

湧水の水質特性と地質（岩種）の関係

An Analytical Study to Clarify the Relation between the Quality of Flowing Water
and the Location's Geology

栴沢 龍次郎

要 約

特異性を有するとされる埼玉県日本水・風布川の水質を分析し、その地域の地質との関係を調査した。また、前稿で報告した隣接する群馬県赤城山麓の湧水との比較を行い、水質と地質との関連性について検討を行った。

日本水は、マグネシウムイオン (Mg^{2+}) を大量に含み、その量は陽イオンの約70% (17.0mg/l) を占めていた。 Mg^{2+} イオン濃度は約5倍に達していた。赤城山麓湧水と比較してみると、水質のタイプはMg- HCO_3 型で、通常見られる赤城山麓湧水の水質タイプCa- HCO_3 型とは異なる水質であった。さらに、 SiO_2 濃度は少し低めで、電気伝導度は $370 \mu s/cm$ で高めであった。また、pHは8.4と高く弱アルカリ性を示した。

これらの結果は、外秩父山地の釜伏山周辺の地質が結晶片岩や御荷鉾緑色岩類からなり、Mgを多く含有する蛇紋岩の割れ目から湧出することが大きく影響しているものと考えられる。これに加え、日本水の湧出する地質が SiO_2 をあまり含まない変成岩類で化学組成に富む超塩基性岩であることに起因することも考えられる。また、陰イオンのうち、硫酸イオン (SO_4^{2-}) 濃度が風布川流域で特に高い傾向が見られ、東部都市部からの影響が懸念される。

キーワード：水質，地質，超塩基性岩（蛇紋岩），硫酸イオン

緒 言

湧水や地下水・河川水の水質は、その地域の地質や地形などの自然的要因と大気汚染や生活排水などの人為的要因に由来する。

本報は、特異な水質を有することで知られている埼玉県北西部に位置する寄居町の「日本水・風布川」について、この水質を分析し、通常の湧水との相違点及び起因する要因として考えられる地質や地形との関係について調査検討した。また、近年河川水質等の汚染問題やそれに伴う大気汚染による降雨への影響など環境問題が取り上げられているが、得られた溶存イオン濃度の結果から人為的影響の有無についても検討を行った。

比較する湧水としては、前稿で報告した火山噴出物からなる地質と地形を有する赤城山麓の代表的な3地点の湧水を選び、水質特性とその要因について比較検討した。

方 法

1. 採水場所

- ①日本水（釜伏山頂 標高約580m）
- ②風布川（日本の里 標高約350m）
- ③風布川（夫婦滝 標高約150m）

2. 分析法（測定法）

水源より直接採水したものを常温で保存したものを分析した。

1) 分析項目：陰イオン

分析方法：イオンクロマトグラフ法

使用機器：DIONEX社製 DX-100

処理方法： $0.45 \mu m$ メンブランフィルター処理後に注入

2) 分析項目：陽イオン

分析方法：ICP発光分光分析法

使用機器：THERMOJARRELLASH社製

IRISAP/Advantage

処理方法：試料50mlに濃硝酸0.5mlを入れ、ホット

プレートにて加熱濃縮

3) 分析項目：SiO₂濃度

分析方法：吸光光度法

使用機器：日立製作所 分光光度計U-173

処理方法：試料20mlに精製水を加え、塩酸1ml、モリブデン酸アンモニウム溶液2mlを加えてから精置し、硫酸2mlを加えて混和したものの一部を測定

4) 分析項目：電気伝導度 (ρ)

使用機器：HORIBA製 伝導率計 B-173

処理方法：ピーカーに採水した試料に、端子を浸漬させる直接法

測定温度：18℃

日本水・風布川地域の地形・地質の概要

埼玉県の地形は、西側の秩父山地（関東山地）と東側の関東平野に分けられる。秩父山地はさらに、西から東へ奥秩父山地、上武山地、外秩父山地の山地部とこれらを取り囲む山中地溝帯や秩父盆地からなる。標高2,500m前後の甲武信岳、国師岳、金峯山などが連なる奥秩父山地を源流とする荒川は、北方から東方へしだいに低くなる山地部から平地部へと流れ出る。この流域を南北に位置するのが外秩父山地で、日本水が湧き出る風布川の水源域である釜伏山は北方にある¹⁾。

