

東京大学大学院新領域創成科学研究科  
環境学研究系自然環境専攻

平成 18 年度

修士論文

富士山西・南麓の湧水水質と人間活動

（生活、産業）との関係

Relationship between Spring Water Quality and Human Activity  
(Life and Industry) in Southern and Western Areas of Mt. Fuji

提出 2007 年 3 月提出

指導教員 大森 博雄 教授

学籍番号 56714 鈴木 伸英

## 目次

第1章	はじめに	4
1-1	研究の背景	4
1-2	既往研究	5
1-3	目的	8
第2章	研究対象地域の概要	9
2-1	研究対象地域の紹介	9
2-2	富士山の地質・地下水・湧水の特徴	9
2-2-1	富士山の地質	9
2-2-2	富士山の地質と地下水	10
2-2-3	富士山の湧水・地下水	10
2-2-4	富士山の湧水・地下水水質	11
2-3	研究対象地域の地質・地下水・湧水の特徴	11
2-3-1	研究対象地域の地質	11
2-3-2	研究対象地域の地質と地下水	12
2-3-3	研究対象地域の地下水・湧水	13
2-4	研究対象地域の土地利用	14
2-5	研究対象地域の気候	14
第3章	研究方法	16
3-1	調査・研究方法	16
3-1-1	現地調査の時期及び方法	16
3-1-2	実験室における水質測定	16
3-1-3	現地水質測定の信頼性	16
第4章	研究結果	18
4-1	湧水水質の季節変動	18
4-2	湧水水質の空間分布	18
4-3	水質組成から流動経路の推定	22
4-4	クラスター分析による水質分類	23
4-5	水質形成（自然由来と人為由来との関係）	25
4-6	各主要無機イオン間の短相関	26
4-7	本研究対象地域の土地利用と湧水水質との関係	28
4-8	湧水水質の主成分分析	30
第5章	考察	32
5-1	今後の問題点	35



## 第1章 はじめに

### 1-1 研究の背景

第二次世界大戦以降の戦後日本において、高度成長期に顕著となった公害問題は落ち着きを見せ、我々の日常生活においても目にすることはほとんどなくなってきた。しかしながら近年、被害者と加害者とが明確に区別されることが当たり前であった公害問題に取って代わり、被害者と加害者が明確化できないという、また時には被害者であると同時に加害者であるという状態を引き起こす環境問題が顕在化してきた。

水環境分野に関しても、1967年の公害対策基本法の制定に引き続き、1993年の環境基本法の制定へと、これらの法律に起因する環境基準が設けられ、顕著な水質汚濁はあまり見られなくなってきた。しかしながら、上記に示した環境問題のように、水質汚染においても水質汚染物質の排出者である加害者と、水質汚染の被害を受ける被害者との明確な区別ができない新たな水質汚染の問題が顕在化してきた。すなわち、従来の水質汚濁型の問題は、汚染源が工場や家屋の排水管等、明確に特定できるものであるのに対して、環境問題的な水質汚染は、汚染源が地域全体であり、汚染源そのものが特定できないという問題が出現し始めてきたのである。前者は、汚染源が明確に特定できるため点源汚染と言われ、後者は汚染源がはっきりせず、明確に特定できないため面源汚染と言われている。

地下水についても、工業化に伴う工場立地に際して、トリクロロエチレンやテトラクロロエチレン等の発ガン性を有する有機塩素系化学物質の地下漏洩による有毒物質汚染が有意となった時期もあった。しかしながら、環境基本法の制定による環境基準の設定などにより行政による規制や対策が実施され、一時期の危機的状況は脱しているのが現状である。しかしながら、新たな地下水汚染の問題として、上記環境問題と同様に硝酸態窒素汚染が面源汚染として発生している。硝酸態窒素は、多量に体内に摂取されると血液中のヘモグロビンを酸化し、酸素運搬能力のないメトヘモグロビンへと変換させ、メトヘモグロビン血症を引き起こしたり、また、人体に摂取された2級及び3級アミンと結合すると、強力な発ガン性を有するニトロソアミンを発生させるなど、人体に対し悪影響を及ぼす物質である。WHO(World Health Organization:世界保健機関)は、この硝酸態窒素の水分中の含有量を10mg/lと設定している。

このように、地下水に関する環境問題の実態についても、工場の排水管等から由来するトリクロロエチレンやテトラクロロエチレン等の発ガン物質である有機塩素系化学物質による点源汚染及び汚染由来地域が明確でない硝酸態窒素汚染などの面源汚染とに大きく分類される。

前者である有機塩素系化学物質汚染に関しては、点源由来の場合が大半をしめ、上記に記載したように法律規制の基、その被害は年々減少傾向にある。しかしながら、後者の面

源由来である硝酸態窒素汚染に関しては、汚染由来地域の特定の明確化が困難で、また汚染地域の土地利用特性及び地質的特性等多様な原因を反映するため、汚染源の特定及び汚染対策の問題が進まない状態となっている。これら後者の形の地下水汚染に対する対策を講じるためには、水質、土地利用、地質、地下水流動等、多面的な分野からの解析が必要であると考えられる。

## 1 - 2 既往研究

既往研究として代表的なものは、まず、高山(1995)がある。本研究は、富士山の降雨、雨水から地下水流動系、地下水、湧水まで多面的に渡り、富士山全体の地下水流動系の解明に努めている。高山(1995)において、とりわけ注目すべきは、佐藤・河野・北川(1995)および安池・佐藤・北川・鈴木(1995)である。

前者については、湧水水質をpH、電気伝導度、主要無機イオン(ナトリウムイオン:Na<sup>+</sup>, カリウムイオン:K<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>, 塩素イオン: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>)を測定項目として、各々の湧泉の湧水水質の違いについて明らかにしている。まず、pHについては、通常地表に存在するpHは7付近であることが多く、富士山全体の湧水のpHも6.09~8.93と幅が広く、一定の傾向は見出せないでいる。次に、電気伝導度に関しては、集水域からの流動距離が比較的短い標高の高い場所や、流動距離が比較的長くかつ市街地に存在するが人為の影響をあまり受けていない湧水は、100 µS/cm前後を示しており、反対に市街地で人為の影響を受けていると考えられる湧水は、122~157 µS/cmとやや高い値を示している。また、集水域からの流動距離がさらに長い富士山南東麓の三島市付近の湧水は、142~189 µS/cmと流動距離が長いことから、水(二酸化炭素を含む)と岩石との化学反応が流動距離に比例して多く行われた結果HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>を中心に濃度が高くなったと推定されている。富士山西・南麓である富士宮市および富士市付近の湧泉の湧水は、200 µS/cm前後を示す湧水が存在し、これは、硝酸イオン、硫酸イオンの値が高いことから、流動距離が長いという原因だけでなく、人為的影響が大きいと推定されている。また、上記主要無機イオンについては、佐藤・河野・北川(1995)においてすべての湧泉ではないが富士山全体に分布している湧泉の湧水を分析している。これによると、まず送風塩や人為由来の塩化ナトリウム:NaClの影響からCl<sup>-</sup>の起源は、塩化ナトリウム起源がほとんどを占めていると推定している。HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>については、全イオン濃度が高くなるにつれてHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度が高くなる傾向が示されていた。これは、流動距離あるいは滞留時間に比例して、水と岩石の化学反応が多く行われることによりHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度が高くなっていると考えられている。また、主要無機イオン全体に対して、占める割合が高いイオンの水質型をあらわすと、富士山湧水全体としてCa-HCO<sub>3</sub>型が最も多いことが示された。しかし、Ca-HCO<sub>3</sub>型が示されていない地域を見てみると、富士山南

東麓である三島市付近の湧水は、 $\text{Na} \cdot \text{Ca} \cdot \text{HCO}_3$ 型を示しており、また、富士山北東麓である富士吉田市付近は、 $\text{Na}$ が極めて低い値を示し $\text{Mg} \cdot \text{Ca} \cdot \text{HCO}_3$ 型を示した。富士吉田市付近の $\text{Mg} \cdot \text{Ca} \cdot \text{HCO}_3$ 型については、地下水が流動する熔岩の組成自体の影響が考えられる。一方、三島市付近の $\text{Na} \cdot \text{Ca} \cdot \text{HCO}_3$ 型については、まず、富士山由来の $\text{Ca} \cdot \text{HCO}_3$ 型の地下水が標高 1000m以上の富士山西麓から東側に流下し、富士山とその反対側にある箱根山との間により形成された地下谷にぶつかり、その後流動方向を変え南下する。また同時に、富士山の南東麓に位置する愛鷹山を集水域とし、同じく地下谷に向け、東側に流下する愛鷹山由来の $\text{Na} \cdot \text{HCO}_3$ 型の地下水が地下谷に到達し、そして富士山由来の $\text{Ca} \cdot \text{HCO}_3$ 型の地下水と混合する。その結果さらに南下した富士山南東麓に位置する三島市付近の湧水は、 $\text{Na} \cdot \text{Ca} \cdot \text{HCO}_3$ 型になると考えられている。また、人為由来であり汚染物質である $\text{NO}_3^-$ 及び $\text{SO}_4^{2-}$ については、富士山西・南麓である富士宮市、富士市付近の湧水に有意な値が示された。WHO（世界保健機構）が定めている硝酸態窒素についての規定濃度は10mg/Lであるが、この値をこえる湧水は多くはないが、この値に近い湧水は多く存在する。硝酸イオンの根源は、工場排水、肥料、畜産、農業排水、自動車の排気ガス、生活廃水等が考えられると指摘している。

安池・佐藤・北川・鈴木（1995）については、富士山全体の代表的な湧水の主要無機イオン濃度を( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ )主成分分析により、大きく3つのグループ(A, B, C)に分類している。Aグループは、 $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ の値が若干高く、富士山湧水の中で最も平均的な水質を示している。Bグループは、 $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$ の値が高く人為の影響があることが示唆されている。Cグループは、 $\text{HCO}_3^-$ の値が高く、瀬尾・清水（1992）によると、第四紀火山岩地帯の地下水は、深度が深くなればなるほど、 $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ の値が高くなることが明らかにされており、Cグループの地下水は、Aグループ、Bグループの地下水よりも、より深い帯水層を流動していると考えられている。

また、富士山の地下水の地下滞留時間については、土(1992)において、水素同位体及び酸素同位体の測定から、平均約 15 年程度であるといわれている。また、滞留距離との対応関係から流動速度は、平均約 1m/日程度と考えられている。

さらに、本研究対象地域である富士山西・南麓における既往研究については、井野(1987)、井野(2002)及び池田(1995)がある。これらの既往研究においては、1960年代から70年代にかけて本研究対象地域にて問題となった地下水の過剰な揚水による地下水塩水化問題について議論している。これらの既往研究は、塩水化の原因を地下水流動特性の観点から明らかにしており、海水圧に対して弱い地層に対し井戸を設置すると塩水化が発生しやすいことが明らかにされた。現在は、塩水化問題については、1971年の「地下水の適正化に関する条例」の施行により、各井戸の揚水量を制限したり、不足した利用水量を東駿河湾工業用水道から補うなど、適切な対策が講じられ落ち着きを見せている。また、塩水化問題

に当たり、1965 年の旧通商産業省による「岳南地域地下水利用適正化調査」が実施され、これによると本研究対象地域である富士山南麓における地下水流動量は、127.5 万 m<sup>3</sup>/日であることが明らかにされた。

一方、本研究対象地域の地下水の有毒物質汚染については、とりわけ富士山南麓側である富士市が、その調査、監視に当たっている。1998 年に 195 本の井戸の水質を調査したところ、有機塩素系化学物質で発がん性物質であるトリクロロエチレンに関して、環境基準値を上回る濃度を示した井戸が 5 本発見された。その後これら 5 本の井戸については、浄化対策として、土壌ガスの調査、バリア井戸及び浄化井戸の設置、汚染土壌の処理を実施して。現在は、定点観測井戸を設置し、継続監視を行っている。

このような井戸水の水質汚染に伴って、2003 年及び 2004 年、富士市により市内湧泉の湧水（本研究対象湧泉の湧水にも対応する）についても調査が行われ（富士市 2003, 2004）、下記水質項目が測定された。その結果、水質汚濁、重金属、有機塩素系化学物質については、環境基準値を超える湧水はなかったが、硝酸態窒素、塩素イオン、大腸菌群が高い値を示す湧水が存在することを指摘している。

#### **2003 年及び 2004 年に実施された富士市による湧水水質調査水質項目 (富士市 2003, 2004)**

##### **生活環境項目**

BOD(Biochemical Oxygen Demand:生物化学的酸素消費量)、COD(Chemical Oxygen Demand:化学的酸素消費量)、SS(Suspended Solid:浮遊物質)、DO(Dissolved Oxygen:溶存酸素量)、n - ヘキサン抽出物（鉱物油、動植物油）、大腸菌群数、全窒素、全リン

##### **健康項目**

カドミウム、全シアン、鉛、六価クロム、砒素、総水銀、アルキル水銀、PCB(polychlorinated biphenyl:ポリ塩化ビフェニール)、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、ジクロロメタン、四塩化炭素、1,2 - ジクロロエタン、1,1 - ジクロロエチレン、シス - 1,2 - ジクロロエチレン、1,1,1 - トリクロロエタン、1,1,2 - トリクロロエタン、1,3 - ジクロロプロペン、チウラム、シマジン、チオベンカルブ、ベンゼン、セレン、硝酸性・亜硝酸性窒素、フッ素、ホウ素、

##### **その他**

塩素イオン

### 1 - 3 目的

前節で述べたように、本対象地域においては、トリクロロエチレンやテトラクロロエチレン等の発ガン性を有する有機塩素系化学物質に関する地下水汚染及び硝酸態窒素に由来する地下水汚染の両方が存在している。前者の問題に関しては、1 - 2 にて記載されているように、複数の事業体の工場付近の地下水からトリクロロエチレンあるいはテトラクロロエチレンが検出され、発生源の規制、周囲の井戸の使用中止、監視井戸による当該有機塩素系化学物質の濃度の監視等、行政を中心とした積極的な規制及び被害の拡大予防対策が講じられ、現在の所、被害の拡大及び人体への直接被害等は報告されていない。また、これらの一連の事件等以降、1 - 2 にも記載されているように、本対象地域の代表的井戸、湧泉についても当該物質の水質検査が定期的実施されるようになった。富士市により公開されている情報によると(富士市 2003,2004)、有機塩素系化学物質に関する水質基準はすべての物質に関してその基準を満たしているが、硝酸態窒素、塩素イオン、大腸菌群の基準値に対しては基準値以内であるが、非常に基準値に近い濃度が検出されている地下水及び湧水が複数あり、リスク管理の面から市が中心となり浅層井戸の使用を控えるよう推進している。このように、本研究対象地域の地下水、湧水は、大きく 2 つの面において問題がある状況にある。そこで本研究においては、問題の一つである硝酸態窒素の地下水への面源負荷に着目し、本研究対象地域に豊富に存在する湧水に関し、当該状態を解明することを目的とする。しかしながら、湧水、地下水における水質形成のメカニズムは、自然由来の水質負荷と人為由来の水質負荷が混合しているため、硝酸態窒素のトレーサとして、硝酸イオン以外のその他の主要無機イオン全体の濃度にも着目し、自然水質形成機構と人為負荷との関係も同時に解析しつつ、硝酸汚染の状態を中心に水質負荷由来の解明を努める。



## 第2章 研究対象地域の概要

### 2 - 1 研究対象地域の紹介

研究対象地域は、富士山西・南麓である静岡県富士宮市及び富士市である。富士山周辺の地域には、豊富に湧泉が存在するが、本研究対象地域である富士宮市及び富士市に散在する湧泉の湧水は、人為由来である硝酸イオン及び硫酸イオンの負荷が多いと北川・佐藤・鈴木・安池（1995）にて明らかにされており、本研究においては、これらの硝酸イオン及び硫酸イオンが具体的にどのように由来するか明らかにする。

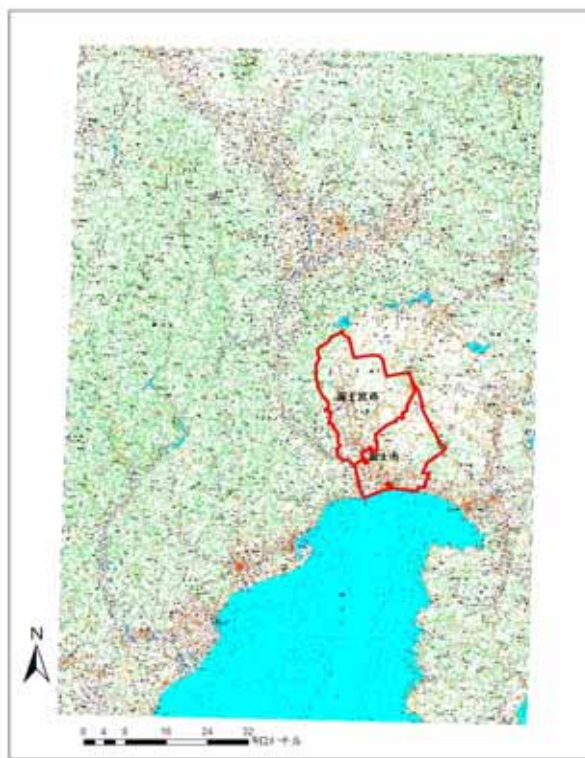


図1 1/200000 「静岡」及び「甲府」

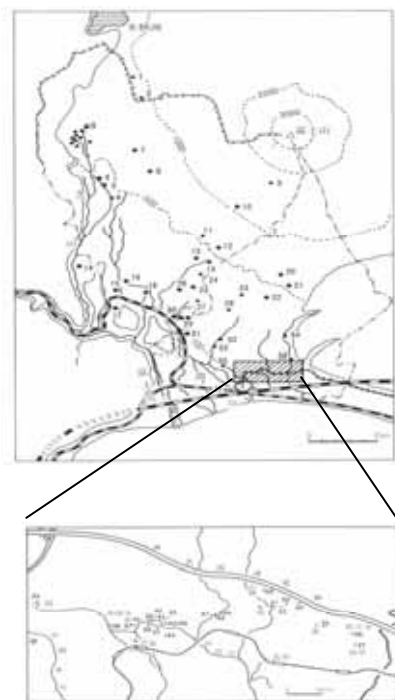


図2 山本(1992)：主な湧泉

### 2 - 2 富士山の地質・地下水・湧水の特徴

#### 2 - 2 - 1 富士山の地質

富士山は、円錐型の火山で、主に小御岳火山噴出物、古富士火山噴出物、新富士火山噴出物から構成されている。

小御岳火山は海拔 2300m 付近にその頂上部が露出し、噴出堆積物は、安山岩質熔岩、集塊岩、火山礫、シルトである。

古富士火山は、現在の富士山南東・西麓に分布し、噴出堆積物は、火山泥流堆積物及び礫層から構成されている。この火山泥流堆積物は、富士山における地下水の難透水層となり、富士山の地下水系に影響を与えている。

