

淡水赤潮に関する調査研究(第1報)

— 内場ダム(1) —

Studies on Freshwater Red Tide (I)
— In case of Naiba Dam —

冠野 禎男 藤田 久雄 久保 正弘
Yoshio KANNO Hisao FUJITA Masahiro KUBO
増井 武彦 三好 健治
Takehiko MASUI Kenji MIYOSHI

県内主要湖沼において、淡水赤潮の発生状況を調べたところ、内場ダムでウログレナによる赤潮形成が確認された。発生期間は5月中旬から6月上旬に及び、その間赤潮は集積、消滅を繰り返したがそれ以降は1個体も検出されなかった。赤潮発生時の水質を調べると、 PO_4-P の著しい低下が見られ、リン濃度の低い水域でも赤潮形成能力を持つことがわかった。

はじめに

淡水プランクトンの異常増殖は、湖沼の水質汚濁の大きな要因となっているので、その増殖誘発因子を解明することにより湖沼の水質保全をはかる目的で、平成元年度より淡水赤潮調査を開始した。

淡水赤潮は、貧栄養から中栄養の水域にかけて発生する事例が多く、富栄養湖で見られる水の華(アオコ)とは一般的に区別される。水の華が緑色系の外観を呈し、藍藻、緑藻、珪藻等が主要構成種となるのに対し、淡水赤潮は茶褐色系で有色鞭毛虫が中心種であることが多い。

最近このような赤潮現象が各地のダム湖を中心に報告される事例が多くなっており^{1)~7)}、発生件数も増加傾向にある。そこで、本県の主要湖沼において淡水赤潮の発生状況を調べたところ、内場ダムにおいて、その事例が見られたので、その時の水質変化特性を中心に結果を報告する。

調査方法

1. 調査期間

平成元年4月～平成2年3月

2. 調査地点

図1に示すとおりで、ダム内3地点(各地点3層……上層:0.5m, 中層:全水深の中間, 下層:底上約1m)9カ所, 放流水1カ所, 流入河川5カ所の合計15カ所において毎月調査を実施した。

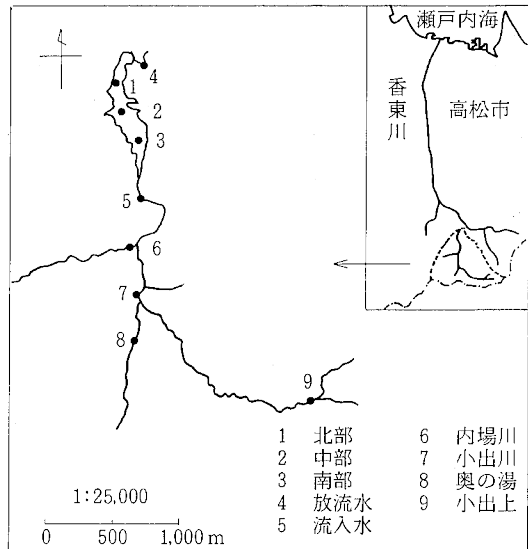


図1 調査地点図

表1 内場ダムの諸元

河川名	香東川支流内場川
集水面積	28.0 km ²
湛水面積	486,000 m ²
周長	6,500 m
湛水距離	2,300 m
総貯水量	7,400,000 m ³
有効貯水量	7,200,000 m ³
洪水調節容量	2,500,000 m ³
かんがい容量	5,750,000 m ³
上水道容量	1,450,000 m ³
計画洪水流量	420 m ³ /sec
最大放水量	500 m ³ /sec

内場ダムは治水、農業用水、水道用水の補給等を目的とし⁸⁾、昭和28年3月に完成した多目的ダムで、その主な諸元は表1に示すとおりである。

3. 調査項目

- (1) 水質：水温、pH、DO、COD、濁度
Cl⁻、T-N、T-P、NH₄-N、NO₂-N、
NO₃-N、PO₄-P、Chl-a、D-Si、T-Fe、
D-Fe、T-Mn、D-Mn、Ca、Mg、D-
VB₁₂
- (2) 底質：IL、乾燥減量、COD、T-N、T-P
- (3) プランクトン：プランクトン沈澱量、プランクトン相
- (4) その他：気温、河川流量、透明度等

