

霞ヶ浦の水生植物帯の生態学的検討

浜田篤信・河崎 正・外岡健夫・喜多 明

霞ヶ浦湖岸帯は、かつてはヨシやマコモ等の水生植物で被われていたが、最近では減衰が著しく、コンクリート製の直立護岸が、それにとって代わろうという趨勢にある。水生植物帯は魚類の産卵場や幼稚仔の生育の場として重要な機能を果たしているが（加瀬林成夫，1972），更に湖水の浄化機能をも兼ね備えていることも指摘されている。しかしながら，水生植物帯の浄化機能については，現場での調査研究が少なく，水生植物帯の減衰が湖水の水質にどのような影響を及ぼしてきたのか，又，それが復元された場合にはどのような効果が現れるのか等については十分には解明されていないようである。

霞ヶ浦は，富栄養湖の中でも湖面積に比較して水深が相対的に小さく，沼沢に近い湖である。このような湖では，普通，水生植物帯が発達するが，その生態学的意義は，十分には明らかにされていない。例えば動物群集の構造の遷移や湖内における物質循環への関与のしかた等である。

本報告は，このような観点に留意しておこなった水生植物帯の環境調査結果であるが，水生植物帯の構造や物質循環等について若干の知見を得たので報告する。

1. 調査地点と調査の方法

1-1 調査対象水域の選定

調査対象とした水生植物帯は，第1図に示したように玉造町浜地先に位置しており現存するものとしては比較的大規模の水生植物帯である。この水生植物帯のなかで，調査対象として選定した水域は，北寄りの沖だし約100メートルの水域である。この水域を選定した理由は，水生植物の繁茂している水域の面積が最も広く，かつて水生植物が繁茂していた時代の状況が，なお若干なりとも保存されていると判断したからである。

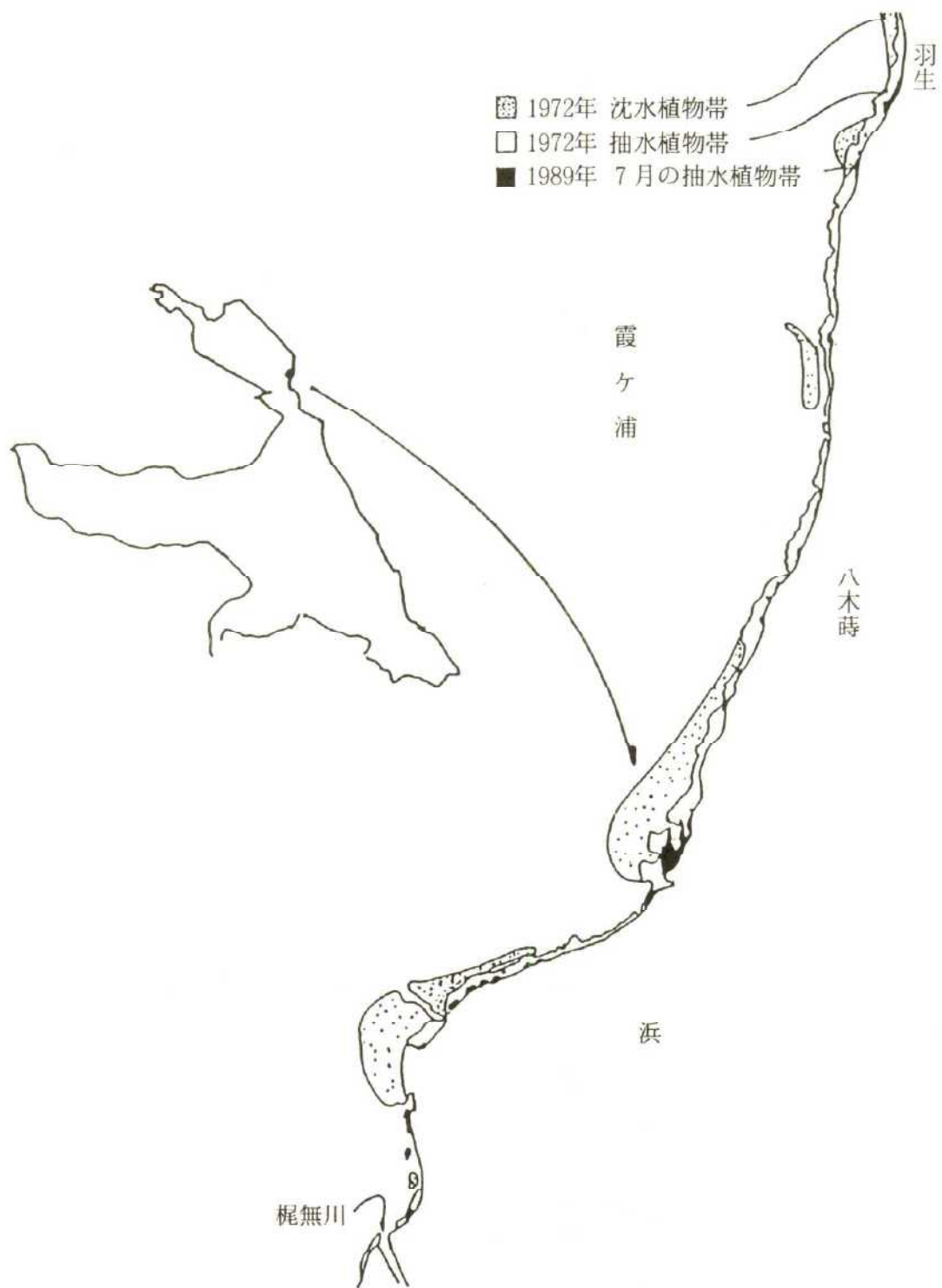
1-2 調査期間

調査の期間は1989年5月から1990年1月の間で，水生植物の繁茂の活発な5～8月の間には月2回の間隔で調査を行った。調査時刻は10～14時の間であった。

1-3 調査項目と方法

水温及び溶存酸素量（DO）の測定は，YSI社DOメーターによって，また栄養塩類の分析はテクニコン社自動分析計によった。細菌数は，位相差顕微鏡を用いて直接計数した。

水生植物の現存量は，0.2 m²の枠を用いて定量的に採集した後，種別に株数と湿重量を計測した。

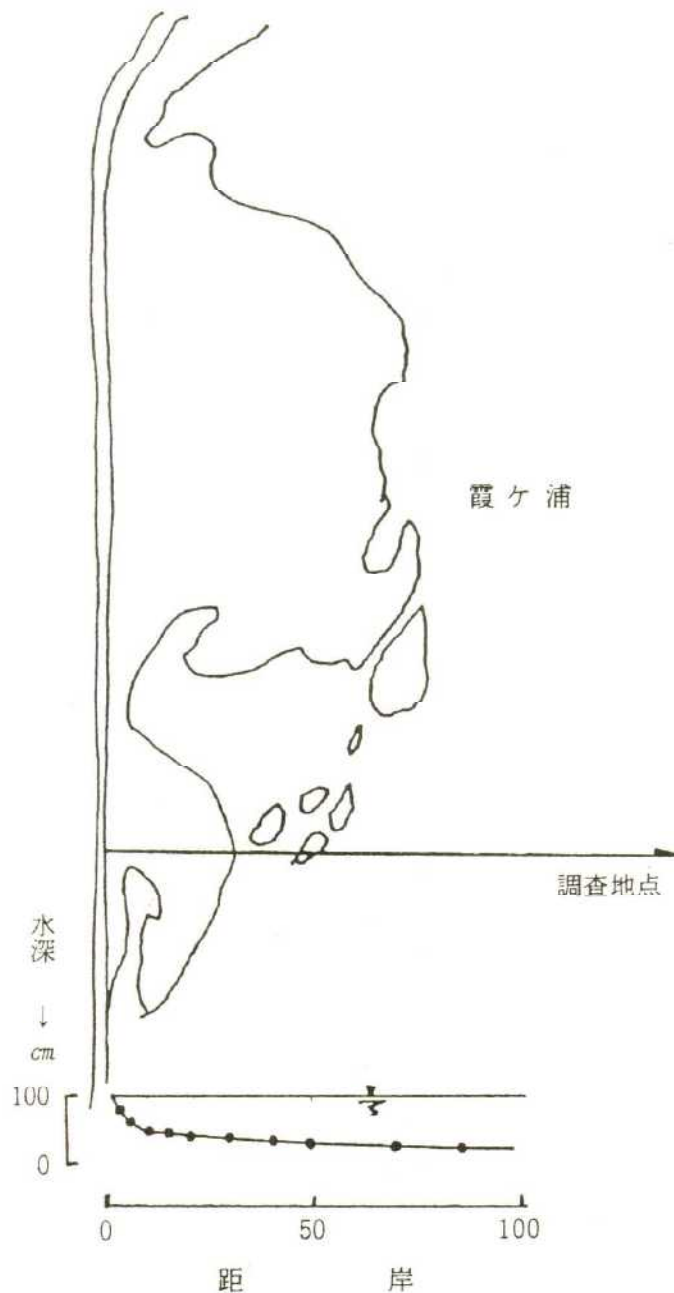


第1図 調査地点

2. 調査の結果

2-1 調査水域の概況

この水生植物帯は第1図に示したように高浜入りの北側のやや湾曲した部分に位置している。大部分は陸上植物によって被われているが、北寄りの浸食がみられる部分には、マコモ、ヨシ、ガマの繁茂がみられる。5月16日の全域の平面図及び断面図を第2図に示した。調査対象地点の線上を陸域側からながめると、まず、コンクリート護岸の沖側に0.5メートルの陸域が存在し、水域へと続いている。抽水植物が分布している距岸50メートルの範囲の水深は0.8メートル以浅と遠浅で、底質の概況は湖岸寄りで泥質、沖側で砂質であった。



