

原 著

愛媛県のNa<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>型鉱泉

真木 強\*, 武智拓郎\*\*, 渡部三男\*\*, 江口 茂\*\*, 島本 勉\*\*

(昭和53年6月22日受付, 昭和53年7月31日受理)

Mineral springs characterized by Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> in Ehime Prefecture, Japan.Tsuyoshi MAKI\*, Takuro TAKECHI\*\*, Mitsuo WATANABE\*\*, Shigeru EGUCHI\*\*,  
and Tsutomu SHIMAMOTO\*\*

\* Faculty of Science, Ehime University

\*\*Institute of Public Health Ehime Prefecture

## Abstract

Springs in Ehime Prefecture are classified into three types of NaCl+NaF, NaCl, and Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> due to dissolved matter. Mineral springs characterized by Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> from 45 localities were geochemically examined and discussed comparing with the Dōgo Springs, the type of NaCl+NaF.

The results are as the followings:

- (1) Contents of Na<sup>+</sup> and CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> ions increase linearly with an increasing of pH and those of Ca<sup>2+</sup>, and SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> decrease.
- (2) With an increasing of dissolved matter, contents of Na<sup>+</sup> and CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> increase and those of Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, and Cl<sup>-</sup> decrease.
- (3) Cl<sup>-</sup> ion shows almost constant concentration, being much the same as the average value of Japanese ground water.
- (4) In the Key diagram, the variation of plots of the Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> springs along with increasing concentration of dissolved matter is different from those of the Dōgo springs.

From the above mentioned facts, there seems no doubt that the mineral springs characterized by Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> have evolved from a stagnant ground water due to an ion exchange reaction with deep seated rocks.

## はじめに

愛媛県はその中央部に、非火山性温泉の代表的なものとして道後温泉郷（道後温泉群、東道後温泉群、奥道後温泉群）を有し、そのほか県下に数多くの冷鉱泉の湧出がみられている。これらの温泉は湧出母岩の違いにより各種の泉質を生みだしている。なお、「非火山性」という用語は成因的に不明確で単に「現在活動中の火山帯から離れた地域にあるもの」という意味にすぎ

\* 愛媛大学理学部地球科学科昭和52年度研究生

\*\* 愛媛県立衛生研究所

ず、マグマ源であるか否かは改めて検討を要する問題である。

酒井、大木<sup>1)</sup>はいわゆる非火山性温泉をグリーンタフ型、化石海水型に2大別したが、ここへのべる愛媛県下の鉱泉はすべてグリーンタフ以前(新第三紀中積世以前)の岩層中から湧出しており、また化石海水源であるかどうかは、既報(真木ほか<sup>2)</sup>)にのべた温泉(Cl濃度、溶解性成分濃度)から大部分の鉱泉は否定的であるが一部<sup>3)</sup>のものについてはその可能性がないわけではない。

宮久ら<sup>4)</sup>は愛媛県下の温泉を分類する目的で温泉水の蒸発残渣をX線回折計で分析することにより、つぎの4種類に分けられることを報告した。なお(2)、(3)については、すでに地球化学的考察を加えて報告した。<sup>2)3)</sup>

- (1) CaCO<sub>3</sub>型(地下水型)
- (2) NaCl+NaF型(道後温泉型)
- (3) NaCl型(海水型)
- (4) Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>型

さて、(1)CaCO<sub>3</sub>型と(4)Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>型とは、化学組成の点で類似する性質が多いので、ここに合せてNa<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>型とする。この広義のNa<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>型について調査し考察を加えるとともに、(2)のNaCl+NaF型の泉質と成因の相違について比較検討した。Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>型鉱泉の泉質ならびに成因の解明は、現在、道後温泉群のような高温泉としての泉温(約50℃)を得ようとする開発計画に対し、泉温の有無をなんらかの型で予想する上に役立つことができると考えられる。また、Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>型鉱泉の成因究明は水質の本質にも触れることになり興味ある問題を提起するであろう。

### 愛媛県の地質と鉱泉(温冷泉)の概要

図1は愛媛県の地質図<sup>5)</sup>上に鉱泉(温冷泉)の位置を示したものであり、鉱泉(温冷泉)の所在地については宮久らの報告<sup>4)</sup>に示してある。愛媛県は北から南へと三本の地質構造線(中央構造線、みかぶ線、仏像線)によって4つの地質帯に分けられる。すなわち、(1)花崗岩と和泉砂岩とを主体とする領家帯、(2)黒色片岩および緑色片岩を主とする三波川帯、(3)砂岩、珪岩、粘板岩などより構成される秩父帯および(4)砂岩と粘板岩とを主とする四万十帯である。これらの地質構造区分に対応する特徴的な鉱泉(温冷泉)は領家帯のNaCl+NaF型(道後温泉型)と三波川帯に湧出するNaCl型(海水型)とである。これに対し今回調査のNa<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>型鉱泉は地質構造区分とは明瞭な関係を認めずいずれの地質帯にもあり、したがって県下全域に分布湧出している。また、これらのうち高温度を有する温泉はNaCl+NaF型温泉に限られている。

Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>型鉱泉の特徴は高pH値を示し、低濃度(50~500ppm)でわずかに硫化水素を含む冷泉で、表1に示すように地域的な相異が認められる。

表1 地域別Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>型鉱泉泉質の相異

地 質 区 分	pH 値	ラ ド ン	硫 化 水 素	ホ ウ 素	フ ッ 素
領 家 帯	低	高	低	低	高
三 波 川 帯	高	低	中	高	低
秩父、四万十帯	高	低	高	中	中

