

0-1 アジアにおける水資源域の水質汚濁評価と有毒アオコ発生モニタリング手法の開発に関する研究

(2) アオコの発生診断と発生制御手法の開発に関する研究

① アオコの発生診断手法の開発に関する研究

独立行政法人国立環境研究所

水圏環境研究領域 湖沼環境研究室
筑波大学地球科学系

今井章雄・松重一夫
福島武彦

(平成13年広島大学大学院工学研究科)

平成13～15年度合計予算額	17,242 千円
(うち、平成15年度予算額)	5,593 千円)

[要旨]中国40湖沼のデータを収集し湖沼環境データとアオコ発生の関係を統計解析し、日本の湖沼の場合と比較検討した。中国の湖沼は、日本の湖沼と比較して、緑藻類の発生確率が高く、富栄養湖でも塩分濃度、水草の有無、懸濁物質濃度に依存してアオコが発生しないケースが認められた。

アオコが実際に発生している用水路でサンプルを採取し、典型的なアオコ形成藍藻類 *Microcystis aeruginosa* を供試藻類とする藻類増殖能(AGP)評価手法に供して、アオコが発生・優占する要因について検討した。*M. aeruginosa* はアオコが少ない、およびアオコがコロニー状(粒状)で存在する地点で窒素制限であった。一方、アオコがマットを形成し優占する地点では鉄制限であった。アオコが大量に安定して存在するのに鉄供給が重要であることがわかった。

[キーワード] アオコ、鉄、藻類増殖能(AGP)、溶存有機物(DOM)

1. はじめに

有毒アオコの発生要因についてはこれまで多くの仮説が提唱されてきた。しかし、アオコの発生が水質のみならず、気象条件によっても大きく作用される等、まだ、解明されない要因があると考えられる。熱帯、亜熱帯地域におけるアオコ発生要因の解析はこれまで行われたことがなく、不明な部分の多い領域である。熱帯、亜熱帯域におけるアオコ発生要因の解析は温帯・亜寒帯域における要因特定にも寄与するものと考えられる。

2. 研究目的

アジアの熱帯から亜熱帯に位置する多くの富栄養湖沼における湖沼環境データを取得し、アオコが優占する環境要因を統計的に解析してアオコが発生する湖沼環境を評価する。同時に、アオコ発生と相関の高い湖沼環境要因に関して実験室レベルでの再現と現地調査の結果との比較検討から、アオコが発生・優占する要因を特定する。

3. 研究方法

(1) アオコ発生診断手法の開発に関する研究

① アオコ発生・優占要因の統計解析

中国やタイ等における湖沼に関する環境データを既存データ集積とアンケート調査を活用して収集する。日本については、環境省の自然環境基礎調査湖沼編等からデータを取得する。得られたデータを活用し、アオコ発生と環境因子との関係を統計的に解析した。

② アオコ発生要因評価手法の開発と検討

アオコ発生の診断手法として、水サンプル中の溶存有機物(DOM)濃度を変動させる紫外線(UV)照射前処理を組み込んだ新しいタイプの藻類増殖能(AGP)試験を開発し、その手法をアオコが実際に発生している水サンプルに適用し、アオコ発生・優占要因について検討した。供試藻類としてはアオコを形成する典型的な藍藻類である *Microcystis aeruginosa* (NIES-44) を用いた。

アオコの増殖には必須元素鉄の供給が重要である。生物利用可能な鉄(水化鉄と加水分解種)を競合吸着濃縮ボルタンメトリー法によって定量する手法を開発した。アオコが発生している水域サンプルに当該手法を適用して、アオコの優占状況と生物利用可能鉄濃度の関係を検討した。

湖水中のDOMの特性を評価するために、アオコが発生している湖沼水を採取し、3種類の樹脂(非イオン性樹脂、陽イオン交換樹脂、陰イオン交換樹脂)を用いたDOM樹脂吸着分画手法により5つに分け(フミン物質、疎水性中性物質、親水性酸、塩基物質、親水性中性物質)、そのDOM分画分布等を検討・評価した。

広範囲な地域におけるアオコ発生状況の簡便かつ安価な観測する可能性を検討するために、リモートセンシング技術を利用したアオコ発生状況の連続モニタリングの可能性を検討した。過去にアオコが大発生した霞ヶ浦を対象としてランドサット5TMデータ(6シーン:1987年5月21日,1987年7月24日,1992年6月3日,1997年4月14日,1997年7月19日,1999年7月25日)とランドツルースデータ(実測データ)を用いて衛星データの大气補正および回帰分析による水質推定モデルの構築を実施した。

