

P46. 花崗岩分布地域における河川水の水質特性と地質

—山口市北西部鳳鶴山において検討—

Characteristic of river water quality in granite area. - case study in Mt.Hobenzan, northwest of Yamaguchi City.

○當瀬博文, 田中和広 (山口大学)

Hirofumi TOSE, Kazuhiro TANAKA (Yamaguchi Univ.)

1. はじめに

河川水は天水を起源とし降雨後、地表を流れる地表水、地下に浸透して流出する地下水、土壤水・樹幹流などが混合して形成されており、我々は日々その水を利用している。河川水の水質形成には、地形、地質・地質構造が強く影響していることが予想される¹⁾。

河川水の水質特性を明らかにすることは、大部分の飲料水を河川水に頼っている現状において人間の健康を考える上で重要と考えられる。このため、我が国の河川水の水質のバックグラウンドや形成メカニズムを知る事は、今後河川水を利用する上で重要と考えられ、それらに影響を与える可能性のある地形や地質・地質構造との関連性について検討することにより、岩種毎の水質の特性や地域性を明らかにすることができる可能性がある。

本研究は、我が国で最も一般的な岩種である花崗岩の分布する地域である山口市北西部に位置する鳳鶴山において河川水の水質特性を調べ、水質形成プロセスと地形・地質との関係を明らかにすることを目的とした。

本研究では、調査地域の地質・地質構造特性を求めるための地質調査を、河川の流出特性を求めるための水文調査を、水質特性を求めるための降水、湧水、河川水を対象とした一般水質、酸素・水素同位体測定等の水質調査を行った。

以上の調査により得られた3つの特性を基に、花崗岩分布地域の河川水の水質形成メカニズムを考察する。

2. 調査地域の位置

調査地域は、山口市北西部に位置する鳳鶴山である。調査地域の北東部に標高734mの東鳳鶴山があり、西部には標高741mの西鳳鶴山がある。対象とする河川は、吉敷川支流にあたる西ノ浴川である。集水域の面積は1.7km²であり、調査地域全体は主に、針葉樹林・広葉樹林の植林に覆われている(図-1)。

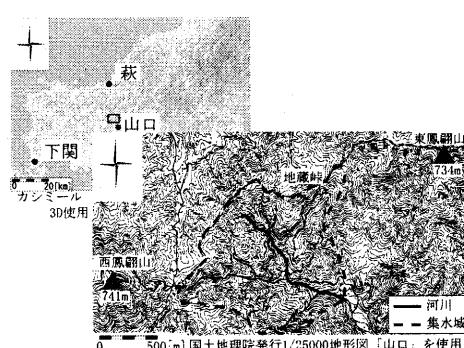


図-1 調査地域位置図と調査地域の地形

3. 地質・地質構造特性

3-1. 地形の概要

調査地域の地形を調べ地質構造・流出特性を検討することを目的として、国土地理院発行1/25000地形図「山口」を使用し地形解析を行った。鈴木(1997)²⁾を参考にして等高線抜描図、接峰面図、水系図を作成し地質構造・流出特性との関連性について検討を行った。

等高線抜描図によれば、本調査地域は等高線の間隔が一定であり、傾斜が一定であると考えられる。

接峰面図によれば、本調査地域は等高線の間隔が一定であり、侵食基準面が保存されていないものと推定され、侵食作用が激しい。

水系図によれば、本調査地域は4次谷まであり樹枝状の水系を示している。この水系は、均質な岩盤であり流量が下流に向かって漸移的に増大する得水河川であることが考えられる³⁾。

3-2. 地質・地質構造

調査地域において地質調査を行いルートマップを作成し、地質図を作成した。

本調査地域には南部に泥質片岩を主体とする周防変成岩が分布しており、白亜紀前期広島古期花崗岩類(鳳鶴山岩体)である花崗閃緑岩が貫入して広く分布している。また石英斑岩の岩脈が一部に貫入している⁴⁾(図-2)。

