

干潟域における水鳥と底生動物の摂餌による 栄養物質除去能力の比較

A COMPARISON OF THE ABILITY OF NUTRIENT REMOVAL DUE TO
FEEDING OF WATERFOWL AND BENTHOS

石射広嗣¹・秦野拓見²・門脇麻人³・桑江朝比呂⁴・村上和男⁵
Hirotosugu ISHII, Takumi HATANO, Asato KADOWAKI
Tomohiro KUWAE and Kazuo MURAKAMI

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一丁目28-1)

²修(工) いであ株式会社 (〒559-8519 大阪府大阪市住之江区南港北三丁目-24-22)

³栗田工業株式会社 (〒160-8383 東京都新宿区西新宿三丁目4-7)

⁴正会員 博(農) 独立行政法人 港湾空港技術研究所 (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬三丁目1-1)

⁵フェロー 博(工) 東京都市大学教授 都市工学科 (〒158-8557 東京都世田谷区玉堤一丁目28-1)

This paper describes the ability of nutrient removal due to feeding of waterfowl and benthos. The authors carried out field observations of the populations of waterfowl and benthos in the tidal flat. (1) The population of waterfowl in the flat in October is the maximum. (2) The amount of nutrient removal due to feeding by waterfowl is larger than the nutrient supply due to excretion by waterfowl. (3) The ability of nutrient removal by waterfowl is larger than the ability of benthos.

Key Words : Tidal Flat, Nitrogen, Phosphorus, Tokyo Port Wild Bird Park, Waterfowl, Nutrient Balance

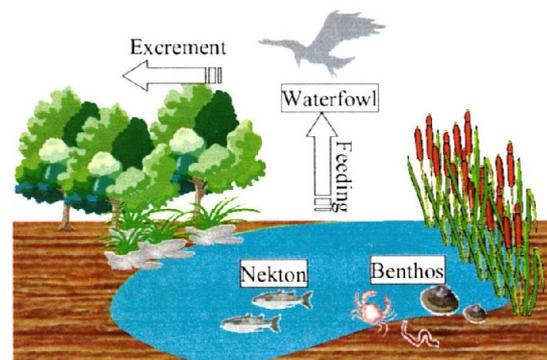
1. 研究目的

窒素, リンなどの栄養物質により, 閉鎖性水域である東京湾などでは富栄養化が問題となっており, 赤潮や青潮の被害が報告されている. これらの現象の主な原因の1つとして, 干潟の減少が挙げられる.

干潟とは, 潮汐による海水面の上下変動により陸地と海面下になることを繰り返す地形と言われており, 水質浄化, 生物の生息場所, 水鳥の休憩場所および摂餌場所, 漁場, アメニティーなど幅広い観点からの利用がなされている. 生物による水質浄化は其中でも重要なものであり, 生物の摂餌によって栄養物質を体内に同化することにより, 物質を水中から除去する役割を持つ. 特に底生動物に関しては, 移動性が乏しいかつ大量に生息している理由から, 安定した栄養物質の除去能力を持っていると言える. しかし, 底生動物によって取り込まれた栄養物質は, 対象生物が生存する間は体内に固定されるが, 死滅後は水中へ再帰されることが指摘されている. 窒素・リンなどの栄養物質を水域から陸域へ移送する方法の1つとして水鳥が挙げられる. 沿岸

域に生息する水鳥は, 水域で摂餌を行い, 陸域にコロニーを形成する. そのため, 図-1に示すように水域で取り上げた栄養物質は, 糞やペリットの形で陸域に移送される. 閉鎖性海域における水鳥の栄養物質の除去効果は, 重要な要因であることが示唆されているが, 定量的な検討はあまりなされていない.

