

資 料

岐阜県の地下水中の主要成分の実態調査と水質特性について

佐々木正人, 岡隆史, 北将大

要 旨

岐阜県では「岐阜県公共用水域及び地下水の水質測定に関する計画」に沿って地下水中の有害物質調査を実施しており、それと合わせて本研究では主要成分分析を実施し、そのデータを活用し水質解析を行うことで、県内の地下水（岐阜、西濃、中濃、東濃及び飛騨）の水質特性を把握した。また、東濃地域の河川水を対象として、その主要成分分析及び水質解析を実施し、周辺河川水と地下水との関係を考察した。

キーワード：地下水質概況調査、水質特性、地下水汚染

1 はじめに

地下水は、利用の簡便性、経済性、良質な水質、恒温性という自然的特性を有しており、生活用水（飲料用含む）、工業用水、農業用水など多様な用途に利用されている大切な水資源である。しかし、地下水はいったん汚染されるとその回復は困難であることから、将来にわたって地下水の水質を効果的、効率的に保全するために、その汚染の未然防止を図ること、また、地下水汚染の状況の正確な把握が望まれている。一方、岐阜県でも、県内の地下水の状況を把握するため、水質汚濁防止法に基づき、平成元年度以降、地下水の水質測定計画¹⁾を策定し、地下水中の有害物質の状況について継続して詳しく調査を実施しているが、その他の物質（主要成分）についての情報は非常に少ないのが現状である。このような地下水中の主要成分は、水の起源や地下浸透における履歴を反映すると考えられることから、地下水の涵養源、水系の識別、地下水の流動、異種の水の混入現象等、様々な地下水の問題（地下水汚染等）を解決する有効な情報となりうると考えらえる。

そこで本研究では、平成25年度から27年度までの3年間において、「岐阜県公共用水域及び地下水の水質測定に関する計画」（以下「水質測定計画」と略）に沿って地下水の水質調査を実施し、併せて地下水中の主要成分の分析を行ったので、その結果をまとめて報告する。また、過去より地下水汚染が判明している地域として、東濃地域に注目し、周辺河川水質と地下水質との関係について検討するため、その主要成分の分析を行ったので、その結果についても併せて報告する。

2 調査方法

2.1 調査対象井戸

調査対象井戸については、県下を経緯度法による標準地域メッシュの2kmメッシュに区分し、地下水の存在・流動状況、事業場密度、地下水の水道水源密度を考慮して、メッシュごとの重要度を評価した上で、調査対象が選定されており、平成25年度から27年度の3年間において、地下水環境基準項目調査（以下「全項目調査」と略）で141地点、自然由来基準項目（以下「自然由来調査」と略）で44地点、揮発性有機化合物項目調査（以下「VOC重点調査」と略）55地点の全240地点とした（図1）。また既知の地下水汚染地点（H27年度で61地点の調査）についても対象とした。

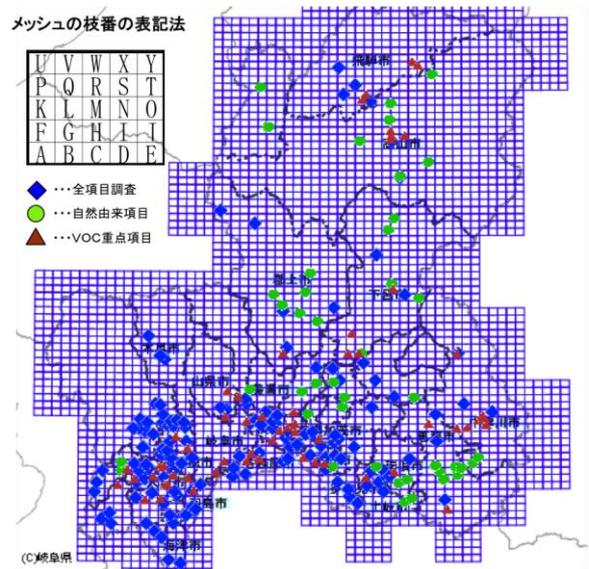


図1 県内の地下水調査メッシュ図

また、東濃地域の河川水については、水質測定計画（県実施分）に定められている河川定点23地点を対象とし、地下水と同様に水質調査を実施した。

2.2 調査項目

調査項目は、水温、井戸深度、pH、電気伝導度（EC）、陽イオン成分としてナトリウム（Na⁺）、カリウム（K⁺）、カルシウム（Ca²⁺）、マグネシウム（Mg²⁺）、陰イオン成分としてふっ素（F⁻）、塩素（Cl⁻）、硝酸（NO₃⁻）、硫酸（SO₄²⁻）、炭酸水素イオン（HCO₃⁻）とした（河川水は水温、井戸深度除く）。また主要成分ではないが、その他の項目として重金属類についても全項目調査及び自然由来項目では分析を行った。なおHCO₃⁻はアルカリ度から算出した。

