

## 1. 全地球的海洋汚染の現状と諸問題

宇田道隆(東海大学海洋学部)

海洋は今世界のゴミ溜めになろうとしている。大気からも汚染物が気流に運ばれて来て落下、中には雨雪により洗い落され、河川を通じて流入、また船舶による海上投棄等々が原因である。口では海洋汚染の防止を何年も唱え続けながら現実の海はどこも汚れる一方で、日本沿海は1972年夏赤潮によるハマチの大量斃死から沿岸魚貝類の水銀、PCB汚染による食料問題になり、漁業関係者の一揆的騒動(1973年6-7月)に発展した。すなわち海洋環境悪化と汚染防止の進歩は微々たるものである。国々及び企業の貧欲と利己主義がこの人類共有財産の海洋を汚染して回復困難にまで傷害する悲劇を展開している。

日本以外でもバルト海とか地中海とか半閉塞海の汚染がひどい。日本でも瀬戸内海、東京湾、伊勢湾などでひどい。汚染は有限地球資源の浪費である。

### 油汚染

これこそ貴重な地球活力資源の浪費である。

タンカーからの油流失が最もひどい。1971年サンフランシスコ湾でタンカー同士衝突事故をはじめ、米国だけで推定年1万件、汚染事件の4分の3は油汚染とされる。海運中や港内事故を通しての油の海への流入量は少くとも年100万トンはあると推算され、陸上起源を含む総流入量は年600万トンぐらい(工業機械廃油130万トン、自動車類廃油180万トン、精油所30万トン、事故流出20万トン、沖合油井堀削10万トン、タンカー操業53万トン、その他船舶50万トンなど)とみられる。タンカーからの最大の油汚染は、事故あるいは故意の油バラスト放出と載貨油槽洗滌による。荷下ろしてタンカーは貨物空間の約3分の1を水で充たして安定を保ち、次の載荷前に放出するが、以前から内壁についていた油が百トン以上も洗われ出る。しかし load on top System (汚水タンク方式)が油を上に乗かせて水と分離するので今や原油海運75%はこれにより、年150万トン以上の原油の海上放出を防げるようになった。しかし1970年タンカー油輸送量は9.5億トンで1967年の6.5億トンに比べて年々激増しており、タンカーの船型も巨大化し、載油仕切り区画も増大した。

30万トン級タンカーの1翼油槽だけで2.4万トン、第2次大戦T-2タンカーの全載荷1.6万トンより多い。50万トン以上のタンカーもできてきている。今やタール状残渣や廃油塊は油汚染の最初生成物として全世界海洋に広くひろがり分布している。これが海産生物にどういう影響を与え、最終的な「海の健康」にどのような悪影響を与えているかは未解決である。油は色々な炭水化物の集まりだが、最も毒性の強いのは揮発性のものである。といっても重い方の部分も有害で、少くとも魚卵、稚仔などまきこんで殺したり、魚貝に油臭を着けたりする。

油の成分が生物体内に濃縮せられ、高位の生物に食物連鎖を通じて送りこまれ、人体に発ガン物質を運びこむ役もする。油の流出後一部生物をその成分が誘引し、大形生物を殺す可能性もある。例え

ばイセエビに似たロブスターがケロシンに通常の食餌を離れて誘引され、米国マサチューセッツ州ウエスト・フェルマウスで燃油流出時無数のロブスター死体が岸に打ち上げられた。海面の油シオメも他の汚染物質を海洋環境に入るのを助ける。DDTのような化学物質も油と親和性をもつが、水には溶けない。こうしてプランクトン体内にDDTのようなものが石油成分と共に入りこむと結局順次食物連鎖をたどって人体に入る。

海産生物の油汚染の危険にさらされ易いのは沿岸地帯である。洗剤による油分散はトレー・キャニオン号油流失事件でその溶剤が極めて海産動物に有毒で、大被害を与えたことがわかった。今でもこのような油分散剤を用いず油沈でん物の自然崩壊をみるのを生態学者は選ぶだろう。

油汚染は直接人体にも海水浴場などで脅威を与える。石油は発ガン物質を含んでいる。油で持続的に汚染される区域の海産生物研究からそれに連続的に曝露する結果としてガンの生長をみる。ウツスホール海洋研究所のM. Blumer 博士は海岸に油のきれいに分散したものの油塊存在することから連続的な皮膚接触からの深刻な公衆衛生災害を充分構成し得るとした。

#### 下水と過栄養

健康にも快適度にも脅威となるのは沿岸水域に未処理下水の大量放出である。臭気、汚物、一般の濁り、病原性微生物が下水と共に放出され、健康に危険を及ぼす。海に元来ある自浄作用が汚染負荷水では利かなくなる。

熱帯汽水湖から地中海まで閉塞乃至半閉塞海内で産業的・家庭的廃水の過度負荷が恐ろしいほど沿岸水の健康を損じた。イタリー都市では未処理の下水を地中海に流しこみ、1971年同国 6000 登簿海岸が厚生省のきめた新健康標準により危険な汚染状態にあると報告された。これは下水処理施設を完備すれば避け得られる。しかし処理済み下水でもその栄養負荷により、海洋環境に脅威を与える。

この豊富な肥料が特に熱帯・亜熱帯の汽水湖に災害的悪影響を与える。例えば、ハワイの一湾で、下水口近くが生物の砂漠のように荒廃、残りの部分も大かた下水放出の栄養分で支えられた厚い藻類のマットの下で、生物が窒息して滅亡の状態となった。厚さ 30cm もあるこのカバーの下でサンゴ造礁生物が死に、礁自体崩壊していた。

産業廃水等 人為的汚染化学成分流入が天然流入を越えた。

	地球化学的な地質学的流入率		人間活動による率(1000トン/年単位)
鉄	25000	<	319000
チッ素	8500	<	9800
マンガン	440	<<	1600
銅	375	<<	4460
亜鉛	370	<<	3930
ニッケル	300	<	358
鉛	180	<<	2330
リ ン	180	<<	6500

モリブデン	13	<	57
銀	5	<	7
水銀	3	<	7
錫	1.5	<<	166
アンチモン	1.3	<<	40

このような栄養塩や刺激物質の過剰流入が植物プランクトンの急速生長繁殖から赤潮（毒性植物を含む）を発生させる。そして死滅時には大量の酸素を消費する。酸素が減ると海産生物が息の根を止められる。

魚族の水銀汚染は水俣病や、マグロ・カジキ・サメ等の汚染で世界的に有名である。北米ではカジキ禁漁、豪州でサメ禁漁となった。海洋生物体内で無機水銀が恐ろしい死のメチール水銀に変えられることは近年の研究で明かになった。水銀汚染源は毎年4000-5000トン工業の方からだけでも流しこまれており、これが海産生物体内にメチール水銀を造り上げ、これを食べる人体内に送りこむのに与っている。生物学的濃縮で何千倍～何百万倍になることは否定できない事実で、DDTその他の農薬で既に周知のことである。河川流入や海洋投棄のほか、大気に入り、気流に乗って来るものが水銀、鉛等でみられる。

塩素化炭水化物の除虫剤は年産20万トンでその中40%は海洋に入る。ごく低濃度でもDDTは植物プランクトンの光合成率を減じ、海洋生物生産力を制限する。有機塩素化合物も隠れた災害を生ずる。1969年初秋英国海岸沖で海鳥が大量に死んだが、犯人はPCB族であった。それは塗料やプラスチック工業で広く用いられている。PCBは鳥の脂肪組織に蓄積され、何かの理由で鳥が飢えたとき、脂肪の蓄えから引き出され、弱った身体の脳、肝臓、腎臓をおかし、最も傷められた鳥が死んだものと判った。

放射能汚染に於ても同様生物濃縮が問題になる。放射性同位体が海洋食物網内に入りこみ、特に稀釈された放射性流出下水をうける河口水域に棲む生物中に濃縮されて危険な状態を呈した例が方々にある。地球的規模で放射能廃棄物が海洋に入れられ続ける。宇宙線、天然岩石、身体そのものから放射する自然源の背後放射の3%以下を説明する。しかし故意の産業的軍事的等の放射性廃棄物の投棄は既に世界のある部分の海洋環境の災害的破壊を起している。廃棄物の再循環乃至直接破壊の値段を原価に算入させない会社の利益のために比較的安価のせいで海洋投棄が魅力ある抜け道とされている。米国では20年間に約5倍に増し、抑止の声があるのに年々4.5%増を示すは将来の洞察を欠く無知の故である。

海洋汚染物質が拡散で目につかぬほどになると考えてもそうはならない。毒性物質がそれと接触するすべての海産生物を殺す致死的水量として残る。投棄物質が分散したときでも投棄地点に海産生物の大被害を起し得る。1970年ノルウェー・スウェーデン合同科学者グループが大量の塩素化炭水化物廃棄水域を調べ、ある場所では水が大量斃死プランクトン（カラヌス・フィンマルキカス）でピンク色に変色、死んだ稚仔魚（特にタラ）も投棄帯中に見出した。不活性物質ですら息苦しくさせる底生生物により被害を生じ、水の濁りを増す。海洋投棄の危険と海洋汚染一般は局地的被害に止らな

い。海洋全体の健康に衝撃を与えることを考えるべきである。人間が知識も監視能力もなく無知によって更に汚染の拡がるのを防止し得なかった。廃棄物処理の思い切った変化をしないと汚染は西歴2000年頃には今の7倍になる。

これまでの持続的の危害すら知らない。各国で連合して海洋環境に与えた生態的破壊を減らさねばならぬ。海洋投棄全面禁止が先づ即刻必要である。あらゆる形態の汚染に対し倫理的な新しい見地から防止にかからねばならぬ。長い時間がかかるだろう。先進国は財政的負い目なしに後進国に環境浄化技術を供与せねばならぬ。先づ自らの産業的汚染の浄化をして見せるのが第一である。人間環境保存は全世界諸国の利益である。海洋を汚染物のゴミダメにしてはならない。

### 具体的問題

- (1) 海洋生物に及ぼす汚染物質の致死の準致死の影響評価のための生物試験 ( Bioassay ) やその他の技術が要る。
- (2) 特に健康面に関し海洋環境の毒性生態学の問題 ( Toxicological problems ) を究明すべきである。
- (3) 微生物活動による汚染物質の変換と分解の研究が重要である。
- (4) 汚染物質の輸送と拡散及び海洋汚染の監視を調査実行すべきである。
- (5) 天然物理的のプロセスで海中の汚染物質がどのように分散し移動するか追跡調査すべきである。
- (6) 人間活動により海中、海底がどのようにかき乱されて影響を受けるか調査すべきである。油田、ガス田、マンガン、リン鉱等の海洋探鉱、採鉱、掘削などの影響を含む。又、化学的物質の廃棄物や放射性廃棄物がコンテナに収納されて海底に投下されたときどうなるかが問題である。生物学的な影響に未知事項が多い。中等寿命の  $Sr^{90}$  ,  $Cs^{137}$  , 長寿命の  $Pu^{239}$  など核分裂生成物質による直接被害は高いものとなる。700年以内に表層へ昇り来る可能性が問題になる。欧州原子力機関ENEMAは1967, '69, '71 3作戦で6万7000個のコンテナ入り固体放射能廃棄物(4万キュリーの $\beta$ 線と $\gamma$ 線出すものに1000キュリーの2線出すもの)を大西洋5000m深に投棄したが、今日まで何ら危険を認めずといっておる。しかしこれに多くの問題がある。(本稿は主に FAO Review (Ceres) Vol. 5, No.1 Jan.-Feb. 1972, pp. 35-39. T. Loftas の記事及び, GESAMP IV/19.Rept. 1972参照)。

次にEdward D. Goldberg(スクリップス海洋研究所)の論文「人間の主要堆積サイクルでの役割(1973)」中のPCBや水銀、放射能などの項を少々抜書して付け加え参考としたい。

