

# 浅間山北麓の地下水と湧水の水質

## Water Quality of Groundwater and Spring on the Northern Foot of Mt. Asama

佐伯 明義\*・田瀬 則雄\*\*

Akiyoshi SAEKI and Norio TASE

### I はじめに

火山山麓は、透水性のよい多孔性の火山灰などから構成されているため一般的に地下水は得難い。しかし、山麓には不透水層の存在により多量の湧水がみられることも多い。

湧水は、地下水の露頭であり、地下水の循環や水質を考えるうえでの重要な場であるため、湧水の地理的分布に関する研究には興味深いものがある。例えば、山口（1972）は北海道の羊蹄山山麓の湧水の分布、流量、水質について調査を行い、羊蹄山のもつ水制御の機構を考察するとともに、水収支の計算を行った。また山本ほか（1987）や島野（1987）は、熊本県阿蘇山周辺の湧水の分布や規模、湧出の性状および水質について調査を行い、湧水の湧出機構と水文化学的特徴について考察した。

火山山麓の地下水の循環や流動を推定する手掛かりとして、水の溶存成分をトレーサに用いた研究も多い。池田（1982）は、静岡県富士市における地下水の水質形成の過程を明らかにするに際し、地下水中の $\text{HCO}_3^-$ の濃度分布による地下水の流動方向の推定の可能性を示した。下津（1986）は、熊本県阿蘇火山体における循環地下水の特性に関する研究において、地表からの供給と考えられる $\text{Ca}^{2+}$ 、Sなどの指標物質の変化に基づき、水の流動経路の時間

的、空間的比較には、水質情報が有効であることを示した。また、永井ほか（1983）は熊本平野の地下水の水質組成を地下水流動系を考慮した水質混合により解明した。

本報では、浅間山北麓の湧水と井戸の水質データに基づいて得られた知見を述べるとともに、当地域の湧水と井戸の位置と水質との関係について若干の考察を試みた。

### II 研究対象地域の概要

研究対象地域は、吾妻川と浅間山に挟まれた北麓斜面であり、そのほとんどが群馬県吾妻郡嬭恋村に属する。同村管内の大部分が標高1,000 m以上の高原地帯である。嬭恋村を取り囲む白根・四阿・烏帽子・浅間山の火山群は新生代第四紀の火山であり、第三紀層を基盤にするものと考えられている。当地域を構成している地質は、火砕流や軽石流の堆積物、溶岩が主体である。

嬭恋村は高原キャベツの全国有数の産地であり、浅間山北麓を中心に2,000 ha以上の畑で高原野菜が栽培されている。また、浅間山東麓には別荘地が広範に開発されており、夏季にはかなりの人で賑わう。

