

昭和59年1月

原 著

濃度相関マトリックスによる 奥飛驒温泉の地球化学的研究

川本 博*¹, 阿部修治*², 松沢克典*³下澤秀夫*⁴, 飯島南海夫*⁵*¹群馬大学工学部, *²東京農工大学工学部, *³長野県衛生公害研究所*⁴長野高等学校, *⁵信州大学教育学部

(昭和58年9月12日受理)

1. 緒 言

温泉研究に濃度相関マトリックスを導入したのは、綿抜と高野であるが、彼らは源泉群の相互関係を論ずるのにその手法が有用であることを示した¹⁾。その後、筆者らは同法を下呂温泉の研究に応用したが、その適用には問題点と限界があることを示唆した²⁾。しかし濃度相関マトリックスの計算に採用する泉水成分の種類を選択が適当ならば、同法によって得られる知見は、地質学的研究結果と関連するので、地球化学的手段としてのその有用性は十分である。本報告の対象とした奥飛驒の地質は、秋山による報告がある³⁾。また当地方の温泉の化学的研究が坂田らによって発表されているので⁴⁾、本研究の結果と対比検討するのに供した。

2. 分析及び結果

1980年7月30日、31日、第1図に示した各地点の泉源で温泉水を採取した。Fe²⁺の定量は、現地にて採水直後に1, 10-フェナントロリンを加えて発色させる吸光光度法によった。他の諸成分の分析方法は、前報と同じである²⁾。得られた分析結果は、まとめて表1に示した。ヒ素はΣAsで示したが、温泉水中のそれは主としてAs(V)であった⁵⁾。銅は全試料について原子吸光分析法の検出限界(0.01mg/l)以下であった。温泉水の湧出状況や泉質に関係すると考えられる断層は、秋山の報告(第1図)に一部加筆して第2図に示した³⁾。

3. 奥飛驒の地質概況

本地域は古生層と結晶片岩類を主とする古期岩層と中生界の手取統及びこれらを覆う中生代白亜紀系の濃飛流紋岩類と第四紀の火山岩などからなる。古期岩層は飛驒外縁構造帯と美濃帯とに大別される。飛驒外縁構造帯と美濃帯の地質図と採水源泉地点を第1図に示した。

飛驒外縁構造帯はファボシテス石灰岩を特徴とするデボン系の福地層群、石灰岩や碎屑岩からなる石炭系の一谷層群、時代末詳の蒲田結晶片岩類及びこれを取りまいて分布する石炭~二畳系の空山層群(シャルスタイン・チャート・石灰岩・頁岩・砂岩からなる)である。美濃帯は粘板

