

鹿児島県吹上浜で観察された砂浜生物の ハビタットとしてのリッジ-ラネル地形

須田有輔^{1†}, 南條楠土¹

Ridge and runnel topography at Fukiagehama Beach, Southern Kyushu Island, Japan and its implication as habitat for sandy shore organisms

Yusuke Suda¹, Kusuto Nanjo²

Abstract : Morphological characteristics of the ridge and runnel topography, an unfamiliar sandy shore microhabitat, was described based on the levelling researches conducted from May 2000 to June 2016 at mesotidal Fukiagehama Beach, southern Kyushu Island, Japan. Three research sites with different morphodynamic states as reflective northern portion (Kaminokawa), intermediate middle and southern portions (Kyoden, Beach Park) were surveyed. Ridge is an intertidal sand bar exposing during low tide and shallow remnant water shoreward is a runnel as defined by King and Williams's original definition. Shapes and positions of the ridges and runnels were varied from north to south with decreasing wave exposure and beach steepness. In well wave-exposed north portion, relatively narrow single runnel and ridge was formed just below steep beachface, whereas in less exposed middle and southern portions two sets of ridge and runnel were observed on lower intertidal sand flats of at most 200 m-wide in Kyoden and 300 m-wide in Beach park. Knowledge from the previous works imply function of the ridge and runnel topography as habitat and feeding place for sandy shore macrofauna and fish. Topographical diversities such as ridge and runnel etc. induced by beach morphodynamics may affect species diversities of sandy shore ecosystems.

Key Words : Sandy shore, Ridge and runnel, Morphodynamics, Habitat, Diversity

緒 言

砂浜海岸には、流体（波浪・流れ）と堆積物（砂）の間の物理的な相互作用（morphodynamics）¹²⁾の結果生じる、規模も形状も多様な砂の起伏地形がみられる。生物学的な観点からは、これらの起伏が、砂浜生物にとっての微小生息場（microhabitat）としての機能を有しているのではないかとの興味を抱かせる。しかし、岩礁、藻場、サンゴ礁など生物の生息場所となるような自然の複雑な構造物に乏しい砂浜海岸は、そもそも生息環境として単調だと思われ、砂浜海岸は生物の少ない不毛な場所だという誤った見方に結びついている。そのため、砂浜生態学分野でこのような起伏地形について触れられることは稀であり、海岸保全事業が行われる際も、注意が払われることはほとんどない。

様々な起伏地形のうち、一般的に砂州（sand bar）と呼ばれているものは多くの砂浜海岸に出現し、しかも容易に目視できるため、一般の海岸利用者にもなじみ深いものである。しかし、砂州の中でも、潮間帯に存在し、低潮時には海面に露出するリッジと、その岸側に残存するラネルと呼ばれる静水域を合わせたリッジ-ラネル地形（ridge and runnel topography）¹⁻¹⁰⁾は、海岸地形学分野では知られているものの、米国東岸のラネルが小型魚類の生息場所や餌場であるとする報告^{11,12)}を除けば、同地形に関する生態学的な知見はほとんどない。

著者らが所属する研究室では、2000年から鹿児島県の薩摩半島西岸に位置する吹上浜をモデルとして、砂浜生態系の研究を行っている¹³⁾。同海岸には、低潮時に顕著なリッジ-ラネル地形が出現するが、それらの地形的特徴につ

¹ 水産大学校生物生産学科 (Department of Applied Aquabiology, National Fisheries University)

[†] 別刷り請求先 (corresponding author): suda@fish-u.ac.jp

いては十分な知見がなかった。その一方で、ラネル内には魚類やアミ類・ヨコエビ類をはじめとする多くの海洋生物が生息することが、目視観察も含めて確認されており¹³⁻¹⁶⁾、リッジ-ラネル地形の生息場所としての価値を評価する上でも、地形に関する基礎的な知見が必要である。

そこで、本研究では2000年から継続しているレベル測量結果を元に、同海岸のリッジ-ラネル地形の形態学的な特徴を記載し、砂浜生物の生息場所としての意義を考察する。

方 法

調査場所の吹上浜は、鹿児島県の薩摩半島の西岸に位置し、東シナ海に直接面して開けた総延長30 km以上にも及ぶ、全国でも有数の長大な砂浜海岸である (Fig. 1)。著者らが所属する研究室では、同海岸において2000年から砂浜生物や生息環境に関するフィールド調査を継続しているが、本研究では、2000年5月から2016年6月にかけて行われたレベル測量および目視観察を元に、同海岸のリッジ-ラネル地形について記述する。

