

耳石日周輪解析による東部瀬戸内海産イカナゴ仔稚魚の成長

日下部敬之^{1†}, 大美博昭¹, 斉藤真美²Growth in larval and juvenile Japanese sand lance *Ammodytes personatus* in eastern Seto Inland Sea determined by daily growth increments in otolithsTakayuki KUSAKABE^{1†}, Hiroaki OMI¹, and Mami SAITO²

In order to improve the accuracy of growth rates prediction in larval and juvenile Japanese sand lance *Ammodytes personatus*, growth analysis in body length using otolith microstructure was carried out. Because the widths of the rings near the center of otoliths are very narrow, we used a scanning electron microscope together with a biological microscope. In laboratory reared larvae, growth trajectories of body length back-calculated by the biological intercept method corresponded with those measured directly by periodical sampling. This result supports that application of this method to the growth trajectories of natural *A. personatus* is adequate. Upon application of the method to the fish caught by commercial boat seine fishery on the opening days of fishing seasons in 1997, 2000, 2001, and 2004, the growth in early life history of the *A. personatus* showed logistic-like trajectories. There was a strong correlation between growth rate at the 37th day after hatching ($0.64\text{--}0.88\text{ mm day}^{-1}$) and mid-layer water temperature in Osaka Bay during early-February. Hatching dates estimated by counting otolith daily growth increments agreed with those estimated by field investigations on mature adult fish in each year.

Key words: sand lance, growth, otolith, daily increment, biological intercept

はじめに

イカナゴ *Ammodytes personatus* は日本において北海道から九州北部にかけての沿岸域に分布し、瀬戸内海では海面漁業全体の水揚げ量の約10% (平成17年) を占める重要な魚種となっている (農林水産省中国四国農政局, 2006)。本種は当海域では、高水温を避けるため7月頃から海底の砂に潜って夏眠し、12月に遊泳生活に戻った後、1月にかけて産卵を行う (井上, 1949; 浜田, 1985; 反田・岡本, 1992)。卵は10日あまりでふ化し、2月末から5月にかけて、全長30~60 mmの稚魚が機船船びき網で漁獲される。本漁業は、ふ化後数ヶ月の稚魚が漁獲対象であるという特性から、年々の発生量によって漁獲量が大きく左右され、変動が激しい。そのため、瀬戸内海東部に位置する大阪湾

では、大阪府と兵庫県の漁業者が自主的に解禁日を設定し、発生量が少ないと見込まれる年は遅めに解禁して1尾あたりの体重増加による漁獲量確保を図るなど、漁獲量を安定させる工夫をしている。解禁日設定の手順としては、まずその年の解禁サイズを決め、次に試験操業を行って漁獲物のサイズを測定し、解禁サイズと漁獲物サイズの差を、予測される日間成長量で割って、解禁サイズ到達日数を算出するという方法が採られている。しかし、ここで用いられている成長速度は、過去の漁獲物の平均全長推移を参考に求めたものであり、当海域での実際の成長速度はこれまで明らかになっていない。他海域においても、最近伊勢湾で1例の報告がなされたのみで (富山・小松, 2006)、ほとんど知見がないのが現状である。漁業管理の精度を向上させるためには、個体ごとの高精度の成長解析、さらにはその変動要因の解明が不可欠である。

一般に魚類の初期成長履歴解析には、耳石に形成される日周輪が利用される。イカナゴについても、最近その耳石輪紋形成の日周性が確認された (大美ほか, 2006)。そこで本研究では、まず、個体ごとの成長解析手法として多く用いられる Biological intercept法 (Campana, 1990) のあてはまりを飼育実験によって確認しようとした。つぎに、複数

2007年3月5日受付, 2007年6月28日受理

¹ 大阪府環境農林水産総合研究所 水産技術センター
Marine Fisheries Research Center, Research Institute of Environment,
Agriculture and Fisheries, Osaka Prefectural Government, Misaki, Sen-
nan, Osaka 599-0311, Japan

² 日本エヌ・ユー・エス株式会社
JAPAN NUS Co., Ltd., Yokohama Kanazawa High-technology Center
5F, Fukuura 1-1, Kanazawa-ku, Yokohama 236-0004, Japan

[†] kusakabet@o-suishi.zaqr.jp

年の解禁日の漁獲物についてその耳石日周輪を観察し、ふ化日組成を把握するとともに、その成長履歴を明らかにしようとした。また、最近の研究で、イカナゴ仔魚の成長に影響を与えていると指摘された水温（富山・小松，2006）について、成長速度との関係を検討した。

