

10) 熊本市東部及び上益城地域の湧水における重金属成分等の分布

永田 武史 藤本 貴大

はじめに

熊本地域では生活用水の大部分を地下水に依存しており、地下水の量的・質的な保全是県民の生活環境保全の観点から非常に重要である。しかしながら、近年、地下水位の低下、江津湖などの湧水の湧出量の減少及び硝酸性窒素濃度の上昇など熊本地域の地下水に関して量的及び質的な問題が取りざたされている。

熊本地域の特に水前寺・江津湖周辺の地下水については、白川中流域における河川水の涵養による寄与が大きいと考えられており^{1,2)}、地下水保全の取り組みとして白川中流域における涵養事業などが行われている²⁾。今後、地下水の量的・質的な保全のために有効な対策を取るためには、地域の地下水の流動を把握することが重要である。

筆者らは、熊本地域の湧水の成分を分析し、白川をはじめとした河川水や、他の地域の地下水と比較することによって、湧水に含まれる地下水の起源を探ることにつながると考え、江津湖周辺の湧水及び嘉島町の下六嘉湧水群を中心とした、熊本市東部及び上益城地域における湧水の調査を行い、イオン成分及び重金属成分の分析を行ったのでその結果について報告する。

また、今回調査した湧水の調査結果と白川河川水及び白川中流域地下水の調査データを用いて水質の比較

を行ったので併せて報告する。

調査方法

図1に調査地点及び名称を示す。本調査は平成24年11月26日及び平成25年5月29日の2回に分けて18地点の湧水を採水した(ただし、調査地点No.4は掘削井である)。内訳は益城町3地点、御船町1地点、嘉島町6地点、熊本市8地点である。調査を行った湧水について、地域により4つのグループに分類した(グループa: 益城町及び御船町, No. 1~3, No. 11, グループb: 嘉島町, No. 5~10, グループc: 熊本市江津湖周辺, No. 4, No. 14~18, グループd: 熊本市託麻地域, No. 12, No. 13)。

また、白川中流域に位置する七障子橋(大津町)の河川水を併せて採水・分析した。

調査項目及び分析方法は、pH、EC(導電率)は電極法、陽イオン(Na⁺, NH₄⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺)、陰イオン(F⁻, Cl⁻, NO₂⁻, Br⁻, NO₃⁻, PO₄³⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻)のHCO₃⁻を除くイオン成分はイオンクロマトグラフ法、HCO₃⁻は硫酸滴定法、SiO₂は吸光光度法(モリブデン黄法)により求めた。重金属成分(Cd, Pb等21種類)については、誘導結合プラズマ質量分析(ICP-MS)法で分析を行った。

