

# 東京港野鳥公園干潟における栄養塩類収支動態 に関する研究

## STUDY OF NUTRIENT BUDGET AT A TUDAL FLAT IN TOKYO PORT WILD BIRD PARK

秦野拓見<sup>1</sup>・石射広嗣<sup>2</sup>・門脇麻人<sup>2</sup>・村上和男<sup>3</sup>

Takumi HATANO, Hirotsugu ISHI-I, Asato KADOWAKI and Kazuo MURAKAMI

<sup>1</sup>学生会員 武蔵工業大学大学院 工学研究科都市基盤工学専攻  
(〒158-8557 東京都世田谷区玉堤一丁目28-1)

<sup>2</sup>学生会員 武蔵工業大学 工学部都市基盤工学科 (同上)

<sup>3</sup>フェロー会員 博(工) 武蔵工業大学教授 工学部都市工学科(同上)

Recently, a lot of research investigations of nutrient budget at tidal flat are carried out. Many studies discuss nutrient flux between tidal flat and adjacent sea, but the research investigations of nutrient flux via other routes are few. In this paper, we carried out the field observation of water quality over 2 tidal cycles at a tidal flat in Tokyo Port Wild Bird Park and estimated nutrient budget in this tidal flat in summer.

In conclusion, we found the following results. (1) Function of this tidal flat is net sink for TN and chlorophyll-*a*, and net source for TP in summer. (2) Nutrient fluxes between sediment and overly water is so large in budget of tidal flat area. (3) Nutrient loads from waterfowls and rainfall are small compared to flux between tidal flat and adjacent sea.

**Key Words :** *Tidal Flat, Self Clarification, Nitrogen, Phosphorous, Tokyo Port Wild Bird Park*

### 1. はじめに

近年, 干潟の有する環境機能の重要性や価値が認識されており, 干潟の生物生息機能や水質浄化機能に着目した研究が数多く存在する. 干潟の環境機能の研究は, 沿岸環境の保全, 回復を目的とした干潟造成を行う際の重要な資料となりえる.

干潟域における物質収支を論じた研究は数多いが, 多くの調査研究事例は, 潮汐に伴う干潟-隣接海域間の物質の流入出を論じたものであり, 他の経路による物質の出入りを論じた調査事例は少ない. 研究事例としては, 矢持ら<sup>1)</sup>や和田ら<sup>2)</sup>が降雨による干潟への窒素流入負荷量を報告したのや, 矢内ら<sup>3)</sup>が水鳥による干潟への排泄負荷量を算定したものが挙げられる.

本研究では, 潟湖型の人工干潟である「東京港野鳥公園・潮入りの池」において, 無機栄養塩類に関する調査を行った. 調査によって干潟-隣接海域間の物質収支を把握すると共に, 干潟域における堆積物-直上水間の物質交換フラックス, 降雨による直接沈降量, 水鳥の排泄物由来の物質負荷量を算定し, 干潟域における無機栄養塩類の収支動態について知見を得ることを目的とした.

### 2. 調査対象干潟

調査対象干潟は, 東京港野鳥公園内の人工干潟である潮入りの池とした. 東京港野鳥公園(図-1)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. 本公園は, 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-2)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

