

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、ウログレナ(*Uroglena* sp.)による淡水赤潮が多発する。この赤潮の発生前から発生時にかけて湖の環境調査を定期的に行なうことにより、ウログレナが異常に増殖する条件および原因を明らかにすることを目的とする。

方法

(1) 定期観測

① 調査地点

図1と表1に示す、琵琶湖主湖盆(北湖)の彦根港口から安曇川町舟木崎を結ぶ横断線上に定点を設け、定期観測を実施。



表1. 調査地点

図1. 調査地点

② 調査時期と調査回数

昭和58年4月13日から
6月16日まで計14回実施。
実施月日：4月13日, 18日
21日, 23日

St. 1	彦根港口から約 400 m	(水深 7.5~ 8.1 m)
St. 1'	St. 1 と St. 2 の中間点	(水深 9.7~11.2 m)
St. 2	彦根港口から約 3,200m	(水深 20.7~25.1 m)
St. 2'	St. 2 と St. 3 の中間点	(水深 29.6~34.0 m)
St. 3	彦根港口から約 6,200m	(水深 47.0~48.8 m)
St. 4	舟木崎から約 4,400 m	(水深 79.0~81.0 m)
St. 5	舟木崎から約 150m	(水深 6.0~ 7.8 m)

4月26日, 28日

5月3日, 4日, 9日, 12日, 18日, 27日

6月2日, 15日

③ 調査項目と方法

- 1) 気象・水象：天候、雲量、風向、風速、水温、水色、透明度、水深。
- 2) 水質：pH、溶存酸素濃度、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、(DIN)、Org-N、T-N、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、T-P、全鉄・溶存鉄、 SiO_2 、クロロフィル α 量
- 3) プランクトン：採水プランクトン（ウログレナ群体数、優占種の組成・数）

(2) 重点観測

① 調査地点

彦根市三津屋町宇曾川河口域（図1と図12-1～12-10）

② 調査時期と調査回数

昭和58年4月21日から5月12日まで計10回実施。

実施月日：4月21日, 23日, 25日, 26日, 27日, 28日

5月3日, 6日, 9日, 12日

③ 調査項目と方法

- 1) 気象・水象：天候、雲量、風向、風速、透明度、河川水の流入拡散状況（目視観測）、水温、（透視度）
- 2) 水質：PH、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、(DIN)、Org-N、T-N、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、T-P、全鉄・溶存鉄、 SiO_2 、クロロフィル α 量、SS
- 3) プランクトン：採水プランクトン（ウログレナ群体数、優占種の組成・数）

結果

(1) 定期観測結果

気象および水象観測結果、水質分析およびプランクトン計数結果を付表1.2に示した。

湖水温とpH

図2にSt.1からSt.3までの2m層の水温を平均した変動を示した。昨年と比較すると、昨年の水温の経過は、4月中は1昨年（昭和56年度）とほぼ同じ線上をたどり、5月に入ってから晴天が続き、1昨年と比して約2℃高かったが、今年では、さらに4月中も約2℃ほど高く推移した。

図3に、彦根地方の気温と湖水温との関連を示した。
 気温は上下変動しながら上昇する傾向を示し平年値より高いピークを形成しており、湖水温もこの気温上下変動に左右されながら上昇するのがうかがえた。

pHは、ウログレナの増殖が盛んであった5月3日から12日にかけて8.2~8.8と高く、降雨等による流入負荷があると8.0以下にさがる傾向を示した。(図3上、降雨後の観測日は、4月18日と5月18日であった。)

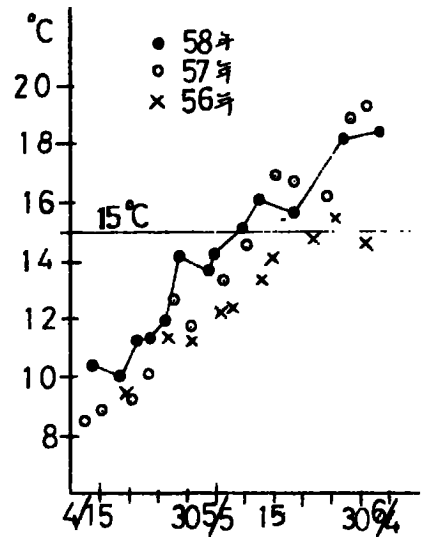


図2. 調査地点の平均水温変動

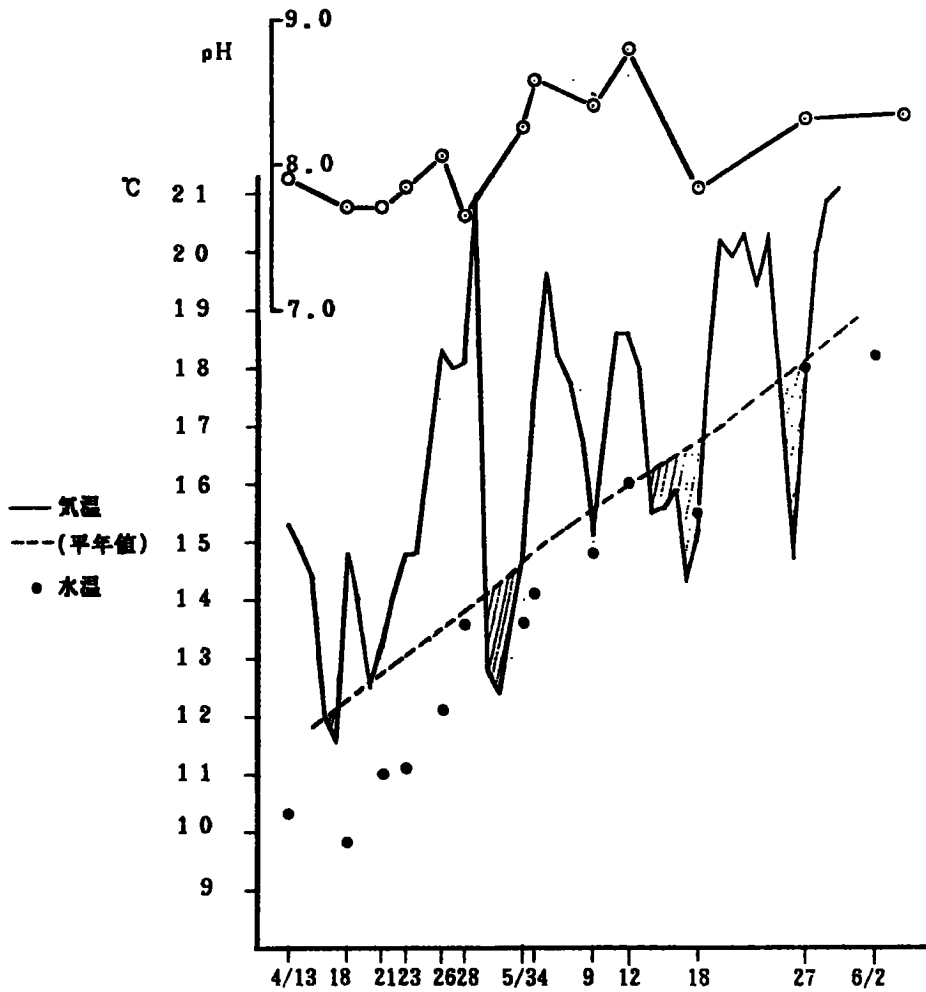


図3. 気温の上昇と水温変動、および pHの変動

ウログレナの消長と他の主要プランクトン

表 2 に、観測期間中の平均水温（2 m 層）、ウログレナ群体数等の変動を示した。

表 2. 観測期間中の水温、ウログレナ群体数およびクロステリウム量の変動

観測月日	4/13	4/18	4/21	4/23	4/26	4/28	5/3	5/4	5/9	5/12	5/18	5/27	6/2	6/16
平均水温℃*	10.3	9.8	11.0	11.1	12.1	13.6	13.6	14.1	14.8	16.0	15.5	18.0	18.2	
水温上昇℃/日	—	0.40	0.05	0.33**	0.75	0	0.50**	0.14	0.40**	—	0.28			
ウログレナ群体数 colonies/ml	0/1000	0/1000	1~3/1000	1~2/100	2~4/100	1~5/10	1~10	5~30	1~10	10~20	1≤	1~4	1~10	
クロステリウム cells/ml			30	40	30	20~30	40~50	40	50	50	70	100~200	200~300	400~

* St. 1~St. 3 の 2 m 層

** いずれも移動性高気圧におおわれた時

今年の調査で、ウログレナが採水湖中に最初に確認されたのは、4月21日であった。この時のウログレナ群体数は、湖水 1,000 ml 中 1~3 群体であり、水温範囲は 11.2~12.2℃であった。

その後の増殖経過は、表 2 に示すように、群体数増加が緩やかに進行し、5月12日調査時点で最大量に達した。この時の水温は 15.4~16.6℃で、群体数は平均 10~20 群体/ml (2 m 層に多く分布) であり、St. 1' と St. 2 間の 2 m 層付近において帯状 (岸と平行) 赤潮兆候を呈していた。又、重点観測によって東沿岸水域である薩摩から水試 (犬上川河口) を経て St. 1' にかけての 2 m 層付近においても群体数が 100/ml 以上のウログレナ集積層が分布していることが観察された。表 3. 表 4 で、この水域において同じ日に水深別に採水してウログレナ分布量をみた結果を示した。

表 3. ウログレナの垂直分布例 1.

水深 m	水温℃	ウログレナ群体数/ml
0	17.6	1/10
1		1/10~1/1
2	15.4	1/1 ~ 20/1
5	13.9	1/1
7.5		1/1 ~ 2/50
10	13.0	1/5 Zoopl.

採取地点：St. 3 透明度：4.2 m
採取日時：5月12日 am. 10:53 快晴

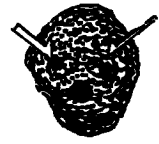
表 4. ウログレナの垂直分布例 2.

水深 m	水温℃	ウログレナ群体数/ml
0	18.3	1/10
1		1/10~1/1
2	16.8	100/1
3		15/1
4		15/1~10/1
5	14.0	

採取地点：磯田漁協エリ付近
採取月日：5月12日 pm. 0:21

(一方、琵琶湖全域からの情報によると、5月10日に湖南端の浜大津沖、5月11日に北湖東岸長浜沖、5月12日に北湖北端塩津・管浦において、それぞれウログレナによる赤潮発生をみた。)

ウログレナ群体の形態の特徴として、4月中の初期発生時では大型で丸型を呈しており、壊れやすく、時としてヒルガタワムシ (*Philodina* 属と思われるワムシ) が、このウログレナ群体内に入り込み内側からウログレナ細胞を摂食し群構造に大穴をあけ破壊し、次々に移動するのが観察された。(図の写真コピー) このワムシがウログレナ群体内に居る割合は、ウログレナ発生初期では、ほとんどのウログレナに入っている例が計数盤の一サンプルでみられた。



図：写真のコピー
ウログレナ群体中の
ヒルガタワムシ

5月に入ってから、ウログレナ群体数レベルが1群体/ ml 以上に増加し、形態においても、小型(200 μ 以下)で球形のものが比較的多く混在しはじめた。さらに、増殖が進行すると、不定形・多変形で黒く密に合体した群体も、5月4日調査時から出現した。図4に、

