

箱根湯本・塔ノ沢温泉の泉質

平野富雄, 大木靖衛, 粟屋 徹

神奈川県温泉研究所*

Geochemistry of Hydrothermal System of the Yumoto-Tōnosawa Area,

the Eastern Foot of Hakone Volcano

by

Tomio HIRANO, Yasue ŌKI and Tōru AWAYA

Hot Spring Research Institute of Kanagawa Prefecture

Hakone, Kanagawa

(Abstract)

Four zones have been recognized in the distribution of thermal waters of Hakone. The thermal waters of the Yumoto-Tōnosawa Spa issuing from the basement rocks can be classified as zone 4b (sodium chloride-bicarbonate-sulfate water nicknamed as mixed type). The thermal waters of the present area are further subdivided into two groups. The one is zone 4b-H characterized by high temperature and considerable amount of sodium chloride together with subordinate amount of sulfate and bicarbonate. The other is zone 4b-C characterized by moderate temperature and considerable amount of calcium sulfate and sodium chloride. Thermal waters discharged from drill-wells along Sukumo river, showing usually low in temperature and in dissolved materials are formed by the mixing of 4b-H water with the surface water and can be classified as 4b-L group. Thermal waters discharged from wells along Hayakawa river are also explained by the mixing of the salt-rich waters of zone 4b-C with the surface water and can be classified as 4b-D group. The hydrothermal system of the Yumoto-Tōnosawa area is well explained on the bases of the zonal mapping of thermal waters.

* 神奈川県箱根町湯本997 $\overline{P}250-03$
神奈川県温泉研究所報告 第3巻, 第3号, 109—130, 1972

1 はしがき

箱根湯本、塔ノ沢温泉は古くからひらけ、すでに元禄年間（約270年前）には箱根七湯にかぞえられていた（図1）。

昭和になると旧温泉場の周辺、須雲川ぞいや湯坂山できゅうそくに温泉掘さくがすすめられた。第二次大戦後、井孔が深くなりエアーリフトポンプによる揚湯が普及しはじめると温泉帶水層の水圧がさがり、旧湯場周辺の浅層温泉の温度、湧出量が低下するようになった。

神奈川県衛生部は昭和45年度より『箱根湯本、塔ノ沢温泉保護対策事業』に着手しているが、本研究もその一環として行なったものである。この報告では本地域の温泉の泉質の分布およびその経年変化について述べる。

2 謝 辞

温泉水の採取に際し各源泉所有者の方々の御協力をいたいた。松本 登氏には数十ヶ所の源泉を案内していただいた。

東京大学物性研究所田村正平先生からは化学分析の御教示を受け、温泉水中のストロンチウムに関し有益な示唆を受けた。

小田原保健所温泉課長岩田義徳氏、浜野功氏、久保寺公正氏からは本地域の温泉の貴重な資料の提供を受けた。

神奈川温研の小鷹滋郎主任研究員には地質や地形について教えをうけ、さらに温泉の湧出機構に関

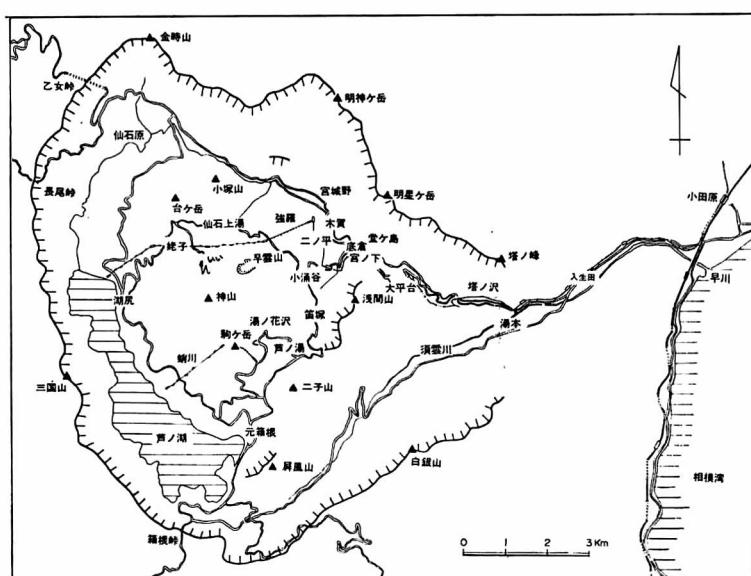


図1 箱根火山の温泉分布図

元禄年間の箱根七湯は湯本、塔ノ沢、堂ヶ島、宮ノ下、底倉、木賀、芦ノ湯すべて自然湧泉であった。

し討論していただいた。平賀士郎温泉地質科長には終始温かい激励をいただいた。荻野喜作地下水科長、横山尚秀氏は研究の初期試料採取に協力して下さった。広田茂氏、大山正雄氏、伊東博氏には図面を作成していただいた。以上の方々に厚くお礼申し上げる。

なおこの研究は神奈川県衛生部温泉調査研究費によった。

3 箱根湯本、塔ノ沢温泉の沿革

箱根湯本、塔ノ沢温泉は箱根温泉郷の表玄関にあたる。そこには源泉数95、温泉を利用している旅館、寮などあわせて81があり、その収容客数は6,777におよぶ大温泉地である。

さてここでは、湯本、塔ノ沢の温泉源泉数に注目しながら、この温泉地の変遷をたどってみよう。

自然湧出の温泉：湯本温泉は遠く天平年間（約1240年前）に釀定淨坊が発見したといわれている。塔ノ沢温泉は慶長十年（1605）とか寛永7年（1630）に掘られたとか、あるいはすでに文明の頃（約500年前）温泉があったとも言い伝えられている。『足柄の土肥の河内に出づる湯の世にもたよらに児ろが言はなくに』と万葉集の歌を引用するまでもなく、昔は温泉は深い谷間に沿って自然に湧出するものであった。

天保年間（約140年前）に編纂された新編相模国風土記によると、当時湯本には湯宿19軒共有の源泉があり総湯と呼んでいた。なかには総湯から引湯して内湯をもつ湯宿もあった。塔ノ沢には湯宿9軒があり大部分は内湯をもっていたが総湯も3つあった。湯本には17名共有の総湯が今でも残っていて利用されている。

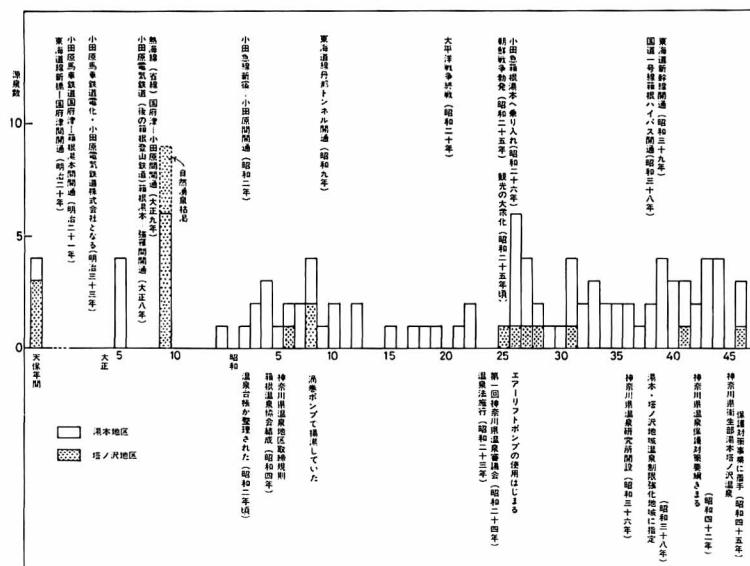


図2 湯本、塔ノ沢温泉の源泉数の増加

温泉台帳に『古来より存在』と記された14個の源泉をそれぞれ天保年間、大正5年(佐藤、1917)、大正9年(清野、1920)に分けて記入した。昭和以後は源泉の使用許可年で記入した。

大正4年ISHIZU(1915)はこの地域の5源泉について記載した。これらはすべて自然湧泉で泉温は42~47.3°C、湧出量は約25~38ℓ/minである。

佐藤伝蔵(1916, 1917)は登山鉄道敷設のためのトンネル開さく工事による蛇骨湧泉群への影響調査をおこない、あわせて当時の箱根温泉の湧出状況を調べた。大正5年、湯本には5個の湧出口があり泉温は42~53°Cであった。塔ノ沢には数個の湧出口があり、この内5個の泉温が測定され42~52°Cと記されている。

大正9年清野信雄(1920)は塔ノ沢にある12個の温泉湧出口を記載したが、この内3個の源泉が当時すでに温度低下などで使用不能になっている。大正9年までに塔ノ沢ではあらたに9個の温泉湧出口が開発されたが、これらの湧出口近くにさらに温泉が掘さくされると源泉相互の干渉がおきるだろうとも清野(1920)は警告している。

昭和二年頃整理された温泉台帳には『古来より存在』と記入された源泉が本地域に14ある。これらの源泉のうち4個は江戸時代から存在していたのであるが他の大部分は大正9年頃までに掘さくされたものである。

温泉掘さく：湯本、塔ノ沢温泉の源泉増加数を小田原保健所温泉台帳によって調べた(図2)。『古来より存在』と記された14個の源泉をそれぞれ、天保年間、大正5年、大正9年に分けて記入し、昭和以後は源泉の使用許可年で記入した。湯本、塔ノ沢をはじめ箱根、湯河原温泉ではこの地域の交通網の発達につれて源泉数が増加している(大木ら、1970, 1971)。

4 湯本、塔ノ沢温泉と箱根火山中央火口丘周辺の温泉

研究史：佐藤伝蔵(1917)は箱根温泉の湧出状況を三種に分け、湯本、塔ノ沢、木賀の温泉は岩脈に沿って湧出するとした。

久野(1952)は箱根火山の温泉を地質学的に見て二群に大別できるとした。一は箱根火山中央火口丘の山腹から湧出する現在の火山活動に直接関係する温泉で、他は第三紀火山活動の名残の地熱作用の温泉で湯本、塔ノ沢、宮ノ下、堂ヶ島、底倉、木賀温泉などである。伊豆、箱根では湯ヶ島層群の分布と温泉の分布が一致していることを指摘し、熱水変質作用を受け緻密な岩相となっている湯ヶ島層群のキャップロックとしての役割を重要視している。

小林儀一郎(1956~1957)は箱根温泉を産状から三種類に分類した。一は直接火山作用により湧出

表1 箱根温泉の泉質分帯基準 (OKI and HIRANO, 1970)

泉 質 名	分 帯	pH	陰 イ オ ン 比
酸性硫酸塩泉	第1帶	<3	$\text{SO}_4^{2-} \gg \text{Cl}^- (\text{CO}_2, \text{HCO}_3^-)$
重炭酸塩硫酸塩泉	第2帶	6~8	$\text{SO}_4^{2-}, \text{HCO}_3^- \gg \text{Cl}^-$
塩 化 物 泉	第3帶	7~8.5	$\text{Cl}^- \gg \text{SO}_4^{2-}, \text{HCO}_3^-$
塩化物重炭酸塩硫酸塩泉(混合型)	第4帶	7~9	$\text{Cl}^-, \text{SO}_4^{2-}, \text{HCO}_3^-$

