

英虞湾における底生性有毒渦鞭毛藻 *Gambierdiscus toxicus* の出現石川 輝^{1†}, 倉島 彰¹Occurrence of the toxic benthic dinoflagellate *Gambierdiscus toxicus* in Ago Bay, central part of JapanAkira ISHIKAWA^{1†} and Akira KURASHIMA¹

Gambierdiscus toxicus is a benthic, toxin-producing armored dinoflagellate, often found on macroalgae and dead corals. This organism is the primary causative agent of ciguatera fish poisoning which occurs in tropical and subtropical regions. In the last decade, several incidents of ciguatera were reported even in the central parts of pacific coast of Japan, suggesting the possibility that *G. toxicus* has expanded its population to such temperate areas. In the present study, we investigated the abundance (density of the cells attached to macroalgae) of *G. toxicus* in November and December, 2008, at Hamajima in Ago Bay, at eastern part of Kii Peninsula. *Gambierdiscus toxicus* in Ago Bay did not exhibit a tendency of preference to attach to specific algae but showed a patchy distribution. Cell density on macroalgae ranged from 0–4.7 cells g⁻¹ (of macroalga wet weight) (mean; 2.1 cells g⁻¹) and from 0–2.5 cells g⁻¹ (mean; 0.6 cells g⁻¹) in November and December, respectively. Maximum density, 4.7 cells g⁻¹, was recorded in the brown alga *Padina arborescens* (Phaeophyceae) in November. Considering that *G. toxicus* is a tropical and subtropical species, the population of this organism in Ago Bay possibly becomes larger in warmer seasons. The monitoring of the organism is thus necessary to predict and prevent ciguatera poisoning in temperate areas in Japan.

Key words: *Gambierdiscus toxicus*, toxic benthic dinoflagellate, ciguatera, macroalgae, Hamajima, Ago Bay

はじめに

Gambierdiscus toxicus Adachi et Fukuyoはシガトキシンとマイトトキシンを生産する熱帯・亜熱帯性の底生性有毒渦鞭毛藻である。食物連鎖の中でこれらの毒を蓄積した魚類を食すると、“シガテラ”という食中毒症状を起こすことはよく知られている。シガテラによる死亡率は低いものの、その症状はさまざま、嘔吐、下痢、血圧降下、心拍数の低下、縮腫、脱力、頭痛、関節痛、めまい、筋肉痛などが挙げられるが、最も特徴的なものはドライアイス・セッションと呼ばれる知覚異常である(橋本, 1977; 野口, 2007)。このシガテラ食中毒患者は世界で年間5万人を優に超えるという報告(Ragelis, 1984)や、50万人にもものぼるという報告(Fleming et al., 1998参照)もあるが、実際のところ正確な数は把握されていないのが現状である(Fleming et al., 1998; 野口, 2007)。しかし、少なくとも自然毒による食中毒としては世界最大規模であることは確か

であろう。

一般に、シガテラは熱帯・亜熱帯地域で多く発生している。日本では特に沖縄地方で発生事例が多く、その主な原因はハタ科やフエダイ科の魚類によるものである(野口, 2007)。ところが、1992年以降では沿岸性の魚類であるイシガキダイ(*Oplegnathus punctatus*)によるシガテラが目立ってきており、1999年までの間に同魚を原因とする中毒が全国で5件発生した(野口, 2007)。そのうち2件は沖縄で、他の2件は鹿児島県(奄美地方)と宮崎県で起こったが、残りの1件は千葉県(1999年)で発生した(野口, 2007)。同魚種によるシガテラはその後しばらくは報告されていないようであるが、2007年には和歌山県(堺市衛生研究所, 2009)で、2008年には三重県南伊勢町(三重県, 2008)にて釣り上げたイシガキダイによるシガテラ中毒が発生するに至った。なお、イシガキダイによるものではないが、2001年には神奈川県(原因魚はバラハタ)で、2006年には茨城県(原因魚はバラフエダイと推定されている)でもシガテラ中毒が発生している(野口, 2007)。

シガテラの原因渦鞭毛藻である*G. toxicus*は過去に伊豆半島でその出現が確認されていることから(原・堀口, 1982)、本種は以前から少なくとも伊豆半島以南の沿岸域

2009年7月13日受付 2009年9月24日受理

¹ 三重大学大学院生物資源学研究所

Graduate School of Bioresources, Mie University, 1577 Kurimamachiya-cho, Tsu, Mie 514-8507, Japan

