

14. 多変量解析手法による底質データの解析

辻 義人^{*1} 江村 富男^{*1}

夏期のむつ湾における 130 点の底質表層試料の COD, T-N, T-S, T-P および W% データを使用して主成分分析を行った。相関の強さと度数分布曲線の形状から T-N, T-S および T-P の 3 変数を選択し、主成分の計算を行った。

第 1 主成分は、寄与率 64% で、T-N, T-S, T-P と正の相関を有し、一般的な有機物増加の指標と考えられた。第 2 主成分は、寄与率 21% で、T-P はと、T-S と負の相関を示した。第 1 および第 2 主成分得点を軸とした散布図上で、むつ湾の底質データが 2 種類のグループからなることが認められた。採泥場所や含泥率のデータと関連づけて検討し、これらのグループが異なる由来の底質有機物に対応していることが推論された。この研究結果、複雑なフィールドの現象を解析する上で、主成分分析をはじめとして、各種の多変量解析技術の応用は有効であることが示唆された。

Multivariate Analysis of Marine Sediment Characteristics

Yoshito Tsuji^{*2} Tomio Emura^{*2}

The multivariate analysis (principle component) of surface sediment characteristics (COD, Ignition Loss, T-N, T-S, T-P, Water Content) of Mutsu Bay on Jul. 1977, indicates the presence of two distinct sediment types. Grain size distributions were used to examine the meaning of these types, one corresponding to sandy sediments, another to muddy sediments. The comparison of relations of sediment characteristics between the two sediment types, indicated that occurrences of organics substances of organics in surface sediments were different between sand area and the mud area. We suggested that the organic substances of the sand sediments were influenced mainly by benthic microorganisms and mud sediments by plankton.

1. はじめに

海洋の現象は多数の変動要因の相互関係からなる。したがってできるだけ多くの有効な情報を収集し、これらを総合的に把握することが必要となる。このため、社会学、医学および農学の分野で応用されている多変量解析法によって、海洋関係のデータを解析することが試みられている。

たとえば、水質については、石川ら⁸⁾ (1978) が沿岸域の表層水の 13 項目の測定値について主成分分析法を試み、測定項目の整理および結果の評価

を行おうとした。また Foster ら⁴⁾ (1976) は主成分分析法によって Western Irish Sea の水塊を 4 種類に分類した。

一方、底質の多変量解析は、主に地質学の分野で粒度組成データを対象^{13), 20)}として行ってきた。有機物に関連した底質データの解析例としては、鎗田ら²¹⁾ (1976) が印旛沼の底質の強熱減量、有機炭素、全窒素と重金属の関係を解析し、有機物および重金属汚染の原因を推定している。また、中島ら¹²⁾

(1976) は、東京湾等で底質の重金属のデータを主成分分析した結果、得られた第 1 主成分と強熱

^{*1} 海洋保全技術部

^{*2} Marine Conservation Technology Department

減量の間に高い相関のあることを指摘している。

しかし、これまで行われてきた多変量解析（たとえば、そのうちの主成分分析）によるフィールドデータの解析では、多変数データそのものを吟味することなく、既存のコンピュータプログラムにすべての項目のデータを入力し、機械的に処理して結果を得ていることが多いようである。一方、主成分分析法では入力する変数の組合わせによって処理結果の異なること¹⁴⁾がありうる。したがって処理すべきデータの持つ特性を十分に考慮し、入力すべきデータの種類の選択を行うための手法が必要となっている。

また、底質中の有機物に関するデータは、主に重金属などの人為的な汚染物質との関係で、多変量解析に処せられている。これは多変量解析の目的が、多次元データをより見やすい形とし、総合的な汚濁指標を得ることとされていたからであろう。しかし、海洋学や水産学では汚染にとらわれず、より一般的な立場で有機物と関連する底質データを総合的に解析する必要があるにもかかわらず、いわゆる、正常な海域における底質データを多次元的に解析した例は少ない。これは多変量解析を行うに足るだけ、多次元で良質な多数の底質データの入手しにくいこと、および量的に変化の程度の大きい汚染海域に比べ、いわゆる自然状態の海域では変数間の関連性が顕著には見られず、解析結果の解釈が困難となるであろうと考えられていることによる。

本研究では、いわゆる、正常な内湾に近いと考えられるむつ湾で得られた底質データについて、変数の選択に十分な注意を払いながら多変量解析法の中で、最も基本的な主成分分析を行い、得られた結果を、むつ湾に関する他のデータと比較することによって底質有機物の由来という観点から解釈し、主成分分析法を底質データ処理に応用したときの有効性の検討を行ったので報告する。なお、データの使用を許可していただいた水産庁およびデータの解釈についてご助言をいただいた東海区水産研究所の沢田保夫海洋部長に感謝します。

2. 使用データ

本研究では、昭和52年度、漁場改良復旧基礎調査報告書（陸奥湾）¹⁹⁾に記載されている底質分析データのうち、表層0～5 cmにおける粒度組成（32メッシュ、150メッシュおよび250メッシュの篩による）、COD（化学的酸素要求量）、IL

（強熱減量）、T-S（全硫化物）、T-P（全燐）、T-N（全窒素）、W%（水分含量）の7項目のデータを使用した。底質試料および分析試料の採取法について簡単に記す。図1に示す採泥場所において1977年7月に採泥が行われた。砂質地域では採取面積20cm×20cmのシベック採泥器、泥質域では内径60mmの塩化ビニール製インナーチューブを有する柱状採泥器によって採泥を行った。シベック採泥時には得られた試料を現場で混和し、表層用の分析試料としてポリエチレンびんに入れ、冷凍保存した。柱状採泥時には得られた柱状試料を塩化ビニール製チューブに入れたまま、現場で直立させて冷凍した。柱状試料の分析時には試料を冷凍した状態で塩化ビニールチューブを切開き、試料の表層から5 cmまでを切り取って混和し、表層用の分析試料とした。

