

## 宿毛湾における海藻の分布と主成分分析による海域区分

今尾 和正<sup>1</sup>

### 要旨

高知県宿毛湾の湾奥から湾中央部にかけて、海藻、造礁サンゴ類の分布を潜水により調査し、その結果を主成分分析により解析した。第1主成分はアナアオサ等の湾奥に多い種と、マクサ、エツキツタなど湾中央部に多い種で特徴付けられた。第2主成分はヘラヤハズ、アヤニシキなど湾の北岸に多い種と、フタエモク、造礁サンゴ類など湾の南岸に多い種で特徴付けられた。これらの結果から海域区分を行った。また、宿毛湾の海藻植生を支配する海況要因として、塩分濃度を主体とする河川水の影響と、水温が推定された。

### はじめに

海藻植生による海域区分や、海藻の環境指標性についてはわが国でこれまでいくつかの試みがなされてきたが、解析方法は十分客観的といえるレベルには至っていないようである(太田 1973, 片田ら 1978)。近年多変量解析のひとつである主成分分析が日本でも海洋の分野で使用されるようになってきている(石川 1978, 大内・高山 1981, 杜多 1983, など)。そこで高知県宿毛湾で潜水によって海藻の分布を調査し、その結果を主成分分析によって解析して海域区分を行い、それを支配する海況要因をほぼ明らかにしたのでここに報告する。

### 宿毛湾の海況特性

宿毛湾は四国の南西部に位置し、湾口が豊後水道に向かって扇型に開いた解放的な湾である(Fig. 1)。これまでの調査から以下の海況特性が報じられている。秋山・柳(1984)が冬季に行った流動と水温の連続観測によると、暖水塊の湾内流入によって約10日の間隔で湾全体の水温が約2℃ほど急上昇する現象が明らかにされた。湾内には反時

計回りの水平環流が存在しており、この水平環流は、湾内に水温の急変現象が起こる時、湾口から湾中央部にかけてより顕著に現れたという。これらのことから、外洋系の暖水塊が湾口南側から流入して、湾中央～湾奥へと進入すると考えられた。

冬季と夏季に行われた水質調査(水面下0.5m層)をもとに主成分分析が行われた((社)産業公害防止協会 1982a, 1982b)。いずれも河川水の影響が強く認められ、湾口部、湾奥部、およびその移行域などに区分された。

### 方法

#### 分布調査

海藻の分布調査は1983年5月28日から5月30日の間、宿毛湾中央部から湾奥にかけて、105地点を設定して行われた(Fig. 1)。調査にあたっては、スキューバあるいは素潜りにより潜水し、主たる海藻と造礁サンゴ類の被度階級を記録した。被度階級は、0 : 0%, 1 : 1~25%, 2 : 26~50%, 3 : 51~75%, 4 : 76~100%とした。被度の観察に当たっては特に方形枠などは用いず、主たる海藻の被度階級を記録した。観察が行われた水深は低潮面から水面下約10mまでで、多くの場合、水面下約5mまでである。

#### 主成分分析

植生調査の結果から比較的よく出現した16種の海藻を選びだした。16種の海藻は、緑藻ではアナアオサ(U<sub>p</sub>)、ホソジュズモ(C<sub>cr</sub>)、エツキツタ(C<sub>r</sub>)、ヘライワツタ(C<sub>b</sub>)、ミル(C<sub>f</sub>)、ナガミル(C<sub>cy</sub>)の6種、褐藻類ではヘラヤハズ(D<sub>p</sub>)、ウミウチワ(P<sub>a</sub>)、フクロノリ(C<sub>s</sub>)、フタエモク(S<sub>d</sub>)の4種、紅藻類ではカギケノリ(A<sub>t</sub>)、マクサ(G<sub>a</sub>)、ウスカワカニノテ(A<sub>z</sub>)、ツカサアミ(K<sub>p</sub>)、オゴノリ(G<sub>v</sub>)、アヤニシキ(M<sub>d</sub>)の5種である。主成分