新富士火山は、古富士火山を覆う形で、現在の富士山の形を形成している火山である。新富士火山噴出物は、主に旧期熔岩、中期熔岩、新期熔岩とに分類される。噴出堆積物は、西麓 - 西南麓に存在する旧期熔岩類、標高 1500m 以上の地域に分布する中期熔岩類、山頂及び北西 - 南東方向の割れ目噴火から噴出した新期熔岩類から構成されている（滝沢 1995）。

## 2 - 2 - 2 富士山の地質と地下水

富士山は、約 1 万年前の噴火の際、約 39 万 $\text{m}^3$ もの大量の玄武岩熔岩を山頂付近から噴出し、四方八方に分散して現在の形を作り上げた。日本の火山の体積の平均が約 40 万 $\text{m}^3$ であると考え、いかに大量の熔岩を噴出させたかがわかる。この玄武岩熔岩（新富士火山噴出物旧期熔岩）は、熔岩層の厚さが平均 30m で、一層当たりの厚さは 1~5m で、平均して 7 層が重なっている。熔岩は、噴火時には約 1200 °C と高温であったため、その下底と上底の表面は急激に冷やされ自破碎してクリンカー状になっている。一方、熔岩中心部は、ゆっくりと冷えて固まったので緻密に固まっている。したがって、このような熔岩層に雨水がしみ込むと、中心部は水を通しにくい、熔岩層と熔岩層の間の破碎部分は透水性があるので、水が充満し、熔岩末端から押し出されるように湧出することがわかっている。降水は、熔岩層の傾斜がなだらかな裾野では熔岩層が厚く、熔岩中に浸透しにくい、標高 1000m 以上の場所では、熔岩層は山頂に向かって薄く狭くなり、破碎部分がしだいに増加する。このことから、高所になればなるほど雨水が地下へ浸透しやすくなること、がわかる。このようにて何層もの熔岩層の間に閉じ込められた地下水は、次々と高所から入り込んでくる地下水の水圧で押し出されるように熔岩流末端から湧出すると考えられている。土(2002)

## 2 - 2 - 3 富士山の湧水・地下水

上記 2 - 2 - 2 にて記載されているように、富士山の湧水・地下水は被圧地下水と考えられている。これは、柿田川、湧玉池、白糸の滝の調査（土 1992）からも明らかである。白糸の滝に代表されるように、3 層の新富士火山噴出物旧期熔岩層の間と下位にある古富士泥流層の間から地下水が噴出するところが認められる。また、これらの湧水は、富士山高所の積雪や融雪にともなって、湧出量が増加、減少することが認められる。

小浜池、柿田川、湧玉池などで湧水の酸素同位体  $^{18}\text{O}$  と水素同位体  $\text{TR}(^3\text{H})$  調査（土，1992）から、湧水の起源は、標高約 1000m 以上の雨水で、滞留年数は平均約 15 年で、流

動距離は平均約 1m/日であることが明らかになっている。

#### 2 - 2 - 4 富士山の湧水・地下水水質

富士山全体の湧水・地下水の特徴を見るために、既往研究において主要無機イオン( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ )を用いて、各々の主要無機イオンの濃度より、水質組成の違いから、富士山周辺の水質特性の分類を行っている(佐藤・河野・北川 1995)。これは上記 1 - 2 にも記載したが、富士山の湧水・地下水の主な水質は $\text{Ca-HCO}_3$ 型である。しかし一部の地域においては、その特性が異なる湧水が存在する。まず富士山西麓に存在する井の頭湧泉地域は、 $70 \sim 80 \mu\text{S/cm}$ と電気伝導度が低い、 $\text{Ca-HCO}_3$ 型であり、電気伝導度が低く地下中での水 岩石の化学反応があまりなされていないと考えられることから、雨水が地下に浸透してから、湧出するまでの地下水流動距離あるいは滞留時間が短いと考えられる。一方、富士山南東麓に存在する柿田川湧泉の湧水は、 $\text{Ca-Na-HCO}_3$ 型を示している。これも上記 1 - 2 にて記載されているように、富士山東麓の標高 1000m以上の集水域から浸透した雨水が東側に流下し、富士山の反対側に存在する箱根山とによって形成された地下谷にせき止められ、次に南下する。また同時に富士山南東麓に存在する愛鷹山から東方向へ流下する $\text{Na-HCO}_3$ 型の地下水が地下谷を南下している富士山由来の地下水に混合しさらに南下し、柿田川湧泉から湧出する際には、 $\text{Ca-Na-HCO}_3$ 型の水質が形成されていることが明らかになっている。

また、富士山西・南麓の地下水・湧水については、主に人為由来である $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ が有意であり、人間活動による環境汚染が問題となっている。

#### 2 - 3 研究対象地域の地質・地下水・湧水の特徴

##### 2 - 3 - 1 研究対象地域の地質

本研究対象地域である富士山西・南麓の地質については、富士山南麓側には、新富士火山噴出物旧富士熔岩が、西麓・西南麓には、火山扇状地が表面を覆いつくしている。いずれも層の平均の厚さは、約 30m で、旧期熔岩については、約 7 層から構成されている。いずれの場合も、これらの層及び火山扇状地の下には、古富士火山泥流堆積層が存在し、難透水層（従来の研究では、不透水層と言われていたが、最近の研究により(土 2002)、古富士火山泥流堆積層以下にも地下水が存在していることが明らかにされている）となっている。地下水が豊富に存在する新富士火山噴出物旧期熔岩は、地質年代層序としては、第四紀完新世沖積層 I に属しており、古富士火山泥流堆積層については、第四紀更新性洪積層 III に属している。これらの層の下にも、洪積層 II（愛鷹火山熔岩）洪積層 I（岩淵火山の集塊岩）中新層（砂礫、礫岩、泥岩）の順番に堆積しているが、地下水が存在するの

は、洪積層Ⅰまでである（志村・佐藤 1986）。

表 1 富士火山（西富士山麓）水文地質層序表（志村・佐藤 1986）

地質時代		層序	岩相	地下水
第四紀	完新世	沖積層Ⅱ	現河床砂礫、海浜砂礫、シルト、扇状地礫	
第四紀	完新世	沖積層Ⅰ	新富士火山噴出物、凝灰角礫岩、火山砂礫、火山砂	
第四紀	更新世	洪積層Ⅲ	古富士火山泥流堆積物、火山砂礫、段丘礫、ローム	
第四紀	更新世	洪積層Ⅱ	愛鷹火山熔岩、火山碎屑岩、ローム	
第四紀	更新世	洪積層Ⅰ	別所礫層の砂礫、岩淵火山の集塊岩	
第三紀	中新世	中新層(基盤)	砂礫、礫岩、泥岩、凝灰石、凝灰角礫岩	×

有力な地下水が存在する。

場所によってはかなりの地下水が期待できる。

難透水性なるも若干の地下水は期待できる。

× 不透水層（水地質的基盤）

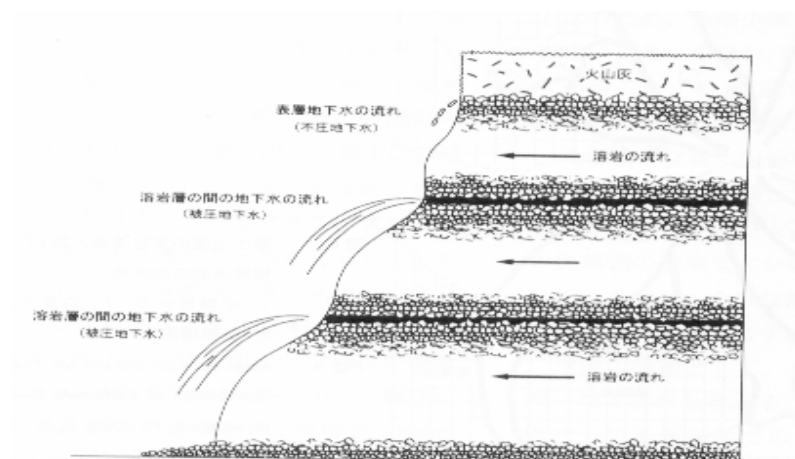


図 3 土(2002) 玄武岩層の重なりとその間の地下水の流れ

## 2 - 3 - 2 研究対象地域の地質と地下水

本研究対象地域である富士山西・南麓の地下水は、上記 1 - 2 にて記載されているように、富士山西・南麓の標高 1000m 以上の熔岩層の薄く、クリンカー状礫が増加した箇所から雨水が地下に浸透する。その浸透した地下水は、富士山の勾配に従って深層を富士山

の頂上を基点に放射状に流動（西、南西、南方向）している。一方、富士山北西麓に存在する本栖湖の地下に存在する地下水についても、その勾配差に従って、富士山とその反対側に位置する天子山地との間に形成されている地下谷を南下する。一方、富士山西麓を西に向かって流下する地下水も、この地下谷にぶつかり本栖湖方面から南下してきた地下水と混合してさらに南下する。やがて富士山南西麓の反対側に位置する山地帯により流動がせきとめられ、富士山西南麓を走っている潤井川の地下を富士山南麓方向である南東方向に流動方向を変化させる。最終的にこれらの地下水は富士山南麓に集まり南下し、富士山熔岩の末端から湧出する湧水と、さらに南下して、富士山の南に存在する駿河湾に湧出する湧水とに分けられる。

本研究対象地域の透水層、難透水層の構成は、大まかに新富士火山噴出物層が透水層となり、古富士火山泥流堆積層が難透水層となると言われてきたが、上記 2 - 2 - 2 にて記載されているように、各富士山熔岩層の上底と下底にクリンカー状の礫が堆積し、これが透水層となり、中心部の熔岩層そのものが難透水層となっていることが明らかになっている（土 2002）。

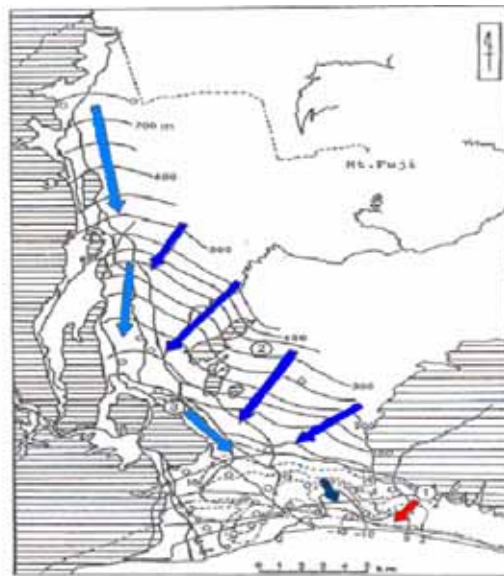


図 4 富士山西・南麓の地下水流動方向：井野(1987)

### 2 - 3 - 3 研究対象地域の地下水・湧水

富士山西・南麓の地下水・湧水は、上記 2 - 3 - 2 に記載されているように、標高 1000m 以上の箇所から雨水が浸透し、富士山南麓では、主に玄武岩からなる新富士火山噴出物旧期熔岩の地下を南に流下し、富士山西麓及び西南麓では、やはり玄武岩を主とする火山扇状地の地下を西及び南西方向に流下する。旧期熔岩中を流下した南麓の地下水は、その末端に平行して存在する湧泉から湧出し、火山扇状地中を流下した地下水は、その先端及び

末端に平行して存在する湧泉から湧出している。また、西麓及び西南麓の火山扇状地の末端から湧出しないさらに深層に存在する湧水は、富士山南西麓の反対側に存在する山地帯との間にある地下谷にぶつかり、地下谷の上を流れている潤井川に沿って、南麓方向に向かって、南東方向へ流下する。最終的に、西麓、西南麓、南麓を流下する地下水は、南麓の旧富士溶岩の末端以南にて合流し、富士山の南側に位置する駿河湾にて湧出していると考えられている。

## 2 - 4 研究対象地域の土地利用

本研究対象地域の土地利用特性は、富士山を中心とした円錐の周囲の一番外側から建物用地、二番目に農用地、三番目に森林と続き、森林は、富士山の森林限界(2000m~2500m)まで覆っている。建物用地、農用地、森林の境界は、明確に区別できず、それぞれが互いに混合している状態となっている。湧泉の存在する箇所土地利用は、富士山西・南麓の新富士火山噴出物旧富士溶岩及び火山扇状地の末端線に平行して集中する湧泉は、すべて建物用地の上に存在し、富士山南西麓の中腹に存在する湧泉は、森林と農用地が混在する箇所の上に存在する。

2 - 3 - 2 に示されている流動方向に照らし合わせると、富士山の標高 1000m 以上を集水域とする地下水は、森林 - 農用地 - 建物用地の順序で地下を流動し、流動距離も同様に、森林 - 農用地 - 建物用地の順序となる。

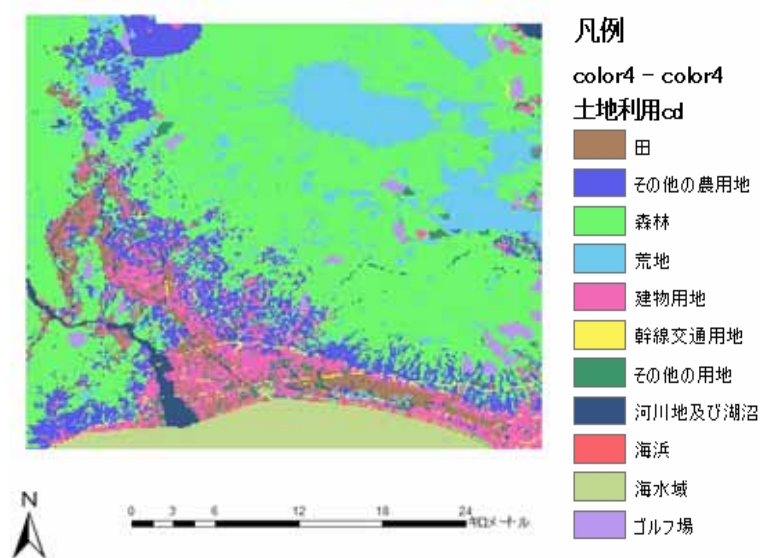


図 5 国土数値情報 100m メッシュ(1997)

## 2 - 5 研究対象地域の気候

本研究対象地域の気候特性は、気温に関しては、土(2002)によると、中腹より高い箇所



では、冬に約  $-20^{\circ}\text{C}$  前後で、夏には約  $5^{\circ}\text{C}$  前後となる。下記左下グラフは、富士山南麓である富士市吉原の月別気温となる。こちらは、夏の月別平均気温の最高気温が、7月の  $24.7^{\circ}\text{C}$  となり、冬の月別平均気温の最低気温が、1月の  $5.5^{\circ}\text{C}$  となる。富士市吉原の気温は、富士山中腹以上の標高域と比較し、高い気温を示しており、温帯気候の典型的な気温となる。富士山の初雪は、平均的に10月初旬となり、雪解けが5月初旬から始まる。従って、10月～5月までの期間は、富士山湧水の集水域である標高1000mより高い箇所は積雪し、氷結により雨水の地下への浸透が次第に行われなくなり、この間、富士山周辺の湧泉の湧水量は、積雪量の増加に伴って減少する。しかしながら、湧出が枯渇するまでの減少には至らない。

富士山の降水量に関しては、中腹以高では年間約3000mmの降水量があり(土2002)、冬以外の3月～11月までの期間に、比較的増加する。この期間の中でも、とりわけ6月及び9月の降水量が高く、この間の湧出量は増加する。

富士山の湧水は、流動時間が平均約15年と比較的長く、標高1000m以上の集水域の地下水貯蔵量の増減が、降水量の増減に対応し、集水域の地下水の水圧による押し出しにより、湧出量が左右される。

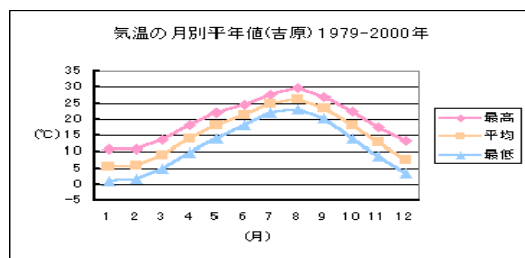


図 6

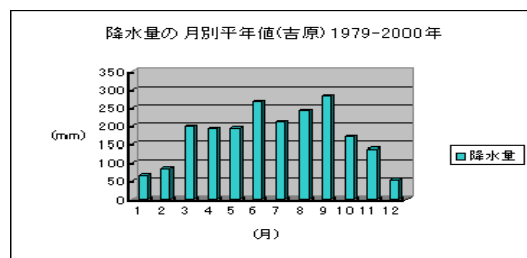


図 7

表 2 気温の月別平年値(吉原)1979 - 2000 年 単位： $^{\circ}\text{C}$  (左上グラフ)

項目	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年
平均	5.5	6.0	9.1	14.0	18.1	21.3	24.7	26.2	23.3	18.0	12.9	7.8	15.6
最高	10.7	10.8	13.5	18.3	22.0	24.5	27.8	29.8	26.9	22.2	17.6	13.1	19.8
最低	1.1	1.5	4.8	9.6	14.1	18.3	22.0	23.2	20.1	14.1	8.7	3.4	11.7

表 3 降水量の月別平年値(吉原)1979 - 2000 年 単位：mm(右上グラフ)

項目	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年
降水量	66.2	85.7	197.7	192.4	194.0	266.4	210.1	241.6	281.9	170.7	138.1	53.5	2098.3

アメダス地域気象観測所：富士市吉原

## 第3章 研究方法

### 3 - 1 調査・研究方法

本研究の調査・研究方法は、主に、

- 1．現地調査における湧水の採水及び水質測定
- 2．実験室における採水した湧水の水質測定
- 3．得られた水質項目データの解析

の3つに大きく分けられる。

#### 3 - 1 - 1 現地調査の時期及び方法

現地調査の時期は、2005年11月28, 29日、2006年2月9日、2006年5月4, 5日、2006年7月14, 15日、2006年9月29, 30日の5回である。これらの時期は、基本的に春夏秋冬および、降水量が非常に低く、積雪により標高1000m以上の集水域の雨水浸透が行われない時期である2月、降水量の最も高い時期である9月を含んでいる。

