

富士北麓水資源の保全と活用のための水文科学的研究 —富士山北麓地域の地下水、湧水に含まれるフッ化物イオンと バナジウムについて—

尾形 正岐・小林 浩^{*1}

Hydrologic Science Research for the Management and Utilization of Ground Water Resources in the Northern Piedmont Area of Mt. Fuji —Fluorine ion and vanadium contained in ground water at the northern foot of Mt. Fuji—

Masaki OGATA and Hiroshi KOBAYASHI^{*1}

要 約

富士山北麓地域 38 地点の地下水や湧水の水質を調査した。このうち、富士河口湖町周辺と鳴沢村周辺の 14 地点については地質のデータも考慮に入れ、フッ化物イオン、バナジウム、塩化物イオン、硝酸イオンの起源について考察した。地下水や湧水のフッ化物イオン濃度とバナジウム濃度は富士山側で高く、御坂山地側で低くなっていた。フッ化物イオンの濃度とバナジウムの濃度の間には正の相関があり、いずれの起源も地質由来であると考えられる。塩化物イオンと硝酸イオンの起源に関しては地質由来のみでは説明できず、人為由来あるいは人為由来と地質由来の両方であると考えられる。

1. 緒 言

富士山は玄武岩質溶岩と火山灰などの火山砕屑物を繰り返し噴出し成層してできた円錐型火山である。富士山は古富士火山噴出物の上に比較的透水性の良い新富士火山噴出物が重なっており、富士山の降雨や降雪は新富士火山噴出物を伝って地下水となり、一部は富士山麓で湧水となっている。

富士山周辺地域の地下水質や湧水の水質に関する研究例としては小林ら¹⁾や尾形ら²⁾などがある。小林ら¹⁾は富士山麓地域の地下水や湧水に含まれるバナジウムやリンの濃度と甲府盆地周辺地域の地下水や湧水に含まれるバナジウムやリンの濃度との比較から富士山麓地域の地下水や湧水に含まれるバナジウムやリンは富士山麓地域に分布する岩石や地質に由来することを論じている。尾形ら²⁾は富士山北麓地域の地下水や湧水の水質を調査し、フッ化物イオン濃度が高いことを報告している。

地下水や湧水に含まれるフッ素の起源について考察した例としては、鶴巻・桜本³⁾や増永ら⁴⁾がある。鶴巻・桜本³⁾は花崗岩に含まれる黒雲母 ($\text{K}(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{Al},\text{Fe})\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$) や花崗岩の副成分鉱物であるリン灰石

($3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{Cl},\text{F})_2$)、蛍石 (CaF_2) がフッ素の供給源になる可能性を示している。増永ら⁴⁾は愛知県内の地下水中のフッ素濃度を調査し、深さ 20m から 60m の弱アルカリ性の層に高い濃度のフッ素が含まれており、フッ素が自然由来である可能性を示している。

本研究ではこれらの研究結果を踏まえ、富士山北麓地域の地下水に含まれるバナジウムやフッ化物イオンの起源について、フッ素と同族元素である塩素（塩化物イオン）や人為活動に由来すると考えられている硝酸イオン濃度の地域性を比較し考察した。

2. 地下水、湧水採水地点の概要

図 1 に採水地点の位置を示す。本研究では、富士山北麓に位置する 38 地点で地下水および湧水を採水した。採水地点は富士山北麓の山中湖、河口湖、西湖、精進湖周辺と山中湖から山梨県東部を北東方向に流れる桂川とその支流の流域に位置している。河口湖および西湖南側の平地には住宅地や森林が見られ、湖畔にはリゾート施設が見られる。それより南側の富士山麓には別荘地やスキー場、ゴルフ場などが点在している。

