

「原著」

## 浜名湖におけるマクロベントスの分布型と

### 適正サンプル数の検討

今尾和正・渡辺孝夫

#### 1. はじめに

一般に行なわれている海洋環境調査のなかで、底生生物調査、特にマクロベントスに関する調査では、グラブ式採泥器による1回の採泥の試料を標本として扱っているのが普通で、多くても2~3回の採泥ですまされている。これらのサンプリングから得られた試料をもとにして、COD、強熱減量、栄養塩類、粒度組成などの底質分析項目との相関関係を検討したり、類似指数や多様性指数を用いて群集解析を行う場合が多い。しかし、個体群の生産量を推定するときなどには、個々の種の個体数の分布（ここで言う「分布」とは生物の地理的分布とか鉛直分布などの生体分布ではなく、統計的変量、ここでは動物の個体数の分布を言う）の特性や、適正なサンプル数の推定が必要であるし、群集を研究対象とする場合にも同様な検討が必要である。

生物の分布様式の解析には $I_A$  (Morisita 1959),  $I_B$  (Morisita 1962), Green's Index (Green 1966),  $m^*$  (mean crowding : Lloyd 1967)やIwao

(1968)による平均こみあい度-平均密度法などいくつかの手法が考案されており、農学などの分野ではよく検討されている。また、海外では海洋のベントスのパッチ構造に関する研究は多い（例えば Findlay 1981 ; Volckaert 1987 など）。しかし、日本ではマクロベントスの分布に関する研究例は少ない。

本論では $I_A$ を用いてマクロベントスの数種の分布型の検討を行いあわせてマクロベントス群集の適正サンプル数の検討を行って、今後のより詳細な研究の参考としたい。

#### 2. 材 料

1980年8月28日、静岡県浜名湖鷺津地先の水深2.7m地点（図1）で、4m×5m四方内を1mの等間隔で合計20点の表層泥をスキューバ潜水により採取した。直径15cmの円筒（面積176.7cm<sup>2</sup>）で厚さ約5cmの底泥を採取し、1mm目のふるい上に残るマクロベントスを対象とした。また、円筒の近傍で表層泥を採取してCODと強熱減量（IL）の分析に供し、底

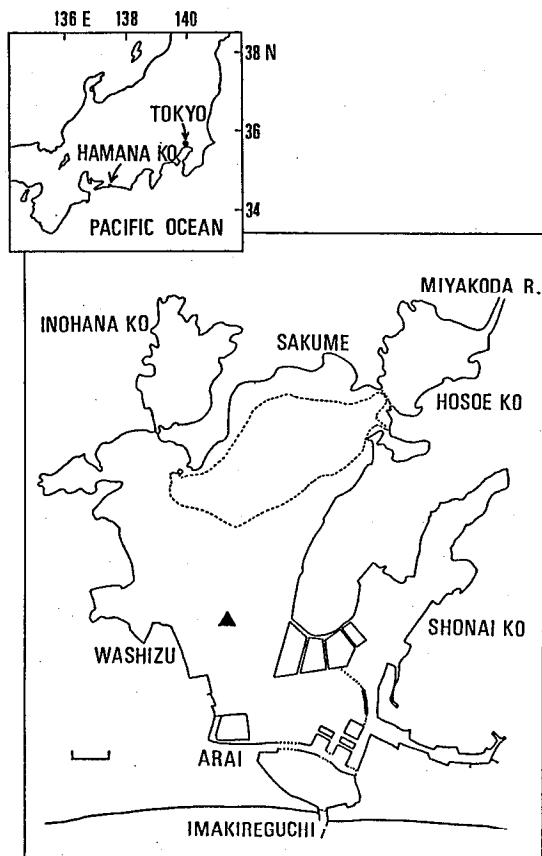


図1 調査地点 (▲印)

