

27. 浅間山およびその周辺地域の地下水の水質変化

—1973年の噴火に関連して—

地震研究所 {高橋春男
細谷興七

(昭和53年4月28日受理)

1. はじめに

浅間山は、本邦で最も活動的な火山の1つであり、これまでも多くの爆発的噴火を繰り返し、それに伴う火砕流や噴石・降灰などにより、広範囲な地域に多大の被害を与えてきた。そのため、現在では地震研究所および気象庁により、火山活動の恒常的な研究、観測そして監視体制が敷かれている。浅間山に対する調査・研究は、明治時代以降現在まであらゆる分野にわたって行われてきた。山体およびその周辺に湧出する地下水についても多くの研究がなされている。野口(1935-1940)は火山ガスの他に多数の湧水、河川水について水温、pH、湧出量の測定を繰り返した。また、柴田ほか(1937)は地下水中の重水濃度を、野口(1939)はラドン濃度を調べた。西条(1949)はこの地域の3分の2におよぶ湧水の溶存成分の分析を行い、湧水の地域的分布を調査した。小平(1955)は、湧水の水温やpHなどのほかClやNH₄濃度を調べて地域的分類をした。小坂ほか(1957)は、化学成分から湧水を3つのタイプに分類した。

火山活動が湧水に与える影響についてもこれまでいくつかの報告がある。野口(1935, 1936)はその報文の中で1935年の火山活動に際し、湧水のpHや水温にほとんど変化が見られなかったと記している。MINAKAMI(1937)は、千ヶ滝温泉について、1935年の活動をはさんで水温、湧出量の観測を行い、噴火による影響が見られなかったことを報告している。最近では、1973年2月から4月にいたる噴火活動期に、村井(1974)は御代田町の農林省農事試験場山地支場で、沢の水の水位の著しい変動が記録されたこと、またほかに二、三の地区で水温および湧出量に変化が現われたことを、火山活動との関係は明らかではないが噴火の際にしばしば現われる現象として記載している。

このように多くの研究がなされているにもかかわらず、火山活動が地下水に与える影響についてはいまだに明らかにされていない。本調査はこの問題を究明する手がかりを探すために、この地域の地下水に関する基礎的資料の収集と、火山活動が地下水に与える影響を調らべることを目的として、1972年3月から浅間山山体およびその周辺地域の自然泉やボーリング井について水質調査を始めた。当時、活動の休止期間は10年になり近く噴火が予想されていた。その後、所内の事情により観測は1973年5月をもって一時中断されていたが、1977年に行われた浅間山に対する火山地震移動観測(集中火山観測)に参加する機会を得たので、同年8月より1978年3月まで、火山活動の平静な時期の地下水の

資料を得るため前回と同様の調査を行なった。

調査期間中、1973年2月から4月にかけて浅間山は噴火活動を行なった。この活動の前後に一部の地域で地下水の水質に変動が観測されたので、集中観測の結果と合せ報告する。

2. 1973年の噴火活動

浅間山は、1961年8月18日から同年11月16日まで続いた噴火活動以来、11年を経た1973年2月1日19時20分に突然爆発し同年4月26日まで噴火活動を続けた。

1973年の噴火の前兆的現象について村井(1974)は、1972年11月1日にはすでに火口底に赤熱した溶岩があったこと、また同年12月1日には多量の白色噴煙が観測され、さらに23日には噴煙が1000mの高さに上昇するのが観測されたことを報告している。下鶴(1973)は、1972年10月から顕著になったA型地震が11月に一段落したあと、B型地震の数が増加した1972年12月中旬より1973年1月末までを今回の噴火活動の前駆活動期と考えられると述べている。同年1月30日、そして31日の夜から2月1日の早朝にかけては火映現象が望遠されており、すでにマグマが火口底にせり上っていたと考えられる。活動期間中、顕著な噴火は2月16、17、18日の連続微噴火を除いて15回観測された(下鶴ほか、1975)。爆発エネルギーから中程度の規模と思われる噴火は2月1日、20日、3月10日、4月18日、26日の5回記録され、2月1日、6日、3月10日には噴火に伴って小規模の火砕流の発生が認められた(荒牧、1973・村井、1974)。一連の噴火活動のうち2月1日の爆発は最も規模が大きく、下鶴ほか(1975)によって求められた運動エネルギーは 1.2×10^{19} ergであり、爆発音は前橋、熊谷、本庄、甲府、秩父などでも聞えた。小型の火山弾や火山礫、火山灰は火口より東南東の方向に降り、千ヶ滝付近では直径15~20cmの大きさのものも見られた。また、火口より20km離れた坂本や横川などでは、最大直径3cm、35km離れた安中では1cmの噴石が降下した。降灰は関東地方の中部一帯にわたり、鹿島灘にまでおよんだ。噴出物は緻密な火山礫・火山砂がほとんどで、ほかに少量のパン皮状火山弾や軽石が含まれていた。この間の噴火により放出された火山岩塊やパン皮状火山弾の化学組成と造岩鉱物はARAMAKI et al. (1975)によって報告されている。

3. 観 測 点

観測点は浅間山の山体およびその周辺地域にあって、なるべく外的影響が少なく、かつ山体をとり囲むような位置にある自然湧泉やボーリング井から選んだ。観測点の位置は第1図に、その特徴は第1表に示した。

地獄谷 地獄谷は外側外輪山の黒斑山と芽山との間の開口部に形成されている谷で、蛇堀川の源泉群がある。標高は1980m、火口までの距離は2.5kmである。この谷では現在も弱い噴気活動が続いているため硫化水素臭があり、噴気帯の岩石は変質している。地下水はこの噴気帯の影響を受けている酸性水と、谷の各所に湧出あるいはしみ出してくる炭酸鉄泉がある。酸性の水は谷中央部にある大きな石の上段にある砂地の中からしみ出た水が集った流れから採水した。炭酸鉄泉は谷の奥東側斜面中腹にある軽石質凝灰岩の裂口

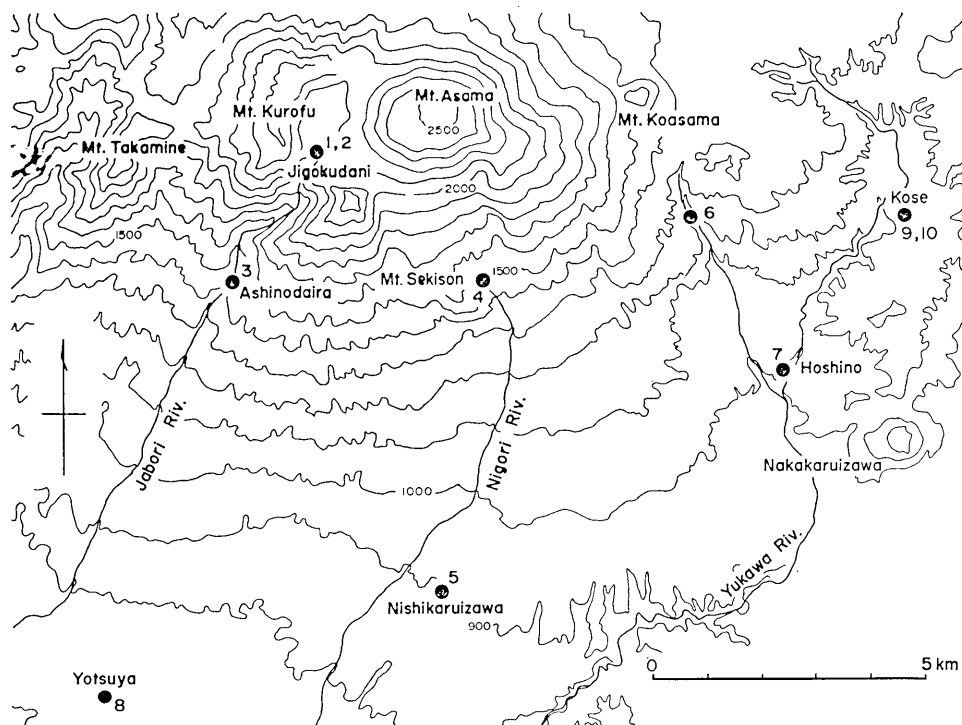


Fig. 1. Locality map.

