

4. 富士山の水環境

WATER ENVIRONMENT OF FUJI MOUNTAIN

ウィトゥン ジラワッタナパン*・山口 晴幸*・須釜 隆*

Witune JIRAWATTANAPHAN・Hareyuki YAMAGUCHI・Takashi SUGAMA

ABSTRACT; We human beings cannot live without water. But because of the recent population increase and industrial expansion, the water environment has been getting worse. Now we can see environmental water problems such as acid rain, and biological and industrial drainage, which deteriorate water quality. Water quality change, affects human life as well as the larger ecosystem, so we have to examine it.

Natural water in the mountain field may not be affected by artificial environmental forces. But if this natural water is adversely affected, we should determine and try to resolve the pollutant cause.

Therefore, since 1993, we have investigated the water quality of precipitation (snow and rain) and the springs of Mt Fuji, the Japanese symbol. (Our methods were sampling and chemical analysis.) This report presents the natural water environment of Mt. Fuji, based on analysis of sampled rain and springs in 1993 and 2001.

KEYWORDS; Precipitation、Spring Water、Electric Capacity、Hexa Diagram、Trilinear Diagram

1. はじめに

「水」は地球上の生命体にとって必要不可欠なものである。近年の人口増加や経済・産業圏の拡大によって、水環境の広域的悪化が余儀なくされてきている。特に近年の水環境に関する汚染問題では、降水の酸性雨化現象をはじめ、生活廃水や農業・工業用廃水の流入などに起因し、河川水・地下水・湖沼水などの自然水の水質悪化を引き起こすなど、様々な水環境の汚染問題が発生している。自然水の水質悪化が深刻になると、当然、生態系や人間にも影響を及ぼす恐れが懸念される。降水や水源域などになる山岳域の水環境のモニタリングは、水環境保全の評価と実態把握の立場から極めて重要であると判断される。

海拔 1000m 以上の山岳域のような高所地域の自然水は、特殊な周辺環境を除いては、ほとんど人為的影響を受けることは少ないと考えられる。しかし大気環境汚染に起因する慢性的な降水の酸性雨化現象や山小屋・登山道などからの人為的汚染物質の排出・流出などによって、高所山岳域の湧水・渓流水等の自然水の水質悪化が進行しつつあることも指摘されている。

著者らは、これまで、原自然に恵まれた鹿児島県屋久島、東京都御蔵島（伊豆七島）、沖縄県西表島、秋田・青森県白神山地などの自然環境や利根川、信濃川、多摩川、吉野川、長良川などの大河川の源流環境を継続調査しており、水・土環境の実態を科学的視点から評価し提示することを試みてきている。高所山岳域の水環境については、静岡・山梨県富士山の降水・湧水等（平成 5 年調査）、神奈川県

* 防衛大学校 システム工学群 建設環境工学科 National Defense Academy

〒239-8686 横須賀市走水 1-10-20, Tel 0468-41-3810, Fax 0468-44-5913

大山の降水（平成 5～10 年調査）、北アルプス・南アルプスの降水（平成 13 年調査）、ネパールランタン谷の降水（平成 13 年調査）などについて微量化学分析を実施し酸性雨化の実態などについて調査を試みてきた。

本報告では、平成 5 年に実施した富士山岳・山麓域一帯での自然水（降水・湧水等）の化学分析結果を再整理して新たな考察を加えると共に、平成 13 年に実施した富士山岳域での降水調査の分析結果の比較検討を通して、富士山一帯の自然水環境について記述している。なお平成 5 年に実施した富士山麓域一帯での湧水等の調査を、本年 4 月末に再度実施し、自然水の水質の推移についても評価を試みる予定である。

2. 調査分析

周知のように、我が国の象徴とも言える秀峰富士山は標高 3776m の最高峰である。有史以来も度々大噴火を繰り返し、富士山麓一帯には溶岩、溶岩礫、火山礫、スコリアなどの火山性噴出堆積物が厚く堆積する地層が形成されている。このような火山性噴出堆積物は、多孔性地層を形成しているため山岳・山麓域一帯には伏流水や湧水等の自然水に恵まれた水環境が形成されている。代表的な富士五湖は富士山岳域の降水が地層を浸透して伏流した天然の大湧水湖でもある。また山麓周囲には、忍野八海湧水群（山梨県側）や柿田川湧水群（静岡県側）に代表される名水と呼ばれる湧水地点が多数点在している。

