

態になります。最近では、アオコの構成種にいくぶん変化がみられますが、いずれにしてもミクロキスティスを主体とするアオコ状態は、湖の水温が低くなる10～11月頃まで続きます。この間、藍藻類は天竜川へ流れ去ったり、河川からの流入水によって希釈されたり、あるいは湖底に沈積するなどして、次第に湖の表面からは姿を消していきます。

アオコが減る秋から冬にかけては、春に優先していた珪藻類のメロシラ、オビケイソウやヒメマルケイソウが再び増えてきて、11月を過ぎる頃からは珪藻類が湖の主要な植物プランクトンになります。珪藻類は、一般に水温の低い状態を好み、湖水が循環している時期に増える傾向があります。

なお、クロレラでおなじみの緑藻類の仲間も年間を通して見られます。6月から7月にかけては、オオヒゲマワリ、タマヒゲマワリといった群体をつくる緑藻(緑色鞭毛藻)が目につきます。ただし、その細胞密度は1 cm³中に数千細胞以下で、藍藻類の数十～数百万細胞に比べると桁違いに少ない量で、優占種となることはありません。

《夏期における優占種の変遷(1911～1983)》
ところで、藍藻類のミクロキスティスによる「水の華」現象は、昔から発生していたわけではありません。そこで次に、ミクロキステ植物プランクトンの顕微鏡写真

イスがいつ頃から発生していたか、また夏の主要な植物プランクトンがどのように変遷したか、その経過を見えます。

諏訪湖の場合は、幸いにも、前述のように中野先生の調査がありますので、1911年から現在までの、夏期の植物プランクトンの変遷についての概略を知ることができます。それが表3・2で、表中の... というのが主要な植物プランクトンの優占順位です。

この表で、まず1911年をみますと一番多いのがメロシラで、から まですべて珪藻類が占めています。に藍藻類のアナベナが見られるものの、ミクロキスティスの記載はありません。ですから当時の夏の諏訪湖は、全体として珪藻類の多い茶色っぽい色調で濁っていたのでしょう。

それが1930年頃には、吉村先生による「水の華」現象が報告され、そして1948年になると倉沢先生と白石先生によって、ミクロキスティスによる「水の華」現象が確認されます。それが表3・2に示されていて、ミクロキスティスが となっており、全植物プランクトン細胞数の60%をも占めています。つまり、この時点ですでに、夏期の優占種が珪藻類から藍藻類へと変わってしまっているわけです。細胞数は1 cm³あたり1,000～10,000程度ですが、いずれにしても湖の富栄養化が大いに進

んでいたことが分かります。

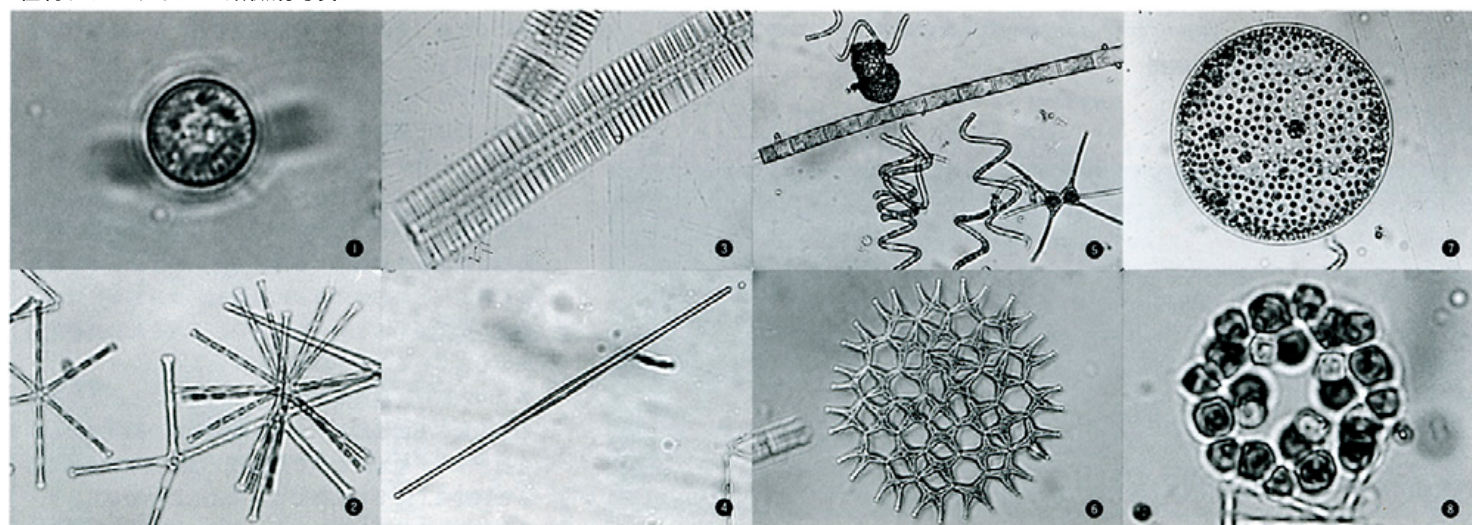
さらに過栄養化した1970年代になると、1970年でも1977年でも、ミクロキスティスの優占率は99%にも達しています。99%というのは、もうミクロキスティスだけが湖を占有してしまい、他の植物プランクトンがほとんど見られないという状態です。このときの細胞数は1 cm³あたり10万～100万にも達し、1948年に比べると100倍ぐらいに増えています。

それが1980年代になると、湖水の回復とともにミクロキスティスの優占率も減ってきて、1983年には優占率は65%に低下します。細胞数は1 cm³あたり1万～10万程度で、1948年の10倍ぐらいの状態です。ですから、65%という数値をみれば1940年代に戻りかけているのが分かるのですが、ただミクロキスティスが減った代わりに、同じ藍藻類のアナベナになって全細胞数の27%に増えています。

《1980年以降の現存量の季節変化》

図3・13は、湖が最も過栄養化した1977年と、1980年以降のクロロフィル量、つまり植物プランクトンの現存量を年間の季節変化のなかで示し、両者を比較したものです。現存量の季節変化は、透明度の季節変化となって現れますから、これは、さきほど渡辺さんの示された図2・8と対応しています。

図に見られるように、1977年にはミクロキス



①ヒメマルケイソウ(細胞直径10～30μ)

②ホシガタケイソウ(星形につながる各細胞は長さ40～130μ、幅1～2μ)

③オビケイソウ(帯状につながる各細胞は長さ40～170μ、幅2～3μ)。④ハリケイソウ(細胞は長さ100～300μ、中央幅5～6μ)

⑤メロシラ(直線状につながるものは長さ10～20μ、幅3～5μ、らせん状につながるものもある)。⑥クンショウモ(群体の直径は110～230μ、通常32個の細胞から成る)

⑦オオヒゲマワリ(群体の直径は200～800μ、1,000～2,000個の細胞から成る)。⑧タマヒゲマワリ(群体で、細胞は2本の鞭毛をもち、直径は8～16μ)

表3・2—夏期表層に見られる主要な植物プランクトンとその優占順位の変遷 (1911年～1983年) 〈倉沢, 沖野, 1983を一部改変〉

植物プランクトン		1911	1948	1970	1977	1983
鞭毛藻類 Flagellatae	ウズオビムシ <i>Peridinium</i>	+	④			
	ミドリムシ <i>Euglena</i>				⑤	
	カタマリヒゲマワリ <i>Pandorina</i>		r		r	
	タマヒゲマワリ <i>Eudorina</i>		r	r	r	
藍藻類 Cyanophytae	ミクロキスティス <i>Microcystis</i>		① 60%	① 99%	① 99%	① 65%
	フォルミディウム <i>Phormidium</i>			②	②	③ 6%
	アナベナ <i>Anabaena</i>	⑥	⑤	③	+	② 27%
珪藻類 Bacillariophyta	メロシラ <i>Melosira</i>	①	② 15%	④	④	r
	ヒメマルケイソウ <i>Cyclotella</i>	⑤	③	+	⑥	r
	ヌサガタケイソウ <i>Tabellaria</i>	④				
	ホシガタケイソウ <i>Asterionella</i>	②	+	+	+	
	ハリケイソウ <i>Synedra</i>	③	r	r	r	
	フナガタケイソウ <i>Navicula</i>	+	+		r	④
	ニッチア <i>Nitzschia</i>				③	
緑藻類 Chlorophyta	ミクラクティニウム <i>Micractinium</i>			⑤	r	r

①～⑥：優占順位　+：あり　r：少ない

図3・12—植物プランクトンの季節変化(1970年)

〈倉沢, 1973〉

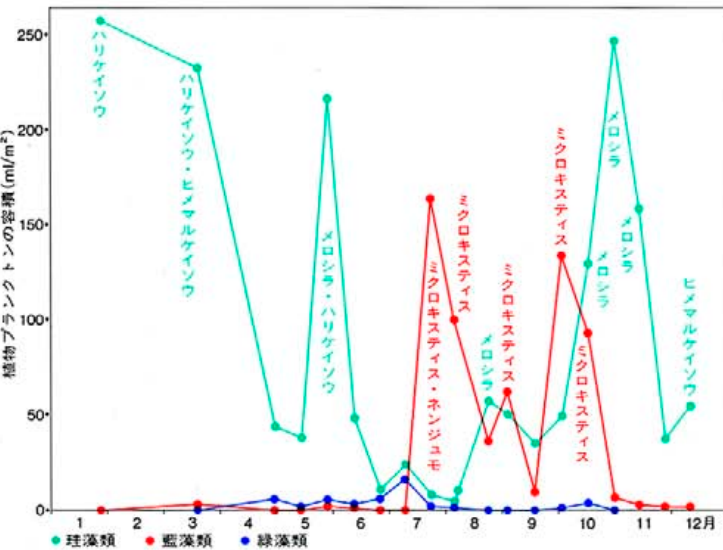


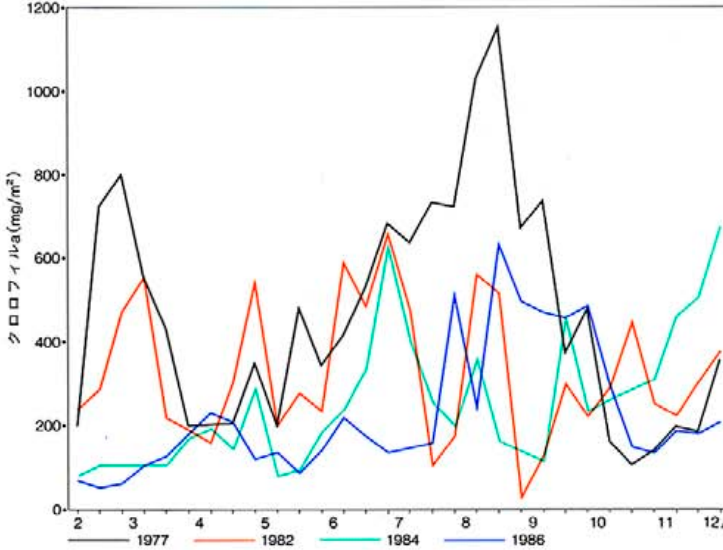
表3・3—夏期の気象条件とCOD・クロロフィル量・基礎生産力についての1977年と1981～1985年の比較