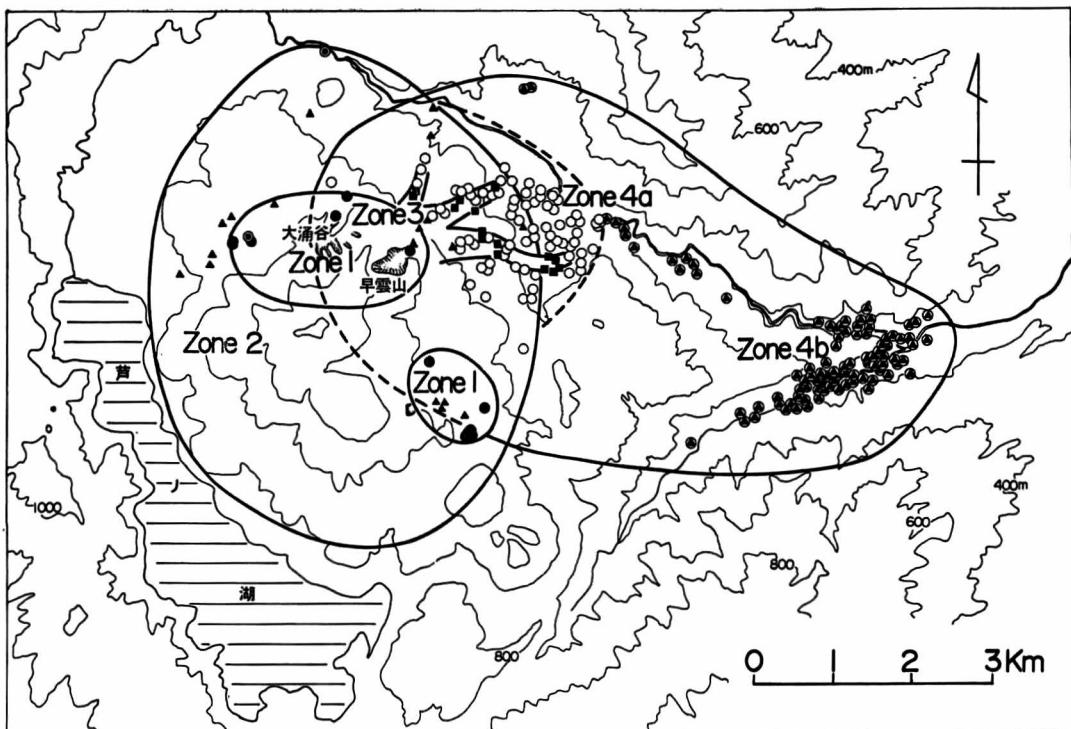


図3 箱根温泉の泉質分帯図 (OKI and HIRANO, 1970)

- 酸性硫酸塙泉 (Zone 1)
- 中性硫酸塙泉 (Zone 1)
- ▲ 重炭酸塙硫酸塙泉 (Zone 2)
- 塩化物泉 (Zone 3)
- 塩化物重炭酸塙硫酸塙泉 (混合型) (Zone 4a)
- 塩化物重炭酸塙硫酸塙泉 (基盤岩類の混合型) (Zone 4b)

する温泉で大涌谷、早雲地獄、湯ノ花沢や芦ノ湯温泉などがこれに入る。二は火山作用により湧出した温泉が火碎岩中を滲透移動し地表に湧出するもので宮ノ下、底倉温泉などがこれに属し、いわゆる層状泉として分類した。三は第三紀凝灰岩層の裂縫帶に湧出する温泉ならびに岩脈に伴って湧出する温泉で湯本、塔ノ沢、木賀温泉をあげている。

大木ら (1968), 大木, 平野 (1970 a, b) は箱根温泉の成因モデルを確立し、従来ばく然とのべられていた湯本、塔ノ沢温泉の熱源も現在の火山活動に依存していることを示した。

温泉の分帯：大木ら (1968, 1970 a, b) は箱根火山の温泉を産状により中央火口丘とその周辺の温泉と基盤岩類中の割れ目から湧出する温泉とに分けた。後者には湯本、塔ノ沢、大平台、堂ヶ島、木賀の一部、宮城野温泉が属する。箱根温泉を表1の泉質分帯基準により分類し、地形図に投影して第1帯から第4帯まで分帯した (図3)。

湯本、塔ノ沢など基盤岩類中の温泉は第4帯の混合型 (4 b) に属し、中央火口丘周辺の温泉と比較して次のような差異がみとめられた。基盤岩類中の温泉は一般に泉温が低く、pHがやや高い (pH8

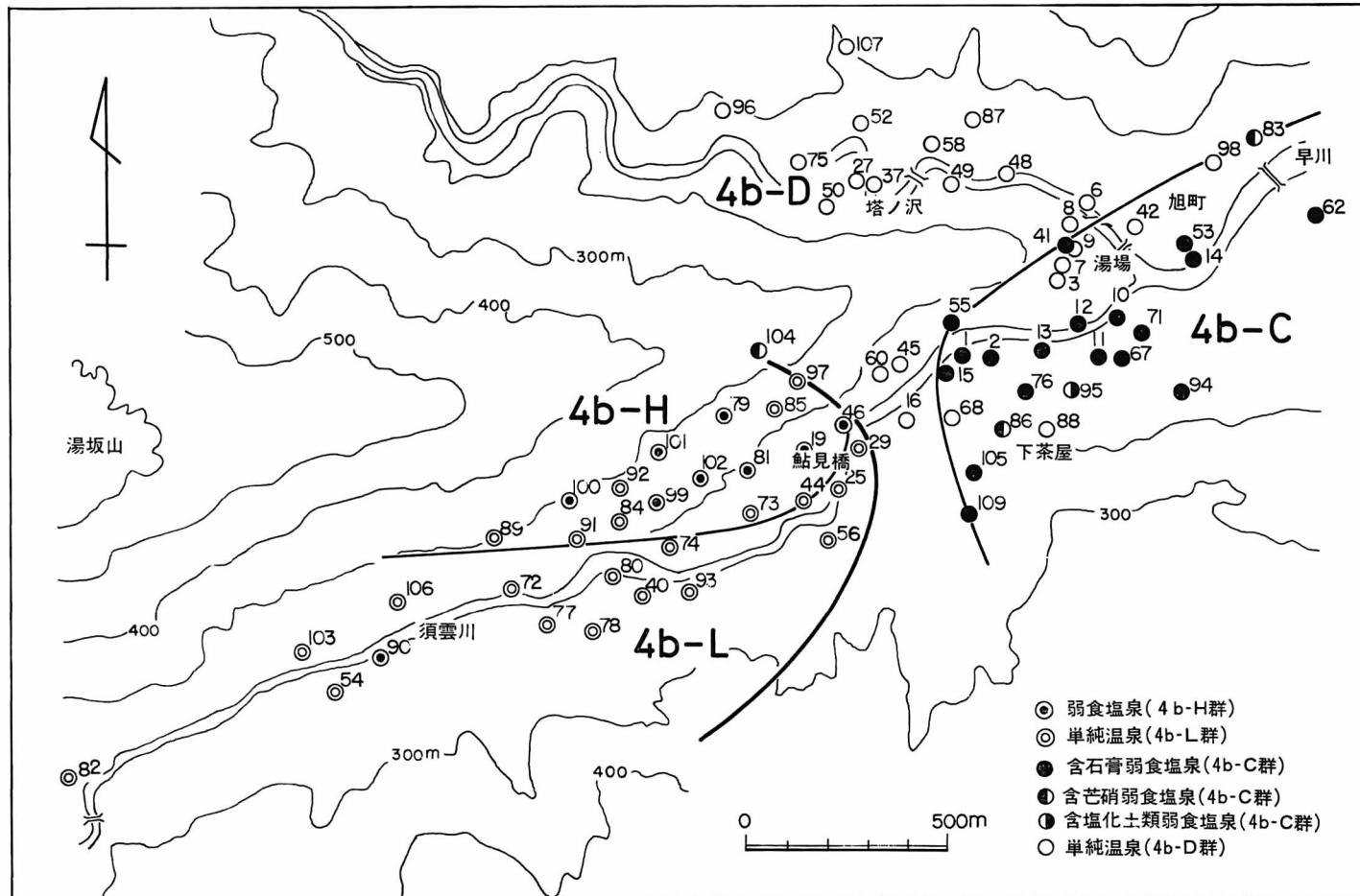


図4 湯本、塔ノ沢温泉の療養泉の泉質分布および分帶
 (番号は温泉台帳番号)

～9)。また K^+/Na^+ 比, Li^+/Na^+ 比, Mg^{2+} 含有量など基盤岩類中の温泉で小さいことも述べている(大木, 平野, 1970 a, b)。

5 療養泉の泉質

いまで温泉法にもとづいて行なわれた湯本, 塔ノ沢温泉の化学分析結果によると, 分析総数76のうち溶存物質量が $1000mg/kg$ 以下のいわゆる単純温泉が46源泉あり全体の60.5%をしめている。残り30源泉が比較的溶存物質量の多いもので($1,000mg/kg$ 以上), その内訳は弱食塩泉8, 含芒硝弱食塩泉3, 含石膏弱食塩泉18, 含塩化土類弱食塩泉1である。

単純温泉は早川, 須雲川の渓谷にそって分布している。一般に泉温がひくく($35\sim60^\circ C$), 古来から自然湧出している温泉も含まれる。弱食塩泉は泉温が $55\sim74^\circ C$ でこの地域では最も高く, 揚湯量も多い。この泉質の温泉は須雲川の左岸, 鮎見橋から湯坂山にかけて分布しており, 小鷹ら(1972)が見いたした地温分布の高温の位置と一致している。含石膏弱食塩泉, 含塩化土類弱食塩泉, 含芒硝弱食塩泉は $35\sim60^\circ C$ で泉温は必ずしも高くはないが, 溶存物質量が多く $4,000mg/kg$ 以上のものもある。弱食塩泉に比べ Ca^{2+} , SO_4^{2-} の溶存量が多く, H_2SiO_3 が少ないので特徴である。この泉質の温泉は早川, 須雲川の合流点付近から下茶屋にかけて分布している。

この地域の温泉の泉質の分布には規則性が認められ, これらの温泉の湧出機構解明の糸口を与えている。

6 化学分析

温泉法にもとづいて実施された本地域の温泉分析結果は, 中央温泉研究所年報第3号(1965), 神奈川温研報告第3号, 第10号(田嶋, 平野, 1966, 平野, 田嶋, 1970)に記載されている。

今回, 湯本, 塔ノ沢温泉保護対策調査の実施にあたり, 昭和45年現在の温泉の状態を把握するため短期間に約60源泉の試料を採取し分析をおこなった(表2)。

分析の目的は将来の温泉かん養の注水実験などのための基礎資料としてばかりでなく, 従来ばく然とのべられていた基盤岩類中の温泉の化学成分から, この地域の温泉湧出機構解明の手がかりを得ることにある。