4. 結果・考察

(1) アオコ発生診断手法の開発に関する研究

① アオコ発生・優占要因の統計解析

中国、タイ、インドネシアにおいて、湖沼環境に詳しいコンタクトパーソンと接触し、一部に関しては情報を収集した。すなわち、中国では、中国環境科学院水環境研究所所長 Jin Xiang 氏を訪問し、中国40湖沼の諸元、水質、藻類発生状況などに関する資料の提供を受けた(Jin 1995)。また、インドネシアでは、Indonesian Institute of Sciences, Research Center for Limnology の Dr. Gradis Sri Haryan と手紙のやり取りを行い、6湖沼での資料の提供を受けた。

中国40湖沼のデータをもとに、アオコ発生要因の解析を行い、日本での統計解析結果との比較検討を行った(表1)。アオコは富栄養化が進むほど、発生確率が高まるが、日本での解析との違いは以下のものであった:(1) 緑藻の発生確率が高いが、これは年間調査の結果と考えられる;(2) 富栄養湖でも、塩分濃度が高い(500 mg/L以上)、浅く(水深2 m以下)あまり大きくないので水草が繁茂している、懸濁物質濃度が高い(200 mg/L以下)の湖沼では *Microcystis sp.* は優占していない。なお、塩分100 mg/L - 500 mg/L、年平均水温が7°C以下の2湖沼では *Microcystis*

sp.が大発生したと報告されているが、これらの湖沼では夏期に水温が35℃以上となるのが原因していると考えられる。

表1. 窒素、リン濃度と藍藻類、珪藻類、緑藻類の発生比率 (%) との関係。

A. 湖沼数	全湖沼数36					B. 藍藻類 発生湖沼数23	C. 珪藻 発生湖沼数21	D. 緑藻 発生湖沼数20							
TN5			2	7	12			50	43	50			0	43	75
TN4			4	4	1			50	75	100			75	50	100
TN3		1	3	1				0	100	100			100	67	0
TN2			1						0					0	
TN1															
	TP1	TP2	TP3	TP4	TP5										

E. Microcyst 発生湖沼数19				
		50	57	33
		25	50	100
	0	67	0	
		0		

栄養段階ごとの湖沼数(A)と各種藻類(B, C, D, E)の発生湖沼割合 (%)
 TN1-5, TP1-5はそれぞれ各湖沼でのTN, TP濃度の段階で、数字が大きい方が濃度が高い。
 TN1: <0.044, TN2: 0.044-0.11, TN3: 0.11-0.39, TN4: 0.39-1.1, TN5: >1.1(mg/l)
 TP1: <0.004, TP2: 0.004-0.01, TP3: 0.01-0.035, TP4: 0.035-0.1, TP5: >0.1 (mg/l)

② アオコ発生要因評価手法の開発と検討

ア アオコ増殖能評価手法の開発

アオコの発生要因として溶存有機物 (DOM) の存在はとても重要である。最近、湖水中の主要なDOMであるフミン物質が鉄錯化反応を介してアオコを形成する典型的な藍藻類である *Microcystis aeruginosa* の増殖を著しく抑制するとの報告がなされた (Imai et al. 1999)。従って、アオコ発生診断を実施する上でDOMの濃度や組成を考慮する必要がある。ところが、藻類の増殖能力を算定する既存の藻類増殖能 (AGP) 試験ではDOMの存在が全く考慮されていない。DOM濃度の影響を明白評価できるAGP試験を開発する必要がある。

我々は、低圧水源ランプによる紫外線 (UV) 照射によって水サンプル中の無機栄養塩濃度を減少させずにDOM濃度をほとんど除去することに成功した。典型的な富栄養湖霞ヶ浦の湖水をろ過し、塩酸でpH 2.5に調整し、UV照射60分、Na₂EDTAを0.5 mg/Lを加え、Na₂CO₃溶液でpHを元の値に戻すことによって、サンプル中の鉄濃度をほとんど変化させずにDOMを除去することができた。ただし、無機栄養塩濃度 (窒素やリン) は有機態窒素とリンの分解によって幾分か増大した。水サンプルのろ過水と前処理後のサンプルに、窒素 (KNO₃)、リン (K₂HPO₄)、鉄 (FeCl₃)、Na₂EDTAを加えて、アオコを形成する代表的な藍藻類 *Microcystis aeruginosa* を植種しその増殖能 (最大藻体量) を比較することにより、DOMの鉄利用性に対する影響を明らかにすることができた。図1は霞ヶ浦湖

