

本邦温泉中の主化學成分の分布

岩 崎 岩 次

1. 序 言

天然に地中から熱い湯を湧出している泉は到る處に見られ、これを泉温の低い冷泉と區別して温泉と呼んでゐる。一方天然の泉でその含鹽量の多いものや又は特殊の成分を含むものは普通の地下水、井戸水等と區別されて鑛泉と呼ばれてゐる。即ち前者は泉温で特徴づけられた特殊の泉であり、後者は含有成分の性質及びその含有量に依つて區別された特殊の泉の種類である。従つて鑛泉は必ずしも温泉ではなく、温泉も亦必ずしも鑛泉の中には入らぬ*。併しながらこれ等の温泉と冷泉及び鑛泉と普通の地下水との境界は科學的に明瞭な根據のあるものではなく、只或る便宜的な温度（例へば湧泉の湧出口の附近の平均氣温、人間の體温及びその他）及び含鹽量（例へば 1g/l）を境界にして温泉及び鑛泉を他から區別してゐるのに過ぎぬ。温泉から放出される熱量の巨大なること及びそれが相當長い年月繼續されること等から温泉の湧出現象には是非とも岩漿性物質の參與が必要であると考へられ、且つ現在これ等のことは確められてゐるのである¹⁾。それでここでは岩漿から直接に由來する物質即ち岩漿性物質を含有する泉を温泉と呼ぶことにする。この考へに依れば筆者が既に火山の噴氣孔の性質²⁾を考へた場合と同様に、岩漿性物質の性質及びその量とこれに混入して來る地下水の性質及びその量に依り泉温や含鹽量の多種多様の温泉の存在することは當然考へられる。現在我々には岩漿性物質を明瞭に他と區別して検出し、定量することが一般的には殆ど不可能であるので、温泉の中には從來の鑛泉及び温泉は勿論のこと、明瞭に普通の地下水又は井戸水及び化石水等であることが知れてゐる泉を除外した他の泉をも含め、これを全部廣義の温泉として取扱ふことにする。

さて性質の多種多様な温泉中の元素の分布状態を見る上には適當な温泉の分類があると便利である。温泉の分類法は古來より多數あるが、温泉中に於ける元素の分布及びその分離沈澱して行く過程を地球化學的に考察するために筆者は温泉の基本的性質である泉温及び水素イオン濃度 (pH) に依る分類法を使用してゐる³⁾。即ち元素が水溶液中から沈澱晶

* 例へば單純温泉。

出して分離して行く場合、温度、圧力の外に水素イオン濃度が重要な役割を演じ、一度温泉が湧出すれば大気の下に存在することになるので、温泉を泉温と pH とに依つて分類することにした。

先づ泉源に於て泉温 25°C以上を有するものを「温泉」とし、廣義の温泉と區別をし、泉温 25°C以下の温泉を鑛泉と呼ぶことにした*。更に水素イオン濃度に依り pH<7.0の温泉を酸性温泉、pH=7.0のものを中性温泉、pH>7.0のものをアルカリ性温泉と分類し、結局泉温及び pH に依り次の種類とした。

即ち	酸性「温泉」……………泉温 25°C以上	} pH<7.0
	酸性鑛泉……………泉温 25°C以下	
	中性「温泉」……………泉温 25°C以上	} pH=7.0
	中性鑛泉……………泉温 25°C以下	
	アルカリ「性温泉」……………泉温 25°C以上	} pH>7.0
	アルカリ性鑛泉……………泉温 25°C以下	

2. 含 鹽 量

第 1 表 含鹽量の平均値及びその分布状態

	平均含鹽量 (g/kg)	温泉数	含鹽量 0 ~1g/kg の温泉数	含鹽量 1 ~5g/kg の温泉数	含鹽量 5 ~10g/kg の温泉数	含鹽量 10 ~20g/kg の温泉数	含鹽量 20 ~30g/kg の温泉数	含鹽量 30 ~40g/kg の温泉数	含鹽量 40 ~50g/kg の温泉数	含鹽量 50g/kg以上 の温泉数
1) 酸性「温泉」	2.21	63	16(25)	40(63)	3 (5)	4 (6)	—	—	—	—
2) 酸性鑛泉	6.09	162	43(27)	77(48)	11 (7)	15 (9)	9 (6)	2 (1)	2 (1)	2 (1)
3) 中性「温泉」	2.76	25	4(16)	18(72)	1 (4)	2 (8)	—	—	—	—
4) 中性鑛泉	4.08	23	7(30)	8(35)	6(26)	2 (9)	—	—	—	—
5) アルカリ性「温泉」	2.19	331	152(46)	150(45)	14 (4)	11 (3)	4 (1)	—	—	—
6) アルカリ性鑛泉	6.78	108	15(14)	49(45)	19(18)	15(14)	10 (9)	—	—	—
7) 全「温泉」	2.23	419	172(41)	208(50)	18 (4)	17 (4)	4 (1)	—	—	—
8) 全鑛泉	6.19	293	65(22)	134(46)	36(12)	32(11)	19 (6)	2 (1)	2 (1)	2 (1)
9) 全温泉	3.86	712	237(33)	342(48)	54 (8)	49 (7)	23 (3)	2 (0)	2 (0)	2 (0)

(括弧内は温泉總數に對する百分率を示す)

* これは現在行はれてゐる衛生試験所の分析値を使用するために便利であるやうに衛生試験所の分類法と同様の標準温度を取り、名稱も同様にして只廣義の温泉と區別するために狹義のものに「 」なる符號をつけた。