5月4日から12日にかけて採取(午前10時前後)したウログレナを午後4時頃に室内において観察した光への反応例の特徴を示した。

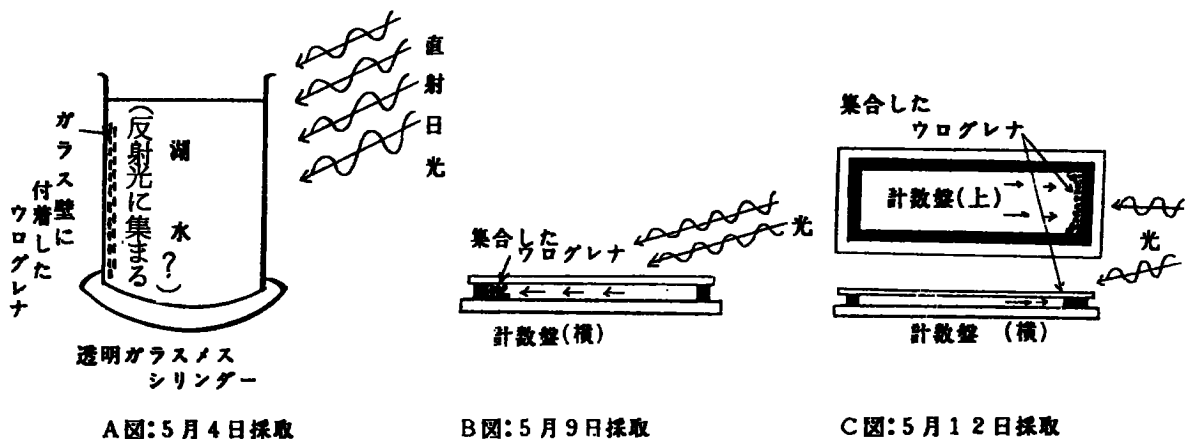


図4. ウログレナの光に対する反応例(観察時間は夕方)

今年の調査時期における植物プランクトンの発生の特色としては、4月早々から例年になく30~50細胞/ ml のミカゾキモ (*Closterium aciculare*) が認められ、この密度が以後継続して現存し、ウログレナの増殖盛期を過ぎた5月18日以降、夏シーズンに向って増加した。(表2)ここ数年来は、4月から5月はじめにかけての湖中には、若干量の硅藻類が現存するのみで、プランクトン沈澱量は少ないのが通例であったが、今年の場合、このクロステリウムが発生しており、この間の湖水色もグリーン色がやや強く感じられた。

5月16日の大量の降雨の結果、(図13)5月18日調査時で、湖の透明度が悪くなった一方で、ウログレナ群体数は1群体/ ml 以下に減少し、動物プランクトン(CILIATA、*Bosmina* sp. *Vorticella* sp. *Copepoda* etc.)が比較的多数出現した。後、再びウログレナは5月27日、6月2日にかけて増加したことが観測された。

透明度

図 5 に、調査期間中の地点毎の透明度の変動を示した。

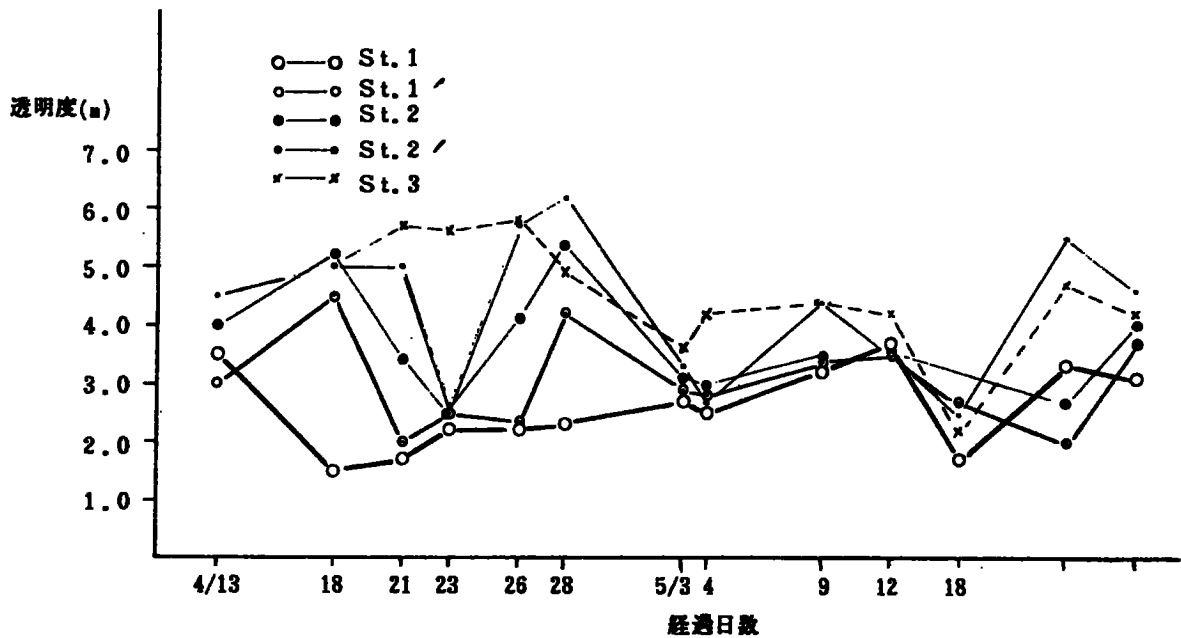


図 5. 各地点の透明度の変動

4月13日調査時では、St.1 から St.2 までの水域において透明度が 3.0 ~ 4.5 m と比較的一様な状態を示したが、降雨後の調査日である 4月18日では、St.1 において悪化 (1.5 m) し、他の全地点においては良くなっており (4 m 以上) 沿岸と湖中の両者の開きが大きくなった。21日では、St.1' が St.1 と同じ透明度ぐらいに悪化し、St.2 においても前回より悪化していた。23日では、これら東岸域の全地点において透明度が 3 m 以下に落ち込んだ。一方 St.3 では、良好な透明度 5 m 以上を維持していた。後、26、28日にかけて St.1' ~ St.2' において透明度が再び良くなり、5月3日、4日になると St.3 も含めて全地点において一様に透明度が 3 m 前後に悪化した。以降、5月18日までこの状態が続いた。

栄養塩類等

図 6-1 に、D I N、O r g - N および T - N の各窒素濃度の変動を示した。

4月18日と21日の調査日間を境に、O r g - N と D I N が逆転し、以降 D I N は減少ないしは横バイ傾向であり、O r g - N は上昇傾向であった。T - N は、この O r g - N と D I N の変動の和として表わされるが、4月18日の D I N の突出による T - N の突出、4月28日以降の O r g - N の上昇による T - N の上昇がみられた。

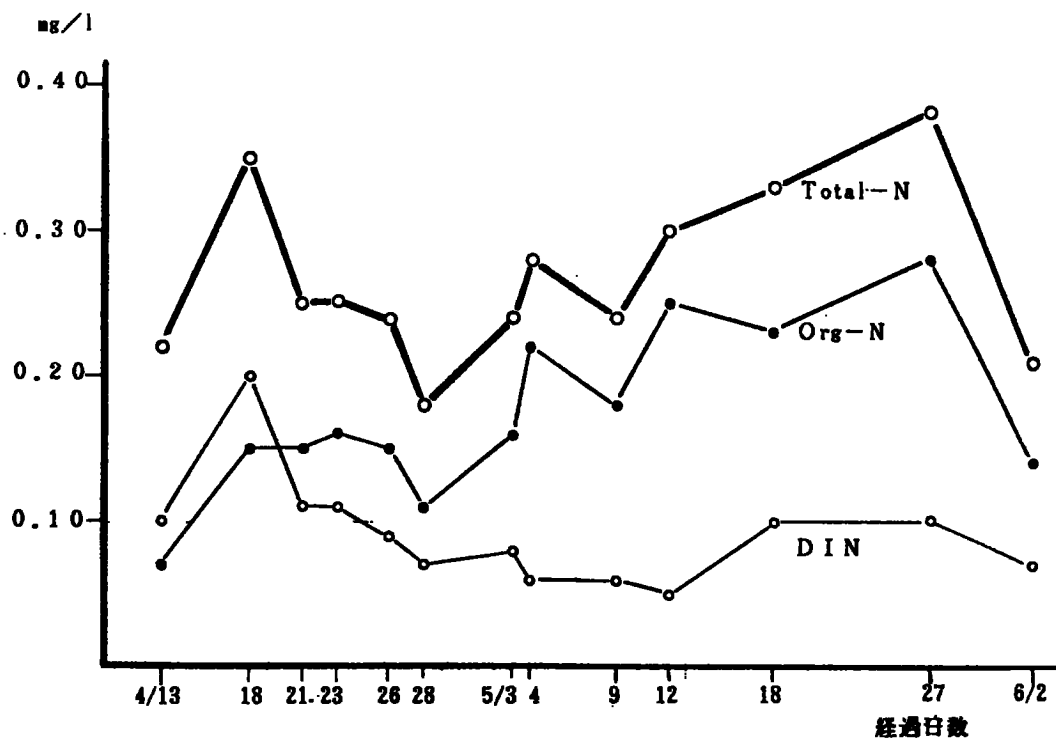


図6-1. 窒素濃度の変動

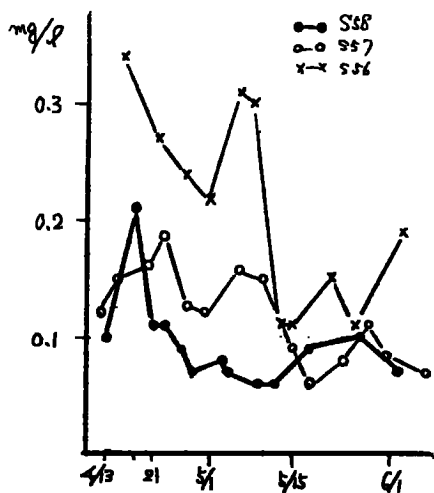


図7. 過去3ケ年のDIN比較

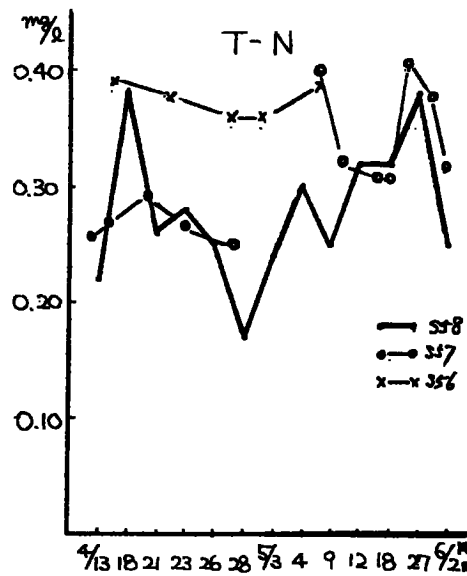


図8. 過去3ケ年のT-N比較

図7に、今年も含めた過去3ケ年のDINの変動の比較を示した。

今年のDINレベルは、4月18日を除いて過去3ケ年のなかで一番低く推移し、5月15日以降は、3ケ年ともよく似たレベルであった。

図8に、過去3ケ年のT-Nの変動の比較を示した。

今年のT-N濃度レベルは、昨年のレベルとほぼ同じであり、1昨年の昭和56年と比較し

ても、DIN濃度でみた約3分の1低くはなく約2割(0.1mg/l)減であった。DIN、T-Nとも、ウログレナが最大増殖密度状態になった以降は、過去3ケ年ともよく似たレベルで推移したことがわかった。

図6-2. 図6-3. 図6-4.に、それぞれNH₄-N、NO₃-Nおよびリン濃度の変動を示した。

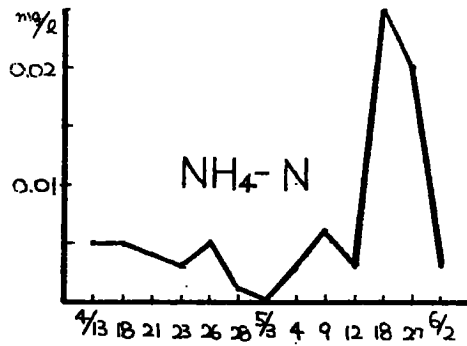


図6-2. NH₄-N濃度の変動

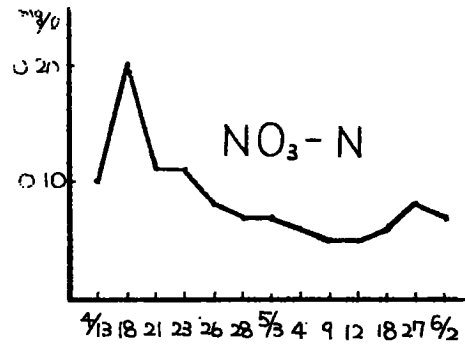


図6-3. NO₃-N濃度の変動

NH₄-N濃度は、調査開始時より5月12日まで0.005 mg/lないしはそれ以下の濃度で推移し、降雨後の5月18日で0.025 mg/l、27日で0.02 mg/lと突出した値を示したが、6月に入って再び落ち込んだ。NO₃-N濃度は、4月18日の0.20 mg/lという高いピークがあり、その後は5月12日にかけて0.10 mg/l→0.05 mg/lと漸減した。PO₄-P濃度は、ウログレナ増殖過程においては(4

