

## 7) 熊本県南部地域の地下水における金属成分と地質の関係

渡邊和博\*1 前田敏孝\*2 内田大智  
石原宏明 小林亜由美\*3 本田智宣

### 要 旨

熊本県南部地域（八代地域、芦北地域及び球磨地域）の地下水について金属成分の概況調査を実施するとともに、地下水の金属成分と地質の関係性を考察した。その結果、安山岩の影響が考えられる地下水ではバナジウム及びルビジウム濃度が高くなり、流紋岩の影響が考えられる地下水ではバナジウム濃度が高くないものの、ルビジウム濃度がさらに高くなる傾向となった。これは他の地域で報告されている内容と合致する結果となった。

**キーワード：地下水，地質，火成岩，バナジウム，ルビジウム**

#### はじめに

熊本県では、生活用水の多くを地下水に依存しており、地下水の量的・質的保全是県民の生活環境保全の面で非常に重要である。近年、県内における地下水の硝酸性窒素汚染が問題となっているが、一般的な地下水汚染としては、ほかにも金属や揮発性有機化合物によるものが知られている。

金属による地下水汚染の原因は、事業所排水等が地下浸透することで引き起こされる人為由来のもの、土壌等に高濃度に重金属が含まれていることを要因とする自然由来のもの、そしてこれらを複合したものが考えられる。なお、何を原因としてこれらの汚染が引き起こされたかを判別できるようにするためには、県内地下水におけるバックグラウンドレベルでの重金属成分の把握が望ましい。これまで木庭ら<sup>1)</sup>が県北地域における地下水中の金属成分の調査を実施したことはあるものの、県南地域で実施した例はない。

そこで、今回、筆者らは八代地域、芦北地域及び球磨地域にかけての熊本県南部地域（以下、県南地域という）を対象地域とした金属成分の概況調査を実施した。また、河川の金属成分と地質との関係性に関する先行研究等<sup>2-4)</sup>を参考に、地下水の金属成分と地質との関係性について考察したので報告する。

#### 調査地域

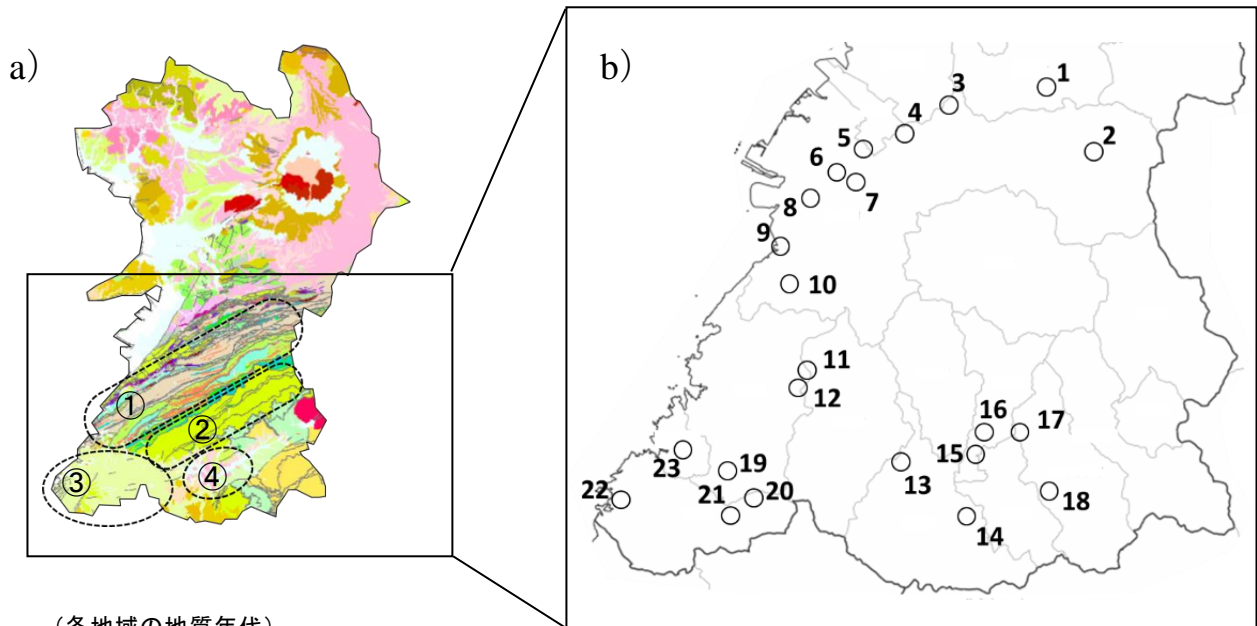
図1に示すとおり、県南地域は、多種多様な地質体が分布している。これまでの研究<sup>5-7)</sup>から地質に着目すると、八代地域は主に秩父帯と呼ばれるジュラ紀～前期白亜紀の付加体からなり、その南側では四十帯と呼ばれる白亜紀～古第三紀の付加体からなっている。また、芦北地域は後期中新世以降の火山活動によって形成された肥薩火山岩類、球磨地域は人吉盆地を中心に中期更新世以降の入戸火砕流堆積物や阿蘇火砕流堆積物からなるとされている。このため、県南地域になるにつれて、地質の年代は新しい時期のものとなる。

今回、県南地域の調査にあたり、熊本県内各地の地下水情報等が書籍としてまとめられた「水は伝える熊本の湧泉」<sup>8)</sup>や熊本県名水百選<sup>9)</sup>を参考とし、地質との関係性を考慮したうえで八代地域10地点（七郎次水源は下益城郡だが、八代地域に含む）、球磨地域8地点、芦北地域5地点の全23地点を調査地点として選定した。図1に調査地点を示すが、21地点は湧水であり、2地点は動力により汲み上げられた地下水となっている。

#### 調査内容

平成29年4月から平成30年3月まで、全23地点について、概ね春、夏、秋、冬となる時期に計4回調査

\*1 現病院局診療部 \*2 現環境生活部環境局環境保全課 \*3 現健康福祉部健康局業務衛生課



(各地域の地質年代)

八代地域：①ジュラ紀～前期白亜紀（秩父帯）

球磨地域：②白亜紀～古第三紀（四万十帯）、③後期中新世以降

芦北地域：④中期更新世以降

・八代地域(10地点)

