

(59) 付着藻類を指標としたアルミニウムの河川生態系への影響に関する基礎的研究

佐々木 貴史¹・舘 紀昭²・伊藤 歩^{3*}・相澤 治郎⁴・海田 輝之⁴

¹山形大学工学部機器分析技術室 (〒992-8510 山形県米沢市城南 4-3-16)

²岩手大学大学院工学研究科建設環境工学専攻 (〒020-8551 岩手県盛岡市上田 4-3-5)

³岩手大学大学院工学研究科フロンティア材料機能工学専攻 (〒020-8551 岩手県盛岡市上田 4-3-5)

⁴岩手大学工学部建設環境工学科 (〒020-8551 岩手県盛岡市上田 4-3-5)

* E-mail: aitou@iwave-u.ac.jp

アルミニウムが付着藻類の生存に及ぼす影響を評価するため、重合核 Al 画分濃度が異なる二つの溶液及び Al を含まない溶液中で珪藻の *Nitzschia palea* 及び *Achnanthes minutissima* の培養試験を行い、各 Al 画分濃度を説明変数、Chlorophyll *a* 濃度の減少速度定数を目的変数とした重回帰分析を行った。その結果、pH4.5 では *Nitzschia palea* の死滅速度を増大させる要因は Al-a と Al-b であり、特に Al-b の方が大きな影響を及ぼすことが明らかとなった。pH6 では、Al-b が *Nitzschia palea* 及び *Achnanthes minutissima* の死滅速度を増大させる要因であり、Al-a 及び Al-c はほとんど影響を与えないことが示唆された。

Key words: Al hydrolysis product, attached algae, decay rate, ecological effect

1. はじめに

日本における水質汚濁に係る環境基準は、これまで人の健康の保護や生活環境の保全を目的として設定されてきた。さらに、2002 年には水生生物に影響を及ぼす化学物質に対する水質項目の目標値が公表され、2004 年には従来の生活環境の保全に関する環境基準項目に亜鉛が追加される等、水域生態系に対して悪影響を及ぼす有害化学物質の規制及び管理の重要性が認知されてきている^{1), 2)}。本研究で対象とするアルミニウムは水質環境基準の項目ではないが、植物に対する成長阻害作用を有することが報告されており³⁾、鉱山廃水処理水や酸性雨による土壌浸出水に含まれる Al イオンの河川生態系へ及ぼす悪影響が懸念される。

岩手県北西部に位置する赤川は、源流部が旧松尾鉱山跡に位置し、坑内水の中和処理施設からの処理水を受容している酸性河川である。中和処理施設では主に Fe の除去を目的として pH2 前後の坑内水を pH4 程度まで上昇させているが、廃水中の金属濃度がその pH における溶解度より低い金属は除去されず、放流水中には Al が非常に高濃度 (約 60mg/l) で存在している⁴⁾。著者らによる赤川における現地調査より、赤川の中流部では、上流部に比べて河川水中の Cu, Fe, Al 濃度が減少するにも関わらず、河床堆積物中の Chlorophyll *a* 量は増加せず、付着藻類の増殖が抑制されていることを明らかにした⁵⁾。

6)。また、河床堆積物中の Al 含有量は Cu や Fe と比較して高く、多変量解析の結果より河床堆積物中の Al が付着藻類の増殖を抑制している要因であることが示唆された⁷⁾。水溶液中での Al の存在形態は Al^{3+} や $AlOH^{2+}$ 等の単核イオン、 $Al_6(OH)_{13}^{3+}$ や Al_{13} ポリマー ($Al_{13}O_4(OH)_{24}^{7+}$) 等の重合核イオン及び $Al(OH)_3$ 等のような不溶性塩に分類され、重合核イオンは溶液中において比較的安定であることが報告されている⁸⁾。現地調査の結果より、赤川中流部では他の地点に比べ重合核 Al 濃度が高いことが明らかになった⁷⁾。さらに、室内実験の結果より、pH が 4.5 前後である水質環境下において重合核 Al が付着藻類の増殖に悪影響を及ぼすことを示した⁷⁾。

Al の陸生植物に対する影響としては、pH5.0 以下の酸性土壌から溶出した Al が、イネ類やトウモロコシ等の農作物やスギ科の樹木の根の伸長を阻害することが明らかになっている^{8) - 10)}。また、その程度は pH に依存した Al イオンの形態によって異なり、中でも重合核イオンである Al_{13} ポリマーが Al^{3+} 等のような単核イオンよりも植物の成長を強く阻害することが報告されている¹¹⁾。水生生物に関しては、魚類の生体膜の安定性や透過性を変化させることにより、その代謝活動を阻害させることが報告されている¹²⁾。しかしながら、現段階では水環境中における藻類に対する Al 加水分解生成物の影響は明らかになっていない。化学物質の藻類に対する影響評価法としては OECD の藻類成長阻害試

