

鉄などが生物の生長を刺激、促進するような働きをするのか？ ビタミンB₁₂を加えると急に繁殖を起す実験もある。熱帯では栄養塩の急速なリサイリング（再輸廻）がある。1908年 A. Nathansohn (Intern. Rev. Hydrobiologie & Hydrographie . 1 : 37-72) で、動物プランクトンの捕食が一次生産者の生産率を決定し得るとのべ、キールの Brendt 教授（海中の硝酸塩、リン酸塩が制限因子となると唱道）と論争した。日光のよくなる暖海上層でバーミューダのような海では turnover（転到、水塊が不安定になりひっくりかえる）が案外大きくて、それがあると海水が富栄養に一変し、ビタミン₁₂があるときは突然けい藻の繁殖が起る。すなわち鉛直安定度が一要素である。赤潮による毒化は dinoflagellates の特に Gonyaulax の類に多い。しかしこれにしても水の交換が悪い場合に著しい。湧昇、淡水流入あるいは降水があつて、栄養十分に日射が加わると上軽下重の成層が発達し、特に水塊の流動の少い停滞水のある内湾奥で著しく、集中的なエネルギーの爆発が起り易い環境をつくる。点火薬、引き金は何か？。

5) 要 約

赤潮生物の大繁殖には、光熱エネルギーと栄養塩と刺激の物質、すなわち爆発的繁殖を起すのに必要欠くべからざる物理的、化学的、生物学的要因があつて、これらの組合せによつて最適条件が発生する。このことは赤潮生物に限らず有用水産生物においても存在する。魚貝藻類の大繁殖においてもよくみられることである。又逆に最不適な悪条件群の存在も考えられ、これが繁殖を阻害し、魚貝類の大減少に導くことが考えられる。従つて魚貝類生産の豊凶を支配する重要原因の解明にこのことの研究はすこぶる大切であろう。現場の複雑な実態の観測調査と共に、実験室内で諸条件をコントロールしながら基礎実験を行うことがメカニズムを明かにする上に大せつてであろう。赤潮の防止、対策と共に発生予察警報の研究が必要である。

7 赤潮の発生と微細海況変化

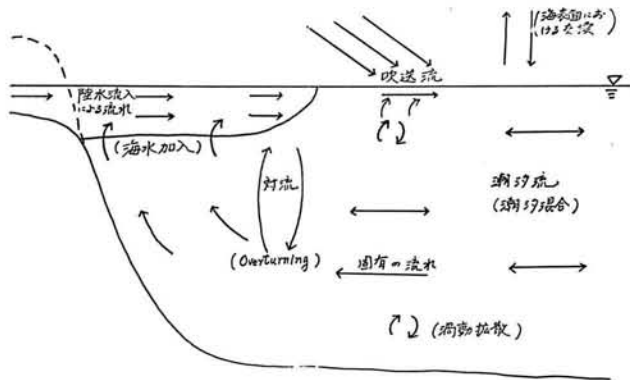
平野 敏行（東海区水産研究所）

赤潮について直接調査を行なつたことがないので、こゝに述べることからが当を得ているかどうか甚だ疑問であるが、海況変動が何らかの形で赤潮の発生と関係が深いと云われているので、沿岸特に内湾における水理的な環境を研究しているものの立場から、内湾における水の動きについて述べ、特に赤潮発生と関係があり、しかも見過ごされ易いと思われる点を二三指摘して参考に供することとした。

水温や塩分、あるいは栄養塩等海水の諸要素の分布を支配する物理的要因の主なもの、対象とする海域に存在する海水の流動状況であるといえよう。そして、海水の流動は大きくわけて、

(1) 流れ、特に湾内では Circulation (2) 海水の不規則運動による混合過程の二つになる。今湾内において考えられる流れを分類すると、i) 海域固有の流れ……沖合水の流入、吹送流および地形によるこれらの流れの局所の変化等、ii) 潮汐流、iii) 河川水（陸水）流入による流れ（密度流）、iv) 対流（冬季）等が挙げられる。又海水の混合過程に寄与するものとしては、

i) 渦動拡散 (水平、鉛直)、ii) 潮汐混合、iii) 海水加入、iv) Overturning (対流にともなう混合)等となる。尚、この中、海水加入については、河川水が流入する湾においては、湾内の水の circulation にも関連して、かなり重要な役割をもつと考えられるが、このことについては、本号「温排水の拡散影響域推定について、平野敏行」に、温排水流入に関連して述べられているので、詳しい記述はここでは省略する。以上、湾内における流動状況を模式図として表わすと第1図のようになる。したがって、実際に、当面する個々の湾における流動の特性は、これらの要因をひとつひとつ検討して、湾の