地点番号	地点名	住所
1	七郎次水源	下益城郡美里町早楠
2	冷水(ひやみず)	八代市泉町葉木
3	古屋敷水源	八代市泉町下岳
4	清水堂湧水	八代市東陽町南
5	如見水源	八代市岡町谷川
6	妙見中宮	八代市妙見町
7	子安観音(※)	八代市妙見町
8	高田水源	八代市豊原下町
9	日奈久温泉神社(※)	八代市日奈久上西町
10	さくらの雫	八代市坂本町百済来

※は湧水ではなく、動力により汲み上げられた地下水である。

・芦北地域(8地点)

地点番号	地点名	住所
11	岩戸水源	球磨郡球磨村神瀬
12	薮地区水源地	球磨郡球磨村薮
13	石坂井川	人吉市中神町
14	茂賀野水源	人吉市上漆田町
15	浜宮神社の湧水	球磨郡相良村柳瀬
16	池の王神社の湧水	球磨郡相良村深水
17	天子の水	球磨郡あさぎり町深田西
18	権現谷のラムネ水	球磨郡あさぎり町上西

・球磨地域(5地点)

地点番号	地点名	住所
19	地藏谷水源	葦北郡芦北町古石
20	寒川水源	水俣市久木野
21	地藏さんの水	水俣市越小場
22	冷水(ひやすじ)水源	水俣市袋
23	中尾水源	葦北郡津奈木町岩城

図1 調査地点の概略

a) 調査地域の地質及び全体図 b) 調査地域の拡大図

a) は産総研地質調査総合センターウェブサイト (<https://gbank.gs.jp/geonavi/geonavi.php>) のシームレス地質図基本版をもとに、筆者が加筆修正したもの。

を実施した。なお、調査の際は、採水前日及び当日の雨天を避けることとした。

現地にてポリ製の柄杓により試料をポリ瓶に採水した後、実験室に持ち帰り各種項目を測定した。調査項目は、pH、EC（導電率）、イオン成分（Na<sup>+</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、F<sup>-</sup>、Cl<sup>-</sup>、NO<sub>2</sub><sup>-</sup>、Br<sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>）及び金属成分（Li、B、Al等21項目）である。

pH及びECは電極法、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>は硫酸滴定法、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>を除くイオン成分はイオンクロマトグラフ法（以下、IC法という）、金属成分は誘導結合プラズマ質量分析法（以下、ICP-MS法という）で測定した。これらの測定方法は環境省ホームページの環境基準・法令等に記載された測定方法<sup>10)</sup>に基づいて実施しており、本所が独自に測定した項目についても、これらの測定方法に準じている。測定機器について、IC法ではDionex ICS-2100、ICP-MS法ではICP-MS Agilent7900を用いた。

## 結果及び考察

## 1 県南地域の概況

### 1-1. pH及びEC

調査した県南地域23地点の測定結果について、各項目の平均値を表1に示す。NO<sub>2</sub><sup>-</sup>及びBr<sup>-</sup>は全地点でNO<sub>2</sub><sup>-</sup>:0.1mg/L、Br<sup>-</sup>:0.1mg/L未満であったことから、表には記載していない。

pHについては概ね7.0前後を示しており、八代地域及び芦北地域では7.0を上回る場所が多く、球磨地域では7.0を下回る場所が多い傾向となった。

ECについては、全23地点のうち、7.子安観音の47.0μS/cmが最低であり、18.権現谷のラムネ水の862.5μS/cmが最高であった。ECが低い（すなわち、溶存成分が少ない）地点は涵養後の地中における水と岩石・土壌類との接触が少なく、流動時間が短いことが示唆される<sup>11)</sup>。7.子安観音及び21.地蔵さんの水はこうした地下水であることが考えられる。なお、藪崎らが環境省の平成の名水百選に選定された全国の湧水の水質を調べたところ、ECは16.7μS/cm～456.0μS/cmとなっており<sup>12)</sup>、18.権現谷のラムネ水は、この範囲を大きく超えていた。

表1 調査地点ごとの水質測定結果（pH、EC、イオン成分）

地点番号	地点名	pH		EC	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
		最大値	最小値											
八代地域	1 七郎次水源	7.6	7.9	76.6	2.9	<0.1	0.2	1.3	9.4	<0.1	2.1	2.1	2.1	40.6
	2 冷水	7.8	8.0	114.9	2.4	<0.1	0.1	0.5	19.2	<0.1	2.2	3.8	2.4	61.2
	3 古屋敷水源	7.3	7.9	175.3	6.2	<0.1	0.7	1.9	25.9	<0.1	2.4	2.4	7.9	89.4
	4 清水堂湧水	7.8	8.1	160.2	4.1	<0.1	0.5	2.4	23.6	<0.1	2.9	3.4	6.6	83.7
	5 如見水源	7.8	8.0	229.8	7.0	<0.1	0.6	5.7	30.4	0.1	5.6	4.2	13.4	111.8
	6 妙見中宮	6.3	7.3	173.3	6.9	<0.1	0.6	4.8	18.6	<0.1	3.2	2.8	20.7	53.7
	7 子安観音	7.2	7.6	47.0	4.2	<0.1	0.5	0.6	2.3	<0.1	2.8	1.0	5.7	15.8
	8 高田水源	6.9	7.2	112.3	4.9	<0.1	1.2	1.8	12.4	<0.1	3.4	3.9	6.9	40.8
	9 日奈久神社	6.9	7.4	76.4	5.7	<0.1	0.5	1.9	4.8	<0.1	4.4	2.2	7.1	27.3
	10 さくらの雫	7.6	8.1	157.3	3.9	<0.1	0.1	9.8	12.7	<0.1	3.2	1.4	7.2	90.3
球磨地域	11 岩戸水源	7.7	8.0	191.4	2.6	<0.1	0.3	1.0	35.1	<0.1	2.7	3.1	2.9	109.2
	12 薮地区水源地	7.8	8.1	162.3	3.2	<0.1	0.3	1.7	25.8	<0.1	4.0	1.8	3.8	85.3
	13 石坂井川	6.3	7.3	103.7	4.9	<0.1	2.7	1.8	8.3	<0.1	3.0	15.1	11.4	16.3
	14 茂賀野水源	7.2	7.6	101.0	4.2	<0.1	1.4	3.3	8.7	<0.1	3.2	6.3	1.1	45.0
	15 浜宮神社の湧水	6.3	6.4	201.2	9.9	<0.1	8.9	3.9	17.3	<0.1	5.3	11.8	14.3	39.6
	16 池の王神社の湧水	6.5	6.9	121.5	7.5	<0.1	4.0	2.4	8.8	<0.1	5.7	17.2	1.7	28.7
	17 天子の水	6.5	6.6	99.2	6.8	<0.1	5.0	1.7	6.1	<0.1	3.0	8.1	1.6	25.5
	18 権現谷のラムネ水	5.9	6.0	862.5	25.0	0.4	1.6	18.4	133.4	0.1	1.6	0.1	2.2	180.2
芦北地域	19 地蔵谷水源	7.7	8.0	93.2	5.4	<0.1	1.8	2.7	7.7	<0.1	3.5	0.8	1.7	52.8
	20 寒川水源	7.8	8.0	77.4	4.6	<0.1	1.8	1.8	6.2	<0.1	3.3	0.7	2.9	40.2
	21 地蔵さんの水	6.8	6.9	56.1	4.0	<0.1	1.3	1.4	3.4	<0.1	2.9	0.5	1.1	23.7
	22 冷水水源	7.1	7.5	113.8	6.2	<0.1	1.7	3.8	9.1	<0.1	5.0	3.8	1.8	54.0
	23 中尾水源	7.8	8.1	113.9	6.2	<0.1	1.7	3.1	8.0	<0.1	4.0	0.7	4.4	61.6

