

論文

大田市仁摩町琴ヶ浜の海浜砂に含まれる有孔虫群集

林 広樹\*・宮田 裕輔\*・瀬戸 浩二\*\*

Foraminiferal assemblages from the beach sand of Kotogahama beach, Nimacho, Oda City, Shimane Prefecture

Hiroki Hayashi\*, Yusuke Miyata\* and Koji Seto\*\*

Abstract

Kotogahama beach in Oda City, Shimane Prefecture is one of the famous singing-sand beaches of Japan. We conducted foraminiferal faunal analyses on sand samples collected at Kotogahama and surrounding beaches. Foraminiferal assemblages in this study area are mainly composed of species that inhabit rock reefs. Such rock reef species might be transported from adjacent rock reef regions and accumulate into beach sands. The foraminiferal assemblages at the singing-sand beaches, namely, Kotogahama and Otsube, were dominated by the exclusive occurrence of *Amphistegina* spp. The spacial distribution patterns of foraminifera and sand grain size suggest that the main direction of sand grain transportation along the coastline might be southwest to northeast at Kotogahama beach, and foraminiferal shells except *Amphistegina* spp. might be removed from beach sands into an offshore area with finer-grained materials. Consequently, the shells of *Amphistegina* spp. might be concentrated in beach sands because of an outstanding sorting process at the singing-sand beaches owing to their large and robust shell.

**Key words:** Foraminifera, Kotogahama, Singing sand, Oda City, Shimane Prefecture

はじめに

島根県大田市仁摩町<sup>まじ</sup>馬路の琴ヶ浜(第1図)は、日本海に西北西方向へ開口した海浜長約1.38 kmのポケットビーチである。また、その規模と音質において我が国でもトップレベルの鳴砂海岸として知られ(財団法人日本ナショナルトラスト, 2006など), 2017年10月には鳴砂海岸として3例目となる国の天然記念物に指定された。鳴砂になる条件としては、円磨された石英砂によって主に構成されていること、砂が泥質分で汚れていないことが挙げられる。こうした鳴砂の海岸は、かつては全国各地に分布していたが、現在は沿岸の開発や海洋汚染によって急速に減少しつつある。近年、鳴砂海岸の地域資源としての価値が注目されるようになり、保全と活用に向けた取り組みも各地で始まっている(財団法人日本ナショナルトラスト, 2006)。

海浜砂にはしばしば有孔虫遺骸が含まれている。特に、ポケットビーチは沿汀流や波浪によって運搬された砂粒子の堆積の場であり、隣接する岩礁地に生息していた有孔虫遺骸が運搬され堆積する可能性がある。したがって、海浜砂中の有孔虫遺骸群集を調べることにより、有孔虫の生物地理学的な情

報に留まらず、海浜における砂の移動プロセスについても重要な示唆を与える可能性がある。中国地方日本海側沿岸における海浜砂中の有孔虫遺骸群集については、山口県沿岸の砂浜11地点(福富, 2011)、島根県出雲市~鳥取県米子市にかけての9地点(竹ノ内, 1998)、隠岐諸島沿岸の10地点(清水, 2019)、および鳥取県大山町から京都府京丹後市にかけての16地点(竹ノ内, 1990, 1992)から報告があるものの、島根県の中央部沿岸については報告が無い。

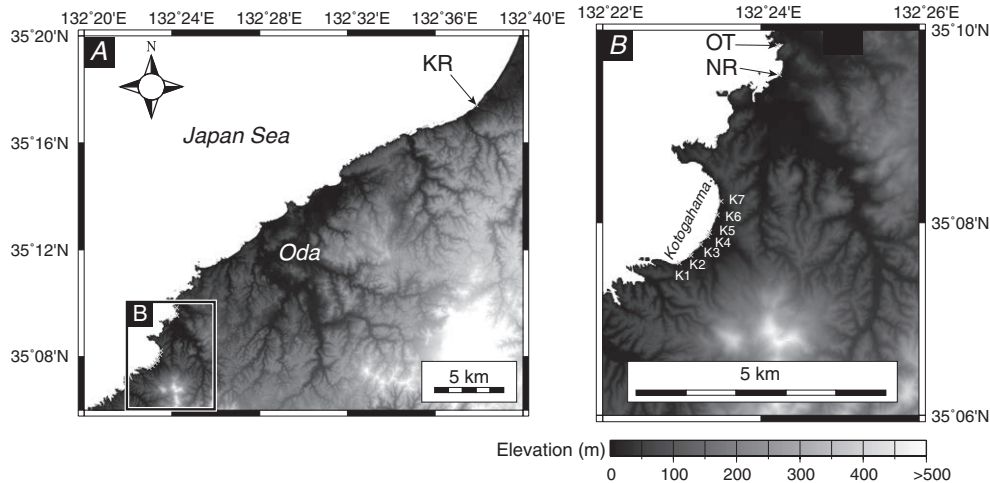
本研究では、琴ヶ浜の汀線付近で海浜砂に含まれる有孔虫遺骸群集を調査した。合わせて、スキューバによる水深方向の遺骸群集調査も実施した。

材料および方法

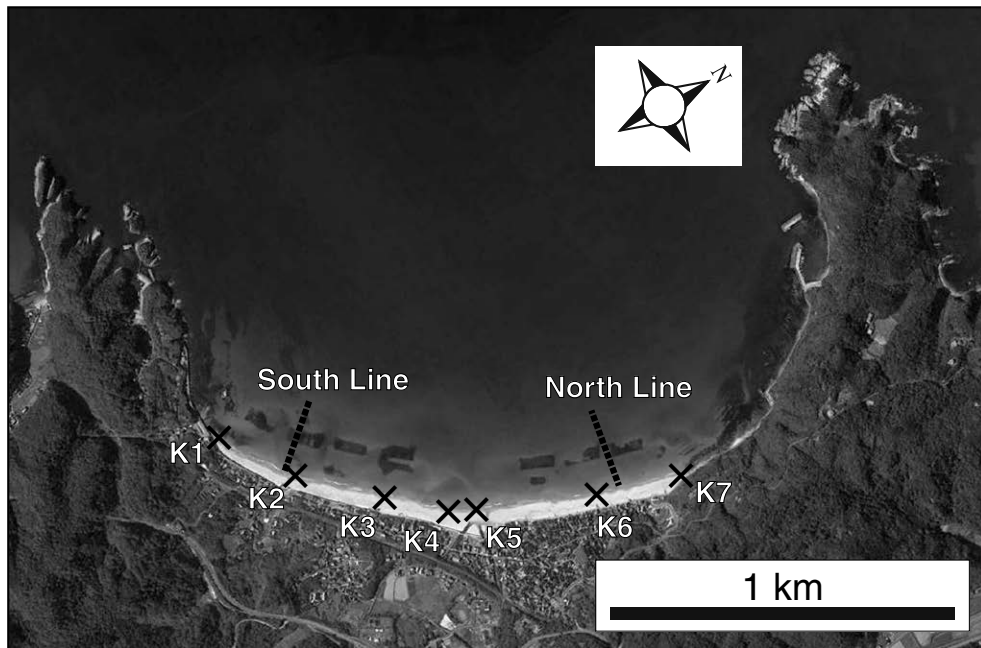
琴ヶ浜の汀線に沿ってほぼ等間隔に7定点(第1表, 第2図)を選び、2009年3月から2010年3月まで、月に1回の頻度で汀線付近(前浜下部, 水深約30 cm)の表層の砂試料を約50 cc採取した。採取には直径3.5 cm, 高さ約8 cmのプラスチック容器を用いて、砂試料を海水とともにすくい取った。また、試料採取と同時に、温度計付き塩分計(佐藤計量器製作所 SK-5SII)を用いて、採取地点の海水の水温と塩分濃度を測定した。なお、2009年3月31日および4月29日の試料採取では、それぞれ2定点(K2, K6)および1定点(K6)を欠測している。2009年8月29日の試料採取では、7定点における汀線付近の試料採取に加えて、水深1 mの地点において

