

# 箱根火山の湧泉

大山正雄、平野富雄、栗屋 徹

神奈川県温泉地学研究所\*

Springs in the Hakone Caldera

by

Masao OYAMA, Tomio HIRANO and Toru AWAYA

Hot springs Research Institute of Kanagawa Prefecture

Hakone, Kanagawa

(Abstract)

We present the spring points and the discharge, the temperature and the chemical composition of the spring water in the Hakone caldera of 103km<sup>2</sup>. The investigated area consists of the old somma, the young somma and eight central cones, in which Mt.Kami-yama (1,432m) is only stratovolcano and continues still now the volcanic activity, and the other seven cones are lava domes (Fig. 1). The results are summarized as follows;

- 1) About 100 springs are used for drinking water, bath and other purpose in the caldera. 60% of the springs (Table 3) is found in the northwestern and eastern slope of Mt. Kami-yama (Fig. 5)
- 2) Amount of the utilization of spring water is about 66,000m<sup>3</sup>/day and occupie 45.6% of total amount of the groundwater use (Table.2).
- 3) Temperature of springs waters ranges from 13°C to 98°C in Mt. Kami-yama and from 11°C to 16°C in the other mountains (Fig.8).
- 4) Spring water temperature indicate an inverse relation with the elevation of spring point as well as the atmospheric temperature (Fig.10). The spring water temperature of Mt. Kamiyama is about 6°C heighter than the annual mean atmospheric temperature and that of the other mountains is 2°C heighter.
- 5) Spring water is cassified into four types due to the chemical composition and its occurences (Fig.11).

---

\* 神奈川県箱根町湯本997 〒250-03

神奈川県温泉地学研究所報告 第21巻、第3号、103-126、1990

## はじめに

箱根は首都に近いこともあり早くから温泉開発や観光開発が盛んに行われてきた。今日、観光客は年間2,000万人に達し、観光施設や保養所などは大規模化している。それにともない多量の水が必要となり、また、水道料金の節約などのために水井戸が次々に掘削されている。このため、飲用水や雑用水などの水源であった湧泉は涸渇化の傾向にある。箱根では1930年（昭和初期）頃に自然湧出する温泉の涸渇がすでに認められている（大山・大木、1973）。1970年代には温泉井の孔内水位が年間0.5～1.0mも低下（大山ら、1985 a、1987）している。温泉の涸渇化現象は温泉の過剰採取が主要な原因であるが、温泉の涵養源である浅層地下水の多量採取も関係していると考えられる。そこで、昭和57年、58年に温泉保護対策事業の一環として箱根の地下水利用に関する調査が行われた（神奈川県、1985 a）。本報告はその後の調査も加えて地下の循環水である湧泉を対象にその分布状況、規模、温度、水質について考察したものである。なお、本報告の一部は1989年度秋季地下水学会で発表（大山ら、1989）し、それに加筆・修正した。

## 1 地形と地質

箱根火山はフィリッピン海プレートが西側のユーラシアプレートに衝突している北端部に位置（杉村、1972）し、本州で最大のカルデラを有する複式火山である。カルデラは標高1,000mの古期外輪山の尾根で囲まれ、北西－南東12km、南西－北東9 km、面積102.9km<sup>2</sup>を有している。カルデラの中央部は南北に連なる標高856m～1,438mの中央火口丘群と標高800m～900mの比較的平頂な新期外輪山の山体が占めている。カルデラの西側は芦ノ湖、北側はカルデラ内で最も広い平坦面をなす仙石原、東側は早川に、南側は須雲川にそれぞれ深く刻まれている。カルデラ内の標高は約100mから1,438mの範囲にわたっているが、平均標高が711m、中央火口丘と新期外輪山では777m、古期カルデラ壁では648mである。カルデラの面積の60％は標高600～900mで占めている。

箱根火山の地質構造は Kuno (1950、1951)、久野 (1952、1972)、Kuno et al (1970) によって解明された。久野によれば、箱根火山は、新第三紀の湯ヶ島層群、早川凝灰角礫岩層、須雲川安山岩類を基盤とし、古期外輪山、新期外輪山、中央火口丘からなる三重式火山である（図1）。本火山は約40万年前に活動を始め、玄武岩質－安山岩質の溶岩と火山砕屑物を噴出し、体積130万km<sup>3</sup>、海拔標高2700mに達する大型の成層火山を形成した。その後、火山体中心部は約20万年前に陥没を起こして古期カルデラを形成した。残ったのが現在の古期外輪山である。尾根の内側のカルデラ壁は急斜面をなし、外側の緩斜面と対照的である。古期カルデラ内は約8万年前に安山岩質溶岩の噴出によって埋め尽くされ楯状火山が形成された。次いで多量の石英質安山岩軽石と軽石流の噴出が7～5万年前に起こり、火山体の西側は再び陥没して新期カルデラを形成した。新期カルデラ壁の西側は古期カルデラ壁と共有しているが、東側は新期外輪山として残っている。新期外輪山溶岩は300m以上の厚さに達しており、基盤岩類を直接に被覆している。新期外輪山溶岩と基盤岩類との境には湯本に限って厚い礫層が存在

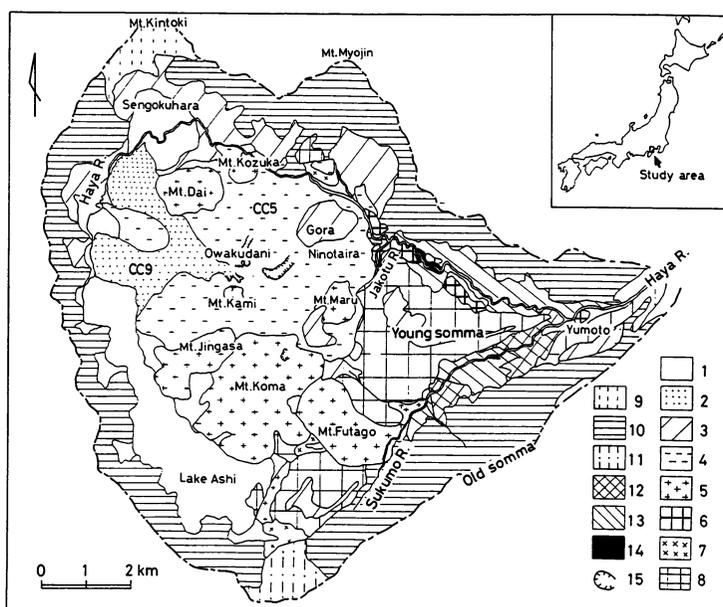


図1 箱根カルデラの地質図(久野, 1972; 神奈川県, 1985 b)

1 : 湖成層、崖錐、2 : 神山山崩れ堆積物 (CC 9)、3 : ローム、4 : 神山溶岩類 (CC 5)、5 : 中央火口丘溶岩類、6 : 泥流堆積物、7 : 軽石流堆積物、8 : 新期外輪山溶岩、9 : 金時山溶岩類、10 : 古期外輪山溶岩類、11 : 湯河原火山噴出物、12 : 須雲川安山岩類、13 : 早川凝灰角礫岩、14 : 湯ヶ島層群、15 : 噴気地帯

Fig. 1 Geological map of the Hakone caldera (Modified after Kuno, 1972; Kanagawa prefecture, 1985 b)

1 : lake deposits, talus and river gravels, 2 : Mt. Kami avalanche debris (CC 9), 3 : loam, 4 : Mt. Kami lavas (CC 5), 5 : central cone lavas, 6 : mud-flow deposits, 7 : pumice flows, 8 : young somma lavas, 9 : Mt. Kintoki lavas, 10 : old somma lavas, 11 : Yugawara volcano, 12 : Sukumo-gawa andesite group, 13 : Haya-kawa tuff breccias, 14 : Yugashima group, 15 : solfataric field.

し、それ以西には見られないことから、久野 (1952) は基盤岩類に凹地が西から東に走り、新期外輪山溶岩の地下水がその凹地を流れ、東端の湯本で流出して玉簾の滝を形成していると推定した。

約 3 万年から 4,500 年前にかけて新期カルデラ内を北西-南東方向に走る金時山-幕山構造線に沿って北から 8 個の中央火口丘 (神奈川県, 1985 b)、小塚山 (859 m)、台ヶ岳 (1,045 m)、神山 (1,438 m)、丸山 (960 m)、陣笠山 (1,325 m)、駒ヶ岳 (1,327 m)、上二子山 (1,091 m)、下二子山 (1,065 m) が生まれた。中央火口丘の内、最高峰の神山のみが溶岩と火山碎屑物からなる成層火山で、他が溶岩円頂丘である。神山溶岩類の下部には、中央火口丘の泥流堆積物が広く分布し、神山東麓の早川と蛇骨川沿いで露出している。中央火口丘の温泉は泥流堆積物の上部から流出している。神山の北西斜面は 3,100 年前に大涌谷で発生した神山山崩れ堆積物に覆われている。芦ノ湖は古期カルデラ壁まで達したこの堆積物による堰止湖である (久野, 1952; 大木・袴田, 1975)。

基盤岩類はカルデラ東方の早川と須雲川の河床沿いに沿って露出している。Oki and Hirano (1970) は、温泉や地下水にとって不透水層の役割をはたす基盤岩類が西から東方に緩やかに傾き、基盤を覆う中央火口丘溶岩類 (ときには外輪山溶岩も含む) の基底部に著しく透水性のよい岩相があることを明らかにしている。図 2 は、1/50,000 の地形図から作成したカルデラ内の水系網である。古期カル

