

黒潮外側・流軸・沿岸域におけるマイワシ仔魚の栄養状態

林 周****・齋田 義成**・川口 弘一*

Nutritional conditions of Japanese sardine larvae in the Kuroshio and its adjacent waters

Amane HAYASHI****, Yoshinari TSURUTA**
and Kouichi KAWAGUCHI*

Abstract

By means of regression analyses based on the relationships between standard length (SL) to daily age and fish dry weight to SL, and condition factor analyses, the nutritional condition of Japanese sardine larvae were compared among specimens collected in different areas off the Pacific coast of the middle section of Honshu, main island of Japan, on March 4-6, 1986 and March 8-18, 1987. The sampling areas were categorized into three areas, i.e. coastal area within the continental shelf along Honshu, Kuroshio axis area defined as an area where the maximum current velocity exceeds 1.1-2 knots, and offshore area of the opposite side of the Kuroshio axis to the coastal area. Models were analyzed for accuracy by the minimum AIC (Akaike Information Criterion) method, and the SL-daily age relationship showed an exponential regressional pattern where SL at the same daily age is significantly lower in the offshore area than in the coastal area. The dry weight-SL relationship was linear, and the larvae from the offshore area showed a lighter dry weight than those of the coastal and Kuroshio axis areas for the same SL. No difference was observed between the coastal and axis areas. For small larvae less than 11 mm in SL, the mean condition factor of the coastal area specimens was significantly lower than those of the other two areas ($p < 0.01$), but no difference was observed between the axis and offshore areas. For large larvae of more than 11 mm in SL, a significant difference was observed only between specimens from coastal and offshore areas ($p < 0.01$), suggesting that locational differences in the nutritional condition of sardine larvae decreases as they grow. These results show the existence of differences in nutritional condition of Japanese sardine larvae, especially for smaller larvae just after first feeding, from coastal areas to offshore areas on the opposite side of the Kuroshio to the coast.

マイワシの産卵場は1980年以降の資源の高水準期に拡大、南偏し、低水準期には産卵の見られなかった黒潮流軸域においても、産卵場が形成されるようになった(黒田, 1988)。黒潮流軸域で産卵されたマイワシ卵や、それからふ化した仔魚は、黒潮流軸にそって

移送されながら、黒潮流軸域の外側から更に外側域へ、また内側から沿岸域へと拡散していくことが知られている(小林, 1985)。また、シラス型仔魚は、初期の餌料条件により、その後の生残が大きく左右されることが、カリフォルニア産カタクチイワシで明らかにされている(LASKER *et al.*, 1970)。そこで餌料生物密度が異なると考えられる黒潮外側域、流軸域、沿岸域で採集された仔魚の日齢-体長関係及び、体長-乾燥体重関係(肥満度)を求め、これを各海域でのマイワシ仔魚の栄養状態の指標として、マイワシ仔魚の栄養状態と海域との関係を調査した。

* 東京大学海洋研究所 Ocean Research Institute, University of Tokyo, Nakano, Tokyo 164, Japan.

