

阿蘇海における酸素消費と貧酸素水塊の形成について

中居 千和 多田 哲子 牧 秀明* 一二三 純子
北野 隆一 武田 真由美 田中 豊稔 木南 敬之

Oxygen Consumption and Generation of Hypoxia in the Aso Sea

Chiiori NAKAI Noriko TADA Hideaki MAKI* Jyunko HIFUMI
Ryuichi KITANO Mayumi TAKEDA Toyomi TANAKA Noriyuki KINAMI

京都府北部の阿蘇海において、溶存酸素 (DO)、水温、塩分 (単位: ‰) の鉛直分布、表層水と底層水の栄養塩類、生物化学的酸素要求量 (BOD)、化学的酸素要求量 (COD) 等についての測定を行った。鉛直分布の結果により、夏季に水温躍層が生じ、底層は無酸素状態となり、強固な貧酸素水塊が形成されたことが示された。冬季においても、貧酸素水塊が形成されることがあった。しかし、冬季の貧酸素水塊は、気象条件などにより左右され、継続しない可能性が推察される。栄養塩類の存在形態において、夏季の底層は主にアンモニア性窒素とリン酸性リンで占められ、冬季は硝酸性窒素が多くみられた。また、このことから、夏季と冬季では底層の還元状態の程度に差があり、窒素の存在形態とリンの濃度に差が現れたのではないかと考えられる。CODはBODより、1.8 mg/L程度高い値を示していることから、CODは酸素消費に関わらない難分解性有機物も評価していると考えられ、BODのほうが、酸素消費に関わる汚濁物質の評価方法としてはより適当であると推察される。

キーワード: 閉鎖性海域、貧酸素水塊、溶存酸素、鉛直分布、栄養塩類、生物化学的酸素要求量、化学的酸素要求量
Keywords: Enclosed sea area, Hypoxia, Dissolved oxygen, Vertical distribution, Nutrients, Biochemical oxygen demand, Chemical oxygen demand

はじめに

全国の沿岸海域環境では非汚濁海域における化学的酸素要求量 (COD) の漸増傾向や閉鎖性海域において顕在化している貧酸素水塊の発生が水質上の問題となっている¹⁾。京都府内も例外ではなく、舞鶴湾、阿蘇海、宮津湾、久美浜湾は、全国に88箇所ある閉鎖性海域に指定されており、CODの環境基準を達成できない状況が続いている (平成28年度公共用水域及び地下水の水質測定結果 <http://www.pref.kyoto.jp/suishitu/documents/28jyojikansikohyo.pdf>)。また、これらの海域はいずれも漁業の盛んな地域であり、貧酸素水塊の発生は漁業に大きな影響を与える。これらの問題に対応する上での知見を得るため、当所は地方環境研究所と国立環境研究所とのII型共同研究に参加し調査を行ってきた。

II型共同研究では、「沿岸海域環境の診断と地球温暖化の影響評価のためのモニタリング手法の提唱」(平成23～25年度)と「沿岸海域環境の物質循環現状把握と変遷解析に関する研究」(平成26～28年度)の2課題において調査が行われてきた。調査項目は、1) 新規水質環境基準項目である底層溶存酸素量 (底層DO) を対象にした多項目水質計による水質の鉛直分布、2) 非汚濁海域において漸増傾向のみられるCODの構成要素解明のための関連項目、3) DOを消費する

要因である水塊中の有機物の性状を評価するための生物化学的酸素要求量 (BOD)、4) 栄養塩の状態と推移の評価のために水質環境基準項目である全窒素 (T-N)・全リン (T-P) に加えて無機体の各態窒素・リンである¹⁾。

府内におけるこれまでの調査結果²⁾から、阿蘇海と久美浜湾において、底層DOが低い状況であることがわかっている。阿蘇海はかつて宮津湾の一部であったが、天橋立砂州の成長により湾と隔絶された面積約5km²の潟湖であり、日本の他の潟湖に比べ面積に対する最大水深や平均水深が大きい。特殊な地形ゆえ、天橋立は日本三景のひとつであるが、阿蘇海では宮津湾との海水交換は狭い水路のみとなり、閉鎖性が2.04と高く、生活排水や工場排水により水質は悪化しており、名産キンタルイワシなどの漁獲量にも影響を与えている (京都府レッドデータブック2015 <http://www.pref.kyoto.jp/kankyo/rdb/geo/db/sur0022.html>)。京都府では、阿蘇海環境改善を目指し、平成19年5月に「阿蘇海環境づくり協働会議」を設置の上、地域住民や関係団体及び行政により総合的な取り組みが進められている。