\* 島根大学総合理工学部  
Interdisciplinary Faculty of Science and Engineering, Shimane University,  
1060 Nishikawatsu, Matsue, Shimane 690-8504, Japan

\*\* 島根大学エスチュアリー研究センター  
Estuary Research Center, Shimane University, 1060 Nishikawatsu,  
Matsue, Shimane 690-8504, Japan



第1図 琴ヶ浜および本研究で試料採取を行った周辺海浜の位置図。KR：キララ多伎，OT：大津辺，NR：野浦，K1～K7：琴ヶ浜内の定点（第2図参照）。



第2図 琴ヶ浜における試料採取位置図。航空写真は Google Earth を使用した（2019年8月20日閲覧）。

も同様の採取方法で試料を得た。

8月29日の試料採取によって汀線付近の群集と水深1mの群集に系統的な差異が認められたため、さらに詳細な深度変化を調べるため、2009年10月11日に琴ヶ浜の北部と南部の2測線（第1表、第2図）を選び、水深10mまでの底質試料をスキューバにより採取した。採取においては汀線に垂直な方向に移動しながら、ダイバーの腰に装着した水質計によって水深を記録した。

琴ヶ浜との比較対象として、2009年3月31日に同じく鳴砂の浜である大田市宅野町大津辺海岸と、鳴砂ではない大田市仁摩町野浦海岸、出雲市多伎町キララ多伎海岸（第1図、第1表）で汀線付近の試料採取を行った。

採取した底質試料について、ローズベンガルによる生体染色を実施し、水洗後、乾燥させた。乾燥後の試料は簡易分割

器により適宜分割し、有孔虫分析用試料（約5g）と粒度分析用試料（約1g）を分取し、残りは保管した。

有孔虫分析用試料については40倍の双眼実体顕微鏡で観察し、認められた全ての有孔虫個体を群集スライドに拾い出し、分類、同定を試みた。粒度分析用試料については、島根大学総合理工学部所有の沈降天秤装置を用いて粒度分析を行った。沈降天秤の沈降管は沈降距離150cmのものを使用し、また粒子の密度として $2.65\text{ g/cm}^3$ を仮定した。測定はパーソナルコンピュータで制御された電子天秤を通じて、 $-2\sim 4\phi$ の粒径範囲について $0.1\phi$ 間隔で重量頻度を求めた。得られた粒径のヒストグラムに基づき、粒径の代表値として平均粒径、中央粒径、歪度、淘汰度をモーメント法により求めた。以上の測定および解析は、沈降天秤用粒度分析アプリケーションSTube（成瀬，2005）を用いた。

第1表 試料採取地点の緯度経度.

	Longitude (dd:mm:ss.s)	Latitude (dd:mm:ss.s)
Kotogahama		
K1	132:22:58.2 E	35:07:35.0 N
K2	132:23:07.0 E	35:07:39.7 N
K3	132:23:14.4 E	35:07:46.5 N
K4	132:23:19.9 E	35:07:51.3 N
K5	132:23:21.1 E	35:07:54.0 N
K6	132:23:27.0 E	35:08:04.9 N
K7	132:23:29.8 E	35:08:13.4 N
Noura (NR)	132:24:14.2 E	35:09:32.4 N
Otsube (OT)	132:24:12.6 E	35:09:50.6 N
Kirataki (KR)	132:37:52.0 E	35:17:25.1 N

## 結 果

### 1. 琴ヶ浜汀線付近における有孔虫群集と粒径分布

本研究による水温データ、塩分データ、有孔虫群集データおよび粒度分析データを第2表に示した。なお、本研究で検出された有孔虫はほぼ遺骸であり、生体は採取試料全体で数個体程度であったため、以降の議論では生体と遺骸を区別せずに扱った。

琴ヶ浜における各試料採取日の水温および塩分を第3図に示した。なお、2009年3月31日および10月5日の塩分については、測定器の不具合によって欠測している。採取日の平均水温をみると、2009年8月29日が最も高く(26.1℃)、2010年3月23日が最も低くなった(12.5℃)。地点ごとの平均を見ると、琴ヶ浜の中央部(K5, 18.6℃)でやや低く、北端部(K7, 19.2℃)でやや高くなる傾向がある。採取日の平均塩分は変動が激しく、2009年11月7日に最高値32.4 psu、7月2日に最低値17.4 psuを示した。

有孔虫主要タクサの砂5gあたり個体数および平均粒径を第4図に示した。また、主要種の写真を第5図および第6図に示した。琴ヶ浜の汀線付近からは16属30種の底生有孔虫が得られた。群集を特徴づけるのは *Amphistegina* 属 (*A. radiata* および *A. lobifera*) の多産であり、しばしば総産出個体の9割以上に達することがある。次いで、*Pararotalia nipponica*、*Quinqueloculina* spp.、および *Elphidium crispum* が多産し、これら4タクサで総産出個体の9割以上となることから、第4図以降ではこれら4タクサ以外のタクサを others として示した。砂5gあたりの有孔虫個体数をみると、最高が2009年12月7日のK1地点(179個体)、最低が11月7日のK4地点(0個体)である。全体的に琴ヶ浜の中央部で産出頻度が低下する傾向にあり、また、南端付近(K1およびK2)で相対的に多産する傾向を示すが、2010年1月11日および2月26日では例外的に北部で多産傾向を示した。

砂粒子の平均粒径は、最大-0.41φ(2010年1月11日、K7地点)から最小1.66φ(2010年2月26日、K3地点)まで変動した。大局的に南端から北端へ向かって粗粒化する傾向がある。

### 2. 琴ヶ浜における水深方向の群集変化と粒径分布

2009年8月29日の水深1mにおける有孔虫群集組成および平均粒径を第7図に示した。7地点から14属27種の有孔虫が産出した。主要構成種は同じ日の汀線付近(11属14種)とおおむね共通するが、種数がほぼ倍に増加している。組成比を見ると、汀線付近と比べて *Amphistegina* spp. の比率が減少し、K3~K6の各地点では *P. nipponica* の比率が増加して *Amphistegina* spp. を逆転している。砂5gあたりの産出頻度は琴ヶ浜の南端付近で増加(最大209個体:K1)し、中央部付近で減少(46個体:K4)する傾向が明瞭である。砂の平均粒径は、最大1.61φ(K7)、最小2.17φ(K6)となった。