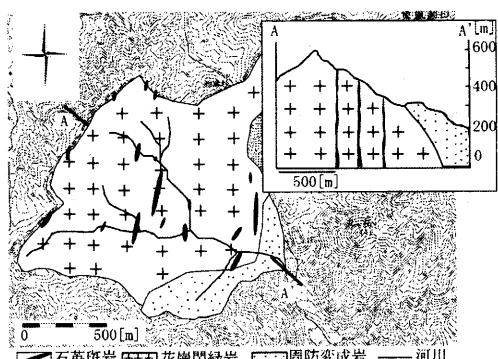


図-2 地質平面図と地質断面図⁴⁾

3-3. 花崗閃緑岩の風化特性

調査地域の地質構造を調べるために、野外において花崗岩の風化の程度を肉眼観察によりA帯～C帯の3段階に分類した。木宮(1992)⁶⁾を基に新たに作成した風化区分に従い風化区分図を作成した(表-1)。

さらに、風化分布図を基に風化区分断面図を作成した。作成方法は以下の通りである。

- (i). 風化区分断面図作成地点の投影断面図を作成する。
この際、接峰面図により示される等高線を侵食される前の地表面と考え、現地表面には現在の地形断面図を使用した。
- (ii). 投影断面図と現地形断面図を合わせ、現地にて露頭の高さを計測したデータをプロットする。
- (iii). プロットされたデータから風化断面を復元する。

表-1 風化区分表⁶⁾

風化帯	肉眼的特徴
A 帯	造岩鉱物や割れ目が風化しておらず、極めて新鮮な岩盤。
B 帯	長石が白濁しており、有色鉱物(黒雲母、角閃石)が褐色化している。
C 帯	マサ化して砂状となっており、一部粘土化している。

調査地域は、谷が多く発達しており新鮮な岩盤であるA帯が広く分布している。また、尾根部ではマサ化しているC帯が分布している(図-3)。

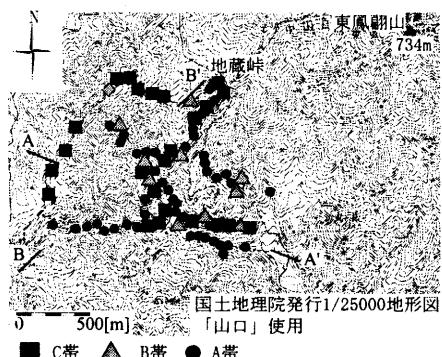


図-3 風化分布図

風化分布図を基に復元した風化区分断面図の検討の結果、標高の高い所(標高 550m)まで新鮮な岩盤である A 帯が分布しており、マサである C 帯は現在の尾根部のごく一部(標高 500m~600m)に分布している。また A 帯、B 帯の岩盤が地表に露出している場所も存在し、旧地形面を風化基準面として風化が進行している様子がわかる(図-4)。

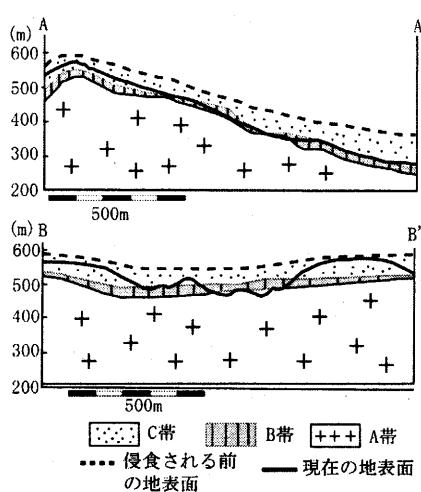


図-4 風化区分断面図

4. 流出特性

対象とする河川の流量がどのように変化するか、降雨後どの位の時間で一定の流量(定常流)に戻るのかといった流出特性を調べるために流量測定を行った。

流量測定は、半谷(2001)の提案による、小河川の流量の簡易測定法で行った⁷⁾。

本調査では、標高 450m に位置する Loc. 1, 230m に位置する Loc. 2 の 2 地点で流量観測を 2005 年 11 月 6 日～11 月 30 日の期間で行った。また、降水量は、西鳳翩山のデータを山口県土木防災情報システムより引用した。

