

マアジとマイワシの繁殖生態

西田 宏*

Reproductive Biology of Japanese Jack Mackerel *Trachurus japonicus* and Japanese Sardine *Sardinops melanostictus*

Hiroshi NISHIDA*

Abstract A comprehensive review of the spawning regions and season in the waters around Japan, the maturity cycle and the female batch fecundity of Japanese jack mackerel and Japanese sardine was made in this paper. The maturity rate and the fluctuation for young cohorts (especially 1 year old fish) of these species are one of the most important factors especially for the estimation of the spawning stock biomass.

Key words: jack mackerel, Japanese sardine, batch fecundity, maturity rate, spawning stock biomass

親魚の成熟特性など繁殖生態について解析を進めることは、産卵量や親魚量の豊度のみならず、産卵海域からの加入過程を明らかにする上で重要である。本稿では、小型浮魚類のマアジ *Trachurus japonicus* とマイワシ *Sardinops melanostictus* について、その繁殖生態に関する既往知見を整理し、近年の個体群動態との関係から、どのような研究展開が急がれるかを論議する。

・マアジの繁殖特性

1) 産卵海域・産卵期

マアジは、未成魚期には東シナ海を中心にして日本海並びに本州太平洋側の沖合域まで広域的な分布を示すが、成魚期には陸棚上の底層や沿岸域が主分布域となり、かつ定着性が強くなる。主産卵場は東シナ海にあるが、日本海側や太平洋側の沿岸域にも小規模な産卵群が存在し、資源量水準の低い年代においては後者の割合が高くなる(古藤, 1990)。東シナ海におけるマアジの産卵盛期は南部(東経125度以西, 北緯30度以南の海域)で1~2月, 中部(北緯30度周辺の海深200mを

基準とした陸棚内縁部)で2~3月, 九州西岸域から対馬周辺においては4~5月であると推定されている(掘田と中嶋, 1971)。産卵海域の中心は季節の進行とともに北東方向に移動し, 東シナ海全体としては冬季から春季の長期間にわたり産卵が継続すると考えられる。一方, 太平洋側とそれに付随する内海域においては, 豊後水道(薬師寺, 2001), 宿毛湾(阪地, 2001), 紀伊水道の外域(阪本ら, 1986), 伊豆近海(澤田, 1974), 相模湾(木幡, 1972)などで, また日本海側の中東部においては若狭湾(畔田と落合, 1963)や新潟沿岸(西田と長谷川, 1994)などで, 成熟魚に関する報告が見られることから, 少なくともこれらの海域でも地域的な産卵場が形成されると考えられる。これらの報告で推定された産卵期は, 東部に向かうほど遅くなり, また1~2ヵ月程度の短期間になるが, 日本周辺海域での全体としては11~8月と半年以上にわたる。

東シナ海の産卵海域は, 成魚の分布(掘田と中嶋, 1971)に基づけば, 200m等深線を基準とした陸棚の内側域全体に及ぶ広域と考えられる。孵化後間もない体長3mm未満の仔魚の分布(佐々と小西, 2002)から見ても, 主産卵海域は海深が100~200mに対応する範

囲であり、陸棚の外側での産卵量は少ないものと推察される。一方、釣り・定置網などの沿岸域の漁法によっても成熟魚が得られることは知られており、これらのことを考え合わせると、主産卵海域は陸棚上の海底付近ではあるが、それはごく沿岸域も含む広範囲に及ぶと考えられる。

なお、産卵海域の表面水温は、成熟親魚の分布から15~25の広範囲に対応する(依田と佐々, 2004)が、産卵期に対応する水温に関する多くの知見から総合的に考えると、19~21が中心になると考えられる。これは、落合ら(1984)における孵化の適温18~24とも整合する。産卵時刻については沿岸漁具による漁獲時刻と、吸水卵径との比較から、夜明け前と考えられている(西田, 未発表)。

2) 成熟年齢・体長

既往の知見においては、成熟雌魚は2歳から産卵を行うものが現れ、3歳で全ての個体が産卵を行うとされる(横田と三田, 1958; 真子と濱田, 1984など)。一方で、1歳から産卵に関与する可能性も指摘されてきた(川崎, 1959; 深滝と渡辺, 1960など)。特に飼育実験下では、1歳で尾叉長19cmに達し、熟卵を持つことが示された(落合ら, 1983)。これらの知見を考え合わせると、成熟は年齢よりも体サイズに依存すると考える方が妥当である。

