

■原 著■ 2021 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 9 夏季高水温の 海況と植物プランクトン分布

浅井泰地¹ 川延京子² 磯野柊太¹ 西本右子³ 鈴木祥弘^{1,2,4}

Distribution of Phytoplankton Biomass in the Sagami River Estuary
at High Water Temperatures in Summer

Taichi Asai¹, Kyoko Kawanobe², Syuta Isono¹, Yuko Nishimoto³
and Yoshihiro Suzuki^{1,2,4}

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

² Department of Biological Science, Graduate School of Science, Kanagawa University, Hiratsuka City, Kanagawa 259-1293, Japan

³ Department of Chemistry, Faculty of Science, Kanagawa University, Hiratsuka City, Kanagawa 259-1293, Japan

⁴ To whom correspondence should be addressed. E-mail: r201170216pp@kanagawa-u.ac.jp

Abstract: The physical and chemical conditions in the Sagami River estuary were measured during the high-temperature summer season of 2021, and the results were correlated with the distribution of phytoplankton. The results showed that thermal stratification was clearly observed from the mouth of the river to 5000 m offshore, and that saline stratification was observed in the thin surface layer from the mouth of the river to 2000 m offshore due to the inflow of fresh water from the Sagami River. The low-salinity water contains high concentrations of nitrate, which corresponds to the relatively high biomass of phytoplankton, mainly in the surface layer at 1500 m offshore. Relatively high concentrations of unconsumed phosphate remained in this water mass, indicating that phytoplankton growth in this region may be rate-limited by nitrogen nutrients. This study suggested the structure of the phytoplankton community in this high-temperature season to predict the structure after global warming in the future, and showed that measurements with improved spatial resolution were able to detect water mass structures in this area that were missed by normal resolution measurements.

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は変わりはない。この海域で植物プランク

トン解析し、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⁾。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る。我々は、神奈川大学総合理学研究所の助成を受け、2010年以来継続した調査を実施してきた。本研究では、これまでの調査で実施されたことの少なかった夏季

に植物プランクトン現存量の調査を実施し、物理的環境（海況）と対応付けて検討することを目指した。さらに、本研究では100 mごとに測点を設けて測定を行い、高い空間解像度での測定が可能であるかを検証した。水塊の移動が少なく海況を把握しやすい小潮の時期（8月30・31日）に観測を実施した。

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8月30・31日に行った。相模川河口から南に向かって沖合に0 m、100 m、200 m、300 m、400 m、500 m、600 m、800 m、1000 m、1500 m、3000 m、5000 mの14測点を南北直線上に設定して測定した（図1）。GPSを用いて緯度経度を測定することで調査船の位置を正確に決定できた。この位置からの移動を小さくするため、測定は位置決定後できる限り速やかに実施した。測点の水深は音響測定器で測定し、沿岸の水深50 m以浅の観測点では、海底に着底した観測器で測定した水圧から求めた。各測点では、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、光強度、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。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。海水試料をガラス濾紙（GF/

F, Whatman）で濾過し、濾紙上に残った粒子より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⁵⁾。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。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）。

栄養塩濃度

沖合0 m、100 m、200 m、500 m、700 m、1000 m、1500 m、5000 mの南北直線上の合計8測点（図1）で採水を行なった。採水バケツを用いて表層水を採取、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℃、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（Marine Checker HI781, HANA Ins.）、リン酸塩の濃度はモリブデンブルー法による呈色反応で求めた（Marine Checker HI774, HANA Ins.）。

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0 m、1000 m、5000 mの南北直線上の3測点（図1）で表層水を採水バケツにより採水した。海水試料は250 ml 黒色ポリびんに入れ、速やかに0.04% 中性ホルマリン-0.025% グルタルアルデヒド固定液（最終濃度）を添加した⁶⁾。固定した試料は、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℃、暗所で保存した。この試料250 mlを、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 and Elbrächter 2010）⁷⁾に従い高倍率の対物レンズで細胞密度分割して観察し、低倍率の対物レンズで全視野面積を確認した。プランクトンの同定（属名と種名）は、Carmelo R. T.(ed.) (1997)⁸⁾およびOmura T. (ed.) (2012)⁹⁾に従った。