### ハロゲン化炭水化物

DDTやその崩壊生成物(残渣)、ダイエルドリン、エンドリン等々農薬の脅威は強調されて来た。PCBs (polyChlorinated biphenyls)は1930年代から用いられ殺虫剤使用の1946年以降なのに比しずっと長い。世界でこれまで生産されたDDT全量は約 $2 \times 10^{12}$ グラムで1970年現在年産 $10^{11}$ グラム。大気が一番普通のDDTを大陸から海洋に運ぶルートである。DDT残渣はそれを植物に散布したとき風系内に包まれ又は揮発する。大気から地球面にもどるのは主に降雨による。もし全世界河川流出量 $3.7 \times 10^{19}$  cc/年にDDTが米国並(含量100/trillion

〔百万の3乗〕)に含まれると、DDT残渣  $3.7 \times 10^9$  の上限値が年々海へ河川から流れこみ、世界生産の約3%となる。

大気中のDDT残渣の動きはその雨水中の含量から推算できる。年降水量  $3 \times 10^{20}$  cc に英国の80 (trillion中)を用い、総量  $2.4 \times 10^{10}$  g/年 が海へ運びこまれることになり、DDT年産の約 $\frac{1}{4}$ である。PCBsは海洋及び陸上の生物圏の到る処に分布し、現在環境内の合成有機化学薬品で最も多量なグループであろう。工業的に電気絶縁液に、熱交換器に、プラスチック剤等々広用されている。PCB類は210種もある。年々放出量は1メガトン程度とみられ、DDT総量に近いようである。

河川、下水口より、大気より(揮発化、焼却から)及び投棄により海中に入りこむ。プランクトンや魚類の含量分析ではDDT残渣濃度以下である。

### 重金属：水銀

グリーンランド氷河に堆積した雪中の水銀量は近年増加し続けている(Weisesら, 1971)。この水銀は多分大気からの降水で除去されたので、水1Kg中30~75 $\mu$ g(平均60)という800B.C.~1952年の値から1952-'65年 87~230 $\mu$ g/Kg水に約3倍にふえている。若しこの増加が人間活動によるとすれば、どこから来るか?

### 環境的水銀流束の表 (Weisesら, 1971)

天然の流れ	流束(グラム/年)
大陸 → 大気	
雨による降水の基盤で	$8.4 \times 10^{10}$
大気中の含量の基で	$1.5 \times 10^{11}$
グリーンランド氷河中含量の基で	$2.5 \times 10^{10}$
海への河川からの輸送	$< 3.8 \times 10^9$
人間活動関係の流れ	
世界生産(1968)	$8.8 \times 10^9$
大気への化石燃料燃焼からの入りこみ	$1.6 \times 10^9$
セメント製造中の大気への入りこみ	$1 \times 10^8$
工業、農業使用中の流失	$4 \times 10^9$

すなわち水銀の大気へ揮発して逃げる量は河川から海へ流れこむ量よりずっと多い。土地景観変改(表土を変える)や農業、鉱業、土木等が更に多くの水銀蒸気と更に多くの気体状水銀化合物を大気中に入りこませる。

### 人工放射能

天然の大気、海洋中の放射能バックグラウンド人間の生産放射性核分裂融合による物質導入で増加し、核爆発実験のほか、原子力発電などで汚染される一方である。1970年海洋負荷(Prestonら, 1970)は:

放射能源	海洋中のキュリー量
核爆発:	
核分裂生成物, H-3を除く	$2-6 \times 10^8$
H-3 (トリチウム) の分	$10^9$
原子炉と核燃料再処理	
核分裂と励起生成物(H-3を除く)	$3 \times 10^5$
H-3 の分	$3 \times 10^5$
総計	$10^3$
天然放射能 K-40	$5 \times 10^{11}$

即ち海洋中人工放射能は天然の  $\frac{1}{1000}$  で、このまゝ急に余り増さないと Preston ら(1970) はみている。

今後原子力発電や燃料再処理が激増してどうなるか? 放射能廃棄物の管理, それらの汚染処理の改善で全地球的汚染を軽減できるであろうが, 容易ならぬ危険も潜んでいる。更に核物質再処理工場からの漏出やプルトニウムが問題となる。

## 結 び

このほか鉛, カドニウム, 有機無機諸化学物質, 薬品, 合成炭水化物, 固形ゴミ等々の汚染があり, 複合汚染などほとんどわかっていない。生物のはたらきでどうなるか, 未知の汚染による危険は余りに多い。

## 2. 沿岸近海漁場汚染における漁業生物の生態に関する諸問題

小 山 治 行 ( 広島大学水畜産学部 )

(原稿未着)

### 3. 北西太平洋における廃油の分布と魚卵・稚仔分布との関連

小達 繁・林 小八(東北区水産研究所)

近年、石油類による海洋汚染が激増している。北西太平洋において回遊性魚類資源調査の一環として、各種海洋調査で表層曳稚魚網による魚卵・稚仔採集の際にも、最近では油塊の混入が増加し、標本収集作業に支障を来すこともしばしばある。黒潮流軸周辺から常磐沖へかけての水域は、これら魚類の再生産および稚仔期の生活の場であると共に、日本近海における有数の漁場でもある。主要な蛋白源を水産物に依存する我々にとって、このような海洋汚染がその生物圏にまで及ぶとすれば、重大な関心を払わざるを得ない。

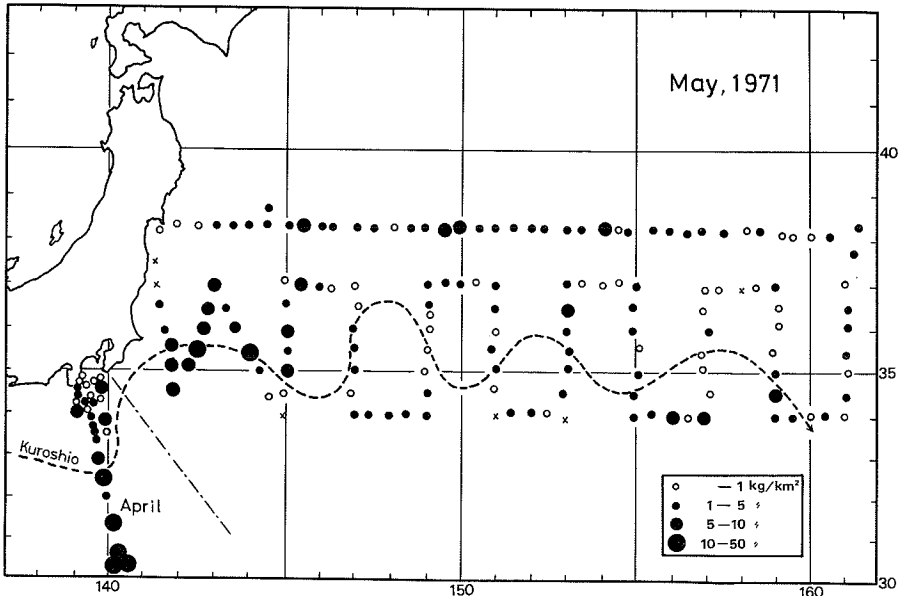
海洋における各種汚染源の中で、石油類によるものが最も大きいとされる。その理由は人類が生活必需品として、石油を大量に消費する様になったからに他ならない。1970年代の10年間における石油需要は、過去100年間と同程度の量に達すると云われる。そして地理的に遠隔地にある原油産出国と主要消費国との間は、専らタンカーによる海上輸送に頼らざるを得ないため、途中のロスが直接海洋の汚染に関連してくる。1970年の原油総産出量約23億トンの中、15億トンが海上輸送され、流失ロスは150万トン(0.1%)に達すると見積られるので、日本近海もその輸入量約1.7億トンに対応して石油汚染が波及してくることは明らかである。このような情勢の中で、従来から社会問題にもなっていた沿岸域における汚染のみならず、沖合水域にもその影響が拡がることが予想される。

#### 1. 試料と方法

1971年と1972年の春と秋に実施した各調査航海の観測点(総数483点)において、表層曳稚魚網(口径1.3m、長さ4.5m)を5分間曳航して採集した生物標本は、10%ホルマリンで固定して持帰った。同時に入網した廃油塊(粒)は、標本瓶中で浮遊しているので、これを掬い取り、戸紙上で水分を除去して湿重量を秤量した。但し各航海とも廃油分布調査が目的ではなかったため、多量に入網した大型油塊は、船上で除去してしまったので、計測した実測値の数十倍に達する観測点もある。従って微細な顆粒状のものから野球ボール大のものまで含まれるが、一応これらを総称して廃油塊(Oil ball)と云うことにする。分布図ではこれらの1網当り採集量を、曳網面積からKg/Km<sup>2</sup>に換算して示してある。

## 2. 廃油塊の分布状況

1971年5月(12~31日), (第1図a)



第1図a 廃油塊の分布(表層曳稚魚網による採集)

油塊は調査範囲の全域に亘って分布しているが、特に多かったのは犬吠崎近海の $145^{\circ}\text{E}$ 以西の水域で、中心部では $10 \text{ Kg/Km}^2$ 以上に達している。この直前4月、伊豆諸島海区(東京都水試大島分場調査)では、八丈島以南の水域に多かった。この時期の黒潮流軸のパターンから、これらが常磐近海へ移送されて来たものと推定される。 $145^{\circ}\text{E}$ 以東の沖合では、黒潮流軸以北の混合水域、特に南下冷水周辺の潮境に多い傾向が認められた。

1971年秋(10月23日~11月25日), (図略)

5月に比べて分布域の中心が東偏し、 $144^{\circ}\sim 149^{\circ}\text{E}$ に拡がり、量も多い。特に沖合の $36^{\circ}\text{N}$ ,  $153.5^{\circ}\text{E}$ では、最高量の $483.0 \text{ Kg/Km}^2$ が採集された。

1972年5月(11~30日), (図略)

前年の同期に比べて分布範囲が限られ、金華山近海では $100 \text{ Kg/Km}^2$ 以上の点もあったが、 $147^{\circ}\text{E}$ 以東の沖合( $160^{\circ}\text{E}$ まで)では殆んど見られなかった。

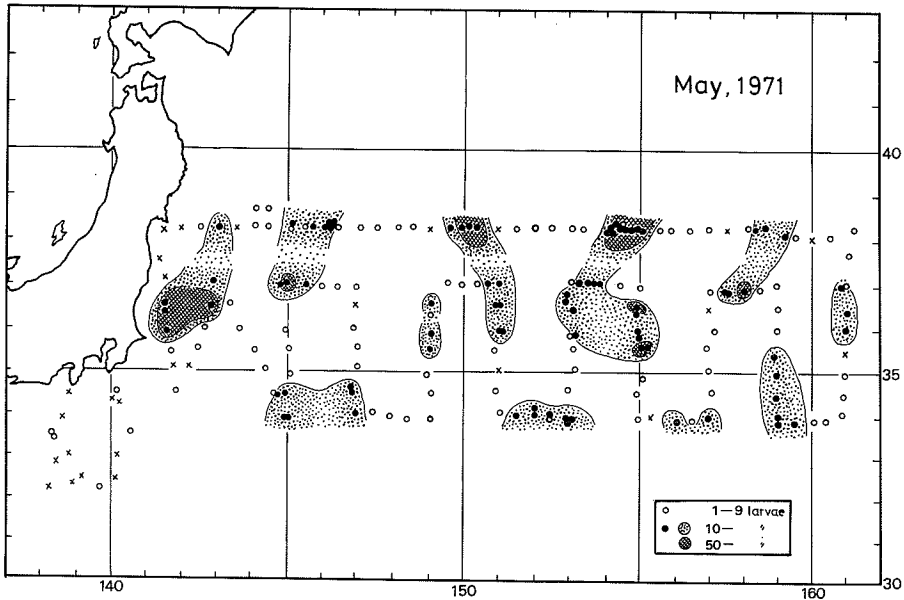
1972年11月(3~29日), (図略)