本報では、府内4箇所の閉鎖性海域のうち、上記の取り組みに資する基礎データを得るために行われた阿蘇海での調査結果について報告する。

材料と方法

1. 調査地点と採水日

調査は、図1に示す阿蘇海の野田川流入点 (平均水深6.9 m)、中央部 (平均水深12.5 m)、溝尻地先 (平均水深9.1 m)、

(平成29年12月18日受理)

* 国立環境研究所

* National Institute for Environmental Studies

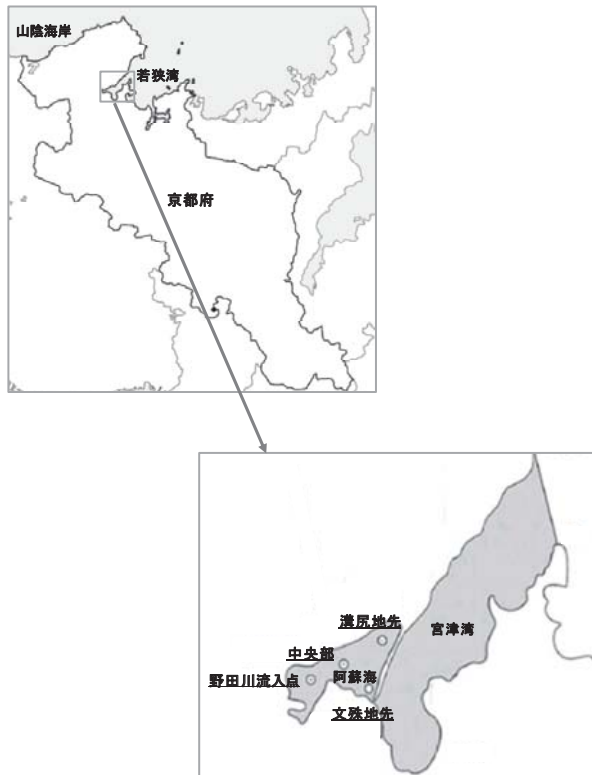


図 1. 阿蘇海の調査地点図

* 京都府の地図は世界地図 (<http://www.sekaichizu.jp>) よりダウンロードし使用

文殊地先 (平均水深 11 m) で行った。調査・採水は、一般に貧酸素水塊が発生する夏季と解消するとされる冬季³⁾の年 2 回とし、平成 27 年 9 月 1 日、平成 28 年 1 月 12 日、平成 28 年 9 月 6 日及び平成 29 年 1 月 10 日に実施した。

2. 方法

2-1. 採水方法・多項目水質計による鉛直分布調査

表層水はポリバケツを用いて採水し、底層水はバンドーン採水器を用いて海底から約 1 m 上で採水し、それぞれ 3 L のポリプロピレン製容器に満水となるよう移した。

貧酸素水塊発生の確認のため、多項目水質計を用いて水深 0.5 m から 1 m 間隔で海底までの測定を行い、DO、水温、塩分 (単位: ‰) の鉛直分布を測定した。多項目水質計は、平成 27 年度は HORIBA U-52G を、平成 28 年度は国立環境研究所から借用した HYDROLAB DS5 を用いた。なお、平成 27 年度と平成 28 年度冬季の鉛直分布測定について、多項目水質計の不具合によりデータが得られなかった項目については、京都府丹後保健所により提供された公共用水域常時監視測定用の同日データを採用した。このデータは表層、中層、底層の 3 点のみである。

2-2. 栄養塩類・COD 関連項目・BOD 測定

海水の一部は採取した当日中に、ガラス繊維フィルター (47 mm GF/C) でろ過し、溶存性成分を測定するための試料とした。また、表層水については、クロロフィル a の測定用に、47 mm GF/C を用いて検水 500 mL をろ過したろ紙を、懸

