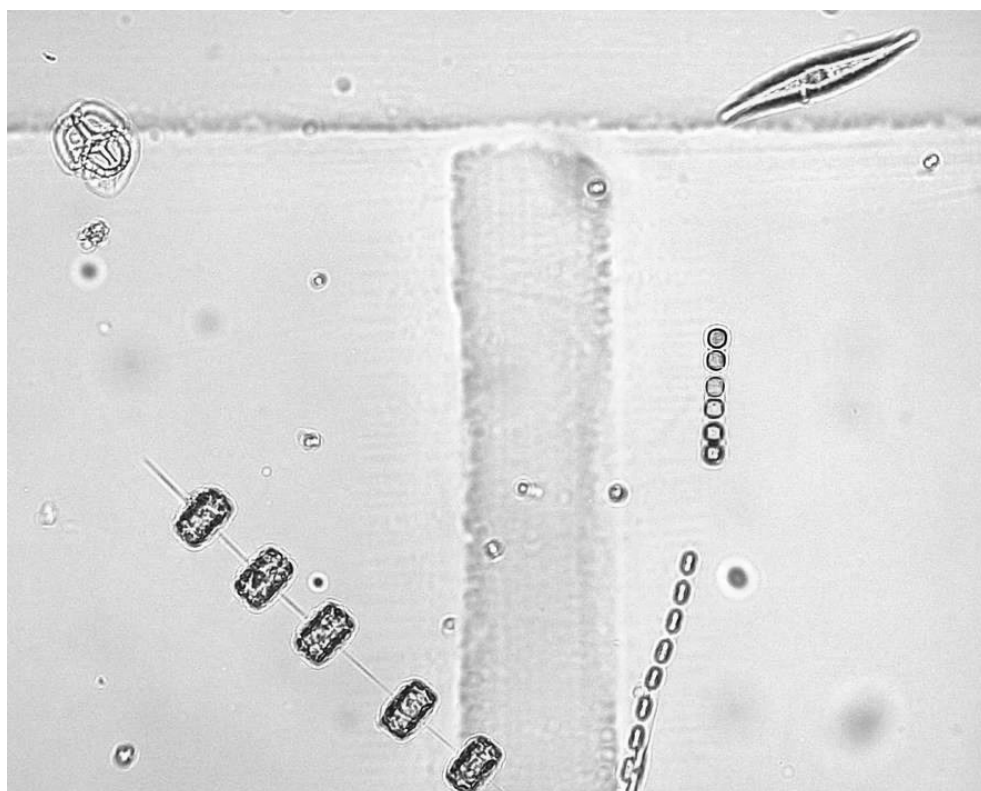


令和 3 年 度

東京湾調査結果報告書
～ 赤潮・貧酸素水塊調査 ～



令和 5 年 3 月

東京都環境局

【表紙の写真】

東京都内湾の表層には数多くのプランクトンが見られますが、頻繁に赤潮優占種となるのは珪藻類です。

写真左下の串に刺さったような円盤状のプランクトンはタラシオシラ、写真右側で細胞が細長く連なっているのはスケルトネマ コスターツムという珪藻です。どちらも東京湾では非常によく見られるプランクトンで、令和3年度は3回ずつ赤潮優占種となりました。

また、写真右上のゆるやかなS字形のプランクトンはメガネケイソウの一種で、同じく珪藻ですが付着物の表面をすべるように移動することができます。

令和3年度 赤潮発生状況

➤ 赤潮の有無による水面の色の違い

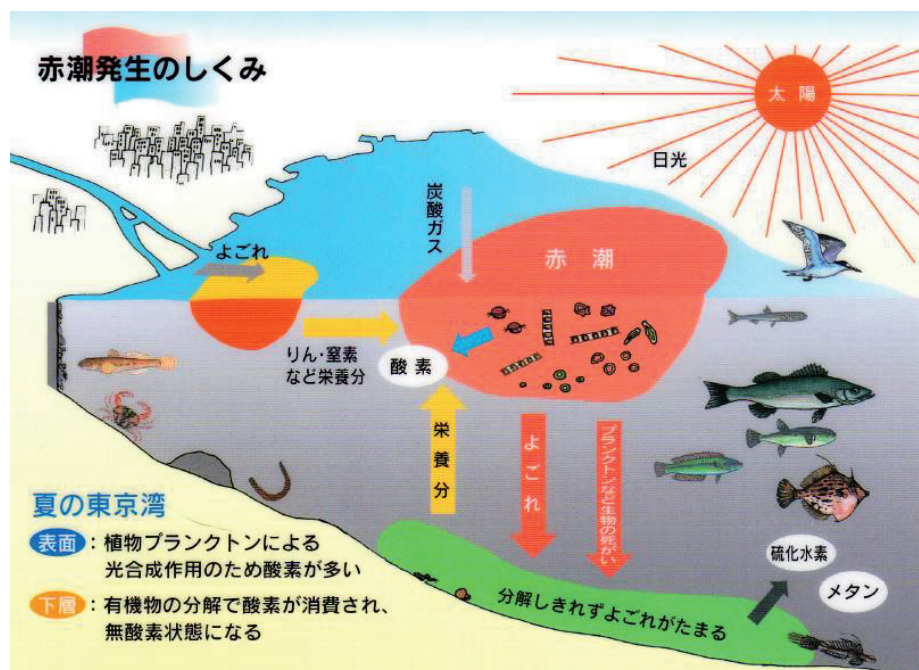
赤潮発生中(令和3年7月20日)



赤潮発生なし(令和3年11月1日)

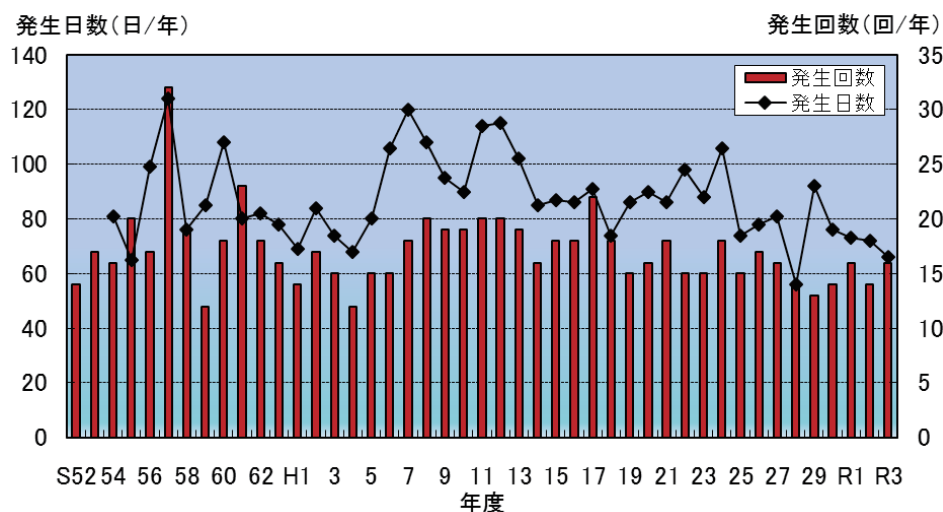


➤ 赤潮発生仕組み



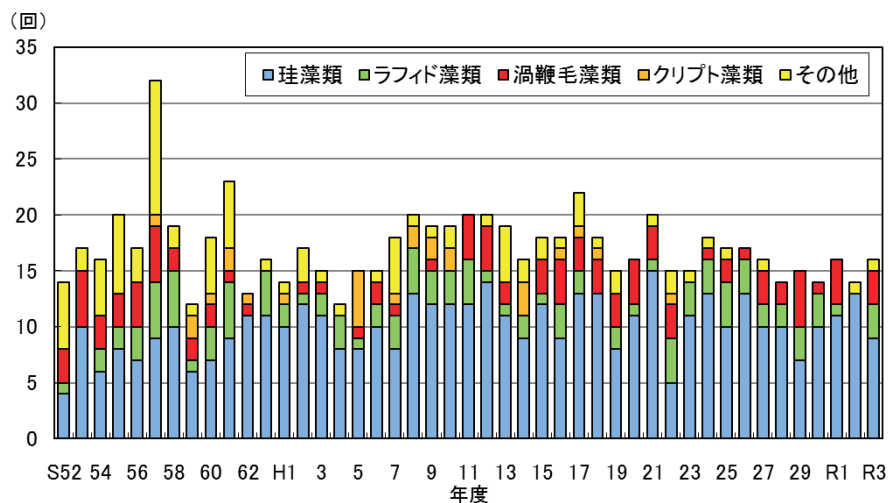
東京湾には植物の栄養となる窒素やりんがたくさん溶け込んでいる。春から夏にかけて、気温が上がり日照時間が長くなると、海水の中の植物プランクトンが増殖する。プランクトンが異常に繁殖して海水の色が変わる現象を「赤潮」と呼んでいる。赤潮になると、海水が濁り、有害なプランクトンが発生すれば魚や貝類に影響がでる。大量に発生したプランクトンは死んで海底に堆積し、有機物の分解で酸素が消費されることで、生物が生きられない無酸素状態を作る大きな要因となる。

