

# 伊勢湾産イカナゴの成熟に及ぼす水温および光周期の影響

誌名	水産海洋研究
ISSN	09161562
著者名	山田,浩且 久野,正博
発行元	水産海洋学会
巻/号	63巻3号
掲載ページ	p. 14-21
発行年月	1999年8月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター  
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council  
Secretariat



## 伊勢湾産イカナゴの成熟に及ぼす水温および光周期の影響

山田浩且<sup>†</sup>, 久野正博<sup>†</sup>Effects of Water Temperature and Photoperiod on Maturation in the Ise Bay Population of Japanese Sand Lance *Ammodytes personatus*Hirokatsu YAMADA<sup>†</sup> and Masahiro KUNO<sup>†</sup>

Japanese sand lance *Ammodytes personatus* collected in Ise Bay were reared under various temperature and photoperiod regimes in a laboratory, and their gonadal maturity was examined. The degree of gonadal maturation was judged by gonadosomatic index (GSI), oocyte diameter and gonadal histology in females, and GSI in males. The gonadal maturation developed during the estivation period. Triggered by a drop in water temperature to 20°C, the onset of vitellogenesis occurred regardless of photoperiod. The progress of vitellogenesis was most rapid at 14°C. Shift from the completion of vitellogenesis to the maturation stage was rapid at 11°C, but was inhibited above 11°C. Just as the onset of vitellogenesis, a drop in water temperature to 20°C triggered the onset of spermatogenesis. In the process of spermatogenesis thereafter, however, the effect of water temperature did not appear clearly as shown in the vitellogenesis. These results suggest that female and male differ from each other in regulatory mechanisms of reproductive cycle. Under the same water temperature condition, it seems that male arrive at the maturation stage faster than female by more than two weeks.

**Key words:** Sand lance, Ise Bay, maturation, temperature, photoperiod

## はじめに

伊勢湾におけるイカナゴ *Ammodytes personatus* の産卵場は湾口部周辺の海底にあり(西村ほか, 1993), 産卵盛期は12月下旬~1月上旬と推定されている(山田, 1998). 産卵後約2週間てふ化した仔魚(山田, 1998)は, 主に潮流によって湾奥部へと輸送, 拡散され(向井, 1986), 同海域で索餌, 成長する. 水温の上昇が顕著となる5月には徐々に湾口部へと移動し, 6月には湾外に形成される夏眠場において夏眠生活を開始する(中村ほか, 1997). 夏眠期間は12月までの約半年間に及び, 夏眠期後半には砂中において成熟を開始して夏眠終了後満1歳で産卵する(柳橋ほか, 1997). こうした生活史の中で, 主に漁業資源として利用されているのはシラス期から夏眠開始直前の未成魚期までのイカナゴであり, 三重, 愛知両県のバッチ網, 船曳網船団によって1漁期当たり10~30億円が水揚げされている. 愛知県側の漁業者は, シラス加工に重点を置く地元加

工業者の需要を背景に, 単価の高いシラス期に集中して漁獲する. 一方, 三重県側では, シラス加工への依存度が低く, むしろ冷凍魚を原料とした加工品の製造や養殖用餌料の取り扱いに重点を置く加工業者の需要に対応し, 成長段階全般にわたって漁獲している. こうした両県の相違から, 解禁日をめぐり愛知県側ではより早く, 三重県ではより遅く設定するよう主張して対立することが多かった. しかし, 最近では, 加入資源がシラス加工用として最も商品価値の高い体長約35mmに成長する日を基準に解禁日を設定することで両県漁業者の合意がほぼ得られるようになった(三重県, 1993). この基準が導入された1991年以降の解禁日は, 早い年で2月21日(1993年), 遅い年では3月29日(1995年)に設定され, 年によって1ヶ月以上のずれがある. 解禁日の遅速は, 漁業者や加工業者にとってその年の経営方針を立てるうえで重要な要因となる. このためより早期に, 高い精度で解禁日を予測することが求められている. 解禁日に年による差が生ずる要因として, ふ化後の成長速度の差とともに, 年による産卵期の遅速が重要である.

産卵期の時期的変動に外部環境要因, 特に水温と光周期が強く寄与していることが淡水魚を中心とする近年の研究

1999年4月5日受付, 1999年6月25日受理

<sup>†</sup> 三重県水産技術センター

Fisheries Research Institute of Mie, Hamajima, Shima, Mie 517-0404, Japan

<sup>†</sup> fishmie@lilac.ocn.ne.jp

で明らかにされつつある(朝比奈, 1989)。しかし, 本種の性成熟と外部環境との関係については未だ解明されていない。本種は夏眠中に性成熟することから, 夏眠場の底層水温は成熟に大きな影響を与えると推測される。また, 著者らは本種のこれまでの飼育観察で, 夏眠終了後の親魚が夜間には潜砂し, 夜明けとともに遊泳を開始する日周行動を行うことを確認している。こうした行動からイカナゴは潜砂中においても光を感知していることが示唆される。そこで本研究では, 異なる水温, 光周期条件下で本種を飼育し, 性成熟過程と環境要因との関係を検討した。

## 材料と方法

### 1. 予備飼育

1995年5月4日に伊勢湾口域でバッチ網漁船によって漁獲されたイカナゴ未成魚(当歳魚, 平均標準体長 $7.0 \pm 0.6$  (SD) cm, 平均体重 $1.3 \pm 0.4$  (SD) g)を三重県水産技術センターに搬入し, 2トンFRP水槽3基にそれぞれ1,200尾収容した。各水槽には粒径1~2mmの粗砂を敷いた夏眠床(Fig. 1)をそれぞれ5個設置した。夏眠開始は3水槽とも7月中旬にみられた。それまでは1日1個体当たり体重の5%程度の配合飼料を給餌し, 夏眠中は無給餌とした。夏眠開始時における平均体長は $8.7 \pm 0.8$  cm, 平均体重は $3.4 \pm 1.0$  g, 平均肥満度は $5.1 \pm 0.4$ であった。予備飼育は水温低下が顕著となる11月上旬まで行い, それまでの間, 3水槽とも三重県水産技術センターの地先から採取した濾過海水を1日

