

■原 著■ 2019 年度神奈川大学総合理学研究所共同研究助成論文

相模川河口域における長期環境変動のモニタリング (冬期相模川河口域の特徴的水塊中に認められた 植物プランクトンの群集構造)

酒井駿輔¹ 川延京子³ 多田雅章¹ 金沢謙一^{1,3} 西本右子² 鈴木祥弘^{1,3,4}

Species Composition of Phytoplankton Communities in Characteristic Water Bodies of the Sagami River Estuary

Shunsuke Sakai¹, Kyoko Kawanobe³, Masaaki Tada¹, Ken'ichi Kanazawa^{1,3},
Yuko Nishimoto^{2,3} and Yoshihiro Suzuki^{1,3,4}

¹ Department of Biological Sciences, Faculty of Science, Kanagawa University, Hiratsuka City, Kanagawa 259-1293, Japan

² Department of Chemistry, Faculty of Science, Kanagawa University, Hiratsuka City, Kanagawa 259-1293, Japan

³ Graduate School of Science, Kanagawa University, Hiratsuka City, Kanagawa 259-1293, Japan

⁴ To whom correspondence should be addressed. E-mail: suzuki03@kanagawa-u.ac.jp

Abstract: In the Sagami River estuary, 3 different water masses, brackish coastal and open sea water-mass's, were observed in the winter of 2019, although the brackish water-mass could be limited by the low-level rainfall of the area in this season. The water temperature was ca. 19 °C and little difference was observed from the surface to a 45-m depth. Vertical mixing in winter occurred. Only in the brackish water-mass, a vertical salinity gradient established stratification and a higher biomass of phytoplankton was observed. Phytoplankton communities in the surface water at different points in this area showed different species compositions. These differences could have occurred due to different conditions for growth of each algal species in each different water mass. The colony size of diatom species of the *Skeletonema costatum* complex suggested higher growth rates in the brackish water-mass than in the open sea water-mass. The *S. costatum* complex in the estuary could spread to other sea areas and become dominant there. We observed the accumulation of algal biomass in the coastal water-mass around the bottom.

Keywords: biomass, growth, Sagami River estuary, *Skeletonema costatum* complex, species composition

序論

相模湾は伊豆半島から三浦半島を経て房総半島に至る、太平洋にむかって開かれた湾である。この湾の沖合には黒潮が流れる一方で、陸の様々な河川からは淡水が流入し、湾内には複雑な環境が形成されている¹⁾。中でも平塚市周辺の海域は、相模川からの淡水の流入にくわえて、平塚海谷と呼ばれる特異な海底地形が存在し、環境が複雑に変動している²⁾。このような環境では、様々な生物が植物プランクトンの行なう光合成・一次生産に支えられて棲息して

いる。植物プランクトンを解析し、生息環境と対応付けて考えることはこの海域の生態系を理解するために重要である²⁻⁴⁾。本研究では冬期の平塚市周辺海域の海況を解析し、これと対応付けて植物プランクトンの分布と群集構造を検討した。さらに、この海域のプランクトン群集の形成過程について推定した。