濁性有機炭素 (POC) 測定用にガラス繊維フィルター (25 mm GF/F) を用いて検水 100 mL をろ過したろ紙を、各々クロロフィル a と POC の測定に供した。これらのフィルター類と試水を冷凍して国立環境研究所に送付し「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 に関連する有機物項目について」⁴⁾ で述べられた方法で COD、溶存性 COD (D-COD)、溶存性有機炭素 (DOC)、懸濁性有機炭素 (POC)、クロロフィル a の測定を行った。また、表層水・底層水ともに原水とろ過水について T-N、T-P、硝酸性・亜硝酸性窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$ ・ $\text{NO}_2\text{-N}$)、アンモニア性窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$)、リン酸性リン ($\text{PO}_4\text{-P}$)、BOD、COD の測定を当研究所で行った。BOD と COD は、それぞれ JIS K 0102-21 と JIS K 0102-17 により測定した。なお、BOD は無植種とし、希釈が必要な場合の希釈水は、JIS K 0102-21 に従って調製し、リン酸・塩化アンモニウム緩衝液、硫酸マグネシウム溶液、塩化カルシウム溶液、塩化第二鉄溶液を添加後、試料海水と電気伝導度が同等になるように塩化ナトリウムを加えた。フラン瓶の放置は 6 日間とし、6 日間経過した時点で DO を測定し、消費された DO を BOD6 として求めた。栄養塩類の、T-N、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 及び $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、T-P 及び $\text{PO}_4\text{-P}$ はオートアナライザー (QuAatro2-HR, ビーエルテック) を用い、それぞれ JIS K 0170-3、JIS K 0170-2、JIS K 0170-1、JIS K 0170-4 により測定した。

結果と考察

1. DO、水温、塩分の鉛直分布

鉛直方向の DO、水温、塩分を測定した結果を図 2 (平成 27 年度)、図 3 (平成 28 年度) に示す。本報告書では DO 3.0 mg/L 以下を貧酸素水塊とした。この値は貧酸素水塊の目安として広く用いられており^{1,5,6)}、本研究でもこの値を採用した。

平成 27 年度の DO の調査結果は公共用水域常時監視測定 of データであり、上層 (0.5 m)、中層 (2 m)、下層 (10 m、水深 10 m 以下の場合は底部から約 1 ~ 2 m 上) の 3 点分である。夏季は中央部と文殊地先で底層 DO が 3.0 mg/L 以下と貧酸素状態であった。中央部、文殊地先において、水深 6 ~ 9 m 付近で水温が急激に低下し、表層と底層間で約 5℃ の差が生じた。一方、野田川流入点、溝尻地先では水温の急激な低下はみられなかった。また、塩分の鉛直分布は、汽水域である野田川流入点の表層において、塩分が他の 3 地点より約 10 低かった以外は、4 地点とも表層より底層の塩分が高いという同様の傾向を示した。中央部、文殊地先では、水温の鉛直分布の結果より、水深 6 ~ 9 m 付近に水温躍層が発生したと考えられる。これにより、海水の鉛直混合が阻害され、貧酸素水塊が形成されたと推察される。一方、野田川流入点と溝尻地先は、水深が増すにつれ DO の低下がみられたが、水深が浅いため水温躍層が形成されず貧酸素水塊の発生にまでは至らなかったと考えられる。

