

諏訪湖の富栄養化と  
生物群集の変遷

倉澤 秀夫

# 目次

はじめに .....	3
1. 諏訪湖の湖沼学的特徴 .....	4
2. 水質の変遷 .....	6
3. 生物群集の変遷 .....	7
(1) 植物プランクトン群集と基礎生産量の変遷 .....	7
(2) 大型水生植物群落と現存量の変遷 .....	12
(3) 動物プランクトン群集の変遷 .....	15
(4) 底生動物群集の変遷 .....	17
(5) 魚貝類相、漁獲量、放流量の変遷と網生簀養鯉 .....	18
(a) 魚貝類相の推移 .....	18
(b) 主要漁獲種とその量の変遷 .....	20
(c) 各種漁獲物を指標とした生物学的水質判定 .....	25
(d) 放流量と漁獲量との関連 .....	27
(i) 放流量の経年変化 .....	27
(ii) 放流量と漁獲量との経年変化の関係 .....	32
(iii) 放流効果の数量的検討 .....	41
(e) 網生簀養鯉 .....	43
(i) 網生簀の面数と養殖ゴイ水揚げ量の経年変化 .....	44
(ii) 天然育成漁獲量との比較 .....	46
(iii) 網生簀養鯉量と湖漁獲量の出荷金額の経年変化 .....	47
(iv) 湖の漁業と富栄養化との関連 .....	49
4. 過富栄養化の主要原因 .....	50
(1) 湖周辺地域の産業の発達経過 .....	50
(2) 流入河川汚濁の経年変化と湖の汚染 .....	52
5. 諏訪湖の浄化対策と問題点 .....	57
(1) 水質汚濁の環境規準の設定 .....	57
(2) 沿岸帯の浚渫と大型水生植物の除去 .....	57
(3) 下水道の建設 .....	60
引用文献 .....	66

# 諏訪湖の富栄養化と生物群集の変遷

## はじめに

諏訪湖はここ20年間の富栄養化による汚濁によって、かつて東洋のスイスと言われてきた面影を失ってしまったことは、衆目の一致するところでは、その汚染の主原因の一つは、周辺の都市化や各種産業の発展に伴う流入河川の汚濁といわれています。それを究明するには、よほど以前から現在に至るまでの諏訪湖の富栄養化の経過を、水質や生物群集の変遷で明らかにする必要があります。

幸い、諏訪湖の湖沼学的・生物学的な総合研究は、明治末期の田中阿歌麿(1918)の「諏訪湖の研究」に始まり、終戦直後の宝月欣二・他(1947～1950)の「諏訪湖の生物生産力の研究」、JIBP-PF 諏訪湖研究グループ(代表倉沢秀夫)(1969～1973)の「諏訪湖の生物群集の生産力に関する研究」及び諏訪湖集水域研究班(代表倉沢秀夫)(1978～1982)の「環境科学」特別研究による「諏訪湖集水域生態系研究」に至るまで約80年間に及ぶ歴史的背景をもっているため、富栄養化の経過をたどるには好都合です。

以下で諏訪湖の環境破壊を検討するために、過去80年間の水質と生物群集の変遷の大略を湖の富栄養化との関係で捕らえて紹介し、生態学的視点から今後の水質の浄化対策についてもお話ししたいと思います。

この報文は、倉沢・青山(1969)、倉沢・山岸(1971 a, b)によって発表された1960年代までの諏訪湖の生物群集の変遷に、1970年代の変動を加え、さらに1980年代の湖の浄化対策施行結果とその問題を明らかにするものです。

次に諏訪湖に端を発する天竜川との関連について少しお話しします。こ

の20年位前から天竜川に見える中央線の電車の車窓から、夏にその流れの異常さに目を見張る乗客は跡をたちません。それは湖から流出する植物プランクトンの主体をなす「アオコ」が丁度青ペンキを流したように川幅一面に広がり、それを観察した乗客の中には工場からの排水と誤認して憤慨する人もあるほどです。こうした事実を知って、私は1960年代の夏に4回、1970年代の夏に1回の計5回にわたり（倉沢・他 1962、1964、1987）、天竜川本流と西天竜用水路の両河川に沿った、川岸・辰野・木下及び伊那地域において、水質及び生物群集の調査を行い若干の成果を得ました。

上述の調査の内「アオコ」を主とする植物プランクトンのクロロフィルa量でいうならば、諏訪湖のプランクトン種属とその量は、天竜川本流では諏訪湖の出口より23km下流の木下地区でなお約50%を、31km下流の伊那でも約30%を残留させています。ことに、人工河川の西天竜川では26km下流の伊那で約70%もの諏訪湖プランクトンを残留させており、これが小沢川を通じて天竜川本流に合流する伊那地点では、再び天竜川本流が青ペンキを流したようになることを観察しました（倉沢・他1981）。

一方、近年に至り諏訪湖浄化を目的として設置された流域下水道の終末処理場は、天竜川出口の対岸約3km離れた場所にあります。この処理場からの排水は、窒素とリンを多量に含むため直接湖には放流されず、天竜川流出地点の釜口水門まで湖底をパイプで運び、湖が富栄養化しないように天竜川にほぼ直結の状態です。放流しています（沖野1985）。

上記の実情から天竜川の汚染の研究は、諏訪湖の富栄養化による汚濁の研究抜きでは不可能とさえいえる状況におかれています。

## 1. 諏訪湖の湖沼学的特徴

諏訪湖の成因と起源は、地殻の一部に湛水したことに始まるとされ、静岡から糸魚川に至る糸魚川—静岡構造線（フォッサマグナの西崖）に

できた断層湖です。

天竜川が唯一の流出河川になった現在の姿が完成した後、天竜川の河床の激しい侵蝕や徳川時代には洪水防除のため天竜川への出口付近の掘り下げがしばしば行われたこと、湖中には山崩れや河川による土砂の搬入によって堆積物(約300mあるといわれる)が増加したことなどで湖の深さは著しく減少し、面積もまた縮小し、19世紀末には中栄養的な要素をいくらか残しながらも、全体としては富栄養湖としての性状を示しており、湖の遷移系列から見ると老年期に達した湖です。

周囲を山に囲まれた標高759mの高地にあり、現在13.3km<sup>2</sup>(1911年には14.5km<sup>2</sup>)の大きな面積をもちながら、最大深度わずか6.5m(1904年には7.1m)、平均深度4.5mという浅い湖は珍しい存在です。したがって、この老年期の諏訪湖を高山にある深い湖と同列に考えて、山紫水明の面

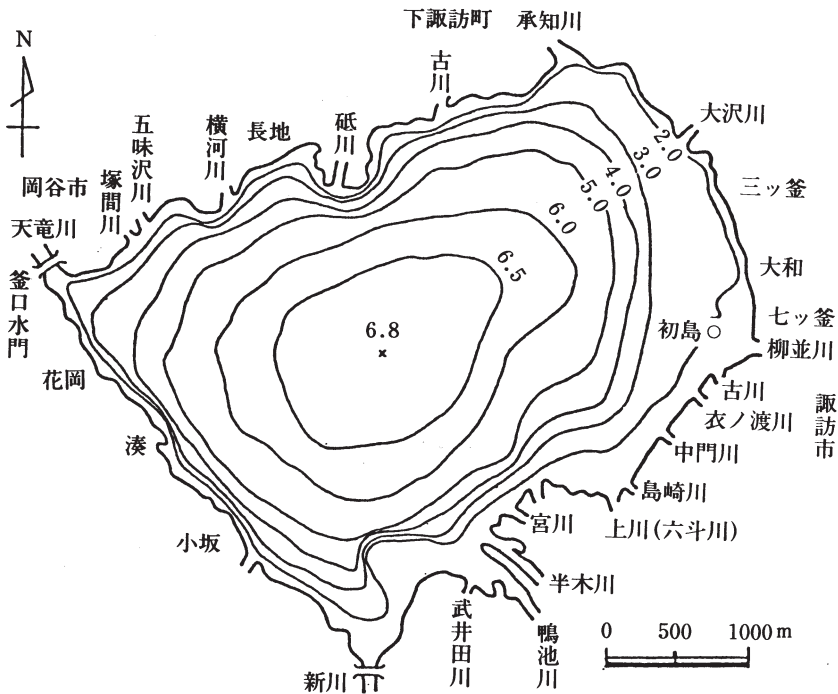


図1 諏訪湖の湖盆形態と流入、流出河川

影を求めること自体が幻想に等しいのです。

諏訪湖には、図1のように大小26以上の河川が流入し、その集水流域は512km<sup>2</sup>と広大ですが、前述の如く流出河川は天竜川ただ一本です。そのため、湖内に生息する生物群集が生産する有機物の増加・蓄積と、その分解による栄養塩の回帰速度が大きく、しかも、河川による栄養塩類の搬入が多量ですので、湖の生物生産はますます増大するため、そもそも湖の富栄養化が急速に進行する宿命をおびていたのです。

## 2. 水質の変遷

湖の遷移の目安としてソーヤー (Sawyer 1946) は、水中の無機態窒素の量が0.3ppm以下は貧栄養湖、それ以上を富栄養湖とし、無機態リンは0.02ppmを両者の境界とし、測定時期は湖水が垂直的に循環し、植物プランクトンの増殖の起こらない春先に定めて比較すべきだと提唱しています。それは、植物プランクトンにより栄養塩が取り込まれる以前の時期を意味します。表1 (久保・他1981、中本1980) にあげた1910年代の結果は夏のものであるため、そのまま他と比較できないにせよ、窒素、リンともに40年前や近年に比べ著しく微量であり、この頃の状態は中栄養湖から富栄養湖への過渡期であったと推測されます。1940年代と1960年代の値は完全に富栄養的なものであり、特に近年の値の増大は著しく、1940年代の窒素やリンのそれらの2～6倍にも及んでおり、明らかに過

表1 諏訪湖の表層水の溶存栄養塩濃度および塩素イオン濃度 (ppm) の変遷

	1911年(8月)	1949年(3月)	1967年(4月)	近年(3月)
NH <sub>4</sub> -N	0	0.1~0.15	0.1~0.2	0.235 (1981)
NO <sub>2</sub> -N	0	0.003	0.01~0.02	0.110 (1981)
NO <sub>3</sub> -N	tr	0.12	0.20~0.25	0.690 (1981)
PO <sub>4</sub> -P	tr	0.002	0.01~0.02	0.039 (1979)
Cl <sup>-</sup>	8.0	11.0	13.0	16.8 (1979)

富栄養の様相を呈しています。これは水田地帯からの肥料の流入、増加する下水、し尿処理水、工場の有機排水等の分解によって生じたものです。

リンの場合は中性洗剤のビルダーとしてのリン酸塩との強い関係があります。というのは、各地域の湖沼周辺の多くの都市では、湖の富栄養化の防止対策として、有リン洗剤の使用を比較的早くから規制していましたが、諏訪市では影響は少ないとして特に抑制手段をとるのが著しく遅れたからです。

塩素イオン濃度も年とともに増大していますが、これも後述する人口増による排泄物量の増大と関係しており、1910年代の人口9万に対し近年の周辺人口約20万の倍増が、そのまま塩素イオン濃度の倍増の値となって示されています。

### 3. 生物群集の変遷

#### (1) 植物プランクトン群集と基礎生産量の変遷

表2でみるように、夏の諏訪湖では1910年代には珪藻類が優占しますが、珪藻類や藍藻類の大発生による“水の華”を示す記録はありません。それ以後珪藻類に代わって藍藻類が優勢となり、1940年代にはミクロキスティスを主とする明らかな藍藻の“水の華”現象が出現し、植物プランクトン全細胞数の約60%を占めるようになりました。これがここ20余年間にみられる「アオコ」（青粉）の大発生の始まりです。

1910年代は植物プランクトン相からみて中栄養的要素を残していますが、ミクロキスティスは有機物の多い水中に発生しやすいことが知られており、これが増加を開始した1940年代から表層水の植物プランクトン細胞数はますます増え、近年では100万個/mlにまで達することがあり、これは1940年代の約100倍です。しかもその99%以上がミクロキスティ

表2 諏訪湖の夏季表層水の植物プランクトンの優占順位と現存量の変遷  
(+少ない、r非常に少ない)

植物プランクトン		優 占 順 位			
		1911年	1948年	1970年	1977年
鞭 毛 藻 類	ウズオビムシ	+	④		
	ハダカオビムシ				r
	ミドリムシ				⑤
	ウチワヒゲムシ				r
	カラヒゲムシ				
	コナヒゲムシ			r	r
	カタマリヒゲマワリ		r		r
	タマヒゲマワリ		r	r	
メリスモベデア	++		r		
藍 藻 類	マイクロステイス		① 60%	① 99%	① 99%
	アフノカプサ			+	
	ケロスフェリウム		+		
	フォルミディウム			②	②
	アメベナ	⑥	⑤	③	+
珪 藻 類	メロシラ	①	② 15%	④	④
	ヒメマルケイソウ	⑤	③	+	⑥
	ヌサガタケイソウ	④			
	オビケイソウ	+	r	r	+
	ホシガタケイソウ	②	+	+	+
	ハリケイソウ	③	r	r	r
	コッコネイス	+			
	フナガタケイソウ	+	+		r
	クサビケイソウ	+			
	クチビルケイソウ		r		
カロネイス	r				
ニッチア				③	
緑 藻 類	クンショウモ	r	+	r	+
	ゴレンキニア			r	
	ミクラクティニウム			⑤	r
	ディクティオスフェリウム			r	
	ケラスツルム		r	+	r
	テトラエドロ				r
	クロレラ				r
	ムレミカツキモ		r		+
	イトクズモ			+	r
	シュレテリア				+
	アクティナスツルム			+	
	セネデスムス	+	+	r	
	サヤミドロ	r			
	ミカツキモ	+			r
ツツミモ	r				
スタウラスツルム		r	r		
総細胞数/ml	-	$\times 10^{3-4}$	$\times 10^{4-5}$	$\times 10^{5-6}$	
クロロフィル-a量mg/m <sup>3</sup>	-	50~60	100~500	400~700	
バクテリア数/ml	$\times 10^{2-3}$	$\times 10^{3-4}$	$\times 10^{5-6}$	$\times 10^{5-6}$	



スで占められる有様です。年代の推移に伴って鞭毛藻類や緑藻類の種属数が増えており、近年では汚濁指標生物の強腐水性 (ps) に属する鞭毛藻のミドリムシが高順位で得られるのが目立ちます(青山1978)。

植物プランクトンの増加は当然クロロフィル a 量の増大につながります。日本の各種栄養型の湖の夏の表面水のクロロフィル a 量は、中栄養型が1.0~10.0mg/m<sup>3</sup>であり、これより小は貧、大は富栄養湖とされています。それゆえ1940年代の諏訪湖の50~60 mg/m<sup>3</sup>の値は当然富栄養型の値ですが、最近の10年間は約5~10倍のクロロフィル a 量を示しています。

細菌数においても1910年代は沖の水は飲料適の10<sup>2</sup>~10<sup>3</sup>個/mlで、弱アルカリ性であるので茶の湯の水として好まれたといわれますが、それが1940年代はその10倍となったのですがまだ飲むに耐えられないという程ではなく、漁業者などの家は沖の水を汲んできては飲用していることを知って、われわれも多少教養が邪魔しましたが、止むを得ないときにはあえて飲用して渴きを癒したし、水泳も可能でした。近年に至って10万~100万個/mlに達し水泳禁止になる程急速に汚れてしまいました。

植物プランクトンの増加は湖の水色を変え濁度を増します。フォーレ

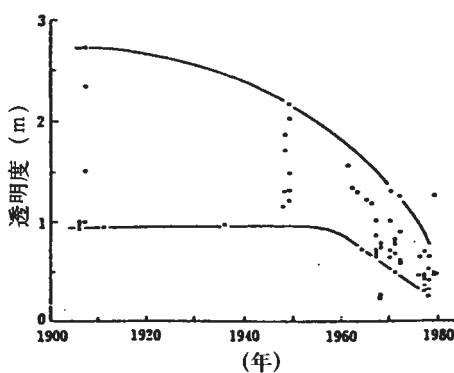


図2 1910年代から1980年までの諏訪湖の透明度の変遷 下線は夏季、上線は冬季(林・ほか、1980)

ルの水色標準液による夏の調査結果をみますと、1910年代すでに諏訪湖は最高度に栄養化の進んだ黄色湖です。また湖の透明度は5 m以上あれば貧、それ以下では富栄養湖とされていますが、図2(林・他1980)にみるように、諏訪湖では夏冬共に1910年代から5 mよりはるかに小さく、年と

共に減少する傾向が見られます。植物プランクトンの生産が最大となる夏季では、1910年代でもすでに1 mよりやや大きい程度でしたが、日本経済の高度成長期に当たる1960年頃を境に透明度の減少は急速に進み、特にひどい年には0.1~0.15 mにもなり、「アオコ」が風に吹き寄せられフィルム状をなした部分では、完全に0 mを記録するまでになりました。

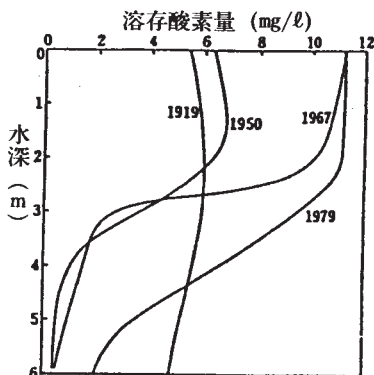


図3 夏季成層期における溶存酸素量の鉛直分布の経年変化 (林・ほか、1980より引用)

夏季の停滞期中の表面水でpH値が7.0より大きいものは富、小さいものは貧栄養湖とされています。諏訪湖の湖心で1910年代に中栄養的な値の7.0~7.5が測定されましたが、1940年代には8.0~8.5に、ここ20年間は9.0~10.0という強アルカリ性を示すまでに富栄養化が進み、植物プランクトンの光合成が盛大に行われていることを示しています。

夏季の停滞期中の表層水における植物プランクトンの光合成による酸素量の増大と、深層水におけるプランクトンの呼吸や有機物分解による酸素量の減少という両層の差を指標として比較しますと、図3に示すように、1920年代には両層の差はほとんどありませんが、1940年代は約5 ppmとなり1960年代では9~10 ppmまたはそれ以上となっています。このような両層の差の増大は、表層水での生産者の異常な増加を示すものでありまして、近年における富栄養化と汚濁の急速な進展を示すものであります。ところが、1970年頃から深層水での酸素不足はあまり定期的起こらなくなってきています。その原因は、過度の富栄養化により毎年連続して起きる“水の華”現象によるものと考えられ、生態系内のアンバランスになった状態を酸素収支の面でバランスを取り戻すのに、「アオコ」が一役かっているものと推測されます(沖野1982)。

「アオコ」の日中の光合成作用はきわめて盛んですので、放出する酸素によって表層水はたちまち酸素過飽和の状態になります。しかもこの植物プランクトンはゼラチン質の膜を持ち、大型コロニーを作るので動物プランクトンに食べられにくいのです。そのため養鰻池では輪虫など動物プランクトンの異常増殖による“水変り”を防ぎ、ウナギへの酸素供給を維持するため「アオコ」の増殖を心掛けるほどです。この点は諏訪湖でも例外ではなく、大発生時には表面水の酸素飽和度は200%を軽く越えますから、「アオコ」は9×9 mの網イクス一面に10,000尾以上のコイを収容している高密度の養鰻を支えているようなものです。しかし、時には「アオコ」が水面を風で浮遊する性質が災いを招きます。図4は上諏訪より岡谷にかけての横断観測結果を示したのですが、8月の月末に風力4～6 m/秒の時、風による吹送流でアオコが風下の岡谷側に運ばれて濃密状態になりますと、その酸素は極度の過飽和状態になりますが、上諏訪側の風上は「アオコ」がひどく少なくなり、さらに反転流で酸素の少ない底層水が上昇するため、風上側の酸素は著しく減少し、当地で“スス水”現象と呼ばれる“水変り”が起き、たまたま風上側にあった網生簀のコイが窒息死することがあります。“スス水”現象の生じたときの夏の夜半か早朝に風上側の湖岸に行けば、テナガエビやヨシノボリが大量に拾える

といわれます。この防止策としてpHが6以下になりますと試験場に用意された警報装置が自動的に警報ベルを鳴らして警告し、それぞれの漁夫が連絡を受けて網生簀を風下側に移動

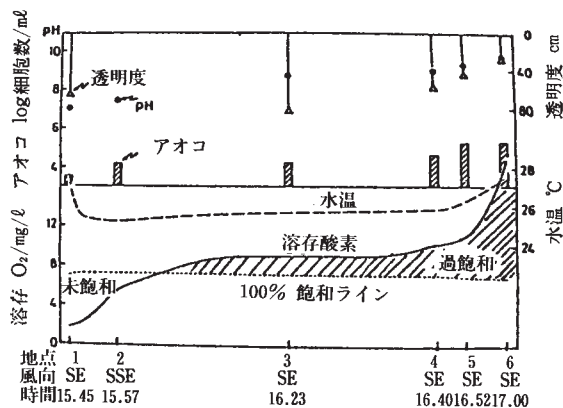


図4 南東風(4～6 m/秒)が吹いているときの表層水の溶存酸素の水平分布(1970年8月27日の横断観測)

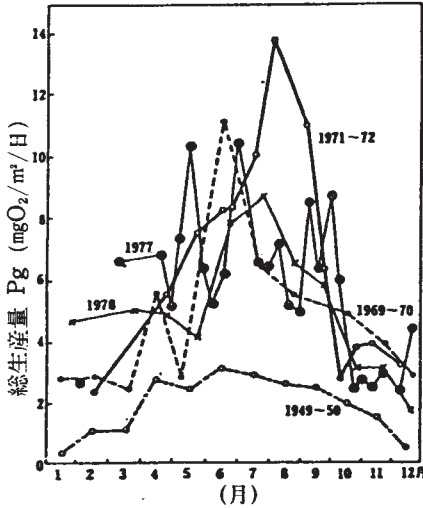


図5 諏訪湖における植物プランクトンの総生産量の変遷(坂本、1973・沖野、1978追加修正)

