

中山間地域の道路周辺における地質と地下水水質の関係について

Relation between the Geological Feature and the Ground Water Quality around the Road in
the Hilly and Mountainous Area.

秦二郎	Jiro HADA	(西日本高速道路エンジニアリング中国 (株))
佐々木薫	Kaoru SASAKI	(西日本高速道路エンジニアリング中国 (株))
諸泉利嗣	Toshitsugu MOROIZUMI	(岡山大学大学院環境生命科学研究科)

中山間地域の供用後 30 年以上を経過する高速道路沿線の環境調査の一環として井戸水・湧水・沢水について水質調査を実施した。調査地の水質の特徴として電気伝導度が一般的な地下水と比較すると極めて高く、電解質分を高濃度に含むことがわかった。安山岩地域と花崗岩地域では水質が異なり、陽イオンは安山岩地域のほうが Ca^{2+} や Mg^{2+} に富んでいた。一方、陰イオンでは日本国内の一般的な地下水と比較すると、安山岩地域・花崗岩地域ともに Cl^- に富んでいることを確認した。陽イオンについては帯水層の地質の違いが反映されており、陰イオンについては高速道路からの排水が強く影響していることを明らかにした。

キーワード：水質調査，雪氷対策，陽イオン，陰イオン，電気伝導度（IGC：B-2，B-12）

1. はじめに

地下水の水質は帯水層の地質（鉱物）の種類，風化の程度，接触時間などにより，一次的に決定される。さらに，人々の生産活動などが及ぶ地域では人為的な影響が二次的に水質に作用するようになる。経済成長および国土開発により高度土地利用が進む中で，安全安心な水資源の確保は我々にとって重要な課題である。なかでも中山間地域では現在においても地下水は生活用水として重宝されている。したがって，人為的な影響の及ぶような場所では，地下水の水質を管理・保全していくことは喫緊の課題と考える。

我が国の山地地下水の水質の研究例は，六甲山地などの花崗岩地域についての研究報告¹⁾²⁾³⁾⁴⁾が比較的多く認められる。この背景には，六甲山地が大都市圏に隣接し，戦前からの土地開発に伴い山地崩壊・斜面災害などが頻発するなかで防災の観点，また地下水を水資源としての利用・保全の観点から研究が活発に行われたものと考えられる。一方，他地域の山地地下水の水質調査の研究事例については，その研究報告数は少ないように思われる。

本研究は，中山間地域の供用後 30 年以上を経過する高速道路沿線の環境調査の一環として，84 箇所の井戸水・湧水・沢水について水質調査を行い，帯水層の地質別に地下水の水質特性を整理し，高速道路の路面排水等が地下水に及ぼす影響について検討したものである。

2. 調査地域の概要

調査地域は，標高約 350～500m の中山間地に位置する。

地形は北東から南西方向に延びる狭長な谷地形を呈している。谷幅は約 200～400m で，谷底は A 川が南西方向に流下し，河川沿いに平坦地や段丘地形を形成している。平坦地は主に水田として土地利用されている。また，多くの集落は河川沿いの平坦地や段丘及びそれに続く山麓斜面に分布しており，その周辺で畑作が行われている。気象庁の Web サイト⁵⁾より入手したデータを基に計算すると 1976～2013 年の年平均気温の平均値は 12.3℃，年積算降水量の平均値は 1,465.3mm である。また，対象地域のある B 市より入手した資料を基に，1995～2010 年の間に掘削した 329 井戸の塩化物イオン濃度の平均値を求めると 11.0mg/L になる。

図-1 に地形地質概要図を示す。本地域の地質の構成は，基盤岩として中生代白亜紀の安山岩類（高マグネシウム安山岩）とそれらに貫入する白亜紀の花崗岩類（粗粒黒雲母花崗岩）が分布し，それらを新生代第四紀の主に砂礫層からなる崖錐堆積物，段丘堆積物，沖積層が被覆する。

高速道路の供用開始は 1978 年で供用 30 年以上となる。道路は谷に沿うような形状で多くの集落よりも山側を通っている。なお，現在使用されている多くの井戸は，高速道路よりも谷側に掘られたものである。

3. 採水と分析

本調査地域で水質分析した地点は図-1 に示す 84 地点であり，その内訳としては井戸水が 77 地点，湧水が 2 地点，沢水 5 地点である。このうち高速道路よりも山側が 8 地点で，谷側が 76 地点である（表-1）。採水は 2011 年 10 月 11 日～13 日と 2012 年 2 月 15 日～17 日の二回実施した。

