

### 夏期における干潟域の水質浄化機能の把握

武蔵工業大学大学院 学生会員 秦野拓見  
武蔵工業大学 フェロー 村上和男

#### 1. はじめに

沿岸域において、干潟は生物生産機能、水質浄化機能、親水機能等の高い環境機能を有している。近年では、その価値や重要性は強く認識され、浚渫土砂の有効利用及び、環境再生を目的とした干潟の造成事業が各地で盛んに行われている。

東京湾のような大都市からの陸域負荷を受け、かつ閉鎖性の高い内湾では、夏期において富栄養化が進行し易く、赤潮や青潮、貧酸素水塊の発生により、魚類等の生物が大量死する危険性がある。干潟が有する水質浄化機能は、富栄養化した湾内の水環境の改善に有効に働くと考えられており、現在多くの研究活動が行われている。

本研究では、この「干潟の水質浄化機能」を定量的に把握すること目的とし、潟湖型干潟である「東京港野鳥公園・潮入りの池」において、干潟・隣接海域間を流入する水質の2潮汐間の連続観測を行い、リン・窒素・クロロフィルaの物質収支を求めた。また、調査によって得られた結果を他の干潟と比較し、夏期における干潟域の栄養塩類収支について議論した。

#### 2. 調査概要

##### (1) 対象干潟

東京港野鳥公園は、野鳥観察グループや地元住民からの自然保護の請願を受け、水域における自然環境の保全・回復を目的として設立された自然公園である。都内における数少ない親水空間として、野鳥観察やレクリエーション等に利用されている。また、東アジア・オーストラリア地域フェラウェイ・パートナーシップ参加湿地であり、シギ・チドリ類の生息地としても貴重な空間である。

調査対象とした「東京港野鳥公園・潮入りの池」(図-1)は、公園内に存在する潟湖型の人工干潟である。東京湾奥部に位置し、隣接海域は人工島が密集した大都市沿岸部の海域で、水深は4~5m程である。干潟域は1989年に整備され、潮間帯、潮下帯、砂利浜、ヨシ原部で構成されている。干潟域の総面積は約57000m<sup>2</sup>、水深は1~2m程である。干潟域に流入する河川は無く、淡水の流入は降雨時に発生する程度である。後背地には、淡水池が存在するが、通常時は水門によって淡水の流入が堰き止められている。隣接海域との海水交換は、幅3m程の2本の開水路を通じて、潮汐作用によって行われている。

##### (2) 調査方法

この干潟において、2潮汐間の水質調査を2006年8月20~21日、2007年8月26~27日、2008年8月17~18日の計3回行った。調査は湾内の水質悪化が懸念される夏期躍層期を対象とした。図-1に示すように観測点を水路1、水路2、干潟域(常時水没地点)、隣接海域の4地点に設置し、採水と測器による観測を2潮汐間連続的に行った。サンプルリングした海水はPO<sub>4</sub>-P、TP、NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N、TN、クロロフィルa濃度を吸光度法で分析した。また、測器を用い水温、塩分、DO、クロロフィルa、濁度、潮位、流速を測定した。

##### 3. 水質浄化について

本研究では、水質浄化を「水産資源に影響を及ぼす赤潮や貧酸素水塊の発生の制限因子となりえる窒素・リン等の物質を、水中から除去あるいは不活性化させること」と定義する。干潟は沿岸域において、豊富な生物相を形成する場であり、生物の活動によって、有機物及び栄養塩類物質が取り込まれることで、干潟域は高い浄化機能を有すると考えられている。しかし一方で、生物の排泄や死骸によって、内部負荷が発生することから、一概に干潟が水質浄化の場であるとは言い難い。干潟域における水質浄化、負荷

