

平成 25 年度 赤潮発生状況

【赤潮の有無による水面の色の違い】

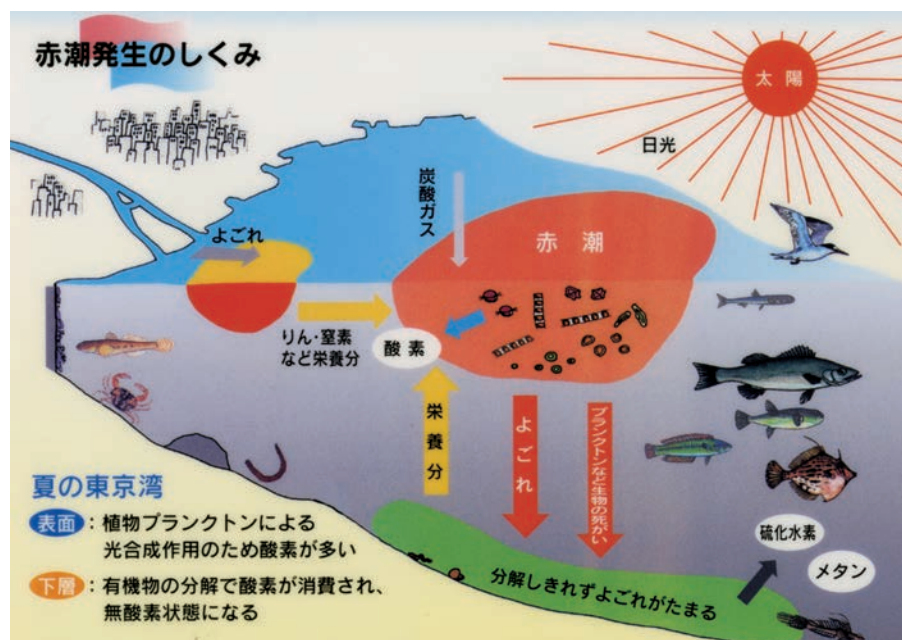
赤潮発生中(平成 25 年 8 月 29 日)



赤潮発生なし(平成 25 年 12 月 3 日)



【赤潮発生の仕組み】

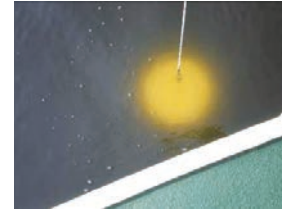


東京湾には植物の栄養となる窒素やりんがたくさん溶け込んでいます。春から夏にかけて、気温が上がり、日照時間が長くなると、海水の中の植物プランクトンが増殖します。プランクトンが異常に繁殖して、海水の色が変わる現象を「赤潮」とよんでいます。赤潮になると、海水が濁り、有害なプランクトンが発生すれば魚や貝類に影響がでます。大量に発生したプランクトンは死んで、海の底に堆積し、酸素を消費して、生物が生きられない無酸素状態を作ります。

【珪藻：*Skeletonema costatum*による赤潮】

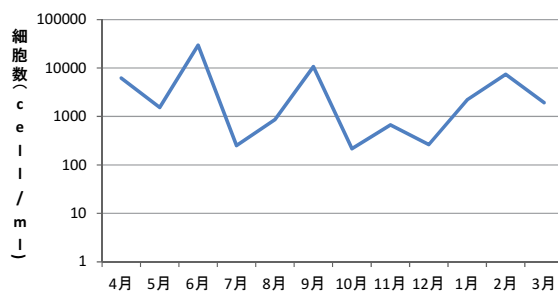
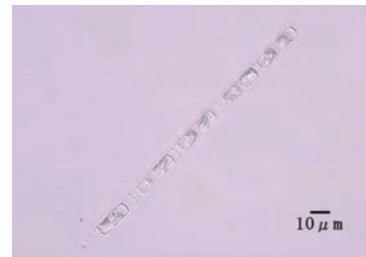
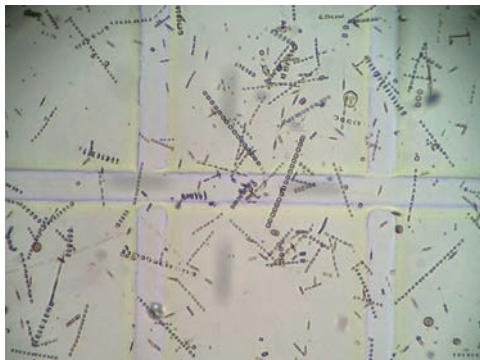


←6月3日 St.5



東京都内湾で最も多く赤潮を形成するのは珪藻の *Skeletonema costatum* である。本年度も15回中8回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色の着色となる。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、鎖の1個つつが1個の細胞である。



St.6における同種の細胞数の月変化を対数表記で示す。7月は猛暑に多く出現する *Thalassiosiraceae* が数の上で優占し、8月は *Rhizosolenia fragilissima* が優占したため、少なくなっている。10月は *Euglenophyceae* が優占、11月12月は例年細胞数の少ない時期である。

8月15日にはSt.25にて最大細胞数21.8万細胞/mlとなり、クロロフィル濃度155mg/m³、COD8.5mg/Lと計測された。なお、この時、動物プランクトン *Oligotrichida* が本年最大の95個体/ml計測された。