1. Jigokudani (iron carbonate spring)
2. Jigokudani (low pH)
3. Ashinodaira
4. Nigorigawa-gensen
5. Nishikaruizawa (mineral spring, issuing from a depth 196 m)
The measurement at another spring, which was pumped up from a depth 496 m, is not conducted now owing to the pumping machine troubles.
6. Sengataki (spring water)
The water quality of river by observation spring was measured for refer to the influence of volcanic activity on the surface water.
7. Hoshino hot spring.
8. Yotsuya
9. Kose (lower temperature)
10. Kose (higher temperature)

から湧き出している主湧出口を観測点とした。しかしながら主湧出口を含め炭酸鉄泉は、一時的な涸渇や湧出口の移動が見られ、1972年11月以前には湧出量が極めて少なく採水不能であった。地獄谷は標高が高く冬期積雪が1~2mに達するため欠測が多い。

芦の平 芦の平は小諸市森林組合によって管理されている有料林道浅間線の終着点にある浅間山荘の南下方の平坦地である。標高は1400m、地獄谷までの距離は3km、火口までは4.5kmである。この付近では、芦の平の東端を流れる蛇堀川に沿って黒斑山溶岩流

Table 1. Specification of observation well.

Loc. No.	Sampling locality	Kind of well	Characteristics	Depth	Remarks
1	Jigokudani	Spring	Iron carbonate		
2	Jigokudani	Spring	Low pH		
3	Ashinodaira	Spring	Iron carbonate		
4	Nigorigawa-gensen	Spring	Iron carbonate		
5	Nishikaruizawa	Boring well	Iron carbonate	196 m	Flowing
		Boring well	Calcium chloride	496 m	Pumping up
6	Sengataki	Boring well	Iron carbonate	100 m*	Flowing
7	Hoshino	Boring well	Sodium bicarbonate	Unknown	Pumping up
8	Yotsuya	Boring well	Normal water	100 m	Pumping up
9	Kose (lower temp.)	Boring well	Sodium bicarbonate	65 m	Pumping up
10	Kose (higher temp.)	Boring well	Sodium bicarbonate	280 m	Pumping up

* after MINAKAMI, 1937.

が幾層か見られ、炭酸鉄泉はそれに伴って湧出している。湧泉群は、山荘の前を通る林道が蛇堀川を渡る橋の上流 100 m 地点から芦の平東端までの間の数ヶ所にそれぞれいくつかまとまって存在している。湧泉の多くは川の中に湧出している。観測点は山荘下方にある浅間館の前で右折した旧登山路が蛇堀川を渡る地点の上流約 30 m の西岸にあり、川面よりの高さ 30 cm, 直径 70 cm 位の湧出池とした。

濁川源泉 源泉は火口より約 3 km, 浅間山の南斜面, 石尊山の北東, 標高 1490 m の地点にあり、血の池のそばで浅間山登山道と東に別れた道が行きついた小谷にある。湧泉はその点から下流 100 m 位の間のいたる所に湧いている。観測点は谷の西側にあって凝灰角礫岩の割れ目より湧出する最も水量の多いものとした。

西軽井沢温泉 温泉は追分にある国道 18 号線と旧中仙道の分岐点を 1.5 km 西へ下った追分原のほゞ南端, 火口より 8.5 km の地点にある。この付近は追分火砕流の主流の端に当り軽石流の露頭がみられる。西軽井沢の開発は比較的新しく、この温泉も農業用水を得る目的で行われた掘さくにより発見された。深さ 196 m のボーリング井は現在使用されておらず、所有者である西軽井沢温泉の駐車場の東南隅にある植込みに自然湧出のまま放置されている。深さ 496 m のボーリング井は 196 m 井の南西約 50 m の地点にあり、営業に供するため掘さくされたが、現在ではポンプの故障のため揚水を中止している。

千ヶ滝温泉 千ヶ滝温泉のボーリング孔跡は火口の東南 6 km, 千ヶ滝の南 200 m, 湯川の支流千ヶ滝の谷川の西岸にある。このボーリングはかつて温泉を得るために掘さくされたが、鉄分の含有と温度が低かったため放置されたままになっている。温泉の掘さく時の資料は放置期間が長いので現在では一切不明であるが、その位置からみて MINAKAMI (1937) の調査した井戸と同じものであるならば深さは 100 m になる。現在では、導管は地表面近くで終り直径 1 m 位の湧出池を形成している。また、噴火が地表水におよぼす影響を知るための参考資料として 1937 年 2 月より観測点の 3 m ほど上流の川の中心部で流水の水質調査を合せ行っている。この観測点は冬期積雪が多く採水に困難がともなう。

星野 この温泉は火口より南東7.5 km、国道146号線星野温泉入口より東方約400 m 入った湯川の西岸に在る。温泉は霧積層群から水中ポンプにより揚水しているが浴室まで密閉送湯しているため、採水は末端部で行った。このボーリング井に関する資料は利権がからむため教えてもらえなかった。

四ツ谷 この井戸は小諸市四ツ谷にある国道18号線のバイパス分岐点のそばの軽石流の上ののった工場用地内にある。周囲は厚い軽石流のため深い田切りが発達している。観測点は工場用水用に掘さくされた深さ100 mのボーリング井で、火口よりの距離は南西約12 kmである。揚水は湖底推積層中より取水しているらしく、やや不透明である。湧出量はポンプの稼働時間から推して1967年の掘さく当時の2/3に減っている。

小瀬 浅間火山の東にある高度山の東麓と鼻曲山の西麓の間の谷を湯川が流下している。この湯川の鼻曲山麓の小支流に沿って有料道路の小瀬料金所を東に100 m位入ったところに小瀬温泉がある。火口よりの距離は約8.5 kmである。古くより知られた温泉であり、かつては約27°Cの温泉が自噴して営業に用いられていた。現在では約51°Cの温泉が掘さくされ併せて使用されており、また、高、低温泉共水中ポンプで揚水されている。この温泉の付近には高度山層群が露出しており、その下部の霧積層群が湯川沿いに確認できる。温泉は霧積層群から取水している。この観測点は1977年の移動地震観測に際して新たに設定した。

4. 測定方法

採水はほぼ2ヶ月に1回とし、水温、気温、pH、RpH、電導度を同時に測定した。また、 HCO_3^- 、Ca、Mg、Na、K、Fe(II)、Fe(III)、Clなどの溶存成分を分析した。水温の測定は、特別に検定された、標準水銀温度計を使用したため0.1°Cの精度をもっている。pH、RpHは比色法、電導度は携帯用を使用した。 HCO_3^- は現地でHCl滴定を行なった。そのほかの溶存成分は持ち帰って分析した。Ca、MgはE.D.T.A.によるキレート滴定法、Na、Kは炎光光度法、Clはロダミン水銀による比色法で分析した。Fe(II)およびFe(III)は現地で α - α' ジピリジルで発色した試料を実験室で光电比色計にかけた。浅間山の山体および周辺の湧水の多くは鉄をかなり含んでおり、その沈澱を防ぐため採水した試水の一部には1 l当り約10 mlの HNO_3 を加えた。

5. 結果と考察

(1) 水温 水温の測定結果を第2図および第2表に示す。図中の地点番号は第1表に対応する。

水温は自然湧出泉に比べてボーリング井の方が高く、集中観測に際して観測を始めた小瀬温泉の50.8~51.2°Cを除き、星野温泉の40.5~42.0°Cが最も高い。季節変化はしみ出してくる水を採取している地獄谷の酸性泉を除き明瞭ではない。この地域の水温の変動は地獄谷鉄泉、芦の平、千ヶ滝のそばの放置されているボーリング井では小さいが、ほかの地点では比較的大きく1°Cを越えている。噴火期間の前後にわたって濁川の源泉、西軽井沢の深さ196 mのボーリング井、千ヶ滝、星野などで水温に変動が見られる。濁川

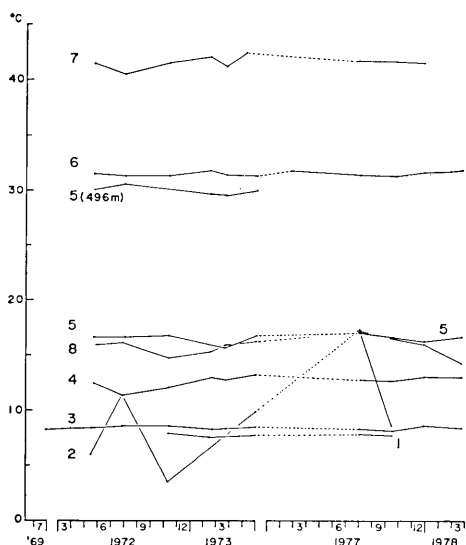


Fig. 2. Variations in water temperature.

