

主成分分析による山陰海域の環境特性把握の試み

長 田 宏 ・ 木 谷 浩 三

(日本海区水産研究所) (日本海区水産研究所)

はじめに

山陰沿岸域はイワシ、サバ、イカ類等の漁場であるばかりでなく、産卵域としても重要である。著者らは水産庁の漁業資源評価システム高度化調査の一環として、1984年以降、春季に山陰沿岸域のマイワシ卵稚仔調査を実施しているが、同時に多項目にわたる海洋観測も行っている。

ここでは、1984年と85年の4月に行った海洋観測で得られたデータを主成分分析によって解析し、いくつかの海洋特性を基に海域区分を行って、両年の海況を比較することを試みた。特に1984年は数十年に一度という異常冷水現象に見舞われた特異な年であり、平年並と考えられる85年と比較することは、84年の異常海況を理解する際の一つの基礎資料となろう。

本文に先立ち、調査に御協力いただいた京都府立水産高等学校練習船「みずなぎ」(148t)の斎藤潤司船長ほか乗組員各位に謝意を表す。

方 法

1984年4月12~22日と1985年4月10~19日に図1に示した山陰沿岸の29定点(85年についてはSta.95

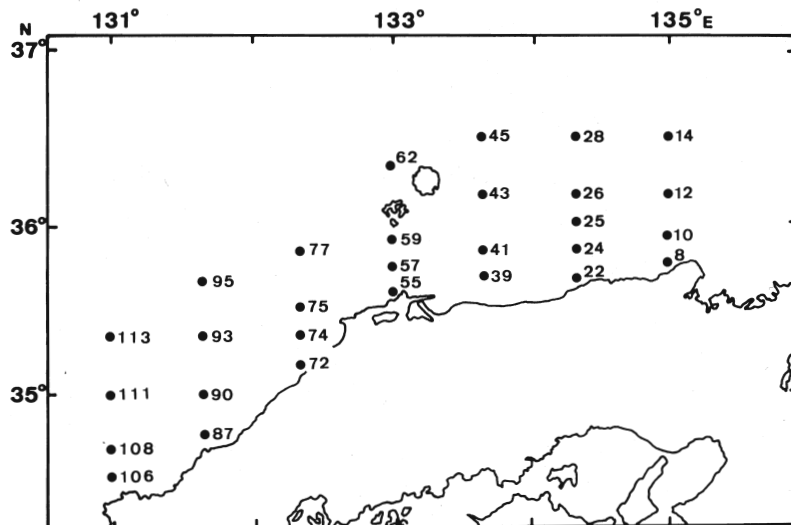


図1 観測定点

まで)で表層から300mまでの各層観測を行い、水温(WT)、塩分(Sal)、溶存酸素(DO)、溶存態無機窒素(DIN=硝酸態窒素+亜硝酸態窒素)、リン酸態リン(DIP)、クロロフィルa(Chl)について測定した。水温は棒状温度計または転倒温度計、塩分はサリノメーター(オートラボ601MKⅣ)を用い、溶存酸素量はウィンクラー法によった。また、溶存態無機窒素はオートアナライザーによるCd-Cuカラム法、リン酸態リンはモリブデンブルー法、クロロフィルaは蛍光法によった。

分析したデータのうち、表層の結果に注目して水温と塩分値からT-Sダイアグラムを作成し、水塊の分布を調べた。さらに相関行列から出発して主成分分析を行い、海域を特徴づけている要因を推定して、それを基に84、85年について山陰沿岸域をいくつかの海域に区分した。なお、主成分分析の計算は、NECパーソナルコンピューターPC9801Fを用い、ソフトウェアは、日本マイコン学院製統計パッケージ「多変量解析」を利用した。

主成分分析を用いて海洋環境を解析した例は、これまで鈴木ほか(1981)、大内・高山(1981、1984)などがあり、前者は東京湾の生態系、低次レベルのシステム特性の解明のため、また後者は広島湾における赤潮の発生環境の解析および予察のために利用し、いずれも本法が有効な方法であることを述べている。さらに長田ほか(1986)は、84年春季の山陰沿岸域の海況を主成分分析によって解析し、マイワシ産卵場との関連について論じている。

