

諏訪湖の富栄養化と各種漁獲物量 の経年変化との関係

倉澤 秀夫*

H. Kurasawa: Relation between Chronological Changes in Annual Landing
Amounts of Commercial Fishes and Lake Eutrophication of Lake Suwa

I. まえがき

諏訪湖の生物に関する研究は、古くは明治末期(田中1918)に始まり、終戦直後の生物生産力研究(宝月ら1952)および国際生物事業計画(JIBP-PF1968~1973)に引きつづき、文部省「環境科学」特別研究(1978~1980)などの大がかりの研究を主軸として、多くの研究者により生物の分類学的や生態学的調査研究がなされてきた。倉沢ら(倉沢・青山1969, 倉沢・山岸1971)は諏訪湖の富栄養化の進捗の歴史的経過を明らかにすべく、水質および各種生物群集の年間および季節変動に関して、上述の研究成果に基づいた報告を行い、また倉沢(1979)はプランクトンの季節変動の経年変化や大型水生植物の優占種の長年に亘る変化を明らかにした。そして、湖の富栄養化に関してのモニタリングに必要な環境データの評価と解析により、将来おこりうる変化の傾向をもとめ、またその改善策についても一応の検討をしてきた。

しかしながら、参照使用したデータは最近の研究活動でえた約15年間の継続資料は別として、明治末期以来連続的になされた研究結果ではないので、研究が実施されなかった空白期間における実状は知るべくもなかった。唯一つの例外として、研究を目的としたものではないが、人類の生活にとって重要な食糧である漁獲物については、明治末期から現今に至る80余年間の連続記録の統計資料が残されている。

著者はこの漁獲統計資料(諏訪湖漁業協同組合および長野県水産指導所諏訪支所の保管書類)に着目し、各種の魚類、貝類およびエビ類についての漁獲量の経年変動と、湖の富栄養化の進捗との関係を、自然環境モニタリングの立場から解析を試み、種々の検討をしてきたが、若干の知見をえたので報告する。

本報告の作成には、諏訪湖漁業協同組合長林健氏、同組合事務所職員各位、長野県水産指導所諏訪支所長山本長氏、同所職員各位、信州大学理学部付属諏訪臨湖実験所沖野外輝夫助教授、同所職員各位、同大学理学部林秀

剛講師の御協力と御助言をえた。記して感謝の意を表する。

II. 資料の整理方法

1895年からの漁獲物量の記録で、漁獲物の種類別の目方が明示されているのは、1905年からであるが1914年までは主要漁獲物に限られている。また1915年と1916年の両年は記録が欠落している。1917年以降は商品としての種類分けが比較的細分されるようになり現在に至っている。

1958年以前の重量単位は、尺貫法であり、1922年以前の貝類、エビ類およびハゼ科魚類は升目に表示されているが、換算表(倉沢1980)によりすべてtonおよびkgに統一した。

貝類は商品として貝殻付貝と軟体部(ムキミ)の別があるが、これらも換算表(倉沢1980)によりすべて貝殻付の貝の重量に換算して取扱った。

III. 結果と考察

漁獲物量を種別に長年の変遷を明らかにし、これらを基に湖の富栄養化の指標としてのサブプロビ指数を求めた結果は次のようである。

A. 漁獲物総量と魚類、貝類、エビ類の各量の変遷

Fig.1によれば、過去62年間における総漁獲量の最大値および最小値と、それぞれの出現年は、前者は1,340 ton(1925)、後者は67ton(1945)であり、この後者の年は太平洋戦争の終戦の年に当る。年間の水揚量が1,000tonを越えるのは、1923~1928年、1934年および1939年の年で、これらはすべて終戦前のものである。戦後の最高は515ton(1965)であり、最近10年間の漁獲量は下降気味で300~400tonの低収量である。このように戦前に比べ戦後の漁獲高が著しく低下していることは、最高値で比べた場合半分以下であることでも明瞭である。

次に魚類、貝類およびエビ類の各量の漁獲物総量に対する百分率を求め、それら相互の経年の増減関係を図化

* 信州大学理学部生物学教室 Fac. Sci. Shinshu Univ.

