

らは単年生種又は2年といった短命種で低次栄養段階種の場合が多い。

これらの大量発生は、その因果関係を充分把握していない現状では内海・内湾生産のプラスアルファ部分である。しかし図10や図11に見る50~52年のシリヤケイカを主とする漁獲増のように、浅海生産力の効率的利用の面では重要な意味をもっているだろう。しかも、今後その発生状況のモニタリングと機動的な行政措置を実施することによって、これらの大量発生種を内海内湾漁場の有用資源として活用することは現在の技術においても実施可能である。

瀬戸内海漁業資源のうち資源状態の悪化が著しいのは主として中・高級底魚類である。これら中・高級底魚類等については栽培漁業事業など資源培養諸施策の実施とあわせて、合理的に漁獲する資源管理型漁業化の推進を考えなければならない。比較的高次の捕食種からなるこれら中高級種の餌料となる低次餌生物種資源は豊かであるから、その基盤は整っていると見て良い。

水域環境の改善における環境行政の役割、また富栄養域資源の有効利用とその将来展望における漁政の役割の大きいことを、これらの事情は示しているものとする。

6. 琵琶湖における富栄養化の現状と水産

参 考 文 献

- 農林省 (1951-1972) 農林省農林経済局統計情報部, 漁業養殖生産統計年報。
 中国・四国農政局 (1963-1977) 瀬戸内海漁業濰別統計表。
 瀬戸内海水産開発協議会 (1958, 1963) 瀬戸内海の水産統計資料, 瀬戸内海漁業調整事務局
 中国地方建設局 (1975) 瀬戸内海要覧。
 中国新聞社 (1960) 瀬戸内海, 上・下。
 花岡 資 (1952) 内湾生産力の標示について, 内海区水産研究所報告, 1, 42-53。
 多々良 薫 (1980) 漁業による基礎生産の利用, 本誌。
 多々良 薫 (1972) 瀬戸内海における漁業資源と漁業の展望, 南西水研調査報告, No. 1。
 内藤一郎, 上田和夫 (1972) 瀬戸内海における水産業の展開, 漁業資源研究会議報, 第13号。
 高尾亀次 (1964) 瀬戸内海のカタクチイワシ *Engraulis japonica* (Houttuyn) の生態について, 漁業資源研究会議報 No. 2。
 上田和夫 (1972) 水圏の富栄養化と水産増殖業, 日本水産学会, 水産学シリーズ No. 1。
 日本水産資源保護協会 (1970-1979) 本四連絡架橋漁業影響調査報告, 第1-20号。
 山口, 福岡, 大分県 (1975) 西瀬戸地域漁業調査報告書, 昭和46-49年度, 1-245。
 村上彰男ほか (1976) 瀬戸内海の海域生態と漁場, フジテクノシステム。
 近藤正人 (1978) 瀬戸内海における栄養塩類などの分布と季節変化, 海と空, 54, 99-111。

山 中 治 (滋賀県水産試験場)

1. 琵琶湖における富栄養化の進行と現況

滋賀県水産試験場の琵琶湖定期観測は1917年の水温観測に端を発し、その後透明度, pH, 溶存酸素量, 無機態窒素, 無機態リン, プラクトン等の観測項目が徐々に加わり現在に至っている。観測地点は開始当初からほぼ変わらず、彦根市と安曇川町を結ぶ線上の5地点である(図1)。各観測項目の経年変化はすべて北湖湖心部のSt. IVにおける観測値を用いた。St. IVは安曇川尻から約4kmの地点で水深は78m前後である。

透明度は60年間, pHと溶存酸素量は約50年間もの長い期間にわたる変化をみることができる(図2~4)。透明度は降雨等の土砂濁りを除けばプラクトン量に左右されることが多いので、プラクトンの繁殖が旺盛で一

