

春季の日本海鳥取沖におけるカタクチイワシの成熟と産卵

志村 健^{1†}・山本 潤²・森本晴之³・大下誠二⁴・下山俊一⁵・桜井泰憲⁶

Maturation and spawning of the Japanese anchovy in the Sea of Japan off the Tottori coast during spring

Tsuyoshi SHIMURA^{1†}, Jun YAMAMOTO², Haruyuki MORIMOTO³, Seiji OHSHIMO⁴,
Syunichi SHIMOYAMA⁵ and Yasunori SAKURAI⁶

The purpose of this study was to clarify the characteristics of maturation and spawning of the Japanese anchovy, *Engraulis japonicus*, off Tottori, Sea of Japan during spring. The research was based on histological analysis of ovaries and gonadosomatic index (GSI) of female anchovies caught by purse seine fisheries off Tottori and landed at the Sakaiminato fisheries port in 2003 and 2004. In addition, the frequency of anchovy eggs collected during 1995 and 2004 using a NORPAC-net off Tottori by the Tottori Prefectural Fisheries Experimental Station was assessed. Female GSI was positively correlated with body length from April to May, and yolked stage or more matured stage oocytes were found in ovaries of females ≥ 4.7 in GSI and ≥ 11.9 cm in body length. Females with migratory nucleus stage oocytes were 18% of total females in March. More than 90% of total females had nucleus stage or more matured stage oocytes in April and May. Frequency of matured females increased rapidly when the sea surface temperature increased to about 12°C in spring. Anchovy eggs were collected where the SST was between 11.8 and 19.4°C from April to June. This study found that anchovy can spawn in low temperature area off Tottori in spring.

Key words: *Engraulis japonicus*, Japanese anchovy, Sea of Japan, Tottori, maturation and spawning

はじめに

カタクチイワシ (*Engraulis japonicus*) は、北西太平洋の亜熱帯から亜寒帯域まで広く分布し (Whitehead *et al.*, 1988), 日本では古くから重要な水産資源として利用されてきた。

本種は、現在マイワシなどとともに資源評価対象種 (ABC算定) に指定され、太平洋系群、瀬戸内海系群、対馬暖流系群に分けられて管理されている。鳥取沖に分布するカタクチイワシは、対馬暖流系群に属するが、その季節的な回遊経路などは明らかになっていない。鳥取沖で1995~2004年に漁獲された本種の銘柄別 (小; 被鱗体長5~8 cm, 中; 同8~13 cm, 大; 同13 cm以上) の月別の平均漁獲量を見ると (Fig. 1), 7月を境に漁獲量と漁獲物組成は大きく変化する。1月から6月までは大型魚を主体に大・中型魚が漁獲され、7月には小型魚が漁獲され始め、8月から10月までは中型魚を主体に中・小型魚が漁獲され、9月以降はそれに大型魚が加わる。これら漁獲状況は、本種の発育に伴う当海域への季節的な移入・移出の回遊を示唆している。本種の当該海域における成熟と産卵の生物特性を明らかにすることは、本系群の資源変動機構の解明や、産卵親魚確保のための漁獲調整など、資源管理に有用な情報を提供すると考えられる。本種の成熟、産卵の調節には、光日周期や水温などの物理的環境と餌環境や個体群密度などの生物的環境が影響していることが飼育実験により指摘されている (Kawaguchi *et al.*, 1990; 靄田, 1992)。一方、フィールド調査における本種の産卵水温は海域によって異なり、

2007年5月14日受付, 2007年12月20日受理

¹ 鳥取県水産試験場

Tottori Prefectural Fisheries Experimental Station, 107 Takenouchid-anchi, Sakaiminato, Tottori 684-0046, Japan.

² 北海道大学北方生物圏フィールド科学センター

Field Science Center for Northern Biosphere, Hokkaido University, 3-1-1 Minato-cho, Hakodate 041-8611, Japan.

³ 独立行政法人水産総合研究センター日本海区水産研究所

Japan Sea National Fisheries Research Institute, 1-5939-22 Suidou-cho, Chuo-ku, Niigata 951-8121, Japan.