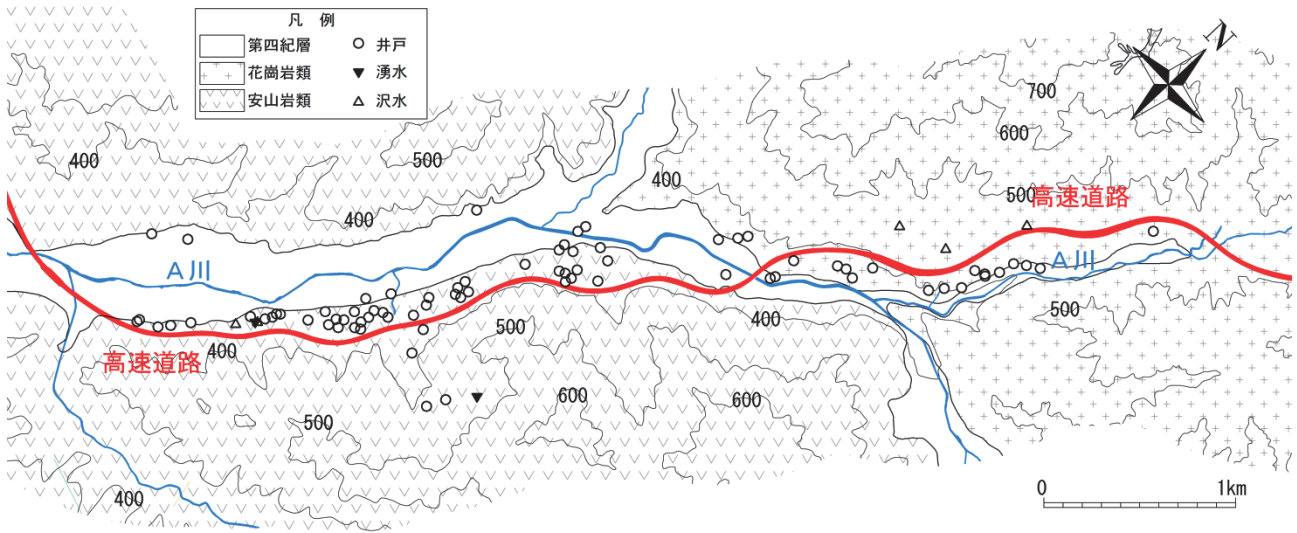


図-1 地形地質概要図

水質分析の検体の採水方法は、井戸水の場合は、所定の蛇口を使用して水温が一定になるまで揚水した後、専用ビンで採水した。一方、湧水と沢水は水源にて専用ビンに直接採水した。

水質分析の項目と分析方法を表-2 に示す。なお、本論文では 2 月に採水した検体の試験結果について考察を行った。

表-1 採水地点の内訳

	高速道路より山側	高速道路より谷側	合計
井戸水	4 地点	73 地点	77 地点
湧水	1 地点	1 地点	2 地点
沢水	3 地点	2 地点	5 地点
合計	8 地点	76 地点	84 地点

表-2 水質分析項目と方法

分析項目	分析方法
塩化物イオン Cl ⁻ (mg/L)	平成 15.7.22 厚生労働省告示第 261 号
pH (25°C)	JIS K0101
ナトリウムイオン Na ⁺ (mg/L)	JIS K0101
カルシウムイオン Ca ²⁺ (mg/L)	JIS K0101
マグネシウム Mg ²⁺ (mg/L)	JIS K0101
カリウム K ⁺ (mg/L)	JIS K0101
炭酸水素イオン HCO ₃ ⁻ (mg/L)	衛生試験法注解
硫酸イオン SO ₄ ²⁻ (mg/L)	JIS K0101
イオン状シリカ SiO ₂ (mg/L)	JIS K0101
電気伝導率 Ec (μS/cm)	上水試験法
遊離炭酸 CO ₂ (mg/L)	平成 15.10.10 健水発第 1010001 号

4. 調査結果および考察

4.1 地質別の水質特性

(1) 電解質と電気伝導度

今回分析した項目のうちの水の電解質 (Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻) について、その特徴を述べる。図-2 は電解質の全当量濃度 Tc (meq/L) と電気伝導度 Ec (μS/cm) の関係を示したものである。図より、安山岩地域の地下水と花崗岩地域の地下水は類似傾向を示しており、全当量濃度 Tc と電気伝導度 Ec には R²>0.99 の高い相関が認められる。また、Ec ≒ 56Tc の関係式が成り立ち、渡部ら⁹⁾の研究でも同様の関係が報告されている。

日本の他の地域の地下水の電気伝導度をみると、藪崎ら⁷⁾が昭和と平成の名水百選を調べており、昭和の名水百選の平均値が 208.3 μS/cm、平成の名水百選の平均値が 196.8 μS/cm と報告している。したがって、調査地の地下水の電気伝導度は(2)で述べるように、日本の他地域の地下水と比較してかなり高い値を示しているものも含まれている。

(2) トリリニアダイアグラムによる水質分類と水質特性

安山岩地域の地下水と花崗岩地域の地下水をトリリニアダイアグラムを用いて水質分類を行った (図-3)。陽イオンに着目すると地質別の明瞭な違いが認められ、安山岩地域の地下水のほうが Ca²⁺ と Mg²⁺ に富んでいる。一方、

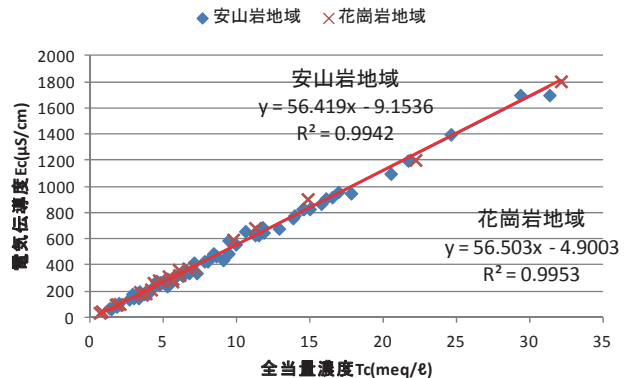


図-2 全当量濃度 Tc と電気伝導度 Ec の関係

陰イオンは地質別の差が認められず、ともに Cl⁻ の陰イオンに占める割合が 5~97% までの広い範囲に認められる。

つぎに、図-3 を用いて水質分類を行い地質別に整理したものを図-4 に示す。安山岩地域の水質は中間混合型、Ca-Cl 型、Ca-HCO₃ 型の順で割合が多い。一方、花崗岩地域の水質は Na-Cl 型、Ca-HCO₃ 型、中間混合型の順で割合が多い。安山岩地域、花崗岩地域の水質はともに Cl 型が多く、日本国内の地下水は Ca-HCO₃ 型が卓越している⁷⁾ことを考えると、本地区の水質は特異な水質といえる。

水質分類ごとに、電気伝導度の頻度分布を図-5 に、また最低値、平均値、最高値および標準偏差を表-3 に示す。電気伝導度の季節変動も比較できるように、表中の()内に10月に採水した検体の試験結果も示した。水質分類ごとに電気伝導度は異なった特徴を有している。Ca-HCO₃ 型は最低値 67μS/cm、平均値 195μS/cm、最高値 340μS/cm、標準偏差 78μS/cm で平均値、最高値および標準偏差は4タイプの中で最も低い。平均値は上で述べた昭和と平成の名水百選と同じような値を示し、値のばらつきも比較的小さい。特徴としては、日本国内の一般的な水質といえる。Ca-Cl 型は最低値 430μS/cm、平均値 889μS/cm、最高値 1700μS/cm、標準偏差 347μS/cm で最低値と平均値は4タイプの中で最