^{*1} 山梨県衛生環境研究所

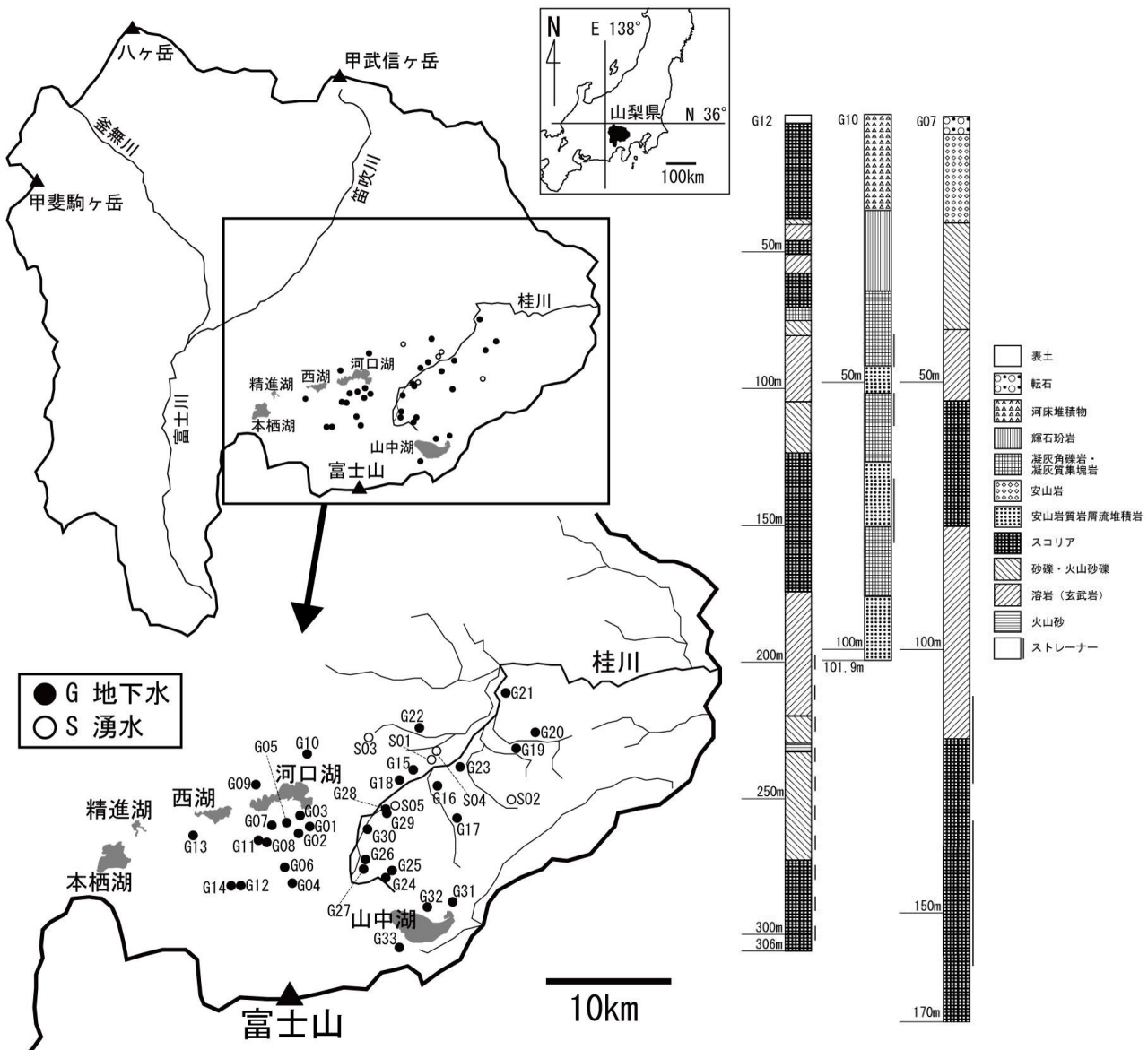


図1 富士山北麓地域の採水地点の位置と代表的な地点の地質柱状図

3. 方法

本研究では、2012年8月から11月にかけて（一部、2011年11月。以下、2012年秋と表記する）と2013年4月から5月にかけて（以下、2013年春と表記する）、2015年2月から5月にかけて（以下、2015年春と表記する）採水した富士山北麓地域の地下水のうち、バナジウム（V）、フッ化物イオン（F）、塩化物イオン（Cl）、硝酸イオン（NO₃⁻）の濃度について分析値を解析した。バナジウム（V）の濃度はICP質量分析装置（横河アナリティカルシステムズ社製 HP-4500）を用いて、フッ化物イオン（F）、塩化物イオン（Cl）、硝酸イオン（NO₃⁻）の濃度はイオンクロマトグラフ分析装置（株式会社島津製作所製 HIC-20A SUPER）を用いて分析した。