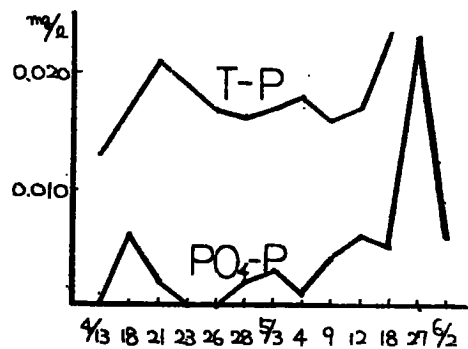


図6-4. リン濃度の変動

月21日から5月12日にかけて)、不検出ないしは5μg/lの範囲内であったが、細くみると、4月18日とウログレナ最大増殖日の5月12日5μg/lのピークがあり、降雨後の5月18日ではピークを形成せず、27日において23μg/lという突出したピークが観察された。T-P濃度は、全体的には、12~23μg/lの範囲内で変動しているが、ピークは、4月21日、5月18日において形成されており、PO₄-Pの変動とは相反した上下変動をしていることがうかがえた。

表5. 図9. 10. 11.に、各地点における全鉄・溶存鉄濃度の変動を示した。

St.1においては、4月18日調査時に全鉄濃度の高い値が(360μg/l)観測され(図9)、以後日を追って順にSt.1'、St.2へと沖合の地点で同じ高い値(St.1'、St.2で4月21日の100μg/l、St.2'で4月23日の60μg/l)のピークがあった。(図10)一方、溶存鉄濃度は、

図11にみられるように上下変動が激しく、おおよそ各地点とも $10\mu\text{g}/\ell$ 以下であったが、昨年と同様に、沖合に位置する地点ほど溶存鉄濃度の全鉄中に占める割合が高い傾向がよみとれた。

表 5. 地点毎の全鉄・溶存鉄濃度の変動(単位： $\mu\text{g}/\ell$ 上段：全鉄 下段：溶存鉄)

月日 地点m	413	418	421	423	426	428	53	54	56	59	512
1-2	80	362	144	80	81	79	-	23		20	33
	3	6	10	2	2	7	74	8		1	2
1'-2	44	23	107	62	95	33	28	20		23	18
	2	26	-	2	3	6	1	12		1	9
2-2	37	29	101	80	27	18	41	30		30	36
	1	-	11	1	4	3	4	8		1	1
2'-2	45	4	38	61	18	19	42	21		14	45
	6	9	8	25	1	2	2	7		13	1
3-2		25	31	30	17	26	109	24		8	14
		14	0	1	ND	1		10		1	6

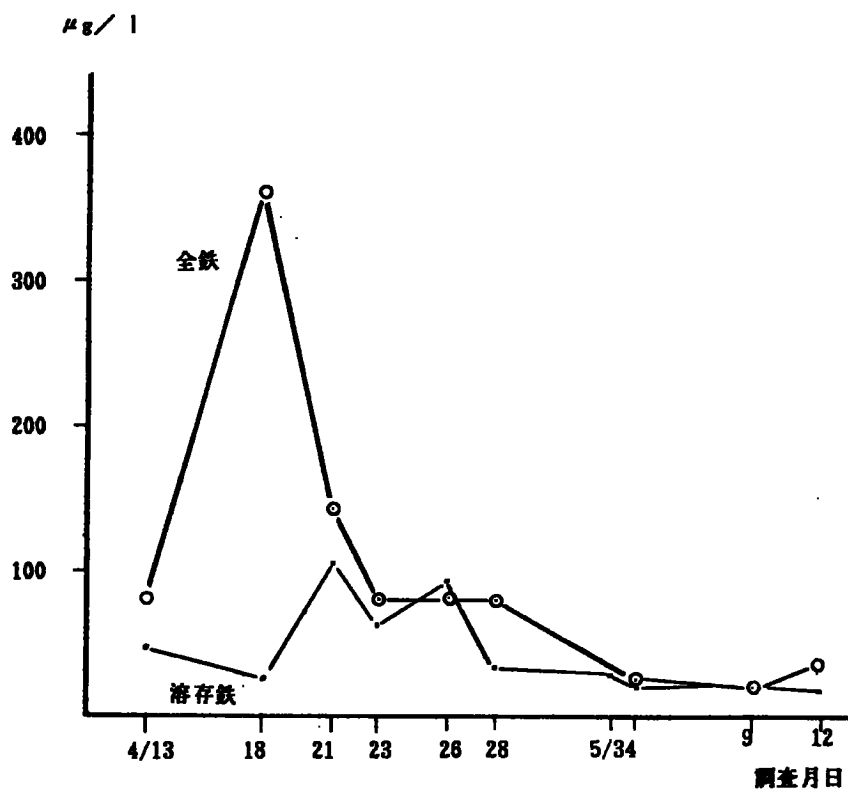


図 9. St. 1 における全鉄および溶存鉄濃度の変動

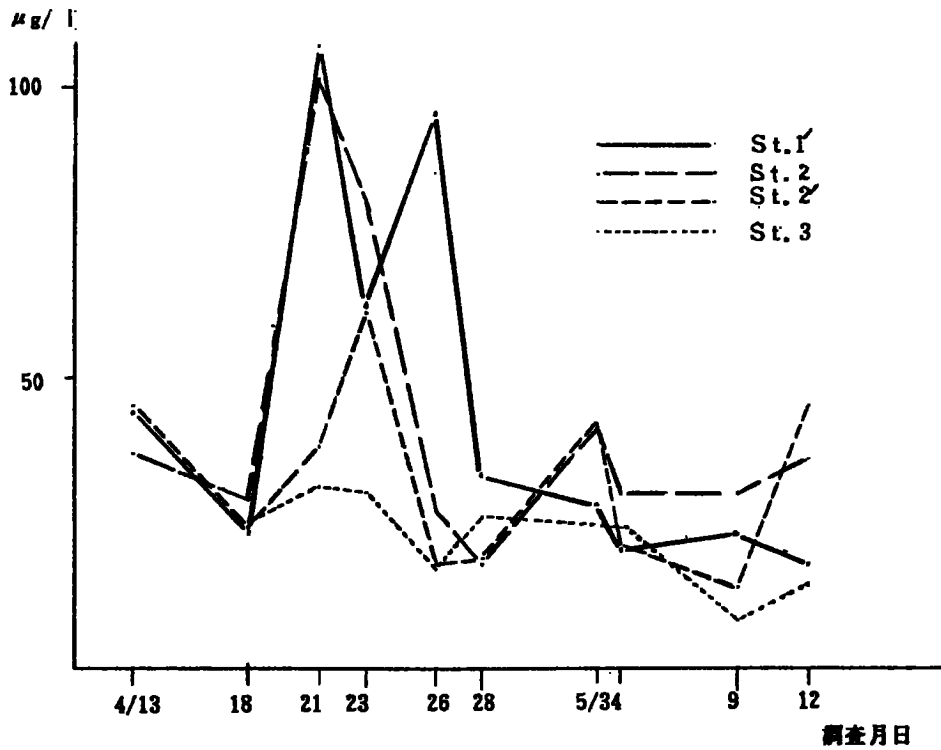


図 10. St. 1' ~ St. 3 の全鉄濃度変動

SiO₂ 濃度は、4月18日調査時に St. 1 において高く検出され、以降、調査日を追うごとに、岸から沖合、湖心への濃度差が小さくなり均等化されていくのが観測された。

各地点間の項目毎にバラツキ（この場合、岸から湖心にかけての濃度勾配の大小）をみるた

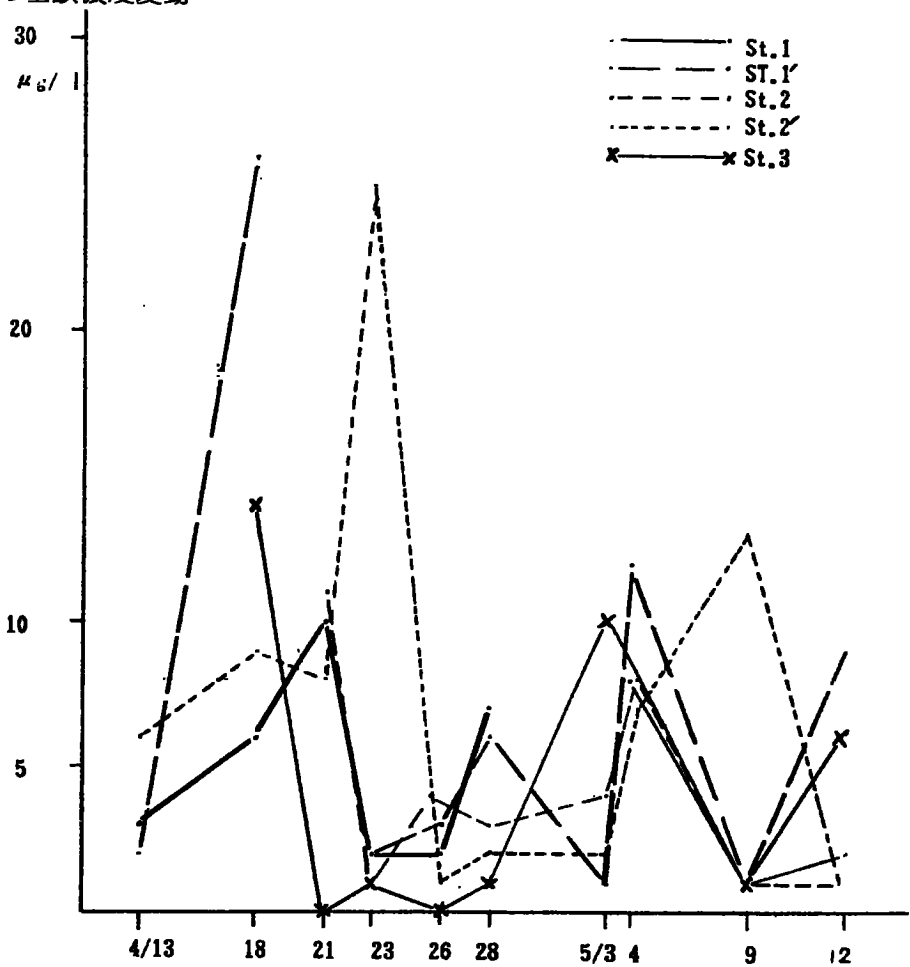


図 11. St. 1 ~ St. 3 における溶存鉄濃度の変動

め、過去3ヶ年の調査日別に変動係数（標準偏差／平均値）を求めた結果を表6に示した。

表6-1. 調査月日別変動係数一覧：昭和58年度

項目 調査月日	水温	透明度	NH ₄ -N	NO ₃ -N	DIN	Org-N	PO ₄ -P	T-P	SiO ₂	Fe
4.13	0.03	0.17	2.00	0.10	0.20	1.14	—	0.30	0.42	0.37
4.18	0.04	0.37	2.50	0.53	0.55	0.13	2.00	0.80	1.02	1.63
4.21	0.06	0.50	0.75	0.20	0.18	0.13	1.33	0.45	0.32	0.57
4.23	0.02	0.46	1.33	0.20	0.27	0.06	—	0.25	0.18	0.33
4.26	0.07	0.44	0.75	0.38	0.33	0.20	—	0.30	0.42	0.79
4.28	0.08	0.32	1.00	0.29	0.29	0.55	1.00	0.30	0.18	0.72
5.3	0.01	0.11	2.00	0.14	0.13	0.19	1.50	0.20	0.11	0.67
5.4	0.03	0.22	1.33	0.20	0.17	0.18	2.00	0.15	0.15	0.17
5.9	0.04	0.15	0.80	0.20	0.17	0.11	0.50	0.20	0.14	0.44
5.12	0.04	0.08	0.33	0.20	0.20	0.28	1.00	0.10	0.25	0.44
5.18	0.03	0.19	0.40	0.17	0.17	0.09	0.50	0.30	0.44	—
5.27	0.03	0.40	0.25	0.14	0.14	0.11	0.18	0.35	0.07	—
6.2	0.04	0.14	0.13	0.14	0.14	0.57	1.60	0.30	0.11	—

