

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

箱根水質調査団*

Water Pollution of Thermal Waters

Wasted from Baths, Hakone

by

Water Pollution Research Group, Hakone

(Abstract)

Public sewage systems are now planning in Hakone to keep the sanitary environment of the Hakone National Park.

Thermal waters used for bath in Hakone amount to about 27,500 m³/day which is 5.4 % of the total discharge of Hayakawa, the major drainage of Hakone caldera. Cold waters used for temperature control of thermal bath amount to 16,000 m³/day which is 3.2 % of the Hayakawa discharge.

Dissolved materials in stream water are largely affected by the wastes of thermal baths. 37 samples including wastes of hotels, thermal waters from baths and river waters are analyzed. The highest BOD values in the wastes of thermal waters is 4.7 ppm showing fairly small pollution in compared with that of drainage from private sanitation facilities. BOD in wastes of thermal waters is mostly defined by soap consumption and a number of people taking bath. BOD value sometimes reaches more pronounced value in "the bath time".

The drains from private sanitation facilities are the major factor which makes serious problems to the pollution of the river.

All wastes of thermal waters from baths in the present drain systems should be treated in public sewage systems.

* (神奈川県温泉研究所) ***

平野富雄**, 栗屋 徹, 小鷹滋郎, 広田 茂, 伊東 博, 平賀土郎, 大木靖衛
(神奈川県小田原保健所)

福原健一, 柳内志保子, 古谷順子

**執筆責任者

***神奈川県箱根町湯本997 〒250-03

神奈川県温泉研究所報告 第6巻, 第2号, 87—116, 1975

1. はじめに

箱根火山には温泉孔井が300余もあり、それらから湧出し、あるいは揚湯される温泉は毎分20,000ℓに達している。浴用等に使用された温泉は河川や湖に流れこんでいる。箱根火山の温泉排水の大部分が流れこんでいる早川の水質は温泉の影響を著しくうけている。

箱根町の大部分は箱根カルデラ内に位置しており、町のほとんど全域が富士箱根伊豆国立公園内にある。カルデラ内には芦ノ湖の逆川口に源を発する早川と、新期外輪山の屏風山の山すそから流れ出す須雲川が深く谷をきざみ、湯本でそれらは合流して相模湾にそそいでいる。昭和45年5月に閣議決定された『生活環境に係る環境基準』の河川の水質区分で、早川はその全域がA基準（ハ）に指定されている（県告示第250号、昭和47年3月17日指定、表1）。

表1 生活環境に係る環境基準（河川）
（早川：全域がA基準）

項目 類型	利用目的の適応性	基準 値				
		水素イオン濃度 (pH)	生物化学的酸素 要求量 (BOD)	浮遊物質量 (SS)	溶存酸素量 (DO)	大腸菌群数
A	水道 2級	6.5 以上 8.5 以下	2 ppm 以下	25ppm以下	7.5ppm 以上	1,000MPN/ 100ml 以下
	水産 1級 水 浴 およびB以下の 欄に掲げるもの					

この調査は箱根町企画課により計画された『箱根の河川水にあたる温泉排水の影響調査事業』の一環として実施したものであり、温泉および温泉排水と河川の水質との関係を流量調査、化学分析（温泉研究所が担当）、生物化学的分析（保健所が担当）の結果をもとにして考察した。

2. 箱根火山から流出する水量および化学成分

温泉や温泉排水および河川の流量と水質分析結果を検討するまえに、箱根火山から流出する水量、化学成分の量、河川水の利用状況を把握しておこう。

河川の流域：本報告でとりあつかう地域は箱根火山の古期外輪山にかこまれたカルデラおよびその火口瀬の範囲である（図1）。本地域内から流出する河川は元来早川と須雲川だけであったが、現在で

表2 流域（集水域）面積

文 献	流 域 面 積			箱根町の面積
	芦ノ湖*	早川（須雲川を含む）	合 計	
箱根町（1973）	—	—	—	94.026km ²
神奈川県（1973）	—	—	105.63km ²	—
神奈川県（1974）	27.38km ²	81.03km ²	108.41km ²	97.24 km ²

* 芦ノ湖の集水域等は表4も参照のこと。

は江戸時代に開さくされた深良用水（または箱根用水）により芦ノ湖から静岡県側にも排水されている。早川からは荻窪用水の分水があるが、本質的には河川の流域を早川―須雲川と深良用水（以後深良用水の流域を芦ノ湖の集水域とよぶことにする）に大別できる。早川の流域は地形により早川本流と須雲川の流域とに分けて考えることも必要である。

本地域内の面積や流域面積については、いろいろな報告書等に記載されているので特に算出は試みなかった（表2）。表2によれば同一地域の面積でも数%の相違があるが、以後早川の全流域および芦ノ湖の集水域をそれぞれ 81.03km^2 、 27.38km^2 として考察をおこなう。

降水量：本地域内の降水量は神奈川県気象月報（神奈川県農政部，横浜気象台共編）に大涌谷，元箱

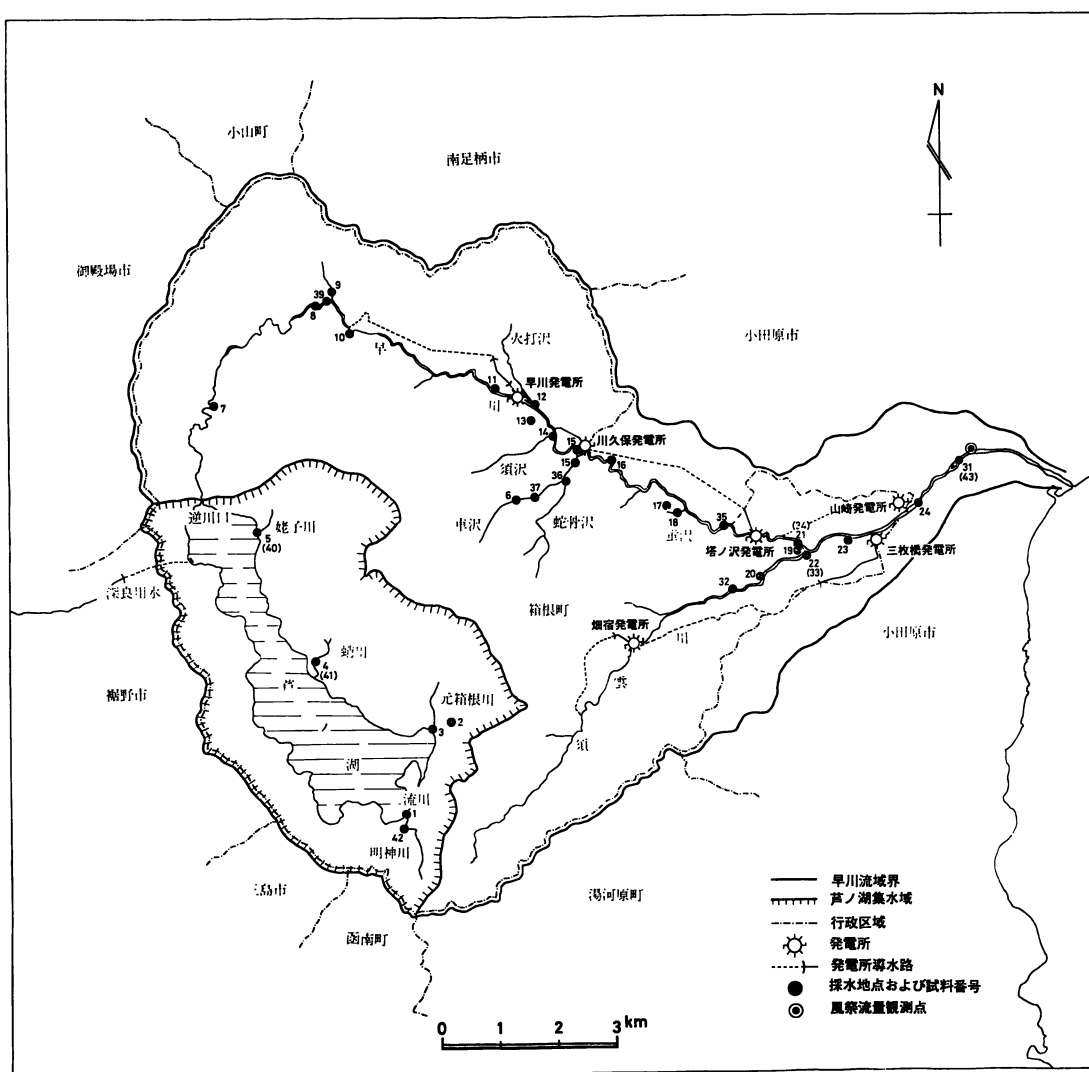


図1 調査地域

根（昭和47年4月以前は芦ノ湯），仙石原，湯本の4地点，酒匂川総合開発基礎調査報告書（神奈川県）に明神岳，神奈川県管理水位雨量観測年表（神奈川県）に仙石原，元箱根，明神岳，屏風山の各地点の日降水量などとして発表されている。従来から箱根火山の温泉の湧出量と降水との関係が神奈川県気象月報の降水量により考察されているので（例えば広田ら，1974，1975），本報告もこの月報から各観測点の年降水量を算出して考察をすすめる（表3）。大涌谷の年降水量を基準にしてその他の各地点の年降水量を比較すると仙石原の年降水量は大涌谷の約93%，湯本は約79%となる。元箱根の降水量は仙石原と大体等しい。

表3 降水量および早川流出量

年	降水量観測点*				大涌谷，仙石原，湯本の三観測点の平均降水量	(平均) 降水量 $\times$ (早川流域面積)	早川流出量	
	元箱根 (芦ノ湯)	大涌谷	仙石原	湯本			風祭流量観測点	風祭流量観測点 + 荻窪用水
1963	—	3,030	2,741	2,434	2,735	$221.62 \times 10^6 \text{ m}^3$	$178.95 \times 10^6 \text{ m}^3$	$198.37 \times 10^6 \text{ m}^3$ (2448)
1964	—	2,531	2,348	2,082	2,320	188.02	133.54	152.96 (1888)
1965	—	3,383	3,308	2,299	2,997	242.82	152.93	172.35 (2127)
1966	—	3,599	3,803	3,340	3,581	290.14	204.12	223.54 (2759)
1967	2,871	2,464	3,071	2,257	2,597	210.46	121.13	140.55 (1735)
1968	3,827	3,877	3,537	2,882	3,432	278.09	191.63	211.05 (2605)
1969	3,418	3,734	3,284	2,856	3,291	266.70	224.89	244.31 (3015)
1970	3,640	3,212	3,026	2,692	2,977	241.20	156.89	176.31 (2176)
1971	3,172	3,274	2,936	2,626	2,945	238.66	143.14	162.56 (2006)
1972	3,529	4,530	3,603	3,141	3,758	304.51	—	—
1973	2,020	2,690	2,237	2,024	2,317	187.75	—	—
平均 1963～ 1973	—	3,302	3,081	2,603	2,995	242.72	—	—
1963～ 1971	—	3,234	3,117	2,608	2,986	241.97	167.47	186.89 (2307)

* 降水量：神奈川県気象月報（元箱根は1972年4月以降，それ以前は芦ノ湯）による。

** 早川流出量（風祭）：酒匂川総合開発基礎調査報告書による。

早川の全流域を便宜的に三分し，各々の降水量を大涌谷，仙石原，湯本のそれで代表すると，本流域の11年間（1963—1973）の平均年降水量は $2,995 \text{ mm}$ となる。この平均年降水量に早川の全流域面積を乗じて，平均年降水量を $242.72 \times 10^6 \text{ m}^3$ と見積ることができる（表3）。

早川の流出量：早川の流量は神奈川県企業庁により昭和38年から風祭水量観測点で測られており，その結果は酒匂川総合開発基礎調査報告書（神奈川県）に発表されている。風祭における早川の流出量に山崎で分水される荻窪用水の分水量（表6）を加えたものが早川の全流出量である（表3）。表3によると早川流域の平均年降水量の2/3以上が，早川から流出している。

芦ノ湖および深良用水：芦ノ湖およびその集水域の面積は各文献によってかなりまちまちであったので，文献の発表年代順に整理してみた（表4）。興味あることは発表年代の新しいもののほど芦ノ湖の面積が小さくなっていることである。測量上の，あるいは面積算出上の誤差は当然考慮しなければな

らないが、舟つき場などの建設による湖面の減少ばかりでなく、芦ノ湖の周囲が崩れて湖が小さくなっているのかもしれない。

この報告では芦ノ湖の面積を 6.9km^2 、芦ノ湖の全集水域を 27.38km^2 として計算をすすめる。この集水域の平均年降水量は仙石原のそれと等しいとした(表3, 5)。

芦ノ湖の水利権は江戸時代の深良用水開さく当時の関係で箱根町(神奈川県側)にはない。このことに関しては、ここではあまり述べる必要はないが、『芦ノ湖の逆川口に源を発する』早川も芦ノ湖からの表面流出は平常時には全然ないということが重要である。

