

海産微細藻類による各種被害と その研究動向

東京大学アジア生物資源環境研究センター

特任助教 大村卓朗

教授 福代康夫

第 529 号

(第46巻 第1号)

編集
発行

財団法人 東京水産振興会

日本漁業は、沿岸、沖合、そして遠洋の漁業といわれるが、われわれは、それぞれが調和のとれた振興があることを期待しておるので、その為には、それぞれの個別的な分析、乃至振興施策の必要性を、痛感するものである。坊間には、あまりにもそれぞれを代表する、いわゆる利益代表的見解が横行しすぎる嫌いがあるのである。われわれは、わが国民経済のなかにおける日本漁業を、近代産業として、より発展振興させることが要請されていると信ずるものである。

ここに、われわれは、日本水産業の個別的な分析の徹底につとめるとともにその総合的視点からの研究、さらに、世界経済とともに発展振興する方策の樹立に一層精進を加えることを考えたものである。

この様な努力目標にむかってわれわれの調査研究事業を発足させた次第で冊子の生れた処以、またこれへの奉仕の、ささやかな表われである。

昭和四十二年七月

財団法人 東京水産振興会
(題字は井野碩哉元会長)

目次
海産微細藻類による各種被害とその研究動向

第五二九号	i
はじめに	1
第一章 有毒・有害微細藻類についての生物学的な基礎情報	5
第二章 微細藻類由来の各種被害(赤潮の発生、中毒による健康被害など)の実態・事例	14
第三章 有毒・有害微細藻類に関わる国際的な調査研究活動について	35
第四章 バラスト水の国際的規制の動向と防除技術の紹介等	40
おわりに	59

時事余聞 編集後記

お村卓朗

略歴
▽一九七一年生まれ。一九九六年東京水産大学資源育成学科卒業。一九九九年同大学大学院水産学研究科博士前期課程修了。二〇〇二年同研究科博士後期課程退学。二〇〇二年一月より東京大学大学院農学生命科学研究科水圏生物学専攻・科学技術振興特任研究員。二〇〇五年四月より同大学アジア産学資源環境研究センター・産学官連携研究員などを経て、二〇〇八年七月より現職、現在に至る。二〇〇三年学位取得(水産学博士、東京水産大学)。

福代康夫

略歴
▽一九四八年生まれ。一九七二年東京大学水産学科卒業。一九七四年同大学院農学系研究科修士課程修了。一九七五年同研究科博士課程退学。一九七五年四月より北里大学水産学部助手。一九八三年一月東大農学部助教授。一九九〇年三月同学部助教授。一九九五年八月東京大学アジア生物資源環境研究センター助教。現在に至る。一九八二年学位取得(農学博士、東京大学)。二〇〇一年四月日本水産学会進歩賞受賞。

時事余聞

◇：今年の大寒は一月二十一日だった。これまでカラカラ天気であった。これを中心としてインフルエンザの流行が本格化した。天気もうって変わって身震いするほどの寒さに襲われた。北海道から東北の日本海沿いの各県や東京など関東地方も初雪に見舞われた。積雪量も北海道は例年の三倍、新潟は二倍といわれる。しかも東日本大震災被災地の仮設住宅の防寒対策はまだまだ不十分。襲いかかる雪や寒さに死ぬ思いを募らせているに違いない。政治の怠慢には怒りさえ禁じ得ない。

◇：そういえば、民主党の看板改革だった政治主導は一体、どこへ雲隠れしたのか。確かに各省とも大臣の他に副大臣、政務官など三々四人が補佐している。次官会議の復活や国会の質問に受け答えする際にも大臣の耳許でささやく官僚らしき人物が揺れ動く。確かに下手な国会答弁で先行きが妖しくなるよりはましである。官僚はその道一筋で政策も答弁術も磨きをかけてきている。しかし、大局判断は政治家の本来お家芸の筈

である。小細工を弄した官僚答弁では天下の大道は示せない。官僚は所詮官僚、ことこまかな知識は集積されていても大局判断には向かない。◇：時代は幕末、有名な話がある。長州藩の若者五人が欧州の新知識を求めてロンドンに渡った。しかし、僅か半年も経たないうちに下関が英国艦隊に攻められて手も足も出なかつた。完敗である。その際ロンドンの若者は帰国すべきかどうか迷った。しかし二人は即座に帰国を決議した。留学を切り上げ帰国した。伊藤博文と井上馨である。二人はもともと政治家を志し、いつか国のために殉じたいとの思いを深く秘めていた。留学の初志を曲げなかつたのは山尾庸三(法務局長官)と井上勝(鉄道庁長官)だった。

◇：ここに官僚と政治家との差が歴然と出た。時代の移り変わりを敏感にかぎつけ直ちに決断し行動を起こす。これが天下国家を担う政治家の心得である。しかし官僚は決めた路線をそのまま鈍重に進む。変化には対応しないとすることか。(K)

編集後記

赤潮、青潮といえば直ぐにピンと来ます。ここでは敢えて有毒微細藻類と表現されています。しかし、その実体は極めて複雑で容易には分析把握できないようです。しかし、長年の研究者の意欲からその究明は続けられ、いくつかの国際的機関がつくられています。赤潮は一九六〇年代の高度経済成長期とともに沿岸域の富栄養化が進み、同時に発生件数も急激に増えていきます。実態や事例が詳しく解説されています。筆者の熱意ある解説に感謝します。

「水産振興」第五二九号

平成二十四年一月一日発行
(非売品)
編集者 中澤 齊 彬
発行人
発行所 千104-0055 東京都中央区豊海町五番一号
豊海センタービル七階

財団法人 東京水産振興会
電話 ☎ 三三三三三三三三
FAX ☎ 三三三三三三三三
印刷所 株式会社印刷センター

(本稿記事の無断転載を禁じます)

ご意見・ご感想をホームページよりお寄せ下さい。
URL <http://www.suisan-shinkou.or.jp/>

海産微細藻類による各種被害と その研究動向

東京大学アジア生物資源環境研究センター

特任助教 大村 卓朗

教 授 福代 康夫

はじめに

海の水を汲んでそのままあるいはルーペ等を用いて観察すると、粒が漂っているのを観ることができません(図1)。これらの粒は浮泥や水生生物がその正体で、その水生生物の中には動物性の生物や植物性の生物が含まれています。今回の話はこれらの

植物プランクトンという表現は使わずに微細藻類とする

うち植物性の生物、すなわち単細胞の微細藻類についてです。今回ふれる内容には浮遊性と底生性の生物が含まれますので、浮遊しているものだけを指す植物プランクトンという表現は使わずに微細藻類とします。

汲んだ海水を顕微鏡でのぞいてみると、粒に観えていた生物が拡大されて、様々な形の生物があることがわかります。図2のように、丸い円柱になっている細胞、円柱



図1 現場で採水した海水を観察しているところ

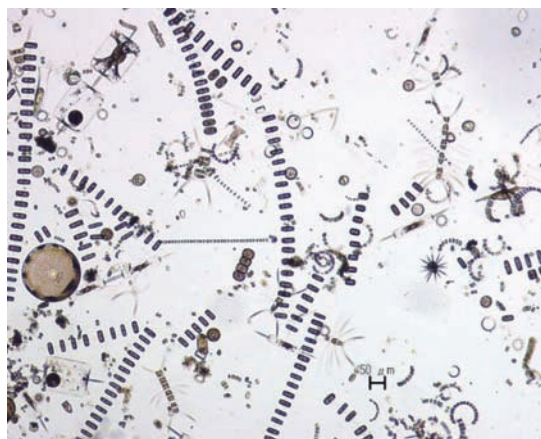


図2 秋のある日の東京湾表層の海水の顕微鏡写真

状の細胞がいくつもつながった連鎖状群体、球形の細胞、両端に刺をもつ細胞、針状の細胞など様々な形態、さらに運動性を持つ細胞と持たない細胞など様々な特徴の生物を観察することができます。分類学的に言えば微細藻類は、珪藻、渦鞭毛藻、ラフィド藻やユーグレナ藻に属しています。沿岸域において、顕微鏡下で観察することができる微細藻類としては、珪藻や渦鞭毛藻が種的にも量的にも多く、一年を通していずれかの種が観察できます。

これら微細藻類の中には、水生生物や我々人間を含む陸上生物へ直接あるいは間接的に影響をおよぼす種が存在します。もともと、海にいる魚や貝は餌として自分より小さな生物を捕食して生活しており、たとえばカツオはイワシを食べ、イワシはコペポードという小型の動物プランクトンを、動物プランクトンは植物プランクトンを食べて生きていくという関係があります。これを食物連鎖とか食物網と表現しますが、その連鎖の源をたどれば、今回話題にしている植物プランクトンを構成している微細藻類にたどり着きます。その意味で微細藻類は我々の食生活を支えている有用な生物と言えます。しかし中には、水域で大増殖して、海底に貧酸素水塊を作って貝を窒息死させたり、分泌する化学物質が海産生物や人に害を及ぼしたりする種もあり、それらは有毒・有害微細藻類と呼ばれています。特に、我々の生活と関連する各種被害として、魚貝類の毒化や赤潮による養殖魚類の大量斃死が知られています。今回は、はじめに主な有毒有害微細藻類の特徴を紹介し、それらによる魚貝類の毒化、中毒によ

有毒・有害微細藻類の特徴を紹介

る健康被害、赤潮の発生の実態、およびそれらの発主要因メカニズム等の解明及び防除に関する各種研究活動の紹介をします。また、微細藻類に関連する近年の話題の一つとして、有害生物分布広域化の機構の一つと考えられている船舶のバラスト水に関する話題についても、規制の概要と課題を中心に紹介します。

第一章 有毒・有害微細藻類についての生物学的な 基礎情報

赤潮を形成するあるいは毒を産生するとされる微細藻類において重要な分類群は、主に渦鞭毛藻、珪藻、ラフィド藻

有毒・有害微細藻類に含まれる種、すなわち赤潮を形成する、あるいは毒を産生するとされる微細藻類において重要な分類群は、主に渦鞭毛藻、珪藻、ラフィド藻です。これらの分類群の他に、ユーグレナ藻、プラシノ藻、ハプト藻、緑藻、ラン藻等があげられます。

本章では、重要な分類群と考えられる渦鞭毛藻、珪藻、ラフィド藻について概説します。

1. 渦鞭毛藻

我が国の沿岸域において、一年を通じて本分類群に属するいずれかの種を観察することができません。多くの種は単細胞で、その名の通り二本の鞭毛で渦を描いて遊泳します。しかしながら、細胞分裂後も細胞同士が離れることがなく連なった状態で遊泳する種もあり、長いものでは三〇細胞以上が連なり、試験管等の中で蛇踊りのように遊泳している状態を目視でも観察できます。本分類群には、浮遊性の種と海藻等の表面に付着して生活する底生性の種が存在し、浮遊性のものは活発に泳ぎ回りますが、

表1 渦鞭毛藻の主要種

- *Dinophysis* 目
(*Amphisolenia*, *Citharistes*, *Dinophysis*, *Histioneis*, *Metadinophysis*, *Metaphalacroma*, *Ornithocercus*, *Oxyphysis*, *Parahistioneis*, *Pseudophalacroma*)
- *Gonyaulax* 目
(*Alexandrium*, *Amylax*, *Ceratium*, *Ceratocorys*, *Gambierdiscus*, *Goniodoma*, *Gonyaulax*, *Heterodinium*, *Lingulodinium*, *Ostreopsis*, *Protoceratium*, *Pyrodinium*, *Pyrophacus*)
- *Gymnodinium* 目
(*Akashiwo*, *Amphidinium*, *Brachidinium*, *Cochlodinium*, *Dissodinium*, *Erythrospidinium*, *Gymnodinium*, *Gyrodinium*, *Karenia*, *Lepidodinium*, *Nematodinium*, *Polykrikos*, *Takayama*, *Warnowia*)
- *Peridinium* 目
(*Enciculifera*, *Heterocapsa*, *Podolampas*, *Protoperidinium*, *Scrippsiella*)
- *Prorocentrum* 目 (*Prorocentrum*)



