房総半島内房の開放的な砂浜海岸と保護的な砂浜海岸における 魚類群集構造の比較

青木 友寛,* 碓井 星二, 金井 貴弘,
青木 茂, 岡本 研, 佐野 光彦

(2016 年 1 月 18 日受付, 2016 年 3 月 17 日受理, 2016 年 6 月 15 日 J-STAGE 早期公開)

東京大学大学院農学生命科学研究科生態システム学専攻

Comparison of fish assemblage structures between exposed and protected sandy beaches at Uchibo,
Boso Peninsula, central Japan

TOMOHIRO AOKI,* SEIJI USUI, TAKAHIRO KANAI, SHIGERU AOKI,
KEN OKAMOTO AND MITSUHIKO SANO

*Department of Ecosystem Studies, Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo,
Bunkyo, Tokyo 113-8657, Japan*

Daytime sampling was conducted at Uchibo, Boso Peninsula, Japan in December 2014, and March, July and September 2015, to determine whether or not fish assemblage structures differed between exposed (Osawa, Hota and Hasama) and protected (Kazusaminato, Tadara and Nago) sandy beaches. Although some physical variables (wave height and turbidity) differed between the two beach types, no differences were found between the beach types in terms of either abundance of main fish prey (zooplankton, epifaunal and infaunal invertebrates) or fish assemblage structure (total numbers of species and individuals, species composition, individual numbers of the four most dominant species [except the mugilid *Mugil cephalus cephalus*], species and individual numbers of the two dominant feeding groups, and standard lengths of all species, including the five most dominant ones) throughout the study period. Because only the number of *Mugil cephalus cephalus* individuals differed significantly between the beach types, the protected beaches supporting greater numbers, sandy beach fish assemblage structures were generally considered similar between the two beach types, in spite of their beach type-related abiotic differences.

キーワード：開放的な砂浜海岸, 魚類群集構造, 物理・生物的環境, 房総半島, 保護的な砂浜海岸

砂浜海岸は、地球上の氷結しない海岸線のおよそ 70 % を占めており、沿岸生態系を理解するうえで重要な場であると考えられる。¹⁾ しかし、砂浜海岸はサンゴ礁や岩礁海岸、マングローブ水域などの他の沿岸域に比べ、生物学的な研究は遅れている。この理由のひとつは、砂浜海岸が他の沿岸域に比べて海底環境が単調で、波浪の影響が大きいいため、研究者は不毛の地であるという先入観をもち、興味を示さなかったことによる。^{2,3)} しかし、近年、砂浜海岸では波浪や海岸地形、堆積物などの相互作用により複雑な環境が生み出され、魚類をはじめとする多くの生物が生息していることがわかってきた。⁴⁻⁷⁾ 特に魚類においては、砂浜海岸が餌場や稚魚の

捕食者からの避難場として利用されていることが報告されている。⁸⁻¹⁰⁾ こうしたことから、砂浜海岸は、多くの魚類にとって重要な生息場であると考えられる。^{5,11-14)}

一般的に、砂浜海岸は形成される場所によって地形動態に基づく砂浜タイプが異なり、開放的な砂浜と保護的な砂浜が存在する。両者の環境はそれぞれ異なり、前者では外海に面することが多く、波浪環境が厳しい。一方、後者では砂浜の両端が岬で挟まれていたりして、穏やかな環境を示す傾向がある。^{3,15,16)} 砂浜海岸においては、波浪環境は魚類群集の構造に影響を与える要因のひとつであると言われており、¹⁶⁻¹⁹⁾ 波浪の穏やかな砂浜海岸では魚類の種数と個体数が多いという報告があ

る。^{7,17)}したがって、保護的な砂浜は、開放的な砂浜と比べて異なる魚類群集構造が形成される可能性がある。

東京湾は神奈川県 of 観音崎と千葉県 of 富津岬を結んだ線を基準に、北部を内湾、南部を外湾と呼んでいる。²⁰⁾前者は工業化に伴う埋め立てにより、自然の海岸のほとんどが消失した。一方、房総半島側の外湾(以下、内房)は埋立ての影響はほとんどなく、未だに自然の砂浜海岸が多く残されている。²¹⁾内房の海岸線は複雑であるため、開放的あるいは保護的な湾や入り江が併存し、タイプの異なる砂浜海岸が存在している。²²⁾このような開放的、保護的な砂浜海岸では、波浪環境などの違いによって魚類群集の構造が異なる可能性がある。しかし、稚魚や成魚の魚類群集構造を両砂浜間で比較した研究は、これまでほとんど行われていない。²³⁾

そこで本研究では、内房の開放的な砂浜海岸と保護的な砂浜海岸において、物理的環境(水質、底質、波浪)と生物的環境(魚類の餌となる無脊椎動物)を調べるとともに、魚類(稚魚と成魚)の種数、個体数、種組成などを比較し、魚類群集の構造が砂浜海岸のタイプ間(開放的と保護的)でどの程度異なるのかを明らかにすることを目的とした。

