

5. 内海における富栄養化の進行と漁業生産

多々良 薫 (南西海区水産研究所)

1. 内海漁業の推移

(1) 海面漁業

(a) 生産物の量と質の変化

内海における海面漁業生産の推移をみると、戦後における生産の急増、とくに高度成長期における増加が特徴的である(図1)。まず戦前と戦後には明らかな水準の相違があり、戦前期の約15万トン以下の水準から、戦後期の急増により、昭和30年までには約25万トンの水準に増加した。

その後37年までは過剰漁獲と重要資源の枯渇がさげばれ、漁獲量は戦後期の急増から一転して約25万トンに停滞した。この時期にはまだ一部を除いて水域環境の悪化は見られず、「富栄養化以前」とした時代である。やがて経済の高度成長とともに瀬戸内海沿岸では工業化・都市化が進み38年以後には再び漁獲量は急激に増加して約40万トンにも達した。この時期は内海水域の富栄養化が年々急速に高まった時代で、「富栄養化時代・前期」とした時代である。しかし45年以後再び漁獲量には増加がみられず年々の変動の大きい横ばい傾向にある。この時期は高度成長後の減速経済の時期に対応しており、水域環境の加速度的な悪化・富栄養化には歯止めが掛けられたが、水域への汚染負荷は依然として継続しており、「富栄養化時代・後期」とした時期である。

このように漁業生産を量的に見る限り、瀬戸内海では段階的にかつ急激な増加が見られ、特に昭和30年代にくらべて40年代後半には約1.7倍増となっている。30年代の富栄養化以前にはすでに過剰漁獲がさげばれ、当時約

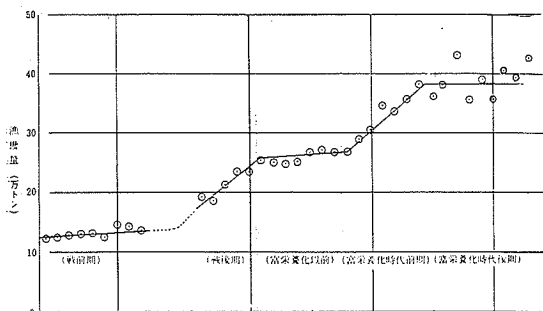


図1. 瀬戸内海における海面漁業・漁獲量の推移

25万トンの生産量が限度と考えられていたにも拘わらず、その後社会・経済的条件の変化に対応して、漁業生産は急増した。つまり、量的に見る限り瀬戸内海では「いくら獲ってもまだ獲れる」ように見えた時代である。そしてこの事実は水域の生物生産性が、その漁獲のし方で生産重量としては相当大幅に変わることを示したものと考えられる。

しかし、この量的拡大が近年の低成長期には一転して、戦後2回目の頭打ちの状況になったことは図1に明らかである。しかも漁業生産量の段階的拡大とともに生産物の種類組成が高価格魚類(高級魚種)から低価格魚類(低級魚種)に偏って行ったことを見逃してはならない。

この質的变化を検討するため、瀬戸内海の漁獲量の約90%を占める主要漁獲物41種を表1のように生物生産系・食性・生態・価格によって区分してその推移を見た(図2, 図3)。どの生態類型でも多獲性種及び中級種の漁獲が富栄養化時代に増加したことが分る。しかし、高級種の場合は、浮魚や中層種で横ばい、底魚と貝類では減少している。

これらの結果から上記類型別の資源状態は次のように要約されるようである。

(イ) 同じ生物生産系の中の同一食性群では需要の大きい種、つまり価格が高くて生産者の関心が強い種ほど資源水準は低下して来ている。

高価格種の資源状態の悪化は富栄養化以前から徐々に始まっているが、富栄養化時代前期にはその傾向が著しくなったものが多い。中価格種では逆に富栄養化時代に利用水準が上がって漁獲量が急上昇したものが多いが、富栄養化時代後期には利用が進み、漁獲量水準が資源水準を指標することになったと考えられ、資源水準はやや低下ないし、漁獲量増加率の減少したものが多い。

(ロ) 更に、同じ食性群であり、かつ同一価格群にあって生産者の関心も比較的同水準にあると考えられる種類の中では、底魚ほど資源水準の悪化が強く表われている。中層種や浮魚にはこのような傾向はみられないことから、底びき網漁業に漁獲され易い種がその影響を強く受け、資源状態の悪化したものが多いと考えられる。