して示すと、Fig. 1およびFig. 2のようである。

これらの図によると、1905年から1930年頃までの期間は、魚類はエビ類に比べはるかに多量であるが、その増減の変動傾向はほぼ平行的である。これに対し魚類と貝類では1905年から1952年頃までは相反的な増減関係を示している。そしてエビ類は1930年頃、貝類は1950年代初期以後は急速に減量し、魚類が他を制圧し著しく優位になる。

Fig. 1により、年間漁獲量の百分比で1917～1978年の年間をみると、魚類量は1933～1943年の期間を除外すれば、常に50%以上をほぼ占有しつづけ、最大94% (1973)にも達する。最小は19% (1933, 1934)で貝類量の増大年と一致する。貝類は80% (1933)が最大で、最小は5% (1974)であり、50%以上を占める漁獲率は1933～1940年と1942～1943年で、特に前者の年間の増大期は目立つ。エビ類は魚類、貝類に比べ著しく低い量で、最大でも24% (1922)にすぎず、最小は0.1%以下 (1945, 1970)の年もある。10%以上は1917～1926年の間で、1928年以降はすべて4%以下である。最近10年間をみると、魚類の90%前後の値に対し、貝類は5～15%、エビ類は0.1～1.5%という低率である。

B. 各種漁獲物量の百分率の変遷

Fig. 2でみるように、1900年代から1920年代中頃の漁獲量増大期までは、フナが1914年をピークに全漁獲量の30～60%を占めるのに対し、一方シジミも1900年代中頃と1910年代の中頃の二つのピークを中心にやはり30～60%の百分比を示し、いわばフナ・シジミ優占時代を現出する。また同時にエビ類もこの年代に10～30%の増大期をもつが、以後は既述した如く現今に至るまで4%以下の低率をつづける。

1920年代の後半から1930年初期まではフナ、コイ、ワカサギ、タニシおよびシジミが大体同率の20～30%の漁獲量比率をもち、上記各種間の競争年代である。1930年代の初期以後より、1940年代末期までは、カラスガイが50～80%を占める異常優占年間で、フナ、ワカサギおよびタニシがこれに次ぐが、10%前後にすぎない。しかし漁獲高の増大期であるので、漁獲実量は著しく減少しているわけではない。

1940年初期より1948年までは、漁獲高の急落最低となる年間であるが、比率でみるとタニシが約70%から10%前後に落ち込むのに対し、ワカサギが逆に約10%から最大約60%にまで上昇優位に立つ年代である。1948年より1950年代のはじめには、漁獲高の上昇期に当たるが、シジミが20%近くに、タニシは20～30%になり、ワカサギやフナとはほぼ同率になる。こうしてみると、1940年代より1950年代初期の年間は、上記主要漁獲種の優劣が交互に変動する期間といえよう。

1950年代半ばより1960年代末期までは、戦後の漁獲量の上昇増大期であるが、その優占種はワカサギで約40%を占め、フナ、タニシ類は各20%位でこれにつぎ、終戦直後上昇増大の気運を示したシジミ、カラスガイ、エビの漁獲率が年と共に減退する期間である。

1970年代に入ると漁獲高は漸減傾向を見せるが、ワカサギの比率は60～80%にまで拡大され、その反面フナ、コイ、タニシは著しく低率となり、明らかなワカサギ独占優勢年代となる。

こうしてみると、シジミ漁獲量の減少期の1930年代からすでに富栄養化の進捗が速められてきたことを示唆している。

C. 各種漁獲物量の変遷と湖の富栄養化との関連

諏訪湖の各種の漁獲物のうちで、非耐汚濁性種としては、魚類ではアメノウオ、アユ、ウグイ (アカウオ)、オイカワなどであり、貝類ではシジミが挙げられる。一方耐汚濁性種としては、ワカサギ、ナマズ、モロコ、モツゴ、タナゴ、フナ、コイ、ドジョウ、ウナギ、ハゼで、貝類ではタニシ (特にヒメタニシ) などがあり、以上の漁獲物種に含まれないものはその中間型で、カマツカ、ヒガイ、カラスガイ、エビなどであろう。

