

和白干潟における水質の動態に関する現地観測

児玉真史¹・松永信博²・水田健太郎³・徳永貴久⁴

¹九州大学大学院 総合理工学研究科 工修 (〒816-8580 福岡県春日市春日公園 6-1)

²九州大学教授 総合理工学研究科 工博 (〒816-8580 福岡県春日市春日公園 6-1)

³日本下水道事業団 東京支社 東海総合事務所 工修 (〒465-0082 名古屋市長東区神里 1-106)

⁴九州大学大学院 総合理工学府 工修 (〒816-8580 福岡県春日市春日公園 6-1)

富栄養化した海域に存在する干潟上の水質の動態を把握するため、博多湾の和白干潟において夏季および冬季の現地観測を行い、水質変動特性とその要因について検討した。水質の時間変動および物質収支の計算結果から、DO および栄養塩の収支は日中と夜間において大きく異なることが明らかとなった。夏季日中の干潟上では一次生産が卓越し、DO の放出と無機溶存態栄養塩の取り込みが行われ、夜間は逆に DO の消費と栄養塩の放出が行われていることが明らかになった。一方、冬季は夏季ほど明瞭な日中、夜間の違いは無く、各物質収支の絶対値も小さいことが明らかになった。また、干潟における夏季夜間の栄養塩収支は、沖合からの貧酸素水塊の移流の影響を受けている可能性が示唆された。

Key Words: *intertidal sand-flat, eutrophication, nutrient, primary production, field observation*

1. はじめに

沿岸海域の富栄養化は、赤潮による漁業被害をはじめとする様々な社会問題を引き起こしており、自然の持つ浄化能力を利用して海域を浄化しようとする研究が種々の方面で進められている。干潟は沿岸海域における水質浄化の場として大きな役割を担っていると言われていたが、近年埋め立てや開発により干潟は消失しつづけている¹⁾。その一方で、ミチゲーションとして人工干潟の造成の研究もはじめられている²⁾。このような現状において、干潟の持つ水質浄化機能、すなわち物質循環機構を定量化することは、干潟の重要性を再認識し人工干潟を開発する際の基礎データを提供する上でも、極めて重要であると考えられる。

これまでの干潟の物質循環に関する研究の中で最も数多く行われているのは、コアサンプルを用いた室内実験による干潟底泥-海水間の物質交換量の計測である(例えば Falcão and Vale³⁾, Kristensen *et al.*⁴⁾, Kuwae *et al.*⁵⁾)。これらの方法は比較的簡便な方法であり、温度をはじめとする諸条件を制御しやすいという利点がある。一方、水理条件など現場の状況の再現性に乏しいといった問題も有している。

生態系モデルによる数値シミュレーションもいくつか行われている。生態系モデルを用いた解析の代表的なものとして、Baretta & Ruardij⁶⁾や中田・畑⁷⁾の研究が挙げられる。いずれも干潟における物質循環機構を詳細に記述したモデルをいくつかの干潟に適用し、その定量化を試みている。その中で、中田らは、数値解析の妥当性を検証するためには物質循環に重点を置いた観測体系によるデータの蓄積が重要であることを指摘している。しかしながら、これらの再現性を検証するための現地観測データは十分であるといえないのが現状である。

現地での物質循環の研究は、現地実験と現地観測に大別される。現地実験はこれまで様々な手法により行われてきた。その中で、チャンバー法は Bell jar とも呼ばれ、最も多く用いられてきた手法である(例えば、Pomeroy⁸⁾)。これは干潟上にチャンバーを設置することによって一定量の底泥と水塊を隔離し、その水質の時間変化から干潟底泥-海水間の物質交換量を測定する方法である。この方法は周囲水との海水交換が遮断されるため、前述のコアサンプルと同じ問題を有している。近年では、Dame *et al.*⁹⁾や Prins¹⁰⁾はアクリル製のトンネルを潮の満ち引きする方向に設置し、横方向の流れを遮断して入口と出口で水質の変化を計測することにより物質収支の計測

を行っている。この方法は流れの効果を考慮できるという意味では有用な方法であるが、干潟底泥-海水間の物質交換量が小さい場合には長い距離を必要とし、正確な物質収支を見積もることは困難である。一方、現地観測の代表的な例としては、佐々木¹¹⁾¹²⁾の研究が挙げられる。佐々木は、三河湾の一色干潟や東京湾の盤洲干潟において干潟水域を一つのボックスとみなし、同時多点観測により干潟域の物質収支を見積もった。また野村・中村¹³⁾は東京湾の盤洲干潟において、干潟の沖側境界で栄養塩濃度と流量の連続計測を行い、上げ潮時と下げ潮時における物質の流入出量の違いから干潟底泥-海水間の物質交換量を見積もっている。しかしながら、こうした観測はその困難さからまだごく僅かであると同時に、その結果も干潟によって大きく異なっている¹⁴⁾。

以上のような背景を踏まえ、本研究では干潟におけるデータ提供の重要性という観点から、極度に富栄養化した博多湾の湾奥部に位置する和白干潟を対象として選び、夏季および冬季の現地観測を通して水質の動態を調べた。