† ishikawa@bio.mie-u.ac.jp

に生息していたものと考えられる。ただし、紀伊半島以北の太平洋側においてイシガキダイを中心とする魚類によるシガテラ中毒が発生し、しかも最近は毎年のように起きているという事実は、現在 *G. toxicus* が温帯地域にまで個体群の規模を拡大させている可能性を示唆しているものである。しかし、このような状況の中、日本では沖縄地方以外の海域において *G. toxicus* の現存量を調べた研究はなく、また分布も含めた本種の生態学的な知見はないのが現状である。今後のシガテラ中毒被害を防ぐためには、その基礎的知見となる *G. toxicus* の分布と現存量を明らかにすることはもちろん、本種の生理的特徴や生態的特徴を解明していくことが早急な課題である。

Gambierdiscus toxicus は浮遊生活を行わず、海藻類 [例えば、熱帯・亜熱帯のサンゴ礁に生育する紅藻綱サンゴモ目 *Jania* sp. (モサズキ属の一種) や褐藻綱ヒバマタ目 *Turbinaria ornata* (ラップモク) など] の表面や死んだサンゴ上に付着して生活していることが知られている (例えば Adachi and Fukuyo, 1979; Fukuyo, 1981; 福代, 1990; Faust and Gullledge, 2002)。本研究では、2008年の11月と12月に紀伊半島の東側に位置する英虞湾の湾口部に近い藻場にお

いて調査を行ったところ、*G. toxicus* の出現を認め、さらに現存量 (海藻類各種に対する付着密度) を明らかにしたので報告する。

材料と方法

試料の採集

英虞湾の湾口部に近い三重県志摩市浜島町地先 (三重県水産研究所前) の岩礁帯において (Fig. 1), 2008年11月20日と同年12月15日に調査を行った。この岩礁帯は堤防を挟んで湾口側と湾内側に仕切られている。11月は湾口側 (エリアA) において、12月は湾内側 (エリアB) において水深2m以浅の場を選んで調査を行った。どちらの調査点も豊かな藻場が広がっていた。これらの調査点において、シュノーケリングにより潜水し、複数種の大型海藻を素手で採取した。海藻の採集に際しては藻体をできるだけ揺すらないように注意し、採取後は水面下で直ちにチャック付きのビニール袋へ収容した。その後、水面へ浮上し藻体をビニール袋に入った海水と共にプラスチック製の広口ポリ瓶 (1lと2l容量のものを使用) に改めて収容した。これに海水の量に対して終濃度が1% (v/v) になるように中性ホ

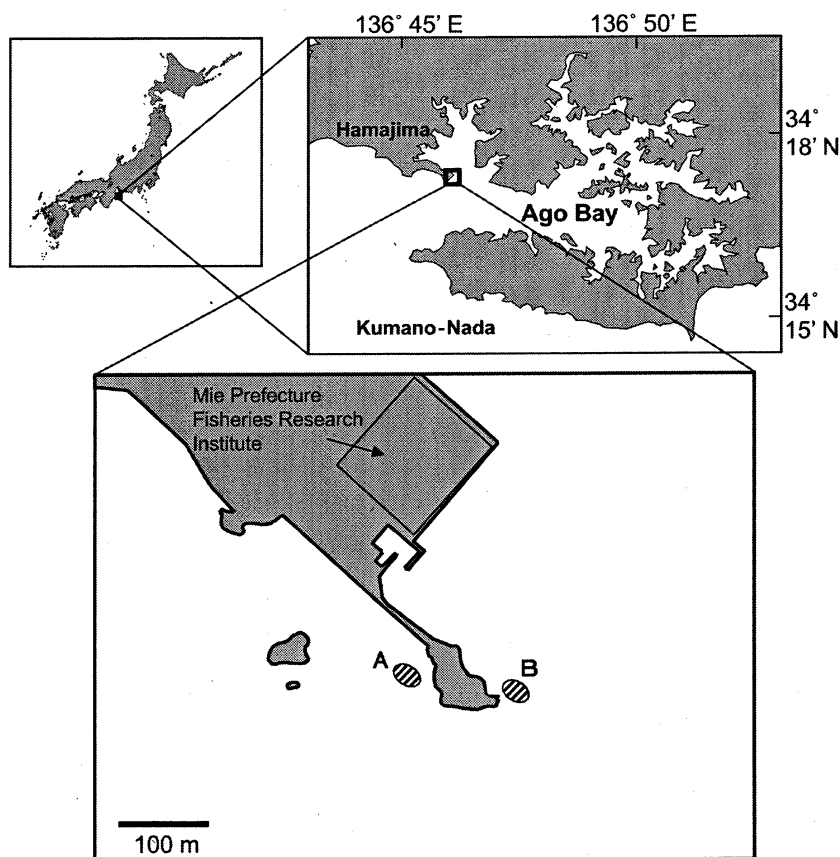


Figure 1. Location of sampling areas (shaded circles) at Hamajima in Ago Bay. Samplings were conducted at areas A and B in November and December, 2008, respectively.