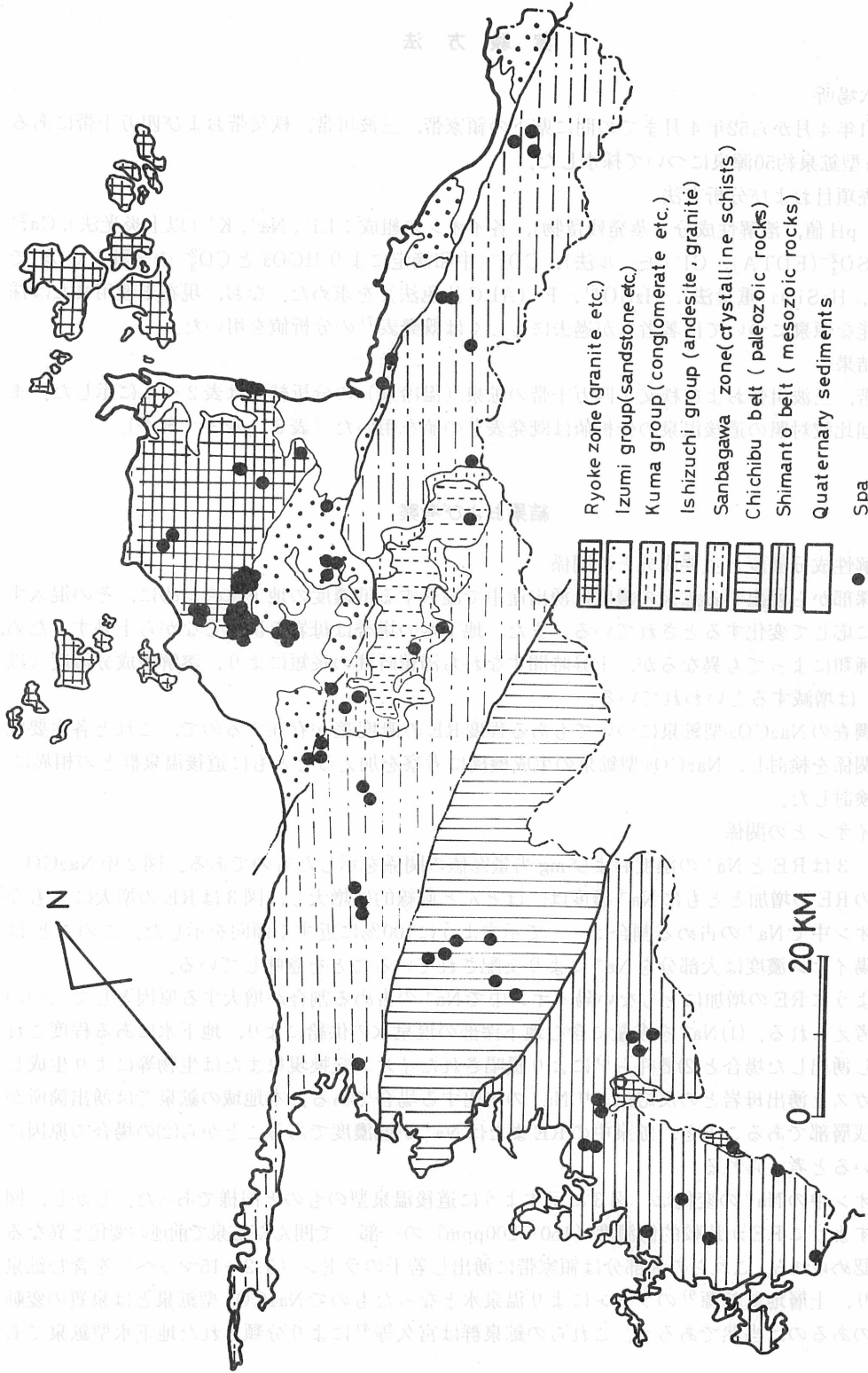


図1 愛媛県の地質および鉱泉湧出場所

## 実験方法

### 1. 採水場所

昭和51年4月から52年4月までの間に県下の領家帯、三波川帯、秩父帯および四万十帯にある $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 型鉱泉約50源泉について採水した。

### 2. 調査項目および分析方法

泉温、pH値、溶解性成分（蒸発残留物）、各イオンの組成： $\text{Li}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ （以上炎光法）、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ （EDTA）、 $\text{Cl}^-$ （モール法）、 $\text{CO}_3^{2-}$ （中和滴定により $\text{HCO}_3^-$ と $\text{CO}_3^{2-}$ の合計を $\text{CO}_3^{2-}$ で示した）、 $\text{H}_2\text{SiO}_3$ （重量法）、 $\text{H}_2\text{BO}_3^-$ 、 $\text{F}^-$ （ALC比色法）を求めた。なお、現在未使用または採水不可能な源泉については著者らが過去にもしくは既発表<sup>7)</sup>の分析値を用いた。

#### 分析結果

領家帯、三波川帯および秩父・四万十帯の鉱泉（温冷泉）の分析結果は表2～4に示した。また、今回比較対照の道後温泉の分析値は既発表<sup>2)</sup>の値を用いた（表2、表3、表4）。

## 結果および考察

### 1. 溶解性成分濃度と主要成分との関係

地下深部から湧出する鉱泉の濃度は湧出途中で混入する低濃度の地下水のために、その混入する割合に応じて変化するとされている。また、地下水の場合は母岩と反応しながら上昇するため、母岩の種類によっても異なるが、上昇時間すなわち滞留時間の長短により、溶解性成分濃度（以下RE）は増減するといわれている。

今回調査の $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 型鉱泉についてもある程度REの濃度差が存在するので、これと各主要成分との関係を検討し、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 型鉱泉の生成機構に考察を加えるとともに道後温泉群との相異について検討した。

#### 1) 陽イオンとの関係

図2、3はREと $\text{Na}^+$ の濃度およびmg当量%値の関係を示したものである。図2中 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 型鉱泉のREの増加とともに $\text{Na}^+$ 濃度は、ほとんど直線的に増大し、図3はREの増大にともない陽イオン中で $\text{Na}^+$ の占める割合は-----で示すように100%に近づく傾向を示した。このことは鉱泉の陽イオン濃度は大部分を $\text{Na}^+$ により支配されていることを意味している。

このようにREの増加にともない陽イオン中で $\text{Na}^+$ の占める割合が増大する原因として二つの場合が考えられる。(1) $\text{Na}^+$ を多量に含む地下深部の温泉水の供給により、地下水にある程度これが混入し湧出した場合と(2)酒井ら<sup>8)</sup>により提唱されたイオン交換現象または生物等により生成した炭酸ガスと湧出母岩との反応により $\text{Na}^+$ の溶出する場合である。本地域の鉱泉では湧出箇所が比較的浅層部であることと、鉱泉中のREまたは $\text{Na}^+$ が低濃度であることから(2)の場合の原因に基いていると考えられる。

陽イオン中の $\text{Na}^+$ の変化は、図3に示すように道後温泉型のもと同様であった。しかし、図3に示すようにREが比較的low濃度（150～200ppm）の一部で囲んだ鉱泉で前述の変化と異なるものが認められる。これらの大部分は領家帯に湧出し若干のラドン（5.2～15マッヘ）を含む鉱泉群であり、上層地質起源<sup>9)</sup>のラドンにより温泉水となったもので $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 型鉱泉とは泉質の変動に相異のあるのは当然であろう。これらの鉱泉群は宮久等<sup>4)</sup>により分類された地下水型鉱泉である。

$\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 濃度は $\text{Na}^+$ とは対照的に変動も少なく比較的low濃度（ $\text{Ca}^{2+}$ ：AV=14.1ppm，SD

表2 鉱泉分析結果(領家帯)