なお、分析方法等の詳細については水産庁の報告書¹⁹⁾を参照されたい。

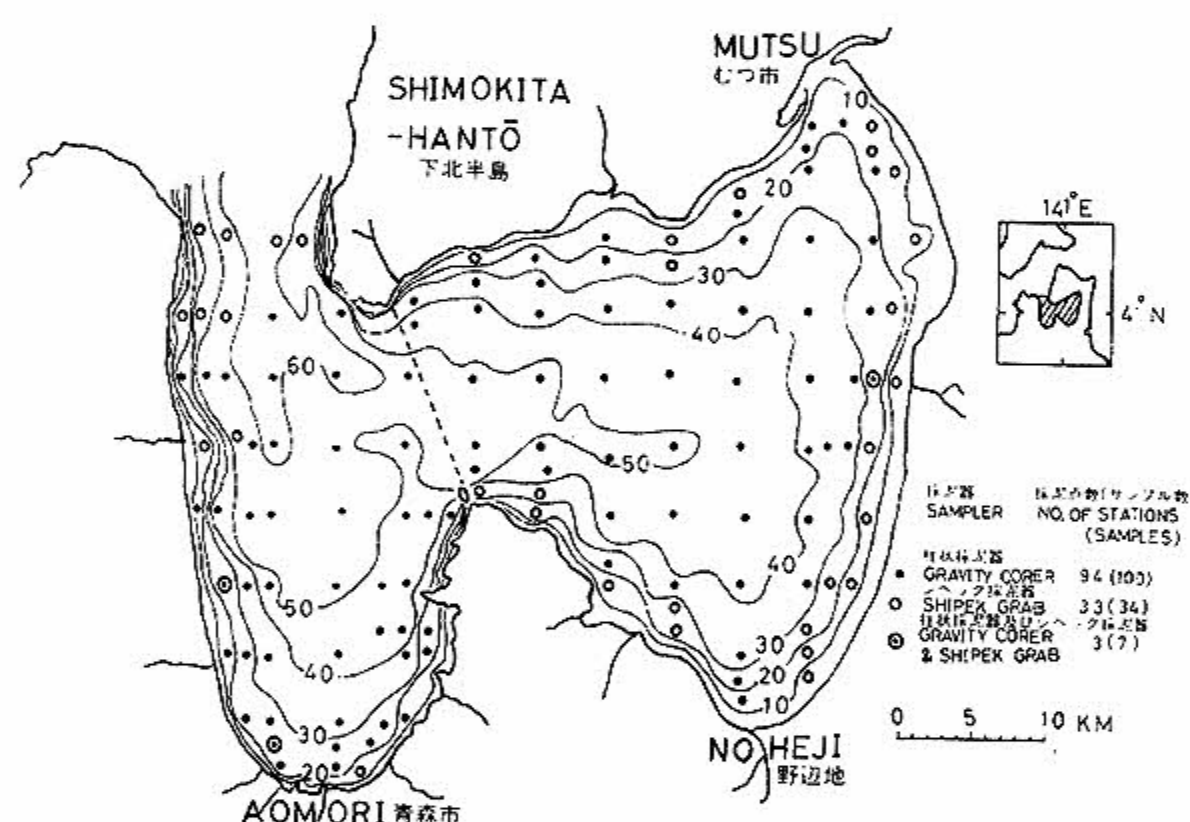


図1 採泥場所
Sampling stations

むつ湾について簡単に記す。むつ湾は西側の津軽半島、東北側の下北半島に囲まれ、北西部で平館海峡に通じ、津軽海峡に連絡している。むつ湾は下北半島南端の弁天島と対岸の大島を結ぶ線（図1中の破線）によって東湾と西湾に分けられている。海底地形は単純で、湾奥から平館海峡部に向かって徐々に水深を増し、最深部は60mくらいとなる。むつ湾に流入する河川は小さいものが多く、青森県近くの堤川河口と大湊港の田名部川河口付近に、低塩分水が見られるにすぎない。西湾では津軽暖流の影響を受けているが、東湾は西湾を経て二次的に作用されていると考えられ、湾内の特性は東湾の方に、より固有のパターンをうかがわせる（大谷、1977）。

3. 主成分の計算

主成分分析法には、主成分を求める方法として、分散、共分散行列から出発する方法と、相関行列から出発する方法とがある（奥野ら¹⁴1971）。¹¹⁾本研究では後者の方法を採用し、主にケンドール（1972）の方法に従い、主成分の計算用のプログラムを作成した。その後、奥野ら¹⁵⁾（1976）の数値例でテストランを行い、作成したプログラムに誤りのないことを確認した。また、計算は当センター所有のH I T A C 10—II によった。

主成分分析の結果は、取上げた変数の組みによって変わりうるので、変数の選び方については、特に慎重でなければならない（奥野ら¹⁴1971）。われわれは底質データをできるだけ見やすい形に整理し、データの持つ特性を、より明確に把握するため、二つの主成分による散布図上で、底質データが最も明瞭にパターンを示すような変数の組み合わせを決定しようとした。つまり、前述の7変数から各種の変数の組合わせで主成分の計算を行い、第1および第2主成分による散布図上に見られる底質データのパターンを検討するという試行錯誤を繰返した結果、底質データの持つパターンを最も明確に把握できる変数の組合わせは、できるだけ独立な変数の組を入力した場合であろうと考えられるに至った（ただし、全く独立な変数の組の場合は主成分分析を行っても無意味ではあるが！）。そこでわれわれは相互に相関の大きい変数の組のうち、標準化した変数値（平均値0、分散を1とする）の度数分布パターンの似ている変数を同一のグループとして分類し、各グループから代表として1個の変数を決定するという方法で、主成分分析を行うための変数を選択した。なお、粒度組成は、他の6変数が化学的環境と関係するのに対して、その海域の物理的な環境と関係すると考えられるので、これを主成分分析のための変数から除外し、その代わりに主成分分析結果の解釈を行うときに使用した。

以下に、本研究で行った変数の選択手順を具体的に記述する。

COD, IL, T-N, T-S, T-P および W% の相関行列を求めると表1 のようになる。この表中でCOD, IL, T-N および W% の4変数は0.88以上の高い相関係数（下線付きの数字）を示す。

表1 相 関 行 列
Correlation matrix

	COD	IL	T-N	T-S	T-P	W%
COD		<u>0.88</u>	<u>0.95</u>	0.56	0.52	<u>0.95</u>
IL			<u>0.90</u>	0.55	0.48	<u>0.89</u>
T-N				0.59	0.43	<u>0.94</u>
T-S					0.32	0.58
T-P						0.54
W%						

6変数の度数分布を求めると図2 のようになる。この図では横軸は標準化した変数値、縦軸は横軸0.5区間に含まれるデータ数の相対度数である。

図2 から、T-S, T-P がそれぞれ-1~-0.5, -0.5~0 にピークを持つ1峰性の度数分布パターンを示すのに対し、COD, IL, T-N およびW%の4変数は-1.5~-0.5および0.5~1.5あたりにピークを持つ、2峰性の度数分布パターンを示す。またこれら4変数間で、対応する各峰の位置はほぼ一致していることが認められる。つまりこれらの4変数は同じ度数分布パターンを

