

ノート

鹿児島湾における植物プランクトンのCODへの影響に関する研究

Effect on Chemical Oxygen Demand by Phytoplankton in Kagoshima Bay

伊 口 航 平 前 畑 健 太 有 西 聡 美
柴 田 英 介 吉 留 加 奈 子

1 はじめに

鹿児島湾は、南北約80km、東西約20kmの細長く入り組んだ内湾であり、桜島以北の湾奥部、桜島南側の湾中部、湾入口の湾口部に大別される。湾奥部と湾中部は水深約40m、幅約1.9kmの西桜島水道で接続しており、すり鉢を2つつなげたような特殊な形状をしている。この特殊な形状のため湾奥部は特に閉鎖性が高くなっている。

県は、鹿児島湾の環境保全を図ることを目的として、1979年5月に鹿児島湾ブルー計画（鹿児島湾水質環境管理計画）を策定し、生活排水や工場・事業場及び農畜産業・水産養殖業等の汚濁発生源対策といった各種環境保全対策を講じてきている。一方で、特に湾奥部において夏季には環境基準値を上回る化学的酸素要求量（以下「COD」という。有機物による水質汚濁を表す指標）が測定されることが多く基準を達成できない状況が続いている。この要因の一つに、植物プランクトンの増殖による影響が考えられている^{1),2)}。

プランクトンについては、これまでに沈殿量の測定結果を用いて、プランクトン量の季節変動及びCODとの関係について報告がなされている³⁾。今回は、植物プランクトンの細胞数に加え、植物プランクトンの増殖が海水中の有機物に与える影響をより詳細に検討するために、植物プランクトンの炭素量についても着目し、調査を行ったので、その結果を報告する。

2 調査方法

2. 1 調査期間等

調査期間：2019年3月～2022年3月

調査月：1, 3, 5, 7*, 9, 11月

※2019年は8月に延期

2. 2 調査地点

調査地点を図1に示す。

湾奥部の基準点3の表層において調査を行った。



図1 調査地点

2. 3 調査項目

2. 3. 1 有機物関連項目

COD, 溶存態COD（以下「D-COD」という。）をJIS

K0102 COD酸性法に従って測定した。D-CODは、孔径0.7μmのガラス繊維フィルター(Whatman GF/F)でろ過したものを試料とし、CODとD-CODの差を懸濁態COD(以下「P-COD」という。)とした。

2. 3. 2 植物プランクトン

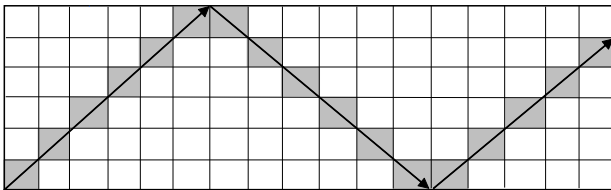
(1) 植物プランクトンの総細胞数

植物プランクトンの同定を行い、細胞数を測定した。試料は、1Lポリ容器に8割程度の量を採取し、温度変化を防ぐため、試料と同じ海水で満たしたクーラーボックスで保存し、その日のうちに計数を行った。

植物プランクトンの総細胞数は、以下の方法で算出した。

1) プランクトン計数板(松浪硝子工業株式会社製 エッジング加工1mmピッチ方眼1000マス(20×50))に試料を1mLとり、生物顕微鏡(Nikon製 H550S)を用いて図2のとおり計数板を斜めに50マス検鏡し、その範囲に確認された植物プランクトンについて書籍⁹⁾を参考に種同定を行い、種ごとの細胞数を計測した。

