

大村湾湾奥部の窪地における栄養塩類調査 (2020 年度)

豊村 誠, 本多 洋幸, 橋本 京太郎, 粕谷 智之

Nutrients Survey in a Dredged Trench of Omura Bay

Makoto TOYOMURA, Hiroyuki HONDA, Kyotaro HASHIMOTO, Tomoyuki KASUYA

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 trench, 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¹⁾。

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、夏季に貧酸素水塊状態になりやすい。また、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が溶出し、窪地外と比較して多くの栄養塩類が水中に供給されていることが報告されている^{2,3)}。

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

実態の把握と、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。

前年度までの調査において、窪地の規模 (図 3, 4) が測定され、夏季の窪地最深部の水塊が貧酸素状態であることや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⁴⁾。一方、窪地最深部の濃度が高い栄養塩類の近傍海域への拡散など、窪地外の水質への明確な影響は確認できなかったため、2020 年度は、その影響の把握のために夏季に集中して海況調査及び水質調査を実施した。本報告では、2020 年度に実施した窪地周辺の海況調査及び水質・底泥調査結果を報告する。

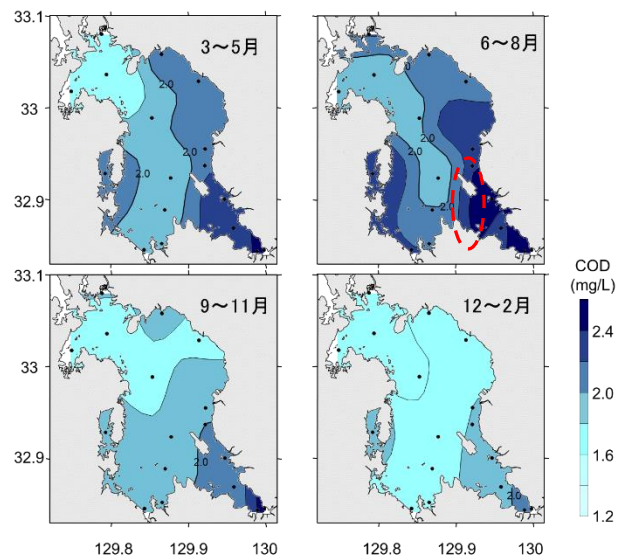


図 1 2013~2017 年までの COD 平均値の水平分布
長崎県公共用水域測定結果¹⁾より作成



図2 測深調査実施海域



図3 浚渫以前の水深

大村湾海図(No.1231, 昭和36年)の水深データより作成



図4 測深器を用いた調査結果

方法・日時

1 海況調査

平成30年度に実施した規模調査の結果(図4)を基に設定した調査地点20地点(図5)において、多項目水質計(AAQ-RINKO、JFEアドバンテック社製)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2020年7月29日、8月19日、9月9日、9月23日の計4回実施した。また、窪地外で窪地の最大水深と同等の水深の地点をコントロール地点として設定し、同様の調査を実施した。

2 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地点及びコントロール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)とコントロール地点で表層、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。



図5 調査地点

図2～5は国土地理院(標準地図、空中写真)より作成。

結果と考察

1 海況調査

(1) 水温

水温の鉛直断面図を図 6(これ以降の図は巻末に掲載)に示す。

夏季は日射によって海表面の海水が暖められることから、7月29日、8月19日の観測では、表層で高く、底層で低くなった。また、7月29日の観測では、水深0~3m付近で等値線の密な分布が見られた。これは、令和2年7月豪雨(気象庁観測では、大村で357mm/日(7月6日)、145mm/日(7月7日)、諫早で213mm/日(7月6日)、211mm/日(7月7日)を記録)⁹⁾があったことから、陸域から流入した水が表層に分布したためと考えられる。9月9日の観測では、水温は表層から底層まで水温に大きな差は見られなかった。2020年において、長崎県では、9月2日に台風9号、9月6日から7日にかけて台風10号が接近しており、台風による波浪の影響で窪地内外の水塊が鉛直混合したためと考えられる。また、9月23日の観測では、表層と比べて中層・底層が高い温度を示した。

(2) 塩分

塩分の鉛直断面図を図7に示す。

8月19日、9月9日の観測では、水深間に大きな差は見られなかったが、7月29日、9月23日の観測では、底層よりも表層で低い傾向が見られた。特に7月29日の観測は、水面から0~3mの深度で等値線の密な分布が見られた。これは、(1)で言及したとおり、令和2年7月豪雨の影響で、陸域から流入した水が表層に分布したためと考えられる。

(3) 密度(Σt)

密度(Σt)の鉛直断面図を図8に示す。

7月29日の観測において、水深0~3m付近で等値線の密な分布(密度躍層)が見られた。この密度躍層については、7月上旬の大量降雨の影響で陸域から淡水が流れ込み、低塩分となった表層の海水が日射によって温められ、表層に高水温・低塩分の海水が分布したために発生したものと考えられる。8月19日、9月9日、9月23日の観測では、特に密度躍層は見られなかった。

(4) 水塊構造

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)⁶⁾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。

水温(T)-塩分(S)ダイアグラムは、7月29日の測定結果は3つの水塊、8月19日及び9月9日の測定結果は1つの水塊、9月23日の測定結果は4つの水塊で分類した。7月29日の解析結果においては、第1水塊及び第