本研究では, 「東京港野鳥公園・潮入りの池」における水鳥の飛来数と底生動物の生物量の季節変



⇔ Nitrogen, Phosphorus

図-1 水鳥の物質輸送のメカニズム

化を把握するために、水鳥の飛来数観察と篩分けによる底生動物量の調査を行った。また、飛来数データを用いて摂餌量・排泄量を考慮した水鳥の栄養物質除去量の定量化を行った。更に、底生動物の生物量を用いた栄養物質除去量との比較を行い、水鳥の持つ栄養物質の除去機能の検討を行った。

2. 調査対象干潟

「東京港野鳥公園・潮入りの池」は、図-2に示すように東京港の大井埠頭南端に位置し、造成後の埋立地に雨水が溜まり、池や湿地の出現や植生の回復につれ、多数の野鳥の休憩および繁殖の場として利用されていたものを、1989年に整備された潟湖型の干潟であり、様々な水鳥の休憩、摂餌の場として利用されている。水域は潮間帯、潮下帯、ヨシ原によって形成され、干潟内面積は約57000m²であり水深は満潮時でも2m未満の水域が殆どを占める。また、水の交換口は2つの水路のみであり、閉鎖性の強い水域である。干潟内の各所には杭が設置してあり、主にウヤサギなど大型の水鳥の休憩場所として利用されている。

一方、干潟中央部分には、満潮時も水没しない「アジサシ島」があり、シギ・チドリなどの小型の水鳥の休憩場所としての役割を果たしている。なお、干潟に隣接してネイチャーセンターと呼ばれる干潟を一望できる水鳥観察施設があり、ここで干潟に飛来する水鳥の観察を行うことができる。

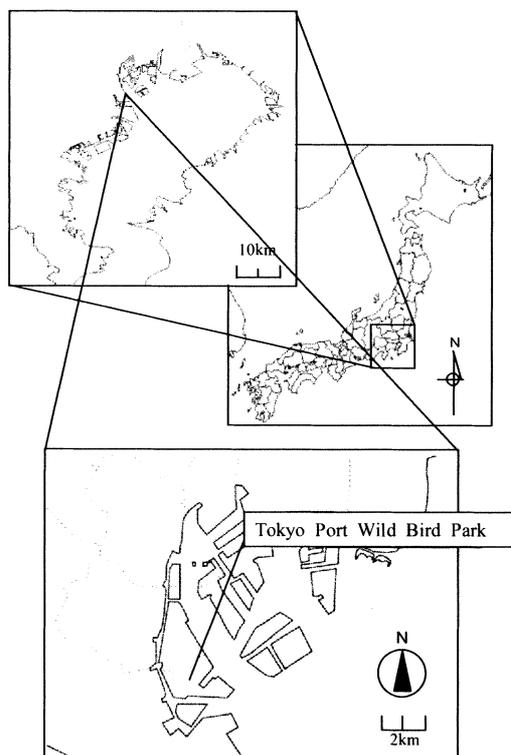


図-2 東京港野鳥公園潮入りの池の所在地

また、東京港野鳥公園は「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」に参加している。この事業は、渡り性水鳥とその渡来地である湿地を守る国際協力事業であり、東京港野鳥公園・潮入りの池はシギ・チドリ類の重要生息地としてこのプロジェクトに参加している。

3. 調査概要

(1) 水鳥センサス

東京港野鳥公園のネイチャーセンターの開園時間である9:00~17:00において、1時間ごとに干潟を利用する水鳥の飛来数と、その種類ごとの変化について観測を行い、各調査日における複数回の観測結果の平均値をその日の平均飛来数とした。調査は、2008年6月10日、7月17日、8月17日、10月14日、10月28日、11月29日、12月26日、2009年1月27日、2月27日に実施した。

また、10月14日の調査からは水鳥の行動についても着目し、摂餌を行っているものと、休憩している個体の割合を種類ごとに観察し、それを摂餌行動率として水鳥の活動についての把握を試みた。なお、干潟内に降り立つオオタカ(*Accipiter gentilis*)等の小型の水鳥等を捕食する種については、底生動物を捕食することは殆どないとされるため、飛来数に含めないものとした。観察には双眼鏡(Kenko SuperStar 8×30DH)と、ネイチャーセンター内に設置されているフィールドスコープ(Nicon EDⅢ)を用いた。