諏訪湖の状況と気象状況		1977	1981	1982	1983	1984	1985
最高水温(底層)(℃)		23.8	22.1	20.0	19.9	24.6	24.4
20℃を越えた期間	初め:	7/15	7/31	7/ 1	—	7/14	8/ 5
	終り:	9/20	8/23	7/12	—	9/17	9/22
月平均日輻射量 (cal/cm ²)	6月:	394	353	406	450	462	—
	7月:	456	442	350	373	480	—
月降雨量 (mm)	6月:	195	149	172	105	209	371
	7月:	222	371	207	258	219	183
透明度 (cm)	最大:	154	195	165	240	267	200
	最小:	30	51	30	30	35	41
	7～8月の平均:	38	71	57	86	66	82
COD(ppm)	最大:	9.51	6.43	6.67	6.75	6.61	8.10
	環境基準達成率(%):	7	28	27	50	23	47
クロロフィルa量 (chl-a mg/m ²)	最大:	1150	490	750	750	665	666
	年総生産量(Cg/m ²)	756	576	629	590	575	614
年総無機化量(Cg/m ²)		642	559	541	492	435	473

表3・4—年間総生産量, 総無機化量, 年間輻射量および総生産量のエネルギー転換効率の経年的変化

年	総生産量 (Cg/m²年)	総無機化量 (Cg/m²年)	年輻射量 (Kcal/cm)	エネルギー 転換効率(%)
1949	260	211	—	0.24
1969	557	615	—	—
1977	756	642	—	—
1978	699	708	114	0.61
1979	777	625	106	0.73
1980	—	—	110	—
1981	576	559	121	0.48
1982	629	541	115	0.55
1983	590	492	—	—
1984	575	435	—	—

図3・13—1977年および1980年代のクロロフィル量の季節変化



ティス類のクロロフィル量は、最大値で m^2 あたり1,160mgもありますが、1980年以降になると最大値で m^2 あたり650mgとぐんと減少しています。またその発生期間も短くなり、ミクロキスティス類が発生する前後の時期には、同じ藍藻類のアナベナ類が一時的に発生するという具合で、1980年以降になると、藍藻類には明瞭な変化が現れています。

一方、珪藻類はどうかというと、1980年以降では、春に優占種となっているいくつかの珪藻類が、短い周期で頻繁に交替しているのが目立ちます。これは、栄養塩の減少にともなう、それぞれの植物プランクトンの増殖が早くに頭打ちになってしまい、増加・減少の周期が短くなっているためです。

ところが、その反面では、それぞれの植物プランクトンの最大現存量が1977年とたいして変わらないか、当時の過栄養状態を上回る場合も見られます。つまり、流入する栄養塩は減少傾向にあるものの、1980年以降も、珪藻類にとってはまだ十分な栄養状態が保たれているということです。

また植物プランクトンの増減は、日射量、水温、降雨量などの気象条件に影響されます。気象条件と植物プランクトンの関係を調べたのが表3・3で、この表の最上段には、「水の華」の発生量に関係あるとされる湖の底層水温を記してあります。

1984年を見ますと、7月14日から9月17日までの約2ヵ月間にわたって、底層水温が20以上になっています。過去の経験では、こういう水温状態のときには、必ず大量のアオコが発生しています。さらに6月、7月の日射量もほかの年度より高く、1984年は、アオコの大量発生に都合のよい気象条件が揃っていたわけです。しかし、こうしたアオコにとって好都合な気象条件の下でも、1984年のアオコ発生量は前年を上回っておりません。この点を考慮しますと、湖の体質は、見た目以上に、かなり回復していることが分かります。

《1949年以降の年総生産量の変遷》

表3・3の最下段に記してあるのは、総生産量

および総呼吸量です。総生産量(基礎生産量)は、植物プランクトンがつくる有機物の総量で、これは光合成量(炭酸同化量)に当たります。総呼吸量は、光合成のさいに消費される植物の総呼吸量とその他の微生物の呼吸量をあわせたものです。

植物プランクトンの現存量の変化は、当然のことながら基礎生産量の変化によるわけですが、諏訪湖の場合には、1949年の宝月先生の研究以来、同じ方法で基礎生産力の測定が行われています。ここでは表3・4により1949年以降の総生産量の変遷を見てみます。

宝月先生の研究結果では、1949年当時、諏訪湖では1年間に太陽から到達するエネルギーの0.24%が植物プランクトンに固定(エネルギー効率)され、1年間の総生産量は、炭素量にして1 m^2 あたり260gとされています。この総生産量を100としますと、その後の20年間で総生産量は200以上に達し、1970年代の最も過栄養状態にあったときには270から300にもなっています。その後1980年代に入ると240にまで低下しています。このように総生産量という生物生産に係る直接的なデータにおいても、富栄養化の各段階では、それが増大し、湖水の回復過程では、それが減少している状況がはっきりと示されているわけです。

また富栄養化の過程では、1969年や1978年にみられるように、総生産量に対して総呼吸量が勝っていて、湖が他栄養状態にあったことが分かります。この当時は、1年間に太陽から到達するエネルギーの0.61~0.73%が植物プランクトンに固定されていたわけで、そのすさまじい生産力には驚かされます。しかし1980年代になると、総生産量と総呼吸量との比は常に1を越えており、湖外からの有機物の流入が減って、湖が他栄養から自栄養の状態になっていることが分かります。また、エネルギー転換効率も0.48~0.55%と最大の時期を過ぎて低くなっています。

ミクロキスティス

《細胞にガス空胞をもち、群体を形成する》
植物プランクトンについては、だいたい以上のようになりますが、生物の側からの話として、藍藻類のミクロキスティスの生活についても触れておきます。

ミクロキスティスの属している藍藻類というのは、細胞内に藍色素をもつ藻類です。ほかの藻類と違うところは、細胞の中の核や葉緑体の形が明確ではないことで、そのため細菌類に近い生物として藍色細菌とも称しています。ミクロキスティスの細胞は、直径が3~7 μ で、細胞の中に空気を満たしたガス空胞をもっているのが大きな特徴です。

通常は、写真に見るように、数百個の細胞がゼラチン状の物質の中に押し込まれ、群体をつくっています。単細胞植物ですから、個々の細胞が二分裂して増殖し、群体自身も大きくなっていくわけですが、この群体が、湖面に見られる青い粉の正体です。

《湖面表層に集中分布し、光と栄養塩を独占》
ミクロキスティスの増殖力の高い時期は、1年のうちで太陽からの輻射量が最も高い5月から8月の期間です。植物プランクトンは光合成をするために、その増殖には光が必要ですが、光が強すぎると逆に光合成が阻害される性質があり、これは光阻害と呼ばれます。珪藻類は、夏の湖の表面に入射する光量でも光阻害を受けやすく、表面よりやや下の、光が弱くなる層の方が光合成を活発に行うことができます。また珪藻類の比重が水よりもやや大きいこともあって、珪藻類が優占する時期には、表層より少し下の層で分布が最大になるという特徴がみられます。

ところがミクロキスティスの群体は、夏の表面の光量でも光阻害を受けることが少なく、光合成を充分に行える性質をもっています。しかも、細胞内にガス空胞をもっているので表面に浮上しやすく、その分布は、湖面表層に極端に集中するのが特徴です。ですから、湖水中での珪藻類の鉛直的な分布と、ミクロキスティスの湖水中の分布とでは、図3・14に

見るように大きな違いがあります。

このようにミクロキスティスの分布は、極端な表層集中型ですから、その増殖期には、湖に入射してくる光の大部分をミクロキスティスが独占してしまい、ミクロキスティスより下方に位置する植物プランクトンは、光の不足から増殖することができなくなります。その結果、湖水中の栄養成分をもミクロキスティスが独占することになり、増殖がますます容易になります。これが、夏にミクロキスティスが大発生する原因の1つです。

《浮上・沈降の繰り返しで高生産を持続》

ミクロキスティスが集積しているときの状態を少し詳しく観察すると、諏訪湖の場合、早朝から正午頃にかけては、ミクロキスティスの群体が湖の表面に浮上・集積し、午後になると表層全体に分散します。そして夜を経て翌日の朝になると、また表面に浮上・集積するというパターンが繰り返されます。

こうしたミクロキスティス特有の生態は、細胞内のガス空胞が膨らんだり、縮んだりすることで生じます。図3・15は、レイノルズらによって研究されたこの機構の説明図で、ミクロキスティスの浮上・沈降と、細胞内のガス空胞の膨縮との関係が示されています。

早朝、湖表面のミクロキスティスに光が当たってくると、光合成が活発に行われ始めますが、それが過剰になると、細胞内の浸透圧が高まり、同時に膨圧も上昇して、弱いガス空胞はつぶれます。このため浮力を失ったミクロキスティスの群体は下方に沈降します。下方に移ったミクロキスティスは、ここでは光が弱いために光合成活動は低下し、細胞の成長も低いので、ガス空胞が次第に増えてきます。こうして再び浮力を回復し、翌日の早朝には湖の表面に浮上してくるわけです。

諏訪湖の場合、表面に浮上・集積している状態でのミクロキスティスの量は、1 cm³あたりでの細胞数が100万以上、クロロフィル量では1 m³あたり1,000～5,000mgにも達します。それが表面下10～30cmに沈降したときには、その10分の1以下にまで減少してしまいます。表面下10cmでの光量は、湖面から入射した光量のわずか数パーセントしかないからです。こうしてミクロキスティスの群体は、1日の間に浮いたり沈んだりして——浮いているときには、高い光合成能力で短時間に有機物を大量に生産し、沈んだときには、光合成はお休みという具合にして、全体として高い生産量を持続するわけです。

《アオコは動物の餌として利用されにくい》
ところで湖沼生態系食物連鎖の中では、植物プランクトンは、動物の餌として利用されます。ですから、植物プランクトンの増殖力が大きくても、動物プランクトンや魚などの餌となり、一時的には多くなってもすぐに減少し、その植物プランクトンの量が異常に増えることはありません。

ところがミクロキスティスの場合は、同じ植物プランクトンでありながら、アオコ状態になるほど現存量がどんどん増加します。これは、ミクロキスティスをすぐに餌にする動物が少ないからです。植物プランクトンを餌にする動物プランクトンは、ある大きさまでは上手に濾過しながら食べるのですが、ミクロキスティスは群体をつくっているのが大きすぎて餌にできないのです。顕微鏡で見ますと、群体のままのミクロキスティスは機械的に濾しわけられ、濾過されません。

図3・16は、夏にアオコの発生する機構を模式的に描いたものです。図では、アオコから動物プランクトンへいく線の上に×印がつけてあり、ここで食物連鎖が途切れるために、ミクロキスティスは減ることがなく、その量が増えていくことを示しました。ですからミク

