

# 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

児玉真史\*・徳永貴久\*\*・松永信博\*\*\*

現地観測によって干潟における水質の空間分布特性とその季節変化を明らかにした。また観測結果に基づいたボックスモデル解析によって一潮汐間の物質収支とその季節変化を評価し、底生生物の現存量や活性に基づき窒素・リンの形態別現存量の季節変化とその変動要因について検討した。その結果、DO および栄養塩の収支は季節、時間によって大きく異なっていることが明らかとなった。また、一般に水深が浅いために貧酸素化しにくいと考えられる干潟においても、和白干潟のように周辺の水質が極度に富栄養化している場合には、容易に貧酸素化する可能性が示唆された。

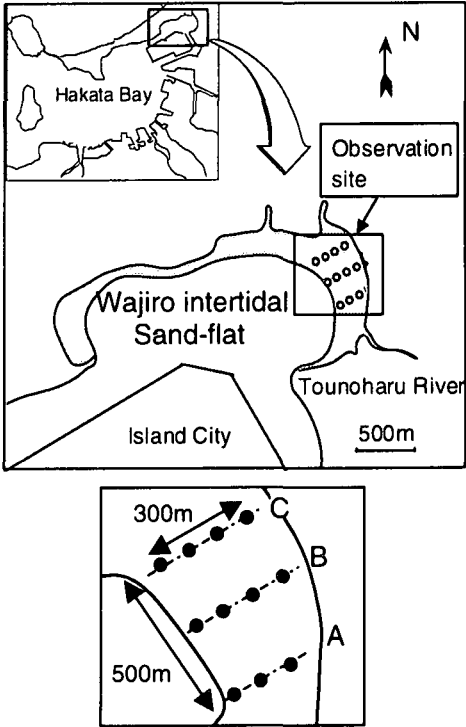
## 1. はじめに

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進められている(石田・日野, 1996)。そのような状況において干潟は沿岸海域における水質浄化の場として期待されている。

干潟域における物質循環過程は室内実験、現地観測、数値シミュレーションなど様々な手法によりその調べられており、生態系と物質循環の関係が解明されつつある(例えば Kuwae et al., 1997; 細川ら, 1996; 佐々木, 1977b; 中田・畑, 1994)。しかしながら現地観測例はその困難さ故に非常に少なく、観測データは不足しているのが現状である。本研究では現地観測データの重要性という観点から、博多湾奥に位置する和白干潟を対象に観測を行い、水質の空間分布特性とその季節変化を調べた。次に、観測結果に基づいたボックスモデル解析によって一潮汐間の物質収支の季節変化を求め、底生生物の現存量や活性の季節変化に基づき窒素・リンの形態別現存量とその変動要因について検討した。

## 2. 観測概要

観測は水質の季節変化を捉えるために、2001 年 5 月、8 月、10 月および 12 月の計 4 回行った。観測対象領域を図一に示す。岸沖方向には汀線の最大遡上位置から沖側 50 m と 350 m の区間を、汀線方向には 500 m の区間を設定した。観測対象領域に設定された 11ヶ所において観測を行った。早朝と夕方のはぼ満潮時に各測点の水深中央において採水およびセンサーによる DO 濃度の計測、潮位の計測を行った。採水は各測定点で 3 回行われた。水質分析の項目は  $\text{NH}_4\text{-N}$ (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)、T-N(全窒素)、T-P(全リン)、Chlorophyll-



図一 和白干潟および観測地点。

表一 観測期間中の平均水温、日射量および潮位。

|                          | May  | AUG. | Oct. | Dec. |
|--------------------------|------|------|------|------|
| 平均水温(°C)                 | 21.2 | 29.1 | 20.7 | 12.0 |
| 平均日射量(Wm <sup>-2</sup> ) | 287  | 447  | 409  | 91   |
| 平均潮位(m)                  | 1.10 | 1.16 | 1.46 | 0.91 |

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 DR 2010)を用いた。表一に観測期間中の水温、日射量、水深の平均値を示す。