2.3 分析方法及び水質解析方法

地下水及び河川水の水質分析方法は、水質測定計画に定める方法、JIS K 0102 及び上水試験方法に準拠した。また、水質の主要成分を用いて、その水質組成をパターンダイアグラム、トリリニアダイアグラムにより水質解析を実施した。また、地下水調査のうち、全項目及び自然由来項目調査については、濃度相関マトリクス法²⁾を用い、一般項目、主要成分項目ならびに重金属類の相関関係を検討した。

3 結果と考察

3.1 地下水汚染について

一般的には、水質汚染とは人為的に汚染されることであるが、地下水については人為的な汚染の他に、自然由来の汚染が存在する。自然由来の汚染は主に深層地質に存在するひ素やふっ素等の有害物質が長い年月をかけて地下水に溶け出すことで汚染が発生することが知られている。このため、深層の地下水汚染についてはその除去が困難である。一方、人為由来の汚染は主に浅層で発生する汚染であり、農作物栽培の盛んな地域における硝酸性窒素汚染などが含まれる。県内で

は、各務原市内における硝酸性窒素による地下水汚染事例^{3, 4)}などが知られている。

今回、平成25年度から27年度の3年間において調査した地下水240地点のうち、地下水の環境基準を超過した地点は、全9地点判明しており、その内訳は表1に示すとおりであった。

この結果から、ひ素、ふっ素などの自然由来と考えられる有害物質による地下水汚染は、以前から広域的な地下水汚染⁴⁾として南濃地域や東濃地域の周辺で判明しており、今後もこれらの地域については、該当する有害物質による地下水汚染が顕在化すると思われる。一方、硝酸性窒素汚染については、農作物や茶畑周辺における地下水汚染であり、その原因については過剰な施肥による影響が大きいと考えられる³⁾。またVOC重点調査では有害物質（13項目）による地下水汚染は確認されなかった。

3.2 地下水の水質解析について

3.2.1 パターンダイアグラム解析

パターンダイアグラムとは水中の陽イオン、陰イオンの当量濃度（meq/L）のバランスから水質特性を分類する方法である。今回調査した県内の地下水を対象に、その水質のパターンダイアグラム解析を実施した。

その結果、調査地点の水質パターンダイアグラムから、自然由来項目による地下水汚染地点の水質とそれ以外の地点の水質ではパターン形状の違いが大きいことが確認された。

解析対象地点が多いため、地下水汚染が確認されなかった地点については岐阜、西濃、中濃、東濃及び飛騨地域毎で区分し、その陽イオン、陰イオンの当量濃度の平均値をもとにした水質パターンダイアグラムを実施した（表2）。一方、自然由来項目（水銀は除く）による地下水汚染判明地点については、個別にそのパターンダイアグラムを示す（図2）。

表1 調査期間中新たに判明した地下水汚染

調査年度	メッシュ番号	調査種別	所在地	超過項目	基準超過率
H25	D03A	全項目	海津市 平田町	ひ素	1.8倍
H25	D03F	全項目	輪之内町 下大樽新田	ひ素	1.8倍
H25	E11J	全項目	郡上市 高鷲町※	ふっ素、ほう素	1.5倍、6.1倍
H25	I04W	全項目	瑞浪市 釜戸町	ふっ素	1.75倍
H25	J04G	自然由来項目	恵那市 山岡町	ふっ素	3.75倍
H26	G04M	全項目	多治見市 大藪町	硝酸性窒素	1.3倍
H26	H14E	自然由来項目	高山市 下切町	ひ素	2.0倍
H27	H07M	全項目	白川町 坂ノ東	硝酸性窒素	1.3倍
H27	I13K	全項目	高山市 花里町	ふっ素	5.0倍

※以前よりモニタリング地点

表2 県内地域別の地下水質パターンダイヤグラム (汚染地点除く)

地域	岐阜	西濃	中濃	東濃	飛騨
ダイヤグラム					
類型	中間型	中間型	中間型	中間型	中間型

表2に示すパターンダイヤグラムから、各地域ともにその溶存成分は少なく、水質パターンも中間型を示していた。このことからその水質起源を考察すると、ほとんどが伏流水等の表層水を起源とする地下水であると考えられる。この結果は、井戸深度情報（不明分を除く）から見て、10m以下の井戸が全体の約53%、20m以下の井戸が全体の約60%を占めていることと合致していた。

図2に調査期間3か年の内で新たに判明した地下水汚染及び既知の地下水汚染地点（自然由来項目を対象）についての水質パターンダイヤグラムを示す（新たに判明した地点とモニタリング地点が同じものについては、モニタリング地点に統一）。自然由来項目の内、汚染が判明している項目は、ふっ素、ひ素、ほう素及び水銀の4項目であった。また、地域毎にみると、岐阜地域では自然由来項目による地下水汚染は認められず、人為的由来による地下水汚染だけであった。

