

〈水産海洋アーカイブズ 8〉

赤潮と内湾環境：瀬戸内海を事例として

今井一郎^{1,†}・笠井亮秀²・小路 淳³

1. はじめに

海洋において、潮の干満が認められる潮間帯から水深200 m程度までの浅海域は沿岸域と呼ばれ、生物多様性が高く、生物生産の大きい生物の宝庫である(今井, 2012a). 生態系サービスの中で、陸域の貢献は年間12.3兆ドルであるのに対し、沿岸域は約12.6兆ドルと見積もられている(Constanza et al., 1997). 一方、沿岸域に接する沖積平野部は概して人口密度が高く、人間による活発な生産活動や経済活動が行われており、沿岸水域においては富栄養化や汚染物質の流入等、様々な影響が及んでいる。我が国で最も規模の大きい沿岸水域は瀬戸内海である。日本の全人口の約1/4が瀬戸内海沿岸に居住し、人間との関係は長い歴史を有する。1960年代の日本は戦後の疲弊期を終えて高度経済成長期を迎え、盛んな生産活動と経済活動を展開した。瀬戸内海の沿岸域は好適な条件を備えていることから、工業地帯が立地し高度経済成長に大きく貢献した。しかしながらそれに伴い、瀬戸内海には大量の有機物や窒素、リン等の富栄養化物質が流入し、さらには化学物質等の汚染物質や海ごみ等も大量に流入した。その結果、瀬戸内海域は富栄養化と様々な汚染が進行し、まさに瀬死の海と化した歴史を有することとなった(瀬戸内海環境保全協会, 2003).

ここでは瀬戸内海を主な対象として、富栄養化と有害有毒赤潮の発生の歴史を整理し、また油流出事故、化学物質汚染、ならびに海ごみの問題に注目して歴史と現状、及び問題点をまとめた。

2. 有害有毒藻類ブルーム

植物プランクトンは光合成を行う微細藻類の仲間であり、海洋生態系において基礎生産者として基本的に重要な役割を演じ、魚介類等の生産を支え人間に必要な食糧資源をもたらしてくれる。しかしながら、植物プランクトンのうちある種は増殖や集積により赤潮を形成して魚介類を斃死させ、またあるものは細胞内に毒を保有し食物連鎖を通じて

その毒が二枚貝類等の高次生物に転送・蓄積され、人間を含む高次捕食者(魚類, 鳥類, 海産哺乳類)を死亡させるなど、大きな問題が生じている。人間や海洋生物に何らかの悪影響を与える微細藻類は、国際的には“harmful algae”と呼ばれ、藻類種が個体群を増加させる現象はブルーム(bloom: 海水が着色する赤潮のレベルまで増加するわけではない場合を含む)と称され、有害有毒藻類種が増加する現象を“harmful algal bloom=HAB”(有害有毒藻類ブルーム)という。HABは種類や与える影響によって、4つのタイプに類型化される(表1)(今井, 2000)。すなわち、1) もともと無害であるが大量増殖の結果高密度に達して大量の負荷有機物となり、死滅時に海水中の溶存酸素が消費され結果的に魚介類を斃死させる大量増殖赤潮、2) 藻類種の保有する毒が食物連鎖を通じて海産哺乳類や大型魚介類、人間等の高次生物に被害を与える有毒ブルーム、3) 人間には無害であるが魚介類に致死作用を及ぼし、特に養殖魚介類の大量斃死を起こす有害赤潮、4) 海苔養殖が行われる時期にその海域で増殖して海水中の栄養塩類を消費し尽くし、生産される海苔の品質を低下させる珪藻赤潮、である。赤潮は海水が着色する程度にまで植物プランクトンが増殖・集積される現象を指しており、2)の有毒ブルームを除く3つが該当する。有毒ブルームは、海水中にごく僅かにしか増殖していなくても有用二枚貝類が濾過摂食を通じて基準値以上に毒化することが多く、水産上の被害が生じる。しかし有毒ブルーム種でも着色するレベルにまで増加することがあり(山本ほか, 2009)、その場合は赤潮と呼ばれるが、実際に魚介類の斃死をまねくことが観察されている。

3. 赤潮の発生と漁業被害

わが国沿岸域において発生が確認された赤潮プランクトンは60種以上になるが、それらの中で魚介類を斃死させる代表的な有害種を図1に示した。ラフィド藻類に属するシャットネラ(*Chattonella antiqua*, *C. marina*, *C. ovata*を総称)、ヘテロシグマ(*Heterosigma akashiwo*)、渦鞭毛藻のココロディニウム(*Cochlodinium polykrikoides*)、カレニア(*Karenia mikimotoi*)、ならびにヘテロカプサ(*Heterocapsa circularisquama*)が重要種としてあげられる(Imai, 2008)。このうち最も多額の深刻な漁業被害を与えてきたのは