2. 背景

図-1は1995年から1998年にかけての福岡市環境局および港湾局の観測データ^{15)・16)}から、博多湾における(a)T-N、(b)T-P濃度および(c)N/P比の季節変化を示したものである。それぞれの観測地点を図-2に示す。各値は4年間の平均値である。この図より和白干潟周辺海域では湾中央部、湾口に比べてT-N、T-P濃度が極めて高い状態にあることがわかる。また、季節変化も和白干潟周辺でもっとも大きくなっている。季節変化の特徴としては、T-Nは冬季に高濃度、夏季に低濃度になっているのに対し、T-Pは逆に夏季に高濃度となっている。これらのT-N、T-P濃度の季節変化を反映して、N/P比は夏季に小さくなり冬季に大きな値をとることになる。

和白干潟周辺におけるT-N、T-Pの季節変化の原因としては、河川、下水処理施設からの流入負荷の変動に対する応答、干潟での生産・分解作用の季節変化に対する応答および干潟以外の底泥からの溶出(内部負荷)等が考えられる。図-3は和白干潟周辺海域への(a)T-N、(b)T-P負荷量および(c)流入負荷量のN/P比の季節変化を示したものである¹⁷⁾。図-3より、窒素の流入負荷としては和白下水処理場の寄与が年間を通じて約90%と支配的であるため、窒素の負荷の季節変化は小さいことが分かる。一方リンに

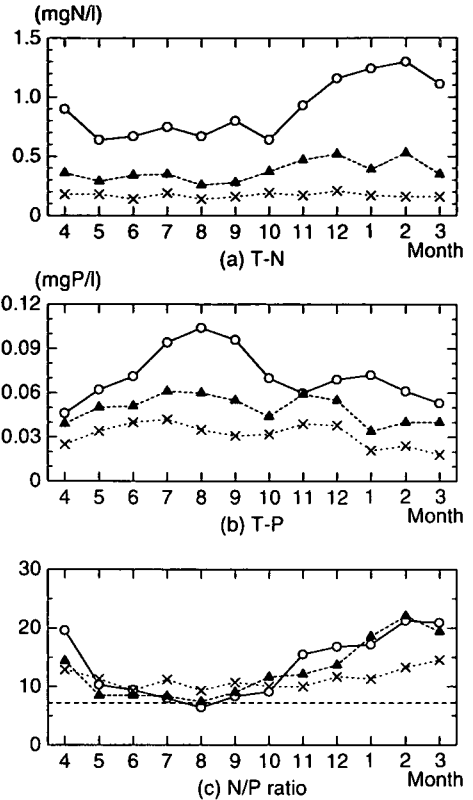


図-1 博多湾における(a) T-N、(b)T-P 濃度および(c)N/P比の季節変化(福岡市調査データより)。ただし、○;和白干潟周辺(H-1)、▲;中部海域(C-1)、×;西部海域(W-3)を示す。また、(c)の破線はレッドフィールド比を表す。

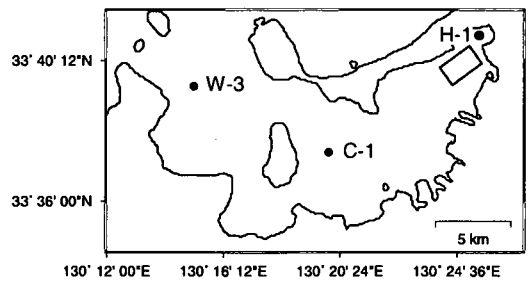


図-2 福岡市による水質調査地点。

については、和白処理場の寄与は約60%と窒素に比べて小さく、河川由来の懸濁態リンの寄与が大きくなる。このため河川流量の増加する夏季にT-Pの負荷量が增大する。流入負荷のN/P比についてみると、最も低い7月において26程度の値をとり、年平均値は37である。

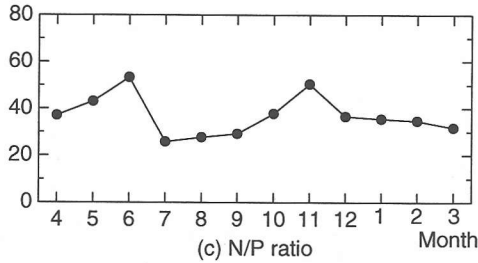
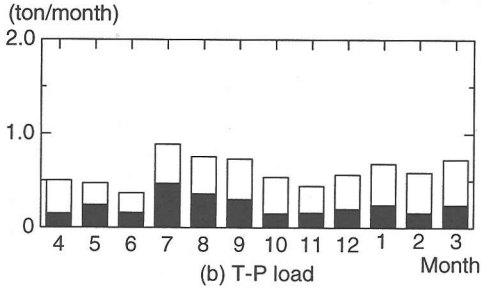
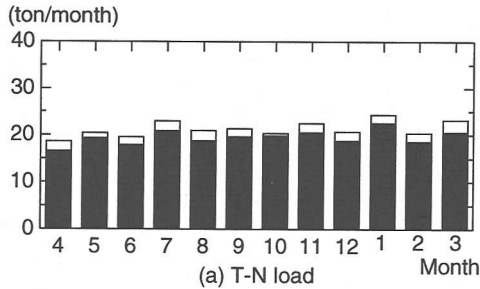


図-3 和白干潟周辺海域への(a) T-N、(b) T-P 流入負荷量および(c) 流入負荷の N/P 比の季節変化(福岡市調査データより)。ただし、■：和白下水道処理場、□：河川その他の負荷を示す。