表6-2. 調査月日別変動係数一覧：昭和57年度

項目 調査月日	水温	透明度	NH ₄ -N	NO ₃ -N	DIN	Org-N	PO ₄ -P	T-P	SiO ₂	Fe
4.12	0.03	0.22	0.43	0.09	0.06	0.38	0.67	0.30	0.28	1.21
4.15	0.03	0.18	0.55	0.09	0.1	0.33	0.33	0.70	—	0.55
4.20	0.07	0.39	0.25	0.21	0.18	0.50	0	0.76	0.28	0.94
4.23	0.07	0.44	0.50	0.13	0.18	0.67	0.50	0.75	0.34	0.95
4.27	0.05	0.42	0.24	0.10	0.08	0.33	0	0.30	0.24	0.28
4.30	0.02	0.08	0.24	0.03	0.03	0.44	0.50	0.40	0.09	0.64
5.6	0.02	0.25	0.42	0.16	0.21	0.24	1.00	0.30	0.27	0.38
5.10	0.04	0.29	0.38	0.20	0.2	0.17	0.67	0.10	0.15	0.65
5.15	0.03	0.11	0.33	0.14	0.16	0.09	0	0.40	0.32	0.60
5.18	0.06	0.11	1.50	0.12	0.1	0.13	0.50	0.70	0.49	0.57
5.24	0.01	0.10	0	0.13	0.13	0.15	0	0.08	0.15	0.10
5.28	0.02	0.13	0.25	0.16	0.15	0.04	0.50	0.05	0.11	0.17
5.31	0.02	0.20	0.29	0.10	0.08	0.04	0	0.30	0.27	0.56
6.7	0.01	0.17	0.50	0.48	0.34	0.32	1.00	0.40	0.12	0.49
6.16		0.22	0.04	0.25	0.14	0.14	0.50	0.40	0.24	—

表 6—3. 調査月日別変動係数一覧：昭和56年度

項目 調査月日	水温	透明度	NH ₄ -N	NO ₃ -N	DIN	Org-N	PO ₄ -P	T-P	SiO ₂	Fe
4.16	0.04	0.27	0.07	0.05	0.03	0.33	0	0.25	0.19	0.36
4.22	0.03	0.48	0.35	0.06	0.11	1.45	0.5	0.7	0.59	0.99
4.27	0.04	0.36	0.40	0.07	0.21	0.33	0	0.35	0.46	0.60
5.1	0.05	0.29	0.09	0.07	0.05	0.62	1.00	0.6	0.29	0.66
5.6	0.06	0.45	0.14	0.11	0.10	0.75	0.25	0.6	0.47	0.40
5.8	0.05	0.41	0.38	0.25	0.3	0.35	0.6	0.4	0.59	0.82
5.13	0.05	0.31	0.65	0.25	0.27	0.27	0.33	0.5	0.25	0.41
5.15	0.05	0.17	0.30	0.38	0.27	0.22	0.08	0.25	0.33	0.59
5.22	0.04	0.26	0.55	0.33	0.33	0.24	0.5	0.5	0.67	0.63
5.26	0.01	0.25	0	0.22	0.18	0.1	0	0.25	0.41	0.54
6.3	0.06	0.50	0.10	0.07	0.11	0.3	1.00	0.35	0.54	0.51
6.5	0.04	0.28	0.43	0.15	0.19	0.31	1.00	0.3	0.5	0.49
6.11	0.02	0.07	0.45	0.12	0.16	0.14	—	0.3	1.14	0.74
6.15	0.01	0.25	0.60	0.35	0.32	0.16	0.5	0.8	0.58	0.82
6.25	0.03	0.18	1.25	0.29	0.25	0.04	0.4	0.4	0.18	—
7.15	0.01	0.05	0	0	—	—	0	0.2	0.22	—

注) 変動係数 = 標準偏差 ÷ 平均値

(2) 重点観測結果

図12—1 から図12—10に、調査日毎の調査地点の位置と濁りの拡散分布状況を示し、又、図中に、水温、透明度、SSおよび主な栄養塩類の分析結果、ウログレナ群体数とクロスティリウムの計測結果を表として示した。

図13で、彦根地方の降雨状況と宇曾川河口で調査した透明度の変動を示した。


宇曾川における濁水は、4月10日の27mmの降雨があった以降、透視度で50cm以下になり、特に、4月15日ごろから5月3日にかけて、透視度20cm以下で推移した。4月11日から14日にかけて降雨が記録されず透視度が徐々に回復しているが、その後の降雨によって再び透視度が悪化し最大5cmまで落ち込んだ。これに比して、4月22日から29日にかけて同じように降雨が無くとも透視度が回復せず、26日ではかえって悪化しているのがよみとれた。後、5月に入ってからは透視度は徐々に回復傾向になり、以降時々の降雨によって50cm以下を記録しながらも、おおよそ50cm以上に回復して収束した。

一方、こうした宇曾川から湖中へ濁水が流入拡散する様子は、先に見た宇曾川自体の濁水・流量とともに、湖流（沿岸流）および水温差によって左右されることが図12の濁水拡散範

囲・方向等によって明らかにされた。

この濁水中に含まれる成分として、測定範囲内では、SS、DIN、 PO_4-P 、 $T-P$ および鉄成分が高濃度に検出された。(図12-1)4月23日では、前回の調査と比して、各成分が比較的均等に湖中へ拡散希釈された状況がよみとれた。(図12-2)4月25日では、好天続き中で降雨も記録されていない時で、恐らく流量も少なくなっているために、こじんまりとした濁水域を河口付近に形成していた。(図12-3)4月26日では、濁水域が右岸側に位置し、前3回の調査日と異った方向へふれていた。翌27日になると一転して左岸側にふれ湖岸と平行して長く分布していた。28日は前日よりやや沖にふくらんだ濁水域で、湖岸と平行していた。調査間隔を5日ほど開いて、5月3日(図12-7)では、流量は少ないが、著しく濃い濁水が流入しており、湖水と極だった境を形成していた。5月6日(図12-8)では、濁水域は広がり右岸側にふれ分布していた。以降晴天が続き5月9日、12日とほとんど境界が判明しない程度にまで回復していた。

4月21日は、定期観測地点においてウログレナが今年最初に確認された日であるが、この宇曾川河口域においては、当調査が4月同日より開始されているので、それ以前にウログレナが発生していたのかどうかは不明である。同日、図12-1の濁水の著しい地点であるA、B点では、ウログレナおよび他のプランクトンも確認できなかったが、やや濁水が希釈されたC点、より沖合の地点D、E点でそれぞれウログレナが50 ml湖水中1 群体、100 ml 中1 群体、1,000 ml 中1 群体分布しているのが観測された。4月23日の均等に拡散された状態の時には、ウログレナも250 ml湖水中1 群体のレベルで一様に分布していた。4月25日(図12-3)のA点の濁水中ではウログレナは1~5 ml中に1 群体に増加していた。濁水域が右岸側にふれた4月26日では、濁水中のA'点に100 ml 1~5、薄く白濁した左岸側の調査地点で1/20 ml~1/2 ml、濁水域から離れたC'点で1/100 ml分布していた。4月27日では、1/5 ml、28日では、濁水中のA点で1/50 ml、順次に希釈されている点・点、B点およびC点で、5/1 ml、1/2 mlおよび1/10 以下で、やや希釈されたポイントで多く分布していることがわかった。5月3日(図12-7)になると、各地点で1~20 群体/mlと1 ml湖水中1 群体以上のウログレナが広く分布しているのが観測された。5月6日では、各地点で1~3 群体/mlと比較的均等に分布していた。5月9日では、河口域では1~2、やや離れたエリ付近で、10~15 群体/ml、5月12日(図12-10)では、先に述べたように2 m層を中心に100~130 群体/mlあり、赤潮前兆候を広い沿岸帯で示していた。

図14に、宇曾川河口右手にある(図12中)エリに漁獲される小アユ量の変動を示した。5月11日の280 kgという突出した獲れ方を除くと、上下変動は著しいが、おおよそ1日当り60 kg~180 kgの範囲内で漁獲されていた。()内の数値は、エリツボ中で斃死、弱っていたアユの量である。

月日 4/21

St. No.	E	D	C	B	A
水温℃	11.0	11.7	12.9	13.3	11.9
透明度		1.2	0.6	0.3	0.2
SS	1.4	6.1	12	27	32
DIN	0.10		0.21	0.41	0.56
OrgN	0.15	0.15	0.23	0.34	0.28
T-N	0.24		0.44	0.74	0.84
PO ₄ -P	2	2	35	104	144
T-P	13	34	73	139	162
Fe(T)	36	212	169	118	316
(S)	1	1	20	41	38
U.a	1/1000	1/100	1/50	-	-
Clos.	20	25	30	10	0

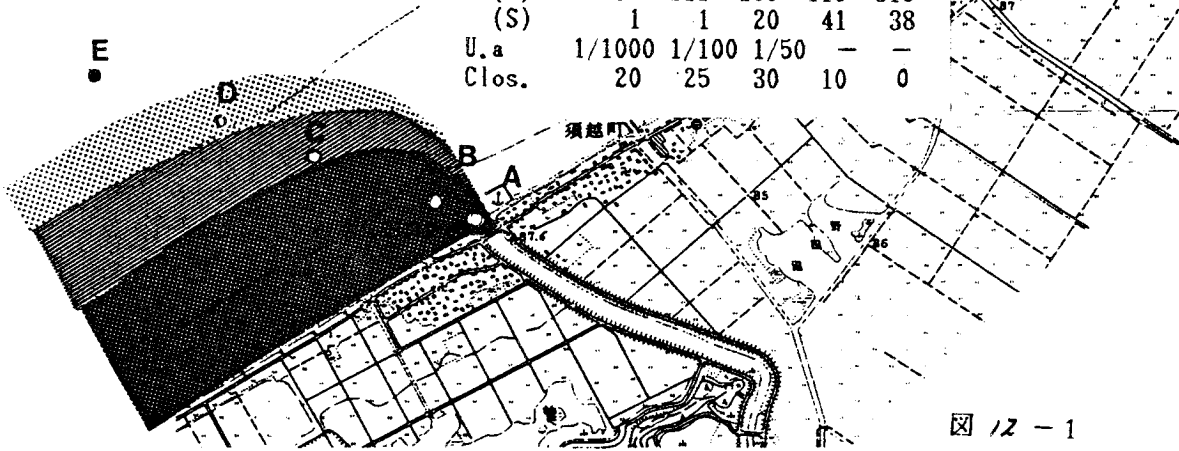


図 12-1

月日 4/23

St. No.	D	C	B	A
水温℃	10.8	11.1	11.2	
透明度	4.0	1.7	1.4	
SS	0.7	1.0	3.9	
DIN	0.09	0.08	0.12	0.09
OrgN	0.15	0.12	0.14	
T-N	0.24	0.20	0.27	
PO ₄ -P	2	2	7	7
T-P				
Fe(T)	40	44	162	
(S)	4	1	2	
U.a	1/250	1/250	1/250	1/250
Clos.	40		25	

