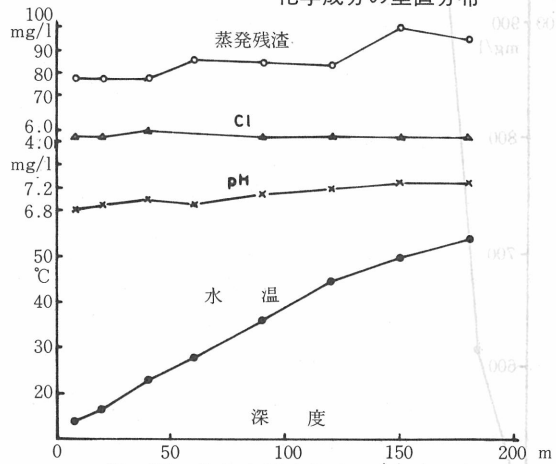
2.3 秋田県焼山附近の温泉

秋田県焼山は時々水蒸気爆発を起こすことで知られているが, その山麓にはpH1.3の強酸性泉として又放射性鉱物である北投石の産地として著名な玉川温泉の外, 山頂附近にはpH1.5の焼山温泉, 山麓には後生掛, 蒸, 澄川, 赤川, トロコなど多数の温泉が存在する (第14図参照). 特に後生掛温泉には泥火山があって噴気で泥を吹き上げ, 1~1.5mの高さの塔が形成されている.

これらの温泉について SO_4 含量を縦軸にCl含量を横軸に取って図示すれば第15図となり, I, IIの明瞭な直線関係が成立し, 温泉に2種類の系統があることがわかる. Iに属するものは大吹附近のCl, SO_4 の多い強酸性の熱水型温泉であり, IIは縦軸に重なり, SO_4 は多いが, Clは極めて少く通常の地下水と大差ない. 玉川温泉でも大吹きより上流の温泉はIIの型に属する. これらは噴気に地下水又は地表水が混入して温泉となったと推定されるもので, 噴気型温泉と呼ぶことが出来る.⁶⁾ 噴気型温泉の酸性は硫酸性であって噴気中に含まれる硫化水素, 二酸化イオウ等のイオウ化合物が空気で酸化されて, 生じた硫酸並にその硫酸が通路の岩石を溶解して生じた硫酸塩を多量に含んでいる. 焼山温泉, 後生掛温泉, 蒸湯, 澄川温泉, 赤川温泉等これに属する. 尚噴気型温泉としてはこの外浅間山地獄谷酸性泉, 箱根早雲地獄谷, 大湧谷等の酸性泉, 宮城県鳴子温泉の横屋酸性泉, 瀧湯, 妙の湯, 濁沼など多数知れている.

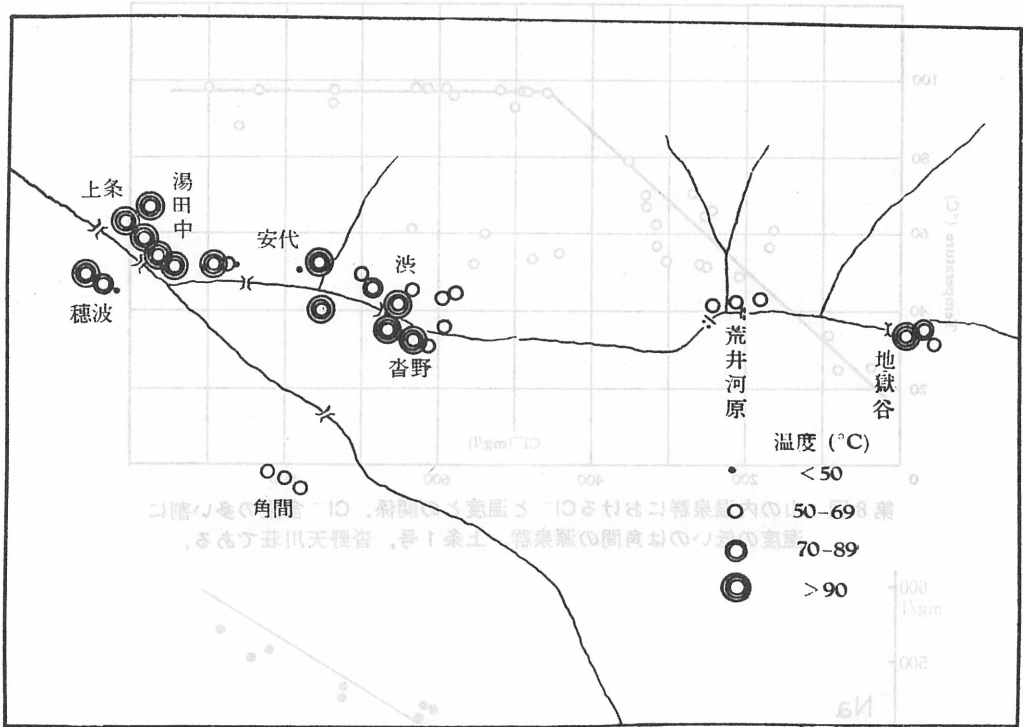


第5図 修善寺温泉における共同II号井における化学成分の垂直分布



第6図 修善寺温泉観音洞堀サク井の化学成分の垂直分布

焼山温泉, 後生掛温泉, 蒸湯, 澄川温泉, 赤川温泉等これに属する. 尚噴気型温泉としてはこの外浅間山地獄谷酸性泉, 箱根早雲地獄谷, 大湧谷等の酸性泉, 宮城県鳴子温泉の横屋酸性泉, 瀧湯, 妙の湯, 濁沼など多数知れている.



第7図 山の内温泉群における温度の分布

第 2 表

	後生掛温泉	上トロコ温泉	玉川温泉A5号泉	玉川温泉大吹
採水年月日(昭和)	27.10.18	27.10.16	27.10.19	27.10.17
温度 °C	約100	98	約100	97.3
pH	2.4	8.0	1.3	1.3
蒸発残渣(mg/l)	1027	1356	3084	2180
Na ⁺ (mg/l)	6.5	258	80	55
K ⁺ (mg/l)	2.5	22	46	31
Ca ⁺⁺ (mg/l)	20.1	17.8	132.0	99.2
M ⁺⁺⁺ (mg/l) g	18.0	0.1	59.8	42.1
Fe ⁺⁺ (mg/l)	33	0.0	91.6	62.4
Al ⁺⁺⁺ (mg/l)	39	0.0	167	118
Cl ⁻	1	299	3115	2382
Br ⁻	—	0.44	10.1	7.5
I ⁻	—	—	2.3	1.4
SO ₄ ⁻⁻	592	119	1547	1128
H ₂ SiO ₃	196	350	482	341
硼酸メタ(HBO ₂)	79	420	124	90
H ₂ S	1.8	—	0.5	1.6

トロコ温泉, 銭川温泉, 志張温泉, 鳩湯等は地形的に低い位置にあり弱アルカリ性温泉でSO₄とClの比がIの型に属する。

玉川温泉, 上トロコ温泉, 後生掛温泉の組成を第2表に示した⁶⁾

尚玉川温泉大吹についてはK及びNa含量がそれほど大きくない事, K/Na比が岩石の値や後生掛温泉の値に近い事, 湧水量が莫大であること等を考慮すると深部ではマグマから分離した高温の揮発性物質即ち水蒸気, HCl, SO₂, H₂S, CO₂, 硼酸, ヒ素化合物, フッ素化合物などを含むガス体として上昇し途中地下水と遭遇して熱水を形成し, 然る後盛んに周囲の岩石を腐蝕してラジウムなどを含む種々の金属成分を取り入れて遂に地表面に湧出したものと想像される。大吹より上流地域ではこの熱水から更に比較的水に対する溶解度の小さいH₂S, SO₂, CO₂その他が水蒸気と共に分離して上昇し, これに地表面附近

