

湯河原火山カルデラの河川流量と
流域地質との関係について

大山正雄*、平野富雄*、栗屋 徹**、横山尚秀*

神奈川県温泉地学研究所

Relationship between Streamflow and Geological Structure
of the Yugawara Volcano

by

Masao OYAMA, Tomio HIRANO, Toru AWAYA and Takahide YOKOYAMA

Hot Springs Research Insrtitute of Kanagawa Prefecture
Hakone, Kanagawa

(Abstract)

Streamflows and their chemical composition are studied in the Chitose river system with an area of 30 km² in the deeply dissected caldera of the Yugawara volcano. Results are summerized as follwos:

(1) Low-water discharge is 1.4 mm/day in the Tensho-zan basalt group(Neogene) basin in the northern caldera area and 3.7 mm/day in the Yugawara volcanic ejecta (Quaternary) basin in the western and southern part of caldera. The low-water discharge of the Chitose river is 2.0 mm/day. It is higher than the average low-water discharge 1.1 mm/day of Japan. However, it is lower than 2.9 mm/day of Quaternary volcanic basins.

(2) River waters in the upper reaches can be classified into two types by their chemical composition. One is markedly high in SO₄²⁻ ranging from 36.9 to 81.3 ppm in the northern part of caldera. The other is low in SO₄²⁻ ranging from 1.5 to 17.1 ppm and the major anion is HCO₃⁻.

(3) It is suggested that the Tensho-zan basalt group altered by thermal water is poor in porosity and the Yugawara volcanic ejecta which has no hydrothermal alteration is high in storage capacity for ground water.

* 神奈川県温泉地学研究所 神奈川県足柄下郡箱根町湯本997 〒250-03

** 神奈川県環境部水質保全課 神奈川県横浜市中区日本大通 1 〒231
神奈川県温泉地学研究所報告 第18巻、第2号、1-16、1987

はじめに

火山体はあたかもスポンジのように雨水を吸収し、長い時間をかけて流出させる巨大な貯水体といわれている（Meinzer, 1972, 山本, 1985）。火山地域の中でも第四紀火山岩類が占める流域での流況は第三紀火山岩類の流域に比べて際だって安定していることが一般に認められている（菊池, 1932, 高橋ら, 1978）。最近では減水特性の調査から、貯留機能は第四紀火山岩類流域が最も大きく、花崗岩類、第三紀火山岩類、古生層、第三紀層、中生層流域の順に小さくなるのが定量的に明らかにされてきた（虫明ら, 1981, 安藤ら, 1982, 高橋ら, 1983）。

湯河原火山は侵食カルデラである。カルデラ内の中心部では温泉が採取され、その周辺の山地上流部では河川表流水が湯河原町と熱海市泉地区の上水道や旅館の雑用水などに盛んに利用されている。山地上流部の地下水は河川水を養うとともに温泉の重要なかん養源でもある。したがって、山地上流河川の流出形態を把握しておくことは水資源の利用にあたり重要な課題である。

本報告では第三紀と第四紀の火山岩類で構成され、降水量が同一とみなせる湯河原火山カルデラの山地小流域における河川流量と流域地質との関係および水質と地質との関係について検討を試みた。その

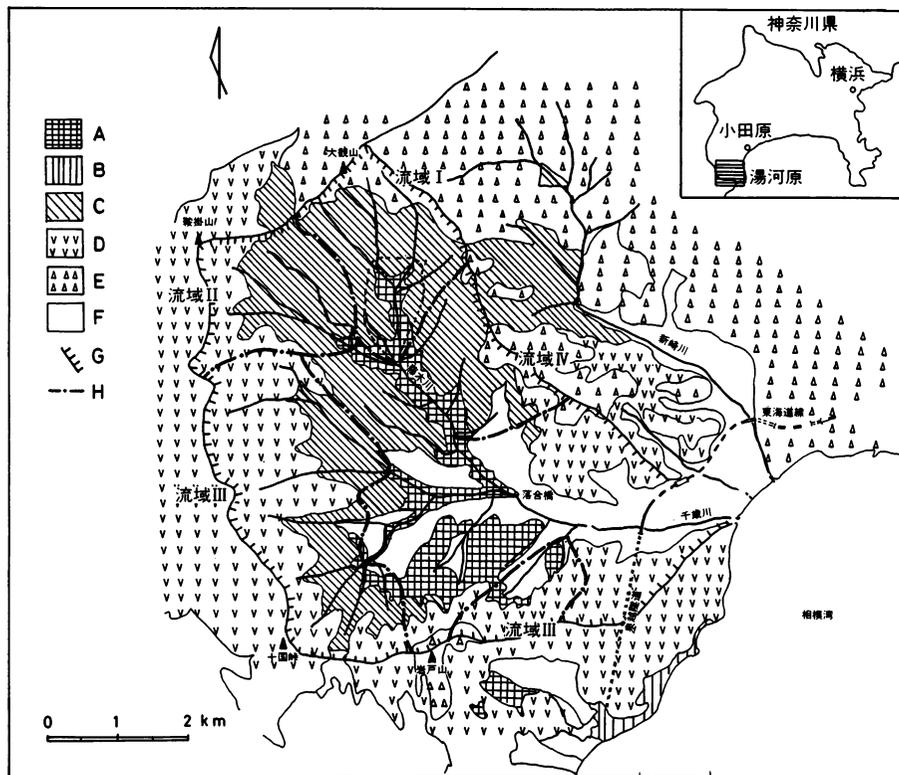


図1 湯河原火山の地質（久野, 1972）

A：湯ヶ島層群、B：稲村安山岩類、C：天昭山玄武岩類、D：湯河原火山噴出物、
E：箱根火山溶岩、F：崖錐堆積物、G：カルデラの縁、H：流域区分。

表1 湯河原火山の層序(久野、1972)

地質年代		地質	面積比	
			km ²	%
第四紀	完新世	崖錐堆積物	4.7	15.8
	更新世	箱根火山 — 侵食 —	1.2	4.2
		湯河原火山 — 侵食 —	10.5	35.1
新第三紀	鮮新世	天昭山玄武岩類 — 侵食 —	9.8	32.7
	中新世	湯ヶ島層群	3.6	12.2

(久野、1972)。現在、その中央部は開析され、長さ 8.2km、幅 3.8km の北西—南東方向に延びた侵蝕カルデラを形成している(図1)。

カルデラの北尾根は鞍掛山(標高1,004m)と大観山(1,014m)を連ね、箱根古期外輪山に接している。カルデラの西尾根は鞍掛山から南にのび、十国峠(774m)付近で東に曲がり、岩戸山(734m)を経て相模湾に没している。カルデラの中央部は藤木川が北西—南東方向に、千歳川が東西方向に谷を刻んでいる。両河川は温泉場(落合橋)で合流して千歳川となり、東でカルデラを脱し相模湾に注いでいる。

周囲 25.4km の山稜で囲まれたカルデラの面積は 30.0km²、カルデラ内の平均高度は 460m である。山稜を分水嶺とするならば、カルデラは一つの集水域をなしている。流域の形状比は 0.35、円状率は 0.59 である。形状比は日本の主要河川の平均値 0.2 (高山、1975) より大きい。これは円状率にみられるように流域が円形に近いからである。

