

# 日齢を指標とした相模湾における越冬期のカタクチイワシ 及びマイワシ仔魚の成長差異

船木 修

Difference of Growth between Japanese Anchovy and Japanese Sardine Larvae based on Daily Increments of  
Otolith in Sagami Bay during Winter

Osamu FUNAKI\*

## 緒 言

日本周辺に分布するカタクチイワシ *Engraulis japonicus* は、マイワシ *Sardinopus melanostictus* と相反する資源状態を示すと考えられており<sup>1)</sup>、マイワシが1988年以降激減した一方で、その資源量を徐々に増加させ、1990年代から現在に至るまで高水準を維持している<sup>2)</sup>。

本種は、本県漁業において重要な漁獲対象種であり、鮮魚は勿論のこと、カツオ一本釣り漁業で用いられる活き餌としても欠かせない魚種である。また、後期仔魚も相模湾でのシラス漁において漁獲対象となっている。

本種に関する生態や資源に関する研究は古くから行われている<sup>3) 4)</sup> が、依然として未解明な部分も多い。例えば、資源高水準期に出現する大型魚について、従来は高齢に因るものと考えられていたが、実は餌の豊富な海域において非常に速い成長速度で成長した結果であることを由上<sup>5)</sup> が報告したのも最近のことである。

当研究所では、1983年より漁況予報「いわし」を発行して関係漁業者へ情報を提供している。予報精度を高めるには、本種の成長過程を的確に把握することが重要である。年齢と成長に関しては多くの報告例があり、本種についても Hayashi and Kondo<sup>6)</sup> が鱗による年齢査定を行い成長曲線を推定している。しかし、鱗による査定では過小推定となることも指摘されている<sup>7)</sup>。

一方、Pannella<sup>8)</sup> が耳石上に見られる微細な輪紋が1日1本ずつ形成されることを発見して以来、年齢形質は鱗から耳石へと、年齢査定は年から日単位へと移っていった。この日輪は、その個体の体成長度合や栄養状態を反映することが知られており<sup>9)</sup>、Campana<sup>10)</sup> は体長と耳石半径の関係式から、各日輪が形成された時点での体長を逆算できるとした。

筆者は、耳石日輪解析により1年を通じたカタクチイワシ仔魚の成長解析を行うことにしているが、ここでは

仔魚の成長と水温との関係及び越冬期におけるマイワシ仔魚との成長差異について報告する。

## 材料と方法

### 供試魚

2001～2003年の各1～3月に当研究所が行った試験操業において、県内のシラス船曳網漁船を備船し、相模湾で採集されたカタクチイワシ仔魚124個体及びマイワシ仔魚32個体、計156個体の仔魚を試験に供した。採集は横須賀市秋谷から平塚市地先にかけて行われた(図1)。

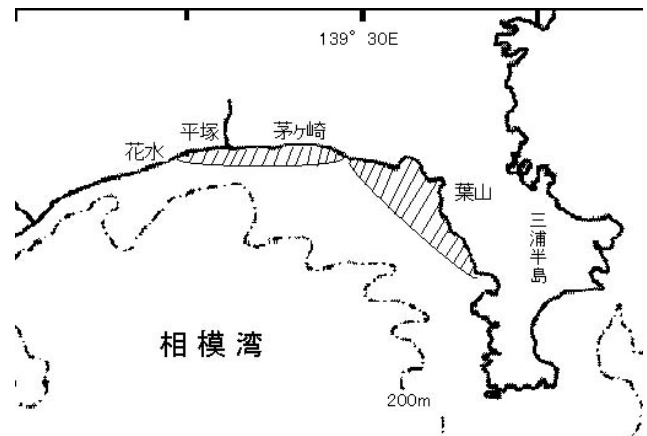


図1 調査海域

### 魚体測定

採集した仔魚は、採集後直ちに船上で99.5%エチルアルコール溶液で固定して研究室に持ち帰り、後日、標準体長(以下、体長とする)を、デジタルノギスを用いて0.1mm単位まで計測した。なお、エチルアルコールで固定した仔魚は体長が若干収縮するが、本研究では考慮に入れなかった。