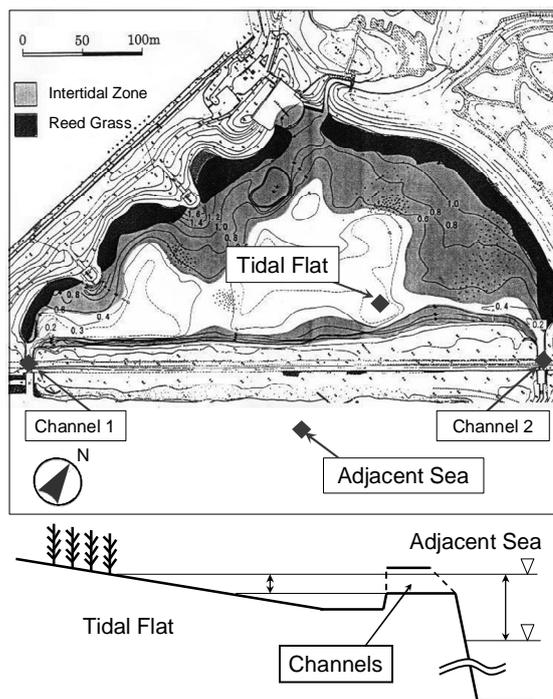


図-1 観測地点概要図

Key words : 干潟・浄化機能・窒素・リン・クロロフィルa

連絡先: 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤1-28-1 武蔵工業大学 水圏環境工学研究室 Tel. 03-373-3111 (3257)

に関する諸要因を表-1 にまとめた。

ここでは、無機態・有機態を問わず窒素・リン等の物質が、水中から動植物、堆積物、大気へ移動することを浄化と見なし、水中へ移動することを負荷と見なした。動物による浄化としては、魚類、底生動物の摂食活動による有機態の除去、負荷としては、排泄・死骸による水中への回帰が挙げられる。植物による浄化としては、底生微細藻類やヨシ等による無機態の取り込み、負荷としては枯死、細胞外分泌による水中への懸濁が挙げられる。堆積物としては、物理的作用による懸濁物質の沈降・堆積及び、無機態の吸着による浄化、懸濁物質の巻き上げ及び、無機態の溶出を負荷とした。細菌類の役割として、大気へ窒素を放出する脱窒作用の他に、分解、硝化作用等が挙げられるが、これらは水中または堆積物中での形態変化と見なし、表-1 に記載しなかった。

このように、干潟域では多くの機構が作用しており、またこれ以外の未知の機構が働いている可能性も考えられる。本研究では、これら一つ一つの機構については議論せず、干潟空間全体が栄養塩類物質の Sink (消費源) であるか、Source (供給源) であるかを把握することを目的とした。

4. 物質収支の算定方法

干潟域の物質収支の算定方法の概念を図-2 に示す。対象空間において、流出した物質フラックスから流入した物質フラックスを差し引くことによって、観測期間内の物質の

表-1 干潟域における水質浄化、負荷の諸要因

	Sink (浄化・消費・固定)	Source (負荷・生産・供給)
動物	摂食・ろ過	排泄・死亡
植物	取り込み・リビングフィルター	枯死・細胞外分泌
堆積物	吸着・沈降・堆積	溶出・巻き上げ
細菌類	脱窒	

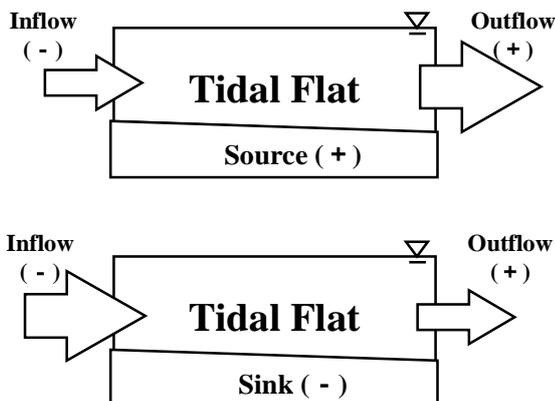


図-2 物質収支の算定方法の概念図

変化量が算出できる。図-2 の上図のように、流出フラックスの方が大きい場合は、計算結果はプラス (+) になり、対象空間は物質に対して Source となる。図-2 の下図のように、流入フラックスの方が大きい場合は、計算結果はマイナス (-) になり、対象空間は Sink となる。干潟内部において、表-1 の要因が相互に、かつ複雑に作用し合い、その結果として Sink または Source の何れかの応答がなされると予想できる。

本研究では、水路内で観測されたリン・窒素・クロロフィル a 濃度に水路内流量を乗じ、干潟面積で除することにより、2 潮汐間の干潟-隣接海域間の栄養塩類物質収支を求めた。流量は、干潟内の潮位変動から算出し、流速観測結果より、水路 1 : 水路 2 = 1 : 0.7 の比で流入出するとした。計算期間は、干潟内の潮位が一致する時間 (流入水量 = 流出水量となる期間) とした。詳しい計算方法については秦野ら<sup>1)</sup>に記載されている。

5. 栄養塩類物質収支の算定結果

以上の解析によって得られた結果を表-2 に示す。表中の上段の数値が、物質の増減速度 ( $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot 2\text{tide}^{-1}$ ) であり、下段が増減率 (%) である。ここで、増減率 (%) = (流出量 - 流入量) / 流入量 × 100 と定義し、流入量に対して何割の増加減少がなされているかを表した。プラスは干潟域での物質の増加、マイナスは減少を表す。