水（2002年7月湖心）に対する典型的なAGP試験結果を表している。この結果は、(1)増殖制限物質は窒素、リン、EDTA、Feのみである(No.8と12の比較)、(2)溶存有機物(DOM)の直接的毒性はない(No.8, 11, 12の比較)、(3)DOMは鉄の利用性に大きく影響する、(No.7と10の比較)ことを示している。霞ヶ浦での鉄の利用性はDOMの存在によって*Microcystis aeruginosa*の増殖が顕著に低下することが明らかとなった。

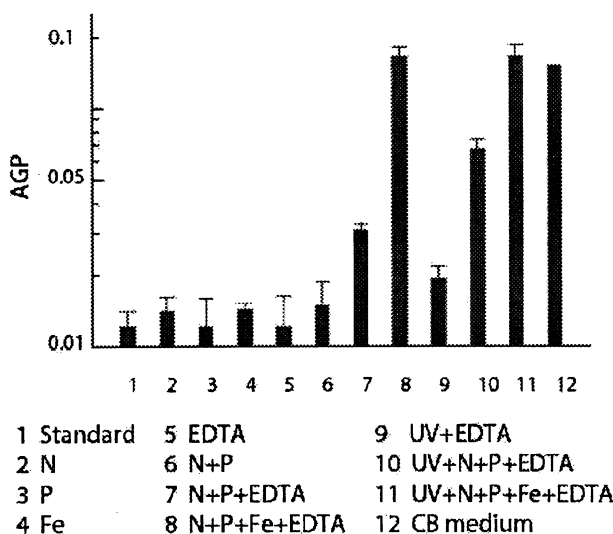


図1. *Microcystis aeruginosa* を用いた藻類増殖能(AGP)試験結果。

イ 鉄の形態評価手法の開発

文献および上記のAGP試験により、アオコを形成する代表的な藍藻類*Microcystis aeruginosa*の増殖にDOMを介した鉄の存在形態が重要であることはわかったが、湖水中の溶存態鉄の存在形態を定量する方法は未だ開発されていなかった。我々は、海洋化学の分野で用いられている溶存有機態鉄を定量する手法（吸着濃縮ボルタンメトリー法）を湖水に適用できるように改良し、その手法を確立した(Nagai et al. 2004)。本手法は、既知の錯化剤（1-nitroso-2-naphthol）と天然有機リガンドとの競合的平衡関係に基づいて、水銀滴電極上での吸着・濃縮・脱着操作によって、天然有機リガンドの鉄錯化容量と条件安定度定数を決定する。当該手法を霞ヶ浦湖水（湖心）に適用したところ、湖水中の溶存鉄の99.9%以上は有機態であり、生物利用可能鉄（水化鉄+加水分解種）は非常に低濃度であることが明らかとなった。

表2. 霞ヶ浦湖心における溶存鉄濃度およびそのスペシエーション（存在形態）

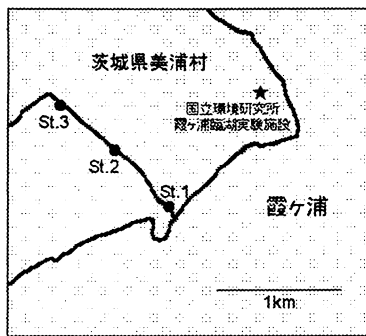
	Fe (nM)	L (nM)	Log K_{FeL}	- log Fe'	% Organic
2002年4月	34.7±5.2	68.2±17.9	25.7±0.1	13.4	> 99.9%
2002年7月	43.9±4.5	63.4±20.0	25.8±0.8	12.9	> 99.9%

Fe: 溶存鉄濃度

L: 鉄有機錯体錯化容量

K_{rel} : 鉄錯化に対する条件安定度定数
 Fe' : 生物利用可能鉄（水化鉄と加水分解種）

上記のボルタンメトリー法を用いて、アオコが実際に発生している水サンプルを使って溶存鉄の存在形態とアオコ優占度や増殖能との関係を検討した。霞ヶ浦に流入する用水路（農業用排水路）でアオコが発生している用水路の3地点でサンプルを採取した：St.1（霞ヶ浦流入付近）、St.2（St.1の数百m上流地点）、St.3（St.2の数百m上流地点）。アオコは上流に向かうほど大量に発生していた：St.1（*Microcystis sp.* 1.2×10^4 , St.2: 7.3×10^4 , St.3: 2.8×10^5 cells/mL）。目視では、St.1ではアオコ発生なし、St.2でアオコはコロニー状（粒状）で存在し、St.3ではアオコはマット状で優占していた（図2）。採取した水サンプルをろ過し、鉄と存在形態とAGP試験（前処理なし）による増殖能を評価した。