<sup>1</sup>株式会社日本海洋生物研究所 神戸支店

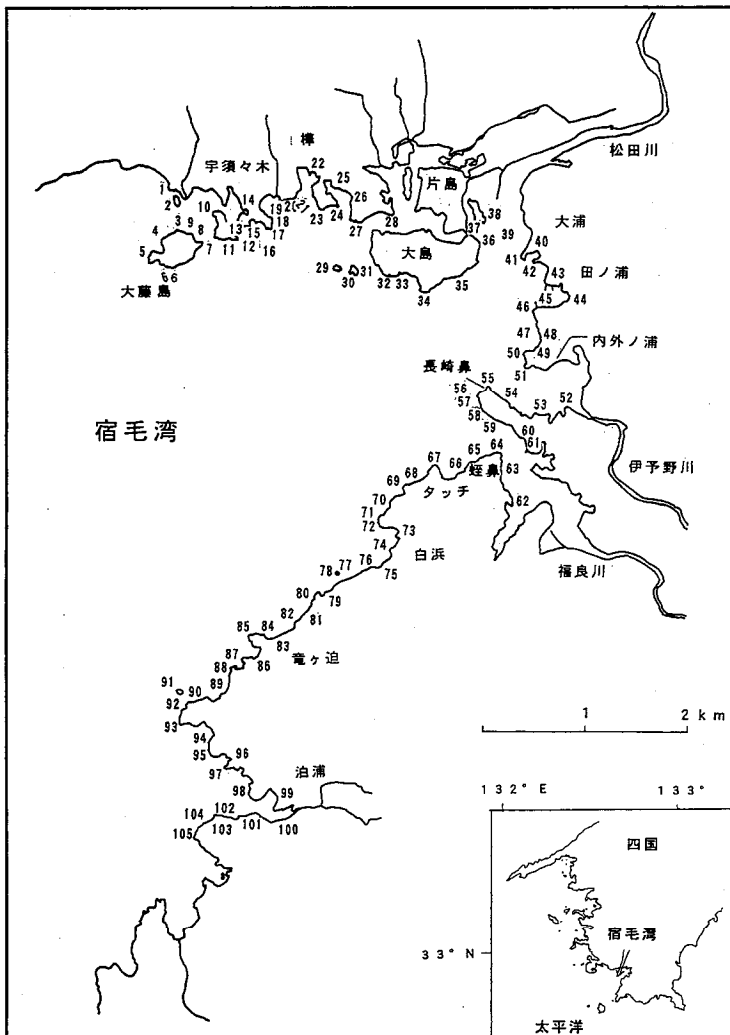


Fig. 1 宿毛湾の位置と調査地点

分析 (PCA) で用いた特性値すなわち変数は、これら16種の海藻と造礁サンゴ類 (Co) の合計17である。サンプルは、105地点の調査データの中から、オゴノリしかみられなかった砂泥底の地点 (St. 73) を除いた104地点のデータである。海藻の繁茂状況は水深別に記録されているが海藻の垂直分布は同じ種であっても場所によって異なる。このため、ある地点におけるある種の被度階級値は、最も高い被度階級値を示した水深区分の値をその地点の代表値とした。PCAにあたっては、この被度階級をそのまま使用し、相関行列から出発した。PCAのコンピュータ・プログラムは芳賀・橋本 (1980) によった。

**結果  
分布**

比較的良好に観察された16種の海藻と造礁サンゴ類の被度階級をTable 1に示した。アナアオサ (Up) とミル (Cf) はほぼ全域でみられたが、湾北岸の大藤島から大島付近にかけては少なかった。表には示さなかったが、松田川河口の砂泥底では、ア

