

1987年夏季の霞ヶ浦および北浦の漁場環境の比較

外 岡 健 夫

霞ヶ浦・北浦で、アオコが大量に発生した典型的な年は1973年である。反対にその発生が極めて少なかった例は1987年であった。この両年には、関係機関においてそれぞれの原因を究明するために調査・研究が行われているが、その第一段階としてとりあげられる要因が、気象条件であった。もし、気象条件がその主たる要因であれば、比較的近い諸条件をそなえた、この両湖において、植物プランクトンの発生状況が、近似した現象を示すのではないかと考えられる。ところが、1987年夏季には、北浦では、アオコの大量発生がおこったのに対し霞ヶ浦では、6～8月にはアオコが殆んど発生せず、アオコの発生状況は、この両湖において対照的な現象を示した。本報告では、1987年夏季のこの現象に着目し、霞ヶ浦・北浦で問題視されているらん藻類の *Anabaena* や *Microcystis* の発生機序について検討を行ったので報告する。

調査の結果

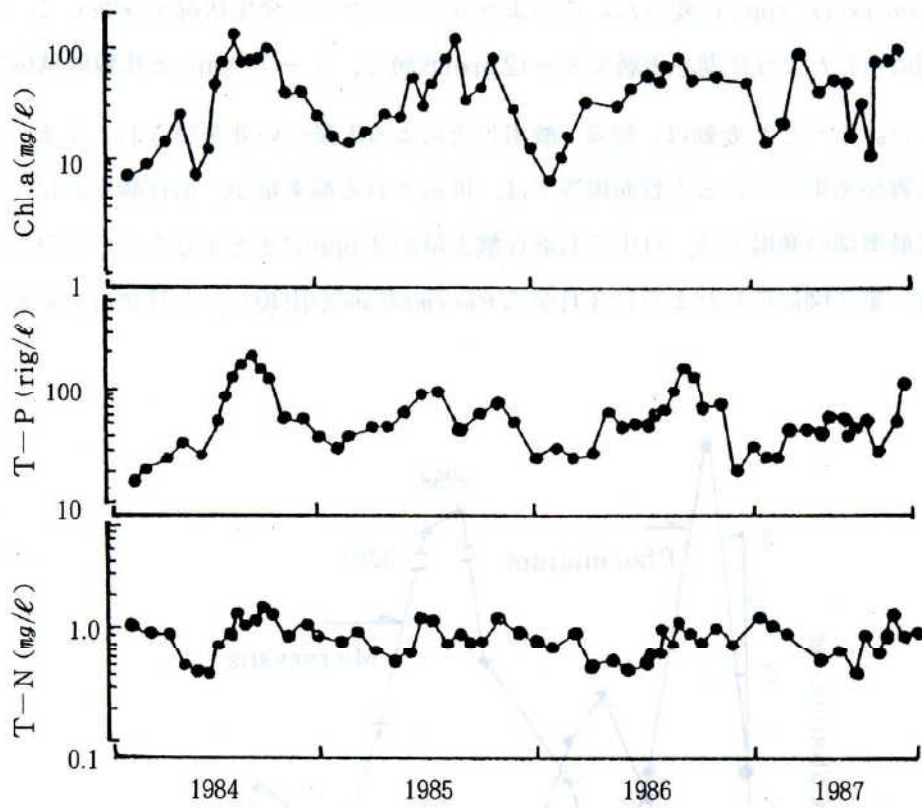
1. 被害の発生状況

霞ヶ浦では、7月19日から21日まで、張綱中のハゼ類が、死ぬなどの現象がみられたが、大きな被害は発生しなかった。8月中旬頃には、手賀漁場奥部で早朝ハナアゲ状態がみられたが、へい死は発生しなかった。しかし、10月に入り、手賀および出島漁場のコイが蓄養池や出荷でへい死する事故が発生した。この原因については、十分解明されたわけではないが、へい死魚の筋肉中から遊離脂肪酸や酢酸が他の水域に比較して多量に検出されたところから、ケトーシスの可能性が、疑がわれた。

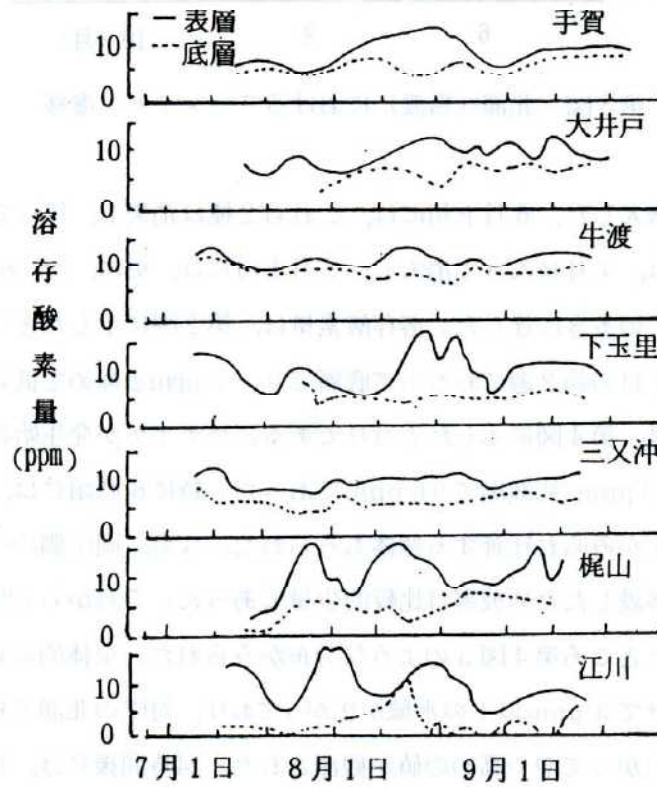
一方、北浦では、7月19日に、梶山から江川の間で溶存酸素量が低下し、翌朝4時頃から全漁場でハナアゲ状態が出現した。被害量は、梶山で13トン、江川で6トン、計19トンのコイと網生策で蓄養中のフナ5トンの合計24トンであった。