表3 諏訪湖の年間基礎生産量の経年変化

年度	年間基礎生産量 gC/m <sup>2</sup> /年	測定者
1949	260	宝月ら、1949
1969-1970	557	沖野ら、1970
1971-1972	799	倉沢ら、1972
1977-1978	750	沖野ら、1978

植物プランクトンのエネルギー効率でも近年の0.24~0.88%に対し、1940年代は0.06~0.40%であることから、この面でも諏訪湖の生産力が著しく高くなっており、富栄養化が進んだことを物語っています(沖野1982)。

## (2) 大型水生植物群落と現存量の変遷

諏訪湖の大型水生植物の優占順位を年代別にみると、表4のようになります。1910年代は中栄養湖によく繁茂するセンニンモが最優占し、1949

させるか、または“スス水”現象の生じにくい沖合に網生簀をあらかじめ設置するなどの工夫がこらされています。

諏訪湖の基礎生産量の大部分を担うのは植物プランクトンです。図5は酸素法で測定した経年の生産力の季節変動を比較したものです。1940年代の最高値は3 mgO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/日ですが1960年代及び近年の値は11~14 mgO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/日で3~4倍となっています。仮にCO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>を1として各年度の年間基礎生産量を炭素量で表わすと表3のようになります。近年(1977)は1940年代の約3倍の生産力を示しており、

年でもクロモ、セキショウモなど沈水性の水草が上位を占め、それぞれ全量の32%及び16%に及びます。そして半浮葉性のササバモや純浮葉性のヒシが初めて湖中に増え始めました。1967年では全湖で1,500 t (生重量) を越える最高となりますが、その内の約30%はヒシで占められ、沈水性のクロモ、特にセンニンモは激減しました。またこの頃にクロモ群落の中に帰化種のコカナダモが入ってきました。そして1970年代にはヒシは全量の76%を占有するに至りました。最近15年間は後述するように湖沿岸部の浚渫や埋め立てと護岸工事が急ピッチで進められ、水草分布帯は異常に狭められたために、水草全量は1967年に比べ現在はその約1/2以下に減る壊滅的な衰亡状態を呈するに至りました。

諏訪湖の水草分布帯と現存量の年代変動を図6と図7に示します。湖の富栄養化と大型水草群落との関連をみると、富栄養化は沈水性植物の

表4 大型水生植物の優占順位(①~⑤)と現存量(生重 t)の変遷

測定年代	1911 (8月)	1949 (7月、8月)	1966 (9月)	1967 (8月)	1972 (7月)	1976 (8月)
全湖面積 (km <sup>2</sup> ) (%)	14.5 (100.0)	14.3 (98.6)	14.1 (97.2)	14.1 (97.2)	13.7 (94.5)	13.3 (91.7)
分布限界深度 (m)	4.0	2.5	2.3	2.3	2.0	1.7
分布帯面積 (ha) (%)	380 (100.0)	290 (76.3)	256 (67.4)	256 (67.4)	103 (27.1)	64 (16.8)
ササエビモ	+	-	-	-	-	-
ササバモ	-	④120.2(10.1)	③275.6(14.1)	④159.3(10.5)	④119.9(11.4)	③ 21.3( 4.6)
ヤナギモ	+	3.0	-	0.7	-	11.8( 2.5)
ヒロハノエビモ	+	28.5( 2.4)	-	20.5( 1.3)	39.3( 3.7)	11.0( 2.3)
ホソバヤナギモ	+	49.2( 4.2)	-	-	-	-
センニンモ	①+	-	-	19.7( 1.3)	-	2.1( 0.4)
ミズヒキモ	+	2.0	-	0.2	-	-
イバラモ	+	39.6( 2.7)	-	-	-	-
セキショウモ	+	②184.4(15.5)	15.6( 0.8)	⑤129.6( 8.6)	③120.0(11.4)	19.8( 4.2)
クロモ	②+	①377.3(31.8)	②597.4(30.4)	238.0(15.8)	8.4( 0.8)	10.1( 2.1)
マツモ	+	⑤105.1( 8.9)	-	7.7	-	-
ホザキノフサモ	③+	20.1( 1.7)	-	-	-	-
シャジクモ	-	1.3	-	-	-	-
ヒシ	-	22.7( 1.9)	①630.4(32.3)	①442.4(29.4)	①349.1(33.3)	①358.0(75.6)
ヒルムシロ	+	-	-	98.1( 6.5)	-	-
コオホネ	+	22.6( 1.9)	⑤141.7( 7.2)	89.7( 5.8)	74.0( 7.0)	16.1( 3.4)
マコモ	+	③174.2(14.7)	④234.7(12.0)	③234.7(15.6)	②268.4(25.6)	② 22.9( 4.9)
ヨシ	+	42.7( 3.6)	62.7( 3.2)	62.7( 4.2)	71.5( 6.8)	-
沈水性植物計	+	807.5(75.5)	888.6(45.3)	575.5(38.3)	287.6(27.3)	76.1(16.1)
浮葉性植物計	+	22.7( 2.1)	630.4(32.3)	540.5(36.0)	349.1(33.3)	358.0(75.6)
抽水性植物計	+	239.5(22.4)	439.1(22.4)	387.1(25.7)	413.9(39.4)	39.0( 8.3)
水草量(生重) t/全湖 (%)	-	1,069.7(100.0) (54.5)	1,958.1(100.0) (100.0)	1,503.3(100.0) (76.7)	1,050.6(100.0) (53.7)	473.1(100.0) (24.2)

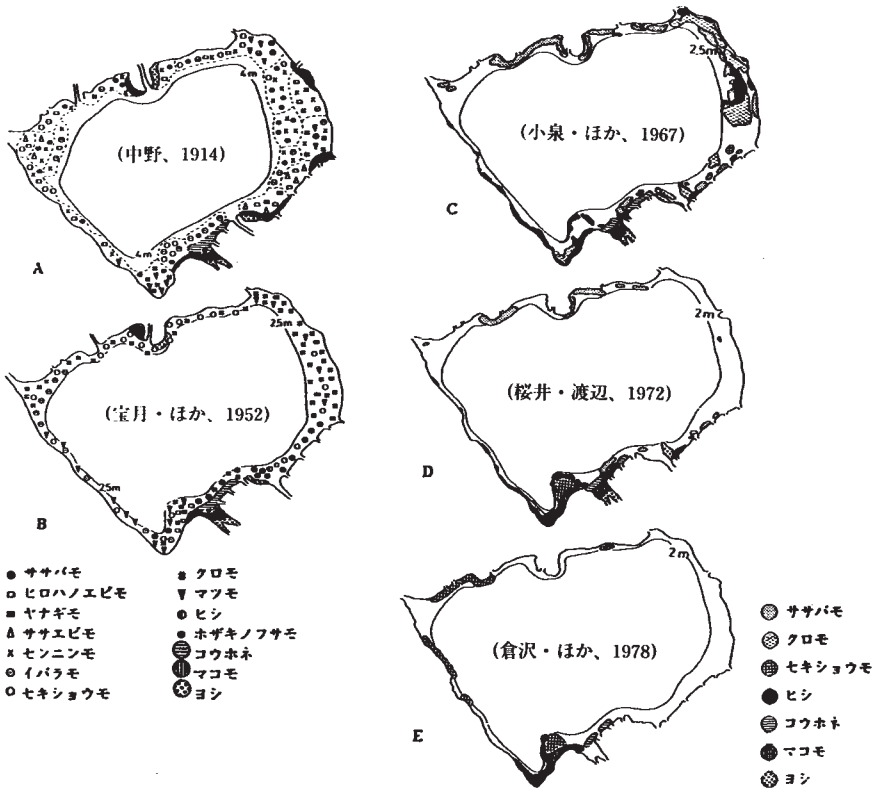


図6 諏訪湖における水生植物の分布域の変遷と主要種の分布(倉沢・ほか、1979)

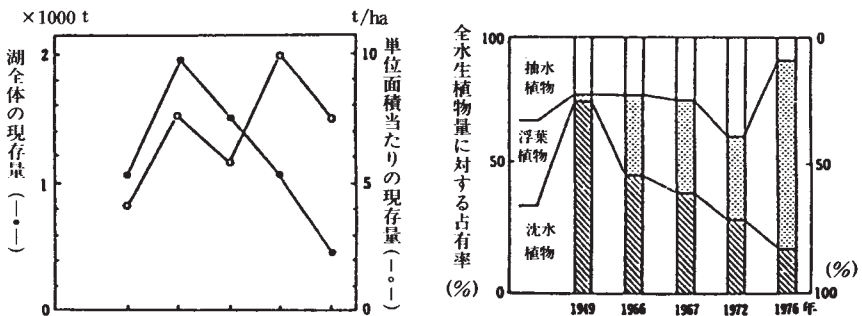


図7 諏訪湖における水生植物の現存量と単位面積当たりの現存量(左図)、および全水生植物量に対する抽水・沈水・浮葉各植物の占有比率の変遷(右図)(倉沢・ほか、1979)

発達を抑制し、浮葉性植物の繁茂を促進します。これは主として植物プランクトンの大発生により、水中への光の透過が著しく悪化したことに関係があります。それを裏書きするものとして、湖内大型水性植物の分布限界深度の減少があげられ(表4)、したがって分布帯面積の狭少化となって現われるのであります(図6)。1910年代には3.5~4.0mの深さまで沈水性植物が採集されましたが、その後年代の推移とともに浅くなり、最近では1.7~2.0m付近が限界になっています。このように植物プランクトンと根を持つ大型水草、特に沈水性植物は競争関係にあるので、こうした水草分布帯の狭少化は、諏訪湖の将来の自然の在り方を考える上で重要な問題になりましょう。

### (3) 動物プランクトン群集の変遷

一般に貧栄養湖では甲殻類のケンミジンコなどの撓脚類が優占しますが、富栄養化が進むにつれて輪虫類や原生動物が豊富になります。夏季に諏訪湖における年代別優占種の順位は表5のように、1910年代はケンミジンコが最多でしたが、1940年代と1960年代ではゾウミジンコとオナガミジンコのような枝角類が優位を占め、同時に輪虫類の種属数も個体数も増えております。ことに最近では汚濁指標生物の強腐水性に属する原生動物の繊毛虫エダワカレツリガネムシが急増し、動物プランクトン総個体数の90%以上を占めるに至りました(磯部1980)。

全個体数は近年では1940年代の5~6倍の1,000~2,000個体/lにも増えています。諏訪湖に輪虫類が増えたことは、魚の中でワカサギが優占種となったことに関係があると思われます。ワカサギの卵からかえった直後の仔魚は、暫時輪虫のような小型動物プランクトンしか食べられません。丁度ワカサギの産卵のピークの少し後に輪虫の発生の春のピークが現われます。そしてワカサギが成長してもっと大型の餌を食べられるようになった頃、大型のゾウミジンコやオナガミジンコなどの甲殻類が増えてくるので、ワカサギの成長は動物プランクトンの季節遷移とうま

表5 諏訪湖の夏季の動物プランクトンの変遷（+少ない、r非常に少ない）

動物プランクトン		優 占 順 位 ○内の数字は順位			
		1911年	1948年	1970年	1977年
原生動物	ツボカムリ				⑧
	ナベカムリ		+	+	
	トゲフセツボカムリ		⑤		
	ツリガネムシ				⑥
	エダワカレツリガネムシ			② 25%	① 96%
輪虫類	ヒルガタワムシ			r	
	テマリワムシ				r
	ハネウデワムシ	+	④	⑥	
	ネズミワムシ		+	+	r
	フクロワムシ			+	+
	ツボワムシ		r	+	② 1.1%
	カメノコワムシ	+	r		+
	ウサギワムシ			r	+
	チビワムシ				+
	エナガワムシ				
	ミツウデワムシ		② 15%	④	⑦
	ミジンコワムシ		① 43%		
	スジワムシ		③	r	r
アワワムシ				r	
甲殻類	オナガミジンコ			③	⑤
	シダ	+	⑦		
	ミジンコ	+			
	オカメミジンコ	+			
	ゾウミジンコ	+	⑥	① 46%	③
	ゾウミジンコモドキ	+	+		
	ノロ	r		r	r
	エオヒゲナガケンミジンコ		r	+	r
	ケンミジンコ	①	+		
	アサガオケンミジンコ			⑤	
テルモケンミジンコ				④	
総個体数 / ℓ		-	400~500	1000~2000	1000~2000
原生動物		-	1~10%	20~30%	90~95%
輪虫類		-	80~90%	10~20%	1~3%
甲殻類		-	10~15%	60~70%	1~3%

く合致しているのです。

なお夏季に低温でミクロキスティスの大発生がみられなかった年の9月の末には、原生動物のツノモが大発生して、湖水の溶存酸素を著しく下げました。これなどは明らかに一種の赤潮であって、夏の富栄養湖では藍藻類の“水の華”がむしろ湖水の安定化要因として働いていることを示唆するものでありましょう。



#### (4) 底生動物群集の変遷

表6に示すように、諏訪湖では1910年代からユスリカの幼虫が多く、羽化した成虫が湖岸の灯火に多数飛来したと記録されております。沿岸動物のうち礫や水草の多い場所では、ヒルのような汚染動物が年々増加し、カワニナやヒメタニシなどの巻貝は1960年代までは沿岸部の礫や棒杭などに多数群生していましたが、近年にいたって先ずカワニナが、ついでヒメタニシが激減しました。深底部の泥質部にまで分布するマルタニシ、オオタニシ、カラスガイ類は1940年代より既に減り始め、現在では非常に稀になりました。特に砂質土に好んで生息するマシジミの衰退の経過は著しいものがあります。マシジミは1910年代には湖水の天竜川への開口部水域や、最大の流入河川の上川（六斗川）の河口部及び豊田地先の葭鼻水域のような、常に溶存酸素の豊富な流水域の場所で多く採集され、昭和初期までは諏訪湖名物のシジミ汁とされるほど饒産しました。それが1940年代にはすでに非常に減産し、大分以前から今日までほとんど採れない稀種になりました。これは富栄養化の進行にしたがって、

表6 夏季の底生動物の優占種と個体数の変遷(アカムシユスリカは秋季)

底生動物		1911年	1931年	1948年	1969年	1977年
沿岸部 ↑	ヒル	r	+	+	+	+
	カワニナ	+	+	+	+	+
	ヒメタニシ	+	+	+	+	+
	マシジミ	+	+	+	r	r
	セタシジミ			+	r	r
	ヤマトシジミ				+	r
	マルタニシ	+	+	r	r	r
	オオタニシ	+	+	r	r	r
	カラスガイ	+	+	r	r	r
	ヌマガイ イシガイ	+	+	r r	r r	r r
深底部 ↓	オオユスリカ	}	+++	+++	+++	+++
	アカムシユスリカ		(+)	(+)	(+)	(+)
	カユスリカ		+	r	r	r
	フサカ			r		
	イトミミズ エラムミズ		+++	+++	+++ +	+++ +

個体数/m<sup>2</sup> r < 10、+ 10<sup>1-2</sup>、+ 10<sup>2-3</sup>、+ 10<sup>3-4</sup>、+++ > 10<sup>4</sup>

夏季底層水の酸素欠乏が起こる結果でありましょう。マシジミの減産で琵琶湖から多量のセタシジミの移殖放流がマシジミの放流と併せて行われましたが、マシジミの放流は1950年代初期に中止の止むなきに至り、それ以後セタシジミと現在では汽水性のヤマトシジミが桑名から毎年移殖放流されていますが、自然増殖の兆しはありません。

オオユスリカは春から秋にかけて3回、アカムシユスリカは10月頃1回の羽化期があって酸素欠乏に強く、この深底部からは赤色血色素を持つ酸素耐乏性のイトミミズ類( $\times 10^3 \sim 4$  個体/ $\text{m}^2$ )や上記ユスリカ類( $\times 10^3 \sim 4$  個体/ $\text{m}^2$ )が1910年代より今日まで豊富に採集されています(福原・他1980)。学生の臨湖実習では湖岸動物の採集実験を実施してきましたが、1960年代前半頃までは夏のこととて学生は水遊びに興じて嬉々として参加していましたが、それ以後からは半ば強制的に実施すると、こんな汚れた場所に入れというのは人権蹂躪と不平を唱える始末になりました。

## (5) 魚貝類相、漁獲量、放流量の変遷と網生簀養鯉

湖沼生態系における高次消費者としての魚貝類について、諏訪湖は明治28年(1895)以来ほぼ正確な漁業統計の資料の集積が行われてきた湖ですので、これらを基にして魚貝種の変動及び量的な変遷を知ることができます(長野県水産指導所諏訪支所1917~1978)。

### (a) 魚貝類相の推移

魚類目録の作成は表7にみるように1909~1980年の70年間に13回行われており、種類数の最多記録は32種(黒田1960)であり、在来種は田中(1909)の21種に丸川(1918)の2種を加えて23種とされている(カワヤツメ、アメノウオ、イワナ、アユ、メダカ、ナマズ、ニゴイ、タモロコ、カマツカ、モツゴ、ウグイ、アブラバヤ、オイカワ、カワムツ、フナ、コイ、ドジョウ、シマドジョウ、ウナギ、カジカ、ヨシノボリ、ハゲギギ、アカザ)。さらに宮地(1935)がヤマメを報告しています(倉沢・他1981)。

表7 諏訪湖魚類目録の経年変化

種属名	カワヤツメ	アマノウオ	ヤマメ	イワナ	ワカサギ	メダカ	フツビー	ナマズ	アカザ	バラバナ	ゼニタナゴ	タイリクモロコ	ホシモロコ	カマツカ	ヒカイ	ウグイ	アブラハヤ	オйкаワ	カワムツ	コイ	レンギョ	ドジョウ	シマドジョウ	ウナギ	ライギョ	オオクチハス	フルギル	カシカ	ウツセミカジカ	ドンコ	ヨシノホリ	ビリンコ	ウキコリ	ツシマハセ	種属数	
1909	○	○	○	○	○			○										○	○	○	○	○	○	○					○						21	
1918	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					○			○			19	
1931	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○												19
1935	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○												22
1937	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○												24
1948	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○											16	
1960	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	32
1961	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○										21	
1962	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○										28	
1975	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○											25	
1977	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○											26	
1978	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○											27	
1980	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○											26	

○在来種 ●移殖放流種 ⊙在来種へ追加放流種

以上の在来種のうち、清冽な水に生息するカワヤツメ、イワナ、ヤマメ、カワムツは流入河川の上流部には今日も認められますが、湖内では1930年頃には姿を消しており、ハゲギギ、ニゴイやウキゴリなども1960年代前半に消滅したようがあります。そして現在少量しか捕獲されないものとしては、アマノウオ、アカザ、タモロコ、カマツカ、アブラハヤなどがあります。一方、新たに移入放流した種属はワカサギ、ヒカイ、ホシモロコ、ゼニタナゴ、ソウギョ、レンギョなどで、

表8 諏訪湖における移殖放流魚貝種と、それらの最初の移入年 (倉沢・ほか、1981)

魚貝種	移入年	産地	移入数量
ゲンゴロウブナ	1590(天正8年)	琵琶湖	不明
エビ	1788(寛政元年)	駿河(静岡県)浮島沼	不明
マシジミ	1840(天保10年)	甲斐(山梨県)薊沢川	24.0kg
ヒガイ	1912(大正元年)	琵琶湖	不明
ウグイ	1912(大正元年)	琵琶湖	67.5kg
コアユ(卵)	1913(大正2年)	琵琶湖	15万粒
ワカサギ(卵)	1914(大正3年)	霞ヶ浦	30万粒
ウナギ(シラス)	1914(大正3年)	霞ヶ浦	不明
コイ(稚魚)	1917(大正6年)	不明	51万粒
ヒメマス(成魚、卵)	1917(大正6年)	不明	50万粒、1万粒
ヤマトシジミ	1917(大正6年)	三重県桑名	不明
カラスガイ	1919(大正8年)	霞ヶ浦	不明
イケチョウガイ	1920(大正9年)	琵琶湖	不明
ドジョウ	1922(大正11年)	霞ヶ浦	不明
セタシジミ	1923(大正12年)	新潟県潟町	75.0kg
ニゴイ	1923(大正12年)	琵琶湖	173.0kg
テナガエビ	1923(大正12年)	不明	41.3kg
イサザ	1923(大正12年)	不明	18.8kg
アミ	1924(大正13年)	霞ヶ浦	不明
ハゼ	1924(大正13年)	不明	不明
ヤナギモロコ	1925(大正14年)	愛知県蟹江	15.0kg
ヘラブナ(成魚)	1926(昭和元年)	京都府大池	200尾
アユ(稚魚)	1930(昭和5年)	不明	3.0万尾
トンコハゼ	1931(昭和6年)	霞ヶ浦	15.0kg
ボラ	1935(昭和10年)	不明	不明
タナゴ	1937(昭和12年)	不明	13.1kg
フナ(稚魚)	1937(昭和12年)	不明	30万尾
ソウギョ(稚魚)	1942(昭和17年)	不明	4000尾
ニジマス(卵)	1951(昭和26年)	明科水産指導所	5.0万粒
ヤマメ(サクラマス)(卵)	1951(昭和26年)	明科水産指導所	2.2万粒
ハヤ(卵)	1952(昭和27年)	河口湖	500万粒
レンギョ	1957(昭和32年)	明科水産指導所	2000尾

