

有毒渦鞭毛藻

小池一彦

はじめに

渦鞭毛藻の細胞の形は、じつに奇妙で多様である。彼らは形態だけではなく、多種多様な化学物質を作ることでもよく知られている。これらの化学物質の中には、通常の生体成分ではなく、微量でも著しい生物活性をもつ、いわゆる“毒”も含まれる。渦鞭毛藻を「有毒物質のデパートだ」と言う人もいる。有毒な渦鞭毛藻が多く発生すると、それを摂餌した魚貝類が毒に汚染され、最終的に人間に食中毒を引き起こすことがある。貝毒や、シガテラと呼ばれる食中毒である。渦鞭毛藻以外にも有毒物質を作る微細藻はおり、例えばある種の珪藻なども貝毒を起こす場合があるが、貝毒の種類においても、発生頻度においても、渦鞭毛藻が原因となるケースが圧倒的に多い。ここでは有毒渦鞭毛藻による食中毒現象と、その研究の現状を簡単に紹介したい。

貝毒

渦鞭毛藻が原因となる貝中毒は、その毒成分の違いにより、麻痺性、下痢性、神経性貝毒の3



図1 *Alexandrium tamarense*の走査型電子顕微鏡(SEM)写真

つに分かれる。何れの場合も有毒渦鞭毛藻が発生し、それをプランクトン食性である二枚貝が餌として捕食することにより、毒成分が蓄積、それを食べた人間に食中毒を起こすものである。赤潮と違い原因渦鞭毛藻が低密度でもおこりうるので注意が必要である。以下それぞれの貝毒について述べてゆくが、その前に誤解の無いように言っておきたい。我が国では“貝の毒化”が起きて、それを出荷規制する体制が敷かれており、現在では食中毒の心配は無い。店頭に並んでいる貝は安心して食べて欲しい。

麻痺性貝中毒 (paralytic shellfish poisoning; PSP) は、温・寒帯域では *Alexandrium* 属の数種と *Gymnodinium catenatum* Graham が、熱帯域では主に *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* (Böhmer) Steindinger, Tester et Taylor が原因渦鞭毛藻となる。毒成分であるサキシトキシンとその誘導体群は分子量約 300 程度の一環のアルカロイドで、細胞膜のナトリウムチャンネルをブロックすることにより毒性を発揮する。原因渦鞭毛藻の出現と貝類毒化との発生が明確なのは、1961年岩手県大船渡湾における中毒事例が最初であり、このとき1名の死者を出している。以降、おもに東北・北海道沿岸において、ホタテガイの養殖の発展とともに *A. tamarense* (Lebour) Balech (図1) を原因とする貝類の毒化が確認されてきたが、近年ではその発生域がさらに広がる傾向にある。80年代までは *A. tamarense* は北日本に分布すると認識されていたが、いまや瀬戸内海や九州沿岸においてもその分布が確認されており、実際に貝類の毒化を引き起こしている。同様に、西日本で発生すると認識されてきた *A. catenella* (Whedon et Kofoid) Balech もその分布域が日本全国に広がっている。逆に、亜熱帯性とされてきた、*A. tamiyavanichii* Balech が1999年以降西日本沿岸域において貝類毒化を引き起こしている (吉松ら 2000)。 *P. bahamense* var. *compressum* (図2) による貝類の毒化がとくに顕著である

