

# 山梨県の地下水・湧水・河川水のリン濃度

小林 浩 輿水達司\*

Phosphorus Concentration of Underground, Spring and River Waters  
in Yamanashi Prefecture, Central Japan

Hiroshi KOBAYASHI and Satoshi KOSHIMIZU

山梨県内の地下水や湧水等については多くの報告がなされている。地下水資源や水利用計画としての報告は山梨県<sup>1, 2)</sup>により、また、水質性状に関しては、深澤ら<sup>3)</sup>、小林ら<sup>4)</sup>、吉澤ら<sup>5)</sup>、高橋ら<sup>6, 7)</sup>、堤ら<sup>8)</sup>により報告されている。

これらの報告のうち水中リン濃度に関する報告は高橋ら<sup>6, 7)</sup>や堤ら<sup>8)</sup>が八ヶ岳周辺湧水や富士山麓湧水について報告し、小林ら<sup>4)</sup>は水道水水源水について報告している。これらの報告の中にはリン濃度の地域性は述べられているが、その原因についてはほとんど言及されていない。

地下水や湧水、河川水中のリンの起源としては、家庭や工場、田畑、農業畜産関係施設などの排水やゴルフ場などの施肥等、人為的活動に由来するものや、動植物中のリン化合物が化学的・微生物学的に変化を受けた生物活動由来のもの、さらに地質や土壌、雨水などの自然環境に由来するものなどが指摘されている<sup>9, 10)</sup>。

特に近年では著しく増加したゴルフ場の施肥が、排水中に極端なリン濃度の増加をもたらしているとの指摘がある<sup>11)</sup>。またリンは溶解度積の小さいAl, Fe, Ca塩を形成し<sup>12)</sup>、この化合物の生成がリン施肥量の増加につながることも指摘されている<sup>13)</sup>。

一方、地下水及び湧水は河川や湖沼を形成し、下流域へのリン供給源となる。富士山北麓には富士五湖や相模川が位置し、相模川の中流域には神奈川県の水道水源となる相模ダム貯水池(相模湖)や城山ダム貯水池(津久井湖)がある。この2つの貯水池は、富栄養化現象が顕著であり植物プランクトンによる水利障害が報告されている<sup>14, 15)</sup>。また富士五湖のうち河口湖では淡水赤潮の発生が報告されている<sup>16)</sup>。こうした状況に鑑み、水中リン濃度の高い地域でのリン起源を考えることは重要である。本報告では富士山麓周辺と甲府盆地周辺地域について既に報告されているデータを含め、地下水及び湧水中のリン濃度に、地域的な違いが生じる原因を検討し、さらに河川水中のリン濃度についても地域的な差異を検討した。

## 試料と方法

### 1. 試料

試料は89年5月から93年1月までに分析した水道水水源水及び97年12月～4月までに採水した計23個所の湧水及び地下水を解析対象とした。

また、富士山北麓に掘削され、山梨県環境科学研究所の飲用に用いられている地下水(以下「観測井」と略す)について、97年9月から98年9月まで毎月2回定期的に採水し、電気伝導度(以下「EC」と略し単位は $\mu\text{s}/\text{cm}$ )、pH及びリン濃度を調査し経月変化も観察した。

河川水については98年3月に富士川水系及び相模川水系の17地点で採取した。

### 2. 測定方法

リン及び主要イオンの測定方法は前法<sup>17)</sup>に従った。また、pH及びECは電極法により測定した。

主要成分のうち、陽イオンについては $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ を、また陰イオンは $\text{Cl}^-$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 及び $\text{HCO}_3^-$ を測定した。測定方法は小林ら<sup>4)</sup>の方法に準じた。

## 結 果

### 1. 湧水及び地下水のリン濃度、EC及びpHの概要

試料の結果を図1 a及び図1 bに示した。富士山北麓に位置する地下水及び湧水中(B1からB11)のリン濃度は0.129 mg/lから0.212 mg/lであった(図1 b)。