(<http://y-bousai.pref.yamaguchi.lg.jp/default.html>)

本調査地域の河川において測定した流量測定の結果、降水量に関係なく流量は直ちに増加して 2 日後には元の流量に戻ることが明らかとなった。

降雨後 3 日～5 日で一定流量を示す定常状態となり、Loc. 1 では $0.2 \text{ m}^3/\text{min}$ 、Loc. 2 では $4.5 \sim 4.9 \text{ m}^3/\text{min}$ に達している(図-5)。

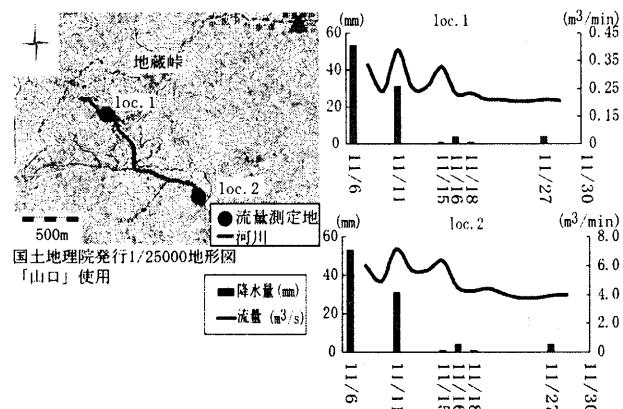


図-5 流量測定結果

5. 水質特性

河川水および地下水の水質特性を調べるために、降水、湧水、河川水の一般水質調査を行った。湧水は、その地点における地下水の地表への湧出と考える。

採水は、調査地域西部に位置する西鳳翩山頂上(標高 741m)ほか、3 地点から降水(p-1~p-3)を、調査地域 3 地点から湧水(s-1~s-3)、10 地点(r-1~r-10)から河川水をそれぞれ採水した。降水の採水は、後に述べる同位体測定用試料も合わせて採取するため、2005 年 10 月 8 日と 11 月 11 日の降水を採取した。湧水・河川水は、各地点にて 2005 年 11 月 26 日に採水した。

水質分析は、降水、湧水、河川水中の電気伝導度、pH の現地および室内での測定、室内における主要 7 成分(Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-)の分析を行った。

電気伝導度の現地測定には、(株)堀場製作所の Twin Cond Conductivity Meter B-173 を用い、室内測定には、TOA DKK 社の EC Meter CM-30G を使用して測定を行った。pH の現地測定には、Shindengen(Isfet pH Meter KS701)を用い、室内測定には、TOA DKK 社の pH Meter HM-25G を使用した。

分析は山口県産業技術センターにおいてバリアンテクノロ

ジーズジャパンリミテッド社製の誘導結合プラズマ発光分光分析装置(ICP 発光分光分析装置), 日本分光(株)の高速液体クロマトグラフを用いて行った.

5-1. 電気伝導度, pH

降水の電気伝導度は, $9.7\text{--}9.9 \mu\text{S/cm}$ である. 湧水は, $37.7\text{--}72.8 \mu\text{S/cm}$, 河川水は, $36.4\text{--}57.4 \mu\text{S/cm}$ である.

電気伝導度と標高との関係は, 降水においてはみられなかった. 湧水・河川水は, 標高が低くなるにつれて電気伝導度が湧水は $37.7 \mu\text{S/cm}$ から $72.8 \mu\text{S/cm}$ へ増加し, 河川水は $36.4 \mu\text{S/cm}$ から $57.4 \mu\text{S/cm}$ へと溶存イオン量が増加している.

降水の pH は, $4.9\text{--}5.1$ である. 湧水・河川水は, $6.9\text{--}7.3$ であり, 標高の違いによる変化はみられなかった.