$145^{\circ}\sim 148^{\circ}\text{E}$ を南下する親潮第2分枝周辺潮境にやゝ多かったが、分布総量は前年に比べて少なかった。



### 3. 卵・稚仔の出現と分布

この調査期間中に採集した稚仔魚の種類総数は46種以上に及んでいるが、出現率・採集個体数の最も多いのがサンマ稚仔で、総稚仔数の約 $\frac{1}{2}$  (41.4 ~ 51.9%) に達している。次いでハダカイワシ類(7種)が卓越し、春にはカタクチイワシ・マサバ・ブリ・イカ類等、秋にはネズミギス・ボラ・タカベ等の重要魚類の稚仔が出現する。魚類・頭足類の卵は春に多かった。第2図には、1971年5月における稚仔と油塊の出現水温を示した。採集水温12~21℃台の範囲で、両者とも16~18℃台をピークに略々同じ様な分布傾向が認められる。但し油塊量平均値は、各水温階級ともそれほど大差がない。



第1図b サンマ稚仔の分布

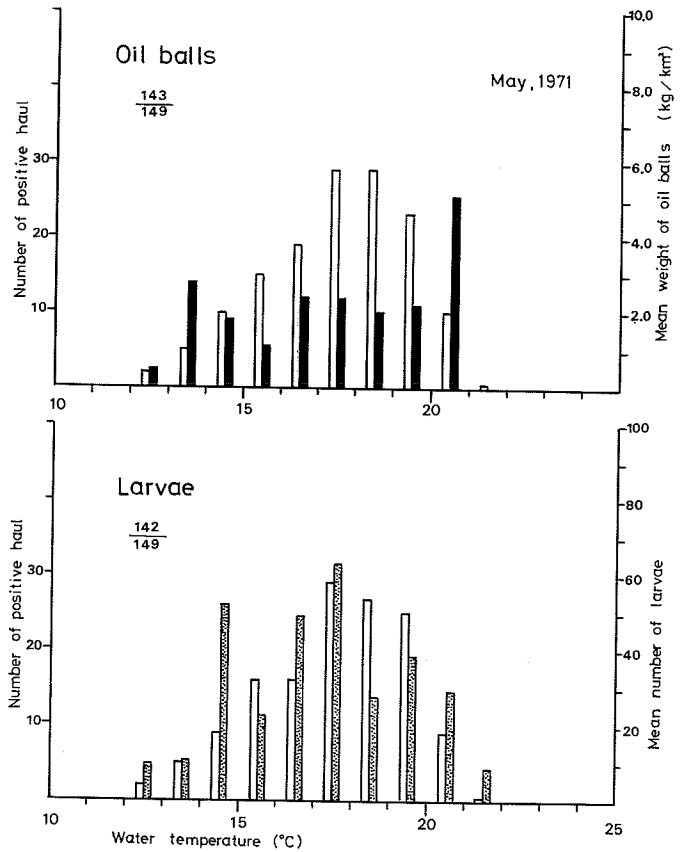
出現数の最も多いサンマ稚仔(体長5~25, 25~60mm)について、1971年5月(第1図b)の水平分布を見ると、いくつかのパッチ状の密集域が認められるが、調査範囲の全域に亘って分布し、空間的にも油塊の分布と重複する。しかし1972年5月にはサンマの産卵期が遅れたため、漂流期にある仔魚の採集数は前年の約2倍もあったが、油塊との重複域は147°E以西の近海に限られ、沖合の仔魚密集域には油塊は少なかった。11月における秋生れのサンマ仔魚は、145~150°Eの範囲に密集域が見られた。

本邦太平洋岸には数年前から廃油ボール或いはタール状の油塊が漂着し、漁業被害や直接人間生活がおびやかされると云う事態が頻発している。これらの油塊を分析した海上保安庁(1972)による

と、大部分は原油・重質燃料油に由来するとされる。海洋に石油類が流出した場合に、精製油・A重油等は拡散して固型化し難いが、原油やC重油では数日で揮発性成分が蒸発した後、途中酸化作用も加って粘着性の漂流物となり、2～3ヶ月で固型状油塊になると云われる。その根源として、本州南方～南西諸島～南シナ海で、外航タンカーによって投棄される各種油分（全投棄量の約60%）が、黒潮に運ばれ乍ら上述の過程を経て油塊となり、太平洋沿岸に漂着するものと推定されている。伊豆諸島海区では、分布域が黒潮流軸の変動に対応し、量的には夏季に多い傾向があるので（大矢ほか、1972）、黒潮の増勢による補給が伺われる。常磐水域もその延長線上にあり、黒潮上流域から漂

流して来た油塊が、東北海区全域に分散分布するものと見られる。1972年が'71年に比して少なかったのは、投棄量によるものか、末端海域であるための年変動に起因するのか今のところ明らかでない。又サンマの主要な産卵場は、2～3月日向灘～紀南海区の黒潮縁辺にあり、マサバは3～4月伊豆諸島北部水域で産卵するので、これらの海区における汚染も重要な関連があろう。

石油が流出した場合、芳香族炭化水素による卵・稚仔への直接被害が最も大きく、卵・稚仔期に浮遊生活を送る魚種にとっては重大である。しかし海洋において固型化した油塊が、生物にどの程度の影響を与えるか不明であるが、油塊が多量に入網した測点の周囲には、測定出来なかった微粒子が存在すると見られるので、これらによる物理的な呼吸機能の障害が起り得る。又炭化水素は生物の体内に一度取り込まれると、安定的に濃縮され、餌を通じて魚類から人間にまで及ぶことが考えられる。更に油膜や濃密な微粒油塊による植物プランクトンの光合成機能の障害、特定生物の消滅に伴う広域的・長期的な海洋生態系の変化もあろう。地球的規模においてあらゆる海洋汚染が着実に進行してい



第2図 廃油塊と稚仔の分布水温

る現在、これらの点を考慮してその影響を解明することが当面の課題であるが、それがよって来る社会経済的側面も重要と考えられる。

#### 4. 博多湾の富栄養化

石尾 真 弥（九州大学農学部）

生活廃水の流入と博多湾の富栄養化 都市における尿尿処理は、従来、海上投棄によるものが多かったが、最近では尿尿処理場による浄化に切替えられつつあることと、水洗便所の普及などによって、沿岸海域への尿尿処理廃水の放流量は逐年増大しているのが最近の傾向である。

博多湾は、福岡市75万人の生活廃水を受け入れている。昭和36年この都市に中部下水処理場がつけられてから、処理廃水量<sup>1)</sup>は次第に増え、昭和42年の57,590m<sup>3</sup>/day が昭和47年度には204,899m<sup>3</sup>/day となっている。これに伴って放流量も1.35 tons/day から4.79 tons/day に増大した。Pについては昭和42年の0.14 tons/day から昭和45年には0.331 tons/day となったが、昭和46年には処理場における脱Pを開始し、放流量は0.129 tons/day に減少した。しかし昭和47年度にはまた幾分の増大を示し、0.164 tons/day となった。この折角の脱Pの努力も、下水道普及率が約30%に過ぎないために、残り70%の下水道を通じ、かなりのPの流入量があり、処理場で除去されたPの2倍量にも達するものと評価される。このために博多湾の富栄養化は進行し、プランクトンの増加が著しい。1例を挙げると、65μの網目のネットで集められるプランクトンの現存量は、昭和43年に東部博多湾において平均81 tons と評価されていたのが、昭和47年には181 tons に増加している。沈澱法で測定される現存量は、これに数倍する値となっている。このために、夏期には東部博多湾水域は赤潮状態となり、透明度が1m以下となる地点も現われている。同水域多数地点の平均値では1.7m程度となる。懸濁質量としては10mg/L を越す場合もあるが、平均すれば4.5mg/L 程度となる。

博多湾の場合には、湾の広さは130Km<sup>2</sup> ほどであるが、東部博多湾の30Km<sup>2</sup> は、水が停滞し易いためあって、赤潮の発生が特に著しいようである。

このような状況は、程度の差こそあれ、わが国各都市の周辺海域においても、共通的に見られるものと推測される。

博多湾の漁場環境 このように富栄養化が進み、プランクトンが増殖すれば、漁場環境としても当然変化が起こるはずである。博多湾ではカタクチイワシの漁獲は、従来、湾の外でなされていたが、最近では肥満体のカタクチが湾内で多量に漁獲され始め、またコノシロが同湾内で多量に漁獲されるようになった。プランクトン捕食性のこれらの魚類が饑産するのは当然かも知れない。アサクサノリの

養殖は、従来から湾内で盛んに行なわれて来たが、従前と変わった状況は見られない。

このように、内湾の富栄養化の現象はある種の魚類の生息環境としては好転し、アサクサノリの養殖環境としては変化がないように見えるが、底生々物の環境は著しく変化した。

**富栄養化内湾の底生生物生息環境** 水中環境の評価には、種々の水質測定値、あるいは底質測定値が利用されるが、急性有毒物などと異なり、BOD, SS, あるいは底上硫化物などでは、濃度、あるいは含量を求めても、それら底生々物に対し、どのような影響を及ぼすか判然としない。したがって、富栄養化内湾の底生々物の生息環境としての評価は、底生々物の生息種類数と生息密度を調べ、これに併行して水質および底質の状況を調べ、両者の関係から水質および底質の影響を逆に推定する以外に方法がないように思われる。

このような理由から、1968年5月から1971年11月まで3ヶ月間隔で、博多湾17地点の各30m<sup>2</sup>を毎秒0.5mの速度で、巾1mの簡易ドレッジ<sup>2)</sup>を曳き、底生々物を集め、表層、2.5m層および底層から採水し、また底土を採取し、種々の項目の水質および底質の分析を行なった。

**a 底生生物の Biological Population Index (BPI), 生物群集指数** 1957年 Margalef<sup>3)</sup> によって提唱されたBPI算出法によって、調査各地点における底生々物の環境評価をおこなった。BPIは、ある地点における単位面積内の採捕生物の全個体数をN、採捕したi番目の種類の生物個体数をn<sub>i</sub>とすれば、次式によって与えられる。

$$BPI = - \sum \frac{n_i}{N} \ln \frac{n_i}{N}$$

この式からわかるように、n<sub>i</sub>/Nはno dimensionであるから、採集面積は一応関係がないが、生物の生息密度を考えれば、狭小な面積では種類を見落す恐れがある。採集具の網目も問題となるが、厳格さを求めれば際限がなく、BPI測定の実用性を失わぬような配慮が必要であろう。

BPIはどのような意義をもつか、著者にも理解しかねたが、n<sub>i</sub>/N = const の条件下におけるiの値、すなわち種類数の変化をBPIと結びつけて考えることにより、凡その理解ができた。このような条件下では  $\sum n_i/N = i \times n_i/N = N/N = 1$  となる。故にBPIの大小は  $-\ln n_i/N$  により決まる。すなわち  $-\ln n_i/N = -2.30 \log n_i/N$  は、種類数が、1, 10および100種類の時、それぞれ、2.30×0, 2.30×1 および 2.30×2 となり、種類数の対数値に比例して増大することがわかる。

**b 博多湾各地点のBPI平均値と底土BOD平均値の相関性** 博多湾17地点のBPI平均値と、底土BODの平均値を求め、両者の分布図を求めると酷似した。両者の相関係数は-0.884であった。したがって、平均して底土BODが増大してゆけば、BPIは平均して低下してゆくことがわかる。

c 各地点BPI 個々の測定値と底土BOD 個々の測定値の相関性 地点ごとに測定されたBPIと底土BODとの相関性を求めたが、17地点についての相関係数の平均値は、+0.028に過ぎず、両者の間には相関性は存在しないことが明白である。この点は上述の底土平均BOD値とBPI平均値の相関性と相容れないように見えるが、詳細はシンポジウムにおいて説明を尽したのでここでは省略したい。

d 底土BODと生息底生生物 底土平均のBODが131~412 ppmの清水域と考えられる水域で、BPIとして評価された魚類は7種、甲殻類は13種、軟体類は10種の計30種が見出された。また902~1025 ppmの中汚濁水域では、魚類4種、甲殻類3種、軟体類12種の計19種。1205~2139 ppmの強汚濁水域では、魚類3種、甲殻類3種、軟体類9種の計15種となっている。このように、底土BODの平均値が増大すれば、底生々物の種類数は減少する。清水域から強汚濁域で共通的に見られた魚類は4種、甲殻類は3種、軟体類は4種の計10種である。したがって、地点底土の平均BOD値の増大は、着実に底生々物の種類を減少させてゆくことは明白である。それかと云って地点底下のBOD値が極端に低下すれば、かえってBPI平均値は低下するようであり、著者らの研究では底土の平均BOD値180 ppmで平均BPIは最高値に達するものと推測されている。