第2図 5月16日の調査地点の概況

2-2 水生植物帯の生長

5月16日の第1回の調査時点で、既に距岸1メートルおよび10メートル付近に3 *kn/m*の密度でマコモ及びガマの繁茂が、また、その沖合いには1群数10本から成る5群のヨシの繁茂が見られた。又、陸域にはシズイが見られた。この調査から2週間後の5月31日、5週間後の6月27日には、それぞれの抽水植物群は急速な生長を示し、距岸4メートル付近に存在した空隙は、その両側に分布していたマコモ及びガマによって被いつくされていた。湖岸寄りのマコモ帯は概ね距岸10メートル以内の範囲内に分布しており、現存量は6月下旬に最大に達し、最大密度は平方メートル当たり10kg、280本に達した。マコモの現存量は、その後やや減少したものの10月初旬までは、5kg程度の比較的高水準を維持していた。

マコモの沖側に分布しているガマは、マコモの生長が下降し始めた8月上旬に至っても、なお生長が認められ、その現存量は、平方メートル当たり15kgに達した。その後、10月9日には急激な減少が見られ、マコモがなお高水準をたもっていたのと対比的であった。

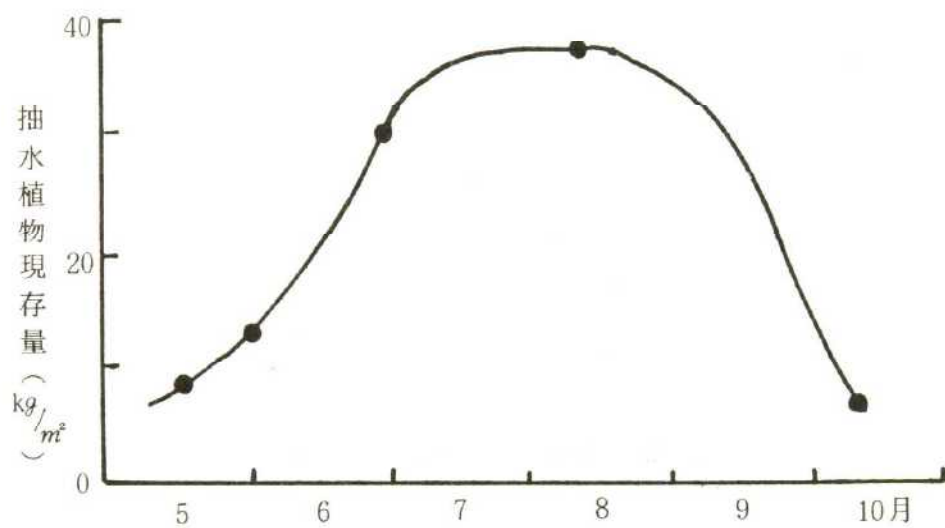
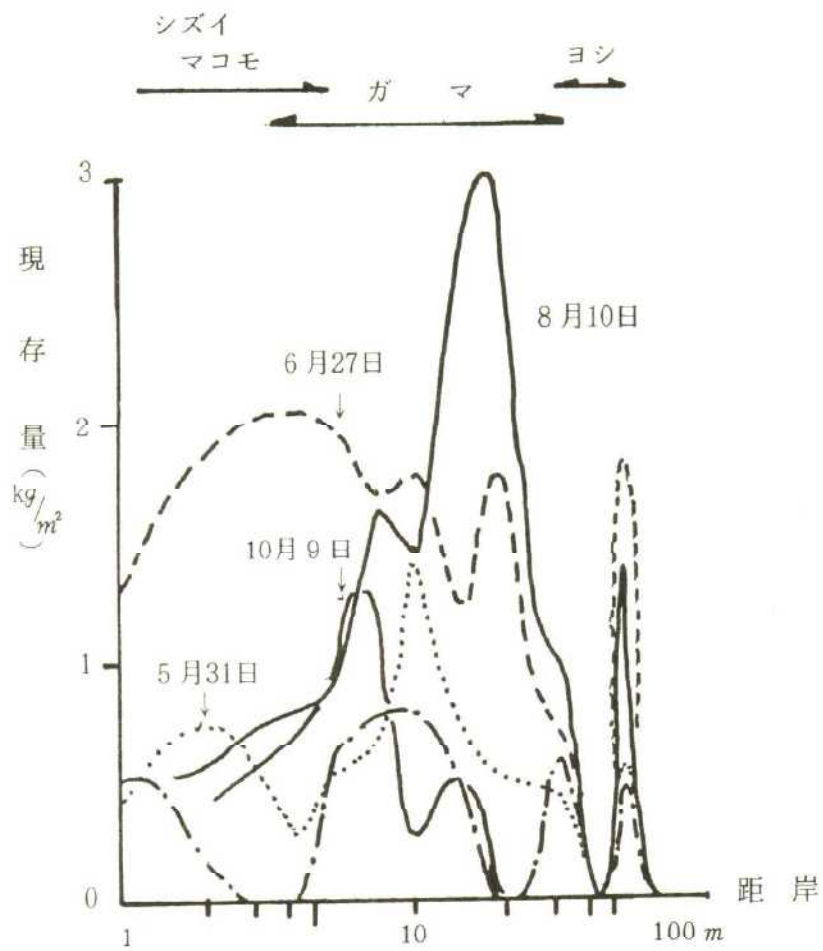
ヨシは、6月下旬に最大に達したが、生長にともない水面付近の高さで折れる現象が見られ、8月以降には生長が停止した。

以上、3種の群落について生長過程を種別に見た。春先の5、6月まではマコモが比較的沖合いまで分布していた。気温の上昇する7、8月にはガマが一時的に勢力を拡大し、10メートルよりも沖側に分布していたマコモの群落にとって代わっていたが、秋にはガマが減少しマコモが再び沖側にも見られるようになる。

湖岸1メートル当りの現存量を第3図、第1表に示したが、6月下旬から9月上旬の間には最大に達し、40kg/mを記録した。

2-3 照 度

7月18日及び7月28日の2回の調査であるが、ガマの群落の中心部に当たる距岸10メートルの地点ではわずかに60 KLUX、マコモ群落の中心部の2.5メートルの地点でも420 KLUXと極めて低い値が観測された。特に、ガマはマコモに比較して上方向へ繁茂する傾向が強く、このことが両群落中の照度の差の原因と考えられる。季節的変動については、今回の調査では明らかではないが、前述の水生植物帯の繁茂状況から推定すると、5月下旬頃から照度の低下がみられるようになり、水生植物の生長が最も活発になる6月下旬から9月上旬には、ここで述べたような極めて低い照度が維持されているものと考えられる。このような照度の低さは、1次生産を抑制する方向へ働くものと考えられ、後述の溶存酸素量の変動によってもそうした傾向を伺うことができる。



第3図 抽水植物の繁茂状況
下段は湖岸1メートル当たりの湿重量

第1表 抽水植物の出現状況(0.2 m²当たりの湿重量)

距岸(m)	マコモ		ガマ		ヨシ		シズイ	
	重量	株数	重量	株数	重量	株数	重量	株数
5月	1	416	26		105	4		
	2						116	
	3							
	4							
16日	5	605			62			
	7.5							
	10	426		300				
	15			305				
	20							
	30			640				
50	40							
	50				860			

距岸(m)	マコモ		ガマ		ヨシ		シズイ	
	重量	株数	重量	株数	重量	株数	重量	株数
5月	1	237	23				183	7
	2	548	35				180	
	3	239	22				240	22
	4	288	14					
31日	5	489	19					
	7.5	364	11	260	2			
	10			1391	11			
	15			19	1			
	20			470	5			
	30			405	4			
50	40				536	26		
	50				888	40		

距岸(m)	マコモ		ガマ		ヨシ		シズイ	
	重量	株数	重量	株数	重量	株数	重量	株数
6月	1	830	33		50	3		
	2	140	14					
	3	—	—	—	—	—	—	—
	4	1970	56					
27日	5	1660	72					
	7.5	260	8	1440	8			
	10			1210	11			
	15			1720	10			
	20	310	4	360	3			
	30							
50	40							
	50				186	74		