冬季は 4 地点とも底層 DO が 3.0 mg/L 以上を示し、貧酸素状態に至らなかった。しかし、4 地点とも躍層が形成され

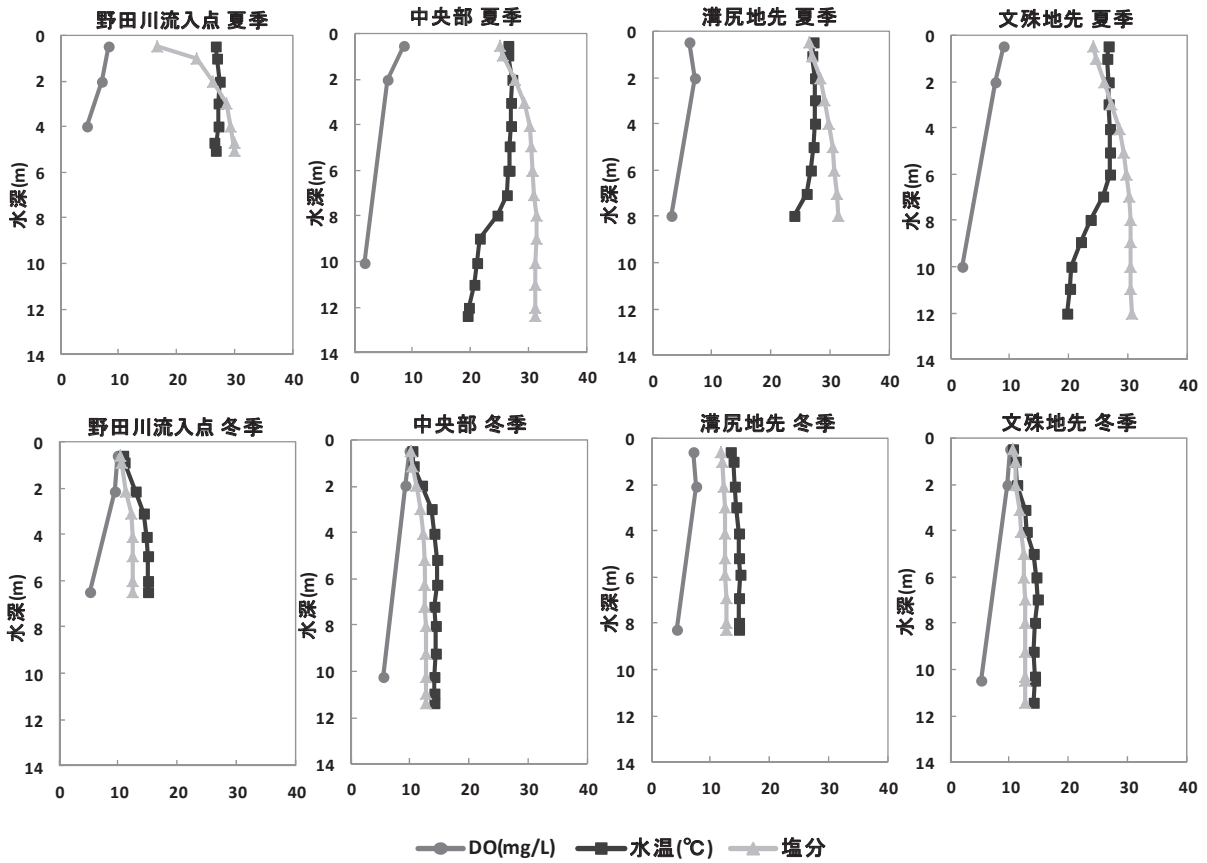


図2. 平成27年度夏季と冬季の阿蘇海における溶存酸素 (DO)、水温、塩分の鉛直分布

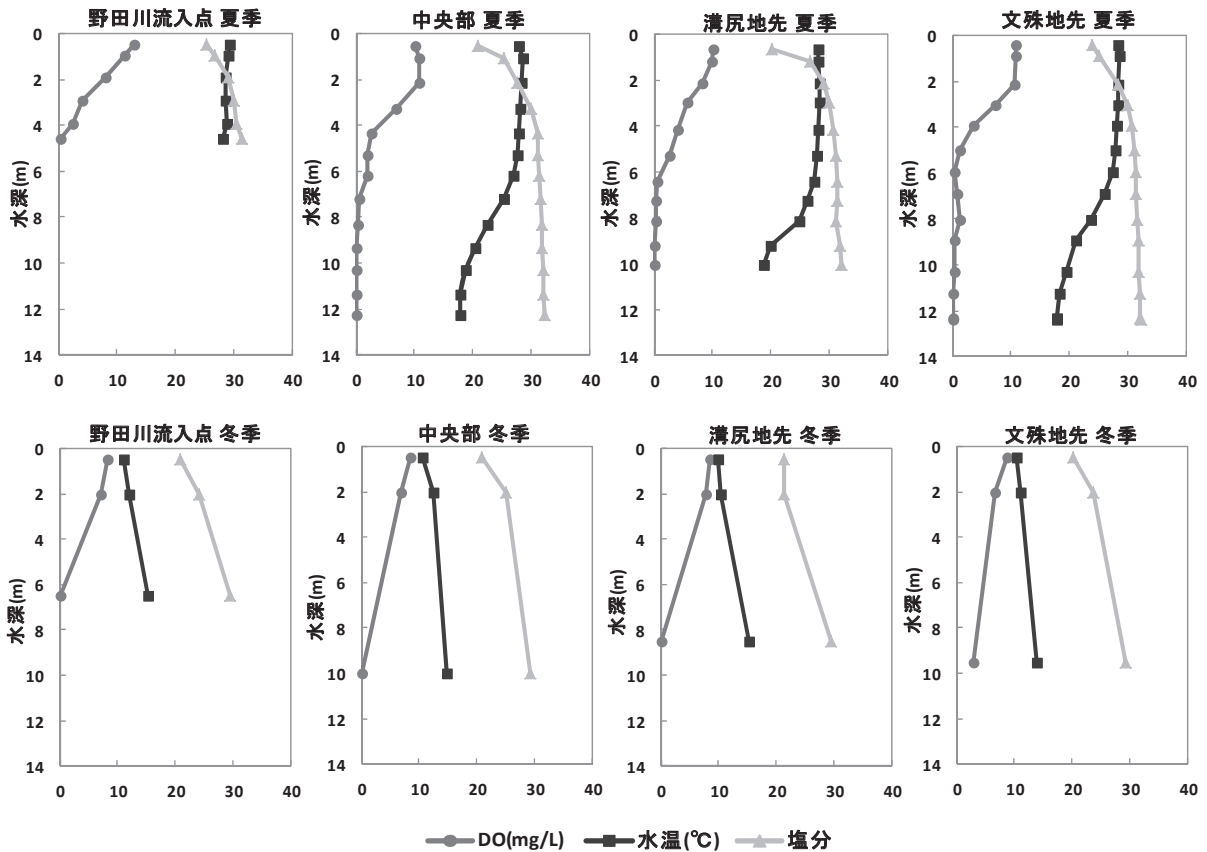


図3. 平成28年度夏季と冬季の阿蘇海における溶存酸素 (DO)、水温、塩分の鉛直分布

るほどではないが、表層と底層間では水温と塩分に差がみられた。これは、夏季に形成された貧酸素水塊が、風などによる鉛直混合により解消され、水温と塩分濃度の上下差も一旦は解消された可能性がある。その後、水温と塩分については外気温や河川水の流入等の影響で早期に濃度勾配が再形成されたが、底層 DO については消費されるまでにある程度の時間を要するため、貧酸素状態までは低下しなかったと推察される。

平成 28 年度夏季は、4 地点すべてで水深が増すにつれ、DO が急激に低下し無酸素状態となった。野田川流入点以外の地点では、水深 8～10 m 付近で水温が急激に低下し、表層と底層間で約 10℃ の差が生じた。塩分においても表層と底層間で 8～11 程度の差が生じた。よって、水温と塩分の躍層が形成されたことにより、鉛直混合が起こらず、貧酸素水塊が形成され、底層 DO が消費され、無酸素状態に至ったと考えられる。

冬季も夏季と同様に水深が増すにつれ、DO が低下し、すべての地点で 3.0 mg/L 以下であった。水温はすべての地点において夏季とは逆に底層ほど上昇していた。一方、塩分はすべての地点において、夏季と同様に底層ほど上昇する傾向が見られた。表層の塩分は夏季より冬季のほうがわずかに低く、これは、冬季は雪解け水による河川からの流入量が増加したことによると考えられる。上下の塩分勾配が発生したことは、鉛直混合が阻害されたことを示し、これにより底層 DO が低くなったと考えられる。加えて、鉛直混合が起こらなかったことにより、表層は外気で冷やされ、水温が低下したと考えられる。また、阿蘇海は久美浜湾と同様に²⁾ 冬季でも底層の水温が 13℃ もあるという日本海独特の状況から、冬季でも底質と底層の DO 消費が活発であることが予想される。