東シナ海における最小成熟体長は、漁獲量の多い1960年代前半を含む1955~1969年の標本・生殖腺重量データを用いた解析(掘田と中嶋, 1971)により、産卵期による違いがあるものの、尾叉長18.5~20.7cmであると報告された。また、漁獲量の増大期にあたる1983~1997年の標本・データを用いた報告(大下, 2000)では、尾叉長19cmから産卵すると推定されている。

なお、体長と成熟率との関係についても、資源量水準により変動すると考えられる。例えば1966年以降の漁獲量水準が減少した年代においては、尾叉長22~23cmモード群における成熟率が上昇した(掘田と中嶋, 1971)。なお、2000~2001年の標本観察結果では、尾叉長23cm以上の成熟雌魚が産卵すると推定されている。体長別成熟率は、経年的にモニタリングすることが必要である。

3) 卵巣の発達とバッチ産卵数

卵巣内で発達中の卵の卵径は、大下(2000)に核移動期以降のデータを補完すると、周辺仁期には概ね0.2mm未満であったものが、卵黄蓄積期には0.2~0.5mm(0.4mm台にモードを持つ組成)に、さらに核移動期以降0.65~0.72mmに発達し、産卵直前と考えられる吸

水卵では0.79~0.89mmになると推定された。なお、吸水卵の卵径は1960年代を中心とした標本によって0.8~1.0mmと報告されている(掘田と中嶋, 1971)が、卵径の年代間での変動を明らかにするのに十分な情報は無い。

成熟度の簡便な判定方法として用いられる成熟度指数(GSI: 生殖腺重量/体重×100)と卵径組成との関係を見ると、GSI=3以上の個体において核移動~吸水卵期に対応する卵径組成が出現することから、成熟もしくは産卵中の個体の指標になると考えられる(依田ら, 2004)。

成熟雌魚は、1個体あたり50~500千粒を孕卵し、卵巣内卵径組成において複数のモード組成が見られることから、1産卵期に少なくとも2回以上は産卵すると推定された(三淵ら, 1958; 山田, 1958)。このように多回産卵する魚種では、年間の産卵数が産卵期前には確定していないので、成熟雌魚における産卵特性値としては、1回当りの産卵数(バッチ産卵数)が用いられる。バッチ産卵数は卵巣内において吸水卵を計数することにより得られる。東シナ海における年齢別バッチ産卵数を求め、3年間、2年級群間で比較した結果、平均的なバッチ産卵数は、尾叉長22~26cmの2歳魚で約21千粒、23~29cmの3歳魚で約31千粒との推定結果が得られた。また、年間、年級群間での大きな差はなかった(中央水産研究所「研究のうごき: 産卵場環境とマアジ雌魚群の成熟特性の関係」)。

4) 産卵頻度と年周期

産卵頻度を正確に把握するには、飼育実験や内分泌学的アプローチが望ましいが、産卵群における産卵直前もしくは直後個体の出現頻度により、概ねの産卵頻度を推定することができる。吸水卵もしくは排卵後濾胞が観察されれば、産卵直前もしくは直後であると判定できるので、これにより九州近海、相模湾、日本海側沿岸域(鳥取・新潟)の産卵頻度を求めた。2年間におけるそれぞれの海域での産卵頻度(中央水産研究所「研究のうごき: 産卵場環境とマアジ雌魚群の成熟特性の関係」)によると、九州近海においては産卵期を通じて産卵頻度が高く維持されることが明らかだった。このことは、1個体が活発に産卵することと、成熟個体が入り替わることにより産卵群が維持されることの両方の可能性によるが、九州近海においては継続的に産卵群が形成されることがうかがえる。

年齢や体長別で得られた親魚資源量から、産卵量水準を推定するためには、1回当たりの産卵数と産卵頻度に加えて、産卵回数を解明することが必要であるが、現時点では、同一個体が1産卵期に何回産卵するか