西濃地域では、その南濃地域において、ひ素による地下水汚染が大垣市から海津市までの広い地域で分布しており、そのパターンダイヤグラムは、大垣市から海津市方向へ南下していくと、概ねCa・Na-HCO₃型の水質から、Na-HCO₃型へと変化していることが認められた。この理由を考察すると、対象地点の地下水はおそらく濃尾平野で取水目的で利用されている帯水層である第1礫層（南濃地域では深度50m付近に位置する⁵⁾）であり、この帯水層中を地下水が移動する中で、溶存成分中のCaとNaのイオン交換が行われていることが示唆される。このような現象は、停滞性の深層帯水層で起こる特徴の一つと言われている⁶⁾。

中濃地域では、ほう素、ふっ素、ひ素の3項目の汚染が認められており、ほう素については、可児市内及び郡上市内に認められている。そのパターンダイヤグラムの形状は両地点で大きく異なっており、郡上市内の地点については、今回調査の全地点中で一番の溶存成分を持つことが確認できた。このことについては、
1) 当該地点の周辺に温泉が存在し、その温泉水の水

質成分としてNaイオンやその他のイオン成分（ふっ素やほう素も含む）が多く含まれている。2) 当該地点の地下水質は、井戸深度が90mであり、断層等を通じて温泉水が混じり合う可能性等が考えられる。一方、可児市内の地下水については、その深度は5mであり、その地下水起源は表層水と考えられることから、中間型のパターンダイヤグラムになったと考えられる。また御嵩町地内のふっ素汚染地下水は、Na-HCO₃型であり、井戸深度も100m程度であることから、前述した南濃地域の地下水と同じく停滞性の深層地下水のパターンダイヤグラムを示したと考えられる。

東濃地域は、ふっ素、ひ素及び水銀（パターンダイヤグラムは省略）による地下水汚染が判明しており、特にふっ素汚染については地域内に幅広く分布している。そのパターンダイヤグラムについては、土岐市内、恵那市内ならびに多治見市内で、Na-HCO₃型の水質であったが、瑞浪市内についてはCa・Na-HCO₃型の水質であり、地域毎の帯水層の違いがあると考えられる。

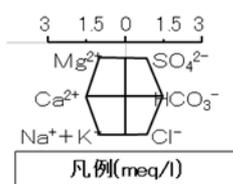
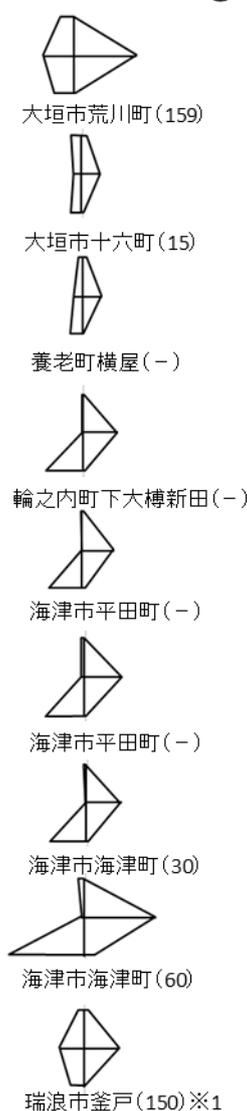
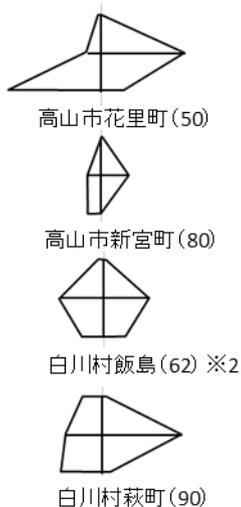
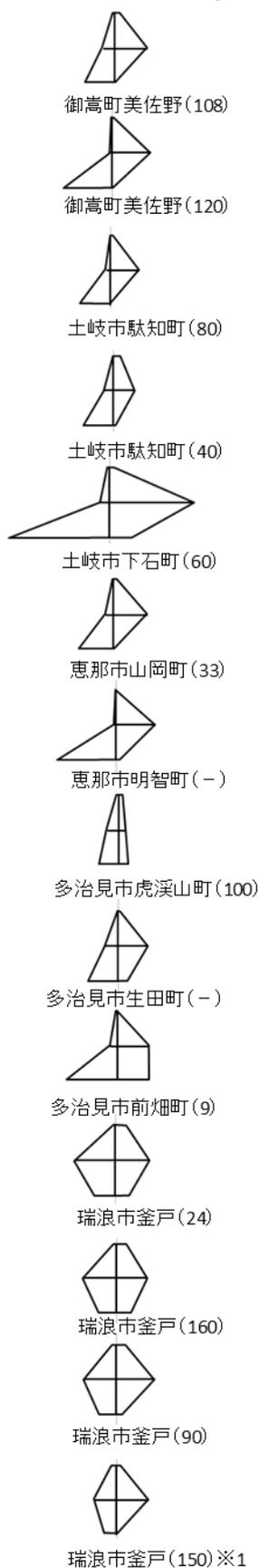
飛騨地域は、ひ素及びふっ素による汚染が確認されており、それぞれ局所的な地下水汚染であった。そのパターンダイヤグラムは中間型、Ca・Na-HCO₃型ならびにNa-HCO₃型と様々であり、地域の地質の違いが、その溶存成分に影響を与えているものと考察される。また、いずれの地点の周辺には温泉が存在しており、その温泉成分中には、ひ素やふっ素などが含まれていた。