2 地質

湯河原火山の地質は久野 久(1972)によって詳しく研究されているので、それに基づいて説明する(図1)。

湯ヶ島層群は湯河原火山の基盤をなし、藤木川と千歳川の河床に沿って露出している。本層群は激しい温泉作用でち密な岩石に変質している。湯河原温泉の大部分は本層群の割れ目から湧出している。

天昭山玄武岩類は北部の広河原を中心に、カルデラの中腹部に分布している。本火山岩類は玄武岩と安山岩の溶岩および同質の火山砕屑岩の互層からなっているが、天昭山玄武岩類として一括されている。本累層の下部は温泉作用を受けて粘土化し、上部は風化作用で土壌化している。

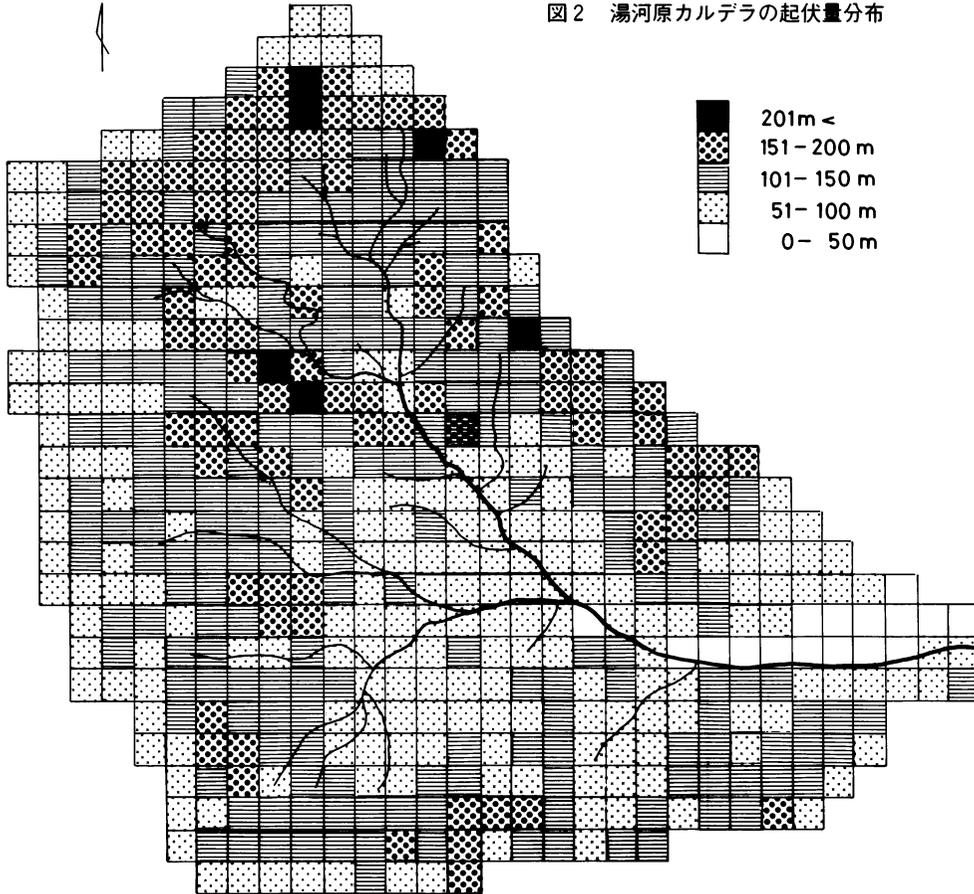
湯河原火山噴出物は主に安山岩溶岩と火山砕屑岩からなっている。岩石は温泉作用や風化作用をほとんど受けておらず、一般に新鮮である。湯河原火山の活動は約60万年前から約40万年前の間と推定されている(鈴木、1970)。

結果、山地小流域においても河川流量は上記の大流域の場合と同様に流域の地質と密接な関係をしており、また、河川の水質は地質をよく反映していることが明らかになった。なお、本報告は昭和56年(1981年)度に行った湯河原町浅層地下水利用実態調査の一部をまとめたものである。

1 地形

湯河原火山は中心噴火の成層火山である

図2 湯河原カルデラの起伏量分布



箱根火山の溶岩は湯河原カルデラの北と東の山稜付近とその外側斜面を覆っている。崖錐堆積物は千歳川と藤木川の合流点付近の緩斜面に広く分布している。

表2 湯河原火山カルデラの起伏量区分

起伏量区分	0-50m (%)	51-100m (%)	101-150m (%)	151-200m (%)	201m< (%)
湯ヶ島層群	4.5	18.9	12.7	4.5	0.0
天昭山玄武岩類	0.0	12.8	39.0	55.7	85.7
湯河原火山噴出物	4.5	42.3	41.8	27.3	0.0
箱根火山溶岩	9.1	5.1	4.7	12.5	14.3
崖錐・河床堆積物	81.8	20.9	1.9	0.0	0.0

カルデラ内の地質の面積比を図1から求めると、天昭山玄武岩類が32.7%、湯河原火山噴出物が35.1%あり、両方で約70%を占めている(表1)。したがって、本研究の主な対象は不透水層を構成する湯ヶ島層群の上の天昭山玄武岩類と湯河原火山噴出物を流域とする河川である。

3 起伏量と地質との関係

降水の地下浸透は一般的に急傾斜地で小さく、緩傾斜地で大きくなる傾向がある。図2は傾斜の程度を表すために求めた起伏量である。ここでは一辺250mの方眼内における最高点と最低点の高度差を示している。区分は50m単位である。起伏量100m以下の緩斜面は藤木川と千歳川が合流する温泉場周辺と沖積低地および北、西、南の山稜に位置している。起伏量150m以上は北部地域に多く、西と南部地域に少ない。北部の起伏量150m以上の地区は広河原の温泉場を囲む形で分布している。

表2は地質図を起伏量の場合と同様に一辺を250m方眼に区分し、地質と起伏量の間を各起伏量毎に求め百分率で示した。表2によると起伏量0-50mは崖錐・河床堆積物地域で82%を占めている。起伏量51-100mと101-150mは湯河原火山噴出物地域で各々42%を占めている。起伏量151-200mと201m以上は天昭山玄武岩類地域に集中し各々56%と86%である。従って、天昭山玄武岩類地域は湯河原火山噴出物地域に比べ傾斜が急である。

4 藤木川の河床勾配

本流域の主河川はカルデラの長軸と一致する藤木川である。図3は2.5万分の1の地形図から求めた藤木川上流から河口までの河床縦断面形である。河床勾配が上流から下流に向かって不連続的に小さくなる遷移点は金山沢と堀木沢との合流点、藤木川とアケジ沢との合流点（梅園橋）、藤木川と千歳川との合流点から約250m下流（両国橋）付近に認められる。各々の河床勾配は金山沢との合流部で220/1000から130/1000に、梅園橋から下流で70/1000、両国橋で60/1000から27/1000に移行する。両国橋から河口まではほぼ一定である。

