

水産学シリーズ

155

日本水産学会監修

# 微生物の利用と制御

—食の安全から環境保全まで

藤井建夫・杉田治男・左子芳彦 編

2007・10

恒星社厚生閣

## 9章 微生物による赤潮防除

今井一郎\*

沿岸域においては、河川の流入に伴い沖積平野が発達し易いことから都市が形成され易く、人々が盛んな生産と消費の活動を営んでいる。そして沿岸海域へ様々な影響を及ぼしている。かつて経済成長最優先の産業活動に伴い、有毒物質による汚染が湖沼や河川、沿岸域で進行し、公害病に苦しむ人々が発生するという非道な公害問題が起こった。一方で、人間は食事と排泄という生物として極めて普通の生命活動を営むことから、有害有毒物に起因する環境汚染とは全く異なる水域の富栄養化という問題を宿命的に引き起こす。特に窒素やリンのような、生物に必須の栄養物質は廃水処理によっても除去が困難であり、沿岸海域に流入して富栄養化が進行することになる。さらに農業や畜産業などによっても、投与した肥料や家畜の糞尿が降雨により河川を通じて流入し沿岸域の富栄養化が促進される。水域の富栄養化に対しては光合成を行う微細藻類が敏感に反応し、優占できるものが大量発生して海や湖を着色させるまでに増殖し赤潮を頻繁に形成するようになる。赤潮の問題は、原因種によっては養殖魚介類の大量斃死を引き起こすことから、沿岸の養殖業にとって脅威となるのは勿論であるが、増殖の結果大量に発生した微細藻類が食物連鎖に参入して高次生物へと転送されることなく、余剰の有機物として海底に沈降し、分解に伴って酸素が消費され海底の貧酸素化や無酸素化がしばしば起こる。それによって大規模に硫化水素が発生すると、無酸素水が浅場や表層に移動湧昇した時に青潮が起こり、ベントスを中心とした魚介類が大量に斃死する。これもまた深刻な環境問題といえる。沿岸域においては、有毒な微細藻種が発生し食物連鎖を通じて有用二枚貝が毒化するという貝毒の問題も頻繁に発生するが、これは世界的にも拡大傾向にある<sup>1, 2)</sup>。沿岸域におけるこのような貝毒の問題は、一般の人々にとっても潮干狩り禁止が通達されることから身近な問題になりつつある。2006年と2007年の春、大阪湾において麻痺性貝毒がアサリから検出さ

\* 京都大学大学院農学研究科

れ、特に2007年は「潮干狩りの収穫物持ち帰り禁止」の措置が執られたのは記憶に新しいところである。

以上のように、有害有毒な微細藻類による赤潮や貝毒の問題は沿岸域における代表的な環境問題であり、これらに対する防除対策の策定が緊急の課題といえよう。本章では、特に赤潮の問題に焦点を当て、微生物を用いた赤潮防除について可能性を述べる。

### § 1. 赤潮対策の現状

赤潮対策は、予知、予防、駆除の3つに整理できる。予知に関しては、赤潮生物の生理生態学的知見に基づく科学的な発生機構の解明と、現場における綿密なモニタリングを通じて、現在かなり進歩した状況にあると言えよう。

これまでに施行され、或いは提案試行されてきた赤潮対策を表9・1にまとめた。赤潮の発生を未然に防止するためには、栄養塩類（窒素やリン）の流入を

表9・1 現在までの赤潮対策 (Imai *et al.*<sup>1)</sup>, 代田<sup>3)</sup>を参考に加筆)

間接法	
・ 法的規制	水質汚濁防止法, 海洋汚染防止法, 農薬取締法, 瀬戸内海環境保全特別措置法, 持続的養殖生産確保法, 有明海八代海再生特別措置法
・ 環境改善	水質: 藻類などによる栄養塩回収 底質: 浚渫, 曝気, 耕耘, 石灰・粘度, 砂の散布, ベントス ( <i>Capitella</i> ) による浄化 養殖技術: 餌料の改良 (モイストペレットなど), 漁場の適正利用
・ 緊急対策	生け簀の移動 (水平・鉛直), 餌止め
直接法	
・ 物理的方法	物理的衝撃: 超音波, 衝撃波, 電流, 発泡 海面回収: 吸引, 濾過, 捕集 (赤潮表層水の回収と遠心分離除去) 凝集沈殿: 高分子凝集剤, 鉄粉, 粘土散布
・ 化学的方法	化学薬品: 過酸化水素, 有機酸, 界面活性剤, 硫酸銅, アクリノール, 水酸化マグネシウム 化学反応: オゾン発生, 海水電解産物
・ 生物的防除	捕食: 二枚貝 (カキ), 橈脚類, 繊毛虫, 従属栄養性渦鞭毛藻, 従属栄養性鞭毛虫 殺藻: ウイルス, 細菌, 寄生カビ, 寄生渦鞭毛藻

抑えるか富栄養化している水域から栄養塩を除去する必要がある。前者に関しては、法的規制と廃水の浄化処理が一定の効果を上げている。環境改善についても表9・1に示したように種々試行されている。養殖場においては、漁場を汚染しにくい餌料の使用や投餌量の管理、適正放養密度の遵守が有効である。特に、法的な規制が富栄養化の歯止めとして、長期的にはよい効果を及ぼしてきたといえよう。

