

海 域 の 環 境 汚 染

Environmental Pollution in Coastal Zone

須 藤 隆 一

Ryuichi SUDO

1. はじめに

わが国の内海・内湾は排水のラグーンと化し、汚濁がとくに著しいところが多い。このため、汚濁のひどい東京湾、伊勢湾、瀬戸内海の3海域において、昭和53年に水質総量規制制度が設けられ、CODを指定項目として汚濁負荷量の削減が行われている。3海域の環境基準（COD）の達成状況は、平成3年度において東京湾63%、伊勢湾59%、瀬戸内海78%（大阪湾67%）である。10年前は、東京湾61%、伊勢湾59%、瀬戸内海81%（大阪湾67%）であるからおおむね横ばいである。内湾の奥部では、夏期にCODが6~10mg/lに達する。内湾のごく一部とはいっても、海洋の汚濁をこのままにしてよいはずはない。

第3次の総量規制が平成3年度からはじまっているが、個々の汚濁負荷量が多い大規模な事業場や下水処理場からの排水はもちろんのこと、全体として汚濁負荷量が多い生活雑排水や小規模未規制事業場については、さらに対策を強化する必要がある。海洋の有機汚濁は、外来のCODのみでなく、窒素やリンなどの栄養塩類による一次生産に起因している。海水は飲料水でない、窒素やリンが増加すると漁獲量が増える、海洋の水質を莫大な費用をかけて改善して誰が利益を受けるのか、など規制強化に疑問である意見をよくきく。しかし、わが国だけでなく、先進諸国の内海・内湾は北海、地中海、チェサピーク湾に見られるようにいずれも汚濁が進行している。内海・内湾の汚濁は世界的に共通な現象であるが、外洋における地球規模の環境問題はそれほど顕在化していない。大気の問題は顕在化しやすいし、また定量的に把握しやすい。このため、現状の地球規模問題は大气に集中しているが、海洋に潜在する地球規模問題は多いはずである。海洋は大きく、地球表面積の71%を占めており、平均深度は3,800mもあるから海洋全体の汚濁が急速に進行するとは考えにくい。しかしながら、外洋に地球規模の環境問題が顕在化するときは、本当に地球が危ないのかもしれない。外洋の環境破壊は、内海・内湾で食い止めるべきである。

海洋汚染としては富栄養化によってもたらされる有機汚濁のはかにトリブチルスズ、トリフェニルスズ、ダイオキシン類、各種の農薬などの微量物質による汚染、油濁などが顕在化しているが、本講義では、富栄養化による有機汚濁を中心に取り上げてその現状、機構、対策などについて検討を加えることにする。

2. 海洋生態系の特徴

陸水はおびただしい数の孤立した水塊からなっているのに対し、海洋は全地球面の巨大な単一水塊である。海洋では、大洋底とよばれる深さ4~5kmの部分が最も多く全海面の1/3をしめる。200m以浅の大陸棚といわれる部分は3%程度であるが、水産資源が豊富であるので特に重要とされている水域である。この部分は沿岸域ともよばれ、最近は多量の排水や集中的な養殖のために汚濁の進行が著しく、赤潮の発生などが頻繁に起こっている。ここでは内海・内湾などの沿岸域について簡単に触れる。海洋の平均塩分は30‰で、溶存塩類の最も重要なものは塩化ナトリウムである。

沿岸域の一つの大きな特徴は、干潮、満潮による潮差で、数十cmから4~5m程度ある。最大高潮時と最大低潮時の両汀線に挟まれた部分を潮間帯という。特に干潮で露出する砂泥質の場所を干潟、岩礁の場所を磯とよんでいる。これらの場所は海域としては、環境変化の最も著しい場所である。磯にとりのこされた潮溜まりは、水温は50℃近くに上がり、光合成によって溶存酸素は極度の過飽和となりpHは上昇する。

わが国の沿岸には、沖縄南方から北東進して太平洋岸を関東沖まで接岸する黒潮（暖流）と三陸沖を南下する親潮（寒流）とがあり、両者は金華山沖で顕著な潮境をつくる。一般に黒潮は栄養塩類に乏しく生産力が低い。透明度は25~30m程度である。親潮は栄養塩類が豊富で、透明度は10~15m程度である。外洋沿岸域は、これらの海流の環境と本質的には近いが陸地の影響を受けて、水温、塩分濃度の変動が大きくなり、透明度は低下する。一方、内湾、内海とよばれる海域は、外洋水の環境と著しく異なり閉鎖性が強い。この海域では、日射、気温、風、降水などの影響はもちろんのこと、その海域に流入する河川や排水の影響を強く受ける。水の流動が小さいので、微細な粒子が沈澱し、海底にはヘドロの蓄積が多くなる。また水深が浅いので、日光が海底近くまで届き、全層で活発に光合成が行われる。この水域の水質は、湾口から入る外洋水と湾内へ排出される陸水に依存している。