河床の地質は遷移点を境に異なっている。金山沢と堀木沢との合流点より上流が天昭山玄武岩類、合流点から下流の両国橋までの間が湯ヶ島層群、両国橋から河口までが沖積層である。沖積層の厚さは千

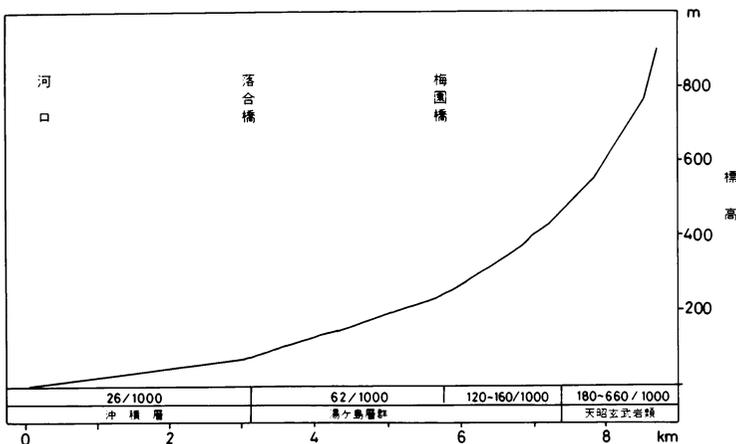


図3 藤木川・千歳川の河床縦断面と河床地質

歳川左岸沿いのボーリング資料によれば、東海道線橋梁から約400m下流地点（標高24m）で33m、河口付近で130mである。新崎川右岸沿いでは東海道線橋梁地点（標高25m）で16m、河口付近で85mである。

5 河川流量と地質との関係

流量調査は千歳川水系の本流と支流の26地点（図4）

で行った。第1回の調査は昭和56年（1981年）6月4日、第2回は同年9月29日と30日、第3回は昭和57年（1982年）1月29日と30日である。支流は主に集水面積が0.2～2.8.km²で、標高が300m以上の山地小流域である。流量は流路の断面積と回転流速計（CM-10S型、東邦電探製）で求めた。測定結果を表3に示す。この内、中沢川、日輪沢1、日輪沢2、池峰沢は上流で取水が行われていた。

図5は藤木川上流の金山沢と堀木沢との合流点から千歳川河口までの流域面積と流量との関係である。流量は3回の調査で9月が最も多く、次いで6月、1月の順である。河口での9月の流量(2.64m³/sec)は1月(0.81m³/sec)の3.36倍である。毎月1回行われている河口での流量調査(神奈川県、1972～1984)によれば、流量の極大は平均的に9月(2.89m³/sec)に、次いで7月、4月の順に現れる。極小は2月(0.61m³/sec)である。これを日流出高で計算すると9月が9.6mm/日、2月が2.0mm/日となる。日本の河川の渇水流量は平均値が1.1mm/日、第四紀火山岩類流域が2～5mm/日、第三紀火山岩類流域が関東地方で1.3mm/日前後の値を示している(虫明ら、1981)。したがって、湯河原カルデラ流域は火山岩類地域の特性をよく示しているが渇水流量が特に多いとはいえない。

表3によると、河口の日流出高は9月が7.6mm/日、1月が2.3mm/日、流量比が3.23であるが、上流の支流では9月が1.9～9.2mm/日、1月が0.2～4.2mm/日の範囲でばらついている。なお、平均値は取水の行われている河川を除いた値を示している。

図6は山地小流域の9月と1月の日流出高の関係を示したものである。同図から流況の違いは広河原

より北の藤木川流域（Ⅰ）、カルデラの北西にあたるアケジ沢流域（Ⅱ）、カルデラの西と南側の千歳川上流域（Ⅲ）とカルデラの東（藤木川右岸）とカルデラ中央部流域（Ⅳ）の4流域に区分することができる。藤木川と千歳川の合流点（落合橋）での日流出高は流域ⅠとⅢの間に位置している。

流域の地質は主に、流域Ⅰが天昭山玄武岩類、流域Ⅱが天昭山玄武岩類と湯河原火山噴出物、流域Ⅲが湯河原火山噴出物、流域Ⅳが

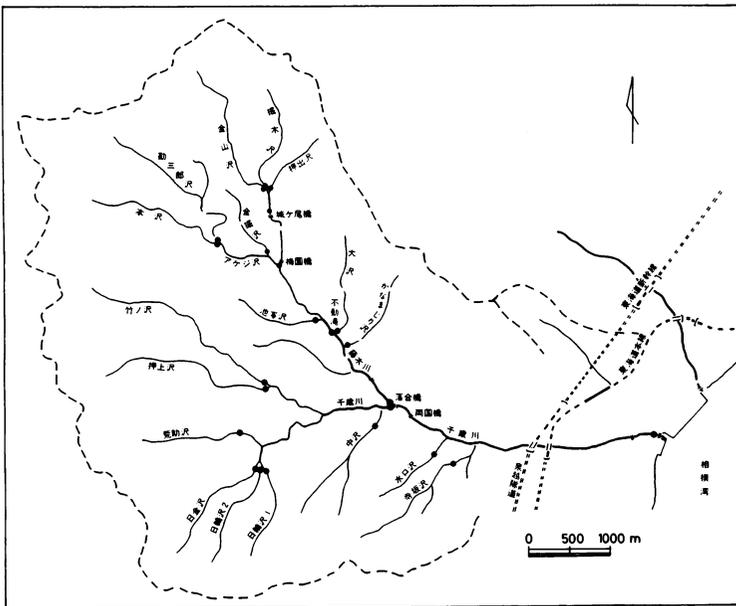


図4 湯河原カルデラの河川と流量測定地点

カルデラ東部の天昭山玄武岩類と崖錐堆積物、および、カルデラ中央部の湯ヶ島層群と崖錐堆積物とからなっている。落合橋から上流域の地質が占める面積比は天昭山玄武岩類が約 44%，湯河原火山噴出物が 33%である。

図 7 と 8 は天昭山玄武岩類と湯河原火山噴出物の流域に占める面積比と流量比との関係を示したものである。ここで流量比とは豊水期と渇水期に相当する 9 月 (Q9) と 1 月 (Q1) との比 (Q9/Q1) を示したものである。流量比は流量の季節変化が大きい河川では大きく、流量の安定している河川で小

さいはずである。各流域の平均流量比はⅠが 3.97、Ⅱが 2.07、Ⅲが 1.27、Ⅳが 3.08 である (表 4)。流量比と流域地質との関係図から、天昭山玄武岩類が卓越する流域Ⅰは河川流量の季節変化が大きく、湯河原火山噴出物が広く分布する地域Ⅲでは年間を通して安定しているといえる。

図 9 と 10 は天昭山玄武岩類と湯河原火山噴出物の流域に占める面積比と 1 月の日流出高との関係を示したものである。同図から、渇水期の流量は、天昭山玄武岩類の流域で小さく、湯河原火山噴出物の流域で大きい傾向がある。渇水期の平均流量は、流域Ⅰが 1.42mm/日、流域Ⅱが 3.10mm/日、流域Ⅲが 3.38mm/日、流域Ⅳが 1.50mm/日である。天昭山玄武岩類の流域での渇水量は日本の第三紀火山流域

