

自然湖沼において水生植物の過繁茂を制御するための ソウギョの放流密度について

桜井善雄*

Yoshio SAKURAI* ; Density Management in Application of Grass Carp, *Ctenopharyngodon idella*, for Biological Control of Aquatic Weeds in Natural Lakes.

はじめに

長野県の野尻湖で、繁茂し過ぎた水生植物を制御するためソウギョ (*Ctenopharyngodon idella*) を導入したところ、その放流尾数が多過ぎたため、この湖の水生植物が、一部の抽水植物を除いて、ほぼ完全に消滅してしまった経緯については、すでに紹介した¹⁾。

わが国では近年、富栄養化の進行や帰化水草の侵入などによって、湖の沿岸帯に水生植物が大繁殖し、水質、舟行、漁労などに障害を与える例が各地にみられ、それらのうちいくつかは、人力、機械力、あるいはソウギョの放流などによって、水草の防除を行っている。

このような対策のうち、ソウギョの放流による生物的防除は、一見合理的にみえるが、他の対策と異なり、その水域の生物群集の中に、それまで存在しなかった、水生高等植物を摂食する強力な一次消費者を導入することを意味するので、もしその放流量が水生植物の生産量に比較して過大であれば、沿岸帯の植物群落を著しく減少させるかあるいは潰滅させ、湖の栄養関係を変化させるばかりでなく、沿岸帯をすみ場とする生物の生息場所を奪うことにより、その湖の漁獲や野生生物に、大きな影響を与えることになる。

この報文では、野尻湖におけるソウギョ放流前後の魚種別の漁獲量の変化を述べたのち、湖の水生植物を消滅させることなくその過剰繁茂を制御するためのソウギョの適当な放流密度について考察する。

本稿を草するに当たって、文献のご教示や貴重なご意見をいただいた元信州大学教授中村一雄博士、水産庁東海区水産研究所陸水部牟田邦甫主任研究官、ならびに韓国釜山水産大学教授金仁培博士に、深く謝意を表する次第である。

1. 野尻湖におけるソウギョの放流と 漁獲量の変化

野尻湖におけるソウギョの導入とその後の経過は、大

要次のとおりである。

1978年夏まで；沿岸帯に沈水および浮葉植物が大量に繁殖し、すでに述べたようなさまざまな障害が発生したため、地元関係者により防除対策が検討される。

1978年11月；ソウギョの稚魚（体長約5 cm）5000尾を放流。

1979年8月；湖の西岸の棧橋付近において、クロモ、イバラモ、ヒルムシロなどがかなり高密度に繁茂している状況を観察。

1980年7月下旬；西岸棧橋付近に、ヒルムシロ、コカナダモが優占し、その他クロモ、ホザキノフサモ、セキショウモ、イトモを確認（角野²⁾による）。

1981年；抽水植物を除いて、水生植物はほぼ完全に消滅する。エビの漁獲量が激減する。

1982年8月；沈水・浮葉植物を全く発見せず。

1983年；エビ、クチボソの漁獲量ほとんど皆無となる。

1984年8月；沈水・浮葉植物を全く発見せず（水草研究会エクスカージョン）。本年より漁協はソウギョを捕獲して頭と尾を持参した者に、1尾当り500円の奨励金を出して、ソウギョの回収を進める。

図1は、長野県農政部の統計資料にもとづいて作成した、ソウギョ放流前後10年間の、野尻湖の漁獲量の推移である。この図からわかるように、野尻湖の主要魚種はワカサギであり、その漁獲量はソウギョの放流の前後で特に変化しているようにはみえない。ウグイの漁獲量も近年あまり変化がなく、コイの漁獲量はソウギョ放流後かえって増加している傾向がみられる。しかし、図にエビと表記されている漁獲量には、沿岸性の魚種であるクチボソ（ムギツク）も多少含まれているというが、これらの漁獲量は、ソウギョ放流の翌年にはいったん増加しているが、その後は年を追って激減し、1983年には漁獲皆無となっている。フナについても、ソウギョ放流前5カ年間の漁獲量に比べて、放流後

* 信州大学繊維学部応用生態学教室 (386, 上田市常田, 3-15-1)。

Laboratory of Applied Ecology, Fac. of Text. Sci. and Technol., Shinshu University, Ueda, 386, Japan.