4. 測定方法

水質については、本報資料編⁹⁾（内場ダム水質測定結果）に記載したとおりである。このうち、VB₁₂ 定量については、*Lactobacillus leichmannii* ATCC 7830株によるMicrobiological assayを用いた。なお、内場ダムにおけるVB₁₂の濃度レベルは低いので、古城ら¹⁰⁾の方法により試料の前処理を行った。

底質については、底質調査法¹¹⁾に基づいて分析した。

プランクトンの同定は、こわれ易い鞭毛藻類等については、採取後2～3時間以内に行い、それ以外のものについては、中性ホルマリンで固定後、自然沈澱法により10倍もしくは100倍濃縮したものを検鏡し行った。分類については、日本淡水プランクトン図鑑¹²⁾、上水試験方法¹³⁾、日本淡水生物学¹⁴⁾、琵琶湖のプランクトン¹⁵⁾、淡水藻類写真集¹⁶⁾等を参考とした。

調査結果及び考察

内場ダムは、県下では比較的清澄な3番目に大きなダム湖であるが、富栄養化度を相崎ら¹⁷⁾による修正カルソン富栄養化状態指標で示すと、

$$\text{TSI(SD)} = 10 \times \left(2.46 + \frac{3.69 - 1.53 \ln(\text{SD})}{\ln 2.5} \right) = 49.4$$

$$\text{TSI(T-P)} = 10 \times \left(2.46 + \frac{6.71 + 1.15 \ln(\text{T-P})}{\ln 2.5} \right) = 45.2$$

$$\text{TSI(Chl)} = 10 \times \left(2.46 + \frac{\ln(\text{Chl})}{\ln 2.5} \right) = 43.3$$

SD : 透明度(m)

T-P : 全りん濃度(mg/ℓ)

Chl : Chl-a濃度(mg/m³)

となる。これを全国的なレベル（表2…相崎ら¹⁷⁾）で見ると、ほぼ琵琶湖（南湖）の富栄養化状態に近いことが

表2 調査湖沼のクロロフィル-a濃度、全りん濃度および透明度から求めた富栄養化状態指数

() 内はCarlsonの式から求めた値

Lake	TSI (Chl)	TSI (SD)	TSI (TP)
L. Shikotsu	7(15)	12(14)	31(27)
L. Towada	15(22)	17(18)	31(27)
L. Motosu	27(32)	25(25)	25(20)
L. Nishinoumi	32(37)	28(28)	20(14)
L. Chuzenji	30(36)	26(27)	25(20)
L. Kuttara	25(31)	21(22)	37(34)
L. Aoki	29(35)	37(36)	25(20)
L. Nojiri	32(37)	34(33)	35(32)
L. Toya	32(38)	47(44)	29(24)
L. Nakatsuna	34(39)	40(38)	34(30)
L. Biwa(N)	41(45)	37(36)	37(34)
L. Biwa(S)	47(51)	52(49)	46(44)
L. Kizaki	46(50)	38(37)	39(36)
L. Yamanaka	46(50)	48(45)	39(36)
L. Haruna	40(44)	43(41)	39(36)
L. Tsutanuma	41(45)	41(39)	41(39)
L. Kawaguchi	48(52)	47(45)	40(37)
L. Onuma	44(48)	43(41)	45(43)
L. Hangetsu	53(56)	42(40)	55(55)
L. Shoji	58(60)	56(52)	64(65)
L. Yunoko	59(62)	55(52)	63(65)
L. Mikata	61(63)	66(61)	59(59)
L. Hinuma	72(73)	72(66)	65(66)
L. Suwa	80(80)	77(71)	76(78)
L. Kasumigaura(C)	66(68)	66(61)	63(64)
L. Kasumigaura(T)	82(82)	81(74)	83(87)

() : TSI values calculated from Carlson's equations(Carlson, 1977).