表 3 千歳川水系河川の流量

番号	流 域	流域面積 km ²	日流出高 (mm/日)		流量比 Q9/Q1	流域区分
			1981.9	1982.1		
1	金山沢	1.55	6.9	2.1	3.29	Ⅰ
2	掘木沢	1.03	5.9	1.7	3.37	Ⅰ
3	押出沢	0.39	4.6	1.1	4.20	Ⅰ
4	金掘沢	0.21	4.1	0.8	5.01	Ⅰ
5	勘三郎沢	1.03	6.5	3.2	2.05	Ⅱ
6	本 沢	2.77	6.3	3.0	2.09	Ⅱ
7	押上沢	1.97	4.9	5.3	0.91	Ⅲ
8	竹の沢	1.71	4.7	3.5	1.34	Ⅲ
9	寺坂沢	1.48	2.7	2.1	1.28	Ⅲ
10	荒助沢	1.41	4.1	2.2	1.81	Ⅲ
11	中沢川	1.25	6.9	0.8	8.33	Ⅲ
12	日金沢	1.06	3.7	3.6	1.02	Ⅲ
13	日輪沢1	0.75	1.9	0.2	8.40	Ⅲ
14	日輪沢2	0.57	9.2	4.2	2.18	Ⅲ
15	池峰沢	0.28	7.1	4.6	1.53	Ⅲ
16	水口沢	0.35	4.4	1.5	3.00	Ⅳ
17	大 沢	0.69	5.2	1.6	3.24	Ⅳ
18	かなまじり沢	0.49	4.2	1.4	3.00	Ⅳ
	平 均	1.06	4.92	2.44	2.50	
19	藤木川城尾橋	3.06	7.1	1.8	3.99	
20	藤木川梅園橋	4.00	6.3	2.0	3.12	
21	アケジ沢	4.55	3.6	1.7	2.04	
22	藤木川不動滝	9.50	4.9	1.5	3.17	
23	藤木川万葉橋	11.98	5.6	2.7	2.05	
24	千歳川合流点	10.54	3.7	1.9	1.98	
25	千歳川落合橋	22.52	4.7	2.3	2.02	
26	千歳川河口	30.01	7.6	2.3	3.25	

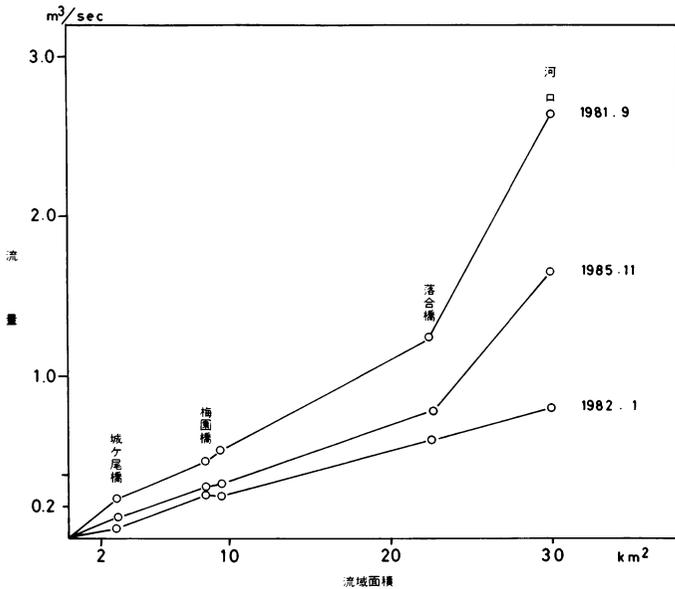


図5 藤木川・千歳川の流量変化

よるものである。従って、流域の地下水かん養機能は、天昭山玄武岩類地域では小さく、湯河原火山噴出物地域では大きいといえる。

に、湯河原火山噴出物の流域での湯水量は第四紀火山流域の平均湯水量にほぼ等しい値を示している。

一般的に、地形による集水面積と地下水の集水面積は必ずしも一致しない。そして、集水面積が大きくなると流況が安定するといわれている。流域Ⅲの押上沢、竹の沢、荒助沢、日金沢の四河川はカルデラの西から南にかけて流域を接しているが、流量比が0.9～1.8、湯水量が2.1～5.3mm/日の範囲にまとまっている。以上のことから、流況の安定度や湯水量の大小を支配する主要因は集水面積よりも地質の効果に

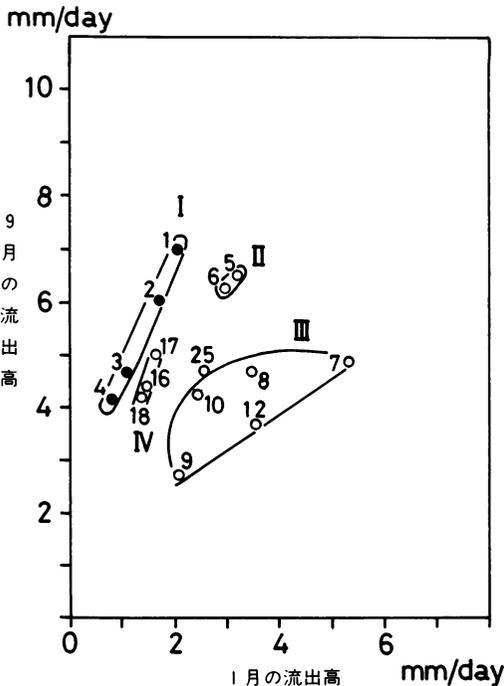


図6 千歳川水系河川の9月と1月の日流出高

6 水質

採水は流量調査と同時にを行い、分析結果を表5に示す。なお、表中の宮下簡水井戸水と泉越隧道水は地下水である。宮下簡水の井戸は東海道本線と新幹線泉越隧道の間に位置(標高88m)し、深度は190mである。ストレーナは150m以下に設けられている。地質柱状図から判断すると基盤岩の湯ヶ島層群の亀裂から揚水しているものと思われる。本孔井の比湧出量は $1.2 \times 10^{-6} \text{m}^3/\text{sec}/\text{m}$ である。この値は落合橋から藤木川上流の温泉井の $1.2 \times 10^{-2} \sim 7.1 \times 10^{-16} \text{m}^3/\text{sec}/\text{m}$ と同程度である(大山、1976)。新幹線泉越隧道は上がり勾配が1%で、湯河原と熱海間の延長3.193kmの内、湯河原坑口(標高44m)から約0.8kmを湯河原火山噴出物、次いで、断層を挟んで湯河原火山噴出

