

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

森本剣太郎* ・ 滝川 清** ・ 古川恵太***
増田 龍哉**** ・ 田中健路***** ・ 三迫陽介*****

有明海の干潟環境の再生・回復に向けての対策法の開発を目的として, 人工干潟を創生し, 環境モニタリングを実施して環境変動の動態把握と変動のメカニズムについての検討を行った。この人工干潟は, 底質の外部からの搬入ではなく埋立地の掘削により作り出され, 通水管によって外海と海水交換すること, 潮溜まりを持つことが特徴的である。この人工干潟では, 地盤乱底質など生物生息環境の多様性を人為的に創生することによって, ごく近傍の干潟では見られないような生物を含む多様な生態系が, 潮溜まりを持っていることにより場の生産力を上げている可能性が数値計算により示唆された。

1. はじめに

有明海は日本を代表する大型閉鎖性内湾であり, 干満差が約5mに達し, わが国の干潟総面積の約40%に及ぶ広大な干潟が発達した特長を持つ。この干潟環境は古来より, 潮汐などに起因する流動場や気象条件, 底生生物や微生物の活動状況に応じ, 微妙なバランスを形成しつつ絶えず変化してきた。かつてはこれらの微妙なバランスが均衡し長年保持されてきた環境にあり, 底生生物など生態系の生息環境としての基盤となり, アサリを主体とした採貝漁場としても重要な役割を果たしてきた。しかしながら, 長年に渡る干拓, 戦後の高度成長期を中心とした沿岸域開発, 河川からの栄養塩流入の質と量の変化, 水産資源の乱獲などの要因によって, 1970年代後半をピークとしてアサリ, アゲマキ, タイラギなどの水産資源が激減した。近年においては, ノリの色落ち被害や, 赤潮の大量発生, 回復の兆しが見られない漁獲量など環境悪化に伴う諸現象がより顕在化しており, 早急な干潟環境の浄化機能の再生・回復が社会的に強く求められている(滝川ら, 2003)。有明海を対象とした既往の研究においては, 底質と底生生物の調査研究による研究(北園ら, 2001)や気象条件と水質の連続観測からの研究(鯉渕ら, 2003)などのように, それぞれの分野の観点に基づいた研究が行われてきている。しかし, 海域における気圏, 水圏, 地圏, 生物圏にまたがる物質・エネルギー循環(4圏間相互作用)に関して, 統合的見地から環境変動要因の評価および環境の再生・回復に向けた方策に関しては, 十分な研究が行われていないのが現状である。今後の有明海において, 沿岸域の開発利用を進めていく上でも水質・底質の環境変化や生態系の変動を

連動的に予測していくことが不可欠であると考えられる。

本研究は, 熊本港の埋立地に干潟の環境教育の場, および『人工干潟の創生』を目指して造成された野鳥の池を対象とし, 水質・底質・生態環境を造成当時より継続的にモニタリングを行い, 潟湖干潟の環境変動特性や影響の伝播について解明することを目的として検討した。また, 野鳥の池の管理手法について, 整理された特性や影響伝播を参考に, 持続的な機能発揮を目標とした場合の留意事項について整理した。

2. 人工干潟における現地調査

(1) 人工干潟「野鳥の池」の概要

野鳥の池は, 2002年10月に干潟の環境教育の場, および干潟域の環境変動要因の分析とその影響評価を目的とした熊本港北東角に潟湖干潟形式の熊本港親水緑地公園として創生された。野鳥の池の概略図を図-1に示す。野鳥の池は石積護岸によって外海と隔てられており, 池の東側と北側に2ヶ所ずつ計4ヶ所の通水管(直径1.0m)により, 潮汐の干満に応じて海水が自由に出入りしている。地盤勾配は約1/36で, 周りの干潟域(約1/600)より急勾配である。常に海水が溜まっている亜潮間帯が存在しており, 水深は干潮時(水面DL+3.0m)で平均水深0.3m, 最深部で1.0m未満である。池の周囲を囲むように生育しているヨシ原は, 満潮時でも冠水しない潮上帯となっている。面積は造成された当初で亜潮間帯1,028m², 潮間帯4,222m², 潮上帯17,750m²の計23,000m²であった。池内の土壌は含泥率70%前後のいわゆる泥質干潟である。また比較対照地として野鳥の池の東側約30mに位置する泥質干潟①, ②(以下「比較対照干潟」と略す。)も調査を行った。