\* ECの単位はμS/cm、イオン成分の単位はmg/Lである。

## 1-2. イオン成分

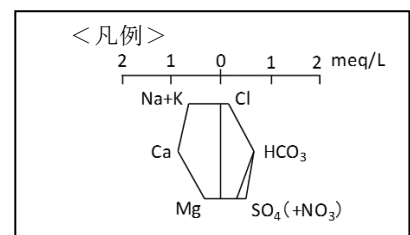
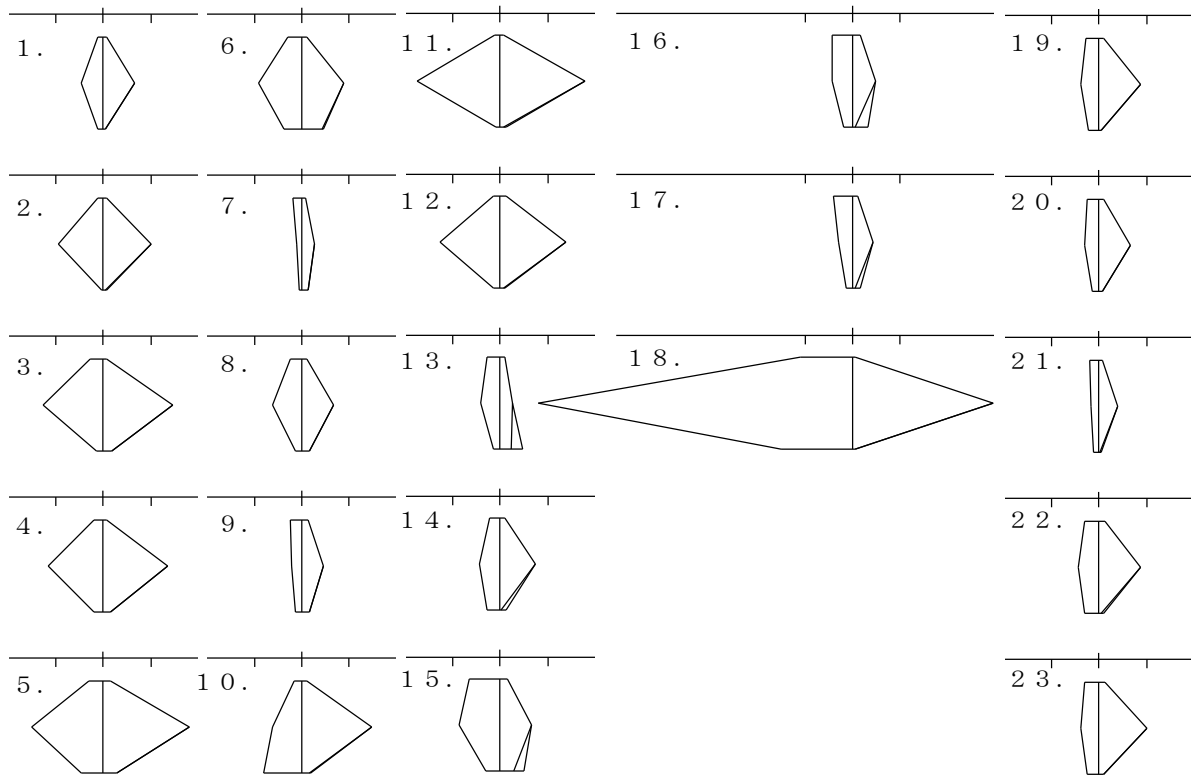
表1の測定結果から作成したヘキサダイアグラムを図2に、トリリニアダイアグラムを図3に示す。

ヘキサダイアグラムでは、ほとんどの地点がCa-HCO<sub>3</sub>型を示した。より極端なCa-HCO<sub>3</sub>型を示した地下水として、球磨地域の11.岩戸水源及び12.葎地区水源があるが、この周辺には球泉洞や神瀬石灰洞窟があり、石灰岩が水の侵食を受けて形成される鍾乳洞が存在する。そのため、一帯に石灰岩質の地質が分布することが明らかであり、地下水の水質形成に地質の影響が反映されたものと考えられた。球磨川水系の河川水質を分析した植木<sup>2)</sup>も流域地質の影響が河川水質のCa<sup>2+</sup>やHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>の濃度に反映されるとしており、地質が水質形成に影響を与えるとする考えが支持される。