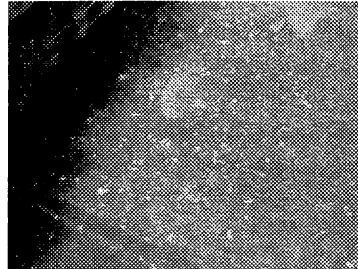


調査地点

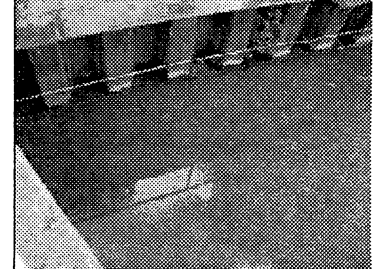
霞ヶ浦に注ぐ用水路
 流れがほとんど無い
 アオコの発生量の連続的な傾斜が存在
 St.1：アオコが確認できない
 St.2：アオコのコロニーが確認できる
 St.3：アオコのマットが広がっている



St.1



St.2



St.3

図2. アオコが優占する用水路調査地点の概要

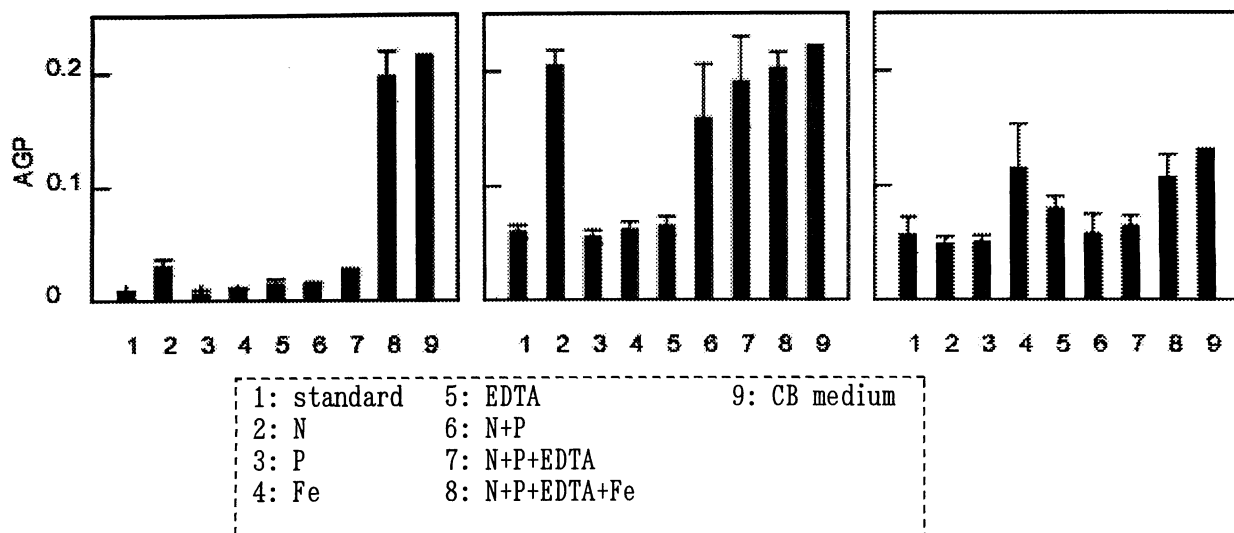


図3. 用水路サンプルに対するAGP試験結果.

表3. 用水路サンプルの測定・分析結果.

Parameters		St.1	St.2	St.3
Microcystis	Cells/mL	1.2×10^4	7.3×10^4	2.8×10^5
$\text{NO}_3\text{-N}$	mgN/L	185	1440	2600
$\text{NO}_2\text{-N}$	mgN/L	12	16	12
$\text{NH}_4\text{-N}$	mgN/L	7	6	4
$\text{PO}_4\text{-P}$	mgP/L	23	116	266
DTFe	nM	236	1330	2640
Ligand	nM	307	986	2520
logKFeL		25.9	26.0	25.5
% Organic	%	> 99.9	74.3	95.4
Fe'	M	8.2×10^{-14}	3.4×10^{-7}	1.2×10^{-7}

DTFe: 全溶存鉄濃度、Ligand: 鉄有機錯体錯化容量、KFeL: 鉄錯化に対する条件安定度定数、% Organic: 有機態鉄の割合、Fe': 無機態鉄 (水化鉄と加水分解種)