釜伏山の周辺域から南方にかけての外秩父山地は、中・低級の山々（標高500～1,000m）が南北に連なっているが東へいくにつれて低くなっている。この東縁は八王子線と呼ばれ、この線を境に北西から南東方向へかけて構成岩石・地質年代および地質構造が大きく異なる。

これより西側の秩父山地は、中生界の岩類からなる三波川帯・秩父帯・四万十帯が分布し、地質学的にも意義ある地域のひとつである。釜伏山周辺の三波川帯の岩石は、おもに結晶片岩からなるが南縁部には多量の超塩基性岩類や斑れい岩・蛇紋岩³⁾などからなる御荷鉾緑色岩類が分布している。日本水は釜伏山頂直下にあるこの巨大な蛇紋岩の割れ目から湧出している。また、風布川流域は大部分が結晶片岩で構成されている。

結果

1. 分析結果

表1に、各採水点の電気伝導度 ρ ($\mu\text{s/cm}$)・pH・溶存化学成分及び溶存イオン総量、OI値を示す。

2. 日本水・風布川の水質特性

	日本水	日本の里	夫婦滝	湧玉	赤城神社	三社神社
ρ ($\mu\text{s/cm}$)	370	250	239	145	135	315
pH	8.4	8.1	8.2	7.8	6.4	7.4
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	94.5	12.1	11.6	51.9	43.7	112.0
Cl ⁻ (mg/l)	2.8	5.2	4.5	2.1	1.5	9.1
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	14.0	31.0	28.0	3.6	0.1	6.2
NO ₃ ⁻ (mg/l)	0.18	0.84	0.90	0.3	0.1	2.8
Na ⁺ (mg/l)	1.0	2.6	2.6	6.7	3.4	8.7
K ⁺ (mg/l)	0.2	0.7	0.8	1.1	1.0	1.8
Ca ²⁺ (mg/l)	9.6	10	9.6	9.1	8.5	26.0
Mg ²⁺ (mg/l)	17	4.6	3.7	2.6	2.0	7.3
SiO ₂ (mg/l)	30	18	21	51	38	51
Σ (me/l)	3.85	2.02	1.83	1.98	1.52	5.14
OI	1.3	0.8	1.0	10.0	15.8	5.8

表1 水質分析結果

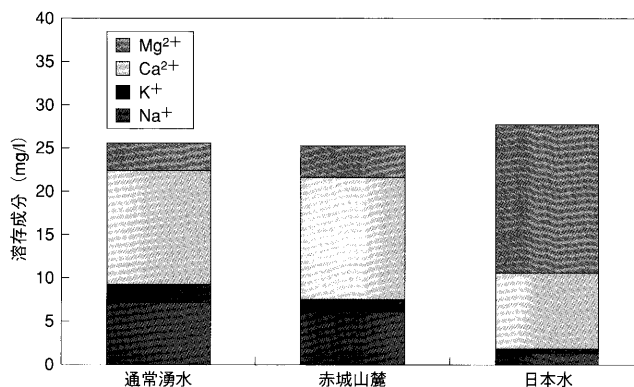


図1-1 陽イオンの割合

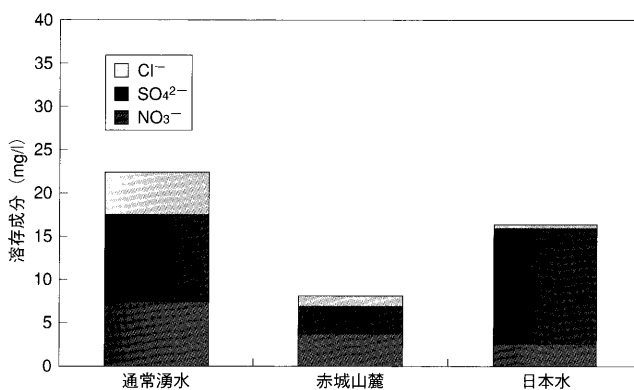


図1-2 陰イオンの割合

(1) 主要溶存成分

表1に、釜伏山周辺3ヶ所（日本水・日本の里・夫婦滝）と赤城山麓3ヶ所（赤城神社・木曾三社神社・湧玉）の溶存化学成分を示す。表1及び図1-1よりMg²⁺イオンの含有量に大きな違いのあることがわかる。通常の水と赤城山麓湧水、日本水のMg²⁺濃度を比較すると、通常の湧水の平均は3.1mg/l²⁾、赤城山麓湧水の平