2009年10月11日の北測線および南測線における、深度方向の有孔虫群集および平均粒径の分布を第8図に示した。なお、南測線については水深約4m地点に人工リーフ(潜堤)が設置されていたため、その陸側(4m-a)と沖側(4m-b)でそれぞれ採取した。この調査では18属33種の底生有孔虫が産出した。同月の汀線付近7試料(10月5日、10属14種)よりも種数が多くなっている。有孔虫の砂5gあたり個体数は水深4~5m付近で極小を示すが、そこからさらに沖側に向かって増大して、最も沖側の地点(北測線で水深10m、南測線で8m)では300個体前後に達する。群集組成を見ると、汀線付近では *Amphistegina* spp. が卓越するものの、沖合側に向かって *P. nipponica* や *Quinqueloculina* spp. の産出頻度が急激に増加して卓越種が入れ替わる。砂粒子の平均粒径も水深の増加に伴って細粒化する傾向を示し、最も水深の深い北測線の水深10m地点で2.63φに達する。

### 3. 琴ヶ浜周辺の砂浜における有孔虫群集と粒径分布

2009年3月31日における、野浦海岸、大津辺海岸、キララ多伎の有孔虫群集および平均粒径を第9図に示した。なお、比較対象として、同日に琴ヶ浜で最も多産したK7地点の結果を併せて示した。

野浦海岸からは11属18種、大津辺海岸からは7属11種、キララ多伎からは13属28種の有孔虫が得られた。これらは同日の琴ヶ浜の構成種(10属15種)とほぼ重なるが、野浦海岸およびキララ多伎では有意に多くの種が産出している。組成比を見ると、琴ヶ浜および大津辺海岸は *Amphistegina* spp. が卓越しているのに対し、野浦海岸およびキララ多伎は *P. nipponica* が卓越している。砂5gあたりの有孔虫個体数も、琴ヶ浜K7および大津辺海岸ではそれぞれ49個体と89個体なのに対し、野浦海岸およびキララ多伎ではそれぞれ350個体および663個体となり、大幅に多くなっている。砂の平均粒径では、琴ヶ浜、野浦海岸および大津辺海岸は中粒砂領域(1.24~1.50φ)であるのに対し、キララ多伎では細粒砂領域(2.57φ)となっている。