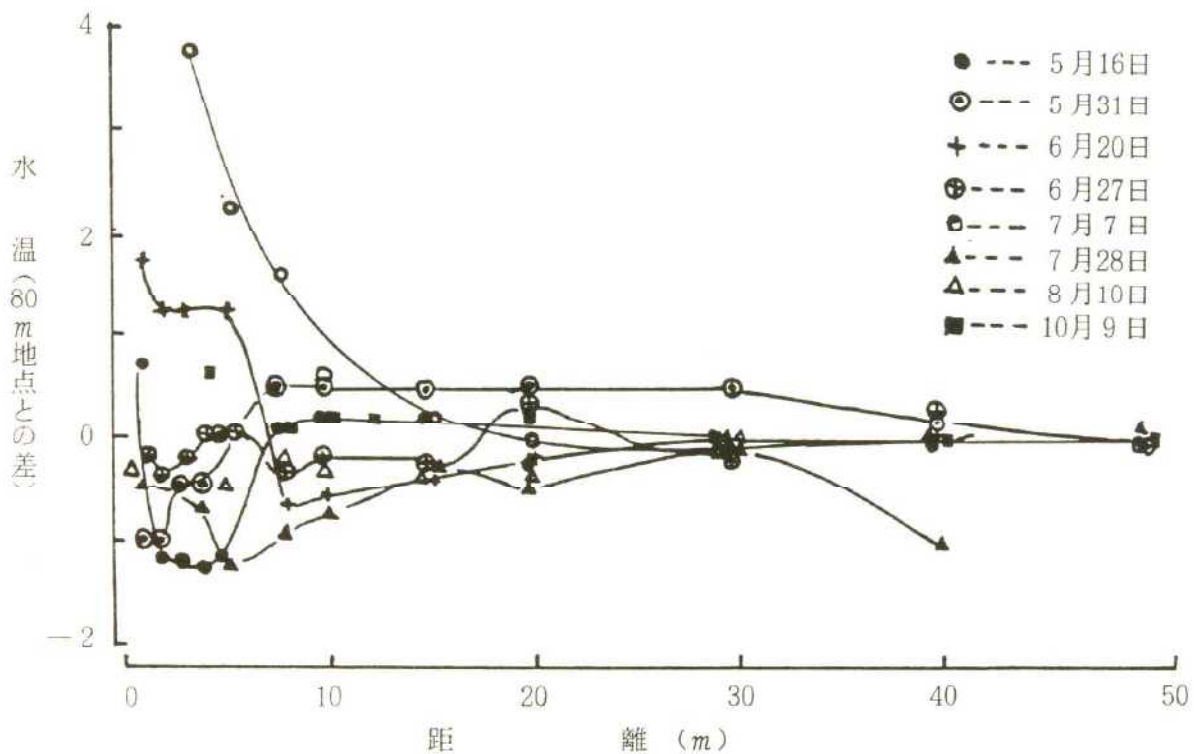
距岸(m)	マコモ		ガマ		ヨシ		シズイ	
	重量	株数	重量	株数	重量	株数	重量	株数
8月	1	—	—	—	—	—	—	—
	2	620	12					
	3	—	—					
	4	—	—					
10日	5	850	10					
	7.5	1850	23					
	10	1450	7					
50	15			2600	6			
	20			2980	8			
	30			950	3			
	40							
	50					1450	35	

距岸(m)	マコモ		ガマ		ヨシ		シズイ	
	重量	株数	重量	株数	重量	株数	重量	株数
10月	1	—	—	—	—	—	—	—
	2	412	15					
	3							
	4	790	17					
9日	5	1370	17					
	7.5	1260	22					
	10			300	15			
	15			520	21			
	20							
	30							
50	40							
	50							

2-4 水 温

ここで測定したのは水面から20cm下層の水温であるが、距岸50または80メートルの値との差、従って沖帯との差を問題にした。

まず、対照水域としたコンクリート直立護岸の前面では、沖帯と湖岸帯の差が殆ど見られない。又、水生植物が枯死してしまう冬季間の観測でも同様の傾向が認められた。これに対して水生植物帯では湖岸帯で明らかな水温差が認められた。5月16日についてみると距岸7.5メートル以内の範囲に沖帯よりも最大1.3度低い水域が認められたが、この水域はマコモの群落と一致している。この沖側の距岸10~20メートルの範囲にも、ごくわずかではあるが沖帯よりも水温の低い水域の存在が認められた。しかし、30メートルよりも沖側では差が認められなくなっていた。6月22日の調査では、湖岸よりの7.5メートルの範囲内に1~2℃高い水温がまたその沖よりの10~20メートルの範囲内には0.5~0.7℃低測の水域が認められる。更に水生植物の繁茂が活発になる7月に入ると、水温差とその範囲は拡大する傾向をみせた(第4図)。また、これ以前には、水温差は



第4図 湖岸帯の水温分布

7.5メートルを境に2つに分断されていたが、連続的な変動に変わった。水生植物は6月下旬頃から急速に生長し、マコモとガマの2つの群落が互いに重なり合って、それまで空隙となっていた水面を被うようになるが、この連続的な水温変動は、こうして形成された水生植物を有する水域

の空間構造の反映と見る事が出来る。

以上、水生植物帯の水温分布について見た。水生植物帯の水温は気温、日射、沖側及び湖岸側からの供給、水深によって支配されているものと考えられるから、上述の水温変動は概ね湖岸帯の湖水の流動の状況を代表しているものと見る事が出来る。

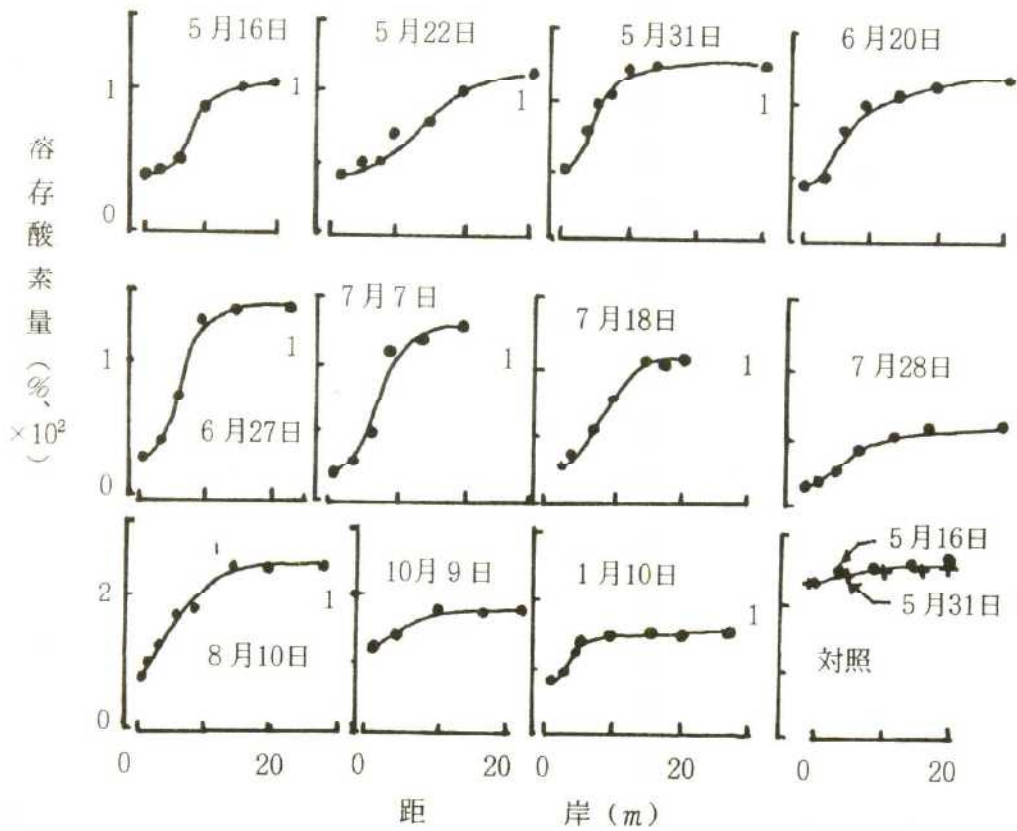
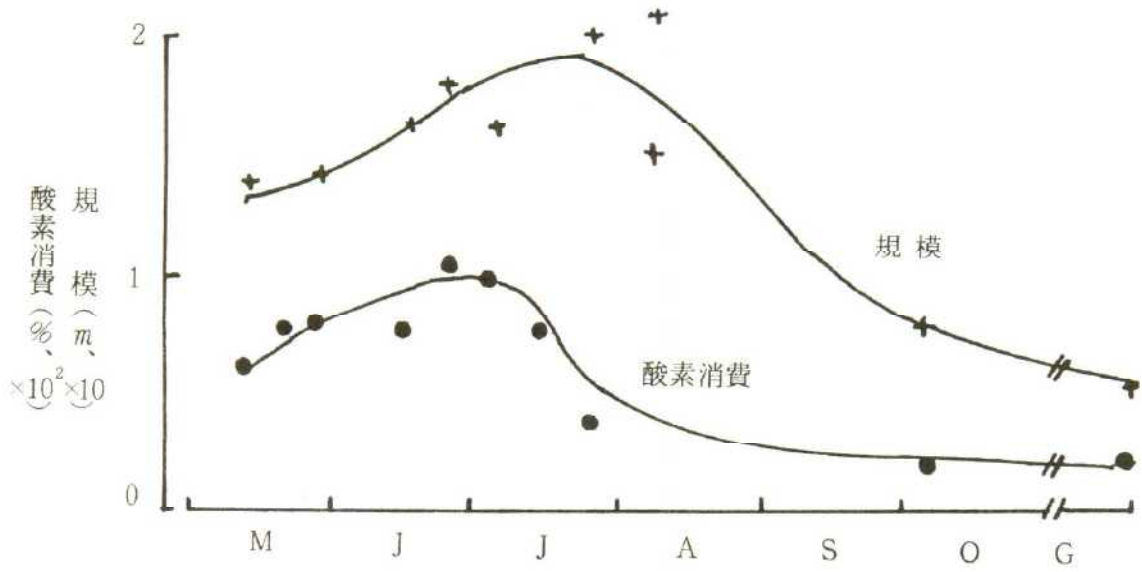
2-5 溶存酸素量