均は4.0mg/lであるのに対し、日本水はその約5倍の17.0mg/lという値を示した。また、陽イオン濃度の割合から見ても、 Mg^{2+} 濃度は10~30%であるのに対し、約70%を占めていた。しかし、風布川流域の2地点では3~4mg/lと通常の水とあまり差はない。Cl⁻濃度、Ca²⁺濃度は、通常の水及び赤城山麓湧水とあまり差はないが、Na⁺及びK⁺濃度は全体的に低い。また、溶存イオン総量 ($\Sigma me/l$: 当量単位) は高い傾向にある。

(2) pH・電気伝導度 (ρ)

表1より、日本水のpH値は8.4を示し、風布川流域の水とほとんど差はなく弱アルカリ性を呈している。通常の水のpH値は5.6~7.6の範囲におよび、6.4~7.0の範疇に大部分が入り、平均値は6.7であるが、日本水・風布川流域の水は8.1~8.4と、若干アルカリ度が高い傾向にある。

電気伝導度は、水温18℃で測定した値を標準温度25℃に換算した値を用いた。日本水は370 $\mu S/cm$ 、風布川流域は約245 $\mu S/cm$ で、通常の水の平均138 $\mu S/cm$ や赤城山麓湧水の値約220 $\mu S/cm$ よりも高い値を示した。

(3) 硝酸イオン・硫酸イオン

表1及び図1-2より、硫酸イオン (SO_4^{2-}) の濃度が高いことがわかる。日本水は14.0mg/l、その周辺風布川流域では約30.0mg/lであった。通常の水の平均が9.6mg/l、赤城山麓湧水は約3.0mg/l、大部分が10.0mg/l以下という値からも高いことがわかる。それに対し、硝酸イオン (NO_3^-) は0.18mg/lで風布川流域でも約1.0mg/l程度で、通常の水の平均4.4mg/l以下の値であった。

(4) SiO₂濃度

SiO₂含有量は、日本水が30.0mg/l、風布川流域が約20.0mg/lであった。通常の水の平均26.4mg/lや赤城山麓湧水の平均46.0mg/lと比較するとやや少なめである。

考 察

1. 水質と水理地質との関連性

図2-1に秩父山地の三波川帯地質図を、図2-2に関東地方における中・古生界地質の分布図を示す⁴⁾。

日本水・風布川流域の属する外秩父山地の北部は三波川帯と呼ばれ、その地質の大部分は結晶片岩と多量の塩基性岩類や斑れい岩・蛇紋岩などからなる御荷銓緑色岩類から構成されている (図2-1)。特に、釜伏山の頂上付近には巨大な蛇紋岩の岩盤があり、日本水はその割れ目から湧出している (図2-2)。蛇紋岩は、かんらん石や輝石などが三波川変成作用によって生じた

変成岩で、SiO₂を多くても40%くらいしか含まない超塩基性岩である。また、化学組成の主成分が $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ で、Mgを大量に含んでいる。風布川流域は変成度の高い結晶片岩からなり、石英や黒雲母などを主とした有色鉱物から構成されている。

これに対し、赤城山麓の地質は、主に火山活動由来の火成岩類が基盤となった火砕流・泥流堆積物などの火山堆積物が広く分布し (図2-1)、これらは、SiO₂を多く含んだ珪酸塩鉱物で構成され、Mgは多く含まない⁵⁾。

このように日本水の Mg^{2+} 濃度が、通常の水や赤城山麓の水と比較して非常に高いことや水質が弱アルカリ性を呈すること及びSiO₂含有量が低いことなど、特異性をもつ要因として外秩父山地の三波川帯を構成する地質構造が大きく影響しているものと推察される。

また、電気伝導度の値も高いことから溶存イオン総量の高い水質といえる。

OI値 (美味しい水の指標) を求めてみると、日本水が1.3、風布川流域の水は0.8、1.0と非常に小さい。通常2.0以上の水が美味しいといわれ、赤城山麓湧水の平均10.4に比べても非常に小さい値を示すことから、水質としては特異性をもつ水であるといえる。

この結果は、元大阪大学橋本奨教授が定義したOI値の式

$$OI = (Ca + K + SiO_2) / (Mg + SO_4)$$

より、SiO₂含有量やMg及びSO₄濃度がOI値に関係することがわかる。

2. 大気汚染と地域特性

表1より、日本水・周辺風布川流域3地点の硫酸イオン濃度が非常に高いことがわかる。一般的に硝酸イオン (NO_3^-) が生活排水や農業排水などの混入や自動車等の排気ガスによる降雨の窒素酸化物汚染など発生源が移動距離の短い陸起源成分であるのに対し²⁾、硫酸イオン (SO_4^{2-}) は、化石燃料の燃焼等にもなう硫酸化物が雨中へ浸透した人為的起源のものと、海水飛沫等による海塩起源の成分のものとの両面性をもっている。