これら放流に伴って意図的ではなく混入したものとしてはバラタナゴ、タイリクバラタナゴ、ライギョ、ドンコなどで、その他にグッピー、オオクチバス、ブルーギルなども認められます。表8は諏訪湖における移入放流魚貝種と、それらの最初の移入年を示したものであります。

表9 諏訪湖貝類目録の経年変化

種名	オオタニシ	マルタニシ	ヒメタニシ	マメタニシ	カワニナ	ミスジカワニナ	タテヒダカワニナ	イボカワニナ	チリメンカワニナ	サカマキガイ	ヒメモノアラガイ	モノアラガイ	ヒラマキミズマイマイ	カワコザラ	イシガイ	カラスガイ	マルドブガイ	ドブガイ	マツカサガイ	マシジミ	マメシジミ	ドブシジミ	種数	
1918	○	○																					7	
1948	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	18
1975	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	18
1978	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	18
1980	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	18

○在来種 ●移植放流種 ⊙在来種への追加放流種

貝類目録は表9に見るように1918～1980年の60年間に5回作成されており、最大種類数18種（白石・倉沢1948、倉沢・沖野1975、倉沢・名取1980）です。その在来種は17種とされています（巻貝はオオタニシ、マルタニシ、ヒメタニシ、マメタニシ、カワニナ、ミスジカワニナ、タテヒダカワニナ、イボカワニナ、チリメンカワニナ、サカマキガイ、ヒメモノアラガイ、モノアラガイ、ヒラマキミズマイマイ、カワコザラ、二枚貝はイシガイ、カラスガイ、マルドブガイ、ドブガイ、マツカサガイ、マシジミ、マメシジミ、ドブシジミ）。以上のうちカワニナとミスジカワニナ、タテヒダカワニナとイボカワニナは同種とする学者があり、またマメシジミはドブシジミの誤認とされているので、確実なものは14種となります。明らかに移入されたものはセタシジミとヤマトシジミで、前者は琵琶湖、後者は桑名産です。

(b) 主要漁獲種とその量の変遷

諏訪湖及び流入河川の河口部の漁獲物は、諏訪湖漁業協同組合（1917以来）によって古くから取り扱われてきたので年代別の比較が容易にできます。

漁獲物総量の経年変化を図8で見ると1895～1980年（明治28年～昭和55年）の間の85年間の最大値は1,340 t（1925）であり、最小値は67 t（1945）で太平洋戦争の終戦の年です。そして1,000 t以上を示すのは1923～1928年間と1934年、1939年の両年でいずれも戦前に得られ、戦後

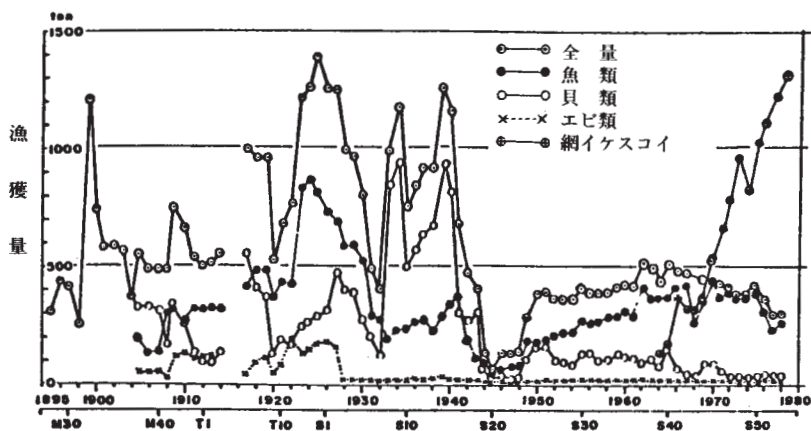
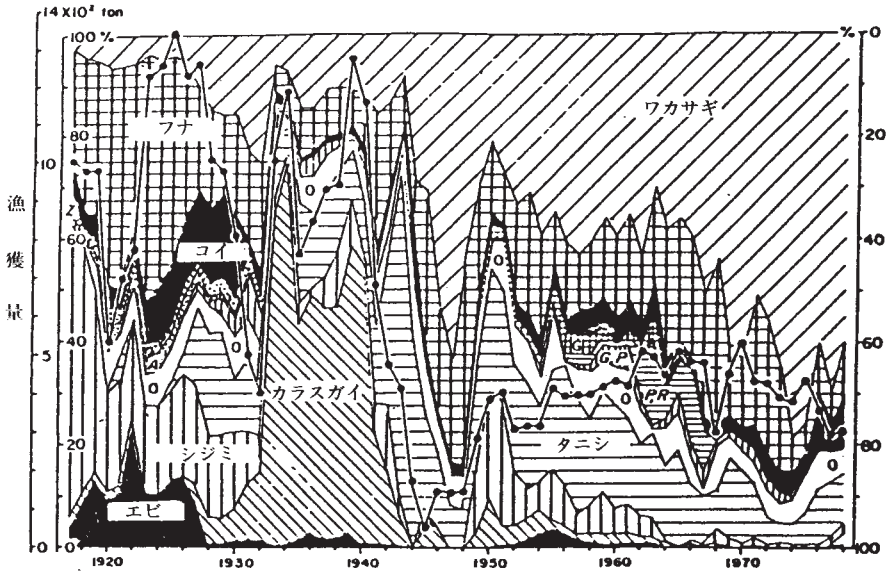


図8 漁獲総量、魚類、貝類、エビ類、網イケスコイの各量の経年変化  
M：明治、T：大正、S：昭和

の最大値は515 t (1965) であり、近年に10年間はほぼ300 t前後であります。1986年には異常に低く176 tにまで落ちこんでおり、いくなれば戦後の総漁獲量は戦前の半分以下ということになります。

主要漁獲種の量の百分率を図9で示すと、1917～1980年間では魚類群の総数は全期間を通じて50%以上（1933～1943年間を除く）を占め、最大は94%で1973年です。貝類群の量で50%以上を占めるのは1933～1943年間のみで、最大は80%（1933）です。エビ類の最大は24%（1922）が得られ10%以上の値は稀です。そして1917～1932年間はシジミ、フナ、エビの優占時代であり、1933～1942年間はカラスガイが異常に多いが、これは貝殻からボタンを作製するため霞ヶ浦から多量に移入したためといわれています。1943～1950年間は戦中・戦争直後のときで、食糧難のため漁業組合への出荷が著しく少ない年代です。1951～1965年間はワカサギ、フナ、タニシが優占しますが、1966年以降現在まではワカサギが特に優勢となった年代といえましょう。

調査の行われた年の魚貝類の量の順位を付けると表10（倉沢1980）のようになります。1910年代の資料は魚貝種別に詳細に分けて記録されていないので、細部の順位は不明ですが、シジミが全量の40%を占め、エ



Zオイカワ、GPモロコ・モツゴ、PRタナゴ類、Aウナギ、Gハゼ、Oその他、●—●漁獲量

図9 諏訪湖の漁獲総量および各種属量の百分比の1917から1978までの変遷

エビ、ウグイ、コイと続き、アメノウオ、ウグイなどいわゆる冷水魚が相当捕獲されています。その後大正時代初期（大正3年）にはワカサギが霞ヶ浦から、フナが各所から移殖放流されるとともに、これら兩種が急激に増え始め冷水魚は減り、1940年代にはタニシが全量の25%、ワカサギが22%、フナが14%を占めそれぞれ1位、2位、4位となり、シジミは3位（20%）に、エビは9位（1%）に転落しました。最近20年間はワカサギが全量の60~70%と全漁獲量の%以上を占め、暖水性のコイ、フナがつづき、エビは激減しています。ここ10年間はフナもコイに劣るようになり、そして15年来毎年移入しているシジミ（ヤマトシジミ）は水揚げ量が放流量を下回る有様です。

ワカサギは現在では砥川と上川（六斗川）の2か所にある採卵場で、冬~早春期に遡上する親魚を捕らえて採卵、人工受精し、毎年10~20億粒の卵を湖に放流し、そのうえかつて諏訪湖への卵の移入原産地であった霞ヶ浦をはじめ各地の湖沼へ移出しており、1980年度には60億粒採卵

表10 主要漁獲種と量(漁業組合取扱い)の変遷(網イケスのコイは含まない)

漁獲種 ( )内は移入年	漁獲量(t)および%(カッコ内)①~⑬順位			
	1910年	1950年	1970年	1978年
アメノウオ	⑥ 1.5(0.2)	0.03	0.2	0.01
ニジマス	—	—	0.02	—
アユ	—	0.001	0.02	0.2
ワカサギ (1915)	—	② 83.8(21.9)	① 331.1(62.4)	① 178.3(58.9)
ナマズ	—	⑪ 3.3(0.9)	⑨ 3.3(0.6)	⑧ 4.1(1.4)
ゼニタナゴ	—	⑫ 3.1(0.8)	—	—
モロコ (1925)	—	—	⑤ 9.0(1.7)	⑩ 3.2(1.1)
カマツカ	—	—	0.1	—
ヒガイ (1912)	—	0.4	⑭ 0.4(0.1)	⑬ 1.2(0.4)
ウグイ	③ 41.9(6.2)	0.01	⑬ 0.4(0.1)	⑭ 0.9(0.3)
オイカワ	—	⑩ 3.7(1.0)	⑫ 0.6(0.1)	⑮ 0.3(0.1)
フナ (1580,1920)	—	④ 52.7(13.7)	③ 75.3(14.2)	③ 3030.5(10.1)
コイ (1912)	④ 30.4(4.5)	⑦ 7.3(1.9)	④ 12.7(2.4)	② 35.0(11.6)
ソウギョ (1967)	—	—	0.1	—
レンギョ (1967)	—	—	⑪ 1.2(0.2)	—
ドジョウ類	—	⑬ 2.1(0.5)	⑦ 5.5(1.0)	⑫ 2.9(1.0)
ウナギ	⑤ 4.9(0.7)	⑧ 6.3(1.7)	0.2(0.1)	0.03
ヒリンゴ、ヨシノボリ	—	⑥ 11.2(2.9)	⑩ 2.9(0.5)	⑨ 4.0(1.3)
タニシ類 (1839)	—	① 94.0(24.5)	② 76.3(14.4)	④ 26.9(8.9)
シジミ類 (1839)	① 281.2(41.9)	③ 77.4(20.2)	⑥ 7.1(1.3)	⑤ 6.1(2.0)
カラスガイ類	—	⑤ 32.7(8.5)	⑧ 4.3(0.8)	⑦ 5.8(1.9)
エビ類 (1789)	② 117.8(17.5)	⑨ 5.1(1.3)	—	⑪ 3.0(1.0)
その他 (アユ、フナ、ナマズ、タニシなどの計)	198.8(28.8)	—	—	—
計	671.5	383.3	530.7	302.6

して25億粒を諏訪湖へ放流、残りの35億粒は日本の各地の湖沼や中国、西ドイツへも輸出したといえます。しかし1987年度は暖冬のためか20億粒以下の採卵で奮わず、逆に他の湖から移入したということです。しかしながら、産卵場になる流入河川の大半が汚染されても、資源の補充という点では今のところ問題はないといえます、それにしても、冷水性といわれるワカサギが、盛夏には湖底でも24℃で溶存酸素がゼロに近い条件の汚れた湖で、ほとんど被害を受けずに過ごしているのはその適応性の強さを示すものでありましようか。しかし自然繁殖はここ25年間河川では死卵が多く、人工採卵を中止すれば絶滅の恐れがあるといわれています。

一方、ナマズ・オイカワ・ハゼ類など天然繁殖で移殖放流の行われない魚種は、著しく減り始めたため、20年ほど前から比較的汚れの少ない



流入河川河口部など10か所以上に、人工的に産卵地を造成して資源を確保しなければならなくなっており、諏訪湖では人工栽培的な強力な補助なくしては、自然繁殖で水産業が成り立つ魚種はなくなってしまう（倉沢1982）。

表10にタナゴ、モロコ及びハゼとある魚種は、実際には現在ではそれぞれ2種から成っています。すなわち、タナゴは昔はゼニタナゴが主でありましたが、1940年代ごろから移入種のタイリクバラタナゴが増え始め、1960年代ではゼニタナゴを完全に制圧していました。周知のようにタナゴ類は二枚貝に産卵するのでありますが、年2回産卵できるほど長い繁殖期を持つタイリクバラタナゴが、秋1回しか、しかも一定の大きさの貝を選択して産卵するゼニタナゴとの競争に勝ったのでしょうか。1960年代には相当量の水揚げ量を記録したタナゴ類も1970年代には全くの不振で、最近では漁獲統計の記録から除外されるほどに減少しましたが、これは産卵習性に欠くことのできない二枚貝の減少がもたらした結果でしょうか。

モロコと記載されるものはホンモロコとモツゴからなりますが、現在その比は1：14くらいで、これもモツゴの産卵期が非常に長いことと関係があります。ハゼ類はヨシノボリとピリングが含まれますが、ピリングはヨシノボリの10倍ほど多くなっています。

なお魚としてはこの他にメダカがおり、汚れた河川にもまだ生息しています。面白いことに1968年頃から諏訪市内の温泉排水が流入している川の中に熱帯魚のグッピーが増え始め、近年では湖の沿岸部にまで進出するほどになり、その量はメダカ研究者が採集に行くと、目的のメダカよりはるかにグッピーが多く採れるといます。この胎生メダカ科の小魚は、20℃近い水温さえ冬季に保証されれば、他の魚が住めないような汚れた下水中에서도ユアカとヘドロを食べて生きられる、いふなれば公害に強い魚です。私はこの美しい魚の出現生息は、諏訪湖の過渡の汚濁化を警告するものとして重視しております。



次に諏訪湖に移殖された各種シジミ類の生活史と生態にふれますと、マシジミは雌雄同体で産卵された卵は殻内の育胞内に入り卵内で幼生期を過ごし幼貝まで育てて放出されますが、セタシジミとヤマトシジミはいずれも雌雄異体であり、前者の受精卵は湖底内に沈下し卵内で幼生期を経過し、ふ化する時には幼貝となって生れ出るのに対し、後者では受精卵はベリジャ期の幼生をふ化させ、プランクトン時代を過ごしながらか変態して幼貝となるのです。したがって、マシジミとセタシジミはプランクトン時代を欠いているわけです。またヤマトシジミは汽水性であるため塩素イオンが50ppm以上ないと増殖が困難とされています。諏訪湖の塩素イオン濃度は現在16ppmぐらいあり過去より次第に高まってきましたが、ヤマトシジミの成育条件としては低濃度であります。それゆえに自然増殖の兆しはなく、後述するように水揚げ量が放流量を下回る結果となります。

#### (c) 各種漁獲物を指標とした生物学的水質判定

汚濁指標生物表に種類分けされた腐水性についての生物による水質の汚濁、すなわち湖の富栄養化の進捗の判定は、プランクトン、付着藻類、水生昆虫の種類組成や個体数によって、諏訪湖及びその流入河川についてなされました(後述)。ここでは年間の各種漁獲とその量の百分率を基として、湖の水質を判定し、経年の富栄養化現象の変動経過を明らかにしようとするものです。

ここに述べるサプロビ指数とはパントルとバック(Pantle. u. Buck 1955)によって提案されたもので、ある地点で出現した種の出現頻度(h)と、その汚濁階級指数(S)から次式により求めるものです。

$$\text{サプロビ指数 (Saprobic Index)} = \frac{\sum S \cdot h}{\sum h}$$

ここでは、各漁獲種に対する汚濁指数を経験上表11のように定め、汚濁階級とその指数(S)及び出現頻度(h)は表12に示します。指数の値が大きいと汚濁度が高く、小さいと低いと判定されますが、汚水生物体系

表11 漁獲種属の汚濁階級指数(S)

種 属 名	汚濁階級指数(S)
アメノウオ	1
ニジマス	1
ア ユ	1
ワカサギ	3
ゼニタナゴ	3
タイリクバラタナゴ	3
ヒガイ	2
ホンモロコ	3
モツゴ	3
カマツカ	2
ウグイ(アカウオ)	1
オイカワ(ハヤ)	1
ソウギョ	3
レンギョ	3
コ イ	3
フ ナ	3
ドジョウ	3
ナマズ	3
ウナギ	3
ボ ラ	3
ライギョ	3
ハゼ類	3
タニシ(ヒメタニシ)類	3
シジミ(マシジミ)類	2
カラスガイ類	2
エビ類	2

表12 汚濁水階級の指数(S)、各種漁獲種の重量別の頻度および汚濁水階級のサブロピ指数

汚濁階級	指数(S)
貧腐水性指標種	1
$\beta$ 中腐水性指標種	2
$\alpha$ 中腐水性指標種	3
強腐水性指標種	4
重量百分率(%)	出現頻度(h)
<9.9	1
10.0~29.9	3
>30.0	5
汚濁階級	サブロピ指数
貧 腐 水 域	1.0~1.5
$\beta$ 中 腐 水 域	1.5~2.5
$\alpha$ 中 腐 水 域	2.5~3.5
強 腐 水 域	3.5~4.0

に魚類についての判定基準がないので、水生昆虫の場合に当てはめて表12に示しました。

1905~1978年間の毎年のサブロピ指数の算出結果は図10に示す通りです。この図によれば1900年代は $\beta$ ・中腐水性の中間値2.0以下であったものが、1910年代に入るとそれをオーバーするようになり、その後1940年代に至るまで2.3~2.4の $\beta$ ・中腐水性の値を継続しています。1940年代中頃には $\alpha$ ・中腐水性を示す年が出現し、1945年には最高値2.65になりました。1950年前後には再び2.3~2.4の水質の値に回復しましたが、以後は $\alpha$ ・中腐水性の2.5の値に近接し、1950年代半ばから1960年代の大部分の年が $\alpha$ ・中腐水性であり1961年には、2.64という1945年に次ぐ高い値を示しました。1970年代に入ると $\beta$ ・中腐水性の水質となり、1960年代よりは多少浄化されている傾向が見られるようになりました。

1945年前後の太平洋戦争中と、終戦直後においてはサブロピ指数が異常に高い値を示しますが、これは、この年間には漁夫の参戦による減員や食糧事情の悪化による自家消費など

で漁獲量が最低のときであり、そのためフナ、コイ、ワカサギなどの汚濁指数の高い種属を除いては、指数の低い魚種は少量のため組合に出荷されなかった結果によるものです。こうして各種漁獲量とその量を基にして得られた経年のサプロビ指数

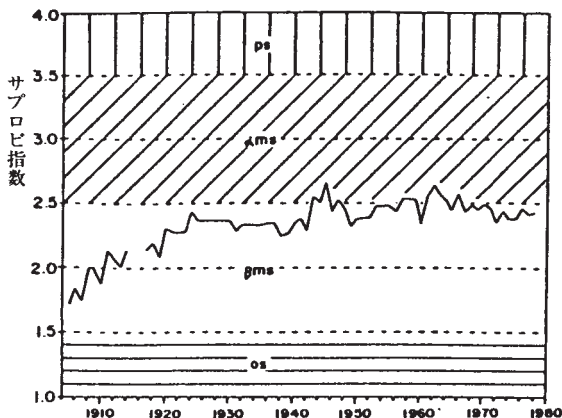


図10 各種漁獲種属とその漁獲量より算出したサプロビ指数の経年変化

の変化は、湖の富栄養化と水質汚濁のモニタリングの環境評価の解析の際、ある程度の目安をつけるのに役立つものと思われます。

#### (d) 放流量と漁獲量との関連

##### (イ) 放流量の経年変化

各地の湖沼や河川で漁獲される魚貝種は、漁業法によりそれらの魚貝種の絶滅防止及び増殖を図る目的で、若干量の卵・稚魚及び成魚の放流を義務づけられています。諏訪湖における1912年から1980年に至る69年間の魚貝種別の放流年ごとの明細は図11に示されており、主要魚貝類の年間の放流量の経年変化は表13と表14のとおりです。これら図11、表13と表14でみると、各魚貝種により放流が卵、稚魚及び成魚のいずれか一つに定められているものと、そうでないものがあります。いま、それら放流年が各魚貝種により上記69年間中何ヶ年に及んだか、そしてそれぞれの年間最大放流量はどれ位かを主要魚貝種についてお話しします。

**ワカサギ** 放流年は1911年から1980年の現在まで69年中56ヶ年(81.2%)で、1910年代の2ヶ年と、1927年から1980年までの継続54ヶ年です。すべて卵放流でなされ、1940年までは年間1億粒を越えませんが、以後は次第に増粒し、1958以後は10億粒以上となり、さらに1970年代には20