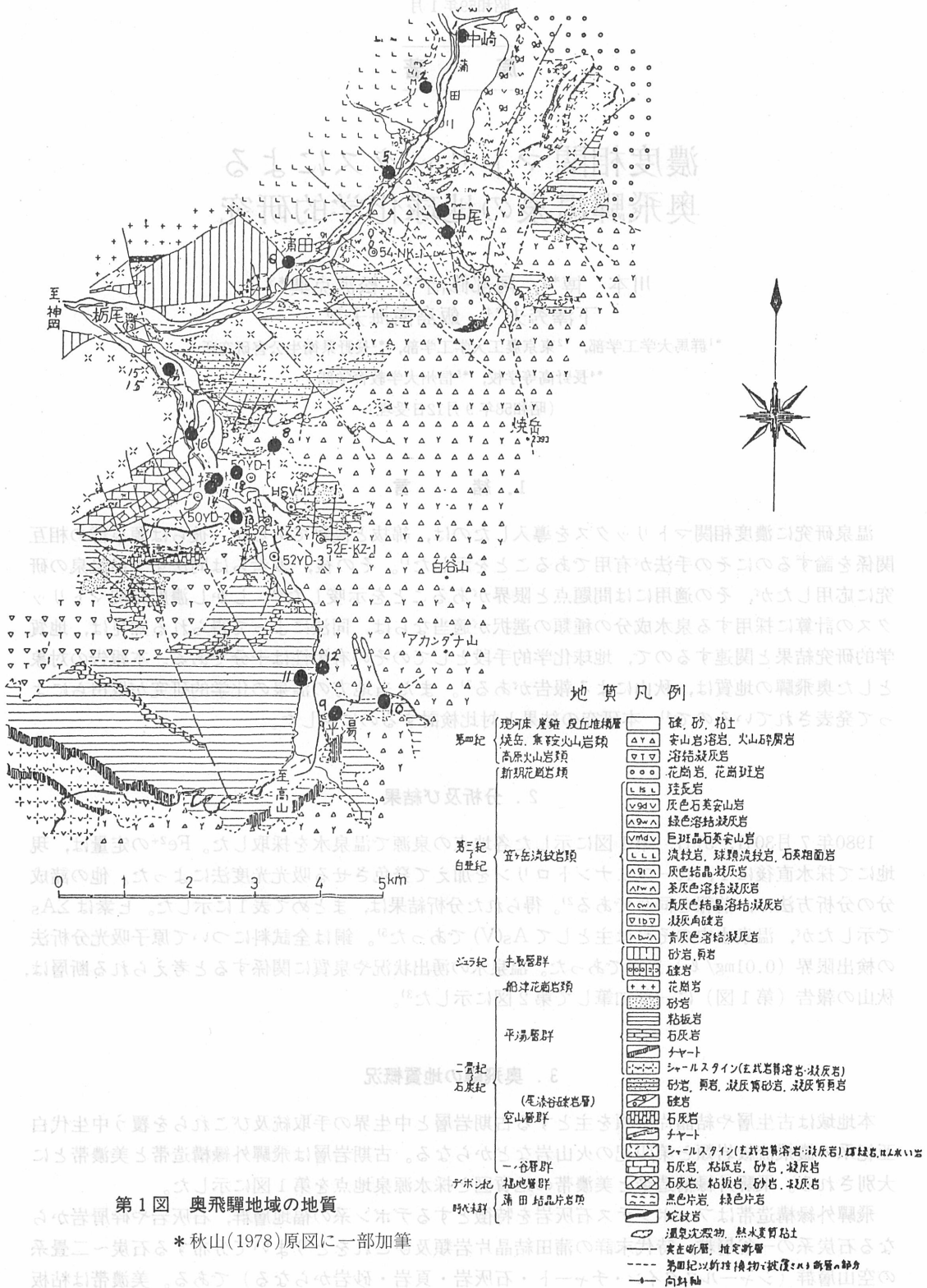


表 1 分析結果

No.	泉源	泉温 °C	pH	電導度 μS/cm	mg/ℓ										酸化 還元 電位 vs. SCE, mV				
					Li+	Na+	K+	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ²⁺	ΣFe	Mn ²⁺	Cu ²⁺	ΣAs		F-	Cl-	SO ₄ ²⁻	HCO ₃
1	新穂高、村	73.6	6.8	1240	0.919	104	14.7	17.8	0.515	n.d.	0.19	0.38	n.d.	n.d.	4.20	154	78.0	131.2	-234
2	深山荘	63.8	6.8	1000	0.787	90.7	11.1	14.9	n.d.	n.d.	0.05	0.27	0.08	n.d.	3.85	123	61.3	130.9	-186
3	中尾上宝	71.0	5.6	490	0.271	28.5	33.0	14.7	4.63	n.d.	0.02	n.d.	n.d.	0.12	1.77	92.3	167	89.9	-198
4	中尾1号	69.4	5.6	620	0.461	45.8	76.7	12.0	2.46	n.d.	0.08	n.d.	n.d.	0.22	2.24	66.5	52.8	79.2	-215
5	槍見館	67.2	6.3	1120	0.898	118	11.1	13.0	2.18	n.d.	0.03	0.40	n.d.	n.d.	4.73	131	55.7	167.5	-61
6	蒲田	50.0	5.8	1480	2.35	182	16.0	13.0	2.75	n.d.	0.22	0.03	n.d.	0.21	8.0	67.2	n.d.	297.3	+10
7	尾温泉	62.2	7.0	1020	0.805	92.4	11.4	14.0	1.85	n.d.	0.05	0.25	n.d.	n.d.	3.60	110			
8	一重ヶ根1号	76.7	6.2	1450	0.590	114	16.0	14.4	5.41	n.d.	0.08	n.d.	n.d.	0.24	1.72	117	38.44	192.2	-265
9	湯、白猿の湯	67.5	7.2	2450	2.06	291	38.1	3.3	2.96	n.d.	0.21	0.02	0.01	0.01	1.82	356	195	221.4	-220
10	神の湯	46.3	7.2	1640	0.776	137	16.0	83.0	17.7	n.d.	0.35	1.16	n.d.	n.d.	0.42	150	139	490.6	-42
11	上谷養魚所	62.9	6.4	1230	1.25	176	29.0	51.1	25.5	1.2	3.42	0.23	n.d.	n.d.	0.37	206	76.8	483.9	-75
12	養魚園	59.4	6.2	1820	0.995	173	25.1	57.4	14.2	2.7	2.84	0.53	n.d.	n.d.	0.63	191	162	435.0	-30
13	福地、焼岳ホテル	68.9	7.0	4900	3.71	489	37.9	97.4	24.2	0.9	1.13	0.15	0.01	n.d.	1.20	362	112	1242.6	-255
14	川原	72.8	6.4	1320	1.06	116	18.7	11.5	5.32	n.d.	0.12	n.d.	0.02	0.14	2.16	88.6	139	245.0	-185
15	一重ヶ根、湯原No.1	37.1	6.2	460	0.740	67.8	12.9	40.0	14.4	1.1	2.09	0.23	0.01	n.d.	0.42	100	67.0	309.1	+5
15'	湯原No.2	46.0	6.2	1140	0.839	97.4	17.4	59.5	15.5	1.7	2.50	0.31	n.d.	n.d.	0.44	57.1	112	437.2	0
16	へびンカー7	92.3	6.8	1780	0.945	152	19.8	82.5	10.6	0.9	1.03	0.37	n.d.	n.d.	0.52	79.0	50.2	619.9	-30
17	本田No.2	97.3	8.8	2950	2.47	314	50.2	n.d.	n.d.	0.5	3.87	0.01	n.d.	0.40	4.8	219	130	613.7	-298
18	本田No.1	97.4	8.8	2900	3.40	250	54.9	n.d.	1.3	n.d.	0.05	n.d.	n.d.	0.33	3.63	200	38.4	516.7	-325