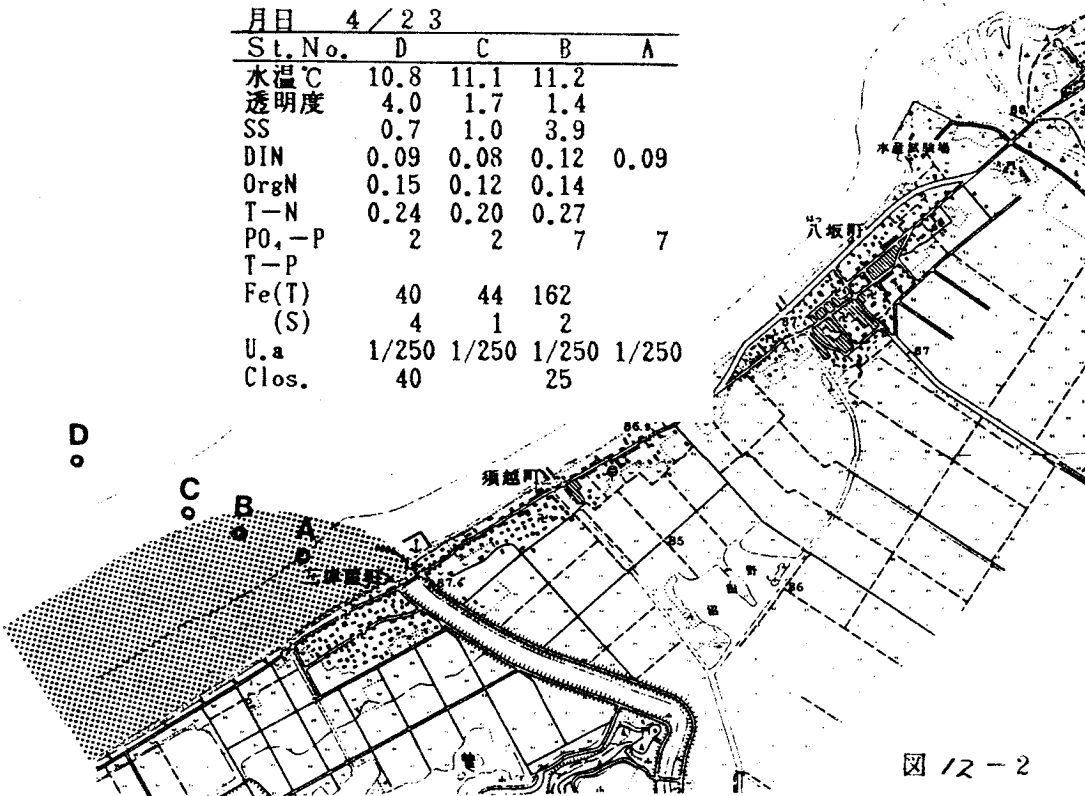
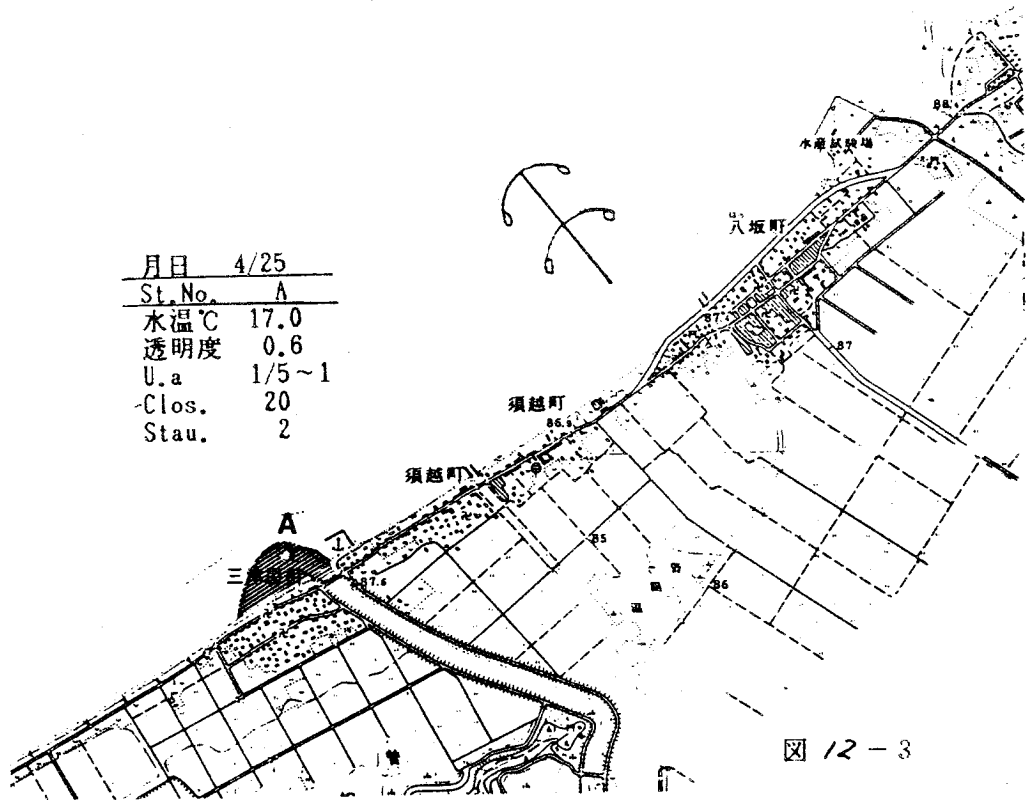
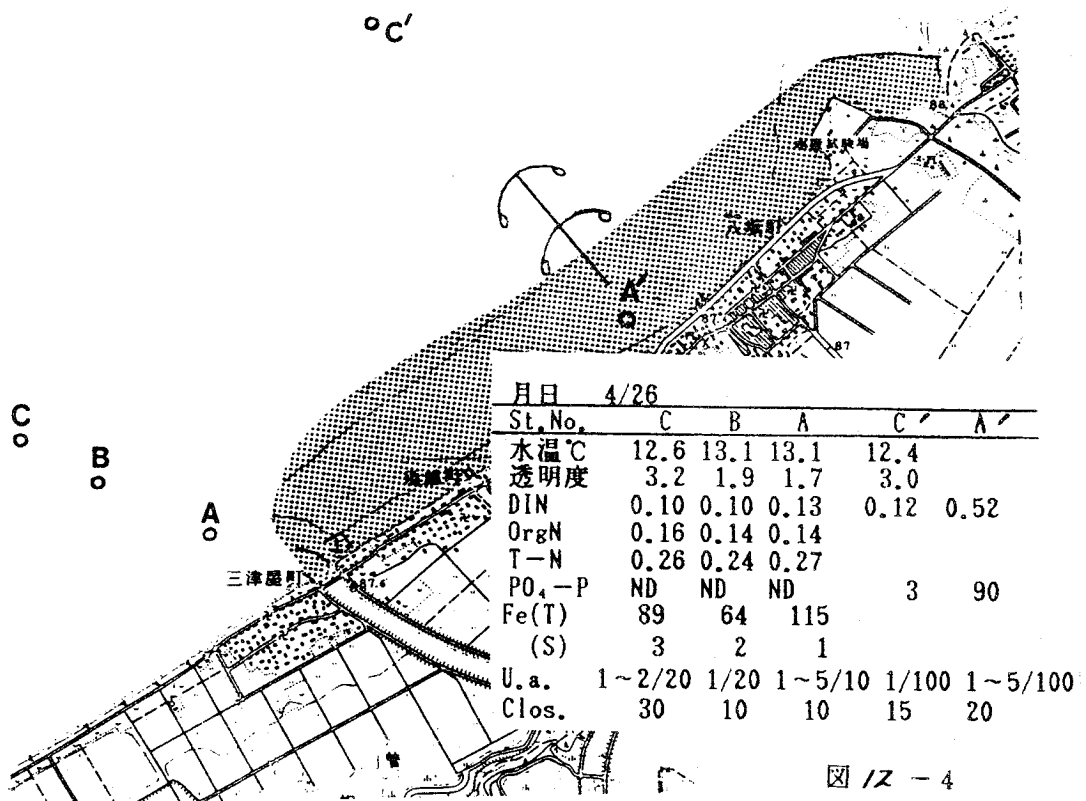


