

開放的な砂浜海岸である鹿児島県吹上浜のサーフゾーンの仔稚魚群集と地形動態的な生息環境条件

加藤めい子¹, 須田有輔², 南條楠土^{2*}

Larval and Juvenile Fish Communities and Morphodynamic Habitat Conditions in an Open Sandy Shore at Fukiagehama, Southern Kyushu Island, Japan

Meiko Kato¹, Yusuke Suda², Kusuto Nanjo²

Abstract : The community structures of larval and juvenile surf zone fishes collected from three research sites with different morphodynamic beach types (Kaminokawa: reflective type, Kyoden: intermediate type, Beach park: dissipative type) were investigated at Fukiagehama Beach, Kagoshima Prefecture, southern Kyushu Island from May 2013 to July 2014. Fishes were collected by small experimental beach seine made of 1×1 mm-meshed knotless net (5.5 m width, 1.5 m deep, 3 m-long fish bag) in the surf zone. Environmental conditions such as beach profile, water quality, sand particle size and surf zone water movement were observed concurrently with fish sampling. A total of 1,343 individuals from 28 families and more than 38 species were captured. Slightly larger number of species and abundance were observed at intermediate and dissipative sites compared with reflective site. Bottom fishes such as *Matsubaraea fusiformis*, *Paralichthys olivaceus* and *Tarphops oligolepis* dominated intermediate and dissipative sites with smaller wave actions, whereas the reef fishes such as *Pempheris schwenkii* and *Girella sp.* dominated reflective site with harsh sea water movement. The results of the study suggests the geomorphological diversities due to morphodynamics affects the surf zone fish communities. Much consideration should be paid to geomorphological habitat diversities at coastal protection and conservation projects as construction of artificial structures and beach nourishment.

Key Words : Sandy shore, Larval and Juvenile fish, Morphodynamics, Habitat, Conservation

緒 言

藻場や干潟が多く存在する静穏な内湾域は、漁業や観光をはじめ幅広く人々に利用されており、そのような環境の劣化を招きかねない埋め立てや干拓など、人間活動が及ぼす影響に対する人々の関心は極めて高い。一方、内湾域とは対極的に、波浪が厳しい環境にある外海に面した砂浜海岸に対しては、BrownとMcLachlan両氏の指摘^{1,2)}にもかかわらず、未だに、生物が少なく不毛な場所だという先入観にとらわれた見方が、専門家の間でも通用している。さらに、砂浜海岸を直接の漁場とする漁業がほとんどないため、水産分野でも砂浜生態系が話題に上ることはあまりな

い。実際には、海岸侵食^{3,4)}、漂着ゴミ⁵⁾、海岸保全構造物の設置による環境の変化など、数々の深刻な環境問題が砂浜海岸にあるにもかかわらず、ウミガメの産卵を除けば、砂浜生態系に対する人々の関心は極めて低く、研究も少ない。そのことはさらに人々の関心を遠ざけるという悪循環に陥っている。

このような背景を受け、著者らが所属する研究室では、砂浜生態系に関する知見を蓄積するため、2000年以降、鹿児島県の吹上浜をモデルとして研究を続けている。この研究プロジェクトでは、生物だけではなく、海岸地形や堆積物の地盤工学的特性など、砂浜生物の生息環境についても調査を行っている。このうち魚類については、大型のサー

1 株式会社エコニクス（平成26年度水産大学校水産学研究科修了）
ECONIXE Co. Ltd. (Graduated from Graduate School of Fisheries Science, National Fisheries University)

2 水産大学校生物生産学科（Department of Applied Aquabiology, National Fisheries University）

フネットを用いた採集調査を元に, 魚類相⁶⁻⁸⁾, 成長傾向⁶⁾や食性^{9,10)}について明らかにしてきたが, 魚類が生息する環境条件については不明な点が多い。

これまで, 砂浜海岸のサーフゾーン魚類の生息環境条件について触れた研究は, 世界的にみても, 仔稚魚の流動場における行動を扱った実験室研究¹¹⁾, 長期的な気象^{12,13)}, 海水の濁り¹⁴⁾, 波浪に対する露出程度¹⁵⁾など数えるほどしかない。これらの生態学的な知見を, 魚類の生息場所として価値を有する砂浜海岸の保全策に反映させるためには, さらなる研究が不可欠である。

砂浜海岸は物理的な環境要因に大きく制御される環境のため, 流体と堆積物の物理的な相互作用である地形動態 (morphodynamics) に基づく視点が, 砂浜生態系を理解する上で大きな重要性を持つ^{1,2)}。外海に面した開放的な砂浜海岸は, 地形動態の状態により大きく3つの砂浜地形タイプ (morphodynamic beach type) に分けられている^{16,17)}。反射型 (reflective type) は急な前浜を持ち, 入射波は砕波することなく波エネルギーを失わずに前浜で反射するため, 前浜近傍の海水は大きく攪乱される。逸散型 (dissipative type) は対極的なタイプで, 海底は平坦で入射波は繰り返し砕波することで波エネルギーを失うので, 前浜は静穏である。中間型 (intermediate type) はその両者の中間的な状態を示す。これまで, マクロファウナでは地形動態に基づく研究が比較的多く行われてきたが (例えば文献^{2,18,19)}), 魚類への適用例はごくわずかである^{8,15,20)}。そこで, 本研究では, 吹上浜をモデルとして, 同海岸に見られる異なる地形タイプにおける仔稚魚の群集構造の違いを明らかにすることにした。

本研究では, 異なる地形タイプにおける仔稚魚群集の比較を通して, 多様な砂浜地形の存在が, 砂浜海岸に生息する生物の多様性にもつながることを考察する。本研究は第一著者の平成26年度水産大学校水産学研究科修士論文を改編したものである。