2水塊は Σt が18以下であり、 Σt の鉛直断面図(図8)と比較すると、7月豪雨による陸域からの流入の影響が大きい水深3m以浅に分布する水塊であった。また、7月29日の測定結果について、陸域からの流入の影響が少ない水深3m以深の水塊について解析を行い、2つの水塊に分類した(図10)。第2水塊(Σt が19~19.5)は Σt の鉛直断面図(図8)と比較すると、窪地内に分布する水塊であった。また、8月19日の解析結果については、温度の大きな変化は見られるが、塩分は大きな変化が見られないことから、陸域からの流入や海水のかく乱が少なく、日射により海水面から徐々に温められている状況を示している。9月9日の解析結果については、水温、塩分及び密度において、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。これは、9月2日に台風9号、9月6日~7日にかけて台風10号が接近しており、これら台風による波浪の影響で、窪地内の水塊を含めて海水が混合したためと考えられる。また、9月23日の解析結果について、第4水塊は、塩分が30前後、 Σt が19前後であり、塩分及び Σt の鉛直断面図(図7, 8)と比較すると、窪地内に分布している水塊と見受けられる。

(5) 溶存酸素(DO)飽和度

溶存酸素(DO)飽和度の鉛直断面図を図11に示す。

7月29日の観測では、溶存酸素飽和度は窪地内部の水深8m以深で30%以下となり、窪地最深部(③地点底面直上)では20%となっており、貧酸素状態であることが確認された。また、8月19日の観測では、溶存酸素飽和度が窪地内部の水深8m以深で30%以下となり、窪地最深部では3.4%となり、継続して貧酸素状態であることが確認された。9月9日の観測では、窪地内部の溶存酸素飽和度が低くても80%程度であり、窪地内部の貧酸素状態が解消されたことが確認された。これは、(1)で言及しているとおり、台風9号、10号による波浪の影響で海水が混合したためと考えられる。また、9月23日の観測では、水深9m付近から30%以下となり、窪地最深部では3.4%となっており、再び貧酸素状態となっていた。なお、コントロール地点における底面直上の溶存酸素飽和度については、7月29日が42%、8月19日が16%、9月9日が81%、9月23日が82%であり、窪地内底部の方がコントロール地点底部と比較して貧酸素となっていることが確認され、貧酸素水塊の発生に関して、水深によるものではなく、窪地のような地形的な要因が関係していることが示唆された。

(6) クロロフィル蛍光値

クロロフィル蛍光値の鉛直断面図を図12に示す。

7月29日の観測においては、水深1~5m付近で4~

8 ppb であったのに対し、窪地内底部では 0~4 ppb であった。底層と比べて表層・中層で高い値を示したのは、令和 2 年 7 月豪雨による陸域からの栄養塩類の流れ込みの影響で植物プランクトンが増えた可能性が考えられる。一方で、8 月 19 日の観測では、表・中層付近では 0~4 ppb であるのに対し、窪地内底部で 6~10 ppb であった。また、9 月 9 日の観測では、水深間で大きな差は見られず、9 月 23 日の観測では、窪地周辺において 2~6 ppb であった。

2 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 13 に示す。

7 月 29 日、8 月 19 日、9 月 23 日の調査において、窪地の最深部である③地点の底層で同調査日の他地点と比較して高い濃度(0.010~0.041 mg/L)を示している。特に、9 月 23 日の分析結果では 0.041 mg/L であり、T-P の環境基準(0.020 mg/L)を超過していた。また、③地点の底層の分析結果は、窪地の最大水深と同程度の水深であるコントロール地点の底層の分析結果と比較しても高い濃度を示したことから、リン酸態リンが窪地内の底泥から溶出していることが示唆される。なお、窪地には流入してきた有機物が蓄積しやすいため、その有機物の分解に伴う生成分も一部含まれるものと考えられる。

一方、9 月 9 日の調査において、全ての地点で定量下限値未満(<0.003 mg/L)となった。これは、9 月上旬に接近した台風による海水のかく乱で、窪地内に貯留されていたリン酸態リンが拡散した可能性を示唆している。

(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 14、亜硝酸態窒素の分析結果を図 15 に示す。

硝酸態窒素は、7 月 29 日の分析結果において、全地点で表層が中層・底層と比べて高い濃度(0.04~0.25 mg/L)となっている。特に流入河川から最も距離が近い①地点表層において、他地点よりも高濃度(0.25 mg/L)となっていることから、陸域からの流れ込みの影響が示唆され、1-(1)で言及しているとおり、7 月豪雨の影響が大きいものと考えられる。また、②、③地点の中層・底層を比較すると、中層より底層が高い濃度を示している。各地点の底層を比較すると、表層とは異なり、流入河川に最も近い①地点ではなく、窪地最深部の③地点が最も高い濃度(0.05 mg/L)を示した。このことから陸域からの流れ込みだけではなく、底泥からの硝酸態窒素の溶出についても示唆された。

亜硝酸態窒素についても、7 月 29 日の分析結果にお

いて、全地点で表層・中層と比べて底層で高い濃度を示し、特に③地点の底層で最も高い値(0.09 mg/L)を示した。このことから、亜硝酸態窒素が底泥から溶出していることを示唆された。

なお、7 月 29 日の調査を除くと、硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素の双方で、全調査日及び全地点・水深で定量下限値未満(<0.02 mg/L)であった。よって、硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素の底泥からの供給は、7 月 29 日の調査でのみ確認されていることから、元々窪地の底泥中に含まれていた硝酸態窒素や亜硝酸態窒素が底泥から溶出しただけではなく、7 月豪雨により陸域から流れ込んだ有機物が窪地内に堆積し、その分解・生成及び硝化の過程で発生したものである可能性が考えられる。

(3) アンモニア態窒素

各月・各地点の水深別アンモニア態窒素の分析結果を図 16 に示す。

7 月 29 日、8 月 19 日、9 月 23 日の調査において、窪地の最深部である③地点の底層において、他地点・深度と比べて最も高い濃度(0.04~0.13 mg/L)を示した。このことから、アンモニア態窒素が底泥から溶出していることを示唆された。また、7 月 29 日、8 月 19 日、9 月 23 日の調査において、コントロール地点の底層における濃度(<0.01~0.02 mg/L)と比較しても③地点の底層における濃度が高いことから、底泥からの溶出が窪地特有の現象であることが示唆される。なお、窪地には流入してきた有機物が蓄積しやすいため、その有機物の分解に伴う生成分も一部含まれるものと考えられる。また、9 月 23 日の調査において、①~③地点の表層にてアンモニア態窒素の濃度が 0.01~0.03 mg/L となっており、中でも流入河川に最も近い①地点が最も高い値を示していることから、陸域からの流れ込みの影響も確認された。