年のうち最も透明度が低下する5月, 6月, 7月の平均値を用いて経年変化をみた。観測開始当初8m前後あった透明度は現在では5m前後に低下している。

表層のpHは8月調査時に最も高い値を示すことが多かったので、各年の8月調査時0m層の測定値を用いて経年変化をみた。プラクトン沈殿量の最も多い時期とpHの最も高い時期が一致しないが、5月, 6月, 7月とプラクトンの繁殖に応じて徐々にpHが上がり8月頃に最高値を示すようである。表層のpHは1960年頃から急速にその値を更新し続け、'78年7月には9.63と観測史上最高の値を示した。pHの上昇と同時に溶存酸素量は4月から8月にかけて表層で過飽和状態となることが多くなり(最高値134%: '77年4月), プラクトン

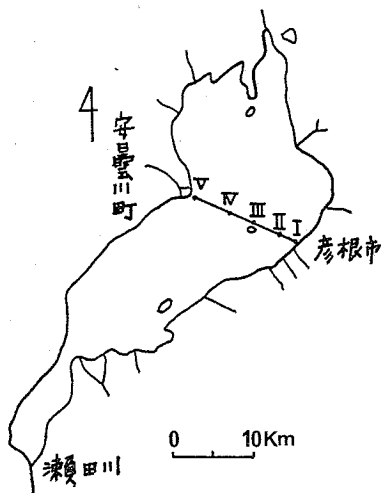


図 1. 琵琶湖定期観測地点

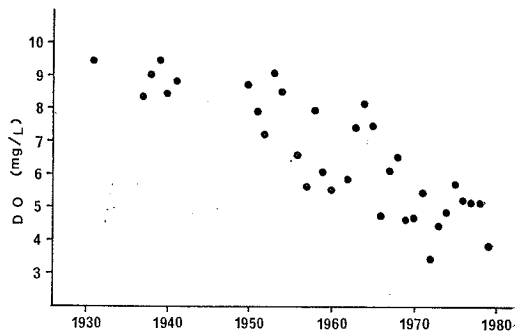


図 4. DO の経年変化 (St. IV, 底層 78 m 前後, 各年最低値 (中, 1974))

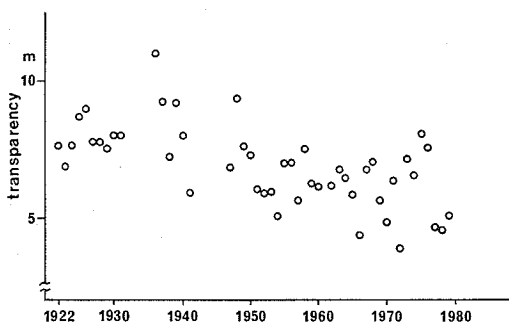


図 2. 透明度の経年変化 (St. IV, 各年 5 月, 6 月, 7 月の平均値 (伏木, 1972))

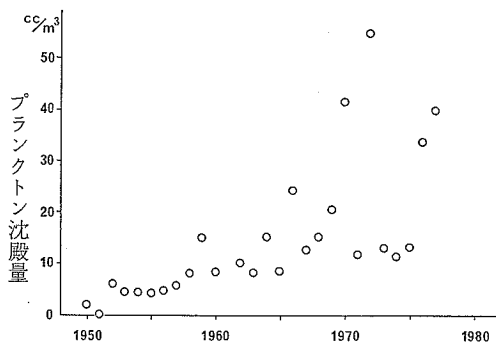


図 5. プランクトン沈殿量の経年変化 (St. IV, 0~10 m, 5~7 月平均値 (中, 1974))

底層の溶存酸素量は '50 年頃から減少速度を増しており, 他の観測項目に先がけて富栄養化進行の危険信号を発する重要な項目であると考えられた。

図 5 は 0~10 m 垂直曳きによるプランクトン沈殿量 (各年 5 月, 6 月, 7 月の平均値) の経年変化である。沈殿量は測定を開始した年から徐々に増加しており, '70 年以降は異常発生と考えられるほど極度に沈殿量の高い年がみられるようになった。いずれも *Closterium aciculare* var. *subpronum* が大部分であるが, '72 年 7 月には 126 cc/m³, '77 年 6 月には 142 cc/m³ を記録した。'60 年代の沈殿量は 8~16 cc/m³ であったことから考えると大きな変化である。赤潮の原因となる *Uroglena* sp. はネットを通過するため沈殿量に含まれないが, '77 年以降毎年 5 月から 6 月にかけて局所的, 断続的に異常発生を続けている。

