

## 大阪湾におけるイカナゴ *Ammodytes personatus* 仔魚の鉛直分布と 摂餌に対する水中照度の影響

日下部敬之, 中嶋昌紀, 佐野雅基, 渡辺和夫

(1999年12月7日受付, 2000年3月1日受理)

### The Influence of Light Intensity on the Vertical Distribution and Feeding of Japanese Sand Lance *Ammodytes personatus* Larvae in Osaka Bay

Takayuki Kusakabe,<sup>\*1</sup> Masaki Nakajima,<sup>\*1</sup>  
Masaki Sano,<sup>\*1</sup> and Kazuo Watanabe<sup>\*2</sup>

The vertical distribution and feeding of Japanese sand lance *Ammodytes personatus* larvae were examined based on the data obtained by 5 times of MTD depth-discrete net tows in Osaka Bay during daytime in January 1991, January and February 1992, and January 1993. Vertical distributions of light intensity, temperature, salinity, and copepods abundance were also measured. Sand lance larvae were abundant in 1-10 m depth (especially at 5 m depth), while the vertical profiles of temperature and salinity were not stratified. The value of fullness of gut of larvae (*F.G.*) declined with increasing depth, whereas the vertical distribution of copepods was not consistent with *F.G.* The data from laboratory experiments demonstrated that light intensity lower than 10<sup>2</sup> lx is insufficient for feeding of sand lance larvae (14 days after hatching, mean T.L. = 6.8 mm) on rotifers. In the field, light intensity lower than 10<sup>2</sup> lx occurred at 15-20 m depth. These facts suggest that the distribution depth of sand lance larvae during daytime is strongly related to light intensity necessary for feeding.

キーワード: 大阪湾, イカナゴ, 仔魚, 鉛直分布, 摂餌, 水中照度

瀬戸内海においてイカナゴ *Ammodytes personatus* は12月から1月にかけて産卵し,<sup>1)</sup> 2月末から5月にかけて, 全長30~50 mmに成長した稚魚が機船船びき網で漁獲される。瀬戸内海における1997年の本種の漁獲量は23,320トンであり,<sup>2)</sup> 同海域の海面漁業全体の9.4%を占める重要な魚種となっている。しかしイカナゴ漁業は, その年に新たに発生した稚魚を対象とするため, 稚魚の加入量によって漁獲量は大きく左右され, 変動が激しい。瀬戸内海地域でも, 過去10年間で, 最高と最低の間に約2.7倍の差がみられている。船越, 中村<sup>3)</sup>は, 本種の漁獲加入量の規模が決定される時期を明らかにするため, 発育段階間で個体数の相関関係を調べた。それによれば, 仔魚期初期の前後で個体数の相関係数が低くなっており, この時期の生残率の年変動が激しいことが明らかになった。これは, イカナゴの資源量が, 仔魚期初期の環境条件によって大きく左右されることを意味している。

したがって, 本種の資源量変動要因を明らかにするためには, 仔魚期の生態を解明することが不可欠であり, 中でも仔魚の鉛直分布と環境条件との関係は, 仔魚期の分布特性や摂餌生態を明らかにする上できわめて重要である。これについては過去に井上<sup>4)</sup>, Yamashita *et al.*<sup>5)</sup>の報告があり, イカナゴ仔魚が昼間は5~15 mの比較的浅い層に集中し, 夜間にはそれより深い層へ分散することが明らかにされている。また, 北海に生息する同属の *A. marinus* について Ryland<sup>6)</sup>は, 仔魚が日中は100~5,000 lxの水深5~10 m層に多く出現し, 夜間は一樣に分散すると述べている。このような *Ammodytes* 属の鉛直分布様式について Yamashita *et al.*<sup>5)</sup>は, イカナゴ仔魚の摂餌が昼間に行われること, 日中浅い層に集中し始めるサイズが卵黄を吸収して本格的に摂餌を始めるサイズと一致していること, その反面, 餌料生物であるカイアシ類幼生は鉛直的にはほぼ一樣に分布していることなどから, 海中の明るさと何らかの関係があるのでは

<sup>\*1</sup> 大阪府立水産試験場 (Osaka Prefectural Fisheries Experimental Station, Tanagawa, Misaki, Sennan, Osaka 599-0311, Japan).

<sup>\*2</sup> 三洋テクノマリン株式会社大阪支社 (Sanyo Techno Marine, Inc., Shichikenya, Higashiosaka, Osaka 577-0005, Japan).

