混合放流水（海淡濃縮海水と下水処理水）が 貧酸素水塊と周辺底面環境に与える影響

EFFECT OF THE DISCHARGE WATER WHICH MIXED SEWAGE DISPOSAL
WATER WITH SEAWATER DESALTING TREATED SEWAGE FOR BOTTOM
SEDIMENT AND HYPOXIC WATER MASS

渡辺亮一¹・山崎惟義²・皆川朋子³・伊豫岡宏樹⁴・北野義則⁵

Ryoichi WATANABE, Koreyoshi YAMASAKI, Tomoko MINAGAWA, Hiroki IYOOKA and
Yoshinori KITANO

¹正会員 博士(工学) 福岡大学准教授 工学部社会デザイン工学科(〒814-0180福岡市城南区七隈8-19-1)

²正会員 工博 福岡大学教授 工学部社会デザイン工学科 (〒814-0180福岡市城南区七隈8-19-1)

³正会員 博士(工学) 福岡大学助教 工学部社会デザイン工学科(〒814-0180福岡市城南区七隈8-19-1)

⁴正会員 工修 福岡大学助手 工学部社会デザイン工学科 (〒814-0180福岡市城南区七隈8-19-1)

⁵正会員 工博 関東学院大学教授 工学部社会環境システム工学科 (〒236-0032 横浜市金沢区六浦町
4834番地)

For every time in summer season, hypoxic water mass has formed at the inner part of Hakata Bay. Field observation study has carried out at the inner part of Hakata Bay since 2004 with the particular aim of tracking the movement of hypoxic water mass. Hypoxic water masses form the end of June to September on this area because the consumption of oxygen in bottom water layers exceeds the re-supply of oxygen from the atmosphere. Under such hypoxic conditions, the seawater desalination plant has begun to use in 2005. After seawater desalination plant operation starting, hypoxic water mass tends to improve. In this research, the authors show the following result. After seawater desalination plant has begun to operate, the hypoxia around the mixed discharge water outlet tends to be improved.

Key Words : *seawater desalting, sewage disposal water, sediment quality, bottom sediment, hypoxic water mass*

1. はじめに

閉鎖性の強い博多湾では夏季を中心に和白水潟と人工島狭窄部や博多湾の東部海域に存在する窪地において、毎年のように貧酸素水塊が長期に渡って（概ね6月～9月）発生し、底生生物の生息環境が著しく悪化している^{1),2),3),4),5)}。このため、和白水潟と人工島狭窄部においては、例年6月初旬まで高密度で生息していたホトトギスガイを優占種とする二枚貝類が、6月末から9月にかけて発生する貧酸素水塊の影響を受けて死滅するといった状況が続いていた。こうした状況下で2005年6月から、福岡地区水道企業団海の中道奈多海水淡水化センター（通称：まみずピア）の運用が始まり、海水淡水化により発生する濃縮海水が和白水処理場からの下水処理水と混合され、塩分を薄めた後、狭窄部海底放流口から放出

されている（図-1参照）。運用開始前は、和白水処理場からの下水処理水は和白水潟に向かって水表面から放出されていた。海水淡水化プラント運用開始直後は、濃縮海水により周辺の底生生物に与える影響が懸念されていたが、海水淡水化開始以降、狭窄部での貧酸素水塊が従来よりも改善されている傾向が、著者らによる水質・流速調査および底質・底生生物調査結果より示唆されている⁶⁾。そこで、本研究では現地観測データを基にして、放流口から放出された混合放流水（海淡濃縮海水と下水処理水の混合水）が貧酸素水塊および周辺底面環境にどのような影響を与えているかを検討している。