に対する溶解度の小さいH₂S, SO₂, CO₂その他が水蒸気と共に分離して上昇し, これに地表面附近

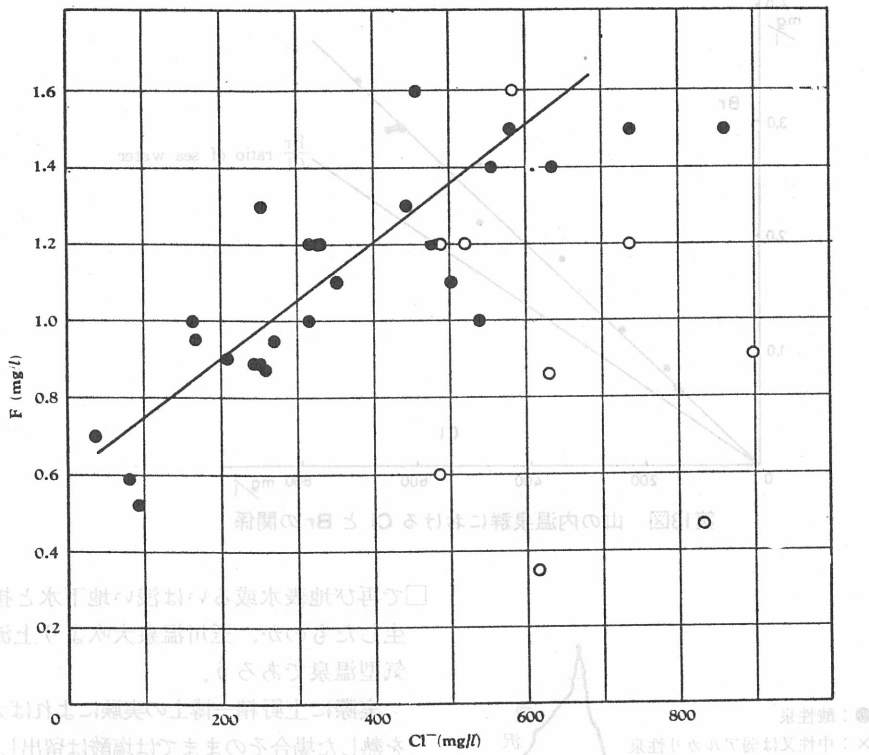
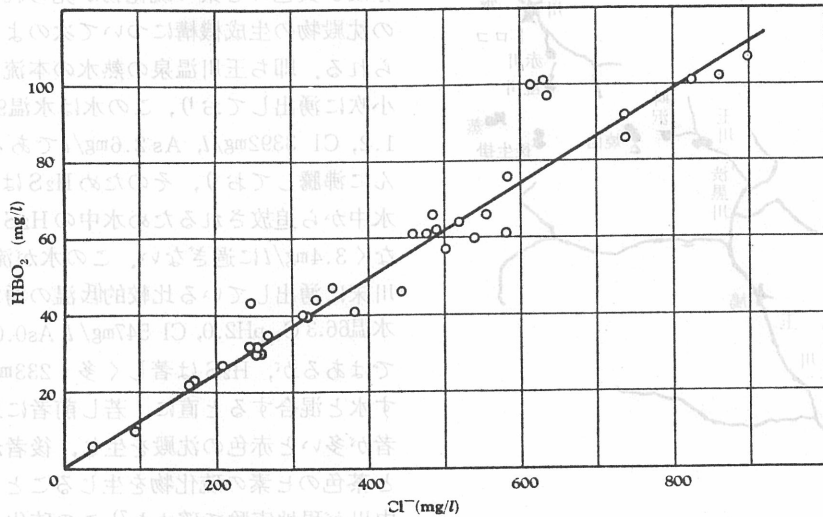
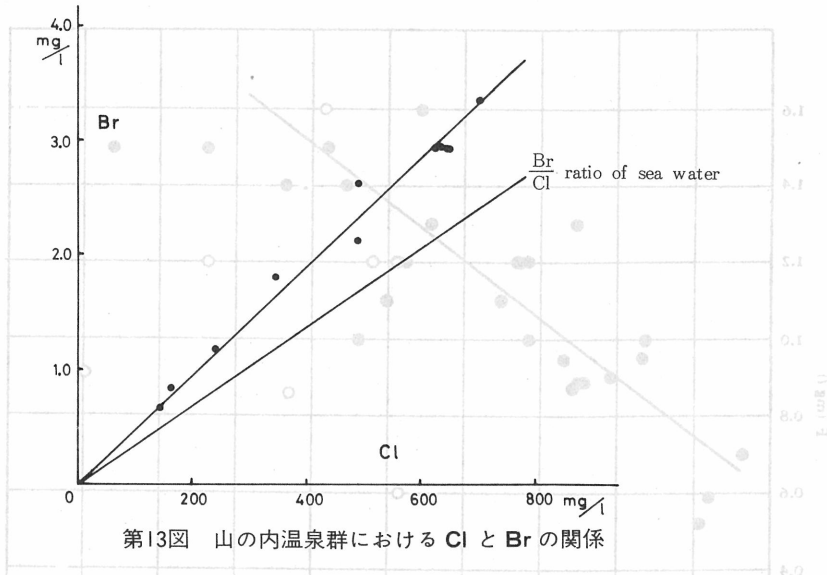


図11 山の内温泉群におけるFとCl⁻との関係。○：97℃以上の沸騰泉



第12図 山の内温泉群におけるHBO₂とCl⁻との関係



第13図 山の内温泉群におけるClとBrの関係

□で再び地表水或いは浅い地下水と接触して生じたものが、玉川温泉大吹より上流域の噴気型温泉であろう。

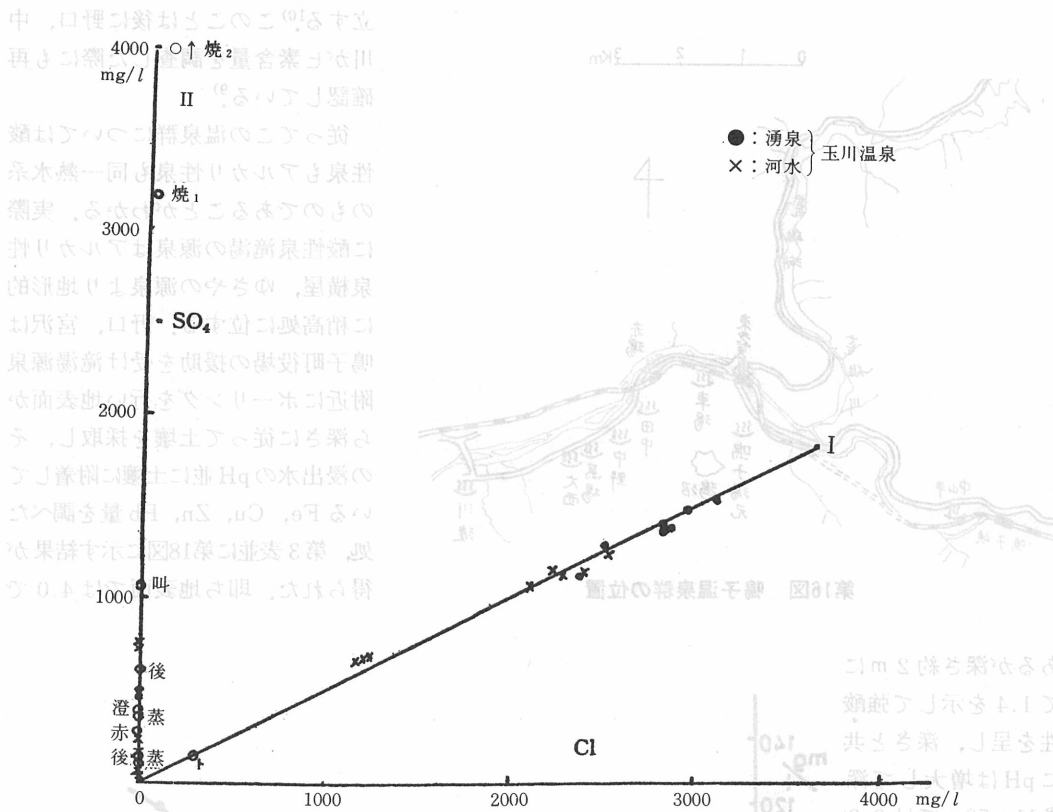
●：酸性泉
 ×：中性又は弱アルカリ性泉



第14図 焼山附近に於ける酸性泉及び中性又は弱アルカリ性泉の分布

実際に上野精一博士の実験によれば大吹の水を熱した場合そのままでは塩酸は留出しない。濃縮された場合始めて塩酸が留出するのを認めた。尚、又大吹の下流湯川の川床に多量の赤及び黄色のヒ素の硫化物が見られるが、この沈殿物の生成機構について次のように考えられる。即ち玉川温泉の熱水の本流が大吹、小吹に湧出しており、この水は水温98℃、pH1.2、Cl 3392mg/l、As 2.6mg/lであるが、盛んに沸騰しており、そのためH₂Sは水蒸気で水中から追放されるため水中のH₂S含量は少なく3.4mg/lに過ぎない。この水が流下して、川床に湧出している比較的低温の湧水、即ち水温66.3℃、pH2.0、Cl 547mg/l、As 0.003mg/lではあるが、H₂Sは著しく多く233mg/lを示す水と混合すると直に、若し前者に比して後者が多いと赤色の沈殿を生じ、後者が少ないと茶色のヒ素の硫化物を生じることを野口、中川が現地実験で確めた⁷⁾この硫化水素の多い水は熱水の本流から分れた支流であって、地下水が混入して薄まり温度の低下、Cl含量の減少を示すが、そのためこれに伴うガス相

は水蒸気が著しく減少するため結果的にはガス相の硫化水素や炭酸ガス濃度が高まることになり、



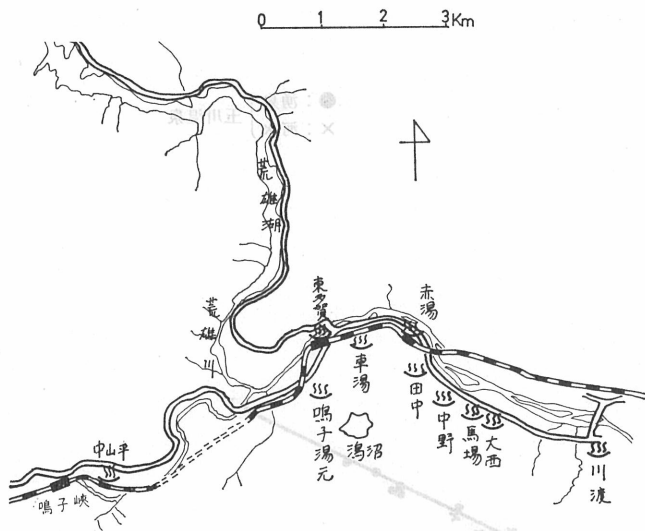
第15図 焼山附近における温泉中の Cl^- と SO_4^{2-} の関係

これが水にとけて233mg/lも H_2S を含有する水が生ずるのであろう。赤いヒ素の硫化物は鶏冠名ではなく、鉛を含んだヒ素の硫化物 As_2S_2 で、実際に実験室でヒ素の硫化物を少量の鉛と共沈させると赤色の硫化物が生じることを野口、中川が確めた。又、黄色物質も雄黄ではなくその組成は As_2S_2 で、古く湯川が流れた跡に見出される古い黄色沈殿物は組成が As_2S_3 でX線でも雄黄の結晶であることが判明した⁷⁾新しい黄色析出物が As_2S_2 であることは池田長生博士が那須湯本温泉元湯で発見した As_2S_2 と一致する。これらヒ素硫化物は青森県恐山温泉、群馬県萬座温泉にも見られる⁸⁾。アメリカの Yellowstone National Park の Crater Hills の Geysers のヒ素の多い水が約70mほど流下して硫化水素が噴出する直径約40cmの小さい窪地に流入すると赤色のヒ素の硫化物が生成されるのを目撃した。この場合窪地から水は湧出せず硫化水素のみ噴出していた。