図3 *Akashiwo sanguinea*



図4 *Ceratium furca*



図5 *Ceratium fusus*

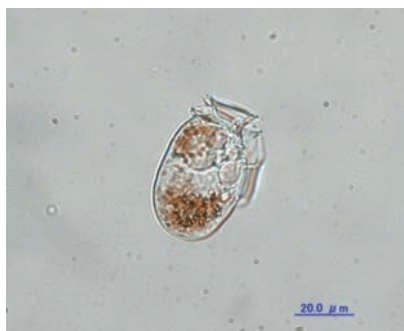


図6 *Dinophysis acuminata*

浮遊性の種と底生性の種があり、細胞の構造も殻を持つものと持たないものがある

底生性のものは浮遊性に比べて非常に鈍くしか動きません。栄養摂取様式は多様で、光合成だけで成長する独立栄養性の種、他の生物をエサとして取り込んで成長する従属栄養性の種、その両方を用いる混合栄養性の種が本分類群には含まれます。そのため、細胞の色は、独立栄養性の種は色素体を持つので主に茶色に、従属栄養性の種は透明あるいは捕食した生物の色に観察することができます。また、細胞の構造を大きく分けると、殻(鏡版)を持つもの(有殻渦鞭毛藻)と持たないもの(無殻渦鞭毛藻)に分けられます。

この分類群には、貝毒の原因となる毒を産生する種のほとんどが含まれます。また、魚毒性の微細藻類もこの分類群に含まれます。別の特徴になりますが、生物発光を行う微細藻類もこの分類群に含まれ、特に夏場に赤色〜ピンク色の赤潮を形成する夜光虫(*Noctiluca scintillans* : 図9)の夜間における発光現象は有名です。このように多様な特徴を持つ種が含まれる分類群です。

細胞の成長(増殖)は、基本的に栄養細胞の無性的二分裂で行われます。本分類群に属する種はシスト(休眠細胞)の形成能を持つことが知られています。このシストとは、有性生殖により形成され、生活史の中のステージの一部です。このシストは耐久性があり、分布域を拡大する可能性のある重要なステージと考えられます。

本分類群に含まれる主な種は表1の通りです。また、以下に本分類群に属する数種の顕微鏡写真を示します。



図8 *Karenia mikimotoi*



図10 *Oxyphysis oxytoxoides*



図12 *Procentrum minimum*



図7 *Gyrodinium instriatum*

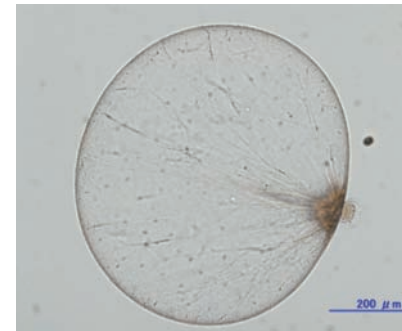


図9 *Noctiluca scintillans*



図11 *Procentrum micans*

2. 珪藻

一年を通じていずれかの種を観察することができ、例えば東京湾では赤潮を単一種あるいは複数種によって形成している

我が国の沿岸域において一年を通じていずれかの種を観察することができ、例えば東京湾では春から秋にかけて高い確率で湾内のどこかで本分類群に属する種が、赤潮を単一種あるいは複数種によって形成しています。その名の通り珪酸質でできた硬い殻に包まれていて、連鎖群体を形成する種も多くあります。その構造は基本的に二つの殻が合わさってできており、その外形からよく弁当箱に例えられます。その殻の構造から、中心目（点对称）と羽状目（線対称）に大きく分けられます。基本的に運動性はありますが、羽状目の一部の種は活発に滑走運動します。なかでも *Bacillaria paradoxa* という種は特に有名で、その滑走運動の動きが大道芸の南京玉簾によく似ていることから、顕微鏡で観察している際に種名ではなく、「南京玉簾がいる」と言うことがあるほどです。基本的に光合成だけで成長する独立栄養性の種ですが、混合栄養性の種も本分類群には含まれます。貝毒の原因となる毒を産生する種のひとつが渦鞭毛藻類に属しますが、記憶喪失性貝毒だけはこの分類群に属する種のみが原因毒を産生することが知られています。

細胞の成長（増殖）は、基本的に栄養細胞の無性的二分裂で行われます。分裂は、前述した、お弁当箱のような二つの殻の両方の内側に小型の次世代の殻が形成されて分裂します。したがって、細胞が分裂するたびに細胞の大きさはどんどん小型化して

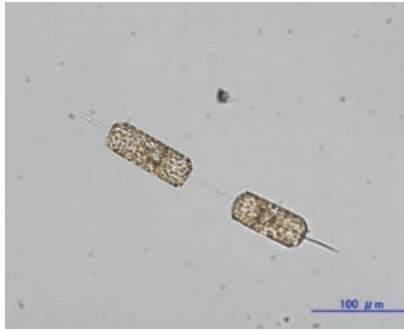


図15 *Ditylum brightwellii*

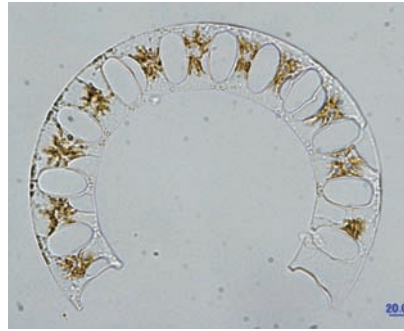


図16 *Eucampia zodiacus*

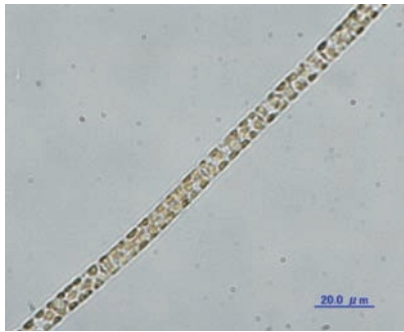


図17 *Leptocylindrus danicus*

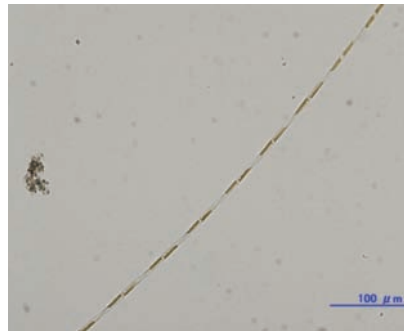


図18 *Pseudo-nitzschia* sp.

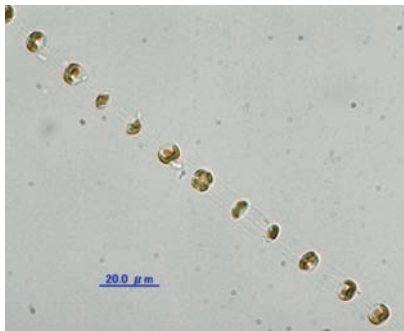


図19 *Skeletonema* sp.

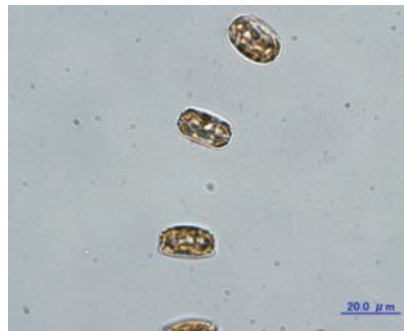


図20 *Thalassiosira rotula*

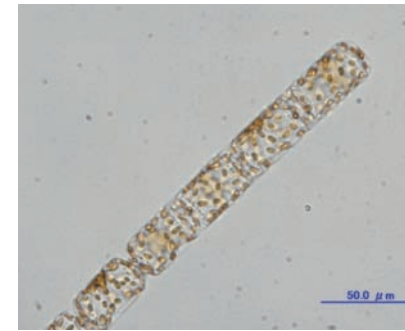


図13 *Cerataulina pelagica*

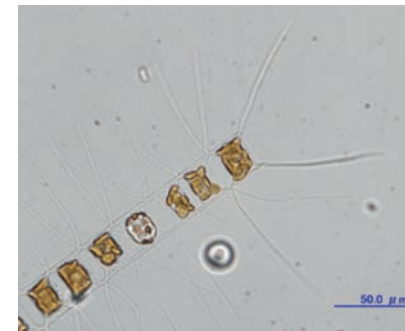


図14 *Chaetoceros lorenzianus*

表2 珪藻の主要科と属

- 中心目
 - Thalassiosira* 科
(*Detonula*, *Skeletonema*, *Thalassiosira*)
 - Melosira* 科 (*Melosira*, *Stephanopyxis*)
 - Leptocylindrus* 科 (*Leptocylindrus*)
 - Coscinodiscus* 科 (*Coscinodiscus*)
 - Helioperta* 科 (*Actinoptychus*)
 - Rhizosolenia* 科 (*Dactyliosolen*, *Guinardia*, *Rhizosolenia*)
 - Hemiaulus* 科 (*Hemiaulus*, *Cerataulina*, *Eucampia*)
 - Chaetoceros* 科 (*Bacteriastrum*, *Chaetoceros*)
- 羽状目
 - Thalassionema* 科 (*Lioroma*, *Thalassionema*)
 - Navicula* 科 (*Navicula*, *Pleurosigma*)
 - Bacillaria* 科 (*Bacillaria*)

いくこととなります。小型化した細胞のサイズ回復を行うステージが、増大胞子を形成するステージです。また本分類群に属する種はシスト（休眠細胞）の形成能を持つことが知られています。

また、以下に本分類群に含まれる主な種は表2の通りです。

本分類群に属する数種の顕微鏡写真を示します。

3. ラフィド藻

西日本の沿岸域で主に初夏から秋にかけて発生

我が国の西日本の沿岸域において主に初夏から秋にかけて発生することが知られています。東京湾で発生することは非常にまれですが、秋と冬に発生例が報告されています。細胞は単細胞性で、渦鞭毛藻や珪藻のように連鎖群体は形成しません。長さの異なる二本の鞭毛を持ち、細胞の外部形態は紡錘形や円形です。基本的に光合成だけで成長する独立栄養性の種です。本属に属する種のほとんどが、大量発生し赤潮を形成することがあります。また、中には赤潮にならないような低い細胞密度でも養殖魚類の生死に影響を及ぼすことのある種も含まれます。

細胞の成長（増殖）は、基本的に栄養細胞の無性的二分裂で行われます。また本分類群に属する種は、有性生殖をおこないシスト（休眠細胞）を形成することが知られている種も含まれます。

本分類群に含まれる主な種は、*Fibrocapsa* 属、*Heterosigma* 属、*Chattonella* 属等です。以下に本分類群に属する数種の顕微鏡写真を示します。



図21 *Chattonella marina*



図22 *Fibrocapsa japonica*

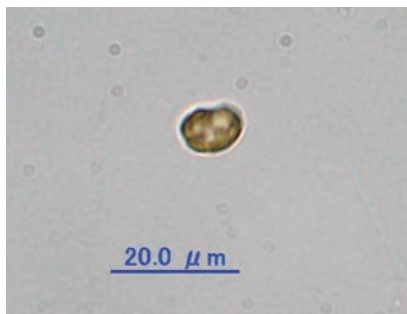


図23 *Heterosigma akashiwo*

第二章 微細藻類由来の各種被害（赤潮の発生、 中毒による健康被害など）の実態・事例

赤潮は高度経済成長期の始まりとともに沿岸域の富栄養化が進行し、それに伴って発生件数が急激に増加

本章では有毒有害微細藻類に由来する各種被害について概説します。赤潮は、一九六〇年代の高度経済成長期の始まりとともに沿岸域の富栄養化が進行し、それに伴って年間発生件数が急激に増加しました。赤潮発生件数についてデータがまとまっている瀬戸内海では、一九七〇年代には最高約三〇〇件／年の赤潮発生件数が報告された年もありました。現在は様々な対策が取られ発生件数は減少してきてはいるものの、現在においても年間一〇〇件程度の赤潮発生報告がなされています（図24）。これらの赤潮のうち実際に被害が発生しているものは数件で、多くの赤潮は被害をおよぼすものではありません。被害が発生している赤潮の多くは魚毒性微細藻類による赤潮によるものです。近年はノリの養殖時期の秋から冬場にかけて発生した珪藻による赤潮の影響で、海水中の栄養塩が枯渇し、ノリの成長に影響を及ぼす被害が報告されています。一方、魚貝類の毒化は、原因となる毒を産生する微細藻類が赤潮にならないような細胞密度でも発生します。このような微細藻類は、まとめて有毒有害微細藻類 (Harmful Algae) と呼ばれ、それらの生物が成長（増殖）する現象を「Harmful Algal Bloom (HAB)」と呼びます。このHABはその影響から表すのよう大きく四つのタイプに分けられています。