億粒を越える年が多くなり、1980年には約26億粒の最大放流量を示しています。

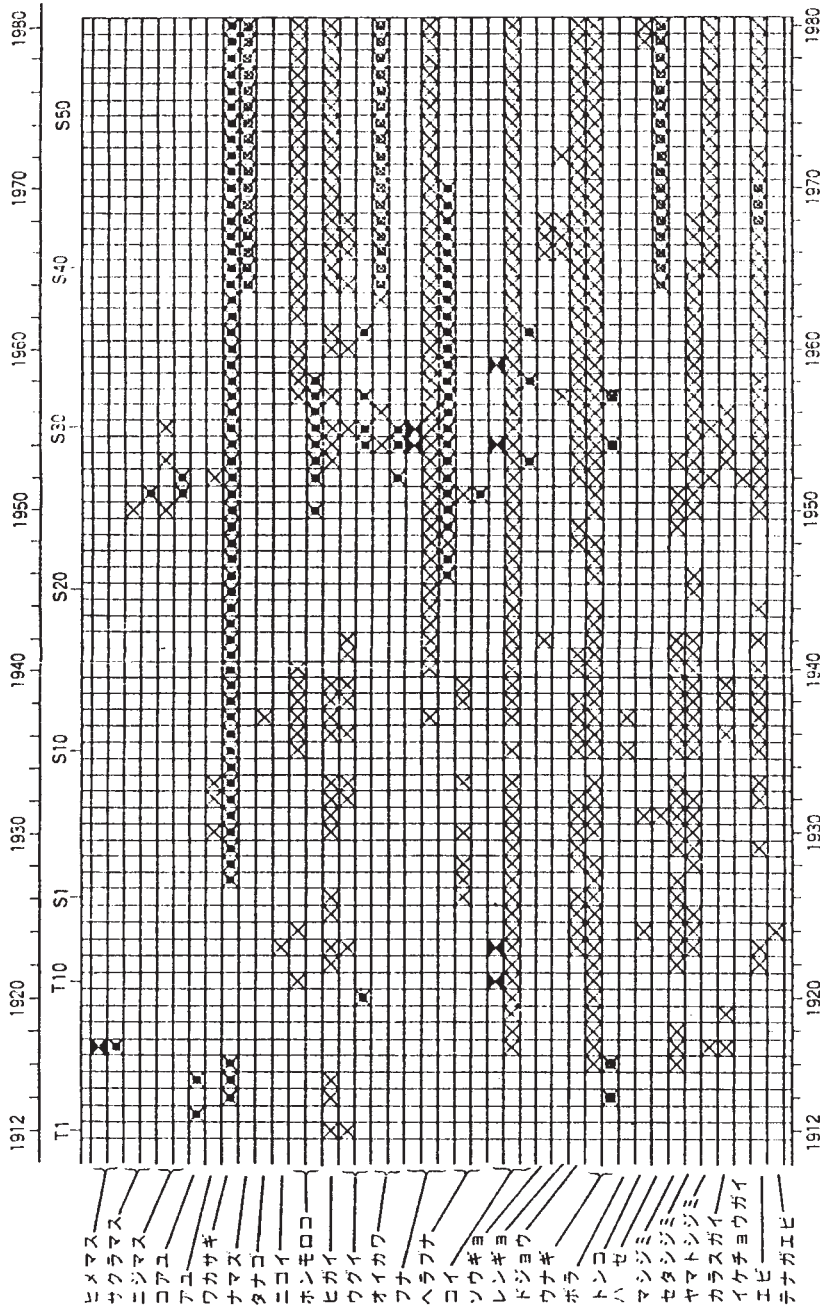
**ヒガイ** 放流年は37ヶ年（53.6%）で、1910年代には3ヶ年、1920年代には4ヶ年、1930年代には8ヶ年、1940年代には0ヶ年、1950年代は3ヶ年、1960年代の後半からは1980年まで継続放流がなされています。すべて成魚放流であり、最高放流量は673kg（1965）ですが、最近10年間は100～200kg/年の放流に止まっています。

**ウグイ** 放流年は16ヶ年（23.2%）で、卵による放流は1920年代には1ヶ年、1950年代と1960年代初期にかけて5ヶ年が数えられるのみで、最大は300万粒（1943）の放流卵粒数であります。尾数で示された放流は1930年代から1940年代初期にかけての5ヶ年と、1955年の1ヶ年があり、最大尾数は150万尾（1943）です。重量で示された放流は1910年代、1920年代及び1930年代の各1ヶ年と、1960年代の5ヶ年があり、最大放流重量は320kg（1966）です。そして近年は全く放流が行われていません。

**オイカワ** 放流年は5ヶ年（7.2%）のみで少なく、卵放流は1950年代の3ヶ年だけで、最高放流卵数は648万粒（1954）です。尾数放流は1950年に3ヶ年あって、最大数は40万尾（1954）であり、また放流を重量で示した年は1950年代と1960年代に各1ヶ年ずつあり、70kg（1961）が最大重量を示しています。

**コイ** 放流年数は放流魚中最多年数の62ヶ年（89.9%）で、そのうち卵放流は1940年代、1950年代及び1960年代の各1か年ずつしかなく、最大は約5億粒（1949）の放流数です。稚魚放流はすべての年代の殆どの年で行われ、最大放流尾数は2,000万尾（1941）、放流重量は7,500kg（1942）が最高であります。

**フナ** 放流年数は46ヶ年（66.7%）であり、卵による放流は1946～1970年の間のみになされ、最大放流卵数は3億粒（1959）を数えます。稚魚放流で尾数で示された年代は1930年代と1950～1960年代に集中し、最大尾数は201万尾（1942）です。重量放流で示されたのは1920年代にお



× 稚魚または幼魚、□ 卵、■ 成魚、▨ 産卵地造成場設置、▩ シラス、□ なし  
 T 大正、S 昭和

図11 諏訪湖の移殖種の放流年次経過

表13 ワカサギ、ヒガイ、モロコ、ウグイおよびオイカワの放流量の経年変化

年	放流量	ワカサギ		モロコ		ウグイ			オイカワ		
		卵数 ×10 <sup>4</sup>	kg	卵数 ×10 <sup>4</sup>	kg	卵数 ×10 <sup>4</sup>	尾数 ×10 <sup>4</sup>	kg	卵数 ×10 <sup>4</sup>	尾数 ×10 <sup>4</sup>	kg
1912	T 1	0	*	0	0	0	0	105.0	0	0	0
3		0	83.2	0	0	0	0	0	0	0	0
4		1019.6	7.5	0	0	0	0	0	0	0	0
1915	T 4	643.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1920	T 9	0	0	0	0	*	0	0	0	0	0
1		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3		0	41.0	0	0	0	0	105.0	0	0	0
4		0	*	0	0	0	0	0	0	0	0
1925	T14	0	37.5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	S 1	0	*	0	15.0	0	0	0	0	0	0
7		1500.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8		1000.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9		1246.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1930	S 5	2000.0	37.5	0	0	0	0	0	0	0	0
1		2000.0	75.0	0	0	0	0	0	0	0	0
2		1240.0	37.5	0	0	0	8	0	0	0	0
3		540.0	37.5	0	0	0	0	0	0	0	0
4		620.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1935	S10	624.0	0	0	99.0	0	0	0	0	0	0
6		360.0	*	0	336.0	0	0	41.3	0	0	0
7		4561.0	187.5	0	300.0	0	0	0	0	0	0
8		6500.0	232.5	0	319.8	0	10	0	0	0	0
9		2500.0	168.8	0	150.0	0	10	0	0	0	0
1940	S15	8300.0	0	0	75.0	0	0	0	0	0	0
1		55000.0	0	0	0	0	150	0	0	0	0
2		55000.0	0	0	0	0	150	0	0	0	0
3		58000.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4		67000.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1945	S20	83524.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6		141284.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7		26000.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8		41100.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9		40130.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1950	S25	46268.0	0	270	0	0	0	0	0	0	0
1		60000.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2		61000.0	0	150	0	110	0	110	0	0	0
3		60000.0	0	1387	0	0	0	0	0	0	0
4		60000.0	500.0	168	0	213	0	648	40	0	0
1955	S30	61330.0	281.3	1217	0	300	5	200	20	0	0
6		94271.0	0	204	0	0	0	0	25	19.1	0
7		83500.0	187.5	240	0	145	0	0	0	0	0
8		106950.0	0	270	345.0	0	0	0	0	0	0
9		163000.0	0	0	586.0	0	0	0	0	0	0
1960	S35	122196.0	304.7	0	312.0	0	0	235.5	0	0	0
1		137000.0	138.4	0	57.2	25	0	0	0	69.6	0
2		147400.0	0	0	15.0	0	0	0	0	0	0
3		180800.0	0	0	368.0	0	0	0	0	0	0
4		151795.0	0	0	200.0	0	0	110.0	0	0	0
1965	S40	117095.0	673.0	0	530.0	0	0	0	0	0	0
6		142500.0	62.7	0	40.4	0	0	320.0	0	0	0
7		133000.0	58.7	0	34.6	0	0	150.0	0	0	0
8		177392.5	50.0	0	354.0	0	0	150.0	0	0	0
9		116320.0	200.0	0	640.0	0	0	0	0	0	0
1970	S45	174700.0	270.0	0	250.0	0	0	0	0	0	0
1		122400.0	200.0	0	175.0	0	0	0	0	0	0
2		112700.0	210.0	0	611.0	0	0	0	0	0	0
3		203717.0	100.0	0	345.0	0	0	0	0	0	0
4		158350.0	100.0	0	430.0	0	0	0	0	0	0
1975	S50	148230.0	100.0	0	406.0	0	0	0	0	0	0
6		212100.0	100.0	0	200.0	0	0	0	0	0	0
7		213230.0	180.0	0	172.0	0	0	0	0	0	0
8		110970.0	90.0	0	110.0	0	0	0	0	0	0
9		168720.0	100.0	0	100.0	0	0	0	0	0	0
1980	S55	262450.0	100.0	0	103.0	0	0	0	0	0	0

\* 放流量不明、T：大正、S：昭和



表14 コイ、フナ、ウナギ、ドジョウ、エビおよびシジミの放流量の経年変化

年	放流量	コイ			フナ			ウナギ	ドジョウ	エビ	シジミ
		卵数 ×10 <sup>4</sup>	稚魚、尾数、重量		卵数 ×10 <sup>4</sup>	稚魚、尾数、重量		幼魚 kg	kg	kg	kg
			×10 <sup>4</sup>	kg		×10 <sup>4</sup>	×10 <sup>4</sup>				
1912	T 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1915	T 4	0	0	0	0	0	9.2	0	0	0	0
6		0	0	0	0	0	675.0	0	0	0	0
7		0	51.0	0	0	0	45.9	0	0	800.0	0
8		0	30.0	0	0	0	780.0	0	0	494.0	0
9		0	42.0	0	0	0	547.9	0	0	112.0	0
1920	T 9	0	109.2	802.5	0	0	112.0	0	0	0	0
1		0	13.5	0	0	0	1048.0	0	0	0	0
2		0	*	0	0	0	855.0	0	0	0	0
3		0	91.0	117.8	0	0	497.6	0	75.0	851.7	0
4		0	66.9	0	0	0	450.0	75.0	*	3648.0	0
1925	T14	0	40.1	0	0	0	477.0	75.0	0	5517.0	0
6	S 1	0	191.4	0	0	*	498.8	75.0	0	5004.0	0
7		0	150.0	0	0	0	555.0	75.0	0	5232.0	0
8		0	180.0	0	0	0	22.5	0	0	4800.0	0
9		0	114.0	0	0	0	11.3	0	0	3640.0	0
1930	S 5	0	159.4	0	0	0	0	75.0	*	15840.0	0
1		0	123.0	0	0	0	0	75.0	0	14797.0	0
2		0	149.4	0	0	0	*	75.0	0	11992.0	0
3		0	0	1125.0	0	0	0	150.0	56.3	14496.0	0
4		0	0	1110.0	0	0	0	0	18.8	13428.0	0
1935	S10	0	0	3000.0	0	0	0	0	0	0	0
6		0	0	0	0	0	1215.0	487.5	56.3	13571.5	0
7		0	300.0	412.5	0	30.0	1830.0	375.0	62.9	14858.4	0
8		0	100.0	0	0	100.0	1542.5	562.2	187.5	16000.0	0
9		0	100.0	0	0	150.0	1500.0	562.2	187.5	16000.0	0
1940	S15	0	100.0	0	0	100.0	1500.0	0	75.0	10400.0	0
1		0	2000.0	0	0	100.0	1875.0	487.5	282.3	4800.0	0
2		0	0	7500.9	0	100.0	2250.0	750.5	0	54400.0	0
3		0	100.0	6750.0	0	0	1987.5	0	150.0	16000.0	0
4		0	0	562.5	0	0	1125.0	0	0	0	0
1945	S20	0	200.0	2062.5	0	0	0	0	0	0	0
6		0	280.3	1642.5	160	0	937.5	525.0	0	20800.0	0
7		0	-57.5	1069.3	320	0	323.0	522.0	0	0	0
8		0	0	934.7	0	0	1125.0	750.0	0	0	0
9		52300	130.0	406.1	160	0	933.8	1012.5	150.0	0	0
1950	S25	0	100.0	825.1	520	0	675.0	555.0	243.8	0	17843.9
1		0	60.0	750.0	326	80.0	971.0	1598.1	0	120.1	14531.8
2		0	100.0	203.0	580	200.9	843.8	1165.8	0	63.8	22905.1
3		1524	250.0	37.5	5492	150.0	3716.3	2143.1	384.4	391.5	30685.0
4		0	100.0	825.0	7842	50.0	1520.3	900.0	393.8	616.9	40770.0
1955	S30	0	110.0	412.0	12200	0	1671.8	300.0	206.3	178.1	37710.0
6		0	130.0	56.3	16878	0	2250.0	532.5	232.5	375.0	37841.0
7		0	120.0	56.3	5000	58.0	4056.8	1104.4	479.8	208.1	48250.0
8		0	170.0	300.0	2930	52.0	3946.9	937.5	559.7	998.3	39150.0
9		0	210.4	42.0	29765	50.0	5936.3	693.8	416.9	619.1	42660.0
1960	S35	0	150.0	0	2783	150.6	4165.0	787.5	302.0	0	61890.0
1		30	20.0	125.0	4039	70.0	4530.0	676.6	130.8	175.0	57310.0
2		0	52.3	588.0	200	145.7	3976.6	480.0	0	45.0	42300.0
3		0	13.6	1408.0	4531	197.5	5609.7	480.0	0	467.5	44100.0
4		0	235.0	603.7	3954	21.9	511.0	500.1	0	47.0	30375.0
1965	S40	0	99.0	264.0	4525	0	958.0	340.0	78.1	88.0	27045.0
6		0	99.8	1705.0	600	40.0	2109.0	350.0	76.8	70.0	18920.0
7		0	140.3	3945.5	4317	33.0	141.0	360.0	311.1	30.0	5800.0
8		0	313.0	86.0	4210	0	258.3	360.0	393.1	98.5	5880.0
9		0	187.0	644.3	2766	20.0	1468.0	324.0	425.0	0	18420.0
1970	S45	0	55.0	935.2	2948	0	2933.0	208.5	529.2	10.0	11818.0
1		0	60.0	1754.1	0	0	8745.0	234.0	237.5	47.0	6600.0
2		0	85.0	2541.0	0	0	4834.0	198.0	688.0	30.0	6800.0
3		0	60.0	912.0	0	20.0	7256.0	161.0	0	92.0	10400.0
4		0	60.0	3444.0	0	0	4942.0	115.0	490.0	0	9600.0
1975	S50	0	70.0	520.8	0	0	400.0	120.0	941.3	0	10100.0
6		0	80.0	416.0	0	0	693.0	80.0	460.0	5.8	7800.0
7		0	103.0	566.0	0	0	2500.0	30.0	525.0	3.5	7650.0
8		0	90.0	270.0	0	0	1000.0	38.0	500.0	172.0	9000.0
9		0	20.0	350.0	0	0	2635.0	8.5	350.0	11.2	9700.0
1980	S55	0	20.0	119.0	0	0	4233.0	25.0	350.0	5.8	7400.0
		0	0	0	0	0	2339.0	40.0	300.0	20.1	9000.0

\* 放流量不明、T：大正、S：昭和

ける2ヶ年と1940年代から1980年まで継続する約40年間で、8,745kg(1970)が最大放流稚魚量であります。

**ウナギ** コイに次ぐ放流年数の61ヶ年(88.4%)を持ち、放流は普通体長約10cmの幼魚でなされるといいます。放流重量の最大量は2,250kg(1941)の記録がありますが、最近10か年は著しく減量し100kg以下の年がつづきます。

**ドジョウ** 42ヶ年(60.0%)の放流年数を示し、すべて成魚放流です。1910年代と1940年代は放流年が少ないですが、他の年代はいずれも継続的に放流されています。最大放流重量は688kg(1971)です。

**エビ** 39ヶ年(56.5%)の放流年数で、1920年代までは3ヶ年ですが、1930年代は継続放流がみられます。1940年代は途絶えますが、1950年代以降は1980年の現在までほとんど毎年放流されています。最大量は998kg(1957)の放流です。

**シジミ** 放流年数は比較的多い56ヶ年(81.2%)に及び、1910年代と1940年代には欠ける年が多いですが、他の年代はほとんどの年が継続放流されています。10t以上の放流量は1930年代と1950年代に多くみられ、最高放流成貝量は62t(1952)です。しかし最近10年間は10t以下におさえられています。

#### (ロ) 放流量と漁獲量との経年変化の関係

主要魚貝種属について、それぞれの年間放流量と年間漁獲量の経年の増減関係を図示して比較すると次のようになります。

**ワカサギ** 冬季から早春にかけて卵が放流され、同年の晩夏に解禁され大部分が捕獲水揚げされるので、放流量と漁獲量との相関の関係は他種のものより判然とするはずです。

図12によれば、1930年代までは放流卵数がきわめて少ないにもかかわらず、比較的に高い漁獲量が得られていますが、これは当時の産卵のため遡上する流入河川が清流であり、自然増殖が盛んに行われた証左であり、人工採卵放流事業による人工増殖を自然増殖がはるかに上回ってい



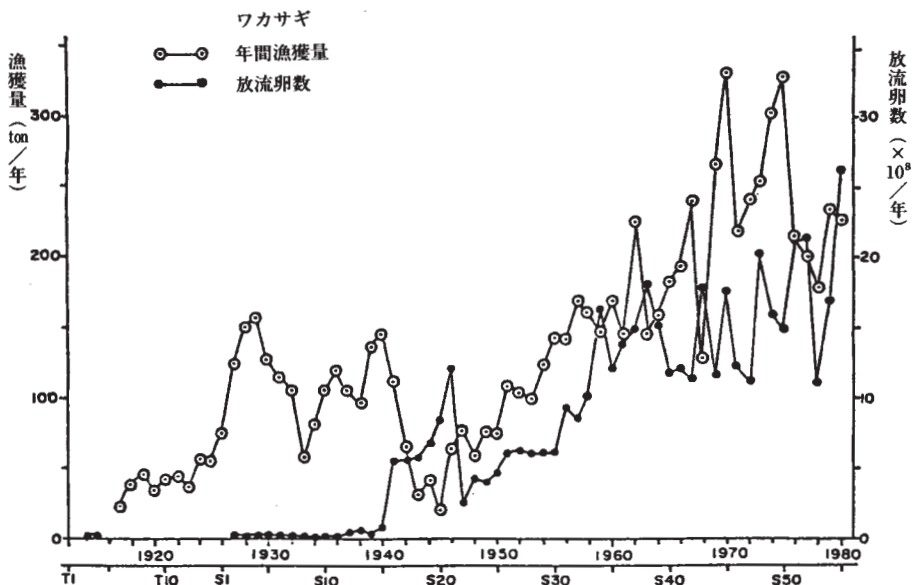


図12 ワカサギの放流量(卵)と漁獲量との経年変化の関係

たためと思われます。

1940年代前半をみると、卵放流が増大しているのに漁獲量が著しく少ない様相が顕著に現われていますが、これは当時戦時下とその直後であり食糧難のため組合へ出荷を控え、直接消費者へ横流ししたのと、働き手の漁夫の減少によるもので、この1940年代の漁獲量の急減は上述したようにすべての魚貝種属に共通して見られる現象です。

1950年代に入ると、放流卵数の増大傾向と共に漁獲量も並行して上昇しており、卵放流という人工増殖手段が主となって、漁獲量を増加させている事実を示しているようです。

1960～1970年代は諏訪湖の富栄養化が著しく進行したときですが、それに伴い漁獲量の年々の豊凶の変動幅が大きくなっています。それで不漁年の翌年には放流卵数を増やして漁獲量の低下を調節しているようであり、全般的にみて諏訪湖のワカサギ以外の多くの魚貝種の年々の下降現象と正反対に、ひとりワカサギのみは年とともに漁獲量を増加させて

います。しかし1986年度はワカサギの不漁が著しく、そのため1987年の採卵数が20億以下であったと聞いています(上述)。

**ヒガイ** 図13に示されるように、1960年代前半以前は放流年がきわめて少ないため、当然自然増殖が主であり、放流効果を云々することはできません。1960年代後半から現在までは相当量の継続放流がなされてきましたが、漁獲量は激減してしまい成魚放流による増殖効果は挙がっていないようで、特に1969年と1975年には放流量が漁獲量を上回る有様です。

**モロコ** 図14に示す漁獲量はモロコとモツゴの混合したのですが、一応モロコの漁獲量の増減を示すものとして検討しました。卵放流が1950年代に大量になされていますが、これは漁獲量の増大に多少影響しているようであります。成魚放流と漁獲量を対応させると、1940年代までは放流年数が少なく漁獲量の増減は放流量のそれと結び付きません。

