

大村湾湾奥部の窪地における栄養塩類調査

本多 洋幸

Nutrients Survey in a Dredged Trench of Omura Bay

Hiroyuki HONDA

キーワード：大村湾、浚渫窪地、貧酸素水塊、栄養塩

Key words: Omura Bay, dredged depression, hypoxic water mass, nutrients

はじめに

長崎県のほぼ中央に位置する大村湾は、南北約26 km、東西約11 km、面積約320 km²の海域であり、佐世保湾を介した二重の閉鎖性水域であるという特徴を持つ。

大村湾は、上記の閉鎖性という特徴のため、1970年代以降の流域の都市化に伴う人口増加により、1976年以降、環境基準項目のうち化学的酸素要求量(COD)が基準値の2.0 mg/Lを大きく超過した状況が続いていた。しかし、近年は下水道普及率の向上など様々な対策が功を奏し、COD平均値は下降傾向を維持しており、水質の改善が進んでいる。

しかし、湾全域を区域別に見ると、北部海域では基準を下回る地点が複数見られる一方、南部海域においては依然として環境基準を超過した地点が散見される。

特に夏季においては南部海域にある津水湾の最奥部においてCOD値が顕著に上昇するが、同時に長崎空港周辺においてもCOD値が上昇する傾向が見られる(図1右上)。これは陸域からの流入負荷だけではなく、局所的な環境悪化の要因が存在し、長崎空港周辺の水質に影響を及ぼしている可能性を示唆している。その要因の一つとして、長崎空港の近傍に存在する海底の浚渫窪地の存在が考えられる(図2)。

海洋における浚渫窪地は、その内部の海水が窪地外部と交換しにくいことから、夏季に貧酸素状態になりやすい。他自治体の研究では、窪地内部が貧酸素状態になると、窪地底泥から溶存態無機栄養塩類の溶出を促進し、窪地内部に高濃度の栄養塩類が貯留されることが指摘されている。

仮にこのような高濃度の溶存態無機栄養塩類を含む窪地内の海水が、何らかの理由により海面表層に湧昇・混合した場合、内部生産の増加によってCOD値

上昇の原因となり得る。

本事業は、窪地内における溶存態無機栄養塩類貯留の把握と、窪地内底層水による湾奥部水質への影響の評価を行い、その改善策の検討を目的としている。

本報告では、平成30年度実施した窪地の規模調査と、平成31年度実施した窪地周辺の海況調査及び窪地内部における水質・底泥調査結果を報告する。

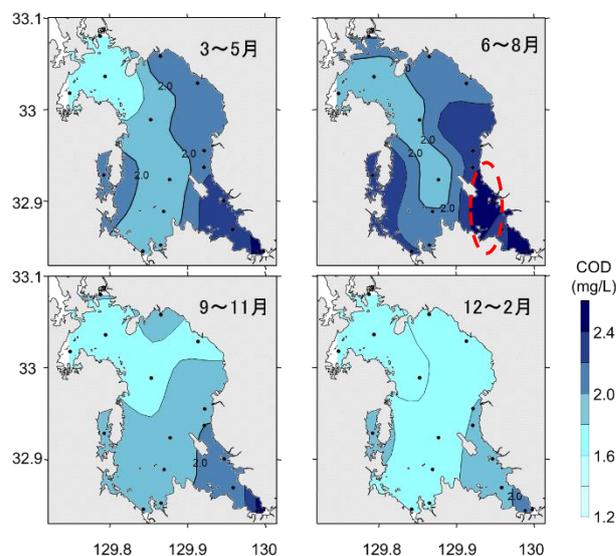


図1 2013～2017までのCOD平均値の水平分布

方法・日時

1 規模調査

窪地が存在している長崎空港近くの臼島-埋立地間の海域において、ポータブル測深器（HONDEX PS-7）を用いて浅深測量を行った（図2）。調査は平成31年3月15日に実施した。

2 海況調査

規模調査で判明した窪地内外において、調査地点を20地点（図5）設定し、多項目水質計を用いて水温、塩分、密度、溶存酸素（DO）飽和度、クロロフィル蛍光値を鉛直的に測定した。調査は令和元年6月11日、7月23日、8月22日、9月10日、11月21日、令和2年1月21日の計6回実施した。

3 水質・底泥調査

海況調査で設定した20地点のうち、窪地を縦断する5地点で海水及び底泥を採取した。海水は窪地内3地点（②、③、④）で表層、中層、底層を、窪地外2地点（①、⑤）で表層と底層を採取した（図5）。

採取した水試料は、溶存態無機栄養塩類（リン酸態リン、硝酸態窒素、亜硝酸態窒素、アンモニア態窒素、ケイ素）の分析を行った。また、採取した泥試料は、強熱減量及び全硫化物の分析を行った。

調査は海況調査と同日・同回数実施した。

結果

1 窪地規模

過去の海図から読み取った浚渫以前の窪地海域の水深を図3に、測深器を用いた浅深測量結果から得られた水深を図4に示す。

測深した海域の海図から読み取った浚渫以前の水深は4～8 mであったが、調査時の最大水深は10 mであった。また、当初窪地は6 ha程度であると想定していたが、調査の結果、20～25 ha程度の規模であることが判明した。なお、水深分布の違いから、図4の水深7.5 m以深の範囲を窪地として灰色～黒色で示している。

この結果を基に、海況調査20地点及び水質・底泥分析5地点を図5のとおり設定した。赤及び緑点の20地点が海況調査実施地点で、赤字で示した①、②、③、④、⑤の5地点が水質・底泥調査地点である。また、②-1と②-2は以後のグラフ等で図示するために番号を付与した。採取位置は表層が0 m、中層が水深の1/2の深度、底層が海底から0.5 mの深度とした。