験が一般的である¹³⁾。この試験法は培地中に被験物質と供試生物を投入し、72時間培養を行って50%成長阻害濃度(EC₅₀)や最大無作用濃度(NOEC)を算出することで毒性を評価するものである。しかしながら、Alイオンを被験物質とする場合、培地中のリン酸イオンとAlイオンが錯体や沈殿物を形成し、Alが無害化されると予想されるため、このような一般的な試験法ではAlの影響を正確に評価できない。したがって、栄養塩を添加しない条件でAlの影響を検討する必要がある。

以上の背景から、本研究ではpHとそれによって変化するAlの存在形態が付着藻類の生存に及ぼす影響を明らかにするために、Alの形態とその濃度が異なる種々の溶液を作成し、栄養塩類を添加しない水溶液中で藻類の培養試験を行い、検討した。

2. 試験材料、試験方法及び解析方法

(1) 試験材料

水溶液中におけるAlの存在形態は、Al³⁺やAlOH²⁺等の単核Al画分(以下Al-aとする)、重合核Al画分(以下Al-bとする)及びAl(OH)₃や他の不溶性Al塩などの非反応性Al画分(以下Al-cとする)の3つに分類される。Al-aとAl-bはそれぞれFerron試薬(8-hydroxy-7-iodoquinoline-5-sulfonic acid)との反応速度差を利用したFerron法によって定量することが可能であり、この方法により定量されたAl-b画分は²⁷Al-NMR分光法によって同定されたAl₁₃ポリマーと等しいことが報告されている¹⁴⁾。

Al-bの生成量は、加水分解反応時でのAl-a濃度に依存しており、Al-a濃度が高い場合は加水分解後にAl-b画分が増大することが明らかになっている。これに基づき、本研究では低濃度のAl-aを加水分解してAl-b画分の生成を抑えた溶液(Solution I)と、高濃度のAl-aを加水分解してAl-b画分を比較的高濃度で含む溶液を希釈した溶液(Solution II)を作成し、これらを試験液とした。全ての試験液のpHをNaOH溶液またはHClを用いて4.5または6に調整し、Alを添加しない試験液(Blank)も作成した。なお、pH6の条件では試験期間中のpHの変化を防ぐため、緩衝剤として2-Morpholinoethanesulfonic acid(MES)を1.68mMとなるよう添加した。藻類植種前に、ICP-MS(Yokogawa Analytical Systems HP-4500)とFerron法によって全Al濃度と各画分のAl濃度をそれぞれ分析した。また、本研究におけるAl-c濃度は全Al濃度からFerron法で測定したAl-a及びAl-b濃度の和を差し引いたものとした。

本試験で使用した供試藻類は、国立環境研究所微生物系統保存施設から入手した*Nitzschia palea*(NIES-487)と*Achnanthes minutissima*(NIES-71)であり、試験前に継代培養して使用した。*Nitzschia* sp.及び*Achnanthes* sp.は耐酸性を有し¹⁵⁾、赤川においてその存在が確認されている^{5),6)}。

(2) 試験方法

3l三角フラスコ(酸で洗浄し超純水で再度洗浄)に、全Al濃度の設定値(Al_T)が0(Blank)、0.5、1、5mg/lとなるように超純水で1.5lずつ試験液を作成し、それぞれの場合について試験液に*Nitzschia palea*あるいは*Achnanthes minutissima*の培養液を30~50mlずつ添加し、培養することによって全Al濃度と各画分濃度の違いが藻類に与える影響について検討した。*Nitzschia palea*においてはpH4.5で2回、pH6で3回、*Achnanthes minutissima*においてはpH4.5で2回、pH6で2回試験を行った。なお、Alイオンとリン酸イオン等との沈殿物や錯体の形成を防ぐために栄養塩類は添加せず、試験期間は72時間とした。

培養は、室温25℃、照度4000lxの連続照射及び一日数回の攪拌とした。サンプリングは実験開始後0、6、12、24、48、72時間目において、pHを調整した後スターラーで攪拌しながら行い、Chlorophyll a濃度を河川水質試験方法(案)¹⁶⁾に従い測定した。なお、試験期間中pHはAlが存在しない条件(Blank)で+0.1程度、Alを添加した条件で±0.05程度変化したが、pHの変化に伴う溶液の組成の変化を防ぐため、数回NaOH溶液またはHClを用いてpHを4.5あるいは6に調整した。