材料と方法

環境要因と植物プランクトン生物量の測定

観測は2019年12月19日に実施した。相模川河口から南に向かって沖合に100m、200m、500m、1000m、2000m、3000m、5000mの各7測点(Station 1～7、以降 St.1～7とする)を設定し、測定を行った(図1)。全地球測位システム(GPS)端末(FG-530, EMPEX社)を用いて観測点を算出した。測点の位置より河口からの正確な距離を求めた。測点の水深は音響測定器を用いて測定した。各側点では、調査船舷側より、直読式総合水質計(AAQ126, JFEアドバンテック株式会社)を垂下して、電気伝導度、温度、圧力に加えて、クロロフィル蛍光強度を測定した。電気伝導度と圧力は、測定器付属のソフトウェアにより塩濃度(‰)と水深(m)に換算した。海水の密度指標(σ)は、塩濃度と温度、圧力から算出した海水密度(kg m^{-3})より1000を引いて求めた。表層1mより採水した海水をガラス濾紙(GF/F, Whatman)上に濾過し、N,N-ジメチルホルムアミド(富士フイルム和光純薬株式会社)で色素を抽出した。抽出した色素中のクロロフィルa濃度は蛍光分光器(TD-700, Turner Designs)を用いて蛍光法で求めた⁵⁾。水質計の蛍光強度をこの値で較正してクロロフィル濃度($\mu\text{g l}^{-1}$)に換算した。同時に測定された圧力と対応付けて、各測点での塩濃度、海水密度指数、クロロフィルa濃度の鉛直分布を求めた。観測点の河口からの距離とあわせて計算し、測定された水深を考慮した境界条件を設定した上で、コンターマップを作成した(Gsharp, 日本電子株式会社)。

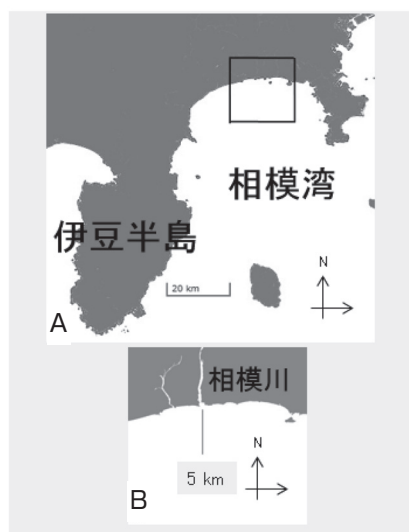


図1. 観測海域。相模川河口より南方沖合5 kmの線上に測点を設けた。A. 相模湾全景 図中の四角形は図Bの位置を示す。B. 観測海域 図中直線は調査した側点のラインを示す。

植物プランクトン群集の解析

相模川河口から南に向かって沖合に100 m、500 mの2測点(St.1、St.3)で水深10 mからニスキン採水器(G.O.1010-5031-A、離合社)を用いて海水を採水、沖合に5000 mの測点(St.7)では、水深1 mからバケツを用いて採水した。海水試料は250 ml 黒色ポリびんに入れ、速やかに0.1% 中性ホルマリン-0.025% グルタルアルデヒド固定液を添加した。固定試料は、黒ビニール袋で遮光の上、保冷剤を入れたクーラーバックで保存し、固定試料の濃縮と光学顕微鏡の観察まで、暗所・冷蔵庫(5℃)に3ヶ月間保管した。固定試料250 mlは、引圧せずに膜フィルター(孔径0.2 μm) (ISOPORE、Millipore)で約30 mlまで濃縮後、utermöhl法⁶⁾により倒立光学顕微鏡(DMIL、Leica社)を用いて観察した。プランクトンマニュアル(Edler, L. and Malte E., 2010)に従い細胞密度を推定した。微小な細胞は、チャンバー視野面積を分割して高倍率の対物レンズで観察し、全視野面積は低倍レンズで確認した。プランクトンの同定(属名、種名)は、Tomas C. R. (ed.) (1997)⁷⁾およびTakuo, O. et al. (2012)⁸⁾に従った。光学顕微鏡下では判別できず、複数種が混在する種群は、種名の後にcomplexとして記載した。

結果と討論

海況

2019年冬季の相模川河口域の水温は、測定したほとんどの地点で18.5℃以上であった(図2A)。例外的に河口の限定された海域の水温は低く18.5℃であった。表層の水温は沖へ向かうほど徐々に高くなり、沖合300 mで19.0℃、4000 mで19.5℃と推定された。沖合5000 m(St.7)で実測された表層の温度は19.7℃であった。水深30 m以深には、沖合700 mから3000 mにかけて19℃以下の相対的に低い水温の水塊が認められた。3500 m以遠の沖合ではこの低温の水塊は認められなくなり、測定された45 mまでの水深でほぼ均一な温度となった。塩分濃度は河口とその周辺海域で低く、河口表層では33.1‰であった(図2B)。沖合500 m以遠の表層では、塩分濃度は34.4～34.5‰でほぼ一定であった。沖合700 mから3000 mの水深30 m以深の低温の水塊に対応して、この範囲の水深30 m以深に34.1～34.4‰の比較的塩分濃度の低い水塊が存在していた。