(2) 現地調査の方法

地形調査では, 図-1に示すA・B-lineにおいて目盛付きの杭を地盤高0.5m間隔で, 亜潮間帯内のDL+2.5mからH.W.Lの4.5mまでの10地点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8地点については, ポータブル型単管式コーンペネトロメ

* 正 会 員 工博 熊本大学大学院研究員自然科学研究科
** フェロー 工博 熊本大学教授沿岸域自然科学教育センター
*** 正 会 員 工博 熊本大学客員助教授沿岸域自然科学教育センター(国土交通省)
**** 正 会 員 アジアプランニング株式会社環境部
***** 正 会 員 理博 熊本大学助手工学部
***** 学生会員 熊本大学大学院自然科学研究科

ータを用いて貫入試験を行い、コーン支持力を測定した。底質調査は、地形調査と同じ地点と比較対照干潟の2地点において、表層(0~0.5 cm)、上層(-9~-11 cm)、中層(-19~-21 cm)、下層(-29~-31 cm)の4層に分けて採泥し分析を行った。水質調査は多項目水質計 HORIBA W-23XD を池内に常設し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。連続観測では図-2の St.2 地点において、水質計を底面から0.3 m の位置に固定するものと、水質計を浮かべ水面から10 cm の水質を計測した。また、通水管③の野鳥の池の外である St.1 地点においても、底面付近に水質計を設定した。詳細調査では流入直前と流出直後の海水を St.2 地点において採水した。また流入と流出の海水を St.1 地点において採水した。生物調査は定性調査と定量調査に大別される。定性調査では、干出時に捕獲や目視、そして巣穴観測によって生物種や個体数の移り変わりを調査した。巣穴観測は、図-1に示す△地点において1m²のコドラートを設け観測を行った。定量調査は池内 DL+3.0 m の3地点、DL+3.5 m の2地点、DL+4.0 m の2地点、比較対照干潟2地点でコドラート枠を用いて(W 25×W 25×D 30 cm)採泥した。その土を通過粒径1mm のフルイにかけ、そこに残った底生生物について種の同定を行い、それぞれ個体数と湿重量を計測した。また、亜潮間帯に生息する魚類等も投網・タモ網を用いて捕獲調査を実施した。

3. 現地調査の結果および考察

(1) 地形・底質

野鳥の池の地形は、通水開始後約6ヶ月で亜潮間帯と水際で約10 cm の堆積が見られ、約2年で25~30 cm の堆積が見られた(図-2)。これは、池外からのSS 負荷によるものと、野鳥の池の背後地である緑地公園からの雨水の流れ込みや潮汐によって底泥が浸食され、亜潮間帯から水際にかけて堆積したとも考えられる。

コーン貫入試験ではほぼ全地点、全層で夏に柔らかくなる傾向にあった。これは泥温の変化と生物活性によるものと考えられる。また潮間帯低部の B2 地点(図-3)では2003年10月と比べて、2004年10月は軟化していた。これは後述する巣穴数の増加によるものと、粒度分析より粘土分、シルト分が増加し軟泥化したことによるものと考えられる。また、底泥の強熱減量においては、池内潮間帯を除く地点において夏に低下し、冬に増加する傾向を示した。これは生物活性が高い夏に有機物が分解され、生物の活性が低い冬に増加したものと考えられる。硫化物においては、比較対照干潟と池内亜潮間帯で存在が確認されたが、池内潮間帯ではほとんど確認されなかった。これは潮間帯が、潮汐によって常に好気的環境を