⁴ 独立行政法人水産総合研究センター西海区水産研究所

Seikai National Fisheries Research Institute, 1551-8 Taira-machi, Nagasaki 851-2213, Japan.

⁵ 鳥取県境港水産事務所

Tottori Prefectural Sakaiminato Marine Products Office, Sakaiminato, Tottori 684-0034, Japan.

⁶ 北海道大学大学院水産科学研究院

Graduate School of Fisheries Sciences, Hokkaido University, 3-1-1 Minato-cho, Hakodate 041-8611, Japan.

† simura-tu@pref.tottori.jp

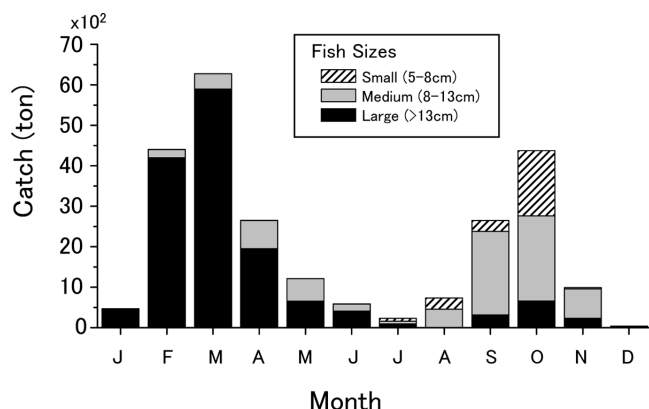


Figure 1. Mean monthly catch and fish size composition of *E. japonicus* landed at the Sakaiminato fishing port, 1995–2004.

太平洋側では5~26°Cの範囲にあり(靄田, 1992), 日本海側の若狭湾内では約15°C以上で産卵することが報告されている(Funamoto *et al.*, 2004). しかしながら, 鳥取沖に來遊するカタクチイワシの生殖腺の成熟状態や産卵親魚群の出現状況, 産卵が行われる環境条件などの知見は乏しい. そこで本研究では, まず, 鳥取沖において春季に漁獲される大型魚を対象に, 卵巣の成熟を組織学的手法により調べた. 産卵期における雌個体の生殖腺成熟度指数(GSI), および体長を用いて初産成熟体長を明らかにした. また春季におけるカタクチイワシの卵の出現を調べることで, 本海域における本種の成熟および産卵開始時期および産卵盛期と水温などの環境条件との関係を考察した.

材料と方法

卵巣の組織学的観察と魚体測定

卵巣の組織学的観察には, 2003年及び2004年の3~5月にかけて鳥取沖で旋網によって日没後から明け方(19:00~06:00)に漁獲されたカタクチイワシ成魚104個体を用いた. 供試魚は, 港での水揚げ時(07:00~08:00)に現場でただちに氷冷し, 研究室に持ち帰った後, 個体ごとに被鱗体長BL(以下体長; cm), 体重BW(g)及び卵巣重量GW(g)を測定した. 卵巣をブアン氏液または10%中性ホルマリンで固定し, 常法によりパラフィン包埋, ミクロトームにより6µmの切片にしたのち, Mayerのヘマトキシリン・エオシンの二重染色を施し, 生物顕微鏡下で卵巣卵の発達過程を観察した. また, 個体ごとに生殖腺成熟度指数GSI(=GW/BW×100)を求めた.

本種の卵母細胞の成熟段階は, Hunter and Macewicz(1985)および靄田(1992)に従い, 卵黄蓄積以前(Unyolked stage), 卵黄球期(Yolked stage), 胚胞移動期(Migratory nucleus stage), および水和卵を有する成熟期(Matured stage)の4段階に分け, 排卵後濾胞の有無も調べた. 本海域における成熟の基準値を求めるため, 卵巣の各成熟段階と体長