湧水採取は、なるべく湧泉の湧出箇所から直接摂取している。湧水試料はポリエチレンビンに採水した。またその際、水温、pH、電気伝導度(Electric Conductivity：以下ECと引用する)を東亜製DKK WM-22EPを使用し、pH4.3 アルカリ度をHACH社製Digital Titratorを使用し測定した。アルカリ度は、後に重炭酸イオン: $\text{HCO}_3^-$ に変換した(注1)。

#### 3 - 1 - 2 実験室における水質測定

採水した湧水試料は、実験室にて他の水質項目である主要無機イオン(ナトリウムイオン: $\text{Na}^+$ , カリウムイオン: $\text{K}^+$ , カルシウムイオン: $\text{Ca}^{2+}$ , マグネシウムイオン: $\text{Mg}^{2+}$ , 塩素イオン: $\text{Cl}^-$ , 硝酸イオン: $\text{NO}_3^-$ , 硫酸イオン: $\text{SO}_4^{2-}$ )をShimazu社製高速液体イオンクロマトグラフィーにより測定した。

#### 3 - 1 - 3 現地水質測定の信頼性

本研究において現地測定したEC及びアルカリ度( $\text{HCO}_3^-$ )の濃度の精度を検証する。基本的に陸水中のECは、全主要無機イオン(Total Major Ion:以下TIMと引用する)を示しており、EC - TMIの相関係数が1に近いほどECの精度が良いことが示される(半谷・小倉1995)。一方アルカリ度( $\text{HCO}_3^-$ )は、 $(\text{BC}) - (\text{SA})$ (注2)にて算定された残留陰イオンが $\text{HCO}_3^-$ の近似値となり(桜井ほか1998)、アルカリ度から算定された $\text{HCO}_3^-$ 濃度との相関係数が1に近いほど高い精度を示す。



下記図 8 及び図 9 において、EC - TMI 相関及び  $\text{HCO}_3^-$  - [ (BC) - (SA)] 相関をグラフにて示した。これらのグラフによると、EC - TMI 相関の相関係数は 0.98、 $\text{HCO}_3^-$  - [ (BC) - (SA)] 相関の相関係数は 0.84 と多少ばらつきがあるものの、ともに高い相関係数を示しており、EC 及び  $\text{HCO}_3^-$  の高い精度が示された。

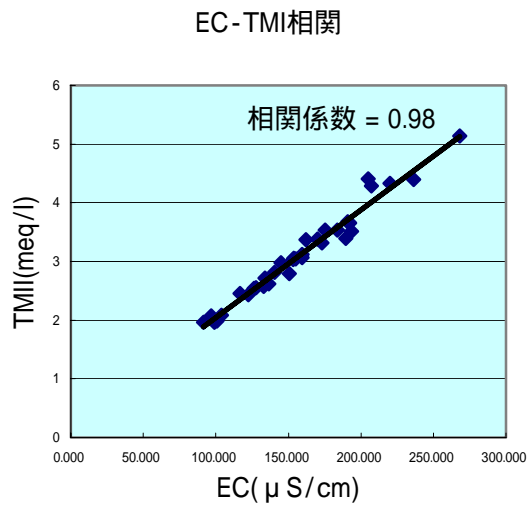


図 8

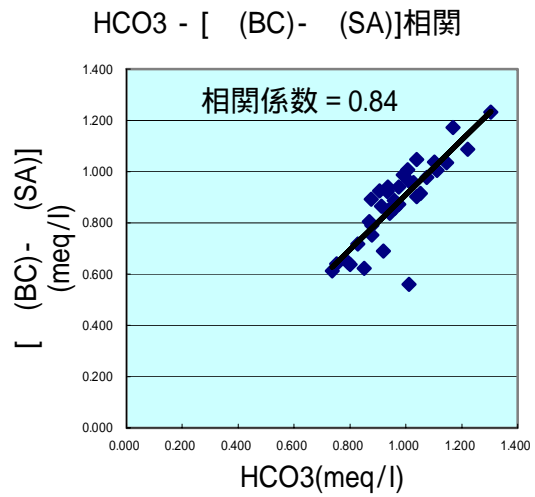


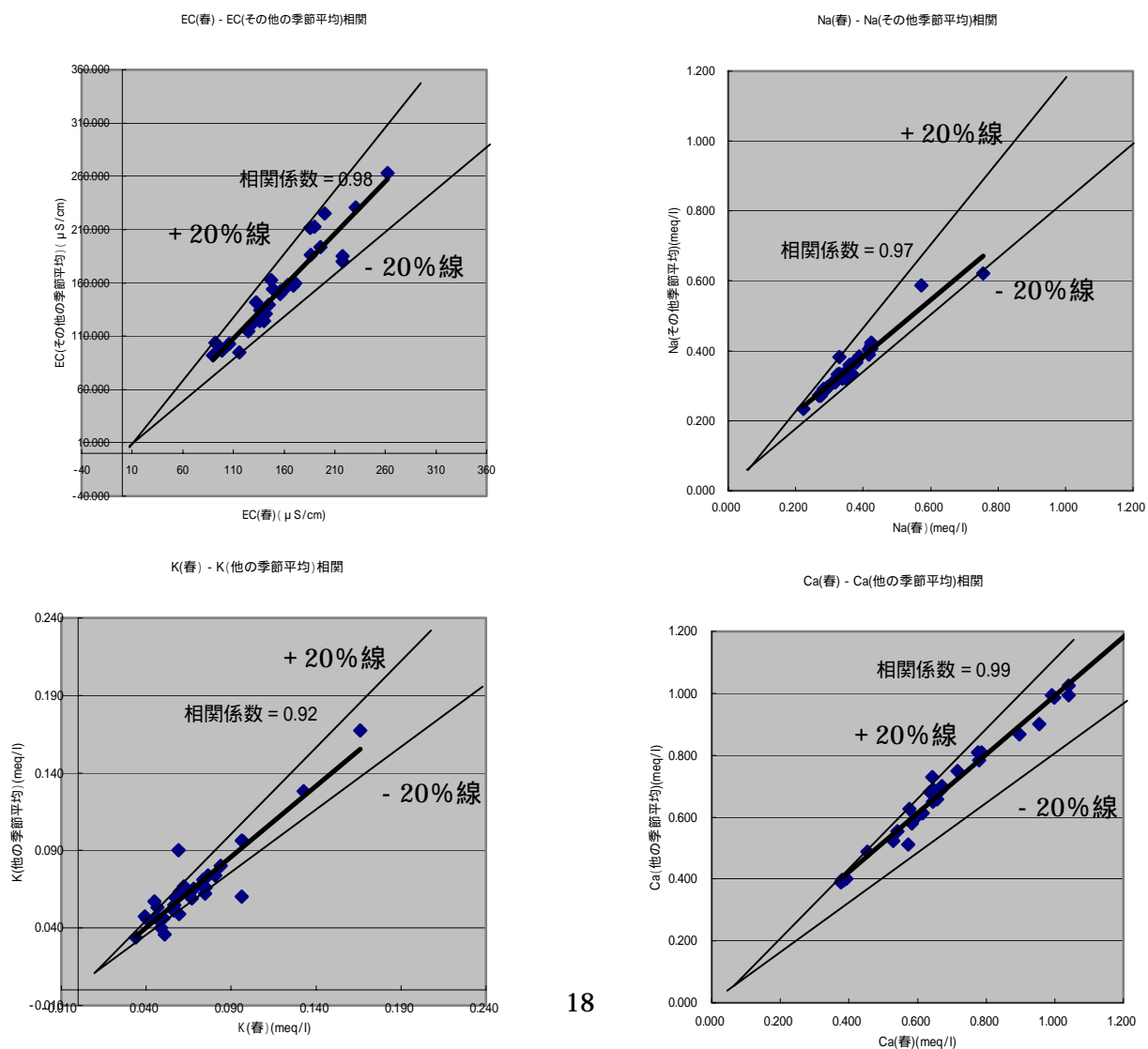
図 9

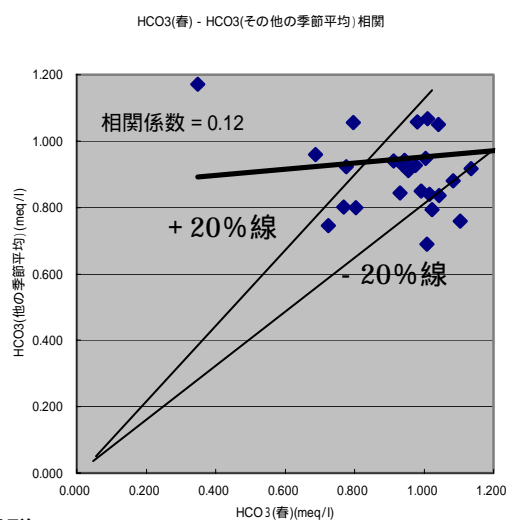
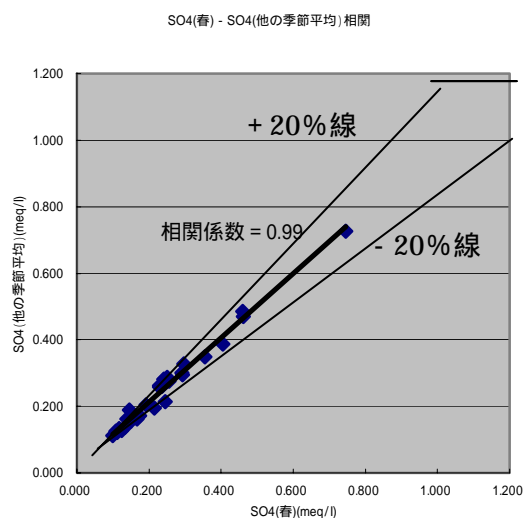
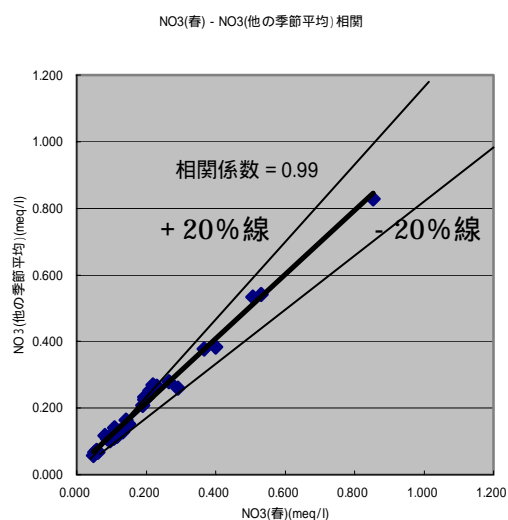
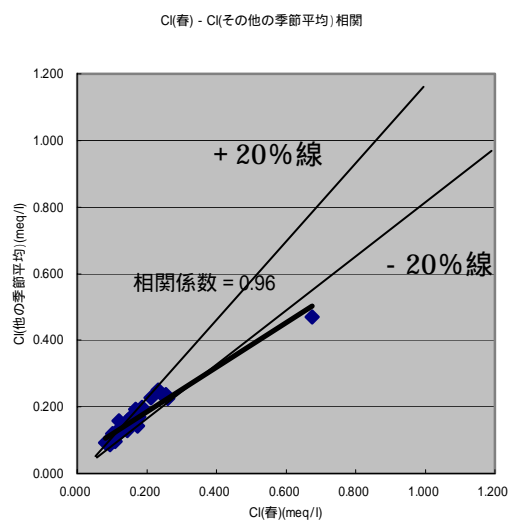
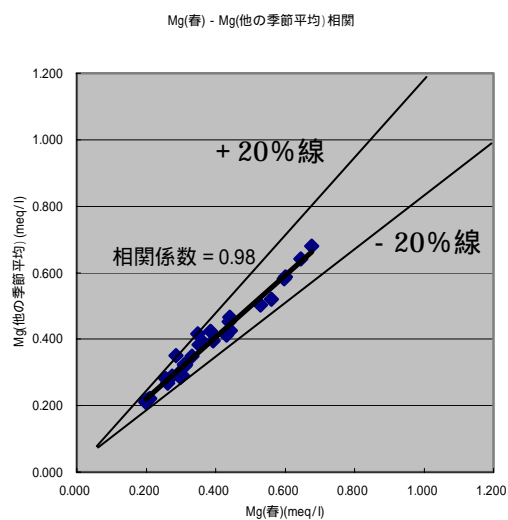
## 第4章 研究結果

### 4-1 湧水水質の季節変動

各季節に採水した湧水の季節変動を見るために、(寺園 2003)のようにEC及び各主要無機イオンの一つの季節の水質濃度と他の季節の平均水質濃度との相関を算出し、相関係数1から $\pm 20\%$ 以内にあるかどうかにより季節変動の安定を確認した。これによると $\text{HCO}_3^-$ だけが $\pm 20\%$ の誤差を逸脱するものが一部認められたが、その他の主要無機イオンについては、そのほとんどが $\pm 20\%$ の誤差内に収まっている。また、各季節の採水した湧水の標準偏差及び変動係数を算出したが、こちらも大きな差が見られないことから(2005年秋の水質データは、全ての湧水がそろっていないため参照程度とする)本研究対象地域の湧水水質の季節変化は、有意でなく年間を通じて安定していると解釈する。

従って、本研究において各季節の水質を年間平均として、一律に扱うこととする。





図群 1

表 4 季節別水質標準偏差及び変動係数

		EC	Na	K	Ca	Mg	Cl	NO3	SO4	HCO3
2005 年秋	標準偏差	32.839	0.073	0.013	0.143	0.103	0.038	0.101	0.084	0.141
	変動係数(%)	24.267	21.698	22.480	23.542	29.691	28.671	58.214	41.828	18.438
2006 年冬	標準偏差	38.223	0.075	0.027	0.214	0.125	0.061	0.167	0.134	0.148
	変動係数(%)	26.323	22.509	45.377	32.081	35.170	42.073	82.815	57.889	15.716
2006 年春	標準偏差	40.732	0.100	0.027	0.229	0.135	0.105	0.170	0.136	0.193
	変動係数(%)	26.276	28.807	39.878	33.873	37.134	63.626	83.132	58.316	20.264
2006 年夏	標準偏差	46.031	0.095	0.033	0.223	0.130	0.089	0.164	0.130	0.157
	変動係数(%)	29.340	27.448	46.586	32.379	34.628	50.957	71.470	52.593	16.669
2006 年秋	標準偏差	44.101	0.086	0.026	0.229	0.132	0.073	0.170	0.138	0.198
	変動係数(%)	28.121	24.897	38.912	32.995	34.414	44.007	74.115	52.953	20.009

#### 4 - 2 湧水水質の空間分布

各湧泉の湧水水質をヘキサダイアグラムを使用して地形図上にプロットした。ヘキサダイアグラムとは、図 10 のように中心軸を 0 とし左を陰イオン、右を陽イオンとし 6 つの無機イオン項目に分け、当量濃度を六角形に表現したものである。

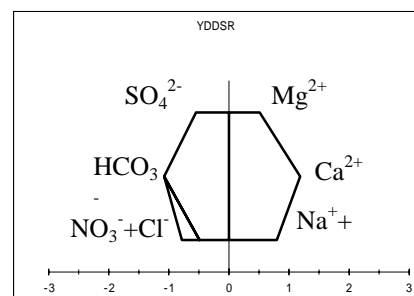


図 10：ヘキサダイアグラムの見本

下に示した図 11 及び図 12 は、それぞれ富士山南麓の富士市及び富士山西麓の富士宮市の湧泉の存在する地域に、各湧泉の湧水のヘキサダイアグラムを示したものである。図 11 及び図 12 とともに、様々な形をしたヘキサダイアグラムが示されたが、傾向として EC が高くなればなるほど、ヘキサダイアグラムが、基本的には六角形を崩さず、各イオンがおおよそ均等に増加しながらヘキサダイアグラムが大きくなっていくことがわかる。しかし、厳密にその増加率を見ていくと目では発見しにくい増加率の差があるので、それについては後の水質形成の根源である土地利用特性の解明の際に使用される湧水水質の主成分分析を用いながら議論することにする。また、各々のヘキサダイアグラムの形を比較すると地域ごとに形が類似する傾向が見られるので、こちらにも後にヘキサダイアグラムを形成している各主要無機イオン濃度をクラスター分析にて算定し、地域ごとの類似性がどのようなものであるかを明らかにした。

