

資料

鹿児島湾湾奥部における水質調査結果について

Analysis of Water Quality Survey Data in the inside of Kagoshima Bay

右田 裕二 鞆 憲弘 宮元 誠
牛垣 里奈 大庭 大輔

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、桜島と鹿児島市街地を結ぶ水深40m、幅1.9kmの西桜島水道を隔てて、北方の湾奥部（最大水深206m）と南方の湾中央・湾口部に大別される。特に、湾奥部においては、海水の交換が起こりにくく、赤潮が発生しやすいことや、夏から秋にかけて比較的浅い層に貧酸素水塊が発生しやすいことが知られている^{1),2)}。

水生生物の生息等に影響を及ぼす貧酸素水塊は、全国各地の沿岸海域において顕在化しており、貧酸素水塊の発生防止は重要な課題となっている。

貧酸素水塊は、有機物の分解時における海水中の溶存酸素（以下「DO」という。）消費により発生すると考えられることから、有機物に関する解析が重要であると考えられる。そこで、鹿児島湾湾奥部における有機物の性状や分解性を評価するため、夏季と冬季における化学的酸素要求量（以下「COD」という。）、溶存態COD、溶存態・懸濁態の有機炭素、クロロフィルa等の測定に加え、海域での生物化学的酸素要求量（以下「海域版BOD」という。）の測定を行い、これらのCOD関連の有機物指標を解析した。

また、海域の有機物は、陸起源の他、プランクトンの増殖によっても供給されるため、赤潮の発生が貧酸素水塊の発生に関係すると考えられる。このことから、赤潮の原因の一つである栄養塩等について評価するため、生活環境の保全に関する環境基準の項目である全窒素に加えて、硝酸態窒素、亜硝酸態窒素及びアンモニア態窒素の解析を行った。

2 調査概要

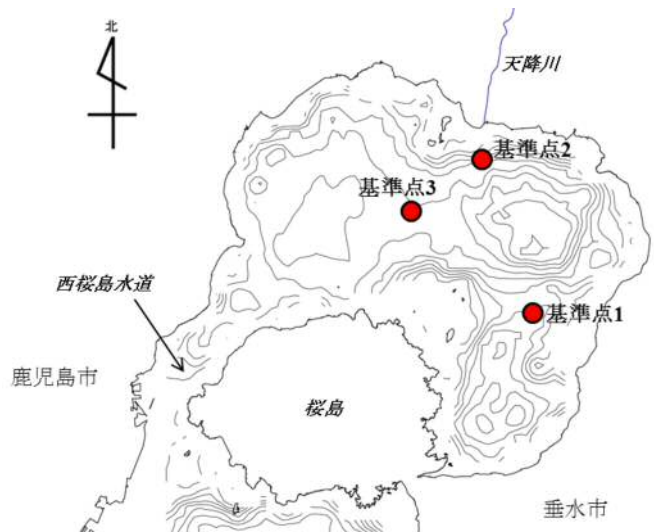
2.1 有機物指標の評価

2.1.1 調査時期

2014年度から2016年度において、夏季と冬季の年2回実施した。2014年度は11月の調査を夏季とした（2014年11月、2015年1月、2015年9月、2016年1月、2016年9月、2017年1月に実施）。

2.1.2 調査地点

調査地点を図1に示す。調査地点は、赤潮の発生が見られる基準点1（水深約107m）、基準点2（水深約109m）とした。基準点1は、垂水市牛根沖に位置し、近くに大きな流入河川が無い地点である。一方、基準点2は、湾奥部で最も流量の多い天降川河口沖に位置し、淡水の影響を受ける地点である。基準点1、2は共にA類型に分類され、COD環境基準（2.0mg/L以下）が設定されている。



(注) 国土地理院「国土数値情報」、日本海洋データセンター「500mメッシュ水深データ」をもとに作成

図1 調査地点

2. 1. 3 調査項目

COD, 溶存態COD (D-COD), 溶存態有機炭素 (DOC), 懸濁態有機炭素 (POC), クロロフィルa (Chl a), 海域版BOD, 塩化物イオン