平成 27 年度冬季を除いて、夏季と冬季の両方で貧酸素状態が確認されたことは平成 24 年度の調査結果²⁾ と同様であった。一般的に貧酸素状態は、冬季には表層水温が低下し高密度になるため、鉛直混合が起こり解消するとされている。しかし、阿蘇海は閉鎖度の高い海域であり、そこに雪解け水により増加した河川水が流入し、表層の塩分は低下する一方、底層の塩分は高い状態となったため、密度勾配が形成され混合が起こらず、底層の貧酸素状態が維持されたと考えられる。しかしながら、冬季の貧酸素状態は平成 27 年度にはみられなかったように、強風などにより混合が起これば、容易に解消されるものであると思われる。以上から、閉鎖度の高い阿蘇海は、夏季には持続的な貧酸素水塊が形成され、冬季の貧酸素水塊の形成は気象条件などに左右され継続しない可能性が推察される。

2. 栄養塩類

栄養塩類の測定結果を表 1 に示す。夏季において、貧酸素水塊が形成された地点の底層における栄養塩類の濃度は、表層におけるそれらより T-N においては 3.5～12.8 倍、T-P においては 12～58 倍と顕著に高くなり、それぞれ NH₄-N と PO₄-P の増加によるものであった。貧酸素水塊が形成された場合、底層は還元状態となり、底質から NH₄-N、PO₄-P が溶

出し、底層水におけるこれらの濃度が高くなる³⁾ ことが知られており、本調査における結果はこのことと一致する。

冬季においては、平成 27 年度の野田川流入点を除いて、貧酸素水塊形成の有無にかかわらず、表層に比べて底層の窒素・リン濃度が高くなる傾向が見られた。この傾向は、貧酸素水塊の形成が観察された平成 28 年度により顕著であったが、夏季における増加ほどではなかった。冬季の底層における窒素の増加は、夏季とは異なり主として NO₃-N の増加によるものであった。また、リンの増加は、夏季と同様に PO₄-P の増加によるものであったが、夏季より濃度は低かった。

