耳石横断面法と表面法を用いた若狭湾西部海域における アカアマダイの年齢と成長

井関 智明,^{1a*} 町田 雅春,^{2b} 竹内 宏行,² 八木 佑太,¹ 上原 伸二¹

(2016年3月30日受付, 2016年11月21日受理, 2017年1月25日J-STAGE 早期公開)

¹(国研)水産研究・教育機構日本海区水産研究所 新潟庁舎, ²同 宮津庁舎

Age and growth of red tilefish *Branchiostegus japonicus* from western Wakasa Bay, Japan,
based on otolith analyses using the cross-section and surface methods

TOMOAKI ISEKI,^{1a*} MASAHARU MACHIDA,^{2b} HIROYUKI TAKEUCHI,²
YUTA YAGI¹ AND SHINJI UEHARA¹

¹Niigata Laboratory, Japan Sea National Fisheries Research Institute, Japan Fisheries Research and Education Agency, Niigata, Niigata 951-8121, ²Miyazu Laboratory, Japan Sea National Fisheries Research Institute, Japan Fisheries Research and Education Agency, Miyazu, Kyoto 626-0052, Japan

Age and growth of red tilefish *Branchiostegus japonicus* caught from June to December, 2012 in western Wakasa Bay, Japan, were investigated based on otolith analyses using the cross-section and surface methods. Assuming annual formation of ring marks and a hatching date of September 1, which was inferred based on observed monthly change in the proportion of mature females ($GSI \geq 2.5$), ages were assigned to individuals according to the number of ring marks in the sectioned otoliths. Since there were almost no one- or two-year-old fish specimens sampled, back-calculated length data of these fish were complemented using otoliths of ring groups 1–3 by the surface method. Briefly, the first and second ring radii of each specimen were substituted into relational expressions between otolith radius and standard length of females and males. Length-at-age data were fitted to the von Bertalanffy growth equations by a non-linear least squares method. The equations were estimated as follows: $Lt = 276(1 - \exp^{-0.490(t-0.215)})$ for females and $Lt = 389(1 - \exp^{-0.320(t-0.0483)})$ for males, where Lt is the standard length (mm) at age t . The maximum ages observed were 18 and 14 years for females and males, respectively.

キーワード：アカアマダイ, 耳石横断面法, 成長, 年齢, 表面法, 若狭湾西部

アカアマダイ *Branchiostegus japonicus* は日本海西部を代表する沿岸性の高級魚であり, 延縄, 漕ぎ刺し網, 底びき網漁業等の重要な漁獲対象種となっている。特に若狭湾においては「ぐじ」と称され, 伝統的な京料理の食材として用いられるなど, 水産資源としての重要性は極めて高く, 古くからその資源生態に関する知見が蓄積されている。¹⁻⁴⁾ このうち年齢と成長については, 年齢査定に鱗を用いた報告¹⁾および耳石輪紋の表面観察(以下, 表面法)を用いた報告がある。⁴⁾ これらの報告においては, 本種は再生鱗の出現率が著しく高く, 大型個体

の鱗のほとんどが再生鱗であるとしているほか,¹⁾ 耳石輪紋については, 雄は7輪魚, 雌は8輪魚まで成長解析を行い, それ以上の高齡魚については輪紋の判読が不確実として解析から除外するなど,⁴⁾ 高齡魚の年齢査定についての問題点が指摘されている。表面法では, 耳石横断面法(以下, 横断面法)と比べて, 年齢が過小評価される例が他魚種でも多く報告されており, 高齡魚の年齢査定における横断面法の有効性が指摘されている。⁵⁻⁸⁾ アカアマダイの成長解析では, 年齢形質に鱗を用いた1960年代までの報告を除き,^{1,9)} 概ね表面法による年齢