St.1 では第1制限物質は窒素, 次に鉄が制限物質, St.2では明らかに窒素制限, St.3では鉄が制限物質となっていた (図3)。窒素, リン, 鉄の濃度はSt.1からSt.3にかけて上昇していた (表3)。Sts. 1、2、3における溶存鉄濃度は各々236 nM, 1330 nM, 2640 nMであった。従っ

て、St.3の鉄制限は溶存鉄濃度からだけでは説明がつかない。生物利用可能鉄濃度は溶存鉄濃度のトレンドとは異なり、Sts. 1、2、3で各々 8.2×10^{-14} 、 3.4×10^{-7} 、 1.2×10^{-7} Mであった。溶存鉄の大部分は有機態として存在していた。アオコが出ていない地点の生物利用可能鉄濃度は発現している地点に比べ非常に低い。すなわち、鉄の供給がアオコ発生には不可欠であると言える。従って、アオコを形成する藍藻類の増殖制限物質を検討する際には、窒素、リン、鉄濃度のみならず鉄の存在形態を分析することが重要であると言える。さらに興味深い点は、鉄の錯化容量が地点間で顕著に異なるのに、溶存有機物(DOM)濃度(溶存有機炭素DOCとして)には地点差がないことである(St.1: 4.1 mgC/L、St.2: 4.4 mgC/L、St.3: 4.7 mgC/L)。わずか1 km程度の距離で溶存有機物の鉄錯化反応に係る特性が著しく変化していることを示している。

ウ 溶存有機物の特性評価手法の開発

アオコが発生・優占している湖沼における溶存有機物(DOM)の特性を評価するために、樹脂吸着分画手法によりDOMを5つに分類する(フミン物質、疎水性中性物質、親水性酸、塩基物質、親水性中性物質)手法を開発した(Imai et al. 2001)。この手法を、アオコが発生している湖沼(中国:デンチー湖、タイ:バンブラー貯水池、日本:福岡県力丸ダム湖)の水サンプルに適用した。アオコがマット状で存在していたデンチー湖および力丸ダム湖では親水性酸が各々56.1%と66.8%と圧倒的に優占していた(図4)。一方、天然水中の主要なDOMと報告されているフミン物質は各々14.3%と11%と低い値を示した。アオコが小さなコロニー状態で存在していたバンブラー貯水池では比較的フミン物質の存在が高かった(フミン物質:30.8%, 親水性酸46.8%)。バンブラー貯水池でサンプル採取した日前後で大量の降雨があったため土壌由来フミン物質の大量に流入してきたと推測される。Choi et al. (2001)は *M. aeruginosa* を室内培養した後の培地ろ液中にはほとんどフミン物質は存在せず、培地ろ液中のDOMとしては親水性酸と親水性中性物質が優占したと報告している。すなわち、アオコが優占する湖沼水のDOM組成と室内培養実験での知見は整合している。湖水中で鉄と錯化する主要なリガンドは疎水性有機酸であるフミン物質と考えられる(Imai et al. 1999)。つまりアオコを形成する藍藻類は鉄と強く結合しないDOMを細胞外へ放出していると考えられる。アオコが安定して存在していたデンチー湖の溶存鉄濃度および存在形態を検討したところ、溶存鉄濃度は260–400 nM、生物利用可能鉄濃度は $10^{-12.5}$ – $10^{-13.3}$ Mであった(表4)。この生物利用可能鉄濃度は霞ヶ浦のそれに(ca. 10^{-13} M)に匹敵していたが、溶存鉄濃度は7–10倍高かった。つまり、デンチー湖は *M. aeruginosa* は鉄制限状態にあるが、十分な溶存鉄の供給源が存在しているためマット状のアオコは優占状態を維持していると推察された。

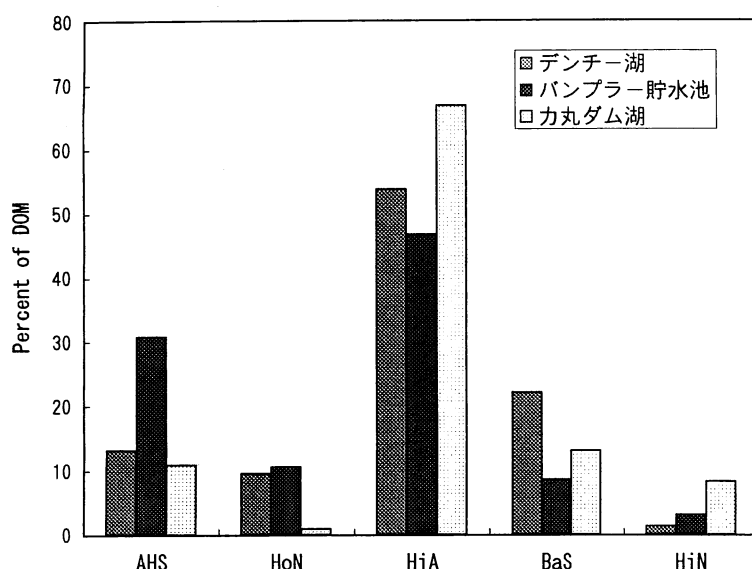


図4. アオコが発生している湖水中の溶存有機物 (DOM) のDOM分画分布. AHS:フミン物質、HoN:疎水性物質、HiA:親水性酸、BaS:塩基物質、HiN:親水性中性物質.

