

小湊周辺海域における 底層環境と底生生物群集

濱治 良彬

1. はじめに

例年、当社では新人研修の一環として、千葉県小湊周辺で海域調査を行ってきた。これまでの当社年報には海域底生生物相調査の報告が多数ある（例えば、新井・岡, 2017; 向井, 2018）が、底生生物相と底質環境との関連を検討したものは少なく、考察でわずかに触れる程度である（中西ら, 2007; 向井, 2018）。そこで本研究では、統計学的解析手法を用い、千葉県小湊沖における底生生物群集の底質環境に対する分布特性を検討した。

2. 材料と方法

調査は2019年4月17日に行った。調査測点は、例年研修として底生生物調査を行っている St.1 および St.2 の2測点に加え、両測点のおおよそ中間に St.X を追加した（図1; 表1）。各測点でスミス・マッキンタイヤ型採泥器を用い、複数回の採泥を実施した。それぞれ3回分を生物分析用とし、残りを底質環境分析用とした。水深は調査船のソナーによる当時水深を記録した。

生物分析用試料は船上で1mm目のふるいにかけて、残留物を500ml広口瓶に収容し、最終濃度10%となるように中性ホルマリンで固定した。底質環境分析用試料のうち、強熱減量（以下IL）分に関しては冷凍して保存した。

得られた生物試料は実体顕微鏡 (OLYMPUS SZ60) 下で同定作業を行い、種別に個体数と湿重量の測定を行った。底質試料は乾燥処理後、ふるい分け試験による粒度分析とILによる有機物量測定を行った。

種組成による各測点の類似度を調べるため、統計解

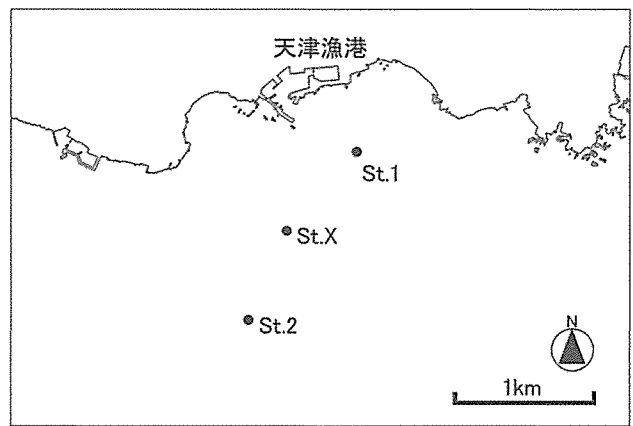


図1 測点配置図

表1 調査測点の位置

	St.1	St.X	St.2
北緯	35°07'04.40"	35°06'46.80"	35°06'27.10"
東経	140°09'55.00"	140°09'36.10"	140°09'25.40"

注：経緯度は世界測地系（WGS84）による。

析ソフト R (R Core Team, 2019) を用いて解析を行った。解析には主に vegan パッケージ (Oksanen *et al.*, 2019) を用い、日本海区水産研究所 (2018) および Yokazaki (2016) を参考に行った。

3. 結果と考察

3.1 底質環境

各測点の水深、粒度、中央粒径および有機物量を図2および表2に示した。いずれの測点においても、細礫およびシルト・粘土分率は0.1%以下を示し、細砂分率は50%を超えた。粗・中砂分率に関し、陸側の St.1 で最も高く、沖側の St.2 で最も低い値で、沖に向かって組成分率が低くなる勾配を示した。細砂分率は陸側の St.1 で最も低く、沖側の St.2 で最も高くな