図2 測深調査実施海域



図3 浚渫以前の水深

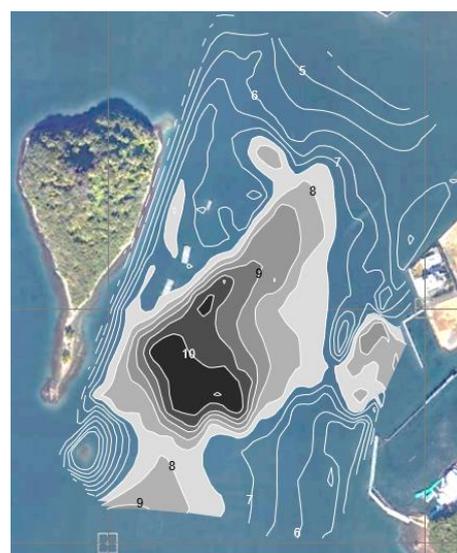


図4 測深器を用いた調査結果

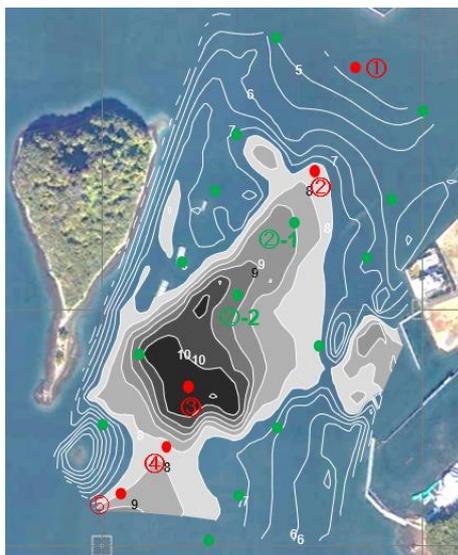


図5 調査地点

2 海況調査

(1) 水温

水温の窪地の鉛直断面図を図6に示す。

夏期は日射によって海表面の海水が暖められることから、6月～9月は表層で高く、底層で低くなった。この期間、最も低い水温はいずれの月も窪地内に分布した。冬期は海面で海水が冷却され、上層と下層で鉛直的に混合することから、11月および1月においては、水温は表層から底層までほぼ均一であった。

(2) 塩分

塩分の窪地の鉛直断面図を図7に示す。

6月と11月および1月においては、水深間に大きな差は見られなかったが、7月～9月にかけては底層よりも表層で低い傾向が見られ、7月に顕著であった。長崎県では7月19日から21日にかけて、台風5号の接近にともなう大量の降雨（諫早で20日に134 mm/日を記録）があったことから、河川などから流入した雨水が表層に分布したためと考えられる。11月および1月においては、海面冷却に伴う鉛直的な混合のため、水温と同様に塩分は表層から底層までほぼ均一であった。

(3) 密度 (Σt)

密度 (Σt) の窪地の鉛直断面図を図8に示す。

6月～9月の観測において、水深1～3 m付近と、6～8 m付近の層において等値線の密な分布（密度躍層）が見られ、7月に顕著であった。表層には日射および大量降雨の影響を受けた高水温・低塩分の海水が分布していたことから、水深1～3 m付近の密度躍層は、これらの影響によるものと考えられる。また、底層には比較的水温が低く、塩分が高い海水が分布していたことから、水深6～8 m付近の密度躍層は、これらの影響

によると思われる。

(4) T-Sダイアグラム

東北海区水産研究所が公表している水塊分類ソフト (TS-Cluster) を用いて、クラスター分析により水温と塩分の情報から水塊を分類した図を図9に示す。

外れ値が少なくなるようにクラスターの数を調整した結果、水温 (T) -塩分 (S) ダイアグラムは、6月から9月は3つの水塊、11月と1月は2つの水塊に分類された。6月の第3水塊 (Σt が23.2前後) は Σt の鉛直断面図 (図8) と照らし合わせると、窪地内に分布する水塊であると見受けられる。また、8月は6月よりは第3水塊深度は浅いものの、窪地周辺に位置している。一方、7月および9月の第3水塊を同様に図8と比較すると、水深1 m～窪地内と鉛直的に広く分布していることが見受けられる。

2019年は、長崎県では7月19日～20日にかけて台風5号が接近するとともに、8月6日には台風8号が上陸した。また、9月6日～7日にかけて台風13号が接近して大きな被害をもたらした。これら台風による波浪等の攪乱で、窪地内の水塊を含めて上層と下層が混合されたため、7月と9月の第3水塊は鉛直的に広く分布した可能性が考えられる。

なお、11月と1月は2つの水塊に分類されているが、水温、塩分及び密度全て6月～9月と比較して値の範囲（上限と下限の差）が非常に狭いことから、混合が進んでいると考えられる。

(5) 溶存酸素 (DO) 飽和度

溶存酸素 (DO) 飽和度の窪地の鉛直断面図を図10に示す。

水深8 m以深のDO飽和度は6月においては窪地内でも80%程度あったものの、その後徐々に低下し、8月には40%、9月には20%となり、ほぼ無酸素の測点も見られた。11月には貧酸素状態は既に解消されており、1月も同様であった。

(6) クロロフィル蛍光値

クロロフィル蛍光値の窪地の鉛直断面図を図11に示す。

6月は水深6 m以浅では2～4 ppb前後であったのに対して、窪地内では6～14 ppbに達した。また、8月および9月は、窪地内で8～10 ppbの高い値が観測された。一方、7月は水深2 m程度で6 ppbだが、底層では4 ppb以下であった。これは2-(4)でも言及した大量降雨による河川からの栄養塩類の流れ込み及び底層海水の上層との混合などが要因であると考えられる。11月においても、水深7.5 m付近に8 ppbのピークが観測され

