

調査場所と採泥回数から検証した マクロベントス群集における種組成の違い

新井 功

1. はじめに

海洋における一般的なマクロベントス調査では、一つの測点に対してスミス・マッキンタイヤ型採泥器などによる3回の採泥試料をまとめて1標本として扱っているのがふつうで、1～2回の採泥で済むことも少なくない（たとえば、原口, 1985）。しかし、マクロベントスの種や個体数の分布は離散的であり、採泥場所の底質環境、調査時期および採泥回数でも観察できる種数や個体数は異なる。このため、マクロベントス群集の種組成を把握する試料を得るためには、測点の環境に応じた採泥回数が必要とされる（日本海洋学会, 1986）。つまり、環境が異なればそこに生息するマクロベントス群集も異なり、種組成の把握に適正な採泥回数も異なることが予想されるため、ある特定域のマクロベントス群集の把握には、調査時間や費用からの制約があることを考慮しながらも同一の測点で採泥面積を増やしても出現種類数が増加せず横這いとなるような採泥回数を探索することが必要である。

採泥回数の検証事例として例えば、今尾・渡辺 (1989) は静岡県浜名湖鷺津地先で直径15 cmの円筒 (面積176.6 cm²) で厚さ5 cmの表層底泥を20点採取し、20回の採泥によって得られる出現種数の80%を得るためには約11回の採泥、すなわち0.194 m²採泥が必要であったとした。また、高橋ら (1986) は田村式採泥器を用いて東京湾の2測点で各10回の採泥を行い、採泥回数と採集されたベントスの種数、個体数および湿重量との関係を求めた。これによれば、個体数と湿重量は3回の採泥でほぼ安定し、種数は4回の採泥で10回採泥によって得られる出現種数の82～84%が得られ、1地点当たり繰り返し4回の採泥 (0.276 m²) を行

うことにより各地点におけるベントスの種組成や数量をほぼ求めることができるとした。一方、石川 (1983) は宮城県追波湾でスミス・マッキンタイヤ型採泥器 (面積0.05 m²) を用いた10回の採泥を行い、10回採泥で得られる出現種数の80%を得るためには約7回の採泥が必要であったとした。このように、採泥器を用いた調査方法では調査地によって種組成の把握に必要な採泥回数にばらつきがみられる。

以上のことから、本研究では、東京湾奥部の閉鎖的な海域と千葉県小湊沖の外洋に開放的な二つの環境海域で、調査時期、水深、採泥方法を可能な限り統一した採泥を複数回行い、各海域におけるマクロベントスの群集組成の違いと採泥回数による種組成の違いを検証した。

2. 材料と方法

調査測点として、東京湾北西部 (35°7'035"N, 140°9'826"E) で水深が14.0mであった測点をSt. T、小湊沖 (35°35'206"N, 139°50'206"E) で水深が11.0mであった測点をSt. Kとして選定した (図1)。

採泥にはスミス・マッキンタイヤ型採泥器 (面積0.05 m²) を用い、St. Tでは2013年4月3日、St. Kでは2014年4月16日に各測点10回の採泥を行った。得られた底泥は採泥1回分をマクロベントス分析用の試料とし、船上で1.0 mmの篩を用いて微細泥を洗い流し、最終濃度が10%となるように中性ホルマリンで固定した。試料は研究室に持ち帰り、試料中に出現したすべてのマクロベントスを対象に種別の個体数と湿重量を計測した。

