

# 潮間帯の底質環境と底生動物の群集組成

仲宗根一哉・大城 哲<sup>1)</sup>・金城孝一・玉城不二美・渡口 輝・大城洋平・井上 豪・天願博紀

## A Gradient Analysis of Tidal-flat Benthos in Okinawa

Kazuya NAKASONE, Tetsu OSHIRO<sup>1)</sup>, Koichi KINJO, Fujimi TAMAKI,  
Akira TOGUCHI, Go INOUE, Hiroki TENGAN

**要旨**：沖縄島 2 海域，石垣島 2 海域における潮間帯の底生動物定量データおよび底質環境調査データを用いて序列化法による環境傾度分析を行った。直接傾度分析法である db-RDA により底質の酸化還元電位(ORP)，底質中懸濁物質含量(SPSS)，河口からの距離，基底の種類，底質の乾湿，潮間帯部位の 6 環境変数によって群集組成変化の説明を試みた。その結果，砂地底と砂礫・岩盤底の場合，生物群集は座標上で明瞭に区分されるとともに，潮間帯上部から下部にかけて，生物群集組成が帯状に分布することが示された。また，Cluster 解析で分類した群集の中から群集を代表する指標種としての指標種を IndVal 値に基づいて選択した。指標種の個体数と SPSS との関係から，河口に近い潮間帯上部では，ウミナガ属が SPSS の増加に対して個体数が増加する傾向を示し，潮間帯中部から下部にかけては星口動物門が SPSS の増加に伴って減少する傾向を示した。また，潮間帯上部から中部にかけて，砂地底の地点群では，コメツキガニおよびミナミコメツキガニが指標種として選択された。

**Key words**：底生動物 Benthos, 土壌流出 Soil run-off, 環境傾度分析 Gradient analysis, IndVal  
干潟 Tidal-flats

### I はじめに

赤土等の汚濁負荷が潮間帯の底生動物群集組成に及ぼす影響評価と指標種の選定を目的に，沖縄県内 4 海域における潮間帯の底生動物調査データおよび底質環境調査データを用いて環境傾度分析を行った。環境傾度分析とは，生物群集組成の多変量解析の手法で，ある環境傾度に沿って適当な間隔で群集のサンプルをとった場合，群集がその環境傾度に対してどのような空間的パターンを示すか分析する方法である。また，群集を代表する種を指標種として選択し，環境傾度との関係を見ることで，現状の把握が可能となる。分類された群集の中から指標種を客観的に選定するため，Dufflene and Legendre<sup>1)</sup>は IndVal 法を公表している。本研究では，これらの多変量解析の手法を用いて潮間帯底生動物の環境傾度分析と指標種の選定を行った。

### II 方法

#### 1. 使用したデータ

赤土等に係る環境保全目標設定基礎調査報告書<sup>2-4)</sup>から，調査海域および調査地点の位置を図 1 に示し，

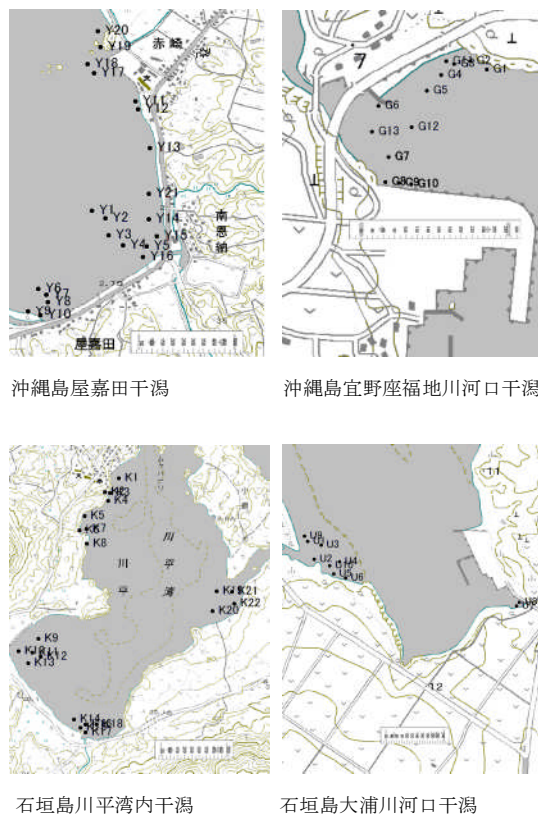


図 1. 調査海域および調査地点位置図

1) 株式会社沖縄環境分析センター

表 1. 調査期間及び調査地点数

海 域	回 次 年	1	2	3	4	5
		2006年	2007年	2007年	2007年	2008年
屋嘉田干潟	12/1-12/22	3/22-3/28	7/10-7/12	10/25-10/26	8/17-8/18	
	(20)	(20)	(20)	(20)	(20)	
宜野座福地川河口干潟	12/19	3/21	7/11	10/24	8/16	
	(10)	(10)	(10)	(10)	(10)	
川平湾干潟	12/7-12/9	3/13-3/10	6/27-7/1	11/4-11/8	8/29-9/1	
	(22)	(22)	(22)	(22)	(22)	
大浦川河口干潟	12/8	3/12-3/13	6/28-6/29	11/7	8/27	
	(8)	(8)	(8)	(8)	(10)	

表中上段は調査期間、下段( )内は地点数を表す。

調査期間及び調査地点数を表 1 に示した。当調査では沖縄島 2 海域、石垣島 2 海域計 4 海域の潮間帯で延べ 302 地点について環境及び生物調査が実施されている。解析に使用したデータは、方形枠 50cm×50cm、深さ約 20cm から採取された底生動物(多毛類を除く)の個体数、底質の酸化還元電位(ORP)、底質中懸濁物質含量(SPSS<sup>5)</sup>)、河口からの距離、基底の種類、底質の乾湿、潮間帯部位である。河口からの距離は、河口から 200m 以上、河口から 200m 未満、河口正面の 3 区分して、それぞれに 1-3 の数値を与えた。基底の種類は砂地、砂礫、岩盤・砂、岩盤・砂礫の 4 区分それぞれに 1-4 の数値を与えた。底質の乾湿は、底質は乾燥し掘っても水分が少ない、底質表面は乾燥しているが掘ると水が溜まる、底質表面は濡れている、底質は水面下にあるの 4 区分それぞれに 1-4 の数値を与えた。潮間帯部位は、上部、中部、下部の 3 区分それぞれに 1-3 の数値を与えた。