## 考 察

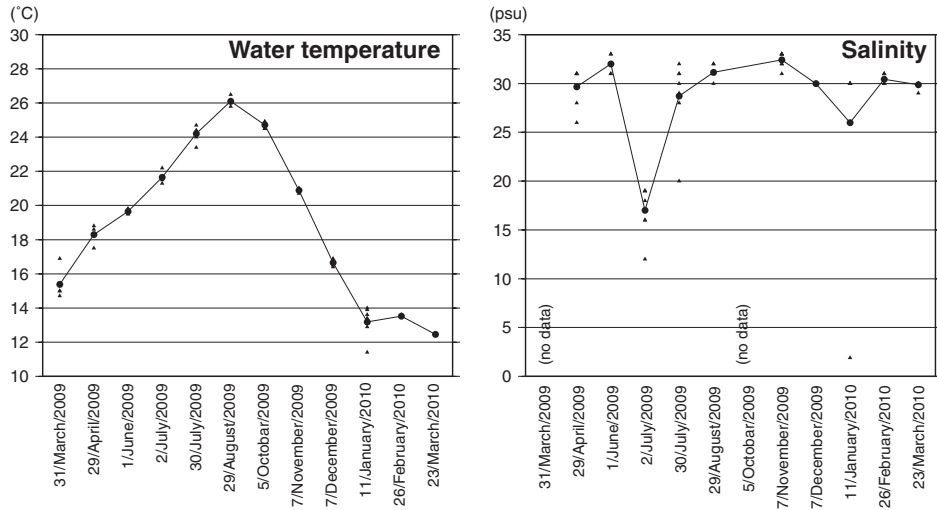
### 1. 琴ヶ浜の有孔虫遺骸群集について

琴ヶ浜の汀線付近で第1優占種となる *Amphistegina* spp. は、熱帯~亜熱帯の浅海域に分布中心を持つ大型有孔虫

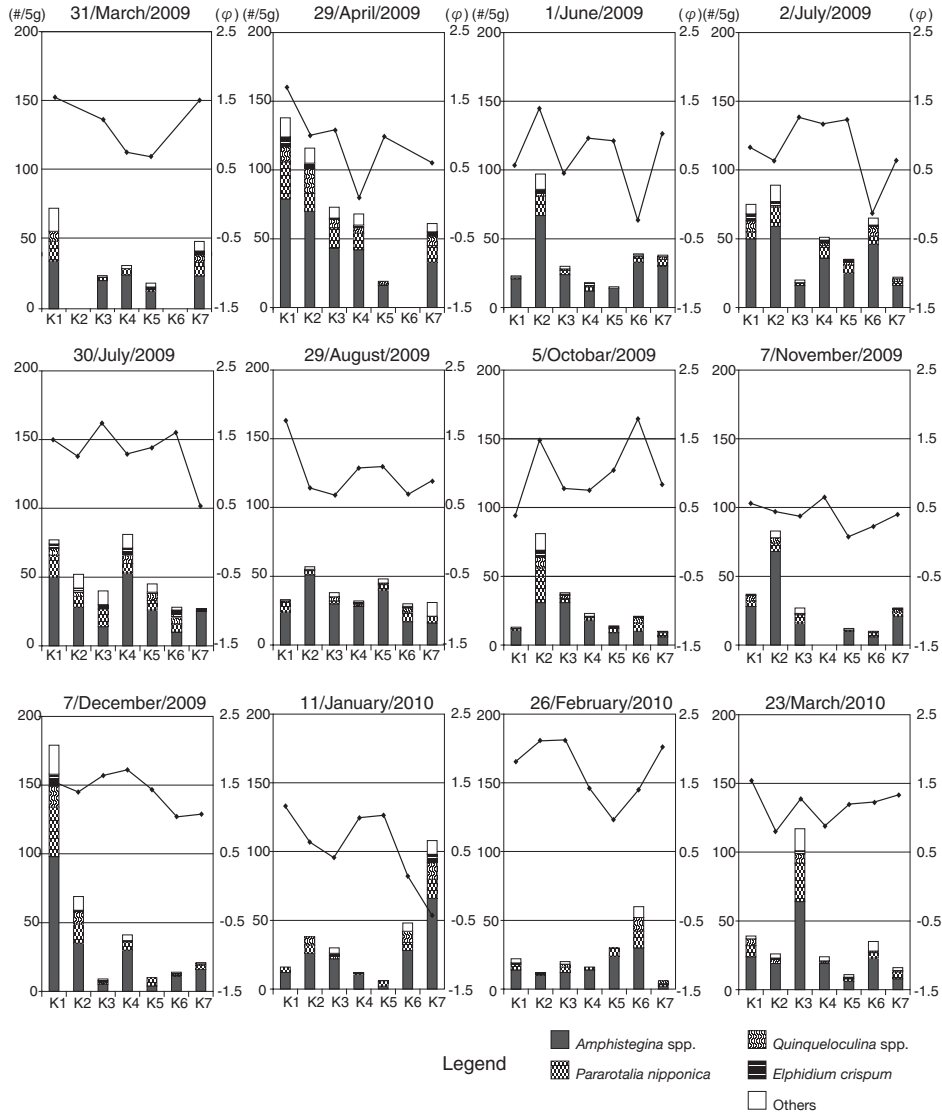


第2表 続

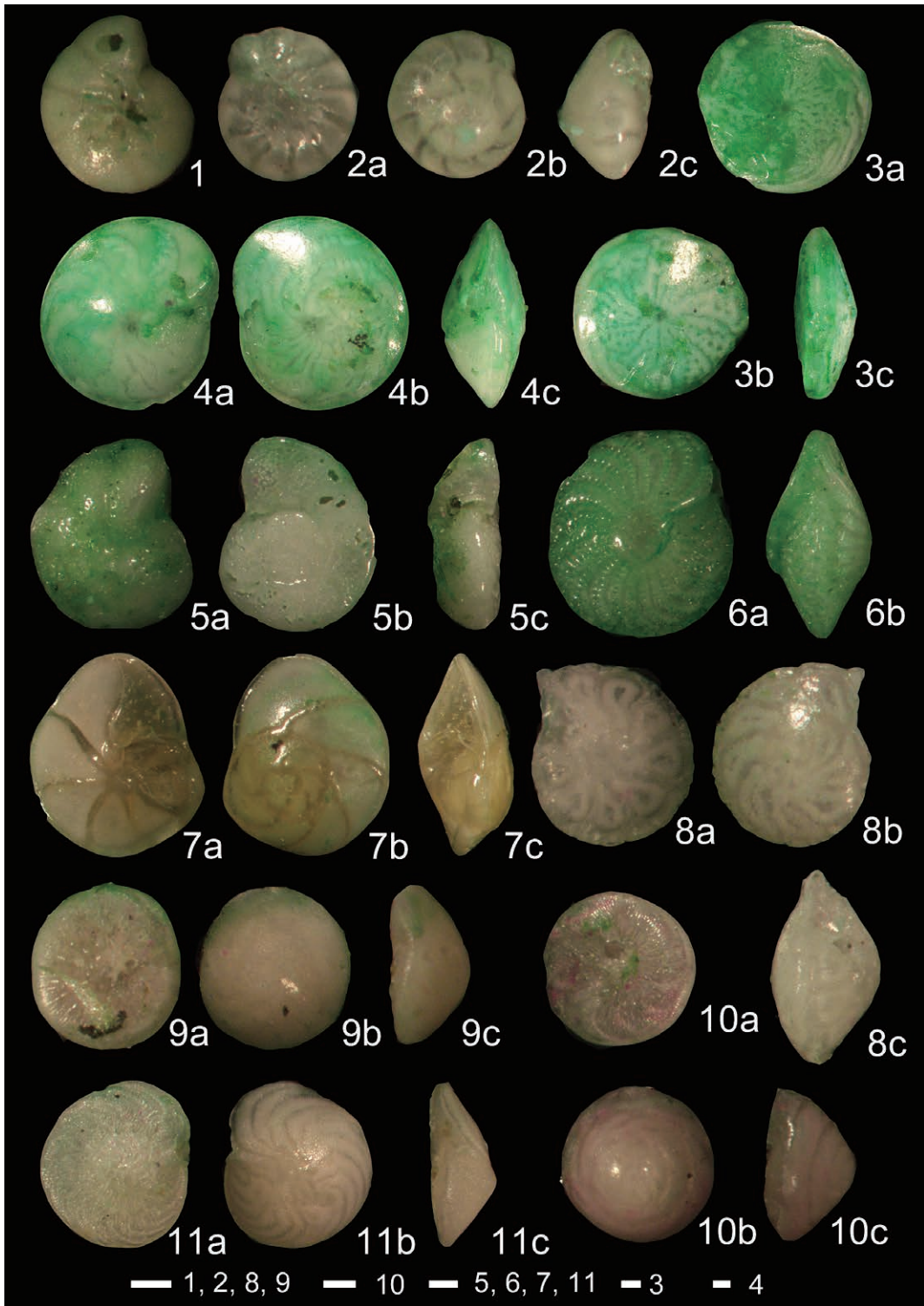
Date	2009.10.11 (South depth transect)					2009.10.11 (North depth transect)					2009.12.7					2010.11.1					2010.2.26					2010.3.23																													
	KT	SL	4m	8m	15m	4.5m	8m	10m	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7																			
Sample time (hh:mm)	13:35	10:55	11:40	11:37	11:15	11:23	11:26	14:41	14:54	14:59	15:04	15:10	14:20	14:09	14:35	14:44	14:48	13:27	13:27	13:40	13:46	14:04	13:17	13:09	13:39	13:46	13:56	14:04	12:59	12:49	12:57	13:00	13:10	13:15	13:52	14:08	14:14	14:18	14:30	14:39															
Dry weight of sand (g)	5.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5														
Water temperature (°C)	24.8	21.8	21.7	21.5	21.6	21.6	23.2	21.8	21.7	21.7	21.6	21.0	21.0	20.7	20.9	20.8	20.9	16.6	16.6	16.4	16.5	16.9	16.8	14.0	13.5	13.4	13.6	11.4	12.9	13.4	13.5	13.6	12.5	12.5	12.5	12.4	12.5	12.4	12.4	12.4	12.4														
Mean grain size (φ)	30.0	33.5	33.5	33.5	33.5	32.0	33.1	33.1	33.2	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0														
Median grain size (φ)	0.52	1.71	1.64	2.26	2.35	2.36	1.70	2.16	2.22	2.48	2.63	0.57	0.46	0.39	0.67	0.09	0.24	0.41	1.55	1.41	1.64	1.73	1.43	1.04	1.08	1.17	0.65	0.42	1.01	1.05	0.16	0.41	1.38	1.65	1.66	1.05	0.65	1.03	1.57	1.55	0.82	1.28	0.90	1.20	1.24										
Skewness	0.69	1.85	2.18	1.80	2.15	2.19	2.76	1.82	2.08	2.20	2.34	2.48	1.27	0.11	0.33	0.77	0.14	0.67	1.00	1.73	1.63	1.65	1.66	1.58	1.11	1.21	1.22	0.65	0.33	1.08	1.02	0.00	0.40	1.47	1.81	1.84	1.18	0.64	1.09	1.72	1.72	0.90	1.38	0.88	1.27	1.41									
Sorting	0.01	-0.87	-1.52	-1.76	-1.67	-1.04	1.04	-1.39	0.79	0.76	0.91	0.66	-0.45	0.11	-0.06	0.48	0.20	-0.30	-0.11	-1.54	-1.11	-1.35	-1.11	-0.52	-0.34	-1.04	-0.40	0.27	0.54	0.06	-1.01	1.31	1.02	-0.59	-1.72	-0.57	1.03	-0.66	-0.69	1.00	-0.22	-0.51	0.62	-0.10	-0.37	0.39									
	11.0	0.91	0.32	0.79	0.57	0.58	0.57	0.45	1.14	0.45	0.48	1.95	1.95	2.08	1.42	1.67	1.65	1.90	1.15	1.32	1.35	0.98	0.81	1.06	1.13	1.07	1.20	1.26	1.03	0.75	1.06	0.94	0.72	0.65	0.67	0.91	0.92	0.97	0.67	0.74	1.07	0.83	0.92	1.01	1.05	0.79									
<i>Ammonia beccarii</i> (Linnaeus) forma 1																																																							
<i>Ammonia beccarii</i> (Linnaeus) forma 2																																																							
<i>Ammonia bellerophon</i> Larsen																																																							
<i>Ammonia inflata</i> Terquem																																																							
<i>Ammonia sp.</i>																																																							
<i>Chicoides (Chicoides) Weller and Jacob</i>																																																							
<i>Chicoides cf. sp. A</i>																																																							
<i>Chicoides cf. sp. B</i>																																																							
<i>Elphidium advenum</i> (Cushman)																																																							
<i>Elphidium eriporum</i> (Linnaeus)																																																							
<i>Elphidium crispum</i> (Linnaeus)																																																							
<i>Elphidium crispum</i> (Linnaeus) (Amano and Uchida)																																																							
<i>Elphidium ornatum</i> (Cushman)																																																							
<i>Elphidium operculum</i> (Orbulin)																																																							
<i>Elphidium operculum</i> (Orbulin) (Cushman)																																																							
<i>Elphidium operculum</i> (Orbulin) (Cushman)																																																							
<i>Elphidium operculum</i> (Orbulin) (Cushman) (Amano and Uchida)																																																							
<i>Elphidium operculum</i> (Orbulin) (Cushman) (Amano and Uchida)																																																							
<i>Elphidium operculum</i> (Orbulin) (Cushman) (Amano and Uchida)																																																							
<i>Elphidium operculum</i> (Orbulin) (Cushman) (Amano and Uchida)																																																							
<i>Elphidium operculum</i> (Orbulin) (Cushman) (Amano and Uchida)																																																							
<i>Elphidium operculum</i> (Orbulin) (Cushman) (Amano and Uchida)																																																							
<i>Elphidium operculum</i> (Orbulin) (Cushman) (Amano and Uchida)																																																							
<i>Elphidium operculum</i> (Orbulin) (Cushman) (Amano and Uchida)																																																							
<i>Elphidium operculum</i> (Orbulin) (Cushman) (Amano and Uchida)																																																							
<i>Elphidium operculum</i> (Orbulin) (Cushman) (Amano and Uchida)																																																							
<i>Elphidium operculum</i> (Orbulin) (Cushman) (Amano and Uchida)																																																							
<i>Elphidium operculum</i> (Orbulin) (Cushman) (Amano and Uchida)			</																																																				