3. 観測地点及び観測概要

本研究で対象とした和白干潟は博多湾東奥部に位置し(図-4)、南側から流れ込んだ唐原川の前方に発達した前浜干潟である。和白干潟が接する博多湾は九州有数の大都市である福岡市に面した閉鎖性水域で海水交換の悪い海域である。沖合で建設が進められている人工島周辺では夏季に貧酸素水塊の発生が報告されており^{18)、19)}和白干潟周辺の水質はさらに悪化することが懸念されている。和白干潟はその干出面積が大潮時に最大で0.8km²、干出幅600mと比較的小さな干潟であるが、日本海側に存在する数少ない干潟の一つで、朝鮮半島に近いという地理的特性から渡り鳥の格好の越冬地・中継地となっている。そのため自然保護の観点からもその価値が目まぐるしく注目されている干潟である²⁰⁾。

図-4に示すように、観測地点は潮が満ち引きする

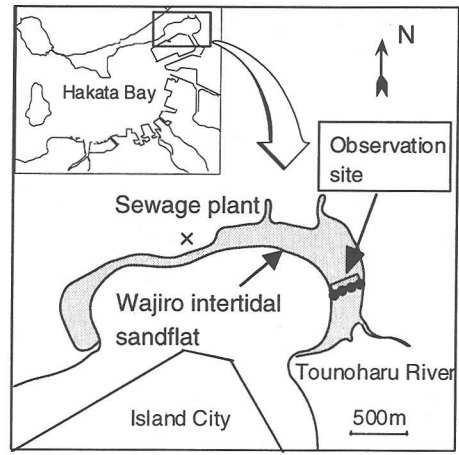


図-4 和白干潟。図中の×は和白下水道処理場を示す。

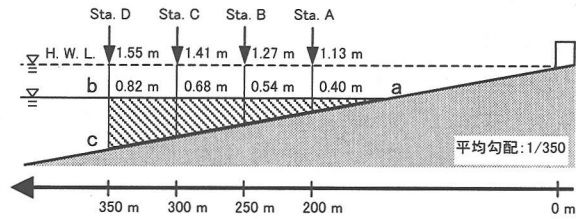


図-5 観測地点。ただし、図中の実線および破線はそれぞれ夏季の各測点における採水時および大潮時の潮位を表す。

方向に設けられた。観測は、2000年8月4日8:30～同5日4:00および2000年11月27日18:40～同28日13:40にかけて行われた。観測地点として図-5に示すように、汀線最大遡上位置付近から200m地点をSta. Aとし、沖に向かって50m間隔でSta. A～Sta. Dの合計4点が選ばれた。観測領域のSta. A～Sta. Dにおける平均海底勾配は1/350であった。観測は、図-5のabcで囲まれる水塊が潮汐に伴って測線上を岸沖方向に移流するものと仮定し、この水塊内の水質の空間分布の時間変化を捉えるために、夏季はそれぞれ上げ潮時にSta. Aの水深が40cmとなった時(8月4日8:30および同22:00)と下げ潮で再びSta. Aの水深が40cmに戻った時(15:30、4:00)に行われた。冬季はそれぞれ上げ潮時にSta. Aの水深が30cmとなった時(11月27日18:40および11月28日8:40)と下げ潮で再びSta. Aの水深が30cmに戻った時(11月28日1:00および同13:40)に行われた。

試料を採取し、クロロフィル a 量が調べられた。

4. 栄養塩およびDO収支の算出方法

干潟における水質の変化を単位面積を持つ水柱の単位時間当たりの変化率として評価するため、佐々木¹²⁾の方法を参考にして以下の方法により水塊内の物質収支 F を算定した。まず図-5に示される水塊 abc は潮汐に伴って岸沖方向のみに移流するものと仮定した。一般に河川流入の影響が小さい干潟域における流動は、沿岸方向成分に比べて岸沖方向の流動が卓越することが指摘されている²¹⁾。また 2001年に和臼干潟において水質の空間分布に関する平面的な観測を行った結果、沿岸方向の水質の濃度差は小さいことが明らかになっていることから²²⁾この仮定はほぼ妥当であると考えられる。夏季において対象とする水塊の先頭部分が Sta. A に到達した時刻 8:30 と、この水塊が上げ潮に伴って干潟上を最大遡上位置まで移動し、下げ潮によって再び Sta. A に戻った時刻 15:30 の間の収支を Case (I) とし、以下同様に夏季 22:00~4:00 の収支を Case (II)、冬季では 18:40~1:00 および 8:40~13:40 の収支をそれぞれ Case (III) および Case (IV) として解析を行った。収支の計算は式(1)で示すように、各観測間の水塊内の DO および栄養塩濃度の平均濃度の差 ΔC (mg/l) とその水塊の体積 V (m^3) との積を求め、それを経過時間 T (hour) と水塊の底面積 A (m^2) で割ることによって、単位面積、単位時間当たりの水塊内の物質収支 F ($mg\ m^{-2}\ h^{-1}$) を評価した。

$$F = \frac{\Delta C V}{T A} \quad (1)$$

ここで、 F は底泥-海水間のフラックスと水塊内部での光合成・呼吸などの生化学反応の両方を含んだ量として表されている。 F が正の場合は水塊への放出、負の場合は水塊からの消失を表す。