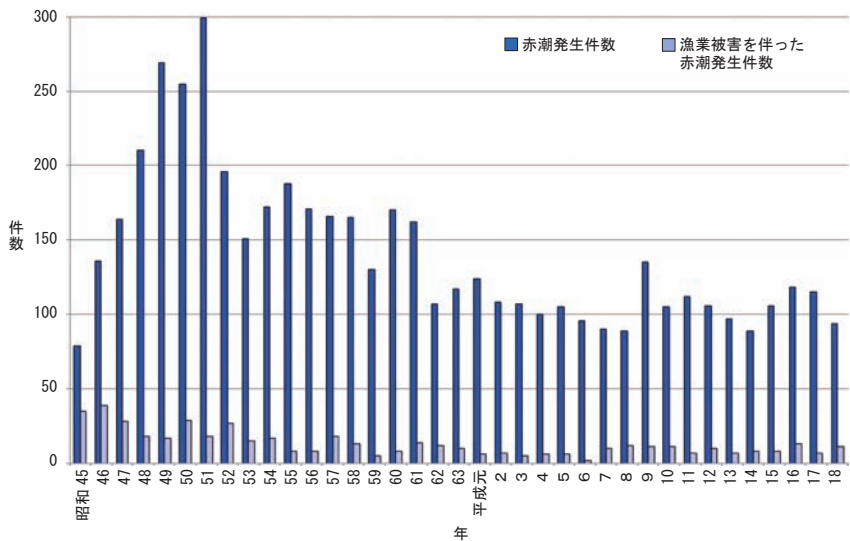


図24 瀬戸内海における赤潮発生件数および被害発生件数の推移
(水産庁瀬戸内海漁業調整事務所『瀬戸内海の赤潮』より作図)

表3 Harmful Algal Bloomのタイプ
(今井 2007、Hallegraeff 1993 を一部改編)

-
- ① 大量増殖赤潮
 基本的には無害であるが、高密度な場合には溶存酸素の欠乏等を引き起こし、魚貝類を斃死させるもの。
 原因種：*Gonyaulax polygramma*, *Noctiluca scintillans*, *Scrippsiella trochoidea*, 珪藻類等
-
- ② 毒産生微細藻類（貝毒等）
 毒を産生する微細藻類が食物連鎖を通じて魚貝類に餌として取り込まれ、その結果魚貝類に毒が蓄積し、毒化した魚貝類を我々が食すると食中毒になるもの。その主なものは以下のとおりである。
 ・麻痺性貝毒
 原因種：*Alexandrium catenella*, *A. tamarense*, *Pyrodinium bahamense* 等
 ・下痢性貝毒
 原因種：*Dinophysis acuminata*, *Dinophysis fortii* 等
 ・記憶喪失性貝毒
 原因種：*Pseudo-nitzschia australis*, *P. multiseriata* 等
 ・シガテラ毒
 原因種：*Gambierdiscus toxicus* 等
-
- ③ 有害赤潮
 我々人間には無害であるが、養殖魚貝類を中心に大量斃死被害を与えるもの。
 原因種：*Chattonella antiqua*, *C. marina*, *C. ovata*, *Heterosigma akashiwo*, *Heterocapsa circularisquama*, *Karenia mikimotoi* 等
-
- ④ 珪藻赤潮
 ノリの養殖時期に大増殖し、栄養塩の低下を引き起こし、ノリの成長や色に影響を与え、品質低下を引き起こすもの。
 原因種：*Coscinodiscus wailesii*, *Eucampia zodiacus*, *Skeletonema costatum* 等
-

1. 赤潮（表3のHABのタイプ①、③、④が含まれます）

赤潮とは、海水中の主に微細藻類の大量発生、その結果発生する海水の着色現象

赤潮とは、海水中の微小生物、主に微細藻類の大量発生、あるいは発生した微細藻類が風・波等の影響により集積した結果発生する海水の着色現象のことです。その色は、赤潮だから赤色だけというわけではなく、茶色・紫色・桃色・緑色（図25）・白色等と原因微細藻類の種によって様々です。赤潮形成種は、珪藻・渦鞭毛藻・ラフィド藻に大別されます。赤潮は基本的には無害ですが、一部の赤潮形成種は他の生物に間接的あるいは直接的に影響を及ぼす場合があります。間接的な例として、独立栄養性の微細藻類の赤潮の場合について概説します。赤潮を形成した微細藻類は、昼間は光合成を行うので赤潮発生水塊が酸欠になることはありません、しかしながら夜間になると赤潮を形成している微細藻類の呼吸によって酸素が消費され赤潮水塊の酸素レベルの減少、すなわち貧酸素化が起こります。このような状況が海面養殖



図25 緑夜光虫による赤潮（マニラ湾にて）

海底に形成された貧酸素水塊が、風・波等の影響で海底から表層へ移動し、青潮となる

場で生じた場合は、養殖場水域の酸素の低下が生じ、酸欠による影響が養殖魚に起こることがあります。さらに微細藻類自身も貧酸素水塊の中では酸欠のために生存できず大量に海底へと沈降・堆積することになり、海底へ堆積した微細藻類をバクテリアが分解するためにさらに酸素が使われ、微細藻類の発生していた場所だけでなく、海底付近も貧酸素になります。この海底に形成された貧酸素水塊が、風・波等の影響で海底から表層へ移動し、浅海域の底生性生物（魚貝類等）に影響をおよぼすものが青潮です。また、微細藻類が大量に発生した結果、栄養塩の減少が引き起こされることがあります。このような状況がノリの養殖時期に起きた場合はノリの色落ちや成長阻害が生じます。一方、直接的な例として、赤潮を形成する場合もある種ですが、赤潮にならない細胞密度でも魚貝類に影響をおよぼす種も存在します。例えば、ラフィド藻類の *Chattonella*（図21）の場合、海色の着色現象が確認されな¹、100cells/ml程度の細胞密度でも魚種によっては斃死等の影響を受ける場合があります。

ここで *Chattonella* による近年の漁業被害について紹介します。瀬戸内海においては、瀬戸内海漁業調整事務所より刊行されている『瀬戸内海の赤潮』によると二〇〇一年（平成十三）～二〇一〇（平成二十二）ま²に *Chattonella* による赤潮は六七件発生し、そのうち一五件で漁業被害が発生しています。被害金額が明らかかなものをまとめると、合計被害金額は約一三億円となりますが、被害金額が不明なものもあるのでそれ以上になるものと思われ³ます。また、瀬戸内海だけでなく、有明海や八代海等の九州海域

瀬戸内海漁業調整事務所によると二〇〇一年から二〇一〇年までの漁業被害は約一三億円、この他、有明海や八代海等の九州海域においても二〇〇九年には約二四億円の被害が発生

においても *Chattonella* による養殖魚への被害は発生しており、二〇〇九年には約二四億円の被害が発生しています。この様に被害の発生地域は主に西日本であり、その発生時期は六月～一〇月でした。しかしながら、東京湾において *Chattonella* による漁業被害が二〇〇八年二月末～二〇〇九年一月初旬に発生しました。東京湾において *Chattonella* による漁業被害が発生したことは初めてであり、また発生した時期は西日本における傾向と異なっていました。この際の主な原因種は、*C. marina* とされています。その後我々は、千葉県東京湾漁業研究所と共同で調査研究を進めてきました。本種の発生は、二〇一一年九月まで確認でき⁴ましたが、二〇一一年一〇月に東京湾湾口の表層海水サンプルから *C. marina* の栄養細胞を一リットルに一細胞という非常に少ない細胞密度でしたが確認し、この一細胞からの培養株の作成にも成功しています。現在は、この東京湾より得られた培養株を用いて、水温や塩分の成長に及ぼす影響について調べているところです。また、本種はシストという通常の栄養細胞と異なる細胞を生活史の一部で形成し、休眠状態になることが知られています。このシストは、陸上植物の種のようなもので耐久性が高く、形成されたシストは遊泳能力が無いので海底に沈んで、発芽に好適な条件になるのを海底で待ちます。我々は、東京湾より得られた海底泥からの本種の発芽実験にも取り組んでおりますが、これまでに発芽は確認できていません。今後は、さらに得られた培養株を用いて分子生物学的手法によって得られたデータも加えて、東京湾において発生した本種が、東京湾に

生息しているのか、そして何処から来たのかを明らかにしていく予定です。

次に赤潮発生機構の一般的な考えを紹介します。沿岸域や内湾では、生活排水や工場排水、有機物を多く含んだ海底泥からの栄養物質が溶け出したりして、植物プランクトンの成長に必要な窒素や燐などの栄養塩が多くなる傾向があります。こういった海域で水温、塩分、日照時間などの環境条件がそろると、植物プランクトンの成長が活発になります。さらに、環境の変化で植物プランクトンを食べる動物プランクトンが少なくなったり潮流や風などによって植物プランクトンが特定の場所に吹き寄せられたりすると、集められた植物プランクトンの色によって海の色が変わって、赤潮と呼ばれる現象になります。もちろん、初期個体群（シードポピュレーション）の存在は必須であり、それは栄養細胞とシストによるものと考えられます。栄養細胞の場合、その発生海域に周年存在する場合と別の場所から海流や後述するバラスト水等で運ばれてくる可能性があります。さらに海底泥からシストが確認できた場合は、すでにその海域に生息している可能性が高く、繰り返し発生する可能性が高まります。

赤潮対策は、これまでに様々な試みがなされてきています。それらの主なものは、赤潮が発生し養殖漁場に赤潮が近づく恐れが生じた場合において、①エサ止め（養殖魚が表面の赤潮層にまで泳ぎあがってこないようにするための給餌の一時的な中止）、②生簀の沈下（赤潮プランクトンの少ない深所に生簀を沈下）、③生簀の避難、④粘土散布等の対策を実施しており、効果も認められています。しかしながら、赤潮を取

り除くために本当に効果的なもの、すなわち有効な斃死防止対策や赤潮生物殺滅技術が見出せないまま今日に至っています。

そこで我々は、第四章において詳述するバラスト水処理装置の赤潮対策への応用にも取り組んでいます。バラスト水管理条例では、殺滅対象生物として 10^6 以上の大きさのプランクトンと、コレラ菌などの指標細菌が挙げられています。そのため、装置の処理法として「薬剤」や「UV（紫外線照射）」や「海水電解」のみといった単一の方法ではなく、「フィルター＋薬剤」や「キヤビテーション＋UV」といったいくつかの方法を組み合わせています。また、処理能力は毎時八千から一万トンの装置までであり、船内では利用可能な電力とスペースに限りがあるので能力を限定せざるを得ませんが、赤潮対策に応用する場合にはその限定要因は考えなくてもいいかもしれません。なお、処理装置から処理水を排出する際には、環境に影響・被害が出ないような無害な状態にすることが義務づけられ、処理水の排水について厳しい検証が行われています。よって、赤潮対策の一つとしてバラスト水処理装置を応用することは可能だと考えています。しかしながら、赤潮対策および防除へこれらの処理装置を応用する際には、いくつかの問題点が考えられます。①処理能力の問題…赤潮プランクトンの鉛直分布は深さ一〇メートル程度であっても、平面的に広がりを持ち、しかも流れていることがあるため、特定場所での処理には一万トン以上の能力が必要であるだろう。しかし、赤潮対象の場合には細菌まで殺滅する必要はなく、バラスト水処理よ

- ①処理能力の問題②電力の問題
③設置場所などの問題がある

りかなり軽度の殺滅処理で足りる可能性も大きい、②電力の問題…処理装置は電力を必要とするが、必要な電力をどのように供給するのか、例えば消費電力の大きい処理装置では二二〇キロワット／一、〇〇〇立方メートル／hが必要となる、③設置場所…処理装置の中には、大型の物もあり設置スペースの検討も必要、等の問題が挙げられる。しかし、使用海域を限定したり、魚のいけすの周りをフェンスで覆ってその中の海水のみを処理対象にするなど、使用法を工夫することによってこれらの問題は解決できると考えられます。また、微細藻類だけを対象にした廉価モデルの開発の可能性も考えられます。今後バラスト水処理装置を応用した赤潮処理システムを開発するために、水産側からの要求スペックを明確にして、装置開発各社と検討していくことが重要であると思われます。また、このような考え方、すなわち使用する海域を限定してバラスト水処理装置を用いることによって、貝毒の原因となる微細藻類に対する対策にも用いることができると考えています。

2. 貝毒等（表3のHABのタイプ②）

有毒微細藻類による魚貝類の毒化現象とは、魚貝類が、有毒微細藻類自身が産生しているいは他の生物が産生した毒を持つ有毒微細藻類を餌として捕食し、その毒を体内に蓄積し、毒化する現象のことです。この毒化した魚貝類を我々が食すると、食中毒に

