

1. はじめに

土木事業が大規模化するにつれて、土木事業による影響は無視しえないほど顕著となつてきている。今日もど日本各地に見られる公害問題・環境問題からもこのことは見られる。この種の問題は、特定の影響発生源が明確なわけ、という場合を除いて、多くのものは多種多様な発生源と多種多様な被影響者との存在による結果であるという点に特徴がある。したがって、このことば問題の解決を一層困難にしているものと思われる。一方、大規模土木事業による影響は、時間的にも空間的にもその範囲を拡大する傾向にあるため問題は層深刻になっている。さらに開発の保全の問題も顕著に発展しているところは周知の事実である。しかし、もう一度よく考えてみると、過去に経験しながら、大規模土木事業についてのより深い考察の不足があったのではないかとと思われる。これを加えて、将来にわたる影響の不確実性が問題への対応を遅らせてきたものと思われる。

そこで、この種の問題解決に対する補助手段として現在いわれている環境アセスメントなるものが登場してきたものといえる。環境アセスメントは、第1に政策決定の上で解決を促すための環境保全政策と計画の中に取り入れる総合評価手法として開発・研究され、その起源をテクノロジー・アセスメントにも、という。第2に、情報利用の過程で大きな弱点となる情報の不確実性を分析し評価しようとするものである。その具体的な手法が開発されているが、ここではそれらの記述を省略する。各種の環境アセスメント手法は、それぞれ特徴があつて最良の方法と指定することはできないが、その有効性の実証は今後に残る。

さて、本考察では大規模土木事業のなかで港湾開発による惹起される海岸生態系の影響についての環境要因分析を例にとり、みる。従来、港湾開発による影響に関する研究は、経済性、社会性についてなすものが中心のであつて自然系に関しては特に重点的ではなかった。しかし、港湾開発による直接的・間接的影響が、海岸生態系にとってマイナスのものであれば、移動することによつて適当な場所へ移動できることなどにより、この課題を避けては行かない。なお、ここでいう海岸生態系とは、漁業活動の対象となる魚類・貝類を意味する。

本考察の目的は、開発行為による多くの原因系と結果（海岸生態系の順応性）とを抽出し、林の数量化理論Ⅱ類を用いて環境要因分析を実証的に行い、港湾水域とその周辺の水産生物に関する影響予測と提案しようとするものである。そして、大規模プロジェクトへの導入に関する考察をする。

2. 港湾開発と環境アセスメント

港湾に対する関心は、他の都市問題、交通問題と比較してポテンシャルが非常に高いといえる。しかし、日常生活・経済基盤となる重要な施設であることは明白である。多くの物質や情報がターミナル（港湾、空港、トラップターミナル）を経由して需要地と供給地とに往来している。この港湾と他の諸施設との有機的結合による一体化利用をはかることによつて、より有効な利用がなされる。今後は、さらにソフトな思考によりこうした施設のより効果的な利用法が考えられていくだろう。けれども、そのような方向をとることによつて、良い影響、悪い影響が周辺地域あるいは広域に及ぼされる。この場合においてやはり効果と犠牲とが互いにかつた尺度によつて比較衡量されることには否きないと思われる。もしも犠牲が効果と比較して極端に大きければ、その開発行為が却却されるだろうが、それは上つの代替案である。

一方、環境アセスメントについてはまだ簡単な述べが、港湾開発と環境アセスメントとを結びつける研究は、現在稀な事例によるもの以外に殆ど見られずべきものがある¹⁾。この研究は、港湾計画のもつ特徴と環境アセスメントの具