Oligotrichida →



【ラフィド藻： *Heterosigma akashiwo* による赤潮】



← 5月23日お台場入り口

本年度15回中4回が同種による赤潮であった。初夏が多いが、10月及び3月にも発生した。珪藻ではなく、殻を持たない。緑褐色など強い着色を示す。

5月23日 St. 6

同種の細胞数 9,680 細胞/m^l

透明度 1.3m

表層 DO 14.1 mg/L

クロロフィル濃度 138 mg/m³

COD 8.9 mg/L

T-N 1.58 mg/L

T-P 0.16 mg/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。

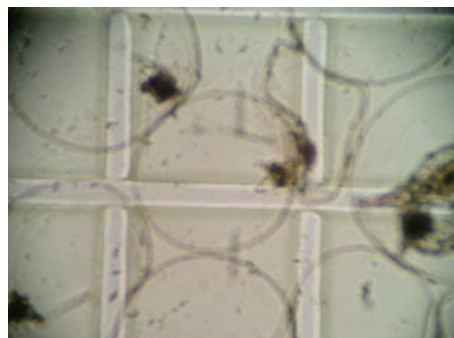
【渦鞭毛藻： *Noctiluca scintillans* (夜光虫の拡がり) 7月9日】

平成25年7月9日全地点調査にて、浦安付近、千葉寄りの地点で夜光虫の大規模な赤潮が見られた。荒川寄りでは見られなかった。



採水したバケツの様子

顕微鏡でみたプランクトン → (背景のメッシュは 0.5 mm) 大きな触手を揺らせていた。これで、エサを捕え、溝の口に運び珪藻、繊毛虫など様々な種類、大きさの生物を捕食する。外部から刺激を受けると‘夜光虫’の名のとおり細胞全体が青白く光る。





↑ St.22 に迫り来る赤潮の波
(船の上から撮影)



←St.27



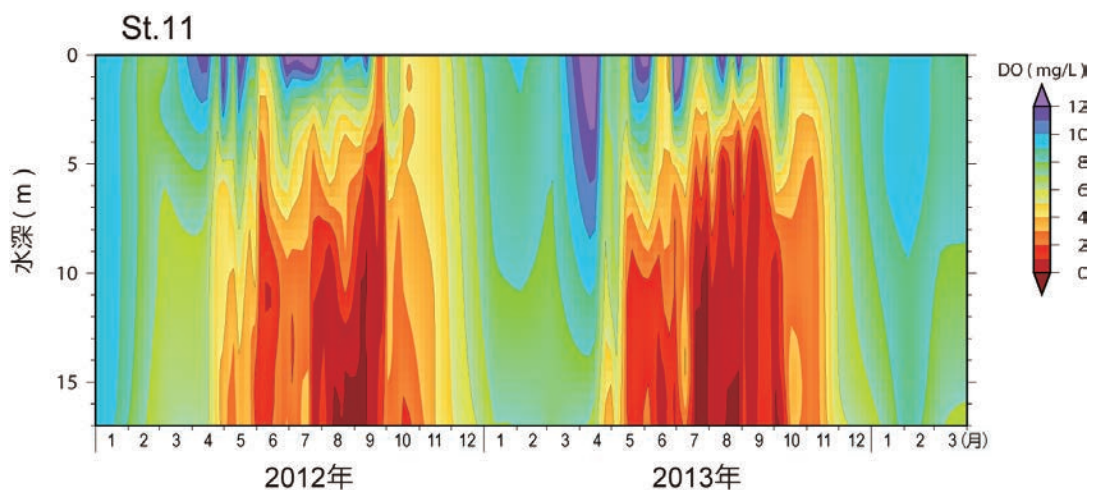
【有害プランクトン *Chattonella* の出現】

近年わすかではあるが、千葉県沖で出現している有害プランクトン *Chattonella marina* が、東京都内湾でも11月7日少数確認された。今回検出されたのはSt.35で0.25細胞/ml、広域26で0.10細胞/mlであった。同種は西日本を中心に夏に大規模な赤潮を形成し、わすか100細胞/mlほどで本種が放出する活性酵素によって魚のへい死を引き起こし養殖魚に大きな被害を与える。



【貧酸素状況】

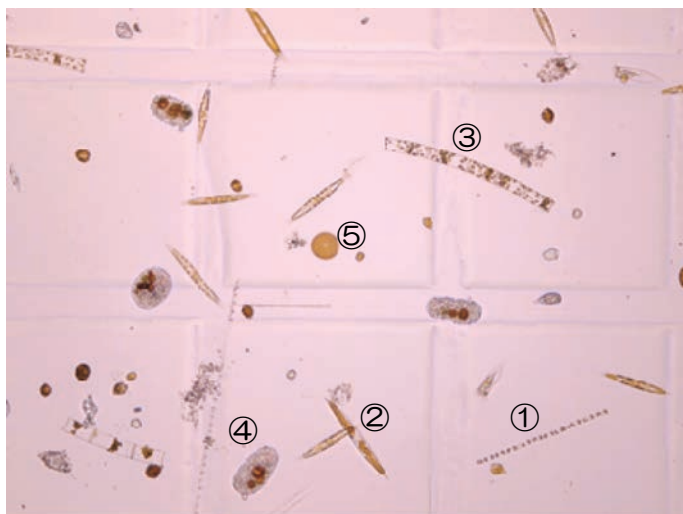
St.11では、6月から9月末まで底層の貧酸素状況が続き、7月から9月は水深5mでも2mg/L以下の状態となった。



