

## 埼玉県西部、都幾川流域の地球化学図

川野良信・村田もえ・木村春花（立正大学地球環境科学部\*）

### I. はじめに

地球化学図とは地表を構成する岩石や堆積物の化学組成に基づき、地図上に元素ごとの含有量を表示することで、地域ごとに元素の濃集を可視化したものである（一國, 1991）。この地球化学図は、国の研究機関をはじめ、複数の大学で取り組みが進められており、採取密度に差はあるものの日本全土の地球化学図が作成されている（今井ほか, 2004 ; 2010 ; Ujiie-Mikoshiha et al., 2006 ; 2011 ; Ohta et al., 2005 ; 伊藤ほか, 1991 ; Tanaka et al., 1994 ; 1996 ; 田中ほか, 1995 ; 戸上ほか, 1997 ; 山本ほか, 1998 ; 古川ほか, 2004 ; 伊藤ほか, 2007 ; 柚原, 2010 ; 柚原ほか, 2010 ; 2011）。立正大学では、2000年から埼玉県荒川流域の地球化学図の作成に取り組んでおり（福岡ほか, 2005 ; 2006 ; 2007 ; 2008 ; 新藤ほか, 2006 ; 青木ほか, 2009）、これまでに埼玉県西部の山岳地域を中心に調査が進められてきた。

近年、樋口ほか（2021）は、埼玉県西部の滝沢ダム周辺の河川堆積物を対象に、十数年の時間的間隔を空けて採取・分析を行い、同じ場所の地球化学的データの比較を行った。彼らは、時間経過に伴う堆積物の組成変化が、対象とした河川堆積物そのものの移り変わりによって生じた可能性が大きいと結論した（樋口ほか, 2021）。一方、清水ほか（2022）は、埼玉県西部の小森川流域の河川堆積物について化学組成の経年変化について検討した。この報告では、試料の採取位置の違いによって河川堆積物の化学組成に経年変化が生じた可能性は低いものの、採取試料そのものの不均質性が化学組成の違いを生じたと考察している（清水ほか, 2022）。このように、地球化学図の活用は、バックグラウンドとしての基本的な元素分布の把握から、化学組成の経年変化の議論へと発展してきており、調査地域の環境変化を把握するためにも

化学データの蓄積は極めて重要となりつつある。

立正大学では20年以上にわたり荒川流域の地球化学図の作成を進めており、近年は関東平野西縁部を流下する河川流域の検討を行っている。その研究の一環として、2021年に埼玉県西部を流れる都幾川流域を対象に試料採取を行い、主成分元素、微量成分元素、希土類成分元素の分析を行った。本論では、都幾川流域の代表的な地球化学図を例に挙げ、化学元素と地質の関連性について検討を行う。

### II. 地質概略

都幾川は埼玉県の西部、南西の山岳域から北東に流下し、荒川へと合流する一級河川である（図1）。調査地域の大部分は御荷鉾緑色岩や三波川帯の変成岩から構成され、部分的に中・古生界が、局所的に第三系がそれぞれ露出し、河川沿いに第四系の段丘堆積物および沖積層が分布している（図1）。

調査地域の南西端の都幾川上流域の北方山中には、蛇紋岩の小岩体が露出し、周囲の御荷鉾緑色岩と断層で接している（安戸研究グループ, 1982）。三波川帯は泥質片岩と苦鉄質片岩からなり、調査地域の東側に広く分布している（嵐山町博物誌三波川グループ, 2004）。御荷鉾緑色岩は三波川帯と断層を境として、調査地域の西側に広がっており、変玄武岩類、変ハンレイ岩、火山性角礫岩から構成される（安戸研究グループ, 1982 ; 牧本・竹内, 1992）。中・古生界は、酸性凝灰岩、苦鉄質溶岩、チャート、礫岩、泥岩からなり、それぞれ御荷鉾緑色岩と断層で接している（埼玉県地質図編纂委員会, 1998 ; 1999）。日尺（にっしゃく）集落の北側には小規模な酸性凝灰岩の岩体が、それを取り囲む砂岩泥岩互層とともに分布し、苦鉄質溶岩は日尺の西側と外川上流域に小規模に露出している。チャートは、小規模な岩体として断

\* 立正大学地球環境科学部 〒360-0194 埼玉県熊谷市万吉1700

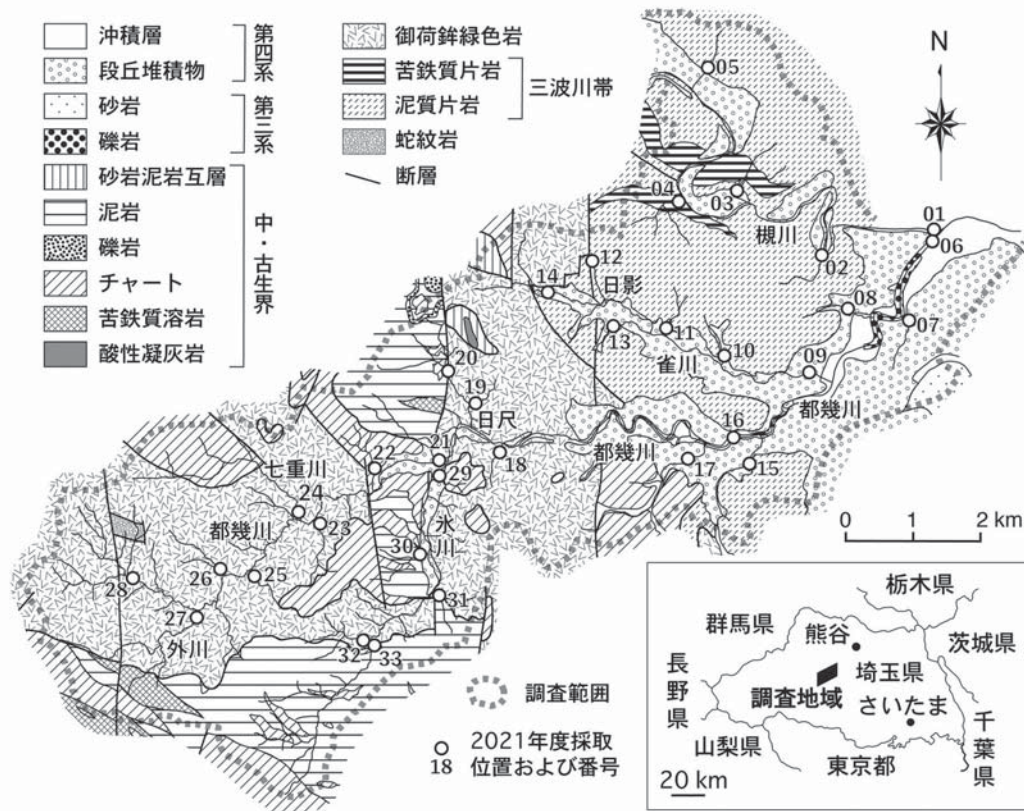


図1 都幾川流域の地質図  
埼玉県農林部林務課（1999）を一部改変

層を境に御荷鋳緑色岩分布域に点在し、礫岩は酸性凝灰岩分布域の北西方に小規模に露出する。泥岩は、調査域の中央から西南端にかけて広く分布し、苦鉄質溶岩やチャートを挟む。第三系の礫岩や砂岩は、東端域に小規模に露出し、第四系の段丘堆積物は、調査地域下流部の都幾川や雀川流域に、沖積層は都幾川最下流域にそれぞれ分布している（埼玉県地質図編纂委員会，1999）。

### III. 試料採取および分析方法

#### III-1. 試料採取・試料処理法

試料の採取位置を図1に示した。原則として下流側を若い番号とし、同じ河川を下流から上流に、左岸側支流の採取位置を優先して番号を振っていき、後に右岸側支流の採取位置に下流側から順番に番号を付けていった。なお、本研究で採取・分析した試料数は計33試料である。

