

霞ヶ浦臨湖実験施設研究発表会
講演報告集 — 5 —

Proceedings of the Conference on Limnological Studies at the Kasumigaura
Water Research Station, NIES. Part 5

相崎 守弘編
Edited by Morihiro Aizaki

THE NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES

環境庁 国立環境研究所

序

霞ヶ浦臨湖実験施設では、施設を利用した研究の成果を発表する研究発表会を毎年1回開催している。本年も6月11日に第6回の研究発表会を行った。昨年は「霞ヶ浦はきれいになったか？」をテーマにしたシンポジウムを合わせて開催し、多数の参加者を得て有意義な意見交換ができた。本年のシンポジウムは「アオコ指標作成に向けて」をテーマに開催した。

ここ数年、霞ヶ浦ではミクロキスティスを主体としていたアオコが同じラン藻類であるオシラトリアに変化するなど水質に変化が見られている。アオコで総称されるラン藻類の異常発生は各地で大きな社会問題となっているが、アオコの発生機構についてはこれまで多くの研究が積み重ねられているにもかかわらず、どのような湖沼環境条件でアオコが発生するのかまだ不明の点が多い。このシンポジウムではアオコを指標とした湖沼水質の評価と管理を目指して、日本の各地の湖沼での水質とアオコ発生との関係を中心テーマに討論した。

今回のこの発表会には国立公害研究所の研究者の他に、所外から7県21名の環境部局担当者やアオコの問題に関心をお持ちの方々のご参加を得、貴重なご意見をいただいた。本講演報告集はこの研究発表会とシンポジウムの予稿をもとに、若干の修正を加え、さらに本施設で実験用水として取水している霞ヶ浦湖水の水質データを付け加えてまとめたものである。

国立公害研究所はこの7月に国立環境研究所と名称を変更し、組織も大幅に変更した。霞ヶ浦臨湖実験施設には、従来は専任の技術部職員と主任研究官がいたが7月以降はその体制がなくなった。今後は施設運営連絡会を中心に運営して行くことになったが、できるだけ従来通りの活動を継続したいと考えている。今後とも皆様方の一層のご支援とご協力をお願いしたい。

地域環境研究グループ

統括研究官 内藤 正明

目 次

I. シンポジウム「アオコ指標作成に向けて」	
1. アオコ発生湖沼の底質環境	1
福島武彦	
2. 霞ヶ浦における <i>Anabaena</i> の発生要因について	7
矢木修身	
3. 北海道でのアオコの発生状況と要因	9
日野修次	
4. 丸田沢ため池の水質について	25
田口早智子・相原良之・関 敏彦・角田 行	
5. 淡水湖と汽水湖における湖沼の内部生産について	29
安田満夫・田中賢之介・南条吉之・寛 一郎	
6. 児島湖の水質	33
片山靖夫	
7. アオコの優占培養に対する米ぬか抽出液の効果	37
相崎守弘・青山莞爾	
8. 霞ヶ浦におけるラン藻類発生指標としてのフィコシアニン濃度	45
大槻 晃	
II. 臨湖実験施設研究発表	
1. 東京湾における青潮に関する研究II	47
田中秀之・相崎守弘・田井慎吾・北村 博	
2. 日本における酸性降下物による陸水の酸性化予測	57
河合崇欣	
3. 溶存メタン分析計の製作と陸水試料への応用	69
野尻幸宏	
4. 水中分光機を利用した野外での藻類現存量測定に関する研究	73
相崎守弘・木幡邦男	
5. 霞ヶ浦のオナガケンミジンコ (<i>Cyclopus vicinus</i>) の生活史	75
春日清一・青野恵美子・山根爽一	
6. 尾瀬沼に侵入した帰化植物コカナダモの生態	81
野原精一	
7. 水耕栽培による水質浄化に関する研究	89
相崎守弘・権 五相	
8. 臨湖実験施設実験用湖水の水質測定結果	99
相崎守弘	
III. 資料	
1. 第6回霞ヶ浦臨湖実験施設研究発表会プログラム	109
2. 第6回霞ヶ浦臨湖実験施設研究発表会参加者一覧	110
3. 平成2年度施設利用計画	111
4. 施設を利用した研究成果の一覧	112