ナアオサの大規模な堆積が見られた。オゴノリ (Gv) は松田川河口域から内外ノ浦にかけて分布し、特に入り江でよくみられ、砂質底の白浜周辺では大規模な純群落がみられた。ウスカワカニノテ (Az) とホソジュズモ (Ccr) は上記の北岸と、内外ノ浦、長崎鼻周辺でみられ、後者は閉鎖的な場所に多かった。ヘラヤハズ (Dp) は北岸に遍在し、南岸の内外ノ浦以南では全く見られなかった。ウミウチワ (Pa) は、北岸の閉鎖的な場所によくみられるほか、南岸の一部にも分布していた。ナガミル (Ccy) とアヤニシキ (Md) は松田川河口域を除くほぼ全域でみられ、特にアヤニシキの出現頻度は高かった。フクロノリ (Cs) は大島や松田川河口周辺を除くほぼ全域に分布し、特に白浜から竜ヶ迫にかけてよくみられた。イワツタ属のヘライワツタ (Cb) とエツキツタ (Cr) も広い範囲でみられたが、エツキツタは松田川河口域から内外ノ浦、蛭鼻にかけてはみられなかった。ヘライワツタは内外ノ浦周辺にも分布し、特に入り江になっている場所で目についた。マクサ (Ga) は松田川河口域を除くほぼ全域に広く分布し、アヤニシキと同様に

Table. 1 16種の海藻と造礁とサンゴ類の被度階級 (0:0%, 1:1-25%, 2:26-50%, 3:51-75%, 4:76-100%)

	Up	Cf	Gv	Az	Ccr	Dp	Pa	Ccy	Md	Cs	Cb	Cr	Ga	Kp	At	Sd	Co
	1		1			2		3	2			3					
	2					3		3	3								
	3				1	2	3	2	1		2		3				
	4				2	3	2	3	2	1	1	3	2				
大蔵島	5					1						3	1				
	6					2			1			4	2				
	7											3	4				
	8				4			3									
	9	2															
	10			1	4		1					1					
	11					2			2	1	3	2	2				
	12				1	3	2		1		3						
	13			3	3	1			2	1	2						
	14				4												
	15					4			1			2					
	16				1	2	2		1			3	2				
	17				1	2	2		1			3	2				
	18					2	2		1			3	2				
	19						3										
	20	4															
	21				2	2		4	1			2			1		
	22				2	1			1								
	23					1			1			2					
	24		1	3	2	1	2		1	2							
	25	1		3	2	2	2		2	2							
	26		1	3	3	2		3	2	2	2						
	27		1		1	1		1	2				1				
	28							1									
	29								2			1	1				1
	30			3					1			3	1				
大島	31		1										1				
	32					1			1		1	4	1				
	33			3	3			3	1			2					
	34			3				3	2			3	1		1		
	35	2		1													
	36	1															
	37	1															
松田川	38	4															
	39	2		2													
	40	4		2													
	41	1	2		2												
	42	2	1		3	2	2		2		2						
	43	1			3	2	2	2	1		2		2				
	44	1		1													
	45	3	3	2		3											
	46				2				2		1						
	47	1		3		1			1	3			1				
内外ノ浦	48		1	1	2	2			1		1						
	49			4													
	50				3	1			1				1				
	51		1		2	2											
	52	1															
	53	2	3	2	3			2									
長崎島 →	54	3	3		2			2									
	55	4	1		1			1			1						
	56	1						1	1				2				
	57	1			4	1		3	1			1					
	58	3	1		3	2		1			1		2	1			1
	59	2			2	2							2	1			
	60	3			3	2											
	61	3															
	62	2	2					1									
	63	1	2			1		2									
蛭島 →	64	2	1		1	2						1					
	65	1					1			1		1				1	
タッチ →	66	1	1				1	1		1					1	1	1
	67				3				1				1	1	1		
	68	1						1	1			1	2	2			
	69								1			1	1	1	1		1
	70								1		1	1	1				
	71								2			2	3				
	72								1		2	1	2	3	2		
	73			4													
白浜	74							1	1	1	1					2	3
	75			2	1		1	1	1	2	2		1	2			
	76	1	1					1	1	2	3		1				1
	77	1	1					1	1	1			1	3			
	78	1	1					1	1	2						1	4
	79							1		1		1				4	3
	80	1	1				1		2	1	2		2			3	
	81		1						1	2	2	1			1	2	
	82				2				2	1					1	2	2
	83		1					2	2	2			1				
	84								1	2				1	2		
竜ヶ追	85							1	1				2		1	4	
	86						4	4		1						1	
	87	2						1	2			1	1	1	1	3	
	88							1	1				4	1	1	3	
	89		1							1		1	1				4
	90		1		3				1				2				
	91		1							2		2				3	
	92								2				2		1	2	
	93											4	2			4	
	94	1									2	2	1			1	4
	95	1									2	4	2			4	
	96	2									4	1					2
	97							1	1		3	1	2			3	
	98	2			3				1	1	3	1	2				
泊浦	99				1						2					3	
	100	2	1		3					2							
	101										1	1				3	
	102	1							1			2	2		1		
	103	1									1						1
	104	1									1		4				
	105	2										2	2				