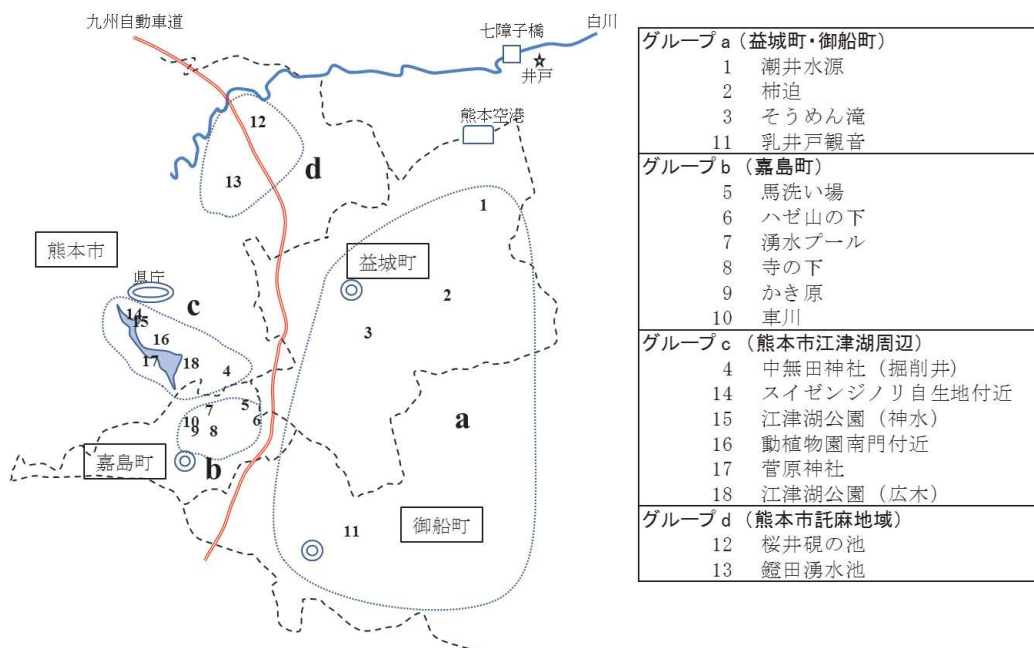


図1 調査地点

さらに比較のために、大津町岩坂地区に存在する井戸水の調査データを使用した。井戸は七障子橋近傍の白川左岸から南に 450m 離れた水田地帯に位置し、海拔 90.2m、深さ 65m、地下水位の海拔が約 27~37m の範囲³⁾である。井戸の位置は図 1 に併せて示す。本研究によって、平成 18 年 10 月から平成 19 年 10 月にかけて 15 回採水・分析が実施されている。本稿では湧水・河川水との比較のためにこの期間の調査結果の平均値を用いた。

結果及び考察

1 湧水水質の概要（トリリニアダイアグラム）

表 1 に、今回調査した地点の水質の分析結果及び白川中流域井戸の調査結果の平均値を示す。

湧水について、イオン成分の分析結果に基づき、トリリニアダイアグラムで表現したものを図 2 に示す。トリリニアダイアグラムが示すように、グループ a の湧水はアルカリ土類炭酸塩型の性質を示した。また、他のグループについては陽イオンについてはアルカリ土類の比率が比較的高く、陰イオンについては硫酸イオンと重炭酸イオンの比率がほぼ同程度である地点が多数であった。

2 グループ間における成分濃度の差異について

今回の調査の結果、湧水のイオン成分及び重金属成分の中にグループ間で差異が現れたものがあつた。F⁻、SO₄²⁻、Li、B、As、Se 及び硝酸性窒素 (NO₃-N) の各グループの平均値を表 2 に示す。本稿では、特徴的な差異がみられたイオン成分 F⁻、SO₄²⁻及び重金属成分

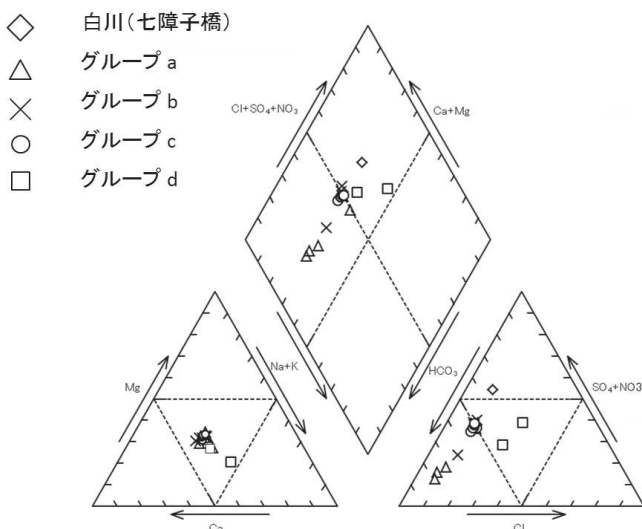


図 2 トリリニアダイアグラム

表 2 各グループにおける成分の平均値

	F ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	Li (μg/L)	B (μg/L)	As (μg/L)	Se (μg/L)	NO ₃ -N (mg/L)
グループ a	0.07	6.5	2.1	18.5	0.97	0.08	1.8
グループ b	0.21	26.1	5.7	44.9	1.06	0.41	2.8
グループ c	0.20	25.8	4.9	41.8	0.84	0.45	3.3
グループ d	0.05	13.2	1.5	8.6	0.15	0.11	2.4

Li、B、As、Se に着目し、それら成分間及び NO₃-N との関係について検討した。

今回調査した湧水 18 地点について、主要成分間の相関係数を表 3 に示す。F⁻、SO₄²⁻、Li、B、As、Se の成分間で高い相関が得られ、例えば F⁻と Se の相関係数は 0.96、F⁻と B との相関は 0.95、B と Se との相関は 0.91 であつた。また、表 2 に示すようにグループ b 及び c では、他のグループと比較して、これらの成分の濃度が高い傾向がみられた。例として B と Se との関係を図 3 に示す。さらに、白川河川水（七障子橋）及び井戸についても図 3 に重ねて示す（図 4 及び図 5 についても同様。）。