➤ 赤潮発生日数・回数の推移



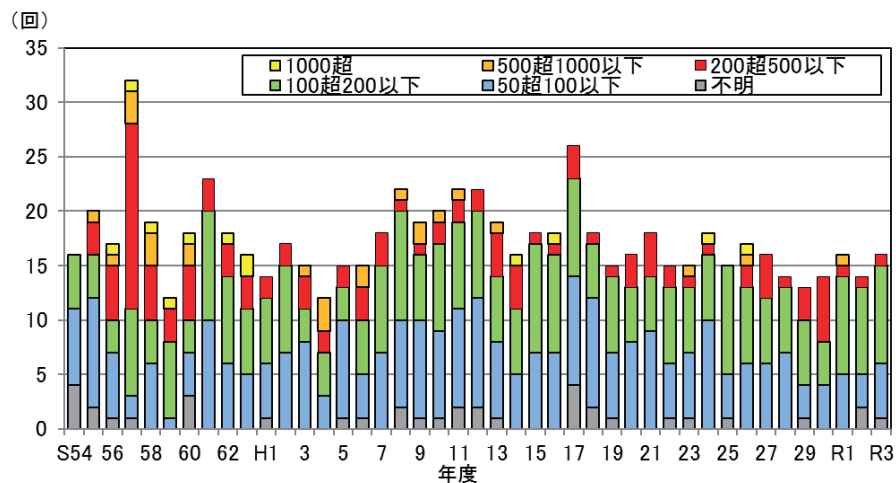
令和3年度の赤潮発生回数は16回、日数は66日であった。回数、日数ともに年度により変動が大きいため、顕著な経年変化の傾向は見られず、近年は横ばい状況であるといえる。

➤ 優占プランクトン別赤潮発生回数の推移



令和3年度に発生した赤潮の優占プランクトン種の多くは珧藻であった。前年度には発生の無かったラフィド藻や渦鞭毛藻による赤潮が各3回発生した。

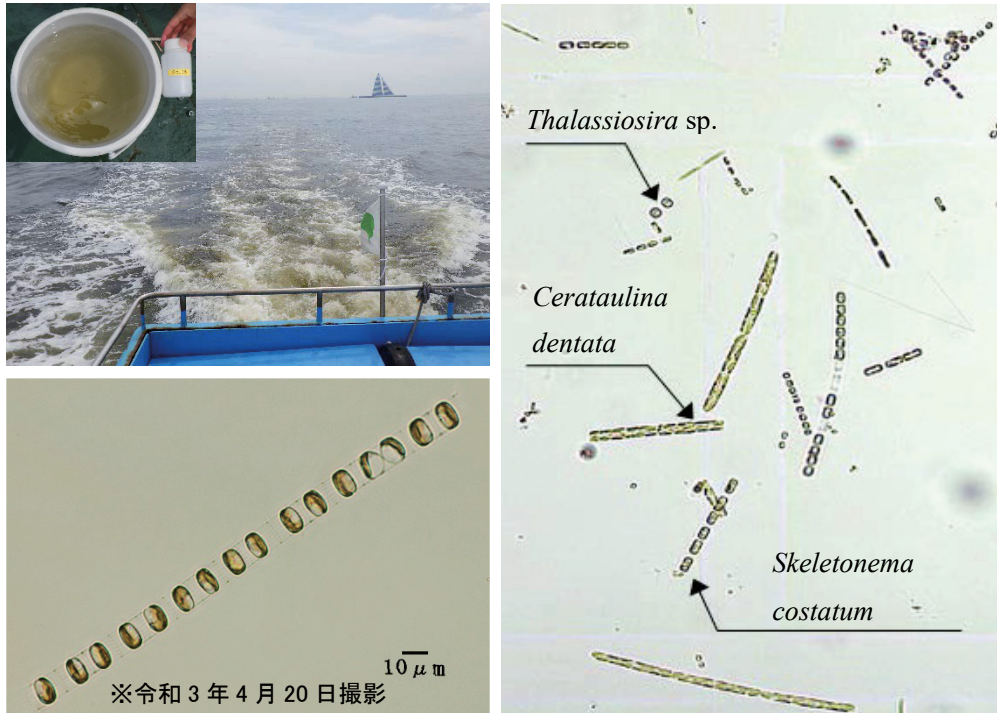
➤ クロロフィル濃度別赤潮発生回数の推移



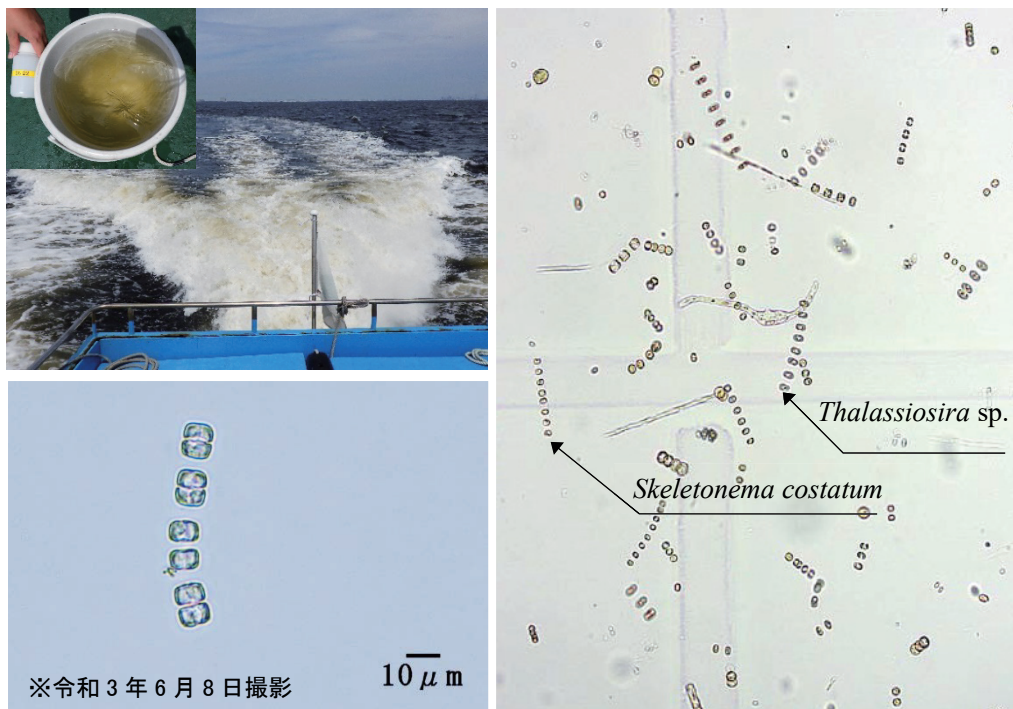
令和3年度はクロロフィル濃度が $500\text{mg}/\text{m}^3$ を超える赤潮は発生せず、クロロフィル濃度の最大値は5月11日のお台場における $276\text{mg}/\text{m}^3$ であった。