非耐汚濁性種は年間漁獲量が少ないのでFig. 1の百分比図には表わせないものが多いが、オイカワのみは1905～1932年までと、終戦後の5～6年にみられ、諏訪湖が清浄であったと思われる1905年より1920年代までは、魚類ではコイ、フナに次ぐ多量の漁獲高を示している。シジミは1920年代までは名物「諏訪湖のシジミ汁」といわれる程採取されていた。しかし主要漁場であった天竜川への出水口である釜口付近が、水門工事のため昭和の初期に浚渫、改修されたり、また六斗川 (上川) 河口部の漁場も堆積土砂の大量除去などで、両漁場の砂質から泥質へと変化したこと、また、一方ではシジミは非耐酸素欠乏種であるため、流水域で酸素量の多い事を生息条件としているが、浚渫によって深度が増し酸欠状態を生じやすい環境になったことなどにより、急速にその生息場所が失われたことなどで著しく減少した。そのため多量のセタシジミを琵琶湖より移植放流し昭和50年代まで継続し、それ以後は木曾三川の河口部よりヤマトシジミを移植しその増産を計ってきた。しかし戦前は明らかに移植量より漁獲量が勝っていたが、最近20年間位は漁獲量が移植量を下廻るようになり (名東1978)、放流効果は全くあがっていない。これは移植シジミが自然繁殖や生長をしていないことを物語るものである。殊に汽水性のヤマトシジミの移植放流や、湖の富栄養化による夏季の底層溶存酸素不足の長期化なども禍いして、シジミやカラスガイのような底生貝類の生活を脅かし死滅に至らしめているものであろう。

1934年から1940年までの年間におけるカラスガイの異常に高い漁獲量は、当時貝殻を原料とするボタンの製造のため、霞ヶ浦より多量に移殖された結果であるが、移殖放流の中止と共に衰微し、更に戦後の湖の汚濁により次第に減産傾向に落ち込んだようである。

タニシ類のうち大部分を占めるヒメタニシは、沿岸部の浅所の砂礫湖岸に密集するが、波浪により溶存酸素が豊富のため呼吸障害は少ない。そのため比較的 high rate の漁獲高を維持している。

耐汚濁性種であるフナ、コイも、1915年に霞ヶ浦より移殖放卵されたワカサギに次第に制圧され、コイは1930年代の初期に、フナは1940年代半ばには漁獲量が劣るようになり、以後は益々其の差を広げられてきている。しかし、これを以てワカサギが、フナ、コイに勝る耐汚濁性魚種と判断することは早計である。何となれば、フナ、コイなどは自然繁殖が大部分であるのに対し、ワカサギは人工採卵して最良条件のもとで放流するからである。ワカサギの産卵場所は湖水の中にはほとんどなく、主として河川を遡上した荒目の砂地であるという(白石1972)。その産卵遡上する主要河川は、諏訪湖以上に汚濁されたものが多く、自然産卵されたものの大部分は死卵になるという(名東1978)。こうした事実からすると、ワカサギの大量増殖は人工補助により促進されたものであるため、フナ、コイ其の他の自然産卵する耐汚濁性魚種とは異質なものとして考慮する必要がある。

ウナギ、ナマズなども放流魚種であるが、共に放流効果が次第に挙がらなくなってきたため、近年は放流量を減らしているという。これに関しては、諏訪湖浄化対策の一つとして、大がかりな浚渫と埋土および護岸工事が1968年以来活発になされ、既に1978年までに全湖面積の約20%の底泥の攪拌、改変がつつげられ、それも主として大型水草の分布帯に当たっていることを知らねばならない(倉沢ら1979)。元来ウナギ、ナマズは底生魚として知られているが、底質の改変が両魚種の生活条件に何らかの影響を与えていることは充分考えられることである(名東1978)。またフナ、コイ其の他の耐汚濁性魚種の減少傾向も、大型水草帯の激減による、産卵場所や稚魚の生育環境の喪失に原因しているかも知れない。

1950年代にはハゼ類とモロコ、モツゴが、1960年代にはタナゴ類が比較的多く漁獲されているが、これら汚濁性魚種が1960年代の諏訪湖の汚濁の最も顕著であったとされる時期に、豊富にえられたことは、何らかの関連性があるように思われる。