材料と方法

調査地の概要 調査は、房総半島内房の千葉県館山市から富津市までの砂浜海岸において、2014年12月と2015年3月、7月、9月に行った(Fig. 1)。各月での

調査は、天候がほぼ同じであった2-3日に実施した。この調査域には開放的あるいは保護的な湾や入り江が点在し、そこに砂浜海岸が数多くみられる。本研究では、これらの砂浜から閉鎖度指標 $[(\sqrt{SD_1})/(WD_2)]$ 、ここで S は砂浜が存在する湾の面積、 W は湾口幅、 D_1 は湾内の最大水深、 D_2 は湾口の最大水深である]を用いて、²⁴⁾開放的な砂浜(閉鎖度指標 ≤ 0.5)として富津市の大佐和海岸(北緯 $35^\circ 17' 51''$ 、東経 $139^\circ 50' 7''$)、鋸南町の保田海岸(北緯 $35^\circ 8' 24''$ 、東経 $139^\circ 50' 8''$)、館山市の波左間海岸(北緯 $34^\circ 58' 23''$ 、東経 $139^\circ 47' 22''$)の3地点を(Figs. 1, 2)、また保護的な砂浜(閉鎖度指標 > 0.5)として富津市の上総湊海岸(北緯 $35^\circ 13' 14''$ 、東経 $139^\circ 52' 4''$)、南房総市の多田良海岸(北緯 $35^\circ 2' 32''$ 、東経 $139^\circ 49' 50''$)、館山市の那古海岸(北緯 $35^\circ 1' 14''$ 、東経 $139^\circ 51' 16''$)の3地点を選出した(Figs. 1, 2)。これら6つの海岸は、Wright and Short²⁵⁾に従うと、どれも中間型の砂浜であった。

各海岸では、汀線から沖合約15-30 m、水深約1 mの場所に、60 m 間隔で4定点を設け、小潮の日中の上げ潮時に物理的環境、生物的環境、および魚類の調査を同時に実施した。

物理的環境調査 各月の各砂浜海岸の4定点において、水質、波浪、底質の調査を行った。

1. 水質 多項目水質計 Quanta (HACH 社製)を用いて、水温($^{\circ}\text{C}$)、塩分(PSU)、濁度(NTU)、溶存酸素量(mg/L)を測定した。測定は各定点で1回とした

Fig. 1 Map of the study area (Uchibo) on Boso Peninsula, Chiba Prefecture, central Japan, showing six sandy beaches: ○, exposed beach; ●, protected beach.

Fig. 2 Enclosure Index for each sandy beach at Uchibo, Boso Peninsula. The higher the index value, the greater the level of beach protection. Open and filled bars indicate exposed and protected beaches, respectively.

($n=4/\text{海岸}$)。

2. 波浪 波浪環境の指標として、波高 (cm) を測定した。目盛りを付けたプラスチック製の測定棒を鉛直に立て、その棒を通過した波の峰と谷の水位 (cm) を目視で3分間測定した。波高は、峰の最大値と谷の最小値の差から算出した。測定は各定点で1回とした ($n=4/\text{海岸}$)。
3. 底質 砂の中央粒径値と底質中の有機物含量 (以下、強熱減量) を調べた。直径 5 cm の円筒形コアサンプラーを海底の表面から深さ約 15 cm まで挿入し、底質試料 (約 150 g) を採取した。試料の採取は各定点で1回とした ($n=4/\text{海岸}$)。採取した試料は 100 g を粒度分析 (中央粒径値の測定) に、残りの 50 g を強熱減量の測定に供した。それぞれの分析・測定は以下の手順によった。

粒度分析には、ふるいわけ分析法を用いた。^{26,27)} 試料を研究室にて脱塩処理を行った後、過酸化水素水を加えて底質中の有機物を分解し、乾燥機で十分に乾燥させた。この試料を、目合い 63, 125, 250, 500, 1000, 2000 μm の篩を用いてふるい振とう機 A-3 PRO (FRITSCH 社製) でふるった。ふるいわけ後、それぞれの篩に残った試料を電子天秤で 0.01 g まで秤量し、各粒径サイズの累積重量が 50% となる値を中央粒径値 (μm) とした。

強熱減量の測定は、環境庁の底質調査方法に従って行った。²⁸⁾ まず、試料を 60°C の恒温槽内で十分に乾燥させた後、恒量化したるつぼに移し、るつぼごと秤量した (これを強熱前の重量 A とする)。次に、るつぼをマッフル炉に入れ、550°C で 6 時間強熱し、室温まで冷却してから秤量した (強熱後の重量 B)。強熱減量 (IL, %)