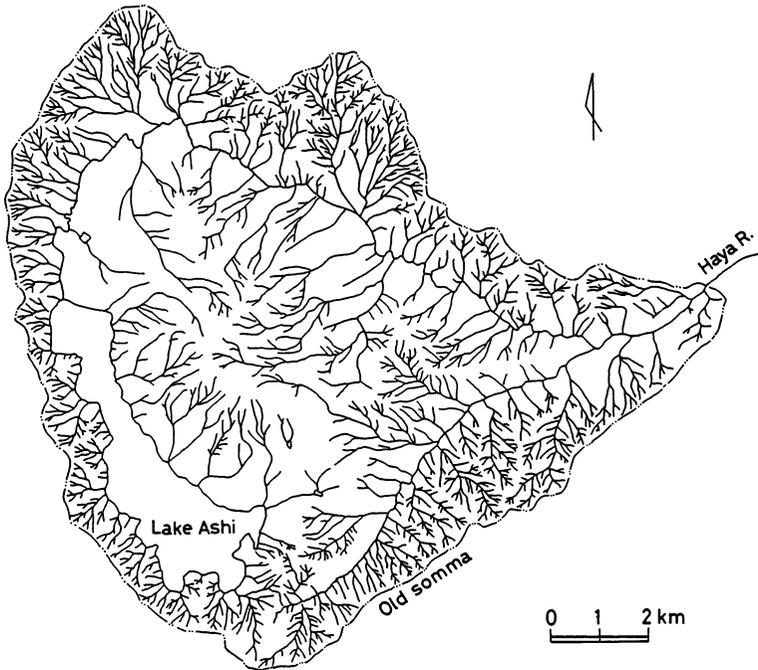


図2 箱根カルデラの水系図 (1/50,000の地形図から作成)  
 Fig. 2 Stream networks constructed from 1/50,000 topographical map for the Hakone caldera

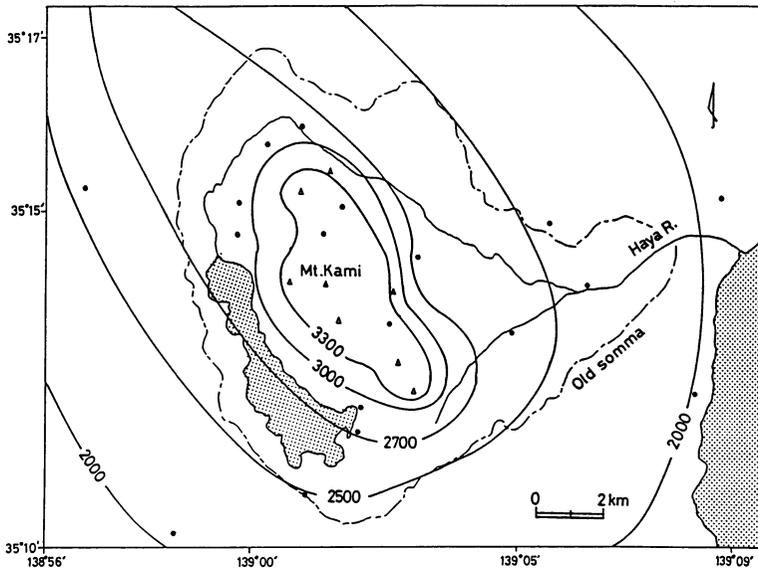


図3 箱根の年平均降水量 (mm) 分布 (1978~1987) 黒丸は降水量観測地点、三角形は中央火口丘  
 Fig. 3 Distribution of annual mean precipitation(mm)in and around Mt.Hakone from 1978 to 1987.  
 Closed circle: observation points of precipitation, Triangle: central cones

デラ壁の水系は密である。一方、新期外輪山と中央火口丘の水系は古期カルデラ壁に比べて粗であり、途中で途切れて不連続になるものもある。これは降水の多くが古期カルデラ壁で早く流出し、新期外輪山と中央火口丘では地下水となり山麓で流出することを示唆している。

## 2 降水量

箱根火山は伊豆半島から丹沢山塊に延びている多雨帯（レインバンド）に位置し、その中でも降水量の多い地域である。箱根カルデラ内での気象観測は神奈川県測候所が1908年（明治33年）から箱根町箱根と湯本で始めている。年間降水量は大部分が2,000mmから4,000mmの範囲にあるが、1911年には箱根で5,442mmを記録した。

表1 箱根山周辺の年間降水量

Table 1 Precipitation in and around Mt.Hakone

番号	観測地点	観測者	緯度	経度	高度	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	平均
			度分秒	度分秒	m	mm										
1	湯本 698	箱根町消防	35.13.46	139.06.21	97	—	—	2452	2005	2533	3227	1544	2989	2246	1835	2354
2	小涌谷 525	箱根町消防	35.14.15	139.03.12	573	1885	2196	2548	2833	3206	3458	1427	3029	2331	1955	2487
3	仙石原 17	箱根町消防	35.16.07	139.00.54	647	—	—	2176	2514	2991	2924	1278	2573	2190	2250	2362
4	仙石原 817	仙石原中学校	35.15.50	139.00.40	645	2725	3217	2927	2469	3848	3269	1661	3282	2747	2634	2878
5	仙石原 1245	箱根カントリー	35.14.53	138.59.55	702	2445	3112	3426	3068	4203	3638	1422	3309	2435	2650	2971
6	仙石原 1251	温泉供給	35.14.50	139.01.47	792	2715	3676	3695	3902	4476	4237	2013	3673	2984	2741	3411
7	仙石原 1251	ロープウェイ	35.14.27	139.01.24	1040	2505	3547	3689	3366	4496	4611	2474	3756	3189	2968	3460
8	イタリー 1245	企業庁	35.14.47	138.59.55	684	—	—	3172	3544	4103	3632	1541	2762	2156	2359	2909
9	箱根 561	箱根小学校	35.11.40	139.01.57	739	2321	2909	2800	3172	3661	3958	1733	3087	2514	1410	2757
10	元箱根 1	神奈川県	35.12.00	139.02.02	772	1697	2506	2344	2770	3968	3996	1648	2822	2617	1793	2616
11	芦の湯 55	気象庁	35.13.05	139.02.44	850	2777	3571	3657	3569	4293	4284	2116	3705	3151	2719	3384
12	須雲川 74	神奈川県	35.13.04	139.04.45	248	2013	2590	3160	3107	3410	3583	1651	2537	2425	1228	2570
13	三島市南原菅	芦ノ湖カントリー	35.10.34	139.01.00	840	—	2632	2734	2306	3044	3331	1479	2856	2200	2024	2512
14	小田原市塔ノ峰	神奈川県	35.14.40	139.05.37	490	1941	2781	2657	2542	3104	3388	1788	3113	2456	1979	2575
15	小田原市城山 3	気象庁	35.15.05	139.09.20	29	1459	1999	2041	1955	2228	2351	1299	2221	1642	1386	1858
16	根府川 574	神奈川県	35.11.55	139.08.07	98	1686	2166	2456	2224	2225	2619	1265	2409	1858	1502	2041
17	南足柄市地藏堂	神奈川県	35.18.51	139.02.08	417	1647	2135	1848	2899	3252	3100	1303	2358	1915	1786	2224
18	湯河原町広河原	神奈川県	35.09.30	139.03.33	274	1688	2255	2419	2445	2244	2737	1409	2788	2622	1589	2220
19	三島市東本町2	気象庁	35.06.42	138.55.48	20	1384	1728	1988	2086	2260	2137	1104	1900	1369	1621	1758
20	御殿場市ぐみ沢	気象庁	35.17.54	138.55.48	468	2155	3053	2860	2838	3130	3394	1517	2741	2237	2548	2647
	平	均			521	2065	2710	2752	2781	3334	3394	1584	2896	2364	2049	2600

図3は箱根古期外輪山尾根の内側（カルデラ）で13地点、古期外輪山尾根の外側における7地点での観測資料（表1）から作成した10年間（1978～1987）の年間平均降水量分布である。降水量は古期外輪山山麓が2,000mm、古期外輪山山頂付近が2,500mm、中央火口丘が最も多く3,300mmである。ちなみに、大涌谷（標高1,050m）での年間降水量は2,500～4,500mm、平均が3,460mmである。等降水量線は箱根火山の地形とよく調和し、中央火口丘が最も多量である。等降水量分布から、カルデラ内における年間平均降水量は2,780mmになり、カルデラへの供給量は年間約2.86億 $\text{m}^3$ と試算される。

### 3 水利用の状況

箱根カルデラの水利用はおおまかに水力発電と飲用雑用水および温泉に分けられる。発電には表流水が用いられ、飲用雑用水と温泉は地下水である。表2は地下水の利用量を示したものである。

#### 発電所

箱根における最初の発電所は1892年（明治25年）6月に箱根湯本の須雲川に設置され、京都の蹴上発電所（明治24年）に次いで日本で二番目の水力発電所であった。この発電所は明治38年に廃止されたが、現在では神奈川県企業庁が早川に1箇所、東京電力が早川に3箇所、須雲川に2箇所の水力発電所を設けている。最大使用水量はカルデラの出口に位置する山崎発電所（早川）で3.06 $\text{m}^3/\text{sec}$ 、三枚橋発電所（須雲川）で1.39 $\text{m}^3/\text{sec}$ である。全発電所からの総発電量（1982年）は67,538MW/Hで、これは箱根の電力総消費量125,953MW/Hの53.6%を占めている（箱根町、1983）。

この他、芦ノ湖から古期外輪山の隧道を通して静岡県側に流出する深良用水でも東京電力の水力発電所が3箇所稼働している。その最大使用水量は1 $\text{m}^3/\text{sec}$ である（箱根水質調査団、1975）。