表-1には、外洋沿岸水と内湾沿岸水の性状を比較して示してある。純水は、4℃で最大密度を呈するが、海水では冷却されるほど重くなる。内海・内湾においては、夏季に水温躍層が発達する。また塩素量には垂直分布が認められる。

海洋における生産者は、植物プランクトンと海藻（緑藻類、褐藻類、紅藻類）である。地球における光合成の1/3以上は海の水生植物によるといわれており、そのほとんどは植物プランクトンに依存している。しかしながら、沿岸域では海藻の現存量は局地的には著しく高く、生産者として大きな意味をもっている。アオサやコンブ類が湿重量として40kg/m²に達することもある。

海水中に多い植物プランクトンは、珪藻類と渦鞭毛藻類に属するものが多い。植物プランクトンの消長は急激であるため、種類組成は、場所および季節によってかなり変動する。珪藻類として多いのは、*Coscinodiscus*, *Thalassiosira*, *Skeletonema*, *Chaetoceros*, *Fraxillaria*, *Rhizosolenia*, *Nitzschia*, *Thalassiothrix*, *Navicula*, *Asterionella* などがある。渦鞭毛藻類としては、*Ceratium*, *Gymnodinium*, *Peridinium*, *Noctiluca*, *Gonyulax*

表-1 外洋沿岸水と内湾沿岸水の比較

	外 洋 沿 岸 水	内 湾 沿 岸 水
流 れ	一方向。しばしば0.5~1m/sをこえる。	上下潮で流向は逆転。この間に潮とまりがある。多くは0.5m/s以下で、通常0.2~0.3m/s。底層はさらに遅い。
水 温	暖流域では8℃を切ることは少ない。最高は37℃前後。	暖流系内湾でも冬季は表層が6℃くらいまで下がる。夏季表層は30℃をこえることがある。夏季の停滞域で水温成層が発達すると、表層と底層の水温差は15~20℃に達する。
塩 分	塩素量18.5~19.5%。上下一様	18.5%以下。降水期の表層は16%前後までさがる。河川増水期には河口域の表層では10%以下となる。
pH	8.4前後	8.2~8.3。塩分が下がると低くなる。底層停滞水は8.0以下となることがある。植物プランクトン増殖期には9.0近くまで上がる。
COD	1mg/l前後	1~2mg/lであるが、ときとして2mg/lをこえることがある。
溶存酸素	おおむね飽和に近い。	夏季の底層水停滞域では飽和度40%以下となり、ときとして皆無となる。植物プランクトン増殖期には過飽和となり、ときには200%に達する。
栄養塩類	窒素1~50 μ g $\cdot$ at/l リン0.03~3 μ g $\cdot$ at/l	通例無機溶存態窒素は2~3 μ g $\cdot$ at/lで、無機溶存態リンは0.2~0.3 μ g $\cdot$ at/l以下であるが、富栄養海域ではそれぞれ3~5倍となることがある。有機溶存態および粒状のものは無機態より一般に多い。
底 質	停滞域では含泥量の大きい泥質堆積物が沈積するが、河口をもつ外洋海底では水深20m付近から河川水と外洋水の境界付近（信濃川河口では水深やく100m）まで堆積している。三陸沖の黒潮と親潮の潮目付近では500mに及ぶ。こういった泥質堆積域以外は砂、礫、岩質で、粒度が粗く有機物は少ない。	停滞域では150メッシュ（0.125mm）以下の泥分の含有率は50~100%に達する。こういった場所の泥は有機物が多く、COD20mg/g、強熱減量12%、硫化物0.2mg/g、全リン0.5mg/g、全窒素1mg/g以上のことも珍しくない。