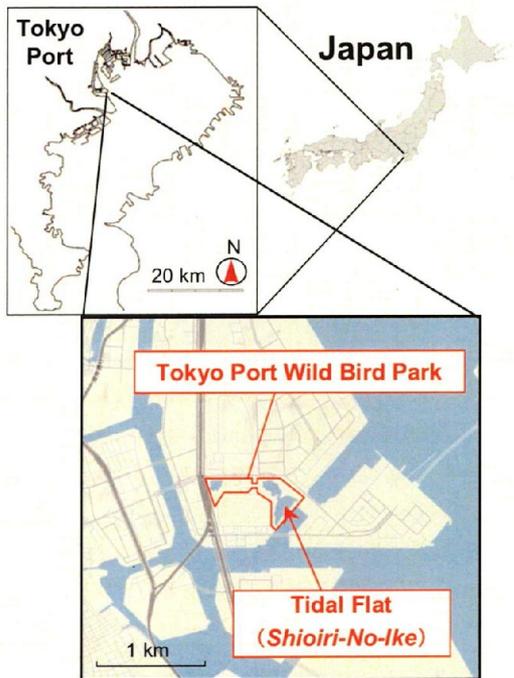


図-1 「東京港野鳥公園・潮入りの池」所在図

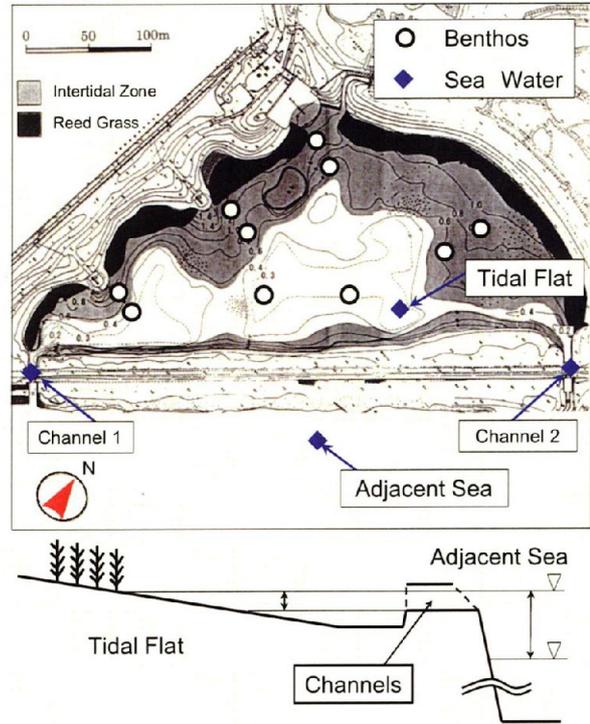


図-2 観測地点概要図

2本の開水路を通じ、潮汐作用によって行われている。上記のように境界条件が明確なことから、本干潟は干潟-隣接海域間の物質収支を測定するのに非常に適した構造であると言える。

### 3. 調査概要

#### (1) 夏期2潮汐間の水質調査

本干潟において、2潮汐間の水質調査を2008年8月17~18日に行った。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-2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。サンプリングした海水については  $PO_4\text{-P}$ 、TP、 $NH_4\text{-N}$ 、 $NO_2\text{-N}$ 、 $NO_3\text{-N}$ 、TN、クロロフィル *a*、フェオ色素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。

また、この期間内において、発生した降雨については、干潟周辺に設置したバットによって採水を行い、 $PO_4\text{-P}$ 、 $NH_4\text{-N}$ 、 $NO_2\text{-N}$ 、 $NO_3\text{-N}$ 濃度を分析した。

#### (2) 堆積物-直上水間の物質交換フラックス

干潟堆積物-直上水間の無機態窒素・リンの交換フラックスの測定は2008年6、8、10、12月の計4回行った。堆積物-直上水間のフラックスは、水温、泥温、日射、直上水濃度に依存して変化することが予想される為、本研究では現場にて実験を行った。アクリルコア（内径6.4cm、高さ61.7cm）を使用し、

潮下帯、潮間帯の堆積物、直上水のサンプリングを行った。実験体として、堆積物15cm、直上水600mlのコアを3本、対照系として直上水のコアを1本作成した。コアの下部はゴム栓で塞ぎ、上部は開放し、図-3のように干潟上に設置した。ただし、雨天時の場合のみ、上部を透明フィルムで蓋をした。

設置後は、堆積物の巻上げを抑えるため1時間程静置し、その後、約3時間の実験を行った。実験の開始時と終了時に直上水をサンプリングし、 $PO_4\text{-P}$ 、 $NH_4\text{-N}$ 、 $NO_2\text{-N}$ 、 $NO_3\text{-N}$ 濃度を測定した。同時に、測器（東亜DKK；DO-24P）によって直上水DOを測定した。