一方甲府盆地周辺の地下水及び湧水(A1からA9)は0.003 mg/lから0.082 mg/lという値を示した(図1 a)。富士山麓一帯の平均値は0.159 mg/l ( $n=14$ )であり、甲府盆地周辺に位置する地下水及び湧水の平均値0.039 mg/l ( $n=9$ )より著しく高い値を示した。

甲府盆地周辺のA1からA6までのリン濃度の平均値からの標準偏差(以下「偏差」と記す)は、A1とA3が0.012、A5が0.002と小さかった。しかし平均濃度が低いため変動係数% (以下「CV%」)と略す)はいずれも10%以上と大きかった。また、ECは50から165と

\* : 山梨県環境科学研究所  
Yamanashi Institute of Environmental Sciences



地点間の大きな差が見られ偏差は0.8から52.4であり、pHは6.9から7.8の範囲で偏差は0.14から0.43であった。

一方富士山北麓のB1からB5でのリン濃度の偏差は、B1で0.012とこの中では最も高く、B2が0.006と小さかった。しかし、リン濃度が高いためCV%はいずれも10%未満と小さかった。ECは88から104、偏差は3.1から7.2、pHは7.6から7.8の範囲にあり偏差は0.13から0.24であった。富士山北麓のB1からB5でのリン濃度は甲府盆地周辺のA1からA6より、リン濃度が高いにもかかわらずEC、pHの偏差は小さかった。

89年5月から93年1月に観測できた水道水源水について、リン濃度とEC及びpHの相関を図2及び図3に示した。リン濃度が0.1 mg/l未満の地点はいずれも甲府盆地周辺に位置する水道水源水であり、0.13 mg/lを越える水道水源水はいずれも富士山北麓に位置していることが明らかである。甲府盆地周辺に位置する水道水源水のリン濃度とECの相関は弱いながらも負の相関関係が見られた( $r = -0.38$   $P < 0.01$   $n = 55$ )。一方富士山北麓に位置する水道水源水では、相関関係を見ることはできなかった( $r = -0.19$  有意差なし  $n = 48$ )。また、リン濃度とpHの相関では甲府盆地周辺に位置する水道水源水では弱いながらも正の相関関係が見られた( $r = 0.31$   $P < 0.05$   $n = 55$ )。一方富士山北麓に位置する水道水源水では、相関関係を見ることはできなかった( $r = 0.01$  有意差なし  $n = 48$ )。