\*筑波大学・院・環境科学研究科(現・千葉大学・院) \*\*筑波大学地球科学系

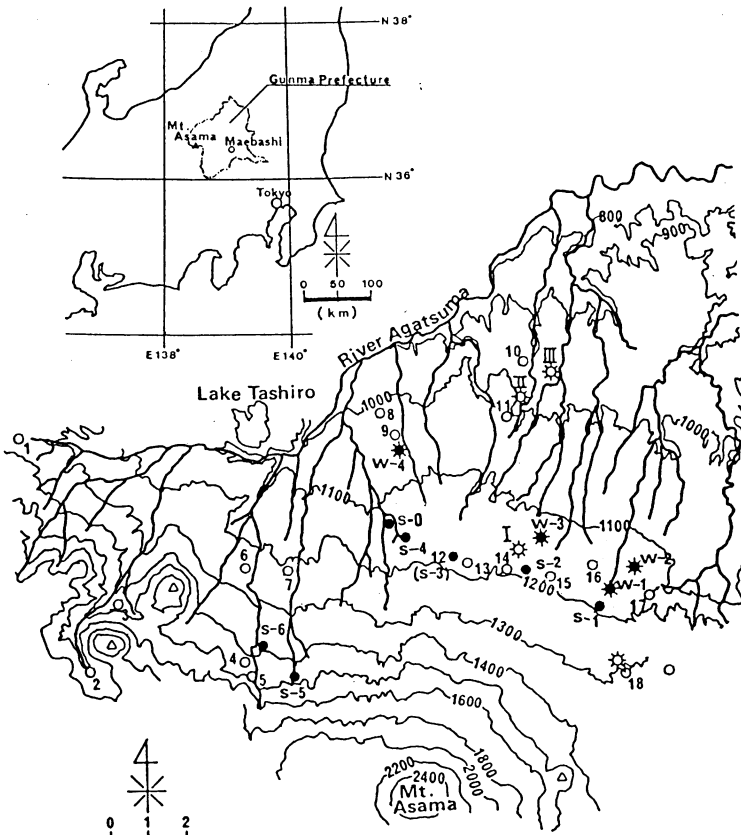
### Ⅲ 主な湧水と井戸

#### 1) 湧水

当地域の主な湧水と井戸の分布を第1図に示す。図中、白抜き丸印は、1972年から1973年にかけて地質調査所（高橋ほか，1974）により調査されたものである。黒丸は、筆者らが1987年に調査した地点である。湧水の分布は、山麓の谷部、凹部、先端部、そして鬼押し出し溶岩流の先端部に位置するものが多い。この中でも優勢な湧水は、孺恋村の簡易水道・上水道の水源として利用されている。湧水の湧出形態は、基本的には大きく2つに分けられる。1つは

溶岩の割れ目から湧出するタイプ、他は砂礫層から湧出するタイプである。

山本（1970）は、富士山における水の賦存形態、涵養機構から山体を垂直方向に4つに区分している。すなわち、①山頂涵養帯（無水域）、②山腹涵養帯（乏水域）、③山麓湧泉帯（豊水域）、④湿地帯である。浅間山北麓の場合、標高1,000～1,200 mの範囲に湧泉が集中していること、谷頭をもつ河川が比較的多いが、なかには季節によって流水が途絶えることから判断して山腹涵養帯から山麓湧泉帯に位置するものと考えられる。なお、北東山麓にある六里ヶ原は④の湿地帯と考えてよい地域である。



- ☆ I, II, III : 地質柱状図の存在する井戸
- 1~18 : 主な湧水
- ★ W-1~W-4 : 1987年に調査した井戸
- S-0~S-6 : 1987年に調査した湧水

第1図 湧水と井戸の分布

湧水の位置標高、湧出量、水温、電気伝導度、pH、RpHをまとめたものが第1表である。浅間山起源の地下水でない地点番号1~6の湧水を除外すると、標高1,050~1,200 mにかけての範囲に湧出量の大きなものが認められる。湧水の湧出量と水温の間には、比較的強い負の相関関係があり、湧出量の大きなものほど水温は低くなる傾向が認められる。特に、嬭恋村の第1上水道水源(旧鎌原湧水)は、水温が4℃と極端に低く、浅間山北麓の湧水中で最大の湧出量をもつ。

## 2) 井戸

当地域は、全般に深井戸資料に乏しく、被圧地下水の賦存状況はよく分かっていない。わずかに、鬼押出し溶岩流先端部において、別荘地の水源が掘削

されている程度である。また、部分的には個人による打ち込み井戸が存在するが、開放井は非常に少ない。なお、吾妻川の河床には、掘削深度360、270、200 mにおよぶ温泉井が存在するが、飲料に適する水質の浅井戸は少ない。

既存の井戸の地質柱状図および井戸深度、揚水水位、揚水量についてまとめたものが第2図である。これによると、静水位の現れる位置が、溶岩中にあるものと砂礫層中にあるものとの2つのタイプがあり、湧水の湧出形態に一致している。