つまり、これらの整理から資源状態の一般的傾向とし

表 1. 瀬戸内海における生物生産系別・食性別・生態別・価格別の魚介類分類表

生産系	食性	生態	価格	種類
魚食生産系	プランクトン食性	浮魚	多獲性 中級	シラス・カタクチ・その他のイワシ コノシロ
		中層種	多獲性	イカナゴ
		底魚	中級	イボダイ
	魚食性	浮魚	中級 高級	アジ類・サバ類 ブリ・サワラ
		中層種	中級 高級	タチウオ スズキ
		底魚	中級 高級	エソ類 ヒラメ
ベントス生産系	小エビ・カニ食性	中層種	中級 高級	コウイカ・他のイカ クロダイ
		底魚	中級 高級	ハモ・アナゴ・ニベ・グチ・他のカレイ・サメ・エイ マダイ・タコ
	中層種	中級	ボラ	
	ベントス食性	底魚	中級 高級	メイタガレイ・他のエビ・他のカニ・シャコ・ウニ・ナマコ クルマエビ・ガザミ
		貝類	多獲性 中級 高級	モガイ・アサリ サザエ・他の貝 アワビ・ハマグリ

て、多獲性（プランクトン食）種の増加と高級（肉食）種の減少、そして底魚資源状態の悪化と比較的健全な浮魚の資源状態が指摘される。

(2) 養殖業

昭和30年代において瀬戸内海における養殖生産量の拡大は10倍増に近い著しいものであった。

生産重量の最も多いノリの場合、人工採苗法が開発された35年まで約5万トンに増加していた（図4）。しかし、38年頃に沖合漁場を利用する浮流網技術が開発されるまで、その増加は低いテンポにとどまっていた。この時期までには沖合も富栄養化し、ノリ生産の場としての潜在力を備えていたが、浮流網技術の開発によって生産は飛躍的に拡大された。49年には30万トンにも達したが、その後は需要減退などの理由で生産調整が行われ、現在約23万トンの水準で推移している。

カキ養殖業の急激な拡大は30年代前半に始まった（図5）。34年には1万トン（むき身）以下の生産であったが37年には1.5万トン、42年には3.2万トンにも及んだ。しかし、富栄養化が進んだ広島湾漁場で害虫（カサネカンザシ）の大発生が起り、急減して45年には1.6万トンに半減し、その後回復は見たものの現在約2.7万トンの生産に止まっている。