などが多い。これらのほとんどは赤潮生物として知られている。

消費者には、動物プランクトン、ネクトン、底生生物がいる。動物プランクトンとして代表的な生物は甲殻類と原生動物である。甲殻類では、撓脚類の *Calanus*, *Paracalanus*, *Eucalanus*, *Acrocaranus*, *Lucicutia*, *Acartia* などが種類・量とも多い。毛類動物のヤムシ (*Sagitta*)、各種のクラゲ、遊泳性のゴカイ、アミ類、オキアミ類などは、大型動物プランクトンとして知られ、ときには大発生する種類もある。このような終生をプランクトンとして生活するものの他に、一生のある時期を浮遊生活で過ごすものは海洋中にはかなり種類が多い。特に沿岸域は各種の水産動物が幼体期を過ごすので、多種類の幼体プランクトンが出現する。それにはエビ類、カニ類、二枚貝類の幼生、魚類の稚魚などがある。プランクトンとして出現する原生動物で最も多いのは肉質虫類の放散虫類と有孔虫類である。前者は約6,000種記載されているがすべて海産であり、後者は約1,000種の大部分が海産である。この両者の肉質虫類は地質時代に繁栄したもので、この類の化石は地質学上重要な資料となっている。有孔虫類は、石灰質の殻を有し、1mm以下のものが多いが数mm以上に達する種類もある。次に原生動物で多いのが繊毛虫類の有鐘類 (*Tintinopsis*, *Codonellopsis* など) である。ネクトンは、遊泳動物ともいわれ、魚類のほとんど、イカ、タコの類がこれに属する。

底生動物は、底質が岩礁と砂泥では種類が異なる。岩礁ではその表面に固着して生活する生物、砂泥地ではその中に潜って生活する生物が多くなる。岩礁には、ホンダワラ、アオサなどの海藻群落が形成され、それにはエビ、カニ、サザエ、アワビ、ナマコ、ウニ、ヒトデ、サンゴ、イソギンチャクなどが生息している。砂泥地にはアマモがよく生息する。アマモが繁茂すると、その葉面積は海底面積の4~5倍にもなり、付着生物の量は著しく増大する。またアマモ群落のなかでは水が停滞するので、底面には腐泥が蓄積する。このような場所には、多毛類、小型の甲殻類、小型の二枚貝および巻貝、コケムシ、ヒドロゾアなどが生息する。富栄養化が著しく進行した内湾には、多毛類の *Capitella capitata japonica*、ヨツバネスビオ (*Prionospio pinnata*)、二枚貝類のシズクガイ (*Theoralata*)、チヨノハナガイ (*Raeta rostralis*) などが優占的に出現する。

潮間帯は海域の中で最も環境変化の著しいところであり、生物は多様で密度の高いところである。潮間帯では、各生物が高潮線から帯状に分布している。海藻を摂取する種類としては、タマキビ、アマガイ、キクノハナガイ、ヒザラガイ、アオガイ、ニシ、ウニなどが順に並ぶ。またプランクトンを摂取する種類は、フジツボ、カキ、イガイ、ホヤ、動物を食べるものとしてはホネガイ、イモガイ、サンゴ、ヒトデなどが順に生息している。

分解者には、潮沼と同様に細菌および菌類がいる。海洋細菌の多くは好塩性で、しかも低温細菌である。また海水中には、色素をもつ細菌、発光細菌、タンパク分解細菌が多い。種類としては、グラム陰性の運動性桿菌である *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Aeromonas* が優占的である。 *Vibrio*, *Photobacterium* などのグラム陰性菌、

Bacillus, *Micrococcus*, *Corynebacterium*などのグラム陽性菌もかなり出現する。グラム陽性菌は土壌のように多くはないが、底泥には多量に見いだされる。海水中の生菌数は、外洋では 10^2 /ml以下であるが、沿岸水では $10^2 \sim 10^4$ /ml程度存在する。有機物が多量に流れ込む沿岸では、 10^5 /ml以上になるところもある。海水中には、アンモニア酸化細菌、亜硝酸酸化細菌などの独立栄養細菌も増殖しており、これらは窒素の循環に重要な役割を演じている。汚濁が進行した沿岸域では、底層が無酸素状態になり、海水中に多量に存在する硫酸塩が硫酸還元細菌 (*Desulfovibrio desulfuricans*) の増殖によって硫化水素が形成される。この細菌は、絶対嫌気性細菌であるので、酸素の存在下では増殖できない。

