

有害微細藻類の分布拡大とその原因

福代康夫¹⁾・松岡数充²⁾・古谷 研³⁾

¹⁾東京大学アジア生物資源環境研究センター 〒113-8657 東京都文京区弥生1-1-1

²⁾長崎大学水産学部 〒852-8521 長崎市文教町1-14

³⁾東京大学大学院農学生命科学研究科 〒113-8657 東京都文京区弥生1-1-1

Geographical expansion of harmful algal blooms and its possible cause

YASUWO FUKUYO¹⁾, KAZUMI MATSUOKA²⁾ AND KEN FURUYA³⁾

¹⁾Asian Natural Environmental Science Center, University of Tokyo, 1-1-1 Yayoi, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8657, Japan

E-mail: ufukuyo@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp

²⁾Faculty of Fisheries, Nagasaki University, 1-14 Bunkyo-machi, Nagasaki 852-8521, Japan

³⁾Graduate School of Agricultural and Life Science, University of Tokyo, 1-1-1 Yayoi, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8657, Japan

Abstract Harmful algal blooms began to occur widely after the middle of 1980s. The first paralytic poisoning by shellfish contaminated with toxins produced by the dinoflagellate *Pyrodinium bahamense* occurred in Papua New Guinea in 1973. It spread to Indonesia, Malaysia, Brunei Darussalam and the Philippines in the last two decades. Fish mass mortality also occurred in Japan, Korea, China and Hong Kong along with the development of aquaculture.

Several reasons have been suggested for the geographical expansion. These are 1) utilization of coastal area, leading the eutrophication with the change of N:P ratio; 2) increasing aquaculture operations, revealing the presence of previously unknown harmful species; 3) species transport and dispersal via ballast water, shellfish transportation, or natural mechanisms such as currents; 4) advances in methodology, leading detection of new harmful events; and 5) global long-term environmental changes such as ENSO.

Key words: geographical expansion (広域化), harmful red tides (有害赤潮), red tide plankton (赤潮プランクトン), toxic plankton (有毒プランクトン)

近年わが国のみならず世界各地で、有害赤潮や有毒プランクトンの発生が問題となっている。その原因の一つとして環境変動がしばしばあげられるが、その実態は今一歩はっきりしていない。ここでは、この問題に対して直接的な検証が困難なため、いくつかの可能性とその検討のための科学的アプローチについて考察を加えた。

1. 有害赤潮や有毒プランクトンによる問題の深刻化

1980年代後半から有害赤潮による魚貝類大量斃死や毒化魚貝類による食中毒事件の報告が世界的に多くなっている (Maclean 1989, Hallegraef 1993)。

東南アジアのフィリピンでは1983年に中部のサマル海で有毒渦鞭毛藻 *Pyrodinium bahamense* の赤潮が起こり、20名余りの死者を含む300名近くの麻痺性貝毒中毒患者が発生して大問題となったが (Hermes & Villosio 1983)、この有

毒赤潮と貝類毒化現象の発生域はその後数年間でフィリピンの広い範囲に広がり (Gonzales 1989)、現在もさらに広域化する様子を見せている (National Red Tide Task Force & Inter-Agency Committee on Environmental Health 1999)。また、近隣のマレーシア (Ting & Ming 1984)、インドネシア (Wiadnyana et al. 1996)、ブルナイダルサラム (Jaafar et al. 1989) などでも、同じ *P. bahamense* による魚貝類毒化が起こり、死者を含む中毒事件が発生しているため、各国とも対策に苦慮している。この原因種は1970年代前半にバブアニューギニアでまず発生し (Maclean 1973)、その後タイ、マレーシア半島部とヴェトナムを除く、東南アジア各地で認められるようになったものである (Maclean 1989)。

また、韓国 (Park 1991) や中国 (Qi et al. 1996) では、養殖魚類の斃死を引き起こす有害赤潮プランクトンが、1980

年代前半まではごく狭い範囲で発生していただけであったが、1980年代後半になると広い範囲に広がり、原因種としても *Gymnodinium mikimotoi*, *Cochlodinium polykrikoides* などのほか未記載種 (Kim et al. 1995) を含むいくつかの種類が報じられるようになっていく。香港では *Gymnodinium* の一種による赤潮が1998年3~4月に起こり、養殖魚類の斃死により10億円を超す被害が出ているが、この種は今までわが国以外では知られていなかった、同属の新種である (Yang & Hodgkiss 1999)。

