

ウログレナ赤潮（淡水赤潮）がアユにおよぼす影響

藤原公一

琵琶湖では、1977～1980年に、毎年5月から6月にかけて黄色鞭毛藻ウログレナ（*Uroglena* sp.）による赤潮（以下、淡水赤潮という）が発生している。ウログレナ（*Uroglena* *volvox* あるいは *U.* sp.）のアユに対する致死作用は中¹⁾によって、魚毒性は KAMIYA *et al.*²⁾によってすでに認められているが、今日までのところ琵琶湖内において、この淡水赤潮が原因となった魚類の斃死報告はない。

KAMIYA *et al.*²⁾が認めたウログレナの魚毒性は、ウログレナから分離したある種の脂肪酸についてみたものであるため、実際に琵琶湖内にある生の（intact）ウログレナが、どの程度の急性毒性を呈するものかを確認する必要がある。また intact なウログレナが強い魚毒性を呈するとしても、たいてい淡水赤潮は小規模な塊状あるいは帯状であるため、魚はその赤潮塊を回避できるのであれば大きな被害にはつながらないであろう。

本調査では、琵琶湖から採集した直後のウログレナを用いてアユを供試魚とした急性毒性試験および忌避試験ならびにウログレナの分解物を用いた急性毒性試験を実施し、二、三の知見を得たので報告する。

なお、本調査は、昭和59年度水産庁委託、水産業振興事業（赤潮対策技術開発試験）委託費の一部によって実施した。

I. 照明下および遮光下におけるウログレナの急性毒性

ウログレナは照明下では光合成を行い、遮光下ではそれを停止する³⁾。また琵琶湖内では昼間にウログレナは水面近くへ移動し、夜間は沈降する⁴⁾。このように光の有無によってウログレナの生理・生態は変化する。同じように、明暗による変化はウログレナの毒性についてもいえるかも知れない。そこで、照明下および遮光下においた淡水赤潮中にアユを収容し、その生存時間を測定することにより、両条件下における急性毒性の差を検討した。

材料および方法

供試プランクトン ウログレナ *Uroglena* sp. を供試した。今日まで琵琶湖では見られた淡水赤潮の原因プランクトンは *Uroglena americana* と同定されているが、本試験に用いたウログレナの記載は、種の同定を行わなかったため *Uroglena* sp. にとどめた。以下、ウログ

レナと記す場合、ことわりのない限りすべて *Uroglena* sp. をいうものとする。

供試したウログレナは、1984年5月19日および同月24日に彦根市沖の琵琶湖から採集し、その後3時間以内に使用した。採集はプランクトンネット（XXX17）で数百回湖水をすくい取るようにしてウログレナをネット中に濃縮し、ネット中の水が色付いた時点で水中にバケツを沈め、その中へネットをすくい取るようにして行った。なお、その時ウログレナが壊れるのを防ぐため、ネットは水中から出さないように努めた。

ウログレナの密度（濃度）はクロロフィルa量で表示した。クロロフィルaの定量はJEFFRY - HUMPHERY⁵⁾の方法によった。

供試魚 滋賀郡志賀町沖の琵琶湖で、1984年3月13日に沖曳漁法によって漁獲されたアユ *Plecoglossus altivelis* を、水産試験場内コンクリート池で養鮎用配合飼料を与えて約2ヶ月間流水（地下水）飼育したのち供試した。なお、供試前24時間は餌止めを行った。

方法 採集した淡水赤潮および対照として同水域から採集したウログレナをほとんど含まない湖水を、それぞれA区とB区の2組に分け、A区は100W白熱電球または20W蛍光灯で水面上から照明し、B区は水を入れた容器全体をアルミホイルでおおって遮光した。その1.5時間後にそれらの水中へ供試魚を収容し、生存時間を測定した。この試験には1ℓビーカーあるいは600×295×360mmのガラス製水槽を使用し、それらの水量はそれぞれ1ℓ、20ℓとした。供試魚の収容数は、水量1ℓの場合3尾、20ℓの場合10尾とした。試験開始時および終了時には供試水のpH（ガラス電極法による）、DO（隔膜電極法による）および水温（水銀水温計による）を測定した。

結果および考察

淡水赤潮中においたアユの生存時間および測定条件を表1に示した。

試験中のpHは経時的に低下する傾向を示したものの、試験期間を通じて6.89～7.91の範囲にあった。水温は18.5～20.5℃の範囲にあった。これらの値はともに、アユにとって不適な値ではない。DOはpHと同様に経時的な低下傾向を示し、その低下率は試験区よりも対照

表1 照明下および遮光下においた淡水赤潮中に収容したアユの生存時間および測定条件

試験条件	区	ウログレナ濃度 (クロロフィルaで)	アユ尾数 / 水量	アユ体重 g $\pm$ S.D.	pH		DO		水 温		生存時間 分 $\pm$ S.D.	備 考
					開始時	終了時*	開始時	終了時*	開始時	終了時*		
		mg/l		g			%		℃		min	
1	照 明	対照区	0	1.0 $\pm$ 0.5	7.78	→ 6.89	118	→ 27	19.8	→ 20.5	> 280	280 min内に死亡なし
	(5100 1%)	試験区	242	1.5 $\pm$ 0.8	7.68	→ 7.22	124	→ 73	19.8	→ 20.5	187 $\pm$ 101	
			3尾/1ℓ									
	遮 光	対照区	0	1.3 $\pm$ 0.6	7.91	→ 6.98	116	→ 80	19.0	→ 19.5	> 280	280 min内に死亡なし
	(0 1%)	試験区	242	1.2 $\pm$ 0.2	7.60	→ 6.98	106	→ 82	19.0	→ 19.5	< 60	60 min内にすべて死亡
2	照 明	対照区	0	2.6 $\pm$ 1.1	7.50	→ 7.35	108	→ 59	18.5	→ 19.0	> 1440	1440 min内に死亡なし
	(1510 1%)	試験区	410	2.3 $\pm$ 0.8	7.49	→ 7.29	83	→ 61	18.5	→ 19.0	60.6 $\pm$ 12.1	
			10尾/20ℓ									
	遮 光	対照区	0	2.6 $\pm$ 0.7	7.61	→ 7.17	108	→ 58	18.5	→ 19.0	> 1440	1440 min内に死亡なし
	(0 1%)	試験区	410	2.3 $\pm$ 0.5	7.51	→ 7.15	83	→ 57	18.5	→ 19.0	48.2 $\pm$ 12.4	