3.2.2 トリリニアダイヤグラム解析

トリリニアダイヤグラムもパターンダイヤグラムと同じく水中の主要な陽イオン、陰イオン成分をもとに菱形グラフのプロット位置から多数のデータを特徴づけ、その水質特性を分類する方法である。地下水の水質分類⁷⁾については、以前より4つの分類が知られており、温泉水や化石水などに見られる非炭酸水素カルシウム型のI型、循環性地下水の多くが該当し、日本の一般的地下水の多くが属する炭酸水素カルシウム型のII型、停滞環境の地下水によく見られる炭酸水素ナ

ふっ素

ひ素



() 数字は井戸深度 (m)

※ 同一地点

ほう素

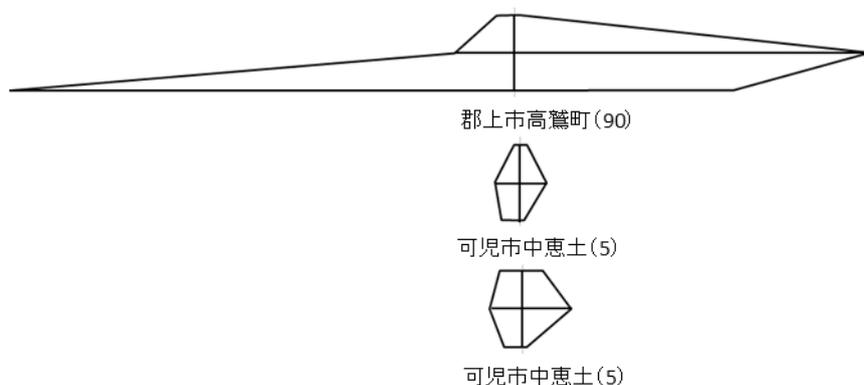


図2 自然由来項目による地下水汚染パターンダイヤグラム

トリウム型の III 型, 海水や海水が混入した地下水などが属する IV 型の分類がある。

今回対象とした 240 地点と既知の地下水汚染地点の 61 地点の計 301 の地点データ群からトリリニアダイアグラムによる解析を行ったのでその結果を図 3 に示す。

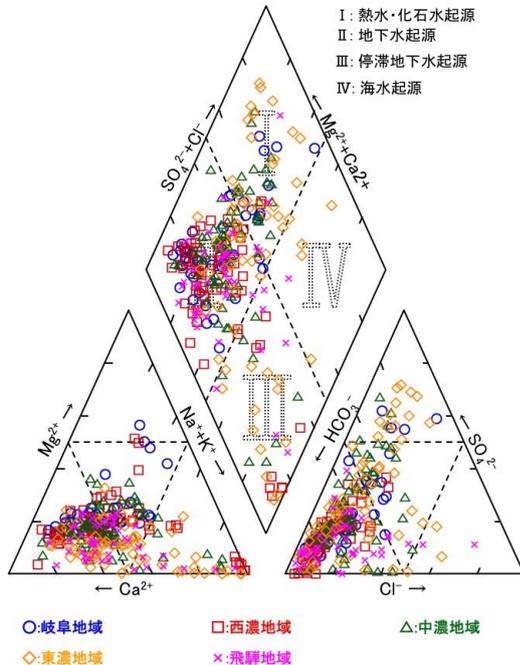


図 3 県内地下水のトリリニアダイアグラム

この結果から、県内の地下水のほとんどは、一般的な河川水や表層地下水がもつ特徴である II 型の炭酸水素カルシウム型の水質を示しており、過去の調査結果と同様に概ね良好な状況⁸⁾にあると推測される。しかし西濃地域の一部の地下水では停滞的な環境下にある地下水の特徴を持つ III 型の炭酸水素ナトリウム型の水質を示しており、ひ素などの地下水汚染判明地点はこの水質型に含まれており、以前から報告されている南濃地域のひ素地下水汚染の水質特性と一致していた^{5, 9)}。また、東濃地域の地下水では、温泉水や化石水などの特徴を持つ I 型や停滞性地下水起源を示す III 型に該当しているものもあり、ふっ素濃度が比較的高い地下水調査地点については、この I 型及び III 型に該当していた。

3.2.3 水質成分間における濃度相関について

地下水調査について、全項目及び自然由来項目を対象とした 185 地点において一般項目、主要成分項目ならびに重金属類間の相関を検討するため、濃度相関行列を用いた解析を行った。その結果を表 3 に示す。

