

■原 著■ 2020 年度 神奈川大学総合理学研究所共同研究助成論文

## 相模湾河口域における長期環境変動モニタリング 8 降雨量が非生物的・生物的環境へ与える影響

酒井駿輔<sup>1</sup> 川延京子<sup>3</sup> 金沢謙一<sup>1,3</sup> 西本右子<sup>2</sup> 鈴木祥弘<sup>1,3</sup>

Long-Term Monitoring of Environmental Changes in the Sagami  
River estuary

IIX. Impact of Low Precipitation on Biotic and Abiotic Environments

Shunsuke Sakai<sup>1</sup>, Kyoko Kawanobe<sup>3</sup>, Ken'ichi Kanazawa<sup>1,3</sup>,  
Yuko Nishimoto<sup>2</sup> and Yoshihiro Suzuki<sup>1,3,4</sup>

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

<sup>2</sup> Department of Chemistry, Faculty of Science, Kanagawa University, Hiratsuka City, Kanagawa 259-1293, Japan

<sup>3</sup> Graduate School of Science, Kanagawa University, Hiratsuka City, Kanagawa 259-1293, Japan

<sup>4</sup> To whom correspondence should be addressed. E-mail:suzuky03@kanagawa-u.ac.jp

**Abstract:** The amount of precipitation around the Sagami River estuary in autumn 2020 was 38% of that in autumn 2019 and this was expected to reduce the inflow of river-water to the estuary. To estimate the effects of the decreased precipitation, the abiotic and biotic environments were measured in the estuary in January 2021 and were compared with those in December 2019. The reduced precipitation clearly affected the abiotic environment. The coastal water-mass derived from river water, which was observed in December 2019, was not observed in this study. The open sea water-mass covered the estuary and the salinities measured in this study were ca. 0.4‰ higher than those of December 2019. The reduced precipitation also affected the biotic environment. The phytoplankton biomass was significantly lower and the accumulation of phytoplankton on the seafloor was not observed in this study. Corresponding to the lower biomass, the surface densities of the dominant diatom species (*Skeletonema costatum* complex) in this study decreased to ca. 40% of those in December 2019, although decreases in cell density were not observed in the dominant haptophyte species (*Gephyrocapsa oceanica*). The effects of lower precipitation varied from species to species, resulting in significant changes in the species composition of phytoplankton communities. This study showed that decreased precipitation has a marked impact not only on abiotic environments in the estuary but also on biotic ones.

**Keywords:** biomass, *Gephyrocapsa oceanica*, 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、複数の河川から淡水が流入し、湾内には複雑な環境が形成されている<sup>1)</sup>。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<sup>2)</sup>。このように変動する環境にあっても、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ことに変わりはない。この海域で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<sup>2,4)</sup>。さらに、近年の地球温暖化とそれに伴う気候変動は、この海域にも様々な影響を与えることが予想される。海域に普遍的な特性と地球温暖化にともなう生じる現象とを分けて捉え、影響を正確に把握するためには、この海域での複数年にわたる測定が重要であり、我々は2010年以来継続した調査を実施している。本研究では、秋季の降雨量が極めて少ない本年度の気象に着目した。この気象条件が海況に与えた影響を明らかにし、河口域の生態系がどのように変化したかを検討するために、昨年<sup>5)</sup>の海況・植物プランクトン群集の観測結果と比較した。

## 材料と方法

### 環境要因と植物プランクトン生物量の測定

非生物的環境要因と植物プランクトン生物量の測定を2021年1月15日に行った。相模川河口から南に向かって沖合に1000 m、1200 m、1500 m、2000 m、3000 m、4000 m、5000 mの7測点を南北直線上に設定して測定した(図1)。さらに、1月28日に相模川河口周辺について、河口から南に向かって沖合に1000 mまで100 mずつ11測点を南北直線上に設定して測定した。GPSを用いて緯度経度を求め、各測点の河口からの距離を得た。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、さらに、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分濃度(‰)と水深(m)に換算した。海水の密度指標( $\sigma$ )は、塩分濃度と温度、圧力から算出した海水密度( $\text{kg m}^{-3}$ )より1000を引いて求めた。クロロフィル

蛍光強度は、観測と同時に採水した海水試料から求めたクロロフィルa濃度で校正し、クロロフィルa濃度( $\mu\text{g l}^{-1}$ )に換算した。海水試料はガラス濾紙(GF/F, Whatman)に濾過し、濾紙に残った粒子より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)でクロロフィルaを抽出した。溶液中のクロロフィルa濃度は蛍光分光器(TD-700, Turner Designs)を用いて蛍光法で求めた。同時に測定された圧力から測定点の水深をもとめ、これと対応付けて、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<sup>5)</sup>。さらに、観測点の河口からの距離とあわせて計算し、測定点の水深を境界条件として設定した上で、コンターマップを作成した(G-sharp, 日本電子株式会社)。

