

小規模人工干潟における水質浄化機能及び 生物実態の推移に関する検討

木村賢史 今野 淳* 安藤晴夫
山崎正夫 齋藤 愛**

(*埼玉工業大学、**非常勤研究員)

要 旨

造成後1年4ヶ月経過した実験用人工干潟及び人工藻場における水質浄化機能や生物の生息状況を調査した結果、以下のことが明らかとなった。

干潟内外の水質調査では、PCODは干潟外の値より低くなる傾向がみられた。その原因として、干潟内での自然沈降や生物による捕食等の自然の浄化機能の発揮が推測された。

干潟内の生物の生息状況をみると、底生動物の種数は夏季に減少するものの、全般的には増加する傾向がみられた。夏季に減少する原因の1つとして、貧酸素水塊の干潟内への侵入が考えられた。底質別では、底生動物の種数は粒径の小さい山砂でやや多いが、多様度では粒径の大きい洗砂ほうが大きく、生息環境という点では洗砂のほうが優れていると考えられた。人工藻場でのワカメ、コンブ、海苔の生長実験を行った結果、当該水域でも生長が可能であり、それに伴い水中の窒素、りんも回収できることがわかった。ただし、当該水域の水温と塩分が生長の制約要因となっていることが推測された。

キーワード：人工干潟、人工藻場、底生動物、浄化機能、生態系修復

1 はじめに

本研究は、環境省の直轄事業である「自然環境活用型水環境改善技術実証事業」の一環として環境局環境改善部と共同して1999年から実施しているものである。本事業は自然環境を活用した新たな水環境改善技術について、具体的なフィールドにおいて実証施設を整備し、その技術の実用化について検証することを目的としている。本研究では、自然界が有する浄化機能を効果的に発揮する場（干潟と藻場の組合せ）を人工的に創造し、システム化することにより水環境の改善を図るとともに、生物の多様性の向上など沿岸水域における生態系の修復を進めることを目的に実施している。その結果いくつかの知見が得られたので中間的に報告する。

2 調査研究の方法等

(1) 実験施設

本研究は大田区の東京都立大井中央海浜公園内の地先に人工干潟と浮き藻場を一体とした実験施設(図1)を造成し、そこに生息する多様な生物の実態と、これら生物の食物連鎖等による水質浄化機能の推移を検討している。人工干潟は幅20m×長さ30mの馬蹄形の大きさで干潟は直径30~100cmの自然石の堤で囲み波浪による干潟の浸食を防いでいる。浮き藻場はロープと浮きで構成され、縦10m×横10mの大きさである。浮き藻場では冬季にワカメ、コンブ、海苔を植え付け生長実験を行った。

(2) 調査方法

調査は、図1に示す地点において表1に示す調査項目及び分析方法で実施した。

表1 調査項目・分析方法等

調査項目		調査回数	分析方法
水質	水温 溶存酸素 (DO) 塩分	4	YSI3800 自動測定器
	化学的酸素要求量(COD)		JIS K 0102 17
	全窒素 (T-N) 全りん(T-P)		オートアナライザー
	クロロフィル a フェオフィチン色素		海洋観測指針 9.6 吸光光度法 //
	粒度組成		JIS A 1204 ふるい分析
	強熱減量 (IL)		底質調査法 II 4
底質	化学的酸素要求量(S-COD)	底質調査法 II 20	
	硫化物 (T-S)	検知管法 (AVS)	
	底生動物	4	種の同定、種別の個体数・湿重量
生物調査	附着動物	4	種の同定、種別の個体数・湿重量
	魚類	3	種の同定、種別の個体数・全長・体長・体重
	海藻	2	ワカメ、コンブ、海苔の重量及びC・N・P含有量分析 (元素分析計、Pは底質調査法に準拠)