5-2. 一般水質

5-2-1. 陽イオン

Na^+ は, 湧水 $4.0\text{--}6.5 \text{ ppm}$, 河川水 $4.0\text{--}5.8 \text{ ppm}$ である. Mg^{2+} は, 湧水 $0.5\text{--}1.4 \text{ ppm}$, 河川水 $0.4\text{--}1.0 \text{ ppm}$ である. Ca^{2+} は湧水 $1.9\text{--}5.7 \text{ ppm}$, 河川水 $1.3\text{--}2.9 \text{ ppm}$ である. K^+ は, 湧水 $0.3\text{--}0.4 \text{ ppm}$, 河川水 0.3 ppm である. Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} は, 標高が低くなるにしたがって湧水, 河川水とともにイオン量が直線的に増加する傾向にある.

5-2-2. 陰イオン

Cl^- は, 湧水 $2.6\text{--}8.5 \text{ ppm}$, 河川水 $3.2\text{--}6.7 \text{ ppm}$ である. SO_4^{2-} は, 湧水 $0.8\text{--}3.7 \text{ ppm}$, 河川水 $1.2\text{--}2.7 \text{ ppm}$ である. HCO_3^- は, 湧水 $13.0\text{--}21.0 \text{ ppm}$, 河川水 $9.0\text{--}16.0 \text{ ppm}$ である. Cl^- , SO_4^{2-} は, 標高が低くなるにしたがってイオン量が直線的に増加する傾向がある.

5-2-3. Cl^- 濃度による希釈計算

河川水は, 地下水・地表水・土壤水・樹幹流・降水などが一定の割合で混合している. 岩石中にほとんど含まれない物質であり, イオン交換反応, 酸化還元反応などによって濃度の変動が激しい他のイオンより比較的安定したイオンである Cl^- を用いて希釈計算を行った.

Cl^- 濃度は, 湧水, 河川水ともに標高が低くなるにつれて直線的に増加している. 河川水中に含まれる地下水の割合を求めるため, 定常状態において湧水がどのくらい希釈されて河川水となるのかを以下の手順により行った.

- 同じ標高において湧水と河川水の Cl^- 濃度を測定する.
この際, 降水などの濃度は極微量であるため 0 ppm と考える.
- 湧水 1lt に対して降水を何ℓ加えることで河川水濃度となるかを濃度計算する.
- 降水を $X\ell$ とおき, 以下の式で X を求める.

$$\frac{\text{湧水の濃度 (mg/l)}}{1+X} = \text{河川水の濃度(mg/l)}$$

- 求めた X より, 湧水 : 降水 = $1:X$ から湧水と降水

の含有パーセントを求める.

定常状態での河川水中に含まれる Cl^- の希釈計算から, 標高 420m と 282m における湧水と降水・地表水・土壤水・樹幹流の割合は, 湧水約 70% , 降水ほか約 30% であった.

5-2-4. 水質特性

湧水・河川水は, $\text{Na}\cdot\text{HCO}_3$ 型を示す. 同じ標高において, 河川水は湧水よりも濃度が低いがヘキサダイアグラムの形は同じであり, 河川水は湧水と降水・地表水・土壤水・樹幹流が混合していると考えられる(図-6).

湧水・河川水の水質分析により得られた値をトリリニア・ダイアグラムにプロットすると, ほとんどがⅡの範囲にプロットされ, 山本(1983)による分類では NaHCO_3 型である.