査定が用いられてきた。^{4,10-15)} 一方、横断面法を用いているのは、東シナ海産の大型個体で表面法による年齢査定結果を横断面法と照合した山下ら¹⁵⁾および土佐湾における明神¹⁶⁾の2報に過ぎない。このうち土佐湾における報告¹⁶⁾では雌で19歳、雄で16歳までの年齢と全長の関係が得られており、横断面法では10歳以上魚であっても年齢査定が可能であること、各海域で概ね10歳前後とされてきた本種の寿命^{13,15,17)}が、同海域では雌雄ともに15歳を超えることが明らかとなっている。

このことから、若狭湾西部海域において、横断面法による年齢査定を用いて高齢魚も含めた成長解析を行うことは、極限体長の正確な推定等による成長式の精度向上のみならず、寿命等の適切な資源特性値の下で資源解析を実施し、資源状況および漁獲実態を明らかにする上でも極めて重要である。そこで本研究では年齢査定に横断面法を主に用い、標本数が不十分であった1,2歳魚については、表面法で求めた3輪以下群の耳石径と体長の関係式および第1,第2輪紋径から、各個体の1,2歳時の体長を逆算推定し、データを補完することにより、若狭湾西部海域におけるアカアマダイの年齢と成長について調べた。

材料と方法

標本および魚体測定 本研究で用いた標本は、若狭湾西部海域の水深50–70 mにおいて、2012年6–12月の各月に延縄で漁獲され、京都府漁業協同組合宮津支所管内の江尻漁港に水揚げされた雌410個体（標準体長，SL：以下，体長；181–314 mm），雄164個体（188–383 mm），雌雄不明1個体（130 mm）の計575個体（Fig. 1, Table 1）である。なお、各標本収集日においては、1隻あるいは数隻の延縄漁船により漁獲されたアカアマダイを全て標本とした。試料は体長を1 mm単位、体重を1 g単位で測定した。生殖腺を摘出して肉眼

により雌雄の判別を行った後、生殖腺重量を0.01 g単位で秤量した。続いて左右の耳石（扁平石）を摘出し、水洗後、乾燥保存した。なお6月の標本は7個体と少なく、漁獲日が月末（6月28日）であったため、以降の解析で時期別のデータを示す場合には、これらを7月（月上旬）の標本として取り扱った。

年齢起算日の仮定 年齢起算日を仮定するため、雌の標本を用いた以下の方法により産卵盛期を推定した。東シナ海産アカアマダイ雌で成熟頻度が80%を超える、生殖腺熟度指数〔以下，GSI：（生殖腺重量/体長³）×10⁷〕が2.5以上の個体を雌の成熟個体とし、¹⁸⁾成熟個体の割合が特に高い期間を産卵盛期とみなした。なお、アカアマダイ雌では大型個体ほど早期から成熟が進む事

Fig. 1 Map showing the sampling location (shaded area) of *Branchiostegus japonicus* in western Wakasa Bay.

Table 1 Summary of specimens used in the present study

Date	Number of specimens			Range of standard length (mm)		
	Female	Male	Unknown	Female	Male	Unknown
Late June 2012	4	3		236–268	270–322	
Early July	2	1		241–252	344	
Mid-July	12	2		250–277	242–302	
Late July	31	18		188–297	219–317	
Early August	31	7		181–270	233–303	
Late August	44	11		197–288	190–346	
Mid-September	84	56		182–261	188–380	
Late October	39	19		205–314	224–383	
Late November	163	47		210–309	228–374	
Early December			1			130
Total	410	164	1	181–314	188–383	130

例^{2,16,19})や大型個体ほど GSI が高い事例が知られており,¹⁵⁾ 本研究では各月に得られた雌の体長範囲が必ずしも一定ではなかったため、漁獲月(旬)ごとに体長と GSI の関係を調べた。