2. 溶存酸素の変化

霞ヶ浦では、Chl. a が4月以降9月上旬まで、むしろ下降気味で、夏季に植物プランクトンの増殖が少なかったことを示している。第1図に示したT-P, T-Nの変動を見ても、1987年以外の年の夏季は、春から秋にかけて上昇するのが普通であるが、1987年については、その上昇がみられていない。プランクトンは、4月から8月中旬までの間に、*Aphanocopsa* sp. が優占し



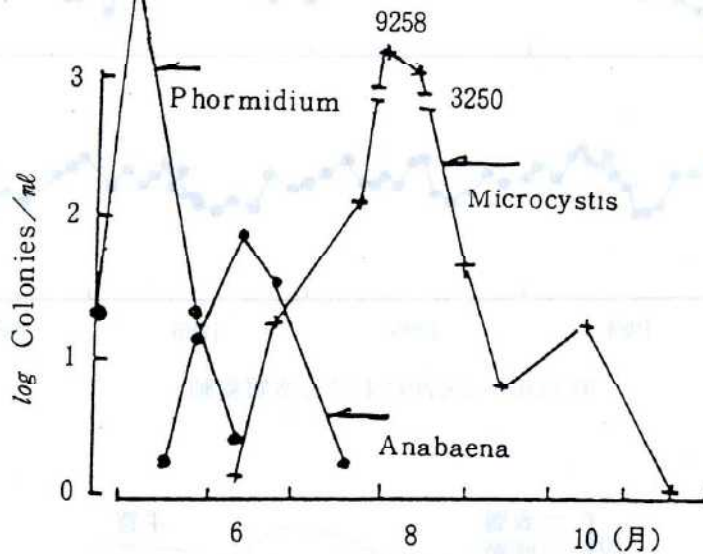
第1図 三又沖における水質変動



第2図 溶存酸素量の変動

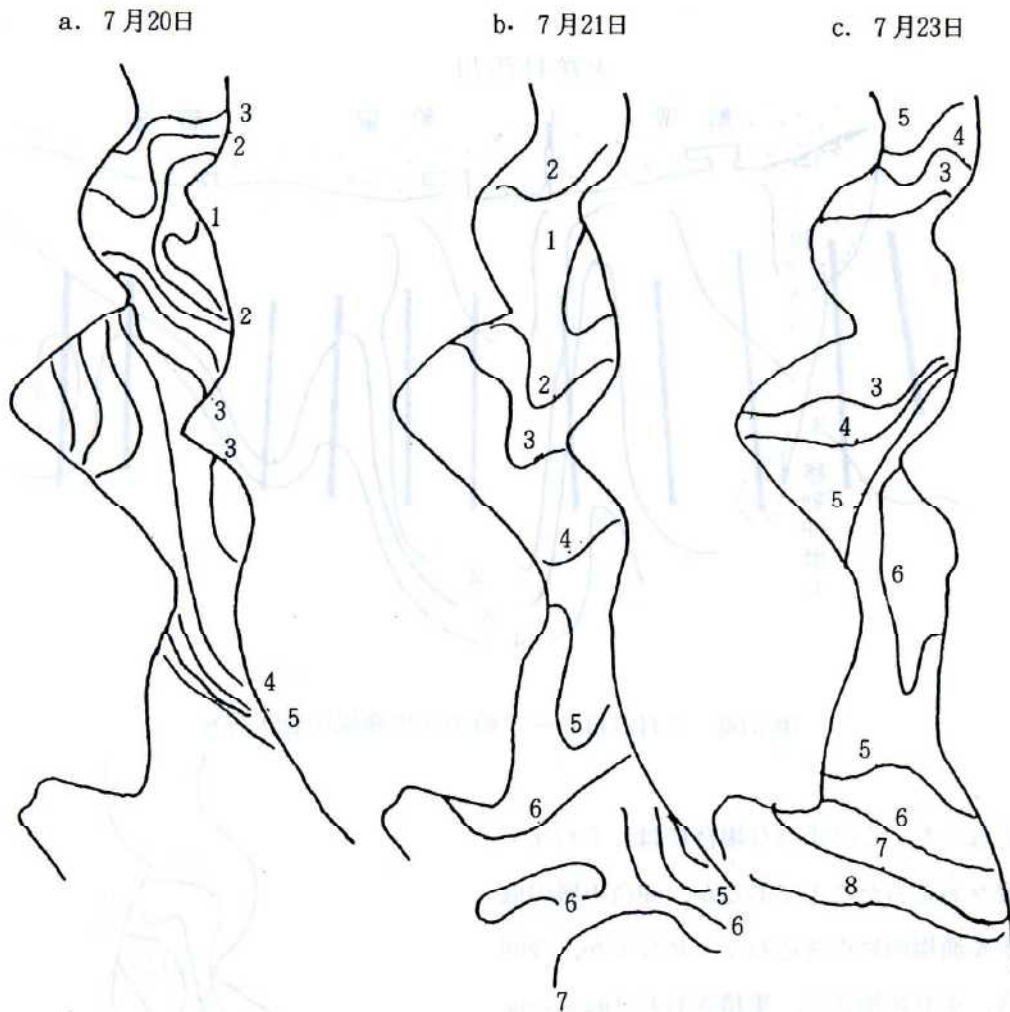
その後 *Microcystis* spp. に変わった。このようなプランクトン発生状況を反映して、溶存酸素量は、第2図に示したように湖心表層で8-12 ppm 底層で、5-7 ppm と比較的低位に安定した変動を示した。こうした変動は、勿論、酸素欠乏による大量へい死をひきおこすような環境ではないが、生簀が密集している手賀漁場等では、供給される酸素量が、溶存酸素量に比例して低下するために最奥部の漁場では、日中でも溶存酸素量が2 ppmにとどまることがたびたびおこった。