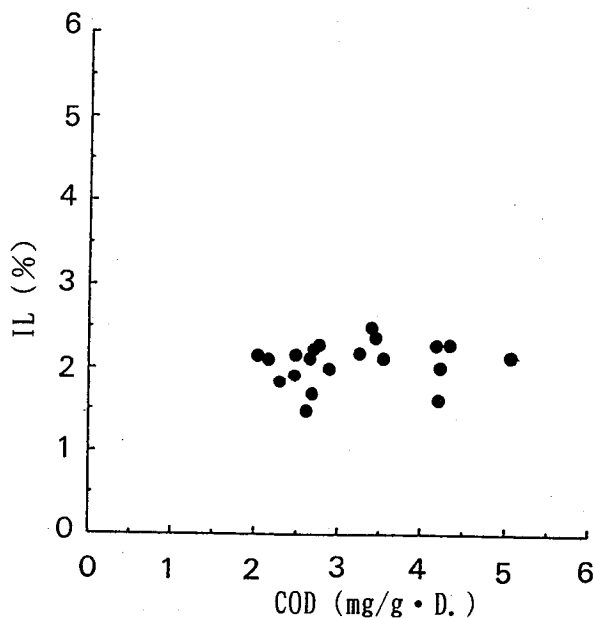


図2 CODとILの関係

質調査法 (環境庁) により分析した。

底質の CODは2.05~5.07mg/g・D.の範囲で、最大値は最小値の約2倍の値を示し、ILは1.48~2.50%であった。4 m×5 m四方内の20点での CODとILの等濃度線には対応がなく、相関関係 ( $r = 0.184$ )も認められなかった (図2)。

### 3. 方法

個体群の分布様式を次式で示される  $I_0$  (Morisita 1959)により検討した。

$$I_0 = n \frac{\sum_{i=1}^n x_i (x_i - 1)}{N (n - 1)} \dots\dots(1)$$

ここで  $n$  はサンプル数、 $N$  はある種の総個体数、 $x_i$  は  $i$  番目のサンプルに出現したある種の個体数である。 $I_0$  はランダム分布 (ポアソン分布) で1となり、集中分布では1より大、一様分布では1より小となる。 $I_0$  は(2)式から F 検定により有意性を検定した。

$$F = \frac{I_0 (N - 1) + n - N}{n - 1} \dots\dots(2)$$

サンプルの適正数は次の方法と種数面積曲線により検討した。

Morisita (1964) は  $I_0$  を用いて個体数の特定の分布型を仮定しないサンプル数の検討方法を示した (伊藤, 1977)。すなわち、危険率5% ( $t = 2$ ) のとき  $\epsilon$  を相対誤差、 $\bar{x}$  を平均値とするとサンプル数  $n$  は

$$n > \left( \frac{2}{\epsilon} \right)^2 \left( I_0 - 1 + \frac{1}{\bar{x}} \right) \dots\dots(3)$$

により求めることができる。ここで  $I_0$  は1回の抽出から得た  $I_0$  である。

#### 4. 結果

表1に20回の採泥より得られたマクロベントスの種名と各サンプルごとの各々の種の個体数を示した。各サンプルの出現種は7~18種の範囲で、総出現種数は44であった。その約59%にあたる26種は1個体が1~4サンプルしか得ら

れず出現個体数が少なかった。出現個体数が最も多かった種は *Prionospio krusadensis* で、ついで *Mediomastus* sp., *Nitidotellina nitidula*, *Nephtys polybranchia*などが比較的多く出現した。  
*P. krusadensis*, *Mediomastus* sp., *N. polybranchia*, *Lumbrineris longifolia*の4種は全サンプルに出現した。