化学分析は大木ら(1963)に準じて行なったが Mg^{2+} は原子吸光法, H_2SiO_3 はモリブデンブルーの比色法(平野, 未発表), HBO_2 はマンニット法で行なった。さらに従来あまり分析されていない Sr^{2+} を原子吸光法で測定した。

7 温泉の化学的特徴

陽イオン, 陰イオンモル組成比: 温泉法にもとづいて行なわれたこの地域の温泉分析結果から主要陽イオンの Na^+ , Ca^{2+} と Mg^{2+} のモル組成比および主要陰イオンの Cl^- , SO_4^{2-} および $\sum CO_2$ (ΣCO_2)

表2 湯本・塔ノ沢温泉の

温泉台帳番号	採水年月日 (昭和)	深さ (m)	泉温 (°C)	温泉量 (ℓ/分)	pH	電導度 (μS/cm) 20°C	蒸発 残留物 (ppm)	Li ⁺	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Sr ²⁺	Al ³⁺
1	45. 8. 11	333.	52.4	13.	8.4	1498.	1029.	4.01	294.	60.5	0.060	0.20		
2	45. 8. 11	266.	59.6	79.	8.3	2031.	1453.	5.48	387.	111.	0.059	0.41		
3	45. 9. 4	自然湧出	47.4	(161)	8.8	810.4	610.	2.04	160.	34.6	0.33	0.		
6	45. 8. 10	311.5	44.6	43.	9.0	551.2	398.	1.40	124.	10.2	0.050	0.		
7	45. 8. 10	自然湧出	44.6	45.	8.9	652.7	490.	1.47	134.	23.0	0.13	0.		
9	45. 8. 10	自然湧出	37.3	509.	8.4	554.9	415.	1.47	107.	21.9	0.48	0.		
10	45. 8. 11	247.	55.7	n.d.	8.1	3128.	2244.	9.38	565.	202.	0.13	0.78		
12	45. 8. 10	110.6	48.8	120.	8.9	853.5	620.	2.49	176.	28.8	0.032	0.07		
14	45. 9. 4	182.	39.1	36.	8.4	2436.	1746.	6.03	477.	126.	0.36	0.26		
15	45. 8. 11	307.	53.8	23.	8.3	987.0	715.	2.54	207.	34.9	0.026	0.09		
16	45. 8. 11	410.8	40.6	n.d.	8.9	393.1	306.	1.01	88.3	9.58	0.027	0.		
19	45. 9. 2	242.	54.8	133.	8.7	387.1	291.	1.15	91.2	6.40	0.055	0.		
25	45. 9. 2	212.	45.4	69.	8.6	388.5	288.	0.93	95.4	4.98	0.044	0.		
27	45. 8. 10	自然湧出	35.8	n.d.	8.4	642.0	451.	1.87	124.	25.7	0.96	0.		
29	45. 9. 1	272.	67.0	160.	8.4	1026.	720.	3.45	225.	19.5	0.18	0.		
37	45. 8. 10	102.	64.6	248.	9.0	1118.	825.	2.24	227.	44.9	0.024	0.		
41	45. 8. 10	440.7	47.2	110.	8.4	1049.	730.	2.31	207.	42.8	0.11	0.12		
42	45. 8. 10	298.	43.7	n.d.	8.3	1219.	848.	2.63	253.	46.7	0.042	0.23		
44	45. 9. 1	362.	53.0	66.	8.2	1547.	1055.	3.93	325.	42.7	0.23	0.		
45	45. 8. 11	227.	48.7	157.	8.7	786.5	565.	1.64	166.	33.1	0.13	0.		
46	45. 9. 1	300.	67.1	245.	8.4	977.2	670.	2.77	208.	21.5	0.14	0.		
48	45. 8. 10	380.	52.4	29.	9.4	455.8	332.	0.78	111.	4.81	0.008	0.		
50	45. 8. 10	300.	48.9	196.	8.9	545.5	405.	1.17	114.	15.0	0.037	0.		
52	45. 9. 4	314.	54.0	62.	8.8	1026.	735.	2.09	206.	36.0	0.027	0.		
55	45. 8. 11	455.	56.9	69.	8.3	1757.	1164.	5.02	332.	86.5	0.10	0.32		
56	45. 9. 2	261.	41.9	39.	8.6	559.1	394.	1.07	126.	7.86	0.062	0.		
58	45. 9. 4	394.	47.4	38.	8.6	927.6	669.	3.85	200.	17.3	0.026	0.		
60	45. 8. 11	286.3	44.0	70.	8.7	282.7	216.	0.74	64.5	5.45	0.019	0.		
62	45. 9. 4	330.5	37.3	32.	8.4	2472.	1708.	6.33	527.	75.8	0.19	0.12		
67	45. 9. 3	444.	56.7	35.	8.1	1681.	1137.	4.64	327.	80.5	0.062	0.32		
68	45. 9. 3	364.	48.5	79.	8.4	668.1	468.	1.69	139.	18.0	0.020	0.05		
71	45. 8. 11	434.7	58.1	n.d.	8.2	n.d.	2227.	8.41	581.	200.	0.13	0.83		
73	45. 9. 2	442.4	61.7	52.	8.4	1153.	786.	3.08	252.	21.0	0.18	0.		
74	45. 9. 2	429.3	26.0	13.	8.1	139.9	138.	0.73	35.2	4.01	0.019	0.		
75	45. 8. 10	303.	46.8	59.	8.9	467.8	347.	1.05	102.	11.4	0.030	0.		
76	45. 9. 3	380.	49.3	44.	8.2	1481.	978.	4.27	282.	67.7	0.046	0.27		
77	45. 9. 2	385.	48.3	93.	9.2	180.1	151.	0.48	51.8	2.40	0.012	0.		
79	45. 9. 1	673.	72.1	57.	8.4	1633.	1125.	6.08	356.	34.2	0.29	0.		
80	45. 9. 2	436.	55.4	81.	9.0	243.1	193.	0.61	63.0	3.61	0.008	0.		
81	45. 9. 1	570.	67.8	140.	8.4	1125.	768.	3.71	247.	21.6	0.25	0.		
83	45. 9. 4	588.	50.5	50.	8.9	1586.	1057.	2.13	345.	19.0	0.024	0.		
84	45. 9. 1	500.	58.4	108.	8.6	574.6	413.	1.45	131.	8.42	0.072	0.		
85	45. 9. 1	300.	57.8	49.	8.4	578.0	445.	1.61	133.	9.46	0.038	0.		
86	45. 9. 3	497.	52.7	97.	8.4	1519.	1060.	4.52	299.	67.0	0.041	0.28		
88	45. 9. 3	475.	50.8	42.	8.0	3403.	2422.	8.24	589.	250.	0.20	0.75		
89	45. 9. 1	650.	70.5	58.	8.7	695.9	498.	2.34	153.	10.8	0.051	0.		
90	45. 9. 2	493.	56.2	118.	8.8	576.2	425.	1.89	130.	8.74	0.019	0.		

化 学 組 成 (昭和45年分析)

(分析値の単位は ppm)

Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	OH ⁻	BO ₂ ⁻	HSiO ₃ ⁻	H ₂ SiO ₃	HBO ₂	CO ₂	総 計	分 帯*
399.	198.	27.0	0.40		1.58	2.03	41.1	10.8		1039.	4b—C
595.	246.	28.8	0.34		2.33	1.59	40.3	19.9		1438.	4b—C
175.	155.	19.0	6.66	0.11	1.67	6.99	56.6	4.55		623.	4b—D
123.	73.8	31.4	6.68	0.17	1.96	8.54	43.3	3.34		428.	4b—D
139.	120.	20.9	3.67	0.14	1.73	7.92	52.1	3.83		508.	4b—D
116.	93.6	32.9	0.48		0.61	2.93	59.4	4.19		441.	4b—D
954.	361.	27.7			1.83	1.07	43.3	25.0	2.55	2194.	4b—C
202.	138.	20.1	4.44	0.14	1.61	6.29	41.4	3.57		625.	4b—C → D
712.	315.	25.8	0.38		2.62	3.10	62.9	17.9		1750.	4b—C
245.	161.	31.1	0.37			1.63	41.3	n.d.		724.	4b—C → D
84.7	40.7	49.1	6.24	0.14		6.97	45.9	n.d.		333.	4b—D
81.9	18.3	70.5	11.0	0.08	0.88	5.97	60.5	3.01		351.	4b—H → L
85.2	20.2	76.5	7.98	0.07	0.68	5.17	65.4	5.82		368.	4b—L
137.	105.	39.9	0.59		0.91	3.31	67.2	6.23		512.	4b—D
292.	64.4	70.1	1.03		1.29	4.74	96.2	8.84		787.	4b—L
248.	221.	16.2	2.28	0.17	3.48	11.9	60.1	5.94		843.	4b—D
264.	150.	33.5	0.49		1.36	2.34	46.7	9.29		730.	4b—C → D
345.	115.	29.0	0.33		1.13	1.53	38.8	9.66		879.	4b—D
492.	74.2	52.9	0.50		1.11	2.85	91.3	11.9		1100.	4b—L → H
193.	141.	22.1	1.92	0.09	2.29	5.40	54.7	7.82		629.	4b—D
264.	75.7	65.6	0.96		1.08	4.38	88.7	7.36		740.	4b—H → L
96.1	53.8	42.9	6.24	0.43	2.65	19.6	39.7	1.81		380.	4b—D
118.	77.1	30.9	2.28	0.14	2.69	9.47	62.4	5.97		439.	4b—D
221.	192.	21.8	1.50	0.11	2.81	8.77	71.0	7.67		771.	4b—D
491.	215.	27.2	0.32		1.09	1.72	43.6	9.30		1214.	4b—C
137.	26.7	67.7	8.10	0.07	1.24	5.50	69.5	8.49		459.	4b—L
195.	171.	25.4	2.04	0.07	1.68	6.62	83.8	7.15		714.	4b—D
44.8	25.2	63.8	4.56	0.09	1.91	5.07	51.4	6.51		274.	4b—D
685.	333.	31.5	0.46		3.40	3.87	78.4	23.2		1768.	4b—C
502.	173.	32.9	0.24		1.36	1.03	41.7	18.5	0.63	1184.	4b—C
143.	107.	39.2	0.58		1.08	2.45	49.7	7.34		509.	4b—D
981.	354.	24.5			1.53	1.38	44.1	16.4		2213.	4b—C
339.	50.2	81.8	1.20		1.74	5.04	102.	11.9		869.	4b—L
22.9	7.11	56.2	0.41		0.12	1.60	64.6	3.27		197.	4b—L
98.5	67.6	37.6	2.34	0.14	1.69	8.93	58.8	3.75		394.	4b—D
411.	168.	36.7	0.35		0.69	1.20	38.4	7.37	0.82	1019.	4b—C
15.1	11.0	75.2	7.08	0.27	2.67	14.4	46.0	2.87		229.	4b—L
506.	85.5	68.8	1.01		2.14	6.29	128.	14.6		1209.	4b—H
35.3	14.0	67.7	10.9	0.17	2.48	10.2	51.5	4.23		264.	4b—L
330.	57.5	78.7	1.15		1.41	5.17	105.	9.63		862.	4b—H → L
338.	268.	36.1	2.34	0.14	6.03	7.70	50.7	13.4		1088.	4b—C
143.	21.7	87.4	4.20	0.07	1.41	5.01	63.4	9.63		477.	4b—L
136.	39.0	92.7	1.36		1.73	4.85	98.3	11.8		530.	4b—L
420.	195.	27.5	0.40		1.53	2.11	42.8	10.4		1071.	4b—C
1081.	354.	28.5			1.13	1.12	56.8	19.3	0.69	2391.	4b—D → C
190.	44.6	41.3	5.34	0.08	0.78	6.13	62.1	4.28		521.	4b—L
149.	37.5	50.5	4.86	0.11	2.33	9.81	79.5	6.35		481.	4b—H → L

