

目 的

琵琶湖では、昭和52年の春以来、毎年、4月下旬から6月上旬にかけて、黄色鞭毛藻ウログレナ (*Uroglena* sp.) による淡水赤潮が発生している。この赤潮発生前の時期を重点的に、琵琶湖の水象、水質・プランクトン調査を行なうことにより、ウログレナが異常に大增殖する原因と年ごとの発生状況の特徴を明らかにし、赤潮発生防止対策の一助とすることを目的としている。

方 法

(1) 調査地点

琵琶湖北湖をほぼ東西に横断する線上、彦根港口から多景島を通り安曇川町舟木崎に至る間に定点を設け、定期観測を実施した。(図1)

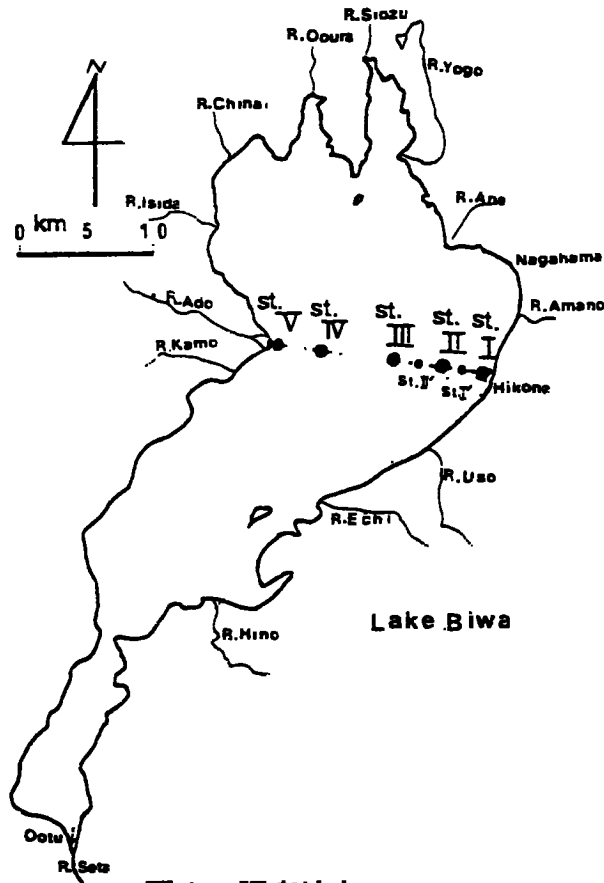


図1 調査地点

(2) 調査月日および調査回数

昭和59年4月16日から6月15日までの期間中、計13回実施。

実施月日は、

- ① 4月16日
- ② 23日
- ③ 25日

- ④ 5月 1日
- ⑤ 7日
- ⑥ 11日
- ⑦ 15日
- ⑧ 18日
- ⑨ 22日
- ⑩ 25日
- ⑪ 30日
- ⑫ 6月 6日
- ⑬ 15日

(3) 調査項目および方法

- 1) 気象：天候、雲量、気温、風向、風速
- 2) 水象：水温、透明度、水深、水色
- 3) 水質：pH、溶存酸素、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{HO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、Org-N、T-N、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、T-P、 SiO_2 、クロロフィル a 、全鉄、溶存鉄
- 4) プランクトン：ウログレナ群体数、その他の主要プランクトン種組成