グループ間の違いが生じる要因は湧水の帯水層の違いが反映されていると考えられる。グループ a 及び d では海拔 10~120m の範囲に位置するのに対してグループ b 及び c の湧水は海拔 4~7m の範囲に位置する。湧出の形態からグループ a 及び d に属する湧水の多くは不圧地下水で、主に第一帯水層からの湧出であると考えられる。一方、江津湖周辺の湧水については、被圧地下水で、主に第二帯水層からの湧出であると考えられており^{1,4)}、グループ b 及び c の湧水は、それに該当すると考えられる。

硝酸性窒素 (NO₃-N) についてもグループ b 及び c が a 及び d と比較して高い傾向が得られた。しかし、湧水 18 地点において、NO₃-N と上記の成分との相関は高くなく、例えば NO₃-N に対する F⁻との相関係数

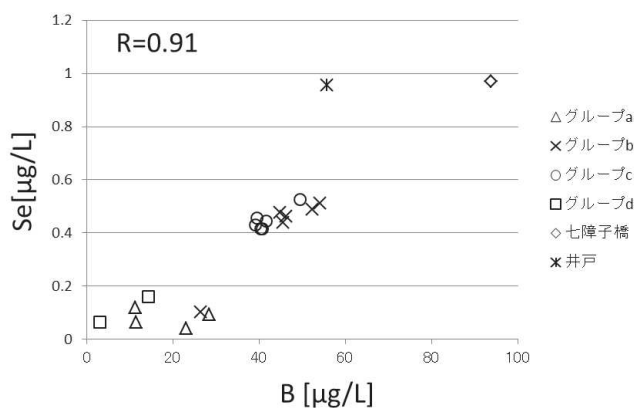


図 3 B と Se の関係

※ 図中の R は湧水 18 地点（七障子橋と井戸のデータは含まない）についての相関係数。

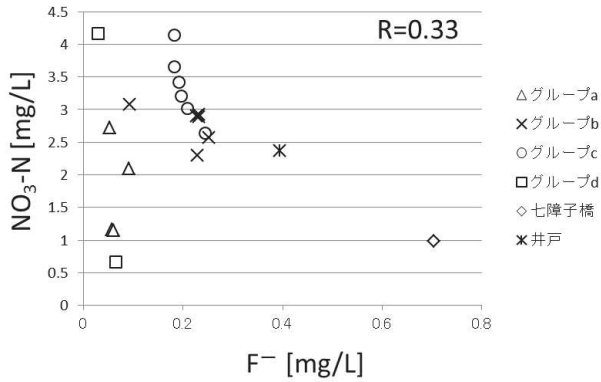


図4 NO₃-N と F⁻ の関係

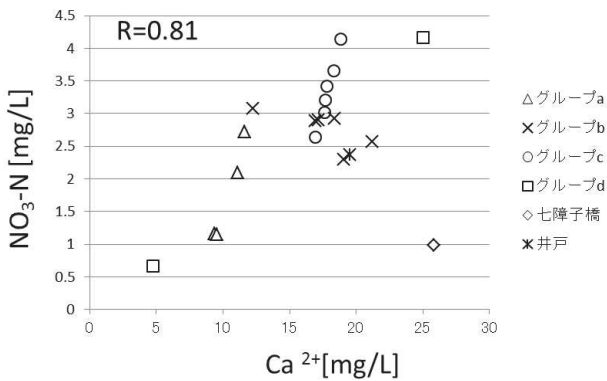


図5 NO₃-N と Ca²⁺ の関係

は 0.33, B, Se についてはそれぞれ 0.41, 0.50 であった。例として NO₃-N と F⁻ との関係を図 4 に示す。一方、NO₃-N に対して K⁺, Ca²⁺, Sr との間には比較的高い相関がみられた。K⁺, Ca²⁺, Sr の NO₃-N に対する相関係数はそれぞれ 0.84, 0.81, 0.70 であった。例として NO₃-N と Ca²⁺ との関係を図 5 に示す。

今回の調査で濃度を測定した 35 項目 (NO₃⁻ と NO₃-N は同一とみなす。) のうち、不検出地点が多く、変動係数が大きい項目 (NO₂⁻ など) や、配管等の成分の混入が疑われた項目 (Fe, Zn など) を除いた 27 項目 (Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, F⁻, Cl⁻, Br⁻, NO₃⁻,