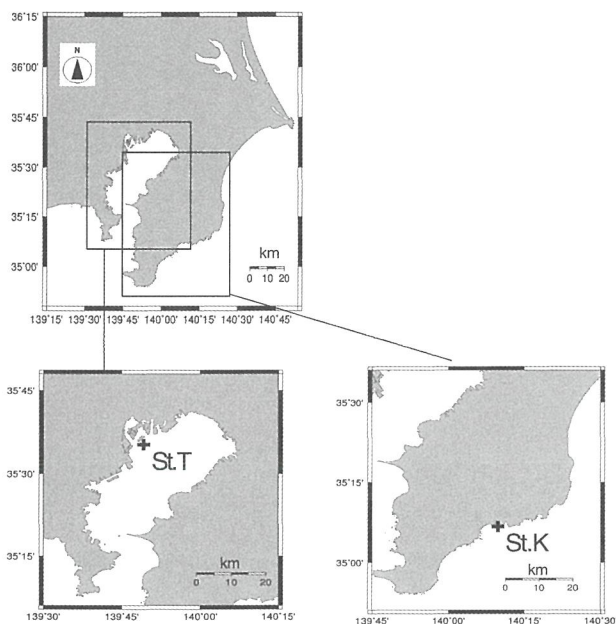


図1 調査測点位置

3. データ解析

本稿では、各地点・各採泥回におけるマクロベントス群集の特徴を類似度や多様度を指標に把握し、その後、各群集の種組成把握に最適な採泥回数を種数面積曲線式により求めた。また、データの比較や、比較した結果の信頼性は、各種の統計解析を用いて検定した。

統計解析を行う際、まずノンパラメトリック検定を行い、そこで有意な差がみられなかった場合には種数データに対して対数変換 $[\log(x + 1)]$ を行い、等分散性を持たせた後にパラメトリック検定を行った。解析においては、統計解析ソフト R (ver. 2.15.2) のパッケージ *vegan* を使用した。

4. 結果

4. 1 各測点におけるマクロベントスの群集組成の違い

St.T と St.K における各 10 回採泥の分析結果を付表 1 と付表 2 に示した。St.T で 3 動物門 9 種、St.K で 5 動物門 24 種が出現した。各 10 回の採泥における平均種数は St.T で 4.8 ± 1.2 種、St.K で 9.1 ± 1.6 種で地点間の出現種数には有意な差がみられた (Mann-Whitney 検定、 $p < 0.01$)。マクロベントス群集の種組成の特徴を把握するために、各測点の採泥 1 回分の試料で観察された各種の個体数に基づいて、各試料の種組成にお

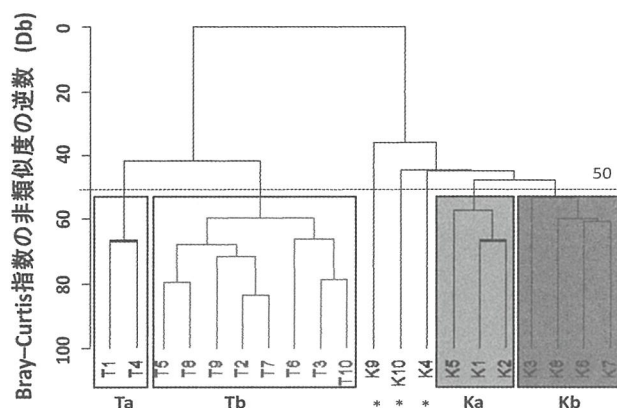


図2 Bray-Curtis 指数の非類似度の逆数 (Db) を用いたクラスター解析によって分けられた 4 グループ。* はグループに属さなかったこと、破線は類似度 50 で分けたことを示す。

ける 2 点間の類似度を求めた。類似度には Bray-Curtis 指数の非類似度 (小林, 1995) の逆数 (Db) を用いて式 (1) により計算した。

$$Db = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^S |n_{Ai} - n_{Bi}|}{N_A + N_B} \right) \times 100 \quad (1)$$

ここで n_{Ai} は任意の 1 回採泥 A の i 番目の種の個体数、 N_A は 1 回採泥 A の全個体数とし、添え字 B は別の 1 回採泥 B に関する同様の諸量である。また、S は全種数を示している。この指数では種組成が完全に異なる場合には $Db = 100$ 、全く同じ場合には $Db = 0$ となる。上記で得られた類似度を距離として用いてクラスター解析 (クラスター連結には群平均法を使用) を行い、各測点・各採泥回におけるマクロベントスの群集組成のグループ化を試みた。