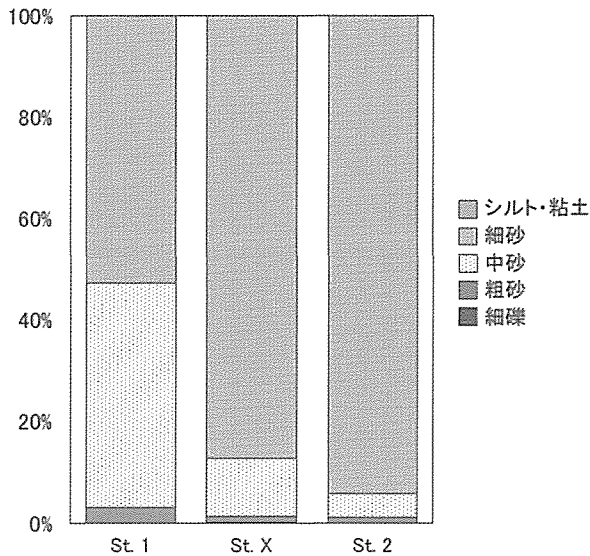


図2 各測点の粒度組成

表2 各測点の環境

	測点		
	St.1	St.X	St.2
当時水深 (m)	11.0	16.0	23.0
粒径区分 (%)			
細礫	0.0	0.1	0.0
粗砂	3.0	1.2	1.1
中砂	44.3	11.5	4.7
細砂	52.6	87.1	94.1
シルト・粘土	0.1	0.1	0.1
中央粒径 (mm)	0.24	0.17	0.16
有機物量 (%)	3.3	3.3	3.3

り、粗・中砂分率とは逆に沖に向かって組成分率が高くなる勾配の傾向がみられた。本研究対象域においては、水深が深くなるにつれて底質粒径は細くなる傾向がみられ、向井 (2018) と同様の結果となった。有機物量に関してはいずれも 3.3% を示し、本研究の測点間に有機物量の明確な差は認められなかった。

3. 2 底生生物

底生生物の分析結果と多様度指数 H' を表3に、各測点における主要動物門の組成を表4にそれぞれ示した。St.1、St.X、St.2と全体の種類数は増加し、主要動物門別の種類数も同様の傾向を示した。 H' について、St.1が3.40と他測点に比べ低い値だった。St.1において、軟体動物門の出現種類数・個体数に占める割合が他測点よりもかなり低かったことが理由だと思われる。

過年度の調査結果として、小湊沖の底生生物相は環形動物門と節足動物門の個体数組成比が大きいと報告されている。本研究においても、St.1およびSt.Xにおいてはその通りだったが、St.2の個体数組成比はその半分を軟体動物門が占めた。これはSt.2からニシムラザクラガイの幼稚貝が多く出現したことに起因する(表3)。本海域におけるニシムラザクラガイの出現は1996年以来(伊東ら, 1997)であり、最大で5個体 ($/0.1\text{m}^2$) が出現していた。本研究の結果とあわせると、ニシムラザクラガイの小型個体はパッチ状に高密度の分布を示す可能性が考えられる。また、本海域における過年度の調査結果において、1996年以降本種が出現しなかった(鴨志田・小林, 2017) ことについて、一時的にニシムラザクラガイの個体数が減少していたものの、近年になり回復してきたと捉えることもできる。

個体数組成比上位3種を表5に示した。各測点で異なる動物門が優占していた。St.1ではカマキリヨコエビ科のハイハイドロクダムシ属が優占しており、また直近の報告では同じくカマキリヨコエビ科のヤドカリモドキ亜科が優占していた(向井, 2018)。このことから、St.1の底質環境は、砂粒で可搬式の棲管を造ると生態をもつ動物に適したものであると考えられる。St.Xではオフエリアゴカイ科の *Euzonus* 属が優占し、続いてハスノハカシパン、ネズミボヤの順に個体数が多かった。St.Xは本研究で新しく設定された測点のため、過年度との比較はできなかった。出現種のおよそ1/4がSt.2と重複してはいるものの、ミゾガイやニシキクマ、スナクモヒトデ科などSt.Xにのみみられた種もいた。St.2について、先述したニシムラザクラガイが多く出現し、過年度で優占したスピオ科の *Polydora* 属は出現しなかった。先述のニシムラザクラガイも含め、本研究の結果は過年度のものとは大きく異なっていた。本研究の底質環境調査結果は過年度と大きな相違がみられなかったため、それ以外の環境に変化があったと考えられる。

3. 3 解析

解析を行うにあたり、測点の環境データおよび生物相の利用が可能な向井 (2018) の2測点を St.1_2017 および St.2_2017 として加えた。これに伴い、本研究