耳石横断切片の作成および輪紋判読 年齢査定に際し、左体側(破損、紛失等の場合は右体側)より摘出した耳石(扁平石)をエポキシ樹脂(ビューラー社 エポヒート)に包埋後、自動精密切断機(ビューラー社 ISOMET1000)により耳石中心部を含む短軸方向に 0.5–0.7 mm 厚で切断して、薄層切片を作成した。切片はスライドガラスに貼り付け、耐水研磨紙(#600, #1200)を用いて表面を研磨後、透過光下で実体顕微鏡による観察を実施した。なお、本研究における耳石径、各輪紋径の計測に際しては顕微鏡デジタルカメラシステム(ニコン社 DIGITAL SIGHT)を用い、それぞれを 0.001 mm 単位まで測定した。

耳石横断面では、Fig. 2 の濃色(黒)で観察される不透明帯と淡色(白)で観察される透明帯が交互に形成されているが、中心部の核(不透明帯)に隣接する透明帯は不明瞭であり、それに続く(第 1)不透明帯が核とほぼ連続しているように観察される場合も多い。核の左右(背-腹)方向に形成される幅広い帯状の不透明帯は、表面法で観察される不透明帯の横断面にあたるが、加齢に伴って不明瞭となり、また、耳石の伸長が停滞する高齢時には識別(計数)が困難となる。一方、耳石の肥厚する方向(体軸側, Fig. 2 の上方向)で観察される不透明帯は、概ね細い線状かつ比較的明瞭で高齢時でも計数可能であると考えられたため、本研究ではこの部位の不透明帯を輪紋とみなした。ただし、第 1 輪については、この構造がほぼ識別できないか、もしくは形成されない個体も見られたため、表面法で観察される第 1 不透明帯に対応する、核の左右に最初に確認される帯状の不透明帯を計数した (Fig. 2a)。

なお、本研究では周年の標本が得られなかったため、以下に示す輪紋形成期の推定においても、横断面法における輪紋形成の年周期性については論じることが出来ない。しかし、表面法を用いた本種の年齢と成長に関する諸報告においては、輪紋が年輪であることが確認されている。^{4,12,14,15,20)} そこで本研究では、横断面法における輪紋も年輪であることを確認するため、一部の標本について、本研究における横断面法と右体側の耳石を用いた表面法⁴⁾による年齢査定結果を比較した。

輪紋形成期の推定 輪紋形成期を推定するため、調査期間を通じて十分な数の標本が得られた 3–6 輪群の縁辺成長率 (MI) を以下の式により求めた。

$$MI = (R_{BP} - R_n) / (R_n - R_{n-1})$$

本研究では、耳石の肥厚する方向かつ隆起 (crist) を有さない側で、耳石外縁が屈曲する部位を屈曲点 (bend-

Fig. 2 Transverse section of the otolith of a male *Brachistegus japonicus* (containing five ring marks, 310 mm SL), sampled on September 13. C, crista; F, focus; S, sulcus; BP, bending point (defined in the present study). Scale bar = 1.0 mm. (a) Two representative reading axes of the second to the last ring marks (indicated by arrowheads) in the proximal direction. The first ring mark was defined as the first opaque zone in the dorsal-ventral direction (broad white bars). (b) Detailed view of the rectangular section in (a). Values indicate the ring marks (1–5). Ring marks in the proximal direction are continuous structures to the (dorsal-) ventral direction but often indistinct or unidentifiable (areas shown by dotted lines). Broad white bars denote the transverse plane of the opaque zone corresponding to those observed by the surface method. Marginal increment (MI) for ring groups 3–6 was calculated as follows: $MI = (R_{BP} - R_n) / (R_n - R_{n-1})$.

ing point: BP) とし、 R_{BP} は核と屈曲点を結ぶ軸の長さ(耳石径)、 R_n , R_{n-1} ($n=3-6$) は、それぞれ同軸上における核から最外輪紋およびその一つ内側の輪紋までの長さ(各輪紋径)を表している (Fig. 2b)。ただし、外縁部がなだらかな曲線で明瞭な屈曲点が見られない場合には、Fig. 2 の右上方で外縁部が上に凸に変曲する部位を屈曲点と見なした。軸上で輪紋径の計測が困難な個体については、本解析から除外した。