は下式にて算出した。

$$IL = \frac{A-B}{A} \times 100$$

生物的環境調査 各月の各砂浜海岸の 4 定点において、浮遊性、表在性、埋在性の無脊椎動物を採集した。

1. 浮遊性無脊椎動物 濾水計を取りつけたプランクトンネット (口径 20 cm, 側長 50 cm, 目合 100 μm) を用い、汀線に沿って歩いて 40 m 曳網し、浮遊性無脊椎動物を採集した。曳網は各定点で 1 回とした ($n=4/\text{海岸}$)。採集したサンプルは、5% 中性海水ホルマリン溶液で固定して研究室に持ち帰った。サンプルは 300 mL に希釈し、これを 3 mL ずつ 4 回に分けて取り出した後、実体顕微鏡下にて浮遊性無脊椎動物の個体数を計数した。同定は目レベルで行い、濾水量から各分類群の 1 m^3 あたりの個体数密度を算出した。

2. 表在性無脊椎動物 ソリネット (幅 50 cm, 高さ 10 cm, 目合 335 $\times$ 335 μm) を用い、²⁹⁾ 汀線と平行に歩いて 5 m 曳網 (2.5 m^2) して表在性無脊椎動物を採集した。曳網は各定点で 1 回とした ($n=4/\text{海岸}$)。サンプルは 5% 中性海水ホルマリン溶液で固定し、研究室へ持ち帰った。同定は目から垂目レベルで行い、分類群ごとに個体数を計数した。個体数密度は 1 曳網 (2.5 m^2) あたりの値とした。

3. 埋在性無脊椎動物 直径 10 cm の円筒形コアサンプラーを海底の表面から約 15 cm の深さに挿入し、1178 cm^3 の砂を採取した。採取は各定点で 1 回とした ($n=4/\text{海岸}$)。砂はその場で目合い 1 mm の篩でふるい、埋在性無脊椎動物を採集した。得られたサンプルは 5% 中性海水ホルマリン溶液で固定し、研究室に持ち帰った。同定は網レベルで行い、分類群ごとに個体数を計数した。個体数密度は 1 コア (1178 cm^3) あたりの値で示した。

魚類採集 各月の各砂浜海岸の 4 定点において、地曳網 (長さ 16 m, 高さ 1.5 m, 目合 4 mm) を用いて魚類を採集した。袖網の各先端を 2 名が持って、網の開口幅を 6 m に保ちながら、汀線と平行に歩いて 50 m 曳網 (300 m^2) した。曳網は各定点で 1 回とした ($n=4/\text{海岸}$)。採集した魚類は現場で直ちに 10% 中性海水ホルマリン溶液で固定し、研究室に持ち帰った。魚類標本は中坊³⁰⁾ や沖山³¹⁾ に従って種の同定を行い、魚種ごとに個体数を計数した。また、各個体について標準体長 (以下、体長) を測定した。個体数密度は 1 曳網 (300 m^2) あたりの値とした。

各魚種の食性に基いて、採集した魚類を浮遊性無脊椎動物食、アミ類食、端脚類食、カニ類食、等脚類食、多毛類食、魚類食、陸生昆虫類食の 8 グループに分類した。魚類の食性は、Nakane *et al.*¹⁰⁾ の方法に従い、採集した個体の胃または消化管内容物を調べることによ

て決定した。なお、空胃などのために食性を明らかにすることができなかった種については、既存の研究結果に従った。^{10,32,33)}

解析方法 物理的環境の各項目、浮遊性、表在性、埋性無脊椎動物の個体数、魚類の種数と総個体数、優占種の個体数と体長、各食性グループの種数と個体数について、砂浜海岸のタイプ間（開放的と保護的）で異なるかどうかを調べるために、一般化線形混合モデル（GLMM）を用い、尤度比検定を行った。目的変数は物理的環境の各項目、無脊椎動物の個体数、魚類の種数、個体数、体長とし、説明変数は砂浜海岸のタイプ（以下、砂浜タイプ）とした。なお、ランダム効果に調査地（砂浜海岸）と月を指定した。モデルの誤差構造は、物理的環境の各項目については正規分布、無脊椎動物の個体数、魚類の種数、個体数、体長についてはポアソン分布とした。リンク関数には log を指定した。

魚類の種組成について、砂浜タイプ間でどの程度異なるのかを明らかにするために、各月の各海岸で採集した各種の個体数に基づき類似度を求め、非計量多次元尺度構成法（NMDS）を行った。類似度には Bray-Curtis 指数を、³⁴⁾ NMDS には Kruskal 法を用いた。^{35,36)} なお、個体数は種によって大きく異なり、類似度指数は個体数の多い種の影響を受けやすい。³⁷⁾ このため、個体数の少なかった種の貢献度を高めるために、各種の個体数を対数変換 $[\log(x+1)]$ した。

以上の解析は統計ソフト R 3.1.3 を用いた。また、それぞれの検定における有意水準は 5% とした。

結 果

物理的環境 各月の各調査地における水温、塩分、濁度、溶存酸素量、波高、中央粒径値、強熱減量の結果を Fig. 3 に示した。これらの各項目が砂浜タイプ間（開放

Fig. 3 Physical properties (water temperature, salinity, turbidity, dissolved oxygen, wave height, median grain size and organic content, indicated by ignition loss) on each sandy beach at Uchibo, Boso Peninsula, in December 2014 (○), and March (◇), July (□) and September (△) 2015. Open and filled symbols indicate exposed and protected beaches, respectively. Data include mean $\pm$ standard deviation ($n=4$).