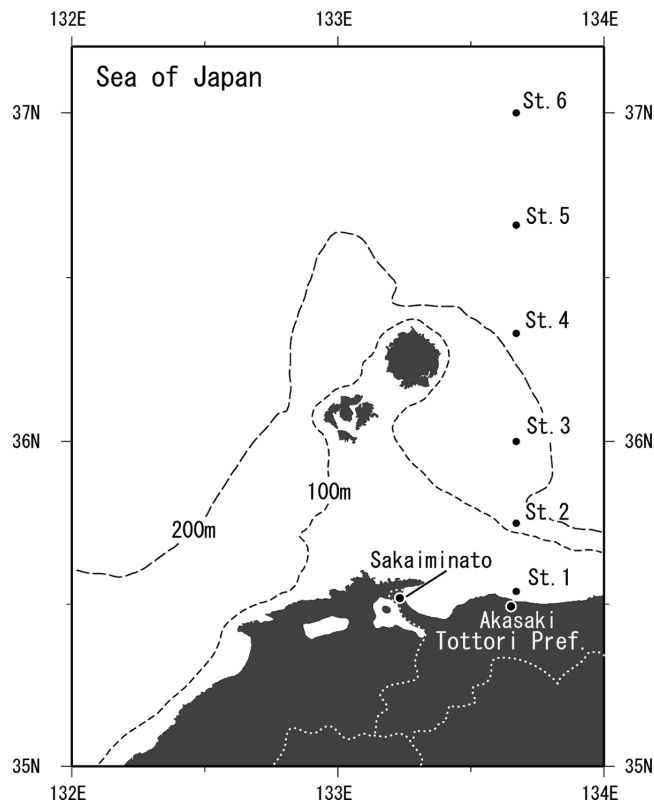


Figure 2. The transect for the hydrographic observation and egg sampling off Akasaki, Tottori. Photoperiod was calculated at St. 3.

およびGSIとの関係を調べた. GSIを用いて大まかな産卵期の継続を推定することが可能であることから(Hunter and Macewicz, 1985), 鳥取沖で旋網によって1995~2004年に漁獲されたカタクチイワシ成魚($n=1,233$)を用いて, 1~8月における成熟個体の出現率を調べた. さらに, 個体の栄養状態を評価するために, 卵巣除去した体重(g)を用いて肥満度 $CF=10^3 \times (BW-GW)/BL^3 [g \cdot cm^{-3}]$ を求め, 産卵期の経過に伴って肥満度がどのように変化するか調べた.

物理的環境と産出卵の採集

靄田(1992)は, 日長時間が12時間から12.5時間以上で配偶子形成を促進させることを示し, 性成熟に光周期が強く影響し, 水温上昇が最終成熟と産卵の開始の引き金になることを指摘している. そこで, 鳥取県赤碕沖の観測線上のSt. 3(36°00.0N, 133°40.0E; Fig. 2)を漁場の代表点とし, この海域の日長時間(日出時刻から日没時刻まで)を海上保安庁ホームページ(<http://www.kaiho.mlit.go.jp/> 2007年8月30日アクセス)から調べた. 成魚の標本が漁獲された漁場での表面水温が不明なため, 1995~2004年の3~6月の原則として上旬に, 鳥取県水産試験場が鳥取県赤碕沖の海洋観測定線St. 1~6(35°32.4N~37°00.0N, 133°40.0E; Fig. 2)で観測したデータを代用した. 表面水温はバケツで採水し棒

状温度計で測定された。

産出卵の出現状況から産卵開始時期を調べるために、海洋観測線 St. 1~6 (Fig. 2) で改良型ノルパックネット (Nytal 52GG; 0.335 mm) を用いて採集したプランクトンサンプルを用いて、カタクチイワシの卵の出現状況を調べた。ネットは水深 150 m から海表面まで鉛直曳網し、海深が 150 m 以浅の場合は海底直上から海表面まで曳網した。ネット網口には、濾水計を装着し、曳網時にはワイヤー傾角、ワイヤー長、濾水計回転数を記録した。採集されたプランクトン標本は船上において 10% 中性ホルマリン海水で固定した。実験室でプランクトンサンプルからカタクチイワシ卵を選別し計数を行い、ネットの濾水率と曳網距離およびワイヤー傾角から調査点ごとに 1000 m³ 当たりの卵密度を求めた。