ないかと述べている。

これらの知見に基づき, 本研究では, 大阪湾における各種環境要因とイカナゴ仔魚の鉛直分布および摂餌の関係を調べ, 飼育実験により得られた照度と摂餌量との関係と比較分析することにより, イカナゴ仔魚の鉛直分布様式の形成機構について検討を行った。

### 材料と方法

野外調査は, Fig. 1 に示した大阪湾中央部のやや明石海峡寄りに位置する, 水深約 50 m の地点でいずれも昼間に行った。この地点は, 播磨灘から明石海峡を通じてイカナゴ仔魚が大阪湾に流入してくる経路となっており, 湾内では比較的仔魚密度が高い海域である。1991 年の 1 月 19 日と 1 月 31 日には, 仔魚の層別採集, 水温, 塩分ならびに水中照度の測定を行い, 1992 年の 1 月 27 日と 2 月 10 日, および 1993 年 1 月 30 日には, 仔魚の層別採集, 水温, 塩分測定, プランクトンの層別採集を行った。仔魚の層別採集は口径 56 cm, 目合 0.35 mm の MTD ネットを用いて 1, 5, 10, 20, 40 m の各層で行った (1991 年の調査においては 20 m 層までの 4 層で実施)。得られたサンプルは現場で 10% ホルマリン海水で固定し, 実験室に持ち帰ってイカナゴ仔魚の計数, 全長測定を行った。得られた仔魚の個体数は, 各ネットごとに取り付けたる水計の回転数を用いて単位ろ水量あたりに換算した。仔魚の消化管内容物分析には 1993 年のサンプルを用いた。Yamashita *et al.*<sup>9)</sup> に従い, 消化管内の餌生物量の指標として, 消化管内容物量指数 (F.G.) を

$$F.G. (\%) = \frac{\text{内容物が入っている部分の消化管長}}{\text{消化管全長}} \times 100$$

で求めた後, 餌料生物の種査定, 個体数計数を行った。水温, 塩分は STD (アレック電子製 AST-1000S 型) で海面から最深の採集層まで, 水中照度は光電池式水中照度計 (石川産業製 IH-1 型) で海面から 22 m 層まで

測定した。また, バンドン採水器で仔魚採集と同じ水深から海水 2 l を採水し, ホルマリンを 2% になるよう添加して実験室で沈殿法によって濃縮した後, プランクトンの種の査定と個体数の計数を行った。

照度と摂餌に関する室内実験は, 1997 年の 2 月に行った。使用した仔魚は, 満 1 歳の親魚から得た卵を人工授精して得たふ化後 14 日齢の個体であり, 平均全長は 6.8 mm であった。実験にあたっては, ろ過海水を入れた 10 l のアクリル製円筒形水槽を, 上面だけから光の入る容器に入れ, 容器の上面を白色フィルターで覆うことにより, 5 通りの水面照度 (0, 10, 10<sup>2</sup>, 10<sup>3</sup>, 10<sup>4</sup> lx) を設定した。光源には 580 nm 付近に分光スペクトルの極大を持つ昼光色蛍光灯 (松下電器産業製フルホワイト) を使用し, 水温は 11°C とした。また仔魚密度は 7~10 個体/l, ワムシ密度は 12.5 個体/ml とした。実験にあたっては, 12 時間の暗黒および絶食の後, 2 時間所定の照度を保って摂餌させ, その後速やかに仔魚を回収して急速冷凍して死亡させた後, 10% ホルマリンで固定し, 各照度につき 45 個体を抽出して消化管内のワムシ個体数を計数した。

水深別の F.G. 値と照度別のワムシ摂食数の差の検定には, Kruskal-Wallis のノンパラメトリック分散分析と Dunn の多重比較を用いた。

### 結 果

採集点の水温, 塩分は, いずれの調査日にも鉛直的にほぼ一様であった (Fig. 2)。計 5 回の曳網で 13,803 個体の仔魚を得たが, 全調査を平均した仔魚の鉛直分布をみると, 5 m 層に密度の極大があり, 次いで 10 m, 1 m 層の順に密度が高かった (Fig. 3)。全長別では, 全長 4 mm 未満のふ化後間もない仔魚では, 成長の進んだ仔魚に比べて 20 m および 40 m 層での出現割合が比較的高かったが, 4 mm 以上ではこれらの層にほとんど出現しなかった。逆に 1 m 層の出現割合は, 成長に伴って徐々に増加した。全長 8 mm を越えると 10 m 層の出現割合にも増加がみられ, 10 mm 以上の個体は, 水深 10 m 以浅の層にほぼ均等に分布していた。