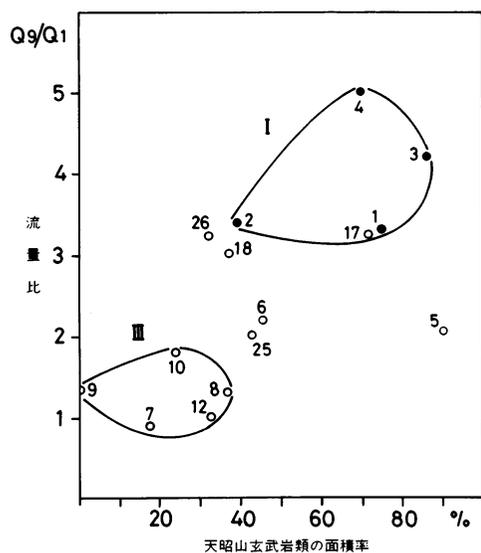


図7 流域の流量比と天昭玄武岩類の面積比

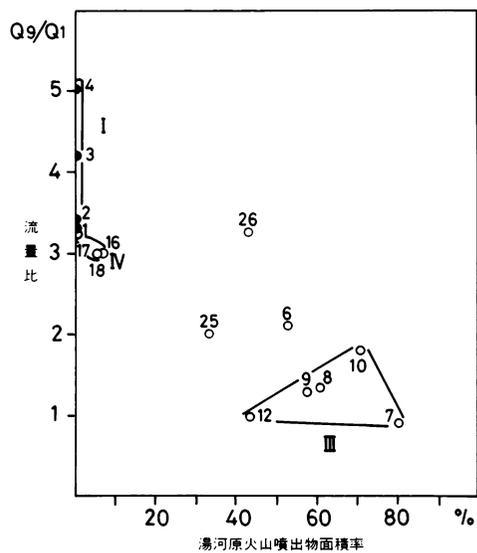


図8 流域の流量比と湯河原火山噴出物の面積率

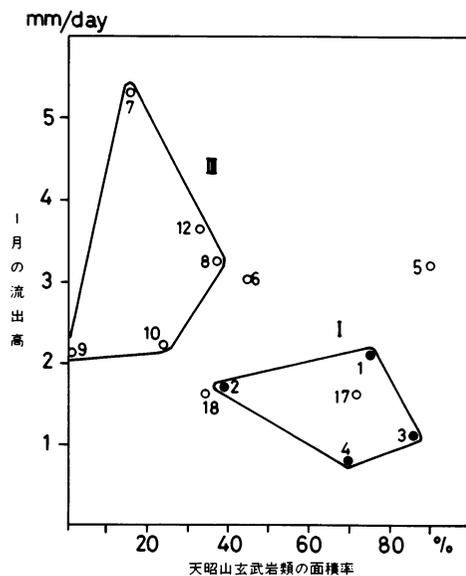


図9 流域の1月の日流出高と天昭玄武岩類の面積率

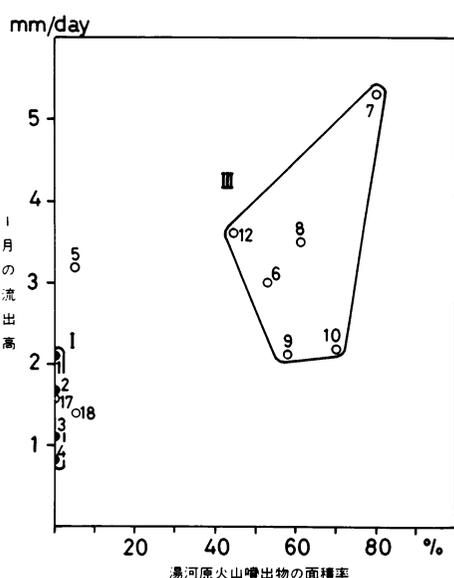


図10 流域の1月の日流出高と湯河原火山噴出物の面積率

物下位の稲村安山岩層を2.1 km 貫いている。稲村安山岩層の中では延長535mが温泉作用を受けて変質した温泉余土である。湧水量は坑口から0.8 km 付近で一時的に1,620 l/secの出水となったが、その後落ち着き全区間にわたりにじみでる程度で、坑口流量が25 l/sec程度である（東海道新幹線工事誌、1965）。

表4 湯河原火山カルデラ河川の諸要素

流域	面積 km ²	主要地質	平均流量 (mm/日)			主な水質 (ppm)				
			9月	1月	流量比	分類	E.R.	Ca ²⁺	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
I	0.2~1.5	天昭山玄武岩類	5.37	1.42	3.97	A群	114~193	14~32	37~81	27~51
II	1.0~2.8	天昭山玄武岩類 湯河原火山噴出物	6.40	3.10	2.07	B群	73~75	7~9	2~9	45~47
III	1.0~2.0	湯河原火山噴出物	4.02	3.34	1.27	B群	51~81	7~10	1~10	34~45
IV	0.3~0.7	天昭山玄武岩類 湯ヶ島層群、崖錐堆積物	4.60	1.50	3.08	B群	79~118	12~15	4~8	52~70
平均	1.06		4.92	2.44	2.50					

面積と流量は取水の影響のない河川、水質は住居地域を上流に持たない河川水。

千歳川水系流域の水質はE.R. (蒸発残留物) が51~250 ppm、陽イオンはCa²⁺ (カルシウムイオン) が6.59~32.0 ppmで主要成分をなし、陰イオンではCl⁻ (塩素イオン) が3.2~50.5 ppm、SO₄²⁻ (硫酸イオン) が1.5~81.3 ppm、HCO₃⁻ (重炭酸イオン) が27.2~56.4 ppmの範囲にある。これらのミリ当量百分率 (meq%) をとってキーダイヤグラムに投影したのが図11である。また、水質パターン (ヘキサダイヤグラム) で示したのが図12である。

図11に見られるように水質はA,B,Cの3群に分けることができる。A群はE.R. が114~193 ppm、陽イオンではCa²⁺ が主成分で14.0~32.0 ppm、陰イオンではSO₄²⁻ が最も多く36.9~81.3 ppm、HCO₃⁻ が27.2~50.8 ppmでこれに次ぐ。B群はE.R. が51~81 ppm、陽イオンではCa²⁺ が7.45~17.7 ppm、陰イオンではHCO₃⁻ が29.7~47.3 ppmで主成分を成しており、SO₄²⁻ は1.1~9.9 ppmである。C群は、E.R. が92~250 ppm、Ca²⁺ が11.2~20.3 ppm、HCO₃⁻ が44.1~56.4 ppm、SO₄²⁻ が18.1~50.9 ppmである。Cl⁻ は5.4~50.5 ppmで、Cl⁻ の多いものほどNa⁺ (5.01~43.4 ppm) が多くなり温泉の混入していることを示している。

A群は流量比で分類した広河原北地域の流域Iより流出している(表4)。B群はカルデラの北西の流域II、西と南の流域III、東の流域IVの3地域の河川水である。C群は広河原の城ヶ尾橋(藤木川)から河口までの本流の試料である。

AとB群のCOD(化学的酸素消費量)は住居地域の一部を流域に含んでいる水口沢や寺坂沢の0.7 ppmを除けば0.02~0.23 ppmの範囲である。CODは自然流域においても0.24 ppmあるので、CODが0.3 ppmの河川では人為的汚染がほとんど無いか、あるいは小さいと見なしてよい。従って、AとB群は人為的汚染が無視できるが、AとB群とではE.R.、SO₄²⁻、Ca²⁺に大きな差異が現れている。C群は温泉排水が混入し人為的汚染を集中的に受けているのでCODが0.04 ppmから0.97 ppmに変化している。

