東シナ海産アカアマダイの成長と成熟の再検討

山下 秀幸,¹ 酒井 猛,² 片山 知史,³ 東海 正^{4*}

(2010 年 8 月 20 日受付, 2010 年 11 月 24 日受理)

¹海水産総合研究センター開発調査センター, ²西海区水産研究所,³中央水産研究所, ⁴東京海洋大学

Re-examination of growth and maturation of red tilefish

Branchiostegus japonicus in the East China SeaHIDEYUKI YAMASHITA,¹ TAKESHI SAKAI,²SATOSHI KATAYAMA³ AND TADASHI TOKAI^{4*}

¹Marine Fisheries Research and Development Center (JAMARC), Fisheries Research Agency, Yokohama, Kanagawa 220–6115, ²Seikai National Fisheries Research Institute, Fisheries Research Agency, Nagasaki 850–0951, ³National Fisheries Research Institute, Fisheries Research Agency, Yokohama, Kanagawa 236–8648, ⁴Faculty of Marine Science and Technology, Tokyo University of Marine Science and Technology, Minato, Tokyo 108–8477, Japan.

The catch of red tilefish *Branchiostegus japonicus* in the East China Sea steeply decreased in the 1990s. Although life history of the red tilefish was studied before the 1970s, the life history traits of the red tilefish will have changed with the decline of population size in the 1990s. We validated the aging method of otolith observation and re-researched the growth and maturation of the fish using monthly samples in 1996–2000. Bertalanffy growth equations of female and male fish were estimated as $l(t) = 375(1 - e^{-0.317(t+0.420)})$ and $l(t) = 520(1 - e^{-0.194(t+0.761)})$, respectively. Fifty percent maturation sizes in total length were 302 mm and 253 mm for males and females, respectively. The spawning season was from May to December with a peak of September to October, and the main spawning season varied among fishing grounds. Obvious changes in age and growth, spawning period, and maturation characteristics were not detected after the steep decline in the 1990s. Based on the life history traits obtained in this study, fisheries management strategies should be re-examined focusing on the variation in spawning season among fishing grounds.

キーワード : *Branchiostegus japonicus*, アカアマダイ, 産卵, 生活史, 成熟, 成長, 東シナ海

東シナ海のアカアマダイ *Branchiostegus japonicus* は、従来は主に日本の延縄漁業によって漁獲されてきた。その漁獲量は 1970～80 年代には約 1 万トン前後を保っていたが、その後 1990 年代に急激に減少して 10 分の 1 以下の水準となった。^{1,2)} また、近年中国の底刺網や底曳網漁船による操業が増加している。¹⁾ このように、漁獲量の激減や漁獲努力量の増加など、漁業の状況に変化が起きていることから、本種の資源状態の悪化が懸念され、資源管理が必要とされている。

東シナ海のアカアマダイについては、主に市場調査から得られた試料の分析の結果、漁獲開始体長を大きくす

ることによって、資源の保全と漁獲金額の向上につながることが指摘された。¹⁾ また、本種に対する釣針の選択性に関する研究の結果からは、延縄漁業で現在使用されている鯛縄針 12 号やムツ針 14 号では未成熟で市場価値の低い小型魚が漁獲されているため、資源保全のためにより大きな釣針の使用が提案されている。^{3,4)} 実際にどのような釣針の大きさを用いるべきか、YPR 解析などで漁獲開始体長を検討するべきであり、このためには、アカアマダイの生活史特性の把握が不可欠である。

東シナ海のアカアマダイの生活史についての研究は、我が国による漁獲量が高水準を保っていた 1970 年代以

前に盛んに行われた。⁵⁻¹¹⁾ 一方、魚類の生活史は資源状態が悪化した場合に、密度が低減して個体が大型化することや、遺伝子組成の偏在による成熟サイズの小型化や若齢化が起こることが指摘されている。¹²⁻¹⁵⁾ 東シナ海のアカアマダイについても、1990年代の漁獲の減少が資源状態の悪化によるとすれば、それに伴って生活史特性が変化した可能性もある。

一方で山下¹⁶⁾は、東シナ海の中でも海域によって漁獲物のほとんどが小型魚である海域や小型魚が漁獲されない海域が存在することから、成長段階に伴う海域間での移動を示唆している。

本研究では、漁獲量が急激に減少して現在の水準となった1996年から2000年に行った延縄操業の漁獲物を用いて、本種の成長と成熟について再検討を行うとともに、既往の知見との比較を行った。また、海域ごとの成熟の状況を調べることによって、主に産卵している海域を検討した。

試料及び方法

延縄試験操業 東シナ海のアマダイ漁場において行った試験操業から得られたアカアマダイを、本研究に用いた。この試験操業では、1996～1998年の3年間は、6～11月に50トン型底延縄漁船と19トン型立延縄漁船各1隻を備船し、また1999年12月から2000年5月に50トン型底延縄漁船1隻を備船した。漁具は原則として備船した漁船が通常使用する延縄漁具を用いた。ただし、この間で釣針の選択性に関する実験を行った航海^{3,4)}においては、通常使用する釣針に加えて複数種類の釣針を用いた。操業は、東シナ海のアマダイ漁場の全域において採集できるように配慮しつつ、当業船のこれまでの知見に基づいて多くの漁獲が見込める漁場で行った。なお、1998～2000年の操業では、投縄終了後にSTD（アレック電子社製、AST-1000）を用いて、漁場の表層水温と海底直上約1mの底層水温を観測した。