的と保護的)で異なるかどうかについて、GLMMを用いた尤度比検定で調べたところ、濁度と溶存酸素量は保護的な砂浜で、波高は開放的な砂浜で有意に高かった(濁度, $\chi^2=4.30$, $p=0.038$; 溶存酸素量, $\chi^2=4.43$, $p=0.035$; 波高, $\chi^2=15.3$, $p<0.001$)。ただし、溶存酸素量における砂浜タイプ間の差は極めて小さかった。一方、水温、塩分、中央粒径値、強熱減量については、有意な差があるとは言えなかった(水温, $\chi^2=2.22$, $p=0.136$; 塩分, $\chi^2=0.43$, $p=0.513$; 中央粒径値, $\chi^2=0.81$, $p=0.368$; 強熱減量, $\chi^2=0.46$, $p=0.499$)。

生物的環境 各月の各調査地で採集した浮遊性、表在性、埋在性無脊椎動物の総個体数を Fig. 4 に示した。浮遊性無脊椎動物は主にカラスス類 Calanoida, キクロプス類 Cyclopoida, ハルパクチクス類 Harpacticoida であった。表在性無脊椎動物で優占していたのはアミ類

Mysida とヨコエビ類 Gammaridea であり、埋在性無脊椎動物では多毛類 Polychaeta と二枚貝類 Bivalvia であった。表在性および埋在性無脊椎動物の優占分類群の個体数は Fig. 4 に示した。浮遊性、表在性、埋在性無脊椎動物の総個体数、およびアミ類、ヨコエビ類、多毛類、二枚貝類の個体数について GLMM を用いた尤度比検定を行ったところ、すべての項目において砂浜タイプ間で有意な差は認められなかった(浮遊性無脊椎動物, $\chi^2=0.16$, $p=0.687$; 表在性無脊椎動物, $\chi^2=0.07$, $p=0.786$; 埋在性無脊椎動物, $\chi^2=0.68$, $p=0.409$; アミ類, $\chi^2=0.03$, $p=0.871$; ヨコエビ類, $\chi^2=0.22$, $p=0.642$; 多毛類, $\chi^2=0.003$, $p=0.955$; 二枚貝類, $\chi^2=0.22$, $p=0.638$)。

魚類 調査期間を通して採集された魚類は、合計 38 科 52 種 2397 個体であった (Table 1)。個体数で優占

Fig. 4 Mean individual numbers ($\pm$ standard deviation, $n=4$) of zooplankton (total) per m^3 , epifaunal invertebrates (total, mysids and gammaridean amphipods) per $2.5 m^2$ and infaunal invertebrates (total, polychaetes and bivalves) per $1178 cm^3$, collected with a plankton net, sledge net and core sampler, respectively, on each sandy beach at Uchibo, Boso Peninsula, in December 2014 (○), and March (◇), July (□) and September (△) 2015. Open and filled symbols indicate exposed and protected beaches, respectively.

Table 1 Number of individuals of fish species collected by a seine net on each sandy beach in each month

Family	Species	FG	December 2014				March 2015				July 2015				September 2015				Total																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
			OSW	HOT	HSM	KZM	TDR	NAG	OSW	HOT	HSM	KZM	TDR	NAG	OSW	HOT	HSM	KZM		TDR	NAG																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Triakidae	<i>Triakis scyllium</i>	Cr																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												</

Data pooled for four replicate sweeps on each beach.

HOT, Hota; HSM, Hasama; KZM, Kazusaminato; NAG, Nago; OSW, Osaka; TDR, Tadara.

FG, feeding groups; Cr, crab feeders; Fi, fish feeders; Ga, gammaridean amphipod feeders; Is, isopod feeders; My, mysid feeders; Po, polychaete feeders; Ti, terrestrial insect feeders; Zp, zooplankton feeders.

Fig. 5 Mean numbers ($\pm$ standard deviation, $n=4$) of fish species and individuals per 300 m² captured by seine net on each sandy beach at Uchibo, Boso Peninsula, in December 2014 (○), and March (◇), July (□) and September (△) 2015. Open and filled symbols indicate exposed and protected beaches, respectively.

した上位5種はクサフグ *Takifugu niphobles* (総個体数の25.1%), ボラ *Mugil cephalus cephalus* (16.9%), クロウシノシタ *Paraplagusia japonica* (12.2%), ヒイラギ *Nucleolina nuchalis* (8.7%), サッパ *Sardinella zunasi* (8.1%) であり、これらで全体の71.0%を占めた。