2. 解析方法

生物データは地点と種の二元表にし、地点毎に出現した種の個体数を入力してデータシートを作成した。さらに個体数に 1 を加えた後、自然対数に変換して以後の解析に用いた。また、SPSS は常用対数変換値を用いた。環境傾度分析では、環境変数を外的基準(独立変数)として、外的基準のある序列化法を直接傾度分析、無いものを間接傾度分析と区別している。ここでは、間接傾度分析に主座標分析(Principal coordinate analysis : PCoA)を用い、直接傾度分析に Legendre & Anderson<sup>6)</sup>の方法による Distance-based redundancy analysis(db-RDA)を用いた。PCoA 及び db-RDA では、群集間の類似度に Bray-Curtis 指数を用い、結果の図示には Correlation biplot 法を用いた。生物群集の分類は、生物群集間の距離に Bray-Curtis 類似度指数を用い、Cluster 解析(Ward 法)を行った。上記の解析には R2.9.0<sup>7)</sup>と R のパッケージ群を用いた。また、分類した各群集の指標種の選択は、IndVal 法<sup>1)</sup>に従い、Windows 用プログラム IndVal2.0<sup>8)</sup>を用いて分類した各群集の指標としての有効性を数値化した IndVal 値を算出した。

III 結果

1. 群集の分類

Cluster 解析の結果を図 2 に示した。延べ 302 地点中、生物データが記録された 295 地点を I から VI の 6

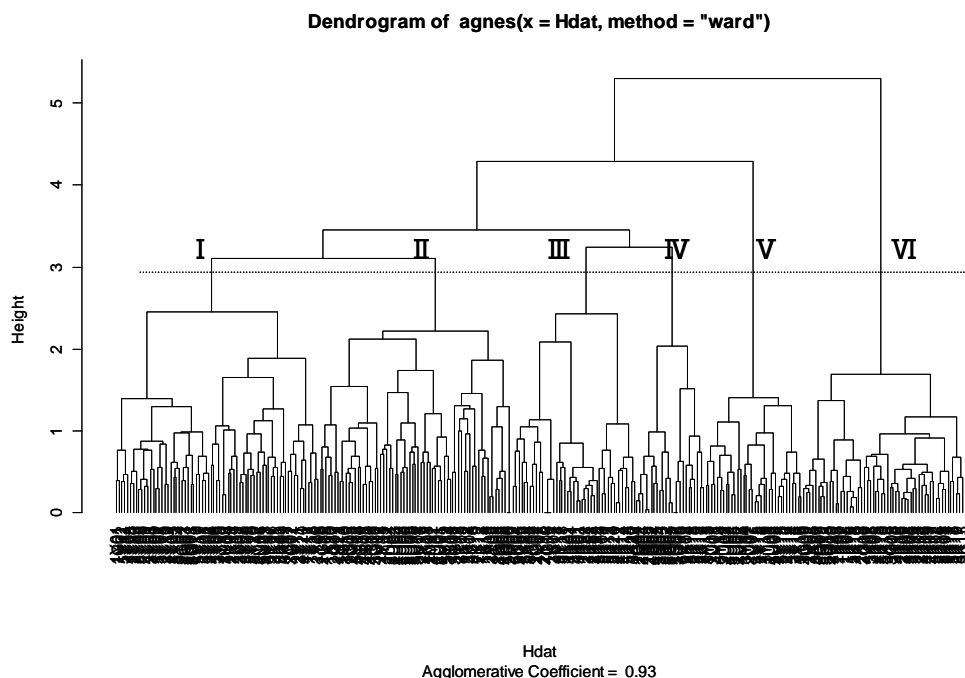


図 2. Bray-Curtis 類似度指数を距離とする Cluster 分析(Ward 法)の結果

点線で地点を I ~ VI の 6 群に分類

群のタイプに類別し、全調査地点の分類結果を表2に示した。また、群集タイプの出現割合を海域毎に図3に示した。屋嘉田海域ではI、IIおよびV群、宜野座福地川河口海域では、II、IV、VIおよびI群、川平湾ではVI、IIIおよびII群、大浦川河口海域では、IIおよびV群が主な構成群となっている。

2. 環境傾度分析

PCoAの結果を図4に示した。VI群は第1軸(Dim1)の正方向にまとまって配置され、I~V群は第2軸(Dim2)に沿ってそれぞれほぼまとまって配置された。次に、各調査地点の環境変数を表3に示し、これらの環境変数を外的基準にした序列化法であるdb-RDAを行

表2. 調査地点の分類群

海域	地点	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
屋嘉田干潟	Y01	I	I	I	I	I
	Y02	I	I	I	I	I
	Y03	I	I	I	I	I
	Y04	I	I	V	I	-
	Y05	II	II	II	II	I
	Y06	I	I	I	I	I
	Y07	I	III	I	III	I
	Y08	II	-	III	II	II
	Y09	I	I	I	I	I
	Y10	I	III	II	II	I
	Y11	I	I	I	I	I
	Y12	II	II	II	II	II
	Y13	V	II	V	V	V
	Y14	V	V	V	V	V
	Y15	V	V	V	V	V
	Y16	V	V	V	V	V
	Y17	I	II	I	I	III
	Y18	I	II	II	III	III
	Y19	I	I	I	II	I
	Y20	I	I	I	I	I
	Y21	-	-	-	-	I
宜野座福地川河口干潟	G01	I	III	I	II	I
	G02	III	IV	I	IV	IV
	G03	II	II	I	II	I
	G04	IV	IV	IV	IV	IV
	G05	IV	IV	IV	IV	IV
	G06	II	II	VI	III	IV
	G07	IV	II	II	VI	-
	G08	II	II	II	II	-
	G09	VI	VI	VI	VI	VI
	G10	II	II	II	II	-
	G11	-	-	-	-	I
	G12	-	-	-	-	VI
	G13	-	-	-	-	VI
川平湾内干潟	K01	III	III	III	III	III
	K02	VI	VI	VI	VI	VI
	K03	III	VI	VI	VI	VI
	K04	III	III	II	III	III
	K05	VI	VI	VI	VI	VI
	K06	VI	VI	VI	VI	VI
	K07	VI	VI	III	VI	VI
	K08	II	IV	II	II	III
	K09	I	I	I	I	III
	K10	VI	VI	VI	VI	VI
	K11	III	I	I	III	III
	K12	II	II	III	III	III
	K13	II	VI	VI	VI	III
	K14	II	IV	VI	III	VI
K15	II	IV	VI	VI	VI	
K16	VI	VI	VI	VI	VI	
K17	VI	IV	VI	VI	VI	
K18	III	IV	IV	III	III	
K19	II	II	IV	II	IV	
K20	II	VI	VI	III	III	
K21	II	II	I	I	III	
K22	III	III	III	III	III	
大浦川河口干潟	U01	II	II	II	II	II
	U02	V	V	V	V	V
	U03	I	II	I	II	II
	U04	-	II	II	II	II
	U05	-	II	IV	V	V
	U06	-	III	I	II	II
	U07	V	V	V	II	II
	U08	V	V	V	V	II