備すべき条件を述べたのち、計画の階層性、影響範囲および影響時期に注目し、そのほかのいくつかは環境アセスメントのあり方も論じている。さらに、現在この方面に欠けている用語を統一的に定義し、インパットの反播をシステムの把握にしているところの特徴がある。つまり、インパットの反播を P, Q, R, S, T マトリックス M により表示し、影響相互間の精密化を行っている。しかも、地域特性を考慮するマトリックスの導入により、その地域が要求する計画がなされるような港湾計画の相互の方法が提案されている。しかし、この方法と順々進め、環境アセスメントを行なうとすれば、現在の知識では不明確になるであろうといえるところがあり、現段階ではまだ実用的でないと考えられる。本邦では、主眼の方法を受けて分析を行なっているものがあるが、環境影響因子の予測がなされるものとこれと異なる点で海岸生態系と直接の結果が得られて環境要因分析を行なっている点がある。この点の方法は、短絡的であり、しかも過失を犯して実証的側面がみられる点の欠点がある点が多いと思われるが、個々の環境影響因子と海岸生態系との関係により、海岸生態系への影響を予測するよりも現実の水産生物の分布を明らかにする点で知られた方法であると考えられる。さらに、影響の大きい環境影響因子を発見することによりこれを制御する技術的対応策を立てるための方向を見出すこともなると思われる。いずれにしても、この種の研究は緒をついてはばかりで今後とも改良を求めねばならぬ。

3. 環境要因分析の前提

港湾水域の環境を評価する場合、物理・化学的な計測値が使用されることも多い。しかし、環境全体を表現するものは個々の計測値だけでは不十分である。一方、港湾水域に生息する生物は、その生息する環境の状態により支配されるため、生物の生息状態により環境を表わすことも可能である。これは物理・化学的な変化の原因系を、生物でも、総合的に評価して評価する方法であるといえる。これは、従来の生物に関する影響の研究の単一の刺激-反応系のパターンをとり、それ個々の成果から総合的に評価を加えるという方法に対しては多くの刺激-反応系のパターンによる総合的な評価のより実地的であるという点において優れていると思われる。たとえば、水産生物に対する「水産用水基準」や「生活環境の保全に関する環境基準」などは特定の測定項目のみで生物に対する環境を評価しているが、実際には多くの環境影響因子が作用して相乗的な効果を表わしているものと考えられる。そこで、生物相全体のもつ環境の指標性はそれを受ける影響が直接的・間接的であり、その時間的・空間的影響と総合的なものであることを包括的にとらえる。しかし、このような生物相全体のもつ環境の指標性で環境アセスメントの評価に用いるためには環境変化による生物相全体の影響をいかにメカニズムで明確に示す必要があるためこの解決は重要な課題となる。一方、従来の開発行為による生物相全体への影響については、たとえば水産生物に対しては補償を前提とした問題解決がなされてきたが上記の生物相全体の影響変化のメカニズムに対する調査・考察が不十分であり、このため、それら記述方式のみで終るということが多く、結局、この方面の研究を遅らせる結果となる、とも考えられる。こうした遅れもとりもたずために、今後、生物の変化を予測するための長期間調査や実地実験を行い、生物変化の実態把握と予測手法の確立が望まれる。こうした方法でも、それでも生物種は乏しいため、全数調査を行うには費用や時間の制約から調査の対象となる生物は限定せざるを得ない。したがって、順序としては代表的な生物群の追求の方法の確立を行ない、さらに実用的な生物群を洗選していくこととなる。このような方法の成果を期待するところである。この点が必要となるためこの点に代りうるものとして、本邦では漁業の対象となる水産生物を用いることにより、これは、「漁業統計」(農林省発行)や各都道府県水産課の統計などによる漁業漁獲の漁獲量が統計値として公表されている時系列データが入りこむという理由からである。しかしながら水産統計も漁獲の採捕場所が不明であるため行動範囲の大きい漁獲については採捕時の状況のみしか知らないことと社会的需要および漁業経営形態の急変が加わっているなどの欠点がある。したがって、特殊な場合を除いては漁獲状況がその漁獲の状況を一面的に示しているのみである。そのためにも、漁業対象生物は生物相の構成要素であり、かつ漁業に対する環境アセスメントの構成要因とすべき場があるため開発行為による影響評価に欠かすべからぬ。