そこで本報告では、図 1 と図 2 に示すように、

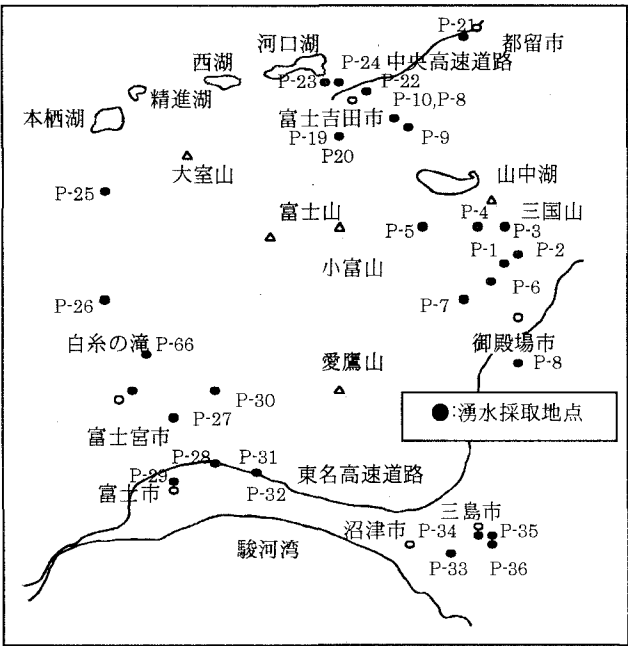


図 1 富士山麓における湧水の採取地点

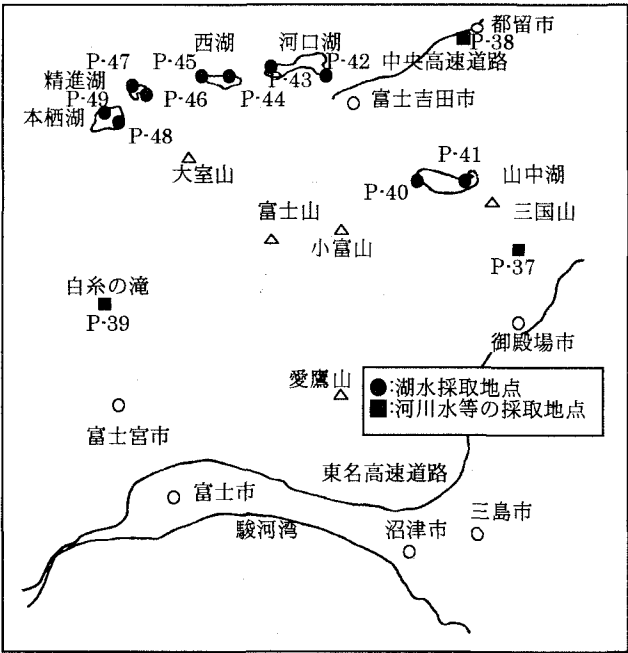


図 2 富士山麓における湖水等の採取地点

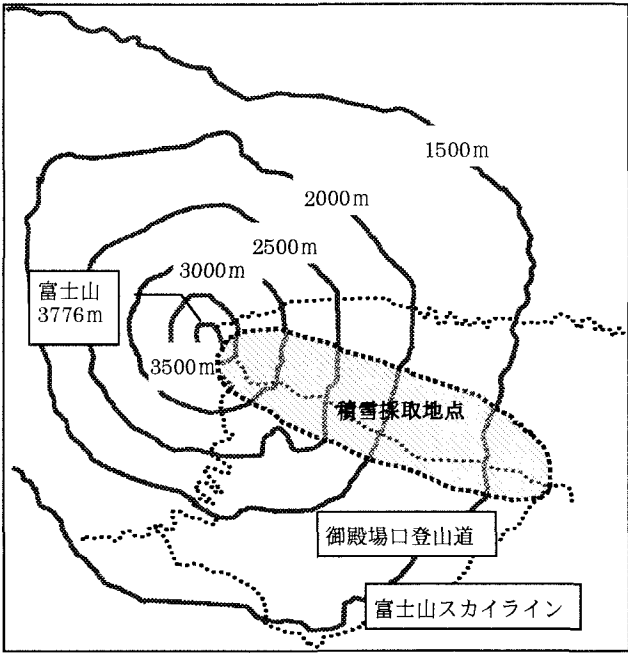


図 3 富士山岳域における積雪の採取地点

平成 5 年春季に調査を実施した富士山麓一帯での湧水・湖水・河川水・瀑布水などの自然水に関する分析データに基づいて、その水質的特徴について記述する。また山麓周囲の湧水などの供給源となる降水については、酸性雨化現象の進行性の観点から、平成 5 年春季調査の分析データとの比較検討のため、平成 13 年冬季に調査を再度実施している。図 3 に示すように降水としては、山岳域で人為的攪乱などの影響を受けていないと思われる地点で積雪表面下 20~30cm 程度に堆積している積雪を採取し分析している。積雪の採取は、両調査季でいずれも御殿場口から山頂へのほぼ同じ登山ルートに沿い、平成 5 年春季には標高 2400~2745m 間 12 地点、平成 13 年冬季には標高 1500~3100m 間 27 地点で実施している。自然水や積雪の水質分析では、pH や電気伝導度 (EC) に加え、イオンクロマトグラフィーによる主要溶存化学成分の分析を試みている。

3. 富士山岳域の降水環境

表 1 と表 2 に示す平成 5 年春季と平成 13 年冬季の調査結果で、標高 1500m 以上の富士山岳域で採取した積雪の pH と電気伝導度 (EC) の状況を標高との関係でプロットしたのが図 4 と図 5 である。一般に、pH が 5.6 以下の降水は酸性雨あるいは酸性雪と呼ばれている。平成 5 年春季採取の積雪では、いずれの標高のサンプルも pH が 5.6 付近ではあるが、それより若干高い 5.7~6.4 範囲の値を呈しており、酸性雪の範疇には入っていないことが分かる。しかし平成 13 年冬季調査での標高 1500~3100m 範囲で採取した 27 サンプルの積雪は、いずれも pH が 5.6 以下を呈する酸性雪となっている。pH は 4.3~5.3 範囲にあり、4.5 以下が 27 サンプル中 13 サンプル (約 5 割) 占め、pH の平均値は 4.7 であった。なお pH と標高との間には、調査標高範囲では明瞭な傾向は認められなかった。標高 1500m 以上の高所山岳域であることから、当然、積雪の電気伝導度 (EC) は、かなり低い値を呈するものと予想され、両季調査でのサンプルは概ね 20 μ S/cm 以下となっている。しかし平成 13 年冬季採取のサンプルには EC が 46 μ S/cm と 78 μ S/cm とかなり高い値のものも観測される。しかもこのサンプルは、最も標高の高い 3100m で採取されたものとなっている。

表 1 富士山岳域での積雪の pH と EC (平成 5 年春季調査)

試料番号	標高(m)	pH	EC (μ S/cm)
1	2400	6.4	15
2	2455	5.7	14
3	2515	5.8	9
4	2555	5.8	9
5	2520	5.8	11
6	2575	5.8	13
7	2575	5.7	11
8	2625	5.7	9
9	2625	5.7	11
10	2660	5.7	8
11	2685	5.9	15
12	2745	5.7	11

表 2 富士山岳域での積雪の pH と EC (平成 13 年冬季調査)

試料番号	標高(m)	pH	EC (μ S/cm)
1	1500	4.7	13
2	1600	5.1	7
3	1700	4.5	7
4	1800	5.1	7
5	1900	5	19
6	2000	5.2	5
7	2100	4.9	9
8	2200	4.6	16
9	2300	4.4	15
10	2400	4.6	16
11	2500	4.5	16
12	2600	4.4	14
13	2800	5.3	5
14	2900	4.3	22
15	3000	4.9	6
16	3100	4.5	12
17	3100	4.5	78
18	3100	4.3	46
19	3100	4	23
20	3000	4.5	18
21	2900	4.4	18
22	2800	4.9	23
23	2700	4.4	16
24	2600	4.4	18
25	2500	4.6	12
26	2400	5	16
27	2300	5.1	6