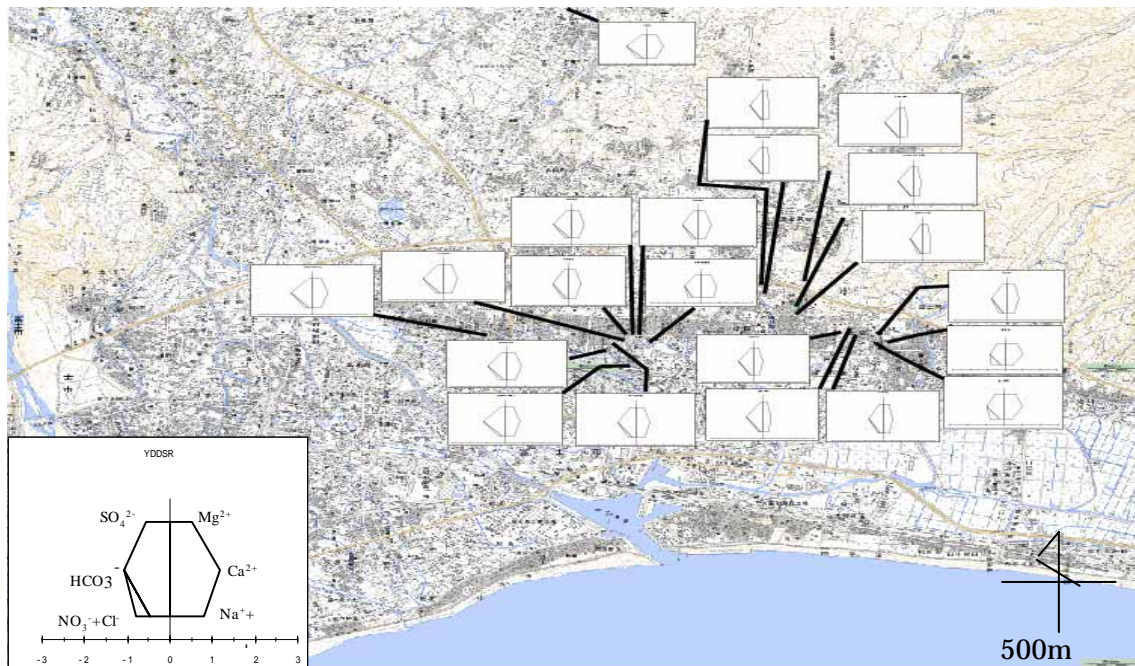


図 11：1/25000 地形図（吉原、入山瀬）

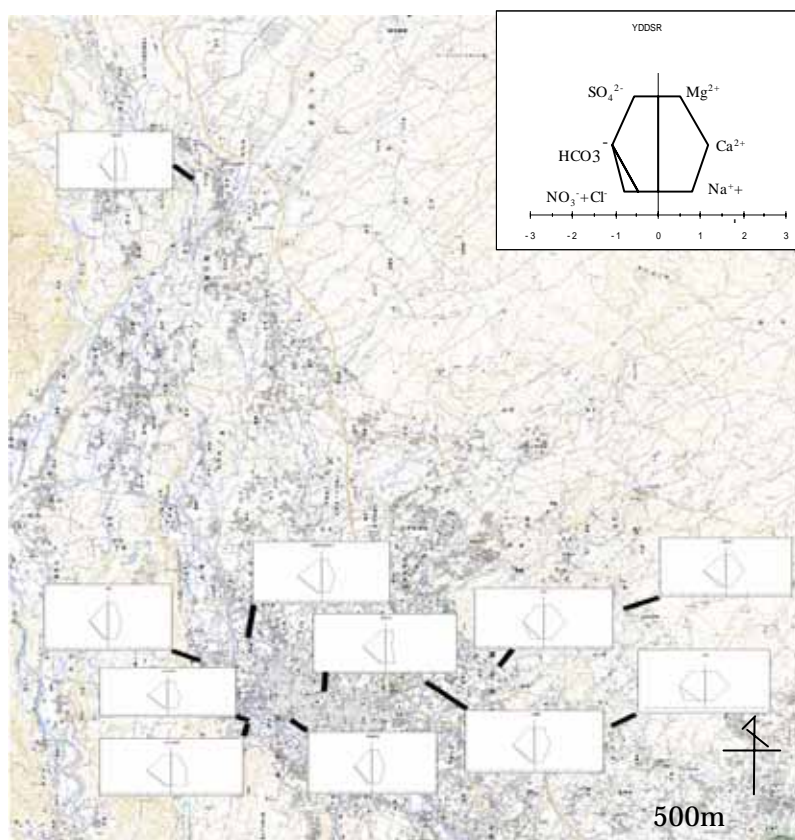


図 12：1/25000 地形図(富士宮、上井出)

#### 4 - 3 水質組成から流動経路の推定

下記図 13 のトライリニアダイアグラムより、水質の発達を系統的に読み取ることができる。下記トライリニアダイアグラムでは、人為由来である $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$ の変化にともなって、 $\text{HCO}_3^-$ が変化している。 $\text{HCO}_3^-$ の濃度の増加は、流動距離あるいは流動時間の長さに比例することから、流動距離あるいは流動時間の長さを考慮すると、人為由来の無機イオンの負荷が正比例的に増大していることが読み取ることができる。

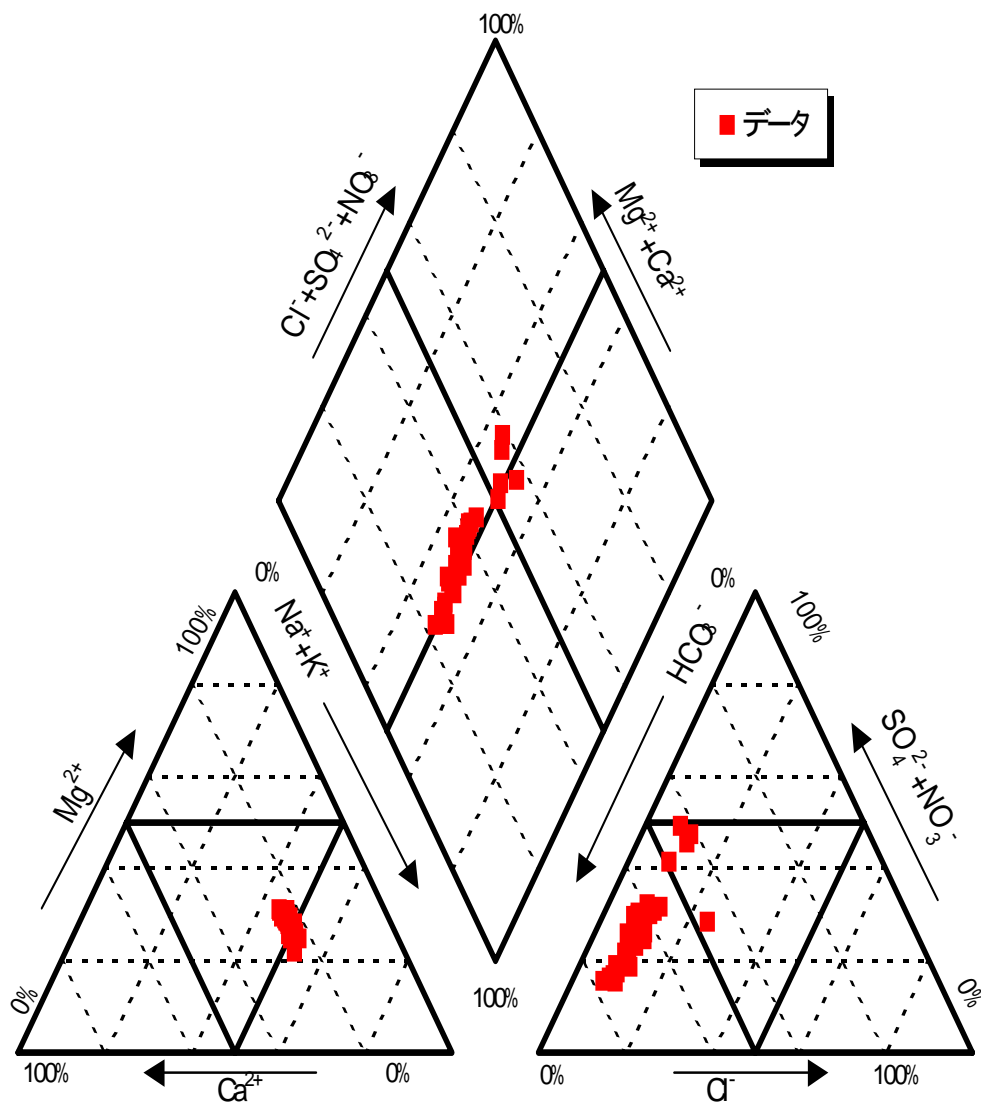


図 13 本研究対象地域の湧水水質のトライリニアダイアグラム

#### 4 - 4 クラスタ分析による水質分類

図 14 において本研究対象地域における湧水水質をクラスタ分析にて算定し、5 つの水質グループに分類した。分類分けの方法は、類似係数約 0.4 にて機械的に分類した。これは、主観的分類を避けるためである。

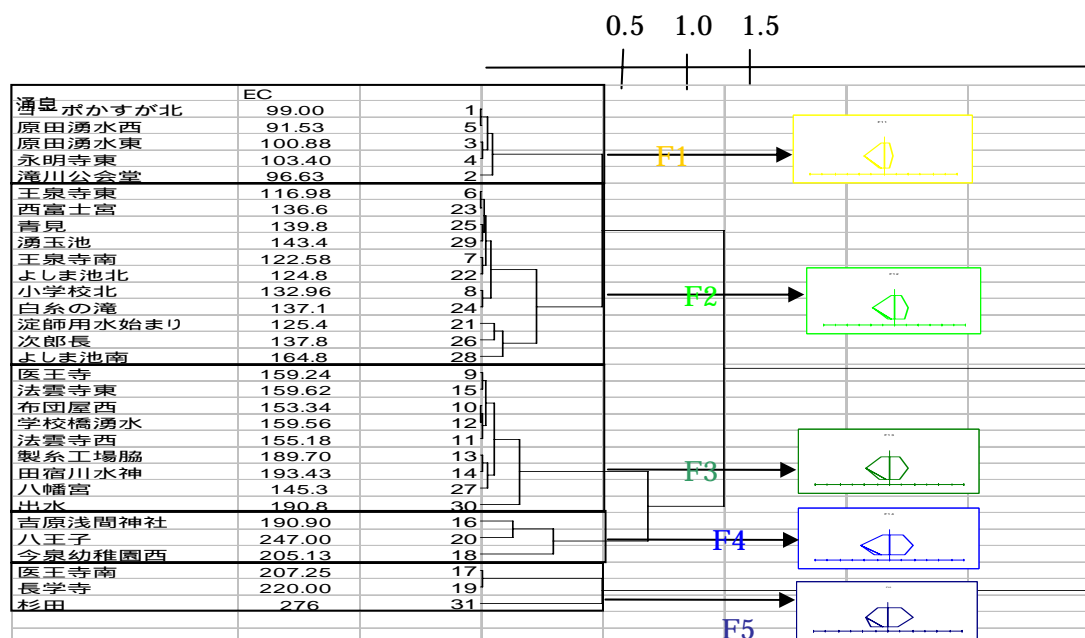
各クラスタ分析の分類グループの特性は、おおよそ EC に比例しており、図 14 のテンドロダイアグラムの上部のグループから順番に、F1(黄色), F2(黄緑色), F3(緑色), F4(青色), F5(藍色)と名づけた。また、各グループの主要無機イオンの平均濃度からヘキサダイアグラムを作成してテンドログラム上に表示した。これらのテンドログラムは、F1~F5 に進むにつれて、六角形の形を崩さず大きくなり、各主要無機イオンがおおよそ均等に増加していることがわかる。しかしながら、目視では、細かい増加率の変化を判別することは非常に困難なので、各主要無機イオンの増加率の違いについては、後の湧水水質の主成分分析にて議論することとする。

また、5 つのグループを、図 15 及び図 16 の富士市、富士宮市の地形図上にて分布を検討した結果、地域ごとにグループ化ができた地域が存在したので、それらの地域に湧水群として名前を付け、今後その名前を引用することにする。

クラスタ分析の分類による湧水群の名前付け

富士市：F1：原田湧水群、F2：吉永湧水群、F3：今泉湧水群、F5：比奈湧水群

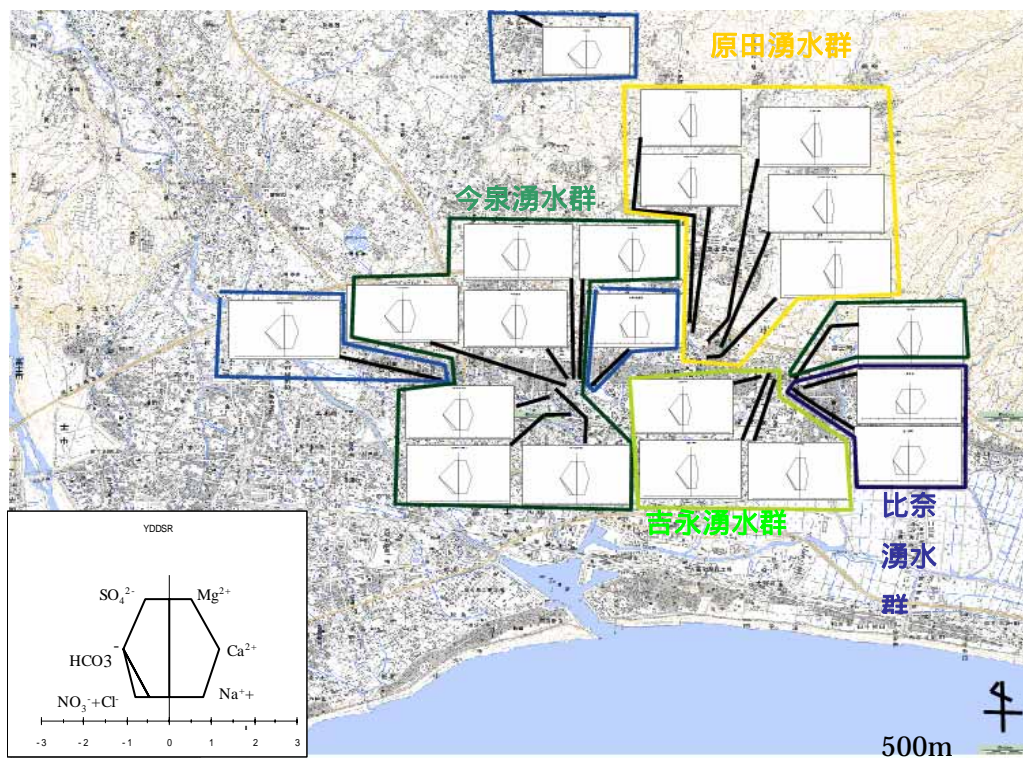
富士宮市：F2：富士宮湧水群、F3：小泉湧水群



黄：F1、黄緑：F2、緑：F3、青：F4、藍：F5

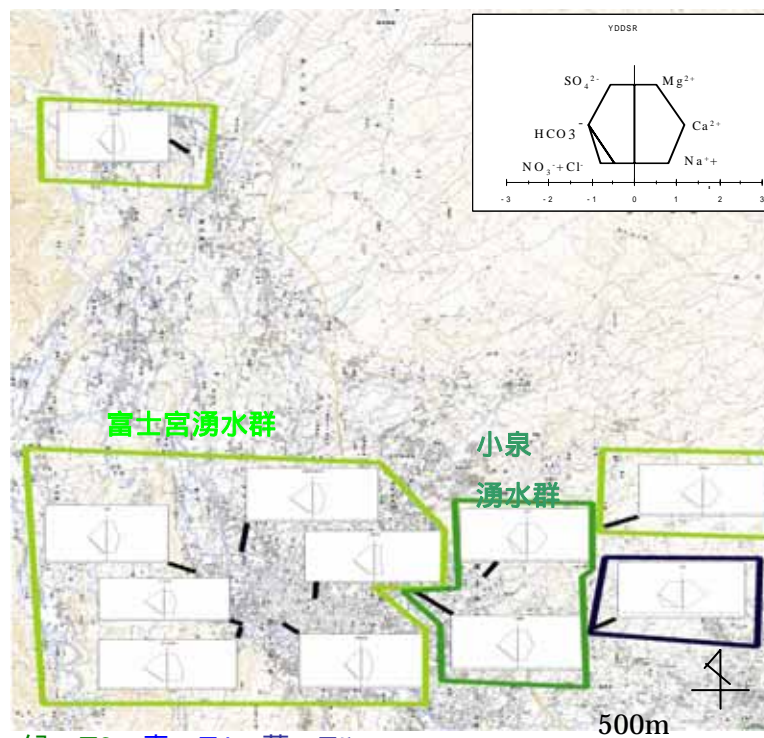
図 14 テンドログラムと分類した水質の平均値によるヘキサダイアグラム





黄 : F1、黄緑 : F2、緑 : F3、青 : F4、藍 : F5

図 15 1/25000 地形図（吉原、入山瀬）によるクラスタ分析による分類表示



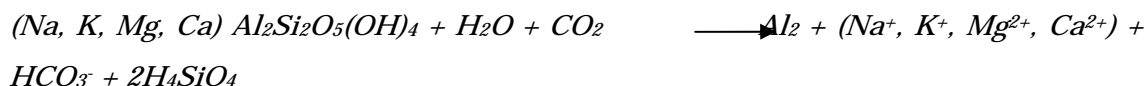
黄 : F1、黄緑 : F2、緑 : F3、青 : F4、藍 : F5

図 15 1/25000 地形図（富士宮、上井出）によるクラスタ分析による分類表示



#### 4 - 5 水質形成（自然由来と人為由来との関係）

湧水が湧泉において湧出までの地下流動において行われる水質形成機構を考えると、まず、雨水を構成するCO<sub>2</sub>を含むH<sub>2</sub>Oが地下に浸透して、地下に存在する岩石と接触し、岩石と化学反応を引き起こす。富士山は玄武岩の火山であるので、岩石の成分組成は、主に珪酸塩である輝石、カンラン石、アルミノ珪酸塩である斜長石から成る(鶴巻 1993)。その結果、粘土鉱物（アルミ）、陽イオン(Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>)、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>が生成する。したがって、地下における水質形成が純粋に水 - 岩石の化学反応のみにより行われた場合、陽イオン濃度の合計から風送塩であるNaCl由来のCl<sup>-</sup>を差し引いた陽イオンの合計濃度とHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度は、理論的には当量濃度にて同じ濃度を示す（鶴巻 1993）。この水 - 岩石の化学反応の化学式を以下に示す。



よって、(Na<sup>+</sup> + K<sup>+</sup> + Mg<sup>2+</sup> + Ca<sup>2+</sup> - Cl<sup>-</sup>)(meq/l) = HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>(meq/l) となる。

しかしながら、この式が成立する場合、純粋に水 - 岩石の化学反応のみにより(Na<sup>+</sup> + K<sup>+</sup> + Mg<sup>2+</sup> + Ca<sup>2+</sup> - Cl<sup>-</sup>)及びHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>が同量発生し、当等量比 1 直線上に各湧水水質がプロットされることになるが、図 17 を参照すると実際には、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>の濃度増加に伴って、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>の濃度以上の(Na<sup>+</sup> + K<sup>+</sup> + Mg<sup>2+</sup> + Ca<sup>2+</sup> - Cl<sup>-</sup>)濃度が発生し、当等量比 1 直線より高くなることが示されている。これは、自然由来による水 - 岩石の化学反応により生成された陽イオンの負荷に加えて、人為由来の陽イオンの負荷が含まれていることが考えられる。また、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>の濃度が高くなるにつれて、(Na<sup>+</sup> + K<sup>+</sup> + Mg<sup>2+</sup> + Ca<sup>2+</sup> - Cl<sup>-</sup>)濃度が当等量比 1 直線からよりはなれて、高い濃度を示している(図 17 中の矢印)。これは、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>の濃度は、その濃度が高くなるにつれて地下水流動距離あるいは流動時間が長いことを意味しており、より人為由来の負荷がかかりやすい流動環境の下にあったことが推察される。