赤潮の直接的な防除対策に関しては、これまでに様々な物理化学的な方法が試みられてきたが、殆ど実用に耐えるものはないのが現状である。しかしこれらの中で、粘土散布が八代海においては赤潮が発生した際の緊急的な対策として施行されており<sup>4)</sup>、特に隣国の韓国においては有効な緊急対策として用いられている<sup>5)</sup>。ともに主たる対象赤潮生物は渦鞭毛藻のクロロディニウム (*Cochlodinium polykrikoides*) である。更に近年、水酸化マグネシウムが粘土散布の代替法として検討されている。しかしながら現在わが国では、いったん有害赤潮が発生すると、餌止めや生け簀の移動が魚介類の斃死を軽減する目的で実施されているケースが多く、決定的な対策はないのが現状である。以上のような背景を踏まえ、有効かつ安全な赤潮防除対策の検討確立が望まれている。特に、予防的な対策が有効と想定される。

## § 2. 赤潮防除の手段としての殺藻細菌

### 2・1 海水中の殺藻細菌

海産の赤潮鞭毛藻類は寒天培地上に生育しないため、寒天重層法を用いることができず、したがって方法論の欠如により海産の殺藻微生物に関しては世界的に殆ど研究がなされていない状況であった。わが国沿岸域においては赤潮の被害が大きいことから、1990年頃より、水産庁の赤潮対策事業において赤潮の発生や消滅に関与する微生物の探索、ならびに赤潮の発生あるいは消滅と細菌相との関係解明などに関する研究が実施された。その結果、西日本を中心とする沿岸域から、数多くの殺藻細菌が種々の赤潮鞭毛藻を宿主として分離された<sup>6)</sup>。これらの殺藻細菌の大部分は、 $\gamma$ -プロテオバクテリアに属するものと滑走細菌に属するものの2タイプに分けられた。また、赤潮の消滅過程において特定のタイプの殺藻細菌が増殖することが見出され、赤潮の消滅において殺

藻細菌が重要な役割を演じていることが強く示唆された<sup>7-9)</sup>。

広島湾から分離された殺藻細菌 *Alteromonas* sp. S 株 ( $\gamma$ -プロテオバクテリアの1種) が3種の微細藻類に対して発揮する殺藻作用の例を図9・1に示した<sup>10)</sup>。養殖ハマチを大量斃死させることで悪名高い赤潮ラフィド藻シャットネラ (*Chattonella antiqua*)、同じく魚介類斃死被害の甚大な赤潮渦鞭毛藻カレニア (*Karenia mikimotoi*)、ならびに通常の珪藻 *Ditylum brightwellii* の3種ともに、2者培養の結果2~3日の間に、本殺藻細菌によって完全に殺滅させられた。このように強力な活性をもつ殺藻細菌が、沿岸域には普通に生息していることが明らかとなった。このような海産殺藻細菌の研究は、世界に先駆けてわが国で手掛けられ推進されたものである。

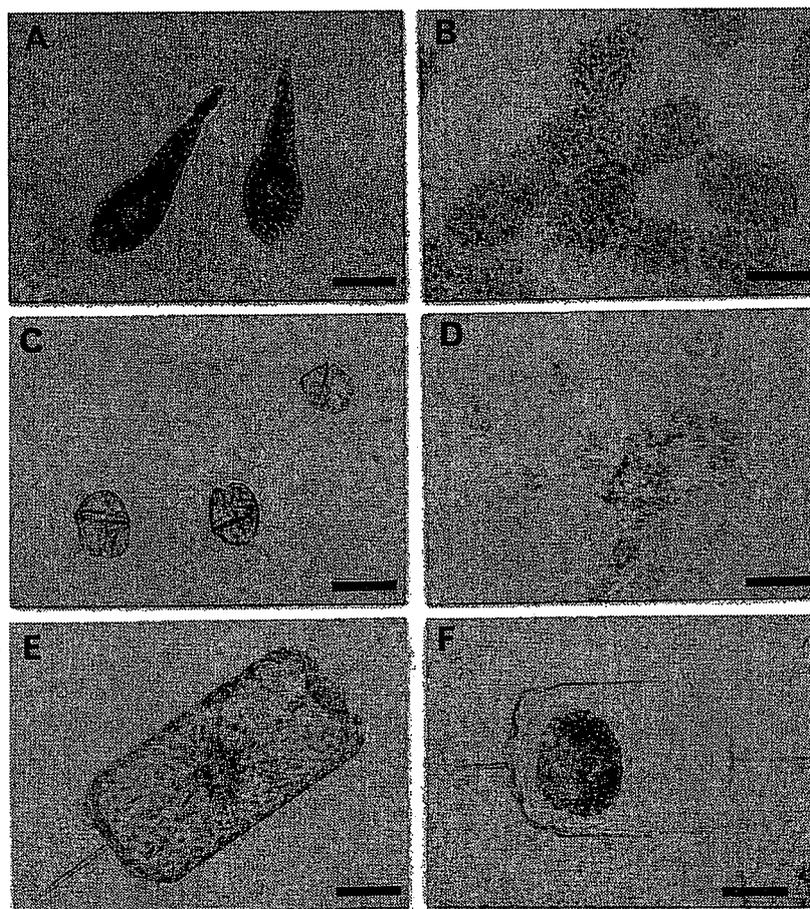


図9・1 殺藻細菌 *Alteromonas* sp. S 株による3種の赤潮藻類の殺藻<sup>10)</sup>。3日間の2者培養後に観察を行った。棒線は30  $\mu$ m。A；ラフィド藻 *Chattonella antiqua* の遊泳細胞，B；*C. antiqua* の破裂した死細胞，C；渦鞭毛藻 *Karenia mikimotoi* の遊泳細胞，D；*K. mikimotoi* の破裂した死細胞，E；珪藻 *Ditylum brightwellii* の生細胞，F；*D. brightwellii* の殺藻された死細胞。