温泉中の各元素の分布状態を見る前に、先づ温泉中に含有されてゐる物質の總量即ち含鹽量の概略を知ることが出来れば好都合である。

大體の分布状態は既に前に調査したのであるが³⁾、尙第1表には日本鑛泉分析表⁴⁾を基礎にして本邦温泉712個に就て調査した含鹽量(蒸發殘滓)の平均値及びその分布状態を示す。

第1表に依れば温泉の平均含鹽量は3.86g/kgとなり、極めて小である。實際の分布状態を見ると1~5g/kgの含鹽量のものが最も多い(48%)が、大多數の温泉の含鹽量は大體1~2g/kg或はそれ以下で、黒津鑛泉(滋賀縣)の如きは0.092g/kgである。従つて含鹽量10g/kg以上の温泉はその数が少い。

斯の如く温泉の含鹽量の平均値は海水の平均含鹽量(約35g/kg)に比較すれば著しく少く、その約 $\frac{1}{10}$ を示すに過ぎぬ。併しながら海水の平均含鹽量より大なる蒸發殘滓を示す温泉が我國に於ては現在迄に約10個處に知れてゐる。例へば有馬池之坊鑛泉(兵庫)⁵⁾は65.70g/kg^{5a)}、唐櫃鑛泉(兵庫)が56.580g/kg等であり、尙溶存物質の總量約72.52g/kgの三石鑛泉(岡山)も知れてゐる。これ等の温泉は何れも酸性温泉に屬し、且つ知床硫黃山(北海道)⁶⁾の熱湯(45.572g/l)及び有馬池之坊鑛泉(64.01g/l)^{5b)}以外は何れも泉温の比較的低い酸性鑛泉に屬することは極めて注意すべき事實である。

以上の如く酸性温泉には含鹽量の多いものがあるので、その225個の平均含鹽量は5.00g/kgとなり最も大で、中性温泉48個の平均値は3.35g/kg、アルカリ性温泉439個の平均値は3.32g/kgで中性温泉と殆ど一致してゐる。

又泉温に依り「温泉」と鑛泉とに分けて見ると「温泉」419個の平均含鹽量は2.23g/kg、鑛泉293個の平均含鹽量は6.19g/kgとなり鑛泉に決定的に多い。このことは各泉質毎に「温泉」は鑛泉より平均含鹽量の少いことと一致した結果であり、又實際の含鹽量の分布状態を見ても何れの泉質でも鑛泉の方に含鹽量のなるもの頻出度が「温泉」よりも大となつてゐる。

以上の如く平均含鹽量から見れば單に溶解度の關係から考へた時とは逆に、泉温の低い方特に酸性鑛泉に含鹽量のなるものが存在してゐることは温泉の成因と關係ある極めて興味ある事實である。溶解度を問題にするならば泉温の高低のある同一温泉群を同時に測定せねばならぬが、この目的で行つた實驗は極めて少いやうである*。日本鑛泉分析表(昭

* 泉温と溶解してゐる二三の成分との關係を同一温泉群で研究した結果も二三知れてゐてそれに依れば多くの成分を泉温の高い温泉に多量に溶解してゐる温泉群が所々に知れてゐる。例へば吉村信吉：地理學評論，8(1932)，482；福富孝治：地震研究所彙報，14(1936)，259。

和4年)に依つて見ると湯ヶ原温泉群神奈川で5個所の数値の如く泉温91°Cのものが2.6180g/l最も多く、63°Cのものが1.9919g/lと大體泉温の低くなるに従つて含鹽量の低下してゐるのが見られる例もある。

併し一般にこの例の如く簡単な関係を見られぬ場合が多い。ここに注意すべきことは鑛泉では餘程特殊の成分を含むもの以外は只一般に含鹽量の大なるものだけが鑛泉として取扱はれ含鹽量の比較的小なるものが見逃される虞があり、鑛泉の含鹽量は大になりすぎる傾向があると思ふ。

3. 元素分の布

本邦温泉中にその存在を報告されてゐる元素は次の如く多數ある。即ちH, He, Li, Be, B, C, N, O, F, Ne, Na, Mg, Al, Si, P, Cl, A, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn,

第 2 表

	平均値*** (g/kg) (使用した温泉数)	最高値 (g/kg) 及びそれを示す温泉
H	0.0019 (145)	0.4124** 白根山温泉(群馬)
Li	0.00003 (26)	0.0256** 有馬池之坊鑛泉(兵庫)
Na	0.773 (860)	17.4712** 有馬池之坊鑛泉(兵庫)
K	0.045 (856)	3.9485** 有馬池之坊鑛泉(兵庫)
NH ₄	0.0016 (366)	0.05698 一里塚鑛泉(長野)
Cu	0.0008 (48)	0.2265 錦城鑛泉(兵庫)
Ca	0.222 (859)	4.719 法正院温泉(新潟)
Mg	0.049 (853)	1.114 新家鑛泉(大阪)
Zn	0.0009 (29)	0.3902 焼山温泉(新潟)
Mn	0.0023 (179)	0.2777 豊川温泉(島根)
Fe ⁺⁺	0.311 (808)	8.903 錦城鑛泉(兵庫)
Fe ⁺⁺⁺		13.63 三石鑛泉(岡山)
Al	0.095 (668)	6.2739 磯邊鑛泉(富山)
OH	0.00097 (75)	0.10131 湯の澤温泉(秋田)
Cl	1.26 (857)	36.7229** 有馬池之坊鑛泉(兵庫)
Br	0.00085 (84)	0.0854** 有馬池之坊鑛泉(兵庫)
I	0.0012 (89)	0.1965 茂原鑛泉(千葉)
NO ₃	0.0003 (100)	0.07627 茂原鑛泉(千葉)
SO ₄	1.65 (832)	49.93 三石鑛泉(岡山)
HSO ₄		7.0430 那須湯本温泉(元湯)(栃木)
S ₂ O ₃	0.00011 (10)	0.0371 野付牛鑛泉(北海道)
HS	0.0010 (60)	0.1731 月岡温泉(新潟)
CO ₃	0.0015 (74)	0.7218 新宮鑛泉(新潟)
HCO ₃		9.0 琵琶の窪鑛泉(群馬)