## 3. 観測結果

### (1) DO、クロロフィル a の空間分布特性と季節変化

図二に各季節における DO 濃度の空間分布の時間変

\* 学生会員 工修 九州大学大学院総合理工学研究科博士後期課程  
\*\* 工修 九州大学大学院総合理工学府博士後期課程  
\*\*\* 正会員 工博 九州大学大学院総合理工学研究院

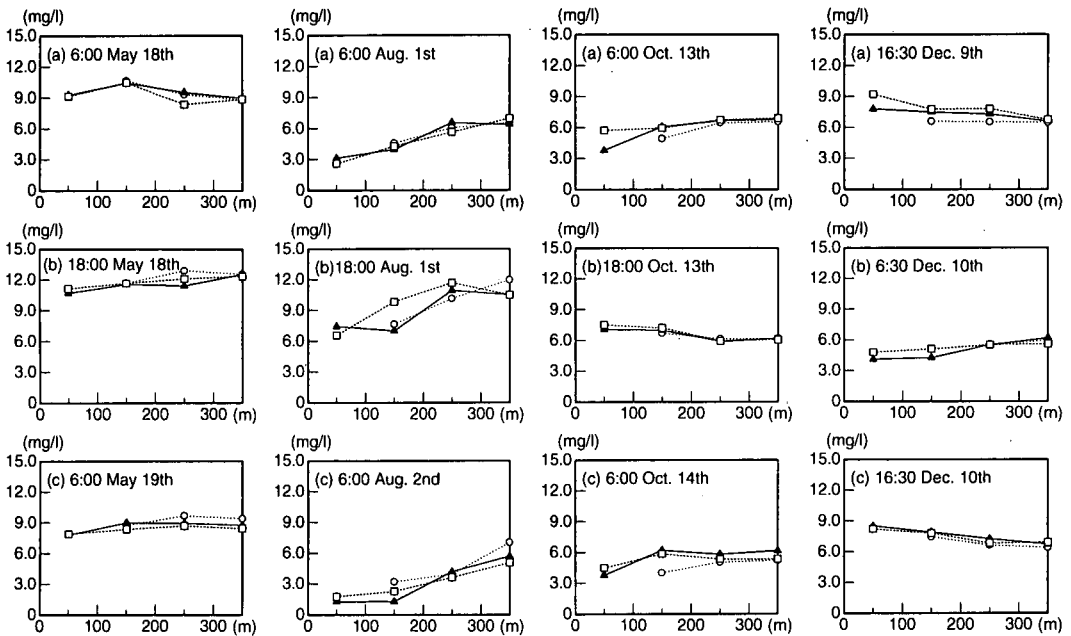


図-2 各季節における DO 濃度の空間分布の時間変化。ただし、○：測線 A、▲：測線 B、□：測線 C を表す。

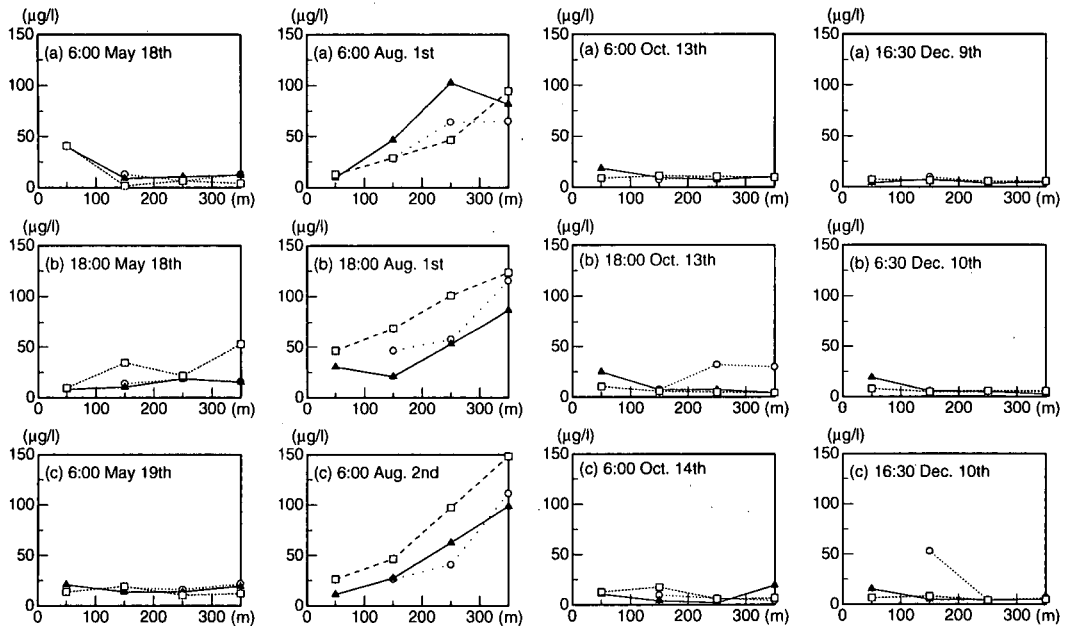


図-3 各季節におけるクロロフィル a 濃度の空間分布の時間変化。ただし、○：測線 A、▲：測線 B、□：測線 C を表す。

化を示す。ただし、横軸は汀線の最大遡上位置からの距離を表す。A、B、C 各測線に沿った DO 濃度分布の違いはそれほど大きくなく、沿岸方向の濃度変化は小さいことがわかる。DO 濃度の平均濃度が最も高い季節は 5 月であり、最も低い季節は 8 月であった。8 月は早朝・夕方ともに沖へ向かって高くなる分布となっており、早朝