標本収集 上記操業の漁獲物のうち、原則として全てのアカアマダイについて、船上で体長測定板を用いて全長を10mm単位に切り捨てて読み取る方法で測定した。さらに、生殖腺を摘出して肉眼で観察し、雌雄と成熟の判定を行った。白色で糸状または紐状のものを精巢、薄ピンク色から赤色で肉厚のものを卵巣として、雌雄を判別した。雌については卵巣内に透明な吸水卵が認められるものを成熟とし、雄については精巢が糸状ではなく幅や厚みがあり、潰すと乳白色の精液が流れ出るものを成熟とした。また、毎月雌雄各100個体を目安に、漁獲物の体長の範囲をカバーするように標本を採集し、陸上に持ち帰り、全長をmm単位で、体重をg単位で、生殖腺重量を0.1g単位で測定した。その後、耳石を摘出し、乾燥状態で保存後、年齢査定に用いた。吸

Fig. 1 Otolith of *Branchiostegus japonicus*, and the surface rings and the reading points.

水卵が確認された卵巣の一部は10%ホルマリンで固定し、孕卵数の推定に供した。

年齢査定と成長の解析 摘出した耳石のうち、左右とも破損したもの等を除いた、雌2,151個体、雄1,522個体の耳石を試料とした。年齢査定には原則として右側の耳石を用い、それが破損している場合は左側の耳石を用いた。耳石に形成された輪紋による年齢査定には、耳石平面の表面観察によって輪紋を計測する方法（表面法）と横断面薄片を作成し断面に現れる輪紋を計測する方法（横断面法）がある。¹⁷⁻²⁰⁾ 本研究では、まずは林^{7,8)}と同様に、透過光によって耳石表面法で観察される透明帯と不透明帯のうち、不透明帯の外縁を輪紋と定義して（Fig. 1）、輪読した。大型の個体の耳石は肥厚しているために表面法では輪紋を読み取り難く、そのような耳石は肉厚部を砥石で研磨後に観察した。高齢魚では耳石の後上方の突出部でのみ外側の輪紋が判別できるため、林^{7,8)}と同様に、耳石中心からこの突出部の外縁を結んだ軸上の輪紋を中心から外縁まで読み取った（Fig. 1）。こうした読み取り箇所を事前に確認した2名のうちいずれか1名が、ひとつの耳石に対し輪読を1回行い、不明瞭で紛らわしい個体についてはその2名で確認を行った。

輪紋の形成時期の推定のために、縁辺成長率の平均値を月ごとに求めた。縁辺成長率は、読み取り軸上の最も外側の輪紋部から縁辺までの長さを、同じ軸上のひとつ内側の輪紋間隔で割った値として求めた。ただし、後述するように、本種は産卵期間が数ヶ月にわたるため、孵化から最初の輪紋の形成までの期間に個体差が大きいと考えられる。このため、輪紋がひとつしか認められない耳石は縁辺成長率の算出からは除外した。輪紋の計数および輪紋間隔は、ラトック社製耳石解析装置APR/W（version 5.10）を用いて1μm単位で測定した。

魚種によっては、高齢魚において耳石表面の縁辺部の

Fig. 2 Transverse section of *Branchiostegus japonicus* otolith and reading points of the rings on the section.

輪紋が不明瞭となり年齢を過小評価してしまう場合がある。¹⁷⁻²⁰⁾ このため、短径方向の横断面に現れる輪紋数を計数して (Fig. 2),¹⁷⁻²⁰⁾ この横断面法の輪紋数を表面法の結果と比較することにより、表面法による輪読結果の妥当性を確認した。標本から大型個体 80 個体を選び、その耳石のうち輪読に用いなかった左側の耳石をポリエステル樹脂に包埋し、小型組織切断機 (マルトーカッター MC101D) によって耳石中央部を短軸方向に切断し、断面観察用に厚さ約 1 mm の薄片を作成し、この横断面上で輪紋数を計数した (Fig. 2)。

以上により、表面法によって輪読した耳石輪紋数および、後述する産卵盛期となる月を孵化月と仮定し、その孵化月から各個体が採集された月までの月数から、年齢およびその年の月齢を推定した。この年齢と月齢に対する全長を用い、雌雄それぞれ von Bertalanffy の成長式のパラメータを最尤法によって求めた。²¹⁾ なお、海域間で成長が異なる可能性もあるが、上述したように海域間で成長段階に伴う移動が考えられる。¹⁶⁾ このために、ここでは東シナ海全域の標本をまとめて取り扱った。

海域別の成熟度と産卵期の推定 陸上に持ち帰った標本の雌 3,165 個体、雄 2,157 個体について、測定した生殖腺重量 w_g と体重 W から、生殖腺重量指数 GSI を次式により求めた。

$$GSI = w_g / W \times 100 \quad (1)$$

産卵期やその盛期は、東シナ海の中でも海域によって異なる可能性も指摘されているため、¹⁰⁾ 山下¹⁶⁾ が漁獲物の体長組成に基づいて区分した 5 つの海域 (Fig. 3) ごとに、雌雄それぞれ全長に対する GSI 値を月別に求めた。この 5 つの海域とは、小型魚がいない斜面海域、ほとんどが小型魚で占められる北東海域、小型魚から中、大型魚まで漁獲される中央海域、大型魚が比較的多く漁獲される南西海域、小型魚が多い西海域である。¹⁶⁾

Fig. 3 Fishing areas that Yamashita¹⁶⁾ defined by total length composition of *Branchiostegus japonicus*.