表4 芦ノ湖および集水域の面積

文 献	面 積		水 深		湖岸線
	芦ノ湖	集水域 (芦ノ湖以外)	全集水域	最大平均	
田中阿歌麻呂(1903)	—	—	—	48m	—
田中阿歌麻呂(1906)	—	—	—	48m	—
明治4年地租改正	74,842 a	—	—	—	—
神奈川県統計書(調査年不明)	74,662 a	—	—	—	—
明治21年宮内省御料局	70,926 a	—	—	—	—
神奈川県(1925)	7,075,600 m^2	18,900,950 m^2	25,976,550 m^2	43.5m	20,100m
箱根町教育委員会(1972)	7.09 km^2	—	26.96 km^2	43.5m	19.91km
芦ノ湖漁業協同組合(1972)	7,075,600 m^2	—	25,976,000 m^2	43m	25m
HORIE, S. (1962)	6.9 km^2	—	—	43.0m	18.8m
鈴木 静 夫(1973)	6.9 km^2	—	—	42.0m	—
理科年表(1975)	6.9 km^2 *	—	—	42.0m	—
神奈川県(1974)	666ha	—	27.38 km^2	45m	—

* 昭和30年度(1955)現在(国土地理院資料)

静岡県側に流出する深良用水では現在東京電力の水力発電所が3箇所で稼働しており、その最大水使用量は毎秒 1m^3 である。『芦ノ湖における水系環境の調査』(箱根町, 1970)によれば昭和32年~41年の10年間における深良用水の1日平均流出量は $117,500\text{m}^3$ /日であり、平均年流出量を $42.89 \times 10^6\text{m}^3$ /年($1.36\text{m}^3/\text{sec}$)と推定している。

大正14年に実施された芦ノ湖利用調査によると、湖面における蒸発量は年間 765mm であると云う(神奈川県, 1925)。神奈川県水産試験場業務報告による昭和9年の芦ノ湖の蒸発量は日平均 2.4mm であり、平年の 2.5mm より 0.1mm 少ないと云う。これらの数値を用いた芦ノ湖集水域の水収支の概要は表5の通りである。荻野ら(1971)は湖尻付近の地下水調査を実施し、芦ノ湖から地下水となつてかなりの量が流出していることを報告している。箱根火山の温泉で第Ⅱ帯の重炭酸塩硫酸塩泉は本質的には芦ノ湖集水域の降水が温泉に転化したものである(大木, 平野, 1970, 1972)。表5によれば芦ノ湖集水域の降水が地下水や温泉に転化している量は $13.35 \times 10^6 \sim 15.16 \times 10^6\text{m}^3$ /年であることが判る。

表 5 芦ノ湖集水域の降水量,

降 水 量	芦ノ湖集水域			蒸 発 量		
	全集水域	芦ノ湖	(全集水域)-(芦ノ湖)	全集水域の 蒸発量が等 しいとき	芦ノ湖の蒸発量を分けて 考えるとき	
					芦ノ湖*	芦ノ湖以外 の集水域
	27.38km ²	6.9km ²	20.48km ²	降水量の 1/3とする	765mm (913mm)	降水量の 1/3とする
3081mm (芦ノ湖集水域の降水 量を3081mmとする)	降水量×全集水域面積,(m ³ /年)			蒸 発 量 × 面 積,(m ³ /年)		
	84.36×10 ⁶			28.12×10 ⁶	5.28×10 ⁶ (6.30×10 ⁶)	21.03×10 ⁶

* 芦ノ湖の蒸発量, 765mmは神奈川県 (1925), 913mmは神奈川県水産試験場 (1934) による。

荻窪用水：荻窪用水も江戸時代に開さくされたものである。塔ノ沢の県観光会館近くで早川から取水され、山崎で本来の荻窪用水と東京電力山崎発電所へ分水している。山崎における荻窪用水への分水量は季節により異なるが、年間 $19.42 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{年}$ と算出される (表6)。この水量は風祭水量観測点における早川の流出量に加算しなければならない。

表 6 荻 窪 用 水 分 水 量

分 水 期	分 水 量 (m ³ /sec)	水 位 (cm)	日 数 (日)	日 分 水 量 (m ³)	期 間 分 水 量 (m ³)
自 1 月 4 日—至 3 月 10 日	0.50	39.5	66	43,200	2,851,200
3 月 11 日— 6 月 10 日	0.56	42.7	92	48,384	4,451,328
6 月 11 日— 6 月 15 日	0.75	53.6	5	64,800	324,000
6 月 16 日— 7 月 20 日	0.89	61.0	35	76,896	2,691,360
7 月 21 日— 9 月 20 日	0.75	53.6	62	64,800	4,017,600
9 月 21 日— 1 月 3 日	0.56	42.7	105	48,384	5,080,320
合 計			365		19,415,808

温泉：箱根火山の温泉はその産状および泉質により「中央火口丘およびその周辺の温泉」と「基盤岩類中の温泉」とに分けられる。これらは酸性硫酸塩泉で特徴づけられる第Ⅰ帯、重炭酸塩硫酸塩泉の第Ⅱ帯、高温の食塩泉の第Ⅲ帯、第Ⅱ帯の温泉と第Ⅲ帯の温泉が混合した組成で塩化物重炭酸塩硫酸塩泉 (混合型) の第Ⅳ帯に分帯されている。第Ⅳ帯はさらに中央火口丘およびその周辺の温泉を第Ⅳ a 帯、基盤岩類中の温泉を第Ⅳ b 帯に分けている。箱根火山の地質構造、地熱分布、火山性地震の震源などと温泉の分帯を統一して説明した温泉の成因モデルが完成している (大木, 平野, 1970 a, b, 1972)。これらの温泉の湧出量、揚湯量は表7の通りまとめられている。(大木, 平野, 1970)。箱根火山の温泉の実質揚湯量は毎分19,118ℓであるから、1日に27,530m³、1年間では $10.05 \times 10^6 \text{ m}^3$ となり、早川の平均年流出量の約5.4%を温泉がしめている。早川に流出する温泉も本来その大部分は降水起源のものである。第Ⅲ帯、第Ⅳ a 帯の温泉の NaCl 成分は火山性深部熱水によって供給されている。火山性深部熱水の湧出量は箱根火山の温泉の NaCl 量、深部熱水の NaCl 濃度およびエンタルピーなどから36.5kg/secと推定されている (OKI and HIRANO, 1974)。

蒸 発 量, 流 出 量

深 良 用 水 年 流 出 量 (m^3)	地 下 水 等 へ の 転 化 可 能 な 量	
	(降水量×面積) - (蒸発量×面積) - (深良用水流出量)	
	全集水域の蒸発量を等しいと したとき (m^3 /年)	芦ノ湖の蒸発量を分けたとき (m^3 /年)
42.89×10 ⁶	13.35×10 ⁶	15.16×10 ⁶ (14.14×10 ⁶)

表 7 箱根温泉の湧出量, 揚湯量*およびうすめ水量

温 泉	活 動 源泉数	実態調査揚湯量		平 均 温 (°C)	f **	実 質 揚 湯 量		う す め 水 量***	
		ℓ/min	m^3 /day			ℓ/min	m^3 /day	ℓ/min	m^3 /day
湯 本	52	4,388	6,319	52.1	0.7	3,072	4,423	803	1,156
塔 ノ 沢	8	708	1,020	49.7	0.7	496	714	91	131
須 雲 川	2	158	228	44.5	0.5	79	114	—	—
大 平 台	5	485	698	55.5	0.5	243	349	90	130
堂 ケ 島	7	562	809	52.9	0.7	393	566	113	163
宮 城 野	2	114	164	65.9	0.5	57	82	40	58
宮 ノ 下	23	3,003	4,325	67.9	0.8	2,402	3,460	1,852	2,667
底 倉	22	1,750	2,520	75.9	0.9	1,575	2,268	1,620	2,333
木 賀	17	901	1,298	45.1	0.7	631	908	—	—
小 涌 谷	33	3,474	5,003	65.3	0.7	2,432	3,502	1,671	2,406
二 ノ 平	13	1,042	1,500	63.1	0.6	625	900	385	554
強 羅	35	2,606	3,753	67.2	0.5	1,303	1,877	975	1,404
芦ノ湯・湯ノ花沢	5	1,195	1,721	59.0	0.7	837	1,205	405	583
姥子・仙石原・湖尻	11	2,615	3,766	48.9	0.5	1,308	1,883	207	298
大 涌 谷 (造成泉を含む)	—	2,970	4,277	71.6	1.0	2,970	4,277	2,644	3,807
早 雲 山 (造成泉を含む)	—	695	1,001	60.0	1.0	695	1,001	359	510
		26,666	38,402			19,118	27,529	11,255	16,207

* 大木, 平野 (1970) による。

** すべての源泉は連続的に揚湯していないので補正係数(f)を適当に見積った。

実質揚湯量=実態調査揚湯量×(f)

*** うすめ水の温度を13°Cとし, 入浴適温を44°Cとして計算した。

水道水: 箱根町では現在, 町営水道と県企業庁水道局(県水道と呼ぶ)が給水を行なっている。町営水道は湯本上水道, 宮ノ下上水道, 大平台簡易水道, 芦ノ湯簡易水道, 箱根簡易水道に区分されており, 本地域内の人口10,524人に対し99.67%の水道普及率となっている。これらの全地域の1日平均水量は5,928 m^3 (月平均水量177,855 m^3 , 年間有収水量2,134,260 m^3)である(表8, 箱根町1973)。

表 8 町 営 水 道 給 水 量 (1972.4~1973.3)

項 目	湯本上水道	宮ノ上下水道	大 平 台 簡 易 水 道	芦ノ湯 簡 易 水 道	箱 根 簡 易 水 道	計
現 在 給 水 人 口	4,792人	1,897人	940人	460人	2,400人	10,489人
普 及 率	99.27%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	99.67%
年 間 有 収 水 量	692,030 m^3	507,275 m^3	249,532 m^3	202,707 m^3	482,716 m^3	2,134,260 m^3
1 月 平 均 水 量	57,669	42,273	20,794	16,893	40,226	177,855
1 日 平 均 水 量	1,922	1,409	693	563	1,341	5,928
1 人 1 日 平 均 水 量	401 ℓ	743 ℓ	737 ℓ	1,224 ℓ	559 ℓ	527 ℓ

箱根統計書（昭和48年版）による

表 9 県企業庁箱根水道事務所による1974年の水源別取水量* (m^3)

月	イ タ リ	上 湯	品 ノ 木	大 畑 沢	滝 沢	水 土 野	取 合 水 量 計
1	72,864	1,681	68,869	14,736	60,854	91,276	310,280
2	61,766	1,182	60,809	11,601	55,589	96,499	287,446
3	81,630	3,202	58,718	14,175	58,723	80,284	296,732
4	78,945	6,690	53,691	18,951	59,206	51,496	268,979
5	81,495	7,556	51,991	26,705	62,380	50,490	280,617
6	81,070	7,340	48,000	27,034	57,593	49,232	270,269
7	101,920	7,626	56,364	65,440	63,913	22,625	317,888
8	125,335	7,244	73,212	55,770	70,993	90,791	423,345
9	131,235	7,374	55,862	74,725	60,989	9,159	339,344
10	104,433	7,578	61,568	50,195	59,136	25,101	308,011
11	67,652	6,518	63,840	29,795	55,300	56,452	279,557
12	69,390	3,103	54,744	23,095	54,181	60,545	265,058
合 計							3,647,526
1 日 平 均 取 水 量							9,993.2

*県企業庁箱根水道事務所資料による

県水道は仙石原イタリ、上湯、品ノ木、大畑沢、滝沢、水土野で取水して、強羅、宮城野、仙石原方面に給水しており昭和49年の1日平均水量は9,993 m^3 となっている（表9）。これらの水道の排水は芦ノ湖周辺の箱根、元箱根、湖尻をのぞき他の大部分が早川に流入している。芦ノ湖に流入する箱根簡易水道の給水量は1日平均1,341 m^3 である。湖尻周辺から芦ノ湖に流入する量を一応無視できるとすれば、早川へ流入する水道水は1日平均14,580 m^3 ($5.32 \times 10^6 m^3$ /年)となり早川の流出量の約2.8%をしめている。

温泉のうすめ水：箱根火山の温泉の平均泉温を表7に示したが、入浴に適当な温度は42~44℃であるので、かなりうすめなくてはならない。うすめ水に使用する水の温度を13℃とすると、その使用量は1日16,207 m^3 となる。これは箱根町の全水道給水量にひびきする量である。これらのうすめ水はほとんど自家水でまかなわれていると思われる。温泉排水にはこの水量を加算しなくてはならない。