の濃度分布は夕方の濃度分布を下方へシフトしたものとなっている。8 月の早朝における DO 濃度をみると 50 m 地点では 2 mg/l 程度またはそれ以下となっており、貧酸素状態に達していることがわかる。一般的に、干潟では水深が小さいために貧酸素化は起きにくいと考えられるが、和白干潟のような過栄養状態にある海域では容易に

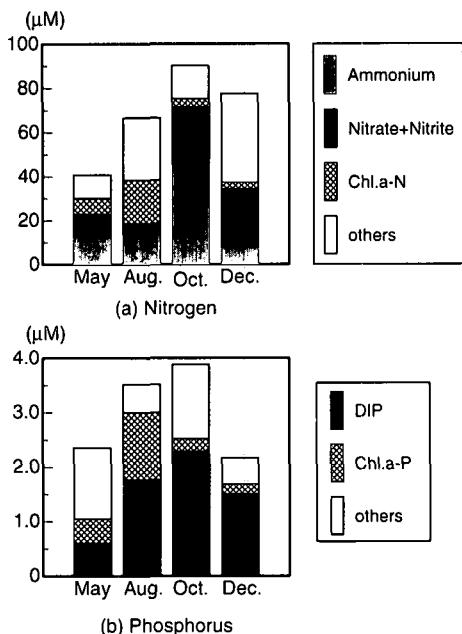


図-4 窒素およびリンの形態別現存量の季節変化

貧酸素化する可能性が示唆される。

一方、それ以外の季節は沖側での時間変化は小さく、フロント部分のみが朝は右上がり、夕方は右下がりとなる時間的に大きく変化する。単位面積当たりの一次生産量が一定であれば、水深の浅い方が濃度変化が大きくなる。このため、フロント部分で濃度変化がさらに大きくなっているものと考えられる。

図-3に各季節におけるクロロフィルa濃度の空間分布の時間変化を示す。クロロフィルa濃度についても8月の分布が特徴的で、朝・夕方ともに沖に向かって高濃度となっており、他の季節は岸沖方向にほぼ一様な分布となっている。こうした8月における分布は、佐々木(1997a)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ことを指摘している。

