

河川底質物の地質学的・地球化学的研究

— 中部地方木曾川と庄内川の比較 —

伊藤麻由佳*・松本一郎**

Mayuka ITO and Ichiro MATSUMOTO

Geological and geochemical characteristics of river sediment
from Kisogawa and Shounaigawa rivers, central Japan

ABSTRACT

Kisogawa and Shounaigawa are typical rivers which flow through Nobi plain, Chubu district, central Japan. Nagoya which is a highly populated big city is located near these rivers. The content analysis and elution (liquate out) test on the heavy metals of Cd, CN, Pb, Cr, As, Hg, Ni, Zn and Cu from the river sediment for the purpose of environment assessment. The samples were extracted at intervals of several km. In Kisogawa river, high content value (but below an environmental standards value) of As and Pd by the past old metal mine was accepted in the middle stream. In Shounaigawa river, the high content of heavy metals was accepted in the comparatively large range in the lower stream. Especially about As, excess of environmental standards value was detected at three places of the lower stream.

【Key words : River sediment, environmental standards value, Kisogawa river, Shounaigawa river】

I. はじめに

前世紀，高度経済成長などによる増大した生産活動の結果，自然の浄化・回復力を超えた汚染や枯渇性資源の消費が急激に増加した。21世紀に入り，人間の地球環境に対する感覚や関心はこれまでの生産活動の反省とともに高まった。わが国の場合，公害問題の顕在化により有害物質の自然環境や人体に与える影響について様々な研究がなされてきた。現在では環境問題は広く捉えられるようになり，人間と自然との共存・共生が多方面から考え議論されている。

本研究では，土壌や堆積物の地球化学的な特徴の解明のため，河川底質物を用いて自然と人間との活動の関連性の定量的な見積りを中部地方で行った。河川底質物は，後背地の地質を反映することが予想され，その化学的な特徴が，自然由来なのか人類の生産活動由来なのかの定量化を目指した。

これまで同様な研究として，松本ほか（2002），Watanabe et. al.（2005），小松（2005）は，主に関東地域と関西地域における代表的な河川を研究対象とし，これらの河川での自然状態での一般的な底質物の化学的特徴と人的な付加作用の特徴を明らかにしてきた。本研究では日本三大都市のひとつである中部地方・名古屋に注目し，濃尾平野を流れ，伊勢湾に注ぐ木曾川と庄内川の地質学的・地球化学的特徴を記載した。また，本研究は底質物の化学的特徴と人工・自然の付加割合を定量的に明らかにした中部地方では初めての報告である。

II. 研究対象地域について

(1) 濃尾平野

濃尾平野は，西は岐阜県南西部の伊吹山地と養老山地（美濃），東は愛知県北西部の尾張丘陵（尾張），北は両白山地，南は伊勢湾に面にして広がっている。木曾山脈から東濃の山地・丘陵あるいは三河高原を経て濃尾平野に至る大規模な傾動地塊の西端に形成された堆積盆である。また，同平野は沖積低地の占める割合が高く，台地の分布は平野の東部および北東部に限られている。

(2) 木曾川

木曾川は長野県木曾郡木祖村の鉢守山（2,446 m）を水源とし，岐阜県，愛知県，三重県を経て伊勢湾に流れる。支流として落合川・中津川・付知川・阿木川・飛騨川などがある。流域面積 5,275 km²，流路長 227km の一級河川である。木曾三川のひとつでもある。

(3) 庄内川

庄内川は岐阜県恵那市の夕立山を水源とし，岐阜県東濃地方の盆地を流れ，山間部（玉野溪谷）を急流となって流下する。以後，愛知県春日井市や瀬戸市を経て新川を分派し，その下流で矢田川と合流し，名古屋市の北西部を迂回しながら名古屋市港区で伊勢湾に流れる。流域面積 1,010 km²，流路長 96km の一級河川である。岐阜県内では「土岐川」と呼ばれている。

下流域には庄内川河口干潟が広がっている。干潟の泥質ではバクテリアの作用で，川から海へ流れ込む有機物が分解され，植物プランクトンが繁殖し，それをカニ，エビ，貝，ゴカイ等が捕食し，さらに小魚，鳥，人へと食物連鎖が認められる。

また，この庄内川河口干潟，新川河口干潟および藤前

* 高根大学大学院教育学研究科教科教育専攻

** 高根大学教育学部自然環境教育講座

干潟は、合わせてラムサール条約登録地に指定されている。

Ⅲ. 試料採取および分析方法

底質物試料の採取は、5万分の1の地勢図を用い、両河川とも上流から下流にかけて試料採取地点が等間隔になるように行った。各々の試料採取地点では、できるだけ泥質～砂質の底質を3ヵ所で移植ごてを用いて採取し、四分法を用いて十分に攪拌したものを、その地点での代表試料とした。また、底質物試料採取の際に基礎データとして、河川水の温度、pHおよび電気伝導度を測定した(表1)。

木曾川では16地点(KI01~KI16)、庄内川では13地点(SY01~SY13)で試料採取を行った(図1)。

木曾川および庄内川の河川底質物を採取し、その試料を用いて、研磨薄片を作製し、偏光顕微鏡で観察した。また、含有量分析、溶出量試験を行った。加えて、薄片上で鉱物を鑑定し、鉱物モードの測定を行うと同時に、X線顕微鏡を用いた面分析を行った。

[底質物薄片の作製]

採取した試料は泥質～砂質であることから、室内ホットプレート上で乾燥させた後、エポキシ系樹脂で固定した。

また、作成する底質物薄片に用いる材料は、特に粒度ごとの分別を行わず、採取地点での底質物の粒度分布がある程度保てるようにした。これは、環境評価という観点から採取地点の平均的な河川底質物の地質および化学的性質の全容を把握するためである。堆積物の調査では、粒度分析を行い、各粒度の特徴も調べるが、「堆積物汚染の解明」という視点に立った本研究では今回、あえてそれを行っていない。これは堆積物全体としての化学的な特徴を把握することを主眼に置いたからである。なお、

粒度別の重金属の濃度分布については、多田(1974)に報告があり、粒度が細かいほど重金属濃度が高い傾向が認められている。

[偏光顕微鏡および鉱物モード組成の測定]

構成鉱物の同定と定量化を行うために島根大学教育学部松本研究室の偏光顕微鏡装置一式を用いて底質物薄片試料の鑑定と鉱物モード組成の測定を行った。測定ポイントは各薄片試料につき、700ポイントとした。測定した鉱物は、主として無色鉱物では石英・長石、有色鉱物では黒雲母・角閃石・輝石・不透明鉱物・その他でカウントした。結果は、巻末図1、巻末図2および巻末表に示した。

[底質物の分析]

採取した試料の一部は、同和テクノリサーチにて底質物含有量分析および底質物溶出量試験を行った。また、全岩分析を島根大学総合理工学部の理学電機社(現(株)リガク)製の蛍光X線分析装置(RIX2000XRF)を用いて行った。

