

1. はじめに

近年、日本では水生生物の保護を目的として従来の環境基準項目に亜鉛が追加される等、水域生態系に対する有害な金属類の規制および管理が重要視されている。本研究では、山形県米沢市に位置する酸性河川（松川）と岩手県八幡平市に位置する酸性河川（赤川）の二つのフィールドにおいて実施した水質および生物相（水生昆虫群集）に関する現地調査データに基づき、多変量統計的手法を用いて酸性水域において特徴的な環境因子が生物相に与える影響について検討した。また、本研究では最上川源流部の新たな水質改善手法の開発を目的として、コンクリート廃材を中和資材として有効利用した新たな酸性鉱山廃水処理システムの実用可能性についても検討を行った。

2. フィールド調査における調査地点および調査方法

赤川（岩手県）および松川（山形県）における調査地点を図-1 および 2 にそれぞれ示す。調査地点数は赤川において 7 地点、松川では支流である渋川（St.T1）を含め 6 地点とした。赤川では 1997 年～2000 年の 3 年間において水質、河床堆積物および水生昆虫群集に関する調査を季節毎に行った。松川では 2002 年～2008 年の期間において、水質に関する調査を夏季および秋季に行った。また、2007 年 6 月～11 月の期間において水生昆虫群集に関する調査を St.M2, M4, M5 および T1 を対象として計 3 回行った。水生昆虫の採取は、0.25m×0.25m のコードラードのついたサーバーネット（38 メッシュ/inch²）を用いて行った。同定は、上野¹⁾および川合²⁾を参考と

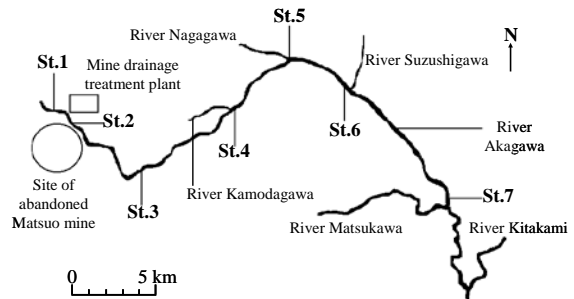


図-1 赤川（岩手県）の調査地点概要

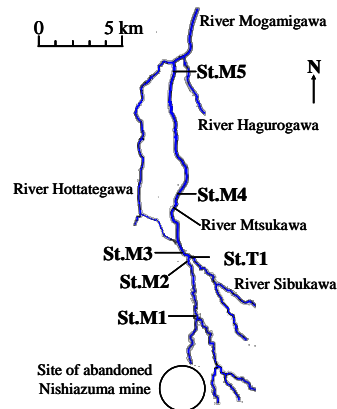


図-2 松川（山形県）の調査地点概要

した。また、得られた水生昆虫の個体群データは優占種が解析に与える影響を避けるために、対数データ変換の後、科毎に集計された³⁾。これらのデータの平均値を用いて主成分分析を行い、調査地点間の水生昆虫群集の構造の統計的解析を行った。なお、すべての解析は 2007 年 6 月～11 月の期間における松川の全データおよび赤川の調査データの中で松川の調査季節と同季節のデータを対象とした。すべての統計解析は SPSS 12.0J を用いて行った。

3. フィールド調査結果および考察

図-3 に赤川および松川における pH, NO₃⁻, 溶解性 Al および Zn 濃度の平均値を示す。赤川上流部では、pH が 3.3 程度と非常に低く、

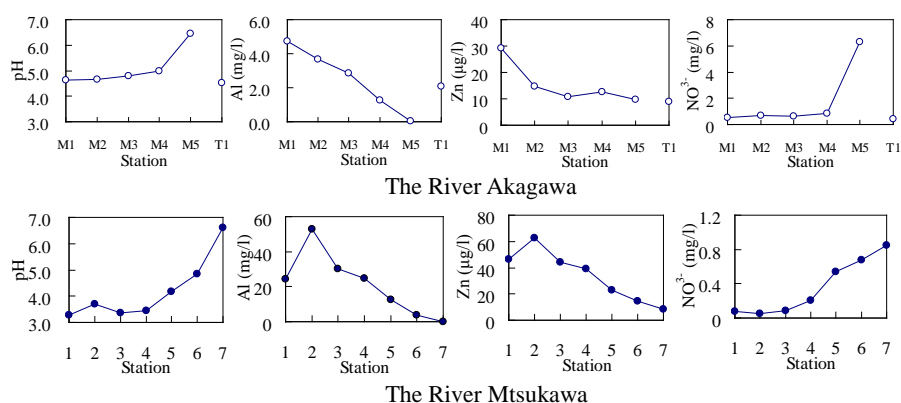


図-3 赤川および松川における pH, NO₃⁻, 溶解性 Al および Zn 濃度

河川水中に Al, Ca, As, Zn および Fe 等の金属が高濃度で存在していた (Ca: 22.0 mg/l, As: 3.3µg/l, Fe: 12.1 mg/l). 松川上流部 St.M1 の pH は 4.6 程度であり, 河川水中の各金属濃度は赤川に比べて低い状態であった (Ca: 8.57 mg/l, As: 0.06µg/l, Fe: 0.20 mg/l). また, 双方の河川の下流部において pH は中性程度まで上昇し, 各金属濃度も減少する傾向を示した.

