

1988年に霞ヶ浦北浦で発生した酸素欠乏について

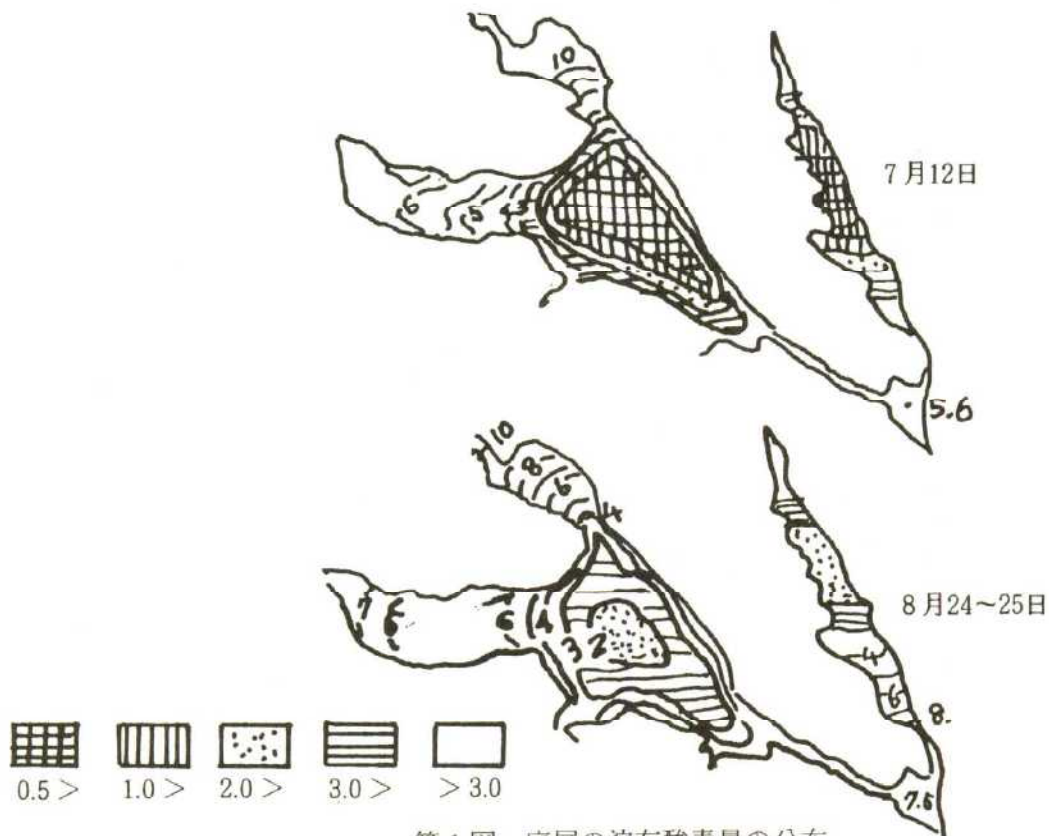
外岡 健夫 ・ 浜田 篤 信

霞ヶ浦では、1950年頃、夏季にワカサギが大量に死んで浮き上がったり、セイゴが死ぬことがあったが、1955年以降はそうした事故は見かけられなくなっていた。1965年以降になると、常陸川でシジミが大量にへい死したりカビ病が発生するなど1955年から1965年の間には見られなかった漁業被害が発生するようになって来るが、湖全体で酸素欠乏が発生し、魚類のへい死が観察されるようになるのは1973年が最初である。この年以降、現在までに網イケス養殖業は、幾度かにわたって酸素欠乏にみまわれ被害が発生したが、一般漁業にあつては1973年以降は、養殖業ほどは頻繁ではなく1978、1979、1982及び1983年の4回にとどまっており、それ以降は大規模な酸素欠乏は発生していなかった。ところが1988年夏季に霞ヶ浦北浦の広範囲にわたって大規模な酸素欠乏が発生し、一般漁業に被害が発生したので調査を行った。その結果について報告する。