Ga, Ge, As, Br, Rb, Sr, Zr, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, I, Cs, Ba, W, Au, Pb, Bi, Rn, Ra, Th 等で近時微量成分の研究が特に活潑に行はれてゐる。これ等の中の主成分の分布に就ては既に調査したことがあるが、ここでは更に新しい多數の試料を参考にして日本鑛泉分析表を基礎にした主成分の分布を見る。第2表には主成分の含有量の中で

HPO ₄	0.0065 (331)	0.5409	豊川温泉(鳥根)
HA ₃ O ₄	0.0008 (36)	0.2429	豊川温泉(鳥根)
HBO ₂	0.0382 (536)	5.5435*	嶺鏡泉(群馬)
H ₂ SiO ₃	0.106 (860)	1.1189	豊川温泉(鳥根)
CO ₂	0.215 (591)	3.149	鹿鹽鏡泉(兵庫)
H ₂ S	0.0032 (89)	0.7440	萬座温泉(群馬)

最大なるもの及び
北海道帝國大學の
奥野久輝氏に依つ
て求められたそれ
等の平均値⁷⁾を示
す。

* 衣笠 豊: 大日本温泉大鑑(日本温泉協會編)(1941) 54.

** R. Ishizu: The Mineral Springs of Japan. (1915), 120,

** 奥野久輝氏の計算せるもの。

即ち pH=0.4の

如き強酸性の温泉が焼山温泉(新潟)に知れ、又 pH=9.95の如きアルカリ性の強い中川温泉(神奈川)の如きものもあり、Fe=13.63g/kgも含有する三石鏡泉の如きものも知れてゐる。斯の如き温泉が如何なる機構で生成するのであるかは極めて興味ある問題であるが、ここでは一般的な各元素間の関係を求めて行きこれ等の問題を解く端緒なりとも得たいと思ふ。

a) 主なる成分の平均含有量 筆者は既に本邦温泉451個に就て含有するNa, Ca, Mg,

第3表 温泉の含有物質の平均値(g/kg)

	Na	Ca	Mg	Cl	SO ₄	HCO ₃
酸性[温泉]	0.305	0.195	0.0537	0.787	1.51	0.257
酸性鏡泉	0.692	0.210	0.0833	1.07	4.51	0.547
中性[温泉]	0.631	0.247	0.0199	1.01	0.472	0.321
中性鏡泉	0.873	0.438	0.0829	1.98	0.471	0.532
アルカリ性[温泉]	0.534	0.192	0.0198	0.847	0.349	0.246
アルカリ性鏡泉	2.06	0.300	0.107	3.20	0.337	1.34
酸性温泉	0.577	0.205	0.0745	0.987	3.62	0.461
中性温泉	0.747	0.339	0.0502	1.44	0.472	0.423
アルカリ性温泉	0.919	0.219	0.0417	1.44	0.346	0.522
全温泉	0.768	0.221	0.0557	1.25	1.70	0.491
海水 ¹⁰⁾	1.07	0.42	1.30	19.3	2.64*	0.10*

* 海水中のHCO₃及びSO₄は夫々海水中のS=0.088%及びC=0.002%を夫々HCO₃及びSO₄に計算した數値である。

Cl, SO₄及びHCO₃の平均値を求めてこれ等の間の関係を論じたが⁸⁾、ここでは更に新しい試料をも加へて日本鏡泉分布表⁹⁾を基礎にして、本邦温泉837個に就てこれ等の平均値及び分布状態を調べた結果を報告する。第3表にはこれ等の平均値を示す。

Naは如何なる温泉にも存在する分布の極めて廣い元素で全温泉の平均値は0.768g/kgで海水より遙に少いが、第2表の如く海水より含有量の多いものがあり、唐櫃鏡泉(兵庫)

も 15.78g/kg である。一般に「温泉」よりも鉱泉の方に Na は多く、特にアルカリ性鉱泉には多く、平均値 2.06g/kg を示す。その他酸性「温泉」に特に少ないことも注意すべきである。

Ca は酸性温泉に一般的に多いのであるが、平均値では「温泉」には鉱泉より少ないことが見られるだけで、泉質に依る著しい特徴ある分布状態はこれでは見られぬ。温泉全体の平均値は 0.221g/kg で海水の約 $\frac{1}{2}$ であるが、第2表の法正院温泉（新潟）や唐櫃鉱泉（兵庫）の 4.081g/kg、天然カルシウム鉱泉（福岡市）の 4.6978g/kg 等の海水の約10倍或はそれ以上に達する温泉もある。