### 硝酸態無機窒素濃度

河口と沖合200 m、400 m、1000 m付近の4測点(1月28日)、沖合1000 m、1500 m、2000 m、4000 m、5500 m付近の5測点(1月15日)の南北直線上の合計9測点(図1)で採水を行なった。バンドーン採水器(OSK12XL010, オガワ精機株式会社)を用い水深1 mと10 mから採水し、遮光した保冷庫に入れて実験室まで輸送した。試料は測定まで5°C、暗所で保存した。試料中の硝酸態窒素の濃度はカドミウム還元法による呈色反応で求めた(Marine Checker HI781, HANA Ins.)。

### 植物プランクトンの群集構造の解析

相模川河口から南に向かって沖合に100 m、1000 m、5000 mの南北直線上の3測点(図1)で水深1 mと10 mからバンドーン採水器を用いてした。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による観察まで、暗所・冷蔵庫(5°C)に保管した。固定試料250 mlは、引圧せずに膜フィルター(孔径0.2  $\mu\text{m}$ ) (ISOPORE, Millipore)で約30 mlまで濃縮後、utermöhl法により倒立光学顕微鏡(DMIL, Leica社)を用いて観察した。Edler L. and Malte E. (2010)<sup>6)</sup>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(属名と種名)は、Tomas C. R. (ed.) (1997)<sup>7)</sup>およびTakuo O. et al. (2012)<sup>8)</sup>に従った。複数種が混在し、光学顕微鏡下では判別できない種群は、種名の後にcomplexとして記載した。

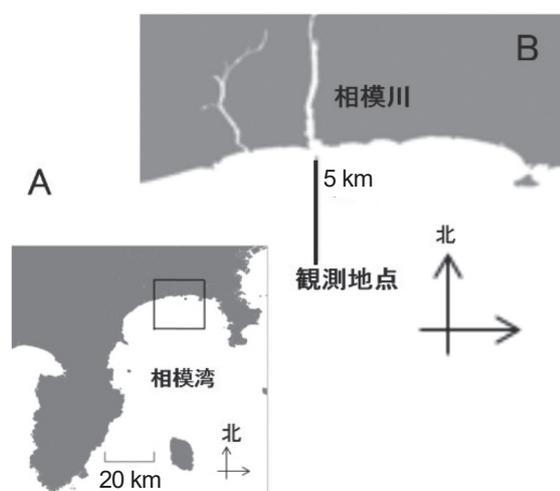


図1. 観測海域。相模川河口から南方沖合5 kmの線上に測点を設けた。A. 相模湾全景。図中の四角形は図Bの位置を示す。B. 観測海域。図中直線は調査した観測点を設けた南北の線を示す。

## 結果 海況

観測期間中の河口付近の水温は 17.4 ~ 17.7°C の範囲にあった。表層付近の水温が最も低く 17.5°C 以下であり、水深 5 m 付近で 17.7°C に上昇した。沖合で測定した表層の水温は、沖合 1000 m で 17.4°C で、沖へ向かうにつれてわずかながら上昇し、2000 m で 17.6°C、3000 m で 17.7°C となった。場所によりわずかに変化した。全体として水深 50 m までの水温は表層の水温と等しくほぼ一定であった (図 2A)。河口付近の塩分濃度は表層で 33.1‰ であった。しかし、塩分濃度は水深とともに急激に上昇し、水深 5 m では 34.6‰ となった (図 2B)。沖合で測定した塩分濃度には河口の表層に見られた低塩分濃度の水塊は認められず、沖合 5000 m まで 34.8 ~ 34.9‰ の範囲でほぼ一定であった。また、水深による変化は殆ど認められなかった (図 2B)。塩濃度、水温、圧力から各測定点の密度指標  $\sigma$  を求めた。河口付近では、表層の低塩分濃度の水塊のため、水深 0 ~ 3 m の範