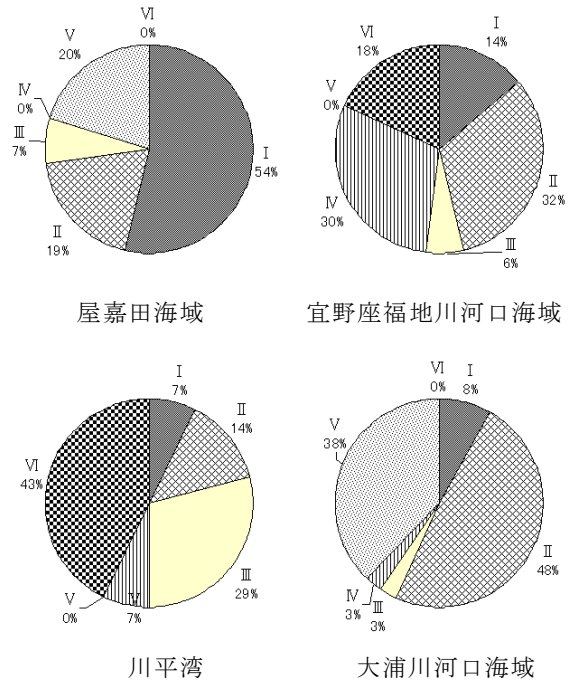


図3. 分類した地点群の各海域における出現割合

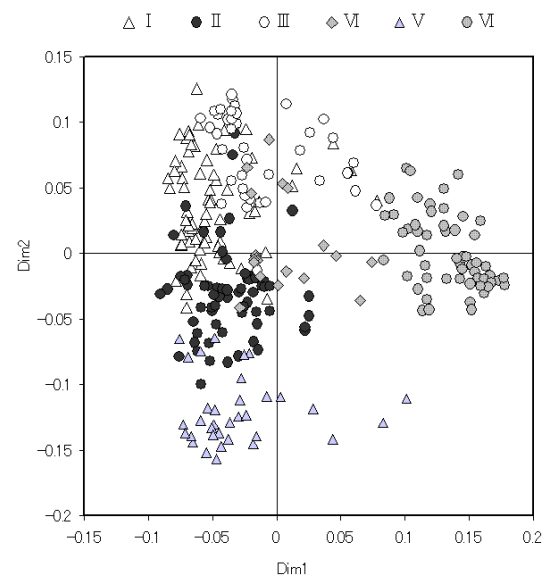


図4. PCoAによる調査地点の序列化  
図中の各地点はIからVIの分類群で表示

ない、図5に示した。db-RDAにおける座標上の地点配置はPCoAの結果とほぼ同様であり、選択された6環境変数によって、群集組成変化をある程度説明することが可能と考えられた。群集組成に最も大きな影響を与えると考えられる環境傾度は横軸の第1軸(CAP1)に代表される。図中の矢印は環境変数を示し、矢印の先端から軸へ垂線を降ろしたとき、原点から垂線と軸との交点までの距離がその環境変数と第1軸との相関の強さを表す。矢印間の角度は環境変数同士の相関を表し、角度が小さいほど相関が高く、90度で無相関、

180度で強い負の相関があることを表す。地点を表す点から矢印へ垂線を降ろすと、原点からその垂線の足までの長さが、その地点のその環境変数の大きさを表す。図5では、第1軸の負方向に基底(砂地→岩盤)との相関が高く、第2軸(CAP2)は、正方向に潮間帯部位(上部→下部)、負方向にSPSSおよび河口からの距離(河口から200m以上→河口前面)との相関が認められる。一方、底質の乾湿およびORPと両軸との相関は低い。次に、環境傾度に対して相関の高い種の配置を図6に示した。第1軸の正方向(砂地底)にはコメツキ