表3 底生生物の分析結果

調査時期: 2019年4月17日
 単位: 個体数: 個体/m²
 湿重量: g/m²
 注: 湿重量の+は0.01g未満を示す。

番号	門	綱	目	科	種	測点 和名	St.1		St.X		St.2											
							個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量										
1	紐形動物	-	-	-	NEMERTINEA	紐形動物門			27	0.07	47	0.27										
2	軟体動物	腹足	古腹足	ニシキウズガイ	<i>Umbonium costatum</i>	キサゴ	7	7.60	13	0.20	13	10.53										
3					<i>Conotalopia ornata</i>					7	0.07											
4			新腹足	マクラガイ	スweifガイ	<i>Olivella fulgurata</i>	ムシボタルガイ			7	0.13											
5						<i>Adamnestia japonica</i>	クダタマガイ					7	0.13									
6			頭播	ヘコミツラガイ	ゾウゲツノガイ	<i>Retusa insignis</i>	コメツブガイ			13	0.07	13	0.07									
7						Dentaliidae	ゾウゲツノガイ科					13	0.13									
8			二枚貝	マルスダレガイ	ブンブクヤドリガイ	Montacutidae	ブンブクヤドリガイ科			7	+											
9						モシオガイ	<i>Nipponocrassatella japonica</i>	モシオガイ					7	0.07								
10						ニッコウガイ	<i>Moerella nishimurai</i>	ニシムラザクラガイ					7	0.07	213	0.87						
11						ユキノアシタガイ	<i>Siliqua pulchella</i>	ミゾガイ					13	2.87								
12						サザナミガイ	<i>Lyonsia kavamurai</i>	カワムラサザナミガイ							7	1.07						
13						ミツカドカタビラガイ	<i>Myadoropsis transmontana</i>	ヤマザキスエモノガイ							7	+						
14						-	-	-	BIVALVIA	二枚貝綱					20	+						
15						環形動物	多毛	サシバゴカイ	ノラリウロコムシ	<i>Sigalion</i> sp.	Sigalion 属					13	0.27					
16	チロリ	<i>Glycera</i> sp.								Glycera 属						27	0.27					
17	シロガネゴカイ	<i>Nephtys californiensis</i>								コクチョウシロガネゴカイ	7	0.07										
18	イソメ	ギボシイソメ	Lumbrineridae	<i>Lumbrinerides</i> sp.	Lumbrinerides 属			47	0.07	27	0.07											
19				Nephtyidae	Nephtyidae			シロガネゴカイ科					20	0.47	7	+						
20	ホコサキゴカイ	スビオ	Scoloplos sp.	<i>Scoloplos</i> sp.	Scoloplos 属			7	+			7	+									
21				Prionospio sp.	Prionospio 属			13	+	20	+			13	0.07							
22	スピオ	モロテゴカイ	Chaetozone sp.	<i>Magelona</i> sp.	Magelona 属							7	+									
23				<i>Scolecopsis</i> sp.	Scolecopsis 属									7	+							
24				<i>Chaetozone</i> sp.	Chaetozone 属			7	0.07	20	0.07											
25	オフェリアゴカイ	オフェリアゴカイ	Euzonus sp.	<i>Euzonus</i> sp.	Euzonus 属			7	0.07	80	0.73											
26																						
27	節足動物	ウミグモ	イソウミグモ	Ammonotheidae	Ammonotheidae			イソウミグモ科					7	+								
28						顎脚	ソコムジジコ		Diosaccidae	<i>Diosaccidae</i>	ミナソコムジジコ科	13	+									
29										ミオドコビダ	<i>Sarsiella</i> sp.	Sarsiella 属						7	+			
30						軟甲	クーマ		ナギサクーマ	<i>Bodotria</i> sp.	ナギサクーマ属	47	0.07									
31										シロクーマ	<i>Pseudoleucon sorex</i>	シロクーマモドキ					7	+	7	+		
32										カザリクーマ	<i>Hemilamprops californicus</i>	ニシキクーマ					13	+				
33										ニセウオノエ	Corallanidae	ニセウオノエ科	7	+					7	+		
34						端脚	スガメソコエビ		Ampelisca sp.	<i>Ampelisca</i> sp.	スガメソコエビ属					13	0.07	47	0.20			
35										Byblis sp.	オボコスガメ属							20	0.20			
36										イシクヨコエビ	<i>Photis</i> sp.	クダオソコエビ属						7	+	20	0.07	
37										カマキリヨコエビ	<i>Cerapus</i> sp.	ホソツツムシ属							7	+		
38										ホソヨコエビ	<i>Erichthonius</i> sp.	Bubocorophium sp.	<i>Erichthonius</i> sp.	ホソヨコエビ属							33	0.27
39													ハイハイドロクダムシ属	73	0.13	7	+	7	+			
40										フトヒゲソコエビ	<i>Anonyx</i> sp.	ツノアゲソコエビ属							7	+		
41										クチバシソコエビ	<i>Synchelidium</i> sp.	サンバツソコエビ属								7	+	
42										ヒサシソコエビ	<i>Harpiniopsis</i> sp.	スナカキノコエビ属	33	0.07	7	+	7	+				
43										マルソコエビ	Phoxocephalidae	Urothoe sp.	Phoxocephalidae	ヒサシソコエビ科	13	0.07	27	0.07				
44	マルソコエビ属						20	0.07	7				+									
45	十脚	ヤドカリ	Diogenes sp.	<i>Diogenes</i> sp.	ツノヤドカリ属	13	0.73			7	7.40											
46				クダヒゲガニ	<i>Albunea symnista</i>	クダヒゲガニ						7	0.53									
47	棘皮動物	クモヒトデ	スナクモヒトデ	Amphiuridae	<i>Amphiuridae</i>	スナクモヒトデ科					20	0.27										
48					ウニ	タコノマクラ	ヨウミヤクカシパン	<i>Scaphechinus mirabilis</i>	ハスノハカシパン	33	0.65	67	0.73	20	0.07							
49								ブンブク	<i>Echinocardium</i> sp.	オカメブンブク属						7	0.40					
50	脊索動物	ホヤ	マボヤ	Hartmeyeria orientalis	<i>Hartmeyeria orientalis</i>	ネズミボヤ					40	0.87	13	0.40								
51																						
合計 (個体数・湿重量)							327	9.60	516	7.03	652	23.83										
種類数							15		26			35										
多様性指数H' (bit)							3.40		4.27			4.10										