一般的に、このような実験では、隔離水塊の貧酸素化に伴い、フラックスが過小評価されることが考えられ、実験時にはエアレーションや攪拌を行うことが多い。本実験では、実験中にDOの著しい低下が見られず、常にDOが $2.0\text{mg/l}$ 以上を維持していたことから、このような操作は行わなかった。

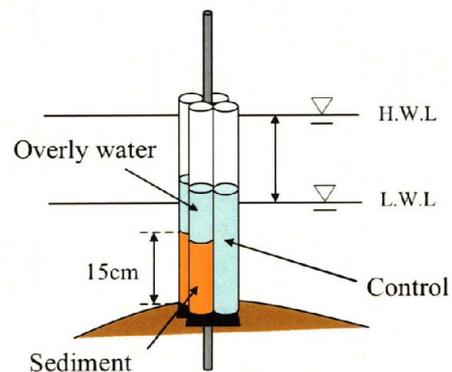


図-3 アクリルコアの設置模式図

実験終了後は測器（東亜DKK；RM-20P）によって各コアの堆積物2cm以浅のORPの測定を行った。また、堆積物表層0.5cmのクロロフィル $a$ 、フェオ色素を測定した。ただし、実験中に周辺の海水が混入したサンプルについては、データを破棄した。

また、現場底質を把握する為、2008年6、8、10、12月に底質調査を計4回行った。潮間帯、潮下帯において表層0.5cmの堆積物のサンプリングを行い、含水比、強熱減量、クロロフィル $a$ 、フェオ色素、ORPを測定した。また、間隙水を抽出し、 $PO_4$ -P、 $NH_4$ -N、 $NO_2$ -N、 $NO_3$ -N濃度の測定を行った。8月には、潮間帯、潮下帯の粒度組成、TN、TPの含有率の測定も併せて行った。

### (3) 水鳥センサス

水鳥に関しては、2008年6、7、8、10、11、12月に、本公園開園時間内（9：00～17：00）においてセンサスを行った。観察場所は潮入りの池のほぼ全域が見渡せるネイチャーセンター内とし、場合によっては1号、2号観察小屋を使用した。対象は干潟を利用する水鳥のみとし、各調査日における複数回の計数結果の平均値をその日の飛来数とした。一時的に干潟内に降り立つオオタカ(*Accipiter gentilis*)やトビ(*Milvus lineatus*)等の山鳥は、飛来数に含めないものとした。また、観察には、本公園所有の双眼鏡及び、望遠鏡を使用した。

## 4. 干潟-隣接海域間の物質収支

### (1) 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-4に示す。計算の結果、流入する物質より流出する物質が多い場合（図-4 上図）、干潟域で対象物質が増加しているの見なし、対象空間は物質に対してSource（供給源）となるとする。一方、流入量より流出量が少ない場合（図-4 下図）は、干潟域で対象物質が減少したと見なし、対象空間はSink（消費源）となるとする。

本研究では、水路内で観測されたリン・窒素・クロロフィル $a$ 濃度に水路内の通過流量を乗じ、干潟面積で除することにより、夏期2潮汐間の干潟-隣接海域間の物質収支を求めた。通過流量は、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<sup>4)</sup>。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。

### (2) 物質収支の算定結果

以上の算定方法によって得られた結果を表-1に示す。ここに正の値は干潟域での物質の増加、負の値は減少を表す。有機態物質については、 $OP=TP-PO_4$ -P、 $ON=TN-(NO_2$ -N+ $NO_3$ -N+ $NH_4$ -N)とし

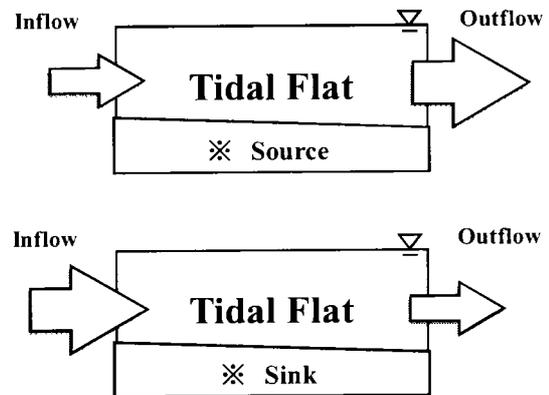


図-4 物質収支の算定方法の概念図

表-1 干潟-隣接海域間の物質収支

対象物質		増減速度 ( $mg/m^2/2tide$ )	増減率 (%)
TP	$PO_4$ -P	-7.75	+9.91
	OP	+82.2	
TN	( $NO_2+NO_3$ )-N	-522	-11.3
	$NH_4$ -N	+75.9	
	ON	-146	
Chlorophyll- $a$		-0.97	-13.8

