

(30) 鉾山廃水処理水を受容する河川の水環境について

—岩手県北部を流下する赤川を対象にして—

Water environment in the River Akagawa receiving the effluent from
a mine drainage treatment wastewater

菊池健児*・伊藤歩**・北田久美子**・相沢治郎**・海田輝之**

Kenji KIKUCHI*・Ayumi ITO**・Kumiko KITADA**・Jiro AIZAWA**・Teruyuki UMITA**

ABSTRACT; Water environment in the River Akagawa which receives the effluent from a mine drainage treatment plant was investigated based on the data on water quality and benthic fauna. The water quality of the River Akagawa was characterized by the low pH and the high concentration of metals such as Al, Ca, Ni and Pb. The loads of Cu, Mn, Zn, T-N, T-P and TOC increased downstream whereas those of As and Fe increased and then decreased downstream and that of Pb decreased downstream, which shows that the main pollution source was the effluent from the treatment plant. It was found that the predominant benthic animals in the upper stream were *Protonemura* sp., *Nemoura* sp., *Rhyacophila articulata* and Chironomide and the number of species and individuals increased downstream. However, its number was small compared with that of natural rivers, which showed that the effluent affects the water environment in the River Akagawa. The predominant order of benthic animals was found to change from Plecoptera to Diptera and to Trichoptera downstream. It was concluded that the reduction of load from St. 1 to St. 2 is essential to recover sound water environment in the River Akagawa.

KEY WORDS; Effluent from mine drainage treatment plant, water quality, benthic animals, metals

1.はじめに

東北地方には酸性河川が多い。この原因として、休廃止鉾山からの坑内水の流入や地質が起因すると考えられている¹⁾。本研究で対象とする赤川は、最上流部に旧松尾鉾山があり、松川と合流し、さらには北上川と合流する河川である。かつては旧松尾鉾山からの低 pH で高濃度の有害な金属を含む坑内水が赤川に流入し、これらの河川の水利用に多大な影響を与えていた。このため、鉄酸化細菌を用いた第一鉄の酸化と炭酸カルシウムによる中和を行う坑内水の処理施設が松尾鉾山跡地に建設され、昭和 56 年に運用を開始した。その結果、処理水の pH は 4 程度まで上昇し、金属濃度も以前よりは減少した²⁾とされるが、処理水が流入する赤川は依然として酸性河川であり、赤川全域にわたっての水質は測定されておらず、底生動物の調査も行われていない。このような鉾山廃水処理水を受容する河川の流下に伴う水環境の変化を明らかにすることは、その水環境の評価、管理手法や水利用のあり方等を構築する上で必要不可欠である。

*岩手県石鳥谷町役場 (Ishidoriya Town Office)

**岩手大学工学部建設環境工学科 (Dept. of Civil & Environmental Engineering, Iwate University)

以上の観点より、本研究では赤川の最上流部から最下流部の松川との合流部に至る区間において、調査地点を数点設置し、各地点で金属を含めた理化学的水質、底生動物及び付着物量の調査をほぼ一年間にわたって計5回行い、流下に伴う希釈や沈降による金属濃度の低下とpHの改善、農地や家庭排水の流入による他の水質の汚濁特性、さらに、これらの水質の変化に伴う底生動物の挙動を、現存する種類とその数及び個体数から検討したものである。

2.調査方法

2.1 調査地点の概要

本研究で調査対象とした赤川は、岩手県八幡平に源を発し、北上川に注ぐ松川と合流する流程約35kmの河川である。源流部では旧松尾鉾山跡の坑内水の廃水処理施設からの処理水を受容している（処理水の流量は、赤川の7倍程度である）。調査地点は、赤川の全域を把握するために、図-1に示すように計7カ所設置した。すなわち、廃水処理施設を基

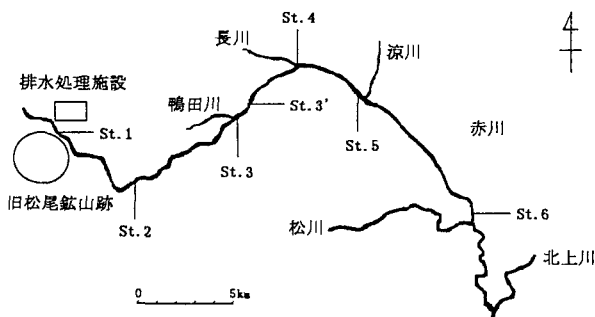


図-1 調査地点の概略

準として約100m下流の下橋(以下St.1と称す)、約6km下流の富士見橋(St.2)、約14km下流の盲平橋(St.3)、約15km下流の松尾八幡平I.C.付近(St.3')、約18km下流の赤川橋(St.4)、約22km下流付近(St.5)、約31km下流の東大更橋(St.6)である。St.3は、St.3'が調査期間中に河川改修工事が行われていたことがあったため設置した。St.1からSt.2までの上流部は、山間部を流れ、他の河川との合流もほとんど見られず、人為的な影響も少ないと考えられる。St.2からは、川沿いに人家や田畑が増え、その家庭排水や農業排水を受け始め、また、鴨田川、長川など同量程度の流量をもつ河川が合流している。下流部も、松川との合流地点まで稲作を中心とした農業地域にあり、涼川との合流地点上流のSt.5付近には住居、小商店街や工場などが若干みられる。流域人口は約6,000人である。

2.2 調査期間

調査は1997年6月13日、7月15日、10月1日、12月16日、1998年3月9日の約1年間を通して計5回行った。ただし、1998年3月には河川改修工事のため、St.3'での調査は行わなかった。

2.3 調査方法

底生動物の採集地点は、調査地点の物理的な環境による影響をなるべく除去する目的で、樹木等の影にならない平瀬の石礫底を選定し、水深や流速なども出来る限りほぼ同一条件となるように選んだ。このときの各調査地点の水深は10.0~26.4cmで、流速は0.16~0.75m/sの範囲にあった。採集は、0.5m×0.5mのコードラードのついたサーバーネット(38メッシュ/inch²)を用いて、各地点で2~4回行った。採集方法は以下の通りである。まず、サーバーネットの枠内にある石や砂などを手ですくい上げ、水流を利用して、ネットの中にその付着物を洗い流し込んだ。次に、水を入れたバットの中にネット内の小石や砂を移し替え、標本はピンセットを用いてプラスチック容器に入れ、5~10%のホルマリン溶液で固定し、研究室に持ち帰った。底生動物は実験室で実体顕微鏡を用いて出来るだけ種まで同定し、種別ごとに個体数を計数した。ただし、表-3に示すように属、科あるいは目までしか同定しなかったものもある。同定方法は主として津田⁹⁾及び上野⁴⁾に従って行った。なお、一部同定出来ないものがあった

