

カタクチイワシの成熟・産卵特性から産卵調査を設計する

靄田 義成*

Planning of Egg Stock Assessments According to Reproductive Characteristics of Japanese Anchovy

Yoshinari TSURUTA*

Abstract In order to enhance the accuracy of the Egg Production Method applied for Japanese anchovy with a relatively long spawning season and short time interval between spawning episodes, the effect of daily change in developmental stage of ovary on gonosomatic index was discussed. Moreover, the effect of water temperature, food ration and population density on batch fecundity and spawning frequency was formulated definitely in reared anchovy. As a result, the best sampling time of adult female is about 1800 hour just before the beginning of spawning. The number in a batch fecundity per gram body weight changed about 33 ind. per one centigrade and 38 ind. per one percent of food ration respectively. Population density also affected exponentially on the number in a batch fecundity. Therefore, it was necessary to carry out the investigation of food environment and school size of anchovy at the same time.

Key words: Japanese anchovy, reproductive parameter, batch fecundity, spawning frequency, water temperature, food availability, population density, stock assessment

カタクチイワシは、マイワシ、サバ類等の多獲性浮魚類の中で、漁獲量の変動幅は小さく、資源量も安定している。安定の原因として、カタクチイワシが、7カ月の長期にわたり産卵し、同一個体が餌料環境に迅速に反応して産卵する高い再生産調節能力を有していることに起因すると考えられている(靄田, 1992)。1970年代半ば以降マイワシ資源量の増大に伴ってカタクチイワシの資源量が減少した。この減少過程における生態的变化の特徴として、カタクチイワシ太平洋系群では、肥満度の低下、被鱗体長12cm以上の漁獲物の減少、2月～3月における産卵量の減少などが挙げられる(船越, 1990; 三谷, 1986; 銭谷と木村, 1997)。逆に、1990年代に入りカタクチイワシの資源量が増加すると、肥満度は増加傾向を示し、体長12cm以上の大型魚も多量に漁獲され、分布域も道東沿岸や三陸遥か

沖合にまで拡大し、そこでの産卵開始水温は、沿岸域に比べて5 以上も低くなっていることが確認されている(Funamoto and Aoki, 2002; 靄田と高橋, 1997)。

近年、日本海中部沿岸域において、海洋の物理的環境変化と関連したプランクトンの種類組成とその量的変化が、カタクチイワシの肥満度や成熟・産卵に影響を及ぼすことが明らかにされている(森本ら, 2003)。自然の産出卵をネット採集して、親魚量・資源量を推定する方法において、一回当たり産卵数や産卵頻度などは重要なパラメーターである。これらのパラメーターの精度を高めるためには、成熟・産卵特性にもとづく調査設計を立てることが重要である。

ここでは、野外調査や飼育実験で得られた成果をできるだけ定式化することにより本種の産卵特性を明確にし、産卵調査や卵数法の改善に資することを目的とする。

2006年1月6日受理 (Accepted on January 6, 2006)

* 社団法人全国豊かな海づくり推進協会 〒101-0047 東京都千代田区内神田2-2-1 (National Abundantly Productive Sea Promote Association, Chiyoda, Tokyo 101-0047, Japan. Tel: 81-3-5297-5631. Fax: 81-3-5297-2653. Email: y.tsuruta@yutakanaumi.jp)

1. 成熟・産卵の特徴

カタクチイワシ太平洋系群の産卵は、4月から10月までの7カ月に及び産卵盛期にはおよそ1.5日の周期で産卵する(靄田, 1992)。このため、産卵盛期の卵巣の成熟状態は迅速に日周変化する。Fig. 1は、水温が25

を超える産卵盛期の9月中旬に、4つの水槽で飼育中のカタクチイワシをおよそ6時間間隔で1水槽の全個体をそれぞれ取り上げた時の雌個体の卵巣の成熟段階別の出現状況と前日の産卵数および推定産卵尾数(水温-産卵数関係から個体あたり産卵数を6,800粒として尾数を計算)を示している。本種は日没1時間後に追尾行動を開始し、その後20時頃から23時頃までに産卵する(Aoki and Tsuruta, 1989)。このFig.から、

