

都市内湾域の人工干潟水域における水質環境と生物に関するモニタリング

WATER QUALITY AND ECOSYSTEM MONITORING OF RECLAIMED TIDAL FLAT IN CITY CLOSED WATER AREA

中瀬浩太¹・金山 進²・木村賢史³・上野淳一⁴・石橋克己⁵

Kouta NAKASE Susumu KANAYAMA, Kenshi KIMURA, Jun-ichi UENO, Katsumi ISHIBASHI

¹正会員 五洋建設株式会社 環境事業部 (〒112-8576 東京都文京区後楽2-2-8)

²正会員 博(工) 五洋建設株式会社 技術研究所 (〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町1534-1)

³正会員 博(工) 東海大学 海洋学部 海洋生物学科 (〒424-8610 静岡県静岡市清水区折戸3-20-1)

⁴東海大学 大学院 海洋学研究科 (同上)

⁵大田区 都市基盤整備部 建設工事課 (〒143-0015 東京都大田区大森西1-12-1)

Omori-Furusato-no-hamabe-koen consists beach of sand and mud flat restored on artificial shoal constructed in the Keihin Canal, protecting the habitat of aquatic life from severe environmental impact of canal water. The environmental monitoring has been continued since before pre-construction phase in 2002, aside from the occasional observation made on current and water quality. Fishing research of *Acanthogobius flavimanus* proves the important role of this park as a fry's shelter from anoxic water. Benthic research showed that the switchover of clam species composition has more fresh water resistance, such as *Corbicula japonica*, in shallow zone. The water exchange property of shoal and adjacent canal was investigated numerically with density current model, which suggested that the improvement of environmental resilience in water quality in the shoal can be achieved by topographic modification and maintenance work.

Key Words : benthic fauna, goby, clam, succession, tidal flat, shoals, water exchange,

1. はじめに

東京都大田区の「大森ふるさとの浜辺公園」は図-1に示す京浜運河の一部に、公園緑地の確保、都市防災機能の確保、人と海の接点の回復、水域環境の改善を目的に2000年より着工し、2007年4月に開園した、人工干潟約1.0ha、人工海浜約1.2ha、覆砂水域(浅場)約6.0haを有する公園である¹⁾。浅場(A.P. -1.5m, LWL≒A.P. ±0.0m)は天端高A.P. -1.0mの潜堤で周辺運河部(A.P. -3~4m)と区切られ、岸側には干潟および砂浜が造成されている。

周辺の運河は水深が4m程度あり、水底部は有機物が堆積して貧酸素状態になりやすい。また、周辺には120万m³/日の処理量の森が崎水再生センターや内川や呑川があり、降雨時には大量の淡水が流入する。このことから、低鹹水塊や貧酸素水塊の影響が大きい水域であると考えられる。実際、建設中から行われた干潟や海浜の生物調査によれば、周辺の運河より多くの種数、個体数、質重量の生物が生息し、

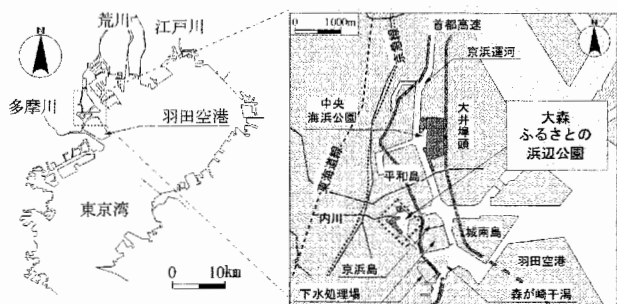


図-1 大森ふるさとの浜辺公園位置図

生物のすみかとしての目的は一応果たしているといえるものの、しばしば水質急変に起因すると考えられる底生生物の出現種数および出現量の急激な減少もみられる当地点の水域環境の変化については、気・海象や周囲の水質の影響に加えて、造成および維持管理工事の経緯にも留意した議論が必要と考えられる。2002年6月に干潟部が現在の位置に移設、2004年6月には砂浜部が造成され、2007年の開園に先立つ2006年冬期には砂浜部のL.W.L.付近(A.P. ±