湖岸帯の溶存酸素量の変動を飽和度で示したものが第5図(下段)である。まず、対照水域のコンクリート護岸前面では、110～125%の範囲にあって、湖岸から沖合いにかけて、ほぼ、一定の値を示していた。これに対し、水生植物帯では常にロジスチック状の変動が見られ、湖岸より低く沖側で高値が観測された。又、8月10日の1例を除き距岸7.5メートルより岸寄りでは100%を下回っており、この水域では生産に比較して分解が卓越しているのではないかと考えられた。8月10日には距岸3メートル以内の範囲を除き過飽和の状態にあったがその原因として、観測時に大量に存在したアオコの湖岸帯での生産と沖側からの供給との2つの可能性が考えられたが、前述した照度の低さを勘案すると沖合いからの供給ではないかと考えられた。溶存酸素量の分布を水温のそれと比較すると水温が水生植物の繁茂の状況を極めてよく反映し、マコモ及びガマの2つの群落の生長に対応するような分布を示したのに対し、極めて単調なロジスチック曲線に従う点である。このことは、溶存酸素量を支配する要因が、水温の場合とは異なり、湖岸よりの部分で極めて大きな酸素消費が起こっており、このことが支配的であることを示している。

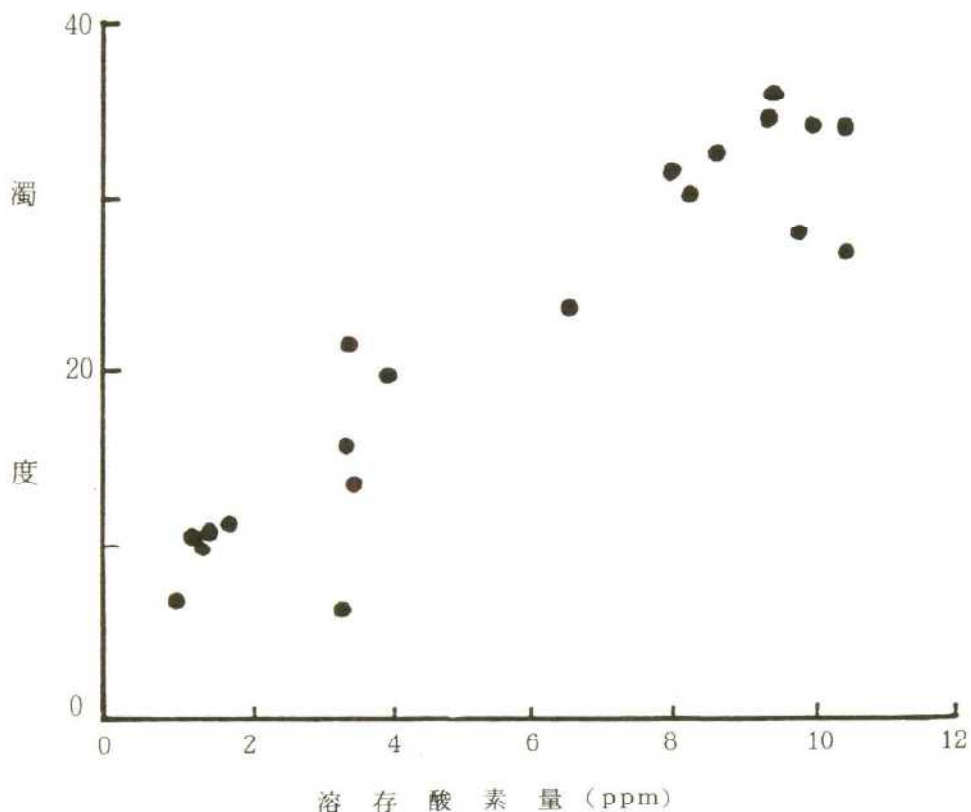
第6図に6月20日及び27日の濁度と溶存酸素量の関係を図示したが、両者の間には極めて高い正の相関関係が認められる。このことは、沖帯で生産されたプランクトンが湖岸帯に輸送される過程で、沈澱あるいは分解され、酸素生産が停止すると同時に呼吸量が増大するものと推定された。

以上のように、水生植物帯の溶存酸素量が沖合いに比較して低目の値をとる傾向は、1972年の調査でも認められていたが、今回の調査ではその傾向が一層強まったようである。

第5図で溶存酸素量は沖へ向かうにしたがって増大していき、ついには沖帯のそれと一致するが、この沖帯のそれと一致する距岸距離と酸素量の差を第5図上段に示した。又、沖帯と湖岸直下の酸素量の差を同様に図示した。ここで酸素量が平衡に達する距岸距離は湖岸帯の規模を、又、沖帯と湖岸直下の酸素量の差は水生植物帯における分解の大きさを示しているものと考えられる。このように考えると、湖岸帯は8月中旬まで発達し、距岸25メートルに達するが、それ以後は減衰に向かうものとみることが出来る。又、分解の大きさも8月以降には減少に向かっていることがわかる。



第5図 水生植物帯における溶存酸素量の変動(下)とそれによる水生植物帯の規模の評価(上)