分布様式の検討：出現個体数が多かった10種について、出現個体数の諸統計量

表1 20回の採泥により得られたマクロベントスの出現種と個体数 (個体/176.7 cm<sup>3</sup>)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	平均	
空腸																						
紐形環形																						
<i>Actiniaria</i> sp.			1																			0.05
<i>NEMERTINEA</i> sp.		1		2	1	1						3	2	2		2				2		0.80
<i>Anatitides maculata</i>								1														0.05
<i>Phyllodocidae</i> sp.													1							1		0.10
<i>Hesionidae</i> sp.											1											0.05
<i>Sigambra tentaculata</i>			1											1								0.10
<i>Nephtys polybranchia</i>	5	6	3	5	1	10	2	6	4	2	5	7	4	8	4	8	4	1	1	4		4.50
<i>Glycera chirori</i>								1	1											1		0.15
<i>Glycide armiger</i>	1																					0.05
<i>Diopaea sugokai</i>													1	1								0.10
<i>Lumbrineris longifolia</i>	2	1	3	3	1	1	1	9	2	4	2	3	1	3	3	2	2	1	1	1		2.30
<i>Prionospio krusadensis</i>	10	9	5	11	8	8	4	14	6	6	16	12	6	14	11	26	16	7	13	12		10.70
<i>P. caspersi</i>					1				1													0.10
<i>P. sp.</i>																						0.05
<i>Paraprionospio</i> sp. type A			1				1							1			1					0.30
<i>Anoides oxycephala</i>				1	1												1	1				0.20
<i>Polydora ciliata</i>	1		1	1			2		1	1			1	1								0.50
<i>Pseudopolydora paucibranchia</i>										1						1	1				1	0.20
<i>Boccardia uncatata</i>							1															0.05
<i>Nerimides</i> sp.						1						1				1						0.15
<i>Spio</i> sp.									2			2									1	0.25
<i>Chaetozone</i> sp.	1	1	1	7	1		1	3		4	2	2	2	2	1	2	1				1	1.60
<i>Tharyx</i> sp.														1		3	1	1				0.30
<i>Mediomastus</i> sp.	8	11	9	9	4	15	4	11	5	11	11	10	8	7	14	7	14	2	3	3		8.30
<i>Maldanidae</i> sp.		1	3	3	1		2	1	1	2	2	1		2	2	1	3	2	1	2		1.50
<i>Owenia fistiformis</i>												1						2				0.15
<i>Lagis bopeki</i>					1																	0.05
<i>Amage auricula</i>															1							0.05
<i>Chone teres</i>				1						1			2									0.20
軟体		1		1																		0.10
<i>Umbonium moniliferum</i>				1																		0.10
<i>Musculus senhousia</i>				1														1				0.10
<i>Pillucia pisidium</i>								1				1								1		0.15
<i>Fulvia mitica</i>		1																				0.05
<i>Ruditapes philippinarum</i>		1		4			1		1				1							4		0.60
<i>Raeta rostralis</i>						1																0.05
<i>Theora lubrica</i>					1																	0.05
<i>Macoma incongrua</i>	1	1				1		2		1	1	1	2		1	1	2					0.70
<i>Nitidotellina minuta</i>	1	1												1		2	1					0.30
<i>N. nitidula</i>	1	2	6	4	4	6	6	10		5	4	4	8	6	3	8	8	5	3	6		4.95
節足																	1					0.05
<i>Corophium</i> sp.																						0.10
<i>Caprella scaura</i>							2															0.05
<i>C. sp.</i>					1																	0.10
棘皮								1						1								0.10
<i>Ophiura kinbergi</i>									1													0.05
<i>Ophiophramus japonicus</i>											1											0.05
出現種類数	10	13	11	14	13	9	12	12	10	11	11	13	10	15	12	15	18	8	7	11		
総個体数	31	37	34	53	26	44	27	60	24	38	46	48	35	51	44	66	65	20	23	34		

表2 優占種の出現個体数の諸統計量と $I_0$ , F及び適正サンプル数n

	Min	Max	Mean	S. D.	ld	F	N
NEMERTINEA	0	3	0.8	1.01	1.333	1.263	2532.8
<i>Nephtys polybranchia</i>	1	10	4.5	2.50	1.084	1.392	490.0
<i>Lumbrineris longifolia</i>	1	9	2.3	1.84	1.198	1.469	1012.5
<i>Prionospio krusadensis</i>	4	26	10.7	5.11	1.129	2.441	355.9
<i>Chaetozone</i> sp.	0	7	1.6	1.64	1.411	1.671	1657.6
<i>Mediomastus</i> sp.	2	15	8.3	3.91	1.097	1.840	348.0
Maldanidae sp.	0	3	1.5	0.95	0.736	0.596	644.3
<i>Ruditapes philippinarum</i>	0	4	0.6	1.23	3.636	2.526	6884.3
<i>Macoma incongrua</i>	0	2	0.7	0.73	0.659	0.767	1740.1
<i>Nitidotellina nitidula</i>	0	10	5.0	2.50	1.051	1.265	404.8