材料と方法

飼育個体および漁獲物のサンプリング

飼育実験に用いたイカナゴ仔魚は、播磨灘鹿ノ瀬海域 (Fig. 1) で採集した親魚から人工授精によって得た。当海域は大阪湾と播磨灘における最大の産卵場であり、生まれた仔魚が冬季の吹送流によって大阪湾に輸送され、漁獲される (浜田, 1979; Nakata, 1988)。1998年12月28日に、兵庫県立水産試験場 (現、兵庫県水産技術センター) がこの海域で文鎮こぎと呼ばれる空釣り漁具により採集した親魚の中から、よく成熟した雌雄各9個体 (全長範囲: 雄 134~162 mm, 雌 138~155 mm) を速やかに選び出し、湿導法により人工授精した後、受精卵をガラスシャーレ上に付着させた。受精卵は大阪府水産技術センターに搬送後、恒温室内で水温を12°Cに保った200 l黒色ポリエチレン水槽に收容した。收容後4日目に徐々に水温を11°Cまで低下させた。ふ化日を揃えるため、受精卵の大半がふ化した受精後11日目の仔魚を残し、それ以外は水槽から取り除いた。仔魚の飼育は12L:12Dの明暗条件下で行った。餌は、ふ化後15日目まではシオミズツボムシ *Brachionus plicatilis* (以下、ワムシと称する) を5~8個体 ml^{-1} 、16日目からワムシ8~10個体 ml^{-1} およびアルテミア *Artemia* sp. ノープリウス (以下、アルテミアと称する) 0.1~0.3個体 ml^{-1} 、28日

目以降はアルテミア0.1個体 ml^{-1} と、水産技術センター地先海面でプランクトンネット (口径45 cm, 目合い100 μm) の表層曳きにより採集した天然動物プランクトンを0.03個体 ml^{-1} になるよう給餌し、ふ化後61日目まで飼育した。

飼育期間中の仔魚の成長を調べるため、原則として5~10日間隔で、1回あたり10~44個体、合計254個体の仔魚を採取した。サンプルは10%中性ホルマリンで固定し、その後95%エタノールに移し替えて保存した後、全長を万能投影機で0.1 mmの精度で測定した。測定した全長は、後述する漁獲物の測定結果と統一するため、1997年に行った飼育実験および漁獲物測定で得られた全長一体長換算式

$$\text{体長 (mm)} = \text{全長 (mm)} \times 0.908 + 0.39$$

$$(n = 156, \text{全長範囲 } 3.9 \sim 52.6 \text{ mm}, R^2 = 0.99)$$

を用いて体長 (脊索上屈前においては脊索長, 上屈後は標準体長, 以後体長と総称する) に換算した。また、そのうちの73個体については、体長と耳石径の関係を調べるため、実体顕微鏡下で扁平石を摘出し、スライドグラス上に封入して、光学顕微鏡に接続した耳石解析装置 (ラトック社製, ARP/W Version 4.14) により長軸上の耳石半径を測定した。さらに、飼育個体の成長履歴を調べるためのサンプルとして、飼育終了直前のふ化後59~61日目のもの11個体 (59日目3個体, 60日目3個体, 61日目5個体, 体長範囲18.6~28.5 mm, 平均体長22.8 mm) を選び出し、上記と同様の処理を行った後、後述する方法により耳石輪紋の計数および輪紋間隔の測定を行った。

漁獲物のサンプルは、1997, 2000, 2001, 2004年の各年の

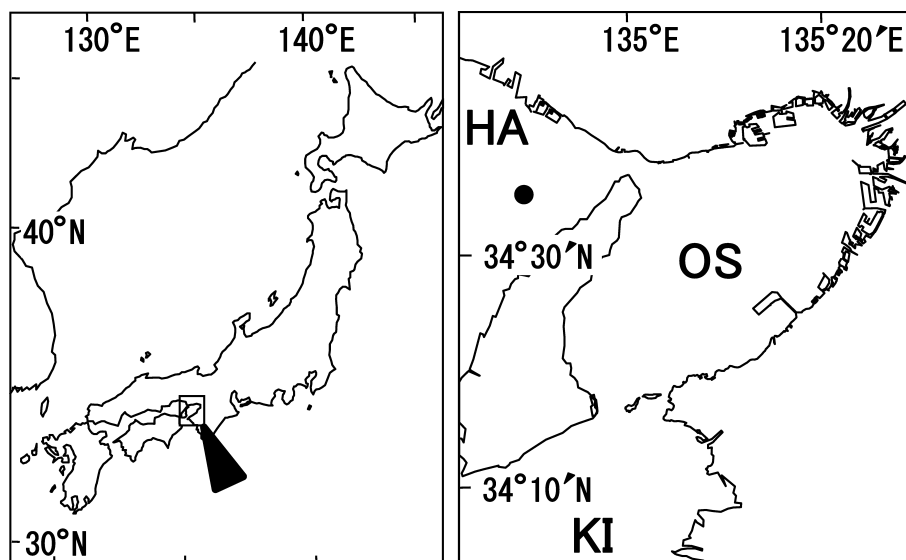


Figure 1. Maps showing the study area. HA, OS, and KI means Harima Nada Sea, Osaka Bay, and Kii Channel, respectively. The solid circle indicates “Shikanose” sand bank where the mature fish for artificial insemination were caught.