表2 湯本・塔ノ沢温泉の

温泉台帳番号	採水年月日(昭和)	深さ(m)	泉温(°C)	温泉量(ℓ/分)	pH	電導度(μΩ/cm) 20°C	蒸発残留物(ppm)	Li ⁺	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Sr ²⁺	Al ³⁺
91	45. 9. 1	550.	41.0	81.	8.8	274.9	220.		0.66	64.3	5.37	0.050	0.	
93	45. 9. 2	671.	63.5	49.	9.0	496.9	379.		0.92	114.	5.69	0.011	0.	
94	45. 9. 3	550.	62.2	79.	8.0	5778.	4116.		17.9	993.	432.	0.60	1.84	
95	45. 9. 3	545.	55.4	63.	8.1	4511.	3197.		11.8	765.	355.	0.25	1.41	
97	45. 9. 1	600.	58.2	73.	8.6	735.0	534.		1.77	158.	15.5	0.059	0.	
99	45. 9. 1	650.	50.9	64.	8.1	2116.	1429.		4.98	425.	68.4	0.19	0.08	
101	45. 9. 1	700.	67.1	65.	8.3	2204.	1472.		7.95	468.	51.6	0.46	0.	
102	45. 9. 1	800.	52.0	61.	8.5	820.1	555.		2.30	173.	19.7	0.12	0.	
103	45. 9. 2	600.	自噴	n.d.	8.9	1226.	797.		2.42	274.	12.1	0.024	0.	
104	45. 9. 1	700.	54.4	46.	8.3	1669.	1112.		4.49	343.	42.4	0.050	0.	
105	45. 9. 3	548.	55.5	79.	8.1	3151.	2171.		7.31	519.	222.	0.17	0.62	
106	45. 9. 2	560.	54.2	48.	8.7	859.1	547.		2.48	177.	17.1	0.044	0.	
107	45. 2. 21	383.	47.4	75.	8.9	n.d.	655.	0.044	2.36	185.	26.1	0.	0.	
108	46. 2. 10	900.	34.1	8.	8.5	493.5	399.		1.40	130.	2.35	0.070	0.	
109	45. 5. 13	750.	48.4	70.	8.2	n.d.	1592.	0.10	4.76	415.	136.	0.030	n.d.	

* 分帶の項で例えば『4b-H→L』は以前の分析結果では4b-H群に分帶されたが今回の分析では4b-L群に入

表4 湯本・塔ノ沢地区の

番号	採水年月日(昭和)	水温(°C)	採水場所	pH	電導度(μΩ/cm) 20°C	蒸発 残留物 (ppm)	Li ⁺	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Sr ²⁺	Al ³⁺
1	45. 9. 2	14.3	こけ滝	7.2	70.4	76.5		0.70	4.30	9.60	1.72		
2	45. 8. 11	15.7	玉簾の滝	7.5	106.8	114.		1.49	10.3	8.90	2.53		
3	45. 9. 1	17.6	101水戸戸	7.8		83.0		1.09	6.10	11.6	1.37		
4	44. 8. 6	n.d.	旭町水道水源	7.5	145.0	110.		1.66	12.8	9.16	2.56		
5	44. 8. 6	n.d.	早川	n.d.		n.d.		2.92	25.3	22.7	5.46		
6	46. 12. 14	12.2	須雲川	6.7		68.5		0.91	7.19	9.18	2.07		

表5 伊豆・箱根の基盤岩

温泉	採水年月日(昭和)	深さ(m)	泉温(°C)	温泉量(ℓ/分)	pH	電導度(μΩ/cm) 20°C	蒸発 残留物 (ppm)	Li ⁺	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Sr ²⁺	Al ³⁺
大平台	39. 7. 17	700.	58.7	154.	8.3	n.d.	1165.	0.092	2.44	362.	35.0	0.		
大平台	40. 5. 28	800.	61.0	86.	8.2	n.d.	1263.	0.070	5.4 ^a	364.	53.5	0.		
大平台	41. 3. 15	704.	56.0	161.	9.1	n.d.	891.	0.032	2.04	254.	46.9	0.		
入生田	42. 9. 25	660.	29.0	11.	8.0	n.d.	2994.	0.040	18.3	956.	75.0	5.15		
湯河原	41. 5. 13	651.	52.5	183.	8.2	n.d.	1951.		1.77	47.6	514.	0.24		
湯河原	43. 11. 1	495.	51.8	47.	7.8	n.d.	1555.		2.50	41.0	405.	0.18		
湯ヶ島	26.			53.		7.3			15.90	198.5	252.5	0.813	0.529	
湯ヶ島	26.			46.		7.15			19.07	217.2	232.5	0.606	0.469	

化 学 組 成 (昭和45年分析) (つづき)

(分析値の単位は ppm)

Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	OH ⁻	BO ₂ ⁻	HSiO ₃ ⁻	H ₂ SiO ₃	HBO ₂	CO ₂	総 計	分 帯*
58.3	16.5	56.7	1.62	0.11	1.87	5.32	43.1	5.12		259.	4b-L
121.	31.9	50.9	1.62	0.17	4.53	14.8	75.1	7.74		429.	4b-L
1845.	616.	24.5			2.68	1.27	64.5	45.6	0.59	4045.	4b-C
1458.	467.	22.0			1.86	1.15	46.7	25.5	0.49	3157.	4b-C
186.	67.8	54.1	1.38	0.07	1.45	6.42	81.3	6.20		580.	4b-L
685.	104.	32.3			1.04	1.71	69.2	14.2	0.62	1407.	4b-H
694.	101.	78.9	1.16		2.48	5.77	117.	16.9		1545.	4b-H
230.	40.3	68.7	1.27		1.27	4.35	70.5	6.91		618.	4b-L
355.	76.7	31.0	6.84	0.14	4.78	11.5	75.7	10.6		861.	4b-L
462.	170.	31.8	0.37		1.57	3.79	96.2	13.4		1169.	4b-C
887.	408.	22.2				1.22	49.4	n.d.	0.43	2117.	4b-C
235.	52.5	40.5	2.64	0.09	2.12	7.19	72.9	7.21		617.	4b-L
177.	163.	44.5	2.13	0.14	2.96	10.5	68.9	6.30		689.	4b-D
42.0	51.5	188.	10.6		1.33	5.60	90.1	7.14		530.	
724.	255.	30.2	0.15		1.17	1.40	44.1	12.0	0.44	1625.	4b-C

った事を示している。

河 川 水, 地 下 水 の 化 学 組 成

Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	OH ⁻	BO ₂ ⁻	HSiO ₃ ⁻	H ₂ SiO ₃	HBO ₂	CO ₂	総 計	備 考
2.73	2.31	40.3					n.d.		1.53		
15.6	0.86	40.0					60.3		1.02	141.	
6.68	0.48	45.3					50.3		1.75	125.	
20.6	3.75	40.9					56.6		4.54	153.	
32.1	43.5	58.1					56.9			247.	
5.20	5.48	43.1					46.8		3.14	122.	

類 中 の 温 泉 の 化 学 組 成

Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	OH ⁻	BO ₂ ⁻	HSiO ₃ ⁻	H ₂ SiO ₃	HBO ₂	CO ₂	総 計	備 考
485.	158.	40.8	0.48		2.35	1.97	67.7	20.1		1179.	温泉村123
519.	159.	43.9	0.40		2.41	2.26	72.6	25.9		1250.	温泉村125
326.	161.	43.2	1.65	0.22	5.76	13.7	55.4	7.86		918.	温泉村126
945.	884.	76.3	0.34			1.85	123.	7.46		3094.	小田原 1
11.1	1293.	19.3			0.16	1.40	44.5	1.75		1936.	湯河原155
11.7	1029.	26.5					46.2	2.50		1566.	湯河原135
44.20	974.4	16.74					97.30			1601.	日本鉱泉誌 (1954)
44.24	978.8	1.83					56.06			1550.	日本鉱泉誌 (1954)

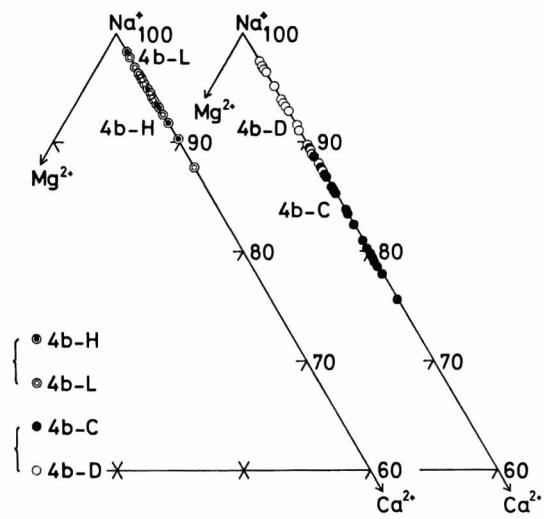


図 5a 陽イオン三角図（モル組成比）

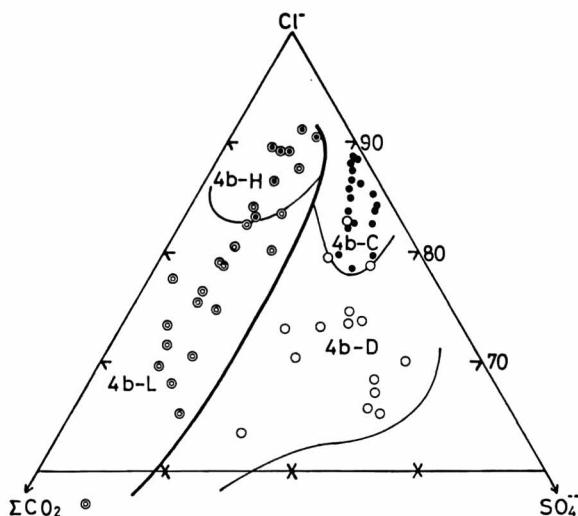


図 5b 陰イオン三角図（モル組成比）

4 b—H群：泉温は74°Cが最高でその総溶存物質量は1,484mg/kgである。一般に泉温が高く総溶存物質量は1,000~1,500mg/kgである。溶存成分はNaClで特徴づけられ、Ca²⁺, SO₄²⁻はすくない。これらは鮎見橋から湯坂山にかけて分布し、さきに述べた弱食塩泉の分布と一致する。4 b—H群の4 bは箱根火山の温泉の分帶で第4帶（混合型）の基盤岩類の温泉を意味し、Hは高温（High Temperature）を意味している。