表4. デンチー湖とバンブラ貯水池の溶存鉄の濃度と存在形態.

	DFe [nM]	L [nM]	$\log K_{FeL}$	% Organic [%]	Fe' [M]
デンチー湖湖心	395 ± 30	448 ± 55	25.7 ± 0.7	> 99.9	10 ^{-12.5}
バンブラ貯水池湖心	17 ± 1	395 ± 30	25.2 ± 0.9	> 99.9	10 ^{-12.2}

Fe: 全溶存鉄濃度、L: 鉄錯化容量、K_{FeL}: 鉄錯化に対する条件安定度定数、Fe': 無機態鉄 (水化鉄と加水分解種)

エ リモートセンシングによるアオコ発生モニタリング手法の開発

霞ヶ浦の懸濁物質(SS)濃度とランドサット5TMバンドの組み合わせ相関は、1997年7月19日が最も高く(0.936)、そして1997年7月25日(0.854)、1987年5月21日(0.660)、1992年6月30日(0.623)、1987年7月24日(0.531)の順である。1997年4月14日の相関が最も低い(0.371)。クロロフィル a(Chl.a)濃度とランドサット5TMバンド組み合わせの相関は、1987年5月21日で最も高く(0.919)、そして、1997年4月14日(0.750)、1997年7月19日(0.676)、1987年7月24日(0.522)、1992年6月3日(0.519)の順である。1999年7月25日の相関が最も低く、-0.351であった。1987年5月21日の結果を図5に示す。

SSについては、相関の高い1997年7月19日と1999年7月25日では、サンプルデータの標準偏差も大きく、それぞれ9.6 mg/Lと12.6 mg/Lであった。Chl.aについても、ほぼ同様な結果であった。この結果より、回帰モデルの相関係数はサンプルデータの値の範囲に依存することが判った。つまり、サンプルデータの値の範囲が広ければ、それに対応する衛星データの反応も大きくなるため、相関も高くなる。また、従来の研究に比べ、本研究で得られた相関係数は両方とも低かった。

これも上述した理由によると考えられる。特に、研究対象地域である霞ヶ浦は全体的に汚れて、濃度が低い範囲のSSおよびChl.aの値がなかったため、回帰モデルの相関係数、傾斜、切片への影響が大きいと考えられる。

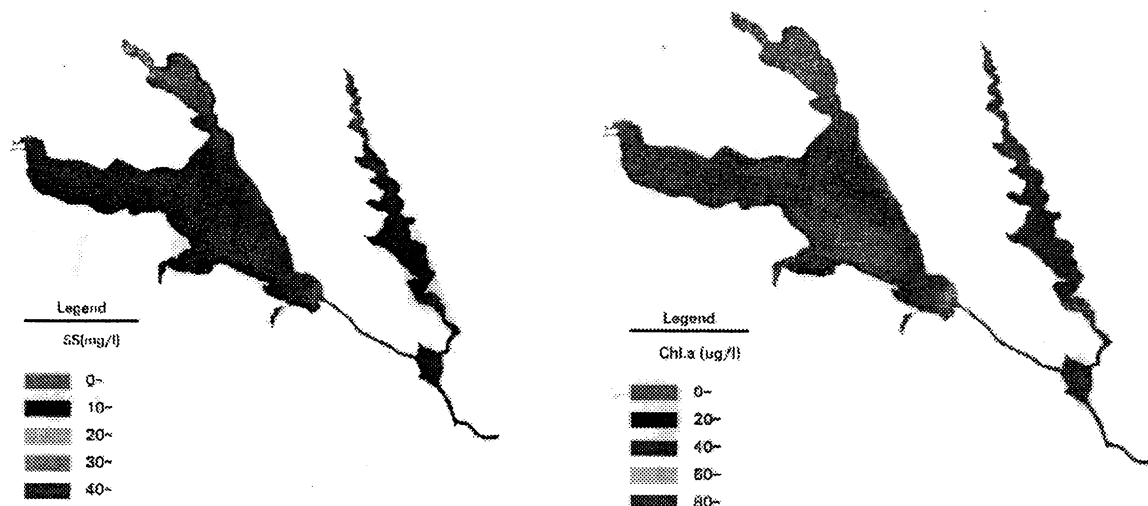


図5. Landsat-5 TMデータによる霞ヶ浦における懸濁物質 (SS)とクロロフィル a(Chl.a)の水平分布 (1987年5月21日) .

