

令和 2 年 度

東京湾調査結果報告書
～ 赤潮・貧酸素水塊調査 ～



令和 4 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。

写真の輪のような形のプランクトンはユーカンビア ゾディアクス、丸いプランクトンはコシノディスクスという大型の珪藻です。

令和2年4月16日の調査では東京港内の多くの地点で出現しました。

本種による赤潮は魚介類に害を及ぼしませんが、冬に大量発生すると海水中の窒素やりんを激しく消費するため、養殖ノリの色落ちを引き起こすことがあります。

令和 2 年度 赤潮発生状況

【赤潮の有無による水面の色の違い】

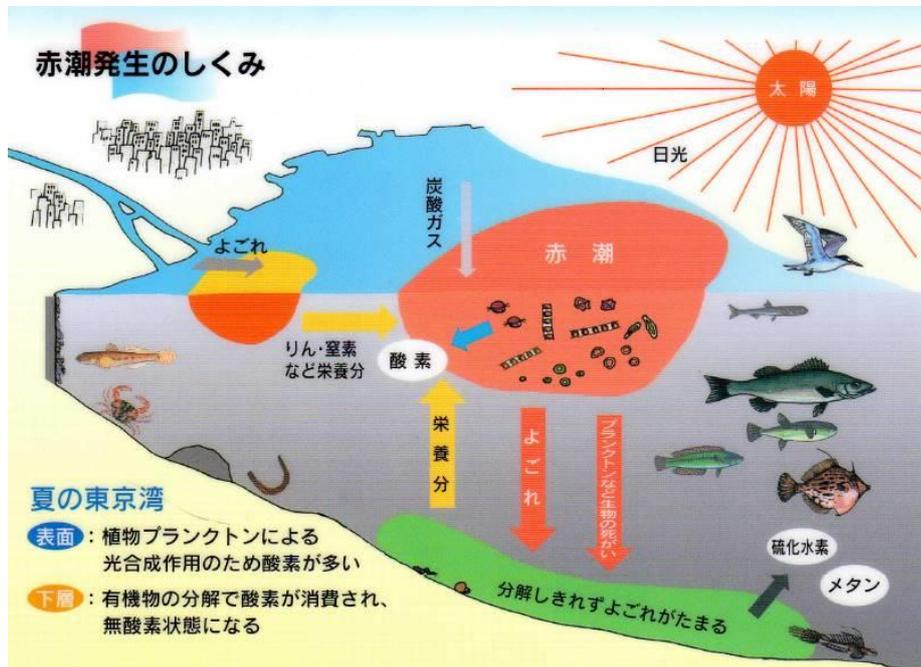
赤潮発生中(令和 2 年 8 月 25 日)



赤潮発生なし(令和 3 年 3 月 4 日)