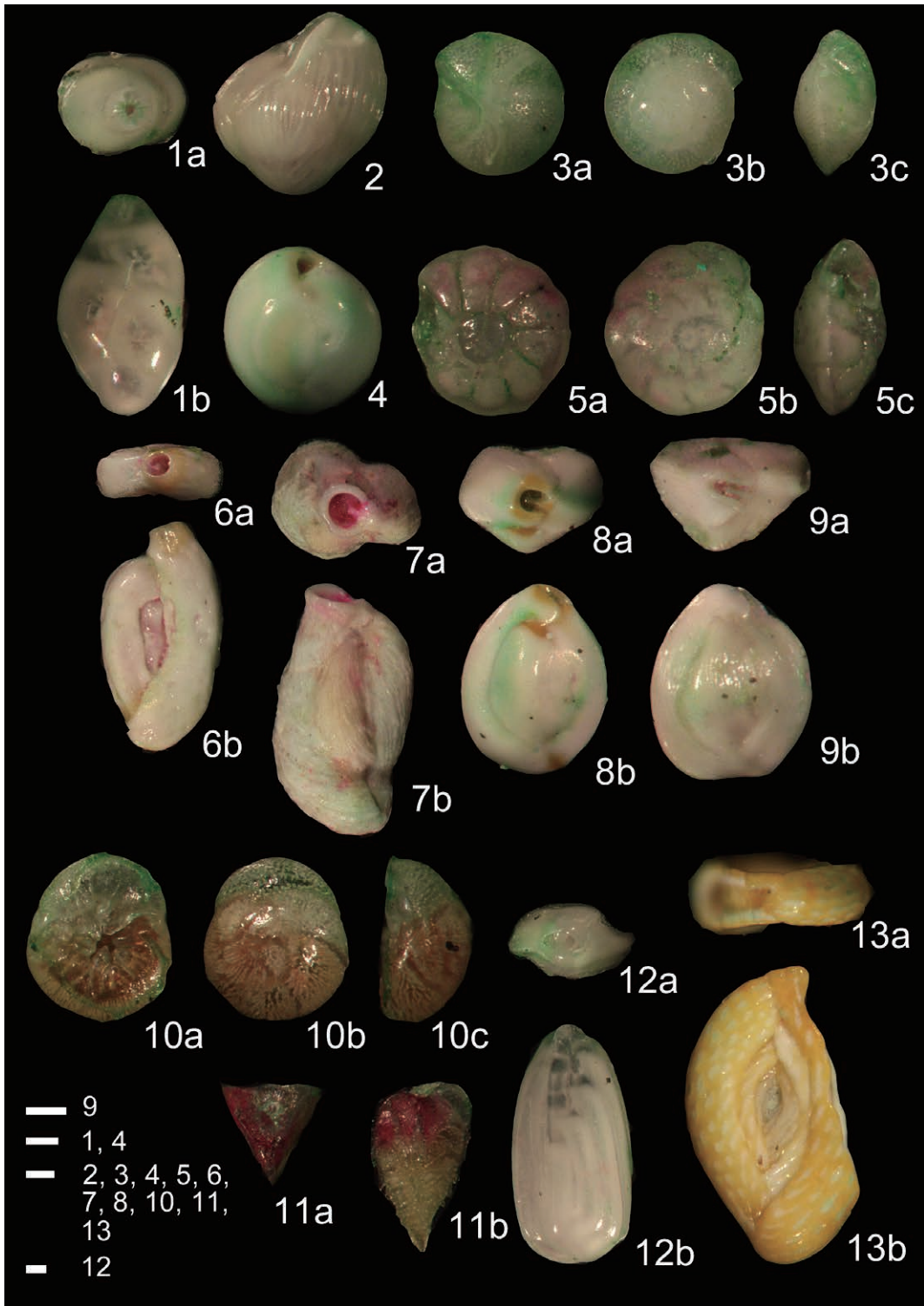
第3図 琴ヶ浜における試料採取時の水温（左図）および塩分（右図）。灰色の三角印は実測値、折線グラフは平均値を示す。



第4図 琴ヶ浜の各月における汀線付近の有孔虫群集組成および平均粒径。K1～K7は第2図で示した各採取地点に対応している。

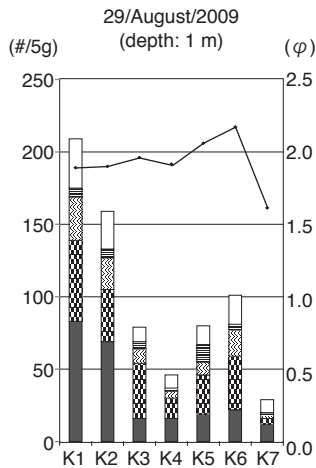


第5図 有孔虫主要種の顕微鏡写真. 1: *Ammonia beccarii* forma 1, キララ多伎. 2a-c: *Ammonia beccarii* forma 2, キララ多伎. 3a-c: *Amphistegina radiata*, 3月31日K1. 4a-c: *Amphistegina lobifera*, 3月3日K1. 5a-c: *Cibicides lobatulus*, 3月31日K1. 6a-b: *Elphidium crispum*, キララ多伎. 7a-c: *Eponides cribrorepiandus*, 4月29日K1. 8a-c: *Eponides orientalis*, キララ多伎. 9a-c: *Grabratella opercularis*, 3月31日K1. 10a-c: *Grabratella patelliformis*, 3月31日K1. 11a-c: *Grabratella subopercularis*, キララ多伎. スケールバーは100  $\mu\text{m}$ .

