

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量の推算

Estimations of Nutrient Fluxes and Nutrient Load from Waterfowls
at a Tidal Flat in the Tokyo Port Wild Bird Park

秦野拓見¹・関口晋太郎²・村上和男³・中瀬浩太⁴

Takumi HATANO, Shintaro SEKIGUTI, Kazuo MURAKAMI and Kouta NAKASE

It is said that tidal flat have high biological productivity and high self clarification in coastal water area. In Japan, tidal flat has disappeared and the ability of water clarification has fallen down as a result of coastal reclamation accompanied with industrialization. In this paper, we observed water quality over 2 tidal cycles and calculated nutrient load from waterfowls at a tidal flat in the Tokyo Port Wild Bird Park to estimate the self clarification by tidal flat. In conclusion, we found the following results. (1) Function of this tidal flat is net source of phosphorus and net sink of nitrogen and chlorophyll-*a* in summer. (2) Nutrient load from great cormorant (*Phalacrocorax carbo*) is the largest amount among waterfowls and the peak value is obtained in October. However, this value is not so large compared to nutrient fluxes.

1. はじめに

干潟とは潮汐周期により干出と水没を繰返す平坦な砂泥質の地形のことであり、地球上でも豊富な生物相を形成する地域として認識されている。一般に、干潟は生物生産能力が高く、海域の水質浄化の場として機能すると言われている。また、シギ・チドリなどの渡り鳥やカモ・カワウなどの水鳥は、干潟を餌場や休息場として利用しており、鳥類にとっても干潟は重要な生活空間であると言える。日本では、高度経済成長期における大規模な埋立事業により、多くの干潟が消失し、それによって沿岸の水環境が悪化した。近年では、干潟の重要性は強く認識され、各地で干潟の造成や研究調査が盛んに行われている(例えば、国分ら, 2006; 中瀬ら, 2006)。今後も、干潟の造成事業は拡大することが予想され、それに伴う研究調査の重要性も高まることが考えられる。

東京湾のような富栄養化が進行した閉鎖性内湾において、干潟の水質浄化能力は特に期待が寄せられている。そこで本研究では、大都市沿岸部の人工島に造成された潟湖型干潟「東京港野鳥公園・潮入りの池」を対象に、水質に関する現地観測を行った。湾内の水質悪化が懸念されている夏季において、干潟-隣接海域間を流入出する水質の2潮汐間の連続観測を行い、リン・窒素・クロロフィル a のフラックス量を求めた。また、干潟域に飛来した水鳥のセ

ンサス記録により、干潟域に1日に排泄されるリン・窒素負荷量を求めた。

2. 調査対象干潟

東京港野鳥公園は図-1に示すように大都市沿岸部の人工島である東京港大井埠頭の南端に位置する。本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整備され、水域における自然環境の保全・回復を目的とし、都内に数少ない親水空間を提供している。また、東アジア・オーストラリア地域フェラウェイ・パートナーシップの参加湿地であり、シギ・チドリ類の生息地としても貴重な空間である。

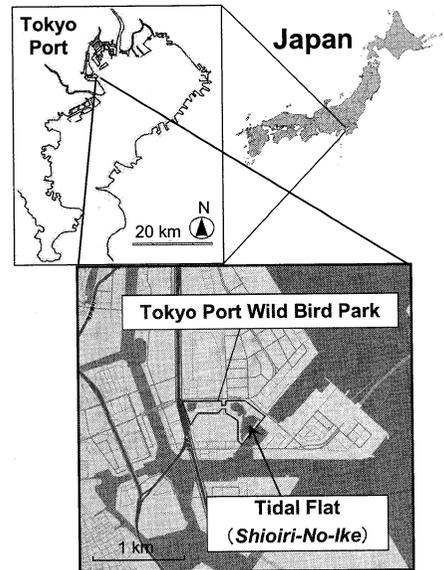


図-1 「東京港野鳥公園・潮入りの池」所在図

- | | |
|-------------|------------------------|
| 1 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 |
| 2 | (株) 太平エンジニアリング |
| 3 フェロー 博(工) | 武蔵工業大学教授工学部都市工学科 |
| 4 正 会 員 | 五洋建設(株) 環境事業部 部長 |

