奄美大島沿岸における干潟底生生物相

Macrobenthic Fauna in the Tidal Flats of Amami-Oshima Island

緒方沙帆¹⁾・Rocille PALLA¹⁾・上野綾子²⁾・佐藤正典³⁾・鈴木廣志⁴⁾・山本智子^{4),*}¹⁾ 鹿児島大学大学院水産学研究科. 〒890-0056 鹿児島県鹿児島市下荒田 4 丁目 50-20²⁾ 鹿児島大学大学院連合農学研究科. 〒890-0056 鹿児島県鹿児島市下荒田 4 丁目 50-20³⁾ 鹿児島大学理学部. 〒890-8580 鹿児島県鹿児島市郡元 1 丁目 21 番 25 号⁴⁾ 鹿児島大学水産学部. 〒890-0056 鹿児島県鹿児島市下荒田 4 丁目 50-20Shiho OGATA¹⁾, Rocille PALLA¹⁾, Ryoko UENO²⁾, Masanori SATO³⁾, Hiroshi SUZUKI⁴⁾ and Tomoko YAMAMOTO^{4),*}¹⁾ The Graduate School of Fisheries, Kagoshima University, 4-50-20 Shimoarata, Kagoshima 890-0056, Japan²⁾ The United Graduate School of Agricultural Sciences, Kagoshima University, 4-50-20 Shimoarata, Kagoshima 890-0056, Japan³⁾ Faculty of Science, Kagoshima University, 1-21-25 Korimoto, Kagoshima 890-8580, Japan⁴⁾ Faculty of Fisheries, Kagoshima University, 4-50-20 Shimoarata, Kagoshima 890-0056, Japan

Abstract: The Amami Islands are located south of Japan's main islands and their inherent fauna and flora have high species diversity. In order to augment our limited knowledge on the coastal benthic fauna of these islands, we investigated the macrobenthic fauna in four tidal flats on Amami-Oshima Island. A total of 123 species or taxa were sampled at the four study sites, with the number of species at each site varying from 39 to 89. Species richness was highest at Tekebu-higata tidal flat (the northernmost study site) and lowest at Ichi-higata tidal flat (central Amami). Yanyu-higata in the northern part of the island, and Kunetsu-higata, the southernmost study site, had intermediate species richness. The density of benthic animals was lowest at Yanyu-higata and highest at Kunetsu-higata. The local diversity, the mean number of species at a station, did not vary markedly among the study sites (ranging from 3.35 to 4.79), whereas the species richness of tidal flats tended to differ among the study sites. This indicates that the species diversity of the tidal flats can be attributed to the diversity among stations (β diversity). The heterogeneity of benthic community is discussed in relation to tidal flat sediment condition.

Key Words: tidal flat, Amami-Oshima Island, species richness, microbenthos, β diversity

はじめに

鹿児島県南部に位置する奄美群島は、日本国内で確認されている生物種約 37,000 種のうち約 16%が生息するなど、高い生物多様性を有することが知られている。また、奄美群島独自の固有種も多く、昆虫類 1038 種、維管束植物 38 種、哺乳類 10 種を含む 1147 種の固有種が確認されており（奄美大島生物多様性地域戦略策定運用協議会 2015）、2017 年に奄美群島国立公園に指定された。このような高い生物多様性と固有性や、黒潮の影響による湿潤な亜熱帯雨林が発達していることが注目され、「奄美・琉球」地域として世界自然遺産候補にも挙げられている。底生生物においても、汽水や淡水域を中心に、甲殻類や貝類で多くの希少種が分布する事が知られている（WWF ジャパン 2009; 日本

ベントス学会 2012; 鹿児島県環境林務部自然保護課 2016）。しかしながら、分布情報が希少種に限られており、この地域の底生生物相や多様性を明らかにするのに十分とはいえない。

地域の底生生物相を扱った研究では、干潟の貝類（名和 2008）、干潟の甲殻類と貝類（三浦・三浦 2015）、汽水性甲殻類（岸野ら 2001）、陸水貝類（増田・早瀬 2000; 木村・木村 2008）など特定の分類群に焦点が絞られており、底生生物群集を対象とした調査はあまり行われていない。環境省が行った浅海域生態系調査（干潟調査）では奄美大島の 2 地点で干潟の底生生物相が調査されているが、各種の有無又は多寡にとどまっており、定量的な調査がなされているとは言えない（環境省自然保護局・生物多様性センター 2007）。

干潟は沿岸域において陸域と海域をつなぐエコトーンとして機能しており、そこに生息する底生生物群集は食物連鎖を通してこの機能を支えているとされている（菊池 1993）。しかしながら、近年、日本全国で干潟の面積は大幅に減少してきており（環境庁自然保護局 1994）、鹿児島県もその

Received 18 February 2016 Accepted 16 May 2017

* Corresponding author

E-mail: yamamoto@fish.kagoshima-u.ac.jp

例外ではない。鹿児島湾奥では、1977年には200 ha程あった干潟が2003年には60 haに減少している（山本・小玉2009）。また、表在性であるウミナシ *Batillaria multiformis* などの腹足類の個体数が増加し埋在性である二枚貝類が激減するなど、干潟の環境変動による底生生物相の変化が著しい（山本ら2009）。奄美大島でも、前述した海岸線の人工改変が盛んに行われてきており、北部の手花部干潟では、1978年から1992年までに干潟面積が約74 haから約50 haまで減少している（環境庁自然保護局1994）。このことは、奄美大島の貴重な海岸生物が十分に調査されないままハビタットの消失とともに失われてしまう可能性を示唆している。

干潟の底生生物相は、低潮位からの地盤高や干満の潮位差、底質粒度や粒度組成を決定付ける恒常的な流動環境及び豪雨出水などの突発的要因など複数の影響を受けて決まるとされており（菊池1993）、同じ島内でも干潟間で底生生物相は異なると予想される。そのため、奄美大島全域の干潟底生生物相を捉えるためには、環境の異なる複数の干潟で調査を行う必要がある。

