

地質の異なる湧水および渓流水における地球化学的な考察

○東京工業大学大学院 学会員 牧野 育代
 国立環境技術研究所 非会員 松永 恒雄
 東京工業大学大学院 非会員 梅干野 晃

1. はじめに

山梨県の山地上流域における流出水の現状を明らかにすることを目的に、3種類の異なる地質に由来する湧水および接する渓流水の水質特性を地球化学的に考察した。陸水の地質による影響¹⁾と地形による影響を反映していると考えられる湧水と渓流水間を溶存イオン物質の分析データを用いて水質の特徴を検討し、さらに、多変量解析を用いて地質との関係を考察した。

2. 対象地の自然環境

湧水を採水した地点は、図1に示す東京都と山梨県をまたがる水道水源林内に位置する。土地被覆は森林でほぼ占められた人為的影響の比較的小さい山地森林地帯である。地域の地質は3つ地質構造区に分類される。他概要は表1に示すとおりである。

3. 方法

現地調査は月1回の調査を原則として、AおよびB1-2地点:2002年2月～2003年1月の間に11回、C地点:2001年6月～2002年3月の間に10回の調査を行った。ただし、B3地点は、渓流水は2003年2月～2003年1月の11回であるが、湧水の湧出の確認が1度であったことから湧水は2002年9月に採水の1回のみである。採水地点は林道沿い上流域である。今回用いた水質成分データは、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} の7成分である。これら溶存イオン物質に対して年間の流出水の化学特質の検討、水質組成の図式化および主成分分析を行った。

4. 結果 および考察

1) 湧水と渓流水の水質組成の特徴

図2は、湧水および渓流水の水質組成図である。月間のばらつきが小さいことがわかる。B3以外は、湧水と渓流水の水質組成は異なる。また、湧水で全て分かれたものの、渓流水ではB1とCに明らかな分け目はなく、ほぼ同様の組成を示し、水質組成に対して地質の明らかな境界はみられなかった。表2は、用いたデータの平均値と年間変動範囲および標準誤差を示した。図2と同様に年間を通じてほぼ一定の科化的性質を有する流出水ということができる。

2) 多変量解析による湧水と渓流水の特質

表3および図3は主成分解析の結果である。主成分2までを用いて主成分の解釈をした。表3固有ベクトルに対する

湧水および渓流水の主成分1は、陰イオン・陽イオンともに正の値をとり変数間で値に大きな違いはない。森林地帯の降水は、いったん土壌中を通過し、流出水と地下水に分けられる。その過程で生じる酸加水分解によって鉱物の化学的風化が進行する。さらに、イオンの電氣的平衡の特質や溶存物質の全体量がイオン許容量に対して低濃度であることを考慮すると、固有ベクトルがほぼ同様であることは流出に際してイオンが干渉しあう状態であるイオン溶出反応を示すと考えられる。同じく主成分2は、湧水では、陽イオンである Na^+ に対して大きくマイナスを、渓流水では大きくプラスを示した。さらに、図3の負荷量分布図をみると湧水と渓流水で主成分2の軸に対する Na^+ と陰イオンである SO_4^{2-} の位置がプラスとマイナスの間で入れ替わっていることがわかる。 Na^+ は、結合力が弱い水素を溶媒とした際の溶存時間が長くなると陽イオン間でイオンの交換をする特性をもつ。これらのことから、主成分2の示す意味は、イオン交換反応を中心に示していると考えられる。次に、地質と主成分得点の関係を解釈した。なお、主成分得点では、年間を通じた化学的特性がほぼ一定であることを理由に便宜上、変数の平均値を用いた。このため、対象地点ごとの代表的な解釈となる。