結果

海況

河口から500 mごとの測定結果から分布を求めると、水深の浅い河口付近の温度は水深に依らず26.3℃であった。河口から沖合5000 mまで表層の温度はほ

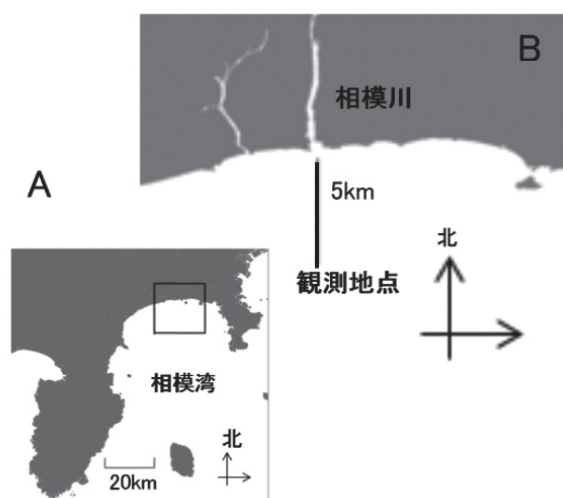


図1. 観測海域。相模川河口から南方沖合5 kmの線上に測点を設けた。A. 相模湾全景 図中の四角形は図Bの位置を示す。B. 観測海域 図中直線は調査した観測点を設けた南北の線を示す。

ば一定で 26 °C であった。10 m 以上の水深をもつ観測点では、どの観測点でも同じように水深とともに水温が低下し、水深 15 m 付近で 25 °C、30 m 付近で 23 °C、40 m 付近で 21 °C となった (図 2A 右)。河口から 1000 m までの沿岸の温度を 100 m ごとの観測結果で求めると、24 ~ 26.5 °C の範囲で複雑に変化していることが明らかになった。河口付近では水深に依らず 26 °C 以上で一定の水塊が認められた。水温は沖合に向かって少しずつ低下し、沖合 700 m 以遠では 26 °C 未満に低下した (図 2A 左)。さらに水温の分布を 0.1 °C の精度で検討すると (Data 未記載)、水温は 26.2 °C から沖合 500 m 付近で 26.0 °C に、650 m 付近で 25.5 °C、700 m 付近で 25.2 °C に低下した。沖合 800 m 付近では表層水温は 24.5 °C にま

で低下したが、900 m 以遠では水深 5 m 以浅の表層に最大 26.0 °C の水塊が認められ、水深 40 m 以深の海底付近には 24.0 °C の低温の水塊が認められた。この結果は、河口付近と外洋に高水温の水塊が存在し、その中間に僅かだが明らかに低水温の水塊が存在することを示していた。

河口から 500 m ごとの測定結果から分布を求めると、本海域では塩濃度は表層から水深 5 ~ 10 m で 32.5‰、それ以深 20 ~ 25 m で 33.5‰、25 m 以深で 34.5‰ となる成層が認められた。さらに、河口から沖合 1800 m の範囲には 32‰ 以下の低い塩濃度の水塊が表層から水深 5 m 以浅に認められ、これに加えて沖合 4500 m ~ 5000 m の表層にも、小規模であるがこれと類似した低い塩濃度の水塊が認められた (図 2B 右)。河口から 1000 m までの沿岸の塩濃度を 100 m ごとの観測結果で求めると、河口から沖合 100 m の範囲では表層から海底まで均質で低い塩濃度であり、河口から離れるにつれて 31.8 から 33.2‰ に急激に上昇していた。沖合 100 m ~ 1000 m の範囲では塩濃度の上昇は緩やかになり、沖合 100 ~ 700 m で 33.3 から 33.4‰、さらに 700 ~ 1000 m で 33.4 ~ 33.5‰ の濃度が維持された。沖合 150 から 550 m の範囲では海底付近に塩濃度の低い (33.1 ~ 33.3‰) の水塊、さらに沖合 900 ~ 1000 m の範囲には、表層直下に塩濃度の低い (33.3 ~ 33.4‰) の水塊が認められた (図 2B 左)。