仔魚は発生のごく初期には繊毛虫類を比較的多く摂食していたが, 全長 4 mm を越えると主に甲殻類卵とかいあし類幼生を摂食するようになり, 全長 6 mm 以上では個体数比率で 54~58% が甲殻類卵, 残りがかいあし類幼生となった (Fig. 4)。また食べられていたかいあし類幼生の发育段階は, 初期では全てがノープリウス幼生であったが, 成長に伴って徐々にコペポダイト幼生の割合が増加し, 10 mm 以上ではかいあし類の約 26% がコペポダイト幼生であった。消化管内容物量指数 (F.G.) は, ふ化後間もない小さな個体では低かった

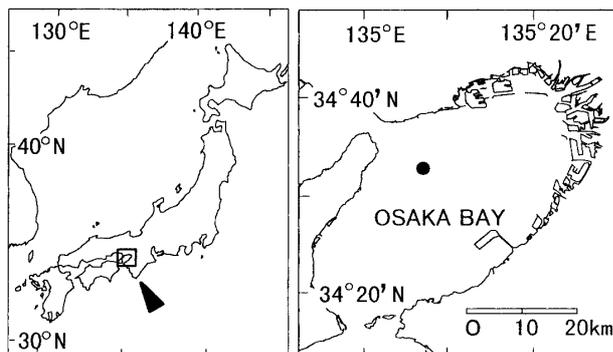


Fig. 1. Location of the sampling point in Osaka Bay.

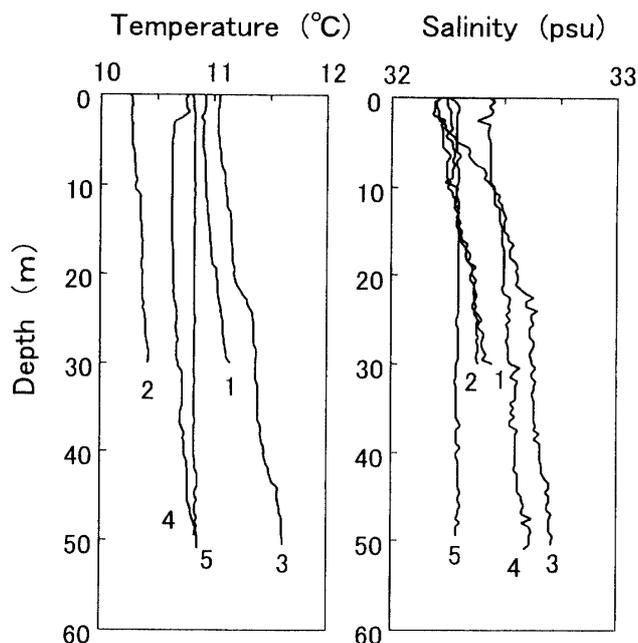


Fig. 2. Temperature and salinity depth-profiles at the sampling point in Osaka Bay.

The number of each curve represents the sampling date as follows. 1, Jan. 19, 1991; 2, Jan. 31, 1991; 3, Jan. 27, 1992; 4, Feb. 10, 1992; 5, Jan. 30, 1993.

が, 成長と共に増加し, 全長 6 mm 以上では概ね 80% 以上となった (Fig. 5)。そこで, 各水深層の採集仔魚から全長 6 mm 以上の個体のみを抽出し, 各層の *F.G.* を比較した (Fig. 6)。深い層では仔魚の密度が低く, 特に成長した個体はほとんど得られなかった (40 m 層では 1 個体のみ) が, 全体として浅い層ほど *F.G.* が高く, 深い層では低い傾向が明瞭に認められた。40 m 層を除いた 4 層の間で *F.G.* 値の分散分析と多重比較を行った結果, 危険率 5% で 1 m 層と 5 m 層とは差がなく, この 2 者と 10 m 層, この 2 者と 20 m 層, および 10 m 層と 20 m 層の間にはそれぞれ有意な差が認められた。すなわち, 浅い層にいるイカナゴ仔魚ほど多くの餌を食べていた。

イカナゴ仔魚の餌料生物として重要な, かいあし類のノープリウスとコベポダイトの鉛直分布 (1992 年 1 月 27 日, 2 月 10 日, 1993 年 1 月 30 日の 3 回の平均値) を Fig. 7 に示した。ノープリウスは 20 m 層で最も密度が高かったが, 最も低密度だった水深 40 m 層の 2 倍程度であり, 水深による差は比較的少なかった。それに対してコベポダイトは浅い層で少なく, 深い層で密度が高かったが, いずれも仔魚の *F.G.* 値に対応する分布ではなかった。