Table 1. Cell densities (cells g⁻¹) of *Gambierdiscus toxicus* attached to macroalgae collected in November and December, 2008, at Hamajima in Ago Bay. NC denotes that samples were not collected. Circled numbers correspond to a different algal body of the same macroalgal species.

November, 2008		December, 2008	
Macroalgal species	Cell density (cells g ⁻¹)	Macroalgal species	Cell density (cells g ⁻¹)
Phaeophyceae			
<i>Eisenia arborea</i>	NC	<i>Eisenia arborea</i>	0.0
<i>Ishige okamurae</i>	0.0	<i>Ishige okamurae</i>	NC
<i>Myagropsis myagroides</i>	NC	<i>Myagropsis myagroides</i>	0.0
<i>Padina arborescens</i>	4.7	<i>Padina arborescens</i>	0.3
<i>Sargassum fusiforme</i>	NC	<i>Sargassum fusiforme</i>	0.0
<i>S. thunbergii</i>	NC	<i>S. thunbergii</i> ①	0.0
		<i>S. thunbergii</i> ②	2.2
		<i>S. thunbergii</i> ③	2.5
Rhodophyceae			
<i>Amphiroa zonata</i>	1.8	<i>Amphiroa zonata</i> ①	0.9
		<i>A. zonata</i> ②	0.2
		<i>A. zonata</i> ③	0.0
		<i>A. zonata</i> ④	0.2
<i>Corallina pilulifera</i>	2.7	<i>Corallina pilulifera</i>	0.8
<i>Tricleocarpa cylindrica</i>	1.3	<i>Tricleocarpa cylindrica</i>	NC
Average	2.1	Average	0.6

ルマリンを加えて実験室へ持ち帰った。

11月の調査で採取した海藻は褐藻綱のイシゲ目 *Ishige okamurae* (イシゲ), アミジグサ目 *Padina arborescens* (ウミウチワ), 紅藻綱のサンゴモ目 *Amphiroa zonata* (ウスカワカニノテ), *Corallina pilulifera* (ピリヒバ) およびウミゾウメン目 *Tricleocarpa cylindrica* (ガラガラ) の5種であった (Table 1)。12月に採集したのは11月にも採集した *P. arborescens* (ウミウチワ), *A. zonata* (ウスカワカニノテ) と *C. pilulifera* (ピリヒバ) の他に, 褐藻綱のコンブ目 *Eisenia arborea* (サガラメ), ヒバマタ目 *Myagropsis myagroides* (ジョロモク), *Sargassum fusiforme* (ヒジキ), *Sargassum thunbergii* (ウミトラノオ) の計7種であったが, *G. toxicus* のパッチ分布を調べる目的で, *S. thunbergii* (ウミトラノオ) と *A. zonata* (ウスカワカニノテ) については同じ調査エリア内ではあるが互いに数m離れた複数の異なる場所 (前者については3点, 後者4点) から藻体を採取した (Table 1)。

藻場内においては多項目水質計 (クオンタ, Hach-HydroLab) を用いて水温と塩分を測定した。

海藻の処理

実験室において, すでに現場でホルマリン固定した海藻の入ったそれぞれのポリ瓶を250回激しく振盪して, 藻体表面についている付着物を剥離させた。この作業を終えてか

ら, ポリ瓶の中身を全て野菜の水切り用回転式ザル容器 (市販品) の上に流し出して, ザルを手動回転し, 海藻に付いた余分な海水を遠心によって振り落とした。ザルとその上の海藻をさらにホルマリン入り濾過海水で丁寧に洗い, 手動回転して海水を切った。濾過海水で洗う作業をその後2回繰り返した後, 藻体の湿重量を測定した。ザルを通り抜けた全ての海水を, 目合い200 μ mおよび20 μ mのナイロンメッシュの篩を用いて分画し, 20–200 μ mの粒子画分を得た。この画分の粒子を最終的にホルマリン濃度1% (v/v) 海水で3–15 mlに定容して検鏡に供した。

Gambierdiscus toxicus の観察と計数

海藻を処理して得られた検鏡用サンプルからの *G. toxicus* の探索には, 有殻渦鞭毛藻の鋳板の観察に利用されている Calcofluor white M2R (Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA) を使った蛍光染色法 (Fritz and Triemer, 1985) を応用した。この手法を用いると, 細胞の殻がUV励起光下で青白い蛍光を発するため多量の粒子 (プランクトンだけでなく有機・無機態の全粒子) が混在するサンプル中でも *G. toxicus* の探索が容易かつ確実になる。観察手順は次の通りである。検鏡用に作成した3–15 mlのサンプルに1 mg ml⁻¹ に調整した Calcofluor white M2R 溶液を終濃度が10 μ g ml⁻¹ になるように加えた (例: 10 mlのサンプルに100 μ lの Calcofluor white M2R 溶液を添加)。このサンプルから1 ml