Up : アナアオサ  
 Cf : ミル  
 Gv : オゴノリ  
 Az : ウスカワカニノテ  
 Ccr : ホソヤハズモ  
 Dp : ヘラヤハズ  
 Pa : ウミウチワ  
 Ccy : ナガミル  
 Md : アヤニシキ  
 Cs : フクロノリ  
 Cb : ヘライワツタ  
 Cr : エツキヅタ  
 Ga : マクサ  
 Kp : ツカサアミ  
 At : カギケノリ  
 Sd : フタエモク  
 Co : 造礁サンゴ類

出現頻度が高いが、竜ヶ迫以南での出現頻度がアヤニシキより高かった。ツカサアミ (Kp), カギケノリ (At), フタエモク (Sd), 造礁サンゴ類 (Co) は、ほぼタッチ以南の湾南岸だけにみられ、特にツカサアミとフタエモクは湾北岸では全く見いだせなかった。

これらのほかに、フタエモク以外のホンダワラ属では、イソモク (St. 28, 42, 43, 45, 60, 61, 65, 66, 74, 87, 93), マメダワラ (St. 25, 28, 42, 43, 45, 60, 86, 99), タマハハキモク (St. 3, 60) が認められた。St. 4 ではヒジキがみられ、St. 34 では *Sargassum* 亜属の一種が出現していた。

### 主成分分析

まず、Table 1 に示した104地点16種の海藻と造礁サンゴ類の被度階級値に対してPCAを適用した。Fig. 2 に各種海藻等の因子負荷量を示した。第1主成分 ( $Z_1$ ) の係数の符号は、河口域や湾奥でよくみられる種で正、湾中央部に多い種で負となった。第2主成分 ( $Z_2$ ) の係数では、北岸でよくみられる種で正、南岸に多い種で負であった。しかし、固有値は  $Z_7$  ではじめて1以下となり、累積寄与率は  $Z_7$  で65.4%で、情報の集約率はよくなかった。  $Z_5$  までの累積寄与率が低い種はオゴノリ (17.3%), ウミウチワ (33.1%), ミル (37.6%) などであった。

17種によるPCAでは情報の集約率がよくなかったため、いく通りかのPCAを試行的に行って、採用する種を選択した。情報の集約度合いは採用する種を少なくすればするほど高くなるが、なるべく多くの種が検討の対象となるように努めた。最終的に、ミル、ナガミル、ヘライワツタ、ウミウチワ、フクロノリ、オゴノリの6種を捨て、残る11種にPCAを適用した。これらの種を除くことに