各月の各調査地における1曳網(300 m²)あたりの平均種数と平均総個体数をFig. 5に、優占種5種の1曳網あたりの平均個体数をFig. 6に示した。種数と総個体数が砂浜タイプ間で異なるかどうかについてGLMMを用いた尤度比検定で調べたところ、両者において有意な差があるとは言えなかった(種数, $\chi^2=1.84$, $p=0.175$; 総個体数, $\chi^2=3.53$, $p=0.060$)。また、各優占種の個体数についても、ボラ以外の種では有意な差は認められなかった(クサフグ, $\chi^2=1.19$, $p=0.276$; クロウシノシタ, $\chi^2=0.11$, $p=0.745$; ヒイラギ, $\chi^2=0.09$, $p=0.767$; サッパ, $\chi^2=0.46$, $p=0.497$)。ボラは3月に多く出現し(Table 1)、保護的な砂浜で有意に多かった($\chi^2=4.13$, $p=0.042$)。

各月、各調査地の魚類群集に対してNMDSによる分析を行ったところ、それらは砂浜タイプ間で明瞭に分けることはできなかった(Fig. 7)。すなわち、どの月においても魚類群集の種組成は開放的な砂浜と保護的な砂浜で異ならなかった。

各調査地で採集した全魚類と優占種5種の体長頻度

分布を、砂浜タイプごとにFig. 8に示した。GLMMを用いた尤度比検定を行った結果、全魚類およびどの優占種においても、体長は砂浜タイプ間で有意な差があるとは言えなかった(全魚類, $\chi^2=0.006$, $p=0.938$; クサフグ, $\chi^2=0.15$, $p=0.702$; ボラ, $\chi^2=0.32$, $p=0.573$; クロウシノシタ, $\chi^2=0.09$, $p=0.764$; ヒイラギ, $\chi^2=1.20$, $p=0.274$; サッパ, $\chi^2=0.003$, $p=0.954$)。

採集した魚類を食性グループに分類したところ、浮遊性無脊椎動物食魚とアミ類食魚が種数と個体数で優占していた(Table 1)。そのため、それぞれの食性グループについて、種数と個体数が砂浜タイプ間で異なるかどうか、GLMMを用いた尤度比検定で調べた(Fig. 9)。その結果、どちらの食性グループにおいても、種数と個体数に有意な差は認められなかった(浮遊性無脊椎動物食魚の種数, $\chi^2=3.23$, $p=0.072$; 個体数, $\chi^2=0.96$, $p=0.328$; アミ類食魚の種数, $\chi^2=0.02$, $p=0.891$; 個体数, $\chi^2=2.53$, $p=0.112$)。

考 察

物理・生物的環境 調査期間を通して、濁度と溶存酸素量、波高において砂浜海岸のタイプ間で有意な差が認められた。前2者は保護的な砂浜海岸で、後者は開放的な砂浜海岸で高かった。ただし、溶存酸素量における差は極めてわずかであった(Fig. 3)。一方、水温、塩

Fig. 6 Mean number ($\pm$ standard deviation, $n=4$) of individuals per 300 m² for each of the five most dominant fish species captured on each sandy beach at Uchibo, Boso Peninsula, in December 2014 (○), and March (◇), July (□) and September (△) 2015. Open and filled symbols indicate exposed and protected beaches, respectively.

分, 中央粒径値, 強熱減量においては, 砂浜タイプ間で有意な差は認められなかった。また, 魚類の餌となる浮遊性, 表在性, 埋在性無脊椎動物の総個体数も砂浜タイプ間で差があるとは言えなかった。したがって, 本調査域の開放的な砂浜海岸と保護的な砂浜海岸における物理・生物的環境の違いは, 主に波高と濁度であることがわかった。

開放的な砂浜海岸で波高が高いことは, これまでの研究でも報告されており,^{16,17)} 本研究においてもそれを支持する結果となった。開放的な砂浜海岸では, 沖合からの波浪が直接入射してくるため, 保護的な砂浜海岸と比べ, 波高が高くなったものと推察される。一方, 濁度はこれまでの知見と異なり,³⁸⁾ 保護的な砂浜海岸で高かった。一般的に, 砂浜海岸における濁度は底質の攪乱度合いによって異なり, 攪乱が小さいほど低くなると言われている。³⁹⁾ したがって, 濁度は波高の高かった開放的な砂浜海岸で高くなると予想された。しかし, 本研究では, そのような結果は得られなかった。東京湾においては, 濁度は底質の攪乱以外に, 植物プランクトン量によっても影響を受けることが報告されている。²⁰⁾ これは, 閉鎖性の高い内湾的な環境では, 波浪による攪乱が少な

Fig. 7 Non-metric multidimensional scaling plot of Bray-Curtis similarities of fish assemblages among six sandy beaches at Uchibo, Boso Peninsula, in December 2014, and March, July and September 2015. ○, Osawa; △, Hota; □, Hasama; ●, Kazusaminato; ▲, Tadara; ■, Nago. Open and filled symbols indicate exposed and protected beaches, respectively.

Fig. 8 Frequency distributions of standard lengths of all fishes and each of the five most dominant fish species collected on exposed (□) and protected sandy beaches (■) during the study period.

Fig. 9 Mean numbers ($\pm$ standard deviation, $n = 4$) of zooplankton- and mysid-feeding fish species and individuals per 300 m² collected on each sandy beach at Uchibo, Boso Peninsula, in December 2014 (○), and March (◇), July (□) and September (△) 2015. Open and filled symbols indicate exposed and protected beaches, respectively.

