

VII-44

鉱山排水処理水を受容する河川の付着藻類による水環境評価

岩手大学工学部 学生会員 ○刈屋宏章 佐々木孝明

岩手大学工学部 正会員 伊藤歩 相澤治郎 海田輝之

1.はじめに

鉱山排水やその処理水を受容する河川では、高濃度の重金属や河川の酸性化がその生態系に多大な影響を与えている。著者らは過去に岩手県北部を流下し北上川に注ぐ松川と合流する酸性河川の赤川を対象として、水質、水生昆虫、底質中の重金属、強熱減量、Chl-a等の調査を行った。しかし、野外調査から得られたデータのみでは、生態系に影響を与える要素の完全な特定はできなかった。

そこで、本研究では酸性河川の水環境を改善するための基礎的情報を得るために、河川生態系の第一生産者として重要な役割を持つ付着藻類を用いた酸性河川の水環境評価を行った。

2.実験材料

本実験では、旧松尾鉱山の中和処理施設から6km下流の地点で採水した赤川の河川水(pH3.5)を試料とした。評価対象とする付着藻類は、赤川に生息するもので、中和処理施設から約31km下流のpHや重金属の影響が小さく、比較的水環境が回復した地点(約pH6)の河床に設置したモルタル製付着板の付着物とした。

3.実験方法

3.1 pHと溶解性金属が藻類に及ぼす影響について【実験1】

条件を表-1に示す。この実験ではpHを調整しない河川水(Run1,2)と6に調整したもの(Run3,4)に藻類を接種してpHや溶解性金属が藻類の増殖に及ぼす影響を検討した。不溶解性金属はろ過をして除去し、その影響を無くした。なお、栄養塩の不足による藻類の増殖制限を防ぐため、それぞれのpHについて栄養塩を十分に添加した条件も検討した。栄養塩はGorham No.11 改変培地を参考とし、表-1の濃度になるようにNaNO₃、K₂HPO₄、NaSiO₃・9H₂Oを添加した。pHの調整はNaOHとH₂SO₄を用いた。Run2,4は栄養塩を添加してからpHを調整した。それぞれの試料を、1μmMFでろ過し、ろ液5lを三角フラスコに移して藻類の培養液とし、採取した藻類を均等になるようスターラーで攪拌しながら接種し、その後経目的に採水を行った。採水は三角フラスコの側面や底面に付着した藻類をヘラ状の棒で擦り落とし、スターラーで攪拌しながらpHとChl-a濃度を測定した。その他の項目として実験の初期と終了時に窒素、リン、重金属濃度を分析した。また、培養の初期と終了時での藻類の種類を分類した^{2,3)}。培養条件は、室温25℃、照度4000lux、12/12時間の明暗培養で一日数回の攪拌とした。

表-1 実験1の条件

	pH	栄養塩
Run1	3.5	無添加
Run2	3.5	NO ₃ -N=82, PO ₄ ³⁻ -P=5.8, Si=3.7 (mg/l)
Run3	6	無添加
Run4	6	NO ₃ -N=82, PO ₄ ³⁻ -P=5.8, Si=3.7 (mg/l)

3.2 低pHでの重金属形態の違いによる藻類の増殖の変化について

【実験2】

実験条件を表-2に示す。この実験ではpH無調整の原水(Run1)、原水から不溶解性金属をろ過して除去したもの(Run2)、一度pHを6まで上昇させ溶解性金属も除去した後にpHをRun1,2と同程度に下げたもの(Run3)を試料とし、それぞれに藻類を接種して低pH状態で重金属の形態の違いが藻類の増殖へ及ぼす影響について検討した。栄養塩はRun1,2では加えなかった。Run3ではpHを上昇する際、リン酸が鉄やアルミニウムと共沈するためRun1,2と同濃度になるようにK₂HPO₄を加えた。藻類の接種方法や測定項目、培養条件は実験1に準じた。

表-2 実験2の条件

	pH	不溶解性金属	溶解性金属	栄養塩
Run1	3.6	存在	存在	無添加
Run2	3.6	除去	存在	
Run3	3.6	除去	除去	

4.実験結果及び考察

4.1 pHと溶解性金属が藻類に及ぼす影響について【実験1】

図-1にChl-a濃度とpHの経日変化をそれぞれ示す。原水の水質は、無機態窒素が0.65mg/l、リン酸態リンが0.012mg/lであった。実験終了時での栄養塩はRun1,3ではほとんど無く、Run2,4では十分に残っていた。重金属の例として溶解性のAl、Fe、Cr、Pbの濃度を表-3に示す。他の重金属(Ca、Ni、Mn、Zn、Cu、As、Cd)については、初期の段階ではそれぞれの試料において濃度差はほとんど見られなかった。これより表-3に示された金属はRun1,2で濃度が高く、それ以外の重金属についてはRun1~4で同一の条件にあったといえる。