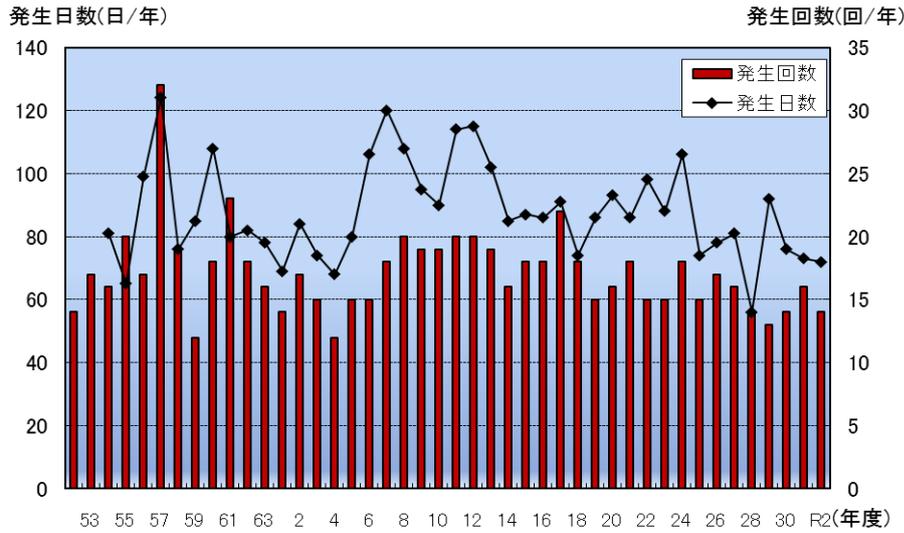


【赤潮発生の仕組み】

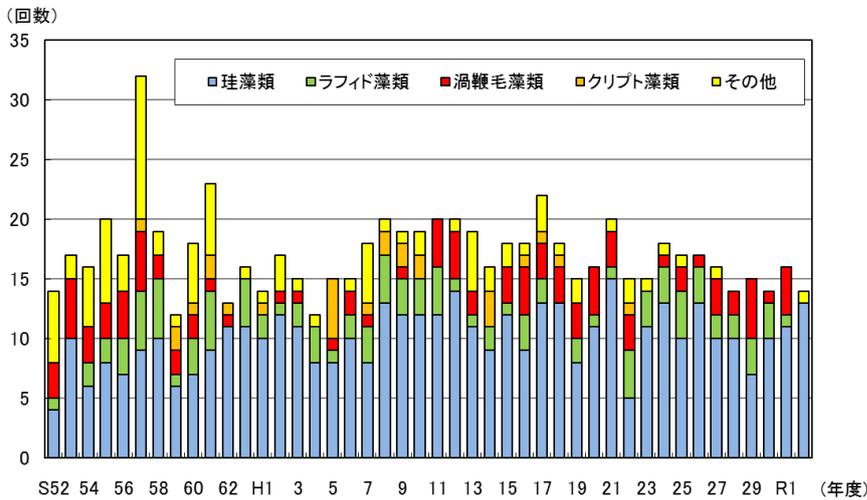


東京湾には植物の栄養となる窒素やりんがたくさん溶け込んでいる。春から夏にかけて、気温が上がり日照時間が長くなると、海水の中の植物プランクトンが増殖する。プランクトンが異常に繁殖して海水の色が変わる現象を「赤潮」と呼んでいる。赤潮になると、海水が濁り、有害なプランクトンが発生すれば魚や貝類に影響がでる。大量に発生したプランクトンは死んで海底に堆積し、有機物の分解で酸素が消費されることで、生物が生きられない無酸素状態を作る大きな要因となる。

【赤潮発生日数・回数の経年変化】

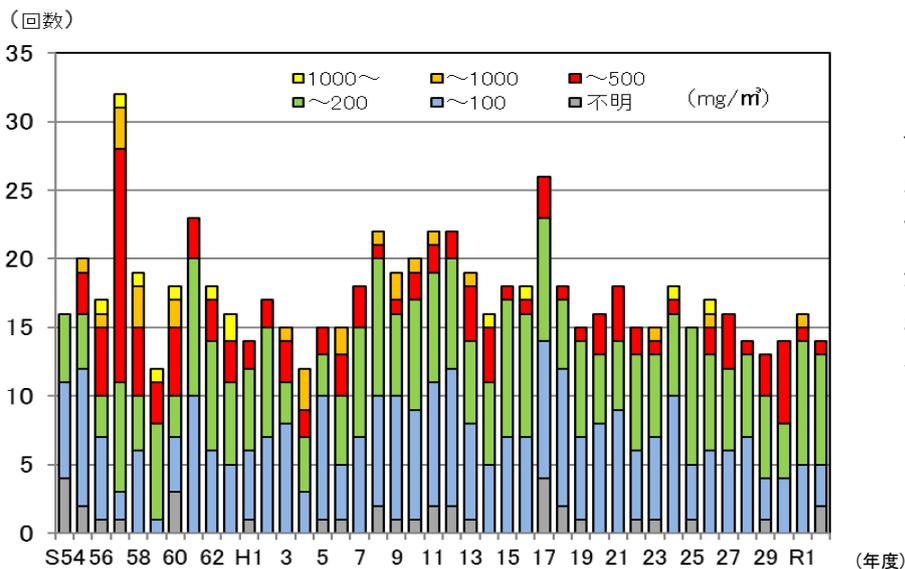


令和2年度の赤潮発生回数は14回、日数は72日であった。経年変化は回数、日数ともに年度により変動が大きいいため顕著な傾向は見られず、近年は横ばい状況であるといえる。



令和2年度に発生した赤潮の優占プランクトン種は、珪藻が大半を占め、その他はユーグレナ藻(ミドリムシ類)が優占した赤潮が1回のみとなっている。

【クロロフィル濃度別赤潮回数の推移】



令和2年度はクロロフィル濃度が500mg/m³を超える赤潮は発生せず、クロロフィル濃度の最大値は7月3日のSt.6における220mg/m³であった。

【珪藻：スケルトネマ コスターツムによる赤潮】

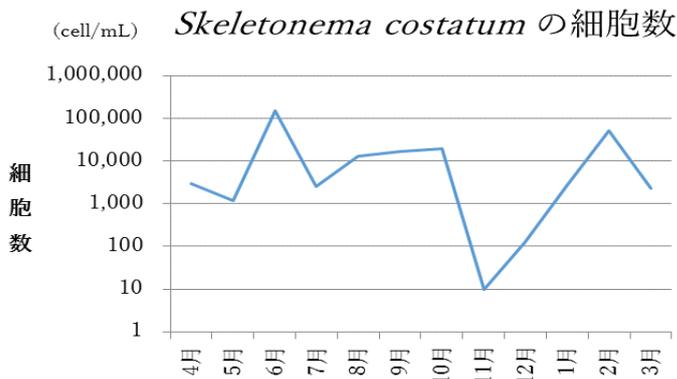
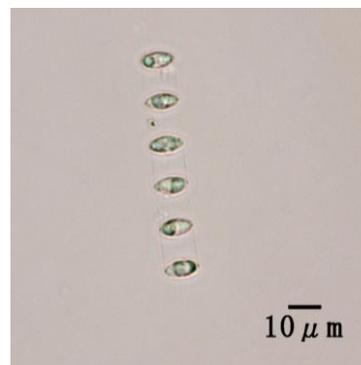


令和2年6月17日 St.6 透明度 0.6m
Skeletonema costatum 87,800 細胞/mL
 表層 DO >20.0mg/L
 クロロフィル濃度 187mg/m³