結果と考察

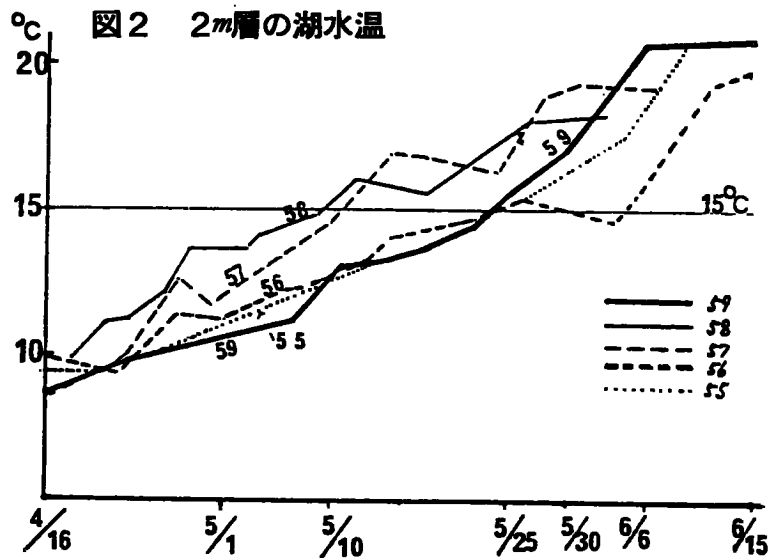
気象および水象観測結果、水質分析およびウログレナ群体数計測結果を付表1, 2に示した。

(1) 湖水温とウログレナの消長

観測開始4月16日から5月25日までの2m層の湖水温(各地点の平均値)は、図2におい

て太い実線で示したように、過去5ケ年のなかで最低水準で推移し、高目に変動した昨年(昭和58年)と比較すると、2~3℃低かった。

琵琶湖においてウログレナ赤潮の発生を見ているのは、今までの調査結果から、湖水温が15℃以上から20℃の範囲内であるが、今年の場合、この15℃ラインに湖水温が上昇、到達した調査日は5月22



日から25日にかけてであり、これは昭和55年、56年とほぼ同じ時期で、57、58年の5月10日前後と比して2週間ほど遅かった。

5月25日以降の湖水温は、今までの低水温状態から一転して急上昇した。このことは比較的短期的な気象状況（特に日射量）によって水温が決定されていく表層（2m層）での水温上昇結果であるが、一方、水温躍層以深の非生産層においては、例年になく低水温状態が続いていたことが今年の特徴として挙げられる。この原因として、冬期から初春にかけての厳冬、豪雪およびその雪融け水の流入といった比較的長期の気象状態の影響が、今年の夏期の深層部の水温にまで及んでいたことが考えられる。

表1に、過去5ケ年の2m層の平均水温の推移と、観測日間の水温差を観測間隔日数で除した値＝日間水温上昇度（単位：/日）をそれぞれ示した。

表1. 平均水温の推移と水温上昇度

観測月日 年 度	4 / 15	4 / 21	25	5 / 1	5	15	25	6 / 2				
	℃											
昭和59年	8.6	9.7	9.9	10.5	11.1	13.0	13.3	13.7	14.4	15.5	17.0	20.7
上昇度(/日)	0.16	0.1	0.1	0.1	0.48	0.08	0.13	0.18	0.37	0.3	0.53	
		*						**				
昭和58年	9.8	11.0	11.1	12.1	13.6	13.6	14.1	14.8	16.0	15.5	18.0	18.2
上昇度(/日)	0.40	0.05	0.33	0.75	0	0.50	0.14	0.40	-	0.28		
	*							**				
昭和57年	8.8	9.2	10.0	12.6	11.7	13.3	14.5	16.9	16.7	16.2	18.9	19.3
上昇度(/日)	0.08	0.27	0.65	-	0.23	0.30	0.48	-	-			
						*	**			**		
昭和56年		9.3	11.3	11.2	12.2	12.3	13.3	14.0	14.7	15.4		
上昇度(/日)		0.4	-	0.2	0.05	0.2	0.35	0.1	0.13			
		*				**						
昭和55年	8.9	9.3	10.7			12.5	13.7	15.5		17.1		
上昇度(/日)	0.07	0.16		0.14		0.20	0.20	0.23				
						*	**					

*：本調査ではじめてウログレナ出現を確認した時。

**：琵琶湖水域でウログレナ赤潮が発生した時。

注) □内の数字は、0.30以上の上昇度を示す。

注1)

これから、日間水温上昇度が0.30/日以上を示した機会が一回もなかった昭和55年に次いで、今年はその機会が少なかった年といえる。このことが後述する栄養塩濃度条件とともに、ウログレナの増殖が緩やかであり、ひきつづく赤潮発生時期も遅かった原因に挙げられる。