岩, チャート, 石灰岩を主とする二畳系の平湯層群からなる。

ジュラ紀～白亜紀堆積物の手取統は栃尾～神板にかけて蒲田川流域に分布し, 白亜系火山岩類の笠ヶ岳流紋岩, 溶結凝灰岩, 流紋岩, 花崗斑岩などは, 主として新穂高地域に分布する。第四紀火山岩類は安山岩, 溶結凝灰岩, 火砕流, 泥流からなり, 焼岳周辺の古生界や笠ヶ岳流紋岩を被覆して広く分布する。なお, 地質層序の概要は第1図凡例の順である。

本地域の諸断層は秋山原因 (1978, 第1図) に筆者らの確認したもので, 重複しない断層を追記して第2図に示した。主な断層の方向は北々東～南々西 (飛驒外縁構造帯の伸の方向) と, これにほぼ直交する方向とに大別される。

源泉は主として, (1)飛驒外縁構造帯の中に分布し, しかも前記した二方向の諸断層に沿っている。(2)平湯温泉群は前者とは全く異なる地質を示す古生層美濃帯の平湯層群に分布する。すなわち, (3)飛驒外縁構造帯は飛驒変成帯をとりまき, 美濃帯との境界をなす構造帯と位置づけられるが, 近年はこの外縁構造帯の日本列島地質構造発達史の地質学的位置とその意義は注目され, これが日本列島の中で最古の先三畳紀の島弧～海溝系であり, しかも当時の火山活動帯であった所でもある。また, (4)この地域とその北部地域の第四紀における隆起量は1,650mで, 日本で最も異常に隆起した所である。(5)飛驒外縁構造帯と美濃帯平湯層群に打たれた試錐から, 前者の温度勾配は浅所で大きく, 一定の深度以下では極めてゆるくなる対派型の熱構造であるが, 後者では孔底までほぼ一定の温度勾配(15～20°C/100m)がつづく伝導型の熱構造である(1978, 秋山)。

本地域の高温泉は前述(1)～(5)の如き特異な地質条件下にあるが, 焼岳火山の影響を多分にうけている温泉である。

4. 考 察

栃尾温泉No.7は, 新穂高槍見館No.5の引水であるので, 以下の考察では除外した。濃度相関マトリックスの計算方法は, すでに本誌に紹介されているので¹⁾, 結果のみを表にまとめた。なお, 符号判定基準は $M=1.3$ としてマトリックスを作成した。温泉水は雨水起源の水が地下岩石と接触相互作用して地表に湧出したもので, その含有成分のうち, 地下の地質環境を反映するのは, 全試料水中に普遍的に溶存する陽イオン Li^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} 及び Mg^{2+} の相互濃度比であるとして, 濃度相関マトリックスを作成した。しかし, Li^+ については, マグマ発散物からの寄与も否定できないので²⁾, 前記5成分をもとにして得られた表2の結果から, 各泉源間の相関関係を論ずる際には注意する必要がある。表3に示した濃度相関マトリックスは, マグマ発散物起源に関連していると考えられる Li^+ , F^- , Cl^- , HCO_3^- 及び SO_4^{2-} の5成分を用いて計算した結果である。この場合にも, 留意すべき問題点は, 例えば F^- の起源として岩石から地下水への溶出を否定できないことである⁶⁾。しかし, これらの問題が濃度相関マトリックスの地球化学的応用のすべてを損うものでなく, 同法を用いた泉源間の相互関連性に関する考察は大局的に重要な結論をもたらす。

表2から, 泉源No.1, 2, 5及び9は相関関係があると判断され, とくに前3者の地質は手取層でかつ頁岩に由来する Mn^{2+} を含有している。No.6も手取層であるが, その下に船津花崗岩やシャルスタインなどが分布している。No.5と6の高度な相関関係は(表2)No.6に最も近い泉源がNo.5であるとともに両者に共通な地層手取層に起因しているとして説明できる。しかし, 表2で同じ手取層である例えばNo.2とNo.6に相関関係がない。これは, No.6の温泉水泉質に対する手取層の寄与が比較的小さく, 船津花崗岩が関係するためであると解釈され, 実際にNo.6では Mn^{2+} 含量が低く, この地域の Mn^{2+} の起源を手取層に求めるならば, 上記の推定は妥当である。

表2 濃度相関マトリックス (Z_{kl})

No.	1	2	3	4	5	6	8	9	10	11	12	13	14	15	15'	16	17	18	
1	1.0																		
2	0.6	1.0																	
3	0.1	0.1	1.0																
4	0.2	0.1	0.2	1.0															
5	0.3	0.4	0.1	0.2	1.0														
6	0	0	0.1	0.2	0.4	1.0													
8	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	1.0												
9	0.5	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	1.0											
10	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.3	1.0										
11	0.2	0.2	0.4	0.1	0.1	0	0.2	0.3	0.5	1.0									
12	0.1	0.1	0.3	0.2	0	0.1	0.3	0.2	0.4	0.5	1.0								
13	0.2	0.2	0.1	0.6	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.3	1.0							
14	0.3	0.2	0.1	0.3	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.1	0.3	1.0						
15	0.2	0.2	0.6	0.1	0	0.1	0.1	0.1	0.4	0.4	0.2	0.1	0.4	1.0					
15'	0.3	0.1	0.6	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.6	0.6	0.5	0.2	0.3	0.8	1.0				
16	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0	0.4	0.3	0.6	0.3	0.6	0.3	0.2	0.2	0.6	1.0			
17	0.3	0.2	0.1	0.2	0.1	0	0.1	0.3	0.1	0.3	0.2	0.1	0.3	0.2	0.3	0.3	1.0		
18	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0	0.1	0.1	0	0	0	0.1	0.3	0.2	0.1	0.1	1.0	