¹ 北海道大学大学院水産科学研究院
〒041-8611 函館市港町3-1-1

[†] imai1ro@fish.hokudai.ac.jp

² 京都大学フィールド科学教育研究センター

³ 広島大学大学院生物圏科学研究科

表1. 種々の Harmful algal bloom のタイプ

タイプ	特徴	代表的な原因生物
大量増殖赤潮 (バイオマスブルーム)	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引き起こして魚介類を斃死させる	<i>Gonyaulax polygramma</i> <i>Noctiluca scintillans</i> <i>Trichodesmium erythraeum</i> <i>Scripsiella trochoidea</i>
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。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）がしばしば起こる	麻痺性貝毒： <i>Alexandrium tamarense</i> , <i>Gymnodinium catenatum</i> 下痢性貝毒： <i>Dinophysis fortii</i> , <i>Dinophysis acuminata</i> , <i>Prorocentrum lima</i> 記憶喪失性貝毒： <i>Pseudo-nitzschia multiseriata</i> , <i>Pseudo-nitzschia australis</i> 神経性貝毒： <i>Karenia brevis</i> シガテラ毒： <i>Gambierdiscus toxicus</i>
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斃死被害を与える	<i>Chattonella antiqua</i> , <i>Chattonella marina</i> , <i>Chattonella ovata</i> <i>Heterosigma akashiwo</i> <i>Heterocapsa circularisquama</i> <i>Karenia mikimotoi</i> , <i>Cochlodinium polykrioides</i> <i>Chrysochromulina polylepis</i>
珪藻赤潮	通常は海域の基礎生産者として重要な珪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、海苔の品質低下を引き起こして漁業被害を与える	<i>Eucampia zodiacus</i> <i>Coscinodiscus wailesii</i> <i>Chaetoceros</i> spp. <i>Skeletonema</i> spp. <i>Rhizosolenia imbricata</i>

シャットネラである。渦鞭毛藻のカレニアがこれに次ぎ、二枚貝を特異的に殺滅するヘテロカプサによる被害も大きい。近年は鳴りを潜めている。近年はコクロディニウムの台頭が認められる。夜光虫とヘテロシグマによる赤潮発生件数は依然として多いが、魚介類斃死等の漁業被害を伴う事例は希である (Imai et al., 2006)。

わが国沿岸域における赤潮の発生件数は、高度経済成長初期の1960年代から始まった海域の著しい富栄養化に伴って急激に増加した。瀬戸内海における赤潮発生件数の経年的な変化を図2に示す。当初は、瀬戸内海全域において、年間50件以下の赤潮発生件数であったが、1960～1970年代に急激な増加を示し1976年には最高値の299件を記録した。1972年夏季に発生したシャットネラ赤潮により、史上最多の1428万尾もの養殖ハマチが斃死し（被害額約71億円）、これを契機に有名な「播磨灘赤潮訴訟」が提訴された (村上, 1976)。この赤潮を背景として1973年に「瀬戸内海環境保全臨時措置法」が制定され、汚濁負荷の削減が図られるようになり、5年後には赤潮等による被害に対する富栄養化対策を含む新たな施策が加えられた特別措置法として恒久法化された (瀬戸内海環境保全協

会, 2003)。その後オイルショックの影響と相まって赤潮の発生件数は減少に転じ、1980年代後半には年間約100件前後となった。そしてそれ以後は、下げ止まった状態で現在に至っている。赤潮発生の最盛期には、大阪湾、播磨灘、あるいは周防灘等の海域全体を覆う大規模赤潮も希ではなかったが、近年は赤潮発生の規模と期間が縮小傾向にある (瀬戸内海環境保全協会, 2011)。

赤潮による漁業被害額は、瀬戸内海全体で年平均10億円を優に超えるとされている。図3に瀬戸内海において発生した赤潮による養殖漁業への被害額の経年的な推移を、主要な原因生物種と共に示した。養殖魚に対して最も多大な斃死被害を与えてきたのはシャットネラ (*Chattonella antiqua*が最大) である (今井, 2012b)。1970年代と1980年代には頻繁に魚類の斃死被害を与えていたが、1990年代は激減していた。しかしながら近年は復活の傾向を示しており、注意が必要である。次いで被害が大きいのは渦鞭毛藻のカレニアによる赤潮であり、1979年以降は継続的に斃死被害をおこしてきた。近年は豊後水道域の愛媛県と大分県の沿岸水域で赤潮の発生が頻繁であり、2012年夏期には愛媛県側の沿岸を主体としてハマチ、マダイ、トラ