No.	源泉名	pH	RE	陽イオン				陰イオン				H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	B	
				Li <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>			CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>
1	純川温泉	9.62	181.9	0.038 (0.17)	63.75 (96.02)	0.217 (0.21)	2.084 (3.60)	(-)	12.45 (23.02)	7.090 (7.03)	8.16 (5.98)	54.60 (63.97)	28.16	3.31
2	下木地鉱泉	9.72	127.2	0.026 (0.21)	33.33 (77.82)	0.435 (0.59)	7.335 (19.66)	0.386 (1.72)	20.130 (20.53)	6.381 (9.85)	9.504 (10.84)	32.22 (58.78)	33.14	0.085
3	今治市桜井鉱泉	7.85	199.9	0.049 (0.23)	18.33 (15.65)	1.460 (1.23)	35.47 (58.92)	8.750 (23.97)	4.309 (6.68)	9.004 (7.47)	14.50 (8.88)	78.50 (76.97)	44.19	(-)
4	三芳鉱泉	9.36	79.82	0.014 (0.17)	17.75 (65.37)	0.348 (0.76)	7.850 (33.19)	0.072 (0.51)	3.550 (15.81)	4.963 (11.83)	5.568 (9.81)	22.20 (62.55)	21.00	(-)
5	今治市1号泉	8.06	211.8	0.090 (0.38)	22.60 (28.56)	0.717 (0.52)	30.26 (43.87)	11.16 (26.67)	3.980 (5.90)	9.572 (7.63)	4.704 (2.77)	88.92 (83.70)	48.47	(-)
6	今治市2号泉	8.33	538.4	0.451 (0.74)	185.0 (92.07)	1.794 (0.53)	6.814 (3.89)	2.941 (2.77)	10.18 (6.41)	5.672 (1.91)	(-)	229.8 (91.67)	21.84	2.212
7	今治市3号泉	8.03	188.4	0.062 (0.30)	19.50 (28.02)	0.339 (0.30)	33.19 (54.73)	6.123 (16.65)	3.820 (6.83)	7.799 (7.47)	8.160 (5.78)	70.60 (79.92)	54.84	(-)
8	吉海町1号泉	7.90	174.2	0.042 (0.21)	19.06 (29.05)	0.807 (0.75)	32.38 (57.51)	3.953 (11.57)	1.863 (3.62)	21.62 (22.58)	8.736 (6.74)	54.66 (67.06)	28.99	(-)
9	吉海町2号泉	6.79	166.5	0.012 (0.08)	19.95 (35.27)	0.291 (0.28)	23.05 (46.79)	5.255 (17.58)	0.607 (1.40)	16.73 (20.58)	25.44 (23.10)	37.80 (54.92)	46.28	(-)
10	吉海町3号泉	7.65	191.1	0.012 (0.07)	22.27 (33.70)	3.029 (2.716)	27.45 (47.70)	5.520 (15.81)	0.607 (1.20)	17.09 (17.57)	29.18 (22.17)	48.60 (57.06)	44.46	(-)
11	吉海町4号泉	6.73	188.7	0.017 (0.09)	20.45 (38.14)	0.350 (0.39)	21.16 (45.30)	4.556 (16.09)	0.43 (0.77)	24.18 (29.14)	27.55 (24.53)	31.98 (45.56)	46.80	(-)
12	朝倉村三六九寺鉱泉	7.82	156.1	0.056 (0.32)	13.16 (22.57)	1.049 (1.07)	32.02 (63.06)	4.001 (12.98)	3.876 (8.19)	7.090 (8.02)	5.184 (4.33)	59.40 (79.45)	34.97	(-)
13	伊台鉱泉1号	7.31	195.4	0.020 (0.11)	9.347 (15.23)	1.829 (1.75)	33.23 (62.05)	6.774 (20.86)	0.264 (0.55)	10.14 (11.12)	14.02 (11.36)	60.34 (76.97)	26.38	(-)
14	伊台鉱泉2号	7.91	120.4	0.015 (0.11)	13.24 (30.88)	1.420 (1.93)	21.73 (58.22)	1.921 (8.49)	0.254 (0.68)	6.452 (9.53)	2.688 (2.93)	50.64 (86.86)	25.75	(-)
15	伊台鉱泉	7.90	155.6	0.025 (0.20)	28.46 (61.94)	1.455 (1.85)	12.87 (31.15)	0.940 (3.86)	2.649 (7.68)	9.64 (15.02)	4.032 (4.64)	39.48 (72.67)	34.06	(-)
16	北条1号泉	7.10	110.0	0 (0)	880 (22.11)	0.500 (0.83)	16.40 (51.97)	4.80 (25.09)	0 (0)	8.82 (15.40)	18.06 (23.25)	29.75 (61.35)	34.06	(-)
17	北条2号泉	7.94	114.9	0.011 (0.12)	31.66 (84.06)	1.069 (1.65)	3.968 (12.09)	0.410 (2.08)	9.704 (30.88)	17.94 (30.57)	4.518 (5.68)	16.32 (32.87)	17.67	(-)

表3 鉱泉分析結果(三波川帯)