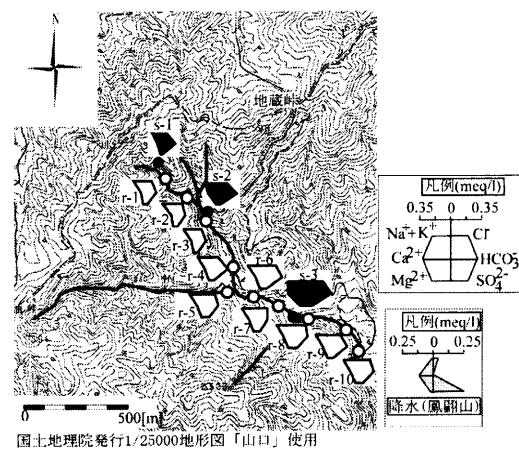


図-6 ヘキサダイアグラムによる水質の平面的分布特性

5-3. 同位体測定結果

5-3-1. δ ダイアグラム

本調査地域西部に位置する西鳳翩山ほか3地点で2005年10月と11月に採水した降水より得られた値をプロットし天水線を作成し, $\delta D=7.5712 \delta^{18}\text{O}+14$ という関係式を得た. 湧水と河川水は, 天水線上にプロットされることから降水起源であることが考えられる(図-7).

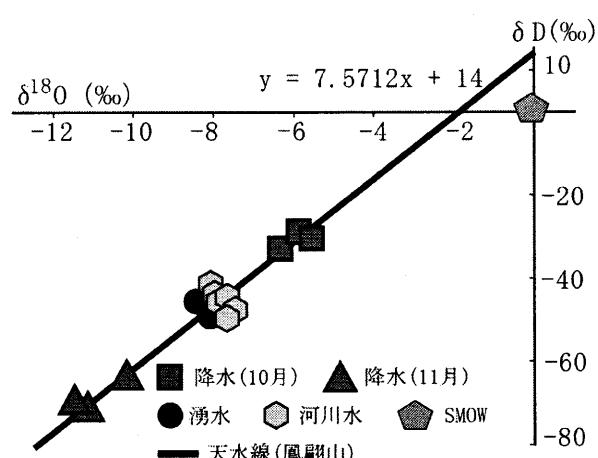


図-7 酸素・水素同位体測定結果

5-3-2. 高度効果

同位体の高度効果を調べるため縦軸に標高、横軸に酸素同位体比を取りグラフを作成した。

10月・11月に採水した降水は標高が高くなるにしたがって、酸素同位体比が10月は -5.6‰ から -6.2‰ へ、11月は -10.1‰ から -11.4‰ へと軽くなる。しかし、湧水は標高が低くなるにしたがって -7.9‰ から -8.2‰ へと軽くなり、降水とは逆の現象が得られた(図-8)。

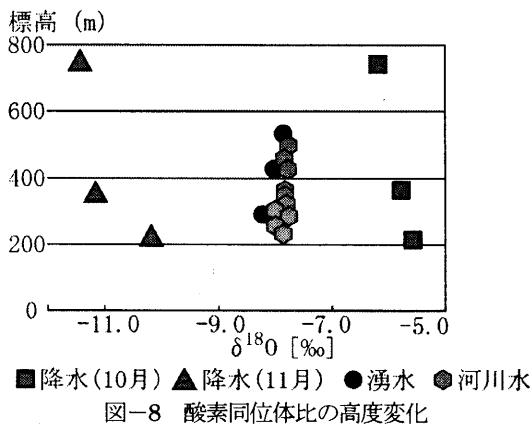


図-8 酸素同位体比の高度変化

6. 考察

6-1. 調査地域の河川の流出特性について

本調査地域の河川の流出量は降雨後、直ちに増加する(図-5)。また、風化基準面が見当たらず風化は現地形に調和的ななどらかな旧地形の形状に支配されており、侵食の著しい箇所においては標高の高い所や現在の地表付近まで新鮮な岩盤が存在しており、マサの層厚は2m~6mと薄い(図-4)。

以上のことから降雨後は、早期に地表水として流出するものが大部分を占めていると考えられる。また、土壤やマサに涵養して流出する水はごく少ないものと考えられ、涵養した場合においても短時間に流出していると考えられる。河川の流量は、降雨後直ちに増加していることが認められていることから、最も増加している2005年11月11日、15日の河川水の大部分は地表水などで構成されていることが考えられる。

