

昭和59年12月

原 著

# 中央構造線外帯(伊那谷)における 食塩泉に関する地球化学的研究

長野県上伊那郡箕輪町箕輪北小学校

橋 爪 傅

(昭和59年4月15日受付, 59年11月30日受理)

## Geochemical Study on Occurrence of NaCl Type Spring on the Outer Part (Ina Valley) of the Central Tectonic Line

Tsutaе HASHIZUME

Minowa Kita Primary School, Minowa Town, Nagano Prefect.

### Abstract

Kashio Spring located on the outer part (Ina Valley) of the Central Tectonic Line is famous for its high content of 17g Cl<sup>-</sup>/l. The author made geochemical investigation to find new spring by measuring electric conductivity and chloride concentration. More than 200 water samples were collected from fountains, springs and mountain streamlet in this district. The major components together with minor components F<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup> and I<sup>-</sup> were determined on some samples having higher content of chloride ion.

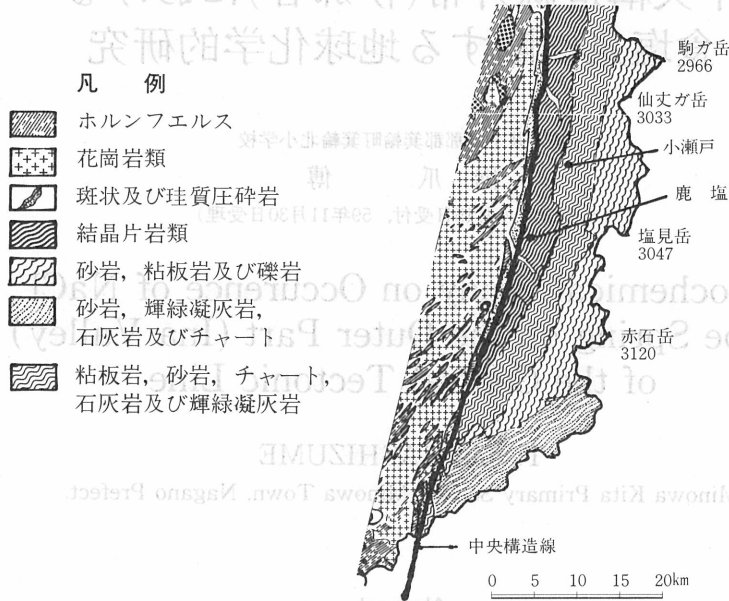
The author finally found two NaCl type springs of 2g Cl<sup>-</sup>/l and 4g Cl<sup>-</sup>/l. Geochemical and geological discussion was given on the accident.

### 1 はじめに

伊那谷には、40以上の鉱泉が存在するが、昼神温泉（下伊那、泉温36.2℃）以外は全て冷鉱泉であるため、研究報告された例をあまり見ない。1969年以来、伊那谷の鉱泉の調査を行い、これらが鉄鉱泉、pH 9.0以上のNa-HCO<sub>3</sub>泉、及びNa-Cl泉（食塩水）に分類できることを明らかにした。鹿塩鉱泉は食塩泉で塩化物イオン量は最大値で17g/lと海水濃度に近く、この塩水を利用して製塩業が営まれたこともあった。鹿塩鉱泉は伊那谷東部を南北に走る中央構造線の外帯に位置するが、伊那谷の外帯には塩平や大塩・小塩のように“塩”の名を地名とするものがあったり、カモシカが特定の湧水をなめる話も伝わっている。したがって、伊那谷の外帯には鹿塩鉱泉以外にも食塩泉の存在することが考えられるので、筆者は湧水や鉱泉水の中から食塩泉を見つけることを試み、これらのこの地区の食塩泉、海水、あるいは他地域における油田塩水や化石海水と比較した。

## 2 伊那谷の地質概略

中央構造線（第1図）より西側は内帯，東側は外帯とよばれ，内帯はおもに花崗岩類を中心とする領家帯で，外帯は結晶片岩類を主とする三波川と中～古生層からなる秩父帯および四万十帯にあり，鹿塩鉱泉は三波川帯に位置し（1976）<sup>1)</sup>，本研究によって明らかにされた塩化物イオン2g/lの小瀬戸塩水は秩父帯に位置する（1962）<sup>2)</sup>。



第1図 伊那谷における中央構造線付近の地質図

〔天竜川上流域における地質と崩落の関係(北沢1982)<sup>6)</sup>より引用，原図の一部使用〕

## 3 湧水・沢水を利用する食塩型鉱泉の探査

## (1) 調査方法

この地域の湧水・沢水は水量こそあまり多くないが相当な数になる。天然水の電気伝導度の値は，溶存塩分量に関係するが，主として塩化物イオンの量による場合が多いので（1960）<sup>3)</sup>，塩化物イオン量の多い鉱泉水・湧水を探査する方法として電気伝導度を用い，高いものは分析をおこなった。この地域の一般的な湧水や沢水の電気伝導度はおよそ  $1.0 \times 10^{-4}$  Ω/cm 以下なので，この値以上の天然水を対象とした。

