

夏季の和白干潟における栄養塩収支 に関する現地観測

FIELD OBSERVATIONS ON NUTRIENT BUDGET IN WAJIRO TIDAL FLAT IN SUMMER

児玉真史¹・松永信博²・水田健太郎³

Masashi KODAMA, Nobuhiro MATSUNAGA and Kentaro MIZUTA

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 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)

Tidal flat plays an important role in the water purification of a coastal region. In order to investigate the nutrient budget on a tidal flat, field observations of water quality have been made on Wajiro tidal flat at the east side of Hakata Bay in summer. The nutrient flux between sediment and seawater were estimated. Nutrients are removed from seawater in the daytime, and dissolved inorganic nitrogen and phosphate are released from sediment to seawater in the nighttime. The tidal flat functions as a *sink* for net budgets of nitrogen and phosphorus in the daytime, but as a *source* for phosphorus and as a sink for nitrogen in the nighttime. Since the uptake and release rates of nutrients per unit bed area depend strongly on the quantity of solar radiation and DO concentration, they have spatial and temporal variations.

Key Words: tidal flat, water quality, nutrient, field observation

1. はじめに

干潟はその多様な生態系における物質循環の中で、沿岸水域の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。干潟域は水深が非常に浅いために、海底に到達する日射量が大きく、碎波などにより溶存酸素の取込みが活発である。そのため底泥上での生物活動は非常に活発で、沖合から移流してきた海水は干潟上で底泥との物質交換により大きく変化する。干潟域での物質交換に関する研究には、実験室において底泥と直上水の変化を調べたものや生態系モデルを用いて干潟の物質収支を見積もったもの（例えば桑原¹⁾や中田・畑²⁾）はいくつかあるものの、干潟での現地観測によって物質収支を観測した例は少ない（例えば桑江ら³⁾）。また隣接する海域に対して干潟が物質を除去しているのか、或いは物質の供給源となっているのかは海域によって異なっている⁴⁾。本研究で対象とした和白干潟が接する博多湾は福岡市に面した閉鎖性水域で海水交換の悪

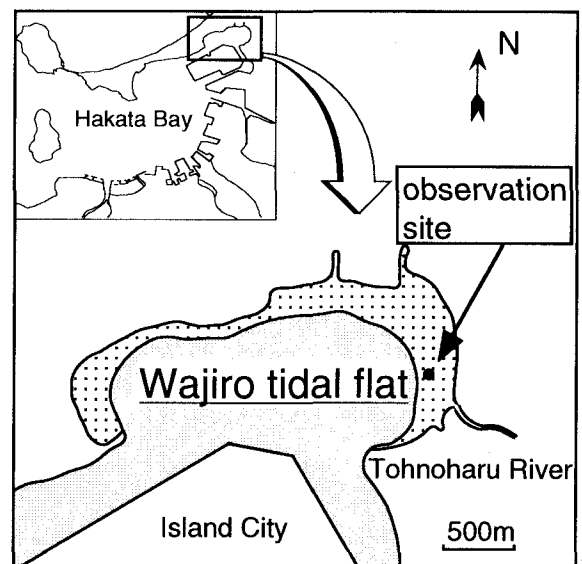


図-1 和白干潟

い場所であるが、沖合の人工島建設により水質がさらに悪化することが懸念されている。本研究では、和白干潟を対象として、海水中の物質の濃度と潮位の時間変化を観測した。得られたデータを用いて干潟底泥-海水間の物質交換量を見積もり、隣接する海域に対して干潟がどのような役割を担っているのかについて検討した。

2. 観測概要

(1)観測地点

観測が行われ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。底質は一部砂泥質の部分があるものの、ほぼ全域が砂質で構成されている。その干出面積が大潮時に最大で 80ha 程度と比較的小さな干潟であるが、日本海側に面し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注目されている⁵⁾。