北浦では、第3図に示したように3月から *Phormidium* が出現し、5月には、それぞれ1200



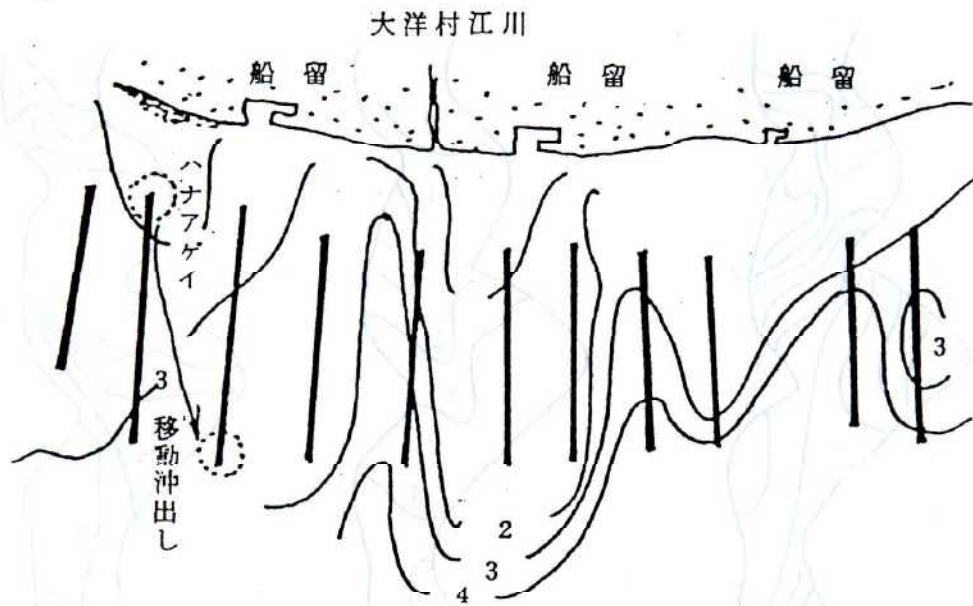
第3図 北浦（馬渡）におけるプランクトン遷移

および3500/mlに増大した。6月下旬には、これら2種は消失し、代って *Anabaena* sp. が出現した。 *Anabaena* は、7月に入って消失し、8月上旬には、更に、 *Microcystis* spp. に遷移し群体数で9000/mlの多きに達した。溶存酸素量は、第2図に示したとうりであるが、江川では、7月19日～8月1日の約2週にわたって底層で0-2 ppmと極めて低い値を示した。20-23日のDOの水平分布は、第4図に示したとうりである。ハナアゲが発生始めた早朝5時頃のDOは江川漁場で0.5-1.0 ppm 礼漁場で0.6 ppmであった。特に6時頃には、江川漁場最上流湖岸側で、激しいハナアゲがみられ狂奔する個体もみられた。なお、湖岸側のハナアゲの最も激しかった3面は、沖合へ移設したため被害は比較的少量であった。これから6時間後の11-13時の間にDOの測定を行ったところ第4図aのような分布がみられた。全体的に見ると上流域東沿の梶山から阿玉付近にかけて3 ppm以下の水域が広がっており、対岸の北浦で相対的に高めの値が、又、下流に向うにしたがってやや高めの値が観測された。24時間後には、DOの分布は、第4図



