

四・三 沿岸海洋の富栄養化と赤潮の拡大

(一) はじめに

赤潮とは、水中の微小生物、特に植物プランクトンの大量増殖や集積の結果生ずる、海水の着色現象である。独立栄養を営む植物プランクトンは、通常は基礎生産者として、海洋の生物生産過程の始まりとなる重要な生物群である。これらは海水中に存在する窒素やリンなどの無機栄養塩類や、金属、ビタミンなどの微量栄養素を利用して増殖し、種によっては、富栄養化した沿岸海域で大量に増殖し、赤潮を形成する。植物プランクトンの多くは赤潮を形成しても他生物に対し大きな影響を及ぼさないが、なかには人類や海洋生物に悪影響を与える種類が存在する。そのような植物プランクトンは、国際的には「harmful algae」とよばれ、それらが個体群を増加させる現象は、HAB (harmful algal bloom) と称され

る。現在、HABは表4・3のように四つに類型化されている。表4・3の③タイプの赤潮は、ハマチ、マダイ、ヒラメ、トラフグなどの養殖漁業者にとって、大きな脅威となっている。

(二) 赤潮による漁業被害

瀬戸内海における赤潮の発生件数と、漁業被害件数の変化を図4・10に示した。

高度経済成長時代の一九六〇年代以降、一九七〇年代半ばまで、赤潮の発生件数は増加の一途をたどった。この時代は工業生産が活発になり、臨海都市へ人口が集中した結果、大量の産業廃水や生活廃水が海に排出され、瀬戸内海をはじめとする本邦各地の沿岸海域において、著しい富栄養化と水質汚濁が進行した。また一九六〇年代は、沿岸海域へ屎尿が直接投棄された時代でもある。一九七六年に、年間最高の二九九件の赤潮発生を記録した後、法的な規制や廃水処理などが奏功して件数は減少した。しかし近年は、年間一〇〇件前後で横ばい状態である。

有害赤潮に起因する魚介類のへい死などで生じる被害

表4・3 Harmful algal bloom のタイプ分け

(1) 大量増殖赤潮：基本的には無害であるが、高密度に達した場合には溶存酸素の欠乏等をひきおこして魚介類をへい死させる。

原因生物：*Gonyaulax polygramma*, *Noctiluca scintillans*, *Trichodesmium erythraeum*, *Scrippsiella trochoidea*

(2) 有毒ブルーム：強力な毒を産生し、食物連鎖を通じて人間に害を与えるもの。海水が着色しない低密度の場合でも毒化現象（特に二枚貝で）がしばしばおこる。

原因生物

麻痺性貝毒：*Alexandrium tamarense*, *Gymnodinium catenatum* など

下痢性貝毒：*Dinophysis fortii*, *D. acuminata*, *Prorocentrum lima* など

記憶喪失性貝毒：*Pseudo-nitzschia multiseries*, *P. australis* など

神経性貝毒：*Gymnodinium breve*

シガテラ毒：*Gambierdiscus toxicus*

(3) 有害赤潮：人間には無害であるが養殖魚介類を中心に大量へい死被害を与えるもの。

原因生物：*Chattonella antiqua*, *C. marina*, *C. verruculosa*, *Heterosigma akashiwo*, *Heterocapsa circularisquama*, *Gymnodinium mikimotoi*, *Chrysochromulina polylepis* など

(4) ケイ藻赤潮：通常は海域の基礎生産者として重要なケイ藻類が、海苔養殖の時期に増殖して海水中の栄養塩類を消費し、海苔の品質低下をひきおこして漁業被害を与えるもの。

原因生物：*Eucampia zodiacus*, *Coscinodiscus wailesii*, *Chaetoceros* spp., *Skeletonema costatum*, *Rhizosolenia inbricata* など

[Hallegraeff, 1993 を基本に作成]

金額は、一九七〇～一九九五年の二五年間で年平均一六・七億円に達する。現在も赤潮の被害は深刻であり、二〇〇〇年の夏季にも八代海において、約四〇億円にもなる養殖魚類のへい死被害が、渦鞭毛藻の一種、コクロディニウムによってひきおこされた。これらはもっぱら養殖魚介類への被害であり、天然魚介類への被害を含めるとより大きなものとなる。