く、水の循環が弱いことから、増殖した植物プランクトンが留まりやすいためと考えられている。⁴⁰⁾したがって、本研究の保護的な砂浜海岸でも、植物プランクトンが集積することによって、濁度が高くなったのかもしれない。

魚類群集構造 魚類の種数と総個体数、主要な食性グループである浮遊性無脊椎動物食魚とアミ類食魚の種数と個体数、5種の優占種のうちボラを除く4種の個体数、および全魚類と優占種の体長は、開放的な砂浜海岸と保護的な砂浜海岸の間で有意に異なるとは言えなかった。また、種組成も砂浜タイプ間で異ならず、特定の傾向は認められなかった。したがって、砂浜海岸のタイプ間で波高や濁度に違いはあったものの、魚類群集構造はほとんど異なることが明らかとなった。

既往研究において、砂浜海岸の魚類群集の構造に影響を与える環境要因のひとつとして波浪が指摘されており、^{16-19,41)} 波浪の穏やかな場所では魚類の種数と個体数は多くなることが報告されている。^{7,17,41)} 特に、遊泳力に乏しい小型魚類においては、波浪環境の穏やかな水域に多いとの報告がある。^{23,42,43)} 本調査域では、波浪は開放的な砂浜海岸よりも、保護的な砂浜海岸において穏やかであった。それにもかかわらず、魚類の種数と総個体数は両海岸間で異ならなかった。また、魚類の体長も砂浜タイプ間で差は認められなかった。既往研究において、魚類の種数と個体数が砂浜タイプ間で異なった場合、開放的な砂浜海岸の波高は1mを超え、極めて厳しい波浪環境であった。¹⁷⁾ しかし、本研究の開放的な砂浜海岸では、1mを超すような波はまったく観測されなかった (Fig. 3)。これらのことから、本研究の砂浜タイプ間における波浪環境の違いは、そこに生息する多くの魚類に影響を及ぼすほどではなかったと考えられた。同様の結果は、Mikami *et al.*⁴⁴⁾ によっても報告されている。Mikami *et al.*⁴⁴⁾ は、本調査地のひとつである大佐和海岸において、離岸堤が設置され、波高が低くなった砂浜海岸と、離岸堤がなく、波高の高かった砂浜海岸を比較し、魚類の種数と総個体数は両海岸で異ならなかったことを示した。

砂浜海岸における濁度の違いも、魚類群集の構造に影響を与える環境要因のひとつであり、濁度の高い海岸では、魚類の種数と個体数が多くなることが報告されている。^{41,45)} 濁度の高い水域では、大型魚類などの捕食者の視野が狭くなり、捕食効率が低下する。⁴¹⁾ このため、それらの餌となる小型魚類はそのような場所に集まり、被食を回避すると言われている。⁴⁵⁾ しかし、本調査域では保護的な砂浜海岸において濁度が高かったにもかかわらず、魚類の種数と総個体数は砂浜タイプ間で異ならなかった。したがって、本研究における濁度の違いも、魚類に影響を及ぼすほどではなかったと考えられた。

このように、魚類群集の構造は砂浜海岸のタイプ間ではほとんど異ならなかったが、優占種のボラでは個体数に差がみられ、保護的な砂浜海岸に多かった。本種の出現は主に3月であり、その大部分が体長20–30mmの稚魚であった (Fig. 8)。波浪環境の穏やかな砂浜海岸では、ボラ科魚類の稚魚 (体長30–60mm) が多数出現することが知られている。¹⁶⁾ また、ボラの稚魚は主に水柱の表・中層を遊泳しており、⁴⁶⁾ そこは波浪の影響を強く受ける場所でもある。したがって、ボラの稚魚は、波浪環境が厳しい海岸を避け、本研究の保護的な砂浜海岸のような、少しでも静穏な海岸を選択して分布するのかもしれない。^{43,47)}

以上、本研究の結果より、房総半島内房の開放的な砂浜海岸と保護的な砂浜海岸の間ではいくつかの物理的環境 (主に波高と濁度) に違いがみられたものの、魚類群集構造はほとんど異ならず、両タイプの砂浜海岸には多種多様な魚類が生息していることが明らかとなった。また、本調査域の砂浜海岸には多くの仔稚魚が出現することも報告されている。⁴⁸⁻⁵¹⁾ したがって、房総半島内房の砂浜海岸は開放的か、保護的にかかわらず、魚類にとって重要な生息場となっていることが判明した。今後、内房の砂浜海岸において魚類の種多様性や個体数密度を高いレベルで維持していくためには、砂浜海岸のタイプにとらわれず、それぞれの海岸の環境を適切に管理、保全していくことが必要であると思われる。