と思われる。そこで、本考察では海岸生態系の構成する生物群を漁業対象生物と選り、こゝが港湾建設および港湾建設後の利用活動によって影響を受ける程度を予測する方法を試み、具体化する一方法と述べる。

4. 数理化理論Ⅱ類による環境要因分析

環境因子は、環境に直接インパクトを与える社会的活動と原因として直接発する物理化学的状況であるが、これらが2次的、3次的に人間的生活に直接関係する環境事象に影響を与える。港湾開発の場合、変化の予想される環境因子の中から漁業対象生物の量および質の指標とする漁獲量および品質に影響を与えるものを選び、作業から始めなければならない。この環境因子の選りには、一般に魚の呼吸の大きさ、魚の食餌の要求、魚種のための要求ある条件のみとされる必要であるといわれているが、本考察では表1のような環境因子を選び出した。これらの環境因子は絶対的なものではなく今後とも検討が加えられて追加、削除されるものもあるが、環境因子の個々のものについてはこれ以上言及しない。

次に、環境因子の大きさが環境事象に影響を及ぼす過程は諸々の生物相の変化が介在しているが、その関係は物理化学的な定量的測定尺度では把握がたい。そこでこの環境因子の変化の大きさを一定のランクに分け、ランク分けの代表値でその量を表す。ランク分けはその変化の大きさを適く、で影響度と相違が現れるようになっている方法と分けることが望ましい。影響度についても同じく影響が、① 軽微である、② ロク強い、③ ヤ強い、④ 非常に強い、といくように定性的なものでも定量的なものでも分類してランク分けで表すということである。ここで注意を要するのは、環境因子の変化は開発行為による環境への1次的な影響という客観的・物理化学的の量を示す指標である、でも変化が大きいからといって必ずしも影響が大きいとはいえないことである。たとえば、工事業者が魚が逃げても、その港湾水域で漁業が、なく営まれる、ならば、影響はゼロ、それはその他の間接的な影響を考慮しても軽微であると判断される。しかるに、本考察では、このような分類として観測資料が得られぬ場合、環境因子の組合せから環境事象の影響の程度を予測する方法について述べる。

一般に隣り合う要素(母集団の要素)の属するグループを予測判別するにめくは、そのグループ所属を決定すると思われるいくつかの説明要因をあらかじめ抽出し、こゝの測定結果の複雑なパターンから必要な総合的判断基準をつくることを要求される。説明要因の測定結果と判別グループとの関係が総合的な定量的関係として与えられておらずには何らかの形で各現象に最適に数量化してその結果得られる上りの総合数値をも、そのグループ判別の基準とあるべきである。こゝは各現象に数値と分ける際、判別の効果が最大になるよう数値的臨作性に基づいているもの、以下に述べる林の数理化理論もその上である。

1) 標本の説明要因およびグループ判別が分類として与えられている場合には数理化理論Ⅱ類を用いてこの判別予測を行う。すなわち、定式化が必要となるほどに到達するところから、

仮定 1 : 各環境因子相互間には影響変化を及ぼすことがある(環境因子の相互性)。

仮定 2 : 2以上の環境因子が同時に作用して環境事象の変化をもたらし得る場合でも、その事象の影響変化量は各々の因子が独立して作用するところと異なるといふ(環境因子～環境事象関係に相乗効果はなく、環境因子相互にのみ作用を及ぼす)。