採用成分: Li⁺, Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺表3 濃度相関マトリックス (Z_{kl})

No.	1	2	3	4	5	6	8	9	10	11	12	13	14	15	15'	16	17	18	
1	1.0																		
2	1.0	1.0																	
3	0.2	0.2	1.0																
4	0.8	0.6	0.2	1.0															
5	0.6	0.8	0.2	0.6	1.0														
6	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	1.0													
8	0.3	0.2	0.1	0.3	0.4	0.1	1.0												
9	0.4	0.3	0.1	0.3	0.2	0.1	0.2	1.0											
10	0.1	0.1	0	0.2	0.3	0.1	0.1	0.1	1.0										
11	0.2	0.3	0.1	0.1	0.3	0	0.5	0.1	0.3	1.0									
12	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0	0.3	0.2	0.7	0.4	1.0								
13	0	0	0.2	0	0.1	0.1	0.2	0.1	0.3	0.4	0.2	1.0							
14	0.2	0.2	0.2	0.3	0.1	0	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	1.0						
15	0.3	0.2	0.2	0.3	0.1	0	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.4	0.1	1.0					
15'	0	0	0.1	0.1	0.1	0	0.1	0.1	0.6	0.3	0.4	0.1	0.3	0.4	1.0				
16	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0.1	0.1	0.3	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.6	1.0			
17	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0	0.5	0.2	0.2	0.3	0.1	0.3	0.6	0.3	0.2	0.3	1.0		
18	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.5	0.1	0.1	0.1	0.3	1.0	

採用成分: Li⁺, F⁻, Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻

No. 1, 2 及び 5 については泉温に比例して電導度が增大するが, No. 6 は泉温が低いにもかかわらず電導度が高い。この現象は花崗岩の存否によると説明できる。すなわち, 花崗岩は風化作用を受けやすく比表面積が大きくなっており水の浸透性が大きいことから, 花崗岩が存在するNo. 6 では地下水への岩石成分の溶出濃度が高いと考えられる⁷⁾。また, No. 6 は $\text{Li}^+/\text{Na}^+=1.3 \times 10^{-2}$ で奥飛驒温泉群で最高値であるとともに, F^- 濃度も最も高い。これは船津花崗岩がペグマタイト鉱物(雲母類)をとともなうためである。表3の結果によれば, No. 6 と相関関係のある泉源はなく, SO_4^{2-} 濃度が検出限界以下であることも特異的である。No. 5 と 6 の相関関係は岩石起源の成分を考慮した場合にのみ成立することから(表2), 新穂高温泉の Mn^{2+} は手取層構成地層頁岩層に帰すべきであるとの結論が得られる。

前報では²⁾, 下呂温泉の化学的研究から, As の起源をマグマ発散物に求めたが, No. 6 の温泉水は As 濃度が高い。そこで, ΣAs , Cl^- , F^- , SO_4^{2-} 及び HCO_3^- を用いて濃度相関マトリックスを作成し, 表4にその結果を示した。この場合にも, No. 6 と相関関係をもつ泉源はない。No. 6 での As の起源は, Li^+ 及び F^- と同様に, マグマ発散物に加えて, 花崗岩体縁辺部の金属鉱床に求めたが, これについては Cl^- との関連で後述する。

表4 濃度相関マトリックス (Z_{kl})

No.	3	4	6	8	14	17	18
3	1.0						
4	0.1	1.0					
6	0	0.2	1.0				
8	0.2	0.1	0	1.0			
14	0.4	0.2	0.1	0.1	1.0		
17	0.2	0.3	0.1	0.4	0.5	1.0	
18	0.3	0.1	0.1	0.3	0.5	0.6	1.0

採用成分: As, F^- , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-

表3からNo. 1, 2, 4, 5 及び 9 の泉源群に相関関係が認められ, As 高含量の泉源No. 4 を除外すれば, この関係は表2の結果と一致する。すなわち, これら泉源群での泉質に対する地下岩石からの寄与とマグマ発散物からのそれが同じであることを, 濃度相関マトリックスは示唆している。しかし, この推定は化学的考察の結果とは一致しない。例えば, チャート帯にある泉源No. 9 をもとにして表2をみると, 同泉源と相関関係が認められるのは, No. 1 である。飛驒山系の温泉について, 湧出地質の影響は $(\text{Na}^++\text{K}^+)/(\text{Mg}^{2+}+\text{Ca}^{2+})$ 値に認められ, その値は花崗岩からの温泉で大きく, 堆積層のものでは小さいとされている⁹⁾。 $(\text{Na}^++\text{K}^+)/(\text{Mg}^{2+}+\text{Ca}^{2+})$ 値を計算すると, No. 1 で10.5, No. 9 で68.1である。この差異は両泉源間に温泉水の泉質に影響する地下地質環境の違いがあることを示し, このことは濃度相関マトリックスのみからの考察に問題があることを提示している。

