瀬戸内海の赤潮プランクトン*

小 野 知 足

瀬戸内海東部の播磨灘では、1972年の夏に、*Chattonella antiqua*(HADA) ONO の大規模な赤潮が発生し、周辺の4県下で総計550万尾の養殖ハマチがへい死し、ハマチ養殖業が総額71億円にのぼる未曾有の損害を受けた¹⁾。また1984年夏には和歌山・三重両県の熊野灘沿岸で *Gymnodinium nagasakiense* TAKA-YAMA & ADACHI の赤潮が発生し、真珠養殖に約50億円の損害を与えた。

瀬戸内海およびその周辺水域に発生する赤潮は1960年頃から頻発するようになり、さらに1965年頃から、赤潮を起こす生物群が多岐にわたるようになり、海産の単細胞植物群のほとんどにわたるようになった。

赤潮を起こす生物は、珪藻類や一部の渦鞭毛藻を除いてその被殻が非常に軟らかいか、被殻を欠くものが多く、これまでは固定ができないと言われ、生体を観察することで同定が行われてきた。そのために分類のメルクマレがあいまいになり、分類学上の混乱がしばしば生じ、現在なおその混乱を残している種も多い。

本稿では、播磨灘を中心に、漁業に問題の多い種について述べることにする。

赤潮を起こす生物

水産庁瀬戸内海漁業調整事務所が集計した結果によると、1983年に瀬戸内海・紀伊水道・豊後水道で発生した赤潮の構成種は表1に見るとおりである²⁾。PARKE & DIXON³⁾のチェックリスト(表2)と照らし合わせると、赤潮を起こす生物は渦鞭毛藻を中心に、ほとんどの植物群にわたることがわかる。これらの生物の内、瀬戸内海で重要視されている種はラフィド藻

表1 瀬戸内海及びその周辺の赤潮発生状況(1983年)

Genera	(月)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
DIATOMS													
Asterionella												1	
Cerataulina										1		1	
Chaetoceros							4	5	2	1	1		
Coscinodiscus													1
Leptocylindrus						2	2	1	1	1			
Nitzschia					1	1							
Rhizosorenia					1				1				
Skeletonema					2	3	7	7	3	1	2	1	1
Thalassiosira					1		2	2	1	2	1	1	
DINOPHYCEAE													
Ceratium									1				
Gymnodinium									2	8	2		1 1
Gyrodinium									1		1		
Gonyaulax											1		
Heterocapsa				1	1								
Noctiluca		1				2	15	9	3	6	2	10	5 2
Prorocentrum					1		3	5	2	4	2	7	2 1
Scrippsiella									1				
PHAPHIDOPHYCEAE													
Chattonella									17	7			
Fibrocapsa									1				
Heterosigma							7	19	14	4	2		
OTHER ALGAE													
Euglena						1							
Eutreptiella								1	1				
Oltomansiella								1	1	1			
Unidentified								1	1				
PROTOZOA													
Abedinella						1							
Mesodinium								1	1		1	3	2
Other organisms						1		1	1	1	1		2

[注]水産庁瀬戸内海漁業調整事務所、瀬戸内海の赤潮(昭和58年)による

の *Chattonella antiqua*, *C. marina*, 渦鞭毛藻の *Gymnodinium nagasakiense*, 二枚貝の毒化現象の原因となる *Dinophysis fortii*, *Protogonyaulax catenella*, *P. tanarensis* などである。