(2)観測方法

観測地点を図-2 に示す。観測地点付近の海底勾配は約 450 分の 1 である。観測は夜間に冠水する場合（1999 年 7 月 28 日 18 時 ～ 29 日 3 時、満潮時刻 22:25）と日中に冠水する場合（1999 年 8 月 1 日 7 時～16 時、満潮時刻 11:52）の 2 回行った。干潟直上水質の時間的、空間的变化を捉えるために観測は汀線の最大遡上位置から 10m 沖合いの地点 Sta.1、90m の地点 Sta.2、180m の地点 Sta.3 の 3 点において行った。3 地点とも干潮時には完全に干潟表面は干出する。水質分析に用いた海水は冠水時間帯にわたって 1 時間毎に各測点の中層から採水された。水質調査の項目は各栄養塩、溶存酸素濃度、クロロフィル *a*、SS、塩化物イオン濃度である。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（NH₄-N、NO₃-N、NO₂-N、PO₄-P）については試料水をガラス繊維濾紙（Whatman GF/C）で濾過した濾液を用いた。溶存酸素濃度は採水時に溶存酸素計（東亜電波工業 DO-25A）を用いて測定した。クロロフィル *a* の分析は以下の方法で行った。試料水約 500ml をガラス繊維濾紙（Whatman GF/C）で吸引濾過した後、濾紙を 90%アセトン中に入れ、24 時間以上冷暗所に静置し、得られたクロロフィル *a* の抽出液を Lorenzen の方法に従って分析した。また、Sta.2 および Sta.3 の潮位を水位計を用いて 10 分間隔で連続計測した。

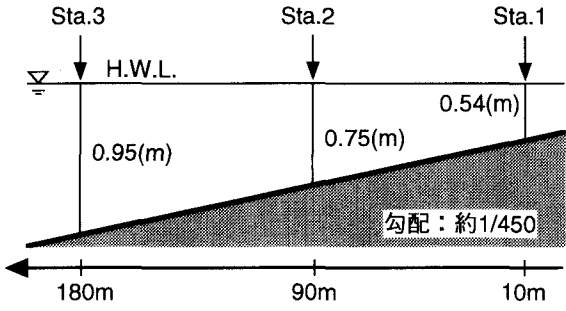


図-2 観測地点および満潮時の水位.

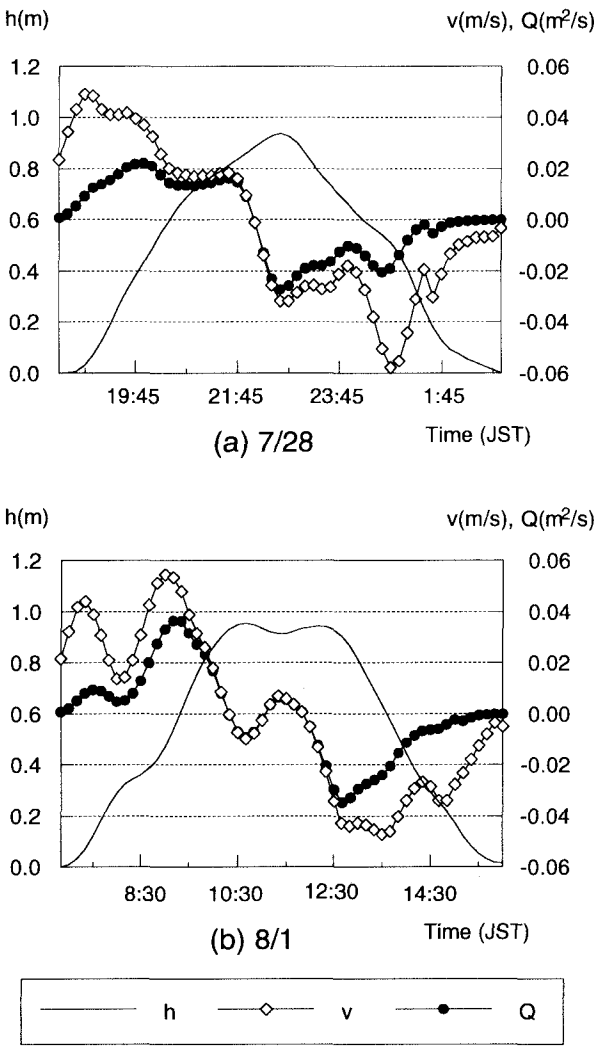


図-3 Sta.3 におけるの水位 *h*、流速 *v*、単位幅当たりの流量 *Q* の変化.