富栄養化内湾における漁場の不安定性 内湾が富栄養化し、プランクトンの増殖量が多くなれば、底土のBODも増大し、平均して底土BODが増大すれば、BPIも平均して低下することが明白である。このために、底土BODが平均的に高い水域では、底生々物の全滅が起こるが、底土BODが平均的に低い水域では、底生々物が全滅することは殆んど起こらない。

BPIの低下は種類数の減少を意味し、ある種の生物の死滅を意味する。したがって、各地点について、BPIの変動がどのように起こっているかを調べ、BPIの平均値よりも、変動するBPIの値が大きい場合には、BPIは0以下になりうるはずであり、底生々物が全滅しうることを意味する。したがって各地点のBPI平均値に対するBPI変動値の百分率を求めれば、その値はその地点における底生々物の死滅の起こり易さを示し、底生々物を漁獲の対象とする漁場の安定性を示すことになる。実際に各地点のBPI平均値を縦軸にとり、各地点BPIの標準偏差をBPI平均で除した商を横軸にとれば、両者の関係はほぼ直線状態で示される。BPI平均値が0.55で商は±100%となる。したがってBPI 0.55より高い場合には死滅は起こり難く、それより低い場合には、値の低下とともに死滅する頻度は増大するものと推測される。すなわち、BPI平均値の低い水域は、底生々物の漁場としては、生物が死滅し易い不安定漁場となることを教えている。

結語：博多湾は次第に富栄養化の度が進み、プランクトンが増え、殊に東部博多湾では底土のBOD値は増大を示している。このために底生々物の種類は、魚類ならクロウシノシタ、スジハゼ、マコガレイ、甲殻類ならイシガニ、シヤコなど、軟体類ならアカガイ、チヨノハナガイ、ホトトギスガイ、

イヨスタレガイなどの汚濁抵抗種によって占められ、底土BODの平均値が0.55を越える水域ではこれらの汚濁抵抗種でも死は免れず、底生々物全滅の現象がしばしば起こっている。これは明らかに不安定漁場となっていることを示す。

恐らく、わが国各都市も、福岡市の場合と比較的に似たような状況で生活廃水および屎尿浄化を実施していると推測されるので、このまゝ推移すれば多かれ少かれ、国内各都市の生活廃水を受け入れている内湾の底生々物漁場は不安定化し、生息する底生々物の種類は単純化の一途を辿るとともに、死滅の頻度も高まってゆくものと推測される。

## 文 献

1. 福岡市中部下水処理場，昭和42年度～47年度印刷物。
2. 海洋観測指針 258頁 気象庁編，日本海洋学会 昭和45年4月発行：
3. P. N. STORRS . E. A. PEARSON, H. F. LUDWIG, R. WALSH and E. STANN : Water Research, 2, 128 - 129 (1968).

## 5. 大阪湾の環境変化と富栄養化の現況

城 久 (大阪府水産試験場)

近年各地の内湾は富栄養化の進行や毒物汚染が問題となり、その成行が注目されている。このような状況下において大阪湾の環境が経年的にどのように変化したか若干の検討を加えてみた。季節的あるいは海域的に環境変動が比較的大きい当湾では、ある程度蓄積された資料が必要であるが、経年変化を讀取れる資料には乏しい。こゝでは不十分であるが、透明度、COD、 $PO_4-P$ 等について経年の変化傾向を見ると共に、富栄養化の現況について説明する。

### 1. 透明度の経年変化

湾内の代表的な海域について透明度(年平均値—1958年以降)の経過は第1図のとおりである。変化の傾向は地点によって横ばい、低下、上昇気味とまちまちであり、湾中央や泉南沿岸部のように低下傾向が明らかな地点もある。湾全域の測点別に変化傾向をあらわす(第2図)と海域によってその傾向が異っており、湾中央から泉南地先の海域は集中的に低下傾向を示している。

これに対して通常汚濁海域である湾奥部はいくらか上昇気味で、湾西部や海峡周辺部は横ばい状況にある。戦前の状況<sup>1), 2), 3)</sup>と対比するため透明度について違った見方をしたのが第3図である。これは月毎の透明度分布図から3m, 5m以下の濁った海域の面積を求め湾全域に占める比率の経過

として表わしたが、どの月も1930年前後に比べて1958年以降は明らかに濁った海域の占める比率は増大している。

1958年以降では60年前後が最近よりもいくらか低い、1962～'71年の10年間では8月が増大気味であるのに対して、4月、6月は横ばい傾向にある。このように透明度の経年変化は1930年代に比べると濁った海域の占める比率は2～4倍に拡大しているが、1958年以降では海域によって変化の傾向が異なり湾全域としてみればほぼ横ばい状態で推移している。

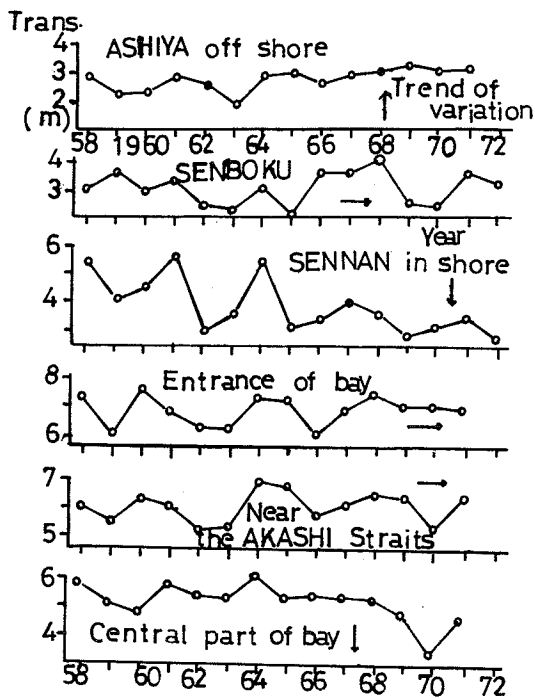
## 2. CODの経年変化

CODについては沃素法に切替えた1963年以降の経過を第4図に示した。

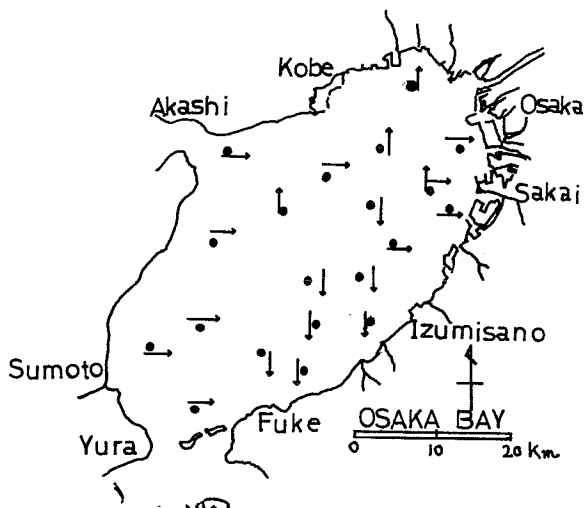
測点は湾央より南東の大阪側に片寄っているが大方の傾向は見る事が出来る。北部(2～3 ppm)、中部(2 ppm前後)、南部(1～2 ppm)と湾奥から湾口にかけて平均値は徐々に低くなっているが、10年間の変化傾向はほぼ横ばいである。

## 3. PO<sub>4</sub>-Pの変化

PO<sub>4</sub>-Pは毎年の経過をたどることは出来ないが、1951～'52年に調査した神戸海洋気象台の資料<sup>4)</sup>、<sup>5)</sup>をもとにして、この時点と最近(1968～9年、1972年)の状況を比較した(第5図)。

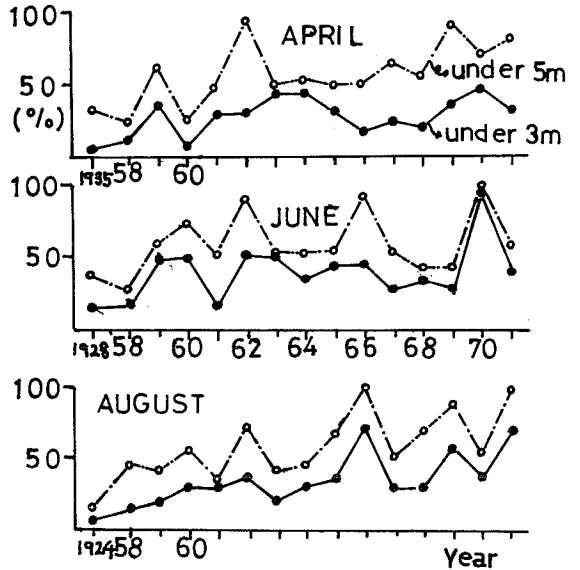


第1図 透明度(年平均値)の経年変化



第2図 透明度の測点別変化傾向

3 海域とも濃度の推移は右上りの傾向を示し、最近のリン濃度が以前にくらべて増大していることがわかる。この傾向は湾奥部で著しく、1952年当時は表・底層とも0.3 μg-at/lであったのに対し、'72年には約5倍増の1.4となっている。湾中央部では'72年に表・底層とも0.7 μg-at/lで、0.35であった1952年の約2倍の増加を示している。湾口部は1952年と'51年で大きく値が異なり基準時によって違った結果となるが、'52年と比較すれば'68年は横ばい、'72年には1.5倍増となる。しかし1951年の平均濃度は低く、この年を基準にすれば最近の値は2~3倍になっているといえる。

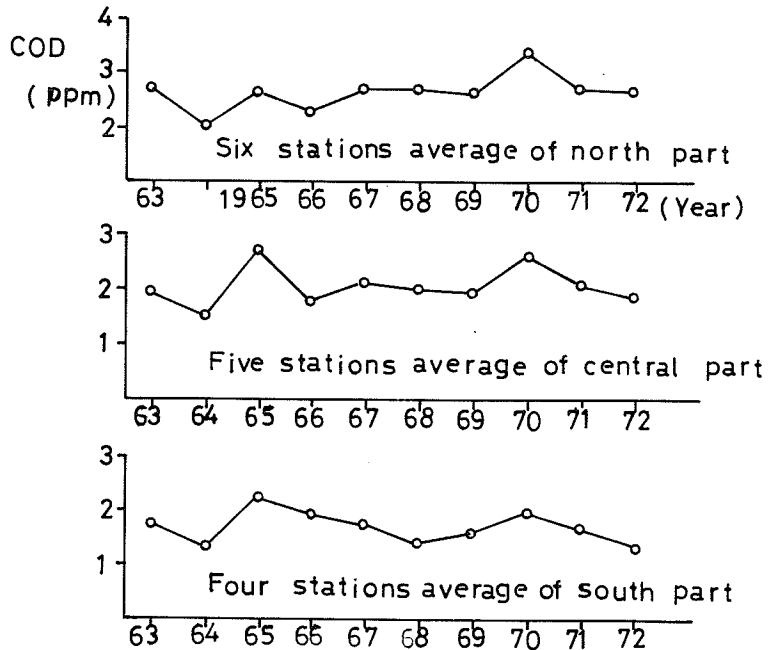


第3図 濁った海域が湾全域で占める比率の経過

このようにPO<sub>4</sub>-Pは湾奥部の増加が著しく過去20年の間に約5倍となり、湾中央部、湾口部でも大体2倍の増加が認められる。

#### 4. 溶存酸素(DO)の変化

DOについても1952年と'68年の観測結果から3海域における季節的垂直変化の状況を比較した(第6図)。湾口部は海水の混合がよく行なわれるところで最近でも変化は少なく、1952年当時とあまり変わっていない。湾