Fig.1に藻類植種前のAl_Tが異なる加水分解溶液(Solutions I, II)のAl画分濃度の一例として(i) pH4.5及び(ii) pH6.0の場合をそれぞれ示す。なお、それぞれの棒グラフの横軸は試験液の種類を示しており、棒グラフ全体で全Al濃度の実測値を示している。Fig.1に示した、pH4.5におけるSolution IのAl-b画分濃度はAl_Tの低い順にそれぞれ0.028、0.046、0.25mg/lであり、Solution IIのAl-b画分濃度は0.19、0.48、3.0mg/lであった。同様にpH6におけるSolution IのAl-b画分濃度はAl_Tの低い順にそれぞれ0.11、0.16、0.66mg/lであり、Solution IIのAl-b画分濃度は0.35、0.82、3.6mg/lであった。

以上の結果から、Solution IとSolution IIの間においてAl-b画分濃度に明らかな差が生じていることが分かる。なお、*Nitzschia palea*及び*Achnanthes minutissima*を用いたそれぞれ2回のpH4.5における試験全体で、全Al濃度に対するAl-a画分の存在率はSolution Iでは64.8%以上、Solution IIでは49.0%以下であり、上述の二種の藻類を用いたpH6におけるそれぞれ3及び2回の試験全体でのAl-c画分の存在率はSolution Iで73.7%以上、Solution IIで46.1%以下であった。

全Al濃度の設定値(0.5mg/l、1mg/l、5mg/l)に対する実測値は、試験全体でそれぞれ0.41~0.63mg/l、0.82~1.2mg/l、4.4~5.7mg/lであった。

また、上述の濃度調整後のSolution I及びIIについては、1週間程度経過しても溶液の組成はほとんど変化しないことを確認している。

(3) 解析方法

Chlorophyll a濃度の減少が(1)式に示す一次反

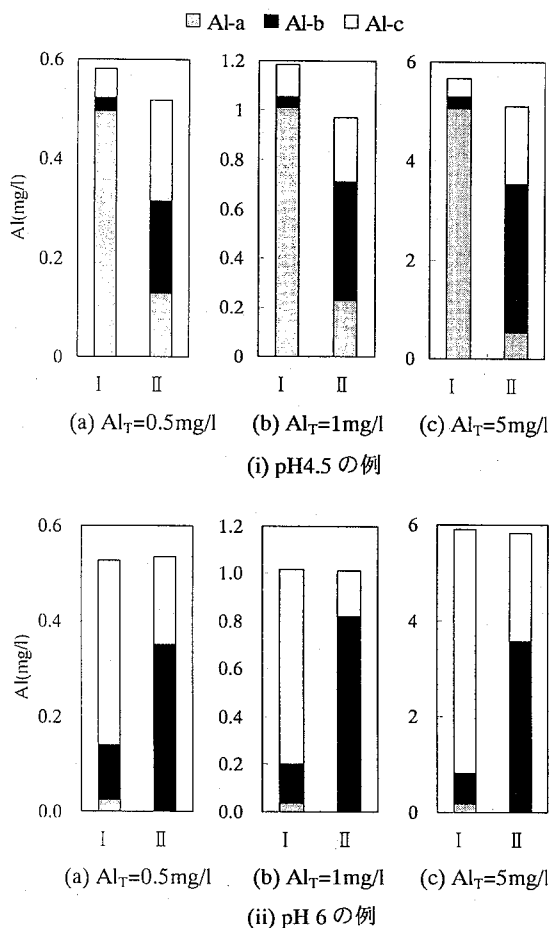


Fig.1 藻類植種前の Al 加水分解溶液の各 Al 画分濃度の例

応モデルに従うと仮定し, Chlorophyll *a* 濃度の自然対数値と経過時間との関係を近似し, Chlorophyll *a* 濃度の減少速度定数 (k) を算出し, 各画分の Al 濃度と Chlorophyll *a* 濃度の減少速度定数との関係について検討した.

$$\frac{dC}{dt} = -kC \quad (1)$$

C : Chlorophyll *a* 濃度

t : 経過時間

k : 減少速度定数

なお, 条件によっては試験期間全体 (72 時間) で決定係数 r^2 が 0.9 未満となり, 一次反応モデルに従わないものもあり, その場合は r^2 が 0.9 以上となるように 24 時間もしくは 48 時間までのデータを使用して減少速度定数を求めた.

また, Ferron 法及び ICP-MS による測定値から算出した Al-a, Al-b 及び Al-c 濃度を説明変数, 減少速度定数を目的変数とし, 藻類種別で pH 毎に重回帰分析を行った. これらの分析には SPSS 12.0J を

使用した.