材料と方法

フィールド調査

吹上浜は, 鹿児島県の薩摩半島の西岸に位置し, 北はいちき串木野市から南は南さつま市にかけて広がる, 総延長30 kmにも及ぶ全国でも有数の長大な砂浜海岸である。同海岸の地形は, 北から南に向かって前浜勾配が緩やかになる傾向があり, そのことは仔稚魚の生息環境条件にも影響を与えているのではないかと考えられる。そこで, 本研究では北部の急勾配の神之川 (Kaminokawa site) (日置市の神之川河口の北側), 中央部の京田 (Kyoden site) (南さつま市金峰町大野の地先), および平坦な南部の海浜公園 (Beach park site) (南さつま市加世田高橋の鹿児島県立吹上浜海浜公園の地先) の3カ所を調査場所として選び (Fig. 1), それら3カ所間の地形動態的な環境条件および仔稚魚群集の比較を行った。調査は2013年5月, 2013年10月, 2014年4月, 2014年5月, 2014年7月の5回実施し, いずれも, 吹上浜の平均水面であるD.L.+160 cm前後の昼間の時間帯に合わせ, 環境調査と魚類の採集を行った (Table 1)。

環境調査は, レベル装置 (トプコン製DL103型) を用いた海岸地形の測量, ふるい法による潮間帯の底質粒度分析,

Table 1 Summary table of the research occasions

Date	Time	Site	Neap-Spring cycle	Tidal phase	
2013	May-20	1155-1235	Kyoden	Neap to Spring	Ebb
	May-21	1250-1320	Kaminokawa	Neap to Spring	Ebb
	May-22	1320-1400	Beach park	Neap to Spring	Ebb
	May-24	0745-0820	Kaminokawa	Spring	Ebb
	May-25	0840-0930	Beach park	Spring	Ebb
	May-26	0900-0930	Kyoden	Spring	Ebb
	Oct-17	0910-0940	Kaminokawa	Neap to Spring	Ebb
	Oct-18	0910-0940	Beach park	Neap to Spring	Ebb
	Oct-19	1130-1230	Kyoden	Neap to Spring	Ebb
	Oct-21	1020-1050	Kaminokawa	Spring	Ebb
	Oct-22	1010-1050	Beach park	Spring	Ebb
	2014	Apr-14	0910-1150	Kyoden	Neap to Spring
Apr-15		0930-1210	Beach park	Neap to Spring	Ebb
Apr-16		0950-1130	Kaminokawa	Neap to Spring	Ebb
May-21		1210-1300	Beach park	Neap to Spring	Ebb
May-22		1020-1100	Kaminokawa	Neap to Spring	Flood
May-23		1020-1210	Kyoden	Neap to Spring	Flood
July-30		0930-1230	Kaminokawa	Neap to Spring	Ebb
July-31		1130-1310	Beach park	Neap to Spring	Ebb

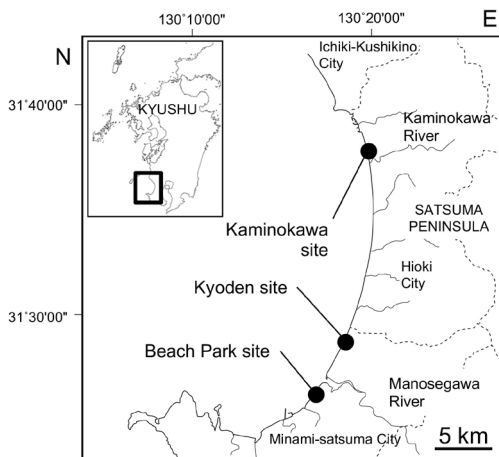


Fig. 1 Map of Fukiagehama Beach.

多成分水質計（JFEアドバンテック製AAQ-1186-PT型）によるサーフゾーンの水質観測を行った。さらに、本研究では海水の動きに着目し、モバイル型GPSを搭載した自作のフロートと染料拡散による流動観測を行った。GPSや染料を用いた海岸域の流れの調査は、海岸侵食対策や水難事故対策などの分野では広く行われており、このうちGPSについては西ら^{21,22}が行った離岸流調査で用いた小型GPSフロートを、また、染料拡散については同じく西ら^{21,22}のシマーカーによる方法を参考に、装置と調査方法を考案した。

GPSフロートは、仔稚魚の採集場所であるサーフゾーン浅所の海水の動きが観測できるように、幾度か改良を重ねた。当初は、GPSを入れた密閉容器（500 ml硬質塩化ビニール製広口びん）単体を漂流させるという簡単なものであったが、テストの結果、この方法では風の影響を強く受けしてしまうことがわかったため、錘を装着した容器（2 l硬質塩化ビニール製広口びん）を水中に垂下させ、錘容器の抵抗を利用するようにした（Fig. 2）。このフロートを、仔稚魚の採集場所と同水深の0.8 m地点に投入し、1秒のインターバルで緯度経度を記録しながら10分間漂流させた。

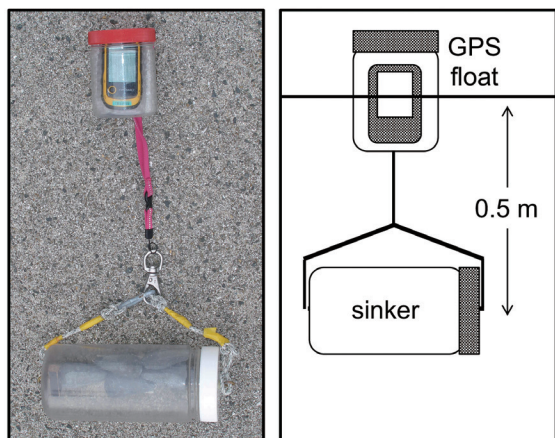


Fig. 2 Hand-made GPS-equipped float for surf water movement observation.

染料拡散による流動観測には、市販されているサビキ釣り用の撒き餌かごの中に、市販の不織布製ティーバッグで包んだ食紅（井上清助商店製食用色素赤色）を入れた装置を自作して用いた（Fig. 3）。この器具を水深0.3 m地点の水中でゆすって染料を溶出させ、10秒ごとに食紅が最も遠くに到達した地点に目印用のポール（市販園芸ポール）を打ち、食紅が目視できなくなった時点で終了した。その後、巻き尺とコンパスを用いて、拡散中心点からポールまでの距離と方位を計測した。

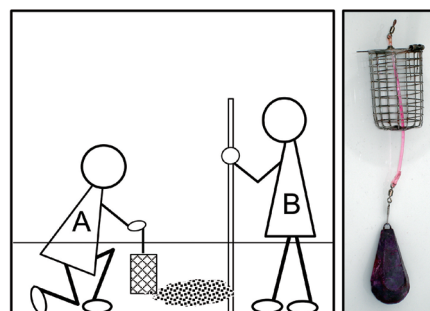


Fig. 3 Handy dye (food red) diffusion device for surf water movement observation. An angling bait basket with a non-woven tea bag containing food-red was shaken by hand in the water to diffuse dye by researcher-A. The distal margin of colored sea water was marked every 10 seconds by researcher-B. The distance and geographical direction from the center were recorded by a measuring tape and a compass, respectively.