青木ほか（2009）に従って試料の採取・処理を行った。まず、スコップを用いて河川堆

積物を80メッシュ（ $<180\mu\text{m}$ ）の篩に採取し、河川水を用いて篩に通した。篩を通過した河川堆積物と水はポリバケツ（15リットル）に回収し、篩を通過しなかったものは適宜捨て、さらに河川堆積物を追加し、篩にかけた。ポリバケツが満水になるまで河川水を流し続けた後、手で攪拌し5分間静置させた。静置後、上澄みを捨て、沈殿物を再び80メッシュの篩にかけ、ポリバケツに回収した。二度目は沈殿物を篩にかける際に新たな河川堆積物が追加されないように、じょうろで汲んだ河川水のみを用いて篩に通し、ポリバケツに回収した。ポリバケツに水が満ちた後、再び攪拌し、5分間静置させた。その後、上澄みを捨て沈殿物をコーヒーフィルターに回収し、試料とした。採取した試料は、自然乾燥後、四分法により試料を分取し、アルミナ製乳鉢を用いてすりつぶした後、スチロール棒瓶に入れ保管した。

### Ⅲ-2. 分析方法

採取した試料は、十分に乾燥させた後900°Cで恒量に達するまで加熱処理を行った。恒量した試料に、融剤（四ホウ酸リチウム）を重量比で試料1：融剤2となるように加え、アルミナ製乳鉢で十分に混合した後、高周波炉を用いて溶融し、ガラスビードを作成した（福岡ほか，2005）。

ガラスビードを用いた主成分・微量成分元素の分析は、川野（2010）に基づき立正大学地球環境科学部環境システム学科設置の蛍光X線分析装置（XRF；リガク社製ZSX Primus II）を用いて行った。ただし、分析条件を改善し、理論マトリックス補正計算はde Jonghモデルを用い、Loss on ignition（L.O.I.）を含む補正計算（山田，2010）を施した。測定した元素は、Si、Ti、Al、Fe、Mn、Mg、Ca、Na、K、Pの主成分と、Ba、Co、Cr、Cu、Ga、Nb、Ni、Pb、Rb、Sc、Sr、Th、V、Y、Zn、Zrの微量成分の合計26元素である。希土類成分元素の分析は立正大学地球環境科学部環境システム学科設置のICP-MS（PerkinElmer社製NexION2000と

Nd-YAGレーザーアブレーションシステム（New Wave Research社製UP-213Nd）を連結したLA-ICP-MSを用いて測定した。分析手法は新藤ほか（2009）、川野・清水（2017）に準じ、XRFで求めたYを内標準元素として測定元素の補正を行った。測定した希土類成分元素はLaからLuまでのランタノイドおよびHf、Ta、Uの計17元素である。

## Ⅳ. 結果

### Ⅳ-1. 主成分元素

主成分元素の分析結果を表1に、代表的な主成分元素の地球化学図を図2にそれぞれ示した。なお、全ての地球化学図の作成は稲吉（2005）のプログラムを使用している。SiO<sub>2</sub>は、47~68wt%の組成幅を有し、調査地域の北東部で多く、南西部で少ない傾向を示す（図2）。濃集地域を、図1の地質図と照らし合わせると、最高濃度は地点2110で67.8wt%、最低濃度は地点2128で47.5wt%であった。地点2110は三波川帯泥質片岩露出域のほぼ中央にある段丘堆積物分布域、地点2128は御荷鉾緑色岩の分布域で上流に

表1 主成分元素組成

Sample No.	SiO <sub>2</sub> (wt%)	TiO <sub>2</sub> (wt%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (wt%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (wt%)	MnO (wt%)	MgO (wt%)	CaO (wt%)	Na <sub>2</sub> O (wt%)	K <sub>2</sub> O (wt%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (wt%)	Total (wt%)
2101	61.52	1.26	15.78	9.24	0.29	5.01	3.31	1.80	2.02	0.35	100.57
2102	63.37	1.63	14.06	12.22	0.40	2.39	2.63	2.30	1.40	0.15	100.54
2103	65.56	1.32	13.72	8.61	0.21	2.63	3.16	2.23	1.88	0.18	99.49
2104	63.24	1.48	14.80	10.79	0.24	2.91	2.49	2.64	1.56	0.16	100.31
2105	61.42	1.43	17.37	10.58	0.37	3.28	2.09	2.43	1.62	0.22	100.82
2106	54.91	2.01	14.91	14.06	0.31	6.89	4.79	1.40	1.22	0.37	100.89
2107	61.42	1.91	14.21	12.22	0.22	3.33	2.97	1.91	1.26	0.30	99.75
2108	64.85	1.60	13.90	10.40	0.29	2.69	2.10	2.28	1.38	0.25	99.73
2109	64.27	1.38	13.33	8.18	0.19	5.09	3.29	2.50	1.31	0.21	99.75
2110	67.84	1.08	14.61	7.63	0.38	2.51	2.39	2.45	1.45	0.23	100.56
2111	64.81	1.36	16.30	9.20	0.19	2.37	1.70	2.07	1.47	0.18	99.65
2112	59.73	1.61	14.17	11.80	0.31	5.39	3.38	1.92	1.23	0.21	99.75
2113	58.28	1.98	14.60	10.80	0.24	6.43	4.00	2.16	1.30	0.22	100.01
2114	52.71	1.98	13.87	13.68	0.48	10.08	5.14	1.30	0.84	0.25	100.32
2115	59.88	2.13	15.25	14.00	0.35	3.04	2.51	1.58	1.13	0.41	100.27
2116	51.42	2.47	12.26	15.43	0.21	8.40	6.44	1.71	1.01	0.16	99.51
2117	57.62	2.00	16.35	13.23	0.24	3.93	3.38	1.57	1.37	0.40	100.09
2118	51.46	2.18	16.61	14.39	0.35	6.12	5.32	1.86	1.00	0.29	99.58
2119	50.48	2.03	15.37	15.21	0.24	9.63	4.31	1.25	0.84	0.22	99.57
2120	62.98	1.33	16.83	8.94	0.29	3.05	2.31	1.44	2.48	0.44	100.08
2121	57.19	1.87	13.00	12.05	0.20	6.44	4.83	1.75	1.60	0.21	99.15
2122	56.20	1.34	14.34	12.28	0.33	8.96	4.66	1.19	1.21	0.17	100.69
2123	52.83	1.88	14.63	14.28	0.24	8.77	5.04	1.41	1.24	0.17	100.46
2124	54.70	1.59	13.74	12.19	0.25	9.13	5.80	1.25	0.77	0.29	99.71
2125	49.38	1.90	16.85	15.15	0.27	8.22	5.82	1.60	0.94	0.28	100.39
2126	50.08	1.61	14.03	13.79	0.22	11.05	6.97	1.39	0.77	0.30	100.20
2127	49.47	2.87	12.50	16.03	0.30	10.09	5.85	1.22	1.20	0.20	99.74
2128	47.47	1.63	25.19	15.52	0.26	5.59	2.65	1.33	0.67	0.15	100.45
2129	58.17	1.77	14.74	12.12	0.24	6.01	3.54	1.38	1.94	0.27	100.19
2130	61.98	1.46	17.56	9.64	0.17	2.90	1.54	1.37	2.70	0.26	99.57
2131	56.15	1.88	15.35	13.67	0.22	7.02	3.37	1.40	1.61	0.18	100.83
2132	56.44	1.50	17.53	11.59	0.20	5.96	3.29	1.41	2.37	0.24	100.53
2133	62.16	1.44	14.99	9.51	0.23	5.15	2.49	1.26	2.43	0.22	99.87