しながら、これらの変動と火山活動との関連については今回の調査では明らかにならなかった。その理由としては測定間隔が長かったこと、調査期間が短く一回の噴火活動を経験したにすぎないことなどが考えられる。そのため、今後この地域の二、三の湧出点において水温の長期にわたる連続観測を計画している。

(2) pH と RpH 測定された pH と RpH の値を第3図および第2表に示す。

測定された pH は、地獄谷の酸性泉が最も低く 4.1~4.3、次いでその影響を受けていると考えられる地獄谷鉄泉の 4.9~5.1、西軽井沢の深さ 496 m のボーリング井が最も高く 8.1~8.2 である。酸性泉を除いて、炭酸鉄泉の pH はそのほかの湧水の pH よりも低い。また、炭酸鉄泉の中でも自然湧出泉の pH はボーリング井のそれよりも 1~2 低い。地獄谷酸性泉および西軽井沢 496 m 井を除き RpH は pH に比べて 1~2 高い。pH、RpH とも調査期間中火山ガスの混入など直接的な火山活動の影響を示唆するような変化は見られなかった。噴火期間中の変動は西軽井沢 196 m 井の RpH と pH、四ツ谷の pH に見られるがほかの地点では明瞭ではない。西軽井沢の RpH は 1972 年 5 月から 11 月にかけて高くなったが 1973 年 2 月に低下し後に 3 月以降はほとんど変化が認められない。また pH は 1973 年 2 月にわずかに高くなった以外、変化はほとんど見られない。四ツ谷の pH は 1973 年 2 月を中心として変動が見られる。この井戸の 1977 年 12 月および 1978 年 3 月の pH、RpH に見られる変化は、所有者である工場の操業上の都合により工業用水としての使用が減ったため測定に際して揚水したことによるものと思われる。

(3) 電導度 測定した電導度の値を第2表に、その対数値を第4図に示す。

電導度は西軽井沢の深さ 496 m のボーリング井が最も高く 4810~6000 μC 、最も低い湧泉は地獄谷炭酸鉄泉の 250~375 μC である。地獄谷の湧泉は炭酸鉄泉および酸性泉ともその変化は大きい。噴火活動の際の変動は水温と同様、濁川源泉、西軽井沢 196 m 井、

源泉で観測された水温は 1972 年 7 月に最低となったがその後 1973 年 2 月まで上昇し 3 月に多少低下した後 5 月には回復している。また、1977 年 10 月から 12 月の間にも水温の上昇が見られるが前の観測期間に比べて変動量は小さい。西軽井沢では 1973 年 3 月を最低とした水温の変動が現われているほか、1977 年 12 月の前後にも多少変動が見られる。千ヶ滝では、1972 年 7 月以降 2 月まで水温はわずかに上昇した後 3 月には低下している。また後期の調査では 1977 年 10 月以降翌年 3 月まで水温は上昇傾向にある。星野の水温は濁川源泉とほぼ同じ型の変動が見られる。四ツ谷の水温変化は湧出量の減少や工場の操業上の都合による揚水量の低下によるものと思われる。しか

Table 2. Chemical compositions of the groundwater in each of wells.

Locality	Sampling data	Atm. temp. °C	Water temp. °C	pH	RpH	Elec. conduct. $\mu\Omega$	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Fe(II) mg/l	Cl mg/l	HCO ₃ mg/l
1. Jigokudani (Iron carbonate spring)	72.11.9	7.3	7.9	5.1	7.3	325	29.1	5.0	10.6	3.33	39.5	3.0	266
	73.2.13	-0.8	7.5	5.1	7.1	281	30.0	5.8	10.3	3.23	41.6	2.7	313
	73.5.30	13.4	7.7	5.1	7.1	330	27.3	4.4	10.0	3.16	45.0	2.7	331
	77.8.2	21.6	7.8	4.9	7.3	375	28.9	4.4	9.9	3.05	41.2	2.3	203
	77.10.16	13.0	7.7	5.1	7.1	249	26.8	2.6	9.9	3.03	34.5	2.3	211
2. Jigokudani (Acidic water)	72.5.17	9.0	5.9	4.1	4.3	787	63.3	9.5	20.1	3.37	24.3	1.8	19.7
	72.7.27	20.3	11.3	4.1	4.1	1010	56.2	11.2	26.8	3.79	24.1	1.7	98.5
	72.11.9	7.3	3.5	4.3	4.4	637	47.5	8.3	17.6	2.95	18.4	1.7	73.9
	73.5.30	13.4	9.7	4.3	4.5	468	40.5	10.7	14.8	2.66	19.2	1.8	
	77.8.2	21.6	17.3	4.1	4.5	552	37.9	6.4	17.5	2.98	19.7	1.7	
77.10.16	13.0	8.6	4.1	4.5	503	36.1	7.7	16.7	2.77	17.6	1.6	81.2	
3. Ashinodaira	69.7.29	21.7	8.4	5.8	7.2	482	33.8	10.1	14.3	2.71		2.3	
	72.3.28	8.2	8.4	5.8	7.2	453	33.7	11.0	14.0	2.80		2.3	352
	72.5.17	7.8	8.4	5.8	7.2	480	35.0	10.0	14.0	2.97		2.3	382
	72.7.27	16.5	8.5	5.8	7.2	435	36.2	10.2	14.0	2.75	58.7	2.5	352
	72.11.9	2.1	8.5	5.8	7.3	435	38.2	11.3	14.0	2.82	56.4	2.4	382
	73.2.21	1.7	8.2	5.9	7.2	426	38.5	11.6	14.1	2.77	60.0	2.3	369
	73.3.23	5.9	8.3	5.9	7.2	485	38.1	11.8	14.0	2.78	58.8	2.3	362
	73.5.30	9.1	8.4	5.8	7.2	485	38.6	12.0	13.6	2.85	58.8	2.3	362
	77.8.2	7.7	8.3	5.8	7.1	483	35.7	10.1	13.7	2.76	55.8	2.4	313
	77.10.16	7.9	8.1	5.9	7.2	426	35.8	10.0	13.7	2.95	59.2	2.1	293
77.12.25	0.9	8.6	5.8	7.3	417	38.6	10.6	13.6	2.96	58.4	2.2	308	
78.3.20	4.9	8.4	5.8	7.3	420	38.4	10.8	14.2	2.67	58.5	2.5	321	
4. Nigorigawa-gensen	70.2.7						63.2	20.5	38.4	5.94		17.8	
	72.5.18	11.7	12.4	5.7	7.2	818	62.2	19.6	33.2	5.08	81.9	15.4	510
	22.7.28	18.4	11.3	5.7	7.3	766	58.5	19.8	34.6	5.27	83.2	12.7	502
	72.11.12	6.5	12.0	5.7	7.3	743	62.8	21.4	34.7	5.31	76.9	14.1	520
	73.2.12	-	6.7	5.7	7.2	614	59.8	19.8	34.2	5.17	76.9	13.5	475
	73.3.22	0.8	12.7	5.7	7.2	704	65.3	19.6	33.7	5.26	85.4	14.1	490
	73.5.31	19.3	13.2	5.7	7.3	698	60.7	18.9	32.8	5.17	78.8	13.3	483
	77.8.3	21.9	12.7	5.7	7.3	771	65.6	17.1	34.2	5.43	72.5	13.0	416
	77.10.17	15.1	12.6	5.7	7.3	690	64.8	16.1	33.7	5.40	73.5	12.7	416
	77.12.23	2.0	13.1	5.7	7.3	628	64.0	16.6	34.7	5.59	73.3	12.9	411
78.3.21	-0.2	13.0	5.8	7.4	612	67.2	18.3	35.9	5.73	72.2	14.2	410	

