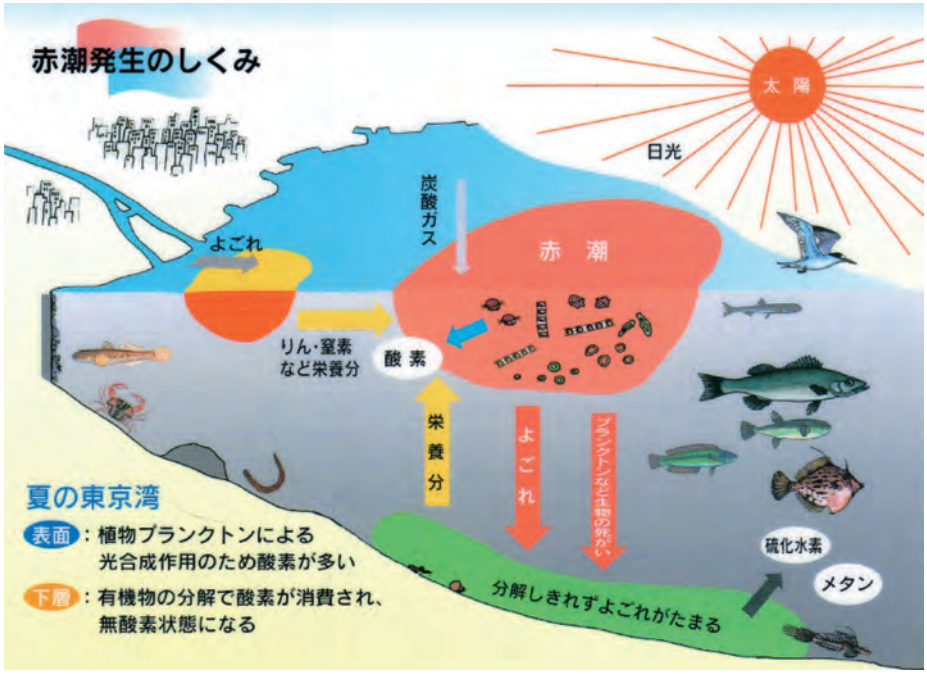
平成 26 年度　赤潮発生状況

【赤潮の有無による水面の色の違い】

赤潮発生中(平成 26 年５月２日)

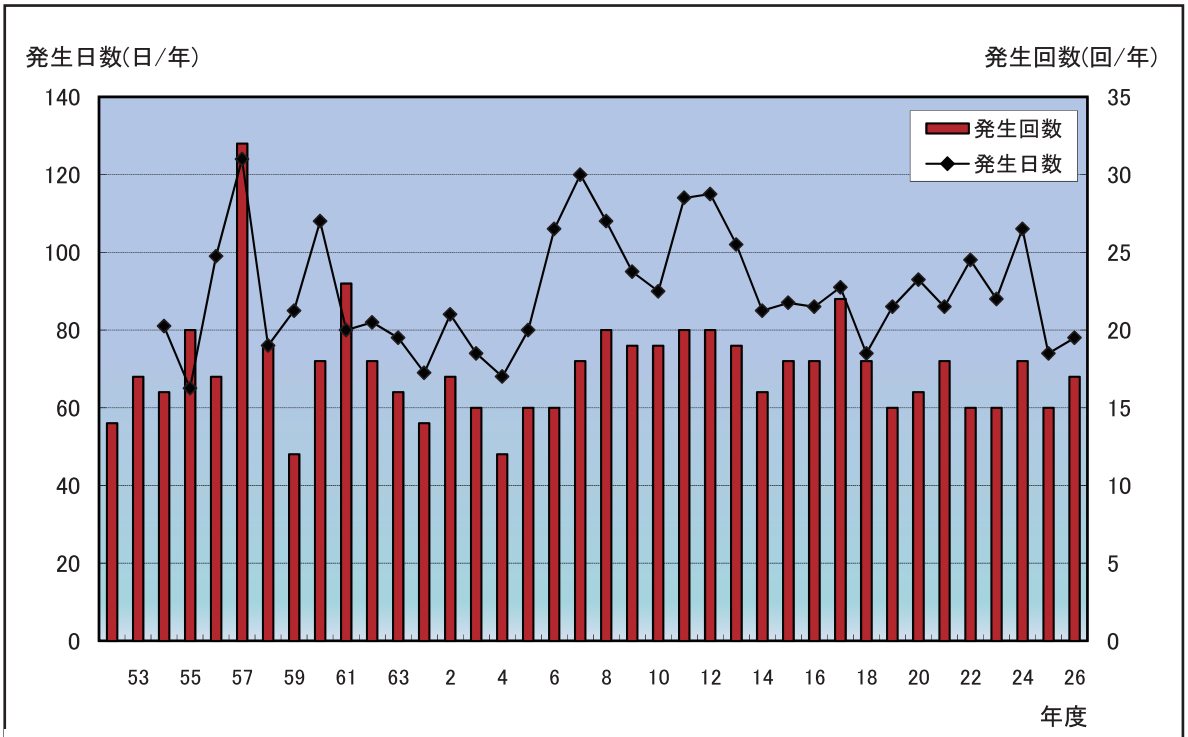
赤潮発生なし(平成 27 年２月３日)