結果

卵巢の組織学的観察

卵巢の組織学的成熟度判定に用いた 104 個体のカタクチイワシ雌の体長 (BL) と GSI の範囲はそれぞれ 10.4~14.7 cm (平均体長 ± 標準偏差 = 13.0 cm ± 0.81) と 1.1~11.1 (5.8 ± 2.4) であった。卵母細胞の成熟段階と GSI との関係を見ると、卵黄蓄積以前の卵母細胞を有する個体の GSI の範囲は 1.1~2.0、卵黄球期は 1.9~5.4 で、胚胞移動期は 3.5~8.9、成熟期は 3.2~11.1、胚胞移動期と成熟期で排卵後濾胞を有する個体の GSI の範囲は、それぞれ 6.3~8.4、4.2~10.7 となり、GSI は卵黄形成の進行にともなって増加する傾向を示した (Fig. 3)。3 月には大部分の雌において卵母細胞の成熟段階が卵黄球期に達し (61%)、18% の個体が胚胞移動期の卵を有していた (Fig. 4)。4 月と 5 月には胚胞移動期以降の成熟段階の個体が 90% を占め、排卵後濾胞を有する個体は 4 月に 40%、5 月に 81% を占めていた。本研究では産卵したことを示す排卵後濾胞が、胚胞移動期と成熟期に多く出現した。排卵後濾胞を観察したところ排卵直後のきれいな細胞層の褶曲が見られず、退行が起こっているものがほとんどであった。よって、観察された排卵後濾胞は、前日の排卵によってできたものと推測される。霧田 (1992) の実験では排卵後濾胞が、卵黄球期に出現し、胚胞移動期以降では見られず (飼育水温 23°C) 21 時間以内に消失することを報告している。水温が高いと排卵後濾胞の退行速度が速く、水温が低いと 24 時間以上存在することが知られている (Funamoto and Aoki, 2002)。よって、本海域で採集されたカタクチイワシは産卵時の水温が低かったこと (およそ 14°C) 排卵後濾胞が消失していなかったと考えられる。

産卵状況

個体群の大部分が産卵盛期に入っている 4 月と 5 月のサンプル 71 個体のみを用いて、体長と GSI との関係を見ると、体長が大きくなるにつれて GSI も増加する傾向が認められ

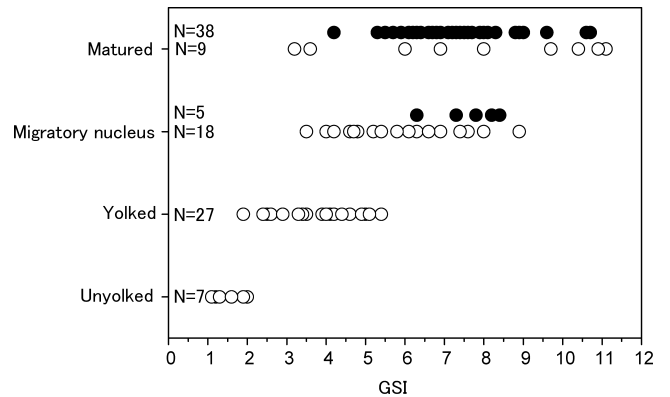


Figure 3. Gonad somatic index (GSI) of female *E. japonicus* in various spawning states off Tottori, Sea of Japan. Open circles indicate the females having oocytes without postovulatory follicles and the solid circles indicate the females having oocytes with postovulatory follicles.