(to be continued)

Table 2. (Continued)

Locality	Sampling data	Atm. temp. °C	Water temp. °C	pH	RpH	Elec. conduct. $\mu\Omega$	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Fe(II) mg/l	Cl mg/l	HCO ₃ mg/l
5. Nishikaruizawa (depth 196 m)	72. 5. 21	21.3	16.6	6.9	8.2	1430	122	66.8	136	12.7	11.6	76.5	827
	72. 7. 30	27.9	16.6	6.8	8.3	1460	115	66.3	137	11.8	8.9	78.3	771
	72. 11. 11	8.4	16.7	6.8	8.6	1390	120	71.5	145	12.5	8.8	82.8	892
	73. 2. 16	2.0	15.3	6.8	8.3	1250	128	69.7	139	12.1	8.6	79.6	815
	73. 3. 23	9.7	15.6	6.9	8.5	1410	124	69.1	137	11.9	9.2	78.9	798
	73. 6. 1	14.8	16.7	6.8	8.5	1300	124	70.1	139	12.1	9.9	79.9	844
	77. 8. 2	23.2	17.0	6.8	8.3	1400	123	73.5	155	13.4	7.5	90.9	815
	77. 10. 17	8.3	16.6	6.8	8.3	1240	122	72.9	155	13.7	7.9	91.6	805
	77. 12. 24	6.4	16.2	6.7	8.3	1260	117	64.2	152	12.8	7.8	91.6	815
	78. 3. 20	1.5	16.6	6.7	8.3	1100	120	69.9	143	13.7	8.0	84.6	779
	72. 5. 21	21.3	30.0	8.1	8.3	5980	517	42.5	64.7	14.7	0.8	2070	236
	72. 7. 30	27.9	30.5	8.1	8.4	5400	542	41.7	63.8	14.8	1.3	2020	240
	72. 11. 8	15.2		8.2	8.3	6000	552	41.7	64.3	14.8	0.3	2030	214
	73. 2. 16	3.0	29.6	8.1	8.3	5070	563	43.7	64.8	14.9	0.6	2090	222
73. 3. 23	9.7	29.5	8.1	8.3	4810	557	47.2	64.8	15.0	0.9	2130	219	
73. 6. 1	14.8	30.0	8.1	8.3	5000	578	40.6	64.3	15.1	1.0	2130	229	
72. 5. 18	15.9	31.5	6.8	8.2	4550	375	276	495	36.4	4.5	673	1050	
72. 7. 28	20.0	31.3	6.8	8.4	4630	405	305	490	35.3	6.8	720	1070	
72. 11. 10	6.4	31.3	6.8	8.5	3400	375	281	500	36.8	5.9	659	1080	
73. 2. 15	7.3	31.8	6.9	8.3	3720	373	278	459	33.2	5.0	626	1010	
73. 3. 22	2.1	31.4	6.9	8.3	6260	409	295	408	29.5	6.0	708	1060	
73. 5. 31	21.0	31.3	6.7	8.3	4510	436	316	482	35.3	6.5	764	1100	
77. 2. 25	9.8	31.8	6.7	8.2	3960	398	296	517	38.1	5.9	676		
77. 8. 1	24.6	31.4	6.9	8.5	3980	416	297	503	38.2	6.1	704	975	
77. 10. 17	12.3	31.3	6.7	8.3	3380	430	306	503	38.2	6.3	728	997	
77. 12. 23	- 2.0	31.6	6.8	8.5	3290	312	312	498	38.2	6.5	749	1040	
78. 2. 24	- 0.5	31.7	6.7	8.4	3080	422	305	465	36.2	6.0	699		
78. 3. 20	2.6	31.8	6.7	8.4	3080	430	310	504	40.0	6.6	730	1030	
73. 2. 15	5.0	10.2	7.7	8.3	844	45.5	51.2	65.8	7.52		99.0	106	
73. 3. 22	2.1	11.7	7.7	8.3	938	46.6	53.8	68.9	7.75		105	192	
73. 5. 31	21.0	12.8	7.7	8.3	928	47.8	46.5	61.0	7.03		95.1	165	
77. 2. 25	9.8	11.0	7.5	8.2	1040	39.8	48.8	63.5	7.29		102		
77. 8. 1	24.6	15.5	7.5	8.0	1020	47.9	40.1	52.7	6.14		85.6		
77. 10. 17	12.3	13.0	7.6	8.3	1030	49.7	41.8	53.8	6.42		81.5	121	
77. 12. 23	- 2.0	10.1	7.6	8.1	861	54.2	48.6	61.2	7.14		94.0	175	

(to be continued)

Table 2. (Continued)

Locality	Sampling data	Atm. temp. °C	Water temp. °C	pH	RpH	Elec. conduct. $\mu\Omega$	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Fe(II) mg/l	Cl mg/l	HCO ₃ mg/l
7. Hoshino	78. 2. 24	—	9.4	7.7	8.3	949	64.0	54.4	66.2	6.99		93.7	138
	78. 3. 20	2.6	9.9	7.7	8.2	828	65.9	55.4	69.4	7.33		93.7	
	72. 5. 21	16.5	41.5	7.4	8.5	651	18.8	13.7	173	24.0	0.2	31.5	517
	72. 7. 29	22.1	40.5	7.5	8.7	664	22.2	13.5	141	21.1	0.1	26.3	441
	72. 11. 10	8.4	41.5	7.5	8.7	592	25.3	15.5	110	18.6	0.1	18.6	414
	73. 2. 15	2.0	42.0	7.5	8.7	502	22.0	14.9	136	20.9		24.8	424
	73. 3. 22	4.7	41.2	7.5	8.7	703	22.6	13.2	161	23.3	0.2	31.1	426
	73. 5. 31	19.1	42.4	7.4	8.7	598	25.3	13.1	107	18.7	0.3	18.4	382
	77. 8. 1	22.2	41.7	7.5	8.7	513	22.5	13.1	103	17.4	0.2	14.7	313
	77. 10. 18	16.5	41.6	7.5	8.7	498	21.5	14.1	103	17.5	0.3	13.6	316
77. 12. 24	5.3	41.5	7.5	8.5	506	21.8	13.5	105	17.8	0.1	15.0	333	
8. Yotsuya	72. 5. 23	17.9	15.9	7.0	8.2	388	28.3	10.9	51.7	5.86	0.5	14.3	241
	72. 7. 29	29.5	16.1	7.0	8.2	376	29.0	10.4	51.7	5.85	0.6	14.5	244
	72. 11. 11	4.8	14.7	7.1	8.1	367	26.9	11.0	50.2	5.68	0.6	14.6	239
	73. 2. 17	6.3	15.3	7.2	8.1	344	26.1	10.9	50.6	5.86	0.4	14.7	224
	73. 3. 23	13.6	15.9	7.0	8.1	348	26.8	10.7	49.5	5.53	0.7	14.9	214
	73. 6. 1	17.0	16.2	7.0	8.2	379	24.3	10.6	49.8	5.75	0.8	15.9	224
	73. 8. 3	28.9	17.2	7.1	8.2	316	17.8	8.7	56.3	5.79	1.2	9.4	191
	77. 10. 18	16.7	16.5	7.1	8.4	306	19.0	9.2	54.0	5.72	1.2	10.7	206
	77. 12. 24	0.8	16.0	7.3	8.2	293	18.7	9.4	56.0	5.79	1.5	11.2	203
	78. 3. 23	6.5	14.2	7.3	8.2	319	21.3	10.9	52.3	57.8	3.1	11.5	172
9. Kose (higher temp.)	77. 8. 1	25.1	51.0	7.3	8.7	938	17.4	7.2	272	25.0	0.2	30.5	486
	77. 10. 18	16.5	51.2	7.4	8.8	883	17.6	7.5	272	23.4	0.2	30.8	476
	77. 12. 22	—	2.0	7.5	8.7	837	17.8	7.5	272	23.4	0.1	30.2	476
	78. 3. 21	1.4	50.8	7.6	8.5	883	18.0	7.4	262	23.8	0.0	30.6	454
10. Kose (lower temp.)	77. 10. 18	13.4	26.6	7.6	8.5	381	12.5	5.5	113	6.98		16.6	
	77. 12. 22	—	2.0	7.2	8.5	381	12.6	5.4	112	6.94		16.6	
	78. 3. 21	1.4	25.9	7.7	8.4	357	12.7	5.6	112	6.80		17.7	234