観測日によって、測定結果の値は大きく変動したが、増加・減少傾向は、2008 年の  $\text{PO}_4\text{-P}$  以外はおよそ一致した傾向を示した。リンについては TP,  $\text{PO}_4\text{-P}$  共に増加傾向が見られ、窒素については TN,  $(\text{NO}_2 + \text{NO}_3)\text{-N}$  が減少傾向、 $\text{NH}_4\text{-N}$  は増加しているものの、DIN としては減少傾向にあ

表-2 夏期 2 潮汐間の干潟域における栄養塩類収支

対象物質	2006 年 8/20 ~ 21	2007 年 8/26 ~ 27	2008 年 8/17 ~ 18	平均 ± 標準誤差
TP	+17.8	+107	+74.5	+66.4 ± 26.1
	+8.59	+33.0	+9.91	+17.2 ± 7.93
$\text{PO}_4\text{-P}$	+30.5	+101	-7.75	+41.3 ± 31.5
	+20.4	+37.6	-1.25	+18.9 ± 11.2
TN	No data	-281	-566	-424 ± 116
		-8.37	-10.8	-9.59 ± 0.99
$(\text{NO}_2 + \text{NO}_3)\text{-N}$	-59.1	-58.2	-485	-201 ± 142
	-19.5	-7.63	-12.8	-13.3 ± 3.44
$\text{NH}_4\text{-N}$	+3.46	+24.7	+75.9	+37.2 ± 21.5
	+6.63	+15.1	+25.4	+15.7 ± 5.43
Chlorophyll-a	-6.94	-46.3	-0.97	-18.1 ± 14.2
	-53.4	-57.4	-13.8	-41.5 ± 13.9

上段は増減速度 ( $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot 2\text{tide}^{-1}$ )、下段の数字は増減率 (%) を表す。プラスは干潟域での物質の増加、マイナスは減少を表す。

表-3 各干潟の環境条件と調査方法

対象干潟	干潟分類 (所在)	面積 (m <sup>2</sup> )	調査時期 / 回数	測定項目	調査方法	出典
東京港 野鳥公園	人工潟湖 (東京湾)	57,034	8月 / 3回	N・P・Chl <i>a</i>	2 潮汐間の流入出水質・水量観測	本研究
谷津干潟	潟湖 (東京湾)	400,000	春夏冬 / 計9回	N・P・COD・ アオサ	2 潮汐間の流入出水質・水量観測	矢内ら <sup>4)</sup>
盤洲干潟	前浜 (東京湾)	14,000,000	8月 / 1回	N・P	昼夜1 潮汐間の流入出水質・水量観測	野村ら <sup>5)</sup>
港空研 干潟実験施設	室内実験水槽 (東京湾)	24	6,7月 / 2回	N・P・SS	1 潮汐間の流入出水質・水量観測 (水槽3つ)	細川ら <sup>6)</sup>
三番瀬	前浜 (東京湾)	12,000,000	7月 / 1回	N・P・C・Chl- <i>a</i>	満潮・干潮時, 計5回の干潟域の水質・潮位観測	佐々木 <sup>7)</sup>
大阪南港 野鳥園 (北池)	人工潟湖 (大阪湾)	40,000	各季節 / 計5回 (Nは計7回)	N・Chl <i>a</i> ・SS	1~2 潮汐における流入出水質・水量・雨水水質観測	矢持 <sup>2),8)</sup>
阪南2区人工干潟・現地実験場	現地実験場 (大阪湾)	8,000	9,10月 / 2回 (Nは計5回)	N・Chl- <i>a</i>	満潮・干潮時, 計5回の干潟域の水質・潮位観測	矢持 <sup>2),9)</sup>
英虞湾 浚渫干潟	人工前浜 (英虞湾)	3,000	各季節2回ずつ / 計8回	N・P・Chl <i>a</i>	2 潮汐間における流入出水質・水量観測	国分ら <sup>10)</sup>
和白干潟	前浜 (博多湾)	800,000	各季節 / 計4回	N・P・Chl- <i>a</i> ・ DO	昼夜1 潮汐間の干潟域の水質・潮位観測	児玉ら <sup>11)</sup>
一色干潟	前浜 (三河湾)	10,000,000	7月 / 1回	N・P・C・SS・ SiO <sub>2</sub> -Si	7日間, 計6回の干潟域の水質観測	佐々木 <sup>12)</sup>