で調査した測点をそれぞれSt.1_2019、St.X_2019およびSt.2_2019とした(表6)。各測点の水深、粗砂、中砂、細砂およびシルト・粘土分率の5環境変量を解析に供した。水深について、観測当時の潮汐と当時水

深から算出した、最低水面を基準とした水深値を用いた。統計解析ソフトRにより、Bray-Curtis非類似度指数を測点間の距離とするNMDS平面を描画した。Bray-Curtis非類似度指数とは、2測点間において、

表4 動物門別出現状況

		測点		
		St.1	St.X	St.2
種類数	軟体動物門	1 (6.7%)	6 (23.1%)	10 (28.6%)
	環形動物門	6 (40.0%)	5 (19.2%)	8 (22.9%)
	節足動物門	7 (46.7%)	11 (42.3%)	13 (37.1%)
	その他の動物門	1 (6.7%)	4 (15.4%)	4 (11.4%)
個体数 (個体/m ²)	軟体動物門	7 (2.1%)	60 (11.6%)	307 (47.1%)
	環形動物門	88 (26.9%)	167 (32.4%)	88 (13.5%)
	節足動物門	199 (60.9%)	135 (26.2%)	170 (26.1%)
	その他の動物門	33 (10.1%)	154 (29.8%)	87 (13.3%)
湿重量 (g/m ²)	軟体動物門	7.60 (79.2%)	3.34 (47.5%)	12.94 (54.3%)
	環形動物門	0.28 (2.9%)	1.34 (19.1%)	1.28 (5.4%)
	節足動物門	1.07 (11.2%)	0.41 (5.8%)	8.47 (35.5%)
	その他の動物門	0.65 (6.8%)	1.94 (27.6%)	1.14 (4.8%)

表5 各測点の優占種

測点	種類名	組成比
St.1	ハイハイドロクダムシ属	22.5%
	ナギサクーマ属	14.3%
	<i>Lumbrinerides</i> 属	14.3%
St.X	<i>Euzonus</i> 属	15.6%
	ハスノハカシパン	13.0%
	ネズミボヤ	7.8%
St.2	ニシムラザクラガイ	33.0%
	紐形動物門	7.2%
	スガメソコエビ属	7.2%