#### 飲用雑用

飲用水の内、水道は上水道、簡易水道、専用水道に区分される。上水道は、神奈川県企業庁水道局が中央火口丘神山を中心にカルデラの北側の地域に、箱根町水道局が南側の地域に給水している。その給水人口は箱根全人口19,768人（1982年）の87.4%となっている。給水量は両者で1.70万 $\text{m}^3/\text{日}$ （11.82 $\text{m}^3/\text{min}$ ）である。湧泉はこの内の1.49万 $\text{m}^3/\text{日}$ （10.34 $\text{m}^3/\text{min}$ ）で、87%を占める。簡易水道は全人口の5.1%（1,012人）に0.05万 $\text{m}^3/\text{日}$ （0.35 $\text{m}^3/\text{min}$ ）を給水している。専用水道は旅館、保養所、別荘、分譲マンションで利用され、これらの給水人口は全人口の5.9%（1,166人）、浄水能力は1.02万 $\text{m}^3/\text{日}$ （7.11 $\text{m}^3/\text{min}$ ）である。これらを合わせた全利用量は約2.77万 $\text{m}^3/\text{日}$ （19.23 $\text{m}^3/\text{min}$ ）になる。この内、湧泉の利用量は1.86万 $\text{m}^3/\text{日}$ （12.89 $\text{m}^3/\text{min}$ ）で、67%を占めている。

この他に地下水が飲用雑用および養魚場などに利用されており、その量は約7.72万 $\text{m}^3/\text{日}$ （53.64 $\text{m}^3/\text{min}$ ）にのぼる。この内、湧泉の利用量は3.25万 $\text{m}^3/\text{日}$ （22.58 $\text{m}^3/\text{min}$ ）である。

以上から、箱根カルデラ内における飲用雑用などの利用量は約10.49万 $\text{m}^3/\text{日}$ （72.87 $\text{m}^3/\text{min}$ ）であ

表 2 箱根カルデラ内の地下水利用  
Table 2 Groundwater use in the Hakone caldera

	種 類		使 用 量		湧泉の使用量			
			$10^4 \times \text{m}^3/\text{day}$	%	$10^4 \times \text{m}^3/\text{day}$	%		
1	上 水	上水道	2.77	1.702	11.8	1.489	10.3	
2		簡易水道		0.050				0.3
3		専用水道		1.024				7.1
4	飲用雑用		7.724	53.5	3.251	22.5		
5	温 泉		3.036	21.0	0.803	5.5		
6	造成温泉		0.917	6.3	0.682	4.7		
	総 計		14.453	100.0	6.593	45.6		

る。この内、湧泉量は全利用量の48%にあたる5.11万 $\text{m}^3/\text{日}$  (35.07 $\text{m}^3/\text{min}$ ) を占めている。

飲用水源は1960年以前、主に湧泉を用いていたが、観光開発と施設の大規模化が進につれて水井戸の掘削が盛んに行われるようになった。図4は飲用と雑用水に利用されている水井戸の開発状況である。水井戸は1970年頃から急増し、揚水能力も大きくなった。調査井164眼の内、揚水量の把握できた井戸153眼の可能揚水量は1982年に5.40万 $\text{m}^3/\text{日}$  (37.50 $\text{m}^3/\text{min}$ ) に達している。これらの水井戸は湯本、小涌谷、強羅などの温泉場に集中しているため、その地域の温泉源への影響および湧泉への涸渇が指摘されている。

## 温泉

箱根の温泉場は関西と関東を結ぶ東海道の通過地点にあるので古くから知られている。江戸時代には温泉効能番付けの上位に置かれており(箱根温泉史、1986)、大名湯治や箱根七湯廻りにぎわっていた。

箱根温泉は大正期まで自然湧泉が利用されていたが、明治30年代から大正期(1900~1910年)にかけて湯本・塔ノ澤でまず横穴湧泉の開発(第1期の温泉開発ブーム)が始まった。ついで、東海道線丹那隧道の開通(1934)がきっかけにもなり、第2期温泉開発ブームが1930年代(昭和初期)に起きた。この頃からボーリング孔(竖孔)と機械揚湯装置の導入で深部の温泉開発が始まり、温泉採取量は急増した。第3期の温泉開発ブームは第二次大戦後の高度成長期にあたる1960~1970年に起こり、温泉量を飛躍的に増大させた。温泉源は1958年の210源泉から1969年には346源泉、その湧出量は11.6 $\text{m}^3/\text{min}$ から23.0 $\text{m}^3/\text{min}$ に増加した。現在(1982年)、総源泉数は387眼である。休止と涸渇を除いた源泉は250眼、その湧出量が21.09 $\text{m}^3/\text{min}$  (3.04万 $\text{m}^3/\text{日}$ )、平均温度が46.4 $^{\circ}\text{C}$ である。その内訳は、自然湧

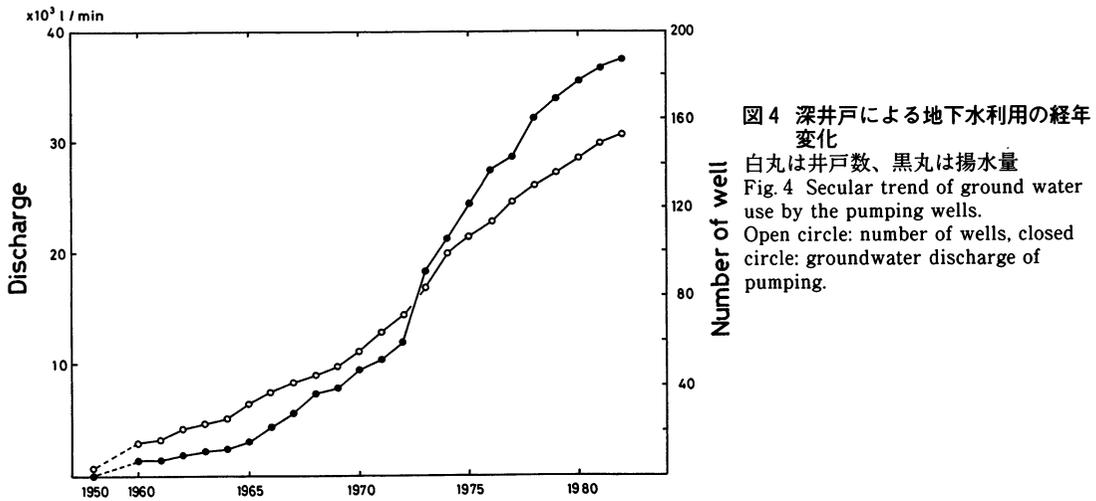


図4 深井戸による地下水利用の経年変化  
白丸は井戸数、黒丸は揚水量  
Fig. 4 Secular trend of ground water use by the pumping wells.  
Open circle: number of wells, closed circle: groundwater discharge of pumping.

泉が 26.4%の $5.58 \text{ m}^3/\text{min}$  ( $35.9^\circ\text{C}$ )、ボーリング孔からの揚湯泉が73.6%の $15.51 \text{ m}^3/\text{min}$  ( $50.2^\circ\text{C}$ )である。ボーリング孔の深度は300~800m、最深で1000mに達している。この他、地下水をボーリング孔(深度数10m~500m)から噴出する火山性蒸気に混入して加温した造成温泉が60蒸気井で $6.37 \text{ m}^3/\text{min}$  ( $67.2^\circ\text{C}$ )給湯されている。造成温泉に用いられている地下水の内、湧泉量が $4.74 \text{ m}^3/\text{min}$  (0.68万 $\text{m}^3/\text{日}$ )である。

以上から、温泉と造成温泉の総量は $27.47 \text{ m}^3/\text{min}$  (3.95万 $\text{m}^3/\text{日}$ )、平均温度は $51.3^\circ\text{C}$ である。この内、湧泉量は37.5%にあたる $10.32 \text{ m}^3/\text{min}$  (1.48万 $\text{m}^3/\text{日}$ )を占めている。

湧泉量の増大は一方で温泉水位の低下、温度低下、溶存量の減少をもたらし、いわゆる温泉の涸渇化がカルデラ全域にわたって起きている。温泉涸渇の影響を最も顕著に受けているのが自然湧泉である。

### 3 湧泉

#### 湧泉の分布

箱根カルデラ内の湧泉に関して、これまでに湯原ら(1966)、大木ら(1969、1981)、平野ら(1971、1973、1980)、広田ら(1971)、荻野ら(1971)、箱根町(1976)、栗屋ら(1977)、大山ら(1973、1985b、1988)、渡辺(1985)の調査・研究がある。それらは主に温泉あるいは小地域の地下水を対象にしたもので、カルデラ内の全地域にわたる調査はまだされていない。そこで、カルデラ全域を対象に箱根町役場で聞き取り調査を行った。表3は主に1982年と1983年の6~10月に行った現地調査の結果をまとめたものである。これらの湧泉は主に飲用・雑用および温泉に利用されている。

図5の湧泉の分布によれば、多くの湧泉は成層火山神山の東斜面と北斜面に位置し、その数は全体の60%を占めている。次いで、新期外輪山の南麓にも多くの湧泉が分布している。古期カルデラ壁に

表 3-1 湧泉の諸元 (調査1982~1983年)

Table 3-1 Data of springs (1982~1983)