外帯に位置する長谷村から136ヶ所，同じく大鹿村から85ヶ所，内帯のうち構造線に近い鉱泉水を3ヶ所，計224ヶ所から試料の採取をした。なお，比較対象用として高知県住吉海岸の海水も採取した。

## (2) 分析項目及び分析法

pH, RpH : 比色法

HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> : pH 4.3 アルカリ度より算出

Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> : フレーム光度法

Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup>	: EDTA 滴定法
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	: 硫酸バリウム比濁法
Cl <sup>-</sup>	: モール法 <sup>4)</sup> 及び Hg (SCN) <sub>2</sub> による比色法(300 mg/l 以上はモール法による)
Br <sup>-</sup> , I <sup>-</sup>	: 次亜塩素酸ナトリウムの酸化によるヨード滴定法 <sup>5)</sup>
F <sup>-</sup>	: La・アリザリンコンプレクソン法(Greenhalgh-Riley 法) <sup>5)</sup>
H <sub>2</sub> S	: 炭酸カドミウム固定によるヨード滴定法
溶解性蒸発残渣: 試水を No. 5C の濾紙で濾過後, 蒸発乾燥 (温度110℃)	

### (3) 食塩型鉱泉水・湧水の選択

三峰川・小洪川の上流域にある長谷村及び大鹿村の通常の河川水や沢水の塩化物イオン量は0.1~1.0mg/l程度であり, 人為的な汚染による影響も比較的少ない。したがって塩化物イオン含有量が10mg/lあれば, 鉱泉水や湧水の混入によるものと考えた。

また, Na/Cl のモル比は海水では0.824と低いが, 長谷村・大鹿村の試料水では塩化物イオン量が少なくなるにしたがって高くなる傾向にあり, 塩化物イオン量10mg/lでは0.862~1.2, 5mg/lでは1.478~1.939, 1mg/lでは10を越えるものがほとんどであった。

そこで224点の試料水のうち塩化物イオン量が10mg/l以上で, Na/Clの比が2以下のものを食塩型の鉱泉水・湧水とした。その結果は表1のように22点となった(鹿塩鉱泉を含む)。これらの試料No.と分布を第2図に示した。

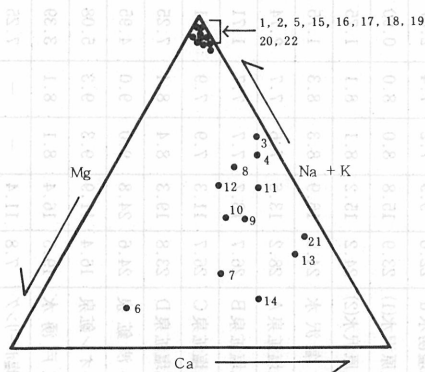
### (4) 食塩型鉱泉水・湧水

陽イオン Na + K, Ca, Mg, 陰イオン Cl, SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub> を三角座標に示した。(第3図, 第4図) 陰イオンでは, SO<sub>4</sub>の割合が少なくCl 100%の頂点からHCO<sub>3</sub> 100%の頂点に向かって帯状の分布を示すが, 陽イオンではNa + Kの割合が高い集まりと, CaやMgの割合がやや高く分散的な分布を示す集まりとに分けられる。鹿塩鉱泉や小瀬戸塩水などは, Na + Kの割合の高い集まりに属する。

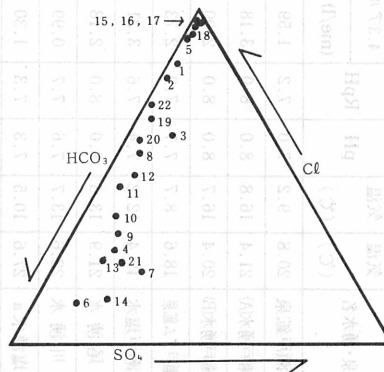
○Na + K型: 1, 2, 5, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 22

○Ca・Mg型: 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 21

どちらの型も塩化物イオンに対するNaの割合はほぼ同じであるが, Ca・Mg型についてはNaや塩化物イオンの濃度が低く, しかもCaやMgの濃度はあまり低くならないので, 全体の割合からみればCaとMgが多くなっている。Ca・Mg型のほとんどは沢水と湧水であり, 塩素量の