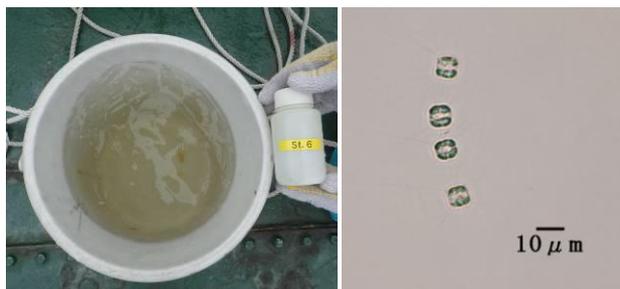
東京都内湾で頻繁に赤潮を形成するのは珪藻の *Skeletonema costatum*(スケルトネマ コスターツム)である。令和2年度は、赤潮 14 回中 5 回は同種が優占種であった。

同種は1年を通して優占して海中に見られる。活性度や細胞サイズにもよるが、1mL 中に 1 万細胞を超える程度で赤潮を形成し、茶褐色や黄褐色などの着色となる。透明度板を下して見た水色は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個ずつが1個の細胞である。



月1回の水質測定調査結果から環境基準点 8 地点における同種の細胞数を合計し、対数表記で月変化を示す。

【珪藻：タラシオシラ属による赤潮】



本年度は 14 回中 2 回が同種による赤潮であり、7 月と 9 月に発生した。

令和 2 年 8 月 4 日 St.6 *Thalassiosira* spp.

透明度 1.0m、表層 DO 17.3mg/L、クロロフィル濃度 155mg/m³、細胞数 26,900 細胞/mL

スケルトネマ コスターツムと同じく、細胞が鎖のように連なって群体を形成する。赤潮を形成した際は、緑褐色など強い着色を示す。光学顕微鏡では種名までの同定は難しく、電子顕微鏡による殻面の微細構造の観察が必要である。

【ユーグレナ藻：Euglenophyceae による赤潮】



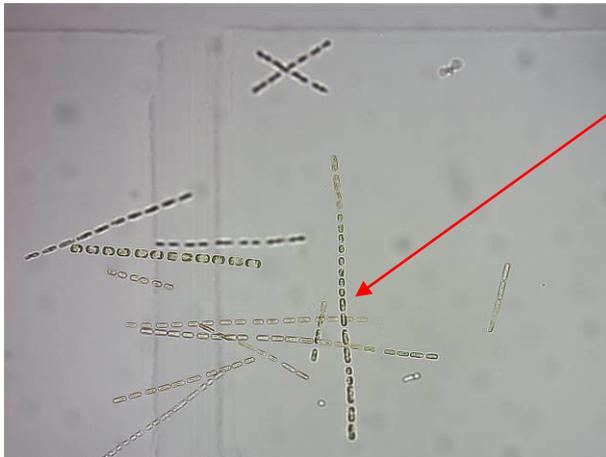
令和 2 年 8 月 12 日 St.11 Euglenophyceae

透明度 1.2m、表層 DO 13.4mg/L、クロロフィル濃度 82.3mg/m³、細胞数 4,180 細胞/mL

ユーグレナ藻の仲間は、鞭毛を使った遊泳運動に加えて、細胞を伸び縮みさせるユーグレナ運動を行う。ユーグレナ藻は緑色の赤潮を引き起こすことがあるが、魚介類等へ害を及ぼすことはないとされている。