解禁日に、大阪湾内で機船船びき網により漁獲された個体を用いた。使用された網の魚捕り部は260経モジ網（目合い1.9mm以下）で、この網によるカタクチイワシシラスの50%選択体長は8.7~12.3mmである（斎浦・東海, 2003）ことから、同じくシラス型体型であるイカナゴに対しても

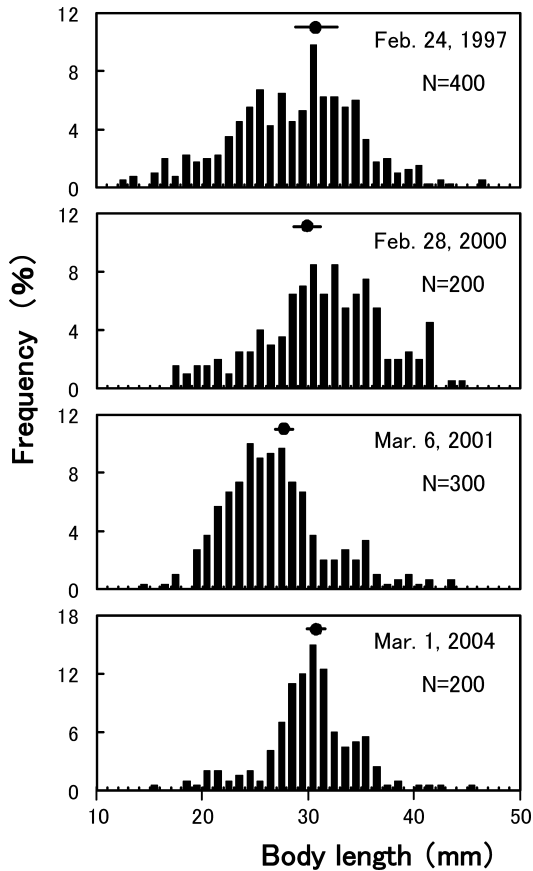


Figure 2. Frequency distributions in body length of *A. personatus* caught by commercial boat seine fishery on the opening days of fishing seasons in 1997, 2000, 2001, and 2004. Solid circles and horizontal bars indicate means and standard deviations of body length of samples for otolith microstructure investigation.

Table 1. Sampling dates and size data of the specimens of natural fish used for otolith microstructure investigation.

Sampling date	Feb. 24, 1997	Feb. 28, 2000	Mar. 6, 2001	Mar. 1, 2004
Number of fish investigated	21	29	20	27
Mean of BL * ¹	30.8	29.8	27.8	31.0
SD of BL * ²	1.91	1.25	0.68	0.69

*¹ Mean of Body length (mm)

*² Standard deviation of Body length (mm)

同程度のサイズ選択性を持つものと考えられた。漁獲物は漁船上で80%エタノールで固定、保存した後、200~400個体について体長を0.1mmの精度で測定し、その体長組成のモード付近から20~29個体を取り出し、後述の方法により耳石輪紋の計数と輪紋間隔の測定を行った。各年の解禁日漁獲物の体長組成と、耳石観察に供した個体の平均体長および標準偏差をFig. 2に、耳石観察個体の採集日、個体数、平均体長等をTable 1に示す。なお、固定、保存に伴う体収縮に関しては、Theilacker (1980) の northern anchovy (*Engraulis mordax*) 仔魚での結果および大関ほか (1991) のサンマ *Cololabis saira* 仔魚での結果を参考に、ホルマリン固定後の体長は生時の0.92倍、エタノール固定については変化なしとして、生時の体長に復元した。

耳石輪紋観察および成長解析

耳石輪紋の観察には扁平石を用いた。摘出した耳石は、プレパラート上に封入し、耐水研磨紙 (#1000, #1200)、ラッピングフィルム (9 μm)、アルミナ懸濁液 (0.3 μm) で耳石核が表出するまで研磨し、0.5N塩酸で表面をエッチングした後、白金蒸着をおこなった。その後、光学顕微鏡に接続した耳石解析装置（前述）と走査型電子顕微鏡（トプコン社製ABT-55）の併用により、原則として長軸上で耳石輪紋数の計数と輪紋間隔の測定を行った。輪紋は、Tsukamoto *et al.* (2002) および大美ほか (2006) によって定義されたふ化輪から外側について読み取った。ただし、飼育個体の耳石においては、中心部付近の輪紋が不明瞭で読み取りが困難であったため、外縁から中心部へ向かって、判別できる限りの輪紋について読み取りを行った。

成長履歴の復元には、Biological intercept法を使用し、共通の始点としては大美ほか (2006) によるふ化時の体長4.4mmを、前述のホルマリン固定による収縮率により生時の体長に補正した4.78mmを使用した。ふ化時の耳石半径は、漁獲物サンプルでは各個体ごとに読み取ったふ化輪半径を使用した。飼育個体では大美ほか (2006) によるふ化時耳石半径8.6 μmを共通値として用いた。また、復元された成長履歴への成長式の当てはめにはRichardsの式 (Richards, 1959) を用いた。この式はBertalanffy, logisticおよびGompertzの成長式を包含し、一般性が高いとされている (赤嶺, 1995)。Richardsの式の一般型は次式で与えられる (赤嶺, 1995)。

$$L_t = L_{\infty} / (1 + re^{-k(t-t_0)})^{1/r}$$

ここで、 L_{∞} は極限体長、 t_0 は変曲点を与える日齢、 k は成長係数、 r は曲線のタイプを左右するパラメータである。パラメータの推定は、MS-Excelのソルバーを使用した非線形最小二乗法によっておこなった。

