

内湾浅海域における底生生物の分布予測の試み

古川 恵太*・桑江朝比呂**・細川 恭史***

1. はじめに

干潟や浅場といった内湾浅海域の生態系は、港湾工事や埋立てに伴う地形改変の影響を直接間接に受ける可能性がある。そうした生態系と共生し、持続可能な開発を行っていくためには、生態系の保全、再生、創造のための技術開発が必要である（エコポート（海域）技術 WG, 1998）。そうした技術開発のひとつとして、内湾浅海域の生態系の機能を発現させている生息生物群集構造（生物種構成）の予測技術の確立があげられる。生物の棲み分けは、その支配要因となる物理化学環境にある程度対応させて説明することが可能である（例えば、堀越・菊地, 1976）。しかし、生息生物の生活史、競合生物との交代などの影響により、環境条件と一意の関係で個別の生息生物の分布予測を行うことは困難である。

そこで、本研究では、まず、現地観測によって湾奥部の干潟・浅場域に生息する底生生物の群集構造に着目し、その変動特性、支配要因を整理した。つぎに、重回帰分析をもとにした底生生物分布予測モデルにより、波・流れといった物理的環境条件とともに、底質環境を代表するパラメータから、底生生物の棲み分けを推定する手法を提案し検討した。

2. 現地観測および場の特性の抽出

(1) 観測手法および観測項目

現地観測は東京湾奥部に位置する市川塩浜地先の浅場・干潟域で行われた（図-1；古川ら, 1999）。現地は、3方を埋立地で囲まれた幅 4 km、奥行き 2 km、平均水深 2 m 以浅の干潟・浅海域（瀬）とそれに面する水深 10-15 m の東京湾奥部海域（湾奥）からなり、瀬の内部は非常に平坦で、大潮時に干出する干潟が局所的にある他は、低潮面より低い地盤高であり、底生生物としては、二枚貝やゴカイの仲間が多く見られる。