当たり8~12回転注排水しながら自然光下で管理した。予備飼育期間中の3水槽の水温は $18.3 \sim 25.7^\circ\text{C}$ の範囲で変動した。

### 2. 飼育実験

1995年11月7日に予備飼育槽内で夏眠中のイカナゴを夏眠床とともに5基の実験用水槽に移し, 水温および光周期の制御を開始した。実験用水槽には1トンおよび2トンのFRP水槽を用い, 各水槽に2~4個の夏眠床を収容した。実験区として水温および日長条件の異なる5区, すなわち① $22^\circ\text{C}$ 短日区(水温 $22^\circ\text{C}$ , 自然光), ② $18^\circ\text{C}$ 短日区(水温 $18^\circ\text{C}$ , 自然光), ③ $14^\circ\text{C}$ 短日区(水温 $14^\circ\text{C}$ , 自然光), ④ $11^\circ\text{C}$ 短日区(水温 $11^\circ\text{C}$ , 自然光), ⑤ $11^\circ\text{C}$ 長日区(水温 $11^\circ\text{C}$ , 15L:9D)を設定した。予備飼育槽における実験開始直前の水温は $21^\circ\text{C}$ 付近にまで低下していた。実験開始後は温度調節した濾過海水の注水(1日当たり4~5回転)並びにヒーターの使用によって $1^\circ\text{C}/\text{日}$ の勾配で水温を徐々に変化させ, 設定水温に達して以後は一定に保った。水温設定完了から実験終了時までの平均水温は,  $22^\circ\text{C}$ 短日区で $22.1 \pm 0.2^\circ\text{C}$ ,  $18^\circ\text{C}$ 短日区で $17.9 \pm 0.3^\circ\text{C}$ ,  $14^\circ\text{C}$ 短日区で $14.1 \pm 0.5^\circ\text{C}$ ,  $11^\circ\text{C}$ 短日区で $10.7 \pm 0.4^\circ\text{C}$ ,  $11^\circ\text{C}$ 長日区で $11.0 \pm 0.4^\circ\text{C}$ であった。夏眠中のイカナゴの生理には, 水温より砂中の温度が強く影響すると考えられる。本研究で用いた夏眠床はエアリフト方式で砂中の間隙水が絶えず循環するよう設計したため(Fig. 1), 飼育水温と砂中温度はほぼ一致していた。ここでは砂中の温度と水温を区別せず, 一括して水温として取り扱った。

各実験区から適宜20~30個体をサンプリングし, 雄では生殖腺指数( $\text{GSI}=(\text{GW}/\text{BW}) \times 100$ ), 雌ではGSI, 卵母細胞径, 卵巣組織像によって成熟状態を判定した。卵巣組織像の検鏡は, 10%中性ホルマリン溶液で固定した卵巣の一部を8~10 $\mu\text{m}$ のパラフィン切片とし, ヘマトキシリン・エオシン染色を施して行った。卵巣の残りの部分を用い, 万能投影機上で各個体50粒づつ卵母細胞径を測定した。後述するように, イカナゴの卵母細胞は成熟の進行とともに未熟な卵母細胞群と発達した卵母細胞群に分離する部分同時発生型の発達様式を示したので, 発達した卵母細胞群についてのみ径を測定した。卵巣の成熟段階をクロガレイ *Pleuronectes obscurus* における山本(1954), マイワシ *Sardinops melanostictus* における Matsuyama *et al.* (1991) および松浦(1993)の基準に準じて以下の5期に分けた。

- ①未熟期(Stage I, Fig. 2a): すべての卵母細胞が染色仁期, 周辺仁期, 卵黄胞期にある。卵黄蓄積はまだ始まっていない。
- ②第1次卵黄球期(Stage II, Fig. 2b): 卵黄形成の開始期。発達中の卵母細胞中に卵黄球が発現し, 細胞質を占めるようになる。多くの小さな油球が胚胞周辺に分布する。
- ③第2次卵黄球期(Stage III, Fig. 2c): 発達中の卵母細胞で卵黄球が卵母細胞のほとんどを占めるようになる。卵