また、一般に、底生生物の分布に影響を与える環境要因は同一海岸内でも空間的な変異を持ち、それによって底生生物群集の空間構造が作り出される。例えば、岩礁潮間帯では、乾燥や高低温をさけるための微小地形が乏しいため、干出時間の長いほど長時間の乾燥や極端な温度変化に晒されることになる。したがって、垂直方向の環境変異、高度が生物相の分布パターンに大きな影響を与える（ラファエリ・ホーキンス1999; Okuda et al. 2004）。干潟は岩礁潮間帯などに比べ高度の変化が緩やかなため、底質環境や植生の有無、河川からの距離といった高度以外の環境要因が底生生物の分布に与える影響が岩礁潮間帯に比して大きいと考えられる。このような環境要因の空間変異が干潟内の底生生物の分布に空間構造をもたらし、干潟全域の底生生物の多様性に貢献していると考えられる（宮下・野田2003）。そのため、干潟の底生生物相を調査するにあつ

ては、干潟内の環境変異を考慮し、それによって群集構造に空間構造がもたらされる可能性にも注意する必要がある。

そこで本研究では、奄美大島の干潟における底生生物相を明らかにすることを目的として島内4ヶ所の干潟において調査を行い、干潟全体の種多様性がどのようにして形成されているのかについて、干潟内における群集の空間構造や環境要因の空間変異との関連を考察した。

調査地と方法

調査地の概要

調査地としては、地図と航空写真からある程度の広さがある干潟を抽出し、その中から、陸からのアクセスが可能な4ヶ所を選定した。鹿児島県奄美市笠利町の手花部干潟、龍郷町の屋入干潟、奄美市住用町の市干潟、瀬戸内町の久根津干潟の4海岸である（Fig. 1）。調査は、手花部干潟で2013年5月と7月、屋入干潟、久根津干潟で2014年5月、市干潟で2014年7月に行った。

手花部干潟での調査は、手花部川と坂下川にはさまれた干潟中央部で行った。航空写真から算出したこの部分の面積は約67,500 m²である。潮間帯下部を中心にサンゴ礫が点在しており、坂下川下流にはマングローブが生育していた。屋入干潟の西側には屋入川が流れ込んでおり、潮間帯上部には転石帯が広がっているが、中下部は底質が粗く小石が多い。屋入川から東側の約23,300 m²の干潟で調査を行った。市干潟は、全域に細かい底質が広がる泥干潟であり、東側にマングローブの低木が群生していた。調査は西側の約9,900 m²の干潟で行ったが、潮間帯上部は乾燥して砂浜に近い状態であった。久根津干潟は海側に張り出した住宅を境に南北に2分される形になっており、南側の約6,800 m²で調査を行った。潮間帯上部は砂干潟、下部は泥干潟であった。

Fig. 1. Map showing the location of the study sites. Islands from the southern Kyushu to Yaeyama Islands are shown on the right of figure. The map on the left of the figure is an enlargement of Amami-Oshima Island and shows the locations of the four study sites.

底生生物の分布調査

各干潟で、底生生物を対象とした定量的調査と定性的調査を行った。定性的調査では、干潟全域を面積に応じて2つ以上のエリアに分け、それぞれのエリアで15分間の採集を行った。エリア内を15分間4人でそれぞれ満遍なく歩き回り、底質上で目についた生物や底質を掘り返して出てきた生物を採集した（日本国際湿地連合 2011）。採集した生物は、その場で種がわかるものについては1種類につき1個体を、わからないものに関してはすべてを70%エタノールで固定し、研究室に持ち帰り同定を行った。この調査は、各干潟における底生生物の種リストを作成することを目的としている。

定量的調査では、それぞれの干潟で一定面積を採集することによって、底生生物各種の現存量を調査した。各干潟で、潮間帯上部から下部にかけて海岸線に対して垂直のラインを設置し、その上に等間隔でステーションを設置した。ラインの本数とステーションの間隔は干潟の面積と形状に応じて決定したが、いずれも計24ヶ所のステーションが設置出来るように配置した。手花部干潟ではラインを5本設置し、そのライン上40 m 間隔にステーションを設置した。他の干潟ではラインを4本設置し、屋入干潟では25 m 間隔、市干潟では15 m 間隔、久根津干潟では20 m 間隔でステーションを設置した。各ラインとステーションの位置は、結果とともに Fig. 3～Fig. 6 に示す。

各ステーションで直径17 cmのコアを3個用いて深さ10 cmまでの底質を採取し、手花部干潟では1 mm メッシュ、その他の干潟では2 mm メッシュの篩でふるい、残った生物を採集した。後者は底質の粒度が粗くほとんどの底質が篩上に残ってしまうため、より粗いメッシュを使わざるを得なかった。採集した生物のうち同定が容易なものはその場で計数の後放流し、他は70%エタノールで固定した上で研究室に持ち帰り、種または分類群別に計数した。

手花部干潟でのみ1 mm メッシュを使用していることに関して、以下の方法でメッシュサイズと採集効率に関する

検証を行った。手花部干潟の5つのステーションで、直径17 cmのコアを3個用いて深さ15 cmまでの底質を採取し、その中の堆積物を2 mm メッシュの下に1 mm メッシュの篩を重ねてふるい、それぞれに残った生物を採集、比較した。2 mm メッシュの篩上では環形動物5種、軟体動物3種、節足動物2種が、1 mm メッシュの篩上では環形動物3種が採集された（Table 1）。5ステーションのうち2つのステーションで、2 mm メッシュ上より多数の個体が1 mm メッシュ上で採取された。特に、スピオ科 Spionidae spp. は1 mm メッシュの篩中でそのほとんどが採集されている。1 mm メッシュの篩上で採集された多毛類のうち、チロリ科 Glyceridae spp. とゴカイ科 Nereididae spp. は2 mm メッシュ上でも採集された。2 mm メッシュを抜けて1 mm メッシュ上で多く採集された底生生物は、スピオ科の多毛類のみであった。この分類群はこの検証実験の際に多個体が採集され、1 mm メッシュで手花部干潟を調査した際にはほとんど採集されていないことから、定量的調査の結果には影響していないものと考えられる。検証実験は9月、定量的調査は5月と7月に行っており、ある季節に行った調査ではメッシュサイズが採集結果に影響を与える可能性はあるが、今回の調査には当てはまらないと判断した。

なお、ウミナ属腹足類については、奄美大島ではウミナとリュウキュウウミナ *Batillaria flectosiphonata* という近縁2種が同所的に分布しており、両者を形態から区別することは極めて困難であること、遺伝子解析により、少なくとも手花部干潟では両種が混在する（Hirose et al. 2014）ことが分かっていることから、ここでは2種の区別をしないものとした。

底質採集と各測定方法

生物調査を行った各ステーションで、深さ3 cmまでの底質を採集し、含水率、有機物含有量（強熱減量）、粒度組成の測定に用いた。湿重量を測定後120℃で12時間加熱し、乾重量を測定した後、両者の差が質重量に占める割合

Table 1. List of benthic species sampled in Tekebu-higata tidal flat using meshes of different size. Numbers of each taxon separated from sediments sampled by using three cores (17 cm diameter) at each station. A sieve with 2-mm mesh was lapped over a 1-mm mesh sieve. The numbers of individuals remaining on each sieve are shown in the table.