4. 結果

4-1 富士山北麓地域のフッ化物イオン濃度とバナジウムの濃度の分布

表1に富士山北麓地域で2012年秋に採水した地下水および湧水に含まれるフッ化物イオンとバナジウムの濃度を示し、濃度の分布を図2に示した。フッ化物イオンやバナジウムは濃度の分布が似ている。

本研究では富士山北麓地域の38地点の地下水と湧水を解析し、地質柱状図のデータが得られた富士河口湖町と鳴沢村の14地点（以下、本稿では河口湖南側地域と表記する）の地下水に関しては井戸の掘削深度も踏まえた解析を行った。

表1 富士山北麓地域のフッ化物イオン濃度とバナジウム濃度 (2012 年秋) . N. D. は掘削深度不明を示す.

記号	ID	掘削深度 m	採水日	F ⁻ mg/L	V μg/L
● (地下水)	G01	75	2012.09.25	0.17	60
	G02	165	2012.09.25	0.26	96
	G03	120	2012.09.25	0.10	14
	G04	200	2012.09.25	0.19	55
	G05	130	2012.09.25	0.25	70
	G06	226	2012.09.25	0.22	83
	G07	170	2012.09.25	0.31	61
	G08	152	2012.09.25	0.25	74
	G09	N. D.	2012.09.25	0.00	5.8
	G10	101.9	2012.09.25	0.00	2.1
	G11	108	2012.09.20	0.13	55
	G12	306	2012.09.20	0.39	111
	G13	40	2012.09.20	0.00	29
	G14	300	2012.09.20	0.31	107
	G15	40	2012.08.07	0.00	16
	G16	53	2012.08.07	0.00	7.8
	G17	45	2012.08.07	0.00	7.0
	G18	40	2012.08.07	0.14	30
	G19	30	2012.08.07	0.00	5.9
	G20	50	2012.08.07	0.00	14
	G21	45	2012.08.07	0.00	11
	G22	48	2012.08.07	0.00	5.8
	G23	N. D.	2012.11.12	0.00	21
	G24	90	2012.08.07	0.12	54
	G25	90	2012.08.07	0.12	48
	G26	115	2012.08.07	0.10	32
	G27	102	2012.08.07	0.10	16
	G28	31	2012.08.08	0.20	75
	G29	90	2012.08.08	0.34	64
	G30	N. D.	2012.11.12	0.23	72
	G31	N. D.	2012.08.22	0.12	73
	G32	N. D.	2012.08.22	0.11	49
	G33	N. D.	2012.08.22	0.00	38
○ (湧水)	S01		2012.08.07	0.13	30
	S02		2012.08.07	0.00	7.4
	S03		2012.08.07	0.00	5.3
	S04		2011.11.21	0.15	42
	S05		2012.08.22	0.18	35

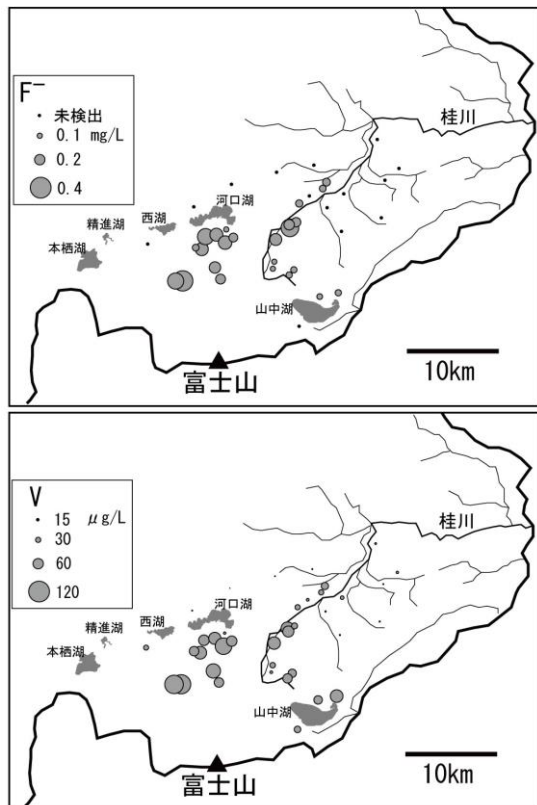


図2 富士山北麓地域のフッ化物イオン濃度とバナジウム濃度の分布 (2012 年秋)

