

# 資源学的立場からみたマサバ太平洋系群の生殖生態研究の現状と問題点

渡邊千夏子\*

## A Review of the Reproductive Studies for Chub Mackerel in Relation to the Stock Assessment.

Chikako WATANABE\*

**Abstract** This review summarized the reproductive biology of the Pacific stock of chub mackerel in relation to the stock assessment by the Egg Production Method (EPM).

The main spawning period was in April in the 1970s when the biomass of chub mackerel was high, and in June in recent years when the biomass was low. On the other hand, the spawning ground has remained in the central part of the Pacific coast of Japan, around the Izu Islands, for the past 30 years. The depth and the water temperature of the spawning ground were estimated to be about 50m and 14-18 °C respectively. The spawning time was estimated to be 20-24hr. The annual means of the spawning frequency varied from 0.17 to 0.34, and the individual batch fecundity varied from 14 to 150 thousand eggs/female.

This review also discussed the problems for applying EPM, and proposed incorporation of the reproductive biology in the process of the stock assessment and management of chub mackerel.

**Key words:** reproduction, stock assessment, egg production method, batch fecundity, spawning frequency, chub mackerel

### はじめに

国連海洋法条約批准に伴い我が国においても1997年から、マサバやマイワシなどに対し許容漁獲量（TAC）による管理が始まった。以来、資源量推定法の検討、TAC設定の基礎となる生物学的許容漁獲量（Allowable Biological Catch: ABC）算定ルール策定、資源評価報告書の公開などが進められ、資源管理の体制が整えられてきた。一方、資源評価や管理における問題も明確になってきている。本報告ではマサバの資源評価と管理に関係した、フィールド調査を通じた生殖生態研究のこれまでの知見と今後求められる課題を整理する。

TACによる資源管理制度は、漁獲量の総量を制限す

る制度である。現在TACによる管理の対象種になっているのは8魚種19系群であり、このうち15系群が資源量推定値に基づきABCを算定している。資源量推定値の精度を高めることは、現在の資源管理において最も重要な課題である。マサバの資源量は年齢別漁獲尾数に基づいて資源尾数を推定するコホート解析（Virtual Population Analysis: VPA）によって行われている（谷津ら、2004）。VPAの詳細については平松（2001）に詳しい。平松（2001）は、VPAの特徴として以下の3点を挙げている。すなわち、1）漁獲圧が強いほど推定値は信頼できる、2）最高齢および最近年の値を変えると、高齢部分および近年の推定値は変化するが、年齢を遡るにつれてその影響は小さくなる、3）自然死亡係数（ $M$ ）を変えると資源の絶対値は変化するが、相

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

\* 中央水産研究所 〒236-8648 神奈川県横浜市金沢区福浦2-12-4 (National Research Institute of Fisheries Science, Fukuura, Kanazawa, Yokohama 236-8648, Japan)

対的なトレンドはあまり変わらない、の3点である。これらの特長は資源管理を行う場合には重要な問題となる。1)の特徴は、管理が実行され漁獲圧が減少すると推定値の信頼性が低くなること、2)は資源管理上重要な、最近年の資源量推定値の不確実性が高いこと、3)は推定される資源量の絶対値の信頼性は高くないことを意味する。各種調査船調査によって得られる資源量指数や、主要漁業の有効努力量によって調整(チューニングと呼ばれる)することによって、最近年の推定値の信頼性の向上に努めているが、絶対値の推定精度を向上させるには不十分である。VPA特有の問題を解決するには、計量魚探や産卵量に基づく資源量推定法といった、VPA以外の手法による資源量推定値との比較が必要である。

またVPAそれ自身が持つ問題ではないが、VPAに基づく資源評価においてあげられる問題に、産卵親魚量(spawning stock biomass; SSB)の推定がある。現在の資源評価ではSSBはVPAによって推定される年齢別資源量と、生物調査から得られる年齢別成熟割合によって求められている。SSBは資源の変動と管理基準を考える際の重要な数値である。マサバの資源管理は基本的に「親魚を保護して加入量を確保する」という加入管理の考えに基づいており、ABC算定の基準はSSBである。再生産関係から資源の状況を判断する場合も、加入量とSSBの関係が用いられる。しかしSSBの推定に必要な成熟割合の精度はかならずしも十分検討されていない。マサバやマイワシの成熟割合は資源水準に応じて変動することは経験的に知られていても、毎年実測し資源評価に用いる段階には至っていない。成熟割合の推定精度の向上は、SSBの推定精度の向上に繋がる重要な検討事項である。

ここではまず産卵量による資源量推定法について述べ、マサバに適用する場合の問題点を整理する。次にVPAからSSBを計算するための成熟割合の推定について述べ、問題点と今後の課題を検討する。

#### 産卵量からの資源量推定法

産卵量からの資源量推定法は、日本で開発された卵数法(渡部,1983)が元となり、諸外国で改良が重ねられてきた。卵数法は、年間の総産卵量から資源量を推定することから、Annual Egg Production Method(AEPM)とも称されている。その後米国で卵数法を改良したDaily Egg Production Method(DEPM)が開発され(Lasker, 1985)、その後も仔魚量に基づく手法などさまざまな状況に応じた改良がなされ、広く用いられている(たとえばHeath(1993)など)。

産卵量から資源量を推定する方法は、簡単にいえば、「卵の数」を、「一尾の雌が産む卵の数」で割ることにより、親の数を推定する方法である。「卵の数」は50粒とする。「一尾の雌が産む卵の数」は10粒であるとする。すると親の数は5尾と推定される、という具合である。AEPMは、「卵の数」として「産卵量調査によって得られる年間産卵量(annual egg production: P)」を推定し、これを「一尾の雌が産む卵の数」である「雌一尾あたり年間総産卵数(annual fecundity: F)」で割ることにより資源量を推定する(Fig. 1, 詳細はParker, 1985; Hunter and Lo, 1993など)。しかし一産卵期に産み出す卵の数が産卵期の前に決まっていな魚種では、雌一尾あたり年間総産卵数は魚種によっては推定が不可能であり、AEPMは適用できない。このような魚種にも対応できるように改良されたのがDEPMである(Fig. 1, Parker, 1985)。DEPMは、調査期間中、産卵は定常的に行われていることを前提とし、「卵の数」として「ある1日の産卵量(daily egg production)」を推定し、「一尾の雌が産む卵の数」を、「ある1日に産卵する雌の割合(産卵頻度, spawning frequency: S)」と、「雌一尾一回あたり産卵数(バッチ産卵数, batch fecundity: F)」として、資源量を推定する(Fig. 1)。すべてのパラメータを1日あたりとしたことと、「一尾の雌が産む卵の数」を、産卵頻度とバッチ産卵数の積で表すことにより、AEPMが適用できない魚種でも、産卵量からの資源量推定を可能にした。