** 水産工学研究所 National Research Institute of Fisheries Engineering, Hasaki-machi, Ibaraki, 314-04, Japan.

*** Present address: 海洋生物環境研究所 Marine Ecology Research Institute, Onjuku, Chiba 299-51, Japan.

1. 材料と方法

日齢—体長関係及び体長—乾燥体重関係(肥満度)の解析に供したマイワシ仔魚は、水産庁調査船蒼鷹丸の2航海において、1986年3月4~6日(Fig. 1a)と1987年3月8~18日(Fig. 1b)に、口径130 cmの稚魚ネットの表層曳きで採集した。仔魚の生息環境を把握するために、採集と同時に海表面における水温、塩分と、クロロフィルa及び甲殻類ノープリウスの密度を測定した。ただし、体重と体長の関係の比較において、沿岸域の測点とした館山湾(後述)においては、避泊中に船の灯火に寄ってきたマイワシ仔魚を口径40 cmのプランクトンネットを用いて採集し、その他の海洋環境の測定は行なわなかった。更に、採集と同時に行なったGEK観測結果から、採集時の黒潮流軸位置を推定した。GEK観測で2ノット以上の流速が観測された測点及びその周辺においてほぼ同一方向で1ノット以上の流速を観測した測点を黒潮流軸域とし、それより沿岸側の測点を沿岸域、沖合側を黒潮外側域と区分した。但し、1987年における伊豆諸島周辺の測点は、流速において上記の条件を満たさなかったが、4測点のうち最も北東、及び南西の測点によって構成される四角形に含まれる7測点(うち、1測点はGEK不実施)のうち、4測点でいずれも1.1~1.4ノットの東流を観測し、その周辺において2ノット以上の強流を観測しなかったことから、ここを流軸域とした。

日齢—体長関係の測定に用いた標本(Fig. 1aで採集)は、採集後直ちに80%エタノールで固定し、耳石

の溶解を防止するため約24時間後に新しい80%エタノールに入れ替えた。航海終了後マイワシ仔魚を選別し、体長を0.1 mmの単位まで測定した。その後、耳石(扁平石)を摘出しスライドガラス上にユーパールで包埋して600倍の光学顕微鏡下で日周輪を計数した。脊索上屈前の仔魚においては、脊索長(NL)を体長とした。マイワシ仔魚の耳石日周輪形成は飼育実験で証明されており、その結果に従って、日齢は日周輪数に2を加えた値とした(HAYASHI *et al.*, 1989)。また、マイワシ仔魚では、左右の耳石で日周輪数に差が無いことが確かめられているので、計数は左右いずれか1つの耳石についてのみ行なった。左右の選択は無作為に行なったが、日周輪の見え具合が左右で著しく異なっている場合には、良く見える方の耳石で日周輪数を計数した。

体長—乾燥体重関係(肥満度)の測定に用いた標本(Fig. 1bで採集)は、採集後直ちに体長を0.1 mmの単位まで測定した後、既に重量を測定したアルミフォルム上に置き、60°Cで24時間乾燥後、デシケーター中に保存し、航海終了後、重量を精密化学電子天秤で0.1 μ gの単位まで測定した。脊索上屈前の仔魚の体長は、先と同様に脊索長とした。

2. 結果

2.1. 日齢—体長関係

1986年3月の採集点のうち、浜名湖南方7マイル及び御前崎南方13マイルの沿岸域2測点、浜名湖南方

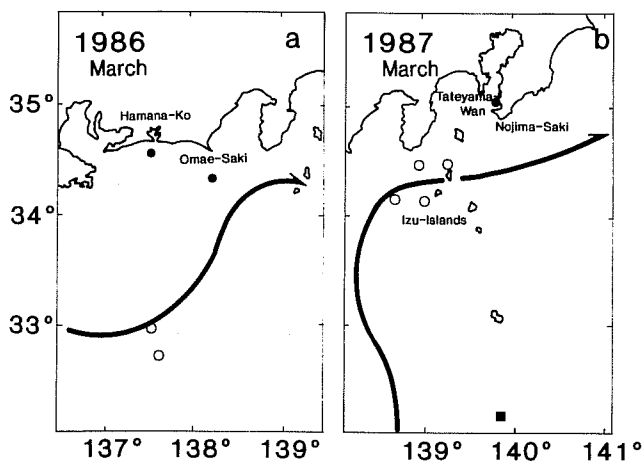


Fig. 1. Sampling locality. Closed circles, coastal area; open circles, Kuroshio axis area; closed square, offshore area on opposite side of the Kuroshio. Arrows indicate the Kuroshio axis defined by GEK observation.