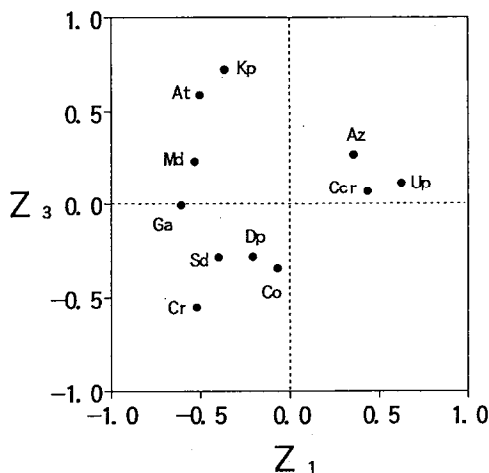


Fig. 2 16種の海藻と造礁サンゴ類の因子負荷量 (Up: アナアオサ, Cf: ミル, Gv: オゴノリ, Az: ウスカワカニノテ, Ccr: ホソジュズモ, Dp: ヘラヤハズ, Pa: ウミウチワ, Ccy: ナガミル, Md: アヤニシキ, Cs: フクロノリ, Cb: ヘライワツタ, Cr: エツキツタ, Ga: マクサ, Kp: ツカサアミ, At: カギケノリ, Sd: フタエモク, Co: 造礁サンゴ類)

よって、どの種も出現しなくなった3つの地点のデータは適用外とした。すなわちPCAに適用されたデータは101である。

11種によるPCAから、各々の種の因子負荷量を Fig. 3 に示した。固有値は  $Z_5$  で1以下となり累積寄与率も  $Z_3$  で52.4%と情報の集約率はよくなった。  $Z_1$  の係数は、松田川河口域や湾奥部に繁茂していたアナアオサ (Up), ホソジュズモ (Ccr), ウスカワカニノテ (Az) で正であった。マクサ (Ga), アヤニシキ (Md), エツキツタ (Cr) などのように、松田川河口域や長崎鼻から蛭鼻にかけての湾奥では全くみられないか、みられても少ない種で負となった。  $Z_1$  の係数が正である3種のうち、因子負荷量が最も大きな値であったのはアナアオサであった。  $Z_2$  の係数はヘラヤハズ (Dp), アヤニシキ (Md), ホソジュズモ (Ccr) など北岸でよくみられる種で正、フタエモク (Sd), 造礁サンゴ類 (Co) など南岸でよくみられる種で負となった。  $Z_3$  の係数はツカサアミ (Kp), カギケノリ (At) などで正、エツキツタ (Cr), 造礁サンゴ類 (Co) などで負であったが、海藻の分布傾向との関係は明確でなかった。