2. 1. 4 調査方法

調査地点における採水水深は、表層及び下層 (0.5m層及び90m層) の2層とし、採水方法は、表層水はバケツを用いて採水し、90m層はバンドーン採水器を用いて採水した。D-COD, DOC, POC, Chl a試料のろ過操作は、採水の翌日に行い、ろ液はろ過試料、使用したフィルターをフィルター試料とした。COD試料、ろ過試料、フィルター試料は、全て冷凍保管して国立環境研究所へ送付し、分析が行われた³⁾。COD, D-COD, DOC, POC, Chl aは国立環境研究所の測定データを使用している。

海域版BODは、採水当日に水温を20℃に調整して1時間の曝気を行った。曝気後、5個の300mLフラン瓶に分注し、1検体はDOをヨウ素滴定法により測定を行い、その他の4検体は20℃の恒温槽に静置し、それぞれ3, 5, 7, 14日後に酸素を固定した。なお、酸素を固定した検体は水中に保管しておき、14日後以降にまとめてDOを測定した。塩化物イオンについては、採水試料を冷蔵保管し、2日目以降に硝酸銀滴定法により測定した。

2. 2 栄養塩類の評価

2. 2. 1 調査時期

当センターにおいては、鹿児島湾の公共用水域常時監視を年6回 (奇数月) に実施している。今回は、2016年度の夏季から冬季にかけての9月, 11月, 1月のデータを解析した。

2. 2. 2 調査地点

調査地点を図1に示す。湾奥部の中央に位置する基準点3において、採水水深は、0.5m, 5m, 10m, 20m, 45m, 65m, 100m, 130m層である。基準点3は、公共用水域常時監視の採水地点において採水層が最も多い地点であり、栄養塩類については基準点3の解析を行った。

2. 2. 3 調査項目

塩分, 水温, DO, 全窒素 (T-N), 溶存態窒素 (D-TN), 硝酸態窒素 (NO₃-N), 亜硝酸態窒素 (NO₂-N), アンモニア態窒素 (NH₄-N), Chl a

2. 2. 4 調査方法

窒素試料は、表層水はバケツ, その他の層はバンドーン採水器を用いて採水した。採水試料は冷蔵保管し、翌日から分析を行った。窒素の分析は、オートアナライザー (ビーエルテック, QuAAtro) を使用した。

NO₃-N, NO₂-N, NH₄-Nは、採取海水をガラス繊維フィルターGC-50でろ過し、ろ過した海水 (以下「ろ過海水」という。) を測定に用いた。D-TNはろ過海水, T-Nは採取海水に、ペルオキシ二硫酸カリウム液を添加後、オートクレーヴ処理したものを測定に用いた。Chl aは、ガラス繊維フィルターGF/Cで採取海水をろ過し、アセトン抽出を行い、分光光度計 (HITACHI, U-3900) で測定した。採取海水のDOは現場で固定し、測定はヨウ素滴定法により行った。

3 結果及び考察

3.1 有機物指標の評価

3.1.1 COD関連項目

COD関連項目についての測定結果を表1に示す。なお、CODからD-CODを差し引き、懸濁態COD（以下「P-COD」という。）を示し、DOCにPOCを足し合わせ、全有機炭素（以下「TOC」という。）を示した。夏季の表層のCODは、夏季の90m層、冬季の表層及び90m層より高い傾向を示し、Chl aについても高くなっていることから、夏季における植物プランクトンの増殖（内部生産）が有機

物の増加に影響していると考えられる。なお、2016年冬季表層におけるChl aは高くなっているがCODは低い値となっており、今後、より詳細な検討が必要である。

有機物の状態は、CODに対するD-COD、P-CODの割合、TOCに対するDOC、POCの割合から、ともに溶存態の有機物が多いことが分かる。また、懸濁態の有機物は、90m層では夏季においても低い値となっていた。