結果および考察

表層におけるT-Sダイアグラムから、1984年の海域は相対的低温、低塩分(A)、高温、高塩分(C)、両者の中間的な水温、塩分(B)、および、比較的高温で低塩分(D)を示す4つのグループに分けることができた(図2)。地理的分布からみると、Aは隠岐島東方にあって北方系冷水域を、Cは、隠岐島以西にあって対馬暖流水域を示していると思われた。Bに属する定点は地理的にもAとCの中間にあり、両者の混合域と考えられる。さらに、Dには沿岸寄りの定点が多く、陸水流入による低塩分化が示唆された(図3)。一方、85年においても、84年と同じように4つの海域に区分できた(図4、5)。ただ、全体的に85年は84年よりも2~3℃高めの点が多いが、84年は異常冷水年であったことを考えれば、むしろ85年の水温の方が平均並みの値と考えられる。T-S解析は水塊分析の基本的な手法の一つであるが、今回は水温、塩分だけでなく、溶存酸素量、栄養塩濃度、クロロフィル量など、生物にとって重要な多くの環境項目も測定しており、これらのもつ情報も反映させることによって、より具体的な海況のイメージを把握できると考えられる。そこで、ここでは主成分分析法による解析を試み、1984、85年における分析結果を表1、2に示した。

84年の場合、第2主成分(Z2)までで元のデータの89%の情報が集約され、11%の情報損失で6次元空間の点を2次元(Z1、Z2)の平面座標上に移すことができた。各主成分に対する元の変数の相関係数である因子負荷量を見ると、第1主成分(Z1)は水温、塩分と正の相関があり、溶存酸素量、クロロフィル量と負の相関があった。一般に暖流の勢力が強いところは水温、塩分が高く、貧栄養のため、クロロフィル(植物プランクトン)量が少ない。一方、沿岸では陸水の流入によって低塩分となり、