Fig. 4 に、11種によるPCAから各地点における  $Z_1$ ,  $Z_2$ ,  $Z_3$  のスコアを图示した。  $Z_1$  の係数は、

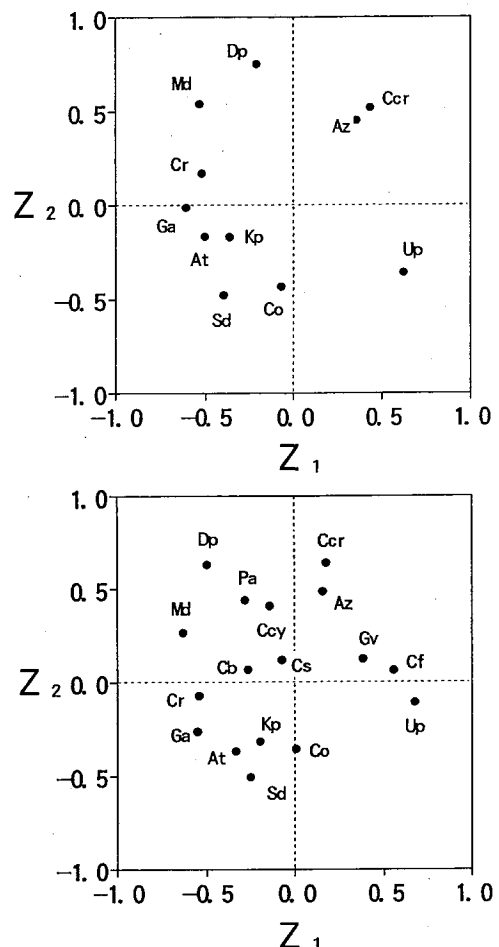


Fig. 3 10種の海藻と造礁サンゴ類の因子負荷量

大島東岸から松田川河口、内外ノ浦、蛭鼻にかけてや、泊浦のように、河川が流入している水域、あるいは北岸の入り江などで正の値であった。反対に、北岸の大藤島やタッチ以南の南岸で負の値であった。 $Z_2$ の係数は、北岸と田ノ浦から内外ノ浦にかけてで正の値となり、長崎鼻から南の地点で負の値となった。

以上の $Z_1$ と $Z_2$ のスコアから海域区分を行った(Fig. 5)。Ⅰ海域は大藤島から大島西岸にかけての湾の北岸で、 $Z_1$ が負、 $Z_2$ が正である。しかし、 $Z_1$ は大藤島の北岸や入り江などのいくつかの地点では正である。Ⅱ海域は大島東岸から松田川河口域、内外ノ浦、タッチにかけての湾奥部で、さらにⅡa、Ⅱb、Ⅱcの3区に細分される。Ⅱaは大島東岸から大浦にかけてで、 $Z_1$ が正、 $Z_2$ が負である。Ⅱbは田ノ浦から内外ノ浦にかけてで、 $Z_1$ 、 $Z_2$ ともに正である。Ⅱcは長崎鼻周辺からタッチにかけてで、 $Z_1$ 、 $Z_2$ の符号はⅡaと同じである。Ⅲ海域はタッチ以南の南岸で、 $Z_1$ 、 $Z_2$ ともに負の値である。Ⅲ海域のうち小河川が流入している泊浦は、ⅡaあるいはⅡcと同じ特徴を有している。

#### 考察

本報告では主たる海藻の被度を記録したため、当然、種の見落としがある。17種によるPCAから出発し、情報の集約率を高めるため分析の対象とする種を取捨選択していくつかの計算を行ったが、どの組み合わせでも $Z_1$ 、 $Z_2$ の特性はほとんど同じであった。

各種の $Z_1$ の因子負荷量は、アナアオサ、ホソジュズモなど、内湾でよくみられる種で正であつ

た。各地点の $Z_1$ のスコアは、松田川、伊予野川および福良川が流入している水域や、泊浦などのように小河川が流入する水域で正であった。 $Z_1$ のスコアが負の水域は、湾北岸で南に面している地点や、タッチ以南の湾南岸など、河川が流入していない場所であった。因子負荷量やスコアから判断すると、 $Z_1$ は河川水の影響度合いを要約していると考えられる。

$Z_2$ の因子負荷量が正となった、ヘラヤハズ、アヤニシキ、ホソジュズモ、ウスカワカニノテなどは、太平洋沿岸中・南に分布する種である。因子負荷量が負であるフタエモク、造礁サンゴ類、カギケノリ、ツカサアミなどは、太平洋沿岸南部のほか、南西諸島にも分布し、 $Z_2$ が正の種のグループよりも南方に分布するグループと言えよう。各地点の $Z_2$ のスコアは、松田川河口域を除き、ほぼ湾北岸で正、南岸で負であった。

秋山・柳(1984)が示した冬季の水温の水平分布図によると、水温は湾奥より湾口で高く、北岸より南岸で高い。暖水塊が流入したと考えられるときには、南岸で水温が顕著に高くなる。