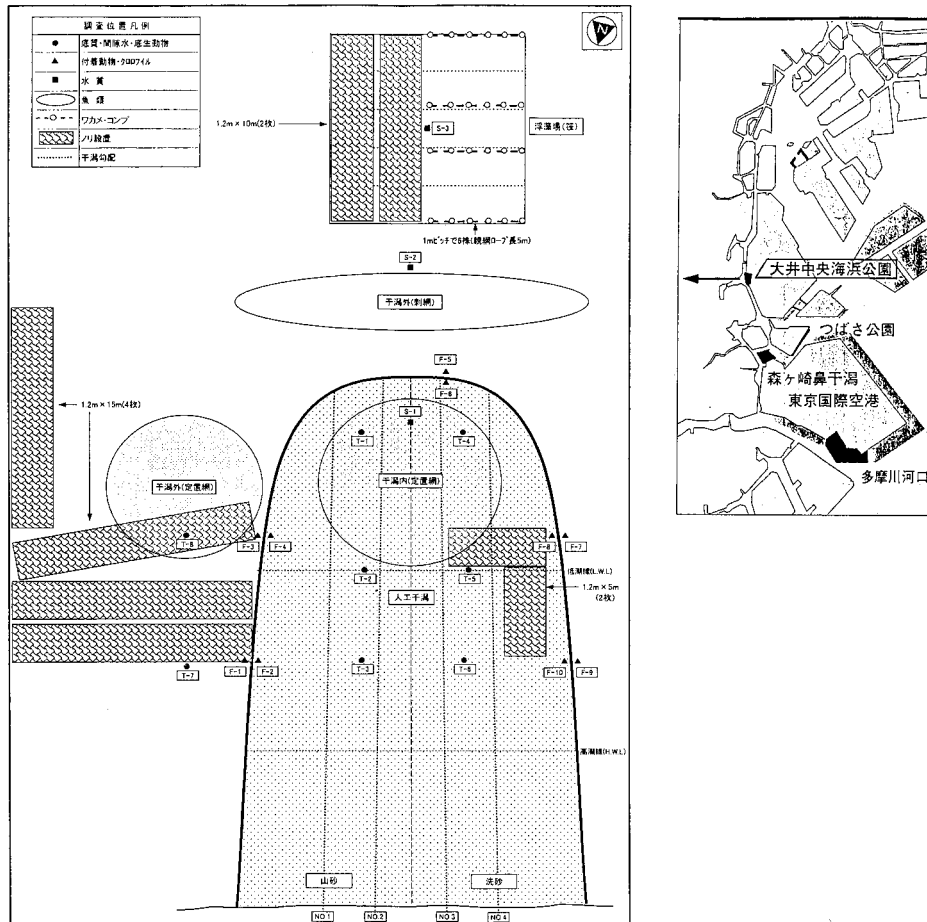


図1 実験施設の位置及び調査地点

3 結果及び考察

(1) 物理化学的因子の推移

① 水質の変化

干潟及び周辺水域の水質は、概ねCOD 3-8 mg/L、T-N 1.68-3.42mg/L、T-P <0.03-0.39mg/L、クロロフィルa 1-25 μg/Lの範囲で変化しており、プランクトンが繁殖する春季～夏季にピークになり、プランクトンの活性が低下する冬季に向けて減少する傾向がみられた。また、干潟内外でのCODの変化をみると、違いはほとんど見られなかった。干潟内では底生動物や付着動物による捕食、自然沈降等により懸濁性COD (PCOD) や懸濁性T-N (PTN)、懸濁性T-P (PTP) は干潟の外側に比べて減少し、溶解性T-N (DTN) や溶解性T-P (DTP) は、底生動物等による分解・排泄により増加する場合¹⁾²⁾と逆に干潟内が生産の場となり、正反対の傾向を示す場合⁹⁾¹⁰⁾とがあり、その傾向は干潟の状況によって異なる。

そこで、PCODの通日変化(図2)をみると、干潟の規模が小さいため明確には確認できないが、概ね干潮時には干潟内のPCODは干潟外の値より低くなる傾向がみられ、干潟内で自然の浄化機能が発揮されていることが推測された。PTN、PTPについては、干潟内外で明確な差はみられなかった。