注1) 過去の調査結果から、ウログレナの初期増殖期(1ml中の群体数レベル0~100)において、日間水温上昇度が0.30/日以上あった機会にウログレナ群体数が飛躍的に増加することが判明している。

(但し、栄養条件が備わっているとす。)

各地点でのウログレナ群体数およびクロロフィルa量の変動を表2に示した。

表2. 各地点のウログレナ群体数とクロロフィルaの変動(2m層)

月日 地点	4/16	23	25	5/1	7	11	15	18	22	25	30	6/6
St.1	Ur*	3/100	4/100	1/100	1	2~3		4	20~30	3~10	<1	0
	Cha**	7.2	15.1	3.7	2.3	5.6		8.4	14.8	6.1	4.3	2.1
St.1'	Ur	3/100	8/100	4/100	1	1~2		5	1	12	5	0
	Cha	5.5	8.3	2.6	1.4	3.9		6.3	2.4	6.8	6.0	1.2
St.2	Ur		4/100	1/5	2~3	1/2		8	5	20	30	0
	Cha		2.3	1.8	3.4	1.0		8.3	6.8	8.5	7.1	1.5
St.2'	Ur		1/500	1/2	1/5	1/5		3	20	10	30	0
	Cha		1.4	1.6	1.1	1.1		4.2	14.9	4.7	14.1	1.4
St.3	Ur		1/500	1/5	1/5	1/5		1/5	13	30	10	0
	Cha		1.1	1.8	0.8	1.1		2.9	7.7	9.9	5.7	1.5

* 湖水中(ml)当りの群体数

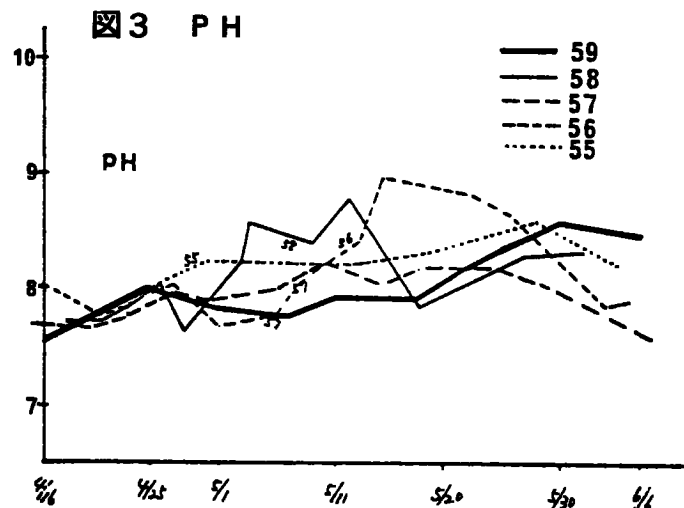
** mg/l

ウログレナは増殖最適水温が比較的低温域側にあるとされている。このためか、今年の場合（昭和54年とよく似ているが）、例年になく低温状態であったにもかかわらず、ウログレナの初出現が比較的早かった。4月23日の観測では強風のためSt.1とSt.1'の2地点しか調査できなかったが、ウログレナ群体は湖水100ml中に3個見られた。（この時の水温9.7℃）5月7日、11日のSt.1からSt.2にかけての水域で、1ml中1群体以上分布し（11.1～13.3℃）、15日、18日では、各地点とも1群体/ml以上分布（13.7～14.4℃）していた。

先に述べたように、湖水温が15℃ライン以上に達した観測日は5月22日から25日にかけてであり、この時点での群体数は10のオーダーになっていた。こうした一連のウログレナ増殖経過は、近年になく緩やかであったが、この原因として、15℃ラインに達するまでに要した日数が長く、ウログレナの増殖を刺激するという意味からの日射強度・量の不足、すなわち日間水温上昇度が低く推移したことが挙げられ、増殖したウログレナの集積、赤潮形成という段階での今年の特色として、湖水温の推移で述べたように、15℃から20℃に上昇するに要した日数が短かく、集積の基になるウログレナ群体数レベル（最大30群体/ml）も低かったことが挙げられ、このため、水域における赤潮の発生が小規模で短期間に終えんしたものと考えられる。

