

人工潟湖干潟における生態系発達機構と物質収支に関する研究

森本剣太郎¹・滝川 清²・古川恵太³
増田龍哉⁴・幸田亜紀⁵・山下絵里子⁶

近年、有明海では干潟環境の浄化機能の再生・回復が求められており、干潟の環境機能の定量的評価手法の確立が重要な課題となっている。本研究では、熊本港の一角に造成された人工潟湖干潟で調査を行い、生態系発達機構および物質循環について検討した。生物生息は、野鳥の池の地盤高が、変動を伴いながらも亜潮間帯から潮上帯までの連続性を保持していることと、それと共に変化する地盤の固さがそれぞれの生物にとって適しており棲家となっていることが分かった。物質循環においては、野鳥の池の特徴である「潮汐による海水の出入り」と「亜潮間帯の溜り水」が池内の水質環境に影響を与えていることが分かった。また、物質循環特性を定量的に把握するために生態系モデルを構築した。

1. はじめに

有明海は、約5mにおよぶ潮汐差、平均水深約20mの大型閉鎖内湾、多くの一級河川が流入するなどの特徴を有し、日本の干潟総面積の約40%を占める広大な干潟が存在する。この干潟は底生生物などの生息環境の基盤となり、アサリなどの水産資源場、ムツゴロウやワラスボといった固有種の生息域としても重要な役割を果たしている。しかしながら、近年、沿岸域の開発による干潟やなぎさ線の減少、河川からの栄養塩流入の質・量の変化、水産資源種の乱獲など、人為的インパクトに起因する底質や水質の悪化などが顕在化し、早急な干潟環境の再生・回復が社会的に強く求められている(滝川ら, 2003)。干潟環境の機能評価を目的として、熊本港北東角に造成された人工潟湖干潟「野鳥の池」を対象とした追跡調査(森本ら, 2005)が行われており、複雑な条件下で独自の干潟環境が構築されてきていることを確認している。

本研究は、①野鳥の池内の生物生息種の特徴、及び生物種・個体数の増加に見られる生態系発達機構を解明すること、②干潟時に亜潮間帯の溜水の水質変化と潮汐の干満に応じて流出入する海水の水質変化から、野鳥の池内の海水中の物質循環特性について検討した。

2. 人工潟湖干潟「野鳥の池」の調査

(1) 人工潟湖干潟「野鳥の池」の概要

本調査対象である「熊本港親水緑地公園、野鳥の池(以下「野鳥の池」と略す)」は、野鳥観察および環境学習の場の創成および干潟域の環境変動要因の分析とその影響評価を主目的として熊本港北東角に造成された人工

潟湖干潟である。図-1に示すように野鳥の池は、有明海の浚渫土を用いて熊本新港の土地の一角を掘削して造成された約100m×100mの人工潟湖干潟である。最低地盤高がDL 2.5m、最高地盤高がDL 5.0mの潮上帯まで連続性を保ち、平均勾配が約1/36と周りの干潟(1/600)よりも急勾配であり、含泥率が約70%の泥質干潟である。直径1mの導水管がDL 3.0mに1本、DL 3.5mに3本設置され、外海である有明海と潮汐により自由に海水交換をする状況にある。また、池内には潮汐に寄らず常に海水が溜まっている亜潮間帯が存在している。

(2) 現地調査内容

表-1に、調査内容の一覧を示す。巣穴観測は、1m²の巣穴観測枠を図-1の△印の9地点および比較対象地点として▽印の1地点で目視観測を行った。底生生物調査は、DL3.5m、DL3.5m、DL4.0mと比較対象干潟の4地点において、幅25cm×奥行き25cm×深さ20cmの底質を1mmのふるいにかけ、残った生物につい