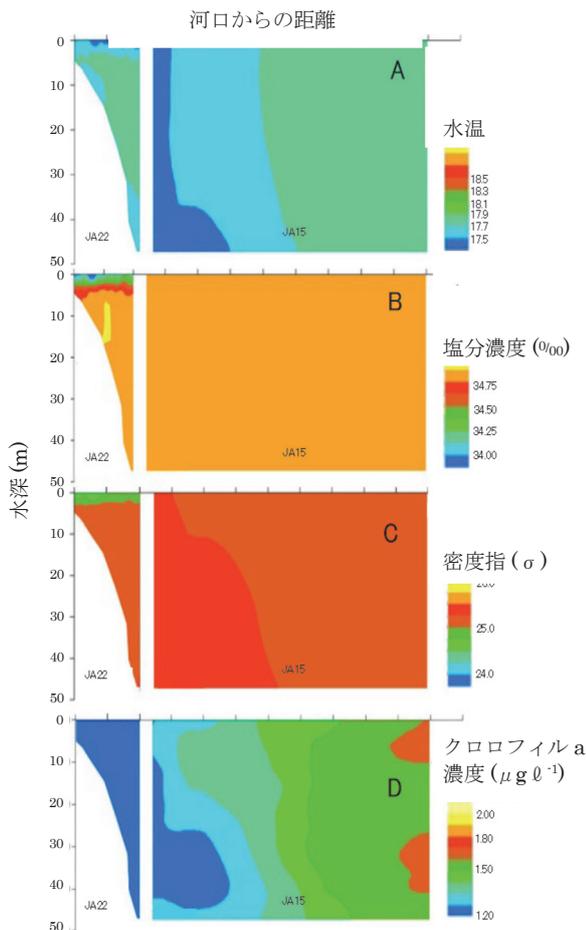


図 2. 相模川河口域の海況と植物プランクトンの分布. 河口から沖合に向かって南北方向に設定した測定線上で測定し、河口からの距離と水深で表した水塊断面上に水温 (A)、塩分濃度 (B)、密度の指数  $\sigma$  (C) およびクロロフィル a 濃度 (D) の分布を示した。

囲で、24.3 ~ 25.5 の低密度の水塊が認められた。しかし、3 m 以深の  $\sigma$  は 25.0 ~ 25.3 でほぼ一定であった。沖合の表層で  $\sigma$  は 25.8 であった。沖に向かって水温が高くなるため、2000-5000 m の表層で  $\sigma$  は低下し 25.5 となった。2000-3000 m の範囲では、水深とともに密度が僅かながら上昇した (図 2C)。これらの非生物的要因とともに測定した蛍光強度からクロロフィル a 濃度を推定した。表層のクロロフィル a 濃度は河口付近で最も低く  $1.2 \mu\text{g l}^{-1}$  であり、沖合に向かって徐々に上昇し、2500 m で  $1.3 \mu\text{g l}^{-1}$ 、5000 m で  $1.6 \mu\text{g l}^{-1}$  を超える値が確認された。海中でも表層とほぼ等しい値が認められたが、その値は水深とともに僅かに変動した。沖合 2000 m では、表層から水深 10 m でクロロフィル a 濃度が上昇したが、10 ~ 40 m では水深とともに低下し、さらに 40 m から 50 m の間でクロロフィル a 濃度が僅かに上昇する複雑な変化を示した (図 2D)。

## 硝酸態無機窒素濃度

硝酸態窒素濃度を水深 1 m と 10 m で測定した (図 3)。水深 1 m の硝酸態無機窒素濃度は、河口で  $2.56 \text{ mg l}^{-1}$  であり、河口から沖合に向かって、125、444、1065、1534 m でそれぞれ 1.13、1.17、0.66、0.21  $\text{mg l}^{-1}$  と急激に低下し、3825 m では、 $0.02 \text{ mg l}^{-1}$  に低下した。一方、深度 10 m の硝酸塩濃度は表層に比べて低く、河口で  $0.19 \text{ mg l}^{-1}$  であり、沖合に向かってわずかに低下し、5486 m で  $0.05 \text{ mg l}^{-1}$  となった (図 3)。

## 植物プランクトンの群集構造

河口付近の表層に形成された低塩分濃度の水塊には淡水に生息する珪藻種が多く認められた (表 1)。

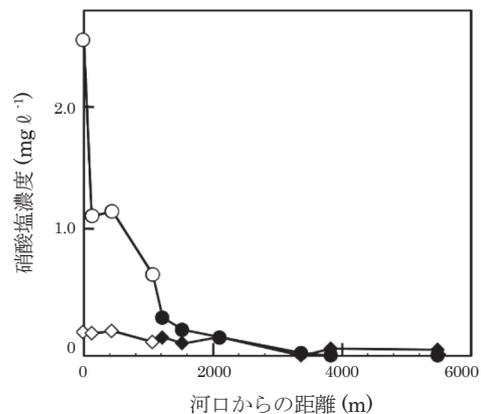


図 3. 河口付近の表層 1 m と水深 10 m で測定された硝酸態窒素濃度. 白丸 (○) と黒丸 (●) は水深 1 m で 1 月 28 日と 1 月 15 日に採水した海水の濃度、白菱 (◇) と黒菱 (◆) は水深 10 m で 1 月 28 日と 1 月 15 日に採水した海水の濃度を示す。