表1. 環境因子とランク値

環境因子	ランク値	1	2	3
1 工事開発区域		なし	工事区域	
2 港湾・航路開		なし	港湾・航路区域	
3 空中音	30ホン以下	30～70ホン程度	70ホン以上	
4 水中音	小型スリッパ音以下 中型50～70ホン音	大型スリッパ音 中型50～70ホン音	打ち機音以上 中型50～70ホン音	
5 におり	変化の結果透明度 以上となる	変化の結果透明度 0.5～1.0程度	変化の結果透明度 1.0以上	
6 波浪	変化の結果 波高2m 以下となる	0.2～0.6m程度	0.6m以上	
7 潮流	10%以下の変化	10～50%の変化	50%以上の変化	
8 水深	波高1m以下の変化	波高1m～4mの変化	波高4m以上の変化	
9 水温	0.5℃以下程度の変化	0.5℃～2.0℃程度の変化	2.0℃以上の変化	
10 塩分濃度	0.5‰以下の変化	0.5～2‰程度の変化	2‰以上の変化	
11 栄養塩	12μと変化しない	やや変化がある	かなり変化がある	
12 油分	12μと認められない	部分的に認められる	0.5μ量/全面に認められる	
13 排ガス	50ppm以下(1日平均値)	50ppm～100ppm程度	100ppm以上	
14 悪臭	12μと認められない	やや認められる	明らかに認められる	
15 粉塵	12μと認められない	やや認められる	多く認められる	
16 プラズマ	12μと変化しない	少し変化がある	変化が大きい	

定式化はつぎのようになる。

$$\alpha_i = \sum_{j=1}^R \sum_{k=1}^{k_j} \delta_{j k} X_{j k} \quad (1)$$

こゝに、

α_i : 予測される第 i 番目のサンプルに与えられる総合評価値 (スコア)

R : 説明要因総数

k_j : j アイテム (j 番目の説明要因) のカテゴリ (分類) 総数

$\delta_{j k} : \begin{cases} = 1, & j \text{ アイテム } k \text{ カテゴリ } \text{に} \text{ 対応し} \text{ する時} \\ = 0, & \text{そうでないとき} \end{cases}$

$X_{j k}$: j アイテム k カテゴリに与えられるカテゴリ数量 (重み)

このような線形模型の場合には、観測値と理論値の間に線形相関がどの程度高く表わされるようにカテゴリ数量 $X_{j k}$ が与えられる。この相関性の指標として数量化理論Ⅱ類では相関比が用いられる。

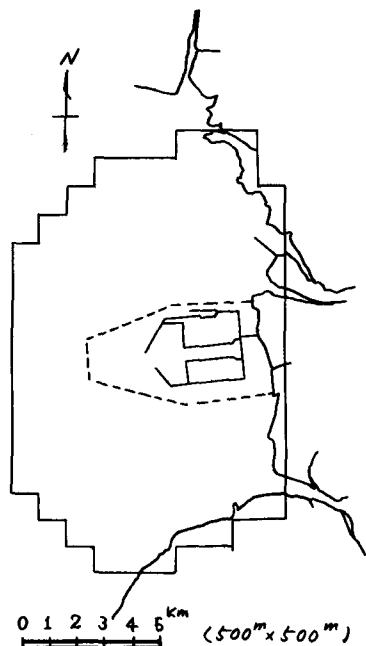
5. 計算例とその考察

表1のように入港水成の漁獲量に影響を与えると思われる環境因子を選出し、それらの大きさをランダムに分けて、表2、対象水成の当該メッシュで各環境因子ごとのランクに属するものを調査する。同様に環境事象の影響度も① 影響がゼロに近いと見做す ② やや強い ③ 明らかに強いものの3つのランクのうちいずれかに属するものについて環境の変化が定常状態になる時点において調査する。本考察では図1に示すように対象港水成を536個のメッシュに分けて行った。したがって、サンプル数は536個である。さらに、漁業対象生物としてはつぎのものを選んだ。

図1 対象港水成

- ① エビ類 ② 貝類 ③ 稚生魚類 ④ 小型浮魚類 ⑤ ノリ類
また、分析時点はつぎのようである。① 浚渫・埋立工事中 ② 上屋活動中 ③ 上屋・背地地活動中。