## 2.2 海藻に付着する殺藻細菌

大型海藻の表面は微生物が増殖するのに好都合な場所であり、特に従属栄養細菌が無数に付着生息していることが知られている<sup>11, 12)</sup>。高密度の細菌が付着していることから、細菌と海藻の間には密接な相互関係が存在する。海藻は光合成を通じて有機物と酸素を生産し、細菌はそれらを有効利用していると考えられている。一方、細菌は有機物を分解無機化して、無機栄養塩や二酸化炭素を海藻に供給していると考えられている。また、海藻の中には細菌を完全に除去した無菌条件下で培養の不可能な種も多く、この事実から、細菌が海藻類にとって何らかの増殖必須要因を生産供給している可能性が大きい<sup>12)</sup>。逆にある種の海藻は、細菌の増殖を抑制する抗生物質様の物質を生産していることも知られている。以上のように、海藻とその表面に生息する細菌は、様々な相互関係を結んでおり、種々の性質を備えた未知の細菌群が数多く存在すると期待される。

ところで糸状褐藻類のかなりの種においては、溶原化したウイルスの存在が知られている<sup>13)</sup>。筆者らは、これらのウイルスの中で糸状褐藻から放出された際に赤潮藻類にも感染するものが存在しないか、藻場において探索研究を実施した。現時点で残念ながらそのようなウイルスは検出されていないが、該当の赤潮藻が藻場で発生していないにもかかわらず、福井県小浜湾の藻場海水中の0.2~0.8 $\mu\text{m}$ 画分(細菌の大きさ)に、赤潮ラフィド藻を殺滅する因子が多数存在するという現象を副次的に発見した<sup>14)</sup>。この事実を基に、大阪湾岬公園の海岸において実際にマクサ (*Gelidium* sp.) やアオサ (*Ulva* sp.) などの海藻

表9.2 アナアオサの表面から分離・検出された赤潮藻殺藻細菌の密度<sup>16)</sup>。  
殺藻細菌の数は海藻湿重量1g当たりの数である ( $\times 10^5$  cells/g)

対象赤潮藻種	4月24日	6月13日	8月28日
<i>Karenia mikimotoi</i>	3.51	7.98	1.13
<i>Heterocapsa circularisquama</i>	1.87	<0.28	0.57
<i>Chattonella antiqua</i>	0.94	0.86	0.38
<i>Heterosigma akashiwo</i>	0.47	<0.28	0.19
<i>Fibrocapsa japonica</i>	1.64	2.28	1.70
少なくとも赤潮藻1種を 殺藻する殺藻細菌数	4.91	9.12	2.46
コロニー形成細菌数	7.01	11.4	7.56

表9・3 大阪府岬講演沿岸のアオサとマクサおよび藻場の海水から分離した殺藻細菌の同定と殺藻範囲<sup>17)</sup>

殺藻細菌	対象赤潮藻種							
	<i>Chattonella antiqua</i>	<i>C. marina</i>	<i>C. ovata</i>	<i>Fibrocapsa japonica</i>	<i>Heterosigma akashiwo</i> (893)	<i>H. akashiwo</i> (IWA)	<i>Karenia mikimotoi</i>	<i>Heterocapsa circularisquama</i>
<i>Pseudoalteromonas</i> sp.46 (アオサ)	-	-	-	++	-	++	++	-
<i>Pseudoalteromonas</i> sp.47 (アオサ)	-	-	-	++	-	++	++	-
<i>Octadecabacter</i> sp.49 (アオサ)	++	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pseudoalteromonas</i> sp.53 (アオサ)	-	-	-	++	-	++	++	-
Rhodobacteraceae 63 (藻場の海水)	-	-	+	+	+	-	++	-
<i>Alteromonas</i> sp.57 (マクサ)	-	+	++	-	+	+	-	-
<i>Vibrio</i> sp.55 (アオサ)	-	-	++	-	-	+	++	-
<i>Vivrio</i> sp.58 (マクサ)	-	-	++	-	-	+	++	-

++, 殺藻効果; +, 増殖阻害; -, 影響なし

を採集し、その表面から細菌を剥離させて赤潮藻類に対する殺藻作用を調べたところ、赤潮藻を強力に殺滅してしまう殺藻細菌が海藻の表面に多数付着している事実（紅藻マクサで *Fibrocapsa japonica* を対象に最大  $1.3 \times 10^6 / \text{g}$ , *K. mikimotoi* を対象に  $4.9 \times 10^5 / \text{g}$ ）を見出した<sup>15)</sup>。また、その藻場海水中に高密度で殺藻細菌が生息していることも確認できた<sup>15)</sup>。このような海藻への殺藻細菌の大量付着現象は、和歌山県田辺市の旧和歌山県水産試験場増養殖研究所地先の養殖生け簀において養成されたアオサ (*Ulva pertusa*) においても見出された（表9・2）<sup>16)</sup>。この場合、湿重量1 g当たり  $10^4 \sim 10^5$  のオーダーの密度でアオサ表面から殺藻細菌が検出計数されている。そして大変興味深いことに、コロニーを形成するアオサ由来の細菌のうち、33～80%が、実験に供した赤潮生物のうちの何れかを殺滅する殺藻細菌であることがわかった。