2.4 宮城県鳴子温泉群

宮城県鳴子温泉群は湯元、車湯、赤湯、日中、馬場、川渡等の温泉からなり、その地域は長さ約6kmに及んでいる。(第16図参照)湯元には強酸泉としてpH2.3の滝湯、 H^+ 12.7mg/kgの源蔵湯(源蔵湯は最近乱掘のため涸渇して現在はない)*があり、アルカリ性泉としてpH9.8の横屋ウナギ湯、pH9.5の遊佐屋の湯等が僅10数mの近距離に存在する⁹⁾湯元や車湯の温泉は99~100℃を示すが、ここから遠ざかるに従い温度は低下し、川渡では最高57℃である。これらの温泉群について野口、上野の測定によれば第17図に示す如く HBO_2 と Cl^- の間に極めて明瞭な正の直線関係が成

* 現在源蔵湯の位置で所有者がボーリングで得たものは酸性泉ではなく中性泉である。



第16図 鳴子温泉群の位置

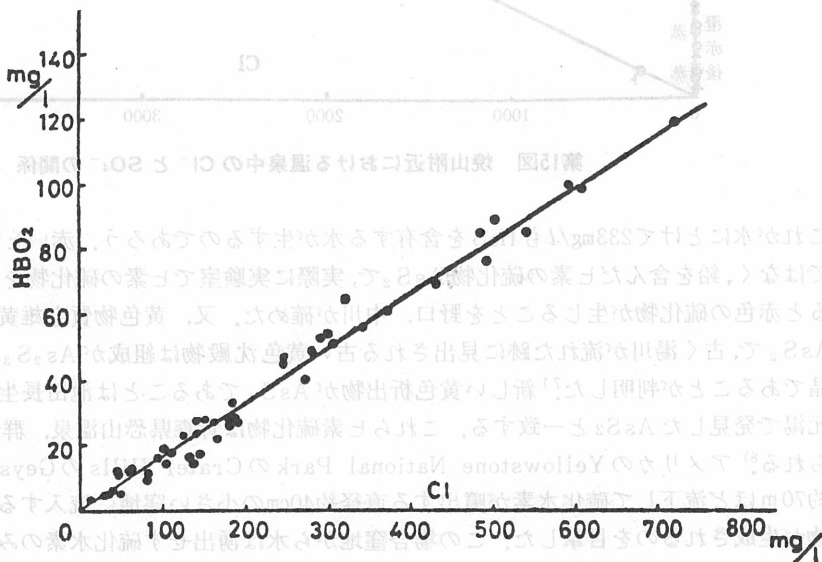
あるが深さ約2 mにて1.4を示して強酸性を呈し、深さと共にpHは増大して深さ11m50cmでは9.2を呈した。この事から硫化水素を多量に含み、塩化物、硼酸等に富む高温のアルカリ性熱水即ち横屋うなぎ湯(水温89℃, H₂S89mg/l, Cl 398mg/l), 遊佐屋の湯(水温99℃, H₂S 89mg/l, Cl 608mg/l)等で代表される熱水が鳴子温泉群を形成する熱水の本態で、

この熱水中に含まれる硫化水素が高温のため地表付近で分離して上昇し、これが空気で酸化されて硫酸を生じ、これに濁沼火山の浅い地下水が混入して湧出したものが滝湯、横屋裏の酸性泉であると考えられる。かく考察すれば鳴子の酸性泉は二次的成生物である。地質学者の中には濁沼の水が地中を通過して湯元で湧出して酸性泉滝湯となるとする意見もあるが、¹¹⁾濁沼のpHは当時pH1.9であったからこの土壌の深さ2 mにあるpH1.4を説明することは困難であろう。

尚、滝湯附近のボーリングは場所を少し変えて4本行った。その結果土壌のCu及びZn含量とpHとの関係は第19図の通りである。即ち銅についてはpH 3及び7附近に、亜鉛についてはpH 7

立する¹⁰⁾このことは後に野口、中川がヒ素含量を調査した際にも再確認している。⁹⁾

従ってこの温泉群については酸性泉もアルカリ性泉も同一熱水系のものであることがわかる。実際に酸性泉滝湯の源泉はアルカリ性泉横屋、ゆさやの源泉より地形的に稍高处に位する。野口、宮沢は鳴子町役場の援助を受け滝湯源泉附近にボーリングを行い地表から深さに従って土壌を採取し、その浸出水のpH並に土壌に附着しているFe, Cu, Zn, Pb量を調べた処、第3表並に第18図に示す結果が得られた。即ち地表面では4.0で



第17図 鳴子温泉群におけるClとHBO₂との関係

◎以前は水温101℃を示したが最近乱掘により温度が低下した。

第3表 滝湯上の土壌のpH及びFe, Cu, Zn, Pbの含量(1968.1.25 測定)⁷⁾

番号	深 度	温 度 ℃	pH	Fe ppm	Cu ppm	Zn ppm	Pb ppm
(1)	0 ~ 2 cm		4.0	0.6×10 ³	7.5	19	17
(2)	20 ~ 50		2.0	2.8	31	8	11
(3)	50 ~ 70		1.9	3.6	110	51	4.5
(4)	70 ~ 120	30.0	1.7	67	300	200	23
(5)	120 ~ 170		1.8	119	400	150	33
(6)	170 ~ 220	71.0	1.4	44	55	65	13
(7)	220 ~ 270		3.1	60	740	600	12
(8)	270 ~ 320	73	3.1	54	70	35	11
(9)	320 ~ 370		3.1	82	330	155	8
(10)	370 ~ 420	73	3.2	105	110	10	10
(11)	420 ~ 470		3.4	80	180	85	15
(12)	470 ~ 520	74	3.3	85	100	70	17
(13)	520 ~ 570		3.1	53	60	35	8
(14)	570 ~ 620	72	3.5	53	95	65	6
(15)	620 ~ 670		4.1	33	85	43	4
(16)	670 ~ 720	73	—	—	—	—	—
(17)	720 ~ 770		—	—	—	—	—
(18)	770 ~ 820	87	4.5	55	70	37	5
(19)	820 ~ 870		4.8	46	33	200	4
(20)	870 ~ 920		5.4	45	30	80	5
(21)	920 ~ 970		5.1	28	24	24	5
(22)	970 ~ 1020		6.7	72	65	75	4
(23)	1020 ~ 1070		5.1	54	48	35	7
(24)	1070 ~ 1120		6.2	53	25	170	4
(25)	1120 ~ 1150		9.1	50	47	110	6

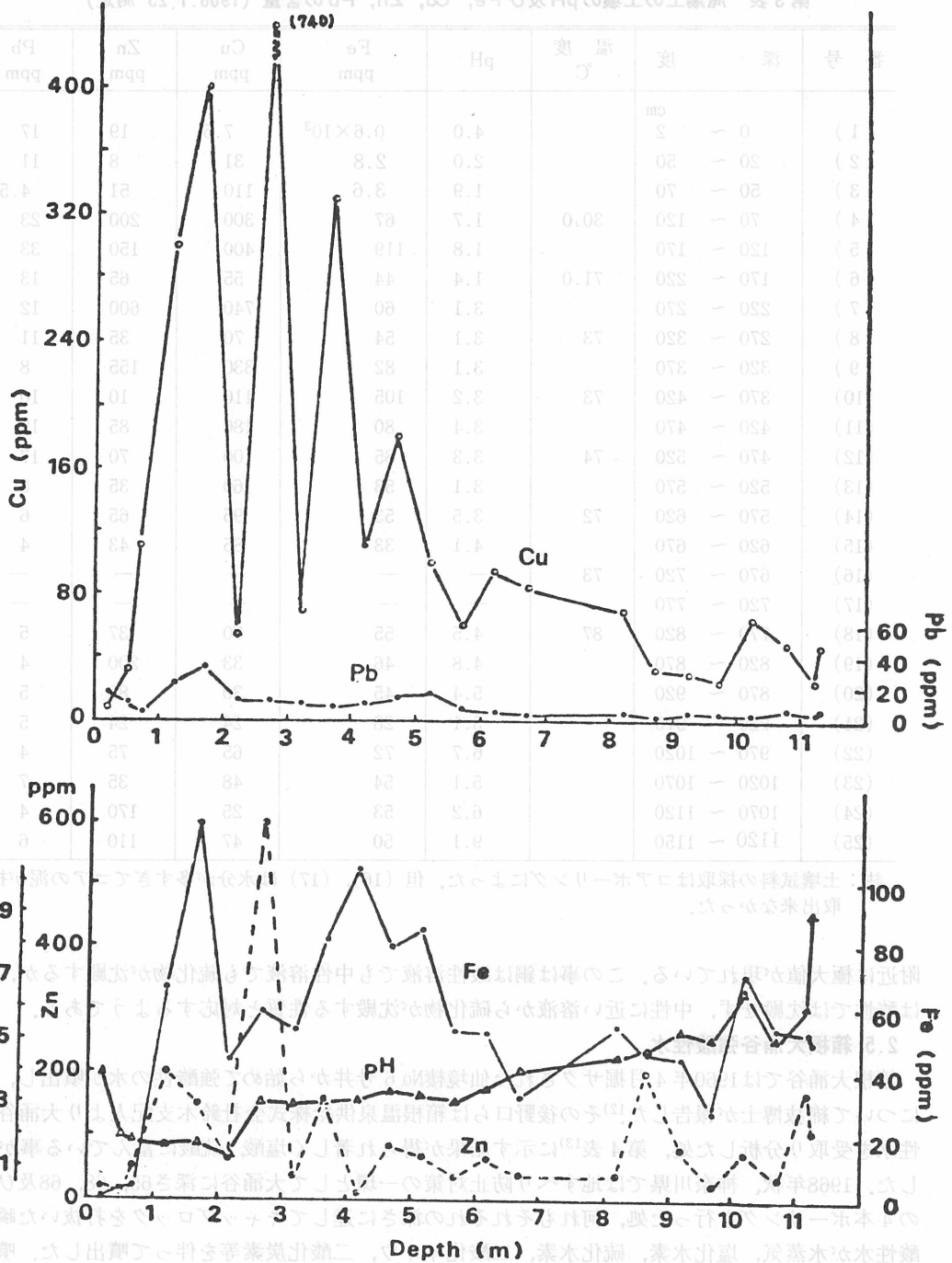
註：土壌試料の採取はコアボーリングによった。但(16)、(17)は水分が多すぎてコアの泥が採取出来なかった。