➤ 令和3年度の代表的な赤潮優占プランクトン

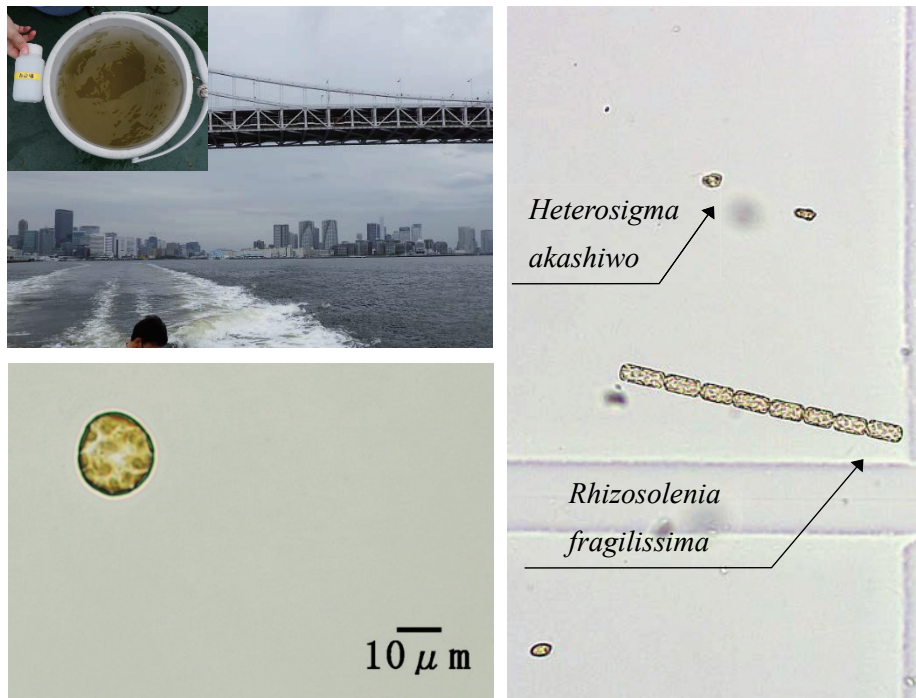
1. *Skeletonema costatum* (珪藻 スケルトネマ コスターツム) 発生回数:3回、発生日数:のべ 13 日
 ≪令和3年9月13日 St.35≫ 概観色相:緑褐色、透明度:1.3 m、クロロフィル濃度:141mg/m³、
 表層 DO: >20.0mg/L、*Skeletonema costatum* 細胞数 27,000 細胞/mL



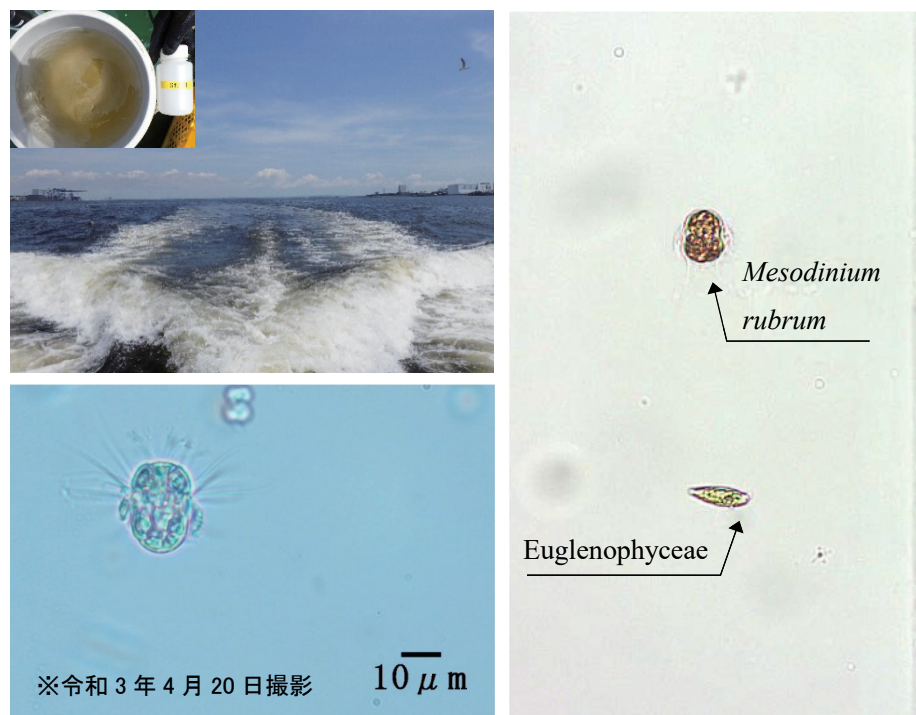
2. *Thalassiosira* spp. (珪藻 タラシオシラ属) 発生回数:3回、発生日数:のべ 16 日
 ≪令和3年8月23日 St.22≫ 概観色相:緑褐色、透明度:1.1 m、クロロフィル濃度:146mg/m³、
 表層 DO: 11.6 mg/L、*Thalassiosira* spp. 細胞数 28,500 細胞/mL



3. *Heterosigma akashiwo* (ラフィド藻 ヘテロシグマ アカシオ) 発生回数:3回、発生日数:のべ 12 日
 《令和 3 年 5 月 11 日 お台場》 概観色相:茶色、透明度:1.0 m、クロロフィル濃度:276mg/m³、
 表層 DO:19.1 mg/L、*Heterosigma akashiwo* 細胞数 10,700 細胞/mL



4. *Mesodinium rubrum* (織毛虫 メソディニウム ルブラム) 発生回数:1回(15 日間継続)
 《令和 3 年 7 月 20 日 St.11》 概観色相:茶色、透明度:1.0 m、クロロフィル濃度:186mg/m³、
 表層 DO:15.8 mg/L、*Mesodinium rubrum* 個体数 2,740 個体/mL