表6 解析に供した測点とその環境変量
水深は最低水面を基準としたものに変換した。

	測点				
	St.1_2019	St.X_2019	St.2_2019	St.1_2017	St.2_2017
水深 (m)	10.2	15.5	22.6	9.2	19.8
粒径区分 (%)					
粗砂	3.0	1.2	1.1	0.9	0.8
中砂	44.3	11.5	4.7	37.5	2.9
細砂	52.6	87.1	94.1	59.1	90.7
シルト・粘土	0.1	0.1	0.1	2.5	5.6

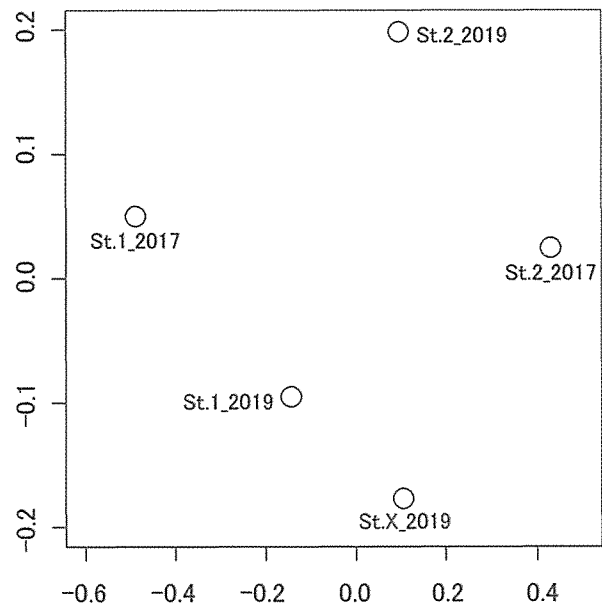


図3 NMDS平面における各測点

個々の種についての個体数の差をとり、それらを平均した指数である。2測点で同種同個体数が出現していれば0、出現種の重なりが一切なければ1をとる (大垣, 2008)。この指数をそれぞれの測点間の組み合わせで算出し、各測点間の相対的な距離として配置したものを図3に示した。ストレス値は0.00であり、この配置は各測点間の距離をよく表しているといえる。

各測点の環境変量について、NMDS平面上に矢印による勾配として表示した(図4)。矢印の方向は対応する環境変量の正の勾配を示し、相対的長さは他の矢印と比較しての強弱を示す。なお、この測点配置図は

各測点間の種組成非類似度を基に作図されたものであるため、各環境変量の勾配は必ずしも縦横軸と対応しない。本解析の結果、縦軸の正の方向に水深・細粒底質(粒径0.25mm未満)、負の方向に粗粒底質(粒径0.25mm以上)の勾配がみられた。本研究に用いた環境変量において、配置の横軸方向に対応したものはなかった。

各測点で出現した種個体数から算出した各種の分布重心を図3に重ねて配置した(図5)。さらに、分布傾向の把握のため、NbClustパッケージ(Charrad *et al*, 2014)を用いたクラスター分析を行った。平面上