プランクトンを増加させる基本的栄養素のうち NO₃-N の経年変化は非常に顕著である (図 6)。PO₄-P, NH₄-N, NO₂-N は測定値が検出限界に近いいため経年変化をみることはできない。図 6 は NO₃-N の各年 2 月の観測値

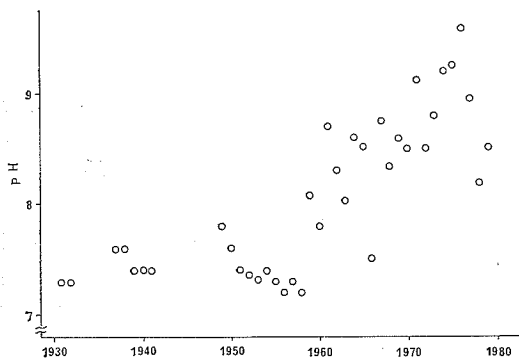
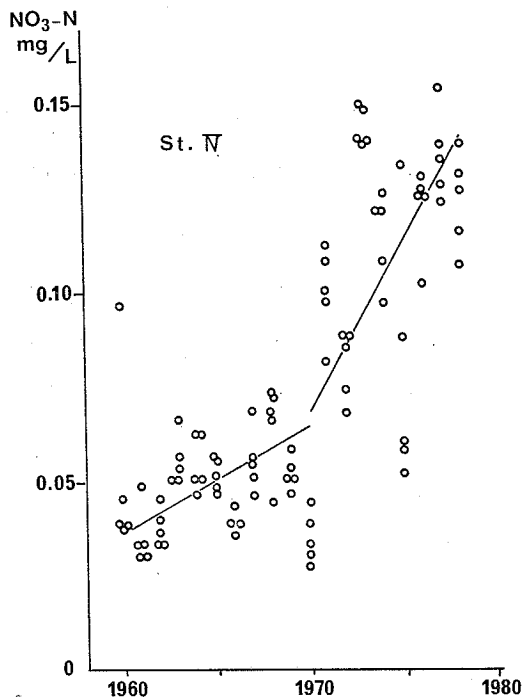


図 3. pH の経年変化 (St. IV, 0m, 各年 8 月)

トン量が増加していることがわかる。これに対して底層では溶存酸素が年々減少しており, '72 年 11 月には最低値 3.44 mg/L を記録した。図 4 は各年の最低値 (全循環期前: 10 月~1 月観測値) をプロットしたものである。

表 1. 近年の N, P 濃度 (St. IV, 0 m, 2月)

	1974	1975	1976	1977	1978	1979
NH ₄ -N (mg/l)	0.16	0.07	ND	0.05	0.01	0.09
NO ₂ -N	ND	ND	ND	0.001	ND	0.001
NO ₃ -N	0.121	0.052	0.130	0.139	0.127	0.132
Org.-N	0.10	0.09	0.19	0.10	0.16	0.15
T-N	0.38	0.21	0.32	0.29	0.30	0.37
PO ₄ -P	ND	ND	0.008	0.005	ND	0.004
T-P	0.005	0.005	0.013	0.010	0.008	0.011

図 6. NO₃-N の経年変化 (St. IV, 全層, 各年 2月)

(全層各観測値)の変化である。2月調査時を選んだのは、上下層がよく混合していること、NO₃-N の消費および供給に関連する生物活動が不活発であること、雪解け水の影響がまだ少ないこと等の理由による。NO₃-N は '70 年代に入って急に増加速度を増している。