調 査 結 果

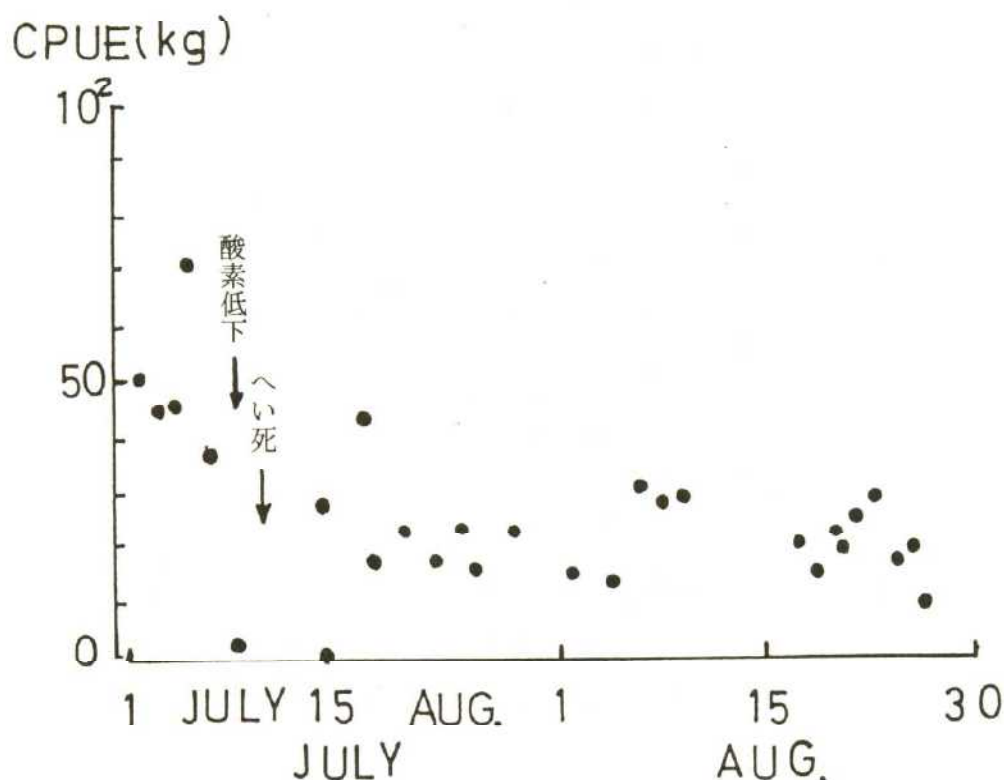
1) 酸素欠乏の発生と漁業被害

1988年7月9日から湖心付近で酸素量の低下が起こった。7月11日には霞ヶ浦湖心部で操業中



第1図 底層の溶存酸素量の分布

のイサザ・ゴロ曳網で漁獲した漁獲物（テナガエビ・ハゼ類）の95%以上がへい死状態にあった。北浦においても7月10～13日の3日間に三和から水原付近にかけて酸素量が低下し、底引き網で捕獲したテナガエビ、ハゼ類の95%以上がへい死した状態であった。第1図に7月12日の底層（湖底から20cm上層）の酸素量の分布を示した。漁業者からの聞き込み調査によれば、へい死しなかった水域は土浦入り高浜入り、北浦では北浦村三和から上流及び神宮橋から下流でありこれらを除く全水域で魚介類のへい死が発生した。この酸素欠乏が発生した期間中に、テナガエビやハゼ類が浅所に移動したりシラウオが流入河川に遡上する光景が見られた。第2図に7月1日から8月28日までのイサザ・ゴロ曳網のCPUE値（1日1隻当り漁獲量）を示した。CPUE値は酸素欠乏



第2図 イサザ・ゴロ曳網の一操業当り漁獲量（CPUE）の変動

が発生する9日以前には40～70kgを示しているが酸素欠乏状態が発生すると漁獲量は皆無となり、8月14日まで操業を中止している。この期間には、前述したようにテナガエビ、ハゼ類は沖合いの底酸素水塊をさけて酸素量の比較的高い湖岸よりに移動するものと考えられる。事実、この期間には湖岸帯に設置される張網の漁獲量が増大している。酸素量は約1週間後に回復しているが回復後のCPUE値は約20kgで安定した値を示した。CPUEは資源量の相対値と見ることが出来るから、この酸素量の低下を境に資源量水準は1/2に低下したことになる。養殖ゴイについては、業者にたいして予め低酸素発生の予報を広報し、餌止めや曝気をよびかけていたこともあって大量へい死は避けられた。7月上旬に始まった酸素欠乏は9月上旬までに5回発生し、その度毎に養

殖ゴイのへい死が発生したが被害量は比較的少なく9月11日の北浦江川の24トンを除けば5トン以下であった。

9月にはいとチチブ、ヒガイにカビ病が発生した。症状は1971、1972年に発生したものの程重傷ではなく僅かに体表に付着したカビが確認される程度であった。9月10日に行ったチチブのガビ病罹病率の調査結果を第1表に示した。調査は高浜入り奥部から湖岸ぞいに流下し玉造町荒宿までの間に7点をもうけ、水深2m付近の地点で投網を用いて採集したものについて行ったも

第1表 チチブのカビ病罹病率

地 点	罹病率(%)
田 余(高浜入)	0
沖 洲(")	12
八木時(")	0
浜 (")	0
高 須(")	30
船 津(湖心部)	25
荒 宿(")	25

採集は投網、標本数20
1988年9月10日調査

のである。この結果によれば、高浜入りでは沖洲で12%とやや高い値がみられるが他の3地点では病魚は見られなかった。これに対し湖心に面した高須、船津及び荒宿では25~30%が罹病しており湖心部と高浜入りでは差が認められた。又、この期間には、湖水を汲み上げている当水試内の池でチチブ、リュウキンにカビ病が発生したり、ペヘレイのへい死が起こった。