塩濃度、水温、圧力から求めた密度指標 σ は河口の限定された海域の表層1 m以浅で低かった。この結果は、河川からの淡水による低塩分・低密度の水塊による塩分成層を示していた。しかし、その範囲は狭く、沖合100 m以遠ではほぼ均一となり、成層

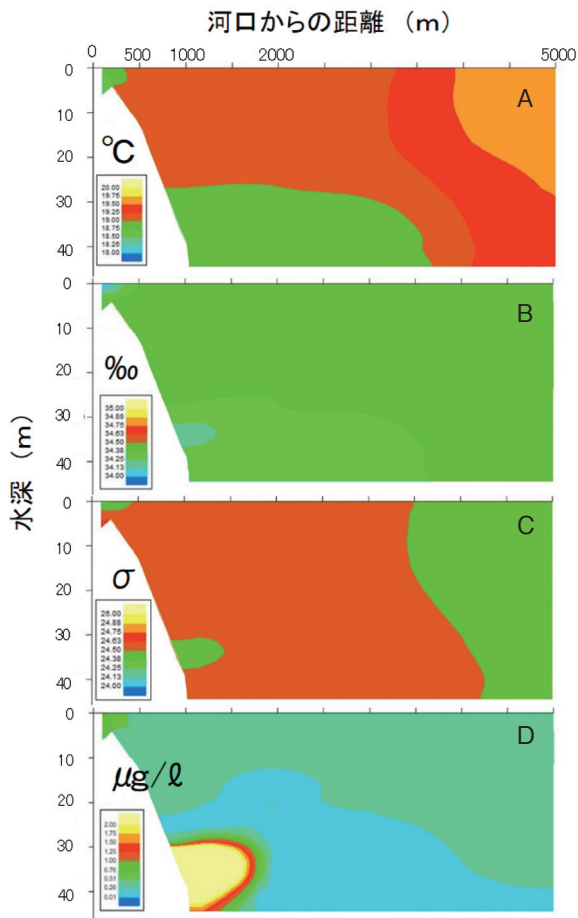


図2. 測定海域の海況と植物プランクトン現存量（クロロフィル *a* 濃度）の分布。相模川河口より南方沖合 5 km の線上に設けた 7 測点の測定結果より算出した。A. 温度、B. 塩濃度、C. 密度指標、D. クロロフィル *a* 濃度をそれぞれを示す。

は認められなくなった（図 2C）。この範囲では測定された 45 m 以浅の水深では鉛直混合が生じていたと推定される。全層で σ は沖合いに向かって僅かに高くなっていた（図 2C）。

相模川河口域では、湾沖合の黒潮域からの水塊と相模川からの淡水流入により生じる水塊、さらに、湾岸を流れる海流に対応した水塊の 3 種類の水塊がしばしば認められる²⁻³⁾。これらの独立した水塊により相模川河口沖合の複雑に変動する環境を整理して考えることが出来る²⁻³⁾。測定を実施した時期、この地域の降水量は低く（平塚市で 11 月に 82 mm、12 月に 75 mm）⁹⁾、相模川からの淡水の流入は限定されていたと推定される。相模川からの淡水流入により生じる水塊（河口から 300 m 以内、水深 5 m 以浅の低温、低塩濃度の水塊）が限定的であったことは低い降水量と対応していた（図 2A）。一方で、沖合 700 m から 3500 m の水深 30 m 以深には相対的に低温で低塩分濃度の水塊が存在しており、3500 m 以遠とそこからつながる 30 m 以浅の高塩濃度、高温の水塊とは異なっていた（図 2A, B）。これら 3 つの水