地下水位については、W-3においてほぼ1ヵ月の間隔で実測した。1987年5月から10月にかけて、地表面から地下水面までの深さは、1.5~1.7 mの範囲でわずかに変化しており、表層部溶岩層の内部

第1表 湧水の諸元(1974年6月のデータ、高橋ほか(1974)による)

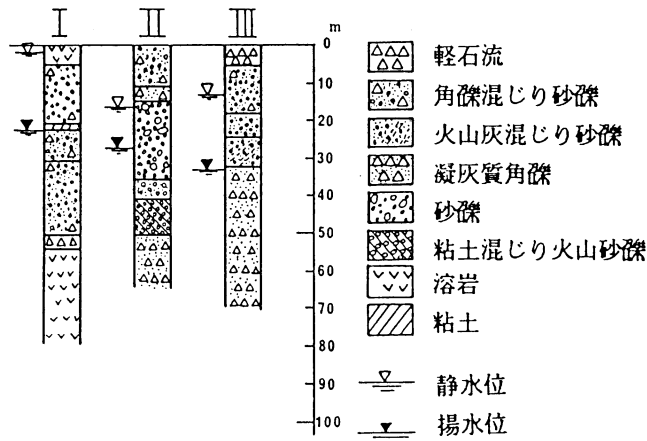
地点番号	湧泉名	位置・標高(m)	湧出量(m <sup>3</sup> /day)	水温(℃)	電気伝導度(μS/cm)	pH	RpH
1	鳥居湧水	A・1,350	—	—	(42)	—	—
2	湯尻湧水	B・1,600	520	8.8	65	7.1	7.2
3	田代水源	B・1,450	300	6.7	62	—	—
4	大沢清水	C・1,430	6,700	6.4	65	—	—
5	大沢沢	B・1,480	700	6.5	118	6.9	7.1
6	農場水源	A・1,260	—	8.8	77	6.9	7.0
7	中原山梨水源	A・1,220	30	8.1	70	7.0	7.1
8	大笹水源	D・1,000	220	8.5	174	—	—
9	大堀沢湧水	A・1,050	9,700	8.5	163	6.9	7.1
10	鎌原水源	D・960	—	8.3	269	—	—
11	小熊湧水	E・1,020	—	7.8	143	—	—
12	旧鎌原湧水	F・1,170	28,000	4.0	347	7.1	7.4
13	うまい水	F・1,170	—	—	(196)	—	—
14	小宿湧水	E・1,190	5,500	—	(476)	6.2	6.4
15	小滝湧水	E・1,195	7,500	10.8	432	—	—
16	匡邑湧水	E・1,150	—	10.9	449	—	—
17	北軽水源	D・1,130	—	—	(714)	6.5	6.9
18	砂塚湧水	A・1,300	—	10.4	100	7.2	7.4

(位置)

A: 火山性山麓地の谷部, B: 火山性山麓地の山間部, C: 火山性山麓地の山脚部  
D: 火山性山麓地の先端部, E: 火山性山麓地の凹部, F: 鬼押出し溶岩流先端部

(電気伝導度)

電気伝導度は18℃における換算値, ( )内は、未補正の測定値



地点番号	井戸名	井戸深度 (m)	揚水水位 (m)	揚水量 (m <sup>3</sup> /day)
I	日本興業	80	23	430
II	山一物産	65	27	休止井
III	三洋開発	70	33	85

第2図 井戸の諸元

もしくはその直下に地下水面が存在する。地質の層序としては、第2図の地点番号Iの地質柱状図に酷似している。

#### IV 水質タイプ

水質は、水に溶存している様々な成分によって、化学的に特徴づけられる水の性格を意味する。通常、陸水中の主要成分といわれるものは、陰イオンとして塩化物イオン (Cl<sup>-</sup>)、硝酸イオン (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)、硫酸イオン (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)、重炭酸イオン (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) の4種、陽イオンとしてカリウムイオン (K<sup>+</sup>)、ナトリウムイオン (Na<sup>+</sup>)、カルシウムイオン (Ca<sup>2+</sup>)、マグネシウムイオン (Mg<sup>2+</sup>) の4種を指す。これに非電解質として珪素 (Si) を加えることもある。