調査内容は、瀬の代表点 3 点と湾奥 1 点（図-1：A-D で表示）に係留系を配し、水深・流速・波浪・水温・塩分・

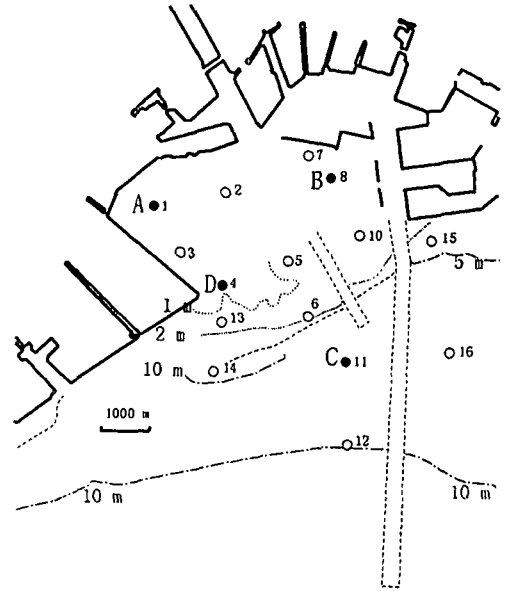


図-1 観測場所および測点の概要

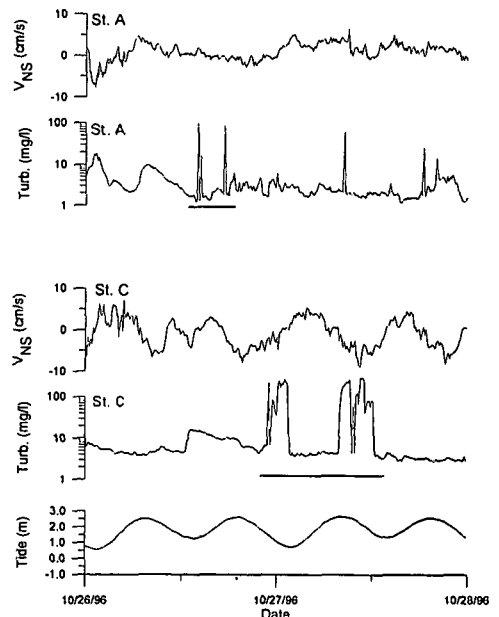


図-2 流速および濁度の観測例（1996 年 10 月）

* 正会員 工修 運輸省港湾技術研究所海洋環境部
** 農修 同上
*** 正会員 工博 運輸省港湾技術研究所海洋環境部長

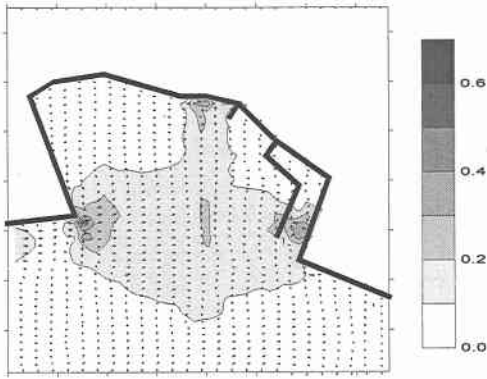


図-3 計算された潮汐残差流 (単位 m/s)

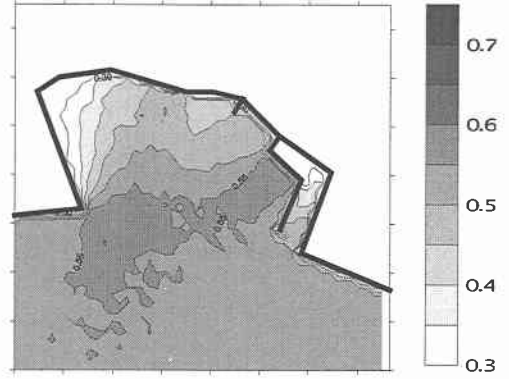


図-4 計算された波高分布 (単位 m)

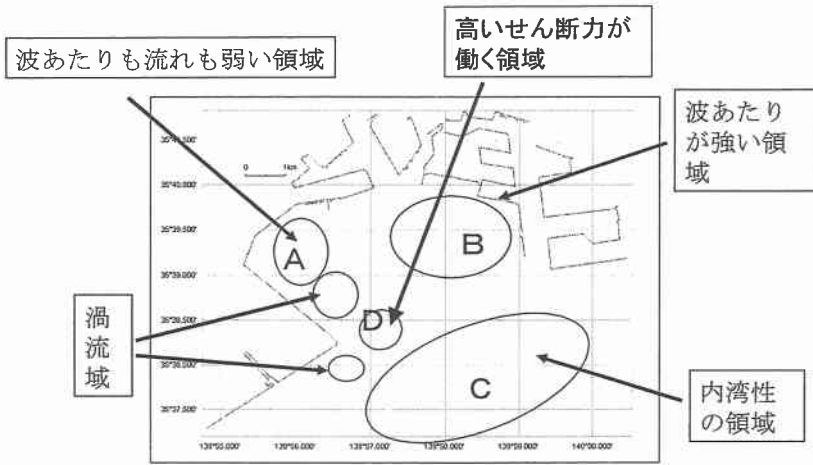


図-5 流れと波による海域のゾーニング

濁度・DO等といった物理化学環境因子の連続観測を行うとともに、瀬・湾奥16点における底生生物分布、底質分布を測定した。底生生物は採泥器で表層5cmの底質を採取し、1mmふるい上に残るマクロベントスについて、種類、個体数、湿重量を測定した。底質の測定項目は、pH、TOC、T-N、T-P、強熱減量、含水率、COD、クロロフィルa、フエオ色素等である。

観測は、1995年度に2回(2, 3月)、1996年度に3回(10月2回, 2月)、1997年度に3回(6, 8, 2月)、代表的な季節・イベント(季節風、青潮)発生時期での観測を目指して合計8回行われた。

(2) 支配外力について

1996年10月に観測された流速および濁度の観測例を図-2に示す。湾奥部で水深の深いSt. Cにおいては、±6 cm/s程度の振幅を持っている底面近傍の潮流成分が浅場域内部のSt. Aにおいて±4 cm/s程度の振幅に減衰している。また、その流れはおおよそ180度の位相差を持って伝播している。そうした流れによる影響として、