は明らかに低下している。エビの漁獲量が1979年に増加したのは、水草の減少により捕獲が容易になり、それまでに増殖したストックが漁獲されたものと推定される。

除草の目的で溜池にソウギョを放養することによって、エビ類が減少することについては、中村^{3,4)}がすでに報告しているが、野尻湖においても、上記のように、ソウギョの過密放流による水草帯の潰滅は、エビ、ムギツク、フナ等、その生活史の中でこの水域を重要な生息場所とする水産生物資源を著しく減少させていることがわかる。これら生物のほか、沿岸水草帯を生活あるいは摂餌の場所とする水生昆虫、両生類、その他の動物種にも影響を与えていることが予想されるが、その面での調査はおこなわれていない。

II. 自然湖沼における水生植物制御のためのソウギョの適正放流密度の検討

人工的な温水溜池において、水生植物の制御のためにソウギョを利用する方法については、中村⁵⁾、中村^{3,4)}はか多くの研究があり、後に述べるように適当な放流密度も明らかにされている。溜池のような小さい人工池の場合には、一定期間の放養ののち池の水を完全に放流して、池内のすべての魚類を取り上げることも可能なので、ソウギョの個体数の調節は比較的容易であり、また正確に行うことができる。しかし大きな自然湖沼の場合には、いったん放流すれば完全に近い回収はほとんど不可能なばかりでなく、わが国では利根川下流水域を除き自然増殖は行われなるとはいえ、ソウギョの成長はきわめて旺盛で、食草量は年を追って急激に増加するので、その放流は過密度にならないよう、長期的予測に立って計画的に行わねばならない。

任意の湖沼において、水生植物群落を潰滅させることなくその過繁茂を制御するための、ソウギョの年齢別生息密度は、おおよそ次式によって求めることができよう。

$$N = \frac{A \cdot P \cdot \alpha}{C} \cdot \frac{1}{W} \quad (1)$$

ここで；

N： その湖におけるソウギョの年齢別放流（生息）尾数（尾/全湖）。

A： その湖の水生植物（主に沈水および浮葉植物）の植生面積（ha）。

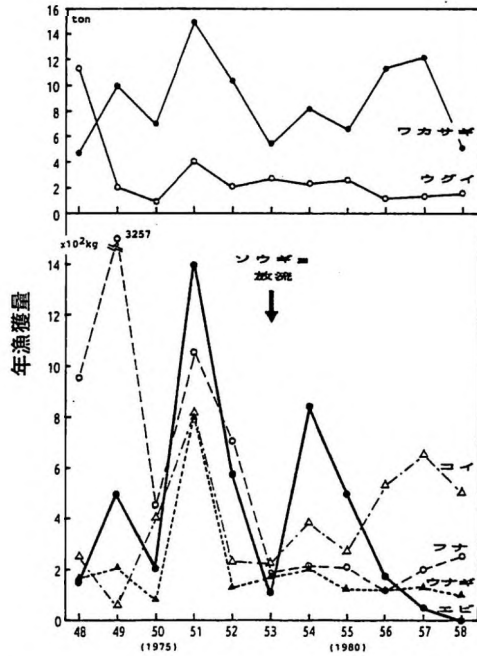


図1 ソウギョ放流前後における野尻湖の漁獲量の変化（長野県農政部の統計による）

- P： 水生植物の生産力または成長量（kg(生)/ha・日）。
- α： 水生植物の生産力に対して除去したい割合。
- C： ソウギョの単位体重当たり1日の食草量（kg(生)/kg(生)・日）。
- W： ソウギョの年齢別平均体重（kg(生)/尾）。

以下(1)式の各項の内容について検討する。

1) 湖の実際の植生面積 (A)