(2) PH

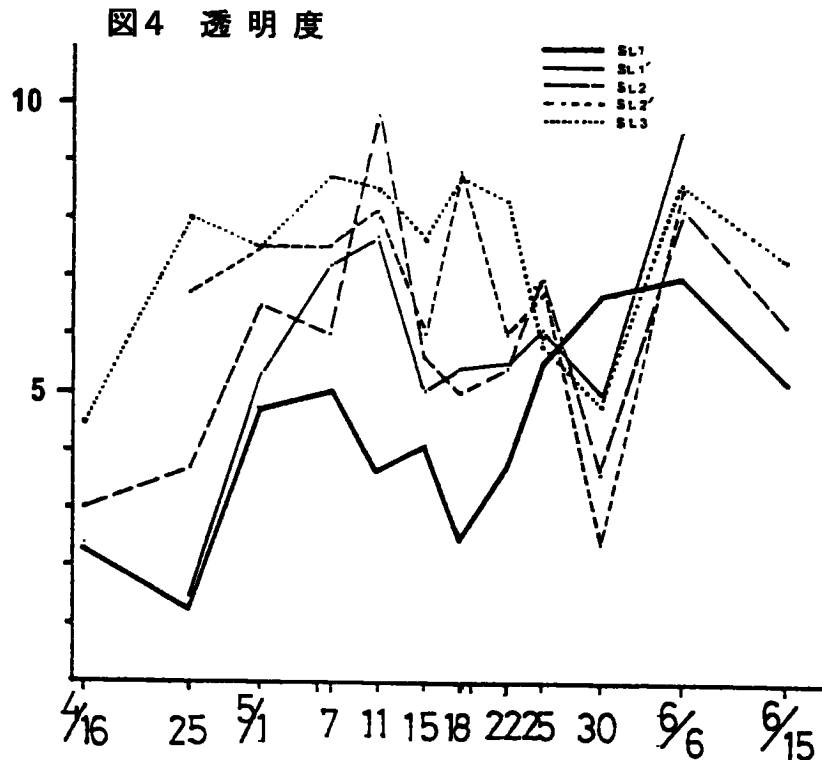
図3に示すように、調査開始時から5月18日に至る期間中のPH値は、7.5～8.0の範囲内での緩やかな変動結果を示し、ウログレナ群体数が1群体/ml以上になった5月18日以降は、8.0以上に上昇した。この経過は、今年の天候条件、特に日射量および湖水温、およびこれらに直接的に影響されるウログレナ増殖量（この時期の植物プランクトンとして優占種はウログレナである）が低く抑えられた結果に基づいていると考えられる。



(3) 透明度

図4に示すように、各地点の透明度は、観測開始時から5月7日にかけて徐々に上昇する傾向を示し、又、観測日毎に透明度分布を見てみると、湖岸から湖心部へと順次上昇していることがうかがえる。5月11日の観測時では、こういった透明度分布傾向に反して、岸寄りのSt.1で透明度低下をきたす一方で、その他の地点では依然として上昇傾向を維持してい

る。さらに次の観測日である5月15日になると、St.1以外の地点においても急激な透明度低下をみた。



この推移は、同月18日から22日にかけてもみられ、この現象は、一つに、流入負荷の増大（濁りをともなう）とその湖心部への拡散が考えられ、二つには、岸寄りの水域でウログレナの増殖が比較的著しく、引き続いて湖心部へとその増殖が波及することによると考えられる。こういった一連の時間的、空間的な透明度分布変化があった後の同月25日では、透明度が岸から湖心にかけて一様な分布を示し、この時点で、当観測水域一帯では、ウログレナの増殖段階がほぼ終了し（今年の場合、到達したウログレナ群体数レベルは10~30群体/mlと例年になく低目であった）、引き続き15℃以上の赤潮形成可能段階に入ったものと推察できる。このことを裏付けることとして、次の観測日である5月30日において、湖心部で著しい透明度低下が見られ、ウログレナが集積した結果を反映しているのに対し、St.1においては逆に上昇傾向があったことである。しかし、湖水温が20℃以上に上昇した6月6日時は、湖心部の地点で低下していた透明度も急速に回復をみて、この時点で、例年観測されるウログレナ消滅時の「水変り」現象があったことがうかがえた。