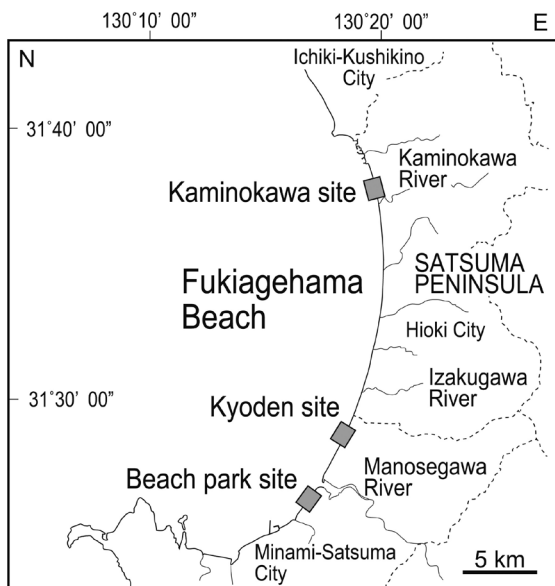


Fig. 1 Map of Fukiagehama Beach and three research sites.

吹上浜は北から南に向かって砂浜幅が広くなるという特徴があるので¹⁷⁾、砂浜幅が狭い北部、中程度の間中部および幅が広い南部の3ヵ所で、それぞれレベル測量を行った。3ヵ所を代表する場所として、北部は、日置市の神之川の河口右岸から北側の部分「神之川 (Kaminokawa site)」、中央部は、南さつま市大野の京田地先「京田 (Kyoden

site)」、南部は、南さつま市万之瀬川の河口左岸から1.5 kmほど南西側の県立吹上浜海浜公園の裏「海浜公園 (Beach park site)」を設定した。本研究で用いた測量データは、神之川では2006年5月～2016年6月に行われた35回、京田では2000年5月～2016年6月に行われた64回、海浜公園では2006年5月～2016年6月に行われた38回である。

レベル測量は、砂丘基部に基点を設け (神之川: 31° 37'23.8"N, 130° 19'50.5"E; 京田: 31° 28'53.0"N, 130° 18'32.6"E; 海浜公園: 31° 26'10.1"N, 130° 16'42.4"E)、そこから海岸と直交方向に測量したが、最遠の測量地点は、その時の調査内容や波浪条件などで異なった。いずれの場合も、測量調査員の安全を考慮して、最大でも人の胸よりも水深が浅い地点で測量を止めた。レベル測量装置はトプコン製DL103型を使用した。潮汐はいずれも申木野を参考にし、2001年から2016年までは日本水路協会の電子潮見表 (2002～2016年版)¹⁸⁾、2000年は潮汐表¹⁹⁾のデータに基づいた。リッジ-ラネル地形の記述には国土地理院の空中写真²⁰⁾も参考にした。

結 果

Fig. 2は、京田における中潮時の最低潮時頃のリッジ-ラネル地形である (2007年5月21日)。砂州の部分がリッジで、その岸側に残る水域がラネルである。リッジは所々途切れており、そこを通してラネル内の海水はサーフゾーンと出入りする。リッジの沖側には砕波して海面が白く泡だっている場所があるが、その下には沿岸砂州 (coastal bar) がある。Fig. 3は、潮位の低下に伴うリッジ-ラネル地形の形成過程を示している。左の写真は最低潮時から1時間30分前のもので、砕波している部分の水深が非常に浅くなっており、その1時間後 (右) にはその部分がリッジとして海面上に露出している。ラネルの陸側の水際線は鋸歯状になっていることが多く、そこからは地下水が流出している (湧出帯 resurgence zone^{21,22)}) (Fig. 4)。湧出帯の幅はその時の砂面の勾配によっても変わるが、一般的には、勾配が緩やかなほど幅は広い。また、湧出帯の位置は潮位の低下に合わせて下降する。

すべての断面図を重ね合わせると図5のように、北 (神之川) から南 (海浜公園) に向かって海岸の幅が広がる様子が明瞭にわかる。地盤高の変動は最大で2 m程度に及んだが、京田は他の2ヵ所に比べやや変動幅が広がった。3ヵ所とも、離岸距離 (砂丘基部からの距離) 20～70 mの部分に形成される湧出帯を境に、それより上方の潮間帯勾配は急で、下方の勾配は緩やかであった。潮間帯全体の



Fig. 2 View of ridge and runnel topography at Kyoden site, Fukiagehama Beach at low tide in May 21, 2007.