種同定ができなかったものは、可能な限り分類を行い、その細胞数を計測した。



計数板

図2 計数板を用いた測定方法のイメージ

2) 得られた結果を20倍し、種ごとの1mLあたりの細胞数を求め、その和を植物プランクトンの総細胞数とした。

(2) 植物プランクトンの総炭素量

植物プランクトンの総細胞数をもとに宮井ら⁵⁾に基づき、以下の方法で植物プランクトンの総炭素量を算出した。

1) 植物プランクトンの形状をA~Fに分類

- A 楕円筒型
- B 楕円錐型
- C 紡錘型
- D 楕円型
- E 矩型
- F 不明

2) 書籍⁴⁾及び沿岸生物データベース⁶⁾を参考に種ごとの

の長径及び短径を設定

3) 種ごとの形状、長径及び短径をもとに一細胞あたりの細胞容積($V \mu\text{m}^3$)を算出

4) 細胞容積から以下の式を用いて、種ごとの一細胞あたりの炭素量($C \text{ pg/cell}$)を算出

珪藻類; $\text{Log}_{10}C = -0.422 + 0.758\text{Log}_{10}V$

その他; $\text{Log}_{10}C = -0.460 + 0.866\text{Log}_{10}V$

5) 一細胞あたりの炭素量に種ごとの細胞数を乗じたものの和を植物プランクトンの総炭素量とした。

2. 3. 3 水温

植物プランクトン関連項目として、水温を測定した。測定にはメモリー水深水温計(ALECELECTRONICS社製 ABT1)を用いた。

3 結果及び考察

3. 1 植物プランクトンの総細胞数と総炭素量

植物プランクトンの種別の細胞数及び炭素量を表1に示す。

植物プランクトンの総細胞数の増加に伴い、総炭素量が増加すると予想されることから、縦軸に植物プランクトンの総炭素量、横軸に総細胞数をプロットした散布図を図3に示す。総細胞数の増加に伴い、総炭素量も増加する傾向が見られたが、楕円で囲まれた2点は、他の点と比較し、総細胞数に対する総炭素量が高いことが確認できる。この2点は、2019年9月及び2020年11月の結果を示しており、*Rhizosolenia setigela*や*Nitzschia longissima*といった比較的大型の珪藻類が確認されたことから、総炭素量が総細胞数に対して高くなったと考えられた。

このように、概ね総細胞数が増えれば総炭素量も増えるが、同じ細胞数でも植物プランクトンの種組成によって総炭素量にばらつきが見られた。このことから植物プランクトンとCODの関係は、細胞数を炭素量に換算して比較する必要があると考えられた。