以上 5 項目の経年変化を照合すると「'60 年頃から富栄養化のきざしがみられ、当初はプランクトン量が増加することで調和を保っていたものの、'70 年代に入ってさらに水中の栄養素が増え、徐々に蓄積されるに及んで生態系の調和が崩れ始めた」と考えられないだろうか。

'74 年から Org.-N, T-P を調査項目に加えたのでその結果を最後に紹介しておく(表 1)。窒素濃度は測定を

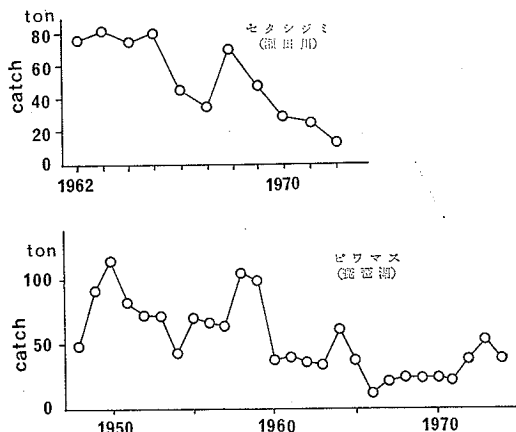


図 7. セタシジミ・ピワマスの漁獲量の推移 (古川, 1975)

上: セタシジミ(瀬田川) 下: ピワマス(琵琶湖)

開始した '74 年において、すでに富栄養化の目安である 0.2mgN/L を越えていた。

2. 琵琶湖の富栄養化と水産

現在の琵琶湖は魚介類の生死にかかわるほど富栄養化が著しくないので明確にできる水産被害は数少ない。'78 年 5 月 *Uroglena* sp. が大量に集積した湖水を養魚用水として取水したため養成中のアユ、ニジマスが斃死する事件が一件あった (*Uroglena* sp. の異常発生により自然水域に生息する魚介類が斃死したという事例は聞き及ばない)。その他水草が繁茂し漁船の航行や漁獲作業を妨げていることも富栄養化の影響である。繁茂した水草の根元は無酸素状態となり魚介類の産卵・生育場としての価値を低下せしめている。また琵琶湖沿岸や内湖の富栄養化は顕著で、酸素不足や細菌数の増加等により淡水真珠養殖に支障をきたしつつある。

図 7 はセタシジミとピワマスの漁獲量の推移である。漁獲量減少の原因は富栄養化のほかダム建設、河川改修、湖底浚渫、内湖の埋立てその他の開発による影響が

考えられ、また一方では漁法の大型近代化によって乱獲されたことが原因とも考えられる。このような例について富栄養化との関連を明確にしてゆく作業も含めて、今後水産の立場から検討すべき課題を思いつくままに列挙した。

(イ) アユ、ビワマス、イサザ等貧栄養湖としての琵琶湖の代表的魚種であり、かつ水産的価値の高い魚種の餌環境の把握——富栄養化に伴うプランクトン種・量の増大が上記魚種の嗜好や成長等に影響を及ぼしていないか、また餌環境の変化に伴う魚種間の競合はみられないか。

(ロ) 琵琶湖沿岸に自然の生産力を利用する資源維持増大施設(温水性魚類大規模増殖場、幼稚仔保育場、貝類増殖場等)が計画されすでに完成されたものもある。この際、環境を摂餌の場(プランクトン、底生生物)や生息の場(水草、水底質)としていかに利用し制御するか——このためにも温水性魚類や貝類に好適な水底質の栄養水準の確立が急がれる。

(ハ) 養殖業の中で淡水真珠養殖は無給餌のため自然の生産力に依存するところが大きい。母貝の健康をそことなく品質の良い真珠を得るための水質判定条件を求めることは従来からの課題である。

(ニ) 琵琶湖という環境下における各魚種毎の理想的資源量の策定——漁獲制限、人工放流等を行なう際に基礎となる数字である。

(ホ) プランクトンの異常発生あるいは局地的な富栄養化が、魚類の回遊等生活行動に対して時間的あるいは空間的な変化をもたらしていないか——漁獲操業の変化につながる。