4 b—L群：須雲川周辺の温泉で一般に泉温がひくく40~60°C、総溶存物質量もすくない。この温泉はNaClに富む高温の温泉（4 b—H群）に、炭酸物質に富みCl⁻, SO₄²⁻のすくない地下水が混入し

=HCO₃⁻+CO₃²⁻+CO₂)のモル組成比を計算し三角図に投影した（図5 a, b）。

療養泉の泉質で分類された区分は陰イオン組成比でさらに明瞭になる。弱食塩泉はCl⁻85~92%, SO₄²⁻ 5~6%, ΣCO₂ 3~12%の位置をしめる。須雲川ぞいの温泉は弱食塩泉にCl⁻, SO₄²⁻の含有量がすくなく炭酸物質に富む地下水が混入したような性質を示す。泉温が低いものほどSO₄²⁻ 5~6%の線に沿ってΣCO₂側に移る傾向がある。早川ぞいの温泉はこの線上ではなく、よりSO₄²⁻に富む温泉が地下水と混入すると考えられる線に沿って稀釈されている。早川、須雲川の合流点付近から下茶屋にかけて分布する含石膏弱食塩泉、含塩化土類弱食塩泉などは、Cl⁻80~90%, SO₄²⁻ 10~15%, ΣCO₂ 1~5%の位置をしめる。古来からの自然湧泉はCl⁻65~70%, SO₄²⁻ 20~25%, ΣCO₂ 5~10%である。塔ノ沢や早川ぞいの単純温泉は含石膏弱食塩泉と自然湧泉の中間の値をとる。

泉温と総溶存物質量：温泉法にもとづいて行なわれた分析結果から泉温と総溶存物質量の関係をえがいた（図6）。泉温と総溶存物質量の関係、陽イオン、陰イオンモル組成比に湧出場所を考慮して、便宜的に本地域の温泉を次の4群に細分した（図4）。

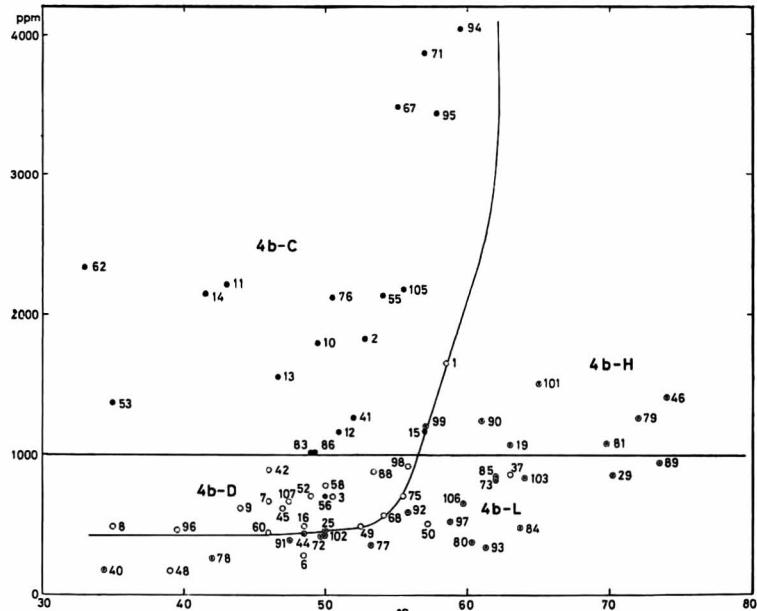
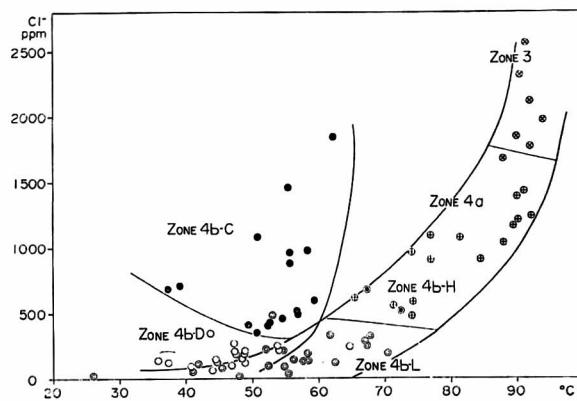


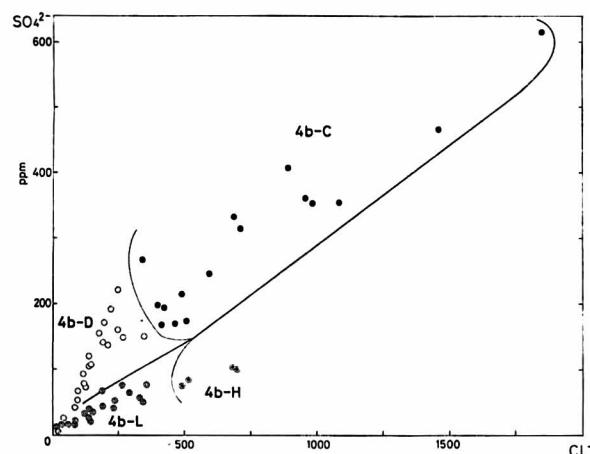
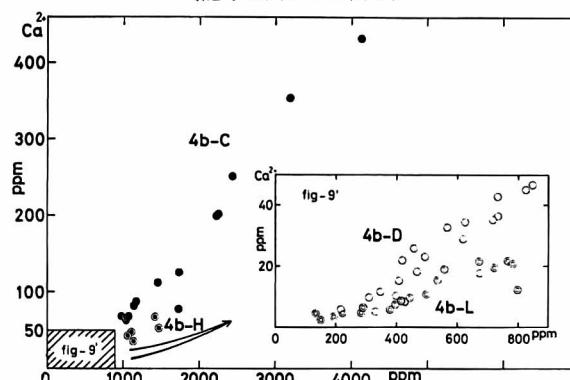
図6 泉温—総溶存物質量の関係
(記号は図5 aと同じ, 番号は温泉台帳番号)

表3 箱根火山の温泉の分帶

		分 带	
		第1带	大涌谷, 早雲地獄, 姥子, 湯ノ花沢など硫気地帯の浅層地下水として湧出する温泉
箱根火山の温泉	中央火口丘およびその周辺の温泉 (OKI and HIRANO 1970)	第2带	中央火口丘をとりまくように分布し, 中央火口丘噴出物の基底部にある温泉帶水層中に胚たいする。ボーリング孔の深さは300~700m。仙石原, 姥子, 元箱根旧札場, 芦ノ湯, 二ノ平。
		第3带	NaClを主成分とする泉温90°C以上の温泉。強羅, 小涌谷, 底倉にかけて三本の高温塩化物泉の流れがある。中央火口丘の西側には本泉質の分布はない。
		第4a带	神山の東斜面にある強羅, 小涌谷, 二ノ平, 底倉, 木賀, 宮ノ下の各温泉のうち, 泉温が90°C以下の大部分の温泉。神山の西側には分布しない。
		第4b带	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">地下 水</div> <div style="margin: 0 10px;">↓</div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">4 b-H群</div> <div style="margin: 0 10px;">→</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">4 b-L群</div> </div> <p>湯坂山の地下深所から湧出する泉温が高く, NaCl成分に富む温泉</p> <p>須雲川周辺の温泉は4 b-H群を地下水が稀釀した。</p> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">地下 水</div> <div style="margin: 0 10px;">↓</div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">4 b-C群</div> <div style="margin: 0 10px;">→</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">4 b-D群</div> </div> <p>基盤岩類中で長時間岩石と接触している間に溶存物質を増した温泉</p> <p>塔ノ沢, 早川周辺の温泉は4 b-C群を地下水が稀釀した。</p> </div>

図 7 泉温—Cl⁻の関係

○: 塩化物泉 (Zone 3) ⊕: 塩化物重炭酸塩硫酸塩泉 (混合型) (Zone 4a) (その他の記号は図 5 a と同じ)

図 8 Cl⁻—SO₄²⁻の関係
(記号は図 5 a と同じ)図 9 蒸発残留物—Ca²⁺の関係
(記号は図 5 a と同じ)

たものである。低温 (Low Temperature) の意味で L を用いた。

4 b—C 群: 早川, 須雲川の合流点から下茶屋にかけて分布する温泉で泉温は 35~60 °C で概して低いが, 総溶存物質量が多く 1,000 ~ 4,000 mg/kg である。これが含石膏弱食塩泉, 含塩化土類弱食塩泉等に対応する。濃縮 (Concentration) の意味で C を用いた。

4 b—D 群: 古来から湧出している自然湧泉や塔ノ沢, 湯本の旭橋にかけて湧出する温泉である。泉質的には 4 b—C 群と連続しており 4 b—C 群が地下水等で稀釀されたものと考えられる。稀釀 (Dilution) の意味で D を用いた。

この地域の温泉を泉質から以上の 4 群に分類したが, 産状からは高温の NaCl に富む温泉 (4 b—H 群), 比較的温度が低く NaCl, CaSO₄ に富み溶存物質の多い温泉 (4 b—C 群) と, 早川, 須雲川周辺の地下水の混入が著しい温泉 (4 b—L, 4 b—D 群) があることが判る。

以上の基盤岩類中の温泉の分類を, 箱根火山中央火口丘周辺の温泉と共に表 3 にまとめた。

塩素イオン, 硫酸イオン: 大木, 平野 (1970) は中央火口丘周辺の塩化物泉 (第 3 帯) の総流量から, 高温高压の NaCl を含む火山性蒸気由來の熱水量を見積り箱根火山のエネルギー収支を計算した。これは箱根火山の第 3 帯, 第 4 帯の温泉では NaCl 量が泉温の高低をよく反映していると言うことでもあった。

湯本, 塔ノ沢温泉の外に第 3 帯, 第 4 a 帯の温泉の Cl⁻ 量と泉温の関係を図 7 に示した。

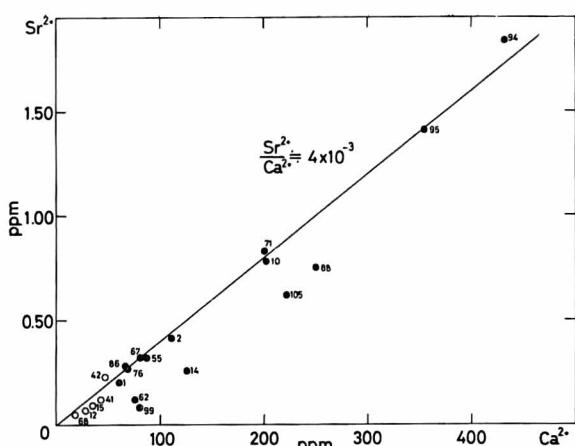


図10 Ca^{2+} — Sr^{2+} の関係
(記号は図5 aと同じ)