測定した元素を以下に記す。

含有量分析：Cd, CN, Pb, Cr, As, Hg

溶出量試験：Cd, CN, Pb, Cr, As, Hg

全岩分析主要元素：SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, P₂O₅

全岩分析微量元素：Ba, Ce, Cr, Ga, Nb, Ni,

Pb, Rb, Sr, Th, V, Y, Zr

[X線顕微鏡分析]

構成粒子および汚染粒子の状態を化学的に把握するために、底質物薄片を用いて、予察的にX線顕微鏡(XGT)で分析した。分析は、島根大学教育学部のHORIBA-XGT5000を用いた。下記にX線顕微鏡分析をした際の条件を、巻末にその結果を示す。

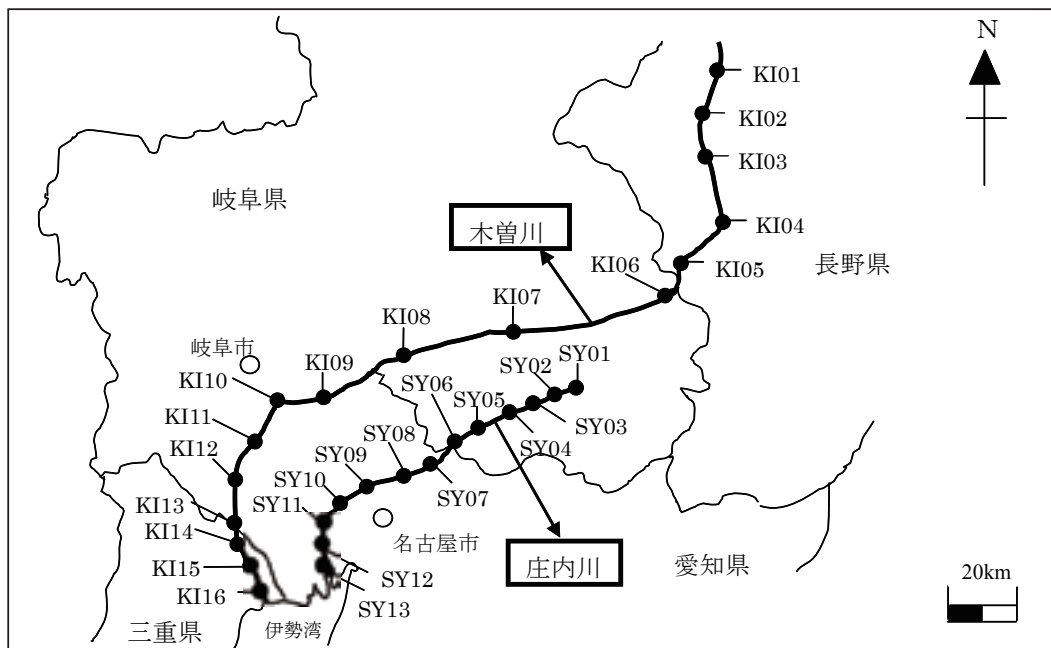


図1 試料採取地点：試料採取は、木曾川では2006年3月17～19日の3日間、庄内川では2006年4月21～22日の2日間で行った。

- ・XGT 径：100 μ m
- ・走査幅：23.040 mm
- ・積算回数：1 回
- ・画素数：256
- ・測定時間：599 秒
- ・縦／横比：1：1
- ・X線管電圧：30 kV
- ・電流：1.00 mA
- ・パルス処理時間：P 3
- ・透過X線強度：7
- ・設定元素：Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Hg, Pb

IV. 結果と考察

(1) 木曾川および庄内川における元素の含有量変化

含有量分析、溶出量および全岩分析結果を表2、表3および表4に、また図2および図3に主な元素の含有量の上流から下流までの変化を示した。

[木曾川]

最も多量に含まれているSiO₂は、河口付近で高含有量を示した。これに対して、他の元素(例えばAl₂O₃, Fe₂O₃, TiO₂など)は河口付近で含有量が低い傾向がある。これは、鉱物の変質に対する強度に対応して、上流域から下流域に流下するにつれて、鉱物中のSiO₂が水(変質)に対して強いことから、SiO₂含有量(主に石英や長石成分)が他の成分と比較して相対的にその含有量が増えたことを示している。

CaO, Na₂O, K₂Oについては、主に長石を構成する成分であり、河口付近で含有量が若干高い。これは長石類が石英に次いで変質に対して強いことに加えて、河川水の塩分濃度の上昇に伴う、溶存物質や懸濁物の状態変化も影響していると考えられる。このような主要元素の含有量の変化の傾向は、これまでの他地域の河川の傾向と整合的であり、河川の一般的な特徴を表していると考えられる。

一方、微量元素は、Asの含有量において、KI07地点で234 ppmという土壌含有量基準値(150 ppm)を超えるものが検出された。これは、この地点1点のみの値であったが、KI06地点とKI07地点の間には支流である和田川が存在しており、その上流部には、過去にヒ素・タングステンを産出した遠ヶ根鉱山が存在している。文献などでも周辺下流域にAs汚染があったことが記されており、その影響は現在も残っていることが今回の研究で明らかになった。ただし、木曾川本流ではその希釈効果により、KI07地点以降の含有量は高くない。

PbにおいてもKI07地点において高含有量が認められた。これはAsと同様に、鉱山の影響が残存していると考えられる。

KI07地点で含有量が上昇する傾向が認められる元素は他に、Cr, Cuであり、これらもAsと挙動を共にしているものと考えられる。

一方、KI08地点においては、Znの高含有量を示すことが認められた。KI07地点とKI08地点の間には、支流である飛騨川が合流しており、その上流近くは過去にZn鉱山が存在していたことから、その影響をとらえたものと考えられる。

上述したいずれの元素もKI07地点、もしくはKI08

地点で含有量が上昇するが、下流にかけて減少することから、河川による希釈作用が働いていると考えられる。

なお、溶出量試験の結果、環境基準値を超えるものは認められなかった。

[庄内川]

庄内川では、SiO₂含有量が、木曾川とは逆に河口付近で低いことが特執される(図3)。また、Al₂O₃・Fe₂O₃・TiO₂などは、含有量が比較的高い。これは、これまでの一般的な河川底質物の特徴と異なるものである。庄内川下流の特にSY11地点～SY13地点においては構成粒子の粒度が細かく泥質の干潟を形成しており、堆積環境(流速/堆積物比)の影響を反映しているものと考えられる。

多くの主要元素は上流から中流にかけてその含有量が減少する傾向があるが、なかには下流域で突出して含有量が高くなるものが認められる。また、微量元素でも多くの元素でその傾向がみられた(表4および図3参照)。なお、Pb, Cr, As, Hg, などの環境基準値が定められている元素すべての含有量については、どの元素についても上流域・中流域と比較すると、下流域で含有量が特徴的に高くなる。いずれの元素も最高で約7倍程度の上昇が認められる。このような含有量の上昇は、他の河川と比較しても上昇の割合が高く、自然状態の濃集に加えて何らかの人為的作用が加わった結果であると考えられる。