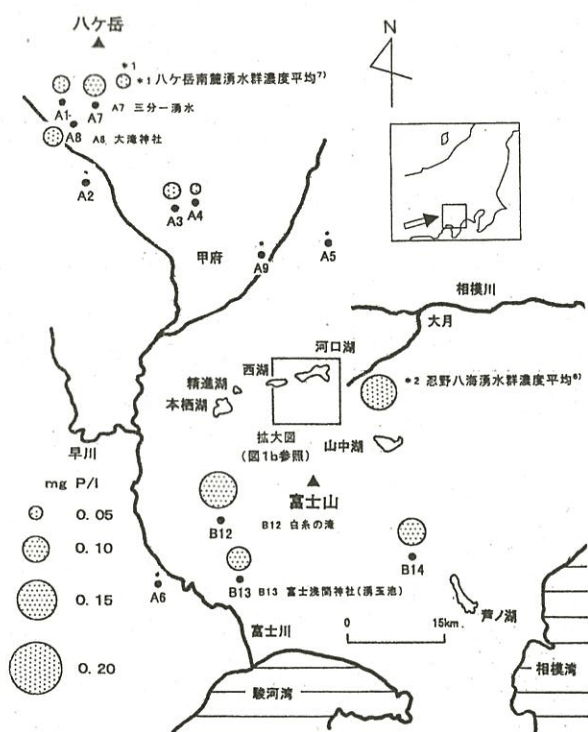


図1 a 湧水及び地下水中のリン濃度

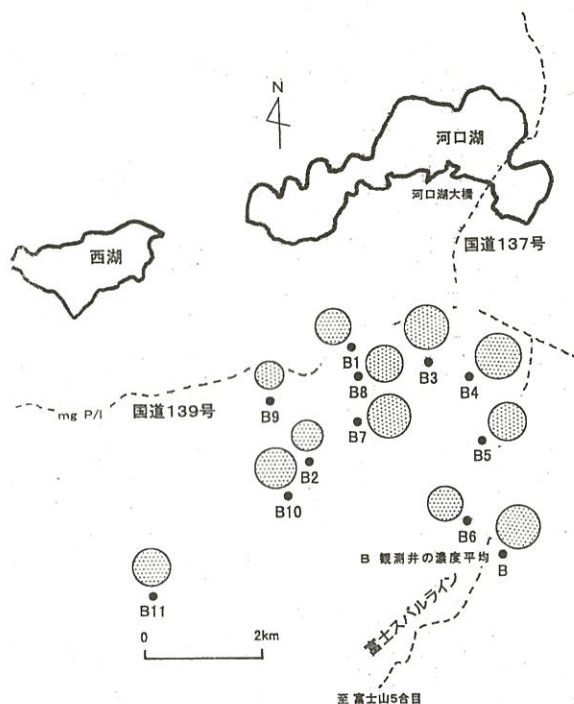


図1 b 湧水及び地下水中のリン濃度

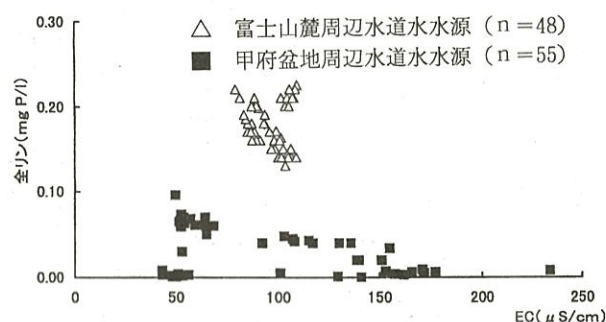


図2 全リン濃度とECの相関

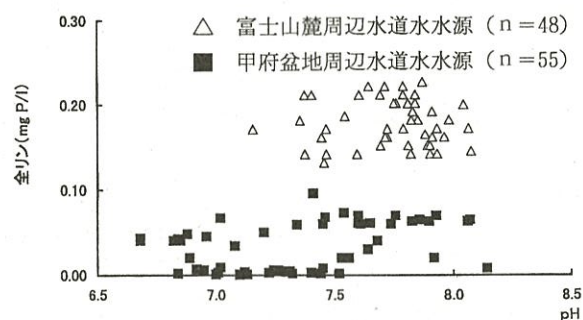


図3 全リン濃度とpHの相関

## 2. 採水地点別 (A1~A6, B1~B6) 主要成分濃度

89年8月及び9月に採取された水道水源水における主要イオン ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) 濃度を図4及び図5に示した。陽イオンでは2価イオンがいずれの試水でも70%前後 (meq %値) を占め、陰イオンでは  $\text{HCO}_3^-$  が60から95% (meq %値) を占めていた。



個々の成分濃度をみると、 $\text{Na}^+$ ではA 2で11 mg/lであったが、他は10 mg/l未満であった。 $\text{Ca}^{2+}$ はA 2、A 6で20 mg/l以上みられたが、 $\text{Mg}^{2+}$ はA 2で5 mg/lを超えたが他地点は4 mg/l以下であった。

陰イオンでは $\text{SO}_4^{2-}$ がA 2、A 6で10 mg/lを超えたが他は5 mg/l未満であり、 $\text{Cl}^-$ はA 4で4.6 mg/lあったが、他は約3 mg/l未満であった。また、 $\text{NO}_3^-$ はA 4で7.8 ( $\text{NO}_3^-$ -Nとして1.76) mg/lであったが、他は3.5 ( $\text{NO}_3^-$ -Nとして0.79) mg/l未満であった。とりわけ、リン濃度の高いB 1からB 5において $\text{Cl}^-$ 濃度は1.0から3.1 mg/lの範囲にもかかわらずリン濃度は0.14から0.22 mg/lと高かった。