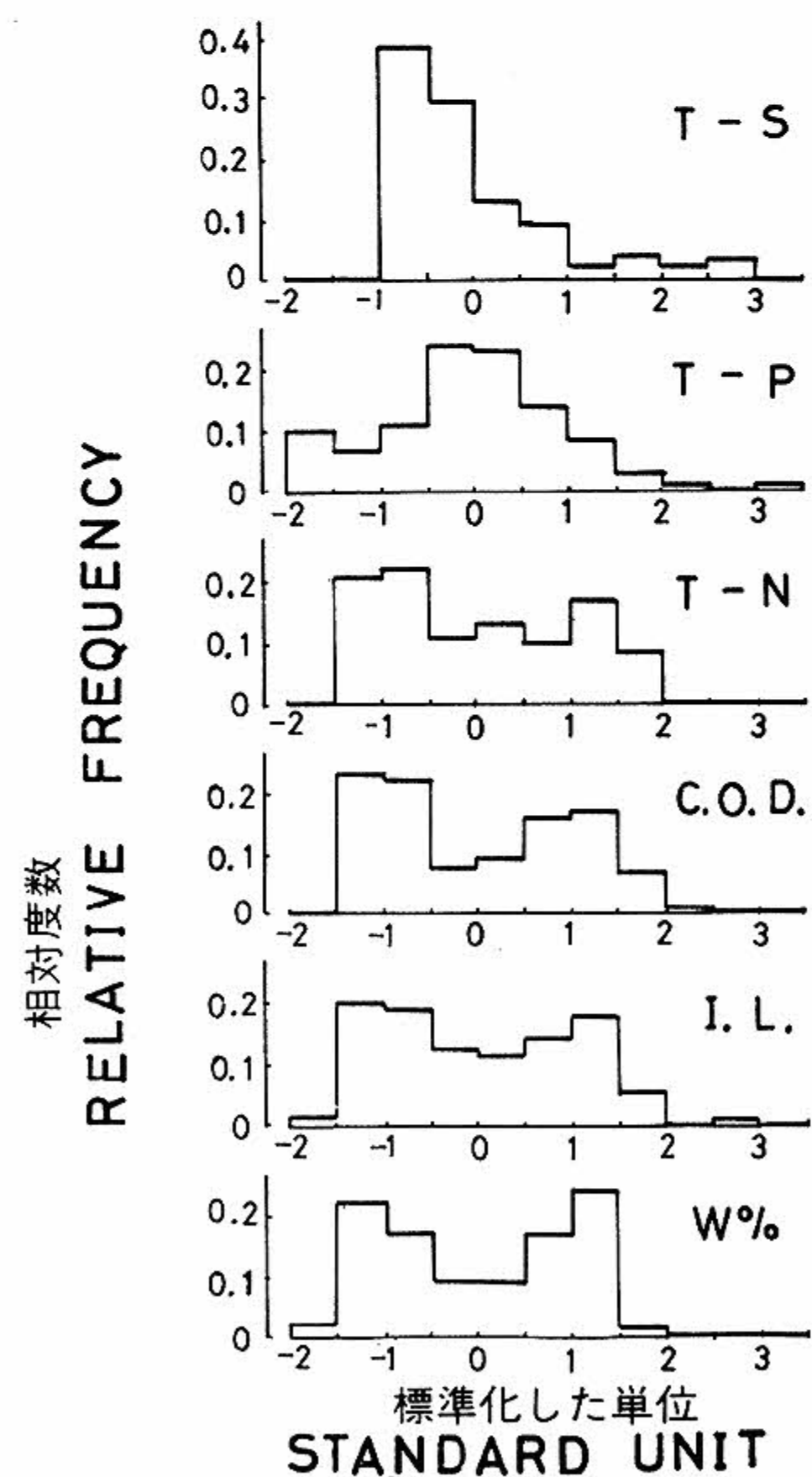


図2 相対度数分布

Relative frequency distributions

持ち、かつ相互に高い相関を示す。これは底質に関する全く同じ現象（又は対象）を異なった側面（分析方法）で表現しているものと考えられる。したがって、これら4変数に共通する現象の代表として測定対象の最も明確なT-Nを選択した。その結果、主成分分析を行うための変数として、むつ湾底質データのうちでも、相互に独立性の高いT-N、T-SおよびT-Pの3変数を選定した。

4. 主成分分析の結果

T-N、T-SおよびT-Pの3変数からなるむつ湾底質データの主成分分析の結果を表2に示した。

この表からつぎのことが認められる。第1および第2主成分の累積寄与率は85%であり、これらの二つの主成分によって全データの持つ情報（分散）の85%を説明できる。

第1主成分は寄与率65%でT-N、T-SおよびT-Pのすべての変数について正の固有ベクト

ルおよび0.73以上の因子負荷量を示す。このように第1主成分はT-N、T-SおよびT-Pと高い正の相関を示すので、これは一般的な有機物増加の指標と考えられそうである。

第2主成分は寄与率20%で、固有ベクトルはT-NおよびT-Sが負、T-Pが正を示す。またT-PおよびT-Sの因子負荷量はそれぞれ0.63、~0.45であり、T-Nの絶対値は大きくない。

第2主成分は主にT-Pと正の相関を有し、T-Sが負の相関を示すことから、底質の酸化還元状況と関係する変数と考えられそうである。

第3主成分は13%の寄与率を示すが、その意味するところは不明である。

この主成分分析の結果は、むつ湾の底質データを二つの独立成分、つまり第1および第2主成分（T-N、T-SおよびT-Pの増加する方向とT-Pが増加してT-Sが減少する方向）に分けて整理すれば、底質データの持つ情報のうちの大部分がそれらに含まれうることを示している。

表2 主成分分析の結果
Result of principal component analysis

変数 Variables	第 1 主 成 分 1st component		第 2 主 成 分 2nd component		第 3 主 成 分 3rd component	
	固有ベクトル Eigenvectors	因子負荷量 Factor Loading	固有ベクトル Eigenvectors	因子負荷量 Factor Loading	固有ベクトル Eigenvectors	因子負荷量 Factor Loading
T-N	0.63	0.88	-0.15	-0.12	-0.75	-0.46
T-P	0.52	0.73	0.81	0.63	0.23	0.14
T-S	0.57	0.80	-0.57	-0.45	0.62	0.38
固有値 Eigenvalues	1.94		0.61		0.38	
寄与率 Variance %	65		20		13	
累積寄与率 Variance % Cumulative	65		85		98	

5. 考 察

5.1. むつ湾底質データの示すパターン

第1および第2主成分得点をそれぞれ横軸と縦軸として、底質データの散布図を作成して図3に示した。この図にはパターンを見やすくするために、東湾と西湾のデータを区別して示した。また図中の実線又は破線の曲線は、第3主成分得点の等値線で、それぞれ正（●印）又は負（×印）の値の程度を示している。

図3によれば、東西の湾に共通するパターンを抽出することができる。つまり、第1主成分の得点の小さい部分と大きい部分とにそれぞれ1個ずつのデータの集合が見られる。前者は第1主成分得点の増加に伴って第2主成分得点が増加する方向に並んだデータのグループであり、後者は第1主成分得点の増加に伴って第2主成分得点が増加する方向に並んだデータのグループである。

前者をSグループ、後者をMグループとし、データの並んでいる方向を考慮してSおよびMのグループをそれぞれS1およびS2とM1、M2およびM3の小グループに分けた。ただし、各データを採泥場所に対応させたとき、東湾と西湾の境界付近で東西の小グループ名が食い違わないよう配慮した。

主成分分析によって得られた底質データのパターンと、従来の手法（2変数の関係を平面上にプロットする方法）によって得られるパターンを比較するため、T-NとT-Pの関係およびT-NとT-Sの関係を図4に示した。

この図によれば、T-PおよびT-SはそれぞれT-Nと正の相関を持っているらしいことが認められる。しかし主成分分析を行って得られた図3に見られるように、明瞭なパターンを示しているとは言えない。これは、T-N、T-PおよびT-Sの3変数のうちから2変数だけを取り出し、平面上にプロットしたとしても、残りの変数の影響が点のばらつきとなって生じ、多次元空間内では明確に見られたかもしれない底質データのパターンを隠してしまったため、と考えられる。

このように、複雑な多次元にわたる現象の解析を行うときにデータの持つ特性を、さらに見やすい形として把握するためには、主成分分析法をはじめとする各種の多変量解析手法の応用が有効であろう。