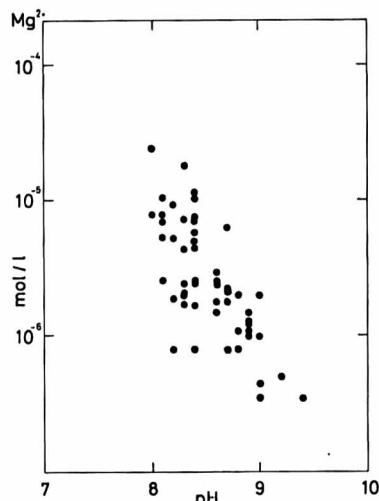


図11 pH— Mg^{2+} の関係

がくと $\text{Sr}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ の比は大体 4×10^{-3} である(図10)。野口ら (1968) によると伊豆、箱根地方の温泉の $\text{Sr}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ は 0.44×10^{-2} で、火成岩の平均 $\text{Sr}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ 比の 0.41×10^{-2} (RANKAMA, K., and SAHAMA, Th. G., 1950) とほぼ一致すると言う。4b—H群の温泉は Ca^{2+} の溶存量から見て Sr^{2+} を $0.2 \sim 0.3 \text{ ppm}$ 含むと予想されたが、実際にはほとんど検出されなかった。4b—C群と4b—H群の温泉中の $\text{Sr}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ 比の相違は、これらの温泉中の Ca^{2+} の起源の相違を反映していると考えられる。

マグネシウム：本地域の温泉の Mg^{2+} 含有量は $0.008 \sim 0.96 \text{ mg/kg}$ でなくなく、 Ca^{2+} — Sr^{2+} と同一の挙動をとらない。自然湧泉の Mg^{2+} は一般に多く $0.13 \sim 0.96 \text{ mg/kg}$ で、泉温が低いものほど Mg^{2+} 含有量が多い。早川、須雲川や玉簾の滝などこの地域の地表水や地下水の Mg^{2+} は、 $3 \sim 5.5 \text{ mg/kg}$ である。自然湧泉の Mg^{2+} と泉温との関係は、地表水の混入で説明できる。須雲川周辺の 4b—L群や早川周辺

4b—H, 4b—L群の温泉は中央火口丘周辺の温泉の Cl^- —泉温関係の延長上にあり、 Cl^- (NaCl) が泉温を反映していると考えられる。4b—C, 4b—D群は泉温が低いわりに Cl^- 含有量が多く、特に4b—C群は特異である。

Cl^- と SO_4^{2-} の関係をとると 4b—H, 4b—L群と 4b—C, 4b—D群の区分が明確になる(図8)。4b—H, 4b—L群の化学成分は同一の起源であり、4b—L群は高温の4b—H群に冷地下水が浸入し稀釀されたものである。4b—C, 4b—D群の化学成分もまた同一の起源である。

カルシウム：蒸発残留物と Ca^{2+} の関係を図9に示した。高温の4b—H群は溶存物質量が多い割に Ca^{2+} が少ない。4b—H群は4b—L群に連続している。4b—C群の Ca^{2+} は4b—H群よりも多く、4b—C群は4b—D群とつらなっている。

ストロンチウム：本地域の温泉の Sr^{2+} を原子吸光法により分析した。溶存物質量の多い4b—C群や4b—D群では Sr^{2+} が検出されたが、泉温の高い4b—H群や4b—L群ではほとんど検出されなかった。 Sr^{2+} と Ca^{2+} の関係をえ

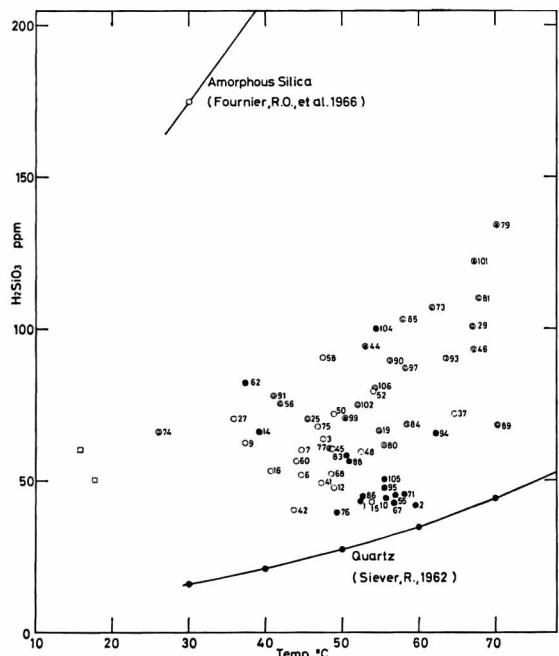


図12 泉温— H_2SiO_3 の関係
(□: 地下水, その他の記号は図5 aと同じ,
番号は温泉台帳番号)

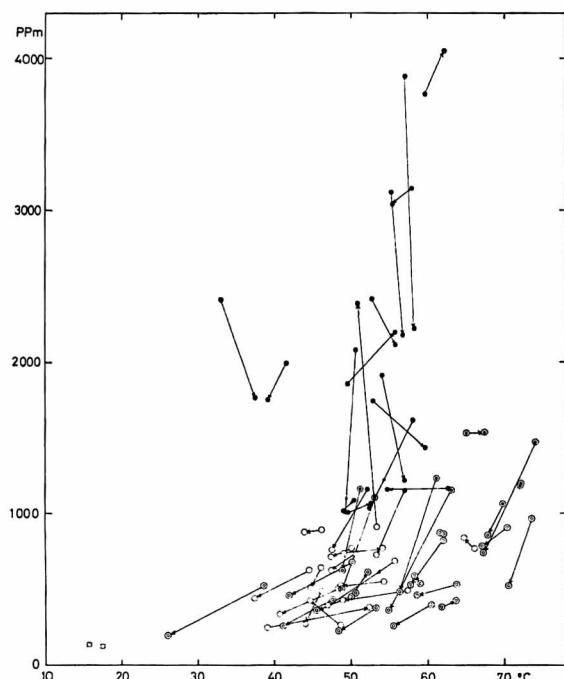


図13 泉温と総溶存物質量の経年変化
(記号は図5 aと同じ, 矢印が昭和45年の分析値)

の4b—D群の温泉には, Mg^{2+} を含む地下水が混入しているが自然湧泉のように Mg^{2+} は多くない。

自然湧泉の Mg^{2+} を除き, pHと Mg^{2+} の関係を図11に示す。pHが低いものほど Mg^{2+} が多く, pHが高いものほど Mg^{2+} はすくなくなり, Mg^{2+} 量はこの地域の温泉群に無関係である。基盤岩類中の温泉の Mg^{2+} 量がpHと関係していることは, 温泉が地下にあるMg-鉱物と平衡にあったことを示唆している。

メタ珪酸: 本地域の温泉の泉温と珪酸(分析値はメタ珪酸 H_2SiO_3 として表示した)の関係は図12の通りである。この図には無定形シリカと石英の溶解度曲線もあわせて記入した。この地域の温泉をはい胎する基盤岩類は熱水変質作用が著しく, 必ずしも温泉中の珪酸が地下で石英と平衡にあったとする必然性はない。4b—H群の温泉の珪酸含量が最も多い。4b—C群は泉温に比較して珪酸含量が少なく, 4b—D群は泉温の低いものほど珪酸含量が多い傾向にある。この4b—D群の傾向は水温が低くても珪酸含量が多い地下水が, 4b—C群の温泉に混入しているためである。4b—H群, 4b—C群の珪酸含量と泉温との関係は本地域の地温分布(図16)とも対応している。

8 河川水および地下水

小鷹ら(1972)は湯本, 塔ノ沢の水頭分布図(図15)をえがき, この地域の水頭は早川および須雲川によって支配されていることを示した。須雲川周辺の4b—L群の温泉は高温の4b—H群と地下水との混合によっている

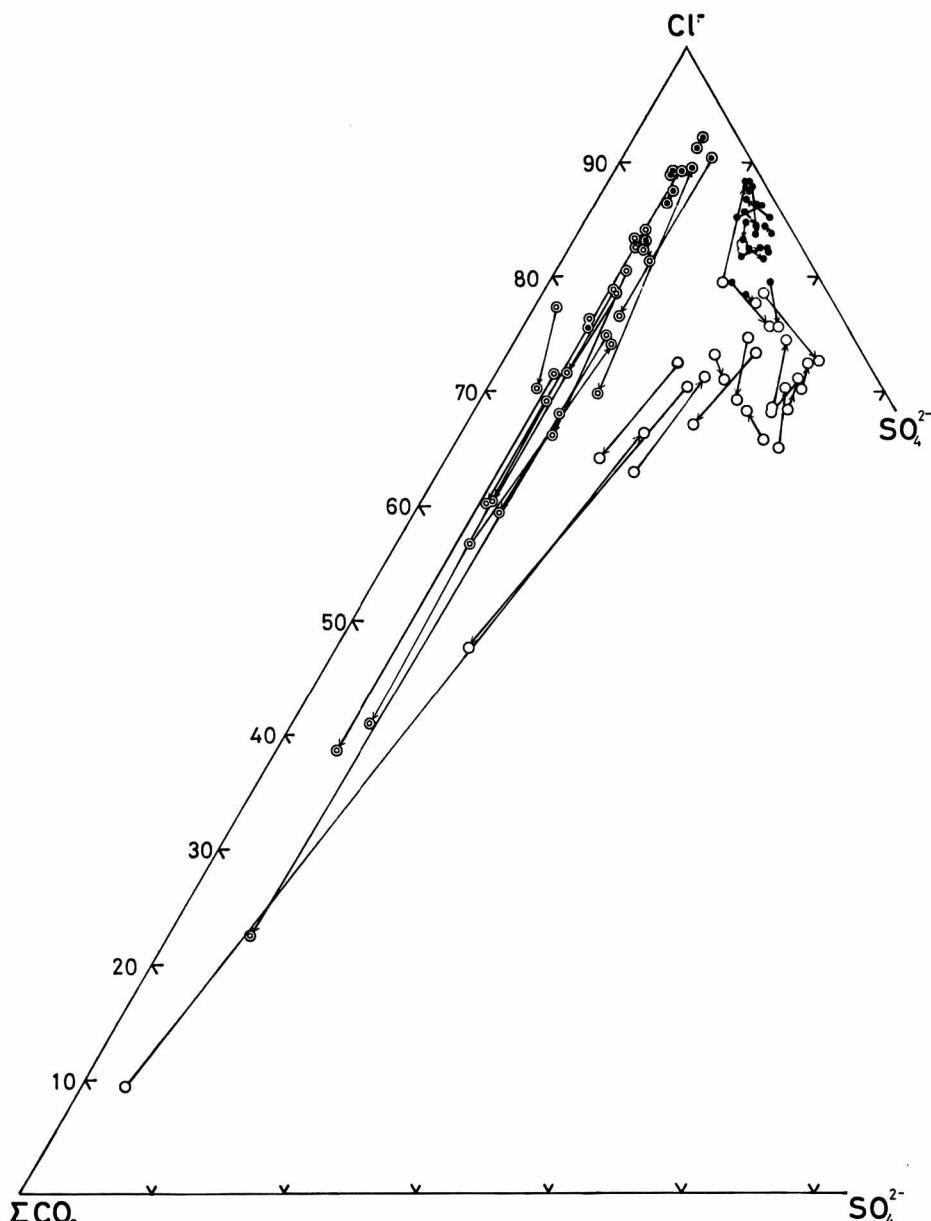


図14 陰イオンモル組成比の経年変化
(記号は図13と同じ)