表4・3における(4)のケイ藻赤潮は、これまでも瀬戸内海や有明海で秋～春季に発生して、養殖海苔に色落ちなどの被害を与えてきた。特に、二〇〇〇年末～二〇〇一年初頭にかけて、有明海において発生したケイ藻赤潮により一〇〇億円以上の被害が生じ、大きな社会問題となった。他の季節においては、ケイ藻は海域の基礎生産者として重要な生物群であるが、ときとしてこのように有害生物となる。ケイ藻赤

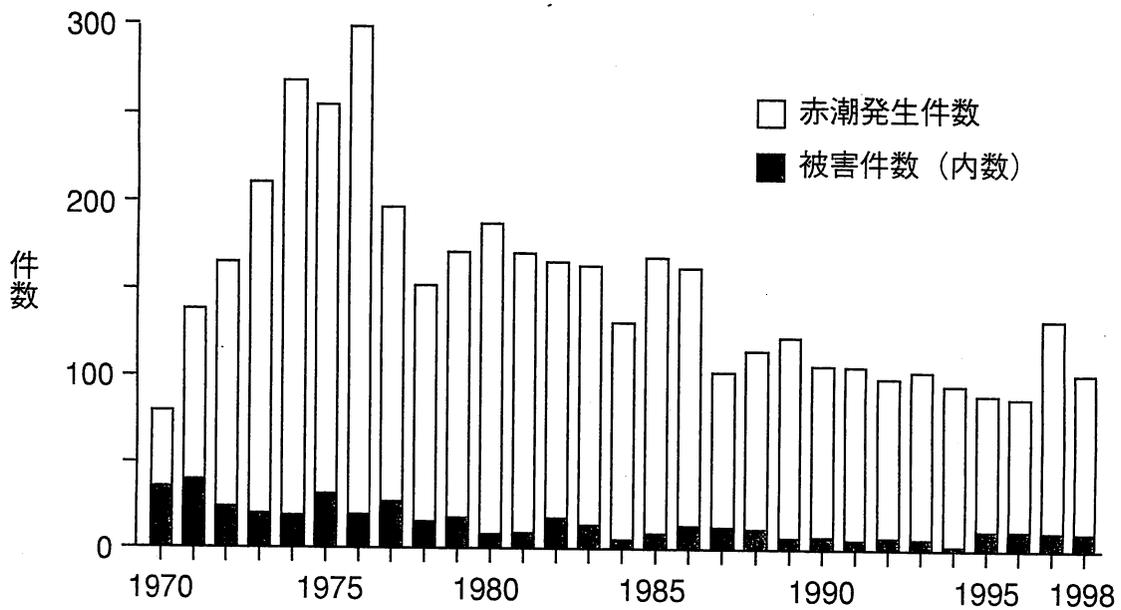


図4・10 瀬戸内海における赤潮発生件数と漁業被害件数の推移

[水産庁瀬戸内海漁業調整事務所、瀬戸内海の赤潮より作成]

潮の発生機構はまだ不明な部分が多く、発生予知手法の開発がまず望まれる。

(三) 赤潮生物について

わが国沿岸域において、多大な漁業被害を与える代表的な赤潮生物として、ラフィド藻のシャットネラ、ヘテロシグマ、渦鞭毛藻のギムノディニウム（現在カレニアという属名が提案されている）、コクロディニウム、ヘテロカプサ、ゴニオラックスなどがあげられる。これらのうちヘテロカプサは、アサリ、カキ、真珠貝などの二枚貝を特異的にへい死させるが、それ以外は魚類へい死をひきおこす。これらの赤潮の発生と漁業被害は、養殖漁業の発展に伴い、世界的に拡大傾向にある。

□絵7に、わが国でもっとも悪名高い赤潮生物であるシャットネラを示した。シャットネラは、一九六九年に広島湾において初めて赤潮を形成し、養殖ハマチをへい死させた。一九七二年夏季の播磨灘では、一四二八万尾の養殖ハマチがへい死し、約七一億円の漁業被害が生じた。約三〇年を経た今も、この被害金額は日本記録であり、そして世界記録でもある。その後シャットネラの生

