

海域の富栄養化と赤潮の発生

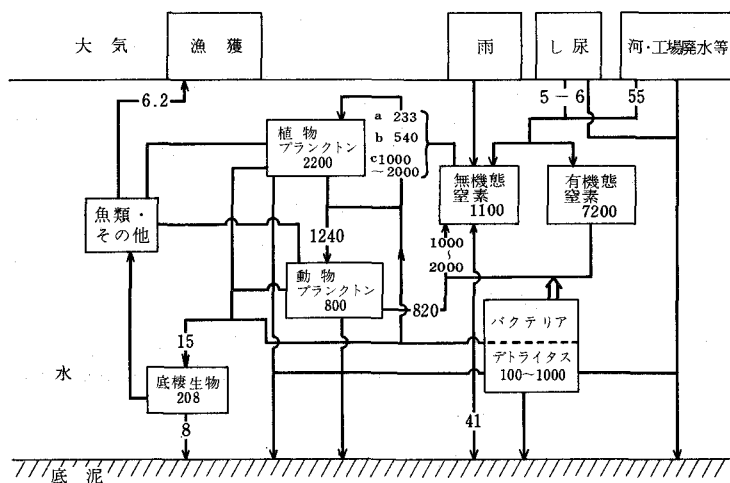
香川大学農学部 岡 市 友 利

1. 海域における有機物生産について

赤潮の発生が、窒素や磷の補給による海域の富栄養化によるということについては、現在では多くの人の共通に理解するところになっているといつてよい。しかし、富栄養化の進行は、単に海水中に無機態窒素化合物や磷酸塩が蓄積するだけではなく、有機物の増加を伴っており、実際、海水の富栄養化を「汚染」という意味で使用する場合には、有機物の増加そのものをさしているといつても過言ではない。

瀬戸内海への汚染負荷量は、1973年の環境庁の調査では、COD 1600 t/日、窒素 470 t/日、磷 32 t/日と報告されており、有機物の流入の多いことが矢張り注目される。瀬戸内海環境保全臨時措置法は、昭和51年11月までに、CODの負荷量を47年度の1/2程度に抑えることを規定しているが、この点に関し、多くの研究者が、窒素や磷の流入規制なくしては実効をえがたいことを指摘しており、植物プランクトンによるCOD生産を抑制しない限り、瀬戸内海海水中のCODを大幅に低下しがたい。たとえば、夜光虫赤潮を浜過した海水のCODは240 mg/lに達した例がある¹⁾。

中西ら²⁾は、瀬戸内海海水のCODの1/2は、窒素や磷の取りこみによって植物プランクトンによって生産されるとし、また、最近、西村³⁾は、第1回環境保全科学会議において、この問題を報告し、瀬戸内海でのCOD生産は冬期2600 t/日、夏期4000 t/日で、陸上からの流入量の2~3倍におよぶとしている。一方、岡市⁴⁾が、環境庁の昭和48年度瀬戸内海汚濁総合調査結果から計算したところでは、瀬戸内海東部ではCOD 1 ppmの生産に窒素 12 μ gat、磷 1.2 μ gatを要するが、生物体に取りこまれた



線上の数字は循環窒素量 (ton/日/全域) を、四角の値は現存量 (ton) を示す。
植物プランクトンによる窒素の同化量は次の三つの方法で測定された。

- ¹⁴C-タンク法
- バルーン法によるアミノ酸生産量
- 水中の窒素減少量

図-1 撻灘における窒素循環

窒素や磷が無機化されて再び有機物生産に組みこまれていくことを考慮すると、窒素や磷による有機物負荷は陸上から流入するものにくらべてかなり大きな割合を占めるものと思われる。