3. 試験結果及び考察

Nitzschia palea 及び *Achnanthes minutissima* を用いた試験における Chlorophyll *a* 濃度の経時変化の一例を Fig.2 及び Fig.3 にそれぞれ示す. 本研究では全ての条件において栄養塩類を添加していないため, Al を添加しない Blank の条件においても Chlorophyll *a* 濃度の減少が確認された.

pH4.5 で *Nitzschia palea* を用いた試験では, $Al_T = 0.5 \text{ mg/l}$ と $Al_T = 1 \text{ mg/l}$ の場合, Solution II の条件での Chlorophyll *a* 濃度は Blank 及び Solution I よりも急激に減少した. $Al_T = 5 \text{ mg/l}$ の場合も同様の傾向が見られたが, Solution I と Solution II 間の差は $Al_T = 0.5$ 及び 1 mg/l の場合よりも小さくなった. また, Blank では Chlorophyll *a* 濃度の減少は緩やかであったが, 試験終了時には Solution I や Solution II とほぼ同じ濃度まで減少した. pH6.0 で *Nitzschia palea* を用いた試験では $Al_T = 0.5 \text{ mg/l}$ の場合, Solution I の方が Blank よりも Chlorophyll *a* 濃度の減少が緩やかであったが, Solution II ではその 2 条件よりも急激に減少した. $Al_T = 1 \text{ mg/l}$ の場合, Solution II では Solution I や Blank よりも急激に Chlorophyll *a* 濃度が減少した. $Al_T = 5 \text{ mg/l}$ の場合は Solution I と Solution II の間に明確な差は見られなかった. Blank では Chlorophyll *a* 濃度は緩やかに減少し, 試験終了時に Solution I や Solution II よりも高かった.

pH4.5 で *Achnanthes minutissima* を用いた試験では, どの Al_T の条件においても, *Nitzschia palea* を用いて行った試験とは異なり Chlorophyll *a* 濃度の減少に溶液間で明確な差は見られなかったが, Solution II の Chlorophyll *a* 濃度が試験終了時に最も低かった. pH6 では $Al_T = 0.5 \text{ mg/l}$ と $Al_T = 1 \text{ mg/l}$ の場合, Blank と Solution I と Solution II の間に Chlorophyll *a* 濃度の減少に明確な差は見られなかった. $Al_T = 5 \text{ mg/l}$ の場合, Solution II では Solution I や Blank よりも急激に Chlorophyll *a* 濃度が減少した.

Nitzschia palea あるいは *Achnanthes minutissima* を用いた各試験における Al-a, Al-b 及び Al-c 濃度に対するそれぞれの減少速度定数を Fig.4 及び Fig.5 に示す. *Nitzschia palea* における, Al を添加しない条件 (Blank) での減少速度定数の平均は pH4.5 で 0.031 d^{-1} となり, pH6 で 0.024 d^{-1} と比較して約 1.4 倍の値を示した. また, *Achnanthes minutissima* では pH4.5 で 0.016 d^{-1} であり, pH6 の 0.0066 d^{-1} と比較して約 2.4 倍となり, このことから, pH の低下によって *Nitzschia palea* 及び *Achnanthes minutissima* の死滅が促進されていることが示された. *Nitzschia palea* で Al が添加された条件では, 溶液の種類に関わらず, Chlorophyll *a* 濃度の減少速度定数は Al-b 濃度の上昇に伴い増大する傾向を示した. しかし, Al-a 及び Al-c 濃度の上昇に伴う Chlorophyll *a* 濃度