たものの、窪地内外の濃度差は小さくなっており、1月も同様であった。

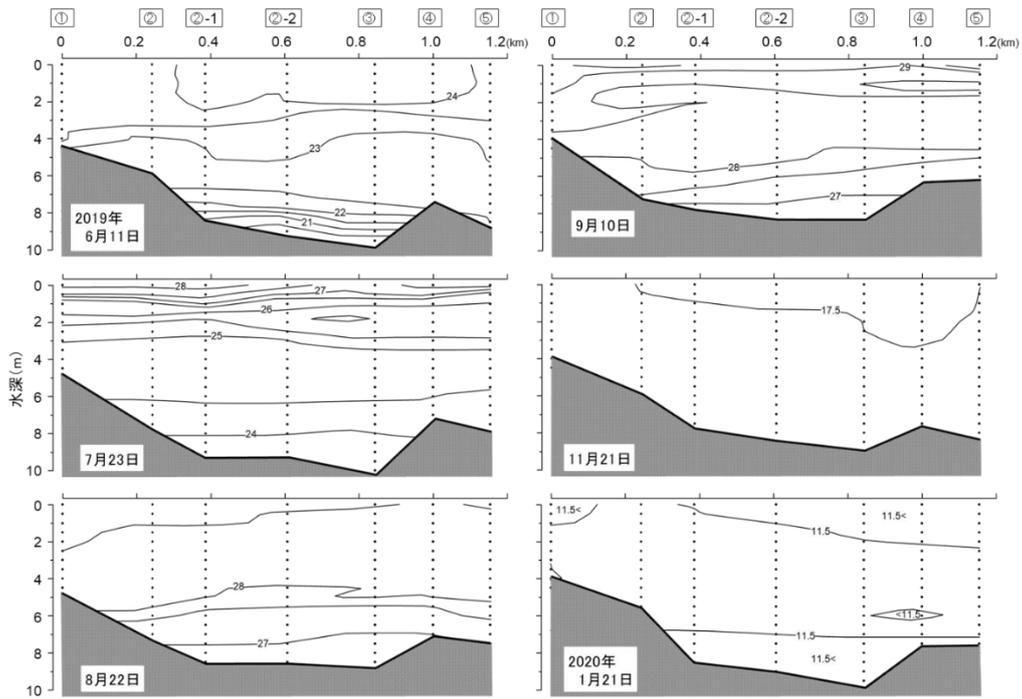


図6 水温の鉛直断面図

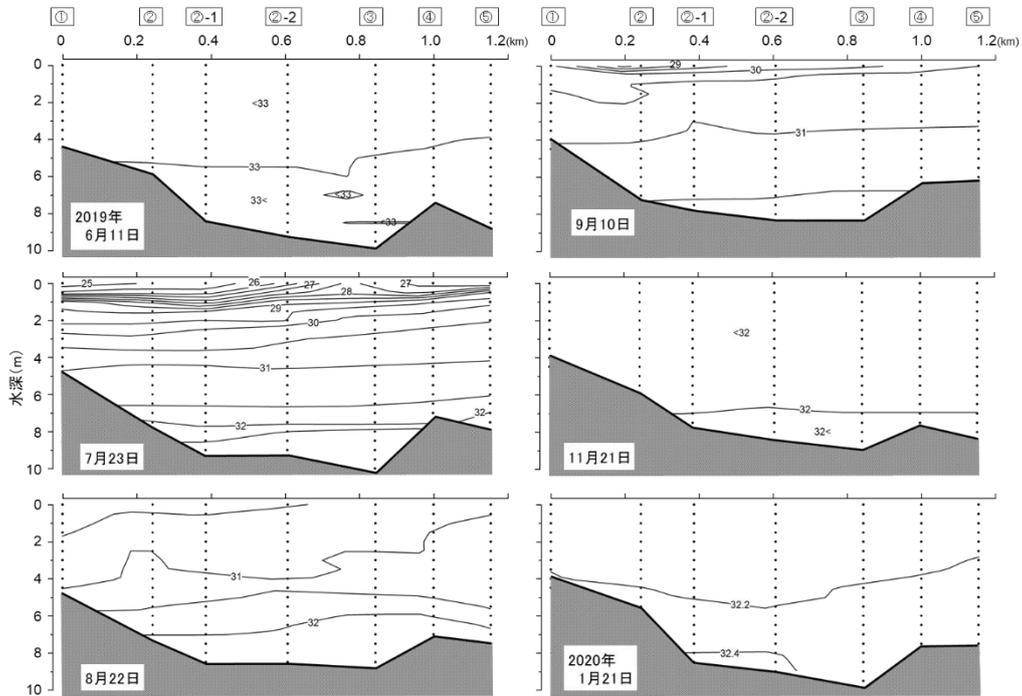


図7 塩分の鉛直断面図

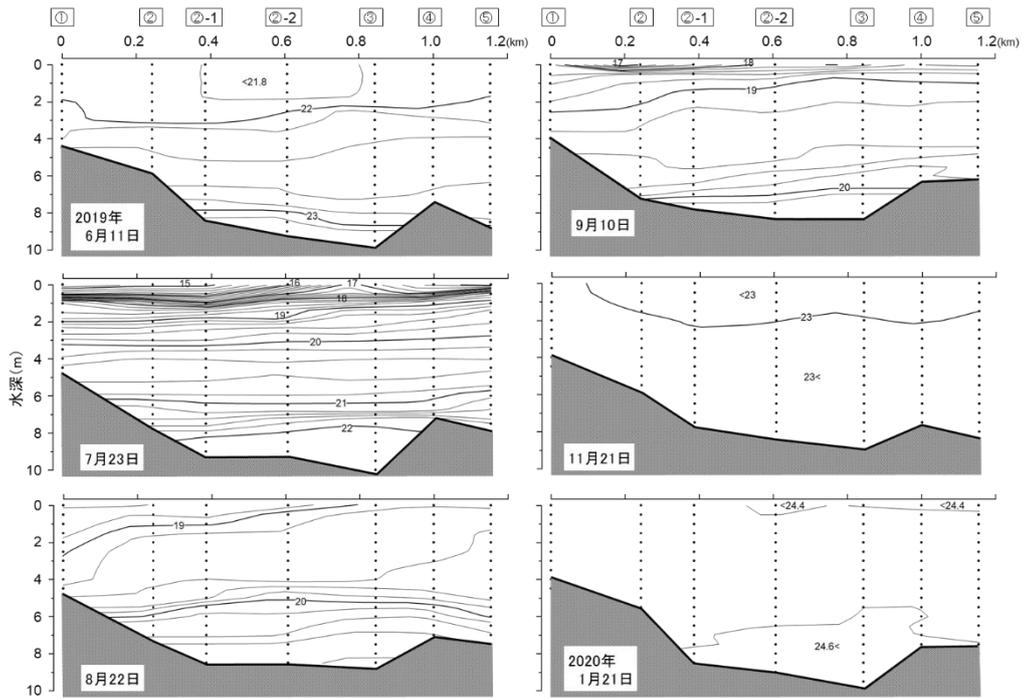


図8 密度(Σt)の鉛直断面図

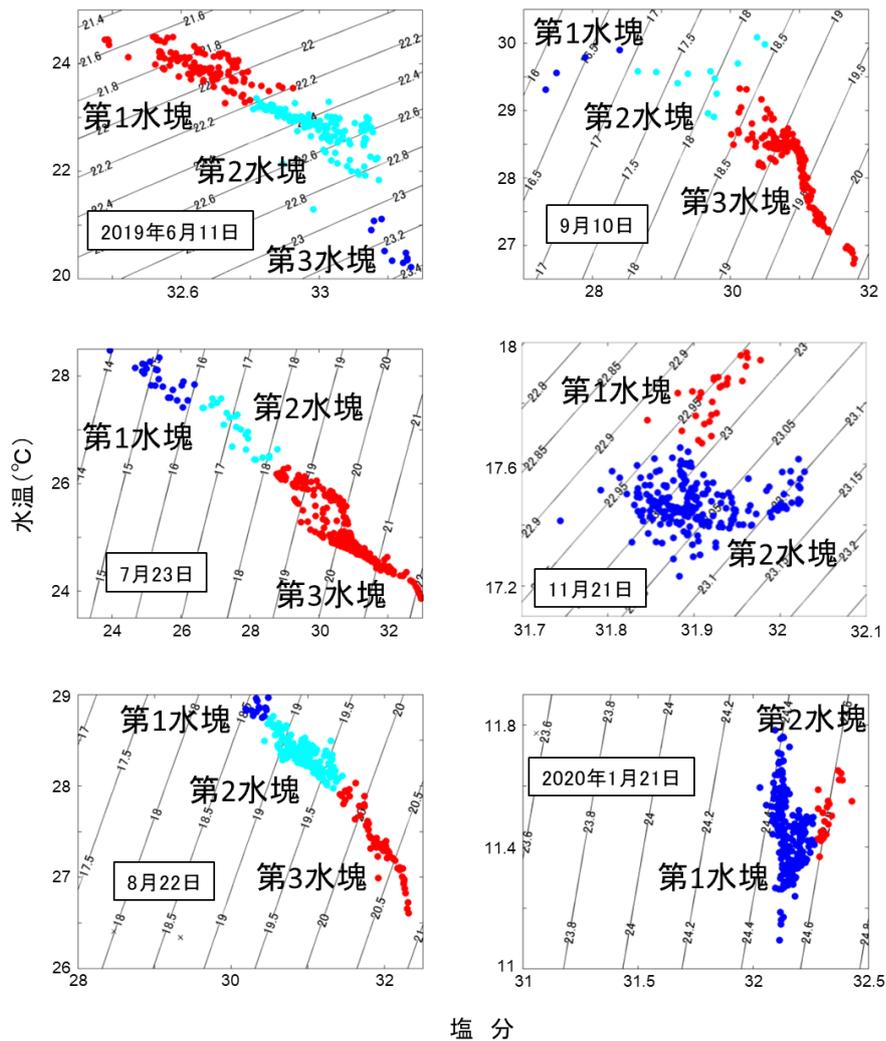


図9 T-Sダイアグラム

※ 等値線の数値は、密度(Σt)を示す。

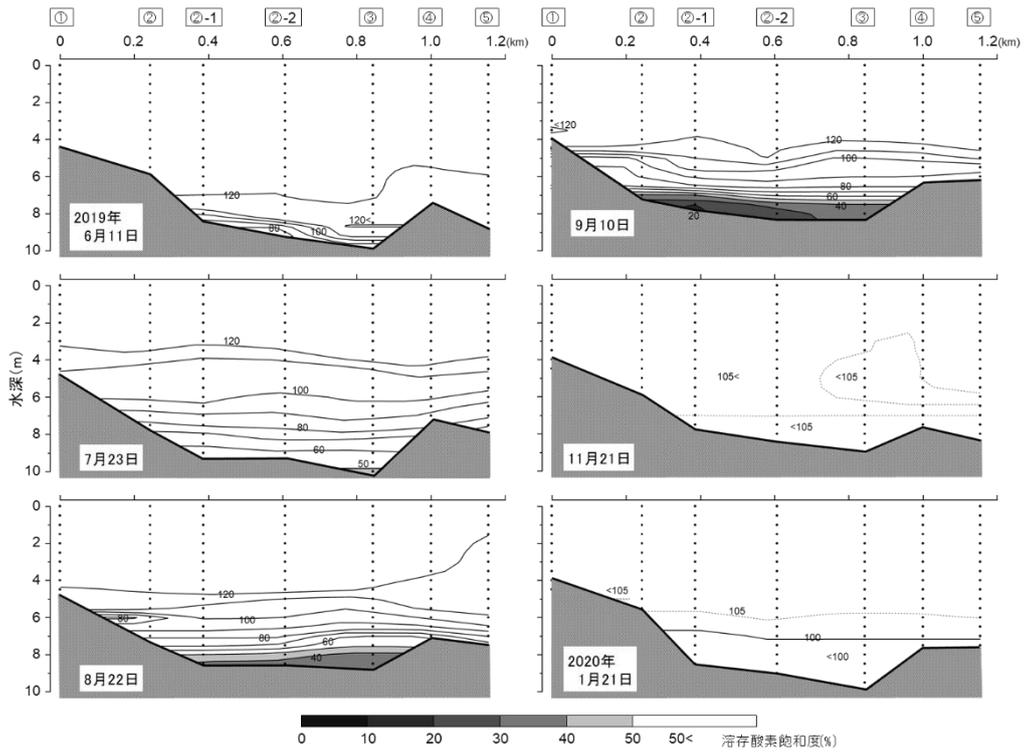


図10 溶存酸素 (DO) 飽和度の鉛直断面図

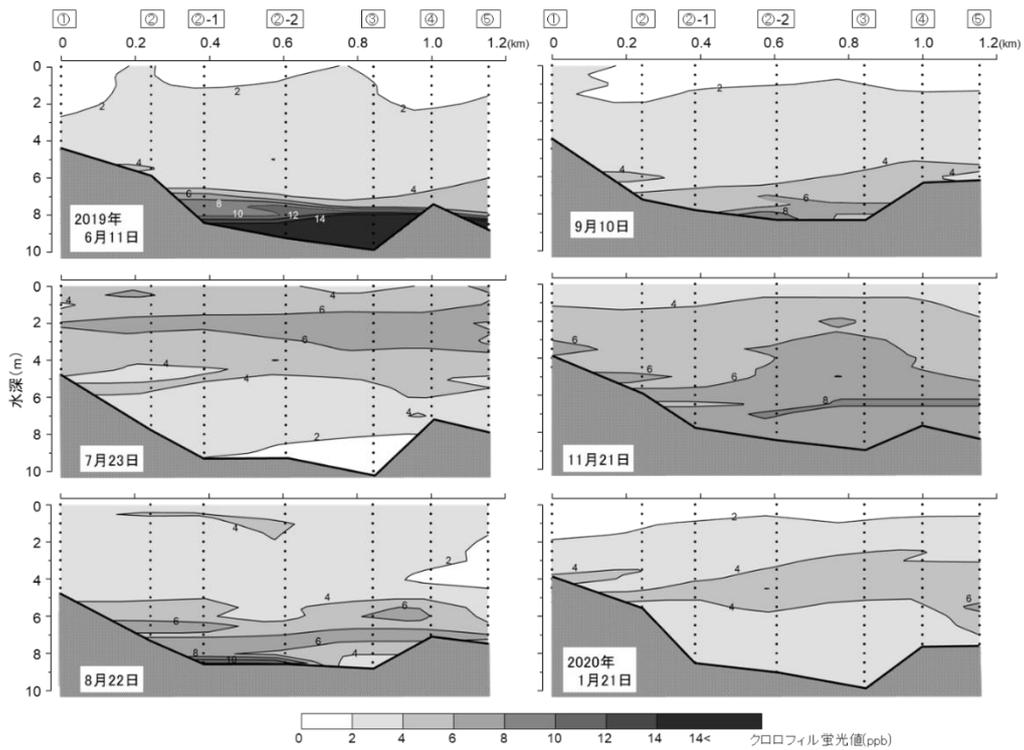


図11 クロロフィル蛍光値の鉛直断面図

3 水質・底泥分析

(1) リン酸態リン

各月・各地点の水深別リン酸態リンの分析結果を図12に示す。