全鉄はFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>として表示。

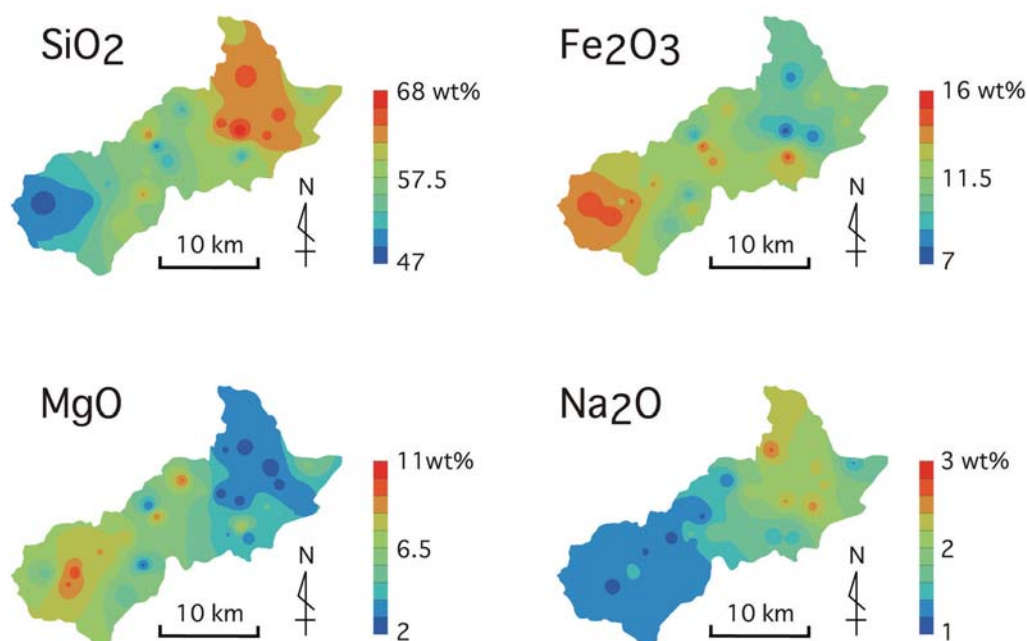


図2 都幾川流域の代表的な主成分元素の地球化学図

蛇紋岩が露出している場所である（図1）。7～16wt%の組成幅をもつ $\text{Fe}_2\text{O}_3$ では、最高濃度は地点2127で16.0wt%、最低濃度は地点2110で7.6wt%となっており、地点2127は地点2128の下流部に位置し、 $\text{SiO}_2$ にみられる最高濃度と $\text{Fe}_2\text{O}_3$ の最低濃度の地点がほぼ入れ替わっている（図2）。 $\text{MgO}$ は2～11wt%の組成幅を示し、最高濃度は地点2126で11.0wt%、最低濃度は地点2111で2.4wt%であった（図2）。 $\text{MgO}$ も最高濃度、最低濃度の位置は僅かにずれるものの、 $\text{SiO}_2$ にみられる最高濃度と最低濃度の位置と逆の傾向を示している（図1, 2）。 $\text{Na}_2\text{O}$ は1～3wt%と他の元素に比してかなり組成幅が狭いものの、 $\text{SiO}_2$ と同様に北東部でやや多く、南東部でやや少ない特徴を示している（図2）。ただし、最高濃度は地点2104で2.6wt%、最低濃度は地点2122で1.2wt%となっており、 $\text{SiO}_2$ にみられる最高濃度と最低濃度の地点とは一致していない。

#### IV-2. 微量成分元素

微量成分元素の分析結果を表2に、代表的な微量成分元素の地球化学図を図3にそれぞれ示した。 $\text{Cr}$ の最高濃度は1182ppmで、地点2116から採取されている。この地点は三波

川帯泥質片岩が分布するほぼ中央の段丘堆積物分布域に含まれている。また、1000ppmを超える地点が他に2カ所あり、それは地点2119と2127である。地点2119は日尺の集落の北側に位置し、御荷鉾緑色岩分布域に含まれ、地点2127は $\text{Fe}_2\text{O}_3$ の最高濃度を記録している場所である（図2, 3）。 $\text{Cr}$ の最低濃度は87ppmで、槻川上流で三波川帯の苦鉄質片岩を流下してきた支流に位置する地点2103から得られている（図1）。 $\text{Ni}$ は、地点2114から最高濃度の546ppmが、地点2103から最低濃度の38ppmがそれぞれ得られている。地点2114は雀川の最上流部で、三波川帯と御荷鉾緑色岩の境界部に広がる段丘堆積物分布域に位置している（図1）。最低濃度を記録した地点2103は、 $\text{Cr}$ の最低濃度が得られた場所と一致している。それもあって、 $\text{Ni}$ の地球化学図の全体的な傾向は、 $\text{Cr}$ の変化傾向と良く似ている（図3）。 $\text{Rb}$ は、地点2130で123ppmの最高濃度、地点2124で27.4ppmの最低濃度を示している。地点2130は、都幾川の支流である氷川水系の中・古生界の泥岩が露出する場所で、地点2124は御荷鉾緑色岩の分布域に位置している（図1）。ただし、低濃度を示す試料が多くみられるのは、調査地

表 2 微量元素組成

Sample No.	Ba (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Ga (ppm)	Nb (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Rb (ppm)	Sc (ppm)	Sr (ppm)	Th (ppm)	V (ppm)	Y (ppm)	Zr (ppm)	Zn (ppm)
2101	432	31.7	331	96.4	19.8	13.4	183	28.1	82.4	23.8	145	9.49	188	33.4	160	237
2102	317	27.5	127	59.8	17.7	10.5	45.3	24.7	60.4	23.8	142	6.84	317	31.5	151	268
2103	479	19.3	87	84.1	18.1	12.5	38.0	19.6	75.6	22.3	127	8.64	226	36.4	338	128
2104	297	25.4	104	49.9	18.7	11.0	54.7	21.4	65.8	23.4	131	6.83	281	32.7	152	187
2105	422	27.3	174	64.2	20.2	11.3	80.8	41.1	73.6	23.5	145	5.59	233	27.6	176	270
2106	335	50.4	698	123	21.0	12.5	284	30.2	52.8	27.5	161	5.98	349	32.7	163	320
2107	370	29.2	377	76.7	17.1	11.4	74.1	39.7	48.3	24.2	206	5.53	314	26.6	212	540
2108	318	23.8	117	41.7	16.5	10.9	47.5	21.4	58.7	20.2	136	5.71	265	27.5	174	222
2109	276	29.6	434	60.9	15.9	10.5	217	19.2	54.9	19.8	168	5.17	171	24.7	150	218
2110	350	22.5	156	63.2	17.3	9.56	86.1	25.1	62.8	19.0	176	6.15	175	25.8	174	186
2111	311	22.3	92	47.3	19.5	8.35	51.3	20.9	68.1	22.1	161	6.79	237	27.3	190	130
2112	304	39.5	454	121	18.4	9.68	219	41.1	53.5	22.7	154	6.38	246	25.6	157	345
2113	298	38.8	609	69.7	18.0	10.5	259	20.9	57.6	23.8	154	6.52	243	27.4	158	172
2114	275	62.3	1023	147	18.3	8.91	546	20.3	35.3	27.5	145	4.54	316	30.3	134	187
2115	374	39.2	275	68.8	20.6	12.2	91.5	27.4	47.7	25.8	161	6.45	381	27.7	186	308
2116	237	56.9	1182	89.7	17.8	13.8	307	9.71	36.0	30.4	196	4.77	428	28.4	155	144
2117	379	37.8	429	86.0	21.8	14.7	137	37.9	60.0	27.6	220	7.23	331	31.4	176	410
2118	284	50.2	512	85.5	21.9	16.5	220	18.1	41.2	31.7	274	6.06	343	32.8	159	280
2119	252	68.2	1107	143	21.8	9.57	529	17.5	37.7	31.7	116	6.04	368	30.9	148	168
2120	568	27.5	185	96.3	21.4	15.8	105	37.7	104	21.6	109	10.7	201	40.3	179	309
2121	415	43.9	705	97.9	17.1	14.7	212	29.2	54.5	27.5	189	5.36	302	28.6	162	279
2122	295	54.0	899	105	18.3	9.21	388	19.4	52.7	30.1	190	7.11	300	32.1	135	162
2123	268	63.1	902	186	21.8	10.6	396	17.3	54.4	30.2	189	4.47	355	31.2	139	138
2124	223	53.1	914	204	18.5	8.89	386	20.2	27.4	29.5	169	4.48	283	30.7	115	202
2125	241	67.7	826	272	22.4	10.2	385	23.9	40.6	33.6	209	4.95	353	38.0	133	159
2126	197	69.4	886	224	20.1	7.52	494	17.1	27.6	31.1	197	3.05	327	29.3	119	182
2127	256	65.1	1157	113	19.9	20.1	411	11.8	36.7	32.1	195	4.71	421	29.8	144	138
2128	298	70.9	453	165	28.1	10.1	319	15.3	30.5	36.5	109	5.43	317	34.7	143	135
2129	491	41.6	652	113	20.3	14.6	220	26.0	84.4	26.4	132	8.17	314	34.0	175	216
2130	605	24.3	180	92.6	23.6	17.8	77.6	38.0	123	21.9	95	12.3	237	36.4	225	307
2131	412	47.8	652	71.6	20.2	15.7	276	18.6	70.7	28.8	143	8.10	373	31.2	156	156
2132	498	39.8	583	115	23.3	13.2	230	26.0	102	24.3	113	10.8	293	34.1	176	191
2133	668	33.4	383	95.9	20.2	15.0	184	28.8	102	20.3	91	10.5	216	36.8	172	146