表3. 調査地点の環境変数

	SPSS (kg/m <sup>3</sup> )					ORP (mV)					河口までの距離	底質の水分状態					潮間帯区分	底質の基質	
	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目		1回目	2回目	3回目	4回目	5回目			
宜野川	G01	36.4	63.6	59.0	28.6	28.6	127	27	185	258	50	200m以上	3	2	3	3	3	上部	岩盤・砂礫
	G02	80.4	56.8	104.0	34.2	37.3	234	-60	195	307	100	200m以上	4	3	4	3	3	上部	岩盤・砂礫
	G03	52.8	60.1	64.8	27.4	180.0	160	80	210	196	150	200m以上	4	3	3	3	3	上部	岩盤・砂礫
	G04	44.9	44.2	83.9	9.7	32.2	195	168	230	320	140	200m以上	4	3	3	3	3	上部	砂
	G05	39.4	22.5	63.9	13.0	31.2	230	205	220	320	130	200m未満	4	4	3	4	3	上部	砂
	G06	38.3	53.7	118.0	26.4	51.9	233	260	-	287	120	200m未満	2	2	2	2	3	上部	岩盤・砂礫
	G07	442.0	64.8	37.8	56.8	-	202	298	170	274	-	河口前面	4	2	3	2	-	上部	砂
	G08	301.0	369.0	334.0	182.0	-	90	199	90	299	-	河口前面	4	3	1	3	-	上部	岩盤・砂礫
	G09	225.0	153.0	56.8	87.6	18.7	212	264	-	291	-	200m未満	4	2	1	2	1	上部	砂
	G10	124.0	185.0	119.0	54.7	-	320	338	-	312	-	200m未満	3	3	1	2	-	上部	岩盤・砂礫
	G11	-	-	-	-	30.8	-	-	-	-	120	200m未満	-	-	-	-	3	上部	岩盤・砂礫
	G12	-	-	-	-	46.3	-	-	-	-	110	200m未満	-	-	-	-	1	上部	砂
屋嘉田	Y01	138.0	98.3	130.0	60.1	61.4	-452	-120	105	-14	110	200m以上	4	4	3	3	3	下部	砂礫
	Y02	179.0	175.0	137.0	82.7	54.7	-428	-81	80	201	60	200m以上	4	4	2	3	3	中部	砂礫
	Y03	118.0	118.0	75.1	56.8	44.2	-338	-28	110	-117	20	200m以上	4	3	3	3	2	中部	砂礫
	Y04	95.2	67.7	149.0	47.0	57.8	152	-38	120	167	60	200m以上	3	3	3	2	2	中部	砂礫
	Y05	61.3	60.1	96.0	51.9	-	142	3	-	53	-	河口前面	4	4	4	2	1	上部	砂礫
	Y06	190.0	46.3	202.0	106.0	101.0	27	30	120	-81	0	200m以上	4	4	2	2	1	中部	砂礫
	Y07	100.0	48.5	274.0	57.8	55.7	175	-22	170	52	90	200m未満	3	3	2	2	2	中部	砂礫
	Y08	65.8	36.4	94.5	97.5	109.0	190	-53	190	93	120	200m未満	2	-	2	2	3	中部	岩盤・砂礫
	Y09	182.0	143.0	225.0	119.0	103.0	188	-98	145	234	100	200m未満	4	4	3	2	1	上部	砂礫
	Y10	97.5	29.2	36.9	53.7	167.0	100	3	100	99	0	河口前面	3	3	2	2	3	上部	砂礫
	Y11	74.6	87.6	47.8	41.1	44.9	1	10	170	202	30	200m以上	4	3	3	3	2	上部	岩盤・砂礫
	Y12	90.3	71.3	158.0	90.9	130.0	176	114	170	198	40	200m以上	3	2	3	2	1	上部	岩盤・砂礫
	Y13	151.0	165.0	251.0	44.9	173.0	190	134	130	198	50	河口前面	4	2	2	2	3	上部	岩盤・砂礫
	Y14	169.0	169.0	295.0	158.0	132.0	110	53	100	113	70	200m以上	2	2	2	2	3	上部	砂礫
	Y15	116.0	99.2	128.0	85.7	202.0	150	32	80	168	110	河口前面	3	3	2	3	2	上部	岩盤・砂礫
Y16	93.8	110.0	123.0	136.0	93.8	95	6	140	127	160	200m未満	3	3	2	3	2	上部	砂礫	
Y17	114.0	13.1	35.1	25.4	24.4	120	140	145	87	50	200m未満	2	2	2	3	2	中部	岩盤・砂礫	
Y18	46.3	37.8	32.2	40.0	40.5	130	89	75	102	80	200m未満	2	4	2	3	2	中部	砂礫	
Y19	190.0	269.0	300.0	138.0	185.0	130	-109	80	88	0	河口前面	3	4	2	2	2	上部	砂礫	
Y20	81.5	89.6	120.0	48.5	62.1	110	-45	118	175	100	200m以上	2	4	2	3	2	上部	岩盤・砂礫	
Y21	-	-	-	-	269.0	-	-	-	-	0	200m以上	-	-	-	-	2	上部	岩盤・砂礫	
川平湾	K01	29.5	34.2	50.1	45.5	28.3	130	6	85	50	40	200m未満	4	4	3	3	2	下部	砂礫
	K02	69.9	143.0	121.0	49.3	61.3	50	1	105	30	10	200m未満	2	4	1	2	1	上部	砂
	K03	47.8	36.4	49.8	24.9	34.2	-10	-1	105	70	100	河口前面	4	4	2	2	2	下部	砂礫
	K04	22.5	46.3	37.8	32.2	28.6	150	8	105	170	140	200m未満	4	4	3	3	3	下部	岩盤・砂礫
	K05	51.0	63.9	38.9	35.5	24.1	200	12	110	110	120	200m未満	3	4	2	2	2	上部	砂
	K06	72.2	69.0	149.0	8.8	49.3	210	43	97	110	100	河口前面	4	3	2	2	1	上部	砂
	K07	61.0	49.3	33.0	91.6	34.2	220	14	15	95	70	河口前面	3	4	2	2	2	中部	砂
	K08	80.9	169.0	23.5	88.9	23.7	145	12	75	108	80	200m未満	4	4	3	2	3	下部	岩盤・砂
	K09	85.1	75.6	118.0	132.0	92.3	-315	5	0	95	20	200m以上	4	4	3	2	2	下部	砂礫
	K10	40.0	187.0	102.0	28.6	51.0	52	2	-	80	-	河口前面	4	4	1	2	2	上部	砂
	K11	23.9	41.1	27.4	48.3	63.6	-196	7	3	85	20	200m以上	4	4	1	4	2	中部	砂
	K12	40.0	62.5	44.9	61.4	31.2	-310	5	60	80	40	200m以上	4	4	3	4	3	中部	砂
	K13	62.5	51.0	60.1	36.0	27.4	-348	4	9	85	70	200m以上	4	4	1	2	2	中部	砂
	K14	72.8	138.0	73.6	40.5	94.5	12	8	88	88	50	200m未満	4	4	2	2	3	上部	砂
	K15	49.3	11.6	16.3	10.1	33.4	132	17	171	84	-	河口前面	4	4	2	2	2	上部	砂
	K16	13.1	19.2	50.1	10.0	42.3	143	20	-82	90	100	200m未満	4	4	2	2	2	上部	砂
	K17	9.4	27.4	30.5	4.7	32.6	92	23	17	117	-	200m未満	2	4	2	3	1	上部	砂
	K18	30.1	55.7	31.5	22.9	56.8	133	11	107	82	130	200m未満	4	4	4	3	3	上部	砂
K19	17.3	13.2	34.2	13.9	19.5	200	42	-	70	150	200m以上	4	4	2	2	1	上部	砂礫	
K20	23.9	25.4	28.9	19.7	25.9	190	41	45	58	10	200m以上	4	4	2	2	1	上部	砂	
K21	24.1	20.5	42.9	29.8	20.3	150	42	65	21	120	200m以上	3	3	2	3	2	上部	砂礫	
K22	42.3	42.9	52.8	38.9	30.5	190	40	66	-10	50	200m以上	4	4	3	3	1	上部	砂	
大浦川	U01	167.0	211.0	247.0	185.0	133.0	210	50	-	170	-	200m未満	2	2	1	2	1	中部	岩盤・砂礫
	U02	137.0	71.7	138.0	177.0	177.0	220	70	-	-	-	河口前面	4	2	1	2	1	上部	砂礫
	U03	82.1	60.1	82.1	81.5	62.5	70	25	-17	185	70	200m未満	4	4	3	4	3	下部	岩盤・砂礫
	U04	25.9	72.2	103.0	411.0	91.6	-120	110	40	180	170	200m未満	-	2	2	3	1	下部	岩盤・砂礫
	U05	28.6	41.7	269.0	4.5	35.1	-56	68	50	190	170	200m以上	-	3	2	2	3	上部	砂
	U06	21.0	80.9	73.1	27.1	61.3	220	65	40	170	90	200m以上	-	2	2	3	2	中部	岩盤・砂礫
	U07	692.0	799.0	547.0	822.0	-	-200	75	75	140	-	200m以上	4	4	2	2	-	上部	砂礫
	U08	565.0	893.0	578.0	330.0	-	-195	24	15	180	-	200m以上	2	4	1	3	-	上部	砂礫