アオコ発生湖沼の底質環境

福島武彦（水質土壌環境部）

1. はじめに

湖水と湖底の堆積物とは、界面を通しておこる物質移動などにより相互に影響しあっている。この意味で本報告の題名は、アオコ（*Microcystis* などのらん藻類）発生に関わる底質の影響という観点と、アオコが発生することによる底質の変化という観点を有している。高村（1988）によれば、アオコの発生する湖沼の特徴として、(1)栄養塩濃度が高い（富栄養、過栄養）、(2)水深が浅い（13m以下）、(3)水温が高い（17°C以上）などが挙げられる。この内(1)では湖底堆積物からの栄養塩、鉄、有機物などの溶出、(2)では冬期の休眠地としての役割（Takamura 1984）を通して、底質あるいは湖盆の深さがアオコの発生要因となる可能性を示している。しかし、なぜアオコが大発生するのかについてもまだ仮説の段階にあり、いわんや底質が発生要因となっている報告例も少ないので（Ringelberg & Baard(1988)は直接的な証拠は示していないが、魚による湖底堆積物のかくらんがアオコのブルームの一つの原因と推定している）、この観点に関しては現在これ以上の検討が不可能である。

次に、湖底堆積物は湖水中懸濁物が沈積、変化したものであるため、当然湖水の情報を有していて、アオコの存在する湖沼の底質は存在しない湖沼のそれとは異なることが期待される。例えば、底質は湖水の栄養度、栄養塩の回帰ポテンシャル、前の増殖期でのアオコ発生量などの情報を間接的にでも有しているのではないかと考えられる。アオコ発生量は湖水中TP濃度で決まるとの報告も多く（Trimbee *et al.* 1987, Ejsmont-Karabin & Spodniewska 1990）、少なくとも底質中に湖水の栄養度の特徴が反映されていれば、これを利用してアオコ指標作成に役立てることも可能であろう。ここでは特に、富栄養化状態指標作成のための全国湖沼調査（調査1, 1977-1980）と全国富栄養化湖沼の底質調査（調査2, 1986-1988）の結果を利用して、底質に埋め込まれている水質情報についてまとめる。なお、詳細は前者については細見（1987）、後者については福島ら（1989）を参照されたい。

2. 調査、分析の方法

調査1では富栄養化状態の異なる18湖沼、調査2では富栄養化湖沼を中心に28湖沼を調査対象湖沼としたが、その内3湖沼が重複した。サンプルの採取はすべて重力式のコアサンプラーを用いて行った。分析方法は、調査1では各湖湖心における湖底堆積物の表層0-2cmあるいは0-3cmの凍結乾燥サンプルに対して、全リン(P)をAndersenの方法、全有機窒素(ON)をCHN分析(柳本)で測定した。調査2では各湖の流入河川流下方向1-5地点で底泥のコアサンプルを採取し、2cmごと10から20cmまでのサンプルを凍結乾燥後、全有機炭素(OC)、全有機窒素(ON)は

CHN分析計, その他の元素 (Na, K, Mg, Ca, Sr, Al, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, P) は硝酸フッ酸により分解後, ICP にて測定した (Okamoto & Fuwa 1984)。

3. 底質変化の構造, 特徴

まず, 図1には調査2のデータをもとに, 底質成分間の相関行列から得たクラスター分析の適用結果を示す。図中の FPR, LPR はそれぞれ $20\mu\text{m}$ 以下, $74\mu\text{m}$ 以上の粒子割合 (湿式によるふるい法) である。また, 図2には同時に測定した湖水懸濁物の組成と底質の比を各元素毎にまとめる。この他, 湖沼間の底質変動の大きさ, 湖水懸濁物組成と底質との相関, 及び底質の鉛直分布, 流下方向分布特性