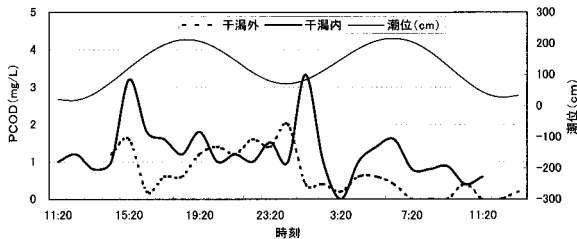


図2 懸濁性COD (PCOD) の通日変化 (2000. 8. 30-31)

② 底質の変化

底質中の有機物含有量の指標であるS-COD(図3)やIL(強熱減量、図4)の変化をみると、粒径(中央粒径0.5mm程度)の大きい洗砂のILは粒径(中央粒径0.2mm弱)の大きい山砂に比べて高目の傾向にあるのに対して、S-CODは逆に山砂のほうが洗砂に比べて高い。これは粒径が細かいため砂中の水交換が悪く還元的になりやすい。そのため、COD値に反映される被酸化性物質が洗砂に比べて高まり、それが影響したことによるものと考えられる。また、底質中のT-N、T-Pは、IL同様に洗砂が山砂に比べて高い傾向にあること

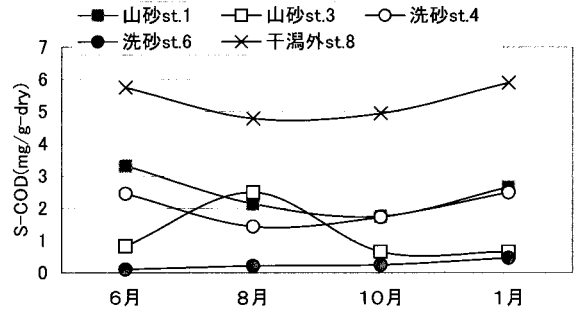


図3 底質CODの経月変化

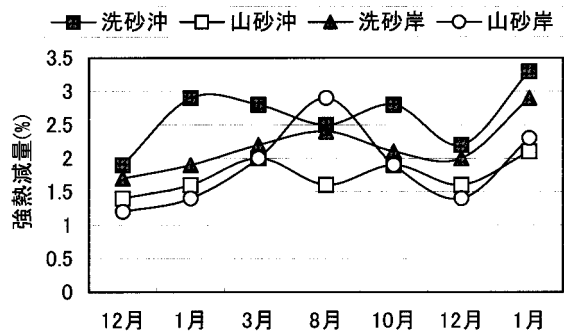


図4 干潟の底質別強熱減量の月別変化

から、粒径の大きい洗砂のほうが間隙が大きいため、鉛直的な光の透過量や酸素の供給量が山砂に比べて多く、光合成微生物や好気性微生物の鉛直的な生息範囲が広がり生産量が大きくなることによるものと考えられる。

このような傾向は、クロロフィル量についても報告³⁾されており、粒径が比較的大きい底質のほうが生産量の大きいことを示している。

干潟内の底質別粒度組成をみると、山砂では細砂が60-80%を占めるのに対して、洗砂では粗砂が70-80%を占め粒径の大きい底質となっているが、造成後1年2ヶ月を経過しても泥質化の指標となるシルト・粘土分はいずれも10%未満であり、汚泥の堆積する兆候は見られない。本水域は航跡波が大きいため比重の小さいシルト・粘土分は水中に拡散し、沖合いで沈殿するためと推測される。隣接する大井人工海浜では造成後23年経過しても砂質中心の底質であることから、本人工干潟でも砂質干潟が維持されると推測される。