わかる。

琵琶湖では、1977年5月に初めて大規模な淡水赤潮が発生しており、それ以降1986年を除き1989年に至るまで毎年春季（4～6月）にのみ出現する¹⁾。

そこで、同様の富栄養化状態にある内場ダムにおいても淡水赤潮の形成が懸念され、調査を実施したところ、5月に発生事例が見られた。

1. 淡水赤潮の発生状況

5月12日に、色相が2.5 Y 6/8（JIS標準色）を呈する帯状の変色水域が初めて出現した。その後5月15日に一旦消滅し、5月18日には湖全域にわたり変色が見られた。その翌日には再び通常の色相（10GY 4/3）にもどり、5月24日の午後放流口付近で赤潮を形成した。翌日には消滅し、6月3日の午前中に湖北部で帯状の変色域を形成したが、午後風により消滅し、平成元年度調査中においては、これ以降赤潮形成は観察されなかった。

今回の淡水赤潮の原因となったプランクトンは、いずれも琵琶湖における赤潮原因種であるウログレナ（*Uroglenopsis americana*）であった。このプランクトンが最も高濃度に集積された5月18日の分布状況を図2に示す。

ウログレナは数個～数百個の細胞より成る楕円形の群体を形成し、寒天質塊に包まれている(写真1)。死滅すると黄緑色から黄色へ変色¹⁸⁾すると同時に細胞が変形し、同定できなくなるので(写真2), 採水後直ちに検鏡する必要がある。また, 5月12日～6月3日の間で赤潮を形成するに至らない日においても, ウログレナは数十～百群体/ml程度検出されており, 6月21日の調査時点で, 1個体も検出されなくなった。

このように, ウログレナによる赤潮は, 集積, 消滅を繰り返し, 経日的な変化を見せる。この赤潮形成は, 晴天かつ無風状態である時に多く見られ, 風が出ると短時間に分散消滅する¹⁹⁾。

赤潮形成は春季から初夏にかけて(琵琶湖, 湯ノ湖, 中善寺湖等)見られる場合が多いが, 仙台市の釜房ダムでは秋期²⁰⁾に出現している。いずれも水温が22～23℃以内の事例で, これを超えるとほとんど発生は見られず15～20℃でよく大増殖が見られる^{1), 21)}。

また, 異常増殖時には, 魚臭を伴い, 上水道の異臭味問題を引き起こすことが知られており, 水産被害, 景観の悪化等も懸念される。

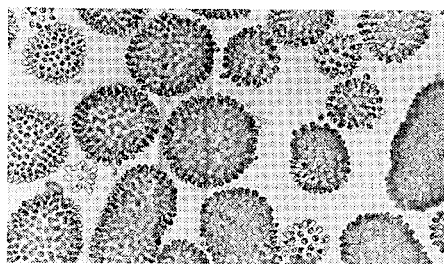


写真1 内場ダムの淡水赤潮原因プランクトン *Uroglena americana*(×100)

2. 淡水赤潮発生時のプランクトン

内場ダムにおけるプランクトン相の変遷は, 高松市水道局の調査によれば春期に珪藻綱, 夏期に緑藻綱, 秋期から冬期にかけて再び珪藻綱へ移り変わるパターンを示す。従って, ウログレナによる赤潮は珪藻綱から緑藻綱へ変遷する過渡期に発生したことになる。1984年から1988年までの5年間にはこの過渡期に淡水赤潮の主要構成種を含む有色鞭毛虫が発生した形跡は見られず(表3), 1989年5月に初めて出現している。

大発生すると毎年同じ時期に赤潮を形成する傾向が強いので, 内場ダムにおいても4～6月にかけては注意する必要がある。

また, 赤潮発生時にはウログレナ以外のプランクトンの総細胞数は減少しており, 一瀬ら¹⁸⁾の報告に一致した。

5月における例年のプラント調査結果²²⁾の推移では(表4), 珪藻綱のCyclotellaもしくはSynedraが優占的に発生するが多かった。

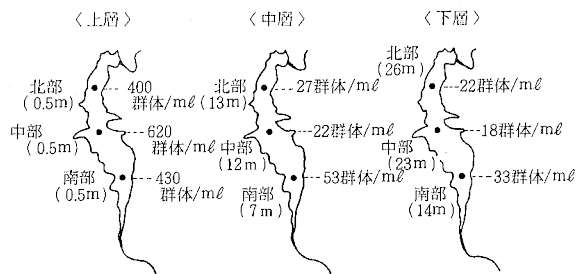


図2 ウログレナの分布状況(5月18日)

