

東京港野鳥公園干潟を利用する 生物による栄養物質除去量の算定

THE CALCULATION OF THE AMOUNT OF REMOVED NUTRIENT MATTER REMOVAL BY THE CREATURE IN THE TIDAL FLAT IN TOKYO PORT WILD BIRD PARK

佐々木奈々¹・石射広嗣²・村上和男³・中瀬浩太⁴・
Nana SASAKI, Hirotsugu ISHII, Kazuo MURAKAMI, Kota NAKASE

¹学生会員 東京都市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1-28-1)

²学生会員 東京都市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1-28-1)

³フェロー会員 東京都市大学教授 工学部都市工学科 (〒158-8557 東京都世田谷区玉堤1-28-1)

⁴正会員 五洋建設株式会社 土木部門土木本部環境事業部 (〒112-8576 東京都文京区後楽2-2-8)

Field studies were carried out in order to estimate the amount of nutrient removed from tidal flat by creatures in The Tokyo Port Wild Bird Park. The predominant species of birds in the tidal flat is cormorant. The number of cormorant in the tidal flat is large in Autumn seasonally, and in the afternoon to evening daily. The rate of feeding action of the cormorant is only 4%. From the result, it is considered that the cormorant uses the tidal flat for rest mainly. The nutrient flux from tidal flat to outside is positive when the feeding rate is assumed as completely done in the flat, but is negative when the feeding rate is assumed as the rate of feeding action. The nutrient removal in benthos and living reeds in Summer is larger than the one in Winter.

Key Words : Tidal flat, water bird, benthos, living reed, cormorant, nutrient

1. 研究背景と目的

干潟とは潮の干満により干出と水没を繰り返す平坦で砂泥質な地形であり、また栄養等が流れ込みやすい地形をしているため栄養が豊富である。そのため、ゴカイやカニ等の底生生物が多く生息している。それら生物を捕食する水鳥も干潟を利用している。図-1に示すように、干潟には多様な生物が生息しており、それらの生物が汚濁物質や栄養物質を体内に取り込み、エネルギーとして消費や、干潟外に運ぶことにより干潟は高い水質浄化能力を有する場であると言われている。図-1の矢印は栄養物質の生物による移動の例を示した。

しかし、近年まで干潟の重要性は理解されておらず、埋め立て、浚渫などにより自然干潟の大半が消滅してしまった。またそれに伴って、隣接海域の水質が悪化した。近年、干潟の海域環境に及ぼす重要性が認識され、干潟を再び造成しようという試みが行われてきている。

現在、干潟の水質浄化機能は定量的な評価が困難な点が多く、まだ確立されておらず、調査研究段階である。そこで、本研究では干潟の浄化機能を定量的に把握するために東京港野鳥公園の干潟を利用している生物の内、野鳥、カニやゴカイ等の底生生物

およびヨシについて生息量や個体数調査を行い、得られたデータから栄養物質除去量の算定を試みることを目的とした。

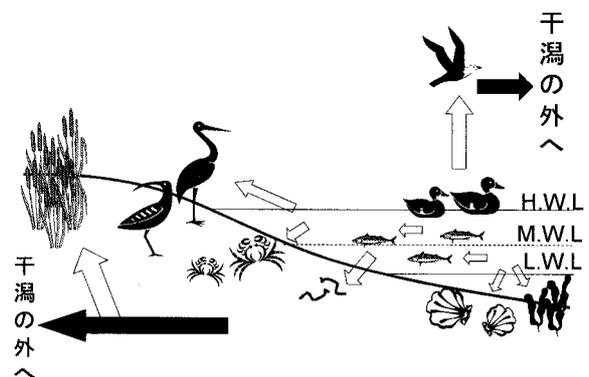


図-1 干潟を利用する生物の生息概要図

2. 調査対象干潟

調査対象干潟は、東京港野鳥公園の潮入りの池である。東京港野鳥公園は、東京湾の埋め立て地に設立された人工的な潟湖型の干潟を有するバードウォッチングなどの出来る公園である。野鳥公園は東京湾奥部に隣接した所に位置している。園内は西