と考えられる。早川周辺の4 b-D群の温泉は高塩分の4 b-C群の温泉に地下水が混入したものである。河川水、地下水の水質も本地域の温泉の泉質には重要な要素となっている。特に早川は上流で中央火口丘周辺の温泉が流入するため、須雲川に比べ Cl^- , SO_4^{2-} の含量が多いのが特徴である（表4）。

9 化学成分の経年変化

湯本、塔ノ沢温泉の地下水水面は年々低下し温泉枯渇現象を呈している。昭和27年から昭和44年までに法律にもとづいて行なわれた温泉分析結果と昭和45年に行なった一せい分析の結果を比較すると、地下水水面低下が温泉の化学成分に与えた影響を見ることができる。

泉温と溶存物質量：図13に各温泉の泉温と総溶存物質量の変化を示した。大部分の源泉の温度は低下し、溶存物質量は減少している。さきにこの地域の温泉を4群に細分したが、温泉の経年変化でも各群はそれぞれ特異な変化をしている。早川、須雲川の合流点から下茶屋にかけて分布する4 b—C群は、泉温の変化はほとんどないのに溶存物質量の減少が著しい。湯坂山の4 b—H群の泉温低下は須雲川よりの源泉ほど著しく最高8°C、また泉温の低下にともない溶存物質量も200~800mg/kg減少し4 b—L群に入れるべきものもある。早川や須雲川ぞいの4 b—D、4 b—L群の泉温低下は一般に3~7°C、最高12°Cさがった源泉もある。全般に溶存物質量は地表水のそれに近づいている。勿論この間に泉温の上昇した温泉や溶存物質量が増加したものもあるが、それらは孔井の増くつ工事や揚湯装置の変更がなされている。

陰イオンモル組成比の変化：各温泉の陰イオンモル組成比の経年変化をとると、この地域の地下水水面低下による温泉枯渇現象が化学組成の変化に明瞭に反映されている(図14)。

高温の4 b—H群の温泉は泉温低下につれて SO_4^{2-} 含有率一定のまま ΣCO_2 の含有率が増し、さらに泉温がさがると須雲川の周辺に分布する4 b—L群と同じ位置をしめる。4 b—L群の温泉は泉温がひくいものほど ΣCO_2 の含有率が大きく、すでに須雲川の河川水とほとんど同じ組成になっているものもある。溶存物質量の多い4 b—C群の温泉は、溶存物質量の著しい減少にもかかわらず化学組成の大きな変動を示さない。塔ノ沢などの4 b—D群の温泉は泉温低下につれて Cl^- 75%、 SO_4^{2-} 20%， ΣCO_2 5%付近にいったん收れんする。早川周辺の温泉は泉温低下につれて、 Cl^- 75%， SO_4^{2-} 20%， ΣCO_2 5%付近から ΣCO_2 側に移って行く。

10 水頭分布および地温分布

神奈川温研の小鷹ら(1972)は久野(1950, 1952)の箱根火山の地質学的研究を基に、湯本、塔ノ

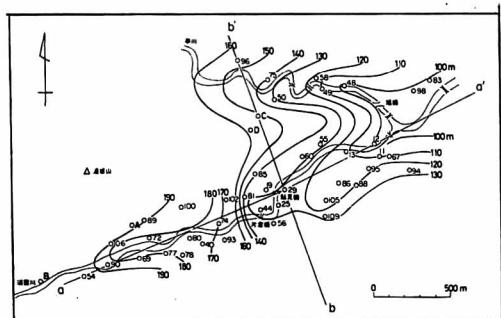


図15 水頭分布図(小鷹ら 1972)

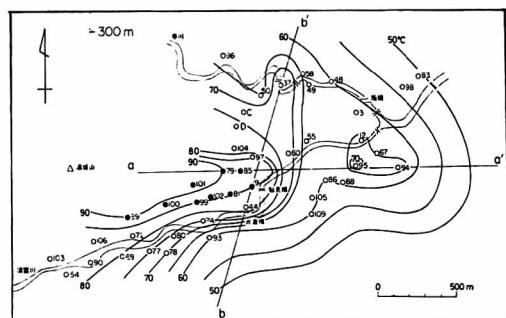


図16 地中温度平面図(-300m) (小鷹ら 1972)

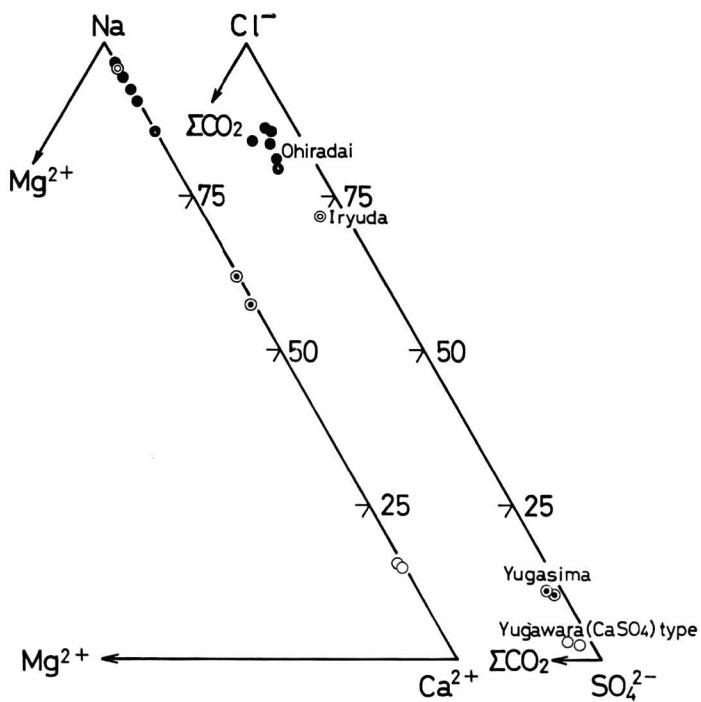


図17 伊豆、箱根の基盤岩中の温泉の陽イオン、陰イオン三角図（モル組成比）

沢温泉付近の水理地質学的調査を行なった。この地域の温泉掘さく記録の調査や、孔井の温度検層、揚水試験などを行ない、水頭分布図、地温分布図をえがいた(図15, 16)。小鷹らは(1972)須雲川の左岸、鮎見橋から湯坂山の地下に高温の温泉が湧きだしていることを見いだした。この高温の温泉が4 b—H群の分布と一致している。

11 伊豆、箱根の基盤岩類中の温泉の特徴

伊豆、箱根地方の基盤岩類中の温泉として箱根大平台温泉、小田原市入生田温泉、湯河原温泉、伊豆の湯ヶ島温泉をとりあげ、その泉質の特徴をみいだそう(表5)。

大平台温泉：昭和38年頃から早川の谷そこ近くで温泉試掘がはじめられ、昭和39年に温泉採取に成功した。現在までに6孔井が温泉採取に成功している。掘さく深度は700~800mで一般に深く、51.5~62°Cの温泉が採取されている。分析結果から陽イオン、陰イオン組成比を求め三角図に投影した(図17)。泉質は湯本、塔ノ沢温泉の4b—Dに似ている。陰イオン組成比は泉温の高低につれて規則的に変動し、低温ほどSO42-の比率が高くなる。

小田原市入生田温泉：箱根湯本から北東約4kmの位置に深さ660mの孔井から揚湯される泉温20°Cの微温泉があり、溶存物質量は3,000mg/kgに達する。小鷹(私信)によるとこの微温泉は、この地域の基盤岩類中から湧出していると言う。この温泉の陽イオン組成比、陰イオン組成比を17図に投影し

た。陽イオンは Na^+ が大部分をしめるが、陰イオンは Cl^- , SO_4^{2-} が多い。

湯河原温泉：大木ら（1963）は湯河原温泉を NaCl 型温泉と CaSO_4 型温泉とに分類した。高温の温泉ほど NaCl に富み、低温の温泉は NaCl 成分に乏しく CaSO_4 型である。湯河原温泉は硫酸塩をとかしこんだ基盤岩中の帶水層に火山性の NaCl を含む高温高圧の熱水が混入して生成していると考えられている。

湯ヶ島温泉：本温泉の泉温は45～55°C, SO_4^{2-} 含量が900～1,000 mg/kgで非常に多いが Cl^- は40～50 mg/kgですくないのが特徴である。陽イオンは Na^+ , Ca^{2+} が主成分である。

基盤岩類中の温泉の特徴：基盤岩類中の温泉は普遍的に硫酸塩（ CaSO_4 , Na_2SO_4 ）の含有量が多い。湯河原温泉の泉地区や湯ヶ島温泉のように火山性の NaCl を含む热水の混入がなければ、温泉の陰イオンは SO_4^{2-} が主成分で Cl^- 含量は非常にすくない。 SO_4^{2-} の起源は基盤岩類中には硫化鉱物（黄鉄鉱など）が多く含まれていることに関係しているのであろうか。

12 湯本, 塔ノ沢温泉の成因

高温泉の湧出：本地域の温泉を4群に細分し、須雲川の左岸、鮎見橋から湯坂山にかけて分布する泉温が高く、溶存物質量1,000～1,400 mg/kgの温泉を4b-H群とした。小鷹ら（1972）はこの地域の地質学的調査により、湯坂山の地下に温度の高い温泉の湧出帯を見いだした。4b-H群の分布と高温の温泉の湧出帯のひろがりは合致し、地下深所から NaCl に富む高温の温泉が湧出していることが判った。珪酸含量から推定してこの温泉は地下深所では100～120°Cぐらいであろう。

大木、平野（1970a, b）は、從来ばく然としていた湯本、塔ノ沢温泉の熱源も現在の火山活動に依存していることを示した。湯坂山の地下深所に見いだされた高温泉の湧出経路が、さらに深い所で現在の箱根火山活動の熱源から直接湧出してきたのか、中央火口丘周辺の温泉が新期外輪山の断層などをへて一種の水管系となってこの地域に湧出したのかは未だ不明である。ただ温泉の $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$ 比や、 Cl^-/B 比が蛇骨湧泉群などのそれと類似していることを指摘しておこう。