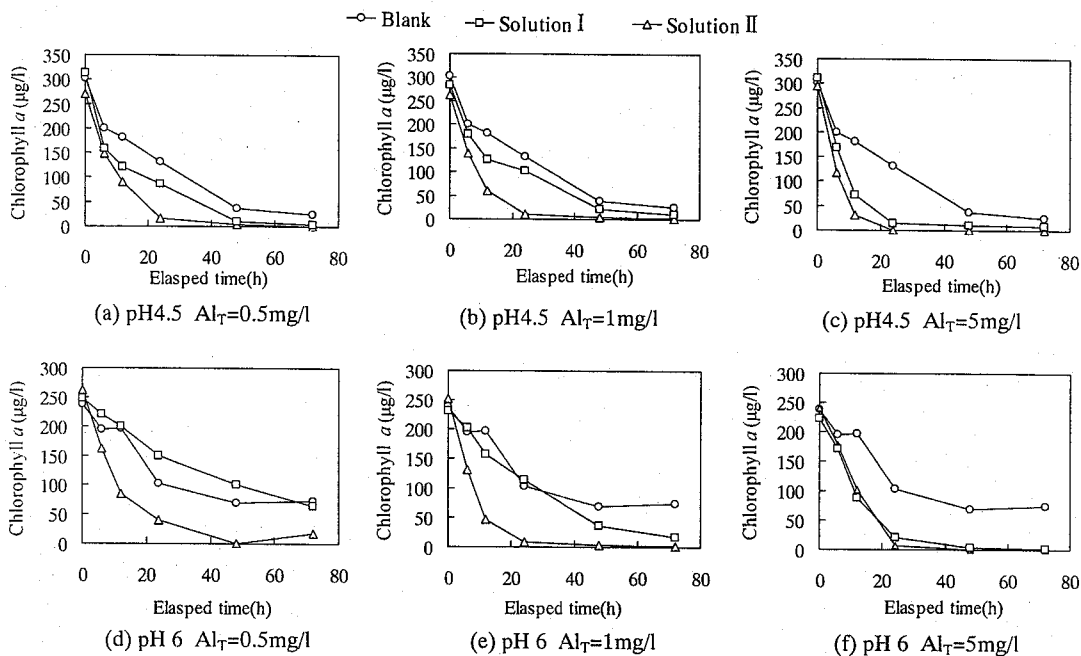


Fig.2 *Nitzschia palea* における Chlorophyll a 濃度の経時変化の例

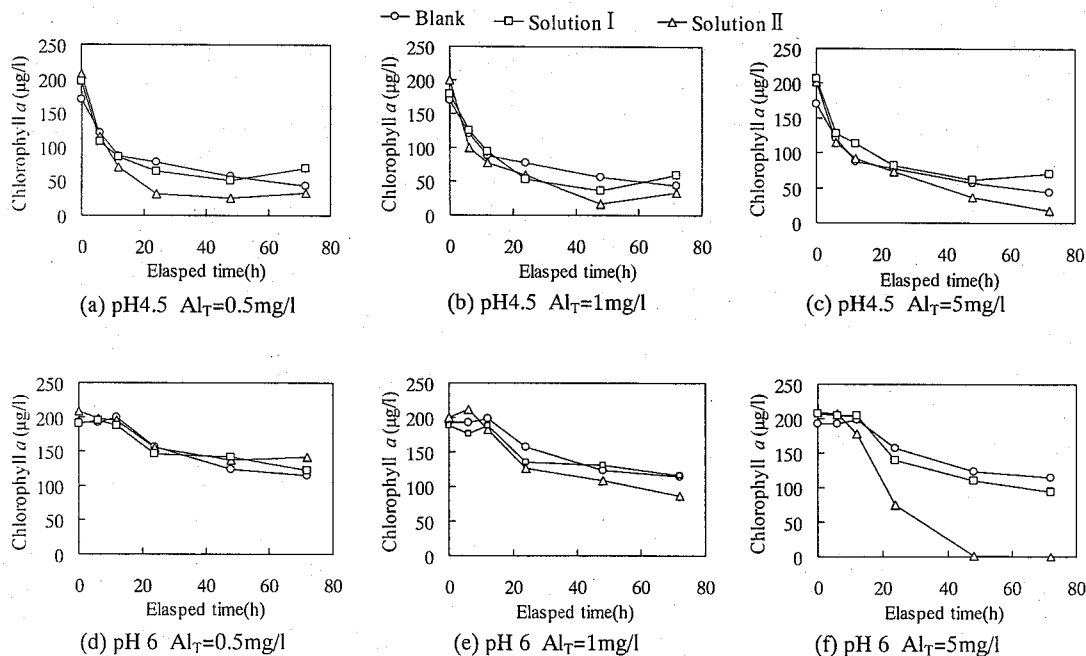


Fig.3 *Achnanthes minutissima* における Chlorophyll a 濃度の経時変化の例

の減少速度定数の増大はほとんど見られなかった。*Achnanthes minutissima* で Al が添加された条件では、pH6 において Al-b 濃度の上昇と共に Chlorophyll a 濃度の減少速度定数の増大が見られたが、pH4.5 では Al-b 濃度の上昇に伴う減少速度定数の増大は見