全長別の GSI から、GSI が高く十分に成熟しうる全長と判断できる大型の個体を抜き出し、月別の平均値を求めた。その GSI の月変化から、GSI が高い月を産卵期と、特に高い月を産卵盛期と推定した。

50% 成熟全長と成熟年齢の推定 前節で産卵盛期と判断された月に漁獲されたアカアマダイについて、雌雄ごとに生殖腺の肉眼観察によって成熟を判別した結果から、10 mm の全長階級別に成熟割合を求めた。全長 l に対する成熟率に、次のような全長 l を変数とするゴンペルツ関数 $M(l)$ をあてはめて、最尤法によりパラメータを求めた。

$$M(l) = \frac{1}{\exp \{ \exp (a + bl) \}} \quad (2)$$

なお、ここで a , b はゴンペルツ関数式のパラメータである。求めた関数のパラメータから次式により 50% 成熟全長 l_{50} を求めた。

$$l_{50} = - \frac{a + 0.367}{b} \quad (3)$$

さらに、上述した耳石による年齢査定を行った個体の中からも、産卵盛期と判断された月に採集された個体について抜き出し、生殖腺の肉眼観察により成熟を判断した結果から、雌雄それぞれの年齢別の成熟割合を求めた。

全長別の孕卵数の推定 卵巣内に吸水卵を有する個体を成熟個体と仮定して、その卵巣内の吸水卵を含む全ての卵粒の数を計数し、これを孕卵数とした。予備的な観

察の結果、卵巣内の部位による吸水卵の分布に差は認められなかった。このため、吸水卵が確認された卵巣の中心部付近から一部を採取して、その重量を測定するとともにその中の卵粒数を計数した。これを卵巣全体の重量で引き延ばして、孕卵数を推定した。

結 果

体長と体重の関係 測定に供した標本のうち、雌雄の判別を行った雄 2,267 個体、雌 3,243 個体について体長と体重の関係を求めた。雌雄それぞれの全長 l と体重 W の関係式は次のように求められた。

$$\text{雌: } W = 3.80 \times 10^{-6} l^{3.21} \quad (R^2 = 0.969) \quad (4)$$

$$\text{雄: } W = 8.17 \times 10^{-6} l^{3.07} \quad (R^2 = 0.985) \quad (5)$$

成長式の推定 大型魚 80 個体の耳石について、表面法による輪紋数ごとに、表面法に対する横断面法の輪紋数の差を求めた (Table 1)。比較した 80 個体中 70 個体 (87.5%) で輪紋数は一致した。一致しなかった 10 個体は 6 輪以上の高齢魚であり、そのうち 7 個体では表面法の方が横断面法よりも 1 輪多く読んでいたのに対して、残り 3 個体では横断面法が 1 輪多く読んでいた。このことから、高齢魚ほど誤差が大きくなるわけではなく、表面法でも横断面法とほぼ同等に高齢魚の輪紋を読み取れると考え、以後は表面法による輪読結果を用いた。

表面法により計測した輪紋間隔により、雌雄それぞれの縁辺成長率を月別に求めた (Fig. 4)。雌雄ともに、縁辺成長率の平均値は、1~4 月に 0.8 程度の高い値を示した後、5 月に約 0.2 にまで低下した。その後、縁辺成長率は 12 月まで徐々に上昇した。このことから、輪紋は年に 1 度 4 月から 5 月にかけて形成されると判断した。

このように輪紋形成期を 5 月とし、また後述するよ

うに GSI が最も高くなる産卵盛期の 9 月を生まれ月として、満年齢と満年齢から漁獲月までの月齢を求めた。この満年齢に月齢を加えた値に対する全長を雌雄別に図示した (Fig. 5)。本研究で得られた漁獲物では、雌は 8 歳 11 ヶ月、雄は 9 歳 8 ヶ月まで確認された。これに対して求めた雌雄それぞれの満年齢 t における全長 $l(t)$ を表す von Bertalanffy の成長式は次のとおりである。

$$\text{雌: } l(t) = 375(1 - e^{-0.317(t+0.420)}) \quad (6)$$

$$\text{雄: } l(t) = 520(1 - e^{-0.194(t+0.761)}) \quad (7)$$

雌の方が雄よりも成長係数が大きく、成長は早くに頭打ちとなり、かつ雄の方が雌よりも極限体長が大きく、大型になる。

生殖腺重量指数の月変化 5 つの海域ごとの雌雄それぞれの全長に対する GSI を、肉眼観察による成熟個体とそれ以外の個体に区別して月別に示した (Fig. 6)。海域ごとに得た標本の体長範囲の特徴をみると、雌は、斜面海域ではほとんどが 250~350 mmTL の範囲内であった。北東海域での標本は全長範囲 150~300 mmTL の小型魚が主体を占めた。中央海域では幅広い 140~440 mmTL の標本が得られた。南西海域では 250~350 mmTL の標本が主体を占めた。西海域では比較的小型の 200~300 mmTL が主体であった。雄は、斜面海域