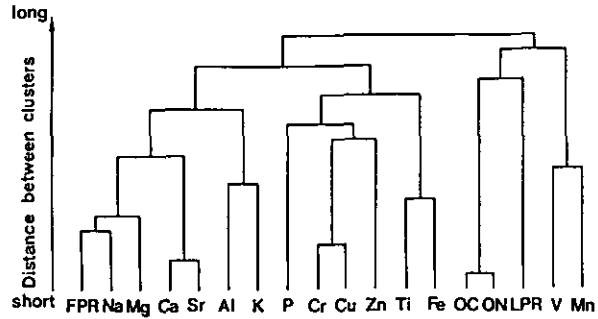


図1 クラスター分析による底質成分のグルーピング

(Amano & Fukushima 1987, 福島ら 1987) とあわせて, 底質変化の構造, 特徴をまとめると以下のようである。

(1) 底質成分を分類分けすると, (a)Na, Mg, Ca, Sr, K といったアルカリ金属, アルカリ土類金属のグループ, (b)Ti, Fe

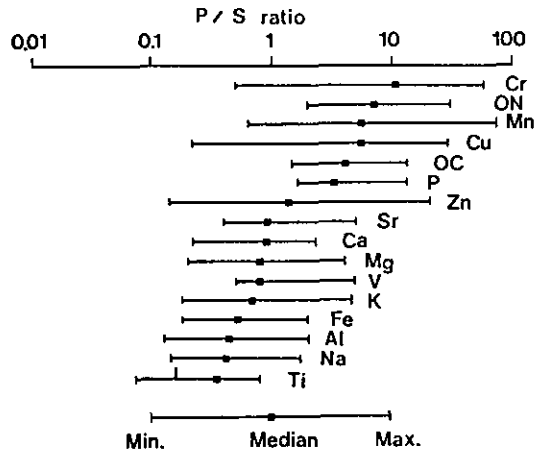


図2 懸濁物中の含量/底質中の含量比の範囲

といった土粒子が主要な供給源のグループ, (c)P, Cr, Cu, Zn といった人為的な負荷源の影響を大きく受けるグループ, (d)有機物の OC, ON となる。V, Mn は他の元素との関連が乏しい。

(2) 懸濁物組成と底質との相関マトリックスでは, (a), (b)で高い正の相関, (d)で弱い正の相関, (c)では P 以外は相関が見られなかった。

(3) 懸濁物と底質の組成比は(c), (d), (a), (b)の順に小さくなる。底質の組成変動は(c)で大きく, (b)で小さい。また, 懸濁物のそれは(c)で大きく, (d)で小さい。

(4) (c), (d)で表層の方が高く, (a), (b)で下層で高い。また, (d)では湖心の方が河口より高くなり, それ以外で河口の方が湖心より高い。

4. 底質に及ぼす流域、湖盆、湖水質の影響

グループ(a)の堆積物中含量は主に水中の溶存態 Na など塩分により決まり、グループ(b)のそれは懸濁物質中の含量と関係して流域からの土粒子（岩石の破片，土砂，土壌粒子をまとめて）の到達し易さを反映した。前者は汽水湖，淡水湖による差が大きい。

グループ(c)では P を除くと，懸濁物組成とは相関がなく，懸濁物濃度とは弱い正の相関，湖水中 TP 濃度，懸濁態 P 濃度と正の相関がある。P の場合，これらすべての項目と正の相関関係にある。丸山ら（1982）も長野県の52湖沼で，P について底質と湖水中濃度との相関関係を報告している。また，細見ら（1987）は霞ヶ浦の数地点でこの両者の相関関係を示している。図3には調査1の結果もあわせてその関係を示すが，図中黒丸を丸で囲んだ湖沼ではアオコ発生が報告されている（水質法令研究会編 1986）。TP 濃度が 0.05-0.1mg/l までは底質 P 含量はほぼ 1.2 mg/g を平均として一定で，それを超えると TP 濃度にほぼ比例して増加する傾向が見られる。1.2mg/g とは地殻中の P 含量と大体等しく，流域からの土粒子由来の成分を表していると考えられる。また，TP 濃度が 0.1mg/l 以下の富栄養湖で底質 P 含量が低いのは砂などの粒子を多く含む地点が多い。図3と同様な関係は P 以外の Cu, Zn, Cr でも見られた。底質が流域からの土粒子，人為発生負荷，内部生産物質の混合物であるという三成分モデルによりこうした関係は説明される（福島ら 1987）。アオコ発生湖沼には富栄養化した湖沼が多いため，底質の P 濃度も一般的に高い。