維持されたことによるものと考えられる。

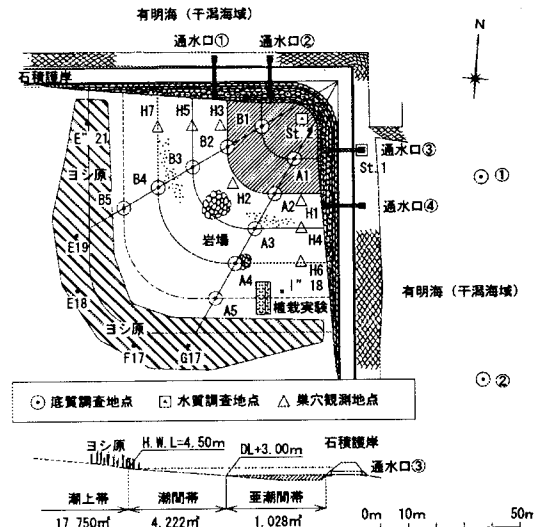


図-1 「野鳥の池」の概略図

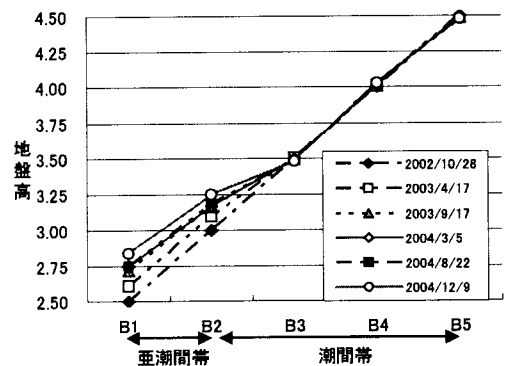


図-2 野鳥の池の地形変動

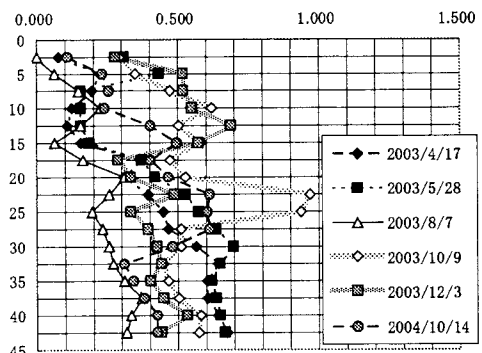


図-3 潮間帯 B2 地点のコーン支持力の季節変動鉛直プロファイル

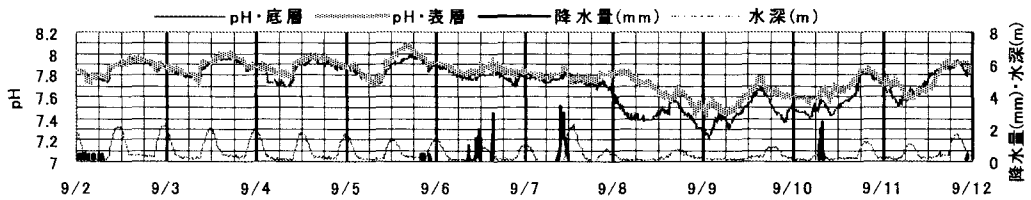


図-4 降水量、池内水深と pH の変動

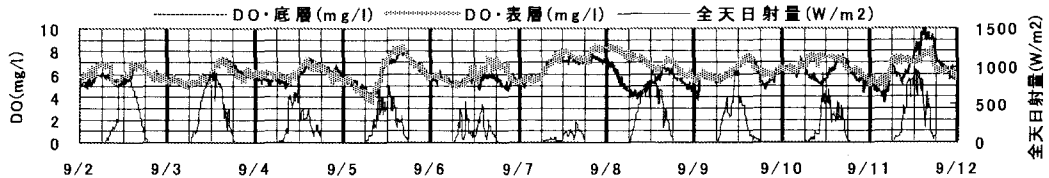


図-5 全日射量と DO の変動

(2) 水質と気象

図-4～5は、2004年9月初旬の pH、DO の変動と気象条件との関係を示した。調査地点の野鳥の池は白川河口の南西約1.5 km に位置しているため、河川からの淡水の供給によって塩分濃度が変動しやすい環境下にある。なお、降水量と日射量は野鳥の池の北側約120 m に建設した干潟観測塔の計測したデータである。6、7日には台風18号（7日に上陸）により、熊本市内では2日で合計88 mm の降水量が確認された。この時池内の水深が急激にあがっていることから、短時間に集中して降雨があったことが確認できる。その後、8、9日と pH も塩分も回復しないのは、小潮時と重なったため海水交換率が低かったと考えられる。さらに、そのときの外海水も、白川などから普段より多くの淡水が流れ込んでいることが予想されることも1つの要因として考えられる。pH が昼間に高くなるのは、植物プランクトンの光合成によって水中の CO_2 が消費され、 O_2 が生成されたためで、実際 DO も pH のグラフと同じ挙動を示しており、昼間は日照量の増加に伴い増加し、日照量のなくなる夜は植物プランクトンによる光合成が起らず呼吸による O_2 の消費だけが起るため低下したと思われる。