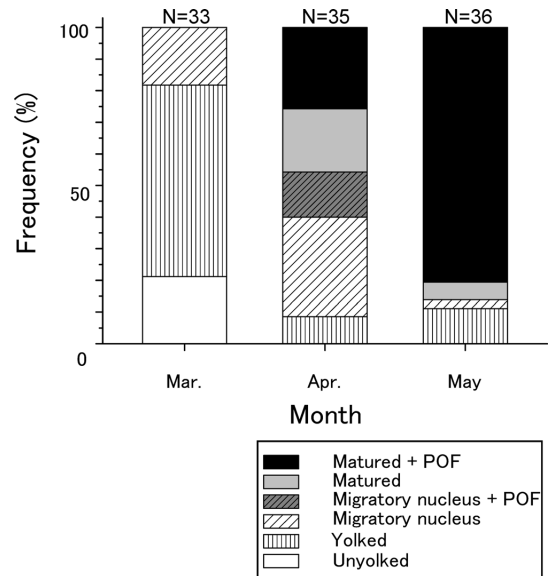


Figure 4. Percentage of the various stages of oocyte maturation for *E. japonicus* of Tottori, Sea of Japan. POF indicate the females having oocytes with postovulatory follicles.

た (Fig. 5; $GSI = BL(\text{cm}) \times 0.90 - 4.71$, $r^2 = 0.16$, $p < 0.001$). このサンプルの中で体長および GSI の最大値から 90% の個体が含まれる範囲 ($BL \geq 11.9$ cm, $GSI \geq 4.7$) を調べたところ、この範囲の中に、卵黄球期の個体の 71% (7 個体中 5 個体)、胚胞移動期以降の個体の 57% (21 個体中 12 個体)、胚胞移動期以降で排卵後濾胞を有する個体の 93% (43 個体中 40 個体) が含まれた。

産卵期の継続期間を推定するため、1995~2004 年の 1~8 月に境港に水揚げされたカタクチイワシ ($n = 1,233$) の体長と GSI を調べたところ、体長 (BL) の範囲は 8.1~15.9 cm、GSI の範囲は、0.2~12.6 であった。このうち上記の成熟個

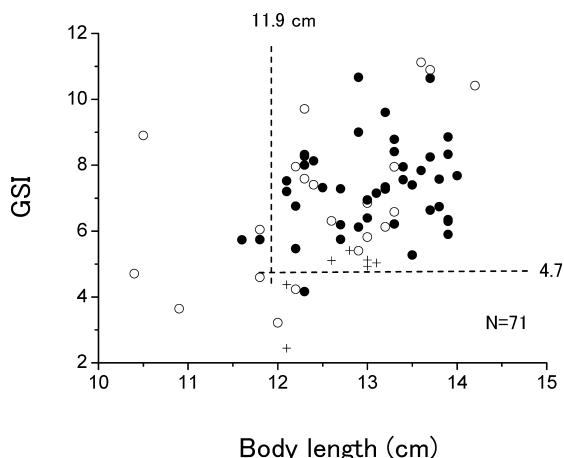


Figure 5. Relationship between body length and Gonad somatic index (GSI) in various spawning states from April to May (N=71). The circles indicate the females having nucleus stage oocytes or more matured stage oocytes. The solid circles indicate the females having oocytes with postovulatory follicles. The crosses indicate the females having yolked stage oocytes. The dotted lines indicate criteria for maturation for female off Tottori, Sea of Japan (GSI \geq 4.7 and BL \geq 11.9 cm).

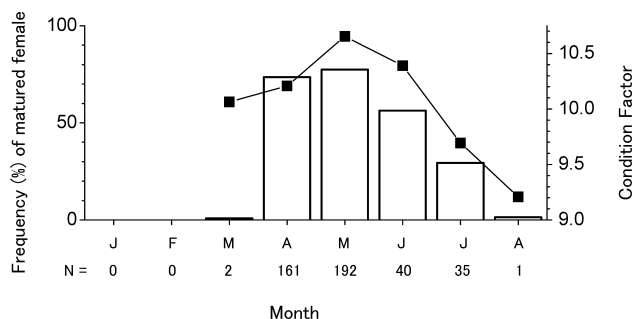


Figure 6. Percentages of matured individuals (GSI \geq 4.7 and BL \geq 11.9 cm) and the condition factors for *E. japonicus* females landed at the Sakaiminato fishing port. White bars and closed squares indicate percentages of matured females and the condition factor, respectively.