図3・14—ミクロキスティスと珪藻類の鉛直的分布の相違

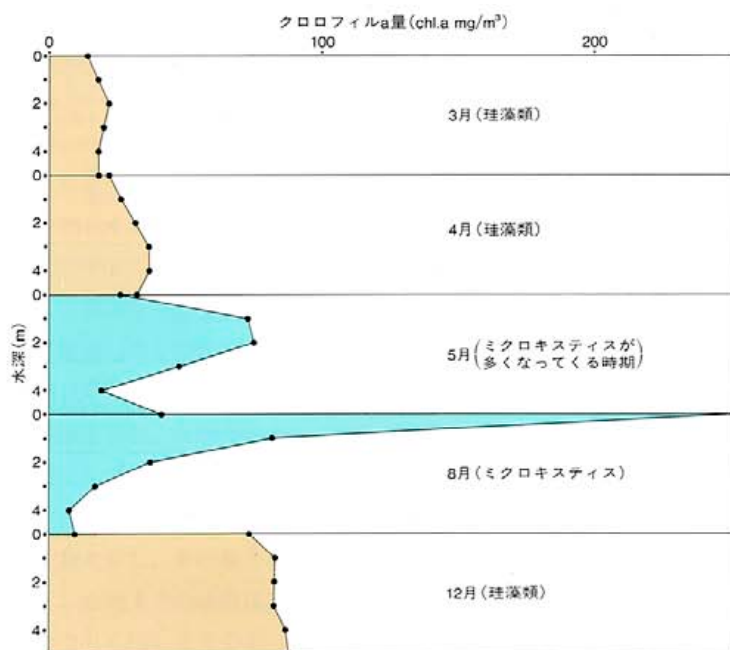
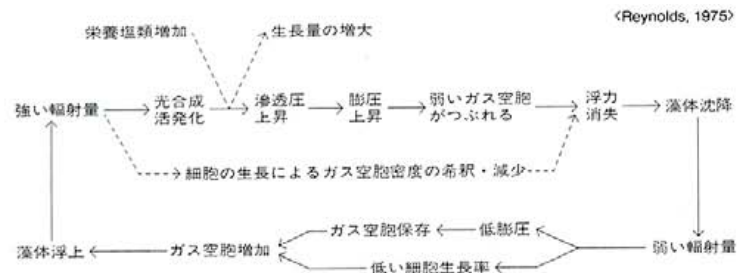
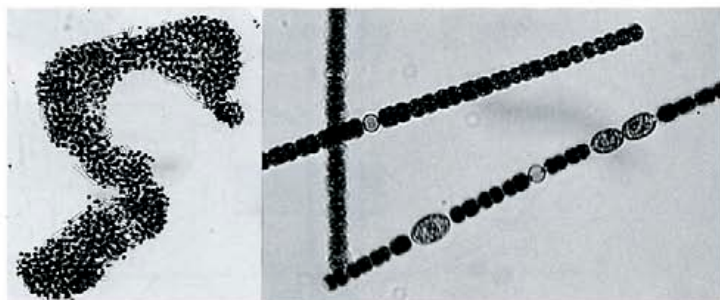


図3・15—ミクロキスティスの浮上・沈降と細胞内のガス空胞の膨縮



ミクロキスティス(左)とアナベナ(右)の顕微鏡写真



ロキスティスがなくなるのは、その下に描いてあるように、温度が下がり、原生動物や細菌などによって分解されやすくなる秋ということになります。諏訪湖の場合には、秋に台風や長雨がありますから、その流入水で希釈されながら天竜川に流れ去る部分と、湖底に沈んでいく部分とで、湖中のアオコは少なくなっていくます。ですから、台風がこない年には、アオコはいつまでも残ることになります(笑)。

《生食連鎖と腐食連鎖》

このようにミクロキスティスは、ほかの生物には利用されにくいということから、従来は、湖の生態系の中では物質循環を乱すものと考えられていたのですが、最近では、ミクロキスティスを好む微生物のいることが分かってきて、それが大分調べられています。

表3・5は、明治大学の山本鎔子さんが調べられたもので、藍藻を好んで溶解するいろいろな微生物ファージ(細菌ウイルス)、細菌、カビ、原生動物などの種類と、藻体を溶解する方法がまとめられています。面白いのは、これらの微生物が藍藻なら何でも溶解するので

はなく、それぞれの生物に役割が決まっています、或るものはミクロキスティスだけに取りつき、また或るものはアナベナにしか取りつかないということです。

諏訪湖の場合、先に述べたように、現在ではミクロキスティスによるアオコ現象が現れる前にアナベナが発生するようになりました。このアナベナが消滅するときに、溶藻微生物が活躍しています。アナベナが消滅するとき湖水の表面に「シロコ」と呼んでいる白い皮模様のものが拡がり、これが数日間続きます。このときの湖水を顕微鏡で見ると、アナベナの細胞がばらばらになって壊れており、微生物によって溶解されたことが分かります。

ミクロキスティスの場合には、8月末から10月にかけて、こうした溶藻微生物が活躍します。ですからミクロキスティスは、夏の最盛期には餌として利用されませんが、その年の秋には溶藻微生物がこれを利用し、さらに翌年の春にはこれらの溶藻微生物を動物プランクトンが利用し、その動物プランクトンはワカサギの稚魚に餌として利用されます。ですから、1年を通して見ると十分に物質の循環

系は成り立っているわけです。

このあたりのことが大分わかってくるようになります。現在では、植物プランクトン→動物プランクトン→魚という、従来の食物連鎖は1つのループであって、もう1つ、腐ったものを食べて微生物が増え、これが原生動物、動物プランクトンを経由して、魚までいくループがあると考えられるようになってきました。前者を生食連鎖、後者を腐食連鎖と呼んでいます。

過栄養の状態のときには、腐食連鎖の方が活発に働くようになって、生食連鎖の方は少し脇に押しやられる。湖水が回復すれば、生食連鎖の方が活発になって腐食連鎖は脇に押しやられる。湖の状態にあわせて両者がバランスを取り、全体を安定させようとしているわけです。ミクロキスティスも、腐食連鎖の中にあって、湖の物質循環ではそれなりの役割を果たしているわけで、従来は無駄なものと考えられて目の敵にされていたわけですが、決して無駄になっているわけではないということだと思います。

図3・16—アオコ発生の機構についての模式図

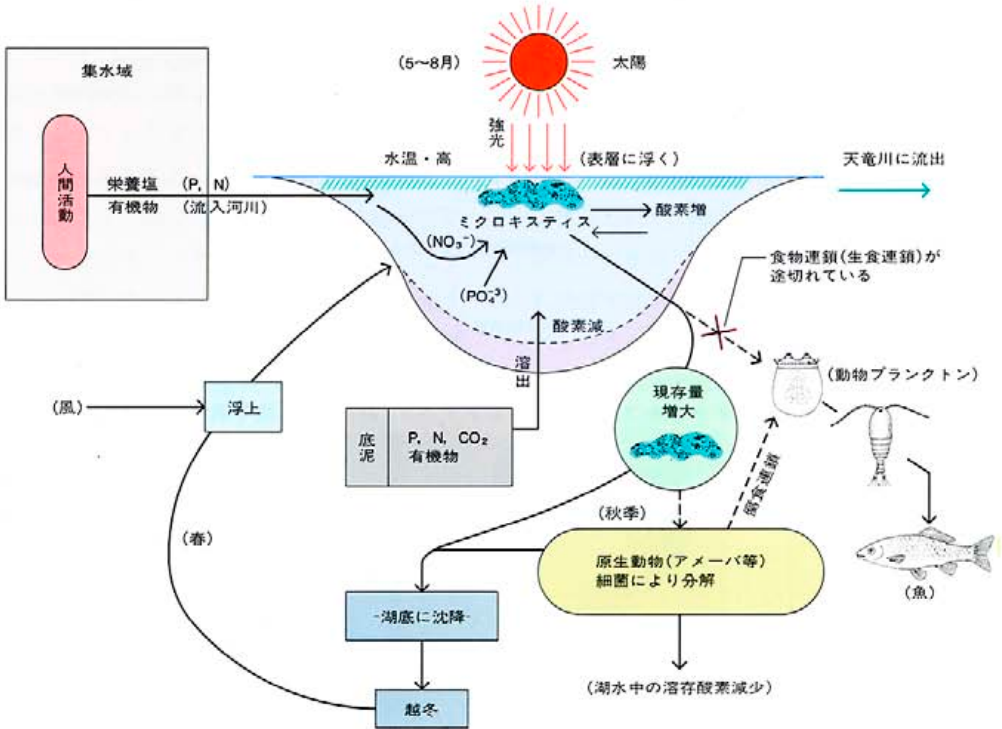


表3・5—藍藻を溶解する微生物群 (山本, 1988)

微生物群	属名	溶解機構
シアノファージ	AS-グループ* SM-グループ Lpp-グループ N-グループ	細胞内溶解
細菌	<i>Bacillus brevis</i> <i>Bdellovibrio</i> spp. <i>Cellebrius</i> sp. <i>Lysobacter</i> spp. <i>Myxococcus</i> spp.	内部寄生 細胞外酵素接触 捕獲 細胞外物質
カビ [下等なカビ 高等なカビ]	ツボカビ <i>Acremonium</i> spp. <i>Emeticloopsis</i> spp. <i>Verticillium</i> spp.	細胞外物質
原生動物アメーバ	<i>Acanthamoeba</i> spp. <i>Asterocaulum</i> spp. <i>Nuclearia</i> spp.	捕食

*宿主細菌の頭文字でグループ分けされている。

ミクロキスティスの毒性

《有毒藍藻による動物の被害》

ただミクロキスティスについては、もう一つ厄介な問題がありまして、この生物が毒素をもっているということです．日本では被害の例がないのですが、従来から外国では、ミクロキスティスやアナベナによる「水の華」現象のさいに、その水を飲んだ家畜や野性動物などが病気になったり死亡したりする事件が起きておりました．こうした事実から、アオコの毒性については以前から注目されていたわけですが、最近その辺の研究が進んできまして、かなりいろいろなことが分かってきました．ここでは、東京都立衛生研究所の渡辺真利代博士や信州大学の朴虎東先生・林秀剛先生の研究にもとづいて、この問題を簡単に紹介いたします(注)．

表3・6は、有毒藍藻による動物被害の報告例をまとめたものです．これに見るように、ミクロキスティスを原因種とする動物の死亡例は、北アメリカ、カナダ、イギリス、南アフリカなど非常に広い地域にわたって起きており、一方、アナベナを原因種とする動物の死亡例は、北アメリカ、カナダ、フィンランドなど比較的高緯度の地域で起きています．動物が死亡するまでの症状も違っていて、ミクロキスティスの場合は、吐いたり、下痢、喉の渇きなどの症状を示した後、2～3時間から1～2日後に死亡する例が多く、解剖すると、胃腸管系に炎症や点状出血がみられ、また肝臓の肥大、うっ血が顕著であることなどが報告されています．1例として1985年9月にアメリカのウィスコンシン州南部でおきたウシの被害を見ますと、濃密なミクロキスティスを含む水を飲んだ60頭のうち、20頭が12時間後から食欲不振、横臥、脱水、錯乱などの症状を示し、36時間後から60時間後に9頭が死亡しています．一方、アナベナの場合には、けいれん、ひきつけ、まひなどの神経性の症状を示し、その後まもなく死亡する例が多く、致死までの時間はミクロキスティスの場合よりも短いようです．