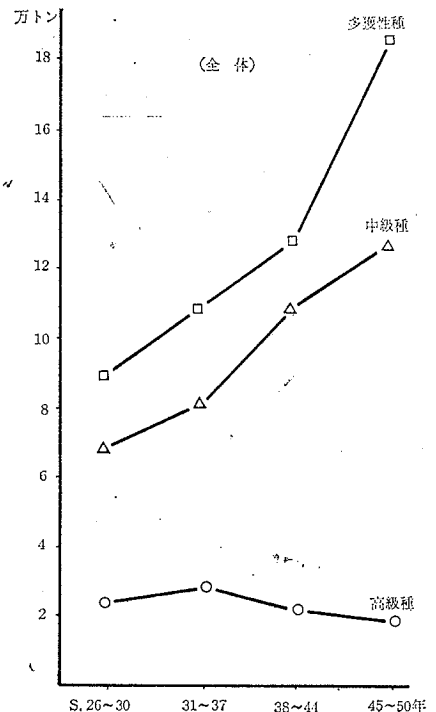


図 2. 時代別・価格群別漁獲量の推移

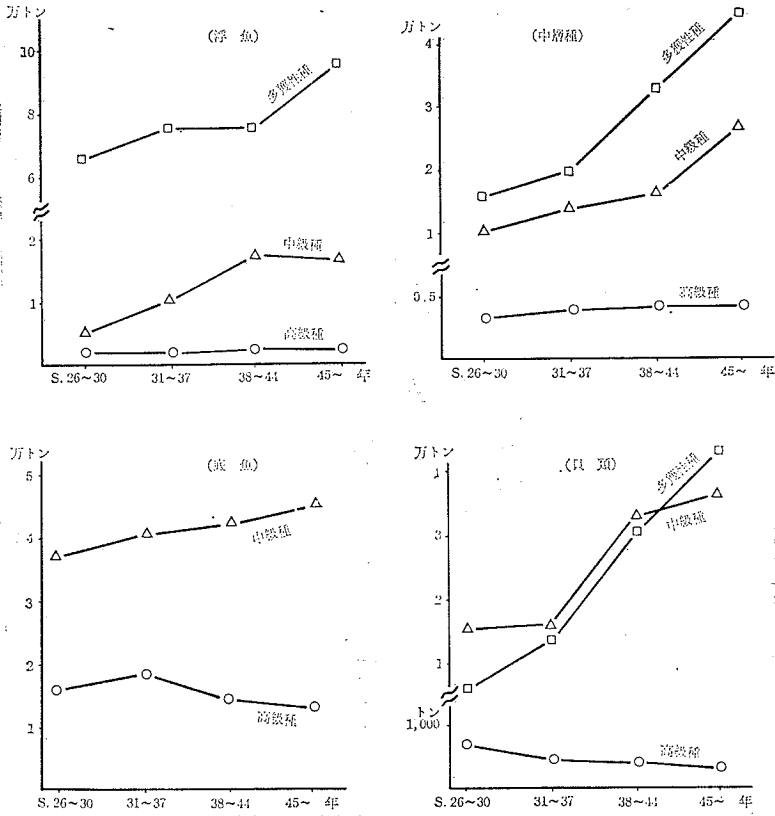


図 3. 生態類型別漁獲量の推移

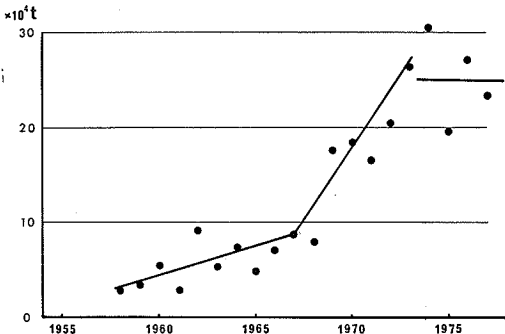


図 4. 瀬戸内海における海面養殖業生産量の推移
—ノリ(生重量)—

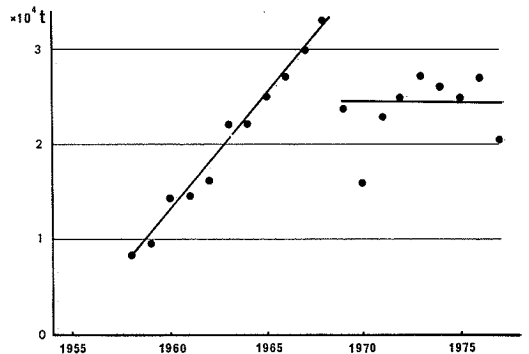


図 5. 瀬戸内海における海面養殖業生産量の推移
—カキ(むき身)—

クルマエビを含む魚類等の養殖業生産においてもこの傾向は同様である。35年までの生産は大部分がハマチであり、生産量は数百トンに過ぎなかった。しかしその後施設の拡充、技術的な進歩を背景にして生産は急激に増加し、45年までには約1万トンを越える水準に達した(図 6)。

45年頃まで約10ヶ年の経過は、施設の拡充によって、

生産は容易に拡大できると見られていた。しかし、魚類養殖が魚類蛋白など高級蛋白質しか餌料として利用できない基本的な問題のほかに、人件費・施設費の拡大などが障害となったことは明らかである。また高密度養殖による各種魚病の多発とそれによる被害も大きい生産阻害要因となっている。更に環境の悪化や富栄養化による赤

潮被害の急増などに追い打ちをかけられ、局地的には自家汚染の問題なども出てきていて投餌養殖の生産量は不安定化し、内海沿岸における立地そのものが問題となる場合も出て来た。これらの情勢を反映して、40年代後半

からは赤潮に強いとされるマダイ等の占める部分も多くなり、種類も内容も変わり生産量の増加は見られない。

2. 富栄養化と漁場生産力

(1) 漁場生産性と透明度

漁場の漁業生産性は単位面積当たり年漁獲量で比較されるが、瀬戸内海の漁業生産性は、日本の南(西)部漁場の中では、著しく高い値を示している。例えば底魚の漁獲が平均的には1~5 ton/km²/年の中で約10 ton/km²という高い生産性である。浮魚を加えた漁獲量の近年の平均値は約 21 ton/km²/年である(表2)。