9 月 9 日の調査では、アンモニア態窒素が、③地点中層、④地点中層、⑤地点底層において、③地点底層の濃度(0.01 mg/L)以上の濃度(0.01~0.03 mg/L)を示しており、特に⑤地点底層が最も高い濃度(0.03 mg/L)を示した。このことから、9 月上旬に接近した台風による海水のかく乱で、窪地内に貯留されていたアンモニア態窒素が拡散した可能性がある。

(4) ケイ素

各月・各地点の水深別ケイ素の分析結果を図 17 に示す。

7 月 29 日の分析結果は、他の調査日と比較しても高い濃度を示しており、特に表層では大きな差が見られた。ケイ素と酸素が結びついたケイ酸は、地殻全体の 60%を占めており、自然の風化作用によって陸域から溶出して河川水や地下水を通じて湖水や海水に供給される⁷⁾。従っ

て、1-①でも言及したとおり7月豪雨の影響で、陸域からの流れ込みが多くなり、表層において、高濃度となったものと推測される。河川から最も近い①地点で最も高い濃度を示していることから陸域からの流れ込みの影響が示唆されている。また、7月29日の調査における中層と底層を比較すると、底層のほうが高濃度であったことから、陸域からの流れ込みが窪地内に沈降した可能性だけでなく、底泥からの溶出が示唆される。

また、8月19日、9月23日の調査において、表層・中層と比較して底層が高い濃度を示したことから底泥から溶出されている可能性が示唆される。なお、8月19日の調査において、③地点底層における濃度よりもコントロール地点底層の分析結果が高い濃度を示したことから、底泥からの溶出が窪地特有の現象である可能性は低い。また、9月9日の調査については、全地点・水深で定量下限未満(<0.1 mg/L)となった。

(5) 強熱減量

各月・各地点の底泥における強熱減量を図18に示す。

平均で見ると、前年度の調査⁴⁾では強熱減量が10%未満であった地点(①、②、⑤地点)が確認されたのに対して、今回の調査では全ての地点が10%以上であった。特に、①地点が最も高い値(16%)であったが、これは①地点が流入河川に最も近い地点であったためと考えられる。また、①地点を除くと、③地点が最も高い値(14%)を示した。これは、窪地という地形的要因から流入してきた有機物が堆積しやすいためと考えられる。

(6) 全硫化物

各月・各地点の底泥における全硫化物を図19に示す。

平均で見ると、①地点が最も高い値を示した。9月9日の調査において、①地点が非常に高い値を示したことが要因となっている。これは、①地点が陸域に近く浅い地点であるため、9月上旬に接近した台風による波浪の影響を大きく受け、底泥表層が剥離し、硫化物が残存する表層以深の底泥(嫌気層)を採泥した可能性が考えられる。

また、8月19日、9月23日の調査において、③地点が他地点と比べて高い値を示した。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可能性を示している。なお、硫化物の水産用水基準は、0.2 mgS/g であるが、全調査日・全地点で超過した値を示した。

3 窪地内水質の窪地外への影響

前年度の結果と同様に、今回の調査結果からも夏季において、窪地内の水塊が貧酸素化し、それに伴い、無機

栄養塩類(アンモニア態窒素及びリン酸態リン)が溶出・貯留されていることが確認された。また、1-⑤及び2の調査結果より、台風等の波浪の影響によって貧酸素水塊が解消され、溶存態無機栄養塩類の貯留も解消されていることが確認された。これは、台風等による波浪の影響によって、窪地内外の水塊が混合し、窪地内で貯留されていた栄養塩類が周囲へ供給された可能性を示唆している。

しかし、リン酸態リンは、台風接近後の調査では窪地内での貯留は解消されたものの、全地点で<0.003 mg/L を示しており、窪地外の水質に影響を与えている様子は見られなかった。

また、アンモニア態窒素は、2-③で言及したとおり、台風接近後の調査では、窪地最深部(③地点底層)における濃度以上の濃度を示した地点(③地点・④地点の中層及び窪地外である⑤地点底層)が確認された。これは、台風の影響で海水が混合していることが確認されていることから、それに伴い、窪地内に貯留されていたアンモニア態窒素が窪地周辺へ局所的に供給されている可能性がある。しかし、台風接近後の調査(9月9日)における窪地外(①、⑤)のアンモニア態窒素の濃度は、<0.01~0.03 mg/L であったのに対し、その他の調査日(7月29日、8月19日、9月23日)における窪地外のアンモニア態窒素が、<0.01~0.04 mg/L であり、濃度に大きな差は見られず、窪地外の水質への大きな影響は確認できなかった。

参 考 文 献

- 1) 長崎県県民生活環境部 公共用水域及び地下水の水質測定結果
- 2) 木戸健一朗ら: 中海浚渫窪地における N・P・S の溶出速度の見積もりと石炭灰造粒物を用いた覆砂の効果,, *水環境学会誌*, 37(3), 71-77(2014)
- 3) 入江政安ら: 大阪湾阪南港の浚渫窪地における底質環境に関する調査研究, *海岸工学論文集*, 54, 1091-1095(2007)
- 4) 本多洋幸: 大村湾湾奥部における栄養塩類調査, *長崎県環境保健研究センター所報*, 65, 84-93(2019)
- 5) 気象庁ホームページ 各種データ・資料
- 6) 田中雄大ら: 水塊クラスター解析ソフトの開発と東北近海域の水塊変動解析への適用—漁況変動解析への応用に向けた事例解析—, *水産海洋研究*, 83(3), 151-163(2019)
- 7) 古米弘明・山本晃一・佐藤和明編: ケイ酸 その由来と行方, 技報堂出版(2012)