Methods for chemical analysis.

pH, RpH: colorimetry,
 electric conductivity: portable electric conductivity meter,
 Na, K: flame photometry,
 Ca, Mg: chelate-metric titration,
 Fe(II), Fe(III): colorimetry by using α , α' -dipyridyl,
 Cl: colorimetry by using HgSCN,
 HCO₃: neutralization titration by using HCl.

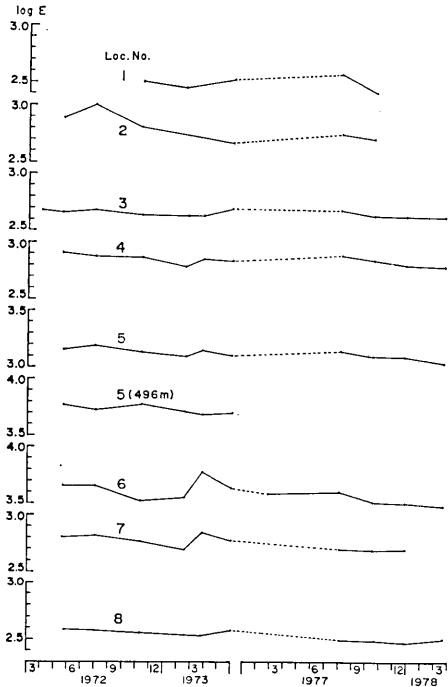


Fig. 3. Variations in pH (in solid line) and RpH (in dotted line).

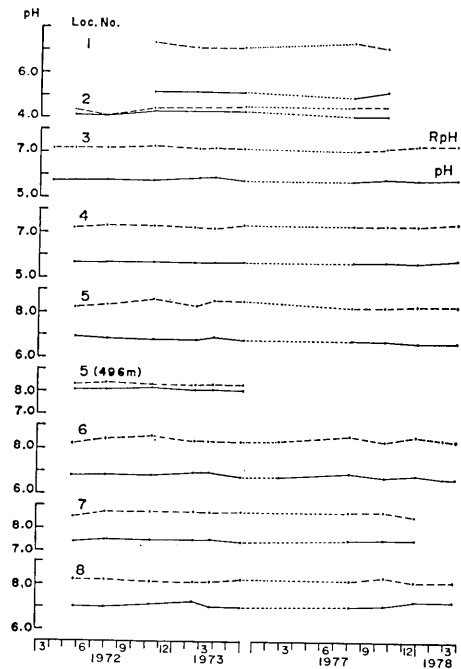


Fig. 4. Variations in electric conductivity.

千ヶ滝、そして星野に見られる。濁川源泉と西軽井沢 196 m 井の電導度の変化は同じ傾向を示し、その変化量は小さく、千ヶ滝と星野はほぼ同じ傾向で変化量は大きい。

(4) 溶存成分 各観測井の溶存成分の分析値を第2表に示す。主な観測井についてはそれぞれ溶存成分変化を図示した。グラフの縦軸は、変動のパターンを強調するため各成分の変化した範囲の量を 1 l 中のミリモル濃度で示してある。

芦の平 芦の平の溶存成分の変化を第5図に示す。

芦の平における溶存成分は観測の初期および1977年10月から12月にかけて一部のイオンにわずかな変動がみられるが、Cl と K については含有量が少なく分析精度から考えその変動はあまり意味を持たない。また、Na はほかの成分に比べて変動が少ない。1973年の噴火活動期間の変動はわずかに Fe(II) に見られただけであるがその量は小さい。この湧泉は今回の観測井の中で最も変動が少なく、今後この地域の地下水の成分変化を監視するための不動点として重要になるであろう。

濁川源泉 濁川源泉の溶存成分の変化を第6図に示す。

1970年2月に今回の調査を始めるに際し、観測点の厳寒期の状態を調べに行った時採水した試料に比べて、調査期間中、1972年には Cl, Na, K などの濃度が減少している。また1977年以降全体の傾向として Na, K, Ca は漸次増加し HCO₃ と Fe(II) は減少している。関谷(1967)は、この湧泉の水温を1949年以来観測した結果として年変化は見られないが約 1°C の振幅をもつ長期の変動があることを報告している。含有成分濃度の

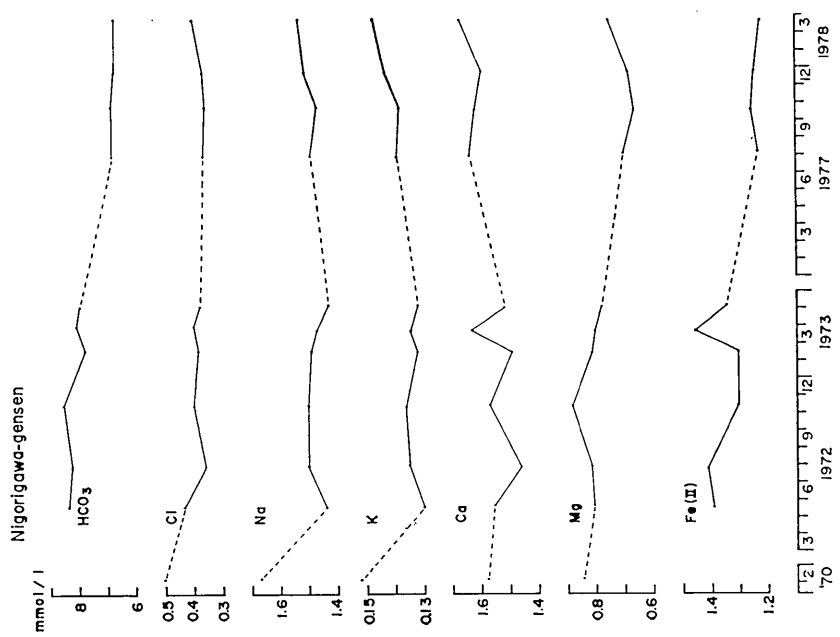


Fig. 6. Variations in concentration of chemical components in the mineral spring of one of the Nigori river source.

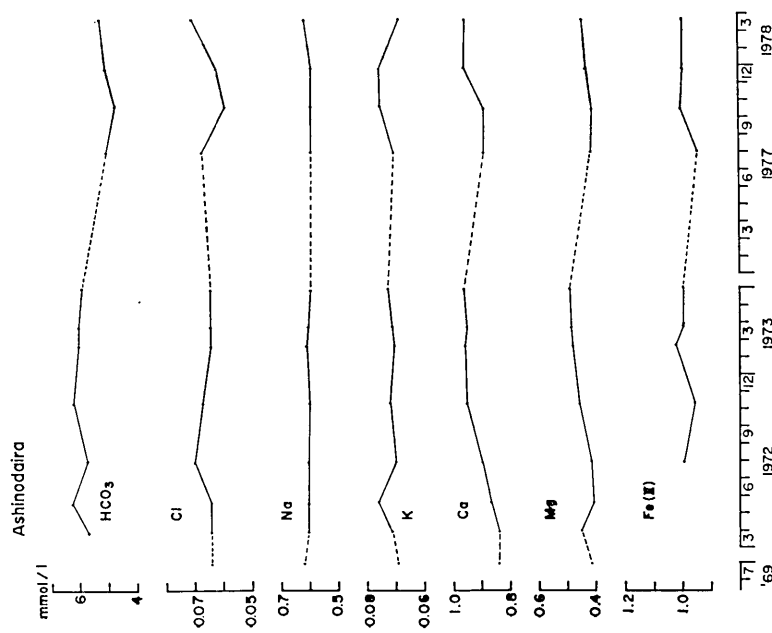


Fig. 5. Variations in concentration of chemical components in the mineral spring at Ashinodaira.