Oscillatoria の優占は10月下旬まで続いたが、11月にはいと大型のコイ及びハクレンのへい死が起こった。まず初めに、古渡漁業協同組合から、これについての原因究明の依頼があった。この際、コイの行動が例年と異なり越冬期に入ってもコイが湖内を動き回っている旨の話が聞かれた。12月中旬になると麻生町役場から麻生町の湖岸一帯にハクレンの死体が大量に打ち上げられているので調査してほしい旨の連絡があった。へい死がピークに達したと思われる1月12日に玉造町浜から手賀新田までの5kmの間を調査したところハクレン及びコイの死体がそれぞれ69及び55個体見られた。へい死直後のものについては筋肉中の脂肪含有量を測定したが、1.8~2.2%という結果が得られた。コイが越冬するのに必要な体脂肪含有量は2.5%といわれるが(山崎, 1972), この結果はこれを大きく下回っている。更に詳しい調査を必要とするが、もし体脂肪の低下がへい死に関係していたとすると、*Oscillatoria* の漁業への影響として、魚類への栄養供給、

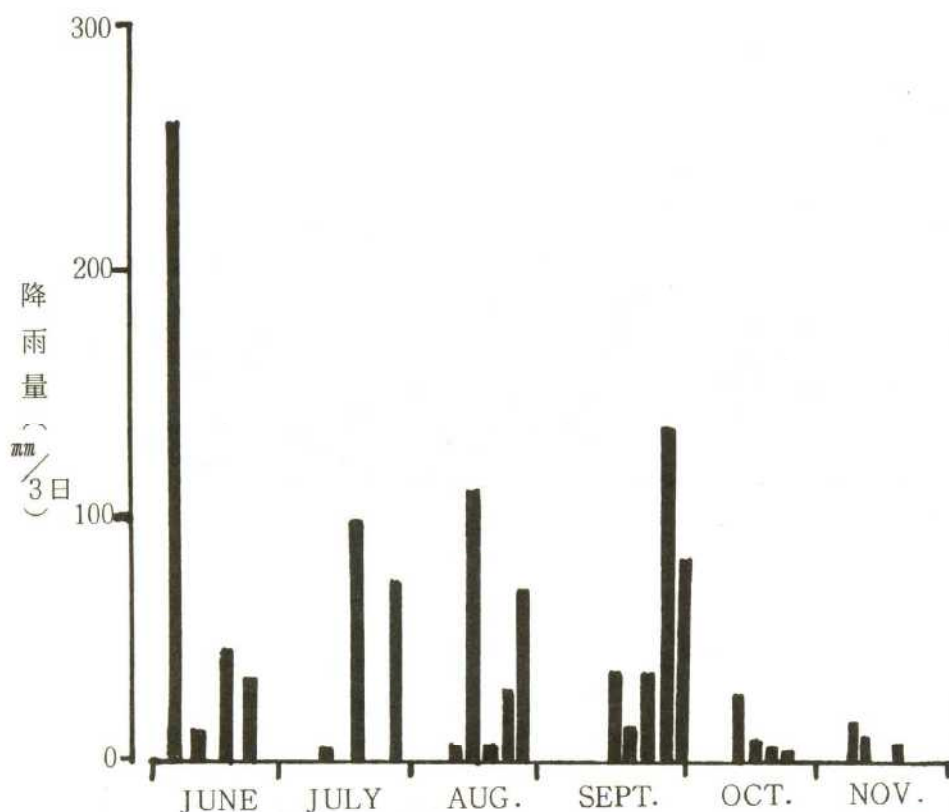
すなわち1次生産から高次生産への過程を問題にする必要があるのではないかと考えられる。1988年にはテナガエビの発生が例年になく遅れた。この原因として、一般的には日射量不足が挙げられるが、1次生産についての検討も必要と考えられる。

以上1988年の漁業被害について述べてきたが、それらを大別すれば、酸素量の低下による被害、プランクトンが産生する代謝産物が魚類に及ぼす影響、1次生産の質の低下にともなう漁業生産の変化の3点が問題となる。

なお、霞ヶ浦北浦の下流に当たる利根川太田新田地先のヤマトシジミの養殖場で8月下旬から9月上旬にかけて、大量に地蒔してあったヤマトシジミが殆どみられなくなるという現象があったが、調査をしたところここでも*Oscillatoria*が優占していた。

2) 気象条件

1988年は6月以降雨が降った。特に7月下旬から10月上旬まではその傾向が顕著であった。第3図に3日毎の降雨量を示した。例年ならば晴天の続く7月下旬から8月下旬にかけても晴天の日が2日以上続くことはなく、7～9月の間の晴天の日数は僅かに21日であった。