各種海藻の地理的分布や、宿毛湾の水温分布・流動を考慮すると、 $Z_2$ に要約される海藻の分布の特徴は、水温と強い関係があると考えられる。

$Z_3$ に要約される特徴については明らかにすることはできなかった。

水質調査のデータにPCAを適用して区分された海域((社)産業公害防止協会 1982a, 1982b)は湾の北岸と南岸の差が明らかではない。海藻の分布に対してPCAを用いると、湾央、湾奥の区分のほか、湾

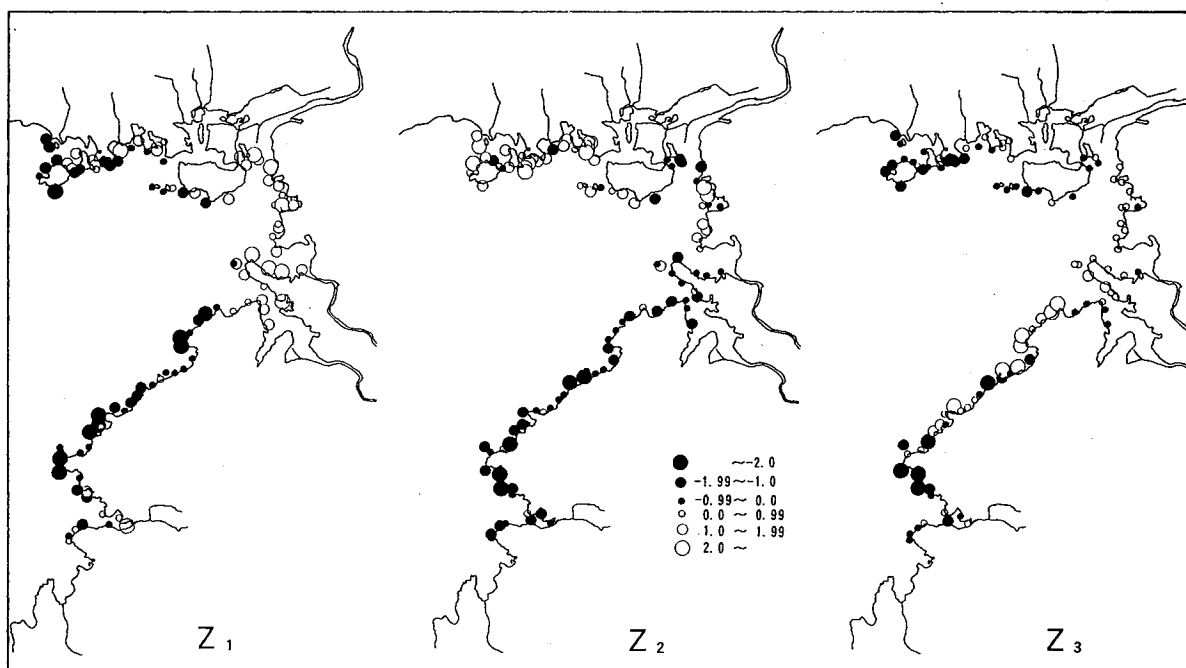


Fig. 4 11種の主成分分析による各地点の $Z_1$ 、 $Z_2$ 、 $Z_3$ のスコアの分布

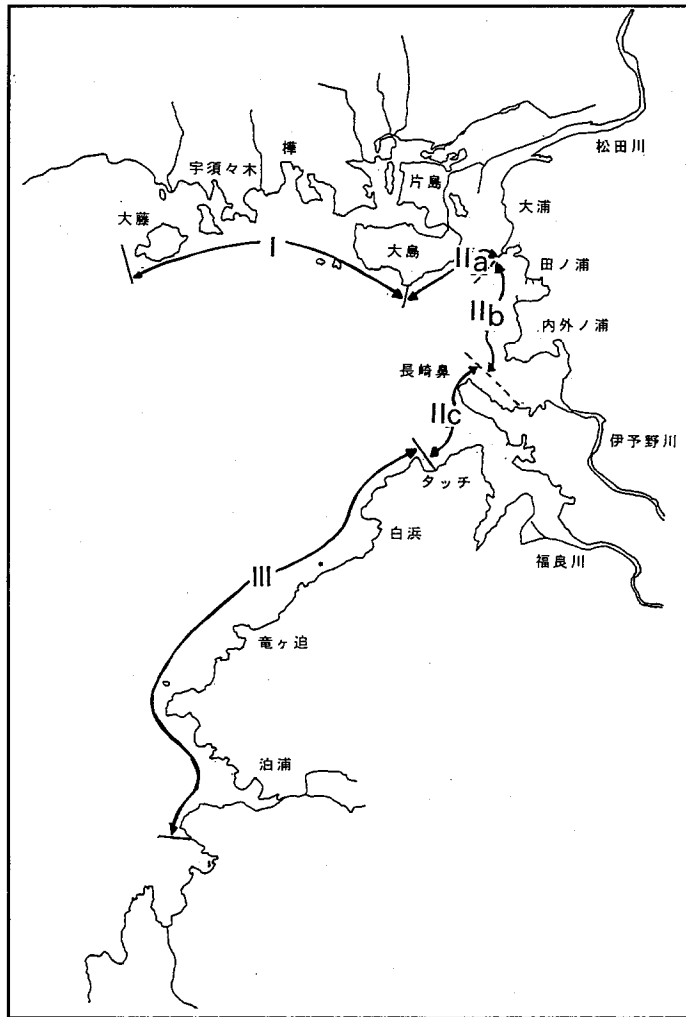


Fig. 5 主成分分析による宿毛湾の海域区分

の北と南の差が明らかとなった。海藻植生の差は物理・化学的環境要因が蓄積された結果であるから、水質調査では明らかにすることができない違いを、海藻植生を見ることによって判断することができる。推定された $Z_1$ ,  $Z_2$ の特徴から、宿毛湾の海藻植生を支配する要因として、栄養塩類や透明度も無視できないであろうが、主として塩分濃度を主体とする河川水の影響と、水温があげられる。

#### 謝辞

貴重な助言をいただいた東京水産大学名誉教授片田実博士に拝謝する。また、調査結果の公表の機会を与えられた高知県及び社団法人産業公害防止協会に感謝する。