も高い。最低値が上述した Ca-HCO₃ 型の最高値より大きく、全体的に電気伝導度が高い。すなわち、高濃度のイオンを含む水質と考えられる。Na-Cl 型は最低値 32μS/cm、平均値 639μS/cm、最高値 1800μS/cm、標準偏差 527μS/cm で最高値と標準偏差は4タイプの中で最も高いが、最低値も4タイプの中で最も低い。したがって、電気伝導度のばらつきの大い水質である。中間混合型は最低値 71μS/cm、平均値 354μS/cm、最高値 780μS/cm、標準偏差 178μS/cm で上述した Ca-HCO₃ 型と Ca-Cl 型の中間的な値を示している。また、10月採水の試験結果も概ね同様の傾向を示しており、顕著な季節変動は認められない。

表-3 水質分類ごとの電気伝導度の特徴

水質分類	電気伝導度 (μS/cm)			
	最低値	平均値	最高値	標準偏差
Ca-HCO ₃	67 (72)	195 (219)	340 (500)	78 (105)
Ca-Cl	430 (470)	889 (914)	1700 (1700)	347 (318)
Na-Cl	32 (36)	639 (483)	1800 (2000)	527 (583)
中間混合	71 (54)	354 (366)	780 (640)	178 (139)

注) ()内の値は10月採水の結果

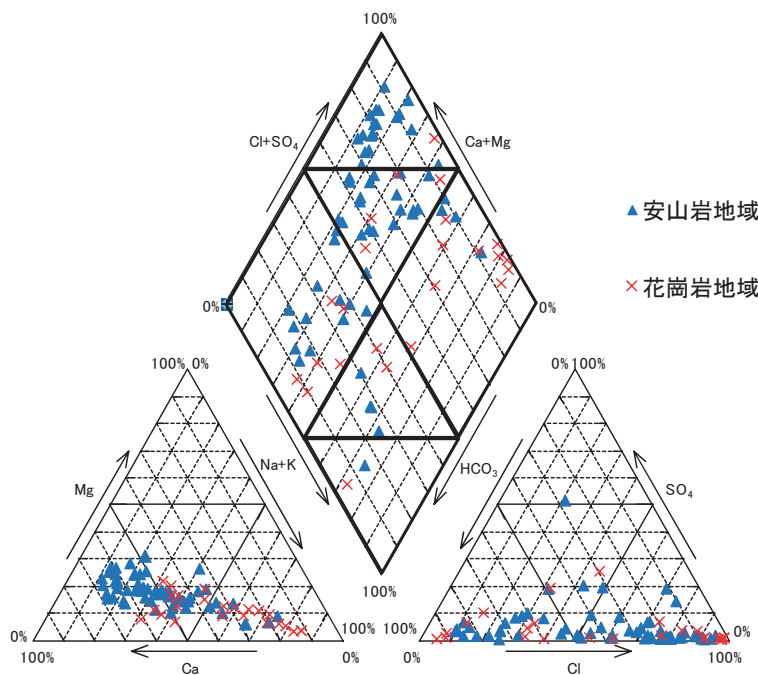


図-3 トリリニアダイアグラムによる分類

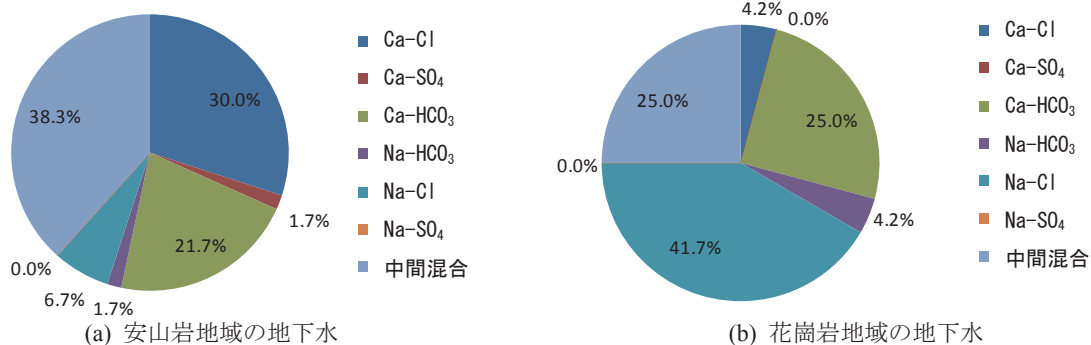
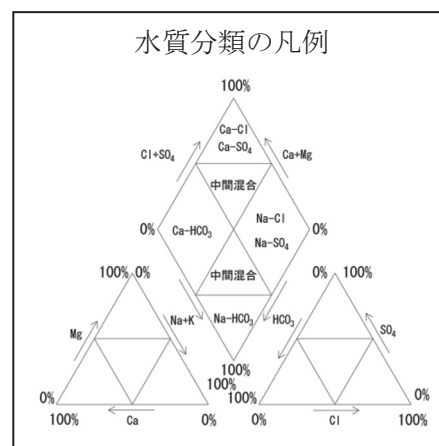