産卵直後の卵巣は卵黄球期前期の成熟段階になり半日経過するとそれらは卵黄球期後期に発達すること、その卵巣に見られる排卵痕は排卵後21時間経過すると全て消失すること、産卵時刻を21時とすると最終成熟は産卵の15時間前から始まり核の崩壊は産卵3時間前に起こることなどが読み取れる。

天然個体群の産卵頻度を、排卵痕または最終成熟期の卵母細胞を保有する個体数の割合から求める場合、高水温の時期には、早朝6時のサンプルで既に排卵痕の消失した個体が認められることから、産卵頻度は過小評価される可能性がある。

Fig. 2は相模湾の定置網で早朝6時頃水揚げされた本種の生殖腺指数と排卵痕保有個体出現頻度の季節変化を示している。産卵終期の10月を除いた4月から9

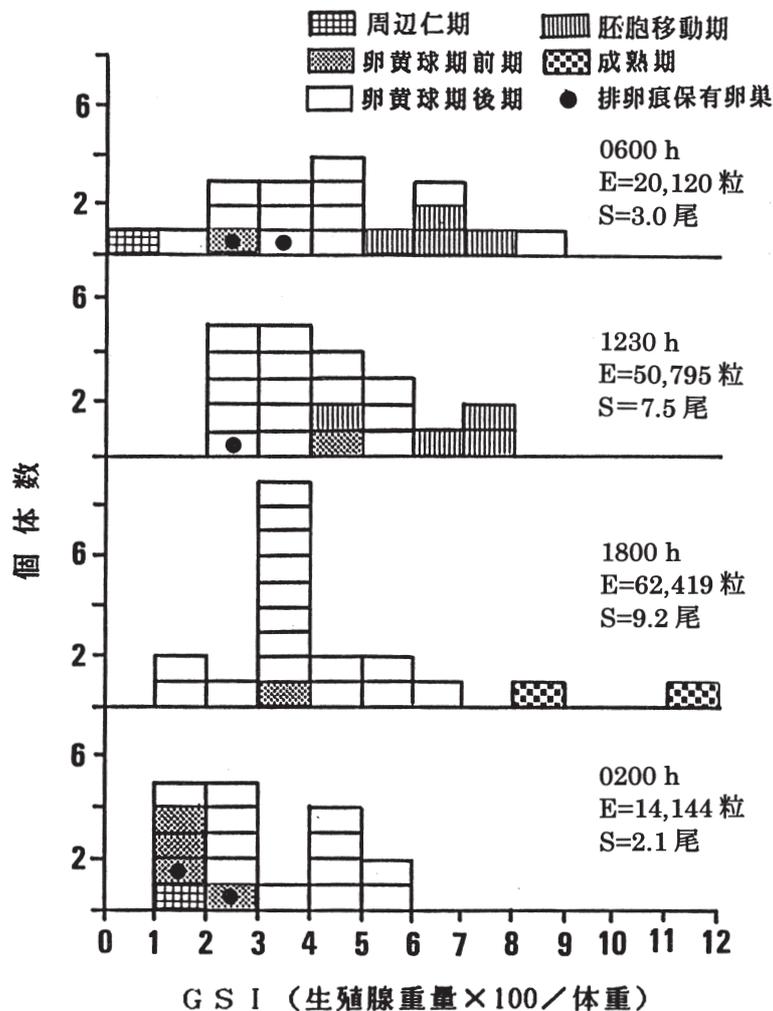


Fig. 1. Developmental stage of ovaries each sampling time. The developmental stage of ovary is represented by the histological maturity stage of the most advanced group of oocytes in the ovary. E: number of eggs spawned, S: number of spawning females estimated from the batch fecundity (6,800) in September.