1991 年 1 月 19 日と 1 月 31 日の水中照度の鉛直分布を Fig. 8 に示した。両日で海水の透明度に差があった

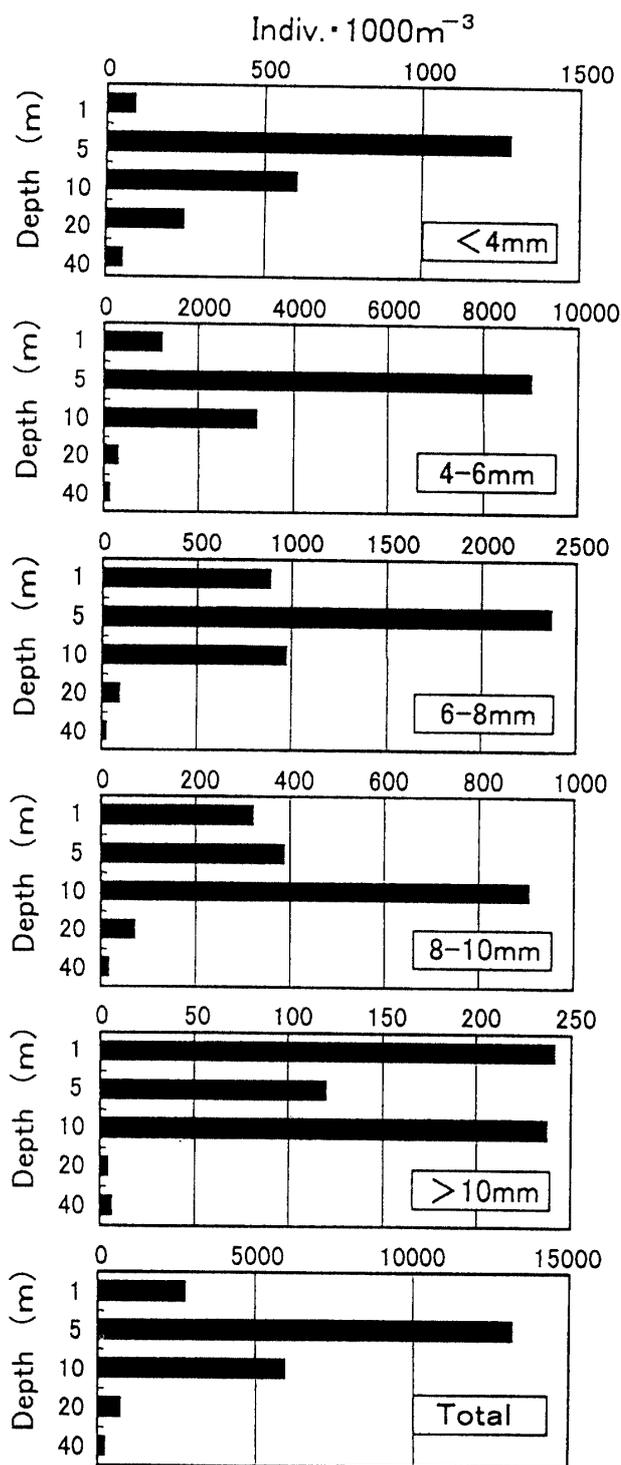


Fig. 3 Vertical distribution of sand lance larvae during daytime by five size (in total length) groups and all sizes total at the sampling point in Osaka Bay.

Data are average densities of 3 (40 m depth) or 5 (1, 5, 10, and 20 m depth) tows.

ため (1 月 19 日は 5.0 m, 1 月 31 日は 5.7 m), 水深の増加による水中光の減衰率にはやや差がみられたが, 海面での数万 lx から指数関数的に減少し, 水深 7 m およ

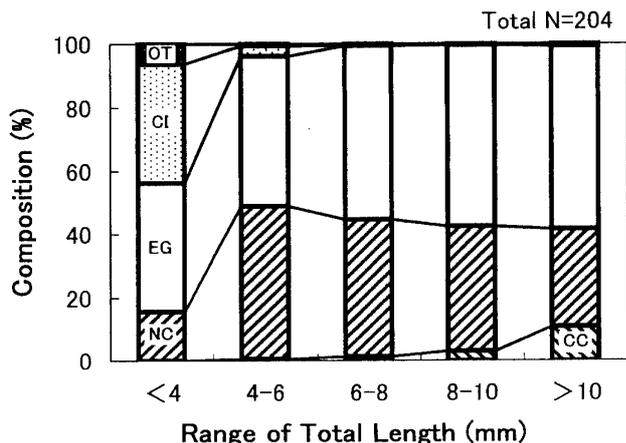


Fig. 4. Comparison of food organism compositions in the gut of sand lance larvae (caught in 1993) of different sizes.