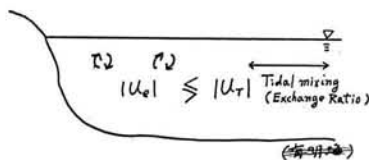


オ1図 湾流動状況の模式図。

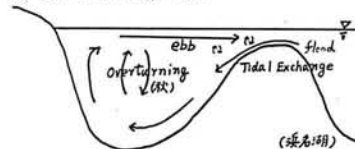
海況変化、即ち、海水諸要素の分布や変動を支配する流動要因として、どのようなものが支配的に作用するかを見きわめていくことによつて得られるように思われる。例えば、渦動拡散に寄与する渦動の大きさを $|U_0|$ 、潮汐混合に寄与する潮汐流の大きさを $|U_t|$ 、海水加入に寄与する陸水流入によつて生ずる流れの大きさを $|U_r|$ とすると、これらの大小によつてある程度湾の特性あるいは、湾内の地域的な特性を察知することができるように思われる。第2図の①、②、③は夫々これらの支配的要因が異なることによつて、circulation や海水諸要素の分布を異にするとと思われる特殊例を模式的に挙げたものである。この中、特に、後に示すように、③の場合には、陸水流入にともなつて、湾の底層水の流動に変化がおり、陸水流入量の約100倍の下層水を上層に運び上げていると考えられる。

さて、特殊例は別として、一般に、湾内では、上に述べたように、 $|U_t|$ 、

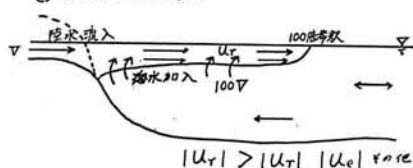
① 陸水流入のない場合



② 湾口が狭く、浅い場合



③ 陸水流入のある場合



オ2図 流動特性を異にする湾の模式例。

$|U_e|$ 、 $|U_r|$ が存在し、これらが複合して、はたつきあつている。したがつて、一応普通に考えられる湾のスケールに対応して、これらが湾内で地域的にどういふ役割をもっているかについて検討してみよう。今、湾の幅か一定で、奥行き、ある長さ L を持つような湾を考えてみよう。潮汐流はこの湾口を通して出入し、近似的には湾内は同時に振幅 ζ_0 で干満しているとする、湾内の潮汐流の U は、

$$U = \omega \zeta_0 \frac{x}{H} \sin \omega t$$

と近似的に表わすことができよう。こゝに、 H は平均の深さ、 x は湾奥からの距離、 $\omega = \frac{2\pi}{T}$ 、 T は周期。したがつて、

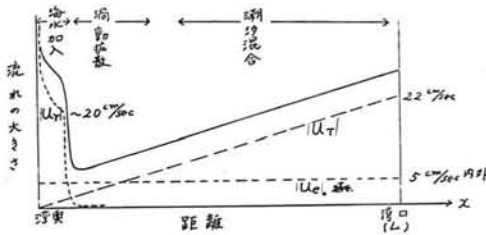
$|U_t| \sim \omega \zeta_0 \frac{x}{H}$ と考えることができる。一方海水加入による流れは、

$$U = \frac{aV}{\pi L_a} \sim |U_r|,$$

$$\frac{\rho^{1/2} (a-1)}{\pi^{1/2} (\alpha_g)^{1/2} h^2 (n-1)} V \sim L_a$$

こゝに、 V は陸水流入量、 L_a は a 倍稀釈になる距離、 ρ は海水の密度、 α は海水と陸水の密度の差、 h は稀釈水の厚さ、 g は重力の加速度、 $n = 3$ 。(本号「平野敏行；温排水の拡散影響域推定について」参照)。また $|U_e|$ は、湾固有の流れに対応すると考え、はゞ湾内では一定とすることができよう。当然、 $|U_t|$

$|U_e|$ 、 $|U_r|$ は夫々湾のスケール、潮汐の大きさ、陸水流入量の大きさに応じて変化するものであるが、一応大まかに、夫々が湾の地域において持つ役割を、上の算定にもとづいて模式化すると、オ 3 図に示すように、湾奥から湾口にかけて、夫々の流れの大きさを地域的に特徴