東京都環境科学研究所 安藤作図

【混合生サンプル等プランクトン写真】

平成 25 年 5 月 2 日 (St.6) : 大型のプランクトン

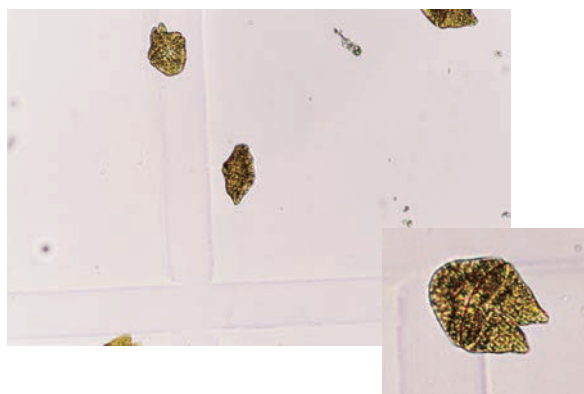


透明度：2.0m
概観：暗灰黄緑色
透明度板色：黄緑色
水温：16.6℃
塩分：25.8
表層 DO：7.8mg/L
優占種：Cryptomonadaceae
(サイズが小さくここでは確認できない)

写真の種：

- ① *Skeletonema costatum*
- ② *Pleurosigma* sp.
- ③ *Guinardia flaccida*
- ④ *Polykrikos* sp.
- ⑤ *Coscinodiscus* sp.

平成 25 年 11 月 7 日 (St.25) : ギムノジウムの出現



透明度：1.6m
概観：暗灰黄緑色
透明度板色：灰茶色
水温：17.6℃
塩分：20.5
表層 DO：7.7mg/L

優占種：*Gymnodinium sanguineum*
この時、見た目には同種のみであった。鞭毛も見えた。このような出現状況は珍しい。St.35、22でも同様に観察された。先月の台風および 60 mm、31 mm の降雨の後であり、前日には隅田川河口部で魚食魚に追われた小魚の大群が飛び跳ねるのが、確認されている。

平成 26 年 3 月 5 日 (St.25) : 冬のプランクトン

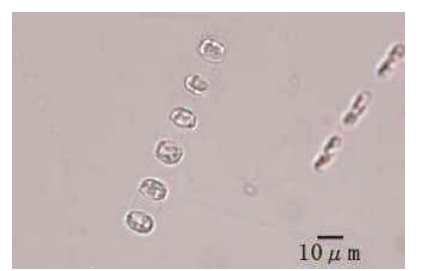
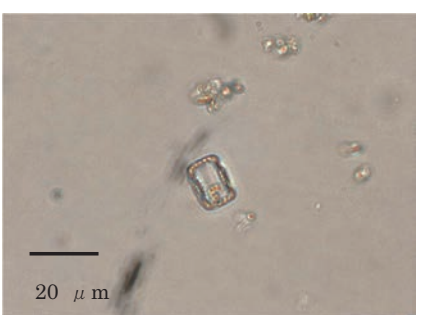
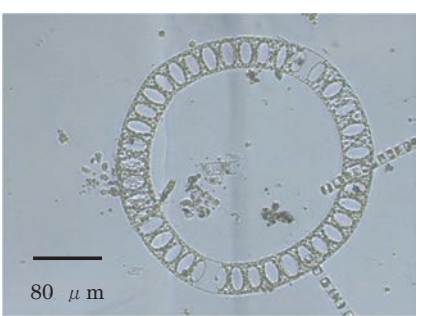


透明度：2.5m
概観：暗灰黄緑色
透明度板色：黄緑色
水温：9.6℃
塩分：27.9
表層 DO：10.3mg/L
優占種：*Skeletonema costatum*

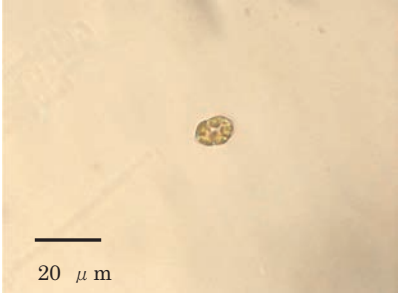
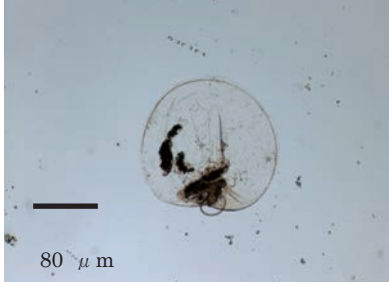
写真の種：

- ① *Skeletonema costatum* (この時期、鎖が長くなる)
- ② *Eucampia zodiacus* (見事な螺旋)
- ③ *Ditylum brightwellii* (串型が特徴。秋から冬にかけて多く見られる)