(3) 生物的因子

① 底生動物・付着動物の推移

底生動物の種数(図5)は平成11年11月の造成以来、夏季にはやや減少するものの全般的には徐々に増加する傾向にある。夏季に減少する要因の1つとして貧酸

素水塊の影響が指摘できる。干潟内外における8月のDO(溶存酸素)の通日調査結果(図6)をみると、生物の生息に支障となる2mg/lを下回る貧酸素水塊が頻繁に発生していることがわかる。干潟外は潮の干満に関わりなくほぼ2mg/l以上のDOを維持しているのに対して、干潟内は満潮時に貧酸素になる傾向がみられる。これは、DOセンサーの設置位置に起因していると考えられた。干潟外ではブイで海面から約50cmの位置に吊るしたため常にDOの豊富な表層水を測定しているのに対して、干潟内ではDOセンサーを杭に干潟面から10cmの高さの位置に固定したため、満ち潮とともに水位が上昇し沖合いの底層の貧酸素水が干潟内に流入したことによるものと考えられる。なお、当該水域の近傍である京浜運河(勝島橋)で環境局環境評価部が1998年に毎月行なったDO濃度の変化をみると、7月~10月の下層のDOは$0.5\sim 0.9\text{mg/L}$と貧酸素水になっていることがわかる⁴⁾。

干潟の底質別の種数(図5)は一般的には洗砂に比べて山砂で多くなる傾向がみられるが、干潟外と比べると劣っており干潟環境が未だ安定していないことを示している。また、底生動物の門別編組比率(動物門別の全個体数に占める門別個体数の比率)をみると、ゴカイ等の環形動物がいずれの底質でも優占しており、

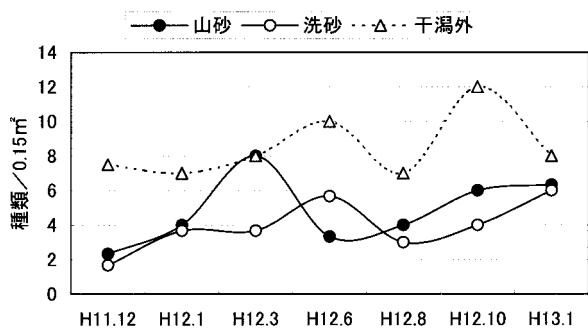


図5 底質別の底生動物の種数の変化

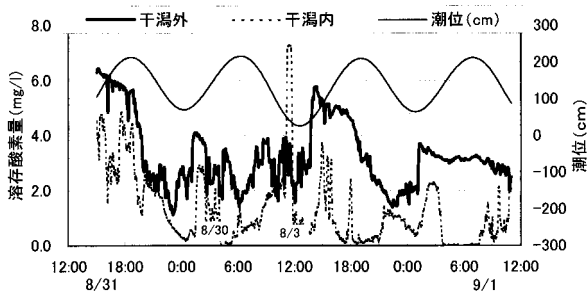


図6 DOの通日変化(H12.8.31-9.1)

山砂と洗砂ではその組成に大きな差はみられなかった。しかし、底生動物の多様性を評価する多様度指数(H')の変化(図7)をみると、一般的には洗砂の評価が山砂を上回っており多様性の確保という点では洗砂の環境は優れているといえる。これは、間隙率の大きい洗砂のほうが好気的な鉛直空間が山砂に比べて大きいため、多様な底生動物の生息を可能にしていることによると考えられる。好気的な鉛直空間の分布は、両底質における硫化物の鉛直分布の状況からも推測できる(図8)。また、地盤高別では、いずれの底質も地盤高が高くなるに伴い干出時間が長くなる等、生息環境が厳しくなるため種の多様性は減少する。特に、地盤高が高くなるとともに、ゴカイ等の環形動物の比率が高まり、山砂で地盤高の最も高い地点では100%環形動物で占め