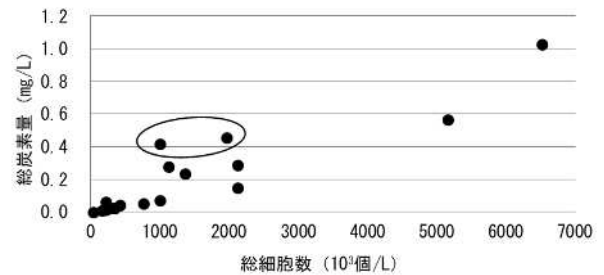


図3 植物プランクトンの総炭素量と総細胞数の散布図

表1 植物プランクトンの種別の細胞数と炭素量

採水月	種名	細胞数 (10 ³ 個/L)	形状	長径 (μm)	短径 (μm)	細胞容積 (μm ³)	炭素量 (mg/L)	総炭素量 (mg/L)
2019/3	渦鞭毛藻類 不明	700	D	15	10	471	0.050	0.054
	カンムリムシ類	20	D	15	10	471	0.001	
	オビムシ類	40	D	15	10	471	0.002	
2019/5	渦鞭毛藻類 不明	300	D	15	10	471	0.021	0.021
2019/8	渦鞭毛藻類 不明	1260	D	15	10	471	0.090	0.288
	<i>Leptocylindrus danicus</i>	560	A	72	12	4885	0.132	
	<i>Rhizosolenis stolterfothii</i>	80	A	30	15	3180	0.013	
	<i>Chaetoceros affinis</i>	220	A	30	18.5	4838	0.051	
2019/9	渦鞭毛藻類 不明	1100	D	15	10	471	0.078	0.454
	<i>Leptocylindrus danicus</i>	660	A	72	12	4885	0.156	
	<i>Rhizosolenia setigela</i>	40	C	400	45.5	130077	0.113	
	<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>	80	A	60	40	45238	0.102	
	<i>Chaetoceros socialis</i>	80	A	15	8.5	510	0.003	
2019/11	<i>Chaetoceros socialis</i>	2180	A	15	8.5	510	0.093	0.564
	オビムシ類	20	D	15	10	471	0.001	
	渦鞭毛藻類 不明	1200	D	15	10	471	0.085	
	<i>Skeletonema sp.</i>	480	A	31	12	2103	0.059	
	<i>Leptocylindrus danicus</i>	440	A	72	12	4885	0.104	
	<i>Guinardia flaccida</i>	60	A	45	30	19085	0.039	
	<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>	40	A	60	40	45238	0.051	
	<i>Chaetoceros affinis</i>	540	A	30	18.5	4838	0.126	
	<i>Pleurosigma sp.</i>	20	D	-	-	-	-	
	<i>Pseudo-nitzschia sp.</i>	180	C	75	3	106	0.002	
2020/1	渦鞭毛藻類 不明	340	D	15	10	471	0.024	0.043
	<i>Leptocylindrus danicus</i>	80	A	72	12	4885	0.018	
2020/3	<i>Chaetoceros socialis</i>	20	A	15	8.5	510	0.000	0.000
	<i>Ditylum brightwellii</i>	20	A	-	-	-	-	
2020/5	渦鞭毛藻類 不明	1280	D	15	10	471	0.091	0.234
	<i>Prorocentrum sigmoides</i>	20	B	70	30	9896	0.020	
	<i>Gyrodinium spirale</i>	60	C	90	40	22619	0.122	
2020/7	渦鞭毛藻類 不明	1660	D	15	10	471	0.118	0.147
	<i>Ceratium trichoceros</i>	40	F	-	-	-	-	
	<i>Bacteriastrum sp.</i>	300	A	-	-	-	-	
	<i>Chaetoceros affinis</i>	120	A	30	18.5	4838	0.028	
2020/9	渦鞭毛藻類 不明	340	D	15	10	471	0.024	0.024
2020/11	渦鞭毛藻類 不明	480	D	15	10	471	0.034	0.416
	<i>Thalassiosira routula</i>	40	F	-	-	-	-	
	<i>Leptocylindrus danicus</i>	120	A	72	12	4885	0.028	
	<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>	260	A	60	40	45238	0.332	
	<i>Nitzschia longissima</i>	100	C	275	10	4319	0.021	
2021/1	渦鞭毛藻類 不明	180	D	15	10	471	0.012	0.012

採水月	種名	細胞数 (10 ³ 個/L)	形状	長径 (μm)	短径 (μm)	細胞容積 (μm ³)	炭素量 (mg/L)	総炭素量 (mg/L)
2021/3	渦鞭毛藻類 不明	140	D	15	10	471	0.010	0.059
	<i>Prorocentrum triestinaum</i>	60	B	30	15	1060	0.008	
	<i>Gyrodinium spirale</i>	20	C	90	40	22619	0.040	
2021/5	渦鞭毛藻類 不明	1000	D	15	10	471	0.071	0.071
2021/7	<i>Chaetoceros affinis</i>	1080	A	30	18.5	4838	0.253	0.276
	渦鞭毛藻類 不明	20	D	15	10	471	0.001	
	<i>Prorocentrum micans</i>	20	B	55	35	10583	0.021	
2021/9	<i>Chaetoceros affinis</i>	3920	A	30	18.5	4838	0.921	1.028
	渦鞭毛藻類 不明	40	D	15	10	471	0.002	
	<i>Leptocylindrus danicus</i>	340	A	72	12	4885	0.080	
	<i>Bacteriastrum sp.</i>	680	A	-	-	-	-	
	<i>Nitzschia longissima</i>	20	C	275	10	4319	0.004	
	<i>Pseudo-nitzschia sp.</i>	1520	C	75	3	106	0.019	
2021/11	渦鞭毛藻類 不明	120	D	15	10	471	0.008	0.010
	オビムシ類	20	D	15	10	471	0.001	
	<i>Pseudo-nitzschia sp.</i>	20	C	75	3	106	0.000	
2022/1	オビムシ類	340	D	15	10	471	0.024	0.024
2022/3	渦鞭毛藻類 不明	220	D	15	10	471	0.015	0.015