## (2) 窒素・リンの形態別現存量の季節変化

図-4に窒素およびリンの形態別現存量を示す。ただし、クロロフィルaの窒素およびリンは植物プランクトンの元素構成比としてRedfield比、C:N:P=106:16:1(モル比)を仮定し、C/Chlorophyll-a=30(重量比)としてクロロフィルaの現存量から算出した。各物質の現存量は各季節とも11点×3回の平均値とした。図-4よりT-N、T-Pの濃度は10月に最も大きくなっていることがわかる。また、無機溶存態の栄養塩とクロロフィルaの和は窒素、リンともに5月に最も小さくなるのに

対し、現存量が最も大きくなる季節は窒素が10月、リンが8月となっている。無機溶存態の窒素とリンの比、DIN/DIP比は5月から12月にかけて38→11→31→23と大きく変化し、8月に最も小さい値をとっている。その値が最も大きい5月におけるDIP濃度はこの海域で優占する珪藻類の*Skeletonema costatum*の半飽和定数0.68 μM(山本, 1998)より低いことから、この時期には植物プランクトンの一次生産に対してはリンが制限栄養塩となっているものと考えられる。

## 4. 各季節における一潮汐間の物質収支

### (1) 解析方法

一潮汐間の物質収支の算出は、佐々木(1997b)の方法を参考にしたボックスモデル解析によって行った。本研究では早朝と夕方の直上水の体積がほぼ同じとなる時刻に計測を行い、満潮と満潮の間の収支について、対象物質が干潟水域で生成しているのか消失しているのかを以下の式により算出した。

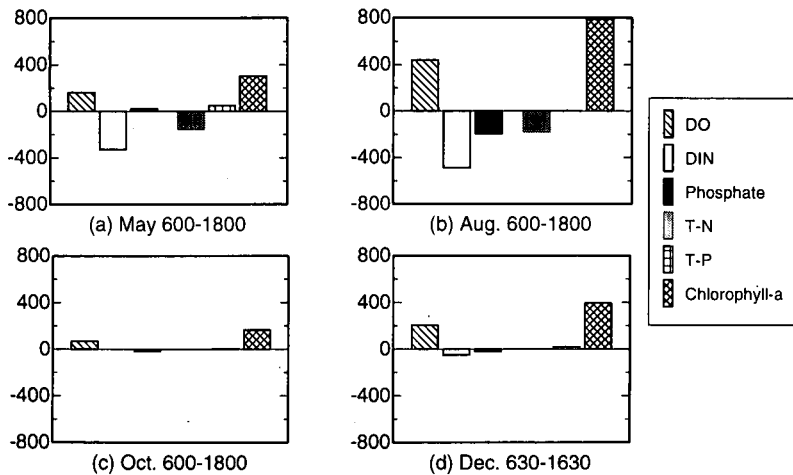
$$P = \Delta(VC) - QC_a \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、V:干潟水域の体積、C:対象物質の干潟水域内の平均濃度、 $\Delta(VC)$ :満潮と満潮の間の現存量の変化、P:対象物質の干潟域内部での変化量(+なら生成、-なら消失)、Q:満潮と満潮の間の体積変化量、 $C_a$ :干潟域と沖側との境界における対象物質の濃度である。なお、採水は全体の水深がほぼ一致する時刻に行っているため、 $QC_a$ のオーダーはPに比べ小さく、物質収支の評価には大きな影響を与えない。また、各物質の変化量は、内部変化量Pを干潟域の面積と時間で割ることにより単位時間・単位水柱当たりの収支として表されており、底泥-海水間のフラックスと水中での生化学反応、例えば植物プランクトンによる光合成等の両方を含んだ量である。