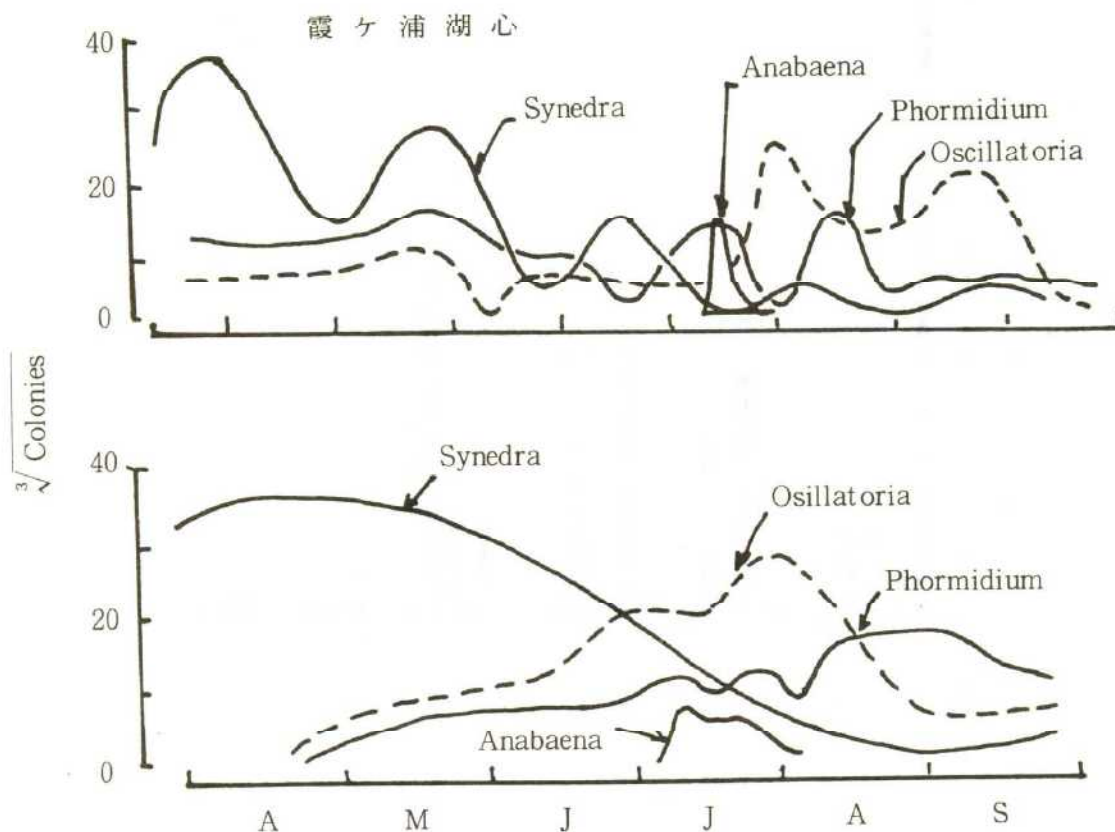
第3図 1988年夏季の降雨量 (3日毎の値)

以上のように本年度の夏季の気象条件の特徴は比較的に低温、多雨、日射量不足であった。

3) 植物プランクトンの季節変化

霞ヶ浦（湖心）では3月に*Synedra* が優占し3月下旬には43,000 cells/mlにも達した。以後9月までの間に3回、したがって3月の大増殖を勘案すると7ヶ月間に4回の増殖のピークが見られた。この間、1増殖期間の周期は3月の60日がもっとも長く、順次短くなりピークも4,300から20,000、2,000を経て9月には64へと減衰した。3月には*Phormidium* が1,500 colonies/ml、*Oscillatoria* 600の密度で混在しており、6月中旬まではこの3種が比較的安定した状態を保ちながら推移した。6月には一時*Synedra* の勢力が衰えたが、7月下旬には3度優占し8月に入ってから*Phormidium* が優占種となった。*Phormidium* の増殖がピークに達する頃から*Anabaena* の増殖が始まり、*Phormidium* にかわって優占種となった。この2種の密度は8月中旬から下旬にかけて低下に向かい代わって*Oscillatoria* の増殖が始まった。*Oscillatoria* は8月下旬には15,000 colonies/mlに達し9月中旬に一時*Phormidium* が*Oscillatoria* と同程度までに増殖した時期を除けば常に優占した。*Oscillatoria* は10月31日には7,000 colonies/mlの密度であったが、11月にはいと減衰に向かい急激に減少した。こうしたプランクトンの増殖状態を反映して透明度が急上昇し、1月10日には湖心で観測史上最高の5.1 mを記録した。

北浦（白浜）でも、3月には*Synedra* が40,000 colonies/ml 高密度で分布していたが、4月下旬になると*Phormidium* 及び*Oscillatoria* の2種が1,000 colonie 程度混在する状態で推移し