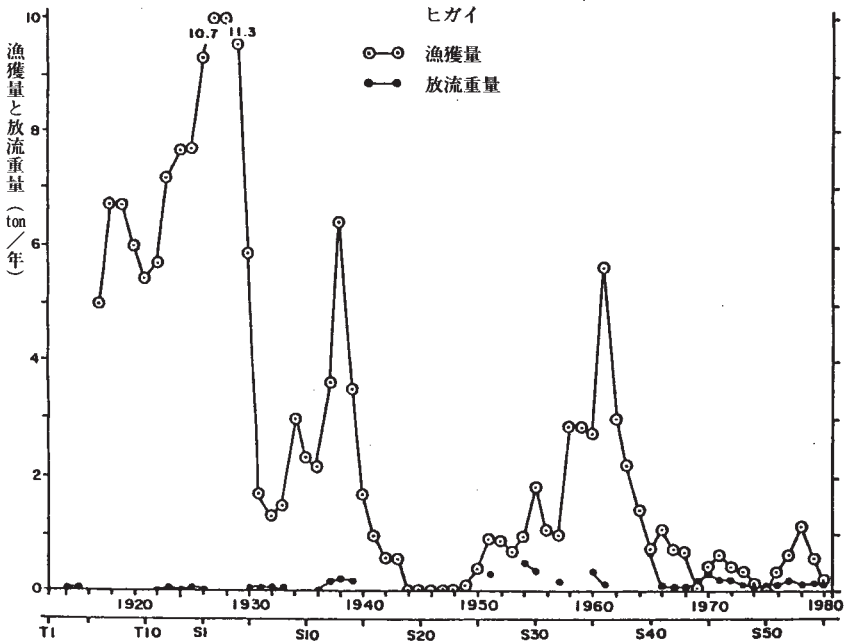


図13 ヒガイの放流量(成魚)と漁獲量との経年変化の関係

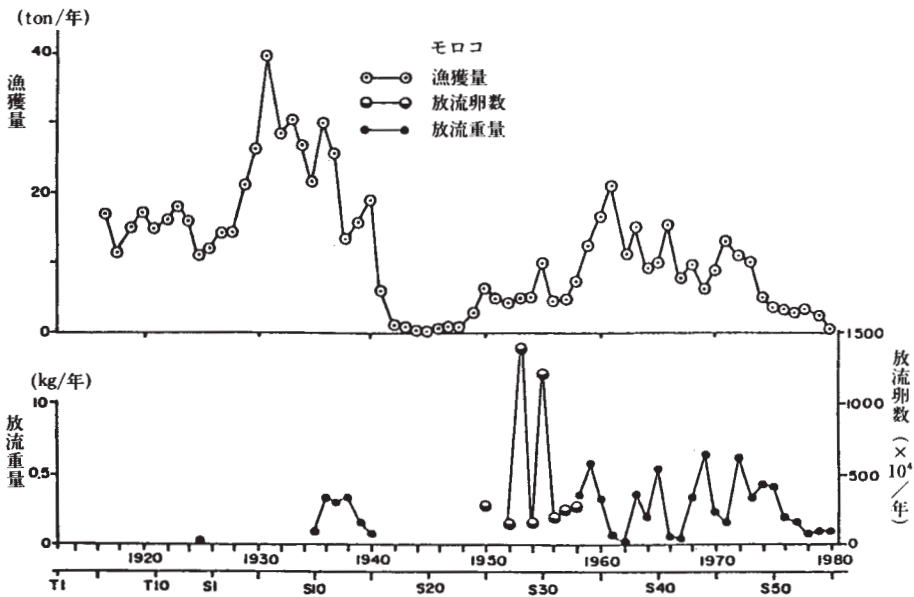


図14 モロコの放流量(卵、成魚)と漁獲量との経年変化の関係

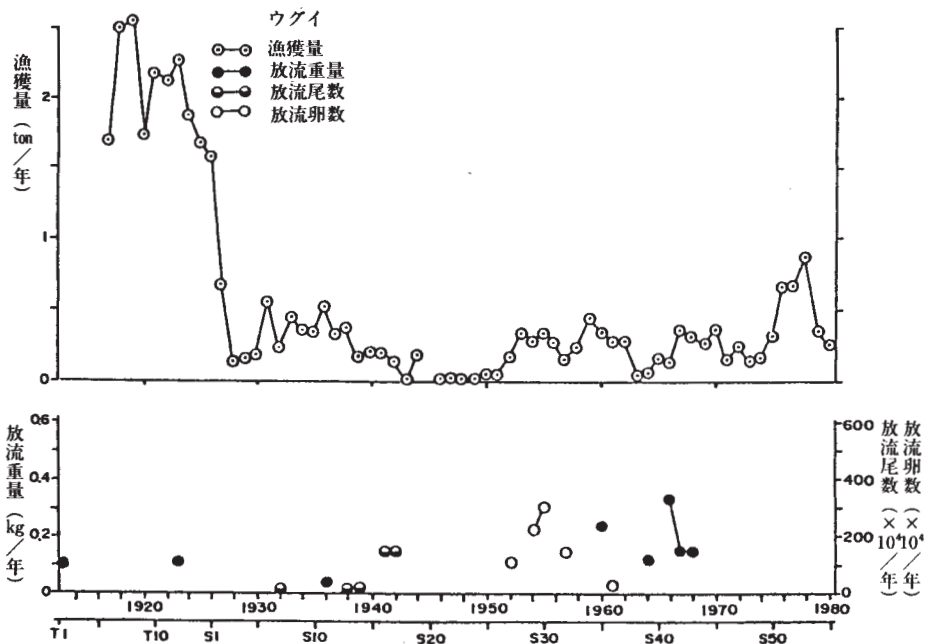


図15 ウグイの放流量(卵、成魚)と漁獲量との経年変化の関係

1950年代後半から現今まで放流効果は多少あるように見受けられますが、1970年代に入ってからには放流量の減少とともに漁獲量も急減しています。

**ウグイ** 図15にみるように、卵や成魚の放流年回数が少ないうえに、継続放流年が見当たらないので放流効果有無の判別は困難です。1920年代までは無放流にもかかわらず年々豊漁が続くのは、明らかに自然増殖です。1930年代以後は漁獲量は激減し、また放流もそれほど着実になされていない時代が続きます。1970年代後半には放流作業は全く中止されているのに、漁獲量が多少増えてきているというのが現状で、ウグイの場合放流の効果に関しては何ともいえません。

**オイカワ** 図16によれば、1930年までは自然増殖による漁獲量がきわめて大きくなっています。それが1940年代にかけて減少していき、1940年代後半から1950年代の初期に自然増殖によるピークが出現します。これらの増殖に対応する放流年はきわめて少なく、放流は1950年代の不漁

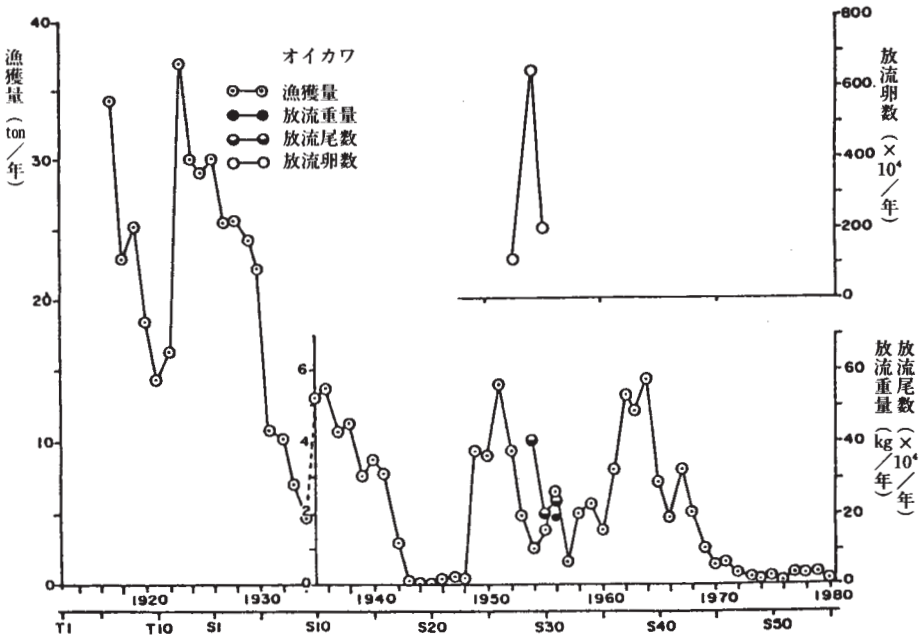


図16 オイカワの放流量(卵、成魚)と漁獲量との経年変化の関係

時期に集中してなされているのみで、1960年には全く放流がなされていないのに比較的豊漁であり、放流量との密な関係は見出せません。

**コイ** 図17にみるように、稚魚の放流年がほとんどであり、そのため捕獲サイズの体長20cm前後に達するには少なくとも約2年を要します。この事情を考慮に入れて、放流年と漁獲年の量を対応させてみると、最大の卵放流量(5億粒)年(1949)の効果は顕著ではありません。また稚魚量の尾数や重量の放流量の増減に対する漁獲量への反応もあまり判然としません。それでも、1940年以前の場合には両者の間にやや並行関係が見出せますが、1950年代以後は相反関係の年代があります。例えば1970年代後半では明らかに放流量が減少しているのに漁獲量は増えています。

**フナ** 図18によると、1930年以前は自然増殖が盛んで、漁獲量増大年が続くが、1930年代以後の漁獲量の減少に対して、1940年代から1960年

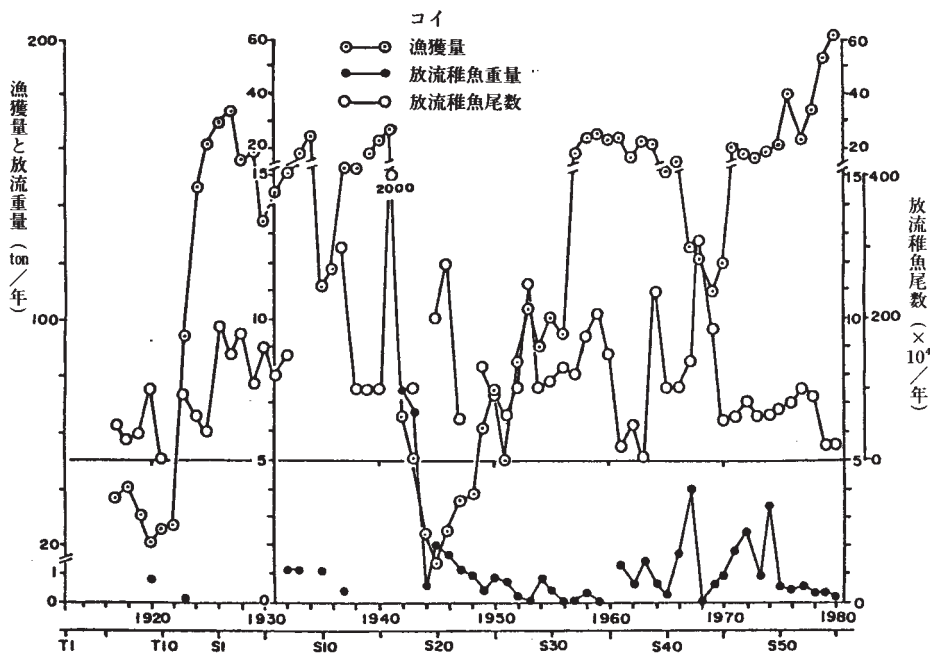


図17 コイの放流量(卵、稚魚)と漁獲量との経年変化の関係

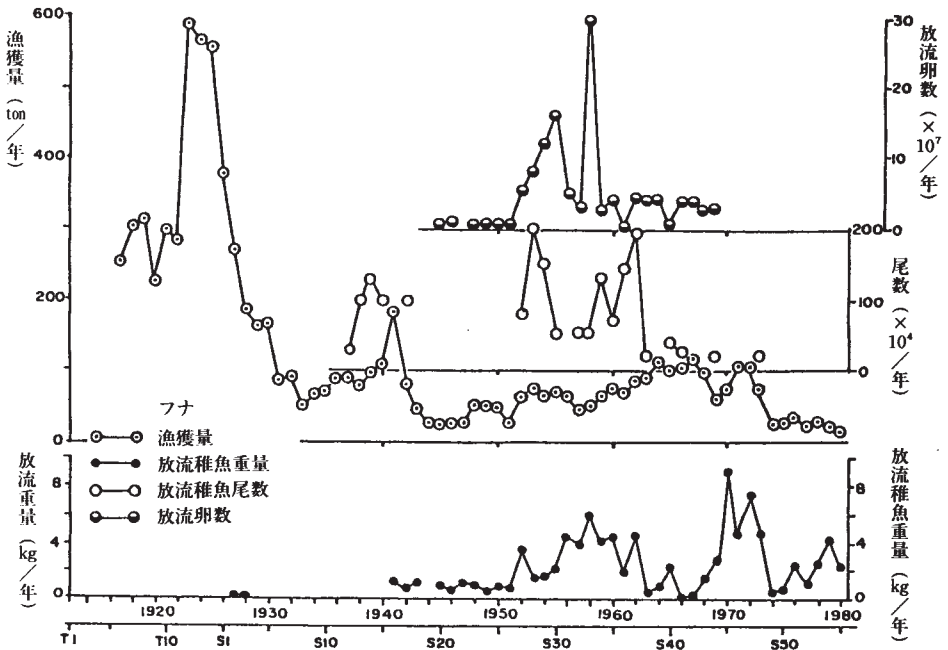


図18 フナの放流量(卵、稚魚)の漁獲量との経年変化の関係

代にわたり、卵や稚魚の放流が多く施行されています。しかしその効果はあまり挙がってなく、1970年代に入って放流量の低下とともに漁獲量は一層減少傾向を示しています。

**ウナギ** 図19によれば、放流量と漁獲量の経年の増減関係は各年ともに並行関係を示すことが多くなっています。1930年代まではほとんど自然増殖と思われませんが、1936年に釜口水門の完成により遡上がある程度制限されるためか漁獲量が減り、それを補うべく放流量が増やされ、放流による増殖の効果がみられます。1960年代以後は著しく放流効果が低下したためか放流量は極端に減らされています。この原因の一つとして湖底泥の大掛かりな浚渫作業が挙げられ、底生魚であるウナギの生活環境の破壊の影響ではないかと推測されます(名東1978)。最近20年間の不漁状況は著しく、放流量が漁獲量を凌駕する年が5ヶ年(1967、1972、1975、1979、1980)に及び、放流効果がいかに低下しているかを示して

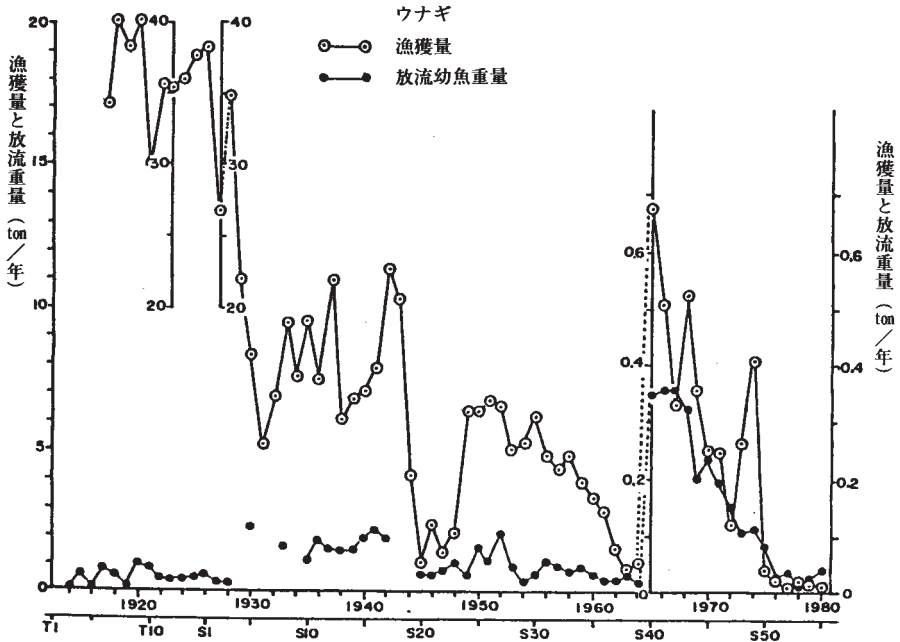


図19 ウナギの放流量(幼魚)と漁獲量との経年変化の関係

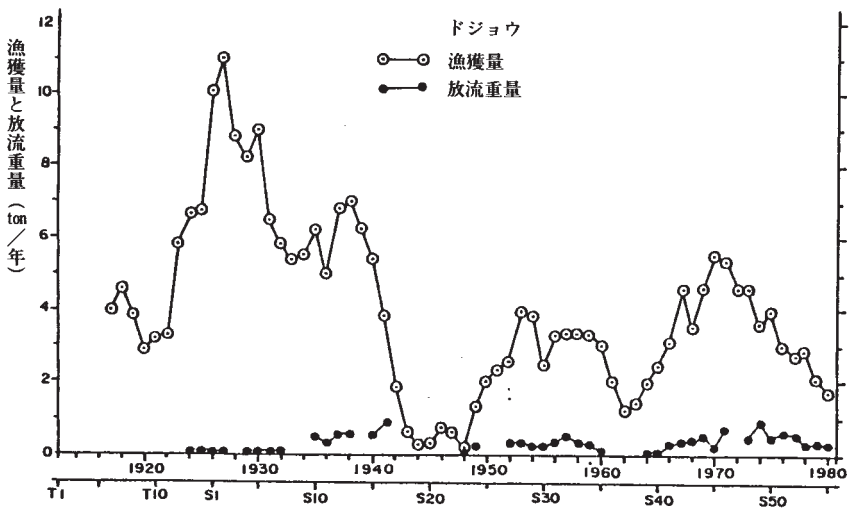


図20 ドジョウの放流量(成魚)と漁獲量との経年変化の関係

います。

**ドジョウ** 図20に示されるように、1920年代から現今に至るまで放流のあった年は漁獲量が増していることが多く、いわば放流量と漁獲量の増減が並行関係にあり、放流効果は顕著に現われているといえましょう。

**エビ** 図21では、1920年代以来今日までの放流量と漁獲量との経年変動における両者の相関はほとんどないことを示しており、自然増殖が主となって漁獲量の経年変化が生じていると推察されます。

**シジミ** 図22によると、1920年代から1950年代初期までの年間は、放流効果が比較的明確であり、放流量と漁獲量のプラスの相関が見られますが、1950年代後半から現在に至る約30年間は、大部分の年が放流量が漁獲量を上回っております。すなわち、戦前では1941年と1945年、戦後では1954年以降現在までのほとんどの年がそれであります。

こうした事実は、放流シジミの湖内での増殖がきわめて劣悪であるか、

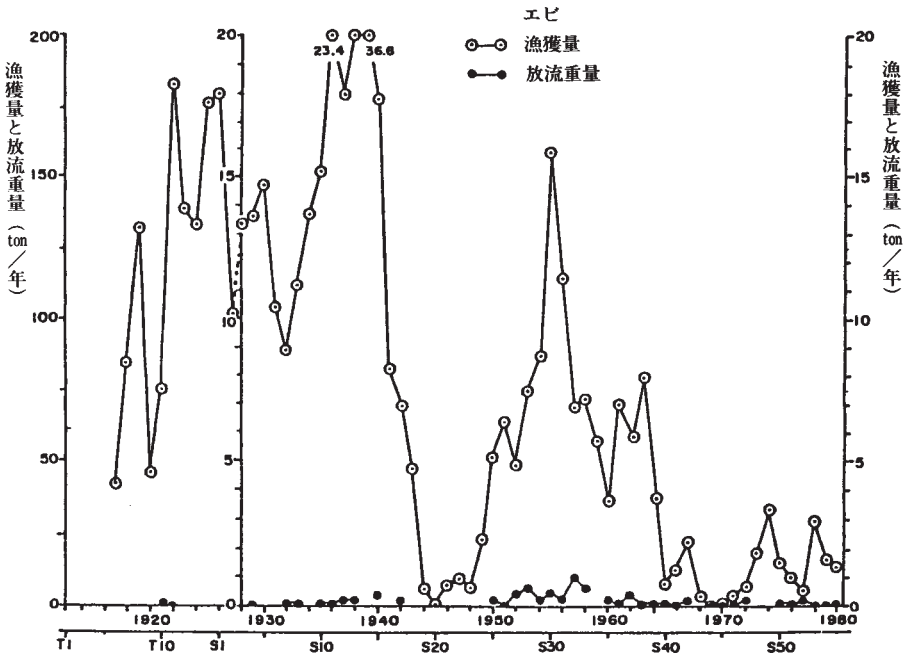


図21 エビの放流量(成体)と漁獲量との経年変化の関係



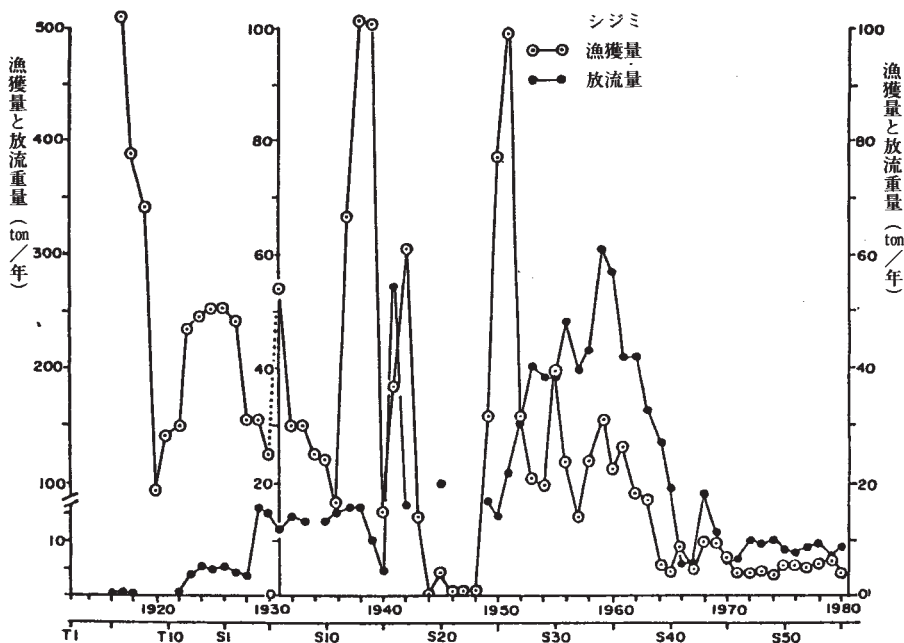


図22 シジミの放流量(成貝)と漁獲量との経年変化の関係

全く増殖しないことを示すものです。これの主原因は放流シジミの種属の変更と環境の悪化によることは明らかです。すなわち、マシジミは1913～1953年間、セタシジミは1923～1968年間、ヤマトシジミは1965～1980年間（現在）に放流されていますが、マシジミの放流が中止される頃からシジミの生息環境が富栄養化によって悪化したためと、他種シジミに放流種が変更された年から放流量が漁獲量に勝るようになっており、セタシジミはともかく汽水性のヤマトシジミによる放流効果を期待することは無理であることが実証されています。