※ 正の値は干潟域での増加、負の値は減少を表す。

て算出した。また、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表した。

リンに関しては、 $PO_4$ -Pが減少し、OPが増加しており、TPとしては流入量に対して、9.91%の増加が見られた。また、窒素に関しては、 $NH_4$ -Nは増加しているものの、( $NO_2+NO_3$ )-N、ONは消失し、TNとしては流入量の11.3%が干潟域で減少していた。クロロフィル $a$ に関しては、流入量の13.8%が干潟域で減少していた。

2007年の調査結果<sup>4)</sup>と比較すると、 $PO_4$ -Pの以外の増減傾向は一致しており、本干潟は夏期においてTPのSource、TN、クロロフィル $a$ のSinkとして機能していることが分かる。

## 5. 堆積物-直上水間の物質交換フラックス

### (1) フラックス計算方法

各コアの実験開始時と終了時の直上水の無機栄養塩濃度から、直上水中の物質の変化量を求め、対照系の変化量を差し引くことによって、堆積物-直上水間の物質交換フラックスを求めた。このフラックスは、堆積物中の、底生微細藻類、底生動物、細菌類の活動による作用を含んだ堆積物と直上水間の物質の移動量を表すものである。得られた結果は、単位時間面積当たりのフラックス量として評価した。

以上の概念を計算式で表現したものを以下に示す。

$$r = \frac{V(\Delta C - \Delta C_0)}{A \cdot \Delta t} \quad (1)$$

ここに、 $r$ は堆積物-直上水間の物質交換フラックス量( $\text{mg}/\text{m}^2/\text{h}$ )、 $V$ は直上水体積( $\text{m}^3$ )、 $\Delta C$ は実験体の直上水濃度の変化( $\text{mg}/\text{l}$ )、( $\text{mg}/\text{l}$ )、 $\Delta C_0$ は対照系における直上水濃度の変化( $\text{mg}/\text{l}$ )、 $A$ はコアの面積( $\text{m}^2$ )、 $\Delta t$ は実験時間( $\text{h}$ )である。

このフラックスの結果がプラスになれば、排泄物や死骸の分解や溶出等によって、堆積物から直上水へ物質が移動したと見なし、マイナスになれば、脱窒、底生微細藻類の光合成、土壌吸着等によって、直上水から堆積物へ物質が移動したと見なすことが出来る。

## (2) フラックス測定結果

図-5にDINのフラックスを示す。図中において、正の値が堆積物から直上水への物質の移動、負の値が直上水から堆積物への移動とし、3本の試験体の平均値と最大最小値を示した。これによると、殆どの季節において、DINは堆積物中へ移行していることが分かる。特に $\text{NO}_3\text{-N}$ の堆積物中への移動量が大き