毒化した魚貝類は我々人間に中毒を引き起こすが、魚貝類にはほとんど影響が見られない

なります（図26）。一般に、毒は我々人間に中毒を引き起こしますが、魚貝類にはほとんど影響が見られません。このタイプは、その症状からいくつかに分けられます。本章では、その中でも日本で毒化が知られていてモニタリングが行われている、麻痺性貝毒、下痢性貝毒、近年本州の太平洋岸で発生したシガテラ毒、原因生物は渦鞭毛藻類であるこれら三つのタイプと異なり珪藻類を原因生物とする記憶喪失性貝毒について概説します。

(1) 麻痺性貝毒

麻痺性貝毒の原因生物として報告されているのは渦鞭毛藻類に属する種で、日本では *Alexandrium catenella*, *A. tamarense*（図27）、*A. tamnyavanichii*, *Gymnodinium catenatum* 等が知られています。麻痺性貝毒は、一種の毒からなるのではなく、サキシトキシン（STX）とサキシトキシンを基本骨格とするゴニオトキシン（GTX）

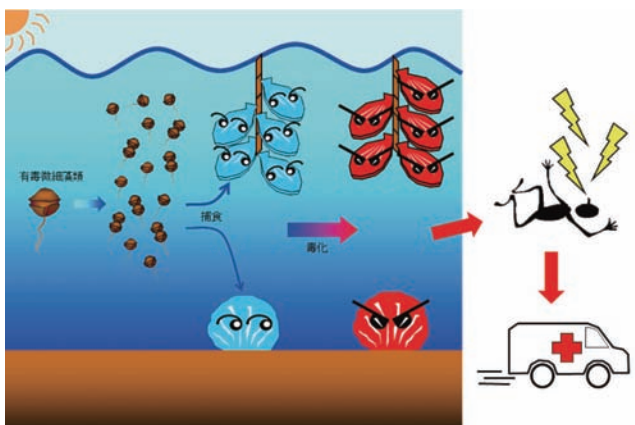


図26 貝毒の流れ

症状は運動神経系の麻痺が主、食後軽度の麻痺やしびれが始まり、次第に全身に広がり最後には死亡

等の多数の同族体よりなります。これらの毒成分は、水溶性で中・酸性溶液では安定であり、通常の加熱調理の条件下では完全に分解されることはありません。わが国においては、これまでに一二件、患者一六五名、死者四名の麻痺性貝毒中毒が発生しています。その症状は運動神経系の麻痺が主であり、食後五〜三〇分程度で軽度の麻痺やしびれが始まり、次第に全身に広がり、最終的には呼吸麻痺によって死亡するとされています。

食中毒防止のために、二枚貝をはじめとする麻痺性貝毒を蓄積する水産魚貝類はその産地において定期的に毒性を検査しており、規制値を超えた場合は自主的に採捕・出荷が規制されます。この監視体制は非常に有効に機能しており、毎年二枚貝類の毒化は起きていますが(図28)、一九七八年に監視に関する基本ルールが定められてからは、流通した二枚貝類による中毒は発生していません。麻痺性貝毒による魚貝類の毒化は、平成元年まで増加傾向にあり、その後は年ごとに発生件数の上下はありますが、横ばいの傾向です。毒化の報告地域について、平成二年まではそのほとんどが北海道・東北・北関東地域からでしたが、平成三年以降東海・関西・中国・四国・九州へと全国化しています。

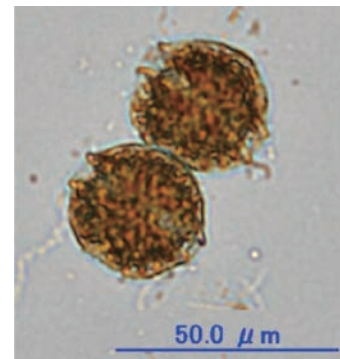


図27 *Alexandrium tamarense*

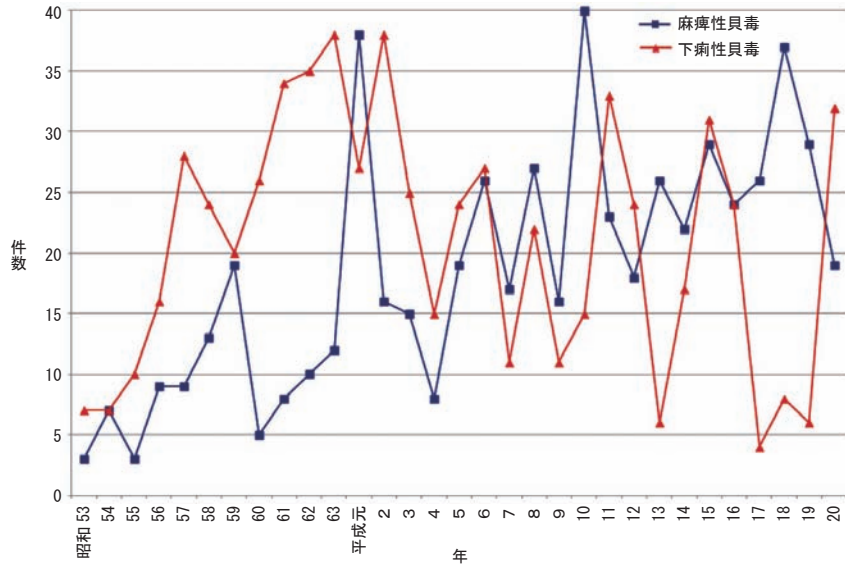


図28 全国貝類毒化発生件数の推移
(水産庁瀬戸内海漁業調整事務所『瀬戸内海の赤潮』より作図)

この原因には、貝類養殖海域が広がり、生産量が増加していることや、原因種はシストを形成するので、既発生海域には常在しやすく、養殖貝類の移植などで分布を広げる可能性があることなどが考えられます。また、全国化したものの全国発生件数が横ばいなのは、北海道・東北・北関東地域での発生件数が平成元年以降減少し、他の地域からの発生件数が増えたためです。

東北地方で麻痺性貝中毒が初めて報告されたのは、前述の規制が実施される以前の一九六一年（昭和三十六）の岩手県大船渡市です。この年は一九六〇年に発生したチリ地震津波災害の翌年にあたります。これは、原因生物として考えられる *Alexandrium* のシストが津波により海底泥中から巻き上げられて、通常発芽するシストよりも多くのシストから栄養細胞が発芽したためにシードポピュレーションの密度が高くなり、毒化しやすくなったものと推測されます。二〇一一年（平成二十三年）に東北地方太平洋沖地震が発生し、東北地方は地震と津波により大きな被害を受けました。岩手県水産試験場の方より、地震・津波後の二〇一一年の春において *Alexandrium* が大量に発生したこと、および細胞あたり毒量が非常に高かったことが、報告されています。岩手県沿岸域において、約五〇年前の麻痺性貝中毒が発生した時と同じ状況が起こっているようです。二〇一二年以降においても原因生物が大量に発生する可能性があるのです。このような状況を視野に入れて調査および監視をする必要があると思われれます。

二〇一一年の東北地方太平洋沖地震で *Alexandrium* が大量に発生し細胞あたりの毒量が非常に高く、約五〇年前の麻痺性貝中毒と同じ状況が起こった

麻痺性貝毒の問題点として発生予察が非常に難しいなど四点を挙げています

麻痺性貝毒に関連するいくつかの問題点は、以下の通りです。①原因となる微細藻類の発生量が極めて少ない状況でも、貝類に毒の蓄積が起こるため、発生予察が非常に難しい。②原因微細藻類の広域化機構が分かっていないため、広域化対策がうまく立てられていない。③原因微細藻類の生活史は概略判明しているが、有性生殖開始やシスト発芽など生活史の各期の転換に関与する環境要因がよく分かっていない。④海底堆積物中のシストの挙動についてもほとんど分かっていない。今後これらの問題点を解決するために、調査・研究を現場と研究室の両方でバランスよく実施する必要があると思われれます。また、これまでの調査から発生海域が限定できる場合は、前節でも述べたとおり、バラスト水処理装置を応用することによって、原因となる微細藻類を低減できる可能性が考えられます。

(2) 下痢性貝毒

下痢性貝毒の原因生物として報告されているのは渦鞭毛藻類に属する種で、日本では *Dinophysis acuminata* (図6)、*D. fortii*, *D. norvegica*, *Prorocentrum lima* 等が知られています。下痢性貝毒は多成分からなりますが、その化学構造から三群に分けられてきました。第一群はオカダ酸・デイノフィシストキシン群、第二群はペクテノトキシン群、第三群はイエットキシン群です。

日本における下痢性貝毒の中毒事例は、これまでに一二件、患者一、一二六名（死

中毒症状は、激しい下痢、嘔吐、腹痛など消化器系障害で、死亡例の報告はない。

者〇名)です。その症状は、激しい下痢、嘔吐、腹痛などの消化器系障害ですが、これまでに死亡例の報告はありません。

食中毒防止のために、下痢性貝毒を蓄積する水産魚貝類は、麻痺性貝毒と同様にその産地において定期的に毒性を検査しており、規制値を超えた場合は自主的に採捕・出荷が規制されます。下痢性貝毒による二枚貝類の毒化は、平成二年まで増加傾向にあり、その後は年ごとに発生件数の上下はありますが、若干ですが減少傾向にあるようです(図28)。二枚貝類の毒化の報告地域については、そのほとんどが北海道・東北・北関東地域からです。また、毎年報告があるわけではありませんが、東海・関西・中国・四国・九州地域から数件報告される年もあります。

原因渦鞭毛藻の *Dinophysis* は何れの種も研究室内での培養が成功しておらず、その成長を引き起こす要因が何であるのか長い間不明のままでした。しかしながら、二〇〇六年に Park 等が *D. acuminata* を織毛虫 *Myrionecta rubra* (= *Mesodinium rubrum*) と混合することによって培養が可能であることを報告しました。その後、他の *D. caudata*, *D. fortii*, *D. infundibulus* についても培養が可能になり、培養株を用いた毒生産能に関する実験も可能になってきています。実験室における培養実験によって成長特性と毒生産能について、例えば *D. fortii* においては、設定した培養水温の中で高温の条件下で毒生産能が高くなる傾向があり、毒生産は水温の影響を大きく受けること等が少しずつ明らかになってきています。

(3) シガテラ

シガテラはシガトキシシンやマイトトキシシンなどで毒化した魚を食べて起こる食中毒で主に熱帯、亜熱帯で発生

シガテラとは、*Gambierdiscus toxicus* (図29) という海産渦鞭毛藻の産生するシガトキシシンやマイトトキシシンなどの毒によって毒化した魚を食べて起こる食中毒をさします。バミューダやカリブ海諸島のある大西洋、ニューカレドニアやタヒチなど、熱帯域のきれいなサンゴ礁で囲まれた諸島で発生の報告があり、患者数は年間二万人とも三万人とも言われています。このようにシガテラは主に熱帯および亜熱帯域で発生し、我が国では亜熱帯域に属する沖縄で以前より知られています。沖縄県衛生環境研究所によれば、一九八八年から一九九八年までに二二件のシガテラ中毒の届出があります。届出されない例もかなりの数になると考えられています。しかし、ここ数年本州中部太平洋沿岸で、磯釣りによって捉えたイシガキダイによるシガテラと思われる食中毒が数件続発し、新聞やテレビ等でたびたび取り上げられました。

シガテラの症状は、毒化した魚を食べた後に起こり、シガテラであるということの最終判定は摂食した残り物からシガトキシシンなどの毒を確認することが必要ですが、一般的には以下のような症状が確認される中毒がシガテラとされ

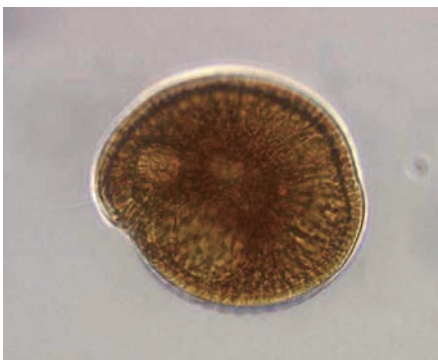


図29 *Gambierdiscus toxicus*

嘔吐や下痢など消化器障害など、後遺症は一〜三ヶ月続き、長くなると一年近くにもなる

ています。①嘔吐や下痢などの消化器障害、②血圧降下や心拍数の減少などの循環器障害、③ドライアイ・アイス・センサーションなどの知覚異常および縮腫などの神経の障害、④脱力感や関節痛などのその他の障害。後遺症は一〜三ヶ月続き、長くなると一年近くにもなります。

シガテラの原因となる魚種は多く、四〇〇種以上とされています。主要な原因魚類は、カマス属、アオブダイ属、マハタ属、バラハタ属、スジアラ属、フエダイ属、ブリ属等に属するサンゴ礁域に生息する種ですが、毒化および毒性について個体差および地域差が大きいようです。例えば、沖縄県で発生したシガテラの原因種の主なものは、バラハタ、バラフエダイ、イッテンフエダイで、報告のあったシガテラの三分の二がこの三種によるとの報告があります。