塊はそれぞれ、汽水水塊、沿岸水塊と外洋水塊と考えることが可能である。2019 年 12 月 19 日の測定時点で、相模川河口域の海況を検討すると、汽水水塊、沿岸水塊、外洋水塊が存在していたが、低い降雨量に対応して汽水水塊は小さく限定されていたと整理できる。海水密度の指標 σ は、汽水水塊の存在する沖合 300 m までは、表層で低く水深とともに増加する成層が認められた（図 2C）。それ以遠の海域では沖合に向かって少しずつ σ が高くなったが、各測点で算出された σ は水深に因らず 45 m までの水深で一定であった。沿岸水塊は外洋水塊に比べて低塩濃度、低温であったが（図 2A, B）、その結果、両者の密度はほぼ等しくなっていたと考えられる。さらに、外洋水塊で水深に因らず σ が一定の値を示したことは、少なくとも測定した 45 m までの水深で鉛直混合が生じていたことを示唆していた。

植物プランクトンの分布

クロロフィル蛍光値と実測されたクロロフィル *a* 濃度を比較して較正することで水域のクロロフィル *a* 濃度の分布を推定した。クロロフィル *a* 濃度は汽水水塊の存在する水域（河口から 300 m 以内、水深 5 m 以浅の海域）で $0.5\text{--}1.0 \mu\text{gChl}a \ell^{-1}$ であり、特に河口付近で高い値が認められた。これに対して外洋水塊の存在する水域ではクロロフィル *a* 濃度は相対的に低く、表層の $0.5\text{--}0.25 \mu\text{gChl}a \ell^{-1}$ から水深とともに低下した（図 2D）。しかし、測定されたクロロフィル *a* 濃度の最低値は St.5 の水深 27 m で測定された $0.03 \mu\text{gChl}a \ell^{-1}$ であり、測定を行なった水深 45 m 以浅の水塊では、一定以上のクロロフィル *a* 濃度が維持されていた。光環境の鉛直変化を考えると、表層近くでは藻類の光合成・増殖が維持されており、水深が深くなるにつれ、光強度の低下とともに光合成・増殖速度が低下していると考えられる。弱光の下層でも一定のクロロフィル *a* 濃度が認められたことは、上層で増殖した藻類が、鉛直混合により下層に移動し、その結果一定の密度を維持していることを示唆していた。

沿岸水塊の存在する水域（沖合 700 m から 3500 m の水深 30 m 以深）のうち、河口に近い水深 45 m 以浅の水域には、海底付近に極めて高いクロロフィル *a* 濃度の分布が認められた（図 2D）。水深 35 m 付近を中心に、 $2.0 \mu\text{gChl}a \ell^{-1}$ 以上の濃度が観測され、St.4（沖合 1000 m）の水深 32.4 m で最大 $6.2 \mu\text{gChl}a \ell^{-1}$ となった。この高いクロロフィル *a* 濃度は海底ではなく、その上部で 12 m にわたって維持されていた。高いクロロフィル *a* 濃度が認められた水中では濁度が高く（ $\sim 639 \text{ FTU}$ ）、測定されたほ