を分取し、罫線入りスライドガラス上に載せ、落射型蛍光顕微鏡 (NIKON ECLIPS TE300) により UV 励起光下 (EX365-10 励起フィルター, DM400 ダイクロイックミラー, BA400 吸収フィルター) で *G. toxicus* を探索・計数した。探索には通常光を使用せず UV 励起光のみを用いて行った。検鏡中, *Prorocentrum lima* や *Ostreopsis* sp. など様々な底生性渦鞭毛藻が青白い蛍光を発して検出されたが, *G. toxicus* と思われる細胞が出現したときにはその都度鏡板を観察して同定した。この操作を, 藻体の湿重量にして 3g 以上観察するまで繰り返した (湿重量が 10g である藻体に対して 10ml の検鏡用のサンプルを作成した場合, 検鏡用サンプルの濃度は 1g 藻体湿重量 ml^{-1} なので 3ml 以上を観察することになる)。それぞれの海藻に対して得られた計数値を最終的に藻体 1g 湿重量当たりの付着密度 (cells g^{-1} macroalga wet weight; 以下 cells g^{-1} と表記する) に換算した。

出現した *G. toxicus* の細胞形態を精査するため, 走査電子顕微鏡による観察を行った。観察試料を作成する際には, まず, 上記検鏡用サンプルからホルマリン固定された細胞をキャピラリーで吸い上げ, 蒸留水で脱塩し, 濃度の異なるアルコール (30, 50, 70, 90, 95, 99.5%) で順次置換して脱水した (高山, 1987)。次いで, 試料を *t*-ブタノールに浸漬 (20分2回) し *t*-ブタノール凍結乾燥装置 (真空デバイス社 VFD-21S) により凍結乾燥した。最終的に, この試料に Neoc ネオオスミウムコーター (メイワフォーシス社 Neoc-ST) を用いて 15 秒間オスミウムコーティングを施した (日本電子顕微鏡学会関東支部, 2000)。このコーティング法では四酸化オスミウム昇華ガスがプラズマ化し試料

の細部にまで行き届き, 試料の表面全域に均一なオスミウム金属の薄膜が形成されるため, 従来から行われている金や白金パラジウムによるコーティングよりもチャージアップの少ない鮮明な像を観察することができる。走査電子顕微鏡は日本電子 JSM-T200 を使用した。

結果

英虞湾に出現した *G. toxicus* の細胞形態

英虞湾から得られた *G. toxicus* の走査電子顕微鏡写真を Fig. 2 に示す。細胞は円盤状で, 上面観は楕円に近かった。細胞の表面はスムーズであり, 多数の小孔があいていた。細胞の長さは 38–59 μm (平均 48 μm , $n=8$), 幅 73–98 μm (平均 85 μm , $n=15$), 背腹の厚みは 68–100 μm (平均 82 μm , $n=15$) であった。*G. toxicus* の鏡板配列は, Adachi and Fukuyo (1979) によって初めて本種が記載されて以来, どの鏡板を後縦溝板, 後帯板, 後挿間板および底板と解釈するかによって様々に表されてきたが (Holmes, 1998 参照), ここでは Faust and Gullede (2002) の表現方法に従うと, その主鏡板配列は Po, 3', 7'', 5'', 1p, 2''' であることが確認された。頂孔板 (Po) の形は楕円形であり, 頂孔 (apical pore) は釣り針型であった。後挿間板 (1p) は五角形で大きかった。以上の特徴は, Adachi and Fukuyo (1979) によって記載された *G. toxicus* と一致した。なお, 走査電子顕微鏡観察で確認された他の *Gambierdiscus* 属細胞も, また以下に述べる蛍光顕微鏡によって検出された細胞も, その鏡板の特徴は上記と全て同じパターンであったので, 英虞湾に出現したのは *G. toxicus*, 1 種のみであったと判断される。