表3・6—有毒藍藻による動物の被害

〈渡辺真利代，1994〉

原 因 種	場 所	被 害 動 物
<i>Anabaena</i> <i>A.circinalis</i> <i>A.flos-aquae</i>	オーストラリア(ニューサウスウェールズ) USA(ミネソタ，コロラド，アイオワ，モンタナ，インディアナ)，カナダ，フィンランド	ラム ウシ，ヒツジ，ブタ，ニワトリ，シチメンチョウ，アヒル，ガチョウ，キジ，イヌ，ネコ，リス，キツネ，野鳥，コイ
<i>A.lemmermanni</i> <i>A.spiroides</i>	フィンランド USA(イリノイ)	ウシ ブタ
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	USA(ミネソタ，ニューハンプシャー)，バミューダ，カナダ	ウシ，ウマ，イヌ，カモ，魚類
<i>Coclosphaerium kuetzingianum</i>	USA(ミネソタ)	ヒツジ，ブタ，ニワトリ
<i>Gloeotrichia echinulata</i> <i>G.pisum</i>	USA(ミネソタ) USA(ミネソタ)	ウシ，ウマ，ブタ ラム，ウシ，ウマ
<i>Microcystis aeruginosa</i> (<i>M.flos-aquae</i> ， <i>M.toxica</i> を含む)	USA(ミネソタ，ウィスコンシン，コロンビア)，カナダ，ソ連，イギリス，南アフリカ，中国(モンゴル)，オーストラリア	ウシ，ウマ，ヒツジ，ニワトリ，イヌ，ネコ，ウサギ，サイ，野鳥，水鳥
<i>Nodularia spumigena</i>	オーストラリア，バルト海沿岸	ヒツジ，ウマ，イヌ，ブタ，ラム，アヒル
<i>Nostoc rivulare</i>	USA(テキサス)	ウシ，ニワトリ，アヒル，シチメンチョウ，魚類
<i>Oscillatoria agardhii</i>	イギリス，フィンランド	ウシ，野鳥，魚類

表3・7—有毒藍藻による人体影響

〈渡辺真利代，1994〉

例	年代	場 所	被 害 者	症 状	原因藍藻
1.	1975	USA(ペンシルバニア州)	5,000人	胃腸炎	<i>Schizothrix calcicola</i>
2.	1979	オーストラリア(バーム島)	子供138人 大人10人	肝炎に似た症状 食欲減退，吐き気	<i>Cylindrospermopsis</i> <i>rachiborskii</i>
3.	1979	USA(ペンシルバニア州)	(1)子供20～30人 大人数人 (2)大人 1人 子供 2人 (3)子供15人	頭痛，腹痛， 吐き気，下痢 耳の痛み 目の炎症 吐き気，下痢 発疹	藍藻？ <i>Anabaena</i> <i>Anabaena</i>
4.	1989	イギリス (スターフォードシャイア)	16歳の兵士2人	不快感，喉の渇き 口周辺の水泡 血小板の減少	<i>M.aeruginosa</i>
5.	1989，1990	USA(シカゴ) ネバール(カトマンズ)	熱帯地方への旅行者，エイズ患者， カトマンズ在住者	吐き気，低い熱， 長期間の下痢	藍藻？

表3・8—自然藻体をマウスに腹腔内投与したときの毒性

〈渡辺真利代，1994〉

採 取 場 所	毒性(mg/kg)	優 占 種	生存時間(分)
Balgavies湖(イギリス)	11(LD ₅₀)	<i>M.aeruginosa</i>	30-120
Rescobie湖(イギリス)	20(LD ₅₀)	<i>M.aeruginosa</i>	30-120
Sayhteenjarvi湖(フィンランド)	125(MLD ₅₀)	<i>An.flos-aquae</i> <i>M.aeruginosa</i>	2-15
Rapajarvi湖(フィンランド)	750(MLD ₅₀)	<i>M.aeruginosa</i> <i>Gomphosphaeria</i>	6-24
Saaskjarvi湖(フィンランド)	750(MLD ₅₀)	<i>Aph.flos-aquae</i> <i>An.circinalis</i>	7-10
バルト海沿岸(フィンランド)	125(MLD ₅₀)	<i>N.spumigena</i>	
鯉魚池(中国)	90(LD ₅₀)	<i>M.aeruginosa</i>	
茨戸湖(日本)	140(LD ₅₀)	<i>M.aeruginosa</i>	60-120
諏訪湖(日本)	360(LD ₅₀)	<i>M.viridis</i>	60-120
霞ヶ浦(日本)	310(LD ₅₀)	<i>M.viridis</i>	60-120

LD₅₀：半数致死量 MLD₅₀：最低致死量

《人体への影響》

有毒藍藻はまた、人体にも直接的な被害を及ぼします。それをまとめたのが表3・7で、ここには、第3の例にアナベナを原因種とする被害、第4の例にミクロキスティスを原因種とする被害が示されています。

アナベナによる被害は、アメリカのペンシルバニア州北東部の2つの湖で起きたもので3つの例があげられています。(1)の場合は、湖で水遊びをしていた子供たちが、頭痛、吐き気、胃の痛み、下痢など夏かぜのような症状を示したもので、このときの湖面は、着色するほどのブルーム状態ではなかったとされています。(2)の場合は、湖で泳いだ後に、耳の痛み、くしゃみ、目の炎症などの症状を示したもので。(3)の場合は、湖水と接触した後で、吐き気、下痢などの症状が24～48時間続いたというもので、(2)と(3)の場合は、アナベナのブルーム発生時に起きています。

ミクロキスティスによる被害は、1989年にイギリスで起きています。ミクロキスティスのブルームが見られた貯水池でカヌーの練習をしていた16歳の兵士2人が、池の水を飲んだ後発熱し、口周辺の水泡、倦怠、吐き気、下痢などの症状を示したもので、このときは現場の水からは、ミクロシスチン-LR(後述)が検出されています。

《マウスに腹腔内投与したときの致死量》

表3・8は、ミクロキスティスやアナベナの自然の藻体をマウスに腹腔内投与したときの毒性を調べたもので、半数致死量(LD₅₀)と最低致死量(MLD₁₀₀)で比較してあります。イギリスの2つの湖の試料は、いずれもミクロキスティス・エルギノーサが優占種ですが、その毒性は非常に強く、わずか11～20mg/kgで、半数のマウスが30～120分で死亡しています。日本の湖では、北海道の¹⁴⁵炭戸湖で同種のミクロキスティス・エルギノーサが97.5%を占めたときの試料です。こちらの方はイギリス産のものに比べれば毒性は弱く、半数致死量は140mg/kgとなっています。諏訪湖と霞ヶ浦の場合は、いずれもミクロキスティス・ヴィリディ

スが70%以上占めたときの試料で、半数致死量は諏訪湖が360mg/kg、霞ヶ浦が310mg/kgとなっており、毒性はさらに弱くなっています。一方、アナベナの試料はいずれもフィンランドの湖のもので、この方は最低致死量と比較してありますが、マウスの致死時間が2～15分とか7～10分というように非常に短く、毒性の強いのが特徴です。

《ミクロシスチンとアナトキシン-a》

このようにミクロキスティスやアナベナには毒性物質が含まれているわけですが、1990年代に入ると、この毒素の正体についての研究が急速に進み、その化学構造が明らかになり、分析法も開発されてきました。

ミクロキスティスが体内でつくる毒素は、ミクロシスチンとよばれる肝臓毒で、確認されているのは7種類ありますが、主要なものはミクロシスチン-RR、-YR、-LRです。

またアナベナに含まれる毒素は、アナトキシン-aとよばれる強力な神経毒です。アナベナの場合には、アナトキシン-aとミクロシスチンの両方の毒素を含む場合が多く、一方、ミクロキスティスの株の中からも、アナトキシン-aが検出される場合があるようです。

《日本の湖沼における毒素の分布》

表3・9は、日本各地の湖沼に出現するアオコの中に、アナトキシン-aやミクロシスチンがどのくらい含まれているかを調べたものです。この表で、エボキシ体とあるのはアナトキシン-aの酸化物で、これは無害な物質です。ただアナトキシン-aの含有量が減るにつれて、エボキシ体が増えてくるという関係にあるので、これが検出されることはアナトキシン-aがあったことを意味するわけです。

この表を見ますと、ミクロキスティスが優占している試料からは、ほとんどの場合ミクロシスチンが検出されています。一番多いのは1989年8月の霞ヶ浦で1,732μg/gです。ただ翌年は同じ8月でも179μg/gとぐんと少なくなっています。さらにその翌年になるとユレモが優占し、その試料からは948μg/gのミクロシスチンが検出されています。

諏訪湖も霞ヶ浦に次いで多く、1991年7月には1,610μg/gのミクロシスチンが検出されています。またアナベナが優占する試料からも、相模湖や諏訪湖ではミクロシスチンが検出されています。

一方、アナトキシン-aが検出される試料は少なく、検出された場合でもその含有量は微量です。しかし、ダム1の場合はアナベナの中から16.3μg/gのアナトキシン-aが検出されており、また濠5の場合には、ユレモが優占する試料からアナトキシン-aが16.3μg/g、ミクロシスチンが657μg/gと両方の毒素がともに検出されています。

《諏訪湖におけるアオコと毒素の季節変化》

このようにアオコに含まれる毒素量は、同じ湖でも、年ごとにだいぶ違った様相を呈します。諏訪湖の場合は、さきの表にもありましたように、アオコの中の毒素量がとりわけ多かったのは1991年です。

図3・17は、この年にアオコの発生した6月から10月までの全期間にわたって10日ごとに湖水をプランクトンネットで採取し、ミクロキスティスの構成種とミクロシスチンの成分および含有量がどのように変化しているかを詳細に調べたものです。ミクロキスティスの構成種は、M・エルギノーサ、M・ヴェーゼンベルギー、M・ヴィリディスに3分類され、このうちM・エルギノーサは細胞の大きさによってLとSにさらに細分類され、それぞれの増減が詳細に調べられています。

図の(a)に見るように、この年はミクロキスティスの細胞数は8月10日に最大となり、その後一時減って9月20日には再び増え、10月末頃から消失していきます。この間、6月11日から7月20日まではM・エルギノーサLが優占し、7月20日以降になるとM・ヴィリディスが優占種となってきます。また8月30日以降になるとM・ヴェーゼンベルギーが30%の占有率を示しています。