#### (ハ) 放流効果の数量的検討

諏訪湖で放流事業がなされた主要魚種のうち、モロコ、ウグイ、オイカワ、コイ及びフナは、卵・稚魚及び成体などの異なった放流手段で同時または別々に放流されていたり、また、稚魚や成魚の量が尾数であったり重量であったりして統一されていません。それ故、放流量と漁獲量

との間の数量的関係を表わすことは不可能です。それで、放流が卵のみのワカサギ、放流が重量でのみ示されたヒガイ、ウナギ、ドジョウ、エビ及びシジミについて放流効果の度合の算出を試みました。それは同じ年度の漁獲量を放流量（卵の場合は放流粒数）で除し、それぞれの値の5年間の平均値を求め表したもので、それら各魚貝類の結果を表15に放流効果度として示しました。

ワカサギの効果度は、放流卵1万粒あたりに対する漁獲量の効率で表しました。それによれば戦時下の1940年代前半が最低で0.2であるのに対し、戦前は100前後の値です。しかし、戦後は1.2~1.9の低い範囲の値を示しています。これらのことは、戦前の高い値は放流卵の少ない時に自然増殖量が多いことから生じたものであり、戦後の低い値は放流卵の増えているのに比べ自然増殖量が著しく減退してきたことも原因しています。

それにしても、戦後の放流効果度は諏訪湖が過度の富栄養化現象を呈しているにもかかわらず、1940年代後半から1980年の現在まで約35年間

表15 ワカサギ、ヒガイ、ウナギ、ドジョウ、エビおよびシジミの放流効果(5年間の平均)の年代変化

	ワカサギ	ヒガイ	ウナギ	ドジョウ	エビ	シジミ
年間漁獲量(A.Y.)	A.Y.(kg)	A.Y.(kg)	A.Y.(kg)	A.Y.(kg)	A.Y.(kg)	A.Y.(kg)
放流量(A.L.)	放流卵数 ( $\times 10^3$ )	A.L.(kg)	A.L.(kg)	A.L.(kg)	A.L.(kg)	A.L.(kg)
1916~1920	—	—	62.44	—	—	2302.40
1921~1925	—	192.98	53.50	85.42	2540.00	81.88
1926~1930	108.99	154.80	50.63	122.00	—	31.73
1931~1935	109.88	33.71	6.89	45.95	341.62	2.65
1936~1940	88.29	22.67	4.80	12.25	214.39	5.17
1941~1945	0.92	—	3.96	4.58	45.70	1.56
1946~1950	1.82	—	4.81	3.17	42.64	3.57
1951~1955	1.90	4.17	8.77	3.16	24.64	1.48
1956~1960	1.46	6.05	5.11	10.16	23.62	0.46
1961~1965	1.21	21.67	3.23	10.87	78.79	0.40
1966~1970	1.61	7.55	1.31	28.64	16.87	0.92
1971~1975	1.80	2.11	1.64	7.67	94.04	0.52
1976~1980	1.60	5.40	1.16	6.27	190.86	0.66

上記の狭い範囲の値に終始しているのは、ワカサギが比較的汚染に強い魚種であることを証拠づけるものでしょう。

**ヒガイ**は戦前は明らかに自然増殖の大きな値を示しますが、戦後は放流に基づく漁獲の増大は顕著に現われず、ことに1960年後半からは効率は著しく悪化しています。

**ウナギ**は1920年代までは効果度は高く自然増殖の増大を示しますが、1930年以降は急激に効率は低下しています。これは釜口水門の完成による天竜川からの遡上制限が自然増殖を抑制したことによるものであり、同時に放流量を増やした結果でありましょう。それ以後現在に至るまで効果度は下がり続け、特に最近15年間のそれは著しいものであります。

**ドジョウ**の戦前の効果度の値は他の魚種同様に自然増殖のために高いのですが、1950年代後半から1960年代にかけても比較的高い値が得られるのは、放流効果が良好であることを示すものでしょう。

**エビ**は漁獲量に比して放流量が著しく少ないので、大部分の年代で高い効率が得られますが、これは人工増殖による放流効果とはいえず、むしろ自然増殖が主であることを示しています。

**シジミ**は1920年代までは放流量の少なさからみても自然増殖による効果度の増大でありましょう。1930年代以後大量の放流がなされるにしたがい、放流効果度の値は下落しています。そして1950年代前半まででマシジミの放流が中止され、以後セタシジミからヤマトシジミへの放流具の種を変えるとともに、ますます悪化して放流効果の全くないとされる1.0以下の値が得られるようになり現在に至っています。

#### (e) 網生簀養鯉

1964年（昭和39年）に諏訪湖全体で26面の網生簀により試験的に開始された養殖ゴイの事業は、生簀の数を100面前後に増やしたり、放流尾数の高密度化、餌料の質及び給餌方法の改善などにより、その水揚げ量は急激に増大し、過度の富栄養化により不振を続けてきた天然育成の漁獲物総量を、近年では約3倍を上回るまでに成長を遂げました。

このように発展した網生簀養殖事業が、本来の漁業にどのような影響を与えたかを明らかにすべく、両者の水揚げ量及びその出荷金額の経年変化を比較検討するとともに、網生簀養鯉の餌料が湖の富栄養化といかなる関わり合いをもつかの問題について考えてみます。

(イ) 網生簀の面数と養殖ゴイ水揚げ量の年変化

網生簀は、大きさ9×9 mの枠内に網の水深が1.5 mになるように底付の網を垂下した構造しております。これを湖内の各所に連結して固定し、内部にコイの一年魚を5月頃放養して10月上旬まで給餌養殖し、約1 kgに成長した成魚を収容するのです。1964年と1965年から設置されましたが、これら両年は試験期間であって、最初は網生簀面数は図23に示すように、それぞれ26面と37面で少ないですが、1966年から本格的に事業を開始し、以後は100面前後に限定して増産する施策がとられています。1980年と1981年の両年はそれぞれ81面及び66面と著しく減数していますが、これは1979年に霞ヶ浦の網生簀のコイの大増産により魚価格の著しい下落を招いたため、漁業者が意欲を失い大幅に面数を減らしたことによります。

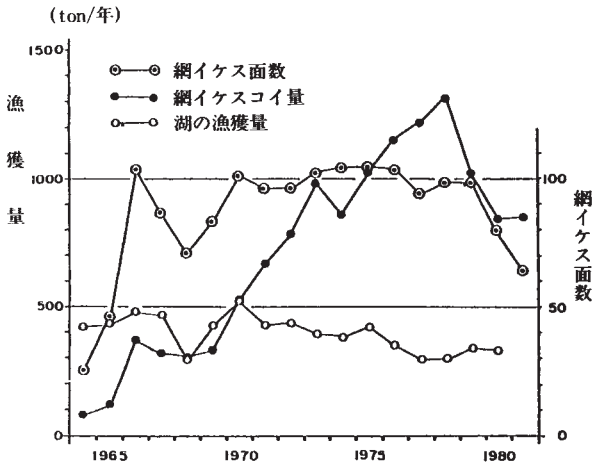


図23 網イセス面数、網イセスコイの水揚げ量、および湖の漁獲量の経年変化

容するのです。1964年と1965年から設置されましたが、これら両年は試験期間であって、最初は網生簀面数は図23に示すように、それぞれ26面と37面で少ないですが、1966年から本格的に事業を開始し、以後は100面前後に限定して増産する施策がとられています。1980年と1981年の両年はそれぞれ81面及び66面と著しく減数していますが、これは1979年に霞ヶ浦の網生簀のコイの大増産により魚価格の著しい下落を招いたため、漁業者が意欲を失い大幅に面数を減らしたことによります。

網生簀コイの年間の水揚げ総量は図23にみるように、開始年の1964年に80 t/年であったものが、年々増え続け15年後の1978年には最高1,326 t/年に達し、これは最初の年の約17倍に当たる値です。その間の増大経過を見ると、生簀面数が100面に定着する1970年からは総量で500 t/年

を越え、以後面数のさしたる変動がないのに、その量は次第に増加し、1975年から1979年の5年間は1,000 t/年をオーバーする収量を得ています。そして上述のごとく面数を大幅に減らした1980年と1981年の兩年でも800~900 t/年の間であり、1987年では面数も一層減り総量は750 t/年まで落ち込んでいるといえます。

このように、面数が同じか、または減少しても着実に養殖ゴイの収量が増大しているのは次の理由によるものです。すなわち、一つは網生簀内への放養尾数の増加と、二つは給餌方法の改善、三つにはリン添加による成長促進餌料の給餌です。

当初は、1面当たり3,000~3,500尾が適当とされ、そのように指導実施されてきたが、1970年当時には約2倍の7,000尾前後となり、現今では更に2倍の13,000尾から15,000尾にまで過密放養されるに至っています。極端な例としては最高25,000尾という記録もあり、このような場合には1㎡当たり1kgのコイが200尾以上ということになり、その状況はコイの中に水が泳いでいるという形容もできるほどだともいわれます。

給餌方法にしても、従来の“手撒き”方式を改め、送風機による餌ペレットの均等散布や魚の摂食行動の観察による散布量や給餌回数に加減を計るなどしています。更に餌への成長促進剤としてのリンの添加なども盛んに行われてきましたが、湖の汚染につながるとされ昨今は自粛しているといわれます。

また上述したように、“スス水”現象による酸素欠乏の被害の対策もほぼ完全に実施されています。図24によれば、こうした至れりつくせりの管理漁業は網生簀1面当たりの養殖魚量の急上昇となって現われるはずであります。すなわち、1964年の3.08 t/年/面を最低に1978年の最高13.26 t/年/面までほとんど確実に上昇し続け、その較差は4倍強に増えています。1974年などの天候に左右されたりして減少することもあり、1979年と1980年のように魚価の値下がりや漁民がやる気を喪失して減量することもありましようが、上述のような順調な養殖量の伸びは、明らかに

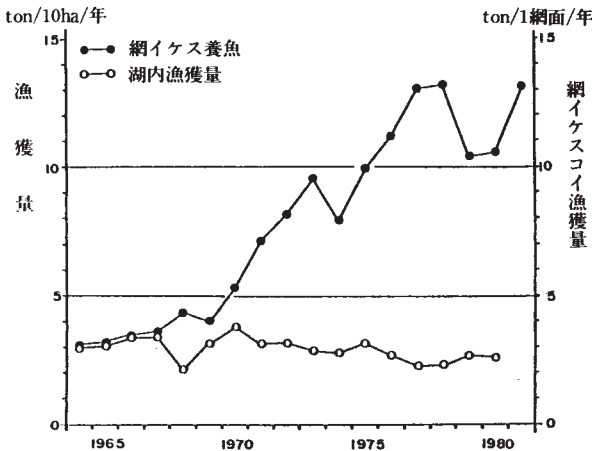


図24 年間1網面当りの網イケスコイ量と10ha当りの湖の漁獲量の経年変化

人為的な創造工夫と努力によって生じたものにほかなりません。それが証拠には魚価の持ち直した1981年には再び1面当り13.10 t/年台の収量に回復しています。

#### (ロ) 天然育成漁獲量との比較

網生簀漁業施行開始年の1964年当時の湖の総漁獲量は、図23によれば440 t/年であり、その後1970年の531 t/年のピークを境として減少を続け始め、1970年代末期からは350 t/年を越えない程まで低落しています。これは1970年から急上昇を始めた網生簀養殖の実績と正反対の傾向を示すもので、漁民の関心の動向と労働の振り分け率が網生簀養鯉に大部分割り当てられたことが原因の一つとして挙げられましょう。

両者の経年の水揚げ量を比較すると、1970年当時までは双方共に約530 t/年ではありますが、以後は次第にその差が広がり、1975年では網生簀の水揚げ量は約2倍となり、1978年にはついに4倍強に達しました。そして、網生簀養魚の不振の1980年においてさえ3.7倍弱です。

次に湖の単位面積当りの漁獲量を算出して、網生簀面当りの水揚げ量を対比すると次のようになります。いま、10ha当りの年間漁獲量をみると、最大は3.77 t/年で1970年に得られ、最小は2.17 t/年（1968）であり、1970年代の初期まではほとんど3 t/年以上の値であるが、それ以後は2.5 t/年前後に低迷します。

この湖の10ha当りの漁獲量の数値が、網生簀施行初期の頃の1面当り

のそれとほぼ同様であるので、両者のその後の増減関係を知るうえで好都合です。すなわち、1960年代中頃の値は両者共に3t/年をやや越える量ではほぼ均等ですが、1970年代前半は網生簀は湖の約2倍となり、中頃には3倍、後半と1980年には4～5倍と差は拡大します。

#### (ハ) 網生簀養鯉量と湖漁獲量の出荷金額の経年変化

年間の総出荷額は網生簀養鯉の開始後3年間は未詳ですが、図25によると、4年目には6,400万円/年(1967)が計上され、1970年には1億円を越える17,400万円に達します。その後も

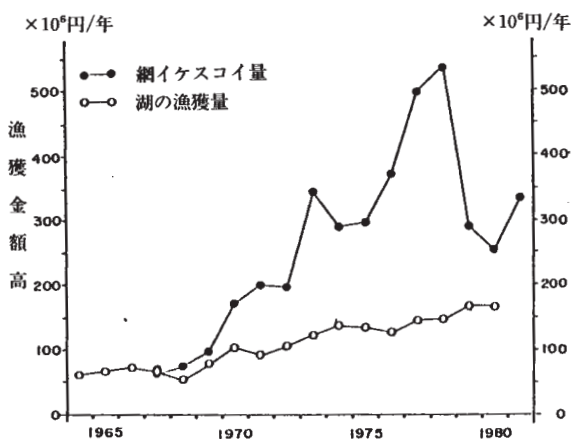


図25 年間網イケスコイ量および湖内漁獲量の金額高の経年変化

の上昇を続け現在までの最高は53,800万円/年(1978)であり、このときをピークに下降線をたどります。そして1979～1981年は26,000～34,000万円/年の範囲に下落します。

一方、湖の天然魚貝類の漁獲物総出荷額は、1967年には6,800万円/年で同年の網生簀の金高とほぼ同額です。その後漸増して1970年には10,600万円/年になり、10年後の1980年には16,800万円/年を計上しています。これらを網生簀の金高と対比すると、上述のごとく1967年に同等であったものが、1971年には網生簀は約2倍となり、1976～1978年間では約3倍に差は広がります。その後は網生簀の不況により差は約2倍に縮小します。

次に網生簀のコイの年間のkg当りの平均単価の経年変化をみると、図26に示すとおりです。1967年のそれは202円で最低であり、以後1978年の最高値406円に向け急昇傾向がみられ、較差は12年間に2倍となって



います。しかし、1979年と1980年の両年はそれぞれ281円と300円で一気に100円以上の値下がりをするますが、1981年には再び上昇して390円となり、この頃の値動きの激しさを示しています。

このような網生簀コイの単価の変動に比べ、湖内で獲れる天然生育コイの価格は、最低181円(1967年と1968年)であり、最高は273円(1977)でその較差は1.5倍にすぎません。そして1964~1980年の17年間の平均価格244円で、この間に著しい価格変動は見られません。

また、これらの事実を諏訪湖で最多のワカサギの単価と比べると次のようになります。小型のワカサギの場合最高599円(1980)に対し最低は176円(1964)で、その較差は3.3倍であります。しかし1967~1971年の間は小型ワカサギの単価は明らかに網生簀コイのそれを下回りますが、以後は急激に値上がりして上回るようになり、1980年では3倍弱の価格差を生じています。

大型ワカサギの場合の最高は844円(1978)、最低は326円(1967)でその差は約2.6倍であり、経年の増減の起伏には著しいものがあります。しかしワカサギの大型小型を問わず上昇傾向は明確に認められます。さらに、漁獲物の総出荷額を漁獲総量で除した漁獲物単価では最高508円

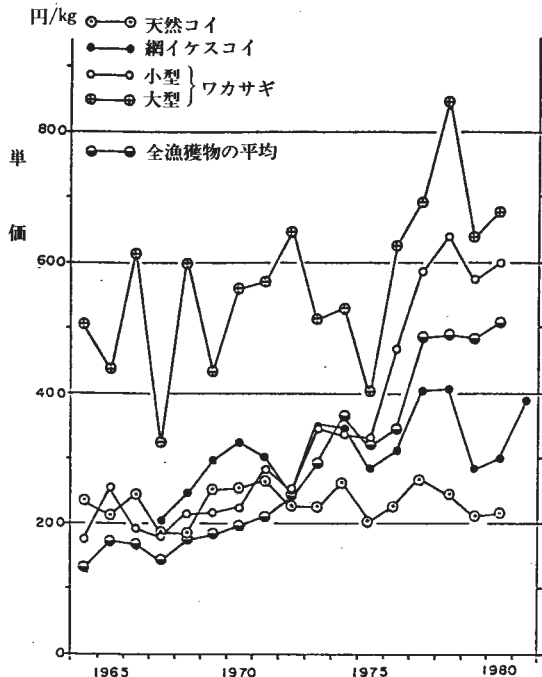


図26 網イケスコイ、天然コイ、ワカサギおよび全漁獲物平均の単価の経年変化



(1980) に対し最低 138円 (1964) できわめて順序よく年々値上がりしており較差は約3.7倍であり、網生簀コイの単価は、1974年以後においてこれを下回るようになり、同時に差は年々開く傾向を示します。これは漁獲総量の約70%がワカサギで占められる事情から生じたものです。

こうしたワカサギの値上がり傾向は希少価値によるものでありましようが、これと比べると湖内天然育成のコイの価格の安定は相対的に安値となり、これに次いで網生簀のコイも他の魚種に比べて著しく安値になってしまったのは、前述のように過剰生産があると忽ち暴落するという危険をはらんでいるわけです。

## (二) 湖の漁業と富栄養化との関連

近年の網生簀コイの年間水揚げ量は、天然の育成した漁獲量のその約3.5倍であり、出荷額で2.5倍に達していますが、こうしたことからすれば最早諏訪湖の漁業は網生簀養魚事業抜きでは成り立たないといっても過言ではありません。

諏訪湖の本来の天然漁業は漁業に携わる漁民の採卵、放流、産卵地の造成などの懸命の努力にもかかわらず、湖の人為的な自然環境破壊に伴って年々漁獲量が減少するという結果を招来し続けてきました。こうした現状より見れば漁業全般より考えて唯一の救いは今のところ網生簀養魚であって、これより他に適当な施策は見当たらないようです。したがって諏訪湖の真の天然漁業は一部に限られ、天然育成魚の放流事業も含めると網生簀養魚などのように人工栽培漁業と化していることはいなめません。また、この網生簀漁業それ自体には、湖外より持ち込まれる多量の給餌があり、コイの排泄物や餌料中の窒素やリン、有機物質などによる水質及び湖底泥の汚染は相当なもので、例えば生簀魚1,000 t/年の水揚げ量には、乾量の餌料約1,500 t/年を5月から10月の約150日間に魚に与える必要があり、水揚げされたコイは生量で1,000 t/年しか湖外へ持ち出されるに過ぎないことから、その差量の莫大なことが認知されます。こうした事実は湖の人為的破壊の有力な原因の一つとされても

止むをえず、漁民は湖の富栄養化の被害者でありながら一方では加害者の一員であることも免れないという皮肉な結果となっています。

## 4. 過富栄養化の主原因

上述のように、諏訪湖の過度の富栄養化現象を生じた経緯の原因には、一つには流入河川の汚濁の進行、二つには湖泥栄養物質の生物生産への回帰、三つには近年に始まった網生簀養魚の給餌が挙げられましょう。以上の3つの原因の詳細を明らかにするために各項の問題について説明します。

### (1) 湖周辺地域の産業の発達経過

諏訪湖の周辺は石器時代より先住民が居住し、曾根遺跡を始めとして多くの遺跡が発見されています。山間に孤立した盆地であるにも拘らず、その後次第に大和民族が居住するようになって人口を増し、戦国時代には交通の要所、地方行政の中心としての地位を確立しています。

明治の初期までには都市を除いて湖周辺の平地は水田地帯でした。明治の中頃から岡谷地方を中心として近代日本の主要産業の一つであった製糸業（生糸）が発達し、大正年代には最盛期を迎えます。1920年（大正9年）に製糸工場数は250、繭を煮る釜の数は約40,000、工員数約48,000、生糸生産高は2,900 t/年に及んでいます。諏訪湖周辺に製糸業が発達した理由として、天竜川及び諏訪湖に流入する河川流を繰糸動力の水車に利用できたこと、弱アルカリ性の諏訪湖の水質が製糸に適していたこと、冷涼乾燥の気候が繭の貯蔵をたやすくしたことなどが挙げられます。湖水は製糸用水として利用されましたが、同時にまた湖水には大量の繭の煮汁その他の有機排水が捨てられることになり、これが湖水大量汚染の嚆矢となりました。

製糸業はその後、生産過剰と国外の需要減で不況に陥り、さらに太平

洋戦争で輸出先を失うにいたって没落し、これら工場群は軍需工場に転換しました。戦後はこれら疎開工場を基盤として、カメラ・レンズ・オルゴール・時計などの精密工業が発展しはじめ、これらの工場が関連する多数の企業とともに、シアンや重金属を含む多量のメッキ排水を諏訪湖に流し込むことになりました。一方、昭和恐慌のあと、一部製糸業者は多数の工員の栄養源として自家製造していた味噌を本業として作るようになり、大小50以上の工場数と、それらの経営規模が大きくなるにつれて大豆の煮汁を主成分とする有機排水がますます大量に湖に捨てられるようになりました。食品工業の有機排水としては、その他に凍り豆腐の製造や冬季の寒天製造などによるものがあります。