られなかった。また、Al-a 及び Al-c 濃度と Chlorophyll a 濃度の減少速度定数の間に明確な関係は見られなかった。

表-1, 2 に重回帰分析から得られた標準偏回帰係数と決定係数 (r^2) を示す。全ての重回帰分析にお

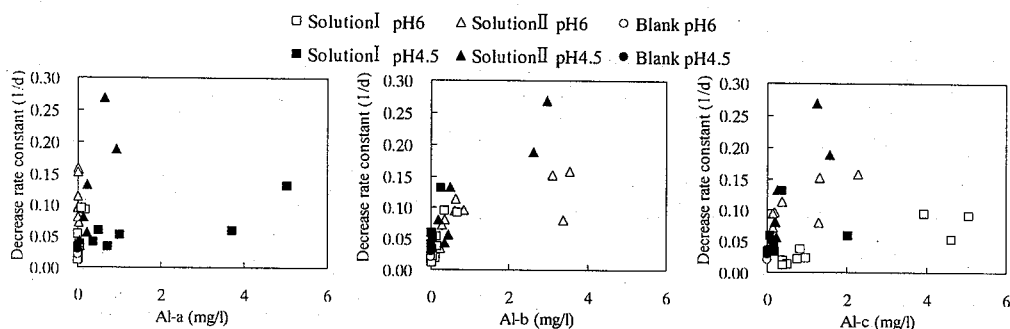


Fig.4 *Nitzschia palea* における Al-a, Al-b 及び Al-c 濃度に対する Chlorophyll *a* 濃度の減少速度

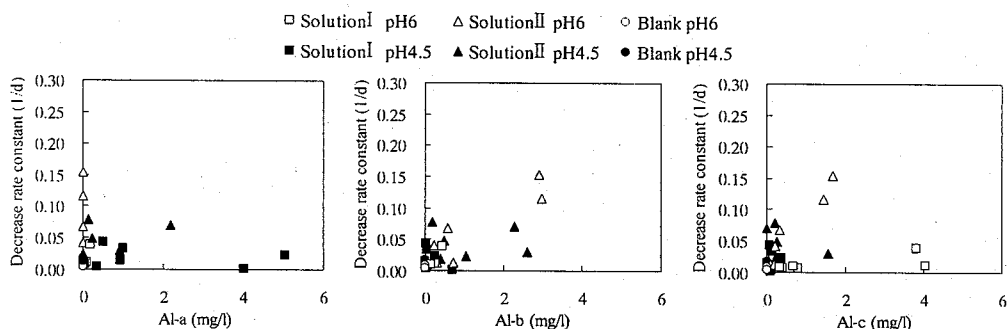


Fig.5 *Achnanthes minutissima* における Al-a, Al-b 及び Al-c 濃度に対する Chlorophyll *a* 濃度の減少速度

いて分散拡大要因 (VIF) は 3.64 未満であり、全ての重回帰モデルに深刻な多重共線性は見られなかった。*Nitzschia palea* で pH4.5 の場合、Al-a と Al-b の標準偏回帰係数が正の値であり、特に Al-b は Al-a の約 3 倍の値を示した。この結果より、pH4.5 では Al-a と Al-b が *Nitzschia palea* の死滅速度を増大させる要因であり、特に Al-b の方が大きな影響を及ぼすことが明らかとなった。また、Al-c の標準偏回帰係数は -0.21 と負の値を示したが、有意確率は 0.22 と高い値 (>0.05) であり、この重回帰モデルにおいて Al-c は藻類の死滅速度にほとんど影響を及ぼさないといえる。*Nitzschia palea* で pH6 の場合、Al-b の標準偏回帰係数が最も大きな正の値を示した。従って、Al-b が *Nitzschia palea* の死滅速度を増大させる要因であるといえる。また、Al-a と Al-c の標準偏回帰係数の絶対値は Al-b と比べ非常に小さく、有意確率も大きな値を示したため、Al-a と Al-c は藻類の死滅速度にほとんど影響を与えていないといえる。

Achnanthes minutissima で pH4.5 の場合は r^2 が 0.17 と非常に小さな値を示し、この重回帰モデルに合致しなかったため、各画分の Al 濃度と減少速度定数との関連性について明らかにすることはできなかった。*Achnanthes minutissima* で pH6 の場合は、*Nitzschia palea* で pH6 の場合と同様に、Al-b の標準偏回帰係数が最も大きな正の値を示し、Al-a と Al-c の標準偏回帰係数の絶対値は Al-b と比べ非常に小

さく、また有意確率も大きな値を示した。従って Al-b が *Achnanthes minutissima* の死滅速度を増大させる要因であり、Al-a と Al-c は藻類の死滅速度にほとんど影響を与えていないといえる。

本研究では pH4.5 の場合において、各画分の Al 濃度と *Achnanthes minutissima* の Chlorophyll *a* 濃度の減少速度定数の間に明確な関係は見られず、*Nitzschia palea* の場合とは大きく異なっていた。pH6 では *Nitzschia palea* と *Achnanthes minutissima* の双方とも Al-b 濃度の上昇と共に Chlorophyll *a* 濃度の減少速度定数が増加した。*Nitzschia palea* の pH 耐性能は *Achnanthes minutissima* より高く、低 pH でも生息が可能であることが報告されていることから¹⁵⁾、この低 pH 耐性能の違いが解析結果の差異に影響を与えているものと考えられる。しかしながら、具体的にどのような影響を与えているかについては本研究では明らかにできなかったため、今後は、藻類に対する pH の影響を加味して検討することが必要であるといえる。