謝 辞

本研究を行うにあたり、砂浜海岸での採集調査を許可していただいた富津市下洲漁業協同組合、大佐和漁業協同組合、天羽漁業協同組合、保田漁業協同組合、勝山漁業協同組合、岩井富浦漁業協同組合、館山船形漁業協同組合、西岬漁業協同組合、波左間漁業協同組合、千葉県農林水産部水産課、館山水産事務所、野外調査にご協力いただいた東京大学大学院農学生命科学研究科水域保全学研究室の田中裕一博士、金子誠也氏、川井田 俊氏、藤森 健氏、青山 光氏、小山楓太氏、山本正岳氏、柳原和彦氏、有益なご助言をいただいた水産大学の須田有輔教授、茨城大学広域水圏科学教育研究センターの加納光樹准教授、電力中央研究所の中根幸則博士、匿名の査読者、英文校閲をしていただいた Graham S. Hardy 博士に心より御礼申しあげる。

文 献

- 1) Brown AC, McLachlan A. *Ecology of sandy shores*. Elsevier, Amsterdam. 1990.
- 2) 木下 泉. 砂浜海岸の育成場としての意義. 「砂浜海岸における仔稚魚の生物学」(千田哲資, 木下 泉編) 恒星社厚生閣, 東京. 1998; 122–133.
- 3) 須田有輔, 早川康博. 「砂浜海岸の生態学」 東海大学出版

- 会, 平塚. 2002.
- 4) Selleslagh J, Amara R. Inter-season and interannual variations in fish and macrocrustacean community structure on a eastern English Channel sandy beach: influence of environmental factors. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 2007; **77**: 721–730.
- 5) Inoue T, Suda Y, Sano M. Surf zone fishes in an exposed sandy beach at Sanrimatsubara, Japan: does fish assemblage structure differ among microhabitats? *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 2008; **77**: 1–11.
- 6) Defeo O, McLachlan A. Coupling between macrofauna community structure and beach type: a deconstructive meta-analysis. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 2011; **433**: 29–41.
- 7) Nakane Y, Suda Y, Sano M. Responses of fish assemblage structures to sandy beach types in Kyushu Island, southern Japan. *Mar. Biol.* 2013; **160**: 1563–1581.
- 8) Takahashi K, Hirose T, Kawaguchi K. The importance of intertidal sand-burrowing peracarid crustaceans as prey for fish in the surf-zone of a sandy beach in Otsuchi Bay, northeastern Japan. *Fish. Sci.* 1999; **65**: 856–864.
- 9) Layman CA. Fish assemblage structure of the shallow ocean surf-zone on the eastern shore of Virginia Barrier Islands. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 2000; **51**: 201–213.
- 10) Nakane Y, Suda Y, Sano M. Food habits of fishes on an exposed sandy beach at Fukiagehama, South-West Kyushu Island, Japan. *Helgol. Mar. Res.* 2011; **65**: 123–131.
- 11) McFarland WN. Seasonal change in the number and the biomass of fishes from the surf at Mustang Island, Texas. *Publ. Inst. Mar. Sci. Texas* 1963; **9**: 91–105.
- 12) Lasiak TA. Structural aspects of the surf-zone fish assemblage at King's Beach, Algoa Bay, South Africa: long-term fluctuations. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 1984; **18**: 459–483.
- 13) Yang C-Y, Senta T. The surf zone ichthyofauna of the Penghu Islands, Taiwan. *Bull. Fac. Fish., Nagasaki Univ.* 1993; **73**: 7–14.
- 14) Nanami A, Endo T. Seasonal dynamics of fish assemblage structures in a surf zone on an exposed sandy beach in Japan. *Ichthyol. Res.* 2007; **54**: 277–286.
- 15) 時岡 隆, 原田英司, 西村三郎.「海の生態学」築地書館, 東京. 1972.
- 16) Clark BM. Variation in surf-zone fish community structure across a wave-exposure gradient. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 1997; **44**: 659–674.
- 17) Romer GS. Surf zone fish community and species response to a wave energy gradient. *J. Fish Biol.* 1990; **36**: 279–287.
- 18) Pattrick P, Strydom NA. The effects of exposure in sandy beach surf zones on larval fishes. *J. Fish Biol.* 2014; **84**: 1354–1376.
- 19) Inui R, Nishida T, Onikura N, Eguchi K, Kawagishi M, Nakatani M, Oikawa S. Physical factors influencing immature-fish communities in the surf zones of sandy beaches in northwestern Kyushu Island, Japan. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 2010; **86**: 467–476.
- 20) 東京湾海洋環境研究委員会編.「東京湾：人と自然のかかわりの再生」恒星社厚生閣, 東京. 2011.
- 21) 河野 博. 東京湾とはどんなところだろう.「東京湾：魚の自然誌」(東京海洋大学魚類学研究室編)平凡社, 東京. 2006; 17–29.
- 22) 千葉県. 東京湾沿岸海岸保全基本計画第2回内房検討委員会資料. 千葉. 2013.
- 23) 荒山和則, 河野 博. 砂浜海岸：波が砕ける場所における仔稚魚の生き残り戦略.「魚類の初期生活史研究」(望岡典隆, 木下 泉, 南 卓志編)恒星社厚生閣, 東京. 2015; 55–64.
- 24) 國松孝男, 村岡浩爾編.「河川汚濁のモデル解析」技報堂出版, 東京. 1989.
- 25) Wright LD, Short AD. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. *Mar. Geol.* 1984; **56**: 93–118.
- 26) 日本海洋学会編.「沿岸環境調査マニュアル底質・生物編」恒星社厚生閣, 東京. 1986.
- 27) 土質試験法編集委員会編.「土質試験の方法と解説」土質工学会, 東京. 1990.
- 28) 環境庁水質保全局水質管理課編.「改訂版底質調査方法とその解説」日本環境測定分析協会, 東京. 1990.
- 29) Aldred RG, Thurston MH, Rice AL, Morley DR. An acoustically monitored opening and closing epibenthic sled. *Deep-Sea Res.* 1976; **23**: 167–174.
- 30) 中坊敬次編.「日本産魚類検索：全種の同定, 第三版」東海大学出版会, 平塚. 2013.
- 31) 沖山宗雄編.「日本産稚魚図鑑, 第二版」東海大学出版会, 平塚. 2014.
- 32) Mohsin AKM, Ambak MA. *Marine fishes and fisheries of Malaysia and neighbouring countries*. Universiti Pertanian Malaysia Press, Serdang. 1996.
- 33) Inoue T, Suda Y, Sano M. Food habits of fishes in the surf zone of a sandy beach at Sanrimatsubara, Fukuoka Prefecture, Japan. *Ichthyol. Res.* 2005; **52**: 9–14.
- 34) Field JG, Clarke KR, Warwick RM. A practical strategy for analysing multispecies distribution patterns. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 1982; **8**: 37–52.
- 35) Kruskal JB. Multidimensional scaling by optimizing goodness of fit to a nonmetric hypothesis. *Psychometrika* 1964; **29**: 1–27.
- 36) 永田 靖, 棟近雅彦.「多変量解析法入門」サイエンス社, 東京. 2001.
- 37) 小林四郎.「生物群集の多変量解析」蒼樹書房, 東京. 1995.
- 38) Clark BM, Bennett BA, Lamberth SJ. Factors affecting spatial variability in seine net catches of fish in the surf zone of False Bay, South Africa. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 1996; **131**: 17–34.
- 39) 内山雄介, 加藤一正, 栗山善昭, 古川恵太. 東京湾盤洲干潟の漂砂特性について. 海岸工学論文集 2000; **47**: 521–525.
- 40) 成田美穂, 荒川久幸, 下田 徹, 森永 勤. 東京湾における溶存態有機物と懸濁物による濁度の分布および各起因物質との関係. 東京海洋大学研究報告 2006; **2**: 35–46.
- 41) Mont'Alverne R, Moraes LE, Rodrigues FL, Vieira JP. Do mud deposition events on sandy beaches affect surf zone ichthyofauna? A southern Brazilian case study. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 2012; **102–103**: 116–125.
- 42) Watt-Pringle P, Strydom NA. Habitat use by larval fishes in a temperate South African surf zone. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 2003; **58**: 765–774.
- 43) Tatematsu S, Usui S, Kanai T, Tanaka Y, Hyakunari W, Kaneko S, Kanou K, Sano M. Influence of artificial headlands on fish assemblage structure in the surf zone of a sandy beach, Kashimanada Coast, Ibaraki Prefecture, central Japan. *Fish. Sci.* 2014; **80**: 555–568.
- 44) Mikami S, Nakane Y, Sano M. Influence of offshore breakwaters on fish assemblage structure in the surf zone of a sandy beach in Tokyo Bay, central Japan. *Fish. Sci.*