その他の水使用量：箱根の温泉旅館やホテルで、温泉や水道水以外にどれほどの水が使用されているのであろうか。それらは温泉のうすめ水にはもちろんのこと、厨房用水やその他の雑用水に使用され

ている。芦ノ湖温泉地区で、収容客数が250名で最も大きいホテル芦ノ湖園の水使用量の内わけは町営温泉 $64.8\text{ m}^3/\text{日}$ （毎分45ℓ）、井戸水 $129.6\text{ m}^3/\text{日}$ （毎分90ℓ）である。このホテルでは収容客1人あたり1日520ℓの井戸水を使用していることになる。箱根で最大の小涌園の収容客数はホテル、離家、ひばり荘をも合わせて2,040名であるが、水使用量は1日3,000～4,000 m^3 でこの内1,070 m^3 が蒸気により加熱され温泉として使用されている。これらの水はすべて自家水でまかなわれている。小涌園の全水使用量を一応3,500 $\text{ m}^3/\text{日}$ とすれば、温泉以外に使用されている水量は2,430 $\text{ m}^3/\text{日}$ となり収容客数2,040名で割ると1人あたり1.19 m^3 の水を使用していることになる。

箱根温泉における旅館、ホテル、寮等の全収容客数は30,137人である。これらの施設がホテル芦ノ湖園と同じように収容客1名あたり1日に500ℓの自家水を使うとすると1日に約15,000 m^3 、また小涌園と同じように1人が1日に1 m^3 の自家水を使用すると約30,000 $\text{ m}^3/\text{日}$ となる。

箱根においては自家水の使用量を無視することはできない。

箱根カルデラの水収支：以上にのべた降水量、蒸発量、流出量の収支バランスを表10にまとめた。

表10 箱根カルデラの水収支

流域	A 降水量 ($\text{m}^3/\text{年}$)	B 蒸発量 ($\text{m}^3/\text{年}$)	C 流出量 ($\text{m}^3/\text{年}$)	D 早川の流出量に しめる各種排水の割合 ($\text{m}^3/\text{年}$)	A-B-C 流域内の水収支 ($\text{m}^3/\text{年}$)	備 考
芦ノ湖	84.36×10^6	26.31×10^6 * (27.33×10^6) **	42.89×10^6 (深良用水)	——	$+15.16 \times 10^6$ (14.14×10^6)	15.16×10^6 , (14.14×10^6) $\text{ m}^3/\text{年}$ が地下水、温泉などに転化している。
早 川		降水量の1/3とする		温泉 10.06×10^6 (5.4%) 温泉うすめ水 5.92×10^6 (3.2%) 水道水 5.32×10^6 (2.8%) 自家水 $5.48 \sim 10.95 \times 10^6$ (2.9～5.9%)	-25.58×10^6	早川の流出量は、芦ノ湖流域から $15.16 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{年}$ の寄与を考慮しても $10.42 \times 10^6 (\text{ m}^3/\text{年})$ が不足している。この量は温泉の湧出量と同じである。
(1963 ～1971)	241.97×10^6	80.66×10^6	186.89×10^6 (早川+荻窪用水)			

* 蒸発量：765mm/年，** 蒸発量：913mm/年

早川流域の蒸発量を降水量の1/3とした。早川の平均年流出量は $186.89 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{年}$ であるが、この量は降水量から蒸発量を差引いた量より $25.58 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{年}$ 多い。一方、芦ノ湖流域では $15.16 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{年}$ が地下水等に転化している。この水量が早川に全部流出しているとしても $10.42 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{年}$ が不足している。この量は丁度温泉の湧出（揚湯）量に匹敵している。温泉の揚湯によりひきおこされている地下水頭の低下が、箱根カルデラで保たれている水収支バランスからのずれを現わしていると考えてよいだろう。

早川の流出量にしめる各種排水の割合は14.3～17.3%に達している。これらがすべて下水処理場で処理され第2次処理水（BOD, 20ppm）で放流すると、早川をA基準（BOD, 2ppm以下）に保つ為

には早川の流出量は $241.02 \times 10^6 \sim 290.25 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{年}$ 以上でなければならない。

温泉が地下からはこび出す化学成分量：温泉の主要化学成分は陽イオンでは Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , (Mg^{2+}), 陰イオンでは Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- であり、非解離成分として H_2SiO_3 , HBO_2 がある。箱根火山の温泉はほとんど全源泉の化学分析が実施されているので、その分析結果と湧出量又は揚湯量から箱根の温泉が地下から地表にもたらす化学成分量を算出した(表11)。これらの内、芦ノ湖へ流入する町営温泉と姥子温泉の一部をのぞいて、すべて早川へ流出している。早川の河川水の水質は温泉の流入により大きく影響を受けることになる。またこの温泉の化学組成の特徴を利用して、地下水や河川水と温泉との混合比を求めることも可能である。

表 11 温泉がはこび出す化学成分量

	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	H_2SiO_3
温泉が1分間に放出する量 (g)	530.	7,148.	1,492.	233.	9,369.	4,260.	2,636.	3,645.
温泉が1日に放出する量 (kg)	764.	10,293.	2,149.	335.	13,491.	6,134.	3,796.	5,249.

河川水の水力発電への利用状況：箱根における表流水の利用については、先にのべた江戸時代に開さくされた深良、荻窪両用水の他に神奈川県企業庁と東京電力株式会社が早川と須雲川の河川水を利用して6箇所の水力発電所で、最大12,750KWの発電を行なっているのが重要である(深良用水の3箇所の発電所を加えれば実に9箇所となる)。仙石原における大原調整池(使用可能水量19,625 m^3)をのぞいて特別のダムはなく、早川や須雲川の表流水を取水して発電している。

早川、須雲川で稼働中の発電所および取水場所、導水路、最大水使用量等を図1,2に示した(表12)。図2には観光放流量も示したが、これは早川溪谷の観光的価値を保つためのものであり、昭和27年12月26日に東京電力川久保発電所建設にさいし、東京電力と当時の温泉村々長との間に結ばれたとりきめに基づき実施されており今日にいたっている。川久保発電所取入口における観光放流量は4月～11

表 12 発電所の水使用量

所 属	発 電 所	最大出力	最大使用水量	観 光 放 流		1974年10月 21日の使用 量
				4～11月	12～3月	
県企業庁	早川発電所	2,900 Kw	2.00 m^3/sec	0.22～0.26 m^3/sec	m^3/sec	*1.00 m^3/sec
東京電力	川久保発電所	1,650	2.20	0.417	0.27	1.98
"	塔ノ沢発電所	3,300	2.23	0.417	0.27	2.09
"	山崎発電所	1,500	3.06	0.417	0.27	2.40
"	畑宿発電所	1,300	0.891			0.43
"	三枚橋発電所	2,100	0.98			0.98

* 5時～23時の間

月が、 $0.417 \text{ m}^3/\text{sec}$ 、12月～3月が $0.27 \text{ m}^3/\text{sec}$ であり、塔ノ沢発電所取入口、山崎発電所取入口においても同量の放流が行なわれている。品ノ木における早川発電所取入口でも観光放流は同様に行なわれており、4月～11月には朝5.00時から夕方17.00時まで $0.22 \sim 0.26 \text{ m}^3/\text{sec}$ 放流されている。

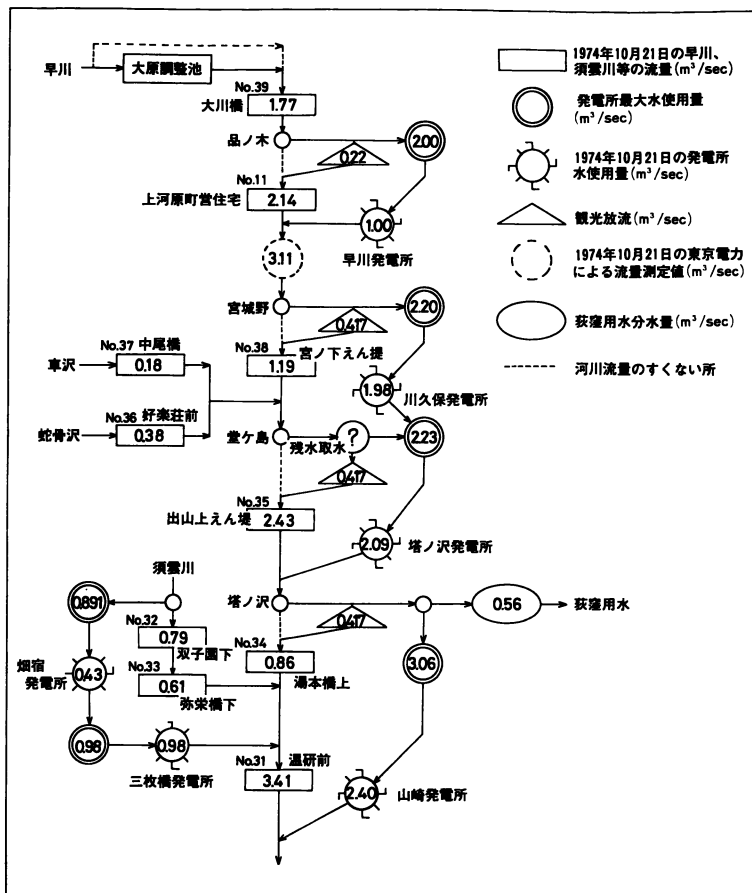


図2 1974年10月21日の河川流量および発電所の水使用量

3. 今までに箱根において環境汚染に焦点をあわせて行なわれた水質調査のまとめ

早川や須雲川、芦ノ湖の水質汚濁に焦点をあわせた調査はこれまでに何回も実施されている（小田原保健所・箱根町，1968，箱根町，1970，1972，1974，神奈川県，1967—1973）。芦ノ湖の水質については本報告ではふれないが，湖に流入する4河川のうち元箱根川と姥子川の汚濁がひどいことが指摘されている。

早川の水質汚濁には箱根の代表的な温泉場である強羅，二ノ平，小涌谷，宮ノ下や大平台，湯本などのホテル，旅館，寮などから排出される温泉，厨房，浄化槽などの排水が重大な影響を与えている。

一般家庭から排出する各種排水も無視できない。早川の水質は、河川水が水力発電に高度に利用されているので、その取水の影響を大きく受けている。宮城野橋上の川久保発電所取入口で、そこより上流の早川としては最もきれいな河川水が大部分取水されているので、早川への温泉排水等の流入量が増加する下流は河川水の水質保全には非常にきびしい条件になっている。

風祭水量観測点における早川の水質調査結果：早川の風祭水量観測点では昭和41年以来毎月1回水質分析が実施されており、その結果は酒匂川総合開発基礎調査報告書（神奈川県，1967—1973）に発表されている。その内から Cl^- 、BOD、COD、など数成分の経年変化を図3に示した。水質は河川流量と共に変動しており、水質汚濁に関連するSS、BOD、COD等の経年的増加はみとめられない。河川流量と Cl^- およびBODの関係を図4、5に示した。 Cl^- は河川流量が少ない時ほど多く、流量が増すほど減少する傾向がある。

箱根火山の温泉から流出する Cl^- は最大に見積って1分間9,369g（156.15g/sec）である。この温泉の Cl^- 量が、 Cl^- 0 ppmの河川水に流出したとすると、河川水の Cl^- 溶存量は流量が4 m^3/sec のとき39.0 ppm、5 m^3/sec では31.2ppm、6 m^3/sec では26.0ppmとなる。 Cl^- 溶存量5 ppmの河川水に温泉が流れ込むとすると上記の量に5 ppmを加えて考えれば良い。温泉から流入する Cl^- 量の見積りが毎分9,369