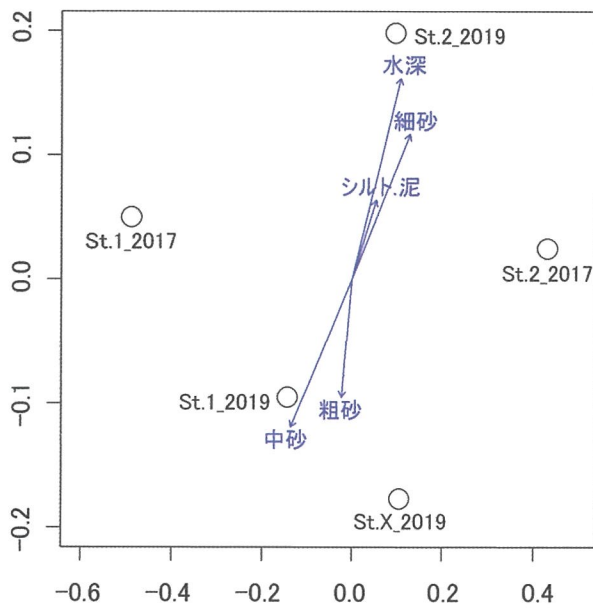


図4 NMDS平面における環境変量勾配

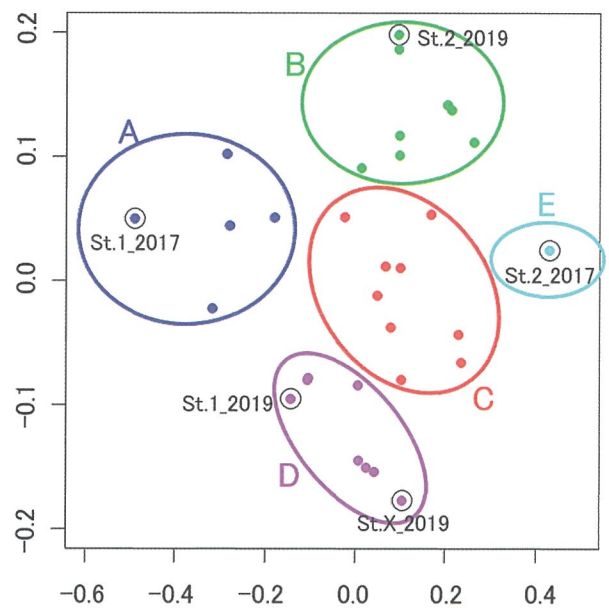


図6 出現生物種の分布重心の非階層クラスタリング

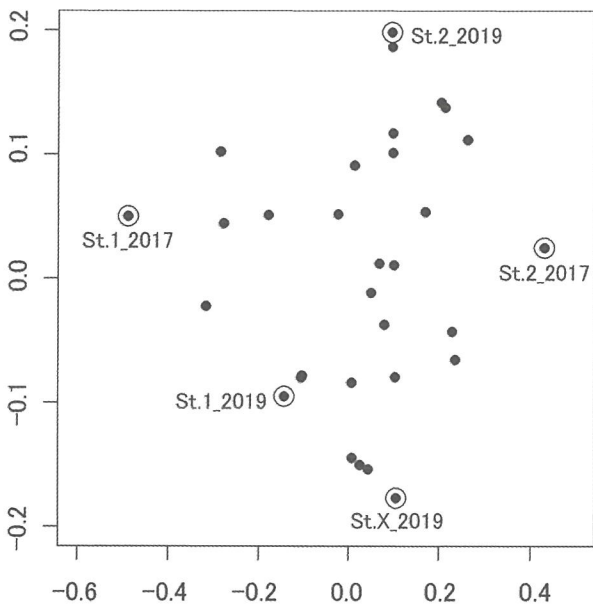


図5 NMDS平面における出現生物種の分布重心

の各種の分布重心を5つのクラスターA～Eに分類し(図6)、それぞれのクラスターに含まれる種を表7に示した。先だって得られた平面上の環境変量勾配と対応させると、クラスターBは細粒底質かつ水深が深い環境を好む群集であると考えられる。クラスターAとCは縦軸がほぼ同じで、全測点の平均的な底質粒径の環境に分布しているといえる。クラスターDはこれら

に比べ、より粗い底質かつ水深が浅い環境に偏る分布特性がみられた。クラスターEはSt. 2_2017のみにみられる生物群集であり、St. 2_2017に特異的な底質環境の可能性が示唆される。この結果から、同科や同属といった系統関係間にあっても、それぞれの種が選好する底質環境は異なることがわかった。クラスターA、C、Eの配置については、本研究で取り扱った環境変量以外の要素がそれぞれの分布特性に影響していると考えられる。

4. おわりに

当初、本研究では解析にあたり、各測点の配置を十分に説明可能な環境勾配を重ねて表示し、分類群・生物種の分布と対応させた結果考察を想定していた。解析に供した5環境変量と測点の配置との関連について、有意水準は最低のものでも $p=0.14$ (水深)だった。この値は測点配置を十分に説明できるとは言えず、この原因として、解析に供した測点数が少なすぎたことが挙げられる。研修期間という限られた時間において、十分な精度をもって解析に臨める測点数を調査することは極めて難しい。今後同様の研究を行うに際し、利用可能なデータを蓄積していくことで、より精度の高い解析が可能になると考えられる。