仔稚魚の採集には、著者が所属する研究室が設計および開発した5 m型の帯状の小型サーフネット（テトロンラッセル製もじ網、目合い1 mm、幅5.5 m、深さ1.5 m、袋網の奥行き3 m）（Fig. 4）を用いた。採集時にはネットの左右の袖網両端に取り付けた支持棒をそれぞれ1名の調査員が保持し、網口を最大限広げるようにして、汀線と平行に曳網した。1回あたりの曳網距離を30 mとし、10 mの間隔を空けて5回繰り返して曳網した（ $n=5$ ）。2013年の調査では水深0.8 m地点において、2014年はこれに加えて水深0.3 m地点でも曳網を行った。1回あたりの曳網に要した時間は多くが2分程度であったが、流向や波浪の状態によっては3分程度かかることもあった。1回あたり30 mの曳網における曳網面積は、実際の曳網時における開口幅が約3.5 mであったため約105 m^2 であった。なお、高波浪のため、2013年10月の中潮時（京田）、2014年5月の0.8 m地点（神之川）、7月の京田調査は行うことができなかった。

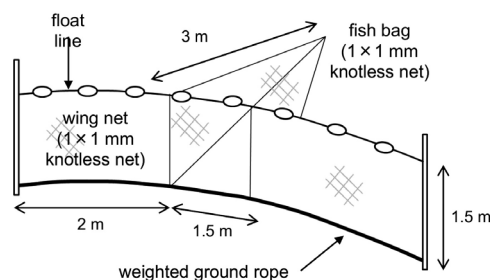


Fig. 4 Small beach seine for larval and juvenile fish sampling. Five 30m-tows with every 10m interval were replicated in shore parallel direction at the depth of 0.8m for 2013 and 0.8m and 0.3m for 2014.

魚類の分析

採集された魚類は, 中坊²³⁾に基づき種の同定を行い, デジタルキャリパーを用いて全長を0.1 mmの精度で測定した。発育段階は, 沖山²⁴⁾による区分に従い, 形態学上の特徴から, 仔魚期 (larval period: L), 稚魚期 (juvenile period: J), 若魚期 (young period: Y) に区分した。各魚種の生物地理区分は, 以下のように, 中坊²³⁾の区分名称と区分番号に従った。

1 海水魚

1-1 礁魚

- 1-1-4 大陸沿岸温帯浅海岩礁内湾・河口・汽水魚
- 1-1-6 大陸沿岸暖帯浅海岩礁魚
- 1-1-12 大陸沿岸温帯陸棚縁辺～陸棚斜面上部岩礁魚・沖合海山岩礁魚

1-2 底魚

- 1-2-5 大陸沿岸温帯浅海汽水・内湾砂泥底
- 1-2-7 大陸沿岸温帯系内湾砂底・泥底魚
- 1-2-10 大陸沿岸温帯大陸棚上砂泥底魚

1-3 浮魚

- 1-3-2 大陸沿岸温帯内湾・河口・汽水表層魚
- 1-3-5 大陸沿岸温帯沿岸表層遊泳魚
- 1-3-9 熱帯島嶼沿岸表層遊泳魚

2 通し回遊魚

2-1 両側回遊魚

- 2-2-1 寒帯両側回遊魚
- 2-2-3 島嶼熱帯系両側回遊魚

データ解析

それぞれの調査場所で採集された魚類について種数と個体数を求め, 3カ所間の比較を行った。個体数については曳網面積100 m²あたりに換算した値を用いた。解析に先立ち正規性および等分散性を検討し, 両方が確認された場合は一元配置分散分析 (one-way analysis of variance: ANOVA) またはスチューデントのt検定 (Student's t-test) を行った。一方, 確認されなかった場合は, データを対数変換した上で一元配置分散分析あるいはスチューデントのt検定を行うか, または, ノンパラメトリックな方法である, Kruskal-Wallis検定あるいはMann-Whitney検定を行った。以上の統計分析には統計解析ソフトウェアSPSS Statics ver.22.0 (IBM Corp.) を用いた。

群集の多様性はSimpsonの多様度指数 (1-D) および

Shannon-Wienerの多様度指数 (H') を求め, 3カ所間の種組成の類似性はBray-Curtisの類似度指数を用いて表した²⁵⁾。さらに, 類似度指数の結果を基に類似度マトリクスを求め, 群平均法によるクラスター分析を行った。以上の計算には群集生態学ソフトウェアPRIMER Ver.5 (PRIMER-E Ltd.) を用いた。

結果

砂浜地形

Fig. 5はレベル測量により得られた3カ所の海岸断面図である。ここでは例として2014年4月の結果を示した。全調査期間中の潮間帯の勾配は北部の神之川の最大1/20～最小1/30, 中央の京田の1/40～1/50, 南部の海浜公園の1/85～1/95と, 北から南に向かって緩くなり, それに伴い潮間帯幅も広がった (期間中の平均潮間帯幅: 神之川35 m, 京田89 m, 海浜公園283 m)。神之川では汀線直下にステップ (step) と呼ばれる高低差20 cm程度の段差が, 京田では低潮汀線より沖側に沿岸砂州 (coastal bar) が形成された。