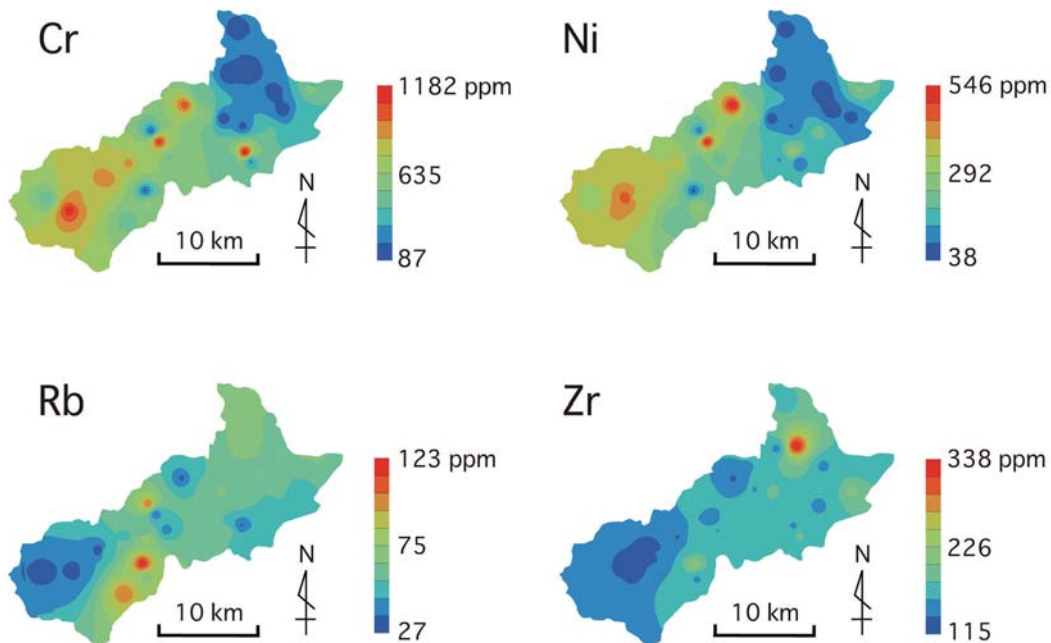


図 3 都幾川流域の代表的な微量元素組成の地球化学図

域の西端域に集中する特徴がある (図 3)。Zr の最高濃度は 338ppm で地点 2103 から得られている。この地点からは、Ni の最低濃度が得られている。また、Zr の最低濃度は

115ppm で、都幾川の支流である七重川の地点 2124 から得られたものである (図 1)。全体的に Zr は西側が低濃度で、東側に高濃度を示す傾向が認められる (図 3)。

IV-3. 希土類成分元素

希土類成分元素の分析結果を表3に、代表的な希土類成分元素の地球化学図を図4にそれぞれ示した。軽希土類元素であるLa

は、13~38ppmの組成幅を示し、最高濃度は38ppmで地点2130から得られた。この場所はRbの最高濃度が得られた場所でもある。Laの最低濃度は地点2126から得られており、