調査は東京港野鳥公園内の潮入りの池において行った。潮入りの池は1989年に整備された潟湖型の人工干潟であり、池内は潮間帯、潮下帯、砂利浜、ヨシ原で構成され、総面積は約57000(m²)である。閉鎖性が非常に高く、隣接海域である東京湾と幅3(m)程の2本の開水路によってのみ海水交換を行っている。干潟域の水深は1~2(m)程であり、隣接海域の水深は4~5(m)程である。図-2に示すように潮汐作用によって表層付近の海水が水路を通じ交換されていると考えられる。干潟に流入する河川は無く、後背地には淡水池が存在するが、降雨により池の水が溢れてこない限り干潟に淡水が流入することはない。

3. 調査概要

調査は、東京湾内の水質悪化が進行していると考えられる夏季高温期を対象に、2潮汐間の水質連続観測を行った。調査日は2006年の8月20~21日、2007年8月26~27日の大潮期とした。調査日は両日も晴天であった。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地点に設置した。2007年の調査では各地点に観測器を設置し、水温、塩分、DO、クロロフィルa、濁度、潮位を連続観測した。また、各地点の水面付近において採水を行い、分析室に持ち帰りPO₄-P、TP、NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N、TN、クロロフィルa濃度を吸光光度法により測定した。水路においては、観測器を使用し、pHと流速の測定を併せて行った。使用した観測機器を以下に示す。水路においては多項目水質計(ALEC; AAQ 1183)と流速計(ALEC; COMPACT-EM)を使用した。干潟域及び隣接海域においては、水温塩分計(ALEC; COMPACT-CT)、圧力計(ALEC; COMPACT-TD)、DO計(三

