

ヒラメ稚魚の底質選択性に関する実験的研究<sup>\*1</sup>小出水規行<sup>\*2</sup>・竹下貢二<sup>\*3</sup>Experimental Study on Substratum Preference of Juvenile Flounder  
*Paralichthys olivaceus*Noriyuki Koizumi<sup>\*2</sup> and Koji Takeshita<sup>\*3</sup>

Substratum preference of juvenile flounder, *Paralichthys olivaceus*, was discussed in relation to the density of individuals, based on selection experiments in aquariums for two different substrata, fine sand and coarse sand. Most fish settled in fine sand in the case of low density, while the rate of settlement in fine sand decreased with an increase of the density. The results of the experiment suggested that the mode of preference was affected and the measure of value of the substratum environment for fish changed by the density of settlers. The relationship between the mode of substratum preference and the density of settlers was examined by the "Environmental density" method. Computation of the environmental density showed that the fine sand was a highly preferable substratum to coarse sand for settling of the fish, and also suggested that there was interference among the fish in case of a high density. Binomial distribution indicated that the interference among the fish was negligible in the case of a low density.

## 1 緒 言

ヒラメ *Paralichthys olivaceus* は栽培漁業の対象種として重要であり、放流されたヒラメ稚魚（種苗）の放流環境に対する順化過程については、資源増殖の立場からも強い関心がもたれている<sup>1,2)</sup>。稚魚期のヒラメが着底に際して強い砂底指向をもっていることは、これまでの野外における調査・研究<sup>3-5)</sup>や底質選択に関する実験<sup>6,7)</sup>から明らかにされている。このような底質指向性は、ヒラメの重要な生物学的特性の一つであり、ヒラメ稚魚の底質指向性と生息密

度の関係を解明することは、種苗放流効果を高める上でも不可欠である。

本報では、ヒラメ稚魚の底質（粒子径）選択性を実験的に評価することを試みた。選択性の評価においては森下<sup>8)</sup>が提唱した環境密度理論に基づき、異質な2つの底質環境を個体密度の尺度によってあらし、底質選択の仕方と個体密度の関係について検討した。

水産大学校研究業績 第1488号, 1994年11月7日受付.

Contribution from Shimonoseki University of Fisheries, No. 1488. Received Nov. 7, 1994.

<sup>\*1</sup>平成3年4月 平成3年度日本水産学会春季大会（東京）にて発表.

<sup>\*2</sup>東京大学海洋研究所（Ocean Research Institute, University of Tokyo）.

<sup>\*3</sup>水産大学校増殖学科水産資源学講座（Laboratory of Fish Population Biology, Department of Biology and Aquaculture, Shimonoseki University of Fisheries）.

## 2 材料および方法

### 2.1 実験材料

実験には、1990年6月に山口県下松市栽培漁業センターで放流用種苗として生産された、体長50~60mmの稚魚期のヒラメを用いた。

実験水槽として、たて150mm、横255mm、深さ160mmの灰色不透明のプラスチック容器を用い、容器の2つの側壁中央部には60×150mmの穴を開け、3mm目のネットを張った。水槽の底には細砂および粗砂の2種類の砂 (Table 1) を、それぞれ等面積に約20mmの高さまで敷いた (Fig. 1)。

この実験水槽5基を流水式的大型水槽 (たて70.0cm、横110.0cm、深さ25.0cm) 内に設置し、大型水槽の1カ所から毎分約2000cm<sup>3</sup>の海水を供給した。各実験水槽には、それに近接してエアーストーンを1基配置し、側壁に設けた網張りの窓を通じて通気を行った (Fig. 1)。

Table 1. Category of substratum and grain size

| Category    | Grain size (mm) | Composition (% of weight) |
|-------------|-----------------|---------------------------|
| Fine sand   | ~ 0.063         | 13.75                     |
|             | 0.063 ~ 0.125   | 0.77                      |
|             | 0.125 ~ 0.250   | 65.87                     |
|             | 0.250 ~ 0.500   | 19.63                     |
| Coarse sand | 1.000 ~ 2.000   | 100.00                    |