図の(b)は、こうしたミクロキスティスの消長に応じて、ミクロシスチンの成分とその含有量がどう変化したかを見たものです。図に見

るようにミクロシスチンは、-RR、-YR、-LRの3種が検出されていますが、-YRは僅かで-RRと-LRで大半が占められています。その-RRと-LRは、6月20日から7月20日にかけて増加し、7月20日には3種の毒素の合計含有量は乾燥藻体で212 μ g/100mgを示して、この年の最高を記録します。この時期はM・エルギノーサルが優占し、ミクロキスティス属が急増している時期にあたります。ところが7月30日以降になって、M・ヴィリディスが優占種となってくると、ミクロシスチンは急激に減少し、ミクロキスティスの細胞数が最大となる8月10日でもミクロシスチンの含有量は減少のまま推移し、その後10月30日までは大きな増加も見られません。このように諏訪湖の場合には、M・エルギノーサルが優占する時期にミクロシスチンの含有量が高くなっています。ただし東京のある公園池の場合では、M・ヴィリディスが優占している時期とM・エルギノーサルが優占している時期に、それぞれミクロシスチンの含有量が高くなっています。両方の水域に共通し

ている特徴は、ミクロシスチンの含有量が高くなるのは、いずれもミクロキスティスが急増していく時期にあたっているという事実で、この点は留意しておく必要があるかと思えます。

動物プランクトン
《ワムシ類》

動物プランクトンは、水中を遊泳または水中に浮いて生活する小形の動物群集で、諏訪湖ではこれまでに、原生動物12種、ワムシ類38種、甲殻類27種が知られています。このうち重要なのはワムシ類と甲殻類です。ワムシ(輪虫)類は、体長が0.1~0.5ミリほどの小形の動物で原生動物と間違われやすいのですが、顕微鏡で見ればその複雑な構造がすぐに分かります。袋形動物に属し、浮遊性の種類以外に付着性のものもおります。ワムシ類の頭部には、円形状の纖毛列をもつ「輪盤」と呼ばれる器官のあるのが特徴で、この纖毛が動いているときは、あたかも車輪が回転しているように見えるのでワムシと呼ばれます。頭部の纖毛を回転させて水流をお

こし、微小なプランクトンやバクテリアなどの餌を取り入れながら水中を回転して進みます。咀嚼板の構造や機能は食性によって違い、それが分類の目安にもなっています。諏訪湖に見られるワムシ類の主なものは、ナガミツウデワムシ、ハネウデワムシ、フクロワムシ、ツボワムシ、カメノコウワムシなどですが、それぞれの優占する時期は季節によって異なります。図3・18は、倉沢先生がまとめられたもので、1970年における諏訪湖での動物プランクトンの優占種の交替と量の季節変化です。おおまかにいいますと、ナガミツウデワムシは12月頃から5月頃にかけて、ハネウデワムシは初夏の頃と秋に、フクロワムシは7~8月頃の夏に、ツボワムシは春と冬に、カメノコウワムシは春と秋に、それぞれ優占する時期が見られます。ナガミツウデワムシやツボワムシは、珪藻類のヒメマルケイソウやバクテリアを餌にしますが、魚の仔稚魚や同じワムシ類のフクロワムシからは、餌として食べられます。諏訪湖では、3月から5月にかけてはワカサギの仔

表3・9—日本各地の富栄養水域における毒素ミクロシスチンとアナトキシン-aの含有量
(単位: μ g/g) <Park et al., 1993bより>

採取水域	年月日	優占種	アナトキシン-a	エボキシ体	ミクロシスチン			
					RR	YR	LR	7DMLR
網走湖	1988年7月20日	A.c	0.6	0.2	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	1989年8月14日	M.a	—	—	963	356	413	—
	1990年8月21日	M.a	—	—	111	n.d.	68	—
	1991年7月31日	O.m	0.4	n.d.	478	45	275	150
霞ヶ浦	1991年9月12日	O.m	0.4	n.d.	n.d.	n.d.	43	94
	1991年8月21日	A.m	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	1990年8月4日	A.s	n.d.	n.d.	214	15	104	n.d.
	1991年7月19日	A.s	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
木崎湖	1991年8月15日	M.a	—	—	340	n.d.	210	—
	1990年8月19日	M.w	—	—	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	1990年9月6日	A.f-a	0.8	1.0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	1990年9月11日	A.f-a	1.5	0.7	36	n.d.	31	n.d.
諏訪湖	1991年7月23日	M.v	—	—	979	9	622	—
	1989年9月12日	O.r	n.d.	n.d.	—	—	—	—
	1990年10月22日	Ap.r	0.3	n.d.	—	—	—	—
	1990年7月9日	M.a	—	—	149	27	27	—
ダム1	1990年8月15日	A.m	16.3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	1991年8月14日	O.r	14.3	n.d.	646	n.d.	11	n.d.
	1991年8月17日	O.r	2.3	n.d.	569	n.d.	151	n.d.
	1992年2月14日	O.r	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

A.c: *Anabaena circinalis*. A.f-a: *Anabaena flos-aquae*. A.m: *Anabaena macrospora*.
A.s: *Anabaena spiroides*. Ap.r: *Anabaenopsis raciborskii*.
M.a: *Microcystis aeruginosa*. M.v: *Microcystis viridis*. M.w: *Microcystis wesenbergii*.
O.m: *Oscillatoria mougeotii*. O.r: *Oscillatoria raciborskii*.

図3・17—諏訪湖におけるミクロキスティスの種類組成とミクロシスチンの季節変化(1991年) <Park et al., 1993aより>

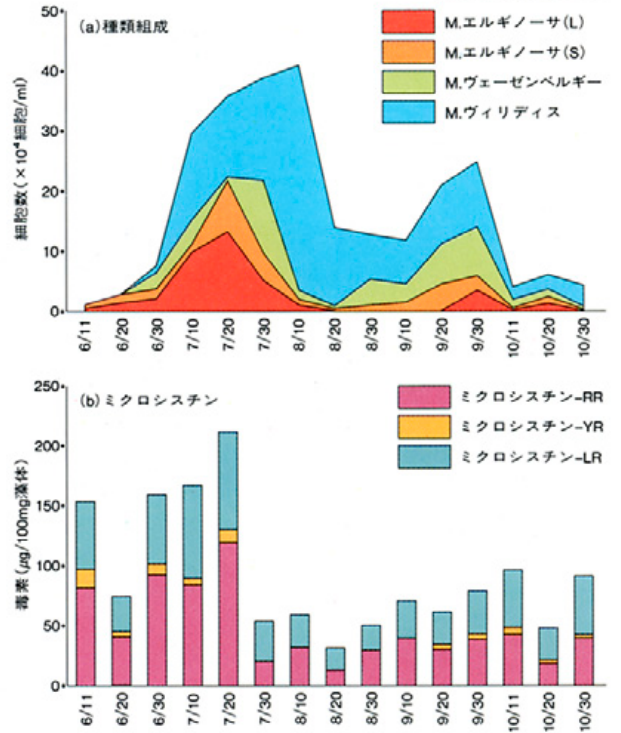
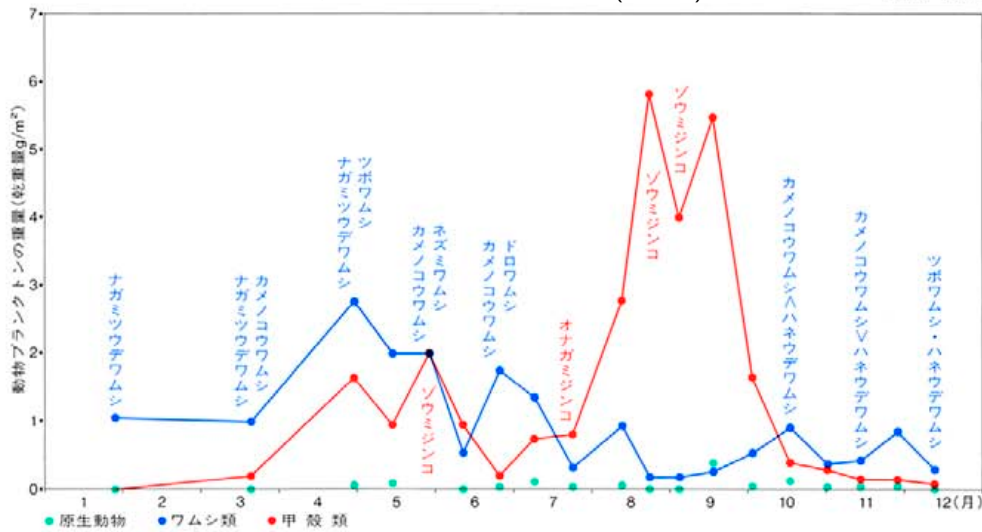
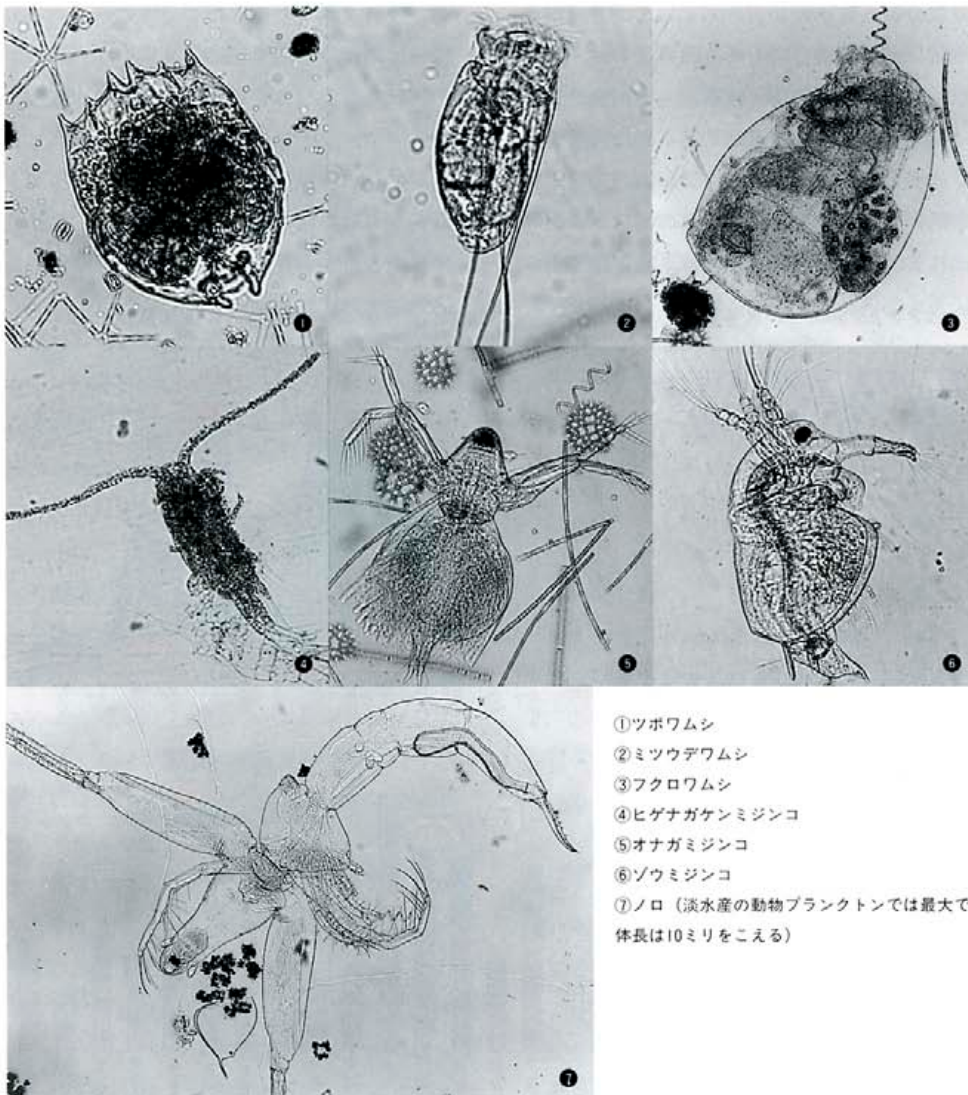