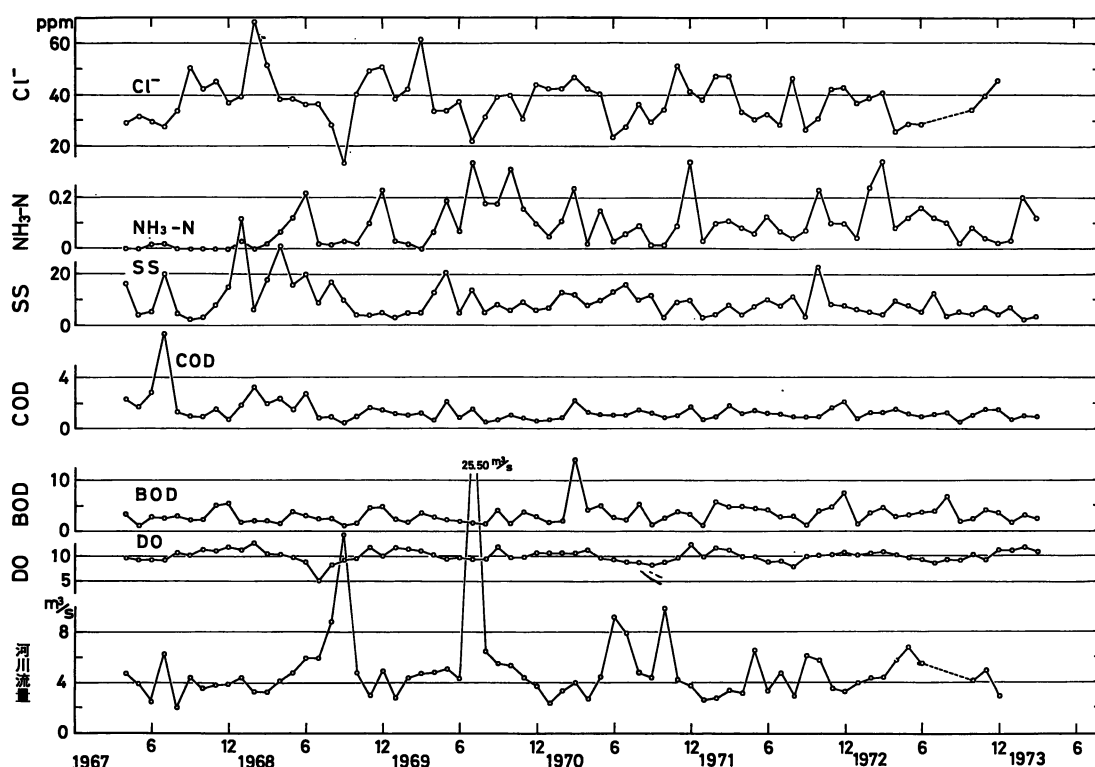


図3 早川の流量と水質汚濁に関係する成分の量

gでは多いので、この70%が実際の流入量として計算すると図4の通りである。流量が増加しても河川水の Cl^- の減少が著しくないのは、大雨が箱根の山を水洗し、塵やあくたを流しさっているのである。温泉の Cl^- 流出量を最大時の70%に見積ったとき、河川の Cl^- 量がかかなり多くなっているが、これは浄化槽排水から Cl^- の寄与が無視できないことを示している。流量とBODの関係を示した図5も、流量が増加する割にはBODは減少しない。これも大雨が箱根の山を水洗している現れではないだろう

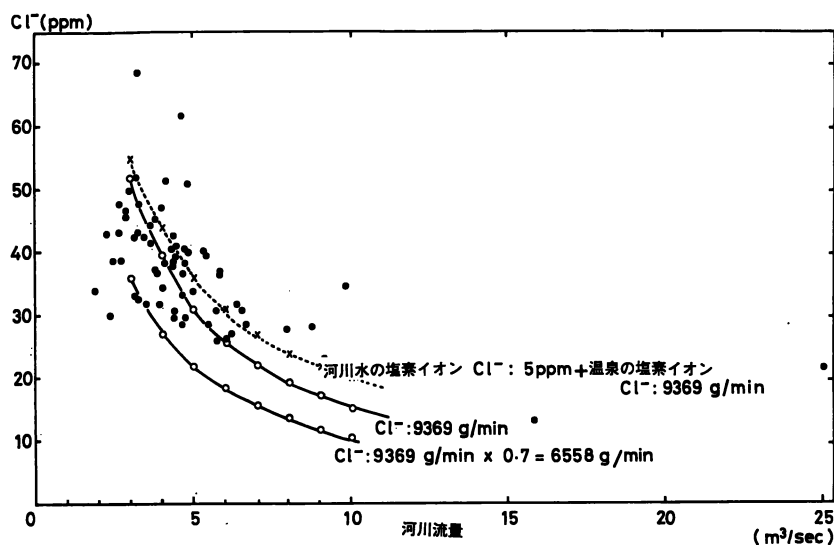


図4 早川の流量と塩素イオン

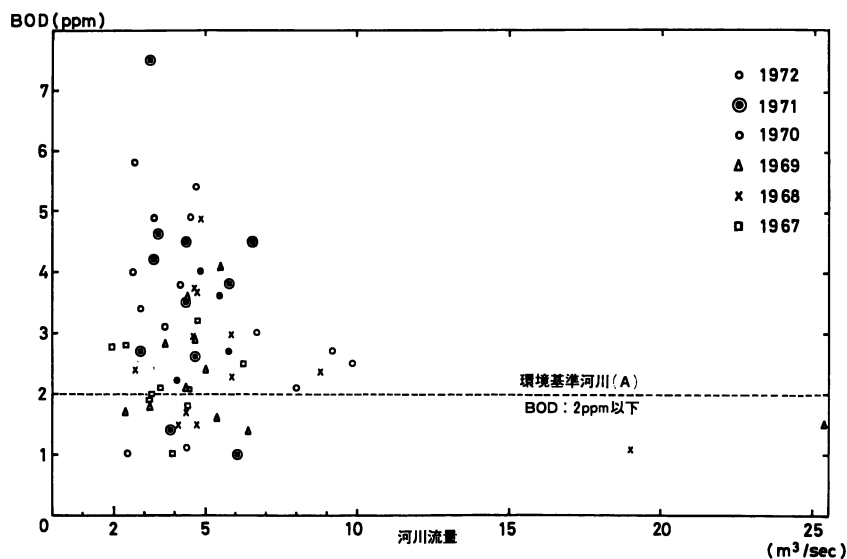


図5 早川の流量とBOD

か。清澄な河川水でも BOD は 0 ppm ではなく、必ず BOD 負荷があるだろうと云うことも図 5 から読みとれる。下水処理場放流水の希釈にさいしてはこのことも考慮に入れなければならない。

4. 調 査

調査団および調査項目：箱根町企画課により「箱根の河川水にあたる温泉排水の影響調査事業」が計画された。昭和49年7月9日箱根町役場において関係者の打合会が開かれ「箱根水質調査団（団長大木靖衛温泉研究所長）」が組織された。この打合会では同時に調査項目およびその分担もきめられた（表13）。

表 13 調査団の構成および調査分担

	所 属	職 名	氏 名	調 査 分 担
箱 根 水 質 調 査 団	神 奈 川 県 温 泉 研 究 所	所 長	*** 大 木 靖 衛	河川流量調査 pH, (RpH), E. C., NH_4^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , H_2PO_4^- , H_2SiO_3
		温泉地質科長	** 平 賀 士 郎	
		主任研究員	** 小 鷹 滋 郎	
		技 師	** 平 野 富 雄	
		技 師	広 田 茂 雄	
関 係 行 政 機 関	神 奈 川 県 小 田 原 保 健 所	衛生検査係長	** 福 原 健 一	水温, 透視度 外観, 臭気, DO, COD, BOD, SS, ABS, 一般細菌数 大腸菌群数
		技 師	阿久津 きみ子	
		技 師	柳 内 志保子	
		技 師	古 谷 順 子	
		技 師	綿 貫 知 彦	
箱 根 町	西 湘 地 区 行 政 セ ン タ ー	所 長	鈴 木 勇	***現在は教育長 現在の都市計画課長は 勝 俣 菊 宜
		主 任 主 事	** 天 野 基	
		温 泉 課 長	** 岩 田 義 徳	
		町 長	亀 井 一 郎	
		助 役	** 勝 俣 茂	
箱 根 町	神 奈 川 県 小 田 原 保 健 所	企 画 課 長	** 小 川 欣 一	***現在は教育長 現在の都市計画課長は 勝 俣 菊 宜
		都市計画課長	** 信 濃 一 男***	
		都市計画課長補佐	** 勝 俣 喜美夫	
		公営事業課長	** 加 藤 泰 夫	
		企画課調査係長	** 下 沢 功 久	
箱 根 町	神 奈 川 県 小 田 原 保 健 所	企画課調査係主事	** 露 木 良 久	***現在は教育長 現在の都市計画課長は 勝 俣 菊 宜
		企画課調査係主事	** 露 木 良 久	
		企画課調査係主事	** 露 木 良 久	
		企画課調査係主事	** 露 木 良 久	
		企画課調査係主事	** 露 木 良 久	

* 調査団長

** 昭和49年7月9日、箱根町役場で開かれた打合会出席者

採水調査および流量調査：分析試料の採取地点および河川流量調査地点は図1の通りである。現地調査は昭和49年10月21日に実施したが、当日できなかった所は10月24日に行なった。調査は箱根町、小田原保健所および温泉研究所の職員による分析試料採取班と河川の流量調査を行なう温泉研究所の職員の班に分かれて実施した。流量調査のさいには河川水の採取もあわせて実施して、分析試料採取班の試料との時間のずれやその他のチェックに使用することにした。

分析法および分析結果：採取した試料の分析法は表14に示すとおりである。分析結果は表15に示した。分析番号1—24が全調査項目の分析を行なったものである。分析番号31—46は流量調査時の採取試料で生物化学的分析項目の分析は行なっていない。流量調査は流速計ともみがらを使用して行なった。

表 14 調査項目の分担およびその分析、検査方法

小 田 原 保 健 所		温 泉 研 究 所	
項 目	分 析 法	項 目	分 析 法
透 視 度	透視度計による（下水試験法）	pH, RpH	比色法，ガラス電極pH計
外 観	肉眼判定による（ " ）	電気伝導度 (E.C.)	20℃にて測定
臭 気	冷 時 臭 （ " ）	NH ₄ ⁺	ネスラー試薬比色法
DO	ウインクラーナトリウムアザイド変法（ " ）	Cl ⁻	チオシアン酸水銀法（比色法）とモール法を併用
COD	高温硫酸酸性過マンガン酸カリウム法 (JISK0102-13)	SO ₄ ²⁻	トリウムーモリンの比色法とイオン交換樹脂分離後Ba-EDTA置換滴定
BOD	20℃，5日間（下水試験法）	HCO ₃ ⁻	O.IN-HClによる滴定
SS	ガラス汜過器法（ " ）	H ₂ PO ₄ ⁻	モリブデン酸アンモニウムによる比色法（還元剤塩化第一錫）
ABS	LM法 （ " ）	H ₂ SiO ₃	モリブデンブルーの比色法（採水現場で発色）
一般細菌数	普通寒天培地による混釈培養（ " ）		
大腸菌数	デオキシコール酸塩培地による混釈培養（ " ）		

分析結果は芦ノ湖集水域と早川流域に分けて記載した。早川流域はさらに仙石原—宮城野，強羅—宮ノ下，車沢—蛇骨沢，堂ヶ島—大平台，湯本，須雲川，湯本—風祭地区に分けて記載してある。

5. 分析結果の説明および考察

芦ノ湖集水域：芦ノ湖に流入する河川のうち箱根・元箱根地区の3河川と箱根園，湖尻地区の各1河川を調べた。また芦ノ湖温泉ではホテルの総合排水も調べた。元箱根地区には現在湯ノ花沢で造成された町営温泉が毎分約280ℓ給湯されており「芦ノ湖温泉」と呼ばれている。町営温泉は地下水や水道水を火山蒸気で加熱して造成するが，第Ⅱ帯の重炭酸塩硫酸塩泉も混合するので泉質はいろいろ変えることができる（平野ら，1973，1974）。本調査を実施した時の温泉は表16の泉質と同じ造成法でありSO₄²⁻，HCO₃⁻が多いことが特徴である。