また、主要成分ではないが、地域の水質の特性をみるために、様々な化学成分を分析することも行われる。本研究では、微量成分のひとつとしてフッ素を取り上げた。フッ素は、わが国では火成岩 (主に

花崗岩) 地域や火山・温泉周辺の地下水に含有量が多い物質である (田瀬, 1988)。

1987年7月の採水調査の分析結果を第2表に示す。参考値として、6月の湧水S-0の分析結果も掲載した。この湧水は、道路のアスファルト舗装の際に骨材として混入する火山灰の採掘跡 (地表より10数m下) に湧出していたものである。湧水S-0は、他の湧水の水質と比較した場合、硝酸イオンがオーダーで1~2桁も大きい。これはこの湧水の上流域に大規模なキャベツ畑が展開していることから、畑に投与された肥料に含有される窒素化合物に由来するものと考えられる。

水質の主要成分については、分析の結果得られた重量濃度 (mg/l) を当量濃度 (me/l) に換算し、ヘキサダイアグラムやトリリニアダイアグラムに表現し、水質比較や水質型区分を行った。

第2表に示した測定・分析項目のうち、まず電気伝導度 (18℃補正值) に着目すると、標高1,400~1,600mに位置する湧水S-5, S-6は、48~55

第2表 湧水と地下水の水質

地点 番号	電気伝導度 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	水温 ( $^{\circ}\text{C}$ )	pH	RpH	$\text{Cl}^-$ ( $\text{mg}/\ell$ )	$\text{NO}_3^-$ ( $\text{mg}/\ell$ )	$\text{SO}_4^{2-}$ ( $\text{mg}/\ell$ )	$\text{HCO}_3^-$ ( $\text{mg}/\ell$ )	$\text{K}^+$ ( $\text{mg}/\ell$ )	$\text{Na}^+$ ( $\text{mg}/\ell$ )	$\text{Ca}^{2+}$ ( $\text{mg}/\ell$ )	$\text{Mg}^{2+}$ ( $\text{mg}/\ell$ )	Si ( $\text{mg}/\ell$ )	$\text{F}^-$ ( $\text{mg}/\ell$ )
S-1	229	11.6	6.2	6.8	21.4	1.3	40.9	58.7	3.4	13.0	19.0	10.6	23.3	1.1
S-2	185	14.0	6.2	6.8	11.1	0.4	40.3	41.5	2.0	8.1	20.8	5.0	22.4	1.0
S-3	202	4.2	7.0	7.2	9.0	0.8	33.9	78.2	2.1	9.6	26.5	6.4	18.5	1.0
S-4	104	7.5	6.6	6.8	4.6	0.9	12.3	43.4	1.9	5.9	11.9	2.8	18.6	0.7
S-5	48	7.4	6.8	7.0	2.4	0.4	2.9	19.2	1.1	2.7	4.8	0.8	13.4	0.3
S-6	55	7.3	6.8	7.0	1.5	0.5	4.3	29.0	1.1	2.7	7.1	1.3	13.6	0.0
S-0	216	9.7	5.8	6.8	13.1	32.1	18.4	55.7	4.2	8.9	24.3	6.0	19.1	0.0
W-1	282	12.4	6.0	6.8	27.2	0.0	49.1	59.7	4.1	15.8	19.1	13.0	23.1	1.3
W-2	318	12.0	6.4	6.8	29.1	5.0	57.3	71.2	4.8	15.4	21.6	17.3	20.9	1.3
W-3	287	15.0	6.2	6.4	25.6	0.0	66.3	56.3	2.2	11.3	32.5	10.6	19.9	1.1
W-4	152	10.7	6.6	6.8	6.1	0.6	24.7	42.9	2.2	6.5	14.2	4.4	16.7	1.1