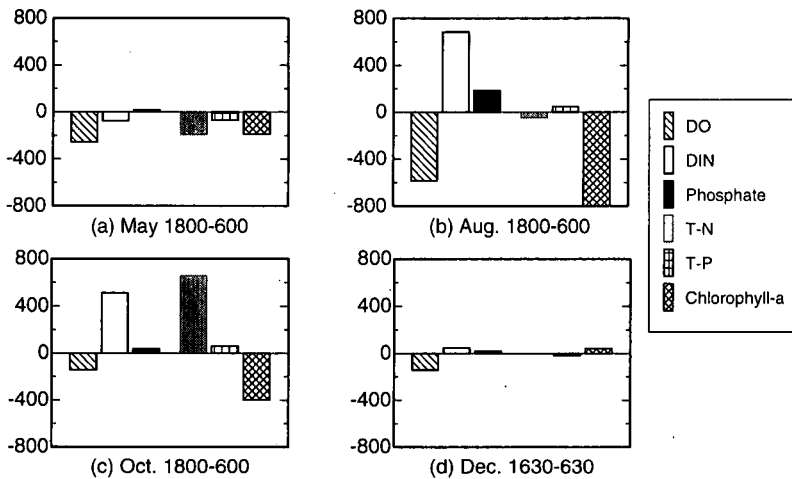
### (2) 物質収支の季節変化

図-5、図-6に各季節における日中および夜間の一潮汐間の物質収支を示す。各物質の変化量は8月が最も大きく、12月が最も小さくなっている。図-5より昼間は、植物プランクトンによって一次生産が行われることによりクロロフィルaが増加していることがわかる。また植物プランクトンと底生微細藻類の一次生産に伴ってDOが放出されている。栄養塩に関しては、基本的に消失する傾向にある。

図-6より各季節とも夜間では、基本的にDOおよびクロロフィルaは消失し、栄養塩は生成されていることがわかる。これは、夜間では干潟底泥上での有機物の分解、底生生物等による呼吸、物理的な沈降などの現象が支配的であるためと考えられる。8月の夜間においては、



図—5 日中における一潮汐間の物質収支。但し、DO、栄養塩およびクロロフィル a の単位はそれぞれ、 $\text{mgO}_2/\text{m}^2/\text{h}$ 、 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{h}$ 、 $\text{mg-chl.a}/\text{m}^2/\text{h}$ 。



図—6 夜間における一潮汐間の物質収支。但し、DO、栄養塩およびクロロフィル a の単位はそれぞれ、 $\text{mgO}_2/\text{m}^2/\text{h}$ 、 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{h}$ 、 $\text{mg-chl.a}/\text{m}^2/\text{h}$ 。

DO の減少は  $586 \text{ mg}/\text{m}^2/\text{h}$  であり、6:00 での平均 DO 濃度は  $4.3 \text{ mg}/\text{l}$  であった。また、窒素およびリンの生成速度は  $681 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{h}$ 、 $185 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{h}$  で、N/P 比は 3.7 となっている。先に述べたように、海水中では局所的に貧酸素化していることから、多くのリンが干潟底泥から溶出している状態にあると思われる。このように膨大な量の DIN や DIP が底泥から放出されている一方で、同時に大量のクロロフィル a が水柱より消失しているために、T-N、T-P としては比較的小さな収支となっている。

10 月の夜間における DIN および DIP の生成速度はそれぞれ  $512 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{h}$ 、 $38 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{h}$  で、DIN/DIP は 13.8 と Redfield 比に近いことから、8 月の栄養塩溶出

過程とは異なり、有機物の分解が卓越しているものと考えられる。このことは T-N、T-P の生成量に対する DIN、DIP の占める割合がそれぞれ 78%、64% と比較的高くなっていることから推察される。

## 5. 考 察

ある海域における水塊中の物質の現存量はその海域への流入と外部への流出に加え、内部での生産および消費のバランスによって決定されと考えられる。本研究で対象とした和白干潟は前面に人工島が建設され極めて閉鎖性の強い海域となっている。このため内部の水質は、流入負荷の変動や内部生産等に敏感に反応する傾向にある。和白干潟周辺海域、すなわち人工島奥部への流入負