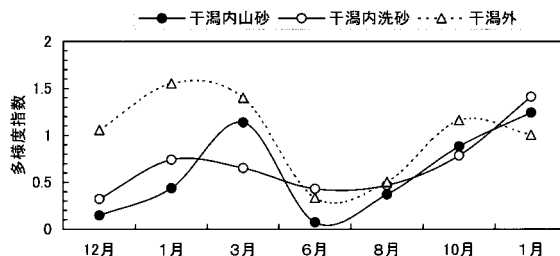


図7 底質別の底生動物の多様度指数(H')の変化

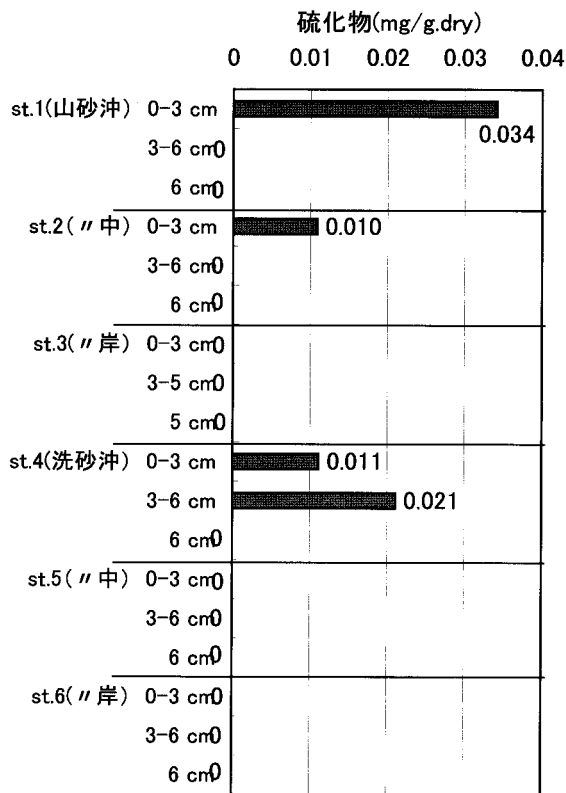


図8 人口干潟底質中の硫化物の鉛直分布(H12.8.30)

られていた。干潟における底生動物の主な優占種は、環形動物ではゴカイを中心にイトゴカイ、イトゴカイ科、甲殻類ではニホンドロソコエビ、ドロクダムシ科、二枚貝類ではアサリ、ホトトギスガイなどである。

付着動物の種数については、底生動物同様、造成後概ね増加しているが、水温の低下とともに減少する傾向がみられる(図9)。また、堤内外では特に種数の差はみられなかった。多様度指数(H')の変化では、多様度は比較的lowく、0.8~1.0の間でほぼ横這いで推移しており、堤内外でも種数同様、差はみられず安定していた。地盤高別では、底生動物同様、海水に浸っている時間が長い低潮線以深で最も多く、地盤が高くなるに伴い種数は減少するが、種数の季節別変動は低潮線以深で最も大きく、生物の生息には変化の大きい環境といえる。付着動物の主な優占種は、環形動物ではアシナガゴカイ、二枚貝類ではコウロエンカワヒバリガイ、ムラサキイガイ、イガイダマシ、甲殻類ではタテジマフジツボ、ドロクダムシ科、モクズヨコエビ科などである。

② 魚類等の生息状況

平成12年度に干潟内外で確認された魚類等は、干潟内ではウナギ、カタクチイワシ、マルタ、ボラ、スズキ、マコガレイ、ギマ、及びハゼ類のピリンゴ、マハゼ、チチブの10種、また同時に採取された甲殻類としてテナガエビ、トサカスジエビ属、ケフサイソガニ、チチュウカイミドリガニ等の6種に対して、干潟外の魚類はコノシロ、マルタ、スズキ、シマイサキ、クロダイ、及びハゼ類のヘビハゼ、ピリンゴ、マハゼ、アシシロハゼ、チチブの11種、甲殻類ではイッカククモガニ、チチュウカイミドリガニ、タイワンガザミの3種であり、確認魚類等の種数は干潟内が若干上回った。捕獲された魚類のほとんどは幼魚・稚魚であり、また

全体的にみるとカタクチイワシ、ボラ、スズキ等の回遊魚やテナガエビ等の淡水性の種も確認されており、当水域は淡水の混じる汽水域となっていることを示している。特に、干潟内ではハゼ類やテナガエビが多く捕獲されたが、これは餌となるゴカイが豊富に生息していることや干潟を囲む堤の間隙が隠れ場や生息の場となっていることに起因していると推測される。このことはハゼの成長状況からも推測される。調査期間中(6月~1月)に捕獲されたハゼは体長で1.41cm/月、体重4.55g/月の速度で着実に成長している(図10)。ハゼの標識放流実験を行っていないため断定は難しいが、少なくとも当該干潟及びその周辺水域がハゼの索餌・生息の場となっていると考えられる。