図-4 安山岩地域と花崗岩地域に占める各タイプの水質の割合

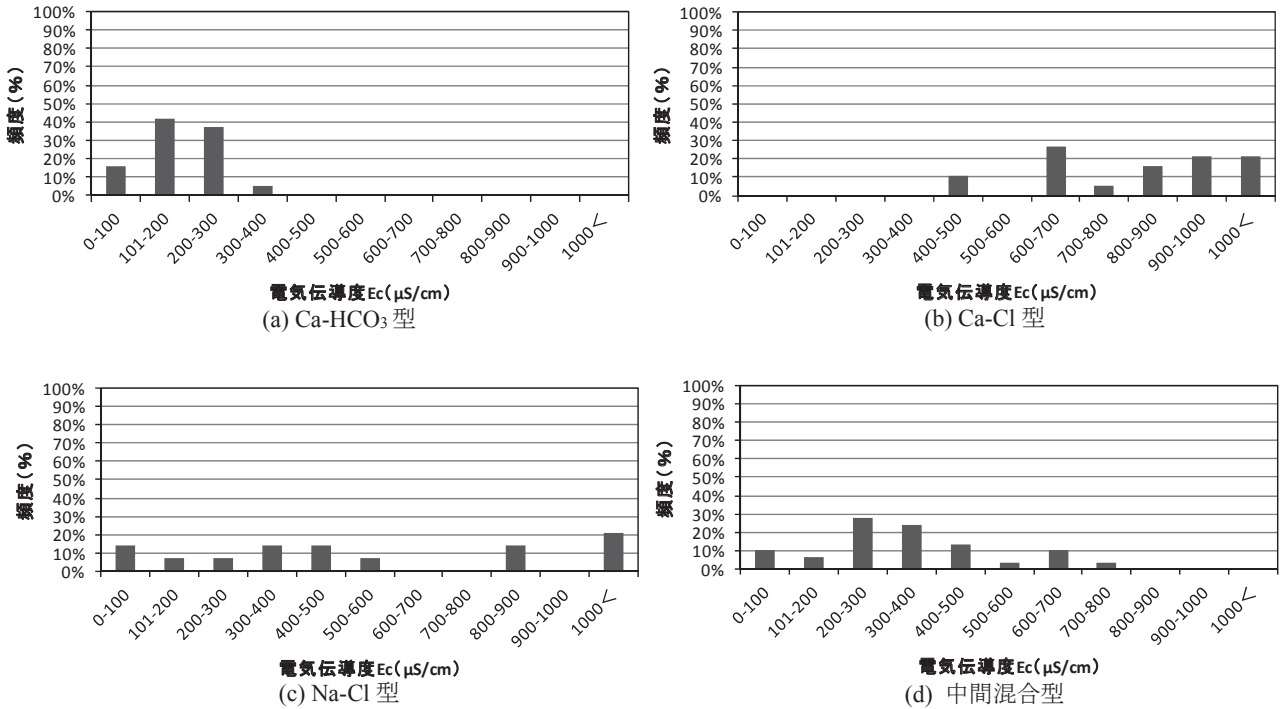


図-5 水質分類ごとの電気伝導度の頻度分布

(3)イオン状シリカ

シリカと酸素の結びついたケイ酸 (SiO_2) は、地殻全体の約 60%を占めている。ケイ酸は造岩鉱物の化学的風化の進行過程で生成され、地下水中に溶出する。ただし、岩石の種類や風化の程度の違いにより、溶存態ケイ酸濃度が異なることが報告されている⁸⁾。

図-6 に地質別の SiO_2 濃度の頻度分布を示す。安山岩地域、花崗岩地域ともに、 SiO_2 の濃度は 10~40mg/L の範囲にある。安山岩地域の SiO_2 の最頻値は 21~30mg/L にあるのに対して、花崗岩地域の SiO_2 の最頻値は 11~20mg/L であり、安山岩地域のほうがやや高い傾向を示す。平均値も安山岩地域が 24.4 mg/L、花崗岩地域が 21.0mg/L で安山岩地域のほうが僅かに高いが、大差は認められない(表-4)。

日本の地下水のケイ酸濃度の平均値は約 40mg/L 程度であり⁹⁾、調査地域のケイ酸濃度はやや低い値を示している。

古米ら¹⁰⁾は、ケイ酸が河川等へ流出するしやすさは岩石や堆積物などの地質(地盤の構成物)の影響で決まると考え、ケイ酸溶出ポテンシャルと定義しており、ケイ酸溶出

ポテンシャル指数の値が大きいほどケイ酸が溶出しやすい地質としている。そして、全国について地質区分とケイ酸溶出ポテンシャル指数の対比表を示している。

この対比表に照らし合せると、調査地の安山岩類は第四紀以前非アルカリ苦鉄質火山岩で山地の起伏量は小起伏であり、ケイ酸溶出ポテンシャル指数が 3 になる。一方、花崗岩類は珪長質深成岩で山地の起伏量は小起伏であり、ケイ酸溶出ポテンシャル指数は 3 となる。調査結果で安山岩地域と花崗岩地域の SiO_2 濃度の値に大きな差が認められないのは、ケイ酸溶出ポテンシャルが同等なためと考えられる。

表-4 安山岩と花崗岩のイオン状シリカ

地質	SiO_2 (mg/L)			
	最低値	平均値	最高値	標準偏差
安山岩	15	24.4	38	6.0
花崗岩	11	21.0	40	7.1

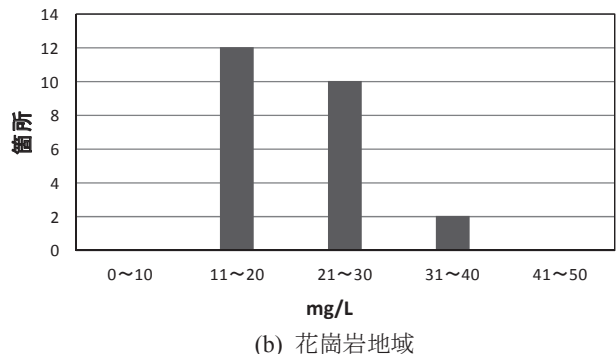
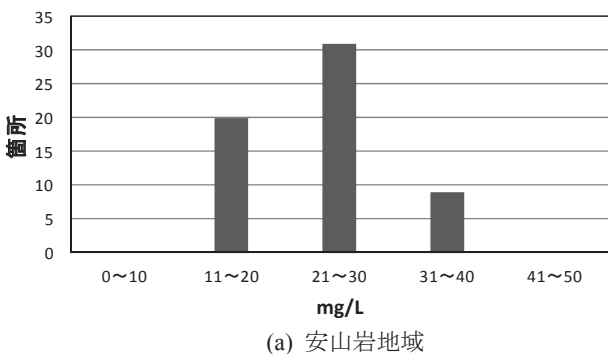