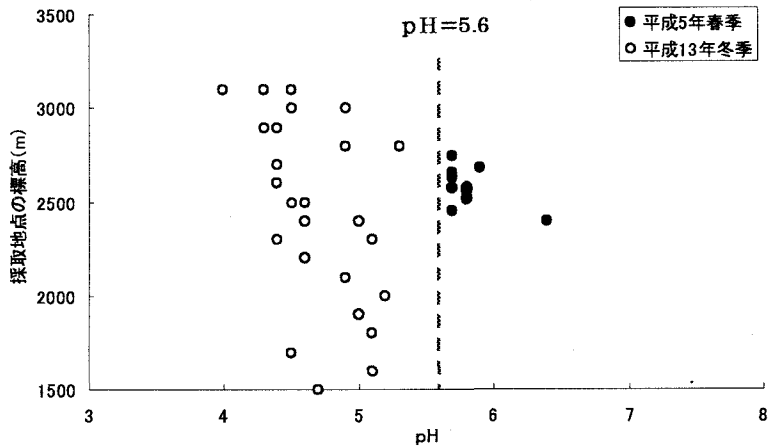


図 4 富士山岳域での積雪の pH

そこで EC 値は溶存化学分量や濃度の尺度でもあることから、積雪の主要溶存イオン濃度を示したのが図 6 と図 7 である。降水の酸性雪化現象などの要因を示す代表的な溶存イオン成分について、標高との関係でプロットしている。まず人為的活動に起因すると言われる硝酸イオン (NO_3^-) に着目すると、平成 5 年春季採取の積雪では、若干の

サンプルで検出されたに留まり、その濃度は最大でも 0.1mg/l であった。しかし平成 13 年冬季採取の降雪の場

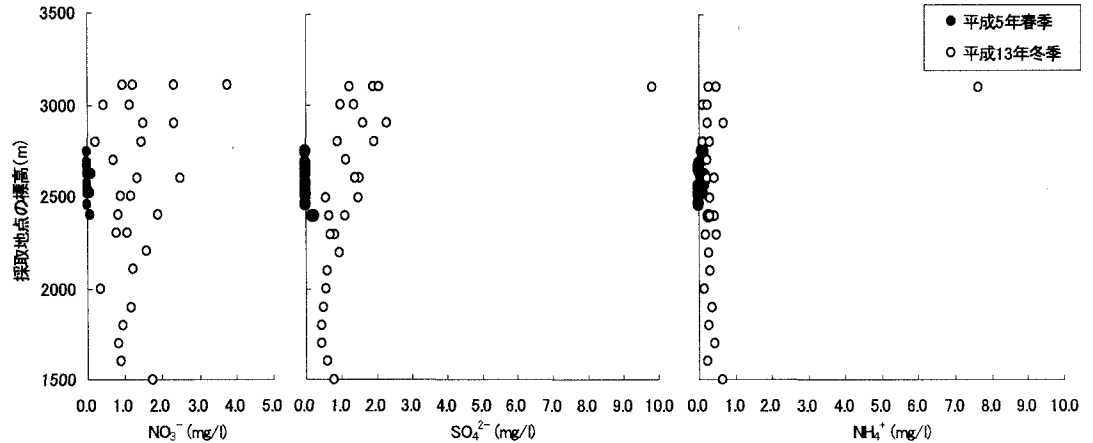


図 6 富士山岳域での積雪の NO_3^- , SO_4^{2-} , NH_4^+ 濃度

合には、いずれのサンプルでも $0.24\sim 3.77\text{mg/l}$ 範囲で検出され、 1mg/l を超える濃度のサンプルがほとんどであった。同様の傾向は硫酸イオン (SO_4^{2-}) においても認められる。なお硫酸イオンには人為的要因などに加え、自然界からの供給源（主に海塩粒子からの供給源）もあることから、その効果を考慮（海塩粒子起源の硫酸イオン濃度： 0.251 倍のナトリウムイオン濃度）して見ても、平成 13 年冬季採取の降雪では、その値を超える高い濃度の硫酸イオンが検出されている。さらに 1mg/l 以下の濃度の場合がほとんどであったが、高所山岳域にも関わらずアンモニウムイオン (NH_4^+) も確実に検出される。アンモニウムイオンはアルカリ性イオンであるが、酸化されると水素イオン (H^+) を放出するため、水や土の酸性化を促進するモニタリングの必要なイオンでもある。

平成 13 年冬季採取の積雪におけるこのような溶存化学成分の実態から判断すると、やはり年々徐々に大気汚染悪化が進行しているものと推察できる。人為的活動場にはほとんど関与していない標高 3000m 以上の高所山岳域においても、降水の酸性雪化現象が確実に進展していることを窺わせる結果と言える。詳細部分において未解明の問題も多いが、我が国の降水の酸性雨や酸

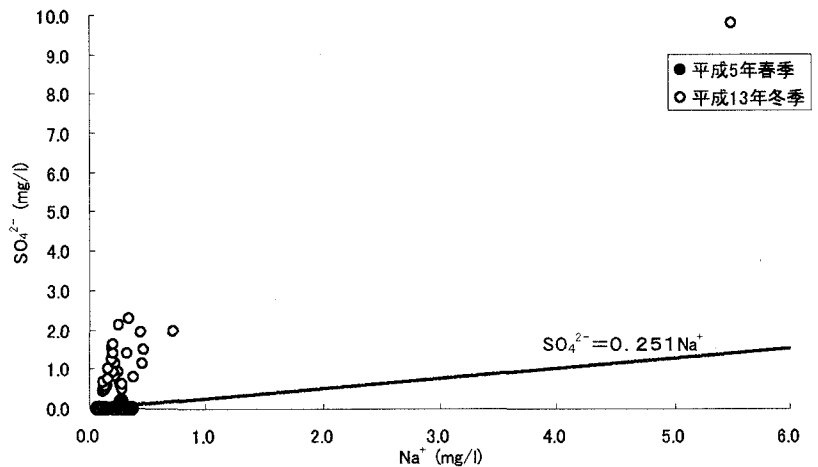


図 7 人為的要因に起因する SO_4^{2-} 濃度

性雪化現象には、飛来する大陸からの大気汚染物質の影響がかなりの割合で関与しているとの指摘も根強くある。これを裏付ける理由として、中国大陸北西部の砂漠地帯を発生起源とする大量の黄砂が偏西風に運ばれ我が国の上空のみならず、太平洋を超えアメリカ大陸西側まで飛来していると言う観測結果が報告されており、当然、大気汚染物質も我が国上空に飛来して、降水が酸性雨や酸性雪化する要因になっていると推察される。