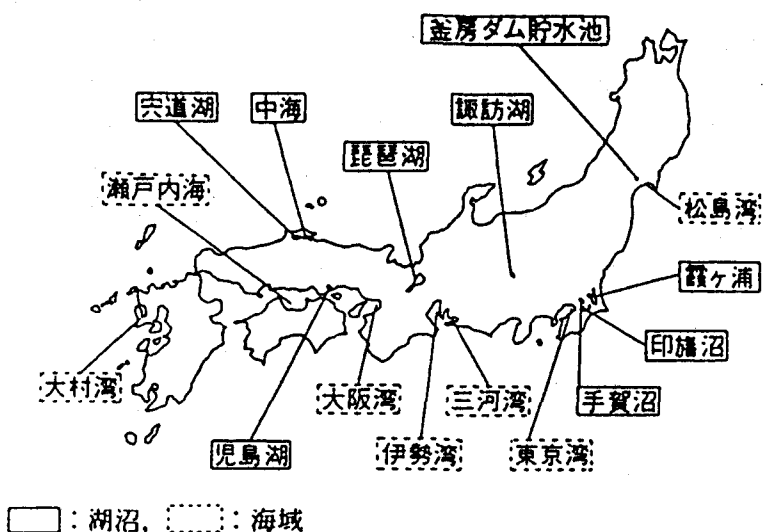
3. 内湾・沿岸の窒素・リン濃度

汚濁が進行している海域（湖沼を合わせて示す）は図-1に示すとおりである。わが国ではこれらの水域を中心に水質保全対策が本格的に行われるようになった（表-2）。このような水域の中で霞ヶ浦（北浦）、東京湾の湾奥部の運河、松島湾（桂島付近）の窒素、リン濃度の経年変化は表-3に示すとおりである。霞ヶ浦ではリン濃度は減少しているが、窒素濃度は横ばいもしくはやや上昇している。また、N/P比でみると1980年に11だったものが1988年には21.4まで増加しており、上昇する傾向にある。

東京湾の湾奥部の運河ではリン濃度はやや減少しているのに対し、窒素濃度は10年間で約2倍に増加している。またN/P比でみると1977年の7.2から1987年の17と、10年間で2倍以上に増えており、上昇する傾向にある。同様な傾向は大阪湾でも認められている。

松島湾（桂島付近）の窒素、リン濃度はともに横ばいである。桂島付近は湾奥に比べ外洋との海水の交換があるため、汚濁の進行があまり反映されていないとはいえ、赤潮が発生するのに十分な窒素、リン濃度である。東京湾、大阪湾、松島湾のいずれとも湾奥では生活雑排水等の流入により汚濁の進行が著しく、海底にはヘドロがたまっている。この原因は窒素、リンの流入に伴う藻類の増殖（内部生産）に基づくものである。したがって、今後水質改善を進めるためには窒素、リンの規制が必要である（表-4）。また汚濁湖沼についても同様、内部生産が汚濁の大きな原因となっているため窒素、リンの規制の強化が必要である。

このように、湖沼、海域いずれとも窒素濃度は横ばいもしくは増加する傾向にあり、リン濃度は横ばいもしくは減少する傾向にあり、かつN/P比は高まる傾向にある。その原因は表-5に示すとおりであるが、まずあげられるのは、リンを除去すれば富栄養化を防ぐことができるといった考えに基づく排水処理施設からの窒素未処理水の放流である。実際、瀬戸内海環境保全計画では窒素削減の必要性は認識しているが、今のところリンのみを対象とした削減指導が実施されている。このように窒素の除去が不完全な施設はかなりの数存在するとみられ、これより垂れ流されている窒素の量はかなり多いと考えられる。この他にも生活雑排水の垂れ流し、農耕地からの負荷、大気中の NO_x の増加などが原因



図－１ 汚濁の進行が問題となっている代表的な湖沼・海域

表－２ わが国の水質保全対策

湖 沼	海 域
1982年 富栄養化の要因物質である窒素、リンに係わる環境基準が告示され89年度まで40湖沼についての類型指定が行われた。 1984年 湖沼水質保全特別措置法が制定され、湖沼の水質保全を図るため水質環境基準の確保の緊要な湖沼として9湖沼が制定された。 1985年 水質汚濁防止法の一律基準に基づく窒素、リンの排水規制が実施された。現在リンについては1,066湖沼、窒素については78湖沼を対象として排水規制が実施されている。 1992年 5年ごとの湖沼水質保全計画の見直しの下における第2次計画において、5湖沼を有する地方自治体で窒素、リン規制の強化がなされることになった。	1978年 水質汚濁防止法等の改正により、広域的な閉鎖性水域について、水質環境基準を確保することを目標として、当該水域への汚濁負荷量を全体的に削減しようとする水質総量規制が制度化された。これまで、東京湾、伊勢湾および瀬戸内海についてCODを指定項目として、すでに第一次、第二次総量規制が完了し、現在第三次総量規制が実施されている。 1978年 瀬戸内海の富栄養化による被害を防止するため、関係府県は瀬戸内海環境保全特別措置法に基づきリンおよびその化合物に係わる削減指導が行われてきている。 1993年 海域に放流する施設等に対して窒素、リンの東京都の管理目標値が設定された。 1993年 窒素、リンの環境基準、排水基準が設定された。