Table 1 Difference between the number of rings counted by observation of otolith surface and that by transverse section

Ring group by surface method	Ring number by surface method minus that by transverse section method		
	-1	0	1
2		1	
3		6	
4		10	
5		11	
6	1	14	2
7	1	20	5
8	1	7	
9		1	
Total	3	70	7

Fig. 4 Monthly changes in mean marginal increment of otolith ring of female and male *Branchiostegus japonicus*. Solid circles and vertical lines indicate the mean value and the standard error.

Fig. 5 Estimated growth curves of female and male *Branchiostegus japonicus*. Gray dots indicate the observed total length plotted versus the estimated age in years.

では 350~450 mmTL が主体であった。北東海域では月によって変動はあるものの 200~400 mmTL を主体とした標本が得られた。中央、南西海域では全長範囲が広く、140~530 mmTL であった。西海域では、月により異なるが、概ね 250~350 mmTL の標本が主であった。

GSI の変化をみると、雌は、1~4 月では、2 月の斜面海域の 1 個体を除いては GSI 1 未満で、成熟も数個体出現しただけであった (Fig. 6a)。5 月には GSI が 1 を超える個体が多く出現し、また成熟個体もみられた。その後 7 月にかけて大型魚ほど高い GSI を示す傾向にあり、GSI が 1 以上でかつ成熟した個体が 300 mmTL 以上ではより多く出現した。8 月になると 250~300 mmTL の個体でも GSI が 1 以上の個体や成熟個体が多数現れ、1 未満の個体でも成熟している個体もあった。9~11 月には全ての海域で GSI が高い個体や成熟個体が多くみられた。12 月になると GSI が高い個体や成熟個体が急激に減少した。

雄の GSI は、1~5 月のほとんどの個体で 0.1 未満と低く、1 月の斜面海域の数個体以外は成熟は見られなかった (Fig. 6b)。6 月に 350 mmTL 以上で GSI が高い

個体や成熟個体がみられはじめた。9~10 月に GSI が高い個体が多くなり、成熟個体も多く出現した。12 月には GSI が 0.1 以上の個体もみられるものの、11 月に比べると GSI は低い傾向にあり、成熟個体も少なかった。

海域別の GSI の特徴をみると (Fig. 6)、雌では、5 月は西海域以外では 350 mmTL 以上の個体の GSI が 4 月より少し高くなる程度であった。一方、西海域では 300 mmTL 未満でも GSI が 2 以上の成熟個体がみられ、また、GSI の値に個体差が大きく、200~350 mmTL の体長範囲全体で 1 未満のものから 4 以上のものまで幅広く出現した。6 月には、中央、南西海域では 300 mmTL 以上で GSI が 3 以上となる成熟個体が現れたのに対して、斜面、北東海域では 300 mmTL 以上でもほとんどが GSI は 1 未満であり、かつ成熟個体はみられなかった。7 月になると斜面海域と西海域でも 300~350 mmTL で GSI が 2 以上となる成熟個体もみられた。9~10 月はその海域でも GSI が 1 以上の個体や成熟個体が出現した。中央、南西海域では体長が大きい個体ほど GSI が高く、300 mmTL 未満では GSI が 1 未満の個体も多かった。

雄では、6~8 月には斜面、中央、南西海域で 350 mmTL 以上の個体に GSI が高い成熟個体が多く出現したが、北東海域では 300 mmTL 以上でも GSI はほとんど 0.05 未満であった。9 月~11 月には、どの海域でも GSI が高くなる傾向にあり、特に斜面、中央、南西海域では 300 mmTL 以上に GSI が 0.1 以上の成熟個体が多く出現した。一方、北東海域と西海域では成熟個体もみられたものの 300 mmTL 以上でも GSI が 0.1 以上となる個体は少なかった。

以上のように、中央海域や南西、西海域では 5 月から 10 月まで GSI が高い個体のみられたが、北東海域では 8 月以降にしか GSI が高い個体のみられないなど、海域によって成熟時期に若干の違いがみられた。北東海域や西海域など、成熟する大型の個体がほとんど漁獲されない海域もあった。

海域別の生殖腺重量指数平均値の月変化 上述したように雌は 300 mmTL、雄は 350 mmTL 以上で GSI が顕著に高くなる個体のみられたので (Fig. 6)、これを、十分に成熟しうる全長と仮定し、雌と雄それぞれに 300 mmTL と 350 mmTL 以上の個体について GSI の月平均値を海域ごとに求めた (Fig. 7)。この値は、斜面海域では、1~6 月に雌は 1 未満、雄は 0.05 未満であったが、7 月から増加し、9 月に雌 2.8、雄 0.16 で最大を示し、10 月もほぼ値が維持された後に低下した。北東海域では、8~12 月にやや GSI が高いものの、他の海域ほど明瞭ではなく、いずれの月も雌は 1.0 未満、雄は 0.1 未満であった。中央、南西海域では、雌雄ともに 5

Fig. 6a Gonad somatic index (GSI) versus total length of female *Branchiostegus japonicus* by fishing area. Solid circles indicate mature gonad. Gray circles indicate immature, maturing and spent gonad.