Fig. 3 Comparison of the views of ridge and runnel topography at Kyoden site before and after ridge-exposure in July 30, 2006. Left: 90 minutes before low tide, right: almost low tide.



Fig. 4 Rill marks of the resurgence zone at Kyoden site. Left: all over the zone (July 26 2006), right: top of the zone (May 30 2006).

勾配 (かっこ内は潮間帯上部と下部) は, 神之川が最大 1/20~最小 1/30 (1/8~1/11, 1/60~1/180), 京田が 1/60~1/80 (1/10~1/40, 1/100~1/210), 海浜公園が 1/80~1/110 (1/8~1/13, 1/120~1/230) であり, 北から南に向かって緩やかになる傾向がみられた。潮間帯の上部は, 一部緩やかなこともあったが, 3カ所とも概ね 1/10程度と急であった。一方, 湧出帯より海側の潮間帯の下部は, 北から南に向かって緩やかになった。それに伴い幅も広くなり, 最大の幅は, 神之川では50 m程度, 京田では200 m, 海浜公園では300 mであった。

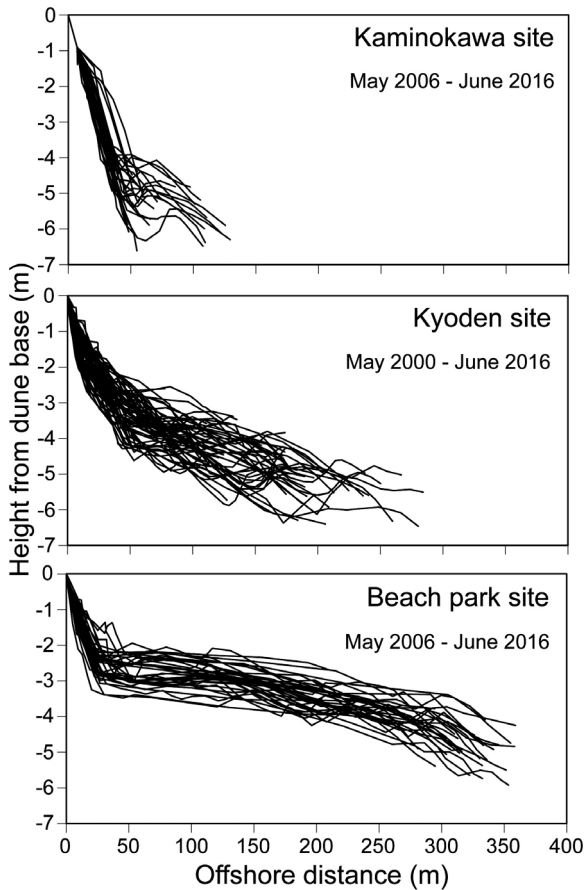


Fig. 5 Beach profile bundles at three research sites.

Figs. 6~8は, 3カ所それぞれで, 長距離に亘って測量ができた数本の断面図である。図中の実線 (LW) は測量時点での汀線位置 (概ねその日の低潮汀線), 破線 (HW) は, 砂の湿り具合や漂着物の状況から推定した測量直前の高潮汀線である。また, 破線の円は湧出帯である。神之川 (Fig. 6) では, 離岸距離 (砂丘基部からの距離) 50~60 mの辺りに幅10~30 mのラネル, その沖側に幅20~50 m

のリッジが1列出現した。京田 (Fig. 7) では, 離岸距離 50 mほどの部分に幅10~20 mの1列目のラネル, 次いで, 幅50~100 mの1列目のリッジ, 幅50 m前後の2列目のラネル, 幅20~50 mの2列目のリッジと続いた。海浜公園 (Fig. 8) では, 離岸距離30~100 m部分に1列目のラネル, その海側に幅100~150 m程度のリッジ, さらに幅20 mほどの2列目のラネルを隔てて, 離岸距離200~300 mの部分に2列目のリッジが形成された。砂丘基部および高潮汀線 (HW) から湧出帯までの距離は, 神之川が40~50 m, 10~30 m, 京田が50~70 m, 20~50 m, 海浜公園が20~40 m, 10~20 mと, 海浜公園が最も狭かった。