(注) Min, Max, S. D., はそれぞれ出現個体数の最小値, 最大値, 平均値, 標準偏差。  
 $I_0$ , F, Nは本文参照。F<sub>0.05</sub> (0.05) = 1.58

と  $I_0$  および F を表2に示した。10種のうち  $I_0$  の F 検定 (5%) の結果, 集中分布とみなされる種は *P. krusadensis*, *Chaetozone* sp., *Mediomastus* sp., *Ruditapes philippinarum* (アサリ) の4種である。図3にこの4種の出現個体数の頻度分布とポアソン分布の理論値を示した。*P. krusadensis* は No.16 のサンプルに26個体と極めて多く出現したため集中度が高くなったと考えられる, *R. philippinarum* は多くのサンプルで出現個体数は0か1であるにもかかわらず, No.4とNo.17のサンプルに各々4個体出現したため, 集中分布になったものと思われる。

上記10種のうちランダム分布をしていると考えられる種は NEMERTINEA, *Nephtys polybranchia*, *Lumbrineris longifolia*, *Macoma incongrua*, *N. nitidula* の5種である (図4)。

Maldanidae sp. では  $I_0$  は1より小さく, 一様分布と考えられる (図5)。

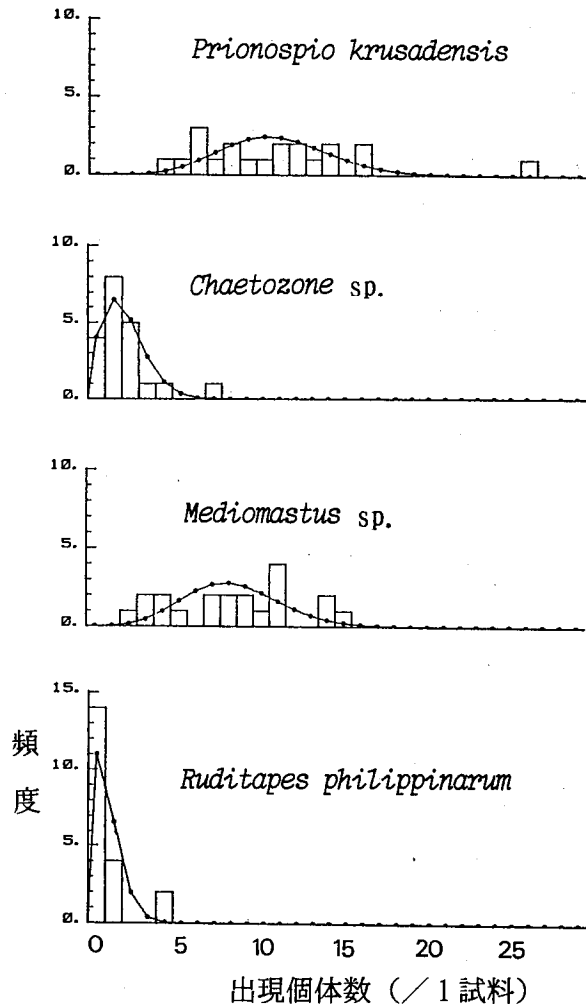