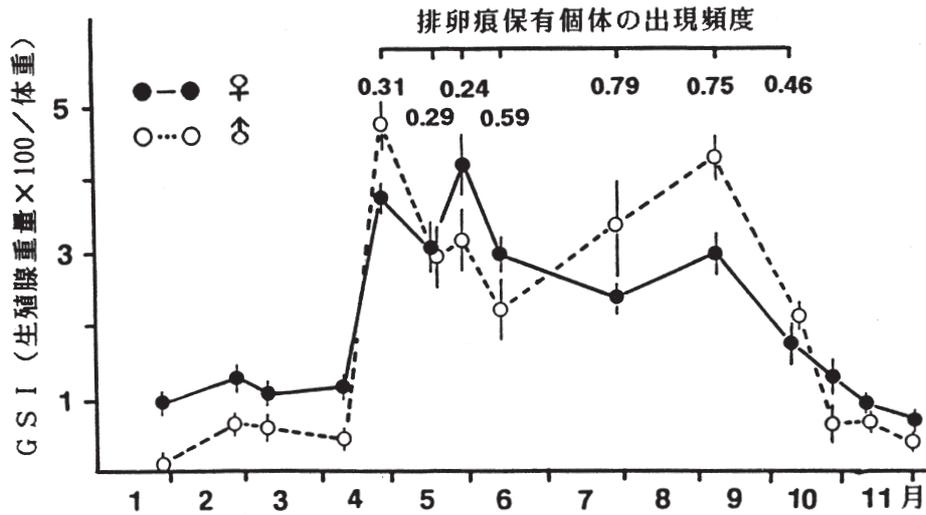


Fig. 2. Seasonal change in gonosomatic index in anchovy collected during 1984 field survey. The incidence of individual with postovulatory follicles indicates as the females with postovulatory follicles divided by the total number of females. Each point represents the mean(±SD) gonosomatic index.

月までの生殖腺指数と排卵痕保有個体出現頻度との間には負の関係が認められる。すなわち、頻繁に産卵しているとき、早朝に採集した標本の生殖腺指数は、産卵が活発でないときに比べて低い値を示す。また、1984年から1986年までの3カ年の排卵痕保有個体数の出現頻度を比較すると、肥満度が極端に悪かった1986年6月は例年の3分の1の値を示し、栄養状態が産卵頻度に大きく影響することを示した(靄田, 1992)。

本種は、資源水準により分布域や産卵生態を変化させる。資源水準の低い時代のカタクチイワシ太平洋系群は、仙台湾以南の沿岸域にのみ分布しおよそ15で産卵を開始するが、資源水準が高くなると、沿岸域では水温が低下する2,3月にも産卵が行われ、沖合域ではおよそ10の低水温で産卵することが推測されている(Funamoto and Aoki, 2002; 靄田と高橋, 1997; 銭谷と木村, 1997)。産卵時刻も沖合域では24時間前後と遅くなる(靄田と高橋, 1997)。

飼育実験によると、本種の成熟の開始と終了には日長時間が影響し、およそ12.5時間以上で成熟が開始される。また、産卵には水温がトリガーとして働き15になると産卵する(靄田, 1992; Kawaguti *et al.*, 1990)。

以上のことは、野外調査において産卵頻度、生殖腺指数などの値を求める場合には、資源水準に応じて、海域や時期別に採集した標本を比較できるように調査設計することが重要であることを示唆している。

2. 再生産力調節の特徴

本種は春季から秋季の長期に亘って産卵する。この間の生息水温は15 ~ 30 近くまでと広く、このため餌料環境も大きく変化する。産卵期の群れは、索餌期の群れに比べて極端に小さく、群の大きさ(個体群密度)が産卵行動に関与していることが予想される。ここでは、1日あたりの換水率約1,500%の長方形4トン水槽で水温、餌量及び個体群密度の3つの要素が、1回当たり産卵数、産卵頻度、及び卵の大きさにどのくらいの早さでどの程度影響するか定式化することにより再生産力の特徴を示す。