が、数や種にして僅かであるため、評価対象としなかった。同定された底生動物は種別ごとに 10%ホルマリン固定液の中に入れて保存した。

また、付着物量の調査も同時に行い、モルタル製付着板(30cm×30cm×6cm)を各地点の水深 10cm 程度で流れの緩やかな場所に設置した。採集方法は、付着板 5cm×5cm の範囲の付着物をブラシで拭き取り、プラスチック容器に洗い流し入れ、乾燥重量、強熱減量、Chlorophyll-a 量を測定し、単位面積当りに換算した。ただし、付着板が流失したこともあり、ここでは付着速度ではなく現存量として示す。

理化学的水質については、各地点でポリエチレン製容器に採水し、実験室に持ち帰り分析を行った。ただし、DO に関しては現地で固定し、金属分析用の試料は、容器による金属汚染を防ぐために別個の容器に採水した。測定項目及び分析方法は以下の通りである。pH(ガラス電極法)、SS(メンブレンフィルターろ過法)、DO(ウィンクラー-アジ化ナトリウム変法)、TOC [全有機炭素] (燃烧酸化-赤外線分析法; 島津 TOC-5000)、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ (インドフェノール青吸光光度法)、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ (ナフチルエチレンジアミン吸光光度法)、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ (銅・カドミウム還元-ナフチルエチレンジアミン吸光光度法)、Kj-N(ケルダール法で分解後、インドフェノール青吸光光度法)、T-N(各態窒素の総和)、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ (モリブデン青吸光光度法)、T-P(過硫酸アンモニウムで分解後、モリブデン青吸光光度法)。金属については、試料を孔径 0.45 μm のメンブレンフィルターで濾過した後、溶解性の Al、Ca、Cr、Mn、Fe、Ni、Cu、Zn、As、Cd、Pb 濃度を、ICP-MS(横河アナリティカルシステムズ HP-4500)で測定した。ICP-MS による金属濃度の測定では、河川水標準物質を分析し、各金属の分析値が日本分析化学会による分析値の許容範囲内にあることをあらかじめ確認した。

底生動物、付着物量及び金属以外の水質は、上述の全調査日について測定を行ったが、金属は第 2～5 回の調査日についてのみ測定し、流量は第 4 回と第 5 回で St.1～St.4 において川幅約 1m 間隔で水深と広井式流速計を用いた 1 点法による流速の測定を行い算出した。なお、St.5 以降では水深がかなり大きい部分があり、流速及び水深を測定することが困難であったため、流量は測定しなかった。

3.結果及び考察

3.1 水質について

流量の測定は、12 月と 3 月に行ったが、3 月は河川工事により St.3'において調査できなかったため、例として 1997 年 12 月 16 日の各地点での水質及び環境条件と各地点での全測定値の年平均値を表-1 に示す。なお、表中の水深と流速は、底生動物採集地点の測定値である。また、各水質の流下に伴う濃度変化を明らかにするため、12 月 16 日のデータを用い、St.1 の各水質の濃度を 1 とした場合の各地点での相対濃度の変化を図-2 に示す。

(1)水温

水温は夏期が 20℃前後であり、冬季では St.1 以外の調査地点において 5℃前後まで低下した。St.1 の水温は 10～20℃程度であり、他の採取地点に比べると季節変化は小さかった。これは処理水の温度が比較的安定しているためと考えられる。

(2)pH

pH は季節による変動が小さかった。各調査地点における pH は St.1 において 3.8 前後であったが、St.2 で 3.4 前後に低下し、以後、St.3 と St.3'で 3.5 前後、St.4 で 4.0 前後、St.5 で 5.0 前後、St.6 で 6.5 前後であり、全流域で酸性であった。St.2 の pH が St.1 の値よりも低くなったことは、硫化鉄を含む地域を表流水や浸透水が流れ、 $2\text{FeS}_2 + 7\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{FeSO}_4 + 2\text{H}_2\text{SO}_4$ により硫酸を含む水が St.1

と St.2 の間で流入したためと考えられる⁵⁾。一方、下流方向での pH の上昇は、流下に伴い流量が増加していることから、主に他の河川の流入により赤川が希釈されたためと考えられる。

(3)SS

各調査地点における SS 濃度は、測定日を晴天時に設定したため、St.1～St.3 で 3 月の調査結果を除くと 5mg/l 以下であり、St.3'以降では下流方向に行くに従い増加した。