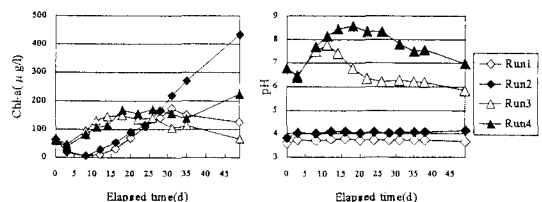


図-1 実験1のChl-a濃度とpHの経日変化

Chl-a濃度は、全ての試料において一度減少するが、Run3,4では3日目を通るとpH無調整のRun1,2より早い時期に増加し、藻類量の回復が早い事が分かる。Run1,2もChl-a濃度は9日目を通ると増加しはじめ、最終的にはRun2が約430μg/l

と最も高い値を示した。これより、低 pH で高濃度の重金属が存在し、尚且つ栄養塩が乏しい条件下でも藻類が増殖できることが示された。しかし、藻類の増殖が開始する日数は pH により異なっており、この差は藻類の種によりそれぞれの環境へ適応する速さが異なるためと推測した。そこで実験終了時の藻類の出現種(表-4)に注目すると Run1,2 では比較的種数が少なく、付着珪藻の *Cymbella* 属や耐酸性種としての報告がある珪藻の *Pinnularia* 属、緑藻の *Ulothrix* 属らが主に出現する。一方、Run3,4 では、種が多様で中性域に生息する種も観察された。本実験では中性域に生息していた種を対象にしたため、Run3,4 では藻類の環境への適応が速く Chl-a 濃度が増加する時期も早かったと考えられる。逆に Run1,2 は pH3.5 付近に適応した種が少なかったために増殖の開始が遅いが、種間の競争も少なく、ある一定の種が急激に増殖したために高い Chl-a 濃度が得られたと考えられる。培養液の pH は、Run1,2 で大きな変化は見られなかったが、Run3,4 の pH は一度上昇し、その後低下した。pH の上昇は、Chl-a 濃度の増加と対応することからも光合成の影響と考えられる。

4.2 低 pH での重金属形態の違いによる藻類の増殖の変化について【実験2】

図-2 に Chl-a 濃度と pH の経日変化をそれぞれ示す。なお原水の水質は無機態窒素が 0.13mg/l、リン酸態リンが約 0.008mg/l であった。最終的には無機態窒素が約 0.006mg/l、リン酸態リンが約 0.01mg/l になり栄養塩はどの試料も非常に乏しかった。また、表-5 に重金属濃度の例として Al と Fe について示す。Ca, Ni, Mn, Zn, Cu, Cd はそれぞれの試料で濃度に差はなく、殆どが溶解性であった。Al, Fe, Cr, As, Pb は Run3 では沈殿除去され、Run1,2 では殆どが溶解性金属として存在していた。Fe と As については初期の段階では、Run1 では濃度が高く不溶性金属も含んでいた。Chl-a 濃度は、やや Run1 の増殖が遅いものの 23 日目までは類似した挙動を示し、特に Run2,3 は実験終了時まで殆ど同じ変化を見せた。

これより今回の実験では溶解性金属は、耐酸性の藻類の増殖にあまり影響を及ぼさなかったといえる。23 日目を過ぎて Run2,3 の Chl-a 濃度が減少に転じるのに対し、Run1 は急激に増加する。これより低 pH で重金属が高濃度かつ不溶性金属を含む場合でも藻類が増殖できる可能性が示された。藻類の種数は、それぞれの条件で 4~7 種と同程度であった(表-6)。特徴的な種としては、珪藻の *Pinnularia* 属、*Cymbella* 属、*Nitzschia* 属(もしくは *Navicula* 属)、緑藻の *Ulothrix* 属等が出現した。Run1 では他の条件に比べ付着性の珪藻の個体数が非常に多く、Run2,3 で見られた *Achnanthes* 属は観察されなかった。Run1 が他の条件より Chl-a 濃度が高くなったのは藻類の種の性質や群集構造が関係している可能性があるが、現在明確な理由はない。

5. 赤川の現況と実験結果の比較

以上の実験結果を通して、藻類は酸性状態で不溶性を含む重金属の濃度が高く、栄養塩が乏しい状態でも増殖出来る可能性があることが分かった。しかし、現況の赤川上流の Chl-a 濃度は非常に低く、ある一定量以上は藻類が増殖しない。今回の実験の条件と実際の赤川とを比較すると実際は流水性である点と連続的に重金属が堆積する点が異なる。特に重金属の連続的な堆積は、水質以上の影響を藻類に与える可能性がある。また、pH が流下により徐々に上昇する過程で重金属の毒性が変化することも予測され、今後酸性河川により類似した環境での影響評価を検討する必要がある。