溶出量試験の結果、Asについて環境基準値を若干超える地域が河口域で認められた(図4)。つまり、SY11地点～SY13地点の広い範囲でAsは溶出量試験の環境基準値(0.01 ppm)を超えていることが明らかになった。これは、明らかに溶出しやすい状態のAsが存在していることを示している。つまり人為的な活動による付加作用が起因していると考えられる。また、3地点連続して基準値を超えていることから、下流域では広範囲で普遍的なAsの高溶出量分布があると推定される。

以上、庄内川下流域において人為的な影響をとらえることができた。

(2) 成分関係図による環境評価

[珪長質成分—重金属類—Fe関係図]

河川底質物の自然のおよび人為的影響を定量的に見積もるために、Watanabe et al. (2005)は、地球化学判別図を考案した。ここではそれを用いて木曾川および庄内川の環境評価を試みる。

三成分関係図とは、珪長質成分(SiO₂, Al₂O₃, Na₂O, CaO, K₂O)、重金属類(Pb, Cr, As, Hg, Ni, Zn, Cu)、鉄(Fe×20)の量比(単位は全てwt%)からなる関係図のことである。珪長質成分に富んでいるものは酸性岩起源のものを特に多く含んでいることを示し、Feに富んでいるものであれば、鉄鉱物を多く含む岩石が流域に広く分布していることを示す。同関係図によると、重金属類に富んでいれば重金属類を高める作用(人為的作用もしくは鉱床等による濃集作用)を受けたこととなり、逆に乏しければ、河川による希釈作用があつ

表3 木曾川および庄内川の各試料採取地点における底質物溶出量およびpH

木曾川	距離	Cd	CN	Pb	Cr	As	Hg	pH	庄内川	距離	Cd	CN	Pb	Cr	As	Hg	pH
	(km)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(溶出)		(km)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(溶出)
KI01	16.05	< 0.001	< 0.1	< 0.005	< 0.02	0	< 0.0005	7.1	SY01	2.00	< 0.001	< 0.1	< 0.005	< 0.02	0.002	< 0.0005	6.8
KI02	32.90	< 0.001	< 0.1	< 0.005	< 0.02	0	< 0.0005	6.1	SY02	14.55	< 0.001	< 0.1	< 0.005	< 0.02	0.002	< 0.0005	6.9
KI03	48.60	< 0.001	< 0.1	< 0.005	< 0.02	0	< 0.0005	7.0	SY03	22.00	< 0.001	< 0.1	< 0.005	< 0.02	< 0.001	< 0.0005	6.7
KI04	70.70	< 0.001	< 0.1	0.005	< 0.02	0	< 0.0005	6.7	SY04	30.05	< 0.001	< 0.1	< 0.005	< 0.02	0.001	< 0.0005	6.6
KI05	81.95	< 0.001	< 0.1	< 0.005	< 0.02	< 0.001	< 0.0005	6.7	SY05	47.10	< 0.001	< 0.1	< 0.005	< 0.02	< 0.001	< 0.0005	6.3
KI06	93.05	< 0.001	< 0.1	< 0.005	< 0.02	< 0.001	< 0.0005	7.0	SY06	51.80	< 0.001	< 0.1	< 0.005	< 0.02	0.001	< 0.0005	6.7
KI07	130.75	< 0.001	< 0.1	< 0.005	< 0.02	0	< 0.0005	7.0	SY07	61.60	< 0.001	< 0.1	< 0.005	< 0.02	0.002	< 0.0005	6.5
KI08	145.60	< 0.001	< 0.1	< 0.005	< 0.02	0	< 0.0005	8.0	SY08	65.40	< 0.001	< 0.1	< 0.005	< 0.02	0.002	< 0.0005	6.4
KI09	158.85	< 0.001	< 0.1	< 0.005	< 0.02	0	< 0.0005	7.3	SY09	71.40	< 0.001	< 0.1	< 0.005	< 0.02	0.003	< 0.0005	6.7
KI10	175.40	< 0.001	< 0.1	< 0.005	< 0.02	0	< 0.0005	8.3	SY10	75.35	< 0.001	< 0.1	< 0.005	< 0.02	0.005	< 0.0005	6.7
KI11	181.95	< 0.001	< 0.1	< 0.005	< 0.02	< 0.001	< 0.0005	7.3	SY11	80.55	< 0.001	< 0.1	< 0.005	< 0.02	0.011	< 0.0005	5.5
KI12	190.25	< 0.001	< 0.1	< 0.005	< 0.02	0	< 0.0005	7.3	SY12	83.95	< 0.001	< 0.1	< 0.005	< 0.02	0.011	< 0.0005	3.8
KI13	197.20	< 0.001	< 0.1	< 0.005	< 0.02	0	< 0.0005	7.3	SY13	87.60	< 0.001	< 0.1	< 0.005	< 0.02	0.011	< 0.0005	5.8
KI14	205.50	< 0.001	< 0.1	< 0.005	< 0.02	0	< 0.0005	7.3									
KI15	208.05	< 0.001	< 0.1	< 0.005	< 0.02	0	< 0.0005	7.3									
KI16	212.55	< 0.001	< 0.1	< 0.005	< 0.02	0	< 0.0005	7.3									