表 1. 海水試料中の植物プランクトン群集の種組成

Species	CH	表層 (0 m)			水深 10 m 層		
		100 m	1000 m	5000 m	100 m	1000 m	5000 m
<b>diatoms</b>							
<i>Detonula pumila</i>	<w				82		
<i>Lauderia annulata</i>	w	8	4	32	32		132
<i>Skeletonema costatum</i> complex		2,938	3,590	27,418	3,074	3,318	30,845
<i>Thalassiosira diporocyclus</i>				363			
<i>Thalassiosira</i> spp.			326	1,224		816	1,795
<i>Melosira nummuloides</i>	f	204		82			
<i>Melosira varians</i>	f	367	122				
<i>Leptocylindrus danicus</i>			163	775	32		1,061
<i>Leptocylindrus minimus</i>				428			163
<i>Corethron criophilum</i>				163			122
<i>Corethron pelagicum</i>							4
<i>Coscinodiscus</i> spp.			4				
<i>Asteromphalus</i> sp.			41				
<i>Cyclotella</i> spp.	f	2,938					
<i>Stephanodiscus</i> sp.	f	1,306	653	245	653		
<i>Aulacoseira granulata</i>	w	1,061	204				
<i>Rhizosolenia bergonii</i>	w	8			8		
<i>Rhizosolenia robusta</i>	w		4				
<i>Rhizosolenia setigera</i>			20		20		
<i>Guinardia striata</i>					204		
<i>Dactyliosolen phuketensis</i>				184			
<i>Cerataulina pelagica</i>			326	347		326	530
<i>Eucampia cornuta</i>			326		82	41	
<i>Eucampia zodiacus</i>				82			612
<i>Bacteriastrum elongatum</i>	<w				122	898	
<i>Bacteriastrum</i> spp.				898			
<i>Hemiaulus hauckii</i>	<w			82			286
<i>Chaetoceros atlanticus</i>			82	36			367
<i>Chaetoceros borealis</i>				56			
<i>Chaetoceros danicus</i>		122	204	367	82	122	408
<i>Chaetoceros peruvianus</i>	<w			4			
<i>Chaetoceros affinis</i>			52	120			20
<i>Chaetoceros affinis</i> var. <i>willei</i>			163	163			
<i>Chaetoceros compressus</i>	<w	136	32	60		326	326
<i>Chaetoceros curvisetus</i>	<w		163	1,856	163	1,142	3,631
<i>Chaetoceros diadema</i>		56					
<i>Chaetoceros didymus</i>	<w	265		36			122
<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	w	408	143	265	122	82	612
<i>Chaetoceros radicans</i>				64		326	
<i>Chaetoceros subtilis</i>	b					163	
<i>Chaetoceros tenuissimus</i>	ib		326	571			326
<i>Ditylum brightwellii</i>		122	82	449	41	82	204
<i>Lithodesmium undulatum</i>	<w						4
<i>Lithodesmium variabile</i>					653		
<i>Odontella mobiliensis</i>		82	41		326	326	
<i>Odontella rhombus</i>		8					
<i>Neodelphineis pelagica</i>				775			898
<i>Thalassionema nitzschioides</i>		367	41	1,367	408	1,469	122
<i>Thalassiothrix</i> spp.		286	82	224	82	82	82
<i>Nanoneis hasleae</i>	wo	326	326	653			1,306
<i>Fragilaria</i> spp.	f	1,795	163		653		
<i>Meuniera membranacea</i>				102			
<i>Licmophora abbreviata</i>		326	82				
<i>Cymbella minuta</i>	f	816	163				
<i>Cymbella</i> sp.	f	163	82				
<i>Gomphonema</i> sp.	f	326	163				
<i>Navicula cryptocephala</i>	f	163.2	40.8				
<i>Navicula gregaria</i>	f	816	326		163		
<i>Navicula pupula</i>	f	653	122		163		
<i>Navicula</i> spp.	f	13,382	1,469	326	4,733	326	41
<i>Amphora</i> sp.	f	653	82				
<i>Diproneis</i> sp.		653	204		163		
<i>Cocconeis placentula</i>	f	163					
<i>Amphypleura</i> spp.			82		41		41
<i>Pleurosigma/Cyrosigma</i> sp.		82	4	41		41	
<i>Cylindrotheca closterium</i>		1,469	326	2,366	979	653	1,795
<i>Fragilariopsis</i> spp.		4,080	326	326	490		979
<i>Pseudo-nitzschia seriata</i> complex		204	41	2,387	408	326	163
<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.				61	163		
<i>Nitzschia palea</i>	f	490	326				
<i>Nitzschia sigma</i>	f	4					
<i>Nitzschia</i> spp.		10,118	1,958		326	41	
Total (cells · l <sup>-1</sup> )		47,364	13,564	44,917	14,345	10,173	47,855