以上の分析結果も図2～6のようである。本考察の計算例では同じ環境因子の組合せおよび対象生物の違いによっても相関比が約0.6～0.9の範囲の値としておおよそ同様の結果が得られているものと思われる。また、各計算例について規定力の大きい環境因子を大きい方から順番に並べた一覧表に表2のようである。表2より規定力の大きい環境因子として粉じん、排気ガスなどが上位に列挙されているが、これらについては今後の課題として残す。次に、判別予測に用いる判別の分点 (判断基準) は判断の成功率が最大になるように決められるが、一般に母集団での分布はわからないから、それと見做す標準から得られる総合評価値の座標分布をもとにしてミニマックス法を用いて判別の分点 α_0 を決定する。各計算例に關するこの手法の結果は図7～11に示す。これらより判断の適中率は、この例を除いて70～90%のかなり精度の高いものである。



以上の分析例から得られる結果を解釈する立場は次のように設定する。

- 1) 環境因子の組合せによつて不要な環境因子を除く場合、精度があつて、というわけである。この不要な環境因子の発見は当初の学習に要する要因による分析結果から得られる「環境因子のレンジ」の小さいものを選ぶものである。
- 2) 同じ評価時点、同じ大きさの環境因子と組合せのままで各生物ごとの環境に対する適応条件の差異を表わすような違い、影響をどうしているのかどうか、説明要因に与えられるレンジの順位、もしくは影響変化に対応する総合評価値が適切な指標となる、というわけである。

1) のことは浚渫・埋立工事中および上屋活動中における各水生生物の環境要因分析では、組合せを変えても相関比はほぼ同じと見てよい。

図2. 分析結果(浅瀬埋工事)(工ビ)

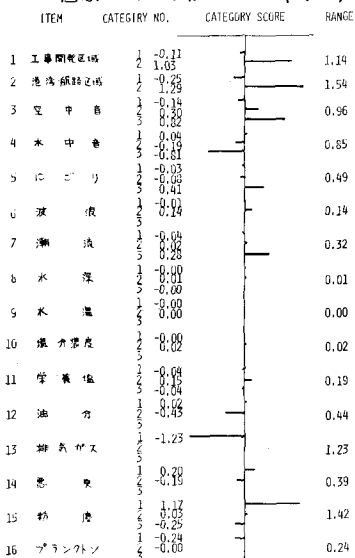


図3. 分析結果(浅瀬埋工事)(貝)

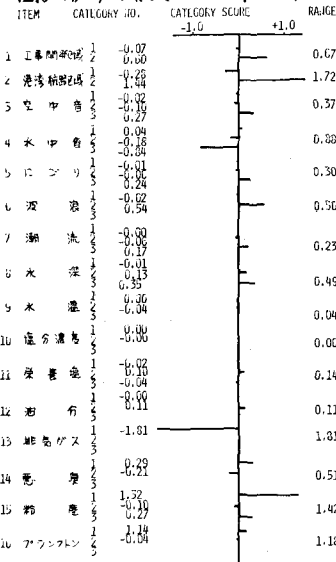
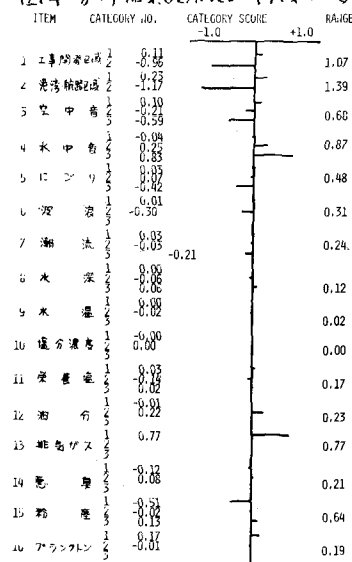


図4. 分析結果(浅瀬埋工事)(底泥類)