窪地の最深部である③地点の底層で7月及び8月に同月の他地点と比較して高い濃度を示している。一方、その他の地点では採取月ごとに差はあるものの、同月における明確な差は確認されなかった。このことから7月及び8月において、リン酸態リンが底泥から溶出していることが示唆される。

(2) 硝酸態窒素・亜硝酸態窒素

各月・各地点の水深別硝酸態窒素の分析結果を図13に示す。なお、中層及び底層において、定量下限値未満 (<0.02 mg/L) であったため、表層のみを図13に示している。また、亜硝酸態窒素の分析結果は、全ての月・地点・水深において、定量下限値未満 (<0.02 mg/L) であった。

硝酸態窒素はどちらも7月に全地点で表層が中層・底層と比べて高濃度となっている。硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素はどちらも負に荷電しており、土壤コロイドに吸着されにくいという特性があるため、降雨等により陸域から流れ込みやすい。2-(2)でも言及したが、7月には大量の降雨があったため、7月に表層が高濃度となったのは、降雨による陸域からの流れ込みが原因だと推測される。特に流入河川から最も距離が近い①地点表層においては、他地点よりも高濃度となっていることから、流れ込みの影響が示唆される。

(3) アンモニア態窒素

6月を除く各月・各地点の水深別アンモニア態窒素の分析結果を図14に示す。なお、6月は他月の結果と比べて1桁高い濃度の地点が複数存在しており、動物等の死骸、糞尿など外的な要因による影響があったものと考えられるため、図から除外した。

7月は②地点底層、③地点底層、⑤地点底層、8月は③底層において、他地点と比べて高濃度であったため、底泥からの溶出が示唆される。ただし、③地点底層では有機物も相当量蓄積されていると考えられるので、その有機物の分解に伴う生成も可能性として考えられる。

一方、9月は③地点の表層及び中層が他地点よりも高濃度であったが、底層では地点間での大きな差はなかった。流入河川に最も近い①地点ではなく、窪地中央部の③地点であることは底層由来の可能性も考えられる。しかし、9月に底層で多地点と比べて高濃度であることが確認された他の項目（ケイ素）では、③