産業構造の変革につれて、湖周辺の4市町（諏訪市、岡谷市、茅野市、下諏訪町）の定住人口は、1913年の約10万人から18万人（1970）に増加しました。加えて上諏訪温泉・下諏訪温泉と背後地に蓼科・霧ヶ峰の両高原をひかえた観光地の諏訪湖周辺への旅行者数は、近年の観光ブームに乗って急増し、両温泉だけでも年間に100万人（1970）に達しています。これだけの人が住み、また観光人口の多い諏訪湖周辺の都市には、1978年の下水道の一部稼働に至るまでは下水道設備は全くありませんでした。家庭雑排水も工場排水も流入河川へ垂れ流し、諏訪湖へ直結でした。湖畔に設置された処理場のし尿処理水も、30軒以上の旅館の浄化槽の排水も湖に放流されてきました。一部住民の言葉を借りると、諏訪市と茅野市の共同で設置されたし尿処理場が稼働を開始した1960年代から湖の「アオコ」が増え始めたといえます。市では処理場の設置とともに市条例でし尿の水田や畑への散布を禁じたのですが、処理場では二次処理（酸化有機物の除去）までしか行っていなかったために、三次処理で除去される無機物（栄養塩となる窒素、リン）はそのまま湖へ放流されることになっていました。すなわち、市条例の発動以前は、人間の排泄物は畑、水田に散布され、稲、野菜等の肥料となり、含有窒素、リンは湖に入ることなく循環しており、一方肥料を欠いた農家は他から金肥を

仕入れて農地に施肥し、過剰の肥料分は湖に入ることになるため、それだけ富栄養化が進んだというわけです。ことに観光シーズンたけなわの夏季は、処理場は定住人口分のみの処理能力しかないため、旅行客の分の処理できないし尿は無処理のまま湖内へ処分せざるを得なかったのは止むを得ないことです。

すなわち、諏訪湖周辺の住民は、諏訪湖汚濁の被害者であるとともに加害者でもあるわけで、諏訪湖は一貫して汚水の沈澱池と酸化池の運命を担ってきたのであります。また近年に始まった漁業における網生簀の給餌も重大な汚染につながることは明白で、1970年当時に流入する全窒素量が3,266kg/日、全リン量が237kg/日に対し、網生簀餌料(5~10月の150日間)の全窒素は $\frac{1}{6}$ の550kg、全リンは $\frac{1}{2}$ の129kg/日を占めるからです。

自然と文化財の保護にことのほか熱心であるこの地域の住民も、湖の浄化対策の施行に関しては著しく立ち遅れ、諏訪湖をここに至るまで放置してきたのは、水に流せばすむという意識を出なかったためか、あるいは周辺の豊富な水資源にあまりに恵まれすぎていて、湖水を上水道源にも、工業用水にも利用する必要がなかったためでしょうか。

## (2) 流入河川汚濁の経年変化と湖の汚染

表16に1940年代から1970年代以前までの代表的な流入河川の無機窒素と無機リンの含量を示します。上川のように最大流入量をもつ川も上流の茅野市の発展に伴って、1940年代に比べ近年では窒素は約10倍、リンは約5倍と濃度は高まり、都市下水や工場排水を入れる衣之渡川や古川(下諏訪町)も異常な濃度の増大ぶりを示し、各河川の水質が急速に変わったことが分かります。とくにリンの急増はビルダーとしてリン酸塩が使われる中性洗剤の使用量の増大とも関係がありましょう。湖への流入河川の汚濁が急激に進んだとされる1960年代から1970年代の初期の状態を、付着生物相、底生生物相、バクテリア数を指標とした生物学的水

質判定結果で示すと表17 (倉沢・他1973) のようになります。これによると、1960~1963年の頃の各河川汚濁の進捗は緩やかですが、1966年以降1963年には砥川・横河川及び大堀川の3本あったos(貧腐水性で飲用できる程度)河川が1968年には皆無となり、これら河川はほとんど $\beta$ ms( $\beta$ -中腐水性で洗濯の可能な程度)に変わり、その他の河川はすべて $\beta$ msかps(強腐水性でミズワタのある程度)の範囲に入る汚濁河川になりました。

表16 諏訪湖の代表的流入河川の夏季の栄養塩濃度(ppm)の最近40年間の変遷

	年	NH <sub>4</sub> -N	(NO <sub>2</sub> + NO <sub>3</sub> ) -N	PO <sub>4</sub> -P	外見的水質
上川 (六斗川)	1949	0	0.015	0.005	農業用水
	1963	0.019	0.061	0.006	
	1969	0.05	0.780	0.030	
	1977	1.240	1.522	0.028	
衣之渡川	1949	0.600	0.030	0.080	都市下水、 温泉排水、 みそ工場排 水を含む
	1963	—	—	—	
	1969	0.310	0.150	0.220	
	1977	1.590	2.204	2.207	
古川 (下諏訪)	1949	0.10	0.020	0.040	都市下水、 メッキ工場 排水を含む
	1963	0.020	0.267	0.291	
	1969	0.080	0.910	0.170	
	1977	0.404	2.082	0.185	

表17 各生物群集別水質判定の総合結果による流入河川汚濁の経年変化

河川名 月年	承知川	古川	砥水川	清河川	横河川	五味沢川	塚間川	大堀川	新高田川	武井田川	鳴池川	宮渡川	舟斗川	六斗川	島崎川	中門川	衣之渡川	柳並川	千本木川	天竜川	
4 '60	⊙	—	⊙	—	—	—	●	○	—	—	⊙	⊙	⊙	—	⊙	—	—	⊙	●	—	⊗
8 '63	⊗	⊙	○	⊗	○	⊙	●	○	⊙	⊙	⊗	—	⊙	⊙	⊗	⊗	—	⊙	●	⊙	⊗
10 '66	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	●	○	⊙	⊙	—	⊙	—	⊗	⊙	—	—	⊙	●	—	⊙
7 '67	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	—	●	⊙	⊙	—	—	⊙	—	⊙	—	—	—	⊙	●	—	⊙
10 '67	⊙	⊙	⊗	⊙	⊙	⊙	●	⊗	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	●	⊙	⊙
4 '68	⊙	●	⊙	⊙	⊗	●	●	⊙	⊙	—	—	⊙	—	⊙	—	—	—	⊙	●	—	⊙
8 '68	⊙	●	⊗	⊙	⊗	—	●	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	●	●	⊙
7 '72	⊙	●	⊙	⊙	⊙	—	●	⊙	⊙	—	⊙	⊙	—	⊙	—	—	⊙	●	⊙	—	⊙
10 '72	⊙	●	⊙	⊙	⊙	—	●	⊙	⊙	—	—	⊙	—	⊙	—	—	⊙	●	⊙	—	⊙
11 '72	⊙	●	⊙	⊙	⊙	—	●	⊙	⊙	—	⊙	—	⊙	—	⊙	—	⊙	●	●	—	⊙
流量 全流入量 %	1.07	14.34	0.61	3.84	0.10	0.69	17.04	35.02	2.49	0.20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	2.49	3.57	3.64	0.07	0.09	1.03	9.63	0.47	1.41	0.47	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

○…os ⊙…os~ $\beta$ ms ⊗… $\beta$ ms ⊙… $\beta$ ms~ $\alpha$ ms ⊙… $\alpha$ ms ⊙… $\alpha$ ms~ps ●…ps

そして1972年の7月には大部分の河川が  $\alpha$ ms ~ ps の高い汚濁水質を示すに至り、砥川と横河川のみが  $\beta$ ms 河川として残されました。

各河川により諏訪湖へ注がれる流入水量は、洪水時以外は年間を通じて10~15 t/秒の範囲ですが、河川別に求めた全流入量に対する割合は表17の下欄に示すとおりです。流入量の多いのは六斗川(上川)が最大で35%、宮川17%、砥川が14%、舟渡川が9%で、他の河川はそれ以下です。今、生物学的水質階級別に各河川の流入量を合計して、その経年変化を見ると表18のとおりです。すなわち、1960年には、osの水量は全量の40%、msは51%、psは8%であったものが、1966年にはosは急減して約8%、msは急増して84%を占め、1972年にはosは0%、msは60~

表18 諏訪湖流入河川の汚濁化に伴う汚濁水流入量(%)の経年変化

月 年	生物学的水質階級			
	ps	$\alpha$ ms	$\beta$ ms	os
4 '60	8.6	6.7	45.3	39.4
8 '63	8.8	8.9	53.8	28.5
10 '66	8.6	29.3	54.4	7.7
7 '67	8.7	61.9	21.8	7.6
10 '67	10.9	63.6	25.2	0.3
4 '68	14.1	42.5	36.2	7.2
8 '68	14.1	70.3	15.6	0
7 '72	30.8	68.9	0.3	0
10 '72	22.8	69.7	7.5	0
11 '72	23.2	60.8	16.0	0

70%、psは23~31%にまで達する程汚濁したことになり、10余年間の流入水の急変がいかにかを物語っています。

流入河川と湖(流出直後の天竜川)の汚濁経過の関連をみると、流入河川のos水量が約30%、 $\beta$ msが約50%を占める1960~1963年の間は湖の水質は $\beta$ msであるが、os水量が10%を割り $\alpha$ ms水量が30%以上に増える1966~1968年間には湖は $\beta$ ms~ $\alpha$ msの水質と

表19 全流入河川から諏訪湖へ入る1日のBOD負荷量(1966)

	BOD負荷重(kg)	%
工場排水	5,028	54
家庭下水	2,560	28
家畜ふん尿	1,000	11
し尿処理水	470	5
温泉下水	100	1
と殺場排水	100	1

(長野県諏訪湖浄化対策委員会資料による)



なり、os 水が 0%、ams 水が 60% を越え、ps 水が 20% 以上に達する 1972 年には湖の水質は ams を示すようになりました。これは最大流入水量を示す水質階級が出現した年より 1~2 年遅れて湖がそれと同階級の水質となることを示しており、湖の汚濁の進行が河川の汚染物質の量によって支配されていることを示唆しています。栄養塩や有機物を含むこのような汚濁流入水の著しい増加は、諏訪湖の富栄養化をさらに加速する一大要因であることは明白です。

流入水の有機汚濁の指標として河川から湖に入る 1 日の BOD 負荷量を表 19 に示しました。長野県諏訪湖浄化対策研究委員会 (1968) が行った推計によると、諏訪湖のもっとも汚染進度が急速であった頃の 1966 年当時では、し尿処理水を含めた家庭雑排水と工場排水の比は 3 : 5 であり、この数字は諏訪湖汚染の主役が工場群だけとは言い切れないことを如実に示すものです。

さて、貧栄養湖から中栄養型の湖を経てやがて富栄養湖となるのは、調和型湖沼のたどる正常な自然系列ですが、これにはかなりの長年月を要するものであります。しかし、日本の現状では地理的にか、または余程の立地条件にでも恵まれない限り、湖沼の富栄養化は人類の生活の影響を直接間接に受けてきわめて急速に進まざるをえない状況にあります。こうした富栄養化促進の条件を、湖に入る栄養塩類で表わしたのが表 20

です。これは湖を富栄養化させないための、湖の平均深度と窒素とリンの流入に対しての許容負荷量と危険負荷量を提示しています。

諏訪湖の場合 1970 年代の初期のリンの負荷量は  $3.5 \text{ g/m}^2/\text{年}$ 、無機態窒素では  $43.9 \text{ g/m}^2/\text{年}$  であるが、

表 20 湖を富栄養化させないための許容負荷量と危険負荷量 (OECD 報告 1966)

平均深度	許容負荷重 ( $\text{g/m}^2/\text{年}$ )		危険負荷量 ( $\text{g/m}^2/\text{年}$ )	
	窒素	リン	窒素	リン
m				
5	1.0	0.07	2.0	0.13
10	1.5	0.10	3.0	0.20
50	4.0	0.25	8.0	0.50
100	6.0	0.40	12.0	0.80
150	7.5	0.50	15.0	1.00
200	9.0	0.60	18.0	1.20

諏訪湖の平均深度を5 m(実際は4.5 m) とすると、表20の値に対しリンでは約50倍、窒素では44倍も許容負荷量を上回ってきます。これでは諏訪湖がここ20年間に目に見えて汚れがひどくなったのは当然のこととしか言えません(倉沢・沖野1982)。

また、近年の諏訪湖における微生物の酸素消費量は、ほとんど一年中基礎生産の酸素量を上回っており、夏では1.5倍にまでになります。前述のごとく近年の年間の有機物生産は1949年の約2倍であるのに対し、呼吸量では約3倍を示しますが、これらは流入河川からの多量の有機物供給に原因するものです(倉沢・沖野1982)。周知のように、川にせよ湖にせよ、その自浄能力には限界がありますから、有機汚水を流し続ければ、遠からず湖内の酸素は分解者による有機物分解のために消費し尽くされ、“死の湖”と化すことは明らかです。

かくして、諏訪湖の富栄養化は著しく進み、湖の利用価値はいかに変動したかの一端を知るために、表21を作成したので参照して下さい(倉沢・山岸1971)。

表21 諏訪湖の富栄養化による利用価値の増減

利 用 目 的	価値の増減	理 由
住民生活	上水道源として	- 水質汚濁 植物プランクトン過多
観光および リクリエー ション	自然景観として	- 水質汚濁・植物プランクトン大発生による透明度低下と異臭の発生
	水泳場として	- 同 上
	釣 り	+ ワカサギ増加
水 産 業	ワカサギ漁	+ 輪虫類などの稚魚餌料とユスリカなどの成魚餌料の増加
	シジミ・エビおよび冷水性魚漁	- 水質汚濁による底層水の溶存酸素の減少
	網イケス養鯉	+ 植物プランクトンの増加による表層水の酸素供給の増大
工 業	用水として	- 利用不可ではないが夏季の植物プランクトンの分離が厄介



## 5. 諏訪湖の浄化対策と問題点

諏訪湖の汚濁に対する浄化のためにとられた公的な対策と実施されたものは次の三つで、それぞれについて問題点とその効果を以下に述べます。

### (1) 水質汚濁の環境基準の設定

上述のように多量の汚水流入状況よりみて、諏訪湖を巨大なドブ池にしないためには、当然のことながら汚水の流入を規制するしかありません。諏訪湖については1973年から環境基準（湖沼）類型Aが設定され、長野県による上乘せ排水基準の設定・施行となりました。これによって流入有機物負荷も重金属汚染も軽減しています。長野県の調査によると魚貝類中の重金属濃度の減少に現われ、1969年を頂点として亜鉛・銅・鉛はともに減少傾向で、1975年以降は亜鉛 20ppm・銅 0.6ppm・鉛 0.1ppm 以下・カドミウムは検出以下と1969年当時の値に比べすべて低い値となり、亜鉛を例にとると $\frac{1}{4}$ に減少しています。しかし、当時の排水基準は濃度規制であったので、水で稀釈して流せば違反にならないという抜け道がありましたから、諏訪湖のような半閉鎖性水域に対しては総量規制が絶対必要です。それ故、最近（1984）湖沼法で漸く総量規制が定められました。一方、諏訪湖浄化の最大の問題である「アオコ」発生の阻止（富栄養化防止）には、原因物質となっている窒素、リン、の規制が不可欠であることは、環境基準設定と同じく15年以上も前から確認されているにも拘らず、目的が十分に達成されていないというのが実情です（沖野1982）。

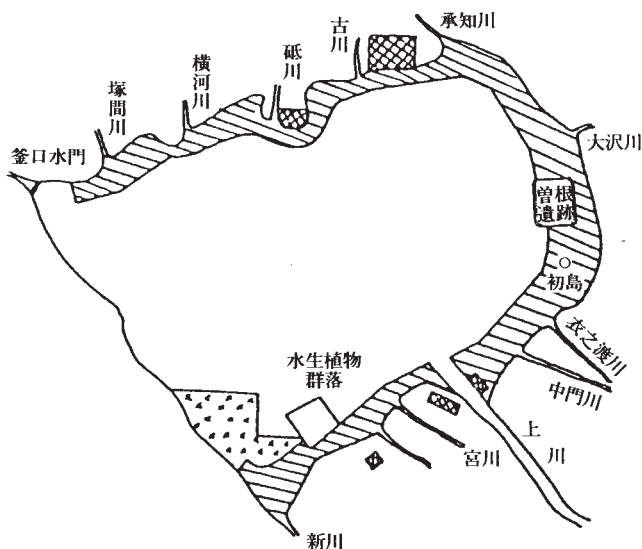
### (2) 沿岸帯の浚渫と大型水生植物の除去

湖底の腐泥を除去する湖の浄化を目的とした浚渫は、1969年から浚渫

船による大掛かりな作業が開始され、最早すでに第一期計画が完了して  
 いますが、水質浄化の効果は今のところ明確ではありません。汚水の流  
 れる市街地からの小河川の流入河口付近では、いわゆる「ヘドロ」が堆  
 積し、夏にはメタンガスを発生するような場所がありますが、こうした  
 腐泥は除去の対象になります。しかし湖底全域が「ヘドロ」であるとい  
 う認識は明らかに誤りです。

諏訪湖では1960年代には、湖沿岸部に生育する沈水性、浮葉性の大型  
 水生植物は、操舟をさまたげたり、ゴミなどがからんで観光上よろしく  
 ないとして、市職員や漁民の手により除草作業を積極的に行っていました。  
 そこへ上述の機械力を駆使しての湖全域にわたる沿岸部の浚渫作業  
 が行われるようになり、並行して浚渫土による埋立と築堤工事を施行し  
 て抽水植物をも埋める徹底した水草根絶作戦を始めたのであります。そ  
 の浚渫目標は、湖岸線の深度が2.5mに維持されるようにするという膨

大なものであり  
 ます(倉沢・他  
 1979)。この深度  
 では、諏訪湖で  
 は大型水草の生  
 育は阻止され、  
 湖内での二次汚  
 染が防止でき  
 るのです。それは、  
 大型水草が生育  
 を始める諏訪湖  
 の春季の透明度  
 が約1mである  
 ので、補償点深  
 度とされるその



- ▨ : 浚渫完了区(第1期浚渫S44~S55)
- ▩ : 浚渫進行区(第2期浚渫S56)
- ▤ : 浚渫土地用区域

図27 諏訪湖浚渫の概況 (長野県土木部、河川課資料)

2倍以上の深度があれば、光条件の制約で水草の生育限界深度となるからです。

1969年から1978年までの総浚渫面積は図27に示るように約3km<sup>2</sup>で、全面積の約23%に当たります。それは1972年当時の水草分布帯総面積約103haのほぼ3倍であり、浚渫土量は表22で見るとように総計130万m<sup>3</sup>と報告されています。埋め立てによる大型水生植物分布帯の侵食の有様は図28の埋め立て沿岸部により鮮明に表わされる。1950年代までは、諏訪湖には入江に発達した「エゴ」と呼ばれる水草の繁茂する大群落帯が何か所も存在していました。それらが、横河川と砥川のデルタ突出部の入江のエゴは1966年間までに、下諏訪の「高浜のエゴ」は1972年までに、最大面積を持っていた「渋のエゴ」は1976年までに、最後まで残された「泉沢のエゴ」も1978年までに次々に埋め立てられ、

現在は豊田地先（葭鼻）沖の「渋のエゴ」の一部が原生のまま残されているのみです。「渋のエゴ」の広大な埋立地には、皮肉にも湖水浄化を目的とした下水道終末処理場が建設され、湖周辺の埋立地は広い路幅をもつ湖周環道路が通じるようになってきました。したがっ

表22 1969年以後の諏訪湖の浚渫土砂量

年度	浚渫土砂量	
	年間浚渫土砂量 (m <sup>3</sup> /年)	積算土砂量 (m <sup>3</sup> )
1969	58,566	58,566
1970	120,136	178,702
1971	203,598	382,300
1972	213,423	595,723
1973	150,204	545,927
1974	133,825	879,752
1975	113,800	993,522
1976	114,740	1,108,292
1977	103,570	1,211,862
1978	88,500	1,300,362

(長野県諏訪建設事務所資料による)

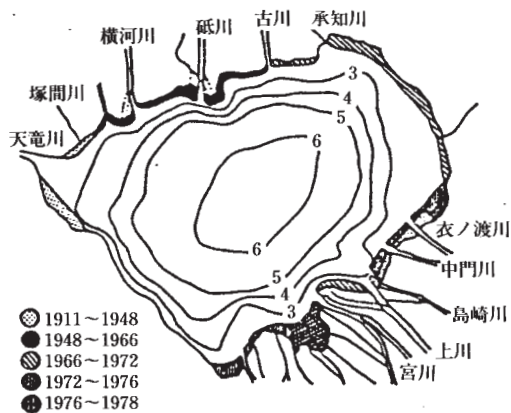


図28 諏訪湖の形態の現状と埋立年度

て現在見られる諏訪湖は、コンクリート製護岸壁に囲まれた大きな池の中に、沈水性、浮葉性の植物群落がときとしてわずかに散在するといった天然湖としては異常な景観を呈しています。