成長速度と対応させる水温データとしては、大阪府立水産試験場（現、水産技術センター）が毎月上旬に大阪湾内

の20定点で行った海洋観測の結果(中嶋ほか, 1999, 2002, 2003, 2006)から, イカナゴ仔魚の遊泳層(Yamashita *et al.*, 1985; 日下部ほか, 2000)を考慮し, 5m層と10m層の全点平均値を使用した。調査時期としては, 漁獲物のサンプリング日が2月24日~3月6日であったこと, それらのふ化日は後述するように1月6~21日の範囲であったことから, 仔魚の成長期間の水温指標として適当と考えられる2月上旬の値を使用した。

結果

飼育仔魚から得られた体長と耳石径の関係をFig. 3に示す。両者の関係には以下のアロメトリー式がよくあてはまった。

$$BL = 1.163 \times OR^{0.6989} \quad R^2 = 0.97$$

BL: 体長 (mm), OR: 耳石半径 (μm)

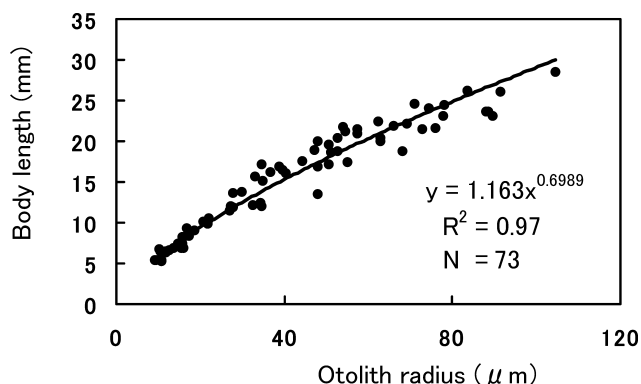


Figure 3. Allometric relationship between the maximum otolith radius and body length in reared *A. personatus*.

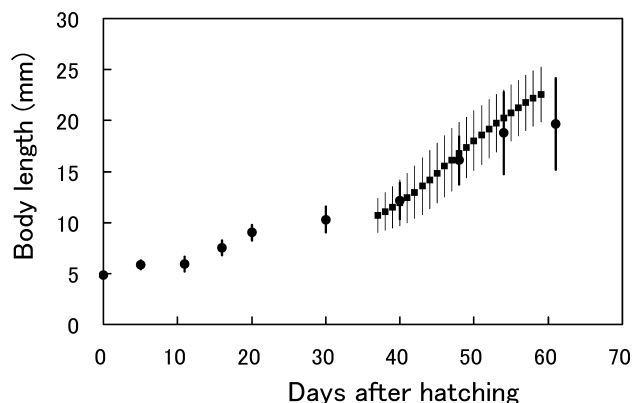


Figure 4. Growth trajectories in body length of reared *A. personatus*. Solid circles and thick vertical lines indicate means and standard deviations of body length measured by periodic sampling and direct measurement method, and solid squares and thin vertical lines indicate those calculated by the biological intercept method, respectively.

よって, 以降の Biological intercept 法による体長復元にはアロメトリー式を採用した。

ふ化後59~61日目に取り上げた飼育仔魚11個体の耳石輪紋を観察したところ, 大美ほか(2006)が指摘しているように, 中心部近くでは輪紋間隔が非常に狭く不明瞭で, 核から周辺に向かって放射状に走る凹凸があり, ふ化輪から約10 μm の範囲の輪紋が非常に判読しにくかった。そのため, 耳石輪紋観察を行った11個体すべてについて Biological intercept 法で体長が逆算できたのは, ふ化後37日目以降の期間であった。

Fig. 4に, 飼育期間中に適宜サンプリングし, 体長を直接測定して得た(以後, 直接測定法と称する)成長履歴と, さきに述べた11個体の Biological intercept 法による逆算成長履歴(以後, 逆算法と称する)とを, 重ね合わせて示す。両者の成長軌跡は, トレンドにおいておおむねよく一致していた。また, 体長が逆算できた期間と重なっていた3回の体長直接測定日(40日目, 48日目, 54日目)について, 直接測定法と逆算法の平均体長の差の検定を行ったところ, 3回とも有意差は認められなかった(*t*-test, $p > 0.05$)。