St. Aで発生した高濁度の水塊がおおよそ半日でSt. Cに到達している(潮汐残差流に等しい10 cm/s程度の移送速度)現象が観察できる。この高濁度の水塊が発生した原因は、台風23号が小笠原諸島沖を北上した後の強い北風によると考えられ、浮遊砂の原因が波であることと、潮流成分による移流が卓越することなどが推定できる。なお、塩分や溶存酸素の鉛直構造の観測結果から、降雨後の顕著な塩分低下は観察されず、河川からの淡水流入の影響は少ないと推定できた。

(3) 波・流れ場の再現計算と場のゾーニング

この浅場域にとって波・流れ場が支配的な外力となり得ることが前項の検討で確認されたが、観測点が疎であるので、生物分布の状況と対比させることが難しい。そこで、数値計算により波・流れ場を再現し、その結果を用いることとした。ただし、数値計算による波・流れの再現は、現象の定量的な正確さよりも、計算の容易さを重視し、波については高山法(高山, 1981)、流れについては単層のADI法(金子ら, 1975)による計算を個別に

行った。その単純化の根拠として

- ・浅場内の水深は、航路を除いて1~2 m程度で大きな起伏がなく、水深変化による影響が卓越しないこと。
- ・埋立地による波の遮蔽域があり、回折波や多重反射を考慮する必要があること。
- ・夏季に成層化しているが、高波浪等により月2回程度のかく乱で水塊が完全に混合すること。

などがあげられる。計算結果を図-3, 4に示す。また、この2つの計算結果を合わせると、この浅場周辺海域の特性は、図-5のように、波あたりと流れの強さでおおよそ5種類くらいに区分することができる。すなわち、①波あたりも流れの弱い浅海域奥部の領域、②埋立地を回り込む流れが作り出すシアーにより底面せん断力が強く働く部分、③それを取り巻く渦領域、④波あたりが強い領域、⑤水深が深く湾奥部の水塊を持つ内湾性の領域としてゾーニングが可能である。

(4) 底質分布と生息生物種の対応

こうした波・流れの場が底質の分布や底生生物の生息にどのように影響しているかを概観するため、平成8年10月のデータを用いて、予備的検討を行った。

図-6, 7は、背景の塗りつぶした等高線で底質COD濃度および砂分(粒径2~0.42 mm)の含有割合を示し、その上に、生物分布の特性を重ね書きしたものである。底質CODの分布を見ると、前項の(3)として分類された渦領域に重心を持っていることが判る。つまり、移流されてきた有機物やシルト分などが渦領域でトラップされ堆積した結果としての分布と考えることができる。一方、砂分の含有割合の多い領域は、前項の(2)に分類される底面せん断力の大きい領域であり、せん断力により粘土・シルト・細砂分が流されてしまった結果と考え

ることができる。このように、三番瀬は、底質の性状と波・流れの外力の対応が非常に高い場所として、位置付けることができる。それは、浅瀬内での水深がほぼ一様であること、有機物の負荷の偏りを生じるような局所的な負荷源が存在しないこと等が原因で、波・流れといった物理外力が優先する場となっているからである。

この底質分布に、図-6にはゴカイ・ニナの分布域、図-7はアサリ・スピオの分布域を重ねてある。この分布を底生生物の摂食様式から説明を試みる(奥谷ら, 1997; 風呂田, 1996等)。ゴカイ・ニナは底質表面を舐めたり、呑み込んだりして有機物を摂取する。したがって有機物が高く含まれるCODの高濃度域に分布していることが説明できる。また、アサリ・スピオは水中に懸濁する有機物をろ過して摂取するので、流れが速く、多くの懸濁物を捕獲できる可能性のある流れの速い領域に分布していることが説明できる。それに加え、アサリ・スピオは砂質の底質にもぐって生息するため、底質が砂質であることも重要な分布要因の一つである。この二つをあわせると波・流れともに強く作用する領域がアサリ・スピオにとって適地であることが判る。