SO₄²⁻, HCO₃⁻, Li, B, Al, V, Cr, As, Se, Rb, Sr, Mo, Cd, Sb, Cs, Ba, Pb, U, SiO₂) を使用し主成分分析⁵⁾を行い、第 3 主成分までを使用したウォード法によるクラスター分析を行った。その結果得られたデンドログラムを図 6 に示す。クラスター分析の結果においてもグループ b, c については水質が類似している結果となった。

3 白川中流域における河川水、井戸水との比較

嘉島町及び熊本市江津湖周辺の湧水、白川中流域の河川水及びの井戸水の間で水質の比較を行った。グループ b に属する No.7, グループ c に属する No.16, 七障子橋及び井戸について F⁻, SO₄²⁻, Ca²⁺, B, As, Se の濃度をレーダーチャートに重ねたものを図 7 に示す。上記物質のうち、As 以外の成分については湧水 (No. 7 及び No. 16), 井戸, 七障子橋の順に濃度が高くなる傾向が示された。このことから、グループ b, c の湧水中のこれらの成分の起源の一つとして、白川中流域の地下水の寄与の可能性が示唆された。

また、硝酸性窒素については、グループ b, c の濃度の平均値が七障子橋, 井戸のいずれよりも高かった。グループ b, c の硝酸性窒素は F⁻, SO₄²⁻, B, Se 等の成分との相関は高くないこととあわせて考えれば、湧水における硝酸性窒素の起源は白川中流域ではなく、湧出に至るまでの表土などからの浸透による寄与が大きいと考えられる。

まとめ

熊本市東部及び上益城地域の 18 地点の湧水の調査を行った。その結果嘉島町 (グループ b), 江津湖周辺 (グループ c) の湧水については F⁻, SO₄²⁻, B, As, Se 等の成分が比較的高い濃度で検出された。グループ a, d 及びグループ b, c との間、これらの差異の原

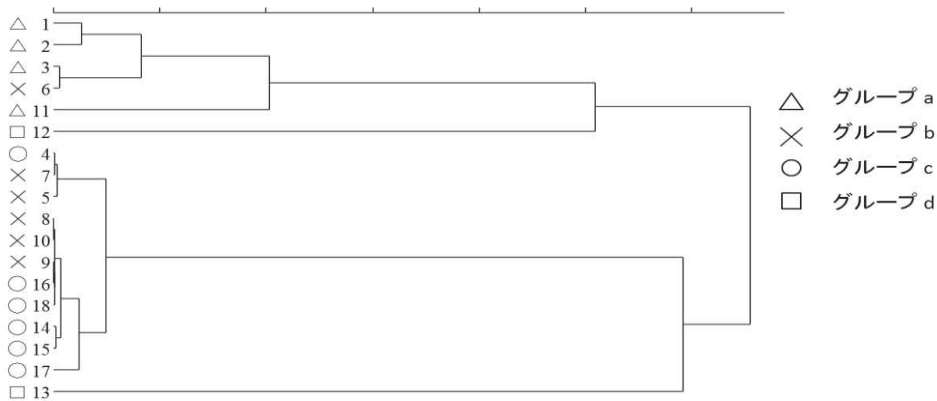


図6 クラスター分析結果 (デンドログラム)

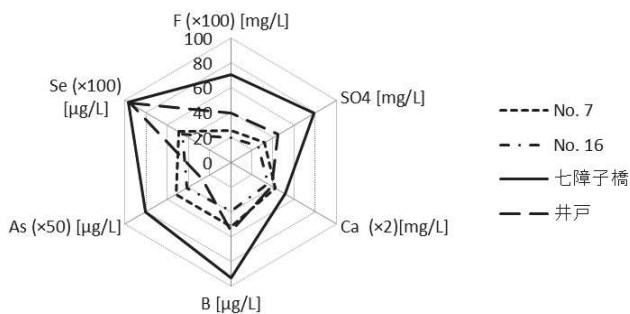


図7 湧水、河川水及び井戸の水質の比較

化学パターン認識と多変量解析—”, (1995), 共立出版.