図3・18—動物プランクトンの優占種の交替と量の季節変化(1970年)

〈倉沢, 1973〉



動物プランクトンの顕微鏡写真



稚魚の多い時期で、春に増えたこれらのワムシ類は、ワカサギの仔稚魚の成長を支える格好の餌として利用されているわけです。

《ゾウミジンコ》

甲殻類の動物プランクトンには、枝角類とカイアシ類とがありますが、現在の諏訪湖で量的に最も多いのは枝角類に属するゾウミジンコ科の仲間です。頭部に2対の触角があり、第一触角がゾウの鼻のように伸びているのが特徴で、名前の由来にもなっています。諏訪湖では、ゾウミジンコ、ニセゾウミジンコ、ゾウミジンコモドキの3種がいます。いずれも体長は0.5ミリほどで、主として植物プランクトンを餌にしています。

ゾウミジンコとニセゾウミジンコの形態は非常によく似ていますが、第一触角や尾部にある殻刺の長さなどから識別されます。これらの2種のゾウミジンコは、その発生時期がずれていて、ゾウミジンコは春に発生して夏に消滅しますが、この時期には、ゾウミジンコに替わってニセゾウミジンコが発生し、秋になると、両種が混在することが知られています。この現象は最初は霞ヶ浦で分かったのですが、諏訪湖でも同ような発生の仕方をしています。近縁の2種が、春から夏にかけて交替する理由は、まだよく分かっておりません。一方、ゾウミジンコモドキは、春と秋に増え夏にはその姿が余り見られません。

《ノロ(ノロミジンコ)》

淡水に棲む動物プランクトンのなかで身体之最も大きいのは、ノロと呼ばれる甲殻類の1種で、これも枝角類に属します。体長は約10ミリにもなるので、慣れれば肉眼でも見つかりますが、身体は無色透明ですから知っていないと気がつきません。ノロは第二触角がよく発達しているため、動物プランクトンとしては大きな遊泳力をもっています。6対の脚をもち、この脚で餌を捕らえて、脚の基部にある口器を使って餌となる動物プランクトンの体液を吸って生活しています。

諏訪湖にも、このノロが比較的多く生息しています。ノロの生息密度が最も高くなるのは

6月頃ですが、1977年の調査では、最大で1 m³の湖水あたり2,710匹にもなっています。これは1ℓあたりでは約3匹ほどになり、他の動物プランクトンと比べればごく少ない数ということになります。ノロは体長がきわめて大きいので、この程度の数であっても非常に多くの餌を必要とします。餌となる微小な動物プランクトンからすれば、決して少ない数ではありません。

《変遷》

ふつう貧栄養の湖では、動物プランクトンとしては、甲殻類のなかでもカイアシ類に属するケンミジンコの仲間が優占し、富栄養化が進むにつれてワムシ類や原生動物が増えてくる傾向があります。

諏訪湖の場合にも、1920年頃には夏にケンミジンコが最も多かったという報告がありますが、それが1950年頃や1970年頃の調査では、ケンミジンコは余り見られなくなり、同じ甲殻類でもゾウミジンコやオナガミジンコなどの枝角類の仲間が優位を占めています。

それと同時にワムシ類の種属数、個体数が急増しています。有機物が増えると、それを分解するバクテリアが増えますが、ワムシ類はこのバクテリアを餌にしていますから、それを食べてどんどん増えていくわけです。

さらに1970年代の後半になると、汚濁生物の指標とされる原生動物の繊毛虫のエダワカレツリガネムシが急増し、動物プランクトンの総個体数の90%以上を占める場合のあることが報告されています。

動物プランクトン全体の個体数の増加を見ると、1920年頃については定量的なデータがないので分かりませんが、1950年頃には1ℓあたり500個体前後であったものが、1970年代後半には、その5～6倍の2,000～3,000個体にも増えています。増えた大部分がワムシ類で占められているのも大きな特徴です。

底生動物

底生動物は、湖の底泥または湖底の表面を生活の場としている動物の総称で、じつにさまざまな種類のものが含まれます。動物プランクトンと同じグループにも湖底に生息しているものがいますし、多くの昆虫類の幼虫は湖底で生活します。貧毛類のイトミミズ類もいますし、また貝類やエビ類なども湖底を生活の場としています。諏訪湖の場合は、こうした多くの底生動物のなかでは、ユスリカの幼虫と貧毛類のイトミミズの類が数・量ともに多く、代表的な底生動物となっています。

《ユスリカ幼虫》

ユスリカは昆虫類の双翅類に属し、蚊と近縁の生物ですが、人を刺すことはありません。世界中に広く分布し、これまでに記載されているだけでも数千種以上にのぼります。日本で命名されているのはその1割もなく、特に河川域には多くの種が生息していますが、その多くはまだ同定されておられません。

諏訪湖に生息するユスリカ類は、オオユスリカ、アカムシユスリカ、カユスリカの3種ですが、前2者の数量が圧倒的に多く、カユスリカはそれほど多くはありません。ただし今後の調査では、沿岸部や水草帯からは、まだ知られていないユスリカ類が見出される可能性が高いと思われます。

ユスリカの生活史は、卵→幼虫→蛹→成虫の四期からなっています。幼虫はヘモグロビンをもち赤い色をしているので、アカムシともいわれています。湖底の泥の中で生活し、蛹になるまでに4回の脱皮をします。蛹になると水中を浮上し、湖面で羽化し、成虫となって大気中に飛び出します。

大気中に飛び出しても飛翔力は大きくないので風に飛ばされやすいのですが、水辺や灯火の近くに群がり、直径1m、高さ2～3mほどの蚊柱をつくっているのをよく見かけます。この蚊柱は、交尾のために集まっているもので、雌は交尾の後1～2日すると水面に産卵し、死んでしまいます。水面で羽化した後の成虫の命はせいぜい1週間くらいです。成虫

の体長は、オオユスリカでもアカムシユスリカでも15ミリほどになりますから、知らない人は、刺しはしないかと薄気味悪く感じることもあるようです。

ユスリカの卵はゼリー状の物質にくるまれていて、ユスリカは水面があればどこにでも産卵します。コップに水を入れておくと、透明な糸状(アカムシユスリカ)や塊状(オオユスリカ)の卵塊を産むのが見られます。産卵時期に雨が降ると、ちょっとした水溜まりにはたくさんの寒天様の塊を見ることができますが、これらがユスリカの卵塊です。

諏訪湖のように底泥の栄養度の高い湖では、大量のユスリカが発生します。地元の人たちが、これを「ウンカ」といっているのを耳にすることがありますが、これは「湖蚊^{うみか}」が転じたものと思われます。一般に「ウンカ」と呼ばれているのは水田に発生するツマグロヨコバイの類で、ユスリカではありません。

諏訪湖のユスリカについては、当時、臨湖実験所におられた山岸宏先生と現在は新潟大学におられる福原清夫先生とによって、1968年からその翌年にかけて詳しい調査・研究がなされ、その生態が明らかになりました。それによりますと、オオユスリカの羽化期は年に3回あって、4月上旬～5月下旬、6月上旬～7月下旬、8月上旬～10月上旬に見られますが、アカムシユスリカの羽化期は年1回で、10月上旬～11月中旬だけです。

底泥中の幼虫を調べますと、11月頃に羽化するアカムシユスリカの幼虫が、夏には全く採集されなくなります。それで、直径10cmほどの竹筒の中をくり抜き湖底から深さ1mぐらいまでの泥をとって調べますと、アカムシユスリカの幼虫は、夏には底泥に潜って夏眠している事実が分かりました。図3・19がその調査結果で、幼虫の掘潜深度は最大で90cmにも達しています。幼虫が湖底表層に戻り始めるのは、底層水温が15℃程度に低くなる時期ですから、その動きには水温が1つの目安となっているように考えられます。

アカムシユスリカの幼虫が底泥深くに潜る夏

の時期は、底層水温が高く、水中の溶存酸素が不足しやすい時期にあたります。ユスリカの幼虫はヘモグロビンをもち、これにより低酸素にも耐えるとされており、アカムシユスリカの幼虫の場合には、この酸素条件の悪い時期には底泥深く潜って夏眠してしまうので、この悪条件をさらに上手にしのいでいるわけです。

また水面で羽化する時刻ですが、1日のうちで羽化数の最も多いのは午後6時から10時までの間で、一般に夕方から深夜にかけて羽化し、昼間はあまり羽化しないことも、このときの調査で明らかにされています。

表3・10は、諏訪湖でのこれまでのユスリカ幼虫の調査記録をもとに、個体数の経年変化をまとめたものです。オオユスリカは1948年6月の1㎡あたり約12,000匹、アカムシユスリカは1988年12月の1㎡あたり約13,000匹が最大ですが、個体数は年によって大きく違っており、その増減は、湖の栄養度の変化とは直接的には関係していないように思われます。いずれにしても諏訪湖の湖底には、1㎡あたり数千匹のユスリカの幼虫が生息していることが分かります。

このように、諏訪湖の湖底には非常に多くのユスリカ幼虫が生息しますが、図3・20は、幼虫が羽化期に入る直前から羽化の終わるまで

毎日欠かさず湖に舟を出し、底泥や湖面での幼虫、蛹、成虫の数を丹念に調べ、どのくらいの幼虫が成虫になるかを見たものです。この図で、まずオオユスリカの方を見ますと、1983年7月29日、オオユスリカが秋の羽化を始める直前に底泥中に生息していた幼虫の数は1㎡あたり1,156個体です。このうち湖底から水中に浮上したのは677個体(58.6%)、さらにその蛹から成虫へ羽化した数は297個体です。つまり、底泥中のオオユスリカ幼虫の25.7%、約4分の1が湖面から羽化しているわけです。残りのオオユスリカ幼虫は、湖水中で魚やほかの生物に利用されており、この時期にワカサギ、コイ、ホンモロコ、ヨシノボリなどの消化管の中身を調べると、オオユスリカ幼虫がたくさん出てきます。