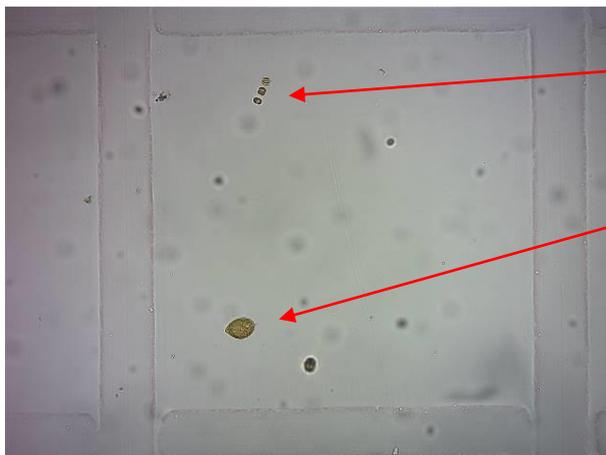
【混合生サンプル等プランクトン写真】

令和2年6月17日(お台場): 優占種 スケルトネマ コスターツム 透明度 0.8m



スケルトネマ コスターツム (珪藻)
1年中出現する珪藻類。細胞同士がつながり合い、細長い群体を形成する。赤潮発生の際は、優占種となることことが多い。

令和2年7月9日(St.23): 優占種 プロロセントラム ミカンス 透明度 1.1m



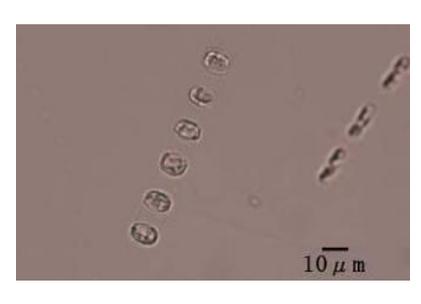
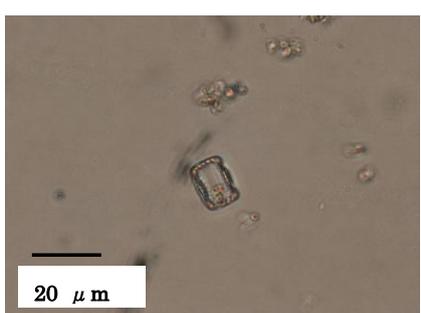
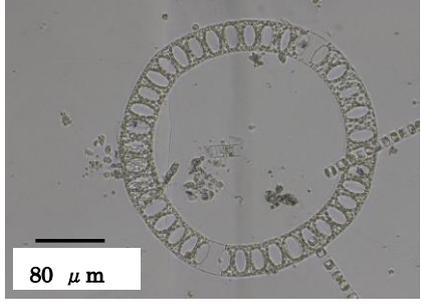
スケルトネマ コスターツム (珪藻)
プロロセントラム ミカンス (渦鞭毛藻)
細胞前端に三角形の突起がある。2本の鞭毛をもつ。富栄養化した環境を好み、黄褐色の赤潮を引き起こす。

令和2年7月21日(St.25): 優占種 タラシオシラシー 透明度 0.6m

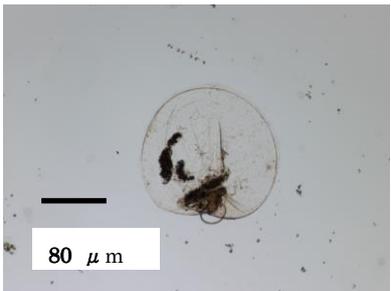


プロロセントラム ミカンス (渦鞭毛藻)
セラチウム フルカ (渦鞭毛藻)
1本の長い角と、その反対側に2本の短い角を持つ。夏から秋に増殖し、赤潮を引き起こすことがある。
タラシオシラシー (珪藻)
細胞同士が連結し、鎖状の細長い群体を形成する。

【令和2年度代表的なプランクトン①】

画像	名称・特徴
	<p><i>Ceratium furca</i> (セラチウム 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。</p>
	<p><i>Ceratium fusus</i> (セラチウム フスス) 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。</p>
	<p><i>Skeletonema costatum</i> (スケルトネマ コスターツム) 珪藻綱 細胞の直径 10~20 μm 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。</p>
	<p>Thalassiosiraceae (タラシオシラシー) 珪藻綱 細胞の直径 20 μm 以下 細胞は円筒状で、その多くは直径 20 μm 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。</p>
	<p><i>Eucampia zodiacus</i> (ユーカンピア ゾディアクス) 珪藻綱 細胞の直径 7~100 μm 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。</p>

【令和2年度代表的なプランクトン②】

画像	名称・特徴
	<p><i>Prorocentrum micans</i> (プロロセントラム ミカンス) 渦鞭毛藻綱 細胞の長さ 0.04~0.07mm、幅 0.02~0.05mm 細長い卵形で平べったく前端に突起がある。富栄養化した環境を好み、内湾部で赤潮を引き起こす。</p>
	<p><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。</p>
	<p><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。</p>
	<p>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。</p>
	<p><i>Mesodinium rubrum</i> (メソディニウム ルブラム) 繊毛虫綱 細胞の直径 30~50μm 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。</p>

【令和2年度代表的なプランクトン③】

画像	名称・特徴
	<p><i>Tintinnopsis beroidea</i> (チンチノプシス ベロイディア) 繊毛虫綱 殻長 30~100 μm 殻は細長いガラスのような形で、後端が少し尖っている。殻全体にはたくさんの砂粒がついている。東京都内湾で通年みられる。</p>
	<p><i>Oligotrichida</i> (オリゴトリチーダ) 繊毛虫綱 体長 20~200 μm 卵円形から細長い形のものまで様々である。殻を持たない。各地の沿岸及び内湾に多く、東京都内湾でも最も多く出現する動物プランクトンである。</p>
	<p><i>Acartia omorii</i> (アカルチア オオモリイ) 甲殻類綱 成体は体長 0.9~1.2mm どちらかというと冷水性であり、春に多く出現する。</p>
	<p><i>Oithona davisae</i> (オイソナ ダビサエ) 甲殻類綱 体長は 0.5~0.6mm カイアシ類の中では小型。富栄養な暖水域内湾に多く、東京湾におけるカイアシ類の最優占種である。</p>
	<p><i>Nauplius larva of Copepoda</i> (橈脚類のノープリウス期幼生) 甲殻類綱 体長 70~数 100 μm ノープリウス幼生はカニ・エビなどの甲殻類が最初に通過する基本的な浮遊幼生である。東京都内湾では通年、頻度高くみられる。</p>