(ヘ) 自然水域でアユが細菌性疾病に罹り斃死する事故が'67年'69年と続いた(高橋・伏木 1973, 伏木・高橋 1973)。その後も細菌性疾病によると考えられる斃死事故が自然水域で何件か起っている。富栄養化との関連の有無を確認せねばならない。

(ト) 琵琶湖のもつ生産力を生かして魚介類の資源維持増大を計ることはそれ自体が湖の浄化の一端をになうことになり、また漁獲漁業は魚介類の漁獲を介して湖から窒素やリンを除去することになる。反面、投餌の必要な湖中養殖、池中養殖では残餌、排泄物等を琵琶湖に負荷している。現時点では琵琶湖に対する負荷比率は僅少と考えられ、先に施行された富栄養化防止条例の規制対象外となったが、無駄な水、餌を使わず汚濁負荷量を最少にする方向で試験研究を進め指導することに努めねばならない。

以上すべての課題に通じる基本的な考え方は、まず水産に対する富栄養化の影響を明確にすることであり、次に水産の立場から環境を制御する方法を見出すことである。琵琶湖の場合、飲料水として好適な環境に制御することが最も重要であり、自然保護を基調として制御手段を講じるという制約がある。しかしアユ、ビワマス指向型の滋養の水産はこれに矛盾するところがなく、またホンモノコやフナ類を維持増大させるために、かつて失われた内湖的な環境を琵琶湖沿岸に再生させることも琵琶湖のあり方に反するものでない。容易に解決できない問題ばかりであるがその一部にでも挑戦してゆきたい。

引用文献

- 古川 優 (1975) Organisms living in Lake Biwa and environmental problems—From the standpoint of fisheries. 国際環境保全科学会議講演要旨集, 2, 38.
伏木省三 (1972) 環境保全について. 内水面試験研究連絡会議資料.
伏木省三, 高橋 誓 (1973) 天然水域におけるアユの異常斃死について—II. 滋水研報, 23, 154-159,
中 賢治 (1974) 琵琶湖深層の全循環期前の溶存酸素量の永年変化について. 滋水研報, 24, 140-143.
高橋 誓, 伏木省三 (1973) 天然水域におけるアユの異常斃死について—I. 滋水研報, 23, 149-153.

質疑応答

須田(養殖研): 瀬戸内海のこれまでの環境条件の変化を内湾度と富栄養度からみると、確かに富栄養化のレベルは上がっている。瀬戸内海は死ぬのではないかと問われた。にもかかわらず、瀬戸内海は死ぬどころか漁業生産は年々伸びている。しかも、最近2,3年の様子を見てみると、瀬戸内海西部でみられるように、食物連鎖で高い位置を占める生物の生産すら増えている。そういった生物学的なプロセスを考えてみることは非常に重要なことだと思う。多々良さんが熱情を持ってアピールされた productive な状態を維持するために、行政ないし研究がいかにあるべきかといった議論も重要だと思う。

琵琶湖においても、ここ何年か、何十年かの間には顕著ではないが着実に富栄養化のレベルが上がっていることが観測されている。漁業生産に影響が現れるレベルにはまだ達していないが、今後の水産の方向についてはいろいろ難しい問題があるということである。しかし、琵琶湖は京阪神の住民にとって、非常に大きな飲み水の水瓶である。これが、琵琶湖の水産を考える際の重要な出発点になるのではなからうか。そうい

う意味で、漁業が浄化機能を果たしているのか。あるいは、汚染負荷の方に傾いているのか。山中さが指摘されたように、そのへんをまず、きちんと見ていくのが重要なことではなからうか。漁業生産と富栄養化について考える場合、その水域が地域に対して持つ意味を十分に考察しなければならないことが示唆された。