図3 集中分布をする各種の出現個体数の頻度分布とポアソン分布の理論値

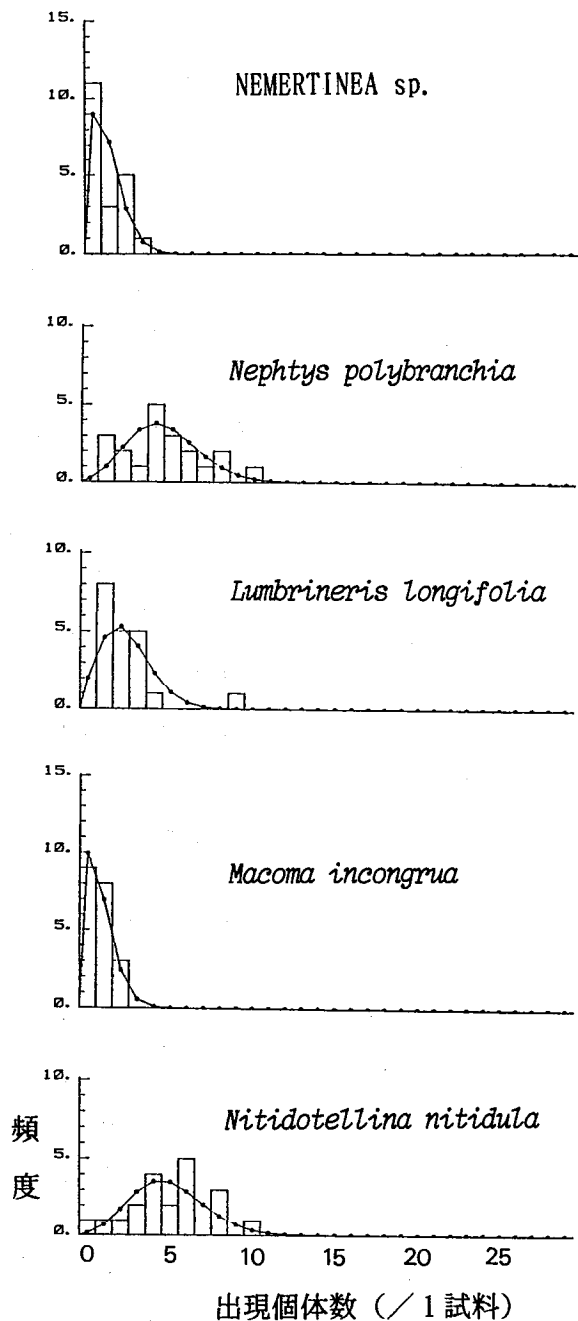


図4 ランダム分布をする各種の出現個体数の頻度分布とポアソン分布の理論値

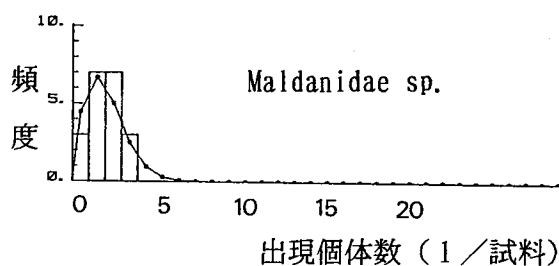


図5 一様分布をするMaldanidae sp.の出現個体数の頻度分布とポアソン分布の理論値

サンプル数の検討：(3)式で相対誤差5% ( $\epsilon = 0.05$ ) のときサンプル数  $n$  を表2に示した。

サンプルの数を決定する場合、上記したように各々の個体群について統計的に求められたサンプル数ばかりでなく、サンプルから得られる出現種類数も重要な要素である。全出現種の種数面積曲線と多毛類および軟体動物の種数面積曲線を図6に示した。これは20サンプルから得られるすべての組合せのうち、各採泥回数(採泥面積)ともランダムに20組の組合せの出現種類数を算出し、その平均値として示した。また、 $q$  を面積(サンプル数)、 $Sq$  を出現種類数としたときのArrhenius (1921)による種数面積曲線

$$Sq = c q^m \quad (c, m \text{ は定数})$$

もあわせて示した。軟体動物だけの種数面積曲線では一定値に近づく傾向がみられるが、多毛類と全出現種類数ではまだ増加する傾向にあると思われる。今仮に最終の種類数を本調査の全サンプルから得られた44種とすると、その80%の種類数(=35.2)を得るためには上述の式から約11回の採泥が必要となる。