➤ 令和3年度の赤潮優占プランクトン

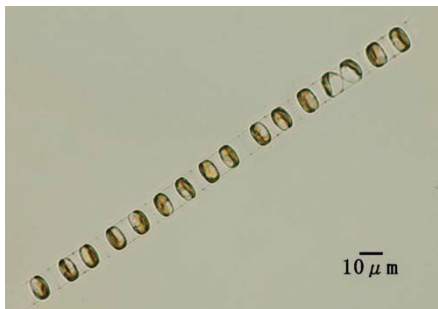
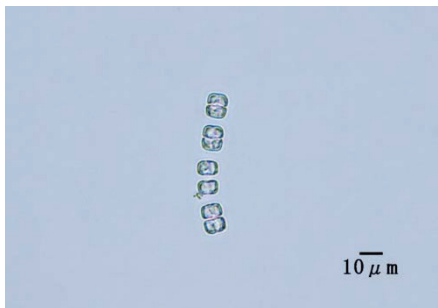
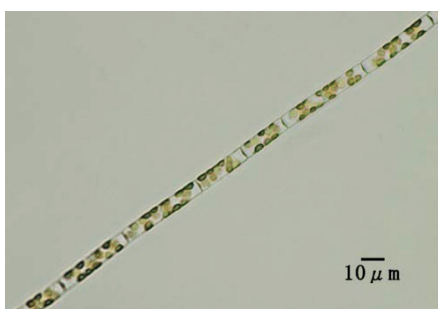
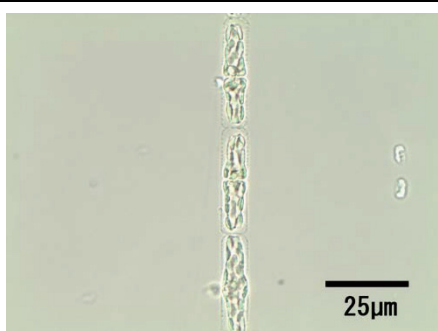
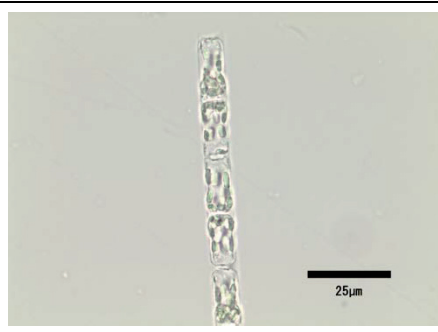
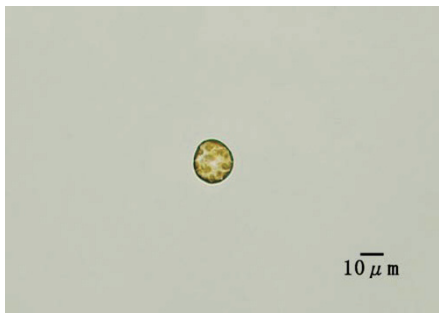
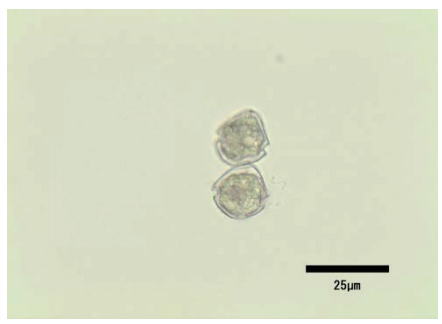
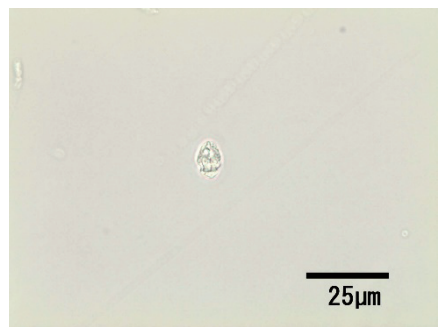
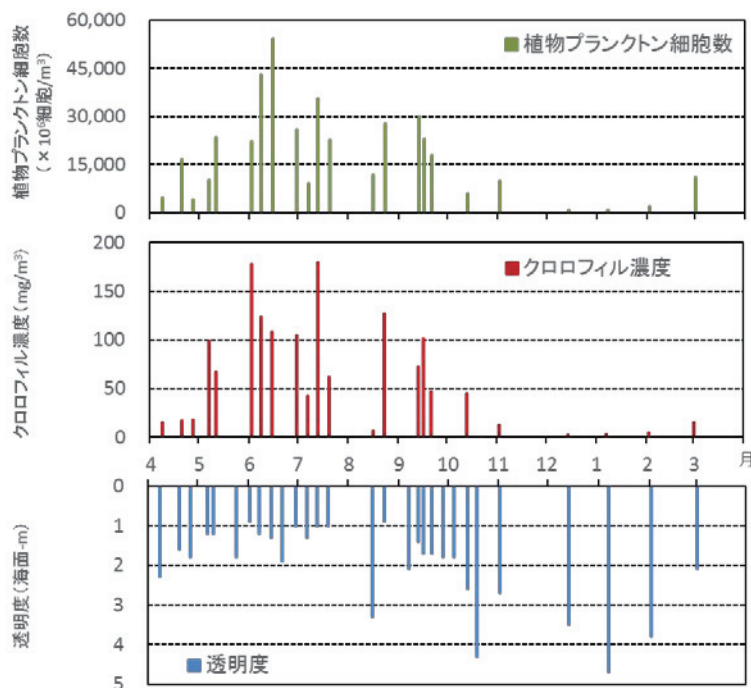
写真	名称・特徴
	<i>Skeletonema costatum</i> 珪藻綱 細胞の直径 10～20 μm 第4回、第6回、第 13 回赤潮優占種。東京内湾の最も代表的なプランクトンであり、年間を通じて見られる。レンズ状の細胞が二つの細胞の真ん中で繋がり、直線状の群体を形成する。高水温期には、しばしば大増殖して広範囲に赤潮を形成する。
	<i>Thalassiosira</i> spp. (タラシオンシラ属) 珪藻綱 細胞の直径 10～20 μm 第7回、第 10 回、第 12 回赤潮の優占種。東京内湾の代表的なプランクトンの一つ。細胞が一本の糸で鎖状に連結し群体を作る種が多い。どれもよく似た形態であり、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>Leptocylindrus danicus</i> 珪藻綱 細胞の直径 6～12 μm 第1回赤潮の優占種。細胞は円筒形で細長く、長い棒状の群体を形成する。温帯沿岸に普通に見られ、東京内湾のような富栄養海域にもよく出現する。
	<i>Cerataulina dentata</i> 珪藻綱 細胞の直径 12～50 μm 第 14 回赤潮の優占種。細胞は長い円筒形である。隣接する細胞は両極にある隆起と頂面の縁近くの環状歯で結合する。東京湾や三河湾などに多く出現する。
	<i>Cerataulina pelagica</i> 珪藻綱 細胞の直径 7～56 μm 第 16 回赤潮の優占種。細胞は長い円筒形である。細胞の両極に小隆起があり、この部分で隣の細胞とつながって長い群体を形成する。各地の沿岸、内湾に出現し夏季に多く見られる。

写真	名称・特徴
	<i>Heterosigma akashiwo</i> ラフィド藻綱 細胞の直径 8～25 μm 第2回、第8回、第15回赤潮の優占種。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>Prorocentrum minimum</i> 渦鞭毛藻綱 細胞の長さ・幅 15～25 μm 第3回赤潮の優占種。小型で、丸いハート型のものが多い。高水温期に赤潮の単独優占種となる。世界各地の内湾や汽水域に生息する。
	<i>Scrippsiella</i> sp. 渦鞭毛藻綱 細胞の長さ・幅 種により異なる 第5回赤潮の優占種。幅よりも高さが大きく、通常は上殻が円錐状で下殻が半球状の洋ナシ形である。体の外表面には鎧版を有し、種の同定には特殊な処理を必要とする。
	<i>Heterocapsa</i> sp. 渦鞭毛藻綱 細胞の長さ・幅 種により異なる 第9回赤潮の優占種。鎧版の薄い、小型種が多い。幅広い縦溝が細胞中を一周しており、上殻と下殻がまるく、ほぼ同形同大である。現場での種の同定は非常に難しい。
	<i>Mesodinium rubrum</i> 繊毛虫綱 体長 30～50 μm 第11回赤潮の優占種。体は中央よりわずかに上部でくびれる。くびれの後部から2種の繊毛環が生じ、一方は前方に、一方は後方に延びる。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。

➤ 植物プランクトン細胞数、クロロフィル濃度及び透明度の月変化(St.6)



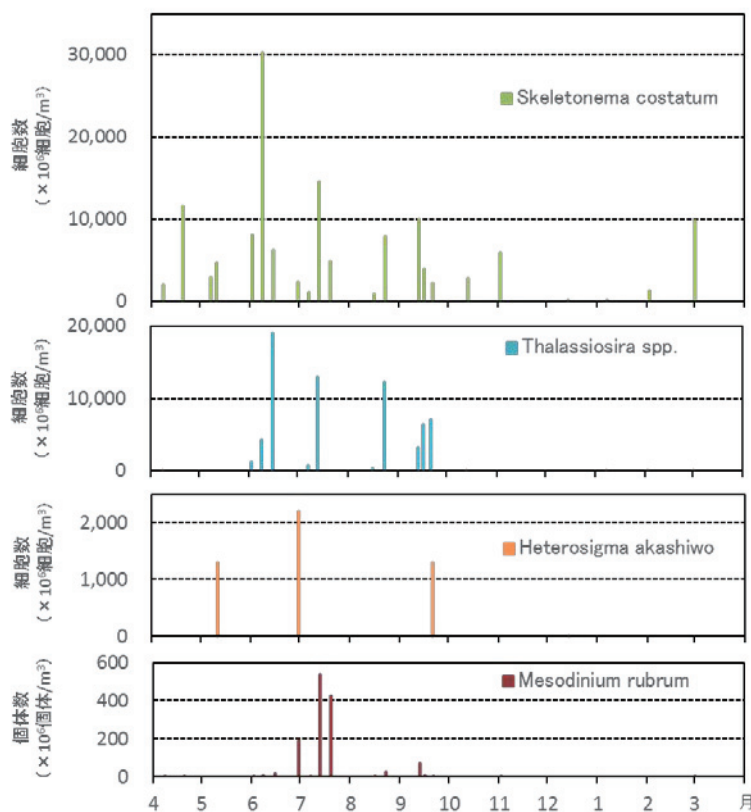
※透明度は全調査の結果、細胞数とクロロフィル濃度は St. 6 で採水した調査のみの結果を示す。