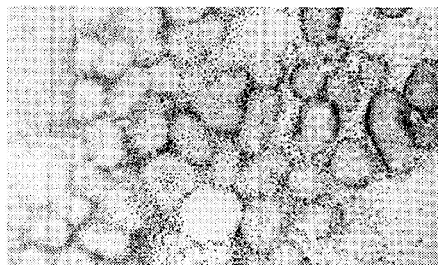


写真2 群体崩壊直後のウログレナ(×50)

表3 4月～6月のプランクトン相

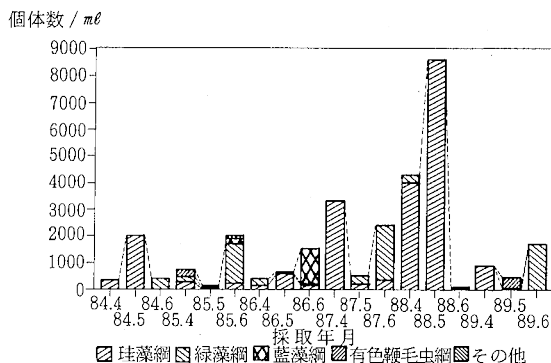


表4 5月のプランクトン調査結果の推移

内訳	プランクトン分類	1984	1985	1986	1987	1988	1989
珪藻綱	Cocconeis				20		2
	Cyclotella	2000		610	180	200	60
	Fragilaria					350	
	Navicula						2
	Nitzschia						1
	Melosira	20					
緑藻綱	Synedra	20	80			8100	
	Chlamydomonas			20			
	Chlorella		80				
	Coelastrum						6
藍藻綱	Scenedesmus						6
	Staurastrum						1
有色鞭毛虫綱	Chroococcus			30	320		
	Uroglenopsis						400
その他	Peridinium		10		2		4
	繊毛虫綱						4
	その他			10			

(1984～1988: 高松市水道局によるデータ)

3. 赤潮発生時前後における水質等の推移

(1) 一般項目 (図3)

月別にダム内の水温分布を見ると、15m以深においては年間を通じほとんど変化がない。また1月頃に全層の水温が同程度となり、冬期に1回大循環がみられる単循環湖であることがわかる。

赤潮発生時の5月の上層水温は15~20°Cで、ウログレナの増殖適温である。

CODは、上層においては、5月にウログレナによるピーク、8月には緑藻綱によるピークが見られた。また、中層及び下層では、春季から秋期にかけては、上層より低レベルで推移するが、循環期頃はほぼ同レベルになる。

pHの経月変化は、中、下層では中性付近で安定しているが、上層では春期から夏季にかけて上昇する傾向が見られ、CODと同じく5月、8月にピークがある。

DOは、中層及び下層では、春期から秋期にかけて低下する傾向が見られるが、循環期に回復する。上層ではpH、COD同様、5月、8月にピークがある。

(2) プランクトン沈澱量・Chl-a (図4)

プランクトン沈澱量、Chl-aともに5月及び9月にピークが見られる。5月のピークはウログレナ、9月のピークはウログレナ同様鞭毛を持ち、群体を形成するボルボックス (*Volvox aureus*) 等による影響が大きい。

(3) 栄養塩類 (図5)

T-N濃度は全層にわたり0.9~1.5 mg/ℓで、他県のウログレナ発生時の水質に比べ、かなり濃度が高く、その大部分はNO₃-Nで占められる。NO₂-N及び下層のNH₄-Nは、冬季に増加した。

T-Pは5月及び9月、PO₄-Pは4月及び9月にピークが見られる。PO₄-Pは降雨による河川からの流入があってもすぐ消費され、0.001 mg/ℓ未満のレベルで推移する。このことは、ウログレナがリン量の低い水域で赤潮を形成することを示している。また富栄養化された池でも他の生物によりリンが消費され低濃度化したような条件でウログレナが増殖することが考えられる。