5. 観測結果

(1) 水質の空間分布の時系列変化

図-7、図-8にそれぞれ夏季および冬季における(a) DO, (b) DIN, (c) リン酸態リン, (d) クロロフィル a の空間分布の時系列変化を示す。ここで DIN はアンモニア態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素の合計として表されている。また横軸は、汀線最大遡上位置からの

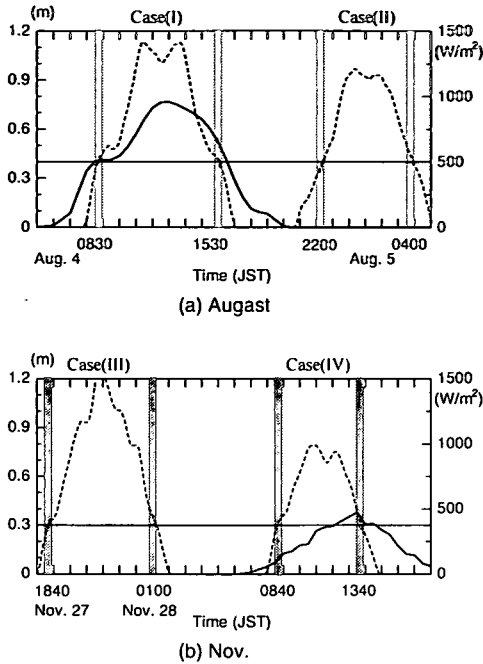


図-6 (a) 夏季, (b) 冬季における Sta. A での潮位 (破線) および全日射量 (実線)。ただし、図中の灰色のハッチは採水時間帯を示す。

いずれの観測とも Sta. A~Sta. D の 4 点で行われ、水塊中の水質の空間分布が計測された。また、水位計を Sta. D に設置し、潮位の連続観測を行った。図-6に観測期間中における Sta. A での潮位および日射量を示す。観測期間中における水温は、夏季が 26.9~32.2℃、冬季が 10.9~14.9℃であった。水質調査の項目は各栄養塩、DO、クロロフィル a、塩化物イオンである。栄養塩類の分析には水質分析装置 (セントラル科学 DR2010) を用いた。このうち、無機溶存態の栄養塩、 NH_4-N (アンモニア態窒素)、 NO_3-N (硝酸態窒素)、 NO_2-N (亜硝酸態窒素)、 PO_4-P (リン酸態リン) の分析には試料水をガラス繊維濾紙 (Whatman GF/C) で吸引濾過した濾液が用いられた。DO 濃度は採水時に溶存酸素計 (東亜電波工業 DO-25A) を用いて測定された。クロロフィル a の分析は試料水約 500ml をガラス繊維濾紙 (Whatman GF/C) で吸引濾過した後に濾紙を 90% アセトン中に入れ、得られたクロロフィル a 抽出液を Lorenzen の方法に従って分析した。また、汀線最大遡上位置から 50 m, 100 m, 200 m の 3 地点において、底生微細藻類および和臼干潟におけるマクロベントスの優占種であるホソウミニナの現存量調査を行った。底生微細藻類の調査として、表層から 0.5 cm までの底質の

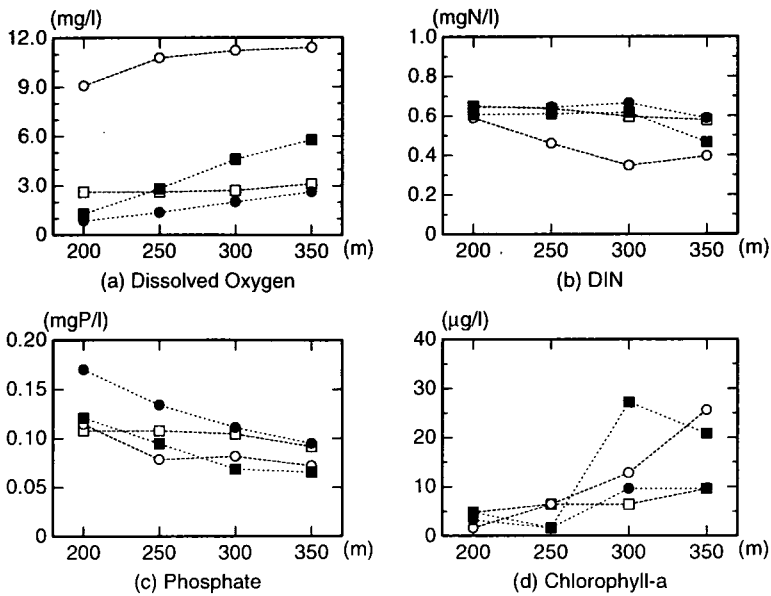


図-7 夏季における水質の空間分布の時系列変化。横軸は汀線最大遡上位置からの距離を示す。ただし、□；8:30，○；15:30，■；22:00，●；4:00の分布を表す。