トリリニアダイアグラムについては、大部分の地点は通常の地下水が多く分類されるアルカリ土類炭酸塩型を示した。一方、7.子安観音はアルカリ炭酸塩型（滯

留時間の長い深層地下水でよく見られる水質組成)、13.石坂井川はアルカリ土類非炭酸塩型（熱水や化石水が含まれている地下水）を示した。一般的に地下水が深層の帯水層にあり、地下での滞留時間が長くなると、地下水質がアルカリ土類炭酸塩型からアルカリ炭酸塩型に移行すると考えられている<sup>13)</sup>。しかし、1-1.より7.子安観音はECが低く流動時間が短い地下水であると示唆されたことから、トリリニアダイアグラムの考察と矛盾する。よって、今回の測定結果だけで考察することは困難であると考えられるが、この地下水は地質の影響を受けていることがわかった。13.石坂井川についてはNO<sub>3</sub><sup>-</sup>を除いたヘキサダイアグラムの形を見ると、15.浜宮神社の湧水や16.池の王神社の湧水に類似していることがわかる。トリリニアダイアグラムでは、陰イオン濃度全体に対するCl<sup>-</sup>及びSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度によってその位置が決まるため、熱水や化石水の影響を受けたわけではなく、陰イオン濃度に占めるNO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度が

図2 各地域のヘキサダイアグラム



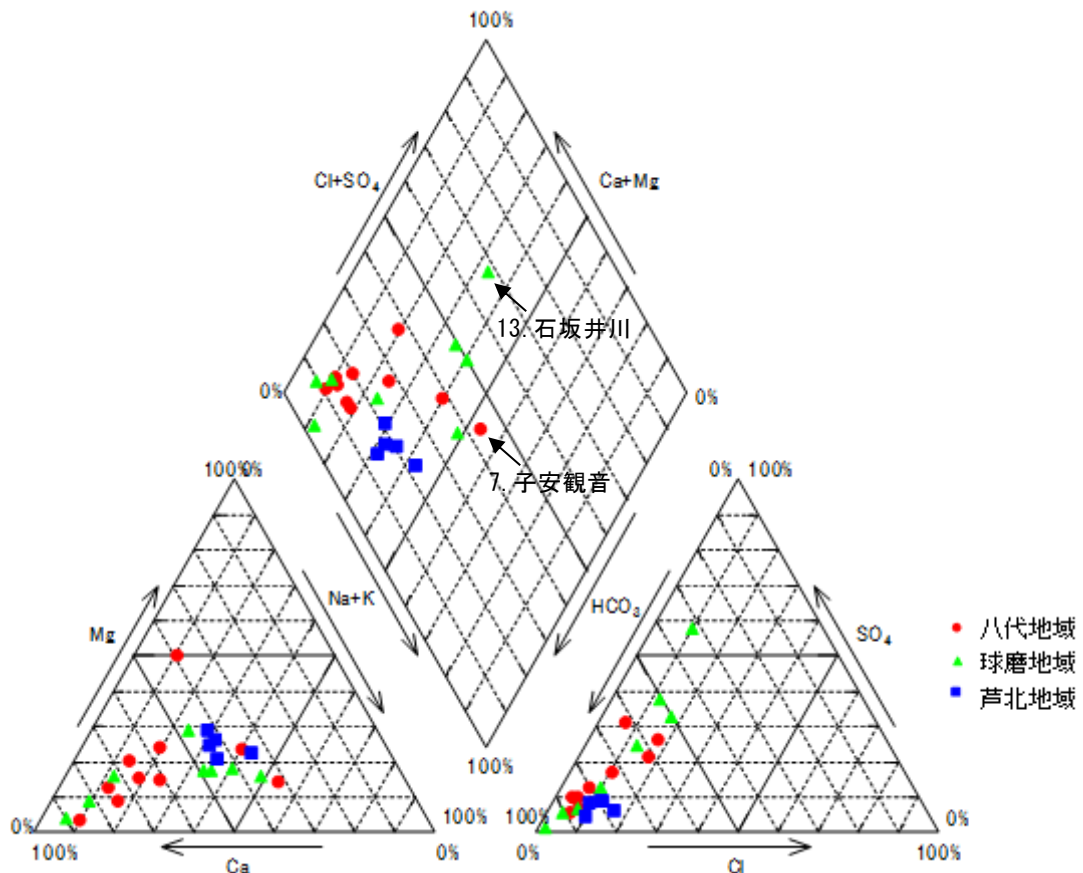


図3 各地域のトリリニアダイアグラム

大きかったことで、結果としてアルカリ土類非炭酸塩型に分類された可能性が考えられる。

これより、選定した23地点は地質の影響を受けることはわかったが、図1の年代別の地層により測定結果が分類される程の大きな差はなかったと考える。しかし、この23地点は通常の地下水であることがわかったため、金属成分も地質の影響を受けることを前提として考察することができる。

### 1-3. 金属成分

金属成分について、各測定項目の平均値及び標準偏差を表2に示す。ただし、18.権現谷のラムネ水については、1-1.で述べたようにECが他の調査地点と比べてかなり高く、金属成分についてもMn, Fe, Sr等の濃度が極めて高いことから、他の湧水と大きく異なる性質であると考えられたため、球磨地域の平均値及び標準偏差の算出から除外した。また、次の章の金属と地質の関係においても考察対象から除外している。

ICP-MS法で測定できる金属成分のうち、地下水の

環境基準としてCd, Pb, As, Se, Bが定められているが、今回調査した23地点において、基準超過は確認されなかった。なお、Al, Feを除くほとんどの元素では調査時期による測定値のばらつきが少なく、季節を通じて濃度がほぼ一定であることが考えられた。同じ地域であっても地点による濃度のばらつきが大きく、明確に地域差があるとは判断できなかった。しかし、地質の年代別では濃度差のある元素が確認できるように感じられたため、より詳細に考察することとした。

## 2 地下水の金属成分と地質の関係

### 2-1. 岩石の種類及び各地域の地質

地質を構成する岩石は大きく分けて、堆積岩、火成岩、変成岩に分類される(表3)。堆積岩は降り積もった砂や泥などが長い時間をかけて押し固められてできたもので、砂岩、泥岩などに加え、生物起源の堆積岩として石灰岩やチャートがある。火成岩はマグマが冷えて固まったもので、地表付近で急速に冷えて固まったものを火山岩、地下でゆっくり冷えて固まったものを深成岩とよぶ。さらに、その組成によって火山岩は