第4図 1988年のプランクトン優占種の変動

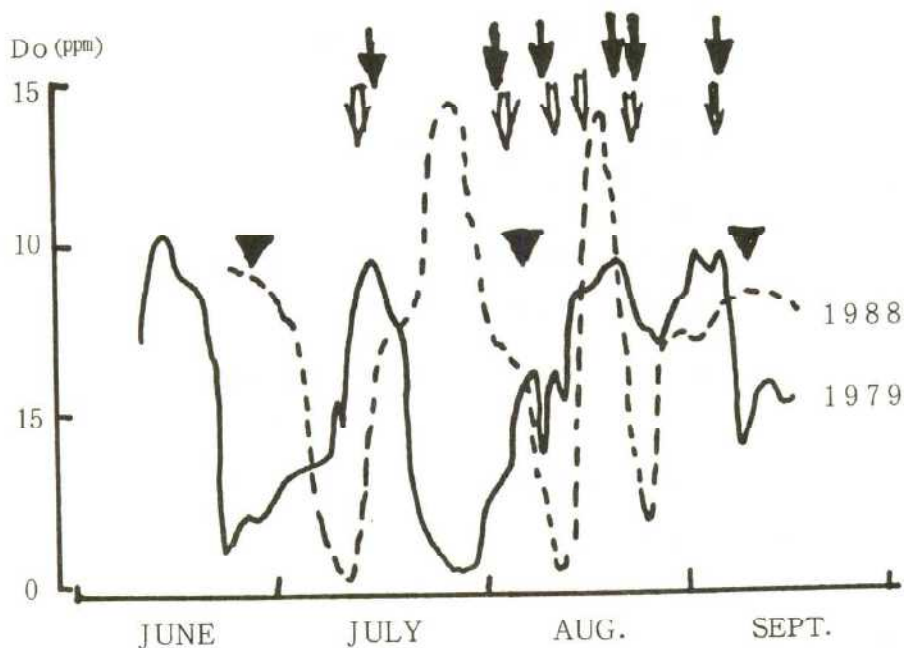
た。6月にはいると *Synedra* の密度が低下し始め、これに代わって *Oscillatoria* と *Phormidium* の増殖が活発となり7月に入って *Oscillatoria* が優占種となった。又、それと同時に *Anabaena* が出現し始めた。7月10日頃にこの3種の密度が低下したが、以後8月中旬までは *Oscillatoria*、9月下旬までは *Phormidium* 優占の状態に推移した(第4図)。

以上霞ヶ浦北浦の植物プランクトン出現状況について述べたが、特徴的なことは *Microcystis* が殆ど出現せず8月以降は *Oscillatoria* と *Phormidium* が優占種となって推移した点であった。

4) 溶存酸素量の変動

霞ヶ浦では7月9日から溶存酸素量が低下し始め、7月10日には1ppm以下に低下した。この状態は3日間続き、その後回復に向かい7月14日にはほぼ平常に戻った。第1図に7月12日の底層の溶存酸素量の分布を示したが湖心付近のほぼ全域で1ppm以下に低下していた。その後、霞ヶ浦では20日程安定した状態が続いたが8月3日頃から再び低下が始まり8月7～9日には1ppm以下に、又8月22～24日の間にも3度低下がおこった。北浦では8月15日頃から9月上旬にかけてやや低めの状態にあったが、9月9日及び9月19日には2ppm以下に低下し、養殖ゴイのへい死がおこった。

次に湖心底層の溶存酸素量の変動を示したものが第5図である。溶存酸素量は6月30日頃から



- ↓ 1973へい死
- ↓ 1988 "
- ▼ 1979 "

第5図 1988年と1979年の酸素量比較

減少し始め7月に入ると急激に減少し7月10日頃には殆ど0となったが、その後、急上昇を示し7月27日には15ppmにも達した。このピークの後、再び急激な減少に向かい2週間後には再び1ppm以下となった。この低下後、再び急上昇し10日後には14ppmに達したが、5日後には3度低下に向かい2ppmに低下した。この一連の変動を溶存酸素量の低下が顕著であった1979年と比較すると、2回の顕著な低下と、それに続く軽度の3回の低下が起こっている点で、この年の変動とよく一致しているが、その出現時期については若干の時間的ズレを伴うようである。1979年の溶存酸素量の低下は、いずれも出現していた植物プランクトンの消長と関係しており、第1回目の酸欠は*Closterium*、第2回目は*Anabaena*、第3回目は*Microcystis*の急激な枯死に関係している(浜田他, 1975)。これに対し1988年の場合には、まず*Synedra*、*Phormidium*、*Oscillatoria*の混在する状態で*Phormidium*が枯死した時点で酸欠状態が発生し、第2回目は*Anabaena*、第3回目は*Phormidium*の枯死に際して発生した。1973年及び1979年の大規模酸欠は、前年の秋期から発生試手CODを約10ppmに高めていた*Closterium aciculare*の6月の枯死によって引き起こされたもので、このことを出発点として*Anabaena*、*Microcystis*の出現とそれらの枯死にともなう酸欠をもたらしたものであった。最近では、ここで問題となった*Closterium aciculare*は見られないが、代わって*Phormidium*や*Oscillatoria*が出現するようになってきているように思われる。