硫酸イオン (SO_4^{2-}) は、塩素イオン (Cl⁻) と同様に海水中に多量に含有されるため、海水飛沫の影響を受けやすい地域ではその濃度は増加しやすいといわれる。

また、雨中の成分は、地形や海からの距離、風向きなどのほか、台風などの豪雨、雷雨、霧雨など雨の降り方によっても影響があるらしい。通常、雨中の成分濃度は降り始めが一番高く、pH値は低いが、その後次第に減少して一定になりpH値も上昇し落ち着く傾向があるといわれている。台風などの降雨では、弱ア

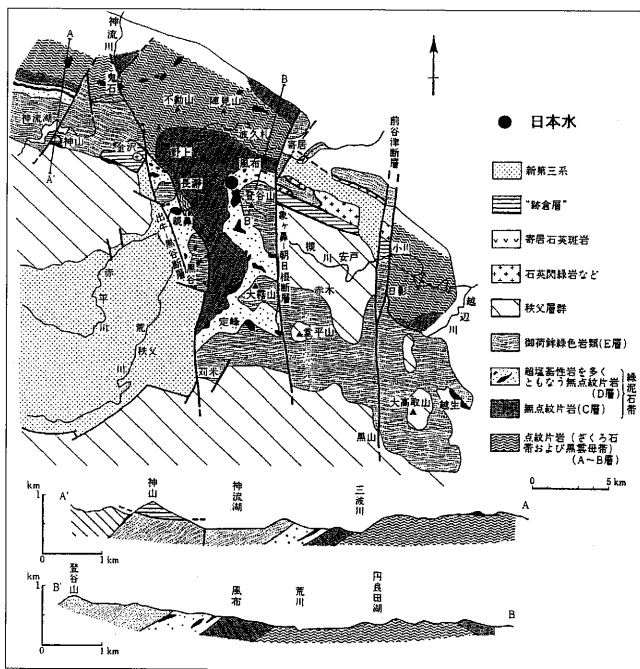


図2-1 秩父山地の三波川帯地質図(日本の地質3「関東地方」)

ルカリ性の海水を多く含んだ雨の中和作用によりpH値を上げるともいわれている。

今回の調査では、採水日の前日まで、埼玉県西部の釜伏山周辺地域は台風7号が関東東部を通過した影響で平成17年7月25日から27日までの間に、秩父地方を中心に200mmを超える大雨となった。硝酸イオン(NO_3^-)が長距離の移動をしないとされることから、日本列島全体を覆うような低気圧によって、大気が大きくかく乱されるような気象条件では、首都圏や太平洋沿岸地区で発生した大気汚染物質が雨雲中に取り込まれた降雨の影響が高濃度の硫酸イオン(SO_4^{2-})の増加の結果になったと考えられる。

また、埼玉県秩父地方の西部の釜伏山地域は、標高の比較的低い(100~800m)丘陵地帯や山地が多く存在している。そのため、関東平野の北部に位置する赤城山麓湧水と比較して、水質汚染の指標とされる硝酸イオン(NO_3^-)や硫酸イオン(SO_4^{2-})濃度がいずれも高い傾向を示すのは、地形的に平野東部からの汚染された大気が西に向かい、標高の比較的低いこの地域に流れ込みやすくなっているのではないかと考えられる。

まとめ

2005年7月28日に採水した、埼玉県釜伏山周辺の日本水・風布川流域湧水の水質分析結果と群馬県赤城山麓湧水の水質を比較すると、 Mg^{2+} イオン濃度と SO_4^{2-} 濃度に大きな差が見られた。日本水は Mg^{2+} イオン濃度が17mg/lで、通常の湧水や赤城山麓湧水の約5倍含まれ溶存成分の約70%を占める特異な水質である。