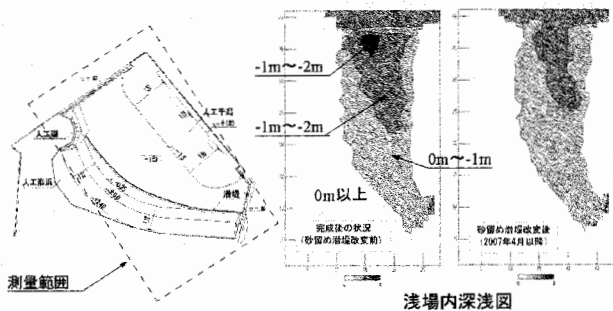


図-2 浅場地形と潜堤の改変状況

0.0m)の浅場拡大のための覆砂工事が行われた(図-2)また、2004年の砂浜部造成時にそれまで周囲を囲んでいた汚濁防止膜が撤去されたこと、2006年の浅場拡大工事の際に浅場を囲む土留潜堤の北側に工事船舶航行のための開口部が設けられたことなども考慮に入れた検討が必要である。特に、開園前の浅場拡大工事の影響を知ることは、将来的な改善へのヒントを得る上でも重要である。

本研究では、以上のような観点に基づき、建設中からの調査結果に新たなデータを加えて生物環境変化状況を整理、考察するとともに、浅場拡大工事による地形改変が浅場と周辺運河との海水交換に与えた影響については流況シミュレーションに基づく検討を行った。

2. 環境モニタリング

大森ふるさとの浜辺公園では着工前より生物・底質・水質の調査を行なっている。また、貧酸素水の影響が大きい夏期を中心に、流況水質連続測定がおこなわれている。

(1) 調査地点

生物調査および流況観測の調査地点を図-3に示すこのうち、St. 1, 7, 8, 14はA. P. +1.0m (M. W. L. に相当)、St. 2, 6, 9, 13はA. P. +0.5m, St. 3, 5, 10, 12はA. P. ±0.0m (L. W. L. に相当)の地盤高である。また、St. 4, 11は浅場内で水深A. P. -約1.5m, St. 15, 16は運河内で水深はおおよそA. P. -3.0~4.0mである。

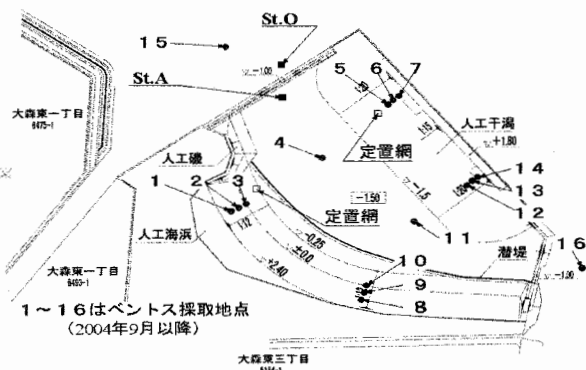


図-3 調査地点

(2) 調査内容

a) ベントス調査

大森ふるさとの浜辺公園では、2002年の干潟移設工事着工前より数多くの水質・底質・ベントスの調査が行われている。このうちベントス調査は2002年4月より2009年10月まで28回実施し、353検体の分析が行われている。このベントス調査結果より、種数や主要出現種の出現傾向の経時変化を取り纏めた。

各サンプルは、それぞれの調査地点でスコップまたは採泥器を用い、スコップの場合23cm×23cm (0.053m²)、採泥器の場合20cm×20cm (0.04m²)の範囲を深さ20cmまで、2回あるいは3回の採取を行った。これらを1mmメッシュで篩い分けた残存物中のメガロベントスについて種同定、種別個体数と湿重量の計測を行った。

図-2に示す調査地点以外でも、干潟の移設工法の検討や完成後の定期モニタリングなど、様々な目的で行われていたが、サンプリング地点や地盤高、および底質の採取面積がそれぞれの調査によって異っていた。そこで、それぞれの調査で得られた結果のうち、A. P. +1.0m, A. P. +0.5m, A. P. ±0.0m, および各地盤高±0.1mの結果を検討に用いた。それぞれ調査により、採取面積やサンプリング回数が異なっていたので、個体数・湿重量はすべて1m²あたりに換算して評価した。

b) マハゼ漁獲調査

干潟・浅場を利用する代表的魚類のマハゼ (*Acanthogobius flavimanus*) の出現傾向を把握するために、マハゼ稚魚の着底後の生長期にあたる2009年5月25日・6月22日・7月23日・9月3日(いずれも網回収日)に漁獲調査を実施した。