月から GSI が高くなった。雌では 6 月に GSI 2.5 と 2.4 でそれぞれ極大値を示した後に 7 月には低下して、その後再び上昇して 9 月にそれぞれ 3.1 と 2.7 で最大となり 10 月はほぼ同水準で 11 月から低下した。雄では 6 月の極大値はみられず、中央海域では 9 月、南西海域では 10 月に最大値を示した。西海域は雌では 5 月、雄では 7 月が最大となったが、大型個体の標本が少なかったこともあり不明瞭だった。

それぞれの海域区分では中央、南西海域で GSI が高い期間が最も長く、GSI の値も相対的に高い値を示した。これらの海域では、5～12 月に GSI が高い値を示し成熟個体も出現していることから、GSI が高まる時期を産卵期と仮定するとこの期間が産卵期であり、GSI が特に高くなる 9～10 月が産卵盛期と考えられる。

成熟全長と年齢別成熟割合 漁獲した個体の生殖腺の肉眼観察結果のうち、産卵盛期と推定した 9、10 月の個体を抜き出し、全長別の成熟個体の割合を、それを表すゴンペルツ曲線とともに図示した (Fig. 8)。雌では、近似曲線が立ち上がるのは 200 mmTL 付近であり、300 mmTL を超えるとほとんどの個体が成熟してい

る。雄では、250 mmTL 付近より曲線が立ち上がり、約 350 mmTL 以上ではほぼ全ての個体が成熟している。ゴンペルツ関数式から求めた 50% 成熟全長は雌雄それぞれ 253 mmTL と 302 mmTL であった。

年齢別の成熟率 (Table 2) は、雌では 2 歳で成熟個体がみられ、年齢とともにその割合が増加し、6 歳で 90% 以上となった。7 歳以上では標本数が少なかった。雄は、3 歳で成熟個体がみられ、年齢とともに増加して 7 歳で 90% 以上となった。

全長別の孕卵数 吸水卵を有する卵巢における推定孕卵数と全長の関係を図示した (Fig. 9)。全長とともに孕卵数が増加し、ほぼすべての個体が成熟すると考えられる 300 mmTL 以上 (Fig. 8) では、孕卵数が多い個体がみられるようになり、2,500 万粒という高い値も出現した。全長 l と孕卵数 f との関係は以下の式で近似した。

$$f = 1.08 \times 10^{-13} l^{7.45} \quad (R^2 = 0.607) \quad (8)$$

300 mmTL 未満では 30 万粒未満と少なく、また全長が大きくなるに従って増加し、近似曲線によく合致した。一方で、300 mmTL 以上では個体差が大きく、30 万粒

Fig. 6b Gonad somatic index (GSI) versus total length of male *Branchiostegus japonicus* by fishing area. Solid circles indicate mature gonad. Gray circles indicate immature, maturing and spent gonad.

未満の個体もみられたが、200 万粒以上の個体も出現した。

考 察

成長曲線の既往研究との比較 本研究で得られた成長曲線を、東シナ海およびその周辺産のアカアマダイの成長に関する既往の研究と比較した (Fig. 10)。ただし、既往研究で成長が標準体長で示されたものは、標準体長と全長の換算式¹⁾によって全長に換算して示した。雌雄を分けずに扱った報告^{5,6)}以外では、いずれも雄が雌に比べて成長が速く、かつ大型になる点では一致した。^{8,22-25)} 特に、本研究と同じ東シナ海の延縄漁獲物を用いた林⁸⁾の結果とは、雄の7歳以上で本研究の方がわずかに大きいものの、雌雄ともにほぼ同様の成長であった。同じく東シナ海のアカアマダイの成長を求めた馬場らの研究²²⁾も、雌雄ともにほぼ同様の結果であった。

産卵期の既往知見との比較 本研究では、5~12月にGSIが高い値を示し成熟個体も出現していることから、この期間が東シナ海でのアカアマダイの産卵期であり、GSI値が特に高まる9~10月を産卵盛期と推定した。

東シナ海のアカアマダイの成熟に関する既往の研究 (Table 3) は、^{5,9,11,22,26)} どの研究も初夏から晩秋にかけて産卵期を迎え、平松⁵⁾を除いて産卵盛期が2回としている。本研究結果でも極大値がみられた6月も盛期とみなせば、概ね一致する。しかし、産卵盛期としている月が研究によって異なっている (Table 3)。既往の研究では、東シナ海の中での海域の区別をせずに標本を取り扱っているため、標本の漁獲海域の偏りによって研究ごとの産卵期やその盛期に若干の違いがみられた可能性がある。東シナ海のアマダイ漁場のほぼ全域で毎月標本を得た本研究で推定した産卵期間は、どの研究よりも長期間でかつ全ての研究の産卵期間を含んでいる。