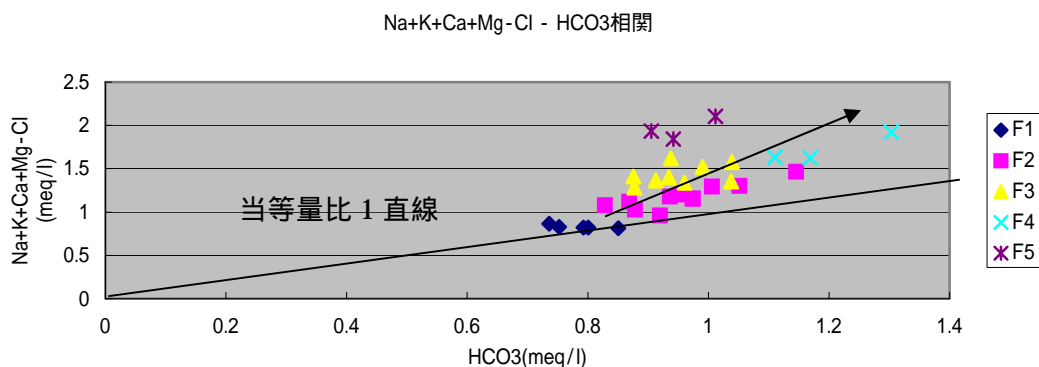


図 17 (Na<sup>+</sup> + K<sup>+</sup> + Mg<sup>2+</sup> + Ca<sup>2+</sup> - Cl<sup>-</sup>) - HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>相関

#### 4 - 6 各主要無機イオン間の相関

各主要無機イオン間の単相関を表 5 に表した。相関係数 0.7 以上のものに黄色のマークをしるした。これによると EC - TMI 相関以外に、 $\text{NO}_3^-$  と  $\text{SO}_4^{2-}$  との相関と、また各々  $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  と  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  との相関が高いことが示された。さらに、 $\text{Na}^+$  と  $\text{Cl}^-$  との相関が高いことが示された。まず、 $\text{NO}_3^-$  と  $\text{SO}_4^{2-}$  との相関が高いのは、肥料である（硝酸アンモニウム：硝安） $\text{NH}_4\text{NO}_3$  及び（硫酸アンモニウム：硫安） $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  由来の  $\text{NO}_3^-$  と  $\text{SO}_4^{2-}$  が考えられる。これは、鶴巻（1993）からも明らかになっている。一方、 $\text{Na}^+$  と  $\text{Cl}^-$  との相関が高いのは、 $\text{NaCl}$  由来であると考えられる。

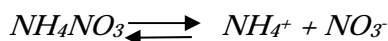
また、図群 2 に示されているように、 $\text{NO}_3^-$  と  $\text{SO}_4^{2-}$  との相関と、また各々  $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  と  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  との相関が高いのは、硝酸化成菌による硝酸イオン生成の際に発生する  $\text{H}^+$  が陽イオンの溶出に関与していることが推察できる。

表 5 各主要無機イオン間の短相関表

	EC	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{HCO}_3^-$	TMI
EC	1.000									
$\text{Na}^+$	0.460	1.000								
$\text{K}^+$	0.797	0.244	1.000							
$\text{Ca}^{2+}$	0.961	0.318	0.707	1.000						
$\text{Mg}^{2+}$	0.942	0.423	0.752	0.906	1.000					
$\text{Cl}^-$	0.661	0.711	0.525	0.584	0.676	1.000				
$\text{NO}_3^-$	0.874	0.105	0.726	0.919	0.851	0.501	1.000			
$\text{SO}_4^{2-}$	0.865	0.267	0.645	0.880	0.829	0.543	0.940	1.000		
$\text{HCO}_3^-$	0.665	0.602	0.531	0.586	0.572	0.461	0.297	0.316	1.000	
TMI	0.985	0.510	0.766	0.962	0.949	0.731	0.878	0.884	0.660	1.000

肥料及び硝酸化成菌による  $\text{NO}_3^-$  と  $\text{SO}_4^{2-}$  の生成過程は下記の化学式により求められる。

肥料（硝酸アンモニウム：硝安） $\text{NH}_4\text{NO}_3$

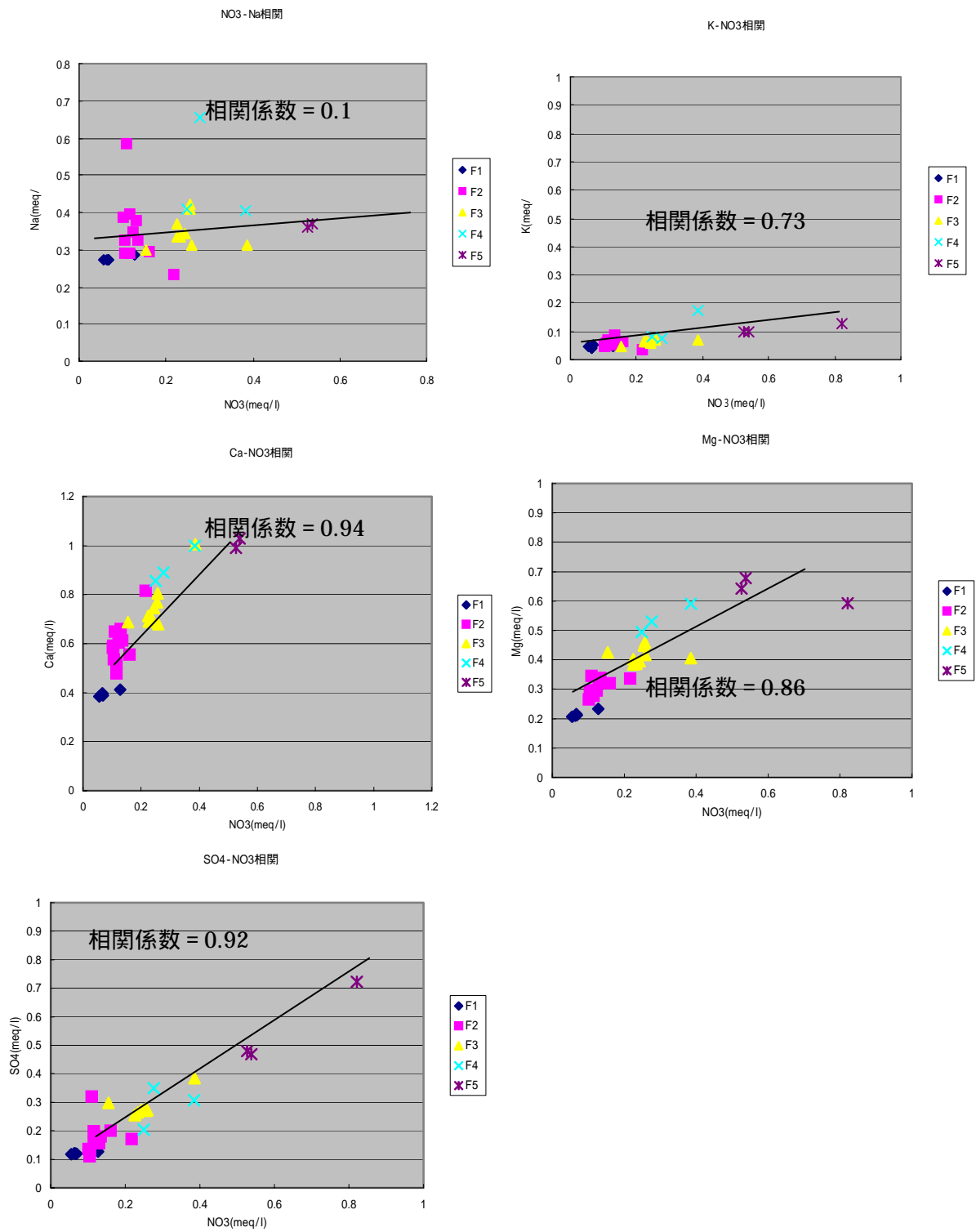


肥料（硫酸アンモニウム：硫安） $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$



硝酸化成菌による硝酸イオン生成





図群 2 硝酸イオン - 各陽イオン相関グラフ

#### 4 - 7 本研究対象地域の土地利用と湧水水質との関係

本研究対象地域の土地利用と湧水水質との関係を見るに当たり、各湧泉に対して集水域を作成した。集水域を作成する際に、横軸に関しては、峰線と峰線の間を横軸の端として定義した。これは、ヘキサダイアグラムの類似性に対応していることから、定義に対しては大きな問題がないと判断する。一方縦軸に関しては、湧泉から 1000m、800m、600m、400m、200m、100m の距離及び湧泉からの比高差 700m、500m、250m、125m、70m を縦軸として定義した。また、これらの集水域から算定された土地利用構成率を主成分分析にて算定し、得られた主成分得点との湧水水質との相関を取ったが、いずれも高い相関を得ることができなかった。

図 19 及び図 20 において土地利用と湧水水質との間に相関が認められない原因を見てみると、人為由来である $\text{NO}_3^-$ を中心に各主要無機イオン濃度が低いヘキサダイアグラムに対して、人為負荷由来の影響が高いと考えられる農用地及び建物用地の割合が高く、深層を流動する富士山の地下水には、土地利用は直接的には影響しないことが示されている。

しかしながら、農用地及び建物用地の割合が比較的高い集水域に対して人為由来の負荷がかかっている湧水があるため、地下水流動特性と土地利用との関係を多様な視点から考える余地がある。

尚、図 18 は、集水域作成の代表例（比高差 250m）を示したものである。

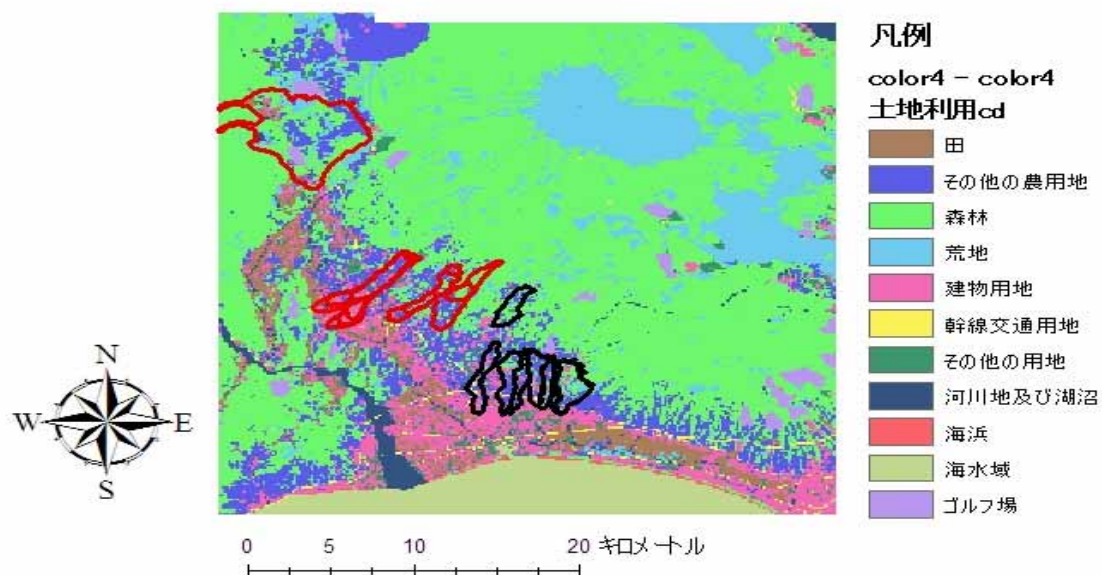


図 18 縦軸を比高差 250m、横軸を峰と峰との間に設定した集水域(集水域の代表例)

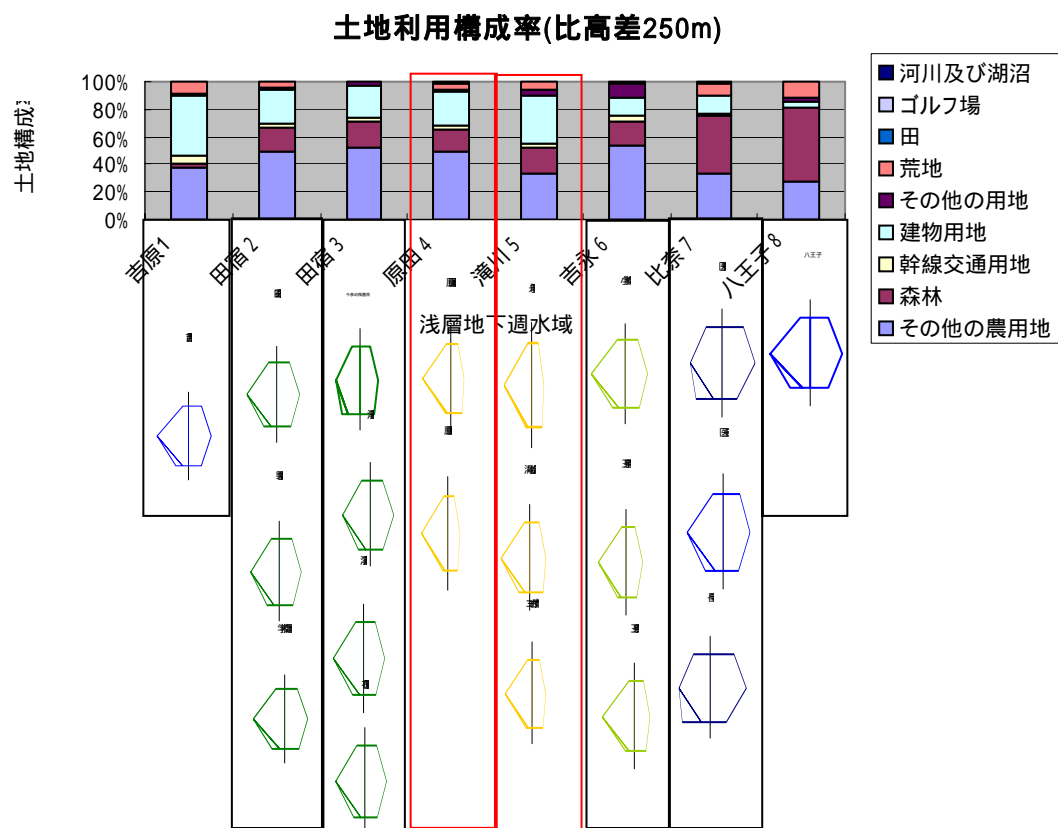


図 19 各集水域の土地利用構成率と湧水水質(富士市)

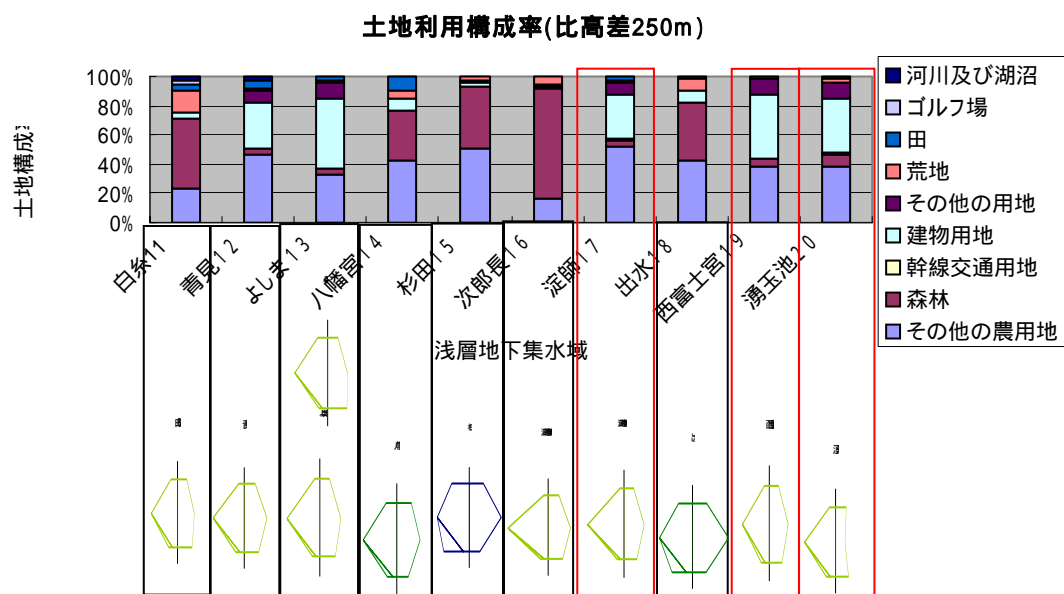


図 20 各集水域の土地利用構成率と湧水水質(富士宮市)

#### 4 - 8 湧水水質の主成分分析

図表群 1 に示されているように湧水水質の主成分分析にて算定した結果、水質形成の分類を人為負荷が非常に少ないが、地下流動により水 - 岩石の化学反応が発生し $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $HCO_3^-$ がやや有意である「自然流動型」、人為負荷が非常に少ないが流動より雨水おける風送塩であるNaCl由来の $Na^+$ ,  $Cl^-$ の影響がある程度ある「雨水混合型」、農業肥料による負荷の大きい $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ 及び $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ の発生の際に発生する $H^+$ により溶出する $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ が非常に有意な「農業負荷型」、生活雑排水の起源である $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ 及びNaCl由来の $Na^+$ ,  $Cl^-$ の負荷の大きい「生活負荷型」に分類した。

主成分分析を見てみると、まず第 1 主成分の固有ベクトルの寄与率が、69.72%と、第 2 主成分 17.82%と第 2 主成分までの累積率が、87.54%と 80%を超過するため、本研究では第 2 主成分までを考えるとすることとする。

各主成分の特性については、第 1 主成分の固有ベクトルは、すべて正に向いており、第 2 主成分は、 $Na^+$ ,  $Cl^-$ が負の方向に働き、 $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ が正の方向に働いている。第 1 主成分の意味を解釈すると、TMIの増加に伴って全ての主要無機イオン濃度が増加することが言える。一方、第 2 主成分を解釈すると、負の方向に対しては、NaCl由来である $Na^+$ ,  $Cl^-$ の負荷が高くなり、正の方向にたいしては、 $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ の負荷が高くなると解釈される。

次に、第 1 主成分の固有ベクトルをY軸とし、第 2 主成分の固有ベクトルをX軸としたグラフを作成した。その結果、第 1 象限には、全ての主要無機イオンに加え $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ の負荷が高いことが解釈され、第 2 象限に対しては、全ての主要無機イオンに加え $Na^+$ ,  $Cl^-$ の負荷が高いことが解釈される。一方、各湧水水質の主成分得点を第 1 主成分をY軸とし、第 2 主成分をX軸としたグラフを作成した。