表4 木曾川および庄内川の各試料採取地点における全岩分析および微量元素

木曾川	距離	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Rb	Sr	Cr	Ni	V	Y	Zr	Nb	Zn	Cu
	(km)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
KI01	16.05	72.34	0.44	13.40	3.47	0.07	0.78	1.29	1.81	3.80	0.08	151	134	32	28	51	32	149	13	54	12
KI02	32.90	73.27	0.65	11.97	4.60	0.09	1.34	1.47	1.31	2.85	0.10	112	137	49	35	90	24	189	13	62	17
KI03	48.60	70.12	0.52	13.32	4.18	0.08	1.17	2.56	2.32	3.13	0.08	116	217	31	24	59	26	169	12	46	7
KI04	70.70	72.77	0.33	12.81	2.93	0.05	0.64	2.15	2.34	3.39	0.05	115	177	24	21	36	24	123	10	57	6
KI05	81.95	72.82	0.30	13.01	2.70	0.05	0.61	2.12	2.49	3.35	0.05	114	184	25	21	31	24	109	10	36	3
KI06	93.05	72.28	0.44	12.71	3.41	0.07	0.78	2.20	2.43	3.19	0.06	114	176	23	22	44	30	263	11	37	3
KI07	130.75	71.89	0.44	13.45	3.73	0.08	0.88	1.76	2.14	3.19	0.07	129	159	36	28	54	32	259	13	56	14
KI08	145.60	72.38	0.56	12.71	3.87	0.07	0.97	1.96	1.76	3.19	0.10	113	219	33	27	65	26	188	13	178	11
KI09	158.85	70.40	0.51	14.50	4.21	0.11	0.82	1.79	1.79	3.17	0.18	125	177	42	29	55	33	223	14	120	20
KI10	175.40	70.00	0.50	14.21	3.96	0.10	0.80	1.88	1.98	3.25	0.14	125	187	34	28	62	33	237	14	105	15
KI11	181.95	75.53	0.33	11.60	2.45	0.05	0.60	1.67	2.06	3.40	0.05	115	159	21	21	35	24	108	10	44	3
KI12	190.25	74.38	0.44	11.23	2.84	0.06	0.69	1.71	2.00	3.27	0.05	113	159	21	23	49	26	196	11	42	3
KI13	197.20	74.00	0.39	12.43	3.04	0.06	0.64	1.43	1.84	3.05	0.08	115	157	24	26	46	27	163	11	52	9
KI14	205.50	76.42	0.27	10.93	1.98	0.04	0.47	1.38	1.92	3.39	0.04	116	153	26	23	31	22	126	8	37	6
KI15	208.05	75.77	0.27	11.74	2.12	0.05	0.53	1.58	2.02	3.19	0.06	114	167	18	23	29	24	113	9	36	2
KI16	212.55	73.01	0.35	12.34	2.68	0.05	0.65	1.72	2.25	3.46	0.06	124	178	20	22	44	26	155	10	43	4

庄内川	距離	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Rb	Sr	Cr	Ni	V	Y	Zr	Nb	Zn	Cu
	(km)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
SY01	2.00	77.68	0.23	10.73	1.97	0.05	0.32	0.71	1.13	4.08	0.03	147	104	14	23	26	28	126	10	52	10
SY02	14.55	78.02	0.22	10.21	1.93	0.04	0.25	0.91	1.46	3.86	0.02	145	100	20	21	16	27	128	10	54	6
SY03	22.00	80.84	0.17	8.95	1.60	0.04	0.23	0.75	1.15	3.50	0.02	137	92	21	21	21	24	78	9	56	4
SY04	30.05	80.60	0.11	9.17	0.97	0.03	0.17	0.59	1.18	4.27	0.02	149	90	16	21	15	23	68	5	50	4
SY05	47.10	83.84	0.15	7.46	1.16	0.04	0.23	0.46	0.79	3.04	0.02	118	69	25	23	18	21	95	7	53	5
SY06	51.80	85.88	0.10	6.39	0.85	0.04	0.18	0.30	0.60	2.88	0.02	111	51	15	23	14	18	51	4	55	5
SY07	61.60	84.90	0.17	7.05	1.14	0.05	0.20	0.41	0.64	2.69	0.03	108	58	26	24	14	19	104	7	62	5
SY08	65.40	87.19	0.08	5.66	0.65	0.02	0.13	0.25	0.45	2.66	0.02	103	46	16	23	10	16	41	4	71	3
SY09	71.40	86.39	0.11	6.18	0.67	0.02	0.13	0.31	0.52	2.81	0.02	108	49	23	27	12	17	57	5	61	5
SY10	75.35	85.47	0.13	6.82	0.78	0.02	0.15	0.39	0.63	2.80	0.04	109	55	23	24	17	17	82	6	64	4
SY11	80.55	73.78	0.49	14.68	3.08	0.04	0.52	0.78	0.80	2.84	0.35	121	91	66	46	60	33	306	14	358	51
SY12	83.95	74.03	0.55	13.86	3.49	0.05	0.63	0.70	0.85	2.60	0.26	110	96	92	51	57	33	619	15	392	57
SY13	87.60	79.40	0.43	10.00	1.86	0.03	0.45	0.69	1.19	2.77	0.11	102	87	61	41	34	31	483	12	154	25