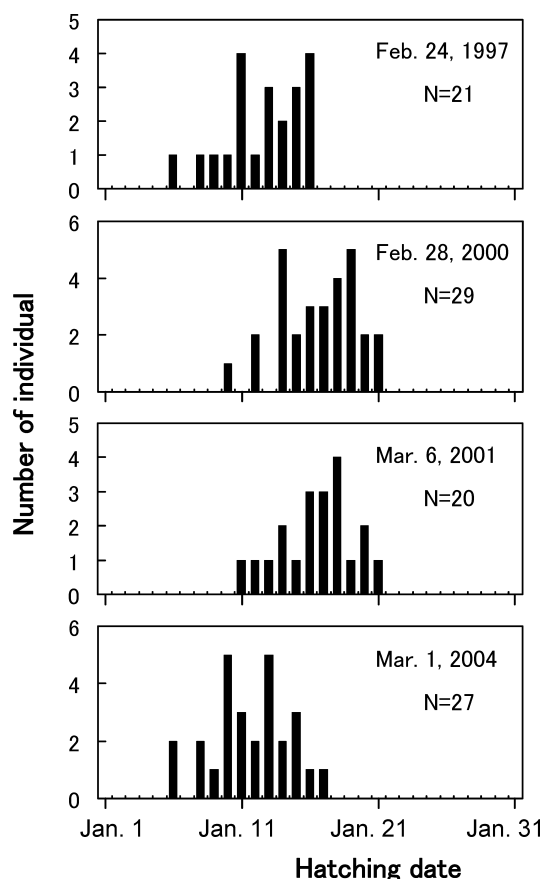


Figure 5. Distributions of hatching dates in *A. personatus* caught by commercial boat seine fishery on the opening days of fishing seasons in 1997, 2000, 2001, and 2004.

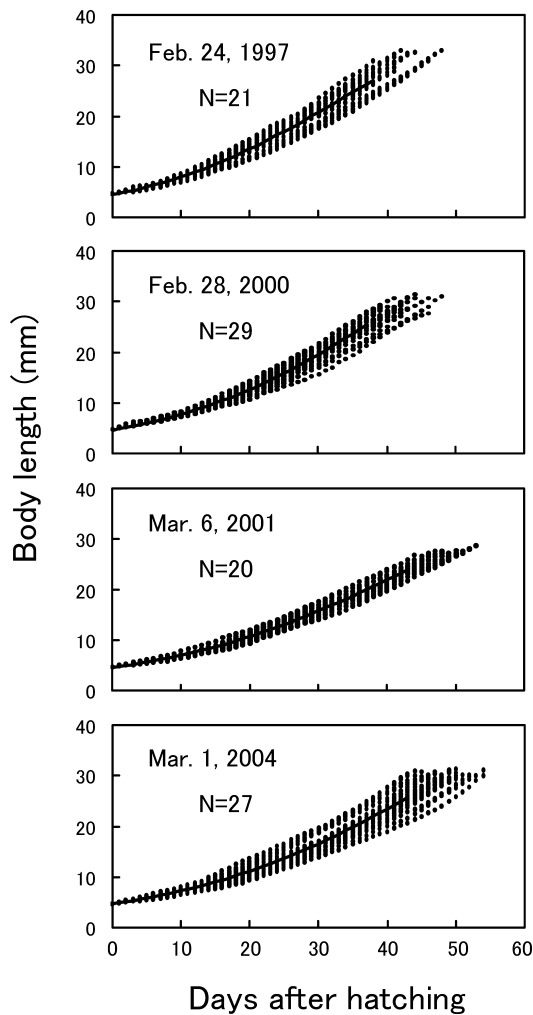


Figure 6. Back-calculated body length and fitted growth curves in natural *A. personatus* in 1997, 2000, 2001, and 2004. The solid circles indicate the body length back-calculated by the biological intercept method and solid lines indicate fitted Richards' growth curves, respectively.

ただし、54日目の p 値は有意ではないものの前2者より小さくなっており、グラフ上でもふ化後50日前後から両者の成長に差が生じ、逆算法での体長が徐々に直接測定法によるものより大きくなっていく傾向が認められた。

漁獲物サンプルについて、耳石輪紋数から算出したふ化日組成をFig. 5に示す。ふ化日の範囲は1997年が1月6~16日、2000年が1月10~21日、2001年は1月11~21日、2004年は1月6~17日で、どの年もふ化日の幅は1旬程度であった。つぎに、各年のサンプルについて、Biological intercept法による成長逆算の結果と、あてはめた成長曲線をFig. 6に示す。また、成長曲線の各パラメータ値をTable 2に示す。なお、同じ日に漁獲した個体であっても、その日齢には幅があったため、成長式の当てはめは最も若い個体の日齢までにとどめ、サンプル数の減少により成長式の偏りが

Table 2. Fitted parameters of Richards' model $\{L_t=L_\infty/(1+re^{-k(t-t_0)})^{1/r}\}$ into the specimens of natural fish in each year.