Mg は Na 及び Ca に比べて著しく少ないものであるが、これも鉱泉の方に「温泉」よりも多い。温泉全体の平均は 0.0557g/kg で海水より決定的に少く、最大の含有量を示す新家鉱泉（第2表）でも海水より小になつてゐる。

Cl は温泉中には分布の広い元素であるが、平均値では只鉱泉の方に「温泉」よりも多い一般的傾向を示すだけで泉質に依る特徴は見られぬ。温泉全体の平均値は 1.25g/kg で海水の $\frac{1}{10}$ 以下であるが、第2表の有馬池之坊鉱泉や唐櫃鉱泉（兵庫）の 33.8g/kg 等の極め多量に含有するものもある。

SO₄ は酸性温泉中に決定的に多く、特に酸性鉱泉に多いことが知れる。温泉全体の平均値は 1.70g/kg で海水より小であるが、第2表の三石鉱泉や磯邊鉱泉（富山）の 48.2351g/kg の如き極めて大なる含有量を示すものもある。酸性温泉以外では SO₄ は「温泉」が鉱泉より必ずしも少なくないのは何故であらうか

HCO₃ は Cl, SO₄ と共に温泉地方の岩石の變質分解には極めて重要な役割を演ずるものであるが、これも平均値ではあまり著しい特徴ある分布は示さないで僅かに鉱泉には「温泉」よりも多いと云ふ一般的傾向が見られるのみである。温泉全体の平均値は 0.491g/kg となり海水の約5倍に達してゐる。

(b) Na, Ca Mg, Cl, SO₄ 及び HCO₃ の含有量間の關係 第3表に依れば各温泉には左

記の如き關係が各含	酸性「温泉」	Na > Ca > Mg, SO ₄ > Cl > HCO ₃
有物質の存在量間に	酸性 鉱 泉	Na > Ca > Mg, SO ₄ > Cl > HCO ₃
認められる。即ち	中性「温泉」	Na > Ca > Mg, Cl > SO ₄ > HCO ₃
	中性 鉱 泉	Na > Ca > Mg, Cl > HCO ₃ > SO ₄
	アルカリ性「温泉」	Na > Ca > Mg, Cl > SO ₄ > HCO ₃
	アルカリ性 鉱 泉	Na > Ca > Mg, Cl > HCO ₃ > SO ₄

これで見ると金属の方では何れも $\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg}$ となるが陰イオンでは少し複雑になり酸

第4表 酸性「温泉」

$\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg}$, $\text{SO}_4 > \text{Cl} > \text{HCO}_3$	22
" , $\text{Cl} > \text{HCO}_3 > \text{SO}_4$	9
" , $\text{HCO}_3 > \text{Cl} > \text{SO}_4$	8
" , $\text{Cl} > \text{SO}_4 > \text{HCO}_3$	4
" , $\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$	3
" , $\text{SO}_4 > \text{HCO}_3 > \text{Cl}$	1
$\text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg}$, $\text{SO}_4 > \text{Cl} > \text{HCO}_3$	15
" , $\text{SO}_4 > \text{HCO}_3 > \text{Cl}$	9
" , $\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$	8
6 , $\text{Cl} > \text{SO}_4 > \text{HCO}_3$	6
$\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na}$, $\text{SO}_4 > \text{Cl} > \text{HCO}_3$	11
" , $\text{SO}_4 > \text{HCO}_3 > \text{Cl}$	1
" , $\text{Cl} > \text{SO}_4 > \text{HCO}_3$	1
$\text{Na} > \text{Mg} > \text{Ca}$, $\text{SO}_4 > \text{Cl} > \text{HCO}_3$	2
" , $\text{SO}_4 > \text{HCO}_3 > \text{Cl}$	1
$\text{Mg} > \text{Ca} > \text{Na}$, $\text{SO}_4 > \text{Cl} > \text{HCO}_3$	1
總 計	102

性温泉が一の型をなし、中性温泉の
とアルカリ性「温泉」とで一の型を
示し、残の中性及びアルカリ性の鑛
泉が他の型となり、3つの型を示
す。即ち中性及びアルカリ性温泉で

第5表 酸性「温泉」

$\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg}$	47
$\text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg}$	38
$\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na}$	13
$\text{Na} > \text{Mg} > \text{Ca}$	3
$\text{Mg} > \text{Ca} > \text{Na}$	1
$\text{SO}_4 > \text{Cl} > \text{HCO}_3$	51
$\text{SO}_4 > \text{HCO}_3 > \text{Cl}$	12
$\text{Cl} > \text{SO}_4 > \text{HCO}_3$	11
$\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$	11
$\text{Cl} > \text{HCO}_3 > \text{SO}_4$	9
$\text{HCO}_3 > \text{Cl} > \text{SO}_4$	8

は泉温の高低に依つて元素分布の有様が異つてゐる。併しながら何れも海水の型 $\text{Na} > \text{Mg} > \text{Ca}$, $\text{Cl} > \text{SO}_4 > \text{HCO}_3$ 及び河川の $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na}$, $\text{CO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$ とは全く異なる分布様式である⁸⁾。

實際各温泉に於ける分布型式は次の如くで大體實際に上記の元素分布の型のものが最も多い。即ち第4表には酸性「温泉」の元素分布の型を示したものであり、理論的には36の型がある筈であるが實際には16だけしか出てゐないで $\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg}$, $\text{SO}_4 > \text{Cl} > \text{HCO}_3$ が最