Species	CH	表層 (0 m)			水深 10 m 層		
		100 m	1000 m	5000 m	100 m	1000 m	5000 m
<b>flagellates</b>							
<b>Cryptophyceae</b>		326	653	2,366	653	653	2,448
<b>Dinophyceae</b>							
<i>Prorocentrum dentatum</i>		163	41		163		
<i>Prorocentrum triestimum</i>		163					163
<i>Prorocentrum</i> sp.		163					
<b>Gymnodiniaceae</b>		326	979	1,795	816	653	2,285
<i>Ceratium fusus</i>			8				4
<i>Ceratium penatogonum</i>	wo				4		
<i>Ceratium tripos</i>			4				4
<i>Cyrtosax</i> spp.		163		245		653	41
<i>Scrippsiella trochoidea</i>	ib	163					
<i>Heterocapsa</i> spp.		326	326		163	163	163
<b>Peridinales</b>		326		734	163	326	163
<i>Pronoctiluca spinifera</i>			163				
<b>Haptophyceae</b>							
<i>Emiliana huxleyi</i>				1,224		326	1,142
<i>Gephyrocapsa oceanica</i>		16,973	22,685	35,904	18,115	29,213	24,317
<i>Discosphaera tubifer</i>					163		
<b>Coccolithophorid type 1</b>				122			163
<b>Dictyochophyceae</b>							
<i>Dictyocha fibula</i>	o		41	122		41	41
<i>Dictyocha speculum</i>							41
<b>Euglenophyceae</b>							
		490					
<b>Chlorophyceae</b>							
<i>Scenedesmus</i> spp.	f	653					
<i>Mougeotia</i> sp.	f	367					
<b>Prasinophyceae</b>							
<i>Pyramimonas</i> spp.		490	979	2,774	163	979	1,632
Total (cells · l <sup>-1</sup> )		21,094	25,879	45,288	20,404	33,178	32,436

細胞密度 (cells l<sup>-1</sup>)

表中の CH 列は各種について以下の特性をしめす。

b: 汽水域生息種。

c: 寒冷域生息種。

f: 淡水域生息種。

i: 内海・沿岸域生息種。

w: 暖海域生息種。

o: 外洋生息種。

&lt;: 上述の傾向を持つ種。

河口から沖合 100 m の表層水では *Navicula* spp. や *Cyclotella* spp., *Fragilariopsis* spp., *Stephanodiscus* sp. の羽状目の珪藻種が認められた。これらの種をはじめとする淡水棲珪藻種 (表 1) の密度は非常に高く、この海水試料中の全ての珪藻種の細胞数の半数 (54.1%) を占めていた。同じ採水点 (沖合 100 m) の水深 10 m 層でも *Navicula* spp. や *Stephanodiscus* sp. が高い密度 (それぞれ 4733 と 653 cells l<sup>-1</sup>) で認められ、これらの種をはじめとする淡水棲珪藻種の細胞数は、この海水試料中の全珪藻種の細胞数の半数 (50.3%) を占めていた。珪藻以外の藻類種に着目すると、淡水に生息する種はほとんど認められなかった (表 1)。100 m 沖合の表層海水試料にわずかに認められた緑藻類 *Scenedesmus* sp. や *Mougeotia* sp. もその密度は低

く、珪藻以外の藻類種に占める割合は 5% 足らずであった。沖合 1000 m から採水した海水試料中にも淡水に生息する珪藻種が認められたが、その割合は小さく、表層と 10 m 層でそれぞれ 29.8% と 3.6% であった。河川水に由来すると考えられる低塩分濃度の水塊の影響はこの測点では小さくなったことが示唆された。この測点では珪藻種以外の淡水に生息する藻類種は認められなかった (表 1)。沖合 5000 m の海水試料中にも淡水に生息する珪藻種がわずかに認められたが、その割合は、表層と 10 m 層でそれぞれ 1.4% と 0.1% であった。この測点では珪藻種以外の淡水に生息する藻類種は認められなかった (表 1)。河川水に由来すると考えられる低塩分濃度の水塊の影響はこの測点ではさらに小さくなったことが示唆された。これらの淡水に棲息する藻類は、顕微鏡観察で葉緑体などの細胞構造が明瞭に認められた。これら藻類の細胞は有機物を含み、この海域の生態系を支えるエネルギー源として機能している可能性が高い。しかし、海水試料中の塩分濃度が低くない (最低でも 33.1‰) ことを考えると、この海域で増殖して一次生産を行なうことは難しいと推定される。