【降雨状況と赤潮発生状況(令和2年4月1日～令和3年3月31日)】

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						
1	31	0	4	21	0.5	1	1	0	0	0	0	0.5
2	0	0	0	0.5	0	7.5	0	2.5	8	0	12	9.5
3	0	0	0	6	0	3.5	0	4.5	0	0	0	0
4	0	2	0	25.5	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	3.5	0	8.5	0	0	3.5	0	0	2
6	0	19	6.5	40.5	0	25.5	0	0	0	0	0	0.5
7	0	0.5	0.5	0.5	0	19	6	0	0	0	0	0
8	0	0	0	3	0	0	44	2.5	0	0	0	5.5
9	0.5	0	0	14	0	0.5	38	0	0	0	0	0
10	0	1	0	0.5	0	0	73.5	0	0	0	0	0
11	0.5	0.5	10	2	0	0	0.5	0	0	0	0	0
12	6.5	0	5.5	0.5	0.5	14.5	0	0	0	0	0	0
13	132	0	35.5	6	21.5	0.5	0	0	0	0	0	65
14	1.5	0	5.5	6	0	0.5	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	6.5	0	0.5	1	0	0	0	76.5	0
16	0.5	24	0	0.5	0	2	0	0	0	0	0	0
17	0.5	0	0	34.5	0	0	23	0	0	0	0	0
18	89.5	2	2	20	0	0	0.5	0	0	0	0	0
19	0	54.5	50	0	0	0	9	0	0	0	0	0
20	15	3	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0
21	0	0.5	2.5	1	0	0.5	0	0	0	0	0	46.5
22	0	1	27.5	0	0	3.5	0	0	0	0	0	0.5
23	1	0	3	31.5	38	7.5	8.5	0	0	19	0	0
24	0.5	0	0	0	0	10	0	0	0	13	0	0
25	0	0	14.5	23.5	0	5.5	0	5	0	1.5	0	0.5
26	0	0.5	0	18.5	0	6	0	0	0	0	0	0
27	12.5	0	0	2	0	0.5	0	0	0	1	0	0
28	5	9.5	30	2	0	0	0	0	0	9	0	8
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34.5
30	0	0	15.5	0	0	0	0	0	1.5	0	0	0
31	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
月合計 (R1)	296.5	118.0	212.5	270.5	61.5	117.5	205.0	14.5	13.0	43.5	88.5	173.0
月合計 (平年)	124.5	137.8	167.7	153.5	168.2	209.9	197.8	92.5	51.0	52.3	56.1	117.5

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>Cerataulina pelagica</i>		Euglenophyceae		<i>Skeletonema costatum</i>
	<i>Skeletonema</i> sp.		<i>Thalassiosira binata</i>		<i>Thalassiosira</i> spp.
	Thalassiosiraceae		<i>Chaetoceros</i> spp.		

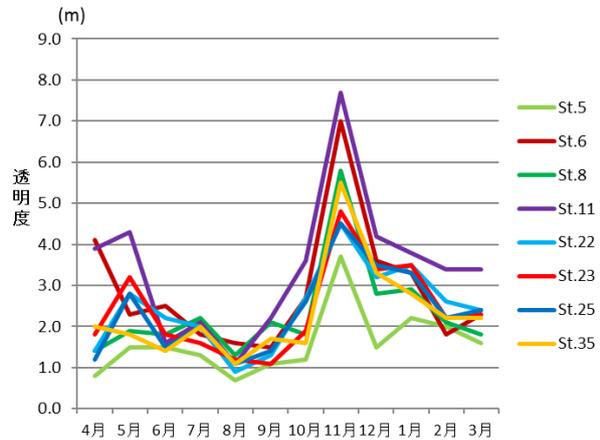
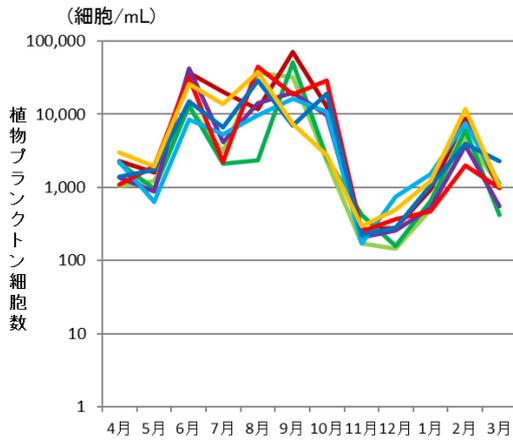
注3  は水質測定調査及び赤潮調査日、赤字は当日40mm以上の降雨を示す。