図 12-2



月日	4/25
St. No.	A
水温℃	17.0
透明度	0.6
U.a	1/5~1
Clos.	20
Stau.	2

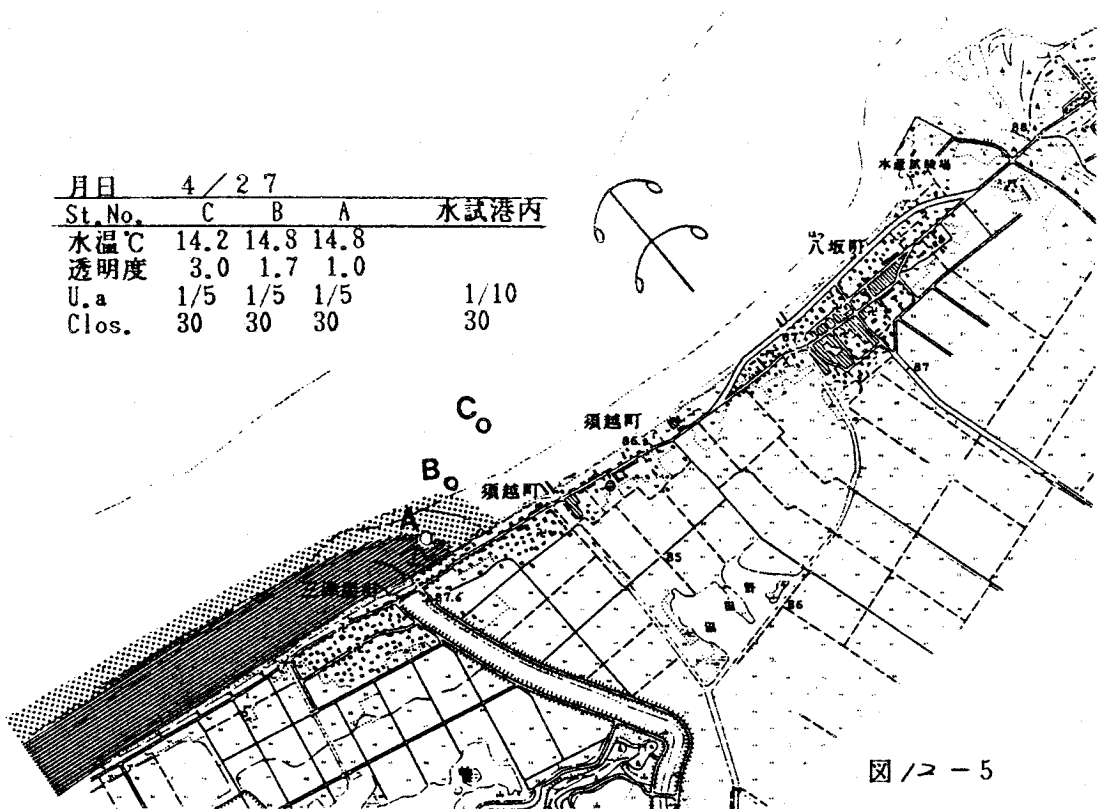
図 12-3



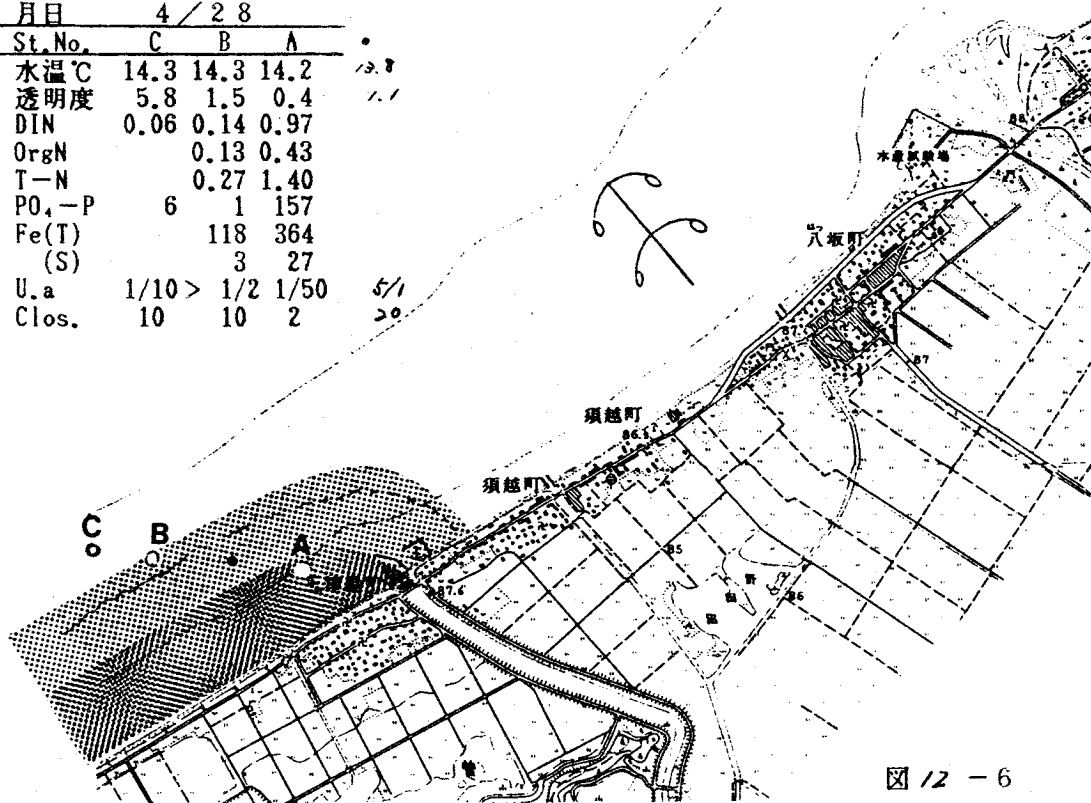
月日	4/26					
St. No.	C	B	A	C'	A'	
水温℃	12.6	13.1	13.1	12.4		
透明度	3.2	1.9	1.7	3.0		
DIN	0.10	0.10	0.13	0.12	0.52	
OrgN	0.16	0.14	0.14			
T-N	0.26	0.24	0.27			
PO ₄ -P	ND	ND	ND	3	90	
Fe(T)	89	64	115			
(S)	3	2	1			
U.a	1~2/20	1/20	1~5/10	1/100	1~5/100	
Clos.	30	10	10	15	20	

図 12-4

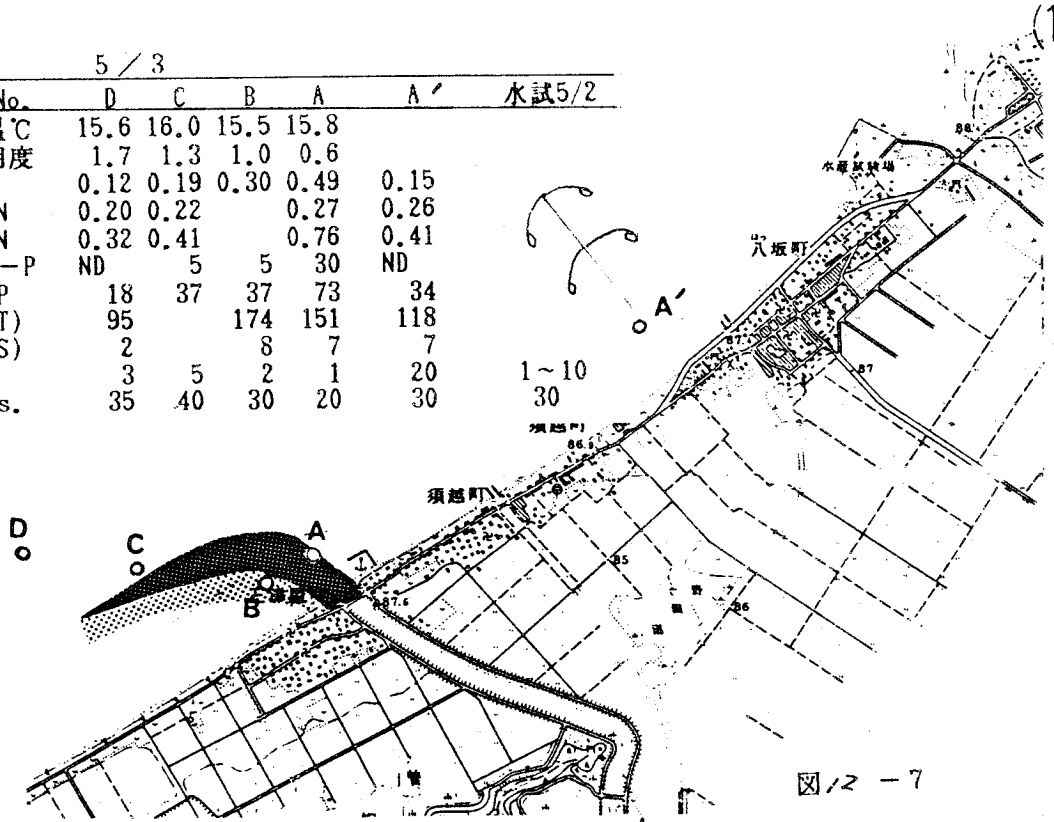
月日	4 / 27			
St. No.	C	B	A	水試港内
水温℃	14.2	14.8	14.8	
透明度	3.0	1.7	1.0	
U.a	1/5	1/5	1/5	1/10
Clos.	30	30	30	30



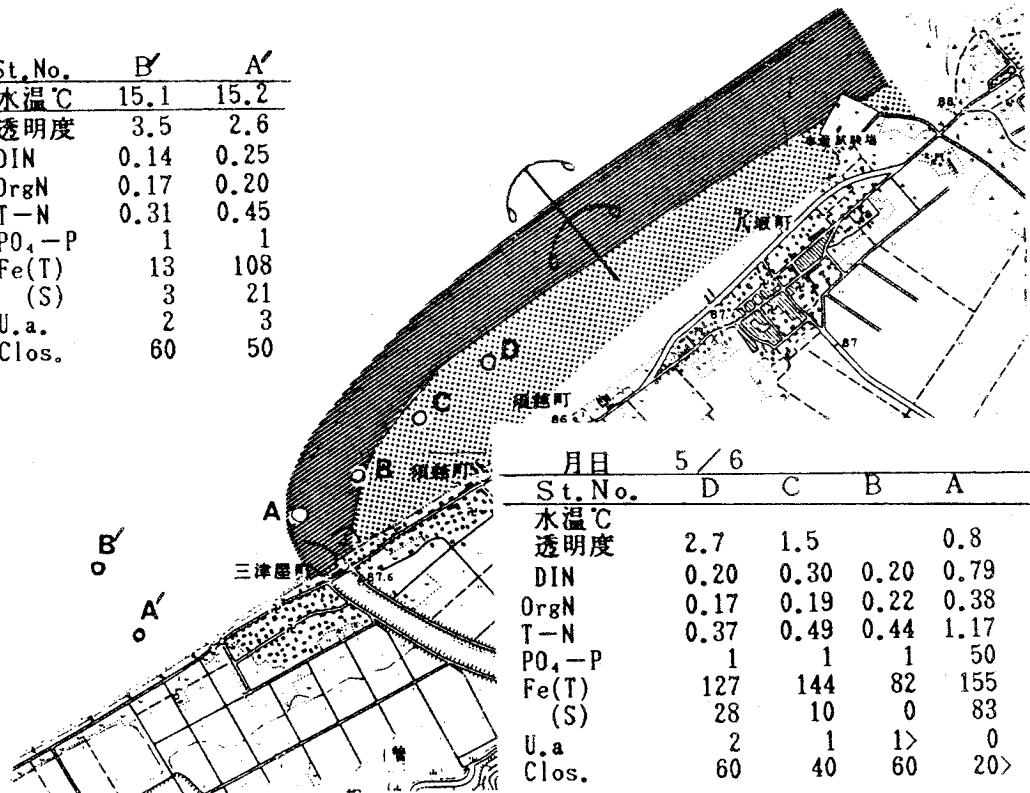
月日	4 / 28			
St. No.	C	B	A	
水温℃	14.3	14.3	14.2	12.8
透明度	5.8	1.5	0.4	1.1
DIN	0.06	0.14	0.97	
OrgN		0.13	0.43	
T-N		0.27	1.40	
PO ₄ -P	6	1	157	
Fe(T)		118	364	
(S)		3	27	
U.a	1/10 >	1/2	1/50	5/1
Clos.	10	10	2	>0



月日	5 / 3					水試5/2
St. No.	D	C	B	A	A'	
水温℃	15.6	16.0	15.5	15.8		
透明度	1.7	1.3	1.0	0.6		
DIN	0.12	0.19	0.30	0.49	0.15	
OrgN	0.20	0.22		0.27	0.26	
T-N	0.32	0.41		0.76	0.41	
PO ₄ -P	ND	5	5	30	ND	
T-P	18	37	37	73	34	
Fe(T)	95		174	151	118	
(S)	2		8	7	7	
U.a	3	5	2	1	20	
Clos.	35	40	30	20	30	



St. No.	B'	A'
水温℃	15.1	15.2
透明度	3.5	2.6
DIN	0.14	0.25
OrgN	0.17	0.20
T-N	0.31	0.45
PO ₄ -P	1	1
Fe(T)	13	108
(S)	3	21
U.a.	2	3
Clos.	60	50



月日	5 / 6			
St. No.	D	C	B	A
水温℃				
透明度	2.7	1.5		0.8
DIN	0.20	0.30	0.20	0.79
OrgN	0.17	0.19	0.22	0.38
T-N	0.37	0.49	0.44	1.17
PO ₄ -P	1	1	1	50
Fe(T)	127	144	82	155
(S)	28	10	0	83
U.a	2	1	1	0
Clos.	60	40	60	20

月日	5 / 9	
St.No.	A'	A
水温℃		14.6
透明度	3.0	1.1
DIN	0.05	0.27
OrgN		0.15
T-N		0.42
PO ₄ -P		5
T-P		44
Fe(T)		172
(S)		6
U.a.	10~15	1~2
Clos.	50	30

