

干潟における水質の時空間変動

SPATIO-TEMPORAL VARIATION OF WATER QUALITY ON A TIDAL FLAT

児玉真史¹・松永信博²・水田健太郎³・徳永貴久⁴

Masashi KODAMA, Nobuhiro MATSUNAGA, Kentaro MIZUTA, Takahisa TOKUNAGA

¹ 学生員 工修 九州大学大学院 総合理工学研究科 (〒816-8580 福岡県春日市春日公園 6-1)² 正会員 工博 九州大学助教授 総合理工学研究科 (〒816-8580 福岡県春日市春日公園 6-1)³ 学生員 九州大学大学院 総合理工学研究科 (〒816-8580 福岡県春日市春日公園 6-1)⁴ 学生員 九州大学大学院 総合理工学府 (〒816-8580 福岡県春日市春日公園 6-1)

In order to investigate the spatio-temporal variations of water quality on a tidal flat, field observations of water quality have been made on Wajiro tidal flat in summer. In both daytime and nighttime, the concentration of materials varies spatially in the on-offshore direction. The budget of chlorophyll-a in the water column also varies spatially owing to the balance between the feeding rate of consumer and production rate of phytoplankton. The dissolved oxygen is produced largely by the benthic microalgal in the shallow region and phytoplankton is dominant for the primary production in the offshore region. Although the variations of dissolved inorganic nitrogen (DIN) and phosphate (DIP) are similar in daytime, they are different in the nighttime because of the oxygen deficiency in the shallow region.

Key Words : tidal flat, water quality, spatio-temporal variation, field observation

1. はじめに

近年富栄養化した閉鎖性水域に対する対策として、自然の持つ浄化能力を利用しようとする研究が様々な方面で進められている¹⁾。その中でも干潟は、多様な生態系による物質循環を形成し、沿岸海域における水質浄化の場として重要な役割を担っていると言われている。佐々木²⁾は三河湾の一色干潟において、干潟水域を一つのボックスと見なし、境界から出入りする物質量を推算することによって干潟域の物質収支を見積もっている。また、桑江ら³⁾は東京湾の盤州干潟において、境界からの物質の出入りを連続的に計測し、その結果をもとに物質収支の評価を試みている。児玉ら⁴⁾は、桑江らの方法を応用することによって夏季の和臼干潟において干潟底泥-海水間の物質交換量の大まかな分布を見積もり、底泥への日射の到達量の違いによって一次生産量が岸沖方向に変化することを見出した。しかしながら、これらの方法では干潟全体の物質収支をおおまかに評価することは可能であるが、干潟における物質収支の詳細な空間分布を把握することは難しい。そこで本研究では、潮汐に伴って干潟上を移動する水塊