【植物プランクトン細胞数の月変化と透明度】

植物プランクトンは夏季に多く、冬季は1/10~1/100と極端に少なくなる。

令和2年度は、11月から1月にかけて少なくなった。

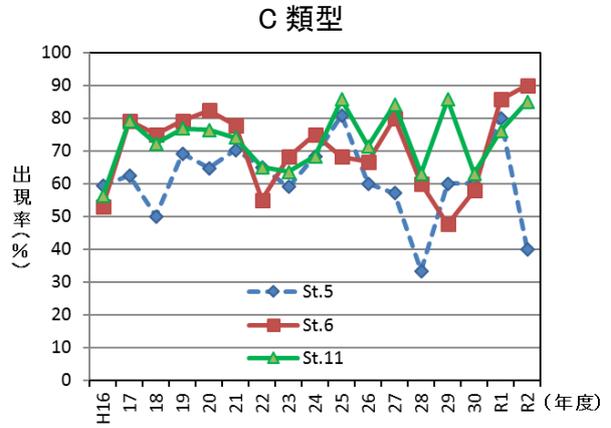
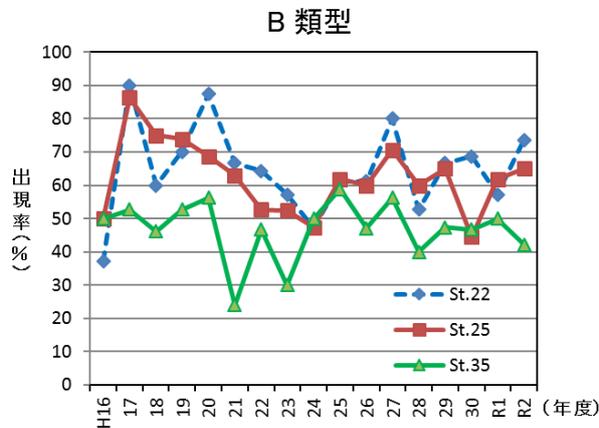
また、植物プランクトンの数は透明度に大きく影響する。



【貧酸素水塊】

貧酸素水塊出現率の経年変化

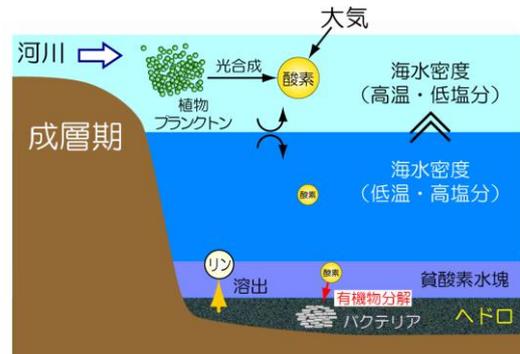
St.35、St.5では出現率が減少したものの、その他の地点では出現率が50%を超える状況が続いており、改善の傾向は確認されない。



夏季の東京湾内の溶存酸素の挙動

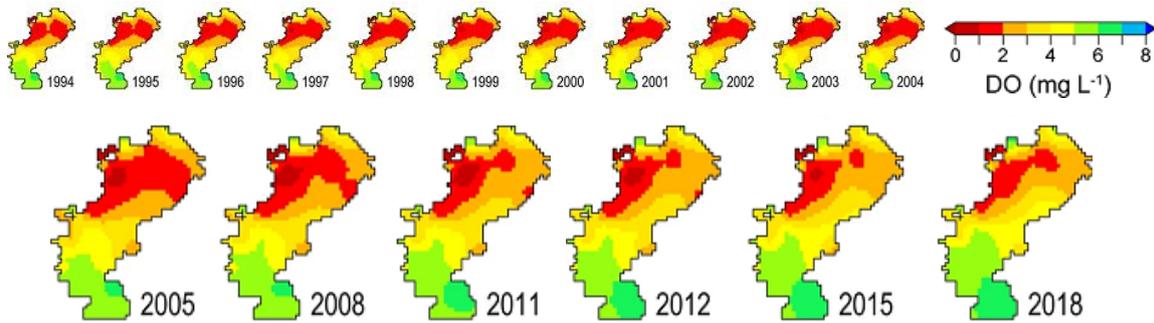
夏季に赤潮が長く続くことにより、上層は植物プランクトンの光合成で酸素が過飽和となるが、

下層では、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、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