貧酸素水塊の発生した地点における夏季と冬季の温度と塩分の鉛直分布を比較すると、夏季では底層ほど水温は下がり、塩分は高くなるため、ともに高密度になる。一方、冬季は水温に関しては底層ほど暖かく低密度になり、塩分は濃度が高く高密度になった。よって、密度の勾配は夏季より冬季のほうが緩やかで、貧酸素水塊の形成状況も冬季は夏季ほど強固ではなかった可能性が考えられる。以上のことから、夏季と冬季では底層の還元状態の程度に差があるため、窒素の存在形態とリンの濃度に差が現れたのではないかと考えられる。

3. COD 関連項目

COD 関連項目の測定結果を表 2 に示す。COD から D-COD を差し引いたものを懸濁性 COD (P-COD) として示した。平成 27 年度のクロロフィル a を除いて、いずれの項目も冬季より夏季において高い値となる傾向を示した。これは、夏季に植物プランクトンが増加したことによる内部生産が影響していると考えられる。

COD に占める D-COD の割合は、約 50～85% と幅があった。また、クロロフィル a が高い地点ほど COD に占める D-COD の割合は低くなる傾向が見られた。よって、COD の大部分は D-COD が占めるが、クロロフィル a の高い地点では懸濁性の有機物が増加するため、P-COD の割合が増加すると考えられる。

4. BOD と COD

BOD と COD の測定結果を表 3 に示す。今回、DO を消費する要因 (いわゆる生物分解) である水塊中の有機物の性状を評価するために BOD の測定を行った。貧酸素水塊の発生した夏季における底層 BOD は、平成 28 年度の野田川流入点を除いて、表層より底層で BOD が高く、BOD に占める溶存性物質の割合が高かった。このときはいずれも、T-P と PO₄-P が高濃度で検出されていたことを考えると、神谷ら⁷⁾ が報告しているように貧酸素状態における海底の堆積物から BOD 値を与えるような有機態のリンが溶出し、これが速やかに PO₄-P に変化するのではないかと推測される。一方で、貧酸素水塊の発生した冬季の BOD は、夏季とは逆に、表層より底層で低かった。また、T-P と PO₄-P も夏季ほど高濃度で検出されなかった。これは、夏季と冬季では貧酸素水塊の形成状況が違い、還元状態にも差があることと関連しているのかもしれない。

表 1. 平成 27 年度と平成 28 年度の夏季と冬季の阿蘇海における全窒素 (T-N)、硝酸性窒素 (NO₃-N)、亜硝酸性窒素 (NO₂-N)、アンモニア性窒素 (NH₄-N)、全リン (T-P)、リン酸性リン (PO₄-P) の測定結果

採水日	採水地点	採水層	T-N		NO ₃ -N	NO ₂ -N	NH ₄ -N	T-P		PO ₄ -P
			全量	溶存性	全量	全量	全量	全量	溶存性	全量
H27.9.1	野田川流入点	表層	0.62	0.48	0.21	<0.01	0.04	0.079	0.033	0.030
		底層	0.30	0.27	<0.01	0.01	<0.01	0.051	0.042	0.014
	中央部	表層	0.28	0.18	<0.01	<0.01	<0.01	0.030	0.014	<0.002
		底層	1.1	1.0	<0.01	<0.01	0.76	0.36	0.36	0.33
	溝尻地先	表層	0.29	0.17	<0.01	<0.01	<0.01	0.033	0.012	<0.002
		底層	0.21	0.17	<0.01	0.02	<0.01	0.044	0.044	0.022
	文殊地先	表層	0.27	0.15	<0.01	<0.01	<0.01	0.023	0.007	<0.002
		底層	1.1	0.91	<0.01	<0.01	1.0	0.35	0.35	0.30
H28.1.12	野田川流入点	表層	0.38	0.32	0.15	<0.01	0.04	0.029	0.006	0.011
		底層	0.34	0.22	0.029	<0.01	0.03	0.026	0.010	0.004
	中央部	表層	0.24	0.14	<0.01	<0.01	<0.01	0.017	0.006	0.003
		底層	0.41	0.34	0.12	<0.01	<0.01	0.034	0.023	0.019
	溝尻地先	表層	0.49	0.18	<0.01	<0.01	<0.01	0.039	0.016	0.007
		底層	0.49	0.48	0.18	<0.01	<0.01	0.051	0.045	0.039
	文殊地先	表層	0.25	0.14	<0.01	<0.01	<0.01	0.020	0.008	0.003
		底層	0.33	0.33	0.12	<0.01	<0.01	0.028	0.020	0.016
H28.9.6	野田川流入点	表層	0.86	0.55	0.13	0.03	0.19	0.042	0.010	0.011
		底層	0.39	0.22	0.01	0.02	<0.01	0.027	0.008	0.004
	中央部	表層	0.45	0.17	<0.01	<0.01	<0.01	0.033	0.011	0.007
		底層	1.7	1.5	<0.01	<0.01	1.3	0.63	0.63	0.63
	溝尻地先	表層	0.40	0.13	<0.01	<0.01	<0.01	0.025	0.009	0.004
		底層	1.4	1.3	<0.01	<0.01	1.0	0.54	0.53	0.53
	文殊地先	表層	0.14	0.14	<0.01	<0.01	<0.01	0.012	0.012	<0.002
		底層	1.8	1.6	<0.01	<0.01	1.5	0.70	0.66	0.70
H29.1.10	野田川流入点	表層	0.40	0.22	0.03	<0.01	0.01	0.037	0.013	0.006
		底層	0.58	0.51	0.16	<0.01	0.10	0.15	0.14	0.13
	中央部	表層	0.41	0.19	0.02	<0.01	0.01	0.033	0.011	0.005
		底層	0.55	0.55	0.20	<0.01	0.04	0.10	0.089	0.07
	溝尻地先	表層	0.31	0.16	0.01	<0.01	<0.01	0.028	0.009	0.004
		底層	0.61	0.53	0.30	<0.01	<0.01	0.10	0.10	0.09
	文殊地先	表層	0.34	0.19	0.03	<0.01	<0.01	0.030	0.008	0.005
		底層	0.52	0.46	0.21	<0.01	0.01	0.068	0.062	0.04