#### 産卵量の推定

産卵量は産卵調査によって推定される。産卵調査は、日本では水産庁研究所・各県水産試験場によって組織的に行われており、その結果は中央水産研究所から公表されている(久保田ら, 1999)。マサバでは、これまで近縁種であるゴマサバの卵との区別ができず「サバ類」としての産卵量しか得られない問題があったが、近年遺伝学的手法と卵径の違いによって、両種の卵を区別することが可能となり、種判別の問題はほぼ解決された。今後魚種別の産卵量の情報が得られるようになれば、マサバおよびゴマサバの産卵生態において、これまで不明であった両種の産卵場や産卵期の違い(または重なり)や、資源の動向そのものに関する新たな知見が得られると期待される。

久保田ら(1999)に従って日本で行われている産卵調査の概要と産卵量の計算方法について簡単に述べる。フィールドでの卵・仔稚魚の採集は改良ノルパックネット(口径45cm円筒円錐型、網目0.335mm、詳細は、森, 1992など)などを用いて行う。水深150mから1m/秒

の鉛直曳網を行い、標本は船上でホルマリン固定し、プランクトン沈殿量を測定、卵・仔稚魚を抜き出し同定・計数・計測を行う。採集時の卵の分布密度を卵の発達ステージごとに求める。ふ化までにかかる日数は水温によって変化することから、採集時の水温から逆算して、産卵からふ化までにかかる日数をもとめる。採集時の卵の分布密度、産卵からふ化までにかかる日数、卵の1日あたりの死亡率を与えることにより、1日あたり単位面積あたり（実際は緯経度30分で区切った升目の面積）の産卵量がわかる。日本における産卵量の計算では、産卵調査のデータを月ごとに集計し、月ごとに1日当たり産卵量の平均値を計算し、これに月の日数をかけて各月の産卵量を計算する。それらを一年分合計すると年間総産卵量となる。

産卵調査から得られる成熟生態に関する情報

産卵量を推定するための調査では、産卵量だけでなく、さまざまな生殖生態に関する知見を得ることができる。マサバのような遊泳力の強い魚をフィールド調査で追跡するには高いコストがかかる上、産卵というイベントは夜間のごく短い時間に起こるため、産卵水

深や産卵水温、あるいは産卵場の広がりなどの情報を得るのは困難である。そのような情報は浮遊する卵を調べたほうが効率がよく、産卵調査の持つ意義は大きい。

産卵期：産卵期は親の成熟状態からも判断されるが、卵の出現時期から判断したほうがより明確である。Fig. 2の折れ線グラフは、産卵量からみた産卵盛期の経年変化を示したものである。卵の分布量のピークは長期的には5月にあったが、1970~1980年の資源が比較的多かった時期にはこれより早く4月にピークがあり、その後は遅く5~6月にピークが見られる年が多い。このような産卵盛期の変化の要因はまだわかっていない。

産卵場：資源量・産卵量ともに多かった1975年と、資源量が減少し、低水準となった1992年における卵の分布を比べると、産卵場の中心はいずれの年も伊豆諸島海域を中心とした黒潮内側域に集中していた。マイワシでは資源高水準期に産卵場が沖合に拡大した(Watanabe, *et al.*, 1997) ことと異なり、マサバは産卵場がかなり限定されていたといえる。

産卵水温・産卵水深・産卵時刻：渡部(1970)は卵の採集調査を通じて、産卵水深・産卵水温に関する知見

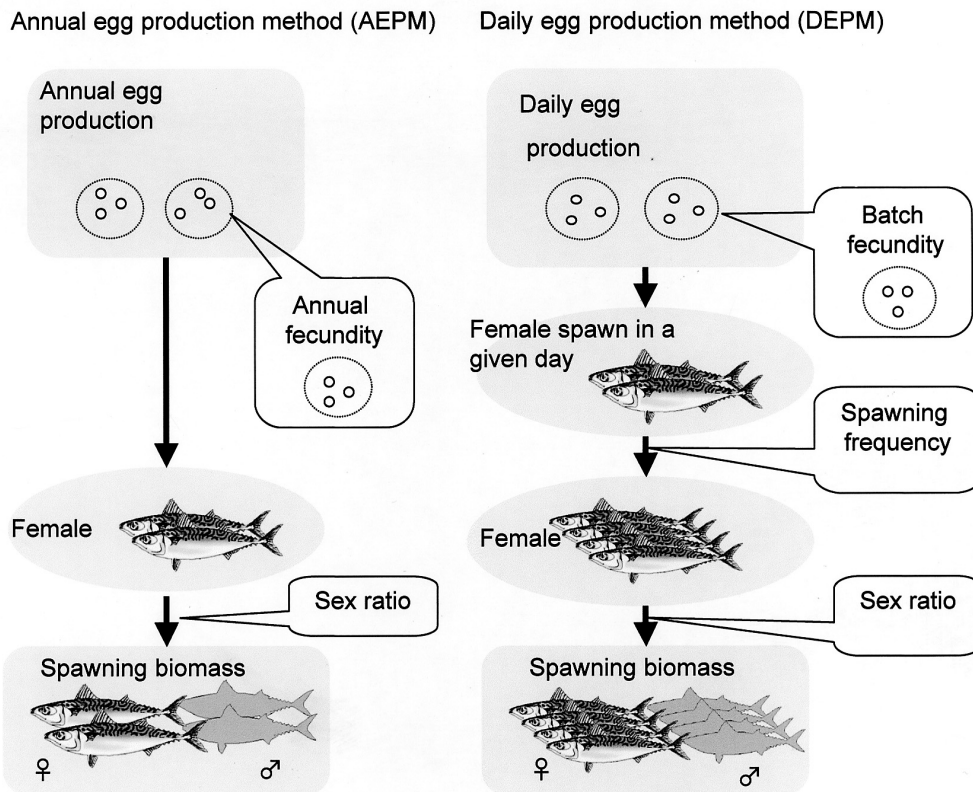


Fig. 1. The processes of annual egg production method and daily egg production method.