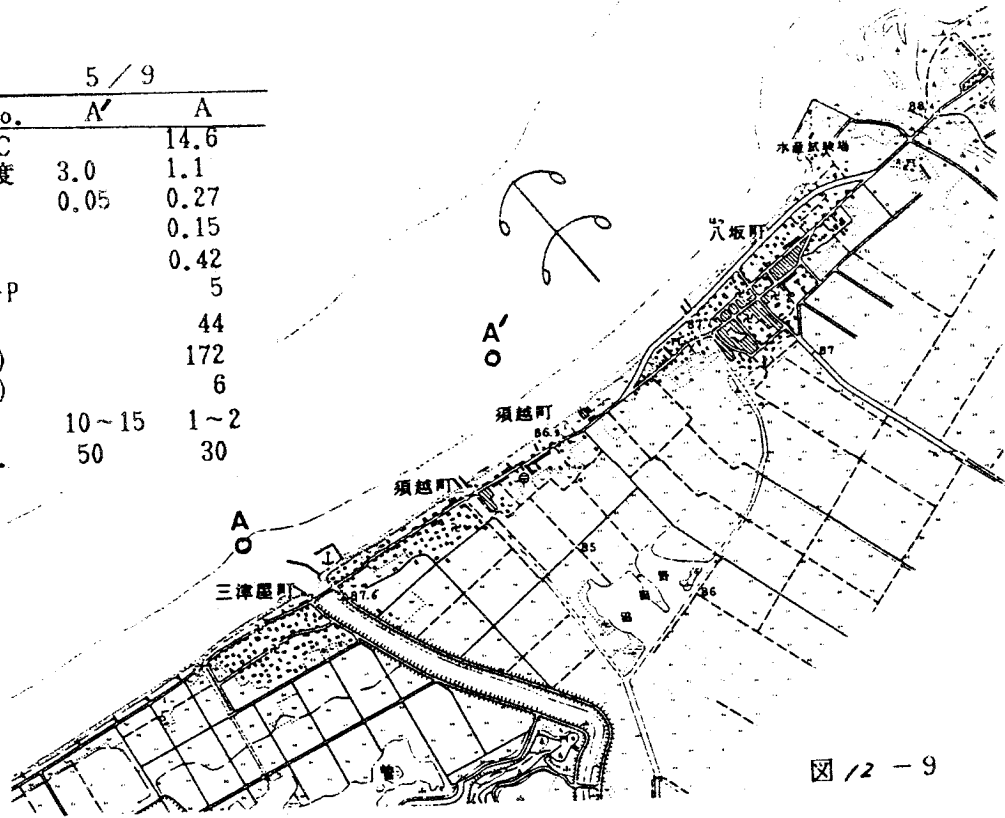
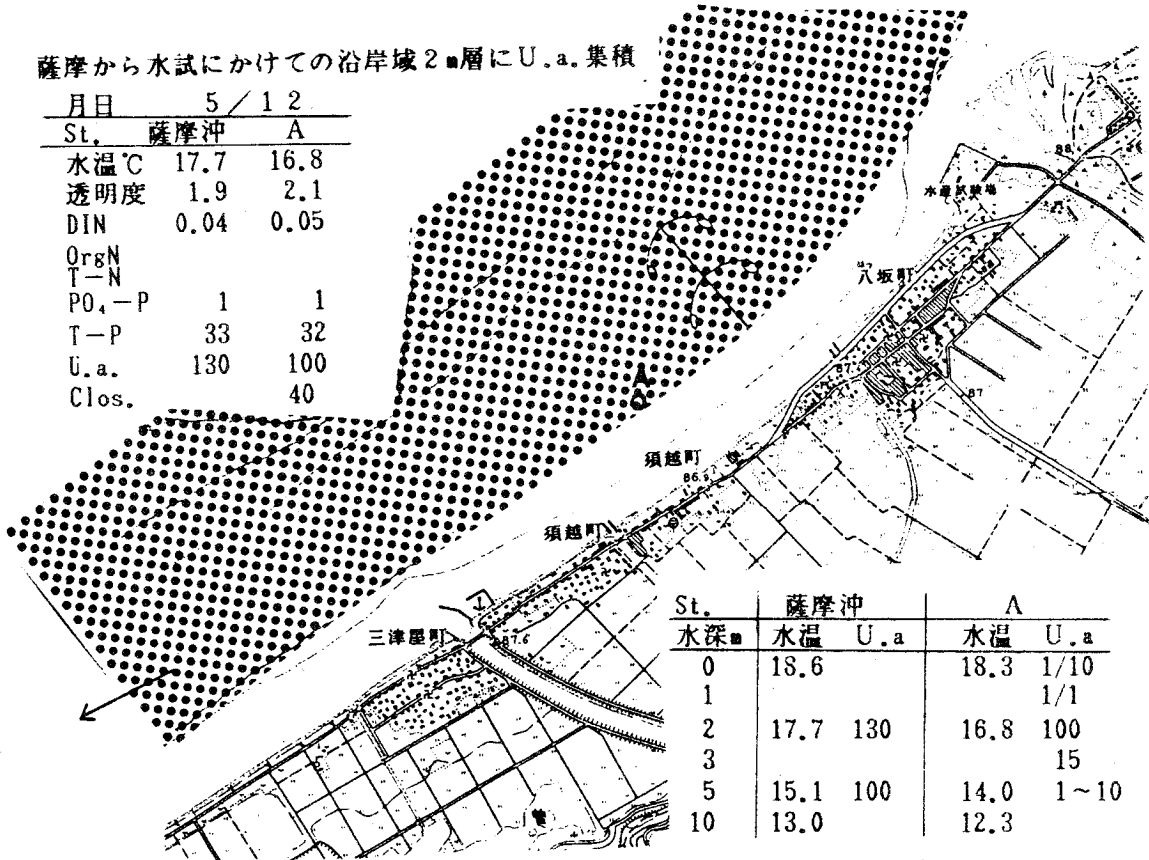


図 / 2 - 9

薩摩から水試にかけての沿岸域 2 層に U.a. 集積

月日	5 / 12	
St.	薩摩沖	A
水温℃	17.7	16.8
透明度	1.9	2.1
DIN	0.04	0.05
OrgN		
T-N		
PO ₄ -P	1	1
T-P	33	32
U.a.	130	100
Clos.		40



St.	薩摩沖		A	
	水深	水温 U.a	水温	U.a
0		18.6	18.3	1/10
1				1/1
2		17.7 130	16.8	100
3				15
5		15.1 100	14.0	1~10
10		13.0	12.3	

図 / 2 - 10

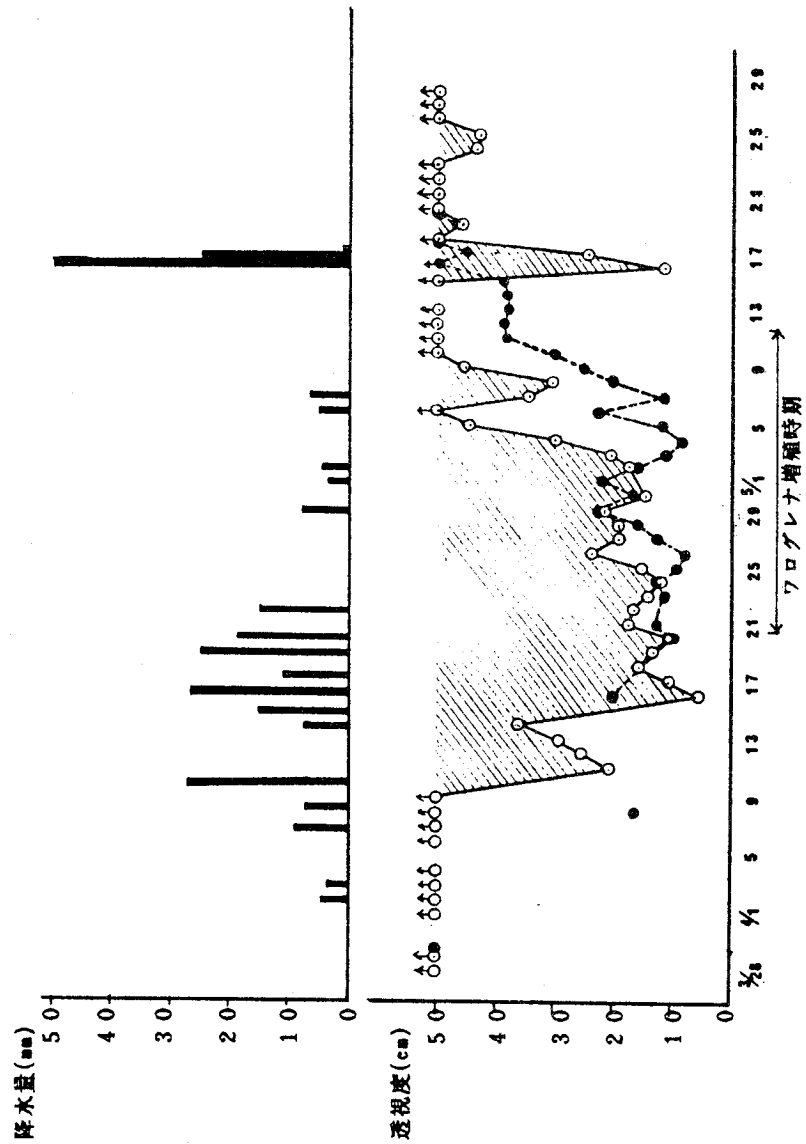


図 13. 彦根における降水量と宇曾川透視度調査結果

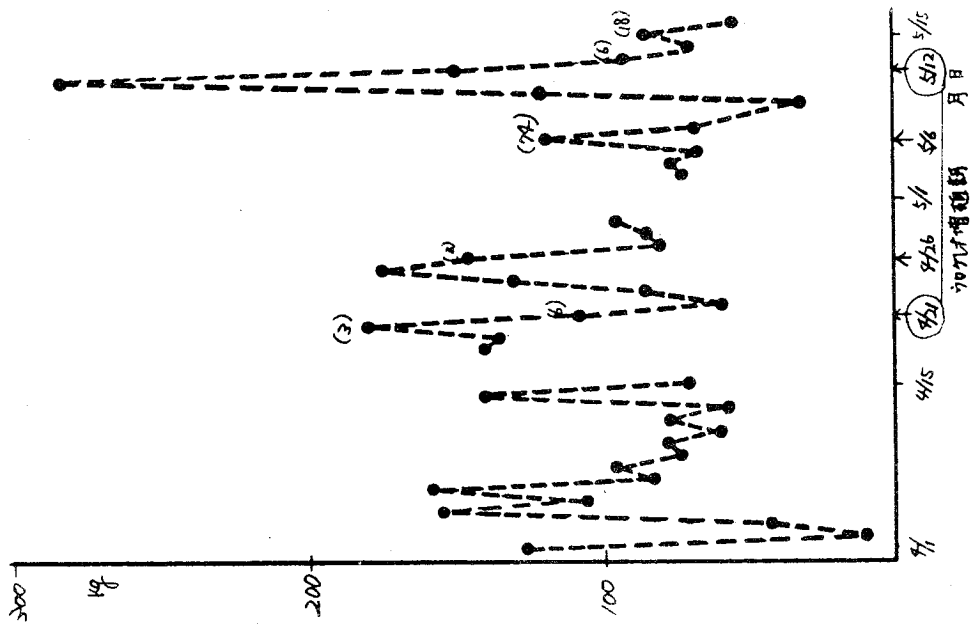


図 14. 宇曾川近辺にあるエリ(磯田漁協)に漁獲された小アユ活魚量
()内の数値は鮮魚分

考 察

(1) 定期観測

ウログレナの増殖状況

- a) ウログレナが早い時期に出現したのは、4月中の高水温状態が一つの要因として挙げられる。

ウログレナの増殖速度を正確に求めるためには、ウログレナの形態上の特徴、すなわち群体を形成しそのサイズ、細胞密度等が時期によって異なるため、「総細胞容積」を計測する方法がある。本調査では、この点で不備があるが、一つの増殖状態の目安として湖水何 ml 当りのウログレナ群体数として観測している。

水温上昇率とウログレナ増殖との関係を見ると、未発生から $1,000ml$ 中 1 群体になった時の上昇率は、 $0.40^{\circ}C/日$ であり、4月21日→23日で群体数が1 オーダアップする時は、 $0.05^{\circ}C/日$ 、同月26日→28日間でもさらに1 オーダアップしているが、この時の上昇率は、 $0.75^{\circ}C/日$ 、さらに4月28日→5月3日間で1 オーダアップして $1ml$ 中 1 群体レベルになった時は、 $0.0^{\circ}C/日$ という結果であった。(表2) 一見、上昇率とオーダアップとは関連を持たない結果であったが、図3で、各々の調査日間の気温変動に注意してみると、1 オーダアップした日間時に、急激な気温の上昇があることがうかがえた。この気温の急上昇時は、日射量の増加という面が考えられ、水温と光の二条件が加味され、ウログレナの増殖に影響するものと考えられる。