灘別に生産性を見ると大阪湾の36.9トンから伊予灘の9.3トンまで約4倍の開きがある。漁獲物を魚食系とベントス食系に分けると、瀬戸内海東部では魚食系の生産性、西部ではベントス食系の生産性が高い。ただ内海の最も奥部である燧灘と備讃瀬戸では生産性が30トン以上で大阪湾を除くどの灘よりも高い。内海・内湾漁場は比

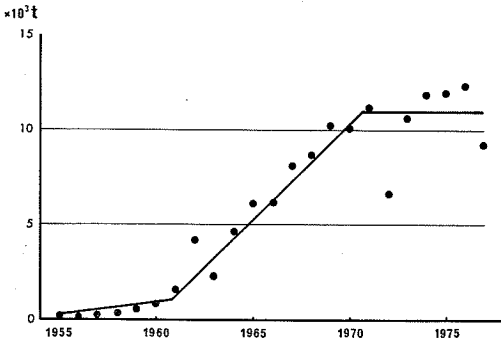


図 6. 瀬戸内海における海面養殖業生産量の推移—魚類(クルマエビを含む)—

表 2. 灘別時代別の面積(1 km²) 当り平均漁獲量 (F: 魚食系漁獲量 B: ベント) および容積(1 km³) 当り平均漁獲量 (ス食系漁獲量 T: 総漁獲量)

	灘	面積 (平均水深m) (km ²)	生産系\年	年			容積(km ³)	年		
				S. 33	38~44	45~52		S. 33	38~44	45~52
紀伊	1	1,554 (56.0)	F	13.7	12.8	18.1	87.0	244.4	228.1	323.7
			B	7.2	7.7	11.8		127.9	136.9	210.1
			T	20.8	20.4	29.9		372.3	365.0	533.8
大阪	2	1,529 (27.5)	F	19.2	27.0	30.6	41.8	703.5	986.1	1,119.3
			B	10.1	10.4	6.3		370.2	378.7	230.2
			T	29.4	37.3	36.9		1,073.7	1,364.8	1,349.6
播磨	3	3,426 (25.6)	F	8.5	13.1	14.6	88.7	329.9	505.3	564.9
			B	5.0	6.1	6.3		193.4	235.9	241.6
			T	13.5	19.2	20.9		523.3	741.2	806.5
備讃	4	916 (13.9)	F	5.1	6.9	11.3	12.7	365.9	495.4	814.7
			B	14.6	20.3	20.5		1,053.5	1,462.2	1,482.0
			T	19.7	27.1	31.8		1,419.4	1,957.5	2,296.3
燧	5	2,250 (16.7)	F	8.1	9.1	17.4	38.0	479.7	537.2	1,028.4
			B	8.7	12.6	13.1		517.9	743.4	773.4
			T	16.8	21.6	30.4		997.6	1,280.5	1,801.7
安芸	6	1,909 (26.8)	F	5.2	3.2	4.0	52.2	189.3	115.4	147.0
			B	4.5	9.1	8.0		165.7	331.5	293.6
			T	9.7	12.2	12.0		355.0	446.9	440.6
伊予	7	3,974 (53.7)	F	2.2	3.2	4.1	213.6	40.7	59.6	76.3
			B	2.2	3.6	5.2		40.0	67.4	96.0
			T	4.3	6.8	9.3		80.8	127.0	172.2
周防	8	3,100 (23.7)	F	1.3	1.3	1.4	73.6	56.1	54.9	57.4
			B	7.8	11.8	19.0		327.4	495.1	800.9
			T	9.1	13.1	20.4		383.5	549.9	858.2
計	18,658 (32.3)	F	6.7	8.3	10.9	607.6	206.6	255.7	333.6	
		B	6.3	8.8	10.3		194.4	269.3	316.5	
		T	13.1	17.1	21.2		401.0	525.0	650.0	

較的水深が浅く、表面から海底までは多様な漁獲でキメ細かく利用されている。そこで表2には灘の平均水深と面積とから容積を計算し、単位容積(1 km³)当りの年漁獲トン数も併せて求めた。内海全域では650トン/km³/年であり、魚食系(333.6トン)とベントス食系(316.5トン)の漁獲物がほぼ半々である。灘別には最も奥部の備讃瀬戸(約2,300トン/km³/年)と燧灘が高く、伊予灘(約170トン/km³/年)で最も低い。

海域の生物生産性を容積当りで見ると浅海ほど高い筈であり、漁場を表層から海底まで利用する内海・内湾では、漁業生産性も浅海ほど高いことが予想される。図7には漁場の平均水深と生産性(容積当り漁獲量)の関係

