

6. 内湾における物質循環と生物生産*

— 三河湾を例にして —

佐々木 克之 (東海区水産研究所)

内湾—浅海域は漁業生産に重要な場と言われている。その理由として、①生産性が高く魚種が豊富であること、②稚魚の生育の場であること、があげられるが、さらに、③沖合域への栄養物質の補給源の役割があると考えられる。本来このように豊かな漁場も、1960年代の高度経済成長政策のもとで、富栄養化が進行して赤潮や貧酸素水塊が発生し、埋立てによって漁場そのものが失われるなど大きな打撃を受けてきた。200海里時代に入って沿岸漁業の重要性が声高に言われているが、実際には必ずしも有効な対策がとられていない。これは、赤潮のような目に見える現象については研究が精力的に取り組まれても、内湾のもつ豊かな生産性や、富栄養化と埋立てが生物生産に及ぼす影響については研究が十分なされていないことに一因があると考えられる。ここでは、三河湾を例にして、窒素循環の研究から得られた生物生産に関わる結果について述べる。

1. 三河湾の地勢と漁業の概況

三河湾は図1に示すように、平均水深が約9m、浅海地形が発達していて、栄養も豊富であり、海産生物の餌である動植物プランクトンやベントス類も豊富である。三河湾の地勢の特徴と漁業の変遷については、愛知県水

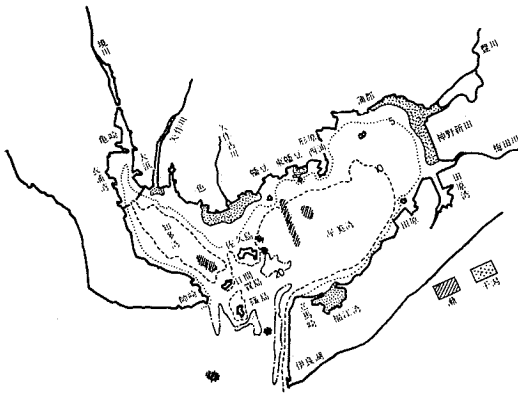


図1 三河湾の地勢

* シンポジウムでは「内湾における富栄養化現象と漁業生物」と題して報告したが、標記のように改題した。

産試験場の船越(1981)がまとめているが、それによると、田原町、幡豆町の角建網漁獲物を見ると、表1に示すように、110種の幼稚魚のうち漁業生物となっている幼稚魚は76種にも及び、三河湾が多くの生物の幼稚魚の生育の場となっていることを示している。三河湾における漁獲量の経年変化を見ると、プランクトンフィーダー(イワシ類、イカナゴ、コノシロ、アジ、サバ)の漁獲は少しずつ増加しており、これは富栄養化のためと思われる。しかし、いくつかの魚貝類(たとえば、トリガイ、ハマグリ、マダコ、コオイカ、マダイ、コチ、…)の漁獲量は明らかに減少している。これは、産卵もしくは生育に浅場の条件が必要である場合この浅場が埋立てで失われたため、また産卵、生育の場が夏季の平場である場合貧酸素水塊により打撃をうけるため、などの原因によると考えられる。表2には、魚の産卵・生育と埋立てや貧酸素といった環境悪化とを関連させて整理した結果を示した。この表で、生態区分のAは、湾内で生涯を送る生物、B-aは産卵場が湾内で、生長すると湾内外を移動する生物、B-bは産卵場は湾外であるが生長期を湾内で送る生物である。●は悪影響を受ける場合で、たとえば産卵もしくは生育の場が夏季の5m以深であるならば貧酸素の悪影響を受けることになり、また場所適性については、産卵とか生育などに必須の場とくに干潟とか細砂の浅場や藻場が失われている場合には●となる。○は影響がないと考えられる場合で、△ははっきりしない場合である。これを見ると、当然のことながらAの魚貝類は埋立てや貧酸素で大きな影響を受けるものと考えられる。

内湾におけるこのような生物生産や環境悪化の問題について物質循環の観点から量的にとり扱った研究は少ない。我々は三河湾で窒素に注目して物質循環の問題にとり組んできたので、生物生産と関連させて以下に述べる。

