

伊豆半島諸温泉における  
 $Rn/Ra$  比,  $Na/K$  比と  
 温泉の湧出流動状況に関する考察

\*中央温泉研究所, \*\*東京都立大学理学部化学教室\*\*\*北里大学衛生学部

甘露寺泰雄\*・堀内 公子\*\*・村上悠紀雄\*\*\*

(昭和 57 年 10 月 25 日受付 昭和 58 年 1 月 10 日受理)

Some Geochemical Considerations  
 on Relationship among  $Rn/Ra$  Ratio,  
 $Na/K$  Ratio, and Issuing Mechanism of  
 Thermal Waters from Izu Peninsula.

Yasuo KANROJI\*, Kimiko HORIUCHI\*\*and Yukio MURAKAMI\*\*\*

\*Hot Spring Research Center

\*\*Department of Chemistry, Faculty of Science, Tokyo Metropolitan University

\*\*\*School of Hygienic Sciences, Kitasato University)

(Received January 10, 1983)

Abstract

Authors pointed out in the previous report that thermal waters with high  $Rn/Ra$  ratio in the Izu Peninsula are located adjacent to the tectonic lines such as faults, fractured zones and dykes. It is postulated that such tectonic lines play a role to make it easy to accumulate  $Rn$  in the waters.

In this paper, the relationship between the geological structure and the quality of thermal water is examined through the analysis of  $Rn/Ra$  ratio,  $Na/K$  ratio, surface and subsurface temperatures in the issuing thermal waters from Izu Peninsula. The following points are revealed.

- (1) Thermal waters with high  $Rn/Ra$  ratio in the Izu Peninsula are characterized by lower  $Na/K$  ratio, and geothermometric analysis shows that  $Na/K$  ratio is roughly controlled by the water-rock interaction in subsurface system.
- (2) In Yugashima hot spring located in the central part of the Izu Peninsula, thermal water ascends along the basaltic dyke extending in the northern direction and is reserved in the tuff breccia of Yugashima propylites.  $Na/K$  ratio of thermal water ascending along dyke is lower than that of the thermal water issuing away from the dyke. Further, the thermal water with high  $Rn/Ra$  ratio issues along the dyke. It is deduced that thermal waters which have rapidly reached the ground surface along the dyke have lower  $Na/K$  ratio and higher  $Ra/Ra$  ratio, while the waters which have passed through circuitous routes show higher  $Na/K$  ratio.
- (3) In Izu Peninsula, both  $Rn/Ra$  ratio and  $Na/K$  ratio are closely related to the flow movement of thermal water in subsurface system.

## まえがき

先に堀内、村上<sup>1)</sup>は、抽出一液体シンチレーション法によって求めた鉱泉中の Rn, Ra の定量結果と、泉温や化学組成、及び湧出状況の関連について種々考察を行い、鉱泉中の Rn の起源が従来いわれていたような地表近くにある温泉沈殿物層からのみの供給ではなく、もっと広い意味で Rn を含む地下水の拡散や流動と関連した検討を必要とする点を指摘した。また著者ら<sup>2)</sup>は、伊豆半島の諸温泉について、Ra, Rn 含量, Rn/Ra 比などと温泉水の流動、湧出機構との関連を検討し、Rn/Ra 比の高い温泉の特徴について考察を行った。すなわち、断層や亀裂などが発達している地域では、これらを通路として地下より供給される気体を通して起こる Rn の拡散が、亀裂や断層の発達していない地域よりも著しく、伊豆半島では、蓮台寺大沢、松崎、土肥、湯ヶ島などの諸温泉では、断層や岩脈に近い自然湧出泉に Rn 含量や Rn/Ra 比が高いことを示した。著者らはこれについて、断層や岩脈などの地質構造は、温泉の湧出路であると同時に Rn を含む気体を、Ra と独立して温泉水中にとりこみ、Rn/Ra 比を高める役割を果していると考えた。