第6表 酸性「鑛泉」

$\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg}$, $\text{HCO}_3 > \text{Cl} > \text{SO}_4$	45
" , $\text{Cl} > \text{HCO}_3 > \text{SO}_4$	35
" , $\text{SO}_4 > \text{Cl} > \text{HCO}_3$	31
" , $\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$	3
" , $\text{Cl} > \text{SO}_4 > \text{HCO}_3$	1
$\text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg}$, $\text{SO}_4 > \text{Cl} > \text{HCO}_3$	33
" , $\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$	13
" , $\text{HCO}_3 > \text{Cl} > \text{SO}_4$	12
" , $\text{SO}_4 > \text{HCO}_3 > \text{Cl}$	1

も多い。

第5表には金属の部と陰イオンの

第7表 酸性「鑛泉」

$\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg}$	115
$\text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg}$	59
$\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na}$	38
$\text{Mg} > \text{Ca} > \text{Na}$	12
$\text{Na} > \text{Mg} > \text{Ca}$	10
$\text{Mg} > \text{Na} > \text{Ca}$	7

第6表 (續)

Ca > Mg > Na, SO ₄ > Cl > HCO ₃	28
" , SO ₄ > HCO ₃ > Cl	4
" , HCO ₃ > Cl > SO ₄	4
" , HCO ₃ > SO ₄ > Cl	1
" , Cl > SO ₄ > HCO ₃	1
Mg > Ca > Na, SO ₄ > Cl > HCO ₃	9
" , HCO ₃ > SO ₄ > Cl	2
" , SO ₄ > HCO ₃ > Cl	1
Na > Mg > Ca, SO ₄ > Cl > HCO ₃	9
" , SO ₄ > HCO ₃ > Cl	1
Mg > Na > Ca, SO ₄ > Cl > HCO ₃	6
" , HCO ₃ > Cl > SO ₄	1
總 計	241

第7表 (續)

SO ₄ > Cl > HCO ₃	116
HCO ₃ > Cl > SO ₄	62
Cl > HCO ₃ > SO ₄	35
HCO ₃ > SO ₄ > Cl	20
SO ₄ > HCO ₃ > Cl	6
Cl > SO ₄ > HCO ₃	2

部とを別々にしたものである。

第6表には酸性鉱泉の実際の元素分布型式を示してあるが、ここには21通の型が現れて来て、酸性鉱泉だけは平均値の分布型式Na > Ca > Mg, SO₄ > Cl > HCO₃は実際には極めて少

く、Na > Ca > Mg, HCO₃ > Cl > SO₄が最も多い。併しながら陽イオンと陰イオンとを別々にして見ると第7表の如くNa > Ca > Mg及びSO₄ > Cl > HCO₃が実際には大多数存在する

第8表 中性「温泉」

Na > Ca > Mg, Cl > SO ₄ > HCO ₃	6
" , Cl > HCO ₃ > SO ₄	4
" , SO ₄ > Cl > HCO ₃	4
" , HCO ₃ > Cl > SO ₄	4
Ca > Na > Mg, SO ₄ > Cl > HCO ₃	4
" , HCO ₃ > SO ₄ > Cl	1
" , SO ₄ > HCO ₃ > Cl	1
Ca > Mg > Na, SO ₄ > Cl > HCO ₃	1
Mg > Ca > Na, HCO ₃ > SO ₄ > Cl	1
總 計	26

第9表 中性「温泉」

Na > Ca > Mg	18
Ca > Na > Mg	6
Ca > Mg > Na	1
Mg > Ca > Na	1
SO ₄ > Cl > HCO ₃	9
Cl > SO ₄ > HCO ₃	6
Cl > HCO ₃ > SO ₄	4
HCO ₃ > Cl > SO ₄	4
HCO ₃ > SO ₄ > Cl	2
SO ₄ > HCO ₃ > Cl	1

ことが知れる。

中性「温泉」は第8表及び9表に示く元素分布の型式は割合に少く、平均値の間の関係が実際にも最も多いことが認められる。中性鉱泉の場合も第10表及び第11表に見られる如く極めて簡単な分布型式だけしか示さないで平均値の関係が実際に最も多く存在する。

アルカリ性温泉では元素の分布型式が多数に現れてゐるがMgの最も多い型式は酸性温泉と異つて現れてゐない。第12表、第13表、第14表、第15表には夫々アルカリ性「温泉」

第10表 中性鍍泉

Na > Ca > Mg, Cl > HCO ₃ > SO ₄	6
// , HCO ₃ > Cl > SO ₄	5
// , HCO ₃ > SO ₄ > Cl	2
// , Cl > SO ₄ > HCO ₃	1
// , SO ₄ > Cl > HCO ₃	1
Ca > Na > Mg, Cl > SO ₄ > HCO ₃	4
// , HCO ₃ > Cl > SO ₄	4
// , SO ₄ > HCO ₃ > Cl	1
總 計	24

第12表 アルカリ性「温泉」

Na > Ca > Mg, Cl > SO ₄ > HCO ₃	84
// , SO ₄ > Cl > HCO ₃	81
// , HCO ₃ > Cl > SO ₄	39
// , Cl > HCO ₃ > SO ₄	35
// , HCO ₃ > SO ₄ > Cl	28
// , SO ₄ > HCO ₃ > Cl	14
Ca > Na > Mg, SO ₄ > Cl > HCO ₃	35
// , SO ₄ > HCO ₃ > Cl	2
// , Cl > SO ₄ > HCO ₃	2
// , HCO ₃ > SO ₄ > Cl	1
Na > Mg > Ca, HCO ₃ > Cl > SO ₄	2
// , Cl > HCO ₃ > SO ₄	2
// , SO ₄ > Cl > HCO ₃	1
Ca > Mg > Na, SO ₄ > HCO ₃ > Cl	2
// , SO ₄ > Cl > HCO ₃	1
總 計	329