2. 渥美湾の窒素の循環の概要

我々は、ボックスモデルの手法を用いて、窒素(N)の収支と循環を求めた。その方法の詳細は松川(1981)が既に述べているので省略するが、大要は愛知県水産試験

表 1 田原町, 幡豆町角建網漁獲物中にみとめられた 100 種類の幼稚魚のうち漁業生物と なっている 76 種類の幼稚魚

魚 類	コ ノ シ ロ マ ア ジ シ マ イ サ ギ マ ア ナ ゴ マ ハ ゼ ア イ ナ メ イ シ ガ レ イ カ ワ ハ ギ マ エ ソ ム ツ ブ リ テ ン ジ ャ ク ダ イ ヘ ダ イ ギ ン ポ メ ジ ナ	マ イ ワ シ ヒ イ ラ ギ キ ビ レ ボ ラ メ バ ル マ ゴ チ メ イ タ ガ レ イ ギ マ サ ヨ リ ヤ マ ト カ マ ス カ ン パ チ コ ト ヒ キ キ ユ ウ セ ン ウ マ ズ ラ ハ ギ ヒ メ ジ	カ タ ク チ イ ワ シ ス ズ キ マ ダ イ ア ユ タ ケ ノ コ メ バ ル ヒ ラ メ ク ロ ガ シ ラ カ レ イ コ シ ョ ウ ダ イ イ シ モ チ ア カ カ マ ス ヒ ラ マ サ イ イ ボ ダ イ ネ ズ ヅ ポ ト ラ フ グ ホ ウ ボ ウ	マ サ バ ク ロ ダ イ キ ス ウ ナ ギ ク ジ メ マ コ ガ レ イ ウ シ ノ シ タ ツ ル マ キ ア カ エ イ マ ル ア ジ イ シ ダ イ イ シ ガ キ ダ イ ア イ ゴ サ バ フ グ
軟 体 類	ア オ リ イ カ ハ リ イ カ テ ナ ガ ダ コ	ジ ン ド ウ イ カ ヤ リ イ カ	コ オ イ カ マ ダ コ	ミ ミ イ カ ミ ズ ダ コ
甲 殻 類	ヨ シ エ ビ ガ ザ ミ	モ エ ビ ジャ ノ メ ガ ザ ミ	ク ル マ エ ビ タイ ワ ン ガ ザ ミ	ク マ エ ビ イ シ ガ ニ

(愛知水試藻場保護水面効果調査, 昭和 40~54 年)

場の毎月の観測結果に基づき, 水と塩分の収支のボックスモデルによって水理条件を求め, この水理条件を用いて, Nの収支のボックスモデルによってNの循環を求めたものである。Nは海域で溶存態, 懸濁態, また有機態および無機態に相互転換している。溶存態無機N(DIN)の場合, これは硝酸, 亜硝酸およびアンモニアの総和であるが, 収支計算により減少するという結果になれば光合成によって消費されたと考えられ, 増加すれば分解によって溶出したものと考えられる。溶存態有機N(DON)や懸濁態有機N(PON)の場合も同様で, 全窒素(TN)=

PON+DTN(溶存態全N), $DTN=DIN+DON$ の関係にある。これら各態Nの収支を扱うことによって, 光合成や溶出, 上層から下層への沈降や底泥への堆積量を見積もることができる。

図 2 には渥美湾のNの流入負荷量, 現存量および成層期の上層の光合成量の経月推移を示した。冬から春にかけては, 海水の鉛直混合によって底層まで酸素は豊富で, 流入負荷量も小さく, 湾内のTN現存量も小さい。6月から7月にかけての梅雨期の降雨増水に伴ない流入する負荷量も増加し, 水温の上昇とともに代謝活動が活発となって, 上層では赤潮, 下層では貧酸素水塊が発生する。流入する負荷量の増加→光合成による懸濁態の増加→沈降と溶出の過程を経て湾内のTN現存量が増加する。やがて秋から冬にかけ底泥からの溶出量が減少してくると, TN現存量も減少してくる。

図 3 には, 渥美湾内(この場合図 1 の幡豆—福江より奥)のNの循環を, 成層期(4~10月)の平均を用いて示した。Nのうち, DONは周年あまり変化がなく安定しているの, 光合成と分解を受けながら実質的に湾内を回転しているのはDINとPONとみて良いと考えて, 図 3 にはDINとPONの循環を示した。上層では, 河川から7(ton N/day)と下層から23の合計30供給され, そのなかで24のDINのうち19がPONとなる, すなわ