この結果、2 測点を合わせて 20 回の採泥試料は、類似度 40 前後で大きく測点ごとに区分され、さらに類似度が 50 で 4 グループ (以後、グループ Ta、グループ Tb、グループ Ka、グループ Kb とする) となったが、K4、K9、K10 はグループ化されなかった (図 2)。クラスター分析によって、グループ化された 4 グループの種組成の類似度に対してどの種が各グループを特徴づける種であるかを優占度によって調べた。グループ化された各採泥回の種の優占度 (P_i) は式 (2) により計算した。このとき、各グループで高い優占度を示した上位 3 種を第一優占種、第二優占種、第三優占種とした (表 1)。

表1 クラスタ解析によって分けられた各グループにおける優占種。各グループで高い優占度を示した上位3種を第一優占種、第二優占種、第三優占種とした。

調査測点	グループ	優占順位	学名	和名	平均個体数	標準偏差	優占度 (%)
St. T	グループ Ta	1	<i>Paraprionospio patiens</i>	シノブハネエラスピオ	3.5	0.7	58.4
		2	<i>Glycinde</i> sp.		1.0	0.0	16.7
		3	<i>Sigambra hanaokai</i>	ハナオカカギゴカイ	0.5	0.7	8.3
		3	<i>Nectoneanthes latipoda</i>	オウギゴカイ	0.5	0.7	8.3
		3	<i>Glycera</i> sp.		0.5	0.7	8.3
	グループ Tb	1	<i>Paraprionospio patiens</i>	シノブハネエラスピオ	12.5	4.2	61.3
	2	<i>Glycinde</i> sp.		2.8	3.0	13.5	
	3	<i>Nectoneanthes latipoda</i>	オウギゴカイ	1.4	0.7	6.7	
St. K	グループ Ka	1	<i>Euzonus</i> sp.		3.3	0.6	13.9
		2	<i>Dispia oculata</i>	ホテイスピオ	3.0	1.7	12.5
		3	<i>Diogenes spinifrons</i>	トゲトゲツノヤドカリ	2.7	1.2	11.1
	グループ Kb	1	<i>Scaphechinus mirabilis</i>	ハスノハカシパン	4.8	1.9	23.5
		2	<i>Euzonus</i> sp.		2.5	3.1	12.3
		3	<i>Lumbrinerides hayashii</i>	ハヤシギボシイソメ	2.3	1.3	11.1
	3	<i>Mandibulophoxus</i> sp.	アゴヒサシソコエビ属	2.3	0.5	11.1	

備考 (1) : グループに属さなかった K4, K9, K10 は試料数が 1 のため解析できなかった。

備考 (2) : 解析を行った試料は以下に示す。

グループ Ta : T1, T4

グループ Tb : T2, T3, T5, T6, T7, T8, T9, T10

グループ Ka : K1, K2, K5

グループ Kb : K3, K6, K7, K8

$$P_i(\%) = \left\{ \frac{\text{種 } i \text{ の個体数}}{\text{全種の総個体数}} \right\} \times 100 \quad (2)$$

グループ Ta の第一優占種はシノブハネエラスピオ (*Paraprionospio patiens*)、第二優占種は *Glycinde* sp.、第三優占種はハナオカカギゴカイ (*Sigambra hanaokai*)、オウギゴカイ (*Nectoneanthes latipoda*) および *Glycera* sp. であり、グループ Tb も同じく第一優占種はシノブハネエラスピオ、第二優占種は *Glycinde* sp.、第三優占種はオウギゴカイであった。Ta および Tb の優占種はすべて環形動物によって構成され、優占第一位から第三位までの種による優占度は Ta 内で 100.0%、Tb で 81.5% と高い値を示した。一方、グループ Ka の第一優占種は *Euzonus* sp.、第二優占種はホテイスピオ (*Dispia oculata*)、第三優占種はトゲトゲツノヤドカリ (*Diogenes spinifrons*) であり、Ka の優占種は環形動物と節足動物によって構成され、Ka 内の優占度は 37.5% であった。グループ Kb の第一優占種はハスノハカシパン (*Scaphechinus mirabilis*)、第二優占種は *Euzonus* sp.、第三優占種はハヤシギボシイソメ (*Lumbrinerides hayashii*)、アゴヒサシソコエビ属 (*Mandibulophoxus* sp.) であり、Kb の優占種は棘皮動物、環形動物およ