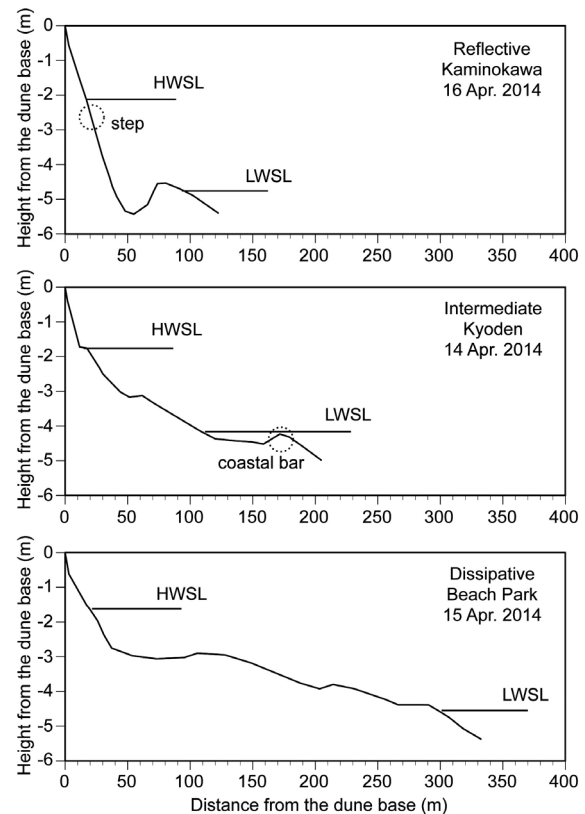


Fig. 5 Beach profiles at three research sites in April 2014. Positions of high and low water shorelines (HWSL, LWSL).

砂の中央粒径値 (Md) は、北部の神之川が最小1.8~最大5.2 mm ($\phi: -2.4 \sim -0.8$), 中央の京田が0.5~0.6 mm ($\phi: 1.0 \sim 0.7$), 南部の海浜公園が0.5~0.6 mm ($\phi: 1.0 \sim 0.7$) であり、北から南に向かって細くなる傾向が認められた。堆積物の粒度区分²⁶⁾に従えば、北部は極粗砂から中礫、中央部と南部は粗砂であった。

以上の地形的な環境条件から考えると、調査を行った3タイプは北から順に、海岸地形学における地形的動態理論^{17,18)}に基づく、反射型、中間型、逸散型にそれぞれ相当すると考えられた。以降、本稿では北部の神之川を反射型、中央部の京田を中間型、南部の海浜公園を逸散型と呼ぶことにする。

水質

塩分は全体的には30~40 psuの範囲にあった。反射型は逸散型に比べて高く、中間型は全般的には両者の中間の値を示すところが多かったが、調査の回によっては両者より高くなることもあった。水温は季節変化があるため18~28℃と変動範囲が広がったが、タイプ間には特定の傾向は認められなかった。溶存酸素量は5~12 mg/lの範囲を示した。逸散型は反射型とほぼ同程度か若干高い値を示した。中間型は両者の中間的な値を示すときや、両者とは大きく

異なることがあった。濁度はほとんどの場合100 FTU以下であったが、1000近い値を示すこともあった。全体的にみれば反射型の濁度は逸散型に比べて高く、中間型は両者の中間的な値を示すことが多かった。変動幅は反射型では大きく、逸散型では比較的小さかった。クロロフィルは多くの場合10 $\mu\text{g/l}$ であったが、20 $\mu\text{g/l}$ 以上の高い値を示すこともあった。多くの場合、逸散型は反射型に比べて高く、中間型は両者より高くなる傾向があった。

海水流動

Fig. 6は、GPSフロートの漂流により得られた、水深0.8 m地点における海水の動きの軌跡である。例として2014年5月および7月の結果を示した。5月は反射型、中間型とも動きがわずかであり、とくに反射型では投入地点からほとんど移動していない様子が観測された。7月は、反射型ではほとんど移動が観測されなかったが、逸散型では3回の試行のうち2回で岸と平行に移動する傾向がみられ、最大で40 mほどの移動が確認された。

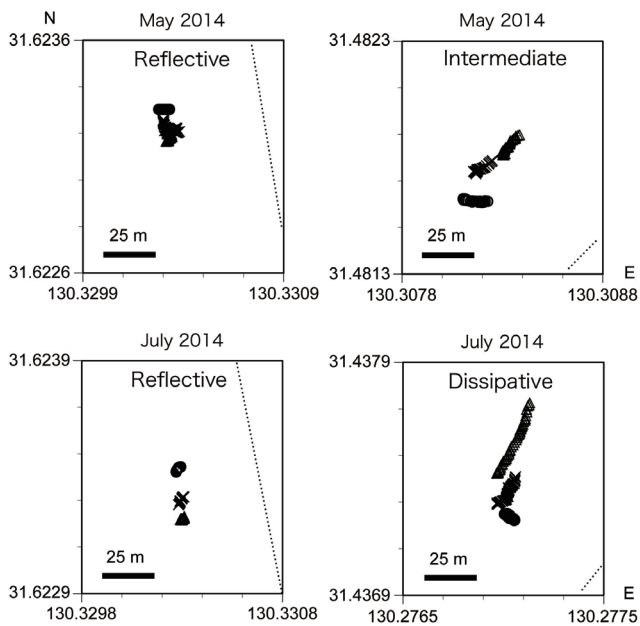


Fig. 6 Surf water movement at the depth of 0.8 m traced by GPS-equipped float for May 2014 research (above) and July 2014 research (below). Three trials (open circle: 1st, cross: 2nd, open triangle: 3rd) were conducted. Dotted lines indicate approximate shorelines at the observation.