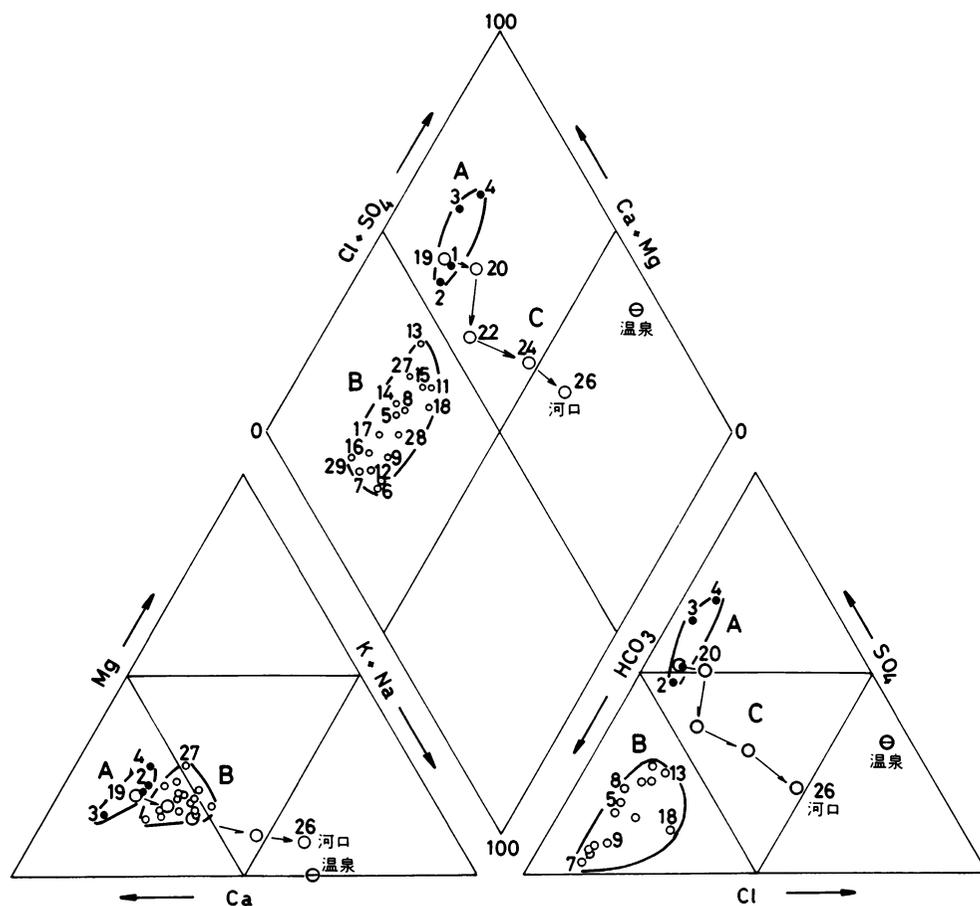


図11 千歳川水系河川のキダイヤグラム

A 群の SO_4^{2-} と Ca^{2+} は押出（おしそね）沢が最も多く、金堀（かなほり）沢、金山沢、堀木沢の順に減少している。E.R. もほぼ同様である。流域はいずれも自然流域であるので、 SO_4^{2-} に富んだ水の存在は SO_4^{2-} を生ずる地層が広範囲に分布していることを暗示している。B 群は A 群に比べて SO_4^{2-} が 1/10、E.R. と Ca^{2+} が 1/2 である。宮下簡水井戸と泉越隧道の地下水は B 群によく類似している。汚染のできるだけ少ない地点での採水から求めた日本の河川水の平均化学組成は E.R. が 74.8 ppm、 Ca^{2+} が 8.8 ppm、 HCO_3^- が 31.0 ppm、 SO_4^{2-} が 10.6 ppm である（小林、1971）。したがって、A 群は日本の平均河川水に比べて Ca^{2+} と SO_4^{2-} が著しく多く、B 群は日本の平均河川水にほぼ一致している。

C 群は湯河原町下水処理場が運転（昭和 60 年 4 月）する以前の状況である。A 群から発した水質はまず B 群河川の流入、次いで、温泉や生活排水などの流入を受けて K^+ 、 Na^+ 、 Cl^- が増し、E.R. も増加している。河川を流下するにつれて河川の水質は湯河原温泉の平均的な組成比に近づいている。これは温泉の流入が河川の水質に大きな影響を与えていることを示している。

7 広河原北流域

湯河原火山カルデラ内における山地小流域の河川流量はカルデラの北側に比べ南と西側が安定していることを示していた。西側は主に第四紀の湯河原火山噴出物で構成されている。第四紀火山の流域が一般に地下水の貯溜機能に優れているのは第四紀火山の溶岩や火山砂礫などの火山噴出物が亀裂や空隙に富んでいるからである。北側は第三紀の天昭山玄武岩類が広く分布し、傾斜が西側に比べて急である。河川の水質に着目すると、広河原北側河川はA群の水質を示し、 SO_4^{2-} が37～81ppmと著しく多く、一般の河川と異なっている。広河原に東流するアケジ沢水系は、B群の水質を示し、 SO_4^{2-} が 2.0～9.2 ppm にすぎず、カルデラの西と南の水系のおいても SO_4^{2-} が 1.5～14.3 ppm の範囲である。

藤木川とアケジ沢との合流点より約 130m 高所に位置する湯河原パークウェイ沿いの崖のえぐられた部分（標高 365m）に粘土層が露出していた。この場所は SO_4^{2-} が 61.0 ppm を示す金堀沢の上流にあたる。地層の状況は暗灰色をし、その中に白色の鉱物が塊状または網状に存在している。上部には茶褐