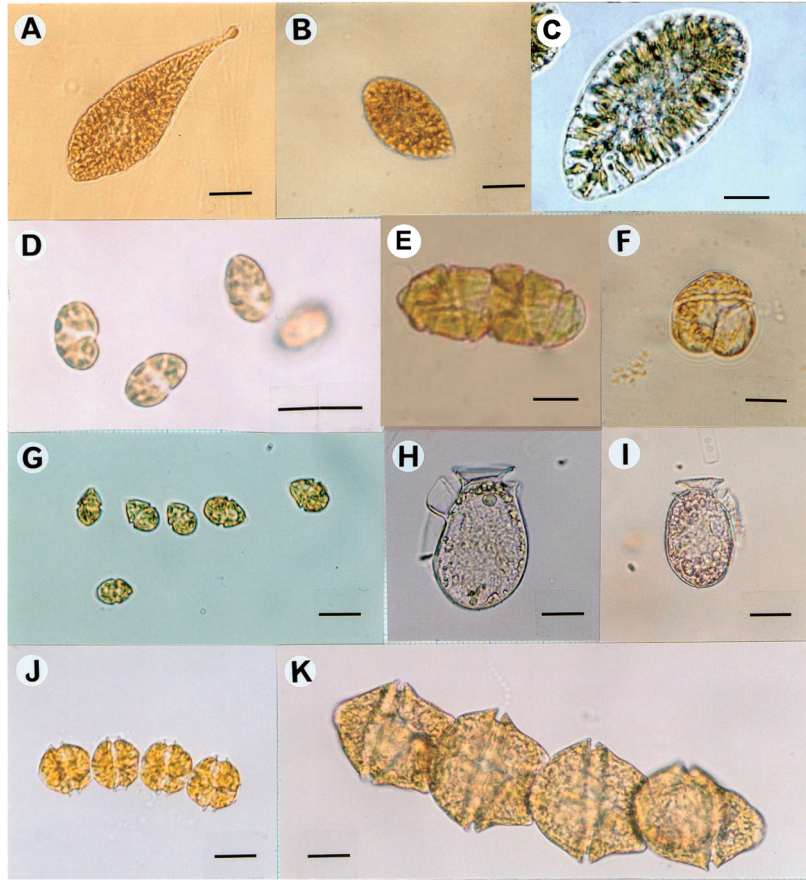


図1. 我が国沿岸域における代表的な有害有毒プランクトン。魚類を斃死させるラフィド藻, *Chattonella antiqua* (A), *Chattonella marina* (B), *Chattonella ovata* (C), *Heterosigma akashiwo* (D)；魚介類を斃死させる赤潮渦鞭毛藻 *Cochlodinium polykrikoides* (E), *Karenia mikimotoi* (F), 二枚貝を斃死させる *Heterocapsa circularisquama* (G)；下痢性貝毒を保有する渦鞭毛藻 *Dinophysis fortii* (H), *Dinophysis acuminata* (I)；麻痺性貝毒の原因渦鞭毛藻 *Alexandrium catenella* (J), *Gymnodinium catenatum* (K)。スケールは全部20 μm。

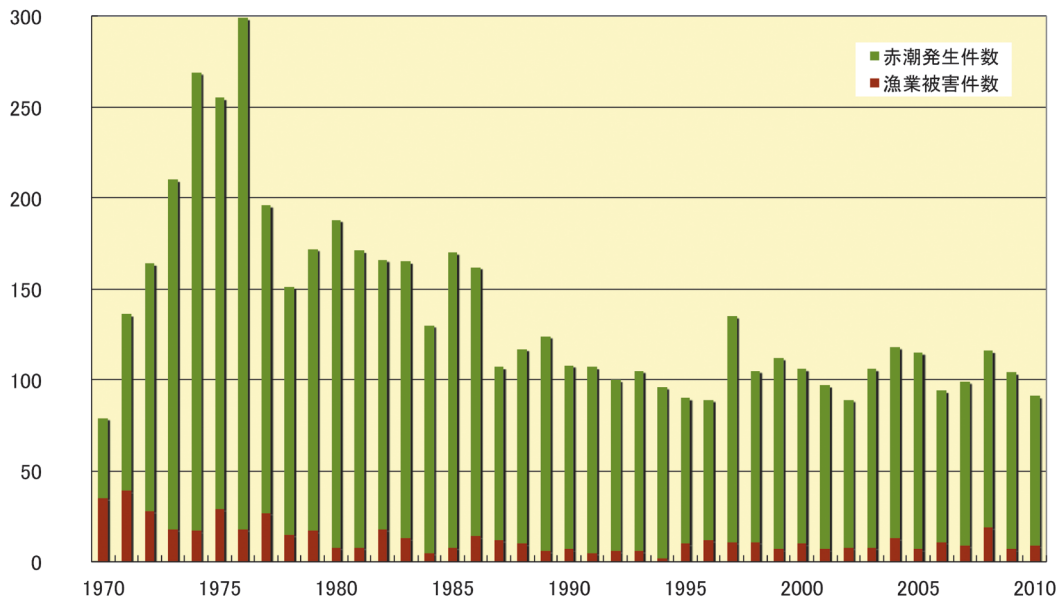


図2. 瀬戸内海における赤潮発生件数と漁業被害件数の推移 (水産庁, 2011)