したがって、Rn/Ra 比の高い温泉は、他の化学成分においても何等かの特徴を示すのではないだろうかかと推定できる。すなわち断層や破碎帯、岩脈などを介して湧出する温泉は、これからはなれて湧出する温泉と化学組成で何等かの相違があるのではないかと考えた。たとえば、Seki et al<sup>3)</sup>は青函トンネルの坑内水（グリーンタフ層中に胚胎する Na·Ca-Cl·SO<sub>4</sub>型の塩水で、海水と地層との反応モデルとしてしばしばとりあげられている）について、断層の位置と K×Cl 値 (mg. eq.) が密接に関係していることを報告した。これは海水起源である水が、断層に近く湧出するとき、formation water として地層中で滞留に近い状態にあるときではいわゆる‘水-岩石相互作用’の差が関係して K 濃度に差が生ずる現象が起ると説明した。一方 Mahon<sup>4)</sup>や Fournier and Truesdell<sup>5)</sup>は、地熱地域の熱水について断層を介して湧出する場合の Na/K 比の差について考察し、断層や透水性の大きい通路を通して急速に地表へ達した水は比較的低い Na/K 比をもち、これに対して不透水性の地層や迂回路を通して湧出した水は Na/K 比が大きくなることを述べている。

そこで著者らは、伊豆半島の温泉の Rn/Ra 比と Na/K 比に着目し、温泉水の化学組成が湧出流動機構とどのような関連をもっているか考察した。まず前報<sup>2)</sup>でとりあげた伊豆半島の諸温泉について Rn/Ra 比と Na/K 比の関係の考察を試み、これにもとづき、特に地質、湧出流動状況が判明している中伊豆の湯ヶ島温泉について Na/K 比の地域分布、湧出流動状況の関係を検討した結果をのべる。

## Rn/Ra 比と Na/K 比

## (1) 伊豆半島諸温泉について

前報<sup>2)</sup>で検討の対象とした 36 例の温泉水について Rn/Ra 比と Na/K 比 (重量比) を Table 1 に示した。Rn/Ra 比と Na/K 比の関係は Fig. 1 に示すように、Rn/Ra 比の高い温泉、例えばその比が 10 以上のものを取りあげると、赤沢才六 (A-11)、熱川・道灌の湯 (N-1)、蓮台寺大沢・掛橋 (Or-2)、松崎・4 号 (MZ-5)、湯ヶ島西平町営 (Y-15)、世古大湯 (Y-5)、湯ヶ島館 No. 1 ~ 3 (Y-4, 10, 13)、しげの湯 (Y-14)、船原木之股の湯 (F-2)、などであるが、これらの Na/K 比はあまり高くなく、およそ 50 以下である。また Rn/Ra 比と泉温の関係は Fig. 2 に示すようにあまりはっきりした関係は示さないが、Rn/Ra 比が例えば 20 以上のものは泉温が 70°C 以上にはなっていないことがわかる。なお Na/K 比と泉温の関係は Fig. 3 に示すよう

にあまりはっきりしないけれど、泉温が 80°C 以上の温泉は Na/K 比が低く、40 以下となっていることを指摘できる。

(2) 湯ヶ島温泉の Rn/Ra 比と Na/K 比

Rn/Ra 比と Na/K 比の関係は Fig. 1 で \* 印でプロットしてあるが、両比が共に測定してある例は 6 例にすぎないが、概して Rn/Ra 比の高い源泉は Na/K 比がおよそ 40 (重量比) より

Table 1 伊豆半島諸温泉の Rn/Ra 比と Na/K 比

温泉地名		源泉名称	No.	Temp. °C	Rn/Ra	Na/K (wt/wt)
赤	沢	第一源泉	A 7	42	8.71	53
"	"	第六	A 11	43.5	15.4	43.3
熱	川	道灌の湯	N 1	42	61.3	26.9
"	"	熱川館南横上	N 13	89.5	3.36	25.9
片大	瀬滝	森田滝	K 25	102	0.61	37.4
"	峰	大滝	O 2	40	3.16	37.3
"	"	玉峰館	M 2	100	0.25	16.2
"	"	玉峰館1号	M 1	91.3	0.72	17.2
谷下	津養	養魚場	Ya 38	99.2	1.14	14.0
蓮台寺	賀茂	加納共同	Ks 3	100.2	0.27	17.0
松	大沢	掛橋	Or 2	64	76.2	20
"	崎	4号	MZ 5	61.1	71.0	52.3
"	"	6号	MZ 6	62.4	9.13	72.5
土肥	山	の神	T 4	50.2	4.88	169.5
"	"	三脈	T 1	48.2	8.15	116
"	"	水口洞	T 3	62.4	0.43	66.7
"	"	水口	T 2	59.8	1.06	148
湯ヶ島	西平町	営	Y 15	47.0	14.95	37
嵯峨	沢	東流おおつきの湯	S 5	32.5	0.37	96.9
湯ヶ島	浄蓮荘	うら	Y 21	51.0	0.55	48
"	"	世古の大湯	Y 5	41.5	83.06	36.3
"	"	湯ヶ島館No. - 1	Y 4	47.7	27.3	39.4
"	"	湯ヶ島館No. - 2	Y 10	37.5	12.57	50.5
"	"	湯ヶ島館No. - 3	Y 13	48.5	43.0	42.9
"	"	しげの湯	Y 14	22.0	13.3	40
嵯峨	沢	新嵯峨沢	S 1	43.5	0.49	47
"	"	嵯峨沢	S 2	42.0	0.35	41.6
"	"	八丁	S 3	35.0	0.18	173
吉月	奈瀬	大湯坂	Yo 1	48.5	0.5	56.5
"	"	いで湯	Ts 10	44.0	0.25	130
"	"	小戸橋	T 2	50	0.25	62.9
"	"	聖の湯	T 1	47	0.17	56
船原	鱒池	の湯	F 7	93.5	9.47	29.8
"	"	木之股の湯	F 2	72	17.0	35.4
"	"	昭和の湯	F 6	37.5	0.49	65
"	"	滝の湯	F 8	61.0	0.21	34.1