箱根ホテル横の流川や明神川付近には調査実施時は町営温泉の給湯施設は完成していない。流川の

表 15 分 析

流域	区 分	番号	採水場所	種 別	採 水 日 (昭和)	時刻	流 量 (m^3/sec)	水温 ($^{\circ}\text{C}$)	透視度 (cm)	外 観	臭 気	pH	RpH
芦ノ湖集水域		1	箱根ホテル横	流川河川水	49.10.21	9.55	—	13.7	>30	浮遊物あり	微下水臭	7.0	7.05
		2	芦ノ湖園	総合排水	49.10.21	10.30	—	22.0	>30	〃	下水臭	7.6	7.51
		3	元箱根川	河 川	49.10.21	10.40	—	17.5	>30	油膜あり	下水臭	7.0	7.13
		42	明 神 川	河 川	49.10.21	15.40	0.033	13.2				7.2	7.28
		4	蛸 川	河 川	49.10.21	10.55	—	14.2	>30	ほとんど無色透明	なし	7.4	7.68
		41	蛸 川	河 川	49.10.21	15.20	流量すくなく測定不可	14.1				7.3	7.63
		5	姥 子 川	河 川	49.10.21	11.15	—	13.7	>30	ほとんど無色透明	なし	6.2	6.45
早 川	仙石原 ～ 宮城野	40	姥 子 川	河 川	49.10.21	15.00	0.013	13.5				6.5	6.57
		7	箱根カントリー	早 川	49.10.21	13.15	—	17.4	>30	ほとんど無色透明	なし	7.3	7.51
		8	大原橋下	早 川	49.10.21	13.30	—	16.6	>30	〃	なし	7.0	7.23
		39	大 川 橋	早 川	49.10.21	14.35	1.77	17.3				7.2	7.43
		9	丸三ストア横	早川への流入河川	49.10.21	13.40	—	15.5	>30	ほとんど無色透明	なし	7.1	7.24
		10	入仙橋下	早 川	49.10.21	13.50	—	17.7	>30	〃	微下水臭	7.1	7.12
	強 羅 宮ノ下	11	上河原町営住宅	早 川	49.10.21	14.10	2.14	16.5	>30	〃	なし	7.8	7.96
		12	火 打 沢	早川への流入河川	49.10.21	14.20	—	16.0	>30	〃	なし	7.1	7.31
		13	芸能学校下	早川への流入河川	49.10.21	14.35	—	21.5	>30	灰白色泡あり	メタンガス下水臭	6.6	6.49
		14	木 賀 橋 下	〃	49.10.21	14.45	—	17.5	>30	ほとんど無色透明	なし	7.5	7.49
		38	宮ノ下堰堤	早 川	49.10.21	13.45	1.19	18.2				7.6	7.68
	川 車 沢 ～ 蛇骨沢	6	小 涌 園	大浴場排水	49.10.21	11.55	—	37.6	>30	浮遊物あり	温泉臭	7.8	7.98
		37	車沢中尾橋	車沢河川水	49.10.21	13.20	0.18	20.7				7.5	7.13
流 域	堂ヶ島 大平台	36	好楽荘前	蛇骨沢河川水	49.10.21	13.00	0.38	18.9				7.5	8.02
		15	八千代橋下	蛇骨沢河川水	49.10.21	15.00	—	21.8	>30	ほとんど無色透明	なし	7.8	7.99
		16	対星館下	早 川	49.10.21	15.50	—	19.2	>30	ほとんど無色透明	なし	7.7	7.90
	湯 本	17	大 平 荘	浴場排水	49.10.21	16.25	—	37.5	>30	は弱灰白色浮遊物あり	温泉臭	7.8	7.46
		18	蜷 沢	蜷沢々水	49.10.21	16.40	—	17.7	>30		微下水臭	7.3	6.78
	須雲川	35	出山上堰堤	早 川	49.10.21	11.35	2.43	18.3				7.6	8.03
		21	旭 橋 下	早 川	49.10.24	9.35	—	15.5	>30	ほとんど無色透明	なし	7.6	7.83
		34	湯本橋上	早 川	49.10.21	11.10	0.86	17.8				7.5	7.83
	湯 本 ～ 風 祭	32	双子園下	須雲川	49.10.21	10.10	0.79	16.1				7.2	7.79
		20	岡 田 屋	浴場排水	49.10.21	17.15	—	37.4	>30	ほとんど無弱灰白色	なし	8.2	8.14
		19	千人風呂	主として浴場排水	49.10.21	16.55	—	20.9	>30			7.6	7.20
		33	弥栄橋下	須雲川	49.10.21	10.45	0.61	19.0				7.3	7.43
		22	弥栄橋下	須雲川	49.10.24	9.45		15.5	>30	ほとんど無色透明	なし	7.3	7.56
	湯 本 ～ 風 祭	23	菊寿司前	早川への流入河川	49.10.24	10.00	—	16.3	>30	ほとんど無色透明	なし	7.2	7.30
		24	東電つり橋下	早 川	49.10.24	10.15	—	16.5	>30	ほとんど無色透明	なし	7.5	7.63
		31	温 研 前	早 川	49.10.21	9.30	3.41	16.5				7.5	7.95
		43	温 研 前	早 川	49.10.24	13.30	3.97	17.0				7.4	7.80
		44	温 研 前	早 川	50. 1.20	13.30	3.52						
		45	荻窪用水		50. 1.20								
		46	山崎分水	早 川	50. 1.20	15.00	5.33						

結

果

(分析値の単位はppm)

E.C. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	NH_4^+	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	H_2PO_4^-	H_2SiO_3	DO	COD	BOD	SS	ABS	一般細菌 数(/ ml)	大腸菌 数(/ ml)	DO飽 和度 (%)
104.5	1.02	9.16	4.27	39.5	0.59	37.0	7.45	4.40	5.2	5.0	0.281	13×10^4	1100	74.2
436.5	21.3	22.1	99.5	136.	5.25	68.8	5.47	11.60	19.3	11.0	2.344	40×10^4	11000	64.1
90.7	0.62	4.32	11.8	31.0	0.16	14.7	7.61	4.40	3.4	2.0	0.149	30×10^4	8100	82.0
79.2	0.21	4.48	0.	43.5	0.07	37.9								
71.5	0.29	1.92	3.94	36.7	0.01	46.1	9.22	1.20	1.3	1.0 以下	0.010	450	1500	92.9
75.5	0.04	2.84	1.25	38.4	0.02	40.6								
174.4	0.44	5.24	55.8	26.0	0.17	67.4	7.05	1.80	3.3	2.0	0.030	24×10^3	2200	70.2
288.4	2.08	10.5	114.	34.4	0.90	84.7								
190.6	0.11	4.92	52.8	49.1	0.11	64.2	8.78	1.40	1.2	1.5	0.003 以下	870	180	94.4
116.8	0.20	3.00	14.9	47.4	0.04	45.0	8.55	0.50	0.7	1.5	0.003 以下	22×10^2	250	90.5
208.2	0.25	6.44	51.6	55.9	0.13	64.5								
149.5	0.44	2.84	37.4	49.7	0.17	45.5	6.88	1.00	2.0	1.5	0.003 以下	12×10^3	670	71.2
251.9	0.64	12.3	81.3	38.9	0.14	64.2	8.30	2.20	3.1	2.0	0.010	12×10^3	390	89.8
228.7	0.06	6.64	55.6	74.5	0.09	68.6	8.98	0.90	0.7	1.0	0.003 以下	13×10^2	170	94.9
130.2	0.42	10.9	9.26	53.6	0.10	55.4	7.59	1.00	2.0	1.0 以下	0.005	28×10^2	140	79.4
570.5	9.59	38.9	160.	26.5	1.07	85.2	7.19	6.60	8.2	14.0	0.167	55×10^3	700	83.5
433.5	0.96	36.0	134.	45.2	0.33	84.3	8.68	2.30	3.1	2.0	0.007	48×10^3	1500	93.5
326.7	0.32	35.0	68.8	62.1	0.28									
238.7	0.24	2.92	55.1	92.6	0.18	106.	6.33	1.40	2.6	8.0	0.082	36×10^4	100	93.1
194.7	0.25	11.6	32.5	68.3	0.33	75.3								
344.5	0.13	40.5	76.1	58.1	0.17	80.4								
513.3	0.21	95.6	62.4	71.1	0.38	97.5	8.09	2.60	1.7	3.5	0.010	80×10^2	1100	94.5
445.2	0.24	77.9	61.5	66.6	0.38	84.1	8.72	1.80	2.0	1.0	0.010	21×10^3	960	97.1
1991.	1.05	606.	83.4	68.3	0.89	173.	4.60	16.20	2.0	4.5	0.028	20×10^3	23	67.6
484.3	0.30	125.	19.7	37.8	0.59	73.3	9.01	7.60	5.0	5.0	0.023	22×10^3	1600	97.5
412.2	0.10	68.5	53.6	59.8	0.25	78.0								
273.3	0.	25.2	55.1	52.5	0.13	66.2	9.63	1.01	1.4	1.0	0.007	20×10^3	520	99.7
288.7	0.21	29.6	54.8	59.8	0.20	68.6								
77.7	0.04	3.60	5.65	37.8	0.04	47.9								
905.0	0.32	236.	59.7	71.1	0.24	71.1	6.02	3.80	4.7	1.0	0.009	10×10^3	3	88.3
609.8	4.27	129.	78.1	61.0	0.83	59.4	5.93	5.20	7.8	5.5	0.040	18×10^3	1200	68.2
166.4	0.45	24.5	10.6	42.3	0.24	52.3								
105.7	0.08	11.8	9.26	34.4	0.10	48.6	9.75	1.41	3.0	2.5	0.013	36×10^3	660	100.9
263.5	0.36	51.1	29.1	35.6	0.69	51.2	8.95	2.41	5.1	3.0	0.110	18×10^4	5800	94.2
182.4	0.	20.9	27.8	40.6	0.20	55.4	9.49	1.45	2.5	2.0	0.024	24×10^3	1600	100.3
153.6	0.21	18.4	21.0	40.1	0.18	55.0								
162.2	n.d.	17.3	12.5	38.9	0.22	53.4								

分析結果によると NH_4^+ 1.02ppm, Cl^- 9.16ppm, BOD 5.2ppm となっており浄化槽排水の流入を明らかに認めることができる。

し尿処理場放流水：流川の浄化槽排水の流入を指摘したが、箱根美化事務所から聞いた同事務所のし尿処理の話挿入し、その放流水の特徴を知っておこう。

表17 箱根町美化事務所の消化脱離液および放流水

	消化脱離液	放流水
pH	7.80	6.77
蒸発残留物	12,300ppm	467 ppm
Cl^-	1,230	45.4
NH_4^+-N	833	16.4
アルブミノイド-N	416	4.75
Total-N	2,060	20.5
(ケルダール)		
P	—	11.1
SS	20,900	14.5
COD	10,900	20.3
BOD	5,280	3.2

1974年7月小用原保健所，福原健一分析

昭和49年1月～12月における箱根美化事務所における生し尿および浄化槽汚での月平均処理実績はそれぞれ250 t, 535 tである。町内から集められた生し尿や浄化槽汚では、処理施設に投入され前処理として嫌気性発酵を36℃で7日間行なう。この処理を終えたものを消化脱離液と云う。消化脱離液は約20倍の水で希釈され2次処理として約15時間の好気性発酵にかけられ、塩素滅菌して放流される。必要な場合は活性炭や沈澱池等による3次処理を行なう施設もあるが箱根では行っていない。昭和49年7月に小田原保健所で

分析した箱根美化事務所の消化脱離液および放流水の分析結果は表17の通りである。

ホテル芦ノ湖園総合排水：芦ノ湖温泉で収容客数が250名で最も多いホテル芦ノ湖園の総合排水を例にして温泉の排水との関係を調べてみる。このホテルには町営温泉が毎分45ℓ給湯されている。またこのホテルで使用している水は井戸水で、日量129.6 m³である。総合排水は厨房排水や浄化槽排水、温泉、その他の雑排水をすべて集めた排水ということである。芦ノ湖園の井戸水の化学組成は大芝水道水源のそれと同じとすると（表16），図6のようにして温泉とその他の排水との混合比を求めることができる。化学成分として SO_4^{2-} 、 H_2SiO_3 を用いたのは浄化槽排水からの供給を無視できるとしたためである。温泉と他の排水との混合比は SO_4^{2-} では1：2.45、 H_2SiO_3 では1：7となり必ずしも

表16 考 察 に 用 い た 温 泉，

名 称	採水日 (昭和)	温度	pH	蒸発残留物	H ⁺	Li ⁺	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ²⁺ + Fe ³⁺	Al ³⁺	Mn ²⁺
箱根町造成温泉	49. 7. 11	63.8	7.6	753.		0.014	3.70	53.0	74.3	37.0	0.	0.01	
大芝水道水源	46.12.14	16.1	7.1	n.d.			1.99	5.27	11.5	3.84	0.	0.	
温泉供給 (第2—3号線)	44. 8. 8	69.6	3.1	1532.	0.80	0.052	6.00	80.5	182.	44.9	20.4	16.0	4.89
温泉供給 (第1号線)	44. 8. 8	73.5	3.4	1351.	0.40	0.012	2.40	90.0	174.	55.3	10.2	13.7	5.43
仙石高原開発	48. 1. 19	65.4	3.2	570.	0.63	0.003	5.12	25.0	45.6	12.8	0.89	3.7	0.36
淡水魚増殖場 湧水	45.12. 5	17.8	6.8	240.			3.03	15.7	29.9	11.5			
旭町水道水源	44. 8. 6	n.d.	7.5	110.			1.66	12.8	9.16	2.56			

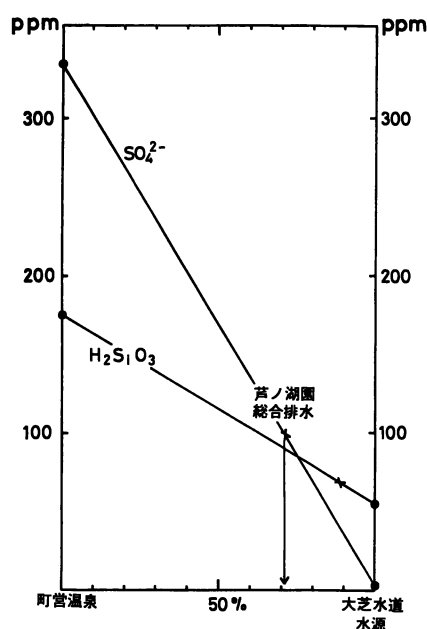


図 6 芦ノ湖園総合排水に混入している温泉排水の割合

良い一致を見なかった。この排水には ABS が 2.344ppm 溶けており採水時には浄化槽以外の排水も混合している。温泉排水とその他の排水との混合比を 1 : 2.45 として、その他の排水の組成を求めると、 NH_4^+ 30.0ppm, Cl^- 29.8ppm, HCO_3^- 140ppm, H_2PO_4^- 7.4ppm, BOD 16.8ppm となる。ABS の溶存量からこの排水を一般雑用水と浄化槽排水にふりわけるとも可能であろう。上に求めたその他の排水の組成は、この付近の地下水に比べ NH_4^+ , Cl^- , HCO_3^- , H_2PO_4^- が非常に増加しており、浄化槽放流水の組成と良く似ている（箱根町、1970）。