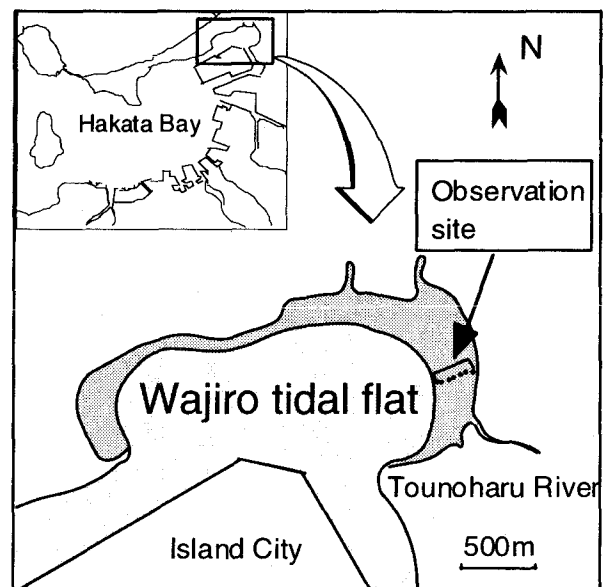


図-1 観測地点。

のフロントを追跡することにより、水塊内の水質の空間分布がどのように変化するかを明らかにしている。

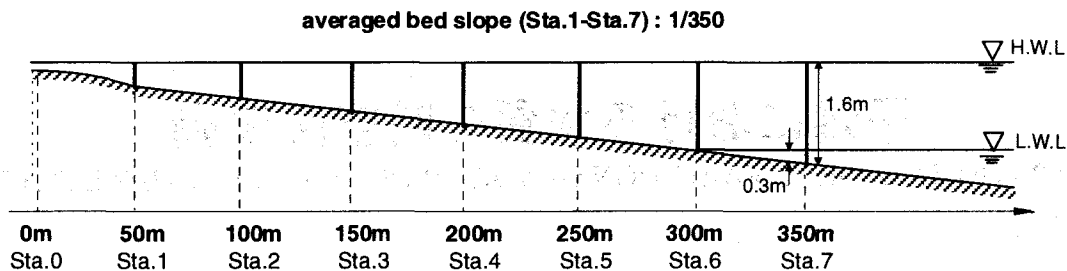


図-2 観測地点および Sta.7 における満潮時の水深.

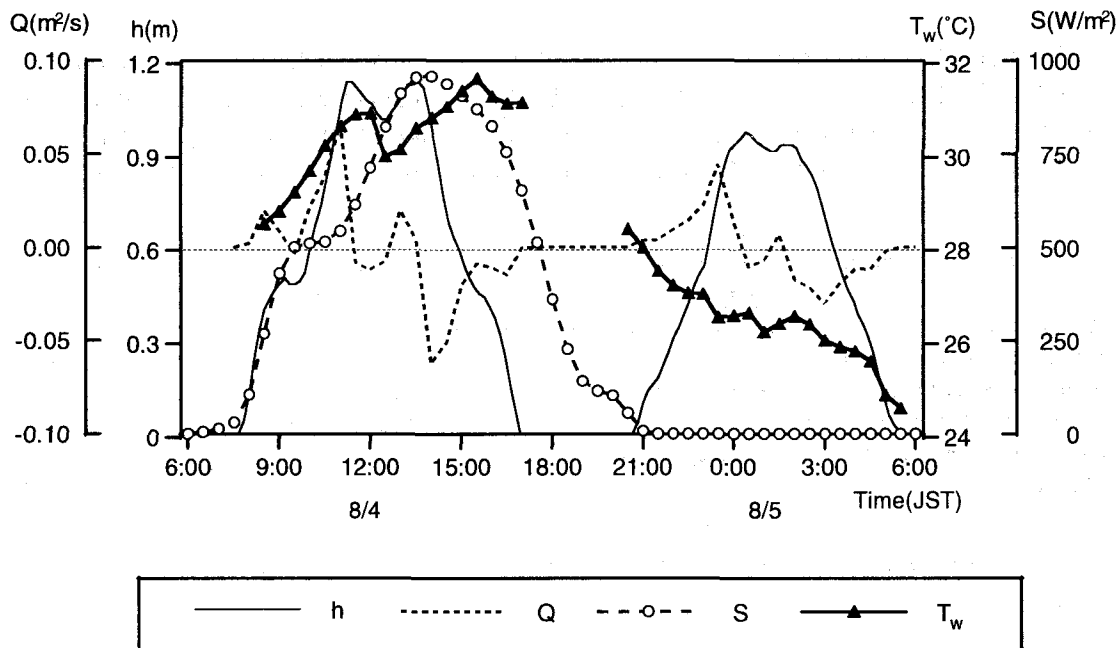


図-3 Sta.4 における水深 h , 単位幅当たりの流量 Q , 全天日射量 S , 水温 T_w の時系列変化.

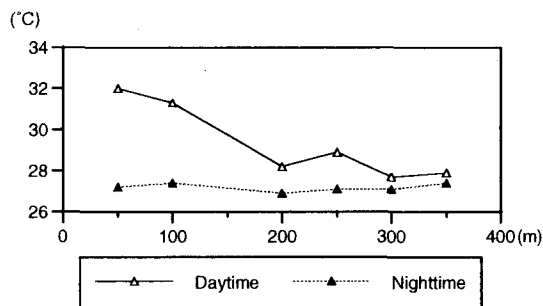


図-4 満潮時における水温の空間分布.

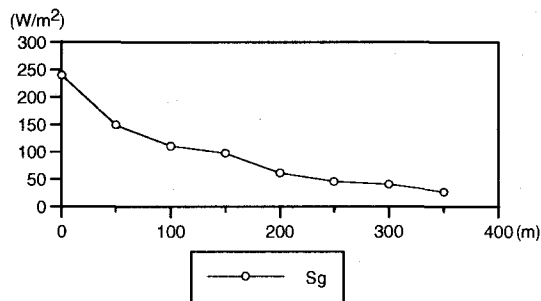


図-5 底泥に到達する日射量の空間分布.