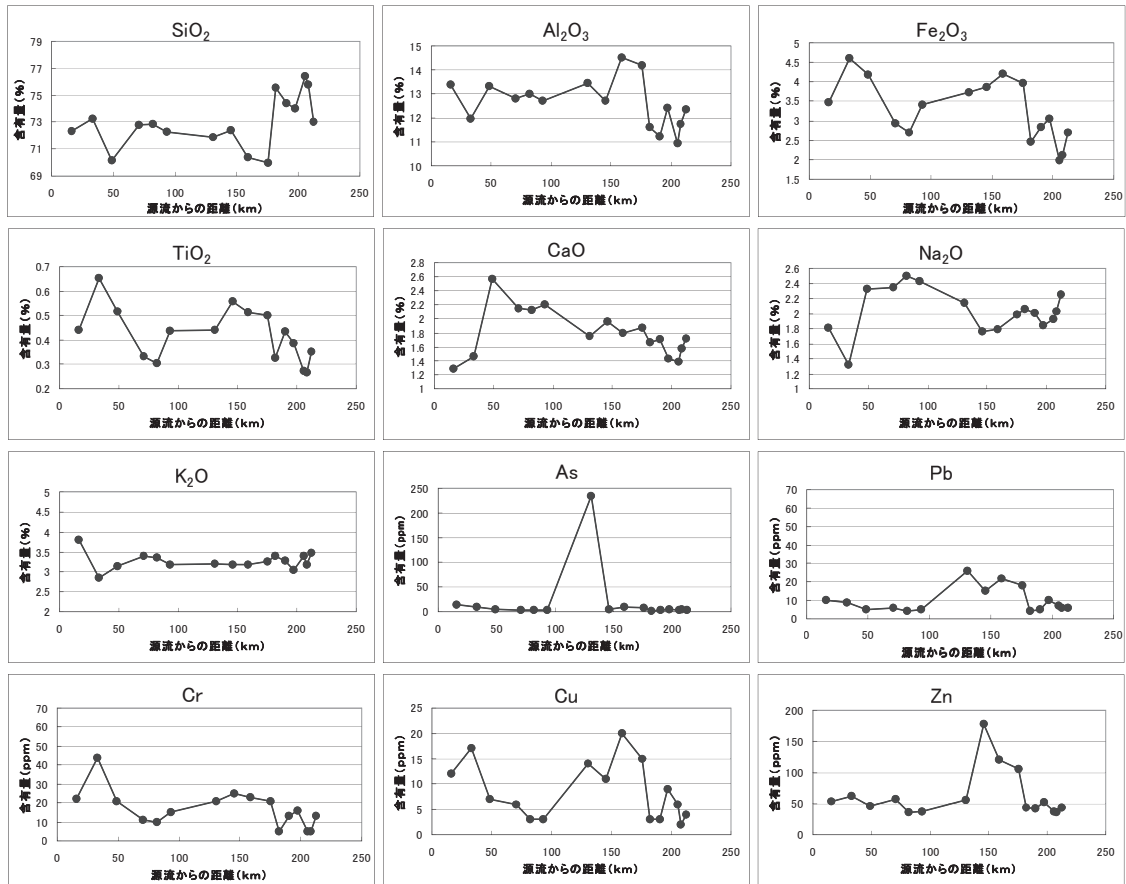


図2 木曾川の主成分および微量元素含有量の源流から河口までの変化

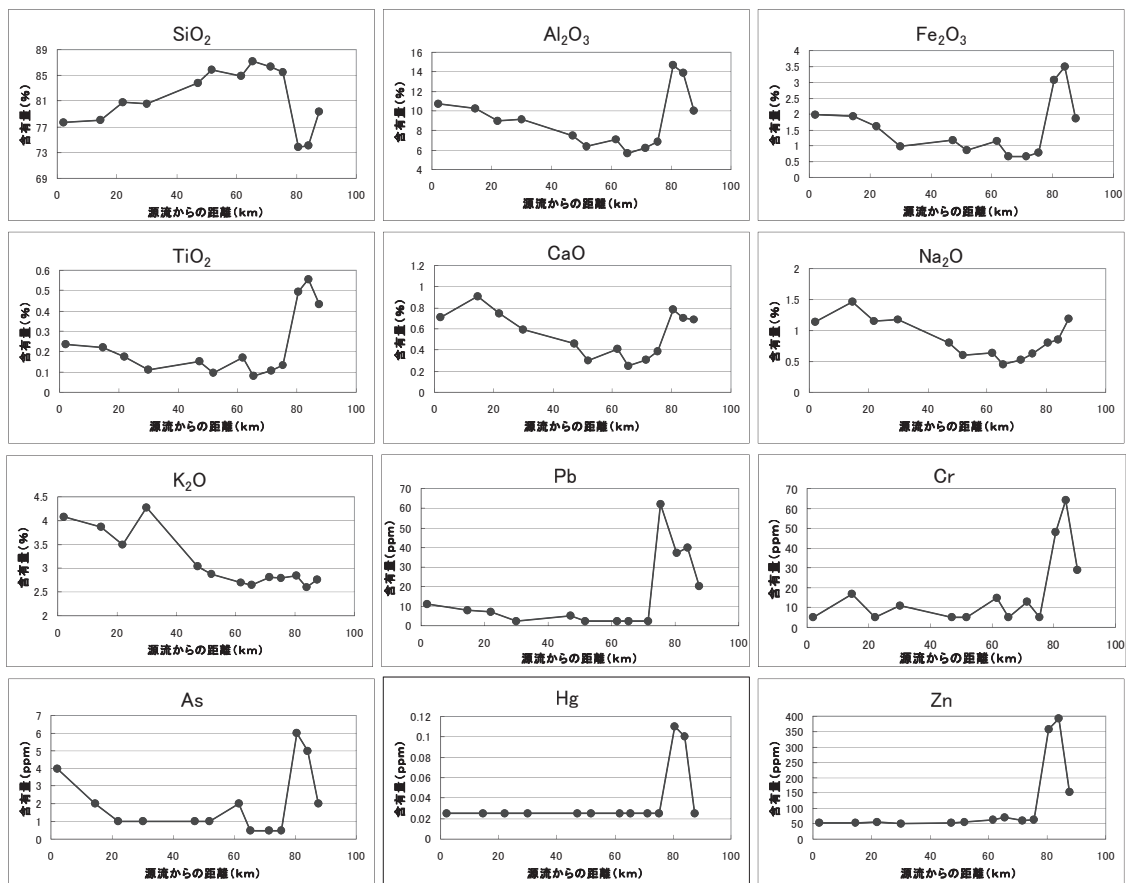


図3 庄内川の主成分および微量元素含有量の源流から河口までの変化

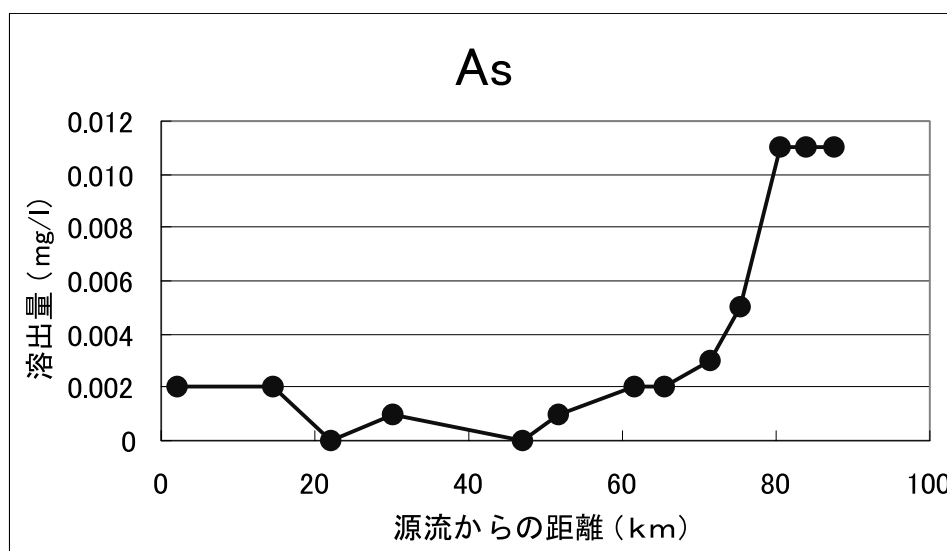


図4 庄内川におけるAs溶出量の源流から河口までの変化

たと考えられる。また、重金属比率64%以上（この数字は関東地方における経験値である）のものを重金属濃集領域と呼び、この領域に入るものは人為的もしくは鉱山等による影響を受けている可能性が高いことを示している。

そこで、木曽川および庄内川についての三成分関係図を上流、中流、下流に分けて作成した（図5）。それぞれの河川について以下に記載・評価する。

(a) 木曽川

図5に示す通り、中流域において重金属類に富む部分が中流域に認められた。これはKI07地点、KI08地点における値の高含有量の結果と関連している。つまり、同図においても中流域に存在する鉱山による影響を検出することができた。

上流域から中流域にかけてFeの比率の減少が認められるが、下流域では再び上流域と同じような量比となっている。これは上流域から中流域にかけての重金属の濃集傾向が、その後、下流域にかけては希釈傾向に転じることを示している。

(b) 庄内川

庄内川の底質物は全体的なFeの含有量比が木曽川のものより低い傾向がある。

上流から中流に流下するにつれてFeの含有量比は比較的低くなり、下流域ではその比率が保たれている状態で推移していることがわかった。

それに対して、下流域においては重金属類比率が高く、重金属類の高濃集領域にプロットされた。これは同関係図において下流域で人為的影響が強く表れた結果を示している。

以上、木曽川、庄内川ともに、上流、中流、下流において重金属類の濃集地点を三成分関係図からも確認することができた。つまり、木曽川においては中流域における鉱山の影響を、庄内川においては下流域における都市河川での諸産業による人的付加作用の影響を受けている