(2) 底生動物の生物量調査

現地調査を2008年6月16日、8月18日、10月14日、12月15日に行なった。調査は図-3のA~Fにて行い、潮間帯地点A~Dに関しては、各測線に沿って2回ずつ行った。その際、スコップを用いて25×25×25cmの堆積物を採取し、それを1mm篩にかけ、残った生物を採取した。また潮下帯地点E、Fに関しては、エクマンバージ採泥器(宮本理研工業)を用いて16×16×16cmの堆積物を採取し、同様の手順で生物採取を行い、エタノールで固定後、湿重量を求めた。

カニは節足動物の中でも比較的移動性が高いため、A~D地点にコドラードを設置し、1m²内の巣穴の数と干潟表面上のカニの個体数を各地点2回ずつ計測した。なおコドラード内のカニの観測については、カニの警戒が解かれる距離まで移動し、カニが十分に活動を再開してから双眼鏡を使用し、個体数を計測した。巣穴と個体数の相関を求めた後、得られた方程式を用いて各地点の巣穴の数よりカニの生息数を推計した。またカニ1個体の重量については、各調査日ごとに干潟内に生息するカニを種別に無作為に採取し、その平均値より生物量の算出を行った。

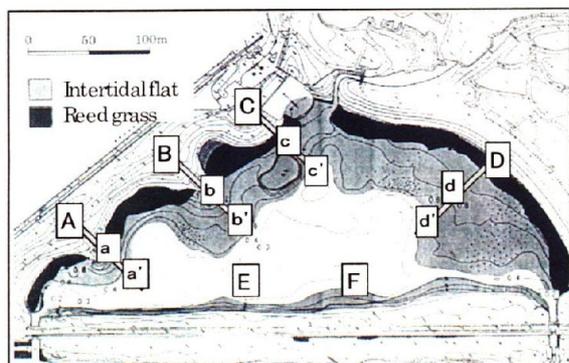


図-3 底生動物調査地点

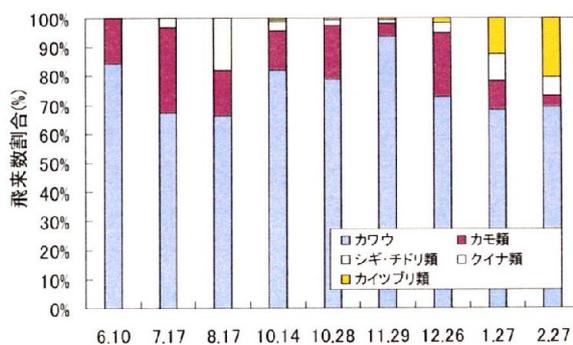


図-5 水鳥の飛来する割合

4. 調査結果

(1) 水鳥センサス

図-4に調査によって得られた水鳥の飛来数の季節変化を示す。ここでは9:00~17:00における観測の平均値を、その日の平均飛来数とした。また、エラーバーは1日の飛来数の最大と最小の変動を示す。なお、10月14日の9:30~13:30までのデータに関しては、対岸の木の上で休憩している個体を見落としていたため、飛来数を過小評価している可能性がある。これによると、水鳥の平均飛来数が増加傾向を示すのは秋期にかけてであり、10月で最大に達することが分かった。これは本公園で観測されている例年の結果と同様の傾向を示す結果となった(野鳥公園未公開データ)。また、図-5にそれぞれの観測日における飛来種の割合を示す。その種類に着目すると、カワウ(*Phalacrocorax carbo*)が通年で最も多く観測され、その個体数は全飛来数の常に7割以上を占める結果となった。この原因として、干潟内は比較的波の影響などを受けにくく、それによりマハゼ(*Acanthogobius flavimanus*)やボラ(*Mugil cephalus*)の稚魚が生息するのに適した環境となっており、摂餌を行うことが容易であることと、杭や周りの木々など休憩する場所が多数存在するためと推察される。