第3図 陽イオンの関係



第4図 陰イオンの関係

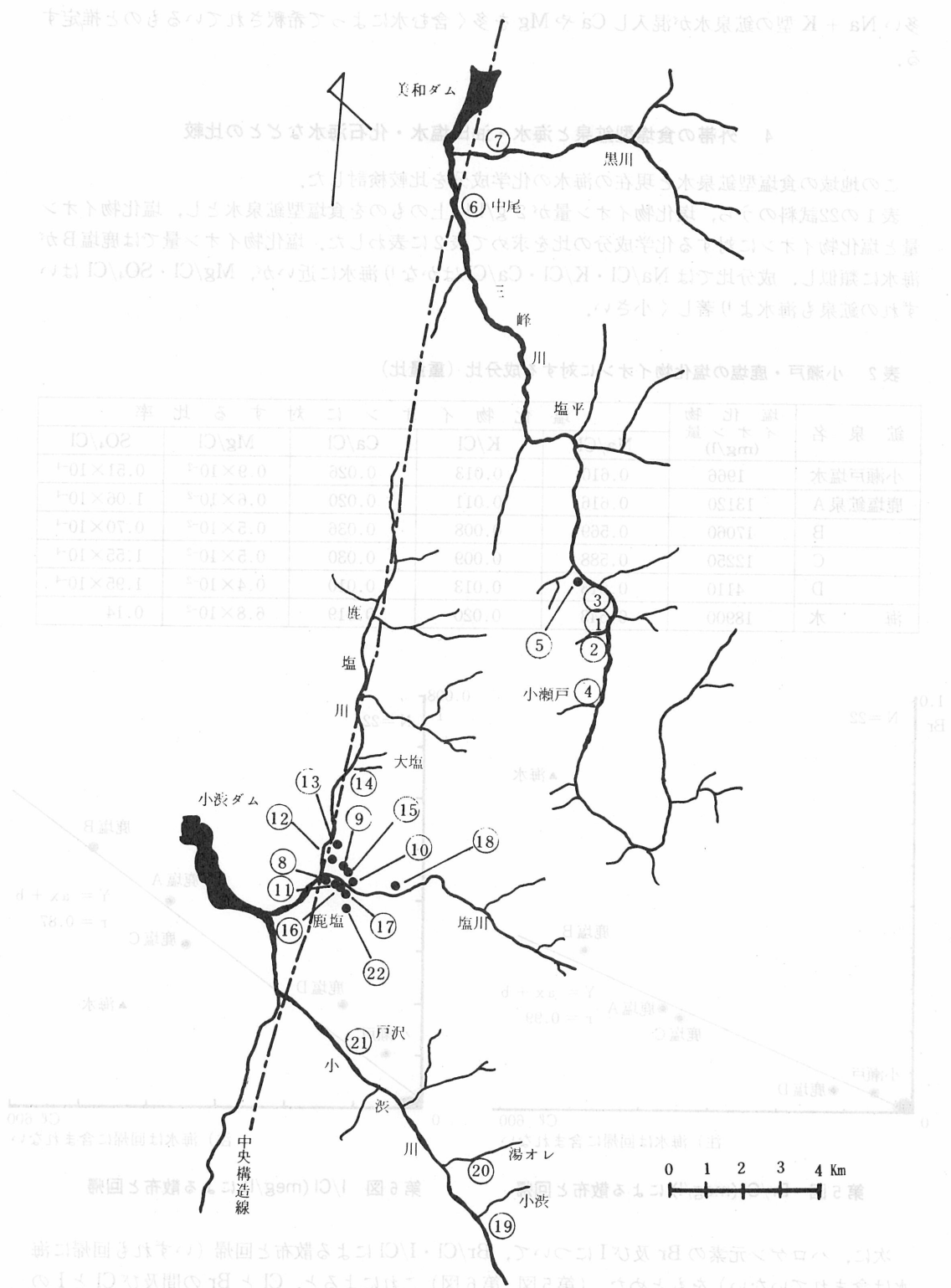
表1 鉱泉・湧水・沢水の分析表

No.	鉱泉・湧水名	気温 (°C)	気温 (°C)	pH	RpH	4.3アルカリ度		溶解性 蒸発残渣 (mg/l)	電動度 $\times 10^{-4} \text{V/cm}$	Na <sup>+</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	Br <sup>-</sup> (mg/l)	I <sup>-</sup> (mg/l)	F <sup>-</sup> (mg/l)	H <sub>2</sub> S (mg/l)	採水 月・日
						(me/l)	(mg/l)													
1	小瀬戸鉱泉	20.8	9.2	7.0	7.2	1.59	97.0	650	12.5	234	5.56	9.21	2.54	8.7	347.2	1.053	0.088	0.66	1.34	6.3
2	小瀬戸湧水(A)	21.4	16.8	8.0	8.0	3.18	194	996	21.0	340	7.92	29.09	4.81	0.6	505.9	1.189	0.112	0.79	N・D	6.4
3	小瀬戸湧水(B)	20.4	16.7	8.0	8.0	2.00	122	444	9.5	107	3.15	50.63	4.26	44.0	170	0.358	0.040	0.27	N・D	7.1
4	小瀬戸ミネラル	18.6	8.7	7.7	7.9	2.73	167	—	4.7	57.0	1.75	31.52	3.26	28.8	44.0	0.050	0.048	1.16	1.89	7.1
5	小瀬戸塩水	19.4	12.2	7.4	7.6	3.31	202	3532	66	1200	25.3	51.12	16.91	0.1	1966	4.729	0.168	2.43	N・D	7.9
6	中尾湧水	21.9	13.6	8.0	8.0	2.18	133	—	4.2	7.1	3.55	20.15	30.00	15.2	12.7	0.056	0.056	0.02	N・D	6.14
7	黒川湧水	22.6	13.7	7.6	7.7	0.99	60.4	—	3.0	8.6	4.98	20.67	9.47	19.5	12.7	0.081	0.048	0.02	N・D	6.22
8	鹿塩湧水a	27.6	10.5	7.3	7.3	1.30	79.3	—	4.3	42.5	0.73	21.30	5.33	10.6	73.0	0.156	0.040	0.05	N・D	5.11
9	鹿塩湧水b	26.6	11.1	7.0	7.2	1.41	86.0	—	3.0	21.0	1.38	20.90	5.67	13.8	28.5	0.081	0.048	0.12	N・D	5.12
10	鹿塩湧水c	22.8	11.0	7.2	7.4	1.43	87.3	—	3.2	22.3	1.37	19.69	7.62	12.7	36.0	0.055	0.040	0.05	N・D	5.12