淡水池、東淡水池、潮入の池(干潟)などの野鳥やカニなどが利用する自然空間および、ネイチャーセンターなどの人が野鳥を観察できる屋内施設などで構成されている。

干潟部は、総面積は約 57000m²、干潟の周りのヨシ(*Phragmites australis*)原面積は約 8000m²、干潟内の水深は 1~2m、臨海海域の水深は 4~5m、海水の交換は隣接している東京湾と幅 3m ほどの 2 本の開水路によってのみ行われており^{1), 2)}、水面は穏やかである。潮入りの池の中には、カワウ(*Phalacrocorax carbo*)等の野鳥が休憩に用いる杭や満潮時にも海水に浸らないアジサシ島という場所がある。干潟周辺には樹林があり野鳥が休憩に用いている。

また観測された野鳥の中に渡り鳥であるメダイドリ(*Charadrius mongolus*)も飛来することから、渡り鳥の保全に関わる国際的な連携事業である“東アジア・オーストラリア地域フライウェイ・パートナーシップ”の参加地となっている。

3. 調査項目

干潟を利用する生物である野鳥、底生生物およびヨシの生息量や個体数調査は以下のとおりである。それぞれの調査の調査地点を図-2に示す。

(1) 野鳥の利用個体数と種類の調査

干潟に隣接する屋内観察施設であるネイチャーセンターにて、野鳥公園の開園時間である9時から17時までの1時間ごとの計8回、野鳥公園の干潟を利用する野鳥の飛来数と種類および野鳥の行動別(採餌あるいは休憩)を観測し、記録した。また、得られた飛来数の合計を観測日数や観測回数で割る事により平均飛来数を算出した。

観測器具は、フィールドスコープや双眼鏡、そしてカウンターを用いた。

調査は2009年4月から12月まで月に1回ずつ、計9回行った。

(2) 底生生物の現存量調査

図-2に示すように、干潟内にAからFまでの測線を設け、測線に対し、2地点ずつ底生生物の調査地点を決定した。

調査地点ごとに、スコップで25×25×25cmの堆積物を採取し、1mm目の篩にかけ残った底生生物を採取ビンに捕獲し、エタノールまたはホルマリンで固定し、調査地点ごとの底生生物の現存量として湿重量を測定した。

しかし上記の篩分け調査では動きの素早いカニを捕獲する事が困難であり正確なデータが得られない為、カニはコドラート調査およびランダム採取により現存量を把握した。図-2の測線AからDを基準に2地点ずつ(星型地点)を調査地点とし、1m×1mのコド

ラートを設置しカニの個体数を観測した。また干潟でランダムに捕獲されたカニの重さをそれぞれ測定し、観測された個体数に平均体重を乗じることによって現存量データを得た。調査は2009年8月、12月に行った。

(3) 干潟に自生しているヨシの自生数調査

図-2のネイチャーセンターに近接したヨシ原にて、1m×1mのコドラートを用い、自生本数をカウントした。その際は完全に枯れているものや、折れているヨシは対象外とした。

調査は2009年8月、12月に行った。調査場所は比較的調査しやすく、干潟内でヨシの自生が偏っていない場所を選んだ。

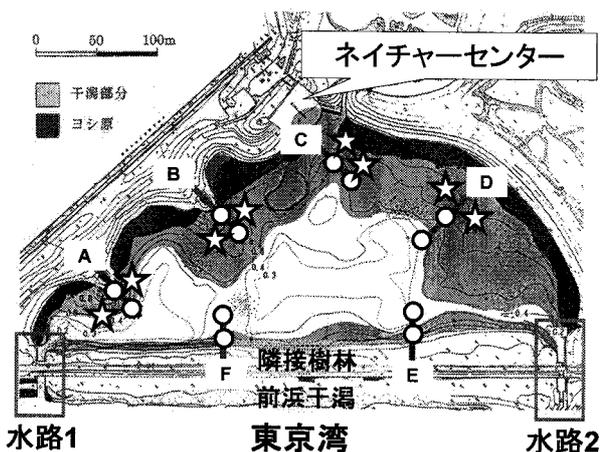


図-2 調査地点(○は底生生物の調査地点 ☆はカニのコドラート調査地点)

4. 生物調査の結果

(1) 野鳥の利用個体数と種類の調査

野鳥観測の結果から、季節別に時間ごとの平均飛来数を図-3に示す。図-3より、野鳥公園の干潟を利用する野鳥は朝に少なく、夕方になるにつれて多くなるということと、季節では秋が最も飛来するという事が示された。夕方になるにつれて飛来数が増加している事から、野鳥はねぐらとして干潟を利用していると考えられる。