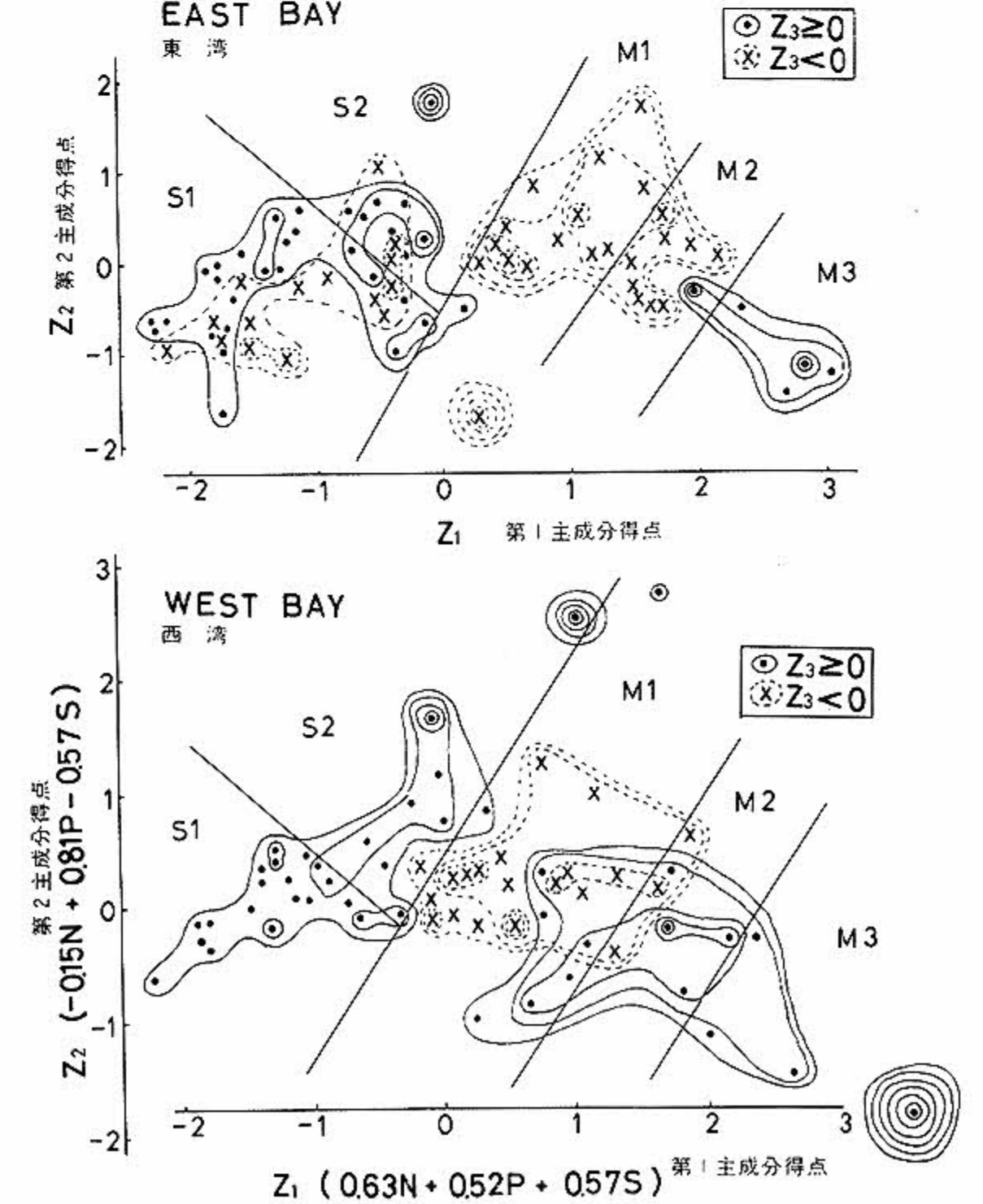


図3 第1，第2主成分による散布図
Sediment data plotted by 1st and 2nd principal component.

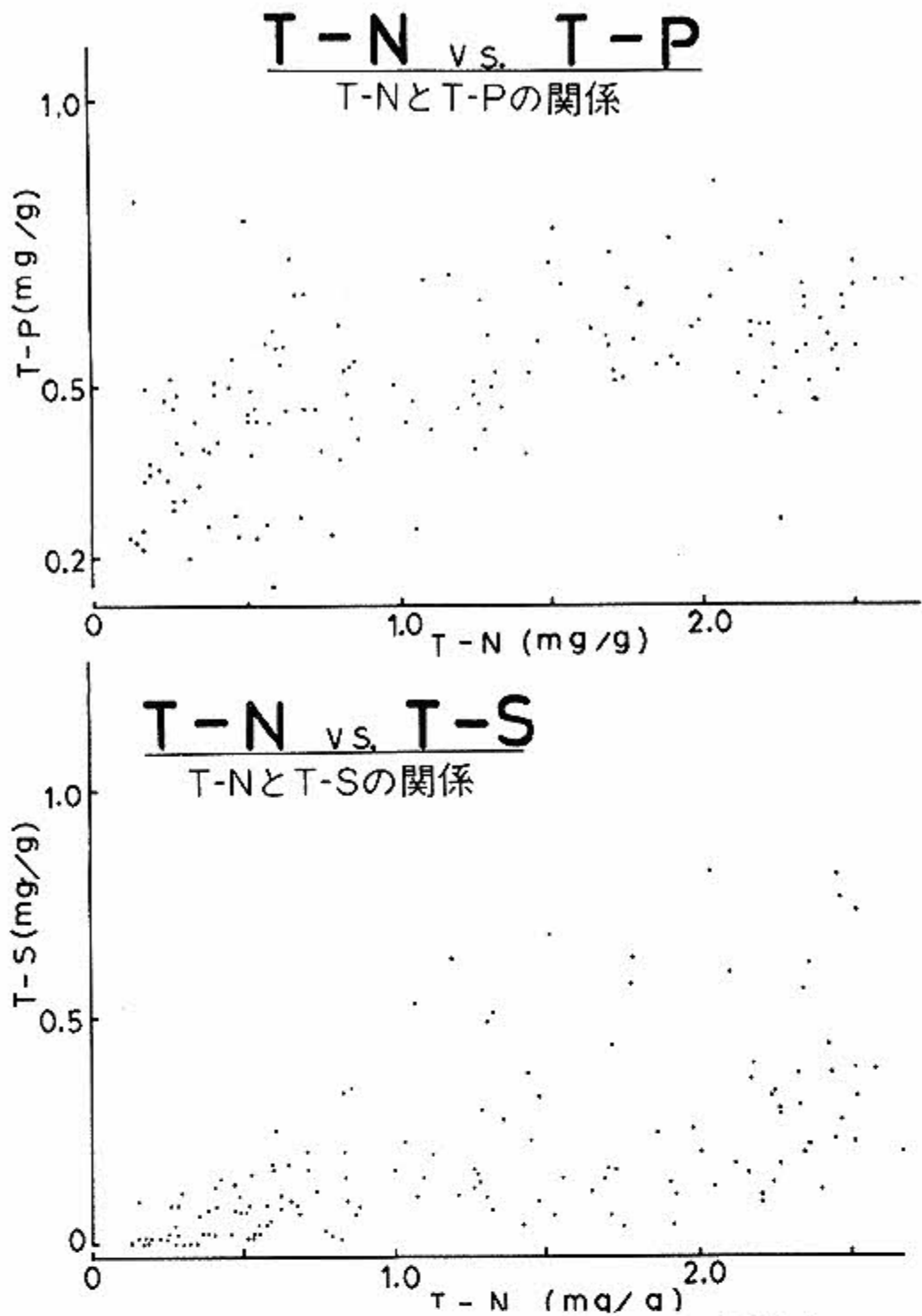


図4 T-N, T-P, T-Sの関係
Relation among T-N, T-P and T-S

5.2. T-N, T-P, T-Sから見たS, Mグループの比較

T-N, T-P, T-S三次元空間内で、SまたはMグループに属するデータの平均値を各々の湾について各グループごとに算出して表3に示した。

表3 グループ内のデータの
平均値と平均的な増加の方向
Characteristics of S and M groups

グループ group	湾の区分 section of stations	平均値 (mg/g) mean value			平均的な増加の方向 rate of increase $\Delta N : \Delta P : \Delta S$
		T-N	T-P	T-S	
S	西 West	0.45	0.50	0.07	3 : 2 : 1
	東 East	0.62	0.40	0.09	3 : 1.3 : 1
M	西 West	1.76	0.60	0.33	2 : -0.2 : 1
	東 East	2.19	0.60	0.31	2 : 0.3 : 1