11	鹿塩湧水d	22.6	9.9	7.2	7.4	2.07	126	—	4.9	42.5	2.43	32.27	4.94	11.0	72.0	0.121	0.072	0.05	N・D	5.12
12	塩原沢水(1)	23.9	15.8	8.0	8.0	0.90	54.9	—	2.6	22.0	0.54	12.02	4.94	6.3	38.0	0.106	0.032	0.05	N・D	5.14
13	塩原沢水(2)	24.2	15.2	8.1	8.1	1.75	107	—	2.9	15.8	0.81	31.06	3.18	14.7	25.0	0.045	0.032	0.05	N・D	5.14
14	大塩沢水	24.5	16.9	8.3	8.3	1.75	107	—	3.9	8.95	1.35	40.44	12.12	22.2	11.6	0.040	0.016	0.07	N・D	5.14
15	鹿塩鉱泉A	28.2	13.6	7.6	7.7	2.74	167	22000	450	8080	150	261.7	72.67	1.4	13120	19.80	0.552	1.90	0.90	5.31
16	鹿塩鉱泉B	26.7	13.7	7.7	7.7	1.71	104	29800	550	9700	130	615.0	87.81	1.2	17060	32.26	0.751	1.11	1.10	5.31
17	鹿塩鉱泉C	26.7	11.3	7.9	7.9	2.11	129	21210	380	7200	105	364.2	55.86	1.9	12250	18.61	0.440	0.93	1.90	5.31
18	鹿塩鉱泉D	23.8	19.3	8.4	8.4	7.25	442	7080	136	2520	53.1	42.36	15.16	0.8	4110	5.459	0.288	3.3	N・D	5.31
19	小炭鉱泉	24.6	24.8	9.0	9.0	4.95	302	—	6.5	127	2.49	2.10	1.41	42.0	430	0.549	0.088	2.31	5.52	6.28
20	湯オレ鉱泉	16.4	11.9	9.3	9.3	5.08	310	—	5.9	125	2.27	1.58	1.26	22.1	305	0.222	0.048	2.20	4.67	7.11
21	沢戸湧水	19.5	16.4	8.1	8.1	3.39	207	—	6.1	43.5	1.38	71.43	4.67	45.0	49.5	0.101	0.064	0.37	N・D	9.9
22	鹿塩ボウリング	7.8	11.4	—	—	7.25	442	—	41	695	27.1	53.40	0.53	15.8	700	0.876	0.128	—	N・D	12.4
23	海水	—	—	8.6	8.6	2.33	142	37140	695	10100	375	365.0	1293	2640	18900	65.31	0.256	1.38	N・D	8.2