## 耳石標本

各個体について体長測定後、実体顕微鏡下で耳石扁平石（以下、耳石という）を摘出し、スライドガラス上にマニキュアトップコートで包埋した。これを耳石日輪計測システム（RATOC エンジニアリング社）を用いて、耳石核から体軸後方への最大半径上に計測線を任意に設定し、日輪数と各日輪の耳石核からの距離を計数・計測した。観察は透過光により200～500倍で行った。本研究では、Tsuji and Aoyama<sup>11)</sup>から孵化後72～96時間で第1日輪が形成されると考え、日輪数に3を加えた値を日齢とした。

## 体長逆算

個体ごとに、各日輪が形成された時点の体長を以下のようなアロメトリー式により推定した。

$$SL_i = a \times R_i^b$$

ここで、 $SL_i$ は*i*番目の耳石日輪が形成された時点における体長、 $R_i$ は*i*番目の耳石日輪半径を表す。

体長逆算は、Biological intercept method<sup>10)</sup>を基に、個体別に体長－耳石半径関係における第1日輪形成時と採集時の体長・耳石半径の値を用いて、Microsoft 社 Excel のソルバーにより a、b を求めた。ここで、第1日輪形成時の体長は、Fukuhara<sup>12)</sup>から3.5mmとした。

また、Fukuhara<sup>12)</sup>は飼育実験において孵化体長が2.7mmと報告していることから、孵化時から採集時までの平均

成長速度（G）は以下の式により求めた。

$$G = (SL_{\text{capture}} - 2.7) / D$$

ここで、 $SL_{\text{capture}}$ は採集時の体長、 $D$ は日齢を表す。

なお、マイワシについては、内田他<sup>13)</sup>から孵化時及び第1日輪形成時の体長を3.5mm、5mmとした。

## シラスの成長と水温の関係

2001年及び2002年3月に相模湾の茅ヶ崎市地先で採集されたカタクチイワシ仔魚30個体を用いて、日輪間隔と水温を比較することで、水温の成長に対する影響を解析した。水温は平塚沖1kmに独立行政法人防災科学技術研究所平塚実験場が設置した波浪等観測塔での定地水温（水面下3m）を用いた。

## 成長の月別差異

耳石輪紋情報による成長解析から個体ごとに孵化日を推定した。推定された孵化日を基に、孵化した月ごとに体長－日齢関係を調べ、成長の違いを検証した。また、12月生まれのカタクチイワシとマイワシ仔魚の成長差異についても併せて解析した。なお、便宜上、前月25日から当月24日までに孵化したと推定された個体をその月生まれとした。（例えば、12月生まれは11月25日から12月24日に孵化したと推定された個体を指す）