No. 3 と 4 は, 塩基性岩を基盤とし, うすく流紋岩をのせている。また, これを新期花崗岩が貫入している。古生層シャールスタインがあり, 泉質に対して重要な寄与をする。表2によれば, No. 3 と最も高度な相関関係にある泉源は, No. 15 と 15' である。No. 15 と 15' はシャールスタインと砂岩, 頁岩層の接解部に位置する泉源で, No. 3, 15 及び 15' の相関関係はシャールスタインに関連していると解される。No. 15 と 15' の温泉水に含まれる Mn^{2+} は, No. 3 で検出されていない。すなわ

ち、 Mn^{2+} の起源はジャールスタインでないことがわかる。一方、No.15と15'をもとにして、表2の結果をみると、No.3、10、11、12及び16の泉源群に高い相関関係がある。No.3の温泉水のみが、これらのうちでAsを含有するので、これを除くと、他の泉源は共通して Mn^{2+} を湧出している。No.10、11、12及び16は、古生層粘板岩であるが、No.16には石灰岩もみられる。これらの関係から、 Mn^{2+} は古生層粘板岩、石灰岩起源であると結論される。

表1の分析結果で、 $Na^+ < K^+$ の濃度関係があるのは、No.3と4のみである。これは貫入した新期花崗岩とりわけカリ長石の存在によるためと考えられ、その泉質に対する影響は、No.4の方が大きい。理由は、 Na^+/K^+ 比が前者の方が大であること、また $(Na^++K^+)/ (Mg^{2+}+Ca^{2+})$ 値はNo.3で5.21、No.4は9.54であるので、坂田らの考察からも裏付けられるためである⁴⁾。Cl⁻濃度はマグマ発散物の温泉水成分への寄与を示す尺度であるが、その寄与はNo.3の方がNo.4より大である。しかし、 Li^+/Na^+ 値、F⁻及びAs濃度はNo.4の方が高い。すなわち、No.4については、 Li^+ 、F⁻及びAsの起源に花崗岩及びそれにともなう金属鉱床が関係していることは否定できない。地質調査では両泉源は同一地質条件と考えられるが、濃度相関マトリックス(表2及び3)によればNo.3と4の泉源間には相関関係がない。

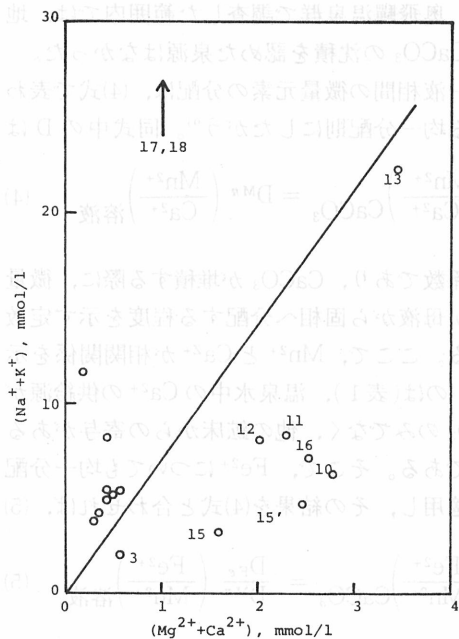
表3によれば、No.13と相関関係が認められる泉源は、No.11、15、16、あえて記すならNo.17で、これらはすべて平湯川に沿う断層とに位置し、マグマの泉質に対する影響は、断層と関係していることを示唆する重要な知見が濃度相関マトリックスから得られる。また、表3よりNo.8、14、17及び18に相関関係があり、福地付近の温泉群を代表する泉源はNo.17及び18で、地質調査からもこれらの泉源は同一地質構造線上にある。No.17及び18の泉温はいずれも97°C以上であり、福地付近の温泉群の熱源は熱水起源と推定される。No.8、14、17及び18はAsを含有し、 Mn^{2+} は検出されていない。したがって、福地付近の温泉群のAsの起源はマグマ発散物と考えられる。

以上、濃度相関マトリックスをもとにして、泉源間の相互関連性について考察してきたが、問題点がある。このため、溶存成分の相互関連性を化学的に考察する必要がある。

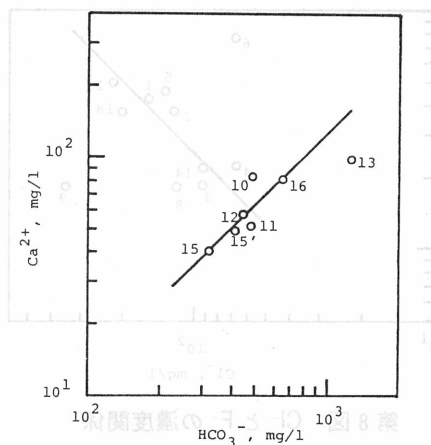
$(Na^++K^+)/ (Mg^{2+}+Ca^{2+})$ 値が湧水の地質環境を示す尺度として有用であることは、すでに紹介した⁴⁾。この関係を、表1の分析結果に適用したのが第3図で、同図中の境界を示す直線は文献によった⁴⁾。直線の右下に位置する泉源は、それらの地質が堆積岩に分類される。しかし、例えば、平湯温泉群はチャート、頁岩、堆積岩中にあり、熱源からの伝導地熱帯を通過した地下水が Mn^{2+} を溶解したと考えられるが、No.9は第3図の結果によれば花崗岩体に帰せられる。 Mn^{2+} の起源をチャート中の層状マンガン鉱床に求めた場合、チャート帯にあるNo.9の温泉水の Mn^{2+} 濃度が他の温泉に比較して小さいので、説明できない。そこで、 Mn^{2+} は海水または湖水中で堆積した石灰岩に由来するとして説明する。この場合、温泉水中の炭酸濃度は、マグマ発散物中のCO₂に加えて石灰岩から溶出してくるCO₃²⁻やHCO₃⁻があるので、石灰岩が関与しない温泉に比較して高くなる。温泉水成分濃度へのマグマ発散物からの寄与の尺度としてCl⁻を採用し、HCO₃⁻濃度に対してCl⁻濃度をプロットした結果が、第4図である。同図によれば、HCO₃⁻/Cl⁻値の高いグループと低い泉源群に分けられる。前者のグループのうち、第3図で堆積岩に帰属される泉源と一致するのは、No.10、11、12、13、15、15'及び16である。CaCO₃の溶解機構はpH2~7で次式にしたがう⁸⁾。