S-0のみ1987年6月の調査結果、あとは同年7月のデータ

$\mu\text{S}/\text{cm}$ の値であるのに対し、標高1,000~1,200 mに位置する湧水 S-1~4 は、104~229  $\mu\text{S}/\text{cm}$ の値である。井戸 W-1~4 は、標高1,000~1,200 mの範囲に集中しており152~318  $\mu\text{S}/\text{cm}$ と、同地域に位置する湧水 S-1~4 よりも大きい値をとる。水温は、湧水 S-3の4 $^{\circ}\text{C}$ という極端な値を除けば、湧水、井戸水の別なく、距離の近いものほど水温も近くなることが認められる。pHは6.2~7.0の範囲にあるが、RpHは6.4~7.2となり、当地域の湧水、井戸水の大部分は微酸性~微アルカリ性に属する。

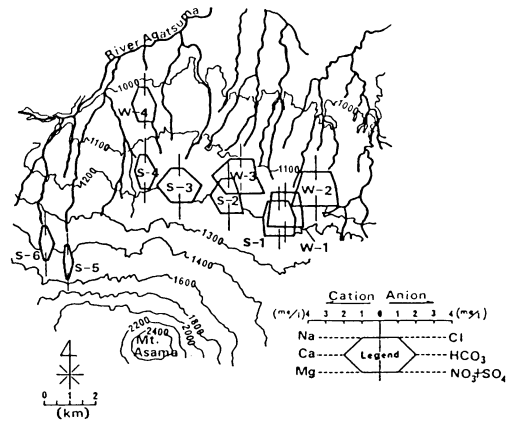
次に主要化学成分を解析して、トリリニアダイアグラムにプロットしたものが第3図である。また、第4図にはヘキサダイアグラムを採水点上にプロットした。これらのダイアグラムおよび分布地域を考慮に入れて水質区分を行うと、大きく2つに分類することができる。この分類は陰・陽イオン間の仮想的な結合状態に基づいており、1つはアルカリ土類重炭酸塩型 (Carbonate hardness type) で、湧水 S-3~5 がこれに属す。他方はアルカリ土類非重炭酸塩型 (Non-carbonate hardness type) であり、湧水 S-1, S-2 と井戸水 W-1~3 がこれに属す。井戸水 W-4 は両者の境界領域にある。前者は、 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  タイプであり、 $\text{Ca}^{2+}$  や  $\text{HCO}_3^-$  を多く含有し、後者は  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{CaCl}_2$  タイプで  $\text{SO}_4^{2-}$  や  $\text{Cl}^-$  が卓越している。

非電解物質の珪素は、13.4~23.3  $\text{mg}/\ell$ の範囲に

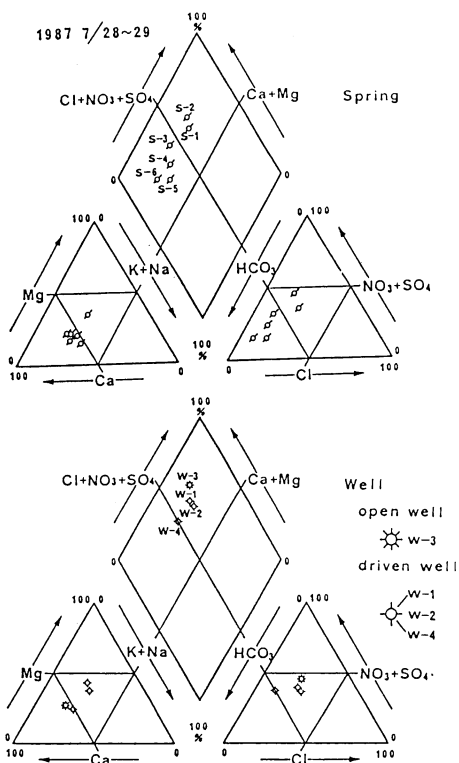
あり、陰イオンや陽イオンと比較すると、ばらつきが少ない。当地域の湧水・井戸水中に含有されるフッ素の量は0.0~1.3  $\text{mg}/\ell$ であるが、浅間山北麓では飲料水の許容基準値(0.8  $\text{mg}/\ell$ )を越えており、保健衛生上問題である。フッ素は火山噴出物から溶出したものと考えられる。