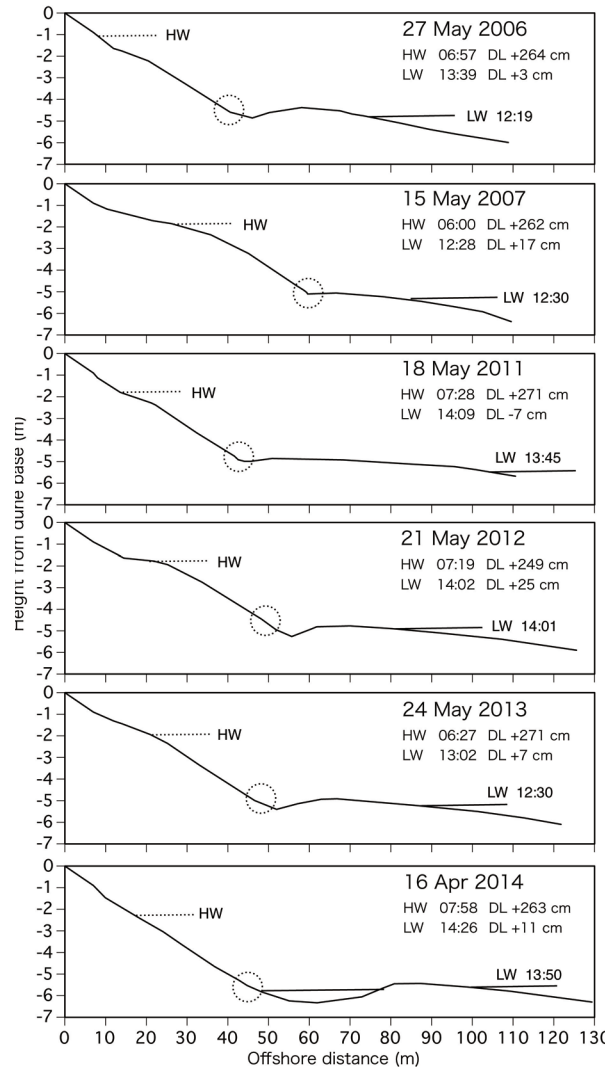


Fig. 6 Beach profiles at Kaminokawa site. Solid lines, dotted lines and dotted circles indicate the shorelines at levelling research, estimated high water shorelines and resurgence zones, respectively.

このように、3カ所とも、湧出帯直下に形成されるラネルの海側に1列目のリッジが出現したが、リッジの幅は北から南に向かって広がった。ラネルの形状は神之川では細く直線的であったが、京田や海浜公園では、細かな起伏のため、潮位の低下と共に曲がりくねった形状を呈するようになり、その程度は海浜公園が最も顕著であった (Fig. 9)。ラネル内の海水は、潮間帯の上部では低潮時には干出したが、下部では低潮時においても1 m程度の水深が保たれていることがあった (例えば、Fig. 7の2000年8月1日、2002年5月14日)。低潮時における最も沖側のラネルの最深点とリッジの最高点 (神之川では第1ラネルとリッ

ジ、京田と海浜公園では第2ラネルとリッジ)の平均標高差は、神之川が0.35 m、京田が0.56 m、海浜公園が0.36 mと、中間地点の京田で大きかった (one-way ANOVA $F_{2,42}=3.831$, $p=0.030$)。

考 察

リッジとラネルの用語法には混乱がみられるが、King and Williams³⁾の本来の定義によれば、リッジとは潮位差の大きな砂浜海岸の潮間帯に形成される砂州 (sand bar) のことであり、潮下帯に存在し、最低潮時でも海面に露出