表 1. 相模川河口域表層の植物プランクトン群集の種組成

	species		St. 1	St. 3	St. 7
diatoms					
1	<i>Detonula pumila</i>	<w	144	41	245
2	<i>Lauderia annulata</i>	w		41	
3	<i>Skeletonema costatum</i>		57,038	13,437	12,458
4	<i>Thalassiosira anguste-lineata</i>		61	61	41
5	<i>Th. diporocyclus</i>			440	122
6	<i>Th. spp.</i>		3,427	816	1,632
7	<i>Stephanopyxis palmeriana</i>	w	96		
8	<i>Leptocylindrus danicus</i>		92		
9	<i>Corethron criophilum</i>				41
10	<i>Co. pelagicum</i>				4
11	<i>Coscinodiscus granii</i>		54	24	16
12	<i>Co. wailesii</i>	w	252	8	20
13	<i>Co. spp.</i>		24	20	16
14	<i>Actinopteryx senarius</i>			4	
15	<i>Rhizosolenia robusta</i>	w	9	4	
16	<i>Rh. setigera</i>				41
17	<i>Rh. styliformis</i>	c	15	8	4
18	<i>Guinardia flaccida</i>		54		
19	<i>Gu. striata</i>		551		408
20	<i>Dactylosolen phuketensis</i>			82	41
21	<i>Eucampia cornuta</i>		24		
22	<i>Eu. zodiacus</i>				1,224
23	<i>Bacteriastrium delicatulum</i>		857	20	1,020
24	<i>Ba. elongatum</i>	<w		61	734
25	<i>Chaetoceros atlanticus</i>			408	82
26	<i>Ch. danicus</i>		245	122	408
27	<i>Ch. peruvianus</i>	<w		12	8
28	<i>Ch. rosstratus</i>	w	30	12	28
29	<i>Ch. affinis</i>				265
30	<i>Ch. anastomosans</i>	<w		122	367
31	<i>Ch. curvisetus</i>	<w	367	204	286
32	<i>Ch. diadema</i>			40	245
33	<i>Ch. didymus</i>	<w	337		245
34	<i>Ch. lorenzianus</i>	w	734	122	449
35	<i>Ch. messanensis</i>	w	275	122	
36	<i>Ch. socialis</i>		979		
37	<i>Ch. subtilis</i>	b	490		
38	<i>Ch. tenuissimus</i>	ib	1,714	1,142	1,469
39	<i>Ch. teres</i>	c			61
40	<i>Ch. wighamii</i>	b		143	
41	<i>Ditylum brightwellii</i>		245	61	163
42	<i>Lithodesmium undulatum</i>	<w		4	12
43	<i>Helicotheca tamesis</i>	<w		4	
44	<i>Thalassionema nitzschioides</i>				82
45	<i>Thalassiothrix spp.</i>		61	224	224
46	<i>Nanoneis hasleae</i>	wo			326
47	<i>Licmophora abbreviata</i>		122		
48	<i>Navicula spp.</i>		8,323	163	490
49	<i>Diproneis spp.</i>		490		
50	<i>Pleurosigma/Gyrosigma sp.</i>		490	41	
51	<i>Cylindrotheca closterium</i>		4,570	1,414	1,632
52	<i>Fragilariopsis doliolus</i>	w			12
53	<i>Fr. spp.</i>		490	163	
54	<i>Pseudo-nitzschia seriata</i>		245	204	2,122
55	<i>Ps.-ni. sp.</i>		61		
56	<i>Nitzschia spp.</i>		979	326	163
diatoms total (cells / l)			83,944	20,123	27,204

かの水域の濁度（～6.4 FTU）とは大きく異なっていた。この結果は、水中に高い密度で懸濁粒子が存在することを示しており、同時に示された高いクロロフィル *a* 濃度から、水中に微細藻類、植物プラン

	species		St. 1	St. 3	St. 7
flagellates					
1	Cryptophyceae		4,325	5,168	5,603
	Dinophyceae				
2	<i>Prorocentrum micans</i>			4	4
3	Gymnodiniaceae			490	326
4	<i>Ceratium furca</i>	i		8	
5	<i>Ce. kofoidii</i>	wo		8	4
6	<i>Ce. teres</i>	wo			4
7	<i>Oxytoxum sp.</i>		245	163	163
8	<i>Ostreopsis spp.</i>				41
9	<i>Protoperidinium bipes</i>		245	163	
10	<i>Pr. diver</i>	i		4	
11	<i>Pr. ocea</i>	<w	6		
12	<i>Pr. sinuosus</i>		12	4	4
13	<i>Podolampas palmipes</i>	wo			4
14	Peridiniales		490	326	1,142
15	<i>Pronoctiluca spinifera</i>				41
Haptophyceae					
16	<i>Gephyrocapsa oceanica</i>		21,053	18,115	20,400
17	Coccolithophorid type 1		490		653
Dictyochophyceae					
18	<i>Dictyocha fibula</i>	o			82
19	<i>Di. speculum</i>			41	
Prasinophyceae					
20	<i>Pyramimonas spp.</i>		979	816	4,406
flagellates total (cells / l)			27,844	25,310	32,878

注) w: warm water region, <w is tended to have that person;
c: cold water region.
b: brackish water region.
i: inshore or coastal region.
o: open water region.
blank: cosmopolitan or world wide, and unknown.