No S	湧泉名	場所	標高 m	湧出量 ℓ/min	温度 ℃	pH	用途	備考
1	玉簾ノ滝湧泉	湯本682	136	3,000	15.1	6.9	飲用	新期外輪山
2	槍突湧泉	湯本216	170	500	13.4	7.1	飲用	古期カルデラ壁
3	姫の水湧泉	大平台444	550	26	12.3	6.5	観光	新期外輪山
4	千条の滝湧泉	小涌谷507	580	770	23.5	6.6	観光	神山
5	二の平湧泉	二の平1083	546	—	18.5	6.7	雑用	神山
6	山水湧泉	木賀934	460	—	16.2	6.8	雑用	神山
7	宝珠院湧泉	宮城野298	460	830	14.2	6.7	雑用	古期カルデラ壁
8	紅葉園湧泉	仙石原1260	538	3,500	16.2	7.0	飲用	神山
9	淡水魚湧泉	仙石原1296	557	10,000	17.8	6.9	養魚	神山
10	水土野泉水源	仙石原1296	552	1,300	15.0	7.3	飲用	神山
11	長安寺湧泉	仙石原82	652	360	13.4	6.8	池	古期カルデラ壁
12	高塚湧泉	仙石原1246	656	1,700	18.0	5.6	養植	神山山崩堆積物
13	四面塔湧泉	小涌谷454	510	150	25.2	7.2	飲用	神山
14	岡田屋湧泉	湯本191	148	—	17.0	6.7	飲用	新期外輪山
15	大天狗神社湧泉	湯本293	177	140	15.1	7.1	飲用	新期外輪山
16	春光荘湧泉	湯本554	148	—	16.5	7.0	雑用	古期カルデラ壁
17	山景園湧泉	湯本6	154	36	14.2	7.2	雑用	古期カルデラ壁
18	カントリー湧泉	早川146	450	40	13.5	6.5	飲用	古期カルデラ壁
19	茶の花湧泉	湯本740	130	77	16.3	7.2	雑用	古期カルデラ壁
20	初花の滝町水源	湯本256	290	550	13.5	7.5	飲用	新期外輪山
21	大沢町水源	畑宿264	323	1,040	14.5	7.1	飲用	新期外輪山
22	畑宿水源	畑宿335	540	1,100	14.5	7.4	飲用	溶岩円頂丘
23	福住楼湧泉	塔之澤85	130	36	17.0	7.1	雑用	新期外輪山
24	神戸湧泉	塔之澤158	220	210	15.1	6.8	飲用	古期カルデラ壁
25	一の湯湧泉	塔之澤158	220	235	15.4	7.3	飲用	古期カルデラ壁
26	塔之澤共同水道	久野4854	330	490	16.1	7.1	飲用	古期カルデラ壁
27	新玉ノ湯湧泉	塔之澤743	118	80	15.0	7.0	飲用	古期カルデラ壁
28	大平台町水源	大平台752	550	1,300	12.9	7.4	飲用	新期外輪山
29	仙人台湧泉	宮ノ下680	430	105	14.2	7.0	飲用	新期外輪山
30	蛇骨沢富士屋	小涌谷456	510	807	18.9	6.9	雑用	神山
31	対星館湧泉	久野4856	365	—	14.3	7.3	飲用	古期カルデラ壁
32	三河屋水の出口	小涌谷503	725	2,700	16.6	7.1	飲用	神山
33	山谷湧泉	小涌谷456	515	—	18.7	7.0	雑用	神山
34	小涌園鉱泉No.1	小涌谷1296	706	982	16.6	6.4	雑用	神山
35	小涌園鉱泉No.4	小涌谷1296	704	13	21.0	6.4	雑用	神山
36	蛇骨沢町水源	小涌谷430	620	830	13.0	6.4	飲用	新期外輪山
37	つたや湧泉	底倉557	420	308	23.5	6.7	雑用	神山
38	奈良屋湧泉	二の平1083	538	220	18.5	6.3	飲用	神山
39	服部湧泉No.1	強羅1300	488	—	18.1	6.6	飲用	神山
40	宮ノ下保養所	木賀1014	484	120	22.4	7.1	雑用	神山
41	温泉興業湧泉	木賀989	470	146	19.2	6.9	雑用	神山
42	早雲館湧泉	強羅1300	710	57	16.4	5.8	雑用	神山
43	箱根パーク湧泉	強羅1321	503	1,170	15.2	6.9	飲用	神山
44	滝沢泉水源	強羅1321	512	1,370	18.0	6.4	飲用	神山
45	三井鉱山湧泉	強羅1300	490	68	19.2	7.2	雑用	神山
46	服部湧泉No.2	木賀971	440	—	18.1	6.3	雑用	神山
47	古川林業湧泉	宮城野91	472	28	15.0	6.0	雑用	古期カルデラ壁

表3-2 湧泉の諸元 (調査1982~1983年)

Table 3-2 Data of springs (1982~1983)

No S	湧泉名	場所	標高 m	湧出量 ℓ/min	温度 ℃	pH	用途	備考
48	宮城野四区湧泉	宮城野341	566	1,780	15.5	6.6	飲用	古期カルデラ壁
49	勝俣水産湧泉	宮城野1324	502	—	14.2	6.6	雑用	古期カルデラ壁
50	共同湧泉	宮城野502	620	816	14.9	6.8	雑用	古期カルデラ壁
51	松之家湧泉	宮城野1324	548	110	13.3	6.8	飲用	古期カルデラ壁
52	俵石閣湧泉	仙石原1290	750	—	12.5	7.6	飲用	古期カルデラ壁
53	喜作園湧泉	仙石原934	647	120	14.1	7.1	未利用	溶岩円頂丘
54	小塚簡易水源	仙石原小塚山	818	—	12.3	8.2	飲用	溶岩円頂丘
55	仙郷楼湧泉No.1	仙石原小塚山	780	—	13.1	6.6	飲用	溶岩円頂丘
56	仙郷楼湧泉No.2	仙石原台ヶ岳	960	—	12.9	7.3	飲用	溶岩円頂丘
57	冠峰楼湧泉	仙石原台ヶ岳	886	—	11.7	7.3	飲用	溶岩円頂丘
58	萬岳楼湧泉	仙石原台ヶ岳	818	—	11.4	7.4	飲用	溶岩円頂丘
59	富士見苑湧泉	仙石原1245	760	120	15.8	7.2	雑用	神山
60	品の木県水源	仙石原941	680	1,400	12.5	7.7	飲用	古期カルデラ壁
61	大畑沢県水源	仙石原1261	715	700	15.0	6.4	飲用	神山
62	上湯県水源	仙石原1254	886	140	12.6	8.1	飲用	神山
63	イタリ湧泉No.1	仙石原1245	680	1,000	21.5	6.1	飲用	神火山崩堆積物
64	イタリ湧泉No.3	仙石原1245	690	400	17.8	6.6	飲用	神火山崩堆積物
65	イタリ湧泉No.4	仙石原1245	691	600	15.9	6.2	飲用	神火山崩堆積物
66	イタリ湧泉No.5	仙石原1245	693	100	16.1	6.1	飲用	神火山崩堆積物
67	イタリ湧泉No.6	仙石原1245	694	70	16.7	6.4	飲用	神火山崩堆積物
68	イタリ湧泉No.7	仙石原1245	695	600	13.2	5.5	飲用	神火山崩堆積物
69	イタリ湧泉No.8	仙石原1245	697	500	13.6	6.8	飲用	神火山崩堆積物
70	温湯湧泉	仙石原温湯	654	1,520	20.9	6.0	池	神火山崩堆積物
71	東急湧泉	元箱根156	868	—	18.5	4.2	雑用	神火山崩堆積物
72	営林局湧泉	元箱根156	960	—	16.7	6.5	雑用	神火山崩堆積物
73	お玉ヶ池町水源	元箱根103	770	1,100	15.0	6.7	飲用	溶岩円頂丘
74	明神川町水源	箱根480	755	280	13.0	7.1	飲用	古期カルデラ壁
75	紀ノ国屋湧泉	芦之湯8	858	—	14.9	6.7	飲用	溶岩円頂丘
76	湯の花ホテル	芦之湯120	970	180	16.3	6.1	飲用	神山
77	阿字ヶ池湧泉	芦之湯90	850	—	26.5	3.9	温泉	神山
78	鈴木氷店湧泉	小涌谷441	724	52	15.6	6.7	—	神山
79	プリンス湧泉	元箱根138	626	—	15.5	6.4	飲用	溶岩円頂丘
80	姥子湧泉No.4	元箱根156	889	500	53.4	2.9	浴用	神火山崩堆積物
81	湖畔No.1	仙石原1245	820	—	11.4	6.8	未利用	古期カルデラ壁
82	湖畔No.2	仙石原1245	700	—	13.4	6.0	未利用	古期カルデラ壁
83	湿原No.1	仙石原777	657	—	15.0	6.0	未利用	神火山崩堆積物
84	湿原No.2	仙石原777	656	—	11.3	6.1	未利用	溶岩円頂丘
86	木賀湧泉No.6	木賀970	430	29	40.5	7.2	浴用	神山
87	蛇骨湧泉No.28	底倉271	436	—	98.9	7.8	浴用	神山
88	蛇骨湧泉No.68	底倉273	445	7	41.9	7.2	浴用	神山
89	蛇骨湧泉No.50	底倉364	410	14	70.7	7.8	浴用	神山
90	湯本湧泉No.3	湯本643	110	100	45.7	8.8	浴用	基盤岩類
91	大涌谷湧泉	仙石原1251	851	105	44.6	4.2	浴用	神山
92	大涌谷湧泉	仙石原1251	932	34	75.4	—	浴用	神山
93	大涌谷湧泉	仙石原1251	976	4	92.6	—	浴用	神山
94	芦之湯湧泉No.4	芦之湯5	852	—	41.3	—	浴用	神山