4-2 河口湖南側地域のフッ化物イオン濃度とバナジウムの濃度、塩化物イオン濃度、硝酸イオン濃度の分布

表2に2015年春に河口湖南側地域で採水した地下水に含まれるフッ化物イオン、バナジウム、塩化物イオンや硝酸イオンの濃度を示し、濃度の分布を図3に示した。4-1節と同様に、フッ化物イオンとバナジウムの濃度は分布が似ており、河口湖南側や西湖南側の富士山側が高く、河口湖北側や西湖北側の御坂山地側で低くなっている。塩化物イオンや硝酸イオンは商業地や住宅が集まる河口湖南東岸や、ゴルフ場や別荘地がある地域周辺で濃度が高くなる傾向がある。

4-3 フッ化物イオン濃度に対するバナジウム濃度、塩化物イオン濃度、硝酸イオン濃度

図4には河口湖南側地域で2015年春に採水した地下水に含まれるフッ化物イオン濃度に対するバナジウム濃度、塩化物イオン濃度、硝酸イオン濃度を示した。フッ化物イオン濃度に対するバナジウム濃度の挙動は塩化物イオン濃度や硝酸イオン濃度の挙動とは異なっている。フッ化物イオン濃度とバナジウム濃度の間には正の相関があるが、フッ化物イオン濃度と塩化物イオン濃度の間、フッ化物イオン濃度と硝酸イオン濃度の方に相関関係はみとめられない。これは2012年秋に採水した地下水、2013年春に採水した地下水でも同様である。

4-4 井戸の掘削深度とフッ化物イオン濃度、バナジウム濃度の関係について

図5には2015年春に河口湖南側地域で採水した地下水の井戸の掘削深度とフッ化物イオン濃度、バナジウム濃度の関係を示した。河口湖南側地域の井戸ではフッ化物イオン濃度、バナジウム濃度と井戸の掘削深度との間に弱い正の相関がみとめられる。これは2012年秋に採水した地下水、2013年春に採水した地下水でも同様である。

表 2 河口湖南側地域のフッ化物イオン濃度，バナジウム濃度，塩化物イオン濃度，硝酸イオン濃度（2015 年春）。

記号	ID	掘削深度 m	採水日	F ⁻ mg/L	V μg/L	Cl ⁻ mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L
● (地下水)	G01	75	2015.05.26	0.23	57	3.5	5.5
	G02	165	2015.05.26	0.32	91	0.95	1.7
	G03	120	2015.05.26	0.17	14	6.9	5.1
	G04	200	2015.05.26	0.24	52	11.9	2.0
	G05	130	2015.05.26	0.32	68	2.8	2.5
	G06	226	2015.05.26	0.28	90	0.60	1.1
	G07	170	2015.05.26	0.37	60	2.8	2.7
	G08	152	2015.05.26	0.31	70	2.1	1.9
	G09	N.D.	2015.05.26	0.11	5.5	0.98	1.8
	G10	101.9	2015.05.26	0.10	1.7	1.9	1.8
	G11	108	2015.02.09	0.19	58	1.7	5.3
	G12	306	2015.02.09	0.44	104	0.46	0.81
	G13	40	2015.02.09	0.12	26	3.4	2.0
	G14	300	2015.02.09	0.35	95	1.4	1.2