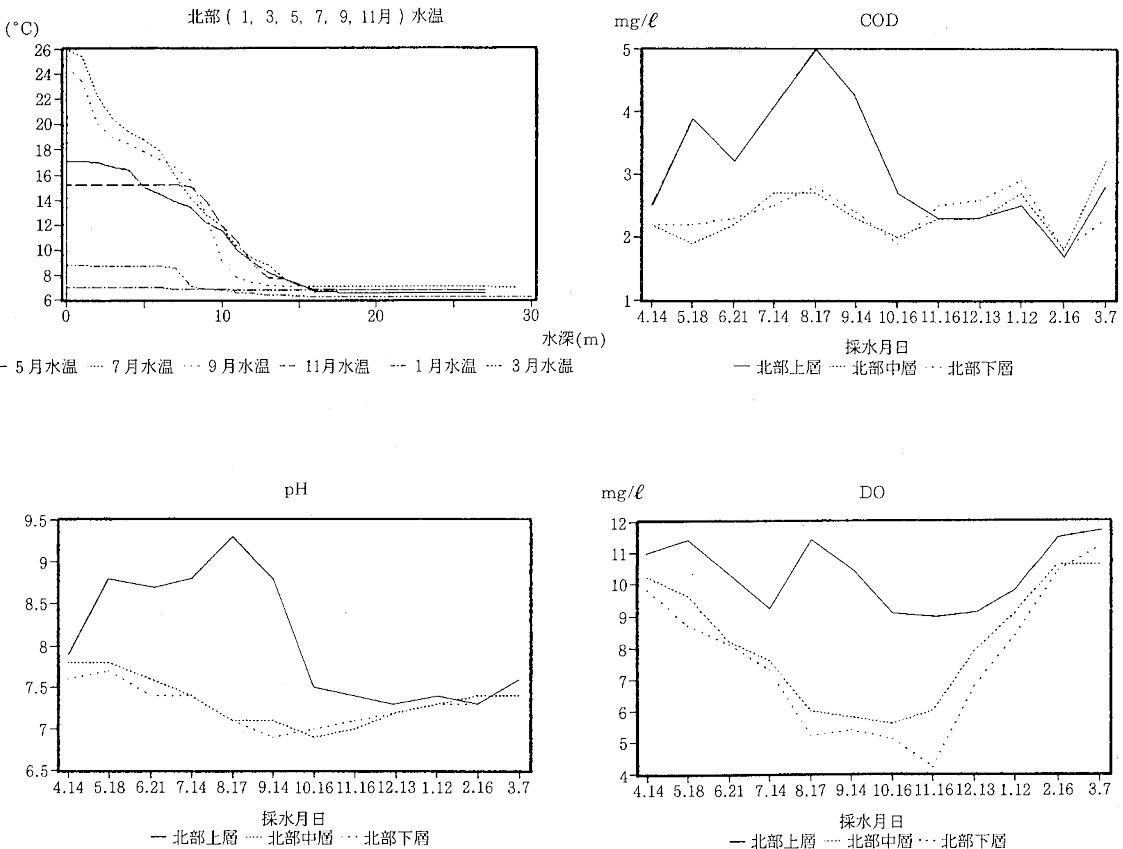


図3 一般項目 (経月変化)

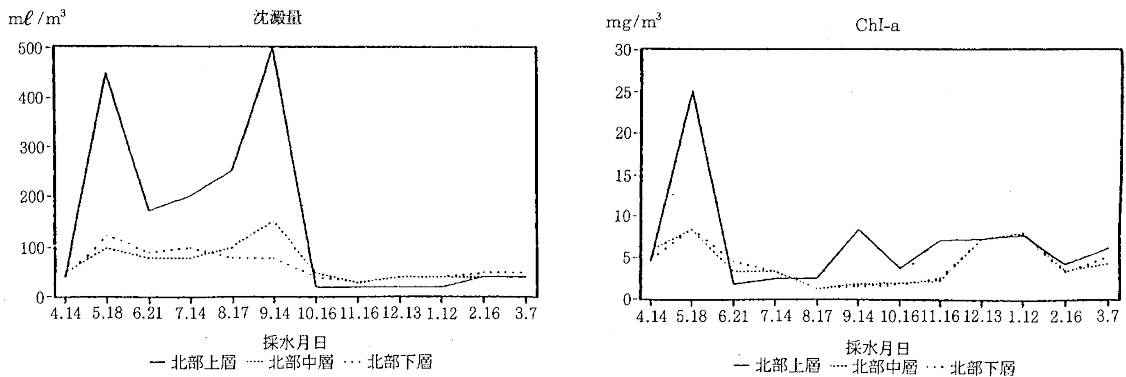


図4 プランクトン沈澱量・Chl-a (経月変化)