った。また、クロロフィル *a* は増減率が平均で - 41.5 (%) と、他の物質と比べ高い減少傾向が見られた。

以上の結果より、夏期において本干潟は無機態、有機態に関わらずリンの Source、窒素とクロロフィル *a* の Sink として機能していることが明らかになった。

### 6. 他の干潟との物質収支の比較

干潟の浄化機能は、生物生息状態や日射、水温等の環境条件によって大きく左右される他、流入する物質によっても変動が起こると予想できる。干潟の栄養塩類物質収支を定量的に表した研究は数多いが、複数の干潟の収支を比較した研究は非常に少なく貴重である(例えば、矢持<sup>2)</sup>; 鈴木<sup>3)</sup>)。ここでは、本研究によって得られた結果が、干潟一般に言えるものか、本干潟特有のものかを議論する為、他の干潟の観測結果と比較する。

本研究では比較対象を、「夏期(7~9月)において現場海水中のリン・窒素・クロロフィル *a* 濃度を測定し、干潟全体の物質収支を定量的に表した研究」とし、表-3 に示す計10箇所の干潟を選定した。各干潟において 調査解析方法、水質分析方法、観測期間が異なるが、比較の際、その点は議論しないこととした。

比較の際に、同一干潟で複数回調査を行っている場合は、夏期(7~9月)の調査結果のみを比較対象とし、同じ季節で複数回測定を行っている場合は、夏期調査の平均値を使用した。日中と夜間とで別々に値を算出しているものについては、両者を平均した値を使用した。港空研干潟実験施設については、3つの水槽の平均値を使用した。阪南2区人工干潟については、造成直後の2000年のデータは使用せず、生物相が安定したと見られる翌年以降の結果を使用した。大阪南港湿地と阪南2区人工干潟における窒素収支に関しては、矢持<sup>2)</sup>に記載されている値を使用した。和白干潟と一色干潟については、結果を数値で表していないものは、グラフから値を読み取った。ただし、一色干潟の TN 収支は鈴木<sup>3)</sup>に記載されている値を使用した。比較の際には、単位を mg・m<sup>-2</sup>・h<sup>-1</sup> に統一した。また、DIN = (NO<sub>2</sub> + NO<sub>3</sub> + NH<sub>4</sub>) - N とし、ON = TN - DIN と定義した。また、DIN = PO<sub>4</sub>-P とし、OP = TP - DIN と定義し、表記を統一させた。ただし、阪南2区の DIN は測定されておらず、DTN の値を DIN として使用した。

以上の操作によって得られた結果を図-3 に示す。窒素については、全10箇所の干潟のうち8箇所で TN が減少しており、東京港野鳥公園の TN 減少速度は、阪南2区人工干

潟に次いで2番目に大きかった。リンについては、東京港野鳥公園と同様に、TPの増加が見られる干潟は8箇所中4箇所であり、そのうち東京港野鳥公園のTPの増加速度は最大であった。TN・TP共に減少が見られた干潟は港空研、三番瀬、一色干潟の3箇所であった。また、TN・TP共に増加が見られる干潟は、谷津干潟、盤洲干潟の2箇所であった。クロロフィルaについては、7箇所中5箇所の干潟で減少が見られた。東京港野鳥公園と同様に、TPのSink、TN、クロロフィルaのSourceである干潟は、和白白干潟のみであったが、無機態・有機態の増減傾向については、2つの干潟で異なった結果を示した。

有機態・無機態について着目すると、盤洲干潟と英虞湾浚渫干潟は、有機態のSink、無機態のSourceとして機能している。このことから2つの干潟では、動物による摂食活動が活発であったと推察される。また、港空研干潟実験施設と盤洲干潟は、無機態のSink、有機態のSourceであり、2つの干潟では植物プランクトンによる一次生産が活発であ

ったと推察できる。以上の結果から、干潟域では様々な要因が作用し、何が支配的な要因であるかは、各干潟によってそれぞれ異なることが示唆された。

7. まとめ

本研究では、「東京港野鳥公園・潮入りの池」における現地調査と、既存文献との比較によって、夏期干潟の栄養塩類物質収支について把握した。調査の結果、本干潟は夏期において、リンのSource、窒素とクロロフィルaのSinkとして機能していることが明らかになった。また、他の干潟との物質収支を比較した所、多くの干潟は、東京港野鳥公園と同様にTN、クロロフィルaのSinkであったが、TPに関しては、Sinkである干潟と、Sourceである干潟が半々の割合で存在した。