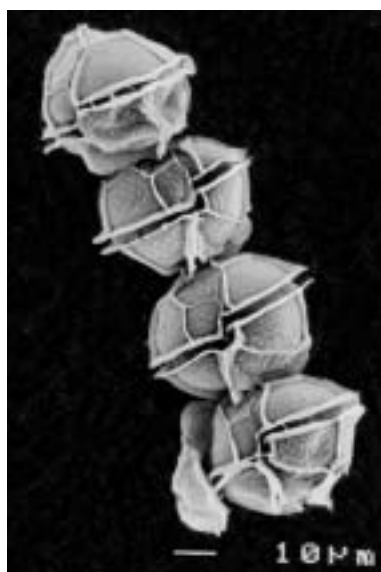


図2 *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* の SEM 写真

フィリピンでは、1983年に中部海域で本種の赤潮が発生したのを皮切りに、その後数年で発生域が広い範囲に広がり、現在もさらに広域化する様子を見せている(福代ら 2001)。これら原因渦鞭毛藻が近年になりその分布域を広げるようになった理由として、調査自体の精度の向上や、実施頻度の増加が分布域拡大の認識の要因であるとする意見もある。しかしその“タネ”となる細胞が他から移入してきた可能性、もしくは“タネ”がもともとそれぞれの海域に存在していたならば、それが顕在化することになった原因を環境の面から検討することも重要な課題である。タネ細胞の移入については、PSP原因種何れもが耐環境性に優れた休眠胞子を形成するので、船のバラスト水や貝の移植による伝播の可能性が示唆されている。顕在化については、海域への無機栄養塩類の負荷による富栄養化と単純に結びつけることはできない。*Alexandrium* の場合、光合成以外の栄養摂取、すなわち従属栄養の側面を持つことも報告されている(Ogata et al. 1996)。

下痢性中貝毒 (diarrhetic shellfish poisoning; DSP) は、*Dinophysis* 属の数種(図3)が原因となる。原因毒成分は分子量800程度のポリエーテル化合物であるオカダ酸とその誘導体である

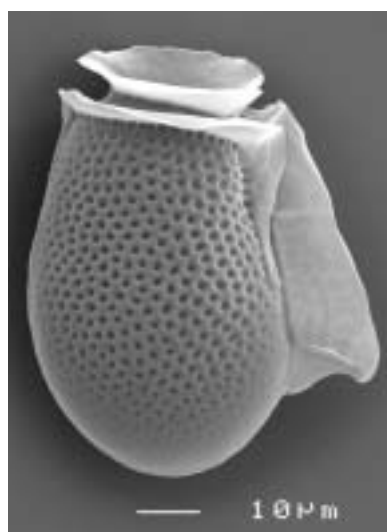


図3 *Dinophysis fortii* の SEM 写真

ディノフィシトキシン群である。タンパク質の脱リン酸化を行う酵素の働きを阻害することにより毒性を発揮する。症状はその名のとおり下痢が主であるが、原因毒が発ガン促進作用をもつとする報告もある(Suganuma et al. 1988)。発生は、我が国では北海道・東北沿岸が主で、世界的にも温・寒帯域に限られている。とくにヨーロッパの大西洋沿岸、北海沿岸での発生は多く、数千人規模の食中毒が起こったこともある。ただし最近フィリピンにおいても貝に本毒成分が存在していることが報告されている(Marasigan et al. 2001)。原因渦鞭毛藻の *Dinophysis* spp. は何れの種も研究室内で培養が成功しておらず、その増殖を引き起こす要因が何であるのか不明のままである。フィールドでの出現調査によってもこれら *Dinophysis* spp. の出現と明確にリンクしている環境要因は見つかっていない。ただし、近年になり、その特異な生態が徐々に明らかになりつつある。*Dinophysis* 属には葉緑体をもつ光合成種と、他生物を捕食する従属栄養種が混在し、DSPの原因となるのは前者である。ところが光合成種も食胞を持つことがあり、その中には大量の外来のミトコンドリアが含まれる(Koike et al. 2000)。すなわち他の真核生物を捕食しているわけである。この食胞はブルーミング時以外に

出現する細胞に認められることから、生き残り戦略として興味深い。また、最近筆者らのグループは、光合成種の葉緑体の起源に関して、それが特定のクリプト藻から“盗まれた”ものであることを、葉緑体の遺伝子解析結果から示唆した(Takishita et al. 2002)。その獲得機構が今後解明されるべき課題として挙げられる。さらに、このような複雑な栄養摂取様式のどの部分が毒生産能とリンクしているのかを検討することも今後の課題であろう。

DSPの原因毒が貝に見出されるのと同時期に、イェットキシンというポリエーテル毒が検出されることがある。本毒成分はマウスの腹腔内毒性は高いものの、経口毒性は低いので中毒事件は起こっていない。起源生物は *Dinophysis* であろうと思われてきたが、そうではなく、最近になって渦鞭毛藻の *Protoceratium reticulatum* (Claparède et Lachmann) Bütschli (図4)であることが確かめられた (Satake et al. 1997)。