この結果から、井戸深度が増加、いわゆる深層地下水になると、pH や電気伝導度、主要成分の陽イオン成分の Na^+ 、 Ca^{2+} 及び Mg^{2+} に強い正の相関が認められ、また陰イオン成分では、ふっ素 (F)、 Cl^- 、 HCO_3^- に

強い正の相関が認められた。逆に人為的な汚染源の指標となる硝酸イオン (NO_3^-) には強い負の相関があることが認められた。一方、重金属類については、ひ素 (As)、セレン (Se)、ほう素 (B) が正の相関を示しており、鉛 (Pb) や銅 (Cu) など人為的な汚染指標となる汚染原因物質については、負の相関が認められた。このことから、表層水から深層地下水に進むにつれ、人為的な汚染影響は少なくなるが、深層地下水になると、地下水流動が非常に遅くなり、周囲の土壌と接触する時間が長くなることで、有害物質を含め様々なイオン成分が溶け出す可能性を示していると考えられる。井戸深度 50m を超す調査地点におけるパターンダイアグラムの結果においても、溶存イオン成分の増加傾向がであったことと一致していた。

以上より県内の地下水については、その帯水層の違いによって、地質に含まれる成分が違うため、全てにあてはまるわけではないが、井戸深度が深くなれば、地域の地質に含まれる様々な物質が地下水中に溶け出す可能性が高く、また様々な物質の中で自然由来の有害物質も併せて溶け出すことも想定されるので、汚染の影響を考慮したほうがよいと思われる。

3.3 東濃地域の河川水の水質特性について

東濃地域では、ふっ素による広域的な地下水汚染が懸念されていることから、その地下水質と河川水質に注目し、東濃地域を流れる木曾川、土岐川及び矢作川と流入河川において設定されている河川定点計 23 地点において、年 4 回の水質調査を実施し、河川水と地下水との関係について検討を行った。