最近の本州中部太平洋岸で発生したシガテラに関する情報は以下の通りです。

① 二〇〇六年六月・茨城県神栖市（患者四名）…市場でフエキダイとして売られていたバラフエダイを、家庭でムニエルにして食べて発症。

② 二〇〇七年四月・静岡県伊豆（患者七名）…真鶴沖で釣ったイシガキダイにより発症。

③ 二〇〇七年六月・大阪府堺市（患者九名）…和歌山県白浜町で釣ったイシガキダイを刺身、煮付けにして食べて発症。

④ 二〇〇八年七月・愛知県名古屋市（患者三名）…三重県南伊勢町で釣ったイシガ

キダイを刺身、煮付けにして食べて発症。

前述のとおり、シガテラの原因毒はシガトキシンとマイトトキシシンであり、海産の底生性渦鞭毛藻類の *G. toxicus* によつて産生されることがわかっています。本州各所の中毒の原因となったイシガキダイの毒化機構は明らかになっていませんが、海藻の上に付着して生息している *G. toxicus* を海藻と一緒に、あるいは *G. toxicus* を食べたワレカラや小型巻貝を食べて、毒を少しずつ体内に貯めていったものと思われま

す。今までに知られているシガテラ原因微細藻類の *G. toxicus* の本州太平洋岸における北限は伊豆半島の下田の近くで、浜に打ち上げられていた海藻に付着していたものを堀口・原（一九八〇）が確認しています。その後、長い間底生性渦鞭毛藻を対象とした調査がわが国の中部太平洋沿岸では行われておらず、発生が確認できませんでしたが、最近神川ら（二〇〇八）は四国沿岸各地で採集された本種の遺伝的多様性について報告しています。我々も和歌山県串本町（二〇〇八）や静岡県下田市（二〇〇八）や東京都八丈島（二〇〇九）および千葉県勝浦（二〇一〇）でごく少量ながら生きた細胞を認めており、広い海域に発生しているものと考えられます。

我々は、これらの地域のうち和歌山と八丈島から培養株の作成に成功しました。これらの株にこれまでに研究室で維持してきた、タヒチと沖繩から得られた培養株を加えて成長特性を比較したところ、塩分に対する成長は、塩分二五%以上で良好な成長を行うというほぼ同じ傾向でした。しかしながら、水温に対する成長は、和歌山株が

今までに知られているシガテラは本州太平洋岸における北限は伊豆半島の下田近くであったが、現在は広い海域に発生しているものと考えられる

水温一五〜三〇℃で成長が可能でしたが、タヒチ株は一五℃では成長することができず、良好に成長するには水温二五℃以上が必要でした。シガテラ原因生物は、もともと熱帯・亜熱帯地域に分布していたものと思われますが、本州に分布している原因生物は本州の環境条件に適応してきているようです。以上のように、これまで我々は、シガテラ原因生物において成長特性に関するエコタイプ（生態型）の存在を示唆する結果を得ています。

このように本州太平洋岸におけるシガテラ原因生物の分布域は次第に明らかになってきました。しかしながら、原因種が分布しているからといってシガテラが発生するとは限りません。特に本州において我々が観察した結果、原因となる微細藻類の分布密度は非常に低いものでした。今後の課題は、これらの原因種が、どのように分布域を拡大してきたのか、毒を産生するのか、そして魚類毒化への生物濃縮経路等の解明だと思われまます。

(4) 記憶喪失性貝毒

記憶喪失性貝毒の原因生物として報告されている種の大部分は、珪藻類の *Pseudo-nitzschia* 属(図18)に属し *Pseudo-nitzschia australis* & *P. multiseries* 等が知られています。その他に、底生性珪藻類の *Nitzschia navis-rarinigica* & *Amphora coffeaeformis* からも報告があります。記憶喪失性貝毒の本体はドウモイ酸です。

記憶喪失性貝毒の本体はドウモイ酸

記憶喪失性貝毒の中毒事例は、これまでに一件です。それは、一九八七年にカナダのプリンスエドワード島で発生し、患者一〇七名(死者三名)というものです。発生件数が少ないのは、この中毒事件後ただちに出荷規制値を設定し、ドウモイ酸のモニタリング体制を築いたためと考えられます。その症状は、吐き気、嘔吐、腹痛、頭痛、下痢、記憶喪失となっています。

珪藻類の *Pseudo-nitzschia* の種の査定には透過型電子顕微鏡 (TEM) による観察が必須です。そのため種レベルで細胞数を計数することは困難であり、季節的消長など生態学的調査を行う際の障害の一つになっています。我々は、光学顕微鏡下で、本属に属する種を幾つかのグループに分けることができれば、これら調査の際の有力な情報となると考え、本種の外部形態に注目してグループ分けを行い、これまでに *Pseudo-nitzschia* の発生が明らかになっている東京湾の試料を用いて本方法の評価を行いました。グループは、原記載に記載されている細胞長・幅・外部形態の情報を基に *Pseudo-nitzschia* 属の三三種を七つのグループに分けました。東京湾より得られた試料を用いて、光学顕微鏡下で各グループごとに計数を行い、さらに得られた各グループの細胞をキャピラリーを用いて収集し、洗浄後にTEMを用いて各グループに分けた細胞の種の査定を行い、グループ分けの結果の評価を行いました。東京湾には、これまでに発生報告の無い五種 (*Pseudo-nitzschia americana*, *P. brasiliiana*, *P. caciantlia*, *P. calliantlia*, *P. galaxiae*) を含む一三種(残りの六種: *P. delicatissima*, *P. fraudulenta*, *P.*

我々が利用したグループ分けは、種を推定するのに十分活用できる結果を得ることができた

multistriata, *P. multiseris*, *P. pseudodelicatissima*, *P. pungens*) が、出現していることが明らかになりました。これら一一種は、七つのグループのうち五つのグループに分かれ、一部例外もありましたが、TEMによる種の査定結果から、グループ分けは十分有用に活用できる結果を得ることができました。我々が利用したグループ分けは、発生源が既存のデータとして存在する場合において、種を推定するのに十分有用なデータとなる可能性を示唆しました。今後は、このグループ分けを他の海域に用いて評価することと、FISH法等の他の方法の利用についても検討を進め、*Pseudo-nitzschia* の生態学的調査を実施していく予定です。なお、ここでいうFISH法とは、種の特質としてもっている遺伝子配列の一部を特定し、その配列のある種だけを蛍光顕微鏡下で光らせ検出する方法のことです。これまでの観察結果から *Pseudo-nitzschia* は単一種で発生する場合がありますが、複数種が同時に発生することが多いのです。そのため我々が試みている方法は、蛍光顕微鏡下で様々な色で光らせることによって、一つのサンプルで同時に複数種を検出しようとするものです。

第二章 有毒・有害微細藻類に関わる国際的な調査研究活動について

赤潮や有毒微細藻類の発生については多くの国際機関が様々な研究や対策に取り組んでいる

赤潮や有毒微細藻類の発生は日本に限ったことではなく、前章の各種貝毒の項でふれたように、国外各地で発生し多くの問題を引き起こしています。そのため、ユネスコ傘下の政府間海洋学委員会（IOC：Intergovernmental Oceanographic Committee）が世界的な取り組みを行っているほか、欧州域では国際海洋探査協議会（ICES：International Council for the Exploration of the Sea）、日本や中国、韓国、東南アジアなどを含む西太平洋域ではIOCの地域事業の西太平洋域共同研究機構（WESTPAC）、北太平洋域では北太平洋海洋科学機構（PICES：North Pacific Marine Science Organization）、さらに環日本海海域では国連環境計画（UNEP）の地域事業の北西太平洋地域海行動計画（NOWPAP：Northwest Pacific Action Plan）など多くの国際機関が様々な研究や対策に関する取り組みを行っています。これらは国際機関の事業ですが、研究者の集まりである学会にももっぱら有害微細藻類を対象にした有害微細藻類研究会（ISSHA：International Society for the Study of Harmful Algae）があります。

我が国で赤潮が頻発するようになり、養殖魚類の大量斃死も起こって赤潮対策や研究の必要性が叫ばれるようになったのは一九六〇年代後半です。貝毒による中毒事件

は一九四八年に愛知県豊橋市で、一九六一年には岩手県大船渡市で起こっていました。が、当時は貝類養殖漁業がさほど広範囲に行われていなかったため、あまり気にされず、全国的な出荷基準と貝毒監視体制が整備されたのは一九七八年になってからであり、原因種の生態や毒化した魚貝類に関する研究が始まったのはそれ以降と、赤潮研究からはかなり遅れてスタートしています。

一方、欧米では一六〇〇年代から貝類の毒化や中毒事件の発生記録があり、特に北米では大西洋、太平洋に面する両岸で一八〇〇年代後半から麻痺性貝毒による中毒が多発し、太平洋岸のワシントン州に住んでいた住民の中には「海が光る頃には貝を食べるな」という言い伝えすらありました。これは中毒の原因となる*Alexandrium* が発光したのか、それとも共存する*Noctiluca scintillans* が発光したのか不詳ですが、貝による中毒を防ぐ住民の経験からきた切実な生活の知恵でした。このような環境の中で北米では毒の定量法を中心とした科学的研究と貝毒モニタリングが一九四〇年代から始まり、一九七四年には第一回の有毒微細藻類に関する国際研究会もアメリカのマサチューセッツ州で開催されています。欧州でも数百年前には料理のレシピを書いた本から一時期貝類を用いた料理が消えており、その原因を貝による中毒が多発して人々が貝料理を避けたと推察する研究者がいるほど古くは問題となっていたようですが、近年は一九六〇年代後半まで問題が起こらず、貝毒量の定期的監視も忘れられていました。しかし、一九七六年にスペイン産ムラサキガイでスペインのみならず、

フランス、ドイツ、スイス、イタリアなど欧州の一〇近い国で麻痺性貝毒が発生し、大混乱に陥ったこともあって、各国で監視体制がとられ、様々な調査研究も実施されました。下痢性貝毒も一九六〇年頃から知られていましたが、日本で原因種が確定するまで調査はほとんど行われていませんでした。しかし、最近では下痢性貝毒のみならず、シガテラやアザスピロ酸中毒など多くの調査と研究も行われています。

このような背景の中、HABに関する最初の国際的な共同研究活動の取り組みは、ICESによるもので、一九八四年に微細藻類の大量発生に焦点を当てた会議が開催され、その後Working Group on Phytoplankton and Management of their Effects (WGPE) が設立されました。この研究部会は、HAB原因種の形態と毒に関する記載、北大西洋のICES海域のHAB事例の情報収集および編集作業、HAB原因種とそれらの産生する毒の監視事業の方法に関する提言をまとめました。さらにその中心メンバーは一九九一年にアメリカのロードアイランドで行われた第四回有毒微細藻類に関する国際研究会の際に集まり、IOCを中心とした全世界的な研究事業計画の素案を作り、翌年にはパリのユネスコ本部で科学、教育、発生監視の三部門を中心とする国際有毒微細藻類事業を国連食糧農業機関 (FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations) と一緒に立ち上げました。わが国からは安元健

「海が光る頃には貝を食べるな」
住民の経験からきた切実な生活
の知恵

WGPEが設立され、HAB
原因種とそれらの毒の監視事業
の方法に関する提言がまとまる

東北大学名誉教授と筆者の一人(福代)がこの国際事業に立ち上げから参加し、ドイツやデンマークで行われた技術研修会の講師(後に長崎大学松岡数充教授も参加)を

二〇〇一年から科学事業の一つとして、有害微細藻類の海洋生態学に関する地球規模事業を、海洋研究科学委員会と共同で実施

務めるとともに、事業進捗管理と各種計画の優先度の審議をするための政府間審議会 (I PH A B : Intergovernmental Panel on Harmful Algal Blooms) の委員も務めました。この事業への参加国は当初は一四カ国でしたが、現在は四三におよぶ国と組織が参加しています。二〇〇一年からは科学事業の一つとして、有害微細藻類の海洋生態学に関する地球規模事業 (G E O H A B : Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms) を、富栄養化や有害底生微細藻類などを主な課題として海洋研究科学委員会 (S C O R : Scientific Committee for Oceanic Research) と共同で実施しています。二〇一一年からは S C O R が共催を取りやめました。G E O H A B 事業は地域レベルでも盛んになっており、欧州連合 (E U) の E U R O H A B や東アジアの G E O H A B Asia、国単独の事業としては中国の C E O H A B 等があります。I O C の西太平洋域における地域事業の W E S T P A C にも有害微細藻類関係の事業が二つあり、一つは筆者の一人 (福代) が二〇余年りにわたってリーダーを務めてきた有害微細藻類事業 (W E S T P A C - H A B) で、日本、フィリピン、タイ、マレーシアなどで技術研修会や共同調査を実施してきました。他の一つはベトナム海洋研究所の Dao Viet Ha 博士が牽引している海産有毒生物事業 (W E S T P A C - T M O) で、こちらも有害微細藻類やその毒に関する技術研修会を W E S T P A C - H A B と共同で実施しています。