## 結 果

試験に供した仔魚の平均体長、日齢等を表1に示した。

表1 2001～2003年における1～3月の越冬カタクチイワシ、マイワシ仔魚の標準体長(SL)と日齢(D)の範囲と平均成長速度(G)の差異

	n	体長SL (mm)			日齢D(d)		平均成長速度G(mm/d)	
		Range	Ave.	SD	Ave.	SD	Ave.	SD
<b>カタクチイワシ</b>								
2001/01/16 秋 谷	15	26.2-32.8	29.6	2.2	51.3	8.7	0.53	0.06
2001/02/13 茅ヶ崎	20	24.6-34.5	29.5	2.9	65.5	11.2	0.41	0.03
2001/03/03 茅ヶ崎	20	27.1-36.2	31.9	2.5	79.3	9.3	0.37	0.03
2002/01/15 鎌 倉	10	32.9-37.4	35.4	1.7	79.5	6.4	0.41	0.02
2002/01/24 茅ヶ崎	10	29.2-34.7	31.7	1.9	68.4	6.8	0.43	0.02
2002/02/18 鎌 倉	10	32.3-37.0	34.4	1.5	87.3	5.6	0.36	0.02
2002/02/21 茅ヶ崎	10	29.3-34.7	33.1	1.7	86.4	5.4	0.35	0.02
2002/03/01 葉 山	10	35.0-39.9	37.2	1.4	99.2	6.9	0.35	0.02
2002/03/04 茅ヶ崎	10	28.2-34.4	31.6	2.0	85.3	8.0	0.34	0.02
2003/02/14 引地川	9	17.5-22.0	20.5	1.3	52.1	5.9	0.34	0.02
小計	124				D=輪紋数+3		G=(体長-2.7) / D	
<b>マイワシ</b>								
2001/03/22 秋 谷	5	24.8-26.8	25.6	0.8	45.8	5.2	0.49	0.04
2001/04/26 平 塚	5	26.9-30.2	28.2	1.2	39.2	7.5	0.64	0.08
2002/01/24 平 塚	5	26.3-29.5	27.7	1.2	50.8	2.9	0.48	0.02
2002/03/01 葉 山	3	36.6-37.1	36.8	0.3	77.7	0.6	0.43	0.00
2002/04/13 秋 谷	4	27.1-28.7	27.9	0.8	45.0	6.2	0.55	0.07
2003/02/14 茅ヶ崎	5	30.9-34.4	33.5	1.5	70.6	2.5	0.43	0.03
2003/03/05 茅ヶ崎	5	33.0-36.9	35.1	1.6	72.2	2.5	0.44	0.01
小計	32				D=輪紋数+3		G=(体長-3.5) / D	
合計	156							

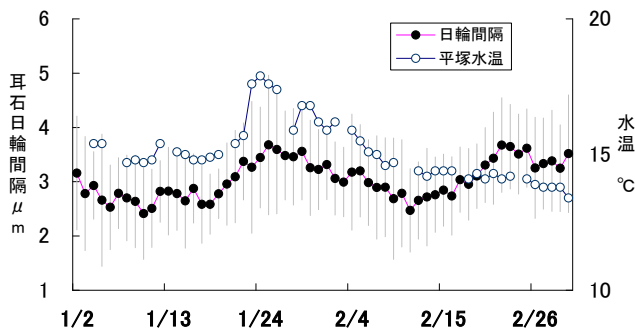


図 2-1 カタクチイワシ仔魚の耳石日輪間隔の変化と平塚沖水温の動向 (2001年1月2日~3月3日)

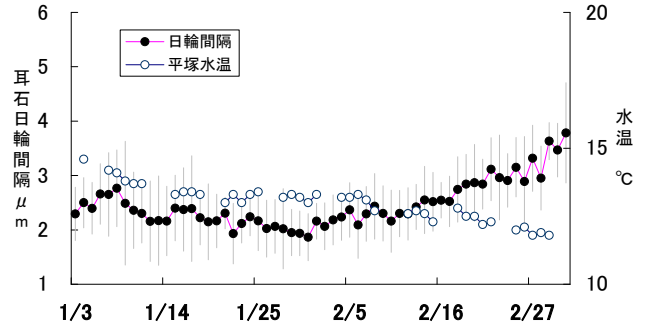


図 2-2 カタクチイワシ仔魚の耳石日輪間隔の変化と平塚沖水温の動向 (2002年1月3日~3月4日)

成長と水温との関係について

2001年3月3日 (n=20) 及び2002年3月4日 (n=10) に相模湾茅ヶ崎市地先で採集されたカタクチイワシ仔魚について耳石輪紋解析を行い、日輪間隔を採集日から遡った結果と、水温動向を図 2-1 及び図 2-2 に示した。

水温であるが、2001年の場合、暫く15°C前後で推移していた水温が1月18日から上昇し始め、22~23日にかけては1日で2°C上昇し、24日には17.9°Cに達した。その後は徐々に下降していき、概ね14°C前半で推移した。2002年の場合、前年のような急激な水温上昇は見られず、1月中は13°C台、2月中は12°C台とほぼ一定に推移した。

一方、平均耳石日輪間隔 (±標準偏差) は、2001年は年明けから18日まで2.5~3.0 μm で推移していたが、1月19日から徐々に増加し25日には最大の3.7±1.18 μm に達した。翌26日からは水温の低下に合わせて徐々に減少し、2月11日には2.5±0.71 μm まで減少した。

2002年は年明けから2月中旬まで2 μm 台でほぼ一定に推移し、前年のように途中で間隔が大きく増加することはなかった。なお、両年とも2月下旬以降、徐々に間隔が増加する傾向にあった。