2. 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-1), 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。観測地点は図-1に示されるように潮が満ち引きする方向に設けられた。

観測は, 2000年8月4日8:30~15:30の日中冠水時および8月4日22:00~5日4:00の夜間冠水時の2回行われた。観測地点として図-2に示すように, 汀線最大遡上位置付近をSta.0とし, 以下50mおきに8点が選ばれた。観

測領域のSta.1~Sta.7における平均海底勾配は1/350であった。水位計をSta.7に設置し, 潮位の連続観測を行った。図-2にSta.7における日中の満潮時および干潮時の水深を示す。日中・夜間における観測は, 水質の時間的, 空間的变化を捉えるために, それぞれ上げ潮時に水深30cmの水塊がSta.4に到達した時(8:30, 22:00), Sta.0に到達した時(11:30, 1:00)および下げ潮で再びSta.4に戻った時(15:30, 4:00)に行われた。8:30, 15:30, 22:00および4:00の観測はSta.4~Sta.7の4点, 11:30, 1:00の観測はSta.0~Sta.7の8点で行われた。水

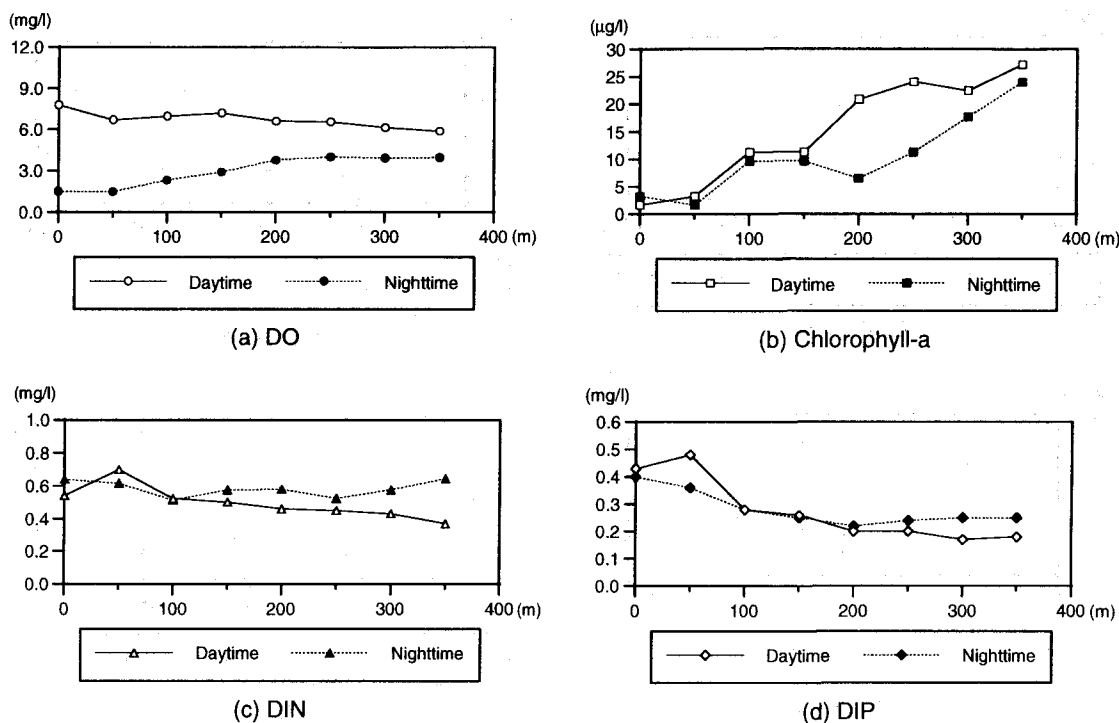


図-6 日中・夜間における満潮時の水質の空間分布。

質調査の項目は各栄養塩、DO、Chlorophyll-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、 $\text{NH}_4\text{-N}$ （アンモニア態窒素）、 $\text{NO}_3\text{-N}$ （硝酸態窒素）、 $\text{NO}_2\text{-N}$ （亜硝酸態窒素）、 $\text{PO}_4\text{-P}$ （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。Chlorophyll-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Chlorophyll-a抽出液をLorenzenの方法に従って分析した。また、日中の観測ではSta.7においてフランク瓶を用い、水塊の一次生産量の計測が行われた。図-3に観測期間中のSta.4における水深 h 、単位幅当たりの流量 Q 、全天日射量 S および水温 T_w の時系列変化を示す。このうち h はSta.7で計測した潮位と干潟の平均勾配から算出されている。また Q は以下の式を用いて算出された。