塩濃度、水温、圧力から各測点の密度指標 σ を求めた。河口から 500 m ごとの測定結果から分布を求めると、河口から沖合 5000 m の範囲で均一な成層が認められた。表層から水深 10 m では σ は 20.5 ~ 22.0 の範囲にあり、水深 10 から 30 m で 22 ~ 23.5、30 m 以深で 23.5 ~ 25.0 となった。これに加えて河口から 2000 m の沿岸の水深 5 m 以浅と 4500 m ~ 5000 m 付近の表層には σ が 19.0 ~ 20.5 の比較的低密度の水塊が認められた (図 2C 右)。河口から 1000 m までの沿岸の温度を 100 m ごとの観測結果で求めると、500 m ごとの測定で求めた分布とは異なり、各観測点では表層から海底まで密度がほぼ一定であり、河口から離れるにつれて密度が上昇した。河口から 50 m 沖合では σ は 19.0 未満、50 m から 100 m の範囲では 19.0 ~ 20.5 の範囲にあった。それ以遠、沖合 700 m までは σ は 20.5 ~ 22.0 の範囲にあった。沖合 800 m 以遠では σ は 22.0 ~ 23.5 の範囲となったが、沖合 900 ~ 1000 m の範囲の水深 5 m 以浅には σ が 20.5 ~ 22.0 となり、複雑な海況が形成されていることが示された (図 2C 左)。

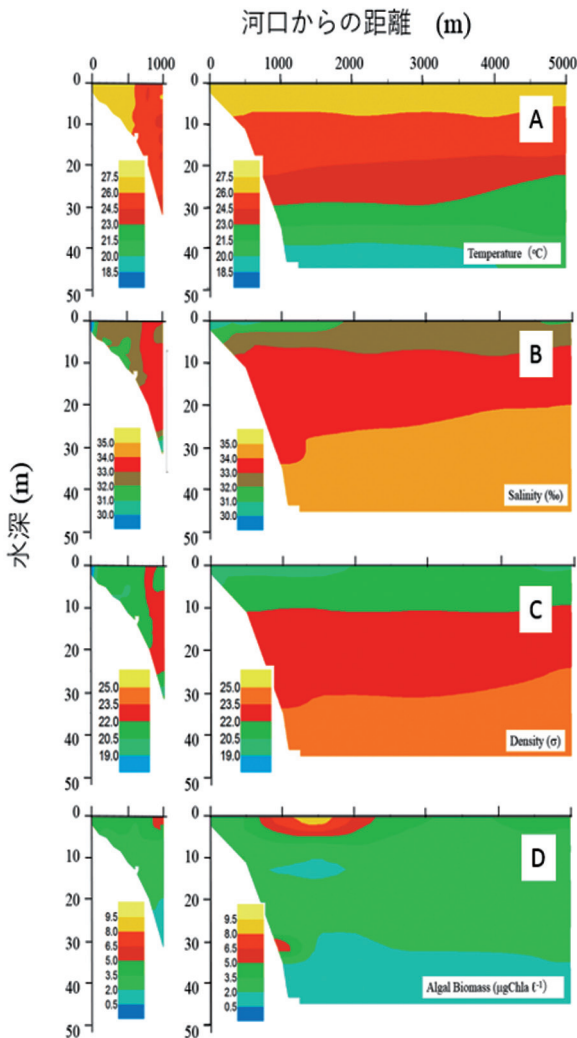


図 2. 相模川河口域の海況と植物プランクトン生物量の分布. 河口からの距離と水深による水温 (A)、塩濃度 (B)、密度 (C) のクロロフィル a 濃度 (D) の分布. 0 ~ 500 m の範囲で 100 m ごと、500 ~ 1000 m の範囲で 200 m ごとに測定した結果に基づいて描いた詳細な分布 (左) と 0 ~ 1500 m の範囲で 500 m ごとに測定した結果と 3000 m と 5000 m の結果から求めた海域全体の分布の概略 (右) を個別に求めた。