神経性貝中毒(neurotoxic shellfish poisoning; NSP)は、*Karenia brevis* (Davis) Hansen et Moestrup (以前は *Gymnodinium breve*) が原因となる。毒成分であるプレベトキシン群はポリエーテル化合物で、その作用は麻痺性貝毒のサキトキシンとは逆であり、ナトリウムチャンネルを過度に活性化する。本貝毒の発生域は北米とニュージーランドに限られており、北米では *K. brevis* の大量発生による魚の斃死や、めずらしい所で



図4 *Protoceratium reticulatum* の SEM 写真

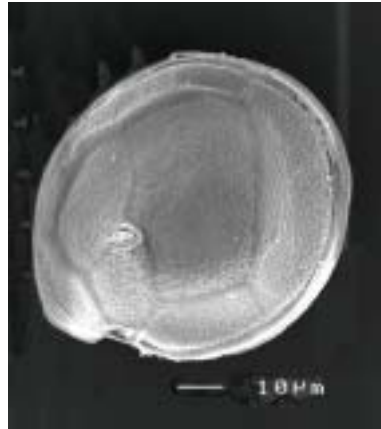


図5 *Gambierdiscus toxicus* の SEM 写真

は哺乳類のマナティーの大量死も報告されている。ニュージーランドでは1992年になって初めて本貝毒が発生し、いきなり280名をこえる食中毒事件となった(Bate et al. 1993)。我が国ではいまのところ本貝毒は発生していないが、*K. brevis* の存在は確認されている。ニュージーランドの例からも、その発生と毒性のモニタリングが必要である。

シガテラ

シガテラは付着生活を営む有毒渦鞭毛藻が原因となり、二枚貝ではなく、巻貝や主に魚が中毒原因となる点で貝毒とは異なる。*Gambierdiscus toxicus* Adachi et Fukuyo (図5)を始めとする数種の有毒渦鞭毛藻が海藻に付着して生活しており、その海藻を巻貝や藻食魚が食べ、その藻食魚を肉食魚が・・・という流れで渦鞭毛藻の毒が移行、濃縮されてゆく。発生は熱帯・亜熱帯のサンゴ礁の発達した小諸島に限られるが、中毒例は非常に多く、年間2万人にも達すると推定されている。ごく最近、香港やフィリピンにおいても中毒事件が発生したと伝えられている(福代ら 2001)。水に触れた時にショックを感じるドライアイスセンセーションと呼ばれる知覚異常を特徴的な症状とする。シガテラの主要毒は *G. toxicus* が作る脂溶性毒のシガトキシンと水溶性毒のマイトキシンである。何れもポリエーテル化合物で、シガトキシンはプレベトキシン同様、ナトリウムチャンネルの過度の活性化によるナトリウムイオンの過剰流

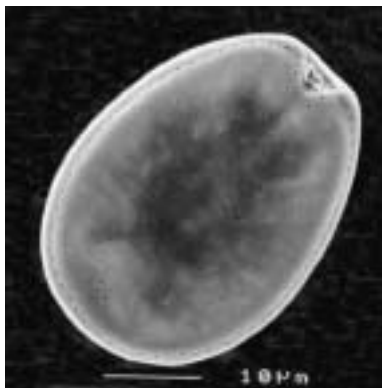


図 6 *Prorocentrum lima* の SEM 写真

入を起し、マイトトキシンはカルシウムイオンの細胞内への過剰流入を起こさせることにより毒性を発揮する。シガトキシンは魚類の体内で様々な同族体に変換され毒性が上昇するとされる(佐竹 2001)。*G. toxicus* 以外にも、例えば上記の下痢性貝毒の原因毒であるオカダ酸を作る *Prorocentrum lima* (Ehrenberg) Dodge (図6) も、シガテラ発生域の海藻表面に多数生息しており、魚の毒化に関与している可能性がある。シガテラの最大の問題点は中毒事例の多さにもかかわらず、その監視体制がほとんど整っていないことである。その理由として、発生域が発展途上の小諸島であり、原因渦鞭毛藻が付着性であるがゆえにその分布・出現調査に困難を伴い、簡便で信頼できる原因毒の定量法が無いことが挙げられる。原因渦鞭毛藻の生理・生態に関する研究も同じような理由で滞っている。