Station Sieve mesh size	LineA 0 m		LineB 120 m		LineC 0 m		LineD 200 m		LineE 120 m	
	1 mm	2 mm	1 mm	2 mm	1 mm	2 mm	1 mm	2 mm	1 mm	2 mm
Ostreidae sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Gafrarium tumidum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Veneridae sp.	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Glyceridae spp.	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
Nereididae spp.	0	1	0	1	0	0	1	2	0	10
Spionidae spp.	0	0	35	4	8	0	0	0	3	0
<i>Heteromastus</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
Polychaeta spp.	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0
<i>Leptodius distinguendus</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Macrophthalms verreauxi</i>	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0

から含水率を算出した。このサンプルを2組に分け、一方はその後650℃で2時間燃焼させ、減少した重量の割合を強熱減量とした。もう一方は120℃で12時間乾燥させた後、振とう器を使用し、粒子を<0.063 mm, 0.063 mm~0.125 mm, 0.125 mm~0.25 mm, 0.25 mm~0.5 mm, 0.5 mm~1 mm, 1 mm~2 mm, 2 mm>の7区分に分けた。各サイズクラスの重量を計量し、全体に占める割合を算出して粒度組成とするとともに、その値から中央粒径値を求めた。

解析方法

ここでは、群集の多様性を表す指標として、定量的調査の結果を用いて、各ステーション (α 多様性) と干潟全体 (γ 多様性) の異なる空間スケールにおける種数を比較した。 α 多様性はステーション当たりの出現種数の平均値、 γ 多様性は干潟全体の種数で表し、 γ 多様性を α 多様性で割った値 (β 多様性) は局所群集間の多様性を示す (宮下・野田2003)。

また、以下の式を用いて、各干潟の種多様性を算出した (木元・武田1989)。

Simpson の多様度指数

$$D = 1 - \sum_{i=1}^s p_i^2$$

Shannon-Wiener の多様度指数

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \ln p_i$$

ただし、 p_i は各干潟における i 番目の種又は分類群が群集全体に占める個体数の割合を示す。

各ステーションの底生生物群集データ及び粒度組成のデータ (各サイズクラスが占める重量の重量割合) を用いてクラスター解析を行い、4干潟計96ヶ所のステーションを群集組成と粒度組成によって分類した。ただし、群集組成の解析においては、ステーション別の群集に占める各種の個体数割合を用いており、1種1個体しか出現しなかったステーションは解析から除いた。いずれもIBM社の解析ソフトSPSS (ver. 20) を使用し、ステーション間の違いをユークリッド距離によって算出した後、Ward法により階層構造を図式化した樹形図 (dendrogram) を構成した。

結 果

各干潟の底生生物相と干潟内の分布特性

各干潟の底生生物相を、定性的調査及び定量調査の結果から比較する。定性的調査、定量的調査によって4干潟で採集された底生生物は、あわせて123分類群であった。刺胞動物、紐形動物、扁形動物、ユムシ動物、星口動物、腕足動物、脊索動物が各1分類群ずつと棘皮動物が2分類群

出現し、軟体動物が55分類群と最も多く、次いで節足動物36分類群、環形動物23分類群となった。

手花部干潟では、刺胞動物1、紐形動物1、扁形動物1、軟体動物44、環形動物13、ユムシ動物1、星口動物1、節足動物23、腕足動物1、棘皮動物2、脊索動物1の計89分類群と最も多くの種又は分類群が採集された (Table 2)。このうち、定性的調査と定量的調査の両方で採集された分類群が44と約半数であり、41グループが定性的調査でのみ採集された。定量的調査では、ステーションあたり平均9.5個体が採集され、平均個体数密度は、1396 (個体数/m²) であった。定量的調査で最も多くの個体数が採集された最優占種はコメツキガニ *Scopimera globosa* であり、ステーション当たり1.45個体が採集された。分類群別個体数を見ると、甲殻綱が全体の50%を占めていた (Fig. 2)。

屋入干潟では、刺胞動物1、紐形動物1、軟体動物18、環形動物9、ユムシ動物1、星口動物1、節足動物10、棘皮動物1、脊索動物1の計43分類群の底生生物が確認された (Table 2)。このうち、定性的調査と定量的調査の両方で採集された分類群が16と半数以下であり、20グループが定量的調査でのみ採集された。ステーションあたり平均8.37個体と最も少なく、平均個体数密度は、1231 (個体数/m²) であった。最優占グループはウミニナ属 *Batillaria* spp. でステーションあたり1.21個体採集され、腹足綱と甲殻綱が多く出現した (Fig. 2)。

市干潟では、軟体動物12、環形動物15、節足動物11、脊索動物1の計39分類群の底生生物が確認されたが (Table 2)、この数は4ヶ所の中で最も少なかった。このうち、定性的調査と定量的調査の両方で採集された分類群は7と極めて少なく、各16グループが定性的調査、定量的調査でのみ採集された。ステーションあたり平均10.16個体が採集され、平均個体数密度は1494 (個体数/m²) であった。最優占種はコケゴカイ *Simplisetia erythraeensis* でステーションあたり2.88個体採集され、多毛綱と甲殻綱が全体の95%を占めた (Fig. 2)。

久根津干潟では、軟体動物17、環形動物7、節足動物19

Fig. 2. Macrobenthic community composition at each study site. Numbers of individuals of each taxon at each station (0.068 m²) are shown.

Table 2. List of benthic species sampled in each mud flat of Amami-Oshima Island. Open circles indicate species sampled only by quantitative survey, and double circles indicate those sampled only by qualitative survey. Filled circles indicate species sampled by both types of survey.