その時間変化から、(1)式を用いてそれぞれの地点における単位幅当たりの潮流流量を評価し、平均流速の時系列を求めた。

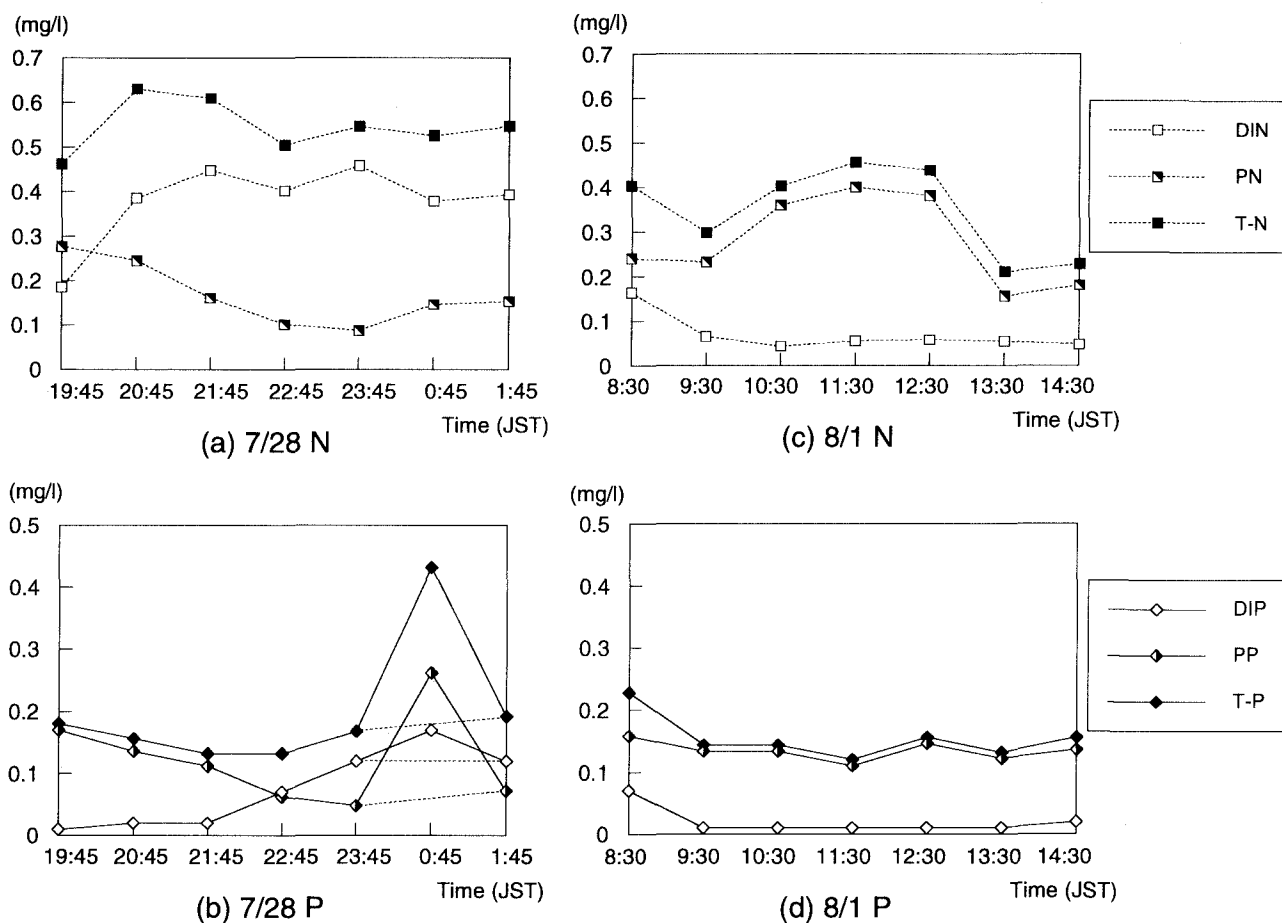


図-4 Sta.3 おける各栄養塩の時系列変化.