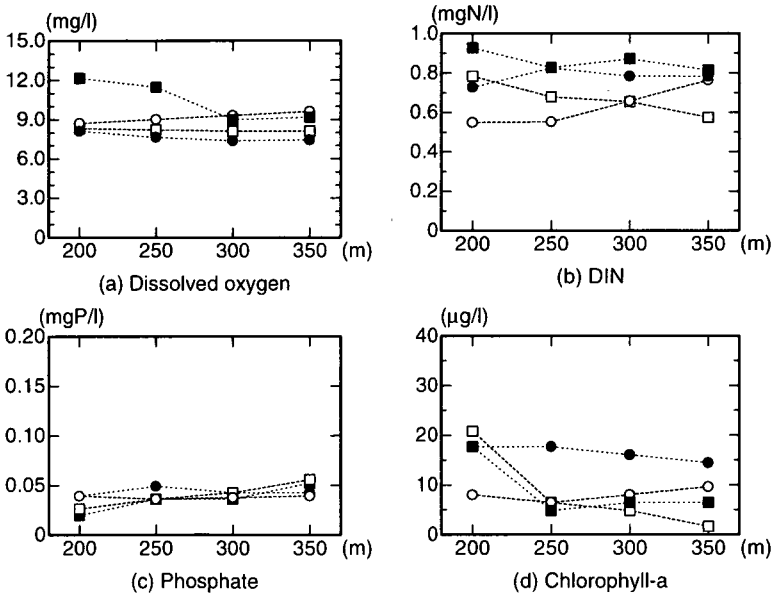


図-8 冬季における水質の空間分布の時系列変化。ただし、□；8:40，○；13:40，■；18:40，●；1:00の分布を表す。横軸は汀線最大遡上位置からの距離を示す。

距離を示す。図-7(a)より夏季のDO濃度はいずれの時間においてもフロント部分で低く、沖側で高い分布となっており、その時間変化も大きい。ここで興味深いのは、8:30において貧酸素状態にあった水塊は、干潟上での一次生産により15:30には岸沖方向に十分なDOを含んだ水塊となって観測領域へ戻ってくる。し

かしながら、さらに一度沖合へ移動した水塊が再び遡上して戻って来た22:00には貧酸素状態にもどっていることである。これに関しては6の考察で述べることにする。一方、冬は比較的高濃度で岸沖方向の濃度勾配も小さく、9~10 mg/lと安定していることがわかる。栄養塩の空間分布についてみると、夏季にはDOの分

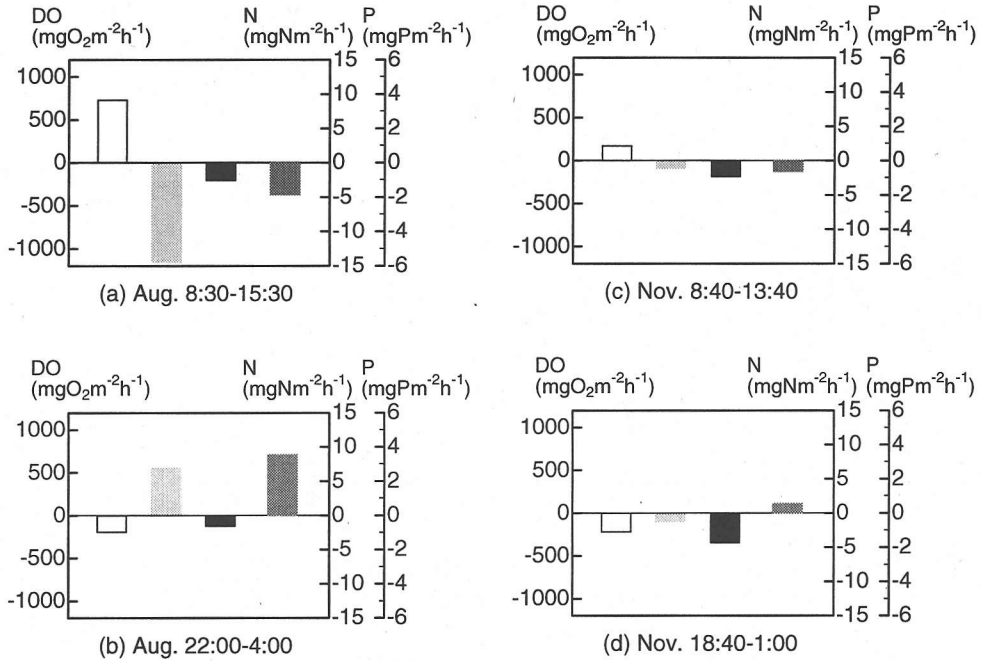


図-9 夏季および冬季における DO および栄養塩収支。ただし、DO は左軸、窒素およびリンは右軸参照。ただし、□は DO、▨はアンモニア態窒素、■は硝酸態窒素+亜硝酸態窒素、■はリン酸態リンの収支を表す。

布とは逆の傾向を示し、DINおよびリン酸態リンのいずれもフロント部分で濃度が高く、沖へ行くほど低濃度となる傾向を示す。一方、冬季は明確な分布は見られない。栄養塩濃度の絶対値については、夏季にDINが低くリン酸態リンが高いのに対し、冬季は夏季にくらべてDIN濃度が高くリン酸態リンの濃度が低くなっている。このためリン酸態リンに対する溶存態の窒素の比率は重量比で夏季に5.1~7.2 (平均: 6.0) と低く、冬は15.9~22.7 (平均: 18.4) と高くなっている。これらとレッドフィールド比7.2との比較から、夏季の栄養塩は比較的バランス良く存在しているのに対し、冬季はリン酸態リンの濃度そのものも低いことから強いリン制限になっているものと考えられる。これは図-1で示した福岡市の観測データとも一致した傾向である。クロロフィルa濃度に関してはDO濃度の分布と同じ傾向であり、夏季のクロロフィルa濃度はどの時間帯においても沖側へ向かって高濃度になっているのに対し、冬季は岸沖方向でほぼ一様かあるいは岸側で高い分布となっている。