P I C E S は日本、中国、韓国、ロシア、カナダ、アメリカの六カ国が参加する国際機関ですが、有害藻類生態学に関して共同調査や技術研修会を実施する有害藻類生態学セクションが二〇〇三年から活動しています。また、N O W P A P には日本、中国、韓国、ロシアの環日本海四カ国が参加していますが、有害微細藻類の発生状況に関する情報交換や各種広報活動を行っています。

以上の各機関は政府間の協議によって設立された国際機関ですが、これ以外にも、有害微細藻類に関して研究を進めている研究者・技術者の集まりである学会には I S S H A があり、近年は二年に一回、国際研究集会を開催しています。すでに一四回の研究集会を開催していますが、第七回は東北大学の安元健教授 (現在、同大学名誉教授) を委員長として仙台で開催されました。今年二〇一二年の一〇月には韓国のチャンウォン (昌原) で第一五回集会在開催されることになっており、わが国からの多くの発表が期待されています。

I S S H A は有害微細藻類全体を対象としていますが、どちらかといえば有毒微細藻類に参加者の関心の的がありました。そのため、香川大学元学長で日本の赤潮研究のリーダーであった岡市友利博士は、一九八七年に高松で赤潮に関する国際シンポジウムを開催しましたが、その後は国内で赤潮発生が一段落したこともあって二回目以降の集会を開催できずにいることは残念なところです。

政府間の協議によって設立された国際機関の他、研究者・技術者の集まりである学会があり、国際研究集会が開かれている

第四章 バラスト水の国際的規制の動向と 防除技術の紹介等

1. バラスト水問題の概要

バラスト水とは、船舶が荷降した港で船内のタンクに取り込む水。通常、取り入れ口の網目が一センチ程度なのでそれ以下の生物はとり込まれる。

バラスト水とは、貨物船やタンカーなどの大型船舶が無積載で出港する時に、船体の安定性を増すため、その港で船内のタンク（バラストタンク）に大量に取り込む港内水のことです。この時、水だけでなく、その水の中にいる生物も当然タンクに取り込まれ、船舶と一緒に移動することになります。

バラスト水はシーチエストとよばれる、船腹にある取り入れ口から取り込まれますが、従来の船舶ではその部分に、通常では網目が一センチ程度の金網しか張られていないため、体の厚みが一センチを超える生物は入れないものの、それ以下の生物、とくにプランクトンなどの単細胞微細藻類は容易に金網を通り抜けることができました。

そして、荷積み港でバラスト水が荷積みみの進行にあわせてその港内に排水されると、水の中の生物も一緒に排出されてしまいます。排出先の港内水の環境がその生物にとって快適であった場合には、その港湾に定着して大増殖する可能性があります。特に、①その生物の天敵がない場合、②餌となる生物が多数いる場合、さらに③水温や塩

分などの環境が適している、といった3つの条件を満たした場合、運ばれる生物量が少なくても定着する可能性が大きくなると考えられています。

これまでに、船舶の移動によって、バラスト水を漲水した場所から別の場所で排水されて、移動・定着したとされる水生生物は、全世界で五〇〇種を超えていると言われています。また、船舶の大型化・高速化に伴って移動するバラスト水量は増加しており、世界では年間約四〇億トンが移動していると推計されています。日本だけをみると、日本は製品原料や原油・鉱石などを大量に輸入して国内消費し、比較的少量の製品を輸出する形の貿易形態であるため、バラスト水量は反対に日本でおろした積荷にみあう年間約三億トンが国内港湾から持ち出され、日本に持ち込まれる水量はわずか七千万トンしかありません。そのため、日本にいる生物が国外に分布を広げる機会がありますが、国外から生物侵入を受ける機会より多いと推定されていますが、例えば、東京湾でチチュウカイミドリガニやミドリイガイ、ビノスガイなどが発見され、国外から侵入してきたとのニュースが新聞などを賑わしたこともあります。

このように、バラスト水に混入・移動した生物が世界各地で繁殖し、中には以下の第二節で紹介するように様々な問題が生じたため、これを防除する目的で国際海事機関（IMO: International Maritime Organization）において二〇〇四年に「船舶バラスト水及び沈殿物の制御及び管理のための国際条約」、いわゆるバラスト水管理条約が採択されました。条約の発効要件は批准国三〇以上かつそれらの国に登録されて

バラスト水に混入・移動した生物が世界各地で繁殖して問題となったため、これを防除する目的でバラスト水管理条約が採択された

条約が成立すると、国際的な物流に従事する貨物船だけでなく、フェリーや漁船なども含め、規制の対象となる

いる商船の船腹量総計の占める割合が世界全体の三五%以上とされています。しかし、二〇一二年一月現在では批准国は三三カ国になっている一方、船腹量は二六・四四%にとどまっているため、それが満たされるのを待っている状況です。外航船舶の船腹量が多い未批准国は、パナマ、バハマ、シンガポール、中国、ギリシャ、マルタなどで、ロイズ船級協会の統計データによればそれぞれ二三・〇、五・八、四・九、四・七、四・二、三・六%の船腹量をもっており、パナマ一国あるいは他の国でも複数が批准すれば条約成立条件を満たす状況です。

この条約が成立すると、国際的な物流に従事する貨物船だけでなく、フェリーや漁船なども含め、総トン数四〇〇トン以上の商船が対象となつて、後記するような規制を受けます。ここでいう商船とは、貨物船、オイルタンカー以外にも漁船、調査船、など貨物または人の輸送を目的としない、バラスト水を保有する船も含まれます。ただし、漁船では、わが国の港湾から出発し、公海で操業した後他国の港湾に立ち寄りずにわが国の港湾に戻る船は規制の対象外です。しかし、他国で水産物など荷降しをして、バラスト水を出し入れする場合には、国の承認を得たバラスト水管理システム（後述）を船上に搭載することが義務付けられますので、実質的に、国外の港湾に入る可能性のある四〇〇総トン以上の漁船もすべてこのシステムを持つ必要があるということとなります。

以下にバラスト水により越境移動する海洋生物とその例、バラスト水管理システム

（バラスト水処理装置）の開発状況、および関連するいくつかの問題について紹介します。

2. バラスト水によつて運ばれる生物とその侵入例

バラストタンク内に取り込まれる生物は、細菌やウイルス、植物プランクトン、動物プランクトン、海藻の四つのグループに大きく分けられます。なお、淡水産の貝類が太平洋や大西洋を渡つて、別の大陸の河川や湖に侵入し大繁殖した例が知られていますが、これらは成貝として移動したのではなく、卵や稚貝のいわば動物プランクトンの形態で移動したと考えられますので、ここでは動物プランクトンに入れて説明します。

貨物船が病原性のコレラ菌を運び、一九九一年の南米から中南米に広がり死者一万人を含む一〇〇万人以上のコレラ患者がでた事件が起きた

ウイルスに関しては過去にバラスト水により運ばれて問題を引き起こした事件はありませんが、細菌では、アメリカのアラバマ州の港から南米のペルーに航行した貨物船が病原性のコレラ菌を運び、これが一九九一年に南米のペルーから中南米に広がって、数年にわたつて死者一万人を含む一〇〇万人以上のコレラ患者がでた事件が有名です。世界保健機関WHOはこのコレラ菌をバラスト水に混入していたものと報告し、そのため二〇〇四年にIMOで採択されたいわゆるバラスト水管理条約の審議中にもブラジルは毒素産生コレラ菌など細菌を規制対象生物に含めるべきと強く主張し、中

南米諸国が無条件でサポートしたということがありました。

オーストラリアのタスマニア島で発生した養殖カキによる食中毒事件も起きた

植物プランクトンの主体をなす微細藻類は、大部分が海の生物の食物連鎖の基礎をなす有用なものです。第二章で説明したように中には赤潮を形成して魚貝類の大量斃死を引き起こしたり、毒を生産して魚貝類を食用不可にしてしまう種がいます。例えば、オーストラリアのタスマニア島ホバートで発生した養殖カキによる食中毒事件の原因を調べていた大学の研究者は、バラスト水で移動した渦鞭毛藻の有毒種 *Gymnodinium catenatum* がホバートに定着増殖し、その毒でカキが毒を溜めるようになり、その毒化カキを市民が食べて中毒になったと報告しています。その解積の基礎データとして、(1)ホバート港や隣接海域では一九七八年以前のプランクトン調査で同種は発生が確認されていなかった、(2)この *G. catenatum* は生活史の一時期に草花の種にあたる休眠シストという耐久性の高い胞子をつくり、発生している場合には海底にシストが発見されるが、タスマニア島では同種のシストは船舶が航行停泊する海域からしか見つからない、(3)ホバートの港のシストが発見される海域でも一九五四年以前に堆積したと解析される地層からはシストが見つからない、といったことをあげており、ホバート港では一九八〇年頃に同種がプランクトンあるいはシストの形でバラスト水によって運び込まれ、環境が発生に適合していたので以降に大発生したと推定しました。

この報告以外にも、筆者(福代)は東京港からシアトルへ航行するコンテナ船に乗り、バラスト水中の温度とプランクトン相の変化を観察する研究に参加したことがありました。東京港を出発した時のタンク内には赤潮原因種 *Heterosigma dakshiwo* (図23)をはじめ多種のプランクトンが見られ、航海中に北太平洋で水温低下とタンク内での無光状態のため多くの個体が死滅しましたが、約一週間後のシアトル到着時でも *H. dakshiwo* ほかに数種が生き延びていることが確認されました。これは単細胞植物プランクトンには一週間程度の長期航海にも耐える能力があり、シストにならなくても、移動の可能性があることを示唆しています。

また、筆者らは就航中の船舶のバラスト水による生物移動の実態を把握する目的で、バラストタンク内の堆積物中の生物の把握を試みました(図31参照)。方法は、バラストタンクの中に堆積物捕集装置を設置し、試料は一航海ごとに回収しました。この研究は約二年間連続的に実施しました。堆積物中の生物の把握は、捕集装置で得られた試料を用いた発芽実験の結果、発芽してきた微細藻類は、珪藻類が大半で、それらの多くは底生性種であり、その大半の種がバラスト水管理条約の規制対象サイズ(後述)よりも小さい種でした。また、得られた試料において、複数の試料から発芽する種があり、一度でもバラスト水と共にバラストタンク内に取り込まれるとタンク内に常在するようになり、成長に好適な条件がそろえば再び成長を開始することできる種の存在を明らかにしました。

動物プランクトンでは、一生を浮遊生活しているカイアシ類がバラスト水により移

単細胞植物プランクトンには一週間程度の長期航海にも耐える能力があり、シストにならなくても、移動の可能性があることを示唆している

動していることも報告されています。カイアシ類は植物プランクトンを捕食して生活し、自身は魚貝類に捕食される生物で、生態系の中ではきわめて重要な位置を占めています。幸いなことにわが国では国外のカイアシ類が侵入・定着した例は知られていませんが、アメリカのサンフランシスコ湾では一九八八〜一九八九年と一九九三年の二回、湾内のカイアシ類の種類が激変してアジア産の外来種が優占するようになり、さらにその影響はカイアシ類を餌としている二枚貝の分布にも影響して、貝の種類が大きく変化しました。

カイアシ類よりかなり大型の生物ですが、一生をプランクトン生活で送っているクシクラゲ類もバラスト水に混入して外国に侵入した例があります。アメリカ大西洋岸をもととの分布海域とするクシクラゲの一種 *Mnemiopsis leidyi* が一九八九年に黒海で大発生し、ついでボルガ川や運河でつながっているカスピ海へ一九九五年に侵入した記録があります。黒海とカスピ海はともに塩湖で、カタクチイワシの仲間が重要な水産資源でしたが、侵入したクシクラゲにカタクチイワシの餌であるクリルと呼ばれるオキアミ類の動物プランクトンを奪われ、同時にカタクチイワシの卵や稚仔を食べられたため激減したとされています。ただ黒海では漁業が衰退した後カタクチイワシ資源が戻ったという記録もあり、乱獲が資源減少の主因でクシクラゲは副次的な要因という分析もなされています。