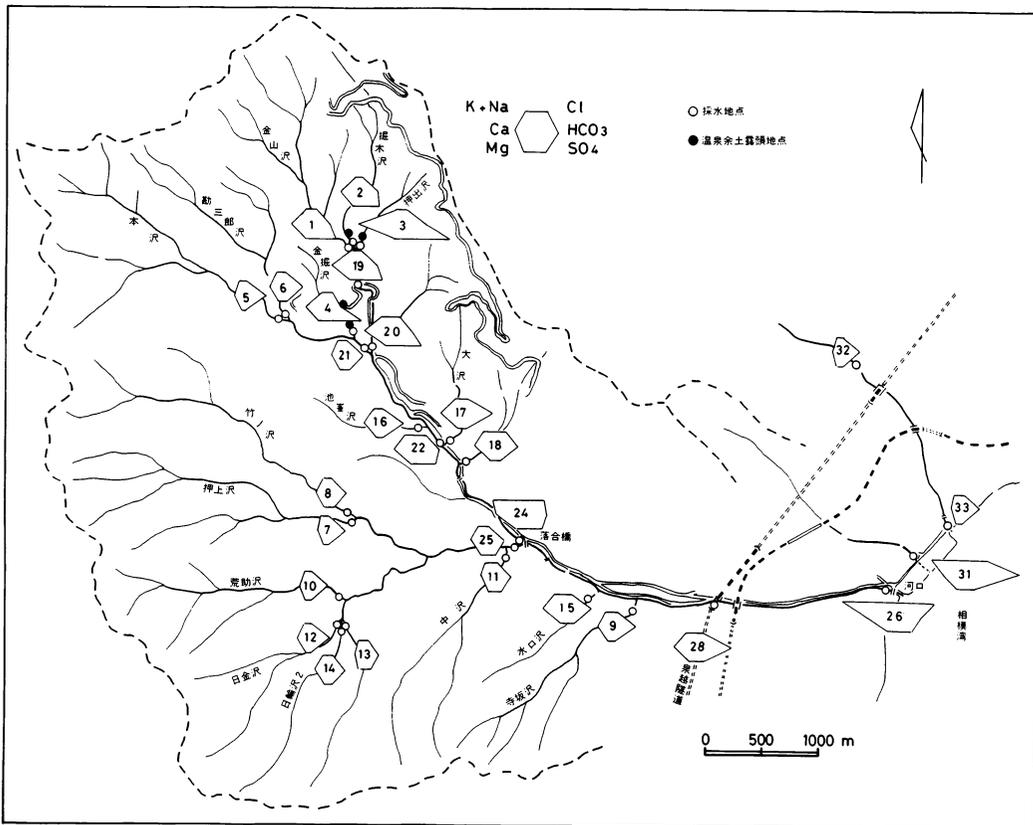


図12 千歳川水系河川の水質パターン図

表5 千歳川水系河川の水質調査結果（1981年9月29、30日と1982年1月27日採水）

	採水場所	温度	pH	蒸発残留物	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	H SiO	COD	流域区分	採水
		℃		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm		年月日
1	金山沢	14.0	7.2	134	0.78	5.09	15.2	3.25	5.56	42.7	40.8	34.7	0.06	I	81. 9.29
2	掘木沢	14.5	7.1	114	1.00	4.58	14.0	3.19	5.21	36.9	42.1	31.5	0.24	I	〃
3	押出沢	15.8	7.2	193	1.06	5.94	32.0	4.12	4.90	81.3	50.8	34.3	0.20	I	〃
4	金掘沢	15.2	6.9	133	0.59	5.39	16.3	4.68	5.29	61.0	27.2	34.1	0.05	I	〃
5	勘三郎沢	16.0	7.2	73	1.16	4.37	9.17	1.82	4.54	9.0	45.4	37.4	0.06	II	〃
6	本沢	13.7	7.2	75	1.42	4.24	7.45	1.38	4.03	2.0	47.3	39.6	0.08	II	〃
7	押上沢	15.5	7.2	66	1.34	4.65	6.59	1.38	3.23	1.5	44.1	42.8	0.13	III	81. 9.30
8	竹の沢	15.7	6.8	81	0.95	4.65	8.88	1.88	3.74	9.9	40.2	41.5	0.08	III	81. 9.30
9	寺坂沢	16.5	6.9	95	1.07	6.53	11.2	2.56	5.58	4.7	52.5	45.0	0.74	III	81. 9.29
10	荒助沢	15.2	7.0	51	1.02	4.44	7.45	1.69	3.50	2.9	43.4	35.9	0.10	III	81. 9.30
11	中沢川	16.0	6.7	83	1.10	6.19	9.74	2.50	5.77	14.3	40.2	44.5	0.10	III	81. 9.29
12	日金山沢	14.8	6.7	57	0.96	4.44	8.88	1.63	3.57	2.7	45.4	34.3	0.12	III	81. 9.30
13	日輪沢1	7.0	7.0	91	0.389	5.00	11.8	2.79	6.26	12.1	34.3	27.7		III	81. 9.27
14	日輪沢2	15.8	6.9	80	0.86	5.01	10.3	2.69	5.56	6.3	38.9	29.7	0.14	III	81. 9.30
15	池峯沢	3.0	7.4	79	0.307	5.27	12.8	2.23	3.46	4.25	52.1	33.4		III	82. 1.27
16	水口沢	16.6	7.0	131	1.12	9.67	17.7	3.00	8.67	17.1	57.7	35.3	0.72	IV	81. 9.29
17	大沢	16.0	7.4	118	0.89	6.87	15.7	2.44	6.42	8.1	70.0	37.2	0.76	IV	81. 9.29
18	かなまじり沢	9.5	7.4	114	0.80	10.2	15.5	2.63	13.3	7.74	53.4	35.0		IV	82. 1.27
19	藤木川城ヶ屋橋	14.4	7.2	133	0.88	5.01	17.7	3.32	5.40	45.0	44.7	39.9	0.04	C	81. 9.29
20	藤木川梅園橋	15.5	7.2	155	1.30	9.05	20.3	3.50	10.3	50.9	44.1	33.0	0.14	C	〃
21	アケジ沢梅園橋	13.7	7.2	75	1.42	4.24	7.45	1.38	4.03	2.0	47.3	39.6	0.08	C	〃
22	藤木川不動滝	15.8	7.1	127	1.69	10.4	16.9	2.69	11.6	30.7	47.3	35.4	0.63	C	〃
24	藤木川落合橋	17.3	7.0	175	1.88	23.7	18.9	2.69	29.0	36.0	53.1	48.7	0.80	C	〃
25	千歳川落合橋	15.8	7.0	92	1.13	5.62	11.2	2.25	4.71	18.1	42.1	38.8	0.67	C	〃
26	千歳川河口	19.5	6.4	250	1.51	43.4	22.0	3.25	50.5	29.9	56.4	49.1	0.97	C	〃
27	宮下簡水井戸水	7.7	7.0	113	0.749	6.21	11.9	4.10	6.51	14.3	48.8	51.5		III	82. 1.27
28	泉越隊道水	17.0	7.4	130	1.51	9.88	17.0	3.48	7.45	12.0	74.5	55.2		III	82. 1.27
29	五段の滝湧水	15.4	7.4	86	0.304	6.27	16.1	2.13	3.32	4.81	65.9	36.2		III	82. 1.25

色をした土壌が厚く乗っている。道路に面した部分は道路に沿って約200m(標高360~390m)にわたって乳白色化している。採取した粘土鉱物を持ち帰り、蒸留水に分散させて塩化バリウムを加えると著しい硫酸バリウムの白沈が生じた。pHは2.3であった。従って、この粘土は河川の SO_4^{2-} の起源になっている。

金掘沢はアケジ沢との合流点(標高250m)から110m上流右岸(標高280m)に幅2mの岩脈が露出し、灰色に粘土化している。さらに上流にも粘土化している岩脈が多数沢沿いに露出している。これら岩脈の周囲の露頭は割れ目が著しく発達し、容易に崩壊する。このため、沢は狭く、そして、深い溝状を呈している。河床標高290m付近からは斜面崩壊による崩壊土が分布し、所々に灰色の粘土層が露出している。金掘沢にはアケジ沢との合流点からパークウエイまでの約600m間に7基の堰堤が設置されている。これらはパークウエイ付近からアケジ沢まで及んだ昭和23年のアイオン台風による土石流の後に設置されたものである。土石流は粘土層を深くえぐって発生したものであると思われる。下流部の堰堤は基底部分が破損している。特に、下流から3番目の堰堤(標高295m)の両側下端部は著しく破損し、灰色の粘土が露出している。堰堤の破損は酸性の水によるものであろう。