アカムシユスリカの方は、1983年9月28日、羽化を始める前に諏訪湖の底泥中に生息した幼虫の数は1㎡あたり2,326個体です。このうち湖底から水中に浮上したのは665個体、さらにその中から成虫へ羽化した数は325個体です。つまり底泥中のアカムシユスリカ幼虫の14.0%、約7分の1が湖面から羽化していることになります。ただアカムシユスリカの場合は、羽化期が終わった11月22日に、羽化できなかった4齢幼虫が底泥中に残っていることで、その数は819個体にもなります。これらの幼虫

は、その後ほかの動物に食べられてしまうか、自然に死んでしまいます。

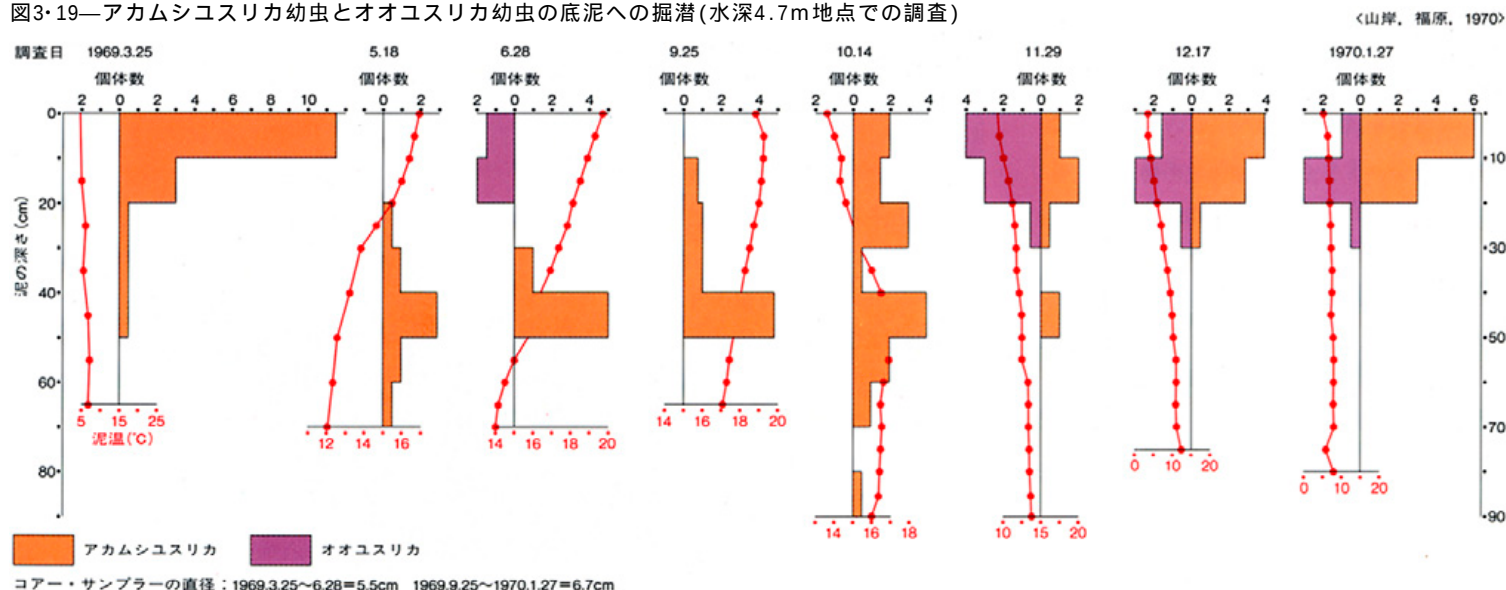
アカムシユスリカ幼虫を食べている魚は、ワカサギ、モツゴ、オイカワなどですが、そのほとんどはワカサギです。アカムシユスリカが発生している時期には、ワカサギの腹の中にはユスリカ幼虫がいっぱいつまっているのがみられ、この時期のワカサギが非常に成長がよいこともよく知られています。

このようにユスリカ幼虫は、湖の魚にとっては大事な食物で、諏訪湖の魚類生産を支える重要な生物になっているわけです。また、それと同時に諏訪湖の富栄養化を遅らせ、湖の浄化にも貢献しています。ユスリカ幼虫は、湖の底泥を食べてその中の有機物を消化・吸収し、残りは糞として排出してバクテリアが分解しやすい形に変えています。この過程でリンや窒素を身体成分として蓄積しているわけで、そのリンの量を見積もったデータでは、大気中に飛び出したものだけでも1年間に170kgとされています。人々に嫌われ厄介ものの扱いされるユスリカですが、この生物もまた、湖の生態系のなかではたいへん重要な役割を果たしているわけです。

《イトミミズ》

諏訪湖の底生動物のなかでは、ユスリカ幼虫と並んで数・量の多いのが、低酸素に強く、

図3・19—アカムシユスリカ幼虫とオオユスリカ幼虫の底泥への掘潜(水深4.7m地点での調査)



有機質の多い泥を好む貧毛類のイトミミズ類です。ただ量の多いわりには、諏訪湖ではこれまで詳しい記録がなく、近年になって生態の調査・研究がされ始めております。

現在、諏訪湖の湖底から採集されている水生貧毛類は10種で、そのうちの7種がイトミミズ類です。その中でも主要なものは、ユリミミズ、フトゲユリミミズ、イトミミズ、エラミミズの4種です。イトミミズ類全体の量を左右しているのはユリミミズで、1㎡あたり8,000から20,000匹の個体数が生息していますが、この生物は、春と秋に多く、夏には個体数が減ります。年間を通して出現するのはミズミミズとエラミミズです。

また、貧毛類の中でも底泥の中に潜って生活するリアコドリルスは、4月には㎡あたり4,000～7,000個体になりますが、夏には全く採集されなくなり、10月以降に再び現れて1㎡あたり9,000個体にも増えます。これはリアコドリルスが低酸素に比較的弱いからだと考えられています。

イトミミズの方は、ユスリカ幼虫と同様にヘモグロビンをもち体液中に酸素をたくわえるので、低酸素にも比較的強いとされています。ユスリカ幼虫と同じように湖底の泥を食べ有機物を分解していますが、イトミミズの方は1日に自分の体重の90倍もの量を食べるとも

いわれます。ですから湖底の掃除屋としての役割はきわめて大きく、底質の浄化には欠かせない貴重な生物ということになります。

《貝類》

諏訪湖に生息する主要な貝類については「渋のエゴ」の項に簡単に記してあります。昭和初期まではマシジミが非常に多く水揚げされ諏訪湖の名産として知られていたのですが、1940年頃から1960年の間にほかの二枚貝とともに激減してしまいました。マシジミは砂地を好み、溶存酸素が豊かな場所に棲んでいますから、湖の富栄養化が進み、夏期底層水の酸素が欠乏してくると、真先にダメージをうけてしまったわけです。

巻貝の方でも、この間にオオタニシ、マルタニシなどが激減し、それに代わってヒメタニシやカワニナなどが一時期増えました。しかしこの両種も、1960年代以降の沿岸部の改変によって著しく減っております。貝類は、湖の富栄養化と湖岸の改変によって、その様相が一変してしまった生物群の1つです。

《エビ類》

大形の甲殻類としては、諏訪湖には4種のエビ類が知られています。主なものはテナガエビとスジエビで、テナガエビは体長が9cmほどにもなりますが、スジエビは小形で体長は5cmぐらいにしかありません。

諏訪湖漁業協同組合の資料によると、昭和に入る前までは年間の漁獲量は40～170トンもあって、全漁獲量の10～30%を占めていますから、当時の諏訪湖には相当量のエビ類が生息していたのでしょう。それが昭和に入るとエビの漁獲量は激減し、1965年以降には1～2トン以下、全漁獲量に対する割合も1%にも達していません。これも、湖の汚染や水生植物帯の減少が大きく関わっていることは明らかです。最近ではエビモの回復に伴って、エビ類も少しずつ増えているようです。

《トンボ類》

沿岸部の水生昆虫ではトンボ類の記録が最も多く、1920年頃にすでに20種が数えられています。その後の詳しい調査でさらに追加され、これまでに32種が記録されていますが、水生植物帯の減った現在では、量・種とも激減しました。1964年から1973年にかけては、メガネサナエ、ウチワヤンマ、コフキトンボの3種のトンボの羽化率が詳しく調べられていますが、水質の悪化とともに、羽化率が急激に減少していることが明らかにされています。下諏訪町では青年会議所のメンバーが中心になって、1979年からトンボの羽化数が調べられていますが、1990年頃から羽化数の増加がみられるということですから、いまは回復傾向に向かっているのだと思います。

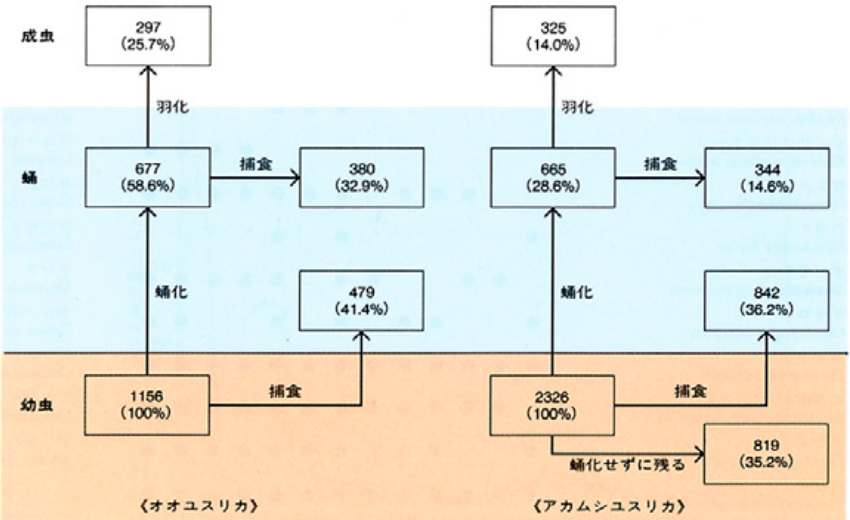
表3・10—ユスリカ幼虫2種の現存量の変遷

《個体数/㎡》

年代	オオユスリカ			アカムシユスリカ	
	3,4月	6月	12月	3,4月	12月
1928	746	—	2,321	219	597
1929	790	—	—	1,404	—
1948	752	11,748	396	352	44
1949	880	1,848	880	220	220
1966	—	2,220	—	—	—
1967	—	—	616	—	13
1968	150	1,232	167	572	2,209
1969	62	1,980	441	4,752	838
1970	275	3,607	15	1,375	191
1971	—	2,229	—	—	—
1972	—	10,170	—	—	—
1977	—	889	903	—	326
1982	173	3,415	222	2,768	3,032
1983	99	1,481	1,022	556	4,550
1984	370	9,482	474	1,007	444
1985	495	6,489	1,552	5,074	3,618
1986	1,230	1,837	526	—	3,563
1988	—	—	153	1,000	13,017
1989	148	452	207	326	780
1990	202	524	1,304	1,304	926