び節足動物によって構成され、Kb 内の優占度は 58.0% であった。

各グループにおける種の多様性を表す指標として Shannon-Wiener 指数 (H') を用い、採泥回ごとの多様度指数を式 (3) により計算した。

$$H' = -\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad (3)$$

ここで S は群集に含まれる種の数、 P_i は優占度と同じである。種数 S が大きいほど、また各種の個体数の相対頻度 P_i が種間で均一なほど H' の値は大きくなる。

一元配置分散分析によってグループ間の平均多様度に統計的な有意差がみられた ($df = 3$, $F = 19.07$, $p < 0.001$) ことから、Tukey の多重比較を用いたところ (図 3)、Ta (1.52 ± 0.20) に対して Ka (2.73 ± 0.01) と Kb (2.97 ± 0.37)、Tb (1.61 ± 0.32) に対して Ka (2.73 ± 0.01) と Kb (2.97 ± 0.37) で有意な差がみられた ($p < 0.05$)。

以上のことから、各測点のマクロベントス群集の特徴をまとめると、St. T は採泥回により大きく Ta と Tb のグループに分かれたものの、いずれのグループも環形動物の優占度が高く、St. K に比べ出現種数の少ない

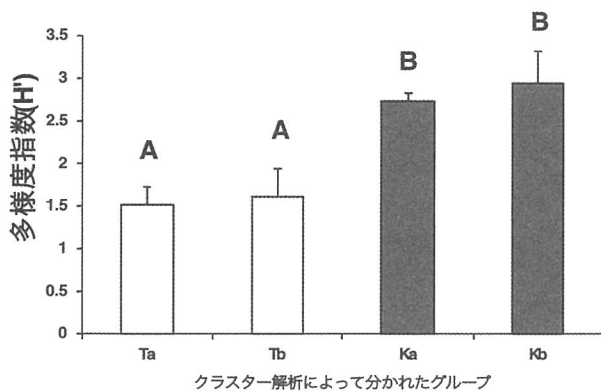


図3 クラスター解析によって分けられた各グループのShannon-Wiener指数 (H') における平均値と標準偏差。Tukey法の多重比較によって異なるアルファベット間では有意差 ($p < 0.05$) があることを示す。

種多様性の低いマクロベントス群集であることが示された。これに対して、St. Kでは採泥回により環形動物と節足動物が優占するKaと棘皮動物と環形動物、節足動物が優占するKbの2グループが区分されたが、グループ化できない3回の採泥回も認められ、St. Tに比べ種多様性が高く、各採泥回で出現するマクロベントス群集の特徴が一様ではないことが示された。

4. 2 採泥回数による出現種数の検証

St. TとSt. Kから得られたデータ (付表1、2) から各測点の10試料の組み合わせのうち、各採泥回数について乱数を用いて重複のない組み合わせの出現種数を算出し、試行回数10回の平均値として示した (図4a)。また、 q を採泥面積 (採泥回数)、 Sq を出現種数としたときのArrhenius (1921) による種数面積曲線式 (4) も合わせて示した。

$$Sq = cq^m \quad (c, m \text{ は定数}) \quad (4)$$

種数面積曲線式では決定係数がSt. Tで $R^2 = 0.9326$ 、St. Kで $R^2 = 0.9967$ であり、ともに1に近似することから理論線が実測線に強く当てはまっていた。ここで得られた種数面積曲線式をもとに、10回採泥で得られた出現種数の結果を100%としたときに仮に80%を得られる採泥回数を算出すると、St. Tで3回目、St. Kでは6回目となり、90%を得るためにはSt. Tで約5回目、St. Kでは8回目となった (図4b)。また、3回採泥で得られる出現種数はSt. Tで82.2%、St. Kで60.4%であった。