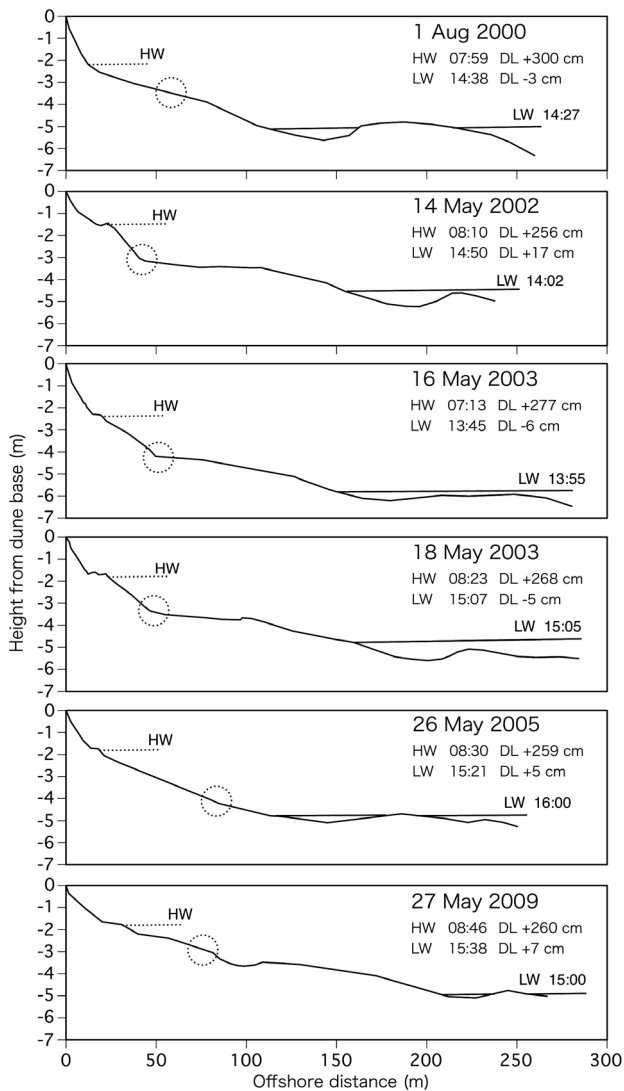


Fig. 7 Beach profiles at Kyoden site. Solid lines, dotted lines and dotted circles indicate the shorelines at levelling research, estimated high water shorelines and resurgence zones, respectively.

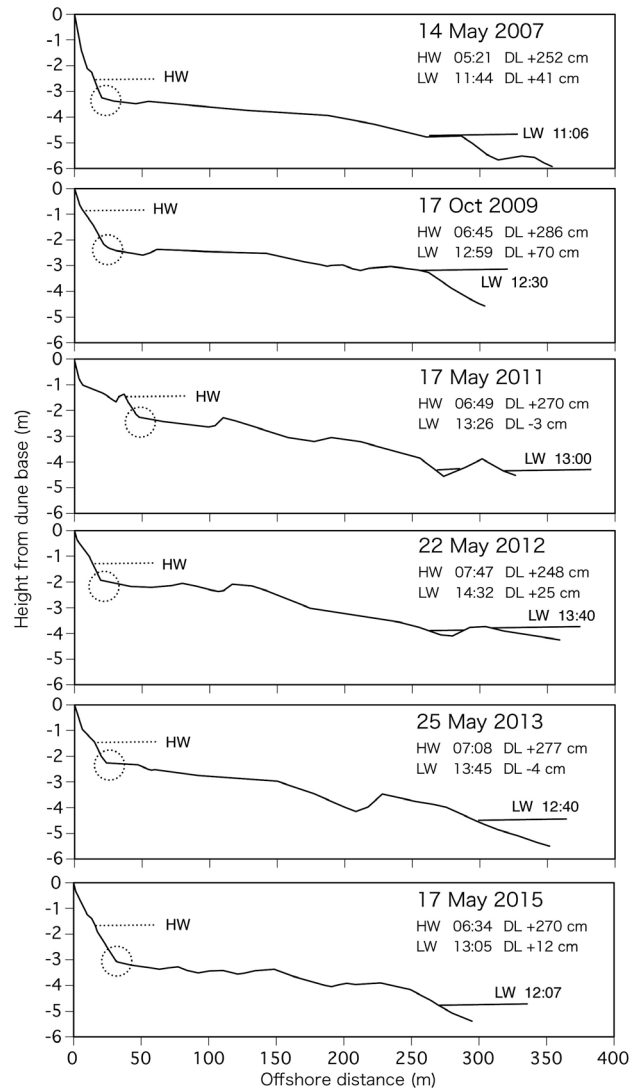


Fig. 8 Beach profiles at Beach park site. Solid lines, dotted lines and dotted circles indicate the shorelines at levelling research, estimated high water shorelines and resurgence zones, respectively.

することのないいわゆる沿岸砂州 (coastal bar) とは区別されている。Orford and Wright²¹⁾ も King and Williams のオリジナルの定義を用いるべきだとしており、本研究もそれに従った。

吹上浜では、場所によって3列の砂州がみられるが¹⁷⁾、このうち、沖側の3列目は、最低潮時でも海面上に露出することがないため、King and Williamsの定義に従えば沿



Fig. 9 Comparison of the views of the ridge and runnel topography at three research sites. Upper: Kaminokawa site (May 23 2009), middle: Kyoden site (Aug 27 2007), lower: beach park site (Aug 20 2013).