体の体長と GSI の指標値 (BL \geq 11.9 cm, GSI \geq 4.7) を満たす個体 (n=431) の各月における出現割合を調べた (Fig. 6). 成熟個体の割合は, 1~2月は全く出現せず, 3月は1%と低い, 4月と5月は成熟個体がそれぞれ74%, 77%となり高い出現率となった. 6月は56%と半数が産卵を行っているが7月には29%, 8月には1%と減少した.

本種は餌環境に応じて再生産力を調節できることが指摘されている (靄田, 1992). そこで, 産卵期の経過に伴って成熟状況が類似する個体群 (BL \geq 11.9 cm, GSI \geq 4.7) の肥満度がどのように変化するか調べた. 肥満度の変化は, 成熟個体の割合が増加する4月から6月は10.2~10.7と高く,

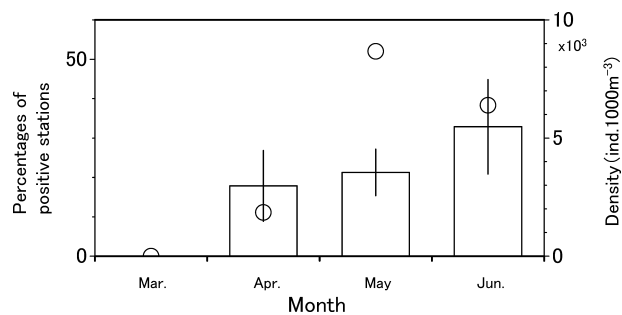


Figure 7. Monthly percentages of positive stations of *E. japonicus* eggs per total stations and the mean densities of *E. japonicus* eggs at positive stations. Open circles and white bars indicate percentage and mean density, respectively. Error bars indicate the standard error of the mean density.

卵巣成熟と摂餌が同時進行していることを示すが, 7月以降の成熟個体の出現割合と肥満度は共に減少していた (Fig. 6).

産出卵の出現状況

産出卵の出現状況から産卵期を調べるために, 1995~2004年, 各年3~6月までの鳥取県赤碓沖の観測線におけるカタクチイワシの卵の月別出現割合と月別平均密度を調べた (Fig. 7). 卵の月別出現割合は卵の出現した調査点数を総調査点数で除して求め, 月別平均密度は卵の出現した調査点のみの値を用いて求めた. 卵はいずれの年も3月には採集されず, 2000, 03, 04年の4月では計6点でのみ採集され, 平均密度は2,975 ind. 1000 m $^{-3}$ (標準誤差 1499)であった. これに対して, 5月は全ての年で卵が採集され, その出現割合は52% (4月は11.1%) となり, 平均密度は, 3,544 ind. 1000 m $^{-3}$ (同982) と増加した. 6月の出現割合は38%に減少し, 平均密度は5,475 ind. 1000 m $^{-3}$ (同2000) となった.

成熟および産卵に対する物理的環境

St. 3 (Fig. 2) における日長時間は, 3月中旬に12時間となり, 下旬には12.5時間に達していた. 産卵の臨界水温以下では, 卵黄球期であっても排卵および産卵は行われず (靄田, 1992), 海域によって産卵の臨界水温が異なることが示されている (靄田・高橋, 1997). 1995年から2004年のSt. 1~St. 6における月別の海表面平均水温は, 3月では11.8 $^{\circ}$ C, 4月で12.5 $^{\circ}$ C, 5月で14.8 $^{\circ}$ C, 6月では18.4 $^{\circ}$ Cと昇温傾向を示し, 卵が出現した採集点の水温範囲は, 4月で11.8~14.2 $^{\circ}$ C, 5月で13.7~17.2 $^{\circ}$ C, 6月では16.4~19.4 $^{\circ}$ Cであった.