第6図 6月25日供地先で測定値DOと濁度の関係

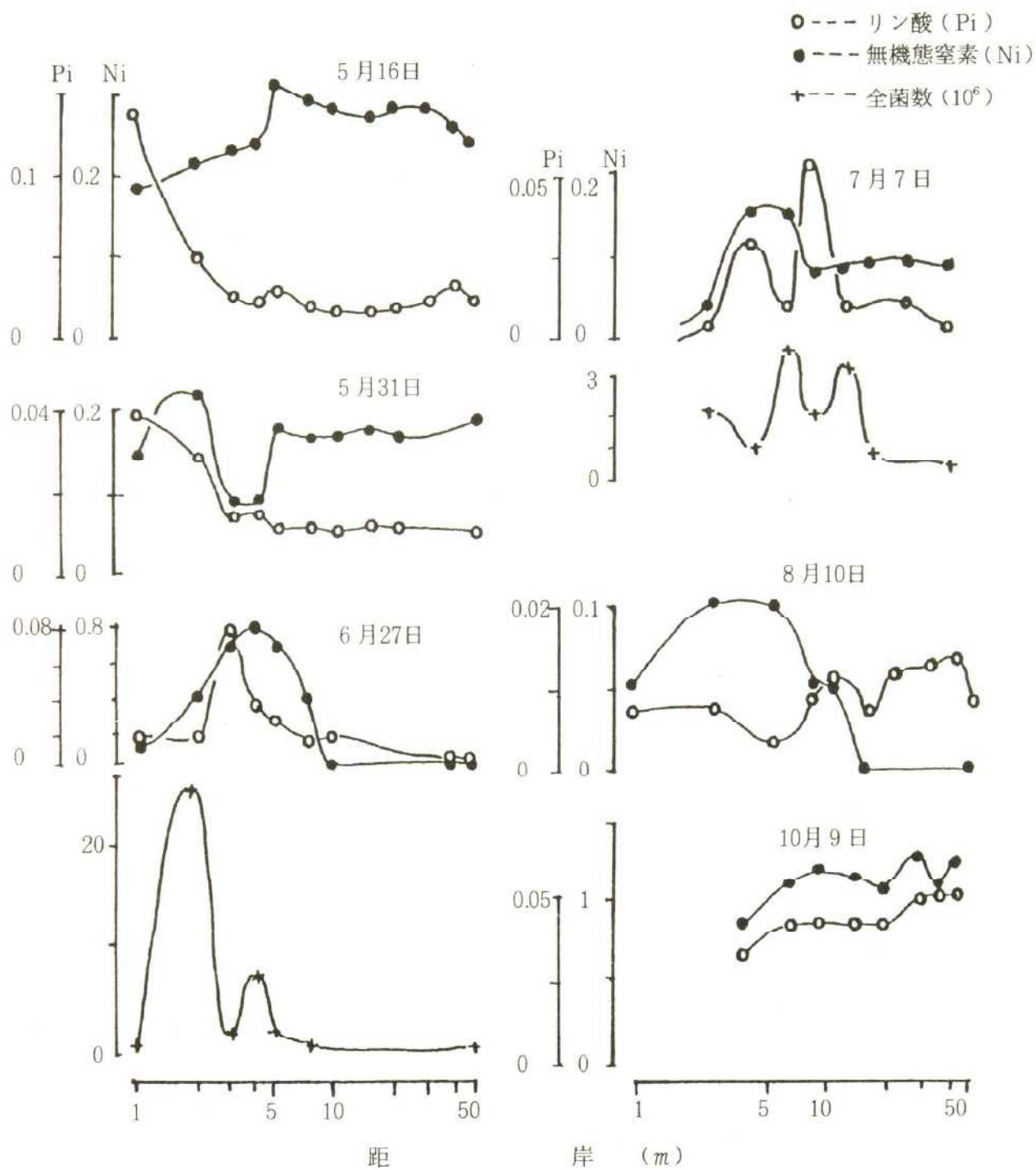
2-6 栄養塩類及びバクテリア数

湖岸帯における低酸素量は、酸素消費の大きさを、従って分解の大きさを意味するものである。そうであれば、当然のこととして、湖岸帯では栄養塩類の増大が起こるはずである。第7図にリン酸及び無機態窒素の変動を示した。

まず、硝酸態窒素 ($\text{NO}_2 + \text{NO}_3 - \text{N}$) は、5月には沖帯で高い値を示している。又、5月31日には湖岸よりにピークが認められたが、水生植物帯の発達にともなって、このピークが沖側へ移動する傾向が認められるようであった。硝酸態窒素の分布は水生植物帯の内部に見られるが、最奥部では、急激な減少を示す傾向が認められた。

一方、リン酸の変動を見ると5月には湖岸に近づく程高くなるが、水生植物の繁茂に従って、ピークが沖側へと移動した。又、7月7日には4及び10メートル付近の2ヶ所にピークが認められた。8月及び10月の調査では沖帯の値が大きく水生植物帯内部の変動は、これにおおわれてしまい明瞭ではないが、距岸10~20メートル付近にピークがあるのではないかと考えられた。

以上、リン酸及び硝酸態窒素について見てきたが、これらは、同じ傾向で変動するのではなく若干の空間的なズレを伴うようであった。又、バクテリア数は、リン酸に近い変動を示すようで



第7図 水生植物帯における栄養塩類の分布

あったが、ピークの出現に若干のズレが認められた。

水生植物帯における栄養塩の変動は有機物の分解と植物による消費によっておこるものと考えられる。又、溶存酸素量が極めて低い値を示したところから脱窒が、又、沖合いからの有機物の供給が大きな要因ではないかと考えられた。

2-7 プランクトン及び微小動物類

水生植物帯の中に出現するプランクトンは、沖帯のそれとは異なることが多く7月には沖帯で *Oscillatoria* や *Anabaena* が優占しているのに対し、水生植物帯では *Navicula* や *Coscinodiscus* 等の珪藻類が多くみられた。このことはこの水生植物帯が、沖帯とは異なる物質循環系を有しており、独自の栄養供給が行われていることを示しているものと考えられる。又、距岸5メートル以内には、特にワムシ類とヨコエビ類が豊富であった。

2-8 魚卵、仔魚

この水城には、産卵床となる沈水植物が全く見られず、ヨシ、ガマ、マコモ等に魚卵が認められはしたが、定量的検討は困難であったので50×100 cmの黒色の寒冷紗をテストピースとして、平方メートル当たりの卵数及び死卵数を数えた。テストピースの投入を5月下旬に開始したこともあって30～50メートル付近に産卵数が多く、時間の経過に伴い、更に沖側に移動する傾向が見られた。卵のへい死率は、湖岸に近づくにしたがって増えるようで5月31日の例では、5メートルの地点で30%、15メートルの地点で10%、その沖側では10%以下であった。(第2表)

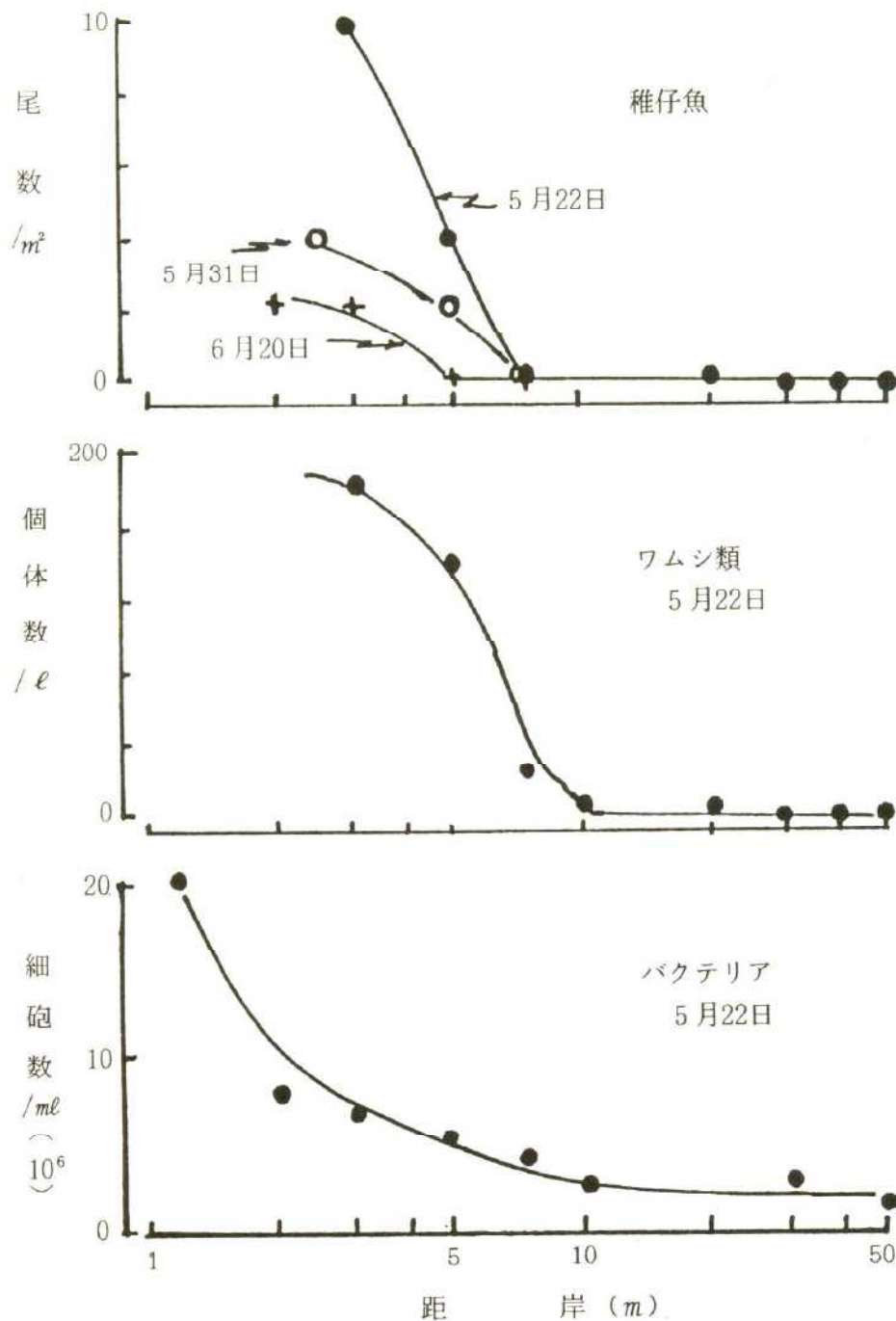
第2表 産卵及び仔魚の分布状況

区分 距岸m	5月22日			5月31日			6月22日		
	総卵数	死卵	仔魚	総卵数	死卵	仔魚	総卵数	死卵	死魚
3	24	4	10	—	—	—	—	—	—
5	373	6	4	15	4	1	—	—	2
10	128	9	0	—	—	0	0	0	0
20	214	4	0	35	4	0	0	0	0
30	38	2	0	313	8	0	0	0	0
40	—	—	—	434	9	0	—	—	0
50	39	4	0	364	19	0	0	0	0