【赤潮発生の仕組み】



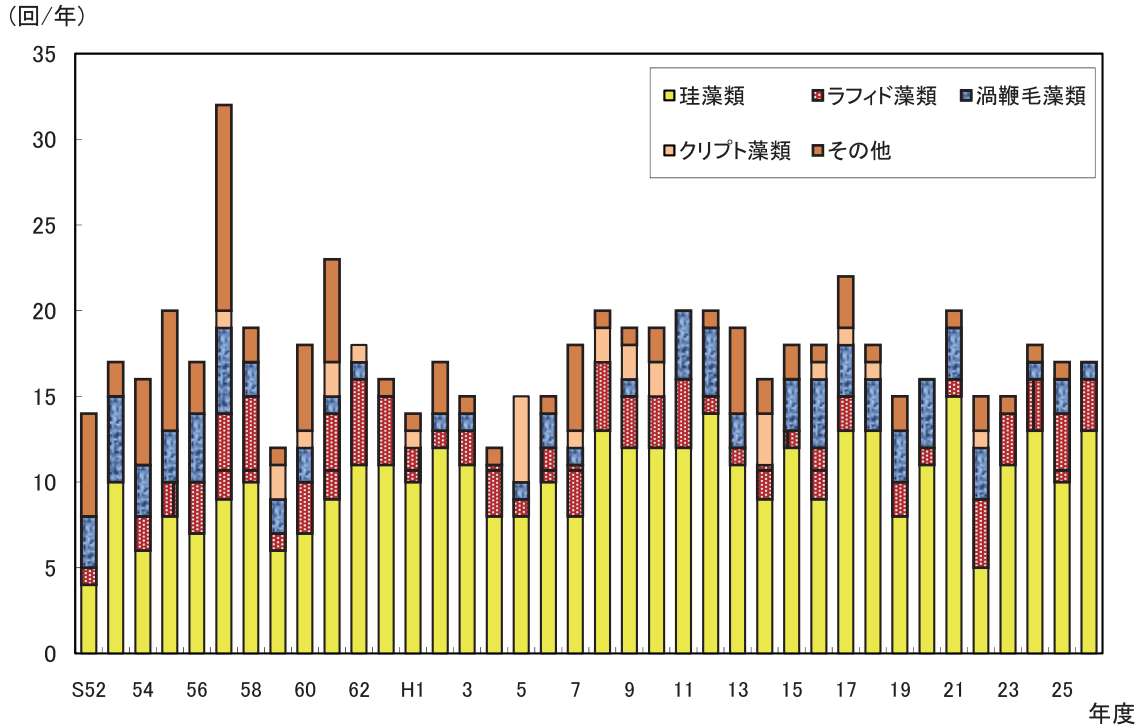
東京湾には植物の栄養となる窒素やりんがたくさん溶け込んでいます。春から夏にかけて、気温が上がり日照時間が長くなると、海水の中の植物プランクトンが増殖します。プランクトンが異常に繁殖して海水の色が変わる現象を「赤潮」とよんでいます。赤潮になると、海水が濁り、有害なプランクトンが発生すれば魚や貝類に影響がでます。大量に発生したプランクトンは、死んで海の底に堆積し、酸素を消費して、生物が生きられない無酸素状態を作る大きな要因となります。

【赤潮発生日数・回数の経年変化】



赤潮の発生状況は、変動はあるものの、依然として年間 80～100 日程度、15～20 回程度で継続している。

【優占プランクトン別赤潮発生回数の経年変化】



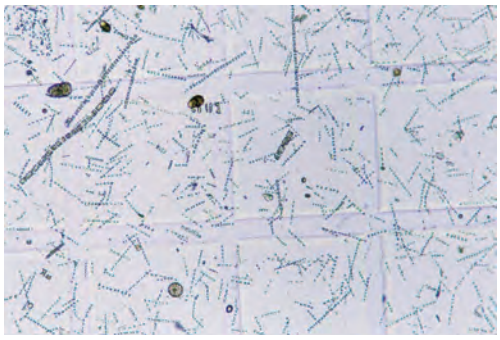
プランクトン種は珪藻が半分程度と多く、次いでラフィド藻類、渦鞭毛藻類となっている。

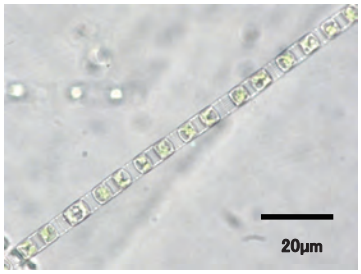
【珪藻：スケレトネマ　コスターツムによる赤潮】

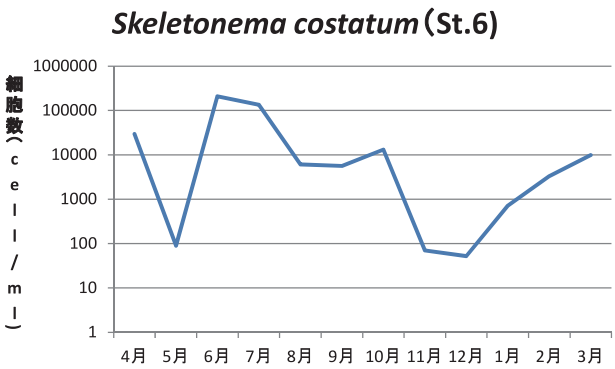
←5月２０日　Ｓｔ.１１

東京都内湾で最も多く赤潮を形成するのは珪藻の *Skeletonema costatum*（スケレトネマ コスターツム）である。本年度も赤潮１７回中９回は同種が優占種であった。

同種は一年を通して優占して海水中に見られる。その密集度合いにより、１mL 中に１万細胞を超える程度で（活性度や細胞サイズにもよるが）赤潮を形成し、しょうゆを流したような茶褐色などの着色となる。透明度板を下しても黄褐色などに着色し、透明度が１．５ｍを下回るようになる。顕微鏡で見ると多くの鎖状のものが見られるが、鎖の１個づつが１個の細胞である。







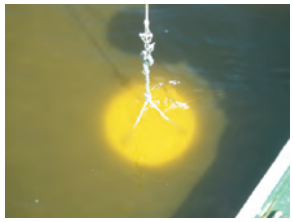
Ｓｔ.６における同種の細胞数の月変化（月１回の１６条調査）を対数表記で示す。１１月１２月は例年、細胞数の少ない時期である。５月は春秋期に多く出現する *Prorocentrum minimum* が赤潮を形成したため、少なくなっている。

６月１７日にはＳｔ.６，２５にて各々 *Skeletonema costatum* が８万細胞/mL を超え、クロロフィル濃度最大７９．５ｍｇ/m^3 と計測された。

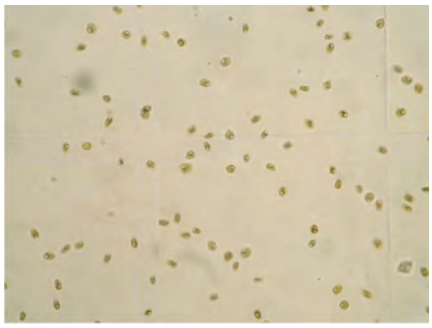
【渦鞭毛藻：プロロケントラム　ミニマムによる赤潮】

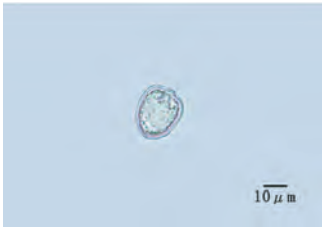
← 5月2日　St.6

４月３０日２７㎜、５月１日２３㎜の降雨後、気温が上がった２日に調査したところ、全域で赤潮が見られ、特にSt.6が著しかった。

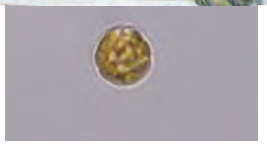


５月２日　Ｓｔ．６
同種の細胞数 129,000 細胞/mL
透明度 0.3m
表層ＤＯ　＞20mg/L
クロロフィル濃度　６４３mg/m^3
Ｔ－Ｎ　1.53mg/Ｌ
Ｔ－Ｐ　0.74mg/L