No.	源泉名	pH	RE	陽イオン				陰イオン				H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	B	
				Li	Na	K	Ca	Mg	F	Cl	SO <sub>4</sub>			CO <sub>3</sub>
1	川内 鉱泉	9.42	395.0		143.2 (98.64)	1.161 (0.47)	0	0.681 (0.89)	0.929 (0.74)	88.438 (3.59)	4.414 (1.38)	187.6 (94.29)	19.75	0.499
2	城山 鉱泉	8.60	456.6	0.522 (1.017)	160.8 (94.93)	1.398 (0.49)	33.367 (2.28)	1.157 (1.29)	2.407 (1.71)	7.799 (2.97)	21.50 (6.04)	198.7 (89.28)	33.54	0.600
3	川内町1号泉	7.77	339.2	0.194 (0.671)	86.96 (66.81)	2.388 (1.08)	28.02 (24.70)	4.628 (6.73)	0.978 (0.93)	6.310 (3.23)	29.86 (11.30)	139.6 (84.54)	44.20	0.180
4	川内町2号泉	7.76	383.4	0.233 (0.532)	100.2 (68.20)	2.680 (1.08)	29.98 (23.42)	5.255 (6.76)	0.927 (0.76)	5.034 (2.21)	18.82 (6.09)	175.7 (90.94)	47.06	0.650
5	安別堂 鉱泉	8.24	163.9	0.054 (0.35)	26.88 (41.47)	1.950 (1.94)	23.57 (34.01)	7.207 (22.24)	0.240 (0.30)	7.09 (5.57)	17.76 (11.66)	74.10 (82.48)	38.34	2.420
6	伊予市唐川 鉱泉	8.19	166.8	0.009 (0.03)	15.50 (22.59)	0.511 (4.39)	29.58 (49.46)	8.533 (23.53)	0.133 (0.25)	9.926 (10.10)	21.89 (16.44)	60.90 (73.21)	17.87	1.388
7	大久喜 鉱泉	9.83	136.5	0 (-)	28.43 (85.07)	0.196 (0.34)	3.607 (12.39)	0.386 (2.20)	0.124 (0.40)	13.47 (25.57)	0.864 (1.21)	31.71 (68.24)	64.09	2.700
8	神南 鉱泉	9.85	113.1	0 (-)	22.30 (79.12)	0.161 (0.32)	4.850 (19.74)	0.121 (0.82)	0.079 (0.32)	7.799 (17.44)	0 (-)	29.22 (76.61)	59.67	1.592
9	大登 鉱泉	10.51	227.7	0.006 (-)	55.00 (94.99)	0.425 (0.44)	0.721 (1.43)	0.964 (3.14)	0.08 (0.15)	14.18 (15.14)	4.876 (3.86)	64.08 (80.85)	72.54	6.665
10	恒添 鉱泉	9.77	335.3	0.050 (0.16)	96.15 (96.51)	1.281 (0.762)	1.804 (2.080)	0.265 (0.485)	0.825 (1.019)	14.96 (10.01)	15.07 (7.45)	103.1 (81.52)	38.85	14.665
11	嵯峨山 鉱泉	8.97	238.5	0.050 (0.17)	89.35 (96.40)	0.70 (0.45)	2.407 (2.98)	0 (-)	0.522 (0.69)	7.870 (5.68)	1.76 (0.92)	108.7 (92.71)		1.775
12	古岩屋 鉱泉	9.38	155.1	0 (0)	50.15 (93.44)	1.230 (1.34)	0.460 (1.89)	0.02 (3.34)	1.263 (3.03)	7.870 (10.19)	0 (-)	56.70 (86.09)	27.55	3.079
13	父二峰 鉱山	9.21	151.4	0.001 (0.06)	36.00 (90.72)	0.550 (0.81)	2.989 (8.63)	0 (-)	0.016 (-)	5.956 (10.10)	8.64 (10.81)	39.80 (79.09)		2.241
14	子林子林 鉱泉	7.70	165.0	0.02 (0.10)	25.00 (37.39)	1.75 (1.55)	28.50 (48.92)	4.26 (12.04)	0.50 (0.99)	4.16 (4.44)	23.05 (18.05)	60.41 (76.32)		
15	大洲 鉱泉	7.93	488.90	0.002 (0)	4.75 (43.04)	0.574 (3.12)	3.407 (35.34)	1.085 (18.15)	0.133 (1.49)	7.232 (43.31)	3.456 (15.29)	5.640 (39.91)		3.750
16	小藪 鉱泉	9.82	222.7	0.100 (0.43)	75.00 (98.40)	0.596 (0.45)	0.481 (0.72)	0 (-)	3.313 (5.10)	7.586 (6.27)	0 (-)	90.78 (88.63)		4.115
17	深瀬 鉱泉	7.19	163.9	0.057 (0.34)	27.50 (50.36)	1.925 (2.06)	15.99 (33.56)	3.953 (13.68)	0.946 (2.00)	21.34 (24.16)	0 (-)	55.20 (73.84)	39.78	3.655
18	魚成 鉱泉	8.04	179.0	0.030 (0.14)	22.23 (32.95)	1.525 (1.33)	33.59 (57.10)	3.015 (8.45)	0.411 (0.82)	22.76 (22.91)	4.896 (3.64)	61.70 (72.60)	17.45	1.098

表4 鉱泉分析結果(秩父・四万十帯)

No.	源泉名	pH	RE	陽イオン							陰イオン				H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	B
				Li	Na	K	Ca	Mg	F	Cl	SO <sub>4</sub>	CO <sub>3</sub>				
1	野川 鉱 泉	8.50	123.0	0.032 (0.14)	38.75 (77.15)	0.560 (0.64)	6.090 (13.92)	0.217 (8.15)	3.846 (10.48)	8.437 (12.82)	0.384 (0.42)	44.16 (76.38)	20.54	0.059		
2	日ノ平鉱泉新源泉	9.06	328.6	0.682 (1.18)	130.0 (96.35)	1.66 (0.73)	1.683 (1.43)	0.217 (0.31)	1.941 (1.73)	6.594 (3.24)	0.288 (0.10)	168.0 (94.93)	19.06	0.321		
3	日ノ平鉱泉旧源泉	9.26	232.0	0.352 (0.84)	87.50 (90.20)	1.32 (0.80)	2.044 (2.42)	2.940 (5.74)	0.816 (1.00)	7.586 (5.13)	11.33 (5.51)	113.6 (88.36)	15.98	0.474		
4	三 間 鉱 泉	9.55	212.0	0.226 (0.62)	75.22 (91.57)	1.88 (1.34)	3.246 (4.54)	0.844 (1.93)	0.273 (0.39)	19.78 (15.91)	23.52 (13.58)	75.80 (70.12)	41.08	0.319		
5	清 水 鉱 泉	8.72	428.6	0.682 (0.87)	177.8 (96.74)	3.28 (1.05)	0.802 (0.50)	0.819 (0.84)	2.124 (1.40)	8.792 (3.20)	23.23 (6.07)	213.6 (89.33)	24.04	1.149		
6	川 渡 鉱 泉	10.11	152.6	0.062 (0.30)	44.25 (96.01)	0.357 (0.45)	0	0.795 (3.24)	2.300 (5.51)	16.87 (21.60)	3.984 (3.69)	45.48 (69.10)	44.72	0.301		
7	山 出 鉱 泉	9.27	99.8	0.016 (0.15)	24.00 (77.49)	0.393 (0.74)	4.489 (16.64)	0.820 (4.98)	1.390 (5.37)	15.67 (31.89)	5.616 (8.44)	22.62 (54.40)	22.62	0.305		
8	菊 川 鉱 泉	7.39	83.5	0.007 (0.08)	12.50 (44.93)	0.536 (1.16)	11.22 (46.59)	1.061 (7.24)	0.493 (5.63)	11.49 (25.67)	9.552 (15.77)	20.04 (52.93)	24.43	(-)		
9	成 川 鉱 泉	7.03	68.0	0.001 (0)	8.454 (38.94)	0.321 (0.84)	9.700 (51.22)	1.036 (9.00)	0.460 (2.28)	11.27 (30.26)	10.22 (20.37)	14.88 (49.19)	19.50	(-)		
10	今 出 鉱 泉	8.04	179.0	0.030 (0.14)	22.23 (32.96)	1.525 (1.33)	33.59 (57.12)	3.015 (8.45)	0.411 (0.82)	22.76 (22.99)	4.896 (3.65)	60.79 (72.90)				
11	加 塚 鉱 泉	8.25	97.8	0 (0)	15.75 (48.93)	0.295 (0.57)	11.61 (41.36)	1.556 (9.14)	1.458 (5.71)	5.670 (11.86)	6.812 (10.53)	29.09 (71.90)	23.92	(-)		
12	西 野 々 鉱 泉	9.60	288.2	0.186 (0.58)	100.5 (95.56)	2.560 (1.44)	0.772 (0.85)	0.875 (1.58)	1.119 (1.23)	5.672 (3.33)	11.04 (4.79)	130.5 (90.65)	21.58	0.160		
13	エイジ鉱泉新源泉	7.80	229.4	0.101 (0.37)	48.48 (55.86)	2.585 (1.75)	24.41 (32.27)	4.475 (9.75)	0.714 (1.04)	12.23 (9.42)	18.61 (10.60)	86.73 (78.94)	23.39	0.205		
14	エイジ鉱泉旧源泉	8.68	417.9	0.047 (0.09)	165.1 (92.25)	4.684 (1.54)	7.214 (4.61)	1.422 (1.51)	4.975 (3.48)	21.35 (7.99)	3.552 (0.98)	197.8 (87.55)	14.56	3.220		
15	馬 の 洲 鉱 泉	8.40	385.4	0.660 (0.14)	140.0 (77.06)	4.383 (2.39)	6.934 (17.12)	2.507 (3.29)	4.180 (5.07)	27.44 (17.82)	4.464 (2.14)	97.68 (74.97)	19.76			