海水に棲息する珪藻種の中で優占していたのは、*Skeletonema costatum* complex で 沖合 100、1000、5000 m の採水点の表層で、それぞれ 2938、3590、37418 cells  $\ell^{-1}$ 、水深 10 m 層で、それぞれ 3074、3318、30845 cells  $\ell^{-1}$  であった。*S. costatum* complex は 沖合 100、1000、5000 m の採水点の表層で、それぞれ 13、38、62 %、水深 10 m 層で、それぞれ 43、34、65% を占めていた。一方、珪藻類以外の藻類ではハプト藻類の *Gephyrocapsa oceanica* が優占していた。*G. oceanica* の密度は 沖合 100、1000、5000 m の採水点の表層で、それぞれ 16973、22685、35904 cells  $\ell^{-1}$ 、水深 10 m 層で、それぞれ 18115、29213、24317 cells  $\ell^{-1}$  であった。*G. oceanica* は 沖合 100、1000、5000 m の採水点の表層で、珪藻以外の藻類全体の細胞数のそれぞれ 84、88、79%、水深 10 m 層で、それぞれ 89、88、75% の細胞数を占めていた。測定から明らかになった優占度 (全藻類の細胞数に占める各種藻類の細胞数の割合) を考えると、これらの優占種が、この時期の相模川河口域生態系の一次生産に与える影響は極めて高いと考えられる。また、珪藻種 *S. costatum* complex の細胞容積が、ハプト藻種 *G. oceanica* に比較して極めて大きいことを考慮すると、特に珪藻類優占種がこの海域の一次生産者として重要であると考えられた。

## 考察

### 非生物的環境

1月15日に測定された水温、塩分濃度、密度指標  $\sigma$  は、鉛直方向に均一であり、沖合 1000 m から 5000 m の範囲で大きな変化はなかった (図 2)。水温は陸に近づくにつれてわずかに低下したが、これは浅い水深の海域で、低温大気により海水が早く冷却されたためと推定される (図 2A)。塩分濃度は水深に伴う変化は小さく、この範囲でほぼ均一であった (図 2B)。水温低下に対応して、沿岸付近の海水密度は僅かに高かった (図 2C)。一方、1月28日の塩分濃度、密度指標  $\sigma$  は、一定水深以上の水塊で、鉛直方向にも、沖合に向かって南北方向にもほぼ一定であった (図 2)。しかし、水深 5 m 以浅の表層に低温、低塩分濃度、低密度の特徴的な水塊が認められた。1月28日の測定で水深 5 m 以浅の表層に認められた特徴的な水塊は、降雨に対応したものと推定される。測定海域付近の平塚市の降水量は、1月15日までの一週間で 0.5 mm であったの対し、1月28日までの一週間で 30.5 mm であった<sup>9)</sup>。相模川河口域では 30 mm 程度の降雨による河川水の流入で特徴的な水塊が生じ、厚さ数 m、沖合 1000 m の範囲で塩分層が生じたことが推定される。1月28日の測定ではこの水塊と対応した高い硝酸態窒素濃度が認められた。河口表層の硝酸態窒素濃度は、同時に測定した水深 10 m の濃度の 10 倍以上の濃度であった。降雨前の 1月15日に測定された沖合 1500 m 以遠の硝酸態窒素濃度に対しても、河口表層の濃度が 10 倍以上であったことを考えると、硝酸態窒素が河川水に由来する水塊と対応することは明らかである。降雨と河川水の流入が、硝酸態窒素の供給に重要であることが示めされた。長期的な降雨の違いはこの海域の海況にさらに大きな影響を与えている可能性がある。降雨の違いの海況への影響を検討するため、降水量が特徴的に少なかった本研究の結果を昨年度の同時期に測定された海況と比較した。降雨量を気象庁のデータ<sup>9)</sup>を用いて、平塚市で観測された降水量をみると、台風による降雨が無かったことで 2019年9月から 2020年1月の降水量と 2020年9月から 2021年1月の降水量に大きな違いが生じていたことが分かる (図 4)。特に 2020年10月の降水量は 150 mm 程度で、2019年の 38% に過ぎず、全体の降水量を低くしていた。2020年には 11月以降も降水量が少なく、11月から 1月の降水量は、前年の 11%、20%、42% に過ぎなかった。この期間の全降水量を比較すると、2020年度の降水量は 2019年度の 38% に過ぎなかった (図 4)。この降水量の違いは河口域の塩分濃度の測定結果と良く対応していた。2019年12月に測定された

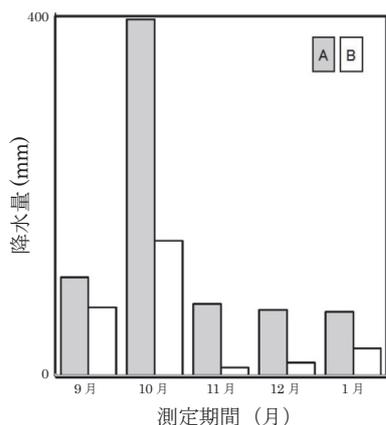


図4. 秋期相模川河口付近（平塚市）の降水量. 日本気象協会ホームページ過去の気象データより作成. 観測前4半期, 2019年9月～2020年1月 (A) と2020年9月～2021年1月 (B) を比較.