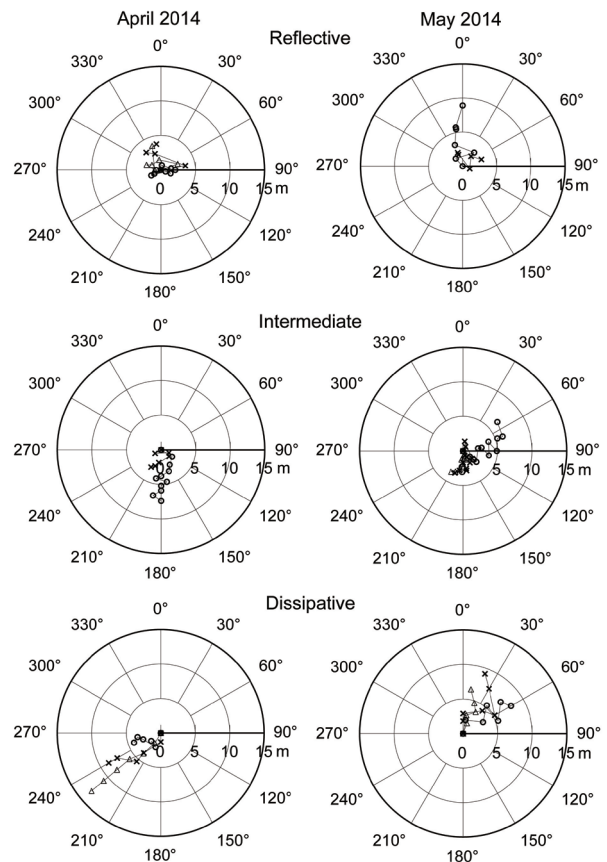


Fig. 7 Polar graphs for surf water movement at the depth of 0.3 m observed by dye diffusion experiment in April 2014 and May 2014. Three trials (open circle: 1st, cross: 2nd, open triangle: 3rd) were conducted.

Fig. 7は、水深0.3 m地点での染料の拡散実験による染料の拡散状態を極座標グラフに表したものである。染料の拡散中心を座標の0点に置き、10秒ごとの到達点をプロットし、その間を線で結んだ。反射型では小刻みに動き、測定開始後80秒たっても中心から半径5 m以内に留まるなど、他の2タイプと比べると移動距離が少なかった。一方、調査の回ごとに方向は異なったが、逸散型は移動距離が最も長く、最大で100秒後に13.2 mに達した。中間型の海水の動きは回により異なり、両者の中間的な動きを示す場合もみられたが、概ね逸散型に類似した。

GPSフロートと染料の拡散による観測の結果、反射型で

は、投入地点を中心に小刻みな往復運動を繰り返すため、移動距離自体は短かった。一方、中間型と逸散型では蛇行しつつも一定方向へと動く傾向が見出された。

稚魚群集

全調査期間を通して、真骨魚類に分類された12目28科38種以上からなる1,343個体の魚類が採集された (Table 2)。全長範囲は最小で3.3 mm (クサフグ *Takifugu niphobles*) から最大で200.9 mm (クロウシノシタ *Paraplagusia japonica*) に亘ったが、大半は5~25 mm程度の個体であった。分類学的にみるとハゼ科 (Gobiidae) (6種) が最も

Table 2 List of the larval and juvenile fishes collected at Fukiagehama Beach during whole research period from May 2013 to July 2014. Total length, number of species, seasonal occurrence, developmental stage and biogeography and their community traits are indicated. Ref: reflective site (Kaminokawa), Int: intermediate site (Kyoden), Dis: dissipative site (Beach Park), Sp: spring, Sm: summer, Au: autumn, L: larval stage, J: juvenile stage, Y: young stage

Family	Species	TL mm	Number of individuals				Season			Stage	Biogeography ²³⁾
			Ref	Int	Dis	Total	Sp	Sm	Au		
Elopidae	<i>Elopidae</i> sp.	34.2-46.2	1	1	1	3	x	x		L	1-3-9
Albulidae	<i>Albulidae</i> sp.	46.2			1	1			x	L	1-3-9
Clupeidae	<i>Spratelloides gracilis</i>	8.6-19.3	11		1	12		x		L-J	1-3-5
Clupeidae	<i>Sardinella zunasi</i>	12.7-14.6	3			3		x		L-J	1-3-2
Clupeidae	<i>Clupeidae</i> sp.	9.9-19.0		2	13	15			x	L-J	
Engraulidae	<i>Engraulis japonica</i>	7.8-25.1	4	52	2	58	x	x		L-J	1-3-5
Plecoglossidae	<i>Plecoglossus altivelis altivelis</i>	51.8			1	1	x			J	2-2-1
Synodontidae	<i>Synodontidae</i> sp.	4.8-8.9	3		3	6		x		L	1-2-10
Syngnathidae	<i>Syngnathus schlegelii</i>	185.6		1		1	x			Y	1-1-4
Mugilidae	<i>Mugil cephalus cephalus</i>	3.6-37.3	2	8	9	19	x		x	L-J	1-1-4
Atherinidae	<i>Hypoatherina valenciennei</i>	12.2-91.9	2		2	4		x	x	L-Y	1-3-5
Triglidae	<i>Chelidonichthys spinosus</i>	14.9-31.6	1	2		3	x			L-J	1-2-10
Platycephalidae	<i>Platycephalidae</i> sp.	7.2-11.7	2		1	3	x	x		L-J	1-2-7
Lateolabracidae	<i>Lateolabrax latius</i>	12.6-93.0	16	23	25	64	x			L-Y	1-1-6
Scombroidae	<i>Scombrops boops</i>	16.4-31.4	9	5	3	17	x			L-Y	1-1-12
Gerreidae	<i>Gerres equulus</i>	3.4-12.3	91		22	113		x		L-J	1-2-7
Sparidae	<i>Rhabdosargus sarba</i>	10.6-16.0	9	3	7	19	x			L-J	1-1-4
Sparidae	<i>Acanthopagrus schlegelii</i>	9.3-24.4	76	16	70	162	x			L-J	1-1-4
Sciaenidae	<i>Nibea mitsukurii</i>	5.4	1			1		x		L	1-2-7
Sillaginidae	<i>Sillago japonica</i>	5.8-112.2	32	58	92	182	x	x	x	L-Y	1-2-7
Mullidae	<i>Mullidae</i> sp.	5.2-45.24			6	6	x		x	L-J	1-2-10
Pempheridae	<i>Pempheris schwenkii</i>	3.9-6.8	6			6		x		L-J	1-1-6
Cheilodactylidae	<i>Goniistius zonatus</i>	48.4	1			1	x			J	1-1-6
Kyphosidae	<i>Kyphosidae</i> sp.	9.4-9.9	2			2		x		L	1-1-6
Girellidae	<i>Girellidae</i> sp.	16.4-20.4	6			6	x			L-J	1-1-6
Percophidae	<i>Matsubaraea fusiformis</i>	11.3-65.9		3	4	7			x	L-J	1-2-7
Blenniidae	<i>Blenniidae</i> sp.	3.5-17.3	3		1	4	x	x		L-J	1-1-6
Gobiidae	<i>Sicyopterus japonicus</i>	29.3-34.4	13			13	x			J	2-2-3
Gobiidae	<i>Gymnogobius petschiliensis</i>	12.2-35.3	4	24	53	81	x		x	L-J	
Gobiidae	<i>Gymnogobius urataenia</i>	15.1-22.0	1	1		2	x			L-J	
Gobiidae	<i>Acanthogobius flavimanus</i>	4.5-62.9	37		14	51	x	x		L-Y	1-2-5
Gobiidae	<i>Favonigobius gymnauchen</i>	34.1-59.5			11	11		x		J-Y	1-2-5
Gobiidae	<i>Gobiidae</i> sp.	5.2-22.0	65	189	44	298	x	x	x	L-Y	
Paralichthyidae	<i>Paralichthys olivaceus</i>	68.1-101.4		7		7	x			L-Y	1-2-10
Paralichthyidae	<i>Tarphops oligolepis</i>	15.3-87.9		5	14	19	x			L-Y	1-2-10
Cynoglossidae	<i>Paraplagusia japonica</i>	60.2-200.9		4	3	7	x		x	J-Y	1-2-7
Tetraodontidae	<i>Takifugu niphobles</i>	3.3-95.2	92	2	8	102	x	x	x	L-Y	1-2-10
	unidentified		7	10	16	33					
Total number of individuals			500	416	427	1343					
Total number of species			28	20	27	38	25	17	11		
Number of individuals/100m ²			476.0	396.0	406.5						
Simpson species diversity index (1-D)			0.89	0.83	0.89	0.92					
Shannon-Wiener species diversity index (H')			2.55	2.24	2.65	2.87					