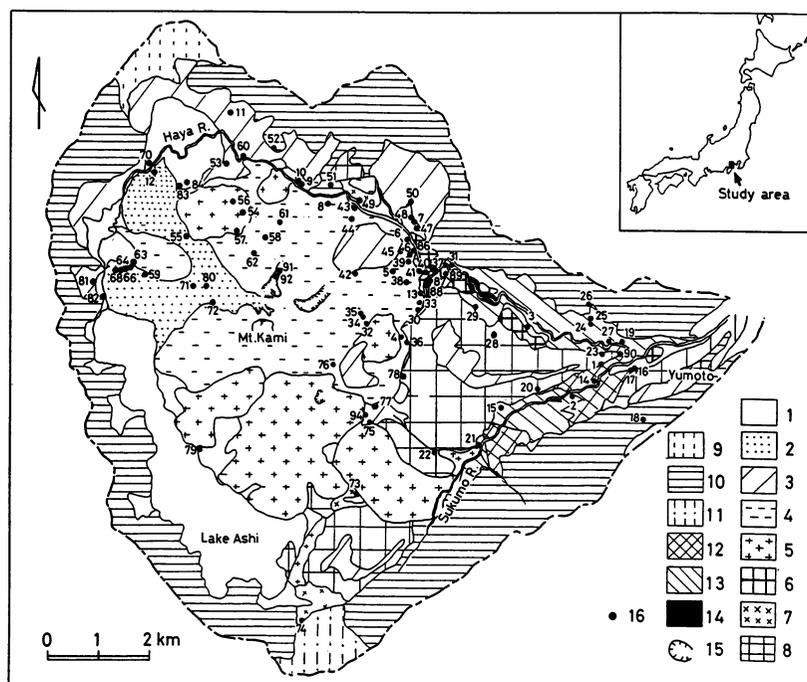


図5 湧泉の分布 1～15：図1の表記と同じ、16：湧泉  
Fig. 5 Distribution map of springs 1～15：the same as those of Fig. 1、16：spring

は湧泉が少ない。溶岩円頂丘にも湧泉は見かけ上少ない。しかし、駒ガ岳の周辺に芦ノ湖、阿字ヶ池、精進池、二子山の西麓にお玉ヶ池、台ヶ岳の北麓に仙石原湿原等が分布し、溶岩円頂丘の山麓には多量な地下水が流出していることを示している。また、湧泉は全般的に中腹に少なく、山麓部に多いの

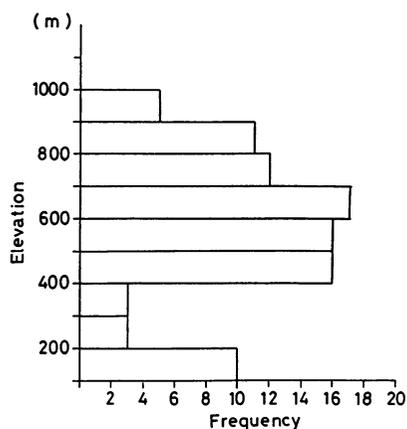


図6 高度別による湧泉の頻度分布  
Fig. 6 Frequency distribution of springs by each zone of elevation.

で、湧泉の分布は図2の水系図とよく対応している。

次いで高度別に湧泉の頻度分布を示したのが図6である。分布は100～150mと401～900mに大別される。前者は湯本の早川と須雲川沿いの湧泉である。後者は大部分が神山の湧泉である。湧泉は250～450mに少なく、1,000m以上にほとんどない。湧泉の多くは神山に位置していることが高度分布からも確認できる。

#### 湧泉の湧出量

調査した湧泉は利用されているので、湧出量の測定は一般的に困難で測定のできないものもあった。測定は各々の湧出場所に依じて流路を造り、東邦電探製の

表4 湧泉湧出量の階級 (山本, 1985)  
Table 4 Class of spring water discharge (Yamamoto, 1985)

階級	湧出量 $l/sec$	該当火山山麓湧泉 (平均値)
1	$1 \times 10^4$ 以上	—
2	$1 \times 10^4 \sim 1 \times 10^3$	富士山 A(1,100)
3	$1 \times 10^3 \sim 1 \times 10^2$	—
4	$1 \times 10^2 \sim 1 \times 10^1$	八ガ岳 A(75.8), 岩手山(27.3), 八丈島(14.6)
5	$1 \times 10^1 \sim 1 \times 10^0$	大島(8.0)
6	$1 \times 10^0 \sim 1 \times 10^{-1}$	富士山 B(0.6), 赤城山(0.54)
7	$1 \times 10^{-1} \sim 1 \times 10^{-2}$	八ガ岳 B(0.08), 岩手山(0.07)

CM-105型回転式電流速計あるいは18  $l$  の桶を用いた。

各湧泉の流出量はおおよそ20～10,000  $l/min$  の範囲である。図7は湧出量の頻度分布である。湧出量は20～150  $l/min$  が最も多く、150～350  $l/min$  がこれに次ぐ。Yamamoto (1959)、山本 (1985) の湧泉湧

出量の階級 (表4) によれば、箱根カルデラ内の湧泉は6～5階級 (6～600  $l/min$ ) が68%、4階級 (600～6,000  $l/min$ ) が17%であり、3階級 (6,000～60,000  $l/min$ ) に該当するのは水土野の淡水魚養殖所湧泉のみである。しかし、早川水系の流量測定 (大山, 1987) から、3階級に相当する湧出量が早川では神山北麓の高塚と神山北東麓の水土野、須雲川では畑宿と湯本の玉簾の滝付近で河床およびその周辺から流出している。

#### 湧泉の温度

図8は93の湧泉について測定した温度の分布である。温度は11.3～98.9℃の範囲にわたっており、平均20.7℃である。この内、神山の49湧泉は13～98.9℃、平均26.1℃である。古期カルデラ壁、新期外輪山、溶岩円頂丘の43湧泉は11～17℃、平均14.0℃であり、神山湧泉の平均温度よりも10℃以上も低い。基盤岩類の割れ目から流出する湯本の福住湧泉は44～60℃である (大山ら, 1988)。図9は図8の東西面における温度の断面である。湧出地域による湧泉温度の差は図9の地中温度構造から示されるように、火山の熱の影響が神山で大きく、古期カルデラ壁、新期外輪山、溶岩円頂丘で小さく現れているものと考えられる。

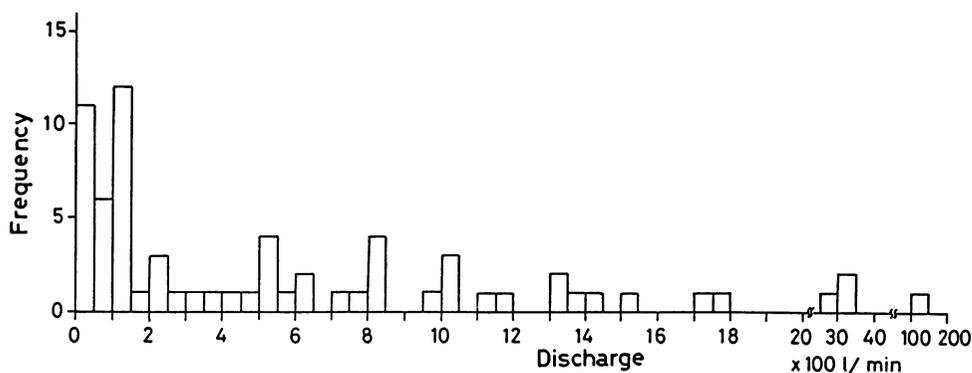


図7 湧出量の頻度分布  
Fig. 7 Frequency distribution of the magnitude of spring discharge

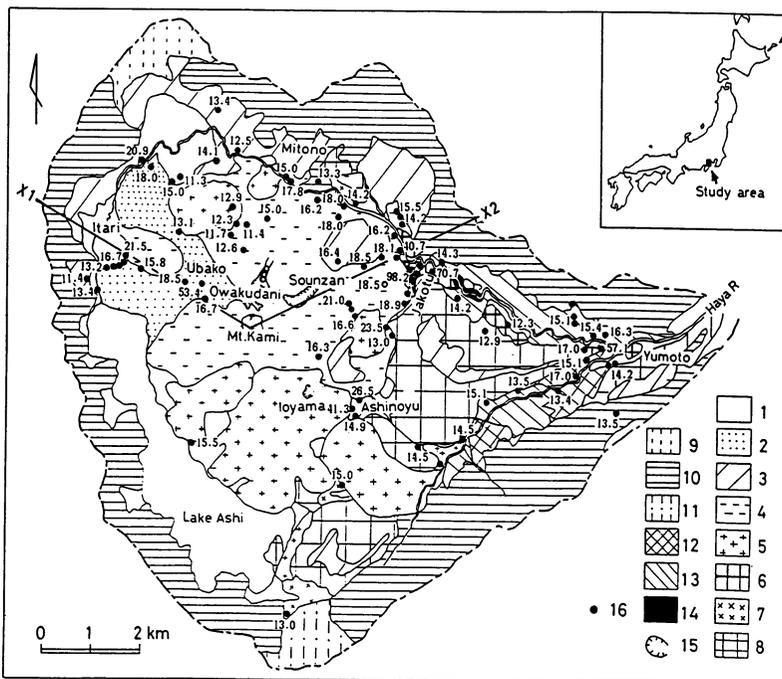


図8 湧泉の温度分布

1～15：図1の表記と同じ、16：湧泉の温度

Fig. 8 Temperature distribution of the spring water

1～15: the same as those of Fig. 1. 16: spring water temperature

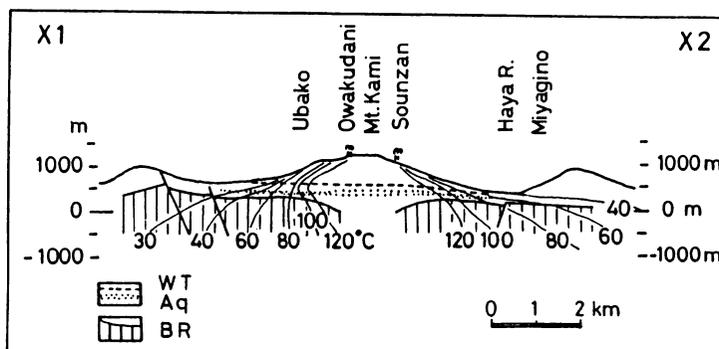


図9 地中等温分布 (図8のX1-X2、Oki and Hirano,1970 原図)

Wt: 主要帯水層の水位、Aq、主要帯水層、BR: 箱根火山の基盤岩類

Fig. 9 Isothermal cross-section along X1-X2 in Fig. 8.  
Wt: water table of the major aquifer, Aq: major aquifer, BR: basement rocks of the Hakone volcano(after Oki and Hirano,1970).