*：終了時とは、試験区の魚がすべて死亡した時点进行う。

区の方が大きかった。それは対照区のアユは試験終了時まですべて生存したため、のべ酸素消費量が多かったのに対し、試験区では順次死亡していったので、のべ酸素消費量が少なかったためであろう。

淡水赤潮中においた供試魚の生存時間は、試験1では照明下で187 $\pm$ 101 min. (平均 $\pm$ 標準偏差、以下同様)、遮光下で48.2 $\pm$ 12.4 min. であり、照明下におくよりも遮光下においた方が短かった。この原因として、①遮光下においたウログレナの毒性が照明下においたものよりも増強したこと、および②供試前、昼光下で飼育されていた供試魚を、明から暗へ馴致することなく直ちに遮光した試験水中へ収容したため、それがストレスとなりアユの生存時間が短縮したことの二つが考えられる。しかし、後述するように、24時間LC₅₀というような、この実験よりもさらに長い時間をかけた実験においても、同じ傾向がみられたことから、明から暗への急変に起因する短期的なストレスの影響は、この致死作用に関して大きなウェイトを占めないであろう。したがってウログレナの毒性は、照明下よりも遮光下、換言すれば昼間よりも夜間の方が増強すると考えられる。

II. 淡水赤潮のろ液の毒性

ウログレナの魚毒成分の主体は、ウログレナから分泌されるある種の脂肪酸である²⁾といわれており、水中からウログレナ自体を除去しても、ウログレナが浮遊していた水自体が毒化することが懸念される。そこで淡水赤潮をろ過し、そのろ液のアユに対する毒性を調べた。

材料および方法

供試プランクトン Iと同様の方法で、彦根市沖琵琶湖

から1984年5月24日および同月25日に採集したウログレナを採集直後に供試した。

供試魚 Iで述べたアユを供試した。

方法 採集した淡水赤潮を5 Bフィルターでろ過後、0.45 μ mメンブランフィルターで再ろ過して得たろ液および未ろ過の淡水赤潮、ならびにウログレナがみられなかった水域の琵琶湖水を、それぞれ1ℓビーカーに300 mlずつ注入し、十分に曝気を行ったのち、それらの中へ供試魚を2尾ずつ収容して生存時間を測定した。供試水のpH、DO、水温はIと同様の方法で試験開始時にのみ測定した。

結果および考察

測定されたアユの生存時間および測定条件を表2に示した。この試験は異なった濃度の淡水赤潮を用いて2回実施した。2回の試験とも、対照としてウログレナが存在しない水域の琵琶湖水を用い、その中へアユを収容したところ、24時間が経過しても死亡はみられなかった。しかし、淡水赤潮およびそのろ液中に収容したアユは、2回の試験において、ろ液中に収容したアユの方が生存時間が長かったものの、ともに2時間以内にすべて死亡するという結果を得た。

このことから、ウログレナ自体が存在しない場合でもアユは死亡することが明らかとなった。その原因として、環境水中へウログレナが毒性物質を分泌したこと、およびろ過操作によってウログレナの群体あるいは細胞が壊れ、群体内あるいは細胞内に保有されていた有毒物質がろ液中へ混入したことが考えられる。

表2 淡水赤潮およびそのろ液中においたアユの生存時間および測定条件

試験	供試水	ウログレナ濃度 (クロロフィルaで)	アユ体重		pH*	DO*	水温*	生存時間(平均)	
		$\mu\text{g}/\ell$	g			%	℃	min	
1	琵琶湖水	0	1.6	1.6	—	100	22	斃死せず**	
	淡水赤潮	410	1.0	2.2	—	100	22	29	32 (30.5)
	淡水赤潮ろ液	0***	1.4	1.7	—	100	22	64	100 (82.0)
2	琵琶湖水	0	1.9	2.8	6.90	100	21	斃死せず**	
	淡水赤潮	333	1.2	3.0	7.05	100	21	32	37 (34.5)
	淡水赤潮ろ液	0****	2.4	3.0	6.89	100	21	72	119 (95.5)

* ; 試験開始時の測定値

** ; 24時間後も斃死せず

*** ; ろ過前は $410 \mu\text{g}/\ell$ **** ; " $333 \mu\text{g}/\ell$

— ; 欠測

天然水域においても、ウログレナの群体あるいは細胞は常時壊れていると考えられるため、上記したいずれの原因によってでも、琵琶湖内においては赤潮水域のみならず、その周辺水域の水も有毒化することが懸念される。