についての確かな知見は得られていない。産卵回数については、今後の生理学的な知見の蓄積が必要である。

マアジでは、年齢と成長の関係を得るために、鱗もしくは耳石（扁平石）による年齢査定が行われてきた。特に耳石については縁辺成長率の解析から、年輪と考えられる不透明帯の形成時期は産卵期に対応することが示されており（今岡，1967など）、これに基づけば、産卵期の間隔を推定することができる。平均的な成長曲線に適合させた結果（西田と長谷川，1994）と、個々の報告（中嶋，1982；阪本ら，1986；西田と長谷川，1994など）での年輪径の分散から推定する限り、産卵に適した季節が長い海域においても、平均的には産卵期は1年程度の周期性があるものと考えられる。

・マイワシの繁殖特性

1) 産卵海域・産卵期

マイワシは長期的に大きな資源量変動を繰り返してきたことは良く知られている。1900年前後と1950年前後の資源低水準期には、日本海側では能登、九州西岸、太平洋側では足摺、房総海域を中心とする比較的小規模の集団を形成していた（石垣ら，1959）が、1970～1980年代の資源増加期にはこれらの産卵海域は拡大し統合されていった（和田，1988；黒田，1991）。1976年には薩南海域の産卵場が形成されはじめ、その後南部沖合域に拡大した（小西，1983）。1988年以降資源の急減に伴って、産卵海域も急速に縮小し、1992年には薩南産卵場は消滅し、最近においては、太平洋側では土佐湾を中心とする小規模なものになっている（中央水産研究所等，中央ブロック卵稚仔・プランクトン協議会）。また、日本海側での産卵量水準も極めて低水準にある（水産総合研究センター「東シナ海・日本海のいわし類の現在：マイワシの産卵調査の概要と日本海における卵豊度の推移」）。

太平洋側のマイワシは2～4月を中心に産卵するが（黒田，1991）、海域によっては秋季から産卵を開始する。関東近海で資源低水準～増加期にあたる1960～1977年には、大羽イワシ（成魚）は総じて2～4月に産卵した（平本，1981）が、資源減少期に入ってから9月に産卵する群が出現した（工藤，1991）。土佐湾では資源水準に関係なく産卵期が10月から4月の長期に及ぶ（小西，1980）。なお、マイワシ個体の産卵期間は、天然魚（石垣ら，1959）では卵巣の組織学的解析により1ヵ月程度と推定されており、飼育魚（松原，1991など）では3ヵ月であった。

マイワシが産卵に関与するには、生殖腺が成熟するほぼ半年前に脂肪量が最高になっていることが必須条

件であると考えられている（平本，1981）。これは、大回遊する群の産卵期の中心が2～3月であることを良く説明するが、夏季も顕著な北上回遊を示さない滞留群（工藤，1991）についても、肥満度が早い段階で最高になるために10～11月の早期産卵が可能になっている、と説明できる。土佐湾で1989～1997年11月に採集された雌魚の肥満度と生殖腺指数の関係（森本，1998）から、肥満度10以上の栄養状態の良い個体のみ早期産卵を行うことが示唆されている。

産卵海域の水温は、生息水温（中井，1962）等多くの知見から、15～17℃を中心とする水温帯にあると推察される。なお、飼育実験では18℃では発達の進んだ卵の退行が起こったとされている（松原，1991）ことから、高水温での産卵は加入にとって不適であると推察される。

産卵開始時刻については、天然魚の卵母細胞に関する組織学的解析（森本，1993）から21時と推定されており、これは伊東ら（1961）、松浦（1992）、内分泌学的解析（白石，1992）などの結果とも整合している。