河口から 100 m, 500 m, 5000 m の測点 (St.1, St.3 と St.7) の試水について光学顕微鏡観察で同定した。光学顕微鏡下で判別できない場合は種名の後に type として、また複数種が混在する群集は complex として表記した。

クトンが高密度で存在していることが示唆された。また、この付近の水中で測定された溶存酸素濃度 (6.8 ～ 6.9 mgO₂ l⁻¹) には、他の海域で測定された値 (7.0 ～ 7.1 mg O₂ l⁻¹) よりやや低い値を示した。海中の限定された水塊で光合成・増殖が行われている場合、高い溶存酸素濃度が予想される。測定された溶存酸素濃度は、高密度の植物プランクトンがこの水塊中での増殖により形成されたとは考えにくいことを示していた。高い密度で存在するこの植物プランクトン群集がどこから移入し、どのように形成されたかを明らかにするためには、さらに解析を進めることが必要であった。

表層植物プランクトン群集の解析

相模川河口から南に向かって沖合 100 m, 500 m と 5000 m の 3 測点 (それぞれ St.1, St.3 と St.7) で

表層の海水試料を採集し、光学顕微鏡を用いて植物プランクトンの種組成を求めた。鞭毛藻の多くは微小であり、光学顕微鏡観察では、種レベルで同定できる範囲に限界があった。また、固定により細胞の変形が生じやすい種もあり、種レベルでの同定が限られていた。プランクトン群集の詳細な解析には、固定法が極めて重要であることが確認された。不明種としてまとめた鞭毛藻の同じ種群には、採水した測点により異なる種が含まれていた可能性がある。クリプト藻、渦鞭毛藻、ハプト藻、ケイ質鞭毛藻、プラシノ藻の広い系統群に属する細胞を鞭毛藻とし、比較的種同定の容易な珪藻類とは区別して扱った。3測点で観察された鞭毛藻は20種群で、珪藻は56種群であった(表1)。珪藻56種群のうち、三割に相当する17種は、*Chaetoceros rosstratus* や *Fragilariopsis doliolus* などの暖海性の種であり、鞭毛藻の二割に相当する4種群も、*Ceratium kofoidii* や *Podolampas palmipes* などの暖海性の種であった。相模川河口域の植物プランクトン群集は暖海性の種を多く含んでいた。各測点の試水では、珪藻が35～39種群、鞭毛藻は9～15種群であったが、全ての測点で観察された種群は、珪藻で20種群、鞭毛藻で6種群に限られていた。各水域で認められた種群の半数程度がそれぞれの水域に特徴的な種群であった。各水域には特徴的な群集が形成されていたと言える。珪藻のうちSt.1でのみ観察された9種群には、汽水種として知られる *Chaetoceros subtilis* が認められるのに対し、St.7でのみ観察された9種群には、外洋性として知られる *Nanoneis hasleae* が含まれていた。さらに、St.7でのみ観察された鞭毛藻のうち5種群にも、外洋性として知られる *Ceratium teres*、*Podolampas palmipes* と *Dictyocha fibula* が含まれていた。これらの特徴的な種群はSt.1が汽水水塊にあること、St.7が外洋水塊にあることと良く対応していた。全細胞密度は、St.1が $111 \times 10^3 \text{ cells } \ell^{-1}$ 、St.3が $45 \times 10^3 \text{ cells } \ell^{-1}$ 、St.7が $60 \times 10^3 \text{ cells } \ell^{-1}$ で、St.1はSt.3やSt.7の約2倍の密度を維持していた。珪藻の優占率はSt.1が75%、St.3が44%、St.7が45%だった(図3A)。St.3は河口域に距離的に近いにも関わらず、細胞密度と珪藻の占める割合は外洋水塊のプランクトン群集に類似していた。群集の類似性について詳細な解析を行なうため、Bary-Curtis指数を用いて比較した。Bary-Curtis指数は、全く一致しない群集間で1、完全に一致する群集間で0となる。密度補正後に全ての藻類を用いて計算すると、St.1とSt.3の間の類似度指数が0.16であるのに対し、St.3とSt.7の間の類似度指数が0.30となり、St.3の群集はSt.7の群集よりもSt.1の群