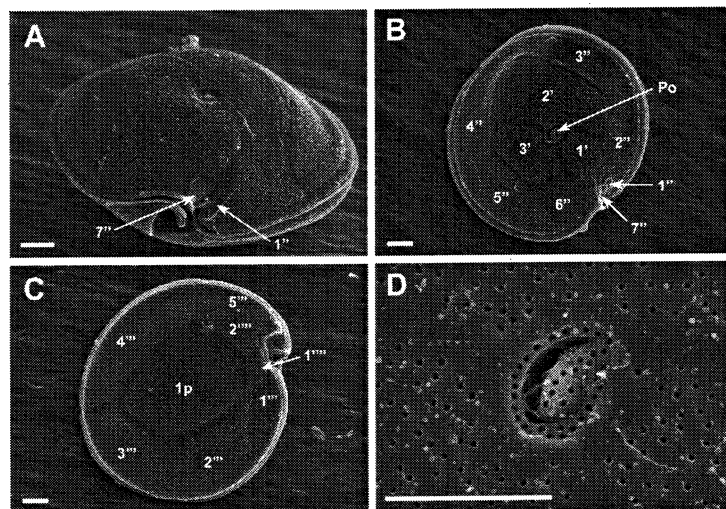


Figure 2. Scanning electron micrographs of the cell surface morphology of *Gambierdiscus toxicus*. A: Oblique ventral view. Cell is antero-posteriorly compressed. Cell surface is smooth with small scattered pores. B: Epithecal view. Cell is ellipsoid. C: Hypothecal view. 1p plate is large and pentagonal. D: Po plate with characteristic fish-hook shaped apical pore. Scale bars: 10 μm .

海藻類各種に対する *G. toxicus* の付着密度

11月に採取した5種の海藻のうち、*I. okamurae* (イシゲ)を除く4種全てから *G. toxicus* が検出された (Table 1). 最も付着密度が高かったのは *P. arborescens* (ウミウチワ) で、その値は 4.7 cells g^{-1} であり、その他の海藻では $1.3\text{--}2.7 \text{ cells g}^{-1}$ であった。12月にも *G. toxicus* は検出された (Table 1). この時は *S. thunbergii* (ウミトラノオ) の藻体②と藻体③から多く検出され、その密度はそれぞれ 2.2 cells g^{-1} と 2.5 cells g^{-1} であった。ただし、*S. thunbergii* (ウミトラノオ) の藻体①からは全く検出されなかった。4カ所から得られた *A. zonata* (ウスカワカニノテ) においても、付着した藻体①、②、④と付着していない藻体③が見られた。なお、*A. zonata* (ウスカワカニノテ) に付着していた場合でも、その密度は 0.2 cells g^{-1} か、あるいは 0.9 cells g^{-1} であり11月のそれ (1.8 cells g^{-1}) に比べて低かった。同様に11月には最大付着密度を示した *P. arborescens* (ウミウチワ) は12月には 0.3 cells g^{-1} とその密度は大きく低下した。それぞれの月で得られた全海藻への付着密度を平均したところ、11月では 2.1 cells g^{-1} であったのに対して、12月では 0.6 cells g^{-1} と低下した。

藻場内における11月と12月の水温は、それぞれ 18.1°C と 16.5°C であった。塩分はどちらの月も 33.9 であった。

考察

神川・左子 (2008) は、西日本各地 [牟岐 (徳島県)、大月 (高知県)、室戸岬 (高知県)、潮岬 (和歌山県)] から形態的には *G. toxicus* として分離された株の遺伝子配列を解析した結果、それらはデータベース上に *G. toxicus* として登録されている配列と近縁ではないことを明らかにし、またこれまでに報告されている (Faust, 1995; Holmes, 1998; Chinain et al., 1999a) 他の5種 (*G. australes*, *G. belizeanus*, *G. pacificus*, *G. polynesiensis*, *G. yasumotoi*) の配列とも完全には一致しないことを示した。従って、潮岬に位置的に近い英虞湾で採取された“形態的には *G. toxicus* である種”も遺伝子的にはデータベース上の *G. toxicus* とは異なる可能性が高い。ただし、福代 (2008) が指摘しているように、*G. toxicus* に形態的に類似している *G. australes*, *G. pacificus*, *G. polynesiensis* については、大きさや外形の特徴、アイソザイムや塩基配列のわずかな差異に基づいて新種とされている (Chinain et al., 1999a) ため、種間の差異の判別が困難であることも事実である。つまり、*Gambierdiscus* 属は種が分けられすぎている可能性がある。これらの点については、ここで検討を加えるよりも、今後、*Gambierdiscus* 属各種における形態的多様性や遺伝的多様性に関する知見が蓄積されるのを待ちたい。

本研究により、2009年11月と12月の浜島の藻場における *G. toxicus* の海藻類各種への付着密度が明らかとなった。*G. toxicus* は11月には5種の海藻中4種から、また12月に