注1. H<sub>2</sub>SのN・Dは「検出されず」の意として使用

注2. 海水は高知県住吉海岸にて採水

注3. 採水はいずれも1983年に実施



第2図 鉱泉・湧水の分布

多い Na + K 型の鉱泉水が混入し Ca や Mg を多く含む水によって希釈されているものと推定する。

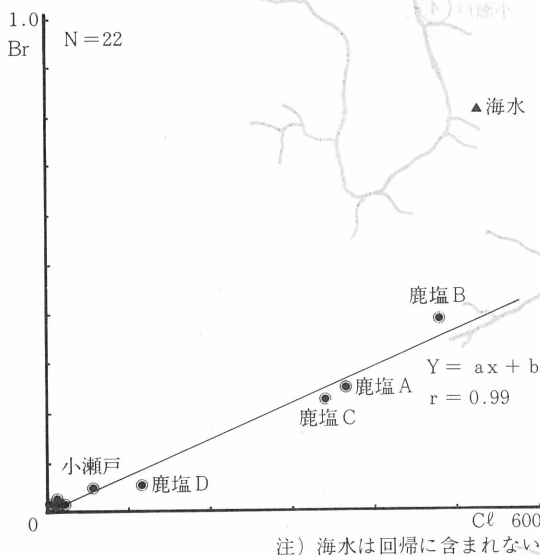
#### 4 外帯の食塩型鉱泉と海水・油田塩水・化石海水などとの比較

この地域の食塩型鉱泉水と現在の海水の化学成分を比較検討した。

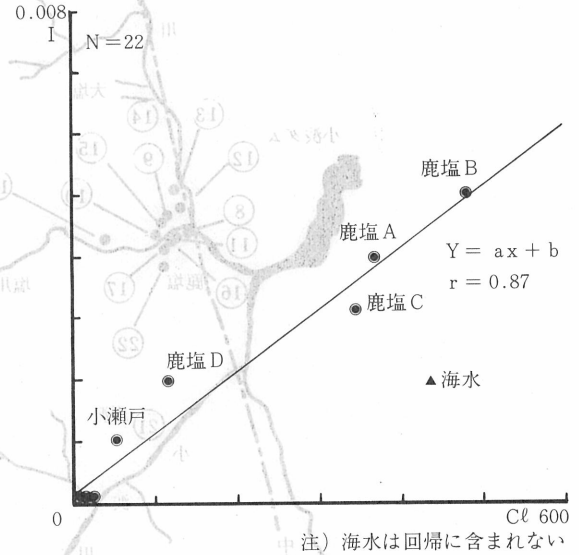
表1の22試料のうち、塩化物イオン量が2 g/l以上のものを食塩型鉱泉水とし、塩化物イオン量と塩化物イオンに対する化学成分の比を求めて表2に表わした。塩化物イオン量では鹿塩Bが海水に類似し、成分比では Na/Cl・K/Cl・Ca/Cl はかなり海水に近いが、Mg/Cl・SO<sub>4</sub>/Cl はいずれの鉱泉も海水より著しく小さい。

表2 小瀬戸・鹿塩の塩化物イオンに対する成分比(重量比)

鉱泉名	塩化物イオン量 (mg/l)	塩化物イオンに対する比率				
		Na/Cl	K/Cl	Ca/Cl	Mg/Cl	SO <sub>4</sub> /Cl
小瀬戸塩水	1966	0.610	0.013	0.026	0.9×10 <sup>-2</sup>	0.51×10 <sup>-4</sup>
鹿塩鉱泉A	13120	0.616	0.011	0.020	0.6×10 <sup>-2</sup>	1.06×10 <sup>-4</sup>
B	17060	0.569	0.008	0.036	0.5×10 <sup>-2</sup>	0.70×10 <sup>-4</sup>
C	12250	0.588	0.009	0.030	0.5×10 <sup>-2</sup>	1.55×10 <sup>-4</sup>
D	4110	0.613	0.013	0.010	0.4×10 <sup>-2</sup>	1.95×10 <sup>-4</sup>
海水	18900	0.543	0.020	0.019	6.8×10 <sup>-2</sup>	0.14



第5図 Br/Cl (meg/l) による散布と回帰



第6図 I/Cl (meg/l) による散布と回帰

次に、ハロゲン元素の Br 及び I について、Br/Cl・I/Cl による散布と回帰(いずれも回帰に海水は含まれていない)をもとめた。(第5図, 第6図) これによると、Cl と Br の間及び Cl と I の間にはきわめて高い相関関係が認められる。しかし、海水の Br/Cl は上記の回帰直線よりも高い

位置に、I/Cl ではかなり低いところにある。

このように、小瀬戸・鹿塩の塩水は海水よりも Mg 及び SO<sub>4</sub> の組成比がきわめて小さいこと、Br/Cl の比は小さく I/Cl の比は大きいなど、現在の海水とはかなり異なった成分構成となっている。