次に、図-4に観測月ごとの平均飛来数を示す。図-4より、カワウが最も多く干潟を利用しており、月では10月が最も多く干潟を利用しているという事が観測された。カワウ以外の種類の飛来数の月ごとの変動が少ない事から、カワウが1日の平均飛来数の変動に直接関係しているという事が考えられる。カワウの飛来数は4月から9月の春から夏にかけて比較的少なく、10月、11月の秋ごろに急激に増加し、また12月に少なくなっている事から、多くのカワウは野鳥公園の干潟を秋にねぐらとして利用し、他の季節はお台場などの他の場所にねぐらを移動させている可能性があると考えられた。またカモ類やサギ類が4月から12月まで干潟を利用しており、夏の渡

り鳥のシギ・チドリ類も干潟を利用している事が観測された。

表-1に4月から12月までに野鳥公園を利用した野鳥の種類と採餌行動率を示す。色つきの部分は、100羽以上の観測された種類を示す。なお、採餌行動率とは4月から12月までに観測された採餌行動を行っている個体数を総個体数で割る事により算出したものである。この値から、カワウなどの留鳥は採餌行動率が低い事から、主に休憩目的に利用し、メダイチドリなどの渡り鳥は採餌行動率が50%以上と比較的高い事から、主に採餌目的に野鳥公園の干潟を利用しているという事が考えられた。

(2) 底生生物の現存量調査

底生生物の現存量調査のデータを図-5に示す。

干潟内にはゴカイ等の環形動物が最も多く生息しているというデータが得られた。また、8月は12月より底生生物の現存量が多かった。そして甲殻類も8月に現存量が多いという事が分かった。そして、12月はカニの活動が見られなかった。

(3) 干潟に自生しているヨシの自生数調査

ヨシの自生数のカウント結果を表-2に示す。

ヨシも底生生物同様に夏季に生育が活発であり、8月に231本/m²、12月に90本/m²であった。

表-1 種類と採餌行動率

種類	総飛来数(羽)	採餌行動率(%)	
ウ・サギ類	カワウ	16140	4
	アオサギ	252	9
	コサギ	197	27
	チュウサギ	2	0
	ダイサギ	42	33
	ゴイサギ	8	13
	ササゴイ	1	0
カモ類	カルガモ	608	40
	ホシハジロ	8	25
	オカヨシガモ	3	67
	コガモ	16	38
	スズガモ	185	27
	キンクロハジロ	652	21
カモメ類	オナガガモ	23	30
	コアジサシ	19	89
	ウミネコ	12	8
シギ・チドリ類	カモメ	2	0
	メダイチドリ	385	68
	コチドリ	113	58
	オオソリハシシギ	1	100
	アオアシシギ	140	66
	キアシシギ	26	77
	オグロシギ	13	77
	キョウジョシギ	3	67
	セイタカシギ	27	52
	ソリハシシギ	37	76
	チュウシャクシギ	10	30
イソシギ	31	35	
カイツブリ	カイツブリ	75	49
クイナ	オオバン	115	53
カワセミ	カワセミ	2	50
山鳥	キジバト	12	0
	ハクセキレイ	12	0
	ハシブトガラス	75	0
	その他	214	0