Ⅲ. アユに対するウログレナの半数致死濃度

ウログレナの毒性の程度を知るため、アユに対するウログレナの半数致死濃度を測定した。

材料および方法

供試プランクトン Iと同様の方法で、彦根市沖琵琶湖から1984年5月24日に採集したウログレナを供試した。

供試魚 Iで述べたアユを供試した。

方法 採集した淡水赤潮をウログレナを含まない湖水で希釈して、ウログレナ濃度がクロロフィルaで0、51、103、205、 $410 \mu\text{g}/\ell$ になるように試験液を調製し、それらの液を20ℓずつガラス製水槽(600×295×360mm)に注入して試験区とした。これらの試験区はA、B2列設けた。次に各水槽を $19 \pm 1^\circ\text{C}$ のウォーターバス内に設置して、A列は蛍光灯で水面上方から照明(水面の照度は $1510 \ell\text{x}$)し、B列はアルミホイルで水槽全体を覆って完全に遮光したまま75分間放置した。その最後の15分間のみ通気を行ったうえで、各水槽に供試魚を10尾ずつ収容し、24時間後にその斃死率を調べ、DOUDOROFFの作図法⁵⁾によって LC_{50} を推定した。供試魚の斃死は、ガラス棒で尾部に接触刺激を加えても反応を示さないことで判定した。また試験中の水質変化を知るため、試験

開始時と終了時に、pH、DO、水温をIと同様の方法で測定した。

結果および考察

試験中の水質、供試魚の体重および測定された LC_{50} を表3に示した。またウログレナの濃度(クロロフィルaで表示)と供試魚の斃死率との関係を1図に示した。表3の LC_{50} は図1から推定した。

pHはA—B列間、各区間および試験開始時—終了時間で差はなく、7.10~7.65の範囲にあった。DOは供試水を試験開始時に十分に曝気したため、試験開始時にはすべての区で飽和状態にあったが、試験終了時にはすべての区で低下し、最低値は39%であった。DOをA—B列間または各区間で比較した場合、明確な差は認められなかった。

A列は照明下にあるため、ウログレナの炭酸同化作用によってpHおよびDOが上昇し、B列では逆に遮光下にあるため、炭酸同化作用が停止し、ウログレナの呼吸による O_2 消費や CO_2 放出によってpHおよびDOが低下し、その傾向はウログレナ濃度が高い程著しくなるものと思われていたが、実際には、上記したようにpH、DOとも列間あるいは区間で大差がなかったことから、列間および区間で供試魚の斃死率を比較する場合、pHおよびDOは考慮しなくてもよいものと判断された。

測定された24時間 LC_{50} は、照明下($1510 \ell\text{x}$)では 69.7 クロロフィルa $\mu\text{g}/\ell$ 、遮光下($0 \ell\text{x}$)では 51.0 クロロフィルa $\mu\text{g}/\ell$ 未満であり、照明下よりも遮光下の方が低い濃度であった。このような差があらわれたのは、遮光によりウログレナの毒性が増強したためであろう。暗条件下ではウログレナからの毒物の分泌が促進

表3 アユに対するウログレナ LC₅₀ 測定結果

列	照度区	ウログレナ濃度 (クロロフィルaで) μg/l	pH		DO		水温		アユ体重 g ± S.D.	24hr LC ₅₀ (クロロフィルaで) μg/l
			開始時	終了時	開始時	終了時	開始時	終了時		
			°C		%		°C			
A	1510	1	0	7.50 → 7.35	100 → 62		18.5 → 19.5		3.2 ± 1.4	69.7
		2	51	7.50 → 7.33	100 → 70		18.5 → 19.5		3.5 ± 1.3	
		3	103	7.50 → 7.21	100 → 70		18.5 → 19.5		2.9 ± 0.9	
		4	205	7.51 → 7.30	100 → 69		18.5 → 19.5		3.3 ± 1.8	
		5	410	7.49 → 7.29	100 → 57		18.5 → 19.5		3.1 ± 1.6	
B	0	1	0	7.61 → 7.17	100 → 49		18.5 → 19.5		3.3 ± 1.2	< 51
		2	51	7.65 → 7.10	100 → 39		18.5 → 19.5		3.0 ± 1.1	
		3	103	7.65 → 7.11	100 → 71		18.5 → 19.5		3.1 ± 1.3	
		4	205	7.53 → 7.14	100 → 55		18.5 → 19.5		3.5 ± 0.7	
		5	410	7.51 → 7.15	100 → 61		18.5 → 19.5		3.4 ± 1.5	

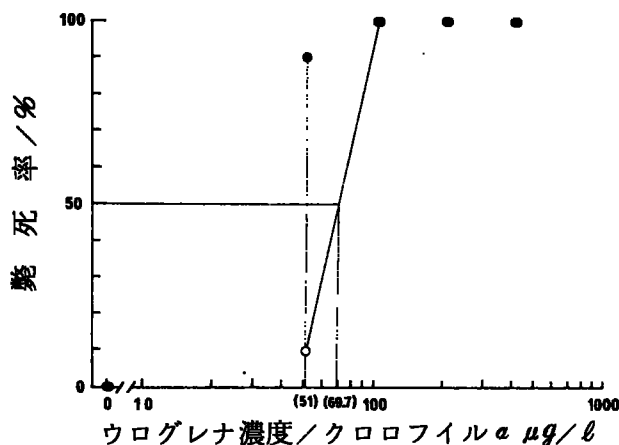


図1 ウログレナ濃度とアユの24時間死亡率との関係

○印は照明 (1510 lx) 下, ●印は遮光 (0 lx) 下で測定。各濃度につきアユを10尾ずつ供試。

されるのではなからうか。さらに、このことはウログレナの昼夜間の垂直移動とも関係しているのではなからうか。

ウログレナは正常な状態では群体を形成する。群体中のウログレナの個体数は水域や時期などによって異なるが、1984年5月19日に彦根市沖琵琶湖で採集した群体は、クロロフィルa 1 μg/l 当り1.44群体/mlであった。この値を用いて、24時間 LC₅₀ を群体数に変換すると、照明下では100群体/ml、遮光下では73群体/ml未満となる。一般に赤潮状態を呈するのは300群体/ml以上⁷⁾といわれており、これらのことから赤潮とまで発達しないウログレナによってもアユの斃死は起