生息場および産卵期の水温 林¹⁰⁾はアカアマダイの生息域での産卵適水温を22℃前後であるとみなしている。また、若狭湾産のアカアマダイを用いた飼育実験²⁷⁾では、飼育可能な水温範囲が9~27℃で、産卵可能な水温範囲は18~25℃であると報告されている。本研究において、標本を収集した際に観測した表層および底層水温の月別平均値を海域ごとに Fig. 11 に示す。表層では、斜面海域と南西海域では2月に約20℃で最低

Fig. 7 Monthly changes of mean gonad somatic index (GSI) for female *Branchiostegus japonicus* of over 300 mmTL and male of over 350 mmTL. Solid circles and vertical lines show mean value of GSI and the standard error.

値を示した後に上昇し、8月に約30℃の最高値に達して、その後徐々に低下した。この表層水温は、中央海域では2月に16.8℃、北東海域では3月に15.9℃で最低を示し、その後上昇して、約30℃で最高値に達した。これに対して、西海域では3月に12.7℃で、7月に27.7℃とやや低かった。

底層水温は、南西海域では変化が少なく4月に17.9℃、9月に17.8℃で極小値を示し8月に19.5℃で最高値であった。中央海域では、3月に16.1℃で最低値を示した後上昇し、9月に20.0℃で最高値を示した。北東海域では4月に14.2℃で最低値を示し、11月の18.9℃まで上昇した。西海域は3月に12.7℃で最低値を示した後、5月に19.0℃と他の海域に比べて急激に上昇

し、8月に19.5℃で最高値となった。斜面海域では4月に12.7℃で最低となった後に5月に13.4℃で最高値であった。

このように、アカアマダイが生息する海底付近の平均水温は、いずれの海域でも20℃以下であり、9月にGSIが高かった中央、南西海域は20.0℃と17.8℃で、同じくGSIが高かった斜面海域では13.6℃とさらに低かった。本研究で得られた東シナ海の産卵期における生息域の水温は既往の知見よりも低かったことから、自然界における産卵適水温は既往の知見よりも低い可能性がある。実際に、沖山²⁸⁾は新潟県沖で、本種の稚仔魚を採集した10～50 m層の水温を16.1～23.0℃としており、東シナ海でも16.5～23.0℃で稚仔魚が得られてい

る。²⁹⁾ これら稚魚の分布水深は 20~50 m の中層であることから、アカアマダイ親魚が分布する海底付近はさらに低温であると考えれば、本研究で得られた生息場の水温を支持するものと考えられる。

成熟に関する既往知見との比較 本研究での最小成熟個体は雌雄それぞれ約 200 mmTL と約 250 mmTL, 50

Table 2 Relationship between age and maturity ratio of *Branchiostegus japonicus* captured during the main spawning season of September and October in the East China Sea

	Age (Year)	Number of fish observed	Number of matured fish	Maturity ratio (%)
Female	2	17	4	23.5
	3	103	41	39.8
	4	77	40	51.9
	5	49	36	73.5
	6	13	12	92.3
	7	4	3	75.0
	8	0	0	—
Male	2	8	0	0.0
	3	30	1	3.3
	4	17	6	35.3
	5	35	16	45.7
	6	26	18	69.2
	7	18	17	94.4
	8	2	2	100.0

Fig. 8 Gompertz curves fitted for maturity ratio versus total length of *Branchiostegus japonicus*.

Fig. 9 Relationship between total length and fecundity of *Branchiostegus japonicus*.

Fig. 10 Comparison of growth curves of *Branchiostegus japonicus* between this study and the previous studies.

Table 3 Comparison of spawning season of *Branchiostegus japonicus* in the East China Sea between the present study and the previous studies

Reference	Spawning season	Main spawning season
Hiramatsu ⁵⁾	July to Dec.	July and Nov.
Irie ⁹⁾	Sep. to Dec.	Nov.
Hayashi ¹¹⁾	June to Nov.	July and Oct.
Baba <i>et al.</i> ²²⁾	May to Oct.	May, Aug. and Oct.
Tsukiyama <i>et al.</i> ²⁶⁾	May to Oct.	May and Oct.
Present study	May to Dec.	June and Sep. to Oct.

Fig. 11 Monthly changes of sea surface and bottom temperature at fishing operation area.

% 成熟全長は 253 mmTL と 302 mmTL であった。林³⁰⁾は、雌雄の成熟開始はそれぞれ標準体長（以下 SL）170 mm（山下¹⁾に基づく換算全長 211 mmTL）と 230 mmSL（284 mmTL）、50% 以上成熟するのが 190 mmSL（235 mmTL）と 260 mmSL（321 mmTL）であり、100% が成熟するのはそれぞれ 260 mmSL（321 mmTL）と 300 mmSL（370 mmTL）としている。本研究で求めた成熟全長を 1970～80 年代の林³⁰⁾の結果と比較すると、雌雄ともに大差ない。