表2 地域別の水質測定結果（金属成分）

	八代地域	球磨地域		芦北地域	球磨地域
	①シユウ紀～前期白亜紀(秩父帯) (10地点, n = 40)	②白亜紀～古第三紀(四万十帯) (2地点, n = 8)	③後期中新世以降 (5地点, n = 20)	④中期更新世以降 (5地点, n = 20)	権現谷のラムネ水 (1地点, n = 4)
Li (μg/L)	0.93 ± 1.17	0.80 ± 0.22	1.90 ± 1.10	0.69 ± 0.28	37.98 ± 1.36
B (μg/L)	24.8 ± 24.8	5.60 ± 1.09	9.07 ± 3.46	6.45 ± 1.18	30.08 ± 0.43
Al (μg/L)	54.77 ± 60.23	12.50 ± 12.43	8.72 ± 13.24	17.37 ± 16.01	10.33 ± 6.48
V (μg/L)	1.21 ± 1.54	0.65 ± 0.33	0.88 ± 0.86	7.67 ± 4.20	0.10 ± 0.00
Cr (μg/L)	0.85 ± 1.58	0.35 ± 0.12	0.13 ± 0.05	0.27 ± 0.19	0.10 ± 0.00
Mn (μg/L)	1.44 ± 1.17	0.54 ± 0.11	0.55 ± 0.22	0.56 ± 0.23	1900 ± 163
Fe (μg/L)	37.21 ± 38.94	7.48 ± 7.85	4.69 ± 7.34	8.63 ± 7.68	22000 ± 6790
Ni (μg/L)	0.31 ± 0.45	< 0.1 (※)	< 0.1 (※)	0.11 ± 0.02	1.93 ± 0.13
Cu (μg/L)	0.66 ± 1.69	0.10 ± 0.00	0.16 ± 0.11	< 0.1 (※)	0.20 ± 0.14
Zn (μg/L)	0.75 ± 0.80	0.50 ± 0.00	0.52 ± 0.09	0.50 ± 0.00	12.48 ± 1.63
As (μg/L)	0.32 ± 0.29	0.23 ± 0.09	0.24 ± 0.15	0.13 ± 0.05	0.65 ± 0.37
Se (μg/L)	0.10 ± 0.00	< 0.1 (※)	< 0.1 (※)	< 0.1 (※)	< 0.1 (※)
Rb (μg/L)	0.50 ± 0.40	0.43 ± 0.0	17.2 ± 11.0	5.75 ± 0.61	3.13 ± 0.17
Sr (μg/L)	70.66 ± 44.52	51.60 ± 5.02	101.5 ± 44.24	52.44 ± 16.77	1600 ± 102
Mo (μg/L)	0.28 ± 0.38	0.16 ± 0.07	0.10 ± 0.00	0.13 ± 0.06	0.10 ± 0.00
Cd (μg/L)	< 0.1 (※)	< 0.1 (※)	< 0.1 (※)	< 0.1 (※)	< 0.1 (※)
Sb (μg/L)	0.03 ± 0.02	0.03 ± 0.02	0.03 ± 0.02	0.01 ± 0.00	0.18 ± 0.07
Cs (μg/L)	< 0.1 (※)	0.10 ± 0.00	0.47 ± 0.43	0.14 ± 0.05	0.30 ± 0.00
Ba (μg/L)	6.98 ± 4.73	73.00 ± 52.65	34.82 ± 25.83	2.26 ± 1.18	220 ± 12.5
Pb (μg/L)	0.12 ± 0.11	0.10 ± 0.00	0.10 ± 0.00	< 0.1 (※)	0.18 ± 0.15
U (μg/L)	0.07 ± 0.12	0.08 ± 0.04	0.13 ± 0.17	0.03 ± 0.02	0.01 ± 0.00

※は全地点の調査結果が<0.1μg/L未満であったことを示す。

流紋岩・デイサイト、安山岩、玄武岩に分かれ、深成岩は斑レイ岩、閃緑岩、花崗岩に分かれる。変成岩は既にある岩石（堆積岩や火成岩）が高温や高圧などの条件にさらされてできたものである<sup>14)</sup>。そのため、同じ変成岩に分類される岩石であっても、堆積岩が作用を受けてきた場合と火成岩が作用を受けてきた場合では、その化学組成が大きく異なる可能性がある。

同様のことは堆積岩においても言うことができる。火成岩の起源が全てマグマによるものであることを考えると、火成岩は同一岩石種内での化学組成変動が小さいはずである。すなわち、異なる地点であっても、同じ火成岩の影響を受けた地下水であれば、ある種の元素が一定の濃度範囲に収まる可能性が考えられる。

各地域の調査地点の地質を構成する岩石について、

国立研究開発法人産業技術総合研究所地質調査総合センターが提供している20万分の1日本シームレス地質図<sup>15)</sup>を用いて確認した。その結果、八代地域は主に堆積岩、芦北地域一帯及び人吉盆地を中心とした球磨地域は火成岩であることがわかった。

2-2. バナジウム (V) と地質の関係

火成岩の基本的な区分は二酸化ケイ素の含有量でなされており、火山岩の場合、その割合の多い順に流紋岩・デイサイト、安山岩、玄武岩となっている（表4）。過去の研究において、(V)は、二酸化ケイ素の含有量が低い安山岩や玄武岩といった岩石ほど豊富に含まれており、二酸化ケイ素の含有量が高い流紋岩では乏しいことが示されている<sup>16)</sup>。これをもとに、玄武岩質の

表3 主な岩石の分類

岩石の種類	主な岩石	
堆積岩	砂岩, 泥岩, チャート, 石灰岩 等	
火成岩	火山岩	流紋岩, 安山岩, 玄武岩 等
	深成岩	花崗岩, 閃緑岩, 斑レイ岩
変成岩	片岩, 角閃岩, 緑色岩 等	

表4 火成岩の区分

	(SiO <sub>2</sub> ) 多	←————→	少 (SiO <sub>2</sub> )
	【酸性岩】		【中性岩】 【塩基性岩】
(火山岩)	流紋岩 デイサイト		安山岩 玄武岩
(深成岩)	花崗岩		閃緑岩 斑レイ岩