これらの生物の特徴を次に記す。

1. *Chattonella antiqua*(HADA)ONO (図1・A)
この生物は、1969年に広島湾に発生した赤潮から発

Chitari Ono

昭和34年 北海道大学卒業
同年 香川県庁水産課
36年 香川県水産試験場
58年 香川県赤潮研究所
[趣味] 山草の栽培

* Red Tide Plankton in Seto Inland Sea, 昭和60年5月20日受理

表2 赤潮生物の分類学的位置

Divisio	Classis	Ordo	Genera
Bacteriomycota	Pseudomonadomycetes	Rhodobacteria	Chromatium
Cyanophyta	Cyanophyceae	Nostocales	Tricodesmium
		Chroococcales	Microcystis
Cryptophyta	Cryptophyceae	Cryptomonadales	Chroomonas
			Cryptomonas
			Rhodomonas
	Ebriophyceae	Ebriales	Ebria
Dinophyta	Dinophyceae	Prorocentrales	Prorocentrum
		Dinophysiales	Dinophysis
		Gymnodiniales	Gymnodinium
			Cochlodinium
			Amphidinium
			Polykrikos
			Gyrodinium
			Noctiluca
			Oxyrrhis
		Peridinales	Peridinium
			Gonyaulax
			Ceratium
Haptophyta	Haptophyceae	Coccosphaerales	Coccolithus
		Prymniales	Prymnesium
Chrysophyta	Chrysophyceae	Ochromonadales	Olisthodiscus
			Uroglena
		Dictyochaetes	Dictyocha
	Bacillariophyceae	Discales	Cyclotella
			Coscinodiscus
			Talassiosira
			Skeletonema
		Soreniales	Rhizosolenia
		Biddulphiales	Odontella
			Bacteriastrum
			Chaetoceros
			Eucampia
		Araphidales	Fragilaria
			Asterionella
		Biraphidales	Nitzschia
	Rhaphidophyceae	Rhaphidomonadales	Chattonella
			Heterosigma
			Fibrocapsa
Euglenophyta	Euglenophyceae	Euglenales	Euglena
			Eutreptia
			Eutreptiella
Chlorophyta	Prasinophyceae	Pyramimonadales	Asteromonas
		Prasinocladales	Pyramimonas
			Tetraselmis
	Chlorophyceae	Volvocales	Dunaliella
			Chlamidomonas
		Protococcales	Protococcus

〔注〕Ordo 以上は、Park & Dixon のチェックリストによる

見され、命名された。発見当初、ミドリムシの一種と考えられたが、眼点がないことやミドリムシ特有の体表をらせん状に取りまく被殻がないことなどから、ミドリムシの仲間でないことが明らかになった。この生物は南フランスのセート付近で発見された *C. aubersalis* と同じ属の生物⁵⁾であることがわかり、現在の分類が確立された⁶⁾。

体形は細長い芋の葉様で体の先端付近に鞭毛孔が開き、2本の鞭毛を有する。1本は体の前方にのび、他の1本は体に接して後方に曳いている。体の中央よりやや前寄りに大きな核があり、核を中心に放射状に葉緑体が並んでいる。細胞膜は非常に弱く、わずかの刺激で容易に細胞が破裂する。

香川県では、本種を最も重要視しており、同県の赤

潮対策のほとんどは、本種に対するものである。本種は、赤潮を形成する（目視的に赤潮をわかる）前に、養殖ハマチのへい死現象を起こす。本種によるハマチのへい死のメカニズムも最近明らかにされて来た。へい死のメカニズムが明らかになったことで、へい死を防ぐ方法も近い将来には確立されよう。

2. *Chattonella marina* (SUBRAHMANYAN) HARA et CHIHARA (図1・B)

本種はインド南部のコージューデ海岸で発見され1954年に記載されたのであるが、現地では1917年頃からブルーミングが知られていたようである⁷⁾。

わが国沿岸では、1977年に鹿児島湾で大発生したのが最初である⁸⁾が、その後瀬戸内海でも見られるようになった。*C. antiqua* と非常に良く似ているが、体が小型であることや、体がラグビーボールのように断面が円に近い形をしていることで前種とは区別できる。播磨灘では7月中・下旬頃に大発生することがあり、その盛期の水温は、*C. antiqua* の発生盛期よりも、水温が2～4℃程度低い。

3. *Gymnodinium nagasakiense* TAKAYAMA et ADACHI (図1・C)

本種は1965年に長崎県大村湾で発生し、はじめて知られた種で、命名されるまでに24年経過した。この種は西日本各地でしばしば赤潮を起こし、漁業被害も頻発している。最近では1984年夏、三重・和歌山両県の熊野灘で大規模な赤潮を形成した。

この生物は、*Gymnodinium* 属以外の特徴も有しており、観点を変えれば、他の生物群とも見ることもできる種である。例えば、大西洋には、本種と良く似ておりさらに小型の *Gyrodinium aureolum* という別属の生物が知られており、魚介類に対する作用等はほとんど本種と同じである¹⁰⁾。