特に冬季高所山岳域での降水の採取やモニタリング調査には、冬山登山技術を要し難儀な問題が山積している。しかし高所山岳域の降水は重要な水資源域を形成し自然水の供給源域となることから、今後さらに、継続的にまた一層広域的にモニタリング調査を実施し、我が国における高所山岳域の降水環境の実態を広く評価する必要があると考えている。

なお降水には、酸性雨や酸性雪化の要因となるイオンに加え、他の陽・陰イオンも溶存している。四方が海に囲まれた我が国では、その代表的な溶存イオンが海塩粒子に起因するナトリウムイオン (Na^+) と塩素イオン (Cl^-) である。図8に、積雪の Na^+ と塩素イオン濃度を標高との関係でプロットしている。多少ばらつきはあるがほとんどのサンプルで Na^+ は 0.5mg/l 以下、 Cl^- は 2mg/l 以下の濃度となっている。このような積雪などの降水は、周知のように地下水、湧水、河川水などの自然水に水形態を変え、最終的には海水となり

再度水循環を繰り返すことになる。その際、地中浸透過程や岩石・植物等の物質接触過程で生ずるイオン交換作用、溶脱・吸着作用、緩衝作用、浄化作用などの化学物理的及び生物学的作用によって、また人為的汚水・廃水の混入などによって自然水の水質は、当然、徐々にあるいた急激に変容する。そのような意味から言えば、まさに降水の水質は自然水誕生時の水質と言える。そこで次節で富士山麓一帯の湧水等の水質について論じる関係から、自然水の水質タイプの分類によく用いられるトリリ

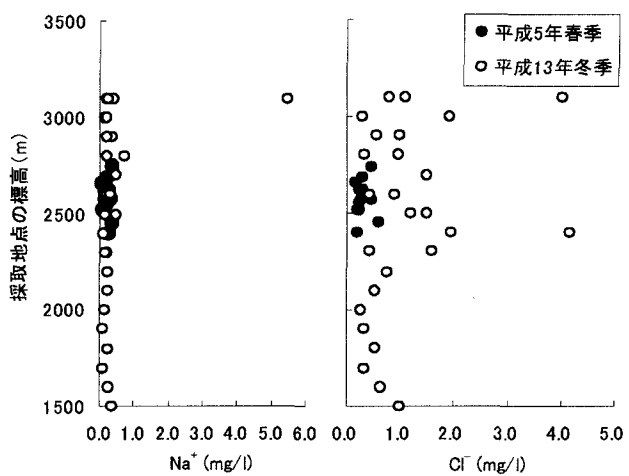


図8 富士山岳域での Na^+ と Cl^- 濃度

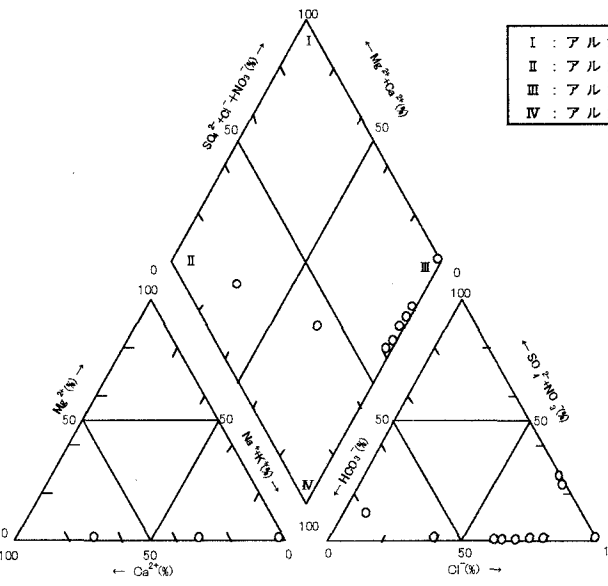


図9 富士山における積雪のトリリニアダイアグラム
(平成5年春季調査)

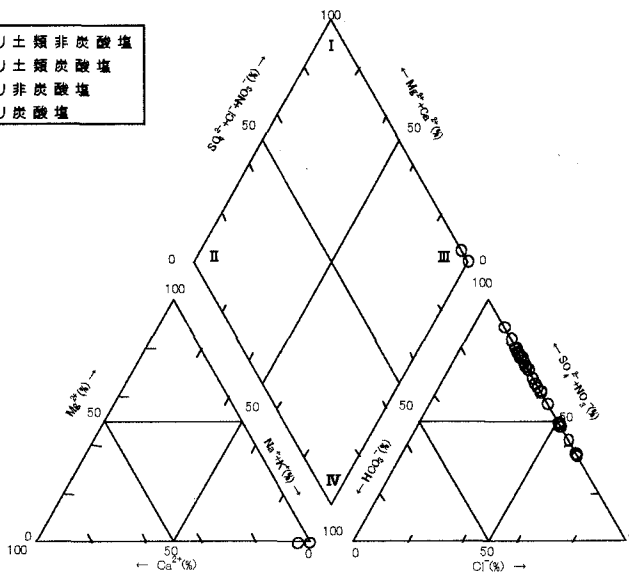


図10 富士山における積雪のトリリニアダイアグラム
(平成13年冬季調査)

ニアダイアグラム上で、高所山岳域の積雪の水質を表示したのが図 9 と図 10 である。両季採取時の積雪はいずれも菱形座標図で示すキーダイアグラム上では、アルカリ非炭酸塩タイプに分類される(Ⅲ分類)。この水質タイプは海水や海水の影響を強く受けている自然水であることを意味している。いずれの積雪もⅢ分類で表示されるが、しかし平成 5 年春季の場合にはまさに海塩起源を主体とした Na-Cl 型アルカリ非炭酸塩(図 9)、平成 13 年冬季の場合には酸性雪化を反映した Na-SO₄ 型あるいは Na-NO₃ 型のアルカリ非炭酸塩(図 10)と多少異なった水質タイプとなっている。