\* この測定値は文献2)より抜粋

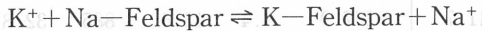


も小さい例が多い。

湯ヶ島温泉の昭和49年の分析値<sup>6)</sup>(Table 2)から Na/K 比を求め、その地域分布をみると Fig. 4 に示すように、Na/K 比の低い源泉がほぼ南北の方向に配列するのが特徴的である。また昭和33年の15源泉の分析値<sup>7)</sup>から求めた Na/K 比 (Table 3) の分布は、Fig. 5 に示すようにやはり Na/K 比の低い源泉が南北の方向に配列している。ただし昭和49年と33年では Na/K 比の値が違い、前者では 32.8~66.7、平均 45.7、後者では 17.9~60、平均 32.4、したがって、昭和49年時の方が昭和33年時に比べて Na/K 比が総体的に高い値になっている。

### Na/K 比と温泉水の湧出流動状況に関する考察

Na/K 比は一般的に地質温度計と関連して論議されている。これは地熱地域から産出される中～弱アルカリ性の高温熱水は塩化アルカリ型の化学組成をもち、K, Na, Ca, Mg などは地下の岩石-熱水反応の平衡に規制されていると考えている。例えば Na-K 系では次の平衡が成り立ち、



熱水の Na/K 比は温度依存性を示すことから、Na-K 温度計が提案<sup>8)</sup>され、さらに Na-K-Ca 温度計<sup>9)</sup>、Ca-SO<sub>4</sub> 温度計<sup>10)</sup>なども提案されている。ただし、これらの温度計がすべての熱水に適用できるわけではなく、一般的には地下の熱水貯留層からなるべく希釈されることなく地表面に短時間で上昇する場合がよいとされている。

Table 1 にあげた諸温泉の Na/K 比の意味を検討するには、とりあえず地質温度計としての値と、実際の地下の温度がどのような関係にあるかを検討してみる必要がある。ただしこれらの温泉は塩化アルカリ型だけでなく、Ca-SO<sub>4</sub> 型や単純温泉などが含まれ、化学組成や濃度などによりかなりの差があるので、Na/K 比をそのまま地質温度計の対象とすること自体に疑問があるけれども、いま次式<sup>11)</sup>に従って地下の温度を求めてみる。

$$t^{\circ}(\text{C}) = [855.6/\log(\text{Na}/\text{K}^*) + 0.8573] - 273.15$$

計算結果を Table 4 に示す。Na/K 比から求めた地下温度と、湧出口で測定された泉温の関係をみると、Fig. 6 に示すようにほぼ正の相関関係(相関係数 = 0.64, 分散比 = 23)が成り立つ。このことは、伊豆半島全地域については大きくみて Na/K 比は地下の温度と関係があり、水-岩石相互作用によってある程度規制されていると考えられるが、各プロットはかなりばらついており、特に Fig. 1 に示した Rn/Ra 比が 20 以上の、地質構造線に近く湧出している源泉、例えば Y-4, 5, 13, 0-2, N-1, MZ-5 などについては、地下温度の推定値と湧出口での泉温がむしろ逆相関の様相を示している (Fig. 6)。このことは、これらの温泉では Na/K 比が地下温度のみによって規制されているとはいえず、地域的に更にくわしい検討が必要となる。