夏期においては、アオアシシギ(*Tringa nebularia*)、コチドリ(*Charadrius dubius*)、メダイチドリ(*Charadr*

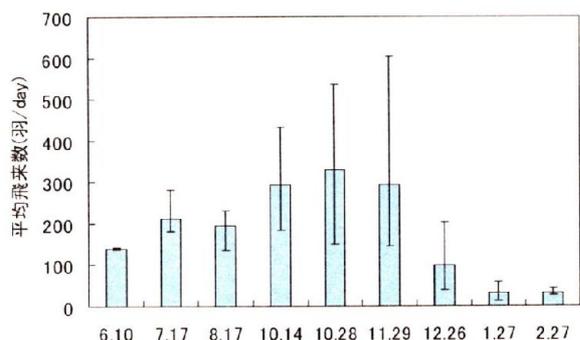


図-4 水鳥の平均飛来数(エラーバーは1日の飛来数の最大と最小の変動を示す)

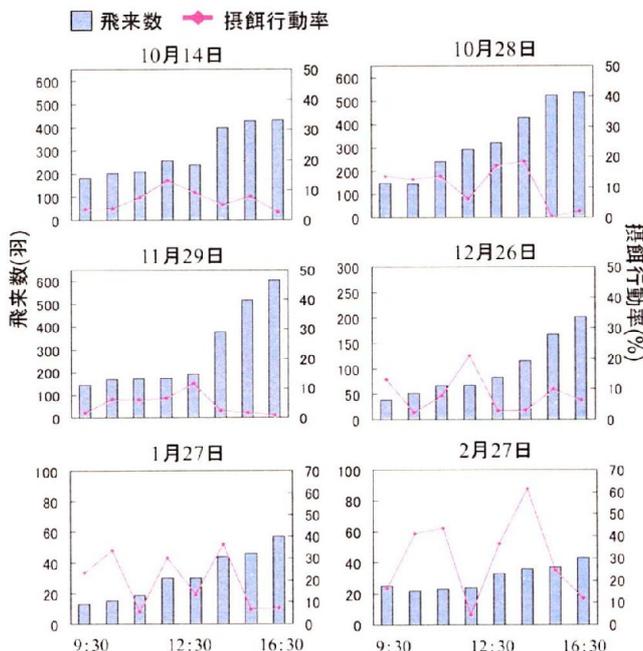


図-6 水鳥の摂餌の割合と飛来数の推移

ius mongolus)等のシギ・チドリ類の飛来数が増加し、秋期から冬期にかけてスズガモ(*Aythya marila*)、ホシハジロ(*Aythya ferina*)、キンクロハジロ(*Aythya fuligula*)等のカモ類の増加が見られた。また、調査期間を通してカワウは魚類を、シギ・チドリ類は多毛類を、肉食性カモ・クイナ・カイツブリ類は魚・貝類を捕食していることが確認できた。

図-6に1日の摂餌を行っている個体の割合と飛来数の時系列変化を示す。開園時間中において、水鳥の飛来数は午後増加することが分かった。また、10月、11月、12月の秋期の観測において、おおよそ15時までに水鳥の摂餌が活発に行われている事が分かる。そのため、夕方に飛来するカワウは干潟をねぐらとして利用している可能性が高いと言える。一方、1月、2月の冬期における観測では、摂餌の様な活動のパターンは見られなかった。また、前者の摂餌の割合が最大でも20%程度に収まるのに対し、後者は最大40~60%とより大きな値を示していることが分かる。次に水鳥の種類ごとの摂餌行動率を表-1に示す。表の値は、全調査日によって得られた

摂餌データの記録を平均して得られたものである。これによると、本干潟に最も多く飛来するカワウの摂餌行動率は2.9%と低く、カワウは干潟域での摂餌行動の時間が短いことが分かる。これは、同様の報告が桑江ら¹⁾によってもなされており、比較的短時間で摂餌を行った後、休憩を行っているものと推定される。対照的に、カイツブリ類・クイナ類・シギ・チドリ類の摂餌行動率は高く、摂餌に費やす時間が長い傾向にある。これらを考慮すれば、秋期の摂餌行動率は、休憩を行うカワウの飛来数が増大する影響を強く受けているために低く、また、カワウの少ない冬期の観測においてはカイツブリ類とクイナ類の行動を強く反映しており、両者は比較的どの時間帯でも摂餌を行っていることが分かった。