地点表層で他地点と比べて高濃度となっている状況は確認されていない。通常上層と下層の混合に伴う栄養塩類の供給であれば、底層で溶出する栄養塩類の濃度は同じ挙動を示すと考えられるが、異なる挙動を示していることから、9月に③地点の表層及び中層で確認されたアンモニア態窒素は、別の外的な要因が由来である可能性が考えられる。

(4) ケイ素

各月・各地点の水深別ケイ素の分析結果を図15に示す。

7月は他月と比較して高濃度であり、特に表層は前後の月と比較して4倍程度の差があった。ケイ素は自然中では主にケイ酸塩として存在しており、地下水や雨水との接触による風化作用で流出する。7月には3-(2)でも言及した大量降雨があったため、陸域からの流れ込みが、表層が高濃度であった要因であると推測される。ただし、7月は表層だけではなく中層・底層でも高濃度だった。7月に流れ込みの影響があった硝酸態窒素では表層のみが高濃度となっていることから、ケイ素は降雨による陸域からの流れ込みだけでなく、底泥からの溶出があることが考えられる。また、ケイ素が8月、9月の③地点底層においてのみ同月の他地点よりも2~3倍高濃度であったことも、ケイ素が底泥から溶出していることを示唆している。

(5) 強熱減量

各月・各地点の底泥における強熱減量を図16に示す。なお、6月の⑤地点は礫が多く、採泥器による採取が出来なかったため、欠測となっている。

平均で見ると、水深が最も深い③地点が最も高濃度となっており、④地点、⑤地点、②地点、①地点と水深が浅くなるにつれて、強熱減量は比例して小さくなった。これは水深が深い場所ほど夏季に溶存酸素飽和度が低いため、好氣的細菌による有機物の分解量が窪地外よりも少ないことを示している。

なお、②地点では月ごとに最大2倍の差が確認された。これは②地点の水深が7.8 mと夏季に発生する窪地最深部の貧酸素状態の水塊とその上層の水塊との境目付近であるため、採取時のズレ等で貧酸素状態の水塊に接する位置の底泥を採取したためだと考えられる。

(6) 全硫化物

各月・各地点の底泥における全硫化物を図17に示す。強熱減量と同様に、6月の⑤地点は礫が多く、採泥器による採取が出来なかったため、欠測となっている。

水深が最も深い③地点において、8月、1月以外の月で高濃度となった。これは貧酸素状態が継続することで、嫌気性細菌によって硫化物が生成されたことを示している。なお、本来強熱減量と同様に高い濃度が確認されると考えていた8月の③地点は、7月や9月と比較して濃度が低い結果となっていたため、7月の採取日から8月の採取日以降に溶存酸素飽和度の高い上層の海水が底層と混合して、硫化物が酸化された可能性を示唆している。また、1月の③地点は11月と比較して大きな差はない一方、④地点は約3倍の差が確認された。海況調査では、④地

点底層の溶存酸素飽和度は表層とほぼ同程度だったため、硫化物は酸化されているはずである。この要因としては、本来採泥器で採取するはずの底泥表層が、何らかの原因で採取日直前に剥離され、未だ硫化物が残存する底泥表層以深の底泥を採取した可能性が考えられる。なお、大村湾で冬季に行われるナマコ漁では、海底をナマコ捕獲用のカゴで引く手法にて漁が行われている。大村市漁協によると窪地が存在する海域でも漁を行うとのことだったため、それが底泥表層剥離の原因となった可能性が考えられる。

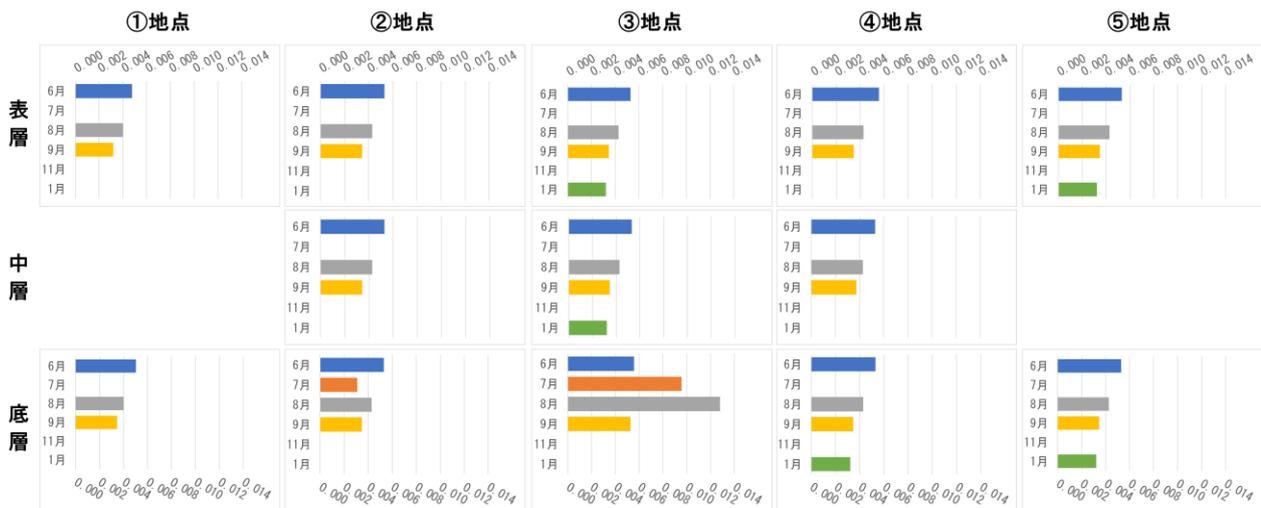


図12 リン酸態リン(単位:mg/L) 定量下限値:0.003 mg/L

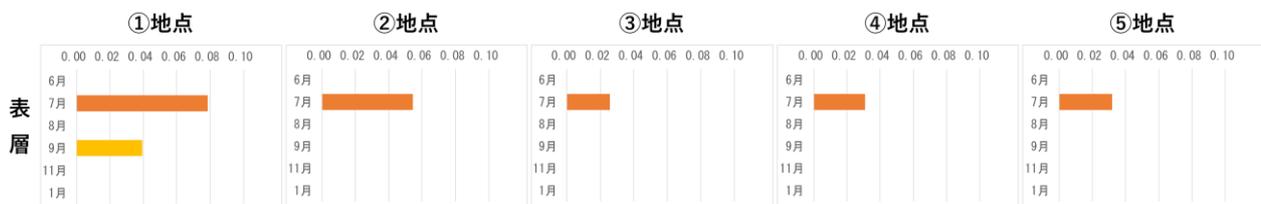


図13 硝酸態窒素(単位:mg/L) 定量下限値:0.02 mg/L
(硝酸態窒素と亜硝酸態窒素の合量の濃度)