大型水草は河川を經由して湖内へ流入した栄養塩を吸収して、光合成により植物体を形成します。これは湖内に新たに有機物を供給する二次汚染につながり、湖周辺からの有機物負荷と同様の汚染の原因の一つとなるという見地から、浚渫がなされたのです。しかし、この見解はあまりにも一方的な解釈であり、明らかに誤解です。底泥の浚渫は蓄積した有機物や重金属を除くには有効ですが、同時に大型水草も除去することになるので、競争関係にある植物プランクトンの大発生を助長する結果を生む可能性があります。かつて、松本城の濠は一面に大型水草が繁茂しており、草魚を放流して水草の根絶に成功しましたが、その直後から、処理をするのに厄介な植物プランクトンの大発生に手をやいているという実例があります(倉沢・他1978)。こうしてみると、沈水性、浮葉性の植物は栄養塩吸収のために逆に利用すべきではないでしょうか。水生植物帯の湖沼生態系における重要性を量的に問題視できるほどには実情は知られていません。しかし、天然の湖沼であれば、湖内生物が自然繁殖し、種を維持していく生活の場が確保されることが絶対に必要なはずで、近年ようやく見直され始めた「水辺環境」の保護保全のために、湖の回復に役立つような計画の練り直しが期待される所以です。

### (3) 下水道の建設

浄化対策として最も直接的な効果が期待できるのは下水道の設置です。諏訪湖では1971年より始められた流域下水道が1979年からようやく一部が稼動を開始し、本年(1988)で8年目を迎えます。しかし、問題点として環境基準とも関連して最も重要な窒素とリンの除去については明確な対応策や決定が見送られていることと、何年後かに下水道が完成しても湖の浄化がそれほど期待できないことです。では、どの程度の効果が

期待できるのか、多くの知見をもとにシミュレーションを行った結果は図29のようです(沖野1982)。

下水道が完成して計画通り汚水が終末処理場に收容され、全窒素、全

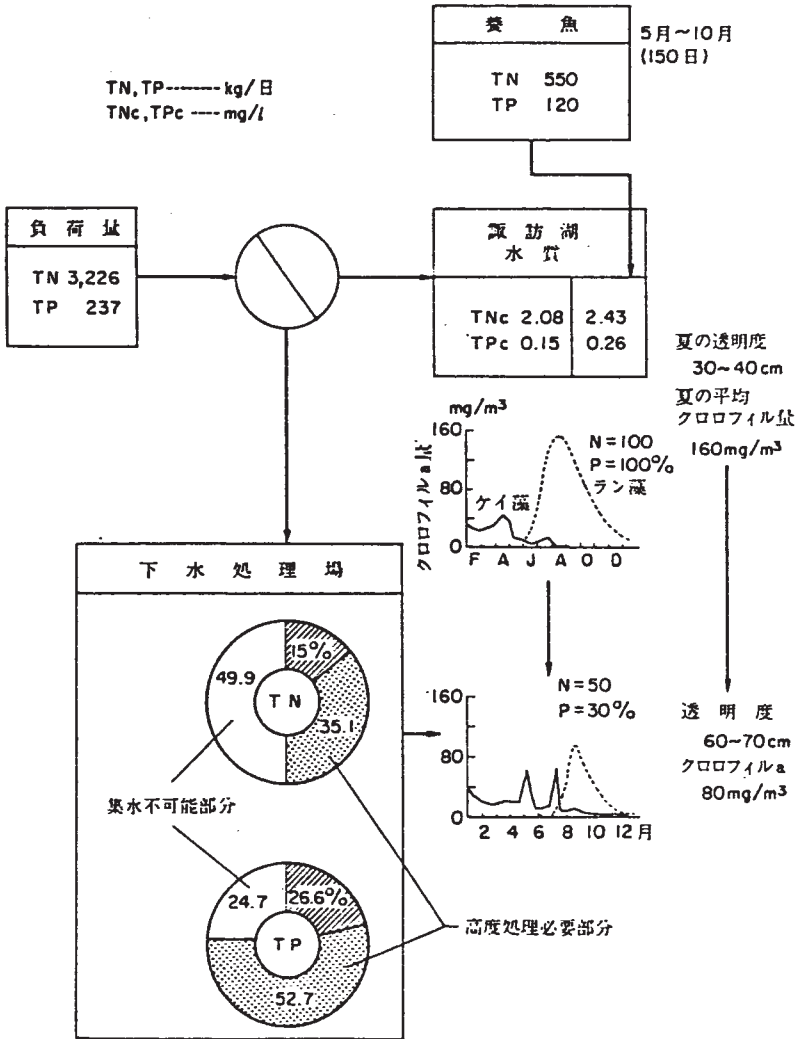


図29 諏訪湖への全窒素(TN)、全りん(TP)の負荷量と下水道完成による削減可能量及び完成時に期待される湖内の状況の変化(長野県、1979より作成)

リンの除去が行われたとすれば、現在湖に流入している全窒素の50%、全リンの75%が除去できる計算です。そうなれば、諏訪湖内で発生する「アオコ」の量は、最大の夏で、1977年当時 (160mgChl.a/m<sup>2</sup>) の半分位 (80mgChl.a/m<sup>2</sup>) となり、透明度は30~40cmから60~70cmになり、CODは最大で5.7ppm、SS 20ppm となることが予測されました。しかし、諏訪湖の環境基準はA類型でCOD 3 ppm が上限でありますから、上記予測は下水道が完成しても夏には環境基準を達成しえず、依然として「アオコ」の発生が認められるという評価になるので、「アオコ」発生を抑制することを目標とするならば、下水道以外の対策をさらに加える必要があることとなります。

流域下水道完成時の処理量は日平均で280,000m<sup>3</sup> ですが、現在 (1983) の公共下水量は約35,000m<sup>3</sup>/日 を処理しています。こうした状態の湖内の状況を見ると表23のようであります。この表は流域下水道供用開始直

表23 諏訪湖の現況(沖野1985)

		1977年	1981年	1982年	1983年	単 位
底層水温	最 高 水 温	23.8	22.1	20.0	19.9	℃
	20℃以上の期間	$\frac{7}{15} \sim \frac{2}{20}$	$\frac{7}{31} \sim \frac{8}{23}$	$\frac{7}{1} \sim \frac{7}{12}$	—	
月 平 均 日 射 量	6 月	394	363	406	450	cal·cm <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup>
	7 月	456	442	350	373	
月間雨量	6 月	195	149	172	105	mm
	7 月	222	371	207	258	
透 明 度*	最 高	154	195	165	240	cm
	最 低	30	51	30	30	
	7月~8月の平均	38	71	57	86	
C O D**	最 高 値	9.51	6.43	6.67	6.75	ppm
	環境基準達成率	7	28	27	50	%
クロロフィル量の最高		1,150	490	750	750	mg·m <sup>-2</sup>
年 間 総 生 産 量		756	576	629	590	cg·m <sup>-2</sup>
年 間 総 無 機 化 量		642	559	541	492	

\*透明度の平均値は10日間隔の定期観測日の測定値より算出されている。

\*\* COD値は1 m間隔で採水された試水(計7サンプル)の平均値である。

\*\*\*昭和54年秋に下水道一部供用開始。

前（1977）と供用開始後（1981年以後の3年間）を、気象条件については「アオコ」の発生に関係の深い底層水温、日射量及び雨量を対比し、時期的には重要な6月と7月について示しました。「アオコ」の発生量は底層水温が20℃を越えるような年には多くなる傾向が確かめられています。表中4か年のうち、1983年はその点で「アオコ」の発生が気象的制約を受けやすいわけですが、結果的に底層水温が20℃を越えている1982年の植物プランクトンの発生量とあまり変わりません。

透明度に付いてみると、最大値が供用開始前より大きくなりつつあります。「アオコ」の発生時期の7～8月にかけて、10日間隔の観測結果の透明度の平均値で比べると、供用前の38cmに対して供用後は57～86cmと高くなっています。植物プランクトン量も、クロロフィルa量にして供用前の最大値が1,150mg/m<sup>3</sup>に対して供用後は490～750mg/m<sup>3</sup>と低下し、年間の総生産量も前の756gC/m<sup>3</sup>/年から後の576～629gC/m<sup>3</sup>/年へと18～20%の減少となっています。

前述の諏訪湖の環境基準のCODの値3ppmと比べると、10日間隔に測定した値の達成率は供用前の1977年7%できわめて低いが、供用後の1981年、1982年はそれぞれ28%、27%であり、1983年にも50%にも達していますが、1983年は台風の影響があったと思われ、単純に比較することはできません。しかし、上記測定項目の分析結果は湖内で何らかの変化が進行している兆候を暗示させることは事実です。

次に植物プランクトン発生量に直接関係のある窒素、リンの湖中の濃度を下水道供用前（1977）と供用後（1983）で比較した結果を表24に示しました。各測定値は10日間隔の観測で水深方向7層の平均水質です。全リンは年平均で、供用前の0.157mg/lから供用後の0.088mg/lと44.1%減少し、その濃度別頻度は0.051～0.100mg/lを最大として前と後では低濃度の方へ供用後の頻度は移行しています。全窒素は年間平均濃度にして14～19%の減少で全リンに比較すると小さいが、濃度別頻度の低濃度への移行傾向は同様です。クロロフィルa量は年間平均値では48.5%

表24 諏訪湖における流域下水道供用開始前後の水質と植物プランクトンの発生量の比較。

各年ともに10日間隔の測定値をもとにして、各測定値は湖心で得られた平均水質を使用している。下段は下水道供用開始前後での年間平均水質の相対比を示している(沖野1985)。

全リン ( $\text{mgP}\cdot\text{l}^{-1}$ )	年間の濃度別頻度(%)		全窒素 ( $\text{mgN}\cdot\text{l}^{-1}$ )	年間の濃度別頻度(%)		クロロフィルa量 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$	年間の濃度別頻度(%)	
	1977	1983		1977~1978	1983		1977	1983
~0.050	0.0	12.8	~0.50	0.0	0.0	~ 200	23.3	43.8
0.051~0.100	32.1	66.7	0.51~1.00	10.5	16.0	201~ 400	23.3	40.6
0.101~0.150	25.0	12.8	1.01~1.50	47.4	60.0	401~ 600	20.0	12.5
0.151~0.200	7.1	5.1	1.51~2.00	31.6	24.0	601~ 800	26.7	3.1
0.201~0.250	14.3	2.6	2.01~2.50	10.5	0.0	801~1,000	0.0	0.0
0.251~0.300	14.3	0.0	2.51~3.00	0.0	0.0	1,000~	6.7	0.0
0.301~	7.1	0.0	3.01~	0.0	0.0			
年平均値 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$	0.157	0.088	年平均値 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$	1.52~1.61	1.31	年平均値 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-1}$	684	353
1983/1977(%)	55.9		1983/1977(%) 1983/1978	81.4	86.2	1983/1977(%)	51.5	

の減少で、濃度別頻度の低濃度への移行がリンや窒素と同様に明らかです。この植物プランクトンを表わすクロロフィルa量の減少は、全リンの低減量に見合うもので、諏訪湖の植物プランクトンの発生量がリンの量によって制御されていることを証拠づけています。すなわち、植物プランクトン量の最大となる夏にはリン酸態リンが植物に取り込まれて減少し、極めて微量になる事実から裏付けられます。

下水道の効果が湖内部の諸現象に明確に現われるにはほど遠い段階ですが、漁夫が湖中に張る刺網の位置が深くなったこと、下諏訪町民が行ったトンボのヤゴ調査の結果ヤゴ数が供用開始前より殖えていることなどがあり、湖畔に生活する住民の目に1982年頃から若干の浄化の兆しが見られるようになったのも事実であります。

以上のように、諏訪湖の浄化に対する下水道の役割は大きく評価されるでしょうが、しかし、こうした現状は一つの対策の結果ではなく、気象条件、網生養鯉の生産量の低減、洗剤の無リン化、住民の浄化意識の向上などが複合してはじめて相乗効果が一部浄化傾向となって現われてきたと見るべきです。気象条件では、1982年と1983年の台風による大



洪水は諏訪湖の浄化に極めて大きく作用しており、それもあって湖の水質が当初予想していたよりも早期に、量的に減少するという予想を上回る効果を示したものとも考えられます(沖野1985)。

かくして、上述したようにすでに80年を経過した産業の発達と開発に伴う諏訪湖の富栄養化と汚濁の実験的歴史は、いよいよ次の段階へ入ってきています。それは諏訪湖をこれ以上富栄養化させ“死の海”へと移行させないために、富栄養化の進行を人類の英知によって阻止し、湖の老化を逆に若返らせる各種の方策を、今こそ積極的に検討し実行することにあります。

## 引用文献

- 青山莞爾(1978)諏訪湖集水域生態系研究。2, 62~180。
- 福原晴夫・大高明史・磯部吉章(1980)諏訪湖集水域生態系研究。4, 30~33。
- 林 秀剛・沖野外輝夫・倉沢秀夫(1979)諏訪湖集水域生態系研究。3, 81~86。
- 宝月欣二・北沢右三・倉沢秀夫・白石芳一(1950)水産研究会報。3, 58~82。
- 磯部吉章(1980)諏訪湖集水域生態系研究。4, 51~68。
- JIBP-PF 諏訪湖生態系研究グループ(1969~1973)諏訪湖の生物群集の生産力に関する研究。1, 1~192。2, 1~173。3, 1~123。4, 1~101。5, 1~170。
- 久保博彦・沖野外輝夫・竹内勝巳(1981)諏訪湖集水域生態系研究。8, 111~119。
- 倉沢秀夫・手塚泰彦・青山莞爾(1962)水質汚濁研究。2, 133~143。
- 倉沢秀夫・青山莞爾(1964)水質汚濁研究。3, 38~49。
- 倉沢秀夫・青山莞爾(1969)陸水生物ならびに陸水群集の保護の方法に関する研究。3, 24~30。
- 倉沢秀夫・山岸 宏(1971)バイオテク。4, 261~268。
- 倉沢秀夫・山岸 宏(1971)地域開発。昭和46年2月号, 17~29。
- 倉沢秀夫・青山莞爾・磯部吉章(1973)陸水富栄養化の研究。2, 63~70。
- KURASAWA. H. & T. OKINO (1975) J. Fac. Sci. Shinshuu Univ. 10, 85~104。
- 倉沢秀夫・沖野外輝夫・加藤憲二・吉沢清晴(1978)諏訪湖臨湖実験所報告。2, 1~217。
- 倉沢秀夫・沖野外輝夫・林 秀剛(1979)諏訪湖集水域生態系研究。3, 7~26。
- 倉沢秀夫(1980)信州大学環境科学論集。2, 15~21。
- 倉沢秀夫(1980)諏訪湖臨湖実験所報告。3, 1~46。
- 倉沢秀夫・山本 長・沖野外輝夫・林 秀剛(1980)諏訪湖集水域生態系研究。4, 69~106。
- 倉沢秀夫(1980)水温の研究。25, 2~18。
- 倉沢秀夫(1980)信州大学環境科学論集。4, 9~13。
- 倉沢秀夫・山本雅道・沖野外輝夫(1981)信州大学環境科学論集。3, 1~6, 7~30。

倉沢秀夫・山本雅道・杉本剛士・青山莞爾・磯部吉章(1981)諏訪湖集水域生態系研究。7, 101~113。

倉沢秀夫・沖野外輝夫(1982)諏訪の自然誌「陸水編」。113~176。

倉沢秀夫・諏訪湖集水域研究班(1987)諏訪臨湖実験所報告。6, 1~132。

長野県水産指導所諏訪支所(1917~1978)諏訪湖漁獲統計資料。手書き。

中本信忠(1980)諏訪湖集水域生態系研究。4, 28~30。

名東 実(1978)諏訪湖集水域生態系研究。1, 13~22。

沖野外輝夫(1974)水温の研究。18, 2~9。

沖野外輝夫・林 秀剛(1978)水温の研究。22, 2~6。

沖野外輝夫(1981)遺伝。35, 2~18。

OKINO. T. (1982) Rep. Suwa Hydrobiol. St.。4, 1~8。

沖野外輝夫(1985)下水道協会誌。22, 71~81。

長野県土木部(1980)河川課資料。

SAKAMOTO. M., H. KURASAWA & T. OKINO (1975) JIBP Synthesis。10, 379~420。

SAWYER. C. N. (1947) J. N. E. Water Work Ass., 61, 109。

諏訪湖漁業協同組合(1949~1978)同組合事業報告書。

諏訪湖浄化対策研究委員会(1968)諏訪湖の浄化の関する研究。1~199。

諏訪湖集水域研究班(1978~1984)諏訪湖集水域生態系研究。1, 1~90。2, 1~200。3, 1~102。4, 1~155。5, 1~105。6, 1~120。7, 1~145。8, 1~130。9, 1~127。10, 1~139。

田中阿歌麿(1918)諏訪湖の研究。(上) 1~936。(下) 937~1667。岩波書店, 東京。

**倉沢 秀夫** (くらさわ ひでお)

大正8年生 辰野町出身 北大理学部卒  
元東邦大教授 元信大理学部長  
元信大附属諏訪臨湖実験所長  
現信大名誉教授

著書 『湖沼生物観察ハンドブック』  
『陸水生物群集生産力測定法』  
『諏訪の自然・陸水編』

---

**諏訪湖の富栄養化と生物群集の変遷**

---

昭和63年3月10日 発行  
平成3年3月31日 第2刷

企画	建設省中部地方建設局	長野県駒ヶ根市上穂南7-10
発行	天竜川上流工事事務所	〒399-41 ☎0265-82-3251
著者	倉 沢 秀 夫	長野県上伊那郡辰野町小野825 〒399-06 ☎0266-46-3176
編集	(有)北原技術事務所	長野県南安曇郡豊科町高家5279 〒399-82 ☎0263-72-6061
印刷	双葉印刷(有)	長野県松本市城東2-2-6 〒390 ☎0263-32-2263

---

## 「語りつぐ天竜川」の発刊にあたって

天竜川は独特の河川形態をもつ河川です。上流部は諏訪湖が洪水を調整して比較的穏やかな表情をしています。多雨域を後背地にもつ三峰川、小渋川、太田切川などの支川を合流するたびに、洪水とともに大量の土砂を受け入れて一気に急流土砂河川の様相を呈し、途中多くの狭窄部の間に氾濫原を形成してきています。

一方この氾濫原は伊那谷の穀倉地帯でもあり、地先の人々は出水の度に溢流する天竜川との間に涙ぐましい闘いを繰り返してきました。

この天竜川の氾濫を鎮め水を高度に利用するための地元の長い営為の後を受けて、昭和12年から砂防を、昭和22年から河川を国が直轄事業として取り組むようになり、それぞれ50年及び40年を経過しました。その間、地域の皆様から絶大なるご協力を賜り、以前と比べると天竜川の安全性は格段に向上いたしました。

しかし安心は出来ません。絶えず流域の変貌をみつめて、河川施設の整備運用や維持管理を図っていかねばなりません。

また、天竜川は地域の人々の情操のうえでも深い関わりがあり、独特の風土や文化を育ててまいりました。河川を危険なものとして遠ざけたり、水があるからといって過度に取水してしまってはなりません。治水利水について一応の成果をみた現在、地域にとって望ましい天竜川の姿を考え実現していくことがこれからの課題であると思います。

私たちは、天竜川流域の自然立地・生態及び人びととの係わりなどについてより深く理解するよう努め、より知恵のあるものに仕上げたいと考えるものであります。

「語りつぐ天竜川」は以上の趣旨に基づいて、天竜川の治水に関する地域の経験や知見を収集周知し広く地域共通の知識とすることにより、よりよい天竜川を築いていきたいと考え発行するものです。

なお、ご執筆いただいた方々には、自由な立場でお考えを披瀝していただいたため、建設省としての見解とはならない場合があることを付言いたします。

今後とも天竜川の治水について皆様のご指導ご鞭撻をお願いいたします。

建設省中部地方建設局天竜川上流工事事務所  
所長 清治 真人

## 「語りつぐ天竜川」 目録

- |                           |        |
|---------------------------|--------|
| 1. 伊那谷の気象                 | 米山啓一著  |
| 2. 天竜川上流域の立地と災害           | 北澤秋司著  |
| 3. 天竜川に於ける河川計画の歩み         | 鈴木徳行著  |
| 4. 総合治水の思想                | 上條宏之著  |
| 5. 総合治水と森林と               | 中野秀章著  |
| 6. 伊久間地先に於ける天竜川の変遷        | 松澤武著   |
| 7. 天竜峡で見た天竜川水位の変遷         | 今村真直著  |
| 8. 村境は不思議だ                | 平沢清人著  |
| 9. 諏訪湖の富栄養化と生物群集の変遷       | 倉沢秀夫著  |
| 10. 諏訪湖の御神渡り              | 米山啓一著  |
| 11. 理兵衛堤防                 | 下平元護著  |
| 12. 近世 天竜川の治水 —伊那郡松島村—    | 市川脩三著  |
| 13. 川筋の変遷 —天竜川と三峰川の場合—    | 唐沢和雄著  |
| 14. 伊那谷山岳部の降雨特性           | 宮崎敏孝著  |
| 15. 天竜川の橋                 | 日下部新一著 |
| 16. 伊東伝兵衛と伝兵衛五井           | 北原優美編  |
| 17. 天竜川の魚や虫たち             | 橋爪寿門著  |
| 18. 天竜川のホタル               | 勝野重美著  |
| 19. 天竜川流域の村々              | 松澤武著   |
| 20. 小波川水系に生きる —人と水と土と木と—  | 中村寿人著  |
| 21. ものがたり 理兵衛堤防           | 森岡忠一著  |
| 22. 量地指南に見る 江戸時代中期の測量術    | 吉澤孝和著  |
| 23. 土木技術と生物工学 —生きものを扱う技術— | 亀山章著   |
| 24. 戦国時代の天竜川              | 笹本正治著  |
| 25. 天竜川の水運                | 日下部新一著 |
| 26. 惣兵衛川除                 | 市村咸人著  |
| 27. 紙芝居 開墾堤防 —下伊那郡豊丘村伴野—  | 竹村浪の人著 |
| 28. 昭和36年伊那谷大水害の気象        | 奥田穰著   |

(以上既刊)