若齢時データの補完 本研究で用いた標本は全て延縄による漁獲物であるため、小型個体が少なく、体長 180 mm 未満の個体は雌雄不明の 1 個体 (130 mm) のみであった。従って、成長解析にあたっては、漁獲開始前あるいは漁獲がほとんど見られない若齢時の体長データが不十分である。そこで、横断面法で輪紋数が 1 から 3 本と判断された標本(以下、3 輪以下群)の右体側より摘出した耳石を用い、表面法により、第 1、第 2 輪紋形

成時の体長を次の方法で推定し、データを補完することとした。本研究では、表面法による輪紋（不透明帯の外縁）の最大突出部が、高齢時の輪紋になるほど Fig. 3 の右回りにずれていく傾向が認められたため、以下で用いる耳石径および各輪紋径の計測に際しては、耳石の成長軸に沿った計測軸を設定することが望ましい。ただし、本解析で対象とした 3 輪以下群については、第 2、第 3 輪の最大突出部が、第 1 輪と耳石外縁の最大突出部を結ぶ直線上に位置していることが確認された。このため本研究では、核と第 1 輪の最大突出部を結ぶ第 1 輪紋径（第 1 計測軸）と、第 1 輪と耳石外縁の最大突出部を結ぶ線分（第 2 計測軸）の長さの和を耳石径（OR）とし、第 2 輪紋径は、第 1 輪紋径と、第 2 計測軸の始点から同軸上の第 2 輪の最大突出部までの長さの和により表すこととした（Fig. 3）。まず、雌雄それぞれの耳石径と体長の関係式を求め、個体ごとの第 1、第 2 輪紋径をこの関係式に代入することにより各輪紋形成時の体長を逆算推定した。なお、第 1 輪紋径の計測精度が低いと考えられた個体は全ての解析から除外し、第 2 輪紋径のみの計測精度が低いと考えられた個体については第 2 輪紋形成時の体長推定は行わなかった。尾崎ら⁴⁾は、表面法を用いた場合の輪紋形成期は 8、9 月であり、各輪紋形成時の体長はほぼ満年齢時の値を表しているとしていることから、本研究では、上記により求めた第 1、第 2 輪紋形成時の体長もそれぞれ満 1、2 歳時の値であるとした。

成長曲線の当てはめ 以上のように求めた個体ごとの輪紋数、漁獲日、仮定した年齢起算日、推定した輪紋形成期の関係から各個体の年齢を決定した。続いて、3 輪

Fig. 3 Right otolith for ring groups 1–3 of *Branchiostegus japonicus* showing the measurement axes by the surface method. OR, r_1 and r_2 indicate the otolith radius, first and second ring radii, respectively. F, focus. Scale bar = 2.0 mm.

以下群の満 1、2 歳時の推定体長についてもデータに加え、Microsoft Office Excel 2013 のソルバーアドインを用いた非線形最小二乗法により、雌雄別の年齢と体長の関係をベルタランフィの成長曲線に当てはめた。²¹⁾

結 果

年齢起算日 雌の標本について、漁獲月（旬）ごとの体長と GSI の関係を Fig. 4 に示した。9 月で 250 mm 以上の標本が少なかったものの、7–9 月では大型個体ほど GSI が高い傾向が見られた。また、成熟個体とみなした GSI が 2.5 以上の個体の割合は総じて高く、7 月が 69%，8 月が 91%，9 月が 92% であった。一方、10 月下旬以降の標本を用いた 10、11 月では GSI と体長との関係は明確ではなく、GSI が 2.5 以上の個体の割合は 10 月が 33%，11 月が 0% と低かった。これらの結果から本研究では、成熟個体の割合が特に高かった 8、9 月を産卵盛期とみなし、9 月 1 日を年齢起算日と仮定した。