附近に極大値が現れている。この事は銅は酸性溶液でも中性溶液でも硫化物が沈殿するが、亜鉛は酸性では沈殿せず、中性に近い溶液から硫化物が沈殿する性質と対応するようである。

2.5 箱根大涌谷強酸性水

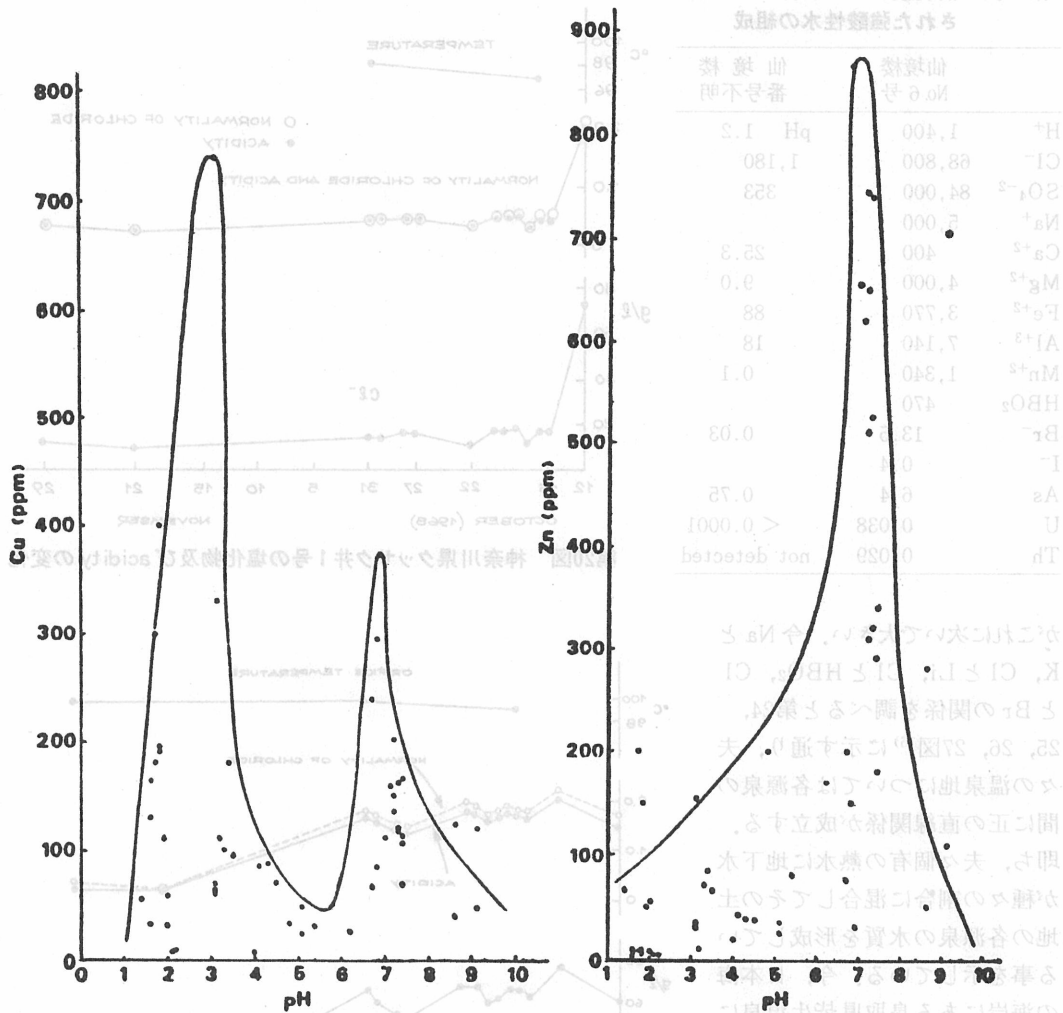
箱根大涌谷では1960年4月掘サクされた仙境楼No.6号井から始めて強酸性の水が噴出し、これについて綿抜博士が報告した¹²⁾その後野口らは箱根温泉供給株式会社鈴木支配人より大涌谷強酸性水を受取り分析した処、第4表¹³⁾に示す結果が得られ著しく塩酸、硫酸に富んでいる事が判明した。1968年秋、神奈川県では地すべり防止対策の一環として大涌谷に深さ65、68、68及び75mの4本ボーリングを行った処、何れもそれぞれの深さに達してキャップロックを打抜いた瞬間強酸性水が水蒸気、塩化水素、硫化水素、二酸化イオウ、二酸化炭素等を伴って噴出した。噴出する水の温度、acidity塩化物量の時間的変化を測定した処1号井及び2号井について、第20及び21図に示す結果が得られた。即ちacidityとCl⁻の規定度とがほぼ一致して変化した。従って大涌谷では地表面附近で噴気中のH₂S、SO₂等が空気酸化されて多量の硫酸を生じるため、地表面の土壌の放出水はpH1.9¹⁴⁾を呈するほか、温泉ではpH2.4、川水はpH2.1を示している。

これらの酸性水が高温度である地下へ滲透した場合、深さ65mでは硫酸は岩石と反応して完全に中和



第18図 滝湯上の土壌のpH及びFe, Cu, Zn, Pbの含量の垂直分布 (1968.1.25 測定)

されており、これに噴気中に多量に含まれている塩化水素が溶解して強酸性水が生じたものと想像される。大涌谷の噴気地帯の深部は高温ではあるが、水はほぼ中性であることは大涌谷の斜面に水平ボーリングを行って得た温泉水が高温ではあるが何れも中性付近である事実からも容易に理解される。



第19図 鳴子町湯元地区の土壌のpHと銅含量との関係

鳴子町湯元地区の土壌のpHと亜鉛含量との関係

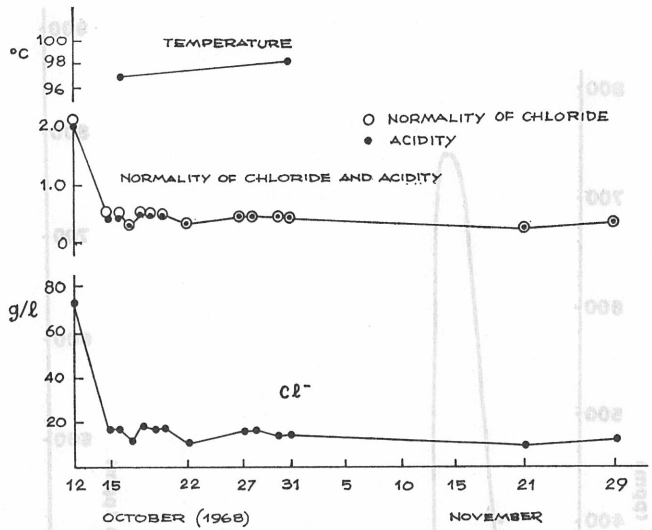
これら噴気に伴う強酸性水の温度はほぼ100℃であるが、その強酸性水は通常2カ月位つづくといずれも消失すると共に噴出口の噴気の温度は100℃から上昇して130℃となった。上野博士の実験によればこの時の噴気凝縮水を水冷却で集め、それに含まれる塩酸濃度を測り、これと類似の塩化水素濃度を有する蒸気と共存する水溶液の塩酸濃度を測った所、大涌谷強酸性水と同じ位の塩酸濃度であることを認めた。¹⁵⁾この噴気はH₂OのほかHCl、SO₂、H₂S、CO₂等を多量に含んでいた。もし多量の噴気が比較的少量の水と接触して平衡状態に達すれば極めて濃い塩酸溶液を生じることがわかる。

2.6 山陰地方及びその周辺の温泉

山陰地方の温泉の中には川棚、木部谷、池田、湯抱、玉造、三朝など放射能泉が多数あり、その周辺部には有馬温泉の如き著名な放射能泉が存在する。それらの地方の温泉の温度分布を第22図¹⁶⁾に示した。有馬温泉天満宮の99℃、東郷温泉谷水旅館の94.7℃が最高である。またClの分布を第23図に示した。¹⁶⁾有馬温泉天満宮の湯4044×10mg/lが最高であり、次は皆生温泉No.205548mg/l