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

から算定された。
ただし、

$$DIN = NH_4-N + NO_3-N + NO_2-N, \quad (4)$$

$$DIP = PO_4-P \quad (5)$$

である。また溶存酸素濃度、クロロフィル *a* および SS の Sta.3 における時系列変化を図-5 (a), (b) に示す。図-4 (a) に示されるように、冠水初期において DIN 濃度の急激な上昇がみられる。これは無機栄養塩の濃度が岸沖方向に非一様に分布していたためと考えられる。つまり、水深の浅い所では日射が水深全体にわたって届くため、光合成が活発であると同時に無機栄養塩が消費される。一方、水深の深い所では日射の届く範囲は表層に限られるため栄養塩の消費は水深方向に減少する。従って、このような分布をもった海水が夜間岸方向に移流されることにより、無機栄養塩濃度の上昇が生ずる。一般に夜間は、底生藻類や植物プランクトンの光合成による溶存態無機栄養塩の吸収は行われず、微生物による有機物の分解、底生生物などによる取り込み、沈降などの現象が支配的である。このため DIN が増加し、PN は

ここで、 $Q(t)$ は単位幅当たりの流量、 $h(t)$ は潮位、 α は干潟の平均勾配である。図-3 に 2 回の観測の Sta.3 における水位 $h(m)$ 、流速 $v(m/s)$ 、単位幅当たりの流量 $Q(m^2/s)$ の時系列変化を示す。Sta.3 における冠水時間はどちらの観測とも約 9 時間であった。潮流速はいずれの観測においても数 cm/s のオーダーであった。

3. 観測結果および考察

(1) 水質の時系列変化

Sta.3 における溶存態無機窒素 (DIN)、懸濁態窒素 (PN)、全窒素 (T-N)、溶存態無機リン (DIP)、懸濁態リン (PP) および全リン (T-P) の時系列変化を図-4 (a)~(d) に示す。このうち PN および PP は、