活史や赤潮発生メカニズムが解明され、耐久性をもつシストによつて不適環境時期（特に冬）を海底で乗り切ることや、海底泥中のシストを調べた結果、一六世紀の瀬戸内海にシャットネラが生息していたことなどが報告されている。

わが国沿岸水域で、もつとも発生頻度の高い赤潮生物として知られるのは夜光虫であり、春～秋季によく桃色～朱色の赤潮を形成する。細胞は径約0.2～2ミリメートルのほぼ球形で、光合成色素をもたず薄い桃色を呈する。一般に赤潮をひきおこす独立栄養生物とは異なり、夜光虫は増殖に餌生物を必要とするような従属栄養生物である（熱帯の夜光虫は、細胞内に共生藻を保有しており、それらが光合成を行う）。

なぜこのような動物的な生物が、赤潮のレベルまで、しかも頻繁に増殖可能なのだろうか？。それは餌の摂取法に秘密がある。夜光虫は粘質物を細胞外に分泌し、水を柱を上下に移動して粒状物を粘質物に付着させた後、その粘質物を付着させた粒子とともに細胞内にとりこむ。夜光虫の細胞内には、大はカタクチイワシや橈脚類の卵、大型のケイ藻類から、小は径数マイクロメートルのナノプランクトンまで、ありとあらゆる餌生物が観察される。

効率的に餌生物を捕獲する摂餌戦略が、夜光虫の赤潮をもたらししているといえよう。

米国東部ノースカロライナ州の、富栄養化した内湾においては、渦鞭毛藻の一種であるフィエステリア・ピシシダ（種名は魚殺しを意味する）による、ニシンの仲間的大量死が問題となっている。フィエステリアは浅い入り江の海底にひそんでおり、魚の群が近づくと海底から浮上して攻撃し、魚を殺した後は、直ちにシストを形成して海底にもどる、という風変わりな生活様式をもっている。またフィエステリアは、毒性の高い揮発性物質を生産し、人間に対しても直接的な健康被害を与えることから、米国では重要なHAB種と認識されており、近年フィエステリアを対象としてプロジェクト研究が進展しつつある。わが国沿岸域では、まだ発見されていないが、もしわが国沿岸で猛威を振るう事態になれば、大問題になるであろう。

（四）温暖化と赤潮

前述のシャットネラは、生活史の中にシストをもつことから、シストの発芽が赤潮発生に大きな意味をもつ。

シストの発芽は、海底の温度が約20℃になると活発になるので、温暖化により海水温が高くなれば早くシストが発芽し、赤潮の発生がより早くなると予想される。

瀬戸内海では、近年平均水温が上昇しており、一九九〇年以前のシャットネラ赤潮は、播磨灘では通常八月に、周防灘では七月にそれぞれ発生したが、一九九〇年代後半以降は、約一ヶ月早く発生するようになった。このように温暖化の影響が、シャットネラ赤潮の発生時期の早期化、という形で現れていると考えられる。シャットネラ赤潮は、これまで太平洋側では三河湾以西、日本海側では舞鶴湾以西で発生しているが、温暖化がこのまま進めば、より高緯度の水域にも分布を拡大し、赤潮をひきおこす可能性がある。

ヘテロカプサは、一九八八年に高知県浦ノ内湾においてはじめて赤潮発生が確認された。ヘテロカプサの増殖最適水温は30℃であり、一五℃以下になると増殖できなくなることから、本来、南方起源の生物と考えている科学者もいる。このまま温暖化傾向が続けば、ヘテロカプサの増殖に好ましい期間が長くなり、赤潮が頻発すると予想される。西日本の太平洋沿岸水域における冬季の水温は通常一五℃弱である。ヘテロカプサには越冬シス

トがまだ確認されていないので、栄養細胞で越冬する可能性が大きい。もし冬季の水温が高めに推移するならば、栄養細胞の越冬が容易となり、赤潮発生の確率が高くなると予想される。このように地球温暖化は、高水温期に赤潮を形成する種に有利に働くと予想される。