因として、帯水層の違いであることが考えられる。

これらの湧水の水質と白川河川水、白川中流域の井戸の水質とを比較した結果、グループ b, c の湧水における溶存成分の起源については白川中流域における地下水の寄与がある可能性が示唆された。

また、硝酸性窒素についてもグループ b, c の湧水において比較的濃度が高かった。しかし、他成分との相関や、河川水、白川中流域の井戸水との水質の比較から、湧水における硝酸性窒素の起源は、湧出に至るまでの表土などからの浸透による寄与が大きいと考えられる。

今後、調査範囲を白川右岸等に拡大し、特に被圧地下水の湧出とされている八景水谷（熊本市）及び木柑子湧水群（菊池市）⁴⁾等の調査を行い、成分を比較することによって、今回調査した地域の湧水における河川水の寄与について考察を行う予定である。

謝辞

本稿における、トリリニアダイアグラム（図2）は濱田洋平氏作成の Excel マクロ “ppplot”，デンドログラム（図6）は青木繁伸氏作成の Excel マクロ “clustan” を使用し、作図しました。また、主成分分析の各種演算には GNU プロジェクトによる数値解析ソフトウェア “GNU Octave” を使用しました。各ソフトウェア作者には深く感謝いたします。

引用文献

- 1) 熊本県：熊本地域硝酸性窒素削減計画，(2005).
- 2) 熊本県，熊本市他 13 市町：熊本地域地下水総合保全管理計画，(2008).
- 3) 熊本県保健環境科学研究所水質科学部，同水質科学部地下水科学室：火山性河川水に由来する化学成分の地下水における挙動 研究成果報告書，(2009).
- 4) 島野安雄：文星紀要，12，A3-A36，(2000).
- 5) 宮下 芳勝，佐々木 慎一：“ケモメトリックス —

表1 湧水中の各成分の濃度

地点番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
地点名	潮井水源	柿迫	そうめん滝	中無田神社	馬洗い場	ハゼ山の下	湧水プール	寺の下	かき原	車川
調査日	H24.11.26									
水温(°C)	15.8	16.6	17.4	18.5	18.0	17.5	18.1	18.3	18.0	17.9
pH	7.9	7.8	7.8	7.4	7.3	7.5	7.3	7.3	7.2	7.1
EC(μ S/cm)	115	125	154	236	232	172	238	236	237	237
Na ⁺ (mg/L)	5.8	6.7	8.1	12.8	12.4	8.8	12.8	12.6	12.9	12.9
NH ₄ ⁺ (mg/L)	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
K ⁺ (mg/L)	2.8	3.3	4.5	4.7	4.7	4.7	4.7	4.8	4.8	4.9
Ca ²⁺ (mg/L)	9.3	9.6	11.1	16.9	19.1	12.2	21.2	16.9	18.4	17.1
Mg ²⁺ (mg/L)	4.0	5.5	5.8	9.2	9.1	6.5	9.2	9.0	9.0	8.8
F ⁻ (mg/L)	0.06	0.06	0.09	0.24	0.23	0.09	0.25	0.23	0.23	0.23
Cl ⁻ (mg/L)	3.0	3.7	5.3	9.0	8.4	6.8	9.0	9.0	9.0	9.0
NO ₂ ⁻ (mg/L)	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03
Br ⁻ (mg/L)	0.011	0.011	0.021	0.027	0.024	0.032	0.026	0.028	0.028	0.028
NO ₃ ⁻ (mg/L)	5.1	5.1	9.3	11.7	10.2	13.6	11.4	12.8	12.9	12.8