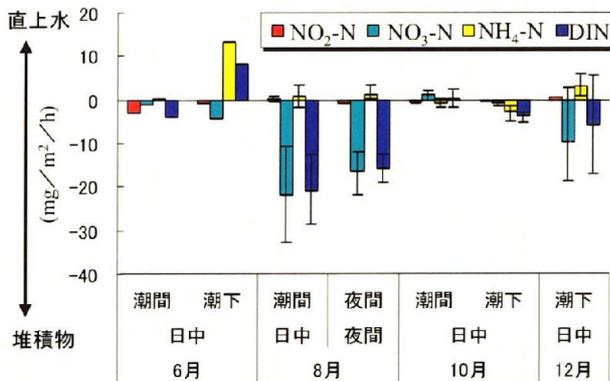


図-5 DINの堆積物-直上水間の交換フラックス。エラーバーは最大値と最小値を表す。

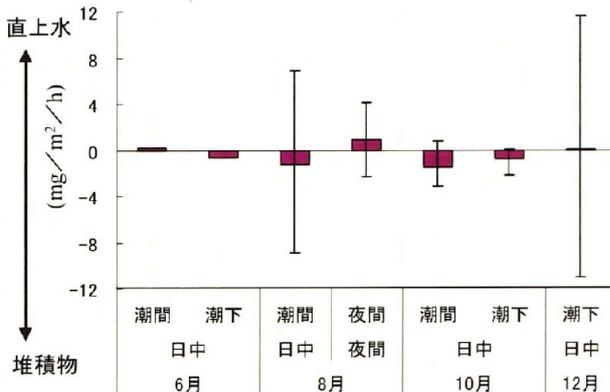


図-6  $\text{PO}_4\text{-P}$ の堆積物-直上水間の交換フラックス。エラーバーは最大値と最小値を表す。

きく、8月の潮間帯の夜間においてその量は最大となった。また、 $\text{NH}_4\text{-N}$ については、総じて溶出傾向にあることが分かる。一般的に、植物が取り込むDINは $\text{NH}_4\text{-N}$ が優先されると言われている<sup>5)</sup>。このことからDINの堆積物への移動は、底生藻類による取り込みに起因するものではなく、脱窒に起因するものと考えられる。

図-6に $\text{PO}_4\text{-P}$ のフラックスを示す。 $\text{PO}_4\text{-P}$ に関しては、年間を通して明確な傾向は見られず、各コアにおいても変動が大きかった。

図-5、6の8月の日中、夜間のフラックスの測定結果より、2潮汐間の堆積物-直上水間のフラックスを算定すると、 $(\text{NO}_2 + \text{NO}_3)\text{-N} = -520\text{mg}/\text{m}^2/2\text{tide}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N} = +28.9\text{mg}/\text{m}^2/2\text{tide}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P} = -11.9\text{mg}/\text{m}^2/2\text{tide}$ となり、表-1の干潟-隣接海域間の物質収支と符号が一致し、同様の増減傾向が得られた。

## 6. 降雨による大気からの直接沈降水量

採水した雨水の無機態窒素・リン濃度に降水量を乗じ、降雨による大気から干潟への直接沈降水量の算定を行った。

図-7に雨水、干潟直上水、堆積物、の無機栄養塩濃度の比較を示す。ここに示した干潟直上水の濃度は、干潟直上水の2潮汐間における平均濃度である。これによると、降雨には干潟直上水と比較して、高濃度の $\text{NO}_3\text{-N}$ や $\text{NH}_4\text{-N}$ が含まれていることが分かる。また、日本各地の既往の降雨水調査データ<sup>6)</sup>によると、 $\text{NH}_4\text{-N}$ は最大でも $1.06\text{mg}/\text{l}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ は $0.96\text{mg}/\text{l}$ であり、これらと比較しても、観測された雨水は非常に高濃度であったと言える。一般的に、雨水中の物質濃度は降雨履歴や大気濃度の変動、浮遊粉塵量等に影響を受けることが知られている<sup>7)</sup>。本干潟は、大都市沿岸部に位置することから、都市部の排気による影響によって、大気中の物質濃度が高かったことが推察される。また、干潟堆積物にはさらに高濃度の $\text{NH}_4\text{-N}$ が含まれ、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度が高いことが分かる。