(五) 貝毒の発生

表4・3の(2)の有毒植物プランクトンに起因する貝毒の問題は、欧米でも大きな関心事となっている。わが国沿岸域において問題となっているのは、麻痺性貝毒と下痢性貝毒である。記憶喪失性貝毒の原因生物であるシユードニツチア属ケイ藻の生息は、すでにわが国でも確認されているが、貝類の実際の毒化はまだおこっていない。有毒植物プランクトンを摂餌した二枚貝類の毒化と、それらを摂食しておこる人間の健康被害(麻痺性および下痢性貝毒)のメカニズムを、図4・11に単純化して示した。貝毒の問題は人間への直接的健康被害といった公衆衛生上の観点だけでなく、貝の毒化に伴って出荷が規制されるので、漁業経済被害という観点からも大きな問題となる。

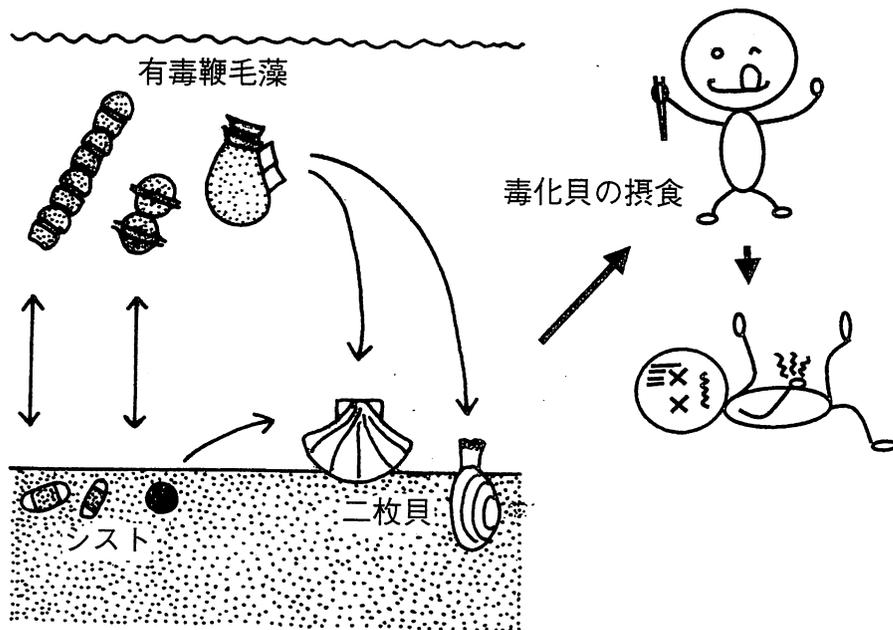


図4・11 麻痺性貝毒と下痢性貝毒の発生機構

有毒鞭毛藻を二枚貝が摂食して毒化し、それを食べた人間が貝毒によって中毒症状を呈する。

下痢性貝毒は、その発生が初めて確認された一九七〇年代後半以降、主に東北日本に認められる。麻痺性貝毒も下痢性貝毒と同様に、一九八〇年代前半までは、ほとんど東北日本に発生が限られており、毒化する貝はホタテガイやムラサキガイが中心であった(図4・12)。しかし一九九〇年代の中頃以降、麻痺性貝毒はほぼ日本中の沿岸水域に広がり、西日本ではマガキやアサリが毒化するようになった。特に広島湾においては、特産のマガキが麻痺性貝毒によって大きな被害を受けるようになり、夏〜秋季のヘテロカプサ赤潮によるへい死被害とあわせ、カキ養殖が危機に瀕している。

麻痺性貝毒の原因生物である渦鞭毛藻のアレキサンドリウム属やギムノディニウム属は、生活史の中で耐久性のあるシストを形成するものが多い。シストは麻痺性貝毒発生海域の拡大に大きく関わっている。たとえば、船舶のバラスト水中に混入したシストは、世界的なスケールで運ばれるであろう。また養殖二枚貝類の移植に伴い、貝の表面や内側に付着したシストが、新しい水域へと運ばれる可能性もある。したがって、対象となる有毒種のシストの分布を調べれば、当該水域における貝毒発生の危険性を予測できる。アレキサンドリウム属のシストは、