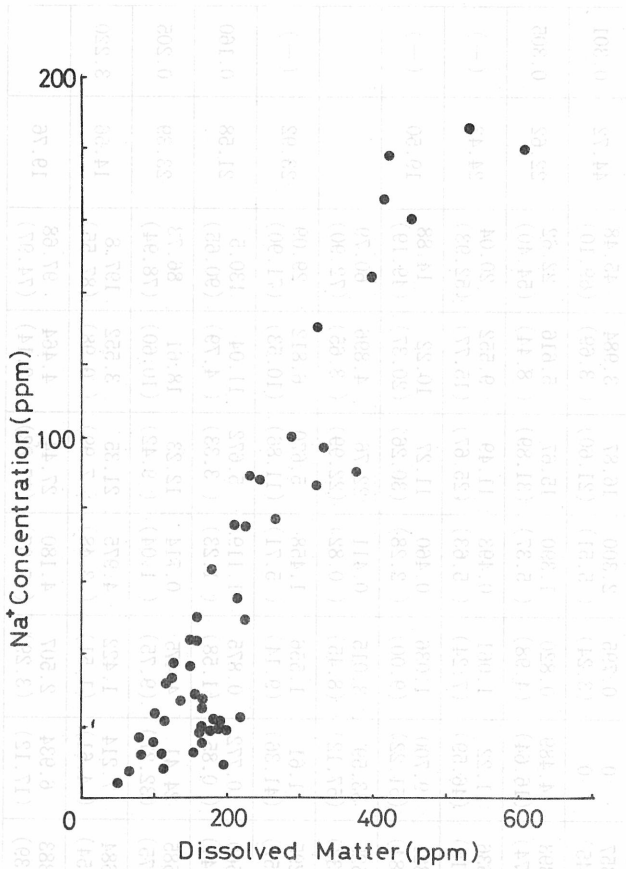


図2 溶解性物質とナトリウムとの濃度相関

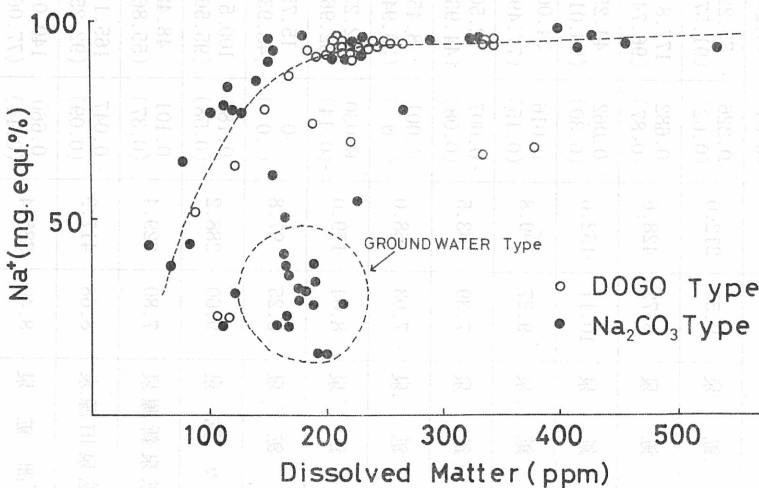


図3 溶解性物質濃度とナトリウム (当量%) の相関

=12.3  $Mg^{2+}$ : AV=2.68ppm, SD =2.72) であった。陽イオン中での占める割合は  $Na^+$  の増大にともない減少する。

今回の  $Na_2CO_3$  型鉱泉における陽イオンの挙動は  $NaCl+NaF$  型鉱泉と同じであった。

2) 陰イオンとの関係

① 塩素イオン

RE と  $Cl^-$  の濃度 (ppm) との関係を図4にmg当量との関係を図5に示した。  $Na_2CO_3$  型鉱泉の  $Cl^-$  濃度はREの濃度にかかわらずあまり変化がなく、平均値は11.1ppm (SD=5.6) と低く、その値は愛媛県下河川の平均濃度 (5.95ppm<sup>10)</sup>、日本の地下水の平均濃度(7.09ppm, 15.6ppm<sup>11)</sup>) に近い値であった。今回、このような  $Cl^-$  のREに対する挙動は  $Na_2CO_3$  型鉱泉の生成機構についてある程度の情報を与えると思われる。すなわち  $Na_2CO_3$  型鉱泉の湧出箇所が比較的浅層部で、REと  $Cl^-$  の濃度が地下水と同程度であることから、地下

深部からの普通  $Cl^-$  を高濃度に含むとされる鉱泉の混入は考えられない。一般に、  $Cl^-$  の変化は地下水の地下滞留中にはほとんど起らないとされており、  $Na_2CO_3$  型鉱泉の  $Cl^-$  の起源を普通浅層地下水に求めることができる。一方、道後温泉のREに対する  $Cl^-$  の挙動はREの増加とともに増加している。

一方、陰イオン中での  $Cl^-$  の占める割合は

REの増大にともない  $Na_2CO_3$  型鉱泉は減少し、  $NaCl+NaF$  型鉱泉は増大する。すなわち、REに対する寄与は前者で少なく、後者で高いので、それぞれの生成機構が異なることが考えら