第4図 溶存酸素量の分布

bに示したように梶山付近では、依然として全域にわたって、2 ppm以下の低値がみられたが、下流域に向うにしたがって上昇し、鹿行大橋付近では、4～5 ppmと前日より、1～2 ppm高い値に回復していた。更に48時間後（第4図c）には、梶山付近でも、3 ppm以上に回復、へい死の危険は去っていた。酸欠の原因については、*Anabaena* sp.の急激な枯死にともないものであった。江川漁場の場合例年酸素条件が最も悪い下流から2～4列の漁場で難をのがれたのに対し、比較的水の交流がよく比較的好条件の最上流2列の湖岸よりの網生簀でハナアゲが最も激しかった。21日早朝6:00～7:00時の酸素量の分布を第5図に示したが、船溜前面の2ヶ所で、溶存酸素量1.0 ppm以下の分布がみられ、この水域でハナアゲが激しく、へい死の危険性が大きかったことを示している。この酸素量1 ppm以下の分布を示した船溜付近は、7月に入って連日続いた南よりの風によって*Anabaena*の水のが吹き寄せられ集積していた。7月19日には、水変りの状態に入ると同時に東北風となり網生簀漁場では背後から水温よりも低い気温の風を受ける



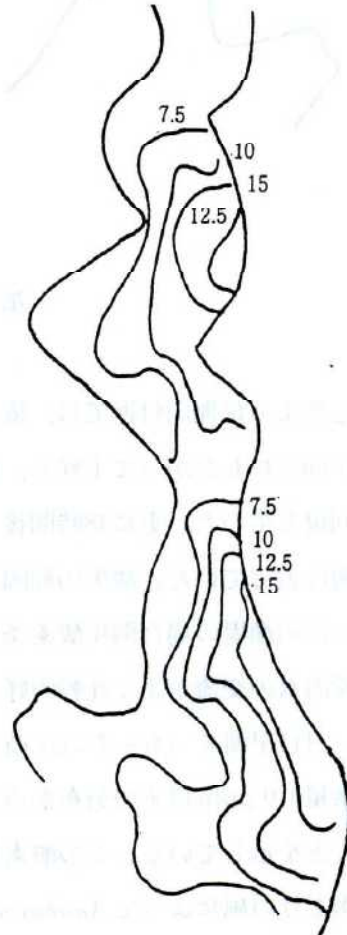
第5図 7月21日6～7時の江川漁場のDO分布

こととなった。このような場合には、これまでにも度々おこったことであるが、沖合下層の低酸素水を漁場内に引き込むことになるが、今回の場合、それに加えて、集積された *Anabaena* が湖岸から沖合へ引きだされ、環境悪化を加速したものと考えられる。

3. 水質

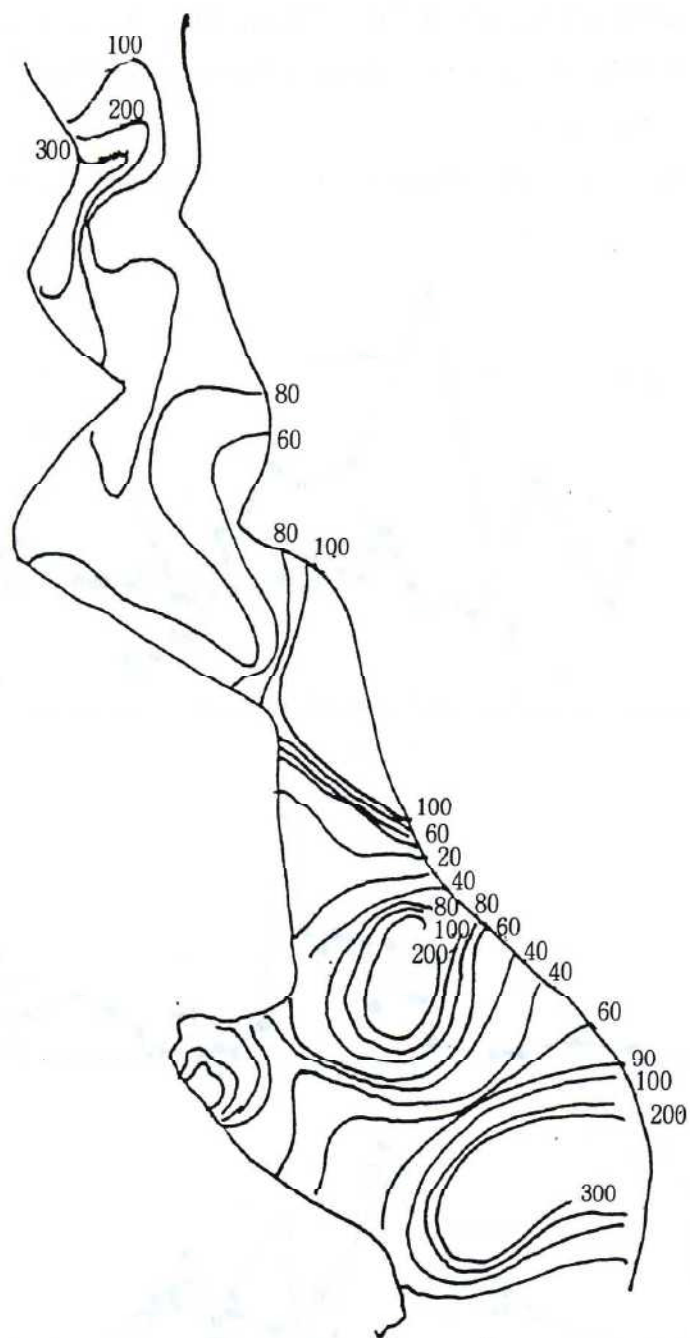
7月21日11～12:00時の間に採水した水についてCODを測定したものが第6図である。CODは、東測で高めの値を示した。特にコイのへい死がおこった江川および梶山地先では、12.5 ppm以上の分布がみられ、前述 *Anabaena* の水華の集積があったことを裏づけている。