1) 水温の産卵数への影響

本種の1回当たり産卵数(batch fecundity)は成熟期の卵巣の最大卵径群卵数に等しい。Fig. 3は、水温と体重1g当たりのbatch fecundity (relative batch fecundity, RBF)および産出卵サイズとの関係を示している。RBF と水温とは次式で表される。

$$B = 32.77T - 290.85 \quad (\text{水温} 15 \sim 26) \quad (1)$$

ここでBはRBF、Tは水温である。

RBFは水温が高くなるにつれ直線的に増加する。水温が1 変化するとおよそ33個/g増減し、24 までは卵サイズと負の関係を示す。RBFと卵サイズは補償関係にあり、高水温時の卵ほど小さくなるため栄養期間が短く、餌環境が生残にシビアに影響することを示唆している。

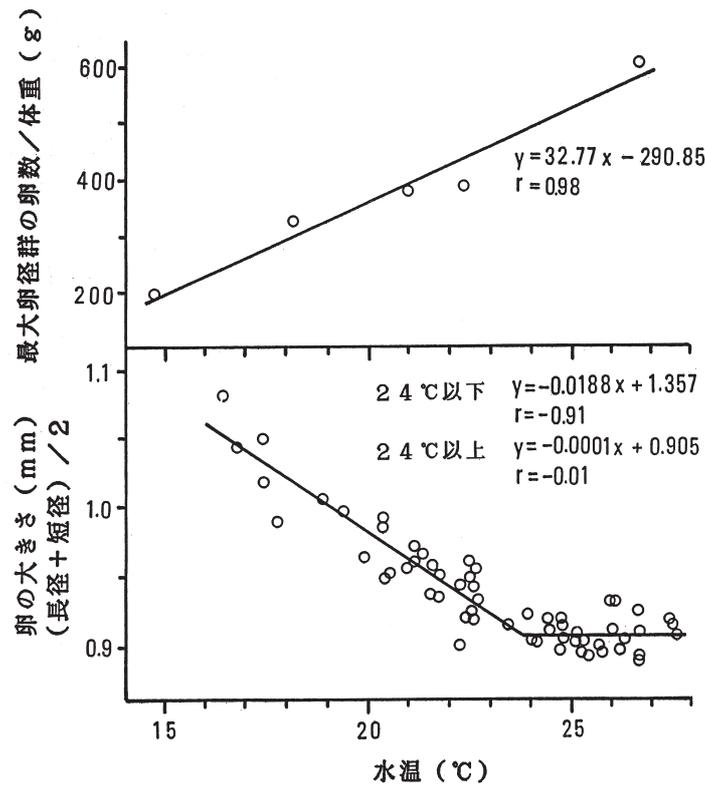


Fig. 3. Relationship between water temperature and two egg-production variables : batch fecundity and egg size.

2) 餌量の産卵数への影響

図4は、水温が23~26の産卵盛期に当たる7月下旬から8月上旬の日間摂餌率と体重1g当たり日間産卵数との関係および産卵終期にあたる9月下旬から11月上旬のものを示している。産卵盛期における両者の関係は次式で表される。

$$E_f = 38.45F - 16.61 \quad (\text{水温} 23 \sim 26) \quad (2)$$

ここで E_f は体重1g当たりの日間産卵数、 F は日間摂餌率(%)である。

給餌量が0.8~2.5%の範囲内では産卵数は摂餌率の増大とともに直線的に増加する。餌量が1%変化すると体重1g当たりおよそ38個増減する。餌量を人為的に変化させると、産卵数は10日後以降に変化を示し、体維持以下の餌量条件になると卵サイズが小さくなる(靄田, 1992)。

3) 個体群密度の産卵数への影響

Fig. 5は水温が23~26の産卵盛期における日間摂餌率2%時の産卵数と個体群密度との関係を示している。その関係は次の式で表される。

$$E_p = 169.83 e^{-0.0274P} \quad (\text{水温} 23 \sim 26, \text{日間摂餌率が体重の} 2\% \text{の時}) \quad (3)$$