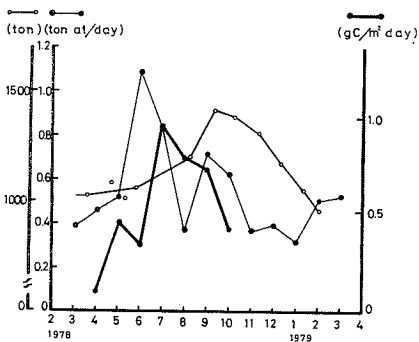


図 2 渥美湾における流入負荷量(●—●), TN現存量(○—○)および光合成量(●—●)の経月推移

表 2 各生物の生態と環境悪化との関連

生態区分	生物名	産 卵		生 育		以前の比較
		貧酸素	場所適性	貧酸素	場所適性	
A	イシガレイ	○	○	●	●	△
	マコガレイ	○	○	●	●	△
	マダコ	○	●	●	●	●
	シヤコ	○	○	△	○	△
	アサリ	○	○	○	○	○
	ハマグリ	●	△	○	●	●
	アカガイ	△	○	●	○	●
	サルボウ	△	○	●	○	●
B-a	トリガイ	○	○	●	●	●
	コオイカ	○	●	○	●	●
	シラウオ	○	○	○	●	●
	サヨリ	○	○	○	●	●
	アオリイカ	○	○	○	●	●
	ヒイラギ	○	○	○	○	○
	ギマ	○	○	○	○	○
	シロギス	○	○	○	○	○
B-b	アカエイ	●	●	○	○	●
	コノシロ	○	○	○	○	○
	クロダイ	○	○	○	○	○
	カタクチイワシ	○	○	○	○	○
	イカナゴ	○	○	○	○	○
	コチ, エソ	○	○	●	●	●
	メイタガレイ	○	○	○	○	○
	スズキ	○	○	○	○	○
ボラ	○	○	○	○	○	

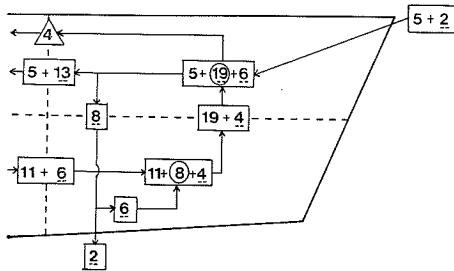


図 3 渥美湾内における成層期（4～10月）の平均のN循環と収支
 数値: ton/day, 四角枠内の無印は DIN, ---- は PON, ○は PON または DIN の生産, 三角枠内は DON の生産

上層で光合成が活発なことをものがたっている。上層の25のPONのうち約1/3の8が下層に沈降し、13はそのままPONとして、4だけDONとして湾外へ輸送されたことになる。下層では、上層から沈降してきたPON

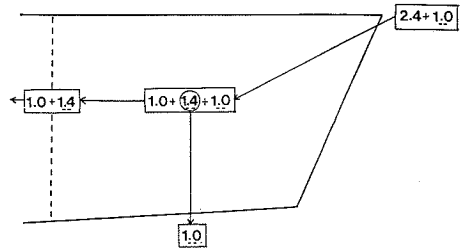


図 4 渥美湾内における対流期（11～3月）の平均のN循環と収支
 とり扱いは図3と同じ

と沖側から輸送されてきたPONの合計14のうち、8が分解されDINとなり、残り4は上層へ、2は底泥へ堆積することになる。沖側の断面では流入が17、流出が22、差し引き5だけ流出していることになり、河川からの流入量が平均7ton N/dayであるのでその約7割が沖合域へ流出していくことになる。

図4には対流期（11～3月）の平均のNの循環を示した。成層期に比べ流入負荷量は約半分であり、PON₁生産は成層期には11なのに対して1.4と小さく、沖合域への輸送量も約半分となっている。

3. 三河湾の窒素循環と生物生産

(1) 河口域の特徴……河口域には河川から直接栄養塩が供給されるとともに、河川水の流入によりひき起こされる湧昇に伴って下層から豊富な栄養塩が供給され、河口域は栄養塩が集中する場となる。河口域ではこのように集中した栄養塩を植物プランクトンが光合成によって急速にとりこみ、一次生産が高いことが予想される。実際に豊川河口域の塩分とクロロフィルaとの関係を見ると(図5)、河口の混合域である塩分24～26‰付近にクロロフィルaの大きなピークが見られ、上記の予想を裏付けているように思える。図6には、Nの態別の流入負荷量と上層の光合成量および下層の溶出量を示したが、西浦一姫島より湾奥部であるOKUBUの光合成量は、西浦