植物プランクトンは4月下旬から増加し、6月から8月にかけて最も多く、冬季になると非常に少なくなる。

令和3年度は、6月に最多約 54,000 × 10⁶ 細胞/m³、1月に最少約 700 × 10⁶ 細胞/m³ を観測した。

植物プランクトン数の増加に伴ってクロロフィル濃度（クロロフィル a+フェオ色素）が上昇し、透明度が低下していることが分かる。

➤ 主要プランクトン数の月変化(St.6)



令和3年度の代表的な赤潮優占種であった4種のプランクトン数の月変化を示す。

細胞数が最多であった *Skeletonema costatum* は4月から11月まで恒常的に出現し、特に6月が多かった。冬季はほとんど優占種となることはなく、3月になると再び増加した。

その他の3種については、夏季に時折大量出現し赤潮優占種となっていたことが分かる。

※各プランクトンが細胞数で優占10種（水質測定調査）または優占5種（赤潮調査）となった調査のみの結果を示す。

➤ 令和3年度の最高気温と赤潮発生状況

月 日	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
	最高 気温	最高 気温	最高 気温	最高 気温	最高 気温	最高 気温	最高 気温	最高 気温	最高 気温	最高 気温	最高 気温	最高 気温
1	21.7	24.1	25.7	22.9	33.7	23.5	21.3	21.4	20.3	7.8	11.2	18.3
2	19.9	23.5	26.4	22.2	33.1	20.6	30.1	21.9	13.8	7.9	11.1	16.3
3	22.3	22.8	27.4	25.8	32.9	21.4	27.7	22.1	16.1	10.5	11.8	15.0
4	23.3	24.5	23.9	21.1	34.5	22.9	29.7	20.3	14.9	12.4	8.5	12.2
5	17.2	22.1	26.7	25.1	34.7	24.7	29.1	20.3	11.9	8.7	9.2	17.9
6	15.7	24.4	24.0	29.6	34.8	21.8	28.5	19.6	10.8	2.6	8.2	13.9
7	19.6	20.5	29.7	30.0	31.4	24.4	24.1	19.2	14.9	8.4	9.7	14.2
8	18.1	24.9	31.4	24.8	28.8	25.0	29.2	21.5	10.6	9.5	9.1	8.0
9	18.3	28.5	31.1	24.9	31.3	22.5	28.1	19.8	14.2	13.4	10.8	13.6
10	16.3	25.1	30.7	33.4	36.8	30.0	26.7	20.9	12.5	9.6	6.1	14.3
11	18.6	19.9	29.4	31.8	33.5	29.1	29.3	20.7	15.4	7.2	9.2	18.7
12	20.8	21.2	28.1	31.6	29.2	26.9	23.8	21.5	16.7	8.6	9.9	21.8
13	20.1	18.2	28.1	29.0	25.4	30.7	18.5	18.4	13.0	11.5	5.0	19.5
14	19.2	26.9	23.7	28.8	25.6	25.7	24.5	19.6	6.4	8.6	8.0	24.1
15	16.5	26.4	29.5	31.1	20.2	28.5	25.4	20.4	14.3	10.5	11.6	20.3
16	19.1	22.4	24.9	33.2	22.5	27.4	23.2	18.8	14.7	11.1	11.8	20.3
17	18.7	25.0	26.7	32.6	27.4	25.2	21.2	17.6	11.9	11.8	9.7	21.0
18	22.0	22.8	27.4	33.2	31.3	26.0	18.8	17.4	8.5	8.7	11.4	10.3
19	21.9	18.4	23.1	34.7	33.8	29.2	15.4	17.6	10.0	8.1	8.9	18.6
20	24.5	22.3	28.6	34.0	33.7	28.3	22.3	18.7	11.9	8.4	10.0	15.5
21	25.2	25.2	27.9	33.6	32.1	27.9	19.3	15.8	15.2	7.8	8.7	14.1
22	26.2	23.4	28.6	34.2	33.6	29.5	15.3	16.6	13.5	9.9	10.0	9.9
23	20.4	25.4	25.6	34.0	30.3	31.7	19.2	17.0	13.2	7.7	10.3	10.5
24	21.6	28.0	27.2	34.4	31.0	30.6	19.5	16.9	13.2	11.0	10.1	14.3
25	23.2	28.9	27.5	34.4	34.4	24.5	17.3	18.5	14.1	9.6	13.4	17.6
26	19.4	26.0	28.4	32.1	35.7	21.3	20.4	17.3	7.6	9.5	14.7	19.0
27	20.4	20.3	26.7	29.8	34.3	24.8	16.6	13.8	8.1	11.9	18.5	21.4
28	23.8	26.1	29.6	32.0	34.8	26.6	23.0	14.4	9.5	11.8	15.9	19.0
29	18.8	28.3	28.4	32.1	32.8	26.3	20.0	13.6	8.9	10.0		11.0
30	24.2	26.8	23.1	30.5	33.8	29.2	20.4	16.1	14.5	8.2		20.3
31		25.2		32.5	32.4		16.4		6.0	10.0		22.8
月平均 (R3)	20.6	24.1	27.3	30.3	31.6	26.2	22.7	18.6	12.5	9.4	10.5	16.6
月平均 (平年)	19.4	23.6	26.1	29.9	31.3	27.5	22.0	16.7	12.0	9.8	10.9	14.2

注1 月平均欄における「平年」とは、1991～2020年の平均値を示す。

注2 発生状況欄の凡例

	<i>Cerataulina dentata</i>		<i>Cerataulina pelagica</i>		<i>Heterocapsa</i> sp.
	<i>Heterosigma akashiwo</i>		<i>Leptocylindrus danicus</i>		<i>Mesodinium rubrum</i>
	<i>Prorocentrum minimum</i>		<i>Scrippsiella</i> sp.		<i>Skeletonema costatum</i>
	<i>Thalassiosira</i> spp.				

注3  は水質測定調査及び赤潮調査日、最高気温が25℃以上の日をオレンジ色、30℃以上の日を赤色で示す。

➤ 令和3年度の降雨状況と赤潮発生状況

月 日	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
	降水量	降水量	降水量	降水量	降水量	降水量	降水量	降水量	降水量	降水量	降水量	降水量
1	0.0	8.0	0.5	64.5	0.0	3.0	113.0	0.0	54.5	0.0	0.0	0.0
2	0.0	2.0	0.0	68.0	0.5	18.5	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0
3	0.0	0.0	3.0	53.5	3.0	17.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	10.5	0.0	23.0	17.5	0.0	14.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	18.0	3.0	0.0	2.5	0.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	0.0	3.5	0.5	0.5	0.0	8.5	0.0	0.0	0.0	6.5	0.0	0.0
7	0.0	1.0	0.0	0.5	2.0	0.0	0.0	1.0	9.5	0.0	0.0	0.0
8	2.5	0.0	0.0	7.5	90.5	0.5	0.0	1.5	36.5	0.0	0.0	0.5
9	0.0	0.0	0.0	9.0	2.0	14.0	0.0	47.5	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.0	0.0	0.0	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.0	0.0
11	0.0	0.0	0.0	17.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.0	2.5	0.0
12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	0.5	12.0	0.0	0.0	20.5	0.0	10.5	0.0	0.0	0.0	22.5	0.0
14	36.0	0.0	3.5	0.0	77.0	5.5	0.0	0.0	5.5	0.0	3.5	1.0
15	0.0	0.0	1.0	0.0	138.5	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
16	0.0	1.0	30.5	0.0	2.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17	33.5	0.5	3.5	0.0	23.5	0.0	13.5	0.0	6.0	0.0	0.0	0.0
18	15.0	1.0	0.0	0.0	3.0	124.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	48.0
19	0.0	9.5	12.0	0.0	0.0	0.0	9.0	0.0	0.0	0.0	6.5	22.0
20	0.0	2.0	14.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.0	0.0
21	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.5	0.0	0.0	0.0	0.0
22	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	1.0	9.5	24.5	0.0	0.0	0.0	18.0
23	0.0	5.5	1.5	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
24	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	1.0
25	0.0	0.0	19.0	0.0	0.0	0.0	5.5	0.0	3.5	0.0	0.0	0.0
26	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.5
27	0.0	35.5	0.0	34.5	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5
28	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
29	37.0	0.0	53.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0
30	3.0	0.5	3.0	30.0	0.0	4.5	0.0	6.0	0.0	0.0		0.0
31		7.5		0.0	17.0		2.0		0.0	0.0		7.0
月合計 (R3)	156.0	99.5	168.5	310.0	382.5	222.5	199.5	93.0	116.0	22.5	71.0	110.5
月合計 (平年)	133.7	139.7	167.8	156.2	154.7	224.9	234.8	96.3	57.9	59.7	56.5	116.0