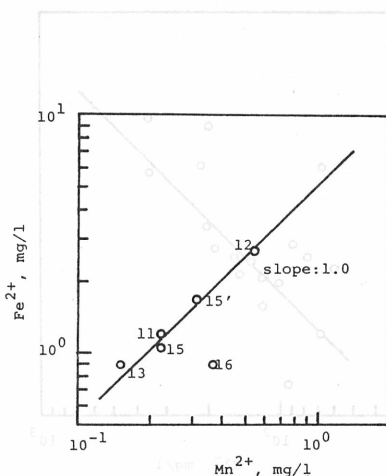
上式の溶解反応は、CaCO₃表面で同時に起るとされているが、いずれにしても生成物はCa²⁺とHCO₃⁻である。第5図の結果から、Ca²⁺とHCO₃⁻の濃度関係に高い相関関係があることがわかる。



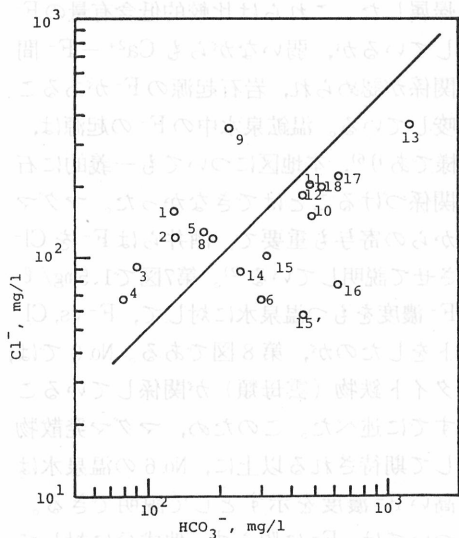
第3図 奥飛驒温泉群の $(Mg^{2+}+Ca^{2+})$ と $(Na+K^+)$ の関係