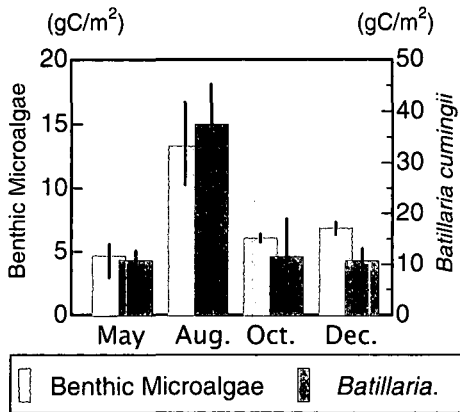


図-7 底生微細藻類およびホソウミナナの生息密度

荷としては下水処理場によるものが支配的であり、その季節変化は小さい。このため干潟上の生物量の増減をはじめとする干潟生態系の作用の季節変化が水質変動に大きく影響しているものと考えられる。この観点から窒素・リンの形態別現存量の季節変動特性とその要因について以下に考察する。

5月から8月にかけては、クロロフィル態の窒素は増加し、DINは減少している。しかし、リンについては、クロロフィル態のリンおよびDIPともに増加している。図-7は底生微細藻類および和臼干潟でのマクロベントスの優占種であるホソウミナナ (*Batillaria cumnigii*) の生息密度の季節変化を示したものである。底生微細藻類、ホソウミナナとも8月に最も高密度で生息していることがわかる。こうした底生生物量の増加は、夜間における酸素消費の増大→貧酸素化を引き起こしている。5月から8月にかけてのリンの現存量の増加は、Karim et al. (2001)が報告しているように、主に沖合の人工島周辺での貧酸素化によるリンの溶出によって引き起こされると同時に、干潟自身からのリンの溶出も寄与していると考えられる。リンは制限栄養塩であることから、こうしたリンの海中への供給は水中での一次生産を促進させ、クロロフィル態の窒素およびリンの現存量の増加にも寄与しているものと考えられる。

8月から10月にかけては、クロロフィル態の窒素およびリンは減少し、DINおよびDIPは増加している。

DIN、DIPの増加は、10月夜間の一潮汐間の物質収支で見たように、主にベントス等の枯死・分解による底泥生態系からの放出によるものであると思われる。これは干潟およびその周辺での貧酸素化の回数が減り、リンの溶出量が減少する、すなわち底泥からの供給量は減少していると考えられること、さらに、10月のDINの構成比においてアンモニア態の窒素の比率が高いことから干潟生態系からの放出が大きいと推察される。

10月から12月にかけては酸化態の窒素の濃度変化が小さいもののアンモニア態の窒素が減少している。また、DIPも減少している。この時期の干潟上では水温が低いために生物量が少なく、また生物活性も低いため、8月の貧酸素化に伴うリンの溶出や、10月における有機物の分解による窒素の放出等の内部からの供給源が減少し、河川や下水処理場からの流入と海水交換による流出がバランスした状態、すなわち干潟が存在しないのと同じ状態を示しているものと考えられる。

#### 参考文献

- 石田祐三郎・日野明徳編 (1996): 生物機能による環境修復、水産における Biomediation は可能か、水産学シリーズ 110, 恒星社厚生閣刊, 145 p.
- 佐々木克之 (1997a): 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.
- 佐々木克之 (1997b): 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.
- 中田喜三郎・畑 恭子 (1994): 沿岸干潟における浄化機能の評価, 水環境学会誌, 17, pp. 158-166.
- 細川恭史・桑江朝比呂・三好英一・室簗一郎・木部英治 (1996): 干潟実験施設を用いた物質収支観測, 港湾技術資料, No. 832, 22 p.
- 山本民次 (1998): 沿岸環境圏の科学, 植物プランクトン, 沿岸の環境圏, 平野敏行監修, フジ・テクノシステム, 東京, pp. 144-174.
- Karim, Md. Rezaul, Sekine, M., Higuchi, T. and Ukita, M. (2001): 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.
- Kuwaie, T., Hosokawa, Y. and Eguchi, N. (1997): Dissolved inorganic nitrogen cycling in Banzu intertidal sand-flat, Japan, *Mangroves and Salt Marshes*, 2, pp. 167-175.