干潟および砂浜のおおよそA. P. -0.2mの地点、各1地点に図-4に示す小型定置網を、夕方16:00ごろ設置し、翌日10:00までには回収した。この網で漁獲された漁獲物よりマハゼを選別し、総個体数の計数および個体ごとの全長を計測した。

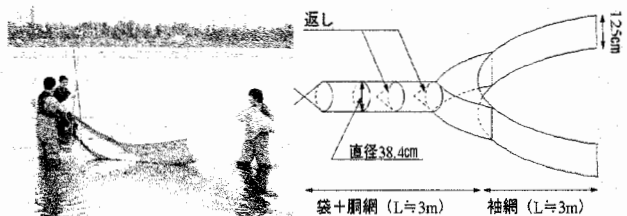


図-4 マハゼ漁獲試験用小型定置網

c) 流況・水質観測および流動解析

浅場と周辺運河との海水交換状況を検討することを目的として、2007年7月6日から7月24日に浅場北側の運河のSt. 0 (底層での水温・塩分およびADCPによる層別流向流速) および浅場内北側外縁近傍のSt. A (底層および表層での水温・塩分) で流況・水質の連続観測を行った。

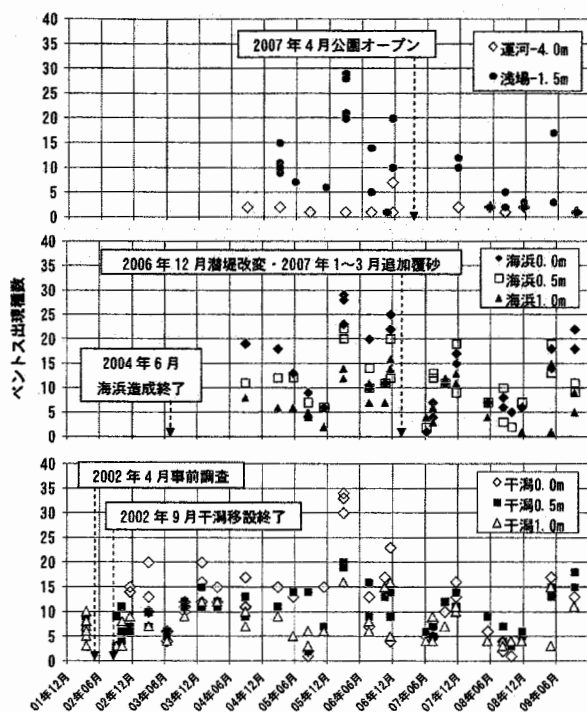


図-5 干潟・海浜・浅場の出現種の変化

流動解析は図-2に示した浅場とその外周部分を対象とした。これらの部分については、浅場の各地点で水深を測定し、深浅図を作成した。

3. 生物の出現傾向

(1) ベントス出現傾向

2002年4月から2009年10月まで、のべ153種の底生生物が確認されている。干潟や砂浜では通常は5～15種程度が確認されているが、しばしば20種以上の多くの種が出現することや、逆に1～2種しか出現しないこともあり、出現種数は変動が大きい。なお、周辺運河ではほとんどの場合無生物から数種の出現しか見られない。

人工干潟は2002年9月に既存干潟の表土を移設する形で完成したが、翌年にはすでに移設前以上の出現種が確認できた。その後、A.P. ±0.0mおよび+0.5mでは最大で10～15種以上の出現が見られたが、2007年以降は出現種の増減幅が大きくなり、出現種が10～5種程度まで減少する傾向が見られた。

干潟・海浜におけるベントス湿重量の経時変化を図-6に示す。この図は、それぞれの調査時の同一地盤高における最大出現量の変動を示したものである。

出現量の急減は、ある調査時に、前回調査時に比較して出現種数が急激に減少しており、貧酸素や低鹹水塊滞留等の生物の生存に大きく影響を与えるイベントの発生が推察される。しかし生物の急減は3～4ヶ月程度で回復しており、この海域では生物加入量も多いことがうかがわれる。