単位 : mg/L

表 2. 平成 27 年度と平成 28 年度の夏季と冬季の阿蘇海における化学的酸素要求量 (COD)、溶存性 COD (D-COD)、懸濁性 COD (P-COD)、溶存性有機炭素 (DOC)、懸濁性有機炭素 (POC)、クロロフィル a の測定結果

採水日	採水地点	採水層	COD	D-COD	P-COD	DOC	POC	DOC+POC	クロロフィルa
					(COD-D-COD)				
H27.9.1	野田川流入点	表層	5.71	4.81	0.90	2.20	-	-	13.8
	中央部	表層	4.51	3.50	1.00	1.96	-	-	8.3
	溝尻地先	表層	4.10	3.30	0.80	1.85	-	-	8.0
	文殊地先	表層	3.90	3.30	0.60	1.84	-	-	9.1
H28.1.12	野田川流入点	表層	3.01	2.41	0.60	1.45	1.52	2.97	6.5
	中央部	表層	3.51	2.41	1.10	1.56	1.92	3.49	12.2
	溝尻地先	表層	4.91	2.41	2.51	1.77	2.58	4.35	30.9
	文殊地先	表層	3.01	2.51	0.50	1.57	1.60	3.17	10.0
H28.9.6	野田川流入点	表層	6.02	3.81	2.21	-	-	-	37.8
	中央部	表層	6.32	4.11	2.21	-	-	-	30.6
	溝尻地先	表層	6.62	3.81	2.81	-	-	-	19.5
	文殊地先	表層	6.42	3.51	2.91	-	-	-	24.2
H29.1.10	野田川流入点	表層	3.82	2.51	1.31	-	-	-	23.7
	中央部	表層	4.32	2.91	1.41	-	-	-	20.2
	溝尻地先	表層	3.92	2.01	1.91	-	-	-	19.8
	文殊地先	表層	2.91	2.01	0.90	-	-	-	18.2