102 及び 115 マイルの流軸域 2 測点 (Fig. 1a) で採集した標本を用いて日齢-体長関係を解析した。採集時における黒潮流軸は、GEK の結果よりおおよそ図中に示すような位置にあったと推定される。4 測点の表面水温はそれぞれ 15.4°C と 17.8°C, 18.3°C と 18.4°C であり、流軸域の方が平均して 1.8°C 高かった。沿岸域の 62 個体、流軸域の 48 個体のマイワシ仔魚のうち、それぞれ 53 個体と 45 個体において耳石日周輪を計数することができた。第 1 輪から連続した日周輪を光学顕微鏡下で認められない場合には、日齢査定を行えないものとして解析から除外した。日周輪が耳石周辺部でのみ認められ、核周辺では認められないものが観察され、特に体長 10 mm 以上のマイワシ仔魚において日齢が査定できなかったものは、すべてこのような耳石であった。また、採集個体数の少なかった体長 17 mm 以上の仔魚は解析の対象としなかった。

マイワシ仔魚の日齢と体長の関係について、

M1-1: 両者の関係は海域によって異なり、沿岸域と流軸域では別の直線回帰で表わされる。

M1-2: 両者の関係には海域差はなく、同じ直線回帰で表わされる。

M1-3: 両者の関係は海域によって異なり、沿岸域と流軸域では別の指数回帰で表わされる。

M1-4: 両者の関係には海域差はなく、同じ指数回帰で表わされる。

という 4 種類のモデルを作成した。それぞれのモデルの計測データへの適合度を統一的な基準で評価するために、AIC (Akaike Information Criterion: 赤池情報量基準) を用いた。それぞれのモデルに対する AIC を、小さいものから順に整理して Tabel 1 に示した。

AIC は、

Table 1. Fit of SL-daily age models in the coastal and Kuroshio axis areas March 4-6, 1986. E. and L. in the "Regression formula" colum signifies exponential and linear regressions, respectively.

| Models | Locational difference | Regression formula | AIC |
|--------|-----------------------|--------------------|-------|
| M1-3 | Different* | E. | 328.7 |
| M1-1 | Different | L. | 334.0 |
| M1-2 | Identical** | L. | 342.5 |
| M1-4 | Identical | E. | 345.5 |

*: Assumption of a locational difference between the two areas.

**: Assumption of locational equivalence.

$$AIC = -2 \times (\text{モデルの最大対数尤度}) + 2 \times (\text{モデルの自由パラメータ数})$$

で与えられ、AIC が小さなモデルほどデータに対する適合性が高いと判定される。各モデル間の AIC の差は、1~2 程度であれば有意であるので (坂元ほか, 1983), 観測データから、「マイワシ仔魚の日齢と体長の関係は海域によって異なり、沿岸域と流軸域では別の指数回帰で表わされる (M1-3)。」というモデルが最も実際に近いと判定された。求められた最小 AIC モデルを Fig. 2 に示した。マイワシ仔魚の日齢 (D) と体長 (SL) の回帰式は海域別に、

$$SL = 4.44e^{0.094D} \quad (\text{沿岸域})$$

$$SL = 4.83e^{0.074D} \quad (\text{流軸域})$$

となり、同一日齢のマイワシ仔魚であっても、黒潮流軸域に分布するものの方が、沿岸域に分布するものより体長が短い、つまり成長速度が遅いことが明らかになった。その差は、4~15 mm の体長範囲では、成長が

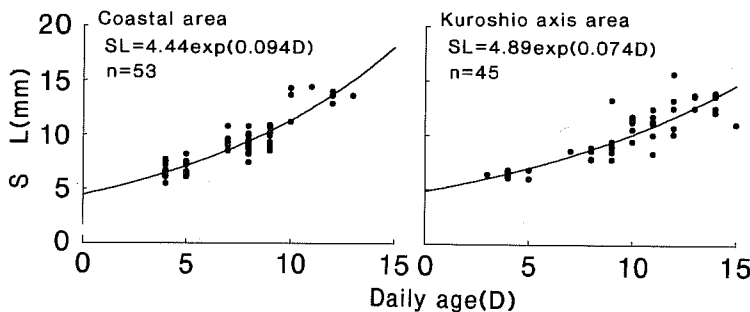


Fig. 2. Minimum AIC model of the relationship between standard length (SL) and daily age of Japanese sardine larvae collected in the coastal and Kuroshio axis areas.