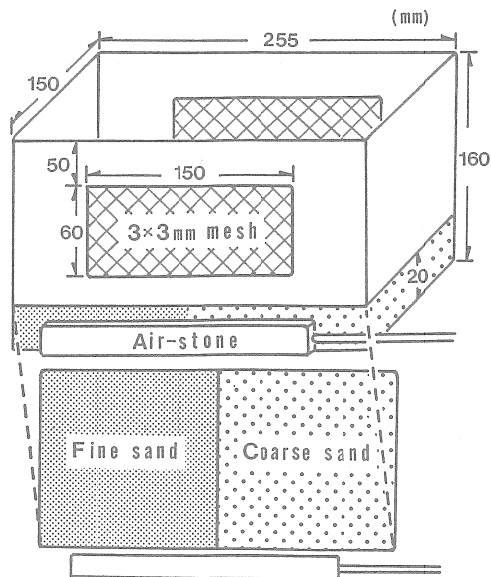


Fig. 1 Illustration of experimental aquarium.

### 2.2 実験方法

実験水槽1基 (382.5cm<sup>2</sup>) 当たりのヒラメ供試魚の収容密度は、1, 2, 3, 4, 5, 6, 8および10個体とした。供試魚の水槽への収容に関しては、細砂と粗砂の境界線上で魚体頭部から水中に入れ、魚体背側が細砂側に向くものと、粗砂側に向くものとが交互になるように行った。収容個体が安位安定すると思われる、収容24時間後の観察結果を個体を選択した底質として採用した。実験は、同一個体を連続して使用しないよう配慮した上で、収容密度別に24~26回くり返した。

観察結果では、着底・潜砂している個体を着底個体とした。着底個体の上に重なっていたり、水槽壁にしているものは不着底個体とした。また、観察時に死亡していた個体も不着底固定として扱ったが、それらは観察個体数973中、10個体であった。本報告では「着底個体数/収容密度 (個体数)」を「着底率」と定義している。

実験は、1990年7月27日~9月22日にかけて室内で行い (最高照度は約40lx, 実験時の水温は24.1~29.0℃であった。観察時を除いて水槽を蓋で覆い、収容個体への給餌は行わなかった。

### 2.3 環境密度理論に基づく確率分布式の適用

収容密度の増加に伴うヒラメ供試魚の底質選択のあり方を解析するため、着底個体の細砂側と粗砂側へのふり分けについて確率分布式の適用を試みた。森下<sup>8)</sup>は実験小容器の一半に細砂を、他の一半に粗砂を入れ、アリジゴクをその境目に入れて営巣場所を選択させた。数回にわたり実験をくり返した結果、1匹の場合はほとんどが細砂側に営巣するが、2匹の場合はどちらか1匹が粗砂側に営巣する現象が起きた。個体数を多くするにつれ、粗砂側の営巣個体数はしだいに細砂側に近づく。これは細砂側に1匹またはそれ以上の個体が営巣すると、後から細砂側に入ろうとする個体にとっては、営巣場所としての細砂側の価値が低下し、粗砂側に入る確率が相対的に増加することによるものと考えられる。

以上の考えに基づき、森下<sup>8)</sup>はアリジゴクにとっての環境条件の“悪さ”を総合的に個体密度に換算し、換算された環境指標値を「環境密度」と名付けた。環境密度を個体間の干渉に関連させると、負の干渉 (反発性) がみられる場合、環境密度を用いた確率分布式 (森下型) は、

$$P_{x(n+1)} = \frac{E_A + x}{E_A + E_B + n} P_{x(n)} + \left(1 - \frac{E_A + x - 1}{E_A + E_B + n}\right) P_{x-1(n)} \quad (1)$$

ただし、 $P_{1(1)} = \frac{E_B}{E_A + E_B}$ ,  $P_{0(1)} = \frac{E_A}{E_A + E_B}$

ここで、 $n$ =営巣個体数、 $x$ =細砂側の営巣個体数、 $E_A$ =細砂側の環境密度、 $E_B$ =粗砂側の環境密度。環境密度の値が大きいことは環境の“悪さ”を意味する。