表3 希土類成分元素組成

Sample No.	La (ppm)	Ce (ppm)	Pr (ppm)	Nd (ppm)	Sm (ppm)	Eu (ppm)	Gd (ppm)	Tb (ppm)	Dy (ppm)	Ho (ppm)	Er (ppm)	Tm (ppm)	Yb (ppm)	Lu (ppm)	Hf (ppm)	Ta (ppm)	U (ppm)
2101	27.6	54.3	6.85	25.6	5.47	1.38	5.70	0.87	5.07	0.92	2.95	0.45	3.01	0.48	4.83	1.25	2.01
2102	18.3	39.9	4.91	19.4	4.64	1.13	4.78	0.76	4.66	0.89	2.92	0.43	2.90	0.49	4.45	0.93	1.82
2103	21.9	46.2	5.81	22.7	5.28	1.36	5.56	0.92	5.35	1.01	3.19	0.48	3.17	0.52	9.50	1.04	1.82
2104	18.4	38.2	4.85	19.2	4.61	1.08	4.77	0.79	4.95	0.90	2.97	0.43	3.01	0.50	4.44	0.97	1.83
2105	20.1	39.8	4.98	18.8	4.12	1.07	4.13	0.72	4.08	0.73	2.44	0.38	2.62	0.42	5.20	1.06	1.90
2106	20.6	41.6	5.55	22.1	5.12	1.43	5.35	0.85	5.04	0.90	2.85	0.42	2.76	0.45	4.73	1.01	1.60
2107	21.4	41.8	5.06	19.4	4.34	1.05	4.27	0.64	4.12	0.77	2.38	0.43	2.48	0.40	6.36	0.92	2.13
2108	17.5	37.2	4.72	17.3	3.84	0.98	4.12	0.66	4.09	0.73	2.57	0.41	2.61	0.42	4.94	1.06	1.83
2109	15.3	32.0	4.35	17.1	3.89	1.01	3.94	0.60	3.68	0.66	2.14	0.35	2.09	0.35	4.07	0.84	1.38
2110	20.3	41.2	5.02	18.6	3.95	0.96	3.89	0.61	3.73	0.69	2.26	0.35	2.38	0.40	5.05	0.91	2.01
2111	20.0	40.2	5.07	18.2	3.92	0.93	3.98	0.63	3.80	0.72	2.36	0.39	2.46	0.42	5.58	0.84	2.07
2112	19.3	39.6	4.83	18.8	4.32	1.09	3.98	0.66	3.98	0.70	2.25	0.33	2.23	0.38	4.50	0.84	1.60
2113	18.1	37.8	4.65	18.1	4.19	1.08	4.01	0.67	4.21	0.78	2.46	0.40	2.38	0.38	4.63	0.99	1.70
2114	17.6	38.3	5.02	21.3	5.32	1.50	5.36	0.83	4.85	0.84	2.67	0.37	2.28	0.38	4.09	0.75	1.17
2115	17.3	36.7	5.01	20.0	4.48	1.21	4.60	0.67	4.04	0.76	2.47	0.38	2.45	0.41	4.97	0.87	1.58
2116	15.4	32.9	4.39	18.4	4.62	1.44	4.72	0.78	4.85	0.83	2.54	0.38	2.34	0.38	4.31	1.04	0.99
2117	25.0	50.7	6.26	24.8	5.68	1.47	5.24	0.84	4.91	0.86	2.72	0.42	2.65	0.44	5.09	1.23	1.87
2118	23.8	51.2	6.70	27.7	6.19	1.89	6.12	0.93	5.47	0.97	2.94	0.45	2.68	0.44	4.25	1.36	1.20
2119	19.6	41.2	5.65	22.6	5.46	1.42	5.31	0.86	4.95	0.86	2.70	0.39	2.56	0.42	4.12	0.69	1.32
2120	37.5	74.6	9.09	34.2	7.23	1.67	6.62	1.03	6.12	1.04	3.32	0.51	3.16	0.52	5.83	1.49	3.54
2121	22.1	42.1	5.46	21.0	4.75	1.27	4.65	0.78	4.35	0.81	2.48	0.39	2.40	0.39	4.59	1.23	1.27
2122	16.1	33.8	4.27	17.5	4.25	1.16	4.71	0.74	4.63	0.83	2.77	0.44	2.58	0.44	3.56	0.70	1.59
2123	18.4	40.9	5.39	22.5	5.35	1.50	5.42	0.88	5.13	0.95	2.84	0.44	2.70	0.43	4.54	0.91	1.38
2124	14.8	32.1	4.27	18.2	4.55	1.32	4.87	0.82	4.72	0.85	2.62	0.39	2.44	0.39	3.09	0.64	0.84
2125	16.5	35.3	4.93	21.1	5.62	1.69	6.18	1.01	6.03	1.11	3.15	0.50	3.01	0.47	3.62	0.71	1.00
2126	12.6	29.3	3.93	17.3	4.51	1.46	5.09	0.81	4.66	0.85	2.54	0.39	2.33	0.35	3.19	0.50	0.81
2127	19.2	40.5	5.25	21.5	5.30	1.57	5.24	0.85	5.06	0.86	2.65	0.39	2.43	0.36	3.85	1.64	0.92
2128	16.2	40.0	4.67	19.8	5.03	1.48	5.26	0.89	5.44	1.07	3.27	0.51	3.39	0.51	3.99	0.71	1.35
2129	29.9	58.2	7.46	28.6	6.06	1.45	5.57	0.92	5.24	0.95	2.92	0.45	2.85	0.45	5.29	1.30	2.19
2130	37.5	74.4	9.02	33.3	6.67	1.38	6.04	0.95	5.64	1.03	3.19	0.51	3.22	0.52	7.95	1.91	3.19
2131	24.0	48.5	5.99	23.8	5.10	1.30	5.35	0.81	4.84	0.88	2.78	0.46	2.75	0.48	4.48	1.33	1.80
2132	29.0	59.8	7.29	28.2	5.95	1.44	5.75	0.90	5.21	0.97	3.10	0.48	3.00	0.50	5.81	1.22	2.56
2133	35.3	71.4	8.67	32.6	6.65	1.54	6.45	0.98	5.63	1.03	3.14	0.46	3.00	0.50	5.34	1.38	2.75

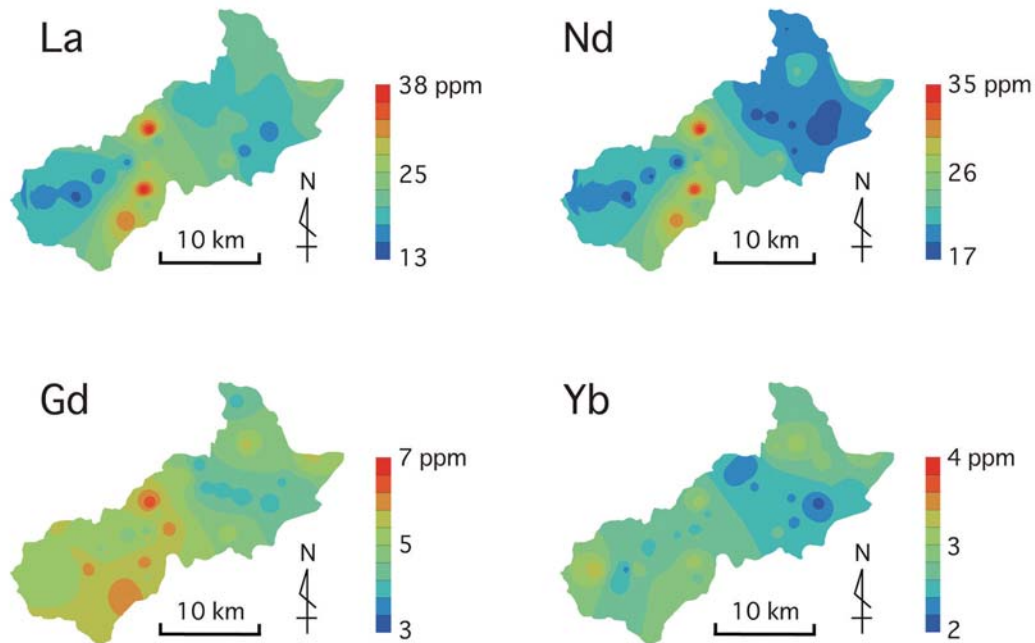


図4 都幾川流域の代表的な希土類成分元素の地球化学図

ここは御荷銻緑色岩の分布域に含まれている(図1)。全体的にみると、中・古生界の泥岩の分布域に高濃度を示す試料が多い(図4)。中間希土類元素であるNdは、Laとほぼ同程度の17~35ppmの範囲をとり、地点2120から最高濃度の34.2ppm、地点2109から最低濃度の17.1ppmがそれぞれ得られている。地点2120は御荷銻緑色岩と中・古生界の砂岩との境界部に位置し、地点2109は雀川下流部の段丘堆積物の領域から得られている(図1)。地球化学図の全体的な変化傾向は、Laと類似しており、中・古生界の泥岩の分布域で含有量が高くなっている。中間希土類元素であるGdは、3.9~6.6ppmの狭い範囲で変化するが、最高濃度の6.6ppmは地点2120から、最低濃度の3.9ppmは地点2110から得られている。地点2120は、Ndの最高濃度を示し、地点2110はSiO<sub>2</sub>の最高濃度を示した場所である。Gdの地球化学図を見ると濃度の差は小さいものの、LaやNdでみられたように、中・古生界の泥岩の分布域に濃度の高い試料が位置している。重希土類元素であるYbは、2~4ppmの極めて狭い組成幅を示している。そのため、高濃度を示す地点は明瞭ではなく、相対的に東西の両端でやや濃度が高い傾向がみられる(図4)。最低濃度は地点2109から2.1ppmが得られており、Ndの最低濃度が得られた場所と一致している。