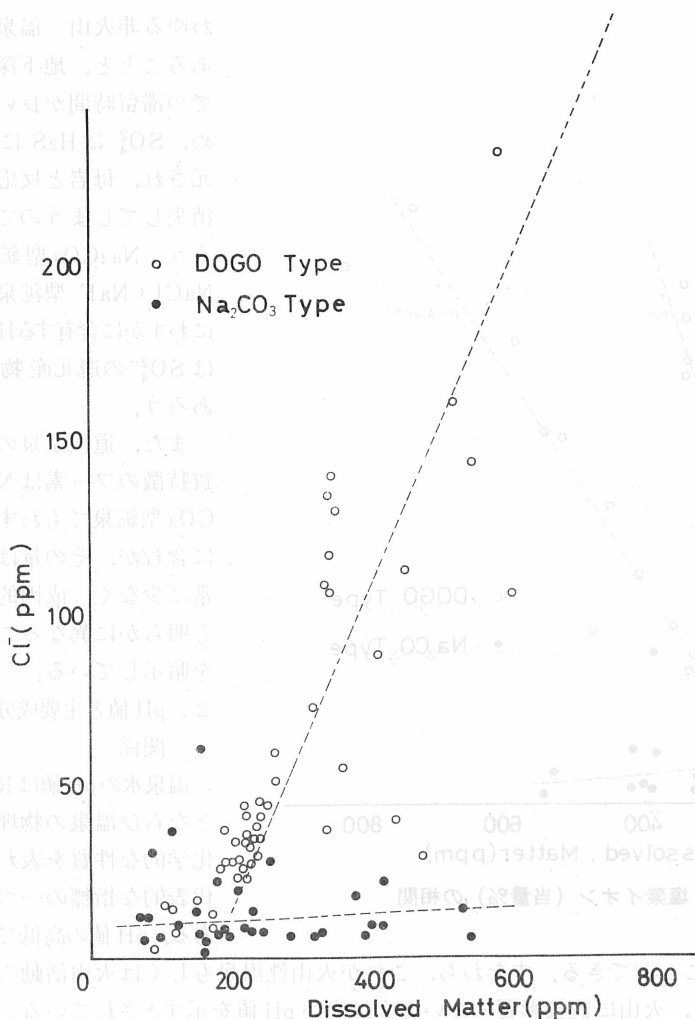


図4 溶解物質と塩素イオンの濃度相関

れる。

② 炭酸イオン

REとCO<sub>3</sub><sup>2-</sup>(濃度)の関係を図6にCO<sub>3</sub>(mg当量%)との関係を図7に示した。

Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>型鉱泉のCO<sub>3</sub><sup>2-</sup>濃度はREと強い正の相関(r=0.97, y=0.51x-28.2)を示す。これに対しNaCl+NaF型鉱泉ではそれとは明らかに異なった変化を示し、REのある一定濃度(道後温泉で200ppm, 東道後温泉400ppm)までは正の相関を示すがそれ以降はむしろ負の関係を示している。一方、陰イオン中でのCO<sub>3</sub><sup>2-</sup>の占める割合は、REの増大にともないNa<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>型鉱泉で増加し、NaCl+NaF型で減少し、それぞれREに対するCO<sub>3</sub><sup>2-</sup>の挙動に相異のあることが解った。

Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>型鉱泉のCO<sub>3</sub><sup>2-</sup>の変化には次のようなことが考えられている。(1)CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>に富む鉱泉が湧出する途中で地下水によって希釈された。(2)滞留もしくは湧出の過程でCO<sub>3</sub><sup>2-</sup>の増加の方向へ変化した。

しかしながら、鉱泉の湧出方法、Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>の挙動からは、本地域のNa<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>型の鉱泉については(2)の場合が適当と考える。

すなわち、長時間地下に滞留する鉱泉は生物の作用により生産された炭酸ガスを溶かし、これが母岩と反応し、CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>に変化するとともに、陽イオンではNa<sup>+</sup>が増加するのであろう。杉崎<sup>12)</sup>らによると地下水の水質は長時間地下に滞留するときNa<sup>+</sup>およびCO<sub>3</sub><sup>2-</sup>の占める割合が増加するという報告例とよく一致している。

③ その他の陰イオン

陰イオンの主要成分の一つである硫酸イオンは、Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>型鉱泉、NaCl+NaF型鉱泉ともにREと負の相関(前者r=-0.33, 後者r=-0.63)を示し、REの増加にともない減少する。愛媛県下の鉱泉(温冷泉)中の硫酸イオン濃度(AV=10.75ppm, SD=11.3)は全国(1650ppm<sup>13)</sup>)と比較し非常に低い値を示している。この理由として、これらの鉱泉(温冷泉)がい

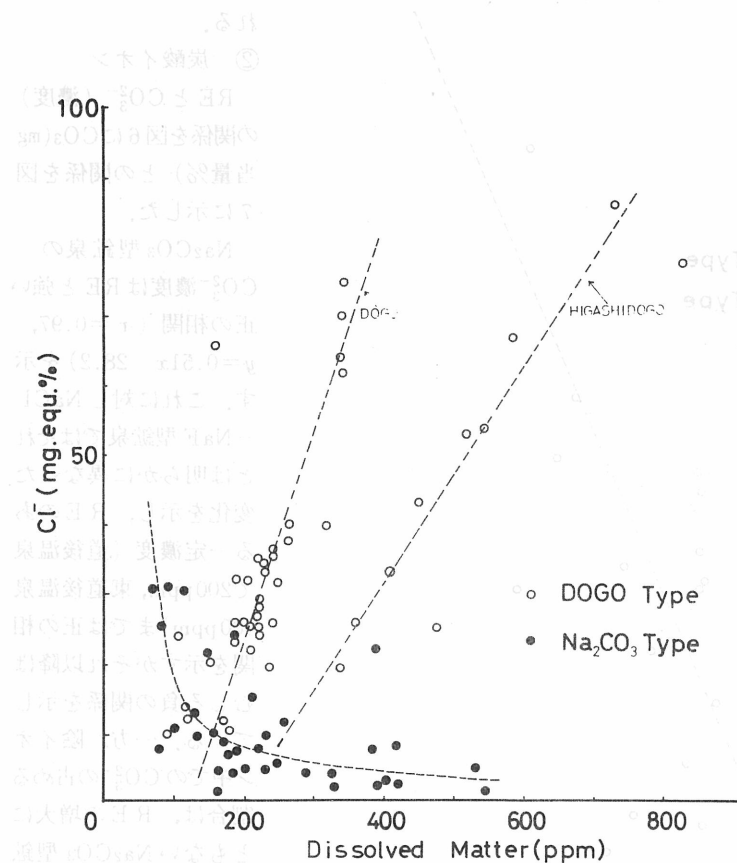


図5 溶解性物質と塩素イオン（当量%）の相関

泉の起源をある程度推定することができる。すなわち、これが火山性温泉もしくは火山活動の近傍の温泉であればpH値は低く、火山に直接影響のない温泉は高いpH値を示すとされている。愛媛県下の $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 型鉱泉ならびに道後温泉群のpH値はほとんどが8以上で中には10以上の源泉も存在し、非火山性温泉群に一応分類される。