注1 降雨状況月合計欄における「平年」とは、1991～2020年の平均値を示す。

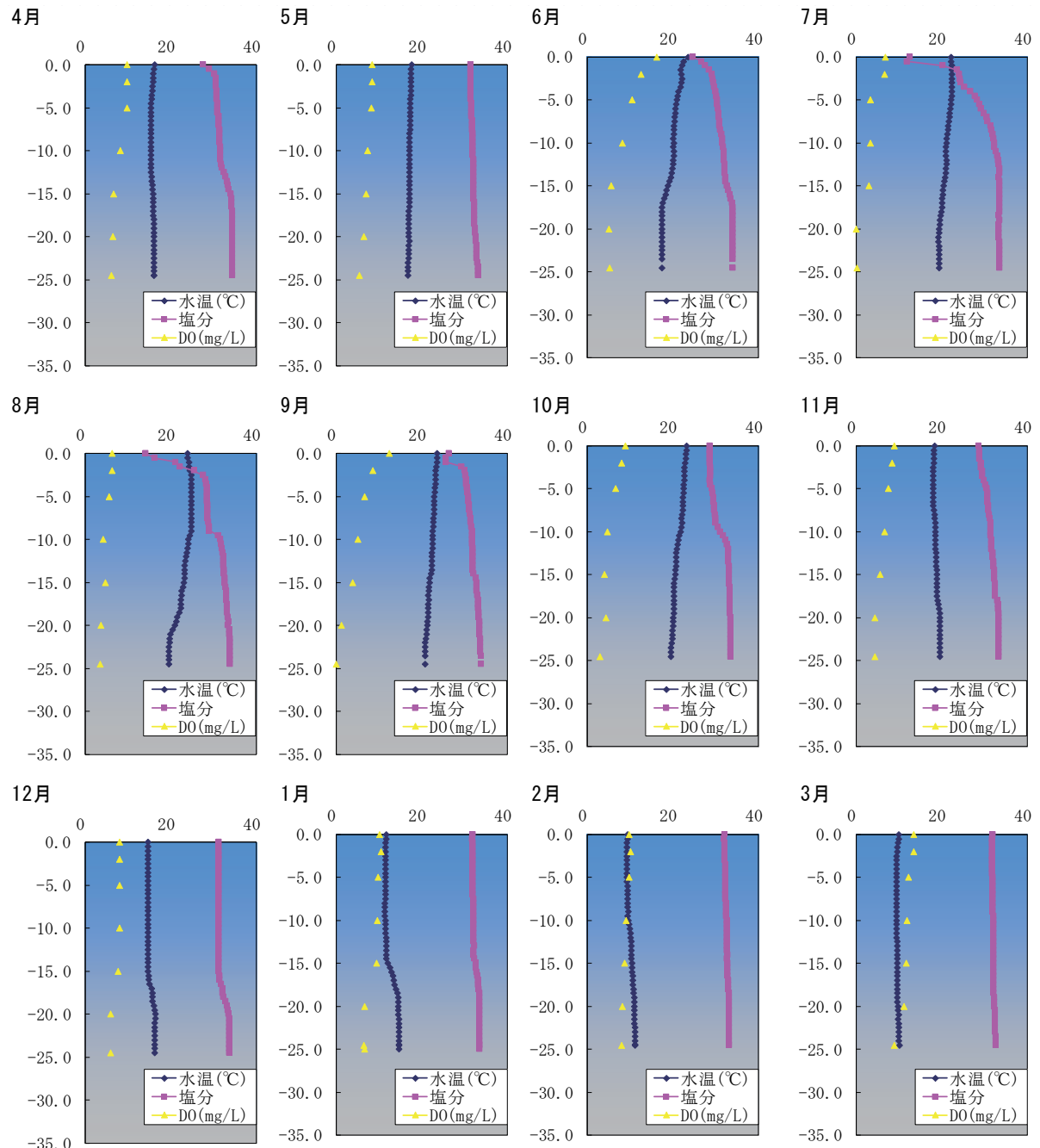
注2 発生状況欄の凡例

	<i>Cerataulina dentata</i>		<i>Cerataulina pelagica</i>		<i>Heterocapsa</i> sp.
	<i>Heterosigma akashiwo</i>		<i>Leptocylindrus danicus</i>		<i>Mesodinium rubrum</i>
	<i>Prorocentrum minimum</i>		<i>Scripsiella</i> sp.		<i>Skeletonema costatum</i>
	<i>Thalassiosira</i> spp.				

注3  は水質測定調査及び赤潮調査日、当日40mm以上の降雨日を青色で示す。

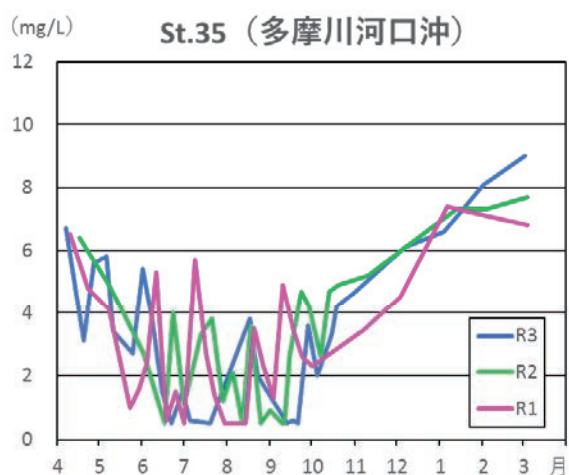
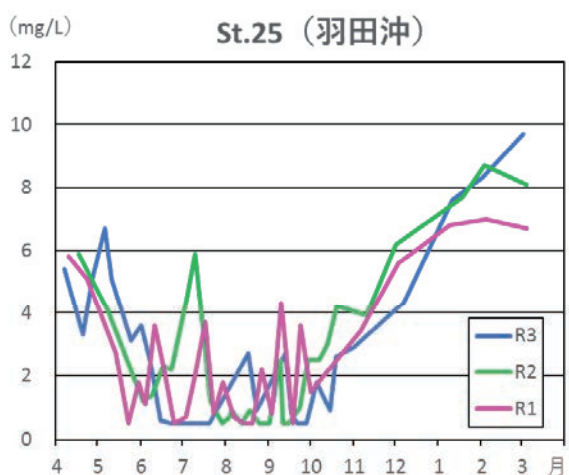
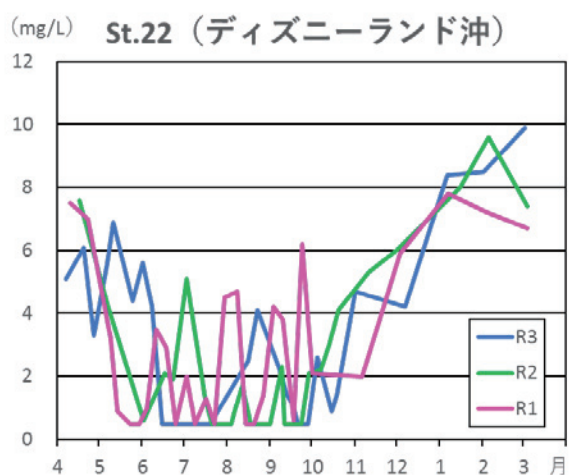
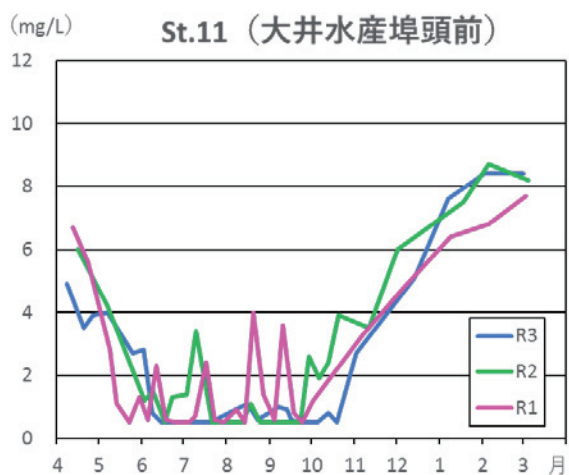
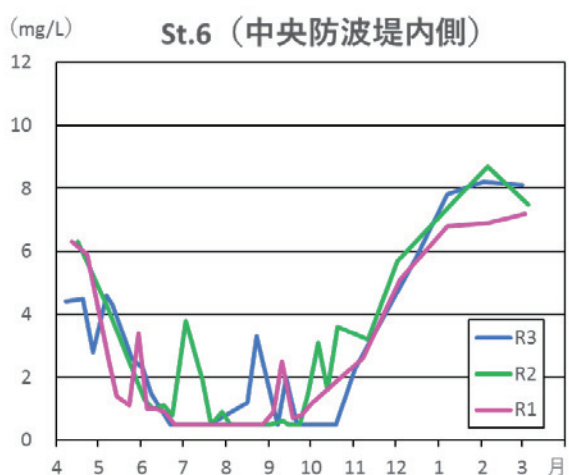
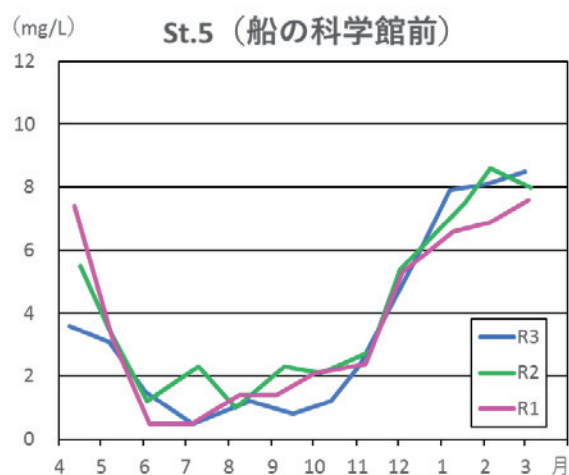
令和3年度 貧酸素水塊発生状況