一方、T-N, T-P, T-S三次元空間内に底質データをプロットしたとき、S又はMグループ内のすべての点からの距離の自乗の和が最小となるような直線を引けば、この直線の傾きはそのグループに属するデータの平均的な増加の方向を示すと考えられる。この平均的な増加の方向は、T-N, T-PおよびT-Sの増加量の比として表現することができ、これを表中で、 $\Delta N : \Delta P : \Delta S$ として示した。T-N, T-PおよびT-Sの増加量は、SまたはMグループに属するデータ

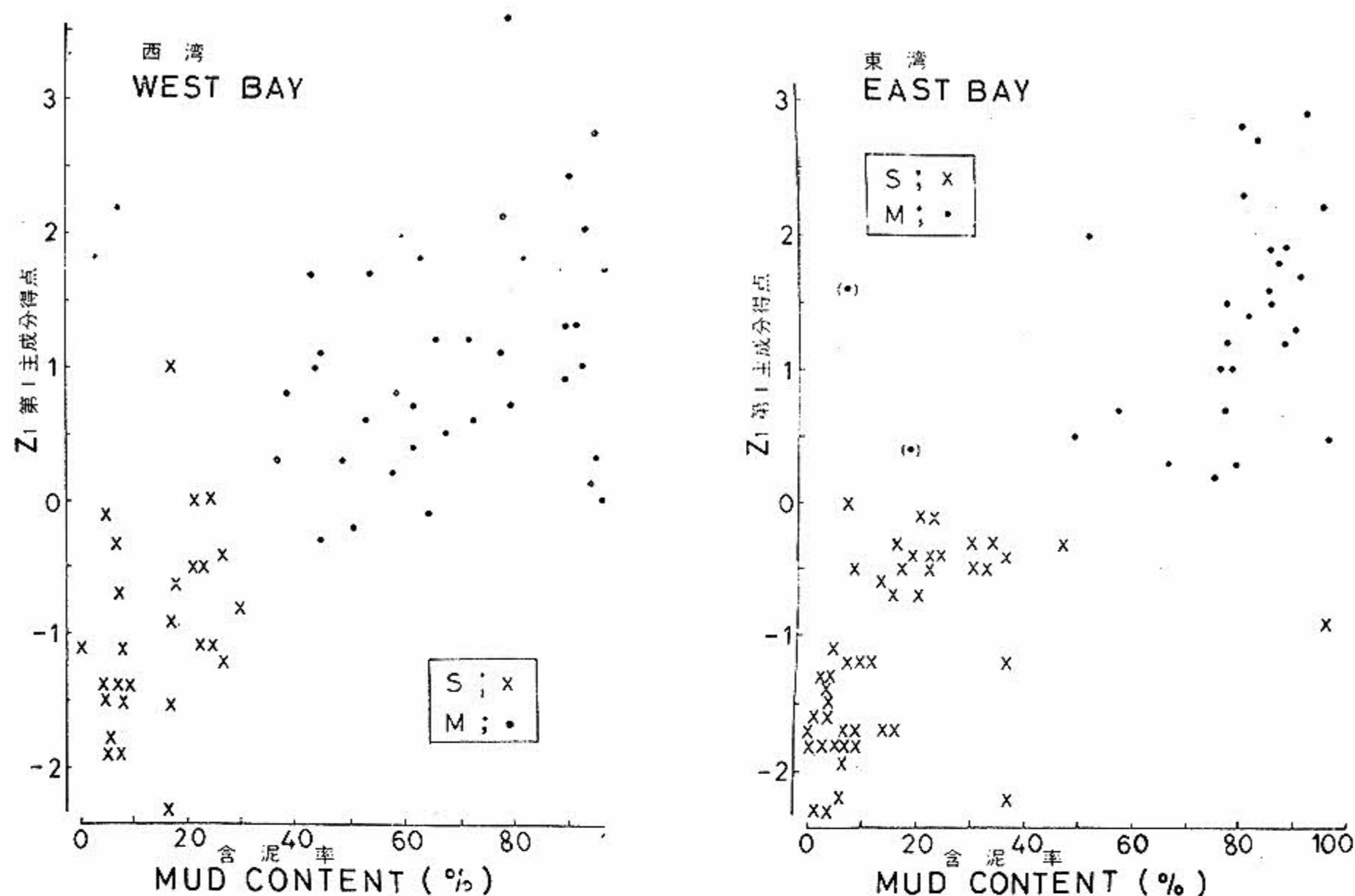


図5 第1主成分得点と含泥率の関係

Relation between 1st principal component score and mud content

で各グループごとの主成分分析を行い、各変数について第1主成分の固有ベクトルと標準偏差の積を求めることによって得られる。

表3によれば、つぎのことがわかった。

(1) 平均値および平均的な増加の方向 ($\Delta N : \Delta P : \Delta S$) は、SグループとMグループの両者では東湾と西湾でほぼ同様の傾向を示すことが認められた。Mグループに属するデータの平均値は、T-N、T-PおよびT-Sのすべてについて、Sグループよりも大きかった。

(2) SグループとMグループとで、T-N、T-PおよびT-Sの平均値を比較することによって以下の関係式が得られた。

Sグループ; $(T-N) \div (T-P) \gg (T-S)$

Mグループ; $(T-N) \gg (T-P) \div (T-S)$

(3) データの平均的な増加の方向を比べると、Sグループでは ΔN と ΔP の割合が高く、Mグループでは ΔN と ΔS の割合が高くなっている。これは一般的有機物(第1主成分)の内容がSグループでは主にT-NとT-Pであること、Mグループでは主にT-NとT-Sであることを示唆する。

(4) Sグループでは、T-N、T-Sに対するT-Pの平均値の割合およびT-Pの増加(ΔP)の割合が、Mグループのときよりも高くなっている。このことは、Sグループが岸近くの砂

質域に対応すること(後述)から、都市下水や農業排水の影響で砂質域に陸性起源の粒子状の燐が堆積するというAston & Hewitt²¹(1977)の見解と一致する。

5.3. 粒度組成から見たS、Mグループの比較

粒度組成のうち粒径が $62\mu m$ 以下のものの重量パーセントを含泥率とする。東湾、西湾にわけて第1主成分得点と含泥率の関係を図5に示す。これらの図中で×印、●印はそれぞれS、Mグループのデータを示す。

図5によって、つぎのことが認められた。

(1) Sグループは含泥率が40~50%以下の底質域に対応し、Mグループはこれよりも大きい含泥率の底質域に対応する。

(2) 東湾のSグループでは、含泥率ほぼ10%となるまで、第1主成分得点は含泥率と正の相関を有し、その後、含泥率40%のあたりまで-0.5~0の値を示す。しかし、西湾のSグループではこの傾向が東湾ほど顕著ではない。

(3) 東湾および西湾のMグループでは、含泥率がほぼ70%を越すと第1主成分得点と含泥率の間に相関を認め難い。

(4) 含泥率に対する第1主成分得点のばらつきは東湾よりも西湾で大きい。

底質の粒度組成の主成分分析を行った中島¹³(1978)によると、粒度の細かい分画と平均粒径の間

には負の相関があるという。これは含泥率の減少に伴って底質の粒径が増加することを示し、上記の(1)は、Sグループが砂質域、Mグループが泥質域に対応すると言換えてもよいであろう。

また、東湾に比べて西湾の方で、データのばらつきが大きい(上記(4))理由は、つぎのように考えられる。

(1)むつ湾に流入する河川水は湾内で最大流量を示す堤川を含む西湾で圧倒的に多く、河口におけるSS(懸濁物質)濃度と河川流量の積として算出した総流出SS量とは、東湾に比べて西湾では10倍ほど大きい(環境庁の1973の報告書から算出)。¹⁰⁾