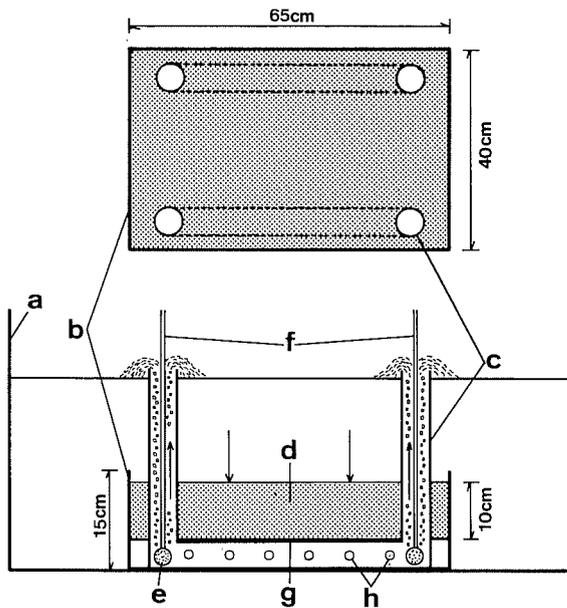
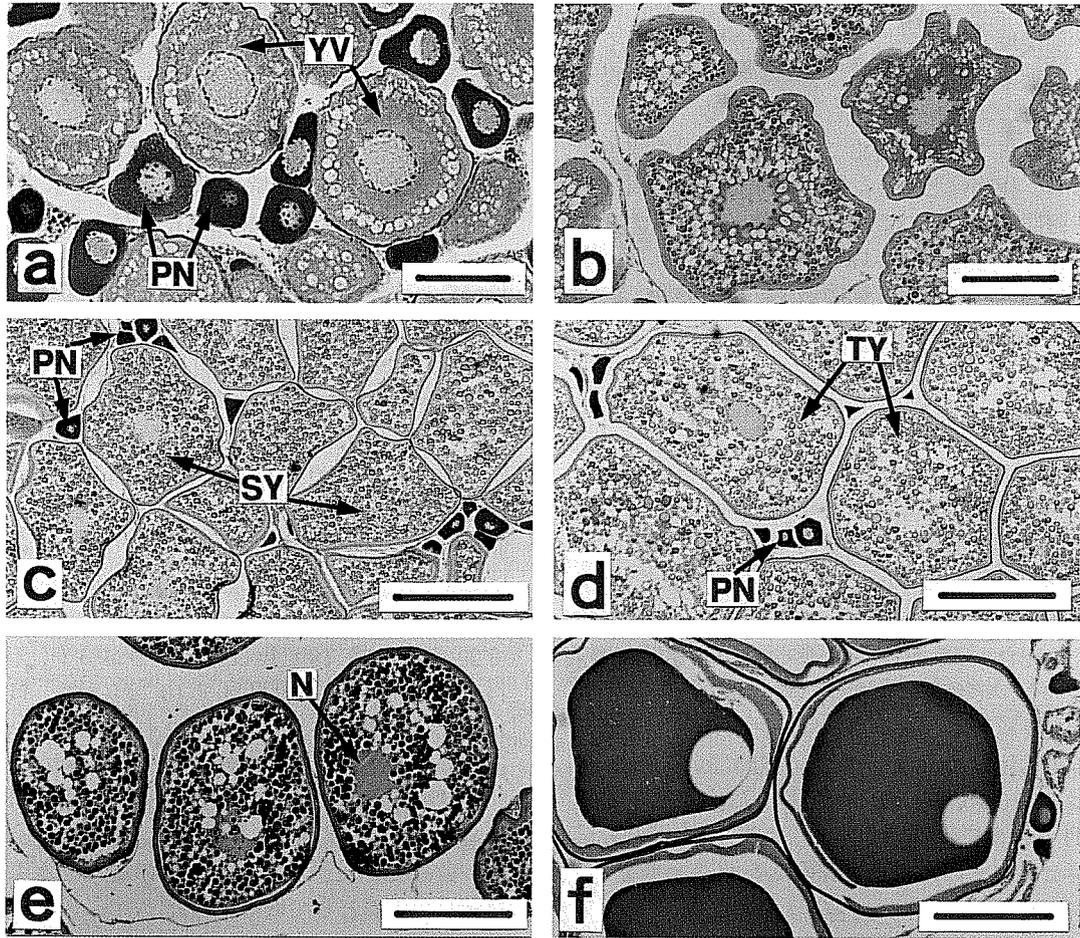


Figure 1. Schematic drawing of the estivation bed used in the rearing experiment. a, 2 ton-tank; b, plastic container; c, vinyl chloride pipe ( $\phi=25$  mm); d, sand (particle size=1~2 mm); e, air stone; f, air tube; g, net (mesh size=0.5 mm); h, water absorptive ports.



**Figure 2.** Ovaries of Japanese sand lance (hematoxylin and eosin stain). Bars represent 100  $\mu\text{m}$  for a and b, and 300  $\mu\text{m}$  for c, d, e, and f. a: immature stage (stage I). PN, oocyte at the peri-nucleolus stage. YV, oocyte at the yolk vesicle stage, b: primary yolk stage (stage II), c: secondary yolk stage (stage III). PN, oocyte at the peri-nucleolus stage. SY, oocyte at the secondary yolk stage, d: tertiary yolk stage (stage IV). PN, oocyte at the peri-nucleolus stage. TY, oocyte at the tertiary yolk stage, e: migratory nucleus stage (stage V). N, nucleus, f: mature stage (stage V).

黄蓄積によって卵母細胞径が増大する。

- ④第3次卵黄球期 (Stage IV, Fig. 2d)：卵黄形成の完了期。発達中の卵母細胞で互いに融合した複数の大型油球が核周辺に分布するようになる。
- ⑤成熟期 (Stage V, Fig. 2c, f)：発達した卵母細胞が胚胞移動期, 前成熟期, 成熟期のいずれかにある。胚胞移動期では核が動物極側に移動する。前成熟期では移動した核の核膜が消失し卵母細胞が半透明になる。成熟期では卵黄球が融合し卵母細胞は透明になる。

本研究では観察個体の50%以上を占める成熟段階をその時点における実験区の成熟段階とした。

## 結果

### 1. 雌の性成熟過程

#### (1) 各実験区の性成熟過程

実験開始時(11月7日)における雌のGSIの平均値は $0.3 \pm 0.3$ と低かった。すべての個体の卵母細胞が主に周辺仁期で構成され、これに卵黄胞期が一部混在する未熟期の段階にあり、平均卵母細胞径は $108 \pm 22 \mu\text{m}$ であった。その後、卵黄形成が認められた実験区では、卵黄形成の進行にともない卵母細胞が2群、すなわち発達した卵母細胞群と卵黄胞期までの未熟な卵母細胞群に分離し、さらに前者はほぼ同期的に発達することが観察された (Figs. 2b-f)。