【ラフィド藻：ヘテロシグマ　アカシオによる赤潮】



← ６月４日　St.5、お台場付近

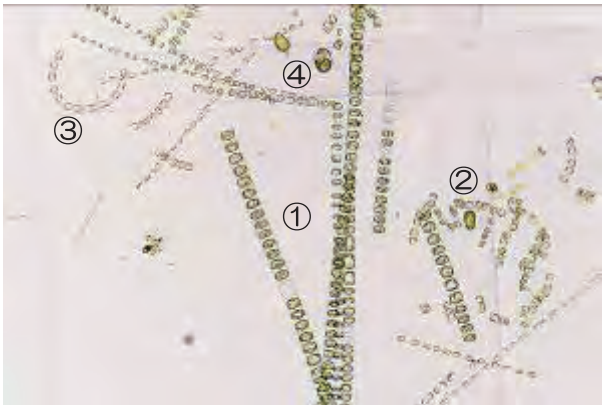
本年度１７回中３回が同種による赤潮であった。６，７月に発生した。珪藻と違い殻を持たない。緑褐色など強い着色を示す。

６月４日　Ｓｔ.６
同種の細胞数３６６，０００細胞/mL
透明度１．４m
表層ＤＯ　１５．６mg/Ｌ
ＣＯＤ　９．４mg/Ｌ
Ｔ－Ｎ　２．２０ mg/Ｌ
Ｔ－Ｐ　０．３０２mg/Ｌ

じゃがいものような形で鞭毛をもち、回転して動く。昼間は水面近くで光合成を行うが、夜間は底層に移動し、底層の豊富な栄養塩を得ている。魚類に有害なプランクトンとして、千葉県では１０，０００細胞/m l を警戒基準密度としている。

【混合生サンプル等プランクトン写真】

平成 26 年6月4日(St.5)：スケレトネマなど

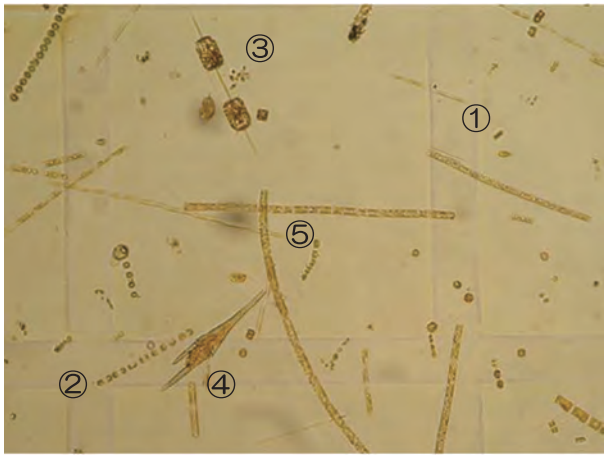


透明度：1.3m
概観：茶色
透明度板色：黄土色
水温：24.0℃
塩分：22.4
表層 DO：14.7mg/L
優占種：*Skeletonema costatum*

写真の種：
① *Skeletonema costatum*
② *Heterosigma akashiwo*
③ *Chaetoceros debile*
④ *Mesodinium rubrum*

スケレトネマが優占種ではあるが、ヘテロシグマも多く、他の種も共生している。

平成 26年8月 26 日(St.6)：デイディルム *Ditylum brightwellii* の出現

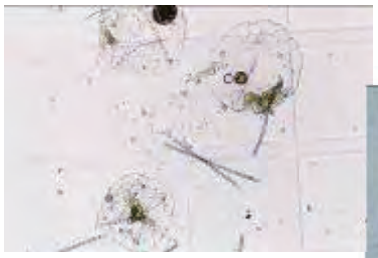


透明度：1.2m
概観：暗灰黄緑色
透明度板色：灰黄色
水温：27.4℃
塩分：22.0
表層 DO：7.6mg/L
優占種：*Nitzschia* spp.

写真の種：
① *Nitzschia* spp.
② *Skeletonema costatum*
③ *Ditylum brightwellii*
④ *Ceratium furca*
⑤ *Leptocylindrus danicus*

優占種ではないものの、夏季以降、大型の浮遊珪藻である *Ditylum brightwellii* の出現が多くみられた。本種は沿岸域で冬季に多く出現すると報告されている。

プランクトンのいろいろな存在形



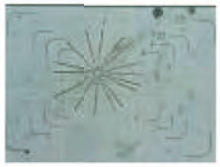
←夜光虫はいろんな生き物を食べている
カイアシ類：地球上最も多い

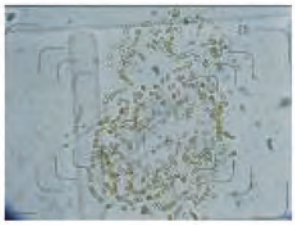
動物プランクトン →

←大きなコシノディスクス

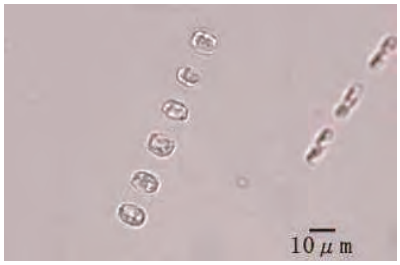
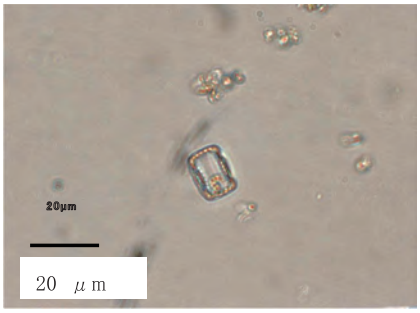
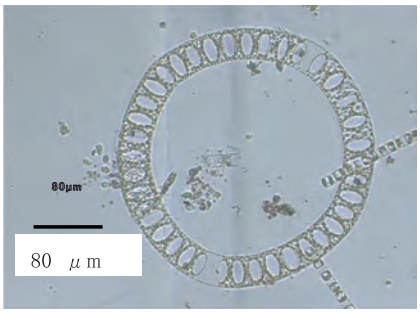
↓冬季に多く出現する
キートケロス類