(4)DO

DO は St.1 で飽和度が約 80%であったが、他の調査地点ではほぼ飽和していた。鉾山廃水の処理が

表-1 各地点での環境条件及び水質の測定値

項目		St.1	St.2	St.3	St.3'	St.4	St.5	St.6
気温 (℃)	1 2 月	-0.5	3.2	3.0	2.9	2.5	8.8	7.9
	平均	12.5	15.7	17.0	18.0	14.6	15.4	16.0
水温 (℃)	1 2 月	9.2	6.0	5.8	5.2	4.6	5.4	5.5
	平均	13.8	13.0	13.1	14.6	13.2	12.2	13.5
水深 (cm)	1 2 月	15.0	24.3	13.2	18.7	12.3	12.3	11.5
	平均	15.7	20.0	17.3	20.2	12.4	13.8	14.1
流速 (m/s)	1 2 月	0.40	0.43	0.36	0.37	0.19	0.31	0.46
	平均	0.32	0.33	0.42	0.35	0.25	0.35	0.59
流量 (m ³ /s)	1 2 月	0.519	1.040	1.551	1.712	2.792	-	-
pH	1 2 月	3.74	3.51	3.55	3.76	4.18	4.92	6.28
	平均	3.83	3.39	3.50	3.64	4.04	4.80	6.51
SS (mg/l)	1 2 月	3.0	2.0	2.6	10.0	14.0	14.6	50.4
	平均	3.1	2.3	4.8	6.3	10.1	18.8	29.6
DO (mg/l)	1 2 月	9.0	10.8	11.7	11.8	12.2	12.2	12.4
	平均	8.2	9.4	9.8	9.7	10.0	10.6	10.5
TOC (mg/l)	1 2 月	1.510	1.372	1.484	1.579	1.875	1.671	2.023
	平均	0.639	0.585	0.945	0.664	1.040	1.133	1.710
NH ₄ ⁺ -N (mg/l)	1 2 月	0.084	0.065	0.090	0.109	0.088	0.053	0.068
	平均	0.083	0.062	0.092	0.111	0.097	0.062	0.063
NO ₂ ⁻ -N (mg/l)	1 2 月	0.025	0.044	0.032	0.024	0.019	0.012	0.016
	平均	0.010	0.028	0.018	0.016	0.012	0.009	0.011
NO ₃ ⁻ -N (mg/l)	1 2 月	0.112	0.122	0.228	0.405	0.755	0.804	1.081
	平均	0.087	0.098	0.269	0.331	0.595	0.767	0.954
Org-N (mg/l)	1 2 月	0.182	0.206	0.093	0.140	0.126	0.171	0.151
	平均	0.214	0.245	0.159	0.159	0.142	0.189	0.367
T-N (mg/l)	1 2 月	0.404	0.436	0.442	0.679	0.988	1.040	1.317
	平均	0.394	0.432	0.538	0.616	0.845	1.027	1.395
T-P (mg/l)	1 2 月	0.006	0.014	0.013	0.047	0.037	0.169	0.142
	平均	0.007	0.012	0.036	0.056	0.057	0.186	0.133
乾燥重量 (mg/cm ²)	1 2 月	21.1	4.0	13.4	34.9	11.7	1.3	6.4
	平均	22.6	16.6	26.3	33.2	16.4	3.2	5.1
強熱減量 (mg/cm ²)	1 2 月	3.7	1.2	2.4	5.4	2.0	0.3	1.2
	平均	5.9	5.3	4.6	5.6	2.8	0.8	0.9
Chl-a量 (μg/cm ²)	1 2 月	0.056	0.019	0.006	3.366	1.289	0.166	3.034
	平均	0.021	0.063	0.136	3.329	0.780	0.062	1.066
Al (mg/l)	1 2 月	59.5	34.2	31.5	19.7	15.4	5.31	-
	平均	57.5	34.7	26.9	19.5	15.1	11.5	-
Ca (mg/l)	1 2 月	271	129	117	77.8	63.3	37.3	28.1
	平均	315	155	117	87.3	74.3	40.2	29.9
Cr (μg/l)	1 2 月	26.0	19.9	16.3	9.12	5.67	1.71	0.595
	平均	24.2	22.3	13.9	9.51	6.33	1.47	0.321
Mn (μg/l)	1 2 月	998	801	900	599	481	264	187
	平均	937	843	818	629	510	241	201
Fe (mg/l)	1 2 月	16.0	15.6	10.5	3.06	1.37	0.464	0.037
	平均	9.73	14.4	6.77	2.83	1.31	0.641	0.200
Ni (μg/l)	1 2 月	93.3	52.9	46.8	31.4	25.4	13.7	9.14
	平均	106	62.7	47.2	36.4	29.2	14.5	8.38
Cu (μg/l)	1 2 月	5.72	8.42	7.40	5.38	4.53	3.15	2.33
	平均	4.86	8.08	11.8	5.40	4.39	2.69	1.55
Zn (μg/l)	1 2 月	56.2	39.2	35.8	24.5	19.8	11.9	10.4
	平均	63.3	46.9	37.4	28.6	24.0	13.1	7.15
As (μg/l)	1 2 月	1.45	1.43	0.562	0.260	0.180	0.256	0.228
	平均	0.84	1.55	0.396	0.167	0.238	0.242	0.207
Cd (μg/l)	1 2 月	3.58	1.83	1.62	1.02	0.808	0.431	0.274
	平均	4.34	2.30	1.82	1.30	1.073	0.470	0.434
Pb (μg/l)	1 2 月	12.0	5.82	5.08	2.73	1.79	1.16	0.595
	平均	11.8	6.78	6.15	3.70	1.78	0.85	0.489

好気性の鉄酸化細菌を用いて行われているため、DO を消費し、St.1 で若干低くなったと考えられる。

(5)TOC

TOC 濃度は、全調査地点で 2mg/l 程度以下であり、下流方向へ行くに従い増加する傾向が若干みられた。St.1 や 2 のような上流部の TOC は、周辺環境から判断して人為的な汚染ではなく、主に自然由来であると考えられるが、下流方向における濃度の増加は、農業や生活排水などの人為的汚染によるものと考えられる。

(6)窒素

T-N 濃度は、St.1~St.3'において 0.5mg/l 前後で緩やかに増加し、St.4 以降は増加の程度が大きくなり、St.6 では 1.5mg/l 程度まで増加した。窒素の形態としては、上流部では Org-N が T-N の約半分を占め、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ と $\text{NO}_3^-\text{-N}$ がその残りを占め、下流部では $\text{NO}_3^-\text{-N}$ が T-N の約 7 割を占めた。 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ は全調査地点において 0.05mg/l 以下であり、T-N に占める割合は 10%以下であった。

$\text{NO}_3^-\text{-N}$ 濃度は流下するに従い増加し、冬季に高

くなった。 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度は、St.3'が年間を通して高く、冬季に高い傾向が見られた。 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 濃度は、St.2 で最大であった。上流部では pH が低いため、硝化が生じたとは考えられないことから、これらの濃度の変動は各窒素源の赤川への流入に依存していると考えられる。

(7)リン

T-P 濃度は St.1~2 では調査時期による変動がほとんど見られず、0.02mg/l 以下であったが、St.3'~4 において 0.05mg/l 前後まで増加し、さらに St.5 では 0.2mg/l 前後まで増加し、St.6 では濃度の減少が観察された。一方、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ は全調査地点において 0.007mg/l 以下であった。

(8)付着物

付着物の乾燥重量は、St.1 では 20mg/cm² 前後であり、St.2~St.4 の間では増減したが、St.5 以降では 10mg/cm² 以下であった。St.1~St.4 では、河床が常に赤褐色の沈殿物で覆われていたことから、乾燥重量の主な成分は第二鉄の沈殿物であると考えられる。St.5 以降の河床では赤褐色の沈殿物はほとんど観察されなかった。強熱減量は St.1 で 5mg/cm² 前後であり、St.3'で増加する傾向がみられたが、以降では流下方向に行くに従い減少した。Chl-a 量は、全体的に一般の河川よりも低く、St.1~St.3 では 0.5μg/cm² 以下であり、St.3'で急激に増加するが、以降、低下し、St.6 で若干増加した。St.3'における水質は St.3 とほぼ同程度であるが、Chl-a 量が増加している。この理由については現在のところ不明である。