(注) 1 渦鞭毛藻類, カンムリムシ類及びオビムシ類の長径及び短径は検鏡時に推定した。

2 *Pleurosigma sp.*, *Ditylum brightwellii*, *Ceratium trichoceros*, *Bacteriastrum sp.* 及び *Thalassiosira rotula* の体長については, 書籍及び沿岸生物データベースにデータがなく, 不明として取り扱った。

3. 2 植物プランクトンの総細胞数と水温の推移

調査期間中における植物プランクトンの総細胞数と水温の推移を図4に示す。水温はこれまでの報告^{7),8)}と同様, 気温の変化に伴い春季～夏季に上昇し, 秋季～冬季にかけて低下する季節変動が見られた。植物プランクトンの総細胞数は, 春季～夏季にかけて増加し, 概ね夏季にピークを示し, 冬季にかけて減少する水温と類似した傾向

があった。鹿児島湾におけるプランクトン沈殿量についても春季～夏季に増殖することが報告されており³⁾, 水温が植物プランクトンの増殖に影響を与えていることが示唆された。

2019年11月は, 水温変化と連動していないが *Chaetoceros socialis* 等の珪藻類や渦鞭毛藻類が多く確認され, 総細胞数が他の年の同月と比較し, 非常に多かつ

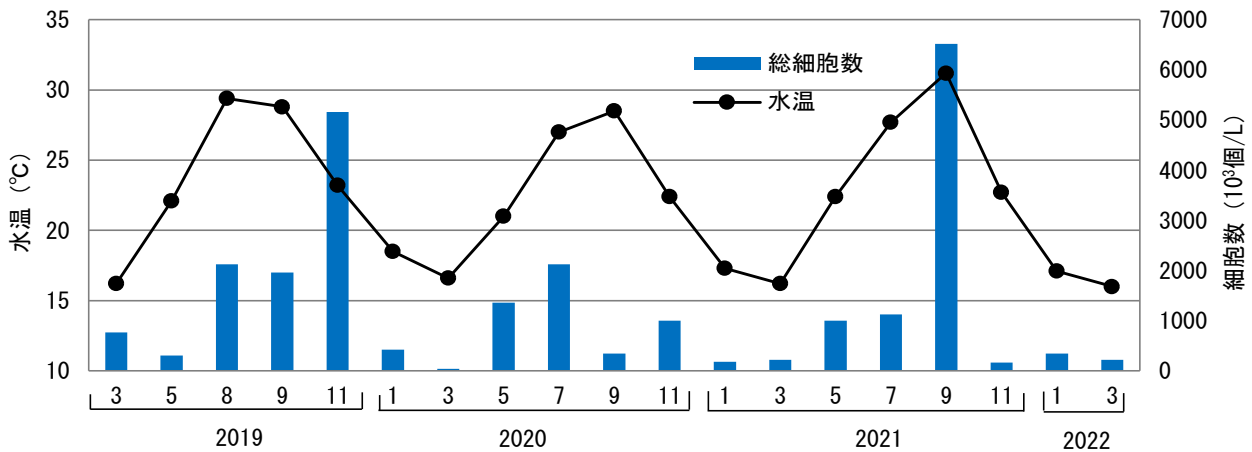


図4 植物プランクトンの総細胞数と水温の推移

た。2019年は10月16日に鹿児島湾において赤潮注意報が発出されていた⁹⁾。また、11月の鹿児島県水産技術開発センターの赤潮調査結果¹⁰⁾では、湾奥部において珪藻類が多く確認されたと報告があることから、2019年秋季の鹿児島湾奥部は、植物プランクトンが増殖しやすい環境だったことが考えられる。

3. 3 植物プランクトンと有機物関連項目

3. 3. 1 植物プランクトンの総炭素量とCODの推移

3.1で述べたように、植物プランクトンの増殖が海水中の有機物に与える影響をみるため、植物プランクトンの総細胞数ではなく総炭素量とCODについて比較した。調査期間中における植物プランクトンの総炭素量とCOD及びその内訳であるD-COD、P-CODの推移を図5に示す。