2) クリフトは、まず最初の影響の地域的メッシュ観測資料には若干の相違があるが、分析結果と与えられた総合評価値の分布は各水産生物の、その正負が相違している。このことだけで適正能力の差異を測ることは適切であるという決定はくいとされる。これは、数量化理論Ⅱ類が判別分類に一定の精度で予測するための分析手法である。与えられた数量が系統的評価値となる、というところが本質的と思われる。

以上のほか、メッシュの規模クリフトの考察が必要になる。これは予測式の感度分析を行うことと受ける。この検討クリフトは重要なと思われるが、ここでは省略することとする。

図5. 分析結果(浅瀬埋工事)(小型浅魚)

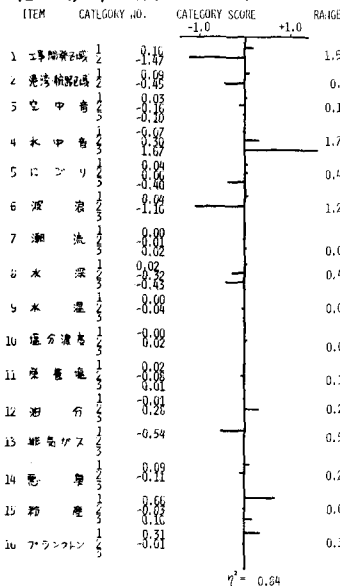


図6. 分析結果(浅瀬埋工事)(ノリ)

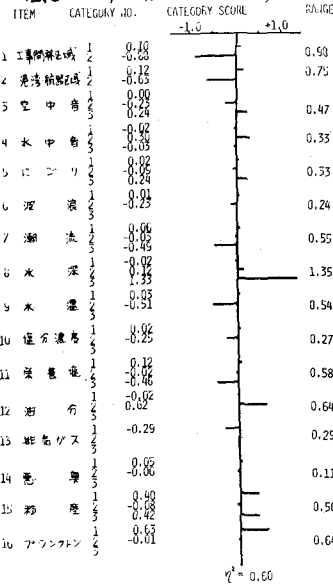


図7. 累積分布(工ビ)

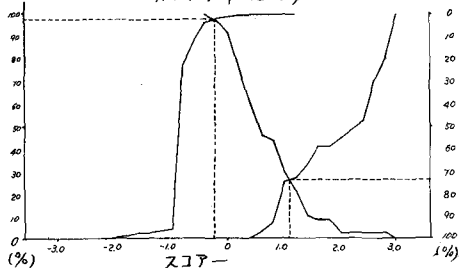


表2. 規定の順位

順位	工ビ	貝	底生魚類	小型浅魚	ノリ
1	浅湾航路区域	排水ガス	浅湾航路区域	水中青	水
2	排水ガス	排水ガス	浅湾航路区域	水中青	工事開始区域
3	排水ガス	排水ガス	水中青	泥	浅湾航路区域
4	工事開始区域	排水ガス	排水ガス	排水ガス	排水ガス
5	水中青	水中青	水中青	浅湾航路区域	排水ガス
6	水中青	浅湾航路区域	排水ガス	排水ガス	排水ガス
7	排水ガス	排水ガス	排水ガス	排水ガス	排水ガス
8	排水ガス	排水ガス	排水ガス	排水ガス	排水ガス
9	排水ガス	排水ガス	排水ガス	排水ガス	排水ガス
10	排水ガス	排水ガス	排水ガス	排水ガス	排水ガス
11	排水ガス	排水ガス	排水ガス	排水ガス	排水ガス
12	排水ガス	排水ガス	排水ガス	排水ガス	排水ガス
13	排水ガス	排水ガス	排水ガス	排水ガス	排水ガス
14	排水ガス	排水ガス	排水ガス	排水ガス	排水ガス
15	排水ガス	排水ガス	排水ガス	排水ガス	排水ガス
16	排水ガス	排水ガス	排水ガス	排水ガス	排水ガス