この海域の塩分濃度の分布<sup>10)</sup>と比較すると、長期間降水量の低かった2021年1月の塩分濃度は平均で約0.4‰高くなっていた(図5)。また、冬期に沿岸の海底付近に認められる低温・低塩分濃度の水塊(図5A)が2021年1月の測定では観測されなかった。

### 生物的環境

2019年12月に測定されたこの海域のクロロフィルa濃度の分布<sup>10)</sup>と本研究で明らかになった2021年1月の分布を比較すると明瞭な差が認められた(図6)。2019年12月に測定されたクロロフィルa濃度の分布には、表層で高く深層で低い鉛直方向の勾配が認められたが、本研究の測定結果には認められなかった。2019年12月に沿岸の海底付近に認められた低温・低塩分濃度の水塊(図5A)は、鉛直混合の深度を浅くし、これにより表層付近での光合成を維持され易くすると推定される。2019年12月に測定されたクロロフィルa濃度の鉛直方向の勾配とこの水塊の存在は対応していた。2021年1月の植物プランクトン生物量が、2019年12月に比較して低くなったことは、先に示された、硝酸態窒素の供給に降雨とそれに伴う河川水の流入が重要であることと良く対応していた。さらに、2019年12月に先立つ5ヶ月の間に、降雨に伴って河川から淡水が流入したことは、2021年1月の先立つ期間に比較して大量の栄養塩を供給し、植物プランクトンを増殖させたと予想される。2019年12月には認められた河口付近の海底への植物プランクトンの集積が2021年1月には認められなかったことは、降水量の違いと良く対応していると考えられる。本研究では、測定直前に降雨のあった2021年1月28日には河口付近で高い硝酸態窒素濃度が認められた。それにも関わらず、河口付近に高いクロロフィルa濃度が認められ

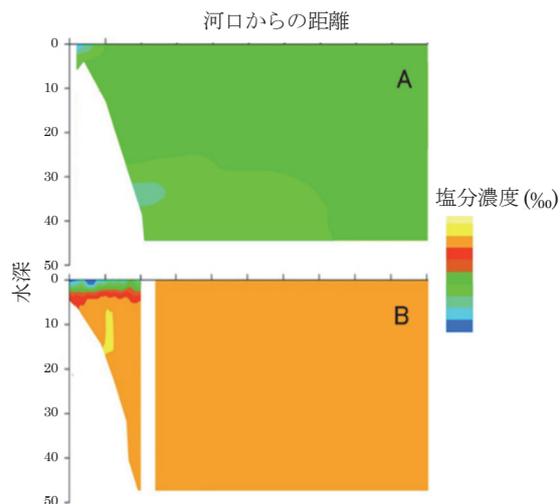


図5. 相模川河口域の塩分濃度分布の降水量にともなう変化. 河口から沖合に向かって南北方向に設定した測定線上で測定し、河口からの距離と水深で表した水塊断面上に塩分濃度の分布を示した. 2019年12月 (A) と2021年1月に測定 (B).

なかったことは、測定が降雨直後(3～0日)であり、植物プランクトンの増殖が不十分であったためと考えられた。

降水量の長期間の変動に起因する海況の変化は、生物量の違いのみならず、植物プランクトン群集の群集構造にも大きな違いを生じさせていた。優占種である*S. costatum*の表層海水試料中の細胞密度は2019年12月にも計測されている<sup>10)</sup>。この結果と本研究で2021年1月に計測を行なった結果を比較すると、大きな違いが認められた。2019年12月に河口から100、1000、5000 m沖合で採水された海水試料中の密度はそれぞれ57038、13437、12458 cells  $\ell^{-1}$ であったのに対し、2021年に河口から同様の測点で採水された海水試料中の密度はそれぞれ2938、3590、27418 cells  $\ell^{-1}$ であった(表1)。2019年*S. costatum*の密度は河口から沖合100 m付近で最も高く、沖合1000 m、5000 mで低くなっていたのに対し、2021年12月の密度は100 m付近で最も低く、沖合1000 m、5000 mにむかって高くなっていた。このため、2019年に計測された細胞密度に対する2021年に測定された細胞密度は100 m沖合で5.4%、1000 m沖合で27%に過ぎなかったが、5000 m沖合では220%となった。また、2021年1月の3点での平均は2019年12月の平均の41%に過ぎなかった。この結果は、2021年のクロロフィルa濃度が2019年に比較して低い値を示したこと(図6)と対応していた。一方、珪藻以外の藻類で優占していたハプト藻類*G. oceanica*でも2019年12月には2021年12月に測定された密度と同様に河口付近で小さく沖合に向かって大きくなる傾向が認められたが、年度