8日の底層における DO の低下は、多量の降雨に伴う底泥の巻き上げによるものと考えられる。8、9日の小潮が過ぎたあとは、10、11日の前線停滞の影響を受けたため、pH、DO はゆっくりではあるが徐々に底層の値が表層に近づきつつあり、台風一過による攪乱の影響が回復しつつあることが確認できた。

(3) 生物

野鳥の池内と比較対象干潟における通水前からの出現種類数の変動を図-6に示す。比較対象干潟の生物相は多毛類（イトゴカイ.sp）と甲殻類（ヤマトオサガニ）

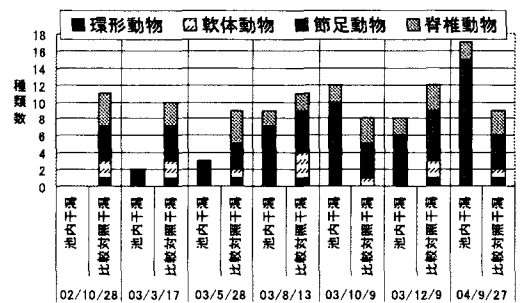


図-6 野鳥の池内と比較対象干潟における生物の出現種類数の変動

を主として、トビハゼやムツゴロウも見受けられ、確認された出現種は11種であった。比較対照干潟は含泥量80%以上の泥質干潟であるため、種類数は少ないものの、ムツゴロウやムツバリアケガニなどの泥質干潟にしか生息しない種が確認された。野鳥の池内の干潟では、2002年11月の調査でヤドカリが確認されて以来、垂潮間帯付近から徐々に生物が増え始めた。ゴカイ類、カニ類、トビハゼという順序で増加していき、2003年10月の調査では出現種類数が12種となり比較対照干潟を上回った。また、2004年9月の調査では、シオマネキ、ハクセンシオマネキなども見受けられるようになり、池内干潟の出現種類数は17種となった。これらの生物は地盤高によって棲み分けていることから、池内干潟の地盤勾配が約1/36で、連続性のある干潟環境が創生されていることが池内干潟の出現種類数増加の要因として考えられる。また、池内と池外の生物の出現種類数についてt検定を行った結果、人工干潟の生物は2003年8月からの安定した種類数が出現していることが得られた。