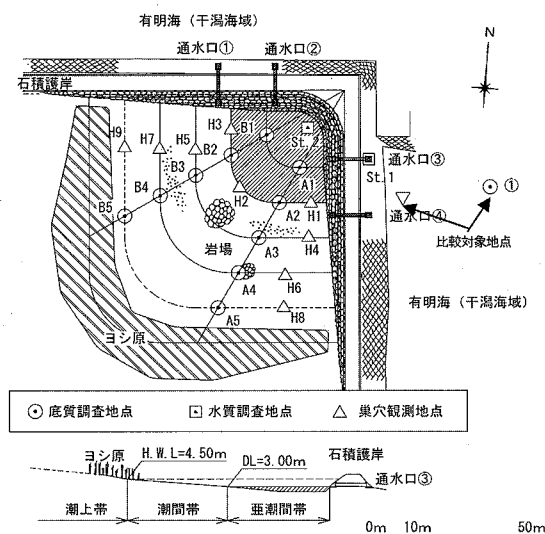


図-1 人工潟湖干潟「野鳥の池」の概略図

- | | |
|--------------|--------------------------|
| 1 正 会 員 博(工) | 熊本大学沿岸域環境科学教育研究センター研究員 |
| 2 フェロー 工博 | 熊本大学沿岸域環境科学教育研究センター教授 |
| 3 正 会 員 博(工) | 熊本大学沿岸域環境科学教育研究センター客員助教授 |
| 4 正 会 員 | 熊本大学沿岸域環境科学教育研究センター研究員 |
| 5 | タマホーム株式会社 |
| 6 | 大和ハウス工業株式会社 |

て種の同定を行なった。生物分布観測は、双眼鏡を用いて踏査し、生物生息状況を面的に記録・把握した。

地形調査は図-1に示す○印の測線 A, B の 10 地点において、目盛付きの杭の定点観測を行った。また亜潮間帯の 2 地点を除いた潮間帯の 8 地点で、ポータブル型単管式コーンペネトロメータを用いた貫入試験を行い、地盤の支持力を測定した。また、コアサンプラーを用いた底質調査も同時に行った。

水質調査は多項目水質計 (HORIBA W-23XD) を池内に常設計測する連続観測と、サンプル瓶を用いて採水したものを持ち帰り分析する詳細調査を行った。後者の分析項目は、SS, DO, COD, D-COD, T-N, D-T-N, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, T-P, D-T-P, $\text{PO}_4\text{-P}$, クロロフィル a, フェオフィチンについて行った。

3. 野鳥の池の地形変化

野鳥の池が造成されてから現在まで (2002 年～2005 年) の地盤の浸食堆積状況を図-2 に示す。全体的に野鳥の池は 3 年間で約 4.3 cm の堆積傾向にあることが算出された。特に、亜潮間帯の水際において最大で約 60 cm の堆積となっているが、通水管③付近では海水の流出入の影響を受けて浸食していた。また、潮上帯および潮間帯高部も全体的に浸食している。亜潮間帯および水際は、池の外からの海水流入による SS 沈降や、後背地や潮上帯から流れてきた土粒子の沈降により堆積の変動が最も大きかったと考えられる。野鳥の池が、外の干潟と比べて波もなく穏やかという条件も、土粒子が沈降しやすい要因と思われる。また、図-3 は図-1 に示す測線 B の目盛りつき杭の定点観測値から 1 年間の堆積速度を求めた結果である。造成後 1 年目で、亜潮間帯の B1 と B2 は堆積速度が速かったが、その後は減少した。潮間帯の B3, B4, B5 は 1 年目では、ほとんど堆積速度に変化が見られなかったが、1 年間で堆積速度は減少し、B3 と B5 に至っては浸食した。野鳥の池全体は依然として堆積傾向にあるが、その平均速度はゼロに近づいてきており、今後は地盤の大きな変動はないと思われる。

4. 底生生物の棲み分け

図-4 は 2005 年 8 月 22 日の生物分布調査の結果のうち、池内に多数生息する 4 種の甲殻類の分布を示した一例である。これらの生物は、植生群落を好むアシハラガニはヨシが自生しているところ、軟泥を好んで生息するヤマトオサガニは池内の水際の地盤が緩やかなところ、ヨシや塩生植物が生えている付近の固く締まった砂泥質を好むシオマネキとハクセンシオマネキは野鳥の池内でも潮上帯高部付近、というように地盤高や底質の違いによって棲み分けて生息することを確認できた。