こうした夏季における無機溶存態栄養塩およびクロロフィルaの岸沖分布は、佐々木²³⁾や野村・中村¹³⁾が夏季に盤洲干潟で行った現地観測結果と一致する

傾向である。佐々木は夏季にこれらの分布が形成される原因として、岸側では植物プランクトン等の懸濁物質がアサリなどの懸濁物食者に餌として食べられて減少する一方、分解・排泄物として溶存態の無機栄養塩が放出されることを挙げている。しかしフロント部分で栄養塩濃度が高くなる原因としては、水深が浅いフロント部分では、夜間のベントスによる排泄、有機物の分解等による放出の影響を受けやすいことに加え、水中の溶存態栄養塩を吸収する植物プランクトンの絶対量が沖側に比べて圧倒的に少ないこと、フロント部分の生産者として卓越する底生微細藻類が間隙水の栄養塩を多く利用することも一つの要因となっていると考えられる。

(2) 夏季のDOおよび栄養塩収支

図-9(a), (b)にそれぞれCase (I), (II)におけるDOおよび栄養塩の収支計算結果を示す。(a) 0830-1530の時間帯においては、大量のDOの放出と栄養塩の吸収が活発に行われている。これは日中であるためベントスなどによる酸素消費よりも一次生産が卓越しているためであると考えられる。この時間帯での純生産速度は732 mgO₂m⁻²h⁻¹に達している。またアンモニア態窒素、

硝酸+亜硝酸態窒素およびリン酸態リンの取り込み速度はそれぞれ $14.5 \text{ mgN m}^{-2}\text{h}^{-1}$ 、 $2.6 \text{ mgN m}^{-2}\text{h}^{-1}$ および $1.8 \text{ mgP m}^{-2}\text{h}^{-1}$ であり、栄養塩の取り込み比、すなわちDIN/DIP比は9.5となっている。(b) 2200-0400の時間帯になると、夜間であるためベントスなどの呼吸による酸素消費が卓越し酸素消費速度は $189 \text{ mgO}_2 \text{ m}^{-2}\text{h}^{-1}$ となっている。しかしながら、ここで得られた酸素消費速度は図-7(a)に示されるように、DO濃度の初期値が低い状況下での値である。後に示す冬季夜間の酸素消費速度との比較からも、干潟底泥が持つ酸素消費のポテンシャルとしては過小評価となっているものと考えられる。また、この時間帯の栄養塩はいずれも放出傾向にあり、アンモニア態窒素、硝酸+亜硝酸態窒素およびリン酸態リンの放出速度は、それぞれ $6.9 \text{ mgN m}^{-2}\text{h}^{-1}$ 、 $-1.5 \text{ mgN m}^{-2}\text{h}^{-1}$ および $3.5 \text{ mgP m}^{-2}\text{h}^{-1}$ となっている。この時、DINとDIPの放出比は1.8という小さな値をとっており、22:00時点での平均のDO濃度が低いことから、嫌気的な状況下で過剰なリンが底泥から溶出していると考えられる。このプロセスは、リンが制限栄養塩となっている博多湾において極めて重要であり、こうして夜間にリンが大量に放出されることによって日中の一次生産、特に浮遊生態系の植物プランクトンの増殖に寄与しているものと考えられる。

(3) 冬季のDOおよび栄養塩収支(夏季との比較)

図-9(c), (d)に冬季の日中、夜間におけるDOおよび栄養塩の収支計算結果を示す。DOについては、日中の時間帯は夏季と同様に生産が卓越しているが、その絶対値は夏季に比べて小さく、日中のDOの純生産速度は $94 \text{ mgO}_2 \text{ m}^{-2}\text{h}^{-1}$ と夏季の1/8である。夜間の酸素消費速度は $222 \text{ mgO}_2 \text{ m}^{-2}\text{h}^{-1}$ であり夏季と同程度となっている。これは先に述べたように、夏季夜間の酸素消費速度はDO濃度が低い状況での値であるためと考えられる。栄養塩の収支に関しては夏季ほど明瞭な日中、夜間の違いは無く、その絶対値も小さくなっている。

(4) 底生微細藻類およびマクロベントスの現存量

図-10は夏季、冬季における(a) 底生微細藻類および和白干潟におけるマクロベントスの優占種である(b) ホソウミニナの生息密度を示したものである。ただし、いずれの値も50 m, 100 m, 200 mの3地点の平均値で表されている。本研究で得られた底生微細藻類の生息密度は夏季に 125 mgChlam^{-2} 、冬季に 159 mgChlam^{-2} であった。これらの値は湿重量当たりではそれぞれ、 $4.5 \text{ } \mu\text{gChla gwet}^{-1}$ 、 $12.1 \text{ } \mu\text{gChla gwet}^{-1}$ であり、 $\text{C/Chla}=35$ を用いて有機炭素量に換算するとそれぞれ、 4.4 gCm^{-2} 、 5.6 gCm^{-2} となる。日本国内での底生微細藻類の観測例としては、瀬戸内海に面した高松市の春日