Table 2. Comparison of different areas of the Kuroshio region in surface environmental factors and mean condition factor of Japanese sardine larvae March 8-18, 1987.

| Area | Coastal area | Kuroshio axis area | | | | Offshore area |
|-------------------|--------------|--------------------|-----------|---------|---------|---------------|
| Lat. (N) | 34°57' | 34°30' | 34°30' | 34°10' | 34°10' | 32°15' |
| Long. (E) | 139°51' | 139°14' | 189°03' | 139°02' | 138°51' | 139°45' |
| Temp. (°C) | 14.0 | 17.0 | 17.1 | 17.9 | 18.1 | 18.9 |
| Salinity | 34.71 | 34.79 | 34.81 | 34.84 | 34.35 | 34.85 |
| Chl. a (mg/l) | 0.25 | 0.10 | 0.20 | 0.29 | 0.08 | 0.08 |
| Nauplius (ind./l) | 10 | 10 | 6 | 2 | 14 | 0 |
| <11 mm SL | 2.75±1.08 | | 1.75±0.75 | | | 1.66±0.45 |
| CF mean | | | | | | |
| ≥11 mm SL | 2.00±0.55 | | 1.98±0.97 | | | 1.60±0.51 |

進むにつれて大きくなる傾向があった。

2.2 体長—乾燥体重関係

1987年の採集点のうち、館山湾を沿岸域、伊豆諸島利島、神津島周辺の4測点をまとめて流軸域、野島崎南方155マイルのはるか沖合の測点を外側域 (Fig. 1b) として体長—乾燥体重関係 (肥満度) を解析した。採集時における黒潮流軸は、GEKの測流結果からおおよそ図中に示すような位置にあったと推定される。また、同時に観測した水温、塩分と、クロロフィルa及び甲殻類ノープリウスの密度をTable 2に示した。沿岸域は、採集後東京湾口で観測された値を用いた。甲殻類ノープリウス密度は、東京湾口で1/l当り10個体、流軸域の4測点で平均8個体であったのに対し、外側域では0個体であった。また、クロロフィルa濃度は、沿岸域、流軸域、外側域の順にそれぞれ0.25, 0.17, 0.08 mg/lであった。

これらのことから、マイワシ仔魚にとっての餌料条件は沿岸域が最も良く、流軸域、外側域の順に悪くなっていることが示唆された。

沿岸域、流軸域、外側域からそれぞれ46, 32, 49個体のマイワシ仔魚の体長 (SL) と乾燥体重 (DW) を測定した。日齢—体長関係と同様に、採集数の少ない15 mm SLを越える仔魚は解析の対象としなかった。

マイワシ仔魚の体長と乾燥体重について、

M2- 1: 両者の関係は海域によって異なり、沿岸域、流軸域、外側域においてそれぞれ別の直線回帰で表わされる。

M2- 2: 両者の関係は、沿岸域において他の2海域と異なる直線回帰で表わされるが、流軸域と外側域では同一の直線回帰で表わされ

る。

M2- 3: 両者の関係は、流軸域において他の2海域と異なる直線回帰で表わされるが、沿岸域と外側域では同一の直線回帰で表わされる。

M2- 4: 両者の関係は、外側域において他の2海域と異なる直線回帰で表わされるが、沿岸域と流軸域では同一の直線回帰で表わされる。

M2- 5: 両者の関係には海域差がなく、同一の直線回帰で表わされる。

M2- 6: 両者の関係は海域によって異なり、沿岸域、流軸域、外側域においてそれぞれ別の指数回帰で表わされる。

M2- 7: 両者の関係は、沿岸域において他の2海域と異なる指数回帰で表わされるが、流軸域と外側域では同一の指数回帰で表わされる。

M2- 8: 両者の関係は、流軸域において他の2海域と異なる指数回帰で表わされるが、沿岸域と外側域では同一の指数回帰で表わされる。

M2- 9: 両者の関係は、外側域において他の2海域と異なる指数回帰で表わされるが、沿岸域と流軸域では同一の指数回帰で表わされる。

M2-10: 両者の関係には海域差がなく、同一の指数回帰で表わされる。

という10種類のモデルを作成した。日齢—体長関係の解析と同様に、それぞれのモデルのAICを求め、小さ

Table 3. Fit of SL-dry weight models in the three outline areas March 8-18, 1987. Circles in the area column indicate equivalent SL-dry weight relationships. E. and L. in the regression column signifies exponential and linear regressions, respectively.