ここで E_p は体重1g当たり日間産卵数、 P は個体群密度である。

体重1g当たり産卵数は個体群密度の増大とともに指数関数的に減少する。一方、水槽の体重1g当たりの産卵数は個体群密度が35尾の時に最大となり、それを超えると減少した。密度35尾の雌1尾体重1g当たり産卵数は10尾時の50%を示し密度効果が増大して産卵能力を低下させる。密度変化の影響は2日後に現れ極めて迅速であった(靄田, 1992)。また、Fig. 6に示すように、個体群密度は群れの遊泳速度にも大きく影響を及ぼし、密度が高くなるにつれ遊泳速度は速くなるが、ある閾値を過ぎると低下することから、密度が高くなると個体間の干渉が高まり産卵行動を阻害し、ストレスにより卵巣成熟も影響を受けるものと思われる。密度効果の要因の一つが生物学的条件づけであることも推測されている(靄田, 1992)。

4) 3要素の産卵数への影響

上記の関係式(3)の個体群密度の減少係数が餌量条件によって変化しないと仮定すると、餌量および個体群密度と日間産卵数との間には次の関係式が導かれる。

$$E_{FP} = (108.33F - 46.82) e^{-0.0274P} \quad (4)$$

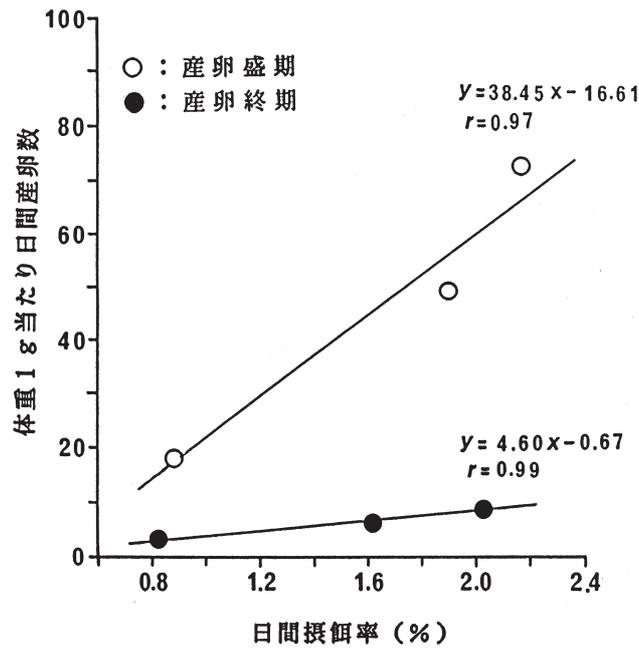


Fig. 4. Relationship between food rations and numbers of eggs spawned per gramme body weight.