(5) 底生生物分布の因子分析

前項で、便宜的に底生生物をグループ分けしたが、このグループ分けの概念を用いて生息生物を区分することを考える。個別の生物分布の季節変動を観察すると

- ・環境変動の激しい場所に卓越し、更新速度の速いr戦略型の生物(ミズヒキゴカイ等)の個体数の変動は小さい。
- ・環境変動の小さい場所に卓越し、更新速度の遅いK戦略型の生物(アサリ等)の個体数の変動は大きい。ただし、同じニッチェを好む種(リンコスピオ等)も1

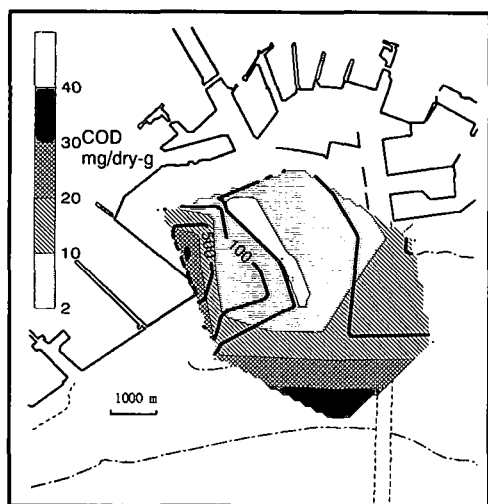


図-6 底質CODの分布とゴカイ・ニナの分布域

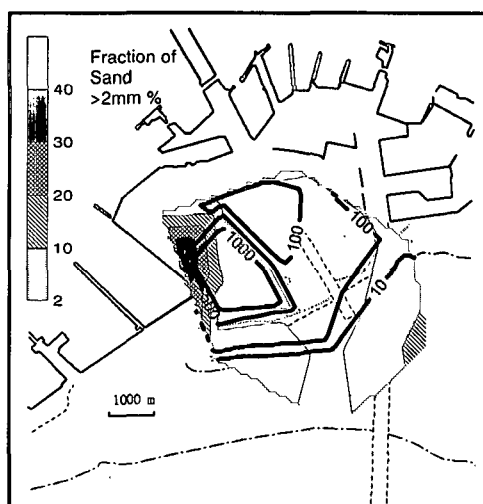


図-7 砂分の含有割合とアサリ・スピオの分布域

表-1 全観測期間における底生生物分布を考慮した個体数分布の因子分析結果

因子	構成生物 (学名, 和名, 備考)			
1 (盤洲干潟岸側)	Rhynchospio sp. リンコスビオ	Ruditapes philippinarum アサリ 砂中に棲み、海水をろ過して 有機物を摂取す	Psuedopolydora sp. スビオ	Paraprionospio sp. ヨツバケスビス 汚濁指標種
2 (干潟実験施設)	Cirriformia tentaculata ミズヒキゴカイ 泥を粘着させた管に棲む、 海水中・海底上の微小生物 を餌とする	Grandidierella japonica ニホンドロソコエビ 共生するものもある	Musculista senhousia ホトトギスガイ イガイの仲間	
3 (泥干潟)	Capitella capisata. イトゴカイ	Nebalia bipes コノハエビ 汚泥中に棲み、腐肉に集まる	MOLGULIDAE マボヤ 汚水にも耐える	Ophiodromus sp. オトヒメゴカイ 自由移動性の多毛類
4 (盤洲干潟沖側)	Petricolinus aequistri シオツガイ	Crepidula onyx ニナ	ACTINIARIA イソギンチャク	

表-2 重回帰分析結果 (標準回帰係数)

	第1因子	第2因子	第3因子	第4因子
水深	-0.376	-0.125	0.11	0.141
有義波高	0.309	-0.834	-0.967	-0.632
最大流速	0.517	0.626	0.8	0.641
クロロフィル量	-0.024	0.14	0.155	-0.177