ソウギョは雑食性であるとはいえ、水生植物が存在する場合は、まずこれを優先的かつ大量に摂食するから、任意の湖における放流尾数を検討する場合に対象とする面積は、全湖面積ではなく、実際に水生植物群落が存在している面積でなければならない。

湖で水生植物が生育する沿岸帯の最大水深ならびにその面積は、湖水の透明度により左右される。しかし、水生植物の群落は沿岸帯の全域に発達するわけではなく、群落の成立はその場所の底質とその安定性、水の動き、その他未知の要因によって支配される。

湖沼の植物群落およびその面積の測定法については、別のところに述べたが⁶⁾、わが国の湖沼について、上記

表1. 本邦の自然湖沼における水生植物の植生面積と現存量の測定例

湖沼	調査年	A 沿岸帯の面積 (ha)	B 浮葉+沈水植物 群落面積 (ha)	B/A (%)	C 浮葉+沈水植物 現存量(生、トン)	C/B 単位植生面積当たり 現存量(生、トン/ha)	
諏訪湖	1966	(2.5m以浅)	83.5	27.2	1661	19.9	小泉・桜井・川島 ⁷⁾ 桜井・渡辺 ⁸⁾
	1972	360.9	38.8	12.5	711	18.3	
霞ヶ浦	1972	(2.0m以浅) 3020	779.5	25.8	3518	4.5	} 桜井 ⁹⁾
	1978		444.5	14.7	6138	13.8	
	1982		226.3	7.5	2371	10.5	
琵琶湖	1963, 64	(7.0m以浅) 11031.3	778.7*	7.1	37500	48.2	生嶋 ¹⁰⁾

注； * 植被率を100%に換算した値である

のような沿岸帯に占める水生植物群落の全面積および現存量を測定した報告は比較的わずかである。諏訪湖、霞ヶ浦(西浦)、および琵琶湖で行われた測定結果をまとめて表1に示した。

表1によれば、諏訪湖の1972年の水生植物群落の面積は1966年に比べて著しく減少しているが、沿岸浅瀬帯のしゅんせつがその原因である。1966年の測定値が、面積、現存量とも、この湖の水生植物について報告された最高値である。霞ヶ浦では、1972年以来、植生面積が急激に減少している。これはすでに筆者⁹⁾が報告したように、人為的富栄養化の進行による透明度の低下が主因と考えられる。一方、琵琶湖の沿岸帯に占める植生面積の割合は、上記の2つの湖に比べて著しく小さい。これは生嶋¹⁰⁾によれば、植被率を100%に換算した値であって、他の湖と表現方法が異なるので、表のB/Aはこれよりはるかに大きくなる筈である。同じ理由によって、琵琶湖の単位植生面積当り現存量は、他の2湖に比べて著しく大きい、これは上記とは逆に、実際にはもっと小さい筈である。

個々の湖でソウギョの放流が問題になる場合、放流尾数を決定する基礎となる水生植物の植生面積や現存量については、実測することが望ましいが、上記の測定例からみて、特別な人為的干渉がない場合、平地の湖では、植生面積は水草が発生する沿岸帯面積のおよそ15~25%、現存量は人為的制御が問題になるほど繁茂が進んだ段階では、さまざまな密度の群落を平均して、およそ10~20 t(生)/haとみて大過ないものと思われる。

2) 水生植物の生産力または成長量(P)