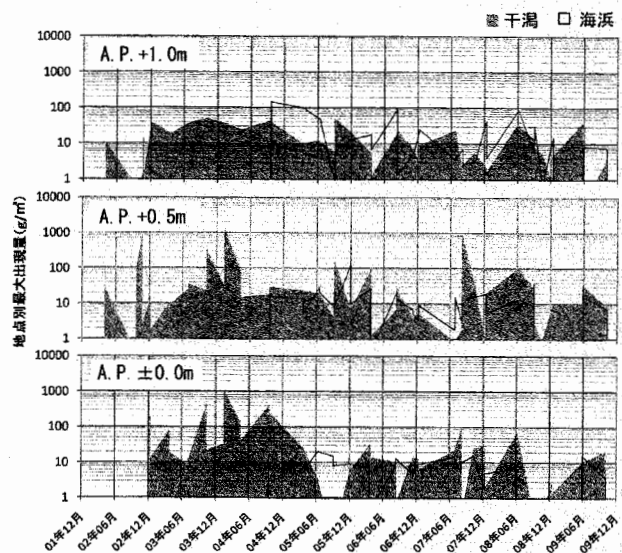


図-6 干潟・海浜の地点別最大湿重量の変化

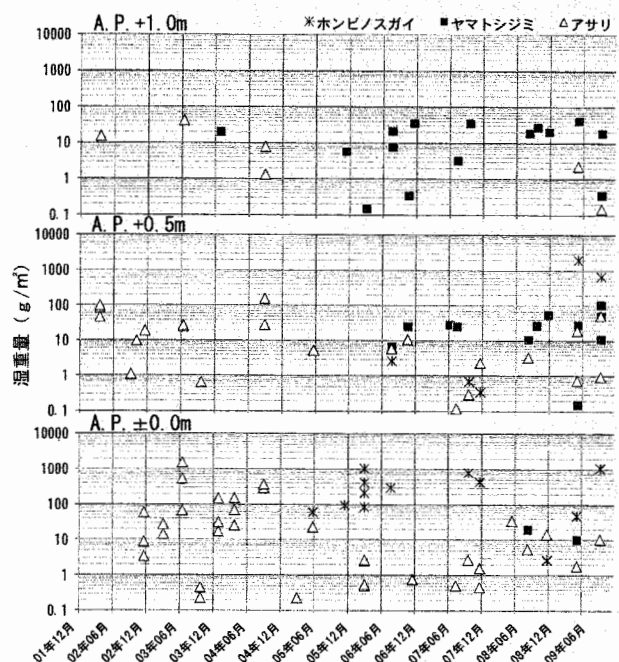


図-7 主要二枚貝類の湿重量の変化

各調査地点で採取されたベントスのうち、湿重量出現割合が上位であったアサリ (*Ruditapes philippinarum*)・ヤマトシジミ (*Corbicula japonica*)・ホンビノスガイ (*Mercenaria mercenaria*)の湿重量の経時変化を図-7に示す。

工事期間中の2004年夏期まではA.P. +0.5mおよびA.P. ±0.0mでは10g/m²以上のアサリが常に観察されていた。2005年～2006年以降はA.P. +1.0mおよびA.P. +0.5m地点ではヤマトシジミがアサリより多く出現することが観察された。この時期、A.P. ±0.0mではホンビノスガイが最大約1kg/m²程度見られるようになり、アサリに替わって優占種となったが、2008年以降再びアサリが増加傾向である。

(2) マハゼ捕獲状況

各調査回ごとの干潟・海浜におけるマハゼ捕獲状況を表-1に、全長組成を図-8に示す。

調査地点付近の既往のマハゼ捕獲調査では、汀線付近のマハゼ個体数は着底直後の4~5月に最大となり、その後急激に減少してゆくことが知られている³⁾。今回の調査ではマハゼは6月22日の捕獲量が最大であった。

このときのSt. -4の溶存酸素断面分布は図-9に示すように、表層部分まで $DO=2\text{mg/l}$ 以下の貧酸素状態であった。多くの生物は溶存酸素濃度が 2mg/l を下回ると生存に危険を及ぼす可能性がある。6月22日のマハゼ採集日もそのような状況であったので、マハゼ幼魚は貧酸素から逃れるために汀線付近に移動し、ここに設置した定置網で大量に漁獲されたと考えられる。