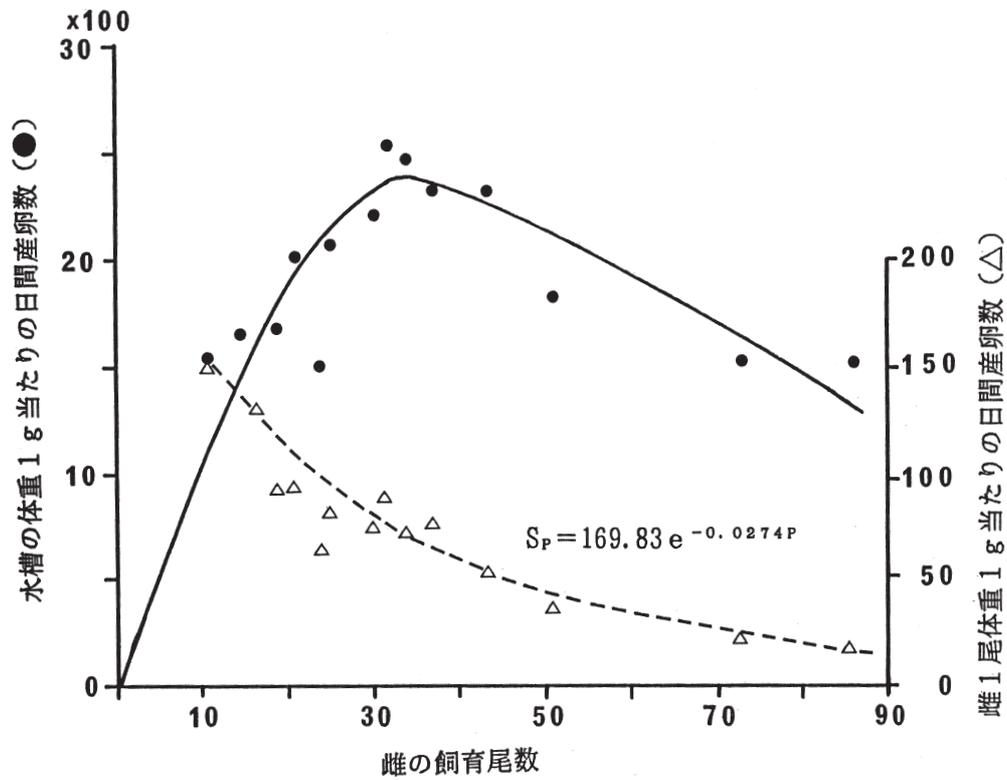


Fig. 5. Relationship between population density and numbers of eggs spawned per gramme body weight.

ここで E_{FP} は日間産卵数, F は日間摂餌率, P は個体群密度である。

(4)式は水温条件が23 から26 の間に得られた資料を用いており, 水温24.5 の時の近似式とみなせる。水温の成熟・産卵速度への影響を, 間接的に, 水温とRBFの関係式(1)の $T = 24.5$ の時のRBF 518.02からの変化率 を代用すると, 水温, 摂餌率, 個体群密度の影響を入れた産卵数は次式で表せる。

$$= (32.77T - 290.85) / 518.02 \quad (5)$$

$$E_{FP} = (32.77T - 290.85) / 518.02 \times (108.33F - 46.82) \times e^{-0.0274P} \quad (6)$$

ここで E_{FP} は日間産卵数, T は水温, F は日間摂餌率, P は個体群密度である。

5) ある時期内の産卵数と産卵頻度

雌1尾がある期間に産出する卵数は次式で求めることができる。

$$\text{産卵数} = \text{期間} \times \text{体重} \times \text{体重} 1 \text{g} \text{ 当たり日間産卵数}$$

$$\text{すなわち } E_t = t \times w \times [(32.77T - 290.85) / 518.02] \times (108.33F - 46.82) e^{-0.0274P} \quad (7)$$

ここで E_t は期間 t の産卵数, t は日数, w はg単位の魚の平均体重, T は水温, F は日間摂餌率, P は個体群密度である。

また産卵頻度 (I) は次式で求めることができる。

$$\text{産卵頻度} = \text{体重} 1 \text{g} \text{ 当たり日間産卵数} / \text{RBF}$$

$$\text{すなわち } I = [(32.77T - 290.85) / 518.02] \times (108.33F - 46.82) e^{-0.0274P} / (32.77T - 290.85) \\ = 518.02 / (108.33F - 46.82) e^{-0.0274P} \quad (8)$$

ここで I は産卵頻度, T は水温, F は日間摂餌率, P は個体群密度である。

3. 産卵調査設計への提言

カタクチイワシは本邦沿岸海域に分布する魚類の中でもっとも長い産卵期間をもち, 同一個体が短い間隔で産卵する。このため資源量推定法として卵数法が採用されている(今井ら, 1998; Alheit, 1993; Lasker, 1985)。この方法では, パラメーターとして1回当たり産卵数, 産卵頻度, 生殖腺指数などの生物学的特性と水温が用いられている。これらパラメーターの発現の仕組みを知り, 産卵調査の設計に活かすことは推定値の精度向上を図る上で重要である。

RBFは, (1)式が示すように, 水温の影響を強く受ける。RBFは卵サイズと負の関係を示し, 両者は補償関係にある。高水温時の卵ほど餌環境の影響を強く受けることから, 餌料環境の調査を並行して行うことが肝要であろう。また, 高水温時には, 基礎代謝速度が高く, 高頻度で産卵が可能である。このため群れの生殖腺指数は採集した時刻で変動する。生殖腺指数とbatch fecundityを求めるには, 成熟期の吸水卵が認め