第14表 アルカリ性鍍泉

Na > Ca > Mg, Cl > HCO ₃ > SO ₄	52
// , HCO ₃ > Cl > SO ₄	21
// , Cl > SO ₄ > HCO ₃	8
// , HCO ₃ > SO ₄ > Cl	3
// , SO ₄ > Cl > HCO ₃	3
// , SO ₄ > HCO ₃ > Cl	1
Na > Mg > Ca, Cl > SO ₄ > HCO ₃	5
// , Cl > HCO ₃ > SO ₄	3
// , HCO ₃ > Cl > SO ₄	2
// , HCO ₃ > SO ₄ > Cl	1

第11表 中性鍍泉

Na > Ca > Mg	15
Ca > Na > Mg	9
HCO ₃ > Cl > SO ₄	9
Cl > HCO ₃ > SO ₄	6
Cl > SO ₄ > HCO ₃	5
HCO ₃ > SO ₄ > Cl	2
SO ₄ > Cl > HCO ₃	1
SO ₄ > HCO ₃ > Cl	1

第13表 アルカリ性「温泉」

Na > Ca > Mg	281
Ca > Na > Mg	40
Na > Mg > Ca	5
Ca > Mg > Na	3
SO ₄ > Cl > HCO ₃	118
Cl > SO ₄ > HCO ₃	86
HCO ₃ > Cl > SO ₄	41
Cl > HCO ₃ > SO ₄	37
HCO ₃ > SO ₄ > Cl	29
SO ₄ > HCO ₃ > Cl	18

第15表 アルカリ性鍍泉

Na > Ca > Mg	88
Na > Mg > Ca	11
Ca > Na > Mg	10
Ca > Mg > Na	3
Cl > HCO ₃ > SO ₄	58
HCO ₃ > Cl > SO ₄	25
Cl > SO ₄ > HCO ₃	14
SO ₄ > Cl > HCO ₃	7
HCO ₃ > SO ₄ > Cl	6
SO ₄ > HCO ₃ > Cl	2

第14表 (續)

Ca > Na > Mg, Cl > HCO ₃ > SO ₄	3
" , SO ₄ > Cl > HCO ₃	2
" , HCO ₃ > Cl > SO ₄	2
" , HCO ₃ > SO ₄ > Cl	1
" , SO ₄ > HCO ₃ > Cl	1
" , Cl > SO ₄ > HCO ₃	1
Ca > Mg > Na, SO ₄ > Cl > HCO ₃	2
" , HCO ₃ > SO ₄ > Cl	1
總 計	112

Mg なる関係は何處でも一般的に成立するやうであるが、Cl, SO₄, HCO₃ の方の関係は一般に少し複雑である。

c)、Na と Ca との関係 各元素の存在量間の関係を見るために第17表には第3表の各元素の平均値の間の量比を示す。

第17表に依れば温泉に於ける Ca/Na は酸性「温泉」が著しく大で0.64を示し、中性温泉これに次ぎ0.50となり、アルカリ性温泉が最も小さく0.15であ

る。これだけでは何等泉質に依る特徴は見られず、海水との著しい差が見られるのみである。併しながら我々が実際に温泉を見ると酸性温泉には他の泉質の温泉に比較して Ca > Na の場合の多いことを知つてゐる。それで第18表にはこれを示してある。

及び温泉の元素分布の型式を示す。

何れも平均値で示された関係が実際に温泉に最も多い。第16表には外國の温泉に就てこれ等の元素分布の型式を見たものであるが、何れも本邦温泉に多い Na > Ca > Mg, SO₄ > Cl > HCO₃, HCO₃ > Cl > SO₄, Cl > SO₄ > HCO₃ 及び Cl > HCO₃ > SO₄ 等が多く現れてゐる。金屬の方の Na > Ca >

第 16 表

	(I)	(II)	(III)	(IV)	(V)
Na > Ca > Mg	54	18	1	89	162
Mg > Ca > Na	5	—	21	—	26
Ca > Mg > Na	16	2	5	2	25
Ca > Na > Mg	9	3	—	13	25
Na > Mg > Ca	7	—	2	2	11
Mg > Na > Ca	2	—	5	—	7
總 計	93	23	34	106	256
SO ₄ > Cl > HCO ₃	23	17	8	73	121
HCO ₃ > Cl > SO ₄	9	—	—	64	73
Cl > SO ₄ > HCO ₃	24	—	—	25	49
Cl > HCO ₃ > SO ₄	16	—	—	32	48
HCO ₃ > SO ₄ > Cl	7	2	3	29	41
SO ₄ > HCO ₃ > Cl	8	1	5	13	27
總 計	87	20	16	236	359

- (I) F. W. CLARKE: Data of Geochemistry. (1924).
- (II) A. L. DAY, E. T. ALLEN: The Volcanic Activity and Hot Springs of Lassen Peak. (1925).
- (III) E. T. ALLEN, A. L. DAY: Steam Wells and Other Thermal Activity at "The Geysers" California. (1927).
- (IV) E. T. ALLEN, A. L. DAY: Hot Springs of the Yellowstone National Park. (1935).
- (V) 總 計