表-3 霞ヶ浦（北浦）、東京湾の湾奥部の運河、松島湾（桂島付近）の窒素、リン濃度の経年変化（単位：mg/l）

1) 霞ヶ浦（北浦）											
	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
T-N	1.1	1.1	1.4	1.4	1.8	1.9	1.6	1.8	1.5	1.4	1.3
T-P	0.10	0.09	0.10	0.09	0.10	0.09	0.09	0.09	0.07	0.09	0.07
2) 東京湾の湾奥部の運河											
	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
T-N	4.60	5.15	6.51	6.28	7.38	7.33	7.71	8.33	8.68	9.27	8.96
T-P	0.636	0.711	0.551	0.681	0.585	0.515	0.491	0.537	0.514	0.515	0.526
3) 松島湾（桂島付近）											
	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	
T-N	0.32	0.36	0.29	0.26	0.33	0.22	0.25	0.14	0.30	0.27	
T-P	0.033	0.031	0.033	0.035	0.036	0.020	0.039	0.028	0.017	0.028	

表-4 海域においてCODの削減だけでなく窒素、リンの削減が必要である理由

- ・CODに係わる総量規制等により、有機汚濁物質の削減は進んでいるが、藻類の内部生産により、水質改善はさほど進んでおらず、これ以上水質改善を進めるためには窒素、リンの削減が必要である。
- ・海域のCODに占める藻類の内部生産の割合は約半分であるため、窒素、リンを削減し内部生産を抑えることがCODの低下につながる。

表-5 窒素濃度およびN/P比上昇の原因

- ・リンだけを除去すれば放流先の富栄養化を防ぐことができるといった考え方に基づく、生活系ならびに産業系廃水処理過程における窒素の未処理による放流先への窒素負荷量の増大。
- ・下水道や合併処理浄化槽が普及していない住居等からの生活雑排水の水域への未処理放流による放流先への窒素の負荷量の増大。
- ・合成洗剤が有リン洗剤から無リン洗剤になったことによる、生活雑排水中のリンの負荷量の低下。
- ・農耕地からの面源負荷としての農耕地での施肥においては、窒素含量が大きく、リンは浸透の際に土壤に吸着されるなどの理由からの窒素の割合の増大。
- ・近年、自動車や工場からの排出ガスにより大気中のNO_x（窒素酸化物）濃度が上昇しているが、その上昇に伴う水中へのNO_xの溶け込み量の増加。

として考えられる。しかし排水処理過程における窒素除去の不徹底が最も大きな要因といえる。合成洗剤が有リン洗剤から無リン洗剤に切り替わったことがリンの負荷量の低減につながり、これもN/P比が上昇した要因である。また下水道、合併処理浄化槽を敷設することにより水洗化を図る場合、従来は世界最先端のし尿処理場で窒素がおおむね完全に除去されていたのに対し、水洗化した場合に窒素の除去を目的とした施設が設置されていなければ窒素の垂れ流しがスタートすることになることから、窒素削減は必須の課題といえる。このことから新設はもちろんのこと、既存施設についても改善等を行い窒素除去を可能ならしめる対応策を早急にとる必要がある。

このようにN/P比が上昇する現象は、水域の生態系を正常に維持するうえで大きな問題であることから、窒素・リンの同時除去は必須であると考えられる。

4. 海域の富栄養化と窒素・リンの環境基準・排水基準

水環境で問題とされている富栄養化とは、人為的な活動によって、水中の窒素、リンのような栄養塩類濃度が増加し、これを利用して光合成を行う一次生産者の藻類や水生植物が異常に増殖する現象である。

一次生産力が増大することは、魚介類の生産力を増大させることになるので、とくに水産利用の立場からすれば、貧栄養であればあるほど望ましい水域であるということにならない。表-6は環境庁が示した水産に係わる海域の窒素、リンの水質目標である。表-7は、水産などの利用目的を考慮して、最近設定された窒素・リンの環境基準である。10年前に設定された湖沼の環境基準と同様である。