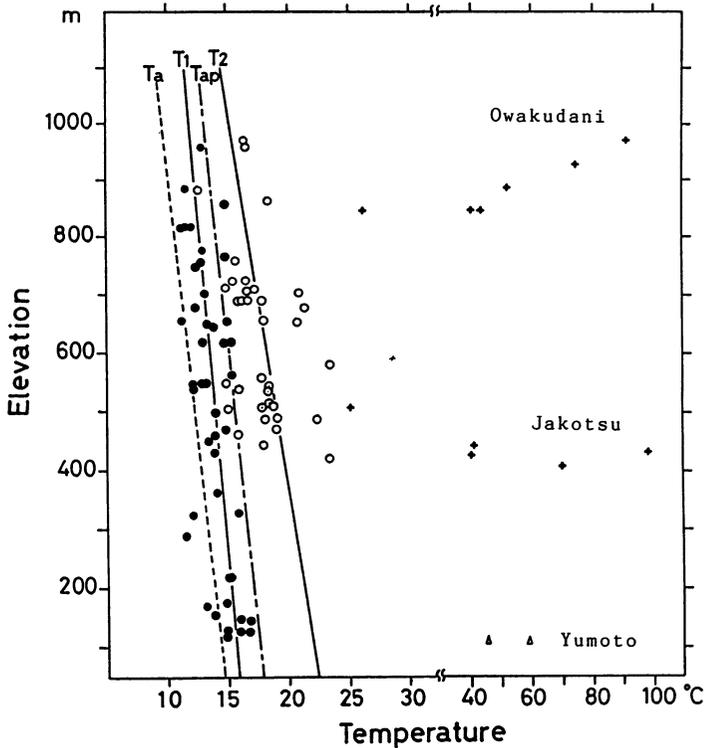


図10 湧泉の温度と高度との関係

●：古期カルデラ壁、新期外輪山、中央火口丘溶岩円頂丘の湧泉、○：中央火口丘神山の25℃以下の湧泉、+：神山の25℃以上の湧泉、△：基盤岩類の湧泉、T<sub>1</sub>：古期カルデラ壁、新期外輪山、溶岩円頂丘の湧泉温度の回帰線、T<sub>2</sub>：神山の25℃以上の湧泉温度の回帰線、T<sub>a</sub>：年平均気温の回帰線、T<sub>ap</sub>：月降水量で加重した年平均気温の回帰線

Fig.10 Relation between the spring water temperature and its elevation

●：spring water of old caldera wall, young somma and lava domes of central cone, ○：spring water ≤ 25°C of Mt.Kami, one of the central cones, +：spring water > 25°C of Mt.Kami, △：spring water of basement rock, T<sub>1</sub>：Regression line of spring water temperature of old caldera wall, young somma and lava domes, T<sub>2</sub>：Regression line of spring water temperature ≤ 25°C of Mt.Kami, by monthly precipitation. T<sub>a</sub>：Regression line of annual mean atmospheric temperature. T<sub>ap</sub>：Regression line of weighted annual atmospheric temperature.

図10は湧泉の温度と高度との関係を示したものである。古期カルデラ壁、新期外輪山、および溶岩円頂丘の湧泉温度は、標高100~200mの13~17℃から700m以上の11~15℃と高度を増すにしたがって遞減している。回帰式は

$$T_1 = -0.0040H + 16.0 \dots\dots\dots (1)$$

を得た。ここで、Tは温度(℃)、Hは標高(m)である。遞減率は0.40℃/100mである。

中央火口丘神山の湧泉は15~25℃の範囲に集中している。この範囲での温度の回帰式は

$$T_2 = -0.0074 H + 22.7 \dots\dots\dots (2)$$

となった。通減率は0.74℃/100mである。

湧泉の温度が25℃以上については、高度と温度とに相関関係がなく、850～1,000m、400～500mの2つのグループに分かれている。この内、850～1,000mの高温部は神山斜面に分布する大涌谷、早雲山、硫黄山の噴気地帯（地熱地帯）の湧泉、400～500mの高温部は神山の基底部を東に流れてきた蛇骨湧泉群と木賀湧泉である。噴気地帯の湧泉と蛇骨湧泉では98℃以上に達している。噴気地帯から流下してきた姥子と芦の湯の湧泉は41～53℃である。

図10の破線はカルデラ内8地点での年平均気温の回帰線である。回帰式は

$$T_a = -0.0057 H + 15.4 \dots\dots\dots (3)$$

である。気温の通減率は、日本の山岳における気温通減率0.56～0.62℃/100mの範囲にあり、箱根山一三島の0.57℃/100m（吉野、1961）と一致を得た。

同様に、一点鎖線は月平均気温と月総降水量から得た地下水に涵養される降水の加重年平均温度の回帰線を示している。回帰式は

$$T_{ap} = -0.0045 H + 17.6 \dots\dots\dots (4)$$

である。通減率は古期カルデラ壁、新期外輪山、および溶岩円頂丘の湧泉の場合にはほぼ一致している。

古期カルデラ壁、新期外輪山、および溶岩円頂丘の湧泉温度のほとんどは年平均気温の回帰線と加重年平均気温の回帰線の間位置している。湧泉の平均温度はカルデラ内の平均標高711mで年平均気温の回帰線よりも1.8℃高く、加重年平均温度よりも1.2℃低い。このことは、地下水が湧出に到る

表5 湧泉の水質(ppm)  
Table 5 Water quality of spring waters

地 域	pH	Residue	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>
A 硫気地帯周辺	2～3	700～1100	360～530	2	7
B 神山山崩れ堆積物	4～6	90～400	30～160	5～100	3～8
C 神山溶岩類(湧水温25℃以下)	6～8	130～290	20～80	40～130	1～55
D 古期・新期外輪山, 溶岩円頂丘	6～8	50～120	1～25	38～60	2～20
ABCD 箱根カルデラ内	2～8	50～1100	1～530	2～130	2～55

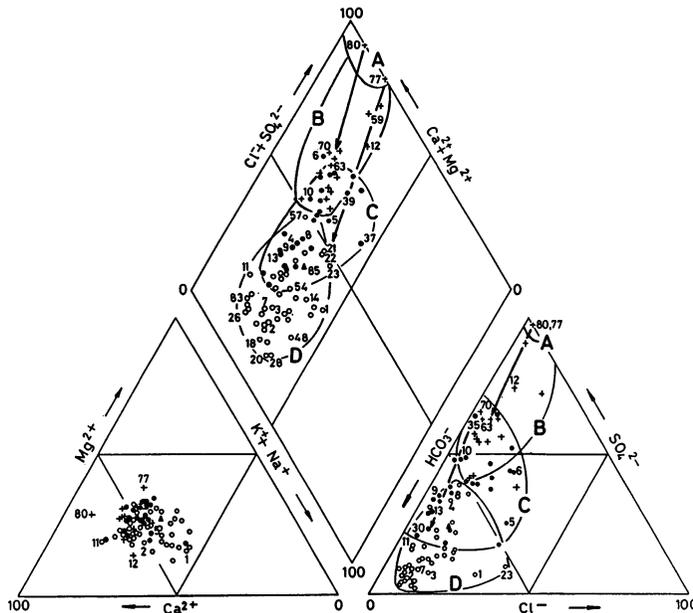


図11 湧泉のトリリニヤール・ダイアグラム

A : 噴気地帯、B : 神山崩れ堆積物、C : 神山溶岩類、D : 古期カルデラ壁、新期外輪山、溶岩円頂丘。  
 Fig.11 Water quality of the spring on trilinear diagram

A: solfataric area and its outskirts, B: Mt.Kami avalanche debris, C: Mt.Kami lavas, D: old caldera wall, young somma and lava domes.