➤ 水温・塩分・溶存酸素(DO)の月別鉛直分布(St.35)



St. 35（水深約 25m）における鉛直方向の水温、塩分、DO の経月変化を見ると、6 月には上下で塩分濃度差が大きく混合が起きにくい成層状態となり、7 月と 9 月には 20m 以深で DO が 2.0mg/L を下回る貧酸素状態となった。11 月には成層が解消し上下層の水が混合した循環期となり、貧酸素状態から回復したことが分かる。

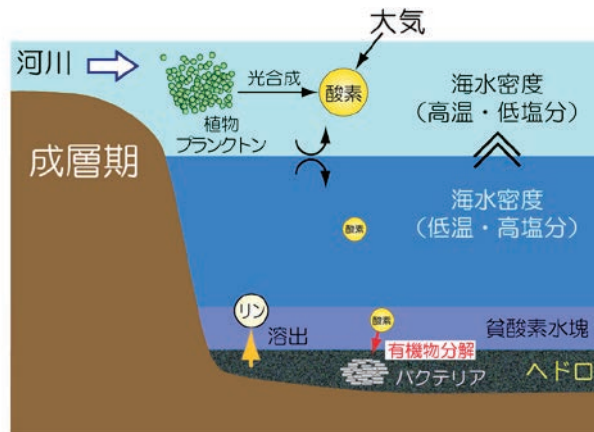
➤ 過去3年間の底層DOの月変化



底層DOが2.0mg/Lを下回る貧酸素状態が6月から10月まで続く傾向は、各地点とも例年と同様であった。

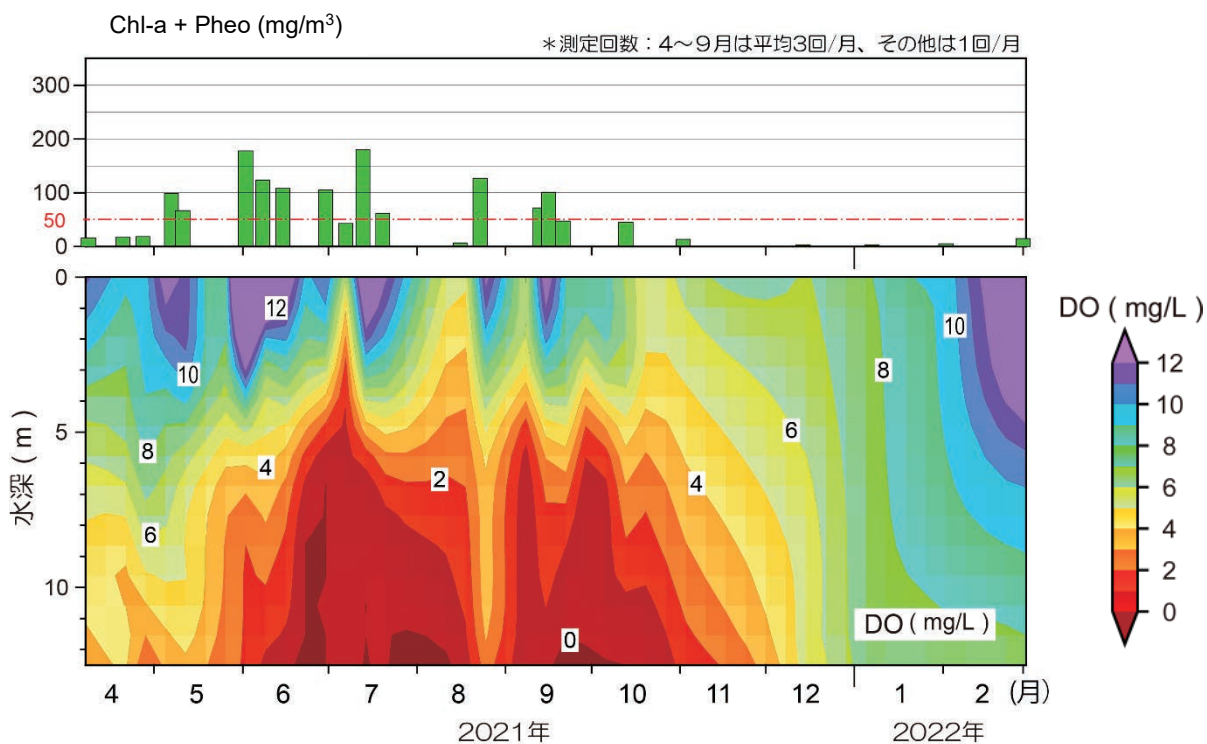
➤ 夏季の東京湾内のDOの挙動

夏季に赤潮が長く続くことにより、上層は植物プランクトンの光合成で酸素が過飽和となる。一方、底層で有機物の分解やリンの溶出に酸素が多く消費される上に、海水密度差が大きいこの期間は水が上下に循環しない成層状態となり、下層では貧酸素水塊が形成される。