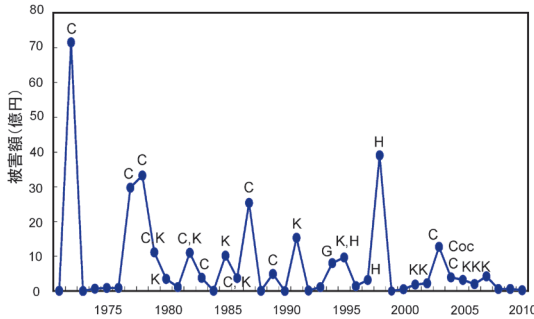


図3. 瀬戸内海において主要な赤潮プランクトン (C: シャットネラ, K: カレニア, H: ヘテロカプサ, G: ゴニオラククス, *Gonyaulax polygramma*, Coc: コクロディニウム) によって発生した漁業被害額の推移 (水産庁, 2011; 今井, 2012a)

フグ等で二百万尾以上の斃死で12億円以上の被害が発生した。二枚貝を殺滅するヘテロカプサによる被害は広島湾で1997年と1998年に2年連続で発生し、特に1998年の発生によるカキへの斃死被害は約40億円に上り、瀬戸内海で第2位の被害額である。しかしその後はヘテロカプサによる赤潮の被害は鳴りを潜めている。コクロディニウムによる斃死被害は、豊後水道域の比較的温暖な水域で小規模に発生しているが、八代海や隣国の韓国沿岸のような大規模な赤潮と斃死被害の発生(金ほか, 2002; 松岡・岩滝, 2004)は認められていない。その他に瀬戸内海で比較的大きな漁業被害を与えた生物としては渦鞭毛藻の*Gonyaulax polygramma*があるが、1回記録されているのみである。以上、概観すると、シャットネラとカレニアが瀬戸内海において最も恐るべき赤潮生物であることが明らかである。

4. 有毒プランクトンの発生

表1に示したように、我が国の沿岸域においては麻痺性貝毒と下痢性貝毒による有用二枚貝類の毒化が発生しているが、基準値を超えた場合には出荷が自主規制されており、有毒な養殖二枚貝類が市場に出回ることはない。下痢性貝毒の問題は渦鞭毛藻 *Dinophysis* 属を原因として発生する(図1)。基本的に東北日本で発生しており、瀬戸内海では同種の有毒種が増殖しても貝の毒化の発生事例は不思議なことにほとんどない (Imai et al., 2006; 西谷ほか, 2007)。一方、瀬戸内海における麻痺性貝毒に関しては、*A. catenella* (図1) を原因として紀伊水道や豊後水道域で散発的かつ小規模にアサリ等の毒化が発生していた程度であったが、1990年代初頭頃より広島湾や大阪湾等で *A. tamarense* を原因生物として頻繁にカキやアサリの毒化がおこるようになった。この原因としては、*A. tamarense* の生息する海域から二枚貝の養殖種苗を運んだ際に有毒プランクトン種のシストも一緒に混入して、新たに瀬戸内海へと分布を人為的に拡大させてしまった可能性が指摘されている (Imai et al., 2006; Nagai et al., 2007)。

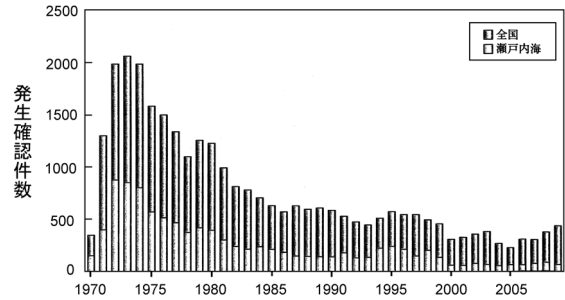


図4. 油による海洋汚染の発生確認件数の推移 (瀬戸内海環境保全協会, 2011)

5. 油流出事故

原油や関連する石油製品の運搬は、通常、タンカー等の海上輸送に依存することから、石油の備蓄タンク、石油精製施設、ならびに石油化学コンビナート等は沿岸域に立地している。したがって、海上の石油タンカー事故や石油備蓄タンクの事故は油洩れに直結し、容易に海洋の油汚染を引き起こすことになる。瀬戸内海は海上交通の要衝であり、石油関連施設が多数存在し、往来するタンカーの数も多い。我が国における最も深刻で規模の大きい油濁事故は、1974年12月18日に岡山県倉敷市の水島製油所で発生し、その流出量は42,888 kLにも上ったという (岡市・辰巳, 1975)。この事故により、多くの海鳥、及び養殖や天然の魚介類が斃死し、その被害額は賠償補償を含めて536億円にも上った。ちなみに世界最大の石油流出事故は、1991年1月17日～3月3日にペルシャ湾において湾岸戦争時に起こり、その流出量は95万～127万 kLと見積もられており、莫大な数の海洋生物が斃死したという (岡市, 1997)。