表-1 調査内容の一覧

生物調査	果穴調査, 底生生物調査 (種類数 個体数 湿重量), 生物分布観測
底質調査	pH, ORP, 含水比, 粒度, 強熱減量, 硫化物
地形調査	地盤支持力, 地盤高, 地形測量
水質調査	連続観測, 詳細調査

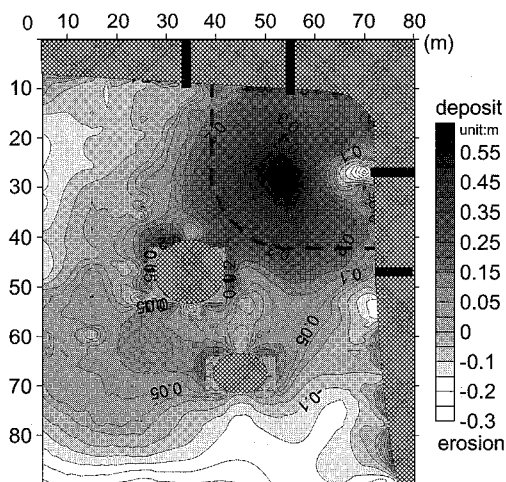


図-2 野鳥の池の浸食堆積状況 (2002 年 10 月～2005 年 9 月)

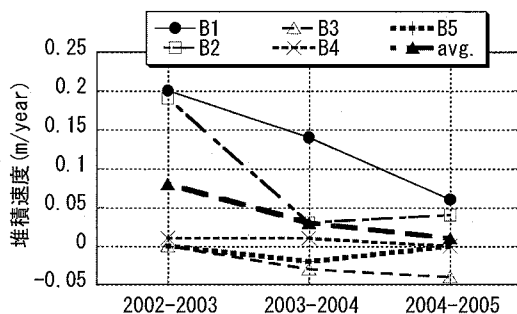


図-3 B-Line における堆積速度

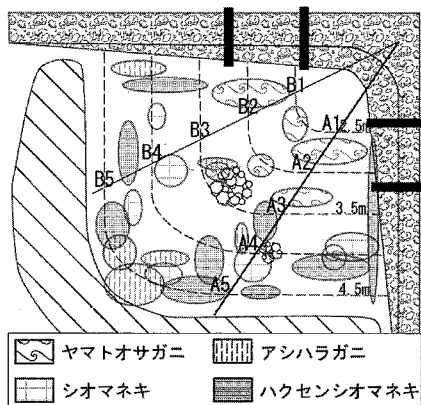


図-4 主要な生物生息分布図

図-5 は、野鳥の池の測線 B2～B5 における地盤高、地盤支持力、干出時間と図-3 で得られた生物分布を併せて示した。生物生息の密度分布は多角形で示しており、縦軸は生息する地盤高を、横軸はその地盤高における生息密度を表している。干出時間は、大潮から次の大潮までの干出時間の平均とした。図より、地盤高の違いによる干出時間の長短によって、地盤の固さも変化する傾向が見られ、最も地盤支持力が低い地点に柔らかい地盤を好むヤマトオサガニが生息しており、その次にシオマネキ、ハクセンシオマネキと続き、地盤支持力の最も高い B5 付近で、固い地盤を好むアシハラガニが生息していた。これより地盤高とそれに伴う地盤支持力の違いが、生物の棲み分けに影響していると考えられる。