6. 結論

以上の実験結果を通して、藻類は酸性状態で不溶性を含む重金属の濃度が高く、栄養塩が乏しい状態でも増殖出来ることが分かった。今後は、連続的に沈殿物が発生する酸性河川の環境に類似した条件で影響評価をする必要がある。

<参考文献>

- 1) 日本下水道協会編(1997)下水試験方法、日本下水道協会
- 2) 水野壽彦著(1997)日本淡水プランクトン図鑑、保育社
- 3) 日本生態学会環境問題専門委員会編(1979)環境と生物指標 2、共立出版

表-3 実験1の初期と終了時の重金属濃度

	Al(mg/l)		Fe(mg/l)		Cr(μg/l)		Pb(μg/l)	
	初期	終了時	初期	終了時	初期	終了時	初期	終了時
Run1	30.0	32.6	9.7	0.3	18.6	5.6	6.1	5.3
Run2	30.2	31.1	0.8	0.9	19.1	9.2	3.3	1.8
Run3	0.5	0.0	0.4	0.2	0.5	0.6	0.6	0.9
Run4	0.1	0.0	0.2	0.2	0.7	0.7	1.1	1.0

表-4 実験1の実験後の藻類の出現種

Run1	Run2	Run3	Run4
<i>Cymbella</i> 属	<i>Cymbella</i> 属	<i>Ankistrodesmus</i> 属	<i>Ankistrodesmus</i> 属
<i>Pinnularia</i> 属	<i>Ulothrix</i> 属	<i>Scenedesmus</i> 属	<i>Kirchneriella</i> 属
他 不明 2種	他 不明 4種	<i>Nitzschia</i> 属	<i>Scenedesmus</i> 属
		<i>Staurostrum</i> 属	<i>Synedra</i> 属
		<i>Synedra</i> 属	他 不明 7種
		他 不明 6種	

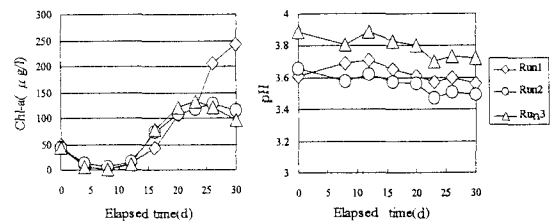


図-2 実験2のChl-a濃度とpHの経日変化

表-5 実験2の初期と終了時の重金属濃度

RunNo.	Al(mg/l)			RunNo.	Fe(mg/l)		
	初期	最終			初期	最終	
		total	溶解性			total	溶解性
1	25.4	29.6	29.6	1	12.0	7.3	0.2
2	25.5	28.6	28.8	2	8.8	6.2	0.3
3	0.2	3.9	3.8	3	0.2	1.2	0.2

表-6 実験2の初期、23日目、終了時の藻類の出現種

初期	Run1		23日目	Run2		23日目	Run3	
	23日目	最終		23日目	最終		23日目	最終
<i>Achnanthes</i> 属	<i>Nitzschia</i> 属 or <i>Navicula</i> 属	<i>Nitzschia</i> 属 or <i>Navicula</i> 属	<i>Achnanthes</i> 属	<i>Cymbella</i> 属	<i>Achnanthes</i> 属	<i>Achnanthes</i> 属	<i>Achnanthes</i> 属	<i>Achnanthes</i> 属
<i>Cymbella</i> 属	<i>Nitzschia</i> 属 or <i>Navicula</i> 属	<i>Nitzschia</i> 属 or <i>Navicula</i> 属	<i>Cymbella</i> 属 or <i>Ulothrix</i> 属	<i>Cymbella</i> 属	<i>Cymbella</i> 属	<i>Cymbella</i> 属	<i>Cymbella</i> 属	<i>Cymbella</i> 属
<i>Homocothrix</i> 属	<i>Pinnularia</i> 属	<i>Pinnularia</i> 属	<i>Nitzschia</i> 属 or <i>Navicula</i> 属	<i>Nitzschia</i> 属 or <i>Navicula</i> 属	<i>Nitzschia</i> 属 or <i>Navicula</i> 属	<i>Nitzschia</i> 属 or <i>Pinnularia</i> 属	<i>Nitzschia</i> 属 or <i>Pinnularia</i> 属	<i>Nitzschia</i> 属 or <i>Pinnularia</i> 属
<i>Melosira</i> 属	<i>Ulothrix</i> 属	<i>Ulothrix</i> 属	<i>Ulothrix</i> 属	<i>Ulothrix</i> 属	<i>Ulothrix</i> 属	<i>Synedra</i> 属	<i>Synedra</i> 属	<i>Synedra</i> 属
他 不明 5種	他 不明 1種	他 不明 3種	他 不明 3種	他 不明 3種	他 不明 3種	他 不明 2種	他 不明 3種	他 不明 3種