表7 各クラスターに含まれる生物種
*は2測点以上で出現した種を示す。

クラスター				
A	B	C	D	E
コクチョウシロガネゴカイ*	ヒナシタダミ	紐形動物門*	ムシボタルガイ	ベンケイガイ
ギボシイソメ科	クダタマガイ	キサゴ*	ブンブクヤドリガイ科	<i>Glycinde</i> 属
<i>Scotoplos</i> 属*	ゾウゲツノガイ科	コメツブガイ*	ミゾガイ	<i>Nephtys</i> 属
ホテイスピオ	モシオガイ	シロガネゴカイ科*	<i>Lumbrinerides</i> 属*	ルドルフイソメ
ヤジリスピオ	ニシムラザクラガイ*	<i>Chaetozone</i> 属*	<i>Prionospio</i> 属*	イタスピオ
<i>Scoletepis</i> 属*	カワムラサザナミガイ	シロクーマモドキ*	<i>Euzonus</i> 属*	<i>Polydora</i> 属
ヤドカリモドキ亜科*	ヤマザキスエモノガイ	ニセウオノエ科*	イソウミグモ科	シタダスピオ
	二枚貝綱	スナカキソコエビ属*	ミナソコミジンコ科	エラナスピオ
	<i>Sigalion</i> 属*	マルソコエビ属*	ナギサクーマ属	<i>Travista</i> 属
	<i>Glycera</i> 属*	ツノヤドカリ属*	ニシキクーマ属	クビナガスガメ
	ミナシロガネゴカイ*	ネズミボヤ*	オボコスガメ属	チビマルヨコエビ属
	マクスピオ*		ハイハイドロクダムシ属*	クチバシソコエビ属
	<i>Magelona</i> 属*		ツノアゲソコエビ属	ヒラモミジガイ
	<i>Sarsiella</i> 属		ヒサシソコエビ科*	クシノハクモヒトデ
	スガメソコエビ属*		スナクモヒトデ科	
	クダオソコエビ属*		ハスノハカシパン*	
	ホソツツムシ属			
	ホソヨコエビ属			
	サンバツソコエビ属*			
	クダヒゲガニ			
	オカメブンブク属			

参考文献

新井 功・岡 靖一郎. 2017. 小湊地先大陸棚水深の採泥-深場の底生生物相-. 株式会社日本海洋生物研究所2017年年報, 31-35.

Charrad, M., Ghazzali, N., Boiteau, V. and Niknafs, A. 2014. NbClust: An R Package for Determining the Relevant Number of Clusters in a Data Set. *Journal of Statistical Software*, 61 (6), 1-36.

伊東永徳・武山真也・中山和子・伊藤学・浮田達也・水谷美直子. 1997. 平成9年度 小湊周辺における河川・海域環境調査報告書. 株式会社日本海洋生物研究所1997年年報, 2-30.

鴨志田絢子・小林美樹. 2017. 小湊地先における貝類の分布. 株式会社日本海洋生物研究所2017年年報, 20-27.

向井 稜. 2018. 神明川河口沖の底生生物-特にダルマガカイ科環形動物について-. 株式会社日本海洋生物研究所2018年年報, 10-15.

中西敏之・輪島 毅・笹原耕治・松丸 智・岡 靖一郎. 2007. 小港研

修報告-海域底生生物調査-. 日本海洋生物研究所2007年年報, 15-21.

日本海区水産研究所 (2018) 「間接傾度分析」<http://jsnfri.fra.affrc.go.jp/gunshu/2nmds.html>, 2019年9月26日確認

Oksanen, J., Blanchet, F. G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGlinn, D., Minchin, P. R., O'Hara, R. B., Simpson, G. L., Solymos, P., Stevens, M. H. H., Szoecs, E. and Wagner, H. 2019. *vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.5-5.

大垣俊一. 2008. 多様度と類似度, 分類学の新指標. *Argonauta*, 15: 10-22.

R Core Team. 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Yokazaki (2016) 「RによるNMDSを用いた微生物群集構造解析」<https://yokazaki.hatenablog.com/entry/2016/06/29/212153>, 2019年9月26日確認