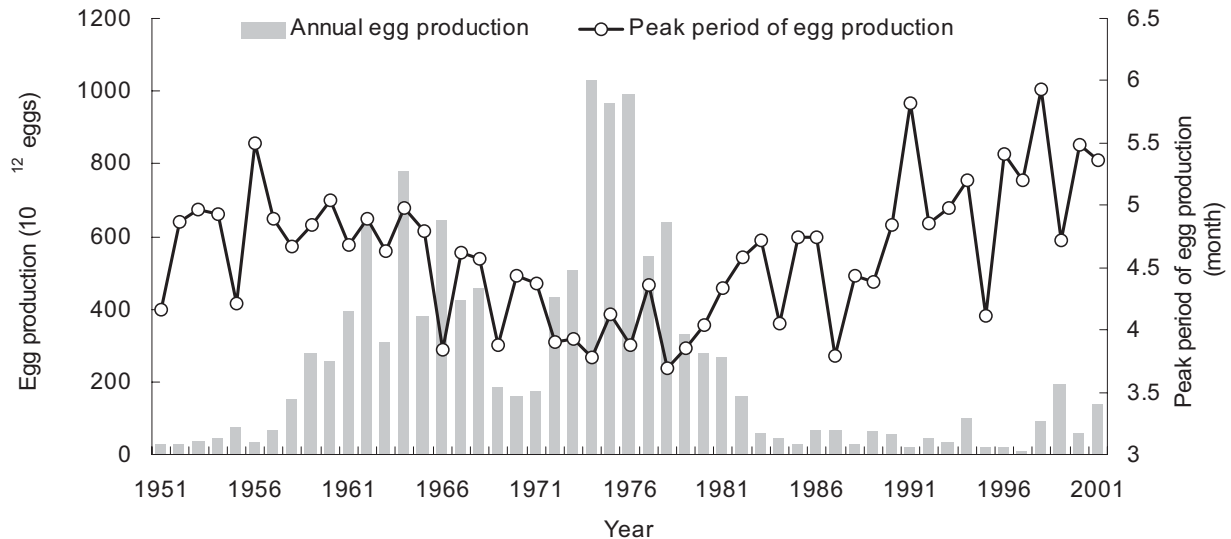


Fig. 2. Annual egg production and peak period of egg production of the Pacific stock of chub mackerel. Peak period of spawning is defined as

$$\frac{1}{p} \sum_{i=1}^{12} p_i m_i$$

where  $p$  is annual egg production,  $p_i$  is monthly egg production of month  $i$ ,  $m_i = 1 \sim 12$  (e.g. January = 1)

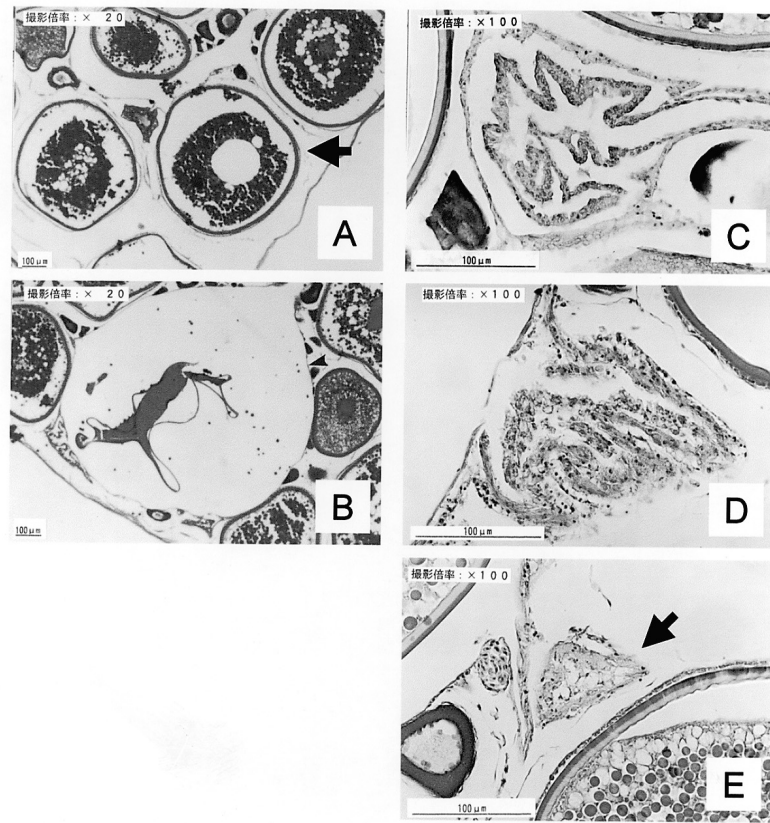
を得ている。産卵水深については、産卵直後と見られるAaaステージやAステージの卵は、他の発達ステージの卵にくらべて水深50m以深に分布する割合が高いことから、マサバの産卵は水深50m以深で行われ、産卵後ただちに表層へ浮上するものと推察している。また卵の分布が観測された点の水温と塩分の関係から、マサバの産卵水温を14~18度と推定している。産卵時刻は卵の採集状況からみて20~24時の前夜半としている。

#### 親魚のパラメータの推定

産卵頻度：産卵頻度は、「ある1日に産卵する雌の、雌全体に対する割合」と定義される。ある1日に産卵した雌を同定するために、組織学的手法が用いられる。Hunter and Macewicz (1985) による産卵頻度の推定方法は以下のとおりである。1) 産卵時刻のわかっている飼育魚の卵巣を用いて排卵後濾胞を組織学的に観察し、排卵後の経過時間とともに排卵後濾胞の形態の変化を把握する、2) 天然魚の卵巣を組織学的に観察し、卵母細胞の発達段階や排卵後濾胞の退行の様子を観察する (Fig. 3)。3) あらかじめ調べられている産卵時刻と卵巣観察結果から、それぞれの個体が産卵する、あるいは産卵した日を特定する。胚胞移動期の卵母細胞をもつ個体 = 採集日の翌日に産卵するであろう個体、吸水卵および排卵直後 (0日) の排卵後濾胞を持つ個体 = 採集日当日に産卵する・あるいは産卵した個体、