Phylum	Class	Japanese Name	Species Name	Tekebu	Yanyu	Ichi	Kunetsu
Cnidaria	Anthozoa	タテジマイソギンチャク	<i>Haliplanella lineata</i>	●	○		
Nemertinea		紐形動物門の種	Anopla spp.	○	○		
Plathelminthes		扁形動物門の種	Platyhelminthes spp.	●			
Mollusca	Polyplacophora	キクノハナヒザラガイ	<i>Acanthopleura tenuispinosa</i>	○			
		ヒメケハダヒザラガイ	<i>Acanthochitona achates</i>	○			
	Gastropoda	コウダカアオガイ	<i>Nipponacmea concinna</i>	○	●	○	
		クサイロアオガイ	<i>Nipponacmea fuscoviridis</i>	○			
		ヒメコザラ	<i>Patelloida pygmaea</i>				○
		オキナワイシダタミ	<i>Monodonta labio</i>	○	●	○	○
		キヌシダタミ	<i>Ethmonolia nektomica</i>	○			
		カンギクガイ	<i>Turbo (Lunella) coronoatus coronatus</i>	○	●		
		サザエ科の1種	Turbinidae sp.		○		
		リュウキュウアマガイ	<i>Nerita (Theilostyla) exuvia</i>	○			
		コシダカアマガイ	<i>Nerita (Nerita) striata</i>	○			
		マルアマオブネ	<i>Nerita (Theilostyla) squamulata</i>	○	●	○	○
		オオマルアマオブネ	<i>Nerita (Theilostyla) chammaeleon</i>			○	
		イガカノコ	<i>Clithon corona</i>		○		
		ミツカドカニモリ	<i>Cerithium zenrum</i>	●			
		カヤミノカニモリ	<i>Clypeomorus bifasciata</i>				●
		オオシマカニモリ	<i>Clypeomorus subbrevicula</i>	●			
		ゴマフニナ	<i>Planaxis sulcatus</i>	○			
		ウミニナ属の種	<i>Batillaria</i> spp.	●	●	○	
		フトヘナタリ	<i>Cerithidea rhizophorarum</i>	○	●		○
		ヘナタリ	<i>Cerithidea cingulata</i>	●	○		○
		ウズラタマキビ属の種	<i>Littoraria</i> spp.	○		○	○
		イロタマキビ	<i>Littoraria (Littoraria) pallescens</i>	○		○	
		スジウネリチョウジガイ	<i>Rissoina (Rissolina) costulata</i>	○			
		ムカデガイ科の1種	Vermetidae sp.	○			○
		ホウシュノタマ	<i>Narica gualteriana</i>	●			
		ミツクチキリオレ科の1種	Triphoridae sp.	○			
		カゴメガイ	<i>Bedeva birileffi</i>	○			
		ヨウクレイシダマシ	<i>Muricodrupa fuscilla</i>	○			
		イボニシ	<i>Thais (Reishia) clavigera</i>	○			
		イボヨフバイ	<i>Nassaridae coronatus</i>	○			
		クリイロヤタテ	<i>Strigatella fastigium</i>		○		
		ムシロガイ科の1種	Nassaridae sp.			○	
		ウミクダマキ	<i>Clavus (Tylotiella) obliquata</i>	●			
		ドロアワモチ	<i>Onchidium hongkongense</i>	●	○		○
		ヒラカラマツガイ	<i>Siphonaria (Mestosphon) atra</i>	○			
	Bivalvia	フネガイ	<i>Arca avellana</i>	●			
		エガイ	<i>Barbatia (Abarbatia) lima</i>	○	○		○
		イガイ科の1種	Mytilidae sp.				○
		クジャクガイ	<i>Septifer bilocularis</i>	●		○	
		ヒバリガイモドキ	<i>Hormomya mutabilis</i>	●	○		
		イタボガキ科の1種	Ostreidae sp.	○	○		
		ウメノハナガイ	<i>Pillucina pisidium</i>	●			○
		ヒシガイ	<i>Fragum bannoi</i>	●			
		クチバガイ	<i>Coecella chinensis</i>		●	○	
		ヌノメイチョウシラトリ	<i>Serratina capsoides</i>			○	
		ニッコウガイ科 sp.1	Tellinidae sp.1				○
		ニッコウガイ科 sp.2	Tellinidae sp.2	○			
		アラスジケマンガイ	<i>Gafrarium tumidum</i>	○	○		○
		ヤエヤマスダレ	<i>Katelysia hiantina</i>	○			
		イオウハマグリ	<i>Pitar sulfureum</i>	●	○		○
		リュウキュウアサリ	<i>Tapes literatus</i>	○			
		ヒメアサリ	<i>Ruditapes nariegatus</i>	●		○	
		マルスダレガイ科の1種	Veneridae sp.	●			○
		ソトオリガイ	<i>Laternula marilina</i>	○	○		○
Annelida	Polychaeta	ウロコムシ科の種	Polynoidae spp.	○	○		
		チロリ科チロリ属の種	Glycera spp.			○	
		チロリ科の種	Glyceridae spp.	●		●	○

Table 2. Continued.