卵や稚貝の状態で海を渡ったと考えられている淡水産二枚貝には、コウロエン

クシクラゲ類がバラスト水でカスピ海等に侵入し、カタクチイワシの餌であるオキアミ類を奪い、同時に卵や稚仔を食べ、カタクチイワシが激減

カワヒバリガイ *Limnoperna fortunei* やゼブラガイ（カワホトトギスガイ *Dreissena polymorpha*）が有名で、前者はもともとの分布域の中国・朝鮮半島海域から遠く南米のラプラタ川流域に増殖し、後者は欧州から北米の五大湖、さらに川と運河を伝わって米南部まで繁殖し続けています。淡水産二枚貝が大洋を渡るには、船体外殻に付着した状態では不可能であり、どうしても卵や稚仔がバラストタンクに入って移動したとしか考えることができません。ちなみに両者とも水産資源としては無価値ですが、わが国では前者が輸入したシジミなどに混じって運ばれ、その混入した貝を無意識に水域に廃棄することがあり、定着を助けていることもあるといわれています。見知らぬ貝はそのまま水中に捨てることはせずに、例えば殺菌するように煮て、確実に殺すことが、残酷ではありますが資源を守るために必要です。これらの侵入・定着した二枚貝は、その旺盛な生活力で河川にもともとした貝類を駆逐し、生態系に大きな影響を与えています。そのみならず社会問題まで引き起こしています。カワヒバリガイは河川水を機器の冷却水として利用している工場や発電所などの冷却パイプラインの中にも繁殖したため、ラインの掃除を頻繁に行わなければならなくなり、その度に稼動を止めるため、たとえばブエノスアイレスでは一週間に一度停電も起きる事態になっています。

ワカメなどの海藻類もバラスト水によって、日本や韓国からオーストラリアやニュージーランドに侵入したとIMOの作成した刊行物などに書かれています。科学的

コウロエンカワヒバリガイやゼブラガイは、河川にもともとした貝類を駆逐し、生態系に大きな影響を与えている

にはかなり疑わしく、筆者は船体に付着して移動した可能性はるかに高く、海運以外では養殖貝類の移植に伴い貝殻に付着して移動する可能性も大きいと考えています。ただ、海藻は生活史の一時期に種（たね）や、遊走子や配偶子という顕微鏡サイズの大きさになりますので、これらがバラスト水に混入する可能性をすべて否定することはできません。

3. バラスト水管理システム

以上のようなバラスト水中の生物の移動・拡散を防止するために、条約で搭載が義務づけられている生物処理（分離除去・殺滅）用の装置体系をバラスト水管理システムと呼びます。現在、バラスト水管理システムは製作中の装置も加えると全世界で約四〇種、そのうちすでに承認を受けたものは約二〇種もあります。

ここで、バラスト水管理システムの承認体系について簡単に記します。バラスト水管理システムは国際海事機関（IMO）により策定された「バラスト水管理システム承認のためのガイドライン（G8）」により、条約締約国の主管庁（国）が承認しなければならぬとされています（承認された場合はIMOの海洋環境保護（MEPC）委員会で承認国から報告されます）。また、対象となるバラスト水管理システムが薬剤を用いるシステムである場合、主管庁による承認の前に、「活性物質を使用するバ

全世界で約四〇種の装置が開発、そのうち承認を受けたものは約二〇種

ラスト水管理システムの承認手順（G9）」に基づくIMOによる二段階の審査を受け、承認（基本承認および最終承認）を与えられなければならないとされています。前者の基本承認は、実機でない原型モデル装置を用いて、使用する薬剤量や反応過程での生成物が水域環境に被害を及ぼすものではないということを確認するものです。基本承認を受けた後に、実機を想定した大規模な陸上試験装置を用いた水生毒性試験や腐食試験等のデータ、およびシステム制御のデータをとって装置の環境、船体および人体に対する安全性を調べ、最終承認を申請ようになります。この基本承認と最終承認の申請はIMOの審議の前に、GESAMP（Group of Expert on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection）「海洋環境保護の科学的側面に関する専門家会合」と訳されている）により厳しく検討され、IMOはこの検討結果を参考に承認を判断します。IMOにおいて最終承認を得た装置は、処理性能の確認および、舶用品という面からの耐久性や実用性の確認を含めて、最終的に国が審査して承認を与えるという過程がとられることになります。

表4のとおりこれまでに開発されてきた処理法の多くは、フィルターにより生物の多くを分離・除去した上で、フィルターを通過した微小生物を物理的あるいは化学的な様々な方法（UV、海水電解、薬剤など）で殺滅するという、複数の処理法を組み合わせるものです。近年開発されている装置の多くは、海水電解と他の方法を組み合わせるものが多いようです。これらの処理装置は、条約中の処理装置の開発に関わる

単一の方法ではなく、フィルター+薬剤といった複数の処理法を組み合わせるものが多い

ガイドラインで規定されているように、処理水を排出する際には（薬剤を使用する処理装置も含めて）環境に影響・被害が出ないような状態で排水することが義務づけられています。そのため、バラスト水管理システムの承認において、実施した試験結果の処理水の排水の結果についての厳しい検証がIMOで行われています。

バラスト水処理装置の能力は、装置によって異なりますが、承認を受けている装置の処理能力の平均は一時間当たり約八千立方メートルであり、一時間当たり一立方メートル以上の処理能力のある装置も開発されてきています。処理装置は電力を必要とし、例えば消費電力の大きい物では千立方メートルの処理で一時間当たり二二〇キロワットが必要となるようです。また、バラスト水管理システムの大きさは、処理能力が大きくなればシステムの大きさも大きくなる傾向にありますが、近年開発されてきているものは小型化され、新造船だけでなく既存船へも搭載しやすいように工夫がなされてきています。

近年開発されているシステムは小型化が進み、新造船だけでなく既存船へも搭載しやすいように工夫がなされてきています。

バラスト水処理装置の能力は、装置によって異なりますが、承認を受けている装置の処理能力の平均は一時間当たり約八千立方メートルであり、一時間当たり一立方メートル以上の処理能力のある装置も開発されてきています。処理装置は電力を必要とし、例えば消費電力の大きい物では千立方メートルの処理で一時間当たり二二〇キロワットが必要となるようです。また、バラスト水管理システムの大きさは、処理能力が大きくなればシステムの大きさも大きくなる傾向にありますが、近年開発されてきているものは小型化され、新造船だけでなく既存船へも搭載しやすいように工夫がなされてきています。

4. バラスト水排出基準

前節で述べたバラスト水管理システムにより生物を分離除去・殺滅しますが、生物が皆無にならずとも、排出しても環境に影響が及ばない量（個数）まで減少させる必要があります。バラスト水管理条約では、最も重要な規制基準として、処理後の排出バラスト水に含まれてもよい生物量が条約付属書の規則D-2項に規定されています。この基準のことをD-2基準とよびます（表5）。この基準が他の生物基準と大きく異なることは、基準に記されている生物は生きています。生物であり、死んだ生物を何個体排出しようとも問題とはなりません。すなわち、違う見方をすると、バラスト水処理装置を搭載した船舶が条約を守っていることを

表4 バラスト水管理システムの主な処理法

- 1) フィルター+UV/TiO₂
- 2) フィルター+脱酸素+キャビテーション+海水電解
- 3) フィルター+UV
- 4) フィルター+バラクリンオーシャン
- 5) キャビテーション+オゾン
- 6) フィルター+凝集剤
- 7) フィルター+塩素+キャビテーション
- 8) 海水電解
- 9) フィルター+海水電解
- 10) 脱酸素+キャビテーション
- 11) 二酸化塩素
- 12) フィルター+キャビテーション
- 13) 遠心分離+電気分解（塩素イオン）
- 14) UV+超音波

表5 バラスト水排水基準（D-2基準）

- ① 最小サイズが50μm以上の水生生物（Lサイズグループ）
排水バラスト水1m³あたり10個体未満
- ② 最小サイズが10μm以上、50μm未満の水生生物（Sサイズグループ）
排水バラスト水1mlあたり10個体未満
- ③ 指標細菌
コレラ菌（セロタイプO1あるいはO139株）：排水バラスト水100mlあたり1cfu以下または動物プランクトン湿重量1gあたり1cfu以下
大腸菌：排水バラスト水100mlあたり250cfu未満
腸球菌：排水バラスト水100mlあたり100cfu未満

バラスト水管理条約の付属書の規則D-2項の基準

確認するには、生きた生物がいくつ入っているかを正確に計数することが求められます。

基本的には、この計数は、バラスト水管理システムを開発し、その装置の承認のための試験（具体的にはG8の陸上試験と船上試験）の時に、開発している会社等によって実施されます。

以下にバラスト水処理管理システムを開発・評価する際の生物計測における難しさ（最小サイズの決定・濃縮処理・生死判定）について概説します。

(1) 最小サイズ

表5のとおり、細菌を除く生物については、最小サイズと呼ばれる基準によりSサイズとLサイズに分けられ、それぞれの生物量（個数）が規定されています。この最小サイズとは、生物の長さ、幅、厚みの測定項目の中で最も小さい項目の最大値を指します。従来の生物学では一般に長さを生物の大きさとしていますが、D12基準にあるサイズはそれとは異なります。よってこれまでに出版されている図鑑等に記載されているプランクトンの大きさの情報は一切利用できないこととなり、常に計数時に個体ごと計測する必要があります。そのため観察には、顕微鏡および水生生物（特にプランクトン）の観察技術を持つ特殊技能者が必要になります。海中には、刺があるもの、細長い一細胞や細胞が多数連鎖しているもの（群体）などさまざまな形態の

図鑑等に記載されている情報は一切利用できず、常に計数時に個体ごと計測する必要があります

水生生物が存在するので、この点も最小サイズの測定を困難にしている一因です。参考までに図30で最小サイズの決定例を紹介します。

(2) 排出バラスト水中の水生生物の濃縮の必要性

表5中の生物量基準の単位に注目すると、②のSサイズグループではバラスト水一ミリリットル中に数個体という規定ですので、ある程度の精度であり時間もかからず計数できます。しかし、①のLサイズグループにおいて規定されている一立方メートルの水を顕微鏡で見ようとすると、一回に見られる量はかなり少ないので、膨大な時間と労力を要します（一立方メートルの全てを観察しなければなりません）。また、殺滅処理後の水の場合、生き残っている生物は非常に少ないはずですが、一立方メートルの水中の非常に少ない生物量を短時間で正確に観察・測定するには、生物の生死に影響を及ぼさない方法で少なくとも一立方メートルのバラスト水を観察・測定に適した量に濃縮する必要があります。したがって、Lサイズグループの生物計数には何らかの濃縮装置が必要と考えられます。

濃縮装置の一つとして、筆者らも協力し、(株)アムコが開発したバラスト水中に存在する生物の生死に影響を及ぼすことなく大量の試験水を濃縮する装置 Defgor（Type 08PL-AMC）があり、二〇〇八年にIMOで開催されたMEPC57において日本からの文書として紹介されています（MEPC57/INF.17）。

短時間で正確に観察・測定するには、バラスト水を濃縮する必要があります

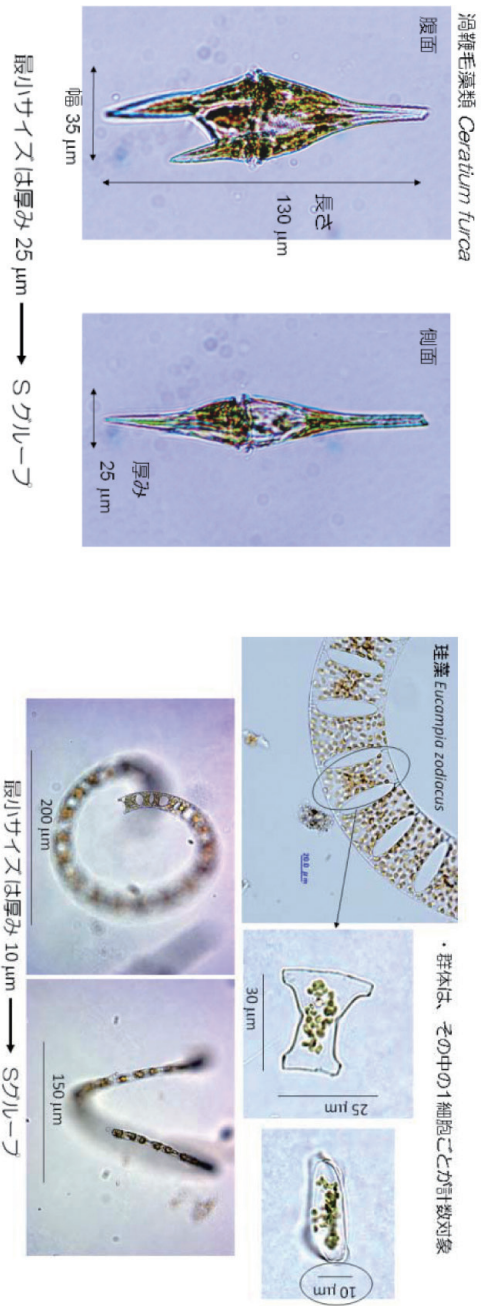


図30 最小サイズの決定例 (左：渦鞭毛藻類、右：珪藻類)