夏から秋にかけて
出現する
ニチリンケイソウ
→

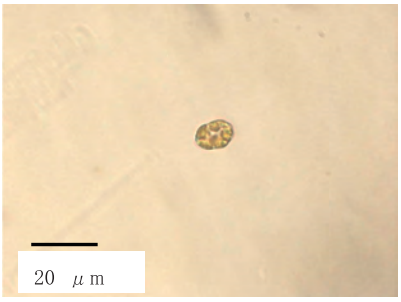
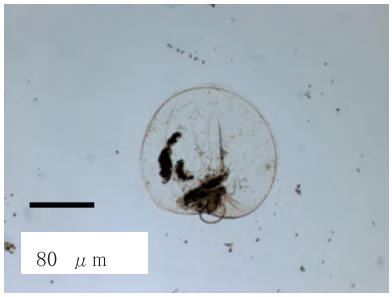
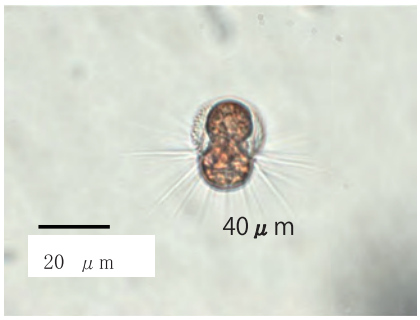




【平成 26 年度赤潮優占プランクトン①】

画像	名称・特徴
	*Ceratium furca*　(ケラチウム　フルカ) 渦鞭毛藻綱 細胞の直径　100～200μm 細胞の上角は頂端に向かって徐々に細くなり、頂角を形成している。下殻にはほぼ平行に後方に向かう 2 本の後角がある。本種は汎世界種で、熱帯から寒帯まで世界の海洋に分布する。時に内湾で赤潮を形成することがある。
	*Ceratium fusus*　(ケラチウム　フサス) 渦鞭毛藻綱 細胞の直径　300～600μm 細胞は前後に長い。細胞表面を覆う鎧板は厚く、色素体は黄褐色で細胞内に多数認められる。汎世界種であり、内湾で赤潮を形成することがある。
	*Skeletonema costatum*　(スケレトネマ　コスタツム) 珪藻綱 細胞の直径 10～20μm 東京内湾の最も代表的なプランクトンであり、年間を通じて見られる。レンズ状の細胞が二つの細胞の真ん中で連結棘に繋がり、直線状の群体を形成する。夏期の高水温期には、しばしば大増殖して広範囲に赤潮を形成する。
	Thalassiosiraceae　(タラシオシラシー) 珪藻綱 細胞の直径 20μm 以下 細胞は円筒状で、その多くは直径 20μm 以下と小型である。このような形状を示す円心目珪藻の中には、Thalassiosira 属、Cyclotella 属、Minidiscus 属などである。種の同定には電子顕微鏡による殻面の微細構造の観察が必要である。
	*Eucampia zodiacus*　(ユーカンピア　ゾディアクス) 珪藻綱 細胞の直径 7～100μm 細胞は扁平で、蓋殻両端の突出部で連結して、らせん状の群体を形成する。沿岸、内湾に多くみられ、東京湾では春先に多い。

【平成 26 年度赤潮優占プランクトン②】

画像	名称・特徴
	*Pleurosigma sp.（プレウロシグマ：和名メガネケイソウ）* 珪藻綱 細胞の長さ 0.12～0.15mm,幅 0.02～0.03mm と大きく目立つ。緩やかな S 字形の外見が特徴。付着物の表面をゆっくりとすべるように移動する。
	*Heterosigma akashiwo*　（ヘテロシグマ　アカシオ） ラフィド藻綱 細胞の直径 8～25μm 形も色もいびつなポテトチップのようなプランクトンで、うねるように泳ぐ。沿岸性で、東京湾においては春から秋にかけて頻繁に赤潮を形成する。
	*Noctiluca scintillans（ノクチルカ　シンチランス）* ラフィド藻綱 細胞の直径 0.15～2mm。 背面は円形、側面はややなす型であり、外皮殻は透明なゼラチン質の２層よりなる。本種が赤潮を形成すると、トマトジュース様の色を呈する。
	*Euglenophyceae　（ユーグレノフィシー）* ミドリムシ綱 細胞の直径　20～200μm 海域に出現する Euglenophyceae は長さ 20～200μm のものが多い。細胞の形態は球形から円筒形まで様々であるが、大部分は紡錘形である。内湾域で赤潮を形成することがある。
	*Mesodinium rubrum　（メソディニウム　ルブラム）* 繊毛虫綱 細胞の直径　30～50μm 体は中央よりわずかに上部でくびれる。体内に共生藻を有し、赤潮を起こす繊毛虫として知られる。汽水域、あるいは内湾奥部で多く出現する。