考察

鳥取沖におけるカタクチイワシの産卵雌および産出卵の出現状況から, 本海域の産卵期は3月から開始し4~6月に大部分の個体が産卵盛期に入ることが明らかとなった. 産卵

雌の成熟体長は11.9 cmであり、若狭湾：8.5 cm (Funamoto *et al.*, 2004), 太平洋沿岸域：7~9 cm (近藤, 1969; 船越, 1990), 太平洋沖合域：8.4~9.8 cm (Funamoto and Aoki, 2002) よりも大きい。このような大型個体の産卵期に関する報告では、若狭湾 (Funamoto *et al.*, 2004), 相模湾 (Funamoto and Aoki, 2002) とともに5~7月と推定されている。以上のことから、本海域では日本周辺におけるこれらの海域より早く産卵期に入ると考えられる。

資源水準の高い年代の本海域における産卵開始水温は約12°Cであると判断され、日長時間の増加と水温上昇は、3月から4月にかけての成熟個体の増加の時期と一致していた。資源水準の低い年代の太平洋沿岸域の相模湾で採集されたカタクチイワシを用いた飼育実験による産卵の臨界水温は14~15°C (Kawaguchi *et al.*, 1990; 靄田, 1992) である。一方、東日本沖合域の本種が産卵可能な水温は5~21°Cで (三原, 2000; Funamoto and Aoki, 2002), 沖合域に生息するカタクチイワシは低温でも産卵可能な性質を持つ (Takasuka *et al.*, 2005) と報告されている。また、太平洋の沿岸域のカタクチイワシは水温が低いと大型の卵を少量産み、水温が高いと小型の卵を多く産むことが報告されている (Imai and Tanaka, 1997)。資源水準が高い近年において鳥取沖の大型カタクチイワシの産卵水温の下限は若狭湾の約15°C (Funamoto *et al.*, 2004) よりも3°C低い約12°Cでも可能であり、4月から5月にかけての昇温に伴い、産卵量が増加すると考えられる。本海域は若狭湾に比べ外洋に面しており、沖合域には隠岐諸島の東西に冷水域が分布している (Morimoto *et al.*, 2000)。そのため、このような冷水域の影響を受ける本種の生活水温は、若狭湾よりも低いと考えられ、本海域に分布するカタクチイワシは低水温下でも産卵可能であると推察される。

肥満度は、成熟個体の割合が増加する4~6月に高くなり (Fig. 6)、性成熟と摂餌とが同時に進行していることも示され、7月以降は肥満度が減少するとともに成熟個体の出現割合が減少していた。このことから、栄養状態の低下が産卵抑制に影響していると考えられる。一方で、産卵盛期に入る4月から成魚が移出していく傾向が漁獲物データから読み取られる (Fig. 1)。カタクチイワシは1個体が数ヶ月にわたり産卵を繰り返すことから (靄田, 1992)、肥満度の高い個体の大部分は7月以降に日本海西部海域以外の海域で産卵を継続している可能性がある。

資源量が少なかった1960~1970年代の本海域における大型魚の産卵期も3~7月であることが報告されていることから (中原, 1974)、経年的に産卵期は変化していないと考えられる。本海域では、厳冬期である2月から成魚 (中・大型魚) の漁獲量が増加し3月をピークに4月以降減少している (Fig. 1)。本海域におけるカタクチイワシの回遊は不明であるが、本種の卵の出現中心域が月を追うに従って北方へ移動していくことから (久保田ら, 1999)、カタク

チイワシは春期以降産卵しながら北上していると考えられる。日本海沿岸域での動物プランクトン豊度は日本海南部では2~3月、日本海北部では4~5月にかけてピークとなる (Hirota and Hasegawa, 1999)。また、産卵開始時期に北方に分布した場合は、個体あたりの総産卵量を減らしてしまうため春期の早い時期に日本海の南方海域に多く分布すると予想される。以上のことから、産卵に必要な物理的環境条件が整った段階で日本海の南方で産卵しはじめ、摂餌しながら北上し多回産卵すると考えられる。よって、本海域における産卵親魚は低水温であるが餌環境の良い時期に産卵する戦略をとっていると考えられ、この時期の動物プランクトン量が本種の産卵期と資源量に影響することが示唆された。今後は産卵期における成熟状態と肥満度の関係および餌料環境について明らかにする必要がある。

Fig. 1が示すように、本研究が対象とした春季では、4月以降の産卵期になると漁獲が減少し、本海域から逸散している。このことは、結果的に産卵親魚の漁獲圧を下げることになるが、資源量が低い時期には、産卵盛期に漁獲量規制を持たせるなど、本種の産卵を考慮に入れた管理方針が必要になると考えられる。