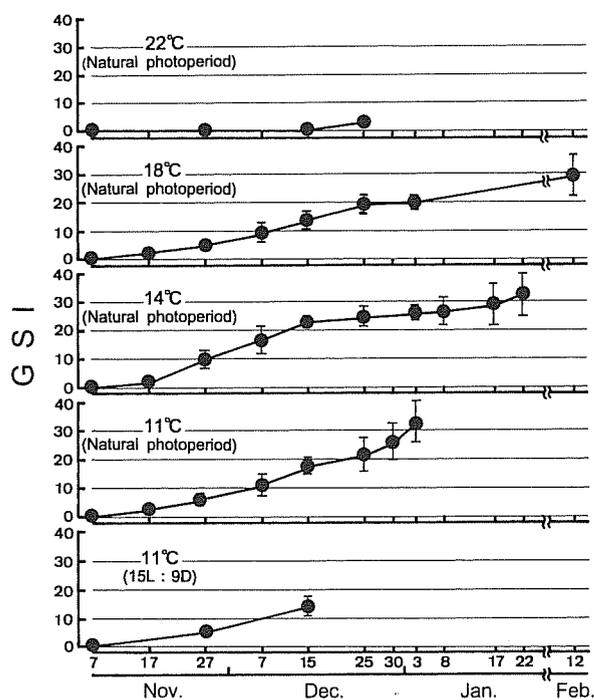
**22°C短日区**：実験開始以降のGSI, 卵母細胞径の変化および卵巣組織像に基づく成熟段階の推移をFigs. 3, 4, 5に示した。実験開始後約40日を経過した12月15日のGSI平

均値は $0.6 \pm 0.4$ 、平均卵母細胞径は $113 \pm 26 \mu\text{m}$ であり、実験開始時と大きな差はみられなかった (Figs. 3, 4). 卵母細胞は実験開始時同様、周辺仁期から卵黄胞期にあった (Fig. 5). 12月15日から17日にかけて水温を $1^\circ\text{C}/\text{日}$ の割合で $20^\circ\text{C}$ にまで低下させたところ、12月25日までにすべての個体で卵黄形成の開始が確認され (Fig. 5), GSIの平均値は $3.0 \pm 1.0$ に、平均卵母細胞径は $248 \pm 67 \mu\text{m}$ に増加した (Figs. 3, 4).

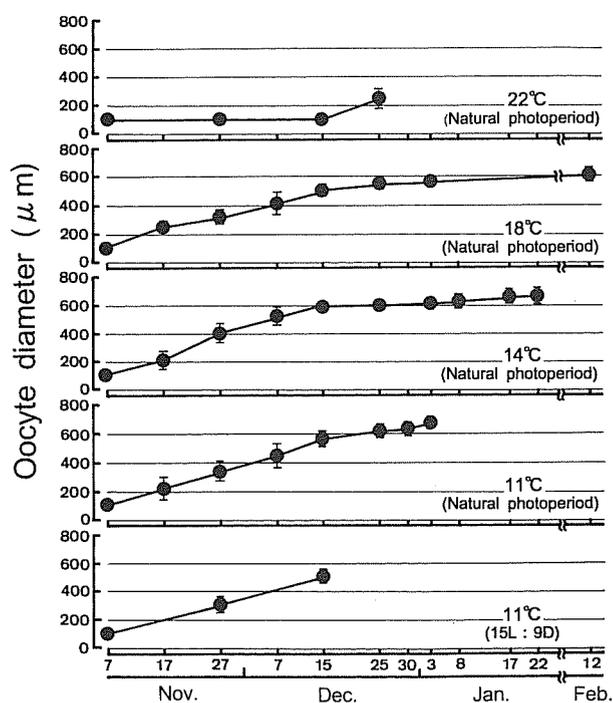
**18°C短日区**：実験開始10日後の11月17日には、すでに90%の個体が卵黄形成を開始していた (Fig. 5). この時点におけるGSIの平均値は $2.3 \pm 1.0$ 、平均卵母細胞径は $254 \pm 39 \mu\text{m}$ であった (Figs. 3, 4). その後、卵黄形成は緩やかに進行し、12月7日にはほとんどの個体で卵母細胞が第2次卵黄球期 (平均GSI= $9.2 \pm 3.6$ 、平均卵母細胞径= $412 \pm 76 \mu\text{m}$ ) へ、12月25日には第3次卵黄期 (平均GSI= $19.2 \pm 3.2$ 、平均卵母細胞径= $552 \pm 40 \mu\text{m}$ ) へと発達した (Figs. 3, 4, 5). 卵黄形成の開始 (11月17日) から完了 (12月25日) までに要した日数は38日であった。卵黄形成完了から約50日経過した2月12日の観察では、わずかに胚胞移動期や吸水後の透明卵を有する成熟期の個体が認められたものの、大半の個体については成熟の進行はみられず、第3次卵黄球期でほぼ停滞していた (Fig. 5). 退

行卵は1個体で観察されたのみであり、また、成熟期に達した個体を除くGSIの平均値は $27.4 \pm 4.1$ 、平均卵母細胞径は $601 \pm 33 \mu\text{m}$ といずれも1月3日の時点から低下は認められなかった。本実験区では実験終了時 (2月12日) においても夏眠を終了して遊泳し始める個体はなかった。

**14°C短日区**：18°C短日区同様、11月17日にはすでに約70%の個体が卵黄形成を開始していた (Fig. 5). この時点におけるGSIの平均値は $1.7 \pm 1.0$ 、平均卵母細胞径は $215 \pm 64 \mu\text{m}$ であった (Figs. 3, 4). その後の卵黄形成は18°C短日区に比べて急速に進行し、11月27日には第2次卵黄球期 (平均GSI= $9.9 \pm 3.2$ 、平均卵母細胞径= $407 \pm 70 \mu\text{m}$ ) へ、12月7日には第3次卵黄球期 (平均GSI= $16.9 \pm 4.8$ 、平均卵母細胞径= $529 \pm 67 \mu\text{m}$ ) へと発達した (Figs. 3, 4, 5). 卵黄形成の開始 (11月17日) から完了 (12月7日) までに要した日数は20日であり、18°C短日区に比べ18日短かった。しかし、卵黄形成の完了から成熟期への移行は極めて緩やかであった。GSIや卵母細胞径の増加は停滞し (Figs. 3, 4), 成熟期の個体の出現も漸増するにとどまった (Fig. 5). 50%以上の個体が成熟期に達したのは1月17日であり、卵黄形成完了から約40日を要した。この間、退行卵は1個体で観察されたのみであった。本実験区における夏眠終了個体の出現は12月23