こると思われる。

IV. アユに対するウログレナの分解物の毒性

淡水赤潮中においたアユは短時間内に斃死することはすでに述べたが、その赤潮を形成するウログレナが死に、それが分解された場合、毒性はどのように変化するのであろうか。ここでは淡水赤潮の分解物の毒性について報告する。

材料および方法

供試水 IIIの実験終了後、供試魚をすべて取り上げ、A列は照明 (1510 lx)、B列は遮光 (0 lx) 状態のまま19±1°Cに保って通気を行わず8日間放置した。9日目に各試験水を検鏡したところ、ウログレナは存在せず、この8日間にウログレナは死に、分解されたことが確認された。また9日目のDOは、A列で45~100%、B列で23~99%であったことから、分解は好氣的に行われたものと思われた。

この分解液を十分に曝気したのち供試した。

供試魚 Iで述べたアユを供試した。

方法 各分解液中へ供試魚を10尾ずつ収容し、IIIで述べたのと同じ条件、方法で24時間後の供試魚の斃死率および水質を調べた。

結果および考察

試験中の水質、供試魚の体重および斃死率を表4に示した。

表4 アユに対する淡水赤潮の分解物の毒性試験結果

列	照度区	ウログレナ濃度* (クロロフィルaで)	pH		DO		水温		アユ体重 $\bar{x} \pm S.D.$	24時間死亡率**
			開始時	終了時	開始時	終了時	開始時	終了時		
		$\mu g/l$				%		℃	g	%
A	1510	0	7.51	→ 6.97	101	→ 39	20.0	→ 19.8	3.1 ± 0.4	0
		51	7.53	→ 6.90	103	→ 32	20.0	→ 19.8	2.9 ± 0.6	0
		103	7.50	→ 6.91	102	→ 25	20.0	→ 19.8	3.2 ± 0.8	0
		205	7.54	→ 6.98	103	→ 28	20.0	→ 19.8	2.6 ± 1.1	0
		410	7.52	→ 6.98	101	→ 25	20.0	→ 19.8	3.5 ± 0.6	10
B	0	0	7.24	→ 6.90	105	→ 53	20.0	→ 19.8	3.0 ± 1.1	0
		51	7.35	→ 6.90	104	→ 44	20.0	→ 19.8	3.1 ± 1.0	0
		103	7.41	→ 6.97	102	→ 44	20.0	→ 19.8	3.0 ± 1.0	0
		205	7.48	→ 6.98	101	→ 47	20.0	→ 19.8	3.4 ± 1.4	0
		410	7.49	→ 6.98	102	→ 29	20.0	→ 19.8	3.0 ± 1.4	0

* ; 分解前濃度を表示

** ; 供試尾数10尾/区

各区とも試験中に pH は低下したが、A-B列間および各区间で、その低下率には差がみられなかった。DO も各区とも低下し、分解前のウログレナ濃度が高いとその低下率は大きかったものの、A-B列間では差は認められなかった。

供試魚を収容した24時間後の死亡率は、A列5区で10%であった以外はすべて0%であった。A列5区のDOは、試験終了後に25%と低く、また供試魚の鰓蓋運動の振幅が大きく⁹⁾、酸素欠乏状態にあることが観察されたため、この区の死亡率は、ウログレナの分解物の毒性によるのではなく、窒息によるものと考えられた。

以上のことから、ウログレナの分解物には、その分解中の光の有無および死亡率測定時の光の有無によらず、intactなウログレナでみられたような毒性はないといえよう。

V. アユによるウログレナの忌避

すでに述べたようにウログレナは魚毒性を呈するが、今日までこの赤潮による琵琶湖内での魚類の死亡率報告はない。これは、魚が赤潮塊を回避するためであろう。魚が赤潮を回避するには、まず第一に、魚が赤潮を知覚できなければならない。そして、赤潮の忌避が起り、回避へとつながるのである。ここでは、アユが赤潮を知覚でき、忌避するか否かを調べたので報告する。

材料および方法

供試プランクトン Iと同様の方法で、彦根市沖琵琶湖から1984年5月23日に採集したウログレナを、地下水(1:20)で希釈して供試した。採集した淡水赤潮のウログレナ濃度は、クロロフィルaで474.4 $\mu g/l$ であったから、地下水で希釈して調製した試験水のウログレナ濃度は、クロロフィルaで22.6 $\mu g/l$ となる。

供試魚 Iで述べたアユを供試した。

試験装置 日高らの忌避試験法⁹⁾を参考に、図2に示した装置を製作し、忌避試験を行った。この装置は定流量供試水供給部(A)、2種類の供試水を平行に流す整流部(B)、供試魚収容部(C)および供試魚収容部直下に設置された供試魚の滞在位置検知・記録部(D)からなる。Aによって試験水および対照水は同量ずつ、Bの左右任意の側へ注入される。注入された水はBおよびCに設けられた多数の小孔を通過して整流され、Cの中央部で明確な境界を形成した平行流となり、Bの下流側末端から排出される。Cにはアユが1尾収容されており、アユはCの左、右どちらの側にいるかは、Dを介して、時間軸とともにペンレコーダーに記録される。この記録から供試アユは、試験水を忌避するか否かを知ることができる。