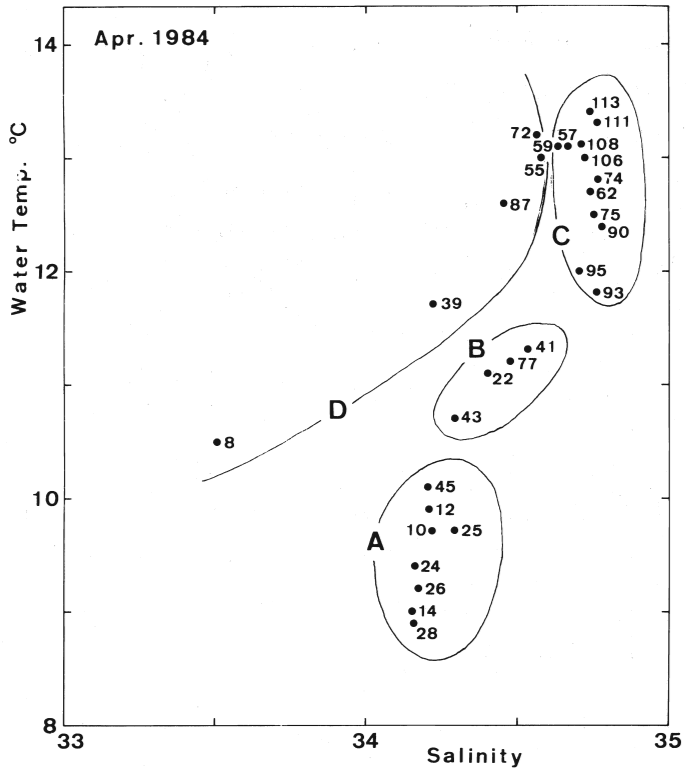


図2 1984年の各定点における水温—塩分値

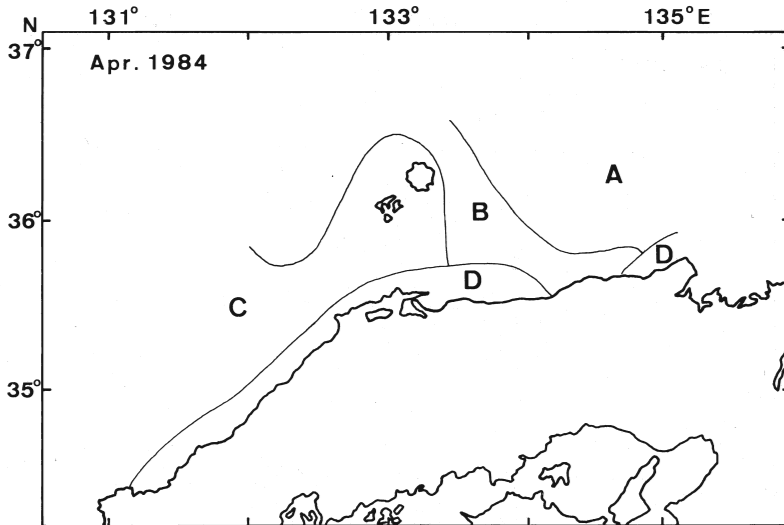


図3 T—Sに基づいた海域区分 (1984年4月)

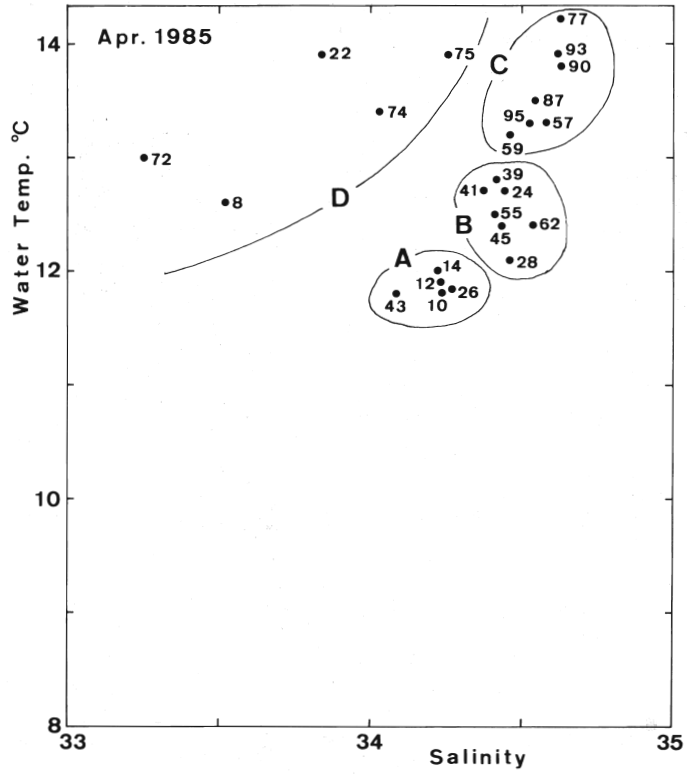


図4 1985年の各定点における水温-塩分値

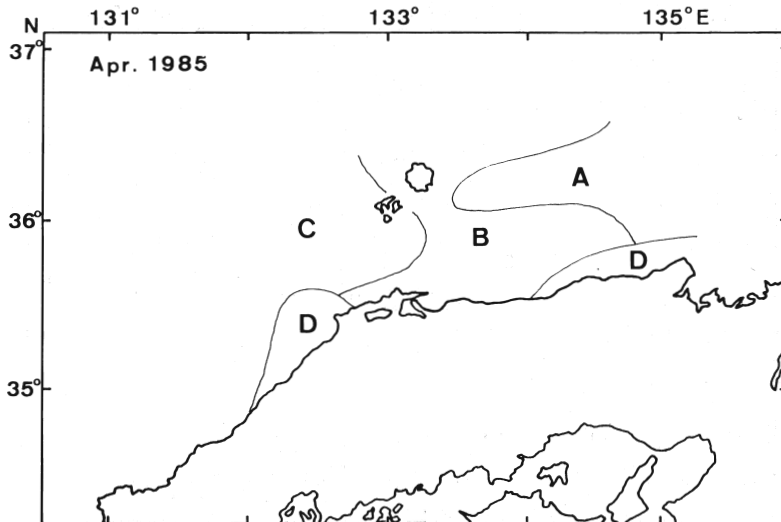


図5 T-Sに基づいた海域区分 (1985年4月)