区分 距岸m	6月27日			7月7日			7月23日		
	総卵数	死卵	仔魚	総卵数	死卵	仔魚	総卵数	死卵	死魚
3	—	—	0	—	—	—	—	—	0
5	—	—	6	—	—	6	—	—	5
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	1
30	0	0	0	0	0	0	—	—	0
40	—	—	10	—	—	10	—	—	0
50	61	2	0	0	0	0	0	0	0

仔魚は、5月には5メートルよりも湖岸よりに分布していたが、時間の経過にともない沖側へ移動する傾向が見られた。

以上、魚卵と仔魚の分布について見たが、卵が水生植物帯全域に見られたのに対し、仔魚は湖岸よりに限られるようであった。この傾向は、前述のワムシ類の分布と一致するようであった（第8図）。これらの卵の多くは、卵の大きさから判断してフナ類と考えられたが、後半にはやや大きめの卵が見られコイも産卵に参加しているものと考えられた。



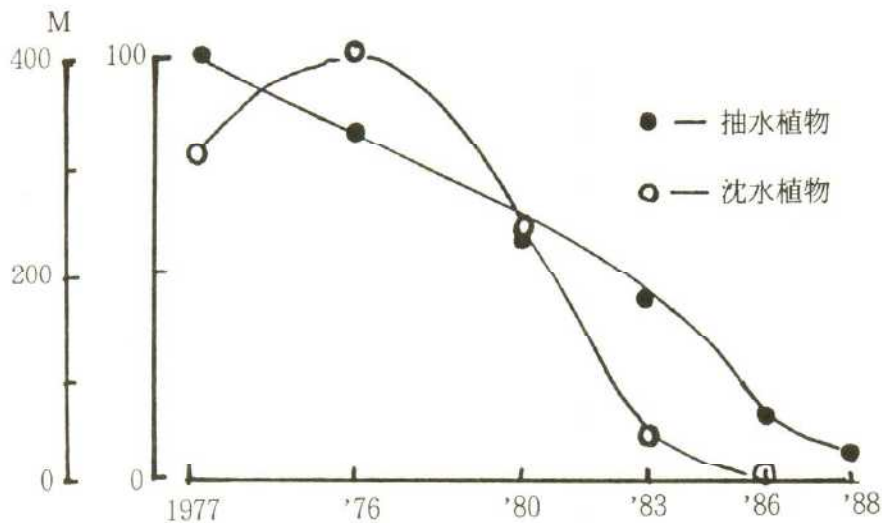
第8図 水生植物帯における仔魚，ワムシおよび全菌数の分布

3. 考 察

3.1 水生植物帯の減少

水生植物帯の減少については、漁業者や湖岸付近に居をかまえる住民から指摘されてきたところであるが、定量的、時系列的変化については不明な点が多い。第1図には、現在の水生植物帯と1973年8月の分布(桜井, 1981)とを同時に示したが、この間、15年間に大幅な抽水植物帯の減少が起こったことがわかる。又、内水面水産試験場前の水域の水生植物帯について、桜井(1973)と赤潮監視対策事業による航空写真とから、7~10月の間の抽水植物帯の面積の時系列的変化を1973年を基準として求めたものが第9図である。抽水植物帯は1978年頃から急激に減少し、1989年には、1973年当時のわずかに7%となり、なお、減少を続ける気配が見られる。桜井によれば1972年から1978年の6年間の減少は霞ヶ浦全体で64%であり、ここでの検討もこれに近い減少率である。従って、その後の減少が、更に急激であったことがわかる。その原因については、桜井が指摘しているように、一つは藍藻類の水の華等の有機物の集積とそれによる底質の強腐敗化及びコンクリート直立護岸に衝突した波浪による潜掘とが考えられる。当水産試験場前の場合、抽水植物帯付近の底質は砂ないし礫質であり、減少の原因として前者は考えにくい。8月以降になると、汀線付近のヨシは波浪に洗われて根が露出したり、倒伏する株が見られるようになる。また、前述したが水面付近で折れた株が見られる等、物理的原因による減耗が多いように思われる。又、現存する抽水植物帯ではその両端が、侵食され水生植物帯の面積が減少していく様子が観察される。こうしたことから、水生植物帯の減少の主要因はコンクリート護岸の施工に伴う波浪の潜掘と考えられる。

一方、沈水植物については、桜井は1972年から1978年の間に増大したことを確認している。今回の調査ではササバモ、エビモ、緑色系状藻類が稀に認められはしたものの、測定では無視できる程の少量であり、1980年以降に急激な減少が起こったことを伺うことが出来る。沈水植物帯の分布状況についても前述の資料に基づいて、湖岸からの分布距離を第9図に図示してある。沈水植物帯の規模は1978年頃にピークに達した後、減少に向かっている。1980年前後には玉造町高須から西蓮寺にかけてササバモが活発に繁茂し、この水域に造成されていた網イケス漁場への湖水の流動と酸素供給を妨げる程であったが、現在では、この水域にも沈水植物帯は殆ど見られない。沈水植物帯の消失の原因として考えられるのは、富栄養化の進行に伴う透明度の低下である。しかし、夏季の透明度が最も低下するのは、1973年から1980年の間で、沈水植物帯の急激な減少の時期の間には時間的なズレがあり、これが主たる原因とは考えがたい。もう一つの原因として考えられる要因は、沈水植物帯の減少が抽水植物帯の減少を後追いするような傾向を示しているところから、抽水植物帯の減少に連動したのではないかというものである。すなわち、抽水植物帯には沈水植物帯を涵養する機能が備わっているのではないかという考えである。こうした観点からの原因究明が今後の課題の一つである。又、前述のように、水面付近においてヨシが折れ



第9図 玉造町高須地先の水生植物帯の変遷
 (抽水植物については1972年の面積を100とした
 相対値、沈水植物は分布距岸)

る現象が見られたところから、沈水植物による抽水植物帯の涵養も考えられ、両水生植物帯の相互関係についての検討が今後の課題である。

3-2 水生植物帯における物質循環と浄化機能

水生植物帯の環境の特徴の一つは、沖帯に比較して溶存酸素量が低く、栄養塩類の濃度が高いことであった。溶存酸素量の低い原因として考えられるのは、抽水植物帯の植物が陸上植物であるために、この場で生産された酸素は大気中に放散されて、水中に溶け込む機会のないことがあげられる。又、前述のようにこの水域の湖水のプランクトンは沖帯と異なっており、しかも、その密度も沖帯の20~50%と低く、付着性藻類や緑色系状藻類の存在を勘案しても、水の生産力は高くはない点があげられる。又、水生植物の生長に伴い照度が低下し、このことを助長していく。一方、呼吸量はそこに集積された植物の遺骸や水の華、沈澱物によって比較的に大きいものと考えられる。このように抽水植物帯では、湖水の生産力には不利な条件が多いが、このことは逆に抽水植物の生育条件としては好ましいのではないかと考えられる。ヨシの生長とpHの関係をみると2ヶ月間の生長は、pH9の条件下のものは、7のもの20~50%だけ劣って(茨城県内水面水産試験場、1987)いることが報告されている。このことは、上記の仮説を支持している。