多く、ついでニシン科 (Clupeidae) (3種), タイ科 (Sparidae) (2種), ヒラメ科 (Paralichthyidae) (2種) の順であった。個体数で見ると、多い方から、ハゼ科の未同定種 (Gobiidae sp.) の298個体 (22.2%), シロギス (*Sillago japonica*) の182個体 (13.6%), クロダイ (*Acanthopagrus schlegelii*) の162個体 (12.1%), クロサギ (*Gerres equulus*) の113個体 (8.4%), クサフグ (*Takifugu niphobles*) の102個体 (7.6%), スミウキゴリ (*Gymnogobius petchiliensis*) の81個体 (6.0%), ヒラスズキ (*Lateolabrax latus*) の64個体 (4.8%), カタクチイワシ (*Engraulis japonica*) の58個体 (4.3%) であり、これら8種で全個体数の約80%を占めていた。

砂浜タイプ別にみると、反射型では28種500個体、中間型では20種416個体、逸散型では27種427個体が採集された。採集された魚類は大半が仔稚魚期の個体であったが、シロギス、アラメガレイ (*Tarphops oligolepis*), クロウシノシタ, クサフグは、それらに混じって若魚期の個体も出現した。季節別にみると、春季 (4月, 5月) が25種, 夏季 (7月) が17種, 秋季 (10月) が11種で、春季から秋季にかけて減少した。魚種が特定された35種について生物地理学的分類

をみると、礁魚 (魚種の区分番号1-1) が11種, 底魚 (同1-2) が14種, 浮魚 (同1-3) が6種, 両側回遊魚 (同2-1) が4種であった。

調査の回ごとに群集構造を比較したところ、種数においては、2013年5月と10月の大潮時, 2014年5月と7月の水深0.8 m地点、個体数においては、2013年5月と10月の大潮時, 10月の大潮時, 2014年7月の水深0.8 m地点において、砂浜タイプ間に有意差が確認された (Table 3)。

全体的な種の多様度は、Simpsonの多様度指数 (1-D) では0.8~0.9, Shannon-Wienerの多様度指数 (H') では2.2~2.9であり、3タイプ間の違いは小さかった。Bray-Curtisの類似度を元にしたクラスター分析の結果、類似度60%で区切ると中間型 (Int) と逸散型 (Dis) の類似性が高いことがわかった (Fig. 8)。

砂浜タイプごとの環境条件と仔稚魚群集の特徴をTable 4に要約した。種数, 個体数密度, 種の多様性には3タイプ間の違いはそれほど明瞭ではなかった。しかし、種組成で見ると、反射型が他の2タイプとは明らかに異なった。マツバラトラギス (*Matsubaraea fusiformis*), スミウキゴリ,

Table 3 Results of the statistical tests for species richness and abundance among three morphodynamic beach types. Values are sum of five replicate samplings at each research occasion. Ref: reflective site (Kaminokawa), Int: intermediate site (Kyoden), Dis: dissipative site (Beach Park), ANOVA: one-way Analysis of Variance, K-W test: Kruskal-Wallis test, M-U test: Mann-Whitney U-test, t-test: Student's t-test

Number of species					
Date	Location	Ref	Int	Dis	Tests
13-May	0.8 m Midcycle	12	1	7	K-W test: $\chi^2_2=10.39, p=0.006$
	0.8 m Spring	8	4	4	K-W test: $\chi^2_2=1.087, p=0.581$
13-Oct	0.8 m Midcycle	2		21	M-U test: $U=25.0, p=0.008$
	0.8 m Spring	4	15	15	K-W test: $\chi^2_2=4.200, p=0.122$
14-Apr	0.3 m	25	12	21	ANOVA: $F_{2,12}=1.663, p=0.231$
	0.8 m	27	29	25	ANOVA: $F_{2,12}=0.145, p=0.866$
14-May	0.3 m	8	11	4	K-W test: $\chi^2_2=3.228, p=0.199$
	0.8 m		12	11	M-U test: $U=0.5, p=0.011$
14-July	0.3 m	23		24	M-U test: $U=15.5, p=0.502$
	0.8 m	34		13	t-test: $t_{4,594}=4.501, p=0.008$
Number of individuals					
Date	Location	Ref	Int	Dis	Tests
13-May	0.8 m Midcycle	71	1	12	K-W test: $\chi^2_2=7.491, p=0.024$
	0.8 m Spring	37	4	4	K-W test: $\chi^2_2=0.827, p=0.661$
13-Oct	0.8 m Midcycle	2		97	t-test: $t_8=2.786, p=0.024$
	0.8 m Spring	4	70	32	K-W test: $\chi^2_2=7.122, p=0.028$
14-Apr	0.3 m	75	117	69	ANOVA: $F_{2,12}=0.350, p=0.771$
	0.8 m	110	147	120	ANOVA: $F_{2,12}=0.186, p=0.833$
14-May	0.3 m	10	61	6	K-W test: $\chi^2_2=2.931, p=0.231$
	0.8 m		16	20	ANOVA: $F_{2,12}=0.751, p=0.493$
14-July	0.3 m	70		47	t-test: $t_8=-0.497, p=0.633$
	0.8 m	121		20	M-U test: $U=0.5, p=0.011$