(9)金属

St.1 における金属濃度は、Ca が最も高かった。これは坑内水の中和剤として炭酸カルシウムを用いており、硫酸カルシウムとして沈殿しなかったカルシウムが流出してきたためと考えられる。また、Al

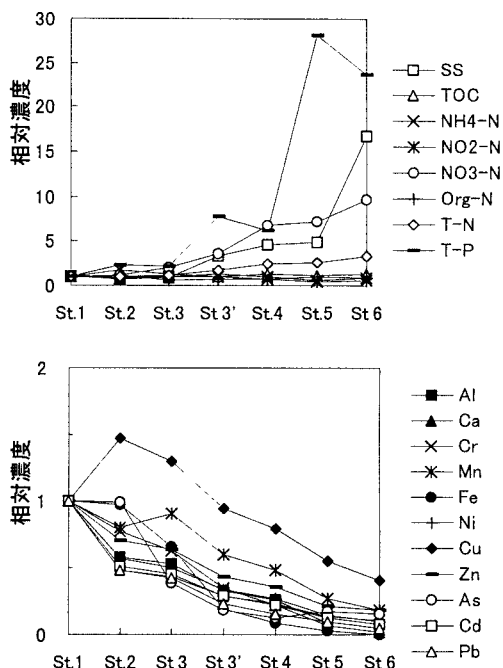


図-2 St.1 を基準とした各水質の相対濃度

濃度は St.1 で 60mg/l 程度であり、他の金属に比べて高かった。これは Al が坑内水に 70mg/l 程度含まれ、処理水の pH が 4.0 程度であるので⁵⁾、除去できずに流出したと考えられる。Fe 濃度は上流部では冬季に 10mg/l を超えることもあった。Pb は St.1 で環境基準値 (0.01mg/l) を超え、Ni は上流部で指針値の 10 倍程度、最下流部で指針値の 0.01mg/l 程度であった。他の金属も一般的な河川での濃度よりも高く、鉱山廃水処理水の影響が見受けられる。次に、流下に伴う各金属濃度の変化を見てみる。流下方向の各金属濃度の変化は 3 パターンに分けられることが分かった。つまり Al、Ca、Cd、Ni、Pb、Zn のように下流に行くに従い単調減少するもの。Cr、Mn のように流下方向に減少するが、St.2 あるいは St.3 までの濃度変化が緩やかなもの。As、Fe、Cu のように、St.2 で最大値をとり、その後減少するものである。金属濃度の変化は、河川への流入、希釈、沈降により決められていると考えられる。St.2 の流量は St.1 の倍程度であり、As、Fe、Cu の濃度が St.2 で増加したことは、前述した St.2 での pH の低下を考慮すると、As 等を不純物として含む硫化鉄や硫化銅の鉱物からこれらが溶解し、流入したものと考えられる。金属水酸化物の溶解度積と各地点の pH より、St.1 で鉄は第一鉄及び第二鉄として存在しており、また、流下に伴う pH の上昇により第二鉄は水酸化物として沈降すること、Cr 及び Al は下流部で沈降することが分かる。

赤川での金属間の挙動を明らかにするため、金属濃度間の相関係数を求め、表-2 に示す。データとしては各調査日の各地点のものを全て用いた。これより、Fe は Cr、Mn、As と相関が比較的高いが、他の金属とは低いこと、Cu は Mn とは相関が高いが、他の金属とは低いこと、As は Fe 以外の金属とは相関が低いこと、これ以外の他の金属間では相関がかなり高いことが分かる。これらの結果は、前述の各金属の濃度変化の説明と概ね対応しており、特に As については Fe とのみ相関が比較的高いことから、挙動が類似していることが分かる。

表-2 金属濃度間の相関係数

r	Al	Ca	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb
Al		0.96	0.93	0.89	0.71	0.98	0.46	0.94	0.41	0.96	0.94
Ca	0.96		0.88	0.81	0.63	0.99	0.43	0.94	0.39	0.99	0.93
Cr	0.93	0.88		0.94	0.88	0.92	0.76	0.95	0.60	0.88	0.90
Mn	0.89	0.81	0.94		0.79	0.87	0.81	0.91	0.48	0.84	0.88
Fe	0.71	0.63	0.88	0.79		0.67	0.71	0.73	0.79	0.62	0.66
Ni	0.98	0.99	0.92	0.87	0.67		0.55	0.96	0.43	0.99	0.96
Cu	0.46	0.43	0.76	0.81	0.71	0.55		0.64	0.46	0.46	0.57
Zn	0.94	0.94	0.95	0.91	0.73	0.96	0.64		0.49	0.93	0.91
As	0.41	0.39	0.60	0.48	0.79	0.43	0.46	0.49		0.40	0.38
Cd	0.96	0.99	0.88	0.84	0.62	0.99	0.46	0.93	0.40		0.95
Pb	0.94	0.93	0.90	0.88	0.66	0.96	0.57	0.91	0.38	0.95	

3.2 各水質の負荷量について

図-3 に例として、12 月 16 日のデータによる各水質項目の負荷量の流下方向の変化を、St.1 での値を基準として相対量として示す。これより金属以外の項目で負荷量が流下に伴い顕著に増加するのは、T-P、T-N、NO₃-N、TOC、SS であり、T-P で 30 倍以上、T-N で 10 倍以上、TOC で 5 倍以上であった。これは中流域の農地や家庭排水の流入の影響のためと考えられる。また、金属で下流に行くに従い負荷量の増加の傾向が見られるのは、Cu、Mn、Zn である。St.2 での Cu と Mn の増加は St.1 と St.2 間では人家がほとんどないことから、前述したように鉱物からの溶出によると考えられ、St.3 以降の増加は、主に家庭排水からの流入によると思われる。一方、減少の傾向がみられる金属は、Fe、As、