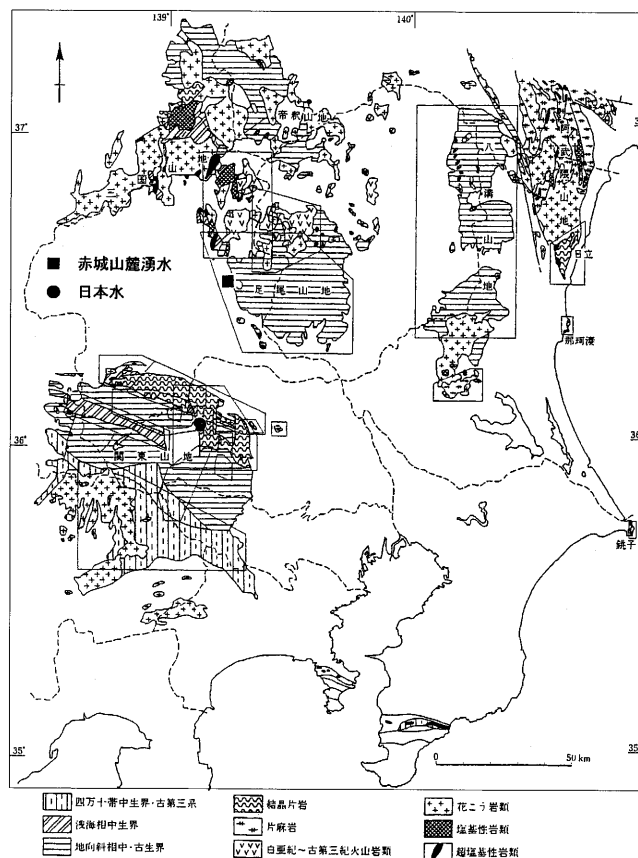


図2-2 関東地方における中・古生界分布図(日本の地質3「関東地方」)

これらの結果から、地質構造が結晶片岩・蛇紋岩など変成岩を基盤にもつ湧水は、火砕流・火山堆積物など火成岩を基盤とする湧水よりMgやNaなどを多く含み、水質は弱アルカリ性を呈していることがわかった。また、 SiO_2 をあまり多く含まず、美味しい水の指標とされるOI値は2.0以下であった。

今回の分析結果では、 SO_4^{2-} 濃度が非常に高く水質汚染の懸念が見られたが、採水日が台風による大雨の後であったため、その影響も無視できず、今後は定期的な水質分析とともに好天時の結果と比較検討する必要がある。

引用文献

- 1) 日本地下水学会：続名水を化学する。技報堂出版、66-68、1999。
- 2) 日本地下水学会：地下水水質の基礎。理工図書、166-171、2000。
- 3) 山下昇：新版地球科学序説。146、1967。
- 4) 日本の地質3：関東地方、共立出版、1-6、1986。
- 5) 梶沢龍次郎：水質評価に及ぼす SiO_2 濃度の影響。桐生短期大学紀要、15：45-49、2004。
- 6) 岸和男ら：地質調査所月報。40(2)、673-690、1989。

An Analytical Study to Clarify the Relation between the Quality of Flowing Water and the Location's Geology

Ryujiro Kabasawa

Abstract

The purpose of this study is to clarify the relation between water quality and the nature of the soil. The previous report showed the above relation at the foot of Mt. Akagi in Gunma prefecture. In the present paper, the relation between Yamatomizu from Fuppu river and the geology of the related area at Saitama Prefecture was described. Moreover the water quality of Yamatomizu was compared with the water at the foot of Mt. Akagi.

Yamatomizu contained a large number of Mg^{2+} (about 70%, 17.0mg/l, of the cation). In comparison with the water at the foot of Mt. Akagi, Mg^{2+} concentration was 5 times higher, SiO_2 concentration was a little lower, electric conductivity ($370 \mu s/cm$) was a little higher, and pH (8.4) was higher. The Yamatomizu showed the $Mg-HCO_3$ type of water quality which differs from the water of $Ca-HCO_3$ type at the foot of Mt. Akagi. The related area of Yamatomizu located in the periphery of Mt. Kamafuse at the outer zone of the Chichibu Mountains mainly consisted with crystalline schist and mikabo green stone.

From these results, it is considered that a high concentration of Mg^{2+} in Yamatomizu resulted from the flowing water running through Mg rich serpentinite, in addition to this, the nature of soil related Yamatomizu consisted with metamorphic rocks containing a few SiO_2 called ultra-basic rocks. There is a deep concern that a higher concentration of SO_4^{2-} may have an effect on air pollution in Tokyo.

Keywords: Water quality, Nature of soil, Basic rocks, Serpentinite, Sulfate ion