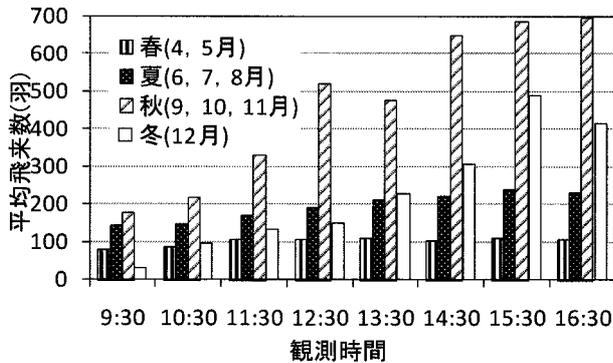


図-3 季節別の時間ごとの平均飛来数

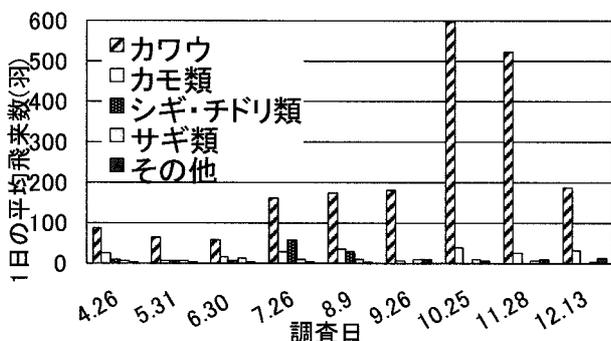


図-4 観測月別の野鳥の種類ごとの平均飛来数

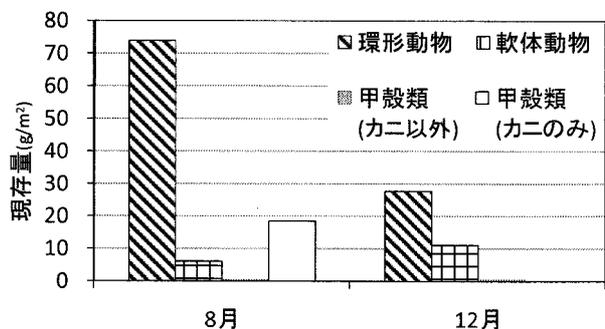


図-5 底生生物の現存量データ

表-2 ヨシの自生数データ

調査日	自生本数(本/m ²)
8月	231
12月	90

表-4 種類ごとの体重, 平均飛来数, 食性⁴⁾

	種類	体重 W(g)	平均飛来数(羽)	食性
ウ・サギ類	カワウ	2000	224	魚類
	アオサギ	1500	3.50	
	コサギ	500	2.74	
	チュウサギ	535	0.03	
	ダイサギ	950	0.58	
	ゴイサギ	600	0.11	
	ササゴイ	300	0.01	
カモ類	カルガモ	1000	8.44	藻類
	ホシハジロ	1000	0.11	
	オカヨシガモ	920	0.04	
	コガモ	325	0.22	魚類 貝類
	スズガモ	800	2.57	
	キンクロハジロ	1200	9.06	
	オナガガモ	1000	0.32	
メカモ類	コアジサシ	50	0.26	貝類 魚類
	ウミネコ	680	0.17	
	カモメ	517	0.03	
シギ・チドリ類	メダイチドリ	61	5.35	甲殻類 多毛類
	コチドリ	40	1.57	
	オオソリハシシギ	313	0.01	
	アオアシシギ	190	1.94	
	キアシシギ	125	0.36	
	オグロシギ	270	0.18	
	キョウジョシギ	82	0.04	
	セイタカシギ	185	0.38	
	ソリハシシギ	86	0.51	
	チュウシャクシギ	390	0.14	
	イソシギ	55	0.43	
カイツブリ	カイツブリ	183	1.04	動物全般 雑食 魚類
	オオバン	700	1.60	
	カワセミ	30	0.03	

5. 栄養物質除去量の算定

本調査により得られたデータを用い, 水鳥, 底生生物, ヨシによる栄養物質除去量を算出した. 算定方法は以下のとおりである.

(1) 水鳥による栄養物質除去量の算定

水鳥による栄養物質除去量の式を式(1)~(3)に示す.

$$BC = \frac{N}{A} (A_f \times FW \times N_{FC} - C_r \times DW \times N_{EC}) \quad (1)$$

$$FW = W \times \frac{F'}{1000} \quad (2)$$

$$DW = W \times \frac{2.25}{100} \quad (3)$$

式(1)は干潟で採餌を行った水鳥が取り上げた栄養物質質量から干潟を利用した水鳥が排出した栄養物質質量を引いたものである.

なお, 野鳥の平均飛来数と観測された種類においては本研究により得られたデータであるが, その他の使用したデータは参考文献に示す既存のデータを引用した. BCは水鳥の栄養物質除去量(mg/m²/day), Aは干潟面積(m²), Nは1日の平均飛来数(羽)(表-4), A_fは採餌率である. N_{FC}は採餌物の栄養物質含有量(表-6)^{2), 3)}, C_rは黄・磯部の論文⁷⁾を参考にし, 本研究では排泄物が干潟に流入する確率を2/3とした. DWは水鳥の一日の糞の乾重量(g/day), N_{EC}は水鳥の糞の栄養物質含有率(表-5)^{1), 2)}, FWは水鳥の一日の摂餌量(g/day), Wは水鳥の体重(g)(表-4), F'は水鳥1kgの摂食量(g/kg/day)(表-5)⁴⁾. 計算に用いる採餌率は正確な値を求める事が困難であるため, ここでは最大取り去り量と最低取り去り量を把握できると考え, 表-3の2パターンに分けて計算した.