(3) 排出バラスト水中の計数対象

バラスト水処理システムを評価する際に、前述のとおり排出バラスト水中の生物量は、死んでいる個体は計数対象外となっています。通常のプランクトンの研究では、生きているか死んでいるかは関係なく、全部計数対象としています。ところが、バラスト水の場合には、生物の生死が判断基準の鍵を握るため、計数に用いるサンプルは、ホルマリン等の固定液で固定して持ち出す・持ち帰る・移動する、ということができません。ただし、生死判定ができる、すなわち固定時にすでに死んでいたのか、固定によって死んだのかを明確に判定できる根拠／固定法があるのであれば、それを用いることができます。ただしこの場合も、判定が可能である根拠を指し示す必要があります。

生死の判断基準は形態の変化などの内容

- 生死の判断基準は、①形態の変化、②運動性、③染色法による細胞内活性状態の変化、④再成長試験の四つです。
- ① 形態の変化

個体のどこにも破損がない健全な生物は、計数対象となります。これに対して、処理装置によって体の一部が破損している個体は、計数対象外です。例えば、微細藻類の渦鞭毛藻類では鞭毛が消失した細胞、色素が欠落した細胞、動物プランクトンではアンテナ(触角)や尾部が欠落あるいは破損した個体は計数対象外になります。

② 運動性

運動能力を持つプランクトンについては、動いている個体は計数対象であり、動いていない個体は計数対象外です。したがって運動性を持たない生物にはこの判断基準は使用できません。例えば、動物プランクトンや、植物プランクトンの渦鞭毛藻類やユーグレナ藻類は、運動性を持つのでこの判断基準を用いることができますが、植物プランクトンの珪藻類の多くの種は動かないため、この判断基準を用いることはできないこととなります。

③ 染色法による細胞内活性状態の変化

細胞の破損が無い、あるいは運動性もない生物に関しては判断が難しいため、試薬で染色して判定します。この判断基準を用いる際の注意は、瀕死状態の細胞も光ることがあり、このような状態のものは一体どのように判断するのか検討が必要です。しかしながら、検査時に染色能を有する個体は、生きていると判断するという判定基準を設けて実施するべきです。さらに、このような染色試薬は使用する前に、試薬濃度や染色時間に十分な検討をする必要があります。染色試薬としては、FD A や Calcein-AM や CFDA などが知られており、Calcein-AM の使用方法については二〇〇八年にIMOで開催されたMEPC58において日本からの文書として筆者らの研究成果の一部が紹介されています (MEPC58/INF.10)。

④ 再成長試験

上述の①～③の三つの方法を用いても、また判断が困難な場合は、再成長試験を行います。

5. その他の課題等

(1) 船舶検査 (PSC等) の際のバラスト水サンプリング

ガイドラインとしては、バラスト水サンプリングに関するガイドライン (船舶検査 (PSC: Port State Control 等) の際のバラスト水サンプリングの計画及び実施の方法及び実用的かつ技術的な指導要領)、いわゆるガイドラインG2があるものの、具体的な方法は明記されておらず、各国の判断に任せる部分が多く、PSC等において、実際の検査の方法が明確でなく、実施国によって判断基準・方法が異なる可能性があることも、バラスト水管理条約への批准国が増えなかった理由の一つです。このガイドラインのサンプリング手法等に関するガイダンスについては、早ければ二〇一二年三月にIMOで開催されるMEPC63において採択されると思われます。よって、近いうちに問題が解決され、バラスト水管理条約への批准国が増えるものと考えられます。

ガイドラインG2があるが具体的な方法は明記されておらず、各国の判断に任せる部分が多い

(2) バラストタンク内の堆積物

航行を続けているとバラストタンク内に泥などが沈殿し、堆積物となって残存(図31)する場合があります。先に述べましたとおり、こうした堆積物中にはシスト(休眠細胞)の状態で微細藻類が存在している可能性があります。このような船舶が、タンク内の堆積物を放置したままバラスト水管理システムを搭載し、殺滅処理を施したとしても、その効果は堆積物中のシストには及ばないことが考えられます。

バラスト水管理システムの多くは、漲水時に処理を行うものであり、あらかじめタンク内に



図31 バラストタンク内に堆積した泥

バラスト水管理システムを搭載する際には、あらかじめバラストタンク内をよく洗浄する、あるいは薬剤等を用いて生物を除去する対応が必要

生存している生物を対象としないからです。従って、殺滅処理を施した時点でのバラスト水自体は条約の基準を満たしていても、堆積物中で生き残っている生物が存在する可能性があり、航行中や荷積み港に着いた時点でのタンク内の環境が好適な場合は、堆積物中の微細藻類などが活性化し、成長して基準を超える生物量となってしまうこともあり得ます。そして最悪の場合、PSC等での検査で条約の基準を満たしていないと判断される場合も起こります。このようなことが起きないように、バラスト水管理システムを搭載する際には、あらかじめバラストタンク内をよく洗浄して堆積物を除去する、あるいは薬剤等を用いて生物を除去する等の対応が必要とされます。

おわりに

近年、有毒有害微細藻類の発生およびそれに起因する食中毒事件が世界中で、頻発化・長期化・多様化・広域化する傾向となっています。なお、近年地球温暖化の問題が多く取り上げられています。東南アジア等の熱帯・亜熱帯域で発生していた微細藻類が温帯域へと分布域を拡大する可能性も考えられることから、これまでに発生していなかった新奇の微細藻類が発生する可能性もあると思われます。近年、発生地域が本州中部まで広域化してきているシガテラ中毒など、従来発生が予想されていない

事象とその原因種は要注意の問題と考えています。これらの問題に注意しながら、有毒有害微細藻類の分布域広域化および生理生態学的研究を進めていきたいと考えています。

また、バラスト水管理条約の批准国数がなかなか増えなかった理由も徐々に解消されてきており、発効の日も近いものと考えられます。発効後はバラスト水による生物の移動は、減少していくものと考えられます。しかし、条約に関して発効後の課題も多く残されており、今後もバラスト水管理条約に関する議論はあらゆる場面で継続されていくものと考えられます。また、もう一つの生物の移動手段として知られている船体付着については、二〇一一年にIMOにおいて開催されたMEPC62においてガイドライン（侵入水生生物の越境移動を最小化するための船舶の生物付着の管理および制御のためのガイドライン）が採択されており、IMOにおける今後の動静に注意していききたいと考えています。

いわゆるバラスト水管理条約は、批准国数が増えなかった理由も徐々に解消され、発効の日も近いものと考えられる

引用文献および主な参考文献

第一章

参考文献

1. 千原光雄（編）（一九九七）．藻類多様性の生物学．三八六頁．内田老鶴圃．
2. 山口峰生・長崎慶三（二〇一〇）．第四章 第一節 有害藻類ブルームの発生メカニズムと解決への道．水産の二一世紀―海から拓く食料自給．京都大学出版会，二六七～二九六．

第二章

引用文献

1. Hallegraeff G. M. (1993). A review of harmful algal blooms and their apparent global increase. *Phycologia*, Vol. 32, No. 2, 79-99.
 2. 今井一郎（二〇〇七）．有害有毒赤潮生物の出現と分類の歴史的経過．海洋と生物，一七二，四五四～四六四．
- © Park, M. G., Kim, S., Kim, H. S., Myung, G., Kang, Y. G and Yih, W. (2006). First successful culture of the marine dinoflagellate *Dinophysis acuminata*. *Aquat. Microb. Ecol.* 45, 101kara106.

4. 水産庁瀬戸内海漁業調整事務所, 瀬戸内海の赤潮 (平成一三(二〇二一年)). 参考文献

1. Nagai, S., Nishitani, G., Tomaru, Y., Sakiyama, S. and Kamiyama, T. (2008). Predation by the toxic dinoflagellate *Dinophysis fortii* on the ciliate *Myrionecta rubra* and observation of sequestration of ciliate chloroplasts. *J. Phycol.* 44, 909-922.
2. 長井敏、神山孝史、鈴木敏之 (二〇一〇). 西日本から単離した下痢性貝毒原因渦鞭毛藻 *Dinophysis fortii* の毒生産に及ぼす培養温度の影響. 日本水産学会春季大会要旨集, 一一一.
3. Nagai, S., Suzuki, T., Nishikawa, T. and Kamiyama, T. (2011). Differences in the production and excretion kinetics of okadaic acid, dinophysistoxin-1, and pectenotoxin-2 between cultures of *Dinophysis acuminata* and *Dinophysis fortii* isolated from western Japan. *J. Phycol.* 47, 1326-1337.
4. Nishitani, G., Nagai, S., Sakiyama, S. and Kamiyama, T. (2008). Successful cultivation of the toxic dinoflagellate *Dinophysis caudata* (Dinophyceae). *Plankton & Benthos Res.* 11(2), 78-85.
5. Nishitani, G., Nagai, S., Takano, Y., Sakiyama, S. Baba, K. and Kamiyama, T. (2008). Growth characteristics and phylogenetic analysis of the marine dinoflagellate *Dinophysis infundibulus* (Dinophyceae). *Aquat. Microb. Ecol.* 52, 209-

221.

6. 野口玉雄 (二〇〇七). 水産食品の安心・安全について. 水産振興, 四七九号 (第四一巻 一一号), 六八.
7. 大島泰克 (二〇〇九). 二枚貝の毒 (二) 麻痺性貝毒. 食品衛生研究, vol. 五九, No 一一, 二一~二七.

第三章 有害・有毒微細藻類に関わる国際的な調査研究活動について

参考文献

1. Anderson, D. M. (2010). The IOC international harmful algal bloom program. *Oceanography*, 23, 72-85

第四章 バラスト水の国際的規制の動向と防除技術の紹介等

参考文献

1. 福代康夫. 第一講 バラスト水管理条約とバラスト水管理システム. バラスト水規制とバラスト水処理装置の開発事例 (国際条約の動きから各種処理システムの比較・評価および展望まで), 三~七頁, (株)エヌ・ティー・エス, 東京, 二〇〇八.
2. Hallegraeff, G.M. Transport of toxic dinoflagellates via ships ballast water: bioeconomic risk assessment and efficacy of possible ballast water management

- strategies. *Marine Ecology Progress Series*, 168, 297-309, 1998.
3. IMO (1998) Alian invaders - putting a stop to the ballast water hitch-hikers. Focus on IMO, October 1998, 17pp.
4. 岩崎敬二, 木村妙子, 木下今日子, 山口寿之, 西川輝昭, 西榮二郎, 山西良平, 林育夫, 大越健嗣, 小菅丈治, 鈴木孝男, 逸見泰久, 風呂田利夫, 向井宏(二〇〇四). 日本における海産生物の人為的移入と分散: 日本ベントス学会自然環境保全委員会によるアンケート調査の結果から. *日本ベントス学会誌*, 五九, 二二~四四.
5. 岩崎敬二(二〇〇七). 日本に移入された外来海洋生物と在来生態系や産業に対する被害について. *日本水産学会誌*, 七三(六), 一一二~一二四.
6. 松岡數充, 大塚攻(二〇〇九). シストと休眠卵. 海の外来生物, 東海大学出版会, 神奈川, 一一〇~一二二.
7. 日本プランクトン学会, 日本ベントス学会(編)(二〇〇九). 海の外来生物, 東海大学出版会, 神奈川, 三二~八頁.
8. 大村卓朗・福代康夫. 第三講 バラスト水中の生物計数と処理装置の性能評価. バラスト水規制とバラスト水処理装置の開発事例 ~ 国際条約の動きから各種処理システムの比較・評価および展望まで~, 二七~五六頁, (株)エヌ・ティー・エス, 東京, 二〇〇八.
9. Yoshida, M., Fukuyo, Y., Murase, T. and Ikegami, T. (1996). On-board observations of phytoplankton viability in Ships' ballast tanks under critical light and temperature conditions. In: *Harmful and Toxic Algal Blooms* (Yasumoto et al eds.), 205-209. IOC of UNESCO.