排卵後1日が経過した排卵後濾胞を持つ個体 = 採集日前日に産卵した個体、といった具合である。そして最後に、4) ある1日に産卵した雌の数 / 標本中の雌の数から産卵頻度を推定する。

カリフォルニア海流域に生息するマサバについては、排卵後の時間とともに排卵後濾胞の消失過程が飼育実験によって明らかにされているし (Dickerson, *et al.*, 1992)、日本でも飼育実験が進行し、種々のパラメータが得られはじめている (村田ら, 2003; Shiraishi, *et al.*, 2005)。筆者らはDickerson *et al.* (1992) の報告をもとに排卵後濾胞の排卵後経過時間を特定した (渡邊ら, 1999)。しかしDickerson *et al.* (1992) の飼育実験は水温18で行われており、マサバ太平洋系群の産卵場の水温は、産卵期の経過とともに13~23になることを考えると、さまざまな水温帯で排卵後濾胞の退行過程を確認する必要がある。年間総産卵数・バッチ産卵数 バッチ産卵数は「雌一尾が一回の産卵で産み出す卵の数」であり、卵巣中の吸水卵または胚胞移動期の卵母細胞を数える方法 (Dickerson, *et al.*, 1992; Hunter and Leong, 1985)、卵径組成から最も発達した卵群の数を数える方法がある (Hunter and Leong, 1985)。吸水卵はサイズが大きく全体に透明で容易に判別できる。胚胞移動期の卵母細胞は、油球が中央に集まって融合し、これが透けて見えることから判別できる。しかしマサバでは 1) 吸水卵をもつ個体が漁獲されにくい (渡部, 1970)、2) 胚胞移動期の卵母細胞の計数は油球が不鮮明で判別困



**Fig. 3.** Histological sections of oocyte and postovulatory follicles (PO) of chub mackerel. A) migratory nucleus stage oocyte, B) hydrated oocytes, C) age-0 day PO which is in 0-9 h after ovulation, D) age-1 day PO which is in 16-33h after ovulation, E) age-2 day and older PO which is in 40h or more after ovulation.

難なことが多く、推定値は過少である可能性があるといった問題があり、この点がマサバにDEPMを適用する場合の障壁となっている。大西洋サバについては、1産卵期に産み出す可能性のある卵数（Annual potential fecundity）は産卵前に決まっているという報告があり（Walker, *et al.*, 1994）、これをannual potential fecundityとしてAEPMによる資源量推定が可能であるという報告もある（Pried and Watson, 1993）。Pried and Watoron（1993）は、Annual potential fecundity を、十分に卵巣が発達し、かつまだ産卵していない雌の卵巣中における、卵径130  $\mu\text{m}$ 以上の卵母細胞の数と定義している。

#### 適用にあたって

筆者はマサバにDEPMを適用する際にはバッチ産卵数の推定、AEPMを適用する際には年間総産卵数の推定が重要な問題であると考えます。DEPMは、カリフォルニア海流域のカタクチイワシのように分布域の移動が少なくかつ連続的に産卵する魚種の場合、産卵期間

全体を調べなくとも短期間の調査で産卵資源量が推定できるという考え方に基づく。マサバについてDEPMを適用する場合には、産卵親魚のほとんどが産卵場に集合しているときに調査を行わないと、資源量推定値の誤差が大きくなる。渡邊ら（1999）は、少なくとも産卵のピーク時には、ほとんどの産卵親魚が産卵場に集まると仮定して資源量推定を行ったものの、ある程度の移入・移出はいつでもあると考えられ、その度合いに応じて資源量推定値は誤差を含むことになる。これに対し、AEPMはこの点は考慮しなくてよい。日本のマサバは、産卵期前に一産卵期の総産卵数は決定していないと考えられているが、前述の大西洋サバの例のような検討はされていないので、今後検討する余地はあるかもしれない。現在は親魚のパラメータをとるための調査は定型的に行われておらず、産卵量に基づく資源量は推定されていない。最初に述べたように、単独の資源評価手法だけでは資源評価の信頼性は不十分であり、またせつかくの産卵量データも十分活かされていない。検討すべき点は多いが、定型的に親魚のパラメータをとり、産卵量から資源量を推定すること