- b) ウログレナが琵琶湖に出現してから7年経過しているが、このことは、ウログレナが琵琶湖在来種化しつつあり、プランクトン相遷移のなかに組み込まれつつあると考えることができる。ウログレナ出現当初の報告によると「ワムシがウログレナの群体の中に見られる頻度は高くなく、北湖では全く発見されておらず、南湖でも少なかった。」と記録されているが、これからは、一つには、時期、例えば、ウログレナが集積して赤潮を形成している時の観察例なのか、増殖水域での観察かは不明であり、又は、ワムシの出現頻度(分布・発生時期等)との関係が明らかでないので断定はできないが、当時では、北湖では見られなかったことが、本調査では、局部的、時期的ではあるが、ウログレナ群体数が $1ml$ 中 1 群体レベル以下では、ワムシによる活発な摂食状況が観察され、ウログレナ群体形成・増殖に支障を及ぼすものと定性的に推論できる。

- c) ウログレナ増殖に引き続く集積、すなわち赤潮形成の一つの大きな要因として、ウログレナ群体群の光への反応の仕方が挙げられる。

図4で、A、Bのウログレナは強光に対する 忌避 ? (反射光でない光) 反応例として受けとれ、赤潮兆候時の5月12日のウログレナは(C図)走光性を持ち、最終的には、互いの力によって押し合い群体が消滅した例である。一般に、ウログレナが赤潮を形成す

る群体数レベルは、50～100群体数/mlで広く分布している状況で、「条件」が整えば、いつでも集積して水面下ぎりぎりのところまで分布し、赤潮として発見される。この集積していく過程で、光条件にどのようにウログレナ群体群が反応するのかが、増殖水域では、重要な観察項目として挙げられる。

現場水域では、ウログレナ増殖が進行すると、増殖したウログレナ自体によって、それより下層のウログレナは光が弱められることが推定され、これが50～100群体/mlレベルになればなるほど、この上下層間の距離は短くなり、最終的に、ウログレナが表層部にまで浮上するものと仮説され、結果的には、この段階では、ウログレナの消滅の始まりとして位置づけられる。(図4のC図)

もう一方の仮説として、ウログレナ増殖段階で、ウログレナ群体自身内に光への走光性の調整機能に変異ないしは異常をきたすことが考えられるが、物理的環境(湧昇あるいは沈降水域なのか、透明度の良し悪し)からくる走光性の違いなのか、ウログレナの日周運動(浮上、沈降)のズレによるものか等を見極める必要がある。

栄養塩類等の分布変動状況

過去の調査結果から、春先のDIN濃度レベルの高低によって、引き続いて発生するウログレナの増殖およびそれによる赤潮発生規模がおおよそ推定されることが論じられた。今年の場合、ウログレナが3回目の調査日から認められるほど早くから出現し、さらに、ベースとしてクロスティリウムが調査期間中数10細胞/mlのオーダーで現存していたため、DIN濃度レベルが高→低に落ち込む事象は明確でなかったといえる。しかし、降雨後の流入負荷が著しく認められた4月18日において、DIN、 PO_4-P 、 SiO_2 および全鉄濃度の高いピークがあり、同月21日のウログレナ初出現に寄与したことがうかがえる。こういった流入負荷は、一度限りのものではなく、調査地点によっては間欠的、波状的に添加されることが推測でき、Org-N濃度がDINより高い時点においては、DINの変動は比較的少なくOrg-NおよびT-Nの上昇によって結果として示される。特に、増殖の盛んな生物が発生している時は、このことが、顕著に示され、今年の各窒素成分の変動もこれから説明することができる。

この窒素成分の有・無機別変動状況の検討は、リン・鉄成分においてもあてはまるが、特に鉄を多く取り込むとされているウログレナの場合(注1)にも重要なことと考えられる。

4月18日調査日におけるSt.1の全鉄の高いピーク(図9)、日を追う毎に、順次沖合の地点へ移行していったことがよみとれるが、4月21日には、1～3群体/1,000 mlのウログレナがすでに出現しはじめていたことから、果してウログレナ中にあるFeは無視し得る量なのか、全鉄濃度に占める割合が定量的に把握することが可能なのか論議されるところである。これに関して、さらに、ウログレナが壊れやすい性質を有するため、全鉄と溶存鉄との比率

についても、ウログレナが多く存在する時点の湖水については、解釈する上で困難さがともなう。又、鉄、リン、ケイ素といった粒子態とDIN、PO₄-Pの溶存態との拡散の速さの違い、両態の形態変化の速さの違いも、フィルードからはじまり分析過程にまでその結果に反映するものと思われ、解析する上で困難さがともなう。

表6-1、6-2、6-3に、定期観測地点St.1からSt.3にかけての各項目の分布状況を調査日毎にみる目的で、過去3ケ年の変動係数を求めてみた。

水温は、全期間通じてバラツキ(勾配)が小さい。透明度は、4月中旬から5月上旬にかけて変動係数が大きい傾向にあり、NH₄-NとPO₄-Pは、濃度自体が低いため係数の変動巾が大きいものと考えられる。水温を除く項目については、いずれも調査日以前に何らかの流入負荷拡散があったものと推測される。

(2) 重点観測

河川水の湖水混合比率のウログレナ増殖能に与える影響には、時期的に3つのタイプがあることがわかってきた。(注2)

本調査においても、フィルードにおいて河川の濁水湖中拡散状況とウログレナ増殖との関連を重点的にみてきた。濁水中には、DIN、PO₄-PおよびFe成分等が多量に含まれており、これらがウログレナの増殖に寄与していることがうかがえた。また、傾向として、濁水が湖中に流入した直後ではなく、幾分拡散希釈された地点および時期に、ウログレナの分布密度が多かった。この濁水の成分的拡散とともに、ウログレナ増殖にとっては、光、透明度の条件が影響するのではないかと推論する。AGP試験等のin vitroにおいては、温度、光の条件が一定に保たれているが、フィルードにおいては、水温の変動、光の条件が変化しており、拡散希釈され栄養塩等がリッチな濁水中で増殖し、透明度が回復するにつれ、さらに増殖(集積も含めた)する過程が推察される。

琵琶湖全体をながめた時、宇首川とよく似た状況を持つ中小の河川が、北湖の北から南まで多くあることから、湖全体の水質に及ぼす影響は、時期的にみれば大きいものと考えられる。

注1) ウログレナの元素分析

「昭和54年度淡水赤潮対策調査報告書：滋賀県」より

元素分析調査時の水質状況

調査場所	北小松沖A	ほうらい沖B
調査月日	54. 5. 23	54. 5. 25
pH	8.71	8.77
SS (mg/l)	4.2	6.1
COD (+)	9.0	14
T-P (+)	0.042	0.064
PO ₄ -P (+)	0.004	0.005
NH ₄ -N (+)	0.14	ND
NO ₃ -N (+)	0.006	0.008
NO ₂ -N (+)	0.07	0.08
Kj-N (+)	0.67	1.3
Co (+)	ND	ND
Mo (+)	ND	ND
Fe (+)	0.035	0.036
Mn (+)	0.004	0.006
SiO ₂ -Si (+)	0.50	0.47
クロロフィル a (mg/m ³)	70.5	98.3
b (+)	ND	ND
c (+)	24.8	37.1
ウログレナ (群体/ml)	1,800	2,200
群体の大きさ (μ)	30~120	30~120

ウログレナ元素分析結果

元素分析調査地点	志賀町北小松沖A	志賀町ほうらい沖B
調査月日	54. 5. 23	54. 5. 25
SS (mg/l)	4.2	6.1
ウログレナ(群体数/ml)	1,800	2,200
C (%)	21.8	24.9
H (%)	3.1	3.4
N (%)	3.1	3.2
SiO ₂ (%)	3.9	4.1
Mn (%)	0.060	0.039
Fe (%)	0.69	0.56
P (%)	0.31	0.51
Ca (%)	0.26	0.87
Mg (%)	0.24	0.43
Mo (%)	0.01	0.01
Co (%)	0.005	0.005

注2) 混合比率によるウログレナ増殖能の変化のパターン

「水産庁昭和58年度赤潮対策技術開発試験滋賀県(未定稿)より」

タイプ(A) 混合比率が増加する(びわ湖水に対する河川水の割合が増加する)につれ、増殖量が増大する。

タイプ(B) 低混合比率において、増殖促進効果を示すが、混合比率が増すと効果を示さない。

タイプ(C) いずれの混合比率においても増殖促進効果を示さない。

これを模式化して図示すると、次のようになる。

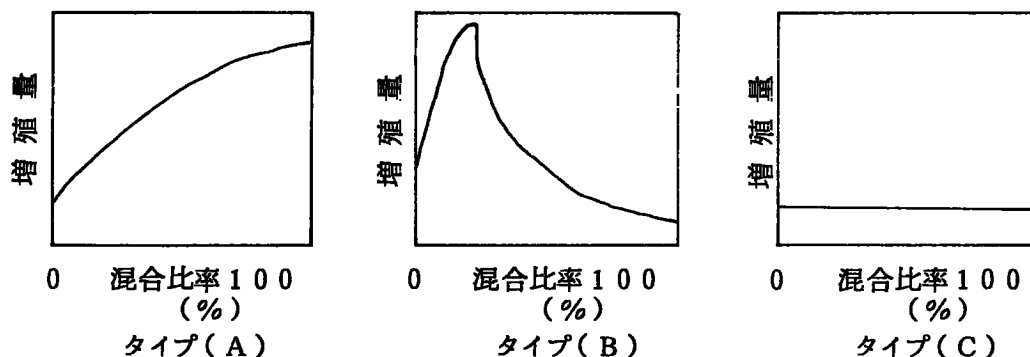


図 混合比率によるウログレナ増殖能の変化のパターン

表 各河川のウログレナ増殖パターンの分類

	1	2	3	4
宇曾川	A	B	B	C
田川	A	B	B	A
新川	B	B	C	B
姉川		A		
石田川				A

要約

(1) 定期観測

- 調査は4月13日から6月15日まで計14回実施した。
- 湖水温は4、5月と例年になく高かった。
- 本調査で、ウログレナが4月21日に初めて確認され、これは例年になく早い時期であった。ウログレナ増殖が最大値に達したのは5月12日であった。
- 調査期間中クロスティリウムが例年になく増殖し現存していた。
- 湖水温と気温上昇の関係、水温上昇とウログレナ増殖の関係をみた。
両者とも密接な関係が認められ、特にウログレナが未発生から1オーダー増殖する間ごとの水温上昇率が大きいことがうかがえた。
- 光条件・透明度とウログレナ増殖および集積との関係について論議した。
現場水域においては、ウログレナ群体群が光に対し反応する時、透明度が重要な因子と

なり、増殖が進行するとともにウログレナ自らの遮蔽によって上下層間の分布が縮まるとともに水面下に集まってくるのがうかがえた。

- ワムシ類のウログレナに対する摂食圧について論議を加えた。

本調査で、ウログレナの群体の中に入り活発に摂食しているのが観察され、このワムシの分布時期・水域によってはウログレナの増殖に大きく影響を及ぼすことが示唆された。

- 今年は無機溶存態窒素濃度が低く推移し、有機態窒素濃度の上昇が緩やかにみられた。
- 4月18日と5月18日の各調査日前に降雨があり、このためpHの低下、DIN(=NO₃-N)、PO₄-P および全鉄の濃度の高いピークがあり岸から湖心へと流入拡散したことがうかがえた。
- 各分析項目の調査日毎の変動係数を求め、過去3ケ年の4月から5月上旬にかけて大きい傾向がよみとれ、この間の流入負荷拡散が降雨後にあったことがうかがえた。

(2) 重点観測

- 宇曾川の濁水流入拡散状況と濁水中に含まれる成分の河口分布状況を調査し、ウログレナ増殖との関係をみた。

濁水が湖中で拡散希釈された水域および時期にウログレナの発生増殖が顕著にみられ、この時期の濁水にはDIN、PO₄-PおよびFe成分等が多いことから、このことがウログレナ発生とそれに引き続く異常増殖の一原因であることが推察できた。

- 同川近くにあるエリに漁獲される小アユ量の変動とウログレナ増殖状況の関係をみた。