第4図 COD年平均値の海域別経年変化



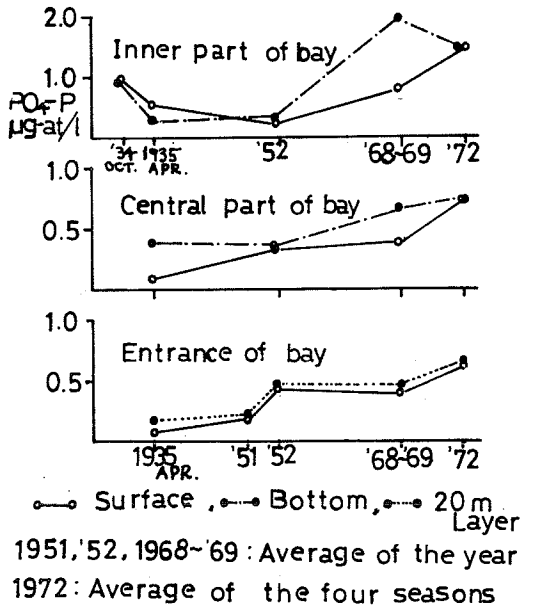
中央部は'52年に比べて成層期の鉛直差が非常に顕著で、底層水は40~60%に、表層水は140~180%の飽和度となっている。1952年当時は表層水が過飽和になることはあっても底層水の飽和度はあまり低下していない。湾奥部はこの傾向が一層明確で1968~'69年の夏期には底層水がほとんど無酸素状態となり、極度に過飽和の表層と対照的な結果を示している。表層の過飽和は赤潮による現象で、底層の低下は底質汚染の進行によるものと考えられるが、このような現象が近年顕著になっていることは内湾環境が大きく悪化したことを示している。

5. 富栄養化の現況

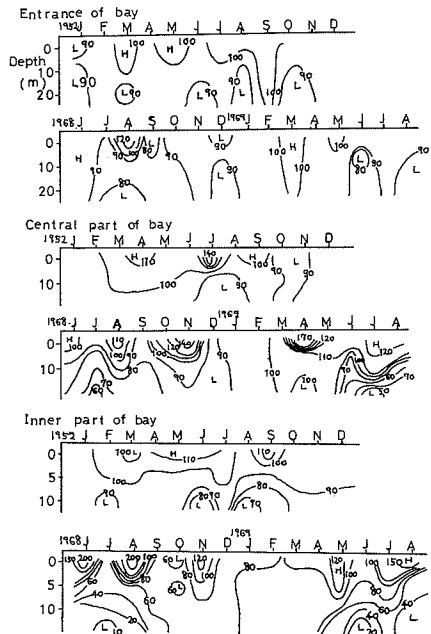
リン濃度の増加は先に示した通りであるが、富栄養化の状況を示す一つの方法として最近の資料から富栄養度を求めた<sup>6)</sup>

(第7図)。これによると湾奥部は高い時には表・底層とも70~90の値を示し、湾中央部にかけて急激に減少する。湾口部は1以下となることもあるが秋~冬期は4~5と比較的高く、全般的に他の内湾にくらべて高い度数を示している。

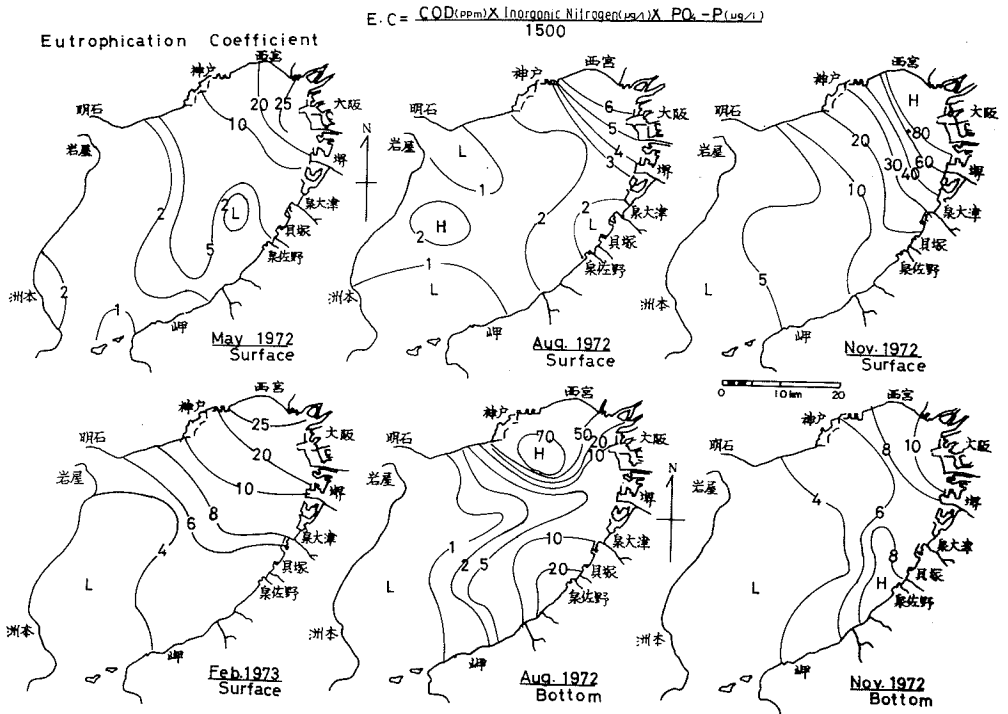
このような環境の変化は赤潮の発生や漁獲量等現象面にも何らかの変化をもたらしているものと考えられる。約20年間の府下産漁獲量の推移は第8図のとおりで総量は2万tから3万tに増加している。これは全体の50~70%を占めるカタクチイワシの増加によるところが大で、60年代の一時期を除いて全漁獲量の消長を左右している。60年代のイワシ減少時はこれに代ってモガイが爆発的に大発生し、全漁獲



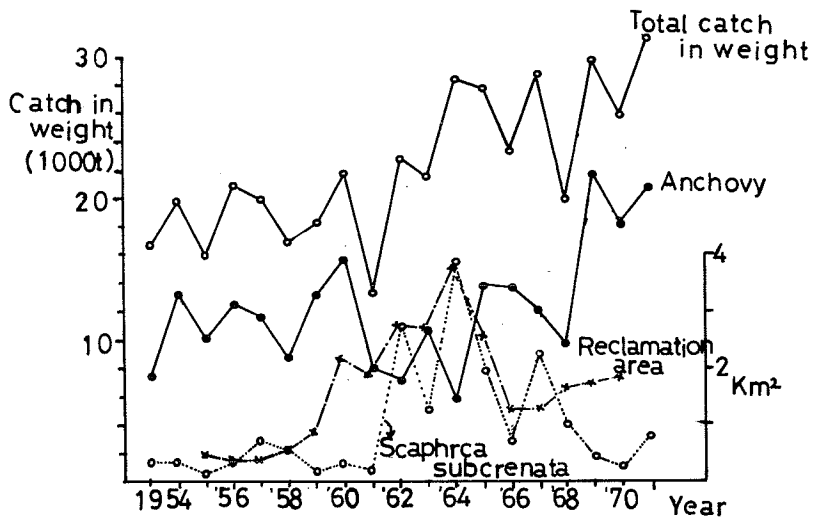
第5図 海域別PO<sub>4</sub>-Pの変化



第6図 溶存酸素の垂直変化の比較



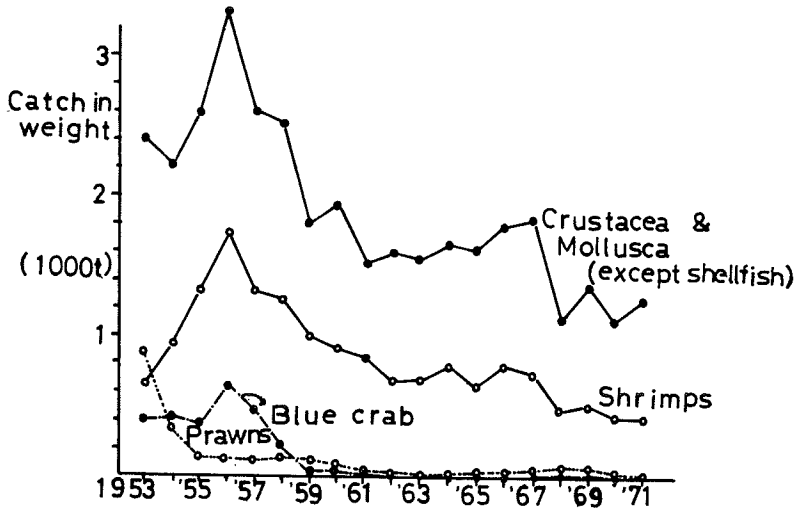
第7図 大阪湾の富栄養度



第8図 大阪府下産漁獲量の推移(I)

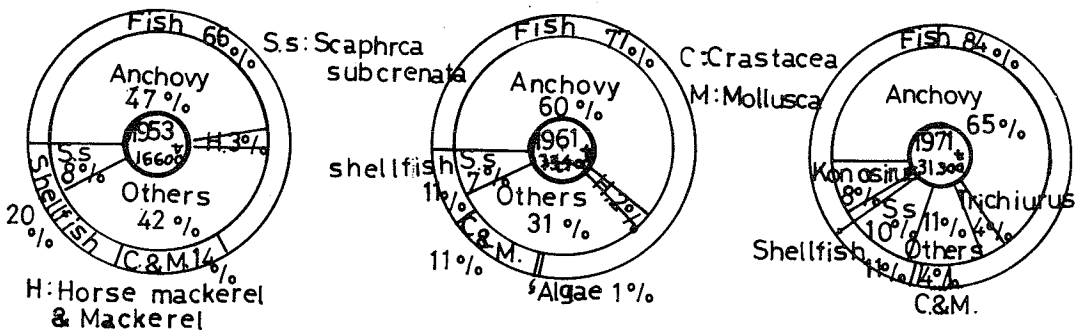
量を増加させて  
いる。

モガイは浅海の泥場に生息し、汚染した底質にも耐久力の強い貝類類であるがモガイ大発生の時期は丁度大阪湾の浚渫による埋立のピークと合致しており興味ある現象である。これに対して底質汚染に弱いエビ・カニ等は1956年以降一貫して減少傾向を示している(第9図)。



第9図 大阪府下産漁獲量の推移(II)

中でもクルマエビ、ガザミ等の大型甲殻類は1953~'58年の間に激減しているが、この時点で環境面に何らかの変化を生じたのではないかと推察される。漁獲物組成もこの20年間に大きく変化した(第10図)が、魚類ではプランクトンフィーダーであるカタクチイワシ・コノシロの組成が増加し、貝類ではモガイ以外の貝がほとんど漁獲されなくなっている。そしてエビ、カニ、カレイ、タイ等多くの高級魚介類や多数の種類を含む「その他」の組成が年を追って減少している。



第10図 漁獲組成の変化

このように漁獲が量的には増大してもそれはプランクトンフィーダーや、汚染底質に強い貝等2, 3の特定種によるもので種類数は減少しており、富栄養化現象の一面が現われている。

これらのことから総合して考えると、透明度やCODで最近10年間では横ばい状況にあるのに対しDOや $PO_4 - P$ では1951~'52年当時に比べて大きく変化していること、また大型甲殻類は'50年代に急激に減少していること等大阪湾の環境は1950年代に湾奥海域を中心に急速に悪化したのが、'60年代になるとその進行はあまり顕著ではない。しかし最近の富栄養度は他の内湾にくらべて格段に高く、負荷量の増大と共にその影響は全域に及び、以前比較的正常であった湾中央~泉南海域の透明度を低下させている。大阪湾は2つの海峡によって他海域と接して汚染物質が拡散される為か湾奥部の汚染も限度以上の進行が妨げられるようであるが、その反面影響は隣接海域にも及ぶため瀬戸内海として見ればあまり好ましい状態ではないといえる。

#### 参考文献

- 1) 神戸海洋気象台 1926 : 海洋気象台彙報 No. 6
- 2) " 1930 : 海洋時報I輯 Vol. 1 No. 3
- 3) " 1936 : " Vol. 8 No. 3
- 4) " 1951 : 海洋時報II輯 Vol. 2 No. 4, 8, 9
- 5) " 1952 : " Vol. 3 No. 2~12
- 6) 岡市友利 1972 : 浅海の汚染と赤潮の発生. 日本水産資源保護協会