図-6 地質別の SiO_2 の頻度分布

(4)水質成分間の相関関係

水質成分間の相関関係を表-5 および表-6 に示す。相関係数 $R > 0.7$ を強い相関がある、 $R > 0.5$ を相関があるとして、地質区分ごとの水質成分間の相関について以下に述べる。安山岩地域で強い相関が認められるものは、2種 (Ca^{2+} , Mg^{2+}) の陽イオン相互間、2種 (Ca^{2+} , Mg^{2+}) の陽イオンと Cl^- 間、3種類 (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^-) のイオンと Ec 間があげられる。また、相関が認められるものとしては、 Na^+ と Cl^- 間、 K^+ と SO_4^{2-} 間のイオン間、 HCO_3^- と pH 間、 Na^+ と Ec 間があげられる。さらに、 CO_2 と pH 間では負の相関が認められる。

一方、花崗岩地域で強い相関が認められるものとしては2種 (K^+ , Ca^{2+}) の陽イオンと Mg^{2+} 間、2種 (Na^+ , Mg^{2+})

の陽イオンと Cl^- 間、 HCO_3^- と SiO_2 間、 HCO_3^- と pH 間、3種類 (Na^+ , Mg^{2+} , Cl^-) のイオンと Ec 間があげられる。また、相関が認められるものとしては、3種 (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) の陽イオンと Na^+ 間、2種 (K^+ , Ca^{2+}) の陽イオン相互間、2種 (K^+ , Ca^{2+}) の陽イオンと Cl^- 間、 K^+ と SO_4^{2-} 間のイオン間、 K^+ と CO_2 間、 SiO_2 と pH 間、2種 (K^+ , Ca^{2+}) の陽イオンと Ec 間があげられる。さらに、3種 (K^+ , Cl^- , CO_2) の成分と pH 間では負の相関が認められる。

本調査地域の水質の大きな特徴としては、安山岩地域、花崗岩地域の共通のものとして Ec と陽イオン間および Cl^- 間に相関が認められること、また、花崗岩地域で pH と HCO_3^- および SiO_2 間に相関が認められることがあげられる。

表-5 安山岩地域の水質成分の相関関係

成分	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	SiO_2	CO_2	pH	Ec
Na^+		0.08	0.23	0.23	0.60	0.00	-0.05	-0.10	-0.02	0.02	0.61
K^+	0.08		0.13	0.16	0.14	0.54	-0.26	-0.02	0.35	-0.36	0.18
Ca^{2+}	0.23	0.13		0.94	0.87	0.04	0.16	0.41	-0.06	-0.02	0.90
Mg^{2+}	0.23	0.16	0.94		0.86	0.03	0.08	0.48	0.01	-0.12	0.88
Cl^-	0.60	0.14	0.87	0.86		-0.07	-0.06	0.30	0.02	-0.11	0.98
SO_4^{2-}	0.00	0.54	0.04	0.03	-0.07		-0.21	-0.06	0.12	-0.17	0.04
HCO_3^-	-0.05	-0.26	0.16	0.08	-0.06	-0.21		-0.02	-0.18	0.63	0.05
SiO_2	-0.10	-0.02	0.41	0.48	0.30	-0.06	-0.02		-0.08	-0.24	0.31
CO_2	-0.02	0.35	-0.06	0.01	0.02	0.12	-0.18	-0.08		-0.52	-0.02
pH	0.02	-0.36	-0.02	-0.12	-0.11	-0.17	0.63	-0.24	-0.52		-0.05
Ec	0.61	0.18	0.90	0.88	0.98	0.04	0.05	0.31	-0.02	-0.05	

表-6 花崗岩地域の水質成分の相関関係

成分	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	SiO_2	CO_2	pH	Ec
Na^+		0.56	0.53	0.59	0.96	0.49	-0.27	-0.15	0.20	-0.47	0.97
K^+	0.56		0.57	0.74	0.67	0.57	-0.32	-0.24	0.59	-0.56	0.65
Ca^{2+}	0.53	0.57		0.84	0.63	0.19	0.15	0.26	0.12	-0.09	0.69
Mg^{2+}	0.59	0.74	0.84		0.74	0.29	-0.17	-0.06	0.27	-0.43	0.75
Cl^-	0.96	0.67	0.63	0.74		0.49	-0.41	-0.26	0.26	-0.60	0.99
SO_4^{2-}	0.49	0.57	0.19	0.29	0.49		-0.33	-0.15	0.32	-0.37	0.45
HCO_3^-	-0.27	-0.32	0.15	-0.17	-0.41	-0.33		0.78	-0.32	0.87	-0.26
SiO_2	-0.15	-0.24	0.26	-0.06	-0.26	-0.15	0.78		-0.28	0.68	-0.14
CO_2	0.20	0.59	0.12	0.27	0.26	0.32	-0.32	-0.28		-0.60	0.23
pH	-0.47	-0.56	-0.09	-0.43	-0.60	-0.37	0.87	0.68	-0.60		-0.50
Ec	0.97	0.65	0.69	0.75	0.99	0.45	-0.26	-0.14	0.23	-0.50	

4.2 地質・風化状況が水質に及ぼす影響

安山岩地域の水質と花崗岩地域の水質との大きな違いとしては、安山岩地域の水質のほうが Ca^{2+} と Mg^{2+} の陽イオンに富むことがあげられる。図-7 に火成岩の造岩鉱物組成と化学組成を示す。図より、安山岩と花崗岩の造岩鉱物組成を比較すると安山岩は輝石、角閃石、Ca に富む斜長石 (灰長石) に富み、花崗岩は黒雲母、Na に富む斜長石 (曹長石)、カリ長石 (正長石) に富んでいることが判る。また、酸化カルシウム (CaO) や酸化マグネシウム (MgO) も安山岩のほうが富む傾向にある。

これらの造岩鉱物が直接的に、あるいは粘土鉱物となった後に地下水に溶解込みその地域固有の水質を形成する

こととなる。風化による造岩鉱物の分解反応の例を図-8 に示す。また、安山岩に多い Ca 長石 (灰長石) と灰長石の風化作用から生じるカオリナイト (粘土) の分解反応の例を式 (1) (2) に示す⁸⁾。



したがって、図-7 より、安山岩およびその粘土鉱物は、多量の Ca^{2+} や Mg^{2+} を地下水に溶出することのできるポテンシャルを持っていると考えられる。また、式 (1) と式 (2) より、安山岩地域の水質に Ca^{2+} が多いこととイオン状シリカ (SiO_2) が含まれている理由も説明することができる。