図2に示した装置のそれぞれの部分の詳細については、次に述べる。

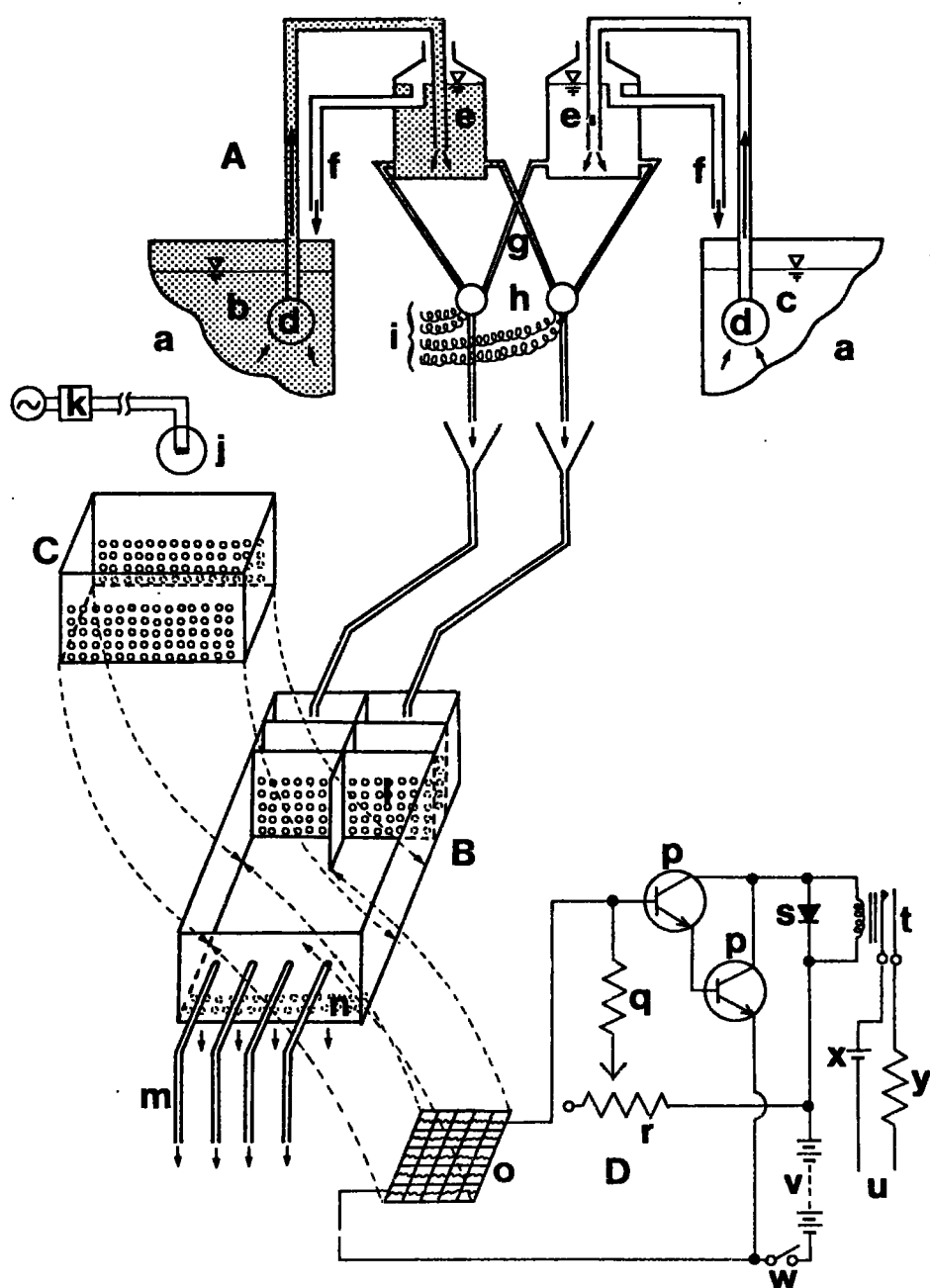


図2 忌避試験装置

A ; 定流量供試水供給部 B ; 整流部
 C ; 供試魚収容部
 D ; 供試魚滞在位置検知・記録部
 a ; 貯水タンク (硬質塩ビ製, 1 t)
 b ; 試験水 C ; 対照水 d ; 揚水ポンプ
 e ; 定水頭タンク (PE製, 5 ℓ)
 f ; オーバーフロー
 g ; ビニール管 (φ 7 mm)
 h ; 三方電磁バルブ
 i ; リモコンスイッチへ
 j ; 100 W 白熱電球 k ; スライドダック

l ; 整流板
 m ; オーバーフロー (φ 7 mm ビニール管)
 n ; 排水口 o ; CdS 光導電セル
 p ; トランジスタ (2 SC372-0)
 q ; 抵抗 (5 kΩ)
 r ; 可変抵抗 (500 kΩ VR)
 s ; ダイオード (SD46) t ; リレー (9V)
 u ; ペンレコーダーへ入力 v ; 9 V
 w ; スイッチ x ; 1.5 V
 y ; 抵抗 (5 kΩ)

(A. 定流量供試水供給部) 左右1組ずつよりなる。貯水タンク(a)中の供試水は、水中ポンプ(d)によって高所に設置された定水頭タンク(e)へ汲み上げられる。オーバーフローにより常に一定の水頭に維持された供試水は、定水頭タンク(e)の下部から導かれた2組ずつのビニール管(g)を通して流下する。この時、その先方に設けられた電磁バルブ(h)が開いていればそのまま流下し、常に一定量が整流部(B)へと注入される。電磁バルブが閉まっていれば、供試水は流下しない。図2からわかるように、左右の電磁バルブのスイッチを遠方から操作することによって、Bの左側または右側へ任意の供試水を同量ずつ注入することができる。もちろん左右へ同じ供試水を同時に注入することも可能である。本試験では、供試水の注入量をすべて1600mlに調整した。