**Figure 3.** Changes in GSI of female Japanese sand lance under various temperature and photoperiod regimes. At  $22^\circ\text{C}$  with natural photoperiod, the water temperature was dropped at a rate of  $1^\circ\text{C}$  per day from December 15 to 17, and was kept constant at  $20^\circ\text{C}$  thereafter. Solid circles and bars represent mean and standard deviation, respectively.



**Figure 4.** Changes in oocyte diameter of female Japanese sand lance under various temperature and photoperiod regimes. At  $22^\circ\text{C}$  with natural photoperiod, the water temperature was dropped at a rate of  $1^\circ\text{C}$  per day from December 15 to 17, and was kept constant at  $20^\circ\text{C}$  thereafter. Solid circles and bars represent mean and standard deviation, respectively.

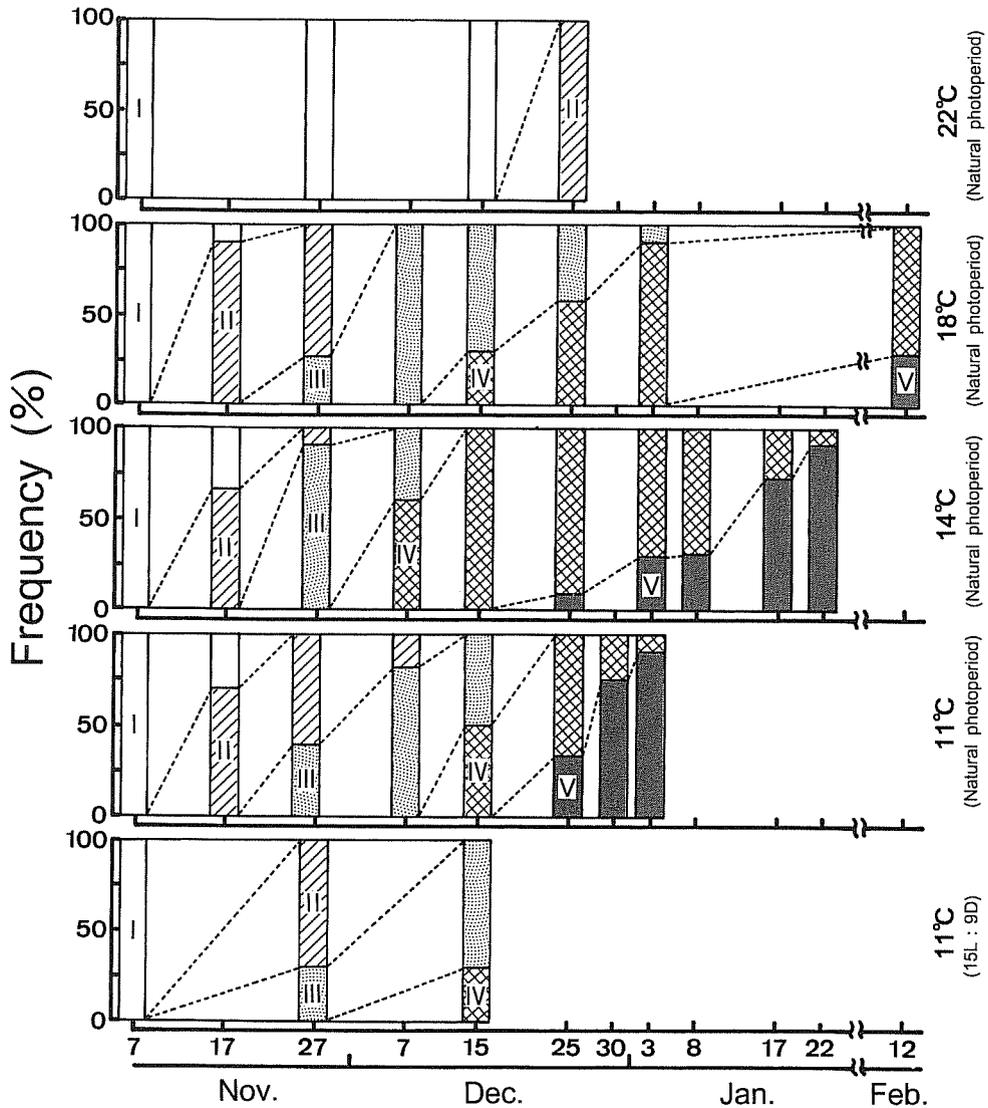


Figure 5. Changes in frequency distributions of ovary maturity stage of female Japanese sand lance under various temperature and photoperiod regimes. At 22 °C with natural photoperiod, the water temperature was dropped at a rate of 1°C per day from December 15 to 17, and was kept constant at 20°C thereafter. Ovarian maturity stages (I-V) are shown in Fig. 2.