次に $PO_4 - P (P_i)$ の分布を第7図に示した酸欠にともない P_i の溶出がおこることはよく知られているが、 $100 \mu g/l$ の分布が梶山漁場の対



第6図 7月21日のCODの分布

岸の北浦村金上付近に比較的広範囲にみられる。又、江川沖には、同様に $100 \mu\text{g}/\ell$ 以上の水塊と更に高濃度の $300 \mu\text{g}/\ell$ 以上を示す分布域がみられる。この水域の P_i は酸欠が発生する7月上

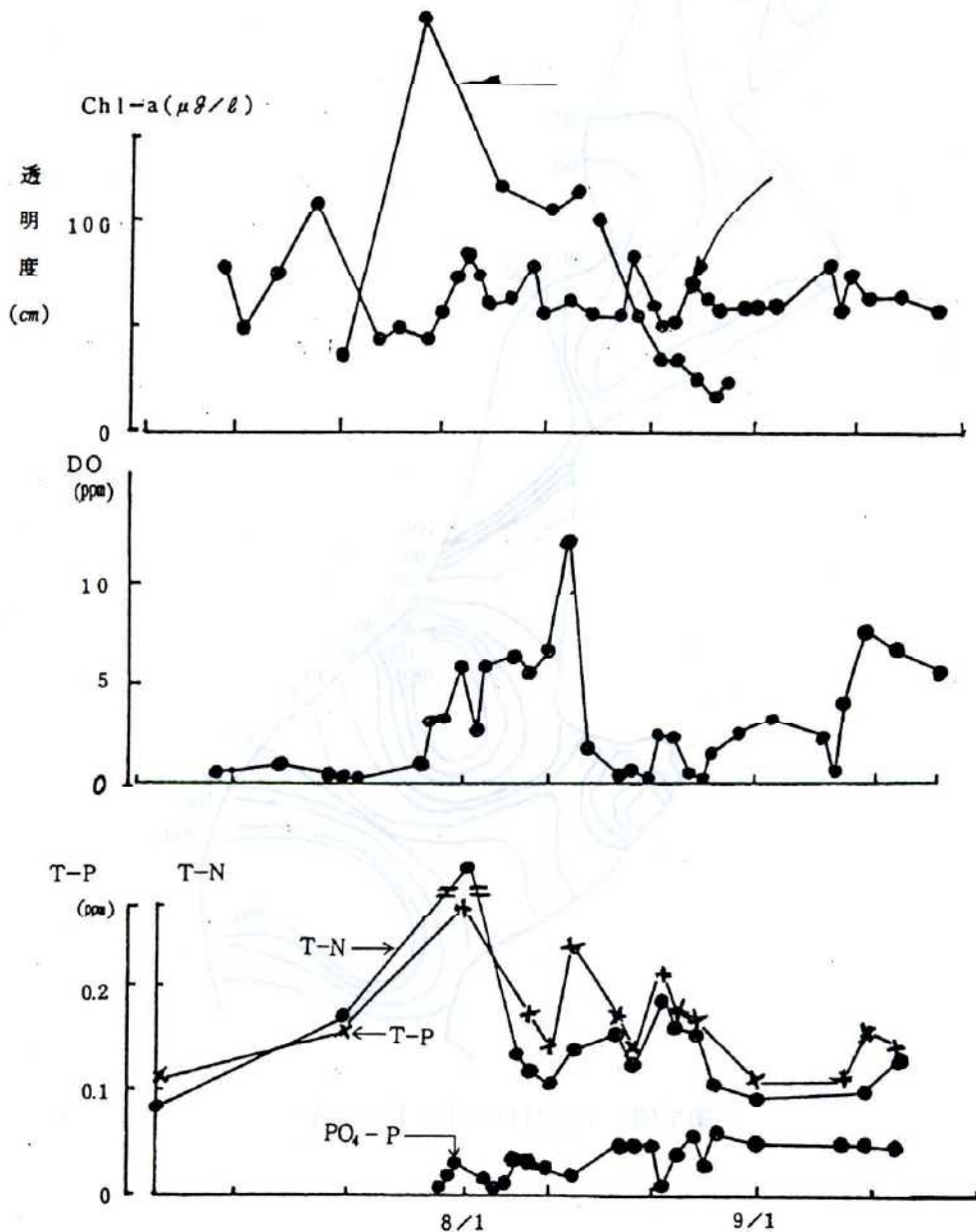


第7図 7月21日のT-Pの分布

旬には、 $10 \mu\text{g}/\ell$ 以下であったから、7月19日におこった酸欠にともない2日間で分解および、溶出が急速にすすんだものと考えられる。P_iの分布をCODのそれと比較すると、傾向が異っているようである。すなわち、西側の北浦村より高濃度の分布がみられる他、江川沖合の中心部に高濃度の2つの水塊が存在している。特に下流側のそれは、 $300 \mu\text{g}/\ell$ 以上の濃度を示している。