長周期の変動はこの水温変動に対応しているのかも知れない。噴火活動中の変動は Ca と Fe(II) にわずかに見られる以外明瞭ではない。

西軽井沢 西軽井沢の深さ 196 m のボーリング井の溶存成分濃度の変化を第7図に示す。

この井戸は観測した炭酸鉄泉中最も深いにもかかわらず千ヶ滝に比べて水温および Fe(II) を除く成分濃度が低い。調査期間を通して、この井戸でも濁川源泉と同様な長周期の変動が見られる。噴火活動に対応する変動は HCO_3 、Na、K、Ca などわずかに認められるが、1977年12月から1978年3月の間にも同様な変動が観測されており前期の濃度変化を直ちに火山活動に結びつけることはできない。

千ヶ滝 千ヶ滝のボーリング井の成分濃度変化を第8図に示す。

千ヶ滝ボーリング井は観測された炭酸鉄泉の中で水温、電導度と共に Fe(II) を除く成分濃度は最も高い。特に Cl と Na のモル比がほぼ 1:1 でありほかの炭酸鉄泉と泉質が異っている。この井戸の深さ、100 m の値は MINAKAMI (1937) の報告から推定したものであり確かではないが、地下増温率を $0.03\sim 0.05^\circ\text{C}/\text{m}$ とすると泉温は深さに比べて 10°C 高く深さ 400 m 前後に相当する。この原因としては、実際のボーリング深度が推定値より大きいこと、また地下に何らかの熱源が存在するかあるいはより深部の地下水の供給があることなどが考えられる。この点については今後解明して行きたい。

この井戸では噴火活動の前後にわたってすべての成分の濃度に変動が観測された。変動は成分イオンによって1972年7月あるいは11月から観測され、1973年2月または3月に濃度は最低になっている。1978年にも2月を中心に成分濃度の変動が見られるが、この変動は前期のそれぞれに比べて周期は短かく量も小さい。

星野 星野温泉の成分濃度の変化を第9図に示す。

この観測井は Na、 HCO_3 がほかのイオン濃度に比べて高く、その泉質は重そう (NaHCO_3) 泉である。この温泉における噴火活動期間の成分濃度の変動は千ヶ滝ボーリング井と同様明瞭ではほすべてのイオンについて見られる。濃度は1972年11月および1973年3月にそれまで増加していたものは減少に、減少していたものは増加に変わった。その後、この井戸は1978年3月にほかの源泉の湯を混入する工事が行われたため、今後これまでの観測値に連続するデータは得られない。

四ツ谷 四ツ谷の成分の変化を第10図に示す。

この井戸は火口より 12 km 離れており、泉源は湖底堆積層と考えられるため火山活動の影響は比較的少ないことが予想される。したがって、山体およびその近くの観測井の水質変動とこの点での変動を対比することは、変動の原因が火山活動によるものか、あるいは降水量など広域に影響を及ぼすものによるかを知るための一助になると思われた。しかしながら、溶存成分を分析した結果、濃度に変動が見られこの目的を満すものではなかった。1972年に比べ1977年以降は Cl、Ca は減少した後増加して行く傾向があり Na は逆になっている。噴火活動の際の変動は Na、K、Ca などわずかに認められるが、同程度の変動は1977年にも現われており火山活動以外の原因による可能性がある。また、1978年3月の水質変化は、水温と同様工場の操業上の都合による揚水量の急減の影響と思われる。

そのほかの観測井 地獄谷は冬期の積雪のため観測資料は少ない。噴火期間中、1973年

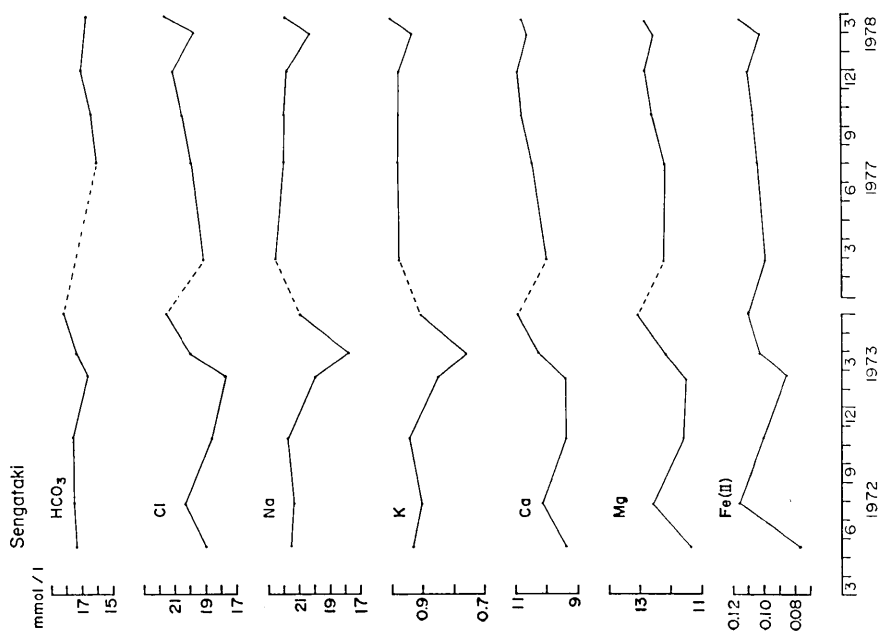


Fig. 8. Variations in concentrations of chemical components in the thermal spring water at Sengataki.

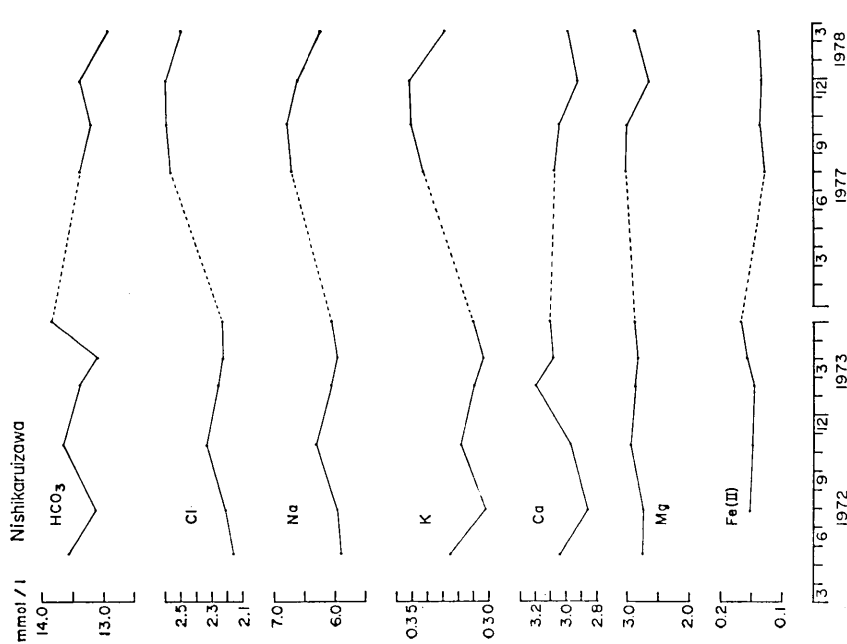


Fig. 7. Variations in concentration of chemical components in the mineral water, which issues from a depth of 196 m at Nishi-Karuzawa.