表-1 マハゼ1操業あたり捕獲状況

採取日	採取場所	個体数	全長(cm)	体重(g)
5月25日	干潟	39	4.48 ± 0.35	0.87 ± 0.21
	海浜	95	4.30 ± 0.19	0.84 ± 0.13
6月22日	海浜	1167	4.50 ± 0.15	1.04 ± 0.14
7月23日	干潟	6	5.50 ± 0.81	1.52 ± 0.80
	海浜	96	6.07 ± 0.35	2.33 ± 0.39
9月3日	干潟	139	7.66 ± 0.19	3.71 ± 0.32
	海浜	75	8.51 ± 0.31	5.11 ± 0.54

($\alpha=0.05$)

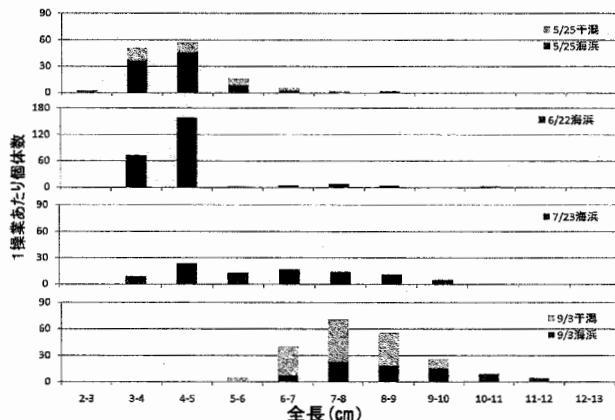


図-8 マハゼ全長別個体数分布状況

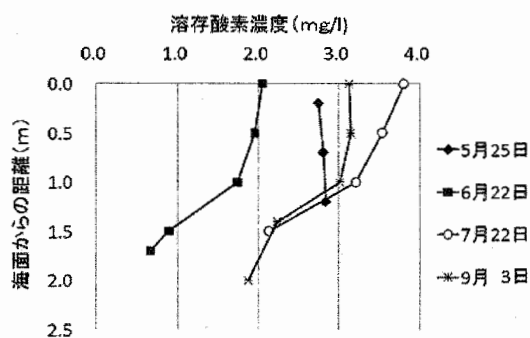


図-9 マハゼ漁獲時のDO鉛直分布 (St. 4)

(3) 干潟の環境に変化をもたらす諸原因

本公園の人工干潟は施工中の2003年から2004年にかけての生物量および出現種数が多いが、その後は減少した。新しい生物生息環境を造成すると、当初多くの出現種が出現するが、その後生物相の発達に伴い種類数が減少してゆく過程がしばしば観察される。しかし、本調査地点では図-6に示すように、ある調査時に、急激にベントスの種数や出現量が減少し、その後再び回復する現象が観察された。

この現象は、豪雨の襲来により一時的に周辺海域が一定期間低鹹水塊に覆われるため、淡水に対する耐性の弱い生物が死亡するためであると考えた。しかし図-10に示す2002年から2009年までの気象庁アメダスデータの降水量データからは、強い降雨の発生と、生物量の減少には特に関係は見いだせず、この現象には降雨以外にも何らかの要因があるものと考えられる。

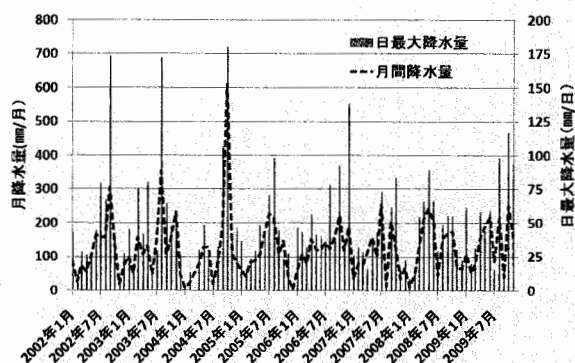


図-10 気象庁アメダスデータ (羽田)

4. 浅場拡大による流動特性の変化について

年度毎の気・海象条件の違いのため、地形改変が生物環境に及ぼした影響を過年度データの比較のみから推測することは難しいが、物理モデルが適用できる流動場については客観的な比較が可能であると考えられる。また、浅場内の水質環境は周辺運河の水質の影響を大きく受けていることも考えられ²⁾、ここでは、改変前後の海底地形条件に対する流動解析を行い、浅場と周辺運河部の海水交換特性という観点からの地形改変の影響を検討した。