石灰岩を主とした四万十帯に位置するAは、湧水、渓流水ともに最大値をとり、イオン性溶存物質の溶出が活発であるといえる。また、主成分2では、湧水、渓流水ともに変数間のイオン交換が少ないことを示した。一般的に、石灰岩から湧出した水の水質は他の地質系統のそれよりもイオン性成分の含有量が多い。このことにより四万十帯A地点では、イオン性溶存物質の溶出が多いといえる。砂質岩を主とした四万十帯に位置するB1-B3は、同じ地層であるが、主成分の結果は異なった。水質組成図をみると、B1とB2に対してB3は大きく離れて水質に統一性のないことを示している。図1の地質図をみると、B1-B2間に断層を確認できる。断層による水質への影響が報告されている³⁾ことから、対象地域でも断層による水質への影響が考えられる。水質分析データをみると、B1-B2比較してB3の流出水は SO_4^{2-} に特徴があり、C地点のそれとほぼ同量の含有量である。B3地点とC地点の地形的関係は、河川でつながっている関係を持つ。このことから、B3の水源は、B1-B2と異なること可能性があり、水源の違いが水質の違いをもたらしたと考えられる。花崗

キーワード：水質，山地，地質，水質組成，多変量解析

連絡先：*東京工業大学大学院 〒226-8502 神奈川県横浜市長津田町 4529 G5 棟 4F, TEL:045-924-5510, FAX: 045-924-5553,

**独立行政法人 国立環境研究所 社会環境システム研究領域情報解析研究室 〒305-8506 つくば市小野川 16-2 TEL 029-850-2838 FAX 029-850-2572

閃緑岩である C 地点は、イオン溶出が少なく、変数間のイオン交換も少ないことを示した。一般的に花崗岩類は、多くが SiO₂ で占められる。このことにより、花崗岩閃緑岩地帯では流出水に含まれ含まれるイオン性溶存物質の低濃度があつたと考えられる。

6.まとめ

本研究は、3 つの地質に対する湧水および溪流水について検討することで、以下の知見を得た。

1. 主成分分析の結果、陽イオン交換は少ないことが示された。つまり、調査対象域は比較的に水の滞留時間は短いと考

えられる。2.砂質岩を主とする四万十帯では、3 箇所それぞれの湧水および溪流水ともに水質が異なった。つまり、断層が及ぼす水質への影響と、水源の違いによる水質の変化が示唆された。

参考文献 1).玉利祐三,辻治雄,日下譲,岩質と陸水との関係,地球化学,22,139 - 147,1988. 2)升本和彦,日比谷啓介,地球化学的手法による岩盤内の広域地下水流動挙動評価,応用地質,36(6),1996. 3)北裕一郎,断層帯周辺における地下水の化学組成および同位対比,平成13年度富山大学修士論文

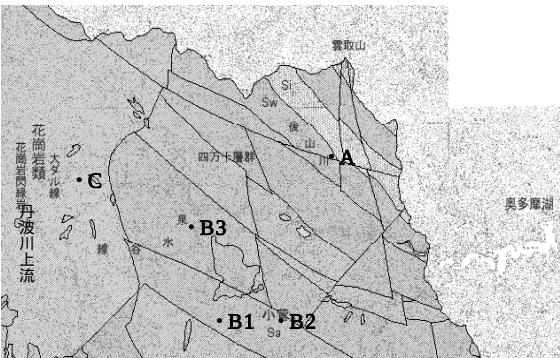


図 1. 地質図と湧水および溪流水の位置関係

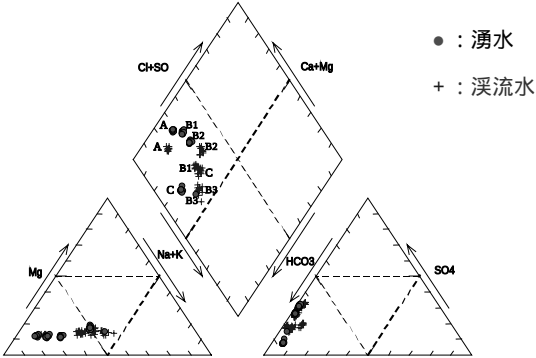


図 2. 水質組成図

表 1.現地調査地点の位置関係と地質の概要

地質構造区分の仮称	採水地点	採水地点の所在地	分布する地質と含有する岩石
四万十帯1	A	丹波市に位置する後山川流域	石灰岩, 砂岩, 粘板岩, 頁岩, 輝緑凝灰岩, チャート
四万十帯2	B1 - B2	北部留郡に位置する小管川流域	堆積岩類
	B3	北部留郡に位置する泉水谷林道内	砂岩, 粘板岩, 輝緑凝灰岩
花崗閃緑岩	C	塩山市に位置する丹波川上流域	結晶岩類
			花崗閃緑岩