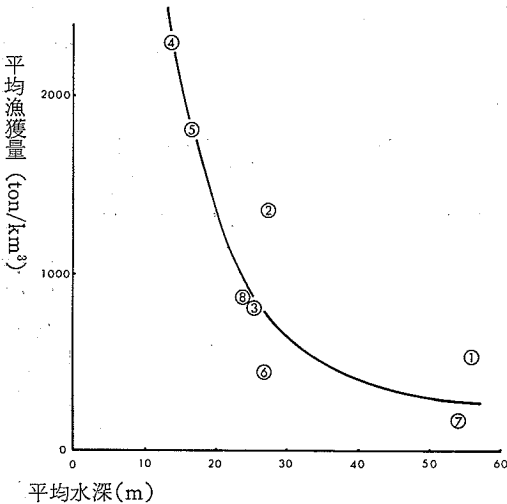


図7. 漁場の平均水深と生産性
(○の中の数字は灘番号、
生産性は昭和45~52年の容積当り平均漁獲量)

を示した。浅海ほど高い状況が明らかである。

内海・内湾の内湾度は種々の要素で標示することができようが、瀬戸内海漁場の内湾度を平均水深と透明度の2つの要素で表わしてみる。つまり漁場水深が浅い程、また透明度が小さい程、内湾度が大きいとする考えである。この表示方法では内湾度(E)は

$$E = k/D \cdot T$$

D: 水深(m)

T: 透明度(m)

k: 係数

で表わされる。各灘の内湾度を数値化した値を表3に示した。

この式で数値化した内湾度の時系列変化は透明度の変化に対応することになる。そこで各灘の昭和26年以来的の透明度の変化を、表3にあげた年次について図8に示した。

この図に見るように透明度は戦後以来年次を追って着実に低下している。従って内湾度は逆に年次を追って上昇したものと見られる。西部水域は東部水域にくらべて透明度の低下(内湾度の上昇)は小さく、また安芸灘・周防灘の変化は外海水の流入状況による変動が大きいと考えられる。

内海の8灘について47年の内湾度と45~52年の平均漁獲量から求めた単位容積当り年平均漁獲量の関係を図9に示した。この関係は漁獲量として灘の総漁獲量をとった場合に比較強い相関関係が見られ、内湾度の高い漁場ほど生産性が高いことを示している。

また同一漁場では透明度の低下に伴って生産性が上昇していると見て良いであろう。

(2) 増大した漁場生産力とその利用

表3. 灘漁場の内湾度 (E=k/D・T)

灘	紀伊 1	大阪 2	播磨 3	備讃 4	燧 5	安芸 6	伊予 7	周防 8
平均水深 (D ^m)	56.0	27.5	25.6	13.9	16.7	26.8	53.7	23.7
透明度 (T ^m)	S.26	12.5	5.0	7.5	7.7	8.2	8.4	12.0
	S.33	10.5	4.8	9.0	6.6	9.3	7.5	10.3
	S.40	9.2	4.6	6.9	6.0	5.8	6.1	9.3
	S.47	7.9	4.3	5.1	3.7	5.9	9.6	10.1
内湾度 (E)	S.26	1.4	7.3	5.2	9.3	7.3	4.4	1.6
	S.33	1.7	7.6	4.3	10.9	6.4	5.0	1.8
	S.40	1.9	7.9	5.7	12.0	10.3	6.1	2.0
	S.47	2.3	8.5	7.7	19.4	10.1	3.9	1.8

T: 透明度は、南西水研と瀬戸内海関係11府県水産試験場が測定した結果を整理した資料(近藤正人: 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」, 1978, Vol. 54, No. 2~3) によった。

k: 1,000 として計算

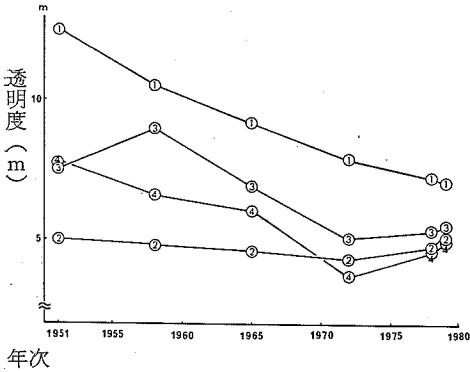
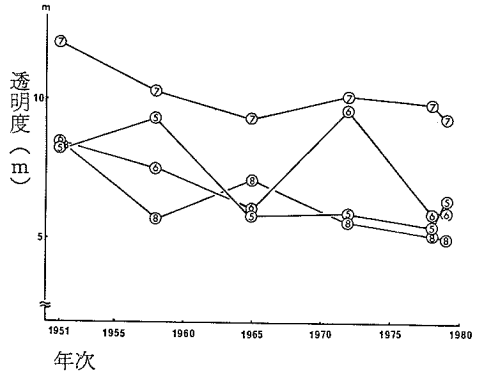