最後に，グループ(d)については過去に多くの検討がなされているものの，底質濃度と湖水の透明度，COD，富栄養化状態指数との間には明白な関係が見られない（西条・半谷 1953，金子ら 1981，丸山ら 1982，Hankanson 1982）。これらの原因としては，各湖沼毎に降雨流出時に流入する土粒子量が異なることと説明されている。すなわち，底質の OC, ON は植物プランクトン等の湖内内部生産物質を主たる供給源とするのに対して，それを希釈する土粒子は年間でも非常に頻度の少ない大降雨時に運び込まれていると考えられる。前者を湖水中クロロフィル a 濃度と沈降速度の積，後者を土粒子発生原単位と流域面積の積を湖面積で除した量で表し，沈降速度と土粒子発生原単位を湖沼間で一定と考えると，ON を湖水クロロフィル a 濃度で除した量は湖面積を流域面積で除した量に比例することが予想される。図4には両者の関係を示すが，平均水深が6m未満とそれ以上の二つに分類しておくそれぞれで比例関係が得られる。平均水深による差の原因としては，一度沈降したものが再浮上して移動する確率，外来性懸濁物が湖心に到達する確率，堆積物中で分解される比率，が関係していると考えられる。図4にはアオコ発生湖沼を分けて示しているが（黒丸，黒三角），特に目立った傾向は見られない。底質の ON とも顕著な傾向はないので，これらがアオコの発生に関する情報を有しているとは言えない。なお，OC, ON の場合，一湖沼で流下方向にサンプリングすると，湖水懸濁物中の含量と底質のそれとが比例関係にあることがわかっている（福島ら 1987）。こうした諸点で，底質中の OC, ON と P は特性が異なっている。その一番の原因としては，人為影響の大きい流入河川から運ばれる懸濁物の P 含量が土粒子や内部生産物のそれと比べて極めて高濃度であることが挙げられる。