したがって青森市などに由来する陸性の有機物または栄養塩の負荷が西湾奥部に影響を与えている半面、西湾北部は平館海峡に通じ、外海水との交流が行われやすいので、自然に近い状態を保持していると言える。すなわち、西湾は人為的な汚染域のデータと自然域のデータを含むことになり、データの分散は大きいと言える。

(2)東湾では、青森市を流れる堤川に比べて総流出SSが40分の1以下(環境庁、1973、報告書から算出)のむつ市を流れる田名部川を除けば、ほとんど人為的な汚染源が見当たらない。

(3)東湾は西湾に比べて位置的に、より固有の水特性パターンを示す(大谷、1977)¹⁰⁾とされていることから、その底質データは均質性が高いであろう。したがって、上記の理由で、西湾の底質データは東湾のものよりも分散が大きいと考えられる。

5.4. 採泥場所から見たS、Mグループの比較

図6は区分したS₁、S₂、M₁、M₂、M₃を該

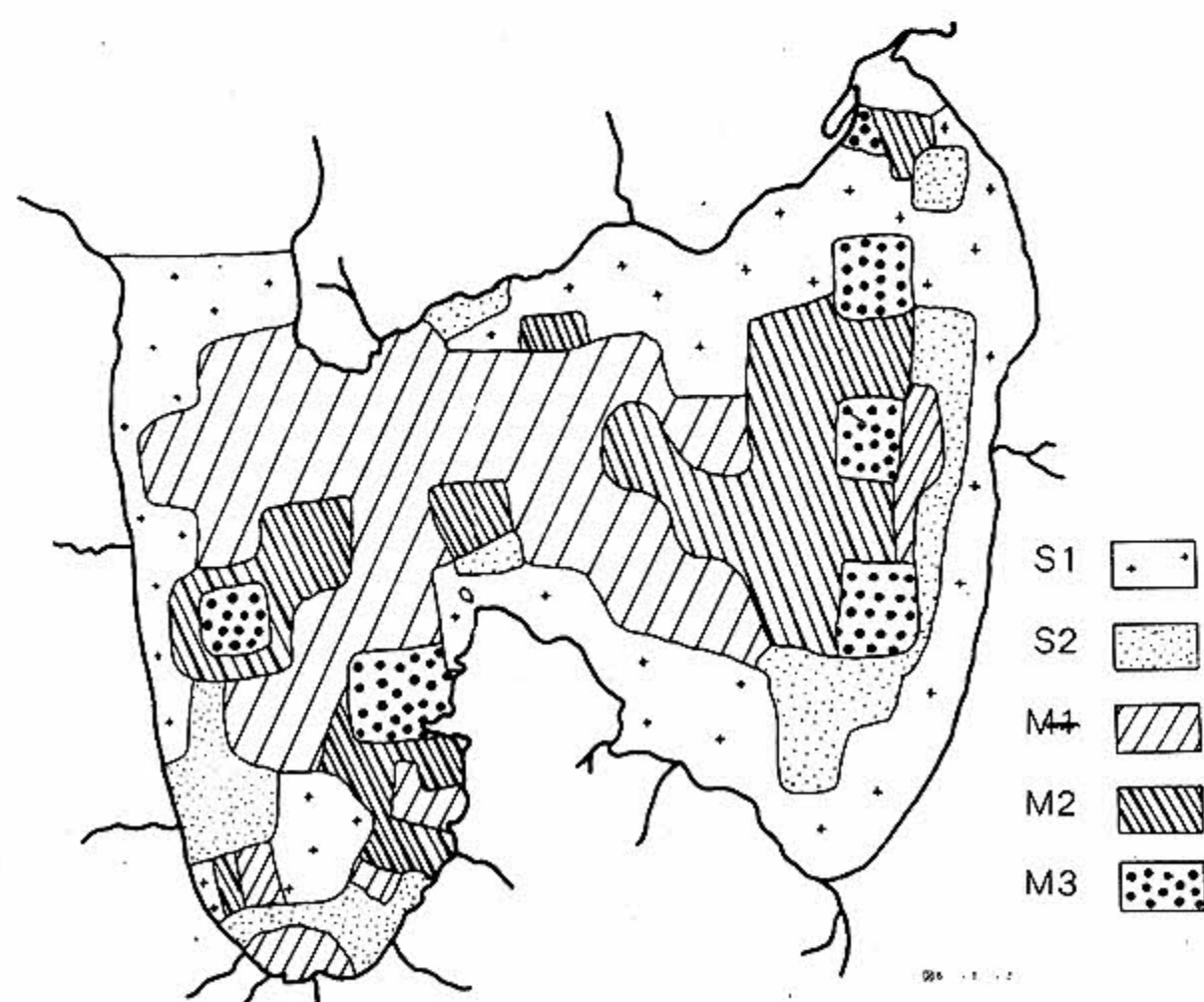


図6 第1、第2主成分の関係から区別された底質の分布

Distribution of sediments classified by the result of principal component analysis