$$Q(t) = h(t) \frac{1}{\alpha} \frac{dh}{dt} \quad (1)$$

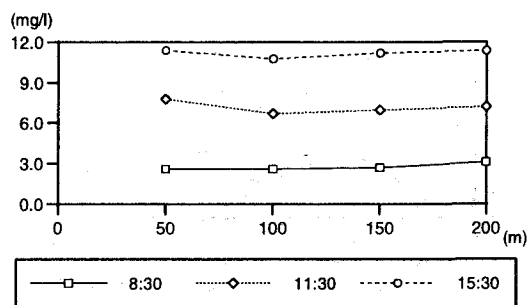
ここで、 $h(t)$ はSta.4における潮位、 α は干潟の平均勾配である。Sta.4における冠水時間は、日中は約8時間、夜間は約7時間であった。このため、満潮時の潮位も日中の方が高くなっている。冠水時間中の水温は日中・夜間で大きく異なっており、日射による加熱およ

び放射冷却の影響が明瞭に現れている。図-4は満潮時における水温の岸沖方向分布を示す。以下で示すグラフにおいても同様であるが、横軸が距離を示す場合は、横軸は潮汐によって移動する各時刻における汀線から沖方向への距離がとられている。日中、干潟上をフロント水塊が遡上する場合、地表面からの加熱と日射および水深の影響のため、水温は沖方向に大きな勾配をもって低下する。一方、夜間干潟を水塊が遡上する場合、水塊の熱容量は水深に依存するため、フロント部分の水温は急速に低下し、岸沖方向分布は一様化する。図-5に以下の式を用いて算定した8月4日の11:30における底泥に到達する日射量の岸沖方向分布を示す。

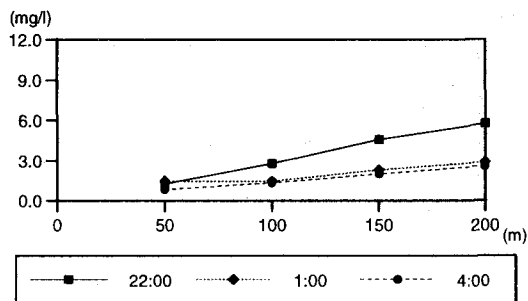
$$S_g = (1 - \alpha_w) \cdot (1 - \beta) \cdot S \cdot \exp(-\eta h) \quad (2)$$

ただし α_w は水面でのアルベド(=0.06)、 β は水表面での日射の吸収率(=0.69)、 η は水中での日射の減衰率、 h は各地点の水深である。ここで η はChlorophyll-a濃度の関数として平山ら⁵⁾の式を用いて評価した。

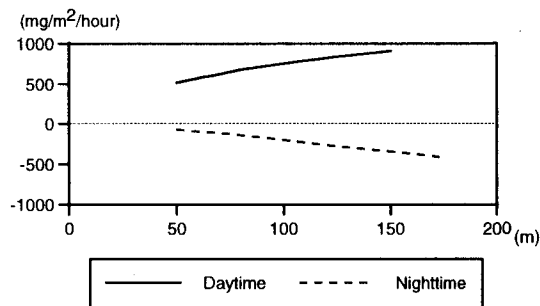
この図より沖方向に向かうにつれ、つまり水深が増加するにつれ、到達日射量は単調に低減することがわかる。底生藻類の優先種である珪藻類の光合成に最適な日射量は約300W/m²と言われており⁶⁾、このことからフロント部分では十分な日射量が到達しており、底生藻類による一次生産が活発に行われているものと推察される。