$$PN = T-N - DIN, \quad (2)$$

$$PP = T-P - DIP \quad (3)$$

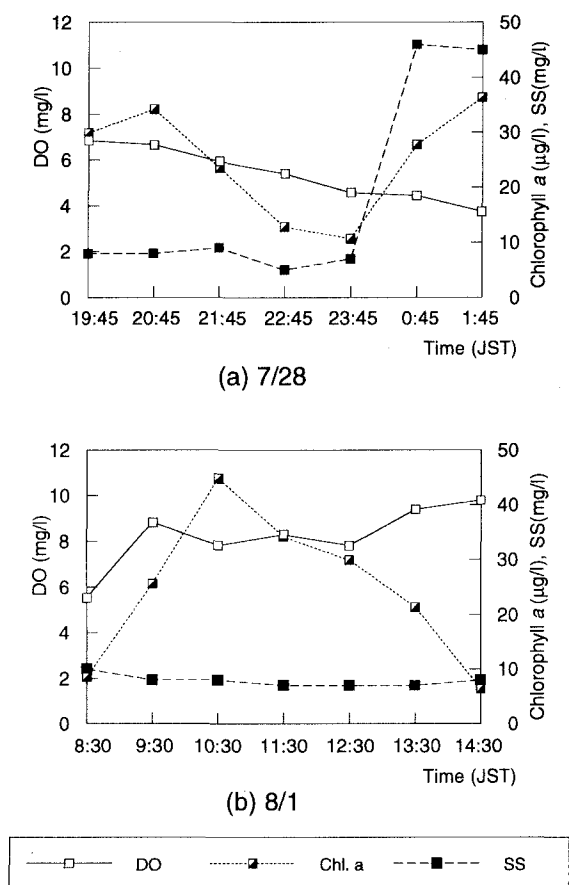


図-5 Sta.3 における DO, Chlorophyll *a*, SS の時系列変化。

減少する。しかし、本観測では DIN 濃度は満潮時付近までは増加し、それ以降はほぼ定常となる。また PN 濃度も満潮時付近までは減少するものの、それ以降では DIN と同様に定常になっている。一方、図-4 (b)にみられるように DIN が定常となった後も DIP は増加傾向にある。これは貧酸素化の進行に伴う底泥からの DIP の溶出によるものと思われる。なお、0:45 の Sta.3 におけるクロロフィル *a*, PP の急激な増加は、サンプルの採取・分析の過程で、何らかの問題が生じたためと考えられる。図-4 (c), (d)では、夜間とは逆に、DIN, DIP 濃度の急激な低下がみられる。これは夜間のケースとは逆に、上げ潮時初期においては、夜から朝方にかけて放出された高濃度の無機栄養塩を含んだ水塊が移流してくるのに対し、その後は沖合にあってある程度一次生産が進んだ水塊が移流してくるためであると思われる。その後は日中の DIN の変動も夜間同様定常となっている。これは DIP の枯渇によって一次生産が鈍り、DIN が吸収されにくくなるためであると考えられる。実際、図-4 (c)と図-5 (b)で示されるように、PN およびクロロフィル *a* 濃度は上げ潮時初期においては増加傾向にあるが、その後は上述したように DIP の枯渇により一

次生産が鈍ると同時に植物プランクトンが捕食されるため PN とクロロフィル *a* は減少する。以上のことから、夜間冠水時および日中冠水時いずれにおいても、様々な生物の活性に変化が起こり、これが干潟域での水質変動に大きく寄与していると推察される。

(2)干潟底泥-海水間の栄養塩フラックス

次に、干潟底泥-海水間の栄養塩フラックスについて検討する。観測地点近くの唐の原川からの河川水の影響を評価するため、塩化物イオン濃度を測定したところ、河川水の割合はいずれの観測においても 10%以下と算定された。このため、水塊は沖側境界のみから出入りするものと仮定した。フラックスの算定は桑江ら³⁾と同様の方法で行った。まず Sta.2 および Sta.3 での水位 $h(t)$, 流速 $v(t)$, 物質濃度 $C(t)$ から時間当たりの物質の流入量 $F(t)$ を計算する。ここで $F(t)$ は幅 1m 当たりを通過する量として算定されている。次に、 $F(t)$ を上げ潮の時間で積分して境界内に流入してきた量 F_{in} を求め、同様にして下げ潮時の F_{out} を計算し、 F_{in} から F_{out} を差し引くことによって単位幅当たりの干潟に吸収（あるいは放出）された全物質質量を見積もった。そしてこの全物質質量を干潟の距離と冠水時間で割ることによって干潟底泥-海水間の単位時間・単位面積当たりの栄養塩フラックス ($\text{mg}/\text{m}^2\text{hour}$) を評価した。こうして見積もった Sta.2 および Sta.3 (干潟全体) における栄養塩の収支を図-6 に示す。図中の水平の矢印は潮流による T-N, T-P の流出入量 (F_{in} , F_{out}) を表す。鉛直の矢印は干潟底泥-海水間の T-N, T-P フラックスを表している。また、図中のフラックス ($\text{mg}/\text{m}^2\text{hour}$) の符号は干潟に吸収されるものを負と定義している。() 内の左側下線の数字は無機溶存態の栄養塩を表し、右側は懸濁態の窒素およびリンを表す。また前述の理由から 7/28 の 0:45 の値はフラックス評価の際には除外し、図-4 (b) の点線で示すように線形補間した値を用いた。

(a) 夜間冠水時における栄養塩収支 (7/28)

夜間は、底生藻類などの光合成による溶存態の無機栄養塩の吸収は行われず、懸濁態物質の分解、底生生物などによる吸収、物理的な沈降などの現象が支配的である。このため窒素、リンいずれについても懸濁態物質 (PN, PP) の減少に伴い DIN, DIP が放出されている。窒素の場合は、干潟全体では DIN の放出 (+12.0) よりも PN の取り込み (-15.8) が卓越するために T-N としては干潟に取り込まれる結果となっている。一方、T-P については干潟全体では放