(B. 整流部) 側面は厚さ5mmの青色不透明アクリル板、底面は厚さ5mmの無色透明アクリル板からなる。図2に示したように、下流部分には供試魚収容部(C)が

収納できるようになっている。上流部分には直径3mmの穴を底から40mmの高さまで8×20個あけた整流板が2枚設けられており、それらの中央部には、左右の水が混同しないように隔壁が付けられている。これらの整流板によってAから供給された水は、C中で左右混合することなく、その中央線上で明確な境界を形成しながら流下し、B下流末端のオーバーフローパイプ(m)と底面の排水口(h)から排出される。

(C. 供試魚収容部) 側面は厚さ5mmの青色不透明アクリル板、底面は厚さ5mmの無色透明アクリル板からなる。内寸は130×90×85mmである。上流と下流側の2面には、直径3mmの穴が底から高さ40mmまで7×20個ずつあけられている。この供試魚収容部を20個製作し、その中へアユを1尾ずつ収容したまま図3に示した馴致装置内に一晩置き、翌日、乱数表に従って一つずつ選び出し、Bに収納して試験を開始した。なお、供試魚収容部を移す時には、穴のあいた2面を厚さ1mmのアクリル板2枚ではさみ、内部の水の流出を防いだ。

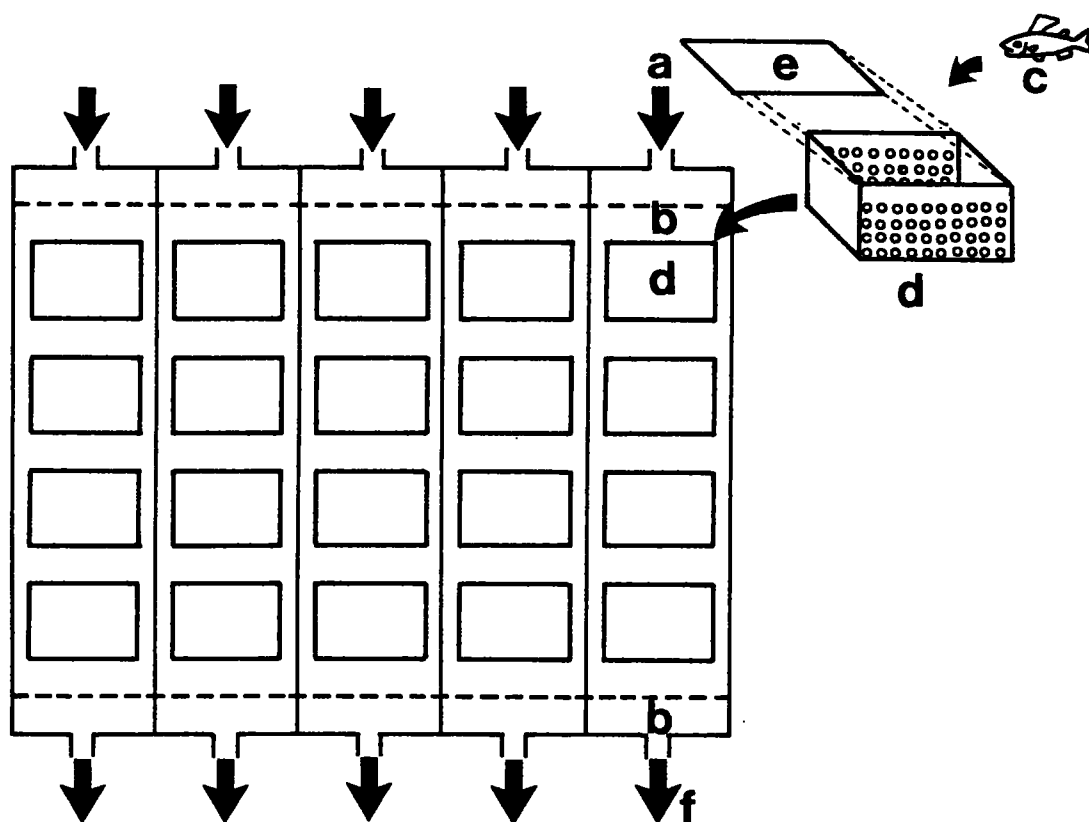


図3 供試魚馴致装置

- a ; 地下水供給
- b ; 整流板
- c ; 供試魚
- d ; 供試魚収容部 (図2 参照)
- e ; 5mm無色透明アクリル板 (供試魚の飛び出し防止)
- f ; 排水

(D. 供試魚滞在位置検知・記録部) Cの直下、右半分にCdS光導電セル(以下、セルという)が敷きつめられてあり、C中央上方には100W白熱電球が設置されてある。供試魚がC右半分側、つまりセル上に来た時、このセルへの光がされぎられ、セルの電気抵抗が増大する。その電気抵抗の変化に伴う電流の変化を、ダーリントン回路によって増幅し、リレーを作動させる。このリレーのON・OFFをペンレコーダーに時間軸とともに描記させると、経過時間と魚が滞在するサイドを記録できる。なお、スライダック(k)で電圧を一定値まで上げ、白熱電球の照度を一定化させたのち、供試魚の魚体のちょうど半分がセル上にかかった時にはじめてリレーが作動するように、あらかじめ可変抵抗(r)を調整しなければならない。

方法 次の手順で忌避試験を実施した。

- ①試験前日に馴致装置内に設置した供試魚収容部に供試魚(体重2.7~5.6g)を1尾ずつ入れ一晚馴致する。
- ②整流部に、左右とも対照水(地下水:ウログレナを含まない湖水=20:1)を1600mlずつ供給する。
- ③乱数表に従って馴致装置内から供試魚収容部を1つ選び出し、整流部に収納する。
- ④スライダックをゆっくりと90Vまで上げ、供試魚収容部上の白熱電球を点灯する。
- ⑤10分間、供試魚を慣らす。
- ⑥10分後に電磁バルブのリモートコントロールスイッチを操作して、供試魚収容部の一方の側へは対照水、他方の側へは試験水(地下水:淡水赤潮=20:1)を供給する。いずれの側へ試験水を流すかは乱数表に従う。ブランクテストにおいては、両側へ対照水を流す。
- ⑦この10分間のうち、後半の5分間の魚の動きを記録する。