一方定常状態である11月26日前後では、70%が地下水、30%が地表水・土壤水・樹幹流などで構成され大部分は地下水の流出と考えられる(図-5)。

6-2. 地下水流動について

同位体の高度効果より、降水は標高が高くなるにしたがって酸素同位体比が軽くなる現象が認められたが、逆に地下水は標高が低くなるにしたがって軽くなる現象が認められた(図-8)。このことから標高の高い所に降った水が地下深部に浸透して標高の低い所に流出していると考えられ、流动経路は標高が低くなるほど長いと考えられる。

また、地下深部に浸透した地下水は透水性の低い新鮮な岩盤を流动することから流动速度は遅いと考えられる。地下水は Na^+ , Ca^{2+} , HCO_3^- に富む水質が形成されており、花崗閃绿岩中の割れ目を流动中に造岩鉱物や割れ目充填鉱物と反応

してイオンが溶出していったものと考えられる。

6-3. 水質形成メカニズム

花崗岩地域の定常状態における河川水の水質は、降雨後以下のようない形成プロセスを経て形成されたものと考えられる。

- (1). 降雨後は、侵食作用が激しく風化層が薄い涵養域のため降水の大部分は地表水として流出し、地下に涵養する水はわずかである。
- (2). その後徐々に地下水は地下に涵養し、地下深部の新鮮な岩盤に浸透した地下水は、岩盤を流动している間、花崗岩中に含まれている斜長石と反応し Na^+ , Ca^{2+} , HCO_3^- に富む水質を形成して河川へと流出する。 Na^+ , Ca^{2+} , HCO_3^- の溶出は、斜長石が風化してカオリナイト、スマクタイトになる過程で溶出していると考えられる。
- (3). 流出している地表水・土壤水・樹幹流に、地下水が混合し河川水を形成する。その割合は、地表水・土壤水・樹幹流が30%, 地下水が70%である。

以上のプロセスを経て花崗岩地域河川水の水質が形成されていると考えられる(図-9)。

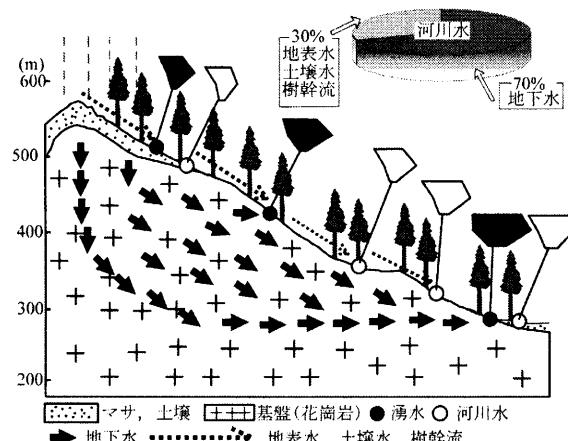


図-9 花崗岩分布地域河川水の水質形成モデル

7. 引用文献

- 1) 山本莊毅, 1983, 新版 地下水調査法, 株式会社今古書院, 490p.
- 2) 鈴木隆介, 1997, 建設技術者のための地形図読図入門 第1巻 読図の基礎, 株式会社古今書院, 200p.
- 3) 鈴木隆介, 2000, 建設技術者のための地形図読図入門 第3巻 段丘・丘陵・山地, 株式会社古今書院, 385p.
- 4) 中島和夫・今岡照善・村上允英, 1984, 山口県鳳鳴山花崗岩体の岩石記載・全岩化学組成及び帯磁率, 岩石鉱物鉱床学会誌, 79, 370-386.
- 5) 西村祐二郎・松里英男, 1991, 山口県の岩石図鑑, 第一学習社, 224p.
- 6) 木宮一邦, 1992, 建設工事における風化・変質作用の取り扱い方, 3, 硬岩の風化作用, 土と基礎, 40(7), 67-74.
- 7) 半谷高久・高井雄・小倉紀雄, 1999, 水質調査ガイドブック, 丸善株式会社, 177p.