ことが明らかとなった。

[Zn-Fe₂O₃ 関係図]

Zn-Fe₂O₃ 関係図は、道前・石賀(2002)および石賀ほか(2003)により考案されたもので、同図を用いて木曽川および庄内川を評価する。

道前・石賀(2002)および石賀ほか(2003)は、ZnとFeが自然状態では一般的に正の相関を示すこと(石賀ほか, 2002)を利用して、河川ごとの特徴や人為的な付加割合を議論した。いわば同図を地球化学的判別図として用いた。

そこで、木曽川および庄内川についてのZn-Fe₂O₃ 関係図を上流、中流、下流に分けて作成した。また、その図に一般の堆積物の関係をプロットした(図6)。

(a) 木曽川

中流域を除く上流域から下流域のそれぞれの地点でのZn-Fe₂O₃ 関係でFe₂O₃ 量の増加に伴いZn量も増加する関係が認められる。それに対し、中流域ではFe₂O₃ に比してZnの含有量が高い。これは前述した中流域に存在する鉱山による影響を反映している可能性が極めて高いため、木曽川では底質物の関係を上流域と下流域の両者の試料間で連続して描いた。中流域試料が示すFe₂O₃ 含有量は、上流・下流のものと変わらないが、Zn含有量のみが上流・中流に比べ高くなった。つまり、これはFe₂O₃ に比してZnが選択的に濃集していることを示すものであり、中流域に存在する鉱山の影響を同図において明瞭に表していることがわかった。

(b) 庄内川

下流域の試料を除き、Zn-Fe₂O₃ 関係において、Znは比較的狭い組成領域を示した。これは、Fe₂O₃ の含有量が流域を通して低いことに起因する。なお、下流域試料のみ高Znでやや高いFe₂O₃ 量を示した。これは、庄内川河口における底質物の粒度が極めて細粒になったことによるZnの碎屑粒子への選択的な吸着効果(道前・石賀, 2002)の増大があったことを示している。

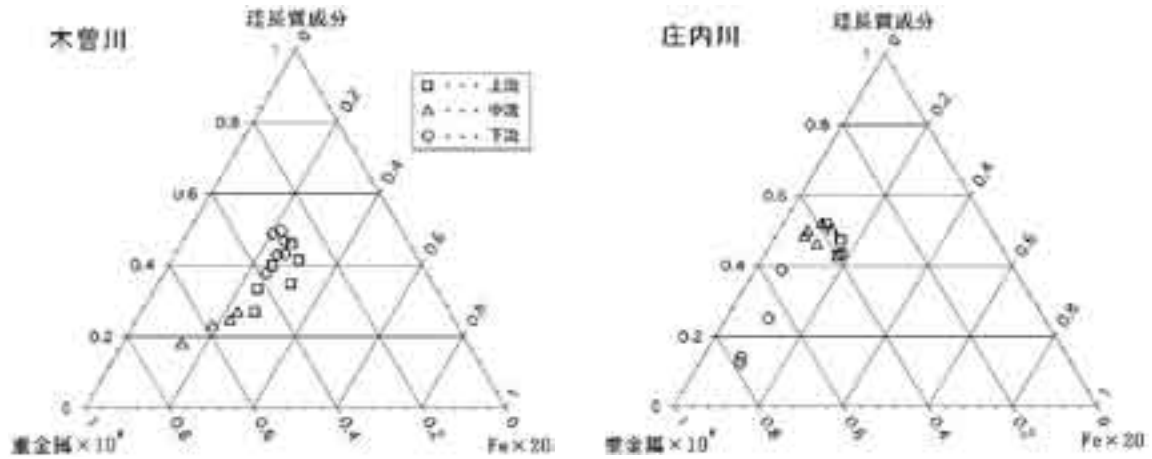


図5 木曾川および庄内川の河川底質物の珪長質成分—重金属—鉄関係図

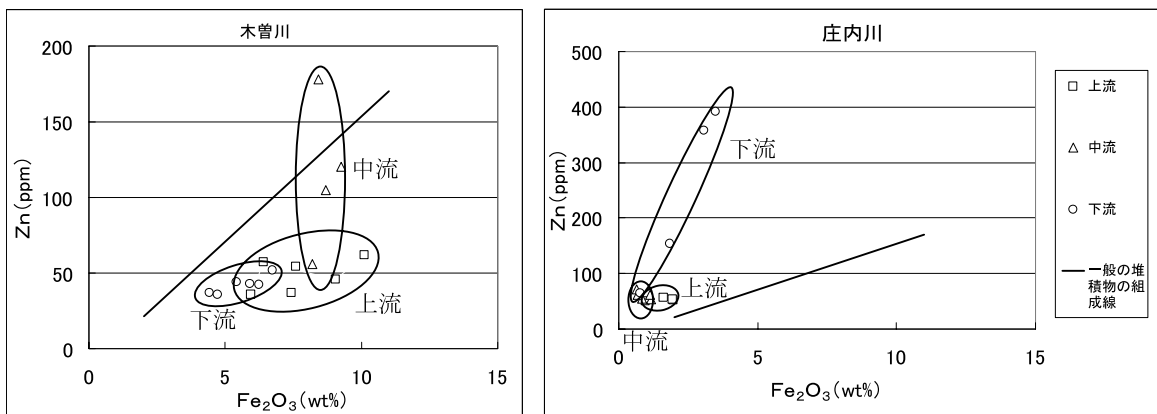


図6 木曾川および庄内川の河川底質物のZn-Fe₂O₃関係

そのことを検証するため、重金属類については自然状態に近いと考えられる斐伊川水系の底質物 (Matsumoto, 2007) との比較を行った。斐伊川水系は、斐伊川、宍道湖、大橋川、中海から日本海と連続しており、宍道湖・中海の底質物は極めて細粒でヘドロ状である。これは庄内川の河口域の底質物とほぼ同様な状態であり、重金属類の堆積物への吸着効果も同様であると仮定する。そこで、含有量分析のZn, Pb, Cr, Asについてそれぞれ検討する。

庄内川のZnは含有量が上昇前に比べて約7倍の値を示し、斐伊川水系においても同様に約7倍の上昇を示している。このことから、庄内川においても同程度の吸着が起こっており、Znにおいても同様の吸着作用が働いていることが考えられる。

次にPb, Cr, Asについてみてみると、庄内川のPb, Cr, Asは、含有量が急激に上昇する前と比較してPbは約8倍に上昇している。Cr, Asは河口干潟においてどちらも約6倍の上昇を示している。それに対し斐伊川水系の場合、Pb, Crは約4倍の上昇、Asは約5倍の上昇にとどまっている。つまり、斐伊川水系の含有量の上昇が自然的作用（自然付加作用）と仮定すると、庄内