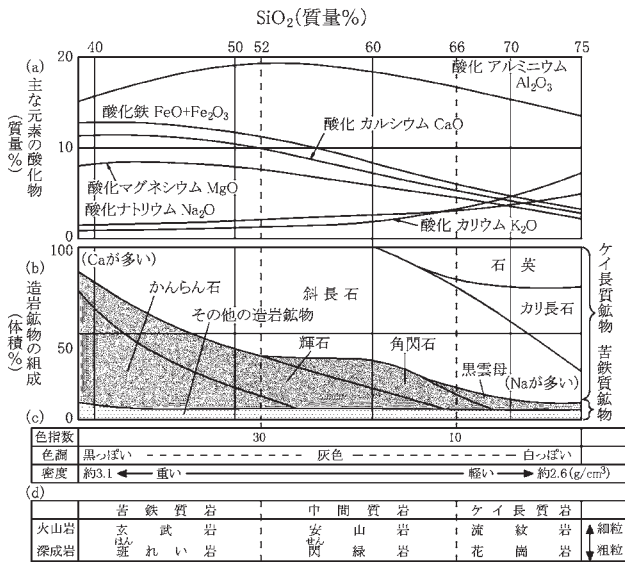


図-7 火成岩の造岩鉱物組成と化学組成⁸⁾

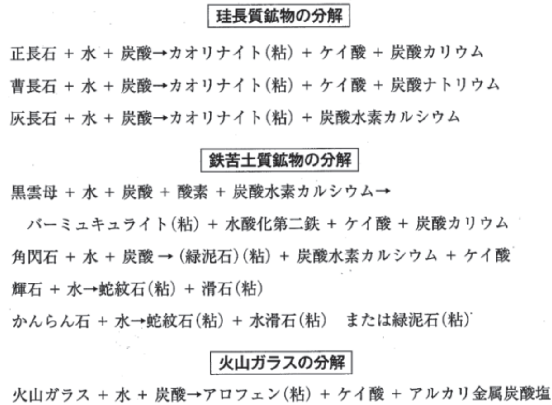


図-8 化学的風化による造岩鉱物の反応の例⁸⁾

4.3 高速道路路面排水の影響

(1) 電気伝導度と塩化物イオン、陽イオンについて

調査地の水質は安山岩地域、花崗岩地域とも電気伝導度が日本の一般的な地下水の値⁷⁾と比較して極めて大きい、すなわちイオン成分に富むことが明らかとなった。また、電気伝導度とCl⁻濃度は完全な相関(R=0.98~0.99)が認められており、水質分類でCa-Cl型およびNa-Cl型の占める割合が多いことも関連付けられる。Cl⁻濃度の高い水質の要因としては、温泉や鉱泉の混入などの自然要因と、生活排水や産業排水などの人為的な要因が考えられる。しかし、調査地域周辺では既設の温泉や鉱泉は認められず、生活排水や産業排水の影響を受けない位置および構造の水源地であった。

図-9に高速道路からの離隔とCl⁻濃度の関係を示す。調査地の位置するA市の井戸水のCl⁻の平均濃度は11.0mg/Lである。この値を周辺地域の地下水のCl⁻濃度のバックグラウンド値とすると、地質に関係なく高速道路より谷側ではその近傍で高い値を示す地点があり、ばらつきは認められるものの高速道路からの離隔が大きくなるに従って減少する傾向が認められる。一方、高速道路よりも山側は全てバックグラウンドと同程度の低い値を示している(図

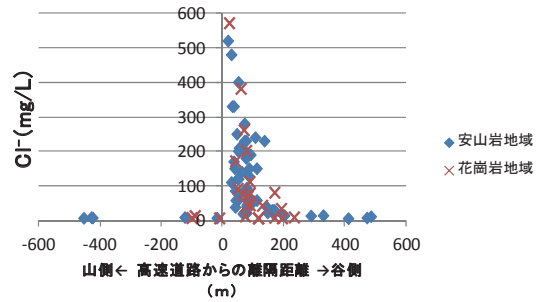
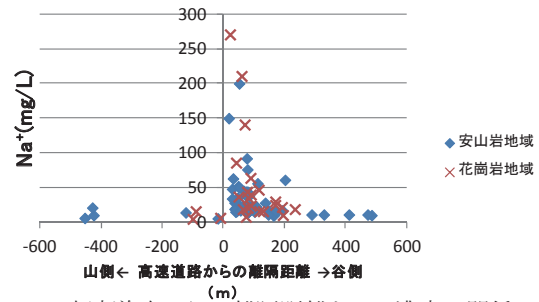
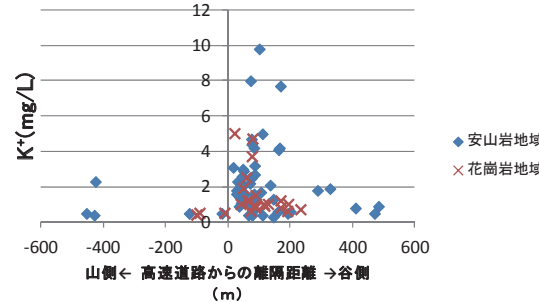