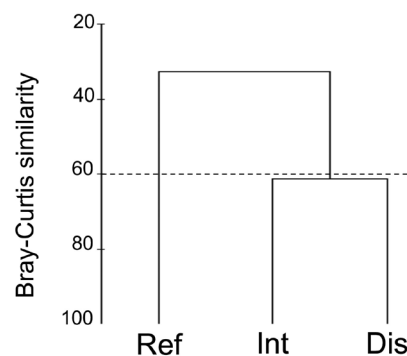


Fig. 8 Similarity dendrogram for larval and juvenile fish communities at three research sites using Bray-Curtis similarity index based on the species composition data. Ref: reflective site, Int: intermediate site, Dis: dissipative site.

アラメガレイなど底生性魚類は中間型と逸散型だけに出現した。それに加えて中間型ではヒラメ (*Paralichthys olivaceus*), 逸散型ではヒメハゼ (*Favonigobius japonica*) も出現した。一方, 個体数は少なかったがミナミハタンボ (*Pempheris schwenkii*), タカノハダイ (*Gonistius zonatus*), イスズミ属 (*Kyphosus* sp.) やメジナ属 (*Girella* sp.) は反射型だけに出現し, クサフグの多くも同様であった。このような砂浜タイプごとに特徴的な種の他に, ヒラスズキやシロギスのように外海に面した砂浜海岸の典型種は全ての砂浜タイプに出現した。

考 察

サーフゾーンに生息する魚類の種数, 個体数密度, 多様性が, 反射的な環境から逸散的な環境に向かって高まっていくという傾向は, 大型個体を対象にしたこれまでのいくつかの研究でも報告されている^{8,15,20}。本研究の結果も概ねその傾向を示していたが, それほど明瞭ではなかった。その理由として, 本研究が対象とした魚類の発育段階が後期仔魚期や稚魚期前期の小型魚であったことが挙げられる。サーフゾーンに出現する魚類には, カタクチイワシ, マアジ, シロギス, ヒラメなどのように砂浜タイプに応じた明瞭な分布パターンを示す魚種がいるが⁸, そのような魚種であっても仔魚期や稚魚期前期の小型個体は浮遊生活を送るため, まだ十分に地形に応答した分布パターンが発現されていなかったのではないかと考えられる。回流水槽実験

によれば, ボラやマアジなどのサーフゾーン魚類の稚魚は水流に対しては受動的であったことから¹¹, 仔稚魚期のサーフゾーン魚類の分布は, 地形よりもむしろその時の波浪に起因する流動条件に大きく影響を受けるのかもしれない。

一方, 種組成は砂浜タイプによる違いが明瞭であり, 反射型では岩礁性魚類, 中間型と逸散型では底生性魚類によって特徴づけられた。反射型砂浜の前浜環境は入射波の反射により大きく攪乱されるため^{16,17}, 海底は不安定になる。海底の不安定さは, 海底の砂の巻き上げに伴う濁度の高さで表すことができ, 本研究の神之川サイトでも濁度は中間型・逸散型の京田や海浜公園サイトに比べて高かった。このような激しい攪乱は, 海底基盤の不安定さをもたらすだけでなく, とくに底生性魚類の海底への定位を困難にすると考えられる。例えば, 2013年5月の調査では, カレイ目魚類であるアラメガレイが中間型と逸散型では優占したのに対して, 反射型では採集されなかった。また, 2013年10月の調査では, 中間型と逸散型に優占したシロギスが反射型ではわずかししか採集されなかった。この他にも, 全調査期間を通して, マツバラトラギス, スミウキゴリ, ヒメハゼ, ヒラメ, アラメガレイ, クロウシノシタなどの底生性魚類は反射型には出現しなかった。それに対して, 反射型にはミナミハタンボ, タカノハダイ, メジナなど海水が激しく揺動する環境に適応した岩礁性魚類が多かった。

反射的な環境から逸散的な環境に向かって種数, 個体数密度, 多様性などが高まっていくという傾向は, 魚類に限

Table 4 Summary of the relationships between environmental conditions and larval and juvenile fish communities in an open sandy shore at Fukiagehama Beach

	Reflective	Intermediate	Dissipative	
Beach slope	Steep	Gentle with obvious coastal bar	Gentle	
Geomorphology	Sand particles	Coarse	Fine	
	Water movement	Small	Large	
	Turbidity	Sporadically high	Low	
Species richness	Not clear difference but slightly lower values at reflective site			
Abundance	Not clear difference but slightly lower values at reflective site			
Species diversity	Not clear difference but slightly lower values at reflective site			
Mode of life	Reef fish	Bottom fish	Bottom fish	
Ichthyofauna	Common species	<i>L. latus</i> <i>S. japonica</i> <i>A. schlegelli</i>		
	Representative species	<i>P. schwenkii</i>	<i>M. fusiformis</i>	<i>M. fusiformis</i>
		<i>G. zonatus</i>	<i>G. petschiliens</i>	<i>G. petschiliens</i>
		<i>Kyphosis</i> sp.	<i>P. olivaceus</i>	<i>F. gymnauchen</i>
		<i>Girella</i> sp.	<i>T. oligolepis</i>	<i>T. oligolepis</i>
	<i>T. niphobles</i>	<i>P. japonica</i>	<i>P. japonica</i>	