表-1 水鳥の種類ごとの摂餌行動率

	摂餌行動率(%)	摂餌を行った個体(羽)	全数(羽)
カワウ	2.9	177	6043
サギ類	21.0	38	181
カモ類	16.0	147	917
シギ・チドリ類	60.0	39	65
クイナ類	58.9	66	112
カイツブリ類	51.8	58	112

(2) 底生動物の生物量調査

図-7にコドラード設置より計測されたカニの個体数と巣穴の近似直線と相関係数を示す。このとき、Yはカニの個体数、Xは巣穴の数である。干潟内において、主としてヤマトオサガニ(*Macrophthalmus japonicus*)とチゴガニ(*Ilyoplax pusilla*)の生息が確認された。図中においては、それらを区別せずに計測を行っている。また、各調査日において、干潟域に生息するカニを20-80個体程採取し、その平均重量を測定した結果、ヤマトオサガニの平均生重量=7.48(g)チゴガニの平均生重量=0.64(g)が得られた。

図-8に篩分け、コドラードの調査による各調査地点の1m²あたりの底生動物量の変化を示す。調査期間内において、環形動物の生物量が安定して高いのは泥分の多いC地点であった。また、C地点には、観察小屋が近くに設置されているため、水鳥による摂餌があまり行われないことも影響している可能性がある。一方、小石や砂利の混ざった底質であるA、D地点では軟体動物の生息量が多い傾向にあった。また、10月の調査においてC地点からヤマトオサガニの稚ガニが採取されたことから、C地点はヤマトオサガニの生育場所としても利用されている事が分かった。なお、12月の調査では干潟域で活動しているカニが確認されなかったため、生息数は不明である。また、潮下帯E、F地点に関しては調査期間を通して殆ど生物の出現が見られなかった。

図-9に潮間帯A~D地点における平均生物量の推移を示す。これによると、多毛類(*Polychaeta*)などの環形動物は夏期に向かうにつれて減少傾向を示し

ているが、1個体あたりの質量は増加傾向にあった。アサリ(*Ruditapes philippinaru*)や、ソトオリガイ(*Laternula marilina*)などの軟体動物の生物量に関しては夏期に最大となったが、調査期間中を通してあまり大きな変化は見られなかった。同様にヤマトオサガニなどの節足動物も夏期に向うにつれて増加傾向が見られた。