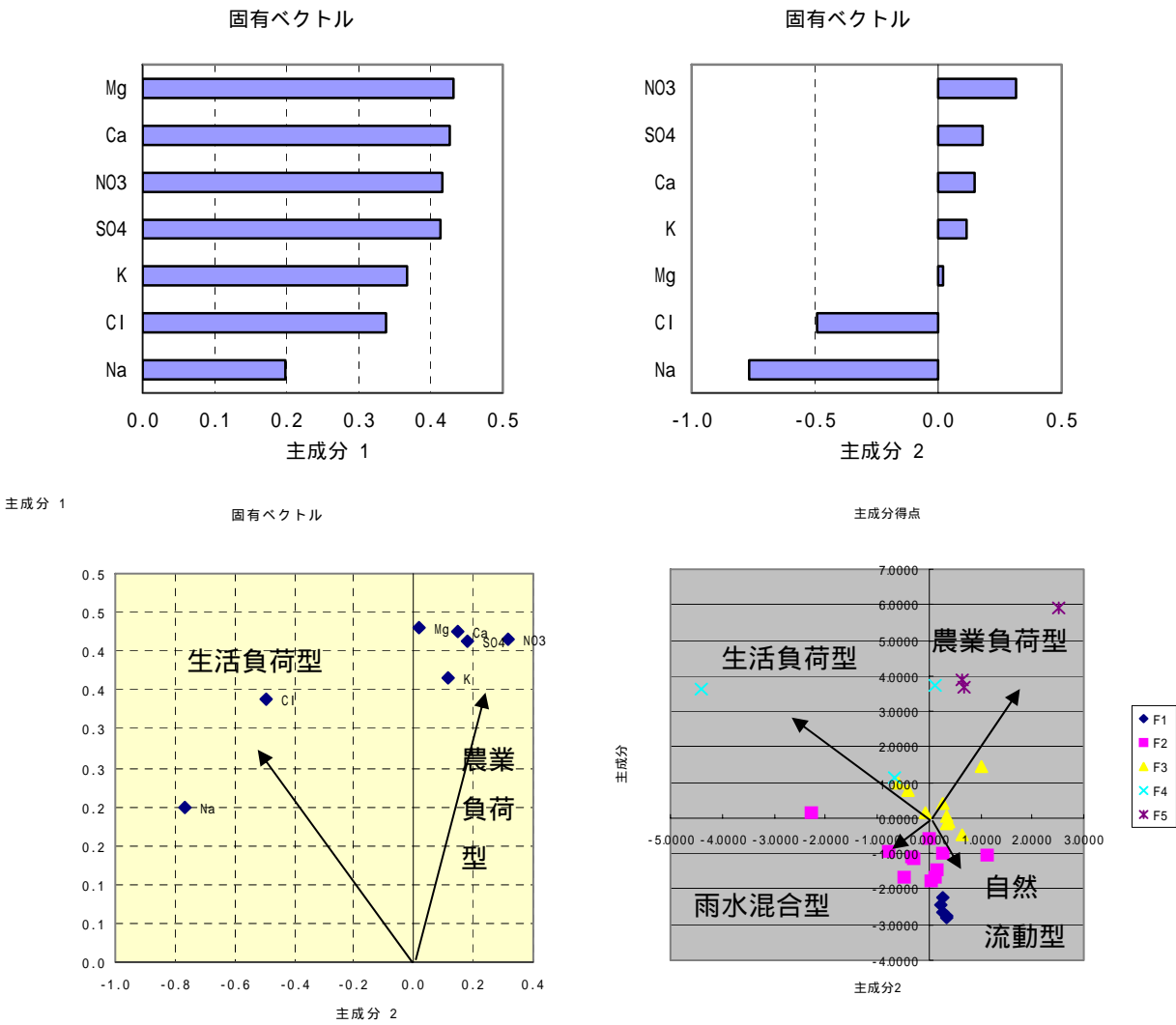
この主成分得点間のグラフによると、第 1 象限にプロットされた点は、Y軸の近くで発達すればするほど、 $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ の負荷が高くなると解釈され「農業負荷型」となると解釈される。一方、第 2 象限は原点を出発点として約  $45^\circ$  の方向に発達すればするほど生活雑排水に含まれるNaCl由来の $Na^+$ ,  $Cl^-$ の負荷が高いことが解釈され「生活負荷型」と解釈される。第 3 象限、第 4 象限に関しては、第 1 主成分のベクトルに対して負に働いており、人為由来である $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ が非常に少ないため自然由来の水質であると考えられる。しかしながら、第 3 象限に対しては、 $Na^+$ ,  $Cl^-$ の負荷がややかかっていることから「雨水混合型」と判断できる。第 4 象限に対しては、人為由来である $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ が非常に少なくかつ自然由来の水質で $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ の負荷がややかかっていることから流動距離あるいは流動時間がある程度ある「自然流動型」であることが判断できる。

尚、 $HCO_3^-$ に関しては、第 1 主成分では他の主要無機イオンと同様に正の方向をしめしており、第 2 主成分では、 $Na^+$ ,  $Cl^-$ と同様負の方向を示していたが、第 2 主成分の負荷が

Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>由来なのかHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>由来なのか判断がつかなくなってしまうためあらかじめHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度を主成分項目から削除した。しかしながら、第1主成分においてHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>が正のベクトルをしめしていたことから（下記図群では除外してある）Y軸が高い値を示すほど流動距離あるいは流動時間が長いことが解釈できる。

固有値

主成分 No.	固有値	寄与率(%)	累積(%)
1	4.88	69.72	69.72
2	1.25	17.82	87.54
3	0.41	5.84	93.39



図表群 1 湧水水質の主成分分析（但しHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>を除く）

## 第5章 考察

本研究を行うに当たって、まず水質の発達過程がある程度均等で、ヘキサダイアグラムの六角形の形を崩さずに大きくなっていることが認められた。また、各主要無機イオンをクラスター分析にかけたところ、5つのグループに分けられ、ある程度地域分類分けをすることができた。富士市側は、F1：原田湧水群、F2：吉永湧水群、F3：今泉湧水群、F5：比奈湧水群と富士宮市側はF2：富士宮湧水群、F3：小泉湧水群とに分けられた。

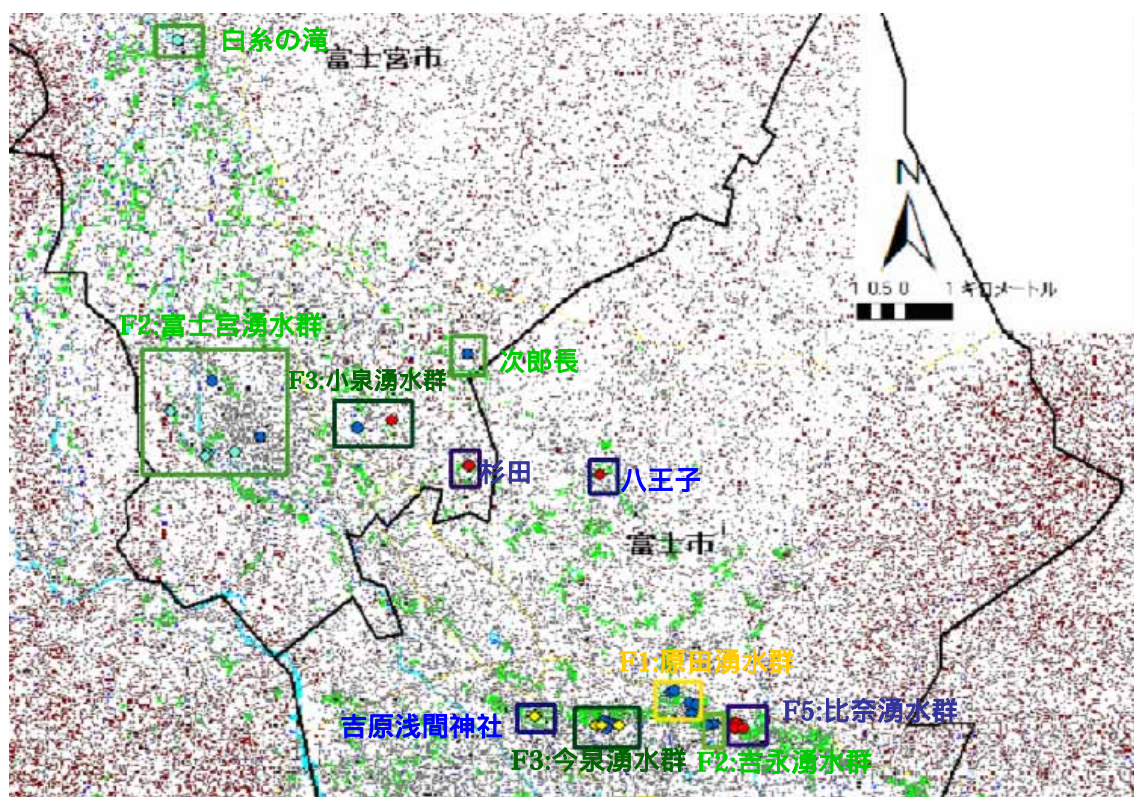
これらの湧水群と、湧水水質の主成分分析から求まった4つの水質型「農業負荷型」、「生活負荷型」、「雨水混合型」、「自然流動型」との間にある程度の分類が解釈できた。

表6及び図21を参照すると、原田湧水群及び吉永湧水群は、すべて「自然流動型」となった。これは、地下水流動域であると考えられる箇所の土地利用に農用地及び建物用地が多く占めていることから、土地利用の影響が大きいと考えられる浅層の地下水の影響が少ないことが考えられる。一方、EC及び人為由来である $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度の低い富士宮湧水群は、自然流動地下水にある程度の風送塩であるNaCl由来の $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ が含まれる雨水の混合がある「雨水混合型」とであると考えられる。しかし湧玉池については、「自然流動型」となる。小泉湧水群については、より富士山の中腹側にある出水湧泉は「農業負荷型」で、より低標高に位置する八幡宮湧泉は、「自然流動型」となる。出水湧泉及び八幡宮湧泉については、ともに近隣に農用地が多く存在するが、出水湧泉の方がより農業負荷を受けていることがわかる。富士宮のその他の湧泉としては、白糸の滝、次郎長、杉田湧泉があるが、これらは、「自然流動型」、「自然流動型」、「農業負荷型」となる。白糸の滝については、近隣に広大な牧場があり $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 負荷の根源があると考えられるが、湧水量の大量さ及び深層地下水が直接湧出していることから、牧場地に由来する負荷の影響が小さいと考える。杉田湧泉については、近隣の農用地の影響が考えられる。一方、富士市の湧水群については、今泉湧水群は、田宿川水神、田宿川今泉幼稚園、田宿川製紙工場脇湧泉に「生活負荷型」が示されており、これらの湧泉は、今泉湧水群の中でも点在しているので、近隣の住宅の点源負荷の可能性が考えられる。また、その他の湧泉として吉原浅間神社及び八王子湧泉があるが、これらはそれぞれ「生活負荷型」、「農業負荷型」となる。これらの湧泉も、近隣の土地利用の影響を受けていると考えられる。



表 6 主成分得点表及び水質分類分け

主成分得点	コーボかすが北	滝川公会堂	原田湧水東	永明寺東	原田湧水西
主成分 1	-2.6610	-2.2541	-2.7814	-2.4605	-2.7423
主成分 2	0.2784	0.2645	0.3441	0.2462	0.3338
	自然流動型	自然流動型	自然流動型	自然流動型	自然流動型
	王泉寺東	王泉寺南	小学校北	淀師用水始まり	よしま池北
主成分 1	-1.4794	-1.6417	-0.9759	-1.7506	-1.6827
主成分 2	0.1501	0.1048	0.2752	0.0537	-0.4732
	自然流動型	自然流動型	自然流動型	自然流動型	雨水混合型
	西富士宮	白糸の滝	青見	次郎長	よしま池南
主成分 1	-1.1303	-0.9641	-1.0860	-1.0305	0.1450
主成分 2	-0.2826	-0.7615	-0.3375	1.1372	-2.2561
	雨水混合型	雨水混合型	雨水混合型	自然流動型	雨水混合型
	湧玉池	医王寺	布団屋西	法雲寺西	学校橋湧水
主成分 1	-0.5621	0.4230	-0.1204	-0.1815	0.1360
主成分 2	0.0241	0.2845	0.3898	0.3512	-0.0717
	自然流動型	農業負荷型	自然流動型	自然流動型	自然流動型
	製糸工場脇	田宿川水神	法雲寺東	出水	八幡宮
主成分 1	0.7551	0.9780	0.0586	1.4731	-0.4784
主成分 2	-0.3943	-0.5733	0.3604	1.0187	0.6365
	生活負荷型	生活負荷型	自然流動型	農業負荷型	自然流動型
	吉原浅間神社	今泉幼稚園西	八王子	医王寺南	長学寺
主成分 1	1.1470	3.6451	3.7276	3.6930	3.8806
主成分 2	-0.6502	-4.4125	0.1273	0.6669	0.6556
	生活負荷型	生活負荷型	農業負荷型	農業負荷型	農業負荷型
	杉田				
主成分 1	5.9205				
主成分 2	2.5096				
	農業負荷型				



自然流動型、 雨水混合型、 農業負荷型、 生活負荷型

富士宮市：F2：富士宮湧水群、F3：小泉湧水群

富士市：F1：原田湧水群、F2：吉永湧水群、F3：今泉湧水群、F5：比奈湧水群

図 21 地形図における水質分類分けの表示

#### 5 - 1 今後の問題点

今回の解析は、水質組成から土地利用負荷を推定する方法を採用した。しかしながら、本研究対象地域においては、土地利用と湧水水質との間に直接の相関を認めることができなかったため、今後本研究対象地域において土地利用と水質との相関が直接できる方法を開発する必要がある。また、隣接する同士の湧泉の湧水水質が著しく異なる湧水があり、この違いに対する仕組みについても解明の余地がある。これらのことが解明できた場合、本研究対象地域の具体的な湧水水質保全の方法が策定できる。湧水水質保全の観点からも、これらの事柄の解明は必要事項であると考えられる。

## 第6章 まとめ

本研究を通じて明らかになったことは、既往研究では明らかになっていない本研究対象地域である富士山西・南麓の湧水の人為負荷の高い硝酸イオン、硫酸イオンが、どの土地利用が起源となり水質負荷をもたらしていることが明確となったことである。硝酸イオン、硫酸イオンの高い湧水は、起源が大きく農業の肥料及び生活雑排水であることは一般に明らかとなっている。しかしながら、本研究地域においては、とりわけ生活雑排水の負荷が高い「生活負荷型」の湧水については、近隣に存在する湧泉の中に突如として現れることから、かなり近隣の住宅、工場等の生活雑排水の影響が考えられることが推察される。また、富士宮の一部に「雨水混合型」の湧水が存在することがわかった。これは、湧泉の周辺の地下水流動の関係上、流動距離あるいは流動時間が比較的短く、水と岩石の化学反応があまりなされていない風送塩を含んだ雨水の状態に非常に近い地下水の混合があった結果このような水質になったと考えられる。

一方、土地利用と水質との相関関係については、人為の影響をほとんど受けていない湧水の湧泉における集水域に対し、硝酸イオン及び硫酸イオンの人為起源となりやすい農用地や建物用地の面積比率が高いことが明らかになった。これは、湧水が湧出するまでの間、深層を流動している可能性があり、表層の土地利用からの負荷を受けないことが考えられる。一方、「農業負荷型」及び「生活負荷型」と示された湧水の湧泉についても、上記とは逆に、農用地及び建物用地の面積比率が低い地域が認められた。これは、富士山のような、火山性の湧水の湧水水質の形成は、単純に土地利用のみの影響を受けず、地下水流動に関与している地質特性も同時に見ていかなければならないことが明らかとなった。

本研究における成果は、数々の既往研究にて言われてきた、本研究対象地域である富士山西・南麓の湧水の硝酸イオン、硫酸イオンの人為負荷がどの土地利用に起因して発生しているかが具体的に明確となったことではないかと考えられる。

## 注釈の説明

- 注1 pH4.3 アルカリ度から $\text{HCO}_3^-$ 濃度を算定する換算式は、  
Digital Titratorのカウンター値  $\times 0.244 = \text{HCO}_3^- \text{ mg/l}$   
となる。
- 注2 (BC)は総陽イオン濃度(Total Base Cations)で、 $\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} (\text{meq/l})$ のことである。  
(SA)は総強酸陰イオン濃度(Total Strong Anions)で、 $\text{NO}_3^- + \text{SO}_4^{2-} + \text{HCO}_3^- (\text{meq/l})$ のことである。

## 謝辞

本研究を行うにあたり、大森博雄教授を始めとする東京大学大学院新領域創成科学研究科環境学研究系自然環境専攻の諸先生には、終始暖かいご指導いただき大変お世話になりました。現地調査に関しては、2005 年 11 月の巡検を通じ、大森先生、須貝俊彦先生、安形康先生を始め、参加された院生の方々には、現地調査、採水活動等、ご協力を承りました。また、水質分析に関しては、田林雄さんをはじめとする自然環境構造学分野の院生の方々に、また、GIS に関しては、安形康先生、増田佳孝さんに、大変お世話になりました。