図 8. 透明度の年次変化



(○の中の数字は灘番号)

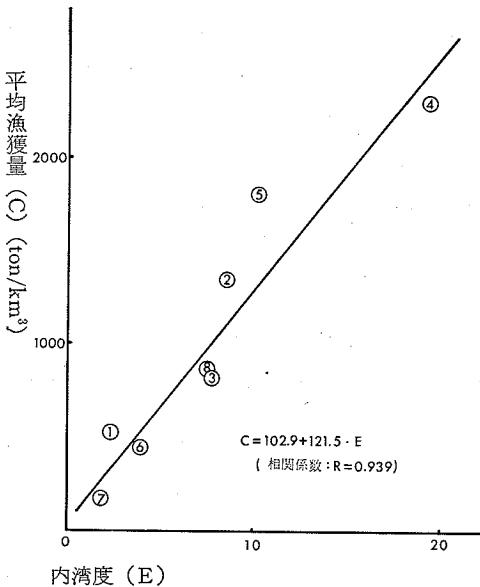


図 9. 漁場の内湾度と生産性

(○の中の数字は灘番号 内湾度(E)は表3による生産性は昭和45~52年の容積当り平均漁獲量)

かつて瀬戸内海の総漁獲量が約15万トン以下であった第2次大戦前の時代に、漁業は豊かな資源を背景に、高級種を少量漁獲して成り立っていた。戦後の機械化などによる大量漁獲によって漁獲は量的に大きく増加した。しかし大量漁獲はまずマダイなど高級種といわれる比較的栄養段階の高い種類から資源状態を悪化させて行った。高級種の漁獲が減ると経営を維持し拡大するため比較的栄養段階の低い種にまで漁獲を抜げて行くことになった様である。

26年から52年までの瀬戸内海における種別漁獲量と魚種-食性マトリックスから、生物生産系別漁獲量なら

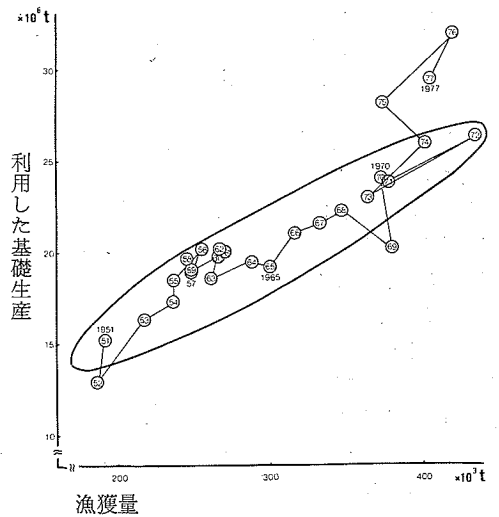


図 10. 漁獲量と利用した基礎生産量の推定値

○内は西暦年

びにこの漁獲量に対応する基礎生産量、および漁獲物の平均食性段階を計算した(関係諸表略)。

まず図10には内海全域における漁獲重量とその漁獲物を通して利用したと推定された基礎生産量の関係を示した。全体として見ると長期的に明らかな相関関係が見られる。ただ50~52年の最近3年間は26年以來の長期的な関係から外れている。これは内海全域、とくに西部水域におけるシリヤケイカなどの大発生に依るものである。

漁獲量が約20万トンから約42万トンに増加した間に、利用した基礎生産の推定値は約1,500万トンから約2,700万トンに増大している。つまりこの間の漁獲努力の強化によって海域の生物生産の利用を高めたことが分る。