D. 多様性と富栄養化

多様性指数は種類数と個体数の関係を示すもので、種類の多様性は種類数が増えるほど、また種間の量的な関係が均等になるほど増大するものである。そして一般

に清浄な水域の多様性指数は大きく、群集は安定し複雑であるとされ、小さいと汚濁した水域で、群集は単純で不安定な状態とみなされる。

本報告では特に数式を用いて多様性指数を算出したのではないが、Fig.1とFig.2によりその様相をみると次のように述べられよう。

種類数については漁獲物という限られた種属であるので、その数の多少で多様性を考えることは不可能である。それ故に種間の量的な関係の均等性に注目してみると、1930年初期までは、耐汚濁性種のワカサギ、フナ、コイ、タニシ類などと、非耐汚濁性種のシジミや中間型のエビ類などの量的関係は、1905年から1920年代中頃までは両グループはほぼ均等に保持されているが、1930年初期までには、前者と後者の量の比が4:1程度になる。1930年代の大半は、毎年移殖カラスガイの増大で量的関係を一率に論ぜられないが、これを除外すれば、やはり年毎に耐汚濁性種の量的割合が増えている。

1940年代は後述するように太平洋戦争の影響で、漁獲量が異常に減少しているので量的関係については何もいえないが、1950年以後ではその初期にはワカサギ、フナ、タニシの他に、またシジミの増大が目立ち、特に貝類では量的均等性が保持されている。1950年代半ばから1960年代はワカサギ一種が優占する割合を増し、フナ、タニシなどの耐汚濁性種間でも均等性が失われはじめ、1970年代ではワカサギのみで60~80%を占める不安定群集構造を示すに至っている。

この様に一種類の魚類のみが栄える傾向は、湖の富栄養化が極度に進んでいることを物語るもので、モニタリングの環境評価に漁獲物の種と量が十分に役立つことを示している。

E. サプロビ指数

汚濁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、諏訪湖およびその流入河川についてなされてきた(倉沢、他1973,1975)。本報告では年間の各種漁獲物とその量の百分率を基として、湖の水質の汚濁度を判定し、経年の富栄養化現象の変動経過を明らかにしようとしたもので、新しい試みである。

本報告でのサプロビ指数は、Pantle u. Buck (1955)により提案されたもので(福島・小林1979)、ある地点で出現した種の出現頻度(h)と、その種の汚濁階級指数(S)から次式により求めるものである。

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

本報告では、各種漁獲物に対する汚濁指数を経験上 Table 1 のように定め、汚濁階級とその指数(S)および

Table 1. Index (S) of water pollution class for each kind of commercial fishes caught in Lake Suwa

種名	日本名	汚濁階級指数
Species name	Japanese name	Index (S) of water pollution class
<i>Oncorhynchus rhodurus</i>	アメノウオ	1
<i>Salmo irideus</i>	ニジマス	1
<i>Plecoglossus altivelis</i>	アユ	1
<i>Hypomessus olidus</i>	ワカサギ	3
<i>Pseudoperilampus typus</i>	ゼニタナゴ	3
<i>Rhodeus ocellatus</i>	タイリクバラタナゴ	3
<i>Sarcocheilichthys variegatus</i>	ヒガイ	2
<i>Gnathopogon caeruleus</i>	ホンモロコ	3
<i>Pseudorasbora parva</i>	モツゴ	3
<i>Pseudogobio esocinus</i>	カマツカ	2
<i>Tribolodon hakonensis</i>	ウグイ(アカウオ)	1
<i>Zacco platypus</i>	オイカワ(ハヤ)	1
<i>Ctenopharyngodon idellus</i>	ソウギョ	3
<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	レンギョ	3
<i>Cyprinus carpio</i>	コイ	3
<i>Carassius carassius</i>	フナ	3
Cobitidae	ドジョウ類	3
<i>Parasilurus asotus</i>	ナマズ	3
<i>Anguilla japonica</i>	ウナギ	3
<i>Mugil cephalus</i>	ボラ	3
<i>Channa argus</i>	ライギョ	3
Gobiidae	ハゼ類	3
Viviparidae(<i>Sinotaia histrica</i>)	タニシ(ヒメタニシ)類	3
Corbiculidae(<i>Corbicula leana</i>)	シジミ(マシジミ)類	2
Unionidae(<i>Cristaria plicata</i>)	カラスガイ類	2
Shrimps	エビ類	2

Table 2. Saprobic index of each class of water pollution and frequency value for weight percentage of annual amount of commercial fishes in Lake Suwa.