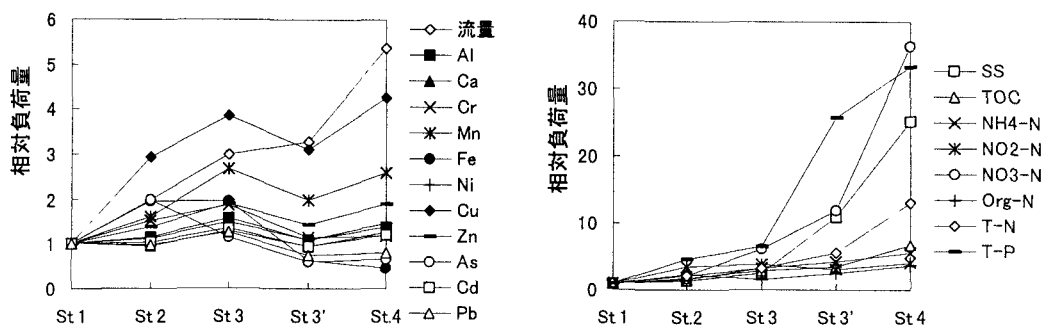


図-3 St.1 を基準とした相対負荷量

Pbである。Fe、Asについては、St.2で一度増加し、その後減少するという類似した挙動を示し、中、下流部では明らかに両金属は沈降していることが分かる。現に、赤川の河床は赤褐色の沈殿物に覆われていることが観察された。その他の金属に関しては変化が小さいことから、処理水による負荷が主であり、下流に行くに従って希釈されていることが分かる。

3.3 底生動物について

表-3、4に各調査時期での各調査地点における底生動物の個体数と種類数をそれぞれ示す。ただし、ここでの個体数は、各調査日及び調査地点によってサーバーネットによる採集回数が異なるため、各地点でのサーバーネット1回当たりの個体数に換算し、これらを調査回数について加えたものである。各調査地点において底生動物の個体数が最も多かった時期は、St.1、St.4及びSt.6で3月、St.2とSt.3で12月、St.3'で7月、St.5で6月であった。この結果

表-3 各調査地点における底生動物の個体数

調査時期	St.1	St.2	St.3	St.3'	St.4	St.5	St.6
6月	3.75	13.50	1.75	4.75	8.50	14.50	25.00
7月	4.67	2.33	2.33	13.00	3.00	9.00	143.00
10月	23.50	18.00	2.67	7.00	8.00	8.33	174.00
12月	12.67	62.00	3.67	8.33	2.33	4.33	128.50
3月	31.00	16.67	2.67		24.00	5.67	228.33

表-4 各調査地点における底生動物の種類数

調査時期	St.1	St.2	St.3	St.3'	St.4	St.5	St.6
6月	5	2	6	8	5	13	10
7月	3	3	3	7	3	7	13
10月	3	5	4	7	4	7	17
12月	5	6	4	11	7	4	14
3月	4	2	4		11	3	15

から、個体数が最も多い時期は、夏期の場合も多少みられるが、比較的冬期に集中していることが分かる。しかしながら、個体数自体は筆者ら^{6), 7)}が行った農村地帯を流下する河川での調査例と比較すると、赤川上流部では非常に少なく、St.6でも1/20程度であった。一方、各調査地点において種類数が最も多かった時期は、St.1で6月と12月、St.2とSt.3'で12月、St.3とSt.5で6月、St.4で3月、St.6で10月であった。一般に、底生動物の種類数は冬に多く、春から夏にかけて少ないと言われており、この結果からも多少例外はある

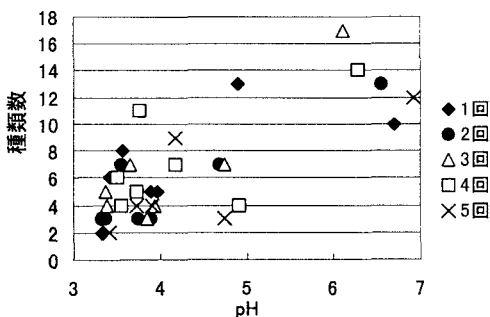


図-4 pH と種類数との関係

が、種類数は秋と冬に増加することが分かる。しかし、種類数自体は少なく、図-4 に示す pH と種類数との関係から分かるように、St.6 で pH が 6.5 程度に上昇し、金属濃度が低下しても底生動物相は回復していないと言える。

表-5 に年間を通じての各調査地点での底生動物の総出現種とそれらの個体数及び種類数を示す。ここの個体数もサバーネット 1 回当たりに換算して示している。これより、総出現目数は 9 であり、それらの種類数は合計で 48 で、そのうち水生昆虫に属するものが 46 で大多数を占めることが分かる。各調査地点における種類数は、St.1 で 9 で、pH が最も低い St.2 で若干減少するが、下流方向に行く