表1 主成分分析結果 (1984年4月)

主成分	Z 1		Z 2		Z 3			
固有値	2.97		2.37		0.34			
累積寄与率(%)	49.46		89.01		94.71			
	平均値	標準偏差	EV	FL	EV	FL	EV	FL
水温	11.53	1.49	0.45	0.77	0.36	0.56	0.27	0.16
塩分	34.47	0.30	0.53	0.91	0.14	0.22	0.13	0.08
DO	6.80	0.42	-0.55	-0.95	0.11	0.17	-0.22	-0.13
DIN	0.65	0.65	-0.04	-0.07	-0.63	-0.97	0.12	0.07
DIP	0.10	0.08	0.14	0.24	-0.60	-0.93	0.41	0.24
Chl	1.70	1.19	-0.44	-0.76	0.28	0.43	0.82	0.48

EV：固有ベクトル FL：因子負荷量

表2 主成分分析結果 (1985年4月)

主成分	Z 1		Z 2		Z 3			
固有値	3.09		1.06		0.87			
累積寄与率(%)	51.48		69.11		83.61			
	平均値	標準偏差	EV	FL	EV	FL	EV	FL
水温	12.87	0.75	0.44	0.78	0.27	0.28	0.21	0.20
塩分	34.29	0.33	0.26	0.46	-0.31	-0.32	-0.87	-0.81
DO	6.42	0.33	-0.52	-0.91	0.04	0.04	-0.15	-0.14
DIN	0.08	0.07	0.51	0.90	0.02	0.02	-0.10	-0.09
DIP	0.10	0.08	0.45	0.79	-0.05	-0.05	0.23	0.22
Chl	0.08	0.13	0.01	0.02	-0.91	-0.93	0.35	0.32

EV：固有ベクトル FL：因子負荷量

豊富な栄養塩によってクロロフィルも高濃度となる傾向がある。したがって、この場合、第1主成分は対馬暖流の影響の度合いを示す成分と考えられた。また第2主成分は水温、クロロフィル量と弱いながら正の相関があり、DIN、DIPと強い負の相関があったことから、栄養塩の供給に関係していることが示された。いま、各変数をすべて基準化（平均0，分散1）したとき、Z1、Z2はそれぞれ

$$Z1 = 0.45WT + 0.53SAL - 0.55DO - 0.04DIN + 0.14DIP - 0.44Chl$$

$$Z2 = 0.36WT + 0.14SAL + 0.11DO - 0.63DIN - 0.60DIP + 0.28Chl$$

と表せる。

各定点におけるZ1、Z2を計算し、座標にプロットすると、4つのグループに区分できた（図6）。すなわち、Ⅰ：対馬暖流の影響が強く、植物プランクトンが少ない海域、Ⅱ：Ⅰより対馬暖流の影響は弱く、植物プランクトンがやや多い海域、Ⅲ：水温、塩分が低く、DO、植物プランクトンが多い海域、Ⅳ：水温、塩分は低いが、栄養塩が多い海域、である（図7）。Ⅳの海域は各層観測の結果、湧昇を示唆するパターンがみられた。また、Ⅲの海域は兵庫県沿岸と隠岐島西方の2か所があるが、前者は陸水流入により、後者は湧昇によって供給された栄養塩によって植物プランクトンが増殖したと考えられる