考 察

以上、1988年夏季の溶存酸素量変動とそれともなう漁業被害について述べたが、溶存酸素量の低下が大きかった割には養殖業の被害は比較的になかった。しかし、一般漁業について見ると大きな被害が発生しており、漁業全体をみると決して楽観は許されない状況にある。一般漁業に被害が発生したのは1973年であるが、その後、幾たびか発生しており、最近その傾向が強まったのではないかと考えられる(第2表)。1988年を中心に漁業被害の問題点を要約すると以下の通りに大別される。

1. 1988年夏季に*Microcystis*が殆ど出現せず、*Phormidium*、*Oscillatoria*が優占したのはなぜか。
2. 1988年に出現したこれら2種の藍藻類は漁業被害とどのような関係にあるのか。又、最近の漁業生産の低下にどのような影響を及ぼしているのか。

の2点である。

まず、カビ病の発現機序についてであるが、1971、1972年に広範囲にわたって発生したが(熊丸, 1972)、この時期のプランクトンが*Oscillatoria*であったところから、カビ病の発生にプランクトンが何らかの係わりをもつのではないかと考えられる。その原因の一つとして、このプランクトンの餌料の栄養条件の不完全さが、第2にプランクトンが産生する代謝産物が考えられる。この点を確かめる目的で、*Oscillatoria agardii*が増殖している池に50センチ四方のアミイケスを

第2表 霞ヶ浦における富栄養化による漁業被害

年月日	被害内容	原因	被害量(トン)	地 点	備 考	文 献
8. 10, '66	シ ジ ミ	酸欠	1045	常陸川	〆切による酸欠	8)
5. 10, '71	一般漁業	カビ病	不明、大			6)
6. 11, '72	同上	"	"			
8. 11, '72	養殖コイ	酸欠	50	手賀		2)
5. 7, '73	シ ジ ミ	Closterium	2053		酸欠	1)
7. 16, '73	養殖コイ	Anabaena	250	玉里		
"	"	"	157	田余		
"	"	"	140	玉造		
"	一般漁業	"	105	出島		
7. 22	養殖コイ	Microcystis	26	大洋		
7. 29	"	"	107	北浦村		
7. 31	"	"	19	玉里		
8. 2	"	"	5	出島		
8. 3	"	"	15			
8. 5	"	"	2		酸欠	
8. 4	"	"	60	大洋		
8. 4	"	"	92	北浦村		
8. 4	一般漁業	"		北浦上流域		
8. 10	養殖コイ	"	80	出島、小津		
8. 13	"	"	40	玉造		
8. 11	"	"	5	北浦村山田		
8. 22	"	"	13	玉造沖洲		
8. 25	"	"	32	玉里		
9. 4	"	"	6	玉造沖洲		
9. 5	"	"	40	玉造		
9. 6	"	"	2	大洋江川		
9. 13	"	"	258	出島柏崎		
5. '74	養殖コイ	魚病	2	玉造手賀		
6. 12, '74	"	農薬	80	大洋、古渡	モリネット系農薬	7)
6. 15	"	魚病及び酸欠	6	玉造		
6. 23	"	"	10	出島		
7. 30	"	"	20	沖宿		
9. 7	"	"	20	出島		
9. 9	"	"	50	出島		
9. 13	"	"	100	玉造		
9. 18	"	"	100	出島		
10. 5	"	"	20	沖宿		
9. 19	"	"	10	大野		
9. 28	"	"	5	北浦村		
7. 28, '78	養殖コイ	Anabaena	150	玉造、田余	酸欠	2)
7. 28	一般漁業	"	不明	高浜入り		
5. 6, '79	シ ジ ミ	Closterium		常陸川		
7. 1, '79	養殖コイ		208	玉造玉里出島大洋		
7. 7	"		5	玉造		
7. 14	"	Anabaena	5	玉造		
8. 5	"		120	玉造	酸欠	2)
"	一般漁業			霞ヶ浦		
9. 20	養殖コイ	Microcystis	10	玉造		
3. 12, '79	異臭魚	富栄養化				
6. 24, '80	養殖コイ		2	大洋	酸欠	5)
9. 20-30	"		40	出島		
6. 25, '81	養殖コイ		10	大洋	酸欠	5)
8. 2	養殖コイ他		20	土浦沖宿		
7. 7, '82	養殖コイ		20	玉造出島	酸欠	5)
7. 13	"	Anabaena	5	大洋		
8. 27	"	Anabaena	30	玉造		
9. 10	一般漁業		不明			
9. 10	養殖コイ	Microcystis	180	玉造		
8. 22, '83	養殖コイ		30		酸欠	5)
8. 27	養殖コイ		3			
9. 7, '84	養殖コイ		4	田伏	酸欠	5)
10. 10	"		6	大洋		
6. 7, '85	養殖ナマズ		不明	玉造	酸欠	6)
9. 16	養殖コイ		不明	大洋		
7. 21, '87	コイ、フナ	Anabaena	24	大洋	酸欠	5)
7. 12, '88	一般漁業	Anabaena	不明、大	全域	酸欠	5)
8. 4	養殖コイ	Oscillatoria	2	出島小津		
8. 9	"	"	5	玉造		
8. 22	"	"	5	出島		
9. 11	"	Phormidium	24	大洋		