植物プランクトンの分布

測定した蛍光強度からクロロフィル *a* 濃度を推定し、植物プランクトンの分布を求めた。本研究で測定を行った沖合 0 ~ 5000 m の範囲では水深 30 m 以深で $0.5 \sim 2.0 \mu\text{g l}^{-1}$ で、30 m 以浅では $2.0 \sim 3.5 \mu\text{g l}^{-1}$ の濃度であった。これに加えて、沖合 500 ~ 3000 m、4000 ~ 5000 m の表層に $3.5 \mu\text{g l}^{-1}$ 以上の濃度で植物プランクトンが分布していた。特に 1500 m 付近を中心とした海域では $8.5 \mu\text{g l}^{-1}$ をこえるの濃度で植物プランクトンの分布が認められた。さらに沖合 1000 m 付近の水深 30 m の海底付近には $6.5 \sim 8.0 \mu\text{g l}^{-1}$ の高い濃度で植物プランクトンの分布があきらかになった (図 2D 右)。河口から 1000 m までの沿岸の濃度を 100 m ごとの観測結果で求めると、表層 5 m 以浅で $3.5 \sim 5.0 \mu\text{g l}^{-1}$ 、水深 5 ~ 25 m で $2.0 \sim 3.5 \mu\text{g l}^{-1}$ 、沖合 900 m 以遠の水深 25 m 以深で $0.5 \sim 2.0 \mu\text{g l}^{-1}$ となり、表層で高く、水深とともに低下する植物プランクトンの分布が認められた (図 2D 左)。沖合 850 ~ 1000 m の表層には $5.0 \sim 6.5 \mu\text{g l}^{-1}$ の周囲に比べて高い濃度で植物プランクトンの分布が認められた。これは 1500 m 付近を中心に高密度で存在した植物プランクトンの一部であると推定された。

栄養塩 (硝酸態無機窒素とリン酸) 濃度

水深 1 m と 10 m から採水した海水 (海水試料) 硝酸態無機窒素濃度とリン酸濃度を測定した。水深 1 m の海水試料中の硝酸態無機窒素濃度は沖合 200 m で 1.4 mg l^{-1} であったものが、沖合 500 m で 0.32 mg l^{-1} に急激に低下し、沖合 2000 m ではさらに 0.06 mg l^{-1} まで低下した (図 3 黒丸)。水深 10 m の海水試料中の硝酸態無機窒素濃度は沖合 200 m で 0.11 mg l^{-1} と水深 1 m の海水試料の 7.9% であり、沖合 500 m でも 0.08 mg l^{-1} と低い濃度を示し、沖合 2000 m では 0.05 mg l^{-1} となり、僅かずつであるが低下した (図 3 白丸)。沖合 2000 m と 5000 m の硝酸態無機窒素濃度は水深に依らず低い値を示した。水深 1 m の海水試料中のリン酸濃度は沖合 200 m で 0.11 mg l^{-1} であったものが、河口から離れるにつれて低下し、沖合 500 m で 0.08 mg l^{-1} 、沖合 1000 m 以遠ではさらに 0.05 mg l^{-1} に低下した (図 3 黒四角)。しかし、沖合 1000 m 以遠ではその値はほとんど変わらず、河口 500 m の海水試料の 45% の濃度が維持された。一方、水深 10 m の海水試料中のリン酸濃度は河口から離れても変化せず沖合 500 m で 0.05 mg l^{-1} であり、沖合 2000 m では 0.05 mg l^{-1} 、5000 m で 0.03 mg l^{-1} であった。この値は沖合 1000 m 以遠の水深 1 m の海水試料とほぼ等しかった (図 3 白四角)。

植物プランクトン種組成

河口から 0 m (河口域)、1000 m、5000 m の表層水を採水し、海水試料中の藻類細胞を計数した (表 1)。計数された細胞の 99% が珪藻類であり、これくわえて比較的少数の渦鞭毛藻が認められた。45 種類認められた珪藻類のうち 20 種類が暖海性の珪藻種であった。また、珪藻類のうち 19 種類が *Chatoceros* 属であった。特に河口域では *C. socialis* が優占しており、珪藻類全細胞数の 87.5% を占めていた。本種の割合は 1000 m で 23.6%、5000 m で 3.7% であり、沖合で低下した。1000 m と 5000 m では同属の *C. compressus* が優占していた。河口で 3.4% であった割合が、1000 m と 5000 m では 24.7% と 51.8% となった。*Chatoceros* 属以外では、河口域で *Skeletonema costatum* と *Thalassionema nitzschioides* がともに 0.7% を占めていた。*Bacteriastrum spp.* は河口からの距離に関わらず同程度の密度でみとめられ、0 m、1000 m、5000 m で珪藻類全細胞数の 1.4%、4.1%、9.5% を占めていた。全藻類の細胞密度は河口海水試料で 280000 細胞 l^{-1} で最大で、1000 m で 83000 細胞 l^{-1} 、5000 m で 40000 細胞 l^{-1} で、河口域では 1000 m の 3.4 倍、5000 m の 7.0 倍であった。しかし、河口域で顕著に優占していた *C. socialis* を除いて考えると、河口域、1000 m、5000 m でそれぞれ 36000、63000、38000 細胞 l^{-1} となり、採集点による差は 2 倍以内で、河口域の密度が最も低くなった。また、河口域だけに認められた種は 45 種中 8 種、