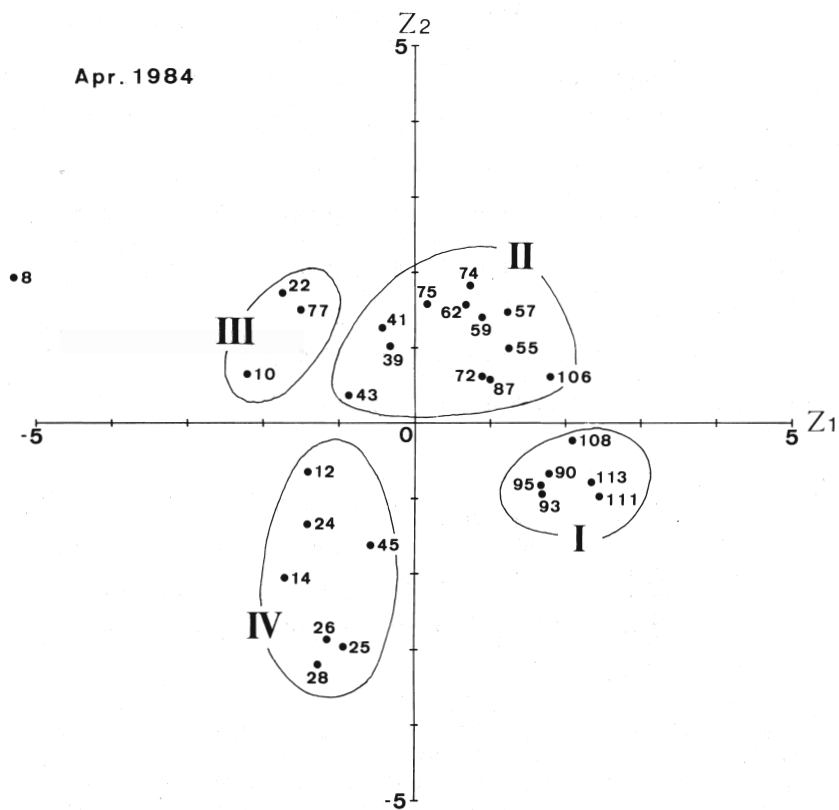


図6 第1 (Z1), 第2 (Z2) 主成分上でのスコアの散布図 (1984年4月)

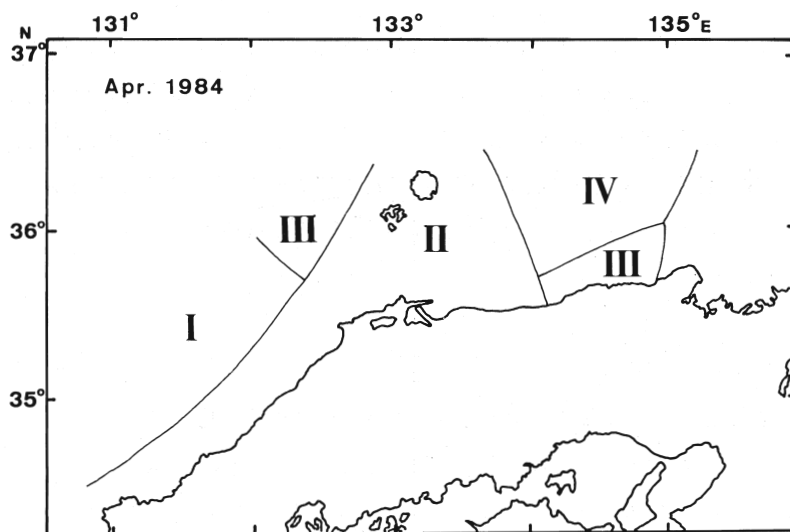


図7 主成分分析に基づいた海域区分 (1984年4月)

(長田・木谷 1984)。

85年の場合、第2主成分までで元のデータの69%の情報が集約され、31%の情報損失で84年と同様に6次元空間の点を2次元平面座標上に移すことができた。第1主成分(Z1)は水温と正の相関があり、塩分とも弱いながら正の相関があった。また、DOとは高い負の相関があった。一方、DIN、DIPとは高い正の相関がみられたが、いずれも標準偏差が小さく、データのバラツキが小さいので、これらのもつ情報量は少ないと思われる。したがって、Z1は水温と溶存酸素量に関係が深いようである。一方、第2主成分(Z2)はクロロフィル量と高い負の相関があり、植物プランクトンの現存量に関係していると思われる。84年のとき同様にZ1、Z2はそれぞれ

$$Z1 = 0.44WT + 0.26SAL - 0.52DO + 0.51DIN + 0.45DIP + 0.01Chl$$

$$Z2 = 0.27WT - 0.31SAL + 0.04DO + 0.02DIN - 0.05DIP - 0.91Chl$$

と表せる。

各定点におけるZ1、Z2を計算し、座標にプロットすると、主成分の意味は違うものの、84年と同様、おおよそ次の4つのグループに区分できた(図8)。すなわち、I：水温が高く、植物プランクトンが少ない海域、II：Iより水温は低いが、植物プランクトンが多く、また溶存酸素量も多かった海域、III、IV：水温はどちらも低く、溶存酸素量が多いが、IIIはIVより植物プランクトンが多かった海域、である(図9)。