また、人工藻場でのコンブの成長実験では、コンブ林の中にメバルやギンポ等の稚魚を確認している。これらはコンブの葉体上に生息するヒゲナガヨコエビ科やドロクダムシ科等を捕食するために、或いはコンブ林を隠れ場として集まってきたものと考えられる。

4月におけるコンブ葉体1m²あたりの葉上生物の生息個体数はヒゲナガヨコエビ科で2,938個体、ドロクダムシ科で4,570個体にもおよぶ。

(3) 人工藻場での海藻の成長実験によるC, N, Pの回収量

人工藻場におけるワカメ、コンブ、海苔の生長実験の結果、冬季~初春の4ヶ月間でワカメは乾重で14,000

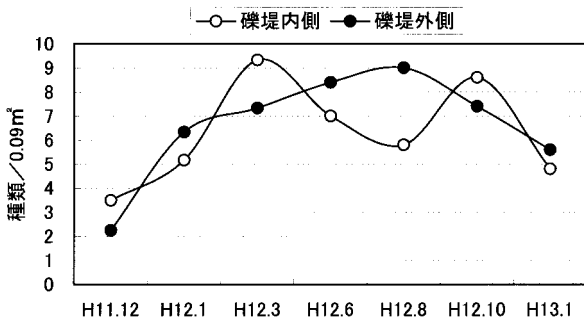
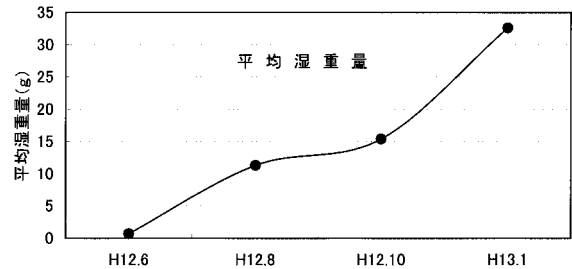
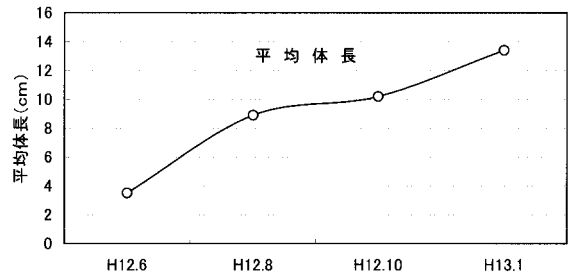


図9 礫堤内外の付着動物の種数の変化



注) H13.1の平均体長、平均湿重量は干潟近傍で捕獲された個体の値である。

図10 干潟及びその周辺で捕獲されたマハゼの体長、湿重量の推移

g/92株/100m² (152g/株、140g/m²) 生産され、それに伴いCで3,555g (38.6g/株、35.5g/m²)、Nで445g (4.83g/株、4.45g/m²)、Pで134g (1.45g/株、1.34g/m²) を回収することができた。同様に、コンブでは乾重で3,949g/24株/50m² (164g/株、78.98g/m²) 生産、それに伴いCで1,157g (48.2g/株、23.1g/m²)、Nで173g (3.46g/m²、7.20g/株)、Pで25g (0.5g/m²、1.04g/株) を回収した。また、海苔では乾重で8,023g/108m² (74.28g/m²) 生産され、それに伴いCで2,896g (26.8g/m²)、Nで493g (4.56g/m²)、Pで47g (0.43g/m²) を回収することができた。ただし、海苔については現場観察からヒドリガモ等の水鳥による捕食が極めて大きいと考えられた。干潟内の防鳥網を設けた一部の海苔網の生産量から全海苔網の生産量を推算すると、水鳥により全生産量の約90% (生産量で7,132g、Cで2,574g、Nで438g、Pで42g) が捕食され、系外に排除されたことになる。また、各海藻の単位当たりのC、N、Pの含有量を比較すると、平均でコンブはCが264mg/g-dry、N31.4mg/g-dry、P7.1mg/g-dry、ワカメはCが274mg/g-dry、N31.3mg/g-dry、P9.0mg/g-dryと、コンブとワカメはほぼ同様の含有量を示している。これに対して、海苔の含有量はCが378mg/g-dry、N62.8g/g-dry、P5.7mg/g-dryとCやNはそれぞれワカメやコンブの約1.4倍、2倍、逆にPは60~80%程度であり、C、Nでは含有量が多くPは少ないという特徴がみられた。