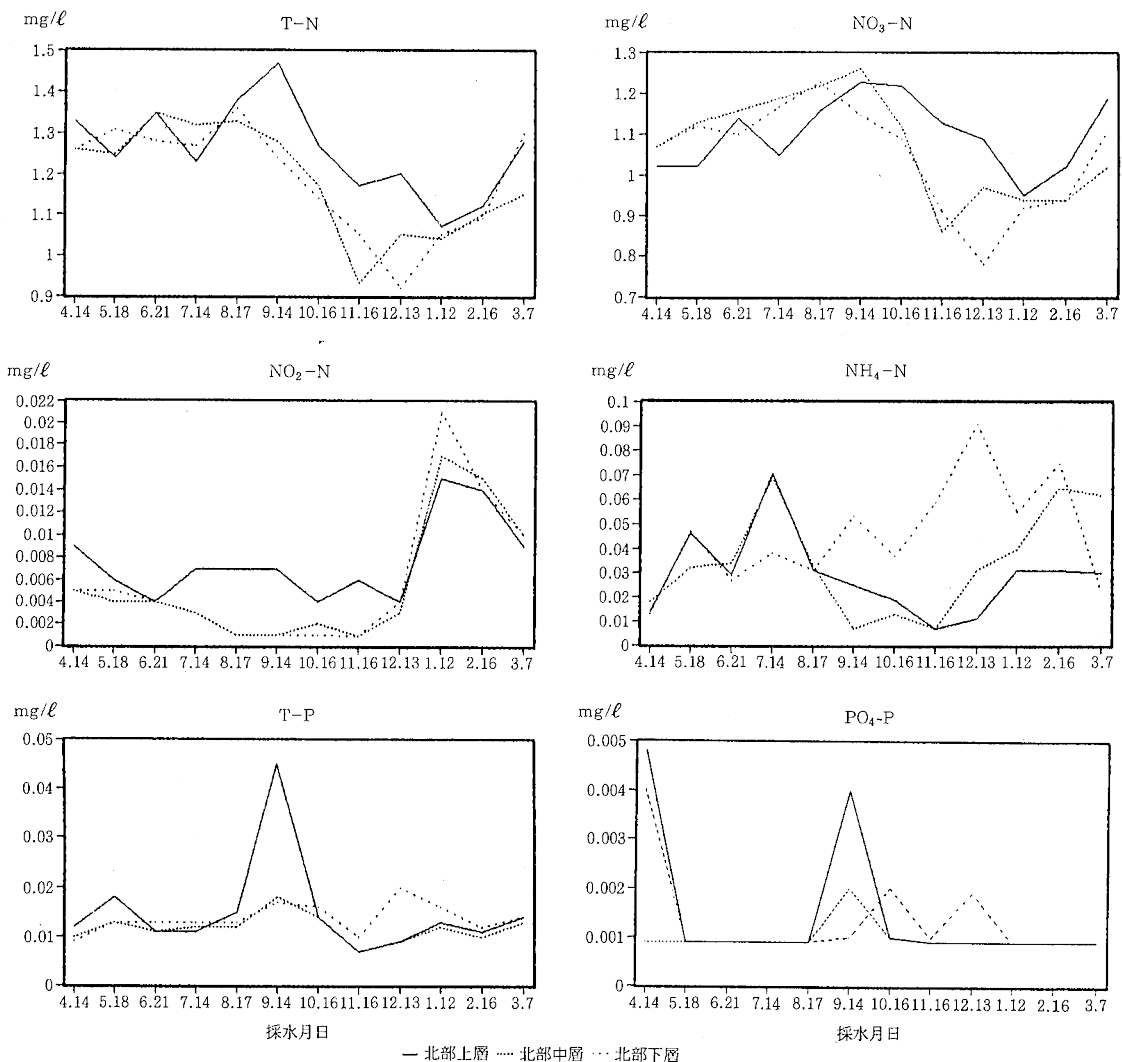


図5 栄養塩類 (経月変化)