本調査における4月中旬から6月上旬にかけての透明度の一連の変化パターンは、年度毎に様々な様相を見せるが、ここで、その透明度を決定する内容について整理してみると次のようになる。まず、ウログレナ出現前やごく初期の増殖期における透明度の低下は、降雨後の流入負荷（濁りをともなうのが常である）と湖中への拡散分布に起因しており、^{注2)} 岸近

くの地点から順次沖合へと透明度低下が時空間的に波及するのが特徴である。さらに、ウログレナの増殖進行とともに、岸よりの地点では透明度の落ち込みから回復傾向を示し、調査水域一帯（全地点）で一様な透明度分布を呈する時期に移行し、この時点でウログレナの増殖が一応終了し、引き続き集積による赤潮形成可能段階に入る。この時、湖心部において著しい透明度低下が発生する。このウログレナ集積による赤潮形成は、到達した増殖現存量によってその規模、群体数等が決定されるが、第一義的には、湖水温 15°C 以上における天候条件（無風で晴天が続くこと）によってその発生の有無が決定される。しかし、湖水温が 20 以上になれば、ウログレナは消滅し、赤潮も発生しなくなる。

注 2) 濁水の拡散希釈された地点および時点でウログレナ増殖が著しいという結果が得られている。（昭和58年度本報告書）

(4) 栄養塩類等の変動

図5に2m層の窒素成分の変動を示した。観測開始4月16日から25日にかけてDINの急激な上昇がみられ、最高 0.32mg/l に達した。5月1日では 0.11mg/l に落ち込み、以降 0.10mg/l 前後の濃度レベルで終始した。ウログレナの増殖が比較的緩やかであった今年の場合、それを反映して、Org-Nは5月15日までは 0.10mg/l 前後で推移したが、以降、徐々に上昇し5月25日では 0.20mg/l に上昇した。DINとOrg-Nの濃度が上下逆転する時点は例年4月中にあるが、今年はほぼ5月15日頃であり遅かったといえる。（昭和57年：4月下旬、昭和58年：4月20日）