耳石日輪間隔の変化

10月 (n=3)、11月 (n=39) 及び12月 (n=74) 生まれの各個体群について、群ごとに耳石核からの輪紋番号と平均耳石日輪間隔 (±標準偏差) の関係を図 3 に示した。いずれも、一旦14本目あたりまで間隔が増加した後、減少する共通点があった。10月生まれ群は、この後再び増加傾向を示し65本目あたりまで4~6 μm で推移した。11月及び12月生まれ群は、10月生まれ群とは違い、この後大きく間隔が増加することはなく、2~3 μm 台でほぼ一定に推移した。70本目まで11月生まれ群が12月生ま

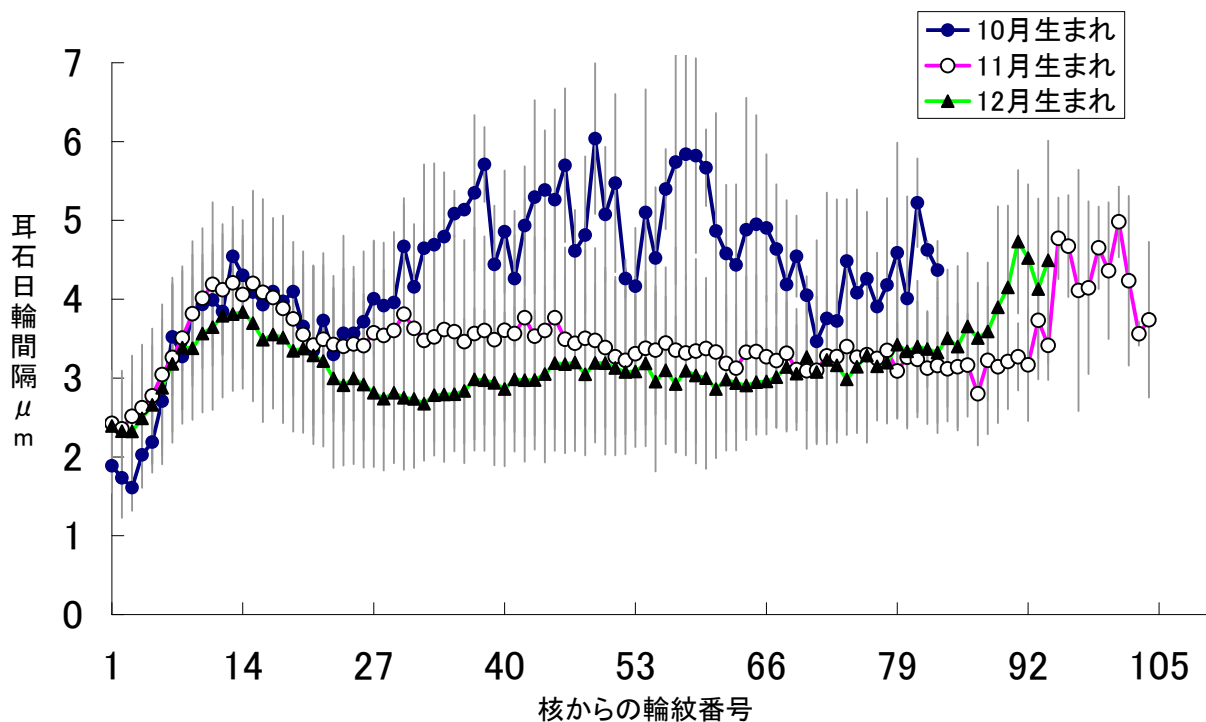


図 3 10月、11月及び12月生まれのカタクチイワシ仔魚の耳石核からの輪紋番号と日輪間隔の関係

れ群を上回った。

#### 月別の成長差異

10月、11月及び12月生まれの各個体群について、平均体長(±標準偏差)を逆算推定した結果を図4に示した。

孵化後しばらくは、3群ともほぼ同様な成長であった。40日目あたりで、まず12月生まれ群の成長が遅れ始めた。

その後、50日目あたりで11月生まれ群のそれが遅れ始めた。孵化後80日目には10月生まれ群は体長が $34.7 \pm 1.05 \text{ mm}$ に達したのに対し、他の2群は $31.9 \pm 1.79 \text{ mm}$ 、 $31.60 \pm 1.68 \text{ mm}$ で約3 mmの差が生じた。このように、3群のなかでは10月生まれ群が最も良い成長で推移した。