#### 参考文献

- 秋山秀樹・柳哲雄 1984. 宿毛湾における水温急変現象の機構。沿岸海洋研究ノート, 22, 61-66.  
 社団法人産業公害防止協会 1982a. 昭和56年度産業公害総合事前調査(宿毛湾地区)水質関係現地調査報告書。  
 社団法人産業公害防止協会 1982b. 昭和57年度産業公害総合事前調査(宿毛湾地区)水質関係現地調査報

告書。

- 石川公敏 1978. 海洋環境調査結果への多変量解析の応用, 主成分分析による海域特性の見方。公害, 13, 31-47.  
 片田実・山川紘・今野敏徳 1978. 潮間帯生物の変動とその指標性に関する研究, 農林水産生態系における汚染物質の循環と指標生物に関する研究, 昭和51年度研究成績報告書, 東海区水研他, 230-236.  
 芳賀敏郎・橋本茂司 1980. 回帰分析と主成分分析。日科技連, 東京。  
 太田達夫 1973. 津軽海況における海藻の分布と海流について。藻類, 21, 12-17.  
 大内晟・高山晴義 1981. 主成分分析による赤潮図について。日水誌, 47, 1275-1279.  
 杜多哲 1983. 主成分分析によるアワビ増殖場データの解析, 岩手県田老地区の例について。水産土木, 19, 35-44.

なお、この小論は高知県と社団法人産業公害防止協会(現、社団法人産業環境管理協会)が実施した「昭和58年度宿毛湾地区環境総合事前調査(藻場調査)」の結果をとりまとめたものである。執筆は1985年で、本年報に投稿するにあり修正の必要性を感じたが特に加筆修正しなかった。

1992年5月7日受理