過程での地温による加熱や降水量の多くが初夏から秋にかけての気温の高い時期にもたらされるためと考えられる (Shimano, 1988)。一方、神山の湧泉温度は加重年平均温度よりも約 3℃ 高いことから箱根火山の熱が大きく寄与している。

### 湧泉の水質

箱根の湧泉は湧出温度が11℃の冷泉から98℃以上に達する高温泉までであるので、その水質は蒸発残留物が50~1,100ppmの範囲にわたっている。陰イオンではCl<sup>-</sup>が1~55ppm、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>が1~530ppm、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>が3~131ppmであり、陽イオンでは、Na<sup>+</sup>が3~43ppm、Ca<sup>2+</sup>が2~87ppm、Mg<sup>2+</sup>が1~55ppmである (平野ら、1971、1972、1973; 栗屋ら、1977; 神奈川県、1985)。これらをミリ当量百分率 (meg%) をとってトリリニヤールダイアグラムに投影したのが図11である。図11から、湧泉の陰イオン組成比は陽イオンに比べて大きく変化し、湧出地域の特性がよく表れている。Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>の陰イオンの量比による湧泉の水質区分 (表5) は以下ようになる。

噴気地帯とその周辺の湧泉 (A) : 大涌谷、早雲山、硫黄山の各噴気地帯 (1,000m) とその周辺 (850m) の姥子や芦の湯の湧泉の水質は酸性硫酸塩型である。pHは2~3である。蒸発残留物は他の地域に

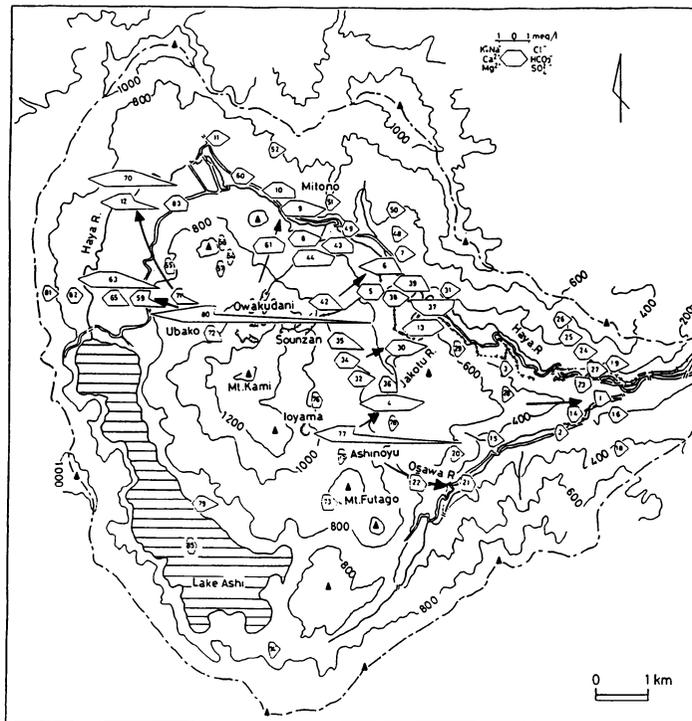


図12 湧泉のヘキサダイアグラムと地下水の流動方向(矢印)  
Fig.12 Water quality of the spring on hexa-diagram and flow of groundwater(arrows).

比べて最も多く700~1,100ppmである。陰イオンでは、 $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度が360~530ppmを示し主成分を成している。 $\text{HCO}_3^-$ 濃度と $\text{Cl}^-$ 濃度は著しく少なく3~7ppm程度である。

神山北西斜面(神山山崩れ堆積物)の湧泉(B):姥子(850m)から仙石原の平坦地(650m)にかけての湧泉の水質は硫酸塩型である。pHは3~6、蒸発残留物は多く90~400ppmの範囲である。 $\text{Cl}^-$ 濃度は低く3~8ppmであるが、 $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度は高く34~153ppmである。 $\text{HCO}_3^-$ 濃度は5~103ppmである。 $\text{SO}_4^{2-}$ の供給源は大涌谷噴気地帯から流れてくる酸性硫酸塩泉の浅層地下水である。

神山東斜面の湧泉(C):強羅と小涌谷(700~400m)の湧泉の水質は重碳酸塩硫酸塩型(中間型)である。蒸発残留物は多く130~290ppmである。 $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度は22~75ppm、 $\text{HCO}_3^-$ 濃度は40~130ppmである。 $\text{Cl}^-$ 濃度は、温度が80℃以上の蛇骨湧泉では900ppm以上に達しているが、25℃以下の湧泉では2~55ppmである。

古期カルデラ壁、新时期輪山、溶岩円頂丘の湧泉(D):早川の左岸地域と右岸の大平台、および須雲川沿いの湧泉の水質は重碳酸塩型である。蒸発残留物は他の地域に比べて少なく、50~120ppmである。陰イオンでは、 $\text{HCO}_3^-$ 濃度が38~62ppmを示し、主成分をなしている。 $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度と $\text{Cl}^-$ 濃度は低く、各々、1~14ppm、2~18ppmである。

図11中の矢印は三方向の斜面に分布する湧泉を標高の高い所から低い方向に結んだものである。それらは、神山北西斜面の姥子湧泉 (No.80) からイタリー湧泉 (No.63) と温湯 (ぬくゆ) 湧泉 (No.70)、駒ヶ岳南東斜面の阿字ヶ池湧泉 (No.77) から須雲川沿いの大沢湧泉 (No.21)、神山東斜面の小涌園湧泉 (No.35) から蛇骨川湧泉 (No.30) である。水質は  $\text{SO}_4^{2-}$  濃度が山麓に向かって少なくなり、 $\text{HCO}_3^-$  濃度が増加している。浅層地下水の水質は神山の噴気地帯から山麓周辺の古期カルデラ壁、新期外輪山、溶岩円頂丘に向かって酸性硫酸塩型(A)→硫酸塩型(B)→重碳酸塩硫酸塩型(C)→重碳酸塩型(D)に変化している。

### 浅層地下水の流動方向

地下水の涵養機構と流動系の解明に水質が有効な指標になることは多くの研究によって示されている。例えば、Oki and Hirano (1970) は陰イオンを指標に箱根温泉の形成と流動機構を明かにした。平野ら (1972、1976 a、1976 b、1977) は箱根湯本・塔の沢温泉および湯河原温泉の涸渇化による泉質の経年変化から浅層地下水の温泉への涵養機構を示した。加藤ら (1984) は水質の分析から富山県礪波平野に発達する庄川扇状地の浅層地下水の涵養と流動状況を明かにし、水谷・小田 (1983) による安定同位体比を用いた研究結果とよく一致していることを示した。池田 (1984) は水質の分析から関東平野中央部の被圧地下水の形成と流動に関する考察を行った。斐・榎根 (1987) は地下水のトリウム濃度から茨城県出島台地の地下水の流動状態を推定し、その結果が水質による解析とよく一致していることを示している。

本研究では水質を指標に箱根カルデラの浅層地下水の流動について考察を行った。

図12は採水地点に図示したヘキサダイアグラムである。図11でも示したように神山山崩れ堆積物からの湧泉は  $\text{SO}_4^{2-}$  濃度が山麓の仙石原で低くなり、 $\text{HCO}_3^-$  濃度が増加している。地下水中の炭酸物質は、硫酸塩型の地下水が山崩れ堆積物中を流下して行く過程で、地層中に挟み込まれた植物の分解で供給されたものであろう (平野ら、1971)。神山東側の中腹には噴気地帯の地下水の影響を受けて  $\text{SO}_4^{2-}$  濃度が高く、山麓では塩化物泉の混入により  $\text{Cl}^-$  濃度が高くなる水質分布を示している。北東麓の早川の両岸で流出する水土野の湧泉は水温が15~18℃と高く、硫酸イオンが48.6~62.7ppm と多いので中央火口丘系の地下水である (平野ら、1971)。溶岩円頂丘丸山と新期外輪山の峽部に位置する蛇骨川左岸の千条の滝 (S 4) は23℃を示し、硫酸イオンが多いので硫黄山噴気地帯からの浅層地下水が流出しているものと考えられる。二子山と新期外輪山の狭部を流れる大沢沿いで流出している S 21 と S 22 の湧泉は、水温が14.5℃と等しく、硫酸イオンが多い。この硫酸イオンは地形的状況から芦ノ湯方向の浅層地下水が大沢の谷に沿って流れてきたものと推定される。

硫酸イオンを指標とすると、大涌谷噴気帯を起源とする地下水には、神山北西の神山山崩れ堆積物の末端にあたるイタリーと高塚で流出する2つの地下水系、および神山北東麓 (水土野) の早川沿いで流出する地下水系が認められる。硫黄山噴気帯を起源とする地下水系には、東麓の蛇骨川左岸の千

条の滝で流出する地下水系と南東方向の芦の湯を通過して大沢沿いで湧出する地下水系が推定される。これらの地下水系の末端の湧泉は流出量が豊富で、河川流量が急増する地点でもある。図12にはこの他水質の変化および水理環境から推定した浅層地下水の流動方向を示した。

#### 4 まとめ

##### (1)水利用

箱根カルデラ内の水利用は河川水と地下水に大別される。河川水は水力発電所が利用し、箱根での電力総消費量の約50%を供給している。地下水利用量は飲用・雑用水などが $72.87\text{m}^3/\text{min}$ 、温泉が $27.47\text{m}^3/\text{min}$ で合計約 $100.34\text{m}^3/\text{min}$ （0.53億 $\text{m}^3/\text{年}$ ）となり、年間降水量 2.86億 $\text{m}^3$ の約18%に相当している。この内、湧泉量は全利用水量の45.6%の $45.78\text{m}^3/\text{min}$ （0.24億 $\text{m}^3/\text{年}$ ）を占めている。

##### (2)湧泉の分布

中央火口丘と新期外輪山の水系は古期カルデラ壁に比べて発達しておらず降水が地下に浸透しやすいことを示唆している。事実、湧泉の多くは中央火口丘と新期外輪山の山麓に分布し、古期カルデラ壁に少ない。また、湧泉は標高1,000m以上にほとんどない。