岸砂州であり、岸側の2本の列がリッジになる。Fig. 2の京田では、露出している砂州が1列目のリッジで、その沖で碎波している部分の下方には、最低潮時には露出する2列目のリッジが横たわっている。これまでの調査では、2列目のリッジが露出するのは、概ね大潮時に限られていた。さらに、目視観察時や空中写真²⁰⁾にみられる碎波の状況から、京田と海浜公園の2列目のリッジの沖には沿岸砂州が沿岸方向に走っていると考えられる。全般的な平面地形の特徴から、Short²⁾のダイアグラムに従えば、神之川は2列バー (2 bar) の干潮台型 (low tide terrace)、京田と海浜公園は3列バー (3 bar) の干潮台型に相当すると考えられる。

リッジ-ラネル地形は潮位差の大きな海岸に特徴的であるが、ミクロタイダル・ビーチと呼ばれる潮位差が2m以下と小さな海岸でも観察することができる。例えば、潮位差が1.5 mほどの山口県西岸の土井ヶ浜海岸にも小規模なリッジ-ラネル地形が出現する²²⁾。

砂浜海岸のマクロファウナや魚類は、地形動態に基づく砂浜地形タイプ^{1,2,4,6)}に応じた分布を示すことが明らかにされており、前浜勾配が急で波当たりの強い反射型 (reflective) から、沿岸砂州が存在しその上方で碎波が生じる中間型 (intermediate) を経て、勾配が緩やかなため繰り返し碎波することで前浜の波当たりが弱くなる逸散型 (dissipative) に向かって、種数、個体数密度、種の多様性が高まるという一般的な傾向が認められている^{14,23-37)}。吹上浜は、一つの砂浜海岸でありながら、北から南に向かって地形動態の状態が変化するという特徴をもち、北側は粒径が粗く、ステップが形成されるため反射型の特徴を示し、中央以南では、潮下帯に明瞭な沿岸砂州が形成されるという中間型 (intermediate) の特徴を示す。このような変化に応じて、マクロファウナや魚類の群集構造にも違いが表れている^{14,38)}。

このように、砂浜生物の分布は地形動態に基づく砂浜地形タイプに応答することが明らかにされてきたが、ラネルのような微小な地形を砂浜生物の生息場所として注目した研究は、世界的にみてもごくわずかしかない。米国ジョージア州のNannygoat Beachのバリアーアイランド地形の海側に形成されるラネルでは、海水性メダカ目魚類の *Fundulus majalis* の単位努力量当たり漁獲量が、近傍の他の潮間帯域に比べて高かったことから、ラネルは本種の生息場所になっている¹¹⁾。同じく米国バージニア州のDelmarva半島のバリアーアイランド地形のラネルでは、

ラネルが捕食者からの避難場所あるいは餌場として機能していることが指摘されている¹²⁾。一方、吹上浜のラネルでシロギス稚魚を餌とした糸つなぎ法による捕食圧実験の結果では、特段、捕食者（魚食魚）からの隠れ家（shelter）になっているような明確な事実は確認されなかった³⁹⁾。

本研究を行った吹上浜の京田では、著者らが所属する研究室によって2000年から大型のサーフネットを用いた魚類採集調査が、ラネルも含めたサーフゾーンで行われており、これまでに80種以上が記録されている^{13,15)}。また、同海岸のラネルにはシキシマフクロアミ (*Archaeomysis vulgaris*) やナミフクロアミ (*A. japonica*) などの潜砂性アミ類¹⁶⁾ やヨコエビ類が多く分布しており、消化管内容物分析から、それらが、シロギス (*Sillago japonica*)、ヒラメ (*Paralichthys olivaceus*) やクロウシノシタ (*Paraplagusia japonica*) などの重要な餌生物になっていることが明らかにされている⁴⁰⁻⁴²⁾。

目視観察によれば、吹上浜のラネルのうち潮間帯の上部に位置し、低潮時には干出することもある1列目のラネルには、ボラ (*Mugil cephalus cephalus*) の稚魚、ヒメハゼ (*Favonigobius gymnauchen*)、アラメガレイ (*Tarphops oligolepis*)、クサフグ (*Takifugu niphobles*) の稚魚などの小型魚が多く、捕食者となるような大型の魚類は観察されなかった。一方で、1 mほどの水深が保たれることもある2列目のラネルには大型魚類の進入が可能であり、実際、ダツ (*Strongylura anastomella*)、ハマダツ (*Ablennes hians*)、オキザヨリ (*Tylosurus crocodilus crocodilus*)、マゴチ (*Platycephalus sp.*)、スズキ (*Lateolabrax japonicus*)、ヒラスズキ (*L. latus*)、ギンガメアジ (*Caranx sexfasciatus*)、キチヌ (*Acanthopagrus latus*)、ヒラメなどの魚食魚も記録されている。すなわち、微小な生息場所とはいえ、形成される場所や規模などによって、生息場所としてのラネルの機能は異なるかもしれない。