水草の過繁茂が問題になるような、わが国の中部以南の平地の湖では、水生植物の大部分の種の成長期間は、おおむね4月下旬~5月上旬に始まり8月中旬に終る約100日

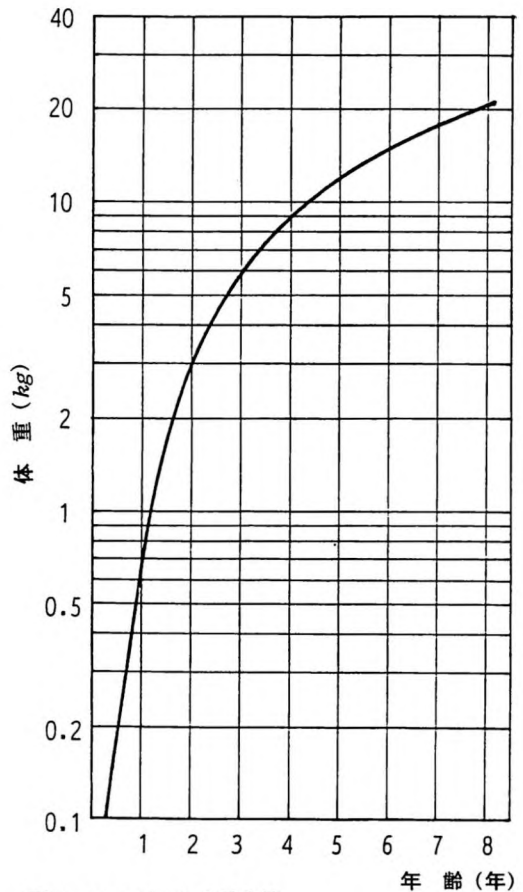


図2. ソウギョの成長曲線 (中村, 1957. にもとづき作成)

間とみる事ができる。上記の最大現存量がこの100日間に蓄積するとすれば、この間の平均生産力は100~200kg(生)/ha・日となる。ちなみにこの数値は、大まかに換算

して、 $0.8 \sim 1.6 \text{ g (有機物)}/\text{m}^2 \cdot \text{日}$ の純生産力に相当する。

3) ソウギョの単位体重当りの1日の食草量(C)

ソウギョがきわめて旺盛な食欲を示すことは有名で、中村⁴⁾の摂餌試験によれば、魚体重に対する1日の食草量(生)の割合(%)は、サンショウモ72.3、エビモ35.2、ヒシ20.5、ヨシ17.7、バイカモ12.5であり、陸生植物ではクローバー38.5、ヨモギ16.8、イタドリ4.1であったという。またVERGIN¹¹⁾(土屋¹²⁾による)はソウギョが好む水草の場合には、1日に自分の体重の1~1.5倍を、陸草でもふつう30~65%に当る量を摂食すると述べている。ここでは安全をみて、1日に体重と同量の水草を摂取するものとする。

4) ソウギョの成長と平均体重(W)

ソウギョは成長の速い魚として知られており、中村³⁾の記載にもとづいて、8年までの1尾当りの体重の変化(成長曲線)を画くと、図2のようになる。

ソウギョの水草摂食量を、1日当り魚体重と同量とす

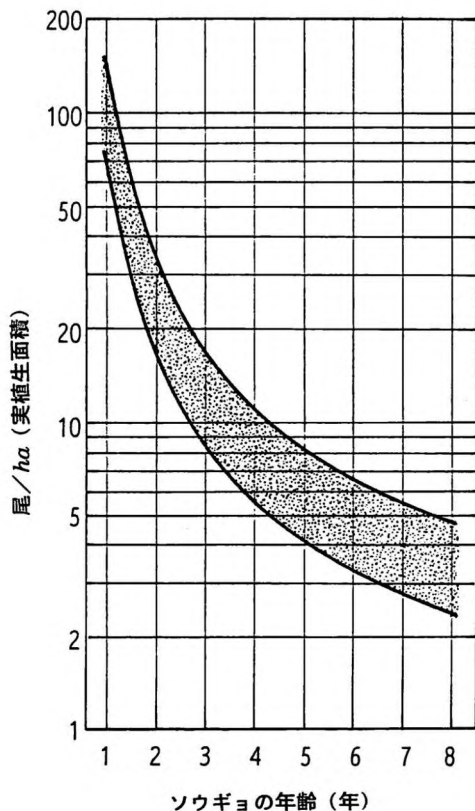


図3. 湖沼の実際の植生面積当りのソウギョの年齢別適正放流尾数の範囲

れば、図2の縦軸は、そのまま各年齢のソウギョの1日の食草量とみなすことができる。

5) 水生植物の生産量に対して除去する割合(α)