第17表 各元素の存在量比

	Ca/Na	Mg/Na	Mg/Ca	Cl/Na	Ca/Cl	Mg/Cl	Ca/SO ₄	Cl/HCO ₃	SO ₄ /HCO ₃	SO ₄ /Cl
酸性「温泉」	0.64	0.18	0.28	2.6	0.25	0.068	0.13	3.1	5.9	1.9
酸性「鉱泉」	0.30	0.12	0.40	1.5	0.20	0.078	0.05	2.0	8.2	4.2
中性「温泉」	0.39	0.03	0.08	1.6	0.24	0.020	0.52	3.1	1.5	0.47
中性「鉱泉」	0.50	0.09	0.19	2.3	0.22	0.042	0.93	3.7	0.89	0.24
アルカリ性「温泉」	0.36	0.04	0.10	1.6	0.23	0.023	0.55	3.4	1.4	0.41
アルカリ性「鉱泉」	0.15	0.05	0.36	1.6	0.09	0.033	0.91	2.4	0.25	0.10
海水	0.039	0.12	3.10	1.8	0.02	0.067	0.16	193	26.	0.14

第18表

	Na>Ca	Na<Ca	Cl>SO ₄	Cl<SO
酸性「温泉」	50	52	28	74
酸性「鉱泉」	132	109	99	142
中性「温泉」	18	8	14	12
中性「鉱泉」	15	9	20	4
アルカリ性「温泉」	286	43	164	165
アルカリ性「鉱泉」	99	13	97	15

即ち酸性「温泉」ではCa < Na の場合が Na > Ca の場合より多く、酸性「鉱泉」も他の泉質の温泉に比較すれば Ca > Na の場合が明かに多く、酸性温泉には Na に對して Ca が割合に濃縮さ

れてゐることが知れる。酸性温泉に Ca の多く特に酸性「温泉」に多いのは CaSO₄ の溶解度に依るものかも知れぬ。尙一般に Na > Ca の所には Cl が多いやうであり、Ca > Na の温泉には SO₄ が多く Cl が少いやうである。例へば Ca > Na なる型の温泉数は234個でその中で Cl > SO₄ > HCO₃ が15個、Cl > HCO₃ > SO₄ が3個であるが、SO₄ の最大の型は165個となり70%以上を占めて居り、Na, Ca, Cl, SO₄ の成因的關係を示すものらしい。又酸性「温泉」の如く Ca > Na の型が Na < Ca より多いのにも拘らず平均値で Na が Ca より著しく多いのは、Ca > Na の場合の Ca の量は Na より極めて著しく多いことは割合に少く、殆ど Na に近い場合が多いのであるが、Na > Ca の型の Na は Ca より極めて多い場合の数が多いためであらうと考へられる。

d) Na と Mg との關係 これは第17表に見られる如く泉質に依り極めて明瞭にその差異が出て来る。即ち酸性温泉では量比 Mg/Na が夫々 0.18 及び 0.12 となり、海水の 0.12 と同程度であるが、中性温泉及びアルカリ性温泉では著しく小で量比 Mg/Na は 0.03~0.09 となつてゐる。斯の如く泉質に依つて著しい差を示すが、泉温に依つては殆ど一般的な差は認められぬ。

e) Ca と Mg との關係 これは第17表の如く大體酸性温泉に於てその量比 Mg/Ca が大

であるやうであるが、アルカリ性鉱泉も著しく大である。何れも海水の 3.10 より極めて小であるが一般的に Mg/Ca の量比は「温泉」より泉温の低い鉱泉の方に大である。これは CaSO_4 等の溶解度の関係するものかも知れない。

f) Na と Cl との関係 海水中には Na に相應する以上に多量に Cl が存在し、河川には逆に Na が Cl に相應するより多いことが云はれてゐる。温泉では Cl/Na の量比が第17表に見られる如く酸性「温泉」の 2.6 と中性鉱泉の 2.3 以外は何れも海水の 1.8 以下で殆ど一致した 1.5~1.6 なる數値を示してゐる。實際に本邦温泉 450 個に就て見ると $\text{Na} > \text{Cl}$ が 214 個、 $\text{Na} < \text{Cl}$ が 236 個で大體 $\text{Na} < \text{Cl}$ 方が多いのである⁵⁾。温泉全體の平均原子數比 Na/Cl は 0.9⁵⁾ で海水に似てゐる。

g) Ca と Cl との関係 鹽酸酸性の所では CaSO_4 等を溶解するので Ca/Cl の量比を第17表で見ると意外にも殆ど一定で 0.20~0.25 となり、何等の著しい泉質に依る差異が認められない。只アルカリ性鉱泉だけが 0.09 となり海水の 0.02 に近く海水の化石水がこの中に入つて來てゐるのではないかと考へを浮ばさせる。尙 Ca/Cl は何れも鉱泉より「温泉」の方が大である。

h) Mg と Cl との関係 これは第17表に見られる如く酸性温泉だけが Mg/Cl の量比が 0.068~0.078 となり海水の 0.067 より大となり、他の泉質のものは何れもこれよりも小である。尙ここでは Mg/Cl の量比が鉱泉の方に「温泉」より常に大で Ca/Cl の場合と逆になつてゐる。