4. 富士山麓一帯の自然水環境

先述した図 1 と図 2 に示す富士山麓一帯で採取した湧水・湖水・河川水・瀑布水の自然水の pH と電気伝導度(EC)の状況について、図 11～図 13 に整理している。多少ばらつきはあるが、自然水の pH 値はほとんど 7～8 範囲の弱アルカリ性を呈しており、水形態や標高にあまり左右されていないことが分かる。溶存イオン量の

尺度となる EC 値については、高所山岳域の自然水ほど低く、前節での積雪の EC 値に近い傾向を示している。静岡県三島市など富士山頂から遠く離れるほど、湧水は高い EC 値を呈する傾向にある。このように富士山麓一帯での自然水の EC 値は概ね

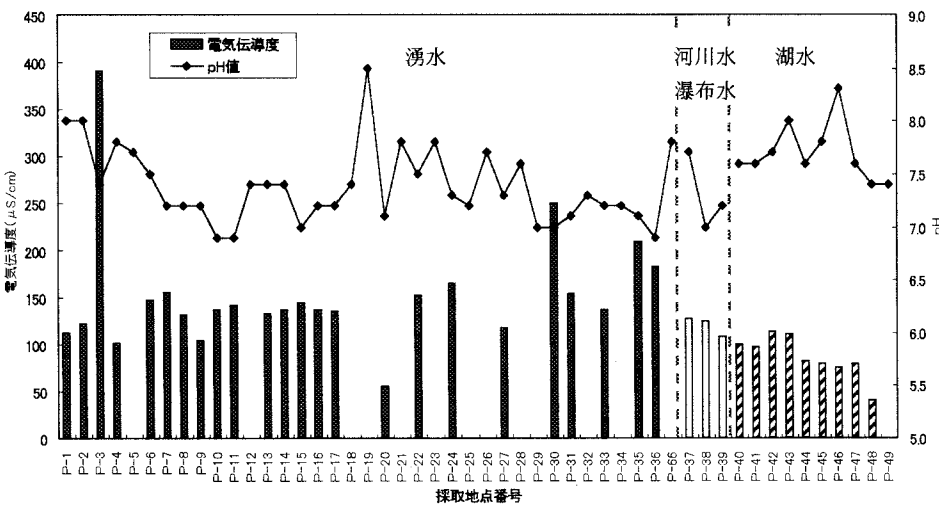


図 11 富士山麓一帯での自然水の pH と EC の状況

50～250μs/cm 範囲であるが、中にはかなり高い EC 値を示すものもある。静岡県柿田川湧水群(P-33)は、富士山岳域の降雪が 70～80 年掛けて地中を浸透し伏流した自然水と言われている。湧水等の自然水の EC 値は、自然的要因としては浸透・流出過程での土質タイプや浸透期間に、また人為的要因としては排水混入などによって左右される。

水質汚染物質の詳細な考察は試みていないが、硝酸性窒素(NO₃-N)について検討している。最近、地下水や河川水等の自然水の硝酸性窒素汚染が進行している問題が全国的に指摘されている。調査した富士山麓周囲には、環境庁名水百選に指定されている自然水を始め、故事来歴のある名水・名井が多数点在しており、今でも多くの人々に愛飲されている自然水が多い。しかし富士山麓から

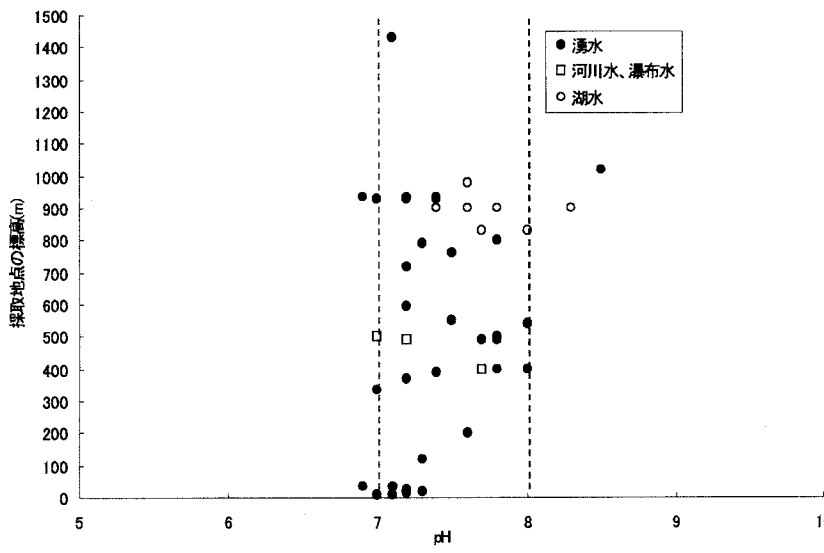


図 12 富士山麓一帯での自然水の pH と標高との関係

周辺市街地に掛けてレジャー施設、農業・工業地域、住宅地域などの開発地域が発達し、また拡大しつつあり、地下水や湧水などの自然水の汚染問題や汲み上げによる枯渇問題が指摘されている。図 14 と図 15 には、今まで提示した本調査(平成 5 年春季)での、湧水・河川水・瀑布水・湖水の硝酸性窒素(NO_3^--N)の溶存濃度の状況を示している(図 14 と図 15)。自然水への硝酸性窒素の溶存はほとんど人為的要因によると言われている。分析した 49 サンプルのほとんどで硝酸性窒素は検出され、大部分は 2mg/l 以下の濃度となっている。しかし若干のサンプル(P-7、P-28、P-30)では、その値を超えるかなり高い濃度にあり、中には飲料水質基準で規定されている 10mg/l に近い自然水も観測される。詳細な汚染源や汚染ルートについては考察していないが、高い硝酸性窒素濃度を呈した自然水はいずれも湧水であり、これらの湧水は、御殿場市、富士宮市、富士市の人為的活動の活発な市街地に見られた(図 1 と図 2 参照)。自然水の採取地点はほとんどが標高 1000m 程度までではあるが、図 15 において標高との関係を見ると、採取地点の標高が高いほど、硝酸性窒素濃度の低い自然水が観測される可能性が高くなる傾向にあると推察されるが、標高約 1000m 範囲内では自然水の硝酸性窒素濃度と標高との間には明瞭な相関的傾向は認められない。その主因は山麓域でも標高約