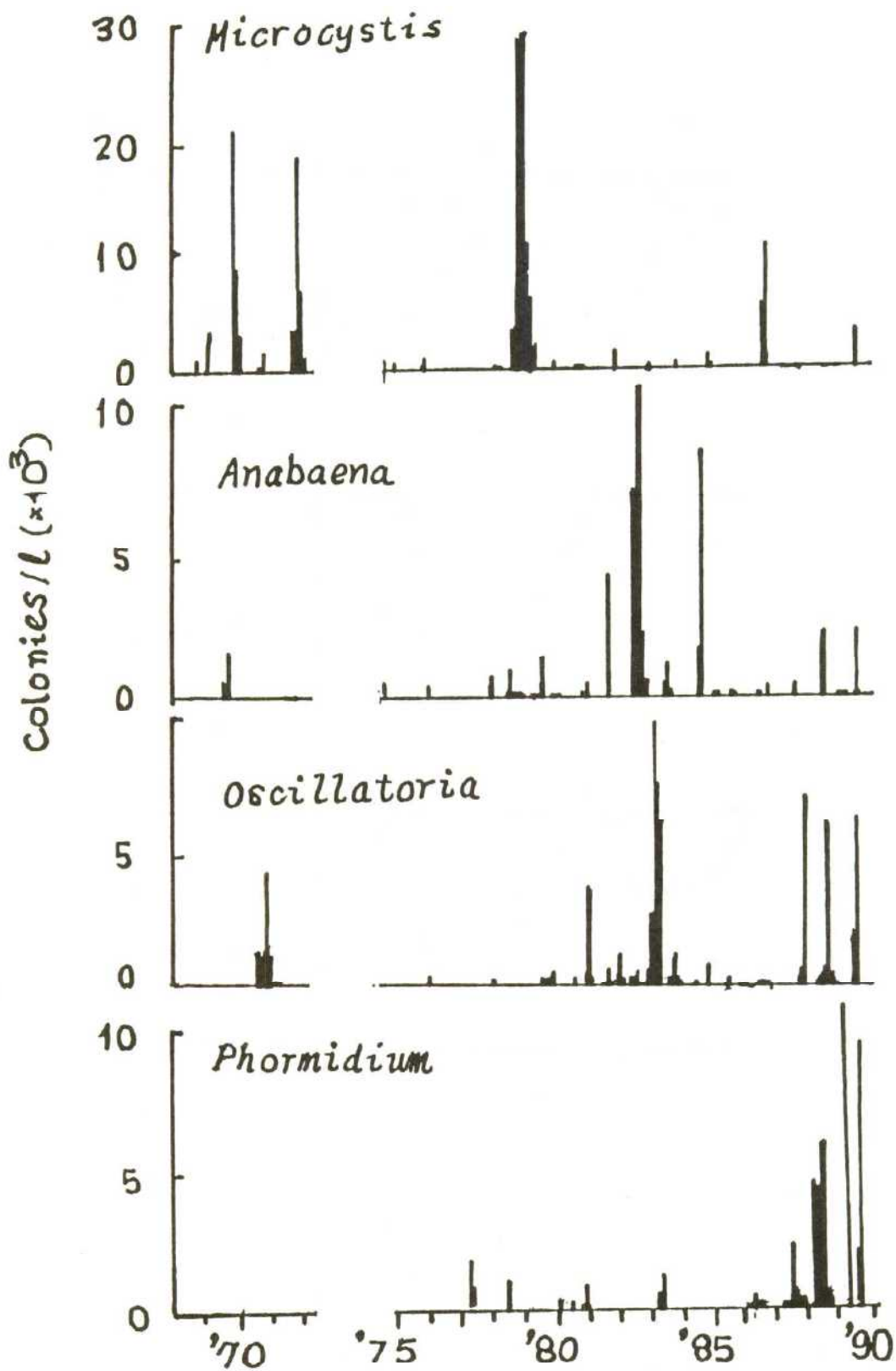
設置し、配合飼料を十分に与えたヒメダカ10尾を収容してカビ病の発生状況を観察した。収容後、3日目からカビ病が発生し1週間後には10尾中7尾が罹病した。対照としては地下水を用いて同様の観察を行ったがカビ病の発生は認められなかった。この実験からカビ病の発生に*Oscillatoria agardii* が関係しており、それが産生する代謝産物が魚類の正常な代謝を阻害するなどの機作によって疾病の発生を促すのではないかと考えられる。