植物プランクトンの総炭素量は、春季～夏季にかけて増加し、冬季に減少する傾向を示した。これは、3.1及び3.2の結果から植物プランクトンの細胞数の増加に伴う変動である。2020年9月は、他の年では、夏季に見られた珪藻類が確認されず、サイズの小さい渦鞭毛藻類しか確認されなかったため、総炭素量が他の年と比較し小さくなったと考えられた。

CODは、過去の報告⁷⁾と同様に夏季をピークとし、冬季に低くなる一山型の季節変動を示した。CODの内訳については、全ての月においてD-CODの占める割合が大きく、55～100%で推移していた。また、D-COD及びP-CODは夏季に高く、冬季に低い季節変動を示した。

植物プランクトンの総炭素量とCODには2020年を除き類似した季節変動が確認された。

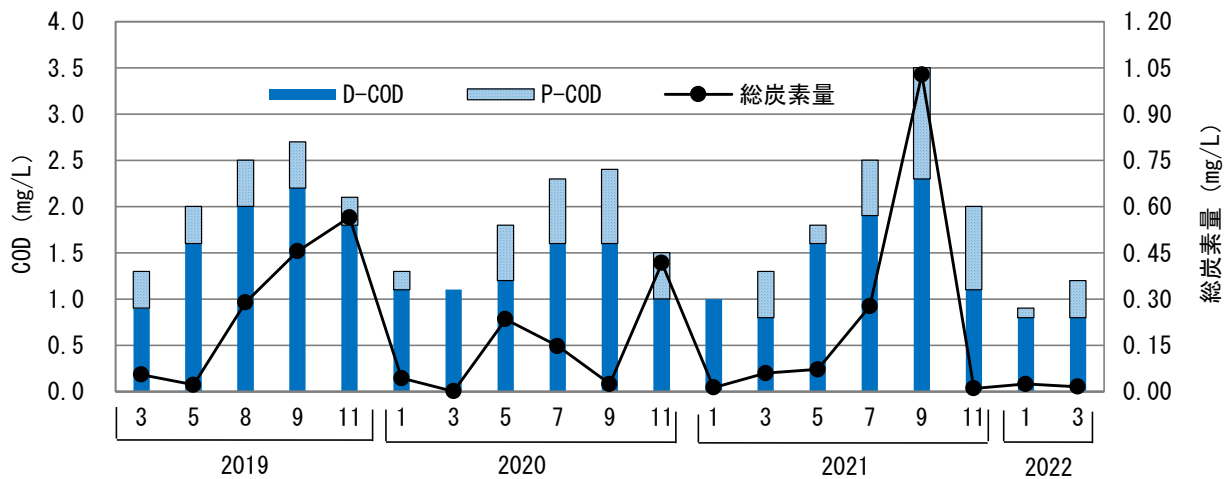


図5 植物プランクトンの総炭素量とCODの推移

3. 3. 2 植物プランクトンの総炭素量とCODの関係

植物プランクトンの総炭素量とCODの散布図を図6に示す。植物プランクトンの総炭素量とCODには正の相関が見られたことから、植物プランクトンの総炭素量の増加がCODの上昇要因となっていることが示唆された。

さらにD-CODとP-CODそれぞれの散布図を図7に示す。植物プランクトンの総炭素量が増加するとD-COD、P-CODとも増加する傾向が見られた。

今回、種同定を行った植物プランクトンの大きさは全て0.7μm以上であり、D-CODを測定する際に使用するフィルター孔径より大きいため、植物プランクトンそのものがP-CODに影響したと推測された。一方、D-CODについては、植物プランクトンは代謝により溶存態の有機物を放出するという報告がある⁹⁾ことから、植物プラ