今回の調査では、地点間での有機物指標の傾向には違いが見られなかった。

表1 夏季及び冬季の基準点1, 2におけるCOD関連項目の測定結果

地点名	採水層	季節	採水年月	COD (mg/L)	D-COD (mg/L)	P-COD (mg/L)	TOC (mg/L)	DOC (mg/L)	POC (mg/L)	Chl a (μ g/L)
基準点1	0.5m (表層)	夏季	2014/11/5	2.21	1.40	0.80	1.17	1.05	0.12	1.78
			2015/9/8	3.51	2.81	0.70	2.35	1.68	0.67	1.48
			2016/9/26	2.61	2.31	0.30	—	—	—	3.18
		冬季	2015/1/13	1.50	1.20	0.30	—	0.80	—	0.50
			2016/1/5	1.00	0.90	0.10	1.44	1.07	0.37	4.85
			2017/1/16	2.81	1.21	1.61	—	—	—	0.74
	90m	夏季	2014/11/5	1.20	1.20	0.00	0.92	0.84	0.08	0.20
			2015/9/8	1.51	1.51	0.00	1.10	0.84	0.26	0.19
			2016/9/26	1.40	1.30	0.10	—	—	—	0.20
		冬季	2015/1/13	1.20	1.10	0.10	—	0.88	—	0.52
			2016/1/5	1.10	0.90	0.20	1.29	1.05	0.24	0.23
			2017/1/16	2.21	2.21	0.00	—	—	—	0.30
基準点2	0.5m (表層)	夏季	2014/11/5	2.21	1.71	0.50	1.11	0.92	0.19	1.43
			2015/9/8	3.51	2.11	1.41	1.93	1.01	0.91	0.65
			2016/9/26	3.01	2.41	0.60	—	—	—	2.41
		冬季	2015/1/13	1.30	1.30	0.00	—	0.66	—	0.58
			2016/1/5	1.20	0.90	0.30	1.06	0.82	0.24	3.00
			2017/1/16	1.31	1.21	0.10	—	—	—	0.91
	90m	夏季	2014/11/5	1.30	1.20	0.10	0.94	0.86	0.08	0.19
			2015/9/8	1.10	0.90	0.20	1.24	0.97	0.26	0.19
			2016/9/26	1.90	1.70	0.20	—	—	—	0.21
		冬季	2015/1/13	1.40	1.10	0.30	—	0.84	—	0.25
			2016/1/5	1.00	0.50	0.50	1.00	0.82	0.17	0.24
			2017/1/16	1.31	1.21	0.10	—	—	—	0.20

3. 1. 2 海域版BOD

本来、BODは水質指標として海域では用いられないが、生物学的に分解しやすい有機物（以下「易分解性有機物」という。）の量や、有機物の分解により発生すると考えられる貧酸素水塊の潜在性を簡易的に評価するため、海域版BODの測定を行った。溶存酸素の消費日数は、河川、工場排水と同様の5日間に加え、最小で3日間から最大で14日間を設定した。測定結果は表2に示す。

BODは、CODの結果と同様の傾向となっており、夏季の表層で高く、夏季の90m層、冬季の表層及び冬季の90m層は、5日間の測定ではほとんどが0.5mg/L未満となっており、夏季の表層において易分解性有機物が多く存在していると考えられる。3.1.1で述べたとおり夏季の表層は内部生産の影響による有機物の増加が考えられるため、易分解性有機物は内部生産によって増加すると考えられる。2015年9月の基準点2の表層は、表1のCODの値が高いことから、BODも高くなることが予想された

が、少し低い値となっていた。これは、塩化物イオン濃度が極端に低いことから、河川からの流入水に含まれる有機物等に易分解性有機物が少なく、BODが高くならなかったものと考えられる。このようなことから、CODと比較し、海域版BODは海域の内部生産に起因する有機物をより反映できると考えられる。