以上の結果を踏まえて、図-6 に野鳥の池における生物生息の棲み分けの過程をフローチャートで示した。森本ら（2005）により、降雨で潮間帯が浸食されたり、潮汐により外海から流入したりした粘土・シルトが主成分である底質が亜潮間帯や水際に堆積し、有機物が増加したという結果が得られた。そのため含泥率が増加し、地盤支持力が低下したことは、有機物の増加とともに多様な底質環境を生み出した。また地盤勾配が急なことから干出時間の違いが生じ、干出時間の短い場所ほど地盤支持力が低下していた。これらの底質環境の違いによって、干出時間が短く軟泥の場所にはヤマトオサガニ、干出時間が比較的長く固い地盤の場所にはシオマネキやハクセンシオマネキ、潮上帯高部のヨシが自生している場所にはアシハラガニと、生物が環境に伴い棲み分けしていることが分かった。また、2005 年 8 月の調査では、それまで観測されていなかった軟体動物（カワアイ）も確認された。巻貝のカワアイは内湾の潮間帯や泥地を好むという生態的特徴を有している。前述した生物と同様に、野鳥の池内の環境はそれと合致したため、池外の干潟から流入し定着したと考えられる。つまり、野鳥の池が多様な生物の生息環境として適合しつつあることが示唆された。

5. 野鳥の池の物質循環

(1) 野鳥の池の干潮時と満潮時における水質変動

図-7 は、2004 年 9 月 16～17 日の野鳥の池の水深変化と水質の詳細調査の採水時間を併せて示した。図中の○印は通水管③付近の池内で、□印は通水管③付近の池外で採水することによって、溜り水（亜潮間帯）と野鳥の池全体が及ぼす水質変動を把握できるようにした。

図-8 は、野鳥の池内の 24 時間の水質変動の結果を、昼夜・干満の 4 つの条件に分けて模式化した。図中の番号は図-7 と対応しており、①は昼間の干潮時（亜潮間帯内）、②は夜間の満潮時（池内全体）、③は夜間の干潮

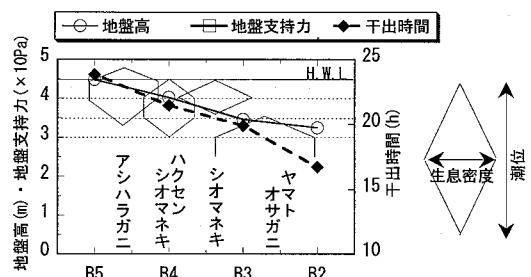


図-5 地盤高・地盤支持力・干出時間と生物分布の関係

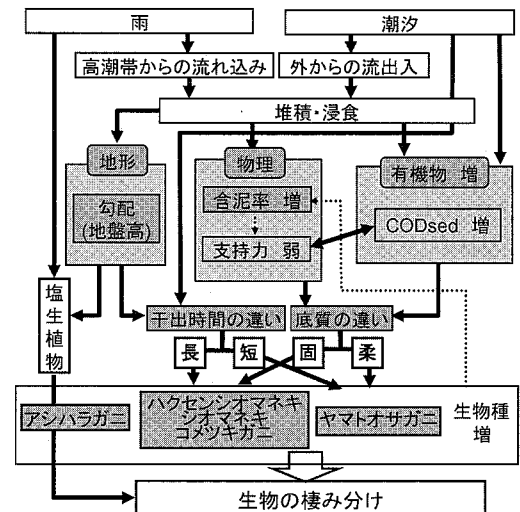


図-6 野鳥の池における底生生物生息の棲み分けの過程

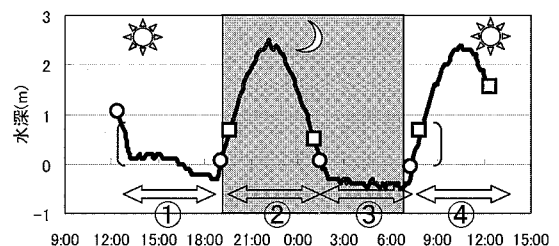


図-7 2004 年 9 月 16～17 日の池内の水深変化と採水時間
(○は通水管 3 付近の池内での採水)
(□は通水管 3 付近の池外での採水)