CC, copepodites of copepod; NC, nauplii of copepod; EG, crustacean eggs; CI, ciliata; OT, others.

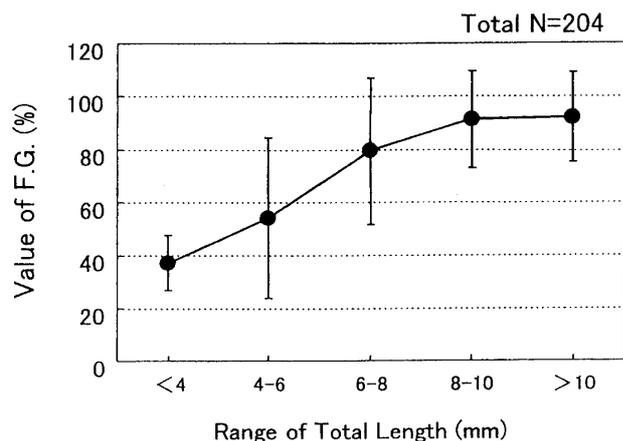


Fig. 5. Change in *F.G.* values (mean  $\pm$  S.D.) of sand lance larvae with increasing size.

び 11 m で  $10^3$  lx に, 15 m および 20 m で  $10^2$  lx にまで減衰した。

室内実験により得られた照度と仔魚の消化管内ワムシ数の関係を見ると, 仔魚 1 個体あたりの消化管内ワムシ数は, 照度が高くなるにつれて増加した (Fig. 9)。特に  $10$  lx から  $10^2$  lx に変化したときの増加量が大きく, 6.4 個体から 21.4 個体へ, 3 倍あまり増加した。各照度での平均摂餌ワムシ数に有意差が認められるか, 危険率 5% で分散分析と多重比較を行ったところ,  $0$  lx と  $10$  lx の間には有意差がなく, また  $10^2$  lx 以上の照度どうしの組み合わせでも有意差がなかったが,  $0$  lx と  $10^2$  lx 以上, もしくは  $10$  lx と  $10^2$  lx 以上の組み合わせでは, どれも有意な差がみられた。すなわち, ふ化後 14 日目の仔魚がワムシを十分に摂餌するためには,  $10^2$  lx

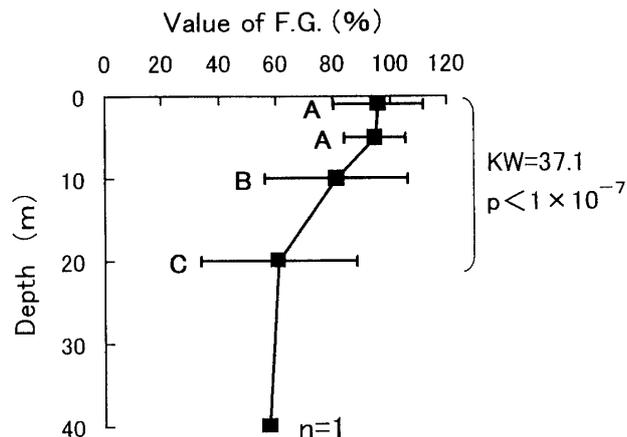


Fig. 6. Vertical profile of *F.G.* values (mean  $\pm$  S.D.) of sand lance larvae ( $\geq 6$  mm in total length).

The result of Kruskal-Wallis non-parametric ANOVA (KW-value and *P* value) among 1, 5, 10, and 20 m depth is presented beside the figure. Letters beside the points indicate the results of Dunn's multiple comparisons; points with the same letter represent means that are not statistically different at the *P*=0.05 level.