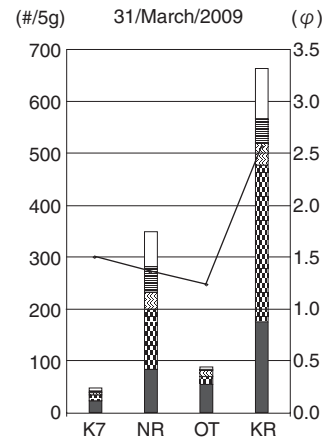


第6図 有孔虫主要種の顕微鏡写真. 1a-b: *Guttulina orientalis*, 3月31日 K1. 2: *Guttulina regina*, 4月29日 K1. 3a-c: *Heterolepa haidingerii*, キララ多枝. 4: *Miliolinella circularis*, 4月29日 K1. 5a-c: *Pararotalia nipponica*, 4月29日 K1. 6a-b: *Quinqueloculina contorta*, 8月29日 K2, 水深1m. 7a-b: *Quinqueloculina poeyana*, 8月29日 K2, 水深1m. 8a-b: *Quinqueloculina vulgaris*, 8月29日 K2, 水深1m. 9a-b: *Quinqueloculina yabei*, 8月29日 K6, 水深1m. 10a-c: *Rosalina bradyi*, 3月31日 K1. 11a-b: *Reusella aculeata*, 8月29日 K6, 水深1m. 12a-b: *Sigmoidella kagaensis*, 3月31日 K1. 13a-b: *Spiroloculina laevigata*, キララ多枝. スケールバーは100  $\mu\text{m}$ .

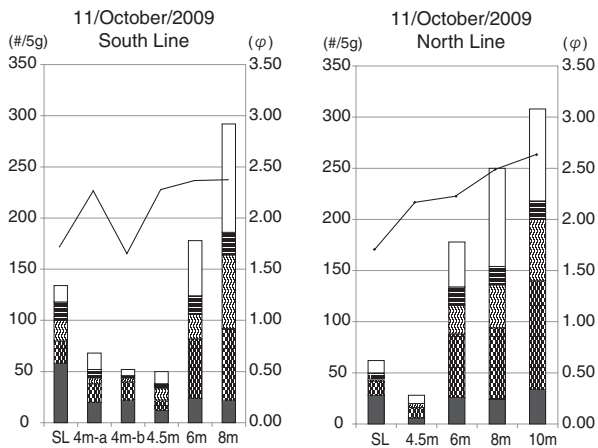




第7図 琴ヶ浜の2009年8月29日における水深1mの有孔虫群集組成および平均粒径。K1～K7は第2図で示した各採取地点に対応している。棒グラフの凡例は第4図参照。



第9図 2009年3月31日における琴ヶ浜K7地点、大田市仁摩町野浦海岸(NR)、大津久海岸(OT)、出雲市多伎町キラ多伎(KR)の有孔虫群集組成および平均粒径。棒グラフの凡例は第4図参照。



第8図 琴ヶ浜の2009年10月11日における北測線および南測線の有孔虫群集組成および平均粒径。各測線の位置は第2図で示した。棒グラフの凡例は第4図参照。

で (Langer and Hottinger, 2000), 日本付近では特に南西諸島で多産するとともに (Hohenegger *et al.*, 1999; Sugihara *et al.*, 2006), サンゴ礁における石灰質基質の主要構成要素となっている。本研究では *A. lobifera* および *A. radiata* が認められたが、このうち前者は水深0～水深30m程度まで、後者は水深0～90m付近までを主な生息範囲としている (Hallock, 1979; Hohenegger *et al.*, 1999; Hohenegger, 2004)。琴ヶ浜およびその周辺では、岩礁地の汀線付近に着生する石灰藻 (ピリヒバ: *Corallina pilulifera*) の根元に捕捉された堆積物に、*A. lobifera* の生体が多く含まれることが明らかにされている (幸村・林, 2013; 幸村ほか, 2014)。一方、琴ヶ浜の沖合、および野浦海岸やキラ多伎の試料で多産する *P. nipponica* および *E. crispum* は、共生藻類をもち、岩礁地の海藻に付着して生息する表生種である (Murray, 1991)。同様に多産する *Quinqueloculina* spp. は、主に岩礁地の海藻表面に生息する自由生活者である

(Murray, 1991)。以上のように、本研究で認められた有孔虫の主要構成種は、ほぼすべてが岩礁地のごく浅い海域に生息する種である。一方で、砂泥基質の表生～内生種は、ほとんど認められなかった。

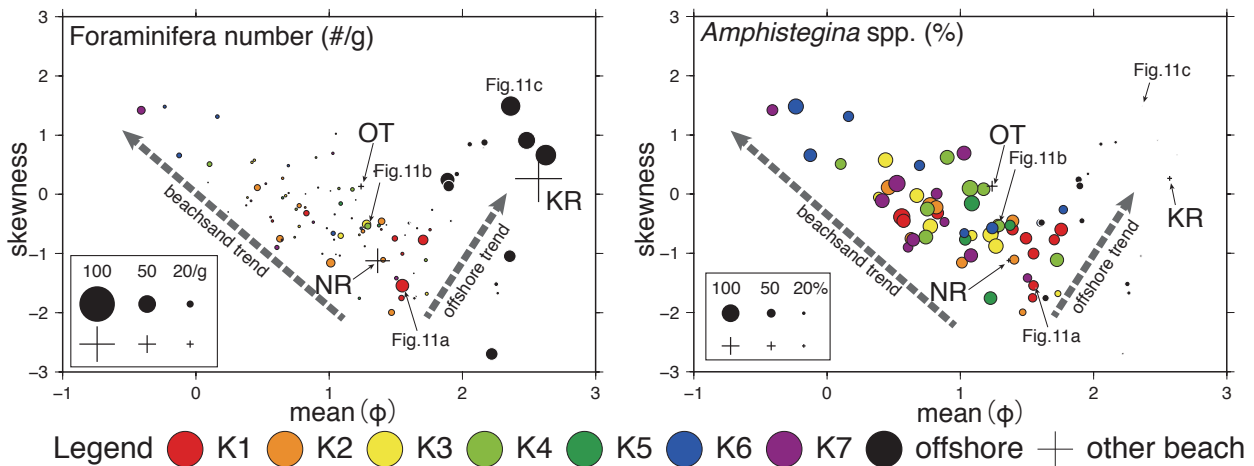
本調査対象となった海浜は、いずれもポケットビーチに分類され、海浜両端部に岩礁が分布している。琴ヶ浜でも南端のK1～K2、および北端のK7近傍に岩礁が存在し、砂5gあたり有孔虫個体数がK1またはK7に向かって増加する傾向が顕著である (第4図)。以上を考慮すると、本研究による有孔虫遺骸群集は、海浜の南北両端付近の岩礁に生息していた有孔虫の遺骸が、沿岸漂砂とともに運搬、集積されたものと考えられる。