本干潟近隣に位置する東京都羽田の気象台で得られた雨量データによると、2008年8月17~18日の

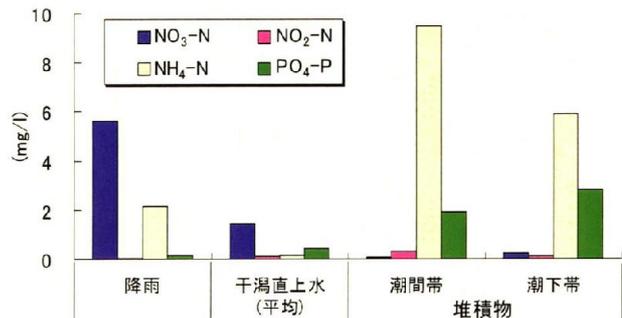


図-7 観測された無機栄養塩濃度の比較

表-2 降雨による大気から干潟への直接沈降水量

対象物質	直接沈降水量 (mg/m <sup>2</sup> /2tide)	流入比 (%)
PO <sub>4</sub> -P	0.559	7.2
(NO <sub>2</sub> +NO <sub>3</sub> )-N	22.6	4.3
NH <sub>4</sub> -N	8.57	11.3

観測期間中の降水量は 4mm であった<sup>8)</sup>。これより、降雨による干潟への直接沈降水量は表-2 のよう算定された。ここに、流入比=直接沈降水量/(干潟-隣接海域間の物質収支の絶対値)とした。干潟-隣接海域間の収支と比較し、PO<sub>4</sub>-P の負荷影響は 7.2%、(NO<sub>2</sub>+NO<sub>3</sub>)-N については 4.3%、NH<sub>4</sub>-N については 11.3%と、それぞれの負荷量は小さいことが分かる。この結果より、降雨には高濃度の NO<sub>3</sub>-N や NH<sub>4</sub>-N が含まれているものの、沈降水量としては干潟全体の収支に対して小さい値であることが分かった。

仮に同濃度の降雨が降り続いたとしても、日雨量が 354mm 以上の豪雨にならない限り、NH<sub>4</sub>-N の流入比が 100%を超過せず、干潟域への降雨による負荷影響は小さいものと言える。

## 7. 水鳥による排泄負荷量

### (1) 計算過程

観測された水鳥の飛来数データを用い、干潟直上水への排泄物負荷量と算定した。計算は、黄・磯部<sup>9)</sup>によって提案された式を参考にし、以下のとおりの方で行った。

$$BL = \frac{\sum Cr \cdot DWi \cdot Ni \cdot NCi}{A} \quad (1)$$

$$DWi = Wi \cdot \frac{2.25}{100}$$

ここに、BL: 対象水域における全水鳥による 1 日の排泄負荷量、Cr: 排泄物中のリン・窒素が対象水域に投下される確率、DWi: 水鳥 i の 1 日の排泄物の乾重量、Ni: 水鳥 i の飛来数、NCi: 排泄物中のリン・窒素含有量、A(=57034m<sup>2</sup>): 対象水域面積、Wi: 水鳥 i の体重である。

水鳥の排泄物中のリン、窒素含有量(NCi)については、石射ら<sup>10)</sup>が使用した値を参考にした。表-3 に各水鳥の排泄物中の TN, TP 含有量を示す。ここで、魚食性水鳥に関しては石田<sup>11)</sup>のカワウの排泄物の分析結果、草食性水鳥には中村<sup>12)</sup>の陸ガモの分析結果、シギ・チドリ類は、主として多毛類等の小形動物を採餌することから、異なる値を設定した。

### (2) 排泄物負荷量の計算結果

各観測日における水鳥の飛来数と排泄負荷量を図-8 に示す。飛来数が増大する 10, 11 月において干潟への負荷量がピークに達することが分かる。本干潟では、一年を通してカワウが数多く観測され、10

表-3 水鳥の排泄物中の窒素・リン含有量

水鳥	TN (%)	TP (%)	出展
魚食性水鳥	11.1	6.8	石田 <sup>11)</sup>
草食性水鳥	1.46	0.33	中村 <sup>12)</sup>
シギ・チドリ類	4.11	1.46	石射ら <sup>10)</sup>