つのグループと考えると、変動は少なくなる。

という特性が期待できそうであった。

そこで、各観測期間毎に、底生生物の平面的な個体数分布を元に因子分析を行い、各季節共通の因子が抽出できるかどうかを検討した。その結果、表-1に示ような共通因子が抽出された。因子の抽出方法は、以下の通りである。まず、各測点における個体数分布に1を加えたものの常用対数を取り、主因子法で因子分析を行う。次に、各因子分析結果から、正規化された得点が0.9以上の種を因子の主構成生物として抽出する。各観測時の因子毎の主構成生物を比較し、共通で現れる生物を手がかりに、全観測期間で共通に現れる因子を決定した。

生物の特性を考慮せずに因子分析を行ったにもかかわらず興味深い因子が抽出された。すなわち

因子1：流れの卓越する砂質に生息する生物

因子2：かく乱の少ない締まった砂質に生息する生物

因子3：泥質に生息する生物

因子4：波の卓越する砂質に生息する生物
に棲むグループであると解釈された。

3. 底生生物分布予測モデルの構築

(1) 重回帰分析による関係付け

前章において物理環境が底質分布を支配し、ひいては底生生物分布にまで影響していることが推察された。また、底生生物を因子分析を元にしたグループ分けすることによって、より場の特性と対応のつきやすい形での整理が可能となる事も判った。そこで、物理環境や底質環境を独立変数とし、底生生物の各因子を説明変数とした重回帰モデルを作成することとした。

重回帰モデルを構築する際には、お互いになるべく独立な変数を説明変数として採用する必要がある。また、モデルの簡便さを保つためにも、入手しやすい情報の中

から、できるだけ少ない説明変数でモデルを構成することも重要である。

物理環境として計算された有義波高・最大流速、底質環境として水深を含む全測定項目を対象に相関解析を行った。その結果、

- ・栄養塩類と有機物量の代表値(COD, 強熱減量, シルト含有量)等はお互いに高い相関を持つとともに流れの強さと逆相関を持つ

- ・砂分の含有割合は波高分布と高い相関を持つ

- ・クロロフィル量とフェオ色素量は他の底質分析項目と高い相関を持たない(相互には相関を持つ)

等が判ったので、水深・有義波高・最大流速・クロロフィル量を説明変数とすることとした。

多変量解析結果を各説明変数の寄与率を見るために標準回帰係数で示すと、表-2のようになる。例えば、因子1については、流速・波ともに正の回帰係数となっており、流れが卓越した場であるという解釈が成り立ち、2.(5)で検討した内容と矛盾しない。

(2) 底生生物分布予測モデルによる再現計算

1996年10月の現地観測により得られた底生生物の因子1の分布は、図-8のようになっている。南西から伝播してくる波浪による帯状のピークと、西側埋立地隅角部周辺の強い流れの影響で生じる独立したピークが生じている。

数値計算により有義波高・最大流速を推定し、水深とクロロフィル量を観測値によって与えた場合の因子1の

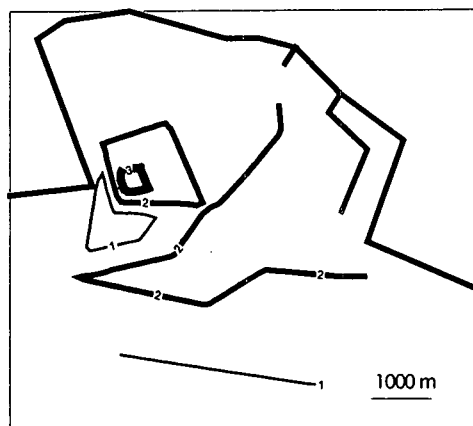


図-8 観測された因子1の底生生物分布

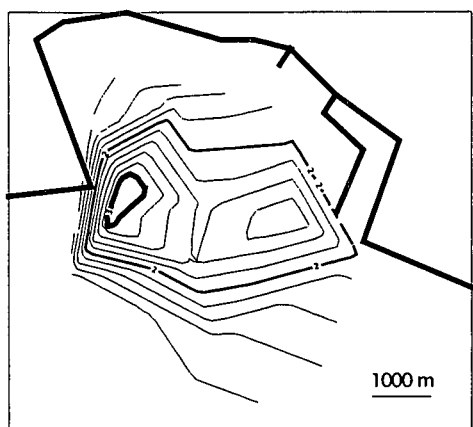


図-9 モデルで推定された因子1の生物分布

推定値を図-9に示す。2つのピークが明瞭に分離されていない等の細部の構造を失っているものの、全体的としては定量的に分布を再現できている。このことは、重回帰モデルの相関係数が0.83であることを反映した結果で、妥当なモデルの構築ができたことが確認された。