海藻表面から分離された殺藻細菌の同定を行った結果（表9・3）、海水の場合と同様に海産の *Cytophaga/Flavobacterium/Bacteroides* グループと  $\gamma$ -プロテオバクテリアが優占していたが、新たに  $\alpha$ -プロテオバクテリアに属するものも発見された<sup>17)</sup>。また、殺藻の対象赤潮生物の範囲を見ると、1種あるいは2種のみ赤潮藻種を殺滅する細菌も認められ、特異的にある種の赤潮生物を殺藻するものも珍しくないことが判明した。このように海藻の表面には、質的に多様で量的に膨大な殺藻細菌が付着生息していることが明らかになった<sup>15-17)</sup>。

### § 3. 藻場を活用した赤潮の発生予防対策

#### 3・1 海藻と魚類の複合養殖による赤潮予防

上述したように、海藻の表面には多数の殺藻細菌が随伴付着しており、藻場海水中には高密度の殺藻細菌が浮遊生息していることが明らかとなった。この新しい発見から、赤潮の予防的な防除策として、魚介類とアオサやマクサなどの海藻との混合養殖が提案される（図9・2）<sup>15)</sup>。魚介類と混養繁茂している海藻の表面からは、多くの殺藻細菌が継続的に周囲の海水に剥離浮遊し、赤潮原因藻類を含む植物プランクトンに攻撃を加え、特定の有害種の大発生（大量増殖）を未然に防止するものと期待される。混合養殖される海藻は、殺藻細菌の大量供給源として機能することになり、対象とする水域の殺藻細菌の密度を高

めに維持することで赤潮の発生する確率の引き下げに貢献するであろう。このような目的に適う海藻としては、赤潮の発生盛期である夏季にも消失しない、或いは逆に盛んに繁茂するような特性を備えているものが望ましい。市場価値を有する有用藻類であればさらに好都合であろう。例えば、ヒジキ (*Sargassum fusiforme*) や熱帯性のキリンサイ (*Eucheuma denticulatum*)、ウミブドウ (*Caulerpa lentillifera*) などが、有望な候補としてあげられよう。これらの海藻については、殺藻細菌がどの程度付着・随伴するのか確認する必要がある。

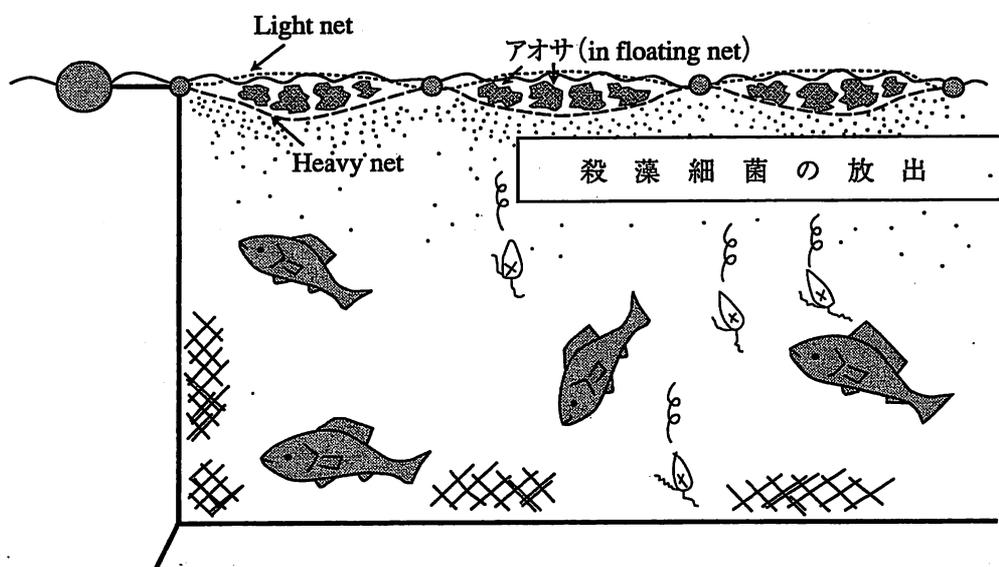


図9-2 海藻と魚介類の混合養殖による赤潮の発生予防に関する概念図<sup>15)</sup>。  
養殖している海藻の表面が殺藻細菌の供給源となる。

因みにアオサに関しては、混合養殖を行うことにより給餌養殖で現場海域に負荷されたNやPを吸収浄化させようという提案がなされている<sup>18)</sup>。またアオサは、養殖魚介類の餌料としても検討されており、アワビのみならずマダイやブリの餌料としても混合養殖が試みられ、これら魚類で成長と健康によい結果が得られているという<sup>19)</sup>。成長繁茂した余剰の海藻は、それを餌とする藻食性の貝類やエビ類を混合して養殖すれば処理可能であり、経済的にも有益と考えられる。このような魚・介・藻の複合的養殖は、将来的に検討の価値があると思われる。アオサ以外では、アラメ (*Eisenia bicyclis*) やカジメ (*Ecklonia cava*)、クロメ (*Ecklonia kurome*) も有望かもしれない。複合養殖に関しては、これまで赤潮の予防という観点での評価がなされていないので、現場海域