2. 調査概要

狭窄部における調査項目は流速、水質、底質および底

図-1 和白干潟およびアイランドシティ狭窄部周辺概略

生生物（二枚貝）の4項目であり、原則、図-1に示す赤丸の地点で2005年より月に一回の割合で調査を行っている。水質調査にはHYDROLAB社製水質チェッカーDS5を使用し水深1m間隔で水温、塩分、溶存酸素濃度等を測定した（海底上0.1mから水表面0.5mまでの区間）。流速測定には、Teledyne RD Instruments社製ワークホースADCPを使用し、水表面2m、底部から1m上と毎深1m間隔で測定した。図-2は、狭窄部海淡水放流口付近の調査地点概略を示している。放流口を中心に70m×75mのグリッドを設定し、25地点の測定点を設けた。流速調査は、放流口を中心として北東方向に側線を4本設定して観測を行った。また、ほぼ同時期に狭窄部周辺の海域で底質および二枚貝の調査を行っている。底質および二枚貝の調査は、船上からスミスマッキンタイヤ型の採泥器を用いて1地点あたり5回採泥を行っている。1回当たりの採泥面積は約0.05m²となり、5回採泥を行うと1地点あたり約0.25 m²の広さを採泥していることになる。採泥後、船上で底質分析用のコアサンプル（直径50mm）を1回当たり一本抜き取り（写真-1上参照）、冷蔵状態で研究室に持ち帰った後、表層から5cmまでを1cm毎にスライスし

写真-1 （上）コアサンプル採取風景・（下）海水で揉み解した後、2mm 篩にかける

図-2 狭窄部放流口付近の調査地点概略

て各層のAVS・ORP・強熱減量および含水比を求めている。この時、船上では表層の泥温を並行して測定し、その後、採泥器内の泥を海水で揉み解し（写真-1下参照）、2mm篩上に残ったサンプルをビニール袋に入れて持ち帰り、10%海水ホルマリンで固定した後、ソーティングを

図-3 2004 年から2007 年にかけての狭窄部周辺での貧酸素水塊発生状況
(観測日は7月下旬から8月上旬：測定点は図-1中の赤丸の点)

図-4 福岡の月降雨量と海水淡水化施設からの
日平均放流流量の関係

行い二枚貝の種類および殻長・質量を測定した。

3. 観測結果

(1) 混合水放流量および水質と貧酸素水塊の状況

図-3は、2004～2007年にかけての狭窄部周辺海底上0.1mの溶存酸素濃度分布を示している。この図から、海水淡水化プラントが稼働を始めた2005年には、狭窄部から和白干潟にかけて貧酸素水塊（本論では溶存酸素濃度が3mg/L以下の状態を貧酸素水塊としている）が発生していないことがわかる。稼働前の2004年には狭窄部全体

図-5 混合放流水の塩分の季節変化

図-6 混合放流水の溶存酸素の季節変化

にわたって貧酸素水塊が発生しており、海水淡水化プラントの運転開始に伴って貧酸素水塊が改善傾向に向かっ

ているものと考えられた。しかしながら、2006年には再び強い貧酸素水塊が発生し、2007年には再び貧酸素水塊が改善傾向にあることがわかる。

図-4は、海水淡水化プラントからの混合放流水の日平均放流量と2005年から2007年にかけての降雨量の関係を表している。この図から、強い貧酸素水塊が発生した2006年には、6月の降雨量が他の年に比べて非常に多いことがわかる。また、6月から7月にかけての放流量を比べると、2007年の放流量は2005、2006年の約半分程度

図-7 T-4 地点における、ホトトギスガイの1 m²あたりの総個体数に対する殻長ごとの比率（各ボックス内上部の値は1 m²あたりの個体数を示す）

しかないことがわかる。

図-5は混合放流水の塩分を表している。この図から、混合放流水の塩分は約30～50（psu）の間で変動しており、平均で約38（psu）であることがわかる。図-6は、混合放流水に含まれている溶存酸素濃度を示している。この図から、混合放流水の溶存酸素濃度は約4.5～8.6（mg/L）の間で変化しており、平均で約5.8（mg/L）程度であることがわかる、これは一般的な貧酸素水塊の溶存酸素濃度よりも3（mg/L）程度高い状態である。