単位 : クロロフィルaはµg/L、それ以外はmg/L

表 3. 平成 27 年度と平成 28 年度の夏季と冬季の阿蘇海における生物化学的酸素要求量 (BOD) と化学的酸素要求量 (COD) の測定結果

採水日	採水地点	採水層	BOD		COD	
			全量	溶存性	全量	溶存性
H27.9.1	野田川流入点	表層	1.6	0.8	5.1	3.7
		底層	1.8	0.8	3.4	2.7
	中央部	表層	2.3	0.7	4.2	3.5
		底層	4.1	2.5	5.6	4.9
	溝尻地先	表層	2.3	0.6	3.9	3.2
		底層	1.2	0.6	2.8	2.5
	文殊地先	表層	2.5	0.5	4.1	3.2
		底層	3.2	2.0	6.2	2.6
H28.1.12	野田川流入点	表層	2.6	0.9	3.2	2.0
		底層	2.8	1.4	3.4	2.1
	中央部	表層	2.3	1.2	3.3	2.0
		底層	1.7	1.3	2.1	1.5
	溝尻地先	表層	4.2	1.7	4.8	2.7
		底層	1.6	0.8	2.2	1.7
	文殊地先	表層	2.5	1.2	3.4	2.4
		底層	1.4	0.8	1.8	1.6
H28.9.6	野田川流入点	表層	3.5	0.8	4.0	2.9
		底層	2.6	0.8	3.6	2.0
	中央部	表層	4.1	1.1	4.7	3.0
		底層	7.4	4.3	7.2	6.6
	溝尻地先	表層	3.6	0.8	4.5	2.8
		底層	5.4	3.0	6.4	4.8
	文殊地先	表層	3.5	0.8	4.8	2.9
		底層	7.8	6.8	6.5	6.2
H29.1.10	野田川流入点	表層	2.9	0.8	4.3	2.6
		底層	1.2	0.8	2.7	2.2
	中央部	表層	2.8	1.0	3.9	2.2
		底層	1.4	0.9	2.2	2.0
	溝尻地先	表層	2.8	1.2	4.1	3.1
		底層	1.2	0.8	2.6	2.4
	文殊地先	表層	3.5	0.7	3.9	2.2
		底層	1.5	0.9	2.3	2.1

単位:mg/L

次に、表層・底層の全量 BOD と全量 COD の関係を図 4 に示す。COD は BOD より 1.85 mg/L 高い値を示すことが明らかになった。BOD は COD と $r^2=0.71$ で相関があり、回帰式の切片 1.85 mg/L は微生物による酸素消費に関わらない難分解性有機物によると考えられた。すなわち、COD の値は、酸素消費に関わらない難分解性有機物を含んで評価している可能性が考えられる。今回の調査結果だけでは断定できないが、酸素消費に関わる汚濁物質の評価方法としては BOD のほうがより適当であると推察された。

謝辞

本研究において現地調査にご協力いただいた丹後保健所

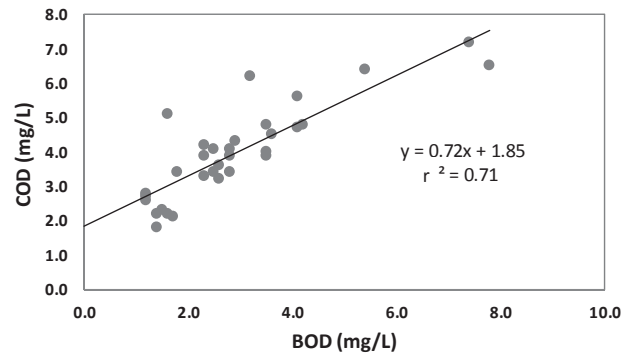


図 4. 平成 27 年度と平成 28 年度の夏季と冬季の阿蘇海における生物化学的酸素要求量 (BOD) と化学的酸素要求量 (COD) の相関関係

の皆様へ深謝いたします。

引用文献

- 1) 牧秀明. 2016. 環境部局による海域の調査研究の在り方について. 第 42 回環境保全・公害防止研究発表会, 41 (1), 9-11.
- 2) 蒲敏幸, 田中豊稔, 宮尻久美, 田邊義浩. 2014. 京都府の閉鎖性海域における底層 DO の状況及び COD 等の調査結果について. 沿岸海域環境の診断と地球温暖化の影響評価のためのモニタリング手法の提唱, 68-72.
- 3) 柳哲雄. 2004. 貧酸素水塊の生成・維持・変動・消滅機構と化学・生物的影響. 海の研究, 13 (5), 451-460.
- 4) 牧秀明. 2017. 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 に関連する有機物項目について.
- 5) 徳永貴久, 児玉真史, 木元克則, 柴原芳一. 2009. 有明海湾奥西部海域における貧酸素水塊の形成特性. 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 65 (1), 1011-1015.
- 6) 濱田建一郎, 上田直子, 山田真知子, 多田邦尚, 門谷茂. 2010. 栄養塩濃度が大幅に減少した洞海湾の貧酸素水塊と低次生産過程について. 沿岸海洋研究, 48 (1), 29-36.
- 7) 神谷宏, 石飛裕, 井上徹教, 中村由行, 山室真澄. 2001. 富栄養化した汽水湖沼における高水温・貧酸素時の堆積物からの溶存有機態リン (DOP) とリン酸の溶出. 陸水学雑誌, 62, 11-21.