において赤潮の予防という観点から殺藻細菌を主眼として研究を進めることは意義が大きいと考えられる。いずれにしても、海藻はもともと海に生息しているものであり、将来的に赤潮予防が実現した場合、環境に極めてやさしいだけでなく、食糧生産の観点で消費者や漁業者にとって海藻は感覚的にもプラスのイメージがもたれており、究極的な赤潮予防対策になりうるものと期待される。

### 3・2 藻場造成による赤潮防除

藻場は、構成する海藻自身が食用の物であれば食品生産の場となるが、有用魚介類の産卵場や生育場としても生態的に重要な場となっている。また、海藻表面には多くの生物が生息していることから魚介類の餌料供給の場となり、加えて藻食性のアワビ、サザエ、ウニなどの直接の餌にもなっている。さらに海藻類は、海水中のNやPを吸収すると同時に酸素を供給するので、水質浄化や漁場環境の保全に重要な役割を演じているといえる<sup>20)</sup>。このような利点があることから、積極的にコストをかけて藻場の造成（修復或いは創生）が近年は人為的に成されている。離岸堤や防波堤、人工リーフといった海岸構造物の設置と藻場造成を組み合わせれば、大きな事業となり、経済的な波及効果も大きい。

先に、魚介類と海藻の混合養殖が、赤潮の発生予防対策になる可能性を論じた。この考えを敷衍するならば、藻場の造成を行うことは、沿岸域における赤潮の発生予防機能を増大させることに貢献するものと考えられる（図9・3）<sup>1)</sup>。

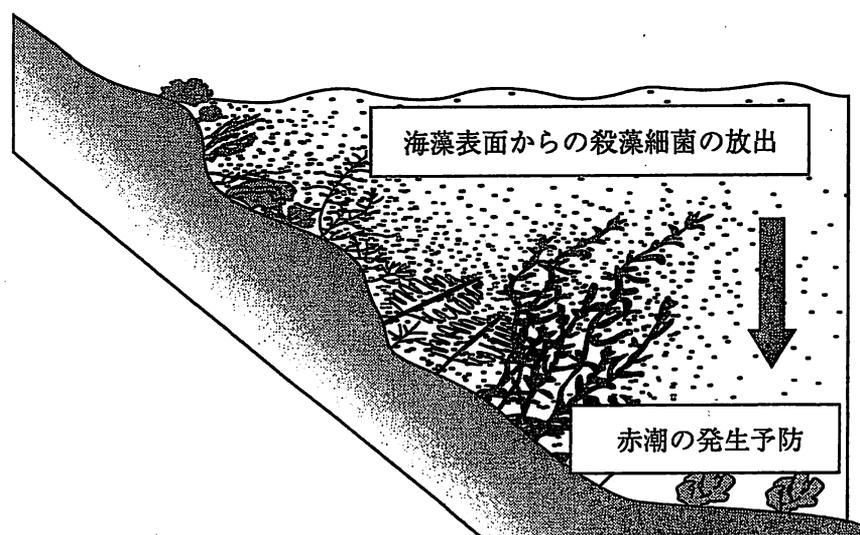


図9・3 沿岸域において造成した藻場による赤潮の発生予防に関する概念図<sup>1)</sup>。  
繁茂する海藻の表面が殺藻細菌の供給源となる。

先に述べたように人為的に造成される藻場が、赤潮の発生予防にどの程度役に立ち得るのか、現場調査を通じて評価してみるのには意義が大きいと思われる。また、赤潮の予防に好ましい藻場の構成種も明らかにしていく必要がある。さらに対象となる現場海域において、赤潮の発生予防効果が実効的に現れる藻場の地理的配置や必要規模を評価することも将来の検討課題といえよう。

沿岸域において浄化に係わる重要な生態系としては干潟域があげられ、干潟付近の浅海域にはアマモ場が分布している<sup>21, 22)</sup>。これまで、アマモと殺藻微生物に関しては殆ど検討されていなかったが、アマモの葉体からラビリンチュラ、アメーバ、糸状細菌に属する殺藻微生物の存在が見出されている<sup>23)</sup>。さらに、アマモ葉体表面には、海藻表面に匹敵するかそれ以上の殺藻細菌が付着している事実が新たに判明したことから<sup>24)</sup>、アマモ場も赤潮発生予防の場として大変に重要といえる。したがって、これまで全く論じられていなかったが、アマモ場造成の価値を赤潮予防の観点から評価する必要がある。

#### § 4. 沿岸環境保全の重要性

赤潮の発生を促進する要因が海域の富栄養化であることは論を俟たない。高度経済成長時代に大量の汚濁物質が海域に負荷され、富栄養化が進行し、それに伴って赤潮の発生件数は劇的に増加した。瀬戸内海における赤潮発生の歴史を図9・4に示した。1960年代～1970年代に赤潮の発生件数は増加し、1976年には最高の299件を記録した。このような事態を解決するため、1973年に制定された瀬戸内海環境保全臨時措置法とその後の恒久的な後継法である瀬戸内海環境保全特別措置法により、海域への汚濁負荷が長期的に軽減された。その効果により、瀬戸内海においては赤潮の発生件数が最盛期の1970年代の3分の1程度にまで減少し、近年は年間100件前後で推移している。