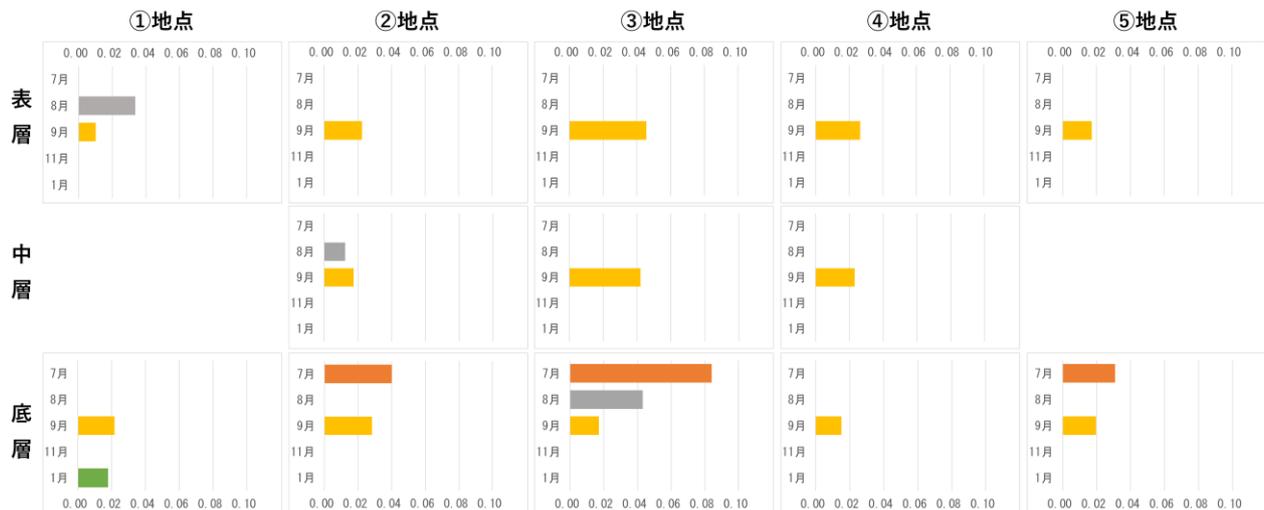


図14 アンモニア態窒素(単位:mg/L) 定量下限値:0.01 mg/L

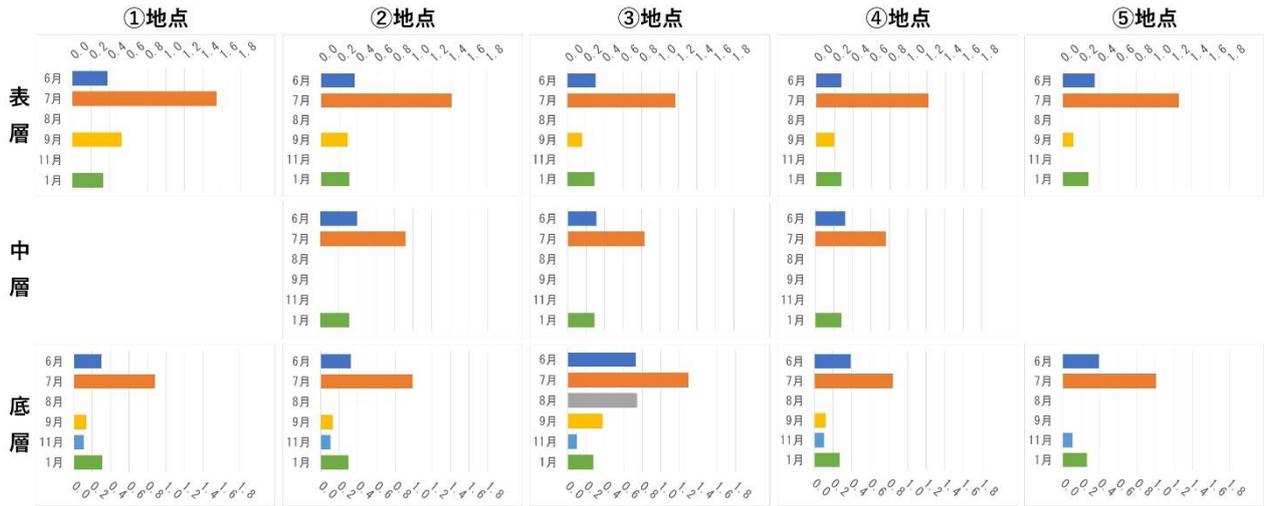


図15 ケイ素(単位:mg/L) 定量下限値:0.1 mg/L

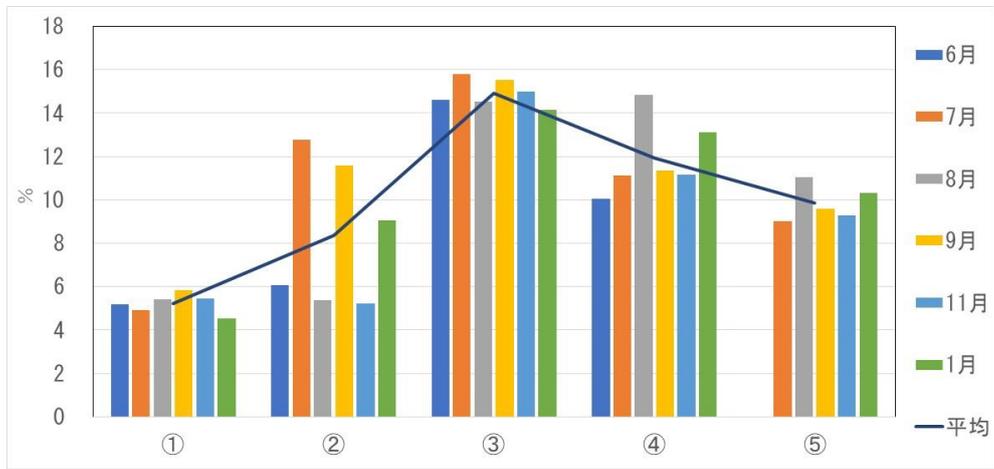


図16 強熱減量

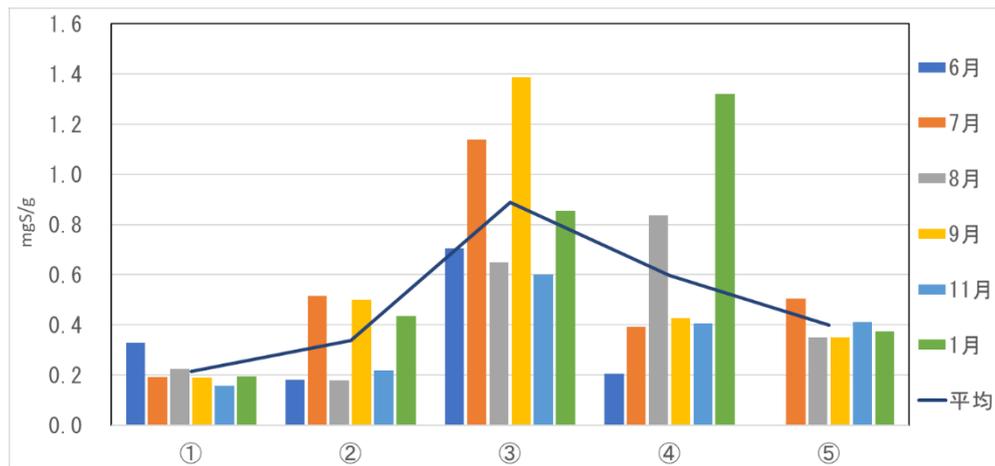


図17 全硫化物

考察

1 窪地内における溶存態無機栄養塩類の貯留

調査各測点において、溶存態無機栄養塩類は項目ごとで異なる挙動を示した。リン酸態リン及びアンモニア態窒素は共に7月及び8月において窪地最深部にて他測定地点よりも高濃度であったことから、底泥からの溶出もしくは底泥有機物の分解により窪地内に貯留していると考えられる。一方、硝酸態窒素については降雨時に①地点表層で高濃度となる傾向があるが、中層及び底層では低濃度もしくは未検出であったことから、陸域からの流れ込みが主な要因であることが考えられる。また、ケイ素については、底泥からの溶出と陸域からの流れ込みの両者の特徴が確認された。

表1に夏季における各溶存態無機栄養塩類の起源を整理した。

表1 夏季における各溶存態無機栄養塩類の起源

	表層		底層	
リン酸態リン	-		底泥溶出	○
硝酸態窒素	陸域起源	○	-	
アンモニア態窒素	-		底泥溶出	○
			分解生成	○
ケイ素	陸域起源	○	底泥溶出	○

2 窪地内水質の窪地外への影響