表5 球磨地域の水質測定結果

	11.戸水源	12.薮地区水源	13.石坂井川	14.茂賀野水源	15.浜宮神社の湧水	16.池の王神社の湧水	17.天子の水
Li (μg/L)	0.98 ± 0.17	0.63 ± 0.05	1.03 ± 0.30	0.48 ± 0.05	2.00 ± 0.57	2.68 ± 0.36	3.30 ± 0.14
B (μg/L)	4.93 ± 0.57	6.28 ± 1.12	10.75 ± 1.03	4.88 ± 0.40	14.55 ± 0.71	7.33 ± 0.83	7.85 ± 0.26
Al (μg/L)	20.13 ± 14.18	4.93 ± 2.37	1.70 ± 1.34	14.78 ± 7.21	2.33 ± 1.63	21.13 ± 23.99	1.60 ± 0.36
V (μg/L)	0.35 ± 0.06	0.95 ± 0.10	0.28 ± 0.10	2.53 ± 0.13	0.43 ± 0.05	0.43 ± 0.05	0.75 ± 0.06
Cr (μg/L)	0.25 ± 0.06	0.45 ± 0.06	<0.1 (※)	0.10 ± 0.00	<0.1 (※)	0.20 ± 0.00	0.15 ± 0.06
Mn (μg/L)	0.58 ± 0.15	<0.5 (※)	<0.5 (※)	<0.5 (※)	<0.5 (※)	0.75 ± 0.50	<0.5 (※)
Fe (μg/L)	12.10 ± 9.10	2.85 ± 2.00	0.80 ± 0.41	5.05 ± 3.08	4.43 ± 0.48	10.38 ± 15.63	1.75 ± 0.37
Ni (μg/L)	<0.1 (※)	<0.1 (※)	<0.1 (※)	<0.1 (※)	<0.1 (※)	<0.1 (※)	<0.1 (※)
Cu (μg/L)	0.10 ± 0.00	<0.1 (※)	<0.1 (※)	0.38 ± 0.05	<0.1 (※)	0.10 ± 0.00	<0.1 (※)
Zn (μg/L)	<0.5 (※)	<0.5 (※)	<0.5 (※)	<0.5 (※)	<0.5 (※)	0.60 ± 0.20	0.50 ± 0.00
As (μg/L)	0.15 ± 0.06	0.30 ± 0.00	0.10 ± 0.00	0.10 ± 0.00	0.25 ± 0.06	0.28 ± 0.05	0.48 ± 0.05
Se (μg/L)	<0.1 (※)	<0.1 (※)	<0.1 (※)	<0.1 (※)	<0.1 (※)	<0.1 (※)	<0.1 (※)
Rb (μg/L)	0.40 ± 0.00	0.45 ± 0.06	8.73 ± 0.87	4.65 ± 0.13	35.10 ± 4.59	17.25 ± 0.58	20.30 ± 0.27
Sr (μg/L)	53.33 ± 4.74	49.85 ± 5.32	65.28 ± 3.34	75.65 ± 2.06	182.08 ± 21.82	103.18 ± 6.29	81.08 ± 3.07
Mo (μg/L)	0.10 ± 0.00	0.23 ± 0.05	<0.1 (※)	<0.1 (※)	0.1 ± 0.00	<0.1 (※)	0.10 ± 0.00
Cd (μg/L)	<0.1 (※)	<0.1 (※)	<0.1 (※)	<0.1 (※)	<0.1 (※)	<0.1 (※)	<0.1 (※)
Sb (μg/L)	0.02 ± 0.02	0.03 ± 0.01	0.01 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.04 ± 0.02	0.04 ± 0.02	0.05 ± 0.02
Cs (μg/L)	<0.1 (※)	<0.1 (※)	<0.1 (※)	0.10 ± 0.00	0.20 ± 0.00	1.08 ± 0.10	0.85 ± 0.06
Ba (μg/L)	24.13 ± 1.94	121.80 ± 10.23	13.98 ± 1.14	1.58 ± 0.29	38.80 ± 4.33	47.20 ± 3.27	72.55 ± 4.20
Pb (μg/L)	<0.1 (※)	<0.1 (※)	<0.1 (※)	<0.1 (※)	<0.1 (※)	0.10 ± 0.00	<0.1 (※)
U (μg/L)	0.11 ± 0.01	0.04 ± 0.01	<0.01 (※)	0.02 ± 0.00	0.45 ± 0.08	0.07 ± 0.01	0.11 ± 0.01
周辺地質 における 主要岩石	石灰岩	玄武岩、段丘堆積物	デイサイト・流紋岩、段丘堆積物	安山岩・玄武岩質 安山岩、海成または非海成堆積岩類	デイサイト・流紋岩、海成または非海成堆積岩類	デイサイト・流紋岩、海成または非海成堆積岩類	デイサイト・流紋岩

※はすべての地点の調査結果において、定量下限値未満であったことを示す。

岩石を主体とする地域の河川水や水道水に含まれる V 濃度が著しく高いという特徴を指摘した研究報告がなされている<sup>3~4)</sup>。

今回、芦北地域一帯が肥薩火山岩類とよばれる安山岩類からなっていることから、各地下水の V 濃度は高濃度になると予想された。実際、表 2 で示したとおり芦北地域の V 濃度平均は  $7.67 \pm 4.20 \mu\text{g/L}$  であり、3つの地域のなかで一番高い濃度であった。標準偏差が大きくなっているのは、21.地蔵さんの水のみ V 濃度が  $1 \mu\text{g/L}$  を下回ったことによるものである。芦北の全ての湧水は安山岩の影響を受けていると考えられるため、この地点だけ V 濃度が低かった理由ははっきりしないが、1-1. で述べたとおり、21.地蔵さんの水は EC が低

く、地中における水と岩石・土壌類との接触が少なかったことで、他の地点ほど V が地下水に溶け込まなかったのではないかと推察した。

次に、球磨地域の調査地点ごとの金属成分の測定結果について、周辺地質における主要な岩石とともに表 5 に示す。その結果、球磨川以南に位置する茂賀野水源のみ V 濃度が  $1 \mu\text{g/L}$  を上回ることがわかった。その理由として、茂賀野水源は雨水が肥薩火山岩類の割れ目等を通して地下に浸透したことによって形成された地下水<sup>17)</sup>と考えられるのに対し、他の湧水は球磨川以北に位置するため、芦北地域から主に球磨川以南にかけて分布する肥薩火山岩類の影響を受けなかったものと推察した。なお、12.葎地区水源地は主要な岩石に