【降雨状況と赤潮発生状況(平成26年4月1日～平成27年3月31日)】

資料Ⅴ　降雨状況と赤潮の発生状況（平成26年4月1日～平成27年3月31日）

月	4		5		6		7		8		9		10		11		12		1		2		3	
日	降雨量	発生状況	降雨量	発生状況	降雨量	発生状況	降雨量	発生状況	降雨量	発生状況	降雨量	発生状況	降雨量	発生状況	降雨量	発生状況	降雨量	発生状況	降雨量	発生状況	降雨量	発生状況	降雨量	発生状況
1	---		23.0		---		1.5		0.0		38.5		5.0		9.5		11.0		0.0		---		29.0	
2	0.0		---		---		---		---		0.0		0.0		0.5		---		---		---		---	
3	**65.0**		0.0		---		2.0		---		0.0		---		---		---		---		---		0.5	
4	**40.0**		---		---		5.0		0.0		0.0		0.0		---		5.0		---		---		18.5	
5	0.0		0.0		18.0		1.5		---		0.0		**148.5**		---		0.0		---		9.0		---	
6	7.0		3.5		**123.5**		0.0		---		9.0		**123.5**		2.0		---		6.5		0.0		0.0	
7	---		---		**61.5**		7.0		---		5.0		0.0		---		---		---		1.5		4.5	
8	---		---		6.5		0.0		0.0		2.0		---		0.0		---		---		6.0		0.5	
9	---		1.5		4.5		9.0		0.0		1.5		0.0		1.0		---		---		---		23.0	
10	---		---		2.0		3.5		**45.0**		**81.0**		---		0.5		0.0		---		---		2.5	
11	---		---		13.0		4.0		---		4.5		---		0.0		1.5		---		---		---	
12	---		1.0		16.0		0.0		0.5		0.0		---		3.0		0.0		---		---		---	
13	---		5.5		1.5		0.0		0.0		0.0		**49.0**		---		---		---		---		---	
14	0.0		---		---		0.0		19.5		---		14.0		---		0.0		---		---		---	
15	---		0.5		---		0.0		---		---		9.0		---		---		35.5		---		0.0	
16	---		0.0		---		---		1.5		0.0		0.0		---		18.0		0.0		---		10.0	
17	---		0.0		---		0.0		---		0.0		---		---		---		0.0		3.0		0.5	
18	0.5		---		0.0		2.5		---		0.0		---		---		---		---		10.5		0.0	
19	0.5		---		---		6.5		---		---		---		---		---		---		---		5.0	
20	0.0		0.0		0.0		**53.0**		---		0.0		0.0		17.5		21.0		---		0.0		---	
21	7.0		**52.0**		---		0.0		---		---		1.0		---		---		4.0		---		0.0	
22	4.5		19.5		6.0		---		---		0.0		26.0		---		0.0		7.5		1.5		0.0	
23	3.5		---		0.0		0.0		0.0		---		5.5		---		---		7.5		16.0		0.0	
24	---		---		5.0		7.0		0.0		8.5		---		---		---		---		0.0		---	
25	---		---		5.5		---		0.0		5.5		---		10.0		---		---		0.0		---	
26	---		7.5		---		---		0.0		0.0		3.0		**44.0**		---		0.5		14.5		---	
27	---		21.5		7.5		3.0		5.0		---		---		1.5		---		14.5		---		---	
28	---		---		13.0		---		7.0		---		---		0.0		0.0		0.0		---		---	
29	0.0		---		27.5		---		0.5		---		---		8.0		5.5		---				0.0	
30	27.0		---		0.0		---		26.0		0.0		---		1.0		---		16.5				---	
31			---				---		0.0				0.0				---		---				---	
月合計（H24）	155.0		135.5		311.0		105.5		105.0		155.5		384.5		98.5		62.0		92.5		62.0		94.0	
月合計（平年）	130.3		128.0		164.9		161.5		155.1		208.5		163.1		92.5		39.6		48.6		60.2		114.5	

注1　降雨状況月合計欄における「平年」とは、1971～2000年の平均値を示す。

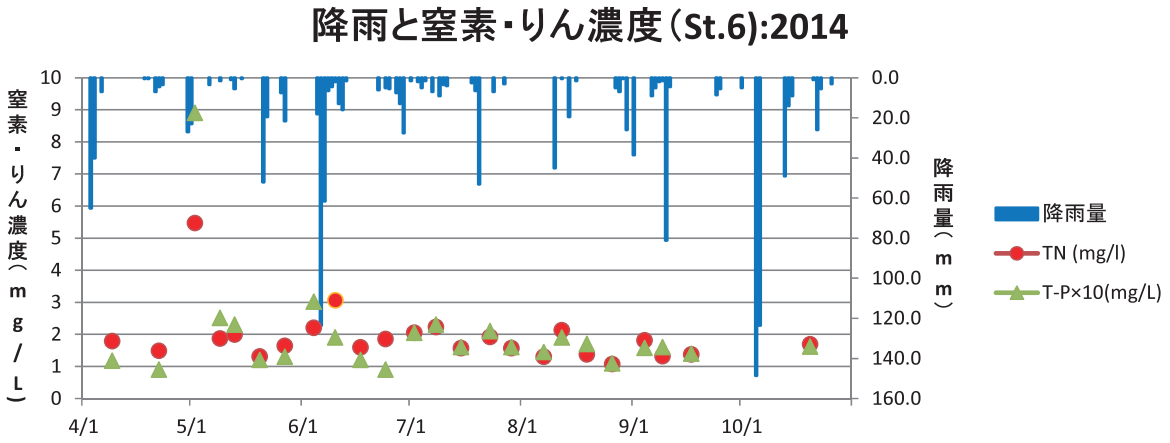
注2　発生状況欄の凡例

- *Skeletonema costatum*
- *Thalassiosiraceae*
- *Heterosigma akashiwo*
- *Prorocentrum minimum*
- *Chaetoceros sp.*