注1: U7, 8は特異的な環境のため5回目の調査地点から除外。U9, 10は5回目調査に追加した地点

注2: 1回目: 平成18年度台風期調査 2回目: 平成18年度冬季前風期調査 3回目: 平成19年度梅雨後調査 4回目: 平成19年度型台風期調査 5回目: 平成20年度型梅雨明け後調査を示す

注3: 底質の水分状態 1: 底質は乾燥し、掘っても水分が少ない 2: 底質表面は乾燥しているが掘ると水が溜まる 3: 底質表面は濡れている 4: 底質は水面下にある

ガニ(*Scopimera globosa*), ミナミコメツキガニ(*Mict-  
-yris brevidetylus*)およびヒメシオマネキ(*Uca vocan-  
-s*), 負方向(砂礫・岩盤底)にヤドカリ科(*Dio genidae*),  
リュウキュウシラトリ(*Quidnipagus palatam*)および

マルアマオブネ(*Nerita squamulata*)が配置された。  
第 2 軸の正方向(潮間帯中部から下部, 底 SPSS)に星  
口動物門(SIPUNCULA), 負方向(潮間帯上部, 高 SPS  
S)にウミニナ属(*Batillaria sp.*)が配置された。

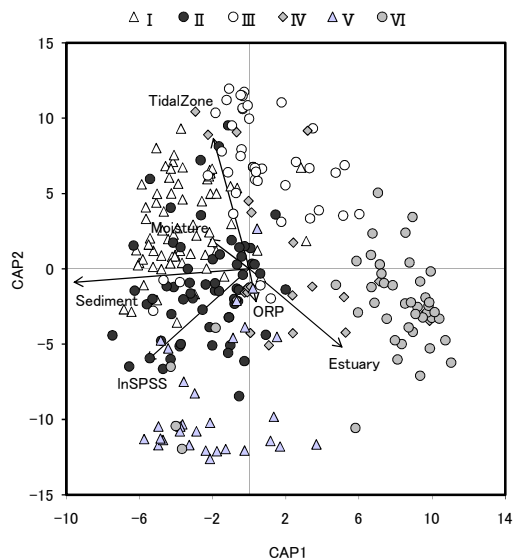


図 5. dbRDA による調査地点の序列化

図中の矢印は環境変数を示し, 各地点は分類群で表示  
Estuary: 河口からの距離, ORP: 底質の酸化還元電位,  
TidalZone: 潮間帯部位, Sediment: 基底, Moisture: 底質の干湿, InSPSS: 底質中懸濁物質含量の常用対数変換値

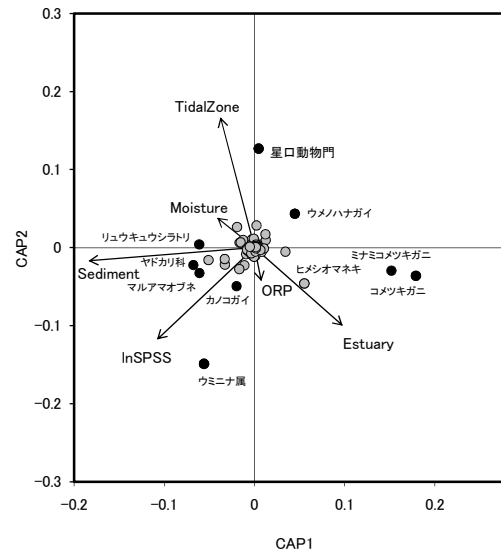


図 6. dbRDA による底生動物の種の序列化

図中の矢印は環境変数を示し, 図中の丸印は種を示し,  
黒塗りの丸印は軸との相関の高い種を示す  
Estuary: 河口からの距離, ORP: 底質の酸化還元電位,  
TidalZone: 潮間帯部位, Sediment: 基底, Moisture: 底質の干湿, InSPSS: 底質中懸濁物質含量の常用対数変換値