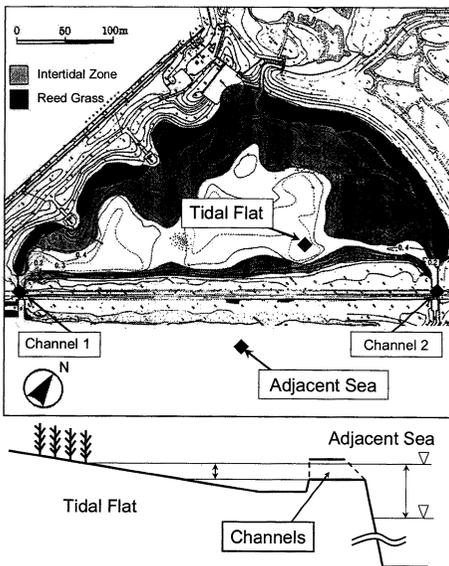


図-2 観測地点概要図

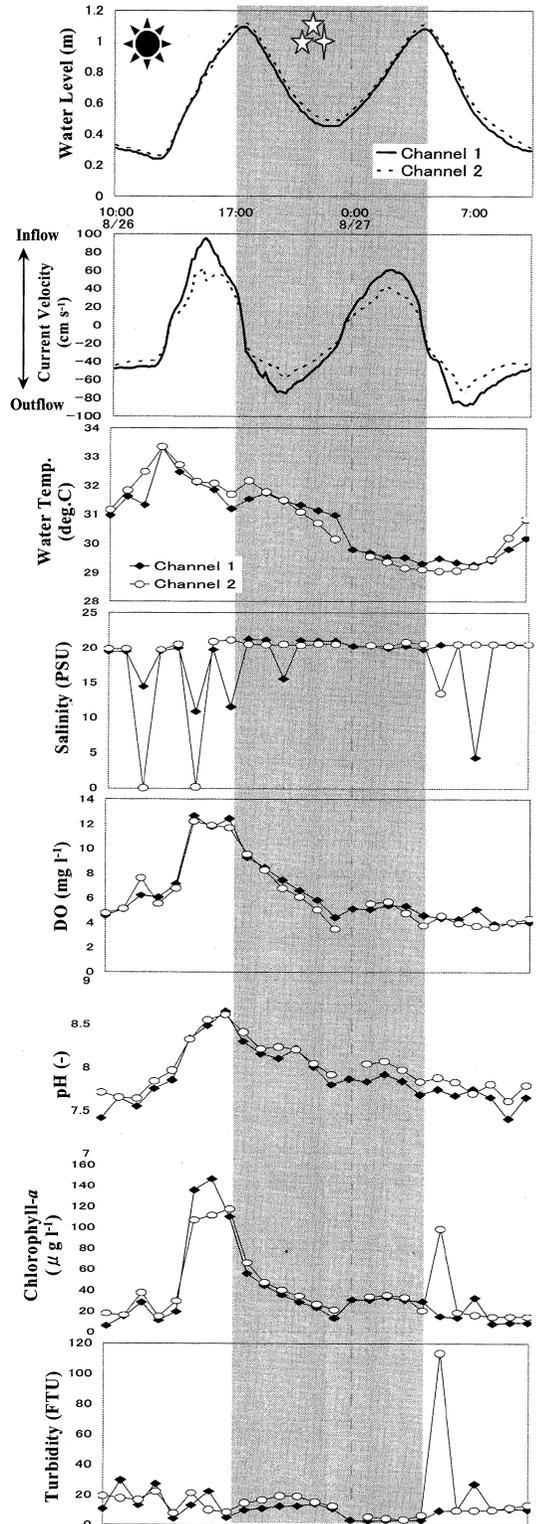


図-3 水路内の水位・流速・水質の時系列変動

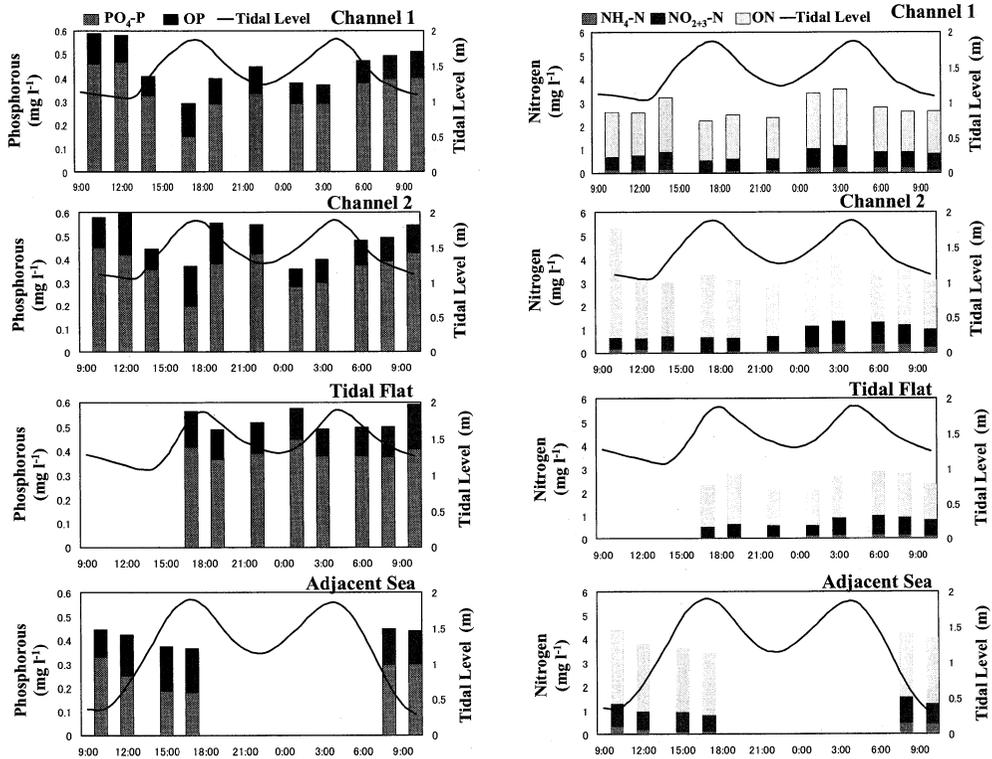


図-4 各観測点におけるリン・窒素濃度の時系列変動

洋測器；MDO-1）、クロロフィル濁度計(ALEC；COMPACT-CLW)を使用した。

4. 調査結果と考察

(1) 水路における水質時系列変動

図-3に2007年8月26～27日間に観測された水路における水位、流速、水質の時系列変動を示す。

水位、流向は水路1、2ではほぼ同様の変動傾向を示した。2つの水路において位相差は見られず、海水は上げ潮時に干潟内に流入し、下げ潮時に隣接海域へ流出する機構を確認した。流速については、最大流速時には水路1の方が絶対値が高くなり、水路2の流速は水路1に対して3割程減衰されていることが分かった。水路2では水路1に比べ、周辺が入り組んだ地形をしており、摩擦損失によって、流速が減衰されたと考えられる。