実際の水界生態系における藻類の増殖は光、温度、窒素、リンなどの栄養塩類濃度、捕食作用などにより左右される。また、各水界生態系の優占種は季節によって変わるが、これは主として温度によるものである。温度の他に優占種を決定する要因は栄養塩類濃度とN/P比であるといわれている。一般にN/P比が低いと窒素固定能をもつ藍藻類が増え、N/P比が高いと藍藻類、ピコプランクトンが増えるといわれている。Suttleらは動物を除いた湖水に窒素、リンを添加し、N/P比が低い条件下で*Nitzschia*属、*Synedra*属（珪藻類）および*Scenedesmus*属（緑藻類）が優占し、N/P比が高い条件下でピコプランクトンの一種である*Synechococcus*属（藍藻類）が優占したと報告している。Stocknerらは、人為的に湖のN/P比を上昇させる過程で優占種が*Anabaena*属（窒素固定をする藍藻類）から*Synechococcus*属に替わったと報告している。Takamuraらは、霞ヶ浦で*Microcystis*属（藍藻類）に替わって*Oscillatoria agardhii*（藍藻類）が夏から秋にかけての優占種となったのは、10以下だったN/P比が20もしくは21を超えるぐらいまで上昇したためではないかと推測している。このようにN/P比が変わると優占種の変化が起こる。とくにN/P比が高くなると*Synechococcus*属等のピコプランクトンが優占する傾向がある。ピコプランクトンとは、0.2 μ m～2 μ mの大きさの植物プランクトンで、海域と淡水域の両方に存

表－6 水産に係わる窒素・リンの望ましい水質レベル

ランク	T-N	T-P	(参 考) T-N,T-P濃度相当値		
			DO	COD	透明度
Ⅱ	0.3mg/l以下	0.03mg/l以下	4 ml/l以上	2 mg/l以下	5 m以上
Ⅲ	0.6mg/l以下	0.05mg/l以下	3 ml/l以上	3 mg/l以下	4 m以上
Ⅳ	1.0mg/l以下	0.09mg/l以下	2 ml/l以上	4-5 mg/l以下	3 m以上

注) T-N,T-P,CODは表層年平均値、DOは底層夏季平均値、透明度は年平均値
CODの表層年平均値は全層75%値(環境基準の評価方法)にほぼ相当する

[各水質ランクのイメージ]

水質ランク「Ⅱ」：多様な漁業生物がバランスよくかつ安定して生息。
底生魚介類等の栄養段階の高い漁業生物の漁獲も見込まれ望ましい
内湾生態系を呈する。

水質ランク「Ⅲ」：一部の底生魚介類にとっては必ずしも好ましい環境
とはいえないが、魚類を中心に漁業生産性が高い海域。

水質ランク「Ⅳ」：多くの底生魚介類にとっては適切なレベルではない
ため、浮魚を中心とした汚濁に強い漁業生物が生息。特定の魚種が
卓越する場合が多く、生態系としてバランスが良いとはいえない。

表－7 海域の窒素・リンに係わる環境基準値

項目 類型	利用目的の適応性	基 準 値	
		全窒素	全リン
I	自然環境保全及びⅡ以下の欄にあげるもの (水産2種および3種を除く)	0.2mg/l 以下	0.02mg/l 以下
Ⅱ	水産1種、水浴及びⅢ以下の欄にあげるもの (水産2種及び水産3種を除く)	0.3mg/l 以下	0.03mg/l 以下
Ⅲ	水産2種及びⅣの欄にあげるもの(水産3 種を除く)	0.5mg/l 以下	0.05mg/l 以下
Ⅳ	水産3種、工業用水及び生物生息環境保全	1.0mg/l 以下	0.09mg/l 以下

(備考) (1)基準値は年間平均とする

(2)水域類型の指定は、植物プランクトンの著しい増殖を生ずるおそれ
がある海域について行うものとする。

(注) (1)自然環境保全：自然探勝等の環境保全

(2)水産1種：底生魚介類を含め多様な漁業生物がバランスよくか
つ安定して漁獲される

水産2種：一部の底生魚介類を除き、魚類を中心とした漁業生物
が多獲される

水産3種：汚濁に強い特定の漁業生物が主に漁獲される

(3)生物生息環境保全：年間を通して底生生物の生息が可能な限度の環境
保全

在する。ピコプランクトンは、細胞の構造により、原核細胞のものと真核細胞のものに分けられる。ピコプランクトンは通常貧栄養水域の全一次生産の80～90%を担っているといわれている。ピコプランクトンの量的変動には、水質要因のみならず、捕食圧等の生物要因が関連していることも関連していることも報告されている。ピコプランクトンに関する研究は1980年代になってから急激に発展するようになった。わが国でも平成元年度から2年度にかけて琵琶湖北湖でピコプランクトンの異常発生が確認され、これと時期を同じくしてアユの大量へい死が起こったため、有害プランクトンである可能性があるとして問題視されている。