ニュージーランドでは、魚貝類の斃死や海藻の枯死を引き起こす無殻渦鞭毛藻 *Gymnodinium* が夏季1997年1月に発生しており、最近 *G. brevisulcatum* として新種報告された (Chang 1999)。また、これに酷似した種が1999年10月にクウェートでも発生して大量の養殖魚を斃死させ、養殖漁業に壊滅的打撃を与えただけでなく、東南アジアから養殖漁業の労働者としてクウェートにきている人の解雇と本国送還といった問題まで起こしている (Kuwait Institute for Scientific Research 2000)。

わが国では、瀬戸内海など魚貝類養殖漁業の盛んな西日本沿岸で、漁業問題を引き起こす原因種が少しずつ変化している。海域の富栄養化が問題とされた頃には、ラフィド藻の *Chattonella antiqua* がよく問題とされたが、最近は無鞭毛藻 *Gymnodinium mikimotoi* が魚類斃死原因種として問題とされ、その他に貝類毒化の原因となる *Alexandrium tamarense* や *A. catenella*, あるいはカキやアコヤガイを斃死させる *Heterocapsa circularisquama* が発生するなど、問題が変化して多様化している (Honjo 1994)。

2. 問題の深刻化の原因

有害赤潮や魚貝類毒化の問題がこれほどまでに世界的な広がりを見せている原因には、いかに挙げるいくつかのことが考えられるが、その一つずつが単独で作用しているのではなく、複合して働いていると考えるべきであろう。

養殖漁業振興など開発に伴う環境変化による赤潮発生

わが国において、1960年代後半にハマチ養殖が本格化すると、1970年代から有害赤潮による魚類斃死事例が増加したことはよく知られている (岡市 1997)。韓国や香港で起こった赤潮による魚類大量斃死問題は、養殖規模に見合った適正な収容量や投餌量に関する適切な指導がなされないうままに、小規模な経営体による養殖漁業が増えたことによるところが大きい。魚類養殖には給餌が不可欠であり、残餌などにより環境に有機・無機の窒素やリンが蓄積され、富栄養化することは避けられない。この結果、窒素とリンを利用する単細胞藻類は必然的に数が増え、赤潮が起きる機会が増えるだけでなく、発生域が広がるとともに発生期間も長くなる。

養殖漁業からの負荷だけでなく、沿岸開発で森林がなくなると、陸上からの負荷が森林に保留再利用されることなく沿岸水域に直接多量に流入するようになる。また、リンは窒素に比べ排出量を規制しやすいので、都市部からの排水は窒素よりリンが減って、結果的に海域では両者の比が変わる。そのため、わが国などでは赤潮などの問題を引き起こす種が変化してきていると考えられている (吉田 1993)。

貝類養殖による有毒種の顕在化

フィリピンにおける貝毒発生海域は、マニラ湾を除けば、サンゴ礁が見られる貧栄養な水域がほとんどである (National Red Tide Task Force and Inter-Agency Committee on Environmental Health 1999)。わが国においても、貝毒の発生海域は富栄養化していない東北・北海道沿岸が中心である (Yamamoto & Yamasaki 1996)。すなわち、貝毒は富栄養化した水域に発生するのではなく、全てとは言えないまでも、どちらかといえば貧栄養なきれいな沿岸域に多くみられる現象である。このような環境は貝毒発生前後に変化したとはいえ、貝類養殖による環境変化によって貝毒原因プランクトンが増殖するようになったとは考えられない。

また、フィリピンマニラ湾の海底に堆積している *Pyrodinium bahamense* のシスト調査では、1988年に最初に発生したとされる同種が1970年代にすでに大発生していた可能性が指摘されている (Furio et al. 1996)。わが国でも、有毒種 *Alexandrium catenella* が1910年代にすでに発生していた可能性が示唆されている (岡市 1997)。

これらのことから、多くの有毒種については、魚類養殖による環境変化とは全く異なる機構で発生が広域化し、問題が深刻化していると考えられる。すなわち、毒化する貝類が以前はこの海域にいなかったため、発生に気付かれなかった有害種が、貝類養殖が展開された結果、貝毒原因種として顕在化したと考えられるものである。

原因生物の人為的広域化

有害赤潮原因種や有毒プランクトンが、船舶のバラスト水に混入して遠隔地に運ばれ、そこで定着してしまう可能性が考えられている (Jones 1991)。即ちバラストタンクに海水を取り込む際に、その海水中のプランクトン種も一緒に取り込むからである。実際にバラストタンクに有毒種のシストが大量にいる船が確認されている (Hallegraeff et al. 1990)。