表-5 年間を通じての各調査地点での底生動物の総出現種と個体数及び種類数

		St.1	St.2	St.3	St.3	St.4	St.5	St.6	Total
Acarina					0.67	0.33	1.83	14.7	17.5
Acarina	ダニ目								
Amphipoda									
Gammaridae	エビ科					0.33	1.25	1.5	3.08
Ephemeroptera									
Baetiella sp.	カガカガ属				1.17	0.33	2	4	7.5
Baetis sp.	カガカガ属				1		1.33	4.5	6.83
Ephemerella nigra	カガカガ属							2.5	2.5
Ephemerella rufa	カガカガ属					0.33		0.33	0.67
Ephemerella trispina	シバカガ属				0.25		0.5	1	1.75
Epeorus curvatus	ミミカガ属						0.25		0.25
Epeorus latifolius	ミミカガ属							2	2
Paraleptophlebia sp.	ヒカガ属					0.33			0.33
Ameletus montanus	ヒタカガ属						0.33	2.5	2.83
Plecoptera									
Capnia japonica	ヤブカガ属	23.2	14	2.33		1.33	0.67		41.5
Rhopalosiphum subnigrum	カガカガ属	0.33	0.5	2	0.33	0.67			3.83
Nemoura sp.	カガカガ属	0.5	9.08	0.67		1.08		0.33	11.7
Protonemura sp.	カガカガ属	45.6	84.4	3.17	2.58	6.67	0.67		143
Carex pacifica	カガカガ属							0.5	0.5
Stavosolus japonicus	カガカガ属							0.33	0.33
Rhabdiopteryx japonica	カガカガ属							0.33	0.33
Hemiptera									
Aphelocheirus sp.	カガカガ属							12.1	12.1
Hydrometra sp.	カガカガ属			0.25					0.25
Megaloptera									
Prothemis grandis	カガカガ属						0.33		0.83
Sialis sp.	カガカガ属				0.58	0.33			0.92
Trichoptera									
Hydropsyche nakaharai	カガカガ属					0.33		0.33	0.67
Hydropsyche ulmeri	カガカガ属					0.67		246	247
Hydropsychodes brevilineata	カガカガ属				2	0.33	0.67	11.3	14.3
Limnocyrtus insolitus	カガカガ属		0.67		0.5				1.17
Platyphylax yokouchii	カガカガ属						0.5		0.5
Neuronia maxima	カガカガ属								0.33
Rhyacophila articulata	カガカガ属	0.33	2	0.33	0.83				3.5
Rhyacophila kisoensis	カガカガ属						0.5	0.5	0.5
Rhyacophila nigrocephala	カガカガ属							0.75	0.75
Rhyacophila yamanakensis	カガカガ属							0.83	0.83
Stenopsyche griseipennis	カガカガ属				1.17			3	4.17
Diptera									
Ceratopogonidae	カガカガ科			0.25	5.17	4.5	7.08	2.83	19.8
Chironomidae	カガカガ科	4	1.83	2.58	11.3	26.9	21	360	427
Psychodidae	カガカガ科			0.25			0.33		0.58
Rhagionidae	カガカガ科							1.5	1.5
Simuliidae	カガカガ科			0.33	2.25	0.33	0.25	0.58	3.75
Antocha sp.	カガカガ科 Antocha属	0.25					0.25	15.8	16.3
Eriocera sp.	カガカガ科 Eriocera属	0.33			0.33		0.33	1.25	2.25
Erioptera sp.	カガカガ科 Erioptera属					0.5	0.33		0.83
Tipula sp.	カガカガ科 Tipula属				0.67		0.25	0.5	1.42
Diptera pupa	カガカガ科 蛹	1.08		0.67	1.33		0.83	6.25	10.2
Coleoptera									
Curculionidae	カガカガ科			0.25		0.25			0.5
Elmidae	カガカガ科				0.58	0.25			0.83
Pelodytes intermedius	カガカガ科						0.58		0.58
Luciola lateralis	カガカガ科						0.25		0.25
Ptilodactylidae	カガカガ科							0.5	0.5
Total (44種)		75.6	113	13.1	33.1	45.8	41.8	699	1021
Total (48種)		9	7	12	19	19	22	31	48

につれて増加し、St.6 では 31 であった。この結果から、上流部では限られた種類の底生動物しか生息していないが、下流に向かうにつれて底生動物種の多様性が増加することが分かる。一方、年間を通しての各調査地点における総個体数は、St.1 から St.2 にかけて増加し、St.3 で顕著に減少したが、以降、下流方向に行くにつれて増加した。特に、最下流の St.6 では個体数の増加は著しかった。St.3 では、この上流部で鴨田川が流入し、鴨田川では多様で多数の底生動物の生息が確認され、また、St.2 と水質的にはさほど変化していないにも関わらず、個体数は低下している。この理由は現在のところ明らかでない。

図-5 に各調査時期での各調査地点における底生動物の総個体数を基準とした各目の存在率を示す。6 月では Plecoptera (積翅目) と Diptera (双翅目) の 2 目が個体数の大半を占め、St.1 では各々の存在率が、それぞれ 60% と 40% であり、St.2 では Plecoptera が 100% 近く占めるようになり、St.3 では Diptera の増加に対し、Plecoptera が減少し、St.3' 以降では Diptera が 60% 以上を占めた。Plecoptera の主な底生動物は、ユビオナシカワゲラ属とオナシカワゲラ属であり、Diptera の主な底生動物はユスリカ科とヌカカ科であった。

7 月では Plecoptera、Diptera 及び Trichoptera (毛翅目) の 3 目が個体数の大半を占めており、St.1 では Plecoptera と Diptera の存在率がそれぞれ 65% と 35% であり、Plecoptera は St.2 で存在率が若干減少し、以降、ほぼ 0 となった。一方、Diptera の存在率は St.2 でわずかに増加し、St.3 でほぼ 100% を占め、以降、緩やかに減少し、St.6 では 30% 以下になった。中流部から下流部では Diptera