しかし、ここで、とくに強調しておきたいのは、植物プランクトンにより生産された有機物は、生産量が適当で、高次生産と結びつく限りでは汚染物質とはいえず、陸上から工場廃水や都市下水によって運びこまれる人工有機物を多く含むものとは質的に異なっていることである。図-1にIBP-内海班がまとめた、1970年6月における燧灘の窒素循環を示すが、燧灘(面積1750km²、瀬戸内海全面積の約1/12に相当)の1年間の植物プランクトン生産量は6,800,000tとされている。富栄養化の進行が問題にされるのは、これらの一次生産が二次生産以上の高次生産に利用されない点であり、燧灘でも西条水域は、他の水域にくらべて植物プランクトンに対する動物プランクトンの割合が著しく小さい。海域の富栄養化の問題点の一つは、植物プランクトンの海域における高度利用化を如何に図るかにあると思われる。

2. 最近の赤潮発生について

表-1は、この10年間における瀬戸内海での赤潮の発生件数を示したものである。瀬戸内海では、1950年以前にも1年に数回の赤潮は発生していたが、急激に発生件数が増加しはじめたのは1960年頃からで、それと共に被害額も増大していった。主な漁業被害を表-2に取りまとめたが、最も被害の大きかったのは、1972年夏Hornellia sp. (ウミミドリムシモドキ)の赤潮による播磨灘でのハマチの大量斃死である。1975年には、播磨灘一帯で春先の夜光虫赤潮につづき、5月末にProrocentrum minimumの赤潮が発生し、兵庫県家島諸島では35,000尾のハマチが斃死した。夜光虫赤潮に引きつづくこの赤潮については、1974年12月18日に発生した三菱水島製油

表-1 瀬戸内海における赤潮発生数

昭和年	40	44	45	46	47	48	49
発生数(A)	44	67	79	136	164	210	298
漁業被害(B)	6	18	35	39	23	18	17
B/A×100	15	27	44	29	14	9	6

表-2 主な赤潮による被害例

昭和年	発生地域	漁業被害	被害額 100万円
32	徳山湾	魚類	6
37	"	"	14
40	"	魚類、真珠母貝	41
40	大村湾	赤貝、ナマコ、真珠母貝	750
40	佐伯湾	}ハマチ 20,000尾	—
	津久見湾		
41	椿泊湾	ハマチ 500,000尾	100
45	広島県沿岸その他	ハマチ 500,000尾	620
47	播磨灘一帯	ハマチ 14,000,000尾	7,100
50	兵庫県家島	ハマチ 35,000尾	—

所からの重油流出の影響も考えられる。さらに9月末には、この海域で有毒なGymnodinium breveに類似した種類の赤潮も発生しており、現在、赤潮研究者の間で種の査定と毒性の有無の検討が急がれている。

瀬戸内海で発生した赤潮の主な構成種は次の通りである。

- みどりむし綱 Eutreptiella sp.
- 黄緑色鞭毛藻綱 Olisthodiscus sp. Heterosigma inlandica
- 黄色鞭毛藻綱 Dictyocha fibula
- 褐色鞭毛藻綱 Rhodomonas ovalis
- 緑色鞭毛藻綱 Hornellia sp. Fibrocapsa japonica

渦鞭毛藻綱

Exuviaella sp., *Prorocentrum triestinum*,
P. minimum v. *mariae-lebouriae*,
Gymnodinium mikimotoi, *G. nelsoni*,
G. splendens, *Gymnodinium* sp., *Noctiluca*
miliaris, *Polykrikos schwartzi*, *Gonyaulax*
polygramma, *Peridinium trochoideum*, *P. quinquecorne*
Ceratium furca.

繊毛虫綱

Mesodinium rubrum

これらのほかに、瀬戸内海ではまだ認められていないが、マヒ性貝毒を産生する *Gonyaulax catenella* または、それに近い種類が三重県から北の太平洋岸に出現するようになり、今後の赤潮問題は、水産増養殖上の問題にとどまらず、食品衛生面からも重要な問題となるであろう。