### V 湧水・井戸の位置と水質との関係

当地域の湧水の湧出形態には、①溶岩の割れ目から湧出するタイプ、②砂礫層から湧出するタイプの2つが存在することは前に述べた。前者に属するタイプは、S-3 (嬬恋村の第1上水道)、S-5、S-6の



第3図 湧水と地下水のトリリニアダイアグラム



第4図 湧水と地下水のヘキサダイアグラム

湧水である。第3図に示したトリリニアダイアグラムの分類は、いずれもアルカリ土類重碳酸塩型に属しており、河川水や浅層の地下水に代表される水質とされる。後者に属するタイプはS-1, S-2の湧水である。これらはアルカリ土類非重碳酸塩型に属しており、鉱泉・温泉などの火山活動の影響を強くうけている水質とされる。ただし、湧水S-4は両者の境界領域上にある。湧水の化学組成に着目すると、位置標高が上位から下位にむかうにつれて、陰イオンの全当量合計に対する重碳酸イオンの占める比率が低下し、塩化物イオン、硝酸イオン、硫酸イオンの占める比率が増加する傾向が認められる。一般に珪酸塩の骨格が崩れるときは、まず主要陽イオンが溶出し、珪酸は一部沈澱し、同時に重碳酸塩が生じる。当地域における陽イオンと珪素の分析値の大小関係は  $Ca^{2+} > Na^+ > Si > Mg^{2+} > K^+$  の順であった。下位標高の水質に占める塩化物、硝酸、硫酸イオン

は人為によるものと火山・地質条件の影響が考えられるが、その寄与の程度は明かでない。

井戸の多くは、砂礫層に有力な帯水層をもつものと考えられ、第2図に示したような溶岩層内部あるいはその直下に地下水面の存在するタイプは少数である。井戸の水質のほとんどは、アルカリ土類非重碳酸塩型に属している。井戸の位置標高と水質の間には湧水のそれと比較して、明確な関係は認められない。

水の化学組成に変化をもたらす要因としては、①地質条件、②遊離炭酸ガス、③溶存酸素が挙げられる。①地質条件については、その層序、岩質の分布が明かでないこと、③溶存酸素については、未測定項目であるために、②遊離炭酸ガスを要因とした場合について検討してみる。

遊離炭酸ガスは、水に溶存している気体状の二酸化炭素のことであり、その溶存量はpHとRpH(Reserved pH)の差に比例して多くなる。遊離炭酸ガスが多いと、水のpHは酸性側に傾くため、水中に溶存している遊離炭酸ガスの量とpHは密接な関係がある。当地域の湧水と井戸水に関しては、pHが6.0~7.0の範囲にあり、RpHについては7.2以上の値は存在せず、遊離炭酸ガスの量は少ないことが認められる。

池田(1982)は、静岡県愛鷹火山噴出物について検討を行い、火山噴出物中の地下水の遊離炭酸ガス量は全般に少なく、微弱アルカリ性を呈することを報告している。この原因としては、火山噴出物中に溶存酸素を消費する有機物の少ないこと、溶岩の割れ目や砂礫層・軽石流堆積物の多いことから、透水性の極めて高いことが挙げられる。このような地質条件が、地下水中の遊離炭酸ガスの発生を少なくし、pHを微酸性~微アルカリ性にしているものと考えられる。