ンクトンの炭素量が増加するとD-CODも増加する傾向が見られたと考えられた。

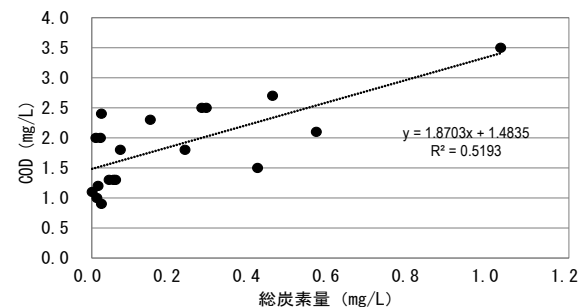


図6 植物プランクトンの総炭素量とCODの散布図

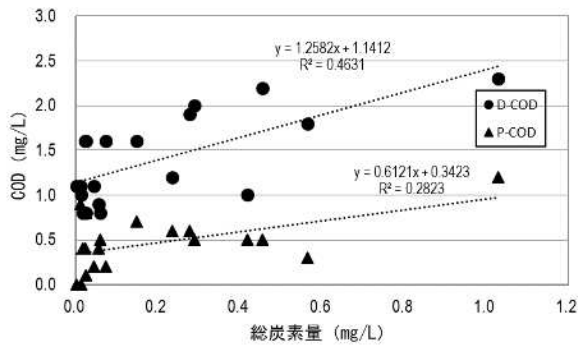


図7 植物プランクトンの総炭素量とD-COD及びP-CODの散布図

4 まとめ

- 1) 鹿児島湾奥部において植物プランクトンの種同定及び植物プランクトンの総細胞数の測定を行った。また、総細胞数をもとに植物プランクトンの総炭素量を算出し、CODとの関係について解析を行った。
- 2) 植物プランクトンの総細胞数は、春季から夏季にかけて増加し冬季にかけて減少する傾向を示し、水温と類似した季節変動が見られた。このことから水温が植物プランクトンの増殖に関係していることが示唆された。
- 3) 植物プランクトンの総炭素量は、春季から夏季にかけて増加し、冬季に減少する植物プランクトンの総細胞数と類似した傾向を示した。また、植物プランクトンの総炭素量とCODの季節変動は2020年を除き類似していた。
- 4) 植物プランクトンの総炭素量とCODには正の相関が見られた。植物プランクトンの総炭素量が増加するとD-COD及びP-CODのいずれも増加する傾向があった。

参考文献

- 1) 荒川浩亮, 末吉恵子, 他; 鹿児島湾の水質変動に関する調査研究 (第I報), 本誌, 7, 49~55 (2006)
- 2) 前畑健太, 右田裕二, 他; 鹿児島湾奥部における水質調査結果について (第II報), 本誌, 21, 100~106 (2020)
- 3) 田島義徳, 瀬戸加奈子, 他; 鹿児島湾の水質変動に関する調査研究, 本誌, 11, 67~77 (2010)
- 4) 木元克典, 高山晴義, 他; 日本の海産プランクトン図鑑, 2, 共立出版株式会社, (2016)

- 5) 宮井博, 松崎加奈恵, 他; 植物プランクトンの形態に基づく種類別生物量の簡易推定方法, 日本プランクトン学会報, 35, 121~126 (1988)
- 6) マリンバイオ共同推進機構; JAMBIO沿岸生物データベース, <https://www.shimoda.tsukuba.ac.jp/> (2022/7/29アクセス)
- 7) 大庭大輔, 中尾兼治, 他; 鹿児島湾の水質及びCOD環境基準未達成要因について, 本誌, 3, 67~95 (2002)
- 8) 湯田達也, 中尾兼治, 他; 鹿児島湾における水質の季節・経年変動, 本誌, 16, 96~107 (2015)
- 9) 鹿児島県水産技術開発センター; 赤潮情報, <https://suigi.jp/akashio/newHP/2019/2019infoKG.html> (2022/8/15アクセス)
- 10) 鹿児島県水産技術開発センター; 赤潮情報, <https://suigi.jp/akashio/newHP/2019/%E5%9C%B0%E5%9B%B3/map20191106KG.html> (2022/8/15アクセス)
- 11) 豊田考義, 赤島敏光, 豊田恵聖; 海産植物プランクトンによる溶存有機物の放出, 東海大学紀要海洋学部, 52, 69~86 (2001)