### 3. 観測井での濃度の変動

観測井での濃度変化を図6に、また、ECとpHの変動を図7に示した。

リン濃度の範囲は0.194 mg/lから0.210 mg/lであり、平均値は0.201 mg/l、偏差は0.005とごく僅かでありCV %は2.2 %と小さかった。また、pHは7.6から7.9の範囲にあり、平均値は7.8、偏差は0.09であった。また、ECは66から80の範囲にあり平均は74、偏差は3.2でpH、ECともに偏差は小さかった。

この観測井におけるリン濃度の平均0.201 mg/l (n = 26) は甲府盆地周辺の湧水や地下水より高く、ECやpHの偏差は小さく図2、図3に見られた結果によく一致していた。

### 4. 河川水のリン濃度

富士川水系及び相模川水系の河川水17地点において河川水中のリン濃度を測定した。富士山麓に起源をもつ河川水の5地点では0.046~0.091 mg/lの濃度範囲にあり、平均値は0.078 mg/l (n = 5) であった。また、八ヶ岳や甲府盆地北東部を起源とし甲府盆地を流下し、駿河湾に至る富士川水系では0~0.071 mg/lの範囲にあり、平均濃度は0.027 mg/l (n = 12) であった。

## 考 察

### 1. 人為的影響とリン濃度との関係

水中のリン濃度が高くなる原因としては、家庭、工場、農業などの人為的負荷と、動植物の活動や雨水及び地質・土壌などの自然負荷が指摘されている。

中西<sup>18)</sup>によれば、新鮮尿での $\text{Cl}^-$ は9,500 mg/l、pHは6.6と報告されている。また、尿尿では $\text{Na}^+$ が0.32 %、リン酸は0.36 %、 $\text{Cl}^-$ は0.37 %と報告され、水質に影響を与える可能性がある。