| Models | Area* | | | Regression formula | AIC |
|--------|-------|---|---|--------------------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | | |
| M2- 4 | ○ | ○ | | L. | -322.1 |
| M2- 1 | | | | L. | -320.1 |
| M2- 6 | | | | E. | -302.9 |
| M2- 9 | ○ | ○ | | E. | -297.2 |
| M2- 2 | | ○ | ○ | L. | -278.1 |
| M2- 7 | | ○ | ○ | E. | -270.7 |
| M2- 5 | ○ | ○ | ○ | L. | -266.7 |
| M2- 3 | ○ | | ○ | L. | -265.1 |
| M2-10 | ○ | ○ | ○ | E. | -248.2 |
| M2- 8 | ○ | | ○ | E. | -247.0 |

*: 1, coastal area; 2, Kuroshio axis area; 3, offshore area on the opposite side of the Kuroshio axis (Fig. 1b)

いものから順に整理して Table 3 に示した。

AIC が最小で、最も適合度が高いと判断されたのは、「マイワシ仔魚の体長と乾燥体重の関係は、外側域において他の 2 海域と異なる直線回帰で表わされるが、沿岸域と流軸域では同一の直線回帰で表わされる (M2-4)。」というモデルであった。求められた最小 AIC モデルを Fig. 3 に示した。

マイワシ仔魚の体長 (SL) と乾燥体重 (DW) の関係は、海域区分ごとにそれぞれ、

$$DW = 0.072 SL - 0.50 \text{ (沿岸域・流軸域)}$$

$$DW = 0.053 SL - 0.35 \text{ (外側域)}$$

となり、同一体長において、外側域よりも沿岸域や流軸域に分布するものに乾燥体重の重いものが多いということが示された。

Fig. 4 に、体長 (SL) と肥満度 (CF) の関係を海域別に示した。黒潮流軸域の 4 測点は流軸中心の北方, 南方各 2 測点に分けて示した。肥満度は、

$$CF = DW \text{ (mg)} \times 10^4 / SL^3 \text{ (mm)}$$

と定義した。

肥満度は、0.89 から 4.08 の範囲にあり、沿岸域における肥満度が他の 2 海域に比べて高く、その差は体長の小さな個体において著しいことが認められた。そこで、マイワシ仔魚を体長 11 mm 未満の小型群と、それ以上の大型群に区分し、各海域における平均肥満度を計算し、Table 2 に示した。小型群では、沿岸域における肥満度が他の 2 海域に比べて高かった ($p < 0.01$) が、外側域と流軸域間には有意差が認められなかった ($p > 0.05$)。大型群では、外側域と沿岸域の間には有意差が認められた ($p < 0.01$)。黒潮流軸域の 4 測点における体長と肥満度の関係は、南方 2 測点は外側域に、北方 2 測点は沿岸域にそれぞれ類似する傾向にあった。

3. 考 察

本研究では、仔魚の栄養状態の違いを体成分の分析等による直接的な手法で測定せず、日齢-体長及び体長-乾燥体重関係 (肥満度) から、各海域に生息するマイワシ仔魚の栄養状態の違いを相対的に求めているので、これらの方法の妥当性を検討する必要がある。