時、④は昼間の満潮時を表す。図中の上矢印は増加、下矢印が減少を表し、数字はそれぞれの期間中の増減量である。なお、本研究では、クロロフィル a は全て植物プランクトンとして取り扱うものとした。ただし、単位は植物プランクトンのみ $\mu\text{g/l}$ 、残りの項目は mg/l の表記である。

植物プランクトンや有機物などを含む SS に着目すると、①昼間の干潮時のみ増加することが分かった。これは、溜り水の水温が高いため光合成が活発に行われ、④

昼間の満潮時のように流出時の海水の減少に伴う潮間帯への沈降が少ないためと考えられる。DOに着目すると、④昼間の満潮時のみ増加することが分かった。同じ昼間でも①干潮時と④満潮時には増減の違いが表れた。これは、①干潮時は光合成による増加よりも植物プランクトンやデトリタスなどによる呼吸の消費が多かったと考えられ、④満潮時は光合成による増加に加えDOを多く含む外の新鮮な海水が潮汐により流入したためと考えられる。窒素に着目すると、①と③の干潮時は、脱窒作用が起こっていると推測され亜潮間帯が嫌気的な環境を維持しており、②と④の満潮時は、硝化が起こっていると推測され池内が好気的な環境を維持していると考えられる。また、①～④で総窒素は池内で減少傾向にあり、総じて池外への負荷を低減していることが得られた。

野鳥の池は、潮汐により干潮と満潮を繰り返し、水質の嫌気的環境と好気的環境が交互に起こっている。つまり、野鳥の池の特徴である「潮汐による海水の出入り」と「亜潮間帯の溜り水」が、脱窒作用を引き起こすものと考えられる。

(2) 野鳥の池の生態系モデル

亜潮間帯を持つ野鳥の池の物質循環を把握するため、生態系モデルを構築した。そこで、2004年9月の詳細調査の結果を用いて、1日(24h)の野鳥の池における物質循環を検討した。素過程の定式化は、中田ら(1993)を参考とし、植物プランクトン・DO・溶存態無機栄養塩(DIP, DIN)について求めた。また、Chl-a量は植物プランクトン生物量と仮定し、測定値を炭素量に換算した値とした。

モデルの結果を図-9に示す。図の左側は亜潮間帯を持つ干潟、つまり野鳥の池のモデルを示し、その対比として右側に亜潮間帯を持たない干潟のモデルを示す。モデルを求める際、亜潮間帯を持つ干潟は、干潮時の亜潮間帯内での循環量と満潮時の循環量の合計により求めた。また、亜潮間帯を持たない干潟は、干潮時での循環量がないため値をゼロとし、満潮時のみの循環量と仮定した。図より、亜潮間帯がある干潟(野鳥の池)での植物プランクトンは、光合成による増殖が $901.39 \text{ (mg/m}^3/\text{day)}$ 、呼吸による減少が $24.06 \text{ (mg/m}^3/\text{day)}$ 、細胞外分泌が $120.46 \text{ (mg/m}^3/\text{day)}$ 、沈降が $122.64 \text{ (mg/m}^3/\text{day)}$ 、枯死が $37.46 \text{ (mg/m}^3/\text{day)}$ である。動物プランクトンやバントスによる被食の値が求まれば、現存量は $596.78 \text{ (mg/m}^3/\text{day)}$ よりも小さい値になると考えられる。

亜潮間帯を持たない干潟での植物プランクトンは、光合成による増殖が $601.80 \text{ (mg/m}^3/\text{day)}$ 、呼吸による減少が $13.13 \text{ (mg/m}^3/\text{day)}$ 、細胞外分泌が $80.37 \text{ (mg/m}^3/\text{day)}$ 、沈降が $64.04 \text{ (mg/m}^3/\text{day)}$ 、枯死が