地下水の流動を推定する因子としては、電気伝導度が重要である。一般に、人為による汚染を受けていない清浄な陸水にあつては、ある温度補正をした電気伝導度と電解質の全当量合計との間に非常に高い正の相関関係の存在することが指摘されている。従って、水温と電気伝導度の測定値と代表的な採水

点での水質分析結果があれば、ある程度までは地下水の流動や循環の様子について推定することが可能である。ちなみに、1987年7月に筆者らが実施した全域的な採水調査の結果によると、電気伝導度(18℃補正值)と電解質の全当量合計との間には相関係数0.99という非常に高い正の相関がみられた(佐伯, 1988)。

第2表の電気伝導度(18℃補正值)と第1図に示される湧水、井戸の位置関係および第3図、第4図のダイアグラムから総合的に検討したところ、以下のような特徴が認められた。①標高1,400~1,600 mに位置する湧水S-5、S-6は、同じ起源の水と考えられ、溶存成分は希薄である。電気伝導度は上位標高から下位標高へ向かうにつれて増加する。②標高1,000~1,200 mに位置する湧水S-1~4はいずれも異なる地下水起源であり、S-4からS-1に向かうにつれ、溶存成分は増大する。電気伝導度は、S-4からW-4、S-2からW-3、S-1からW-1、W-2というように、上位標高から下位標高へ向かうにつれて増加する。

## VI おわりに

本稿では、浅間山北麓の湧水と井戸水の水質データに基づいて、湧水・井戸水の位置と水質の関係について若干の考察を試みた。その結果、当地域の湧水は水質タイプで分けると重碳酸塩型、井戸水は非重碳酸塩型であること、pHとRpHの差は小さいこと、上位標高から下位標高へ向かうにつれて、電気伝導度が増大すること、また全陰イオンに対する重碳酸イオンの比率が低下し、塩化物イオン、硝酸イオン、硫酸イオンの比率が増大することが分かった。

当地域での地下水の循環と水質との関係を論ずるには、湧水の流量と水質のデータとが時間的に重なり合っていることが必要である。また、地下水の流

動という広域的な水の動きを推定するには、湧水や井戸の観測点が不足している。本稿では湧水、井戸の位置と水質との関係という予察的な段階にとどまったので、今後更に詳しく検討したい。

## 謝 辞

本論は、筑波大学学内プロジェクト研究の助成を受けた。また、本研究を進めるにあたり、筑波大学地球科学系の高山茂美教授ならびに諸先生より貴重な御意見ならびに多大な援助を頂きました。ここに記し感謝いたします。

## 文 献

- 池田喜代治(1982):静岡県富士市における地下水の水質の研究。日本地下水学会会誌, **24**, 77-93.
- 佐伯明義(1988):浅間山北麓の水質に関する研究。昭和62年度筑波大学大学院環境科学研究科修士論文, 71 p.
- 島野安雄(1987):阿蘇山周辺における湧泉の分布と若干の性状について。ハイドロロジー, **17**, 99-110.
- 下津昌司(1986):阿蘇火山体における循環地下水の特性について。日本地下水学会会誌, **28**, 1-13.
- 高橋 周・後藤隼次・菅野敏夫(1974):長野・群馬県湯川および吾妻川上流域水理地質図。地質調査所, 日本水理地質図, No. 23.
- 田瀬則雄(1988):日本における高濃度フッ素地下水の分布について。日本地下水学会昭和63年度春季講演会要旨, 16-19.
- 永井 茂・石井武政・黒田和男(1983):熊本平野の地下水の水文学的研究。工業用水, **296**, 27-43.
- 山口久之助(1972):羊蹄山の湧水とその水収支について。地学雑誌, **81**, 4-20.
- 山本莊毅(1970):富士山の水文学的研究。地理学評論, **43**, 267-284.
- 山本莊毅・高村弘毅・樋口政男(1987):阿蘇山周辺の湧泉について。ハイドロロジー, **17**, 121-135.