参考文献

- 1) 秦野拓見・他3名(2008):東京港野鳥公園干潟における栄養塩類フラックスの現地観測と水鳥負荷の推算, 海岸工学論文集, 第55巻, pp.1131-1135.
- 2) 矢持進(2007):大阪湾およびその周辺海域の干潟における窒素収支と動植物現存量, 海岸工学論文集, 第54巻, pp.1111-1115.
- 3) 鈴木輝明(2000):三河湾の干潟域と水質浄化機能, 海洋と生物, 129, Vol.22, No.4, pp.315-322.
- 4) 矢内栄二・他3名(2006):谷津干潟におけるアオサの異常繁茂と干潟環境への影響評価, 海岸工学論文集, 第53巻, pp.1191-1195.
- 5) 野村宗弘・他4名(2002):盤洲干潟における潮汐に伴う栄養塩収支に関する現地観測, 港湾空港技術研究所資料, No.1020, 19p.
- 6) 佐々木克之(1997):内湾および干潟における物質循環と生物生産[25]三番瀬における窒素リンの収支-2, 海洋と生物, 112, Vol.19, No.5, pp.436-441.
- 7) 細川恭史・他4名(1996):干潟実験施設を用いた物質収支観測, 港湾技研資料, No.832, 22p.
- 8) 矢持進(2004):富栄養浅海域における生態系の復元—人工干潟現地実験場での環境と生物の動態—, 平成12~15年度科学研究費補助金(基盤研究B(2))研究成果報告書, pp.104-107.
- 9) 矢持進・他2名(2003):浚渫土砂を活用した人工干潟における窒素収支—大阪湾阪南2区人工現地実験場について—, 土木学会論文集, No.741, -28, pp.13-21.
- 10) 国分秀樹・他4名(2006):英虞湾の浚渫ヘドロを用いた人工干潟における潮汐に伴う水質変動の連続観測, 海岸工学論文集, 第53巻, pp.1231-1235.
- 11) 児玉真史・他2名(2002):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.
- 12) 佐々木克之(1989):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.

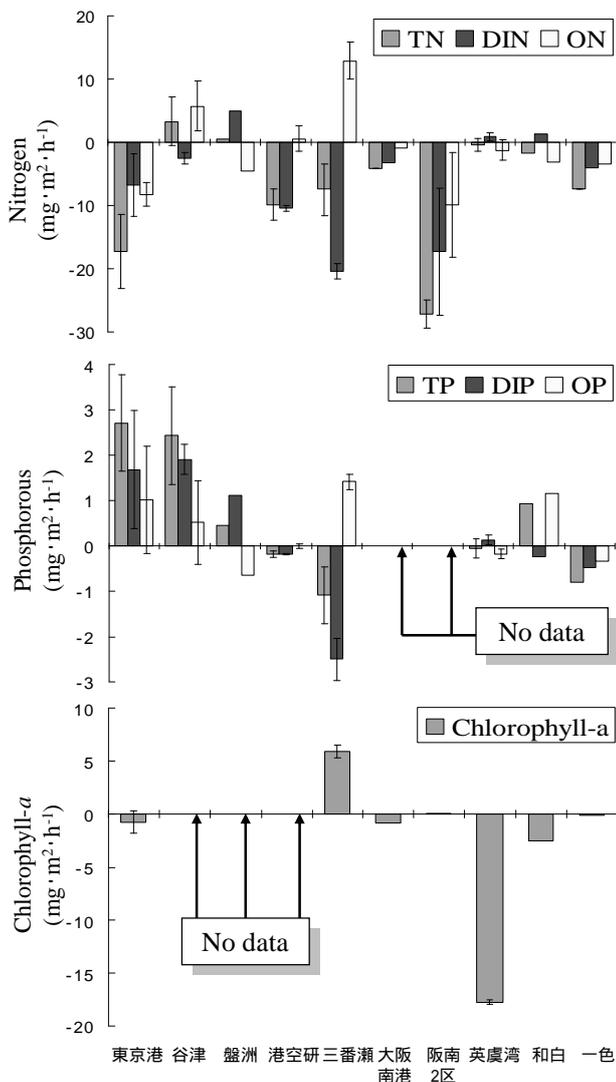


図-3 各干潟の物質収支測定結果。上から窒素・リン・クロロフィルaである。プラスは干潟域での物質の増加, マイナスは減少を表し, エラーバーは標準誤差を表す。