謝 辞

本研究に対して、多大なご助言を頂いた西海区水産研究所の塚本洋一博士、鳥取県水産試験場の氏良介氏、増田紳哉氏、鳥取県水産課の本田夏海氏に御礼申し上げます。また、本研究を行うに当たり、標本採集にご協力いただいた吉沢盛夫船長を始めとする第一鳥取丸の乗組員の皆様感谢您的。

引用文献

- 船越茂雄 (1990) 遠州灘、伊勢・三河湾およびその周辺海域におけるカタクチイワシの再生産機構に関する研究。愛知水試研究業績B集, **10**, 1-208.
- Funamoto, T and I. Aoki (2002) Reproductive ecology of Japanese anchovy off the Pacific coast of eastern Honshu, Japan. *J. Fish Biol.*, **60**, 154-169.
- Funamoto, T., I. Aoki and Y. Wada (2004) Reproductive characteristics of Japanese anchovy, *Engraulis japonicus*, in two bays of Japan. *Fish. Res.*, **70**, 71-81.
- Hirota, Y. and S. Hasegawa (1999) The zooplankton biomass in the Sea of Japan. *Fish. Oceanogr.* **8**, 274-283.
- Hunter, J. R. and B. J. Macewicz (1985) Measurement of spawning frequency in multiple spawning fishes. In *An Egg Production Method for Estimating Spawning Biomass of Pelagic Fish: Application to the Northern Anchovy, Engraulis mordax* (Lasker, R. ed.), NOAA Tech. Rep. NMFS, **36**, 79-94.
- Imai, C. and S. Tanaka (1997) Effect of sea water temperature on variability of batch fecundity in Japanese anchovy from coastal waters around Miura Peninsula, central Japan. *Fish. Sci.*, **63**, 489-495.
- Kawaguchi, K., Y. Yamashita and A. Hayashi (1990) Some aspects of spawning of the reared Japanese anchovy (*Engraulis japonicus* H.) in relation to the photoperiod, water temperature and starvation. *Bull. Jpn. Soc. Fish. Oceanogr.*, **54**, 364-372.

- 近藤恵一 (1969) カタクチイワシの資源学的研究. 東海区水研報, **60**, 26–81.
- 久保田 洋・大関芳沖・石田 実・小西芳信・後藤常夫・銭谷弘・木村 量 (編) (1999) 日本周辺水域におけるマイワシ, カタクチイワシ, サバ属魚類, ウルメイワシの卵仔魚およびマアジ仔魚, スルメイカ幼生の月別分布状況: 1994年1月~1996年12月. 水産庁研究所資源管理研究報告シリーズA-2, 1–352.
- 三原行雄 (2000) 道東太平洋およびその周辺におけるカタクチイワシの成熟. 水産海洋研究, **64**, 10–17.
- Morimoto, A., T. Yanagi and A. Kaneko (2000) Eddy field in the Japan Sea derived from satellite altimetric data. *J. Oceanogr.*, **56**, 449–462.
- 中原民男 (1974) 日本海の山口県産カタクチイワシの生物学的諸特性と漁況変動. 山口県外海水試研報, **14**, 41–61.
- Takasuka, A., Y. Oozeki, H. Kubota, Y. Tsuruta and T. Funamoto (2005) Temperature impacts on reproductive parameters for Japanese anchovy: Comparison between inshore and offshore waters. *Fish. Res.*, **76**, 475–482.
- 靄田義成 (1992) カタクチイワシの成熟・産卵と再生産力の調節に関する研究. 水工研報, **13**, 129–168.
- 靄田義成・高橋章策 (1997) 黒潮続流域および混合水域におけるカタクチイワシ *Engraulis japonicus* H. の産卵生態. 北水研報, **61**, 9–15.
- Whitehead, J. P., G. J. Nelson and T. Wongratana (1988) FAO Species Catalogue. Clupeoid Fishes of the World. **7**, 319.