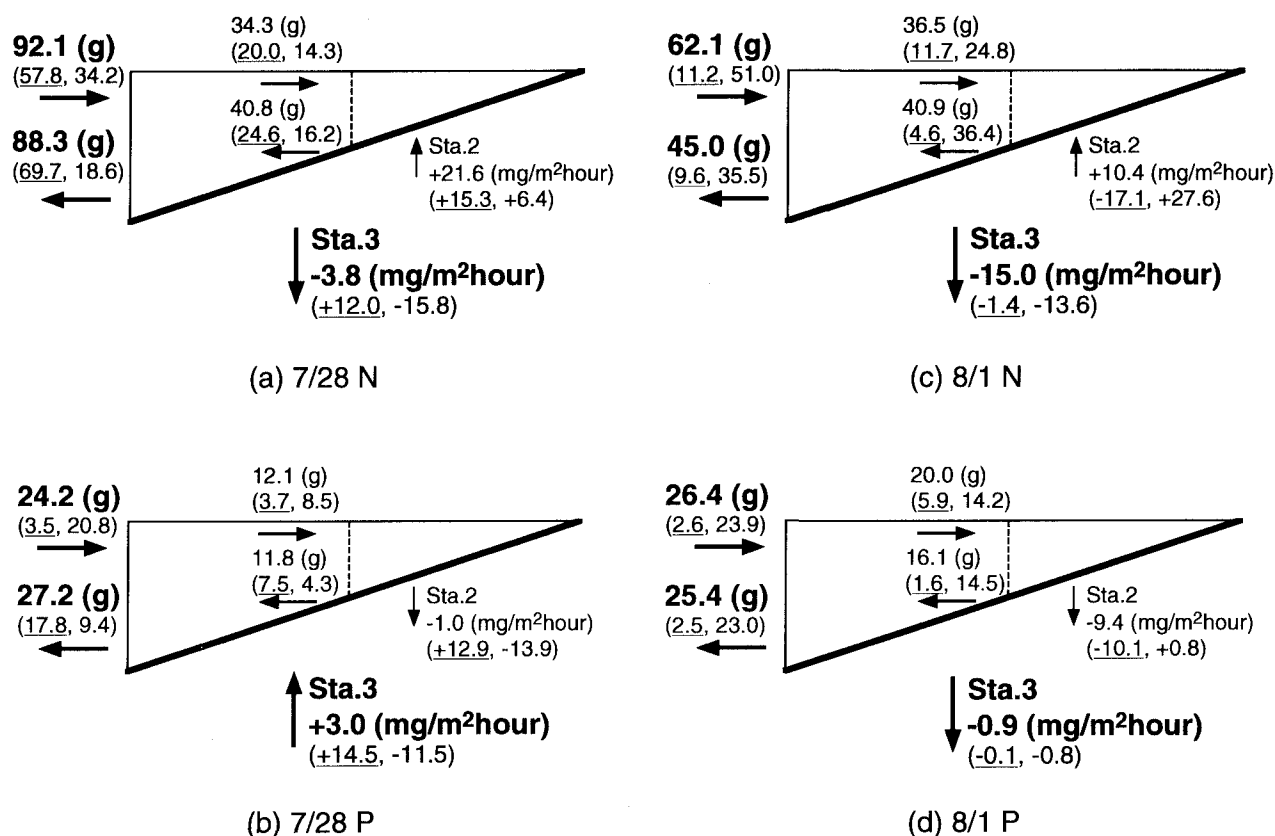


図-6 Sta.2, Sta.3 における各栄養塩収支. カッコ内の数字は
左側の下線が DIN, DIP, 右側が PN, PP を表している.