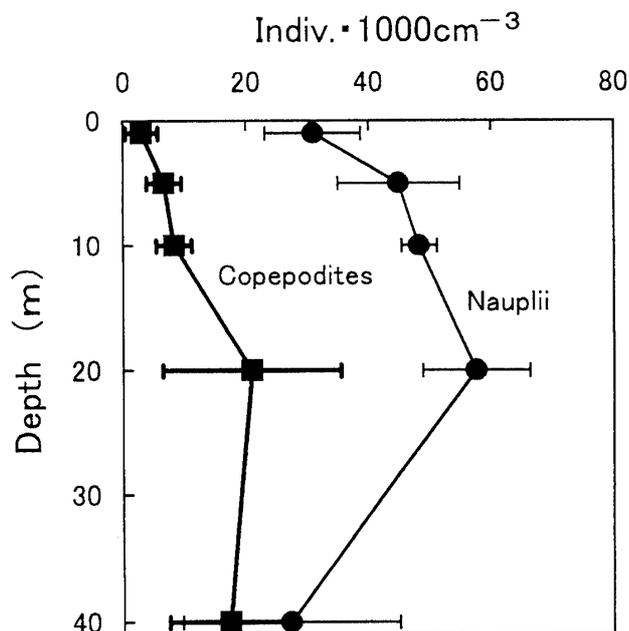


Fig. 7. Vertical distribution of main food organisms of sand lance larvae, copepod nauplii and copepodites (mean  $\pm$  S.D.) during daytime at the sampling point in Osaka Bay.

以上の明るさが必要であった。

## 考 察

イカナゴ仔魚は, 昼間は水深 5 m を中心として, 10

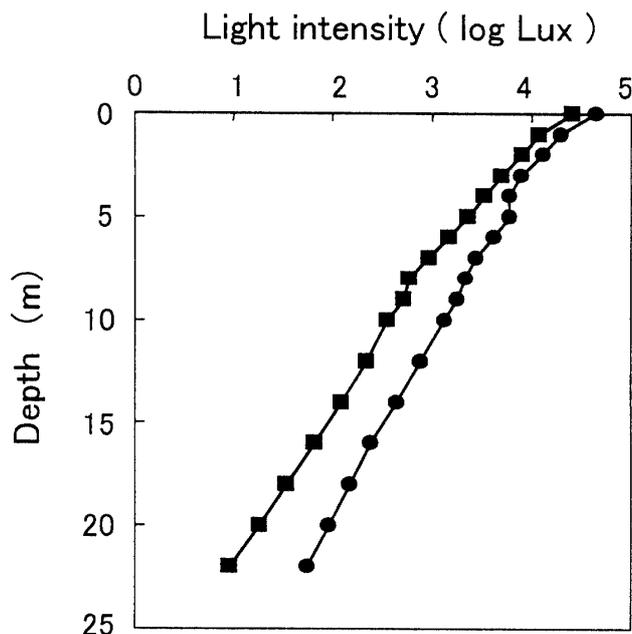


Fig. 8. Vertical profiles of light intensity at the sampling point in Osaka Bay.

Closed circles and closed squares represent data of Jan. 19, 1991 and Jan. 31, 1991, respectively.

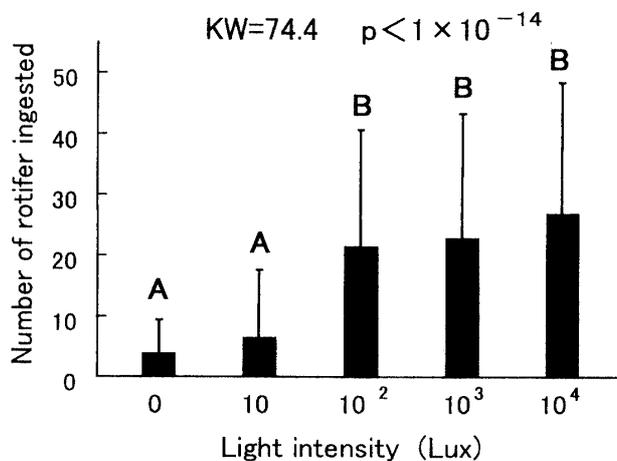


Fig. 9. The effect of light intensity on feeding of reared sand lance larvae (14 days after hatching, 6.8 mm in mean total length).