マイワシと同じニシン目に属する大西洋産ニシン

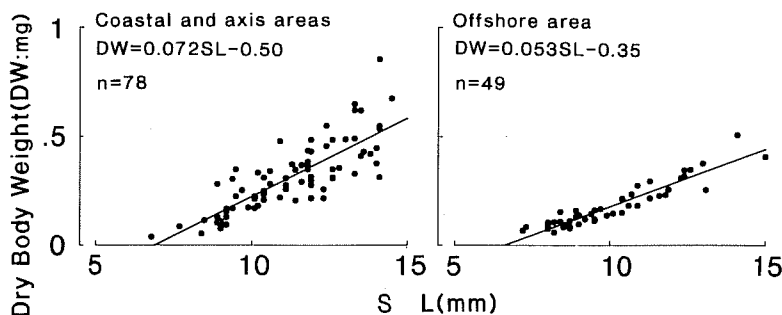


Fig. 3. Minimum AIC model of the relationship between dry body weight and standard length (SL) of Japanese sardine larvae collected in the coastal, Kuroshio axis and the more offshore areas.

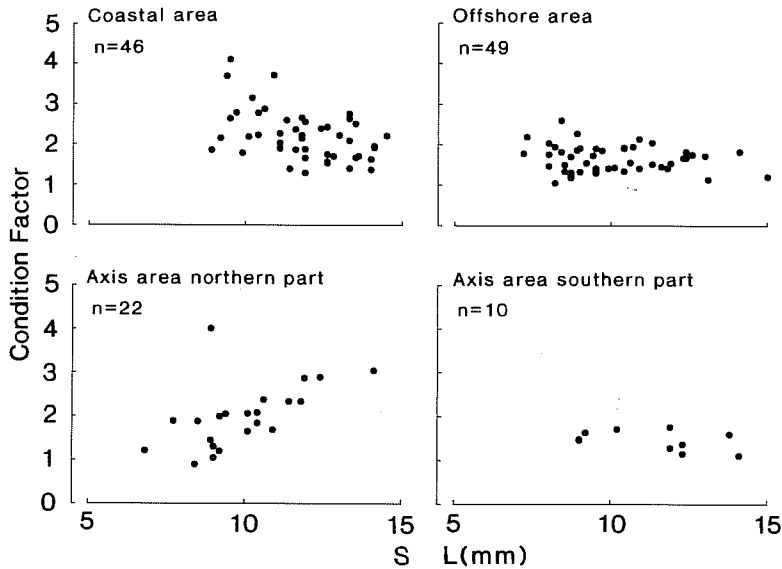


Fig. 4. Comparison of SL-condition factor relationships of Japanese sardine larvae collected in three different areas; coastal, Kuroshio axis areas and the offshore areas on the opposite side of the Kuroshio axis. Kuroshio axis areas divided into northern and southern parts.

Crupea harengus とカリフォルニア産カタクチイワシ *Engraulis mordax* の稚仔魚期における栄養状態と体長・体重の関係については、多くの飼育実験結果が報告されている。後期仔魚以降の大西洋産ニシンを無給餌状態におくと、体長、乾燥体重ともほとんど増加せず (MGGURK, 1984)、肥満度 (Condition Factor) も減少すること (BLAXTER, 1971, EHRlich *et al.*, 1976) が知られている。また、PEDERSEN *et al.* (1987) は、同一日齢における乾燥体重は、給餌量が少ないほど小さいことを報告した。後期仔魚期のカリフォルニア産カタクチイワシでは、絶食させると体長はほとんど増加せず、乾燥体重は減少する (HUNTER, 1976, O'CONNELL, 1976) ことや、餌料価値の小さい無殻渦鞭毛藻 *Gymnodinium splendence* のみを給餌した群と、天然プランクトンを給餌した群の成長を比較すると、*G. splendence* のみを給餌した群の方がふ化一週間後から成長率 (全長) が小さくなること (LASKER *et al.*, 1970) が報告されている。これらの結果を総合すると、同一日齢では体長がより短いものの方が、また、同一体長では乾燥体重がより軽いもの、即ち肥満度がより小さいものの方がそうでないものと比較した場合、生理学的に栄養状態がより悪いと考えられる。