仙石原周辺：仙石原周辺の早川の水質分析結果を理解するには、大原から品ノ木にかけての早川発電所用水の取水状況を知らなければならない（図 7）。早川の河川水は大原ダム調整ゲートで大原調整池に全量取水されている。早川発電所の発電計画にもとづき大原調整池から品ノ木調整池に放流され、品ノ木からずい道で発電所に導水されるが一部はずい道の排砂ゲートから観光放流として早川に流れこ

んでいる。大原橋、入仙橋はそれぞれ大原ダム、品ノ木調整池の下流にある。大原橋下、入仙橋下で採取した試料は大原ダムや品ノ木調整池の下流で早川に流入した各種排水や、早川の河床にわきだした地下水のまじったものである。

箱根温泉供給株式会社の造成泉が仙石原方面に給湯されているが大部分は小塚、俵石、元湯場で使用され一部が大原、大川橋、仙石原小学校方面にも送られている。大原方面に給湯された温泉の排水

地下水等の分析値

（分析値の単位は ppm）

Cl^-	HSO_4^-	SO_4^{2-}	H_2PO_4^-	HCO_3^-	CO_3^{2-}	HS^-	H_2SiO_3	HBO_2	CO_2	H_2S	備	考
3.70		335.		125.		1.29	175.	2.36	7.53	0.37	箱根町 1～3 号泉—造成泉 (蒸気+水道水)	
3.48		10.5		51.8			55.5		5.89			
42.6	18.8	882.	0.32				227.				仙石原方面へ給湯	
42.1	11.9	887.	0.31				254.			2.10	温泉荘方面へ給湯	
3.24	11.7	277.					177.	6.61			温泉荘、仙石高原方面へ給湯	
4.00		62.7		111.			73.5		5.36			
20.6		3.75		40.9			56.6		4.54			

も結果的には大原ダムに流入している。大原橋下の試料には温泉排水の流入はなく、大部分がその付近から河床にわき出した水であり一部雑排水が混入している。この水の化学組成は HCO_3^- が多く相対的に SO_4^{2-} がすくなく、箱根カントリーや大川橋の試料のそれと大きくかけはなれており、湿原から湧出する水の特徴を有している。

入仙橋下は温泉排水の影響をつよく受けている。入仙橋の上流約30mあたりに、仙郷楼などのある元湯場方面から多量の雑排水が流入している。その排水からは黄白～黄色の沈澱が生じ、流量の非常にすくない早川の河床をおおっている。大涌谷から供給される温泉の SO_4^{2-} ($\text{HSO}_4^- + \text{SO}_4^{2-}$) は900ppm、 Cl^- は42.6ppmであるので(表16)、入仙橋下の試料の SO_4^{2-} は温泉の約1/11に希釈されているが Cl^- は1/3.5にしか希釈されていない。これは温泉が、 SO_4^{2-} がすくなく Cl^- に富んだ水で希釈されていることを示しており、浄化槽排水からの Cl^- の供給が考えられる。このことは入仙橋下の試料の NH_4^+ が0.64ppm、BODが3.1ppmで比較的多いことから支持できる。

箱根カントリー—大川橋：箱根カントリーで採取した早川の河川水には温泉排水等の流入はほとんどないか、たとえあっても非常にすくないだろう。県企業庁イタリー水源の10箇所の水源井等の湧出量と化学分析値から、それらを混合した時の組成を計算すると、 Cl^- 6.55ppm、 SO_4^{2-} 83.5ppm、

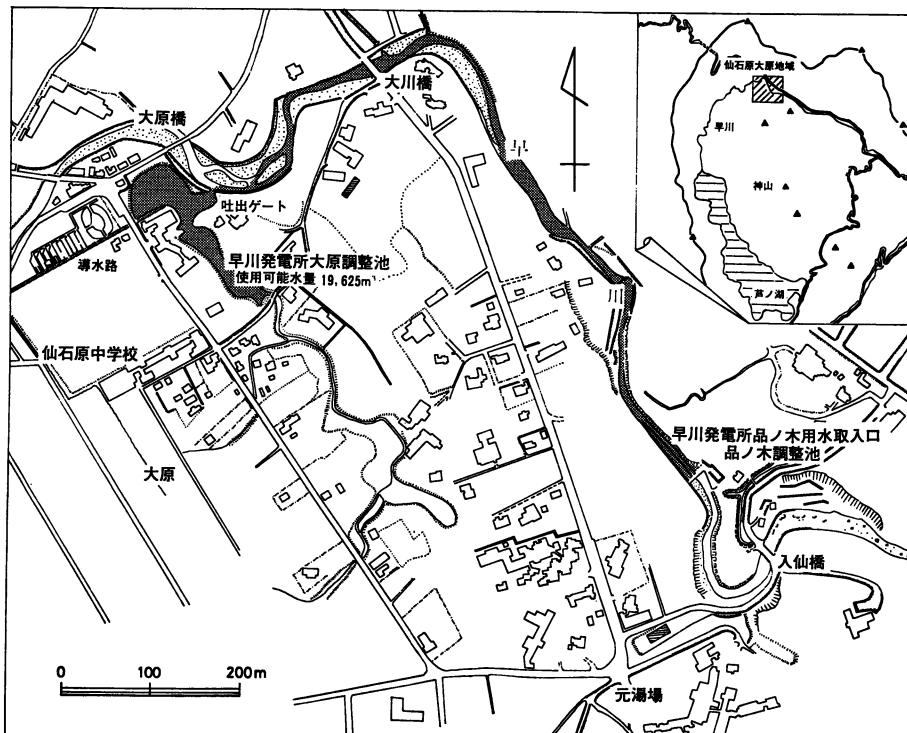


図7 仙石原における早川河川水の取水状況

HCO_3^- , 55.5ppmとなる。箱根カントリーの河川水はイタリー水源から湧出する水に Cl^- や SO_4^{2-} のすくない水、すなわち芦ノ湖方面や外輪山方面からの地下水が河川にわきだして混じっているのである（平野ら, 1971）。箱根カントリーの試料は一般の河川水に比べ SO_4^{2-} が多いが、必ずしも温泉の流入を考えなくても良いだろう。なお温泉荘方面には箱根温泉供給株式会社と仙石高原開発株式会社により毎分約1500ℓの造成温泉が大涌谷や姥子から給湯されている（表16）。

早川の河川水は大原ダムから導水路で大原調整池にみちびかれ一たん貯められて、早川発電所の発電計画にそって放流される。大川橋の試料はその放流水であり、箱根カントリーの試料に比べてわずかに Cl^- , HCO_3^- が増し SO_4^{2-} が減少している。箱根カントリーと大川橋間の Cl^- の増加は浄化槽排水によっているのであろう。

この測定を行なった10月21日の早川発電所の使用水量は0～5時が $0.43 \text{ m}^3/\text{sec}$, 5～23時が $1.00 \text{ m}^3/\text{sec}$, 23時以後 $0.43 \text{ m}^3/\text{sec}$ となっている。なお5～17時の間は $0.22 \sim 0.26 \text{ m}^3/\text{sec}$ の観光放流を行なっているので大原調整池からの放流は日中は $1.22 \sim 1.26 \text{ m}^3/\text{sec}$ であったであろう。大川橋での流量調査で、流量は $1.77 \text{ m}^3/\text{sec}$ となっていた。

上河原町営住宅：上河原における早川の河川水は箱根においても特にきれいな場所のひとつであろう。この地点における河川流量は $2.14 \text{ m}^3/\text{sec}$ であったが、品ノ木で観光放流される約 $0.25 \text{ m}^3/\text{sec}$ をさしひいた $1.89 \text{ m}^3/\text{sec}$ が品ノ木～上河原間で河川に湧出する水などによりふえていることになる。

この上流には県淡水魚増殖場仙石原試験池があり付近から湧出する水を利用して鱒を増殖しているが、その水量の豊富さは目をみはる。上河原における河川水の水質も県淡水魚増殖場付近の湧水の分析結果とほとんど等しい（表16）。陰イオンでは SO_4^{2-} , HCO_3^- が多く河川流量と分析値からそれらの流出量はそれぞれ毎分 7.14 kg , 9.57 kg となる。

強羅一宮ノ下堰堤：芸能学校下や木賀橋下の試料は SO_4^{2-} の溶存量が非常に多いことが一つの特徴である。芸能学校下の早川への流入河川には強羅地区の下水が流れこんでいる。強羅は NaCl を主要成分とする第Ⅲ帯の温泉湧出地帯である。またこの地域にはボーリングにより温泉開発がなされる以前から大涌谷で造成された温泉などが供給されており、今では造成泉の供給量は毎分2,340ℓに達している。

強羅地区のボーリングによる温泉と造成温泉を混合した平均の化学組成を求めると Cl^- 654ppm, SO_4^{2-} 408ppmとなる。このような組成の温泉が芸能学校下の試料に排出していたとすると Cl^- は16.8倍に、また SO_4^{2-} は2.6倍に希釈されていることになる。 Cl^- と SO_4^{2-} より求めた希釈率の差が大きいのは NaCl 型の温泉排水の見積りが多すぎるのであろう。大涌谷の造成泉だけで希釈率を見積ると5.5倍となる。強羅地区の温泉は河川水や他の排水と混合しても2.6～5.5倍にしかならず、早川に流入する弱小河川の水質保全には問題がある。芸能学校下の試料のBODは8.2ppm, NH_4^+ が9.59ppmであることから判るとおり、他の排水がよごれているので、このことはさらに深刻である。

小涌園：この試料は大浴場排水である。小涌園は箱根温泉の分帯で第Ⅲ帯のまっただ中に位置し、

NaClを主要成分とする数本の温泉孔井を所有しているが、それらは常時使用されていない。大浴場排水のCl⁻がすくなく早川の上河原町営住宅で採取した河川水とよく似た組成をしているのは、地下水を火山蒸気で加熱し温泉としているためである。同園の温泉使用量はホテル等も合わせて1日に1,070 m³であるという。

石けんとBOD：小涌園の大浴場排水のBODは2.6ppmであった。浴場排水のBOD負荷はなにがもたしているのだろうか。箱根の10箇所の温泉旅館やホテルの温泉原水、および排水の透視度や外観、BODなどが福原ら（箱根町，1969）により測られている。温泉原水のBODは0～0.8ppmであるが温泉排水については0.1～81.2ppmの範囲にある（図8）。透視度が低く外観々察で白濁とか微白濁と記載されたものがBODが大きい。石けんを使用すると乳白色になるが、一般に温泉にはCa²⁺が多く溶存してるため石けんはCa塩となって不溶性となり白濁するのである。図8は透視度が低いほどBODが大きい傾向を示しているが、温泉排水の透視度を石けん使用量におきかえて考えてよいだろう。

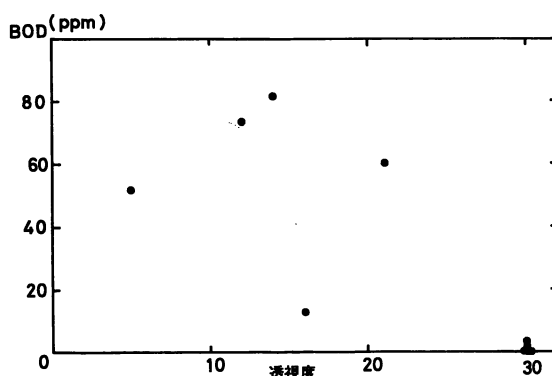


図8 温泉排水の透視度とBOD
(箱根町，1969による)

石けんは高級飽和脂肪酸のナトリウム塩（R-COONa）であり，生物化学的にCO₂とH₂Oに分解される過程で酸素を消費する。ナトリウム石けんとして最適な脂肪酸はC₁₂～C₁₈の飽和酸（ラウリン酸，ミリスチン酸，パルミチン酸，ステアリン酸）とオレイン酸である。溶解性，泡立ち，洗浄力等の性質が最も平均のとれたものはミリスチン酸（C₁₄）の石けんと考えられている（浅原，榎場，1959）。市販されている石けんがミリスチン酸のナトリウム塩であるとする，石けん1mgが生物化学的に分解されるのに2.5mgの酸素を消費することになる。