Closed columns and vertical bars represent mean and standard deviation of number of rotifers eaten by one larva under each light intensity, respectively. The result of Kruskal-Wallis non-parametric ANOVA (KW-value and  $P$  value) is presented on the top of the figure. Letters above the bars indicate the results of Dunn's multiple comparisons; bars with the same letter represent means that are not statistically different at the  $P=0.05$  level.

m以浅の層に集中的に分布していた。これは、今までに井上ら,<sup>4)</sup> Yamashita *et al.*<sup>5)</sup> が報告した結果や, Ryland<sup>6)</sup> が報告した同属の *A. marinus* についての結果とよく一致した。

イカナゴと同様に冬～春季に産卵するスケソウダラ *Theragra chalcogramma* も, 仔魚期に比較的浅い層に集中分布するが, この場合は水温躍層上方の, かいあし類ノープリウスの高密度分布層との一致が指摘されている。<sup>7-9)</sup> しかし, 冬季の鉛直混合が盛んである当海域では, Fig. 2 に示したように水温, 塩分は鉛直的にはほぼ一様であり, イカナゴ仔魚の鉛直分布様式を説明できない。また, イカナゴ仔魚の消化管内容物量指数 ( $F.G.$ ) は浅い水深で有意に高かったが, Fig. 7 に示したように, 餌料生物密度の鉛直分布はそれとは一致していなかった。一方, 摂餌実験の結果, イカナゴ仔魚が摂餌していたワムシの平均個体数は照度が高いほど多く, 照度  $10^2$  lx 以上の区では, それより暗い区よりも有意に高かった。これらのことと, 現場での水中照度が水深 15~20 m 以深で  $10^2$  lx を下回っていたことから, イカナゴ仔魚が昼間上記の層に集中的に分布するのは, 摂餌に適した明るさを求めて鉛直移動を行った結果と考えられる。イカナゴ仔魚は鰓を持っておらず, 遊泳活動を休止する夜間は分散しつつ沈降するが,<sup>5)</sup> 昼間は上方へ向かって活発に遊泳し, 餌生物の捕食に必要な明るさのある水深に達すれば, そこに定位して摂餌活動を行うのであろう。また, 全長 8 mm 以上の仔魚で 1 m 層や 10 m 層での出現比率が増加していた点については, 成長による遊泳力の増加, 視力の向上等に加えて, 摂餌以外の何らかの要因が加わっている可能性もある。

瀬戸内海においてイカナゴ仔魚は, 冬の季節風が起す吹送流によって西から東へ輸送されることが報告されており,<sup>10,11)</sup> 当歳魚加入量の多寡が, 季節風の強弱と強い相関があることも知られている。<sup>12-14)</sup> 仔魚の分散は相対的餌料密度の向上や捕食圧の低減につながり, ふ化後速やかに産卵場周辺から離れることは, 親魚による捕食圧を減少させる。<sup>15)</sup> 本種の鉛直分布様式は, 結果として表層近くの強い吹送流による仔魚の分散, 移動を助長し, その生残率を高めているものと考えられる。

これまで, 海産仔魚の鉛直分布については, 上記のスケソウダラのような餌生物の分布水深との一致のほか, 次の生息場所への輸送<sup>16)</sup> や, 底生生活への準備,<sup>17)</sup> 捕食者の鉛直分布との関係,<sup>18)</sup> 明るさとの関係<sup>6,19-21)</sup> などの面から論じられてきた。中でも明るさとの関係は多くの魚種で調べられているが, 必ずしも鉛直分布と明るさの関係が明瞭でない場合もある。<sup>8,17)</sup> しかし, 仔魚は基本的に視覚に頼って摂餌を行っており,<sup>22)</sup> 本研究のイカナゴのような直接的な関係が見られない場合でも, 明る

さは他の要因と複合して仔魚の鉛直分布に影響を与えている<sup>23,24</sup>場合が多いと考えられる。今後は、このような光条件を軸とした複合的要因解析によって仔魚の鉛直分布を解明していく取り組みが必要であろう。また、今回は検討できなかったが、光の波長帯によっても仔魚の摂餌行動が変化する場合があります<sup>24,25</sup>波長帯別の詳細な実験も必要と考えられる。

### 謝 辞

本研究を進めるに当たって、三重県水産技術センターの山田浩且氏には親魚を提供していただいたほか、飼育方法について親切に教えていただきました。また、福永恭平氏をはじめ大阪府漁業振興基金栽培事業場の方々には、飼育全般についてひとかたならずお世話になりました。北海道大学水産学部の中谷敏邦博士には、仔魚の鉛直分布の研究例についてご教授いただきました。これらの方々に対し、深く感謝します。また、研究全般についてご助言を頂き、原稿を校閲していただいた京都大学大学院農学研究科の田中克博士に心から感謝します。