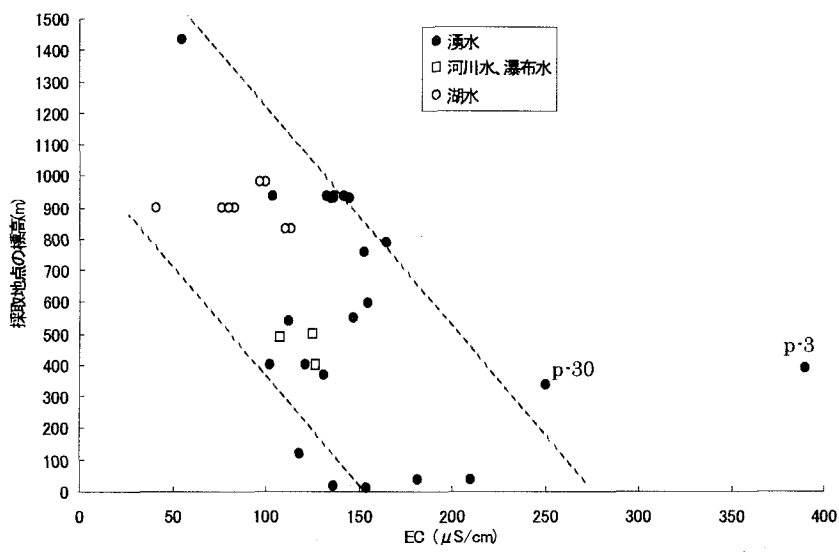


図 13 富士山麓一帯での自然水の EC と標高との関係

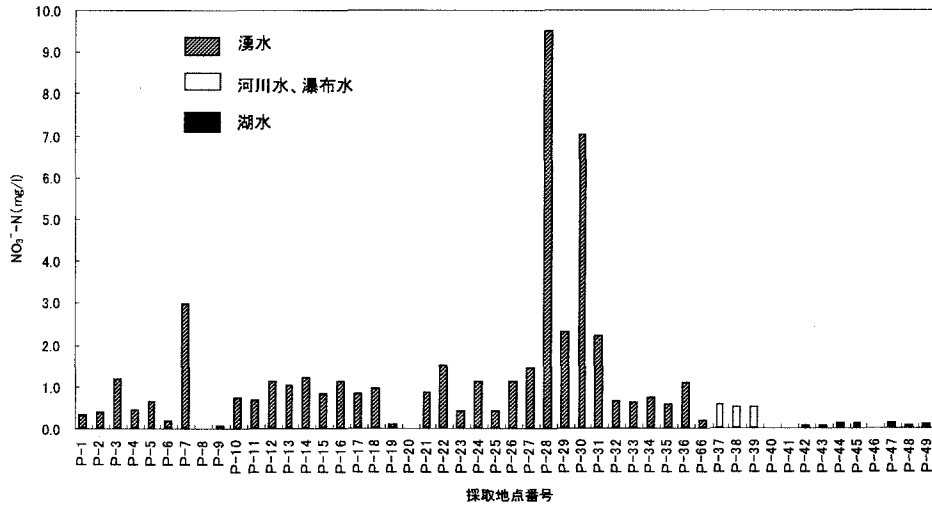


図 14 富士山麓一帯での自然水の硝酸性窒素濃度の状況

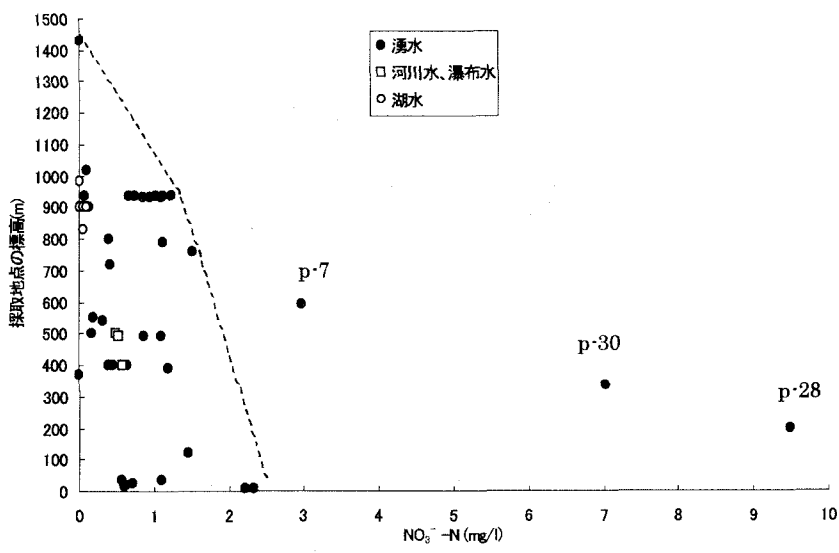


図 15 富士山麓一帯での自然水の硝酸性窒素濃度と標高との関係

1000m 程度までの自然水採取域が、人為的活動場として利用・活用されている地域にあるためと考えられる。なお上述の図 14 と図 15 で提示した結果は平成 5 年春季調査データに基づいているが、本年 4 月末調査にも同様の分析評価を実施し、富士山麓一帯での自然水の硝酸性窒素濃度の進行実態について考察する予定である。