Phylum	Class	Japanese Name	Species Name	Tekebu	Yanyu	Ichi	Kunetsu
Annelida	Polychaeta	コケゴカイ	<i>Simplisetia erythraeensis</i>	●	○	●	●
		クマドリゴカイ	<i>Perinereis euiini</i>		●		
		スナISOゴカイ	<i>Perinereis mictodonta</i>		○		
		ゴカイ科 <i>Perinereis</i> 属 sp.1	<i>Perinereis</i> sp.1		○	◎	●
		ゴカイ科 <i>Perinereis</i> 属 sp.2	<i>Perinereis</i> sp.2		●		
		ゴカイ科の種	Nereididae spp.	◎	●	○	○
		ウミケムシ科の1種	Amphinomidae sp.	◎			
		ナナテISOメ科の1種	Onuphidae sp.	○			
		イワムシ属の1種	<i>Marphysa</i> sp.			◎	
		ISOメ科の種	Eunidae spp.	●	○	●	●
		ギボシISOメ科の種	Lumbrineridae spp.	●		○	○
		スピオ科 <i>Prionospio</i> 属の1種	<i>Prionospio</i> sp.			○	
		スピオ科 <i>Malacoceros</i> 属の1種	<i>Malacoceros</i> sp.			○	
		スピオ科の種	Spionidae spp.	●		○	
		イトゴカイ科 <i>Heteromastus</i> 属の1種	<i>Heteromastus</i> sp.			○	
		イトゴカイ科の種	Capitellidae spp.	●	○	●	○
		タケフシゴカイ科の種	Maldanidae spp.	●		○	
		タマグシフサゴカイ科の1種	Terebellidae sp.			○	
		ウミイサゴムシ科の1種	Trichobranchidae sp.	●			
		ケヤリムシ科の1種	Sabellidae sp.	◎			
Echiura	Echiuroidea	タテジマユムシ	<i>Listriolobus sorbillans</i>	◎	◎		
Sipuncula	Sipunculidea	スジホシムシモドキ	<i>Siphonosoma cumanense</i>	●	○		
Arthropoda	Malacostraca	シロスジフジツボ	<i>Balanus albicostatus</i>	●			
		フトミゾエビ	<i>Melicertus laticulatus</i>	◎			
		スジエビモドキ	<i>Palaemon serrifer</i>	●			
		テッポウエビ	<i>Alpheus brevicristatus</i>				●
		ISOテッポウエビ	<i>Alpheus lobidens</i>	●	●	●	●
		ハサミシャコエビ	<i>Laomedia astacia</i>	◎		○	○
		ミナミアナジャコ	<i>Upogebia carinicauda</i>		●	●	●
		ホンヤドカリ科の種	Paguroidea spp.	◎		◎	◎
		クモガニ科の1種	Samouelle sp.				○
		タイワンガザミ	<i>Portunus (Portunus) pelagicus</i>	◎			
		イボガザミ	<i>Portunus (Monomia) gladiator</i>	●			
		ミナミベニツケガニ	<i>Thalamita crenata</i>	◎			
		ケブカガニ	<i>Pilumnus vespertilio</i>	◎			
		スエヒロイボテガニ	<i>Actumnus setifer</i>	◎			
		シワオウギガニ	<i>Leptodius distinguendus</i>	◎			
		オウギガニ	<i>Leptodius exaratus</i>			◎	◎
		ハシリイワガニ	<i>Metopograpsus messor</i>	●			
		イワガニ	<i>Pachygrapsus crassipes</i>				○
		イワガニ科の種	Macleay spp.		●	◎	○
		モクズガニ	<i>Eriocheir japonica</i>				◎
		ケフサイソガニ	<i>Hemigrapsus penicillatus</i>				
		ヒライソガニ	<i>Gaetice depressus</i>	●	●		
		アシハラガニ	<i>Helice tridens</i>		◎		◎
		フタバカクガニ	<i>Perisesarma bidens</i>		◎		
		ミナミコメツキガニ	<i>Mictyris brevidactylus</i>	●		○	○
		カクレガニ科の1種	Pinnotheridae sp.	●			●
		ミナミスナガニ	<i>Oeypode cordimana</i>	●			
		ヒメシオマネキ	<i>Uca vocans</i>	●		◎	●
		オキナワハクセンシオマネキ	<i>Uca perplexa</i>	●	●	○	●
		コメツキガニ	<i>Scopimera globosa</i>	●			
		チゴガニ	<i>Ilyoplax pusilla</i>		○		
		ツメノチゴガニ	<i>Tmethypocielis ceratophora</i>		●		◎
		メナガオサガニ	<i>Macrophthalmus verreauxi</i>	●	○	○	○
		ヤマトオサガニ	<i>Macrophthalmus japonicus</i>	●		●	●
		スナガニ科の1種	Rafinesque sp.				●
		ヒメムツアシガニ	<i>Hexapus anfractus</i>	●			
Brachiopoda	Lingula	ミドリシャミセンガイ	<i>Lingula anatina</i>	●	○		
Echinodermata	Ophiuroidea	クモヒトデ科の1種	Ophiuridae sp.	●			
	Holothuroidea	ニセクロナマコ	<i>Holothuria leucospilota</i>	◎			
Chordata	Actinopterygii	ハゼ科の1種	Gobiidae sp.	●	◎	○

Fig. 3. Distribution of the macrobenthic community at Tekebu-higata. Bars on the map show the locations of each station and the densities (/m²) of each taxon. The solid lines show the land area and rivers and the dashed line indicates the mean low water springs. Arrows indicate the current direction of the Tekebu and Sakashita rivers.

Fig. 4. Distribution of the macrobenthic community at Yanyu-higata. Bars on the map show the locations of each station and the densities (/m²) of each taxon. The solid lines show the land area and river and the dashed line indicates the mean low water springs. Arrows indicate the current direction of the Yanyu River.

の計 43 分類群の底生生物が確認された (Table 2)。このうち、定性的調査と定量的調査の両方で採集された分類群は 12 と半数以下であり、19 グループが定量的調査でのみ採集された。ステーション当たり平均 11.12 個体と最も個体数が多い、平均個体数密度は、1635 (個体数/m²) となった。最優占種はミナミアナジャコ *Upogebia carinicauda* でステーション当たり 3.13 個体が採集され甲殻綱の個体数が全体の 70% を占めた (Fig. 2)。

以下、干潟別に分類群ごとの分布をまとめる。手花部干潟ではライン間で底生生物相がかなり異なっていた (Fig. 3)。ライン A では、上部のステーションでは甲殻綱 (シロスジフジツボ *Balanus albicostatus*) が優占したが、下部の

Fig. 5. Distribution of the macrobenthic community at Ichi-higata. Bars on the map show the locations of each station and the densities (/m²) of each taxon. The solid lines show the land area and the dashed line indicates the mean low water springs.

Fig. 6. Distribution of the macrobenthic community at Kunetsu-higata. Bars on the map show the locations of each station and the densities (/m²) of each taxon. The solid lines show the land area and the dashed line indicates the mean low water springs.

ステーションには腹足綱が複数種出現した。ライン B では 6 ステーションで計 53 個体採集され、甲殻綱と多毛綱が優占した。特に、上部は多毛綱、下部は甲殻綱 (イソテッポウエビ *Alpheus lobidens*) が多く出現した。ライン C では 5 ステーションで計 41 個体採取され、甲殻綱と多毛綱が優占したが、いずれも複数種が少数個体ずつ出現した。甲殻綱は上部に多く、多毛綱はライン上に満遍なく出現した。ライン D では 6 ステーションで計 52 個体採集され、甲殻綱と腕足綱が優占した。特に、甲殻綱 (ヤマトオサガニ

Fig. 7. Spatial components of the macrobenthic community in the four tidal flats.

Table 3. Characteristics of the benthic community in each tidal flat.