双方の河川の水生昆虫群集データに基づいた主成分分析の結果について述べる. 図-5 に第 1 および第 2 主成分に対する水生昆虫の各科の因子負荷量と各調査地点の主成分得点のプロットを示す. 各調査地点の主成分得点プロット間の距離が近いほどそれらの地点における水生昆虫の群集が類似していることを表す. また, 水生昆虫の各科の因子負荷量の方向と各調査地点の主成分得点プロットの位置は, それぞれの調査地点における水生昆虫群集がどのような科によって構成されているかを示し, それぞれの因子負荷量の原点からの距離は, 調査地点間の群集構造の類似性におよぼす各科の影響度合いを示す. なお, 第 1 と第 2 主成分の累積寄与率は 70% 以上であった. 赤川 St.1~5 および松川 St.M2 は図中の第 3 象限に位置し, それらの

地点間の距離も非常に近く, 類似した群集構造が形成されていることが明らかとなった. St.1~5 および松川 St.M2 では, 存在する水生昆虫の科数および個体数が非常に少なく, 貧弱な群集構造が形成されているといえる. 一方, 松川 St.M5 および赤川 St.7 はそれぞれ第 1 および第 4 象限に位置しており, それぞれ Chironomidae および Hydropsychidae を中心とした多様な群集構造を有しているといえる. 赤川および松川の主成分得点プロットは上流部から下流部に向かってそれぞれ第 3 から第 4 象限および第 1 象限へ移動しており, 赤川および松川における水生昆虫群集

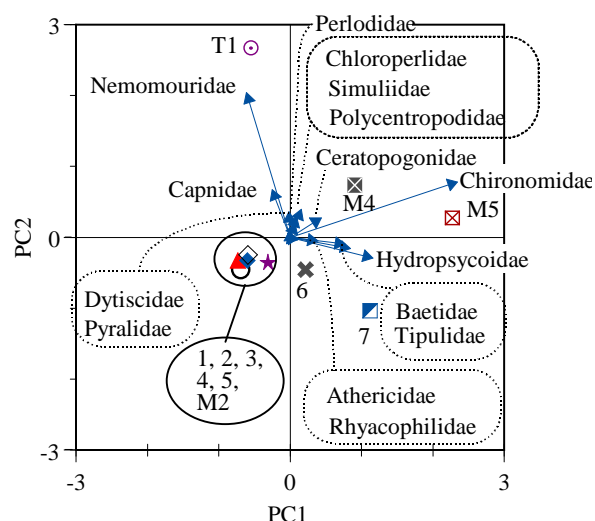


図-5 赤川および松川における水生昆虫の各科の因子負荷量と各調査地点の主成分得点のプロット

は流下に伴い多様ではあるがそれぞれ異なった群集構造へと遷移していくことが示唆された。図-3に示すように松川 St.M5 では pH は中性付近で赤川 St.7 と同程度であるが、NO₃等の栄養塩類が高濃度で存在しており、松川および赤川は下流部において異なった水環境が形成されているといえる。双方の河川における水生昆虫群集構造の差異はこの水環境の違いに起因していると考えられる。

著者らは pH が 4.5 付近を推移する赤川の中流部 St.6 において、Al 加水分解生成物が存在し、それらが河床に生息する付着藻類の増殖を阻害することを明らかにしている⁴⁾。St.M1 および M2 における pH は 4.5 付近を推移していることから、河川水中の Al が松川上流部の生態系に悪影響をおよぼしている可能性が高いといえる。

4. コンクリート廃材を用いた水質改善手法に関する実験方法

県内企業である株式会社クリーンシステムの協力を得て、構造物基礎、ビル等の構造物躯体および電柱等のコンクリート柱を由来とする3種類のコンクリート廃材のサンプリングを行った。得られたコンクリートを破砕したものをコンクリートサンプル(RCサンプル)として実験に供した。

本実験では松川における St.M2 の河川水(図-2)を H₂SO₄ によって pH 3.00 に調整したものを処理対象サンプルとした。また、RC サンプルから粒径が 20mm 程度のものを選別した各 RC サンプルを中和資材として実験に供した。まず、pH 調整した St.M2 の河川水 500ml をビーカー中で攪拌しながら RC サンプルを 5.00g 程度ずつ添加した。RC サンプル添加から 10min 後の pH をガラス電極法により測定した。pH が中性以上に上昇した時点で実験終了とし、試験液を 0.45μm の

メンブレンフィルターでろ過し、ろ液を硝酸で加熱分解した後、ICP-MS および ICP-AES を用いて各金属濃度の測定を行った。また、中和実験にエアレーションによる曝気処理を添加した実験も行った。