i) Ca と SO_4 との関係 第17表に見られる如く酸性温泉では Ca/ SO_4 の量比は著しく小で 0.13~0.047 となり、海水の 0.16 より小さい他、の泉質の温泉では何れもこれより大であり、且つ何れも鉱泉の方が「温泉」より大となり、これも酸性温泉と逆になつてゐる。これ等は何れも酸性温泉の獨特の成因に依るものと考へられ、これ等の温泉の成因を考へる上に重要な端緒であると思ふ。

j) Cl と SO_4 との関係 この関係は酸性温泉の特徴を最もよく示すもので、 SO_4/Cl の量比は第17表に見られる如く、酸性温泉には他の泉質の温泉より決定的に多い。このことは實際の温泉に就て見ても第18表の如く酸性温泉には $\text{SO}_4 > \text{Cl}$ が $\text{Cl} < \text{SO}_4$ より極めて多いことでも知れる。尙酸性温泉では泉温の高い「温泉」より鉱泉の方に SO_4/Cl が大であるが、他の泉質のものでは「温泉」の方に SO_4/Cl のが比較的温泉より多いのが認められる。これは酸性温泉では硫黄の化合物が多量でその酸化には多量の酸素を必要とするので長く空氣と接觸して酸化を受けたと考へられる鉱泉に SO_4 が多いのではないかと考へられる。

k) SO_4 と HCO_3 の關係 酸性温泉では決定的に SO_4 が HCO_3 より多いが、他の泉質では大體同等となり、「温泉」では泉温の低い鑛泉と異り $\text{SO}_4 > \text{HCO}_3$ となつてゐる。尙酸性温泉以外は鑛泉の方に重量比 SO_4/HCO_3 が小である(第17表)。

4. 結果の考察

以上のやうな主成分の含有量間の關係を見ると、上記の温泉の分類法に於ては酸性温泉と他の中性及びアルカリ性温泉との2つの温泉群の間には性質上極めて明かな差異が認められる。(以上の外尙 Fe, Al 等が酸性温泉決定的に多い)。併しながら中性温泉とアルカリ性温泉との性質の差は餘り明かではなく、寧ろこの二種の分類の差よりもこれ等の中で泉温に依る區別の「温泉」と鑛泉との性質の差が著しく認められる。それで $\text{pH}=7.0$ なる中性温泉は特別に分類しないで、これ等を皆アルカリ性温泉と見做して差支ない位に類似性がある。

アルカリ性鑛泉の中には海水の化石水が入つて來てゐるかも知れないと思はれるのでこれと海水との性質を見る。第17表に依ればアルカリ性鑛泉には Ca/Na 、 Ca/Cl 及び SO_4/Cl 等が極めて小さく、その上 Mg/Ca が中性温泉及びアルカリ性「温泉」とは異り著しく大である點は海水に似てゐるが、 Mg/Na 、 Cl/Na 、 Ca/SO_4 、 Mg/Cl 、 Cl/HCO_3 及び SO_4/HCO_3 等は他と著しい差異を示さず且海水との類似性も明かではない。それで以上の結果だけでは決定は出來難い。

尙米國の Lassen Peak の温泉群¹¹⁾ では原子比 Ca/Mg は $0.9\sim 2.9$ なる殆ど一定の數値を與へ、原子比 Na/K は $3.8\sim 8.5$ で、これ等は大體附近の安山岩の原子比に似てゐると云はれてゐる。我が國の温泉に就て原子比 Ca/Mg を第3表に依つて計算すれば大體 $1.5\sim 7.5$ となり、本邦温泉には Ca/Mg が稍大である。これは本邦火山岩¹²⁾ には世界の火山岩に比較して Ca が著しく多い性質と考へて興味ある事實である。

又本邦温泉の平均原子比 Na/K は 29.0 となり、極めて大である。これも本邦安山岩では重量比 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ が 0.42 であるのに R. A. Daly¹³⁾ に依る世界の安山岩の平均値からの重量比 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ は 0.57 となり、本邦安山岩中には Na_2O に比べて K_2O の少いことを示してゐるのと考へ合せると面白い。

(九州帝國大學理學部化學教室)

文 献

- 1) 例へば E. T. ALLEN, A. L. DAY: Hot Springs of the Yellowstone National Park. (1935)
- 2) 岩崎岩次: 日本化学會誌, 57 (1936), 268.
- 3) 岩崎岩次: 日本化学會誌, 56 (1935), 252.
- 4) 衛生試験所彙報, 第 34 號 (昭和4年3月); 第 54 號 (昭和15年3月).
- 5a) R. ISHIZU: The mineral springs of Japan. (1915), 197.
- 5b) B. ISHIZU: "The Mineral Springs of Japan. (1915), 120.
- 6) 渡邊武男: 科學, 7 (1937), 62.
- 7) 奥野久輝氏の私信に依る。
- 8) 岩崎岩次: 日本化学會誌, 56 (1935), 1427.
- 9) 同一の温泉中に HSO_4 及び SO_4 或は HCO_3 及び CO_3 が夫々別々に定量されて數値が與へられてゐる場合には HSO_4 を SO_4 に, CO_3 を HCO_3 に計算して加へてある。
- 10) V. M. GOLDSCHMIDT: Fortschr. Mineral. Krist. Petrog., 17 (1933), 112.
- 11) A. L. DAY, E. T. ALLEN: The Volcanic Activity and Hot Springs of Lassen Peak. (1925), 147.
- 12) 岩崎岩次: 日本化学會誌, 58 (1939), 339.
- 13) R. A. DALY: Igneous Rocks and the Depths of the Earth. (1933).