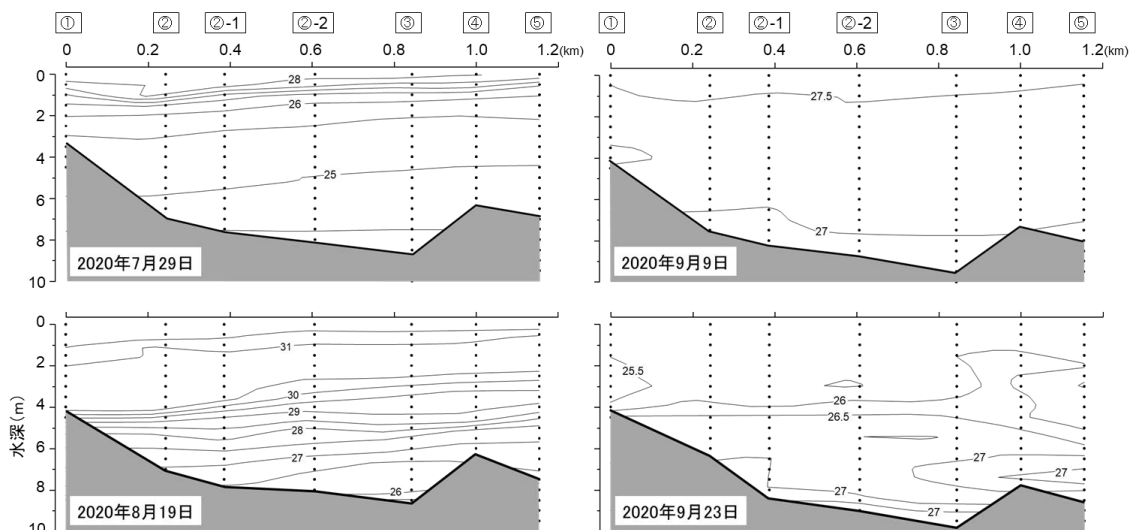


図 6 水温の鉛直断面図 (°C)

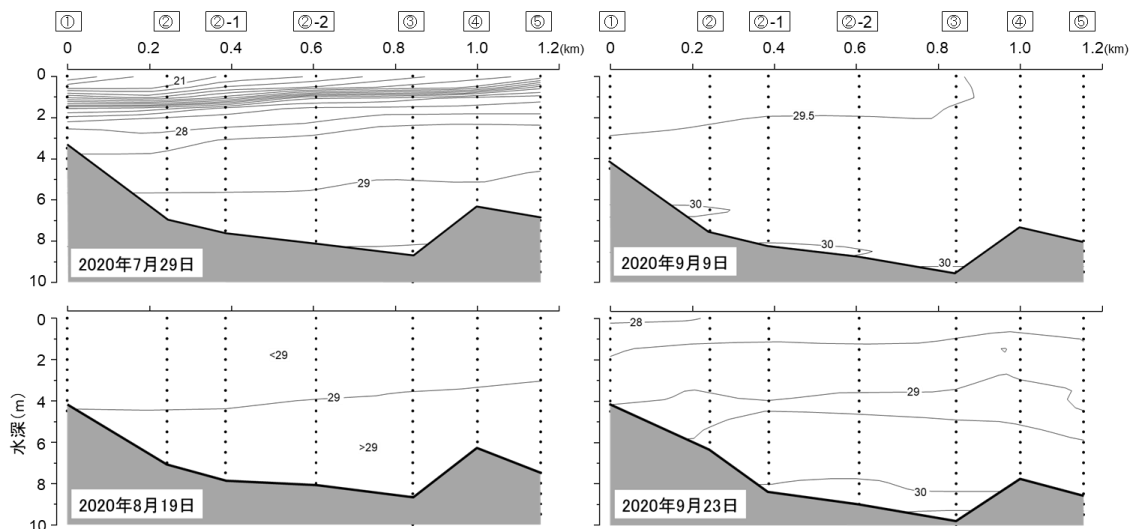


図 7 塩分の鉛直断面図 (psu)