水鳥(パターン1)は, 干潟を利用した水鳥がすべて干潟内で採餌を行ったと仮定して, A_f=1とする. 水鳥(パターン2)は, 観測により求めた採餌行動率を採餌率と仮定して計算を行う. A_f=それぞれの水鳥の採餌行動率(表-1)を用いる. ただし, この計算には干潟を利用する時間が少ないため, 影響を及ぼさないと考え, 山鳥の値は用いない.

なお計算で用いる採餌率と採餌行動率は, 採餌率を一日に飛来した全ての野鳥の内, 何羽採餌行動をするかを種類別に平均した割合であり, 採餌行動率とは, 同じ個体を重複してカウントしている可能性のある野鳥観測データを用いて算出した採餌行動の割合と定義し使い分けた.

表-3 野鳥のパターン別の表記のまとめ

水鳥(パターン1)	採餌率=1(全ての野鳥が採餌)
水鳥(パターン2)	採餌率=採餌行動率

表-5 排泄物中の栄養塩含有量と摂食^{4), 8), 9)}

	排泄物中の栄養塩含有量		摂食量 (g/kg/day)
	N	P	
動物食性	0.11	0.07	262
植物食性	0.01	0.003	275
雑食性	0.06	0.04	269

表-6 採餌物の栄養物質含有量³⁾

N _{FC}	種名	窒素 (mg/g)	リン (mg/g)
魚類	スズキ	26.6	7.0
	マハゼ	24.5	5.1
貝類	カガミガイ	17.4	1.3
	シオフキガイ	19.4	1.7
	バカガイ	18.9	1.9
多毛類	ギボシイソメ科	9.2	1.3
	ゴカイ科	8.7	1.5
	シリス科	8.7	1.5
	ミズヒキゴカイ	9.5	1.3
植物	ヨシ	15.1	1.6
	ガマ	9.6	1.4
甲殻類	オオヒメアカイソガニ	10.1	0.4

(2) 底生生物による栄養物質除去量の算定式

底生生物による栄養物質除去量の式²⁾を式(4), (5)に示す.

$$N_{fd} = O_{fd} \times (1 - E_c) \times C / 365 \quad (4)$$

$$O_{fd} = B \times (P/B) / T \quad (5)$$

式(4)は干潟で採食を行った底生生物が取り上げた栄養物質質量から排出した糞に含まれる栄養物質質量を引いたものである.

なお, N_{fd} は栄養物質除去量(mg/m²/day), O_{fd} は有機体物質摂食量(g/m²/year), E_c は排泄効率, C は底生生物の栄養物質含有率, B は底生生物の現存量(g/m²), (P/B) はP/B比であり, $B/(P/B)$ で生物の年間生産量(g/m²)を表す. T は転換効率を示す. 各パラメータの値は表-7に示す. また計算の現存量はコドラート調査の生データを干潟の単位面積あたりの現存量に変換して用いた.

表-7 底生生物の各パラメータ⁵⁾

	環形動物	軟体動物	甲殻類
P/B比	3.00	2.50	3.00
転換効率 T	0.15	0.15	0.15
排泄効率 E_c	0.55	0.55	0.07
Pの含有量 C (mg/g-wet)	1.40	1.63	0.40
Nの含有量 C (mg/g-wet)	9.02	18.6	10.1

(3) ヨシによる栄養物質除去量の算定式

ヨシによる栄養物質除去量式を式(6)に示す.

$$NE_R = N \times A_R \times N_{AR} / A \quad (6)$$

式(6)はヨシが海水から吸収を行った栄養物質同化量を栄養物質除去量としたものである. 野鳥公園の干潟ではヨシの刈り取りは行われているが, 不定期であり部分的である. リビングフィルターとして役割をしているわけではない. ヨシによる栄養物質除去量は, 枯死した後のヨシからの栄養物質の流出も計算するべきであるが, 計算に用いる値の考慮が複雑で難しく, さらなる熟考が必要なためここでは考慮しない. その為, 式(6)のヨシによる栄養物質除去量は過大評価の可能性がある.