水温については、日中の13：00頃に最高水温33.3(°C)を記録し、明け方の7：00頃に最低水温29.2(°C)を記録した。塩分については、観測期間中におよそ20(PSU)で変動していたが、時折急激に値が低下する箇所が見られた。

DO、pH、クロロフィルaについては、日中の上げ潮に伴い上昇し、その後下げ潮に伴い下降する傾向が見られた。この結果については、2006年の観測でも同様の変動傾向が

観測されており、日中において隣接海域で生産されたDO、pH、クロロフィルaが干潟内に流入し、干潟域の魚類や底生生物等に消費され、隣接海域に放出される機構が考えられる。このことから、干潟内部では、魚類や底生生物等の活動が、植物による一次生産量を上回っていることが考えられる。クロロフィルaの変動に関しては、木村ら(1995)が潮入りの池で行った観測でも同様の結果が報告されている。木村らは夜間のクロロフィルaの減少を、プランクトンの鉛直移動と説明している。移動能力のあるプランクトンの多くは趨光性を有しており、夜間は下層に分散し、夜明けとともに表層に集まる。この為、夜間に水路を通過するプランクトン量が減少したと考えられる。

(2) 栄養塩の時系列変動

図-4に2007年8月26～27日に観測されたリン・窒素濃度の時系列変動を示す。図中において、 $OP = TP - PO_4-P$ 、 $ON = TN - (NO_2-N + NO_3-N + NH_4-N)$ として算出した。水路内でTP濃度は、上げ潮に伴い下降し、下げ潮に伴い上昇する傾向が見られた。また、干潟域ではTPは隣接海域よりも高濃度で推移し、干潟と隣接海域で $0.12(mg \cdot l^{-1})$ 程度の濃度差が見られた。TN濃度は水路内で、上げ潮に伴い上昇し、下げ潮に伴い下降する傾向が見られた。また、干潟域ではTNは隣接海域よりも低濃度で推移し、干潟と

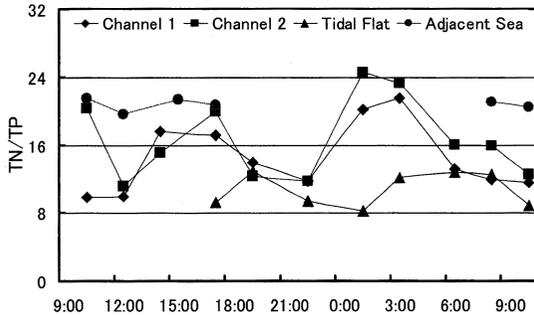


図-5 TN/TP (モル比)の時系列変動

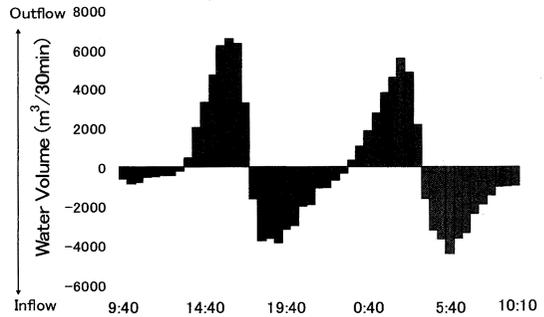


図-6 水量の流入出フラックス

隣接海域で $1.37(\text{mg} \cdot \text{l}^{-1})$ 程度の濃度差が見られた。

図-5にTN/TP(モル比)の時系列変動を示す。TN/TPは水路内では上げ潮に伴い上昇し、下げ潮に伴い下降する傾向を示した。また、レッドフィールド比($\text{N/P}=16$)と比較し、干潟域では総じて低い値を示し、隣接海域では高い値を示した。一般にN/P比は、植物プランクトンの優占種を決定する要因の一つであると考えられている。このことから、干潟域と隣接海域間では、水質環境や植物プランクトンの生息環境、種組成が異なることが推察できる。

(3) 栄養塩類フラックス計算

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フラックスを求めた。流量は、秦野ら(2007)の方法と同様に、干潟内の潮位変動から算出し、図-6の結果を得た。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、2007年の8月26日9:40~27日10:10の24.5時間を対象とした。また、2つの水路における流量比は、図-3の流速変動の結果より、水路1:水路2=1:0.7と仮定した。