図-7は池内潮間帯の巣穴数の変動を表したものである

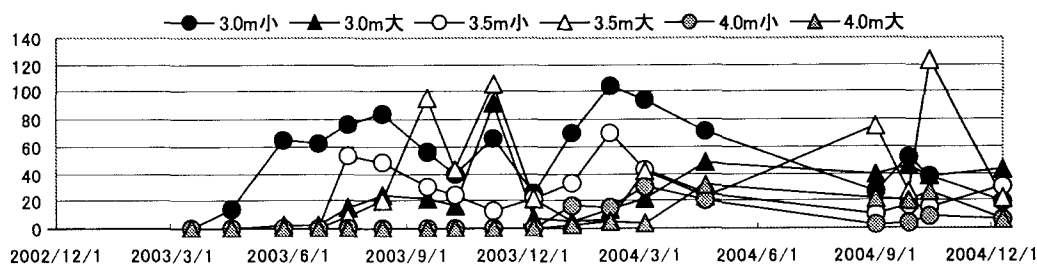


図-7 池内潮間帯 DL=3.0, 3.5, 4.0 m の巣穴数の変動

る。「小」は直径 5 mm 以下の小さい巣穴、「大」は直径 5 mm 以上の大きい巣穴を示している。巣穴直径 5 mm という基準は、ゴカイによって作られた巣穴のほとんどが直径 5 mm 以下であるという仮定のもと設定したものである。したがって巣穴「大」は、主にゴカイなどを捕食するヒメアシハラガニやトビハゼなどの肉食者と堆積物の底生藻類や堆積物食者のヤマトオサガニやアシハラガニなどによって作られたものである。巣穴「大」は春から秋にかけて徐々に増加しつつ、10月から11月にピークを迎え、12月以降になると大きく減少した。これは節足動物やトビハゼなどの脊椎動物が冬の水温低下などの厳しい環境に耐え切れず死亡したことや、休眠したことによるもので、巣穴「小」は季節変化よりも巣穴「大」の増減に伴う変動がある程度みられた。つまり、肉食者である節足動物、脊椎動物が多数存在するとき、環形動物であるゴカイは捕食され減少し、肉食者が少数の時、ゴカイは繁殖し増加したのであろう。図-7 に示す H1~H7 までの巣穴数について多変量解析を行った結果、小さい巣穴が圧倒的に多い[H1, H4, H5]の A グループ、小さい巣穴と大きな巣穴が適度に揃った[H2, H3]の B グループ、大きな巣穴がやや多い[H6, H7]の C グループの 3 つの領域に分けることできた。B グループではヤマトオサガニが占有種であり、C グループはアシハラガニであった。H1, H3, H4, H5 の領域ではハクセンシオマネキ、H6, H7 ではシオマネキが確認でき、棲み分けが定着しつつある。

4. 数値計算による野鳥の池の水質変化の様相の定性的確認

野鳥の池は、潮溜まりを持ち、外海（有明海）と通水管により接続されている。その通水管が池内の最低水位より高く設置されており（DL+3.0 m）、水腫が干潮時にも潮溜まりとして残っていることが特徴的である。この潮溜まりの効果・機能を確認し、こうした海水交流の手法の選択が、池の環境変化や生態系の遷移に及ぼす影響を定性的に把握するために、概念的なモデルによる数値計算を行った。

実験のケースは、図-8 に示すように、(1)野鳥の池と外海が直接接続しているケース（Open）、(2)DL=3 m の堤防で池と外海が仕切られているケース（Dike）、(3)DL+2.5-3.5 m の間に開口部を設けたケース（Pipe）とした。Open のケースでは、干潮時に干上がってしまうため、水腫が存在しない時間が生じる。Dike のケースにおいては、堤防より高い潮位の際に海水が流入、流出し、潮溜まりが存在する。Pipe のケースは、管路が設置されている場合を概念的に再現したもので、潮位が