2) 成熟年齢・体長

資源の低水準期にあたる1950年代においては、九州西岸では産卵親魚群の大部分は2～3歳であり、日本海北部でも2～4歳が主体であったが、足摺などの海域では1歳でほとんどが産卵した（石垣ら，1959）。房総海域では、資源の増加期にあたる1970年代においても1歳で産卵する個体があったが（平本，1981）、1980年代においては3歳以上で初めて成熟した（平本，1985）。資源が減少した1994年3～4月に伊豆近海で吸水卵を持つ1歳魚が採集され、再び1歳魚が産卵に関与することが示された（青木，1998）。土佐湾でも1994年3月以降吸水卵を持つ1歳魚が採集され始めた（森本，1998）。このように、初回産卵年齢は資源量により変動する。体長については、房総海域の11～12月生まれ早期発生群は、翌年の夏秋季には肥満度が13～14と最高に達し、体長も14～15cmとなり、その冬にかけて成熟し産卵することが可能になる（平本，1985）。一方、3～4月の後期発生群は、夏秋季には肥満度が8～10と低く、翌年の3～4月には体長15cmには達しているものの生殖腺が未熟のまま産卵しない（平本，1985）。このように、体長と成熟の関係は、発生・成長時期の違いにより異なるといえる。

3) 卵巣の発達とバッチ産卵数

マイワシにおいて、成熟時の卵巣重量は地理的に異なる（石垣，1959；中井と宇佐美，1962；伊東，1961）。マイワシの生殖腺の発達には、夏季を中心とした索餌期の栄養蓄積が重要な要因であることから（靄田，1987）、

北方の餌料環境の良い海域を索餌海域として利用する群ほど、成熟に貢献する栄養蓄積が大きい（森本，1998）ことが考えられる。

バッチ産卵数については、1940・50年代における約37000粒との報告（中井，1962；宇佐美，1964）がある。1991年の薩南海域においては、平均33900粒（青木，1998）であった。また、1992年2月の土佐湾沿岸域（小回遊型）と紀伊水道沖合の黒潮フロント域（大回遊型）で採取された個体で、前者は平均1.9万粒、後者は4.0万粒であり、後者が多かった（Morimoto，1998）。平均肥満度も後者が高いことから、生活型の違いによる夏季の栄養蓄積が、バッチ産卵数に影響していると考えられる（森本，1998）。なお、1歳魚と見られる16cm台の個体では、バッチ産卵数は8400～22400粒との結果も得られている（青木，1998）。

マアジ・マイワシの繁殖生態研究で解明が急がれる課題

マアジとマイワシの太平洋側の資源を題材に検討する。マアジの年齢別漁獲尾数の計算結果（石田ら，2005）によると、年間における総漁獲尾数の4割以上が0歳魚であり、加入がよい年には7割以上にもなる。高齢魚は定着性・底棲性が強くなり、多獲性の漁業での対象にならないことから、ここでは過小評価になるが、年々の0歳魚の加入量変動が資源変動に与える影響は大きいことは容易に推察される。東シナ海から日本沿岸へのマアジの加入機構については現在、水産研究所主体での共同研究が進んでおり、加入と関係づけられる黒潮と対馬海流による輸送環境を再現できる高水準のモデルが開発されつつある。このモデルによると、沿岸に加入することなく、黒潮により速やかに黒潮続流域に流去する群がかなり多いことが推察される。しかしながら、マイワシやカタクチワシと異なり、日本周辺沿岸域への加入という点では効率的ではない。見方を変えると、漁場とも重なる陸棚域への加入に成功した群が次世代の再生産に関与していくことにより資源が維持されていると考えられる。マアジでは、バッチ産卵数のような成熟特性値については、年や年級群による変動は大きくないが、成長の変化により、同じ年齢群であっても産卵へ関与する割合が変化することが推察される。満2歳以上の個体ではほぼ確実に産卵に関与すると推察される一方、満1歳での成熟率は年代などにより変化する。資源量の大きい1歳段階における成熟率（産卵への貢献度）は、産卵親魚量の量的評価に直接的に大きい影響を与える。このことから、特に満1歳に至るまでの成長と成熟過程について追究