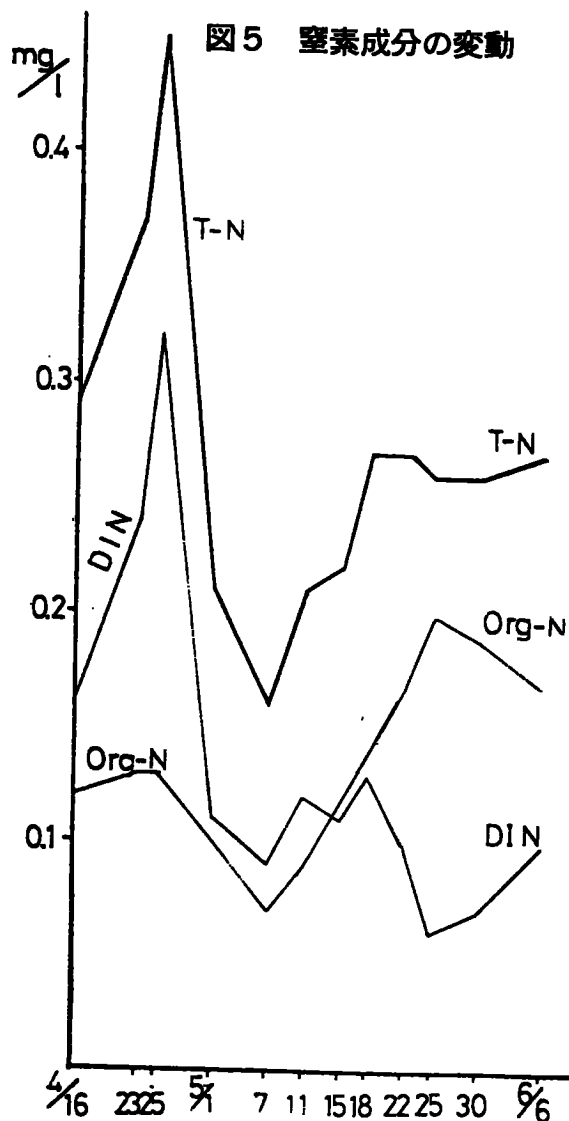


図6に過去5ケ年のDIN濃度変動の比較を示した。年によって変動パターンは一見様々であるが、今年のDIN変動の特色として、ウログレナの初期増殖期に極めて高いピークを示したことが挙げられる。このピークの位置する日付けは過去の傾向と比しておよそ10日程遅くずれているといえる。この高濃度ピーク以外は、ウログレナ増殖期、赤潮形成期においていずれも0.10 mg/l前後で終始し、昭和55年、56年、の0.20~0.30 mg/lと比して低い。昭和58年は過去5ケ年の調査のなかで最低水準であり、4月下旬以降0.10 mg/l以下のまま赤潮を形成しており、しかもその発生期間が短いことが特徴といえる。