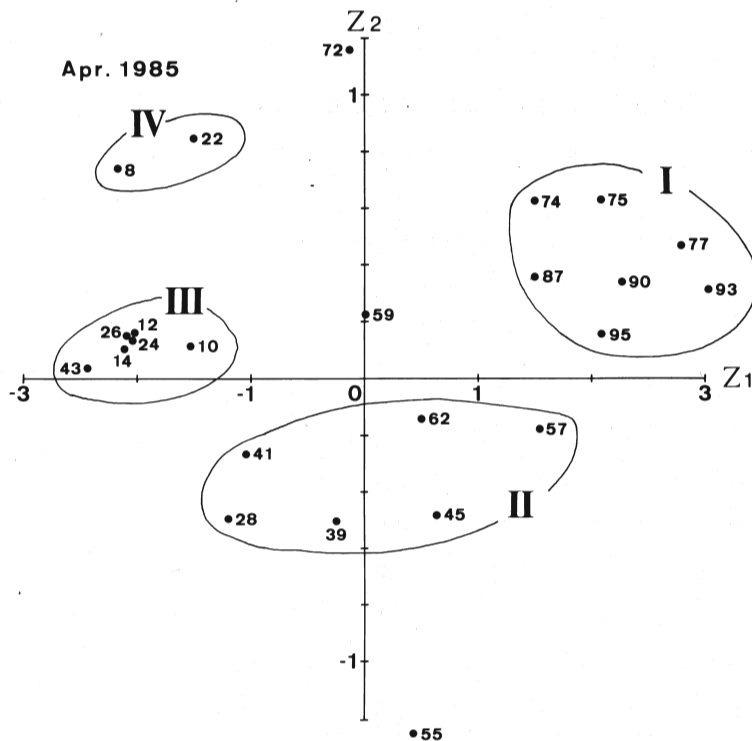


図8 第1(Z1)、第2(Z2)主成分上でのスコアの散布図(1985年4月)

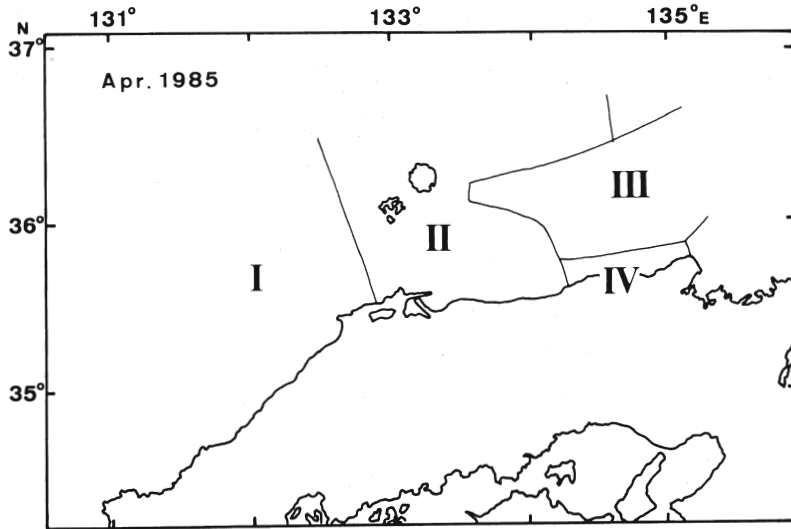


図9 主成分分析に基づいた海域区分 (1985年4月)