なお, NE_R はヨシによる栄養物質除去(mg/m²/day), N は1m²あたりの自生本数(本/m²), A_R はヨシの自生面積, N_{AR} は1本あたりの栄養物質吸収同化速度(mg/day/本)(表-8), A は干潟面積(m²)である.

表-8 ヨシの1本あたりの栄養物質吸収同化速度⁶⁾

N_{AR}	ヨシの栄養物質吸収同化速度(mg/day)
N	1.2
P	0.1

6. 栄養物質除去量の算定結果

図-6に8月と12月の野鳥, 底生生物, ヨシによる栄養物質除去量の算定量を示す.

8月は, 窒素ではヨシが, リンでは水鳥(パターン1)が最も除去量が最も大きくなった. 12月は, 窒素, リン共に水鳥(パターン1)が最も除去量が大きくなった. また水鳥に注目してみると, 水鳥(パターン1)では季節に関係なく栄養物質を比較的多く除去しており, 水鳥(パターン2)では季節に関係なく栄養物質を負荷している. 底生生物については, 8月の方が12月より除去量が大きくなった. その中では環形動物が最も栄養物質の除去量が大きくなった. 最後にヨシに注目してみると, 8月の方が12月よりも多く除去しているという事が計算された.

次に, 表-9にパターン別の水鳥と底生生物とヨシの栄養物質除去量を合計したものを示す.

その結果, 水鳥(パターン1)と底生生物とヨシの合計した場合は, 窒素もリンも季節に関係なく栄養物質を除去している. そして, 水鳥(パターン2)と底生生物とヨシを合計した場合は8月の窒素とリン, を除去し, 12月の窒素は除去, リンは負荷となった.

表-10に秦野ら⁷⁾が実施した同干潟の8月の2潮汐間の干潟-隣接海域間の物質収支を示す. これは, 図-3の水路内において, 2潮汐間の水質観測を行い, 求めた値である. 秦野らの研究によると本干潟では夏期において窒素の浄化源, リンの負荷源として機能しているという結論が得られている. 表-9の8月の値と表-10の値を比較すると, 窒素は除去という傾向が一致したが, リンは, 本研究で求めた計算値では除去であるのに対し, 干潟全体の物質収支では負荷となっており傾向は一致しなかった.

傾向が一致しない事や, 数値の差が大きくなった要因は, 生物以外の干潟への栄養物質負荷が大きいの, または計算の仮定による誤差が大きいの事が考えられた. 実質的に, 水鳥(パターン1)では全ての水鳥が採餌を行ったとは考えられない為, 過大評価, 水鳥(パターン2)では早朝と夕方以降の採餌の可能性があるので, 調査が出来なかったため過少評価となったと考えられる. 他にはヨシによる栄養物質の負荷を考えていないため, 過大評価となっている等が考えられる. 窒素の除去量が物質収支より少なくなったのは, 今回は調査をしなかった脱窒や付着珪藻や植物プランクトン等の原因も考えられる.

図-6, 表-9はプラスでは除去, マイナスでは負荷を表す.

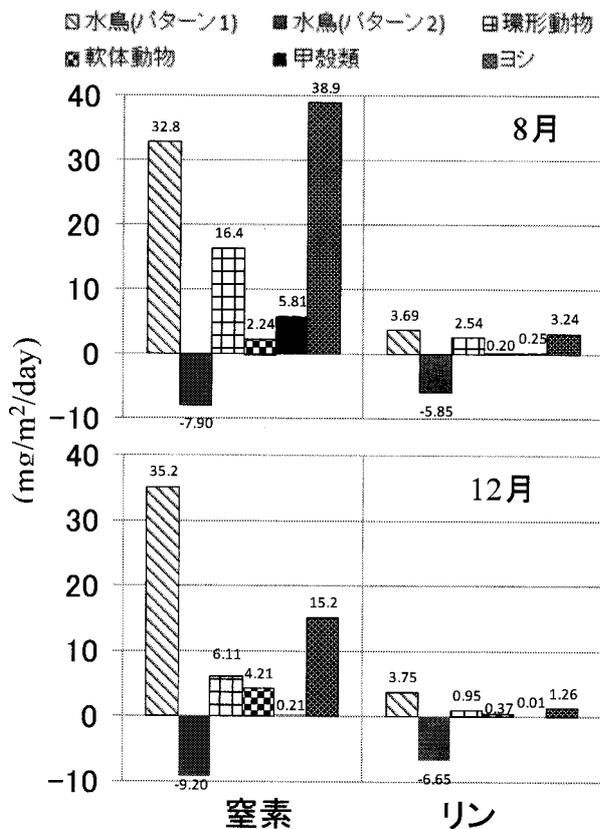


図-6 栄養物質除去量

表-9 パターン別の野鳥と底生生物とヨシの合計(mg/m²/day)