一方、負の干渉がみられず、正の干渉（誘引性）がある場合の確率分布式（Polya-Eggenberger型）は、

$$P_{x(n+1)} = \binom{n}{x} \frac{E_A(E_A+1)(E_A+2)\cdots(E_A+x-1)}{(E_A+E_B)(E_A+E_B+1)(E_A+E_B+2)\cdots(E_A+E_B+n-1)} \quad (2)$$

ここで、 $n$ =営巣個体数、 $x$ =細砂側の営巣個体数、 $E_A$ =細砂側の環境密度、 $E_B$ =粗砂側の環境密度。(2)式では、環境密度の値の大きいことは環境の“良さ”を意味する<sup>8)</sup>。

もし、個体間の干渉がない場合、粗砂側（または細砂側）を選択し着底する確率は、二項確率分布式で説明できる。

$$P_{x(n)} = \binom{n}{x} \cdot p^x \cdot q^{n-x} \quad (p=1-q) \quad (3)$$

ここで、 $n$ =営巣個体数、 $x$ =細砂側の営巣個体数、 $p$ =細砂側の営巣確率、 $q$ =粗砂側の営巣確率。

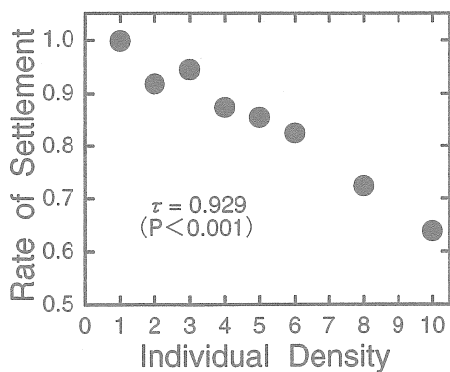


Fig. 2 Relationship between individual density and rate of settlement.

### 3 結果および考察

収容密度と着底率の関係を Fig. 2 に示す。着底率は収容密度の増加に伴い減少する傾向が認められた（Kendall の順位相関係数  $\tau = 0.929$ ,  $P < 0.001$ ）。これは実験水槽という閉鎖的空間における、密度効果によるものと考えられた。

着底個体数別に全ての実験結果をとりまとめ、着底個体数に対する細砂側および粗砂側の期待値（平均個体数）を図示した（Fig. 3）。それによると、着底個体数が1個体の場合、細砂側の期待値は粗砂側と比較してかなり大きく、ヒラメ稚魚は着底に際して細砂側を選択する傾向を示した。そして、この傾向は着底個体数が4個体に達するまで続き、期待値の差は着底個体数の増加とともに広がった。着底個体数が4個体を越えた場合も、期待値は細砂側で大きかった。しかし、着底個体数の増加とともに細砂側と粗砂側の期待値の差はほぼ一定となり、細砂側への着底率が低下していることを示した。これらの結果は、ヒラメ稚魚の底質選択が着底個体数によって影響され、着底する個体にとっての底質環境の価値が異なって行くことを示唆している。

底質選択の仕方は着底4個体を境に違いが認められるので（Fig. 3）、着底個体数が1～4個体と4個体以上の場合に分けて確率分布式の適用を行った。計算に用いる着底個体数別の細砂側の着底個体数頻度を Fig. 4 に示す。

着底個体数が4個体以上の場合、細砂側と粗砂側の期待値の差はほぼ一定である（Fig. 3）。環境密度理論によると

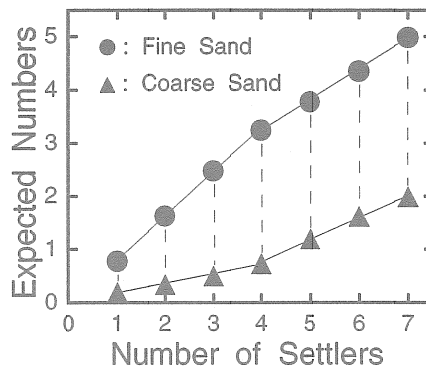


Fig. 3 Relationship between number of settlers and expected number of settlers in fine and coarse sand. Solid lines were fitted by free hand. Vertical dotted lines show that difference of expected number of settlers in fine and coarse sand.