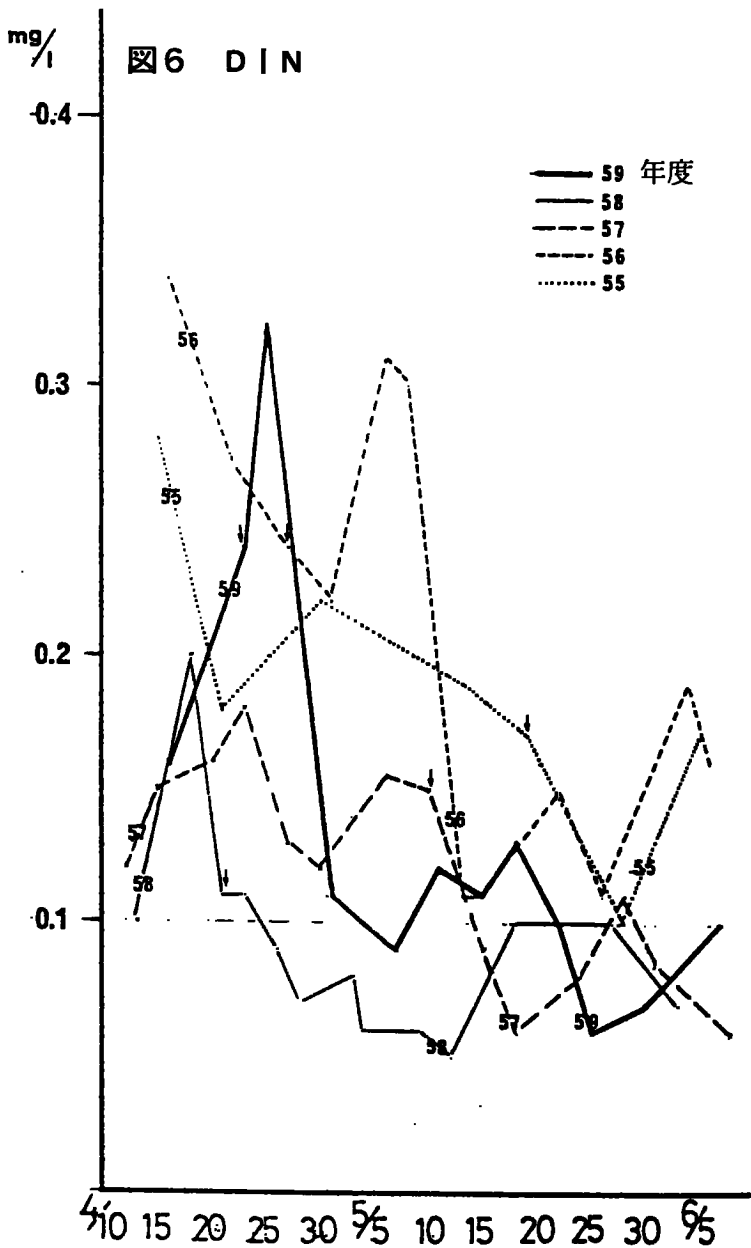


図6 DIN

これらのことをまとめてみると、ウログレナの増殖傾向は（赤潮発生も含んで）、気象・水象条件（特に日射・湖水温）はさしおき、この時期の栄養塩条件としてのDINレベルが年々低下することに影響され、ウログレナ赤潮発生規模も年々小さくなる傾向がうかがえる。

昨年報告した図7の赤潮発生模式図では、DINレベルのカーブが年々低い方へ位置してきていることを意味する。なお参考までに図8に、昭和52年から今年までの琵琶湖におけるウログレナ淡水赤潮発生状況を示した。

表3に、各地点における全鉄、溶存鉄濃度の変動を示した。これから、4月23日時点で全鉄、溶存鉄とも高い値が検出され、この調査日以前に高濃度の鉄の流入負荷があったことがうかがえた。過去の調査結果から、粒子態の成分の流入による高濃度化に引き続き、2、3日経過した後の観測時に溶存態成分（特にDIN成分）の濃度上昇がみられる傾向があり、今年のDINの高いピークもこのことから寄因しているものと考えられる。この鉄成分はウログ