そこで湧出流動状況が判明している中伊豆の湯ヶ島温泉をとりあげた。同温泉については、服部ら<sup>7)</sup>、佐藤<sup>12)</sup>、益子ら<sup>6)</sup>によって報告されており、温泉水は SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> を主成分とする Ca·Na-SO<sub>4</sub> 泉あるいは Na·Ca-SO<sub>4</sub> 泉と、同じタイプの単純温泉である。湯ヶ島付近の地質に関しては (佐藤)、新第三紀中新世の湯ヶ島層群の下部を占める湯ヶ島変朽安山岩類が分布し、その岩質は緑色を呈する凝灰角礫岩を主とし、安山岩熔岩や頁岩、砂岩などをはさむ。湯ヶ島からその北の嵯峨沢の南にかけて湯ヶ島層を切る南北方向の玄武岩々脈があって西に傾斜している。優勢な温泉の賦存はこの岩脈の主として西側に限られるという。付近の岩質は変質を受け、硬化破碎帯、珪化帯、粘土化帯など特に変質した部分が岩脈に近接してみられる。

Table 2 湯ヶ島温泉の主要化学成分\*とNa/K比(重量比)(昭和49年採取・分析)

No.	Temp. ℃	pH	E.R.	K mg/l	Na	K/Na ratio (wt/wt)	Ca	Mg	Cl mg/l	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>
4	47.7	8.1	1300	3.5	138	39.4	161.5	7.7	42.6	671	30.6
5	44.5	7.6	1283	3.8	138	36.3	157.1	9.2	41.2	658	30.6
6	49.5	8.0	1356	3.5	150	42.9	181.9	9.1	37.2	745	32.1
7	46	7.4	1445	4.0	164	41	178	3.1	45.8	756	29.9
10	37.5	7.3	791	2.0	101	50.5	117.2	5.2	26.3	416	46.9
11	37	6.9	497	2.5	82	32.8	68.6	1.7	22.5	255	53.0
12	47	6.8	986	2.5	120	48	148.6	0.57	31.8	523	50.2
14	22	7.1	332	1.0	40	40	42.6	2.9	12.1	116	93.8
15	47	7.8	1100	3.2	118	36.9	145.8	3.7	32.2	576	59.8
16	42.5	6.8	794	2.5	118	47.2	98.6	3.5	28.0	380	52.4
17	48	7.0	1486	3.0	200	66.7	199.3	12.4	45.0	844	41.9
18	57	8.0	1640	4.6	192	41.7	207.9	8.4	42.6	885	32.8
19	63	7.8	1934	5.5	248	45.1	236.9	10.6	62.6	1016	27.7
20	32	7.5	867	2.0	101	50.5	109.7	4.1	23.9	406	53.5
21	51	7.2	1717	4.5	216	48	220.5	9.4	41.2	860	31.4
22	45	6.9	2213	4.5	228	50.7	271.6	32.6	48.8	1165	41.4
23	48	6.8	1548	4.0	184	46	191	2.9	56.0	766	39.7
27	46	7.4	2191	3.5	220	62.9	300.1	15.5	44.4	1225	30.6
Y-T46		7.4	1220	3.2	136	42.4	157.4	2.6	30.1	596	51.0

\* 益子・甘露寺・田中・温泉工学会誌, 11,1 (1976) より

湯ヶ島温泉のNa/K比(重量比)

Table 3 (昭和33年採取・分析\*)

No.	Temp. ℃	E.R.	K mg/l	Na mg/l	Na/K ratio (wt/wt)
14	43.5	770	3.8	111	29.1
17	45	1610	4.0	233	58.3
15"	52.5	1470	6.5	190	29.2
15'"	52	1470	7.0	188	26.8
15''"	53	1580	10.5	188	17.9
18	75	1953	5.9	258	43.7
S	49.5	2045	5.0	300	60
7'	53.5	1618	9.0	220	24.4
7	53	1520	8.0	200	25
6'	38	635	3.5	85	24.3
12	51	1135	6.0	138	23.9
5	58.5	1589	7.0	203	28.9
3	48	1520	6.3	198	31.3
4'	31	925	5.5	110	20
16	46.2	1555	5.5	236	42.9