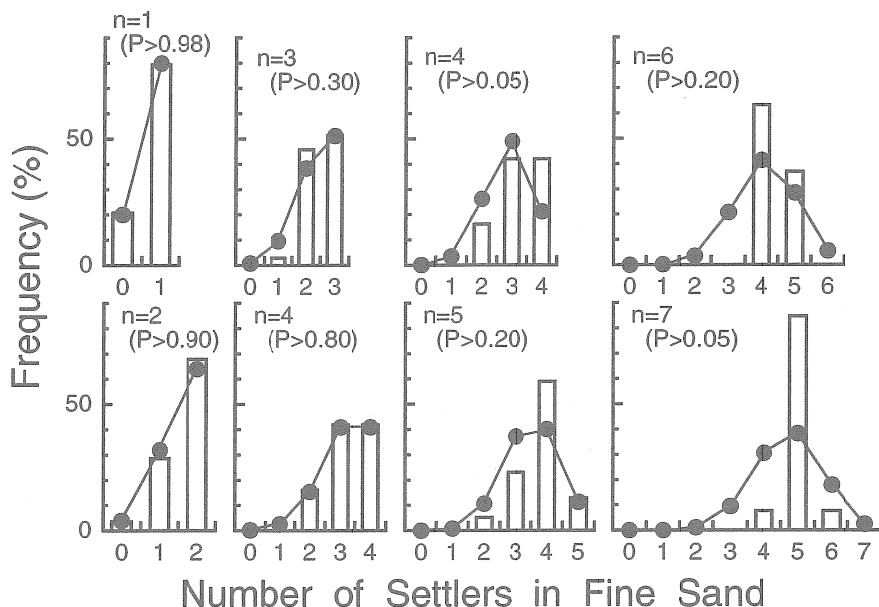


Fig. 4 Frequency (%) distribution of settlers in fine sand for 1 to 7 settlers (n). Bars and closed circles show observed and theoretical frequency respectively. Theoretical frequency were calculated with binomial distribution in case of 1 to 4 settlers and Morishita type distribution in case of 4 to 7 settlers. Difference of observed and theoretical frequency are examined with  $\chi^2$  test.

(1)式の適用が可能であり<sup>8)</sup>、久保<sup>9)</sup>の計算手順に従って求めた理論頻度を Fig. 4 に示す。 $\chi^2$ 検定の結果、実測値と理論値間に有意差は認められず、環境密度の値は細砂側で1.5、粗砂側で6.2となった。細砂側は粗砂側に比べて、ヒラメ稚魚にとってはるかに好ましい底質環境を提示した。

着底個体数が1～4個体の場合、着底個体数の増加に伴い細砂側と粗砂側の期待値の差は広がることから (Fig. 3)、(2)式の適用が可能である<sup>8)</sup>。計算の結果、実測値と理論値間の差は有意に認められず ( $\chi^2$ 検定,  $P>0.05$ )、環境密度の値は細砂側で6.0、粗砂側で1.5となった。着底個体数が4個体以上の場合と同様に、ヒラメ稚魚にとってのより好ましい底質環境は細砂側であった。

着底個体数が1～4個体の場合は、(3)式による説明も可能であり<sup>8)</sup>、求めた理論頻度を Fig. 4 に示す。実測値と理論値間に有意差は認められず、(2)式よりも当てはまりのよい結果が得られた。着底個体数が4個体に達するまでは、個体間の干渉は存在しないと考えた方が妥当である。

反田<sup>6)</sup>および Tanda<sup>7)</sup>はヒラメ稚魚の潜砂能力と底質選択について水槽実験を行い、ヒラメ稚魚が中位サイズの砂(0.125～0.500mm)に対して高い選択性をもつことを例証し

ている。本研究では細砂(0.125～0.500mm)と粗砂(1.000～2.000mm)の異なる底質環境に対する、ヒラメ稚魚の底質選択の仕方と(着底)個体密度との関係を中心に検討した。

本実験の条件下では個体密度が4尾以上の場合、個体の着底分布に関して森下型の確率分布式<sup>8)</sup>が適用でき、個体間に負の干渉が存在することを示した。一方、4個体以下の場合、Polya-Eggenbarger型の確率分布式よりも二項確率分布式による説明の方が妥当なことから、底質選択に関する個体間の干渉を考慮する必要はないことが考えられた。