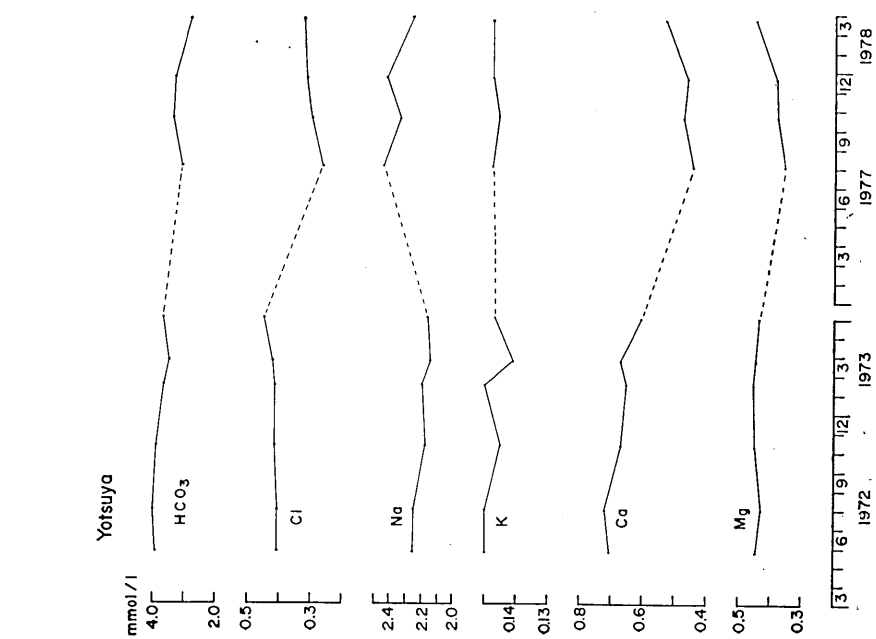


Fig. 9. Variations in concentration of chemical components in the thermal water at Hoshino hot spring.

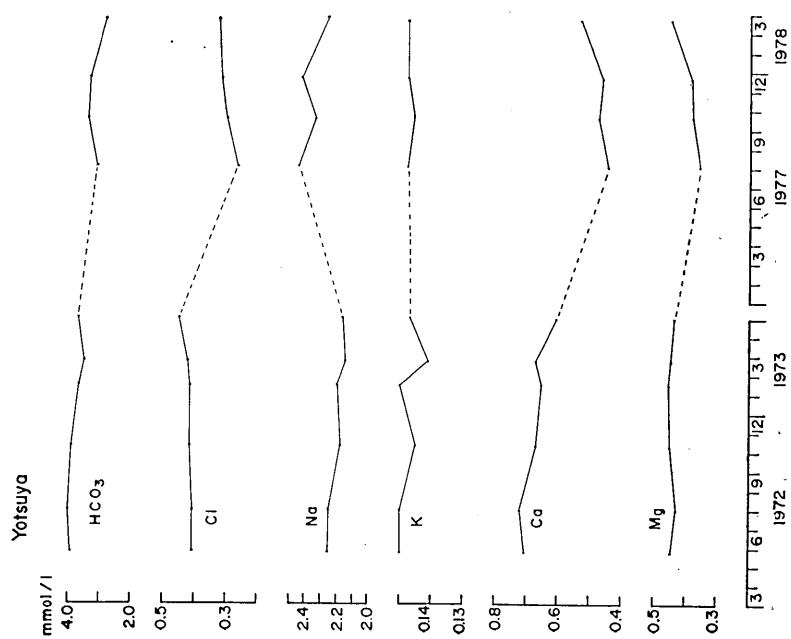


Fig. 10. Variations in concentration of chemical components in the groundwater at Yotsuya.

2月13日の調査では炭酸鉄泉は採水できたが酸性泉は冰雪におおわれており採水不能であった。この時の炭酸鉄泉の分析値はほかの期間の値に比べ際立った変化は認められず、火山活動の影響はほとんどなかったものと思われる。西軽井沢の深さ496mのボーリング井はCaおよびClがほかのイオンに比べて多く泉質は塩化カルシウム(CaCl₂)泉である。この井戸の成分濃度の変動は小さく、1973年の火山活動の影響は認められない。小瀬温泉は、噴火活動の期間に水質動変が顕著に現われた千ヶ滝、星野と火口からの方向が同じであるため、今後噴火活動と地下水との関係を調べる上で重要と考え集中観測を契機に観測を始めた。井戸はボーリングによるもので水温が51°Cのもの26°Cのもの2本を観測井とした。泉質は重そう泉で成分濃度の変動は比較的小さい。

以上述べたように、今回の調査では1973年2月から4月まで続いた噴火活動の期間に千ヶ滝ボーリング井および星野温泉で水質に顕著な変動が観測された。現時点ではこの変動と火山活動との関係について明らかにすることはできない。しかしながら、1972年10月から11月にかけてA型地震が増加したこと(下鶴, 1973)、1972年11月1日には火口底に赤熱した溶岩が認められたこと(村井, 1974)、また、1935年の噴火に際して、1934年9月末から火口底が1日平均20cmの速さで上昇し1935年4月20日の噴火と同時に100m近く急下降した事実(MINAKAMI, 1935)などから、噴火の前に火山活動が周辺の地殻に何らかの影響を及ぼすことは十分に予想される。高橋ほか(1977)は伊豆半島の異常隆起域の地下水を調査した結果、地下水は地下の状態変化に敏感であるらしいと考えている。したがって、今回観測された水質変動はマグマの上昇などに伴う地下の状態変化を反映している可能性が考えられる。千ヶ滝ボーリング井および星野温泉の位置は、宮崎ほか(1978)が集中観測の一環として行なった山麓の水準測量の結果、1956年に比べ隆起していた仏岩を中心とする地点とほぼ同じ地域であることから火口の東南方向の地域は火山活動の影響を受け易いのかも知れない。

下鶴ほか(1975)は1970年、71年、72年、73年のそれぞれ3月あるいは2月から3月にかけて東側山腹に仏岩溶岩の断層に起因すると思われる群発地震が観測されたことを報告している。この群発地震はその後毎年ではないが何度か同じ時期に観測されており、地下水との関係を調べるために千ヶ滝ボーリング井を選んで1977年および1978年2月に水質調査が行われた。地震研究所浅間火山観測所によれば1978年にも2月半ばから群発地震が観測されており、千ヶ滝ボーリング井の短周期の水質変動の原因として一つにはこの地震を発生させている地下の状態変化を反映していることが考えられる。一方、第3表に示した気象庁軽井沢測候所の測定による降水量は1978年2月(21.5mm/月)が1月(165.0mm/月)、3月(315.0mm/月)に比べてかなり少なく、この影響が水質に現われたとも考えられる。この点についてはさらに検討する必要がある。また1973年に水質変動の生じた時期の降水量は前年10月以降3月まではほとんど変化がなく、変動が降水量によるものとは思われない。

MINAKAMI(1937)は浅間山山麓の湧泉の海拔高度から第11図のような山体を西から東へ向って流下する約5°の地下水面を推定している。図中5は地獄谷、7は濁川温泉である。今回測定された山腹の自然湧出泉の水温は比較的低温で年変化が少なく、泉源は対応する高度の不易層であると思われる。泉質もFe(II)が多くClが少ないなど比較的似て

Table 3. Monthly total of precipitation at Karuizawa.

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	A.T.P.
1972	80.5	78.5	51.5	100.5	55.5	12.8	408.5	92.5	190.5	38.0	42.5	60.5	1327.0
1973	76.6	40.0	22.0	120.0	100.5	216.5	33.0	105.0	147.5	135.0	24.0	3.0	1023.0
1977	10.5	11.5	66.5	122.5	71.0	196.5	144.5	158.0	135.0	46.0	47.0	14.0	1023.0
1978	165.0	21.5	315.0										
M.N.P. (1941—1970)	35.9	41.0	65.5	90.1	126.0	196.0	183.5	183.8	173.0	139.4	55.2	33.9	1324.2

A.T.P.: Annual total of precipitation, (After Karuizawa Weather Station)
 M.N.P.: Monthly normal precipitation.