\* 服部・益子・佐藤・甘露寺・温泉科学, 12,22(1960) より

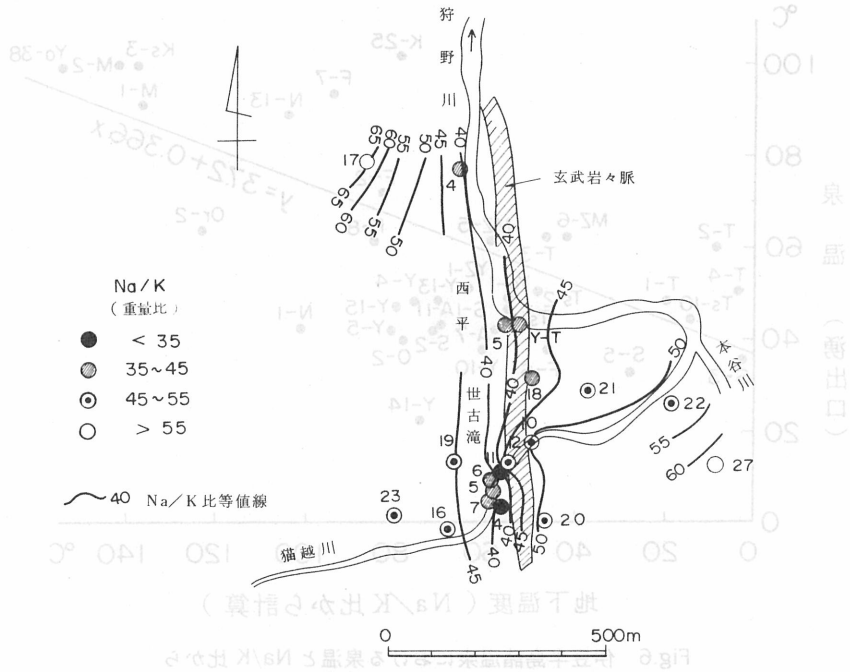


Fig.4 湯ヶ島温泉における Na/K 比の分布と岩脈 (昭和49年時)

Table 4 湯ヶ島半島諸温泉における Na/K 比の分布と岩脈の位置関係

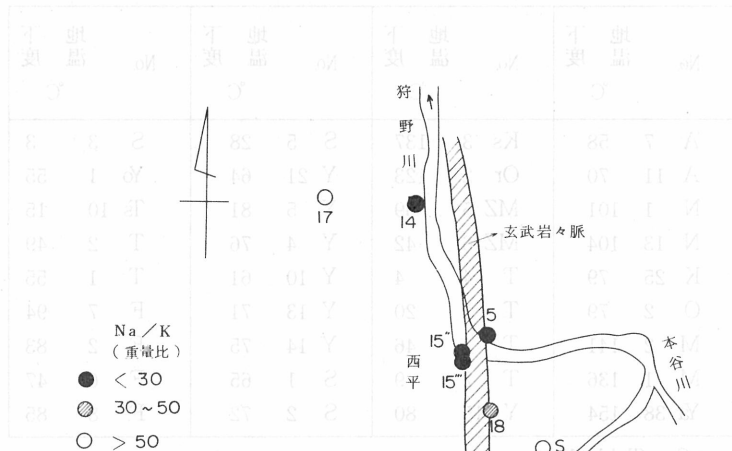


Fig.5 湯ヶ島温泉における Na/K 比の分布と岩脈 (昭和33年時)