注3　□は16条調査及び赤潮調査日、太字は40mm以上の降雨を示す。

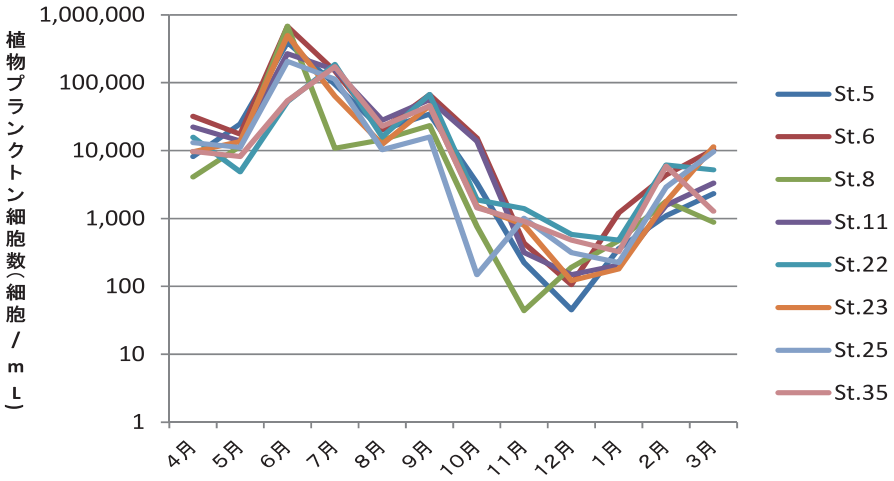
気温が20℃を上回り、大きな降雨の後に、赤潮が発生していることが多い。

【降雨と窒素・りん濃度】

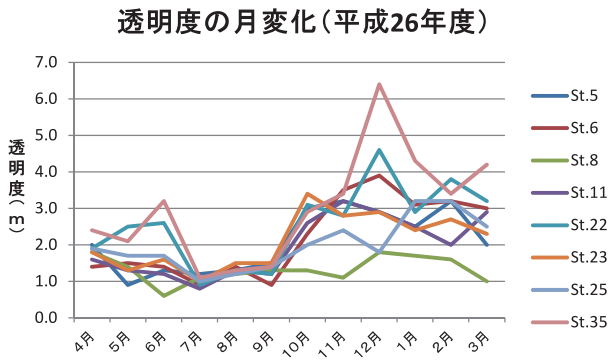


降雨後すぐに、環境水の窒素やりんの濃度が上昇している。即ち、降雨により、上流など流域から栄養塩が供給されることを示している。

【植物プランクトン細胞数の月変化】



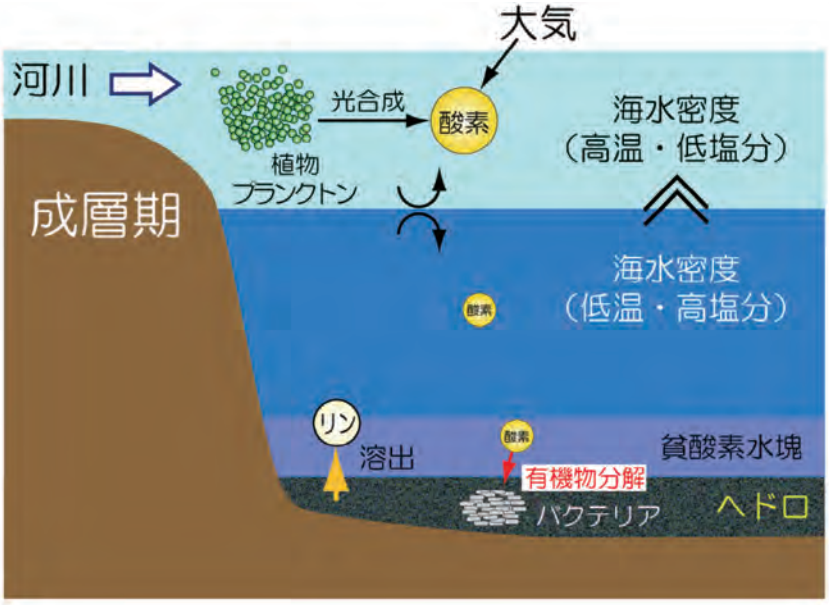
植物プランクトンは夏季に多く、冬季は1/10～1/100 以下と極端に少なくなる。
平成２６年度は 11、１２月に極めて少なくなった。植物プランクトンの数は透明度に大きく影響する。



透明度は１２月ころに最大となっている。

【貧　酸　素　水　塊】

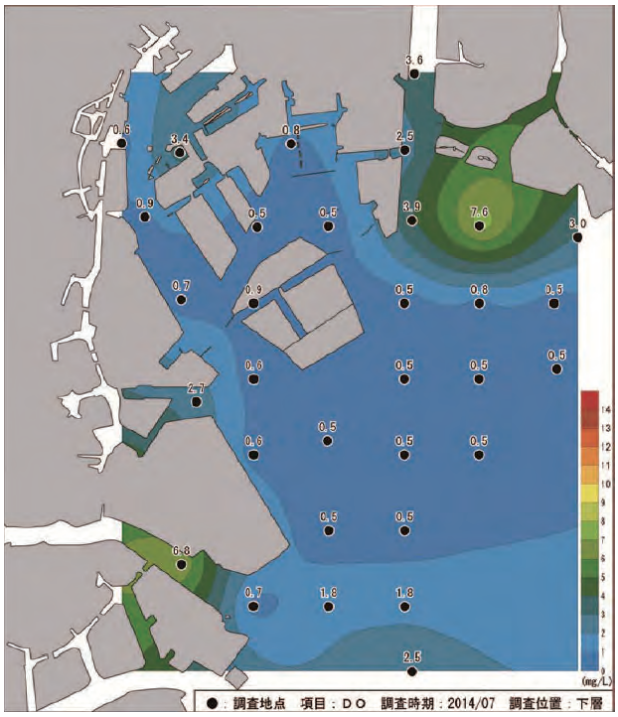
東京湾内の溶存酸素の挙動（夏）



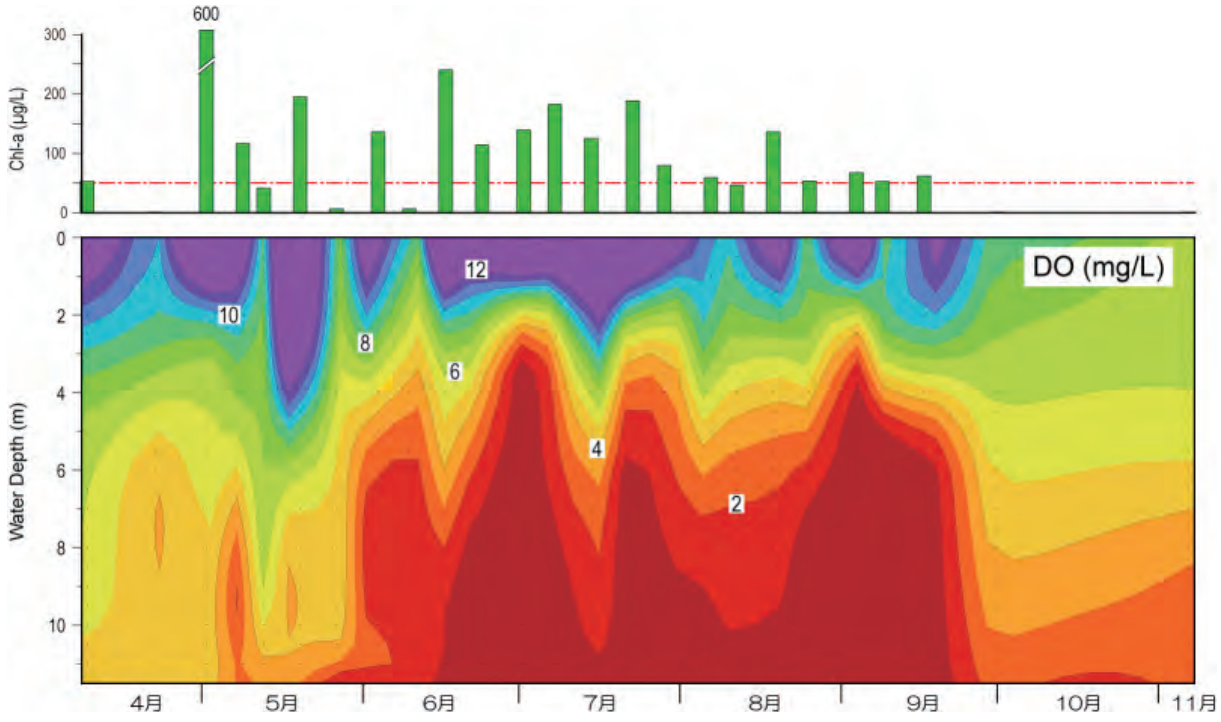
夏季、長く続く赤潮により、上層水は酸素が過飽和となるが、下層では酸素の少ない状況が続いている。酸素が少ないと生き物は生息できず、無生物となる。