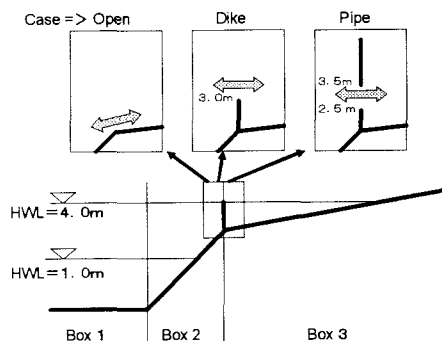


図-8 数値実験の実験ケースのイメージ

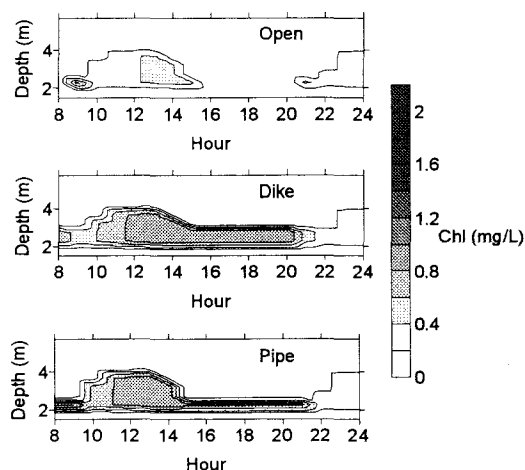


図-9 池内 (BOX 3) のクロロフィル a 濃度の時間変化

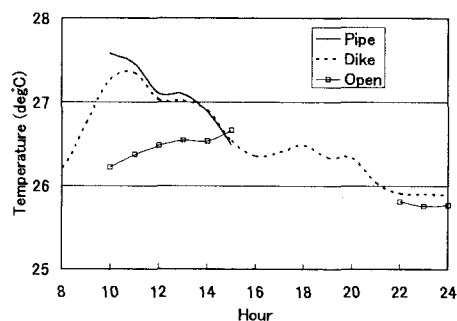


図-10 池内 (BOX 3) の底層水温の時間変化

上昇した際に、ある決まった層のみの海水交換が期待される。計算は、成層条件が支配的な場におけるマクロな物質循環を再現することのできる MEL1D-MB モデルを用いた (古川ら 2001)。モデルは、外海・池の前面海域・池内の 3 つの BOX を流軸方向に連結し、1 つ 1 つのボックスは鉛直方向に 0.5 m 間隔で層分割している。流動場の計算においては、水温・塩分と連動させてパロトロピックな流れとバロクリニックな流れを合成したものとして与えた。生態系の計算においては、水温・塩分その他、栄養塩 (DIP)、溶存酸素 (DO)、クロロフィル *a*、デトリタスについて、その循環を計算した。

計算結果の一例として、図-9 に池内のクロロフィル *a* の鉛直分布の時間変化、図-10 に池内の底層の水温変化を比較して示す。図-9 からは、Open のケースに比べ、Dike や Pipe といった潮溜まりを作るケースのほうがクロロフィル *a* の濃度が高くなることが判る。さらに Dike と Pipe を比べると、わずかであるが、Pipe の方が日中の海水導入時 (hour 9-11) において、速やかにクロロフィル *a* が上昇していた。これは、図-10 にも示されているように潮溜まりとなることで、Dike、Pipe のケースにおいては日中に水温が上昇し、Open のケースとの差は 1 度以上の差をもたらしたことが、ひとつの要因となっていると考えられる。こうした結果から短絡的に結論することはできないが、潮溜まりをつくることで、水温を上昇させ、場の生産性を上げている可能性が

示された。さらに、こうした検討を進めていくことで、対象とする生物生息に適した環境の創出や管理につながるような指標の整理を今後進めていきたい。

5. おわりに

本研究では、2002 年 10 月に熊本新港親水緑地公園の一角に設置された人工潟湖干潟 (野鳥の池) とその比較対象地点としての池外の泥質干潟を対象区域とし、地形・底質、水質、生物の追跡調査を行った。その結果、野鳥の池は、軟泥化が進み、勾配も若干緩やかとなり周りの自然干潟環境に近づきつつあるが、垂潮間帯の存在、地形勾配や植生の影響を受け、野鳥の池の生物出現の様相は異なっていることが確認できた。また、数値実験析を用いて干潟の環境特性について解析を行った結果、野鳥の池のような潮溜まりの効果・機能を確認した。生物種の多様化や水質浄化能力の向上過程において、地形・底質、水質、生物、そして気象・海象条件がどのような相関関係を保ち、また変動していくかを明らかにすることは干潟環境の再生・回復に有益な指針となると思われる。今後も調査を継続することにより、こうした機能発揮のプロセスが明らかになり、ひいては有明海の干潟環境改善に繋がると考えられる。

参考文献

- 北園芳人・鈴木敦巳・林康弘・喜津木郁人・滝川 清 (2001)：有明海と八代海の干潟における底質特性と底生動物の豊かさに関する研究，海岸工学論文集，第 49 巻，pp. 1131-1135。
- 鯉淵幸生・佐々木淳・有田正光・磯部雅彦 (2003)：有明海における水質変動の支配要因，海岸工学論文集，第 50 巻，pp. 971-975。
- 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 年間ににおける海域環境の変動特性，海岸工学論文集，第 50 巻，pp. 1001-1005。
- 滝川 清・増田龍哉・田中健路・弥富裕二 (2004)：創生された人工干潟における環境変動のメカニズムに関する研究，海岸工学論文集，第 51 巻，pp. 1201-1205。
- 古川恵太・中山恵介・岡田知也・宮野 仁 (2001)：環境施策に資する内湾域の総合的な環境把握を目指した MEL1D-MB モデルの構築，国土技術政策総合研究所研究報告，No. 1，pp. 1-16。