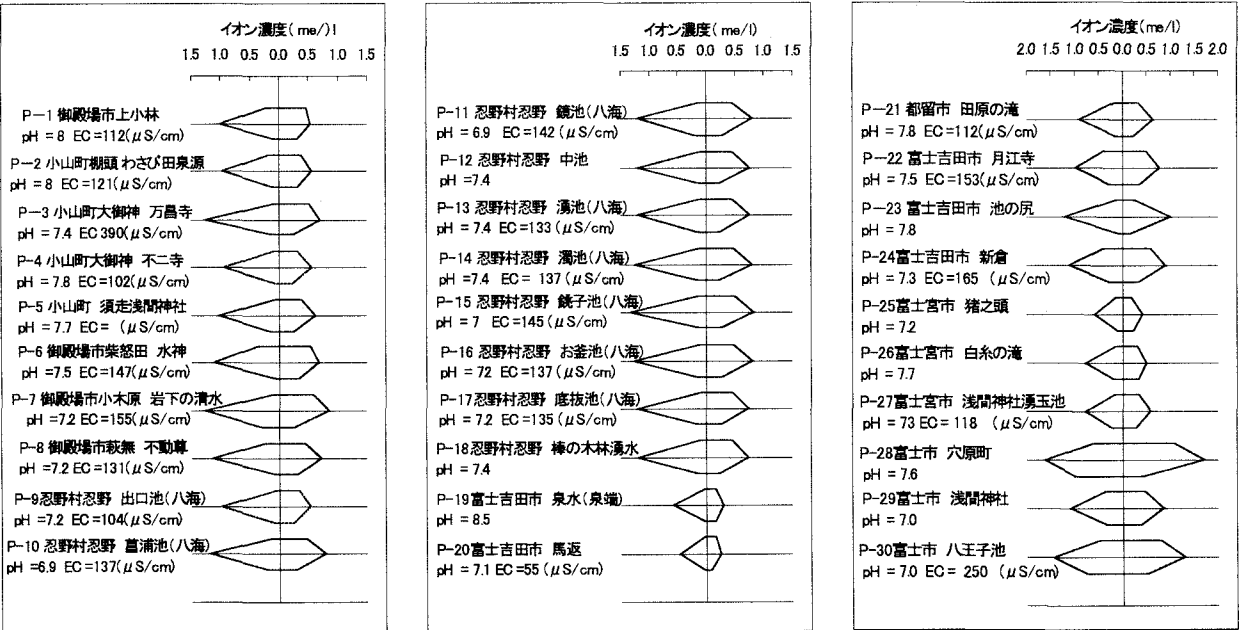


図 16 湧水のヘキサダイアグラム表示

図 16～図 21 には、富士山麓一帯での自然水の水質とそのタイプを湧水、湖水、河川水・瀑布水の三つの水形態に区分して、ヘキサダイアグラム(図 16～図 18)とトリリニアダイアグラム(図 19～図 21)を用いて表示している。陽・陰イオンの主要溶存イオン濃度をミリ等量濃度(me/l)で表示するヘキサダイアグラムの形状は、直観的に水質の差異を把握することができる。ヘキサダイアグラムの大きさ(面積)は主要溶存イオン量に対応しており、電気伝導度(EC)と相関関係にある。またダイアグラムの形状は水質タイプを表し、

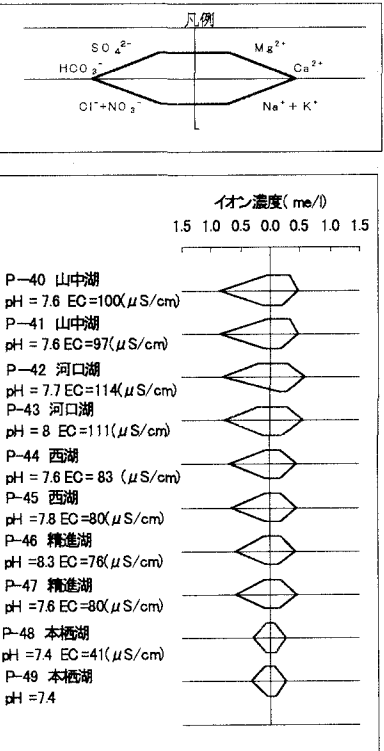


図 17 富士五湖水のヘキサダイアグラム表示

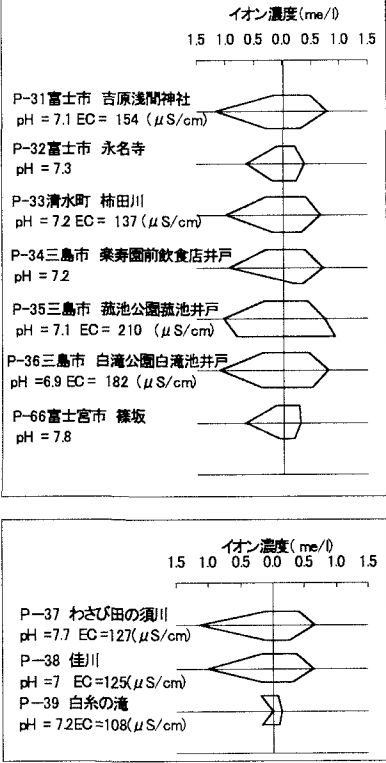


図 18 河川水・瀑布水のヘキサダイアグラム表示

同水質のものは相似的・類似的形状となる。図 16～図 18 に表示したヘキサダイアグラムの大きさは大小異なるものもあるが、互いに類似の菱形形状のものがほとんどであることから、富士山麓一帯の自然水は同水質タイプであることが分かる。即ち図 19～図 21 に示すように、Ca-HCO₃ 型のアルカリ土類炭酸塩(キーダイアグラム上 II 分類)に分類される自然水であると言える。図 9 と図 10 で示したように、

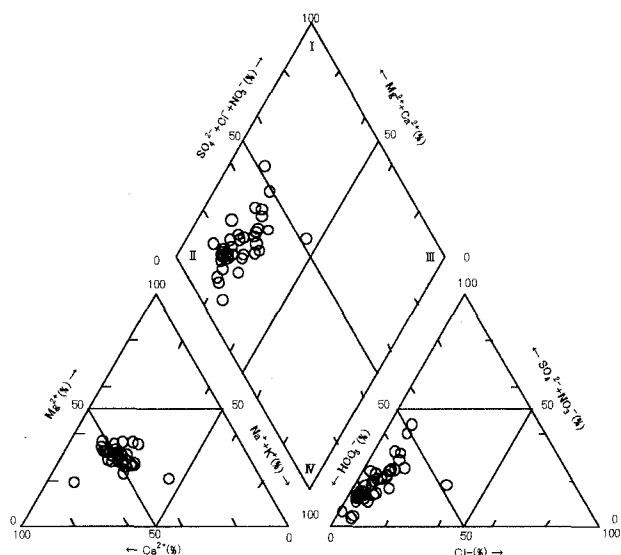


図 19 富士山麓一帯での湧水のトリリニアダイアグラム表示

自然水の供給源となる高所山岳域の積雪の水質は、キーダイアグラム座標図ではⅢ分類のアルカリ非炭酸塩($\text{Na}-\text{Cl}$, $\text{Na}-\text{SO}_4$, $\text{Na}-\text{NO}_3$ 型) 区分される。このことは、富士山岳域の積雪が融雪し長年月に亘り地層を浸透・流下して湧水等の自然水に水形態が変わると、水質はアルカリ土類炭酸塩(Ⅱ分類)に変容することを意味している。自然水の水質を左右する富士山麓一帯の地層は、安山岩・玄武岩の火山岩類を主体とした溶岩、火山礫、スコリア等の火山性堆積物が厚く堆積する地層分布を構成している。富士山麓一帯でのほとんど類似した地層構成が、同水質の自然水を育む結果となっていると推察される。