(a) Daytime

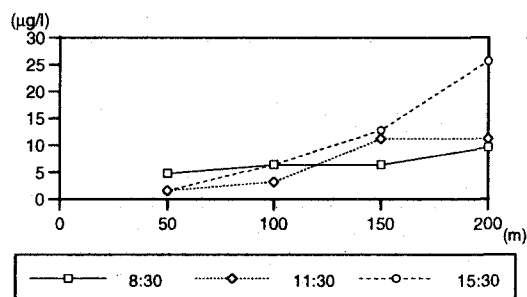


(b) Nighttime

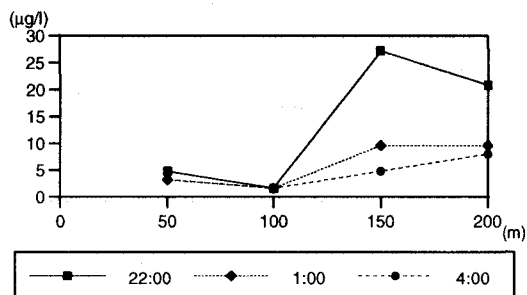


(c) Change rate of DO

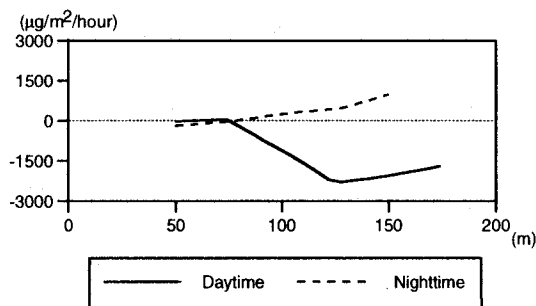
図-7 DO の濃度分布の時間変化
および変化率。



(a) Daytime



(b) Nighttime



(c) Change rate of Chlorophyll-a

図-8 Chlorophyll-a の濃度分布の
時間変化および変化率。

3. 観測結果

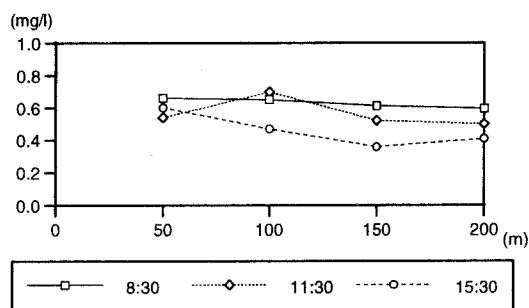
(1) 日中・夜間における満潮時の水質の空間分布

日中・夜間の満潮時における海水中の DO, Chlorophyll-a, DIN (溶存態無機窒素), DIP (溶存態無機リン) の濃度の岸沖方向の分布を図-6(a)～(d)に示す。ここで DIN は $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ の合計である。海水中の DIP はほとんど $\text{PO}_4\text{-P}$ から構成されているため、DIP 濃度として $\text{PO}_4\text{-P}$ の濃度を用いた。図-6(a)より日中の DO 濃度は、フロントから沖へ向かって低下し、夜間は上昇していることがわかる。また図-6(b)より Chlorophyll-a 濃度は日中・夜間ともにフロントから沖へ向かって増加している。150m～300m の間には日中と夜間の濃度に大きな違いが見られる。このような空間分布は後で述べるように、植物プランクトンの生産量とベントス等による捕食量のバランスによって決定されている

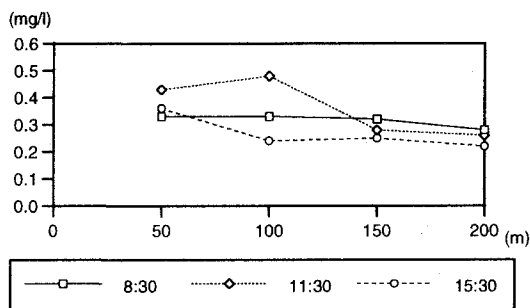
と考えられる。図-6(c)に示すように夜間の岸沖方向の DIN 濃度は一様になっており、それ以外の栄養塩の濃度は沖に向かって低減している。