日頃から本格化した。夏眠終了時における各個体の成熟段階は第3次卵黄球期~成熟期にあった。

**11°C短日区：**18°C短日区, 14°C短日区同様, 11月17日にはすでに70%の個体が卵黄形成を開始していた (Fig. 5)。第2次卵黄球期へは12月7日 (平均 GSI=10.8±3.8, 平均卵母細胞径=446±82 μm) に, 第3次卵黄球期へは12月15日 (平均 GSI=17.5±3.0, 平均卵母細胞径=567±54 μm) に発達し, 14°C短日区に比べて卵黄形成はやや緩やかに進化した (Figs. 3, 4, 5)。卵黄形成の開始 (11月17日) から完了 (12月15日) までに28日を要した。しかし, 卵黄形成の完了から成熟期への移行は急激に進行し, 12月30日には75%の個体が成熟期に達していた (Fig. 5)。この

間, GSIや卵母細胞径は顕著に増加し (12月30日の平均 GSI=26.0±6.6, 平均卵母細胞径=633±52 μm), 14°C短日区で観察された停滞現象は認められなかった (Figs. 3, 4)。本実験区では退行卵を有する個体は皆無であった。夏眠終了個体の出現は実験開始19日後の11月26日から本格化した。夏眠終了時における各個体の成熟段階は第1次卵黄球期~第2次卵黄球期にあった。

**11°C長日区：**卵黄形成過程は11°C短日区にほぼ類似した推移を示した。11月27日には70%の個体が第1次卵黄球期 (平均 GSI=5.3±1.7, 平均卵母細胞径=309±58 μm) に, 12月15日には70%の個体が第2次卵黄球期 (平均 GSI=14.4±3.5, 平均卵母細胞径=507±55 μm) に移行し

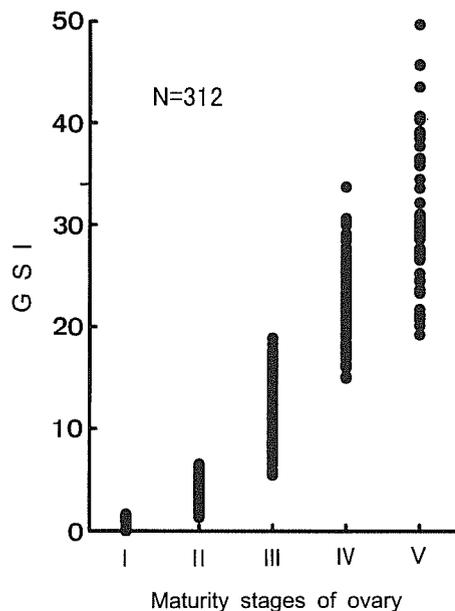


Figure 6. Range of GSI at each maturity stage of female Japanese sand lance.

ていた (Figs. 3, 4, 5)。夏眠終了個体の出現は11°C短日区とほぼ同期の11月28日から本格化した。夏眠終了時における各個体の成熟段階は第1次卵黄球期～第2次卵黄球期にあった。

## (2) 各成熟段階とGSIの対比

Fig. 6に全実験区の観察個体から求めた卵巣組織像による成熟段階とGSIの関係を示した。卵黄形成はGSIが1.3以上の個体で観察された。卵黄形成開始以降はGSIも顕著に増大し、第2次卵黄球期には5.5～18.9、第3次卵黄球期には15.0～33.7の値を示した。胚胞移動期～前成熟期の個体では19.3～31.1の範囲にあり、第3次卵黄球期から顕著な変化は認められなかったが、吸水を完了した卵母細胞(透明卵)を有する成熟期の個体では急増し、23.7～49.7の値を示した。

## 2. 雄の性成熟過程

各実験区における雄のGSIの変化をFig. 7に示した。22°C短日区では実験開始時から12月15日までGSIの増加は認められなかった。12月15日から17日にかけて水温を20°Cにまで低下させたところ、12月25日にはGSI平均値が $7.8 \pm 4.4$ に急増した。一方、18°C短日区、14°C短日区、11°C短日区のGSIは実験開始直後から急増し、その後も類似した推移を示した。いずれの実験区でも12月7日から腹部を軽く圧すると精子を放出する個体が出現し始め、12月15日にはその割合が80%以上に達した。11°C長日区でもGSIは顕著に増加し、12月15日には放精可能個体の割合が75%を占めた。12月15日の22°C区を除く4区について、Kruskal-Wallisの方法によりGSI平均値の差を検定したところ、有意差は認められなかった。雌において成熟期へ

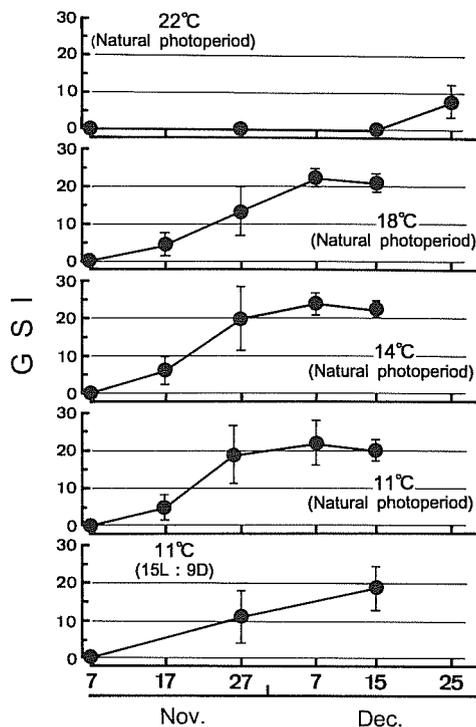


Figure 7. Changes in GSI of male Japanese sand lance under various temperature and photoperiod regimes. At 22°C with natural photoperiod, the water temperature was dropped at a rate of 1°C per day from December 15 to 17, and was kept constant at 20°C thereafter.