高度経済成長時代は、浅海域の大規模な埋め立てや鉛直護岸の造成によって、藻場や干潟、自然海岸が大規模に失われた時代でもある(図9・5)<sup>25)</sup>。藻場やアマモ場の喪失は、赤潮発生予防機能の喪失を意味しており、海のもつ「恒常性」維持機能が小さくなった結果、特定の有害種が大増殖するようになって赤潮の発生頻度が上昇した可能性が考えられる。すなわち、富栄養化によって赤潮発生に促進的な力が働き、一方で藻場やアマモ場の喪失によって赤潮に対す

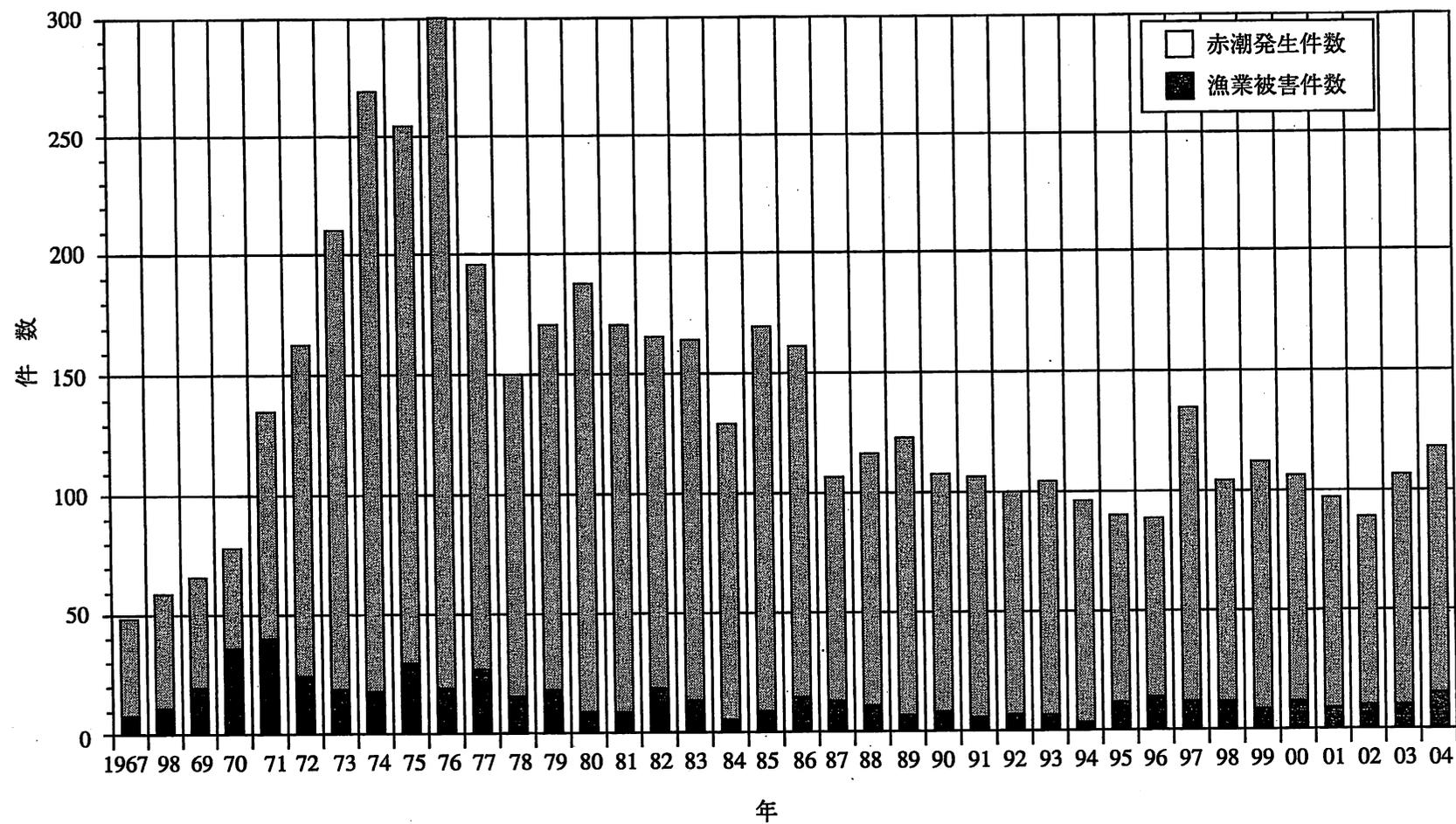


図9・4 瀬戸内海における赤潮発生件数と漁業被害件数の推移<sup>1)</sup>。

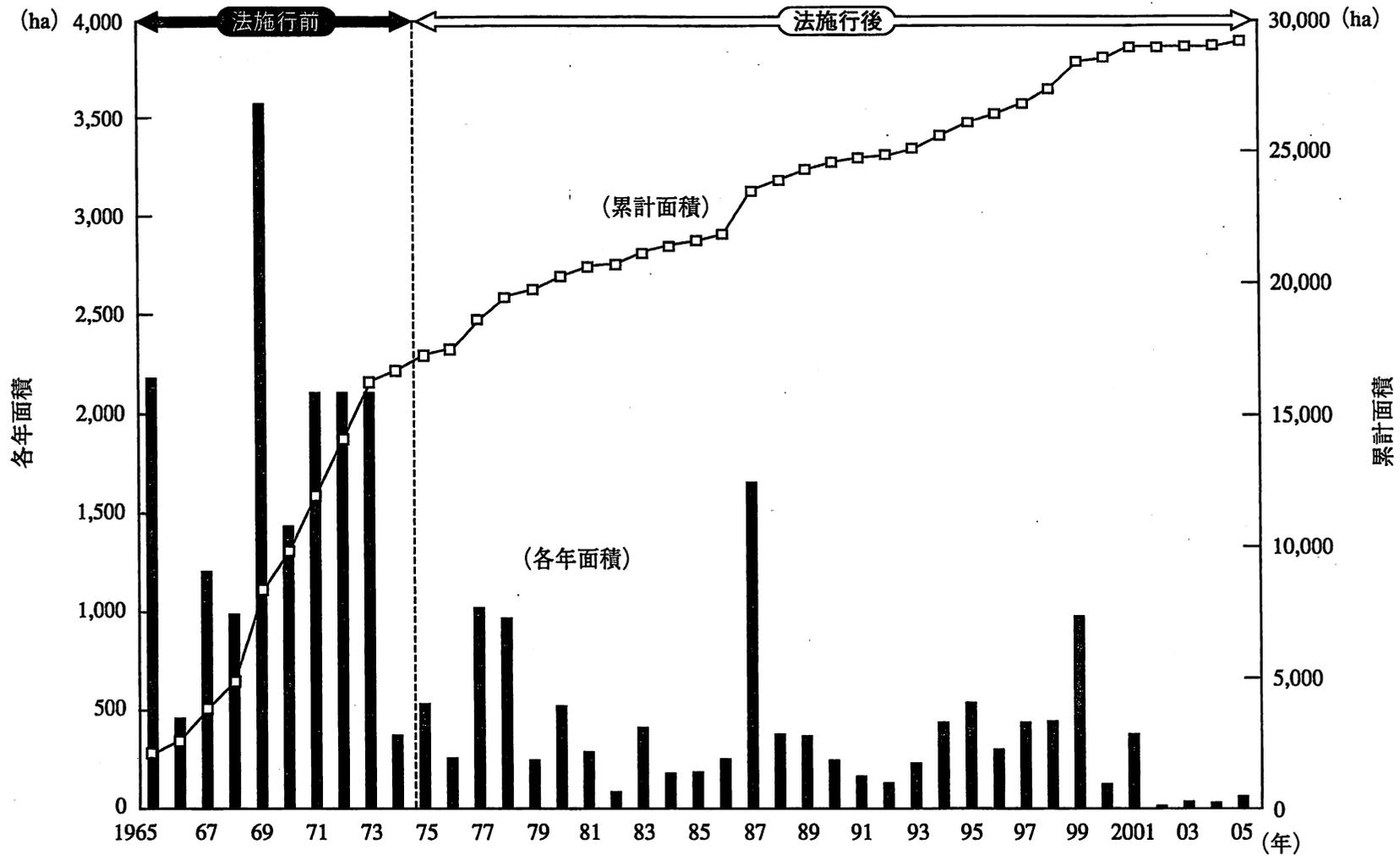


図9-5 瀬戸内海における埋め立て免許面積の推移（環境庁調べ）<sup>25)</sup>。1965～72年は1月1日～12月31日，1973年は1月1日～11月2日，1974年以降は前年の11月2日～11月1日の累計。

る抑制力が失われ、両者の相乗効果で赤潮の発生が当時劇的に増加したという可能性である。

藻場の造成による赤潮予防の可能性を論じたが、近年は藻場が消失する磯焼けの現象が問題となっている<sup>26)</sup>。磯焼けは、隣国の韓国沿岸においても近年著しい。特に夏場に藻場が減少し、あるいは消失する場合には、赤潮の発生要因として重要な意味をもつ可能性がある。今後はこのような観点から、夏季における藻場の消失状況と赤潮発生の関係を検討してみる必要がある。さらに、地球温暖化と藻場やアマモ場の消長、そして赤潮発生の関係についても今後検討の余地があると考えられる。

## 文 献

- 1) I. Imai, M. Yamaguchi, and Y. Hori : Eutrophication and occurrences of harmful algal blooms in the Seto Inland Sea, Japan, *Plankton Benthos Res.*, 1, 71-84 (2006).
- 2) 今井一郎・板倉 茂：わが国における貝毒発生の歴史的経過と水産業への影響，貝毒研究の最先端—現状と展望（今井一郎・福代康夫・広石伸互編），恒星社厚生閣，2007，pp.9-18.
- 3) 代田昭彦：赤潮の対策研究と技術開発試験の経過と展望，月刊海洋，24，3-16（1992）.
- 4) 和田 実・中島美和子・前田広人：粘土散布による赤潮駆除，有害・有毒藻類ブルームの予防と駆除（広石伸互・今井一郎・石丸 隆編），恒星社厚生閣，2002，pp.121-133.