一方、堤ら<sup>8)</sup>は人為的影響の指標として、「Na/Cl」比を指標としてリン酸態リンとの相関を検討している。

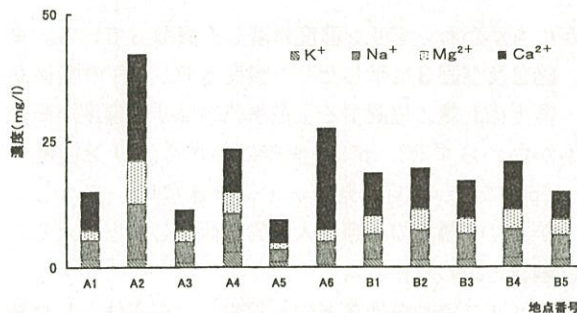


図4 水道水源水の陽イオン濃度

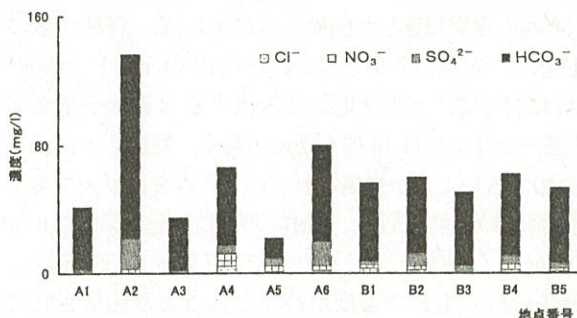


図5 水道水源水の陰イオン濃度

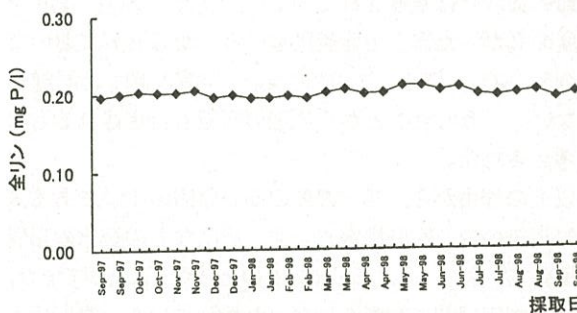


図6 観測井の全リン濃度の経月変化

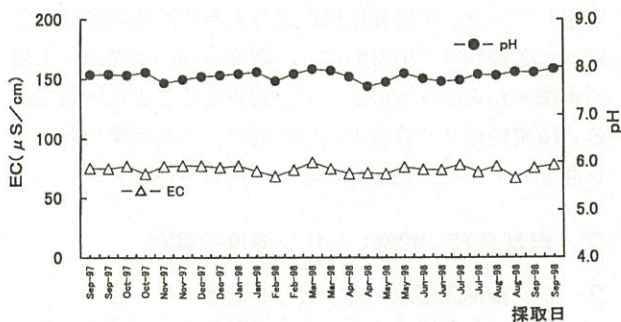


図7 観測井のEC、pHの経月変化

この結果によると、八ヶ岳南麓湧水群や富士山北麓忍野八海湧水群でのリン酸態リンと「Na/Cl」比との相関はみられず、人為的影響は低いと報告している。

本報告では主要イオンの経年変化については測定していないので言及しない。しかし堤ら<sup>8)</sup>の報告や図4及び図5に示した水道水源水の主要イオン濃度において $\text{Na}^+$ や $\text{Cl}^-$ 濃度は僅かである。甲府盆地周辺のA 1からA 6及び富士山北麓周辺のB 1からB 5では $\text{Cl}^-$ の濃度差が



僅かにもかかわらずリン濃度は著しく異なっている。また、図2及び図3に示したリン濃度とEC、pHの関係から、富士山北麓に位置する水道水源水はリン濃度が高いにもかかわらずEC、pHの偏差は小さく、リン濃度とECやpHに正の相関を見ることはできない。こうしたことからリン濃度の起源を人為的負荷としてとらえることは困難と思われる。

次にゴルフ場や農地などの窒素やリンを主体とした施肥について滋賀県下のあるゴルフ場からの流出水と森林流出水の水質を、89年4月から約1年間にわたり、延べ52回の定期調査した国松ら<sup>11)</sup>によれば、森林からの流出水は全窒素、全リンがそれぞれ0.336 mg/l、0.0084 mg/lに対して、ゴルフ場から流出する水質は全窒素で2.7倍、全リンでは16倍も濃度が高く、特にリンによる汚染の大きいことが指摘されている。さらにゴルフ場での降雨時の平均水質は、無降雨時より全窒素で2.0倍(1.42mg/l/0.702mg/l)、全リンでは7.9倍(0.368mg/l/0.0466mg/l)も水中濃度が高くなることが報告されている。

観測井で得られたリン濃度の変動は僅かな変化であり、季節的な変化は観察されていない。また、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>はリン濃度の高かった富士山北麓周辺のB1からB6においても3.5(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-Nとして0.79) mg/l未満とCl<sup>-</sup>と同様に少ない。こうしたことから施肥の影響も否定されるものと考えられた。

以上の理由から、リン濃度の高い原因の1つである人為的汚染の内、家庭排水やし尿、施肥などの排水の影響は極めて小さく、ほとんど無いものと考えることができた。

我々が定期的に観測を行なった観測井のリン濃度は、甲府盆地周辺の湧水や地下水より恒常的に高く、しかも安定していた。甲府盆地周辺より人為的汚染の少ないと思われる観測井で恒常的にリン濃度の高い状態は、工場や事業所からの排水の混入では説明することは困難である。恒常的にリン濃度の高い状態は、人為汚染以外にリン濃度の上昇の原因があると考えざるを得ない。

## 2. 自然負荷(影響)とリン濃度の関係

### 2-1 森林流出水・雨水とリン濃度

リン濃度の上昇と関連する自然負荷としては、地質や土壌、動植物の活動、雨水などの影響が指摘されている。動植物の活動に伴うリンの循環としては、動植物が成長の過程で多くのリンを吸収し生物に必要なリン化合物を生産する。一方で朽ちた生物体からはリンが環境中に放出され、流出水や地下水にリン濃度の上昇をもたらすと推定される。こうした動植物の活動によるリンが常に供給される場所としては森林が考えられ、ここからの流出水が地下水などへ影響を及ぼすと推定される。