	Tekebu	Yanyu	Ichi	Kunetsu
γ diversity (No. of species)	48	36	23	31
α diversity (Mean No. of species/station)	4.79	4.60	3.35	4.42
β diversity	10.02	7.83	6.87	7.01
Mean No. of individuals/station	9.58	8.04	10.04	14.63
Shannon-Wiener H'	3.55	3.03	2.06	2.52
Simpson D	0.96	0.93	0.82	0.87

Macrophthalmus japonicus) は上部に多く、腕足綱はライン上に満遍なく出現した。ライン E では 4 ステーションで計 33 個体採集され、甲殻綱が複数種出現した。屋入干潟では、多毛綱と腹足綱がどのラインでも出現しており (Fig. 4)、主な出現種 (グループ) はコケゴカイ、*Perinereis* 属、ウミニナ属であった。ライン C の下部とライン D の上部には集中的に二枚貝綱 (クチバガイ *Coecella chinensis*) が出現した。市干潟では、干潟上部ではオキナワハクセンシオマネキ *Uca perplexa* 等の甲殻綱が出現し、下部ではコケゴカイ等の多毛綱が出現していた。ほかの分類群は干潟全体を通して、ほとんど出現していない (Fig. 5)。久根津干潟では、干潟全体を通して甲殻綱が多く出現していた。また、ライン A の中部、ライン B の下部など、局所的に二枚貝綱 (ヒメアサリ *Ruditapes nariegatus*) が出現していた (Fig. 6)。

各干潟における底生生物群集の特性

ステーションあたりの出現種数で示す α 多様性は、市干潟で約 3.4 と小さいことを除けば、いずれの干潟も 4.4 から 4.8 の間に収まり、特に手花部干潟と屋入干潟で大きかった (Fig. 7; Table 3)。一方、この 2 海岸ではステーションあたりの採集個体数が 10 個体未満と少なかったのに対して、久根津干潟ではその 1.5 倍程度の個体数が採集されている。干潟全体の多様性を示す γ 多様性は、手花部干潟、屋入干潟、久根津干潟、市干潟の順で大きく、48 種から 23 種と 2 倍の違いがあった。 β 多様性に関してもこの傾向は変わらず、手花部干潟では 10 を超えたのに対して市では 6.87 と小さかった。

Fig. 8. Cluster analysis of macrobenthic community structure. The highest station in Line B (B-0 m) was excluded from the analysis because only one individual was sampled here.

Shannon-Wiener の H' は手花部干潟で 3.55、屋入干潟で 3.03、久根津干潟で 2.52、市干潟で 2.06 であり、 α 多様性、 γ 多様性と同様の傾向を示した (Table 3)。Simpson の D も同様の傾向であった。

定量的調査の結果 2 個体以上の底生生物を採集できた 95 ステーションについてクラスター解析を行った結果、82 ステーションがひとつのクラスターを形成し、残り 13 ステーションが 4 つのクラスターに分割された (Fig. 8)。手

Fig. 9. Spatial structure of the macrobenthic community at Tekebu-higata. Symbols on the map show the position of stations and the groups used for the cluster analysis shown in Fig. 8. Black triangles; cluster a, Gray squares; cluster b, Black squares; cluster c, Gray triangles; cluster d, Circles; cluster e. The cross indicates the station excluded from the cluster analysis (See explanation in the legend to Fig. 8).

Fig. 10. Sediment water contents in the sediment. Bars show the average of the 24 stations at each tidal flat and vertical lines indicate the standard deviation. Numbers on bars represent the coefficient of variation for each study site.

花部干潟のステーションは全てのクラスターに入っており、他の3干潟については全てのステーションが一番大きなクラスター（クラスターa）に含まれるという結果であった。

手花部干潟に関して各クラスターに含まれるステーションの空間配置を見たところ（Fig. 9）、最上部にしか見られないクラスターが2つあるほかはライン別にクラスターが分かれる傾向があり、他の3干潟と同じクラスターに含まれる群集はラインB, C, Eで見られた。

各干潟の底質環境とその干潟内空間変異

ステーション毎に採取した底質サンプルから、含水率、強熱減量、中央粒径値を算出し、干潟ごとに平均した。含水率は、屋入干潟だけが平均約17%と低く、他の干潟は

Fig. 11. Organic content measured by ignition loss. Bars show the average of the 24 stations at each tidal flat and vertical lines indicate the standard deviation. Numbers on bars represent the coefficient of variation for each study site.

Fig. 12. Median sediment grain size of the sediment. Bars show the average of the 24 stations at each tidal flat and vertical lines indicate standard deviation. Numbers on bars represent the coefficient of variation at each study site.

20%以上であった（Fig. 10）。ステーション間の変異を表す変動係数は、手花部干潟で一番大きく、市干潟が最も小さかった。

有機物含有量を表す強熱減量は、久根津干潟では8.62%と高かったのに対して、一番少ない市干潟では3.14%と半分以下であった（Fig. 11）。手花部干潟と屋入干潟はその間の値を取り、変動係数は含水率と同様手花部干潟で最も高かった。

中央粒径値は、屋入干潟で平均1.728と飛び抜けて高く、砂を多く含む底質であることが示された（Fig. 12）。粒径2 mm以上の粒子が重量の半分以上を占めたため、中央粒径値が2以上になるステーションも11ヶ所あり、変動係数は4干潟の中で最も小さかった。他の干潟に関しては、市干潟で0.507、手花部干潟で0.624、久根津干潟で0.777

Fig. 13. Cluster analysis of sediment composition based on the particle size composition at each station. The 96 stations were divided into 5 groups, which indicated by letters on the left of the figure.

と比較的平均値は似ていたが、変動係数は手花部干潟と久根津干潟で大きくなった。

各粒径クラスの重量割合を用いてクラスター解析を行ったところ、96のステーションは大きく2グループに分けられ (Fig. 13), さらに2グループと3グループに分けられた。屋入干潟は図の上側グループに、市干潟は下側のグループのうちさらに下の2つのグループに全てのステーションが含まれていた。形成されたクラスターをaからeとすると、手花部干潟はd以外の4クラスターに、久根津干潟はaからcの3クラスターに含まれていた。

手花部干潟を除く3干潟では多くのステーションが単一のクラスターに含まれており、ライン内の高度やライン間で粒度組成の違いは見られなかった (Fig. 14)。手花部干潟に関して各クラスターに含まれるステーションの空間配置を見たところ、グループaは河川沿いの潮間帯下部、グループcは潮間帯中部にまとまっていたが、グループb, dが特定の位置にみられるということではなかった。

Fig. 14. Spatial structure of sediment composition. (a) Tekebu-higata, (b) Yanyu-higata, (c) Ichi-higata, and (d) Kunetsu-higata. Symbols on the map indicate the positions of the stations and groups used for cluster analysis shown in Fig. 13. Triangles: cluster a, Gray squares: cluster b, Black squares: cluster c, Gray circles: cluster d, Black circles: cluster e.