また、養殖貝類の運搬も人為的広域化の一因となっており (Matsuyama 1999)、たとえばフィリピンにおける貝毒問題は、同国水産資源局が1980年代後半から進めていた、安価な蛋白源確保のための貝類養殖振興策による貝類養殖域の広域化が深く関係している。また、この事業を進める中で、最初に有毒

渦鞭毛藻の赤潮が発生し、貝類が毒化したサマル海から稚貝を各地に運搬して養殖したことも、原因種の*P. bahamense*を広げる一因となっている。

しかし、問題を引き起こした種類が本当に人為的に持ち込まれたものか、それとも、もともといた種が顕在化したのかを科学的に調べるのは、きわめて難しい。一部の渦鞭毛藻では、上述のフィリピンにおける*Pyrodinium*のように、海底に堆積しているシストの量と、そのシストが含まれている地層の年代測定結果により、最初の発生時期と、問題が起こった時期の異同が調べられるが、この方法をとることができるのはシストを形成するごく一部の種類である (Furio et al. 1996)。

赤潮情報数の増加

入江(1987)は1900年以降1980年代半ばまでの間に公表された、赤潮ならびに水域の汚染、ないしは富栄養化とプランクトン群集の関連に関する学術的報文類の数量の推移を調べており、1900年から1950年までは多い年でも年に2, 3報であるが、それ以降は年をおうにつれて急激に増加し、特に1960年代以降は著しく多くなっているとまとめている。

地球規模の環境変動

植物プランクトンは沿岸湧昇流により栄養塩が表層に運ばれる海域に多く、このような海域では有害赤潮や貝毒の原因種も増える (Chang 1997)。ENSOなど地球規模の環境変動では湧昇流の強さなどが変わるので、有害プランクトンを含めて量と分布が変動し (Maclean 1989)、実際に赤潮が起こって広域化したように見えることもある。