このグループは、電子顕微鏡を使った観察が進めば、分類学上種々の疑いが生じてくる可能性を持っていると言えよう。

4. *Protogonyaulax catenella* (WHEDON et KOFOID) TAYLOR と *P. tamareusis* (LEBOUR) TAYLOR (図1・D)

この2種は二枚貝が有毒化する原因となる種で赤潮

図1

とは別の意味で水産上問題を含んだ生物である。

このグループは、はじめ *Gonyaulax* 属に分類されていたが¹¹⁾、鎧板(被殻)の構成を基準にして1976年に TAYLOR が新属を樹立して今日に至っている(図3)¹²⁾。現在は、腹孔の有無と頂小板の前部接続孔、底板の後部接続孔を基準に分類されている。しかしながら *Protogonyaulax* 属の属名は、国際的な研究報告にはいまだに *Gonyaulax* が用いられているものが多い。

この2種はごく近縁種であるが、生態的には色々と異なる特徴があり、その点を詳しく観察すれば比較的容易に区別がつく。播磨灘における両種の生態的な特徴を表3に示した。

赤潮を起こす生物の地域差

赤潮の原因となる生物の分布・増殖の仕方などには、かなりの地域差が見られる。

例えば、播磨灘の北岸域は、ほとんど周年珪藻類の赤潮が発生しているが、南岸域では通常の時でも珪藻類はほとんど出現しない。その代わりこの水域では渦鞭毛藻を中心とした鞭毛藻類が多く、赤潮の主生物も鞭毛藻がほとんどである。

C. antiqua, *C. marina* の大規模な赤潮は、瀬戸内海では播磨灘に多いが、その他の地域では播磨灘に比べると発生は少ない。一方、播磨灘南部では比較的発生の少ない *G. nagasakiense* の赤潮は、広島湾、宇和海で頻発している²⁾。この地域では *G. nagasakiense* が最も重要な赤潮である。

九州八代海では *Cochlodinium* 属の一種が赤潮としてよく発生するが、瀬戸内海ではほとんど発生を見ない。

このような赤潮の地域差を示したのが図3である。図3は、瀬戸内海周辺の各県で発生した赤潮を水産庁瀬戸内海漁業調整事務所が集計整理したものである。瀬戸内海の狭い地域内でも、赤潮の原因となる生物の多様な地域性が良くわかる。

図1 *Protogonyaulax catenella* の鎧板の構成 (A.B.C.D.の4枚が直接圧と接続していることがこの属の分類基準とされた)

図3 1983年6月の赤潮発生状況(水産庁瀬戸内海漁業調査事務所、昭和58年瀬戸内海の赤潮による)

原因種から見た赤潮の季節性

表1に瀬戸内海で発生した赤潮の季節的な変化を示した²⁾。この表で見ると、鞭毛藻類の赤潮の多くは、水温の上昇する春～夏に多く発生し、水温の下降期に少なくなることがわかる。

Chattonella 属を中心にしたラフィド藻類の赤潮は、5～8月に集中しており、ラフィド藻の中でも Heterosigma akashiwo は5～6月に、Chattonella 属2種は7～8月に集中する。

渦鞭毛藻類はヤコウチュウを除いて5～8月に集中し、種毎に見ると、播磨灘周辺では Noctiluca miliaris が最も早い時期から赤潮を起こし、シーズンの最後まで赤潮を起こす。6月には Prorocentrum minimum, P. micus などの Prorocentrum 属が、7～8月には Gymnodinium 属が赤潮として出現しやすく、夏の終わりから秋には Ceratium frucea が発生したことがある。有毒種の Protogonyaulax catenella は、6～7月に赤潮になることがある。しかし、低水温期に出現する P. tamarensis は P. catenella のように大増殖はしない。表1に見るように赤潮の発生しやすい時期はおおむね高水温期の昇温期であるが、Heterocapsa triquetra は大阪湾では2～3月に赤潮を起こすことがしばしばあり、その主生物によって、発生の委節が異なるので赤潮の発生時期を特定の季節に限ることができない。また、播磨灘では水温の昇温期のみに赤潮を形成することのある生物でも、紀伊水道域では昇温期と下降期の2回赤潮を形成するものがあり、水域が異なると赤潮の発生の仕方が異なる。