2-1(1)から2-1(4)までの水温、塩分、密度 (Σt) 及びT-Sダイアグラムの結果、6月～9月において窪地内には上層とは異なる水塊が形成され、かつ7月及び9月には台風等の波浪の影響によって上層と底層が混合し、窪地内の貯留栄養塩類が上層へ供給された可能性を示唆している。なお、クロロフィル蛍光値の結果では、7月に上層で高濃度だったため、陸域からの流れ込みと上層と底層との混合の両者が要因であった可能性を示唆される。

ただし、水質の分析結果では、個別の栄養塩類において中層以浅で濃度が高くなる月はあったが(9月のアンモニア態窒素など)、相関が高い他栄養塩類の挙動とは異なっていることから、上層と底層が混合しているという傾向は確認されなかった。

このため、考えられる可能性として、今年度比較的多かった台風の接近・上陸に伴い、短いスパンで複数回の混合が発生してはいたが、1回の混合ごとに上層へ供給される栄養塩類が少なく、試料採取当日の水

質分析では確認できなかった、ということが考えられる。なお、2-1(5)、2-1(6)の溶存酸素飽和度及び水質分析の結果からは、8月及び9月にかけて底層が貧酸素状態となっており、かつ栄養塩類が貯留されていることが確認された。これにより、窪地内の栄養塩類が上層に供給されても、底層では有機物の分解に伴う酸素の消費により貧酸素状態が迅速に発達するため、栄養塩類の溶出・貯留は継続していることが推測される。

まとめ

今回の調査によって、窪地の規模が明確化され、かつ夏季の窪地最深部の水塊が貧酸素状態であり、そのためリン酸態リン、アンモニア態窒素及びケイ酸などの溶存態無機栄養塩類が溶出して窪地内に貯留していることが確認できた。一方、窪地内海水は、波浪等による攪拌により上層と混合していた可能性はあるものの、混合による窪地最深部の濃度が高い栄養塩類の拡散などの窪地外水質への明確な影響は確認できなかったため、次年度は夏季に集中して海況調査及び水質調査を行うことで影響を把握し、改善策の検討に繋げていきたい。