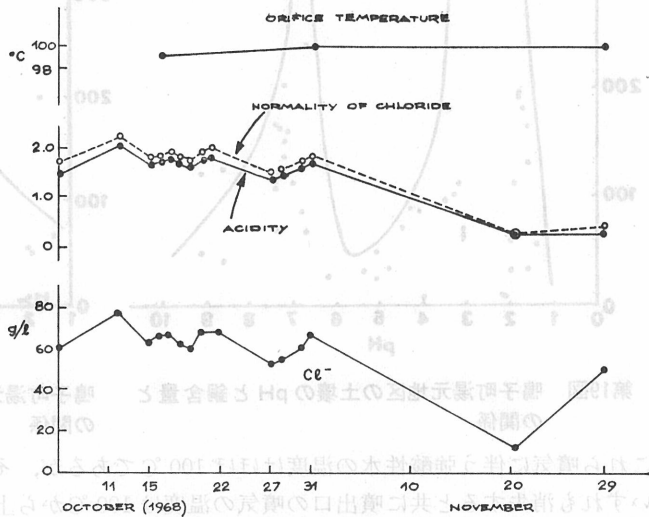
第4表 仙境楼クサク井から放出された強酸性水の組成

	仙境楼 No.6号	仙境楼 番号不明
H ⁺	1,400	pH 1.2
Cl ⁻	68,800	1,180
SO ₄ ⁻²	84,000	353
Na ⁺	5,000	
Ca ⁺²	400	25.3
Mg ⁺²	4,000	9.0
Fe ⁺²	3,770	88
Al ⁺³	7,140	18
Mn ⁺²	1,340	0.1
HBO ₂	470	
Br ⁻	13.5	0.03
I ⁻	0.4	
As	6.4	0.75
U	0.038	< 0.0001
Th	0.029	not detected



第20図 神奈川県クサク井1号の塩化物及び acidity の変化

がこれに次いで大きい。今 Na と K, Cl と Li, Cl と HBO₂, Cl と Br の関係を調べると第24, 25, 26, 27図¹⁶⁾に示す通り、夫々の温泉地については各源泉の間に正の直線関係が成立する。即ち、夫々個有の熱水に地下水が種々の割合に混合してその土地の各源泉の水質を形成している事を示している。今、日本海の海岸にある鳥取県皆生温泉に着目すると水温82℃を示し、山陰地方の温泉中では最も塩化物含量が多いが、Br/l比が海水と全く等しいほか、HBO₂/Cl比が海水の値に極めて接近しており、K/Na比、Li/Cl比等もかなり海水の値に近づいている。これらの事を考慮すると皆生温泉は他の温泉と異なり、これを形成する水は海水に火山系の熱水が混入して温度が上昇したものと推定され海水型温泉の1つと考えることが出来よう。皆生温泉の化学組成¹⁶⁾を次に掲げる。



第21図 神奈川県クサク井2号の塩化物及び acidity の変化

第5表 鳥取県皆生温泉No.10 1966年7月16日測定

水温	82.0℃	I	0.00mg/l
pH	7.2	SO ₄	455 "
Na	175×10mg/l	H ₂ S	0.0 "
K	45.5 "	As	0.26 "
Li	0.690 "	HBO ₂	6.6 "
Ca	1423 "	CO ₂	8.5 "
Mg	14.6 "	Alkalinity	0.49meq/l
Fe	0.13 "	(メチルオレンジ)	
Cl	4824 "		
Br	16.5 "		

山陰地方の温泉のAsとClの間には第28図¹⁵⁾に示す如く 正の直線関係が成立する。Asは那須岳山頂の噴気にも含まれており、岩漿の揮発性成分の1つであって、岩漿の揮発性成分に由来すると思われる熱水系温泉には常に含有されている。皆生温泉のヒ素含量は第28図に示す如くAs/Cl比が山陰地方の他の温泉の値と比較すると著しく小さい。

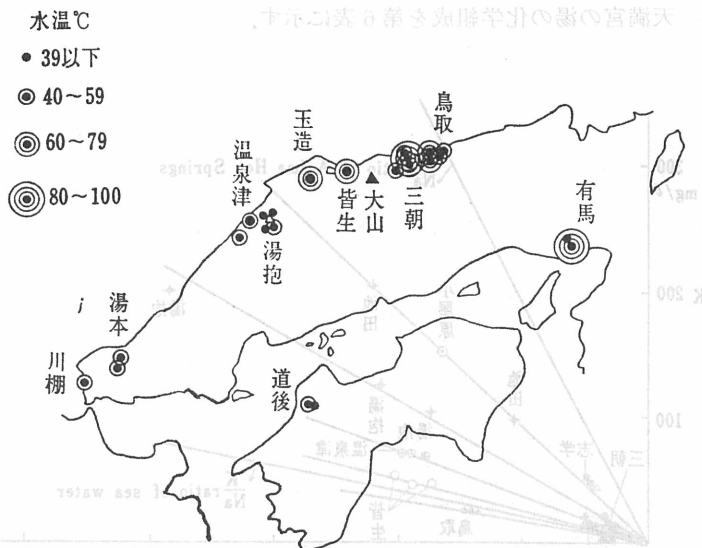
この温泉が前述の如く海水型温泉とすれば良く理解される。皆生温泉のAs/Cl比は0.000054であるが、熱水系温泉の代表とされる湯抱温泉のAs/Cl比は0.00065であり、海水のAs/Cl比は0.0000007である。

一方、有馬温泉天満宮の湯は、水温99°C 4044×10 mg/lを示し極めて塩分含量に富んでいるが、NaとK、ClとLi、ClとHBO₂、ClとBrの関係を検すると、第24、25、26、27図に示す通り、K/Na、Li/Cl、HBO₂/Clは何れも海水の値より著しく大きく、Br/Cl比は海の値より著しく小さい。また多量の炭酸ガスを伴っている。

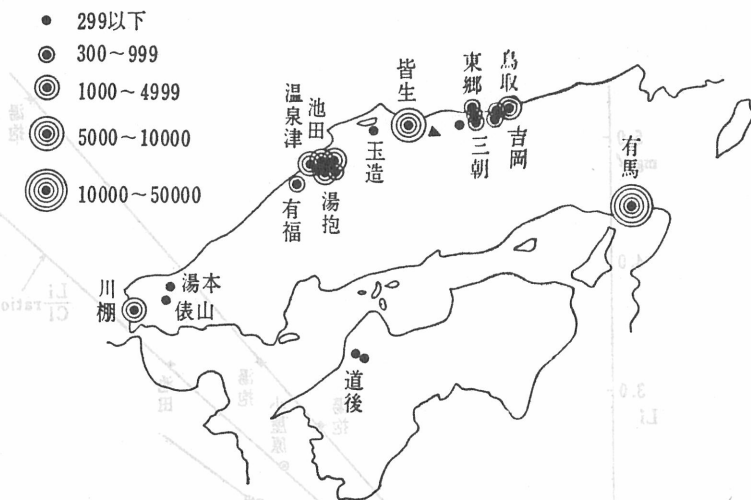
この温泉の地質は石英粗面岩及び花崗岩とされている。¹⁷⁾これらの点を考慮すると有馬温泉を形成する熱水は海水とは関係のないマグマの揮発物質の液化したもの、あるいはマグマのしぼり水とでもいうべきものであろう。硫酸イオンを全く含有しない点は非常に興味ある点である。

尚、有馬温泉天満宮の湯のAs含有量は0.18mg/lで1l中の含量は山陰地方の温泉の値と比較して大きい違いはないが、As/Cl比は第28図に示す如く著しく小さい。天満宮の湯のAs/Cl比は0.000044で、海水のAs/Cl比は0.0000007であるから明らかに海水より大きい。岩漿の揮発性成分に由来すると思われる熱水系温泉としてはこの点異状であるが、熱水が岩漿から分離して上昇する途中沈殿したためではあるまいかと想像される。