考 察

奄美大島の干潟における底生生物相を明らかにするため、島内4ヶ所の干潟で、定量的調査と定性的調査を行った。計123種又は分類群が確認され、うち55グループが軟体動物、36グループが節足動物であった。上野ら (2015) の研究でも、南九州の干潟と比較して節足動物特にカニ類の種多様性が高いことが、奄美大島の干潟における底生生物相の特徴としてあげられている。今回の調査では、奄美大島が分布の北限とされている種 (環境省自然保護局・生物多様性センター2007) が5種採集されており、その全て (ツメノチゴガニ *Tmethypocielis ceratophora*, ミナミコメツキガニ *Mictyris brevidactylus*, オキナワハクセンシオマネキ, ヒメシオマネキ *Uca vocans*, ケフサヒライソモドキ *Ptychognathus barbatus*) が節足動物であった。哺乳類、鳥類、昆虫類等陸上動物においては、奄美大島以南と以北で種組成が大きく変わることから、東洋区と旧北区という2つの生物地理区に分けられ、奄美大島と屋久島の間に横たわるトカラ列島の小宝島と悪石島の間に位置する境界線は渡瀬線と呼ばれている。今回の調査結果から、陸上動物だけでなく、干潟の底生生物においても同様に生物地理学的な境界線が存在する可能性が考えられる。

本研究で調査した4干潟のうち、手花部干潟では2006年に第7回自然環境保全基礎調査が行われており (環境省自然保護局・生物多様性センター2007), 同じ笠利湾に面する喜瀬干潟とあわせて121種が採集されている。うち節足動物が49種と最も多かったが、本研究では89種又は分類群のうち44が軟体動物門であった。他の地域で希少と

されるタテジマユムシ *Listriolobus sorbillans*, スジホシムシモドキ *Siphonosoma cumanense*, ミドリシャミセンガイ *Lingula anatina* などが分布している点, ヒメシオマネキ, コメツキガニ, オキナワハクセンシオマネキ, ミナミコメツキガニ, ツメノチゴガニ, ニセクロナマコ *Holothuria leucospilota* などが多く見られる点などは第7回自然環境保全基礎調査と本研究で共通する結果である。

名和 (2008) は手花部干潟, 屋入干潟, 久根津干潟において軟体動物の調査を行った。手花部干潟においては, ニッコウガイ科やマルスダレガイ科二枚貝を中心に 93 種を採集している。アラスジケマンガイ *Gafrarium tumidum* やイオウハマグリ *Pitar sulfureum*, ソトオリガイ *Laternula marilina* など中潮帯以上に分布する種は本研究でも採集されたが, ヒラザクラ *Tellinides ovalis* やズングリアゲマキ *Azorinus abbreviatus* など低潮帯の種は本研究では採集出来なかった。名和 (2008) は屋入干潟で二枚貝を中心に 58 種の軟体動物を採集しているが, 本調査では軟体動物が 18 種しか採集されなかった。ウミニナ属, ヘナタリ *Cerithidea cingulata*, マルアマオブネ *Nerita (Theilostyla) squamulata*, カンギクガイ *Turbo (Lunella) coronoatus coronatus*, オキナワイシダタミ *Monodonta labio*, クチバガイ, ソトオリガイなど, 代表的な種は両方の調査で共通して見られる。久根津干潟では, フトヘナタリ *Cerithidea rhizophorarum* やカヤノミカニモリ *Clypeomorus bifasciata*, ソトオリガイやアラスジケマンガイなど名和 (2008) が多く採集している種が本研究においても定量的調査で採集されており, 普通種に関してはよく似た結果となっている。

本調査の結果を干潟間で比較すると, 出現種又は分類群数が干潟間で大きく異なっており, 平均個体数密度にも違いが見られた。出現種又は分類群数は花部干潟, 屋入干潟, 久根津干潟, 市干潟の順で多く, 前 2 干潟では軟体動物門が, 市干潟では環形動物門, 久根津干潟では節足動物門で最も多くのグループが出現した。

最も多くの種又は分類群数が出現した, すなわち多様性が高いと思われる手花部干潟では, その半数近くが定性的調査でのみ採集されている。それに対して, 屋入干潟と久根津干潟では定量的調査によってのみ採集されたものが比較的多く, 市干潟では両者同数であった。この結果は, 手花部干潟は干潟内のハビタット多様性が高く, それぞれのハビタットに個体数が少なく定量的調査では採集されないような希少な種が生息する状況であることを示唆している。

さらに群集の干潟内空間配置を明らかにするため, 各干潟 24 ステーションを設置して採集した定量調査の結果に関して解析を行なった。各干潟で採集された底生生物の種数, すなわち干潟全域の γ 多様性は, 手花部干潟の 48 種から市干潟の 23 種まで, 大きく異なった (Table 3)。また, 多様度指数を表す Shannon-Wiener の H' と Simpson の D の結果においても, 手花部干潟, 屋入干潟, 久根津干潟, 市

干潟の順で多様性が高い結果となった。しかし, 1 ステーションあたりの種数, すなわち α 多様性については, 干潟間で大きな差はみられなかった。一定面積に共存できる種の数がある程度限られているという現象は, 岩礁潮間帯でも知られている (Okuda et al. 2004)。この場合, ステーション間の違い, すなわち β 多様性によって γ 多様性が決まると考えられる (宮下・野田 2003)。ステーション毎の種の違いを表す β 多様性を算出してみると, 手花部干潟, 屋入干潟, 久根津干潟, 市干潟の順で大きく, 特に手花部干潟では他の 3 干潟に比べて高い β 多様性を示し, クラスタ解析においても, 他の 3 干潟の 72 ステーションが全て一つの大きなクラスターに分類されたにも関わらず, 手花部干潟の 23 ステーション (1 種 1 個体しか出現しなかった 1 ステーションを解析から除いたため) は最大のクラスターを含む計 5 つのクラスターに分類された。このことは, 手花部干潟内におけるステーション間の底生生物群集の違いが他の干潟における干潟間の違い以上に大きいことを示している。すなわち, 局所群集間の変異である β 多様性によって干潟全体の γ 多様性が高く維持されていると言える。定性的調査でのみ採集されたグループが多いという点もまた, 群集構造の空間変異が大きいと考えられる。