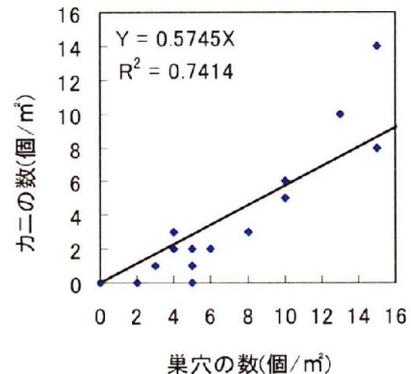


図-7 カニと巣穴の関係

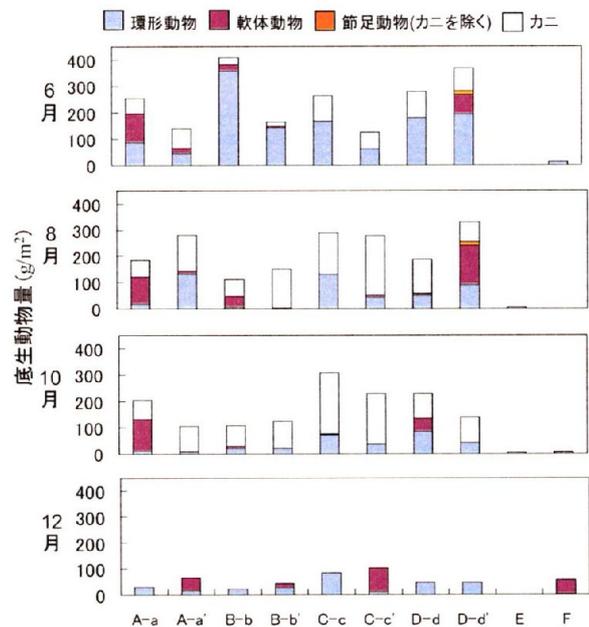


図-8 各調査地点の生物量

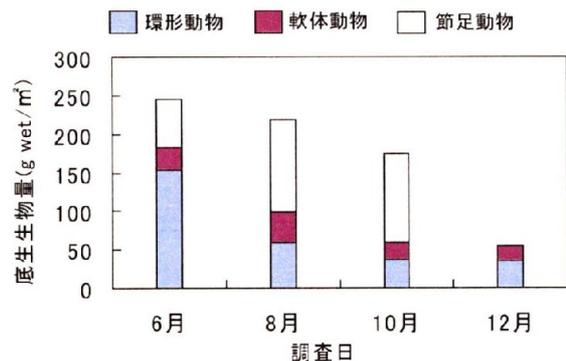


図-9 潮間帯の平均生物量

5. 栄養物質除去量の算定

(1) 水鳥の栄養物質除去量の算定

本干潟の優占種であるカワウの飛来数データを用いて、摂餌と排泄の栄養物質の差を栄養物質除去量と定義し、式(1)、(2)を用いて、2つのケースについての水域から除去される窒素とリンの算定を行った。ケース1は、飛来したカワウがすべて本干潟内で摂餌を行っているとして仮定した場合である。しかし、ここでは栄養物質除去量を過大評価する可能性がある。カワウの摂餌行動は日や個体により時間が異なるが、夜明けにねぐらを発った後が最もよく採食に時間を費やしているとされていることから²⁾、ケース2は、午前中に干潟を利用するカワウは干潟内で摂餌を行い、正午以降飛来するカワウに関しては、外部で摂餌を行い、その後休憩場所として干潟を利用しているものとして計算し比較を行った。排泄の負荷量については、黄・磯辺³⁾を参考にした。

$$BC = \frac{1}{A} \sum_i N_i (K \times FW_i \times N_{FC} - C_r \times DW_i \times N_{EC}) \quad (1)$$

$$DW_i = W_i \times \frac{2.25}{100} \quad (2)$$

ここでBCは水鳥の栄養物質除去量 (g/m²/day)、Aは干潟面積(m²)、N_iは水鳥iの数(羽)、Kは摂餌係数、FW_iは水鳥の1日の摂食量(g/day)、N_{FC}は摂餌物の栄養物質含有率、C_rは排泄物が干潟に流入する確率(=2/3)、DW_iは水鳥iの1日の糞の乾重量(g/day)、N_{EC}は水鳥の糞の栄養物質含有率、W_iは水鳥iの体重(g)である。FW_iに関しては、佐藤ら⁴⁾のカワウの摂食量262(g/kg/day)を用いた。摂餌を行っている個体の割合である摂餌係数Kについては、表-2の通りとし、ケース2に用いた。ケース1に関しては、飛来した個体がすべて摂餌を行うという仮定より、1.0を用いた。カワウの主要な餌生物は、目視観測と本公園レンジャーからのヒアリングの結果よりスズキやマハゼとし、栄養物質含有率を表-3の通りとした。一方、排泄物の窒素とリンの含有率N_{EC}は石田⁵⁾のカワウの値より、窒素=11.1%、リン=6.8%とした。

表-2 1日と午前中のカワウの飛来数と摂餌係数

調査日	1日の平均飛来数(羽)	午前中のカワウの飛来数(羽)	摂餌係数K
6.10	115	80	0.70
7.17	133	97	0.73
8.17	119	94	0.78
10.14	233	160	0.69
10.28	255	131	0.51
11.29	270	140	0.52
12.26	70	26	0.37
1.27	18	7	0.41
2.27	13	7	0.56