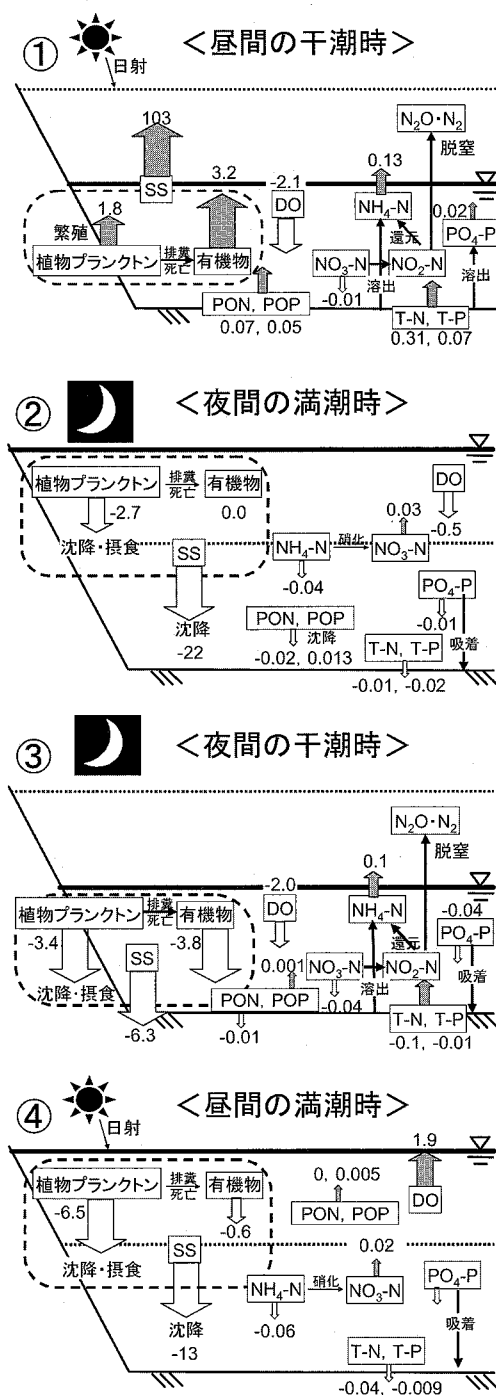


図-8 野鳥の池内の24時間の水質変動
(植物プランクトンのみ $\mu\text{g/l}$ 、残りの項目は mg/l)

$19.82 \text{ (mg/m}^3/\text{day)}$ であり、亜潮間帯を持つ干潟に対して全体的に低い値を示す。これは、亜潮間帯を持つ干潟は、そこでの水質変化が加えられ循環量が増加していることを示している。

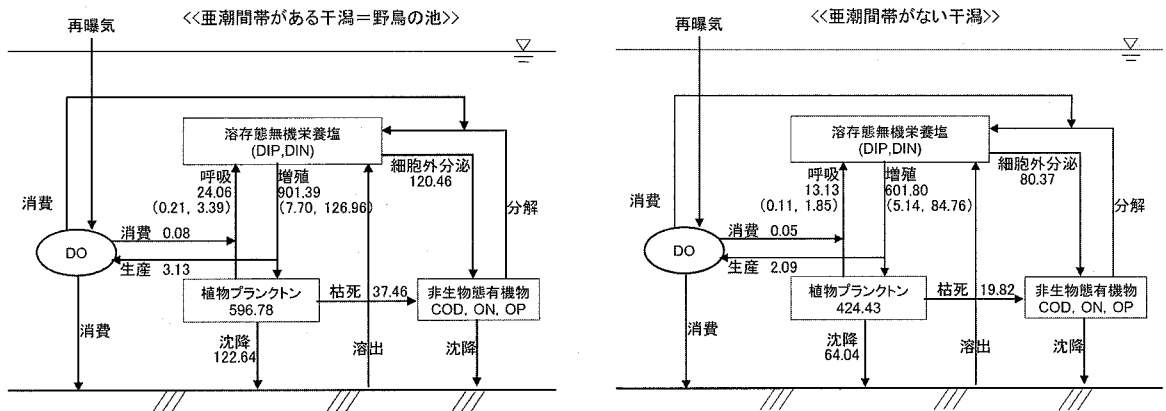


図-9 野鳥の池内の24 時間の水質変動
(□内は現存量(mg/m³/day), 植物プランクトンの変化量(mg/m³/day)
(DO の変化 (mg/l/day), (.)内は (DIP,DIN) の変化量 (μmol/l/day))