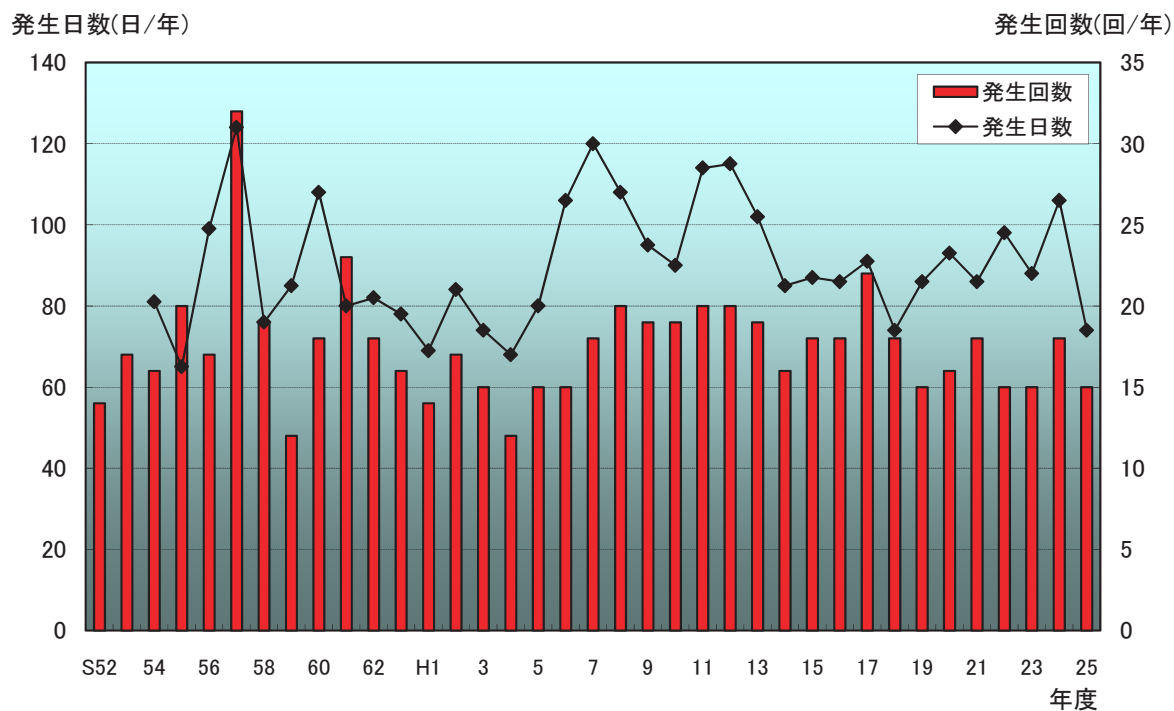
【平成 25 年度赤潮優占プランクトン①】

画像	名称・特徴
	<i>Ceratium furca</i> (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
	<i>Ceratium fusus</i> (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。
	<i>Skeletonema costatum</i> (スケルトネマ 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。
	<i>Eucampia zodiacus</i> (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。

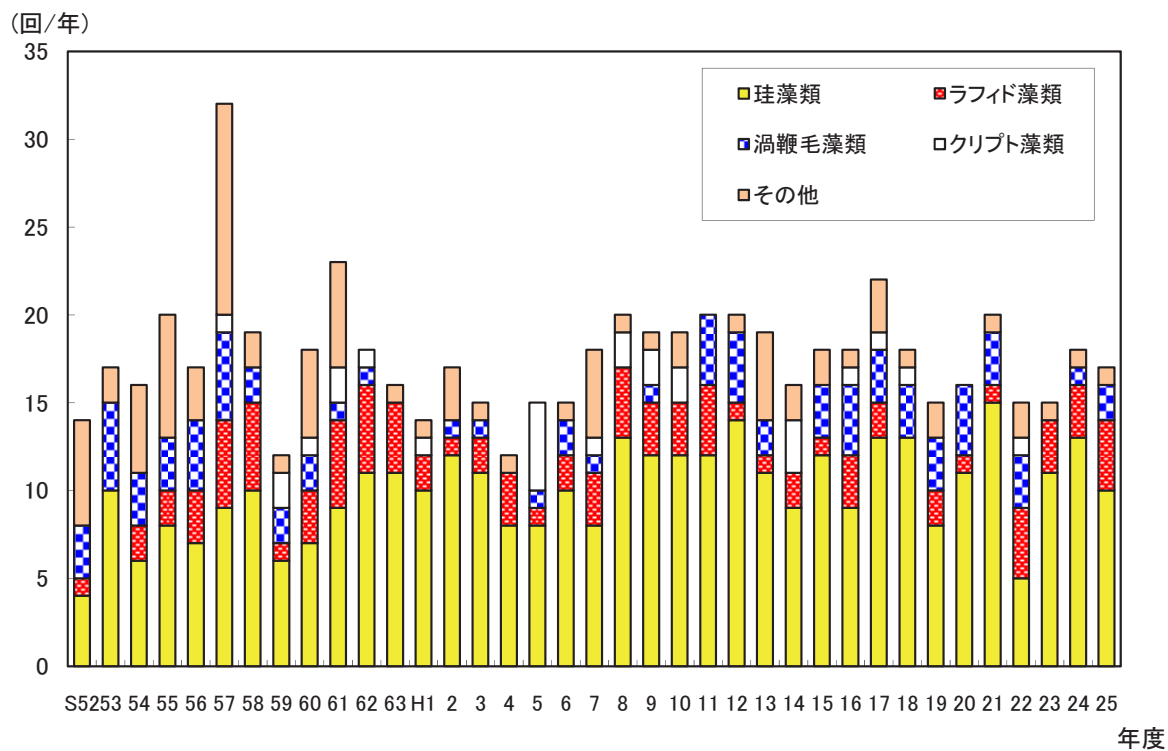
【平成 25 年度赤潮優占プランクトン②】

画像	名称・特徴
	<i>Pleurosigma</i> 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。
	<i>Heterosigma akashiwo</i> (ヘテロシグマ アカシオ) ラフィド藻綱 細胞の直径 8～25 μm 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。
	<i>Noctiluca scintillans</i> (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。
	<i>Euglenophyceae</i> (ユーグレノフィシー) ミドリムシ綱 細胞の直径 20～200 μm 海域に出現する <i>Euglenophyceae</i> は長さ 20～200 μm 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。
	<i>Mesodinium rubrum</i> (メソディニウム ルブラム) 繊毛虫綱 細胞の直径 30～50 μm 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。