汚濁階級	指数
Class of pollution	Index (S)
貧腐水性指標種(o s)	1
β 中腐水性指標種(β m s)	2
α 中腐水性指標種(α m s)	3
強腐水性指標種(p s)	4
重量百分率	出現頻度
Weight %	Frequency (h)
< 9.9	1
1 0.0 ~ 2 9.9	3
> 3 0.0	5
汚濁階級	サプロビ指数
Class of pollution	Saprobic Index
貧腐水域(o s)	1.0 ~ 1.5
β 中腐水域(β m s)	1.5 ~ 2.5
α 中腐水域(α m s)	2.5 ~ 3.5
強腐水域(p s)	3.5 ~ 4.0

出現頻度(h)はTable 2に示した。指数の値が大きいと汚濁度が高く、小さいと清浄と判定されるが、本報告では、汚水生物体系に魚類についての判定基準がないので、水生昆虫の場合にあてはめてTable 2に示した。

1905~1978年間の毎年のサプロビ指数の算出の結果はFig. 3に示した。この図によれば、1900年代は β ・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年に至るまでは2.3~2.4の β ・中腐水性の値を継続する。1940年代中頃には α ・中腐水性を示す年が出現し、1945年には最高値2.65をえた。1950年前後の年は再び2.3~2.4の水質の値に復元するが、以後は α ・中腐水性の2.5の値に近接し、1950年代半ばから1960年代は、大部分の年が α ・中腐水性であり、1961年には2.64の1945年に次ぐ高い値を示した。1970年代に入ると β ・中腐水性の水

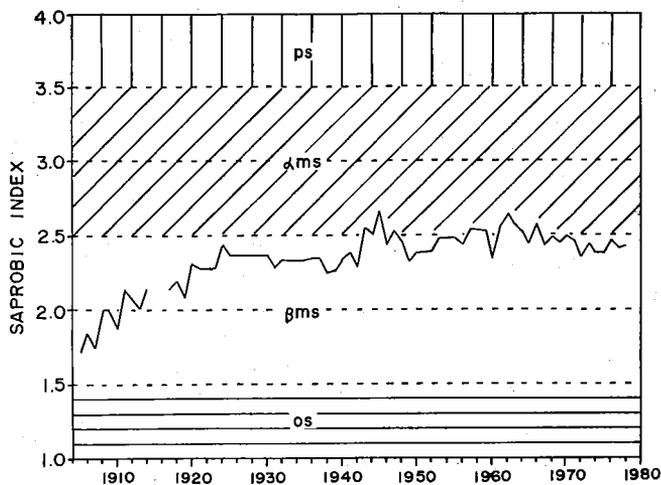


Fig. 3. Transition in values of saprobic index calculated from annual landing amount of each kind of commercial fishes in Lake Suwa from 1905 to 1978.

質となり、明らかに1960年代より多少浄化されている傾向がみられる結果となる。

1945年前後の太平洋戦争中と終戦直後においては、サプロビ指数が高い値を示す。これはFig. 1に見るようにこの年間は漁夫の参戦による減員や食糧事情悪化による自家消費などで、漁獲量の最低のときであり、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市場に出荷されなかった結果によるものである。

以上よりすれば、各種漁獲とその量を基にしたこのサプロビ指数は、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には十分に役立つことが実証された。