一方、酸欠前のT-Pは、 $50-100 \mu\text{g}$ である。したがって、第7図でみられる高濃度のP_iは、溶出によるものと考えられる。

一方、7～9月の間の江川、馬渡、梶山のT-P、T-Nの変動を示したものが第8図である。



第8図 北浦江川沖の水質変動

T-N, T-Pとも同傾向の変動を示し、8月1日～8月25日間に3回のピークが出現した。そのピークの高さはNおよびPで、それぞれ4.5および0.3 ppm に達しているが、このような値は例年ならば見られない水準であって、その原因が酸欠にともなう溶出であることは第2図中に示した各地点の底層の溶存酸素量の変動と対比してみると、その底下とT-N, T-Pのピークがほぼ一致していることから推察することができる。

考 察

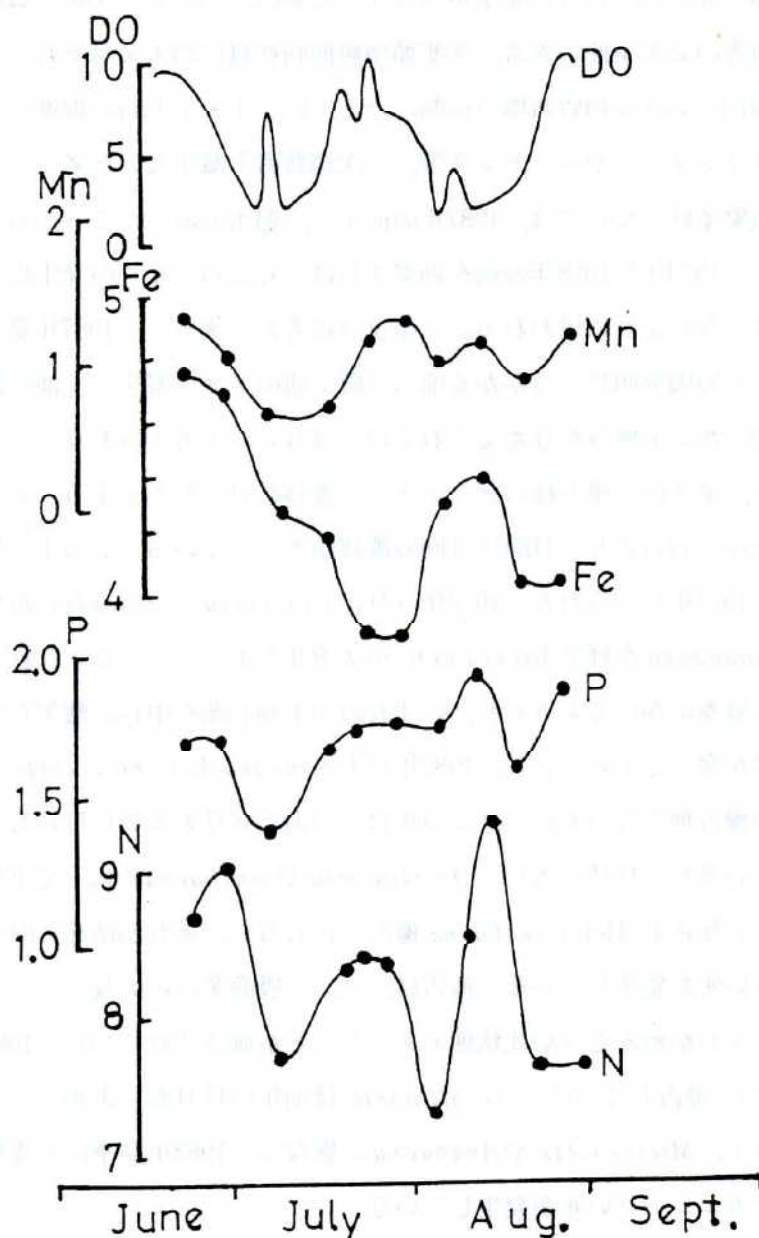
1982年夏季の霞ヶ浦で*Microcystis*の発生が少なかった原因について、(1)流入負荷量が少なかったこと、(2)日射・降雨等の気象条件の異常、(3)藻類増殖抑制物質の増大又はそれとの関連で、キレート物質の減少、(4)湖内における物質循環の抑制、たとえば、上・下混合の促進による還元状態出現頻度の減少や動物プランクトンやベントンス等、一次消費者の減少などが考えられる。