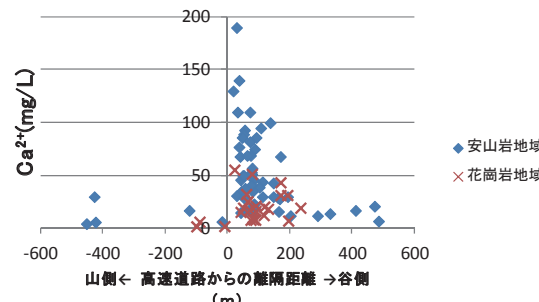
図-9 高速道路からの離隔距離とCl⁻濃度の関係



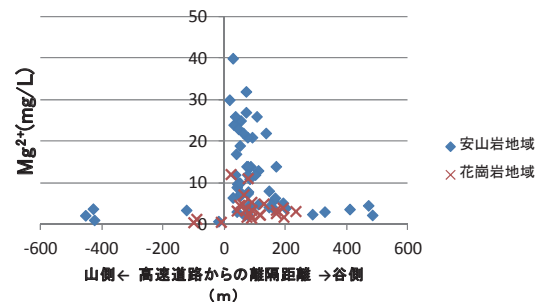
(a) 高速道路からの離隔距離とNa⁺濃度の関係



(b) 高速道路からの離隔距離とK⁺濃度の関係



(c) 高速道路からの離隔距離とCa²⁺濃度の関係



(d) 高速道路からの離隔距離とMg²⁺濃度の関係

図-10 高速道路からの離隔距離と陽イオン濃度の関係

-9)。また、同様な傾向が安山岩地域では3種(Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺)の陽イオンに、花崗岩地域では4種(Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺)の陽イオンにも認められる(図-10)。

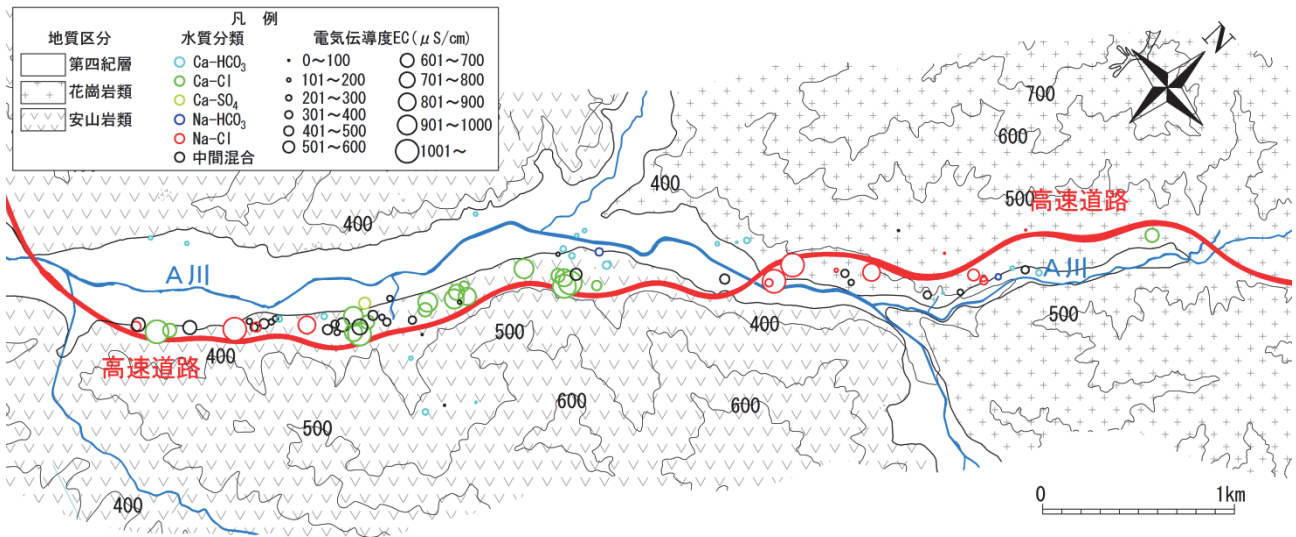


図-11 調査位置とその水質および電気伝導度

図-11に平面分布状況として、調査位置とその水質分類および電気伝導度を示す。図より、高速道路沿いの谷側の調査箇所は安山岩地域ではCa-Cl型、花崗岩地域ではNa-Cl型が多く、それらの電気伝導度も極めて高い値を示している。一方、高速道路よりも山側および離隔距離の大きな水源では、Ca-HCO₃型の水質が多く電気伝導度も低くなる傾向が認められる。

調査地域では、冬期に雪氷対策として約50t/kmの凍結防止剤を散布していることを考慮すると、高速道路近傍の水質は凍結防止剤を含んだ高速道路路面排水の影響を受けていることが推定される。

花崗岩地域は、Cl濃度の高い水質はNa-Cl型がほとんどであり、凍結防止剤の主要成分(NaCl)と概ね一致する。一方、安山岩地域では、Cl濃度の高い水質はCa-Cl型が多く、凍結防止剤の主要成分と一致しない。この現象については高濃度の凍結防止剤を含んだ路面排水が地中に浸透したときに、安山岩中の造岩鉱物および粘土鉱物に付着しているCa²⁺やMg²⁺が凍結防止剤のNa⁺とイオン交換を行い、地下水中に溶出したものと考えられる。陽イオンの吸着力は2価のCa²⁺がNa⁺より強いので、通常では水中のCa²⁺がNa型粘土に吸着してCa型粘土になりNa⁺を水中に放出するパターンが多い。ただし、水中のNa⁺が高濃度の場合は逆の交換が発生する。このような現象は、塩水(海水)の浸水した土壌調査で報告されており¹¹⁾、塩水を用いた実験結果のデータからも読み取れる¹²⁾。

なお、佐々木ら¹³⁾は凍結防止剤に含まれるNaは安山岩で約67.3%、花崗岩では約20.3%がCaとイオン交換することを推定している。花崗岩ではイオン交換の量が少ないため、Na-Cl型が多いと考えられる。

(2)その他の成分について

他の水質成分で高速道路からの離隔距離との関係において注目されるものとしては、花崗岩地域でのSiO₂とHCO₃⁻が離隔距離との間で正の相関があげられる(図-12、図-13)。花崗岩地域の水質で認められるpHとSiO₂および