## V. 考察

### V-1. 各元素の相関関係

本研究で求められた各元素(表1~3)について相関係数( $r^2$ )を求めた。このうち、相関係数が0.80以上および-0.80以下を示す元素を表4に示した。SiO<sub>2</sub>は、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、MgO、Co、Cr、Ni、Scと明瞭な負の相関が認められる(表4)。この傾向は、前述の地球化学図(図2)にも明瞭に現れており、SiO<sub>2</sub>とFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>やMgOの濃集は逆の傾向を示している。一般に岩石の主成分であるSiO<sub>2</sub>とFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>やMgOなどの苦鉄質成分は負の相関があることが知られており(都城・久城, 1975)、本調査地域に現れたSiO<sub>2</sub>とFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>やMgOとの負の相関は流域に露出する源岩の性質を反映していると推定される。また、Co、Cr、Ni、Scは、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>やMgOと強い正

の相関を有し(表4)、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>やMgOと類似した挙動を示すことから、同様にSiO<sub>2</sub>とは負の相関をもつと考えられる。TiO<sub>2</sub>は、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>やVと正の相関が認められる。これらの元素を含む鉱物としてチタン鉄鉱が知られているため(中山, 2014)、河川堆積物中のチタン鉄鉱量を反映しているのであろう。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>は、Gaと化学的挙動が似ているので(今岡ほか, 1991)、高い正の相関を示していると判断される。通常、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>はSiO<sub>2</sub>に次いで岩石中に多く含まれる元素であり、斜長石や雲母に多く含有されるので(都城・久城, 1972)、これらの鉱物の挙動が、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>やGaの濃度に影響を与えていると推定される。CaOは、Crと高い相関を示すが、同時にMgOとも高い相関があるため、河川堆積物中に含まれる単斜輝石(Morimoto et al., 1988)の量を反映している可能性がある。CaOは、斜長石にも多く含まれる元素ではあるが、同じく斜長石に多く含まれるAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>とは相関がみられないため、CaOが斜長石からもたらされた可能性は低いと考えられる。K<sub>2</sub>Oは、Ba、Rb、Th、La、Ce、Pr、Uなどと高い正の相関性を示すが、これらの元素の中でBaやRbは、Kと置換関係を示す元素であり、カリ長石や雲母に多く含まれる(都城・久城, 1972)。よって、河川堆積物中のカリ長石や雲母の量を反映していると推定される。La、Ce、Pr、Th、Uは地表ではあまり移動しない元素として知られており(Plant and Raiswell, 1994)、花崗岩のような酸性火成岩に多く含まれているため、供給源が酸性の火成岩であった可能性が考えられる。NbとTaは、性質が酷似する元素として知られており、軽希土類元素と同様に酸性の岩石からもたらされたと推定される。ThやYは、多くの希土類元素と高い正の相関を示し、互いに化学的挙動が類似する元素であり、火成活動において酸性マグマに濃集するので、酸性火成岩片の河川堆積物中の含有量によって変動すると考えられる。Zrは、Hfと高い正の相関を示すが、両元素はジルコンに特徴的に含まれる元素であるため、ジルコンの含有量を反映しているのであろう。希土類元素は互いに高い正の相関を有するが、化学的挙動も互いに類似しており、ザクロ石やジルコン

表4 高い相関係数を有する元素一覧

対象元素	対象元素と高い相関を示す元素 (相関係数)
SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (-0.90), MgO (-0.84), Co (-0.97), Cr (-0.83), Ni (-0.84), Sc (-0.94)
TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (0.81), V (0.85)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ga (0.84)
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Co (0.86), Sc (0.90), V (0.94)
MgO	CaO (0.88), Co (0.89), Cr (0.96), Ni (0.97)
CaO	Cr (0.87)
K <sub>2</sub> O	Ba (0.92), Rb (0.98), Th (0.90), La (0.88), Ce (0.85), Pr (0.83), U (0.89)
Ba	Rb (0.90), Th (0.88), La (0.91), Ce (0.89), Pr (0.86), U (0.87)
Co	Cr (0.87), Ni (0.92), Sc (0.91)
Cr	Ni (0.92)
Nb	Ta (0.93)
Rb	Th (0.92), La (0.87), Ce (0.85), Pr (0.82), U (0.92)
Th	La (0.89), Ce (0.88), Pr (0.85)
Y	Sm (0.84), Gd (0.91), Tb (0.92), Dy (0.95), Ho (0.95), Er (0.97), Tm (0.89), Yb (0.86), Lu (0.81)
Zr	Hf (0.96)
La	Ce (0.99), Pr (0.98), Nd (0.94), Ta (0.80), U (0.86)
Ce	Pr (0.99), Nd (0.96), Sm (0.84), U (0.84)
Pr	Nd (0.98), Sm (0.88)
Nd	Sm (0.94), Gd (0.83)
Sm	Eu (0.81), Gd (0.94), Tb (0.91), Dy (0.88), Ho (0.82)
Eu	Gd (0.88), Tb (0.87), Dy (0.85)
Gd	Tb (0.97), Dy (0.95), Ho (0.90), Er (0.87)
Tb	Dy (0.98), Ho (0.94), Er (0.89)
Dy	Ho (0.97), Er (0.93), Tm (0.82)
Ho	Er (0.96), Tm (0.89), Yb (0.84)
Er	Tm (0.92), Yb (0.92), Lu (0.86)
Tm	Yb (0.91), Lu (0.86)
Yb	Lu (0.95)

など共通した鉱物に起因しているため、高い相関を示すと考えられる。

#### V-2. 地球化学図と地質

前項で述べた通り、高い相関を示す元素はそれらを共通に含有する鉱物や碎屑物の挙動を反映していると推定されている（例えば、山本ほか，1998；柚原ほか，2010）。よって、本研究においても、それぞれの元素にみられる濃度差はその試料採取位置から上流域に露出する岩石から供給される鉱物や碎屑物の量に支配されていると考えられる。図2に示したように、SiO<sub>2</sub>は三波川帯泥質変成岩の分布域で高濃度、蛇紋岩を伴う御荷鉾緑色岩の分布域で低濃度を示す特徴がある。一方、SiO<sub>2</sub>とは逆にFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>やMgOは、御荷鉾緑色岩や蛇紋岩分布域で多く、三波川

帯の泥質片岩分布域で乏しい。本地域外ではあるが、御荷鉾緑色岩中の変ハンレイ岩のSiO<sub>2</sub>は45～50wt%、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>は8～16wt%、MgOは6～21wt%であり（笠原，2021MS）、さらに、本地域の蛇紋岩ではないが、関東山地に点在する蛇紋岩のSiO<sub>2</sub>は40～45wt%、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>は9～17wt%、MgOは36～42wt%であることが分かっている（坂ほか，2005）。このように、変ハンレイ岩も蛇紋岩もSiO<sub>2</sub>は低濃度、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>やMgOは高濃度を示す特徴がある。一方、三波川帯の泥質片岩のSiO<sub>2</sub>は、64～77wt%、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>は3～6wt%、MgOは1～3wt%となっており（大島，2016MS）、変ハンレイ岩や蛇紋岩に比してSiO<sub>2</sub>は高濃度、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>やMgOは低濃度を示している。よって、変ハンレイ岩や蛇紋岩は本地域に分布す



るものではないが、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ や $\text{MgO}$ は流域に広がる地質を反映している可能性が高いと判断される。 $\text{Na}_2\text{O}$ は濃度差が小さいものの、西側の御荷銻緑色岩分布域で濃度が低く、東側の三波川帯分布域で相対的に濃度は高くなっている(図2)。三波川帯泥質片岩の $\text{Na}_2\text{O}$ は2~4 wt% (大島, 2016MS)、御荷銻緑色岩を構成する変ハンレイ岩の $\text{Na}_2\text{O}$ は1~4 wt% (笠原, 2021MS)をそれぞれ示しているため、僅かではあるが後者の方で乏しくなっており、源岩の組成差が河川堆積物に現れたのであろう。ただし、泥質片岩と変ハンレイ岩の $\text{Na}_2\text{O}$ 組成範囲はほぼ重複しているため、 $\text{SiO}_2$ のように明瞭な差は生じなかったと考えられる。