海域においても毒性藻類およびピコプランクトンの発生が知られている。これまで述べてきたように、富栄養化の最も重要な原因物質は窒素およびリンであるので、これを防止するためには、陸地から供給される窒素及びリンを減少させなければならない。窒素およびリンの同時除去が必要である理由が表-8および図-2に示してある。

最近水質汚濁防止法の一律基準のなかに、湖沼と同様な排水基準が設定された。

窒素含有量 120mg/l (日間平均値60mg/l)

リン含有量 16mg/l (日間平均値8mg/l)

この排水基準は、海域の面積が5km²以上で閉鎖度指標がおおむね1以上の海域(内海・内湾)にかかる。

$$\text{閉鎖度指標} = \frac{\sqrt{S} \cdot D_1}{W \cdot D_2}$$

ここに、S：当該海域の面積

W：当該海域の湾口

D₁：当該海域の最深部の水深

D₂：当該海域の湾口部の最深部の水深

このような高い濃度では、富栄養化防止は達成しにくいと考えられるので、海域によっては上乘せ基準の設定が必要になる。

どのくらいの規制値が必要かについては考え方がいろいろあるが、東京都環境管理計画(表-9)等に基づいた値は最低限必要と考えられる。

このような排水基準、上乘せ基準は大規模事業場を対象としており、小規模事業場は規制されない傾向にあるが、このような小規模事業場排水の汚濁負荷に占める割合はかなり高いので、なんらかの形で規制していくことが重要である。

また、基準の強化や基準の導入がなされてもそれを推進していくうえでは、水域に関わる地方公共団体等の協力ならびに削減指導が必要である。すでに、瀬戸内海では、瀬戸内海環境保全特別措置法に基づいて、関係都県等で1982年から富栄養化防止対策を行っており、平成3年度から第3次の栄養塩類削減指導を推進している。今後、削減を指導していく

表-8 窒素・リン同時除去が必要である理由

- 水域の N/P 比が上昇すると、ピコプランクトン、藍藻類などの有害プランクトンが発生し水界生態系が崩れる。
- 窒素濃度が高くなると、色素構造の基本骨格に窒素をもつフィコビルン系色素を有する藍藻類が増えやすくなる。
- 窒素、リンのいずれかを排水処理過程で完全に除去することはできないし、経済的にも困難である。
- 水域の制限要因は、ほとんどの水域で窒素制限、リン制限、窒素・リン同時制限のどれかであり、季節や時代の推移によって変化するため、富栄養化対策として窒素、リンを両方除去すべきである。