Year	N	L_∞	$k (\times 10^{-2})$	t_0	r	R^2
1997	21	47.07	5.901	35.46	0.8745	0.97
2000	29	63.49	3.668	51.85	0.6294	0.97
2001	20	55.87	4.994	48.83	0.9979	0.98
2004	27	64.63	4.652	52.73	0.9290	0.96

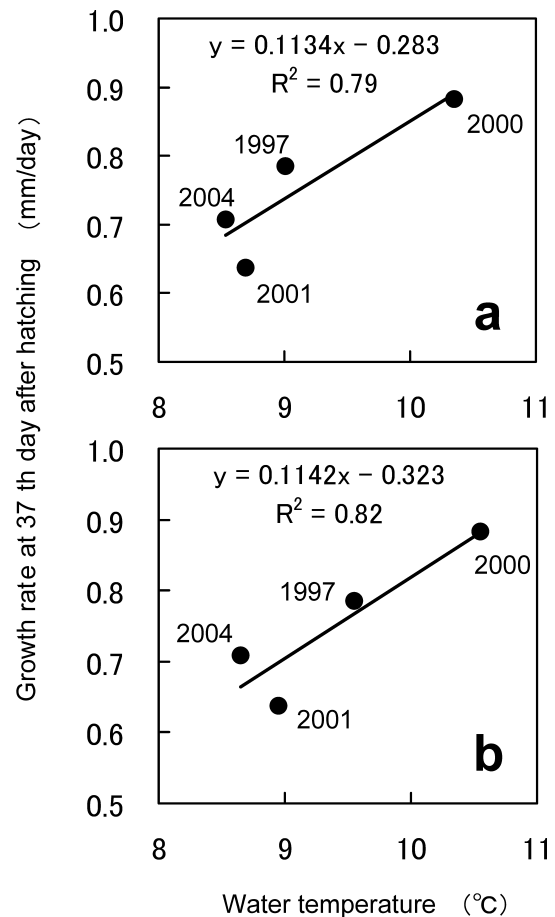


Figure 7. Relationships between the average water temperature at 5 m (a) and 10 m (b) depth in early February in Osaka Bay and growth rate at the 37th day after hatching.

生ずるのを防いだ。その結果、1997年はふ化後38日まで、2000年は37日まで、2001年および2004年は43日まで成長式を当てはめることができ、ふ化後37日までの成長比較が可能となった。一方、先に述べたように、本種の漁業管理においては、試験操業から解禁までの成長速度を予測することが重要であるが、この4年間の試験操業日は、後述するようにふ化後36.5~43.5日目にあたっていたので、ふ化後37日目における各年の日間成長量（37日目と36日目

の体長差)を求めると, 1997年が 0.79 mm day^{-1} , 2000年が 0.88 mm day^{-1} , 2001年が 0.64 mm day^{-1} , 2004年が 0.71 mm day^{-1} となっていた。また, 各年のふ化後37日目の体長は, 1997年から順に26.3 mm, 25.4 mm, 19.9 mm, および21.2 mmであり, 最も成長の良かった1997年と悪かった2001年の間には約6.4 mmの成長差が生じていた。

成長速度と水温の関係について, 2月上旬の大阪湾5 m層および10 m層水温と, 上述のふ化後37日目の日成長量の関係をFig. 7に示す。どちらの層の水温に対しても, 成長量は強い正の相関を示し, 水温が高いほど成長量が多い傾向が認められたが, 特に10 m層水温との相関が強く, 両者の関係式は

$$y=0.1142x-0.323 \quad R^2=0.82$$

y: 37日目の成長量 (mm day^{-1}), x: 10 m層水温 ($^{\circ}\text{C}$)

で与えられた。

考 察

飼育個体において, 耳石輪紋径から Biological intercept法によって逆算した成長履歴は, 直接測定法による成長軌跡とよく一致した。このことは, イカナゴにおいて本手法を成長解析に使用することの妥当性を強く支持するものである。Fig. 4で, 50日目以降徐々に逆算法による成長履歴と直接測定法による成長軌跡の差が大きくなったのは, この時期から成長の個体差が急激に大きくなったこと, その中で, 耳石輪紋観察には, 研磨等の作業が困難な小型個体は除外せざるを得なかったことが原因ではないかと考えられる。飼育個体の成長は, 漁獲物と比較して非常に悪く, ふ化後37日目で漁獲物の体長が19.9~26.3 mmであったのに対して, 平均で10.7 mm程度しかなかった。直接測定法による体長推移のグラフによると, 特に飼育期間前半期の成長速度が小さく, このことが, 耳石の中心部近くの輪紋間隔が非常に狭く, 不明瞭で判読しにくかった要因のひとつではないかと考えられる。飼育魚で耳石の輪紋が判読困難になる例は, マダイ *Pagrus major* (Tsuji and Aoyama, 1982), イングリッシュソール *Parophrys vetulus* (Laroche et al., 1982), ヌマガレイ *Platichthys stellatus* (Campana, 1984)などで報告されている。マダイでは, 飼育環境下で光周期を明条件のみにしたことが輪紋形成の日周性を乱した可能性が指摘されているが, 他2種では, 今回と同様, 飼育環境が悪く成長量が小さかったことが輪紋を読み取り困難にしたのではないかと考察されている。