図3・20—オオユスリカおよびアカムシユスリカの成熟幼虫個体数・蛹化量および羽化量の関係（枠内の数字は㎡あたりの個体数）

《平出、沖野、1983》



魚類

《主要魚類の経年変化》

諏訪湖には、大正時代の初めに漁業協同組合ができますが、それ以降、湖の漁業はすべてこの漁協の管轄下で行われるようになり、毎年の漁業統計や放流事業が詳しく記録され、それが出版物として公表されています。この類の資料は、他の湖では余り見られない貴重なもので、倉沢先生はこの資料を丹念に整理され、「諏訪湖における主要魚貝類放流量と漁獲量との経年変化の関連」という労作をまとめられ、1983年に発表しております。

図3・21は、これらにもとづいて諏訪湖の主要魚類の経年変化を簡略化し、定性的にまとめたものです。図で青緑色が在来種、紫色が移殖放流種、橙色は在来種に追加放流したものです。諏訪湖には固有種はいませんのですべ

てが在来種になりますが、在来の魚はあまり勢力を保つことがなく、移殖放流した魚の方が勢力を発揮しているのが特徴です。

《在来種》

在来種のうち、きれいな水域に生息するカワヤツメ、ヤマメ、イワナ、カワムツなどの魚種は、1935年頃には諏訪湖から姿を消しており、現在は見ることはできません。ハゲギギやニゴイも、1960年頃には消滅してしまいました。在来種のうち、人為的に補助されることなく今日まで存続しているのは、アメノウオ、メダカ、アカザ、タモロコ、カマツカ、モツゴ、アブラハヤなどで、これらの魚種も漁獲されるのは少量にすぎません。

《移殖放流種》

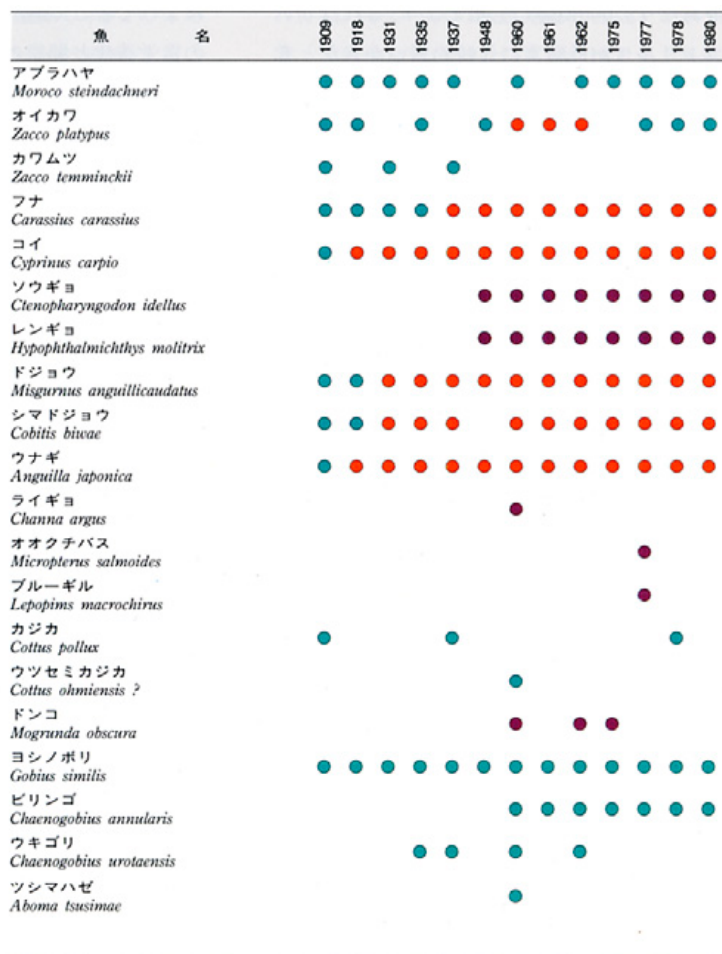
長野県は内陸部にあって、海に面した部分がありませんから、この地方では、昔から動物

タンパクをとるのは淡水魚が主体で、そのために諏訪湖の魚類は、タンパク源として非常に重要視されておりました。古くは天正8年(1580)に琵琶湖からゲンゴロウブナを移入したという記録もあり、江戸時代には高島城主が乱獲防止の禁令をだしています。

ですから創立当初の漁協でも、湖の資源維持のために外から魚貝類をもってきて、熱心に移殖したり追加放流したりしたわけで、大正年間には、コイ、ウナギ、ドジョウなどの稚魚の放流が続けられています。

こうした中で、1914年には霞ヶ浦からワカサギの卵ももってきて放流しますが、諏訪湖の環境はワカサギの好みにあっていたようで、ワカサギは川に上がって産卵し、自然増殖でどんどん増えていきます。この時期は、すでにワカサギの人工増殖も行われていますが、

図3・21—諏訪湖魚類目録の経年変化



自然増殖の方が人工増殖をはるかに上回っているのが特徴で、これには、当時の河川が清流であったこと、小さな魚を食べる肉食の大きな魚が余りいなかったことなど、有利な事情があったことも見逃せません。

そのほかゼニタナゴとかヒガイなども移殖放流されていますが、これらは、意識的に放流したというよりは、ほかの魚にくっついてきたというのが実情です。この当時から、琵琶湖のアユは種苗として各地に出荷されていますが、諏訪湖でも琵琶湖のアユを放流して、これにくっついてきたのがこれらの魚です。漁獲量もそう多くはありません。

珍しいものでは、1975年から熱帯産のメダカのグッピーが魚種目録に登録されています。これは放流したのではなくて、どこかで飼っているものが逃げ出すか、こぼれたりして水

路に出て、温泉の湯尻で越冬しながら繁殖したものです。この魚は、水温が15 ぐらいになるところと死んでしまいましたが、18 以上あれば越冬できますから、日本の各地の温泉でも、同じような現象が起きています。ただ現在では、下水道ができて湯尻が少なくなりましたのでいなくなりました。再び姿を見せることもないと思います。

魚類のほかでは、移殖放流して大量に自然増殖したものに、さきに述べたテナガエビがあります。これも大正の始めに霞ヶ浦から移殖放流したもので、大正の末から昭和初期にかけては大量のエビが水揚げされています。

ワカサギやテナガエビのように、諏訪湖の場合には、どういうわけか、外から移殖すると定着し、在来種を押し退けて増えていく傾向が目立ちます。その意味では、今後問題にな

りそうなのがブラックバスの類です。もともと日本の淡水魚には、小さな魚を食べるのはナマズぐらいしかいないのですが、ブラックバスは魚を食べるのでワカサギの稚魚を好餌にします。それで大いに警戒しているわけです。ブラックバスは、浅瀬の砂地がなければ増えませんが、湖水がきれいになれば砂地も増えてきますから、ブラックバスの増える下地ができてきます。今でも1～2年おきに、これを釣った人がおりますから、湖にいないことはないのです。増えないのは、まだ増える場所ができていないというだけです。ですから諏訪湖の場合には、水生植物ではコカナダモ、魚ではブラックバスのような移入種が今後問題になるだろうと考えています。

《漁獲物に占める主要魚貝類の変遷》

諏訪湖の漁獲物には、魚類だけでなく貝類や

図3・22—総漁獲量の変遷

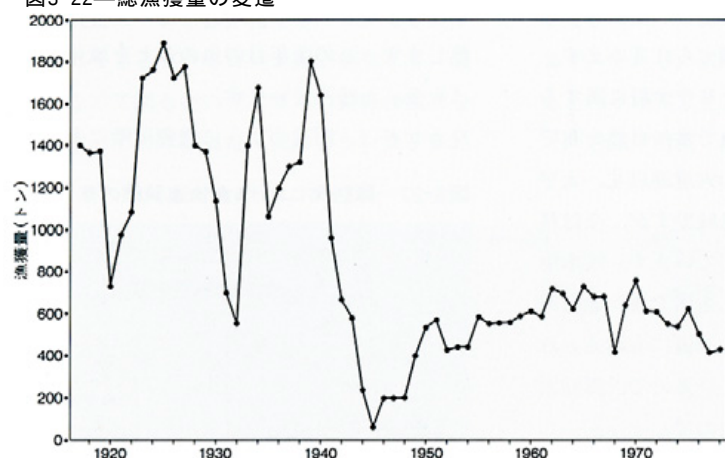


図3・23—ワカサギの漁獲量と放流量(卵)の変遷

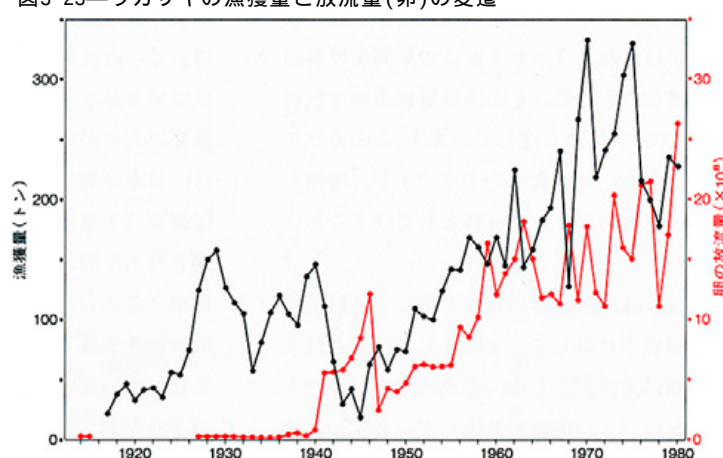


図3・24—フナおよびコイの漁獲量の変遷

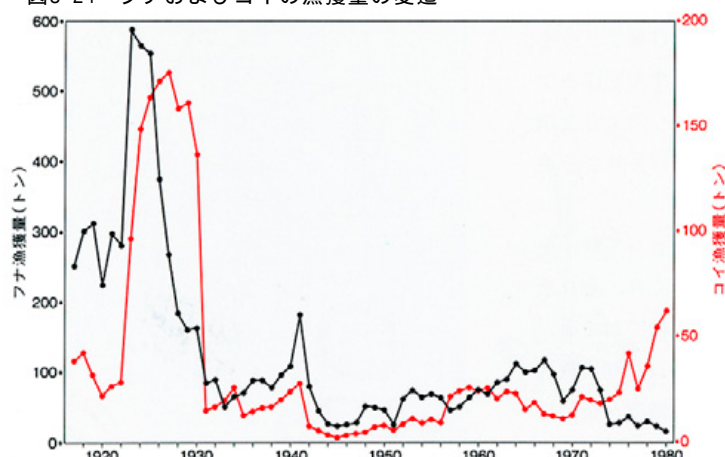


図3・25—シジミおよびエビの漁獲量の変遷