このことは地質学的な事実、すなわち、湧出地域が現在火山活動と直接関係のない点で一致している。

pH値と主要成分濃度との相関は、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$ （正の相関）、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ （負の相関）との間でわずかに認められたにすぎなかった。しかし、主要成分の占める割合（mg当量%）との相関は、強弱はあるが全ての主要成分との間に認められた。すなわち、pH値が高くなるにしたがい、陽イオンでは、 $\text{Li}^+$ 、 $\text{Na}^+$ を増大し、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ を減少させ、陰イオンは $\text{CO}_3^{2-}$ を増大、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$ を減少させている。

$\text{Na}_2\text{CO}_3$ 型鉱泉のpH値の高い原因は $\text{Na}^+$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$ 濃度を増大した結果より、鉱泉中の $\text{Na}^+$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$ の占める割合が増大したためであろうし、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ の解離から当然の結果であろう。

### 3. 主要イオン間の関係

これまでのことから、 $\text{Ca}_2\text{CO}_3$ 型鉱泉のREの濃度およびpH値の決定因子は $\text{Na}^+$ と $\text{CO}_3^{2-}$ で、道後温泉群の場合は $\text{Na}^+$ と $\text{Cl}^-$ であることから、その生成機構に明らかに相異が認められている。図8は、三角図および鍵座図を用い、各鉱泉の主要成分の割合をプロットし、変化状況を見たも

わゆる非火山 温泉であることと、地下深部での滞留時間が長いいため、 $\text{SO}_4^{2-}$ は $\text{H}_2\text{S}$ に還元され、母岩と反応し消失してしまうのであろう。 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 型鉱泉、 $\text{NaCl}+\text{NaF}$ 型鉱泉中にわずかに含有する $\text{H}_2\text{S}$ は $\text{SO}_4^{2-}$ の還元産物であろう。

また、道後温泉の水質特徴のフッ素は $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 型鉱泉でもわずかに含むが、その量は非常に少なく、成因的にも明らかに異なることを暗示している。

### 2. pH値と主要成分の関係

温泉水のpH値はREとならび温泉の物理的・化学的な性質を表わす代表的な指標の一つである。pH値の高低で温

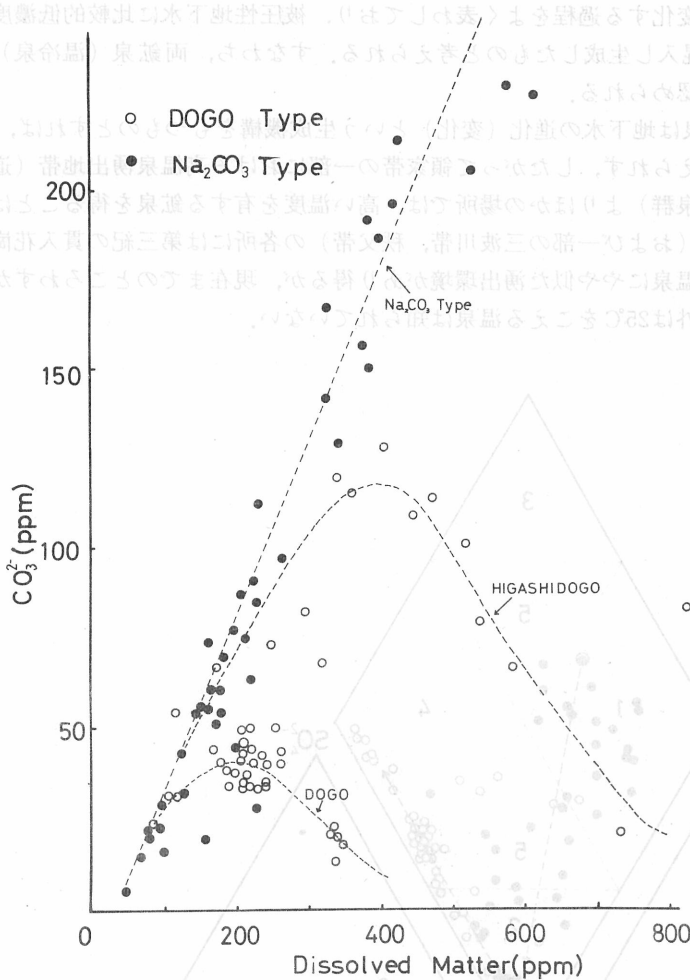


図6 溶解性物質と炭酸イオンの濃度相関

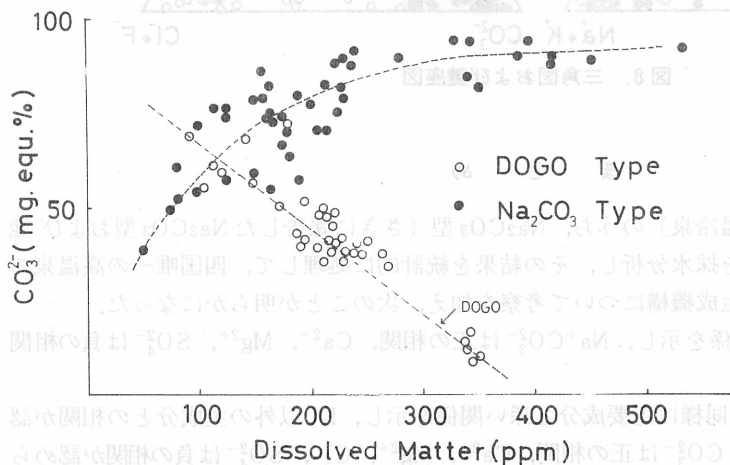


図7 溶解性物質と炭酸イオン(当量%)の相関

のである。図中の●印は著者らの調査した松山市内の浅層地下水の平均値の位置で、矢印はREの増大する方向を示している。陽イオン三角図に注目すると、その変化はNa<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>型で、道後温泉群と同様の变化を示し、陰イオン三角図ではNa<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>型がCO<sub>3</sub><sup>2-</sup>、道後温泉型ではCl<sup>-</sup>が増加する方向へと移動する。鍵座図の取扱いは、酒井等<sup>8)</sup>によると、その位置により、水の起源をある程度推測できるとされている。すなわち、図に示す区画1, 2, 3, 4, 5, がそれにあたり、1は普通地下水、2は被圧性地下水、4は海岸地域の地下水、又、化石水は3から4の区画にかかるとされている。

今回調査のNa<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>型鉱泉の位置および変化はREの増大につれ、1から2の区画へ、道後温泉群のそれは2から4へと移動する。すなわち、前者は普通地下水から被圧性地下水へ変化することがわかる。このことは前述のREに対するNa<sup>+</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>の関係ともあわせ考えると、地下水が長時間、地下に滞留した結果、進化し、Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>型鉱泉を生成したものと考えられる。