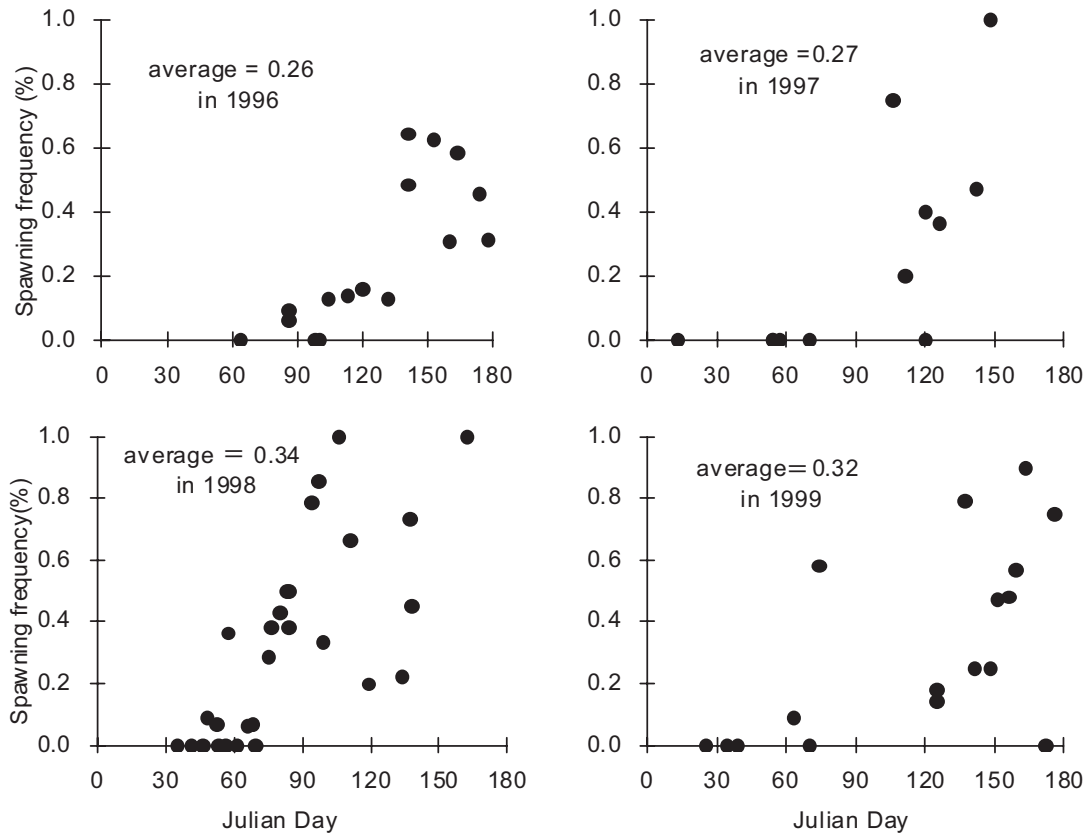


Fig. 4. Seasonal fluctuations of the spawning frequencies of chub mackerel between 1996 and 1999.

を、今後検討する必要がある。

#### 親魚のパラメータからみたマサバの生殖生態

筆者らは1996年から1999年にかけて、マサバを採集し、DEPMに必要な親魚パラメータをとり、資源量推定を試みた(渡邊ら, 1999)。Fig. 4は産卵頻度の産卵期間中における変化を示したものである。マサバの産卵頻度は早いときは2月から上昇し始めて4月には0.5を超える標本がみられるようになる。遅い年では4月に上昇して5～6月に0.5を超える標本がみられるようになり、産卵期末期(6月末～7月)に至っても、産卵頻度は高い値を維持していた。産卵期から北上期にいたる7月に、北上経路にあたる房総半島沿岸で卵の分布が確認されたり、三陸沿岸の定置網に生殖腺指数の高いマサバが入網することはしばしば報告されており、マサバは産卵しながら伊豆諸島海域を離れ北上回遊に移行すると考えられる。各年の平均値は1996年から1999年の4年間で0.26～0.34であり、1993年および1994年について推定された値(それぞれ0.17及び0.26, Yamada *et al.*, 1998)に近い値となった。

1996～1999年のそれぞれの年について、各月ごとに産卵頻度を平均し、その逆数を各月の平均産卵間隔として年間の産卵回数を推定したところ、4年間の産卵回数は14～32回となった。Pried and Watson (1993)は、大西洋サバの雌の体重あたりの annual potential fecundityは1,608 eggs/g、メスの体重あたりバッチ産卵数は41～55.5 eggs/gと推定しており、ここから考えられる雌1尾の1産卵期における産卵可能回数は30～40回となる。マサバのannual potential fecundityとBatch fecundityを推定できれば、Pried and Watson (1993)の方法で産卵回数が推定でき、天然海域の調査で得られた産卵頻度の妥当性を検証できる。バッチ産卵数は、上述のとおり推定に難しい面があった2年分しかデータを取得できなかった(Fig. 5)。雌一尾あたりのバッチ産卵数は、1996年は2万3千～3万6千粒/個体(平均2.9万粒/個体)、1998年は3万～7万2千粒/個体(平均4.1万粒/個体)であり、産卵期の経過とともにバッチ産卵数が減少する傾向がみられた(Fig. 5)。親魚群が産卵期のあいだ産卵場にとどまって繰り返し産卵するとすれば、産卵を繰り返すにつれて一回あたりの産卵数は減少していくと考えら

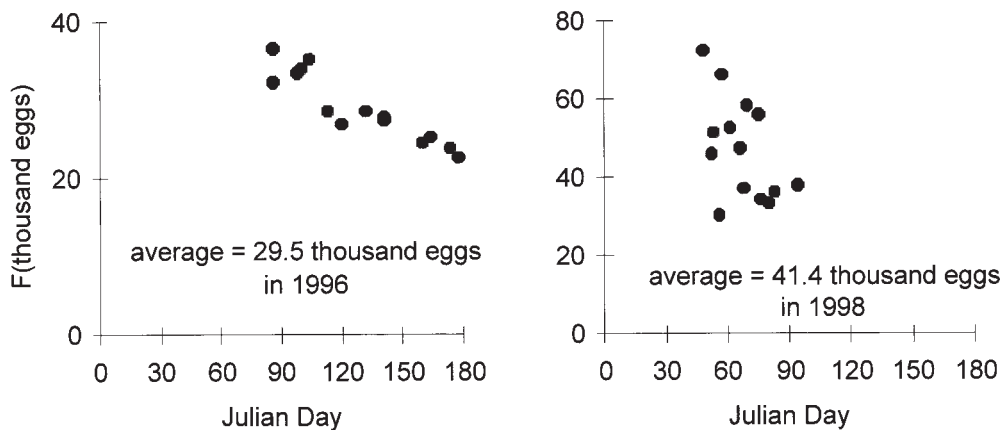


Fig. 5. Seasonal fluctuations of the batch fecundity of chub mackerel in 1996 and 1998.

れる。既往の知見では、1977・1978年について5～6万粒/個体（浅野，1985），1993・1994年について9万粒/個体（Yamada *et al.*, 1998），2005年の飼育実験では1.9～15万粒（Shiraishi *et al.*, 2005）との報告があり、本報告の結果はこれらと比較すると少ない。本報告では吸水卵を持つ個体の採集数が少なく、多くは胚胞移動期の卵母細胞を計数することによってバッチ産卵数を推定しており、このことが既往の知見より過少となった要因のひとつと考えられる。1996年の結果（渡邊ら，1999）では、吸水卵から推定したバッチ産卵数は3個体からしか推定できず、胚胞移動期の卵母細胞から推定したバッチ産卵数との明瞭な違いを示すことはできなかった。胚胞移動期の卵母細胞からバッチ産卵数を推定するには、ホルマリン固定した卵母細胞の透明化など、なんらかの処理が必要である。吸水卵から推定するなら、吸水卵もつ個体を漁獲しやすい漁具を検討する必要がある。それらの検討が十分なされてはじめて、バッチ産卵数の年変動の可能性やその要因の検討が可能になる。