(2) 狭窄部における二枚貝（ホトトギスガイ）の変動

図-7は、2001年から2007年にかけてのT-4地点におけるホトトギスガイの殻長と個体数の変遷を表している。

図-8 M-6 地点における、ホトトギスガイの1 m²あたりの総個体数に対する殻長ごとの比率（各ボックス内上部の値は1 m²あたりの個体数を示す）

図-9 放流口付近の溶存酸素濃度分布 (2007年7月12日)

図-12 T-4 とM-6 地点の底泥表層のAVS 量の比較

図-10 放流口付近の溶存酸素濃度分布 (2007年11月17日)

図-11 放流口付近の塩分分布 (2007年5月19日)

この図から、2001年から2002年にかけては気象との関係で夏季に強い貧酸素水塊が発生しなかったためホトトギスガイが年間を通して生息しているが、2003年から2004年にかけて強い貧酸素水塊が発生した期間には、ほとんどが死滅していることがわかる。また、博多湾でのホトトギスガイの生態に関しては、その寿命は概ね1年であることが確認されている²⁾³⁾。海水淡水化プラントが稼働を開始した2005年以降、ホトトギスガイの個体数が増加し、貧酸素水塊が発生した2006年夏季においても死滅せずに生息し続けていることがわかる。同様の傾向は、T-3およびT-5地点においても確認されている。

図-8は、2002年から2007年にかけての和白干潟前面部に位置するM-6地点におけるホトトギスガイの殻長と個体数の変遷を示している。この図から、博多湾において全体的に強い貧酸素水塊の発生が見られなかった2002年から2003年にかけてはホトトギスガイの生息が確認されていることがわかる。しかし、混合放流水の放流口から離れている湾奥部のこの地点では、海水淡水化プラント

稼働以降もホトトギスガイの個体数は回復していないことがわかる。この傾向は、和白干潟前面に位置するH-1地点においても同じである。

(3) 狭窄部における混合放流水の挙動と底質の変化

図-9に2007年7月12日(梅雨時期)、図-10に2007年11月17日(冬季)の放流口周辺の溶存酸素濃度の鉛直分布を示している。図-9より、放流口周辺の底部でDO濃度約3 (mg/L) 程度の貧酸素水塊が発生しているのに対して、放流口直上(地点8)では、貧酸素水塊には至っていないことがわかる(この時、放流水のDO濃度は約4.5 (mg/L) であり、観測結果とほぼ一致している)。また、図-9では溶存酸素濃度が層状になっていることから密度成層が形成されていることがわかる。それに対して図-10では溶存酸素濃度が海面から海底にかけてほぼ一定で海水がよく混合されており、密度成層が形成されていないことが分かる。

図-11は、2007年5月19日に行われた調査において観測された塩分の分布を表している。この時、中潮の引潮時で、図中の湾口部に向かって潮流が生じている。この図から、潮流の流れに伴って放流口から放出された混合放流水が移動している様子が確認できる。放流口から放出された混合放流水は潮汐の動きに伴って、湾奥狭窄部を移動していることがわかる。また、この時、潮の流れは北西の方向に流れており、底層の流速の平均は約0.05 (m/s) 程度である。距離にして500m近く湾口部の方向に広がっている。

図-12は、和白干潟前面に位置するM-6地点と放流口の湾口側に位置するT-4地点の底泥表層中のAVS濃度の経時変化を表している。この図から、2005年以降で見ると、M-6地点のAVS濃度の方がT-4地点のAVS濃度よりも高くなっていることがわかる。放流口付近のT-4地点のAVS濃度は、海水淡水化プラント稼働以降減少傾向にあるのに対して、湾奥部の地点M-6では変化が見られないことがわかる。このことから、放流水による改善効果は、和白干潟前面に位置するM-6地点までは広がっていないことが推察される。