6. 結論

本研究では、港湾水域の環境アセスメントの需要として海洋生態系の環境を遂行し、その評価方法で提案するよりも更に総合的な分析を中心に考察を行なうこととした。

まず、問題の前提となる仮定や注意点を述べたものの、海洋生態系のいくつかに関する環境要因分析を行なう。分析対象地域は、ある限られた時間での、ある空間に限定された水域であることと環境要因の列挙の不十分さをもつものの高い精度の分析結果が得られる。したがって、この研究の一応の成果が得られ、その方向づけがなされることも考えられる。しかし、これらの結果に対しては、現在の知見では理解が深いところもある。

さらに、考察も成果・総合評価として向うと次のようなことが考えられる。一つの総合評価として各魚種の量に質的な差を貨幣形式という統一尺度で表示することである。これは、環境インパクトをもつ地域で、環境インパクトを受けることと比べられることにより、何らかの差が見えられ、それにより、環境インパクトによる影響を考察することができる。このように

方法は経済学や地域計画の分野においてよく使われる。特に、水産生物の影響を、漁業従事者にとっては大きな問題である。現在の漁業補償の計算方法では「被害率」で設定しているが、これに対しては本研究の方法により、有用な情報を提供することも考えられる。最後に、残された問題と列挙することになる。

① 分析の対象水域をどのように調査・データの収集を行い、各環境変化のパターンによる影響予測手法の精度を一般化していくこと。

② 対象水域のメッシュ分割の相違による予測手法の感度分析を行い、環境アセスメントに必要な標準メッシュ分割法を定める。

③ 規定力の大きい要因の中で現在の知見で理解が深いものについて再調査をする。

④ 時系列的な環境構造の変化をどのようにモデル化していくか。

⑤ 本研究に必要な環境因子の調査に関する標準的方法を確立すること。

⑥ 魚類の生活・食餌・生殖の要求を満たすような環境因子の抽出を行い、魚類のついでに総合的な考慮がなされること。

⑦ メッシュ間の魚類の移動による相互作用モデルの中核のモデル化を行う。

7. おわりに

最後に、本研究を進めるにあたり多くの助言として下さった京都大学工学部教授長尾義三、実際の作業に当たって下さった京都大学工学部学生小川孝史の両名に対して感謝する。なお、計算には京都大学大型計算機センターのFACOM-60/25を利用した。参考文献：1) 稲相肇：港湾計画における環境アセスメント手法、港湾技術資料、No.214、1975。その他多数あるが省略させておく。

図8 累積分布(貝)

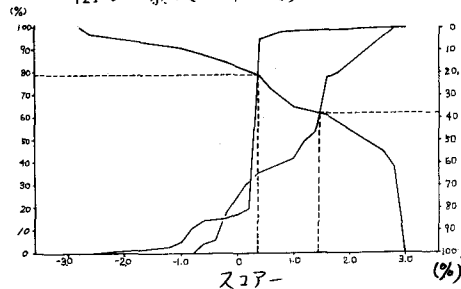


図9 累積分布(底生魚類)

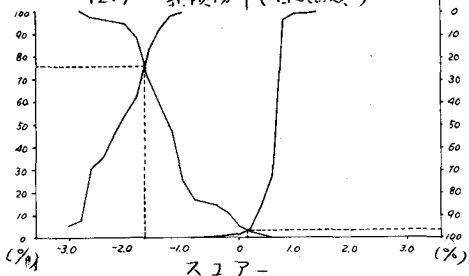


図10 累積分布(小型魚類)

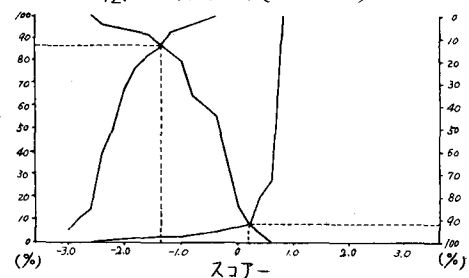


図11 累積分布(ソリ)