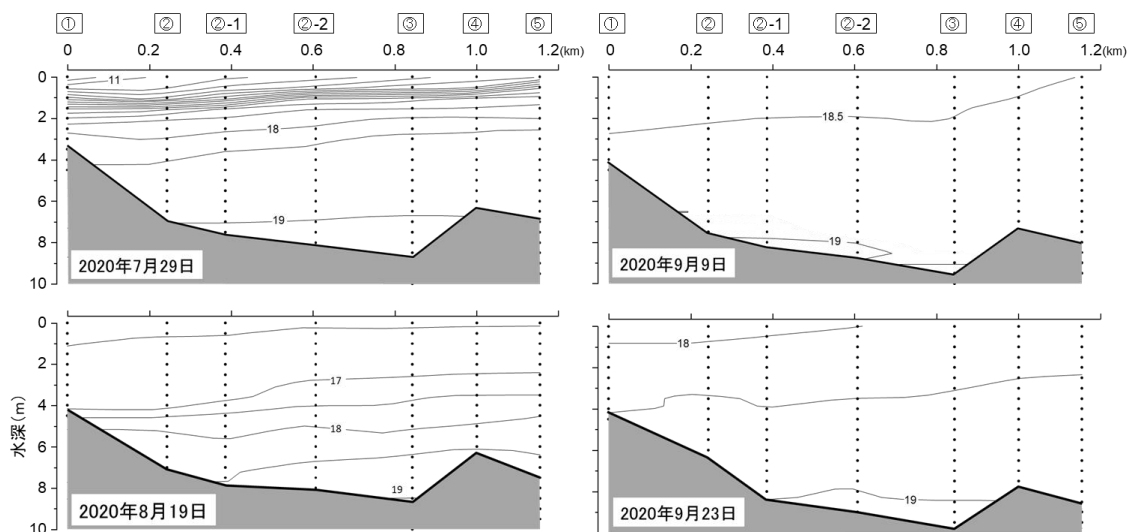


図 8 密度 (Σt) の鉛直断面図

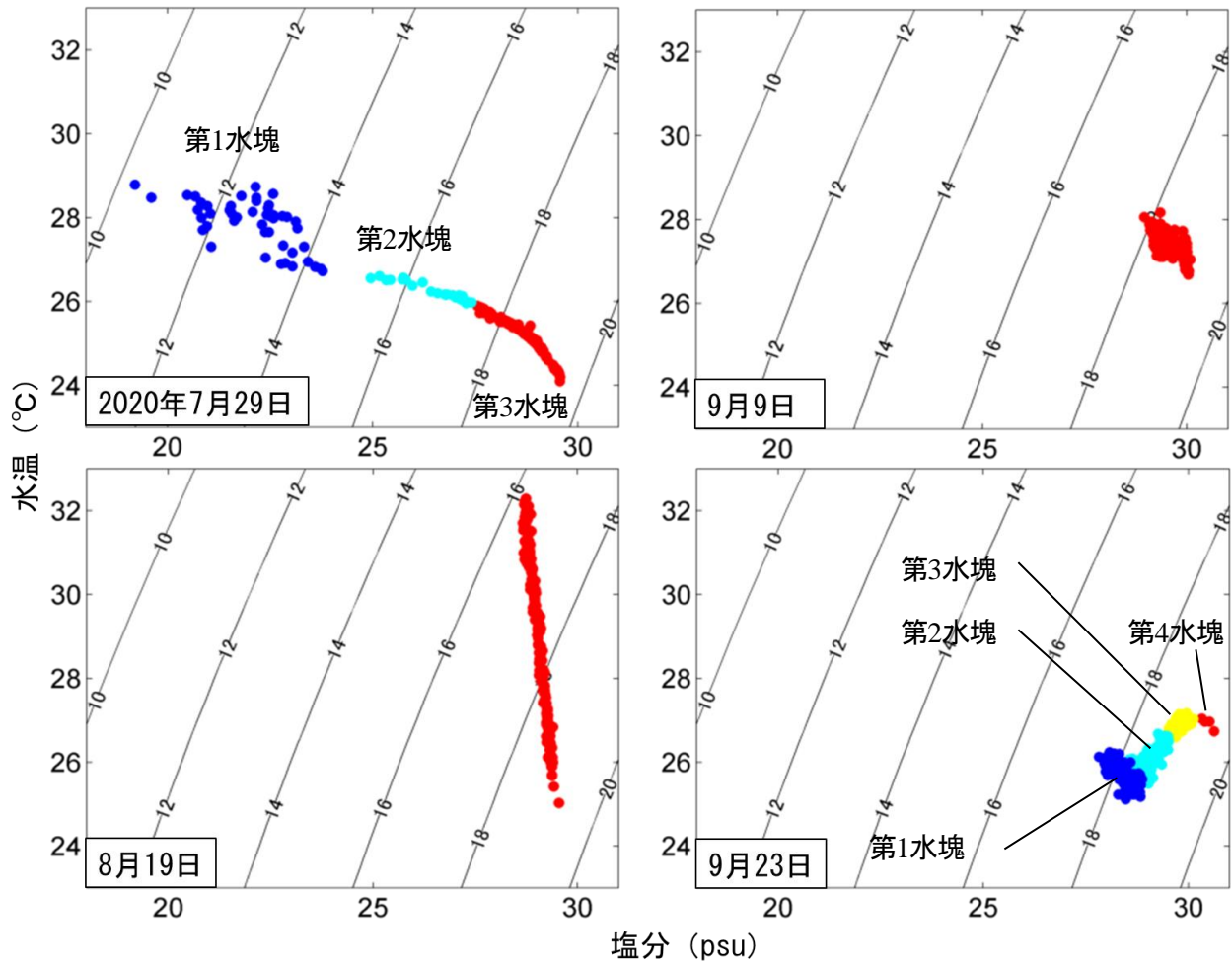


図9 T-Sダイアグラム

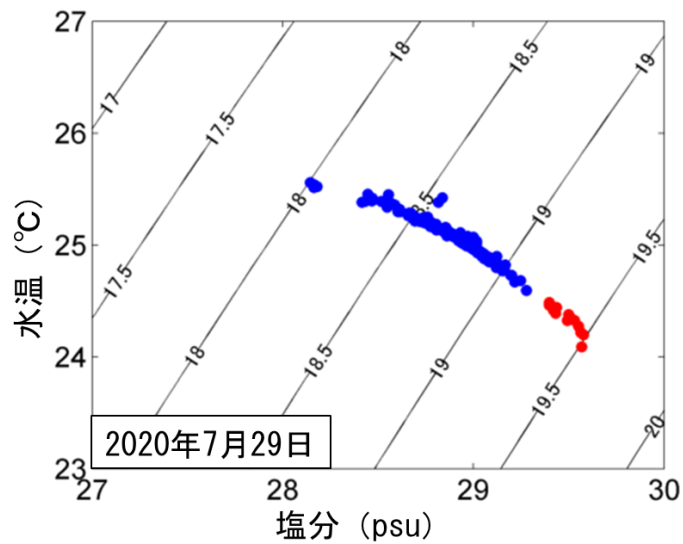


図10 T-Sダイアグラム(水深3 m以深)2020年7月29日測定分

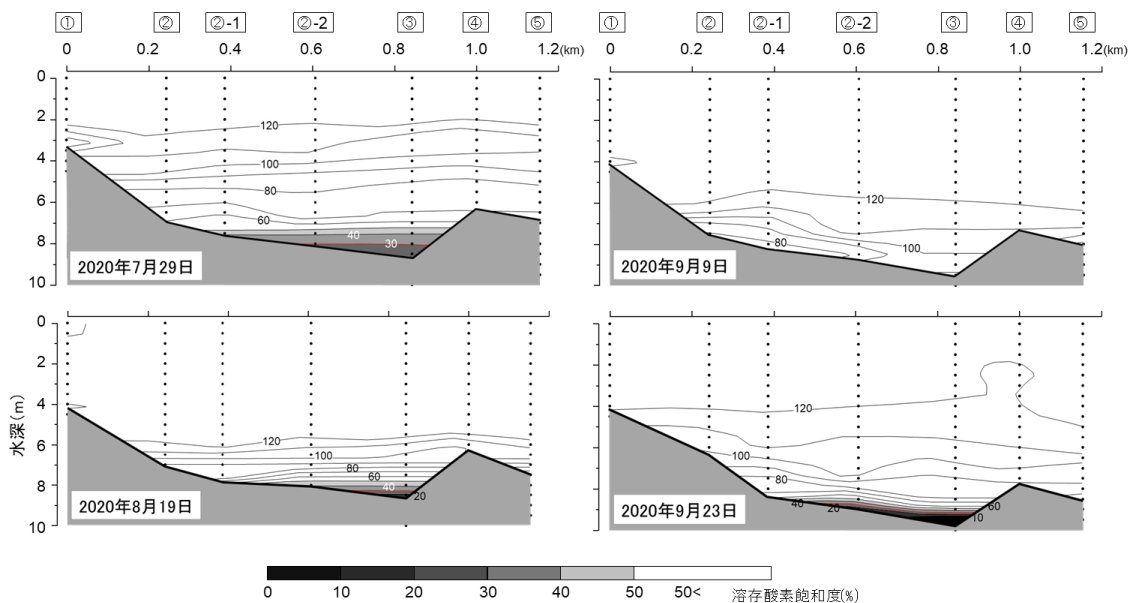