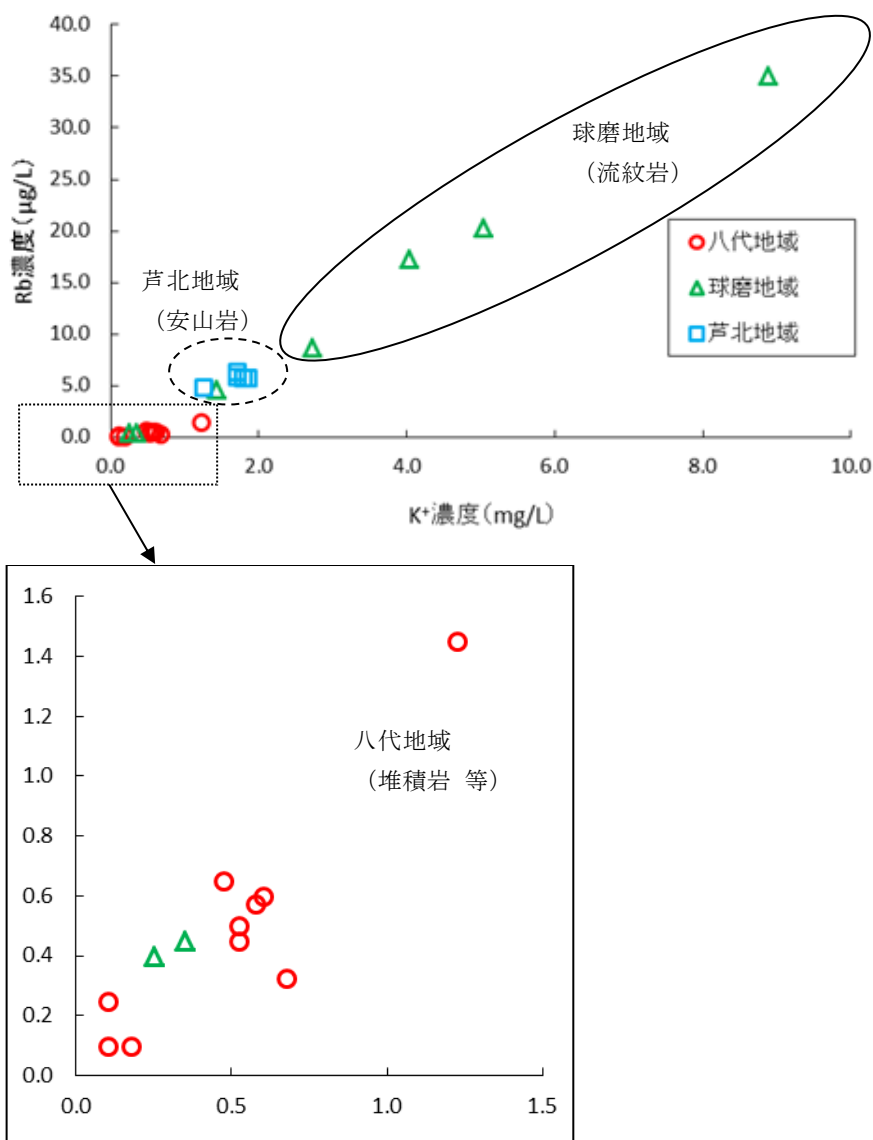


図 4 各地域の湧水における K<sup>+</sup>と Rb 濃度の関係



玄武岩が含まれ、V 濃度が  $0.95 \pm 0.10 \mu\text{g/L}$  と他の湧水より若干高かった。1-2 で述べたとおり、イオン成分において石灰岩の影響を強く受けていると思われるが、湧水周辺に分布する玄武岩によって、V 濃度が多少増加したものと考えられる。八代地域は、1.七郎次水源、5.如見水源、10.さくらの雫で V 濃度が  $1 \mu\text{g/L}$  を上回ったが、全体としては  $1 \mu\text{g/L}$  を下回るものが多かった。八代地域は、主に堆積岩の地質であり、火成岩（特に玄武岩や安山岩）の影響は受けていないことが示唆された。

以上から、他の地域での研究事例と同様に、県南地域においても、周辺の地質及び涵養域における地質が V 濃度に影響を与えるものと考えられる。

### 2-3. ルビジウム (Rb) と地質の関係

表 5 の球磨地域の Rb 濃度に注目すると、15.浜宮神社の湧水、16.池の王神社の湧水、17.天子の水において高濃度を示すとともに、13.石坂井川、14.茂賀野水源でそれより低い濃度、11.岩戸水源、12.蔀地区水源地で  $1 \mu\text{g/L}$  未満の低濃度となっていた。Rb が高濃度を示した地点における主要な岩石を確認したところ、流紋岩で共通していることが示唆された。今井ら<sup>18)</sup>が日本全国の河川堆積物をもとに元素分布の特徴を明

らかにした日本の地球化学図によると、花崗岩や流紋岩などの二酸化ケイ素の含有量が高い酸性岩でカリウムの濃度が高いとされている。そこで、各地域の地下水における  $\text{K}^+$  と Rb 濃度の関係を調べたところ、図 4 のとおり正の相関が認められた。地下水周辺の主要な岩石と Rb 濃度の関係を整理すると、球磨地域（火成岩 [流紋岩]）> 芦北地域（火成岩 [安山岩]）> 八代地域（堆積岩）= 球磨地域（堆積岩 [石灰岩]、火成岩 [玄武岩]）となる。このように、岩石の種類による影響が地下水中の Rb 濃度に反映されていると考えられる。

### ま と め

県南地域の金属成分の概況調査を実施した。また、河川の金属成分と地質との関係性について考察した。

地下水の環境基準項目については、全調査地点において環境基準値未満であり、通常から低濃度であると考えられた。

地質と金属成分の関係性について考察したところ、2つの元素について、湧水周辺や涵養域の岩石の種類によって、濃度に違いが現れると考えられた。1つは V であり、二酸化ケイ素の含有量の少ない火成岩である安山岩の地質で高濃度となるが、二酸化ケイ素の含有