図3に示した微量成分元素の地球化学図をみると、CrやNiは、主成分元素の $\text{Fe}_2\text{O}_3$ や $\text{MgO}$ の分布とよく一致している。前述のようにCrやNiは、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ や $\text{MgO}$ と強い正の相関をもつため(表4)、よく似た濃度分布を示したのであろう。Rbは $\text{K}_2\text{O}$ と正の相関を示し(表4)、カリ長石や雲母に起因すると考えられる。Rbで高濃度を示しているのは、中・古生界の泥岩分布域であり、河川堆積物へのカリ長石や雲母の供給が多かったのかもしれない。Zrの濃度差は、ジルコンの含有量の違いを示していると推定される。最高濃度(338ppm)を記録した試料の採取地は三波川帯苦鉄質片岩を流下してきた支流であるが(図1)、三波川帯苦鉄質片岩のZr濃度は62~115ppm(大島, 2016MS)であり、338ppmの半分以下である。砕屑性ジルコンが河川堆積物中に濃集していた部分を偶然採取していた可能性もあるが、通常選択的に濃集することはないので、苦鉄質片岩からもたらされたジルコンが原因とは考えられない。一般にジルコンは酸性火成岩に多く含まれる鉱物であるため、上流域に小規模な酸性岩岩脈や酸性火山岩類が分布しているのかもしれない。

図4をみると、La、Nd、Gdは互いに似た傾向の濃度分布を示し、いずれも高濃度を示す領域は、中・古生界の泥岩の分布とほぼ一致している(図1)。一般に希土類元素は地表では移動しない元素(Plant and Raiswell, 1994)であるため、河川堆積物そのものに含

まれる物質に起因していると推定される。さらに、これら軽希土類元素は、花崗岩に特徴的なカリ長石や黒雲母に含まれる $\text{K}_2\text{O}$ やBa、Rbなどと正の相関をもっている。La、Nd、Gdは、酸性火成岩に多く含まれる元素でもあるので、中・古生界泥岩の源岩は花崗岩のような大陸地殻物質であった可能性が考えられる。また、Ybのような重希土類は、大陸地殻物質に濃集しない元素であるので、La、Nd、Gdのように明瞭な組成差は生じなかった(図4)と判断される。

## VI. まとめ

本論では、埼玉県西部を流れる都幾川流域から33試料の河川堆積物を採取し、43元素の主成分元素、微量成分元素、希土類成分元素の化学分析を行った。さらに、分析結果から都幾川流域の地球化学図を作成した。代表的な主成分元素である $\text{SiO}_2$ は、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ や $\text{MgO}$ と負の相関を示し、北東部の三波川帯分布域では、 $\text{SiO}_2$ が多く、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ や $\text{MgO}$ は少ない傾向がある。逆に、南西部の御荷銻緑色岩や蛇紋岩分布域では、 $\text{SiO}_2$ が少なく、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ や $\text{MgO}$ は多い特徴を示す。微量成分元素であるCrやNiは、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ や $\text{MgO}$ と正の相関を示し、御荷銻緑色岩や蛇紋岩分布域で多くなっている。La、Nd、Gdなどの希土類元素は、中・古生界の泥岩分布域で高濃度を示している。これらの事実から、それぞれの元素にみられる濃度差は、その試料採取位置から上流域に露出する岩石から供給される鉱物や砕屑物の量に支配されていると推定される。

## 謝 辞

本研究では、立正大学地球環境科学部環境システム学科の蛍光X線分析装置(XRF)およびレーザーアブレーション誘導結合質量分析装置(LA-ICP-MS)を用いた。これらの機器の導入および保守・管理に関しては環境システム学科関係者各位に日頃よりご支援いただいている。また、調査当時、環境岩石学研究室に所属していた院生・学生諸氏には野外調査ならびに化学分析に際してご協力いただいた。以上の方々に厚くお礼申し上げます。

## 引用文献

- 青木かおり, 新藤智子, 楠野葉瑠香, 福岡孝昭 (2009) 河床堆積物の化学分析に基づく地球化学図作成の今後の展望. 地球環境研究, 11 : 227-238.
- 福岡孝昭, 栗下勝臣, 小林町恵, 浦野日峰, 新藤智子, 杉内由佳, 福士裕輔, 加藤直子, 楠野葉瑠香, 越田千博, 杉恵理子, 小暮岳実 (2005) 荒川上流中津川・神流川流域の地球化学図の作成. 立正大学文部科学省学術研究高度化推進事業オープンリサーチセンター (ORC) 整備事業平成16年度事業報告書, 128-135.
- 福岡孝昭, 新藤智子, 楠野葉瑠香, 町田尚久, 王丹妮, 星有哉, 関根友美, 東千亜希, 永川由紀, 宇野友則, 高草木愛, 杉内由佳, 小暮岳実, 伊藤靖浩, 石本光憲 (2007) 荒川上流河原沢川・赤平川流域の地球化学図. 立正大学文部科学省学術研究高度化推進事業オープンリサーチセンター (ORC) 整備事業平成18年度事業報告書, 166-175.
- 福岡孝昭, 新藤智子, 嶋田有里奈, 関美乃, 三浦亜由美, 楠野葉瑠香, 宇野友則, 高草木愛, 東千亜希, 永川由紀, 田澤雄二, 小暮岳実, 石本光憲 (2008) 荒川上流薄川流域の地球化学図. 立正大学文部科学省学術研究高度化推進事業オープンリサーチセンター (ORC) 整備事業平成19年度事業報告書, 151-160.
- 福岡孝昭, 新藤智子, 杉内由佳, 草野未緒, 宮下香織, 越田千博, 杉恵理子, 加藤直子, 楠野葉瑠香, 星有哉, 関根友美, 福士裕輔, 栗下勝臣, 小暮岳実, 伊藤靖浩, 井上素子 (2006) 荒川上流中津川・神流川・河原沢川流域の地球化学図. 立正大学文部科学省学術研究高度化推進事業オープンリサーチセンター (ORC) 整備事業平成17年度事業報告書, 207-214.
- 古川直道, 柚原雅樹, 伊藤裕之, 高本のぞみ, 柚原美恵 (2004) 河川堆積物の化学組成の季節変動—室見川および萩川の例—. 福岡大学理学集報, 34(2) : 27-24.
- 樋口絢渉, 関根栄一, 山下慶祐 (2021) 滝沢ダム周辺の河川堆積物にみられる化学組成の経年変化. 地球環境研究, 23 : 9-25.
- 一國雅巳 (1991) 緒言—地球化学における地球化学図の役割. 地球化学, 25:69-71.
- 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, 池原研, 片山肇, 野田篤, 富樫茂子, 松久幸敬, 金井豊, 上岡晃 (2010) 海と陸の地球化学図. 207pp., 産業技術総合研究所地質調査総合センター, つくば.
- 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 (2004) 日本の地球化学図. 209pp., 産業技術総合研究所地質調査総合センター, つくば.
- 今岡照喜, 中島和夫, 村上充英 (1991) 高知県足摺岬Aタイプ花崗岩中のガリウム. 岩鉱, 86 : 354-363.
- 稲吉正美 (2005) 地球化学図作図プログラム. 名古屋大学博物館報告, 21 : 51-56.
- 伊藤裕之, 柚原雅樹, 石原与四郎, 古川直道, 小路泰之 (2007) 福岡県西部, 室見川および那珂川流域の地球化学図. 福岡大学理学集報, 37(1) : 37-56.
- 伊藤司郎, 上岡晃, 田中剛, 富樫茂子, 今井登, 金井豊, 寺島滋, 宇都浩三, 岡井貴司, 氏家真澄, 柴田賢, 神谷雅晴, 佐藤興平, 坂本享, 安藤厚 (1991) 地球化学アトラス—北関東—. 35pp., 地質調査所出版物, つくば.
- 笠原真也 (2021MS) 埼玉県横瀬町丸山に産する御荷鉾帯斑れい岩の岩石学的研究. 令和2年度立正大学地球環境科学部環境システム学科卒業論文. 60pp.
- 川野良信 (2010) 蛍光X線装置による珪酸塩岩石および堆積物の定量化学分析. 地球環境研究, 12 : 85-97.
- 川野良信, 清水隆一 (2017) レーザーアブレーションICP-MS分析法によるガラスビード試料定量分析条件の再検討. 地球環境研究, 19 : 11-19.
- 牧本博, 竹内圭史 (1992) 寄居地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅). 136pp., 地質調査所, つくば.
- 都城秋穂, 久城育夫 (1972) 岩石学I 偏光顕微鏡と造岩鉱物. 248pp., 共立出版, 東京.