図 11 溶存酸素(DO)飽和度の鉛直断面図

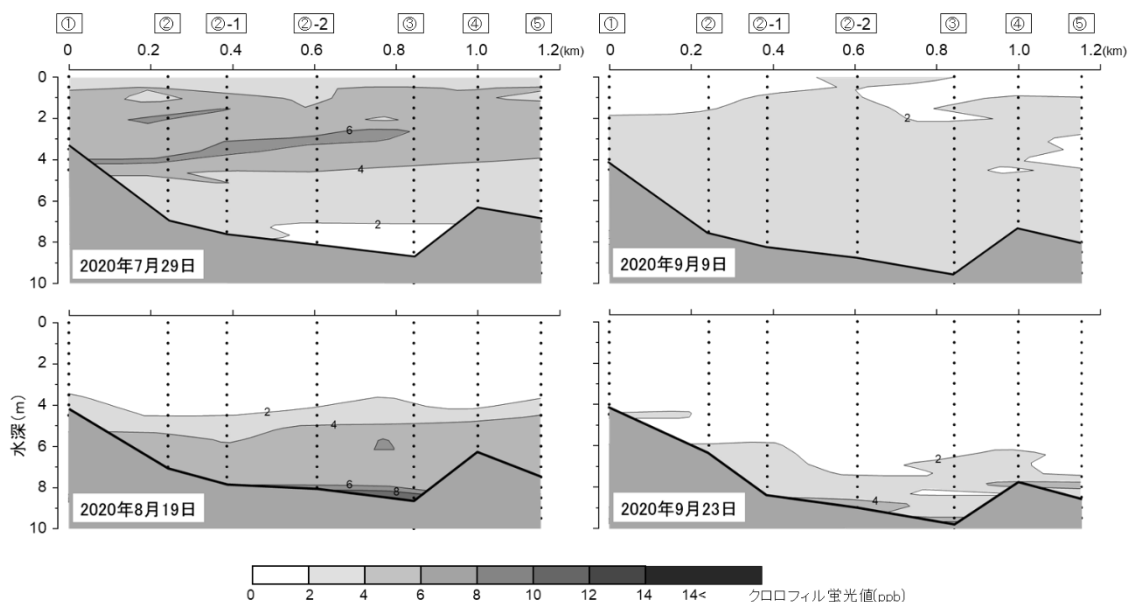


図 12 クロロフィル蛍光値の鉛直断面図

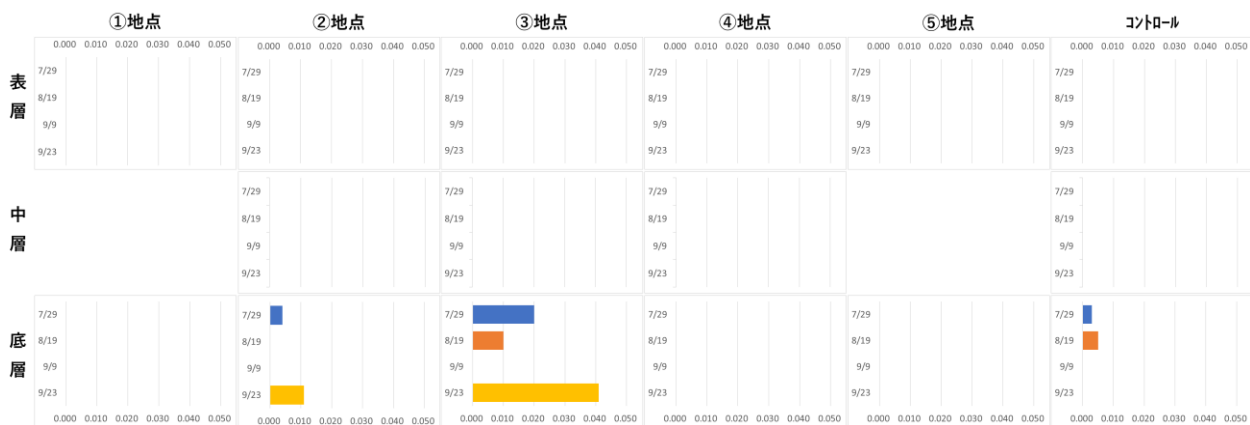


図13 リン酸態リン(単位:mg/L)。各地点左列の数字は観測日を表す。定量下限値:0.003 mg/L

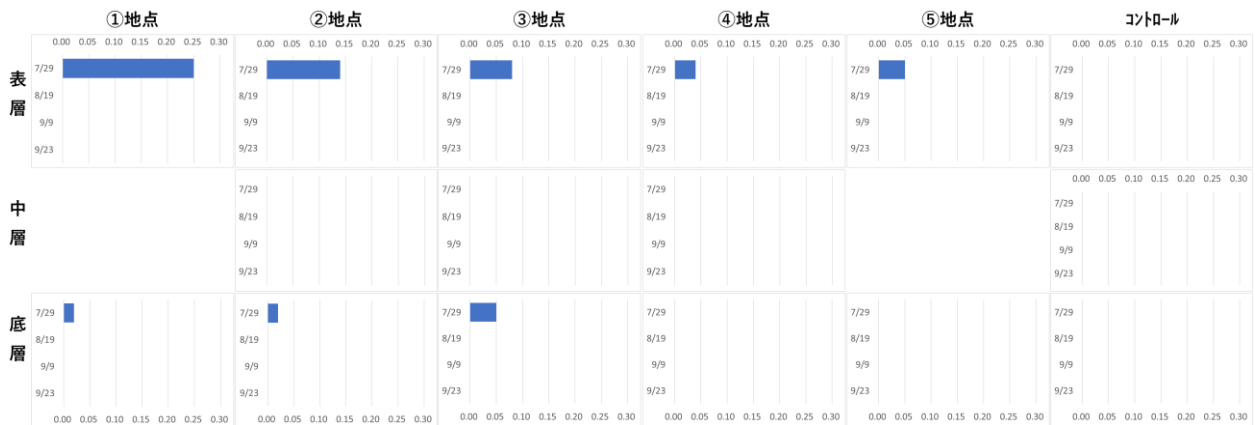