レナの増殖を促進することがわかっており、このことが今年早くからウログレナが出現していた原因の一つに挙げられる。

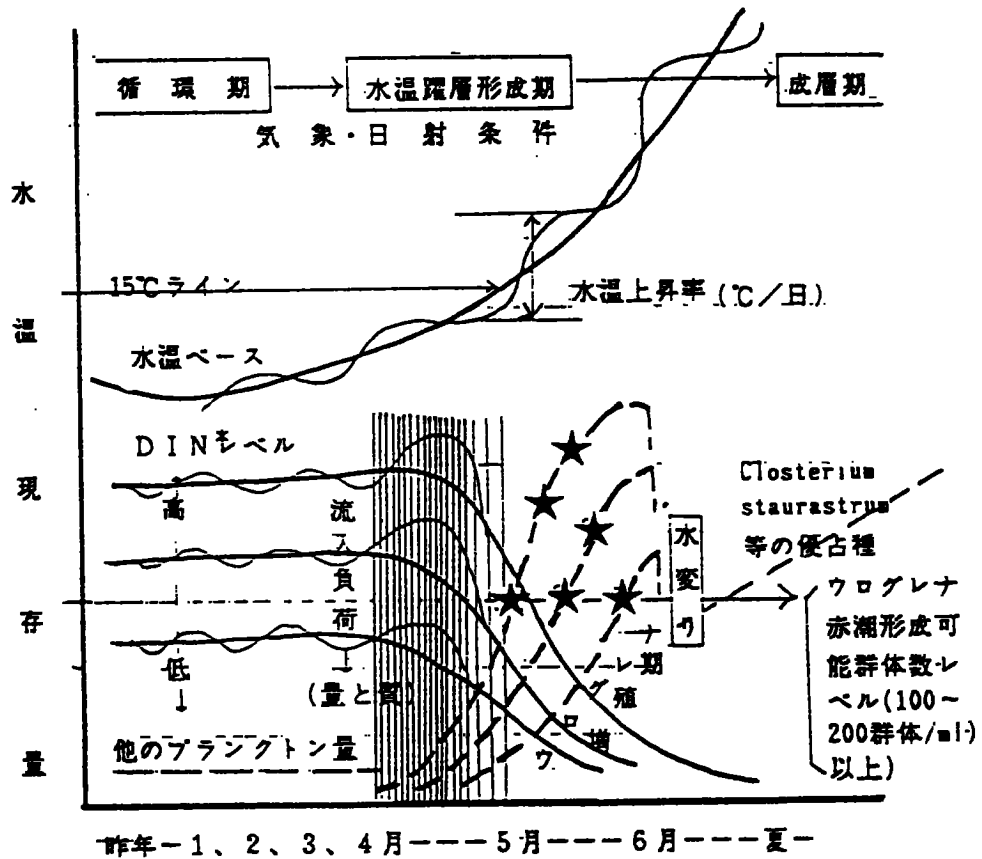


図7 琵琶湖におけるウログレナ増殖、赤潮発生過程の模式図

注) ★：赤潮発生 *DIN：溶存性無機態窒素

表3. 各地点におけるT-Fe, Sol-Feの変動(単位: $\mu\text{g}/\ell$)

観測月日 地点	4/23	4/25	5/1	5/7	5/11	5/18	5/22	5/25	5/30	6/6
St.1	162 13	19 1	5 1	8 1	11 7	15 0	4 0	5 1	3 0	5 0
St.1'	69 23	ND ND	4 1	4 0	4 1	4 0	3 0	4 0	2 0	2 0
St.2		5 0	3 0	5 0	2 1	6 0	3 0	5 1	3 0	2 0
St.2'		4 0	3 0	3 1	3 1	4 0	4 0	1 0	3 0	3 1
St.3		2 0	2 0	9 1	4 2	2 0	1 0	1 0	1 0	3 1

まとめ

- (1) 調査は4月16日から6月15日までの期間中、計13回実施した。
- (2) 湖水温は冬期から初春にかけての豪雪、融雪の影響を受け、例年になく低水温で推移した。湖水温が15℃に達したのは5月22日から25日にかけてであり、これは過去5ケ年で最も遅い時期であった。又、15℃から20℃までは短期日に達し、この間の水温上昇が著しかった。
- (3) 本調査でウログレナが最初に確認されたのは4月23日であった。今年は低水温にもかかわらず例年になく早く出現したことになり、年々早まる傾向がみられた。

4月23日以降のウログレナの増殖は緩やかに進行し、湖水1ml中に10群体のオーダに達するに1ヶ月程要し、5月22日以降ウログレナ集積段階に入った。これらのことは、湖水温の推移と良く符合した結果であった。

- (4) DINは4月23, 25日において極めて高い濃度ピークを形成していた。又、全鉄、溶存鉄ともこの時点で著しい高濃度を呈していたことから、4月23日以前に濃密な流入負荷と拡散があったことがうかがえ、ウログレナの早期出現を生じさせた可能性が考えられた。

しかし、この後のDIN成分は0.10mg/l前後の濃度で終始し、DINがOrg-Nより低い濃度に転換した時期は例年になく遅かった。

今年のウログレナの増殖状況は湖水温によって左右され、同時に、PH、透明度およびDIN-Org-Nの各変動にも反映されていたことがわかった。

- (5) 過去5ケ年の2m層の湖水温、日間水温上昇度、PH、DINおよびウログレナの増殖状態について比較検討を行なった。ウログレナの初出現した月日は年によって遅速があるが、これは湖水温の高低に依存せず、鉄成分を多く含む流入負荷によって左右されることが考えられる。初見え後のウログレナ増殖は湖水温、特に日間水温上昇度によって大きく影響を受け、琵琶湖では湖水温が15℃以上に上昇してから赤潮発生を見ているが、その時の発生規模、群体数(集積した数)は、15℃以前に増殖して到達したウログレナ増殖レベルでほぼ決定されることが、さらに、このレベルはこの期間中のDINレベル、負荷量によって決定されることがそれぞれ想定できた。

ウログレナ集積時期、すなわち赤潮発生時期は15℃から20℃の間にあり、20℃以上ではウログレナの消滅時期に入り、同時に急激な透明度良化と優占プランクトンの遷移をともなう「水変り」現象が毎年観測された。