我が国沿岸域における油濁事故発生件数と瀬戸内海のそれを図4に示した (瀬戸内環境保全協会, 2011)。1970年には、日本の沿岸全体で発生した油の流出事故の件数は349件であり、そのうち瀬戸内海では155件が記録されている。その後流出事故件数は急増し、1973年には全国で2060件、瀬戸内海では1972年に874件という最多記録が残されている。その後件数は減少し、近年は日本全体で300～400件前後、瀬戸内海においては100件以下程度で推移している。このような油流出事故の発生件数の低下は、瀬戸内海環境保全特別措置法の制定とそれに伴う法的規制や監視の強化、廃油処理技術の向上に帰するところが大きい。

6. 化学物質汚染

ダイオキシン汚染は海洋の化学汚染の象徴ともいえる問題である。ダイオキシン類は、ポリ塩化ジベンゾ-パラ-ジオキシン (PCDDs)、ポリ塩化ジベンゾフラン (PCDFs)、ならびにコプラナーゼポリ塩化ビフェニル (Co-PCBs) 等の化合物の総称である。人間や他の脊椎動物に対して発

癌、免疫不全、生殖毒性、内分泌攪乱等々の危険因子となることが知られている (Schechter et al., 2006)。海洋のダイオキシン汚染の大きな源は、PCP (Pentachlorophenol) や CNP (Chlornitrofen) 等に含有されていた不純物が主体であり、これらの除草剤は農業や園芸において過去に大量に用いられて来た歴史がある (川合ほか, 2011)。ダイオキシンは生物の脂質に蓄積されるので体内に長期間蓄積し続け、食物連鎖による生物濃縮を通じて食糧として最終的には人間にまで達する。

ダイオキシンはまた、塩素化合物を含有するゴミの焼却時にも副次的に生成される。香川県豊島事件は、ダイオキシン問題の深刻さを象徴するものといえる。瀬戸内海国立公園内にある豊島では、ある業者が産業廃棄物を持ち込み、不適切な焼却処理 (野焼き) を10年以上にわたって行った結果、ダイオキシンによって高度に汚染された焼却ゴミが50万トン以上も生産されるという事態に至った。ダイオキシンを含んだ水が周辺の海に洩れ出て周辺の海域を汚染しており、これらはカキ等に高レベルに蓄積されていることが明らかにされた。この地域からダイオキシンを取り除くには、10年以上の時間と200億円以上の経費がかかるともいわれた (中国新聞社, 1998)。

1999年7月にダイオキシン類対策特別措置法が制定され、2000年1月に施行されたことにより、大気、水、土壌中におけるダイオキシン類の濃度を都道府県が監視し、環境大臣に報告することになっている。全国の海域で調査が行われているが、現在は (2009年の調査結果)、瀬戸内海の116点も含めて水質環境基準 (年間平均値 1 pg-TEQ L^{-1} 以下: TEQ (Toxic equivalent: 毒性等量) は最も毒性の強い2,3,7,8-テトラクロロジベンゾ-1,4-ジオキシン (2,3,7,8-TCDD) に換算した毒性値) を超えるような地点はない (瀬戸内海環境保全協会, 2011)。

人間に対する安全性の基準としては、ダイオキシンの耐容1日摂取量 (TDI: Tolerable daily intake) $4 \text{ pg-TEQ kg}^{-1} \text{ day}^{-1}$ が設定されている。現在、平均的な日本人が食事や呼吸等を通じて摂取しているダイオキシンの量は $1.06 \text{ pg-TEQ kg}^{-1} \text{ day}^{-1}$ と見積もられており (2010年時点)、TDIの1/3以下である (川合ほか, 2011)。日本人の摂取するダイオキシンの中で、約90%が水産物由来であることが知られている (水産庁, 2009)。ダイオキシン類は脂溶性であり魚介類中でも脂肪等に多く含まれることから、脂っぽい魚介類の部位を大量に摂食しない等バランスを考えた食生活を心掛ければ、水産物の優れた長所を活かしながら、世界でも類を見ない洗練された我が国の食文化を享受し続けることができるであろう。

次に重要なものとして、内分泌攪乱物質の問題がある (川合ほか, 2011)。動植物の生命活動においては、内分泌系が成長、代謝、生殖、及び免疫系において重要である。ホルモンがその担い手であるが、中でも雌性ホルモンのエ

ストロゲンや雄性ホルモンのテストステロンはステロイドホルモンに属し、生殖過程において中心的な役割を演じている。1990年代前半に、生体内のホルモンと類似した働きをする物質が、天然または合成された化合物の中に存在することが発見され、これらは内分泌攪乱物質 (ED: endocrine disruptors) と総称されている。EDは「生物個体の内分泌系に変化を起こさせ、その個体または子孫に健康障害を誘発する外因性物質」と定義されている。生殖過程に悪影響が及ぶならば、ひいてはその種の絶滅にも繋がる可能性があり、大きな問題となる。我が国においては「環境ホルモン」と呼ばれ、大きな注目を集めた。