の移行がもっとも早く観察された11°C短日区(12月30日には移行)に比べ、雄ではそれより2週間程度早く放精可能に達した。夏眠終了個体の出現は、各実験区とも雌とほぼ同時期に観察された。

## 考 察

イカナゴ卵巣内の卵母細胞径組成は明瞭な2峰型を示した。クロガレイ(山本, 1954)、ニジマス *Oncorhynchus mykiss*(山本ほか, 1965)、スケトウダラ *Theragra chalcogramma*(尹, 1981)、マコガレイ *Pleuronectes yokohamae*(尾城・日比谷, 1981)、ウナギガジ *Lumpenus sagitta*(筒井ほか, 1995)などの卵母細胞径組成も2峰型であり、これら魚種と同様、本種は部分同時発生型に属すると考えられる。吸水した透明卵を有する成熟期の個体では、透明卵群以外に卵黄を蓄積した卵母細胞群が観察されなかった(Fig. 2g)。本種は部分同時発生型の中でも、クロガレイ(山本, 1954)、ニジマス(山本ほか, 1965)、ウナギガジ(筒井ほか, 1995)などのように1産卵期に1回のみ産卵する産卵様式をもつと判断された。

性成熟と光周期の関係について調べた11°C区では、短日、長日の両区とも実験開始後短期間のうちに卵黄形成が認められた(Fig. 5)。このことから卵黄形成の開始に光周

期は影響しないと考えられた。

一方、水温についてみると18°C以下の実験区ではいずれも実験開始10日後には大半の個体が卵黄形成を開始していたが、22°C区では実験開始から約40日を経過しても卵黄形成を開始した個体は観察されなかった。その後、22°C区において水温を20°Cにまで低下させたところ、10日後にはすべての個体で卵黄形成の開始が確認された(Fig. 5)。実験開始直前には水温が21°C付近(実験開始前10日間の平均水温=20.9±0.6°C)にまで低下していたが、実験開始時の個体では卵黄の形成は確認されなかった。したがって本種の卵黄形成の開始は20°C付近への水温低下に依存していると考えられる。夏眠期のイカナゴは海底表面を曳く空釣り漕ぎ漁具(スマルと称する針の付いた漁具。この針で砂中のイカナゴを引っかけて採る)によって容易に採集される(反田・岡本, 1992)ことから、海底下数cmの比較的浅い所に潜砂していると考えられる。また、夏眠場所の底質は粒径0.5~2mmの粗砂主体の組成であり(中村ほか, 1997)、比較的間隙も大きいことから、海底直上の水温と砂中におけるイカナゴ分布層の温度に大きな差はないと思われる。伊勢湾産イカナゴの主夏眠場である出山海域での底層水温の観測結果によれば、20°Cを下回る時期は早い年で11月前半、遅い年では11月後半にみられており(山田, 未発表)、天然海域での卵黄形成の開始時期は、おおむねこの間にあると推定される。

その後の卵黄形成過程は、飼育水温によってそれぞれ異なる様相を呈した。卵黄形成終了までに要した時間は14°C区でもっとも短く約20日間であった。これに比べて11°C区では約30日間、18°C区では約40日間と明らかに長い時間を要した(Fig. 5)。卵黄形成に適した水温帯は14°C付近に存在し、それ以上およびそれ以下の水温では卵黄形成が抑制されるようである。天然海域の夏眠場における底層水温が、卵黄形成期となる11~12月に14°Cを下回った例は過去にないので(山田, 未発表)、伊勢湾産イカナゴの卵黄形成は、水温が低い年ほど急速に進行することになる。

卵黄形成期同様、成熟期への移行も飼育水温によってそれぞれ異なる様相を呈した。11°C区では卵黄形成の完了後2週間以内に大半の個体が成熟期へと移行したが、14°C以上の実験区ではさらに時間を要し、特に18°C区では卵黄形成完了50日後の実験終了時においても成熟期に達した個体が少数観察されるにとどまった(Fig. 5)。これらの結果から、最終成熟段階への移行には11°C付近への水温低下が不可欠であると判断される。伊勢湾産イカナゴの夏眠場は伊勢湾口部外域に位置し、外洋水の影響を受けるため産卵盛期と推定される12月下旬~1月上旬(山田, 1998)に底層水温が11°C付近にまで低下することは少ない。西村ほか(1993)は夏眠を終了したイカナゴが湾口部に移動して産卵することを指摘している。冬季の湾口部には顕著

な熱塩フロントが形成され(関根ほか, 1992)、夏眠場から湾口部に向かって水温が急激に低下する。産卵期にみられる湾口部への移動は、最終成熟段階への移行を促進するための行動と理解することができる。

一方、精子形成の開始も卵黄形成の開始と同様、水温に強く支配されていた。11°Cの短日、長日両区において実験開始直後からGSIは顕著に増加し(Fig. 7)、精子形成の開始には光周期が影響しないことが明らかとなった。18°C以下の実験区で実験開始直後からGSIの増加が認められたが、22°C区では開始38日後までほとんど変化がみられなかった。その後22°C区において水温を20°Cにまで低下させたところ、雌の場合と同様、短期間にGSIが増加したことから(Fig. 7)、精子形成の開始も卵黄形成開始時と同様、20°C付近への水温低下が引き金になっていると考えられる。しかし、精子形成開始後のGSIの変化は、雌の場合とは異なり水温区間での顕著な差が認められなかった(Fig. 7)。同様の現象はマハゼ(鈴木ほか, 1989)においても観察されている。本種の精子形成の開始は水温に影響されるが、精子形成過程の進行は水温に依存しないと考えられた。今回の実験結果から判断すると、同じ水温条件下において最終成熟期に達するのは雄の方が2週間以上早いと推定される。