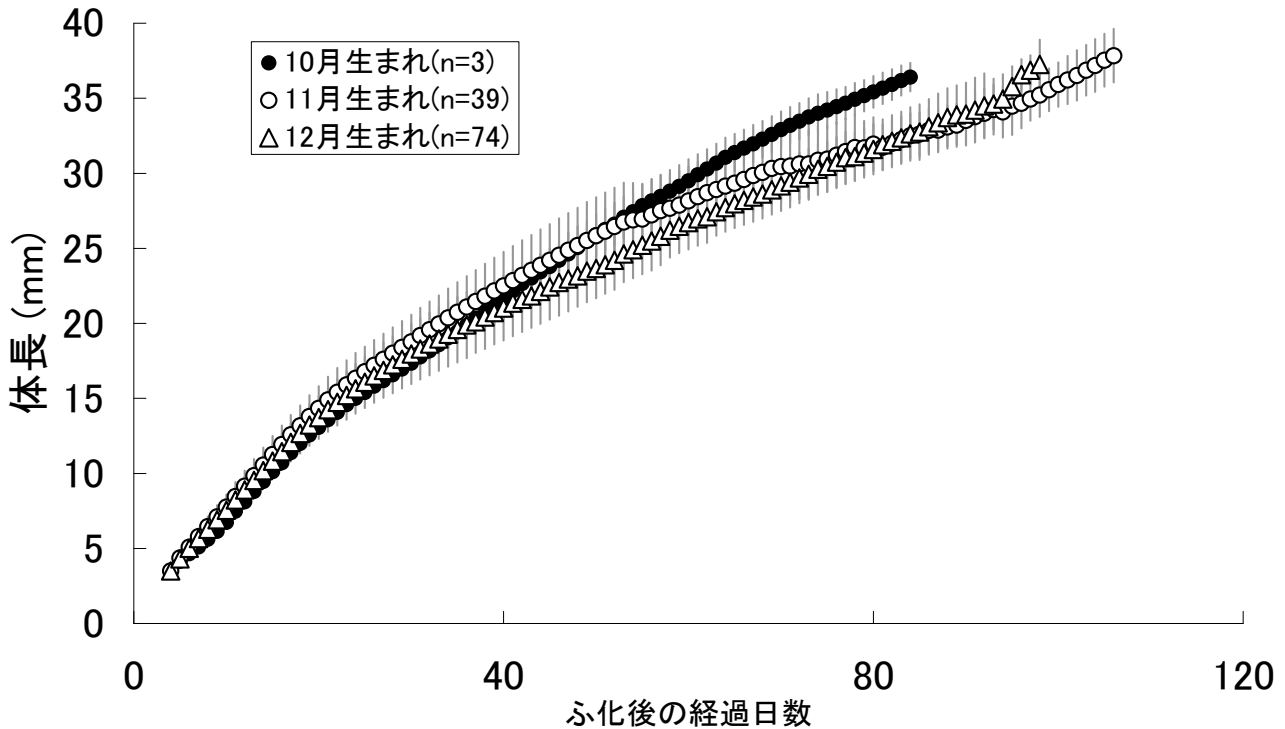


図4 10月、11月及び12月生まれのカタクチイワシ仔魚の逆算体長

#### マイワシ仔魚との成長差異

12月生まれのカタクチイワシ仔魚とマイワシ仔魚(n=16)の各個体群について、平均耳石日輪間隔(±標準偏差)を比較した結果を図5-1に示した。カタクチイワシ仔魚は、約 $3 \mu \text{ m}$ でほぼ一定に推移したのに対し、マイワシ仔魚は約 $5 \mu \text{ m}$ まで日々増加していく傾向にあった。