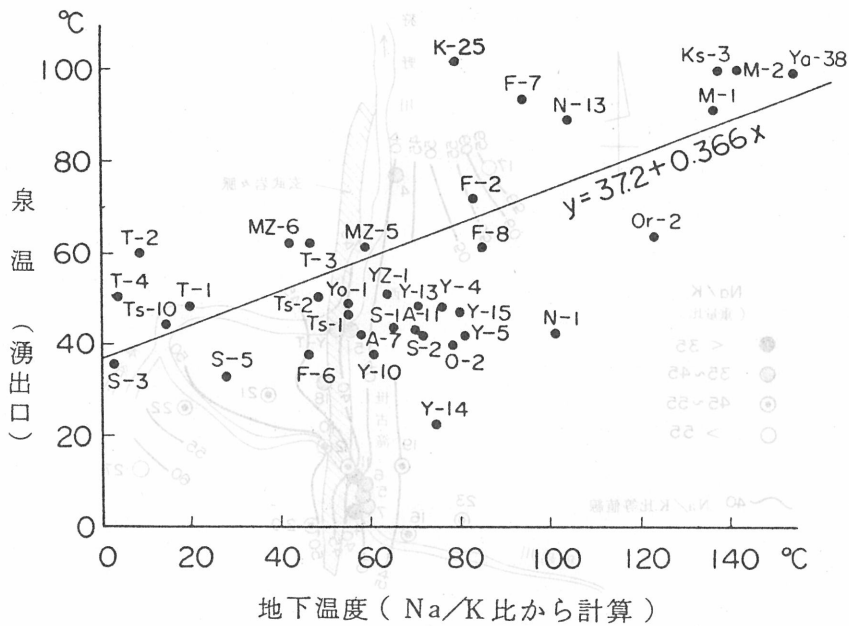


Fig.6 伊豆半島諸温泉における泉温と Na/K 比から計算された地下温度との関係

Table 4 伊豆半島諸温泉における K-Na 地質温度計による地下温度の計算値

No.	地 下 温 度 °C	No.	地 下 温 度 °C	No.	地 下 温 度 °C	No.	地 下 温 度 °C
A 7	58	Ks 3	137	S 5	28	S 3	3
A 11	70	Or 2	123	Y 21	64	Yo 1	55
N 1	101	MZ 5	59	Y 5	81	Ts 10	15
N 13	104	MZ 6	42	Y 4	76	T 2	49
K 25	79	T 4	4	Y 10	61	T 1	55
O 2	79	T 1	20	Y 13	71	F 7	94
M 2	141	T 3	46	Y 14	75	F 2	83
M 1	136	T 2	9	S 1	65	F 6	47
Ya 38	154	Y 15	80	S 2	72	F 8	85

\* See Table 1

昭和 33 年及び 49 年時の分析値から Na/K 比を求め、その地域的分布と前述した温泉の湧出を規制しているとみられる岩脈の位置との関係を見ると、Fig. 4, 5 に示すように大変興味あることがわかる。すなわち、岩脈が地表に頭をだしているほぼ南北の線に沿って Na/K 比の小さい源泉が分布し、それをはなれるにつれて東側でも Na/K 比が大きい源泉が分布している。このような分布について著者らは、岩脈に沿って湧出する温泉とこれからはなれて賦存する温泉では湧出流動状況に相異があるためではないかと考えている。つまり Na/K 比を支配している因子として温度だけでなく、水-岩石相互の接触状態が関係していると考えられる。地下の水-岩石相



相互作用による反応は、温度と水岩石比が大変重要であるといわれており<sup>13)</sup>、特に後者の水岩石比の問題は、換言すれば温泉水が地層中でどのような状態で存在しているかということに関係してくる。

まえばきでふれたように、Na/K 比に関連して Seki et al<sup>13)</sup>は、青函トンネル坑内湧水について、海水-岩石相互作用によって海水中の K が急速に低下することから、 $K \times Cl$  値の大小が断層からの海水浸入を鋭敏に反映しており、地層とあまり反応しない海水は K と Cl が海水に近い値となり、地層中をゆっくり流れるか滞留性の海水は K を失って  $K \times Cl$  値がことなり、この値が断層破碎帯の位置をよく指示しているという。地質的にみて青函トンネルの海底の地層はグリーンタフで、新第三紀中新世の海底堆積物といわれ、安山岩、玄武岩、石英粗面岩などの火山碎屑岩や砂岩、泥岩などで構成され、変質作用を受け種々の粘土鉱物、フッ石類、炭酸塩、石膏などを含み、これら粘土鉱物類が K の減少に大きな役割を果しているという。

また大木<sup>14)</sup>によると、グリーンタフを淡水で洗うと粘土鉱物が H 型粘土に変わり、これに海水が作用すると K、Mg が粘土鉱物中にとりこまれ、アルカリモンモリロナイトや Mg モンモリロナイトとなり、このとき  $H^+$  が生成して pH が小さくなる。すなわち、粘土鉱物が淡水の作用で K や Mg をとりこみやすい型になっていることが Na/K 比を規制するのに大変重要であるとしている。

このような例からみて、湯ヶ島では岩脈に沿って湧出する温泉は岩石と充分接触しないような状態で湧出するのに対し、岩脈からはなれた位置にある温泉は地層と充分接触し、滞留性の状態にあるため K が岩層に固定され Na/K 比が大きくなっているものと思われる。これは岩脈付近の岩層が変質し粘土化している事実<sup>12)</sup>と無関係ではなく、Na/K 比は恐らく粘土鉱物のイオン交換作用によって規制されていると考えてよいであろう。

ここで興味ある点は、Na/K 比と泉温、あるいは蒸発残留物との間には Fig. 7, 8 に示したようにあまりはっきりした相関関係がみられない点である。玄武岩岩脈に沿って湧出する Na/K 比の小さい温泉は、泉温の高いのもあれば低いものもあり、蒸発残留物の高いのもあれば低いものもある。むしろ岩脈からはなれて点在する No. 27, 23, 22, 21, 17 などは蒸発残留物がおよそ 1.5 g/l 以上で、湯ヶ島温泉の中では濃い部類に属している。これは湯ヶ島温泉の主要成分である  $CaSO_4$  が地層中の石膏の溶出によるものと考え\*とき、Na/K 比の高い温泉に蒸発残留物の多い温泉がみられることは、これが停滯性の性格を示唆しているのかもしれない。

