

立山カルデラの河川水・湧水の 化学成分・同位体の特徴と山地崩壊との関連

佐藤 有紀

日本列島は 108 もの活火山が分布する世界有数の火山帯地域である。これらの火山は人々に対して、地熱・温泉といった恩恵を与えていると同時に、噴火活動や地すべり・崩壊現象といった災害の脅威にもなっている。火山がもたらす災害のひとつである岩石風化に伴った地すべり・崩壊の機構を明らかにすることは、地質学や砂防工学の分野からはもちろん、地球化学的分野からも重要な課題である。日本の巨大地すべり地のひとつである立山カルデラは、立山火山活動後の侵食作用によって形成されたといわれている。安政 5 年（1858 年）の飛越地震（M:6~7）によりカルデラ内の大鳶山・小鳶山が崩壊（鳶崩れ）したが、それ以降その内部では山体崩壊が繰り返し起きている。この立山カルデラ内の河川や温泉の水質については、朴木ほか（2000）によって報告されているが、Ca-SO₄ 型の水質という特徴付けに止まり、その水質の起源や形成過程については明らかにされていない。そこで本研究では、カルデラ全域にわたって地表水と温泉水を採取し、それらの化学成分・同位体のより詳細な調査を行った。その結果から、大規模な崩壊地における水質の特徴とその成因について明らかにし、さらにはその山地崩壊のメカニズムについても検討した。

調査と試料採取は 2007 年 6~10 月、2008 年 8~9 月間に 7 回にわたって行った。カルデラ内を流れる湯川本流とその支流といった地表水や、新湯や立山温泉といった温泉水など計 114 試料（92 地点）を採取した。現場で水温、pH、電気伝導度を測定し、研究室で溶存成分（Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, F⁻, Cl⁻, NO₃⁻, HCO₃⁻, SO₄²⁻, SiO₂）、水の水素・酸素同位体比（ δD , $\delta^{18}O$ ）、溶存硫酸イオンの硫黄同位体比（ $\delta^{34}S$ ）を測定した。

カルデラ内河川水の化学成分は、地表水のタイプとして一般的な Ca-HCO₃ 型が全サンプルの 35% に止まり、残りの 65% は地表水では一般的ではない Ca-SO₄ 型が占めていた。また、この Ca-SO₄ 型を示した河川水の総イオン濃度（0.77~

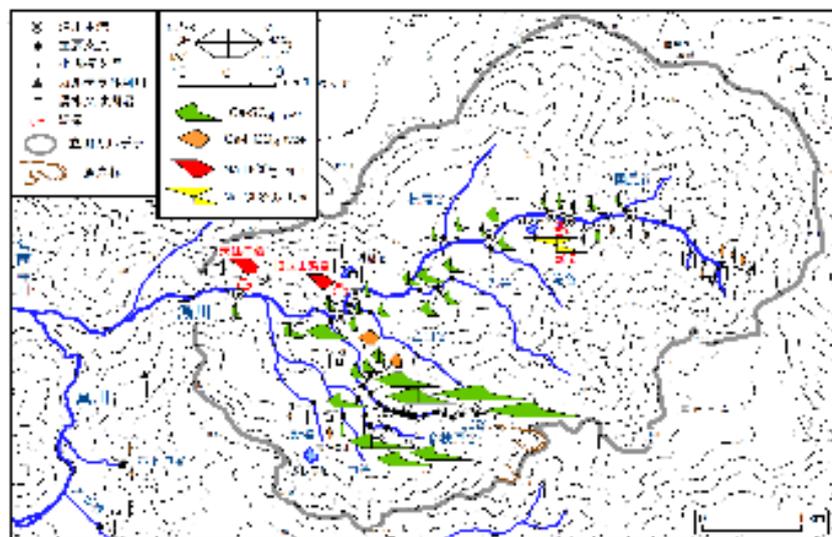


図 1 立山カルデラ内の化学成分分布（ヘキサダイアグラム）

43.0meq/L) は Ca-HCO₃ 型のもの (0.39~7.82meq/L) と比べてかなり高い傾向を示した。このように SO₄²⁻が主要陰イオンになったのは、カルデラが崩壊地であるために植生が根付かず、破碎された岩石が多く分布しているためと考えられる。つまり、HCO₃⁻の元になる植物の根から放出される CO₂ や有機物の分解で生じる CO₂ が土壤中に不足していることや、岩石が破碎され細粒化したことにより、岩石中のパイライト (FeS₂) 等の硫化物の酸化が促進されたため、SO₄²⁻が主要陰イオンになったと考えられる。また陽イオンについては、Ca²⁺がその大部分を占める河川と、Na⁺もかなりの割合で含まれる河川の 2 つが認められた。Ca²⁺と Mg²⁺が主要陽イオンである河川 (総イオン濃度:低) では、岩石風化は主に炭酸塩鉱物が反応する初期段階にあるといえるのに対し、泥谷・多枝原谷・兎谷の場合は総イオン濃度が高く、Na⁺もまた水の主要陽イオンであることから、この地帯では長石のようなケイ酸塩鉱物も溶解する激しい岩石風化が進んでいると考えられる。岩石由来といえる SiO₂ と SO₄²⁻について関係をみると、ほとんどの河川は正の相関を示す 1 本の直線状に分布するのに対し、泥谷・多枝原谷・兎谷はこの直線から大きく外れ、その SO₄/SiO₂ 比は他のものと比べて高かった。このことから、この 3 河川には岩石風化によるもの以上の SO₄²⁻が存在しており、岩石風化起源の SO₄²⁻に加えてほかの起源の SO₄²⁻も存在していると考えられる。SO₄²⁻の起源を明確にするために硫黄同位体比を測定したところ、温泉水を含めたカルデラ地表水の δ³⁴S 値は+1.7~+9.3‰であった。SO₄²⁻濃度が低い河川の δ³⁴S 値 (+1.7~+4.8‰) は、日本の安山岩の δ³⁴S 値 (平均+4.8‰; Ueda and Sakai, 1984) と近かったことから、これらの河川の硫黄はカルデラの表層部に分布する安山岩起源であると考えられる。立山温泉と天涯の湯の δ³⁴S 値 (+9.3、+7.9‰) は、花崗岩の δ³⁴S 値 (+8.3‰; Sasaki and Ishihara, 1979) に近いことから、安山岩の下にある花崗岩由来の硫黄であると考えられる。この 2 つの温泉が Na-HCO₃ 型の泉質であることも花崗岩からの湧出を支持する。泥谷・多枝原谷・兎谷の δ³⁴S 値は+3.2~+5.9‰であったが、δ³⁴S 値と 1/[SO₄] の関係をとると、この 3 点は立山火山ガスの δ³⁴S 値 (-0.3~+1.8‰; 日下部ほか, 1982) に向かって直線的に分布していた。また、1858 年の地震により噴気が噴出して出来た新湯も図上でこの 3 河川の近くに分布した。このことから、この 3 河川の中には岩石風化起源の SO₄²⁻以外に、火山ガス由来のものも存在していると考えられる。

このように化学成分と同位体比の特徴から、泥谷と多枝原谷の上部は火山ガスによる激しい風化を受け、母岩の強度が著しく弱体化されたと推測される。このことが、1858 年の大地震の時に大規模な山体崩壊を起こした原因であるといえる。さらに、各河川の集水域における崩壊地の面積割合と SO₄²⁻濃度の関係に正の相関がみられたことから、立山カルデラ内河川水の SO₄²⁻濃度は崩壊の指標となり得ることがわかった。