3.3.1 河川水の水質調査結果

河川水の水質調査結果を表 4 に示す。またその主要成分結果をもとに調査地点毎のパターンダイアグラムを図 4 に示す。

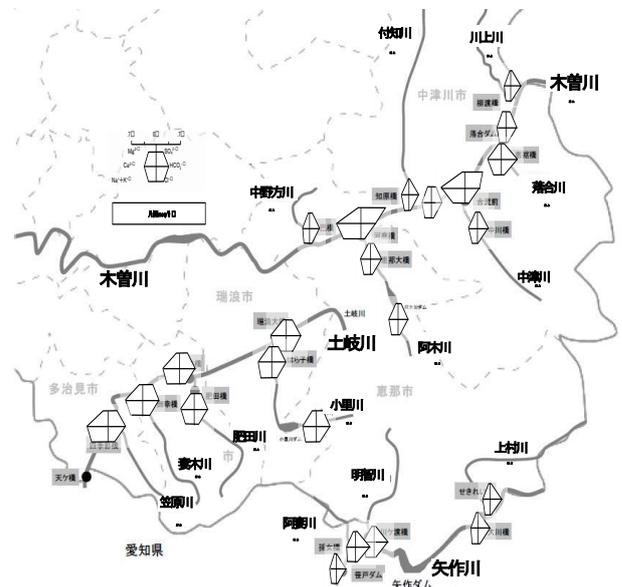


図 4 調査地点毎のパターンダイアグラム

表3 調査項目間の相関係数

	深度	pH	EC	Na	Mg	Al	K	Ca	T-Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Se	Cd	Pb	B	F	Cl	NO ₃	SO ₄	HCO ₃	
深度	1																								
pH	0.411**	1																							
EC	0.331**	0.243**	1																						
Na	0.276**	0.167	0.944**	1																					
Mg	0.280**	0.296**	0.520**	0.339**	1																				
Al	-0.002	-0.067	-0.035	-0.020	-0.065	1																			
K	-0.096	-0.142	0.364**	0.269**	0.376**	-0.004	1																		
Ca	0.299**	0.467**	0.564**	0.343**	0.679**	-0.054	0.363**	1																	
T-Cr	-0.062	-0.109	0.026	-0.003	0.220*	-0.025	0.045	0.031	1																
Mn	0.134	-0.039	0.127	0.095	0.216*	0.075	0.199*	0.138	-0.063	1															
Fe	0.229*	0.086	0.156	0.196*	0.160	-0.026	0.059	-0.024	-0.075	0.343**	1														
Ni	0.143	-0.136	0.524**	0.564**	0.226*	0.105	0.204*	0.121	0.043	0.266**	0.096	1													
Cu	-0.234*	-0.312**	-0.124	-0.082	-0.133	0.001	0.066	-0.190*	-0.034	-0.108	-0.088	0.211*	1												
Zn	0.066	0.076	0.000	0.006	0.004	0.082	0.005	-0.042	-0.043	0.013	0.049	0.160	0.002	1											
As	0.103	0.295**	-0.001	0.011	0.037	0.211*	-0.058	0.007	0.016	0.073	0.155	-0.025	-0.112	0.042	1										
Se	0.266**	0.059	0.132	0.072	0.267**	-0.025	0.243**	0.214*	0.205*	-0.142	-0.020	0.101	-0.055	-0.045	0.107	1									
Cd	0.053	0.009	0.068	0.078	-0.006	0.173	0.060	-0.019	-0.047	0.040	-0.008	0.278**	-0.035	0.960**	0.016	0.027	1								
Pb	-0.243**	-0.244**	-0.128	-0.066	-0.230*	-0.027	-0.076	-0.205*	-0.034	-0.096	-0.133	0.120	0.603**	-0.055	-0.040	-0.131	-0.059	1							
B	0.255**	0.134	0.936**	0.993**	0.326**	-0.013	0.261**	0.336**	0.004	0.069	0.147	0.576**	-0.070	0.004	-0.002	0.074	0.079	-0.049	1						
F	0.224*	0.396**	0.337**	0.381**	-0.024	-0.010	0.020	0.121	-0.067	0.055	0.361**	0.065	-0.117	0.003	0.085	-0.112	0.011	-0.046	0.291**	1					
Cl	0.255**	0.113	0.946**	0.988**	0.359**	-0.019	0.305**	0.373**	0.004	0.083	0.150	0.590**	-0.066	0.039	-0.016	0.098	0.117	-0.054	0.991**	0.286**	1				
NO ₃	-0.217*	-0.233*	0.080	-0.059	0.332**	-0.061	0.490**	0.345**	0.083	-0.138	-0.107	-0.009	0.122	-0.068	-0.130	0.200*	-0.032	0.027	-0.064	-0.130	-0.012	1			
SO ₄	-0.081	-0.028	0.219*	0.000	0.531**	-0.040	0.663**	0.657**	0.219*	0.237*	-0.070	0.067	0.035	-0.030	-0.095	0.221*	-0.006	-0.091	-0.014	-0.034	0.045	0.593**	1		
HCO ₃	0.397**	0.393**	0.949**	0.944**	0.500**	-0.031	0.229*	0.555**	-0.022	0.121	0.203*	0.487**	-0.171	-0.014	0.056	0.094	0.036	-0.151	0.933**	0.393**	0.927**	-0.098	0.069	1	

※:5%有意(>0.184)

※※:1%有意(>0.240)

水質結果から、木曾川上流部の支川である川上川及び落合川において、ふっ素濃度が0.3 ~ 0.7 mg/L程度とその他の河川 (0.04 ~ 0.2 mg/L) の結果¹⁰⁾ と比べ比較的高く検出されていることが認められた。

またパターンダイアグラムから、木曾川水系の支川 (川上川, 中津川, 付知川) についてはその溶存成分も少なく、中津川市が報告している水質汚濁の概況報告¹¹⁾ にあるようにその周辺には大規模な排水を持つ工場等は見受けられないことから、工場排水等の影響をあまり受けていない比較的清浄な水質であることが分かった。しかし落合川については、その他の河川と若干パターンダイアグラムが違い、その溶存成分が増大していることが認められた。落合川については、人為的な汚濁による影響は少ないことから、河川上流部において溶存成分の比較的多い湧水 (地下水等) が河川に流入・混合し河川水質を形成しているものと考えらる。河川水中のふっ素濃度が高い結果も、東濃地域の地下水の傾向とも一致している。

一方、土岐川水系ならびに矢作川水系における調査地点のパターンダイアグラムは、水系毎で類似していることが確認できた。

3.3.2 ふっ素と周辺河川水質の関係

今回の調査で得られた東濃地域の河川水と同地域に

おけるふっ素により汚染された地下水質との関係をパターンダイアグラムから考察した。図5に東濃地域で判明しているふっ素による地下水汚染の水質パターンダイアグラムを再度示す。



図5 ふっ素汚染地下水のパターンダイアグラム

平成27年度までにおいて、東濃地域でふっ素による地下水汚染が確認されている地点は11地点 (非常に近傍にあったものは表示上省略) あり、その範囲は恵那市, 瑞浪市, 土岐市及び多治見市と広域的なものとなっている。実施した河川水のパターンダイアグラムと地