5. 本研究により得られた成果

中国40湖沼の環境データを収集した意義は大きい。日本を含む他のアジア諸国の湖沼データとの比較検討が可能となった。

溶存有機物(DOM)の影響を評価できる新しいタイプの藻類増殖能(AGP)試験法を開発した。この試験法の適用によって、アオコの発生・優占する要因として窒素と鉄が非常に重要であることが明らかとなった。

湖水や河川水中の溶存鉄の存在形態を定量する分析方法(競合的濃縮ボルタンメトリー法)を開発した。アオコが発生しない霞ヶ浦では溶存鉄の99.9%以上は有機態で存在し、生物利用可能鉄(水化+加水分解種)濃度は極めて低いことがわかった。一方、アオコが発生・優占している用水路では生物利用可能態鉄濃度が高い値を示した。従って、アオコの発生・優占には鉄の存在形態が非常に重要であることがわかった。

湖沼における溶存有機物(DOM)の特性を評価するために、樹脂吸着分画手法によりDOMを5つに分類する(フミン物質、疎水性中性物質、親水性酸、塩基物質、親水性中性物質)手法を開発した。この手法を、アオコが発生している湖沼(中国デンチー湖等)の水サンプルに適用した。

アオコが発生している湖水ではフミン物質の存在比が非常に低かった。

ランドサット5TMデータを用いたリモートセンシングによるアオコ発生状況の連続モニタリングの可能性を検討した。霞ヶ浦を対象として、懸濁物質とクロロフィルaに関する水質推定モデルを構築した。

6. 引用文献

- 1) Imai, A., Fukushima, T. and Matsushige, K. (1999). Effects of iron limitation and aquatic humic substances on the growth of *Microcystis aeruginosa*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 56, 1929-1937.
- 2) Imai, A., Fukushima, T., Matsushige, K. and Kim, Y.H. (2001). Fractionation and characterization of dissolved organic matter in a shallow eutrophic lake. *Water Res.* 35, 4019-4028.
- 3) Choi, K., Imai, A., Kim, B. and Matsushige, K. (2001). Properties of dissolved organic carbon (DOC) released by three species of blue-green algae. *Korean J. Limnol.* 34, 20-29.
- Jin, X. (1995). *Lakes in China*, China Ocean Press., vol.1 (585pp.), vol.2 (482pp.), vol.3 (386pp.), ISBN7-5027-4100-3/P335.
- 4) Nagai, T., Imai, A., Matsushige, K., Yokoi, K. and Fukushima, T. (2004). Voltammetric determination of dissolved iron and its speciation in freshwater. *Limnology* (in press).

7. 国際共同研究等の状況

共同研究者 劉 劍彫 楨池藍藻水華汚染制御強化技術研究プロジェクト

Jin Xiang 中国環境科学研究院水環境研究所

A. Mahakhant タイ国科学技術研究所藻類保全研究施設

G.S. Haryani Indonesian Institute of Sciences, Research Center for Limnology

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表 (学術誌・書籍)

<学術誌 (査読あり)>

- ① A.Imai, T.Fukushima, K.Matsushige and Y.H.Kim: *Water Res.*, 35, 4019 -4028(2001)
“Fractionation and characterization of dissolved organic matter in a shallow eutrophic lake”
- ② A.Imai, T.Fukushima, K.Matsushige, Y.H.Kim and K.Choi: *Water Res.*, 36, 859 -870(2002)
“Characterization of dissolved organic matter in effluents from wastewater treatment plants”
- ③ A.Imai, K.Matsushige and T.Nagai: *Water Res.* 37, 4284-4294(2003)
“Trihalomethane formation potential of dissolved organic matter in a shallow eutrophic lake”
- ④ S.Choi, M.Ueki, A.Imai, B.Kim and Z.Kawabata: *Arch. Hydrobiol.* 159, 271-286(2004)
“Photoalteration of dissolved organic matter (DOM) released from *Microcystis*”

aeruginosa in different growth phases: DOM-fraction distribution and biodegradability”

- ⑤ T.Nagai, A.Imai, K.Matsushige, K.Yokoi and T.Fukushima: Limnology (2004) (in press)
“Voltametric determination of dissolved iron and its speciation in freshwater ”