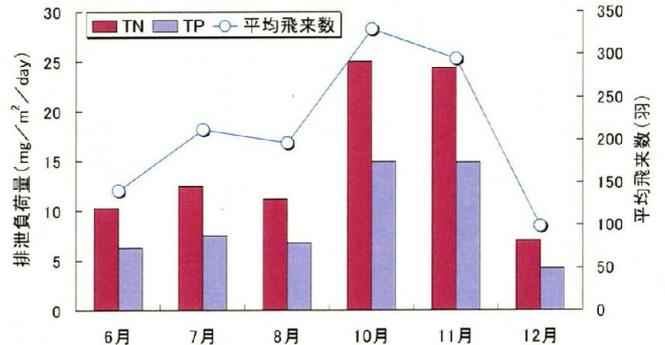


図-8 水鳥の飛来数と排泄負荷量

~11 月に、干潟域に設置してある杭や周辺の木々に羽を休めている個体が多く見られた。しかしながら、その負荷量は最大でも、TN=25.0mg/m<sup>2</sup>/day, TP=15.0mg/m<sup>2</sup>/day と、表-1 の干潟-隣接海域間の物質収支と比較し、決して大きな値ではなかった。

## 8. 干潟域における栄養塩類収支動態

ここで、2008 年 8 月の調査データを総合し、本干潟域における無機態窒素・リン収支動態について図-9 のようにまとめた。図中において、正の値が干潟直上水への物質の移動、負の値が干潟直上水から系外への物質の移動量を表す。本研究で調査しきれなかった魚類や底生動物の活動や、植物の光合成、水中における形態変化等による影響は、その他要因として値をまとめた。

干潟域に投下された水鳥の排泄物は、直上水へ回帰する確率と、沈降堆積する確率が同程度であるとして計算を行った。また、中村<sup>12)</sup>、岩寄ら<sup>13)</sup>の研究によると、水鳥の糞に含まれる尿酸は水中に投下されると NH<sub>4</sub>-N にすぐに回帰するとの実験結果から、本研究では、2 潮汐間のタイムスケールでは排泄物中の窒素は、全て NH<sub>4</sub>-N の形態で回帰するとした。また、脱窒素に関しては、木村ら<sup>14)</sup>が本干潟において 7 月に見積もった 322mgN/m<sup>2</sup>/day を引用し、図中に書き加えた。

計算結果より、堆積物-直上水間の物質交換フラックス量は、表-1の(NO<sub>2</sub>+NO<sub>3</sub>)-N消費の99.6%、NH<sub>4</sub>-N増加の38.1%を占めるものであり、PO<sub>4</sub>-Pに関しては、表-1の消費量を上回る値であることが分かった。この結果から、堆積物-直上水間の交換フラックスは、干潟域における物質収支の主要因であると考えられる。

また計算結果によると、堆積物に移動した(NO<sub>2</sub>

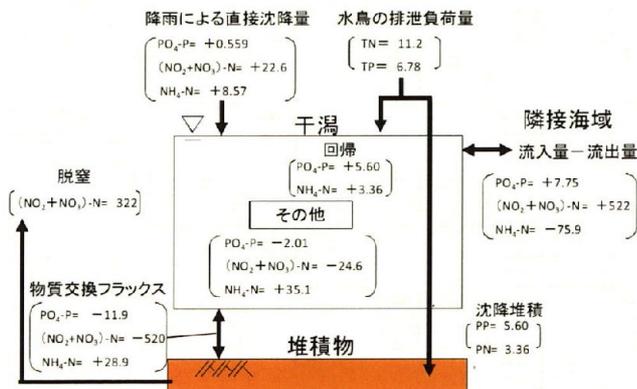


図-9 夏期における本干潟の栄養塩類収支動態。正の値が干潟直上水への物質の移動、負の値が系外への移動量を表す。単位は $\text{mg}/\text{m}^2/2\text{tide}$ である。

$+\text{NO}_3\text{-N}$  の 61.9%が脱窒によって大気中に放出されると見積もることができる。

## 9. おわりに

本研究では、「東京港野鳥公園・潮入りの池」において干潟の物質収支動態について、夏期2潮汐間の調査を行った。得られた結果を以下にまとめる。

- (1) 干潟-隣接海域間の物質収支を求めたところ、本干潟は夏期において、TPのSource、TN、クロロフィルaのSinkと機能していることが明らかになった。
- (2) 干潟堆積物-直上水間の無機態窒素・リンの交換フラックスは、干潟域における物質収支の主要因であると考えられる。
- (3) 降雨による大気から干潟への直接沈降量を計算したところ、沈降物に含まれる $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は高いものの、干潟への負荷影響は微量であることが明らかになった。
- (4) 水鳥の飛来数から排泄負荷量を算定した結果、本干潟では、10~11月にかけてカワウの飛来数が増大し、排泄負荷量もピークに達するが、干潟への負荷影響は小さいことが分かった。