N.D. は掘削深度不明を示す。

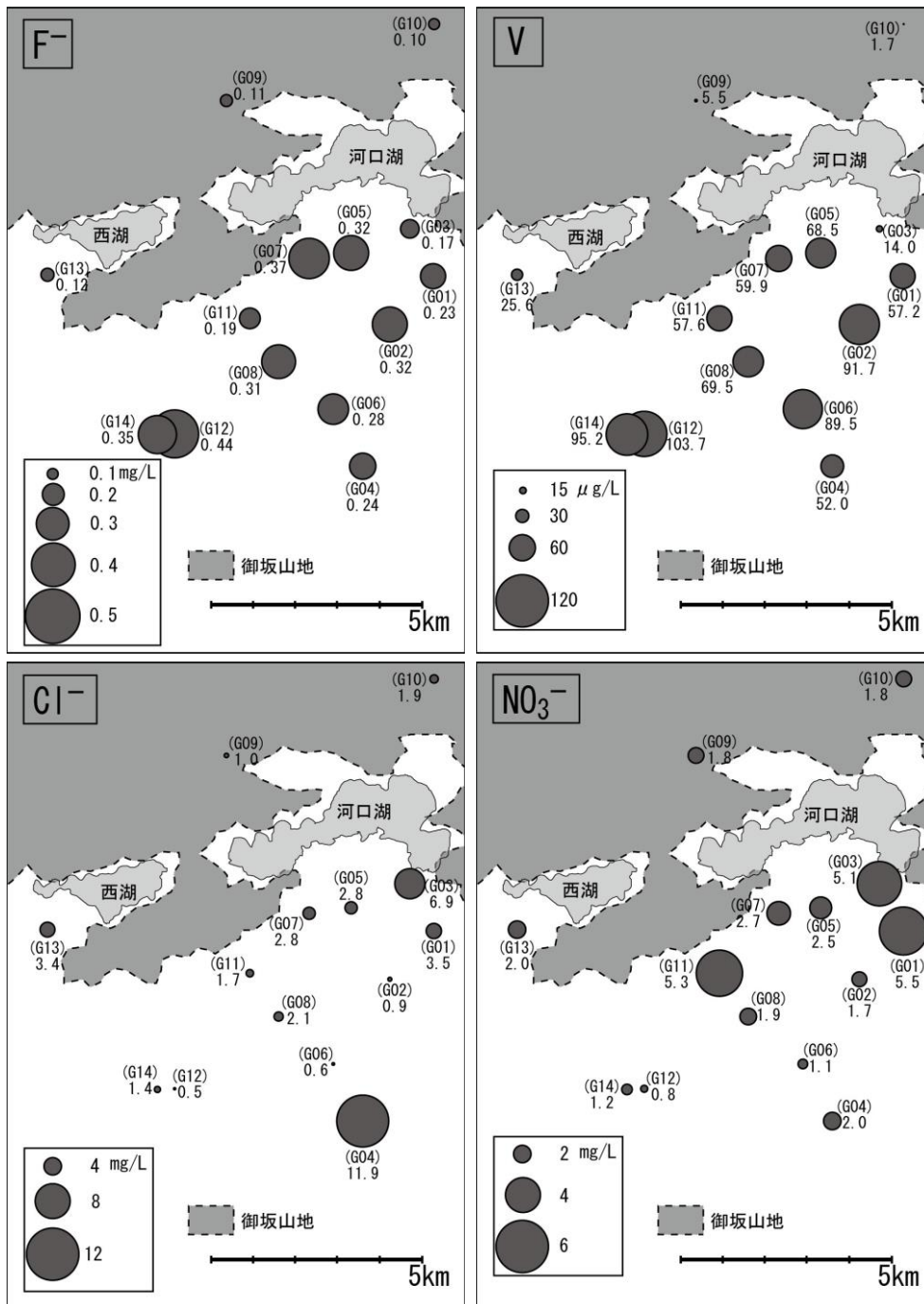


図 3 河口湖南側地域のフッ化物イオン濃度，バナジウム濃度，塩化物イオン濃度，硝酸イオン濃度の分布（2015 年春）

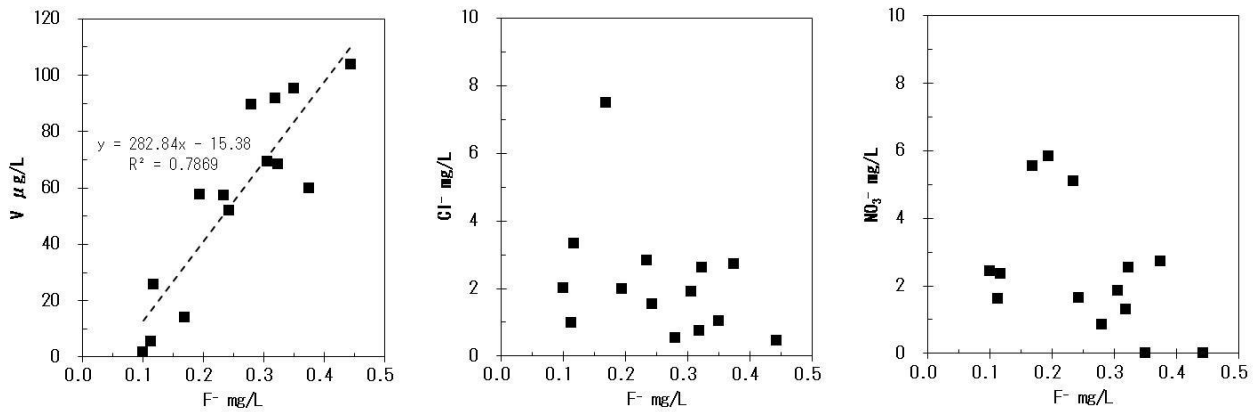


図4 フッ化物イオン濃度に対するバナジウム濃度，塩化物イオン濃度，硝酸イオン濃度の関係（2015年春）

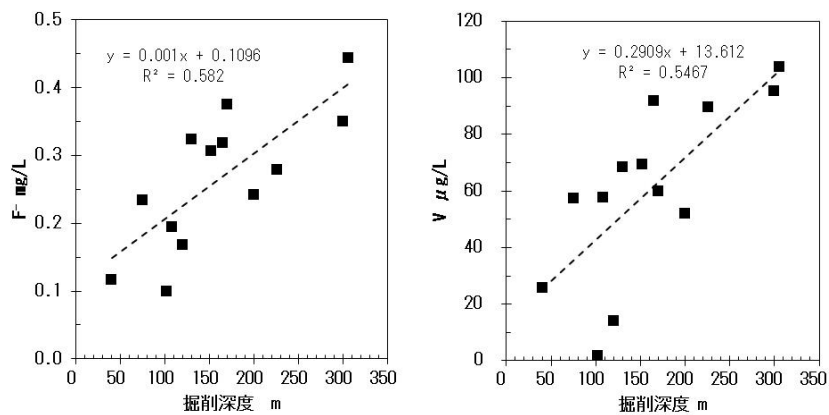


図5 井戸の掘削深度とフッ化物イオン濃度，バナジウム濃度の関係（2015年春）

5. 考察

5-1 河口湖南側地域の地下水の硝酸イオン濃度

地下水に含まれる硝酸イオンの起源に関しては人為活動が指摘されている（たとえば田瀬⁵⁾）。商業地や住宅地が集まる河口湖南東岸や、ゴルフ場や別荘地がある地域周辺で濃度が高くなる傾向があることから、硝酸イオンの起源は人為活動が主であると考えられる。

5-2 河口湖南側地域の地下水流動について

4-4 節ではフッ化物イオン濃度，バナジウム濃度と井戸の掘削深度との間に弱い正の相関があることを述べた。これはこの地域においてはフッ化物イオンやバナジウムを多く含む地下水が比較的深いところにある，新富士火山と古富士火山の境界付近を流動しているためだと考えられる（図6）。