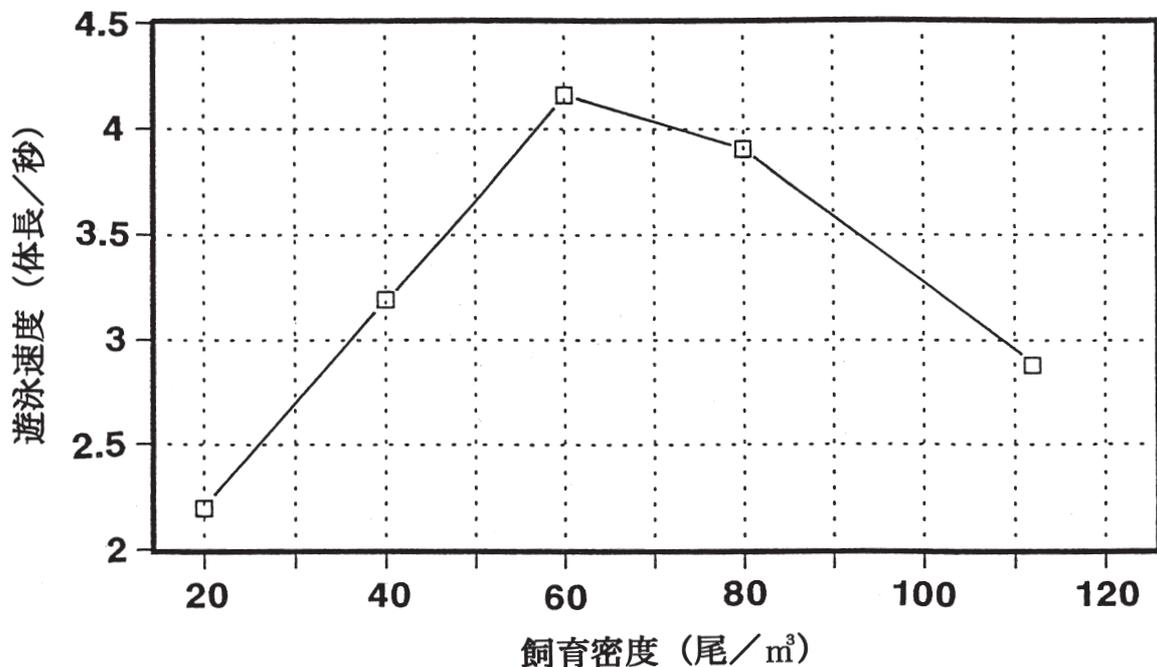


Fig. 6. Relationship between population density and swimming speed of the reared anchovy.

られる産卵直前の18時頃に採集した標本を使用することが望ましい。また、その標本が得られない場合には補正の工夫が必要であろう。また、産卵頻度については、成熟期の吸水卵が認められる産卵直前の18時頃から産卵後3,4時間を経た2時頃までに採集した標本を用いるのが最も良い。

(2)式が示すように、餌量が1%変化すると体重1g当たり産卵数は38個増減し、環境変化の約10日後には産卵数に現れ、その反応は他の魚種に比べきわめて早い(靄田, 1992)。このため、栄養状態の指標となる肥満度又はDNA/RNA比を測定しておくことは調査間隔を決める上で大切である。また、餌量条件が体維持以下になると卵サイズも小さくなることから、採集卵のサイズの広がりチェックしておくことは、餌環境経歴を知る上で必要であろう。

個体群密度が再生産力に及ぼす影響に関する野外での知見は、サケ類を除いて、多獲性浮魚類におけるこれまでの産卵調査では得られていない。飼育実験の結果ではあるが、(3)式から明らかのように、個体群密度の増大とともに体重1g当たり産卵数は指数関数的に減少し、個体当たり日間産卵量は35尾では10尾の時の50.4%に減少し、産卵間隔は2.5倍に延びた。産卵間隔が延びると卵母細胞が吸収される機会が多くなりbatch fecundityが減少する(靄田, 1992)。この間のbatch fecundityの1日当たり減少率は約20%と推定された。また、産卵しなくなる雌個体群密度は、水温20℃、日間摂餌率2%の場合、計算式(6)から200尾と求められ、1トン当たりの雌密度は50尾と推定された。