(2) DO, Chlorophyll-a の濃度分布の時間変化 および水塊内の物質質量の変化率

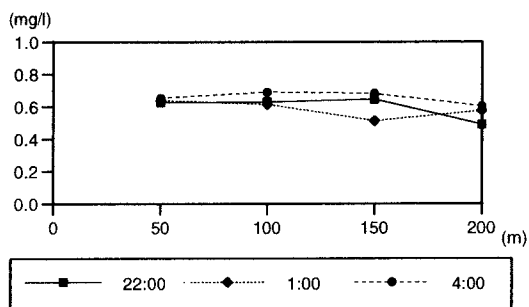
図-7, 図-8 に DO, Chlorophyll-a の, (a)日中の濃度分布の時間変化, (b)夜間の濃度分布の時間変化, および(c)水塊内の物質質量の変化率 F の空間分布を示す。ここで水塊内の物質質量の変化率 F の算定は次の方法で行った。まず水塊は岸沖方向のみに移動するものと仮定し、各時刻において汀線から同一距離の水塊を同一水塊とみなすことにより, (3)式で示すように、各水塊での上げ潮時と下げ潮時の濃度差 $\Delta C(\text{mg/l})$ とその水塊の体積 $V(\text{m}^3)$ との積を求め、それを上げ潮から下げ潮までの経過時間 $T(\text{hour})$ と水塊の底面積 $A(\text{m}^2)$ で割ることによって、単位面積、



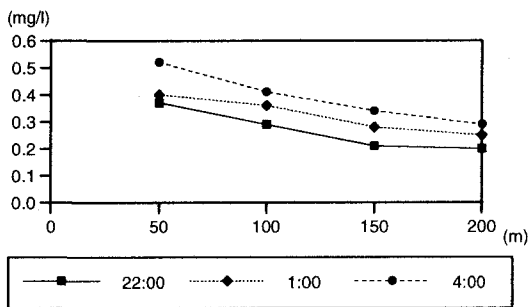
(a) Daytime



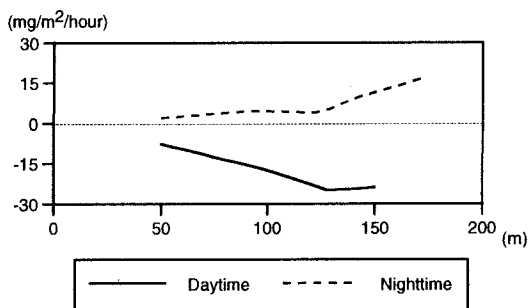
(a) Daytime



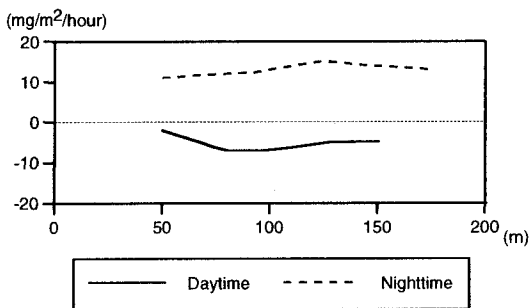
(b) Nighttime



(b) Nighttime



(c) Change rate of DIN



(c) Change rate of DIP

図-9 DIN の濃度分布の時間変化
および変化率。

図-10 DIP の濃度分布の時間変化
および変化率。

単位時間当たりの水塊内の物質質量の変化率 F ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{hour}$) を評価した。

$$F = \frac{\Delta C \cdot V}{T \cdot A} \quad (3)$$

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。また、 F の空間分布は4点で計測された各物質の濃度を岸沖方向に線形補間することにより求められた。図-7(c)よりDOの日中の増加率、夜間の減少率とともに沖側で大きくなっていることがわかる。しかしながら、図-7(a), (b)の15:30と22:00のデータの比較から日没後フロント水塊では急速にDOが消費されて、貧酸素状態に達していることがわかる。そのような限界に達したデータから夜間の代表的な

DO減少率を見積もることは困難であり、DO減少率を過少に評価することになる。夜間の水塊内でのDO消費は底泥に支配され、空間的にはほぼ一様と考えられる。このため実際には、今回沖側で得られた500($\text{mg}/\text{m}^2/\text{hour}$)程度のDO減少率を持つものと思われる。また日中フロント部分では、図-8(a)に示すように、Chlorophyll-a濃度が沖側よりもかなり低くなっているにもかかわらず、大きなDO増加率を示している。フラン瓶による海水の一次生産量の計測結果から、日中の各地点におけるDOの底泥単位面積当たりの全生産量に対する海水中での生産の割合を見積もったところ、フロント部分50m地点で約50%、沖側200mの地点で約80%であった。このように、干潟における一次生産は、フロント部分では底生藻類による生産の寄与が大きいのに対し、沖側では植物プランクトンによる生産が支配的であることがわかる。