高塩分濃度の温泉：早川、須雲川の合流点付近から下茶屋にかけて比較的泉温が低く、溶存物質は4,000 mg/kgにも達する温泉群があり、これを4b-C群とした。この温泉は Cl^- ばかりでなく SO_4^{2-} 含量も多く、高温の4b-H群の $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$ 比とは著しく異なり、 SO_4^{2-} の供給源が問題となる。

すでに伊豆、箱根の基盤岩類中の温泉の特徴でのべたが、湯本、塔ノ沢の基盤岩類中の地下水も非常に長時間岩石と接触している間に硫酸塩の溶存量を増した。 SO_4^{2-} は岩石中の硫化鉱物などが起源であろう。

湧出の経路は不明だが高温で NaCl が主成分の温泉が湯坂山の地下などに湧出し、硫酸塩を多く溶かしこんだ基盤岩中の地下水に混入し現在の4b-C群（4b-D群も含む）の温泉を形成した。以前は高温泉の温度は今よりも高く、湧出の規模も今よりはるかに広く、箱根湯本の東方4 km以上に達していたと考えられる。

表 6 湯本、塔ノ沢温泉の放熱量の経年変化

		昭和 33 年	昭和 37 年	昭和 40 年	昭和 43 年	昭和 46 年*
源 泉 数		64	70	77	87	94
調 査 源 泉 数		43	48	54	63	68
休 止 源 泉 数		20	22	23	21	23
揚 湯 量 ℥/min		4,295	4,589	5,044	5,291	5,493
放 热 量	0 °C 基準	Kcal/min.	234,794	248,589	272,864	281,233
		Kcal/sec.	3,913	4,143	4,548	4,687
	13 °C 基準	Kcal/min.	178,959	188,932	207,292	212,450
		Kcal/sec.	2,983	3,149	3,455	3,541
源泉 1 本当りの放 热 量 (13 °C 基準)	Kcal/sec/本	69.4	65.6	64.0	56.2	52.5

神奈川県衛生部(1968)による。

* 小田原保健所温泉実態調査と同時に一斉採水した時の記録による。

早川、須雲川ぞいの温泉：塔ノ沢や早川ぞいの温泉を4b—D群、須雲川ぞいの温泉を4b—L群としたが、冷地下水が浸入しているということで産状は同一である。須雲川ぞいの温泉は現に湯坂山の地下深所から湧出している高温の温泉に冷地下水が浸入して生成している。エアーリフトポンプで揚湯し深層の地下水圧が減少しているため、冷地下水の浸入を促進させ泉温の低下や溶存物質量の減少が特に著しい。塔ノ沢や早川ぞいの4b—D群には、湯坂山の地下から湧出している高温のNaCl型(4b—H群)の温泉の浸入はあまりなく、高塩分濃度の4b—C群に地下水が混入、稀釀され泉温も低下しているのであろう。4b—D群の一部の温泉は最近急速に冷地下水の浸入を受け、溶存物質も地表水型の ΣCO_2 に富むものに移化しているものもある。

13 温泉による放熱量

小田原保健所温泉課が昭和33年以来3年おきに実施している温泉実態調査資料(神奈川県衛生部、1968)から湯本、塔ノ沢地域の温泉放熱量を計算した(表6)。昭和33年には43源泉で毎分4,295 ℥揚湯し、その放熱量は毎分178,959Kcal(13°C基準)であった。昭和46年には68源泉で毎分5,493 ℥揚湯し放熱量は毎分214,361Kcal(13°C基準)である。源泉一本当りの平均放熱量を調べてみると昭和33年には毎秒69.4Kcalであったが、しだいに低下し昭和40年には64.0Kcal/sec., 昭和46年には52.5 Kcal/sec.である。昭和36年頃から湯坂山の温泉掘さくが行なわれ、高温のNaClに富む温泉(4b—H群)の採取がはじまつたにもかかわらず平均放熱量は減少し、地下水位の低下を強く反映している。

14 まとめ

箱根湯本、塔ノ沢温泉はこの地域の基盤岩類中に湧出し、箱根火山の温泉の分帶では第4b帶(混

合型)に属している。湧出場所および溶存成分によってこの地域の温泉を4群に細分した。湯坂山の地下深所から湧出している泉温が高くNaClに富む温泉を4b-H群とし、須雲川ぞいの温泉(4b-L群)は4b-H群に地下水が混入したものである。早川、須雲川の合流点から下茶屋にかけて比較的泉温が低く高塩分濃度の温泉(4b-C群)がある。早川ぞいの温泉(4b-D群)は4b-C群に地下水が混入したものである。

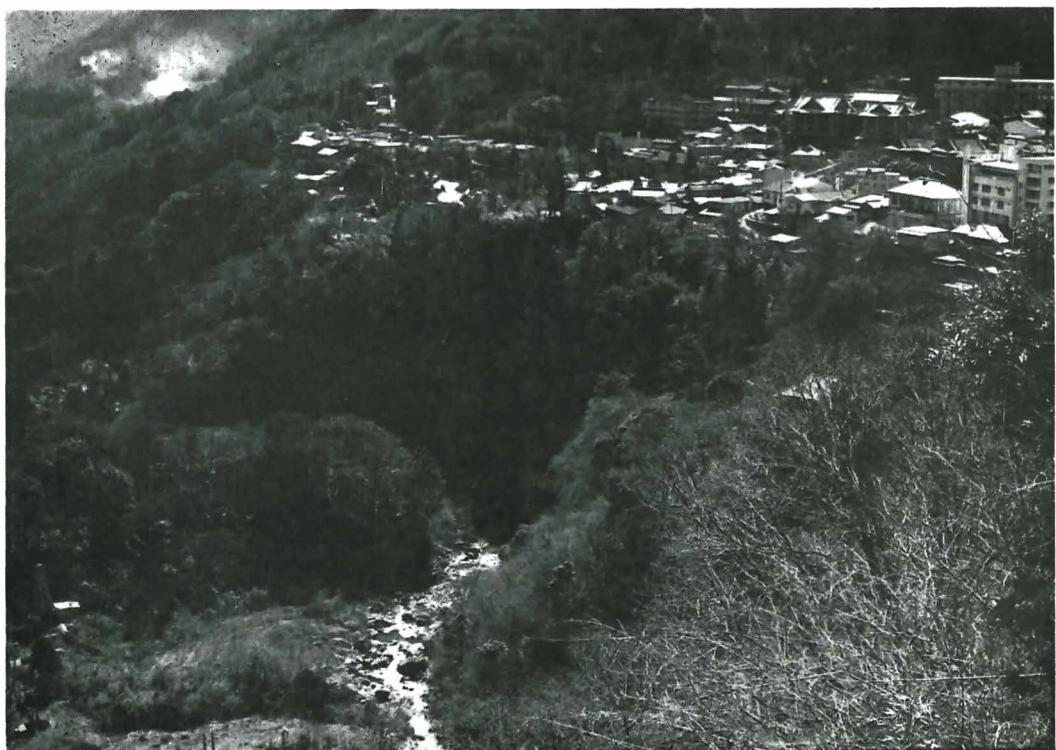
この地域の温泉の湧出機構は小鷹ら(1972)の研究によった。

参考文献

- FOURNIER, R. O., J. J. ROWE, (1966), Estimation of underground temperatures from the silica content of water from hot springs and wetsteam wells, Am. Jour. Sci. Vol. 264, 685-697.
- 平野富雄, 田嶋綾子(1970), 神奈川県温泉研究所分析集 その2, 神奈川温研報告, Vol. 1, No. 10, 1-54.
- ISHIZU, R. (1915), The mineral springs of Japan, Sankyo, Tokyo.
- 神奈川県衛生部(1968), 温泉実態調査結果表.
- 小林儀一郎(1956~57), 箱根温泉の地質学的湧出機構並びに温泉保護の必要について, 温泉研究 No. 7, 7-10, No. 8, 10-15.
- 厚生省大臣官房国立公園部編(1954), 日本鉱泉誌, 青山書院, 東京.
- KUNO, H. (1950), Geology of Hakone volcano and adjacent areas, part I, Jour. Fac. Sci. Univ. Tokyo, Sec. II, Vol. 7, 257-279.
- KUNO, H. (1951), Geology of Hakone volcano and adjacent areas, part II, Jour. Fac. Sci. Univ. Tokyo, Sec. II. Vol. 7, 351-402.
- 久野 久(1952), 7万5千分の1地質図幅『熱海』および同説明書, 地質調査所.
- 野口喜三雄, 荒木 匠, 野村繩一(1968), 伊豆, 箱根地方の温泉水のストロンチウム含量, 温泉科学 Vol. 19. No. 2, 61-68.
- 小鷹滋郎, 大木靖衛, 広田 茂, (1972), 箱根湯本・塔ノ沢温泉の湧出機構, 神奈川温研報告, Vol. 3. No. 3, 95-108.
- 大木靖衛, 萩野喜作, 長塚綾子, 広田 茂, 小梶藤幸, 高橋惣一, 杉本光夫(1963), 湯河原温泉調査報告, 神奈川温研報告, Vol. 1, No. 1, 1-40.
- 大木靖衛, 萩野喜作, 平野富雄, 広田 茂, 大口健志, 守矢正則(1968), 箱根強羅温泉の温度異常上昇とその水理地質学的考察, 神奈川温研報告, Vol. 1, No. 6, 1-20.
- 大木靖衛, 平野富雄, 田嶋綾子(1968), 箱根温泉の成因, 神奈川温研報告, Vol. 1, No. 6, 35-50.
- ŌKI, Y., T. HIRANO, (1970a), Geothermal system of Hakone volcano, U. N. Geothermal Symposium in Pisa, 1970, (United Nations Symposium on the Development and Utilization of Geothermal Resources, Pisa)
- 大木靖衛, 平野富雄(1970b), 箱根火山の温泉, 箱根町集団施設地区計画調査報告書, 140-168, 神奈川県.
- 大木靖衛, 岩田義徳(1971) 温泉の保護と適正利用, 觀光, No. 39, 50-56.
- 佐藤伝蔵(1916) 箱根温泉調査報文, 地調報, No. 59, 53-80.
- 佐藤伝蔵(1917) 箱根温泉調査報文, 地学雑誌, Vol. 29, No. 339, 167-178.
- 清野信雄(1920) 神奈川県箱根塔ノ沢温泉, 地調報, No. 79, 85-87.
- 新編相模國風土記稿 第二卷, 雄山閣版.
- SIEVER, R. S., (1962), Silica Solubility, 0°-200°C, and the diagenesis of Siliceous Sediments, Jour. Geol. Vol. 70, 127-150.
- 田嶋綾子, 平野富雄, (1966), 神奈川県温泉研究所分析集 その1, 神奈川温研報告, Vol. 1, No. 3, 1-55.
- 中央温泉研究所(1965), 温泉分析表(昭和25~35年), 中央温泉研年報, No. 3.



石垣山中腹（古期外輪山）より湯本温泉を望む



久野林道より宮の下、堂ヶ島温泉を望む

早川の左岸に試錐孔の掘さく櫓がみえる