- 都城秋穂, 久城育夫 (1975) 岩石学 II 岩石の性質と分類. 186pp., 共立出版, 東京.
- 中山 健 (2014) バナジウム資源とその生成環境. 資源地質, 64(1) : 31-53.
- Morimoto, N., Fabries, J., Ferguson, A. K., Ginzburg, I. V., Ross, M., Seifert, F. A., Zussman, J., Aoki, K. and Gottardi, G. (1988) Nomenclature of pyroxenes. *American Mineralogist*, 73 : 1123-1133.
- Ohta, A., Imai, N., Terashima, S. and Tachibana, Y. (2005) Application of multi-element statistical analysis for regional geochemical mapping in Central Japan. *Applied Geochem.*, 20 : 1017-1037.
- 大島元樹 (2016MS) 嵐山町, 三波川泥質片岩の岩石学的研究. 平成27年度立正大学地球環境科学部環境システム学科卒業論文. 38pp.
- Plant, J. A. and Raiswell, R. W. (1994) Modifications to the geochemical signatures of ore deposits and their associated rocks in different surface environment. In: Hale, M., Plant, J. A. (Eds.), *Drainage Geochemistry*, 73-109.
- 嵐山町博物誌三波川帯グループ (2004) 嵐山町の三波川帯. 嵐山町博物誌調査報告, 9 : 1-12.
- 埼玉県地質図編纂委員会 (1998) 埼玉県地質図 (山地・丘陵地). 埼玉県農林部林務課, 埼玉.
- 埼玉県地質図編纂委員会 (1999) 埼玉県地質図 (山地・丘陵地) 解説書. 242pp., 埼玉県農林部林務課, 埼玉.
- 坂 幸恭, 猿渡ふみよ, 大竹奈保 (2005) 関東山地北縁部小川町～神泉村地域の緑色岩メランジェ. 学術研究 (生物学・地球科学編), 53 : 1-26.
- 清水隆一, 樋口絢渉, 川野良信 (2022) 埼玉県西部小森川流域の河床堆積物にみられる化学組成の経年変化. 地球環境研究, 24 : 23-40.
- 新藤智子, 福岡孝昭, 立正大学地球環境科学部宇宙地球化学研究室 (2006) 荒川上流中津川・神流川・河原沢川流域の地球化学図. 日本地球化学会第53回年会講演要旨集, 53 : 126.
- 新藤智子, 杉内由佳, 嶋田有里奈, 福岡孝昭 (2009) レーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析 (LA-ICP-MS) 法によるガラスビード試料の定量分析. 地球環境研究, 11 : 103-119.
- Tanaka, T., Kawabe, I., Hirahara, Y., Iwamori, H., Mimura, K., Sugisaki, R., Asahara, Y., Ito, T., Yarai, H., Yonezawa, C., Kanda, S., Shimizu, O., Hayashi, M., Miura, N., Mutoh, K., Ohta, A., Sugimura, K., Togami, K., Toriumi, T. and Matsumura, Y. (1994) Geochemical survey of the Sanageyama area in Aichi Prefecture for environmental assessment. *Jour. Earth Planet. Sci. Nagoya Univ.*, 41 : 1-31.
- 田中 剛, 川邊岩夫, 山本鋼志, 岩森 光, 平原靖大, 三村耕一, 浅原良浩, 伊藤貴盛, 米澤千夏, ドラグシャヌ クリスチャン, 神田 聡, 清水乙彦, 林 正人, 三浦典子, 青木 浩, 太田充恒, 戸上 薫, 鳥海貴弘, 松村陽子, 榊原智康, 谷水雅治, 水谷嘉一, 宮永直澄, 村山正樹, 大森芙美子 (1995) 愛知県瀬戸市周辺における河川堆積物中の元素分布と地球環境評価の試み. 地球化学, 29 : 113-125.
- Tanaka, T., Kawabe, I., Yamamoto, K., Iwamori, H., Hirahara, Y., Mimura, K., Asahara, Y., Minami, M., Ito, T., Dragusanu, C., Miura, N., Aoki, H., Ohta, A., Togami, K., Toriumi, T., Matsumura, Y., Sakakibara, T., Tanimizu, M., Mizutani, Y., Miyanaga, N., Murayama, M. and Takayanagi, Y. (1996) Geochemical mapping of the northern area of Toyota City, Aichi Prefecture, central Japan: Distinct chemical characteristics of stream sediments between granitic and sedimentary rock areas. *Jour. Earth Planet. Sci. Nagoya Univ.*, 43 : 27-47.
- 戸上 薫, 田中 剛, 岩森 光 (1997) 愛知県北東部津具地域の元素濃度分布とその規定要因. 資源地質, 47 : 305-318.

- Ujiie-Mikoshihara, M., Imai, N., Terashima, S., Tachibana, Y. and Okai, T. (2006) Geochemical mapping in northern Honshu, Japan. *Applied Geochem.*, 21: 492-514.
- Ujiie-Mikoshihara, M., Imai, N. and Tachibana, Y. (2011) Geochemical mapping in Shikoku, southwest Japan. *Applied Geochem.*, 26: 1549-1568
- 山田康治郎, (2010) 鉱石・岩石分析等で有効なガラスビード法を用いた蛍光 X 線分析法. *リガクジャーナル*, 41: 24-32.
- 山本鋼志, 田中 剛, 川邊岩夫, 岩森光, 平原靖大, 浅原良浩, 金奎漢, Richardson, C., 伊藤貴盛, Dragusanu, C, 三浦典子, 青木 浩, 太田充恒, 榎原智康, 谷水雅治, 水谷嘉一, 宮永直澄, 村山正樹, 仙田量子, 高柳幸央, 井上裕介, 川崎啓介, 高木真理, 根布悟志, 稲吉正実 (1998) 愛知県豊田市東部の領家花崗岩地域の地球化学図. *地質学雑誌*, 104: 688-704.
- 安戸研究グループ (1982) 関東山地東部堂平山周辺, みかぶ緑色岩分布地域の層序と構造. *地球科学*, 36(1): 23-34.
- 柚原雅樹 (2010) 福岡県内の地球化学図. *福岡大学研究部論集 C: 理工学編*, 2: 91-107.
- 柚原雅樹, 伊藤吉宏, 吉本 紋, 宮崎佳輔, 眞崎求一 (2011) 福岡県東部, 彦山川~城井川流域の地球化学図. *福岡大学理学集報*, 41(1): 51-76.
- 柚原雅樹, 小路泰之, 石原与四郎, 宇藤千恵 (2010) 那珂川上流, 五ヶ山地域の地球化学図. *福岡大学理学集報*, 40: 45-70.