灰色の粘土鉱物は藤木川と押出沢の合流点(標高360m)から上流にも露出している。それらは、押出沢では標高450mに、掘木沢では天昭山神社ハイキング路に沿って標高420m地点までの約300m間にわたっている。

以上から、かつて火山性ガスが地下から岩脈に沿って上昇し、地表付近に噴気孔を伴う硫気地帯を形成したにちがいない。硫気活動で形成された硫化物を含む温泉余土が地表で酸化され、多量の硫酸イオンを河川に流出していると思われる。硫酸イオンに著しく富んでいる押出沢と金掘沢の流域は起伏量が主に101~150m地域であり、天昭山玄武岩類の占める面積率が87~70%である。天昭山玄武岩類中の硫化物を多量に含む粘土鉱物の分布状況はまだ確認されていないが、河川の SO_4^{2-} の濃度から、広河原北部の起伏量101~150mの地域に集中しているものと推察できる。すなわち、藤木川とアケジ沢との合流点付近を下端部とし、その北部の起伏量150m以下の地域において硫気作用を伴う温泉活動が活発に行われていたにちがいない。その地域は図1の点線の範囲内と推察される。当地域は久野(1972)が推定した天昭山玄武岩類の噴出の主な中心地と一致している。硫気活動が著しい地帯は侵食され易いので早く緩斜面になるが、硫気作用の小さい周囲は侵食が遅れるので急傾斜を形成する。広河原北側流域は急峻な地形と温泉作用の影響を受けて岩石が著しく変質して地下水の貯溜機能を弱めているため、流量の季節変化が大きく、渇水量が小さくなっていると思われる。

広河原に東流するアケジ沢水系の勘三郎沢は流域面積1.03km²に対して天昭山玄武岩類が約90%を占めている。しかし、 SO_4^{2-} は9.0ppmで流域Ⅰに比べて著しく少なく、流量は渇水量が3.2mm/日、流量比が2.04を示し豊富で安定している。したがって、勘三郎沢流域は広河原北部に比べて変質が弱く、空隙に富んでいると思われる。同じ地質が分布していても岩石の変質状態や地下構造が同じとは限らない。豊水期と渇水期の流量の比較および渇水流量は流域の地下水貯溜機能とともに地質状況を判断

する一助となる。

8 結論

本研究で得られたおもな成果は次のとおりである。

(1) 湯河原カルデラの北側の広河原を中心にもつ第三紀後期の天昭山玄武岩類地域は地形が急峻である。西と南に広く分布する第四紀の湯河原火山噴出物地域は傾斜が緩い

(2) 天昭山玄武岩類地域では流量の季節変化が大きく、渇水量が1.42mm/日と小さい。湯河原火山噴出物地域は河川流量が安定し、渇水量が3.67mm/日と多い。各々の渇水量は日本の第三紀火山流域と第四紀火山流域のほぼ平均渇水量を示している。

(3) 湯河原カルデラ流域の河川の平均日流出高は9月が最も多く5.5mm/日、2月が最も少なく2.0mm/日である。日本の河川の平均渇水量が1.1mm/日、第四紀火山岩類流域が2~5mm/日であるので、湯河原カルデラの流域は火山岩類地域の特性を示しているが渇水量が特に多いとはいえない。これは流域が主に天昭山玄武岩類と湯河原火山噴出物とで構成されているからである。

(4) 天昭山玄武岩類が流域を構成している広河原温泉場の北側河川水の化学組成は日本の平均河川水と著しく異なっている。特に、硫酸イオンは37~81ppmあり、周辺流域の2~17ppmに比べて著しく多い。湯河原火山噴出物流域の河川水は日本の平均河川水の化学組成とほぼ一致している。

(5) 藤木川とアケジ川との合流点から上流部で、かって硫気作用を伴う温泉活動が活発に行なわれていたものと推定される。

— 66 —

(6) 河川水の多量な硫酸イオンは温泉作用によって変質した天昭山玄武岩類が主な起源になっている。

(7) 天昭山玄武岩類が地下水貯溜機能に劣っているのは温泉作用で著しく変質しているためと思われる。

謝 辞

この報告書をまとめるにあたり、次の方々のお世話になった。

温泉地学研究所 小鷹滋郎、杉山茂夫、小田原保健所温泉課 迫 茂樹（県衛生部環境衛生課）、石井義明、広田 茂（現厚木保健所環境衛生課）、久保寺公正（現足柄上保健所衛生課）、県衛生部環境衛生課 杉村光雄（現企画部水資源対策室）、湯河原町役場衛生課、公営企業課の職員の方々には調査に協力していただいた。温泉地学研究所 大木靖衛所長、平賀士郎研究部長、長瀬和雄主任研究員には有益な助言および討論をしていただいた。以上の方々には厚くお礼を申し上げます。

参考文献

- 安藤義久・高橋 裕（1982）、山地河川の長期流出解析に関する一考察、土木学会論文報告集、第318号、pp.93~105。
 菊池英彦（1932）、我国河川の流量に就て、土木学会誌、18.8。

- 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、大久保書店。
- 小林 純 (1971)、水の健康診断、p.206、岩波書店。
- 半谷高久・小倉紀雄 (1985)、水質調査法 pp.378 丸善。
- Meinzer, O. E. (1927)、Lange spring in the United States Water Supply Paper, 557.
- 虫明功臣・高橋 裕・安藤義久 (1981)、日本の山地河川の流況に及ぼす流域の地質の効果、土木学会論文報告集、第309号、pp.209～214。
- 中野尊正・吉川虎雄 (1955)、地形調査法、古今書院。
- ナップ Braian,knapp、地理的水文学の基礎 Elements of Geographical Hydrology、榎根 勇訳、p.140、朝倉書店 1982。
- 大木靖衛 (1980)、湯河原火山、日本地方地質誌関東地方、朝倉書店、pp.379-380。
- 大山正雄 (1976)、湯河原温泉の水位と湧出地域の透水性、神奈川温研報告、Vol.7,No.2, pp.69-84。
- 鈴木正男 (1970)、フィッシュトラック法による黒曜石の噴出年代とウラン濃度の測定 (第Ⅱ報)、第四紀研究、Vol.9, No.1, pp.1～6。
- 鈴木隆介 (1971)、箱根火山の地形、箱根火山、pp.7～42、日本火山学会編、箱根町。
- 高橋 裕編 (1978)、河川水文学、共立出版、pp.168～179。
- 高橋 裕・安藤義久・伊藤 孝・伊藤和史 (1983)、山地河川の低水流出の減少特性に関する研究、土木学会論文報告集、第377号、pp.75～82。
- 高山茂美 (1975)、河川地形、p.304 共立出版。
- 東海道新幹線工事誌 (1965)、静岡幹線工事局、pp.504～520。
- 山本莊毅 (1958)、日本における火山山麓の湧水。科学、Vol.29, No5, pp.267～284。
- 山本莊毅 (1983)、新版地下水調査法、古今書院。