3. 有機汚染と赤潮発生との関係

1) 工場廃水のプランクトン増殖作用

赤潮プランクトンの増殖には、栄養塩類以外にビタミン類やキレート金属その他の有機物が必要で、栄養塩の濃度があるレベル以上に保たれている時には、これらの有機物の変動が赤潮の発生に大きく影響するものと思われる。有機物の作用として、栄養補給と増殖刺激の二つが考えられるが、植物プランクトンによって生産されるにしても、陸上からの汚染物として流入するにしても、現在まだ、これらの作用別に分析することは困難である。しかし、赤潮プランクトンの増殖に対する両者を合せた作用は、培養法によって知ることができる。

亜硫酸パルプを海水で稀釈して、*Heterosigma inlandica*, *Eutreptiella* sp.などを培養すると、CODとして2~5 ppmの範囲でとくに増殖が促進されることがわかった。⁵⁾ この実験で使った亜硫酸パルプ廃液中にはビタミンB₁が30 µg/l程度含まれるので、その作用も考えられるが、最近の研究では、廃水中のリグノスルホン酸が鉄イオンとキレートを生成し、これがプランクトンの増殖を促進することが明らかにされた。図-2に示すように、海水で作った基礎培地に亜硫酸パイプ廃水または精製リグノスルホン酸とFe³⁺を加えると、*Eutreptiella* sp.の細胞数も¹⁴Cの取りこみも、対照にくらべて著しく増加した。Fe³⁺や亜硫酸パイプ廃液単独の添加でも効果は認められるが、Fe³⁺では¹⁴Cのとりこみが、亜硫酸パルプ廃液では細胞数増加が促されるように思われる。

このパルプ廃液以外に、7種の工場廃水についても、同じような実験をしたところ、廃水のCODの大小に関係なく、とくに赤潮プランクトンの増殖を促す廃水のあることが認められた。1974年12月、三菱石油水島製油所から流出した重油の赤潮プランクトン増殖作用を検討したところ、人工海水では0.1 ppm以上に増殖促進最適濃度があるのに対して海水を用いた培地では、0.02~0.025 ppmの

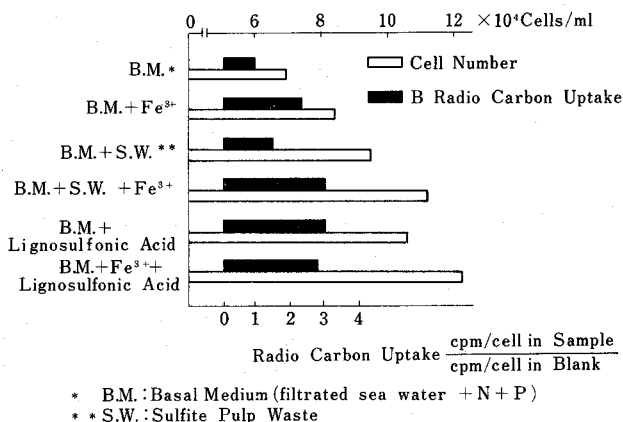


図-2 *Eutreptiella* sp.の増殖と¹⁴Cの取りこみに及ぼす亜硫酸パルプ廃液、リグノスルホン酸とFe³⁺の影響

添加が効果的で、海水中の有機物その他と重油成分の間に共働作用があることが予想される。

これまで、廃水中の有機物はCODの量で規制され、質的な面は考慮されなかったが、PCBやフタル酸エステルなど以外に、赤潮発生の立場からみても問題点が多い。今後、CODの量を規制するだけでなく、どのような性質の廃水が流されているか、化学分析と共に、生態学的立場からみた生物試験法をひろく適用した検討も必要である。

2) 海水中の有機物とプランクトン増殖との関係。

以上のように、工場廃水中の有機物が赤潮プランクトンの増殖を促進することが判明してきたが、その濃度には最適範囲があり、高濃度ではもちろんプランクトンの増殖はおさえられる。海水中のCODと赤潮プランクトンとの関係についてもほぼ同様なことが観察されている。