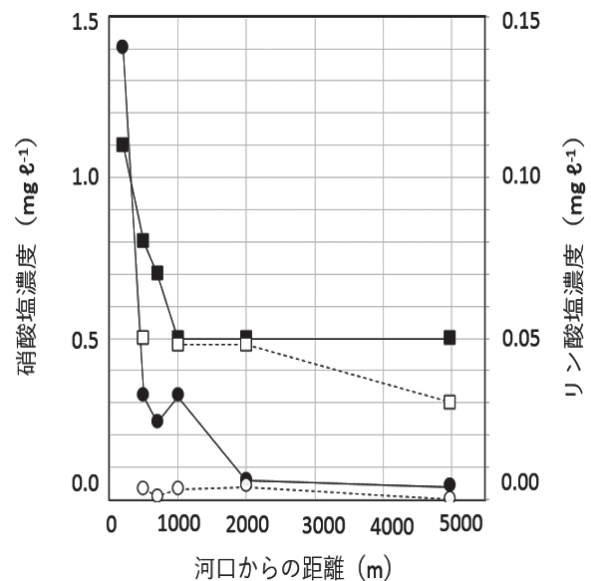


図 3. 相模川河口域の栄養塩濃度の分布。水深 1 m と水深 10 m から採水した海水中の硝酸塩濃度 (1 m 試水黒丸と 10 m 試水白丸) とリン酸塩濃度 (1 m 試水黒四角と 10 m 試水白四角) を測定し、採水地点の河口からの距離で表示した。

表 1. 植物プランクトン種組成. 河口 (0 m) と河口から 1000 m、5000 m で採水した試水中の細胞密度を光学顕微鏡により計数した.

Species	表層 (0m)			Species	表層 (0m)				
	0m	1000m	5000m		0m	1000m	5000m		
diatoms				flagellates					
<i>Lauderia annulata</i>	w	245	41	Dinophyceae					
<i>Skeletonema costatum</i>		1,958		<i>Prorocentrum compressum</i>		163	82		
<i>Thalassiosira</i> spp.		163	653	<i>Prorocentrum micans</i>		82			
<i>Leptocylindrus danicus</i>			1,469	<i>Prorocentrum minimum</i>		41			
<i>Leptocylindrus minimus</i>			122	<i>Prorocentrum triestinum</i>		41			
<i>Coscinodiscus</i> spp.		4	76	28	<i>Ceratium furca</i>	i	24	326	143
<i>Pseudoguinaradia recta</i>	w	245		<i>Ceratium fusus</i>		36	4	16	
<i>Rhizosolenia acuminata</i>	w	8	4	<i>Ceratium humile</i>			12	32	
<i>Rhizosolenia crassispina</i>	w		20	<i>Ceratium inflatum</i>	wo		4		
<i>Rhizosolenia formosa</i>	w		36	32	<i>Ceratium massiliense</i>	<w	32	20	
<i>Rhizosolenia robusta</i>	w		4	<i>Ceratium trichoceros</i>	<w	12	16	44	
<i>Rhizosolenia striata</i>	w		61	<i>Ceratium tripos</i>			16	48	
<i>Proboscia alata</i>			41	122	<i>Protopteridinium divergen</i>	i	41	20	
<i>Pseudosolenia calcar-avis</i>	w	41	41	Peridinales		12	82	41	
<i>Guinaradia flaccida</i>		122	530	<hr/>					
<i>Guinaradia striata</i>		979	1,142	Total (cell · l ⁻¹)					
<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>			163	84	859	446	<hr/>		
<i>Climacodium frauenfeldia</i>	w	82		注) w: warm water region, <w is tended to have that pers					
<i>Bacteriastrum</i> spp.		3,917	3,427	3,754	c: cold water region.				
<i>Hemiaulus membranaceu.</i>	w	163			i: inshore or coastal region.				
<i>Chaetoceros denticulatus</i>	w	163	326	163	o: open water region.				
<i>Chaetoceros eibonii</i>	w	32			blank: cosmopolitan or world wide, and unknown.				
<i>Chaetoceros peruvianus</i>	<w		204	41					
<i>Chaetoceros rostratus</i>	w	163							
<i>Chaetoceros affinis</i>		2,122	979	326					
<i>Chaetoceros anastomosar</i>	<w		490						
<i>Chaetoceros compressus</i>		9,792	20,400	20,400					
<i>Chaetoceros constrictus</i>	<c	2,285	5,059	4,896					
<i>Chaetoceros curvisetus</i>	<w	3,672	5,875	1,306					
<i>Chaetoceros diadema</i>		1,877	1,632	1,142					
<i>Chaetoceros didymus</i>	<w	1,387	979	1,795					
<i>Chaetoceros furcellatus</i>	c	1,632	5,059	1,632					
<i>Chaetoceros lacinosus</i>	c	653	653						
<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	w	1,550	4,243	286					
<i>Chaetoceros messanensis</i>	w			286					
<i>Chaetoceros pseudocurvis</i>	w		2,938						
<i>Chaetoceros radicans</i>			1,142						
<i>Chaetoceros socialis</i>		247,738	19,421	1,469					
<i>Chaetoceros tortissimus</i>			204						
<i>Thalassionema nitzschioides</i>		1,958	3,101	163					
<i>Thalassiothrix</i> spp.		8							
<i>Meuniera membranacea</i>			979	82					
<i>Navicula</i> spp.			326	163					
<i>Pleurosigma/Gyrosigma</i> sp.		163	816	163					
<i>Cylindrotheca closterium</i>		163	163						
<hr/>				<hr/>					
Total (cell · l ⁻¹)		283,286	82,263	39,379					