5. コンクリート廃材を用いた水質改善手法に関する実験結果および考察

図-6に粒径 20mm の RC サンプルを用いた中和処理にエアレーションによる曝気処理を添加した場合の実験結果と曝気処理をしない場合の実験結果をあわせて示す。なお、図中の投入量(g/l)は鉱山廃水試料水への RC サンプル累計投入量を 1L 当たりに換算した値を示す。すべての条件において投入量の増加と共に pH が上昇した。コンクリート柱由来 RC サンプルの条件において最も大きな pH 上昇勾配が確認された。結果からいずれの RC サンプルにおいてもエアレーション処理をした条件の方が、pH の上昇勾配が大きくなっており、処理効率が良いことが明らかとなった。実験終了時における最終的な RC サンプルの総投入量はエアレーション処理無しの場合の 170~188g/l に対して、エアレーション処理有りの場合 48.7~61.2 g/l と 1/3 程度に減少しており、エアレーション処理の添加によって処理効率が劇的に改善されたといえる。RC サンプルによる中和処理では、RC サンプル中に含まれる CaO、Ca(OH)₂ および CaCO₃ 等のアルカリ分が試料水に溶解することによって pH が上昇するが、CaCO₃ 等の炭酸塩が試料水中に溶解することによって溶存二酸化炭素[CO_{2(aq)}]および炭酸水素イオン[HCO₃⁻]が試料水中で過飽和の状態となる。この過飽和状態の試料水をエアレーションし、急激な CO₂ の気液平衡を進めることによって試料水中の過剰な CO₂ が大気へ散逸する。この現象により以下の反応が右に進み

アルカリが供給されることがエアレーション処理による pH の上昇の促進機構であると考えられる。表-1 に中和実験における試料水（松川河川水）および処理水中の各金属濃度を示す。Ca, Na, Fe, B, Sr および Cr は処理前の試料水（Acidified water sample）と比較してすべての条件の処理水において濃度が上昇しており、中和処理に伴い溶出することが確認された。Al, Mn, Zn, Pb および Cd はすべての条件において処理後に濃度が低下しており、中和処理に伴い沈殿および吸着除去されていることが確認された。特に Al 濃度は 1/15~1/30 に低下しており、効率的な Al 除去がなされているといえる。特にエアレーション処理条件下では Cr の溶出濃度が顕著に低く有効な処理方法であることが示唆された。

松川は Al の緩衝によって pH 上昇が阻害されていることがフィールド調査より明らかとなっており、酸性河川水から炭酸の脱離を早めて pH の上昇を促進させるエアレーション処理を付与した本処理方法を適用することによって効率よく水質を改善することが可能であると考えられる。

- <参考文献> 1) 上野益三編：日本淡水生物学，北隆館，1986。
 2) 川合禎次編：日本産水生昆虫検索図説，東海大学出版会，1985。
 3) 小林四郎：生物群集の多変量解析，蒼樹書房，1999。
 4) 日本土壌肥料学会編，低 pH 土壌と植物，博友社，1994。
 5) Atsushi Sasaki, Ayumi Ito, Jiro Aizawa and Teruyuki Umita : Influence of water and sediment quality on benthic biota in an acidified river, Water Research, Vol.39, 2517-2526, 2005.

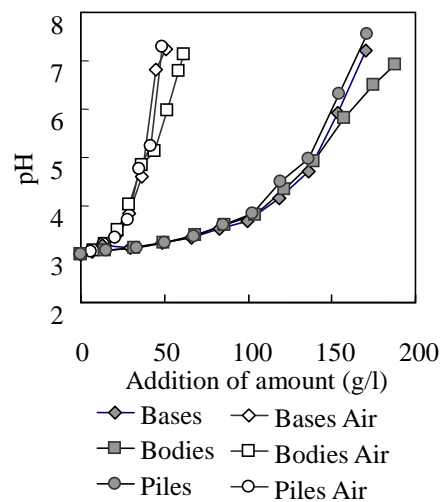


図-6 各中和試験条件下における pH の変化

表-1 中和実験における試料水および処理水中の各金属濃度

Type	Acidified water sample	Bases	Bodies	Piles	Bases	Bodies	Piles
Aeration	-	No addition			Addition		
Mg	3.22	3.27	3.62	3.29	3.27	3.61	3.29
Ca	12.3	41.1	42.7	43.1	35.3	38.5	33.3
Al	1590	82.3	43.5	108	89.3	41.5	58.3
Fe	210	383	389	381	331	373	321
Sr	106	189	163	161	183	165	167
Cr	0.56	9.2	7.0	7.4	3.2	1.2	1.5
Mn	152	2.09	27.2	1.48	65.8	89.9	84.6
B	16.9	41.6	36.9	36.4	20.7	21.1	20.5
Cu	1.68	3.32	3.35	2.69	2.11	2.27	2.15
Zn	10.8	<0.1	2.2	0.3	<0.1	7.1	3.1
Pb	1.7	0.9	1.0	1.0	1.5	0.5	0.4
Cd	0.30	0.37	0.54	0.80	0.09	0.17	0.20

*表中の Bases, Bodies および Piles は構造物基礎，構造物躯体およびコンクリート柱由来の RC サンプルを用いた実験条件をそれぞれ示す。