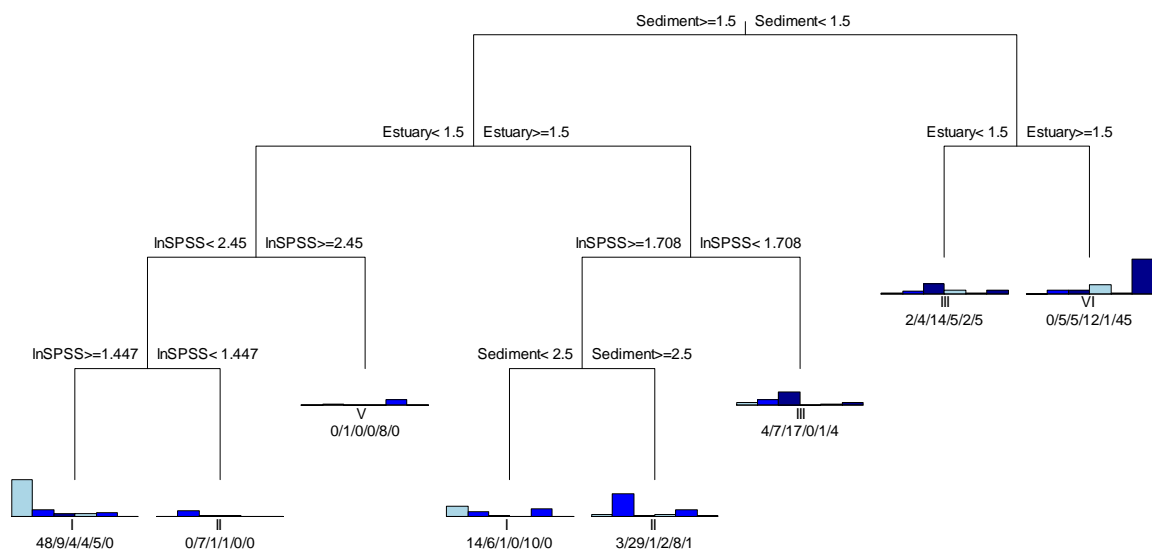


図 7. 地点群の分類木分析

Estuary: 河口からの距離, Sediment: 基底, lnSPSS: 底質中懸濁物質含量の常用対数変換値

次に環境変数に対する地点群の分布を定量的に区分するため、分類木分析を行い、IV群を除く5群が分類された(図7)。IおよびII群は砂礫・岩盤底にあって、SPSSは30 kg/m<sup>3</sup>から300kg/m<sup>3</sup>まで幅広い。III群は潮間帯中部から下部にあってSPSSが50kg/m<sup>3</sup>未満で、赤土等の堆積の影響が少ない地点環境である。IV群は環境傾度に対して分布の傾向が不明瞭であることから、ここで取り上げた環境変数以外の環境傾度に影響を受けている可能性がある。V群は潮間帯上部にあってSPSSが780kg/m<sup>3</sup>以上と赤土等の影響が最も大きな地点環境である。VI群は潮間帯上部から中部にかけて広がる砂地底である。

3. 指標種の選定

指標種の選定にはIndVal法を用いた。IndVal法は、あらかじめ類別された群集データに対して、各種の指標としての有効性を指標値として数値化するプログラムである。種iの地点群jにおけるIndVal値IV<sub>ij</sub>は、特異性(他の地点群と比べて地点群jで種iの平均個体数がどの程度突出して多いか)と忠実性(地点群jの中で種iはどの程度おしなべて出現するか)の積で表される。この値は最小だと0で、その種がその場所にいないことを示している。一方、最大だと100で、その種がその場所にしかいないことを示す。I-VI群について、

表 4. 分類群の指標種と IndVal 値

Type	学名	和名	IndVal値(%)	P<0.05
I	<i>Quidnipagus palatum</i>	リュウキュウシラトリ	63.6	**
	<i>Macrophthalmus serenei</i>	メナガオサガニ	26.7	**
	Xanthidae	オウギガニ科	20.3	**
	Grapsidae	イワガニ科	12.1	NS
	<i>Niotha semisulcata</i>	アツムシロ	11.0	??
	<i>Zeuxis margaritifer</i>	リュウキュウムシロ	7.5	??
	<i>Anodontia edentula</i>	カブツツギガイ	7.0	NS
	<i>Epicodakia bella</i>	ヒメツツギガイ	6.6	NS
	<i>Laomedea astanina</i>	ハサミシヤコエビ	6.6	NS
	Alpheidae	テボウエビ科	3.0	NS
	<i>Clypeomorur batillariaeformis</i>	ウミナカニモリ	2.1	NS
	<i>Macrophthalmus convexus</i>	フタハオサガニ	1.4	NS
	<i>Nerita squamulata</i>	マルアマオブネ	21.9	**
	Diogenidae	ヤドリガニ科	21.4	??
	<i>Lunella granurata</i>	カンギク	16.7	**
<i>Katylisia hiantina</i>	ヤンヤマスダレ	11.3	**	
<i>Ptychognathus</i> sp.	ヒライソモドキ属	10.6	**	
II	<i>Ruditapes variegatus</i>	ヒメアサリ	6.5	??
	<i>Uca perplexa</i>	オキナワハクセンシオマネキ	5.0	NS
	<i>Psemmotea elongata</i>	マスオガイ	4.6	NS
	<i>Gastrium pectinatum</i>	ホソジノミガイ	4.1	NS
	<i>Japauthria cingulata</i>	シマベッコウハイ	3.4	NS
	Ischnochitonidae	ウスヒザウガイ科	3.2	NS
	<i>Clypeomorur irrorata</i>	セムシツノブエ	1.5	NS
	<i>Phanaxius sulcatus</i>	ゴマフニナ	0.9	NS
	SIPUNCULA	星口動物門	88.4	**
	<i>Pillucina pisidium</i>	ウメノハナガイ	30.0	**
	<i>Mactra cuneata</i>	タママキ	18.4	**
	<i>Mactra grandis</i>	リュウキュウアノガイ	9.0	??
	<i>Notocochlis lurida</i>	ホウジュノタマ	5.0	NS
	<i>Musculus (Musculista) senhousia</i>	ホトギス	3.1	NS
	<i>Katylisia japonica</i>	スタレハマグリ	2.0	NS
<i>Mactra maculata</i>	リュウキュウバカガイ	1.4	NS	
IV	Callinassidae	スナモグリ科	77.8	**
	<i>Codakia tigerina</i>	ツツギガイ	16.7	**
	<i>Diplodonta</i> sp.	<i>Diplodonta</i> sp.	11.2	**
	Lucernidae	ツツギガイ科	10.9	**
	<i>Batillaria</i> sp.	ウミナカニ属	99.6	**
	<i>Clithon sowerbianus</i>	カニコガイ	33.5	**
	<i>Clithon oulamiensis</i>	ヒメカニコ	20.2	**
	<i>Asaphis violascens</i>	リュウキュウマスオ	12.7	??
	<i>Clypeomorur humilis</i>	カヤシカニモリ	12.5	**
	<i>Thalania</i> sp.	ベニツツギガニ属	5.6	NS
	<i>Gastrium tumidum</i>	アラシシケマン	5.0	NS
	<i>Coccella chinensis</i>	クチハイ	4.4	NS
	<i>Uca dussumieri dussumieri</i>	ヤンヤマスオマネキ	2.6	NS
	<i>Scopinera globosa</i>	コウツツギガニ	84.3	**
	<i>Mictyris brevidentylus</i>	ミナミコツツギガニ	79.8	**
<i>Uca vocans</i>	ヒメシオマネキ	17.8	**	
VI	<i>Vasticardium flavum</i>	リュウキュウザルガイ	13.5	**
	<i>Psemmotea minor</i>	ハザクラ	5.2	NS
	ECHIURA	ユムシ動物門	3.1	NS
	<i>Upogebia vokovai</i>	ヨコヤアナシヤコ	1.9	NS