では, β 多様性は何によって決まっているのか, 今回は底質環境から考察する。底生生物, 特に本調査で多く出現しているスナガニ科の甲殻類は, 種別に特定の底質を好むことが知られている (和田 1982)。今回の調査では, 含水率, 強熱減量, とともに手花部干潟では変動係数すなわちステーション間のばらつきが大きく, 市干潟ではステーション間のばらつきが小さい結果となった。また, 粒度組成を元に全てのステーションをクラスター解析によってグループ分けしたところ, 市干潟に比べて手花部干潟の 24 ステーションはより多くのグループに分かれたことから, 底質環境の多様性が高いことが分かった。

粒度組成に基づくクラスター解析でも, ステーション間の違いは手花部干潟で最も大きいことが示唆されている。底生生物群集は潮間帯上部を除くと河川からの距離によって異なる (即ちライン毎に異なる) 傾向があり, 粒度組成からみた底質環境の空間構造ときちんと対応するものではなかった。この点については粒度以外の生息環境要因も含めた評価方法を確立し, 生物群集の空間構造との対応を検討する必要がある。いずれにしても, 手花部干潟内の底質環境に空間変異が大きく, そのことが群集の β 多様性に影響していると考えられる。

今回の研究から, 奄美大島の干潟における底生生物相が, 節足動物, 軟体動物, 環形動物を中心に多くの種を擁しており, 特に節足動物では九州南部の種組成と大きく異なっていることが示唆された。奄美大島内の各干潟間での違いも大きく, 特に種数で表される種多様性には, 2 倍近い差が見られた。この差は, 一定面積内に共存する種数, すなわち α 多様性ではなく, ステーション間の違いである

β 多様性によって決定づけられていると考えられる。また、底質環境のばらつきが大きい海岸では β 多様性が高いことから、干潟内における環境変異が β 多様性を高め、干潟全体の多様性に寄与している可能性が示唆された。

謝辞：本研究を行うにあたり、有益なご助言を下さった野呂忠秀鹿児島大学名誉教授（現、鹿児島県立大学学長）、底質分析に関してご協力いただきました日高正康講師（当時）（鹿児島大学水産学部）及び鹿児島大学総合研究博物館にこの場を借りて厚く御礼申し上げます。最後に、本研究を進めるうえで励ましを下さり、野外調査にご協力戴いた研究室の皆様、同輩の皆様（江川昂弘さん、志津馬大起さん、白澤大樹さん、森美和さん、木下涼さん、古川貴裕さん）に深く感謝申し上げます。なお、本論文の作成は、科研費（16K00635）の助成を受けて行われました。

引用文献

- 奄美大島生物多様性地域戦略策定運用協議会 2015. 奄美大島生物多様性地域戦略, 奄美市・大和村・宇検村・瀬戸内町・龍郷町, 鹿児島, 90 pp.
- Hirose, K., T. Yorisue, H. Ito, T. Yomoko and S. Kojima 2014. Multiplex PCR-based genotyping of mitochondrial DNA from two species of the genus *Batillaria* (*B. multiformis* and *B. flectosiphonate*) from Amami-Oshima, Japan. *Plankton and Benthos Research*, 1(9): 67–70.
- 鹿児島県環境林務部自然保護課（編）2016. 改訂・鹿児島県の絶滅のおそれのある野生動植物（動物編），一般財団法人鹿児島県環境技術協会，鹿児島，401 pp.
- 環境庁自然保護局（編）1994. 第4回自然環境保全基礎調査 海域生物環境調査報告書（干潟，藻場，サンゴ礁調査），財団法人海中公園センター，東京，299 pp.
- 環境省自然保護局・生物多様性センター（編）2007. 第7回自然環境保全基礎調査 浅海域生態系調査（干潟調査）業務報告書，日本国際湿地保全連合，東京，236 pp.
- 菊池泰二 1993. 干潟生態系の特性とその環境保全の意義. 日本生態学会誌, 43: 223–235.
- 木村昭一・木村妙子 2008. 奄美大島名瀬市街地小河川の貝類相. 日本貝類学会研究連絡誌, 39: 1–14.
- 木元晋作・武田 博 1989. 群集生態学入門，共立出版株式会社，東京，192 pp.
- 岸野 底・野元彰人・木巴聡美・米沢俊彦・和田恵次 2001. 奄美大島の汽水性カニ類. 南紀生物, 43: 125–131.
- 増田 修・早瀬善正 2000. 奄美大島産陸水性貝類相. 兵庫陸水生物, 51・52: 305–343.
- 三浦知之・三浦 要 2015. 加計呂麻島の海岸湿地に生息する甲殻類と貝類の記録 *Nature of Kagoshima*, 41: 209–222.
- 宮下 直・野田隆史 2003. 群集生態学，東京大学出版会，東京，187 pp.
- 名和 純 2008. 西宮市貝類館研究報告 第5号 琉球列島の干潟貝類相（1）奄美諸島，西宮市貝類館，兵庫，42 pp.
- 日本国際湿地保全連合 2011. 干潟生物の市民調査，日本財団，東京，58 pp.
- 日本ベントス学会（編）2012. 干潟の絶滅危惧動物図鑑，東海大学出版社，神奈川，285 pp.
- Okuda T., T. Noda, T. Yamamoto, N. Ito and M. Nakaoka 2004. Latitudinal gradient of species diversity: multi-scale variability in rocky intertidal sessile assemblages along the Northwestern Pacific coast. *Population Ecology*, 46: 59–170.
- 上野綾子・緒方沙帆・佐藤正典・山本智子 2015. 奄美大島と九州南部の干潟底生生物群集. *Nature of Kagoshima*, 41: 287–294.
- 山本智子・小玉敬興 2009. 過去60年間における鹿児島湾奥の海岸線の変化. *Nature of Kagoshima*, 35: 55–57.
- 山本智子・榎屋 藍・松下耕治・佐藤正典 2009. 鹿児島湾の重富干潟における底生動物相の変化—1994年と2005年の比較—. ベントス学会誌, 64: 32–44.
- ラファエリ D.・S. ホーキングズ 1999. 潮間帯の生態学（上）. 朝倉彰（訳），文一総合出版，東京，311 pp.
- 和田恵次 1982. コメツキガニとチゴガニの底質選好性と摂餌活動. ベントス研究会連絡誌, 23: 14–26.
- WWF ジャパン 2009. 南西諸島生物多様性評価プロジェクト報告書，世界自然保護基金ジャパン，東京，178 pp.