本研究と同様に有孔虫の遺骸群集を検討した先行研究として、島根半島およびその周辺 (出雲市湖陵町から鳥取県米子市にかけて) の9地点の海浜砂を検討した竹ノ内 (1998) がある。それらの結果でも *Pararotalia nipponica* および *Amphistegina* spp. を主体とする群集が得られており、本研究による琴ヶ浜および周辺海浜における構成種 (第9図) と酷似する。したがって、本研究により得られた有孔虫遺骸群集は、島根県沿岸の岩礁地に生息する一般的な有孔虫組成を代表しているものと考えられる。

## 2. 鳴砂海岸における *Amphistegina* 遺骸の選択的集積について

有孔虫遺骸の運搬-集積過程を考察するため、砂の粒度分析結果と有孔虫遺骸の産出状況との比較検討を行う。砂の粒度分析結果に基づく平均粒径-歪度プロット上に、砂1gあたり有孔虫個体数および *Amphistegina* spp. の全有孔虫に占める割合をバブルプロットで第10図a, bにそれぞれ示した。なお、*Amphistegina* spp. の割合は、産出した有孔虫個体数が20個体以上の試料についてのみ計算した。平均粒径-歪度のプロットは、海浜砂と砂丘砂、河川砂の判別に有効な手法とされている (Friedman, 1961, 1967)。

粒度分析の結果に着目すると、汀線付近 (K1～K7) の試料 (赤～紫でプロット) と水深1m以深の試料 (黒色) とは、平



第10図 砂の粒度分析結果に基づく平均粒径-歪度プロット上に、砂1gあたり有孔虫個体数(右図)および *Amphistegina* spp.の全有孔虫に占める割合(左図)を丸マークの大きさを示した。汀線付近の試料についてはK1~K7の地点毎に色分けし、水深1m以深の試料については offshore として黒色で示した。琴ヶ浜以外の地点(NR:野浦, OT:大津辺, KR:キララ多伎)については、黒色の+印を用いて同様にプロットした。

均粒径  $1.8\phi$  前後で図の左右に区分される。このうち、左側に分布する汀線付近の試料については、粗粒化に伴って歪度が負から正に増加する緩やかな左側上りのトレンドが認められる。さらに地点ごとの違いに着目すると、琴ヶ浜南端部のK1地点の試料がこのトレンドの左下に集中しており、大局的に琴ヶ浜の南から北に向かって平均粒径の粗粒化と歪度の増加が認められる。一方、図の右側に分布する水深1m以深の試料については、やや収束は悪いものの、汀線付近の試料におけるトレンドとは逆に、細粒化に伴って歪度が負から正に増加するトレンドが認められる。

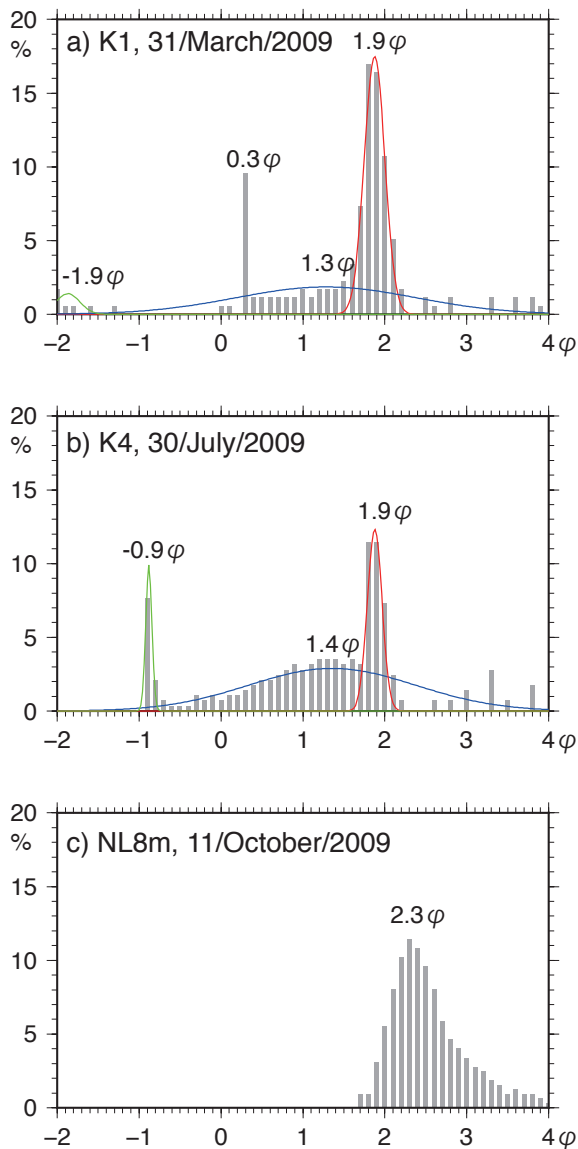
これらの変化傾向を説明するために、代表的な3試料(汀線付近は3月31日K1地点と7月30日K4地点、沖合試料では北測線水深8m地点)について粒度分析結果のヒストグラムを第11図に示した。まず汀線付近の2試料を見ると、多峰性が顕著に認められる。すなわち、約  $1.9\phi$  の鋭いピークと、 $1.3\phi$  前後のブロードなピーク、そして  $-2 \sim -1\phi$  前後の粗粒で小さなピークである。これらの多峰性ピークは汀線付近~水深4m付近の試料まで共通して認められる。詳しく見ると、 $1.9\phi$  のピークは第10図の右下の試料(3月31日K1)で顕著なもの、左に向かって減少して不明瞭になる(7月30日K4)。一方で  $1.3\phi$  前後のブロードなピークは、平均粒径の粗粒化に伴って高くなっている。したがって、汀線付近における平均粒径と歪度の逆相関トレンドは、粒径の多峰性分布が示している複数の砂集団を端成分として、その相対頻度が南端から北端に向かって連続的に変化した結果と判断される。ここで、琴ヶ浜の砂の起源について、後背地や淘汰過程を異にする複数の砂集団が混合したものである可能性が強く示唆されるが、ここでは議論の本筋から外れるため今後の課題とする。

他方、この汀線付近の傾向から大きく外れる沖合の試料群は、細粒砂領域にピークをもち、細粒側に尾を引く単峰性分布を示す(北測線8m:第11図c)。最頻値よりも粗粒側では、

中粒砂より粗い領域を完全に欠き、汀線付近の試料群における中粒砂領域の分布とほぼ相補的な関係を示していることから、汀線付近で波浪等によって選択的に洗い流され除去された細粒成分が、沖合に移動していることを示すと考えられる。

ここで、砂試料1gあたり有孔虫個体数(第10図左)を見ると、平均粒径の粗粒化に伴って減少する傾向が明瞭に認められる。特に沿岸の試料群に注目すると、琴ヶ浜南西端のK1地点の試料群は沖合の試料群の分布と一部重なり、そこから北東端のK6~K7地点に向かって有孔虫個体数の減少傾向と平均粒径の粗粒化傾向が認められる。当然ながら有孔虫は海生生物であり、砂中の有孔虫遺骸の起源は海中に限られることから、沖合の試料で有孔虫個体が多くなることは必然である。一方で汀線付近の試料群に対しては、有孔虫遺骸を海中起源の粒子としてとらえ、ビーチサイクルにおける砂粒子のトレーサーに用いることが可能と考えられる。こうした観点に基づくならば、琴ヶ浜の汀線付近における有孔虫個体数の変化傾向は、大局的に南西から北東方向への砂移動が卓越している(=南西の地点の方が有孔虫粒子の給源に近い)ことを示すと考えられる。なお、ビーチサイクルの全体像をとらえるためには海中における砂移動についても把握する必要がある。しかし、本研究における沖合の試料は南北2側線に限られるため、海中における砂の挙動については今後の課題である。