本研究における夏眠終了期は11°Cの短日、長日両区でほぼ同時期(11月末)にみられたことから、光周期は夏眠の終了に影響しないと推定された。柳橋ほか(1997)の報告では、イカナゴの夏眠終了は生殖腺が完熟状態に達することを契機に生じると指摘している。本研究では14°C以下の実験区で夏眠の終了は観察されたが、18°C区のイカナゴは実験終了時においても夏眠中であった。夏眠終了時における雌の成熟段階は14°C区で卵黄形成完了期に、11°C区では第1次卵黄球期~第2次卵黄球期にあり、水温区ごとに著しく異なった。また、18°C区では実験終了時に卵黄形成完了期に達していたが、夏眠を終了して遊泳する個体は認められなかった。これらの結果から、成熟状態によって夏眠終了が誘発されるものでないことは明らかである。14°C区の水温は気温低下の影響を受けて12月14日からしばらくの間13°C台に低下した。夏眠の終了は13°C台への水温低下10日後となる12月23日から本格化した。一方、11°C区では11月26日から夏眠終了が本格化した。これは実験開始19日後、13°C台への水温低下12日後に当たる。これらの結果から、伊勢湾産イカナゴの夏眠終了は水温に強く依存し、14°C以下への水温低下を引き金に、その状態が10日程度持続することで誘発されると推察される。本研究によれば、本種の卵黄形成速度は14°C区で最も速く、夏眠終了時に卵黄形成完了期に達していた。夏眠場においても、夏眠が終了する12月までに水温が約14°Cへと低下することから、夏眠終了期の成熟段階が卵黄形成完了期に一致していると考えられる。伊勢湾産イカ

ナゴは夏眠終了後、低水温を求めて湾口部へと移動し、ごく短期間の内に最終成熟期へ移行、産卵している可能性が高い。

本研究では11°C長日区の雌について最終成熟期まで観察することができなかったため、雌の最終成熟期への移行に光周期が影響する可能性を否定できない。しかし、天然海域における成熟期（秋冬季）の光周期は毎年一定であり、本種の性成熟過程に年変動を生じさせる要因とはなり得ない。伊勢湾産イカナゴの性成熟に最も強い影響を与えるのは水温であると言える。イカナゴは夏眠という特殊な生活様式の中で成熟が進行する。飼育中のイカナゴを観察する限り、夏眠を開始した個体は再び遊泳して夏眠場を移動することはなかった。本種の性成熟過程は、夏眠場における底層の水温環境に依存すると考えられる。今後は夏眠場周辺の水温環境を詳細に調べ、その変動様式を明らかにするとともに、こうした水温環境とイカナゴの成熟過程の対応関係について検討する必要がある。また、本研究は例年再生産の主体である1歳魚（初回産卵魚）のみを対象に実施した。今後2歳魚以上の成熟過程についても検討を加える必要がある。

## 謝辞

本論文の作成にあたり、懇切なるご指導とご校閲を賜った東京大学海洋研究所教授渡邊良朗博士に深く感謝申し上げます。また、卵巣組織像の観察においてご指導を頂いた水産庁養殖研究所白石 学博士、論文作成時に有益なご助言を頂いた三重県水産技術センター山川 卓博士、供試魚の採集に快くご協力を頂いた三重県バッチ網組合川原久人氏に心よりお礼申し上げます。本研究は水産庁による“伊勢・三河湾漁場生産力モデル開発基礎調査”の一環として行われた。

## 引用文献

- 朝比奈 潔 (1989) 魚類の成熟、発生、成長とその制御。水族繁殖学 (隆島史夫・羽生 功編), 緑書房, 東京, 103-131 pp.
- 松浦修平 (1993) マイワシ産卵親魚の成熟状況からみた資源動態モニタリング。水産海洋研究, 57, 35-42.
- Matsuyama, M., S. Adachi, Y. Nagahama, C. Kitajima and S. Matsuura (1991) Annual reproductive cycle of the captive female Japanese sardine *Sardinops melanostictus*: relationship to ovarian development and serum levels of gonadal steroid hormones. Mar. Biol., 108, 21-29.
- 三重県 (1993) 三重県資源管理推進指針 (イカナゴ), 18 pp.
- 向井良吉 (1986) 伊勢湾産イカナゴの分散過程について。昭和60, 61年度沿岸重要資源委託調査成果報告書, 東海区水研, 53-62.
- 中村元彦・船越茂雄・向井良吉・家田喜一・石川雅章・柳橋茂昭 (1997) 伊勢湾産イカナゴの夏眠場所。愛知水試研報, 4, 1-9.
- 西村昭史・土橋靖史・山田浩且 (1993) 伊勢湾産イカナゴの産卵場所。平成5年度日本水産学会春季大会講演要旨集, 109 pp.
- 尾城 隆・日比谷 京 (1981) 完熟に伴うマコガレイ卵母細胞の吸収と濾胞破裂の促進について。日本誌, 47, 835-841.
- 関根義彦・川股信一・佐藤裕一 (1992) 初冬期における伊勢湾の沿岸フロントの観測。沿岸海洋研究ノート, 29, 190-196.
- 鈴木伸洋・棚瀬信夫・杉原拓郎 (1989) マハゼの成熟に及ぼす水温の影響。水産増殖, 37, 267-274.
- 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。水産海洋研究, 56, 201-205.
- 筒井浩之・中谷敏邦・高津哲也・高橋豊美 (1995) 北海道噴火湾におけるウナギガジ雌魚の性成熟。日本誌, 61, 707-712.
- 山田浩且 (1998) 伊勢湾産イカナゴのふ化特性と外部栄養への転換。日本誌, 64, 440-446.
- 山本喜一郎 (1954) 海産魚類の成熟度に関する研究II, クロガレイの雌魚の成熟度について。北水研報, 11, 68-77.
- 山本喜一郎・太田 勲・高野和則・石川徹二 (1965) ニジマスの成熟に関する研究-I, 1年魚の卵巣の発達について。日本誌, 31, 123-132.
- 柳橋茂昭・船越茂雄・向井良吉・中村元彦 (1997) 伊勢湾産イカナゴの夏眠期における生き残り成熟、産卵機構。愛知水試研報, 4, 23-31.
- 尹 泰憲 (1981) 北海道噴火湾周辺海域におけるスケトウダラ雌魚の生殖周期。北大水産彙報, 32, 22-38.