【優占プランクトン別赤潮発生回数の経年変化】



【優占プランクトン別赤潮発生回数の経年変化】



【降雨状況と赤潮発生状況(平成25年4月1日～平成26年3月31日)】

資料Ⅶ 降雨状況と赤潮の発生状況(平成25年4月1日～平成26年3月31日)

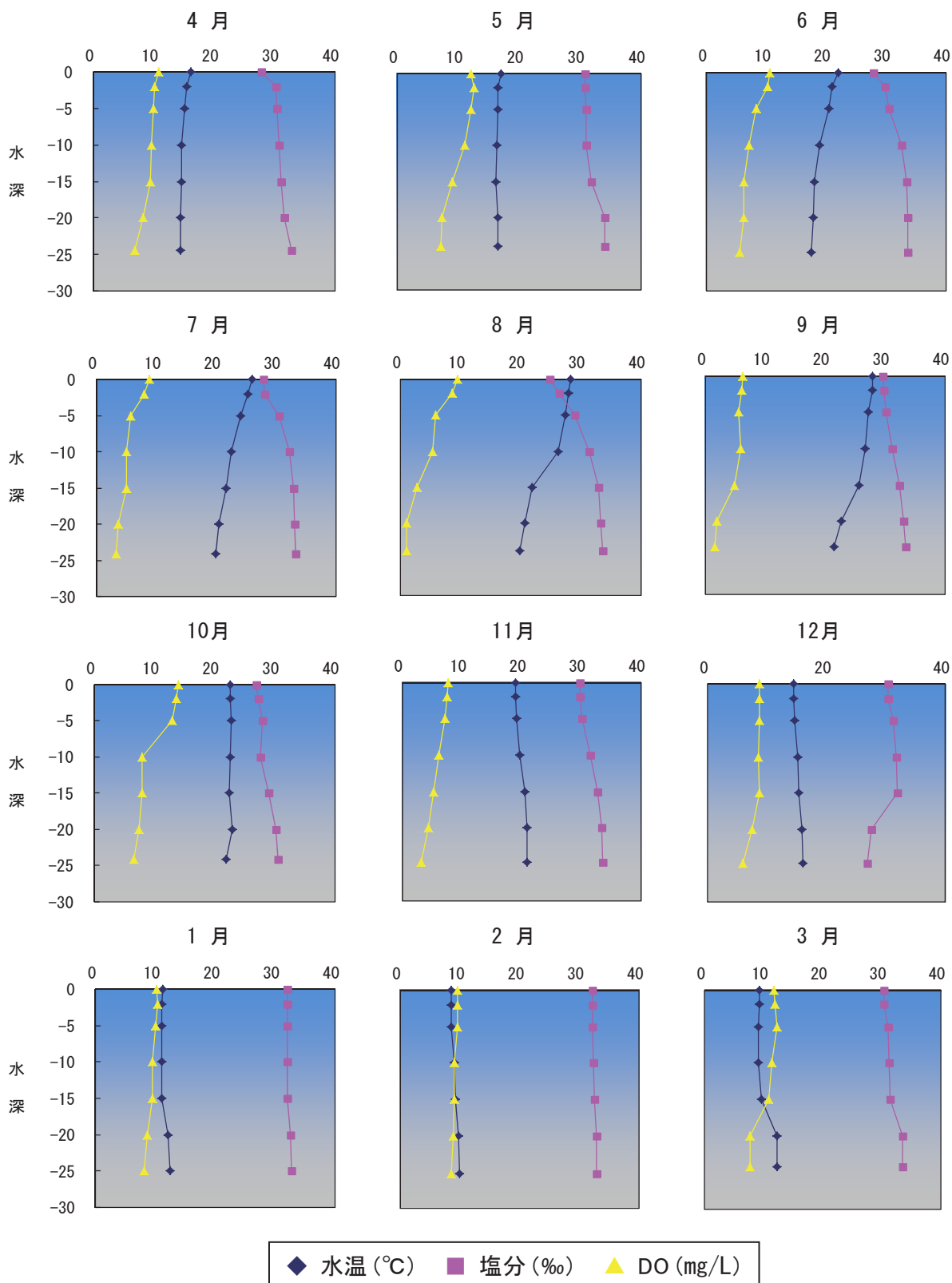
月 日	4		5		6		7		8		9		10		11		12		1		2		3	
	降雨量	発生状況	降雨量	発生状況	降雨量	発生状況	降雨量	発生状況	降雨量	発生状況	降雨量	発生状況	降雨量	発生状況	降雨量	発生状況	降雨量	発生状況	降雨量	発生状況	降雨量	発生状況	降雨量	発生状況
1	0.0		5.0		—		—		0.5		—		4.0		—		—		—		—		1.0	
2	53.5		4.5		0.0		—		0.0		—		35.0		0.5		—		—		0.0		15.0	
3	60.0		—		—		0.0		—		—		0.5		0.0		—		—		—		1.0	
4	—		—		—		0.5		0.0		14.0		2.5		5.0		0.0		—		5.0		1.0	
5	0.0		—		—		2.0		0.0		24.0		30.0		—		—		—		—		30.0	
6	99.5		0.0		—		—		10.5		0.0		0.5		—		—		—		—		—	
7	9.5		—		0.0		7.5		—		0.0		0.0		4.5		—		—		—		0.0	
8	—		—		0.5		4.5		—		46.0		—		—		—		15.5		29.5		—	
9	—		—		—		—		—		0.0		0.0		0.0		—		4.0		1.5		—	
10	—		0.0		0.0		—		—		1.5		0.5		0.0		9.5		—		—		—	
11	0.5		20.0		4.5		—		0.0		3.5		0.5		1.5		—		—		0.0		—	
12	0.0		4.0		7.0		—		3.5		—		—		0.0		—		—		—		—	
13	—		0.0		41.0		0.0		6.5		—		—		—		—		—		—		30.5	
14	—		—		11.5		36.5		—		—		0.0		0.0		—		—		28.5		0.0	
15	—		—		0.0		0.0		—		78.0		69.5		0.5		—		—		67.5		—	
16	—		2.0		26.5		—		—		16.5		176.5		—		—		—		—		—	
17	—		—		0.0		10.5		—		—		—		—		—		—		—		—	
18	—		—		0.0		1.0		—		—		—		—		9.0		—		—		0.0	
19	0.0		4.5		1.0		0.0		—		—		2.5		—		26.5		0.0		—		—	
20	7.5		12.0		9.0		—		—		—		61.0		—		12.5		—		—		17.0	
21	23.5		0.5		13.0		—		26.5		—		—		—		—		2.0		—		0.0	
22	—		—		0.0		0.0		0.0		—		—		—		—		1.5		—		0.0	
23	—		—		1.5		24.5		7.5		0.0		0.0		—		0.0		—		—		—	
24	25.5		—		3.5		1.5		0.5		4.0		2.0		—		—		—		—		—	
25	3.5		0.0		0.0		0.0		3.5		38.0		14.0		14.0		—		—		—		—	
26	0.0		0.0		37.5		—		4.5		6.0		36.0		0.0		0.5		0.0		—		0.0	
27	—		—		2.5		19.5		35.5		—		—		—		1.5		—		7.5		4.5	
28	—		0.0		0.0		0.5		—		0.0		—		—		—		—		18.0		—	
29	—		0.0		0.0		7.0		—		—		5.0		—		—		—				—	
30	0.0		2.5		0.0		0.0		—		0.0		0.0		—		—		1.5				13.5	
31			1.0				0.0		—				—				—		—				—	
月合計(H24)	283.0		56.0		159.0		115.5		99.0		231.5		440.0		26.0		59.5		24.5		157.5		113.5	
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