上記原因のうち、気象条件については、1987年の前半は、渇水であったことから、何らかの関与が考えられる。しかし、1973年や1978年の例を勘案すれば、むしろアオコの発生促進の要因とはなれ、抑制要因とはなりえないように思われる。このように考えて来ると、1987年夏季の霞ヶ浦のアオコの発生が少なかった原因究明にとりかかる前に、霞ヶ浦のアオコ寡少、北浦の過多の原因を比較検討することが、何らかの手懸りを与えてくれるのではないかと考えられる。

まず、北浦であるが、第3図の優占種のプランクトン遷移を見てわかるように *Phormidium*, *Anabaena*, そして *Microcystis* と5ヶ月間に3回の遷移がおこっている。このように劇的な遷移の典型的な例は、1972～1973年にみられた。1972年9月に *Closterium aciculare* が出現、1973年6月まで優占したあと *Anabaena* を経て *Microcystis* の大発生がおこっている。これに近い現象は、1978年9月から1979年夏季にかけてもみられ、いずれの年も湖心部を中心に酸欠が発生し、網生簀養殖ゴイに大きな被害が発生している。又、1982年にも *Synedra* および *Cyclotella* につづいて6月に入り *Anabaena* が優占種となっている。この年はこのあと8月および10月にも *Anabaena* が再び出現優占種となっているが、11月に入り、*Oscillatoria* が *Anabaena* に代って出現、4月まで優占種となっている。この年にも3回の *Anabaena* 優占にともない、それが枯死に向う過程で合計280トンの養殖ゴイのへい死が発生している。被害は、又、一般漁業にも及びトロール網で漁獲されるハゼ類や、テナガエビが殆んどへい死状態であったことが確認されている。1983年は、7-8月にも *Oscillatoria* が、優占している。*Oscillatoria* は前年の11月から出現しており、四季を問わず優占するという点で、*Microcystis* や *Anabaena* と異なる。1983年夏季にも養殖ゴイ（合計33トン）とハゼ類、テナガエビのへい死が発生している。

以上、プランクトンの遷移を漁業被害と比較検討しながら見て来たが、*Anabaena* が優占した場合には、酸欠によって養殖やハゼ類、テナガエビ等一般漁業にも被害が発生する危険性が、極めて

高いことがわかる。1973, 1978, 1979, 1982年の霞ヶ浦がその例で、1987年夏季の北浦も同傾向の現象とみることができる。かつては、*Closterium*→*Anabaena*→*Miorocystis*と*Anabaena*の先駆、プランクトンが緑藻類の*Closterium aciculare*であったものが、1987年の北浦では、*Phormidium*, *Oscillatoria*が、それに代っている。先駆プランクトンの枯死にともない*Anabaena*が出現する機序については、この種が先駆プランクトンの枯死によって湖水、特に底層で酸欠状態となった場合に、出現する例が多いところから酸欠にともなうP, FeやMn等の溶出が関係するのではないかと考えられる。第9図は、1982年夏季のコア状に採泥した底泥中のN, P, Fe, Mn



第9図 湖水の溶存酸素量と堆積物中のN, P, Fe, Mnの変動(1982年湖水試前)

でMnの含有量を底層の溶存酸素量との関係で示したものである。PおよびMnの変動と底層の酸素量の間と同傾向がみられるようである。このことから、*Anabaena*増殖の要因を特定することはできないが、酸欠にともない底泥から、P、Fe、Mn等の物質が溶出することが、示唆され、その溶出物質が*Anabaena*増殖の要因となるのではないかと考えられる。1988年の北浦の場合、*Anabaena*出現時の6月上旬に酸欠は観測されてないが、T-Pが5月20の $87\mu\text{g}/\ell$ へ上昇しており実測することはできなかったが、この上昇の原因としては、春季に大増殖していた*Oscillatoria*は1980年以降急増して来たプランクトンで冬季から春季にかけても増殖するらん藻類で、その期間のCODも8ppm以上とこれらが出現することによって春先の有機物量が、*Closterium aciculare*の場合程ではないにしても、その枯死によって、十分酸欠をひきおこす程の高レベルの有機物量を準備することができる種と考えることができる。*Anabaena*枯死のあとは酸欠によってT-P、T-Nの溶出がおこり水中のT-N、T-Pは、3ppmおよび0.3ppmと高まり、そのあとの*Microcystis*の大発生の原因となったものと考えられる。そしてこのことが、8月中旬から9月上旬の低酸素の原因となっている。これに対し、霞ヶ浦では、8月まで、*Microcystis*が出現せず、第1図で見たようにChl. aは $70\mu\text{g}/\ell$ 以下で9月に入って*Microcystis*と*Oscillatoria*の増殖によって $80\mu\text{g}/\ell$ に達している。第10図に1982年のChl. aとT-Pの相関々係を図示してあ