佐々木らは高濃度の Al を含有する鉱山廃水処理水を受容している酸性河川の赤川において、pH が約 4.5 である中流部では上流部に比べ河川水中の Al-a 濃度と河床堆積物中の Chlorophyll *a* 量が低く、Al-b 濃度が全区間最大の 0.55mg/l であったことを報告した⁵⁾。本試験の結果より、pH4.5 で *Nitzschia palea* を用いた試験では、Al-b 濃度が 0.49 ~ 0.59mg/l の範囲での減少速度定数は Blank の 3.4

表-1 重回帰分析における標準偏回帰係数 (*Nitzschia palea*)

		pH4.5		pH6	
サンプル数		14		21	
F 値		28.4		8.64	
重回帰式の有意確率		<0.01		<0.01	
変数		標準偏回帰係数		有意確率	
		有意確率		有意確率	
変数	Al-a	0.33	0.03	0.11	0.61
	Al-b	1.05	<0.01	0.74	<0.01
	Al-c	-0.21	0.22	0.12	0.58
r^2		0.89		0.53	

表-2 重回帰分析における標準偏回帰係数 (*Achnanthes minutissima*)

		pH4.5		pH6	
サンプル数		14		14	
F 値		0.67		4.40	
重回帰式の有意確率		0.59		0.03	
変数		標準偏回帰係数		有意確率	
		有意確率		有意確率	
変数	Al-a	-0.20	0.51	-0.03	0.95
	Al-b	0.49	0.22	0.73	0.02
	Al-c	-0.23	0.55	0.09	0.82
r^2		0.17		0.57	

～4.8 倍を示した。また、重回帰モデルにおいて、pH4.5 では Al-b の標準偏回帰係数は Al-a の約 3 倍の値を示した。このことから Al-b が Al-a よりも藻類の死滅を促進する要因であることが明らかとなった。よって、赤川中流部における河床堆積物中の Chlorophyll *a* 量の低下は、本試験の結果から、Al-b による藻類の増殖阻害が原因である可能性が高いことが示唆される。

4. まとめ

本研究では pH とそれによって変化する Al の存在形態が付着藻類の生存にどのような影響を及ぼすのかを明らかにするために、Al の形態とその濃度が異なる種々の溶液を作成し、栄養塩類を添加しない水溶液中で藻類の培養試験を行い、結果を考察した。以下に得られた知見を示す。

(1) *Nitzschia palea* では pH4.5 及び 6 で Chlorophyll *a* 濃度は、Al-b 画分濃度が高い条件において急激に減少した。*Achnanthes minutissima* の場合では、pH4.5 で、Al-a と Al-b 画分濃度が異なる二つの条件間において Chlorophyll *a* 濃度の減少に明確な差異は確認できなかった。また、pH6 では、Al-b 画分濃度が高い条件において Chlorophyll *a* 濃度は急激に減少した。

(2) Chlorophyll *a* 濃度の減少が一次反応モデルに従うと仮定し、算出した減少速度定数は、*Nitzschia palea* においては、pH や溶液の種類に関わらず、

Al-b 濃度の上昇に伴い増大する傾向を示した。一方、*Achnanthes minutissima* の減少速度定数と各画分の Al 濃度の間には pH4.5 では明確な関係は見られなかった。

(3) Al-a、Al-b 及び Al-c 濃度を説明変数、減少速度定数を目的変数とした重回帰分析の結果、*Nitzschia palea* において pH4.5 では Al-a と Al-b が死滅速度を増大させる要因であり、特に Al-b の方が大きな影響を及ぼすことが明らかとなった。pH6 では、Al-b が *Nitzschia palea* の死滅速度を増大させる要因であり、Al-a 及び Al-c は藻類の死滅速度にほとんど影響を与えていないことが示唆された。

Achnanthes minutissima において pH4.5 では、各画分の Al 濃度と減少速度定数との関連性について明らかにすることはできなかった。また、pH6 では、Al-b が死滅速度を増大させる要因であり、Al-a と Al-c は死滅速度にほとんど影響を与えていないことが示唆された。

水環境で鉱山廃水や酸性雨による土壌浸出等によって Al 負荷が高くなるような環境においては、pH の変化により重合核 Al が生成され、水域生態系に悪影響を及ぼす可能性がある。従って、Al が存在する環境下では、形態を考慮した Al のモニタリング及び管理が必要であると考えられる。