作図（公財）東京都環境公社 東京都環境科学研究所 安藤晴夫

➤ クロロフィル濃度とDO



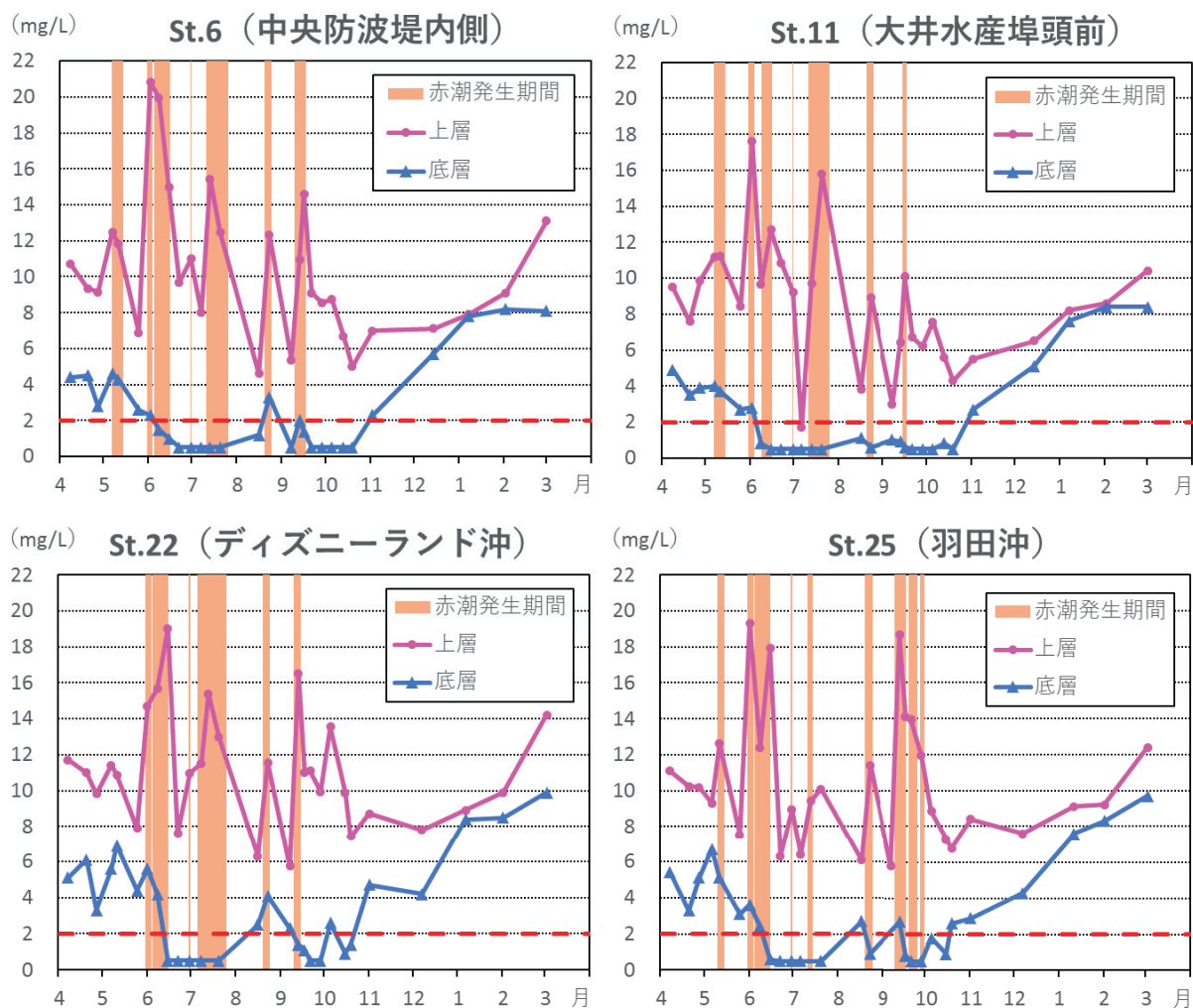
DO鉛直分布と上層クロロフィル濃度の時系列変化（都内湾 St.6）

St. 6（水深約 12m）においてクロロフィル濃度とDOとの関係を見ると、植物プランクトンの増殖によりクロロフィル濃度が上昇している時には上層のDOが高くなっている。

一方、底層では6月から10月まで貧酸素状態が続き、7月には水深2m付近でもDOが2.0mg/Lを下回る時期があった。

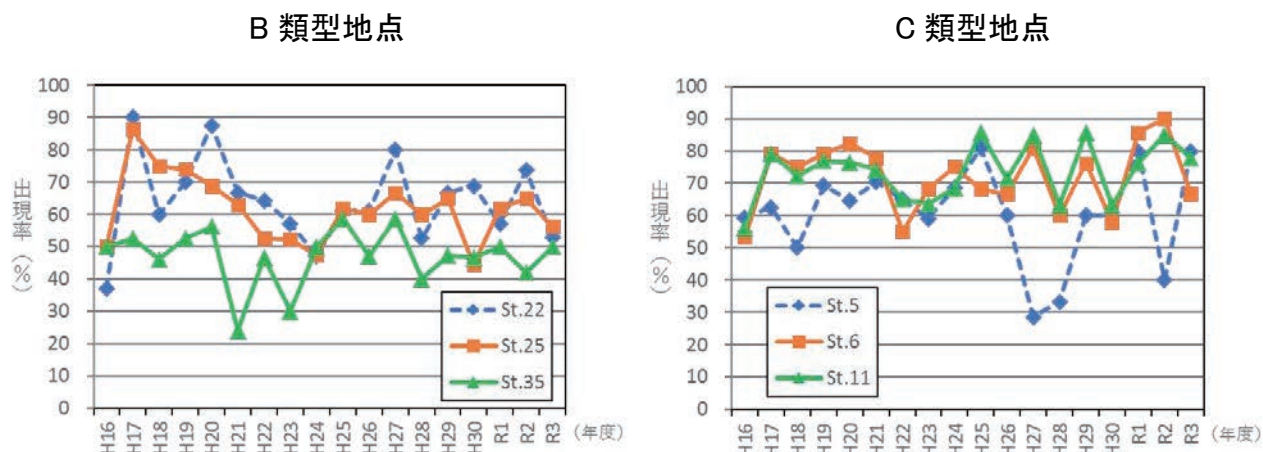
なお、東京都ではクロロフィル濃度 50mg/m³（グラフ内赤点線）以上を赤潮判定基準の一つとしている。（本文4ページ）

➤ 赤潮とDO



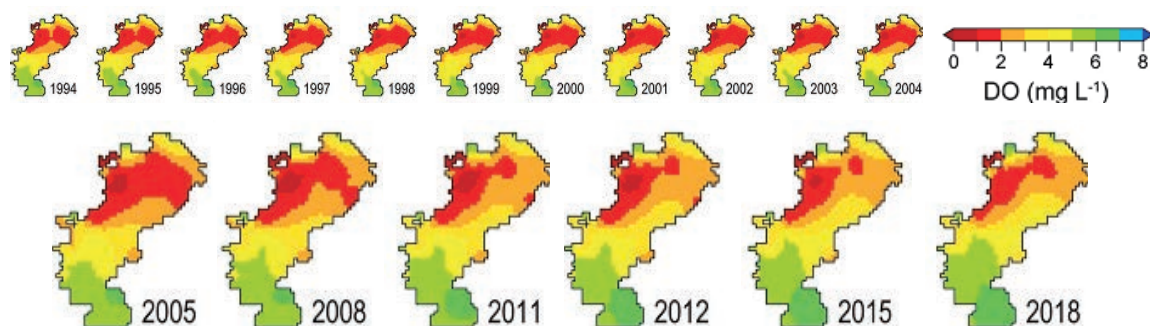
令和3年度夏季に頻繁に赤潮が確認された調査地点について、上層及び底層のDO変化と赤潮発生期間を示す。いずれの地点も、赤潮発生期間には上層でDOが10mg/Lを超えるような過飽和状態であったことが分かる。一方、底層では、成層状態にあった6月から10月に掛けてDOが2.0mg/L（赤点線）未満の貧酸素状態にあることがほとんどであった。

➤ 夏季の貧酸素水塊出現率の経年変化



5月から9月までの貧酸素水塊出現率(貧酸素水塊の出現回数／調査回数)の経年変化を示す。令和3年度は、河川水や下水放流水の影響を受けやすい St.8, St.23 の2地点を除くすべての地点で夏季の貧酸素水塊出現率が 50%以上となり、状況の改善傾向は確認できない。

➤ 東京湾の底層DOの長期的推移



Ando H. et al (2021) Long-term change in the status of water pollution in Tokyo Bay: recent trend of increasing bottom-water dissolved oxygen concentrations, Journal of Oceanography. 77, p843-858 (2021).

DOが 2.0mg/L 未満の水域(赤色)は、2006 年頃から湾奥部東側では次第に縮小する傾向が認められ、2015 年以降は、一部を除きほとんど消滅している。すなわち千葉県寄りの水域では近年、底層DOが改善傾向を示している。対して湾奥部西側の東京港の周辺では、DOが1.0mg/L 未満の水域が出現することもあり、東京湾内で最も底層水の貧酸素化が著しいことを示している。