表-3 カワウの餌生物の栄養物質の含有率⁶⁾

	種名	窒素(mg/g)	リン(mg/g)
魚類	スズキ	26.7	7.0
	マハゼ	27.1	5.7

(2) 底生動物の栄養物質除去量の算定

現地調査によって確認された環形動物はゴカイ科などの表層堆積物食者が殆どであり、軟体動物は二枚貝を主として、懸濁物食者に分類することができたため、採取した環形動物を表層堆積物食者、軟体動物を懸濁物食者とした。生物生産によって生物内に蓄積する窒素、リンを水域からの除去量とし、生物量データを用いて、その速度を、式(4)、(5)を用いて算定した。

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

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

ここで、N_{fd}は栄養物質除去量(g/m²/day)、O_{fd}は有機態物質摂食量(g/m²/year)、E_cは排泄効率、Cは底生動物の栄養物質含有率、Bは現存量(g/m²)、Pは生産量(g/m²)、Tは転換効率である。この際、各パラメータは既往の文献^{7), 8)}より、表層堆積物食者のP/B比=3.0、懸濁物食者のP/B比=2.5とし、E_c=0.55、T=0.15とした。

(3) 栄養物質除去量の算定結果

図-10にケース1の最大栄養物質除去量を示す。本干潟において水鳥の除去量が最大となるのは秋期である10月であり、日中において1日あたり最大で

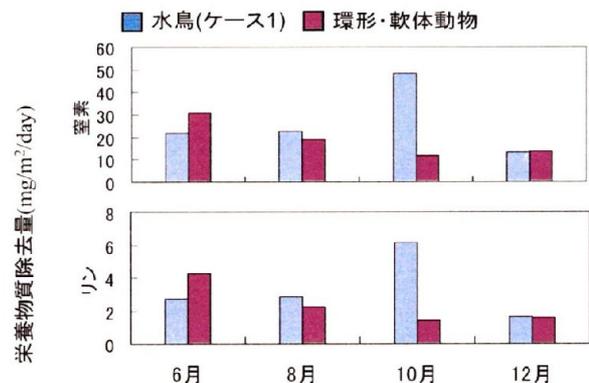


図-10 ケース1(飛来したカワウすべてが摂餌を行う場合)と底生動物の栄養物質除去量の比較

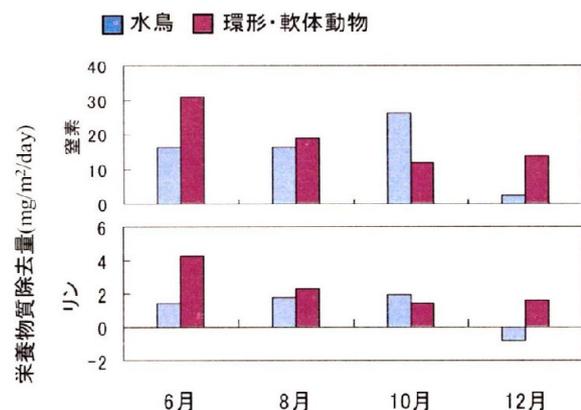


図-11 ケース2(午前中に飛来したカワウが摂餌を行う場合)と底生動物の栄養物質除去量の比較

窒素=50 mg/m²/day, リン=6 mg/m²/day程度除去効果を持つことが分かった。一方、底生動物の栄養物質除去量が最大となるのは6月であり、1日あたり窒素=30 mg/m²/day, リン=4 mg/m²/day程度となった。また、両者の除去量を比較すると6月において除去量は環形動物・軟体動物の方が上回るが、カワウの平均飛来数が最大となる10月では水鳥の除去効果が非常に大きく、底生動物の約5倍程度となった。

図-11 にケース2の栄養物質の除去量を示す。その結果、飛来数の増加する10月は底生動物の除去量を上回ったが、その他の月に関してはそれを下回る結果となった。また12月には、朝方に干潟に飛来したカワウが少なく、午後に飛来したカワウの排泄による負荷が大きいため、リンに関しては干潟の負荷源となる可能性があることが示唆された。