10 固体以上出現した種の IndVal 値を表 4 に示した。IndVal 値が 50%以上を示したのは、I 群のリュウキュウシラトリ、III 群の星口動物門、IV 群のスナモグリ科(Callinassidae)、V 群のウミナカニ属、VI 群のコメツツギガニおよびミナミコメツツギガニであった。

IV 考察

1. 環境傾度分析

潮間帯の底生動物に限らず、生物群集組成は、様々な環境要因に対応して複雑に変化することから、単一の要因を取り上げて、群集組成の変化を説明することは困難である。したがって、ここで取り上げた6つの環境変数が、生物群集組成を説明するのに十分な情報であるとはいえない。PCoAの結果とdb-RDAの結果で地点の配置がほぼ類似していたが、PCoAと比較してdb-RDAにおける地点間のまとまりがやや悪いことから、他の重要な因子、例えば有機物含量や栄養塩濃度、塩分濃度、水温などの環境変数が不足していることが示唆される。また、生物データでは、潮間帯の底生動物群集の中で、種数、密度、生産量において優占する環形動物多毛類が含まれておらず、群集組成が十分に明確ではない。したがって、ここでは限られた情報の中から、底生動物群集の組成変化に大きく影響を及ぼしているであろう環境変数について、環境傾度分析という手法を通して、情報を集約し、その影響の強さを類推したものである。

本研究では、直接傾度分析法であるdb-RDAにより底質のORP、SPSS、河口からの距離、基底の種類、底質の乾湿、潮間帯部位の6環境変数によって群集組成変化の説明を試みた。その結果、砂帯と砂礫・岩盤帯の場合、生物群集は座標上で明瞭に区分され、潮間帯上部から下部にかけて、生物群集組成が帯状に分布し、干出時間と赤土等の堆積状況に対応して群集組成が変化することが示唆された。

2. 指標種の選定

指標種分析では、TWINSPAN法<sup>10)</sup>がよく用いられている。TWINSPAN法は二元指標種分析法(two-way indicator species analysis)と呼ばれ、地点と生物種の群集データの再配列を行う方法で、対応分析(CA)または除歪対応分析(DCA)を用いて階層的分割のアルゴリズムによって地点を類別する。しかし、この方法には偏倚を生じさせやすいなどいくつかの問題があることが指摘されている<sup>1)</sup>。一方、指標を数値化する方法であるIndVal法は客観性に優れており、このプログラムでは、指標種は各地点の群集の特徴をよく代表する標徴種(characteristic species)であって、類型された一つの群集で最も多く見ら

れ、その群集が属する地点群の優占種のことを表している<sup>1)</sup>。このような観点から、本論文では IndVal 法を用いて分類群の指標値を算出し、それぞれの群集から群集を代表する指標種を選定した。その結果は db-RDA による種の序列化の結果とほぼ一致していた。また、分類した群集の地点配置から、潮間帯潮位上部-下部における生物群集の帯状分布が認められた。しかし、干出時間の影響と SPSS の影響が同軸上に重なることから、群集組成の変化に対して両者の影響を区分して評価することが困難である。そこで、基底の違いまたは淡水の影響が明瞭で、地点配置が明確に区分できる V および VI 群以外の I-IV 群をひとつの群集として取り扱い、3 群集に分けて IndVal 値を算出した。表 5 には 3 群集において IndVal 値が 10%以上の種を示した。I-IV 群では、星口動物門、リュウキュウシラトリなど 5 種、V 群では、ウミナ属、マルアマオブネなど 9 種、VI 群ではミナミコメツキガニ、コメツキガニなど 4 種である。

3. 赤土等堆積と指標種の個体数の増減

表 5 の各群の指標種の中から上位 2 種について、その個体数と SPSS との関係を図 8 に示した。潮間帯上部にあって、河口に近く、淡水の影響を受ける環境では、ウミナ属およびマルアマオブネ等が群集を代表する。ウミナ属は SPSS の増加に対して個体数が顕著に増加する傾向を示し、SPSS が 250kg/m<sup>3</sup> で、最高個体数が 500 を超えた。マルアマオブネは SPSS が 128kg/m<sup>3</sup> で最高個体数を示したが、個体数が少なく、傾向が不明瞭であった。潮間帯中部から下部の砂礫底にかけて、星口動物門やリュウキュウシラトリ等が多く出現する。星口動物門は SPSS が 50kg/m<sup>3</sup> を超えると顕著に減少する傾向を示した。星口動物門の最高個体数が 100 個体以上出現するのは SPSS が 30kg/m<sup>3</sup> から 50kg/m<sup>3</sup> の間であり、SPSS ランク 5b に相当する。リュウキュウシラトリは SPSS の広い範囲で出現するが、SPSS が 60kg/m<sup>3</sup> 程度で個体数が最高となる