	水鳥(パターン1)+ 底生生物+ヨシ		水鳥(パターン2)+ 底生生物+ヨシ	
	8月	12月	8月	12月
窒素	96.2	60.9	55.5	16.5
リン	9.90	6.30	0.40	-4.10

表-10 干潟-隣接海域間の物質収支¹⁾(8月のデータ)

対象物質	増減速度 (mg/m2/day)	物質収支
TN	+592	除去
TP	-74.4	負荷

7. 結論

本研究では干潟を利用している水鳥、底生生物、ヨシについて生息量や個体数調査を行い、栄養物質除去量の算定を行った。下記に主要な結果を示す。

(1) 野鳥は夕方に、そして秋になるにつれて飛来数が多くなる。最も飛来する種類はカワウであった。採餌行動率から、カワウ等の留鳥は休憩目的に利用し、渡り鳥は採餌目的に飛来していると考えられた。底生生物で干潟に最も多く生息している種類は環形動物であり、8月が12月よりも生息量が多かった。

(2) 野鳥による栄養物質除去量は、水鳥(パターン1)の場合、8月、12月共に栄養物質を除去している。また、水鳥(2パターン)の場合、8月は窒素、リン

を除去、12月は窒素を除去、リンを負荷している。水鳥と底生生物とヨシの合計では、生物活動の盛んな8月の方が12月よりも、栄養物質を除去していると計算された。

(3) 栄養物質除去量の計算結果と干潟-隣接海域間の物質収支を比較すると、窒素は傾向が一致し、リンは傾向が一致しなかった。数値では窒素、リン共に差が大きかった。

今回、干潟の栄養物質除去量の算定では、水鳥による栄養物質除去算定式において、水鳥(パターン1)の場合は除去量が過大評価、水鳥(パターン2)の場合は過少評価となっていると考えられる事や、調査しなかった脱窒、プランクトン等の作用があると考えられるため、得られた結果は十分ではなく、推定程度であると思われた。そのため今後さらなる調査・検討が必要であると考えられる。

謝辞：研究をする上で、多大な協力いただいた金井裕氏を始めとする東京港野鳥公園のレンジャーの皆様、また東京都市大学水圏環境工学研究室の皆様、またアドバイスをいただいた(独)港湾空港技術研究所の桑江朝比呂氏および(株)いであの秦野拓見氏に深く感謝を致します。

参考文献

- 1) 秦野拓見, 石射広嗣, 門脇麻人, 村上和男: 東京港野鳥公園における栄養塩類収支動態に関する研究, 海洋開発論文集, 第25巻, pp.341-346, 2009.
- 2) 石射広嗣, 秦野拓見, 門脇麻人, 桑江朝比呂, 村上和男: 干潟域における水鳥と底生生物の摂餌による栄養物質除去能力の比較, 海洋開発論文集, 第25巻, pp.335-340, 2009.
- 3) 木村賢史: 海を守り育む干潟・海浜域, 用水と排水, Vol.48 No.4, pp.10, 2006.
- 4) 横浜市: 横浜市動物園年報, pp.1-92, 2005.
- 5) 西村修, 中村由行, 木村賢史, 野村宗弘, 島多義彦, 市村康: 環境修復機能の高い人工干潟設計システム開発に関する研究, 建設技術研究開発平成16年度成果発表会, 2005.
http://www.mlit.go.jp/chosahokoku/h17giken/seika/program/list/pdf/josei_5.pdf (2009年12月アクセス)
- 6) 細川恭史, 三好英一, 古川恵太: ヨシ原による水質浄化の特性, 港湾技術研究所報告, Vol.30 No.1, pp.205-237, 1991.
- 7) 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, 土木学会論文集B, Vol.63 No.3, pp.249-254, 2007.
- 8) 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, 日本鳥学会誌, 51(1), pp.29-36, 2002.
- 9) 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.