は7種中4種から確認され、また付着基質としての海藻の表面が房状 [*A. zonata* (ウスカワカニノテ) や *T. cylindrica* (ガラガラ), *S. thunbergii* (ウミトラノオ), *C. pilulifera* (ピリヒバ)] か、平滑 [*P. arborescens* (ウミウチワ)] にかかわらず付着していた。さらに、付着していた海藻類の中でも格段にその密度が高いという海藻はみられなかった。11月と12月という限られた時期と限られた種数の海藻から得られた結果からの判断ではあるが、これらのことは *G. toxicus* がある特定の海藻を好んで多く付着するわけではないことを示している。換言すれば、*G. toxicus* は、本研究では採集されなかった海藻類も含めて、この場の海藻群集中に広く分布していた可能性を示している。ただし、12月に採取された *A. zonata* (ウスカワカニノテ) や *S. thunbergii* (ウミトラノオ) から明らかになったように、同一種のアレルでも場所によって付着している藻体と、していない藻体が見られたという事実は、本研究で調査した狭い範囲の藻場内で *G. toxicus* は、他の海域での場合と同様に (例えば Yasumoto et al., 1980)、パッチ分布していることを表しているものと考えられる。つまり浜島の藻場における *G. toxicus* の海藻への付着機構は、Gillespie et al. (1985) によって他の海域においても指摘されているように、たまたまそこに海藻があれば付着するというような日和見的性格が強いものとして理解されよう。また、このことは同時に、*G. toxicus* の付着密度調査を行う際、同一範囲から複数の海藻を採取してパッチ分布のバイアスを減少させる必要性があることを示しているであろう。

浜島において、平均付着密度は11月の 2.1 cells g^{-1} から12月の 0.6 cells g^{-1} へと大きく低下した。*Gambierdiscus* 属の各種は本来、熱帯・亜熱帯性の生物であることを考えると、英虞湾のような一年を通して水温変化の激しい (上野・石川, 2009) 温帯域では、冬季に向かって個体群が衰退していくことが予想され、その過程を捉えたものであったかもしれない。

ところで、熱帯・亜熱帯海域においては *G. toxicus* (時には *Gambierdiscus* sp. あるいは *Gambierdiscus* spp. として) の海藻に対する付着密度が広く調査されており、例えば、ハワイでは 823 cells g^{-1} (Shimizu et al., 1982)、プエルトリコの東に位置する Virgin 諸島では $75,793 \text{ cells g}^{-1}$ (Carlson and Tindall, 1985)、オーストラリアのクイーンズランド・ブリスベン沿岸では $2,180 \text{ cells g}^{-1}$ (Gillespie et al., 1985)、やはりオーストラリアのグレートバリアリーフに位置する Heron 島では 250 cells g^{-1} (Heil et al., 1998)、フロリダでは $8,191 \text{ cells g}^{-1}$ (Bomber et al., 1989)、インド洋南西に位置しマダガスカル島の東に浮かぶ Reunion 島では 455 cells g^{-1} (Turquet et al., 1998)、フランス領ポリネシアのタヒチ島では $10,880 \text{ cells g}^{-1}$ (Chinain et al., 1999b)、アフリカ大陸とマダガスカル島の間のモザンビーク海峡にある Mayotte 島では $60,463 \text{ cells g}^{-1}$ (Turquet et al., 2001)、タンザニア沿岸に位

置するUnguja島では880 cells g⁻¹ (Lugomela, 2006) といった付着密度が確認されている。驚くべきはフランス領ポリネシア・ガンビエ諸島からの報告値で、海藻1gに5,521,000 cellsもの細胞が付着していたという (Yasumoto et al., 1980)。海水温が一年を通して高いこれら熱帯・亜熱帯域からの報告値と、上述のように水温が冬季に向かって低下 (11月, 18.1°C; 12月, 16.5°C) し個体群が衰退していたと推察される浜島での値とを単純に比較することには無理があるが、それでも本研究における最大付着密度 (4.7 cells g⁻¹) は、海外からの値に比べるべくもなく著しく低いものである。