年齢別成熟割合の推定 - VPAからの産卵親魚量推定のために

VPAの結果から産卵親魚量を推定するには、年齢別成熟割合が必要である。現在、マサバをはじめとする資源評価の対象となる魚種は、資源評価調査において定型的調査として標本採集とデータ収集が行われており、個体ごとの体長・体重・性別・生殖腺重量・胃内容物重量などのデータは1970年から整理されているが、成熟状態を把握できるのは生殖腺重量のみである。なお通常生殖腺指数は、生殖腺重量を体重で除した値

（Gonad somatic index, GSI）であるが、マサバでは胃内容重量の影響を除去するため歴史的に、生殖腺重量を体長の3乗で除した値（KG）が用いられている。これ以降生殖腺指数とはKGを意味する。

#### 生殖腺指数による成熟状態の把握

生殖腺指数は、その値だけでは成熟状態を正しく把握できないという問題があるが、データの蓄積は多く有効に活用すべきである。組織学的な観察結果と生殖腺指数をさまざまな点から比較することにより、生殖腺重量の変動や値からでも成熟状況をより正確に把握することが可能と考えられる。筆者らはマサバのKGと産卵頻度の季節変化を比較することにより、KGが上昇しピークに達したところ、産卵頻度が増加し始めることを明らかにした（Fig. 6, 加藤と渡邊，2003）。また組織学的観察結果とKG値を比較し、3年間を通じて約80%以上の個体が卵黄蓄積した卵母細胞をもつKGの値（=3）を成熟・未成熟を判断する基準とし（Fig. 7），これを用いて年齢別の成熟割合の経年変化を過去に遡って推定した（Fig. 8）。最近3年間のデータのみで基準を定めてよいか、卵黄蓄積した卵母細胞をもてば産卵能力がある（成熟している）としてよいか、KGと卵巣の発達状況の対応が年によってどのくらい変化するかなど今後さらに検討してゆく必要がある。

#### その他の成熟状況の把握のための手法

現在の日本では、成熟に関する情報としては生殖腺重量と性別のみが定型的な調査によって得られている

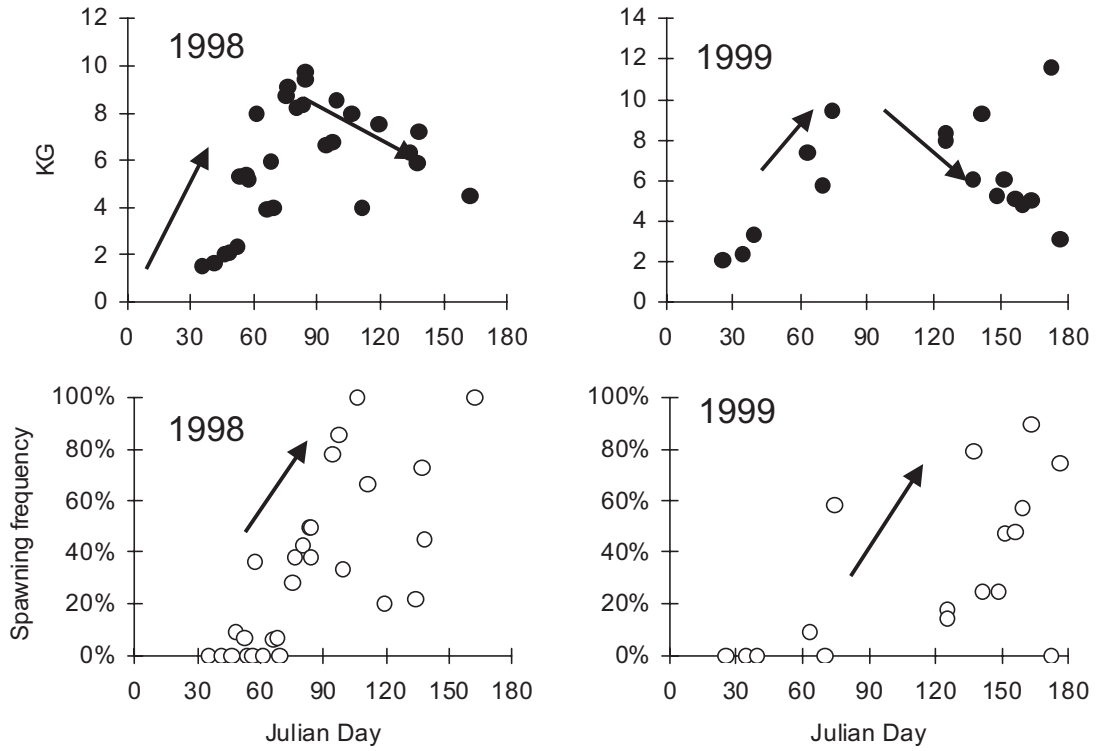


Fig. 6. Seasonal fluctuations KG and spawning frequencies in 1998 and 1999.

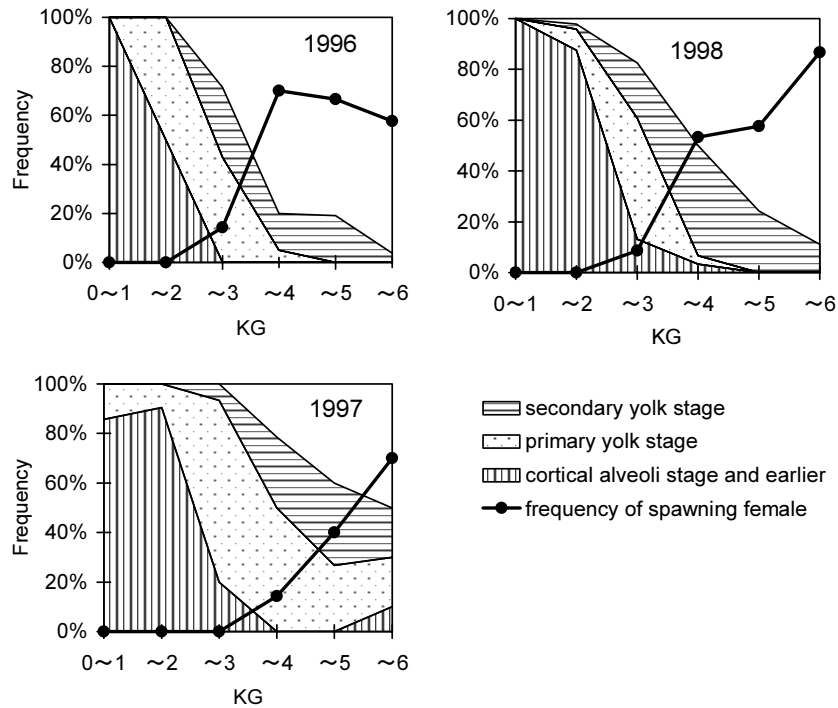


Fig. 7. Frequencies of female chub mackerel at the cortical alveoli stage and earlier, primary yolk stage, secondary yolk stage, tertiary yolk stage or later in the KG class between 1996 and 1998. Closed circles show the frequencies of spawning females in the KG class. According to these results, the female which KG value was 3 or more was considered to be mature.