オ 3 図 $|U_r|$ 、 $|U_t|$ 、 $|U_e|$ の湾内地域的变化想定図。

$|U_r| \sim 2.0 \text{ cm/sec}$ 、 $|U_t(L)| \sim 2.2 \text{ cm/sec}$ 、 $|U_e| \sim 0.5 \text{ cm/sec}$ は現実におこりそうな大きさを想定して書き入れたにすぎないが、仮りにこのような湾が存在するとすると、湾の地域によつて、海水の循環や拡散混合の過程がことなり、 $|U_t|$ 、 $|U_r|$ 、 $|U_e|$ の大きさ、したがつて湾内の流動特性の変化によつて、諸要素の動的な分布様式が変化することが考えられる。

オ 1 表 は赤潮がしばしば発生するといわれる徳山湾、佐伯湾、大村湾、それに少しスケールのことなつた有明海について、湾のスケール、潮差等を表にしたものである。オ 3 図の $|U_t|$ はどちらかといえば、大村湾のスケールにあわせている。但し、実際の大村湾の潮流は少くも湾

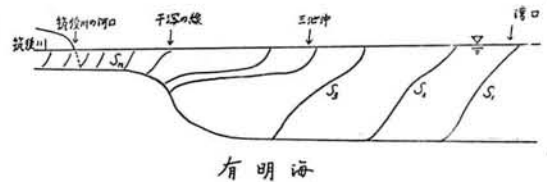
口において極めてことなつたものになつていることは云うまでもない。また、オ3図中 $U \sim 20 \text{ cm/sec}$ は、陸水流入 $V = 50$ 万トン/日 で、したがつて陸水流入が海水加入をいきおこす海域(は $1 \sim 2 \text{ km}$ の範囲と考えられる)内で下層から海水加入が約 5.000 万トン/日が存在するような場合に相当し、このような場合には、下層において深さ 20 m 深のところ

オ1表 徳山湾、佐伯湾、大村湾、有明海の湾のスケール

	表面積 km^2	容積 km^3	潮差 m	潮の遅延 hr	平均水深 m	$U(\text{cm})$ の平均
徳山湾	38.7	0.39	2	91	1.0	21.3
佐伯湾	163.6	3.65	1.5	12.8	2.2	6.06
大村湾	280.0	4.20	1.5	31.5	1.5	0.23
有明海	1700.0	32.30	3	100.0	1.9	1.45

で約 1 cm/sec の流動が存在することが考えられる。上に挙げた各湾で、具体的に流動特性がどういふようになつているか、検討していないが、たとえば、降雨期等においては、下層水

が以外に流動し、海水加入によつて、下層水の昇が顕著となり、しかも、このような上昇域の外縁では、拡散現象が以外に小さく、海水の停滞域になつていたりすることが考えられる。降雨期のみでなく、このような現象は、工場廃水とも関連し、廃液そのものの赤潮発生への影響の他に、廃水影響域の外縁部は以外に水の停滞域となつている可能性があるように思われる。最後に、有明海のように、潮汐が大きい湾では、海水の流動も大きく、したがつて海水の交換も大きい。この湾には、特に湾奥には筑後川をはじめ多くの大河川があつて、陸水流入も大きい。しかし、湾奥部に干潟が発達し、河川もすべて感潮河川となつているため、上に述べたような海水加入より、潮汐混



オ4図 有明縦断面における塩分分布模式図。

合が湾奥部においても卓越している。したがつて、有明海の縦断面における塩分分布を模式的に表わすとオ4図のようになる。すなわち、干潟部および湾口部でははげしい潮汐混合によつて上下ほとんど均一な塩分分布を示している。このような湾は、おそらく赤潮発生に適した環境とは云えないのではないかと想像している。たゞし、湾奥の干潟部を出はずれたところでは、塩分分布からみても成層状態を示している。この成層状態から再び潮汐混合域に移る三池沖台附近の水域は、有明海としても最も海水の流動がおそい海域となつており、下層水、陸水を含んだ水が存在する。赤潮が発生するとすれば、この海域ということになる。

以上、赤潮発生に関係すると思われる湾内の流動、あるいは水の混合過程について、いくつかの大胆な仮定をおきながら、述べてみた。これらについては今後、問題視されている海湾での具体的な調査が進むにしたがつて、誤りが指摘されたり、また新しい事実が発見されたりあるいは、より正確に解析されていくことになるとされるし、また、赤潮問題のみならず、estuaryの海洋学として、今後さらに正しく体系づけられなければならないと思われる。万が一にも、これらの研究の One step として、参考になれば幸いである。