一方, Koike et al. (1991) は、沖縄の慶良間列島において *G. toxicus* の付着密度調査を行った結果、同列島の阿嘉島から調査時の最大付着密度である 51 cells g⁻¹ という値を報告している。これは本研究で得られた最高付着密度の10倍程度である。さらに Koike et al. (1991) は、彼らが調べた測点における *G. toxicus* の平均付着密度が 6.7 cells g⁻¹ であったことを示しており、これは浜島における11月の平均値 (2.1 cells g⁻¹) の僅か3倍程度に過ぎない。ちなみに、我々は2009年3月29日に沖縄県名護市の北西に位置する備瀬崎において本研究と同様の調査を実施した。その結果、採取した5種類の海藻類 [緑藻綱ミドリゲ目 *Cladophoropsis vaucheriaeformis* (キツネノオ)、褐藻綱のナガマツモ目 *Cladosiphon okamuranus* (オキナワモズク)、アミジグサ目 *Padina* sp. (ウミウチワ属の一種)、紅藻綱サンゴモ目の *Jania* sp. (モサズキ属の一種)、ウミゾウメン目 *Galaxaura rugosa* (ナガガラガラ)] に対する *Gambierdiscus* spp. (ここでは *G. toxicus* の他、サイズの *G. toxicus* より小さく形態的には *G. belizeanus* や *G. pacificus* に近いと考えられる種も検出された) の付着密度は最大でも *Jania* sp. (モサズキ属の一種) の 10.4 cells g⁻¹ であり、他の海藻では 0–1.0 cells g⁻¹ であったことを明らかにした (平均 2.4 cells g⁻¹) (石川 未発表データ)。これらのことは、日本において古くからシガテラが発生している沖縄地方 (野口, 2007) と 2008年11月時点での浜島における *G. toxicus* の付着密度は大きくは変わらないことを示している。また、*G. toxicus* が熱帯・亜熱帯性の生物であることは、すなわち、夏季には浜島の個体群はより発達していることを示唆するものであり、その時期には沖縄での値により近い密度で海藻に付着している可能性がある。いずれにしても、近年、紀伊半島以北の太平洋岸でもイシガキダイを中心とした魚類によりシガテラ中毒が引き起こされていることは極めて深刻な事態であり、シガテラ予知・予防の観点からも、今後、当該海域における *G. toxicus* の分布や季節消長、さらには毒含有量を明らかにしていくことが緊急の課題である。

謝 辞

現場調査では三重大学大学院生物資源学研究所生物海洋学教育研究分野の学生諸氏ならびに京都大学大学院農学研究

科の石井健一郎氏にご協力をいただいた。また、電子顕微鏡用の試料作成と観察においては、三重大学大学院医学系研究科電子顕微鏡室・技術専門員の小川 覚氏に様々なご助言とご協力をいただいた。記して感謝の意を表する。

引用文献

- Adachi, R. and Y. Fukuyo (1979) The thecal structure of a marine toxic dinoflagellate *Gambierdiscus toxicus* gen. et sp. nov. collected in a ciguatera-endemic area. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, **45**, 67–71.
- Bomber, J. W., M. G. Rubio and D. R. Norris (1989) Epiphytism of dinoflagellates associated with the disease ciguatera: substrate specificity and nutrition. *Phycologia*, **28**, 360–368.
- Carlson, R. D. and D. R. Tindall (1985) Distribution and periodicity of toxic dinoflagellates in the Virgin Islands. In *Toxic Dinoflagellates*, eds. D. M. Anderson, A. W. White and D. G. Baden, Elsevier, New York, 171–176.
- Chinain, M., M. A. Faust and S. Pauillac (1999a) Morphology and molecular analyses of three toxic species of *Gambierdiscus* (Dinophyceae): *G. pacificus*, sp. nov., *G. australes*, sp. nov., and *G. polynesiensis*, sp. nov. *J. Phycol.*, **35**, 1282–1296.
- Chinain, M., M. Germain, X. Deparis, S. Pauillac and A.-M. Legrand (1999b) Seasonal abundance and toxicity of the dinoflagellate *Gambierdiscus* spp. (Dinophyceae), the causative agent of ciguatera in Tahiti, French Polynesia. *Mar. Biol.*, **135**, 259–267.
- Faust, M. A. (1995) Observation of sand-dwelling toxic dinoflagellates (Dinophyceae) from widely differing sites, including two new species. *J. Phycol.*, **31**, 996–1003.
- Faust, M. A. and R. A. Gulledge (2002) Identifying Harmful Marine Dinoflagellate. Contributions from the United States National Herbarium Vol. 42, Department of Systematic Biology—Botany, National Museum of Natural History, Smithsonian Institution, Washington, D.C., 144 pp.
- Fleming, L. E., D. G. Baden, J. A. Bean, R. Weisman and D. G. Blythe (1998) Seafood toxin diseases: issues in epidemiology and community outreach. In *Harmful Algae*, eds. B. Reguera, J. Blanco, M. L. Fernández and T. Wyatt, Xunta de Galicia and Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, Santiago de Compostela, 245–248.
- Fritz, L. and R. E. Triemer (1985) A rapid simple technique utilizing calcofluor white M2R for the visualization of dinoflagellate thecal plates. *J. Phycol.*, **21**, 662–664.
- Fukuyo, Y. (1981) Taxonomical study on benthic dinoflagellates collected in coral reefs. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, **47**, 967–978.
- 福代康夫 (1990) 渦鞭毛藻綱ベリディニウム目トリアディニウム科 *Gambierdiscus toxicus* Adachi et Fukuyo. 「日本の赤潮生物—写真と解説—」 福代康夫・高野秀昭・千原光雄・松岡敦充編, 内田老鶴圃, 東京, 114–115.
- 福代康夫 (2008) アジア太平洋海域の底生性有毒微細藻類. *日本誌*, **74**, 909–910.
- Gillespie, N. C., M. J. Holmes, J. B. Burke and J. Doley (1985) Distribution and periodicity of *Gambierdiscus toxicus* in Queensland, Australia. In *Toxic Dinoflagellates*, eds. D. M. Anderson, A. W. White and D. G. Baden, Elsevier, New York, 183–188.
- 原 慶明・堀口健雄 (1982) 伊豆半島沿岸の海産微細藻類相. *国立科博専報*, **15**, 99–108.
- 橋本芳郎 (1977) 「魚貝類の毒」. 東京大学出版会, 東京, 377 pp.
- Heil, C. A., P. Bird and W. C. Dennison (1998) Macroalgal habitat preference of ciguatera dinoflagellates at Heron Island, a coral cay in the southeastern great barrier reef, Australia. In *Harmful Algae*, eds. B. Reguera, J. Blanco, M. L. Fernández and T. Wyatt, Xunta de Galicia