5000 m だけに認められた種は 45 種中 3 種で、13 種は河口から 5000 m まで共通して認められた。渦鞭毛藻は 1000 m の海水試料で 15 種認められ、5000 m の海水試料でも 9 種類が認められた。一方、河口域では 4 種類のみが認められ、その密度は 1000 m 海水試料の渦鞭毛藻類細胞密度の 10%、5000 m 海水試料の渦鞭毛藻類細胞密度の 19%であった。

考察

本研究では、河口から沖合 5000 m まで 500 m 以上の間隔を明けて測定した結果と、河口から沖合 1000 m まで 100 ~ 200 m の間隔で測定した結果を比較しながら海況を検討した。河口から沖合 5000 m まで 500 m 以上の間隔をあけて測定した結果から求めた広域の解析では、明瞭な成層を伴う均一な水塊として海域を把握することが出来た (図 2A ~ C 右)。この成層は主として高い気温に伴う海洋表層の高い水温と対応していた (図 2A 右)。さらに、河口から 2000 m 沖合までの表層には塩濃度の低い水塊が認められた (図 2B 右)。これは相模川から流入した淡水

に起因すると考えられる。この水塊の温度はそれ以遠の表層水と変わらずに高く (図 2A 右)、より密度の低い水塊を形成し、成層を強固なものにしていただけられる (図 2C 右)。この水塊に対応して、硝酸塩濃度は沖合 5000 m の濃度の 20 倍以上であった (図 3)。また、この水塊の存在しない水深 10 m では、沖合 500 ~ 5000 m の範囲で低い濃度が維持されていた。流入した淡水は河口域の表層を高い栄養塩濃度にしていただけを示していた。同時に測定したリン酸塩の濃度も河口付近で高く沖合でも低下したが、リン酸濃度は沖合でも河口の半分ほどの濃度が維持されていた (図 3)。硝酸態窒素とリン酸濃度の変化の違いは、硝酸態窒素が最後まで消費されているのに対し、リン酸塩の消費は途中で停止していることを示しており、観測をおこなった海域では、藻類の増殖が硝酸塩により律速されていることを示していた。淡水流入により形成された水塊の先端、海洋表層との接点付近の沖合 1500 m を中心に高いクロロフィル濃度が認められ、高い植物プランクトンバイオマスが示されていること (図 2D) は、測定により示された上述の海況と良く対応していた。また、相模川からの淡水の流入に伴う栄養塩の供給が、成層により海洋深層からの栄養塩の供給の乏しいこの時期、この海域での藻類の増殖に重要であることを示唆していた。表層で高い植物プランクトンバイオマスが示された地点の海底には、高い濃度でクロロフィルの分布が認められた。本海域の沖合 1000 m 前後の海底にはしばしばこのような植物プランクトンバイオマスの集積が観察される¹⁰⁾。この観測点の海底付近での光強度は表層の 1% 未満であり、酸素濃度は高く無かった (データ未記載)。このため、海底で植物プランクトンが光合成を行い、増殖していることは考え難かった。植物プランクトンの集積は、表層で増殖した植物プランクトンに由来することが推定された。