箱根において石けんはどのぐらい消費されているのであろうか（化粧石けんの量だけで洗たく用粉石けんは含んでいない）。小涌園仕入課で各部所へはらいさげる石けん（95g/1箇）は月平均2700箇であると云う。収容客数80名の強羅翠光館の石けん使用量は月平均30箇であると云う。小涌園の場合収容客数は2,040名であるから1人が1月あたり1.32箇の石けん使用量となる。また翠光館の場合には0.38箇となる。収容客1人当たりの石けん使用量を1月あたり0.5箇とすると，箱根の収容客総数は

30,137名だから月当り15,069箇の石けんを使用することになる。収容客1人当り月に1箇とすれば30,137箇である。箱根のホテル、旅館などの石けん使用量を1日あたり500～1000箇と見積ることができるので、石けん1箇の重さを平均して95gとすれば48～95kg/日となり、生物化学的酸素要求量を120～240kg/日と見積ることができる*。

また独身男子の寮生活者で週に3日風呂に入る二人の人から聞いた話では、月平均1箇の石けん使用量であるという。この数値をもとにすると、箱根町では人口が21,462人（箱根町，1973）であるから月当り21,462箇の石けんが消費されていることになり、一般家庭での石けん使用量とホテルや旅館での使用量は大体等しいことが判る。

車沢—蛇骨沢—八千代橋：車沢には小涌園の排水が大部分流入しているとみて良いだろう。車沢の流量は毎分 $10.8m^3$ であり、小涌園の温泉使用量は毎分 $0.74m^3$ （日量 $1,070m^3$ より算出）である。小涌園の温泉排水が全量流入しているとしても車沢では温泉排水は10倍以上の水と混合していることになる。車沢の河川水の分析値は、小涌園の浴場排水に比べて SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 H_2SiO_3 が減少しているが Cl^- が増加していることに注意しよう。

車沢の中尾橋より上流では小涌園をのぞけばNaCl型の温泉が湧出する温泉井はないので、車沢における Cl^- の増加は浄化槽排水起源と考えて良い。

表15から試料のBOD、CODと臭気の関係を図示すると図9の通りである。BOD 2 ppm以上になると下水臭を感じることを図9は示している。車沢の試料はBODの測定を行なっていないが、流量調査は下水臭がつよく不快であったので、BODが高いだろう。車沢のよごれは温泉排水ばかりでなく、

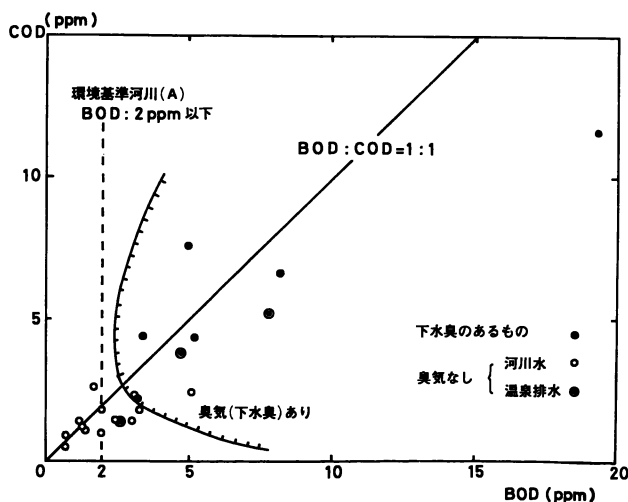


図9 河川水等のBOD、CODと臭気との関係

*ホテル等の石けん使用状況からみて、この見積りはかなり多めであろう。

温泉以外の排水によってもひきおこされている。八千代橋下の試料は車沢と蛇骨沢の河川水が混合したものである。車沢中尾橋の試料の Cl^- と好楽荘前の蛇骨沢の試料の Cl^- の合計より八千代橋下の試料の Cl^- が著しく多い。これは太閤岩風呂付近の蛇骨湧泉群から湧出する NaCl を主成分とする第Ⅲ帯の温泉のためである。

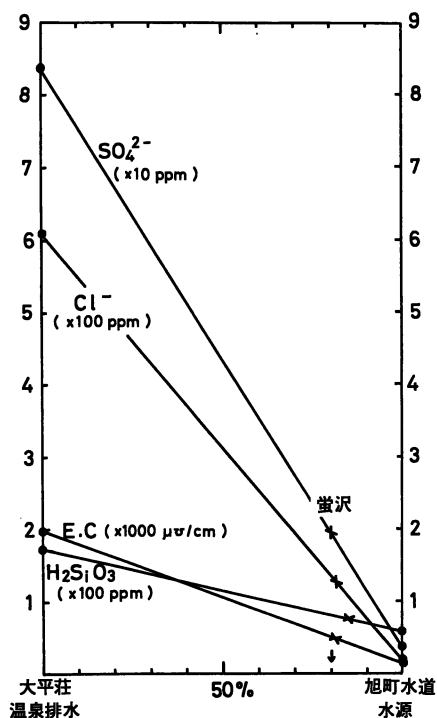


図10 蜷沢々々への温泉排水の流入量比

大平荘・蜷沢：大平荘は浴場排水を採取した。試料はわずかに灰白色を示しており、そのBODは2.0ppmであった。この排水のわずかな灰白色の着色は少量の石けんが不溶性の Ca 塩となっていたのであろう。大平台温泉は一部で大平台地区に掘さくされた温泉を使用しているが、大部分は小涌谷や蛇骨の温泉を引湯したものを使用している。大平荘の温泉排水の化学組成が大平台温泉のそれを代表していると思てさしつかえない。この地域の温泉旅館等の排水が大部分流入している蜷沢の沢水について、温泉排水とその他の水との混合比を求めてみよう。図10は、このあたりの表流水の水質が湯本の旭町水道水源（平野ら，1972）の化学組成と大体等しいとして作図した。蜷沢における温泉排水と、その他の水との比は約1：4となっている。蜷沢は時により中性洗剤の白い泡立ちが異様に目につく場所であるが、今回の採水時は夕方ので洗たくの時間帯とずれたため試料のABSは0.023ppmと低い値を示した。

出山上堰堤—湯本橋：早川と蛇骨沢の合流点付近から塔ノ沢付近までの発電所用水の取水系統は図2の通りである。

早川と蛇骨沢との合流点よりすこし下流で河川水は残水取水と称し再度取水され塔ノ沢発電所へ導水される。この取入口からも観光放流を $0.417\text{m}^3/\text{sec}$ 行なっている。出山上での流量が $2.43\text{m}^3/\text{sec}$ であるから、堂ヶ島から出山までの間に約 $2\text{m}^3/\text{sec}$ の河川水のわき出しがあった事になるが、この区間の集水域から見て多すぎる。このことは対星館下の試料と出山上堰堤の試料の化学組成がほとんど等しいことにもあらわれている。対星館下の試料が観光放流されたものであるとすると、これより下流で約 $2\text{m}^3/\text{sec}$ の、ほとんど対星館下の試料と同じ組成の Cl^- や SO_4^{2-} の多い水のわき出しを考えなければならず、この区間の温泉の湧出状況からみて不可能である。大平台での温泉使用量が毎分555ℓであり、蜷沢の沢水との混合比が1：4であったから、大平台温泉から早川に流入する量は、 Cl^- 125ppmの沢水が $2,775\text{ℓ}/\text{min}$ ($0.046\text{m}^3/\text{sec}$) となる。出山上堰堤での流量調査当日あるいは時刻には、堂ヶ島での塔ノ沢発電所用水の残水取水量が非常に少なかったか、あるいは取水していなかったのであろう。

湯本橋上と旭橋下試料はいずれも山崎発電所取水取入口からの観光放流水を採取している。日時が異なる試料であるが組成にほとんど相違はみられない。ここでの試料が狭義の早川（須雲川の河川水を入れないという意味）の水質を表わしており、今回の分析試料で大川橋（No. 39）、上河原町営住宅（No. 11）、出山上堰堤（No. 35）の河川水が混合したものである。この早川本来の水質を示す河川水は塔ノ沢発電所下から山崎発電所取水口までである。早川河畔に建つ塔ノ沢の旅館だけで、往時の早川溪谷の流れをたのしむことができる。

湯本地区：須雲川の2点で流量を測定した。須雲川の河川水も発電に利用されており、畑宿から三枚橋発電所に導水されている。上茶屋の双子園下での須雲川の流量は $0.79\text{m}^3/\text{sec}$ であったが、早川との合流点付近の弥栄橋下では $0.61\text{m}^3/\text{sec}$ であった。この間では河川水の取水は行なわれていない。今回行なった河川流量の測定法が $0.1\sim 0.2\text{m}^3/\text{sec}$ の差異を論じるほどの精度がないのか、あるいは河川水の地下水への転化がかなりの量に達しているのであろう。須雲川流域の温泉の地下水位の低下にともなって泉温の低下や温泉の化学組成の冷地下水化が進行しており、この河川流量の差異の問題は今後の課題として残される。岡田屋の試料は温泉排水である。この排水のBODが 4.7ppm であり、今回の調査で、純然たる温泉排水のうちでは最もBODが高かった。千人風呂の試料は温泉排水が側溝に流入し、その他の排水と混合した所で採取した。この試料の NH_4^+ やBODが多いのは、側溝を流れていた排水が著しく NH_4^+ やBOD等に富んでいたことを示している。

湯本一風祭：早川と須雲川は湯本できわめてもの静かな合流をする。早川は三枚橋発電所放流水や山崎発電所放流水が合流する風祭の太閤橋より下流で、本来の姿にもどる。しかし、その河川水もA基準を満たすBOD 2ppm 以下になることはすくない（図3）。

芦ノ湖、早川流域別下水道整備計画が現在進行中であるが、この事業が完成したら本当に早川はA基準を満たすBOD 2ppm 以下になるのだろうか。

6. 芦ノ湖、早川流域別下水道整備総合計画

神奈川県は昭和49年3月に芦ノ湖、早川流域別下水道整備総合計画の計画書・計画説明書を発表した。将来の人口予測や各種の統計を駆使した立派な計画書で、その結論は表18に要約できる。

第2次処理水のBODは 20ppm だから、仙石原処理場や強羅処理場ではさらに第3次処理を行ない

表18 芦ノ湖、早川流域別下水道整備総合計画書による下水および放流水の水質（BOD）

処 理 場	流 入 負 荷 量、水 質			放 流 水 質		
	水 量	負 荷 量	水 質	第2次処理	第2・3次処理	備 考
	m^3/H	kg/H	ppm	ppm	ppm	
仙 石 原	23,377	5,110	220	20	3.1	第3次処理, 活性炭
強 羅	27,323	4,130	150	20	4.5	第3次処理, 汙過
湯 本	9,351	1,562	170	20	—	

放流水の水質(BOD)を各々3.1ppm, 4.5ppmとしている。仙石原処理場の流入水23,377 m^3 /日を第2次処理後放流するには、10倍に希釈しなければ河川水はA基準を満たさない。この地域で日量約210,000 m^3 (2.4 m^3 /sec) の希釈水は常時確保できないので、第3次処理によりBODを3.1ppmまで減じようとしている。強羅処理場の場合も同様である。

下水の第3次処理は実際にできるのであろうか(加藤, 1973)。下水処理の目的の1つが河川の観光資源保護にあるのだから、放流水の水質はBODばかりでなく、藻類増殖の制限因子としての窒素、リンに関しても配慮する必要がある。また、下水処理費が下水1 m^3 あたりどの程度になるのかもはっきりと算出しておかなければならない。

私達は『現在の下水の第3次処理場が経済的に確立された技術であるのだろうか?』という不信感をもっている(中西1974)。経済的に完成していないと思われる処理方法を使用して、放流水の水質を算出しているところにも問題があることを指摘しておこう。

下水道整備総合計画での温泉排水のとりあつかい：この計画で、温泉排水は芦ノ湖流域内では全量、早川流域内では温泉排水の30%を処理する方針となっている。

一方、1974年11月の水質汚濁防止法の施行令の改正で、一日あたりの平均的な排水が50 m^3 以上の施設では排水処理が義務づけられた。排水は雑用水、厨房用水、温泉排水などの総量である。たとえば、温泉を1分間に34.7ℓ使用する施設はそれだけで1日50 m^3 になるので箱根の大部分のホテルや旅館などの温泉利用施設は、この施行令の適用をうけるであろう。

もはや温泉排水は自由に河川に流すことはできず、その排出は水質汚濁防止法の施行令によって規制されることになった。早川流域における温泉排水の30%を下水処理場へ取込む計画も変更する必要がある。

下水処理装置の故障対策：下水の第2次処理は活性汚泥法によっている。これは生物による処理であるから、汚泥の栄養源の減少などにより、汚泥が浮いてしまうような故障がおこる。一回の故障により、その機能が回復するまで一週間以上もかかる。また処理装置は稼動開始後2～3年間は最も効率よく処理するが、しだいに機能がおとろえるということも忘れてはならない。第2次処理の放流水のBODは最も良い状態のときに20ppmなのである。装置の故障や処理効率などをも配慮した、余裕ある下水処理計画でなければならない。