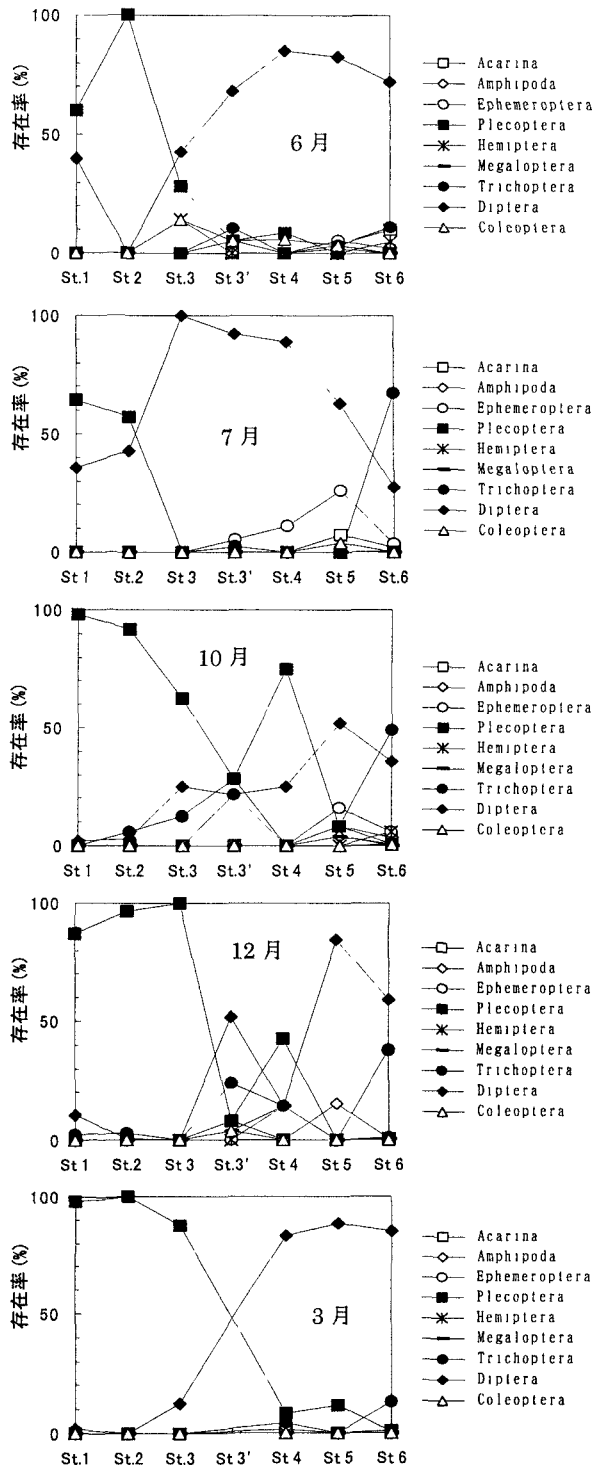


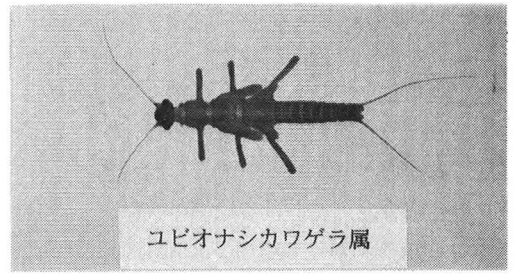
図-5 個体数を基準とした底生動物目の存在率

の減少に反して、上流部ではほとんど出現しなかった Trichoptera が現れ、St.6 ではその存在率は 70% 近くに達した。各目における主な底生動物は、Plecoptera が 6 月の出現種と同じで、Diptera が 6 月に加えてブコ科、Trichoptera がウルマーシマトビケラであった。また、St.3'以降では、以上の目に加えて Ephemeroptera (蜉蝣目) のコカゲロウ属が出現したが、その存在率は 30%以下であった。

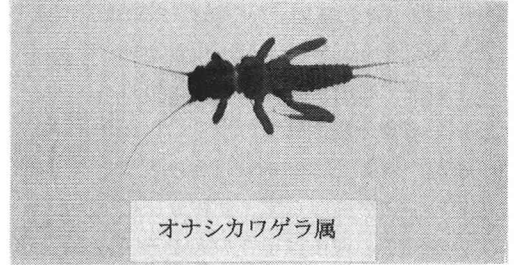
10 月では 7 月と同様に Plecoptera、Diptera 及び Trichoptera の 3 目が個体数の大半を占めた。Plecoptera の存在率は、St.1 で全体の 100%近くを占め、St.4 で増加がみられるが、下流部では 10%以下に減少した。Diptera の存在率は、St.1~St.5 までは増加の傾向がみられ、St.5 では 50%になり、St.6 では低下した。Trichoptera は St.2 で出現し、St.6 では存在率が約 50%であった。各目における主な底生動物は、Plecoptera が 6 月及び 7 月の出現種の他にヤマトクロカワゲラ、Diptera がユスリカ科とガガンボ科、Trichoptera がウルマーシマトビケラとコガタシマトビケラであった。また、7 月と同様に St.3'以降で Ephemeroptera のコカゲロウ属が出現したが、その存在率は 20%以下であった。

12 月では Plecoptera と Diptera が個体数の大半を占め、Plecoptera の存在率は St.1~St.3 で 80%以上であり、その後、St.4 を除いて低下し、St.5 以降ではほぼ 0 になった。Diptera の存在率は、上流部では 10%以下であり、St.6 では約 60%であった。各目における主な底生動物は、Plecoptera が 10 月の出現種に加えてクロホソカワゲラ、Diptera がユスリカ科、Trichoptera がウルマーシマトビケラであった。

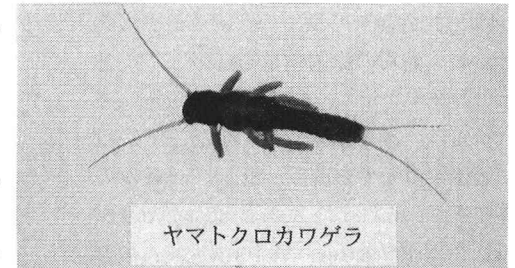
3 月では 12 月と同様に Plecoptera と Diptera が個体数の大半を占め、Plecoptera の存在率は、St.1~St.3 で 85%以上であったが、St.4 と St.5 では 10%程度に減少し、St.6 ではほぼ 0 になった。一方、Diptera の存在率は、St.1 と St.2 では 5%以下であったが、St.3 で幾分増加し、St.4、St.5 及び St.6 では 80%以上に達した。各目における主な底生動物は、Plecoptera が 10 月と同じ出現種で、Diptera がユスリカ科であった。St.4 と St.6 では Trichoptera



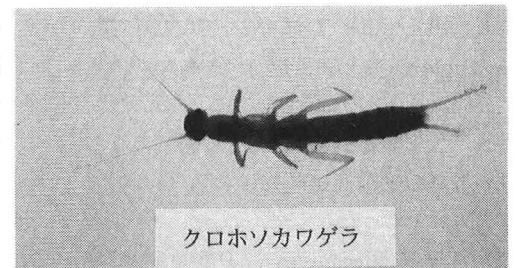
ユビオナシカワゲラ属



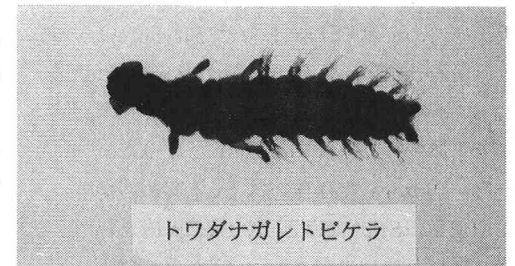
オナシカワゲラ属



ヤマトクロカワゲラ



クロホソカワゲラ



トワダナガレトビケラ

図-6 赤川上流部における主な底生動物

も出現したが、その存在率は 10%前後であった。

これらの結果から、優先目は上流から下流に向かうにつれて変化し、その変化は 6 月と 3 月では Plecoptera~Diptera、7 月と 10 月では Plecoptera~Diptera~Trichoptera、12 月では Plecoptera~Diptera ~Plecoptera~Trichoptera であり、調査時期によって異なることが分かった。