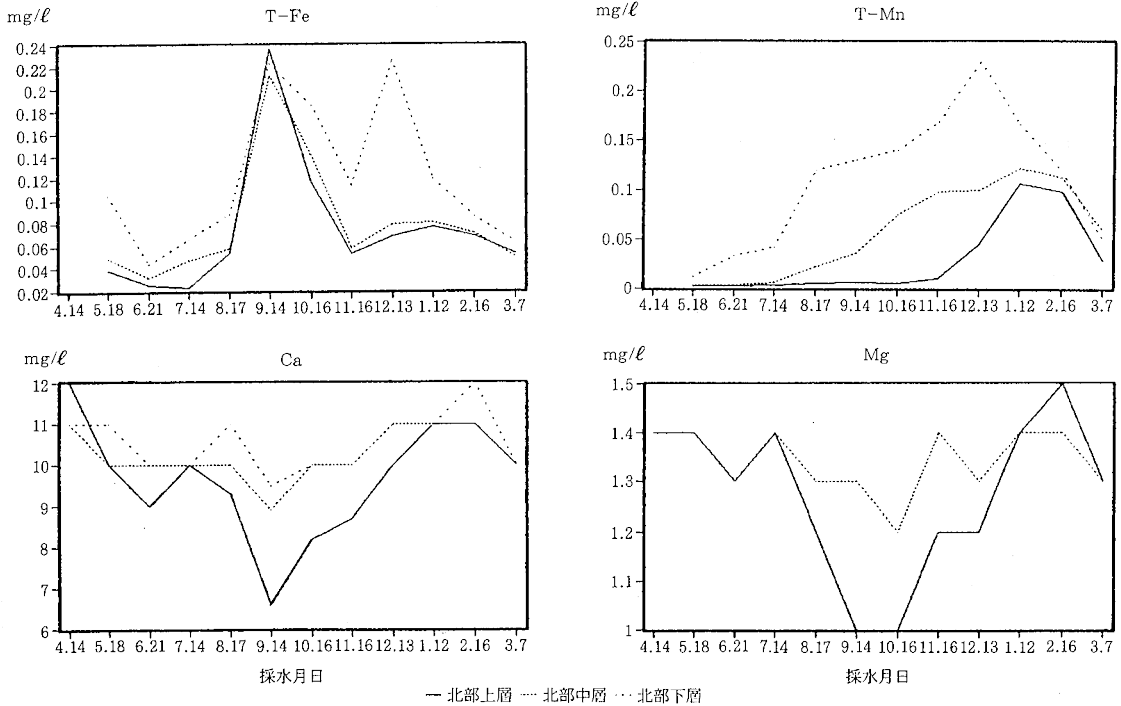


図6 T-Fe・T-Mn・Ca・Mg (経月変化)

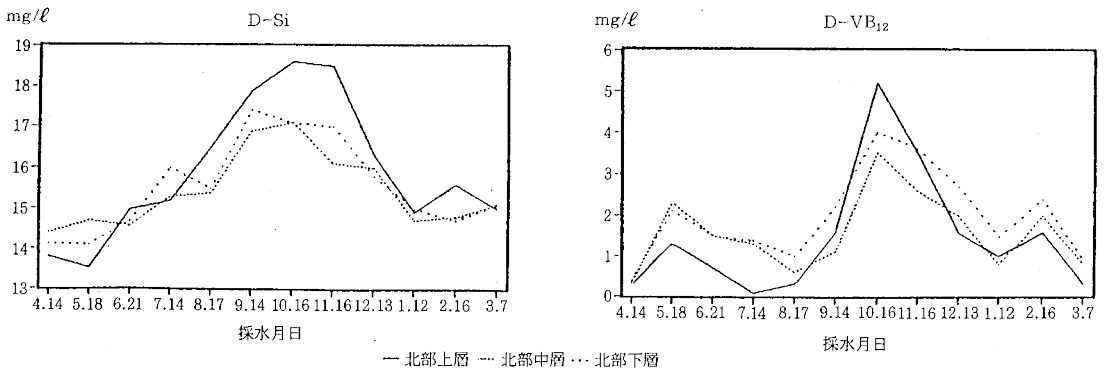


図7 Si・VB₁₂ (経月変化)

(4) T-Fe, T-Mn, Ca, Mg (図6)

T-Feは9月, T-Mnは12~1月にピークがあり, Ca, Mgは9月~10月に最低濃度となる。

(5) D-Si, D-VB₁₂ (図7)