次に、海藻の生育条件を検討した。海藻が生育するための主要な要素として光量、水温、塩分、栄養塩類、流れが考えられる。当該水域の11年度の冬季~初春(11~3月：実験期間)の水質⁴⁾をみると、CODは2.2-5.0mg/l (平均3.7mg/l) であり、海苔養殖場の水産用水基準⁵⁾のCODOH 2mg/l (CODMn3.3mg/l) 程度、コンブ等の大型褐藻類の1.5mg/l未満⁶⁾と比べると良好とはいえないが、同時期の透明度は1.8~4.1m (平均2.8m) 程度あるため、海面下50cmに設けた浮き藻場では光量的にはほとんど問題ない。また、栄養塩類のN、Pは下水処理水も流入しているためT-N2.33-4.82mg/l、T-P0.166-0.304mg/lと豊富であり、水産用水基準⁵⁾の水産3種のT-N1.00mg/l、T-P0.09mg/lを大きく上回っており生育には十分である。したがって、当該水域では水温、塩分、流れが制約因子と考えられる。各海藻の最適な水温、塩分をみると、ワカメ⁷⁾では水温5-20℃ (適水温5-22℃)、塩分27前後、コンブ⁷⁾の水温

10-15℃ (適水温2-25℃)、塩分30以上⁶⁾、海苔⁸⁾で水温5-16℃ (適水温2-26℃)、塩分27-32.5 (適塩分25以上) である。また、海藻の成長には流れが必要であると言われているが、その理由については、栄養塩類の藻場内への供給などが推測されるが、詳しくは不明である。当該水域の流れは潮汐の干満による流れが中心である。

当該水域の11年度の冬季~初春(11~3月)の水温、塩分をみると、水温は上層12.6-20.4℃ (平均15.2℃)、下層10.7-20.3℃ (平均14.1℃)、塩分は上層27.6-30.8 (平均28.9)、下層29.5-31.6 (平均30.7) である。また、冬季の水温、塩分の通日調査結果 (図11) をみると、水温は5-14℃程度、塩分は25-28程度を維持しているが、干潮時の表層では15-20程度まで低下しており、各海藻にとって当該水域の環境は最適とはいえないものの、ある程度生育は可能な環境条件といえる。当該水域のコンブの生長(11月~3月)が最大でも2m程度に対して、コンブの産地岩手県近海では同期間で平均4m程度であることから推測される。

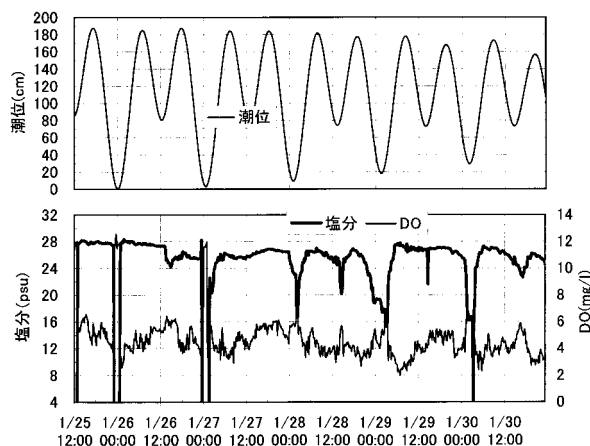


図11 干潟内における塩分・DOの通日変化(H13.1.25-30)