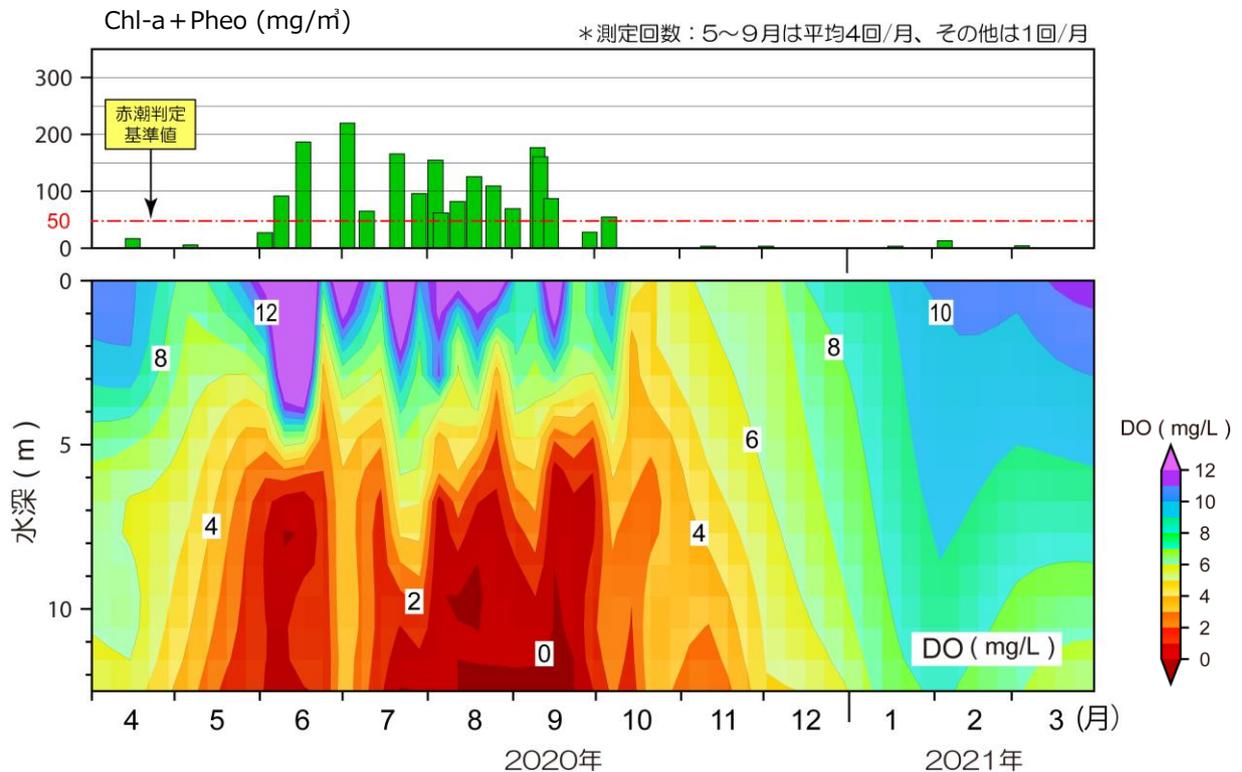
【底層DOの長期的推移】



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).

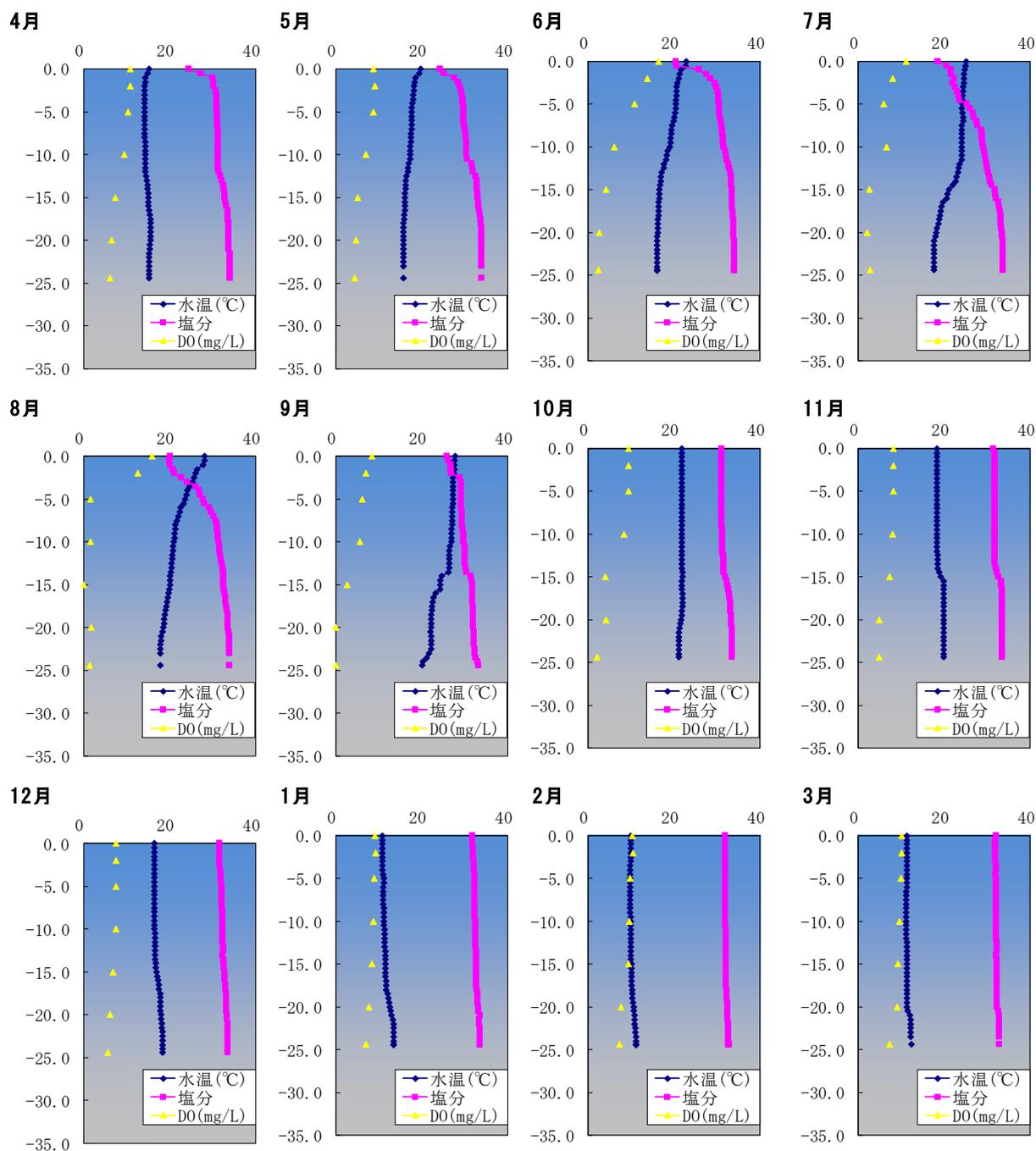
DOが2mg/L以下の水域(赤色)は、2006年頃から湾奥部東側では次第に縮小する傾向が認められ、2015年以降は、一部を除きほとんど消滅している。すなわち千葉県寄りの水域では近年、底層DOが改善傾向を示している。対して湾奥部西側の東京港の周辺では、DOが1mg/L以下の水域が出現することもあり、東京湾内で最も底層水の貧酸素化が著しいことを示している。