表4 東濃地域の河川水質調査結果

水系	地点名	pH	電気伝導度 (mS/m)	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
				(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
木曾川	落合ダム(木曾川上流)	6.89	5.7	3.4	1.07	1.0	4.93	0.07	2.48	0.70	6.48	19.3
木曾川	美恵橋(木曾川中流)	6.86	6.1	3.6	1.02	1.1	5.36	0.09	2.65	0.76	7.05	19.3
木曾川	川上川 本川合流前	6.81	3.9	2.7	0.44	0.5	3.73	0.32	0.99	1.05	2.24	18.4
木曾川	落合川 本川合流前	6.98	7.2	4.6	0.68	0.9	7.72	0.70	2.88	1.39	3.91	27.9
木曾川	中川橋(中津川)	7.14	4.7	2.5	0.49	0.8	5.03	0.18	1.10	0.99	3.75	20.1
木曾川	中津川 本戦合流前	6.59	12.7	6.7	0.78	1.5	13.79	0.16	4.60	3.41	24.52	26.2
木曾川	付知川 本川合流前	6.91	4.1	2.7	0.29	0.6	4.17	0.18	1.39	1.03	1.72	17.5
木曾川	阿木川ダム	6.84	5.5	3.1	0.58	1.5	5.29	0.10	2.00	1.33	4.96	19.1
木曾川	恵那大橋(阿木川)	6.57	5.6	3.3	0.55	1.4	5.33	0.12	2.04	1.14	4.92	19.5
木曾川	阿木川 本川合流前	6.66	14.4	10.8	0.72	1.5	14.30	0.11	3.68	1.35	34.93	27.0
木曾川	巴橋(中野方川)	6.66	4.4	2.9	0.40	0.9	4.20	0.10	3.19	1.10	4.32	18.0
土岐川	瑞浪大橋(土岐川上流)	6.92	9.4	6.2	0.96	2.1	8.57	0.21	7.19	2.21	8.69	26.5
土岐川	三共橋(土岐川中流)	6.50	10.3	7.1	1.22	2.1	9.13	0.16	6.10	1.54	11.34	27.7
土岐川	川折橋(小里川)	6.79	8.4	5.5	0.98	1.9	7.44	0.13	4.38	1.74	10.13	25.0
土岐川	はら子橋(小里川)	6.89	9.0	6.1	1.03	1.9	7.61	0.17	5.28	2.01	9.40	25.1
土岐川	肥田橋(肥田川)	6.44	8.3	4.9	1.10	1.6	7.60	0.11	4.71	2.20	9.83	24.3
土岐川	御幸橋(妻木川)	7.07	10.4	6.8	1.23	1.9	9.77	0.14	7.51	4.07	14.32	29.1
土岐川	桜橋(笠原川)	6.86	13.6	9.0	1.54	2.5	11.80	0.14	6.90	5.41	12.07	30.1
矢作川	大川橋(矢作川上流)	6.88	4.5	2.9	0.50	0.8	4.06	0.05	1.86	0.61	1.82	21.2
矢作川	笹戸ダム	5.27	3.7	2.5	0.39	0.7	3.40	0.04	1.36	0.64	1.66	17.3
矢作川	せきれい橋(上村川)	6.87	4.2	2.8	0.39	0.8	4.09	0.07	1.64	0.75	2.08	21.2
矢作川	明智川 本川合流前	6.75	6.2	4.6	0.54	1.2	5.73	0.08	2.51	0.92	3.15	25.4
矢作川	阿斐川 本川合流前	7.04	5.6	4.7	0.46	0.9	5.09	0.10	2.23	0.77	2.74	25.7

値は年間平均値

下水汚染地点のパターンダイヤグラムを比較すると、恵那市及び多治見市における地下水については、 Na-HCO_3 型の深層地下水のパターンダイヤグラムを示しており、明らかに表層水の河川水質とは異なることから、周辺河川水が地下水質に直接的に影響していないことが明らかとなった。このことから、地域の地下水中のふっ素濃度が高い原因については、地域の表層地質は海成または非海成の堆積岩類であり、かつその後背地は、花崗岩質を中心とした地質が広がっており^{1,2)} このような状況にある堆積層は、その層中に黒雲母やイライトなどを多く含んでいると考えられる。これらの鉱物は、 Na-HCO_3 型の水質であり、また、pHが弱アルカリ性を示す水が存在すると、含有するふっ素が溶出しやすくなる^{1,3)} ことが知られており、今回対象となった調査地点の地下水質は上記条件に適合していることから、当該地域の地下水中のふっ素濃度上昇に寄与しているのではないかと考えられる。一方、瑞浪市における地下水については、 $\text{Ca} \cdot \text{Na-HCO}_3$ 型であり、恵那市や多治見市内の地下水とはパターンが違い、周辺河川水が示す水質パターンと類似しているように見えたが、明らかにその溶存成分に差があることから、この地域についても地下水と周辺河川水などの表層水との混入の可能性は少ないと考えられた。両地域の水質の違いについて、その原因を検討するため周辺地質を確認したところ、瑞浪市内の当該地域の地質は、非アルカリ珪長質火山岩類から花崗岩類を含む変成岩類が中心であることが確認された^{1,2)}。花崗岩中に過去の変質作用によって方解石が生成している場合には、地下水がこれを溶解してCaと HCO_3 濃度を上昇し、 $\text{Ca} \cdot \text{Na-HCO}_3$ 型の地下水形成に寄与することが知られている^{1,4, 1,5)} ことから、瑞浪市内の地下水質形成については、地質中の変質した花崗岩に多く含まれる方解石が溶解するとともに、上述した黒雲母などに含有するふっ素も溶出することで、ふっ素濃度の高い地域の地下水質を形成、または、地下水への CO_2 ガスの供給量が多いため、 $\text{CO}_2\text{-HCO}_3$ 成分間の干渉によってpHが低く維持され $\text{Ca} \cdot \text{Na-HCO}_3$ 型の地下水質を形成^{1,5)}しているのではないかと考えられる。