7. 終わりに

本研究では「東京港野鳥公園潮入りの池」における水鳥の飛来数と底生動物の生物量の季節の変動を把握するとともに、摂食量、排泄量を考慮した栄養物質除去量の算定を行い、比較を行った。得られた結果を以下にまとめる。

- a) 現地調査により、本干潟を利用する水鳥の飛来数が最大となるのは10月から11月にかけてであり、その優占種はカワウであることが分かった。また、1日の中では日中から夕方にかけて飛来数が増加し、これは本干潟をねぐらとして利用する個体が多い可能性を示唆する結果となった。
- b) 干潟内に生息する底生動物の全体量は冬期になるにつれて減少することが分かった。潮間帯と潮下帯を比較すると潮下帯には生物の生息量が著しく少ない事が分かった。
- c) 干潟を利用したカワウの飛来数を用いて、カワウの1日の摂食による栄養物質の除去量の定量化を行なった結果、ケース1で、その除去量は最大で窒素=50mg/m²/day, リン=6mg/m²/day程度となった。底生動物の栄養物質除去量を比較した結果、本来はカワウのみで底生動物を凌ぐ栄養物質除去を持っていることが分かった。本干潟での摂餌を考慮したケース2の除去量は、最大の10月で窒素=30mg/m²/day, リン=2 mg/m²/day程度となった。また、12月などは排泄による負荷量が摂食量を上回るため、摂餌率によっては、カワウは干潟の負荷源となる可能性を示唆する結果となった。

水鳥の摂餌はケース1のように1日のすべての摂食量を考慮した場合、カワウのみでも底生動物を上回る窒素とリンの除去能力を持っており、水鳥の栄養物質除去効果を示唆するものとなった。

しかし、本干潟におけるカワウは水鳥のセンサスを行うにあたって摂餌を行っている個体の確認は少なく、別の餌場で摂餌を行っている個体も多く存在すると考えられる。また、今回の調査時間はすべて日中に行っているため夜間の摂餌行動に関しては考慮を行っていない。更に、水鳥の摂餌場所、時間の選択は、その日の天候や潮汐、その他周辺環境変化など不確定要素を多数含んでいるため、より厳密な栄養物質の定量化を行うためには、水鳥の摂餌場所とその場所でどのくらいの量の摂餌が行われているかを把握する必要があるため、水鳥の摂餌、排泄行動に関する更なる調査を行っていく必要がある。

謝辞：本研究に進めるにあたり、多くの方にご協力をいただきました。東京港野鳥公園レンジャーの金井裕氏には園内の調査許可、水鳥に関するご指導を頂きました。五洋建設(株)の中瀬浩太氏には底生動物の特徴および調査方法に関してご指導いただきました。また武蔵工業大学・水圏環境工学研究室の修士及び、学部の皆様には多忙なところを現地調査にご協力頂きました。ここに、心より感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 桑江朝比呂・河合尚男・赤石正廣・山口良永：三河湾の造成干潟および自然干潟に飛来する鳥類群衆の観測とシギ・チドリ類が果たす役割, 海岸工学論文集, 第50巻, pp.1256-1260, 2003.
- 2) 日本野鳥の会：特定鳥獣保護管理計画技術マニュアル, 日本野鳥の会, 東京, 2004.
- 3) 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, No3, pp.249-254, 2007.
- 4) 佐藤孝二・皇甫宗・奥村純市：カワウの採食量と基礎代謝率, 応用鳥学集報8, pp.58-62, 1988.
- 5) 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.
- 6) 山室真澄：食物連鎖を利用した水質浄化機能の定量化, 水環境学会誌, 第23巻, 第11号 pp.710-715, 2000.
- 7) 木村賢史：海を守り育む干潟・海浜域-3. 沿岸域が有する優れた自然浄化機能, 水と廃水, Vol.48, No.4 pp.3-13, 2006.
- 8) 鈴木輝明・青山裕晃・中尾徹・今尾和正：マクロベントスによる水質浄化機能を指標とした底質基準試案-三河湾浅海部における事例研究-, 水産海洋研究, 64(2), pp.85-93, 2000.