(2) 油田塩水・化石海水などとの比較

小瀬戸・鹿塩付近の食塩型鉱泉水・湧水と他地域の油田塩水や化石海水などを加えて単回帰分析をすることにより、比較検討をおこなった。

表3 他地域における食塩泉の成分表

鉱泉名	成分名	Na (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Cl (mg/l)	備 考
野口 (山形)		6150	43	74	21	9330	一国・鈴木・加藤 (1974) <sup>7)</sup>
長沼 (山形)		7580	91	1970	90	15870	
真室川 (山形)		2850	36	387	13	5210	
八塩 (群馬)		6940	1430	264	120	9738	酒井 (1981) <sup>10)</sup>
磯部 (群馬)		9160	225	67.0	38.8	12574	
袂石 (兵庫)		9890	1430	1880	13.7	19960	松葉谷・酒井・鶴巻
宝塚 (兵庫)		6820	725	596	63.8	12410	(1974) <sup>9)</sup> 当量比から算出

一国等 (1974)<sup>7)</sup> は、山形県の野口・真室川・長沼を Li/Na 及び K/Na の比によって、油田塩水及び油田塩水と海水との中間の型に分類できることを示した。

松葉谷 (1981)<sup>8)</sup> が水素及び酸素の同位体の測定により、群馬県の磯部・八塩は新第3紀の海水を含んでいるものと推定した。本論文では化石海水と仮定して取り扱う。

また、松葉谷 (1981)<sup>8)</sup> は同位体の測定結果から鹿塩地域の鉱泉は有馬型に属するとしているところから、酒井・鶴巻 (1974)<sup>9)</sup> が有馬型温泉としたもののうち、塩化物イオン量が鹿塩鉱泉に近い袂石温泉・宝塚鉱泉も比較検討のために引用した。(表3)

まず、Na/Cl について回帰をもとめたのが第7図で、 $a = 0.858$  と1に近い傾きをもつ回帰直線が得られ、回帰係数も0.99と高い。いずれの温泉や湧水も、海水を含めたこの回帰直線に沿っていて、海水の Na/Cl の比とほとんど同じ比を持つことがわかる。

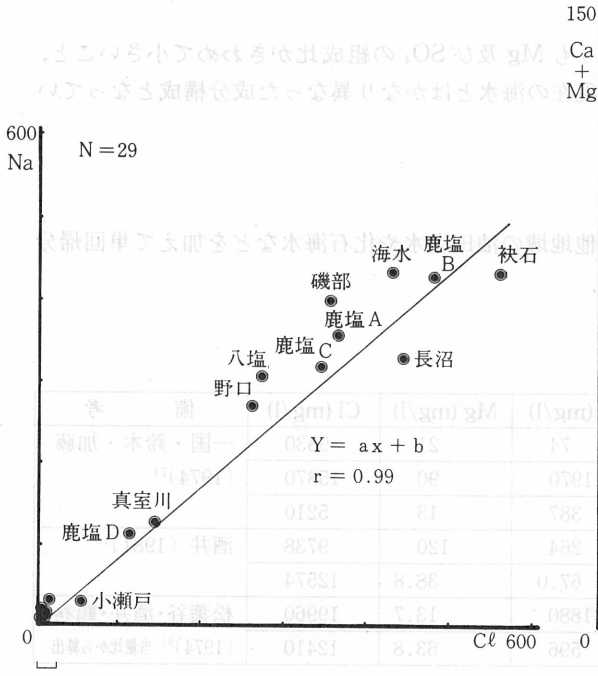
次に Ca + Mg/Cl (海水・長沼・袂石を除く) の回帰 (第8図) では、小瀬戸・鹿塩は化石海水と仮定した野口と共に得られた回帰直線に沿って分布する。この散布図に海水・長沼・袂石をプロットすると、回帰直線よりも大きく離れることから、Ca + Mg/Cl の比からは現在の海水よりも、磯部や八塩の化石海水に近いと考えられる。

K/Na (八塩、袂石、宝塚を除く) の回帰 (第9図) については、小瀬戸・鹿塩は、磯部・野口などと共に回帰直線に沿うが、八塩と有馬型の袂石や宝塚はこれよりも大きく離れた所へプロットされる。