吉田（京大農）：多々良さんに伺いたい。図1では漁獲努力が高くなれば漁獲量の差異が小さくなる。最近、高くなってきたのは差異が小さくなってきているので、これは漁獲努力が高くなったためであると説明されたように聞いたが、漁獲努力が最近かなり増えたために、漁獲段階が上がっていったのか、それとも実際にイワシなどの資源量が増えたのか、最近ハマチの養殖などに関連して安物の魚の需要が伸びてきたこととも関連しているのではないか。

多々良：いろいろの要因が最近の漁業の変化の中に入っているということを考えておかねばならない。例えば、瀬戸内海や三河湾など沿岸がだんだん工業化したり都市化が進む中で、汚染の負荷がどんどん増えていって海域が富栄養化したか、少なくとも富栄養化によって生物生産は拡大するであろうと思う。そういう沿岸の高次産業化、都市化、人間生活の拡大の中で、環境が富栄養化して生物生産が拡大する。一方、戦後の魚に対する嗜好に明らかに見られるように次第に高級化してきている。イワシなどいてもあまり獲らない。獲らなくなると喰わなくなる。高級種は元来少ないのに、需要に応じてやたらと一生懸命探しまわって獲るといような漁獲努力の変化も同時に起こっている。したがって漁獲努力が一方に集中すれば、イワシに対する漁獲圧力が減る。だから増えるだろう。一方、高級種はどんどん減っていく。環境が富栄養化することにもイワシが増える要因があるだろう。どちらが効いたかということになると実験的に再現することはできないし、同時に働いたそういうものを識別できない。漁業を通じての人為的影響と、人間が環境を変えたことによって間接的に自然を変えている状況とが完全に重なりあった形で、結果的には最初高級種がぐんぐん減って行って、そして最近になると中級種とか、多獲性種まで利用可能限度まで漁獲要求するようになって、その漁獲まで増えていったという、かなり複雑な過程が想定される。

平野（東大海洋研）：図2で、1970年頃から富栄養化時代後期の漁獲がずっと横這いになっている。1972年の赤潮までは上がっているが、その後環境問題が厳しく言われた後だと思う。透明度は、1975年から1980年までがちょっと上がってきている。これは、高級魚志向や漁業の社会的な変遷もあるだろうが、単純にみて栄養汚染負荷が少なくなっているのではないか。この頃から糞尿投棄が殆んどなくなった。それで瀬戸内海はわりにはきれいになったという目に見えたものもあったが、そういうものと関連してどうか。平均漁獲量の見積もりを海域体積当たりで割っておられるが、なぜCPUEのような考え方で行わなかったのか。紀伊水道の透明度がずっと下がってきているが、この観測点はどこか。もう一つ、環境の制御の具体的な内容はどんなことと考えているのか、多々良、山中両氏に伺いたい。

多々良：汚染負荷というところ、糞尿投棄を全く止めたので有機物の負荷が減っているだろうが、浄化処理があったとしてもPやNの負荷量はあまり減らないのではないか。周防灘ではきれいになりすぎたためか、ノリの生産性が悪くなったということが一方ではある。私は1970年から後の漁獲量の横這いは社会的な需要の鈍化のようなものが効いたのではないかという感じを持っている。容積当量をとった理由については瀬戸内海でも努力量の統計があるが、延操業日数の統計なのでこれでは客観的な漁獲能力の評価が全くできない。20年位の間に、船も馬力も何倍にも大きくなった。漁獲能力を試算してみると年率5~7%位で増えたらしいが、これでは努力量を歴史的に評価できない。瀬戸内海ではmaximumまでその時代の条件で利用されているということを強く感じていたので、出発点としての基礎生産を考えて、面積当たりと食物連鎖を考えて、体積当たりの生産という評価で出してみた。環境制御については、technologicalな制御を言っているのではない。年々悪化していた環境の、臨時措置法の実状を見聞するにつけ、環境の悪化を食い止めるには行政の力に頼らざるを得ないとの感を深めた。そういう意味で、行政措置による抑止というものを指摘したつもりだ。山中：一般的な環境制御方法として、規制・監視・処理施設の普及などが考えられるが、水産の立場から特に自然の生産力を十分に活かした制御方法を見出したいと思う。