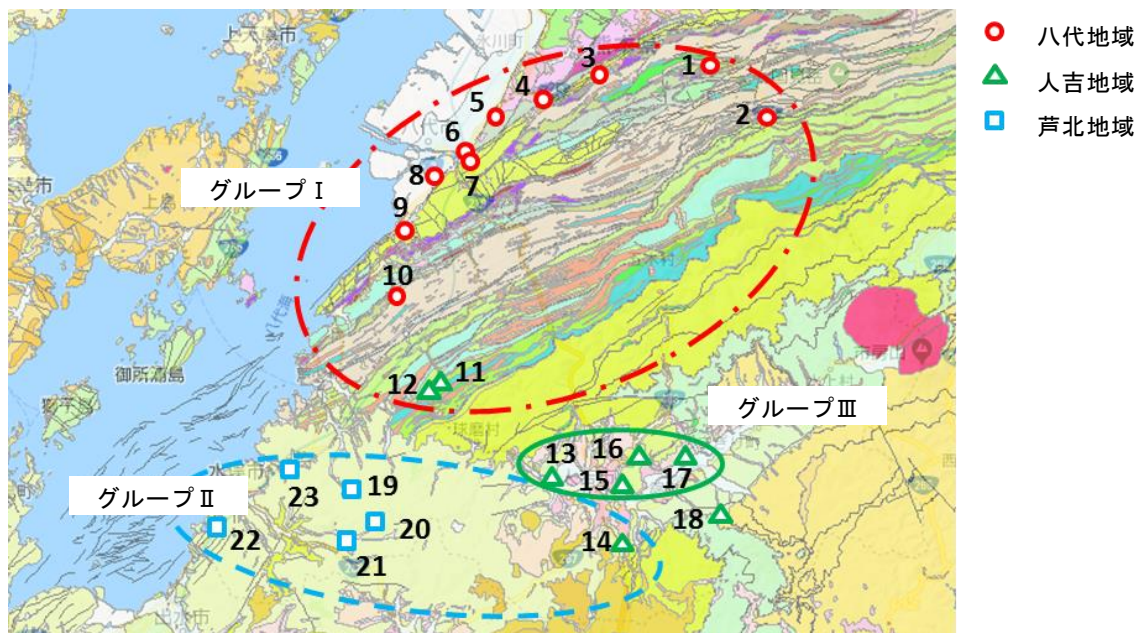


図 5 各地域における地質と水質の関係

地図は産総研地質調査総合センターウェブサイト (<https://gbank.gsj.jp/geonavi/geonavi.php>) のシームレス地質図基本版をもとに、筆者が加筆修正したもの。

量の多い流紋岩では低濃度となった。また、堆積岩や変成岩といった、火成岩と異なる岩石では流紋岩と同程度に低い傾向であった。2つ目は Rb であり、V とは逆に、流紋岩で高く、安山岩で低く、堆積岩や変成岩ではさらに低いという傾向を示した。

これらのことをまとめると、図 5 のとおりとなる。グループ I は堆積岩地域で火成岩の影響を受けない水質であるため、V 及び Rb は低濃度を示す。地層の年代は①ジュラ紀～前期白亜紀（秩父帯）及び②白亜紀～古第三紀（四万十帯）である。グループ II は火成岩の一種である安山岩の影響を受けて V 及び Rb が 1µg/L 以上を示す。地層の年代は③後期中新世以降である。グループ III は火成岩の一種である流紋岩の影響により、グループ II より Rb が高濃度となるものの、V には影響しない。地層の年代は④中期更新世以降である。

これらは、文献で報告されている地質と金属成分の関係性と合致するものとなり、県南地域の地質と金属成分の関係性としては新たな知見を得ることができたと考える。

#### 文 献

- 1) 木庭亮一，松本尚己：熊本県保健環境科学研究所報，37，123（2007）。
- 2) 植木肇：熊本県保健環境科学研究所報，35，106（2005）。
- 3) 輿水達司，酒井陽一，戸村健児，大下一政：地球環境，2（2），215（1998）。
- 4) 輿水達司，京谷智裕：陸水学雑誌，63，113（2002）。
- 5) 道前香緒里，石賀裕明：島根大学地球資源環境学研究報告，21，17（2002）。
- 6) 国土交通省河川局：球磨川水系河川整備基本計画（平成 19 年 5 月）。
- 7) 斎藤眞，宝田晋治，利光誠一，水野清秀，宮崎一博，星住英夫，濱崎聡志，阪口圭一，大野哲二，村田泰章：地質ニュース 676 号，49（2010）。
- 8) 荒牧一利，田中浩二，古江研也，米田正：“水は伝える熊本の湧泉”，熊本の湧泉研究会（2004）
- 9) 水の国くまもと HP：水の名所  
[http://mizukuni.pref.kumamoto.jp/intro/pub/list.aspx?c\\_id=21&redi=ON](http://mizukuni.pref.kumamoto.jp/intro/pub/list.aspx?c_id=21&redi=ON)（平成 30 年 6 月閲覧）
- 10) 環境省 HP：環境基準・法令等  
昭和 46 年 12 月 28 日付け環境庁告示第 59 号  
<http://www.env.go.jp/kijun/mizu.html>  
平成 5 年 4 月 28 日付け環水規第 121 号
- 11) 島野安雄：宇都宮文星短大紀要，8，43（1997）。
- 12) 藪崎志穂，島野安雄：地下水学会誌，51（2），127（2009）。
- 13) 水収支研究グループ編：“地下水資源・環境論—その理論と実践—”，p152（1993）共立出版。
- 14) 国立研究開発法人産業技術総合研究所地質調査総合センターHP：岩石の分類  
<https://www.gsj.jp/geology/fault-fold/formation/r-classification/index.html>（平成 30 年 6 月閲覧）
- 15) 国立研究開発法人産業技術総合研究所地質調査総合センターHP：地質図 navi  
<https://gbank.gsj.jp/geonavi/geonavi.php>  
（平成 30 年 6 月閲覧）
- 16) Imai.N, Terashima.S, and Ando.A：Geochemical Journal，29，2991（1995）。
- 17) 茂賀野水源の現地立看板：上水道茂ヶ野水源の経緯と由来
- 18) 今井登，寺島滋，太田充恒，御子柴（氏家）真澄，岡井貴司，立花好子，富樫茂子，松久幸敬，金井豊，上岡晃，谷口政碩：地質ニュース 604 号，30（2004）。