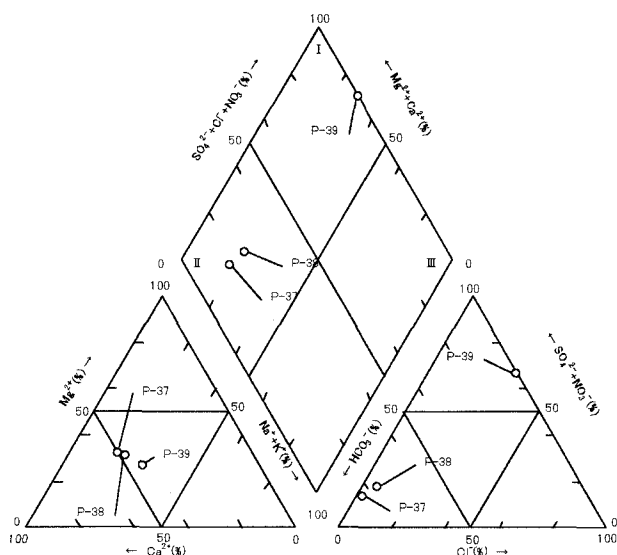


図 20 富士山麓一帯での河川水、瀑布水のトリリニアダイアグラム表示

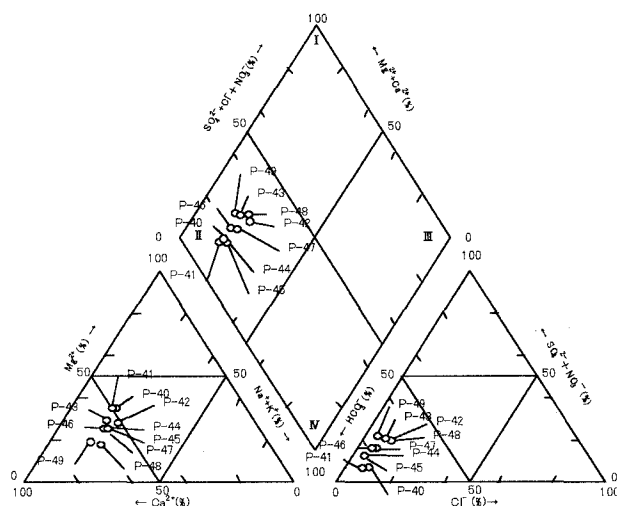


図 21 富士五湖水のトリリニアダイアグラム表示

5. おわりに

高所山岳域での積雪の酸性雪化現象や山麓一帯での自然水の硝酸性窒素汚染の進行懸念など、富士山の水環境は必ずしも良好な方向にあるとは言い難い。むしろ悪化の方向にあると推察される。今後も富士山のみならず、自然環境に恵まれた高所山岳域の水環境等のモニタリング調査を継続し、水環境を通して自然環境保全の重要性について警鐘を鳴らしていきたい。

参考文献

- 1) 山口晴幸ら (1994.5) : 富士山麓一帯の水環境, 土質工学会第 1 回環境地盤工学シンポジウム発表論文集, pp. 79-86
- 2) 山口晴幸ら (1995.11) : 丹沢山系「大山」の自然環境, 地盤工学第 40 回地盤工学シンポジウム発表論文集, pp. 91-98
- 3) 山口晴幸ら (1996.7) : 生命の水・多摩川源流—東京湧水天国—, 土木学会第 4 回地球環境シンポジウム講演集, pp. 259-271
- 4) 山口晴幸ら (1997.7) : 生命の水・利根川源流・流域の自然環境, 土木学会第 5 回地球環境シンポジウム講演集, pp. 187-196
- 5) 山口晴幸ら (1998.8) : 生命の水・信濃川源流, 土木学会第 6 回地球環境シンポジウム講演集, pp. 269-278
- 6) 山口晴幸 (1999.4) : 世界自然遺産「屋久島」(I) —巨樹林を育む水環境—, (財) 水利科学研究所, 水利科学, 第 43 巻第 1 号, pp. 60-84
- 7) 山口晴幸 (1999.6) : 世界自然遺産「屋久島」(II) —巨樹林を育む水環境—, (財) 水利科学研究所, 水利科学, 第 43 巻第 2 号, pp. 37-64
- 8) 山口晴幸ら (1999.7) : 生命の水・吉野川源流, 土木学会第 7 回地球環境シンポジウム講演集, pp. 45-54
- 9) 山口晴幸ら (2001.7) : 御蔵島の自然環境—巨樹・水・土—, 土木学会第 9 回地球環境シンポジウム講演集, pp. 251-261
- 10) ウイトウン・ジラワッタナパンら (2002.3) : 富士山麓の湧水環境, 土木学会第 29 回関東支部技術研究発表会講演概要集, pp. 1012-1013
- 11) 須釜隆ら (2002.3) : 山岳域の水環境—ネパールランタン谷・富士山—, 土木学会第 29 回関東支部技術研究発表会講演概要集, pp. 1066-1067
- 12) 読売新聞社調査研究本部(2000.12): 東アジアにおける酸性雨問題と国際協力の可能性に関する日韓共同研究—暫定とりまとめ—, 東アジア酸性雨・国際協力シンポジウム資料
- 13) 読売新聞社(2002.4) : 黄砂—中国から飛んでくる砂—, 読売新聞夕刊, 平成 14 年 4 月 13 日発行
- 14) 読売新聞社(2001.5) : トイレの影響? —山の水場 70 ヶ所に大腸菌—, 読売新聞、平成 13 年 5 月 9 日発行