らず多くのマクロファウナでも報告されており^{1,2,18,19)}、砂浜の生物群集の一般的な分布傾向といえよう。従来、砂浜海岸は単調な生息環境だといわれてきたが、実際には、地形動態による多様な砂浜地形が存在し、そのことが、砂浜生物の多様性につながっていると考えられる。したがって、砂浜海岸の保全を行う際は、このような地形的な多様性に留意する必要がある。例えば、養浜により地形を一様にしたたり、突堤や離岸堤などの構造物の設置により元の地形が改変されると予想される場合は、事業に先立ち、十分な検討が求められよう。

謝 辞

2013年5月から2014年7月までの調査期間中の基地および宿泊地として京田農村振興研修センターの利用を快くお認めいただき、学生一同を温かい目で見守ってくださった京田地区自治会長の下堂菌勝也氏ならびに同地区住民の方々に深く感謝の意を表す。フィールド調査の実施の際、調査が円滑に行われるよう数々の便宜を図っていただくとともに貴重なご意見を賜った鹿児島大学水産学部の大富潤教授と西隆一郎教授にお礼申し上げます。一般財団法人自然環境研究センターの井上 隆氏には、研究に関する貴重なご助言を頂き、心からお礼申し上げます。沿岸生態系保全研究室の平成25年度の学生諸氏、および同研究室平成26年度の学生諸氏の惜しめない協力と助言に感謝の意を表す。

引用文献

- 1) Brown AC, McLachlan A: Ecology of sandy shores. Elsevier, Amsterdam (1990) (訳書: 須田有輔, 早川康博: 砂浜海岸の生態学. 東海大学出版会, 東京 (2002))
- 2) McLachlan A, Brown AC: Ecology of sandy shores, 2nd ed. Academic Press, Burlington (2006)
- 3) 宇多高明: 日本の海岸侵食. 山海堂, 東京 (1997)
- 4) 宇多高明: 海岸侵食の実態と解決策. 山海堂, 東京 (2004)
- 5) 藤枝 繁: 鹿児島県海岸における漂着散乱ゴミ. 鹿児島大学水産学部紀要, **48**, 11-17 (1999)
- 6) 須田有輔・中根幸則・大富 潤: 開放的な砂浜海岸である鹿児島県吹上浜のサーフゾーンにおける主要魚種の出現と体長組成. 日本沿岸域学会誌, **27**, 27-36 (2014)
- 7) 須田有輔・中根幸則・大富 潤・國森拓也: 開放的な砂浜海岸である鹿児島県吹上浜のサーフゾーン魚類相. 水産大学校研究報告, **63**, 1-15 (2014)
- 8) Nakane Y, Suda Y, Sano M: Responses of fish assemblage structures to sandy beach types in Kyushu Island, southern Japan. *Mar Biol*, **160**, 1563-1581 (2013)
- 9) Nakane Y, Suda Y, Hayakawa Y, Ohtomi J, Sano M: Predation pressure for a juvenile fish on an exposed sandy beach : comparison among beach types using tethering experiments. *La mer*, **46**, 109-115 (2009)
- 10) Nakane Y, Suda Y, Sano M: Food habits of fishes on an exposed sandy beach at Fukiagehama, Southwest Kyushu Island, Japan. *Helgol Mar Res*, **65**, 123-131 (2011)
- 11) Nanami A: Juvenile swimming performance of three fish species on an exposed sandy beach in Japan. *J Exper Mar Biol Ecol*, **348**, 1-10 (2007)
- 12) Lasiak T: Structural aspects of the surf-zone fish assemblage at King' s Beach, Algoa Bay, South Africa: short-term fluctuations. *Estuar Coast Shelf Sci*, **18**, 347-360 (1984)
- 13) Lasiak T: Structural aspects of the surf-zone fish assemblage at King' s Beach, Algoa Bay, South Africa: long-term fluctuations. *Estuar Coast Shelf Sci*, **18**, 459-483 (1984)
- 14) 木下 泉: 砂浜海岸碎波帯に出現するヘダイ亜科仔稚魚の生態学的研究. *Bull Mar Sci Fish, Kochi Univ*, **13**, 21-99 (1993)
- 15) Clark BM: Variation in surf-zone fish community structure across a wave-exposure gradient. *Estuar Coast Shelf Sci*, **44**, 659-674 (1997)
- 16) Short AD, Wright LD: Physical variability of sandy beaches, pp 133-144. In McLachlan A, Erasmus T eds. *Sandy beaches as ecosystems*. Dr W. Junk Publishers, Hague (1983)
- 17) Short AD ed: *Handbook of beach and shoreface morphodynamics*. John Wiley & Sons, Ltd, New Jersey (1999)
- 18) de la Huz R, Lastra M: Effects of morphodynamic state on macrofauna community of exposed sandy beaches on Galician coast (NW Spain). *Mar Ecol*, **29**, 150-159 (2008)

- 19) Defeo O, McLachlan A: Coupling between macrofauna community structure and beach type: a deconstructive meta-analysis. *Mar Ecol Prog Ser*, **433**, 29-41 (2011)
- 20) Clark BM, Bennett BA, Lamberth SJ: Factors affecting spatial variability in seine net catches of fish in the surf zone of False Bay. *Mar Ecol Prog Ser*, **131**, 17-34 (1996)
- 21) 西隆一郎・萩尾和央・山口 博・岩根信也・杉尾 毅: 水難事故予防のための離岸流調査に関する基礎的研究. *海岸工学論文集*, **50**, 156-160 (2003)
- 22) 西隆一郎・山口 博・岩淵 洋・木村信介・村井弥亮・徳永企世志・古賀幸夫: 宮崎県青島海岸での離岸流観測 - 水難事故予防のために. *海岸工学論文集*, **51**, 151-155 (2004)
- 23) 中坊徹次 編: 日本産魚類検索全種の同定第3版. 東海大学出版会, 東京 (2013)
- 24) 沖山宗雄 編: 日本産稚魚図鑑第2版. 東海大学出版会, 東京 (2014)
- 25) Clarke KR, Warwick RM: Change in marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation, 2nd ed. Primer-E Ltd., Plymouth, (2001)
- 26) Wentworth CK: A scale of grade and class terms for clastic sediments. *J Geol*, **30**, 377-392 (1922)