4 まとめ

今回の地下水調査の結果、全240地点のうち、地下水の環境基準を超過した地点は全9地点あり、ふっ素、ほう素及びひ素などの自然由来の有害物質による地下水汚染が顕在化してきており、その傾向は今後も続くものと考えられる。

また地下水の水質解析から、地点ごとの水質情報をパターンダイヤグラムにより視覚化し、その水質特性

を把握した。また、トリリニアダイヤグラムによる解析から、県内の地下水は、ほとんどが河川水や表層地下水がもつ特徴であるI I型の重炭酸カルシウム型の水質を示すことが示唆されたが、南濃地域や東濃地域のひ素やふっ素濃度が比較的高い一部の地下水については、停滞性地下水を起源とするI I I型や温泉水・化石水が示すI型に区分されることが分かった。

濃度相関マトリクス法による解析から、県内地下水の水質は、井戸深度が深くなれば、地下水中に溶け込んでいる主要成分イオン濃度が増大する傾向が認められ、ひ素、ふっ素及びほう素などの自然由来の有害物質についても正の相関が認められていた。このことから考察すると、井戸深度が深い地下水は、地下水の帯水層中の地質に含まれる成分が地域によって変化するため、全てにあてはまるわけではないが、自然由来の有害物質による汚染の可能性が高くなることを示唆しており、注意が必要と思われる。

また、東濃地域の地下水質の形成について、周辺の河川水の水質に注目し、東濃地域の河川水の水質調査を実施することで、その水質特性を明らかとした。また、東濃地域で広域的に判明しているふっ素汚染地下水質とその周辺河川水質を比較し、併せてふっ素溶出の原因について考察を行なったところ、その水質は周囲の地質などの環境に大きく影響を受け、形成されていると考えられた。

<謝辞>

本研究をまとめるにあたり、調査地点の選定及び検体の採水等ご協力いただきました環境管理課ならびに県事務所環境課の担当諸氏に深謝いたします。

5 参考文献

- 1) 岐阜県：岐阜県公共用水域及び地下水の水質測定に関する計画（平成25年から27年度）
- 2) 早狩進：水質組成解析「Excel アドウィン」
- 3) 横山卓雄：各務原地下水盆中の地下水に含まれる硝酸性窒素，環境技術，34，569-574，2005.
- 4) 岐阜県：平成28年度岐阜県地下水の測定結果
- 5) 西澤貴樹，加藤雅彦，北沢遥，佐藤健：濃尾平野西濃地域におけるヒ素の存在形態と地下水への溶出，土木学会論文集，68，670-679，2012.
- 6) 核燃料サイクル開発機構：サイクル機構技術資料，JNC TN1410 99-02-024，1999.
- 7) 中島玲，原口智和，田中明：佐賀県の地下水の水質による分類，佐賀大農彙，97，27-35，2012.
- 8) 大江彰夫，村瀬秀也，渡辺憲人，桑原通信：岐阜

県における地下水中の主要成分について, 岐阜県
公害研究所年報, 20, 48-52, 1992.

- 9) 佐々木正人, 原信行, 岡正人: 岐阜県下における
砒素汚染地下水の水質特性事例, 岐阜県保健環境
研究所報, 17, 12-16, 2009.
- 10) 北野堅一, 森洋隆, 堀部京子, 南部敏博, 今井準
三, 白木康一: 岐阜県内飲料水水質調査について,
岐阜県衛生研究所報, 18, 14-22, 1973.
- 11) 中津川市: 中津川市の環境の現状 ~平成23年度
状況報告~
- 12) (独) 産業技術総合研究所 地質調査研究セン
ター: 20万分の1 日本シームレス地質図 v2.
- 13) 島田允堯: 自然由来重金属等による地下水・土壌
汚染問題の本質, 応用地質技術年報, 30, 3-29,
2011.
- 14) White, A.F., *et al*, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 63,
1939-1953, 1999.
- 15) 佐々木宗建: 花崗岩地域の地下水の地化学的特徴,
地質調査研究報告, 55, 439-446, 2004.

Research and Characterize Ionic Components of Groundwater in Gifu Prefecture

Masato SASAKI, Takashi OKA, Masahiro KITA

Gifu Prefectural Research Institute for Health and Environmental Sciences:
1-1, Naka-fudogaoka, Kakamigahara, Gifu, 504-0838, Japan.