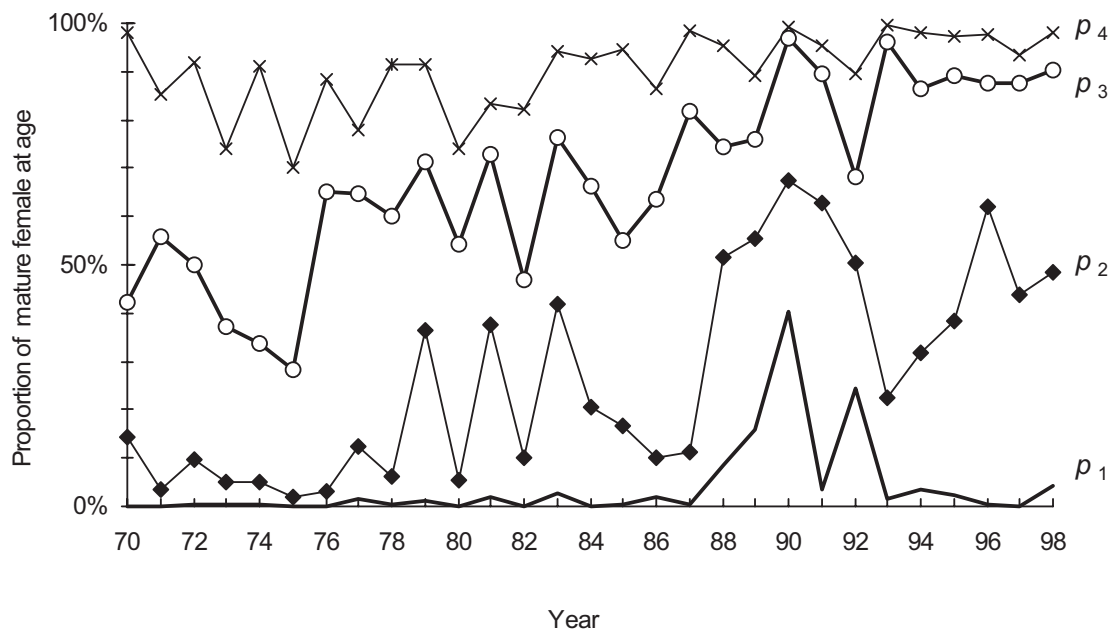


Fig. 8. Interannual changes of the proportion of mature female at ages 1-4 of chub mackerel between 1970 and 1998.

が、このほかに諸外国で行われている調査手法として、魚体を測定する際に卵巣や精巣の外観から成熟状況を判断する方法 (Pollard, 1972; West, 1990), ホルマリン等で固定した卵巣を直接顕微鏡で観察し成熟状況を把握する方法 (West, 1990; Lowerre-Barbieri, 1996) があり、それぞれ成熟段階に応じた観察基準が確立されている。これらの手法は問題点も指摘されており日本ではほとんど行われていないが、組織切片を作成することに比べれば手間もコストも少ないことから大量に情報が入手でき、組織学的観察との比較を通じて精度を上げていくことが可能ではないかと考えられる。DEPMを目指すのであれば組織学的手法が最適であるが、成熟状況を把握し成熟割合の精度を高め、成熟生態の経年的な変化を把握するなどの目的であれば、これらの手法を定型的な調査に組み込むことも検討してもよいのではないだろうか。

#### 資源管理の観点から

Yatsu *et al.* (2005) は、マサバの加入量と親魚量の比率 (Recruit/Spawning: RPS) の年変動を、マサバRPSの変動をマサバの親魚量、マイワシ資源量、そして冬季伊豆諸島海域の表面水温によって説明し、海洋環境が年々のRPSに影響することを指摘した。マ

サバに限らず、マイワシやカタクチイワシなどの資源量変動は、地球規模の気候変動 (レジームシフト) によって引き起こされるという説は、現在世界的に支持されている。この説を引いてしばしば「資源管理は不可能であり不要である」という議論も生じる。しかし環境要因がどの段階でどのようなメカニズムで加入量を決定付けるかは、多くの魚種でまだわかっていない。それを明らかにするには生活史のあらゆる段階について検討する必要がある。親魚から卵にいたる再生産の過程がどのように環境の影響を受け、さらに加入量変動にどのような影響を及ぼすかについても、わかっていないことが多い。近年、大西洋タラなどでは、産卵親魚資源全体の産卵の能力 (平均的な産卵回数や産卵数、受精率、ふ化率、ふ化後の仔魚の生残率など) は、親魚資源の年齢構成によって異なることが指摘されており (Trippel *et al.*, 1997), このような点を考慮しないと、管理基準は楽観的になるという指摘もある (Murawski, 2001)。もちろん大西洋タラの研究例がそのまま日本産浮魚類にも共通するというわけではなく、むしろ魚種ごとにそれぞれ魚種特有の生殖生態があり、生殖生態研究の成果をそれぞれの管理基準に取り込んでゆくことが重要である。より安全で適切な資源管理を実行するために、生殖生態に関する研究の果たす役割は大きいと考える。