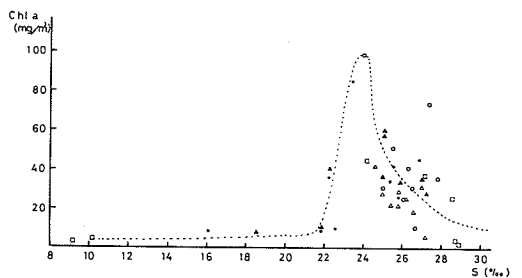


図 5 豊川河口域における塩分(S)とクロロフィルa (Chl a) の関係

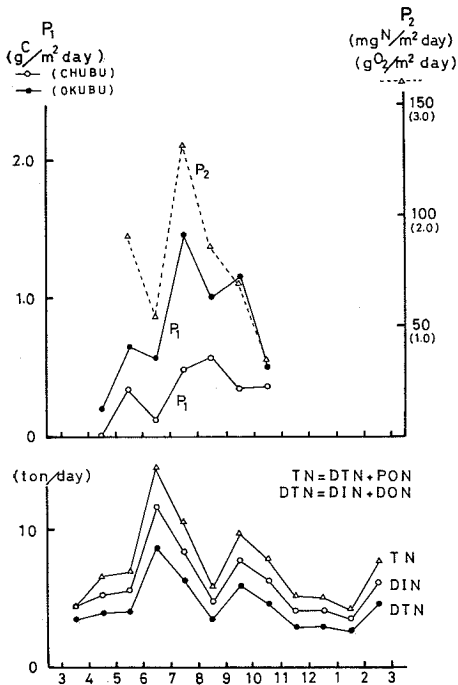
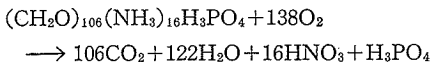


図6 渥美湾における態別流入負荷量(下層)の溶出量(P₂)およびOKUBUとCHUBUの光合成量(P₁)の経月推移

一姫島と幡豆一福江の間のその2~3倍高いことが示されている。このように見ると、河口域では、Nの循環路が太くかつ速度がすみやかで、この速いN循環が内湾の生物生産に大きな役割を果していると思われる。図3に示した循環路も実際には均一平均的ではなく、河口域で太く、沖合域で細いということになり、また生物生産構造も、河口域で高い一次生産があり、これが順次底生生物や動物プランクトンから魚へ連鎖していることを予想させる。河口域の内湾の生物生産に果す役割について今後の研究が期待される。

(2) 富栄養化に伴う夏季の貧酸素水塊の形成……図3に示したように、成層期には河川から流入するPONの4倍のPONが上層から下層に沈降して分解を受け、この分解の際に溶存酸素を消費するので下層は貧酸素状態となる。図6には、下層におけるNの溶出量(P₂)を単位面積あたりに換算して示したが、夏季には100mg N/m²・day程度の大きな溶出量となる。植物プランクトンの分解の式



を用いてこの溶出量を酸素消費量に換算すると、1~3g O₂/m²・dayの酸素消費速度となる。現在の渥美湾の奥部では7~8月にかけて底層は無酸素状態となり、すでに述べたように漁業に被害を与えている。これを回復するには、下層の酸素消費量を減少させる、そのためには流入する負荷量を減少させなければならない。酸素収支を見積もってみると、Nの負荷量が25%削減されれば、現在の無酸素状態から1ml/l(酸素飽和度約20%)、50%削減されれば2ml/l(同40%)まで改善されるという結果となった。貧酸素水塊の形成と負荷量との関連についての量的なとり扱いは今まであまりなされていないが、この問題に検討を加えて漁業生物が回復するよう負荷量削減の努力が望まれる。

(3) 内湾から沖合域への栄養物質の補給……図3と4に示したように、渥美湾から沖合域へNが流出・流入しているが、これを態別に分けて図7に示した。夏季には、下層でDIN濃度が高いためDINは湾内に流入しているが、DONおよびPONは流出しており、結果としては夏季では流出量は冬季より多くなっている。全体としては、河川から流入する形態はDINが多い(図2)が、沖合域へはPONおよびDONの形態で流出しているといえる。このようにして沖合域へ補給されたPONおよびDONが、沖合域の生物生産にどのように関連しているのかという問題の解明は今後の研究にまたなければならないが、この問題が昨年のシンポジウム(水産海洋研究会報第37号 p. 43~78, 1980)で話題になっていたので検討してみた。東海区のプランクトン食性浮游類の経年推移から増加率を1万トン/年、マクロプランク