川の上昇は斐伊川水系を超えた付加量を有しており、人為的作用が強いことを示唆している。つまり、庄内川のPbの8倍のうち、自然付加作用は4倍、人為的付加作用は4倍であるという見積もりが可能である。今回、予察的で試行的ではあるが、初めて自然付加作用と人為的付加作用とを定量的に見積もることができた。

【人為的影響による重金属の高濃度分布】

今回、含有量分析、溶出量試験を実施し、木曾川および庄内川について、人為的影響による重金属の高濃度分布域を抽出した。木曾川においては、中流で鉱山の影響と考えられる重金属類の濃集が認められた。しかし、その影響は下流域で希釈されていることがわかった。庄内川では下流において重金属の濃集、広範囲に及ぶAsの溶出が認められ、人為的影響を顕著にとらえることができた。広範囲に及ぶ溶出値の基準値超過は都市型河川の中でも初めての報告であり、今後の環境修復や改善を考える中で貴重な資料を提示することができた。

また、関東の多摩川・荒川、関西の大和川、中部の庄内川のPb, As, Cr, Hg についての含有量分析を統合して比較してみると、下流域における急激な上昇を4河川ともにとらえることができる (Matsumoto, 2007 を

参照)。つまりこれら下流域における重金属類の含有量の上昇は、都市型河川における底質物のひとつの特徴ととらえることができる。つまり、本研究では、下流域における人為的な元素の濃集が顕著に認められる河川を河川底質物から見た「都市型河川」と定義する。

この定義に従うと、同じ濃尾平野で、ほぼ同じ地質を流下する木曾川と庄内川では底質物の重金属含有量等に違いが生じた。つまり、木曾川は中流域で重金属の割合が高くなるが、下流域において希釈されたことから「非都市型河川」、庄内川は下流域で重金属の割合が急激に高くなることから「都市型河川」といえる。

V. まとめ

濃尾平野を流れる中部木曾川および庄内川の底質物の地球化学的研究を行った結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 木曾川では中流域の一地点において、PbやAsなどの重金属の含有量が上昇したが、下流域では河川の希釈作用のため含有量は減少した。これは、中流域の支流に旧鉱山が位置し、過去の鉱山活動の影響をとらえたものである。
- (2) 庄内川では、下流域でAsの溶出量が広範囲に環境基準値をわずかに超えていたことが判明した。また、PbやAsなどの重金属でも下流域で高含有量を示すことが明らかとなった。これは、斐伊川水系との比較から、定量的に人為的付加作用の程度を推定し、付加された重金属量の半分が人為的作用によるものと見積もった。
- (3) 以上のことから、同じ濃尾平野を流れる河川でも木曾川は「非都市型河川」、庄内川は「都市型河川」であると河川底質物の化学的特徴から定義した。

謝辞

本研究を進めるにあたり、鳥根大学総合理工学部地球資源環境学科の石賀裕明先生及び亀井淳志先生には、XRF分析の御指導をいただきました。また、鳥根大学教育学部自然環境教育講座の皆様には有益なご意見とともに励ましをいただきました。

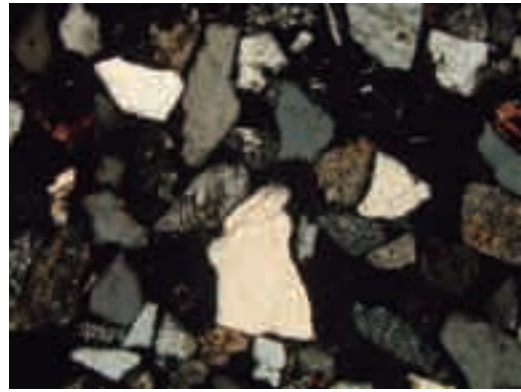
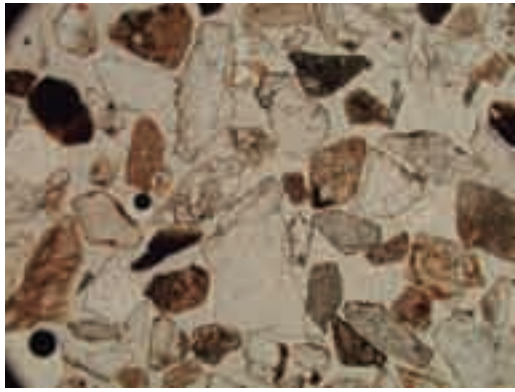
以上の皆様に深く御礼申し上げます。

参考文献

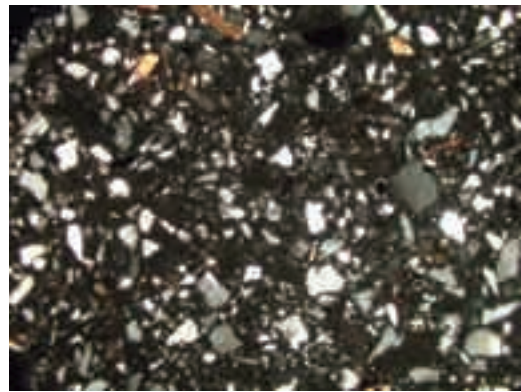
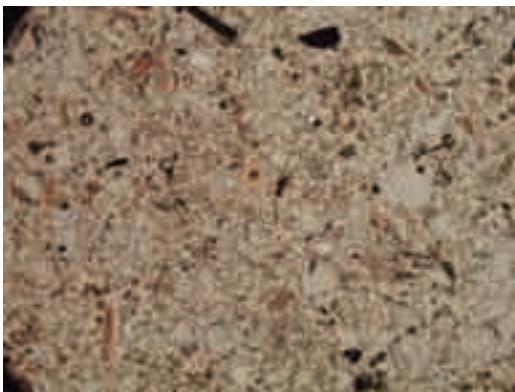
- 石賀裕明, 道前香織里 (2002): 九州球磨川, 川辺川の堆積物の組成から見た環境評価. 地球惑星科学関連学会 2002 年合同大会, 地質ハザード・地質環境 Y028 - 008.
- 石賀裕明, 道前香織里, アーメッドファルキ, ハワビビ, 海田学 (2003): Zn - Fe₂O₃ 判別図から堆積環境を評価する. 鳥根大学地球資源環境学研究報告. 22, 15 - 20.
- 小松真理子 (2005): 河川底質物の地質学的・地球化学

的研究—関西淀川と大和川の比較—. 鳥根大学教育学部卒業論文. pp175.