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	0.12	0.29	0.19	0.11	0.11	0.16	0.11	0.13	0.16	0.14
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	4.0	3.3	5.4	31.5	31.4	7.0	31.6	28.6	28.9	28.8
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	49.8	57.9	63.1	66.3	63.8	60.5	61.9	65.2	65.3	64.6
NO ₃ -N (mg/L)	1.2	1.2	2.1	2.6	2.3	3.1	2.6	2.9	2.9	2.9
Li (μ g/L)	1.7	1.2	3.9	6.3	7.9	4.3	7.0	5.4	4.9	4.6
B (μ g/L)	11.4	23.1	28.4	49.4	54.2	26.4	52.3	45.5	46.2	44.9
Al (μ g/L)	3.3	8.0	16.8	1.5	3.1	3.6	2.0	6.5	8.2	6.6
V (μ g/L)	4.0	7.0	7.1	5.5	6.1	5.6	5.5	5.4	5.4	5.2
Cr (μ g/L)	0.11	0.26	0.14	0.07	0.07	0.14	0.07	0.09	0.09	0.08
Mn (μ g/L)	0.04	0.24	0.09	0.00	0.43	0.09	0.00	0.17	0.10	0.17
Fe (μ g/L)	2.4	28.4	8.6	0.6	3.8	2.1	1.1	3.9	4.3	4.6
Ni (μ g/L)	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.03
Cu (μ g/L)	0.00	0.07	0.14	0.08	0.08	0.43	0.18	0.10	0.07	0.16
Zn (μ g/L)	0.76	2.00	0.53	0.69	0.63	0.57	0.63	1.18	0.33	0.44
As (μ g/L)	0.65	0.61	1.70	0.98	1.33	1.37	1.04	0.86	0.89	0.87
Se (μ g/L)	0.07	0.04	0.09	0.53	0.51	0.10	0.49	0.44	0.46	0.48
Rb (μ g/L)	11.7	11.1	15.6	18.2	17.8	18.5	18.7	17.9	17.1	15.5
Sr (μ g/L)	70.1	79.5	85.4	118.9	106.7	98.0	117.2	129.3	134.1	133.5
Mo (μ g/L)	0.13	0.17	0.29	0.25	0.23	0.22	0.27	0.25	0.24	0.21
Cd (μ g/L)	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Sb (μ g/L)	0.03	0.04	0.08	0.04	0.06	0.07	0.05	0.05	0.05	0.05
Cs (μ g/L)	0.44	0.07	0.46	0.56	0.71	0.54	0.66	0.50	0.44	0.37
Ba (μ g/L)	2.6	6.4	6.4	7.7	5.3	7.7	5.9	6.0	5.6	5.4
Pb (μ g/L)	1.26	0.10	0.01	0.02	0.02	0.05	0.02	0.07	0.03	0.03
U (μ g/L)	0.08	0.08	0.13	0.11	0.11	0.13	0.13	0.14	0.15	0.17
SiO ₂ (mg/L)	40.7	51.2	51.0	45.8	46.9	51.5	46.0	46.7	47.2	47.6