(1) 流動解析の概要

検討には、ブシネスク近似、静水圧近似に基づく準3次元の密度流モデルを用いた。昭和島の南北の運河を沖側の境界とし、潮汐は2つの運河から同位相で伝搬するものと仮定した。岸側境界に接する内川については上流端までの水面積に等しい仮想の水域により等価なタイダルプリズムを設定した。静水面下1.5m以浅を第1層、それ以深を0.25m間隔で分割したレベルモデルであり、水平方向は10mmの正

方格子で離散化した。浅場内の潮間帯に対する遡上計算は行っておらず、T.P. ±0m (A.P. +1.1m) に静水位を設定した状態で最低1.5mの水深を確保できる位置に海陸境界を固定した。

(2) 再現性の検討

ここで用いる流動解析の妥当性は、2007年夏期に実施した流況観測データに対する再現性によって検討した。これは、干潟部に隣接する運河内のSt. 0 (図-3) におけるADCPによる流況鉛直分布測定結果 (12時間移動平均) である。今回の検討では、出水等、計算領域外からの影響による水質環境の変化を考慮することが不可能なため、図-11に示すよう

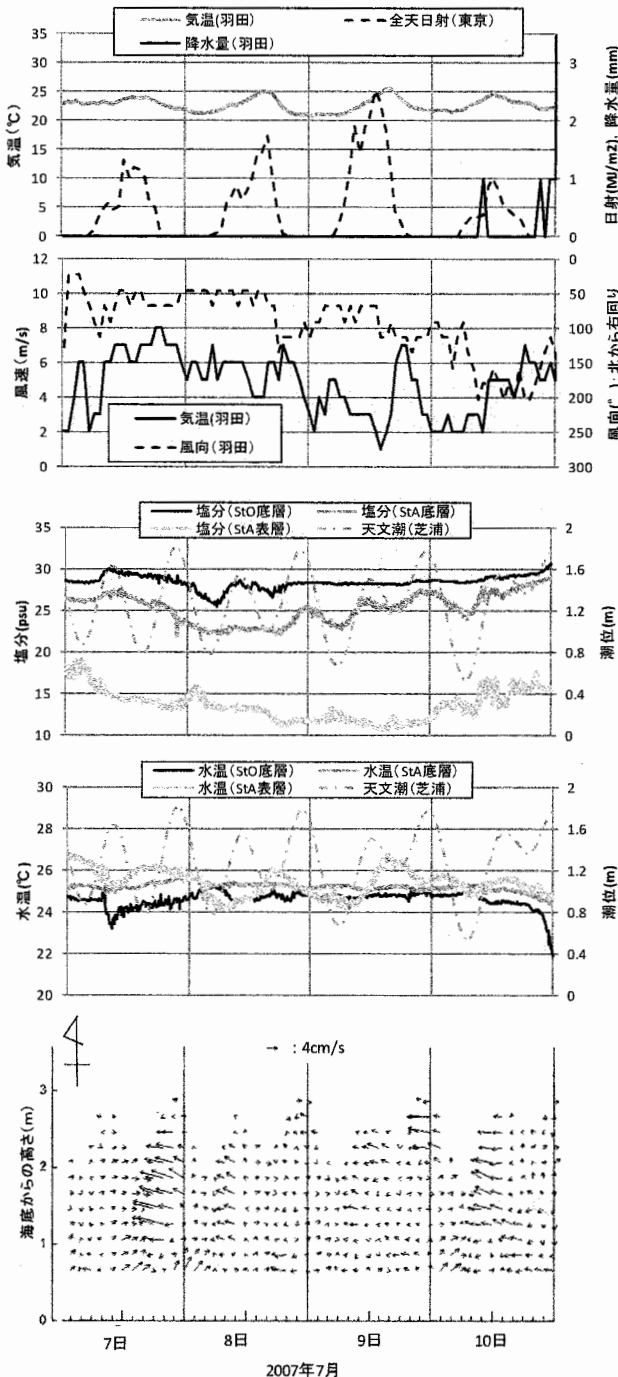
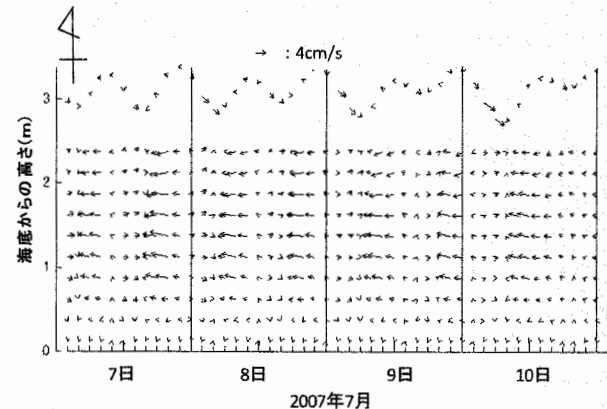