4 まとめ

造成後1年4ヶ月の実験の結果、次のことが明らかとなった。

- ①概ね干潮時には干潟内のPCODは干潟外の値より低くなる傾向がみられ、干潟内で自然の浄化機能が発揮されていることが推測された。
- ②通日調査の結果から、夏季には生物の生息に支障となる2mg/lを下回る貧酸素水塊が頻繁に発生していることがわかった。
- ③山砂に比べて粒径の大きい洗砂のほうが微生物の生産量が大きくなることが推測された。

④底生動物の門別編組比率をみると、ゴカイ等の環形動物がいずれの底質でも優占しており、山砂と洗砂ではその組成に大きな差はみられなかった。しかし、底生動物の多様性を評価する多様度指数（H'）の変化をみると、全般的には洗砂の評価が山砂を上回っており多様性の確保という点では洗砂の環境は優れているといえる。これは、間隙率の大きい洗砂のほうが好氣的な鉛直空間が山砂に比べて大きいため、多様な底生動物の生息を可能にしていることによると考えられる。

⑤当該干潟では回遊魚や淡水性の種など、幅広い魚類等が確認できた。特に、人工干潟及びその周辺水域がハゼの索餌・生息の場となっていると考えられる。

⑥海苔のC、N含有量はワカメやコンブの約1.4倍と2倍、逆にPは60～80%程度であり、C、Nでは含有量が多くPは少ないという特徴がみられた。また、水鳥により全生産量の約88.9%（生産量が7,132g、Cで2,574g、Nで438g、Pで42g）が捕食され、系外に排除されたと計算された。

⑦3種の海藻の生育にとって、当該水域では水温と塩分が制約因子になっていることが推測された。

謝辞：なお、本実験は環境省環境管理局水環境部の「自然を活用した水環境改善実証事業」の一環として実施したものである。本実験を進めるにあたり、ご支援・ご指導を賜った環境省各担当者様、また人工干潟の造成を担当された東京都環境保全局水質保全部計画調整課貝賀徹課長補佐、また、人工干潟の設計等で多大なご支援・ご助言を戴いた東京都港湾局開発部海上公園課石塚達雄課長補佐及び芳賀清貴様、さらにモニタリングでは貴重なご助言・ご指導を賜った特別独立行政法人国立環境研究所の木幡邦男先生、なぎさの森管理事務所の皆様、環境局環境評価部風間真理様、日本水環境学会事務局及び日本ミクニア（株）の皆様から感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 木村賢史・三好康彦・嶋津暉之・紺野良子・赤澤豊・大島奈緒子(1994)：人工海浜の浄化能について，東京都環境科学研究所年報1994，pp.89-101.
- 2) (社)日本水産資源保護協会(1992)：漁場保全機能定量化事業報告書—第I期とりまとめ—，pp.45-49.
- 3) 佐久間元成・國弘忠生・胡洪宮・後藤尚・藤江幸一・鈴木輝明・青木裕晃(2001)：干潟における微生物群集構造の解析，日本水環境学会年会講演集，p.256.
- 4) 東京都環境局(2000)：公共用水域の水質測定結果資料編（平成11年度）.
- 5) (社)日本水産資源保護協会(1995)：水産用水基準（改訂版），平成7年12月.
- 6) 栗原康編著(1996)：沿岸・河口域の生態学とエコテクノロジー，pp.161-172，東海大学出版会.
- 7) (社)日本水産資源保護協会(1983)：環境条件が魚介類に与える影響に関する主要因の整理，昭和58年3月.
- 8) (社)日本水産資源保護協会(1980)：水生生物生態資料，昭和55年3月.
- 9) 佐々木克之(1989)：干潟域の物質循環，沿岸海洋研究ノート，Vol. 26, No.2，pp.172-190.
- 10) 細川恭史・桑江朝比呂・三好英一・室善一郎・木部英治(1996)：干潟実験施設を用いた物質収支観測，港湾技研資，No.832，pp.3-22.