マイワシ仔魚のようなシラス型仔魚は、ネット採集

や固定の際に収縮することが知られている (THEILACKER, 1980)。本研究では、体長測定時になお活発に遊泳していた 1987 年の沿岸域測点以外では、それぞれ同一条件で採集された標本を比較しているので、収縮はほぼ同一で、日齢一体長、及び体長一乾燥体重関係における比較には差し支えないと考えられる。体長が収縮すれば、同一体長における乾燥体重はより重くなる。それにもかかわらず、1987 年の観測において、体長が収縮した外側域の標本の方が、そうでない沿岸域の標本よりも同一体長における乾燥体重が軽く、小型個体で肥満度が小さかったという結果は、実際には、観測されたよりも大きな差があったことを意味している。

日齢一体長関係では、各海域で採集されたマイワシ仔魚が成長過程において経験してきた水温が異なっているため、それらの中で成長速度に差が生じたことが考えられる。しかし、平均表面水温は沿岸域の 16.6°C よりも、流軸域での 18.4°C の方が高かった。約 18°C で行なわれた飼育実験 (HAYASHI *et al.*, 1989) での成長速度は流軸域のそれより速かったので、流軸域の水温がマイワシ仔魚の成長に悪影響を及ぼすほど高いとは考えられない。このような場合、仔魚の成長速度は通常、水温が高いほど速いと考えられる。従って、水

温の低い沿岸域の成長速度の方が速かったということは、両海域におけるマイワシ仔魚に対する餌料環境の良否、即ち仔魚の栄養状態を反映していると考えられる。

移送過程における分散・混合により、採集されたマイワシ仔魚は様々な海域的履歴を持つものが混ざり合っていると考えられる。しかし、外側域で採集されたマイワシ仔魚の体長—乾燥体重関係は沿岸及び流軸域のものより回帰式からの変異が小さい傾向にあり、履歴にかかわらず低栄養状態にあることが示唆される。後期仔魚期のカリフォルニア産カタクチイワシでは、絶食させると体長はほとんど増加せず、乾燥体重は減少する (HUNTER, 1976, O'CONNELL, 1976) ことを併せて考えると、餌料密度の低い海域に移送されたマイワシ仔魚は、それ以前の栄養状態にかかわらず、極めて短時間のうちに栄養状態が悪化すると考えられる。

短期的な栄養状態が体長—乾燥体重関係に影響を及ぼすのに対し、日齢—体長関係に影響を及ぼすのはより長期的な栄養状態と考えられる。海域的履歴を考えると、同一日齢において、流軸域で採集されたマイワシ仔魚のほうが、沿岸域で採集されたそれよりも沿岸域内の滞留期待時間が短く、それに従って栄養状態も悪いと思われる。従って、同一日齢において、流軸域のほうが体長が小さい傾向にあるということは、仔魚のたどってきた海域的履歴、即ち仔魚が生活してきた海域における餌料環境の履歴を反映していると考えられる。

Fig. 4 において、流軸域の4点のうち南方2測点の体長—肥満度関係は外側域と、北方2測点の関係は沿岸域と類似する傾向にあった。互いに20マイルしか離れていない測点間で、このような差異が観測されたことは、流軸域の複雑な海洋環境を示していると考えられる。つまり流軸域というのは、外側域と沿岸域の水が均一に混合している場ではなく、互いに混り合わずにモザイク状に存在している場として理解した方がこの現象をよく説明する。

本調査海域におけるマイワシ仔魚の栄養状態は、SHIMIZU *et al.* (1989) によって、仔魚1個体あたりの蛋白質量とRNA/DNA比という生化学的手法によって測定された。その結果は黒潮外側域に比較すると、沿岸域に分布するものの方が栄養状態が良好という、本調査と同様の結果であった。本報で用いた手法は生化学的手法と比較して、栄養状態の直接的測定ではない

が、実用上簡便な手法で、生化学実験設備がないような現場研究室でも測定可能な点で有用と考えられる。さらに、生化学的手法では個体別の栄養状態を測定できない(数個体を1サンプルとして分析する)小型仔魚に関して、個体別の栄養状態が測定できる点で有利と思われる。