様々な海洋生物がEDの影響を受けていることが報告されている。バルト海においてはアザラシ類の個体数が1960年代に激減しており、非妊娠雌の組織内にDDT (Dichloro-diphenyl-trichloroethane: ジクロロジフェニルトリクロロエタン) とPCB (Polychlorinated biphenyl: ポリ塩化ビフェニル) の含有量が妊娠雌のそれよりも有意に高いことが見出された。そして、体内に取り込まれたDDTとPCBの作用により、性ホルモンの関係する生殖生理が正常に機能しなくなったことが指摘されている。また、イギリスのテムズ川において廃水処理場の処理水流出口より下流の魚類の雄の体内に、ビテロジェニン (VTG: vitellogenin) が産生されているのが見出された。VTGは卵黄タンパク質の前駆物質であり、成熟した雌の肝臓中でエストロゲン (女性ホルモン) の助けにより生成される。これは、廃水処理場から排出される処理水の中にエストロゲンの作用を示す物質が存在することを示しており、実際にそれが確認されている。

軟体動物においても世界中の沿岸で、イボニシヤバイ等の腹足類の雌にインボセックス (雌にペニスが生じて産卵不能になる現象) 等が発生し、その原因物質として船底や漁網等の防汚塗料として1960年頃より広く用いられてきた有機スズ化合物 (TBTとTPT) が特定された。これらの有機スズ化合物としては、トリブチルスズ化合物 (TBT: tributyltin) とトリフェニルスズ化合物 (TPT: triphenyltin) が用いられ、動植物に対する高い毒性と、低い溶出量による長期間の持続性保持により使用量が増加していた。1998年12月現在、世界各地の140種以上の腹足類でインボセックスが観察されている (堀口, 2000)。我が国では1990年5月以降、69種を調査した結果39種でインボセックスが確認されている。さらに、アワビ類の漁獲量が1970年代から長期的に減少傾向にあるが、その原因として天然アワビの再生産が有機スズ化合物に起因する雌の雄性化 (精子形成) によって阻害されている可能性が指摘されている (Horiguchi et al., 2002)。また有機スズ (特にTPT) は魚類にも生物濃縮され蓄積される傾向のあることが報じられている (山田, 1999)。

有機スズ化合物は、化学物質審査規制法により第1種と

第2種特定化学物質に指定され、1991年7月に水産庁次長通達を通じて、有機スズ系漁網防汚剤及び船底塗料としての全面使用禁止が決定され、関係各方面に通達された（川合・山本，2004）。有害な有機スズ化合物の制御に係わる国際的な動きとしては、2001年10月5日に、英国ロンドンの国際海事機関（IMO: International Maritime Organization）本部において「船舶についての有害な防汚方法の管理に関する国際協定」が日本の提案により審議・採択されたことがあげられる。本条約の主たる内容は、2003年1月1日以降TBTの船舶用塗料としての新たな使用の禁止である。また2008年1月1日以降は船体に存在すること自体も禁止された。この条約は25カ国以上が批准し、それらの国の船舶量の合計が世界の25%以上に達した日から12ヶ月後に発効することになっており、パナマ共和国が2007年9月17日に25カ国目として批准したことから、この条約は2008年9月17日から発効した。この条約の遵守と、有機スズに替わる有効で安全な防汚剤の開発が必要であろう。

7. 海ごみ

海ごみの問題は、世界中の沿岸域の海岸線で大きな環境問題になっており（小島・眞，2007），それは大量生産、大量消費、大量廃棄の経済システムに根源があり、事態は深刻である。海ごみは陸上から海へ運ばれた固形物であり、意図的に直接投棄されたものと間接的に河川等を通じて流入したものの両方が該当する。海ごみには様々なタイプのものであり、プラスチック製品（靴、カップ、瓶、ストラップ、敷布、樹脂粒子）、発泡スチロール、ゴム製品、ガラス類、金属類、遺棄物、漁具（網、釣り糸、蝦蟹漁の壺、パイプ、浮子、塗料、接着剤）、廃棄船、等々である（NOAA Marine Debris Program, HP: <http://marinedebris.noaa.gov/>）。海ごみは海流に乗り国境を越え、例えば中国や韓国から日本へ、あるいは日本から米国のハワイへ等々、国から国へと大移動する。これは東日本大震災の結果、船やオートバイ等の様々な物が米国西海岸に漂着していることから窺い知れる。

海ごみの中で海洋生物に死傷被害を与えるような危険なもの、プラスチック類や投棄された漁具、そして分解されない浮遊物などである。釣り糸や、網やプラスチックの断片が巻き付いて、ウミガメやクジラ、サメ、海鳥（アホウドリやミズナギドリ）等が溺れたり、体の一部が切断されたり、また運動能力を削がれることで飢餓状態に陥ったりして、時には死に至る。多くの海洋動物は、プラスチックの靴や包装シート等を餌と間違えて誤食し、消化管が閉塞することがある。例えばウミガメは、プラスチック類を餌のクラゲとしばしば間違えて誤食する。珊瑚のように動かない動物をプラスチックのシートが覆えば、窒息し時に死に至るであろう。