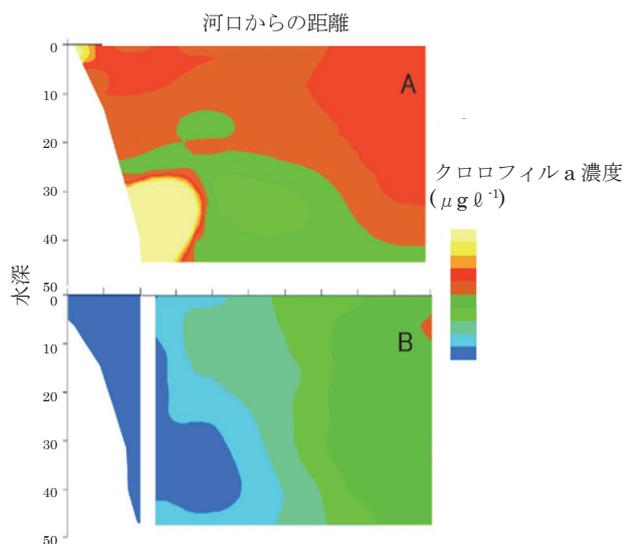


図 6. 相模川河口域のクロロフィル *a* 濃度分布の降水量にともなう変化。河口から沖合に向かって南北方向に設定した測定線上で測定し、河口からの距離と水深で表した水塊断面上にクロロフィル *a* 濃度の分布を示した。2019 年 12 月 (A) と 2021 年 1 月に測定 (B)。

間の差異は珪藻優占種ほど大きくはなかった。2019 年 12 月に河口から 100、1000、5000 m 沖合で採水された海水試料中の密度はそれぞれ 21057、18185、20400 cells  $\ell^{-1}$  であったのに対し、2021 年に河口から同様の測点で採水された海水試料中の密度はそれぞれ 16973、22685、35904 cells  $\ell^{-1}$  であった (表 1)。2021 年 1 月の 3 点での平均は 2019 年 12 月の平均に比べて 27% 上昇していた。海域全体で見ると、細胞の大きな珪藻優占種の細胞密度が大きく減少していたのに対し、細胞の小さなハプト藻優占種が増加していたことは、降雨の減少に伴って予想される栄養塩供給の低下と対応していた。降雨の減少は植物プランクトン生物量の減少ばかりでなく、植物プランクトン群集の群集構造を大きく変化させる可能性を強く示唆していた。また、クロロフィル *a* 濃度でみた、生物量の変化は、細胞体積の小さいハプト藻類より、珪藻類の細胞密度の変化と良く対応していた。

## 結論

相模川河口付近の 2020 年 9 月から 2021 年 1 月の降水量は 2019 年 9 月から 2020 年 1 月の 38% であった。河川水の流入量を低下させたことが予想される。少ない降水量と対応して、2019 年 12 月に認められた河川水に由来することが予想される沿岸水塊は本研究の測定では認められなかった。このため、2019 年 12 月に比較して 0.4‰ 高い塩分濃度が観測された。

生物的環境にも違いが認められた。本研究の測定ではクロロフィル *a* 濃度から推定される植物プランクトン生物量が大きく低下し、1 km 沖合海底にしばしば認められる植物プランクトンの集積が認められなかった。生物量の低下と対応して、本研究で測定された珪藻類優占種 (*S. costatum* complex) の細胞密度が 2019 年 12 月の約 40% に低下した。一方、ハプト藻類の優占種 (*G. oceanica*) には細胞密度の低下は認められなかった。少ない降水量の影響は種ごとに異なり、その結果、植物プランクトン群集の種組成も大きく変化させていた。本研究の結果は、降水量の低下が相模川河口域の非生物的環境のみならず、生物的環境に大きな影響を与えることを示していた。

## 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 (RIIS202004) 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 Measurements (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 (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) 酒井駿輔, 川延京子, 多田雅章, 金沢謙一, 西本右子, 鈴木祥弘 (2020) 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). *Sci. J. Kanagawa Univ.* **31**: 83-88.