図-11 浅場北側St. 0における流速測定結果

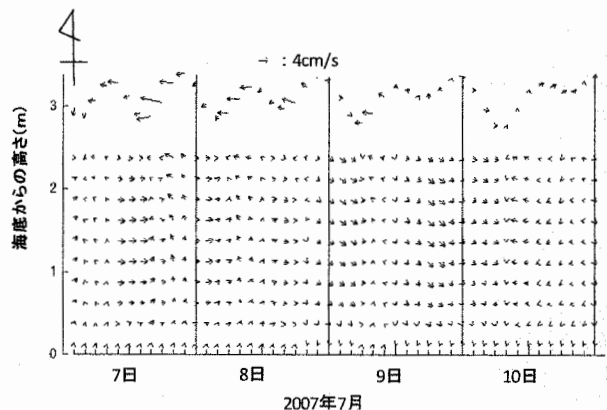
に、水温・塩分が比較的安定し、アメダス羽田地点でもまとまった降雨が観測されなかった2007年7月7日～7月10日までの4日間を対象とした再現計算に際しては、図-11に示された気・海象データを入力条件とし、2007年7月6日のSt. 0における水温・塩分の鉛直分布測定結果を初期条件として与えた。出水の影響の大きい日時ではないが、図-11の塩分観測結果からもわかるように表層と底層の塩分には10%程度の差があり、鉛直分布図は示していないが、水面下1.5m付近に塩分躍層を有する。

図-12 (1) は測点0における流速鉛直分布の計算結果であり、図-12 (2) は、比較のために行った密度を考慮しない計算結果である。これらを図-11の流速鉛直分布測定結果と比較することによって流動シミュレーションの妥当性を検討する。

実測流速にみられる特徴として、上げ潮時の西向きの流速は顕著でありながら下げ潮時の東向き流速があまり明確に現れていない点が挙げられる。密度を考慮しない場合の計算結果 (図-12 (2)) と比較すると、この上げ潮時の流速は単純な潮汐運動から推測されるものよりもかなり大きいことがわかる。7月7日および8日の強い東風の影響も考えられるが、密度を考慮しない計算結果では表層に強い西向きの流れが現れているのに対して実測データでは表層よりも中層の流速が大きくなっている。一方、密度を