赤川での底生動物種については、前述したように酸性河川であること、金属濃度が一般の河川に比べて高いことからこれら双方の影響を受けていると考えられる。御勢⁸⁾は Cu と Zn について、鉱山からの廃水を受容し、pH が中性近くの 10 河川で水生動物に対する影響を調査した。その結果、Cu の方が毒性が強く、Cu 濃度が 5 $\mu\text{g/l}$ 以下では水生動物に対する影響がなく、6~30 $\mu\text{g/l}$ でやや影響し、それ以上では極めて影響が大きいとした。赤川の Cu 濃度は St.2 で 9 $\mu\text{g/l}$ であり、Cu についてはやや影響することになるが、他の金属、例えば Al 濃度は上流部で非常に高く、Ni も高いことから、これらの複合的な影響も無視できないと考えられる。一般に、金属耐性種としてコカゲロウ属の一種、エルモンヒラタカゲロウ (*Epeorus latifolium*)、ナガレトビケラ属及びユスリカ科が知られている^{9~11)}。しかしながら、St.1~St.3 の金属濃度が高い地点において前 2 種は出現しておらず、ナガレトビケラ属のトワダナガレトビケラとユスリカ科の生息が確認された。このことから、低 pH が重金属以上に底生動物の生息に関与しており、ユスリカ科は上流から下流まで生息していたことから、これは低 pH と重金属の双方の耐性種であることが分かる。赤川上流部で特徴的な底生動物は、図-6 に示すユビオナシカワゲラ属、オナシカワゲラ属、ヤマトクロカワゲラ、クロホソカワゲラ及びトワダナガレトビケラであり、これらのうち、オナシカワゲラ属及びトワダナガレトビケラは耐酸種とされている¹²⁾。また、Plecoptera に関しては、完舌亜目に属する草食性の幼虫のみが⁸⁾上流部で出現していることが分かった。これより、上流部では敵対する生物が少ないこと、肉食性の水生動物にとっての餌がほとんど生息できない等の環境条件により偏った種の生息域が形成されていると考えられる。

以上のように、赤川では下流部に行くに従い pH が上昇し、金属濃度が低下し、水質的には正常な河川に近くなってくることが分かった。しかし、底生動物からみれば、上流から中流部では特異な生態系を形成しており、最下流部の St.6 においても種の多様性の回復、個体数の増大には至っていないことが明らかになった。調査期間を通して肉眼の観察では St.6 でドジョウらしいものが一匹確認されたのみで、赤川の水は一切人間活動には利用されておらず、鉱山廃水処理水、農地と家庭からの排水を松川に流達させる排水路としての役割を担っているにすぎない。人々は赤川に近づきもせず、死んだ河川と言える。この赤川を蘇らせる簡単な方法の一つとして、処理水の pH を上昇させることが考えられる。安価な炭酸カルシウムによる中和では、pH は最大 6 程度まで上昇できる¹³⁾。しかしながら、水素イオン濃度の負荷量から判断すると、処理水の pH を 6 にしても、St.3 では pH は 3.7 までしか上がらない。これは St.1 から St.2 までの負荷が非常に大きいためであり、この負荷を何らかの方法で削減する必要がある。

4.まとめ

本研究では、鉱山廃水処理水を受容する赤川において、金属を含めた水質測定及び底生動物の調査を行い、以下の点を明らかにした。

1)赤川は全域で酸性であり、通常の河川に比較して Al、Ca、Ni、Pb 等の濃度が高い。Cu、Mn、Zn は流下に伴い負荷量が増加し、鉱山廃水処理水以外の負荷がある。Fe と As は処理水及び St.1 から St.2 間に負荷があり、その後、負荷量は低下し、沈降している。その他の金属は処理水による負荷が主であり、Pb は沈降し、他の金属は流下に伴い希釈されている。また、中流域での農地や家庭排水の流入に

より、T-N、T-P 及び TOC の負荷量が大幅に増加した。

2)赤川上流部での特徴的な底生動物の種類は、ユビオナシカワゲラ属、オナシカワゲラ属、ヤマトクロカワゲラ、トワダナガレトビケラ及びユスリカ科であり、金属濃度よりはむしろ pH の方が底生動物相に大きく影響しているのではないかと考えられる。また、流下に伴い概ね Plecoptera～Diptera～Trichoptera と優先目が変化する。

3)赤川では流下に伴い、水質的には改善され、底生動物の種類数と個体数の増加がみられる。しかしながら、種類数、個体数とも少なく、鉾山廃水処理水の影響を受けていると言える。

4)人間との係わりがほとんどなく、死の川となっている赤川を蘇らせるためには、St.1 から St.2 までの負荷を削減する必要がある。

<参考文献>

- 1)半谷高久, 小倉紀雄: 第3版 水質調査法, 丸善株式会社, 190, 1995
- 2)金属鉾業事業団: 旧松尾鉾山坑廃水処理事業の概要, 1992
- 3)津田松苗編: 水生昆虫学, 北隆館, 1979
- 4)上野益三編: 日本淡水生物学, 北隆館, 1986
- 5)照井皓央: 理科(地学)で公害関係をどのように取り入れていくかー北上川清流化対策についてー, (財)日本私学教育研究所紀要, Vol.14, 351-418, 1979
- 6)安嬰, 大村達夫, 海田輝之, 相沢治郎, 佐藤芳光, 海藤剛: 特定汚染源のない河川の底生動物相による水環境評価, 水環境学会誌, Vol.16, No.11, 804-814, 1993
- 7)安嬰, 大村達夫, 海田輝之, 相沢治郎, 佐藤義秋: 底生動物相に及ぼす河川改修工事の影響, 環境工学研究論文集, Vol.32, 457-466, 1995
- 8)御勢久右衛門: 鉾山廃水の河川生物に対する影響調査のまとめ, 淡水生物, Vol.7, 18-25, 1961
- 9)渡辺直, 原田三郎: 鉾山廃水流入河川ー市川ーにおける底生動物相の回復について, 兵庫県公害研究所研究報告第8号, 20-25, 1976
- 10)井出嘉雄, 小島力: 河川水質汚濁回復力の研究ーとくに渡良瀬川の鉾毒水回復力の研究ー, 用水と廃水, Vol.20, No.7, 65-73, 1978
- 11)畠山成久, 福嶋悟, 佐竹潔: 重金属汚染河川(梯川水系)における底生動物相の回復過程に関して, 国立公害研究報告第114号, 193-206, 1988
- 12)日本生態学会環境問題専門委員会編: 環境と生物指標 2, 共立出版, 1979
- 13)岡本剛, 後藤克己, 諸住高: 工業用水と廃水処理, 日刊工業新聞社, 1975