出される結果となっている。その内訳をみると DIP は放出 (+14.5) され, PP は取り込まれている (-11.5)。窒素と同様に夜間は、藻類等の光合成による DIP の吸収は行われず、懸濁態物質の分解・吸収・沈降のみが行われるためである。酸素が消費されて貧酸素化が進むと、底泥からの DIP の溶出が進行する。このため分解・吸収等による PP の減少よりも DIP の放出が卓越し、T-P としては干潟から放出される結果となる。Sta.2 より岸側の浅い領域では、DIP の放出と PP の減少がほぼバランスし、T-P はむしろ干潟に取り込まれる結果となっている。

(b) 日中冠水時における栄養塩収支 (8/1)

日中は T-N, T-P いずれも干潟全体では干潟に取り込まれる結果となっている。一般に干潟域では、日中は底生藻類、植物プランクトン、大型の藻類などの光合成による DIN, DIP の取込みが活発に行われている。特に水深の浅い Sta.2 以浅の領域では、底層まで日射が届くために単位面積当たりの DIN, DIP の吸収量 (mg/m²hour) が大きい。Sta.2 以浅の領域 (DIN : -17.1, DIP : -10.1) に比べ干潟全体の吸収量 (DIN : -1.4, DIP : -0.1) は小さい。これは水深の

深い領域では底層まで日射が届きにくく、光合成の活性に深さ方向の分布が生ずること、またこの領域では生産による DIN, DIP の吸収と分解による DIN, DIP の放出とが同程度かもしくは後者が卓越していると考えられる。PN, PP についてみるといずれも Sta.2 以浅では放出され (PN : +27.6, PP : +0.8)、干潟全体では取り込まれている (PN : -13.6, PP : -0.8)。浅い領域で生産された植物プランクトンは下げ潮時に沖へ運ばれ、分解・吸収が卓越する Sta.2 と Sta.3 の間の領域で取り込まれるためであると考えられる。このことは DIP, DIN の収支の考察とも一致し、下げ潮時に Sta.3 から流出する PN およびクロロフィル *a* の減少 (図-4(d)および図-5(b)) から推察することができる。以上のことから T-N は Sta.2 以浅では放出されているが、沖での懸濁態窒素の分解・吸収量が大きいため干潟全体では取り込まれる結果となっている。リンについては、PP は浅い領域から 1 次生産により放出されているが、この領域では DIP の吸収が大きく、沖では PP の分解・吸収・沈降による減少量が多い。このため T-P としてはどの領域でも取り込まれる結果となっている。

4. おわりに

夏季の和白干潟において栄養塩の収支に関する現地計測を行った結果、以下のことが明らかになった。

- ・干潟域では夜間冠水時、日中冠水時いずれにおいても、その冠水時間の間に様々な生物活動の活性が変化し、これらが水質変動に大きく寄与していることが推察された。

- ・底泥と海水との物質交換の活性は同じ時間帯においても空間的に大きく変化しており、その変化は水深に依存する溶存酸素濃度、日射の底泥への到達量などの空間的な分布に起因していると考えられる。

- ・各栄養塩の干潟全体での収支を見積もった結果、日中冠水時にはすべての栄養塩が干潟に吸収されていることが明らかになった。夜間冠水時にはPP、PNは日中と同様に取り込まれているが、DIP、DINは大量に放出されていることが明らかになった。

本研究は桑江らが夏季の盤洲干潟において行った調査と同様な方法を用いて、博多湾の和白干潟で現地観測を行ったものである。桑江らはDIP、DINに関して、日中の干潟は海域に対して供給源であるという結果を示している。これは著者らの結果とは異

なるものであるが、いずれも一回の観測結果であることから、彼らの結果との比較による詳細な議論や、干潟が物質を除去しているのか、或いは物質の供給源であるのかという命題に対しては、今後のデータの蓄積が必要であると思われる。

参考文献

- 1) 桑原連：水域の自浄作用と浄化，日本水産学会編，恒星社厚生閣刊，pp.125-136，1979.
- 2) 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，第17巻，第3号，pp.158-166，1994.
- 3) 桑江朝比呂，細川恭史，江口菜穂子：夏季の盤洲干潟における直上水質の潮汐に伴う変化，日本海洋学会春季研究発表会講演概要集，p205，1997.
- 4) 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.
- 5) 逸見泰久：和白干潟の生き物たち，海鳥社，pp.195，1994.

(1999.9.30 受付)