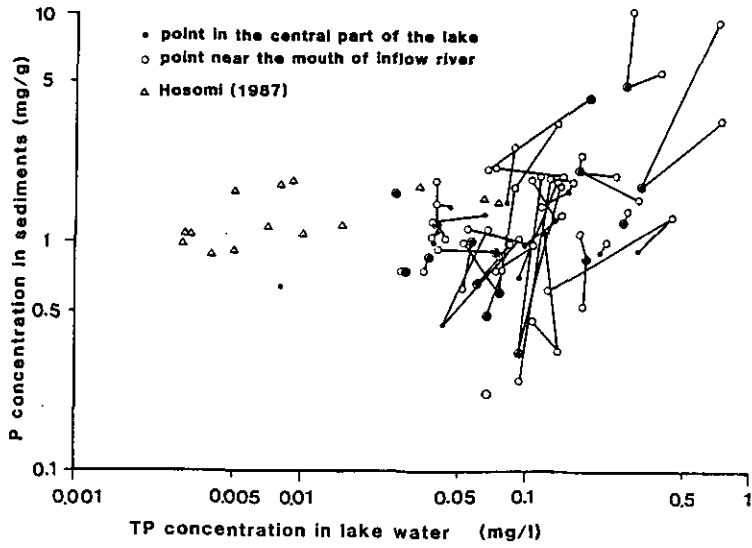


図 3 水中 TP 濃度と底質中 TP 含量との関係

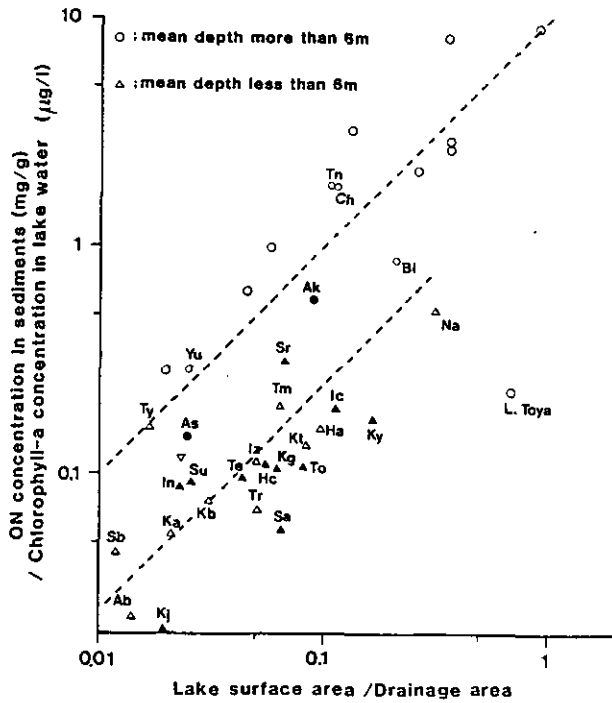


図 4 底質中 ON 含量 / 水中クロロフィル a 濃度 vs. 湖面積 / 流域面積

5. おわりに

アオコ発生湖沼は富栄養化した湖に多く、このため水中の TP 濃度と関連の深い底質 P 含量などにその情報が蓄積されている、というのが本報告の結論である。アオコ指標という観点では、より直接的に湖底堆積物からアオコを洗いだしてカウント (Takamura 1984) した方がよいだろう。アオコ発生に底質が影響するかどうかについては今後、増殖必須物質の検討、実験池を利用した増殖条件の検討などを通して明らかにしてゆかねばならない。

引用文献

- Amano K. & Fukushima T. (1987) : On the longitudinal and vertical changes in lake estuarine sediments. *Water Sci. Tech.*, 20(6/7), 143-153.
- Ejsmont-Karabin J. & Spodniewska, I (1990) : Influence on phytoplankton mass in lakes of different trophic by phosphorus in lake water and its regeneration by zooplankton, *Hydrobiologia*, 191, 123-128.
- 福島武彦・相崎守弘・海老瀬潜一 (1987) : 湖沼河口域での懸濁態物質組成の特性と底泥組成との関係, 23, 31-40.
- 福島武彦・天野耕二・村岡浩爾 (1989) : 全国富栄養化湖沼の底質特性について, 衛生工学研究論文集, 25, 69-79.
- Hankanson L. (1982) : On the relationship between lake trophic level and lake sediments. *Water Res.*, 18, 303-314.
- 細見正明 (1987) : 湖沼底泥からの窒素・リン溶出とその制御に関する研究, 大阪大学博士論文
- 金子光美・国包章一・橋爪健一郎 (1981) : 国立公園内湖沼の水質汚濁の現況(1), 用水と廃水, 23, 544-551.
- 丸山正人・赤尾秀雄・西堀将尋 (1982) : 長野県下52湖沼の底質, 用水と廃水, 24, 1349-1355.
- Okamoto K. & Fuwa K. (1984) : Low-contamination digestion bomb method using a teflon double vessel for biological materials. *Anal. Chem.*, 56, 1758-1760.
- Ringelberg, J. & Baard, R. (1988) : Growth and decline of a population of *Microcystis aeruginosa* in mesotrophic Lake Maarsseveen I (The Netherlands), *Arch. Hydrobiol.*, 111, 533-545.
- 西条八束・半谷高久 (1953) : 湖沼堆積物の研究 (第1報), 地理学評論, 26, 595-606.
- 水質法令研究会 (1986) : 湖沼の水質保全, その現状と新しい制度, 地球社.
- Takamura N., Yasuno M., and Sugawara, K. (1984) : Overwintering of *Microcystis aeruginosa* Kutz. in a shallow lake. *J. Plankton Res.* 6, 1019-1029.
- 高村典子 (1988) : ラン藻による水の華, 特に *Microcystis* 属の生態学的研究の現状, 藻類, 36, 65-79.

Trimbee A. M. & Prepas E. E. (1987) : Evaluation of total phosphorus as a predictor of the relative biomass of blue-green algae with emphasis on Alberta Lakes, Can. J. Fish. Aquat. Sci., 44, 1337-1342.