84年と85年でT-Sによる区分と主成分分析に基づいた区分を比較したところ、85年は両者の海域区分は島根県沿岸を除いて、ほぼ一致していた(図5, 9)が、84年は全体的にかなり異なっていた(図3, 7)。しかし、マイワシ産卵域との関係を見ると、84年についてはクロロフィル、栄養塩濃度等も含めた主成分分析による海域区分の方がT-Sに基づいたものよりも産卵域と非産卵域をよく区別しており、水温、塩分以外の要因も産卵に関与していることが示唆されている(長田・木谷 1986)。

ところで、84年と85年では主成分の意味が異なったということは、観測項目の各主成分に対する寄与の重みが大きく変化したことを意味している。図10は、もとの6つの特性値(測定値)が84年と85年とで第1, 第2主成分に対し、どのような重みで寄与しているかを表している。主成分分析においては、各主成分に対する因子負荷量(相関係数)の2乗の和は1であるため、この場合、半径1の円周に近いものほど第1, 第2主成分のみで、その特性値が持っている情報を説明できることになる(奥野ら 1971)。図10より、特にDIN, DIP, クロロフィル量は84年と85年とで、主成分に対する寄与が大きく異なっていることが示された。すなわち、DIN, DIPは84年はZ2との高い負の相関がみられたが、85年にはZ2にはほとんど無相関で、Z1と高い正の相関を示した。また、クロロフィル量は85年はZ1に

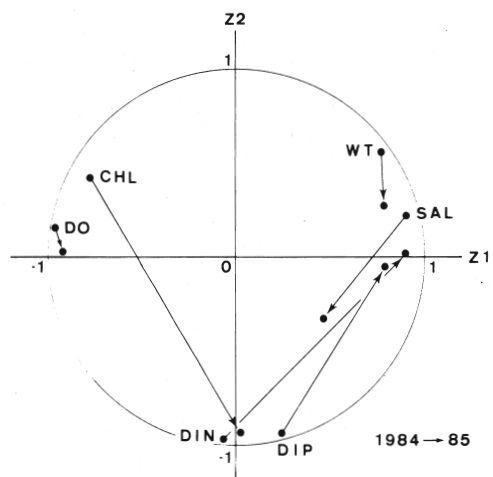


図10 各特性値の第1, 第2主成分に対する因子負荷量の変動

は無相関であり、Z2と高い負の相関がみられた。そのほかDO、水温はそれほど大きな変化はなかったが、85年の塩分は第1、第2主成分だけでは説明が困難であることが示されている。全体的に85年は84年に比べ、主成分の解釈が困難である。よりの確な主成分の意味づけを行うためには、今後観測項目の吟味、さらには海洋環境に対する基礎的な知見の蓄積が必要である。

要 約

1984年と85年の4月における山陰海域の環境特性を主成分分析によって検討し、以下の結果を得た。

- 1) 主成分分析法により、従来のT-S解析だけでは把握しきれない環境特性が明らかになった。
- 2) 1984年は対馬暖流の影響および栄養塩の供給の程度を示す2つの主成分によって4つの海域に区分できた。一方、85年は水温、植物プランクトン量に関係が深い2つの主成分によって4つの海域に区分できた。
- 3) 84年と85年とでは、観測項目の主成分に対する寄与が異なり、特にDIN、DIP、クロロフィル量における変化が著しかった。

参 考 文 献

- 長田 宏・木谷 浩三 (1984). 1984年春季の山陰沖におけるクロロフィル a 分布と海洋構造, 日水研報告 (35), 161-164.
- 長田 宏・木谷 浩三・渡辺 和春 (1986). 1984年4月の山陰沿岸域におけるマイワシ産卵場の海洋特性. 水産海洋研究会報, (50), 298-303.
- 奥野 忠一・久米 均・芳賀 敏郎・吉沢 正 (1971). 多変量解析法, 日科技連出版社, 東京, 430pp.
- 大内 晟・高山 晴義 (1981). 主成分分析による赤潮因について, 日水誌, (47), 1275-1279.
- 大内 晟・高山 晴義 (1984). 赤潮因による *Gymnodinium* '65年型種赤潮の予察について, 日水誌, (50), 1201-1205.
- 鈴木 正明・大内 東・小峰 淳・福岡 二郎・加地 郁夫 (1981). 主成分分析による水質データの解析. 海と空, 56 (4), 1-9.