参考文献

1)環境省編、水生生物の保全にかかる水質目標について、2002。

- 2)環境省編, 水生生物の保全に係る水質環境基準の設定について, 2003.
- 3) Comin J.J., Barloy J., Bourre G. and Trolard F.: Differential effects of monomeric and polymeric aluminium on the root growth and on the biomass production of root and shoot of corn in solution culture. *European Journal of Agronomy*, Vol. 11, pp. 115-122, 1999.
- 4)岩手県, 金属鉱業事業団, 旧松尾鉱山坑廃水処理事業の概要, 1999.
- 5)佐々木貴史, 刈谷宏章, 伊藤歩, 川口博, 相澤治郎, 海田輝之: 酸性河川における水質と堆積物が付着藻類の増殖に与える影響 —岩手県赤川を対象として—, 環境工学研究論文集, Vol. 40, pp.127-138, 2003.
- 6)Sasaki A., Ito A., Aizawa J. and Umita T.: Influence of water and sediment quality on benthic biota in an acidified river. *Wat. Res.*, Vol. 39, pp. 2517-2526, 2005.
- 7)佐々木貴史, 伊藤歩, 高橋真司, 相澤治郎, 海田輝之: 金属加水分解生成物が付着藻類の増殖に及ぼす影響, 環境工学研究論文集, Vol. 41, pp. 367-376, 2004.
- 8)日本土壌肥料学会編, 低 pH 土壌と植物, 博友社, 1994.
- 9)佐藤一男, 酸性雨の土壌および水環境への影響, 水環境学会誌, Vol. 22(3), pp. 177-180, 1999.
- 10)Barceló J. and Poschenrieder C.: Fast root growth responses, root exudates, and internal detoxification as clues to the mechanisms of aluminium toxicity and resistance: a review, *Environ. and Experimental Botany*, Vol. 48, No.1, pp. 75-92, 2002.
- 11)佐藤一男, 森林土壌の酸性化と Al の植物毒性, 人間と環境, Vol. 23, No.1, pp. 16-33, 1997.
- 12) Gensemer R. W. and Playle R. C.: The bioavailability and toxicity of aluminum in aquatic environments, *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 29, No.4, pp. 315-450, 1999.
- 13)日本環境毒性学会編, 生体影響試験ハンドブック —化学物質の環境リスク評価—, 朝倉書店, 2003.
- 14) Parker D. R. and Bertsch P. M.: Identification and quantification of the "Al₁₃" Tridecameric polycation using Ferron. *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 26, No.5, pp. 908-914, 1992.
- 15) DeNicola D. M.: A review of diatoms found in highly acidic environments. *Hydrobiologia*, Vol. 433, pp. 11-122, 2000.
- 16)建設省河川局監修, 河川水質試験方法(案) —試験方法編—, 技報堂出版, 1997.

(2006.5.26 受付)

Estimation of the Effects of Al Hydrolysis Products on River Ecosystems Using Attached Algae as Bioindicator

Atsushi SASAKI¹, Noriaki TATE², Ayumi ITO^{3*}, Jiro AIZAWA⁴
and Teruyuki UMITA⁴

¹Technical Division of Instrumental Analysis, Faculty of Engineering, Yamagata University

²Dept. of Civil and Environmental Engineering, Graduate School of Engineering, Iwate University

³Dept. of Frontier Materials and Function Engineering, Graduate School of Engineering, Iwate University

⁴Dept. of Civil and Environmental Engineering, Iwate University

The influence of Al hydrolysis products on the survival of attached algae in an acidic river was estimated by the bioassay using the diatoms (*Nitzschia palea* and *Achnanthes minutissima*) as test algal materials. The bioassay was conducted under the pH conditions of 4.5 and 6.0 by culturing the test algal materials in two types of hydrolyzed Al solutions: one solution contained dissolved polymeric Al fraction (Al-b) with a high concentration and the other with a low concentration.

In the bioassay using *Nitzschia palea* under the both pH conditions, the chlorophyll *a* concentrations decreased rapidly in the solutions containing high concentrations of a polymeric Al fraction compared with those containing low concentrations. In the bioassays using *Achnanthes minutissima* under the pH condition of 6.0, the chlorophyll *a* concentrations decreased more rapidly in the solutions containing high concentrations of a polymeric Al fraction than in the other solutions.

From the multi-regression analysis, it was confirmed that Al-b fraction inhibited distinctly the inhabitation of *Nitzschia palea* under the pH conditions of 4.5 and 6.0 and *Achnanthes minutissima* under the pH condition of 6.0.