瀬戸内海において、海ごみの現存量は約3400トン、総

流入量は1年間に4500トンと見積もられている（藤枝ほか，2010）。海ごみは漁業等の人間活動に対しても阻害的な影響を及ぼす。底曳き網漁業等においては海ごみが大量に混在すれば、漁獲物の選別に多大な時間と労力がかかるようになる。金属製の重いごみを引っ掛けた漁網は壊れるであろう。漁業が直面する海ごみの問題は、瀬戸内海のような好漁場においてより深刻である。また海洋観光レクリエーションに対しても、海ごみは景観を損なったり、事故の原因となったりすることにより、悪影響を与える。

米国の環境NGOの“Ocean Conservancy”は、国際海岸クリーンアップ（International Coastal Cleanup: ICC）という海ごみの問題に取り組む市民活動を、EPA（Environmental Protection Agency: 環境保護庁）の援助を得て、1986のテキサス州でのクリーンアップより開始した（小島・眞，2007）。このクリーンアップ活動は、現在では米国全土に止まらず世界の100カ国以上に及んでいる。このICC運動に呼応する形で、我が国ではNGOのJEAN／クリーンアップ全国事務局が1990年に立ち上げられた（JEAN: Japan Environmental Action Network）。JEANは多くのボランティア市民を組織し、単に海岸清掃を行うだけでなく、回収したごみの数量と種類に関するデータを収集してレポートを作成し、原因を突き止め根本的な改善を図ろうとしている（小島，2005, 2008）。このような活動は、一般市民の善意とNGO等の組織力に依存する部分が多い。従来の行政組織の力のみには頼ってはいない、このような大きなムーブメントは実現しないであろう。

瀬戸内海においては、漂着ごみだけでなく海底ごみについても、備讃瀬戸地域のみずしま財団により調査されている（塩飽，2005）。ごみの大部分はプラスチック製品であり（数で86%、重量で50%）、空き缶と漁具がそれに続く。空き缶から得られたデータによると、ごみは継続的に海へ投棄されているのが実態だという。行政機関は海ごみの問題に対して一時的に関与しても、海ごみに対して継続的に関与する政策と予算等の体系的な裏付けがなければ、責任を持った対応は期待できないのが実情である。例えば、行政的措置がなければ、集めた海ごみは集めた人達の費用負担で処理場へ運んだりしなければならない（塩飽，2005; 小島，2008）。海ごみ問題への取り組みに関しては、一般の人々、漁業者、民間企業、ならびに行政の関係者が緊密な協調体制を構築していくことが重要な要件となるのは、言を俟たない。

8. まとめ

沿岸域の平野部は一般的に人口密度が高く、経済活動も活発に営まれているため、さまざまな影響が及んでいる。瀬戸内海はそのような最大の沿岸域といえる。有毒な汚染物質による影響はもちろん無くさなければならないが、富栄養化は違法行為によるものではなく、通常の人間活動に

よっても進行していく。富栄養化の原因となる栄養塩類の沿岸域への流入によって、植物プランクトンが反応し、赤潮が発生する。赤潮は有害種でない場合も、沈降した後の酸化分解に伴う貧酸素水域の発生という深刻な問題をもたらす。赤潮の問題は富栄養化と密接にリンクしており、世界中で発生していることから、重要な地球環境問題のひとつとして認識されるべきである。

近年、藻場やアマモ場に生息する細菌の中で、有害有毒プランクトンを殺滅する殺藻細菌が高密度で生息していることが発見された(今井, 2012a; Imai and Yamaguchi, 2012)。瀬戸内海においては高度経済成長時代に藻場やアマモ場、干潟などの浅海域が埋立てにより大規模に喪失した。特に、1960年に22635 haであったアマモ場は、1971年には5574 haにまで激減した。赤潮の発生機構に関しては富栄養化が第一義的に重要であるが、アマモ場等の喪失が赤潮の発生抑制要因の喪失となっていた可能性もある。現在、環境修復を目指しているNPO法人や地方自治体により、アマモ場の回復や造成の取り組みがなされている。これらの動きは「里海」構想の一貫としてとらえることもでき(柳, 2006)、環境修復や水産資源の涵養、生物多様性の維持等に貢献する可能性があり、今後沿岸域の保全を達成するうえで有効な活動となるであろう。