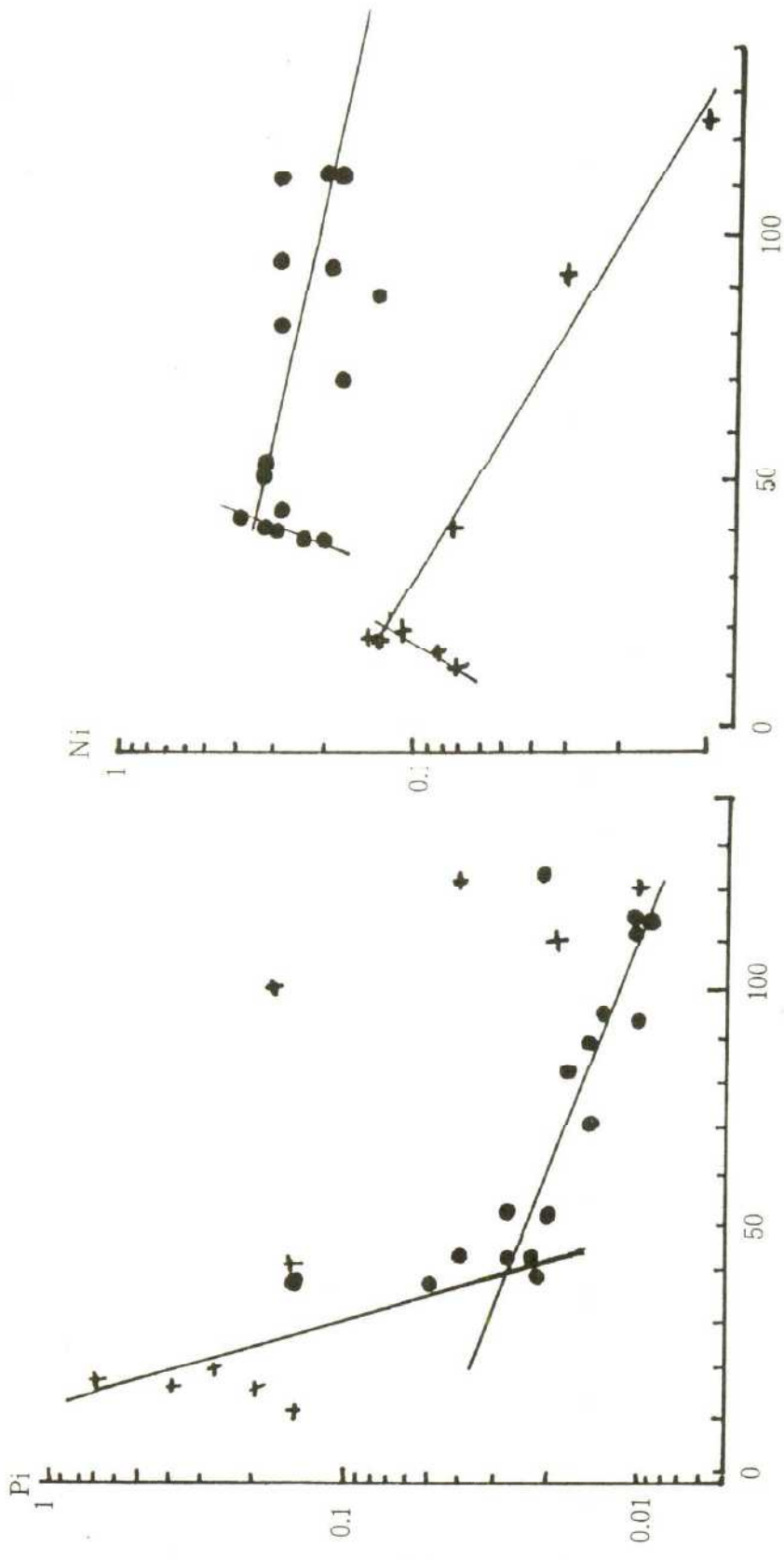
以上の検討によって、抽水植物帯を水域の生産の場ではなく陸域の生産の場と、又、水域の分解が高度に卓越した場と位置づけることが出来る。そして、分解を受ける基質は、秋から春にかけては水生植物が多く、春から秋にかけてはアオコを中心とする植物プランクトンと考えられる。実際に、夏季にアオコの水の華がヨシ帯に集積されている様はたびたび観察されてもいるし、桜

井(1981)の報告の中でも指摘されているところである。最近では、コンクリート製の船溜りの中に大量のアオコが集積されることがあるが、かつてヨシ帯に打ち上げられたり、ここで分解を受けたアオコやその他の有機物は、今や湖内で分解を受けることになっているのではないかと考えられる。そうであれば、かつて湖岸帯で分解を受けていた部分の負担を、今では沖帯が肩代りして湖全体の酸素収支に大きな変化が生じ、更にこのことが物質循環や1次生産の質や量に影響を与えている可能性も考えられる。こうした傾向を示す資料としては、コア状に採取した湖岸堆積物の還元状態を測定したものがあるが、これによれば1980年頃から湖内の還元状態が一層高まったことを示すデータが報告されている(浜田, 1989)

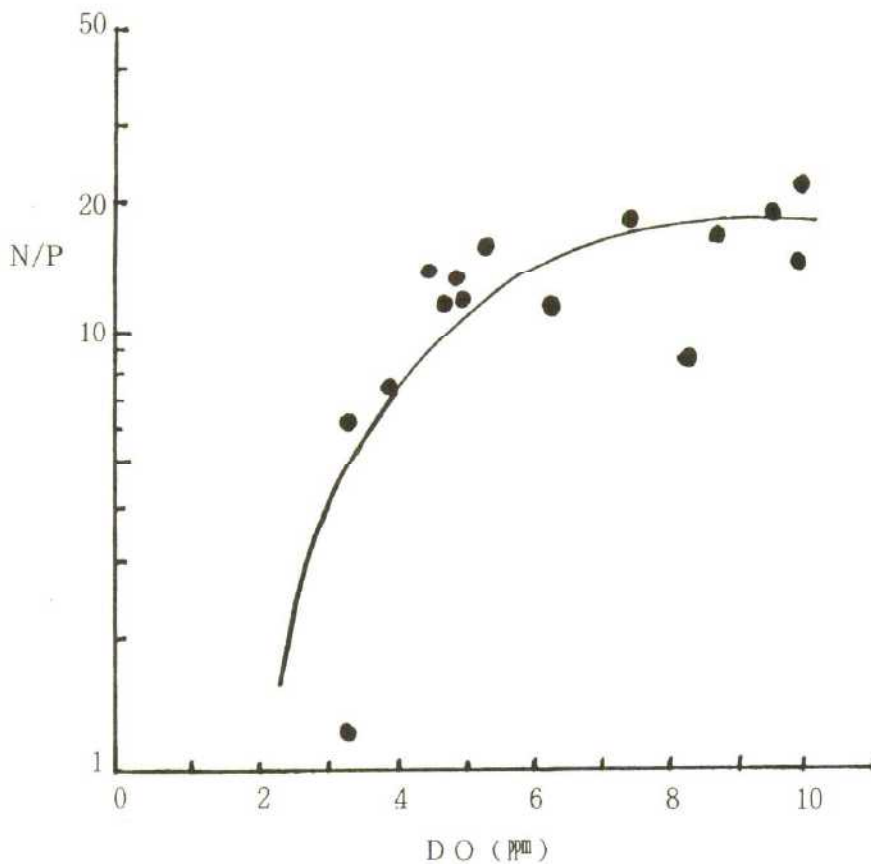
一方、最近アオコの発生が減少していて、これに代って *Phormidium*, *Anabaena*, *Oscillatoria* が優占するようになって来ている。従って夏季に湖岸帯に集積される有機物の量は減少しているのではないかと考えられるが、これが現在、存在する水生植物帯及びその物質循環にどのような影響を与えているのか、例えば基質の供給の減少によって水質浄化の機能の低下をひき起こしているのかなどについての検討が必要と考えられる。

次に、この分解の結果、生成されて来る栄養塩についての検討を試みる。第10, 11図に5月16, 31日, 6月27日の湖岸帯における溶存酸素量とリン酸、無機態窒素及びN/P比との関係を図示した。リン酸について見ると酸素量の低下に伴い急激に増大しており、両者の間に負の相関関係が認められる。このことは、酸素量が有機物の分解に利用されて、その結果、リン酸等の栄養塩の溶出が起こったことを示している。又、酸素量の40%付近に変曲点があってこれよりも酸素量の低い範囲では、リン酸の現存量が急激に高まる傾向がみられる。一方、硝酸態窒素は、酸素量の20~50%付近にピークがある。溶存酸素量が3ppmよりも高い範囲では、負の相関が認められるようでありその勾配は、リン酸のそれよりも大きい。又、そのピークよりも酸素量が低い範囲では硝酸態窒素の急激な減少が見られる。このN/Pを図示したものが第11図である。これによれば、N/P比は5ppm付近から低下しはじめ、3ppm以下では5以下の極めて小さい値が出現するようになる。ヨシ帯において相当量の脱窒が起こっているのではないかと指摘が既に行われている(細見, 1988)。ここでの検討も脱窒の可能性を示唆するものであるし、更に詳細に見ると7月以降リン酸のピークも沖側へと移動する傾向がみられ湖岸よりで低値を示すようになっていく。湖岸帯の水生植物の繁茂に伴い、それまで湖岸近くで行われていた分解や脱窒が沖側へと移動し、沖側から輸送されて来る基質は汀線の近くに達する過程で既に浄化されてしまい、分解に使われる基質の供給が途絶える可能性も考えられる。

以上、抽水植物帯における物質循環について検討してきたが、浄化機能という観点から考察すると2つの重要な機能が考えられる。まず、ここに集積される有機物の分解を促す機能である。湖面積に対して相対的に水深の大きい湖では鉛直方向に成層が発達することが多く、上層は生産系、下層は分解系と場の分化が起こり、物質循環の調和が保たれている。これに対し、水深が小