##### (3)湧泉の温度

湧泉の温度は、古期カルデラ壁、新期外輪山、溶岩円頂丘では $11\sim 16^\circ\text{C}$ 、神山では $13\sim 98^\circ\text{C}$ である。後者は前者よりも箱根火山の熱が大きく寄与している。湧泉の温度は、標高が100m上昇するにあたり前者で $0.4^\circ\text{C}$ 、後者で $25^\circ\text{C}$ 以下の場合 $0.7^\circ\text{C}$ の遞減を示している。また、前者は年平均気温よりも約 $2^\circ\text{C}$ 高く、月降水量で加重した年平均気温よりも $1^\circ\text{C}$ 低い。後者の神山湧泉では月降水量で加重した年平均気温よりも $3^\circ\text{C}$ 高い。温度が $25^\circ\text{C}$ 以上の湧泉は高度と温度との間に相関関係がない。それらは、神山の1,000m付近に分布する噴気地帯周辺の硫酸酸性泉、神山東麓の500～400mで流出する塩化物泉、湯本で露出（100m）している基盤岩類からの混合泉である。

##### (4)湧泉の水質

湧泉の水質は酸性硫酸塩型、硫酸塩型、重碳酸硫酸塩型、重碳酸塩型に分類でき、地域性が認められる。中央火口丘神山（成層火山）の中腹に分布する噴気地帯から山麓周辺の古期カルデラ壁、新期外輪山、溶岩円頂丘に向かって、湧泉は蒸発残留物と $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度が多い酸性硫酸塩型から $\text{HCO}_3^-$ 濃度が多く蒸発残留物が少ない重碳酸塩型へと変化している。

#### 謝 辞

調査にあたり、箱根町企画課、神奈川県衛生部環境衛生課、小田原保健所温泉課をはじめ関係機関にはお世話になりました。温泉地学研究所の横山尚秀、石坂信之主任研究員には調査に協力していただきました。大木靖衛所長からは有益な助言および討論をしていただきました。以上の方々に厚くお礼を申し上げます。なお、本研究は温泉湧出機構等調査・研究費による。

## 参考文献

- 栗屋 徹、平野富雄、萩野喜作（1977）：仙石原湿原の地下水調査, 神奈川温研報告, Vol. 8、No. 3、105-114.
- 斐相根、樫根 勇（1987）：洪積台地における地下水の三次元的流動—環境トリチウムと水質による地下水の循環と滞留時間—, 地下水学会誌 Vol.29、No. 2、89-98.
- 箱根温泉史（1986）：箱根温泉旅館協同組合、p.456.
- 箱根町（1976）：地震等災害対策用水井戸等水源調査報告書、p.83.
- 箱根町（1983）：はこね昭和58年版統計書、p.136.
- 箱根水質調査団（1975）：箱根カルデラ河川流出水の溶存成分に対する温泉の影響について、神奈川温研報告、Vol. 6、No. 2、87-166.
- 平野富雄、大木靖衛（1971）：箱根カルデラの地下水、神奈川温研報告、Vol. 2、No. 3、89-108.
- 平野富雄、大木靖衛、栗屋 徹（1972）：箱根湯本、塔ノ澤温泉の泉質、神奈川温研報告、Vol. 3、No. 3、109-130.
- 平野富雄、大木靖衛、栗屋 徹（1973）：箱根町蒸気造成温泉のアルミニウム沈澱物について、神奈川温研報告、Vol. 4、No. 2、65-72.
- 平野富雄、大山正雄、栗屋 徹、大木靖衛（1976 a）：湯河原温泉の地下水位低下と温泉の冷地下水化、神奈川温研報告、Vol. 7、No. 2、53-68.
- 平野富雄、広田 茂、小鷹滋郎、栗屋 徹、大木靖衛（1976 b）：箱根塔ノ澤温泉の温度と化学成分、神奈川温研報告、Vol. 7、No. 2、85-92.
- 平野富雄、広田 茂、大木靖衛（1977）：箱根湯本、下茶屋地区の温泉の揚湯量と溶存成分の減少について、神奈川温研報告、Vol. 8、No. 2、51-66.
- 平野富雄、大山正雄（1980）：箱根湯本温泉の自然湧泉について（その3）、第3号泉（福住湧泉）の経年変化、神奈川温地研報告、Vol.12、No. 2、55-66.
- 平野富雄、栗屋 徹、大木靖衛（1986）：箱根湯本温泉の湧出状況について、神奈川温地研報告、Vol.17、No. 5、95-114.
- 広田 茂、横山尚秀、河西正男、大山正雄、小沢 清（1971）：箱根火山における温泉および地中温度の連続観測、1970、神奈川温研報告、Vol. 2、No. 1、21-30.
- 池田喜代治（1984）：関東構造盆地中央部の被圧地下水の水質、ハイドロロジー、No.14、36-49.
- 神奈川県（1985 a）：箱根の地下水とその利用状況、p.29.
- 神奈川県（1985 b）：神奈川県土地分類基本調査「小田原・熱海・御殿場（5万分の1）」, 武揚堂、p.73
- 加藤 聡、水谷義彦、内田哲夫、飯田忠三（1984）：富山県庄川扇状地浅層地下水の水系区分、地球化学、No.18、29-35.

- 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.
- 久野 久 (1972) : 箱根火山地質図および地質図説明書 (箱根火山および周辺地域の地質)、久野 久著 箱根火山地質図再版委員会編、p.52、大久保書店.
- 水谷義彦、小田松尚 (1983) : 安定同位体比による富山県庄川扇状地浅層地下水のかん養源および流動状況の研究、地球化学、No.17、1-9.
- 大木靖衛、荻野喜作、平野富雄、広田 茂、大口健志、守谷正則 (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、No.6、1-20.
- 大木靖衛、荻野喜作、広田 茂、小鷹滋郎、小沢 清、平賀士郎、河西正男、平野富雄 (1969) : 箱根姥子温泉調査報告、神奈川温研報告、No.8、1-12.
- 大木靖衛・袴田和夫 (1975) : 箱根芦ノ湖の誕生の謎をさぐる. 国土と教育、築地書店、5、1-9.
- 大木靖衛、平野富雄、小鷹滋郎、栗屋 徹、大山正雄、杉山茂夫 (1981) : 箱根温泉誌、神奈川温地研報告、Vol.12、No.6、p.344.
- 大山正雄、大木靖衛 (1973) : 湯本・塔ノ沢温泉の最近の動向について、神奈川温研報告、Vol.4、No.2、91-98.
- 大山正雄、久保寺公正、小鷹滋郎、伊東博、迫茂樹 (1985 a) : 箱根火山中央火口丘東麓の温泉水位、神奈川温地研報告、Vol.16、No.4、53-62.
- 大山正雄、伊東博、大木靖衛 (1985 b) : 箱根温泉の温度と湧出量の観測 (1982~1983)、神奈川温地研報告、Vol.16、No.4、41-52.
- 大山正雄、迫 茂樹 (1987) : 箱根湯本・塔ノ沢温泉の水位の経年変化、神奈川温地研報告、Vol.18、No.2、25-36.
- 大山正雄 (1987) : 箱根カルデラ河川の流量調査報告書、神奈川温泉研究所、p.23
- 大山正雄、鈴木正明、平野富雄 (1988) : 箱根湯本湧泉の湧出機構について、神奈川温地研報告、Vol.19、No.3、37-54.
- 大山正雄、栗屋 徹、平野富雄 (1989) : 箱根火山の湧泉について、1989年度秋季講演講演要旨、日本地下水学会、96-99.
- 荻野喜作、大木靖衛、小鷹滋郎、小沢 清 (1971) : 箱根湖尻付近の地下水、神奈川温研報告、Vol.2、No.3、109-120.
- 杉村 新 (1972) : 日本におけるプレートの境界、科学、42、192-202.
- 渡辺正彦 (1985) : 箱根火山の湧水について、立正大学修士論文、p.59.
- 山本莊毅 (1985) : 地下水調査法、p.490、古今書院
- 湯原浩三、小鯛桂一、阿部喜久男、古藤田一男、細野義純 (1966) : 箱根強羅温泉の水理的・熱的構造と大涌谷地熱地帯との関連性、防災科学技術総合研究報告、No.8、29-42.
- 吉野正敏 (1961) : 小気候、地人書館、p.274.

- Kuno, H. (1950) : Geology of Hakone volcano and adjacent areas. Part I. Jour. Fac. Geol. Sci. Univ. Tokyo, vol. 7 ,p.257-279.
- Kuno, H. (1951) : Geology of Hakone volcano and adjacent areas. Part II, Jour. Fac. Geol. Sci. Univ. Tokyo, vol. 7 ,p.351-402.
- Kuno, H., Y. Oki, K. Ogino, and S. Hirota (1970) : Structure of Hakone caldera as revealed by drilling, Bull. Volcanologique, Vol.34.No. 3 .pp.713-725.
- Oki, Y. and T. Hirano, (1970) : The geothermal system of the Hakone volcano, Geothermics (1970) - Special issue 2, U. N. Symposium on the development and utilization of geothermal resources, Pisa 1970. Vol. 2, 1157-1166.
- Shimano, Y. (1988) : Characteristics of the spring distribution and the spring water temperature in the Aso caldera and its surrounding areas, Ann. Rep. Inst. Geosci., Univ. Tsukuba, No. 14, pp12-16.
- Yamamoto, S. (1959) : The volcano slope springs in Japan, Agricultural land bureau, Ministry of Agriculture and Forestry, 222-224.

写真1 湯本槍突湧泉（古期カルデラ壁）





写真2 湯本玉簾ノ滝湧泉（新时期輪山）

写真3 仙石原高塚湧泉（神山崩れ堆積物CC9）





写真4 仙石原紅葉園湧泉（神山浴岩類 CC5）