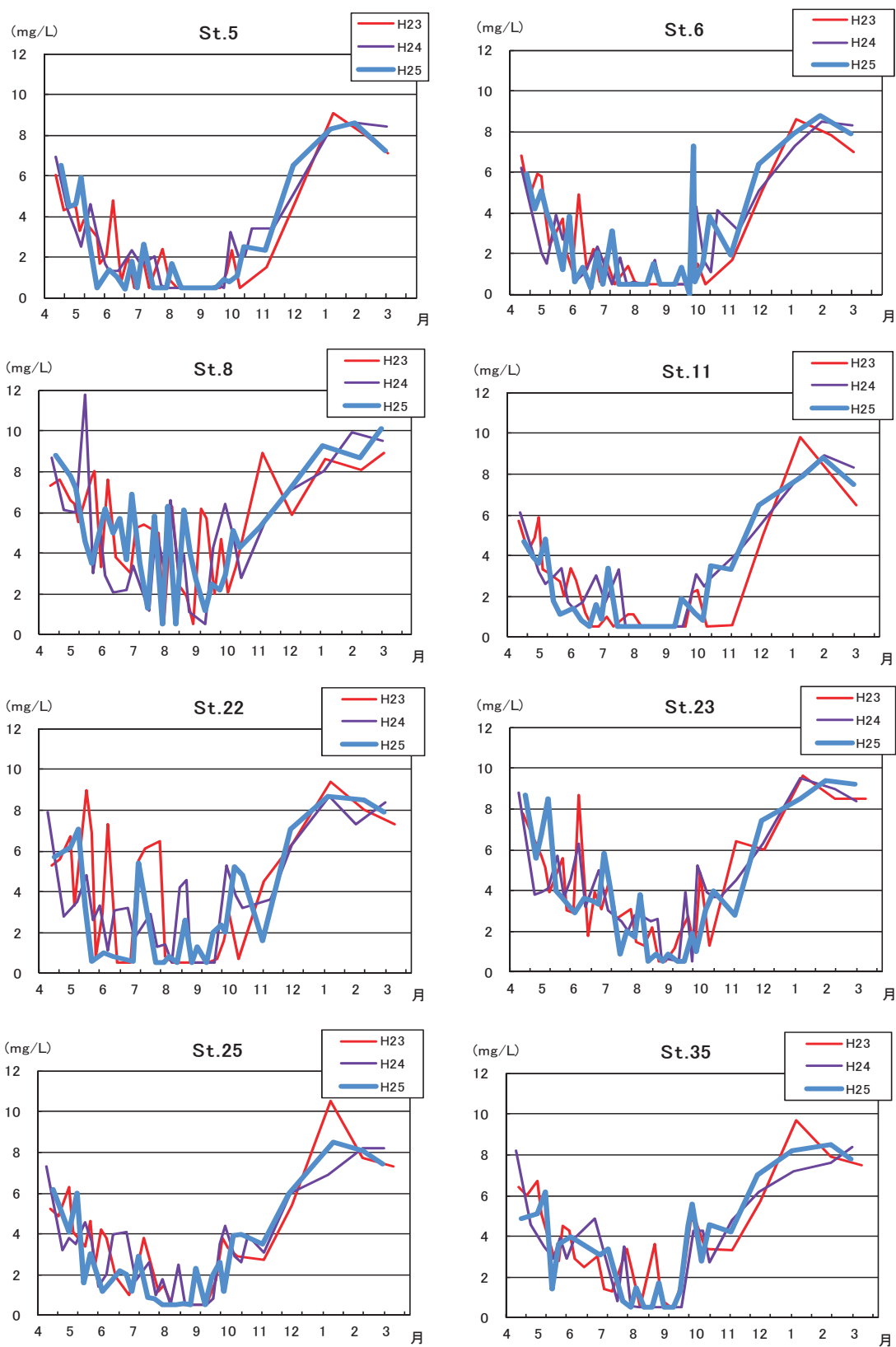
	<i>Skeletonema costatum</i>		<i>Mesodinium rubrum</i>		<i>Heterosigma akashiwo</i>
	<i>Noctiluca scintillans</i>		<i>Thalassiosiraceae</i>		<i>Eucampia zodiacus</i>
	<i>Ceratium furca</i>				