尚、山陰地方の池田、湯抱など熱水系温泉のAs/Cl比は凡そ0.00065である。

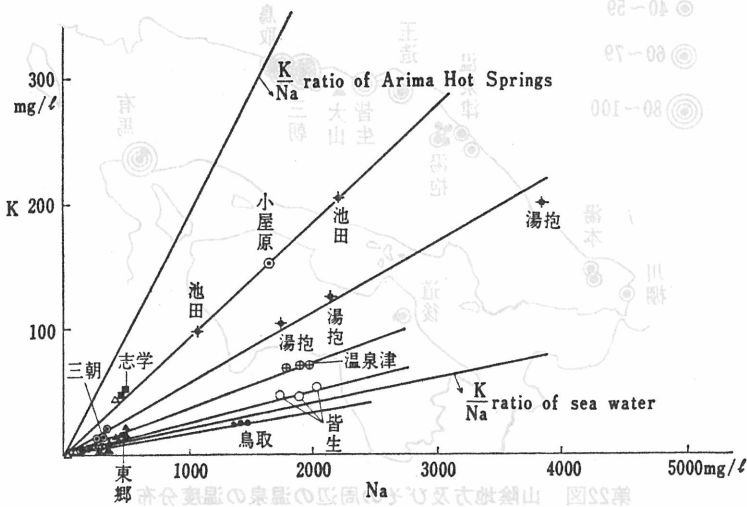


第22図 山陰地方及びその周辺の温泉の温度分布



第23図 山陰地方及びその周辺の温泉のCl含量分布

天満宮の湯の化学組成を第6表に示す。

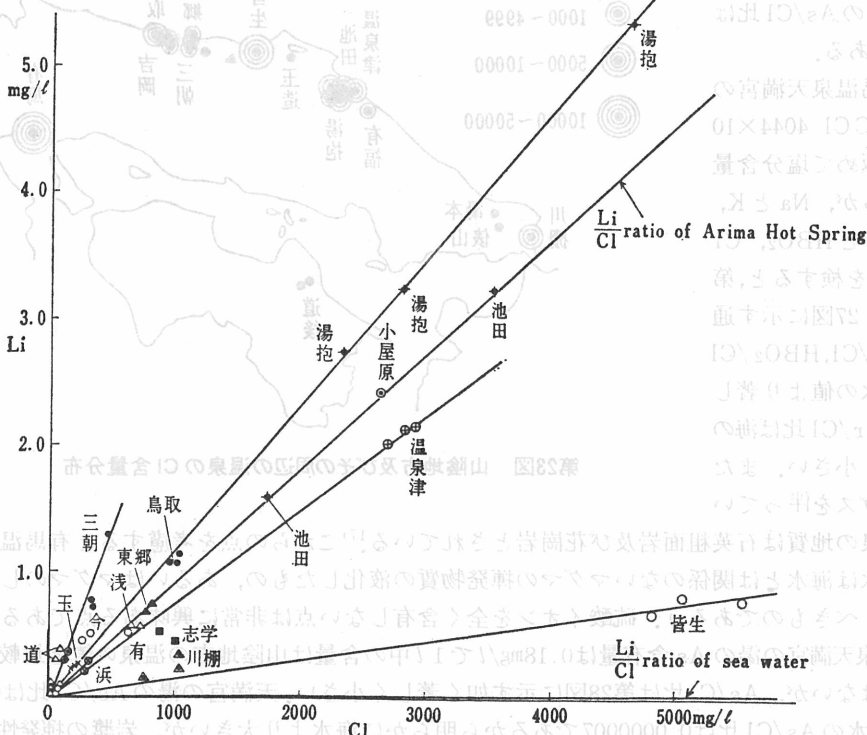


第24図 山陰地方及びその周辺の温泉のNa含量とK含量の関係

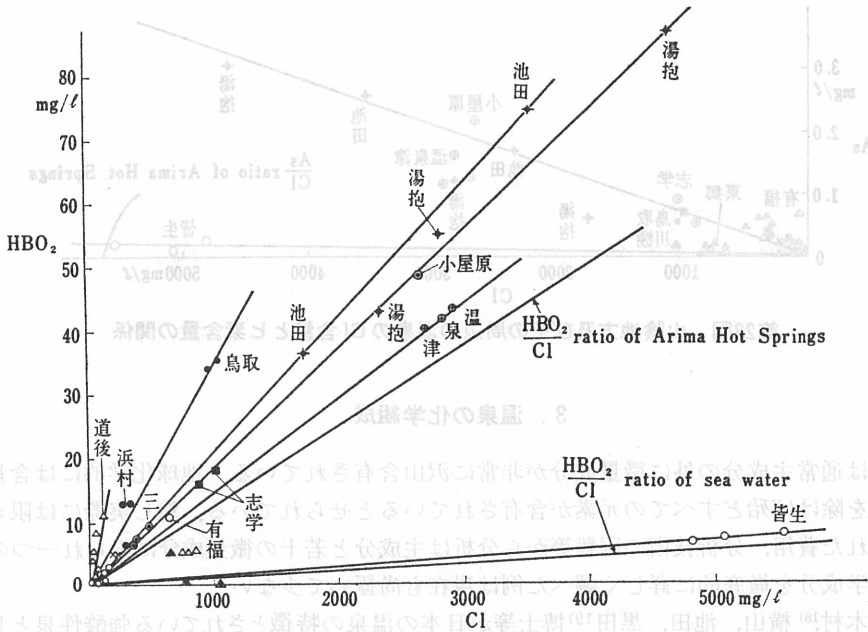
第6表

有馬温泉天満宮の湯¹⁶⁾
1966年7月21日測定

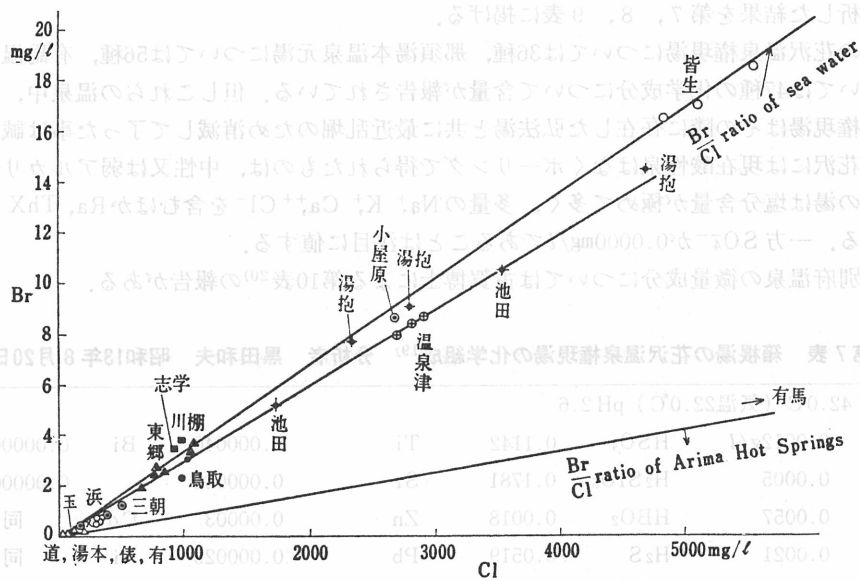
水温	99℃
pH	6.6
Na	202×10 ² mg/l
K	385×10 "
Li	37.0 "
Ca	361×10 "
Mg	284 "
Fe	222 "
Cl	4044×10 "
Br	34 "
I	0.0 "
SO ₄	0 "
H ₂ S	"
As	0.18 "
HBO ₂	496 "
CO ₂	5980 "
U	0.0 μg



第25図 山陰地方及びその周辺の温泉のCl含量とLi含量の関係



第26図 山陰地方及びその周辺の温泉のCl含量とHBO₂含量との関係



第27図 山陰地方及びその周辺の温泉のCl含量とBr含量との関係

尚、又池田、湯抱、温泉津等の温泉についてはどれも多量の炭酸ガスを伴っているほか放射性元素に富んでおり、ウランに就いては温泉津1.2 μ g/l、池田27 μ g/l、湯抱27 μ g/l 含んでいる。第24、25、26図を見るとこれらの温泉のK/Na比、Li/Cl比、HBO₂/Cl比等はそれぞれ若干違うが、海水の値とも明らかに違っている。従ってこれらの温泉を形成する熱水は、それぞれ若干違うマグマの揮発物に由来するであろう。

第8表 那須湯本温泉元湯の化学組成¹⁸⁾ 分析者 木村, 横山, 池田 1948年9月17日

水温	69.9°C	pH	1.5	蒸発残渣	2,723g/l (130°Cで乾燥)						
H ⁺	0.0150	g/l	HSO ₄ ⁻	1.4416	g/l	Li	0.00001	g/l	Zn	0.000138	g/l
NH ₄ ⁺	0.0031		SO ₄ ²⁻	0.6024		Rb	0.00001		Bi	0.0000001	
K ⁺	0.0071		HSO ₃ ⁻	0.0006		Cs	0.00001		Sb	0.0000001	
Na ⁺	0.0222		S ₂ O ₃	0.0003		Sr	0.00000n		As	0.00185	
Ga ⁺⁺	0.0636		S ₃ O ₆	0.00		Ba	0.00000n		Sn	0.0000002	
Mg ⁺⁺	0.0305		S ₄ O ₆	0.002		V	0.00051		Co	0.000000n	
Fe ⁺⁺	0.0275		S ₅ O ₆	0.000		Cr	0.0000044		Ni	0.000000n	
Fe ⁺⁺⁺	0.0000		HPO ₄ ²⁻	0.00619		Mo	0.00000086		Cd	0.0000001	
Mn ⁺⁺⁺	0.00032		NO ₂ ⁻	0.000000		Ti	0.00017		Ag	0.000001	
Al ⁺⁺⁺	0.0852		NO ₃ ⁻	0.000000		Ge	0.0000000n		In	0.0000001	
Cl ⁻	0.1688		H ₂ SiO ₃	0.1908		Be	0.0000000n		Au	0.00000000	
F ⁻	0.000355		HBO ₂	0.2320		Ga	0.000000n		Zr	0.000000n	
Br ⁻	0.00000		H ₂ S	0.0345		Cu	0.000028		Ra	1.6×10 ⁻¹²	
I ⁻	0.000000		CO ₂	0.066		p b	0.000072		Rn	0.33マッヘ	

第9表 有馬温泉天満宮の湯の化学組成¹⁸⁾ 分析者 木村, 横山, 池田 1949年3月21日

水温	94.0°C	pH	5.8	蒸発残渣	76.1g/l (130°Cで乾燥)						
NH ₄ ⁺	0.046	g/l	Mn ⁺⁺	0.0443	g/l	H ₂ SiO ₃	0.199	g/l	Ge	0.000000n	
Li ⁺	0.0553		AL ⁺⁺⁺	0.0742		HBO ₂	2.344		Be	0.00001	
Na ⁺	20.533		Cl ⁻	43.79		CO ₂	0.370		Ga	0.00000n	
K ⁺	4.664		F ⁻	0.00075		H ₂ S	0.0009		Cd	0.000000n	
Rb ⁺	0.0035		Br ⁻	0.0548		Ti	0.0026		Bi	0.000000n	
Cs ⁺	0.0025		I ⁻	0.00091		V	0.0060		Sn	0.000000n	
Ca ⁺⁺	4.069		NO ₂ ⁻	0.000000		Cr	0.000090		In	0.000000n	
Mg ⁺⁺	0.0401		NO ₃ ⁻	0.000000		Mo	0.000061		Sn	0.0000001	
Sr ⁺⁺	0.0021		HCO ₃ ⁻	0.595		Cu	0.000134		Rn	1.04マッヘ	
Ba ⁺⁺	0.0624		SO ₄ ²⁻	0.0000		Pb	0.000392		Ra	2.12×10 ⁻¹⁰ g/l	
Fe ⁺⁺	0.1650		HPO ₄ ²⁻	0.00149		Zn	0.000192		ThX	5.10×10 ⁻¹⁰ curie/l	
Fe ⁺⁺⁺	0.0000		HAsO ₄ ²⁻	0.00000		Ag	0.0000000			(250×10 ⁻¹⁷ g/l)	