IV. まとめ

- (1) 明治末期(1900年代)より現在までの、毎年の各種漁獲物の量の経年変化に基づいて諏訪湖の富栄養化の経過を明らかにした。
- (2) 諏訪湖の漁獲量は終戦前は戦後に比べ著しく高く、前者の最高値は1,340ton(1925)に対し後者は515ton(1965)である。
- (3) 魚類量は1933~1943の貝類の増産期以外のすべての期間で、ほぼ50%以上を占有し、最大は94%(1973)である。貝類の最大は80%(1933)でありエビ類は24%(1922)である。
- (4) 1900年代から1920年代中頃まではフナ・シジミが優占し、その後の1930年初期まではフナ、コイ、ワカサギ、タニシ、シジミのほぼ量的均等年代であり、1930年代はカラスガイが独占優勢年代を示し1940年代はワカサギ、フナ、タニシ、の3種が交互に優劣を繰返し、1950年以後はワカサギが年毎

に独占優勢を増し、反面フナ、タニシは漸減する。

- (5) 明治および大正年代は非耐汚濁性漁獲種の優勢時代であるが、昭和の初期から戦争直前までに耐汚濁性種がほぼ同率になるまで増え、戦後は耐汚濁性種が圧倒的優占となり、湖の富栄養化の進捗の経過を明示している。
- (6) 漁獲種別の量を基にしたサプロビ指数では、1900年代では β ・中腐水性の中間値2.0以下であるが、1910年代から1930年代には2.3~2.4の値をつけ、1940年代には一時的に α ・中腐水性の指数2.5をこえる。戦後1950年代は再び β ・中腐水性となり、1960年代には α ・中腐水性を示し、1970年代には β ・中腐水性の水質に復元する。
- (7) 各種漁獲物の質と量の経年変化が、モニタリングの環境評価の解析に利用可能なことを示唆した。

V. 引用文献

- 福島博・小林艶子(1979)日原川の生物相と水質汚濁の現況。着生藻類相と水質。25~51。建設省関東地方建設局。京浜工事事務所
- 宝月欣二・他(1952)内水面の生産および物質循環に関する基礎的研究。水産研究会報 4: 41~127.
- 倉沢秀夫(編)(1969~1973)諏訪湖生物群集の生産力に関する研究。1~5。JIBP-PF 諏訪湖研究グループ。
- 倉沢秀夫・青山莞爾(1969)過去60年間における諏訪湖の水質と湖沼生物変遷の大略。陸水生物群集の保護の方法に関する研究(JIBP-PF) 3: 24~30.
- 倉沢秀夫・山岸宏(1971)諏訪湖における産業と生物分布の変化。バイオテク 2(4): 261~268.
- 倉沢秀夫・他(1973)生物学的水質判定による諏訪湖流入河川の経年変化。陸水富栄養化の基礎的研究 2: 52~59.
- 倉沢秀夫・他(1973)諏訪湖流入、流出河川の生物群集の季節変化と生物学的水質判定。諏訪湖の生物群集の生産力に

関する研究。5：50～66。JIBP-PF。

倉沢秀夫・他(1975)諏訪湖周辺河川の付着藻類と浮游細菌の季節変化。陸水富栄養化とその対策。1：22～30。

倉沢秀夫・他(1979)諏訪湖の大型水生植物の分布と現存量の経年変化。諏訪湖集水域生態系研究。3：7～26。

倉沢秀夫(1980)過去80余年間における諏訪湖の年間漁獲量およびその出荷金額高の推移。諏訪臨湖実験所報告 3
印刷中

倉沢秀夫(編)(1978～1980)諏訪湖集水域生態系研究。1～5。文部省「環境科学」特別研究「諏訪湖集水域研究班」

倉沢秀夫(1979)諏訪湖のプランクトンおよび大型水生植物の優占種の経年変化と湖の富栄養化の関連。信州の自然環境モニタリングと環境科学の総合化に関する研究。1～12。文部省 特定研究。

長野県水産指導所諏訪支所(1917～1978)諏訪湖漁獲統計(1～6)。同支所保管書類。

名東実(1978)諏訪湖の水産資源とその変遷。諏訪湖集水域生態系研究。1：13～21。

白石芳一(1972)湖の魚。1～205。岩波書店。

諏訪湖漁業協同組合(1949～1978)同組合業務報告書(1～17)。同事務所保管書類。

田中阿歌磨(1918)湖沼学上よりみたる諏訪湖の研究(上,下)。1～1677。岩波書店。