## 6. 富栄養環境におけるカキの代謝異常

森 勝 義 (東北大学農学部)

水圏の富栄養化が過去に進行すると、水質汚濁を招来してそこに生息する養殖対象生物に種々の生理的障害を惹起することはよく知られている。しかし、この富栄養化は水質汚濁に達する以前の段階において、すでに生物の代謝を異常ならしめることには案外関心が払われない。我々は、松島湾で発生したマガキ *Crassostrea gigas* の大量斃死について、1962年より東北水研・宮城水試などの関係機関と協力して研究を行なって来た。その結果、富栄養環境において出現するカキの代謝異常の一端をうかがうことが出来た。

そこで、ここでは、カキの代謝異常を惹起するほどに富栄養化された松島湾の環境と、そのような環境下でカキが代謝異常を起し死に至るまでの生理学的な経過について考察したい。なお、これらの考察のために使われた資料の殆どは、1963年から1966年にかけて得られたもので、その多くは

東北水研研究報告第25号及び今井丈夫監修「浅海完全養殖」(恒星社厚生閣版)に発表または引用されている。

## 1. 松島湾の富栄養化と問題点

### 1) 環境の変化

松島湾は、面積約4.3Km<sup>2</sup>、平均水深約2mの浅海で6水道によって仙台湾に連絡し、主にノリカキの養殖が行なわれている。本研究と平行して東北水研・宮城水試によって行なわれた水質調査の結果(菅野ら1965)によれば、透明度は0.6~3.0mの範囲で、湾西域の沿岸域で著しく低い。CODは、湾内で2~4ppmの範囲である。これらの値は、松島湾が明らかに富栄養環境であることを示している。

松島湾における急激な富栄養化の経過を示す事例として、彼らは次の2点を挙げている。

- i) 以前は海底まで透視出来たのでセッキ一板で透明度の測定が出来なかったが、約10年後の1963年にはこれで全湾の測定が出来るほど、周年松島湾全体の海水が濁っていること。
- ii) 底質調査によれば、約10年前と比較して、1963年には灼熱減量13%、有機炭素21%、全窒素41%、全硫化物27%増になっていること。

つまり、わずか10年の間に、松島湾の環境は大きく変化したのである。そして、この環境変化に主要な役割を果たしたのは、塩釜港を中心とする市街地・加工場・魚市場からの廃水であると考えられている。

### 2) カキの肥満と大量斃死

今井ら(1965)によって1963年に行なわれた松島湾と万石浦におけるマガキの成長調査結果は、松島湾におけるカキの急激な肥満の状況をよく説明している。

仙台湾の東北端に位置する万石浦は夏期には水温が松島湾と同様に上昇するが、閉鎖型の貧栄養性内湾で、養殖ガキの成長は松島湾のみならず、後で触れる女川湾養殖ガキよりも劣る程であり、性成熟についてもその速度は松島湾養殖ガキと殆ど変わらないが、量的発達ははるかに悪い。ところが、環境の富栄養化が無視でき、かつカキの異常斃死がみられなかったかつての松島湾におけるカキの成長および性成熟は、この万石浦ガキと大差がなかったことが知られている(今井 1953)。

つまり、約10年の間に、松島湾のカキの生物特性は環境の富栄養化につれて大きく変化したのである。そして、これに伴って、1961年夏に松島湾全体の養殖マガキの約60%が斃死し、以後毎年夏の産卵期を中心に大量斃死が発生しており、このために松島湾の身ガキ生産は著しく減少した。

そこで、我々は富栄養環境である松島湾における養殖マガキの生物特性を代謝生理学的に解明することに努め、一応の所見を得たので、以下にその概略を紹介する。

## 2. 富栄養環境におけるカキの代謝異常

### 1) 栄養物質の蓄積と利用状況

本研究では、これまで大量斃死がなく、体成長、身入りともに比較的優れ、カキ養殖に好適であると一般にみなされている女川湾で、養殖中の健全な松島湾ガキと対比されている。しかし、体成長が比較的優れているとはいえ、前述した万石浦ガキより若干まさっている程度で、松島湾ガキよりはるかに劣っていることはもちろんである(森ら, 1965a)。また、松島湾では夏の最高水温が26℃前後で一時的には29℃を越えることもあるが、女川湾では外洋水の流入が盛んであるため、夏でも最高水温が24℃を越えることは殆んどない。この水温の相違は、当然、カキの性成熟速度及び産卵期の長さなどに差をもたらす。松島湾ガキの大量斃死が必ず産卵期を中心に発生することから、生殖に対する生態的条件を異にする女川湾のカキとの対比は研究上都合がよいと考えられる。

まず、生殖期の解析を行なった。Chalkley (1943)の方法によって求めた性成熟の定量形態学的解析結果によると、内臓部位の中央横断面における生殖素の比率は、性成熟開始前では解析が困難であるが、性成熟過程では20~50%であり、放卵放精直前では実に70%を越える。そして、放卵放精直後には40%まで急激に低下する。従って、放卵放精直前及び放卵放精期ではカキの生理負担が大きくなるものと推定される。なお、女川湾養殖ガキでは1年に1回の産卵しか認められないが、松島湾養殖ガキでは性成熟が急速に進行して2回の性成熟・産卵を繰返すことが観察されるので、以上の生理負担は松島湾ガキの方が大きいことが予想される。

そこで、この様な生殖に伴う生理負担を組織別に検討するために、主要器官における呼吸代謝の季節変動をワールブルグ検圧計を用いて追跡した。その結果、両湾ガキとも酸素消費量の組織間順位は消化盲嚢部  $\geq$  鰓 > 外套膜縁であるが、既に生理負担の大きいことが予想された松島湾ガキの各組織は、大きな呼吸低下を放卵放精期に示すことがわかる。一方、呼吸商(RQ)は、両湾ガキとも鰓では生殖過程の如何に拘らず1.0前後であるが、消化盲嚢部及び外套膜縁では性成熟過程において1.0あるいはそれ以上、放卵放精直前及び放卵放精期において0.7あるいはそれ以下である。即ち、鰓における主要な呼吸基質は常に炭水化物であるが、消化盲嚢部及び外套膜縁では生殖に伴い呼吸基質の化学的組成が変化すると考えられる。また、以上述べた酸素消費量とRQとの季節的關係から、鰓の場合と同様に消化盲嚢部と外套膜縁においても脂肪は炭水化物よりエネルギー源としての効率が劣ると考えられる。従って、この基質の変化、つまり脂質への依存度増大、に関連して注目される点は性成熟過程において炭水化物から脂肪への転換が推定されることである。

この点を実証するために、次にはこれら化学成分の体内分布の季節変動を組織化学的に検討した。その結果、両湾ガキとも、結合組織系におけるグリコーゲン及び脂肪は性成熟につれて減少するが、逆に消化盲嚢上皮などの内臓上皮系においては脂肪の蓄積が観察された。即ち、性成熟過程においてグリコーゲンから脂肪への転換及び脂肪自体の移動が実証されたのである。また、これらの体内分布の季節変動は女川湾ガキより松島湾ガキの方が顕著であり、生殖との関連が明確であった。つまり、"性成熟過程のグリコーゲンから脂肪への転換及び脂肪自体の移動"は"脂質への依存度増

大”に直結し、かつ”生理負担”と密接に関連しているのである。

## 2) 生殖期の代謝異常

前述の如く、松島湾のような富栄養環境で養殖されたマガキがその生殖期に示す代謝変動は極めて急激であったが、その際に過熱が特徴的に出現し、これはさらに脂質代謝障害やステロイド代謝障害を伴うことが観察されている。これらの現象は松島湾ガキの生殖期における生理負担を一層大きくすると予想されるので、以下において概説したい。

### a. 過 熟

簡単に言えば、放卵放精可能な生殖素が生殖巣内に長期間停滞するために起きる病理現象であり、卵胞内におけるグリコーゲンと遊離脂肪酸の異常増加、及び精子におけるコハク酸脱水素酵素活性の低下と核DNAの低重合化が特徴的である(玉手ら, 1965)。松島湾養殖ガキ(1964年度調査)について卵母細胞の核長径を計測すると、6月上旬には既に卵核の大きさは平均30 $\mu$ となり、核内に特徴ある重複仁が含まれて、卵胞の成熟完了が認められる。産卵は7月上旬まで起こらないので、その間1ヶ月にわたり完熟した卵胞は卵巣内に停滞し、いわゆる過熟状態に陥る。平行して起こる卵の濃縮(萎縮)とともに産卵前におけるカキの生理的負担過重を示唆している。

### b. 脂質代謝障害

性成熟後期の松島湾ガキの一部で、遊離脂肪酸が多量に検出された消化盲嚢導管上皮が、部分的に変性壊死に陥っているような組織像が観察されている。この松島湾ガキのように上皮系に多量の脂質が蓄積し、かつ多量の遊離脂肪酸が検出される現象は、高等動物では一般に病的なものとされ、さらにその組織が崩壊していれば明らかに脂肪変性による壊死と認められるので、このカキの場合にもその可能性を否定できない。

### c. ステロイド代謝障害

カキのステロイド代謝関連脱水素酵素活性に関する組織化学的研究(Mori et al., 1964-1966; Mori, 1967)及びカキに対するステロイドの影響に関する研究(Mori, 1968a, b; Mori et al., 1969; Mori, 1969; Mori et al., 1972a, b)から、いわゆる性ステロイドはカキにおいても性成熟と関連して重要であり、生殖に伴う糖、脂質代謝の季節変動の制御に関与していると考えられる。これまでで得られた諸知見に基づいて、正常なカキの体内における中性脂肪・グリコーゲン・ $17\beta$ -hydroxysteroid dehydrogenase ( $17\beta$ -DH)・glucose-6-phosphate dehydrogenase (G-6-PDH)の各分布の季節的相関を解析すると、ステロイド生合成に関与する $17\beta$ -DH及びG-6-PDHの活性の変動はグリコーゲン量のそれと負の相関関係にあることがわかる。しかし、松島湾ガキの消化盲嚢上皮における $17\beta$ -DH活性は、性成熟後期の7月下旬にはほとんど検出されなくなるが、これは病態生理学的に注目し値する現象の一つと思われる(Mori et al., 1966)。何故なら、同湾ガキについては、夏期における消化盲嚢部の炎症と退縮像が形態学的に認められているからである(玉手ら, 1965)。

## 3) 生理的活性の極度の低下

以上において、富栄養環境のマガキの生殖期における急激な代謝変動と過熱に伴う代謝異常の一端が明らかにされた。そして、これらの現象が松島湾ガキの生理負担過重と密接に関連していることがすでに予想されている。そこで、最後に松島湾ガキにみられる生理的活性の極度の低下について明らかにしたい。

健全な女川湾養殖ガキでも、その鰓片の匍匐速度は性成熟が進むにつれて低下するが、その度合は小さい。他方、同じ材料を松島湾へ移植すると、女川湾ではみられない極度の活性低下を放卵放精期に示す。同様の傾向は高張海水や無酸素状態・酸性海水（森ら、1965a）などに対する鰓片の環境抵抗性によっても知ることができる。なお、これら生理的活性の季節的変化は、軟体部全体のグリコーゲン含量と平行的に推移し、両者の密接な関連を示唆している。

以上の両湾における斃死状況（1963年）をみると、女川湾では8月末から9月中旬にかけて、6%程度の斃死率が測定されたにすぎないが、松島湾へ移植すると放卵放精期からその直後にかけ斃死が続き、最終斃死率は約50%にも達する。すなわち、斃死の発生は時期的にも、その程度においても、生理的活性の低下と密接に関連していることが明らかである。