小坂<sup>10)</sup>はカレイ類を用いた底質選択実験において、森下型の確率分布式が当てはまることから、個体間に負の干渉があることを示した。久保<sup>9)</sup>は、アベハゼの底質選択に Polya-Eggenbarger 型の確率分布式が適用できることから、個体間に正の干渉があることを報告している。本実験のヒラメ稚魚では個体密度が一定の水準になると、個体間の干渉があらわれることが示唆された。これは個体密度がその水準に達するまで、底質指向性は個体密度によって大きく影響されないが、その水準を越えると個体間に負の干渉があらわれ、個体密度が底質選択の仕方に影響を及ぼすようになることとみなせる。しかしながら、本研究は限られた一定

空間の下で行われたものである。様々な面積と密度の組合せによる実験を進めることにより、個体密度と個体間の干渉とのあらわれ方が一層明確になると考えられる。

#### 4 要 約

- (1) 閉鎖的空間におけるヒラメ稚魚(体長50~60mm)の底質選択の仕方は、着底個体密度によって影響され、個体密度が一定の水準以上になると、それまでとの底質選択の仕方に違いが認められた。
- (2) 環境密度理論を適用した結果、細砂は粗砂に比べてヒラメ稚魚にとってはるかに好ましい底質環境であると判断された。
- (3) 個体密度が高い場合、底質選択の仕方は森下型の確率分布式に適合し、個体間には負の干渉が存在することが示唆された。個体密度が低い場合、Polya-Eggenberger型の確率分布式よりも二項確率分布式の方がよりよく適合し、底質選択の仕方に個体間の干渉を考慮する必要はないと考えられた。
- (4) ヒラメ稚魚の底質選択の仕方は環境密度理論で説明できる。環境密度は稚魚にとっての環境価値を評価するための、一つの指標になりうると考えられた。

#### 謝 辞

本報告をとりまとめるにあたり、西海区水産研究所下関支所阿部 寧博士(当時)からは全般に亘る御校閲を頂いた。東京大学海洋研究所の松宮義晴博士には有益な御指導を頂いた。山口県内海栽培漁業センター田村 瀧所長(当時)ならびに(財)下松市栽培漁業センター宇都宮 正氏(当

時)からは実験魚を提供して頂いた。実験観察には、水産大学校増殖学科学生の河上拓史氏(当時)に多大な御協力を頂いた。記して深甚の謝意を表する。

#### 引用文献

- 1) 小嶋喜久夫・土門 隆・花測靖子・木下貴裕：昭和59・60年度近海漁業資源の家魚化システムの開発に関する総合研究(マリーナランチング計画)プロGRESS・レポート, ヒラメ・カレイ(2), 47-55(1986).
- 2) 山口県水産課・(財)山口県漁村振興協議会：栽培漁業のてびき, 51-70(1987).
- 3) 板野英彬：昭和57・58年度近海漁業資源の家魚化システムの開発に関する総合研究(マリーナランチング計画)プロGRESS・レポート, ヒラメ・カレイ(1), 31-40(1985).
- 4) 首藤宏幸・鬼頭 鈞・畔田正格・池本麗子：昭和57・58年度近海漁業資源の家魚化システムの開発に関する総合研究(マリーナランチング計画)プロGRESS・レポート, ヒラメ・カレイ(1), 77-80(1985).
- 5) 小嶋喜久夫・花測信夫・大森迪夫・花測靖子：昭和57・58年度近海漁業資源の家魚化システムの開発に関する総合研究(マリーナランチング計画)プロGRESS・レポート, ヒラメ・カレイ(1), 81-91(1985).
- 6) 反田 實：水産増殖, **36**, 21-25(1988).
- 7) M. Tanda : *Nippon Suisan Gakkaishi*, **56**, 1543-1548(1990).
- 8) 森下正明：生理生態, **5**, 1-16(1952).
- 9) 久保浩洋：日生態会誌, **7**, 80-84(1957).
- 10) 小坂昌也：日水誌, **22**, 284-288(1956).