表 2.基本統計データ

湧水					変数 カテゴリー:陽イオン				変数 カテゴリー:陰イオン				湧流水					変数 カテゴリー:陽イオン				変数 カテゴリー:陰イオン																																																																																																																						
統計量	検体記号	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻		統計量	検体記号	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻		統計量	検体記号	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻																																																																																																																
平均値・変動範囲	A	0.158±0.033	0.023±0.006	1.432±0.136	0.229±0.042	0.032±0.004	0.531±0.040	1.373±0.100		平均値・変動範囲	A	0.121±0.029	0.023±0.008	0.801±0.037	0.133±0.018	0.021±0.005	0.196±0.032	0.878±0.080		平均値・変動範囲	A	0.103±0.033	0.008±0.005	0.172±0.033	0.049±0.020	0.012±0.004	0.098±0.033	0.280±0.050																																																																																																																
	B1	0.152±0.021	0.009±0.004	0.787±0.071	0.130±0.030	0.015±0.004	0.367±0.053	0.790±0.040			B2	0.119±0.032	0.012±0.004	0.620±0.057	0.112±0.033	0.017±0.004	0.329±0.049	0.715±0.040			B3	0.130	0.010	0.149	0.051	0.015	0.059	0.330		B3	0.116±0.017	0.013±0.003	0.137±0.040	0.045±0.019	0.016±0.003	0.056±0.021	0.258±0.030		C	0.098±0.020	0.009±0.003	0.163±0.044	0.060±0.020	0.018±0.002	0.031±0.017	0.238±0.040		C	0.102±0.033	0.011±0.003	0.155±0.039	0.051±0.023	0.029±0.005	0.065±0.024	0.242±0.030		標準偏差	A	0.009	0.002	0.033	0.011	0.002	0.010	0.029		標準偏差	A	0.009	0.003	0.011	0.003	0.002	0.010	0.022		標準偏差	A	0.009	0.003	0.011	0.003	0.002	0.010	0.022		B1	0.006	0.002	0.017	0.008	0.002	0.015	0.012		B2	0.009	0.002	0.017	0.009	0.002	0.013	0.013		B3	—	—	—	—	—	—	—		B3	0.006	0.001	0.011	0.003	0.002	0.007	0.009		C	0.006	0.001	0.013	0.006	0.001	0.006	0.012		C	0.010	0.001	0.011	0.007	0.002	0.007	0.015	
	B2	0.119±0.032	0.012±0.004	0.620±0.057	0.112±0.033	0.017±0.004	0.329±0.049	0.715±0.040			B3	0.130	0.010	0.149	0.051	0.015	0.059	0.330			B3	0.116±0.017	0.013±0.003	0.137±0.040	0.045±0.019	0.016±0.003	0.056±0.021	0.258±0.030		C	0.098±0.020	0.009±0.003	0.163±0.044	0.060±0.020	0.018±0.002	0.031±0.017	0.238±0.040		C	0.102±0.033	0.011±0.003	0.155±0.039	0.051±0.023	0.029±0.005	0.065±0.024	0.242±0.030		標準偏差	A	0.009	0.002	0.033	0.011	0.002	0.010	0.029			標準偏差	A	0.009	0.003	0.011	0.003	0.002	0.010		0.022		標準偏差	A	0.009	0.003	0.011	0.003	0.002		0.010	0.022		B1	0.006	0.002	0.017	0.008	0.002	0.015	0.012		B2	0.009	0.002	0.017	0.009	0.002	0.013	0.013		B3	—	—	—	—	—	—	—		B3	0.006	0.001	0.011	0.003	0.002	0.007	0.009		C	0.006	0.001	0.013	0.006	0.001	0.006	0.012		C	0.010	0.001	0.011	0.007	0.002	0.007	0.015							
	B3	0.130	0.010	0.149	0.051	0.015	0.059	0.330			B3	0.116±0.017	0.013±0.003	0.137±0.040	0.045±0.019	0.016±0.003	0.056±0.021	0.258±0.030																																																																																																																										
C	0.098±0.020	0.009±0.003	0.163±0.044	0.060±0.020	0.018±0.002	0.031±0.017	0.238±0.040		C	0.102±0.033	0.011±0.003	0.155±0.039	0.051±0.023	0.029±0.005	0.065±0.024	0.242±0.030																																																																																																																												
標準偏差	A	0.009	0.002	0.033	0.011	0.002	0.010	0.029		標準偏差	A	0.009	0.003	0.011	0.003	0.002	0.010	0.022		標準偏差	A	0.009	0.003	0.011	0.003	0.002	0.010	0.022																																																																																																																
	B1	0.006	0.002	0.017	0.008	0.002	0.015	0.012			B2	0.009	0.002	0.017	0.009	0.002	0.013	0.013			B3	—	—	—	—	—	—	—		B3	0.006	0.001	0.011	0.003	0.002	0.007	0.009		C	0.006	0.001	0.013	0.006	0.001	0.006	0.012		C	0.010	0.001	0.011	0.007	0.002	0.007	0.015																																																																																					
	B2	0.009	0.002	0.017	0.009	0.002	0.013	0.013			B3	—	—	—	—	—	—	—			B3	0.006	0.001	0.011	0.003	0.002	0.007	0.009		C	0.006	0.001	0.013	0.006	0.001	0.006	0.012		C	0.010	0.001	0.011	0.007	0.002	0.007	0.015																																																																																														
	B3	—	—	—	—	—	—	—			B3	0.006	0.001	0.011	0.003	0.002	0.007	0.009																																																																																																																										
C	0.006	0.001	0.013	0.006	0.001	0.006	0.012		C	0.010	0.001	0.011	0.007	0.002	0.007	0.015																																																																																																																												