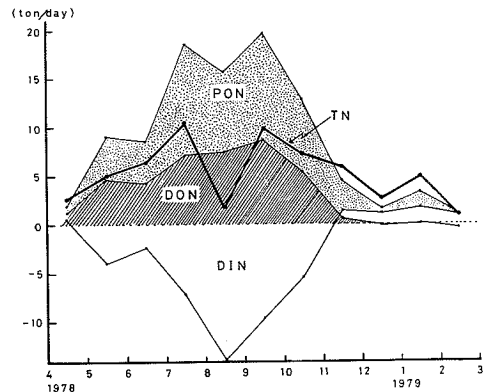


図7 渥美湾の幡豆・福江の線からの態別Nの沖合域への流出
負は湾内への流入を示す。TNは流入および流出を合計した実質的な流出量を示す

トンの現存量の推移から増加率を $0.3\text{g}/\text{m}^2\text{年}$ 、東海区水域の面積を $12 \times 10^{10}\text{m}^2$ 、湿重量の N 含量を 2% として計算を行なった。一方、伊勢・三河湾、東京湾への N 負荷量は約 600 トン/日と報告されている（西條・宇野木，1979）ので、湾外への流出量が 1/2、沈降量が 1/2 として、さらに負荷量が 10 年間で 2 倍になったとして計算を行なった。その結果、沖合域へ輸送される N の増加率は $2.5 \times 10^9\text{g}/\text{年}$ 、マクロプランクトンの N の増加率は $7 \times 10^8\text{g}/\text{年}$ 、浮魚漁獲物中の N の増加率は $2 \times 10^8\text{g}/\text{年}$ と見積もられた。この見積もりには様々な問題点（浮魚は必ずしも東海区のマクロプランクトンを餌としていない、相模湾・駿河湾からの負荷や深層水からの負荷を見ていない……）を含んでいるがあまり不自然でない結果なので、沿岸域への負荷が沖合域の生産に関与している可能性はあると思われる。

船越ら（1979）は、渥美外海の 10 年以上にわたる海況調査を整理して、7～8 月には湾内系水が渥美外海に大きく張り出していることを明らかにしている。我々の結果から考えると、夏季には多量の PON および DON が沖合域へ輸送されるので、大きく張り出した湾内系水中の PON や DON の消長を水平的および鉛直的に把握して、渥美外海の漁業生産と結びつけるような研究、すなわち沿岸域と沖合域との間の物質循環の研究が近い将来の研究課題となるものと思われる。

文 献

船越茂雄（1981）三河湾・環境と漁業—漁業生物の変

遷。さかな（東海区水産研究所業績 C 集），26，83-113.

船越茂雄，柳橋茂昭，岩瀬重元（1979）三河湾ならびに渥美外海の平均的海況。水産海洋研究会報，34，115-127.

松川康夫（1981）三河湾・環境と漁業—内湾における物質収支の解析法，さかな（東海区水産研究所業績 C 集），26，155-159.

西條八東，宇野木早苗（1979）内湾の物理環境と有機物生産。環境科学としての海洋学，東京大学出版会，3，109-125.

質 疑 応 答

質問：湾内の物質収支で海底への堆積を 2 ton/day と見積もられているが、たまったものは最終的にどうなるのでしょうか。年に何回かの大時化などで、これらも外洋へ出てしまうことは考えられませんか。（平野，東大海洋研）

答：せいぜい普通の低気圧が来る程度の平均的な場合をしめたもので、堆積量としては実測値とそうかけはなれてはいないと思います。勿論、台風などで大きな変化が起こることは予想されます。

質問：いま、夏の場合について話されましたが冬ではどのくらいの見積もりになるのでしょうか。例えば東京湾とくらべて。（石野，東水大）

答：冬には、かなり出入りが小さいです。1/3 くらいだったと思います。堆積量はあまり減りません。東京湾では海域も広がりがレベルとしてもはるかに高い状態にあります。

7. 黒潮流域における海洋環境の長期変動

宮 田 和 夫（南西海区水産研究所）

1. はじめに

日本南海の沿岸の生物生産の場に対応する海洋環境で重要なものは、陸水起源の沿岸水塊と黒潮の表層水塊の混合率であり、その性状を表わす項目として、流動・水温・塩分・溶存酸素量の変化をみる必要がある。この 4 項目の内、外洋において 1 年以上の長期の変動を解析できるのは、流動と水温のみで、とくに水温を指標とした場合には 10 年以上のデータを容易に得ることができる。

川合（1972）は、200m 層指標水温を定義し、既往の

鉛直水温観測結果から黒潮主軸の位置を推定する方法を考察した。この方法によると、精度上の問題はあるが 1932 年以降の多数の流軸位置に関する情報を近年の GEK による同様の情報と、ほぼ同じ水準で扱おうことができる。

ここでは、川合の方法を用いて得られたデータをさらに検討し、1932 年以降の黒潮流軸位置の長期変動にみられる特性の一部を述べるが、この長期変動の再現性は非常に高く、一般的な漁場予測・漁況予測・漁業の長期開