平均体長(±標準偏差)を逆算推定した結果を図5-2に示した。孵化後1ヶ月は双方に大きな差はないが、その後徐々に差が顕著になり、2ヶ月後で3 mm、3ヶ月後で5 mm程度、マイワシの方が大きく成長した。

平均成長速度について、孵化時から採集時までを比較した結果、カタクチイワシ仔魚は $0.39 \text{ mm}$ 、マイワシ仔魚は $0.45 \text{ mm}$ で、マイワシ仔魚が有意に速かった。

( $p < 0.01$ ) 次に、孵化時から10日間ごとに比較した結果を表2に示した。孵化後1ヶ月は11~20日齢を除き両者に有意な差はないが、31日齢以降はマイワシ仔魚の成長速度が有意に良くなった。(p<0.01)

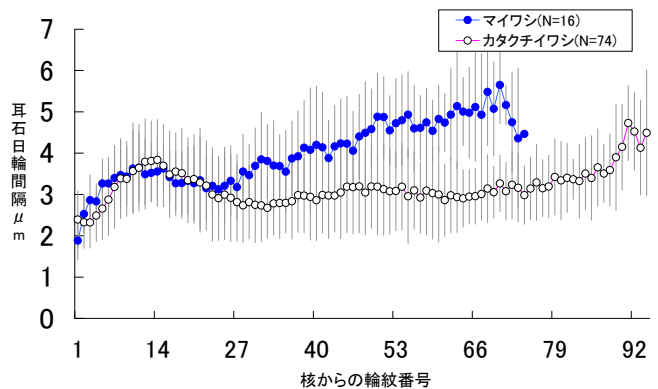


図5-1 12月生まれのカタクチイワシ及びマイワシ仔魚の耳石核からの輪紋番号と日輪間隔の関係

表2 孵化時から10日間ごとのカタクチイワシ及びマイワシ仔魚の平均成長速度 (mm/日)

Student's t 検定	カタクチイワシ 平均値 (個体数)	有意性	マイワシ 平均値 (個体数)
GR 4-10d	0.68(n=74)	0.05 < p	0.66(n=16)
GR 11-20d	0.61(n=74)	p < 0.05	0.57(n=16)
GR 21-30d	0.41(n=74)	0.05 < p	0.41(n=16)
GR 31-40d	0.31(n=73)	p < 0.01	0.40(n=16)
GR 41-50d	0.31(n=67)	p < 0.01	0.39(n=15)
GR 51-60d	0.30(n=57)	p < 0.01	0.39(n=11)
GR 61-70d	0.26(n=44)	p < 0.01	0.37(n=10)

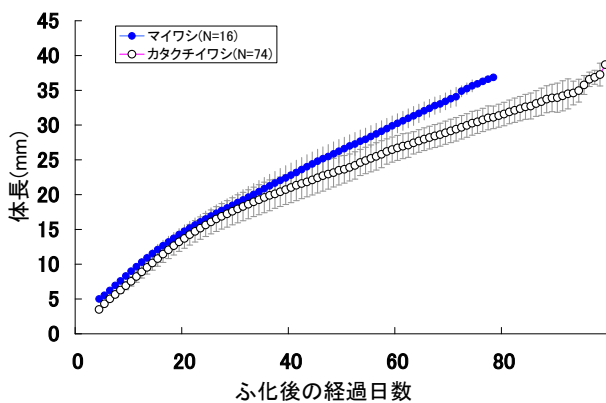


図5-2 12月生まれのカタクチイワシ及びマイワシ仔魚の逆算体長

## 考 察

### 成長と水温との関係について

耳石日輪間隔はその時点での成長速度を表している。2001年3月3日に採集した個体の耳石輪紋解析の結果では、1月下旬に水温の急激な上昇に合わせるように日輪間隔も増加した(成長が良くなった)。しかし、この1回の結果だけでは日輪間隔の増加が水温上昇に因るものか判断し難い。そこで、翌年、同様な調査・解析を同じ場所・時期に行ったところ、水温も日輪間隔もほぼ一定に推移していた。仔魚の成長には、水温と餌密度の役割が大きい<sup>14)</sup>、2001年の現象の主要因が餌密度と仮定すれば、水温上昇→植物プランクトン増加→動物プランクトン増加→シラスの成長促進(日輪間隔の増加)の順になると思われ、水温上昇から日輪間隔の増加まで時間差があっても不思議でない。しかし、今回の現象では、水温上昇と同時に日輪間隔の増加が始まっていることから、主要因は餌密度でなく水温上昇であったと考えられる。