海域版BODは、5日間や7日間の測定では0.5mg/L未満であっても、14日間まで経過すると大部分が0.5mg/L以上となり、有機物量の差が明確になる。しかし、日数の経過に伴うBODの上昇は、採水層、季節に関わらず直線的であったため、3日間の時点で簡易的な評価が可能であると考えられた。また、夏季の易分解性有機物は、夏から秋頃の比較的浅い層での貧酸素水塊（DO:4mg/L未満）の形成に寄与すると推察できることから、海域のBODが有益な指標となる可能性があり、今後も検討が必要である。

表2 夏季及び冬季の基準点1, 2における海域版BODの測定結果

地点名	採水層	季節	採水年月	BOD (mg/L)				塩化物イオン (mg/L)
				3日	5日	7日	14日	
基準点1	0.5m (表層)	夏季	2014/11/5	—	0.7	—	0.7	17900
			2015/9/8	0.9	1.4	1.6	2.6	15000
			2016/9/26	0.6	0.9	1.2	1.8	17200
		冬季	2015/1/13	—	—	<0.5	<0.5	18800
			2016/1/5	<0.5	<0.5	<0.5	0.7	18500
			2017/1/16	<0.5	<0.5	<0.5	0.6	18700
	90m	夏季	2014/11/5	—	0.5	—	0.5	—
			2015/9/8	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	—
			2016/9/26	<0.5	<0.5	<0.5	0.6	—
		冬季	2015/1/13	—	—	<0.5	<0.5	—
			2016/1/5	<0.5	0.5	0.6	0.7	—
			2017/1/16	<0.5	<0.5	<0.5	0.6	—
基準点2	0.5m (表層)	夏季	2014/11/5	—	0.9	—	1.2	6720
			2015/9/8	<0.5	0.6	0.6	1.0	2070
			2016/9/26	0.8	1.2	1.5	1.9	16500
		冬季	2015/1/13	—	—	<0.5	<0.5	9280
			2016/1/5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	16800
			2017/1/16	<0.5	<0.5	<0.5	0.6	16900
	90m	夏季	2014/11/5	—	<0.5	—	<0.5	—
			2015/9/8	<0.5	<0.5	<0.5	0.5	—
			2016/9/26	<0.5	<0.5	0.5	0.7	—
		冬季	2015/1/13	—	—	<0.5	<0.5	—
			2016/1/5	<0.5	<0.5	<0.5	0.5	—
			2017/1/16	<0.5	<0.5	0.5	0.7	—

3. 2 栄養塩類の評価

貧酸素水塊の発生する夏から冬にかけての栄養塩状態と酸素消費を見るため、湾奥部中央の基準点3において、2016年の9月及び11月、2017年1月の窒素、DO、Chl aの解析を行った。測定結果は図2に示す。今回は栄養塩類として窒素の解析を行った。窒素については、全窒素に占める無機態窒素（NO₃-N、NO₂-N、NH₄-N）の比率が9月及び11月は1月に比べて低い傾向を示した。無機態窒素は栄養塩として降雨の影響により河川から流入し供給されるが、9月及び11月の表層付近は植物プランクトンの増殖により、無機態窒素が取り込まれていると考えられ、全窒素に占める懸濁態の窒素（T-NからD-TNを差し引いたもの）の比率が多くなっていると考えられる。9月及び11月は、45m層まではChl aが高く、65m層付近からはほぼ見られなくなっている。1月になると、鉛直循環により65m層までがほぼ均一な水質になっていると考えられる。

下層の100m層、130m層は、9月から1月まで全窒素に占める無機態の比率が高く、栄養塩が豊富に存在している。その一方で、DOが減少しているため、植物プランクトン等由来の有機物の分解によって下層の栄養塩が増加していると考えられる。

4 まとめ

基準点1、2の水質調査において、有機物指標として、COD関連項目及び海域版BODの解析を行った。いずれも夏季の表層で高く、水温が高い時期に植物プランクトンの増殖による内部生産が活発になることを反映していると考えられた。一方、90m層は季節間の違いは無く、低い値となり、有機物の大部分が分解されていると考えられた。