4. まとめ

2007年に狭窄部周辺で貧酸素水塊が発生した原因の一つとして、この年の降雨量に対して混合放流水の流量が2005、2006年に比べ極端に少なかったことが影響していると考えられる。博多湾内のこの海域は、海水の交換が悪いため、貧酸素水塊の発生が梅雨時期の降雨による影響が大きく作用していることが熊谷ら（2007）⁷⁾の研究により確認されている。このことより、2005、2006年程度の混合放流水の流量があれば貧酸素水塊の発生を防げた可能性が示唆された。また、2007年は夏季に放流口付近に詳細に測点を設けて調査を行ったことで、夏季における溶存酸素濃度(DO)、塩分の空間的な違いをつかむことができ、放流口付近の夏季と冬季の溶存酸素濃度および塩分分布、密度成層の違いを確認することができた。流速に関しては、当初海底の流速が0.1 (m/s) 以下の地点がほとんどであったが、塩分の分布図から中潮時で約500m拡がっていることが確認できた。大潮時にはより広い範囲に拡がるものと推定される。しかし底泥表層のAVSの経年変化から、海水淡水化プラントの稼動以降に放流口付近ではAVSの減少がみられたが、湾奥部には放流水の効果がみられなかった。以上のことから、放流水が周辺の貧酸素化を抑制出来る可能性が高いことが示唆された。また放流水の拡散に伴って周辺の底泥表層の環境が改善されていることもわかった。

5. 今後の課題

貧酸素水塊が発生する溶存酸素濃度と混合放流水の溶存酸素濃度の濃度差が小さいため、貧酸素水塊の発生を抑制するためには、酸素を多く吹き込ませた放流水を放流させる必要があるものと考えられる。また中潮の下げ潮でしか流速を測定することができなかったため、大潮と小潮の時期に調査を行う必要があると考えられる。

謝辞：この研究の一部は、科学研究費補助金(基盤研究C：課題番号21560575，研究代表者：渡辺亮一，および基盤研究C：課題番号21560576，研究代表者：山崎惟義)の助成を受けて行われたものである。ここに記して、謝意を表する。

参考文献

- 1) 山崎惟義，渡辺亮一，北野義則，熊谷博史：博多湾におけるホトトギスガイコホートの加入過程に及ぼす影響因子の解析，環境工学研究論文集，Vol. 44, pp. 547-553, 2007.
- 2) 熊谷博史，渡辺亮一，山崎惟義，藤田健一：優占二枚貝ホトトギスガイが博多湾湾奥の水・底質に与える影響，水環境学会誌，Vol.29, No.1, pp.21-28, 2006.
- 3) 熊谷博史，山崎惟義，渡辺亮一，藤田健一：博多湾におけるホトトギスガイが貧酸素水塊に与える影響，環境工学研究論文集，Vol.40, pp.595-606, 2003.
- 4) 渡辺亮一，山崎惟義，北野義則，貞方健志，濃野浄見：室見川河口沖窪地における貧酸素水塊の拡がりに関する研究，海洋開発論文集，第25巻，pp539 - 544，2009.
- 5) 濃野浄見，山崎惟義，渡辺亮一，北野義則，林 義晃：博多湾東部海域狭窄部における密度成層破壊構造物の現場適応へ向けた検討，海洋開発論文集，第25巻，pp1293 - 1298，2009.
- 6) 中西亮太，山崎惟義，渡辺亮一，馬場崎正博：混合放流水（海淡濃縮排水と下水処理水）が周辺底面環境に与える影響に関する研究，平成19年度土木学会西部支部研究発表会講演集，pp 979-980，2000.
- 7) 熊谷博史，鮎本健治：博多湾湾奥部における貧酸素水塊の発生予測，環境工学研究論文集，Vol. 42, pp. 277-285, 2005.

(2010. 9. 30受付)