一方で、*Amphistegina* spp.の産出頻度(第10図右)に着目すると、先述の有孔虫個体数の傾向とは逆に、海中では低く(7~30%程度)、汀線付近で高くなる(30~90%程度)。琴ヶ浜周辺の海浜では、琴ヶ浜と同様の鳴砂海岸である大津辺海岸で高く(約62%)、野浦海岸やキララ多伎で低くなっている(それぞれ約24%と27%)。一般に *Amphistegina* spp.の殻は厚くて頑丈であり、また、他の有孔虫類よりも大型(最大径で  $-1 \sim 1\phi$  前後)のため、鳴砂を形成するような汀線付近における淘汰作用によって選択的に濃集したものと考えられる。



第11図 琴ヶ浜における砂粒子の粒度分析結果のうち、代表的な3測定について重量比のヒストグラムによって示した。各測定点は第10図上にもプロットされている。

## ま と め

鳴砂海岸として知られる鳥根県大田市仁摩町琴ヶ浜およびその周辺海浜において、海浜砂に含まれる有孔虫遺骸群集の調査を行った結果、全体で19属42種の底生有孔虫が得られた。これらの主要構成種は岩礁地に生息する種であることから、海浜の周辺岩礁地に生息する有孔虫遺骸が沿岸漂砂とともに運搬、集積したものと考えられる。また、先行研究による山陰周辺の遺骸群集と一致しており、鳥根県中央部の沿岸に生息する有孔虫群集を代表しているものと考えられる。

それぞれの地点における卓越種に着目すると、鳴砂海岸である琴ヶ浜および大津辺海岸では *Amphistegina* spp. が特徴的に多産する一方で、鳴砂海岸ではない野浦海岸やキララ多伎では *Pararotalia nipponica* や *Elphidium crispum* が卓越する群

集となっていた。琴ヶ浜内での群集変化に着目すると、大局的に南西端から北東端に向かって有孔虫個体の減少と群集中における *Amphistegina* spp. の相対頻度の増加が認められ、平均粒径の粗粒化傾向と対応している。一方で琴ヶ浜の沖合に向かっては、有孔虫個体の増加と *Amphistegina* spp. の相対頻度の低下が顕著であり、平均粒径の細粒化傾向と対応している。このことから、汀線付近では大局的に南西から北東方向への砂移動が卓越していることと、*Amphistegina* spp. 以外の有孔虫個体は細粒成分とともに選択的に沖合へ除去される傾向があることが示唆される。*Amphistegina* spp. の殻は厚くて頑丈であり、また、他の有孔虫類よりも大型のため、鳴砂を形成するような汀線付近における活発な淘汰作用によって、鳴砂中に選択的に濃集したものと考えられる。

## 謝 辞

本研究は、宮田による鳥根大学総合理工学部地球資源環境学科の卒業研究として実施された研究に、その後の再検討を加えたものである。鳥根大学学術研究院環境システム科学系の酒井哲弥教授には、沈降天秤の使用法についてご指導頂いた。仁摩サンドミュージアム館長(当時)の檜尾正雄氏、仁摩町馬路地区の松浦裕氏をはじめとした地元の方々には、調査にあたって多くのご支援、ご助言を頂いた。大田市漁業協同組合仁万支所(当時)には、琴ヶ浜の潜水調査にあたって許可を頂いた。本研究経費の一部に、平成20~21年度鳥根大学萌芽研究(研究代表者:赤坂正秀)および平成25年度大田市教育委員会受託研究(研究代表者:林 広樹)を使用した。以上の方々および関係諸機関に心から感謝申し上げます。

## 文 献

- Friedman, G. M., 1961, Distinction between dune, beach, and river sands from their textural characteristics. *Jour. Sediment. Petrol.*, **31**, 514-529.
- Friedman, G. M., 1967, Dynamic processes and statistical parameters compared for size frequency distribution of beach and river sands. *Jour. Sediment. Petrol.*, **37**, 327-354.
- 福富孝義, 2011, 下関市およびその周辺域の海岸砂から産出した有孔虫遺骸群集について。豊田ホテルの里ミュージアム研究報告書, no. 3, 1-27.
- Hallock, P., 1979, Trends in test shape with depth in large, symbiont-bearing foraminifera. *Jour. Foram. Res.*, **9**, 61-69.
- Hohenegger, J., 2004, Depth coenoclines and environmental considerations of western Pacific larger foraminifera. *Jour. Foram. Res.*, **34**, 9-33.
- Hohenegger, J., Yordanova, E., Nakano, Y. and Tatzreiter, F., 1999, Habitats of larger foraminifera on the upper reef slope of Sesoko Island, Okinawa, Japan. *Mar. Micropaleontol.*, **36**, 109-168.
- 幸村哲也・林 広樹, 2013, 日本海南部, 鳥根県大田市琴ヶ浜における大型有孔虫 *Amphistegina lobifera* の生態調査。日本古生物学会2013年年会講演要旨。
- 幸村哲也・林 広樹・高瀬末季子, 2014, 日本海沿岸における大型底生有孔虫 *Amphistegina* 属の分布調査。鳥根県地学会誌, **29**, 17-20.
- Langer, M. R. and Hottinger, L., 2000, Biogeography of selected "larger" foraminifera. *Micropaleontology*, **46**, Supplement 1, 105-126.
- Murray, J.W., 1991, *Ecology and paleoecology of benthic foraminifera*. Longman Group, UK, 397p.

- 成瀬 元, 2005, 沈降管天秤法粒度分析用アプリケーション“STube”の特色と利用法. 堆積学研究, **62**, 55–61.
- 清水未季子, 2019, 隠岐諸島沿岸の海浜砂に含まれる有孔虫群集. 隠岐の文化財, **36**, 14–23.
- Sugihara, K., Masunaga, N. and Fujita, K., 2006, Latitudinal changes in larger benthic foraminiferal assemblages in shallow-water reef sediments along the Ryukyu Islands, Japan. *Island Arc*, **15**, 437–454.
- 竹ノ内誠一, 1990, 堆積環境観察学習のための基礎的研究(第一報) – 大山北麓八幡沿岸沖の現生有孔虫群集 –. 地学教育, **43**, 141–148.
- 竹ノ内誠一, 1992, 堆積環境観察学習のための基礎的研究(第二報). 地学教育, **45**, 27–35.
- 竹ノ内誠一, 1998, 堆積環境観察学習のための基礎的研究(第三報) – 山陰中部地域沿岸の現生有孔虫群集 –. 鳥取地学会誌, **2**, 1–8.
- 財団法人日本ナショナルトラスト, 2006, 鳴砂の浜をまもる 観光資源としての鳴き砂(鳴り砂)の浜の総合調査報告書 II. 財団法人日本ナショナルトラスト, 80p.

(受付: 2020年2月21日, 受理: 2020年2月28日)