これは、底層で有機物の分解やりんの溶出により、酸素がたくさん消費され、海水密度差が大きいこの期間、水が上下に循環せず、成層して、貧酸素状態が続いているためである。

７月、東京都内湾ではＤＯが２mg/L以下の酸素の少ない水域が拡がっていた。



【貧酸素状況】

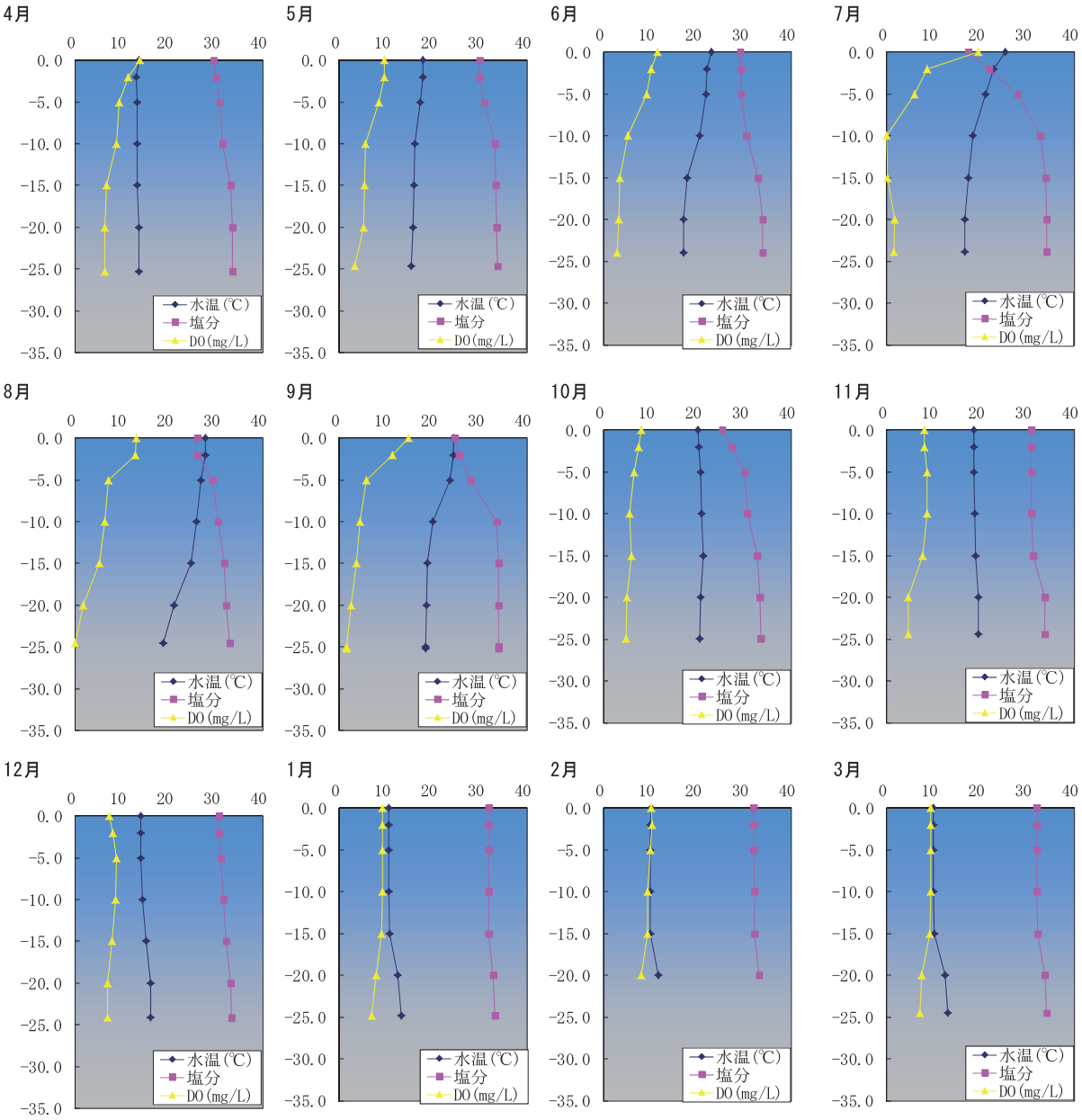


東京都環境科学研究所　安藤作図

Ｓｔ.６では、６月から９月末まで底層の貧酸素状況が続き、７月から９月は水深５ｍでも２mg/L 以下の状態となった。

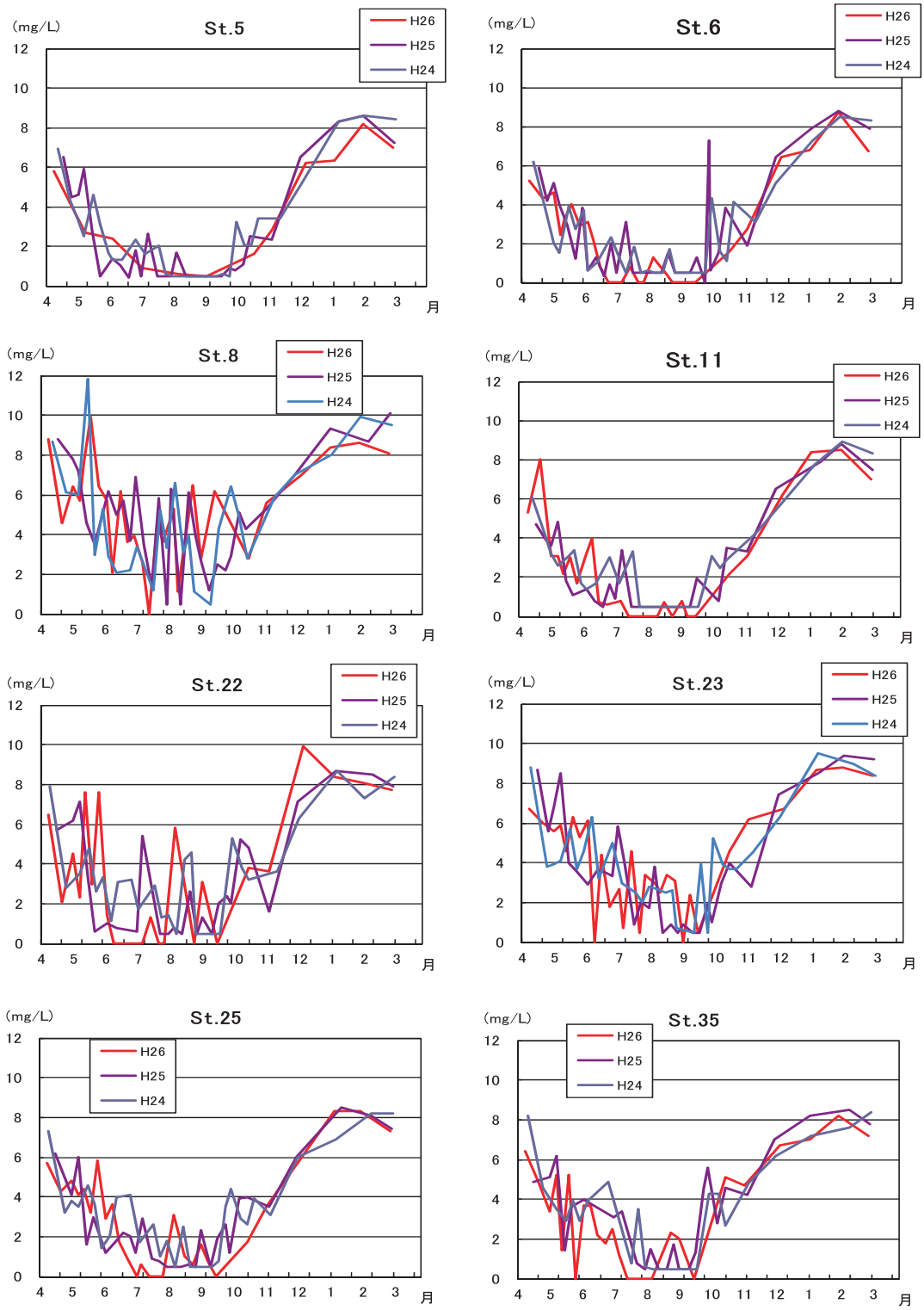
この現象は、クロロフィル濃度から見て、赤潮の発生後、顕著に起こっていたことが見てとれる。

【平成 26 年度　St.35 における月別鉛直分布(水温・塩分・DO)】



水深２５ｍの St.35 で、鉛直方向の水温、塩分、ＤＯの変化をみた。６月に大きく成層が始まり、７月にはすでに１０ｍ以深で溶存酸素濃度が２mg/L 以下の貧酸素状態となった。１０月には成層が壊れて、上層と下層の水が混合した循環期となった様子が伺える。

【下層溶存酸素濃度（DO）の経月変化】



各地点で、下層水のＤＯの変化をみた。St.６では例年、５月中旬から９月まで長期間にわたって貧酸素状態が続いている。ここ３年間では全地点での貧酸素の開始、終了の時期の変化は確認されない。

【赤潮原因種の判定方法に関する検討】（再掲）

《細胞数と体積容量》

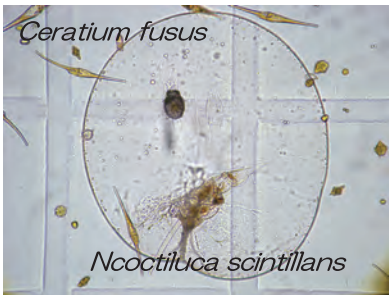
従来、赤潮優占種は植物プランクトンはその細胞数で判定することが多かった。単一種のプランクトンが圧倒的に多い場合以外に、複数種が出現した場合や、種によっては、数は少なくとも細胞体積が比較的大きいものが存在するため、細胞数のみによる判定では疑問が生じる。そこで、細胞体積を調べ、細胞数と体積現存量の比較をした結果、*Ceratium furca*、*Ceratium fusus*、*Prorocentrum micans*、*Eucampia zodiacus*、*Mesodinium rubrum* は他の種類と比べ細胞数が比較的少ないが細胞体積が大きいために赤潮原因種になったと推察された。