## 文 献

- 浅野謙治, 1985: マサバ太平洋系群の性成熟, 産卵数および再生産関係に関する資源学的研究. 学位論文, 東京大学, 東京, pp.1-334.
- Dickerson T. L., Macewicz B. J., and Hunter J. R., 1992: Spawning frequency and batch fecundity of chub mackerel, *Scomber japonicus*, during 1985. *Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep.*, **33**, 130-140.
- Heath M. A., 1993: Evaluation and review of the larval surveys in the North Sea and adjacent waters. *Bull. Mar. Sci.*, **53**, 795-817.
- 平松一彦, 2001: 3.VPA( Virtual Population Analysis ) 平成12年度資源評価体制確立推進事業報告書 - 資源解析手法教科書 -, 日本水産資源保護協会, 東京, 104-128.
- Hunter J. R. and Lo C. H., 1993: Ichthyoplankton methods for estimating fish biomass introduction and terminology. *Bull. Mar. Sci.*, **53**, 723-727.
- Hunter J. R., Lo N. C. H., and Leong R. J. H., 1985: Batch fecundity in multiple spawning fishes. In: An Egg Production Method for Estimating Spawning Biomass of Pelagic Fishes : Application to the Northern Anchovy, *Engraulis mordax* (ed. R. Lasker ), *NOAA Tech. Rep. NMFS.*, **36**, 67-78.
- Hunter J. R. and Macewicz B. J., 1985: Measurement of spawning frequency in multiple spawning fishes. In : An Egg Production Method for Estimating Spawning Biomass of Pelagic Fishes : Application to the Northern Anchovy, *Engraulis mordax* (ed. R. Lasker ), *NOAA Tech. Rep. NMFS.*, **36**, 79-94.
- 加藤充宏, 渡邊千夏子, 2002: マサバとゴマサバの成熟・産卵および食性. 月間海洋, **382**, 266-272.
- 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, 1999: 日本周辺海域における主要浮魚類の卵仔魚分布 (1994~1996), 水産庁研究所資源管理研究報告シリーズA - 1, 水産庁中央水産研究所, 横浜.
- Lasker R., 1985: Introduction: an egg production method for anchovy biomass assessment. In : An Egg Production Method for Estimating Spawning Biomass of Pelagic Fishes : Application to the Northern Anchovy, *Engraulis mordax* (ed. R. Lasker ), *NOAA Tech. Rep. NMFS.*, **36**, 1-3.
- Lowerre-Barbieri S. K., Chittenden M. E. Jr., and Barbieri L. R., 1996: The multiple spawning pattern of weakfish in the Chesapeake Bay and middle Atlantic bight. *J. Fish. Biol.*, **48**, 1139-1163.
- 森慶一郎, 1992: 小口径ネットによる鉛直曳網. 浮魚類卵・稚仔魚採集マニュアル, 中央水産研究所, 東京, 8-14.
- 村田 修, 岡 佑介, 山本眞司, 米倉久司, 家戸敬太郎, 宮下盛, 熊井英水, 2003: 人工孵化マサバの成長, 成熟および産卵. 日本水産学会大会講演要旨集, 2003, 152.
- Murawski S. A., Rago P. J., and Trippel E. A., 2001: Impacts of demographic variation in spawning characteristics on reference points for fishery management. *ICES J. Mar. Sci.*, **58**, 1002-1014.
- Parker K., 1985: Biomass model for the egg production method. In: An Egg Production Method for Estimating Spawning Biomass of Pelagic Fishes: Application to the Northern Anchovy, *Engraulis mordax* (ed R.Lasker ), *NOAA Tech. Rep. NMFS.*, **36**, 5-6.
- Pollard D. A., 1972: The biology of a landlocked form of the normally catadromous salmoniform fish *Galaxias maculatus* (JENYNS) 3. Structure of the gonads, *Aust. J. Mar. Freshwater. Res.*, **23**, 17-38.
- Priede I.G. and Watson J. J., 1993: An evaluation of the daily egg-production method for estimating biomass of Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*) *Bull. Mar. Sci.*, **53**, 891-911.
- Shiraishi T., Ohta K., Yamaguchi A., Yoda M., Chuda H., and Matsutama M., 2005: Reproductive parameters of the chub mackerel *Scomber japonicus* estimated from human chorionic gonadotropin-induced final oocyte maturation and ovulation in captivity. *Fish. Sci.*, **71**, 531-543.
- Trippel E. A., Kjesbu O. S., and Solemial P., 1997: Effects of adult age and size structure on reproduction output in marine fishes. In: Chamber, R. C., Trippel, E. A. (Eds.), *Early Life History and Recruitment in Fish Populations*. Chapman & Haul, London., p.31-62.
- Walker M.G. and Witthames P. R. Bautista de los Santos, I., 1994: Is the fecundity of the Atlantic mackerel (*Somber scombrus scomridae*) determinate. *SARSIA.*, **79**, 13-26.

- 渡部泰輔, 1970: マサバの発育初期における形態・生態ならびに資源変動に関する研究. 東海水研報, **62**, 1-283.
- 渡部泰輔, 1983: 卵数法. 「水産資源の解析と評価(水産学シリーズ)」(石井丈夫編), 恒星社厚生閣, 東京, p.9-29.
- 渡邊千夏子, 花井孝之, 目黒清美, 荻野隆太, 木村 量, 1999: 1日当たり総産卵量によるマサバの資源量推定. 日水誌. **65**, 695-702.
- Watanabe Y, Zenitani H., and Kimura R., 1997: Variations in spawning ground area and egg density of the Japanese sardine in the Pacific coastal and oceanic waters. *Fish. Oceanogr.*, **6**, 35-40.
- West G., 1990: Methods of assessing ovarian development in fishes: a review. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.*, **41**, 199-222.
- Yamada T., Aoki I., and Mitani I., 1998: Spawning time, spawning frequency and fecundity of Japanese chub mackerel, *Scomber japonicus* in the waters around the Izu Islands, Japan. *Fish. Res.*, **38**, 83-89.
- Yatsu A., Watanabe T., Ishida M., Sugisaki H., and Jacobson L. D., 2005: Environmental effects on recruitment and productivity of Japanese sardine *Sardinops melanostictus* and chub mackerel *Scomber japonicus* with recommendations for management. *Fish. Oceanogr.*, **14**, 263-278.
- 谷津明彦, 渡邊千夏子, 西田 宏, 三谷卓美, 2004: 平成16年マサバ太平洋系群の資源評価. 我が国周辺水域の漁業資源評価(魚種別系群別資源評価・TAC種)第一分冊, 水産庁, 98-143.