表-1にフラックスの計算結果を示す。ここに、正の値は干潟内での対象物質の増加、負の値は消失を表す。また、除去率(%)=(流出量-流入量)/流入量 $\times 100$ と定義した。リンに関しては、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、 OP とも干潟内で増加しており、TPとしては、流入量に対して33.0(%)の増加を持って隣接海域へ放出している。また、窒素に関しては、 $\text{NH}_4\text{-N}$ は増加しているが、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 ON は消失し、TNとしては流入量の8.37(%)が干潟内に取り込まれている。クロロフィルaに関しては、流入量の57.4%が干潟内に取り込まれている。以上の結果から、本干潟は夏季において、リンの供給源、窒素・クロロフィルaの消費源として機能していることが明らかになった。本干潟におけるリン供給、窒素消費の機構は、木村ら(1995)が9月に行った観測によっても同様の結果が得られている。同時に、木村らは本干潟において、年間 $25\sim 322(\text{mgN} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1})$ と高い脱窒速度を測定しており、窒素の消費要因は脱窒に起因するものが大きいと推察できる。また、クロロフィルaの消費に

表-1 干潟-隣接海域間の栄養塩類フラックス

| 対象物質 | 流入出フラックス ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot 2\text{tide}^{-1}$) | 除去率 (%) |
|---------------|---|------------|
| TP | $\text{PO}_4\text{-P}$ | 101 |
| | OP | 5.71 |
| TN | $\text{NO}_{2+3}\text{-N}$ | -58.2 |
| | $\text{NH}_4\text{-N}$ | 24.7 |
| | ON | -248 |
| Chlorophyll-a | -46.3 | -57.4 |

※ 干潟内での消失を負の値、増加を正の値で表示。

関しては、干潟域の底生生物や魚類等により植物プランクトンが摂食されたことが考えられる。リンが干潟域で供給される要因として生物による排泄と、底泥からの溶出が考えられる。観測期間中、干潟直上水中のDO濃度は $2\sim 8(\text{mg} \cdot \text{l}^{-1})$ で変動し、貧酸素化は見られなかった。このことから、干潟堆積物からのリンの溶出効果は大きくはないことが推察できる。今後は、溶出実験により、堆積物からの溶出効果を定量的に検討する必要がある。

5. 水鳥による排泄負荷量の推算

一般に、干潟を餌場として利用する水鳥は、水域から陸域への物質除去の役割を果たすと考えられている。しかし一方で、水鳥の排泄物は多量のリン酸分を含んでおり、水域における物質負荷源として懸念されている(黄ら, 2007)。本研究では、干潟域におけるリン供給要因の一つとして、干潟を利用する水鳥が1日に排泄するリン・窒素負荷量を求めた。

負荷量を推算するにあたり、東京港野鳥公園が毎月行っている鳥類センサス記録を使用した。センサスは1ヶ月に1回の9:00~10:30の1時間程度のポイントセンサスとルートセンサスの記録を併用したもので、本研究では、この期間内に計数されたデータを、1日に干潟に飛来する水鳥の総数と等しいものとして扱った。2007年には32種類の水鳥が干潟に飛来しており、特にカワウ(*Phalacrocorax carbo*)が年間を通して最も多く観測され、観察頻度は100(%)、個体数比は54.0(%)であった。

以上のセンサス記録をもとに、水鳥によるリン・窒素負

荷量を既存文献より推算した。計算は、黄ら(2007)によって提案された式を参考にし、以下の方法で行った。

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

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

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、Ni：水鳥iの飛来数、DWi：水鳥iの1日の排泄物の乾重量、NCi：水鳥iの排泄物の栄養塩含有率、Cr(=1/3)：排泄物中の栄養塩が水中に帰着する確率、A(=57034m²)：対象水域面積、Wi：水鳥iの体重である。DWiとCrに関しては、黄ら(2007)の方法に従い以下の通りとした。水鳥の1日の排泄量DWiは体重の2.25(%)とし、干潟域における排泄量はその系内にいる時間に比例するとしてCr=1/3(day)とした。また、NCiに関しては、中村(2002)の測定結果を参考にし、表-2の通りとした。