### 文 献

- 1) 落合 明, 田中 克: 新版魚類学 (下), 第1版, 恒星社厚生閣, 東京, 1986, pp. 658-665.
- 2) 中国四国農政局統計情報部: 平成9年瀬戸内海地域における漁業動向, 中国四国農林統計協会協議会, 岡山, 1999, p. 42.
- 3) 船越茂雄, 中村元彦: イカナゴの再生産関係と資源管理. 水産海洋研究, **59**, 73-76 (1995).
- 4) 井上 明, 高森茂樹, 国行一正, 小林真一, 仁科重己: イカナゴの漁業生物学的研究. 内海区水研報, **25**, 1-335 (1967).
- 5) Y. Yamashita, D. Kitagawa, and T. Aoyama: Diel vertical migration and feeding rhythm of the larvae of Japanese sand-eel *Ammodytes personatus*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **51**, 1-5 (1985).
- 6) J. S. Ryland: The feeding of plaice and sand-eel larvae in the southern North Sea. *J. mar. biol. Ass. U.K.*, **44**, 343-364 (1964).
- 7) 中谷敏邦, 前田辰昭: 噴火湾およびその周辺海域におけるスケソウダラ稚魚の分布と移動. 日本誌, **53**, 1585-1591 (1987).
- 8) L. Haldorson, M. Prichett, A. J. Paul, and D. Ziemann: Vertical distribution and migration of fish larvae in a North-east Pacific bay. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **101**, 67-80 (1993).
- 9) N. Hillgruber, L. J. Haldorson, and A. J. Paul: Feeding selectivity of larval walleye pollock *Theragra chalcogramma* in the oceanic domain of the Bering Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **120**, 1-10 (1995).
- 10) H. Nakata: Wind effects on the transport of Japanese sand-eel larvae in the eastern part of the Seto Inland Sea. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **54**, 1553-1561 (1988).
- 11) T. Fujiwara, H. Nakata, M. Tanda, and J. Karakawa: Biological and physical parameters of the population dynamics of sand eel larvae in the eastern Seto Inland Sea. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **56**, 1029-1037 (1990).
- 12) 日下部敬之, 小松輝久, 玉木哲也, 中嶋昌紀, 青木一郎: ニューラルネットワークによる瀬戸内海東部のイカナゴ加入量予測. 水産海洋研究, **61**, 375-380 (1997).
- 13) 中田英昭, 平野敏行: 構造モデルによる漁場環境変化予測. 海洋科学, **16**, 644-649 (1984).
- 14) 浜田尚雄: 播磨灘, 大阪湾におけるイカナゴ発生量変動に関する研究—III. 産卵期前後の海気象との関係. 日本誌, **32**, 579-584 (1966).
- 15) 山田浩且, 津本欣吾, 久野正博: 伊勢湾産イカナゴの成魚による捕食減耗. 日本誌, **64**, 807-814 (1998).
- 16) I. Kinoshita and M. Tanaka: Differentiated spatial distribution of larvae and juveniles of the two Sparids, red and black sea bream, in Shijiki Bay. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **56**, 1807-1813 (1990).
- 17) W. G. Smith, J. D. Sibunka, and A. Wells: Diel movements of larval yellowtail flounder, *Limanda ferruginea*, determined from discrete depth sampling. *Fish. Bull. U. S.*, **76**, 167-178 (1978).
- 18) G. Hempel and H. Weikert: The neuston of the subtropical and boreal North-eastern Atlantic Ocean, A review. *Mar. Biol.*, **13**, 70-88 (1972).
- 19) R. J. Wood: Some observations on the vertical distributions of herring larvae. *Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer*, **160**, 60-64 (1971).
- 20) D. Schnack: On the biology of herring larvae in the Schlei Fjord, western Baltic. *Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer*, **166**, 114-123 (1974).
- 21) H. Ida: Some ecological aspects of larval fishes in waters off Central Japan. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **38**, 981-994 (1972).
- 22) A. W. Kendall and N. A. Naplin: Diel-depth distribution of summer ichthyoplankton in the middle Atlantic Bight. *Fish. Bull. U.S.*, **79**, 705-726 (1981).
- 23) A. J. Paul: Light, temperature, nauplii concentration, and prey capture by first feeding pollock larvae *Theragra chalcogramma*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **13**, 175-179 (1983).
- 24) T. Bagarinao and J. R. Hunter: The visual feeding threshold and action spectrum of northern anchovy (*Engraulis mordax*) larvae. *CalCOFI Rep.*, **24**, 245-254 (1983).
- 25) K. R. Dabrowski and D. H. Jewson: The influence of light environment on depth of visual feeding by larvae and fry of *Coregonus pollan* (Thompson) in Lough Neagh. *J. Fish Biol.*, **25**, 173-181 (1984).