【St. 6におけるクロロフィル濃度と貧酸素状況の関係】



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）

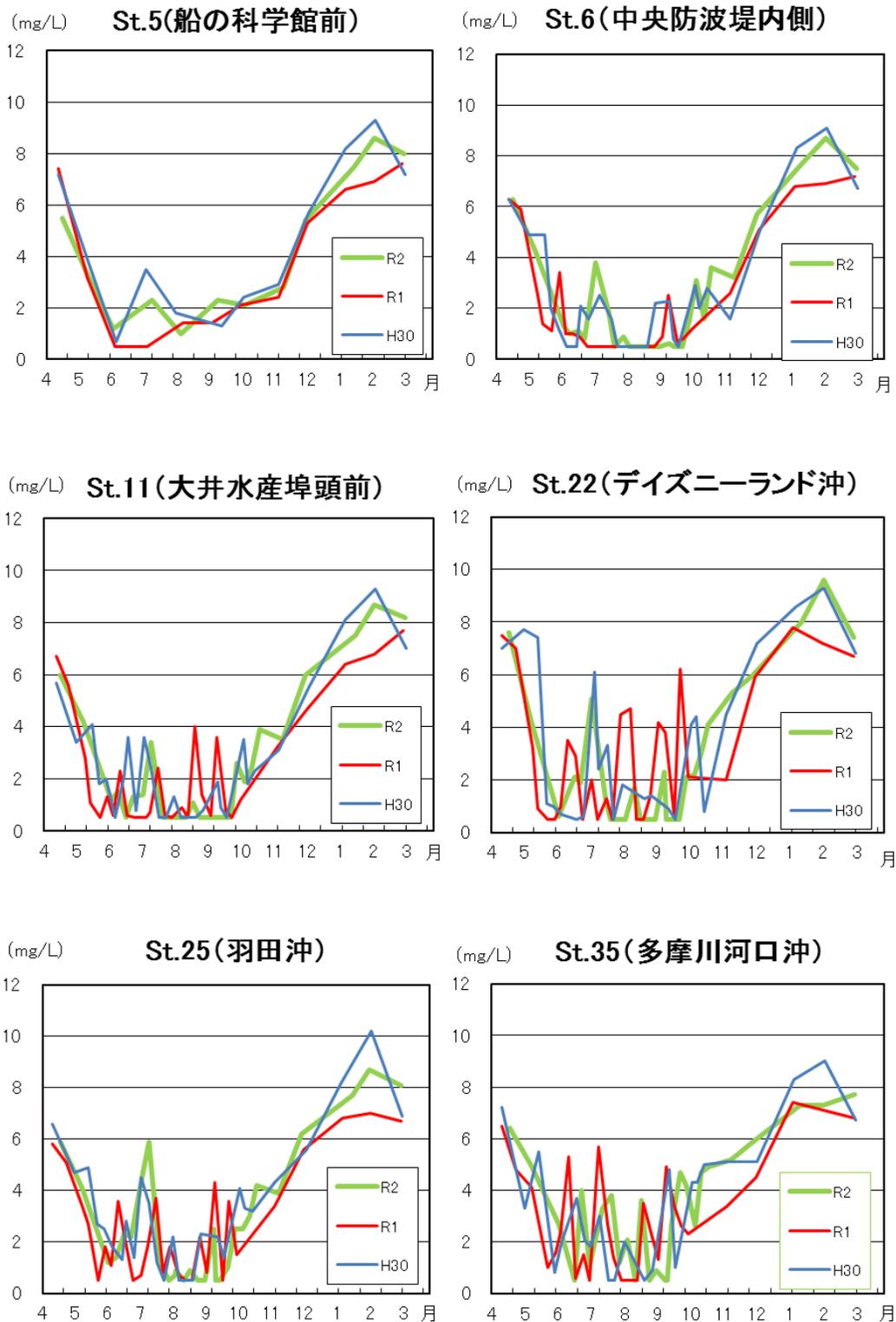
【令和2年度 St. 35 における月別鉛直分布(水温・塩分・D0)】



水深約 25m の St. 35 における鉛直方向の水温、塩分、D0 の変化を示す。6 月には成層が形成され、8 月と 9 月には 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。また、10 月の底層 D0 も 2.2mg/L であり、貧酸素状態に近い状態であった。

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。

【下層溶存酸素濃度 (D0) の経月変化】



各地点における下層 D0 の変化を示す。例年 6 月から 10 月の初めまで 2mg/L を下回る貧酸素状態が続く。