- 5) 金 鶴均・裴 憲民・李 三根・鄭 昌洙：韓国沿岸における有害赤潮の発生と防除対策，有害・有毒藻類ブルームの予防と駆除（広石伸互・今井一郎・石丸 隆編），恒星社厚生閣，2002，pp.134-150.
- 6) 吉永郁生：殺藻細菌による赤潮の駆除，有害・有毒藻類ブルームの予防と駆除（広石伸互・今井一郎・石丸 隆編），恒星社厚生閣，2002，pp.63-80.
- 7) I. Imai, T. Sunahara, T. Nishikawa, T. Hori, R. Kondo, and S. Hiroishi: Fluctuations of the red tide flagellates *Chattonella* spp. (Raphidophyceae) and the algicidal bacterium *Cytophaga* sp. in the Seto Inland Sea, *Mar. Biol.*, 138, 1043-1049 (2001).
- 8) I. Yoshinaga, M.C. Kim, N. Katanozaka, I. Imai, A. Uchida, and Y. Ishida (1998) Population structure of algicidal marine bacteria targeting the red tide forming alga *Heterosigma akashiwo* (Raphidophyceae), determined by restriction fragmental length polymorphism analysis of the bacterial 16S ribosomal RNA genes, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 170, 33-44 (1998).
- 9) K. Fukami, T. Nishijima, and Y. Ishida: Stimulative and inhibitory effects of bacteria on the growth of microalgae, *Hydrobiologia*, 358, 185-191 (1997).
- 10) I. Imai, Y. Ishida, K. Sakaguchi, and Y. Hata: Algicidal marine bacteria isolated from northern Hiroshima Bay, Japan, *Fish. Sci.*, 61, 624-632 (1995).
- 11) T. Shiba and N. Taga : Heterotrophic bacteria attached to seaweeds, *J. Exp.*