近年、干潟の物質収支の研究は盛んに行われており、その収支傾向は個々の干潟や環境条件の変化によって大きく異なることが知られている。本研究では、無機態窒素・リンを対象に幾つかの調査を行った。このような調査データをまとめ、干潟の物質収支や環境条件を把握することによって、今後の干潟整備への重要な知見が得られることが期待できる。

**謝辞：**本論文は、2008年度武蔵工業大学の卒業論文及び、修士論文の一部を取りまとめ、新たに再編したものである。研究を行うにあたり多くの方々に

ご支援、ご指導頂いた。ここに、記して感謝の意を表します。調査を行うにあたって、金井裕氏をはじめとする東京港野鳥公園の方々、また、桑江朝比呂博士をはじめとする港湾空港技術研究所の方々、中瀬浩太氏をはじめとする五洋建設(株)の方々にお世話になりました。また、調査に協力して頂いた武蔵工業大学の方々に深く感謝致します。

## 参考文献

- 1) 矢持進・柳川竜一・橘美典：大阪南港野鳥園湿地における物質収支と水質浄化機能の評価、海岸工学論文集、第50巻、pp.1241-1245、2003。
- 2) 和田安彦・矢持進・藤原俊介・平井研・濱田のどか・金子健司・杉野信義・重松孝昌・小池敏也：自然干潟(和歌川河口干潟)の流入負荷収支と降雨による影響、土木学会論文集 G, Vol.62, No.1, pp.41-52, 2006。
- 3) 矢内栄二・石井健一・小野寺一剛：谷津干潟における鳥類および流入排水負荷の検討、海洋開発論文集、第24巻、pp.735-740、2008。
- 4) 秦野拓見・関口晋太郎・村上和男・中瀬浩太：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、2008。
- 5) 古谷研：一次生産プロセス、一次生産の基本概念、海洋生物の連鎖、木暮一啓編、東海大学出版会、pp.28-44、2006。
- 6) 大垣真一郎[監修]・河川環境管理財団[編]：河川と栄養塩類、管理に向けての提言、技術堂出版、pp.27-30、2005。
- 7) 西田修三・中谷裕介・嶋田恭祐・入江政安：降水の水質特性と大阪湾への栄養塩負荷の影響解析、海岸高額論文集、第55巻、pp.1061-1065、2008。
- 8) 気象庁：<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- 9) 黄光偉・磯部雅彦：渡り鳥集団飛来による閉鎖性水域への栄養塩負荷推定に関する研究、土木学会論文集 B, Vol.63, No.3, pp.249-254, 2007。
- 10) 石射広嗣・村上和男・秦野拓見：干潟域における水鳥の栄養塩物質輸送量の算定、第36回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集、II-85, CD-ROM, 2009。
- 11) 石田朗：カワウのコロニーや集団ねぐらによる森林生態系への影響、鳥類学会誌、51(21), pp.29-36, 2002。
- 12) 中村雅子：ガンカモ類が水質に及ぼす影響～冬期湛水水田の施肥効果の可能性～、第2回冬期湛水水田シンポジウム講演要旨集、pp.26-29, 2002。
- 13) 岩寄厚子・福田未奈子・千葉和也・佐竹研一：武蔵丘陵山田大沼における窒素代謝に関する研究-カワウによる尿酸の排泄と分解過程、日本陸水学会講演要旨集、Vol.73, No.SPACe, pp.120, 2008。
- 14) 木村賢史・三好康彦・嶋津暉之：人工干潟湖における生物による浄化について、東京都環境科学研究所年報、pp.212-222, 1995。