第10図 湖岸帯水域の溶存酸素量と無機態窒素(Ni)、リン酸(Pi)の関係



第11図 湖岸帯水域のDOとN/P比の関係

さい湖では、上下混合が活発でそうした鉛直方向の成層は起こりにくくなる。抽水植物帯の出現は、鉛直方向への場の分化が困難となった浅い湖の分解の場の確保のための適応と見ることは出来ないだろうか。そうであれば、コンクリート護岸の施工が物質循環を阻害している可能性が考えられる。このことは更に、1次生産へ影響を与えている可能性のあることを示唆するものである。こうした視点で霞ヶ浦の環境を見直すと新たな問題が浮かびあがってくる。霞ヶ浦の富栄養化の進行が社会的な問題となったのは1973年夏季のアオコの大発生をきっかけとしてであった。たしかにアオコの大発生は、水の華の集積によって景観を損ね悪臭を放つなどの点で利水上、問題である。しかし、アオコの大発生が起こったのは1970年から1980年の10年間が主な時期で、最近ではアオコに加えて*Anabaena*、*Oscillatoria*、*Phormidium*等の藍藻類が優占種となることが多い。しかも、これらの種は湖全体の大型酸素欠乏、魚病の発生、浄水への着臭に関係しているのではないかと見られており、アオコ以上に警戒を要する種と考えられる(外岡他, 1990)。新たに問題となってきたこれらの種の出現は1985年ごろからで、前述した水生植物帯の減衰と同じ頃に始まっている。この時期は、又、淡水化の定着する時期であって、 μ 切による影響も勘案しなければならないが、護岸の施工の影響が大きいとなれば、水生植物帯の復元によって改善

できるものである。

浄化機能のもう一つは脱窒である。N/Pから推定すると距岸10メートル以内の範囲が脱窒を活性に行っている水域ではないかと考えられる。脱窒の起こる条件としては硝酸態窒素の存在と嫌気状態であるが、この水域はこの2つの条件を兼ね備えている。硝酸態窒素は好気的条件下において生成されるものであるから、この脱窒帯と考えられる水域よりは沖側において生成されるものと見られる。硝酸態窒素の分布は前述したが、距岸5～20メートルの間にピークが見られることが多い。この空間はガマの繁茂がみられるところである。ガマの生育密度は、マコモに比較すると小さく20～50本/m程度である。しかし、重量ではマコモを凌駕するようになるのは、背丈が大きくなることによるものである。したがって、ガマ帯では水の交流は阻害はされるもののマコモ帯ほどではなく酸素量の低下は、極端ではない。しかし、ガマは背丈が高くなるために照度はマコモ帯よりも低く、ここでは分解の方が卓越し、しかも硝酸態窒素が生成されるものと考えられる。これに対し、マコモ帯は分布密度が高く水の交流を阻害し低酸素状態を促進しやすい構造となっているようで、脱窒の条件が準備されやすい条件下にある。

以上のように、抽水植物帯は空間的には沖合いの比較的溶存酸素量の高い水域（ここではガマ帯）と、湖岸よりの比較的酸素量の低い水域（ここではマコモ帯）から成り立っている。そして前者は無機化と硝化の機能を、後者は脱窒の機能を果たしているものと考えられる。この空間構造は、固定的なものではなく水生植物帯の生長とともに沖合いに移動していくものと考えられる。このように、湖岸帯には自然浄化機能が備わっており、その構造と機能を定量的に解明するのが今後の課題である。

3-3 水生植物帯と幼稚仔保育機能及び群集構造との関係

水生植物帯がコイやフナ類の産卵場として重要であることは、経験的にも知られている。しかし、その構造については不明な点が多い。まず、産卵床としての機能であるが、テストピース投入の試験結果によれば水温の低い早期には浅い湖岸よりで産卵が始まり、順次、沖合いに向かっていくが、産卵床が存在すれば沖岸の区別なく産卵が行われる。この点については1972年に木原地先の水生植物帯で行った調査によっても同傾向の結果が得られている。これに対し、稚仔魚の分布は距岸10メートル以内に集中している。稚仔魚の生き残り条件として考えられるのは、初期餌料と被補食である。仔魚期の餌料の一つとしてワムシ類が重要と考えられる。ワムシ類の分布は第8図に示したように距岸10メートル以内で多く、仔魚の分布と同傾向を示している。このことは、コイ、フナ類の生き残りの条件として餌料条件が産卵床以上に重要であることを示している。水生植物帯の環境については、既に述べたところであるが、コイ、フナ類の産卵期には分解が卓越し、バクテリアの増大の傾向はワムシ類や稚仔魚出現傾向と同じであり、原生動物や動物プランクトンのそれとは異なっている。こうしたことから、稚仔魚の生き残りにはワムシ類の自然条件下における増殖の善し悪しが重要な要因と考えられる。そして、このワムシ類の増殖条件

として考えられる重要な要因は、ここで検討したように基質の供給と水生植物帯の分解卓越性であると考えられる。コイ、フナ類の産卵、孵化が行われる4～6月は、湖は普通、冬季の分解期を終えて生産期に入っている。ワムシ類の増殖はpHが低めでバクテリアが増殖しており、植物プランクトンの生産が抑制されている条件下で促進されているといわれている。ここでの水生植物帯でのワムシ類の増殖条件も、この条件に一致しているが、そうであれば既に生産期に入っている4～6月には沖帯では初期餌料の生産は、むしろ抑制される傾向にあるものと考えられる。従って、この時期に生き残り条件の好ましい場を求めるとすれば水生植物帯が格好の場となる。

こうした視点から、霞ヶ浦の群集構造について若干の考察を試みておきたい。霞ヶ浦において、産卵場として最も安定した好ましい場は砂質帯と考えられる。この場は、湖岸帯の水深1～3メートルの範囲にあって湖流が卓越し、これによって卵は好ましい状態に保たれる。この場所は、ワカサギ、シラウオによって占有されている。又、湖の物質循環の年周期から考えると、ワカサギ、シラウオの産卵期の2月は分解期の最終段階に当たり湖全体で初期餌料の活発な時期にあたる。この最も好ましい時間帯が空間同様にワカサギ、シラウオによって占有されてしまっており他種は利用できない。従って、この後に出現して来る種は、種の維持、拡大をはかるためには時空間的にこれとは異なる幼稚仔の保育場を確保しなければならない。しかし、ある程度の規模の水生植物帯の出現はある段階までの富栄養化の進行を待たなければならないから、網走湖や小河原湖のようにワカサギが優占している雑食性魚類の少ない湖が存在することになる。

以上、水生植物帯と群集構造という観点から、水生植物帯の出現の生態学的意義について考察を加えてきた。そして、それがコイやフナ类等雑食性魚類の出現を保証し、このことが更に雑食性魚類のデトライタスの摂食、代謝を通して湖内の物質循環に関わりを持つことになる。生態系における水生植物帯の存在意義をこうした点に求めることが出来るように思われる。

4. 要 約

1. 湖岸帯の水生植物帯は最近15年間に大幅な減少を示した。又、沈水植物帯は殆ど認められなかった。
2. 水生植物帯においては、溶存酸素量が沖合いに比較すると、常に低く生産に比較して分解の卓越する場と規定することが出来るように思われた。
3. 水生植物帯の水質について特徴的なことは、リン酸と硝酸態窒素が高くN/P比が小さくなる傾向にあって脱窒の可能性が示唆された。
4. 水生植物帯は分解の卓越する場であると同時に、ワムシ類等の魚類の初期餌料の豊富に生産される場であり、水生植物帯を産卵の場としている種の維持に重要である。従って、湖内の群集構造、生態系を安定させる機能をも果たしているものと考えられる。

5. 引用文献

- 1) 根崎 守弘他(1988):霞ヶ浦江戸崎入水草帯における水質変動特性, 国立公害研報告 R-117-'88。
- 2) 浜田 篤信(1989):霞ヶ浦底沼中の Fe^{++} /T-Fe 値について, 本誌 25。
- 3) 細見 正明他(1988):アソ原の自然浄化能を活用した生活雑水排水処理, 国立公害研報告, R-119-'88。
- 4) 茨城県(1976):昭和51年度霞ヶ浦漁場環境監視対策事業写真集
- 5) 茨城県(1977):昭和52年度霞ヶ浦漁場環境監視対策事業写真集
- 6) 茨城県(1983):昭和58年度霞ヶ浦漁場環境監視対策事業写真集
- 7) 加瀬林成夫他(1972):藻場の造成基準に関する調査, 茨城県内水面水産試験場加瀬林成夫業績集。
- 8) 野原 精一他(1986):霞ヶ浦江戸崎入水草帯における水生高等植物の生産, 国立公害研報告 R-96-'86。
- 9) 野原 精一他(1988):霞ヶ浦江戸崎入水草帯における栄養塩の挙動, 国立公害研報告 R-119-'88。
- 10) 桜井 善雄他(1973):霞ヶ浦生物調査
- 11) 桜井 善雄(1981):霞ヶ浦の水生植物のフロラ, 被面積および現存量, 国立公害研報告 R-22-'81
- 12) 高村 典子他(1986):霞ヶ浦江戸崎入水草帯における水質とプランクトン及び付着藻類の生産, 国立公害研報告 R-96-'86
- 13) 外岡 健夫(1990):1988年に霞ヶ浦で発生した酸素欠乏について, 本誌 26。