リッジラネル地形の他にも、カスプ (cusp) と呼ばれる波状の汀線地形では、カスプの突出部と湾入部で、動物プランクトン、二枚貝、稚魚などの分布が異なることが報じられている^{43,44)}。このように、砂浜海岸は、地形動態に基づく砂浜地形タイプ、リッジラネル地形、カスプ地形などの地形的な多様性に富んでいる。

このような地形的な多様性は、多様な生物の生息を可能にするものであり、岩礁や藻場などの自然の構造物を持たない砂浜海岸における生物多様性を考える上で、欠かせない条件である。港湾の建設や海岸保全構造物の設置は、地形変化をもたらすことによって砂浜生物の生息環境を劣化

させ、ひいては近隣海域の漁業生産にも影響を及ぼす可能性がある。事前の環境影響評価にあたっては、事業前の生物分布状況、構造物の設置による地形変化の予測、事業後の生物分布の予測などについて十分な検討が必要である。

謝 辞

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いた、南さつま市大野の京田地区自治会の歴代の自治会長各氏ならびに同地区住民の方々に深く感謝の意を表する。調査に携わった平成12年度から28年度までの沿岸生態系保全研究室のすべての学生に感謝する。

引用文献

- 1) Wright LD, Short AD : Morphodynamic variability of surf zones and beaches : A synthesis. *Mar Geol*, **56**, 93-118 (1984)
- 2) Short AD : Wave-dominated beaches, 173-203. In Short AD ed. *Handbook of beach and shoreface morphodynamics*. John Wiley & Sons, Ltd, New Jersey (1999)
- 3) King CAM, Williams WW : The formation and movement of sand bars by wave action. *Geographi J*, **113**, 70-85 (1947)
- 4) Masselink G, Short AD : The effect of tide range on beach morphodynamics. A conceptual beach model. *J Coast Res*, **9**, 785-800 (1993)
- 5) Masselink G, Turner I : The effect of tides on beach morphodynamics, 204-229. In Short AD ed. *Handbook of beach and shoreface morphodynamics*. John Wiley & Sons, Ltd, New Jersey (1999)
- 6) Masselink G, Hughes MG, Knight J : *Introduction to coastal processes and geomorphology* 2nd ed. Routledge, London (2011)
- 7) Davis Jr RA, Fitzgerald DM : *Beaches and coasts*. Blackwell Science Ltd, Victoria (2004)
- 8) Bird E : *Coastal geomorphology : An Introduction* 2nd ed. John Wiley & Sons, West Sussex (2008)
- 9) Davidson-Arnott R : *Introduction to coastal processes and geomorphology*. Cambridge University