引用文献

- Chang, F. H. 1997. Toxic marine Phytoplankton. *Aquaculture Update* No.18: 8-10.
- Chang, F. H. 1999. *Gymnodinium brevisulcatum* sp. nov. (Gymnodiniales, Dinophyceae), a new species isolated from the 1998 summer toxic bloom in Wellington Harbour, New Zealand. *Phycologia* 38: 377-384.
- Furio, E. F., Y. Fukuyo, K. Matsuoka & C. L. Gonzales 1996. The vertical distribution of resting cysts of PSP-producing dinoflagellate *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* in Manila Bay, Philippines, pp. 185-188. In *Harmful and Toxic Algal Blooms* (ed. Yasumoto, T., Y. Oshima & Y. Fukuyo). Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, Paris.
- Gonzales, C. E. 1989. *Pyrodinium* blooms and paralytic shellfish poisoning in the Philippines, pp.39-47. In *Biology, Epidemiology and Management of Pyrodinium Red Tides* (ed. Hallegraef, G. M. & J. L. Maclean). ICLARM Conference Proceedings 21, Fisheries Department, Ministry of Development, Brunei Darussalam and International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, Philippines.
- Hallegraef, G. M., C. J. Bolch, J. Bryan & B. Koerbin 1990. Microalgal spores in ship's ballast water: a danger to aquaculture. pp. 475-480. In *Toxic Marine Phytoplankton* (ed. Graneli, E., B. Sundstrom, L. Edler & D. M. Anderson). Elsevier Scientific Publishing, N.Y.
- Hallegraef, G. M. 1993. A review of harmful algal blooms and their apparent global increase. *Phycologia* 32: 79-99.
- Hermes, R. & E. P. Viloso 1983. A recent bloom of the toxic dinoflagellate *Pyrodinium bahamense* var. *compressa* in the central Philippine waters. *Fish. Res. J. Philippines* 8: 1-7.
- Honjo, T. 1994. Overview on prediction and prevention of red tide causing death of marine life. *Farming Japan* 28: 9-14.
- 入江春彦 1987. 緒言. 赤潮生物研究指針 (高野秀昭, 千原光雄, 福代康夫編) pp.9-13. 日本水産資源保護協会, 東京.
- Jaafar, M. H., M. W. R. N. De Silva & P. H. Y. Sharifuddin 1989. *Pyrodinium* red tide occurrences in Brunei Darussalam, pp. 9-17. In *Biology, Epidemiology and Management of Pyrodinium Red Tides* (ed. Hallegraef, G. M. & J. L. Maclean). ICLARM Conference Proceedings 21, Fisheries Department, Ministry of Development, Brunei Darussalam and International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, Philippines.
- Jones, M. M. 1991. Marine organisms transported in ballast water: a review of the Australian scientific position, pp.1-48. Bureau of Rural Resources Bulletin No. 11, Australian Governm. Publ. Serv., Canberra, Australia.
- Kim, H. G., J. S. Park, Y. Fukuyo, H. Takayama, Y. H. Han & J. S. Shim 1995. Noxious dinoflagellate bloom of an undescribed species of *Gyrodinium* in Chungmu coastal waters, Korea, pp. 59-63. In *Harmful Marine Algal Blooms* (ed. Lassus, P., G. Arzul, E. Erard, P. Gentien & C. Marcaillou) Technique et Documentation-Lavoisier, France.
- Kuwait Institute for Scientific Research 2000. Fish kills, red tides, Kuwait's marine environment, pp. 1-16.
- Maclean, J. L. 1973. Red tide and paralytic shellfish poisoning in Papua New Guinea. *Papua New Guinea Agric. J.* 24: 131-138.
- Maclean, J. L. 1989. An overview of *Pyrodinium* red tides in the western Pacific, pp. 1-7. In *Biology, Epidemiology and Management of Pyrodinium Red Tides* (ed. Hallegraef, G. M. & J. L. Maclean). ICLARM Conference Proceedings 21, Fisheries Department, Ministry of Development, Brunei Darussalam and International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, Philippines.
- Maclean, J. L. 1989 Indo-Pacific red tides, 1985-1988. *Mar. Pollution Bull.* 20: 304-310.
- Matsuyama, Y., 1999. Harmful effect of dinoflagellate *Heterocapsa circularisquama* on shellfish aquaculture in Japan. *JARQ*, 33: 283-293.
- National Red Tide Task Force and Inter-Agency Committee on Environmental Health 1999. Philippine Guidebook on Toxic Red Tide Management, pp. 1-69.
- 岡市友利 1997. 赤潮現象. 赤潮の科学(第2版) (岡市友利編), pp. 5-41. 恒星社厚生閣, 東京.
- Park, J. S. 1991. Red tide occurrence and countermeasure in Korea, pp. 1-24. In *Recent Approach on Red Tides* (ed Park, J. S. & H. G. Kim). National Fisheries Research and Development Agency, Korea.
- Qi, Y. Z., Q. Feng & Z. Lei 1996. Physiol-ecological research on

- harmful algal blooms along the coast of southeast China Seas. pp. 6-15. In *Proceedings of the Second Meeting of Chinese Committee of SCOR-IOC Working Group* (ed. Zhu, M. Y., R. X. Li & X. Wang). Qingdao Publisher, Qingdao, China.
- Ting, J. W. & T. T. Ming 1984. Red tide and paralytic shellfish poisoning in Sabah, Malaysia, pp. 35-42. In *Toxic Red Tides and Shellfish Toxicity in Southeast Asia* (ed. White, A. W., A. Anraku & K. -K. Hooi). Southeast Asian Fisheries Development Center, Bangkok, Thailand and International Development Research Center, Ottawa, Canada.
- Wiadnyana, N. N., T. Sidabutaar, K. Matsuoka, T. Ochi, M. Kodama & Y. Fukuyo 1996. Note on the occurrence of *Pyrodinium bahamense* in eastern Indonesian waters, pp. 53-56. In *Harmful and Toxic Algal Blooms* (ed. Yasumoto, T., Y. Oshima, & Y. Fukuyo). Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, Paris.
- Yamamoto, M. & M. Yamasaki 1996. Japanese monitoring system on shellfish toxins. pp. 19-22. In *Harmful and Toxic Algal Blooms* (ed. Yasumoto, T., Y. Oshima & Y. Fukuyo). Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, Paris.
- Yang, Z. B. & I. J. Hodgkiss 1999. Massive fish killing by *Gyrodinium* sp. pp. 4-5. In *Harmful Algae News* (ed. Wyatt, T.). Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, Paris.
- 吉田陽一 (編) 1993. 水域の毒素: リン比と水産生物. 水産学シリーズ 95, pp. 1-152. 恒星社厚生閣, 東京.

2000年11月11日受付, 2000年12月12日受理