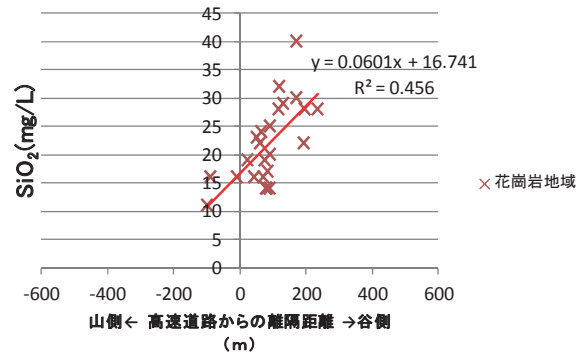


図-12 高速道路からの離隔距離とSiO₂濃度の関係

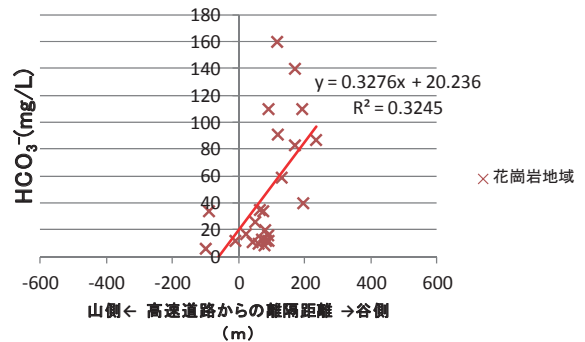


図-13 高速道路からの離隔距離とHCO₃⁻濃度の関係

HCO₃⁻の関係は、母材風化に伴うSiO₂の溶出とH⁺の消費およびHCO₃⁻の生成という現象を反映しているものと考えられる¹⁴⁾。しかし、高速道路からの離隔距離とSiO₂およびHCO₃⁻の関係についてその原因は不明である。

5. おわりに

本研究では中山間地域の供用30年以上の高速道路の沿線を対象として、その周辺に分布する井戸・湧水・沢水について、水質調査を行い、地質別の水質特性とその成因を

検討した。本研究で得られた検討結果をまとめると以下のようになる。

- (1) 調査地の水質は安山岩地域、花崗岩地域とも電気伝導度が日本の一般的な地下水（昭和と平成の名水百選）の値と比較して極めて大きく、また季節変化に伴う顕著な変動も認められない。すなわちイオン成分に富むことが明らかとなった。
- (2) 安山岩地域は Ca-Cl 型、花崗岩地域は Na-Cl 型が占める割合が多いことも特徴の一つである。
- (3) 安山岩地域と花崗岩地域の水質を比較すると、安山岩地域水質のほうが Ca^{2+} と Mg^{2+} に富んでいる。造岩鉱物や粘土鉱物の化学組成より、安山岩地域は多量の Ca^{2+} や Mg^{2+} を溶出することのできるポテンシャルを持っていると考えられる。
- (4) イオン状シリカの濃度は、安山岩地域のほうが花崗岩地域よりもやや高い傾向を示すが、値に大きな違いは認められなかった。地質のケイ酸溶出ポテンシャル指数はともに 3 である。
- (5) Cl⁻濃度は、地質に関係なく高速道路より谷側ではその近傍で高い値を示す地点があり、ばらつきは認められるものの高速道路からの離隔が大きくなるに従って減少する傾向が認められる。また、陽イオンも同様な傾向を示す。
- (6) Cl⁻濃度が高い要因としては、冬期に凍結防止剤を含む高速道路路面排水が地中に浸透して地下水に影響を与えていると考えられる。
- (7) 花崗岩地域では、高速道路の離隔距離と HCO_3^- 間および SiO_2 間に正の相関傾向が認められる。

謝辞

本研究は高速道路沿線地域の環境対策の一環として行ったものであり、共同研究者の各位に有益な助言をいただいた。つぎに、成果をまとめるにあたっては岡山大学大学院環境生命科学研究科 西垣誠教授、岡山大学大学院環境生命科学研究科 赤江剛夫教授にご指導していただいた。資料提供や現地調査にあたっては西日本高速道路株式会社及び西日本高速道路エンジニアリング中国株式会社の担当社員の皆様に大変お世話になった。ここに、記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 笠間太郎, 鶴巻道二: 六甲山地のトンネル湧水状況とその水質, 応用地質, 第 12 巻, 第 1 号, pp.16-28,1972.
- 2) 黒田和男, 坂巻幸雄, 望月常一, 小尾五明: 断層帯を伴う花崗岩に付随する地下水・湧水の水質について, 応答地質, 第 22 巻, 第 1 号, pp.118-131,1981.
- 3) 日下譲, 辻治雄, 藤本雄三, 石田桂子, 福井要: 六甲山地周辺域の浅層地下水の水質, 陸水雑, 42,2,pp.65-71,1981.
- 4) 吉岡龍馬: 六甲山系の地下水の水質特性について, 日本地下水学会会誌, 第 26 巻, 第 4 号, pp.147-166,1984.
- 5) 気象庁: 過去の気象データ検索, <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etm/index.php> (参照: 2014/05/25) .
- 6) 渡部直喜, 鷺津史也, 大木靖衛, 佐藤修: 新潟県松之山地すべり地域の地下水の水質について, 地すべり, 第 32 巻, 第 3 号, pp.32-40,1995.
- 7) 藪崎志穂, 島野安雄: 平成の名水百選の水質特性, 地下水学会誌, 第 51 巻, 第 2 号, pp.127-139,2009.
- 8) 古米弘明, 山本晃一, 佐藤和明: ケイ酸その由来と行方, 技報堂出版, pp.27-36,2012.
- 9) 古米弘明, 山本晃一, 佐藤和明: ケイ酸その由来と行方, 技報堂出版, pp.68,2012.
- 10) 古米弘明, 山本晃一, 佐藤和明: ケイ酸その由来と行方, 技報堂出版, pp.115-126,2012.
- 11) 田崎和江, 田村正純, 馬場奈緒子: 能登半島地震による水田の塩害被害, 地球科学, 61 巻, pp.389-400,2007.
- 12) 吉田稔, 中館興一: 海水と接触した土壌の置換性塩基, 日本土壌肥科学雑誌, 第 34 巻, 第 12 号, pp.457-460,1963.
- 13) 佐々木薫, 秦二郎, 諸泉利嗣: 塩化物イオンの地下浸透による地下水水質のイオン交換, 第 51 回地盤工学研究発表会 DVD-ROM 版講演集, pp.309-310.2016.
- 14) 大類清和, 生原喜久雄, 相場芳憲: 森林集水域での土壌から溪流への水質変化, 日林誌, 75(5), pp.389-397,1993.

(2016年6月6日 受付)