赤潮は生物の一時的な大増殖によって生じた現象であるが、その発生要因に関する研究は、主として環境の側からの研究が多く、生物の側からの研究は、栄養要求などの限られた分野の研究を除くと非常に少ない。

例えば、赤潮生物の生活史にしても、明らかにされた種は極めて少なく、吉松が Protogonyaulax catenella で実験的に全生活史を追った研究の例の他はあまり例を見ない。吉松の研究は、数株の培養株をそれぞれに混ぜ合わせて、Hypnozygote を作ることを確認しつつ、有性生殖の存在を確かめ、さらに Hypnozygote の発芽と、その後の分裂の時期から、性の分化を確かめたもので¹³⁾、それまでの研究を大きく躍進させた研究として注目される。その他の生物では、彼の研究のレベルに達している生物はまだない。

栄養要求に関する研究では、Chattonella antiqua の増殖に有機鉄の存在が不可欠であることがほぼ明らか

にされているが、自然界に存在する鉄化合物の内、どれが必要な化学種であるかはまだ明らかにされていない。N-P の必要性についても、自然界の存在量に比べると、かなり高いレベルで研究が進められてきている。

一方で、台風等による海水の乱が、海底泥中の栄養塩類を海水中に補給し、赤潮の原因となると言われているが、同時に種(たね)の補給の要因になっているはずである。しかし、種の補給に関する研究は、まだはじまったばかりである。

赤潮の発生要因の研究の中では、生物の側からの研究をもっと進める必要があり、特に、種の問題、シードボビュレーション、種場、Hypnozygote の形成、生活史、Hypnozygote の発芽の要件などが種毎に明らかにされる必要があろう。同時に赤潮の原因となる生物の分類学的な研究がさらに進められて、分類学上の混乱の起きている生物について、その混乱を除くことが必要である。

引用文献

- 1) 水産庁瀬戸内海漁業調整事務局, (1973) 養殖ハマチ大量へい死の全容
- 2) 水産庁瀬戸内海漁業調整事務所, (1984) 昭和58年瀬戸内海の赤潮
- 3) Parke, M. & Dixon P., (1964) A Check List of British Marine Algae. J.M.B.A., 44, 499-542.
- 4) 羽田良禾, (1974) 瀬戸内海の汚染海域から検出された鞭毛虫類, 日プ学報, 20, (2)20-33(英文)
- 5) Biecheler, B., (1936) Sur une chloromonadine nouvelle dieau saumâtre Chattonella subsalsa n. gen., n. sp. Arch. Zool. Exd. et Gén., 78(2), 79-83.
- 6) 小野知足・高野季昭(1980)カットネラ・アンティクア(新結合)と日本沿岸におけるその出現, 東海水研報, 102, 93-100(英文)
- 7) Subrahmanyam, R., (1954) On the lifehistory and ecology of Harnellia marina gen. et sp. nov. Causing green discoloration and Mortality among Marine Organisms of the Matabara Coast, Indian J. of Fish, 1, 182-203.
- 8) 水産庁(1978)鹿児島湾赤潮発生原因調査研究報告書81p.
- 9) 高山晴養・安達六郎(1984)日本近海に出現する赤潮生物 Gymnodinium nagasakiense sp. nov. 日プ学報, 31(1), 7-14(英文)
- 10) Prekes, G., (1974). Marines Phytoplankton 186p. Stuttgart.
- 11) Wedon, W.F. & Kofoid, C.A., (1936) Dinoflagellata of the San Francisco Region 1. On the skeletal Monophylogeny of two New Species, Gonyaulax catenella and G. Acatenella Univ. Calif. Publ. Zool., 41(4), 25-34.
- 12) Taylor, F.J.R., (1979) The toxigenic gonyaulacoid dinoflagellates, in "Toxic Dinoflagellata Bloom", D.L. Taylor & H. H. Seligereds., Elsevier, North Holland, N.Y.
- 13) 吉松定昭(1981)培養による Protogonyaulax catenella の有性生殖, I 異株接合, 日プ学報. 28(2), 131-139