することが必要と考えられる。マアジは飼育実験の例も多く、内分泌学的アプローチも比較的容易と考えられることから、今後、成熟機構に関する一層の研究進展が望まれる。

マイワシについては、現在の資源量が約10万トン台と全盛期の1%未満になっており（西田，2005）、すでに房総以北海域への顕著な北上・南下回遊は見られなくなっている。一方で、小回遊型の産卵海域として土佐湾産卵場は存続しており、このような海域での産卵親魚の分布様式と、そこからの加入過程の調査を継続することが、資源増加期における関東近海での産卵場形成へとつながり、さらには資源回復の兆候を見逃さないことになると考える。マイワシでは小回遊型、大回遊型での生活型による栄養蓄積と成熟特性値の違いが大きいと考えられる。また、資源量水準に対応した成長や索餌生態の変化により、同じ年齢群であっても、産卵へ関与する割合が変化することが推察される。小回遊型のような定着性の個体群の動態を評価するには、成長履歴の解明を進めるアプローチも有力であるが、同時に栄養蓄積から産卵に移行するタイミングについて追究しておくことが必要と考える。また、マアジと同様に、年齢別成熟率は年代などにより変化する。産卵親魚量と、そこから生み出される新規加入量の関係は、個体群動態を検討する上で基本的な検討対象であるが、年齢別成熟率の変動は、産卵親魚量の量的評価に直接的に大きい影響を与える。このことから、年齢別成熟率について生活型にかかわらず追究することが望ましい。日本におけるマイワシを対象とした研究の歴史は長く、また継続的に実施されてきたことにより、資源変動のメカニズムがかなり解明されてきた。資源低水準期の今日においてもその継続性を絶つことのないよう研究を進めることは、年代間で生物学的特性の比較を行う研究のために責務と考える。

文 献

- 青木一郎，1998：産卵，マイワシの資源変動と生態変化（渡邊良朗・和田時夫編），恒星社厚生閣，pp54-64．
- 畔田正格，落合 明，1963：若狭湾産マアジの系群に関する研究．日水誌，28，967-978．
- 深滝 弘，渡辺和春，1960：対馬暖流域におけるマアジ資源の加入過程に関する考察．日水研年報，6，87-103．
- 平本紀久雄，1981：マイワシ太平洋系群の房総およびその周辺海域における発育と生活に関する研究．千葉水試研報，39，1-127．