- Press, Cambridge (2010)
- 10) Pilkey OH, Neal WJ, Kelley JT, Cooper JAG : The world's beaches, A global guide to the science of the shoreline. University of California Press, Los Angeles (2011)
 - 11) Harvey CJ : Use of sandy beach habitat by *Fundulus majalis*, a surf zone fish. Mar Ecol Progr Ser, **164**, 307-310 (1998)
 - 12) Layman CA : Fish assemblage structure of the shallow ocean surf-zone on the eastern shore of Virginia barrier islands. Estuar Coast Shelf Sci, **51**, 201-213 (2000)
 - 13) 須田有輔 : 吹上浜の研究の背景と概要. ミニシンポジウム記録 : 開放的な砂浜海岸における水産生物と環境, 吹上浜をモデルとした生態研究. Nippon Suisan Gakkaishi, **74**, 920-921 (2008)
 - 14) 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)
 - 15) 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. 水大校研報, **63**, 1-15 (2014)
 - 16) Nonomura T, Hayakawa Y, Suda Y, Ohtomi : Habitat zonation of the sand-burrowing mysids (*Archaeomysis vulgaris*, *Archaeomysis japonica* and *Liella ohshimai*), and diel and tidal distribution of dominant *Archaeomysis vulgaris*, in an intermediate sandy beach at Fukiagehama, Kagoshima Prefecture, southern Japan. Plankton Benthos Res, **2**, 38-48 (2007)
 - 17) 西 隆一郎 : 吹上浜の物理環境と砂浜の形成要因. ミニシンポジウム記録 : 開放的な砂浜海岸における水産生物と環境, 吹上浜をモデルとした生態研究. Nippon Suisan Gakkaishi, **74**, 928-929 (2008)
 - 18) 日本水路協会海洋情報研究センター : 電子潮見表2002年版~2016年版CD-ROM
 - 19) 海上保安庁水路部 : 平成12年潮汐表. 書誌第781号. 日本水路協会, 東京 (1999)
 - 20) 国土地理院 : 地図・空中写真閲覧サービス (<http://mapps.gsi.go.jp/>)
 - 21) Orford JD, Wright P : What's in a name? Descriptive or genetic implications of 'ridge and runnel' topography. Mar Geol, **28**, M1-M8 (1978)
 - 22) 須田有輔・村瀬 昇・藤田 剛・竹内民男 : 山口県土井ヶ浜の砂浜海岸サーフゾーンにおけるヒラメの出現. 水大校研報, **58**, 169-177 (2009)
 - 23) 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))
 - 24) McLachlan A, Brown AC : Ecology of sandy shores, 2nd ed. Academic Press, Burlington (2006)
 - 25) McLachlan A : Dissipative beaches and macrofauna communities on exposed intertidal sands. J Coast Res, **6**, 57-71 (1990)
 - 26) McArdle SB, McLachlan A : Sand beach ecology : swash features relevant to the macrofauna. J Coast Res, **8**, 398-407 (1992)
 - 27) Jaramillo E, McLachlan A, Coetzee P : Intertidal zonation patterns of macroinfauna over a range of exposed sandy beaches in south-central Chile. Mar Ecol Progr Ser, **101**, 105-118 (1993)
 - 28) McLachlan A, Jaramillo E, Donn TE, Wessels F : Sandy beach macrofauna communities and their control by the physical environment : A geographical comparison. J Coast Res, **15**, 27-38 (1993)
 - 29) McLachlan A, Jaramillo E, Defeo O, Dugan J, de Ruyck A, Coetzee P : Adaptation of bivalves to different beach types. J Exper Mar Biol Ecol, **187**, 147-160 (1995)
 - 30) Brazeiro A : Relationship between species richness and morphodynamics in sandy beaches : what are the underlying factors? Mar Ecol Progr Ser, **224**, 35-44 (2001)
 - 31) Degraer S, Volckaert A, Vincx M : Macrobenthic zonation patterns along a morphodynamical continuum of macrotidal, low tide bar/rip and ultra-dissipative sandy beach. Estuar Coast Shelf Sci, **56**, 459-468 (2003)
 - 32) Defeo O, McLachlan A : Patterns, processes and regulatory mechanisms in sandy beach macrofauna : a multi-scale analysis. Mar Ecol Progr Ser, **295**, 1-20 (2005)
 - 33) McLachlan A, Dorvlo A : Global patterns in sandy beach macrobenthic communities. J Coast Res, **21**,

- 674-687 (2005)
- 34) Lastra M, de la Huz R, Sánchez-Mata AG, Rodil IF, Aers K, Beloso S, López J : Ecology of exposed sandy beaches in northern Spain : Environmental factors controlling macrofauna communities. *J Sea Res*, **55**, 128-140 (2006)
- 35) 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)
- 36) Defeo O, McLachlan A : Coupling between macrofauna community structure and beach type : a deconstructive meta-analysis. *Mar Ecol Progr Ser*, **433**, 29-41 (2011)
- 37) Clark BM : Variation in surf-zone fish community structure across a wave-exposure gradient. *Estuar Coast Shelf Sci*, **44**, 659-674 (1997)
- 38) 浅井貴恵 : 開放的な砂浜海岸に形成される干潟におけるマクロファウナと生息環境. 平成27年度水産大学校水産学研究科修士論文 (2016)
- 39) 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)
- 40) 手嶋秀一 : 鹿児島県吹上浜のサーフゾーンに生息するカレイ目魚類の食性. 平成19年度水産大学校水産学研究科修士論文 (2008)
- 41) 國森拓也 : 鹿児島県吹上浜のサーフゾーンにおけるシロギス (*Sillago japonica*) の出現と食性. 平成21年度水産大学校水産学研究科修士論文 (2010)
- 42) 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)
- 43) McLachlan A, Hesp P : Faunal response to morphology and water circulation of a sandy beach with cusps. *Mar Ecol Progr Ser*, **19**, 133-144 (1984)
- 44) James R : Cusps and pips on a sandy ocean beach in New South Wales. *Austral J Ecol*, **24**, 587-592 (1999)