以上、有毒渦鞭毛藻がおこす様々な食中毒とその現状について簡単に述べた。人類は今世紀中に食糧危機という難題に遭遇する。その解決には、二枚貝の養殖が大きな役割を果たすであろう。なにせ、人間活動の結果、富栄養化が進むことによって大量に発生した植物プランクトンを餌として利用してくれるし、海に吊るしておけば良いだけである。しかも美味、栄養豊富である。究極の環境循環型の食料生産形態であるといえよう。ただし、そこに立ちはだかる最大の問題が有毒プランクトンによる貝の毒化である。また、シガテラも豊富な南方魚類資源の利用に大きな障壁となるし、シーフードを楽しめない

となれば、発生域の最大の経済基盤である観光業に打撃を与えかねない。これら有毒渦鞭毛藻の生理・生態を正しく理解したうえで、その出現を予測し、可能であるならば抑制することが課題である。

文献

- Bates, M., Baker, M., Willson, N., Lane, N. & Handford, A. 1993. Marine toxins and New Zealand shellfish. p. 35-40. In: Proceedings of a workshop on research issue. Royal Society of New Zealand.
- 福代康夫・児玉正昭・緒方武比古 2001. 総説：有毒微細藻類. 月刊海洋 33: 685-688.
- 福代康夫・松岡敦充・古谷研 2001. 有毒微細藻類の分布拡大とその原因. 日本プランクトン学会報 48: 51-54.
- Koike, K., Koike, K., Takagi, M., Ogata, T. & Ishimaru, T. 2000. Evidence of phagotrophy in *Dinophysis fortii* (Dinophysiales, Dinophyceae), a dinoflagellate that causes diarrhetic shellfish poisoning (DSP). Phycological Res. 48: 121-124.
- Marasigan, A. N., Sato, S., Fukuyo, Y. & Kodama, M. 2001. Accumulation of a high level of diarrhetic shellfish toxins in the green mussel *Perna viridis* during a bloom of *Dinophysis caudata* and *Dinophysis miles* in Sapijan Bay, Panay Island, the Philippines. Fisheries Science 67: 994-996.
- Ogata, T., Koike, K., Nomura, S. & Kodama, M. 1996. Utilization of organic substances for growth and toxin production by *Alexandrium tamarense*. p. 343-346. In: T. Yasumoto, Y. Oshima & Y. Fukuyo (eds.) Harmful and Toxic Algal Blooms. International Oceanographic Commission of UNESCO.
- 佐竹真幸 2001. シガテラ毒の化学. 月刊海洋 33: 744-749.
- Satake, M., MacKenzie, L. & Yasumoto, T. 1997. Identification of *Protoceratium reticulatum* as the biogenetic origin of yessotoxin. Natural toxins 5: 164-167.
- Suganuma, M., Fujiki, H., Suguri, H., Yoshizawa, S., Hirota, M., Nakayasu, M., Ojika, M., Watamatsu, K., Yamada, K. & Sugimura, T. 1988. Okadaic acid: an additional non-phorbol-12-tetradecanoate-13-acetate-type tumor promoter. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 85: 1768-1771.
- Takishita, K., Koike, K., Maruyama, T. & Ogata, T. 2002. Molecular evidence for plastid robbery (kleptoplastidy) in *Dinophysis*, a dinoflagellate causing diarrhetic shellfish poisoning. Protist. in press.
- 吉松定昭・松岡聡・越智洋雅・西尾幸郎・橋本多美子・西掘尚良・吉田誠・福代康夫 2000. 播磨灘南部海域に発生した *Alexandrium tamiyavanichii* による二枚貝毒化 I. プランクトンの発生状況. 平成 12 年度日本水産学会講演要旨集. p. 45.

(北里大学水産学部)