解禁日の漁獲物のふ化日組成について, 2001年と2004年のヒストグラムは中央付近にモードを持つ山型の分布を示したが, 1997年と2000年についてはきれいな山型とはなっていなかった。これは, 供試個体数が少なかったことによるのではないかと考えられるが, 4ヶ年のふ化日範囲は前述のように1997年が1月6~16日, 2000年が1月

10~21日, 2001年は1月11~21日, 2004年は1月6~17日であり, 1997年と2004年が, 2000年と2001年より4~5日早かった。一方, 兵庫県水産技術センターは毎年播磨灘鹿ノ瀬海域で空釣り漁具により夏眠期終盤の親魚を採集し, その生殖腺熟度と採集数の変化から産卵期を推定している。それによると各年の産卵盛期は, 1997年ふ化群が前年の12月25~30日頃, 2000年と2001年のふ化群が1月上旬, 2004年ふ化群が前年の12月28日頃とされている(玉木ほか, 1998, 2000, 2001; 兵庫県水産技術センター, 2004)。産卵場である鹿ノ瀬に最も近い海洋調査定点におけるこの4年間の1月上旬底層水温は, $11.5\sim 12.8^{\circ}\text{C}$ の範囲であり(堀ほか, 1998, 2000, 2001, 2005), 本研究の飼育実験(水温 $11\sim 12^{\circ}\text{C}$)と同じ日数でふ化すると仮定すると, 計算されるふ化盛期は, 1997年が1月5~10日頃, 2000, 2001年が1月12~21日頃, 2004年が1月8日頃となる。これらは, 耳石輪紋解析から算出したふ化日範囲とほぼ一致するか, もしくはその範囲内に入っていた。イカナゴの産卵は, 成熟して夏眠状態から遊泳状態に移行した後きわめて速やかに行われると考えられており(反田・岡本, 1992), 兵庫県水産技術センターの産卵盛期推定も, 生殖腺熟度が上昇した後, 空釣り漁具での採集数が急減した時(潜砂個体数の急減時)を盛期と判断しているが, 今回の結果はその推定を強く裏付けるものである。

漁獲物の成長履歴にはRichardsの成長式がよく当てはまった($R^2=0.96\sim 0.98$)。式のタイプを左右するパラメータ r の値が $0.63\sim 1.00$ の範囲であることから, イカナゴの初期成長はlogistic曲線に近いかたちであることが分かる(赤嶺, 1995)。当てはめた成長式によれば, ふ化後37日目における日間成長量は $0.64\sim 0.89 \text{ mm day}^{-1}$ の範囲であった。一方, 現在当海域で行っている漁業管理においては, 試験操業日の漁獲物サイズから解禁基準サイズに達する日を予測する際に, 過去の漁獲物平均全長の推移から算出した日間成長量 $0.6\sim 0.8 \text{ mm day}^{-1}$ の範囲で, 水温の低い年は低めの成長量を, 高めの年は高めの成長量を採用している。対象とした4ヶ年の試験操業実施日は, ふ化後36.5~43.5日にあたる(各年のふ化日組成の中央値をふ化日代表値とした場合)ので, 両成長量をそのまま比較してみると, その範囲はほぼ一致していた。したがって, 現在採用している日間成長量は, その範囲においておおむね妥当な値であるといえよう。なお, 今回の結果の方が若干大きめなのは, 群の平均体長推移から成長を求めると, 漁期中の新規加入個体によって下方に引き下げられるためであろう。

各年の成長速度と水温が高い正の相関を示したことから, イカナゴ仔魚の成長が水温によって左右され, 水温の高い年ほど成長がよいことが示された。富山・小松(2006)も, 水温の高い年は仔魚の成長が良いことを報告しており, 本研究の結果と一致している。今後さらにデータ数を増やすことによって, 仔魚の成長予測の精度を向上させること

が可能になると考えられる。

謝 辞

兵庫県水産技術センターの玉木哲也研究主幹、反田 實研究主幹、岡本繁好主任研究員には、親魚採集その他で多大なご協力をいただきました。愛知県水産試験場漁業生産研究所の富山 実主任研究員には、文献等についてご教示いただきました。また、漁獲物のサンプリングに際しては、深日漁業協同組合の南 泰治組合長、岸和田市漁業協同組合の音揃政啓氏に大変お世話になりました。これらの方々に深く感謝の意を表します。