【平成 25 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 だが、鉛直グラフの傾きから、5月頃から成層が始まり、8月9月では20m以深で溶存酸素濃度が2mg/L以下の貧酸素状態となった。11月には成層が壊れて、循環期となった。

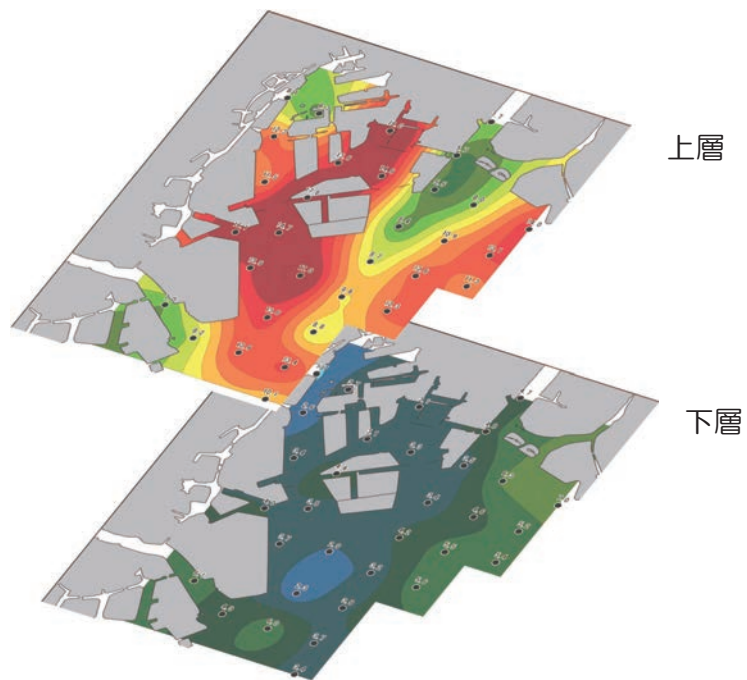
【下層溶存酸素濃度（DO）の経月変化】



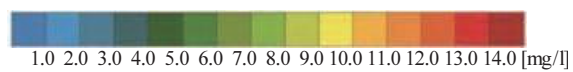
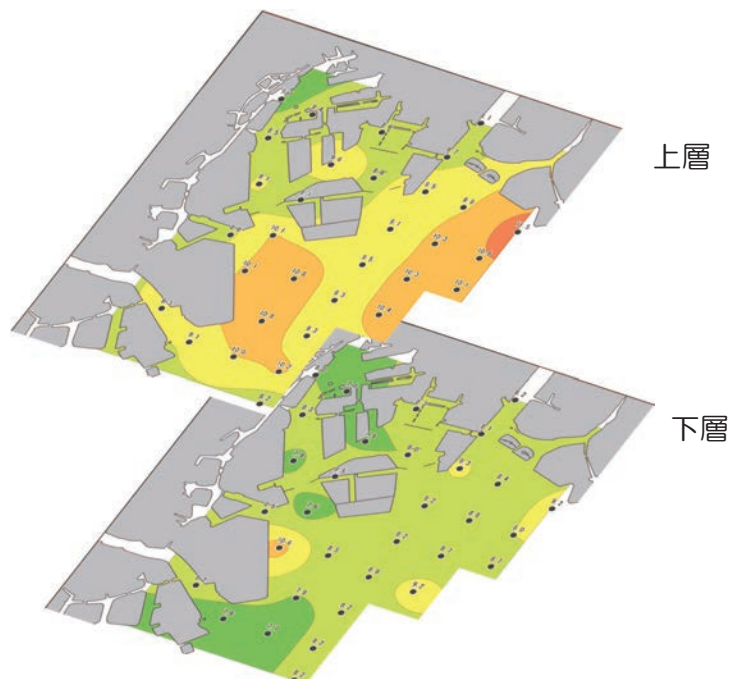
St.6 では例年、5月中旬から 10 月始めまで最も長期間にわたって貧酸素状態が続いている。