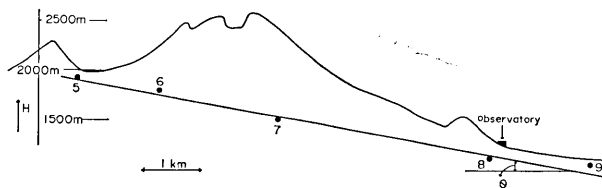


Fig. 11. The relation between the situation of spring origins and their heights above sea-level, an E-W section through the crater.

H: height above sea-level, θ : about 5° .

(after MINAKAMI, 1937)

いる。したがって、地獄谷、芦の平、濁川源泉などの観測泉の湧出は被圧によるものではなく重力によるものであり、地下の状態変化による影響を受けにくい水質変動が明瞭ではなかったものと考えられる。西軽井沢温泉の深さ 196 m のボーリング井の水温は、この地域の地下増温率から求めた地温と一致しており、深部からの地下水の混入はないと思われる。また、所有者の話によれば、この井戸はかつて 1 km 程北で標高 1000 m の地点にある別荘地でボーリングをしたところ一時期湧出が止り、その後再び回復したということであり、観測井の地下水脈はかなり山体方向へ広がっていると考えられる。

なお、Fe(III) の含有量は各井戸共極めて少なかったためこの報告では除いた。

6. おわりに

二度の期間について行なった今回の浅間山周辺の地下水の調査では、火山活動の直接的な影響と考えられる熱や物質の移動を示す観測結果は得られていない。しかしながら、火口の東南に位置する千ヶ滝のボーリング井や星野温泉の観測点で見られた噴火活動の前後にわたる溶存成分の変動は、いくつかの前兆現象に加え、水準測量の結果や伊豆半島異常隆起域で観測された、地下水が地殻の動きに敏感であるらしいという結果から推して火山活動に伴ったこの地域の地殻の動きの反映である可能性が示唆された。一方、水上により推定された地下水面や水温からその地点の不易層を泉源とする重力泉と考えられる地獄

谷や芦の平、濁川源泉、および西軽井沢温泉では噴火活動期間の水質変動は明瞭でなかった。溶存成分ではCl, Na, Caなどによってその水の変動の傾向がわかること、また水温の変動は小さいことなど今後この地域の地下水調査に対する基礎的な資料も得られた。しかしながら、地下水の資料だけでなくほかの分野の資料も不足している現段階では、観測された変動の生じる機構や地下水の成分の源に対して十分な説明を与えることは困難である。今後は、火山活動が地下水におよぼす影響を明らかにするために必要な地下水の資料を得ることを目的として、二、三の観測点において水温や電導度の計器による連続測定を始めるとともに採水間隔を短縮するなど観測の強化を計って行きたい。今回の移動地震観測の実施を契機として浅間山に対する地球物理学や地球化学の観測は一層整備されている。今後これらの観測が遂行されるにしたがって、より精度の高い豊富な資料の得られることが期待される。そして、この資料と地下水のそれを比較検討することによって火山活動と地下水との関係が明らかになり、地下水を通して火山活動を監視することが可能となるかも知れない。

7. 謝 辞

この調査を行なうにあたって、快よく井戸や施設を使用させて下さった西軽井沢温泉、星野温泉 および小瀬温泉をはじめ、観測点への通行の便宜を計って下さった小諸森林組合、降水量の資料をいただいた気象庁軽井沢測候所に深謝する。また長期にわたって芦の平の観測点を整備して下さいった浅間館の井出豊氏、および終始協力を惜しまれなかった地震研究所小諸火山化学研究施設の佐山守氏、有益な助言をいただいた地震研究所の佐藤和郎氏、明治大学の佐藤純氏に心から感謝する。

文 献

- 荒牧重雄, 1973, 浅間火山 1973年2~3月の噴火の際に発生した小型火砕流, 火山, **18**, 79-94.
ARAMAKI, S. and H. HARAMURA, 1975, Geochemical notes (1): chemical and mineral compositions of ejecta of 1973 eruption, Asama Volcano, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **50**, 109-114.
岩崎岩次, 本邦火山の地球化学的研究 (其3), 日本化学会誌, **57**, 265.
小平達郎, 1955, 陸水 その2 地下水, 北佐久郡誌, 287-338.
MINAKAMI, T., 1935, The explosive activities of Volcano Asama in 1935. (Part 1), *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **13**, 629-644.
MINAKAMI, T., 1937, The Sengataki thermal spring and underground mineral water at the foot of Volcano Asama, **15**, 134-141.
宮崎 務・行田紀也・小山悦郎・長田 昇, 1978, 浅間火山における水準測量, 地震研究所彙報, **53**, 487-495.
村井 勇, 1974, 1973年の浅間火山の噴火活動と小規模火砕流, 地震研究所研究速報, **13**, 127-162.
野口喜三雄, 1935, 1936, 1938, 1939, 1940, 本邦火山の地球化学的研究 (其1, 4, 11, 12, 22) 浅間火山山頂及び其附近に於ける噴出瓦斯並に湧出水の研究 (第1~5報), 日本化学会誌, **56**, 1495-1509, **57**, 920-928, **59**, 521-543, **59**, 902-908, **61**, 432-446.
野口喜三雄, 1939, 本邦火山の地球化学的研究 (其17) 浅間火山附近湧出水のラドン含量測定 (第1報), 日本化学会誌, **60**, 7-17.
小坂文予・村井 勇・南 英一・津屋弘達, 1957, 浅間火山及びその周辺地域の湧水並びに地下水の研究, 地震研究所彙報, **35**, 395-414.
西条八東, 1949, 浅間火山の地下水, 東大地理学研究, **1**, 73-86.

- 関谷 博, 1967, 火山観測, 浅間山の歴史と日本の火山, 総合図書, 180p.
 下鶴大輔, 1973, 浅間火山の最近の噴火活動について, 火山, 18, 33-34.
 下鶴大輔・内堀貞雄・行田紀也・小山悦郎・宮崎 務・松本時子・長田 昇・寺尾弘子, 1975, 1973年の浅間山噴火活動について, 地震研究所彙報, 50, 115-151.
 高橋春男・恒石幸正, 1977, 伊豆半島異常隆起域における地下水の水質変化——徳永南, 姫ノ湯, 月ヶ瀬, 地震研究所彙報, 52, 209-221.

27. *Variations in Chemical Species in the Groundwater
 around the Asama Volcano.*

—*Relation of the explosive activity in 1973*—

By Haruo TAKAHASHI and Yoshichi HOSOYA,
 Earthquake Research Institute.

Geochemical surveys of groundwater have been carried out during both the period March, 1972—May, 1973 and August, 1977—March, 1978, around the Asama Volcano in order to collect basic information regarding the influence of volcanic activity on the physical and chemical properties of groundwater. The four springs and four bore holes are chosen for this purpose as shown in Fig. 1, where the bore hole at Yotsuya is chosen as the standard against which to compare the variation of the characteristics of the water in the wells. Atmospheric temperature, water temperature, pH, RpH and electric conductivity were measured. Chemical components, such as Na, K, Ca, Mg, Fe(II), Fe(III), HCO₃ and Cl were analyzed.

At almost all wells, the physico-chemical characteristics of the water are found to be stable throughout the year, while a remarkable seasonal variation was observed in the acidic water at Jigokudani. The temperature, pH and electric conductivity of spring water except the acidic water at Jigokudani are within the range of 7.5—13.2°C, 4.9—5.9, and 250—820 $\mu\Omega$ and those of the bore hole one are 15.3—42.9°C, 6.7—7.6 and 500—6260 $\mu\Omega$, respectively.

The 1973 eruption of the Asama Volcano began on February 1 and continued with 15 major explosive events until April 26. At some observation points situated southeast of the crater, the concentration of dissolved components varied before and after the present activity, but no remarkable changes were observed during the quiet period, i.e., August, 1977—March, 1978.

The mechanism, if any, causing the observed variations of the ground-water, is not proposed here because of the deficiency of other geophysical as well as geochemical data.

In addition to surveys at regular intervals, continuous measurements of the water temperature and electric conductivity are now planned at a few wells, which might play some role in monitoring the volcanic activity.