引用文献

- 赤嶺達郎 (1995) 水産資源学における成長式に関する数理的研究. 中央水研研報, 7, 189–263.
- Campana, S. E. (1984) Microstructural growth patterns in the otoliths of larval and juvenile starry flounder, *Platichthys stellatus*. *Can. J. Zool.*, **62**, 1507–1512.
- Campana, S. E. (1990) How reliable are growth back-calculations based on otoliths?. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **47**, 2219–2227.
- 浜田尚雄 (1979) 5. イカナゴ資源生態調査. 昭和53・54年度関西国際空港漁業影響調査報告第三分冊漁業生物編 (上), 日本水産資源保護協会, 720–735.
- 浜田尚雄 (1985) 我が国におけるイカナゴの生態と漁業資源. 水産研究叢書**36**, 日本水産資源保護協会, 82 pp.
- 堀 豊・宮原一隆・岩佐隆宏・中筋晴喜 (1998) 浅海定線調査. 平成8年度兵庫県立水産試験場事業報告, 21–22.
- 堀 豊・西川哲也・谷田圭亮・中筋晴喜 (2000) 浅海定線調査. 平成11年度兵庫県立水産試験場事業報告, 19–20.
- 堀 豊・西川哲也・谷田圭亮・中村行延・中筋晴喜 (2001) 浅海定線調査. 平成12年度兵庫県立水産試験場事業報告, 20–21.
- 堀 豊・西川哲也・谷田圭亮・中筋晴喜・山本 強・金尾博和・杉野雅彦 (2005) 漁場環境保全対策調査. 平成15年度兵庫県立農林水産技術総合センター年報 (水産編), 11.
- 兵庫県水産技術センター (2004) 平成16年漁期イカナゴ漁況予報. 6 pp.
- 井上 明 (1949) イカナゴ *Ammodytes personatus* の生態に就て (第1報). 日本誌, **15**, 458–468.
- 日下部敬之・中嶋昌紀・佐野雅基・渡辺和夫 (2000) 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. 日本誌, **66**, 713–718.
- Laroche, J. L., S. L. Richardson, and A. A. Rosenberg (1982) Age and growth of a pleuronectid, *Parophrys vetulus*, during the pelagic larval period in Oregon coastal waters. *Fish. Bull., U.S.*, **80**, 93–104.
- 中嶋昌紀・山本圭吾・辻野耕實 (1999) 1. 浅海定線調査. 平成9年度大阪水試事報, 1–18.
- 中嶋昌紀・山本圭吾・辻野耕實 (2002) 1. 浅海定線調査. 平成12年度大阪水試事報, 1–18.
- 中嶋昌紀・山本圭吾・辻野耕實 (2003) 1. 浅海定線調査. 平成13年度大阪水試事報, 1–18.
- 中嶋昌紀・山本圭吾・鍋島靖信 (2006) 1. 浅海定線調査. 平成16年度大阪水試事報, 1–18.
- Nakata, H. (1988) 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.
- 農林水産省中国四国農政局 (2006) 農林水産統計瀬戸内海区及び太平洋南区版 平成17年海面漁業・養殖業生産量 (概数). 13 pp.
- 大美博昭・日下部敬之・齊藤真美 (2006) イカナゴ仔稚魚における耳石輪紋形成の日周性の確認. 大阪水試研報, **16**, 1–6.
- 大関芳沖・渡辺良朗・久慈康支・高橋章策 (1991) サンマ仔稚魚の固定に伴う体長収縮. 東北水研研報, **53**, 15–21.
- Richards, F. J. (1959) A flexible growth function for empirical use. *J. Exp. Bot.*, **10**, 290–300.
- 斎浦耕二・東海 正 (2003) ポケット網実験から推定したカタクチイワシシラスに対する船曳網の網目選択性. 日本誌, **69**, 611–619.
- 玉木哲也・反田 實・大谷徹也・岩佐隆宏・中筋晴喜 (1998) 3) イカナゴ稚仔分布調査. 平成8年度兵庫県水試事報, 11–12.
- 玉木哲也・反田 實・長浜達章・中村行延・中筋晴喜 (2000) 3) イカナゴ稚仔分布調査. 平成11年度兵庫県水試事報, 10–11.
- 玉木哲也・反田 實・中村行延・長浜達章・中筋晴喜 (2001) 4) イカナゴ稚仔分布調査. 平成12年度兵庫県水試事報, 11–12.
- 反田 實・岡本繁好 (1992) 瀬戸内海東部海域におけるイカナゴの資源変動—生態的視点から— (シンポジウム「水産海洋」要旨). 水産海洋研究, **56**, 201–205.
- Theilacker, G. H. (1980) Changes in body measurements of larval northern anchovy, *Engraulis mordax*, and other fishes due to handling and preservation. *Fish. Bull., U.S.*, **78**, 685–692.
- 富山 実・小松輝久 (2006) 水温が伊勢湾産イカナゴ初期生活史の成長と加入資源量に与える影響. 水産海洋研究, **70**, 114–121.
- Tsuji, S. and T. Aoyama (1982) Daily growth increments observed in otoliths of the larvae of Japanese red sea bream *Pagrus major*. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **48**, 1559–1562.
- Tsukamoto, Y., H. Yamada, and H. Zenitani (2002) Microincrements of otoliths of the Japanese sand lance *Ammodytes personatus* during early life stages. *Fisheries Science*, **68**, 1158–1160.
- Yamashita, Y., D. Kitagawa and T. Aoyama (1985) Diel vertical migration and feeding rhythm of the larvae of Japanese sand-eel *Ammodytes personatus*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **51**, 1–5.