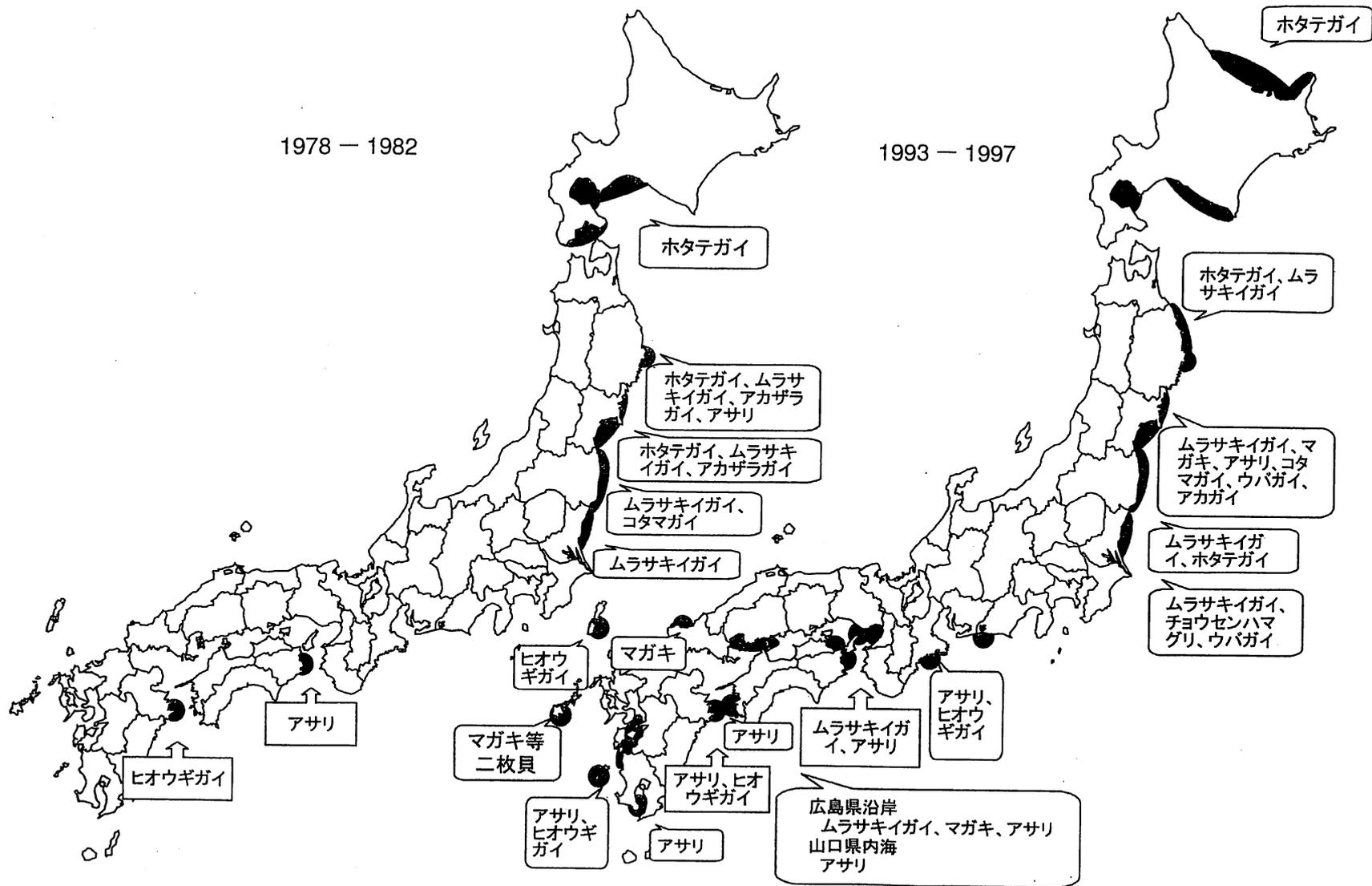


図4・12 日本沿岸における麻痺性貝毒の発生状況の比較
 1978～1982年と1993～1997年のデータ。規制値4 MU (マウス・ユニット) /gを上回ったことのある水域と毒化した貝の種類を示した [今井一郎ほか (2000) 月刊海洋, 号外No.23, p.157より引用]