## 7. Estuaryの水利特性から見た懸濁物の堆積過程

坂本 亘（東京大学海洋研究所）

河川水と海水が混合する限られた範囲を一般にestuaryとよんでいる。この付近では河川から運ばれた物質の懸濁、凝集、沈降、再浮上のくり返し運動を見ることができる。河川水中に懸濁して運ばれる物質の分布状態はestuaryの水利特性によって種々異なった模様を示す。それらは沿岸海洋過程の特性にもとづくものであるが、一般に水深と河口巾が大きく、流れのゆるやかな河口域では分布は河口を中心とした同心円的分布であり、流れの急な川巾のせまい付近では噴射流分布を示す。

もし、この河口付近での流れの状態が、ラグランジ型で測定され、その乱流相関関数が知られるなら、拡散係数が $\frac{4}{3}$ 乗に比例する範囲と係数が一定値をとる領域が示されるであろう。すなわち、最初にラグランジ相関が0になる時間迄の範囲が前者の領域を、それ以後が後者の分布域を示すことになる。懸濁物の沈降もしたがって前者の領域内とそれ以外の所では異なる。

河川から流れ込む懸濁物は種々雑多なものがあるが、粘土および粘土鉱物について調べると次のことが言える。粘土鉱物には数多くのものがあるが、それらの比重はほとんど等しく、又河川水中を運搬される際の粒径もそれほど異ならない。

それにもかかわらず、静かな海域の表面懸濁物を河口から沖合いに向って一定間隔で採集し、X線回折により調べるとその中に含まれる物質に変化があり、河口に近いほど数多くの物質があることが



わかる(第1表, 第1図)。

第1表 海表面懸濁物の変化

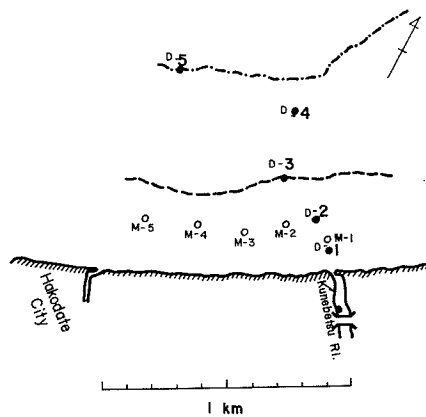
Station	Salinity (‰)	Notation
	1968.5.21.	
River	—	C.I.M.F.Q.
M-2	2.49	C.I.M.F.Q.
M-3	5.34	C.I.M.F.Q.
M-4	11.02	I.M.F.Q.
M-5	17.85	I.M.F.Q.
	1968.10.1	
River	—	C.I.M.F.Q.
D-1	8.64	C.I.M.F.Q.
D-2	14.24	C.I.M.F.Q.
D-3	16.46	I.M.F.Q.
D-4	19.00	I.M.F.Q.
D-5	30.10	I(?) .M.F.Q.

C : クロライト I : イライト M : モンモリロナイト  
 珪 : 長石 Q : 石英

これは粘土粒子がコロイド状態を呈しているため、海水と接した際、海塩のイオンにより粒子表面の電気二重層の圧縮作用が行なわれるが、この作用力が各々の粘土によって異なるために付着性大型フロックの内部密度がちがってくることによる。<sup>1)</sup>

さらに詳細に説明すると、次のようになる。コロイド状態の粘土鉱物を微細にわたって見ると、粒子は水分子と限られた数の点でたがいに接し、各接触点では電子の受けわたしが行なわれている。このため粒子と溶液の境界面では電気的不連続面が形成され、電気二重層が形成されている。この電位強度は水中のイオン数(塩分量)に反比例し、水温に比例して強くなる。<sup>2)</sup>

したがって淡水中では粒子相互がぶつかり



第1図 海表面懸濁物の採集点

○ : 1968. 5. 21.  
 ● : 1968. 10. 1

合っても反発しあうだけで付着しにくい、海中では海塩イオンのため二重層が圧縮されて、相互の付着が簡単に行なわれ、綿毛状凝集物（フロック）を形成する。付着する際、粒子相互の保つ空間に差が生じ、空間の少ないものほど堅固なフロックになる。空隙量の差は粘土鉱物のもつ結晶構造と乱流の状態にもとづく。

空隙量の少ないものほど早く沈降するため、海表面懸濁物は沖合いに行くほどその組成物質がすくなくなる。

結果としては空隙量の多少であるが、これを規定するものは多い。それらは塩分分布（弱混合、強混合等の混合形式）、粒子相互の単位時間当たりの衝突回数（濁度量、乱流の状態）、粘土の結晶構造（二層構造、三層構造等）などに関係することになる。

### 海底堆積物の巻き上がり

海底に沈殿した物質は乱流の作用で再浮上し次第に深部へ運ばれて行く。堆積部の移動を測定するには、海底の流れ、海底粗度、堆積物の大きさ、比重等を知らねばならない。

海底からの渦動拡散による懸濁物の巻き上がりだけに着目すれば、その変化は、

$$\ln \frac{S}{S_0} = - \frac{U}{K_0 U_*} \ln \frac{Z + Z_0}{Z_0}$$

となる。ここで  $S_0$  は海底面上の懸濁物量であり、 $U$  は粒子の沈降速度、 $Z_0$  は海底粗度、 $K_0$  はカルマン定数  $U_*$  は摩擦速度をそれぞれ示す。

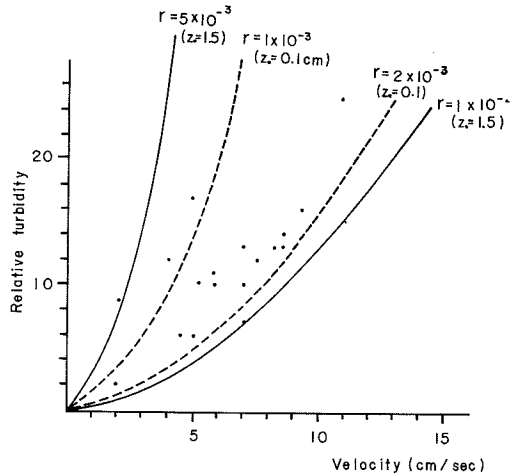
これらの値は沿岸の特性によってすべて異なるため、懸濁物の移動はすべての海域で相異なるであろう。

著者等が小田和湾で測定した結果<sup>3)</sup> 流れと懸濁物の巻き上がりの関係は第2図に見られるような値を得た。

### 参考文献

- 1) 坂本 亘 (1972): 海洋懸濁物の物性と光, 海洋科学, Vol. 4 No. 9.
- 2) H. Van Olphen (1963): Clay Colloid Chemistry, Inter—Science Pub. New York, P. 301.
- 3) Wataru Sakamoto (1972):

Study on the process of river suspension from flocculation to accumulation in estuary. Bull. Ocean. Res. Ins. Univ. Tokyo, No. 5.



第2図 海底懸濁物の巻き上がり

• : 実測された値

— : 計算により求めた値

## 8. 浅海海況の変動の特性から見た海洋汚染の問題

渡 辺 競 (宮城県水産試験場)

1971年7月新仙台港の開港と同時に背後地の新仙台火力発電所1号機(出力35万kW, 排水量 $10.4m^3/sec$ , 取排水温度差 $8^{\circ}C$ )が操業を開始した。当海域の漁業として春夏季は底曳・定置・刺網漁業, 秋冬季はノリ養殖が行われている。この内ノリ養殖は港口から東南東1km附近に区画漁業権があり, 主産地松島湾ノリ養殖の1角を形成している。このため, 七ヶ浜町役場, 関連7漁協組, 東北電力との間で6月に“温排水分布調査委員会”が発足し, 温排水の外部環境に及ぼす影響とその関連について, 問題の所在とその解明を公開の原則に立って行うことになり, 県水試に調査指導が依頼された。調査結果の詳細は委員会から既に公表されているので, ここではこの一部を用いて掲題の問題の素材とした。

### 1. 養殖ノリと水温との関係

松島湾産アサクサノリを葉長によって4区に分け, それぞれを7, 10, 15, 20,  $25^{\circ}C$ で培養し, 経日的に乾燥重量, 全窒素量, Peroxidase 活性, 呼吸, 水溶性蛋白量, Phycoerythrin 含量等を測定した。生育の適温は幼芽, 幼葉期では $15^{\circ}C$ 以上 $20^{\circ}C$ 前後にあり, 4cm以上の成葉では $15^{\circ}C$ 以下 $10^{\circ}C$ 前後にある。水温と代謝生理との関係について見ると, 低温では生育障害が認められるが, これは単に代謝の制御機構の乱れによるもので, 細胞構造の破壊を伴わない。他方, 高温の場合は細胞構造の破壊を含む代謝の乱れが推定される。特徴的な点として,  $15^{\circ}C$ でノリの生育や代謝活性に特異な変動があり, この附近に生理上の臨界温度が存在するようである。すなわち,  $15^{\circ}C$ 附近では代謝活性が低下し, 生理的に不安定な状態にあるが, これは $15^{\circ}C$ を中心に幼葉から成葉へ生育のStageが進行することを示唆するものであって, 水温変化と生育Stageの進展が大きくくずれる場合には, 病害や障害の多発が予想される。これを温排水との関連で見ると,  $15^{\circ}C$ 附近における $dT/dt$ の大きさに温水がどの程度に関与しているかが問題である。

ノリの生産は数多くの要因に支配されるが, この中における水温の影響の位置づけを検討するために, 主環境要因として, 溶存N濃度, 水温, 流速(潮流, 吹送流, 渦動を考慮した流速), 輻射熱量を選び, それぞれを $X_1, X_2, X_3, X_4$ とし, これらとノリ葉体の日間N増加率 $Y$ の関係について松島湾の連続観測資料を用いて多変量回析(多重回帰分析, 分散分析, 主成分分析)をIBM-360で行った。取り扱い水温は $15^{\circ}C$ 以下であるが, 4変量と $Y$ の重相関係数は0.657で, その寄与率から $Y$ の変動の43.2%を4要素で説明することが出来る。分散分析の結果, 分散比は7.78で, これをF表により自由度(4, 41)で検討すると1%水準で有意である。松島湾の場合, 塩素量を変量に加えても寄与率は43.0%であって変化はない。これより, 残余の57%はノリの生理生態的条件と人為的管理技術などで説明すべき部分と推察される。 $Y$ に対する各変数寄与率は, それぞれ順に6.9,

4.1, 6.5, 0.3%である。また、4変量とYの関係は次式で与えられ、各要素が大きいほどYが増加する。

$$Y = (-1.8 + 0.058X_1 + 0.262X_2 + 0.430X_3 + 0.885X_4) \cdot 10^{-2}$$

他方、ノリの作況を支配する要因に疾病被害があり、この内、重要なものに赤クサレ病がある。現在、全国より20菌株を蒐集して液体合成培地により純粋培養を行っているが、ノリ葉体に対する侵襲力は水温7~21℃の範囲で高温ほど大きく、この傾向は東北菌よりも西南菌で強い。また、温排水域内の漁場で、11月の小潮の無風時に表層に成層が生じ、生理障害をおこすこともある。

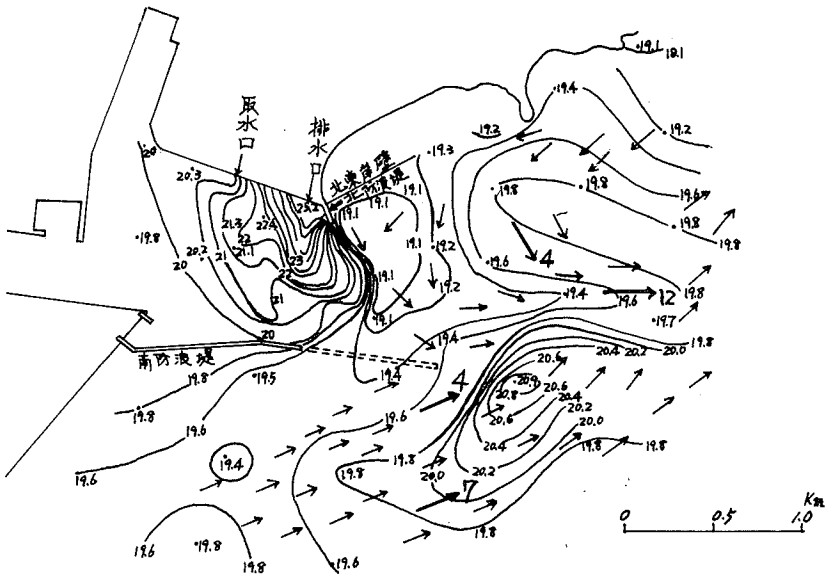
## 2. 温排水の分布について

調査方法として、排水口を中心に50, 100, 300, 500, 700, 1,000, 1,500, 2,000mの半径で230°円を画き、その円周上に44点の調査点を設けて、8月10日、10月4日、12月10日、20日の干潮時と満潮時に、表層、1, 2, 3, 5, 7, 10m各層の水温・塩素量を多数の調査船により同時観測した。