結果および考察

ブランクテストの結果および装置の検討 ブランクテストとして供試魚収容部の両側へ対照水を流した時の一方(上流に向かって左側)にアユが滞在した時間を異なった魚を用いて13回測定し、その滞在率((5分のうち左側に滞在した積算時間;分÷5分)×100)の度数分布を図4に示した。この分布はほぼ正規分布するように思われたので、正規性の検定を正規確率紙を用いて行くと、図5にみられるようにプロットがほぼ一直線上に並び、正規分布であると判断された。しかも、この正規確率紙上ではその平均値はほぼ50% (算術平均は49.7%)であった。したがって、供試魚収容部の両側へ同じ水を流した時、その中においたアユは両側に同じ確率で滞在することが明らかとなり、この装置の一方から試験水を

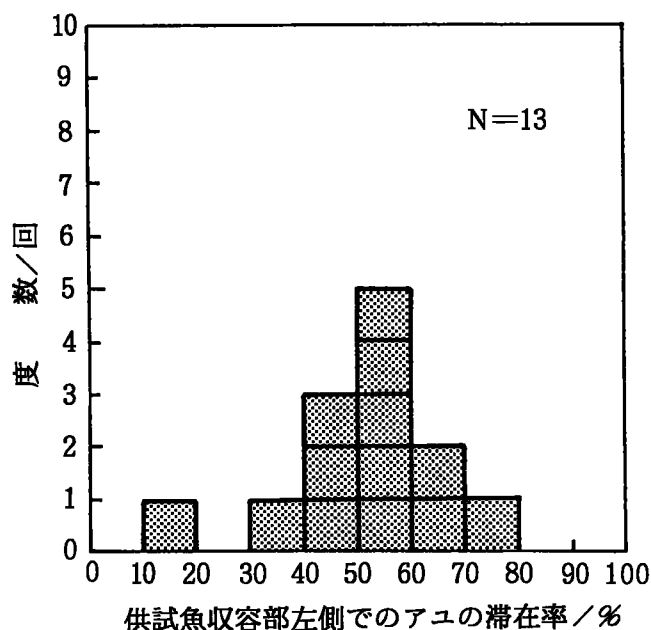


図4 ブランクテストにおける供試魚収容部左側でのアユの滞在率の度数分布図

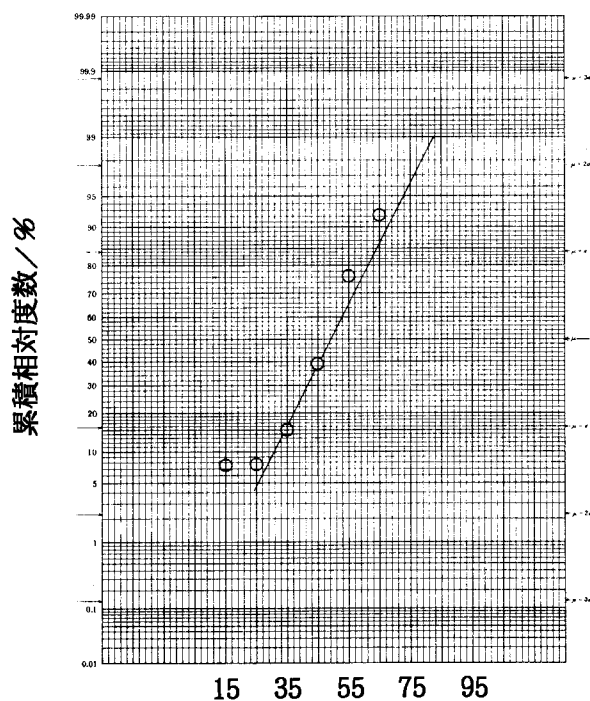


図5 供試魚収容部左側におけるアユの滞在率と累積相対度数との関係 正規確率紙上へプロット

流すことによって、アユはその試験水を忌避するか否かを知ることができると判断した。

本試験の結果および考察 本試験として、試験水(ウログレナ濃度はクロロフィルaで22.6μg/l)および対

表5 アユを用いた淡水赤潮忌避試験結果

項 目	滞在率 ($\bar{x} \pm S.D.$)	試行回数
ブランクテストにおける供試魚収容部左側でのアユの滞在率	49.7 $\pm$ 13.9	13
本試験における淡水赤潮側でのアユの滞在率	26.7 $\pm$ 16.4	13

照水を用いて、試験水側でのアユの滞在率（（5分間のうち試験水側に滞在した積算時間；分÷5分）×100）を求めた。これを異なった供試魚を用いて13回繰り返し、その結果とブランクテストの結果をあわせて表5に示した。両滞在率を統計学的に検討した結果、t検定によって $\alpha < 0.01$ で有意差が認められた。したがって、この試験の条件下ではアユはウログレナを忌避するといえる。

この試験に用いた試験水には、ウログレナがクロロフィルaで22.6 $\mu\text{g}/\ell$ 含まれており、クロロフィルa 1 $\mu\text{g}/\ell$ はウログレナ1.44群体/ $\text{m}\ell$ に相当するとして群体数に変換すると32.5群体/ $\text{m}\ell$ となる。淡水赤潮の形成はウログレナ300群体/ $\text{m}\ell$ 以上といわれており⁷⁾、アユはその10分の1の濃度のウログレナですら忌避することが明らかとなった。したがって、天然水域においても、アユは赤潮または、赤潮にまで発達しないウログレナの群集を知覚し、回避できるものと思われる。