Phormidium, *Oscillatoria* の出現状況を第6図に示した。*Phormidium* は、1978年頃から急増して来た種で、1978年には、100～600/mlであったものが、最近では1,000～20,000/mlと10年間で30倍に達したことになる。これに対し、*Oscillatoria* はややおくれて1980年頃から急増し、最近では、*Phormidium* 同様数万/mlに達することがある。しかし、*Oscillatoria* は、過去にも出現した記録がある(赤野他)。特に、1976年には、土浦入を除く霞ヶ浦北浦全域で1,000～8,000 colonies/ml出現、1973年8月～9月にも北浦で大量に出現した。1975年以降、特に注目に値するのは1982、83年で3,000～10,000/mlと、それまででない高密度で出現した。*Oscillatoria* の出現は1982年11月～翌年9月であるが、その出現前には*Anabaena spp.* が優勢し養殖ゴイのへい死がおこっている。1988年の北浦についてみると、*Oscillatoria* が出現する春先には、最上流域では*Euglena* 等の原生動物が多いが、やや下ると*Synedra*, *Coscinodiscus Melosira* 等の珪藻が出現するようになる。更に下流の白浜付近では、珪藻に混じって*Phormidium* が出現、最下流の水原～神宮橋付近では、*Oscillatoria* が混在するようになることが多い。1988年9月の霞ヶ浦についてみると、高浜入奥部では、1,000～8,000 colonies/mlの密度で*Microcystis* で分布していたのに対し湖心部では、*Phormidium* と*Oscillatoria* がそれぞれ5,000 colonies/ml程度の密度で出現していた(第7図)。

以上のように、*Phormidium*, *Oscillatoria* は、塩素量が低位に安定する1977年頃から増え始め、1988年の例では湾入部よりも沖合部で多い。又、第7図で見たように、*Microcystis* よりも更に沖合に分布する傾向が見られる。このことは、この種が、流入水による栄養供給よりは、湖内において再生産される栄養源に依存する傾向の強い種であることを示唆している。

一方、湖底堆積物をコア状に採集し、1 cm毎に $Fe^{II}/(Fe^{II} + Fe^{III})$ の比を求めると、最近10年間にこの値が急上昇し(浜田, 1988)、かつては20～30%であったものが、最近では50～60%と高位に安定する傾向にあることがわかる。湖底堆積物中の酸化還元状態は湖水の酸化還元状態の反映と考えられるから、最近10年間に湖内の還元状態の出現頻度が高まり、このことが湖内における物質循環、ひいては一次生産の質に影響を及ぼしているのではないかと考えられる。今後、以上のような観点から、問題となっている種の増殖特性や遷移の機構を解明することが重要な課題である。

第2の問題は、*Phormidium* および*Oscillatoria* が漁業をはじめとする利水へ及ぼす影響である。一つは、前述したテナガエビの発生のおくれやハクレン、コイの越冬中のへい死に、植物プランクトンの遷移が関係しているのではないかという点である。もう一つは、1980年頃から始まる



第6図 霞ヶ浦木原沖におけるらん藻類4種の出現状況(1973年 ◇◇◇)

漁獲量の低下である。この現象は、全国的であるところから流入負荷量の減少が原因ではないかと考えられているが、霞ヶ浦富栄養化防止条例施行前に、すでに減少が始まっているところから「負荷量減少原因説」には疑問がもたれる。むしろ、テナガエビの発生のおくれやコイ・ハクレンのへい死と同一原因と考える方が妥当であろう。

以上、*Phormidium Oscillatoria*を中心に、優占種となる原因と漁業への影響について考察を加えたが、更にこれら2種が優占する状態は、*Microcystis* 優占の状態に比較して富栄養化の段階は進んだ状態なのかどうなのか見極めが必要である。

文 献

- 1) 赤野誠之(1975): 霞ヶ浦における網いけす養殖ゴイのへい死について—I 茨城内水試報告12
- 2) EX都市研究所(1980): 霞ヶ浦水質保全対策総合解析調査報告書
- 3) 浜田篤信(1980): 霞ヶ浦における藻類異常発生に関する考察 茨城内水試報告16
- 4) 浜田篤信(1989): 霞ヶ浦底泥中の $Fe^{++}/T-Fe$ 値について 茨城内水試報告25
- 5) 茨城県内水面水産試験場(1989): 昭和63年度赤潮調査報告書
- 6) 熊丸敦郎(1973): 霞ヶ浦周辺に発生した魚類のカビ病について 茨城内水試報告11
- 7) 熊丸敦郎(1975): 霞ヶ浦における網いけす養殖ゴイのへい死について—II 茨城内水試報告12
- 8) 津田 勉 他(1967): 常陸川水門の操作が附近漁場の環境に及ぼす影響について 茨城県霞ヶ浦北浦水産事務所報告 9
- 9) 山崎耿二郎(1973): 養殖魚の越冬の研究—I 絶食時のコイの体成分変化と物質代謝について 茨城内水試報告11