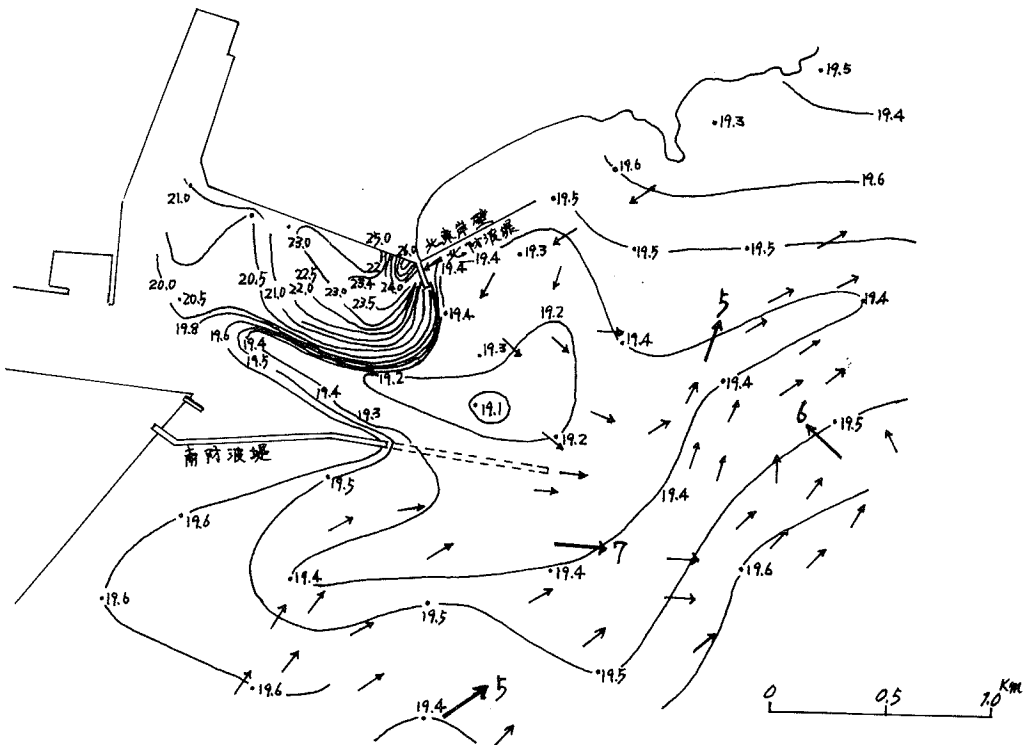
温排水の分布域を観察する場合に自然水温の設定が重要であるが、このため港外の水温分布がほぼ均質な場合にはその平均値を用い、港外に低温域と高温域を中心とする2個以上の等温線配置が存在する時には接触前線部の水温を基準とした。排水口を中心とした等温線配置の形状は調査時期、潮時、深度によって異なるが、概括的に見て、8月、10月の干潮時には同心円型ないし扇形状、満潮時には北岩壁に張りついた形状、12月の干潮時には舌状ないしJet状、満潮時には同心円状ないし扇形状を示している(第1図)。自然水温より1℃以上高い区域を温排水影響域と仮定し、表層におけるその面積を確率紙にplotするとほぼ直線的な配置となることから、これは正規型分布をなしていると見られ、平均的には31.6万m<sup>2</sup>となる(第2図)。1℃以上に昇温している水容積についても同様の傾向が認められ(第2図)、海水加入量、水平・鉛直拡散係数が調査時の条件によって異なることが示唆される。拡散方程式の近似解によって調査資料から水平拡散係数を求めた結果は、 $1.7 \times 10^2 \sim 1.3 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{sec}$ の範囲で調査時毎に異なっていた。他方、温排水拡散予察に対し、平野・和田・新田各氏の式があるが、本排水条件の場合、1℃上昇区域の面積は平野式31.6万m<sup>2</sup>、和田式48.6万m<sup>2</sup>、新田式104.5万m<sup>2</sup>であって、これを確率紙上の直線と比較すると、本排水の場合、平野式・和田式は非超過確率でそれぞれ50%、88%附近の論議と考えられる。現在、各式の正当性、適確性が問題となっているが、海域にとって重要なことはこの予察式によって与えられた拡がり面積がどの程度の確率で出現するか、あるいはどの程度に昇温した海水が漁期間中何日くらい流入した時に、被害が発生するかを論議しなければならない。

排水口を中心とする各等温線について、中心軸に対する最大拡散幅とその内部面積、排水口から等温線先端までの長さ最大拡散幅を示す地点までの距離、最大拡散幅を示す地点までの距離とその幅の間にはいづれも高い相関係数と数式化可能な定関係が認められたが、このことは拡散面積の頻度が正規型分布に従う原因であろう。

本排水域の特徴的な点は、温排水域が港内に留り、その前面には北防波堤沖から港口に向かって低温



j) 昭和46年10月4日の干潮時における表層の水温分布



jj) 昭和46年10月4日の満潮時における表層の水温分布

才1図 新仙台火力発電所からの温排水分布ならびに新仙台港附近の水温分布と海水流動図

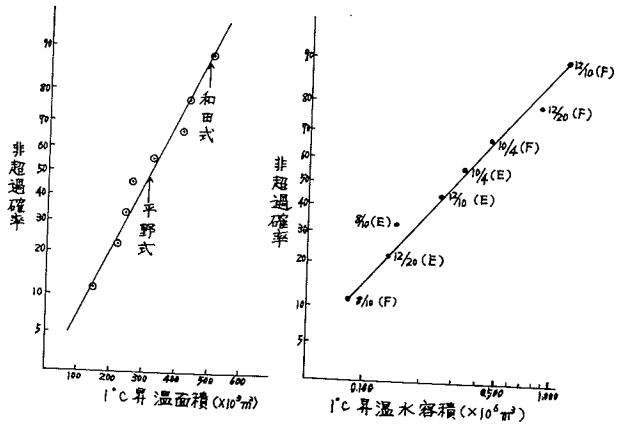
水域が存在し、温排水が港外へ流去することに対して固定壁を与えていることと(第1図)、温排水の鉛直的な到達距離が季節によって異なり、夏季から冬季に向って逐次深部に達すること(第2図附表)である。この内、後者については海域の垂直安定度の季節的、地域的变化と、温排水の密度との関連から解析し、前者については温排水の面積が調査時によって異なる機構と共に、浅海域における環境変動との関連で解析した。

すなわち、仙台湾では北上沿岸流が卓越しており、これは南防波堤の存在によって港口附近で左旋環流を形成するが(第1図)、その大きさ、位置、形状

などは潮時や風などで異なる。風については、夏季に向岸風、冬季に離岸風が卓越するが、いずれの場合も岸近くで上昇流を形成しており、左旋環流に附帯する上昇流を強化している(才3図)。また、港内に排出された温排水域ではその直前における海水加入、混合を通してソレノイド場が形成されており、その構造を観察すると流下方向の左手に左旋渦動の存在が認められ、これが港口の環流を強化しているようである。このことは更にロスビーの自由射流説からも議論出来るようである。つまり、本排水域ではこのような機構の下に、その前面または両隣りに流れの連続性、反流ないし補流として左旋、右旋の環流が配列し、自然の反流流動、自由射流作用と相まって沿岸から沖に向って左旋、右旋の環流が交互に配列し、鉛直的には風の作用もあって上昇流と下降流が順列し、これらを介して温排水の混合が行われているようである。この状態は、このような立地条件をもった閉鎖的海域に排出される温排水が漁場内に流入することに対して1種の制約を与えているようである。しかし、環流の位置、形状、大きさは港外の海水流動と反流の強さ、風向風速、塩分、潮汐条件などに支配されている。

### 3. 温排水対策

当火力発電所は1973年6月から2号機が運開し、出力95万KW、排水量 $27 \text{ m}^3/\text{sec}$ となるが、当海域における漁業の実態に対処して漁業被害を未然に防ぐために、上記の調査結果から、当調査委

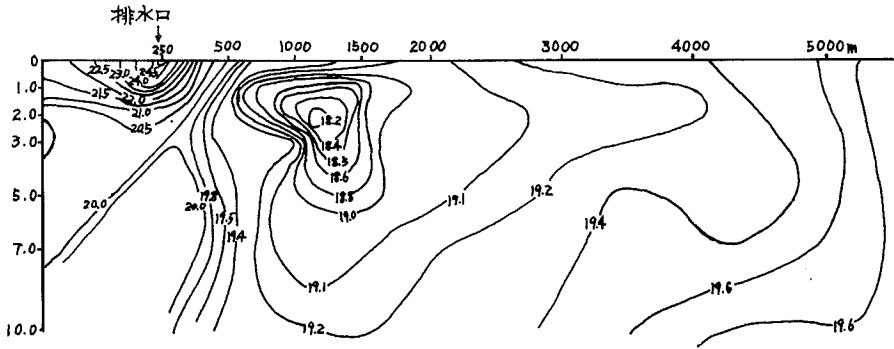


冷却水排水の影響面積

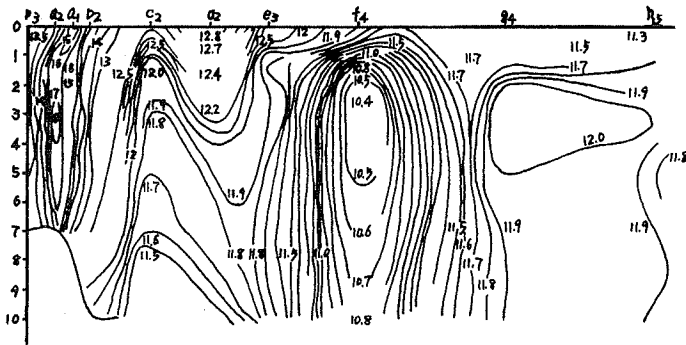
月日	潮位	深度							1°C以上の水容積 $\times 10^6 \text{ m}^3$
		表層	1 m	2 m	3 m	5 m	7 m	10 m	
8月10日	干潮時	0.24~0.40	0.13~0.42						0.146
	満潮時	0.15	0.07						0.021
10月4日	干潮時	0.43	0.25	0.03	0.03				0.325
	満潮時	0.26	0.21	0.02	0.01	0.07	0.03		0.445
12月10日	干潮時	0.24	0.09	0.02	0.03	0.02	0.02		0.247
	満潮時	0.41	0.13	0.02	0.03	0.08	0.14	0.06	1.101
12月20日	干潮時	0.22	0.09	0.02					0.134
	満潮時	0.50	0.13	0.10	0.08	0.14	0.10	0.07	0.827

才2図 1°C昇温区域の面積並びに水容積

員会案として、排水路を二又切替として、ノリ漁期間の10月～3月は港内放水、4月～9月の底曳刺網期間は汀線排水を行うこととして、約4億円の経費によって設備を完了した。



満潮時における北東岸壁直交線の水温分布図(昭和46年10月4日)



満潮時における北東岸壁直交線の水温分布図(昭和46年12月10日)

第3図 新仙台港における水温の断面分布図

## 9. 総合討論

司会 辻 田 時 美 (北海道大学水産学部)

海洋環境汚染の問題は、これを公害の意識にたってみるならば、極めて広範な研究分野にまたがっており、自然科学の諸分野はもとより、医学技術、法律、経済、社会などの学内分野が複雑に絡みあ