一般に魚類の成長は水温の高い時期ほど良好である<sup>15)</sup>といわれるが、カタクチイワシがその成長の初期過程において既に水温の影響を受けていることを実証したものと云えよう。

一方、両年とも2月下旬以降、水温は12~14℃で15℃を下回る位非常に低かったにも係わらず、耳石日輪間隔が増加する(成長が良くなる)傾向が見られた。この時期は、水温が低く、河川流量も少なく栄養塩類の負荷も少ないことから動植物プランクトンの増加速度は極めて遅く、絶対量もかなり少ないと思われる。また、高橋<sup>16)</sup>は、カタクチイワシを飼育実験し、13℃区では低水温により摂餌量が低下して成長と発達が抑制されることを報告している。したがって、成長を促進する外的要素はないと考えられるが、2年とも成長が良くなったということは、恒常的にこの時期は成長が良くなると示唆される。この要因については今後精査する必要がある。

### 月別の成長差異

孵化後70日あたりまでの平均耳石日輪間隔の推移をみると、10月生まれ群の成長が最も良く、12月生まれ群のそれが最も悪かった。これは各群の孵化時および孵化後の生息環境が大きく影響したものと思われる。すなわち、この3ヶ月間においては遅く生まれた個体ほど孵化時の水温が益々低くなる或いは、孵化後短時間で年間で最も水温の低い時期に遭遇することになる。このことで、遅く生まれた個体ほど孵化後早い段階で成長が制限されると考えられる。高橋<sup>16)</sup>は、カタクチイワシは30~50日齢時までに日輪間隔が10μmに達しないと変態が進行せず、成魚資源へ加入できる可能性が低いことを報告している。本研究では、10月、11月及び12月生まれ群のいずれも平均耳石日輪間隔が80日齢時までに10μmを超えることはなかった。したがって、この3ヶ月間に生まれた個体のうち、成魚になり再生産に寄与するものの割合は低いと考えられた。

また、栄養状態が悪い状態では仔魚の成長は緩慢で時には止まることがある<sup>17) 18)</sup>が、本研究でも11月及び12月生まれ群において、一時的に成長度合が鈍くなる現象が見られた。これは、水温の低下及び水温が低いことによる餌料環境の悪化が原因と思われた。

#### マイワシ仔魚との成長差

本研究では、12月生まれ群の成長について比較した。12月中に生まれた個体は、まもなく年間で最も水温の低い期間(1~3月)を過ごすことになる。耳石輪紋解析の結果、カタクチイワシは孵化後1~3ヶ月間3 $\mu\text{m}$ でほぼ一定に低調に推移したのに対し、マイワシは日輪間隔が徐々に増加し、70本目には5 $\mu\text{m}$ に達した。体長は孵化後3ヶ月後には約5mmの差が生じていた。すなわち、マイワシ仔魚は水温が低い環境下でカタクチイワシ仔魚よりも高い成長度合を示した。

高橋<sup>16)</sup>は、マイワシが17°C以下という相対的に低い水温下でも、カタクチイワシと比べ順調に成長、変態して資源へ加入できると推定しているが、これは本研究の結果と一致するところである。

#### 摘 要

1. 冬季の相模湾のシラス漁場で採集されたカタクチイワシ仔魚の成長履歴を調べるとともに、マイワシ仔魚との成長差を検証した。
2. カタクチイワシは、その仔魚期から既に水温の影響を受けていることが実証された。
3. 10月、11月及び12月生まれ群について成長を比較した結果、10月生まれ群が最も良く、12月生まれ群のそれが最も悪かった。
4. この要因として、遅く生まれた個体ほど水温が低くなるなど、生息環境がより厳しくなるためと考えられた。
5. マイワシ仔魚と成長の比較を行ったところ、耳石日輪間隔がカタクチイワシでは低調で一定だったのに対し、マイワシは徐々に増加していった。つまり、越冬期、マイワシ仔魚がカタクチイワシ仔魚よりも高い成長度合を示すことが明らかになった。