熱水の Na/K 比と湧出状況に関する Mahon の指摘はまえばきでふれたが、Fournier and Truesdell<sup>5)</sup>も水の流動とそれに関係する岩石及び鉱物との反応性如何で、熱水が地下の貯留層から上昇する過程で Na/K 比が変わることを、Yellowstone National Park の湧出泉と試掘井について比較検討して示した。この場合 Na/K 比の変化がイオン交換反応に依存し、いわゆる hydrogen metasomatism (pH が関係する鉱物の変質反応) ではないことを指摘している。

陽イオン組成が温泉水の起源や生成を考える上で重要な手がかりになることについてはこれまで数多く報告されている。例えば、温泉水中の  $Li/Na-K/Na$  が食塩泉を油田塩水型と熱水型に分類し得るという一國らの報告<sup>16)</sup>、 $Li/Na$  比が火山性、化石海水、海岸型食塩泉と異なり、これが海水と岩石との間の反応を反映しているという高松らの報告<sup>17)</sup>、Na/Mg 比が松代湧水の地域的特性や地震活動と密接な関係があるとする鶴見の研究<sup>18)</sup>などがある。しかし温泉水の地下における流動と成分組成の関係を断層などの地質構造線と関連させて論じた報告は少ない。地下水では地質構造と水質の相異に関して、杉崎ら<sup>19)</sup>は濃尾平野における断層を境として地下水が停滯

\* 湯ヶ島層中に胚胎する温泉水の Ca と  $SO_4$  は石膏との平衡<sup>15)</sup>が推定されている。

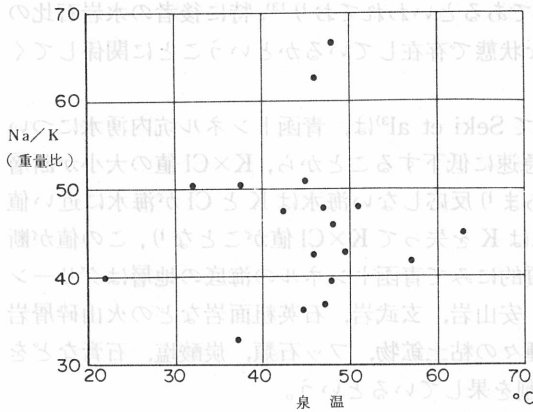


Fig.7 湯ヶ島温泉における泉温と Na/K 比の関係 (昭和49年時)

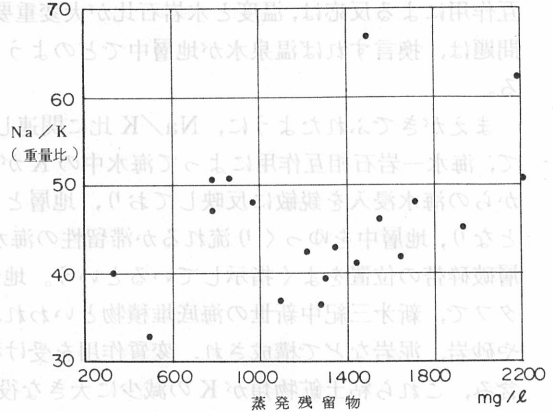


Fig.8 湯ヶ島温泉における蒸発残留物と Na/K 比の関係 (昭和49年時)

性が新鮮かで水質が異なる例を報告している。

最後に伊豆半島全体としてみる時は、温泉水の湧出母岩である湯ヶ島層や白浜層も中新世前～中期, 中新世中～後期の海成層で前者はグリーンタフから成り<sup>20)</sup>, プロピライト化を主とする変質作用を受け, 火砕岩類が曹長石化, 緑泥石化して粘土化を受けていることが知られている。すなわち, 温泉水が流動する場合, 滞留性の状態では K が変質鉱物中にとりこまれ易く, Na/K 比が大きくなり, 逆に断層や破碎帯のようなわれ目を通路として温泉水が急速に上昇し, 周辺の岩層と反応する機会を充分与えられないで湧出する場合は Na/K 比が大きくなるといったことは充分考えられる。このことは, Fig. 1 で示したように, 伊豆半島の諸温泉の中で Rn/Ra 比の大きい, 断層破碎帯の近くに湧出する温泉水が Na/K 比の高い例がみられない一因をなしていると考えている。