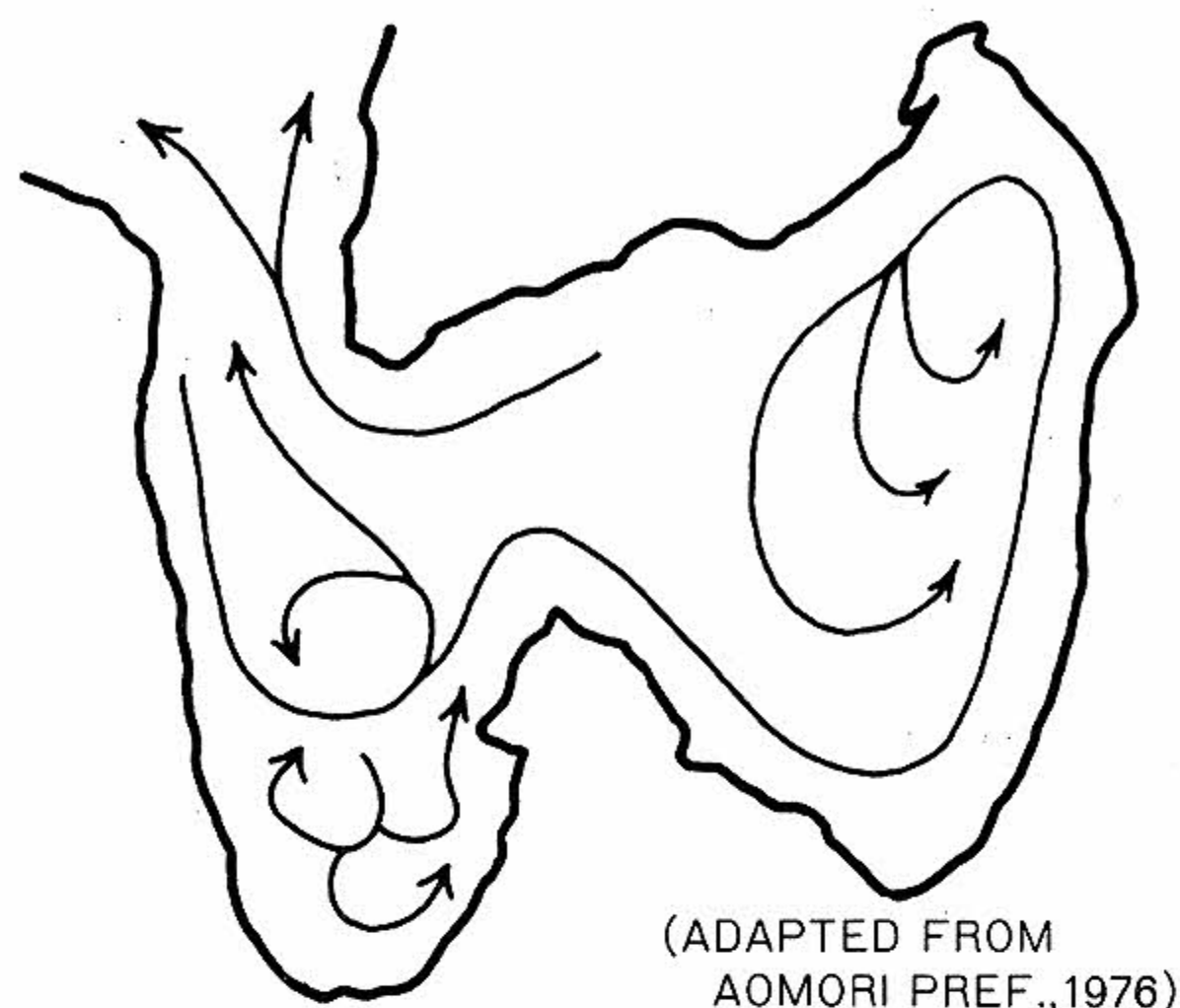


図7 むつ湾恒流図

Circulating pattern of surface water in Mutsu Bay

当する採泥場所に表示したものである。この図によれば、つぎのことが認められた。

(1)全体的に見ると、Sグループは岸近くの浅部を占め、Mグループは湾の中央部を占める。また、陸から沖合に向かって第1主成分得点(一般的有機物増加の指標)が増加するような順序、すなわち、S₁、S₂、M₁、M₂およびM₃の方向となっている。

(2)青森市やむつ市の沖合では、S₁、S₂、M₁、M₂、M₃の順序が一部逆転している。

(3)東湾の中央部東寄りや南北にのびた部分、西湾の中央部および夏泊り半島西側の陸寄りで、南北にのびた部分あたりに、最も第1主成分得点の高いM₂、M₃グループの占める場所が見られる。しかしこれが必ずしも東湾または西湾の最深の場所と対応するわけではない。

図7は、むつ湾の恒流図(青森県、1976、報告書を模式化)を示す。¹¹⁾

この図によると、つぎとことがわかった。

(1)東湾の横浜沖およびその北部と南部、西湾の蟹田沖および夏泊半島の西部に環流域を見ることができる。

(2)図6と図7との比較ではM₂、M₃グループの占める場所と環流域が一致していることが認められる。その結果、M₃グループの分布が表層水の動きと関連している可能性のあることが示唆される。

5.5. SグループとMグループの意味

今まで得られた結果によれば、SおよびMグループの概念的な特徴は、つぎのようであった。

S グループ:

(1)砂質域に対応する

(2)含泥率の増加に伴って第1主成分得点は増加するが、ある値以上の含泥率で飽和する。

(3)Sグループのデータが平均的な増加を行うときは底質中のT-NとT-Pが増加する

Mグループ;

(1)泥質域に対応する

(2)含泥率の増加と第1主成分得点の増加に関連性が認められない

(3)M₂, M₃グループは環流域に対応する

(4)Mグループのデータが平均的な増加を行うときは底質中のT-NとT-Sが増加する

5.5.1. 第1主成分の考察

内湾における有機物の由来という観点から各グループの第1主成分の内容を考察する。内湾の有機物は、陸性有機物と海性有機物に分けられ、海性有機物は底質表層の付着微生物およびその残骸などの関連物質と海中のプランクトンに分けられる。ただし、海性有機物に属するアマモなどの海草や大形藻類は、大部分が岸近くに存在していて陸性有機物と似た挙動を行う⁵⁾(Fryら)ので、陸性有機物に準じた扱いをした。

(1) 陸性有機物:

陸性有機物の流入について考えてみる。

Shultz & Calder¹⁷⁾はメキシコ湾の底質の δc^{13} を測定し、ミシシッピ川の陸性有機物が河口から比較的近い距離に沈積していたことおよび陸性有機物の分布は河口から69km以内であることを示した。

ミシシッピ川とは、流出量で比較とならないほど小さいむつ湾内の河川では、陸性有機物の分布は岸近くに限られ、それよりも、湾の内側では大部分が海性有機物で占められていると推察できる。すなわち、むつ湾の陸性有機物の分布範囲は図6のS₁~S₂の領域内であろうと考えられる。一方、陸性有機物の比率 δc^{13} は河口から沖合に向かって、その距離の対数に比例して減少すると報告されている⁶⁾(Gearingら, 1977)。しかしむつ湾では陸から沖合に向かって第1主成分得点(一般的な有機物増加の指標)が増加するような傾向が一般的であり、このことはむつ湾の底質に与える陸性有機物の影響が少ないことを示している。図6を見る限り、むつ湾内で陸性有機物の影響を強く受けているところは、陸から沖合に向かって第1主成分得点が減少している青森市とむつ市の沖

合のMグループに限られているようである。

(2) 底質表層の付着生物等:

底質表層の付着性の微生物及びその分泌物や残骸は、浅海域における有機物源として重要である。

Johnson⁹⁾は底質の表層試料を検鏡した結果、浅海域の砂粒は大部分が有機性の外皮でおおわれており、付着性のDiatoms(珪藻類)を主とする微生物が最大で、全粒状物の12%を占めていた、と報告している。またDriscoll³⁾は、底質の表層に存在している微生物の現存量とその有機物量が正の相関を有することを示した。

浅海域の底質は波浪の影響を受けるので深度が増すにつれて底質の表層は物理的に安定となる。したがって、底質表層の主としてDiatomsからなる微小藻類は、深度とともに現存量を増すことがクロロフィルaと有機炭素の測定によって明らかとなった¹⁸⁾(Steele & Baird, 1968)。

Sグループでは含泥率の増加に伴って第1主成分得点が増加したのち、飽和点に達した。表層底質中の含泥率の増加は、その底質上の水塊の動きの強さの減少と見なせる。したがって、Sグループでは底層水の動きの弱화에伴って第1主成分得点が増加しているわけであり、このことはSグループの有機物が底質表層の付着性微生物及びその関連物質から構成されている可能性の強いことを示唆する。

今回の採泥とほぼ同時期に行われた潜水調査によると、少なくとも33mの深度までは底質表層に濃密な付着珪藻が観察されたと報告されている¹⁹⁾(水産庁, 1978)。また、Sグループの第1主成分得点がほぼ40%以上の含泥率で飽和することは、深度の増大に伴って底質表層に到達する光の強度に限界が生じるため、Diatomsを主とする付着性の微生物の生長が押さえられるためと考えられ、上記の推測を支持する。

(3) 海中のプランクトン:

海中のプランクトンが水塊内で均一に分散し、それが乱されずに沈降するとすれば、底質表面積当りのプランクトン沈降量は深度に比例して増加する。

したがって、むつ湾中央部(深部)を占めるMグループの領域では、岸近く(浅部)のSグループの領域に比べてプランクトンの沈降が多いと考えられる。

Mグループは含泥率と第1主成分得点の間に相関が見られない。このことはMグループの一般的

な有機物の増加が底層水の動きと関係しないことを示している。

一方、第1主成分得点の高いM₂、M₃の占める場所が、東湾または西湾の最深部と一致するよりも、むしろ、環流域と一致したことは、Mグループの第1主成分が表層水中に浮遊する有機物の沈降に大きく影響されることを示唆する。