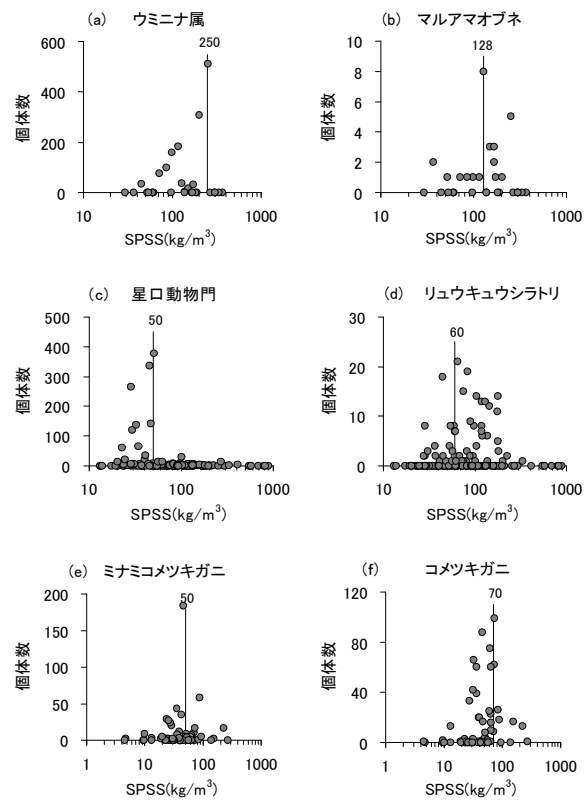


図 8. 指標種の個体数と SPSS の分布

傾向を示した。また、砂地底では、ミナミコメツキガニおよびコメツキガニが指標種に選択され、両者ともに SPSS の広い範囲で出現し、最高個体数は SPSS が 50kg/m<sup>3</sup> から 70kg/m<sup>3</sup> 程度で最も多くなる傾向を示した。

V まとめ

沖縄島 2 海域、石垣島 2 海域における潮間帯の底生動物定量データおよび底質環境調査データを用いて序列化法による環境傾度分析を行った。

1. 砂地底と砂礫・岩盤底の場合、生物群集は座標上で明瞭に区分され、潮間帯上部から下部にかけて、生物群集組成は帯状に分布し、干出時間や赤土等の堆積状況に対応して群集組成が変化することが示唆された。
2. 河口に近い潮間帯上部では、ウミナ属およびマルアマオブネ等、潮間帯中部から下部にかけては星口動物門およびリュウキュウシラトリ等、砂地底ではコメツキガニおよびミナミコメツキガニ等が指標種として選択された。
3. 赤土等堆積と指標種の個体数の増減の関係は、ウミナ属は SPSS の増加に対して個体数が顕著に増加する傾向を示し、SPSS が 250kg/m<sup>3</sup> で、最高固

表 5. 3 群の指標種と IndVal 値

Type	学名	和名	IndVal 値(%)	P<0.05
I-IV	SIPUNCULA	星口動物門	46.1	**
	<i>Quidnipagus palatam</i>	リュウキュウシラトリ	27.0	**
	Callianassidae	スナモグリ科	18.1	**
	<i>Macrophthalmus serenei</i>	メナガオサガニ	15.9	**
	Grapsidae	イワガニ科	10.3	NS
	<i>Batillaria sp.</i>	ウミナ属	99.9	**
V	<i>Nerita squamulata</i>	マルアマオブネ	36.1	**
	<i>Clithon sowerbianus</i>	カノコガイ	34.7	**
	Diogenidae	ヤドカリ科	20.3	NS
	<i>Clithon oualaniensis</i>	ヒメカノコ	20.2	**
	<i>Asaphis violascens</i>	リュウキュウマスオ	19.9	**
	<i>Clypeomorus humilis</i>	カヤノミカニモリ	17.1	**
	<i>Lunella granurata</i>	カンギク	10.3	??
	Xanthidae	オウギガニ科	10.2	NS
	<i>Mictyris brevidactylus</i>	ミナミコメツキガニ	86.9	**
VI	<i>Scopimera globosa</i>	コメツキガニ	86.6	**
	<i>Uca vocans</i>	ヒメシオマネキ	28.8	**
	<i>Vasticardium flavum</i>	リュウキュウザルガイ	14.1	**

体数が500を超えた。また、星口動物門はSPSSが50kg/m<sup>3</sup>を超えると顕著に減少する傾向を示した。ミナミコメツキガニおよびコメツキガニはSPSSの広い範囲で出現し、最高個体数はSPSSが50kg/m<sup>3</sup>から70kg/m<sup>3</sup>程度で最も多くなる傾向を示した。

## VI 今後の課題

環境傾度分析およびIndVal法により、赤土等の堆積の影響が多い場所や少ない場所等における生物指標を選定することができたが、指標種の生態や捕食関係など不明な点が多く、今後、生態学的側面から環境傾度と指標種との関係を説明する必要がある。また、生物指標は費用対効果の点と複雑なストレス信号を単純化し、測定可能にすることから、環境変化の早い段階での察知や環境問題の原因に関わる診断など、環境状態を評価するのに用いられることが増えているが、統合的沿岸管理のためには、社会・経済活動の影響を考慮した沿岸環境の健全さの尺度となる堅牢な指標を求めていかなければならない。

## <謝辞>

本論文の執筆にあたり、環境傾度分析およびIndVal解析について御教示頂いた日本海区水産研究所の高田宜武博士、西日本水産研究所石垣支所の澁野拓郎博士に深謝します。また、解析に必要な資料を快く御提供頂いた沖縄県環境保全課職員および株式会社沖縄環境分析センター職員の皆様に感謝の意を表します。

## VII 参考文献

- 1) Dufrene, M. and Legendre, P. (1977) Species assemblages and indicator species: The need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs* 67, 345-366.
- 2) 沖縄県環境保全課(2006)平成18年度赤土等に係る環境保全目標設定基礎調査報告書.
- 3) 沖縄県環境保全課(2007)平成19年度赤土等に係る環境保全目標設定基礎調査報告書.
- 4) 沖縄県環境保全課(2008)平成20年度赤土等に係る環境保全目標設定基礎調査報告書.
- 5) 大見謝辰男(2003)SPSS簡易測定法とその解説. 沖縄県衛生環境研究所報, 37: 99-104.
- 6) Legendre, P. and Anderson, M. J. (1999) Distance-based redundancy analysis: Testing multi-species responses in multifactorial ecological experiments. *Ecological Monographs* 69, 1-24.
- 7) <http://cran.r-project.org/bin/windows/bace/>
- 8) <http://biodiversite.wallonie.be/outils/indval/home.html>
- 9) Hill, M. O. (1979) TWINSpan: a Fortran program for arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification of the individuals and attributes. New York: Cornell University, 35pp.