#### 謝 辞

本報告をまとめるにあたり、三谷勇博士には多大なご助言を頂いた。堀江一氏、水島信一氏、矢嶋宏氏、甘粕雅秀氏、大竹勝氏及び葉山一郎氏には標本採集にご協力を頂いた。東京大学海洋研究所渡邊良朗教授ならびに資源生態分野の学生の皆さんには耳石日輪計測システムを快く使用させて頂いた。ここに記して、心から御礼申し上げます。

#### 文 献

- 1) 中原民男・小川嘉彦(1978)：浮魚類における卓越種の交代-I 資源の長期変動と分布域の変化, 水産海洋研究会報, **34**, 21-31.
- 2) 水産庁増殖推進部・独立行政法人水産総合研究センター(2003)：我が国周辺水域の漁業資源評価(魚種別系群別資源評価要約版), 1-216
- 3) 辻 祥子(1983)：日齢を指標とした相模湾におけるカタクチイワシ稚仔のシラス漁場への加入機構の研究, 東京大学学位論文, 1-157.
- 4) 三谷 勇(1990)：相模湾におけるカタクチイワシシラスの漁業生物学的研究, 神奈川県水産試験場論文集**5**, 1-140.
- 5) 由上龍嗣(2003)：カタクチイワシ成魚の耳石履歴情報の解析, 東京大学学位論文, 1-41.
- 6) Hayashi S, Kondo K(1957)：Growth of the Japanese anchovy-IV, Age determination with use of scales. Bull. Tokai. Fish. Res. Lab, **17**, 31-64.
- 7) R.J. Beamish and C.A. McFarlane(1987)：Current trends in age determination methodology, in "The Age and Growth of Fish"(ed. by R.C. Summerfelt and G.E. Hall), Iowa State University Press, 15-42.
- 8) Pannella G(1971)：Fish otoliths : daily growth layers and periodical patterns, Science, **173**, 1124-1127.
- 9) Clemmesen C(1996)：Importance and limits of RNA/DNA ratio as a measure of nutritional condition in fish larvae. In : Watanabe Y, Yamashita Y, Oozeki Y(eds) Survival Strategies in Early Life Stages of Marine Resources, AA Balkema, Rotterdam, 67-82.
- 10) Campana SE(1990)：How reliable are growth back-calculation based on otolith? Can. J. Fish. Aquat. Sci., **47**, 2219-2227.
- 11) Tsuji S, Aoyama T(1984)：Daily growth increment in otoliths of Japanese anchovy larvae, *Engraulis japonica*, Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., **50**, 1105-1108.
- 12) Fukuhara O(1992)：Study on development of functional morphology and behaviour of the larvae of eight commercially valuable teleost fishes, 日本海ブロック試験研究集, **25**, 1-17.
- 13) 内田恵太郎、今井貞彦、水戸敏、藤田矢郎、上野雅正、庄島洋一、千田哲資、田福正治、道津喜衛(1958)：日本産魚類の稚魚期の研究, 九州大学農学部水産学第二教室, **1**, 10-13

- 
- 14) V.P.Saksena, C.Steinmetz and E.D.Houde (1972) : Effects of temperature on growth and survival of laboratory-reared larvae of the scaled sardine *Harengula Pensacolae* Goode and Bean, Transactions of the American Fisheries Society, **101**, 691-695.
- 15) A.E.Emerson (1955) : 生態と進化 (伊藤嘉昭訳) , みすず書房, 東京, 53pp.
- 16) 高橋素光 (2001) : カタクチイワシの仔稚魚期における成長・発達様式と資源加入機構, 東京大学学位論文, 1-107.
- 17) R.D.Methot and D.Kramer (1979) : Growth of northern anchovy, *Engraulis mordax*, larvae in the sea, Fish.Bull.U.S., **77**, 413-423.
- 18) G.B.Talbot and S.I.Johnson (1972) : Rearing Pacific herring in the laboratory, The Progressive Fish-Culturist, **34**, 2-7.