7. 温泉排水をどうするか

温泉排水のBOD：今回調査した温泉排水のBODは4.7ppmが最高であった。ホテルの総合排水や河川水などの、BODや窒素など環境汚染物質の大部分は浄化槽などから排出されている。温泉そのものには河川の水質基準にふれる環境汚染物質はほとんどない。温泉利用施設に多数の利用者が集まるために、そこから排出される厨房排水や浄化槽排水が主として環境汚染をひきおこしている。

温泉排水のBODの大部分は石けんの使用量によってきまっている。箱根の温泉量は1日に27,529 m^3 、うすめ水は16,207 m^3 である(表7)。ホテルや旅館などによる石けん使用量は1日に48～95kg (BOD

として120~240kg)である。この数値によると温泉排水の平均BODは2.74~5.49ppmとなる。これは1日24時間の平均値であるが、温泉利用の時間帯がかたよっていることから考えて、そのピーク時には温泉排水のBODは数10ppmになることは十分考えられる。福原らは温泉排水のBOD等の時間帯による相違を測定し、午後5~7時頃にはBODが81.2ppmになった例を報告している(箱根町, 1969)。温泉排水のBODは入浴者が多いときには非常に大きな値となる。

温泉は一般に Ca^{2+} の溶存量が多く、硬水と呼んでも良い。石けんは温泉の Ca^{2+} と反応し不溶性のCa塩(高級飽和脂肪酸のCa塩)となる。このことは温泉排水の処理に有効に利用できるであろう。中性洗剤では石けんのようにならないので、中性洗剤の使用を規制することも考える必要がある。

温泉排水の処理法をえらぶにあたって：今回の調査結果から温泉排水の処理を検討するのに、まず次のことがらを重要視した。

a. 温泉排水のBODは入浴者が多ければ高いが、入浴者がなければ非常に低い値となる。このBODの傾向は一般家庭排水(浄化槽排水をのぞく)の場合と良く似ている。

b. 箱根で1日に排出される温泉排水(温泉+うすめ水)は43,000 m^3 に達している。昭和70年における箱根全町の下水流入水量の見積りが60,053 m^3 /日(表18)だから、現在の温泉排水量の多さが判る。温泉が比較的やすく利用できたため、『ゆみずのごとく』たれ流す現在の温泉使用法が確立したのである。湯本、塔ノ沢温泉の例をあげるまでもなく、温泉源の枯渇が深刻な問題になっている現在でも、この温泉の使用を再検討する機運もない。

『ゆみずのごとく』たれ流す温泉の使用法をあらためて、温泉使用量を減少させなければならない。平野ら(1974b)は湯本温泉の利用客数、旅館収容客数と温泉使用量などからみて温泉の湯湯量をかなりすくなく出来ることを示した。このことは箱根のすべての温泉についても同様にいえるのである。

c. 箱根の下水道計画は観光資源保護を目的の一つに入れて立案されている。観光施設、保養所、寮などから排出される温泉排水は、観光資源を保護する目的の下水道にとりくんで、基準の水質を保つように処理すべきである。

d. 温泉排水を処理施設に取りこまない理由に、温泉のpHが低いことをあげる場合が多い。箱根の温泉は大部分がpH 7~8の範囲である。第I帯の酸性硫酸塩泉の量は箱根の全温泉排水量(うすめ水を含む)の10%に満たない。酸性硫酸塩泉の排水も他の排水と混合すれば容易に中和される。

温泉排水の温度も、入浴適温が42~44℃であり排出される時点で40℃以下にさがっているので問題はないだろう。

温泉排水の全量を処理する：一般論として、現在の温泉排水施設が改善されないかぎり、すべての温泉排水を処理施設にとりこみ下水処理を行なって、観光資源の保護をはからなければならない。温泉の排水量が多すぎるとか、温度や化学組成の問題に帰して温泉排水を下水処理からはずすべきではない。

自然湧泉のとりあつかい、温泉を洗たくなどに使う場合や温泉プールの排水の処理など細部にわた

って検討すべきことは多い。

温泉排水の取扱いについては、さらに委員会などをもうけて検討する必要があるだろう。

8. 箱根の水と今後の問題

箱根の水問題はいろいろあるが、ここでは早川の河川水が高度に発電に利用されていることと、深良用水のことをとりあげる。

早川：早川はほぼ全域で発電用水の取水が行なわれているので、流量のすくない所では各種の排水によるよごれが著しい。早川溪谷の観光的価値を保つためには、観光放流量を増したり、発電時間を調整するなどして、早川の流量をふやす必要があろう。今回の調査でも、河川流量が多い所は水質は比較的良好であった。

深良用水と芦ノ湖の水：深良用水による芦ノ湖からの排水量や、早川の逆川口からの表面流出がないことはすでにのべた。早川の河川流量を増して水質を良好に保つには、芦ノ湖の水を逆川口から放流することも1つの方法である。芦ノ湖の水利権の問題のために、このような方法を考えるのは空想にも等しいけれど、将来の課題として箱根町は努力する必要がある。逆川口から早川に放水されたとき、その放流量は早川に流すべきものであり、発電所が取水してはならないのは当然のことである。

ゴルフ場などの散水：表18の下水処理施設への流入水量で仙石原（芦ノ湖流域下水を含む）処理場の水量が多いのに気がつく。これは計画書の人口予測を見れば判ることだが、昭和70年には仙石原処理場地域の人口が現在の約2倍になる見積りであり、それらは大部分が別荘人口である。現在の2倍もの建物が林立する仙石原はもはや自然に満ちた国立公園と呼べるだろうか。箱根においては、観光資源保護のためには建物の建築にまで配慮しなければならない。それはとりもなおさず下水処理の問題とむすびついている。

箱根統計書（1973）によると箱根町におけるゴルフ場のしめる割合は406haで全面積の4.3%になっている。建物が林立する仙石原もここだけは最後まで緑が残るだろう。目にしみるグリーンもその裏ではたえまない散水がなされているに違いない。窒素分やリンなど肥料成分に富むBOD 20ppmの第2次処理水は芝生への散水などに使用できないのだろうか。1日に1mmの散水を全ゴルフ場に行なうと、年間散水量は $1.46 \times 10^6 \text{ m}^3$ となる。これは箱根における年間下水処理排水（表18）の約7%に相当するので無視できない。特に、このことは夏期の避暑客や別荘人口の流入の多い時期には有効であろう。ゴルフ場ばかりでなく森林等への還元は不可能なのだろうか。ゴルフ場や森林に処理水を還元することは、水源をかん養することであり、希釈水を安定して確保する効果も期待できる。

9. おわりに

箱根カルデラの大まかな水収支を計算した。早川年平均流出量は、その流域の年平均降水量の2/3以上である。早川の流出量には、芦ノ湖の集水域からの寄与を無視できない。早川の流出にしめる温

泉排水（うすめ水を含めた）の割合は8.51%，温泉排水を含めたすべての排水の割合は14.3～17.3%である。

早川の河川水は高度に水力発電に利用されているので，その水質は発電用水の取水の影響を大きく受けている。

今回採取した試料で，温泉排水のBODの最高値は4.7ppmである。温泉排水のBODは大部分が石けんの使用量できまるであろう。

現在計画が進行している流域別下水道整備総合計画には原則として温泉排水を全量取込む方針を提案した。

なお，この報告では河川の浄化作用についてはふれなかった。機会を得て早川や芦ノ湖の浄化作用に関する調査を行ないたいと思っている。

10. 謝 辞

この調査は箱根町企画課で計画されたものであり，我々に調査の機会が与えられたことを感謝しなければならない。

なお，この調査を行なうにあたり次の方々のお世話になった。箱根町企画課長小川欣一氏，同調査係長下沢功氏，露木良久氏は調査が円滑にすすむよう各旅館，ホテル等に配慮して下さり，また各種の資料の提供を受けた。神奈川県企業庁電気局早川発電所々長代理北村靖夫氏からは同発電所の取水系路，取水量等をおしえていただいた。東京電力株式会社松田営業所込山六郎氏には，早川，須雲川水系の同社の5つの発電所用水の取水状況についておしえていただいた。神奈川県企業庁水道局箱根水道事務所鈴木啓蔵氏には同所の取水状況をお聞きした。箱根町箱根美化事務所荒井秋男氏には同所のし尿等の処理状況をおしえていただいた。箱根小涌園，翠光館，芦ノ湖園の石けん使用量，使用水量等は各種の見積りに大変貴重であった。神奈川県温泉研究所地下水科長荻野喜作氏，横山尚秀氏は箱根カルデラの水について討論して下さい。以上の方々に厚くお礼申し上げます。

参考文献

浅原照三，榎場逸志（1959），油脂化学工業，日刊工業新聞社，東京。

芦ノ湖漁業協同組合（1972），芦ノ湖と魚族，

箱根町（1969），箱根町公共下水道事業基本計画書。

_____，（1970），芦ノ湖における水系環境の調査

_____，（1972），早川，須雲川水系流域雑排水調査報告書

_____，（1973），はこね統計書（昭和48年版）

_____，（1974），昭和48年度水質調査報告書

箱根町教育研究会（1972），はこね。

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。

- , ——, 栗屋 徹 (1972), 箱根湯本, 塔ノ沢温泉の泉質, 神奈川温研報告, Vol. 3, No. 3, 109—130.
- , ——, ——, (1973), 箱根町蒸気造成温泉のアルミニウム沈殿物について, 神奈川温研報告, Vol. 4, No. 2, 65—72.
- , ——, ——, 鈴木孝雄 (1974), 箱根町蒸気造成温泉のアルミニウム沈殿物について (その2), 神奈川温研報告, Vol. 5, No. 2, 59—66.
- , ——, 広田 茂, 小沢 清, 荻野喜作 (1974), 箱根湯本温泉の自然湧出泉について (その1), 神奈川温研報告, Vol. 5, No. 2, 31—44.
- , 広田 茂, 大山正雄, 大木靖衛 (1974), 箱根湯本温泉の自然湧出泉について (その2), 神奈川温研報告, Vol. 6, No. 1, 1—10.
- 広田 茂, 小鷹滋郎 (1974), 箱根火山における泉温および水位の連続観測, 昭和48年 (1973), 神奈川温研報告, Vol. 5, No. 1, 15—22.
- , ——, (1975), 箱根火山における泉温および水位の連続観測, 昭和49年 (1974), 神奈川温研報告, Vol. 6, No. 2, 79—86.
- HORIE, Shōji (1962), Morphometric Features and Classification of all the Lakes in Japan, Memoirs of the College of Science, University of Kyoto, Series B, Vol. 29, No. 3, Article 2 (Biology), 191—262.
- 神奈川県 (1925), 芦ノ湖利用調査報告.
- , (1967—'73), 酒匂川総合開発基礎調査報告書, 昭和41年度—昭和47年度
- , (1974), 神奈川県管理水位・雨量観測年表 (昭和48年)
- , (1974), 芦ノ湖・早川流域別下水道整備総合計画
- 神奈川県水産試験場 (1934), 芦之湖基本調査, 業務報告 (昭和9年度)
- 神奈川県農政部・横浜気象台 (1963—'73), 神奈川県気象月報
- 加藤 迥 (1973), 都市が滅ぼした川, 中央公論社, 東京
- 中西準子 (1974), 三次処理のゆくえ, 公害研究, Vol. 4, No. 2, 60—70.
- 小田原保健所・箱根町 (1968), 早川, 須雲川水系水質調査報告書.
- 荻野喜作, 大木靖衛, 小鷹滋郎, 小沢 清, 広田 茂, 河西正男 (1971), 箱根湖尻付近の地下水, 神奈川温研報告, Vol. 2, No. 3, 109—120.
- OKI, Yasue and HIRANO, Tomio (1970 a), Geothermal System of Hakone Volcano, U.N. Symposium on the Development and Utilization of Geothermal Resources, Pisa. Geothermics, Spec. issue 2, 1157—1166.
- , —— (1974), Hydrothermal System and Seismic Activity of Hakone Volcano. Utilization of Geothermal Energy, Proceeding of a United States-Japan Cooperative Science Seminar at Hilo, Hawaii, 1974, P. 13—40.
- 大木靖衛, 平野富雄 (1970 b), 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.
- , ——, (1972), 伊豆, 箱根の温泉, 伊豆半島, 133—154, 東海大学出版会.
- 鈴木静夫 (1973), 日本の湖沼—湖沼学入門—, 内田老鶴圃新社, 東京.
- 田中阿歌麻呂 (1903), 箱根芦ノ湖特に水温成層の状態及水位の変化に就て, 水産, Vol. 3, No. 2, 57—62.
- (1906), 湖沼研究の一例としての箱根芦ノ湖, 山岳, Vol. 1, No. 3, 75—88.
- 東京天文台編纂 (1975), 理科年表, 丸善, 東京.