この1993年10月のデータで校正されたモデル定数を用いて、底生生物の因子1の季節変動を計算したものが図-10である。水深・波浪・流れの条件は一定のまま、クロロフィル量だけ観測値を用いて計算を行った。ただし、平成8年前半の観測においてはクロロフィルの観測値がなく、予測計算を行っていない。結果を観測値と比較すると、観測値のほうが季節的な変動が大きい事が判り、このモデルでは、季節変動を十分に再現できていないことがわかる。しかし、平均値での比較をすると、良好に再現されている。

6. おわりに

本論文で得られた主な結論を列挙する。

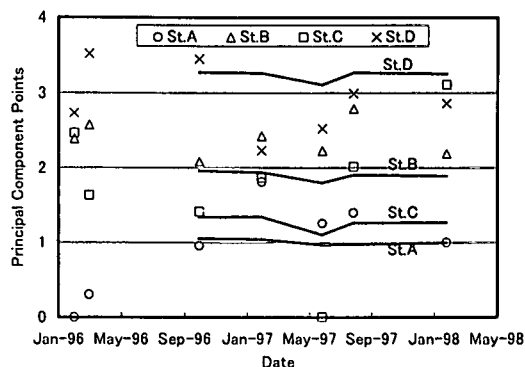


図-10 実測のクロロフィル量を用いて計算された因子1と観測値との比較(実線が計算値, プロットが観測値)

(1) 環境勾配の激しい浅瀬・干潟域を、物理環境から分類すると、波・流れの特性の違いにより分類することができ、その物理環境の勾配に対応した底質環境の勾配が観測された。(2) その分布は、場所的に変化しているだけでなく、季節的・時間的にも変化することが示された。(3) 底生生物は、分布を元にした複数種からなるグループ分けが可能であり、グループ分けすることによって、単独種のみで検討するよりも明確に環境との対比が可能となった。(4) これらの知見をまとめ、物質循環を含めた物理環境因子を考慮した生物分布予測のためのモデルを開発し、その適用例を示した。

今後、適用範囲の拡大のために、モデルの精緻化、モデルの検証方法の検討が必要であると考えている。

なお、本研究を進めるにあたり、ご協力いただいた運輸省第2港湾建設局、千葉県漁業連合会、市川市行徳漁業協同組合、南行徳漁業協同組合、船橋市漁業協同組合の方々にお礼申し上げます。

参考文献

- エコポート(海域)WG編(1998): 港湾における干潟との共生マニュアル, 財団法人 港湾空間高度化センター 港湾・海域環境研究所, 138 p.
- 奥谷喬司・武田正倫・今福道夫編(1997): 日本動物大百科第7巻無脊椎動物, 平凡社, 196 p.
- 金子安雄・堀江毅・村上和男(1986): ADI法による潮流と汚染拡散の数値計算, 港湾技術研究所報告, 第14巻, 第1号, pp. 1-61.
- 高山知司(1981): 波の回折と港内波高分布に関する研究, 港湾技研資料, No. 367, 140 p.
- 古川恵太・桑江朝比呂・細川恭史(1999): 干潟環境調査一環境条件と生物分布一, 港湾技研資料, No. 947, 91 p.
- 風呂田利夫(1998): 干潟底生動物の分布と摂食様式, 月刊海洋, 第25巻, 第2号, pp. 166-177.
- 堀越増興・菊地泰二(1976): 第II編 ベントス, 海洋科学基礎講座5 海淵・ベントス, 東海大学出版, 451 p.