<学術誌 (査読なし)>

- ① 今井章雄：海洋と生物、24,3,203-208 (2002)
「湖沼における難分解性溶存有機物の蓄積」
- ② 今井章雄：かんぎぎょう, 92, 4-10 (2003)
「湖沼において漸増する難分解性溶存有機物の特性と影響」
- ③ 今井章雄：地球環境センターニュース, 14, 11-14 (2003)
「湖沼トレンドモニタリングでみる難分解性溶存有機物の特性と動態」
- ④ 今井章雄：水環境学会誌, 27, 76-81 (2004)
「水環境におけるフミン物質の特徴と役割」 (依頼レビュー)

<書籍>

なし

<報告書類等>

なし

(2) 口頭発表

- ① 八馬正幸、福島武彦、尾崎則篤、今井章雄、松重一夫：第36回日本水環境学会年会 (2002)
「光分解・生物分解の水中溶存有機物、EEMへの影響」
- ② 天野耕二、松本邦治、今井章雄、松重一夫：第36回日本水環境学会年会 (2002)
「琵琶湖における溶存有機物分画データと流域特性の関連について」
- ③ 菅谷龍雄、東照男、今井回尾、田村憲司：第48回日本土壌肥料学会年会(2002)
「ハス田を秋水域とする小河川の水質動態」
- ④ A.Imai, K.Matsushige, K.Choi and T.Fukushima: ASLO Summer Meeting,
Inter-disciplinary Linkages in Aquatic Sciences and Beyond, Victoria, Canada, 2002
“Characterization of dissolved organic matter in shallow eutrophic Lake Kasumigaura ”
- ⑤ 永井孝志、今井章雄、松重一夫、横井邦彦：第67回日本陸水学会年会 (2002)
「吸着濃縮ボルタンメトリーによる湖水中の溶存鉄とその存在形態の分析」
- ⑥ 永井孝志、今井章雄、松重一夫、横井邦彦：第37回日本水環境学会年会(2003)
「霞ヶ浦における溶存鉄とそのスペシエーション」
- ⑦ 菅谷龍雄、東照男、今井章雄、田村憲司：日本土壌肥料学会2003年度神奈川大会(2003)
「水田における溶存有機物の分画と年間収支」
- ⑧ 濱田洋平、今井章雄、松重一夫：日本陸水学会第68回大会(2003)
「霞ヶ浦湖水中の溶存炭素の安定同位体比」
- ⑨ 永井孝志、今井章雄、松重一夫、福島武彦：第38回日本水環境学会年会(2004)
「鉄の形態分析によるアオコ増殖制限物質の解析」

(3) 出願特許

なし

(4) 受賞等

なし

(5) 一般への公表・報道等

なし

9. 成果の政策的な寄与・貢献について

我々は溶存有機物(DOM)の影響を評価できる新しいタイプの藻類増殖能(AGP)試験法を開発した。このAGP試験法を適用すれば、アオコが発生・優占している湖沼および発生・優占していない湖沼において、アオコの増殖を制限している因子がリンなのか、窒素なのか、鉄なのか、あるいは溶存有機物なのかを特定することができる。さらに本研究で開発した競合的濃縮ボルタンメトリー法によって対象湖沼における生物利用可能態鉄濃度の情報も得ることができる。従って、アオコが発生・優占している湖沼では効果的なアオコ削減対策を、アオコが発生・優占していない湖沼では効果的なアオコ発生予防対策を立案・実施することが可能となる。

例えば、飲料水源として利用されていないアオコが発生している比較的小さな湖沼において、適切な流域発生源対策の実施が困難な場合には、フミン物質等の溶存有機物を直接添加することでアオコを消失させる対策オプションが効果的と考えられる。また、水道水源として利用されている富栄養湖の霞ヶ浦では、現在アオコは発生していないが、湖沼環境保全対策として溶存有機物濃度を低減する種々の対策が取られている。ところが、溶存有機物濃度を低下させすぎると鉄の生物利用性が高まりアオコが発生する可能性が十分にある。すなわち、アオコの発生防止という観点からは、霞ヶ浦ではアオコは窒素および鉄制限であるという情報を勘案すると、流域からの窒素負荷量を削減する対策が効果的であると判断されるであろう。

アジア地域ではアオコに係る様々な湖沼問題が起きている。本研究で開発されたアオコ発生診断手法(AGP試験法と生物利用可能態鉄測定法)によって得られる科学的な情報は、この様々なアオコ問題に対応して適切な政策・対策の選択する際に具体的な道標になると期待される。