国松ら<sup>11)</sup>によれば、森林からの溶出するリン濃度は

天候により濃度差はあるが、無降雨時に0.005 mg/l、降雨時0.0176 mg/lとあり、僅かである。さらに、田淵<sup>19)</sup>は、雨水中のリン濃度について0.02から0.05 mg/l、また雪中のリン濃度は0.02 mg/l程度と報告している。森林や雨水から推定されるリン濃度は0.025 mg/lから0.067 mg/l程度と計算され、この範囲のリン濃度は水中に存在する可能性が示唆される。

甲府盆地及びその周辺で経年変化が観測できたA1からA6をみると、リン濃度は0.003 mg/lから0.066 mg/lである。また、高橋ら<sup>6)</sup>が行なった2ヶ月間隔1年間の調査では、図1aに示した三分一湧水(A7)、大滝神社(A8)での濃度が0.075(SD0.002) mg/l、0.082(SD0.002) mg/lであり、今回我々が1998年4月に得た結果でも0.083(A7)、0.075 mg/l(A8)とほとんど変わりなかった。甲府盆地周辺の地下水や湧水中のリン濃度は自然影響の範囲内と考えることができる。

観測井についてみると、ストレーナー位置は110から150mの火山砂礫層に位置し、上層部には玄武岩及びスコリア層がいくつもの層を形成している。リンがAl、Ca、Feなどと難溶性の塩を作ることも考え合わせると、表層の水の垂直方向へのリンの浸透はほとんど無いものと推定される。従って地下水中のリン濃度は地層からの溶出及び吸着で決定されると推定され、本報告でのリンは岩質や地層中のリンが溶出しているものと考えることができる。

### 2-2 地質・土壌とリン濃度

本邦の地下水や湧水などの天然水や水道水に含まれる微量元素の地域性を論じた研究としては、Sakaiら<sup>20)</sup>によるバナジウムに関する報告がある。その後、興水ら<sup>21)</sup>は山梨県内の河川水を中心とした水中のバナジウム濃度について、極端な地域性のあることを報告している。その原因は甲府盆地や八ヶ岳地域が花崗岩質、安山岩質の岩石や地質で構成されているのに対して、富士山麓側は玄武岩質岩石が分布しているという岩石化学的な相違で説明されている。

花崗岩や安山岩、玄武岩などの火成岩は、変成岩や堆積岩よりも同一岩石種内の化学組成の変動が小さく、その基本的な区分は二酸化珪素でなされている。標準岩石中の各種元素含有量については、Imaiら<sup>22)</sup>により詳しい分析値が示され、バナジウムは、二酸化珪素の含有量が高い花崗岩や流紋岩には乏しく、玄武岩など二酸化珪素の含有量が低い岩石には豊富に含まれ、二酸化珪素とバナジウムの含有量には負の相関が認められている。今回の報告で対象としているリンについてもImaiら<sup>22)</sup>の報告に分析値が示されているが、リンもバナジウム同様、火成岩中の二酸化珪素含有量に対し負の相関が認



められる(図8)。

甲府盆地や富士山を含む南部フォッサ・マグナ地域には化学組成上大きな相違のある岩石が認められ、その分布に地域性が存在する。従って富士山麓周辺の湧水や地下水中のリン濃度が高く、甲府盆地側における濃度が低いという相違は各々の地域を構成している岩石や地層の化学的な違いに対応していると言える。しかも甲府盆地側におけるリン濃度の極端に低い値を示すA2, A5, A6, A9には、花崗岩や閃緑岩が分布している(山梨県<sup>23)</sup>)。これらの極端に低いリン濃度を示した地点は、花崗岩類中のリン含有量が安山岩よりさらに低いと言うことで説明されようである。

以上により、ここで議論した湧水及び地下水中のリンの大部分は人為的な寄与より、むしろ土壌岩石等からの自然負荷に起因するものと思われる。すなわち、標準岩石などに認められるリン含有量の岩石種に応じた変動の規則性を今回の水試料採取地域を構成する岩石類に適用して議論したところ、岩石化学的な性質の相違が水試料中のリン濃度の地域的な相違と対応していると考えることができた。