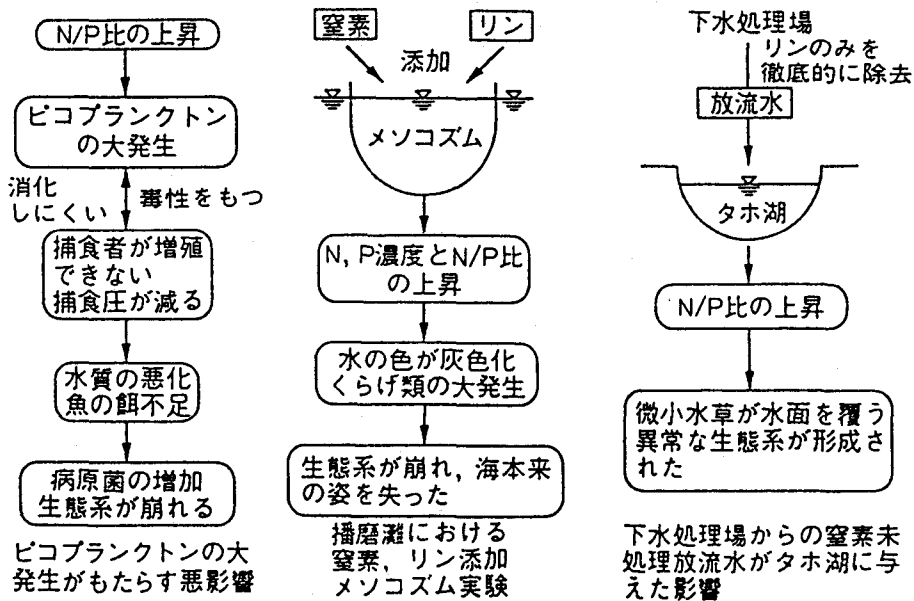


図-2 N/P比の上昇が水界生態系に及ぼす悪影響

表－9 東京都環境管理計画における工場・事業場等の排水に係わる
窒素・リンの水質管理目標値（単位：mg/l）

1) 製造業以外の業種等

区 分		畜産農業		下水道終末 処理施設		し尿処理施設 (し尿浄化槽を除く)		し尿浄化槽		その他の事業場		
項 目												
平均排水量 ($\text{m}^3/\text{日}$)		50～ 400	400 以上	50以上		50以上		50以上		50以上		
新設	N	40	30	10		10		20		20		
	P	5	3	0.5		1.0		3.0		3.0		
既設	N	(a)	40	30	15		20		20		20	
		(b)	50	50	20		45		30		25	
	P	(a)	5.0	3.0	1.0		2.0		4.0		3.0	
		(b)	8.0	8.0	2.0		3.0		5.0		5.0	

2) 製造業に係わる業種

区 分		食料品製造業		化学工業		鉄鋼業		金属製品製造業		その他の製造業		
項 目												
平均排水量 ($\text{m}^3/\text{日}$)		50～ 400	400 以上	50～400	400以上	50～400	400以上	50～400	400以上	50～400	400以上	
新設	N	15	10	10	8	10	8	15	10	10	8	
	P	1.5	1.0	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	
既設	N	(a)	15	10	10	10	8	20	10	10	10	
		(b)	20	15	20	15	15	10	25	15	25	20
	P	(a)	3.0	2.0	1.0	1.0	1.0	0.5	2.0	0.5	1.0	1.0
		(b)	4.0	3.0	2.0	2.0	3.0	2.0	3.0	1.0	3.0	2.0

注：既設の水質管理目標値については、工場・事業場等の排水の特性等を考慮し、(a)と(b)の範囲内で定める。

うえでは、行政側からの指導のみならず、業界側の窒素・リン除去の必要性の認識ならびに自己啓発を促すことが必要である。そしてこのような窒素・リンの規制においても総量規制が必要であると考えられる。

現在、下水道の普及率は44％で年1％の割合で増加しているが、今後建設される下水処理施設は当然窒素、リンを両方除去することを念頭に普及、促進を図る必要がある。また、下水道の普及が困難なあるいは適切でない地域においては浄化槽の設置が進んでいるが、これからは可能な限り、窒素、リンを同時に除去する合併浄化槽の普及を図るべきである。小規模においては流量調整嫌気ろ床生物ろ過循環法、流量調整嫌気ろ床・接触曝気循環法をはじめ新たな技術が開発されてきているが、このような高度なタイプのみを普及させる施策を充実させることが必要である。もちろん、し尿のみを処理する単独処理浄化槽は環境保全上きわめて大きな問題を有することから、設置禁止は当然のことであろう。なお、すでに単独処理浄化槽が普及し、生活雑排水を未処理で放流しているところでは、台所対策の充実化を図ると同時に直接浄化法の組み込みを積極的に行っていくことが必要と考えられる。

5. おわりに

海域の富栄養化は、漁獲量の増大につながるもので好ましい現象ととられやすいが、人間の成人病と同様に回復させることは難しい。環境の健全さを失い、結局は水界生態系を破壊させることになり、青潮（貧酸素水塊）を誘発することになる。海域の富栄養化を防止することは地球規模でみても重要な課題であり、そのためにも窒素・磷濃度の上昇や、N/P比の増加がもたらす水界生態系への悪影響は、なんとしても防がなくてはならず、排水処理過程での窒素・リン同時除去を省エネ、省コスト的に行う技術開発が必要である。

水界生態系は人々にやすらぎをもたらす憩いの場であるが、一人一人が排出する窒素、リンなどの汚染負荷により、このような場の環境は悪化しつつある。これらの事実を認識しかつ水界生態系の重要性を認識し、水環境改善に積極的に取り組んでいく必要がある。

<引用文献>

- 1) 須藤隆一、稲森悠平：下水からの窒素およびリン除去の意義と処理技術の動向、下水道協会誌、Vol.20, No.7, pp.12~23、1983
- 2) 稲森悠平、藤本尚志、須藤隆一：水界生態系に及ぼす影響からみた排水処理における窒素・リン同時除去の必要性、用水と廃水、Vol.35, pp.19~26、1993