5-3 河口湖南側地域の地下水のフッ化物イオン

富士山北麓地域の地下水のフッ化物イオン濃度は比較的高いと考えられる（尾形ら²⁾）。本研究で地下水を採水した井戸は比較的掘削深度が深く，周辺に工場がないこ

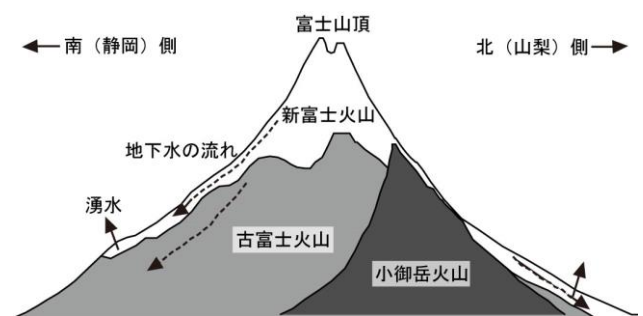


図6 富士山北麓地下水流動のイメージ（津屋⁷⁾，興水ら⁸⁾などを参考に作成）

とから，フッ化物イオンは自然（地質）由来であると考えられる。増永ら⁴⁾は愛知県内の地下水中のフッ素濃度を調査し，深さ20mから60mの弱アルカリ性の層に高い濃度のフッ素が含まれており，フッ素が自然由来である可能性を示している。鶴巻・桜本³⁾は花崗岩に含まれる黒雲母 ($K(Mg,Fe)_3(Al,Fe)Si_3O_{10}(OH,F)_2$) やリン灰石 ($3Ca_3(PO_4)_2 \cdot Ca(Cl, F)_2$)，蛍石 (CaF_2) がフッ素の供給源になる可能性を示している。特にpHが高い地点の場合には黒雲母中のFがOHと置換されやすくなると考えられ

ている。

富士山北麓地域の場合も上記の例のように、フッ素の供給源となる地層や鉱物が含まれていることが可能性として考えられる。

5-4 フッ化物イオンの起源と塩化物イオンの起源の違い

フッ素と塩素は同族の元素であり、化学的な性質が似ている。図4に示したとおり、フッ化物イオン濃度と塩化物イオン濃度の間には相関関係がみとめられないことから、塩化物イオンとフッ化物イオンに関しては地下水中での挙動が異なり、起源が異なると考えられる。

一般的に、生活排水等の影響を受けると、塩化物イオン濃度が高くなることが知られている（たとえば半谷⁶⁾）。富士河口湖町や鳴沢村の道路には冬期に融雪剤が播かれおり、塩化物イオン濃度に経時変化の見られる地点があることから、融雪剤による塩化物イオンが地下水に流入していることも考えられる。

塩化物イオンの起源は地質由来のみでは説明できず、人為由来あるいは人為由来と地質由来の両方であると考えられる。フッ化物イオンは地質由来であると考えられる。

6. まとめ

富士山北麓地域 38 地点の地下水や湧水の水質を調査した。このうち、富士河口湖町周辺と鳴沢村周辺の 14 地点については地質のデータも考慮に入れ、フッ化物イオン、バナジウム、塩化物イオン、硝酸イオンの起源について考察した。

地下水や湧水のフッ化物イオン濃度とバナジウム濃度は富士山側で高く、御坂山地側で低くなっていた。フッ化物イオンの濃度とバナジウムの濃度の間には正の相関があり、いずれの起源も地質由来であると考えられる。塩化物イオンと硝酸イオンの起源に関しては地質由来のみでは説明できず、人為由来あるいは人為由来と地質由来の両方であると考えられる。

なお、本研究は山梨県総合理工学研究機構研究課題「富士北麓水資源の保全と活用のための水文科学的研究」により行われた研究です。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、都留市水資源活用課（（現）上下水道課）、西桂町建設水道課、忍野村上下水道課、山中湖村建設水道課、富士河口湖町水道課、鳴沢村振興課の担当の方々には地下水や湧水の採水および地質柱状図のデータ提供にご協力頂きました。心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 小林浩・輿水達司：地下水・湧水中のリンおよびバナジウム濃度関係を基に推定された河川水における人為的影響によるリン濃度，日本地下水学会誌，47（1），p.97-115（2005）。
- 2) 尾形正岐・小林浩・輿水達司：富士山北麓地域の地下水のフッ素濃度と地下水面について，日本地下水学会誌，56(1)，p.35-51（2014）。
- 3) 鶴巻道二・桜本勇治：近畿地方における高フッ素地下水の起源について，日本地下水学会誌，27(1)，p. 1-16（1985）。
- 4) 増永信夫・猿渡謙次・水野勝・石川創・片岩憲成：愛知県内の地下水中のふっ素に関する研究，愛知県環境調査センター所報，36，p. 23-27（2008）。
- 5) 田瀬則雄：硝酸性窒素による地下水汚染，地下水技術，48(1)，p.31-44（2006）。
- 6) 半谷高久：水質調査法，丸善，399p（1960）。
- 7) 津屋弘達：富士火山の地質學的並に岩石學的研究，地学雑誌，52（8），p.347-361（1940）。
- 8) 輿水達司・小林浩：富士山北麓の水循環システムと土砂の流れ，第20回環境地質学シンポジウム論文集，p. 1-6（2010）。