以上のことから、10回採泥で得られる出現種数の

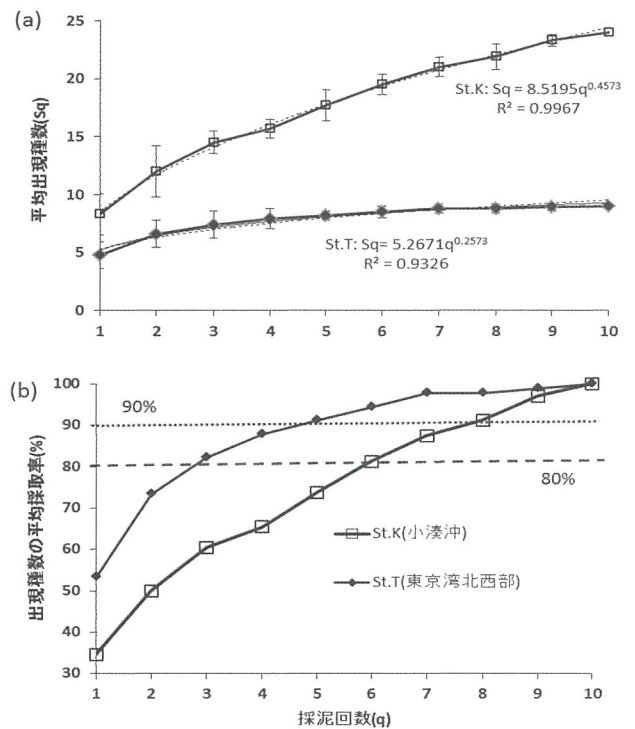


図4 St. TとSt. Kの種数面積曲線。(a) 採泥回数と平均出現種数。破線は理論線、棒は標準偏差 ($n = 10$) を示す。(b) (a) から得られた採泥回数と出現種数の採取率。破線は採取率80%、90%を示す。

80%を採取するための採泥回数は、St. Tでは3回、St. Kでは6回となった。

5. 考察

今回の結果から各測点で10回採泥によって得られる出現種数の80%以上を得るためには、東京湾北西部の測点では少なくとも3回、千葉県小湊沖の測点では6回の採泥が必要と考えられ、一般的に行われている3回採泥は測点によってはマクロベントス群集の把握に不十分となることが明らかとなった。

St. Tのマクロベントス群集は特定の環形動物が優占する種の多様性が低い特徴を持っており、このように種の多様性が低い環境では1測点あたりの採泥回数3回でも有効であると考えられる。加えて、夏季の東京湾奥部では底層が貧酸素状態になり生物の多くは死滅することが知られており (風呂田, 1988)、さらに種多様性が低下すると予想される時期には、採泥回数は3回より少なくとも十分であることが考えられる。

一方、St. Kのような、採泥回により優占する動物種が異なり、同一測点で多様な動物種が出現して特定の

動物種の優占度が低い、つまり、種の多様性が高いマクロベントス群集では、1回の採泥で取り逃がす種が多く、3回以上の複数回採泥を検討する必要があると考えられる。さらに、種多様性の高いマクロベントス群集が生息する海域で、広い範囲を調査対象とする場合には、今回得られた各採泥回数の結果が必ずしも適合されない。中西ら (2007) は千葉県小湊沖に設けた5測点で各1回採泥 (計5回採泥) を行って合計7動物門112種を確認し、成田・大淵 (2008) は4測点で各2.5回の採泥 (計10回採泥) によって7動物門116種を確認している。同一の千葉県小湊沖に設けた今回のSt. Kで1測点あたり10回の採泥によって確認された種数は5動物門24種であり、中西ら (2007) や成田・大淵 (2008) の結果と比べて出現種数が明らかに少ない。1測点のみの調査だけでは採泥回数を増やしても調査海域におけるマクロベントス群集が適切に把握されていないと考えられる。マクロベントス群集の種組成を把握するには、調査対象海域の広さに応じ、採泥回数のみならず、測点数 (調査範囲) を増やすことが必要であると考えられる。

6. 今後の課題

我々が行うマクロベントス調査では定量調査として、多くは3回採泥で1標本とすることが多い。しかし、多様性が比較的高かった今回のSt. Kのような場所では、3回の採泥ではマクロベントス群集を十分に把握できるとは言えない。今回の種数面積曲線式は調査範