河口付近、河口から 1000 m と 5000 m の 3 測点の表層水試料中のプランクトンの細胞数を計数した。その結果、計数された細胞の 99% が珪藻類であり、これ以外に渦鞭毛藻が僅かに認められたこと、45 種類認められた珪藻類のうち 20 種類が暖海性種であることが示された。この結果は、採集した海域の水温が 26°C に達する高温であったことと対応していた。珪藻種の中でも *Chatoceros* 属が特に多く、河口域では *C. socialis* が全細胞数の 87.5% を占める特徴的な群集組成を示した。最も水温の高くなるこの時期の植物プランクトン群集は、進行する地球規模の気温上昇により、今後大きく変化することが予想される。こうした変化を明らかにする上で、植物プランクト

ン群集組成の記録は極めて重要であると考えている。本研究では、河口付近の浅海で測定間隔を狭めて、より詳細な海況測定も行なった (図 2 左)。その結果、河口付近での複雑な水塊構造が存在する可能性を示すことが出来た。空間解像度を高めたこの測定では、潮の干満などの水塊の時間的変動などの影響が大きく反映されることが予想される。しかし、観測時期 (小潮) と観測時間に十分に配慮して測定を行なったところ、河口付近の低塩濃度の水塊と外洋の水界の間に明らかに異質な水塊が存在することも示すことが出来た。この海域では河口付近の汽水水塊と外洋の水塊、さらに沿岸を流れる水塊の 3 種類の水塊から構成される状況がしばしば観察されてきた^{2,4,10)}。この時期、高水温による明瞭な温度成層により水界の判別が難しくなったが、より詳細な測定により、これらの水塊を判別可能であることが、本研究により明らかに出来た。測定結果が潮汐の影響を強く受けえることは、本海域を対象とした研究でも明らかになっている⁴⁾。空間解像度を高めたこの測定では、潮の干満などの水塊の時間的変動などの影響が大きく反映されることが予想された。実際、空間解像度を高めた測定 (図 2 左) と通常の解像度での測定 (図 2 右) の結果が、完全には一致しなかった。空間解像度を上げた海峡の測定には、様々な配慮が必要であることをこの結果は強く示唆していた。

結論

本研究では相模川河口付近の海況の測定を夏季の高温水温期に実施した。その結果、夏季河口域には、河口から沖合 5000 m まで明瞭な温度成層が認められ、さらに、相模川から流入する淡水により、河口から沖合 2000 m の範囲の表層に塩分成層が認められることを明らかにした。塩分成層を形成する低塩濃度の水塊は比較的高い濃度の硝酸態窒素を含んでおり、これと対応して沖合 1500 m の表層を中心に、比較的高いバイオマスで植物プランクトンが存在することを示した。この水塊中には消費されること無く残ったリン酸塩が比較的高い濃度で保たれていることから、海域の植物プランクトンの増殖は、窒素栄養塩により律速されている可能性が示された。空間解像度を高めた浅海での海況の測定は、通常の見落とされたこの海域の水塊構造を確認できることが示された。

謝辞

相模川河口域の継続的調査研究の一環として、夏季高温期の海況と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 (RIIS202109) 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ます。

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) 川延京子, 池谷 透 (2016) 海洋植物プランクトン計数試料の品質管理と保存管理策にもとづく固定・保存法の検討. *日本プランクトン学会報* **63**: 55-65.
- 7) Edler L and Elbrächter M. (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.
- 8) Carmelo R and Tomas (ed.) (1997) Identifying marine phytoplankton. *Academic press. Inc., San Diego, CA*.
- 9) Omura Takuo (ed.) (2012) Marine Phytoplankton of the Western Pacific. *Kouseisha Kouseikaku Co., Ltd., Tokyo*.
- 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.