温泉水の流動と化学成分の関係についてはなお多くの温泉について検討を進めており, 後報で逐次報告する所存である。

#### まとめ

著者らは先に伊豆半島諸温泉について, 地質構造に近く湧出する温泉は Rn/Ra 比が高いことを指摘したが, 本報告では地質構造や温泉水の流動状況が Rn/Ra 比だけでなく Na/K 比にも影響を及ぼしている点を取りあげた。Na/K 比は地質温度計として地下温度の推定に利用されているが, 伊豆半島諸温泉について Na/K 比から求めた地下温度と湧出口での泉温との間には正の相関 (相関係数 0.64) が認められることから, Na/K 比は地下の水-岩石相互作用によって或る程度規制されていることが考えられた。

つぎに地質構造や流動状況が判明している湯ヶ島温泉について Na/K 比の地域的分布を検討したところ, 温泉の湧出を規制している玄武岩々脈に沿って湧出する温泉は, 泉温や蒸発残渣に関係なく Na/K 比が小さく, これからはなれて賦存する温泉では同比が大きいことが判明した。これは岩脈に沿って湧出する温泉は地下より比較的急速に湧出し, 岩層と充分接触しにくい状態であるのに対し, 岩脈からはなれた位置にある温泉は地層と充分接触し, おそらく地層中の粘土鉱物の作用で K が固定され Na/K 比が大きくなっているものと考えた。

伊豆半島諸温泉については Rn/Ra 比の高い温泉は Na/K 比がある程度以上大きくなっていない結果を得たが、これも Na/K 比が温度だけでなく地質構造が密接に関係していると推定した。

今後なお多くの温泉地について、温泉水の湧出流動状況と化学組成の関係について、温泉水の湧出流動状況と化学組成の関係について検討を試みる所存である。

また湯ヶ島温泉付近の地質や湧出機構に関し御教示いただいた中央温泉研究所第二部長佐藤幸二博士に感謝いたします。

#### 文 献

- 1) 堀内, 村上, 地球化学, 12, 59 (1979)
- 2) 甘露寺, 堀内, 石井, 村上, 温泉化学, 31, 23 (1980)
- 3) Seki, Y., J. G. Liou, Y. Oki, F. W. Dickson, H. Sakai and T. Hirano, Mem. Hydrosci. Geotechn. Lab. Saitama Univ., No 1, 1 (1980)・, 関, 応用地質, 22, 132 (1981)
- 4) Mahon W. A. J., Proc. U. N. Symp. Develop. Use Geothermal Resources, Pisa(1970) [Chemistry in the Exploration and Exploitation of Hydrothermal Systems]
- 5) Fournier R. O. and Truesdell A. H., *ib id.*, [Chemical Indicators of Subsurface Temperature Applied to Hot Spring Waters of Yellowstone National Park, Whyoming U. S. A.]
- 6) 益子, 佐藤, 甘露寺, 田中, 温泉工学会誌, 11, 1 (1976)
- 7) 服部, 益子, 佐藤, 甘露寺, 温泉科学, 12, 22 (1960)
- 8) Ellis A. J. and Mahon W. A. J., Geochim. Cosmochim. Acta, 31, 519 (1967)
- 9) Fournier R. O. and Truesdell A. H. *ib id.*, 37, 1255 (1973)
- 10) Marshall W. L. and Slusher R., J. Chem. Eng. Data, 10, 353 (1965)
- 11) Truesdell A. H., Proc. U. N. Symp. Develop. Use Geothermal Resources, San Francisco (1975)
- 12) 佐藤, 地質学雑誌, 67, 249 (1961)
- 13) 千葉, 化学と工業, 82, 435 (1982)
- 14) 大木, 文部省科研費総合研究 A 「水-岩石相互作用に関する地球化学的研究」班会議講演要旨集, (1980), [地質学からみた水・岩石相互作用]
- 15) 水谷, 浅井, 浜砂, 火山, 19, 139 (1975)
- 16) 一國, 鈴木, 加藤, 温泉科学, 25, 21 (1974)
- 17) 高松, 今橋, 下平, 神谷, 地球化学; 14, 35 (1980)
- 18) 鶴見, 地球化学, 13, 18 (1979)
- 19) 杉崎, 柴田, 地質学雑誌, 67, 427 (1961)
- 20) 鮫島, 岩橋, 黒田 「伊豆半島の地熱開発に関する基礎調査報告書」静岡県 (1968)