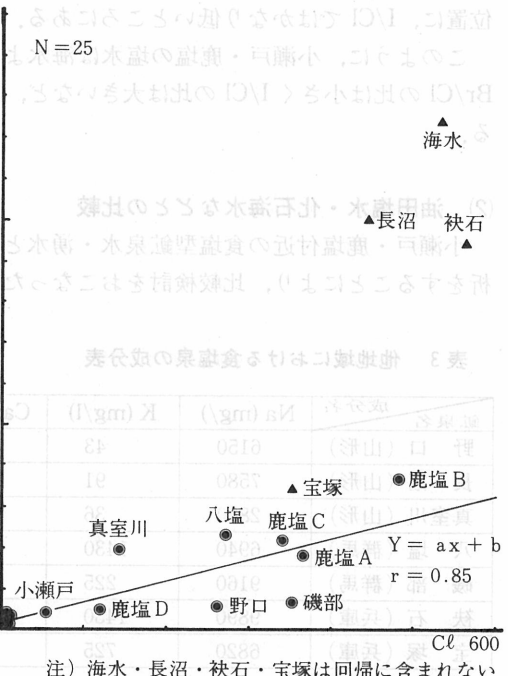
さらに Ca + Mg/Na + K (海水、長沼、袂石、宝塚を除く) の回帰 (第10図) でも、小瀬戸・鹿塩は化石海水・油田塩水などと共に回帰直線に沿うが、ここでも海水と袂石は大きく離れた位置にプロットされる。

以上の結果から総合的に考察すると、小瀬戸・鹿塩の塩水は Na と Cl を現在の海水と同じ割合で含んでいるが、Ca + Mg/Cl や Ca + Mg/Na + K からは化石海水とされた磯部・八塩、あるいは油田塩水とされた野口とほぼ類似する。しかし、K/Na や Ca + Mg/Cl からは有馬地域の



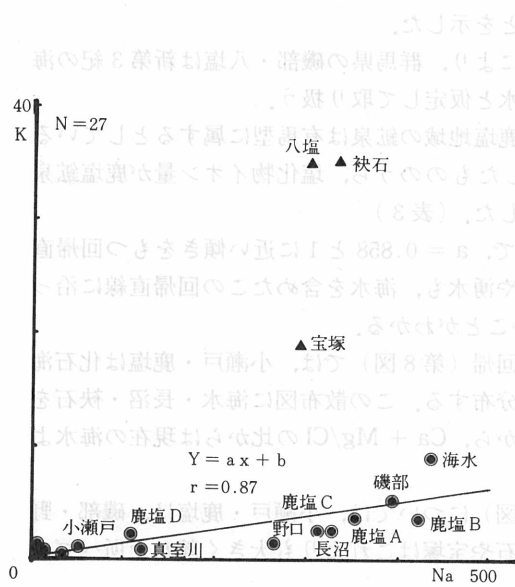


第7図 Na/Cl (meg/l) による散布と回帰



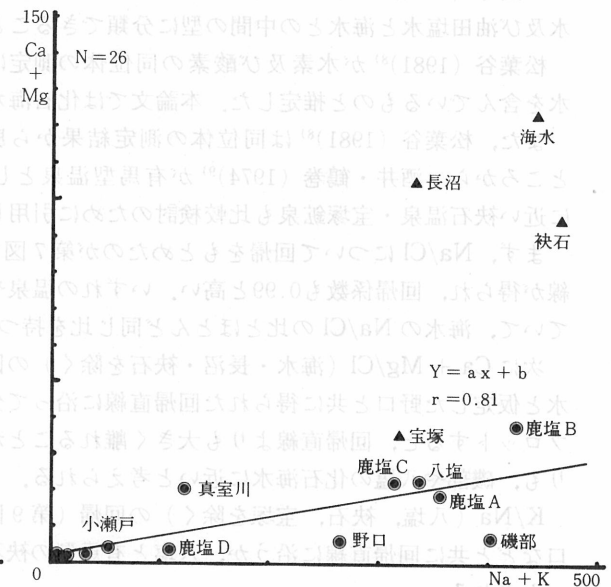
第8図 Ca + Mg/Cl (meg/l) による散布と回帰

注) 海水・長沼・袂石・宝塚は回帰に含まれない



第9図 K/Na (meg/l) による散布と回帰

注) 八塩・袂石・宝塚は回帰に含まれない



第10図 Ca + Mg/Na + K (meg/l) による散布と同帰

注) 海水・長沼・袂石・宝塚は回帰に含まれない

袂石や宝塚とは異なる結果となった。

松葉谷等は (1980)<sup>11)</sup> は、鹿塩の塩水について、 $\delta D$  と Cl あるいは  $\delta D$  と  $\delta^{18}O$  の関係をそれぞれ Cl 濃度の高いほうに外挿していくと、今までに測定されている最高の Cl 濃度から推定さ