水草を過繁茂させずに、しかも根絶させることなく、湖の沿岸帯の環境を維持するのに、前項に述べたような水生植物の生産量の何パーセントを除去すればよいかということは、単に量的に考えて難かしい問題であるばかりでなく、水生植物の種子生産や栄養繁殖の様式、時期などを考慮に入れば、さらに複雑な問題となり、簡単に結論することができない。しかしここで躊躇すれば全く前進がないので、きわめて大胆に、質的な問題を考慮に入れないで、1日に水草の成長量(生産量)の約 $\frac{1}{2}$ をソウギョに摂食・除去させるという仮定で、考察をすすめることにする。

このようにして、湖の沿岸帯で、水草の過繁茂を抑えるためにソウギョに摂食させる量は、植生面積1ha当り50~100kg(生)/日となる。

6) ソウギョの適正放流密度

前項の最後の数値は、前述のように、そのまま必要とす

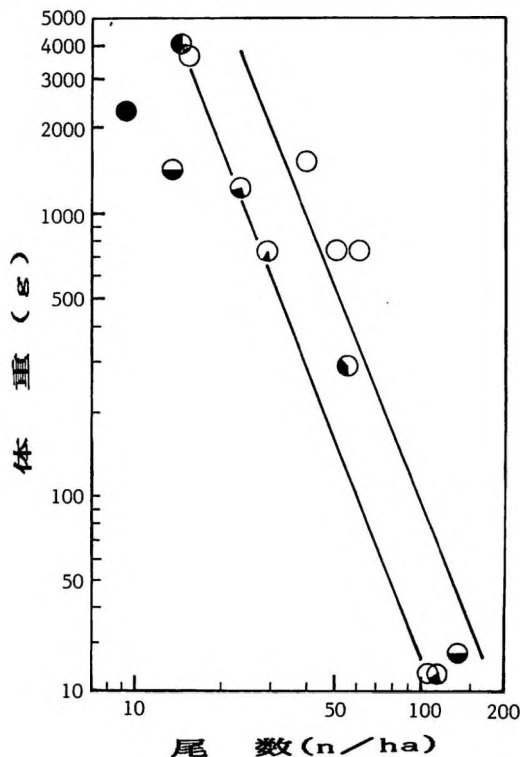


図4 ソウギョの放養量と除草との関係
 円の白い部分は水草の抑制された部分(%),
 黒い部分は水草の抑制されない部分(%),
 直線は除草に適当な範囲(中村、1960、による)

るソウギョの総重量とみることができる。したがってこれを各年齢別のソウギョの平均体重で除した値を、仮りに単位植生面積当りの適正放流尾数と呼ぶならば、それは図3のようになる。この尾数にその湖の植生面積を乗じたものが、その湖の適正放流尾数(式(1)のN)である。

中村⁴⁾は上田市塩田の溜池において、ソウギョの大きさと放流密度と除草効果に関する試験結果を図4のようにまとめて報告している。これと図3を比較すると、図3の放流密度は図4に示された“除草に適当な範囲”のほぼ上限に相当することになる。しかし上記の試験に供された溜池の多くは、湖沼学という沖帯を持たない小さな水体であるが、ここで問題にしている自然湖沼は、沿岸帯面積に比べてはるかに広大な沖帯水域を持っているので、雑食性であるソウギョの水生植物への影響は、前者の場合ほど著しくないものと推定される。

図3をみると、適正放流尾数は、ソウギョの成長に伴い急速に少なくなることがわかる。したがって、湖沼の水草制御の目的でソウギョを導入する場合には、歩止りを考慮に入れるにしても、何年か先の適正尾数を考えて、幼魚期の尾数としては控え目の数を放流するか、または比較的迅速に除草効果を望む場合には、最初に適正尾数を放流し、年を追って計画的に捕獲・除去をおこなわなければならない。