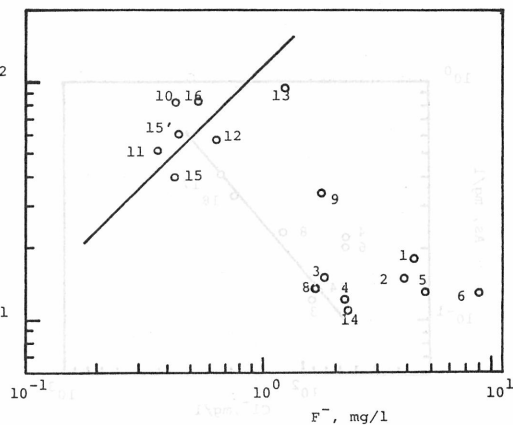
第5図 HCO_3^- と Ca^{2+} の濃度関係



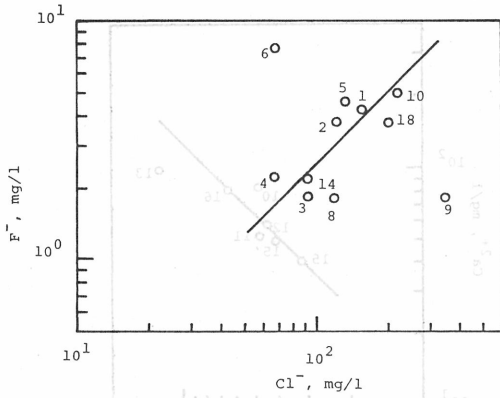
第6図 Mn^{2+} と Fe^{2+} の濃度関係



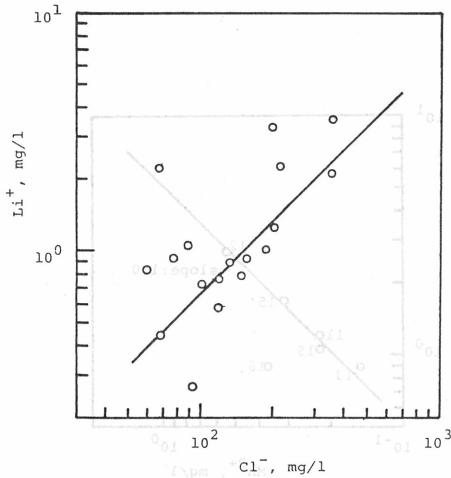
第4図 HCO_3^- と Cl^- の濃度関係



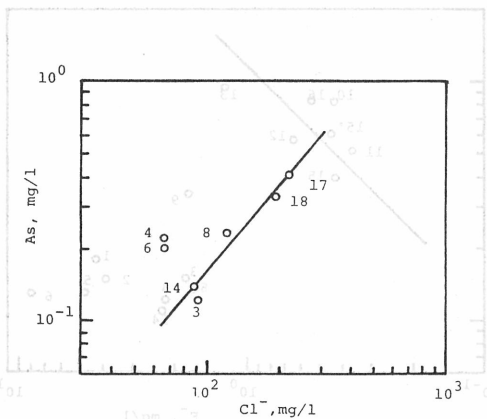
第7図 Ca^{2+} と F^- の濃度関係



第8図 Cl⁻とF⁻の濃度関係



第9図 Cl⁻とLi⁺の濃度関係



第10図 AsとCl⁻の濃度関係

一方、奥飛驒温泉群で調査した範囲内では、地表でCaCO₃の沈積を認めた泉源はなかった。

固一液相間の微量元素の分配は、(4)式で表わされる均一分配則にしたがう⁹⁾。同式中のDは

$$\left(\frac{\text{Mn}^{2+}}{\text{Ca}^{2+}}\right)_{\text{CaCO}_3} = D^{\text{Mn}} \left(\frac{\text{Mn}^{2+}}{\text{Ca}^{2+}}\right)_{\text{溶液}} \quad (4)$$

分配係数であり、CaCO₃が堆積する際に、微量元素が母液から固相へ分配する程度を示す定数である。ここで、Mn²⁺とCa²⁺が相関関係を示さないのは(表1)、温泉水中のCa²⁺の供給源がCaCO₃のみでなく、他の鉱床からの寄与があるためである。そこで、Fe²⁺についても均一分配則を適用し、その結果を(4)式と合わせれば、(5)

$$\left(\frac{\text{Fe}^{2+}}{\text{Mn}^{2+}}\right)_{\text{CaCO}_3} = \frac{D^{\text{Fe}}}{D^{\text{Mn}}} \left(\frac{\text{Fe}^{2+}}{\text{Mn}^{2+}}\right)_{\text{溶液}} \quad (5)$$

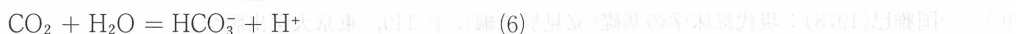
式が得られる。CaCO₃を堆積した母液中のFe²⁺/Mn²⁺値が一定の場合、(5)式の右辺は定数となるので、log Fe²⁺ vs. log Mn²⁺のプロットは傾き1.0の直線になる(第6図)。第6図の結果から、Fe²⁺/Mn²⁺=5.0が得られるが、この値は炭酸塩岩中の存在度より求めたFe/Mn=3.5に近い¹⁰⁾。

石灰岩は、F⁻との関連性が高い¹¹⁾。第7図に示した泉源群のうちNo.10, 11, 12, 13, 15, 15'及び16はすでにそれらの地質環境を第3図で堆積岩に帰属した。これらは比較的低含有量のF⁻を溶存しているが、弱いながらもCa²⁺-F⁻間に相関関係が認められ、岩石起源のF⁻があることを示唆している。温鉱泉水中のF⁻の起源は、多種多様であり⁶⁾、本地区についても一義的に石灰岩と関係づけることはできなかった。マグマ発散物からの寄与も重要で、酒井らはF⁻をCl⁻と関連させて説明している¹²⁾。第7図で1.5mg/l以上のF⁻濃度をもつ温泉水に対して、F⁻ vs. Cl⁻プロットをしたのが、第8図である。No.6では、ペグマタイト鉄物(雲母類)が関係していることは、すでに述べた。このため、マグマ発散物起源として期待される以上に、No.6の温泉水は異常に高いF⁻濃度を示すとして説明できる。No.9については、F⁻に限らず、他成分に対しても、理由不明な異常性がある。そこで上記2泉

源 (No. 6, 9) を除外すれば, F^- と Cl^- は相関関係を示し (第8図), 酒井らの記述にしたがえば¹²⁾, F^- の起源はマグマ発散物であると推定される。

表1の分析結果より得られた $Li^+/Na^+ = (8.5 \pm 2.3) \times 10^{-3}$ は, 火成岩のそれ (7.1×10^{-4}) に比較して¹⁰⁾, 非常に高い値である。 Li^+/Na^+ 値をもとにした高松らの分類によれば¹³⁾, 奥飛驒温泉群は火山性に属す。 Li^+ vs. Cl^- プロットは, 正の相関関係を示し (第9図), その相関性は新穂高の4泉源及び平湯温泉群で高く, この地域で $Li^+/Cl^- = 6.5 \times 10^{-3}$ である。したがって, Li^+ の起源は Cl^- との関連性から, 基本的にマグマ発散物としてよい。

以上の諸考察から, 表3の濃度相関マトリックスから得られる知見は, マグマ発散物が関係したものであるから, 泉質に対する陰イオンの役割りに関するものであると言える。マグマ発散物は, HCl , H_2S , SO_2 あるいは CO_2 など電気的中性化合物で, 地下水へ溶解して, 溶液中でそれら化学形を変化する。例えば, CO_2 は(6)式によって電離する:



(6)式の電離平衡は, 地下の温度と圧力によって規制される。このようなマグマ発散物の溶液内副反応は, 表3の結果を解釈する際の留意されるべき問題点であるとともに, 濃度相関マトリックス作成の採用成分選定に注意しなければ, 泉源間の相互関連性の論議が本質的要因を反映しないことになる。すでに前述したが, 表3から, 泉源No. 1, 2, 4, 5及び9は相関関係を示し, さらにNo. 9はNo. 15と, またNo. 15は10, 11, 12及び13との相関関係が高いなど, それぞれの泉源について相関性を調べると, 全泉源群に対して相互に関連性があることから, 焼岳火山に関係したマグマは同種同質のものであると推定される。しかしAsに関する情報は得られなかった。群馬県下の温泉水中のAs含量は, Cl^- 濃度と高い相関関係を示す¹⁴⁾。そこでAs vs. Cl^- プロットを奥飛驒温泉について示したのが第10図である。第10図から, Asと Cl^- は高度な相関関係にある。しかし, 泉源No. 4及び6の温泉水中のAsは, その濃度が異常に高い。その理由は, すでに述べたように, 金属鉱床が関係しているためである。

以上, 濃度相関マトリックスを中心に, 泉源間の相互関連性について検討した結果,

(1) マトリックス作成に採用する泉水成分の種類を選定が重要で, 適切な種類の成分の採用によっては, マトリックスが示す相関性は地質環境を反映し得る。

(2) 陰イオン成分を中心にしたマトリックスについては, 副反応などのために, 結果の解釈に注意すべきであることが判った。

(3) さらに, マトリックスからみた相関関係は, あくまでも見かけ上のそれであるから, 地質学, 地球化学的諸考察を経て結論を出すべきであることなどの知見を得た。

5. 謝 辞

三井金属鉱業株式会社神岡鉱業所の秋山伸一氏からは, 本誌に発表された地質図(1978)の原図使用の便と有益な助言を賜わった。また, 群馬大学工学部赤岩英夫教授には, 本稿の英文要旨作成に際して御指導を頂いた。記して感謝の意を表わす。信州大学教育学部学生三沢浩, 加々美隆, 東京農工大学学生今村洋一郎, 岩船栄一郎, 及び群馬大学学生岩上保宏の諸君の協力に感謝する。

文 献

- 1) 綿抜邦彦, 高野穆一郎(1974): 多成分相関マトリックスを用いる温泉水の相互関係の解析, 温泉科

- 学, 25, 26。
- 2) 川本博, 阿部修治, 松沢克典, 下澤秀夫, 飯島南海夫(1982): 濃度相関マトリックスによる下呂温泉群の相互関連性の検討, 温泉科学, 33, 1。
- 3) 秋山伸一(1978): 奥飛驒の地質, 温泉科学, 29, 135。
- 4) 坂田朗, 中村喜一, 国分信英(1972): 飛驒山脈の温泉の化学的研究, 温泉科学, 23, 125。
- 5) 川本博, 阿部修治, 飯島南海夫(1982): 温泉水中のヒ素(III, V)の分別定量, 分析化学, 31, 341。
- 6) 鈴木勲子(1979): アルカリ性鉱泉中のフッ素, 地球化学, 13, 25。
- 7) 高松信樹, 下平京子, 今橋正征, 吉岡龍馬(1980): 花崗岩地帯湧水の化学組成に関する一考察, 地球化学, 14, 69。
- 8) Plummer L. N., Wigley T. M. L. and Parkhurst D. L. (1978): The kinetics of calcite dissolution in CO₂-water systems at 5° to 60°C and 1.0 atm CO₂, Am. J. Sci., 278, 179。
- 9) 一国雅巳(1978): 現代鉱床学の基礎(立見辰雄編), p. 119, 東京大学出版会。
- 10) Mason B, 著, 松井義人, 一国雅巳訳(1981): 一般地球化学, p. 218, 岩波書店。
- 11) Akaiwa H, and Aizawa S, (1979): Fluorine Contents of permian carbonate rocks in central Japan, Chem, Geol., 27, 157。
- 12) 酒井幸子, 氏家淳雄, 木崎喜雄(1982): 群馬県下の温泉水中のフッ素について, 温泉科学, 33, 9。
- 13) 高松信樹, 今村正征, 下平京子, 神谷宏(1980): 食塩泉のリチウム, 地球化学, 14, 35。
- 14) 酒井幸子, 滝島常雄(1975): 群馬県下の温泉水のヒ素含量, 温泉科学, 26, 13。
- その他地質概略参考文献
- 秋山伸一(1978): 富山県の温泉と地質, 温泉科学, 29, 135。
- 湯原浩二(1981): 岐阜県焼岳地域放熱量調査報告, 地質調査所月報, 32, 293。

参考文献

原の(8521) 図書館に於て其表に於て、(1) 飛驒山脈の温泉 温泉調査所月報 32(1981) 湯原浩二
 主要文書の採録、(2) 飛驒山脈の温泉 温泉調査所月報 32(1981) 湯原浩二
 美の面、(3) 飛驒山脈の温泉 温泉調査所月報 32(1981) 湯原浩二
 概説に於ては、(4) 飛驒山脈の温泉 温泉調査所月報 32(1981) 湯原浩二
 (5) 飛驒山脈の温泉 温泉調査所月報 32(1981) 湯原浩二

類 文

温泉群の相互関連性の検討、温泉科学、33(1982)、1。