ソナーによる野外調査において、活発に産卵をしているカタクチイワシの昼間の群れの大きさは、最長径5~30m、厚さ4~15m、生息水深9~19mで、薄暮になると分散して薄層になり、産卵のため個体間間隔が広がる(Hewitt, 1975)。カタクチイワシの群れの大きさは索餌期と産卵期で異なり、産卵期に小さい(Graves, 1977; Hewitt, 1975)。ソナーにより産卵群の群れの大きさを並行して調査することは、生息水深と水温情報を正確にリンクさせることとともに、資源水準による群れの大きさと産卵頻度との関係の知見を得る上で今後重要となるであろう。

謝 辞

本論文作成において、独立行政法人水産総合研究センター中央水産研究所の清水昭男博士には多大のお世話になった。また、本論文の再生産力調節の特徴の項は、元東海区水産研究所(現中央水産研究所)の廣瀬慶二博士及び水産工学研究所の丹羽洋智博士との共同

作業によるもので、詳細はこれから報告する。ここに記して感謝する。

要 旨

7ヶ月に亘る産卵期間を持ち、同一個体が頻繁に産卵するカタクチイワシの資源量推定に適用されている産卵調査手法(卵数法)の精度向上を図るため、卵数法のパラメーターである水温、生殖腺指数、1回当たり産卵数及び産卵頻度について、成熟・産卵の日周変化と生殖腺指数との関係、水温、餌量及び個体群密度と産卵数・産卵頻度との関係を飼育実験の結果を基に定式化し、産卵調査設計に当たった改善点を指摘した。

キーワード：生殖腺指数、産卵数、産卵頻度、水温、餌量、個体群密度、産卵調査

文 献

- Alheit J., 1993: Use of the daily egg production method for estimating biomass of clupeoid fishes: a review and evaluation. *Bull. Mar. Sci.*, **53**, 750-767.
- Aoki I. and Tsuruta Y., 1989: Observation on the reproductive behavior of Japanese anchovy *Engraulis japonica* in captivity. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **55**, 255-259.
- 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 Aoki I., 2002: Reproductive biology of Japanese anchovy off the Pacific coast of eastern Honshu, Japan. *J. Fish Biol.*, **60**, 154-169.
- Graves J., 1977: Photographic method for measuring spacing and density within pelagic fish schools at sea. *Fish. Bull. U.S.*, **75**, 230-234.
- Hewitt, R., 1975: Sonar mapping in the California current area: a review of recent developments. *CalCOFI Rep.*, **76**, 149-154.
- 今井千文, 楢取和明, 田島良博, 中村元彦, 内山雅史, 山田浩且, 1998: 水温情報を用いた卵数法によるカタクチイワシ本州太平洋系群の資源量推定. 水産海洋研究, **62**, 356-368.
- Kawaguti K., Yamasita Y., and Hayashi A., 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.
- Lasker R., 1985: An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. *NOAA Tech. Rep. NMFS.*, **36**, 1-99.
- 三谷 勇, 1986: 資源の衰退期におけるカタクチイワシの肥満度の変化について. 神奈川水試報, **7**, 35-43.
- 霧田義成, 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.
- 霧田義成, 高橋章策, 1997: 黒潮属流域および混合水域におけるカタクチイワシ *Engraulis japonicus* の産卵生態. 北水研報, **61**, 9-15.
- 森本晴之, 後藤常夫, 井野慎吾, 内山 勇, 久田哲二, 和田洋藏, 志村 健, 渡辺秀洋, 高橋 卓, 2003: 日本海中部沿岸域におけるカタクチイワシ2002年春季産卵群の肥満度・成熟と餌料環境. 水産海洋学会研究発表大会, 講演要旨集, 69-70.
- 銭谷 弘, 木村 量, 1997: 太平洋岸域のカタクチイワシの資源回復に伴う2~3月産卵量の増加. 日水誌, **63**, 665-761.