Ⅲ. 野尻湖および木崎湖における放流量について

すでに述べたように、野尻湖ではソウギョの過密放流によって水生植物が消滅したが、その後、同じく長野県の大町市の木崎湖においても、この数年来大発生して問題になったコカナダモを除くため、1983年に2000尾のソウギョを放流した。前節に述べた基準にもとづいて、これら2つの湖における、ソウギョの年齢別の適正放流尾数を検討しよう。

野尻湖は湖面積11.72ha、木崎湖は7.0haであるが、近年における高等水生植物の分布下限は、木崎湖では5m(船越¹³⁾)であり、野尻湖もこれと大差なかった。湖盆図から両湖の沿岸帯(水深5m以浅)の面積を求めると、野尻湖78.0ha、木崎湖33.1haとなり、この面積のおよそ25%に水生植物群落が存在すると仮定して適正放流尾数を計算すると表2のようになる。なお木崎湖については、1984年9月上旬に沿岸帯に占める水生植物群落面積の割合を調べたが、およそ25%とみて大過ないことがわかった。

表2. ソウギョを実植生面積1ha当り100kg放流する場合、野尻湖および木崎湖における年齢別放流尾数

魚 齡 (年)	1ha当り 放流尾数	対全湖放流尾数	
		野 尻 湖*	木 崎 湖**
1	142	2770	1180
2	33	644	274
3	17	332	141
4	11	215	91
5	8	156	66
6	7	137	58
7	6	117	50

* 野尻湖 5m以浅 78.0ha × 0.25 = 19.5ha

** 木崎湖 5m以浅 33.1ha × 0.25 = 8.3ha

野尻湖では水草が濃滅したのちソウギョの回収をすすめ、1984年までに約2000尾を回収したというが、その段階でも表2の数値に比較しておよそ20倍の過密になっている。一方木崎湖の場合にも、実際の植生面積当りの初期放流密度は、野尻湖とほぼ同じである。1984年9月に木崎湖を調査したところ、前年には水面まで達したコカナダモ群落の成長が、水面下およそ2m以深にとどまっておき、先端はちょうど刈り込まれたように摂食の跡がみられ、著しい分枝が認められた。今後、毎年計画的な取り上げをおこなわないと、野尻湖と同様の状態になることが予測される。

Ⅳ. まとめ

ソウギョが池沼や水田などの水生雑草の生物的防除に有用な魚種であることは広く世界に知られており、わが国でも、すでに述べたように、中村^{3,4,5)}により溜池や水田の除草への利用価値が実証されている。しかし一方では、それまで本種が生息しなかった水域への導入が、さまざまなマイナスの影響を伴うことも数多く報告されており、カナダとアメリカ合衆国の約半分の州では、その放流を禁止している(SUTTON¹⁴⁾, STICKNEY¹⁵⁾)。このような、ソウギョ導入上の問題点を、牟田^{16,17)}は次のようにまとめている。

i) ソウギョは草食性とはいえ、消化管内にセルラーゼを持たないため、大量の未消化排泄物が水質や底質を悪化させる。

ii) 大型水生植物を消費し(つくし)、他の生物の生息環境を奪い、湖の生態系を変え、時に有用生物の生存を脅かす。

iii) 有用生物を食害する。ソウギョは雑食性なので、有用な魚類、甲殻類、その他の生物の卵や成体を食害する。

iv) 魚類の病原体や寄生虫などを新たに持ち込み、伝播させる。欧米にそのような例が多い。

上記のうちii) について、MESTROV ら¹⁸⁾はユーゴスラヴィアでソウギョの導入によって水草が激減した湖において、生態系のバランスがくずれ、動植物プランクトンの量的変動が著しくなったことを報告しており、またWARE ら¹⁹⁾は、アメリカのフロリダ州のソウギョを放流した2つの湖において、在来魚種の個体数組成に著しい変化が起きたことを明らかにしている。またiii) に関しては、オランダで水生雑草の防除にソウギョを導入する計画に対し、水草に付着する両生類の卵を見境なく食害することに懸念が持たれており (van LEEUWEN²⁰⁾)、またアメリカ・ルイジアナ州では、ソウギョが食物に対する競争を通してアメリカザリガニ (red swamp crawfish, *Procambarus clarkii*) の成長を抑制し、また水草がなくなるとソウギョの胃の中にザリガニ、枝角類、ミズスマシ類などが著しく多くなると報告されている (FORESTER ら²¹⁾)。