- 2012; **78**: 113–121.
- 45) Blaber SJM, Blaber TG. Factors affecting the distribution of juvenile estuarine and inshore fish. *J. Fish Biol.* 1980; **17**: 143–162.
- 46) 乃一哲久, 木下 泉. 稚魚の生き残り戦略: 保護色・隠蔽的擬態. 「砂浜海岸における仔稚魚の生物学」(千田哲資, 木下 泉編) 恒星社厚生閣, 東京. 1998; 113–121.
- 47) 瀧ヶ崎一弥, 佐野光彦. 浜名湖の埋立地に建設された人工水路の魚類群集構造: 隣接した開放的な沿岸海域との比較. *La Mer* 2013; **51**: 73–84.
- 48) 荒山和則, 今井 仁, 加納光樹, 河野 博. 東京湾外湾の碎波帯の魚類相. *La Mer* 2002; **40**: 59–70.
- 49) 荒山和則, 今井 仁, 河野 博, 藤田 清. 砂浜海岸碎波帯におけるシロギスの初期生活史. *日本水産学会誌* 2003; **69**: 359–367.
- 50) 荒山和則, 河野 博. 館山湾の砂浜海岸におけるシロギス仔稚魚と餌生物の鉛直分布. *水産増殖* 2004; **52**: 167–170.
- 51) 荒山和則, 河野 博, 茂木正人. 館山湾の砂浜海岸におけるアユ仔稚魚の季節的および日周的出現様式. *水産増殖* 2007; **55**: 245–252.