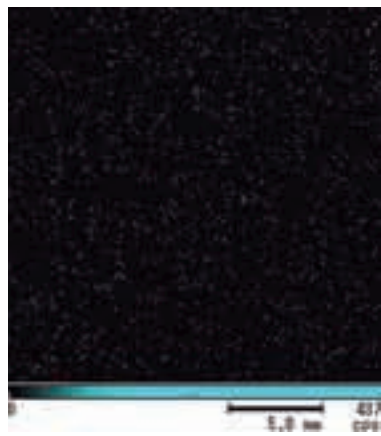
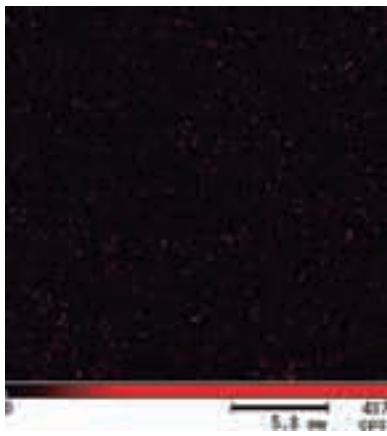
- 柴原真理子, 山崎理恵子, 西田和夫, 鈴木潤三, 鈴木静夫, 西田英郎, 多田 史 (1975): 河川底質物の重金属分布 (第3報) —全国主要河川の河口付近の底質物の重金属分布—. 衛生化学. 21, 173 - 182.
- 多田 史, 富重久美子, 谷原崇生, 横山功一, 鈴木静夫 (1974): 河川底質物の重金属分布 (第II報) —宮城県細倉鉱山排水が鉛川, 迫川の底質土に及ぼす影響—. 陸水学雑誌. 35, 99 - 109.
- 多田 史, 鈴木潤三, 鈴木静夫 (1984): 都市河川底質中の重金属分布の特性. 陸水学雑誌. 45, 4: 296 - 303.
- 道前香織里, 石賀裕明 (2002): 堆積物の元素組成から見た球磨川, 川辺川流域の環境評価. 鳥根大学地球資源環境学研究報告. 21, 17 - 29.
- 名古屋大学環境学研究科 (2005): 環境学研究ソースブック—伊勢湾流域圏の視点から. 藤原書店. pp252.
- 日本地質学会 (2006): 日本地方地質誌 4. 浅倉書店. pp588.
- 松本一郎, 越智章光, 今野宏秀 (2002): 関東・鶴見川底質物の地質学的特徴—予察的研究—. 資源地質学会第 52 回年間講演会 (東京).
- Matsumoto I (2007): Heavy metal concentrations of Hii River basin system Shimane Prefecture, Japan. Abstract of International Symposium Restoration and Sustainability of Estuaries and Coastal Lagoons: 104 - 107.
- 山下 昇, 粕野義夫, 糸魚川淳二 (1988): 日本の地質 5 中部地方 II. 共立出版. pp332
- 渡部久美子 (2003): 河川底質物の地質学的・地球化学的研究—関東多摩川と中国地方日野川の比較—. 鳥根大学教育学部卒業論文. pp121.
- 渡部久美子 (2005): 河川底質物への自然および人為的影響の評価法. 鳥根大学大学院教育学研究科修士論文. pp237.
- Watanabe K, Ochi A and Matsumoto I (2005): Characteristics of river sediment in the light of the environmental quality standard value of Japan -A case study at the Tama, the Tsurumi, the Hino and the Kamo rivers in Japan-. 15th Annual meeting, Goldschmidt 2005 (Idaho, USA)



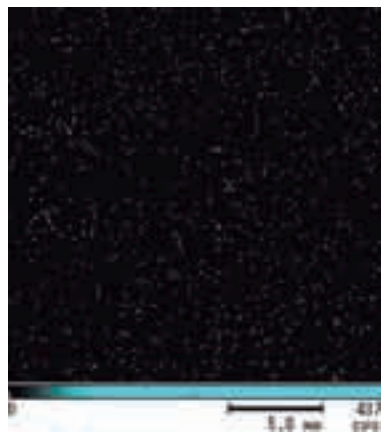
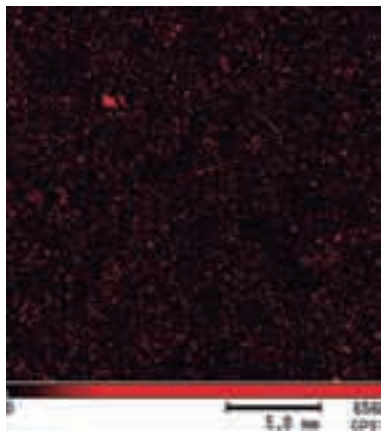
木曽川下流 (KI15) の顕微鏡写真 (倍率: 写真横幅 2 mm, 左: オープンニコル, 右: クロスニコル)



庄内川下流 (SY13) の顕微鏡写真 (倍率: 写真横幅 2 mm, 左: オープンニコル, 右: クロスニコル)
 卷末図1 河川底質物の偏光顕微鏡写真



木曽川下流 (KI15) のXGT画像 (左: Pb, 右: As): Pb, Asともに顕著な濃集が認められない.



庄内川下流 (SY13) のXGT画像 (左: Pb, 右: As): Pbについて一部に濃集している様子が認められた.
 卷末図2 河川底質物薄片のXGT画像

巻末表 木曾川および庄内川の各試料採取地点におけるモード測定結果

木曾川	石英 (個数)	長石 (個数)	白色・その他 (個数)	岩片 (個数)	黒雲母 (個数)	角閃石 (個数)	不透明鉱物 (個数)	有色・その他 (個数)
KI01	320	150	17	144	27	1	14	27
KI02	232	50	24	315	23	11	18	31
KI03	346	115	1	175	50	9	6	6
KI04	325	203	6	107	31	19	2	8
KI05	407	138	5	75	33	16	8	18
KI06	391	163	2	86	33	11	2	12
KI07	342	90	5	168	65	8	8	14
KI08	171	53	12	421	8	7	13	15
KI09	201	91	12	60	24	2	8	35
KI10	332	99	5	178	15	4	10	62
KI11	331	103	4	242	18	20	4	6
KI12	275	115	5	278	12	9	13	5
KI13	249	97	3	330	7	8	2	4
KI14	338	90	3	244	7	7	8	3
KI15	296	118	5	253	14	8	7	8
KI16	317	101	7	224	24	6	6	15

庄内川	石英 (個数)	長石 (個数)	白色・その他 (個数)	岩片 (個数)	有機物 (個数)	黒雲母 (個数)	角閃石 (個数)	不透明鉱物 (個数)	有色・その他 (個数)	微細粒子 (個数)
SY01	242	109	5	320	0	11	1	4	8	0
SY02	461	105	5	82	0	45	4	3	4	0
SY03	372	151	9	141	0	10	2	5	10	0
SY04	370	146	4	171	0	5	8	1	2	0
SY05	396	101	5	176	0	16	1	2	6	0
SY06	373	139	1	173	0	6	0	5	3	0
SY07	425	104	10	144	0	9	0	1	7	0
SY08	392	130	8	162	0	4	0	1	3	0
SY09	399	109	5	170	0	6	2	7	2	0
SY10	378	152	3	161	0	2	0	2	2	0
SY11	283	83	2	11	2	12	4	14	31	258
SY12	313	110	1	18	2	21	6	25	67	137
SY13	459	123	5	85	0	3	5	3	11	6