本研究対象地域に関する資料や情報提供において、静岡県富士市役所、富士宮市役所の方々には丁寧な説明、資料や情報提供など、大変便宜を図っていただきました。

以上の方々に心から深く感謝申し上げます。

## 引用文献

- アメダス地域気象観測データ(静岡県) . <http://www2.wbs.ne.jp/~taitan/>
- 井野盛夫(1987): 富士山東南西麓の湧水 . ハイドロロジー , 第 17 巻 , 第 2 号 , 63 - 74
- 井野盛夫(2002): 岳南の地下水塩水化の克服 . 第 3 回世界水フォーラム・プレフォーラム  
「富士山の地下水の現状と今後の問題」講演論文集 , 山梨県環境科学研究所 , 16 - 25
- 池田喜代治(1995): 富士山南麓地域における地下水の水文化的研究 - 地下水塩水化前後にける水文と水質の挙動 . ハイドロロジー , 第 25 巻 , 第 2 号 , 57 - 70
- 大森博雄・寺園淳子・丁長梅(2005): 首都圏都市化台地の湧水水質の特徴とその要因 . 地下水技術 , 第 47 巻 , 第 12 号 , 8 - 22
- 大森博雄(2002): 高精度測定法による多摩川水系の水収支・物質収支の動態把握と河川水質形成機構の解明 . とうきゅう環境浄化財団研究助成 , 第 31 巻 , 第 227 号 , 37p
- 河野忠・北川光雄・佐藤芳徳 ( 1995 ): 富士山周辺の湧水の水質 . 平成 4・5・6 年文部省化学研究費総合研究 ( A ) , 課題番号 04302064 , 富士山の地下水流動系の研究 , 23 - 32
- 北川光雄・佐藤芳徳・鈴木雄一・安池慎治 ( 1995 ): 多変量解析から見た富士山周辺の湧水の水質について . 平成 4・5・6 年文部省化学研究費総合研究 ( A ) , 課題番号 04302064 , 富士山の地下水流動系の研究 , 33 - 41
- 北川光雄( 1995 ): 富士山周辺の湧水分布 . 平成 4・5・6 年文部省化学研究費総合研究 ( A ) , 課題番号 04302064 , 富士山の地下水流動系の研究 , 10 - 14
- 桜井哲郎・福島和夫・山田哲雄(1998): 北アルプス東麓河川水の水質特性と地質環境 . 陸水学 , 59 , 87 - 100
- 佐藤昭・志村馨(1986): 西富士山麓 ( 富士西麓 ) . 日本の地下水 , 地球社 359 - 366
- 鹿園直建(2001): 水 - 岩石反応による地下水中の主要化学組成の変化(II) - 反応速度と流動の影響 . 地下水学会誌 , 第 43 巻 , 第 3 号 , 161-170
- 静岡県(1976): 富士山西・南麓地域の水理地質 . 52p
- 静岡県(1982): 静岡県富士山麓周辺の湧泉について . 63p
- 滝沢茂 ( 1995 ): 富士山の地質と基盤に発達する断層系 . 平成 4・5・6 年文部省化学研究費総合研究 ( A ) , 課題番号 04302064 , 富士山の地下水流動系の研究 , 4 - 9
- 田口雄作(1995): 窒素による地下水汚染と水文学の課題 . ハイドロロジー , 第 25 巻 , 第 2 号 , 51 - 56
- 土隆一(1992): 富士山のどこに地下水があるか - その知られざるメカニズムを探る . 富士山 - その自然のすべて , 同文書院 , 226 - 248
- 土隆一(2002): 富士山の地形・地質と地下水 . 第 3 回世界水フォーラム・プレフォーラム

- 「富士山の地下水の現状と今後の問題」講演論文集，山梨県環境科学研究所，1 - 6
- 鶴巻道二(1993)：地下水の水質変化とその解釈．地下水技術，第 35 巻，第 12 号，39 - 53
- 寺園淳子(2003)：都市化に伴う台地の湧水水質の変化，東京大学大学院新領域創成科学研究科環境学専攻自然環境学コース，自然環境構造学分野，45p
- 永井茂(1991)：地下水汚染の水文化学的アプローチ．地下水学会誌，第 33 巻，第 3 号，145 - 154
- 半谷高久・小倉紀雄(1995)：「水質調査法」丸善，335p
- 富士市(2003)：湧水水質調査．平成 15 年 富士の環境，生活環境部環境保全課，116 - 118
- 富士市(2004)：湧水水質調査．平成 16 年 富士の環境，生活環境部環境保全課 123 - 125
- 山本莊毅(1971)：富士山とその周辺の陸水．富士山，富士山総合学術調査報告書，富士急，151 - 209
- 山本莊毅(1992)：富士山麓はゆたかな湧き水の宝庫である．富士山 - その自然のすべて，同文書院，198 - 216
- Anazawa, K. and Ohmori, H. (2001): Chemistry of surface water at a volcanic summit area, Norikura, Central Japan: Multivariate statistical approach, *Chemosphere*, 45, 807 - 816
- Chan, H. J. (2001): Effect of land use and urbanization on hydrochemistry and contamination of groundwater from Taejon area, Korea. *Journal of Hydrology*, 253, 194 - 210
- Pacheco, F. and van der Weijden, C. H. (1996): Contributions of water-rock interactions to the composition of groundwater in areas with a sizeable anthropogenic input: A case study of the waters of the Fundao area, central Portugal. *Water Resources Research*, 32, 3553-3570



## 富士山西・南麓の湧水水質と人間活動(生活・産業)との関係

2007 年 3 月 自然環境学専攻 学籍番号 56714 鈴木 伸英

指導教官 大森 博雄 教授

### 研究背景、目的、研究対象地域

近年、高度成長期以降増大した水質公害(水質汚濁)に伴う社会問題は落ち着きを見せ、以前ほどの危機的問題は減少した。しかし、現在もなお水環境に対し環境負荷をかけている現状がある。とりわけ地下水・湧水に関しては、水資源としての有用性の高さ、飲料による直接摂取、人々のための親水等の観点から、地下水・湧水そのものの水質を保全・維持することが大切であると考えられている。本研究では、地下水・湧水の豊富でかつ人間活動が発達した富士山西・南麓を研究対象地域とし、湧水・地下水の水質と人間活動との関係を明らかにすることを試みる。

### 研究方法

- イオンクロマトグラフィーによる主要無機イオン( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ )濃度測定
- 採水現場測定による水温、電気伝導度(EC: Electric Conductivity), pH, アルカリ度測定(後に $\text{HCO}_3^-$ に変換)
- ヘキサダイアグラム、トライリニアダイアグラムを用いた主要無機イオン濃度分析
- 主成分分析等を用いて、分析結果から得られる無機イオン濃度データを解析
- その他の水質分析

### 予定採水期間および予定回数

- 採水期間：一年間
- 採水回数：湧泉：5回：2005 年 11 月 28, 29 日、2006 年 2 月 9 日、2006 年 5 月 4, 5 日、2006 年 7 月 14, 15 日、2006 年 9 月 29, 30 日

### 富士山西・南麓の湧水・地下水の紹介

富士山湧水の湧出状況は、高度 1000m 以下の山麓に湧泉が豊富に存在ある。しかしその分布状況は一様ではない。

富士山西・南麓の地下水については、富士山西麓は透水性のよい火山扇状地中を流下し、火山扇状地の末端線に平行して湧出している。南麓は、旧期熔岩流末端である傾斜の変換線に沿って多くが湧出する。富士山南西麓にかけての高位置にみられる湧泉は、火山山麓

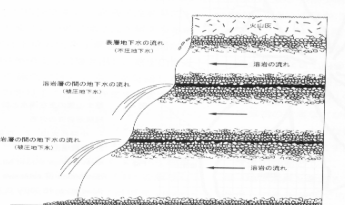
扇状地のほぼ先端に位置し、富士山傾斜を流下してきた地下水が湧出したものと考えられる。

## 富士山西・南麓の地下水流動

富士山：透水層：熔岩層の上下表面部、難透水層：熔岩層の中央部（左図）

研究対象地域の地下水流動方向：

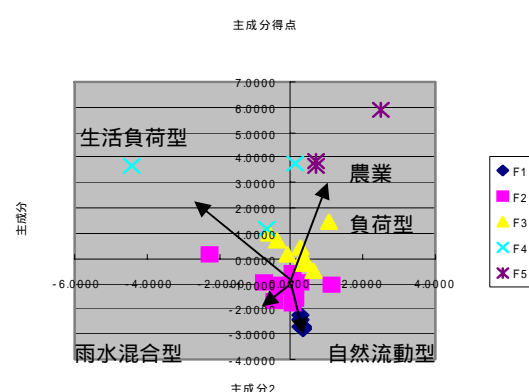
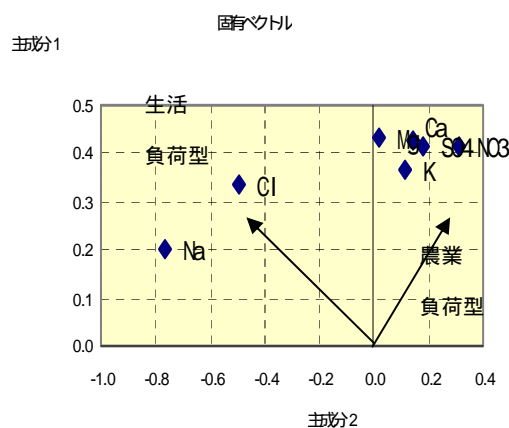
まず、富士山西麓地下谷を南下し、次に丘陵にぶつかり、南東方向に方向転換する地下水がある。一方、富士山頂上から放射上に流下する地下水がある。最終的にこれらの地下水は、旧期熔岩の末端線に存在する内陸の湧泉や旧期熔岩以南にある駿河湾に湧出する(右図)。



## 結果

クラスター分析により 5 つの水質グループに分けられそれを、主成分分析に掛けてみたところ、第 1 象限は、農業に関連し由来する $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ が有意なため「農業負荷型」、第 2 象限は上記イオンに加え、生活雑排水由来と考えられる $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ が有意なため「生活負荷型」、第 3 象限は全主要無機イオンが低い、風送塩由来と考えられる $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ がやや有意である「雨水混合型」、第 4 象限は $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ が非常に少ないが存在するため、ある程度水 岩石の化学反応が行われた「自然流動型」に分類することができる。

人為負荷の有意な水質は、「農業負荷型」及び「生活負荷型」で、富士市、富士宮市に点在して存在する傾向があった。これは、各湧泉の近隣の土地利用の影響を直接受けているか土地利用の影響を受けやすい地質構造をしている可能性がある。「自然流動型」は、原田・吉永湧水群で、「雨水混合型」は、富士宮湧水群であった。



## **Relationship Between Spring water Qualities and Human Activities (Life and Industries) in Western and Southern Areas of Mt. Fuji**

Mar. 2007, Department of Natural Environmental Studies,  
School register number: 56714, Nobuhide SUZUKI  
Supervisor: Professor Hiroo OHMORI

### **Research background, purpose and region for research**

Social issues relating to the water quality pollution (water pollution) which increased since the high growth period show settling down in recent years, and a critical as former problem has decreased. However, there is still a current state in which the negative environmental impact is still put on the water environment. Regarding underground water and spring water, it is especially important to maintain their water quality from the viewpoint of hydrophilicity, high utility as beverage and water resource, etc. In this research, it will be tried to make out the relationship between abundant underground water and spring water in the **western and southern areas of Mt. Fuji**, and the human activity by which an object region is developed.

### **Research method**

- Measurement of density of major inorganic ions ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) by ion chromatography
- Site measurement of water temperature, electric conductivity (EC), pH and alkalinity (Convert alkalinity into  $\text{HCO}_3^-$  - later)
- Analysis of density of main inorganic ions, using hexadiagram and Torilineardiagram
- Analysis of density of major inorganic ions obtained from the above analysis result by principal component analysis, etc.
- Other water analysis

### **Schedule of water sampling period and frequency**

- Water sampling period: One year
- Water sampling frequency: 5 times for spring water: November, autumn: once. February, winter: once. May, spring: once. June, September: once.

### **Introduction of spring water and underground water in western and southern areas of Mt. Fuji**

Regarding the gushing out situation of the Mt. Fuji spring water, it is abundant in the mountainous area of the less than 1000m above sea level. However, the distribution situation is not regular.

Regarding underground water of the western and the southern areas of Mt. Fuji, underground water in the west foot of Mt. Fuji flows under the volcano alluvial fan with good water penetration, gushing out the end line in the volcano alluvial fan. In the south foot, springs exist along the conversion line of the inclination which is composed of old period lava. The spring water seen at the high position southwest foot of Mt. Fuji is located in the top of the mountainous alluvial fan, and it is thought to gush out after flowing it under the Mt. Fuji inclination.

### **Underground water flow in the west and the south foot of Mt. Fuji**

Mt. Fuji lava:

Permeable bed: Top and bottom of lava layer surface part

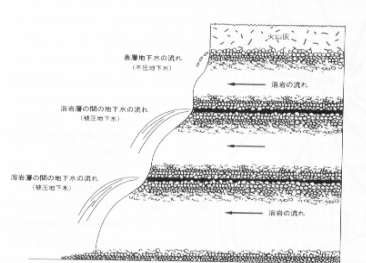
Impermeable bed: Center part in lava layer

Underground water flowing Direction in region for research :

First of all, it goes south in the underground valley of Mt. Fuji west foot. Next, the

direction changes into the southeast after knocking it against the hill.

On the other hand, there is underground water which goes from the Mt. Fuji top area in a radial pattern. Finally all underground water goes south, gushing out to inland springs on the end line of old period lava and Suruga bay on the southern side of old period lava.

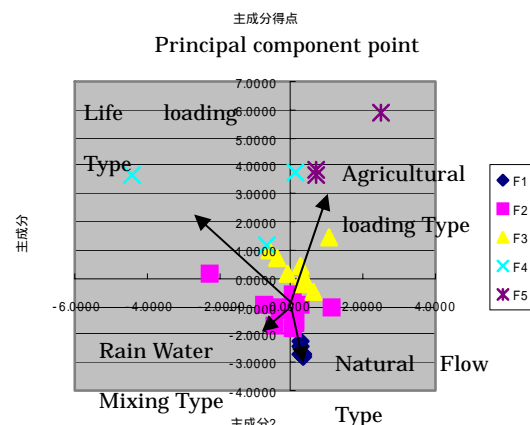
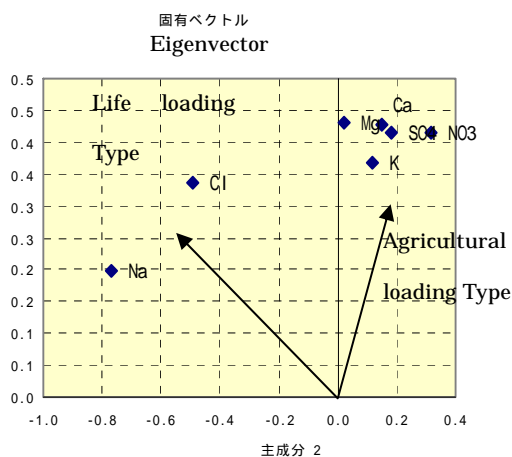


## Result

The cluster analysis divided water qualities of all major inorganic ions into five water quality groups. When the water qualities were calculated by the principal component analysis, it is elucidated that the first image limit belongs to "Agricultural loading type", because  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  related to agriculture are significant. The second image limit belongs to "Life loading type", because  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  which might come from miscellaneous drainage in addition to the above-mentioned ions were significant. The third image limit belongs to "Rain water mixing type." because the all major inorganic ions are low, and  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  which might come from airborne salt are a little significant. The fourth image limit can be classified into "Natural flow type" because a little significant  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  are caused by water-rock interaction. A water quality of a significant human active load belongs to "Agricultural loading type" and "Life loading type".

These "Agricultural loading type" and "Life loading type" tended to exist in the scattered condition in Fuji City and Fujinomiya City. This has the possibility of directly receiving the influence of the neighboring land use around each spring or the geological structure which easily receives the influence of the neighboring land use. Harada and Yoshinaga spring water groups belong to "Natural flow type". Fujinomiya spring water group belongs to "Rain water mixing type".

主成分 1



付録

水質データ

採水期間

2005 年 11 月 28, 29 日、2006 年 2 月 9 日、2006 年 5 月 4, 5 日、  
2006 年 7 月 14, 15 日、2006 年 9 月 29, 30 日

## 2005 年秋

No.	場所	日付	pH	水温(°C)	EC μS/cm	Na meq/l	K meq/l	Ca meq/l	Mg meq/l	Cl meq/l	NO3 meq/l	SO4 meq/l	HCO3 meq/l
1	比奈長学寺	11月18日	6.85	16.7	237	0.360	0.101	1.031	0.702	0.224	0.529	0.458	0.856
2	比奈医王寺	11月18日	7.08	14.8	147.6	0.291	0.072	0.640	0.405	0.179	0.231	0.245	0.752
4	比奈小学校北	11月19日	7.06	14.7	124.7	0.286	0.065	0.537	0.319	0.146	0.143	0.182	0.696
5	原田玉泉寺東	11月19日	7.18	7.12	110.6	0.299	0.064	0.509	0.305	0.139	0.117	0.156	0.680
6	原田玉泉寺南	11月19日	7.3	14.2	120.4	0.305	0.066	0.483	0.284	0.145	0.109	0.150	0.676
7	原田コーボかすが北	11月19日	7.33	13.3	84.5	0.264	0.035	0.382	0.220	0.072	0.057	0.114	0.608
8	原田滝川公会堂	11月19日	7.39	13.7	90.1	0.295	0.051	0.421	0.244	0.106	0.216	0.113	0.632
13	田宿川法雲寺東	11月18日	7.25	14.1	147.3	0.315	0.061	0.693	0.382	0.112	0.235	0.260	0.620
14	田宿川法雲寺西	11月19日	7.27	14	139.6	0.318	0.059	0.665	0.373	0.112	0.212	0.239	0.820
15	田宿川布団屋西	11月19日	6.98	14.5	141.6	0.321	0.061	0.650	0.366	0.111	0.206	0.232	0.740
16	田宿川学校橋湧水	11月18日	7.04	14.3	149.1	0.404	0.076	0.673	0.384	0.162	0.202	0.236	0.800
19	吉原浅間神社	11月19日	6.87	15.1	180.2	0.396	0.074	0.837	0.486	0.186	0.235	0.194	1.148
25	湧玉池	11月19日	7.18	13.9	134.7	0.315	0.056	0.627	0.359	0.122	0.141	0.188	0.852
27	よしま池北	11月20日	7.55	13.6	123.8	0.372	0.048	0.595	0.281	0.092	0.104	0.139	0.672
28	よしま池南	11月20日	7.47	14.8	163.7	0.584	0.056	0.658	0.359	0.161	0.110	0.333	0.972
29	青見	11月20日	7.29	14.2	149.9	0.365	0.050	0.664	0.333	0.109	0.132	0.155	0.992
30	淀師用水路始り	11月20日	7.35	13.7	127.1	0.331	0.055	0.618	0.304	0.105	0.106	0.111	0.880
31	白糸の滝	11月19日	7.16	11.7	134.5	0.445	0.060	0.565	0.327	0.181	0.123	0.211	0.776