表 3.主成分分析結果

固有値・寄与率表				
成分	主成分1	主成分2	主成分1	主成分2
固有値	5.568	1.134	4.618	1.171
寄与率(%)	79.55	16.2	65.96	16.73
累積寄与率	79.55	95.75	65.96	82.69
固有ベクトル				
変数名	主成分1	主成分2	主成分1	主成分2
Na ⁺	0.224	-0.75	0.226	0.609
K ⁺	0.386	0.306	0.414	-0.238
Ca ²⁺	0.419	-0.013	0.455	-0.114
Mg ²⁺	0.419	0.051	0.459	-0.094
Cl ⁻	0.345	0.491	0.066	-0.648
SO ₄ ²⁻	0.393	-0.316	0.385	0.351
HCO ₃ ⁻	0.421	-0.028	0.455	-0.082
主成分得点				
検体名	主成分1	主成分2	主成分1	主成分2
A	3.756	0.662	3.617	-0.647
B1	0.133	-0.292	-1.439	-0.113
B2	0.272	-1.334	0.479	1.747
B3	-2.001	0.001	-1.245	0.029
C	-2.16	0.964	-1.412	-1.016

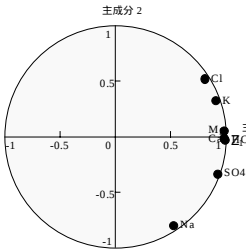


図 3.1 湧水の負荷量分散図

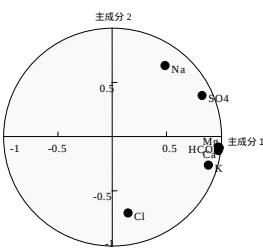


図 3.2 溪流水の負荷量分散図

・ 謝辞

本研究の実施にあたり、東京都水道局より、管理林の調査許可をいただいた。また本研究は、科学研究費補助金による研究成果の一部である。ここに記して謝意を表します。