- Mar. Biol. Ecol.*, 47, 251-258 (1980).
- 12) J. Bolinches, M.L. Lemos, and J.L. Barja: Population dynamics of heterotrophic bacterial communities associated with *Fucus vesiculosus* and *Ulva rigida* in an estuary, *Microb. Ecol.*, 15, 345-357 (1988).
  - 13) D. G. Müller, H. kawai, B. Stache, and S. Lanka: A virus infection in the marine brown alga *Ectocarpus siliculosus* (Phaeophyceae), *Bot. Acta*, 103, 72-82 (1990).
  - 14) 今井一郎・吉永郁生: 赤潮の予防と駆除 (今中忠行監修), 微生物利用の大展開, エヌ・ティー・エス, 2002, pp.881-888.
  - 15) I. Imai, D. Fujimaru, and T. Nishigaki: Coculture of fish with macroalgae and associated bacteria: A possible mitigation strategy for noxious red tides in enclosed coastal sea, *Fish. Sci.* 68 (Supplement), 493-496 (2002).
  - 16) 岡本 悟: 魚類と海藻の混合養殖場における殺藻細菌の生態に関する研究, 京都大学大学院農学研究科修士論文, 2004, 74p.
  - 17) I. Imai, D. Fujimaru, T. Nishigaki, M. Kurosaki, and H. Sugita : Algicidal bacteria isolated from the surface of seaweeds from the coast of Osaka Bay in the Seto Inland Sea, *Afr. J. Mar. Sci.*, 28, 319-323 (2006).
  - 18) H. Hirata: Systematic aquaculture: yesterday, today, and tomorrow, *Fish. Sci.* 68 (Supplement), 829-834 (2002).
  - 19) 平田八郎: 環境調和型養殖システムの必要性—その理論と実際, 養殖, 31 (11), 60-64 (1994).
  - 20) 佐々木久雄・田中千景・一宮睦雄・西村修・谷口和也: 大型褐藻による富栄養化の抑制, 水産業における水圏環境保全と修復機能 (松田 治・古谷 研・谷口和也・日野明德編), 恒星社厚生閣, 2002, pp.119-131.
  - 21) 鈴木輝明: 内湾干潟の浄化能と貝類の生物生産, 水産業における水圏環境保全と修復機能 (松田 治・古谷 研・谷口和也・日野明德編), 恒星社厚生閣, 2002, pp.86-105.
  - 22) 川端豊喜: 水生植物による内湾域における環境修復, 生物機能による環境修復 (石田祐三郎・日野明德編), 恒星社厚生閣, 1996, pp.79-93.
  - 23) 坂田泰造・吉川 毅: アメーバや粘菌などの捕食による赤潮藻のバイオコントロール—V-アメーバ, ラビリンチュラおよびカビ類の珪藻殺藻性-, 平成11年度海洋微生物活用技術開発試験・最終報告書—海洋微生物による赤潮藻殺滅のためのバイオコントロール, 水産庁, 1999, pp.138-152.
  - 24) 山本 直: アマモ場における海洋細菌の分布とアマモに付着する赤潮藻殺藻細菌に関する研究, 京都大学農学部卒業論文, 2007, 51p.
  - 25) 瀬戸内海環境保全協会: 平成17年度瀬戸内海の環境保全—資料集, 2006, 103p.
  - 26) 谷口和也・長谷川雅俊: 磯焼け対策の課題, 磯焼けの機能と藻場修復 (谷口和也編), 恒星社厚生閣, 1999, pp.25-37.

出版委員

稲田博史 落合芳博 金庭正樹 木村郁夫  
櫻本和美 左子芳彦 佐野光彦 瀬川 進  
田川正朋 埜澤尚範 深見公雄

水産学シリーズ〔155〕

定価はカバーに表示

微生物の利用と制御—食の安全から環境保全まで

Utilization and Prevention of Microorganisms  
in Fisheries Sciences

平成 19 年 9 月 25 日発行

編者 藤井 建夫  
杉田 治男  
左子 芳彦

監修 社団法人 日本水産学会

〒108-8477 東京都港区港南 4-5-7  
東京海洋大学内

発行所 〒160-0008 東京都新宿区三栄町8 株式会社 恒星社厚生閣  
Tel 03 (3359) 7371  
Fax 03 (3359) 7375

© 日本水産学会, 2007. 印刷・製本 シナノ