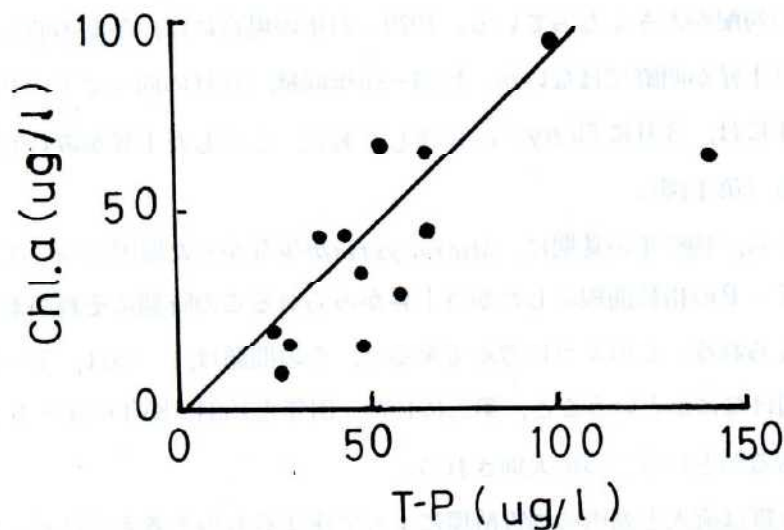
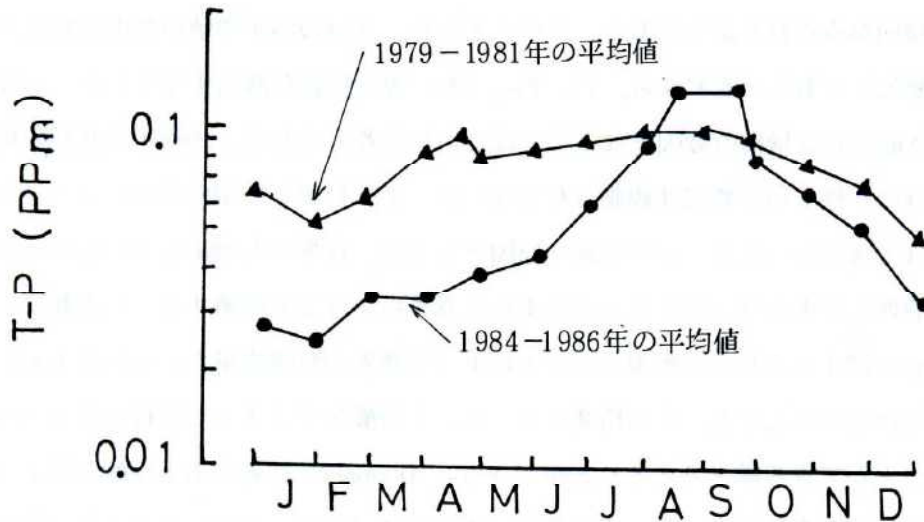


図10図 1987年夏季の霞ヶ浦におけるT-PとChl. aの関係

るが、両者の間には、 $r = 0.32$ で直線関係が認められる。一方、Chl. aとT-Nの間には、相関々係は、認められない($r = 0.084$)こうしたことから、霞ヶ浦で1987年に*Microcystis*が少なかった原因として、Pが関与しているのではないかと考えられる。そこで、T-Pの変動を第11図に示した。図中1979~81年の3年と、1984~86年の3年は比較的近似した変動を示しているので、3年



第11図 三又沖におけるT-Pの変動

毎の平均値を示してある。1979～81年には、1月にすでに $50 \mu\text{g}/\ell$ のレベルにあって7～9月には、 $100 \mu\text{g}/\ell$ 以上に達している。10月以降は減少に向う、これに対し1984～86年には、1月の値が、 $30 \mu\text{g}$ と低く以後指数曲線にしたがって10月まで上昇を続けている。この間、6月に変曲点があって6月以降の勾配が大きくなっている。1979～81年の場合には、冬期の値が、1984～86年に比較して10月に向う上昇が明瞭ではないが、1984～86年同様、10月に向ってT-Pは上昇している。ところが、1987年には、3月に $50 \mu\text{g}/\ell$ に達したあと、こうした上昇がみられず9月まで低い水準で推移している（第1図）。

こうしたことから、1987年の夏期に、*Microcystis*が少なかった原因について、Pが関係しており、例年ならばT-Pの指数曲線にしたがう上昇がみられるこの時期にそれがおこらなかったためではないかと考えられる。このように考えて来ると、この問題は、一つは、T-Pの指数曲線にしたがう上昇の原因はなにかということ、第二に1979～81年と1984～86年の1～6月のT-Pの水準差の原因は何であるかという二つに大別される。

普通、湖内の水質は流入と湖内の物質循環によって決まるものと考えられる。特に水中のT-Pに焦点をあてれば、流入と底泥からの回帰を考慮すればよいものと考えられる。

1～2月の水温が低い時期には、回帰よりは流入によって、水温が上昇する6～10月は回帰支配にかたむくことが考えられる。さらに回帰はバクテリアによるものと湖底でデトライタスを利用する回帰に大別される。前者は、好気、嫌気条件によって異なり、前述の北浦の項で詳細に検討したように嫌气的条件の出現によって促進される。

しかし、嫌气的条件の出現がなければ、バクテリアによる分解は、主として水温だけに影響を受