なお、飼育下ではアカアマダイは毎日夜間に産卵することが知られている。²⁷⁾ 天然魚においても同様の産卵様式であれば、採集時間帯によっては十分に成熟していても吸水卵が形成されていない可能性がある。今後、天然魚の産卵様式や、採集時間と吸水卵保有率の関係について検討する必要がある。

本研究では、雄は 2 歳、雌は 3 歳から成熟個体がみ

られ、年齢とともに成熟個体の割合が増加した。同じ東シナ海のアカアマダイに関する既往の研究と比較すると、林¹⁰⁾は、雌が産卵に加わる年齢は一部を除き 2 歳から、雄は 3 歳からであるとしている。築山ら²⁶⁾は、雌の成熟率について、2 歳で約 20%、3、4 歳で約 50%、5 歳で約 80% としており、6 歳で 100% としており、これらと概ね同様の結果であった。

産卵数の既往知見との比較 本研究では、孕卵数は 300 mmTL 未満では 30 万粒未満と少なかった。GSI が高くなる 300 mmTL 以上では個体差が大きく、30 万粒未満の個体もみられたが、200 万粒以上の個体も出現した。今回計数した卵粒には、卵黄形成前期と思われる微小なものも含まれ、そしてこれらのうちのどれだけの割合が何日程度で放卵に至るかは不明である。このために、ここで計数した卵粒数は必ずしも産卵数を表すものではない。しかし、265 mmSL（328 mmTL）の雌を用いた飼育による産卵実験²⁷⁾では、産卵期間中にはほぼ毎日産卵することで、合計 200 万～300 万粒を期間中に採卵できており、本研究で計数した孕卵数は、概ねこの範囲内にある。また、築山ら²⁶⁾は、アカアマダイの 1 回あたりの産卵数を、200 mmSL（247 mmTL）で 0.2 万、300 mmSL（370 mmTL）で約 1 万粒と推定した。産卵実験²⁷⁾では一個体が 3～4 ヶ月間毎日産卵していることを考慮すると、年間の産卵数は約 250 mmTL で 18～24 万粒、370 mmTL で 90～120 万粒程度となり、今回推定した孕卵数は年間の総産卵数と大きく異ならないと考えられる。

資源管理への応用 以上のように、本研究において、東シナ海産アカアマダイの成長や成熟・産卵について、改めて確認された。山下¹⁶⁾でも示唆されているように、小型魚がほとんどを占める海域や小型魚がいない海域の存在から、東シナ海のアカアマダイでは、成長段階に伴いある程度移動していると考えられる。また、本研究の結果から、東シナ海の中でも海域によって産卵期間や産卵盛期に若干違いがあり、成熟個体がほとんど出現しない海域や成熟個体が多い海域の存在が明らかとなった。これらのことから、東シナ海の中でも、本研究で示した中央海域や南海域が主要な産卵海域となっていると推察され、さらに成長に伴うこうした産卵場への移動が示唆された。

今後は、本研究で得られた生活史のパラメータを用いて資源管理方策について検討する必要がある。漁場加入した資源を効率よく利用し加入量あたりの漁獲量または漁獲金額を増加させるために、YPR 解析手法が必要である。山下¹⁾では小型魚の漁獲を削減し漁獲開始サイズを大きくすることにより漁獲金額を増加させることを示した。そのためには、北東海域や西海域のような小型魚の多い海域での禁漁や漁具の選択性を利用した手法が効

果的と考えられる。一方で、資源の維持や回復のためには、加入あたり産卵量を確保あるいは増加させる必要があり SPR 解析手法による検討が必要である。さらに、産卵親魚の保護のためには、本研究において産卵親魚が多く分布することが確認された中央海域や南海海域での保護区の設定や努力量の削減も効果的であると考えられる。

謝 辞

本研究を実施するに当たり、操業実験に協力頂いた延縄漁船の船長はじめ乗組員、調査に協力頂いた海洋水産資源開発センター（現開発調査センター）の職員はじめ関係各位に感謝する。生物測定を実施するにあたって便宜を図って頂いた、長崎県総合水産試験場および西海区水産研究所の関係者の方々に厚く御礼申し上げる。耳石断面切片の作成についてご指導頂いた北海道区水産研究所業務推進部長北川大二博士、耳石の輪読に御協力頂いた日本エヌユーエスの斉藤真美氏、成長式等の数値計算においてご助言頂いた中央水産研究所数理解析研究室室長赤嶺達郎博士に深謝する。本稿を纏めるに当たって有益な助言をいただいた開発調査センター副所長堀川博史博士に感謝する。また、本稿を査読いただいた2名の匿名審査員と担当編集委員に深謝する。本研究の一部は、平成22年度日本学術振興会科学研究費補助金（基盤研究（C）課題番号22580217）の交付を受けて行われた。