集に類似していることが示めされた。この結果は、密度や珪藻類と鞭毛藻類の比では示すことが出来なかった、個体群間の関連を強く示していた。さらに、詳細な種同定が可能な珪藻の群集に限定して類似度を計算すると、St.1とSt.3の間の類似度指数が0.16であるのに対し、St.3とSt.7の間の類似度指数が0.50となり、St.3の群集がSt.7の群集よりもSt.1の群集に類似していることがより明確に示唆された。汽水水塊の植物プランクトン群集は、隣接する外洋水塊の植物プランクトン群集の構造に強く影響を与えていた。

共通優占種の個体群形成

この時期の3測点の珪藻群集を特徴付ける主な要因の一つに優占種である *S. costatum comp.* の動態がある。*S. costatum comp.* は河口から沖合に向かうにつれて密度を急激に減少させた。St.1とSt.3を比較すると、珪藻類全体の細胞密度がほぼ四分の一に低下したが(図3A)、*S. costatum comp.* はこれに対応して、密度を減少させた。このため、優占度だけ見ると、St.1で68%、St.3で67%とほぼ一致していた(図3B)。さらに、St.3とSt.7を比較すると、珪藻類全体の細胞密度は維持されて20%増加したが、*S. costatum comp.* の密度はこれに対応せず減少し続けたため、優占度はSt.3の67%からSt.7では46%に低下した(図3B)。細胞密度の急激な減少と対応して、*S. costatum comp.* は、コロニー当たりの細胞数を大きく変化させていた。St.1ではコロニー当たりの細胞数が1～6 Cells colony⁻¹で、平均が2.7 Cells colony⁻¹であった。ところが、St.3では85%のコロニーの細胞数が1 Cells colony⁻¹となり、平均の細胞数は1.3 Cells colony⁻¹となった。さらに、外洋のSt.7でも78%のコロニーの細胞数が1 Cells colony⁻¹となり、平均の細胞数は1.3 Cells colony⁻¹となった(図4)。コロニー当たりの細胞数は、増殖による細胞数

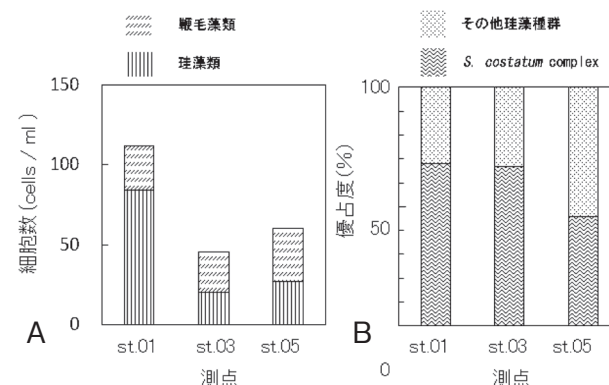


図3. 各測点での全藻類に占める珪藻類の割合(A)と珪藻群集中の *S. costatum complex* の優占度(B).