計算によって得られた水鳥の排泄負荷量を図-7に示す。飛来数が最も大きくなる10月において、排泄負荷量が最大になった。また、水鳥による負荷量は、図-8のようにカワウによるものが卓越しており、全水鳥の60~80(%)を占めることが明らかになった。カワウは、本干潟に飛来する最重量の水鳥であり、排泄物中に含まれる栄養塩含有率も高い。また、年間を通して最も干潟を利用する種であることから、カワウの排泄物が干潟環境に長期的に影響を与えている可能性が懸念される。しかし、その負荷量は最大でもTN = 33.7(mg・m⁻²・day⁻¹)、TP = 18.7(mg・m⁻²・day⁻¹)であった。この値は表-1のTPフラックスの17.5(%)程であり、干潟域における水鳥の排泄はリン供給源の要因を十分に説明できるほど大きくはないものであった。

表-2 排泄物中の栄養塩含有率 (中村, 2002)

| 種名 | 窒素 (%) | リン (%) |
|------|--------|--------|
| カワウ | 22.05 | 12.29 |
| アオサギ | 21.30 | 14.13 |
| カモ類 | 1.49 | 0.33 |
| その他 | | |

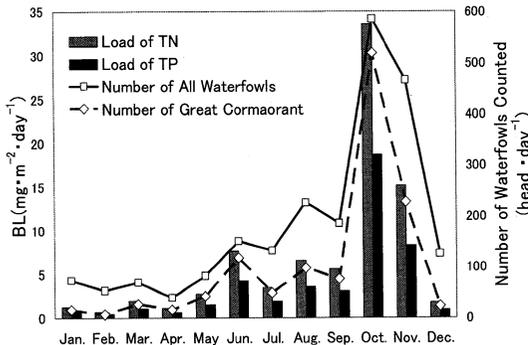


図-7 水鳥による窒素・リン負荷量(2007年)

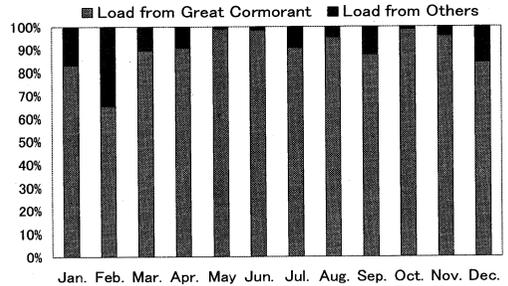


図-8 全水鳥に対するカワウ排泄負荷量の割合(窒素・リン)

6. まとめ

本研究によって得られた主要な結論を以下にまとめる。

(1) 「東京港野鳥公園・潮入りの池」を対象に、夏季高温期において干潟-隣接海域間を流入出する水質の連続観測を行い、2潮汐間の栄養塩類フラックスを求めた。その結果、夏季において本干潟は、リンの供給源であり、窒素、クロロフィルaに関しては消費源として機能していることが明らかになった。

(2) 干潟域におけるリンの供給要因の一つとして、水鳥の排泄物による影響を検討した。水鳥センサス記録と、既存文献によって得られた排泄量を用い、1日に干潟域に排泄されるリン・窒素負荷量を推算した結果、水鳥の排泄による負荷量はカワウによるものが卓越しており、10月に最大になった。しかし、その負荷量はリンの供給要因を説明できるほど大きくはなかった。

謝辞：現地観測の際には、東京港野鳥公園の方々、五洋建設(株)の方々、(独法)港湾空港技術研究所の方々、並びに武蔵工業大学・水圏環境工学研究室のゼミメンバーにご協力頂いた。ここに記して感謝する。

参 考 文 献

木村賢史・三好康彦・嶋津暉之(1995)：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.

国分秀樹・奥村宏征・高山百合子・湯浅城之・上野成三(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.

中瀬浩太・金山進・木村賢史・山本英司・石橋克己(2006)：閉鎖性海域に造成した人工干潟に関する基礎的調査, 海岸工学論文集, 第53巻, pp. 1071-1075.

中村雅子(2002)：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.

秦野拓見・村上和男・中瀬浩太・金山進・葉山政治(2007)：人工潟湖干潟が水質変化に及ぼす影響, 海洋開発論文集, 第23巻, pp. 745-750.

黄光偉・磯部雅彦(2007)：渡り鳥集団飛来による閉鎖水域への栄養塩負荷推定に関する研究, 土木学会論文B, Vol. 63, No. 3, pp. 249-254.