VI. 総括

琵琶湖で1977年以来、毎年5～6月にみられる黄色鞭毛藻ウログレナ（*Uroglena sp.*）による淡水赤潮のアユに対する影響を調べた。

照明下および遮光下においた淡水赤潮中にアユを収容したところ、その生存時間は照明下>遮光下であった。さらにアユに対するウログレナの24時間半数致死濃度（ LC_{50} ）を測定したところ、照明下（1510 $\ell \times$ ）では69.7クロロフィルa $\mu\text{g}/\ell$ であったが、遮光下では51.0クロロフィルa $\mu\text{g}/\ell$ 未満となった。したがってウログレナによる淡水赤潮の毒性は、照明下よりも遮光下、すなわち昼間よりも夜間の方が強いと考えられた。また、これらの LC_{50} はウログレナが赤潮を形成するよりも低い濃度であるため、赤潮とまで発達しないウログレナによってもアユの斃死が起こることが懸念された。

次に、淡水赤潮を0.45 μm メンブランフィルターでろ過し、そのろ液中にアユを収容したところ、短時間内にアユが斃死し、淡水赤潮のろ液も強い毒性を呈することが確認された。このことから、赤潮水域のみならず、そ

の周辺水域も有毒化するものと思われる。

さらにウログレナを好気条件下、8日間放置して分解させ、そこへアユを収容したところ、24時間後もウログレナ分解物の毒性によると思われる供試魚の斃死はみられなかった。したがってウログレナの分解物には生の時のような毒性はないものと思われる。

以上述べたように、生のウログレナは強い魚毒性を呈するのであるが、今日までのところ、琵琶湖内においてウログレナが原因となった魚類の斃死報告はない。そこで、ウログレナを含まない対照水とウログレナを含む試験水が中央で明確な境界を形成し、平行に流れる水槽中にアユを収容したところ、アユの試験水側の滞在率が低く、アユはウログレナを忌避することが判明した。したがって、天然水域において、アユは淡水赤潮を回避でき、琵琶湖中では淡水赤潮によるアユの斃死は起こらないものと思われる。しかし湖中網いけすや湖水を用いた池中養殖、蓄養を行うにあたっては、その水域あるいはその近接した水域のウログレナの量には十分に注意を払わなければならないであろう。

VII. 要約

- 1) 琵琶湖で発生したウログレナ（*Uroglena sp.*）による淡水赤潮が、アユにおよぼす影響について検討した。
- 2) 照明下および遮光下においた淡水赤潮中へアユを収容したところ、その生存時間は照明下より遮光下の方が短くなり、遮光によってウログレナの毒性が増強することが認められた。
- 3) アユに対するウログレナの LC_{50} は、照明下（1510 $\ell \times$ ）では69.7クロロフィルa $\mu\text{g}/\ell$ 、遮光下では51.0クロロフィルa $\mu\text{g}/\ell$ となり、赤潮を形成するに至らない低濃度のウログレナによっても、アユの斃死が起こることが確認された。
- 4) 淡水赤潮をろ過し、ウログレナを除いた水中にアユを収容したところ、短時間内にアユは斃死したため、淡水赤潮が発生した水域のみならず、その近接水域も

また有毒化することが懸念された。

- 5) ウログレナの好氣的分解液中へアユを収容したところ、それが原因と思われる斃死はみられず、ウログレナの分解物は生のときのような急性毒性を持たないことが確認された。
- 6) 忌避行動試験によって、アユはウログレナを忌避することが確認されたため、天然水域ではアユは淡水赤潮を回避でき、致死につながらないものと思われた。

VII. 文献

- 1) 中賢治 1980: 西の湖及び琵琶湖における赤潮現象発生の例(1972年～1977年)について, 滋水試研報 **33**, 23-36.
- 2) KAMIYA, H., K. NAKA AND K. HASHIMOTO 1978: Ichthyotoxicity of a Flagellata *Uroglena volvox*, *Bull Japan Soc Sci Fish*, **45**, 129.
- 3) 若林徹哉, 一瀬諭 1977: 1977年に琵琶湖で発生した赤潮について, 滋賀衛環セ所報, **13**, 163-164.
- 4) 吉田陽一 1981: ウログレナの走行性, 及び浮上・沈降性, びわ湖におけるプランクトンの異常発生機構に関する調査研究 告(びわ湖プランクトン異常発生調査団) 132-136.
- 5) JEFFERY, S.W. AND G.F. HUMPHERY 1975: New Spectrophotometric Equations for Determining Chlorophylls *a*, *b*, *c*₁ and *c*₂ in higher plants, algae and natural phytoplankton, *Biochem. Physiol (Pflanzen)*, **167**, 191-194.
- 6) DOUDOROFF, P., B.G. ANDERSON, G.E. BURDICK, P.S. GALTSEFF, W.B. HART, P. PATLICK, E.R. STRONG, F.W. SARBER AND W.M. VAN HORN 1951: Bio-assay Method for the Evaluation of Acute Toxicity of Industrial Wastes to Fish, *Sewage and Ind Wastes*, **23**, 1330.
- 7) 一瀬諭, 若林徹哉 1978: 1978年に琵琶湖で発生した赤潮の分布について, 滋賀衛環セ所報, **14**, 141-145.
- 8) HUGHES, G.M. AND G. SHELTON 1962: Respiratory mechanism, and their Nervous Control, in " *Advances in Comparative Physiology and Biochemistry* " (ed. by LOWENSTEIN, O.) Vol. **1**, 275-364.
- 9) 日高秀夫, 菅麻也子, 立川涼 1983: メダカによる化学薬剤の忌避試験法, 農化, **57**, 571-579.