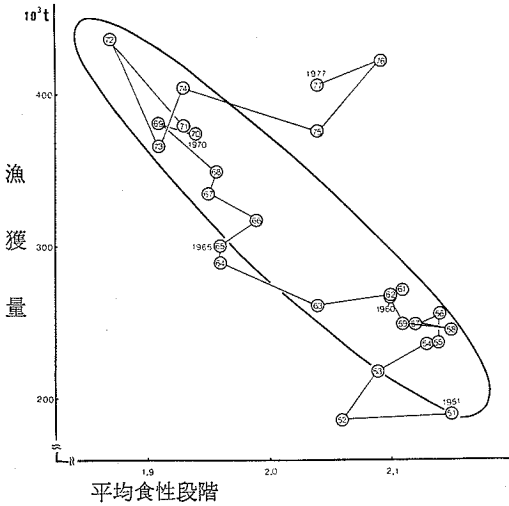


図 11. 漁獲量と平均食性段階
○内は西暦年

次に図11には内海全域の漁獲量と平均的食性段階との関係をプロットした。この場合には長期的には明らかな負の相関が見られ、26年以来短期的な例外を除けば漁獲量の増大とともに平均食性段階は低下している。ただこの場合も50年以後の3ケ年は長期的な関係より食性段階が高い値となっている。

3. 論 議

(1) 瀬戸内海の富栄養化と漁業

内海・内湾漁場の典型である瀬戸内海は第2次大戦後に大きい変貌を余儀なくされた。それは沿岸の都市化・工業化によって、沿岸漁場環境の変化と漁業自らの変質を示す過程と考えられるが、漁業生物学的に見ても次の2つの大規模実験を試みたとも見ても良いであろう。即ち、半閉鎖的な内海・内湾漁場における

(i) 施肥による富栄養化実験

(ii) 徹底した漁獲(間引)強化実験

である。

もちろん瀬戸内海漁業といった産業規模の変質が内容であるから、実験と呼ぶことには問題がある。そして漁獲努力の強化と施肥が同時的に進行している点、また条件も計画的に設定された訳ではなくその再現性もない。しかし、所謂高度経済成長期に底曳網漁業を中心に進められた漁船の高馬力化と大型化とによって、また操業度を高めることによって、漁獲努力が年々急激に強化されたことと推定されることと、一部海域を赤潮の常習水域とした急激な漁場環境の変質とは、実験と呼ぶにふさわしいものであったと思われる。今後このような変化が度

々起るとは考え難く、少くともそのような意味で、この変質をとらえて見る必要がある。

この時期に漁業資源がどの様になったかについての検討は容易ではない。富栄養化が進んだ時期には大阪湾などでカタクチイワシなどプランクトン食種資源が増大したと見られる証拠がある。しかし前述のようにこの時期カタクチイワシの脂肪含有量増加による「油イワシ」の出現や需要減退によって漁業による利用も低下し、プランクトン食種資源増大を海域の富栄養化だけと結びつけることは危険である。

しかし、内海漁業全体としてはこの約30年間に一貫して漁獲強度が高められたことは確かで、それによって漁獲の質を変えてきたことも明らかである。特に漁獲の量的拡大は著しく、量的に見る限り瀬戸内海では「いくら獲ってもまだ獲れる」ように見えた時代であった。この事実は富栄養化した水域の生物生産性が獲り方次第で生産重量としては相当大幅に変わること示したものと考えられる。

(2) 富栄養水域の漁業による利用

a. 環境は制御できるか

高度経済成長期に内海域の環境が年々悪化した時代に、瀬戸内海の将来について極端な悲観論が支配的であった。瀕死の海といい明日が無いといわれ、漁業生産の場としての将来はなく、赤茶けた水をたたえる工業運河を予測させる時代であった。

今日この極端な悲観論が誤りであったことは明らかである。同時に極端な楽観論が誤りであったことも明らかである。つまり内海水域環境を制御し得たかという問いに対して答は否である。

しかし、昭和48年に施行された瀬戸内海環境保全臨時措置法は、遅々としてではあっても、環境悪化に歯止めをかけ得たと見られよう。現状において環境の悪化を阻止するのはこの様な法的規制の他には期待を持つことが難しい。最近の内海水域環境にみる改善のきざしは、その可能性と限界性を示すものであろう。

b. 有効利用のために

このような情勢の中では富栄養化以前の内海水域環境を直ちに求めることは不可能である。したがって、環境改善のための努力と併せて、富栄養化した内海漁場の有効利用を考えなければならない。

まず短期的には近年多発する傾向にある大発生種の利用が重要である。貝類やシリヤケイカのようにベントス食系種の大量発生を見る場合が多いが、カタクチイワシ等プランクトン食種の発生も年々大きく変動する。これ

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は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