このような大型種が最優占種ではないが、優占上位５種に入るような場合は、細胞数ではなく、体積現存量で赤潮原因種を判断したほうがよい場合もあるという結論に至った。

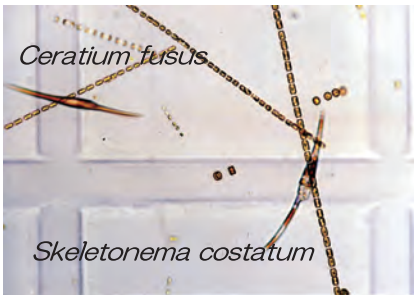
以下に示す表は、プランクトン種別の細胞体積と、*Skeletonema costatum* を１とした時の相対比を表したものである。

綱	種　名	細胞体積	相対比	
クリプト藻	Cryptomonadaceae	95	0.6	
渦鞭毛藻	*Prorocentrum toriestinum*	790	5	
	Noctiluca scintillans	45,000,000	300,000	※1
	Ceratium furca	32,000	210	
	Ceratium fusus	27,000	180	※1、※2
	Heterocapsa lanceolata	1,100	7	
珪藻	*Coscinodiscus asteromphalus*	530,000	3,500	※3
	Leptocylindrus minimum	130	0.9	
	Skeletonema costatum	150	1	※2
	Thalassiosira　spp.	130	0.9	
	Rhizosolenia setigera	18,000	120	
	Cerataulina pelagica	3,600	24	
	Eucampia zodiacus	16,000	107	※3
	Chaetoceros sociale	200	1.3	
	Cylindrotheca closterium	110	0.7	
	Nitzschia spp.	270	2	
ラフィド藻	*Heterosigma akashiwo*	2,500	17	
ミドリムシ藻	*Euglenophyceae*	580	4	
繊毛虫	*Mesodinium rubrum*	5,300	35	

※1



※2



※3