また多量の陸性有機物が表層水によって湾中央部まで到達する可能性は少ない。すなわちMグループは表層水の動きと関連性をもち、その有機物が海中のプランクトンの沈降によって供給されていた可能性の強いことが推察される。

5.5.2. 第2主成分の考察

第2主成分はT-Pと正の相関を有し、T-Sと負の相関を有する。一般的に、有機物を含む海底では還元状態になると⁷⁾ 燐が溶出し、硫化物の生成が行われるので、第2主成分得点は負の方向に移行する。

Mグループのデータでは平均的な増加を行うときには底質中のT-NとT-Sが増加することと一致している。また、浅海域の表層底質では十分な酸素の供給および陸性起源の²⁾ 燐の供給が行われているとすれば、これによって第2主成分得点は正の方向に移行する。

Sグループのデータでは平均的な増加を行うときには底質中のT-NとT-Pが増加することと一致している。したがって、底質の第2主成分は酸化還元状態を示す指標と考えられる。

また、Sグループの底質は酸化条件、Mグループは還元条件に置かれていたことが示唆される。

5.5.3. 総括的な推論

最後に、SグループおよびMグループの意味に関するこれまでの検討の結果をまとめると、つぎのような推論が行われうるであろう。

(1) Sグループは酸化的条件の砂質域に対応し、表層底質中の有機物は主に付着性の微生物およびその関連物質によって構成されているようである。

(2) Mグループは還元的条件の泥質域に対応し、底質中の有機物は主に沈降した海中のプランクトンによって供給されているようである。

(3) 都市部の沖合には、陸性有機物の影響が強いと考えられるMグループの領域が認められるが、むつ湾の全体的な傾向からすれば例外的なものである。

5.6. 多変量解析手法の有効性

むつ湾の底質データの主成分分析を行った結果、

底質データは二つのグループに分けられた。含泥率や採泥場所のデータと関連づけて検討することによって、これらのグループが異なった由来の底質有機物に対応していたことが推論された。この推論が正しいとすれば、今回行った底質データの多変量解析によって、むつ湾の底質データから異なる現象を抽出したこととなる。このように、複雑な多次元データを見やすい形に整理し、今後、より詳細に検討するための糸口を与えるという意味で、主成分分析手法を底質データの解析のために使用することは有効であろうと結論できる。

主成分分析手法は、総合特性値をもとめたり、パターンを抽出するための手法（外的規準のない場合）と予測に用いたりまた与えられた（又は潜在的な）目的を説明するための手法（外的規準のある場合）に分けられ、主成分分析法は前者、重回帰分析法、因子分析法などは後者に属する。

今後、より詳細な底質分析データおよび底棲生物データを使用し、物理的なデータとの関連性を考慮すれば、主成分分析法をはじめとして、重回帰分析法、因子分析法などの各種の多変量解析手法は海底の総合的な解析のために重要な武器となるであろう。

6. あとがき

むつ湾の6項目の底質データからT-N、T-P、T-Sの3変数を選択し、主成分分析を行った結果、以下の結論を得た。

- (1) 第1および第2主成分によって、むつ湾底質データの持つ情報の85%を説明できた。
- (2) 第1主成分は一般的な有機物増加の指標と考えられ、第2主成分は酸化還元状態と関係する変量と考えられた。
- (3) 第1および第2主成分軸上で、むつ湾の底質データはSとMの二つのグループに分けられた。
- (4) Sグループは砂質域に対応し、酸化的条件で存在している海性有機物（付着性のDiatomsなど）の分析データの集合と推定できた。
- (5) Mグループは泥質域に対応し、還元的な条件で存在している沈降した海性有機物（プランクトン）の分析データの集合と推定できた。また、都市部の沖合には陸性有機物の影響が強いと考えられるMグループの領域が認められた。
- (6) 主成分分析によって得られたパターンの解

析は、今後の底質データの詳細な検討のために有効に役立つ。

- (7) 各種の多変量解析手法を底質データの解析に応用することは、今後、海底の総合的な解析のために十分役立ちうるであろう。

文 献

- 1) 青森県陸奥湾漁業開発基本計画調査・最終報告書 (1976) PP.372
- 2) Aston S. R. and Hewitt C. N.; 1977, Phosphorus and carbon distribution in a polluted coastal environment., *Estuarine Coastal Marine Science* 5, 243-254.
- 3) Driscoll E. G.: 1975, Sediment-animal-water interaction, Buzzards Bay, Massachusetts., *Journal of Marine Research* 33(3), 275-302.
- 4) Foster P., Savidge G., Foster G. M., Hunt D. T. E. and Pugh K. B.: 1976, Multivariate analysis of surface water characteristics in the summer regime of the western Irish Sea., *J. exp. mar. Biol.* 25, 171-185.
- 5) Fry B., Scalan R. S. and Parker P. L.: 1977, Stable carbon isotope evidence for two sources of organic matter in coastal sediments, seagrasses and plankton., *Geochimica et Cosmochimica Acta* 41, 1875-1877.
- 6) Gearing P., Plucher F. E. and Parcker P. L.: 1977, Organic carbon stable isotope ratios of continental marine sediments., *Marine Chemistry* 5, 251-266.
- 7) Hayes F. R.: 1964, The mud-water interface. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 2, 121-145.
- 8) 石川公敏・松尾信・鷺見栄一・中田喜三郎・寒川強: 1978, 沿岸域の観測手法に関する検討 (II) 多変量解析手法による沿岸環境調査結果の検討, 1978年度日本海洋学会春季大会・講演要旨集 P.111-112.
- 9) Johnsos R. G.: 1974, Particulate matter at the sediment-water interface in coastal environment., *Journal of Marine Research* 32(2), 313-330.
- 10) 環境庁: むつ湾水質環境調査報告書・その1: 1973, P.198.
- 11) ケンドール M. G.: 多変量解析の基礎, 浦昭二・竹並輝之共訳, 1972, 157p. サイエンス社
- 12) 中島淳・鎗田功・小林節子・小倉久子: 1976, 底質の重金属汚染に対する主成分分析法の適用. *水処理技術* 17(8), 721-727.
- 13) 中島淳: 1978, 底質の粒度組成に対する主成分分析法の適用, *水処理技術* 19(5), 469-473.
- 14) 奥野忠一・久米均・芳賀敏郎・吉沢正: 1971, 多変量解析法. (1971), pp. 430, 日科技連
- 15) 奥野忠一・芳賀敏郎・矢島敬二・奥野千恵子・橋本茂司・古河陽子: 続多変量解析法., (1976) pp. 229, 日科技連
- 16) 大谷清隆: 1977, むつ湾の湾内水の更新. *沿岸海洋研究ノート* 14(1・2), 1-9.
- 17) Shultz D. J. and Calder J. A.: 1976, Organic carbon $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ variations in estuarine sediments., *Geochimica et Cosmochimica Acta* 40, 381-385.
- 18) Steele J. H. and Baird I. E.: 1968, Production ecology of a sandy beach., *Limnol. & Oceanogr.* , 14-25.
- 19) 水産庁: 昭和52年度・漁場改良復旧基礎調査報告書 (陸奥湾) (1978) pp. 132.
- 20) 山本嘉一郎: 1974, 因子分析法の堆積環境解析への応用., *地質学雑誌* 80(4), 165-177.
- 21) 鎗田功・小林節子・藤木千鶴・小倉久子・中島淳・宇田川理: 1976, 印旛沼の底質(2), *水処理技術* 17(11), 1053-1064.