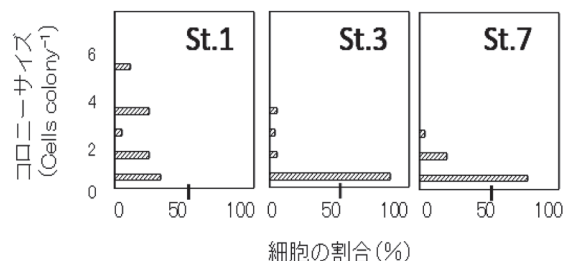


図 4. 各測点での *S. costatum complex* のコロニーサイズの分布。

の増加とコロニーの分割により決定される¹⁰⁾。最大 5 km 程度の距離しかない各測点で、コロニー内の細胞の分離に大きな違いが生じるような物理的環境の大きな相違は想定し難い。このことは、St.1 に対して、St.3 や St.7 では、優占種 *S. costatum comp.* の細胞分裂速度が明瞭に低下していること示していた。優占種 *S. costatum comp.* は河口の汽水水塊で盛んに増殖しているのに対し、沖合では活発な増殖は認められないこと。活発な増殖がないにも関わらず優占度が高いことは、汽水水塊から何らかの形で移動している可能性が高いことを示唆していると考えられた。

結論

冬季、相模川河口域には汽水水塊、沿岸水塊、外洋水塊が存在していたが、低い降雨量に対応して汽水水塊は小さく限定されていた。上層で増殖した藻類が、鉛直混合により下層に移動し、一定の密度を維持していた。汽水水塊と外洋水塊では異なる種組成の植物プランクトン群集が形成される。汽水水塊の近傍には、その影響を受けた類似度の高い植物プランクトン群集が存在した。汽水水塊で増殖した優占種 *S. costatum comp.* が移動し、外洋水塊の植物プランクトン群集の種組成に影響している可能性が、

測点によるコロニーサイズの相違から示唆された。沖合 1000-1500 m の海底に植物プランクトンの集積が認められた。

謝辞

相模川河口域の継続的調査研究の一環として、プランクトン群集形成の解析を行なった本研究は、神奈川大学理学部総合理学研究所共同研究助成 (RIIS201908) をうけて実施された。研究にご理解を頂き、支援いただいた神奈川大学理学部総合理学研究所の所員の皆さんに深くお礼申し上げる。

文献

- 1) 日本海洋学会編 (1985) 日本全国沿岸海洋誌. 東海大学出版会, 東京.
- 2) 児玉壮史, 鈴木祥弘 (2010) 相模川河口域の海況と植物プランクトンの分布. *Sci. J. Kanagawa Univ.* **21**: 65-69.
- 3) 平賀義路, 児玉壮史, 鈴木祥弘 (2011) 相模川河口域の植物プランクトンの分布への淡水流入の影響. *Sci. J. Kanagawa Univ.* **23**: 59-66.
- 4) 栗飯原海人, 平賀義路, 鈴木祥弘 (2014) 相模川河口域海況の日変化. *Sci. J. Kanagawa Univ.* **25**: 111-116.
- 5) Protocols for the Joint Global Ocean Flux Study (JGOFS) Core Measure Ments (1994 UNESCO)
- 6) Edler L and Malte E (2010) The utermöhl method for quantitative phytoplankton analysis. In: *Microscopic and Molecular Methods for Quantitative Phytoplankton Analysis*. Bengt K, Caroline C and Eileen B, eds, UNESCO. pp. 13-20.
- 7) Tomas CR (Ed.) (1997) *Identifying Marine Phytoplankton*. Academic Press.
- 8) Takuo O, Mitunori I, Valeriano MB, Haruyoshi T and Yasuo F (2012) *Marine Phytoplankton of the Western Pacific*. Kouseisha Kouseikaku, Tokyo.
- 9) 日本気象協会 tenki.jp [<https://tenki.jp/>]
- 10) Hayakawa T, Kudoh S, Suzuki Y and Takahashi M (1994) Temperature-dependent changes in colony size of the freshwater pennate diatom *Asterionella formosa* (Bacillariophyceae) and their possible ecological implications. *J. Phycol.* **30**: 955-964.