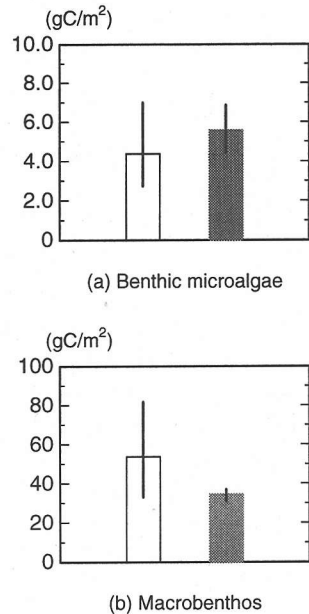


図-10 夏季、冬季における底生藻類およびマクロベントス(ホソウミニナ)の現存量。ただし、□は夏季、■は冬季を表す。図中の実線は最大値、最小値の範囲を示す。

川・新川における河口干潟の $27.8 \sim 120.2 \text{ mgChlam}^{-2}$ 、三河湾一色干潟での $83 \sim 149 \text{ mgChlam}^{-2}$ 、東京湾盤州干潟での $0.30 \sim 5.21 \text{ } \mu\text{gChla gwet}^{-1}$ 等の値が報告されている^{24), 25), 26)}。これらとの比較から和白干潟の底生微細藻類生息密度は国内では高い部類に含まれると言える。(a)で示される夏季の底生微細藻類の現存量が冬季よりも低いのは、夏季に増加するホソウミニナなどの堆積物食者の摂食圧を反映しているものと思われる。そのホソウミニナの現存量は夏季には 53.8 gCm^{-2} 、冬季には 34.5 gCm^{-2} であり、底生微細藻類の10倍のオーダーとなっている。

6. 考察

本観測において得られた最も特徴的な結果の一つは、Case (II)すなわち夏季夜間の時間帯において対象水塊のDO濃度が低く、DINとDIPの放出比が1.8という小さな値をとることである。15:30~22:00の間に対象水塊は潮下帯に存在していることから、15:30から22:00にかけての急激なDO濃度の低下は干潟上で消費されたものとは考えにくい。先に述べたように、夏季には和白干潟前面の人工島周辺では定常的に貧酸素水塊が存在しているという報告もあ

ることから¹⁹⁾、このような DO 濃度の低下は対象水塊が沖合の貧酸素水塊と混合することによって起こったもの、言い換えれば沖合から貧酸素水塊が干潟上に移流してきている可能性が高いと考えられる。この意味で Case (II)の時間帯における栄養塩収支の結果は、干潟生態系内での現象のみならず沖合の影響を強く受けた結果あると言える。鈴木²⁷⁾は水質浄化機能を有する干潟を含めた浅海域に影響を及ぼす貧酸素水塊の発生は、ペントスの斃死などに伴う生態系および物質循環機構の変化その持つ水質浄化機能を消失させるだけでなく、これらの場所を浄化の場から負荷源へと転換させる可能性を有していることを指摘している。和白干潟が存在する博多湾の湾奥部は極めて富栄養化が進行していることから、こうした水質浄化機能の低下が生じているものと考えられる。以上のことから干潟の水質浄化機能を明らかにする上では周辺海域も含めた形での物質循環の定量化が重要であると考えられる。

7. おわりに

本研究では富栄養化した干潟における水質の動態を把握するため、博多湾の和白干潟において夏季および冬季の現地観測を行い、水質変動特性とその要因について検討した。以下に得られた主な結論を示す。

(1)水質の空間分布の観測から、夏季においては DO およびクロロフィルa濃度はフロント部分で低く沖側で高いのに対し、DINおよびリン酸態リン濃度は逆にフロントで高く沖側で低い分布であった。一方、冬季の DO、クロロフィルa、栄養塩とも岸沖方向にはほぼ様な分布であった。

(2)潮汐に伴って岸沖方向に移流する水塊を追跡して干潟上での一潮汐間の物質収支について解析を行った。その結果、夏季日中は DO の生産および栄養塩の取り込みが卓越するのに対し、夜間は逆に DO の消費および栄養塩の放出が卓越する結果となった。冬季の DO の収支は夏季と同様の傾向を示したが、その絶対値は夏季に比べて小さい。また冬季の栄養塩の収支に関しては夏季ほど明瞭な日中、夜間の違いは無く、その絶対値も小さくなっている。

(3)夏季夜間における栄養塩収支は DIN と DIP の放出比が 1.8 と低く、嫌気的な状況下で過剰なリンが底泥から溶出していることが明らかとなった。この時間帯に干潟上に移流してきた DO 濃度が低い水塊は沖合の貧酸素水塊と混合していると考えられたことから、干潟上での物質収支には干潟生態系内での現象のみならず