表1 湧水中の各成分の濃度 (続き)

地点番号	11	12	13	14	15	16	17	18	七障子橋	井戸*
地点名	乳井戸観音	桜井硯の池	鍛田湧水池	ノリ自生地	江津湖(神水)	動植物園南門	菅原神社	江津湖(広木)		
調査日	H25.5.29								H24.11.26	
水温(°C)	17.6	17.3	20.0	18.9	19.7	18.8	19.1	19.1	14.3	
pH	6.7	6.0	6.6	7.0	7.1	7.1	7.1	7.1	8.1	
EC(μ S/cm)	166	80	335	246	243	238	239	239	333	272
Na ⁺ (mg/L)	9.5	7.2	21.5	13.1	12.4	12.4	12.3	12.5	18.5	12.9
NH ₄ ⁺ (mg/L)	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
K ⁺ (mg/L)	5.5	0.6	7.1	4.9	4.8	4.7	4.8	4.7	5.7	4.9
Ca ²⁺ (mg/L)	11.6	4.7	25.0	18.8	18.3	17.7	17.8	17.6	25.8	19.5
Mg ²⁺ (mg/L)	5.1	1.8	10.5	8.7	9.0	9.1	9.0	9.2	11.7	9.7
F ⁻ (mg/L)	0.05	0.07	0.03	0.18	0.18	0.20	0.19	0.21	0.70	0.39
Cl ⁻ (mg/L)	6.2	5.2	24.8	9.9	9.2	8.9	9.0	8.8	12.8	8.6
NO ₂ ⁻ (mg/L)	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03	< 0.03
Br ⁻ (mg/L)	0.014	0.023	0.102	0.045	0.041	0.038	0.038	0.035	0.019	
NO ₃ ⁻ (mg/L)	12.1	2.9	18.4	18.4	16.2	14.2	15.2	13.3	4.4	10.5
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	0.16	0.09	0.07	0.16	0.16	0.16	0.16	0.15	0.10	
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	13.3	6.5	19.8	21.5	23.3	26.0	24.8	27.8	79.2	44.7
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	40.1	8.6	65.7	62.4	69.8	64.9	65.3	64.3	66.3	53.3
NO ₃ -N (mg/L)	2.7	0.7	4.2	4.1	3.7	3.2	3.4	3.0	1.0	2.4
Li (μ g/L)	1.5	2.4	0.5	4.6	4.7	4.5	4.5	4.9	11.5	3.8
B (μ g/L)	11.2	3.0	14.2	40.4	40.7	39.5	39.1	41.6	93.8	55.7
Al (μ g/L)	219.2	246.2	46.7	5.1	2.7	2.1	1.6	6.2	215.3	21.1
V (μ g/L)	4.1	0.6	1.2	5.5	6.0	5.7	5.7	5.8	8.5	4.8
Cr (μ g/L)	0.41	0.93	0.12	0.09	0.09	0.07	0.08	0.07	0.08	0.00
Mn (μ g/L)	4.90	4.20	5.52	0.11	0.04	0.01	0.03	0.18	116.5	4.18
Fe (μ g/L)	84.1	144.4	53.3	3.5	2.0	1.5	1.7	4.8	802.6	41.0
Ni (μ g/L)	0.41	0.52	0.15	0.09	0.03	0.01	0.47	0.03	0.25	1.15
Cu (μ g/L)	0.61	2.28	0.39	0.16	0.63	0.17	0.33	0.16	1.01	0.47
Zn (μ g/L)	2.86	1.78	1.68	0.51	0.62	0.18	2.24	0.11	4.56	8.84
As (μ g/L)	0.90	0.18	0.12	0.76	0.82	0.83	0.79	0.86	1.61	0.53
Se (μ g/L)	0.12	0.06	0.16	0.42	0.42	0.46	0.43	0.45	0.97	0.96
Rb (μ g/L)	9.5	0.9	5.8	16.7	17.6	17.1	16.5	17.1	18.0	
Sr (μ g/L)	138.9	61.6	340.1	143.3	143.6	129.1	132.9	126.4	136.1	120.2
Mo (μ g/L)	0.25	0.01	0.09	0.26	0.29	0.27	0.27	0.28	0.55	0.77
Cd (μ g/L)	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
Sb (μ g/L)	0.08	0.01	0.03	0.04	0.05	0.04	0.05	0.04	0.04	0.00
Cs (μ g/L)	0.02	0.50	0.01	0.41	0.49	0.49	0.04	0.51	0.48	
Ba (μ g/L)	15.9	3.9	17.5	7.0	7.1	6.4	7.5	6.2	9.1	
Pb (μ g/L)	0.81	0.19	0.05	0.03	0.01	0.03	0.04	0.07	0.18	0.09
U (μ g/L)	0.14	0.00	0.09	0.13	0.17	0.13	0.14	0.12	0.05	
SiO ₂ (mg/L)	59.0	28.1	29.7	45.4	46.5	46.1	46.4	45.9	47.4	41.3

* 平成18年10月～平成19年10月にかけて調査したものの平均値
(イオン成分 n=15、重金属成分 n=12。不検出のあった調査については0としている。)

表3 主要成分間の相関係数（湧水18地点。七障子橋及び井戸は含まない。）

斜字は本文中で言及しているものを示す。

	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Li	B	As	Se	Sr	NO ₃ -N
Na ⁺	0.76	0.91	0.83	0.32	0.95	0.67	0.51	0.17	0.36	-0.26	0.52	0.90	0.78
K ⁺		0.80	0.78	0.20	0.69	0.48	0.74	0.12	0.37	0.20	0.36	0.76	0.83
Ca ²⁺			0.95	0.54	0.77	0.79	0.73	0.42	0.63	-0.01	0.70	0.73	0.81
Mg ²⁺				0.67	0.65	0.84	0.84	0.52	0.77	0.12	0.79	0.59	0.80
F ⁻					0.01	0.89	0.52	0.89	0.95	0.33	0.96	-0.11	0.33
Cl ⁻						0.40	0.36	-0.09	0.08	-0.37	0.22	0.97	0.69
SO ₄ ²⁻							0.53	0.73	0.84	0.09	0.96	0.31	0.54
HCO ₃ ⁻								0.43	0.71	0.41	0.57	0.35	0.65
Li									0.89	0.58	0.82	-0.25	0.22
B										0.47	0.91	0.72	0.41
As											0.19	-0.41	0.04
Se												0.12	0.50
Sr													0.70