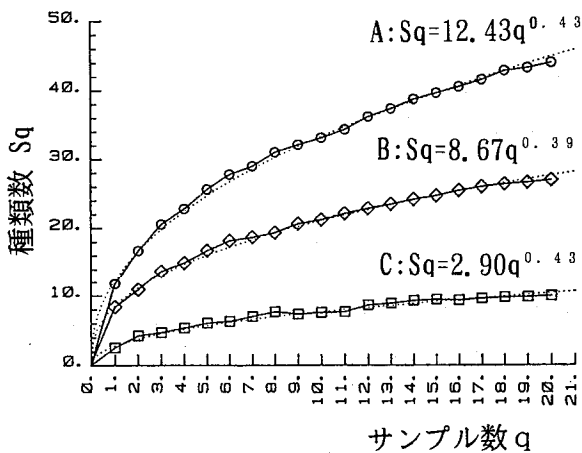


図6 全種 (A), 多毛類 (B) 及び軟体動物 (C) の種数面積曲線。実線は観測値, 破線は  $Sq = cq^m$  の理論値

## 5. 考察

ベントスの個体数は離散的であるため、連続量である正規分布には適合しない場合が多く、ベントスの分布様式はランダム分布ではポアソン分布、集中分布では負の二項分布などと適合する場合がある。本論では分布の適合性についてはふれず、分布の集中度の判定のみを行ったが、ランダム分布と考えられる5種についてはポアソン分布とよい対応は示していない(図4)。

*P. krusadensis*, *Chaetozone* sp., *Mediomastus* sp., *R. philippinarum* の4種は集中分布とみなされた。一般に動物の分布が集中分布となることの原因として伊藤(1977)は次の4つをあげている。

- ① 環境に傾斜がみられる場合
- ② 調査単位ごとに微細な条件の違いがあり、動物が鋭敏に区別する場合

### ③ 広義の伝播がある場合

- a 増殖による場合
- b 個体間に誘引性のある場合
- c 広義の伝播過程の場合

### ④ 本来平均値を異にするポアソン分布集団があって、それを込みにして抽出してしまった場合

まず、①と②について考えてみると、本調査でサンプリングを行った海底の状況は、潜水観察によると底面は傾斜がなく水平的であるが、水の動きにより生じたと思われる波状模様が存在した。これは微細な環境条件の差があることを示している。

COD と IL は両者とも最小値と最大値の間には約2倍の開きがあり、底泥中の有機物量の均一性は保証されない。COD, IL と優占種10種の出現個体数との相関関係は、IL と *P. krusadensis* の  $r = -0.511$  (5%有意), IL と *N. nitidula* の  $r = -0.529$  (5%有意) の2種で有意となり、有機物量が出現量との間に関係がある可能性がある。

一般に多毛類の幼生は一定期間海中を浮遊し、発生が進むと底生生活を営む。しかし、イトゴカイ科の *Capitella capitata* では、トロコフォア幼生が棲管から泳ぎ出てプランクトンになるタイプと、管内にとどまったまま発生が進み、親の棲管の脇枝として自分自身の棲管を作るタイプの2型があることが知られている(菊池, 1979)。本調査で出現した *Mediomastus* sp. がどのような生活史を営んでいるか不明である。しかし、属は

異なるが、*C. capitata* のように棲管内で発生が進み親の棲管から自分自身の棲管を作るとすれば、分布は集中分布となり、上記の③に相当する。

Ohba (1959) はアサリの成体ではポアソン分布になるが、幼体では集中分布となることがあることを認めている。これは浮遊幼生が流れにより集積されて海底に着底したためと考えられ、このようなことも集中分布となることの一因としてあげられる。

④の採泥面積の大きさが大きすぎる可能性は否定できず、採泥面積をより狭くして再検討する余地はある。

本調査では前述の4種が集中分布になったが、その原因は確定できない。調査面積の細分化や分布様式の再現性の検討も含め、今後より詳細な調査が必要であろう。

生態学的調査を実施する場合、サンプル数  $n$  をあらかじめ予備調査によって決定することが必要である。

(3)式では特定の分布型を仮定せずサンプル数を求めることができる。表2では相対誤差を5%としてサンプル数  $n$  を算出したが、これを10%まで認めるとすれば  $n$  は  $1/4$  ですみ、20%では  $1/16$  でよいことになる。ちなみに、相対誤差を20%とすると  $n$  が最も大きい *R. philippinarum* では  $n = 430.3$  ( $7.6\text{m}^2$ )、最も小さい *P. krusadensis* では  $n = 22.2$  ( $0.4\text{m}^2$ ) となる。