(1) 密度を考慮した計算結果



(2) 密度を考慮しない計算結果

図-12 浅場北側St. 0における流速計算結果

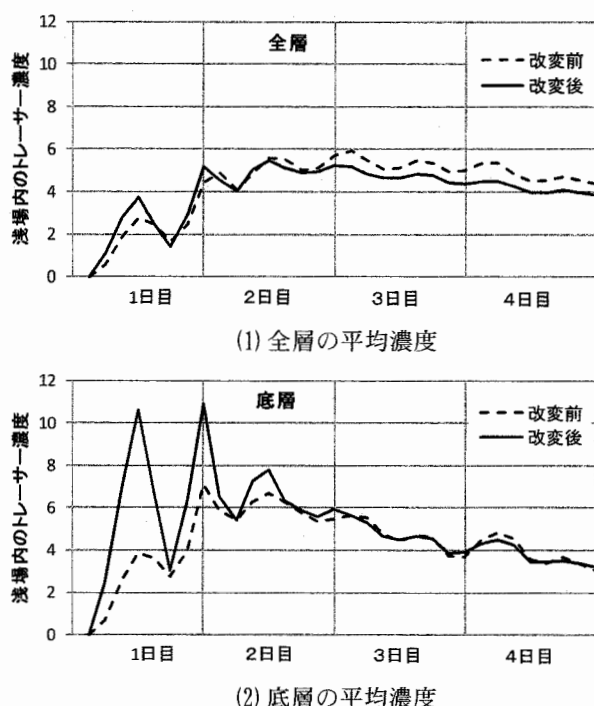


図-13 浅場内でのトレーサー濃度の変化

考慮した計算結果(図-12(1))では、初期条件で塩分躍層が存在した深度(平均水面下約1.5m;海底上約1.5m)を中心に大きな西向き流速が現れており、十分な再現性とはいえないまでも、実測データの特徴を表現しているといえる。

(3) 地形改変前後の海水交換状況の比較

トレーサー濃度の移流拡散状況に基づいて地形改変前後における浅場と周辺運河の海水交換特性を比較した。図-12と同じ4日間を対象とした計算流速場(密度を考慮)を用いており、出水の影響が小さい時期を想定した検討である。

地形改変は浅場部の北側を中心に行われていることから浅場の北側の運河との海水交換に着目した。図-13は、浅場北端よりも北側のA.P.-2m以深の領域に、沈降速度を持たない仮想物質を初期濃度100で瞬間投入し、その後の浅場内での平均濃度の変化を示したものである。図-13(1)は浅場内の全領域・全層の平均値、図-13(2)は各地点の底層濃度を浅場内の全領域で平均したものである。

全層平均濃度(図-13(1))で比較すると、1日目は改変後地形のほうが高濃度となっているが、2日目以降は低濃度となっている。地形改変によって、運河底層からの貧酸素水流入などの水質影響からの回復が相対的に早くなっている可能性がある。底層の平均濃度(図-13(2))に注目すると、3日目以降は殆ど差がなくなるものの、2日目までは改変後地

形のほうが高濃度となっている。これは、撤去された潜堤が運河から浅場底層部への水質影響を緩和する役割を担っていたためと考えられる。

5. まとめ

大森ふるさとの浜辺公園は、造成中より環境モニタリングが継続されている。今までの調査結果では、生物は周辺の運河より豊富に出現しているが、さまざまな要因により時々急減することが知られていた。さらに今回の調査では、干潟のM.W.L.付近で、淡水耐性の強いヤマトシジミ等の種が、当初分布していたアサリと交代していることがわかった。これは、この公園の潮間帯のM.W.L.より上の部分は大きく淡水の影響を受けることを示している。

この現象は、生物の急激な減少とともに2005～2006年ごろより出現種の増減とともに顕著になってきた。この時期における環境を変化させる要因としては、2004年の干潟・浅場・海浜の竣工により汚濁防止膜が撤去されたこと、および2006年12月に海浜の追加覆砂工のため土留潜堤を一部改(開口部を造成)したことである。

この地形改変によって浅場内の水深が小さくなること自体が貧酸素などの影響を緩和する効果を有している。流動解析によれば、これに加えて海水交換も良好となっている可能性が高いことが推測される一方、撤去された浅場外縁の潜堤が浅場内底層への水質悪影響の緩和に役立った可能性も認められた。

大森ふるさとの浜辺公園は現状の状態でも、貧酸素時に大量のマハゼが汀線付近に集まってくることも確認され、浅い水深が生物の生残に効果的であることを再認識させた。この意味では、本公園のオープンに先立ち実施した浅場の拡大は多くの生物にとって有意義であった。しかし、そのために土留潜堤に開口部が形成された。

今後、浅場の天端を上げる方向での改善・管理を進めることが管理上重要なことになるが、併せて作業終了時には潜堤も当初の設計による地形を復活させることがベストである。あるいはコストを考慮して、自立式の汚濁防止膜などによってこの機能を代替させることも視野に入れた改善も考えられる。

参考文献

- 1) 伊藤晴司朗：海と文化の再生を求めて、土木施工, Vol. 5, No. y, pp16-21, 2004.
- 2) 中瀬浩太, 金山進, 木村賢史, 山本英司：都市内湾域に再生された浅場・干潟の環境モニタリング, 海洋開発論文集, Vol. 24, pp765-771, 2008.
- 3) 東京都環境局：平成11年度水生生物調査結果報告書, pp365-429, 2001.