## 2006 年冬

No.	場所	日付	pH	水温(°C)	EC μS/cm	Na meq/l	K meq/l	Ca meq/l	Mg meq/l	Cl meq/l	NO3 meq/l	SO4 meq/l	HCO3 meq/l
1	比奈長学寺	2月9日	7.27	14.9	197	0.368	0.093	1.034	0.665	0.238	0.533	0.473	0.968
2	比奈医王寺	2月9日	7.49	14	159.5	0.316	0.072	0.672	0.412	0.203	0.254	0.269	0.916
3	比奈医王寺南	2月9日	7.39	15.4	189	0.358	0.096	1.001	0.639	0.246	0.523	0.476	0.996
4	比奈小学校北	2月9日	7.54	13.7	135.4	0.299	0.061	0.558	0.319	0.160	0.155	0.194	0.756
5	原田玉泉寺東	2月9日	7.53	13	117.3	0.288	0.054	0.492	0.276	0.144	0.113	0.158	0.836
6	原田玉泉寺南	2月9日	7.53	13.3	124.5	0.283	0.044	0.540	0.297	0.137	0.097	0.121	0.852
7	原田コーボかすが北	2月9日	7.48	13.1	97.5	0.273	0.040	0.397	0.209	0.102	0.058	0.114	0.644

8	原田滝川公会堂	2月9日	7.13	12.7	96.2	0.267	0.041	0.356	0.186	0.091	0.086	0.127	0.776
9	原田永明寺東	2月9日	7.77	12.5	90.3	0.261	0.038	0.378	0.199	0.095	0.055	0.108	0.776
10	原田湧水東	2月9日	7.71	13.1	117.5	0.267	0.034	0.382	0.201	0.077	0.050	0.110	0.908
11	原田湧水西	2月9日	7.65	12.3	81.2	0.267	0.030	0.378	0.200	0.070	0.048	0.112	0.836
12	田宿川今泉幼稚園	2月9日	7.63	13.9	184.5	0.507	0.068	0.796	0.456	0.353	0.232	0.286	1.144
13	田宿川法雲寺東	2月9日	7.47	13.8	133.2	0.310	0.053	0.710	0.332	0.100	0.172	0.207	0.836
14	田宿川法雲寺西	2月9日	7.14	12.9	142.3	0.315	0.053	0.634	0.343	0.107	0.177	0.208	0.968
15	田宿川布団屋西	2月9日	7.31	13.4	140.5	0.316	0.052	0.619	0.337	0.100	0.164	0.203	0.956
16	田宿川学校橋湧水	2月9日	7.31	12.7	153.1	0.349	0.055	0.681	0.377	0.121	0.190	0.226	0.980
17	田宿川製紙工場脇	2月9日	7.27	12.8	171.8	0.389	0.060	0.709	0.417	0.141	0.224	0.261	1.004
18	田宿川水神	2月9日	7.36	13.6	191.9	0.428	0.068	0.813	0.462	0.182	0.262	0.278	1.012
19	吉原浅間神社	2月9日	7.49	13.5	187.5	0.398	0.072	0.833	0.473	0.197	0.218	0.178	1.172
20	八王子	2月9日	7.14	12.5	219	0.413	0.160	0.986	0.583	0.205	0.380	0.285	1.209
21	杉田	2月9日	6.81	12.5	253	0.273	0.126	1.298	0.563	0.233	0.843	0.735	0.744
22	次郎長	2月9日	7.08	12.3	136.3	0.234	0.030	0.793	0.287	0.128	0.192	0.170	1.095
23	出水	2月9日	7.04	12.6	175.3	0.310	0.060	0.969	0.424	0.149	0.362	0.396	0.908
24	八幡宮	2月9日	7.31	12.1	154.2	0.287	0.046	0.685	0.426	0.092	0.149	0.289	1.071
25	湧玉池	2月9日	7.64	11.9	153	0.317	0.051	0.609	0.333	0.119	0.133	0.181	0.948
26	西富士宮	2月9日	7.27	12.7	135.4	0.326	0.070	0.628	0.274	0.183	0.138	0.175	1.188
27	よしま池北	2月9日	7.57	12.6	118.8	0.407	0.050	0.602	0.268	0.118	0.108	0.141	0.968
28	よしま池南	2月9日	7.59	13.5	147.5	0.585	0.050	0.663	0.347	0.160	0.105	0.326	1.008
29	青見	2月9日	7.72	11.9	126.5	0.380	0.047	0.678	0.326	0.112	0.128	0.160	1.264
30	淀師用水路始まり	2月9日	7.7	12.5	118.5	0.318	0.046	0.594	0.279	0.086	0.098	0.104	1.088
31	白糸の滝	2月9日	8.09	9.3	128.1	0.388	0.048	0.563	0.306	0.128	0.123	0.203	0.832

2006 年春

No.	場所	日付	pH	水温(°C)	EC μS/cm	Na meq/l	K meq/l	Ca meq/l	Mg meq/l	Cl meq/l	NO3 meq/l	SO4 meq/l	HCO3 meq/l
1	比奈長学寺	5月4日	7.99	13.5	200	0.380	0.096	1.040	0.677	0.254	0.530	0.461	0.688
2	比奈医王寺	5月5日	7.15	14.9	164	0.310	0.076	0.637	0.385	0.186	0.219	0.242	1.044
3	比奈医王寺南	5月4日	8.67	14	190	0.360	0.097	0.999	0.645	0.232	0.506	0.460	0.944
4	比奈小学校北	5月4日	7	14	142	0.293	0.064	0.542	0.309	0.146	0.143	0.191	1.104
5	原田玉泉寺東	5月5日	7.26	15	125	0.284	0.096	0.453	0.256	0.173	0.099	0.139	0.956

6	原田玉泉寺南	5月4日	7.67	15.8	128	0.283	0.047	0.530	0.292	0.136	0.091	0.116	0.992
7	原田コーボカすが北	5月5日	7.89	15.4	116	0.274	0.049	0.384	0.204	0.108	0.060	0.112	1.008
8	原田滝川公会堂	5月5日	7.09	14.2	98.7	0.276	0.041	0.393	0.209	0.104	0.081	0.125	0.725
9	原田永明寺東	5月5日	7.32	14.6	106	0.273	0.045	0.380	0.201	0.101	0.057	0.109	1.024
10	原田湧水東	5月5日	7.52	14.1	92	0.269	0.051	0.380	0.199	0.095	0.051	0.108	0.804
11	原田湧水西	5月5日	7.61	14	90	0.270	0.039	0.377	0.199	0.082	0.049	0.109	0.768
12	田宿川今泉幼稚園	5月4日	8.3	15.4	186	0.757	0.081	0.956	0.561	0.675	0.266	0.355	0.836
13	田宿川法雲寺東	5月5日	8.28	19.2	169	0.366	0.067	0.716	0.392	0.143	0.210	0.242	1.016
14	田宿川法雲寺西	5月5日	7.4	15.1	160	0.331	0.060	0.671	0.362	0.119	0.203	0.236	1.136
15	田宿川布団屋西	5月4日	7.44	15.1	157	0.325	0.057	0.647	0.353	0.114	0.195	0.229	1.084
16	田宿川学校橋湧水	5月5日	7.2	15.2	147	0.329	0.062	0.642	0.349	0.120	0.195	0.229	0.912
17	田宿川製紙工場脇	5月4日	7.62	17.9	218	0.418	0.074	0.780	0.439	0.172	0.230	0.251	0.796
18	田宿川水神	5月5日	245	17	218	0.424	0.073	0.787	0.441	0.168	0.231	0.256	0.980
19	吉原浅間神社	5月5日	7.02	14.2	196	0.423	0.084	0.897	0.528	0.259	0.292	0.244	1.238
20	八王子	5月5日	7.08	13.6	231	0.425	0.166	1.040	0.601	0.211	0.400	0.291	1.257
21	杉田	5月5日	6.72	13.1	262	0.287	0.133	1.330	0.597	0.243	0.853	0.746	0.776
22	次郎長	5月5日	7.12	13.5	132.5	0.223	0.034	0.776	0.311	0.120	0.190	0.174	1.011
23	出水	5月4日	7.02	13.8	186.3	0.317	0.068	0.992	0.432	0.169	0.368	0.405	0.938
24	八幡宮	5月5日	7.23	14.2	148.8	0.294	0.050	0.667	0.442	0.096	0.150	0.293	1.042
25	湧玉池	5月5日	7.4	14.9	156	0.340	0.059	0.576	0.286	0.145	0.109	0.146	1.004
26	西富士宮	5月5日	7.2	14.8	136.6	0.346	0.075	0.615	0.299	0.176	0.133	0.167	1.240
27	よしま池北	5月5日	7.18	14.6	140	0.388	0.046	0.584	0.261	0.096	0.097	0.133	0.976
28	よしま池南	5月5日	7.2	15.4	171	0.572	0.057	0.645	0.332	0.155	0.107	0.296	1.284
29	青見	5月5日	7.47	11	145	0.381	0.056	0.657	0.314	0.117	0.123	0.150	0.348
30	淀師用水路始まり	5月4日	7.98	14.8	136	0.350	0.059	0.594	0.275	0.103	0.089	0.099	1.232
31	白糸の滝	5月5日	7.28	13.2	137	0.417	0.074	0.573	0.304	0.164	0.117	0.215	0.930

2006 年夏

No.	場所	日付	pH	水温(°C)	EC μS/cm	Na meq/l	K meq/l	Ca meq/l	Mg meq/l	Cl meq/l	NO3 meq/l	SO4 meq/l	HCO3 meq/l
1	比奈長学寺	7月15日	6.81	17.1	235	0.369	0.093	1.035	0.676	0.244	0.571	0.470	0.984
2	比奈医王寺	7月15日	7.05	15.6	153.7	0.304	0.070	0.659	0.409	0.191	0.259	0.267	0.816
3	比奈医王寺南	7月15日	6.87	17.7	223	0.358	0.097	0.983	0.636	0.262	0.549	0.483	0.884



4	比奈小学校北	7月15日	7.13	15.2	126.8	0.287	0.061	0.542	0.314	0.151	0.164	0.204	0.752
5	原田玉泉寺東	7月15日	7.34	14.7	111.8	0.281	0.064	0.459	0.261	0.138	0.106	0.150	1.272
6	原田玉泉寺南	7月15日	7.27	16.3	118.5	0.283	0.054	0.524	0.293	0.158	0.113	0.123	0.904
7	原田コーボかすが北	7月15日	7.17	15.7	96.5	0.274	0.042	0.387	0.213	0.103	0.076	0.123	0.736
8	原田滝川公会堂	7月15日	7.14	15.2	96.8	0.274	0.045	0.399	0.217	0.110	0.081	0.124	0.720
9	原田永明寺東	7月15日	7.91	15	98.3	0.275	0.083	0.397	0.215	0.143	0.079	0.124	0.764
10	原田湧水東	7月15日	7.35	15.4	96.9	0.272	0.036	0.398	0.213	0.089	0.080	0.127	0.724
11	原田湧水西	7月15日	7.4	14.7	98.4	0.272	0.075	0.392	0.209	0.120	0.057	0.120	0.744
12	田宿川今泉幼稚園西	7月15日	6.82	16.8	234	0.715	0.080	0.957	0.571	0.583	0.320	0.389	1.072
13	田宿川法雲寺東	7月15日	6.88	15.6	180.2	0.359	0.062	0.813	0.443	0.157	0.327	0.342	0.924
14	田宿川法雲寺西	7月15日	6.93	15.5	167.1	0.349	0.073	0.742	0.415	0.157	0.282	0.296	0.912
15	田宿川布団屋西	7月15日	6.94	15.9	163.2	0.344	0.057	0.727	0.407	0.137	0.278	0.295	0.892
16	田宿川学校橋湧水	7月15日	6.98	16.6	169	0.381	0.065	0.754	0.433	0.170	0.268	0.280	0.964
17	田宿川製紙工場脇	7月15日	7	16.4	178.8	0.408	0.070	0.794	0.449	0.186	0.271	0.279	1.052
18	田宿川水神	7月15日	6.92	16.3	179.3	0.418	0.076	0.782	0.452	0.197	0.261	0.260	1.068
19	吉原浅間神社	7月15日	7.17	16.6	205	0.432	0.091	0.901	0.527	0.260	0.295	0.239	1.188
20	八王子	7月14日	7	17.9	247	0.407	0.187	1.042	0.603	0.255	0.383	0.314	1.308
21	杉田	7月14日	7.2	16.7	260	0.294	0.130	1.268	0.564	0.240	0.779	0.686	1.272
22	次郎長	7月14日	7.4	16.8	151.6	0.238	0.036	0.842	0.349	0.121	0.240	0.175	1.064
23	出水	7月14日	7.03	16.3	193	0.310	0.066	1.001	0.399	0.172	0.386	0.381	0.908
24	八幡宮	7月14日	7.43	15.3	162.5	0.301	0.046	0.697	0.431	0.109	0.163	0.298	0.976
25	湧玉池	7月14日	7.17	14.9	167.3	0.323	0.162	0.632	0.351	0.232	0.136	0.187	0.972
26	西富士宮	7月14日	7.07	14.7	131.5	0.340	0.054	0.592	0.285	0.149	0.114	0.143	0.936
27	よしま池北	7月14日	7.3	14.1	130.2	0.377	0.043	0.562	0.258	0.102	0.104	0.128	1.008
28	よしま池南	7月14日	7.26	15.6	163.7	0.585	0.054	0.639	0.343	0.179	0.117	0.319	1.020
29	青見	7月14日	7.36	15.2	140.5	0.376	0.060	0.644	0.317	0.134	0.135	0.154	1.024
30	淀師用水路始まり	7月14日	7.3	14.1	125.4	0.315	0.047	0.588	0.284	0.096	0.123	0.118	1.024
31	白糸の滝	7月14日	7.78	14.8	138.9	0.429	0.074	0.553	0.317	0.177	0.132	0.216	0.868

2006 年秋													
No.	場所	日付	pH	水温(°C)	EC μ S/cm	Na meq/l	K meq/l	Ca meq/l	Mg meq/l	Cl meq/l	NO3 meq/l	SO4 meq/l	HCO3 meq/l
1	比奈長学寺	9 月 30 日	6.87	16.8	231	0.370	0.099	1.003	0.673	0.239	0.528	0.483	1.032
2	比奈医王寺	9 月 30 日	7.02	15.6	171.4	0.330	0.081	0.754	0.471	0.221	0.332	0.340	0.860

3	比奈医王寺南	9月30日	6.98	16.4	227	0.362	0.095	0.971	0.649	0.244	0.528	0.499	0.944
4	比奈小学校北	9月30日	7.15	14.8	135.9	0.301	0.064	0.577	0.342	0.159	0.196	0.233	0.836
5	原田玉泉寺東	9月30日	7.17	14.3	119	0.294	0.059	0.492	0.287	0.147	0.142	0.181	0.856
6	原田玉泉寺南	9月30日	7.27	15.4	121.5	0.286	0.049	0.542	0.310	0.145	0.121	0.140	0.968
7	原田コーボカすが北	9月30日	7.43	14.3	100.5	0.279	0.043	0.415	0.232	0.112	0.081	0.137	0.768
8	原田滝川公会堂	9月30日	7.27	14.1	103	0.284	0.046	0.426	0.238	0.118	0.085	0.142	0.856
9	原田永明寺東	9月30日	7.4	14	120.2	0.278	0.050	0.412	0.231	0.118	0.084	0.138	0.840
10	原田湧水東	9月30日	7.37	13.9	97.1	0.276	0.038	0.408	0.224	0.091	0.072	0.138	0.768
11	原田湧水西	9月30日	7.32	14.1	96.5	0.277	0.037	0.399	0.221	0.085	0.067	0.134	0.824
12	田宿川今泉幼稚園	9月29日	7.01	15.3	216	0.643	0.073	0.951	0.534	0.473	0.289	0.371	1.392
13	田宿川法雲寺東	9月29日	6.94	14.7	168.4	0.354	0.061	0.777	0.424	0.148	0.273	0.314	0.984
14	田宿川法雲寺西	9月29日	7.01	14.6	166.9	0.355	0.069	0.763	0.430	0.154	0.253	0.298	0.968
15	田宿川布団屋西	9月29日	7.02	14.4	164.4	0.351	0.068	0.751	0.422	0.145	0.256	0.303	0.936
16	田宿川学校橋湧水	9月29日	7.06	14.8	179.6	0.392	0.071	0.808	0.468	0.178	0.270	0.306	1.016
17	田宿川製紙工場脇	9月29日	7.03	15	190.2	0.418	0.069	0.850	0.491	0.194	0.293	0.322	1.112
18	田宿川水神	9月29日	7.07	15	184.5	0.423	0.069	0.833	0.484	0.198	0.272	0.289	1.096
19	吉原浅間神社	9月30日	7.15	15.4	201	0.423	0.084	0.897	0.528	0.259	0.292	0.244	1.238
20	八王子	9月29日	7	16.6	226	0.402	0.155	0.954	0.578	0.224	0.386	0.299	1.300
21	杉田	9月29日	6.86	16.3	276	0.296	0.128	1.384	0.620	0.237	0.862	0.759	0.752
22	次郎長	9月29日	7	14.7	137.8	0.227	0.035	0.791	0.322	0.114	0.192	0.167	1.040
23	出水	9月29日	6.96	15.9	190.8	0.311	0.069	1.010	0.413	0.167	0.386	0.387	0.968
24	八幡宮	9月29日	7.12	15.7	145.3	0.300	0.047	0.679	0.420	0.104	0.146	0.298	1.100
25	湧玉池	9月29日	7.1	14.3	143.4	0.325	0.091	0.639	0.360	0.170	0.151	0.200	1.020
26	西富士宮	9月29日	7.2	14.8	136.6	0.346	0.075	0.615	0.299	0.176	0.133	0.167	1.240
27	よしま池北	9月29日	7.14	13.6	124.8	0.379	0.044	0.563	0.261	0.098	0.096	0.139	1.056
28	よしま池南	9月29日	7.24	15.3	164.8	0.590	0.060	0.634	0.344	0.180	0.108	0.329	1.444
29	青見	9月29日	7.28	14.6	139.8	0.378	0.048	0.644	0.320	0.117	0.132	0.159	1.404
30	淀師用水路始まり	9月29日	7.34	14.5	125.4	0.316	0.048	0.587	0.287	0.104	0.108	0.116	0.648
31	白糸の滝	9月29日	7.67	13.2	137.1	0.291	0.068	0.366	0.212	0.140	0.083	0.149	0.900