- 堀田秀之, 中嶋純子, 1971: 西日本海域におけるマアジの群構造に関する研究 - 成熟状況からの解析. 西水研報, **39**, 33-50.
- 今岡要二郎, 1967: アジの生態学的研究. マアジの耳石に現れる輪紋の形成期について. 島根水試研報, **2**, 1-9.
- 石田 実, 三谷卓美, 阪地英男, 2005: 平成16年マアジ太平洋系群の資源評価, 我が国周辺水域の漁業資源評価(1), 水産庁増殖推進部ほか, pp55-71.
- 石田力一, 鶴川正雄, 有田節子: マイワシ *Sardinops melanosticta* (Teminck et Schlegel) の産卵回数について(予報). 北水研報, **20**, 139-144.
- 石垣富夫, 加賀吉栄, 北野 裕, 佐野, 1959: 沿岸重要資源共同研究経過報告, 北水研, 187pp.
- 伊東祐方, 1961: 日本近海におけるマイワシの資源生物学的研究. 日水研報, **9**, 1-227.
- 伊東祐方, 渡辺和春, 西村三郎, 笠原昭吾, 1954: 能登海域におけるマイワシの産卵時刻と夜間行動. 日水研年報, **1**, 1-16.
- 川崎 健, 1959: マアジの生態についての基礎的研究. 東北水研報, **13**, 95-107.
- 木幡 孜, 1972: 相模湾産重要魚種の生態 - マアジ *Trachurus japonicus* (TEMMINCK et SCHLEGEL) について. 神奈川水試相模湾支所報告(昭和46年度事業報告), **12**, 55-72.
- 古藤 力, 1990: 太平洋岸におけるマアジ資源の動向について. 水産海洋研究会報, **54**, 47-49.
- 小西芳信, 1980: 土佐湾におけるマイワシ卵・仔稚魚の補給経路. 水産海洋研究, **36**, 47-50.
- 工藤孝浩, 1991: 相模湾におけるマイワシ秋シラスの急増について. 神奈川水試研報, **12**, 73-82.
- 黒田一紀, 1991: マイワシの初期生活期を中心とする再生産過程に関する研究. 中央水研報, **3**, 25-278.
- 真子 渺, 濱田律子, 1984: 東シナ海および日本海南西域におけるマアジ資源 漁獲量変動と生物学的特性値. 資源調査研究連絡, **75**, 1-21.
- 松原孝博, 1991: マイワシ, 海産魚の産卵・成熟リズム(廣瀬慶二編), 恒星社厚生閣, pp113-124.
- 松浦修平, 1992: マイワシの生殖周期, 浮魚資源 - その再生産と加入機構, 月刊海洋, **24**, 289-294.
- 三淵英弘, 岸本源治, 塩見元晶, 相川広秋, 1958: マアジの年令, 成長および成熟. 対馬暖流塊開発調査報告, **4**, 133-144.
- 森本晴之, 1993: 土佐湾のマイワシにおける卵母細胞の吸水完了および産卵開始時刻. 日水誌, **59**, 7-14.
- Morimoto H, 1998: Relationship between batch fecundity and egg size in Japanese sardine *Sardinops melanostictus* in Tosa bay and Kii channel, southwestern Japan from 1990-1993. *Fish. Sci.*, **64**, 220-227.
- 森本晴之, 1998: 成熟, マイワシの資源変動と生態変化(渡邊良朗・和田時夫編), 恒星社厚生閣, pp45-53.
- Nakai J, 1962: Studies of influences of environmental factors upon fertilization and development of the Japanese sardine eggs.-with some reference to the number of their ova. 東海水研報, **9**, 109-150.
- 中井甚二郎, 宇佐美修造, 1962: マイワシ成熟度の季節的变化. 東海水研報, **9**, 151-171.
- 中嶋純子, 1982: 西日本海域におけるマアジの成長と年齢について. 西水研報, **57**, 47-57.
- 西田 宏, 長谷川誠三, 1994: 新潟沿岸におけるマアジ産卵群の年齢と成長. 日水研報, **44**, 73-90.
- 西田 宏, 2005: マイワシの資源評価~太平洋側の資源を中心に~, 農林統計調査, 2005(12),
- 落合 明, 睦谷一馬・椋田 晋, 1983: 養殖1歳マアジの成長, 成熟および人工産卵について. 日水誌, **49**, 541-545.
- 落合 明, 椋田 晋, 谷口順彦, 1984: 稚仔魚の減耗と餌料条件. MRPプログレスレポート, マアジ, **2**, 31-37.
- 大下誠二, 2000: 東シナ海におけるマアジの成熟特性に関する研究. 西海ブロック漁海況研報, **8**, 27-33.
- 阪地英男, 2001: 高知県宿毛湾におけるマアジ(「きあじ」タイプ)の産卵期と成熟年齢. 黒潮の資源海洋研究, **2**, 39-44.
- 阪本俊雄, 武田保幸, 竹内淳一, 1986: 沿岸重要資源の管理に関する研究(概報). 昭和59年度和歌山県水産試験場事業報告, 43-52.
- 佐々千由紀, 小西芳信, 2002: 東シナ海におけるマアジ仔稚の分布と輸送. 月刊海洋, 号外31, 92-98.
- 澤田貴義, 1974: 伊豆近海におけるマアジの成長と成熟について. 静岡水試研報, **7**, 25-31.
- 白石 学, 1992: マイワシ親魚の成熟と産卵, 浮魚資源 - その再生産と加入機構, 月刊海洋, **24**, 284-288.
- 霧田義成, 1987: イワシ類の再生産力 - 資源変動と関連して -. 水産海洋研究, **51**, 51-54.
- 和田時夫, 1988: 道東海域におけるまき網対象マイワシ資源の来遊動態に関する研究, 北水研報告, **52**, 1-138.
- 薬師寺房憲, 2001: 豊後水道におけるマアジ *Trachurus japonicus* (TEMMINCK et SCHLEGEL) の成熟と

- 相対成長．黒潮の資源海洋研究，2，17-22．
- 山田鉄雄，1958：アジに関する研究．対馬暖流開発調査報告，4，145-176．
- 依田真里，大下誠二・檜山義明，2004：漁獲統計と生物測定によるマアジ産卵場の推定．水産海洋研究，68，20-26．
- 依田真里，佐々千由紀，2004：マアジの産卵場の特定と海洋環境，マアジの産卵と加入機構 - 東シナ海から日本沿岸へ - (原 一郎・東海 正編)，恒星社厚生閣，pp19-30．
- 横田滝雄，三田典子，1958：太平洋南区のアジ，サバ類の研究に関する諸説．南海水研報，9，1-59．