囲がごく限られていたことから、今回と同様の調査を環境の異なった季節と場所でより多く行い、知見を蓄積することにより、今後のマクロベントス調査や研究で対象となった調査海域や測点の適切な採泥回数を提案する手がかりのひとつになると考えられる。また、我々がこれまでマクロベントス調査を行ってきた海域は、日本の北海道から沖縄、水深は潮間帯から深海にまで及び、調査時期も単日調査から年間を通した調査と幅広い。今回の結果と合わせて、自社で蓄積したデータを活用できれば、種数面積曲線式や多様性指数を算出し、予め指定された採泥回数で調査を行った結果に対して、マクロベントス群集組成の把握精度の高いコメントができるかもしれない。

参考文献

- Arrhenius, O. 1921. Species and area. *J. Ecol.* 19: 95-99.
- 風呂田利夫. 1988. 東京湾における貧酸素水の底生・付着動物群集に与える影響について. *沿岸海洋研究ノート* 25 (2): 104-112
- 原口明郎. 1985. 東京湾内湾, 東京湾湾口及び相模湾の底生生物. *神奈川県水産試験場*, 6: 27-34.
- 今尾和正・渡辺孝夫. 1989. 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の検討. (株) 日本海洋生物研究所 1989年年報, pp. 13-20.
- 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.
- 小林四郎. 1995. 生物群集の多変量解析. 蒼樹書房.
- 中西敏之・輪島毅・笹原耕治・松丸智・岡靖一郎. 2007. 平成18年度小湊研修報告-海域底生生物調査-. (株) 日本海洋生物研究所 2007年年報, pp. 15-21.
- 成田光好・大淵貴之. 2008. 平成19年度小湊研修報告-海域底生生物調査-. (株) 日本海洋生物研究所 2008年年報, pp. 22-29.
- 日本海洋学会. 1986. ベントス調査. *沿岸環境調査マニュアル (底質・生物編)*, 恒星社厚生閣, pp. 216-257.
- 高橋豊美・前田辰昭・中谷敏邦・柳川延之. 1986. 陸奥湾におけるマクロベントスの時空間分布. *日本水産学会誌*, 52 (8): 1339-1349.

付表 1 10回の採泥で得られた平成25年度新人研修における東京湾の底生生物分析結果

調査時期：平成25年4月3日
 単位：個体数：個体/0.05 m²
 湿重量：g/0.05 m²

		調査測点											合計											
		St. T																						
番号	門	綱	目	科	種	試料名		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	合計						
						項目	和名	個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量	
1	軟体動物	腹足	頭楯	キセワタガイ	<i>Philine argentiata</i>	キセワタガイ										1	0.00	1	0.00					
2		二枚貝	マルスダレガイ	アサジガイ	<i>Theora fragilis</i>	シズクガイ		2	0.23				1	0.02	3	0.06	1	0.00	7	0.31				
3	星口動物	スジホシムシ	スジホシムシ	スジホシムシ	<i>Sipunculus nudus</i>	スジホシムシ		1	0.01				1	0.01	2	0.01	1	0.04	5	0.07				
4				カギゴカイ	<i>Sigambra hanaokai</i>	ハナオカカギゴカイ	1	0.00		2	0.00		5	0.00			2	0.00	10	0.00				
5				ゴカイ	<i>Nectonanthus latipoda</i>	オウギゴカイ		1	0.01	1	0.60	1	0.38	3	0.74	1	0.58	1	0.15	2	2.69	12	7.59	
6	環形動物	多毛	サシハゴカイ	チロリ	<i>Glycera</i> sp.		1	0.05	1	0.00		3	0.04		1	0.01			6	0.10				
7				ニカイチロリ	<i>Glycinde</i> sp.		1	0.03	1	0.00	1	0.01	8	0.24	7	0.24	2	0.05	2	0.05	24	0.75		
8				スビオ	<i>Paraprionospio patiens</i>	シノブハネエラスビオ	4	0.26	11	1.14	10	0.71	12	1.13	13	1.48	14	0.92	21	1.87	6	1.05	107	9.56
9				スビオ	<i>Prionospio japonica</i>	ヤマトスビオ				1	0.00	1	0.01							1	0.00	3	0.01	
							合計 (個体数・湿重量)																	
							種類数																	

注：欄内の0.00は湿重量が0.01g未満を表す。