文 献

- 中国新聞社 (1998) 「海からの伝言—新せとうち学」。広島, 128 pp.
- Constanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R.V. O'Neill, J. Paruelo, R.G. Raskin, P. Sutton and M. van den Belt (1997) The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, **387**, 253–260.
- 藤枝 繁・星加 章・橋本英資・佐々倉諭・清水孝則・奥村誠崇 (2010) 瀬戸内海における海洋ごみの取支。沿岸域学会誌, **22**, 17–29.
- 堀口敏宏 (2000) 貝類。「水産環境における内分泌攪乱物質(水産学シリーズ126)」川合真一郎・小山次朗編, 恒星社厚生閣, 東京, 54–72.
- Horiguchi, T., M. Kojima, M. Kaya, T. Matsuo, H. Shiraishi, M. Morita and Y. Adachi (2002) Tributyltin and triphenyltin induce spermatogenesis in ovary of female abalone, *Haliotis gigantean*. *Mar. Environ. Res.*, **54**, 679–684.
- 今井一郎 (2000) 赤潮の発生—海からの警告—。遺伝 **54**, 30–34.
- Imai, I. (2008) Occurrence of red tides. *Environmental Conservation of the Seto Inland Sea*, International EMECS Center, Kobe, 45–54.
- 今井一郎 (2012a) 有害有毒赤潮の発生から沿岸域を守る。シリーズ21世紀の農学, 環境の保全と修復に貢献する農学研究, 日本農学会編, 養賢堂, 東京, 29–48.
- 今井一郎 (2012b) 「シャットネラ赤潮の生物学」。生物研究社, 東京, 184 pp.
- Imai, I., M. Yamaguchi and Y. Hori (2006) Eutrophication and occurrences of harmful algal blooms in the Seto Inland Sea, Japan. *Plankton Benthos Res.*, **1**, 71–84.
- Imai, I. and M. Yamaguchi (2012) Life cycle, physiology, ecology and red tide occurrences of the fish-killing raphidophyte *Chattonella*. *Harmful Algae*, **14**, 46–70.
- 川合真一郎・張野宏也・山本義和 (2011) 「環境科学入門—地球と人類の未来のために」。化学同人, 東京, 204 pp.
- 金 鶴均・斐 憲民・李 三根・鄭 昌洙 (2002) 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, 東京, 134–150.
- 小島あずさ (2005) JEANの取り組みについて。瀬戸内海, **42**, 1–7.
- 小島あずさ (2008) 市民による漂着ごみ調査について。沿岸海洋研究, **45**, 75–77.
- 小島あずさ・眞 淳平 (2007) 「海ゴミ—拡大する地球環境汚染」。中公新書1906, 中央公論新社, 東京, 232 pp.
- 松岡数充・岩滝光儀 (2004) 有害無殻渦鞭毛藻 *Cochlodinium polykrikoides* Margalef研究の現状(総説)。日本プランクトン学会報, **51**, 38–45.
- 村上彰男 (1976) 「赤潮と富栄養化」。公害対策技術同友会, 東京, 207 pp.
- Nagai, S., C. Lian, S. Yamaguchi, M. Hamaguchi, Y. Matsuyama, S. Itakura, H. Shimada, S. Kaga, H. Yamauchi, Y. Sonda, T. Nishikawa, C. H. Kim and T. Hogetsu (2007) Microsatellite markers reveal population genetic structure of the toxic dinoflagellate *Alexandrium tamarense* in Japanese coastal water. *J. Phycol.*, **43**, 43–54.
- 西谷 豪・三谷 正・今井一郎 (2007) *Dinophysis* 属は下痢性貝毒の原因生物か? 「貝毒研究の最先端—現状と展望(水産学シリーズ153)」今井一郎・福代康夫・広石伸互編, 恒星社厚生閣, 東京, 118–129.
- 岡市友利 (1997) 石油流出事故による海洋汚染の機構。水環境学会誌, **20**, 632–638.
- 岡市友利・辰巳修三 (1975) 「瀬戸内海の重油汚染—その調査記録とリモートセンシング」。松林社, 高松, 182 pp.
- Schechter, A., L. Birnbaum, J. J. Ryan and J. D. Constable (2006) Dioxins: An overview. *Environ. Res.*, **101**, 419–428.
- 瀬戸内海環境保全協会 (2003) 「生きてきた瀬戸内海—瀬戸内法30年—」。神戸, 300 pp.
- 瀬戸内海環境保全協会 (2011) 「平成22年度瀬戸内海の環境保全資料集」。神戸, 102+80 pp.
- 塩飽敏史 (2005) 瀬戸内海における海底ごみの実態とその取り組み。瀬戸内海, **42**, 8–12.
- 水産庁 (2009) 魚介類のダイオキシン類の解説(第7版)。16 pp.
- 水産庁瀬戸内海漁業調整事務所 (2011) 平成22年瀬戸内海の赤潮。67 pp.
- 山田 久 (1999) 有機スズ化合物の海域環境における挙動と魚類による生物濃縮に関する研究。瀬戸内水研報, **1**, 97–162.
- 山本圭吾・中嶋昌紀・田淵敬一・賓野米一 (2009) 2007年春期に大阪湾で発生した *Alexandrium tamarense* 新奇赤潮と二枚貝の高毒化。日本プランクトン学会報, **56**, 13–24.
- 柳 哲雄 (2006) 「里海論」。恒星社厚生閣, 東京, 102 pp.