- and Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, Santiago de Compostela, 52–53.
- Holmes, M. J. (1998) *Gambierdiscus yasumotoi* sp. nov. (Dinophyceae), a toxic benthic dinoflagellate from southeastern Asia. *J. Phycol.*, **34**, 661–668.
- 神川龍馬・左子芳彦 (2008) 西日本に分布する *Gambierdiscus* 属近縁種の遺伝的多様性. *日水誌*, **74**, 911–912.
- Koike, K., T. Ishimaru and M. Murano (1991) Distributions of benthic dinoflagellates in Akajima Island, Okinawa, Japan. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **57**, 2261–2264.
- Lugomela, C. (2006) Autecology of the toxic dinoflagellate *Gambierdiscus toxicus* Adachi et Fukuyo (Dinophyceae) in central coastal areas of Tanzania. *Western Indian Ocean J. Mar. Sci.*, **5**, 213–221.
- 三重県 (2008) イシガキダイのシガテラ毒が疑われる健康被害事例について. 三重県ホームページ. H20. 8. 30お知らせ情報: <http://www.pref.mie.jp/TOPICS/2008080485.htm>.
- 日本電子顕微鏡学会関東支部 (2000) 「走査電子顕微鏡」. 日本電子顕微鏡学会関東支部編, 共立出版, 東京, 447 pp.
- 野口玉雄 (2007) 「水産振興479. 水産食品の安心・安全について—魚介毒 (マリントキシン) による中毒予防など」. 東京水産振興会, 東京, 68 pp.
- Ragelis, E. P. (1984) Ciguatera seafood poisoning: overview. In *Seafood Toxins*, ed. E. P. Ragelis, American Chemical Society, Washington, D.C., 25–36.
- 堺市衛生研究所 (2009) シガテラ食中毒にご注意下さい. 堺市衛生研究所ホームページ. トピックス: http://www.city.sakai.lg.jp/city/info/_hoken/eiken/topics.html.
- Shimizu, Y., H. Shimizu, P. J. Scheuer, Y. Hokama, M. Oyama and J. T. Miyahara (1982) *Gambierdiscus toxicus*, a ciguatera-causing dinoflagellate from Hawaii. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, **48**, 811–813.
- 高山晴義 (1987) 第4章 渦鞭毛藻, 1-4-2. 走査電子顕微鏡による観察法. 「赤潮生物研究指針」日本水産資源保護協会編, 秀和, 東京, 73–81.
- Turquet, J., J. P. Quod, A. Couté and M. A. Faust (1998) Assemblage of benthic dinoflagellates and monitoring of harmful species in Reunion Island, SW Indian Ocean, 1993–1996. In *Harmful Algae*, eds. B. Reguera, J. Blanco, M. L. Fernández and T. Wyatt, Xunta de Galicia and Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, Santiago de Compostela, 44–47.
- Turquet, J., J. P. Quod, L. Ten-Hage, Y. Dahalani and B. Wendling (2001) Example of *Gambierdiscus toxicus* flare-up following the 1998 coral bleaching event in Mayotte Island (Comoros, south-west Indian Ocean). In *Harmful Algal Blooms 2000*, eds. G. M. Hallegraeff, S. Blackburn, C. J. Bolch and R. J. Lewis, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, Paris, 50–53.
- 上野亮子・石川 輝 (2009) 英虞湾の底泥における中心目珪藻類休眠期細胞群集のシード・ポピュレーションとしての機能性評価. *日本プランクトン学会報*, **56**, 1–12.
- Yasumoto, T., A. Inoue, T. Ochi, K. Fujimoto, Y. Oshima, Y. Fukuyo and R. Adachi (1980) Environmental studies on a toxic dinoflagellate responsible for ciguatera. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, **46**, 1397–1404.