### 3. 河川水中のリン濃度の地域性

富士山に起源をもつ相模川水系などでは、リン濃度平均が0.078 mg/l (n=5)と高く、甲府盆地を流下する富士川水系では0.027 mg/l (n=12)と低かった。このことは先の地下水などで見られた傾向と同様なものである。この理由としては、先の地下水や湧水と同様に、地質的な影響が、地下水や湧水を元に河川水へも影響しているものと推定される。しかし、富士川水系のリン濃度は流下するに従い増加する傾向が見られ、リンが人為的な影響を受けやすい元素のひとつであることを考え合わせると、河川水中のリンの影響評価は今後さらに検討を行う必要があるものと考えられた。

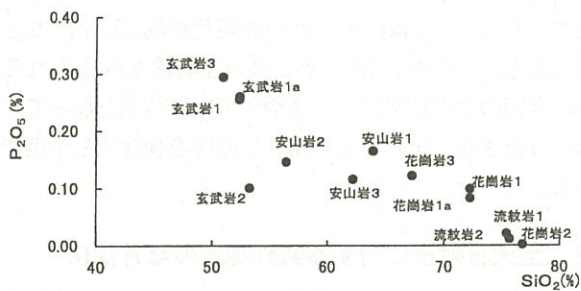


図8 火成岩における二酸化珪素とリンの関係<sup>22)</sup>

## ま と め

山梨県及びその周辺に位置する地下水及び湧水のリン濃度について富士山麓側で高く、甲府盆地側で低いという著しい地域的な差異が認められた。

地下水、湧水等に人為的影響が無視できる場合、一般に玄武岩地質における地下水及び湧水中のリン濃度は高く、花崗岩・安山岩地帯ではリン濃度は低い。富士山麓周辺の地下水や湧水中のリンの高濃度は、このような地質の影響を強く反映していることが明らかにされた。

また、河川水についても地下水や湧水と同様な傾向を見ることができた。しかし、リンは人為的影響が大きい元素の1つであり、今後とも詳細な検討が必要と考えられた。

## 文 献

- 1) 山梨県の地下水資源：山梨県(昭和49年3月)
- 2) 山梨県総合水利用計画：山梨県(平成7年3月)
- 3) 深澤喜延, 小林 浩：山梨衛公研年報, 38, 5~8 (1994)
- 4) 小林 浩, 深澤喜延：山梨衛公研年報, 36, 10~14 (1992)
- 5) 吉澤一家ら：山梨衛公研年報, 33, 59~62 (1989)
- 6) 高橋照美ら：山梨衛公研年報, 30, 46~49 (1986)
- 7) 高橋照美ら：山梨衛公研年報, 31, 49~54 (1987)
- 8) 堤 充紀ら：山梨衛公研年報, 34, 62~65 (1990)
- 9) 上水試験方法 [1993]. 日本水道協会 (1993)
- 10) 衛生試験法・注解 [1995]：日本薬学会編(金原出版) (1995)
- 11) 国松孝男・須戸 幹：水環境学会誌, 32, 961~969 (1990)
- 12) Stumm Werner and Morgan J. J. : Aquatic Chemistry (3rd Edition) p407 (1996)
- 13) 武田育郎：水環境学会誌, 20, 816~820 (1997)
- 14) 豊島信雄：水道協会雑誌, 63 (10), 12~22 (1994)
- 15) 斉藤昭二, 有賀祐勝：水道協会雑誌, 63 (4), 62~79 (1994)
- 16) 荒河 尚ら：山梨県立女子短期大学紀要, 30, 125~131 (1997)
- 17) Kobayashi, H. and Koshimizu, S. : Proceedings of the International Symposium on Groundwater in Environmental Problems, 73-78 (1999)
- 18) 中西 弘：水質汚濁研究, 14, 766~771 (1991)
- 19) 田淵俊雄：水質汚濁研究, 8, 486~490 (1985)
- 20) Sakai, Y. et al. : Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry 216, 203~212 (1997)
- 21) 興水達司ら：地球環境 2, 2号 215~220 (1998)
- 22) Imai, N. et al. : Geochem. J. 29, 91~95 (1995)
- 23) 山梨県地質図編纂委員会：山梨県地質誌, 山梨県, 240p (1970)