沿岸域の11 mm 未満の小型仔魚の平均肥満度が他の2海域に比べ有意に高かったことは、沿岸域の初期餌料条件の良さを反映している。体長11 mm 以上の仔魚の肥満度については、沿岸域と流軸域間の有意差はなく、これらの大きさに達した仔魚にとっては、流軸域も沿岸域と同じ様な生息環境にあることが予想される。黒潮外側域については、肥満度が体長7 mm 前後から15 mm まで比較的一定で、他の2海域に比べ値は有意に低いものの安定している。その肥満度は低いといっても他海域と大きく異なるわけではなく、沿岸域の中・低肥満度に相当する。上記程度の栄養状態の違いと、外洋における捕食圧の低さを考慮にいと、これらの仔魚が「資源に加入する可能性はない」と言い切るには、未だ時期尚早である。特に、これらの仔魚が生産性の高い親潮・黒潮混合域や黒潮統流域に運ばれた場合の生残過程の研究が今後重要と考えられる。

4. 謝 辞

中央水産研究所の森 慶一郎博士と東北区水産研究所の黒田一紀博士には、マイワシ産卵調査航海への便乗の御便宜を頂いた。水産庁調査船蒼鷹丸の山中完一船長(当時)及び乗組員の方々にはマイワシ仔魚の採集に、同乗の調査員の方々には、船上での測定に御協力頂いた。以上の方々に厚く御礼申し上げる。

文 献

- BLAXTER, J.H.S. (1971) Feeding and condition of Clyde herring larvae. Rapp. P.-v. Reun. Cons. perm. int. Explor. Mer, **160**, 128-136.
- EHRlich, K.F., J.H.S. BLAXTER, and R. PEMBERTON (1976) Morphological and histological changes during the growth and starvation of herring and plaice larvae. Mar. Biol., **35**, 105-118.
- HAYASHI, A., Y. YAMASHITA, K. KAWAGUCHI, and T. ISHII (1989) Rearing method and daily otolith ring of Japanese sardine larvae. Nippon Suisan Gakkaishi, **55**, 997-1000.
- HUNTER, J.R. (1976) Culture and growth of northern anchovy, *Engraulis mordax*, larvae. Fish. Bull., **74**, 81-88.

- 小林雅人 (1985) 卵・稚仔の輸送と分散—GEK 観測資料整理からのアプローチ. 昭和60年度 東海ブロック 卵・稚仔, プランクトン調査研究担当者協議会研究報告, 5, 99-111.
- 黒田一紀 (1988) 本邦の太平洋沿岸域におけるマイワシ主産卵場の変遷. 水産海洋研究会報, 52, 289-296.
- LASKER, R., H.M. FEDER, G.H. THEILACKER, and R.C. MAY (1970) Feeding, growth, and survival of *Engraulis mordax* larvae reared in the laboratory. Mar. Biol., 5, 345-353.
- McGURK, M.D. (1984) Effects of delayed feeding and temperature on the age of irreversible starvation and on the rates of growth and mortality of Pacific herring larvae. Mar. Biol., 84, 13-26.
- O'CONNELL, C.P. (1976) Histological criteria for diagnosing the starving condition in early post yolk sac larvae of the northern anchovy, *Engraulis mordax* Girard. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 25, 285-312.
- PEDERSEN, B.H., E.M. NILSSEN, K. HJELMELAND (1987) Variations in the content of trypsin and trypsinogen in larval herring (*Clupea harengus*) digesting copepod nauplii. Mar. Biol., 94, 171-181.
- 坂元慶行・石黒真木夫・北川源四朗 (1983) 情報量統計学, 共立出版株式会社. 東京. 236 pp.
- SHIMIZU, H., K. NAKATA and H. NAKANO (1989) Comparison of nutritional condition of sardine larvae, *Sardinops melanostictus* (T & S) taken from the coastal and offshore region of the Kuroshio current. Nippon Suisan Gakkaishi, 55, 179.
- THEILACKER, G.H. (1980) Changes in body measurements of larval northern anchovy, *Engraulis mordax*, and other fishes due to handling and preservation. Fish. Bull., 74, 685-692.