次にChlorophyll-a濃度について見ると、図-8(a)、(b)に示されるように、日中の増加量および夜間の減少量はフロント部分から150m地点までは小さく、150m以降で大きくなっている。これは、この領域では日中の植物プランクトンの生産量に対してベントス等による捕食量が圧倒的に大きいためであると考えられる。図-8(c)に示されるように70m付近までは、生産量に対して捕食量が大きいために正味の生産および消費はほとんどなく、70m~150mにかけては植物プランクトンの増加に伴って減少率も徐々に増加し、150mより沖側では植物プランクトンの個体数が捕食による減少量に比べて十分存在するために、減少率が一樣となっているものと考えられる。

(3) 栄養塩の濃度分布の時間変化および物質量的変化率

図-9、図-10にDIN、DIPの、(a)日中の濃度分布の時間変化、(b)夜間の濃度分布の時間変化、および(c)水塊内の物質量的変化率Fの空間分布を示す。ここで物質量的変化率Fの算定は3.(2)と同様の方法で行った。日中におけるDINの濃度変化は図-9(a)に示されるように、フロント部分で小さく沖側で大きくなっている。一方、日中のDIP濃度は、全般には減少しているものの、観測値にばらつきがあり、岸沖方向に一定の傾向を見出すことはできない。この結果、図-9(c)、図-10(c)に示される日中のそれぞれの減少率は、DINが沖へ向かって大きくなっているのに対し、DIPは岸沖方向にほぼ一樣な分布となっている。こうした日中のDINの傾向は図-7(c)のDOの増加率が沖へ向かって大きくなることと一致している。一方、DIPについては、その原因の詳細は不明である。また前述のDO、Chlorophyll-aの変化率の考察からもわかるように、日中のDIN、DIPの減少過程は岸と沖で異なっている。つまり岸側では主として底生藻類に取り込まれるため、干潟がこれらの栄養塩を吸収していることになる。一方、沖側では主として植物プランクトンに取り込まれるため、これらの栄養塩は、見かけ上減少はしているが、形態を変えて沖へ戻っているものと考えられる。

次に夜間の場合を考えてみる。夜間はフロント部分でDO濃度が極めて低いために、生物活動は沖側の方が活発となる。そのため有機物の分解、排泄等による底泥からのDINの放出量がフロント部分では小さくなる。この結果、図-9(c)のようにDINの増加率は沖側の方が高くなる。一方、DIPはDINと異なり、フ

ロント部分においても沖側と同様に濃度が上昇している。これは夜間のDIP放出が有機物の分解、排泄等によるものではなく、主として貧酸素化に伴う底泥からの化学的溶出に起因するためであると考えられる。

4. おわりに

干潟における水質の時空間変動に関する現地観測を行った結果、以下のことが明らかになった。

- 干潟における各物質濃度は時間的、空間的に大きく変化しており、変動の大きい領域は物質によって異なっている。
- 干潟における一次生産は、フロント部分では底生藻類による生産の寄与が大きいのに対し、沖側では植物プランクトンによる生産が支配的である。
- 日中のDIN、DIPの挙動は同様の傾向を示すが、夜間は水域全体が貧酸素状態にあるために大きく異なっている。

また本研究で求めた物質量的変化率は底泥-海水間のフラックスと水塊内部での生化学反応を含んでおり、現地観測のデータのみからこれらを完全に分離することは困難である。今後は数値計算や実験などを通してこれらの量を定量化する必要がある。

参考文献

- 1) 例えば、李正圭、西島渉、向井徹雄、滝本和人、清木徹、平岡喜代典、岡田光正(1997): 自然干潟および人工干潟における構造と有機物分解能の比較、広島湾におけるケーススタディ、水環境学会誌、第20巻、第3号、pp.175-184。
- 2) 佐々木克之(1989): 干潟の物質循環、沿岸海洋研究ノート、第26巻、第2号、pp.172-190。
- 3) 桑江朝比呂、細川恭史、江口菜穂子(1997): 夏季の盤洲干潟における直上水の潮汐に伴う変化、日本海洋学会春季研究発表会講演概要集、p205。
- 4) 児玉真史、松永信博、水田健太郎(1999): 夏季の和白干潟における栄養塩収支に関する現地観測、水工学論文集、第44巻、pp.1095-1100。
- 5) 平山彰彦、中西正己、宮島利宏、中野伸一、熊谷道夫(1992): 短期的水質モデルパラメータのキャリブレーション、海岸工学論文集、第39巻、pp.976-980。
- 6) 丸茂隆三編(1974): 海洋プランクトン、東京大学出版会、p.232。

(2000.10.2 受付)