第10表 別府温泉の微量成分

Constituent	Myoban	Kannawa	Kamekawa	HottaKankaiji	BeppuProper	Mean
Cu(γ/l)	8.5	18.1	10.1	4.0	7.5	9.6
Zn(γ/l)	114	1355	34	10	20	307
Co(γ/l)	0	0	0	0	0	0
Mn(mg/l)	0.66	3.24	0.43	0.30	0.63	1.05
As(γ/l)	0	633	326	0	105	217
Ge(γ/l)	0	32	9	0	5	12
Ti(γ/l)	128	135	81	19	72	87
Ag(γ/l)	39.0	22.8	1.7	1.6	4.9	10.9
HBO ₂ (mg/l)	2.6	42.4	28.0	13.1	24.9	24.4
Mo(γ/l)	1.6	5.7	4.6	2.1	8.5	6.3
Cr(γ/l)	7.4	7.9	3.6	2.8	2.4	4.3
V(γ/l)	14.3	54.5	13.5	7.0	14.1	21.1
F(mg/l)	0.30	1.90	0.37	0.17	0.35	0.58
Br(mg/l)	0.037	4.49	1.69	0.083	0.89	1.59
I(mg/l)	0.013	1.111	0.153	0.027	0.144	0.313
Rn(×10 ⁻¹⁰ c/l)	2.36	1.26	0.21	0.24	0.64	0.83
Ra(×10 ⁻¹² g/l)	2.24	1.69	0.36	0.25	1.28	1.13
U(γ/l)		0.071	0.013		0.018	0.040

6. 放射性元素

放射性元素に富む温泉としては通常山梨県増富鉱泉，島根県池田ラジウム鉱泉，湯抱温泉，木部谷鉱泉，鳥取県三朝温泉，兵庫県有馬温泉，秋田県玉川温泉等があげられる。

本邦温泉のラドン含量について各温泉地の最大値を採用して多さの順に配列すると，第11表の通りとなる。

山梨県増富鉱泉A 9号泉の黒

田博士による12300マッペは日本

におけるラドン含量の最高値で

あるが，この泉の湧水量は極めて

少なくmicro-springとでも

いうべきもので，測定者に指示

されない限り発見出来ないほど

小さい泉であったから，1日の

ラドン放出量はそれほど大きく

ならない点も注意すべきであら

う。この源泉に限らず一般にラ

ドン濃度の高い泉は湧水量が少

ない。その上第12表に示す如く

ラドン含量は水中に存在するラ

ジウムと放射平衡にある量より

著しく大きい事を考慮すると比

較的少量の鉱水がラジウム濃度

の高い放射性沈殿物などと地下

のあまり深くない所で，接触す

ると非常に濃いラドン含有水を

生ずるのであろう。

第11表 本邦温泉鉱泉のラドン含量

温泉・鉱泉名	Rn 含量(マッペ)	測定者
1) 山梨県増富鉱泉A 9号泉	12300	黒田 ¹⁷⁾ 1943.4
2) 島根県池田鉱泉5号泉	6462	大島外 ²¹⁾ 1948.10.6
3) 島根県柿の木鉱泉	244.4	松浦外 ²²⁾
4) 岐阜県恵那ラジウム鉱泉	222	中井 ¹⁷⁾ 1936.5
5) 鳥取県三朝温泉山田区の湯	169	服部 ¹⁷⁾ 1935.10
6) 兵庫県有馬温泉ラジウム鉱泉	121	野満 ¹⁷⁾ 1931.9
7) 島根県木部谷鉱泉	68.0	松浦外 ²²⁾
8) 島根県湯抱温泉1号	61.8	岩崎外 ²³⁾
9) 新潟県村杉源泉1号	49.6	衣笠 ¹⁷⁾ 1914.8
10) 島根県関ヶ根玉の湯	38.6	服部 ¹⁷⁾ 1935.9

第12表 池田鉱泉のラドン含量とラジウム含量との関係²³⁾
(岩崎，浮本の測定)

源泉名	Ra 10 ⁻¹² g/l	Ra と放射平衡にある Rn量10 ⁻¹⁰ キュリー/l	温泉中の全ラドン量 ×10 ⁻¹⁰ キュリー/l
1号	50.1	0.501	399
2号	58.0	0.580	715
3号	58.0	0.580	722
4号	22.4	0.224	4750

第13表 本邦温泉鉱泉のラジウム含量

県名・温泉鉱泉名	Ra 含量	測定者
1) 兵庫県有馬温泉天満宮の湯	212×10 ⁻¹² g/l	木村外 ¹⁸⁾
2) 兵庫県有馬カタ越鉱泉	111.1	中井 ²⁴⁾
3) 島根県玉造温泉松の湯	97.1	〃
4) 山梨県増富和田松場鉱泉	82.7	〃
5) 島根県池田ラジウム鉱泉1号	36.4	〃
6) 島根県湯抱温泉1号	35.1	〃
7) 兵庫県宝塚鉱泉(旧温泉)	26.5	〃
8) 長野県鹿塩鉱泉	18.5	〃
9) 和歌山県東白濱温泉	15.9	〃
10) 群馬県磯部アルカリ泉	15.5	〃

また本邦温泉のラジウム含量

について各温泉地の最大値を採

用して，多さの順に配列すると

ラジウムに関しては有馬温泉天

満宮の湯の212×10⁻¹²g/lが日本

における最高値である。

木村博士等が¹⁸⁾増富鉱泉のラ

ドン含量並にその崩壊生成物で

あるRaA, RaB, RaCの含量

を定量した結果を第14表に掲げ

る。

鉱泉水が地表面に湧出した時

のラドン量とその崩壊生成物の

量を測って，ラドンを供給する層

の深さを推定するとラドンが供給層から出て地表面まで達する

に要する時間Tは第14表に示す通り極めて短く，ラドンの供給層は非常に浅いことがわ

かる。

特に多量のラドンを含んでいる A49号泉では T の値が僅に 2 分に過ぎない。

木村博士ら¹⁸⁾が三朝温泉及び池田鉱泉について調査した結果を第15表に示す。次に温泉水に含まれるラジウムとその同位体である AcX, MsThI, ThX の量を第16表に掲げる。

中井博士は池田鉱泉と湯抱温泉について水中に溶存するラジウム量と同時にその源泉の沈殿物中のラジウム量を検した結果第17表に示す如く、ラジウム含量の多い源泉の沈殿物はラジウム濃度が高いことを見出した²⁴⁾また岩崎博士等²³⁾によれば、池田鉱泉の母岩である花崗岩並に温泉沈殿物のラジウム含量を検した結果第18表に示す如く、母岩に比べて温泉沈殿物には如何に多量にラジウムが濃縮されているかがわかる。

尚又、岩崎博士等²³⁾が池田鉱泉のラジウム含量 $884 \times 10^{-12} \text{g/g}$ を示す温泉沈殿物について化学分析した結果第19表に示す通り $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$ が 60.18% で著しく多いが、この中では Al_2O_3 は少なく Fe_2O_3 が大部分を示めているものと想像される。

また、中井博士によれば最もラジウムに富む有馬温泉の水と増富鉱泉（この場合は濃縮したもの）の水の一定量に Mn, Fe, Ba, Sr, Ca などの塩類を加えこれらから MnO_2 , $\text{Fe}(\text{OH})_3$, BaCO_3 , SrCO_3 , CaCO_3 などを沈殿せしめた場合非常によくラジウムが共沈することが判明した²⁴⁾ ウランについては阪上博士の測定²⁵⁾によれば、第18表に示す如く島根県浅原、小林、池田、湯抱、忍原、熊取等の鉱泉に多く含まれており、これらは何れも Cl^- に富み、且多量の炭酸ガスを伴っている点が注目値する。またそれらの鉱泉の沈殿物中にもラジウム及びウランが多量に含

第14表 ラドン及びその壊変物の含量

源泉番号	温度 ℃	Rn	RaA	RaB	RaC	Tmin
		10 ⁻¹⁰ curie/l				
A 6	26.0	560	—	80	10	10
A 8	23.0	5700	4400	800	100	10
A 49	23.0	13400	4500	130	10	2

第15表 ラドン及びその壊変物の含量

源泉名	温度 ℃	Rn	RaA	RaB	RaC	Tmin
		10 ⁻¹⁰ curie/l				
三朝温泉						
Akasakiya	42	180	—	165	150	110
花屋	61	650	—	130	22	13
山田区	55	900	—	220	40	15
池田鉱泉						
No. 3	16	770	—	200	42	16
No. 4	13	6100	5300	730	85	9
No. 5	12.5	8500	6800	600	40	6

第16表 温泉水に含まれるラジウム及びその同位体の含量¹⁸⁾

	Ra 10 ⁻¹² g/l	AcX	MsThI	ThX	ThX/MsThI
		10 ⁻¹² curie/l			
増富 A 1	30	—	120	83	0.69
A 2	42	—	110	130	1.18
A 3	37	—	85	85	1.00
A 4	12	—	48	57	1.19
A 5	87	—	130	120	0.92
A 6	26	—	42	44	1.05
A49	8	—	—	12	—
A51	12	—	31	37	1.19
B 5	21	—	58	66	1.14
B 7	30	2	79	220	2.78
E 1	71	—	120	43	0.36
有馬 No. 1	210	10	500	590	1.18
No. 2	160	11	590	570	0.97
No. 3	53	—	180	170	0.94
No. 4	210	8	280	290	1.04
No. 5	180	—	540	—	—
No. 6	140	—	270	210	0.78
No. 7	31	—	76	66	0.87
池田 No. 1	41	—	80	110	1.38
No. 2	44	—	63	100	1.59
No. 3	42	—	72	110	1.53
No. 4	24	—	35	9	0.26
No. 6	21	—	48	50	1.04
三朝 No. 1	12	—	37	23	0.62
No. 2	18	—	37	26	0.70
No. 3	12	—	32	80	2.50
No. 4	8	—	14	21	1.50
No. 5	19	—	62	25	0.40