DO の生産量は、亜潮間帯を持つ干潟では 3.13 (mg/l/day), 亜潮間帯を持たない干潟では 2.09 (mg/l/day) であり、亜潮間帯があることにより DO の生産量が増加していることが得られた。また、DO の消費量は、亜潮間帯がある干潟では 0.08 (mg/l/day), 亜潮間帯がない干潟では 0.05 (mg/l/day) であり、大きな違いは見られなかった。つまり、植物プランクトンが消費する DO の量は、生産量よりも大幅に少なく、亜潮間帯の存在が DO の生産量に大きく寄与していることを示している。

6. まとめ

野鳥の池造成当初からの追跡調査を行っており、本研究では、生態系発達機構および物質循環について分析した。以下に結果を列挙する。

- (1) 野鳥の池の地形変化は堆積傾向にあるが、年々変化量は小さくなってきていることから、今後、野鳥の池は安定した環境が保たれると思われる。
- (2) 野鳥の池が外側の自然干潟と比べて勾配が急なため、狭い空間で干出時間の長短が連続的に分布していることや、地盤支持力や底質が場所によって異なることなどの影響を受け底生生物の棲み分けがなされており、池外部の比較対照干潟と比べて多様な生態系が構築されてきていることが明らかとなった。
- (3) 亜潮間帯の溜り水は水温が高いため植物プランクトンが増殖し易いが、デトリタスなどによる DO の消費が著しく嫌気的な環境に陥るが、外海の新鮮な海水が潮汐作用によって運ばれ好気的環境に移行するサイクルを持ち、脱窒作用を促す効果があると考えられる。
- (4) 生態系モデルを構築した結果、亜潮間帯の存在が植物

プランクトンの循環量が大きく増加し、DO の生産、栄養塩の消費に寄与していることが得られた。

野鳥の池の環境は、絶えず変化しているが収束状態に近づきつつあると思われる。しかし、これまでの調査から僅か 1 年で姿を消した生物種もあり、今後も引き続き追跡調査を行い、長期的な視点で亜潮間帯を有する人工干潟の評価を行う必要がある。この亜潮間帯の占める面積が減りつつあるが、通水管の大きさ、高さ、設置場所など潮汐の流出入の流れ場を検討することによって半永久的に亜潮間帯が残るものと思われ、ひいては豊かな生態系および健全な物質循環が行われるものと予測される。そして最終的に野鳥の池でのデータが有明海全体の環境変動要因の分析と環境影響評価に繋がれば、悪化している海域環境の改善に貢献できるものと期待される。

参考文献

- 釜田美穂・金井 裕・植田陸之・成末雅恵・黒沢令子・小坂正俊・福井和二・塚本洋三・梶希代美・金子利子(1996): 干潟面の穴の数による底生生物の生息量の評価, STRIX, Vol.14, pp. 201-203.
- 滝川清・田中健路・外村隆臣・西岡律恵・青山千春(2003): 有明海の過去 25 年間における海域環境の変動時性, 第 50 回海工論文集, pp. 1001-1005.
- 中田喜三郎(1993): 2.4 沿岸生態系モデル, 松梨順三郎編, 環境流体汚染, 森北出版, 165-231p.
- 森本剣太郎・三迫陽介・滝川 清・古川恵太・田中健路・増田龍哉(2005): 熊本港野鳥の池における干潟造成後の環境の短期的な変移課程に関する研究, 第 21 巻, 海洋開発論文集, pp. 665-670.
- 森本剣太郎・滝川 清・古川恵太・増田龍哉・田中健路・三迫陽介(2005): 創生された潟湖干潟の特性と環境変動メカニズムの解明に関する研究, 第 52 回海工論文集, pp. 1171-1175.