はじめに述べたように、近年わが国の湖でも、繁茂し過ぎたコカナダモ、オオカナダモ、エビモ、ササバモ、ヒシ類、ホテイアオイなどの防除が問題になることが多い。このような場合、人力や機械力では効果に限度があり、また除草剤を用いることは、魚類その他の水生動物への影響や、水質保全上好ましくない。その点でソウギョを用いる生物防除は賢明な対策とみることができる。しかしこの場合にも、その水域の生物社会のバランスに大きな影響を与えないための配慮を欠くと、野尻湖のような事態を招きかねない。すでに引用したMESTROV¹⁸⁾やROTTMANN²²⁾も、ソウギョ利用の成功は、一に科学的根拠のある計画と管理にかかっていることを強調している。

本稿において、筆者は、わが国における湖沼の水生植物生産量とソウギョの摂餌量、成長量等に関する既存の資料にもとづいて、湖の水生植物の過繁茂防止のためのソウギョの適正放流密度について検討し、試案を述べた。しかしなお不十分な面が多い。今後さらに、水産学および湖沼生態学の専門的見地から、具体的事例や実験的研究にもとづいて検討がなされ、この面での指針が確立されることを願ってやまない。

引用文献

- 1) 桜井善雄：水草研報、No.17、27～28、1984.
- 2) 角野康郎：同上、No.17、31、1984.
- 3) 中村一雄：淡水区水産研究所研究資料、No.16、1～15、1957.
- 4) 中村一雄：同上、No.23、1～17、1960.
- 5) 中村一雄・島立孫亥・小山一・大久保英次：淡水区水産研究所研究報告、3(1)、27～79、1954.
- 6) 桜井善雄：日本水質汚濁研究協会編・湖沼環境調査指針 (公害対策技術同友会発行)、174～176、1982.
- 7) 小泉清明・桜井善雄・川島信二：陸水誌、28(2)、57～63、1967.
- 8) 桜井善雄・渡辺義人：JIBP—PF 諏訪湖研報、No.5、1～4、1973.
- 9) 桜井善雄：水草研報、No.13、2～5、1983.
- 10) 生嶋 功：琵琶湖生物資源調査団中間報告・一般調査の部、313～341、1966.
- 11) VERGIN, B. V., V. NGUEN & D. NGUEN: Problems of the Fisheries Exploitation of Plant-Eating Fishes in the Water Bodies of the USSR. 192—195, 1963.
- 12) 土屋 実：日本の淡水生物——侵略と攪乱の生態学 (川合ほか編、東海大学出版会発行)、79～86、1980.
- 13) 船越真樹：仁科三湖環境保全対策専門委員会報告書、67～81、1983.
- 14) SUTTON, D. L.: Aquat. Bot., 3(2)、157—164、1977.
- 15) STICKNEY, R. R.: Principles of Warm-water Aquaculture (John Wiley & Sons Pub.), 1979.
- 16) 牟田邦甫：さかな、No.28、32～46、1982.
- 17) 牟田邦甫：私信による、1985.
- 18) MESTROV, M. & V. TAVCAR: Bull. Sci., Cons. Acad. Sci. Arts RSF Yugosl., Sect. A, 18(4-6)、80—81、1973.
- 19) WARE, F. J. & GASAWAY, R. D.: Proc., Annu. Conf., Southeast. Assoc. Game Fish Comm., 30、324—335、1976.
- 20) LEEUWEN, B. H. van: Environ. Conserv., 6(4)、264、1979.
- 21) FORESTER, J. S. & AVAULT, J. W. Jr.: Trans Am. Fish. Soc., 107(1)、156—160、1978.
- 22) ROTTMANN, R.: Fisheries, 2(5)、8—13、1977.