第17表 温泉水及び温泉沈殿物のラジウム含量 (中井測定)

試料	Ra $\times 10^{-12}$ g/l	Ra $\times 10^{-12}$ g/g
池田鉱泉1号	36.43	872
湯抱温泉1号	35.06	
" 2号	30.57	202
" 3号	13.45	

第19表 池田鉱泉1号泉 沈殿物の組成 (岩崎, 松田測定)

SiO ₂	4.11 %
TiO ₂	0.00 "
Al ₂ O ₃	} 60.18 " "
Fe ₂ O ₃	
MnO	0.004 "
MgO	0.98 "
CaO	4.68 "
Ra	884 $\times 10^{-12}$ g/g

第18表 池田鉱泉の母岩及び温泉沈殿物のラジウム含量 (岩崎, 浮本測定)

試料	試料の性状	Ra 10^{-12} g/g
母岩(1)	花崗岩	0.68
" (2)	"	0.46
沈殿物(1)	炭酸カルシウム質, 褐色泥状	392
" (2)	" , 黄褐色	872 (中井測定)
" (3)	" , 淡黄褐色	109
" (4)	" , 灰白色	18.0
" (5)	" , 黄褐色泥状	687
" (6)	" , 黄褐色泥状	254

第20表 島根県温泉のウラン含量(阪上測定)

鉱泉	温度(°C)	Clmg/l	U $\times 10^{-6}$ g/l
浅原鉱泉	—	3470	68.5
小林鉱泉	17.7	2877	42.0
池田鉱泉2号	19.7	3520	34.0
" 3号	16.8	2436	20.5
" 4号	17.8	2198	15.2
湯抱温泉A	32.5	4218	23.5
" B	27.0	2659	17.6
忍原上鉱泉	—	5033	22.5
熊取鉱泉	—	3223	19.5
下谷鉱泉1号	—	76.5	4.36
" 2号	—	74.5	3.88
湯谷鉱泉	—	563	2.1
南山鉱泉	—	377.5	1.47
小屋原温泉	38.0	2492	0.78
志学温泉	39.8	938	0.15

第21表 温泉沈殿物のラジウム及びウラン含量 (阪上測定)

鉱泉	Ra 10^{-12} g/g	U 10^{-6} g/g
池田鉱泉2号	1400	12.8
" 3号	750	64
小林鉱泉	21	13.2
南山鉱泉	33	61.6
志学鉱泉	12	1.1

まれている(第19表参照), 阪上博士の測定によれば温泉中のウラン含量とラジウム含量は放射平衡にはない。又, 温泉沈殿物中にはウラン含量とラジウム含量は比例はしないが, ラジウムの多い沈殿物は概してウランにも富んでいるようである。

島根県のラジウム及びウランに富んでいる温泉鉱泉は, 何れも炭酸ガスを伴うアル

カリ度の高い, 塩化物に富む弱酸性泉であるが, 兵庫県有馬温泉や山梨県増富温泉もこれとよく類似している。日本にはこれらと全く異なる強酸性泉にもウランが多いことが明らかになっている。

野口、今橋の測定²⁶⁾によれば第22表に示す如く富山県立山地獄谷酸性泉No.25はU含量 $38 \times 10^{-6} \text{g/l}$ を示した。

これら強酸性泉は何れも塩化物に富んでいるほか金属イオンでは、鉄に伴っている点が島根県の放射能泉や有馬温泉並に増富鉱泉と類似しており、ウラン鉱床の生成機構の問題と関連して興味ある点である。

第22表 酸性泉のウラン含量(野口・今橋測定)

温泉名	水温(°C)	pH	Clmg/l	U 10^{-6}g/l
富山県立山地獄谷No.25	59.0	1.2	5273	38
〃 No.26	38.0	1.2	4420	29
〃 No.6	91.3	0.7	12340	12
群馬県香草温泉No.1	52.0	1.6	3128	10
秋田県玉川温泉 大噴	98.0	1.2	3074	2.1
〃 小噴	97.5	1.2	3438	2.6
群馬県万座温泉 空噴	95.5	1.6	1001	1.8
草津温泉 湯畑	66.2	1.7	582	0.72
箱根大涌谷酸性水	—	強酸性	68800	38

第23表 島根県の温泉水 1 l 中から生じるトリウム量

温泉名	泉温(°C)	$\frac{Tn}{ThU/l}$ 10^{-3}g
湯抱温泉1号泉	32.5	41.3
〃 2号泉	28.0	15.2
〃 川中湯	30.3	17.8
池田鉱泉2号泉	20.5	22.3
〃 1号泉	19.0	11.6
〃 3号泉	19.0	6.1
温泉津温泉元湯	50.0	6.0
〃 新湯*	45.5	5.4
柿の木鉱泉2号C泉	24.5	3.5
〃 3号泉	23.0	3.6
木部谷鉱泉B泉	18.0	2.5
〃 A泉	17.5	1.5
小屋原温泉	38.5	2.0
田丸鉱泉	18.0	1.3

*震湯ともいう。

第24表 温泉沈殿物 1 g 中から生じるトリウム量

温泉名	沈殿物採取位置	$\frac{Tn}{ThU/g}$ 10^{-3}g
池田鉱泉1号泉	源泉直下	8.59
〃 4号泉	湧出口	0.65
湯抱温泉2号泉	湧出口	5.53
〃 3号泉	湧出口より2m下	0.26
温泉津温泉新湯*		1.10

*震湯ともいう。

尚又、トリウム系元素については温泉水並に温泉沈殿物について第23, 24表に示す下方博士の報告²⁷⁾がある。

湯抱温泉、池田鉱泉、温泉津温泉等に多く含まれており特に湯抱温泉1号は、その含量日本一とされている。

参 考 文 献

- 1) 厚生省大臣官房国立公園部編日本鉱泉誌, 361, 505, 512 (昭29)
- 2) 野口: 口頭発表のみ, 未印刷 (一部日本鉱産誌VI-a, 92, 95記載)
- 3) 野口: 口頭発表のみ, 未印刷.
- 4) 野口: 温泉科学, 18, 47 (1967)
- 5) 野口, 掛川, 村上, 後藤, 一国: 温泉科学, 14, 14 (1963)
- 6) 野口, 上野, 一国: 玉川温泉の総合研究第4輯21頁
- 7) Noguchi and Nakagawa: Proceedings of the Japan Academy, Vol. 45, No.1, 45 (1969)
- 8) 野口, 中川: 温泉科学, 20, 1 (1969)
野口, 中川: 日化, 91, 127 (1970)
- 9) 野口, 中川: 温泉科学, 19, 40 (1968)

野口, 宮沢: 温泉科学, **23**, 139 (1972)

10) Noguchi and Miyazawa: Proceedings International Symposium on Water-Rock Interaction 202 (1974)

11) 鳴子町役場の文献に依る.

12) 綿抜: 温泉科学, **17**, 22 (1966).

13) Noguchi, Goto, Ueno and Imahashi: U. N. Symposium on the Development and Utilization of Geothermal Resources, Geothermics (1970) Special Issue 2. Pisa 1970. Vol. 2, Part 1, P 561

14) 野口, 相川: 東邦大紀要 6号, 33 (1974)

15) 上野: 未発表, 私信による.

16) 野口, 上野, 野口(暁), 中川, 高野, 今橋: 温泉科学, **18**, 8 (1967)

17) 日本鉱泉誌, BVI-a 地熱及び温泉鉱泉, P.154, 156, 130, 131

18) Kimura, Yokoyama and Ikeda: Geochemical Studies of the Minor Constituents in Mineral Springs of Japan publication n° 37 de l' Association Internationale d' Hydrologie (Assemblée General de Rome, tome II)

19) 黒田: 温泉科学, P.66 (昭和23年)

20) Uzumasa: Chemical Investigations of Hot Springs in Japan P.36 (1965)

21) 厚生省大臣官房国立公園部編日本鉱泉誌, 669 (1954)

22) 松浦, 岩崎, 福島: 日化, **61**, 225 (1940)
 松浦, 麻生, 浅野: 日化, **67**, 97 (1946)
 松浦, 広田: 日化, **70**, 62 (1949)

23) 岩崎, 浮本, 星: 日化, **63**, 139 (1942)
 岩崎, 浮本: 日化, **64**, 1272 (1943)
 岩崎, 浮本, 家吉: 日化, **64**, 662 (1943)
 岩崎, 松田: 日化, **72**, 94 (1951)

24) Nakai: Bull. Chem. Soc. Japan Vol. 15, 354 (1940)

25) 阪上: 私信に依る.

26) 野口, 今橋: 温泉科学, **18**, 1 (1967)

27) 下方: 日化, **77**, 848 (1956)

参考文献

(1) 厚生省大臣官房国立公園部編日本鉱泉誌, 669 (1954)

(2) 野口, 今橋: 温泉科学, **18**, 1 (1967)

(3) 野口, 今橋: 温泉科学, **18**, 8 (1967)

(4) 野口, 今橋: 温泉科学, **18**, 1 (1967)

(5) 野口, 今橋: 温泉科学, **18**, 1 (1967)

(6) 野口, 今橋: 温泉科学, **18**, 1 (1967)

(7) Noguchi and Nakagawa: Proceedings of the Japan Academy, Vol. 42, No. 1, 15 (1966)

(8) 野口, 今橋: 温泉科学, **20**, 1 (1968)

(9) 野口, 今橋: 温泉科学, **21**, 1 (1970)

(10) 野口, 今橋: 温泉科学, **23**, 139 (1972)