【内湾水質測定調査(全地点調査)時の溶存酸素量(DO)水平分布】

平成 25 年 7 月調査(夏季)



平成 26 年 1 月調査(冬季)



【赤潮原因種の判定方法に関する検討】

《細胞数と体積容量》

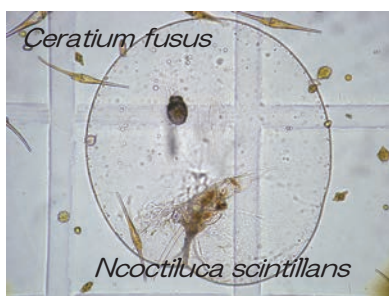
従来、赤潮優占種の植物プランクトンはその細胞数で判定することが多かった。単一種のプランクトンが圧倒的に多い場合以外に、複数種が出現した場合や、種によっては、数は少なくとも細胞体積が比較的大きいものが存在するため、細胞数のみによる判定では疑問が生じる。そこで、細胞体積を調べ、細胞数と体積現存量の比較をした結果、*Ceratium furca*、*Ceratium fusus*、*Prorocentrum micans*、*Eucampia zodiacus*、*Mesodinium rubrum* は他の種類と比べ細胞数が比較的小さいが細胞体積が大きいために赤潮原因種になったと推察された。

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。

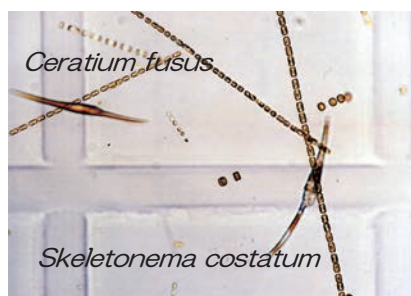
以下に示す表は、プランクトン種別の細胞体積と、*Skeletonema costatum* を1とした時の相対比を表したものである。

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

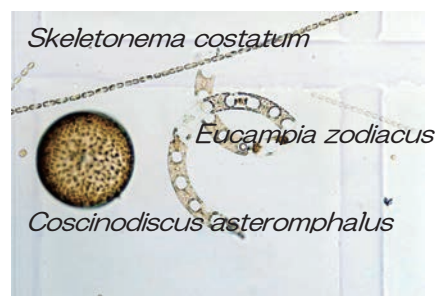
※1



※2



※3



【(参考)東京湾湾奥部におけるプランクトン種別の細胞体積と炭素量】

綱	種名	細胞体積 ($\mu\text{m}^3/\text{cell}$)	<i>S. costatum</i> 相対比	炭素量 (pgC/cell)	<i>S. costatum</i> 相対比
渦鞭毛藻綱					
	<i>Ceratium furca</i>	35899	31.4	3009.6	41.7
	<i>Heterocapsa triquetra</i>	2728	2.4	322.6	4.5
	<i>Prorocentrum dentatum</i>	2088	1.8	256.9	3.6
	<i>Prorocentrum mican</i>	18161	15.9	1644.4	22.8
	<i>Prorocentrum minimum</i>	1715	1.5	213.9	3.0
	<i>Prorocentrum triestinum</i>	2090	1.8	256.5	3.6
珪藻綱					
	<i>Cerataulina dentata</i>	110230	96.3	2987.3	41.4
	<i>Cerataulina pelagica</i>	8340	7.3	324.3	4.5
	<i>Chaetoceros sociale</i>	1361	1.2	86.0	1.2
	<i>Coscinodiscus granii</i>	919598	803.2	20000.7	277.3
	<i>Cylindrotheca closterium</i>	385	0.3	27.4	0.4
	<i>Eucampia zodiacus</i>	15013	13.1	534.1	7.4
	<i>Leptocylindrus danicum</i>	1464	1.3	86.1	1.2
	<i>Leptocylindrus minimum</i>	904	0.8	64.1	0.9
	<i>P-nitzschia multistriata</i>	4000	3.5	180.5	2.5
	<i>P-nitzschia pungens</i>	1777	1.6	103.0	1.4
	<i>Rhizosolenia fragilissima</i>	6008	5.2	249.7	3.5
	<i>Skeletonema costatum</i>	1145	1.0	72.1	1.0
	<i>Thalassiosira binata</i>	9614	8.4	370.4	5.1
ディクチオカ藻綱					
	<i>Distephanus speculum</i>	18407	16.1	662.7	9.2
ユーグレナ藻綱					
	<i>Euglenophyceae</i>	115014	100.5	8052.7	111.6

(出典:吉田健一(2009)博士学位論文「東京湾における植物プランクトン群集の長期変動と環境との関係」)

※本論文においても、*Skeletonema costatum* に対しての相対比が示されている。

炭素量による相対比もしめされている。体積の大きい種が炭素量も大きい傾向が見られる。

【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25年度は St.5,11 を除いて 11 月に極めて少なくなった。植物プランクトンの数が透明度にも大きく影響する。