れた有馬の深部塩水と良く似たところに達する。鹿塩は化学成分についても有馬と良く似ており、両者の成因には共通するものがあると思われる。一方、鹿塩は石仏と同様に中央構造線沿いの領家変成帯の片麻岩を湧出母岩としているので、これらの成因には広域の構造運動あるいはそれともなう変成作用が関係している可能性があるとして述べている。

しかし、鹿塩と袂石や宝塚の化学成分については本研究によると成分比に若干のちがいが見られるほか、鹿塩については領家変成帯の片麻岩を湧出母岩とはしておらず、第1図からも明らかなように古成層が変成した三波川帯の結晶片岩類であり、さらに小瀬戸にいたっては秩父帯となっていて領家変成作用とは関係していないと考えられる。したがって鹿塩の塩水は高塩濃度で重い酸素と水素の同位体を濃縮している温泉という点で有馬型に属するが、各化学成分間の関係を細かく検討すれば鹿塩と有馬地域の塩水には大きな差異が認められる。

## 5 ま と め

(1) 伊那谷における外帯の鉱泉水や湧水及び沢水からの塩化物イオン 10mg/l 以上のものを食塩型の鉱泉水・湧水として221試料より22試料を得た。このうち、塩化物イオンが100mg/l未満のCa・Mg型の試料が12あるが、これらは塩化物イオン量の多い鉱泉水が表流水などで希釈されたものと推定した。この沢水をさらに探査すれば小瀬戸鉱泉や湯オレ鉱泉のように300mg/l以上の鉱泉水がまだ発見される可能性があるかもしれない。

(2) 小瀬戸・鹿塩のA・B・C・Dでは、NaとClの組成比はかなり海水に近いがMgやSO<sub>4</sub>はかなり少なく、特にSO<sub>4</sub>は著しい差異が認められる。一般にSO<sub>4</sub>は地層中で還元分解される。したがってSO<sub>4</sub>の少ないことが化石海水の特徴とされている。またI/Clは海水で非常に小さく、油田塩水や低温の温泉水で大きい。外帯の食塩型鉱泉水は、I/Clの回帰分析からは海水よりもはるかに高い値をもっている。これらの点から、この地域の塩水は地質時代の化石海水に類似している。

(3) 小瀬戸・鹿塩の塩水を他の化石海水・油田塩水と比較した結果からも化石海水と類似していると言うことができる。

しかし、酸素と水素の同位体の測定結果から有馬型とされた袂石や宝塚とはやや化学成分の比にちがいが認められる。これは、有馬と宝塚は六甲断層帯に沿って山陽型の白亜紀花崗岩質岩体から湧出する(1980)<sup>11)</sup>のに対し、鹿塩は塩川沿岸の結晶片岩より湧出している(1976)<sup>11)</sup>このちがいによるものと思われる。

## 謝 辞

本研究にあたり、信州大学農学部助教授中路勉先生には分析法から統計処理法にいたるまでの幅広い御指導を、また信州大学名誉教授掛川一夫先生には研究に対する基本構想からまとめ方の御指導をいただきました。お二人の先生方に深く謝意を表わすと共に、資料の提供をいただいたり多くの御助言を賜った先生方に厚く御礼申し上げます。

参考・引用文献

- 1) 下伊那地質誌編集委員会(矢亀勝俊, 松島信幸ほか): 下伊那の地質解説(1976)
- 2) 上伊那誌刊行会(小林国夫, 山田哲雄ほか): 上伊那地質図(1962)
- 3) 半谷高久: 水質調査法, 181-194(1960)
- 4) 日本規格協会: J I S工場排水試験法, K0102(1982)
- 5) 三宅泰雄, 北野康: 新水質化学分析法, 123-131(1976)
- 6) 北沢秋司: 自然災害科学資料解析研究, 9, 81-93(1982)
- 7) 一国雅巳, 鈴木励子, 加藤武雄: 温泉科学, 25, 21-25(1974)
- 8) 松葉谷治: 温泉科学, 31, 47-56(1981)
- 9) 松葉谷治, 酒井均, 鶴巻道二: 岡山大学温泉研究所報告, 43, 15-28(1974)
- 10) 酒井幸子: 温泉科学, 31, 128-138(1981)
- 11) 松葉谷治, 酒井均, 日下部実, 佐々木昭: 岡山大学温泉研究所報告, 50, 17-24(1980)

報 載

のつまるるのふの志胆根情給ふの志津谷のふの志津谷中製蓬曲踏幸豊幸大附部(り)のふの志津谷本  
 のふの志津谷のふの志津谷本基るすのふの志津谷のふの志津谷一川根製蓬曲踏幸豊幸大附部(り)のふの志津谷本  
 のふの志津谷のふの志津谷本基るすのふの志津谷のふの志津谷一川根製蓬曲踏幸豊幸大附部(り)のふの志津谷本