文 献

- 山下秀幸. 東シナ海産アカアマダイの水揚実態とY/R解析. 日本誌 2004; **70**: 16-21.
- 平成18年度漁業・養殖業生産統計年報. 農林水産省統計情報部. 東京. 2008; 1-331.
- Yamashita H, Shiode D, Tokai T. Longline hook selectivity for red tilefish *Branchiostegus japonicus* in the East China Sea. *Fish. Sci.* 2009; **75**: 863-874.
- 山下秀幸, 越智洋介, 塩出大輔, 東海 正. アカアマダイに対する鯛縄針とムツ針の選択性曲線の比較. 日本誌 2010; **76**: 46-53.
- 平松達男. 東海黄海底魚資源研究誌. 1949; **1**: 1-6.
- 安田秀明, 小坂昌也. 日本産主要魚類の成長 第4報アマダヒ. 日本誌 1950; **15**: 855-858.
- 林 泰行. 東シナ海産アカアマダイの成長に関する研究-I 年齢表示形質としての耳石の検討. 日本誌 1976; **42**: 1237-1242.
- 林 泰行. 東シナ海産アカアマダイの成長に関する研究-II 耳石による年齢と成長の推定. 日本誌 1976; **42**: 1243-1249.
- 入江春彦. 本邦産アマダイ属魚類に関する研究 II. アカアマダイの産卵期に就いて. 長大水研報 1955; **3**: 6-9.
- 林 泰行. 東シナ海産アカアマダイの成熟と産卵に関する研究-I, 生殖腺熟度指数の経月変化からみた産卵様式. 日本誌 1977; **43**: 1273-1277.
- 林 泰行. 東シナ海産アカアマダイの成熟と産卵に関する研究-II, 卵巣卵径の経月変化からみた産卵期の推定. 日本誌 1979; **45**: 1475-1479.
- 三尾真一, 濱田律子, 篠原富美子. 東シナ海・黄海における主要底魚類の成長および成熟の経年変化に関する研究. 西水研報 1975; **47**: 51-95.
- 堀川博史, 山田梅芳. 東シナ海および黄海における底魚類の生物特性の変化. 月刊海洋 1999; **31**: 631-636.
- Rijnsdorp AD. Fisheries as a large-scale experiment on life-history evolution: disentangling phenotypic and genetic effects in changes in maturation and reproduction of North Sea plaice, *Pleuronectes platessa* L. *Oecologia* 1993; **96**: 391-401.
- Jørgensen C, Enberg K, Dunlop ES, Arlinfhaus R, Boukal DS, Brander K, Ernande B, Gårdmark A, Johnston F, Matsumura S, Pardoe H, Raab K, Silva A, Vainikka A, Dieckmann U, Heino M, Rijnsdorp AD. Ecology: Managing evolving fish stocks. *Science* 2007; **318**: 1247-1248.
- 山下秀幸. 東シナ海産アカアマダイの体長組成の海域差. 日本誌 2007; **73**: 1074-1080.
- 林 周, 道津光生, 太田雅隆. 耳石によるカサゴの年齢査定における横断面法と表面法の信頼性の比較. 日本誌 1995; **61**: 1-5.
- 関河武史, 高橋豊美, 高津哲也. 北海道木古内湾におけるアイナメ *Hexagrammos otakii* の年齢と成長. 水産増殖 2002; **50**: 395-400.
- 厚地 伸, 増田育司, 赤毛 宏, 伊折克生. 耳石横断薄層切片を用いた鹿児島県近海産ヒラメの年齢と成長. 日本誌 2004; **70**: 714-721.
- Beamish RJ. Difference in the age of Pacific hake (*Merluccius productus*) using whole otoliths and section of otoliths. *J. Fish. Res. Bd. Can.* 1979; **36**: 141-151.
- 五利江重昭. MS-Excelを用いた成長式のパラメータ推定. 水産増殖 2001; **49**: 519-527.
- 馬場順子, 田川 希, 多部田 修. 東シナ海産アカアマダイの年齢, 成長, 成熟, 及び産卵について (予報). 平成6年度東海・黄海底魚資源管理調査委託事業報告書. 水産庁. 1995; 114-144.
- Lim PY, Misu H. On the age determination of the Akamada, *Branchiostegus japonicus* (HOUGHTUYN), in the adjacent waters of Tsushima Islands. *Bull. Seikai Reg. Fish. Res. Lab.* 1974; **46**: 41-51.
- Jang DS. A study on the age and growth of *Branchiostegus japonicus* (Houttuyn). *Bull. Fish. Res. Dev. Agency* 1986; **39**: 13-20.
- Kim DH, Chung SC. On the age and growth of the red tile fish, *Branchiostegus japonicus* (HOUGHTUYN) in the adjacent waters of Cheju Island. *Bull. Mar. Res. Inst. Cheju Nat. Univ.* 1988; **12**: 29-41.
- 築山陽介, 多部田 修. 東シナ海産アカアマダイの成熟と産卵. 平成8年度東海・黄海底魚資源管理調査委託事業報告書. 水産庁. 20-31.
- 奥村重信. アカアマダイの親魚養成と種苗生産に関する研究. 特別研究報告(16), 社団法人日本栽培漁業協会. 東京. 2002; 1-43.
- 沖山宗雄. アカアマダイの初期生活史. 日本研報 1964; **13**: 1-14.
- 山田梅芳, 時村宗春, 堀川博史, 中坊徹次. 「東シナ海・黄海の魚類誌」東海大学出版会. 神奈川. 2007.
- 林 泰行. 東シナ海産アカアマダイの漁業生物学的研究. 山口外海水試研報 1985; **20**: 1-95.