図14 硝酸態窒素(単位:mg/L)。各地点左列の数字は観測日を表す。定量下限値:0.02 mg/L

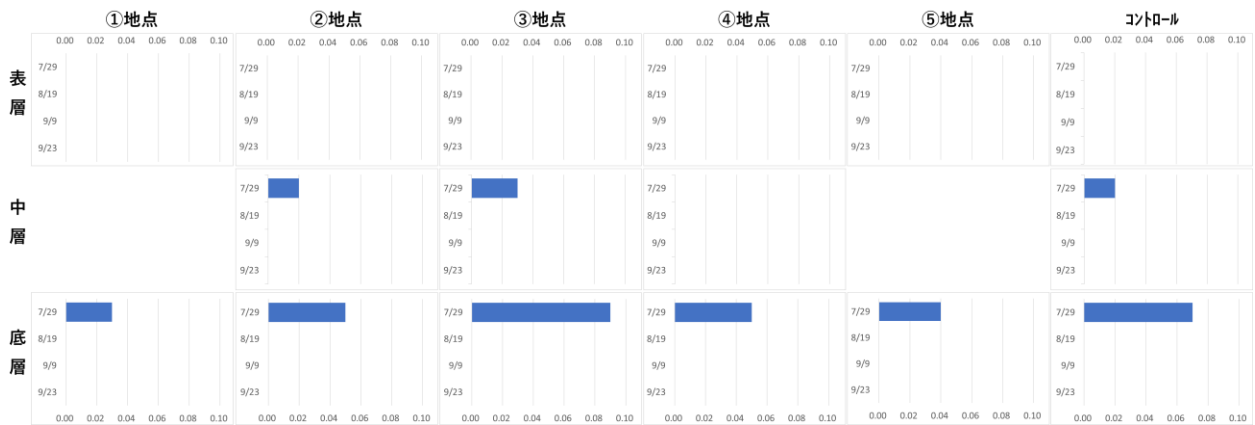


図15 亜硝酸態窒素(単位:mg/L)。各地点左列の数字は観測日を表す。定量下限値:0.02 mg/L

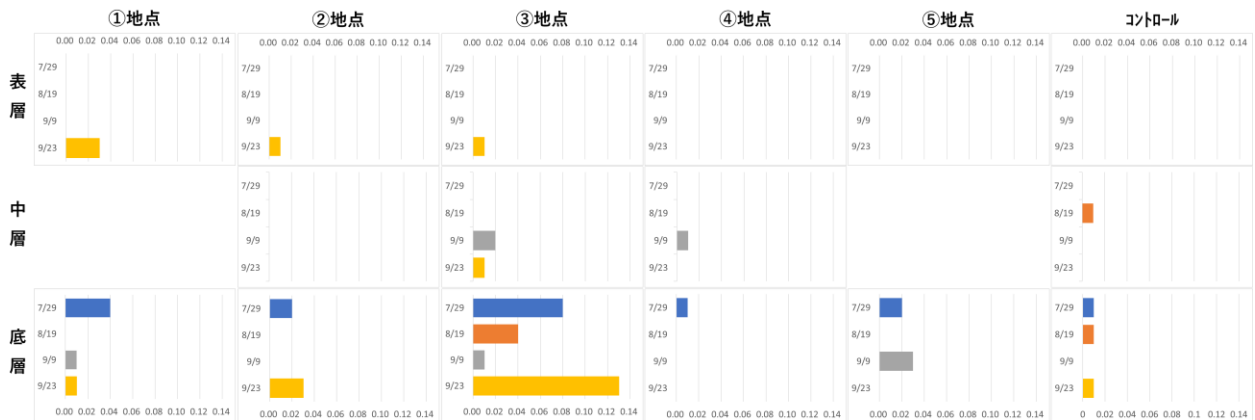


図16 アンモニア態窒素(単位:mg/L)。各地点左列の数字は観測日を表す。定量下限値:0.01 mg/L