D-Siは10月, D-VB₁₂は赤潮形成時の5月及び10月にピークがあった。

4. 底質

表5に示すとおりで, 流入口に近い南部は汚染が少なく, ダムの竣工以来40年近い年月を経過しているが底質悪化は進んでいない。

表5 平成元年度内場ダム底質調査結果

測定項目	地点	北部	中央	南部
色	相	7.5GY2/1	7.5GY3/1	5GY3/1
夾雑物	性	木くず, 葉	木くず, 葉	木くず, 葉
性状	状	粘土	粘土, シルト	粘土, シルト
臭気	臭	微H ₂ S臭	微H ₂ S臭	藻土臭
乾燥減量(%)		53.2	41.6	32.7
IL(%)		7.3	7.5	6.7
COD(mg/kg)		24,600	20,800	15,500
T-P(mg/kg)		490	570	310
T-N(mg/kg)		2,460	2,590	2,070

ま と め

県下主要湖沼において、湖水赤潮赤潮調査を行ったところ、次のことがわかった。

1. 毎年4～6月にウログレナによる赤潮発生が見られる琵琶湖と同程度の富栄養化状態にある内場ダムにおいて、同一種による赤潮の形成が確認された。
2. この赤潮は、晴天で無風状態である時によく見られ風が吹くと、短時間で分散する。
3. 赤潮の集積は、ダムの上層が中心であった。
4. ウログレナの大増殖は、珪藻綱から緑藻綱へとプランクトンの主要構成が遷移する過渡期に見られた。
5. 赤潮発生時には、ウログレナ以外のプランクトン総数は急激に減少する。
6. 水温は15°C～20°Cで赤潮の形成が見られ、温度上昇にともない消滅した。
7. ウログレナの増殖時には、水質の一般項目(COD, pH, DO)が著しく上昇し、魚臭が確認された。
8. 低レベルのPO₄-P濃度下の水域で赤潮が形成された。
9. D-VB₁₂は、赤潮発生時に濃度が上昇した。

他のウログレナ赤潮発生事例から、内場ダムにおいても毎年4月～6月にかけて赤潮が形成される可能性は高く、注意が必要である。

文 献

- 1) 一瀬 諭, 若林徹哉: 滋賀県立衛生環境センター所報, **24**, 59 (1989)
- 2) 畑 幸彦他: 昭和54年度淡水赤潮調査研究報告書, 高知県 (1979)
- 3) 川端善一郎, 太田雅之, 香川尚徳: 日本陸水学会講演要旨集, 88 (1985)
- 4) 松井千代栄, 清水 晃: 日本陸水学会講演要旨集, 56 (1983)
- 5) 渡辺仁治, 清水 晃, 石井玉恵, 坪田智子: 赤潮シンポジウム 国立公害研究所, 29 (1983)
- 6) 渡辺 信: 赤潮シンポジウム 国立公害研究所, 111 (1983)
- 7) 森下郁子: ダム湖の生態学 (1983)
- 8) 香川県土木部河川課: 香川の河川 (1980)
- 9) 冠野禎男他: 本誌, 65 (1989)
- 10) 古城方和他: 私信 兵庫県公害研究所
- 11) 社団法人日本環境測定分析協会: 改訂版底質調査方法とその解説 環境庁水質保全局水質管理課編(1988)
- 12) 水野壽彦: 日本淡水プランクトン図鑑 保育社 (1981)
- 13) 日本水道協会: 上水試験法 厚生省生活衛生局水道環境部監修 (1985)
- 14) 上野益三他: 日本淡水生物学 北陸館 (1980)
- 15) 若林徹哉, 一瀬 諭: 琵琶湖のプランクトン 滋賀県立衛生環境センター (1982)
- 16) 山岸高旺, 秋山 優: 淡水藻類写真集 内田老鶴圃 **1～5** (1984～1986)
- 17) 相崎守弘, 大槻 晃, 福島武彦他: 国立公害研究所研究報告 (R-23-'81), 13 (1981)
- 18) 一瀬 諭, 若林徹哉: 滋賀県立衛生環境センター所報, **19**, 126 (1984)
- 19) 矢野 洋, 中原正展, 伊藤裕之: 用水と廃水, **31**, 10, 36 (1989)
- 20) 仙台市水道局: 水質年報 (1981, 1984, 1986)
- 21) 小山次郎, 福田訓真, 小林紀男: 日本陸水学雑誌, **48**, 2, 85 (1987)
- 22) 高松市水道局: 水質試験年報 (1984, 1985, 1986, 1987, 1988)