海域版BODについては、CODよりも内部生産を反映すると考えられ、3日間静置した後の測定で評価可能と考える。しかし、DO消費は少なく、今後も条件検討が必要である。

基準点3において、栄養塩類として窒素について各態を含めた解析を行った。表層付近の無機態窒素は、植物プランクトンの増殖により取り込まれ、夏季に少なく、また、下層に向かって増加していく傾向があった。増加した下層の無機態窒素は、植物プランクトン等由来の有機物の分解によるものと推察された。

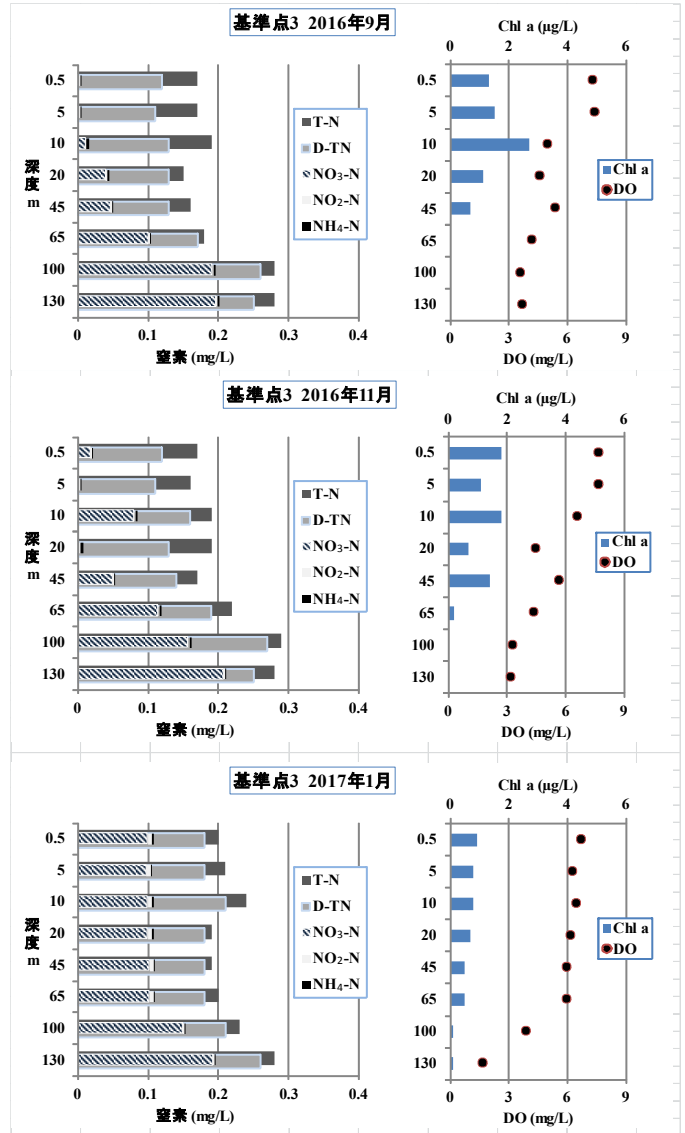


図2 窒素、DO、Chl a測定結果

参考文献

- 1) 鹿児島県水産技術開発センター；鹿児島湾赤潮警報 No. 1～No. 1-6 (2016)
- 2) 鹿児島県水産技術開発センター；鹿児島湾貧酸素情報 No. 1～No. 4 (2016)
- 3) 牧秀明；茨城県沿岸海域公共用水域環境基準点における栄養塩類とCODに関する有機物項目について、II型共同研究報告書 (2017)
- 4) 貴島宏，須納瀬正，福盛順子；鹿児島湾湾奥部における水質調査結果について、II型共同研究報告書 (2015)
- 5) 東海大学出版会；日本全国沿岸海洋誌，783～785 (1985)