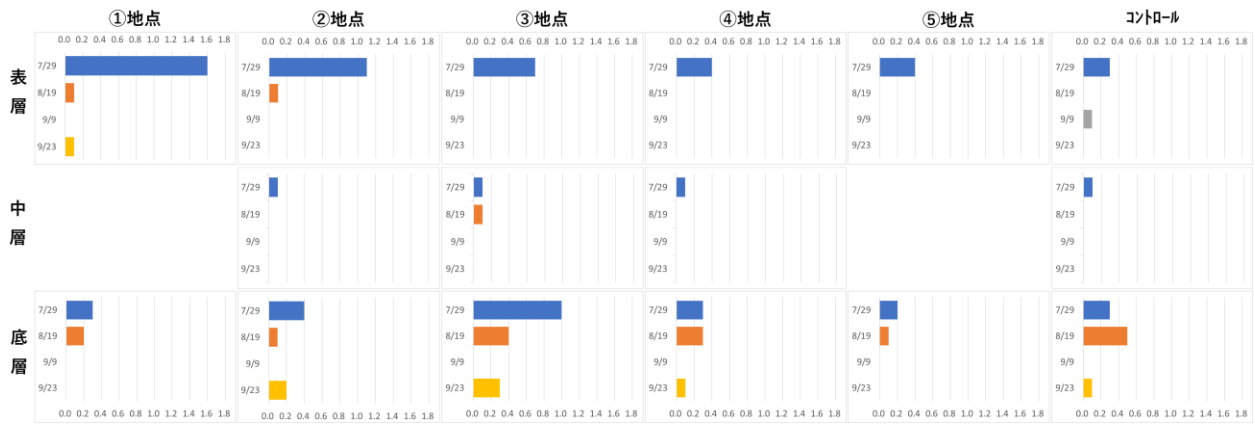


図17 ケイ素(単位:mg/L)。各地点左列の数字は観測日を表す。定量下限値:0.1 mg/L

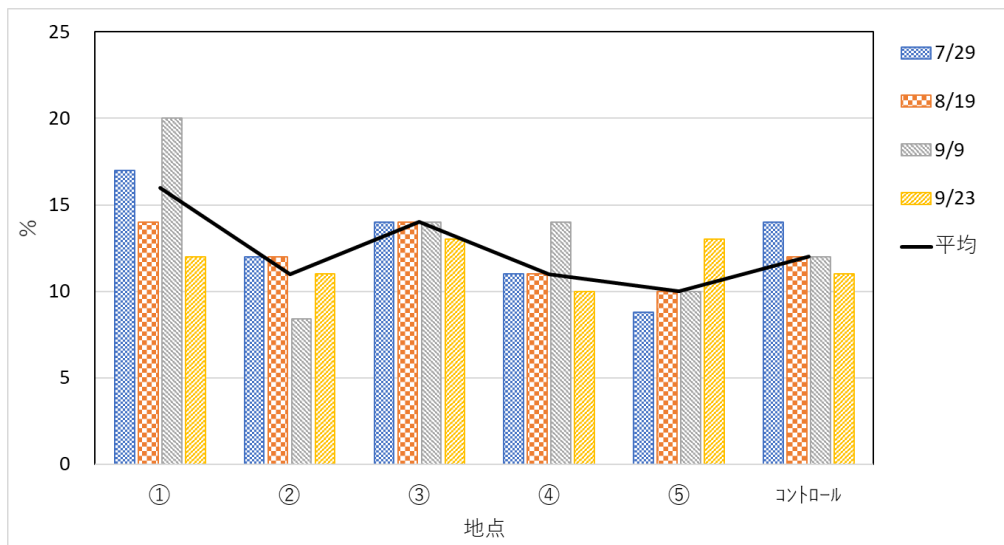


図18 強熱減量(単位:%)。凡例中の数字は観測日を表す。

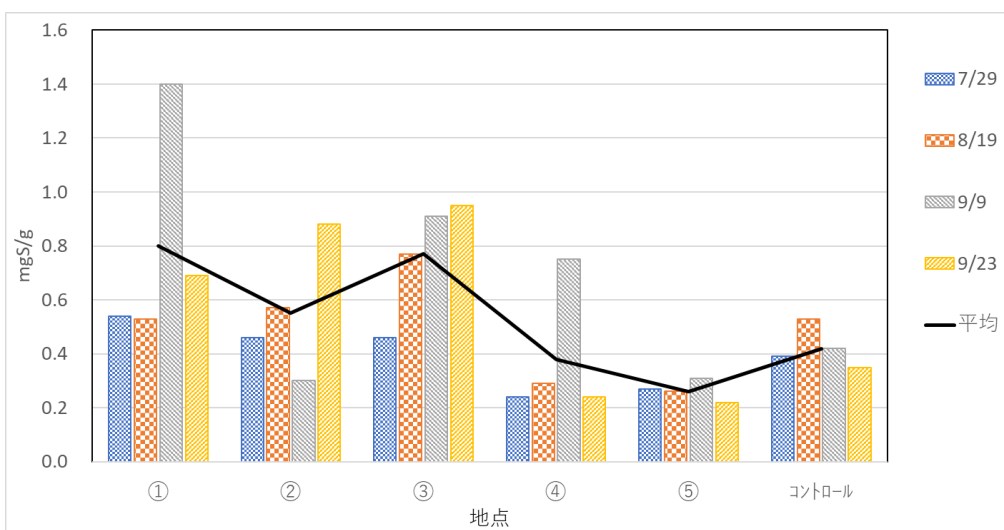


図19 硫化物(単位:mgS/g)。凡例中の数字は観測日を表す。