また、後者は被圧性地

下水から海水侵入型の地下水に変化する過程をよく表わしており、被圧性地下水に比較的低濃度のNaCl型の水が作用もしくは混入し生成したものと考えられる。すなわち、両鉱泉（温冷泉）群の生成機構には明瞭な相異が認められる。

以上のように、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 型鉱泉は地下水の進化（変化）という生成機構をもつものとするれば、泉源はあっても熱源の存在は考えられず、したがって領家帯の一部における高温泉湧出地帯（道後温泉などの $50^\circ\text{C}$ ていどの高温泉群）よりほかの場所では、高い温度を有する鉱泉を得ることは困難であろう。一方、四万十帯（および一部の三波川帯、秩父帯）の各所には第三紀の貫入花崗岩体が分布しているの、道後温泉にやや似た湧出環境があり得るが、現在までのところわずかに一例（今治市2号泉 $25.3^\circ\text{C}$ ）以外は $25^\circ\text{C}$ をこえる温泉は知られていない。

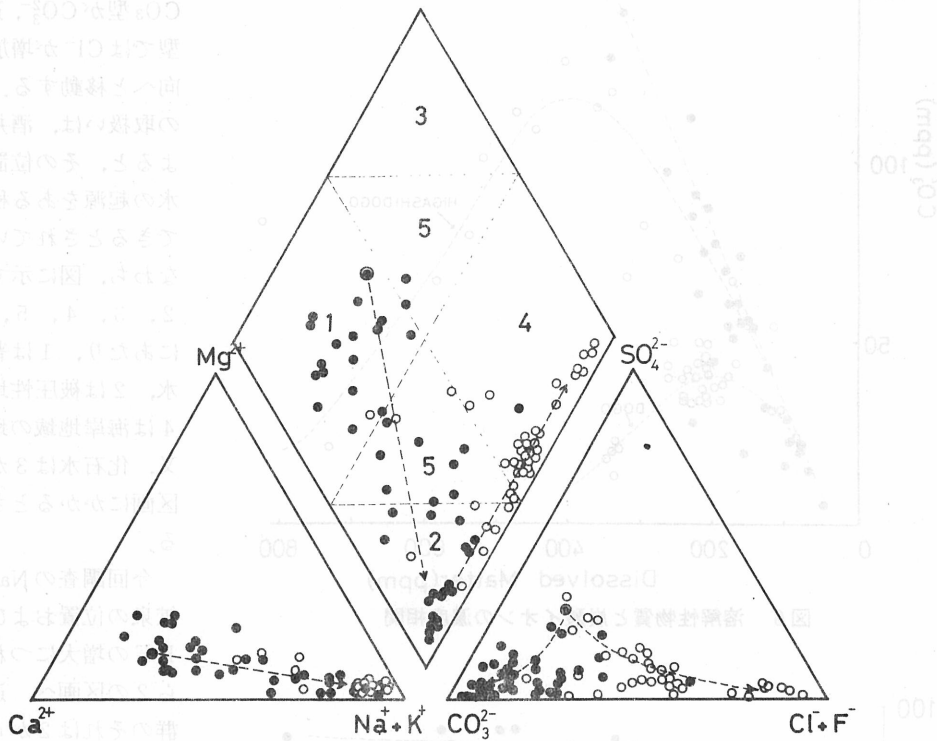


図8 三角図および鍵座図

### ま と め

愛媛県下の4型式の鉱泉（温冷泉）のうち、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 型（さきに報告した $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 型および地下水型をあわせた型）50源泉を採水分析し、その結果を統計的に処理して、四国唯一の高温泉の道後温泉群の泉質と比較し、生成機構について考察を加え、次のことが明らかになった。

1. pH値は主要成分と深い関係を示し、 $\text{Na}^+\text{CO}_3^{2-}$ は正の相関、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ は負の相関を示した。
2. 溶解性成分濃度はpH値と同様に主要成分と深い関係を示し、 $\text{K}^+$ 以外の主成分との相関が認められた。すなわち、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$ は正の相関、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ は負の相関が認められた。

3. 塩素イオンは興味ある挙動を示し、溶解性成分濃度の増減にかかわらず一定で、その値は日本の地下水の平均濃度に近い値であった。
4. 三角図および鍵座図の変化は、溶解性成分濃度の増大にしたがい、Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>型鉱泉で普通地下水から被圧性地下水の位置へ、道後温泉群で被圧性地下水から海水侵入型地下水の位置に移動し、その生成機構に相異が認められた。
5. 愛媛県に湧出するNa<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>型鉱泉の生成機構は地下水の進化したものと思惟でき、道後温泉群のそれとは明らかに異なる。  
そこで、道後温泉群湧出地域(領家帯の一地域)以外からは、NaCl + NaF型の泉温泉質を得ることは困難であろう。

### 謝 辞

本研究を発表するにあたり、御指導をいただいた愛媛大学理学部、宮久三千年、桃井斉両教授に感謝の意を表します。

本研究の一部は1977年7月第30国日日本温泉科学会で発表した。

### 文 献

- 1) 酒井, 大木: 日本の温泉, 科学, Vol48 No.1 (1978)
- 2) 真木, 武智, 山竹, 江口, 島本: 道後温泉の地球科学的考察, 温泉工学会誌, Vol.11, No.213, (1976)
- 3) 真木, 武智, 渡部, 江口, 島本: 愛媛の水(第10報), 愛媛衛研年報, 38, (1977)
- 4) 宮久, 真木: 四国西部非火山性温泉における蒸発残査の鉱物学的検討, 愛媛大学紀要, 自然科学Dシリーズ地学第Ⅷ第1号 (1976)
- 5) 永井, 堀越, 宮久, 鹿島, 芳我: 愛媛の地質図, 有限会社トモエヤ, (1967)
- 6) Robert R Grinstead: analyst, 92, 532~533
- 7) 愛媛県衛生部薬務課: 愛媛の温泉 (1973)
- 8) 酒井: 地下水学, 朝倉書店, 358~ (1965)
- 9) 村上: 温泉と放射能, 温泉工学会誌, Vol.1 No.2, 93 (1963)
- 10) 松木: 水成岩地帯の脳卒中ならびに胃ガン死亡率の土地集積性に関する疫学的研究, 山口産業大学医学年報17, 164~179 (1970)
- 11) 山口: 深井戸地下水の水質について, 水道協会誌, 335, 39~46 (1962)
- 12) 杉崎, 柴田: 地下水の地球化学研究, 地質学雑誌, 67, 427~ (1961)
- 13) 木島: 地下水・温泉の分析, 138~講談社 (1973)