多いところでは海底泥一グラム当たり何千個という頻度で存在する。このように、いまでは麻痺性貝毒の問題は、西日本にもすっかり定着してしまった。今後は、有毒植物プランクトンの分布拡大に対する防止技術の開発と実用化が望まれる。

(六) 赤潮対策

赤潮の発生機構を解明するためには、対象生物の生理、生態、生活史の把握と、対象水域における環境条件の特徴の理解が必要である。精力的な研究成果の積み重ねにより、赤潮の発生機構に関しては、相当に解明が進んだ段階にあるといえよう。さらに現場におけるモニタリング体制の強化とあわせ、赤潮の発生予知と、それに基づく注意報や警報の発令などが、関係機関から行われるようになってきている。

赤潮対策についても多くの努力が払われてきたが、現時点で実用化されている対策はほとんどないのが現状である。しかし最近、環境にやさしい生物学的な対策技術が注目を集めている。それは、細菌、ウイルス、寄生性の原生生物、無害な植物プランクトン（ケイ藻など）な

どの、自然水中にもともとふつうに生息している微生物を有効利用する方法であり、将来の実用化が期待されている。

赤潮対策に有効な微生物に必要な性質は、

- ① 対象赤潮生物に対して特異性が高く、他の植物プランクトンへの影響は軽微で種数も少ない、
- ② 自然水中に生息し増殖できる、
- ③ 他の魚類や動物プランクトンなどに基本的に無害、などである。寄生性の原生生物や無害な植物プランクトンは、有害赤潮プランクトンの増殖の未然予防で重要であろう。細菌は、予防と駆除（高密度になった有害プランクトンを速やかに殺滅する）の両方に可能性がある。ウイルスは種特異性の高さと複製速度の大きさから、赤潮の駆除に最適と予想される。現在、ヘテロシグマとヘテロカプサに対する殺藻ウイルスが、独立行政法人水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所の研究者らによって発見・分離されており、実用化が期待されている。

(七) おわりに

われわれ日本人にとって、魚介類は重要な蛋白質資源で

あるだけでなく、伝統的な食文化の中心でもある。そしてそれを支えているのが、漁獲漁業と養殖漁業である。沿岸海域の環境保全のためには、これまでの養殖漁業を見直す必要がある。たとえば、種苗の移動にあたっては、有害有毒植物プランクトンをもち込まないよう検査し、適正放養密度を遵守し、さらには汚濁負荷を最小限にする養殖技術を導入する、といった努力が必要である。母なる恵みの海とそろそろやさしく付き合う時期であろう。

一九九三年に環境基本法が成立、施行され、環境基本計画が一九九四年に閣議決定されて、二〇〇一年には新環境基本計画が策定される。人類の生存のために、環境への負荷が少ない循環を基調とする経済社会システムの実現、ならびに自然と人間との共生が求められている。

これまで経済発展一辺倒でわが国は突き進んできたが、安全な食糧確保と環境の問題は深刻さを増している。情報技術や機械製品あるいは物流がいくら発達しても、安全な食料と良好な環境が確保されなければ、人類の生存にとって何の意味もない。健全な海が存在していることの意味を、環境の自浄作用の価値、および環境修復や保全のコストなどを考慮した上で評価すべきである。

赤潮は、人間活動との関わり合いの大きい環境問題ととらえることができる。富栄養化の防止という観点で、積極的に水域環境への負荷を低減するという努力が必要である。環境の世紀といわれる二一世紀に入った現在、健全な海の回復と維持のために、政府、自治体、企業のみならず、一般生活者の自らの努力も大きく必要とされている。