沖合の影響を強く受ける可能性が示唆された。

参考文献

- 1) 環境庁編：環境白書総説，平成6年度版，大蔵省印刷局，pp. 369-371, 1995.
- 2) 福田和国，横山正樹，羽原浩史：ミチゲーションを目的とした人工干潟造成事業，土木施工，33，pp. 53-60, 1992.
- 3) Falcão, M. and Vale, C. : Study of the Ria Formosa ecosystem : benthic nutrient remineralization and tidal variability of nutrients in the water, *Hydrobiologia*, 207, pp. 137-146, 1990.
- 4) Kristensen, E., Jensen, M. H. and Jensen, K. M. : Temporal variations in microbenthic metabolism and inorganic nitrogen fluxes in sandy and muddy sediments of a tidally dominated bay in the northern Wadden Sea. *Helgoländer Meeresunters*, 51, pp. 295-320. 1997.
- 5) Kuwae, T., Hosokawa, Y. and Eguchi, N. : Dissolved inorganic nitrogen cycling in Banzu intertidal sand-flat, Japan, *Mangroves and Salt Marshes*, 2, pp. 167-175, 1997.
- 6) Baretta, J. and Ruardij, P. : Tidal Flat Estuaries, Simulation and Analysis of the Ems Estuary, Springer-Verlag, pp. 353, 1988.
- 7) 中田喜三郎，畑恭子：沿岸干潟における浄化機能の評価，水環境学会誌，Vol. 17, No. 3, pp. 158-166, 1994.
- 8) Pomeroy, L. R. : Algal productivity in salt marshes of Georgia, *Limnol. Oceanogr.*, 4, pp. 386-397, 1959.
- 9) Dame, R. F., Zingmark, R. G. and E. Haskin. : Oyster reefs as processors of estuarine materials. *J. Exp. Mar. Ecol.*, 83, pp. 239-417, 1984.
- 10) Prins, T. : Bivalve grazing, nutrient cycling and phytoplankton dynamics in an estuarine ecosystem. Netherlands Institute of Ecology-Centre for Estuarine and Coastal Ecology, pp. 151, 1996.
- 11) 佐々木克之：干潟域の物質循環，沿岸海洋研究ノート，第26巻，第2号，pp.172-190, 1989.
- 12) 佐々木克之：内湾および干潟における物質循環と生物生産 23，夏季盤洲干潟の窒素，リンおよびクロロフィルaの収支，海洋と生物，19，pp. 244-248, 1997.
- 13) 野村宗弘，中村由行：盤洲干潟における潮汐に伴う水質変動に関する現地観測，水環境学会誌，25，pp. 217-225, 2002.
- 14) Asmus, R. M., Sprung, M. and Asmus, H. : Nutrient fluxes in intertidal communities of a South European lagoon (Ria Formosa) - similarities and differences with a northern Wadden Sea Bay (Sylt-Rømø Bay), *Hydrobiologia*, 436, pp. 217-235 2000.
- 15) 福岡市環境局：福岡市水質測定結果報告，1995-1998.

- 16) 福岡市港湾局：アイランドシティ整備事業環境監視結果, 1995-1998.
- 17) 福岡市港湾局：博多湾水質負荷量算定業務委託報告書, 2000.
- 18) Karim, Md. Rezaul, Sekine, M., Higuchi, T. and Ukita, M. : Simulation on the probability of occurrence of hypoxic and anoxic water in a coastal bay due to eutrophication and land reclamation, *J. Environ. Syst. and Eng.*, JSCE, No. 629/VII-21, pp. 83-97, 2001.
- 19) 鮓本健治, 熊谷博史, 楠田哲也：博多湾奥部における貧酸素水塊の挙動, 土木学会西部支部研究発表会講演概要集, B-474-475, 2002.
- 20) 逸見泰久：和白干潟の生き物たち, 海鳥社, pp. 195, 1994.
- 21) Le Hir P., Roberts, W., Cazaillet, O., Christie, M., Bassoullet, P. and Bacher, C. : Characterization of intertidal flat hydrodynamics, *Cont. Shelf Res.*, 20, pp. 1433-1459, 2000.
- 22) 児玉真史, 徳永貴久, 松永信博：干潟における水質の季節変化とその変動要因に関する研究, 海岸工学論文集, 第49巻, pp. 1116-1120, 2002.
- 23) 佐々木克之：内湾および干潟における物質循環と生物生産 22, 夏季盤洲干潟の窒素, リンおよびクロロフィルaの分布, 海洋と生物, 19, pp. 128-134, 1997.
- 24) 門谷茂：瀬戸内海の現状と干潟域における物質循環, 海洋と生物, Vol. 22, No. 4, pp. 323-331, 2000.
- 25) Goto, T., Mitamura, O. and Terai, H. : Seasonal variation in primary production of microphytobenthos at the Isshiki intertidal flat in Mikawa Bay, *Limnology*, 1, pp. 133-138, 2000.
- 26) Kuwae, T. : Biogeochemical Roles of Benthic Microorganisms in Intertidal Sandflats, PhD thesis, 93 p, 2002.
- 27) 鈴木輝明：貧酸素化が内湾の底生生態系および窒素循環に与える影響—三河湾における事例—, 陸水学雑誌, 63, pp. 82-85, 2002.

(2002.1.7 受付)

FIELD OBSERVATION OF WATER QUALITY ON WAJIRO INTERTIDAL SAND-FLAT

Masashi KODAMA, Nobuhiro MATSUNAGA,
Kentaro MIZUTA and Takahisa TOKUNAGA

In order to investigate the spatio-temporal variations of water quality on an intertidal flat which is located in eutrophicated bay, field observations of water quality have been made on Wajiro intertidal sand-flat in summer and winter. In the daytime of summer, dissolved oxygen is produced and dissolved inorganic nitrogen (DIN) and phosphate are removed from the seawater. While in the nighttime of summer, dissolved oxygen is consumed and DIN and phosphate are released from the sediment. In the winter, the absolute values of fluxes are relatively small and it doesn't show clear difference between daytime and nighttime. It is also suggested that the material exchange on intertidal flat is strongly influenced not only by the ecosystem on the intertidal flat but also by the water quality condition of adjoining offshore zone.