一般に調査面積が広がるにつれて出現種類数は増加するが、均一な群集が広

い範囲にわたって存在するならば種数は一定に近づく。ここで使ったArrheniusの種数・面積曲線は面積を無限大にすると、出現種類数も無限大となる欠点を持っている。しかし、本調査で仮に全出現種数の80%の種類数を得るためには、前記したように種数面積曲線から約11回の採泥、すなわち  $0.2\text{m}^2$  の採泥面積が必要である。石川 (1983) は宮城県追波湾において小型スミス・マッキンタイヤ採泥器で10回の採泥を行い、出現種類数80%を得るためには約7回の採泥が必要であるとしている。

以上のように、マクロベントスの各々の個体群について統計的に必要と考えられるサンプル数と、群集を構成する種の数からみたサンプル数ではかなりのひらきが存在する。調査に必要な労力と経費から、少ないサンプルで済ませることが望ましく、研究対象が群集であるか、個体群であるかを区別してサンプル数を決定する必要がある。ちなみに、(3)式から相対誤差20%のとき  $n$  が最も小さい *P. krusadensis* の  $n = 22.2$  と、種数面積曲線からの結果とを考慮にいれ、必要採泥回数を20とすると、採泥面積は  $176.7 \times 20 = 3534\text{cm}^2$  であるから、通常沿岸で用いられている小型スミス・マッキンタイヤ採泥器 (採泥面積  $500\text{cm}^2$ ) では約7回の採泥となる。

マクロベントス群集の出現種類数は水域や季節によって異なる。また、個体群の分布様式は種によって一定であるかも知れないが、個体密度はやはり水域や季

節によっても変化するから、必要なサンプル数は研究対象によって違ってくる。今後、本論で述べたような種の分布様式やサンプル数の検討をさまざまな水域、季節などで実施、データの蓄積をすることが必要と思われる。

#### 6. 参考文献

- Arrhenius, O. 1921. Species and area. *J. Ecol.* 19 : 95-99.
- Findlay, S. E. G. 1981. Small-scale spatial distribution of meiofauna on a mud- and sandflat. *Est. and Coast. Shelf Sci.* 12 : 471-484.
- Green, R. H. 1966. Measurement of non-randomness on spatial distributions. *Res. Popul. Ecol.* 8 : 1-7.
- 石川公敏 1983. 海域のベントス調査における採集方法の適合性の検討, 採集回数および篩区分について。公害 18 : 1-9。
- 伊藤嘉昭 1977. 動物生態学, 上。pp. 268 古今書院 東京。
- Iwao, S. 1968. A new regression method for analyzing the aggregation pattern of animal populations. *Res. Popul. Ecol.* 10 : 1-20.
- 菊池泰二 1979. 多毛類 *Capitella capitata* の生態・生活史, “汚染指標種” の生態的特性をめぐって。ベントス研連誌 17/18 : 33-51。
- Lloyd, M. 1967. 'Mean Crowding'. *J. Anim. Ecol.* 36 : 1-30.
- Morisita, M. 1959. Measuring of the dispersion of individual and analysis of the distributional patterns. *Men. Fac. Sci., Kyushu Univ., Ser. E(Biol.)* 2 : 215-235.
- 1962.  $I_d$ -index, a measure of dispersion of individuals. *Res. Popul. Ecol.* 4 : 1-7.
- 1964. Application of  $I_d$ -index to sampling techniques. *Res. Popul. Ecol.* 6 : 43-53.
- Ohba, S. 1959. Spatial distribution in the natural population of a clam, *Tapes japonica*. *Bull. Mar. Biol. Sta. Asamusi.* 9 : 153-156.
- Volckaert, F. 1987 Spatial pattern of soft-bottom polychaeta off Nova Scotia, Canada. *Mar. Biol.* 93 : 627-639.