上述の亜硫酸パルプの流入していた大分県佐伯湾で、いろいろなCODの値を示す海水を採取して、*Eutreptiella* sp. を培養するとCOD 2～6 mg/ℓの間では、CODの増加とともに細胞数がふえるが、6以上では多少、細胞数の増加が低下する傾向がある。大阪湾でも赤潮の発生が最も多いのは、海水のCODが2付近で、8以上では赤潮の発生は認められないと報告⁶⁾されている。瀬戸内海のCODを1 ppm以下に維持したいという主張は、このような調査結果に基づいている。

一方、廃水の流入域から沖合にかけて、海水のプランクトン増殖作用を調べたところ、図-3のように、流入域では、プランクトンの細胞数はかなり抑制されるが、それが適当に稀釈されるそのすぐ外側に増殖促進域が形成され、それから次第に沖合海水の示す一定値に近づいていく。燧灘東部海域で、海水中の溶存有機炭素に対する溶存炭水化物態炭素の割合を調べた時にも同様な結果がえられている(図-4)⁷⁾。廃水の流れこむ三島港内の海水では、溶存炭水化物態炭素は18%であったが、2 km沖合の港外では4%に低下し、それから徐々に回復し、10 km沖合で12%となった。

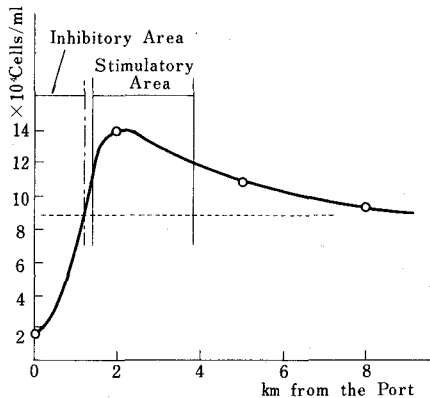


図-3 汚染水域の海水によるプランクトンの培養

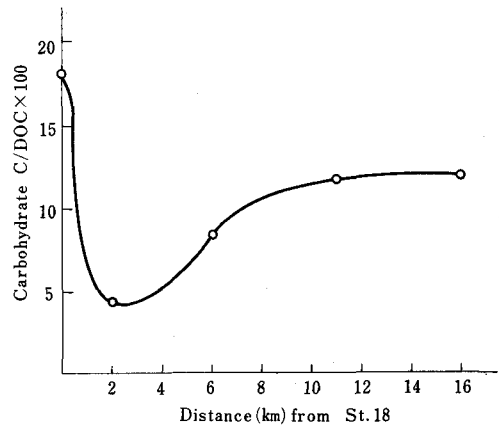


図-4 パルプ廃水汚染海域におけるDOCと溶存炭水化物態炭素の割合

これらの結果の示すように、汚染物質の流入域での生物の活性はおさえられるが、そのすぐ外側に赤潮プランクトンの増殖や活性を促す水域が形成されている。その範囲は、汚染物質の流入量や海水流動の状況によって異なるであろうが、この増殖促進域は生態学的に極めて不安定で、またそれ故に赤潮を発生しやすい海域といえることができる。

海の浄化の目標は、人為汚染により生じたこのような生態学的に不安定な海域の回復にあるといえることができる。

文 献

- 1) 岡市友利：夜光虫赤潮の毒性，海水利用学研究ノートⅡ（1972）
- 2) 中西弘・浮田正夫・宇野良治：海域におけるC O D生産量について，用水と廃水 17 (6) 43-53 (1975)
- 3) Nishimura H : Industrial ecology and its application to environmental assessment.
The sets Inland sea as exanple. 第1回国際環境保全科学会議 京都 (1975. Nov.)
- 4) 岡市友利：富栄養化と赤潮の発生，都市と水 81-87 (1974) 第36回 全国都市問題会議資料
- 5) 岡市友利・柳生昭孝：海産植物プランクトンの増殖におよぼす亜硫酸パルプ廃液の影響，日本プランクトン
学会報 16 (2) 126-132 (1969)
- 6) 安達六郎：赤潮生物と赤潮実態，水産土木 9, 31-36 (1973)
- 7) 岡市友利・越智正・平野正子：燧灘東部海域の有機汚染，香川大学学術報告 23 104-111 (1971)