輪紋形成期 3–6 輪群の各個体で求めた縁辺成長率を 0.2 間隔で階級分けし、月ごとの階級別出現割合を Fig. 5 に示した。縁辺成長率が 0.2 未満（0–）の個体は 7–9 月に、0.2 以上 0.4 未満（0.2–）の個体は期間を通じて出現し、いずれもその割合は徐々に減少した。一方、0.4 以上（0.4–、0.6–、0.8–、1.0–）の個体の割合は 7 月

Fig. 4 Relationship between standard length and gonad somatic index (GSI) for female *Branchiostegus japonicus*. Open/closed circles, triangles and squares indicate mature individuals (GSI ≥ 2.5)/other individuals (GSI < 2.5) for early, mid and late periods of each month, respectively.

Fig. 5 Monthly changes in the frequency composition of each marginal increment (MI) class for ring groups 3-6 of *Branchiostegus japonicus*.

(17%) から 11 月 (93%) まで徐々に増加するとともに、9-11 月にかけては、より高い階級を主体とした組成に段階的に移行した。なお、7, 8 月に縁辺成長率が 0.6 以上 (0.6-, 0.8-, 1.0-) の個体の割合は低かったが (7 月 11%, 8 月 6%), これらの個体に占める 0.8 以上 (0.8-, 1.0-) の個体の割合は高かった (7 月 75%, 8 月 60%)。以上の結果から 7-11 月は、全体としては、最外輪紋の外側に透明帯が形成され、その幅が徐々に増大していく期間にあたり、ほとんどの個体で最外輪紋は 7 月までに形成されていると判断された。ただし、縁辺成長率が 0.6 以上であった個体のうち、7 月に得られた全て (8 個体) および 8 月に得られた 5 個体中 4 個体については、新たな輪紋の形成 (直) 前であるとみなした。

なお、本研究における横断面法で 1-4 歳と査定された計 224 個体について、右体側の耳石を用いた表面法⁴⁾による年齢査定結果と照合したところ、一致率は 98% (220 個体) であった。また、東シナ海産アカアマダイの大型個体 (表面法で 2-9 輪魚) では、表面法と横断面法の輪紋数は概ね一致し (87.5%), 手法による誤差も ± 1 輪までで高齢魚ほど誤差が大きくなるわけではないとされている。¹⁵⁾ これらのことから、本研究で定義した横断面法における輪紋も年齢であると仮定し、以降の解析に供した。

年齢と成長 横断面法により全 575 個体中 549 個体 (95%) の年齢査定が可能であり、雌で 2-18 歳、雄で 2-14 歳の個体が確認されたが、その多くは雌雄ともに 3-6 歳であった。また、雌雄不明の 1 個体は 1 歳魚であった。本研究では、年齢を特定できなかった 7 個体も含めて、10 歳以上の個体が雌で 19 個体 (4.6%), 雄で 2 個体 (1.2%) 確認され (Fig. 6), これらの中には 20 歳以上と推定される個体も見られた (雌 2 個体, 雄 1 個体)。なお、これら的高齢魚では、多くの場合、耳石は著しく肥厚しており、横断面の左右の縁辺が上に反り返っている個体も確認された。

Fig. 6 Transverse sections of the otoliths of the two representative old specimens (≥ 10 -year-old fish) of *Branchiostegus japonicus*. (a) 279 mm SL female with 18 ring marks; (b) 374 mm SL male with 14 ring marks. Values indicate the annual ring number. Scale bar = 1.0 mm.

Fig. 7 Relationship between otolith radius and standard length for ring groups 1-3 for female and male *Branchiostegus japonicus*. Closed circles indicate data from fish of unknown sex.

雌雄それぞれの 3 輪以下群における、表面法による耳石径 (OR) と体長 (SL) の関係は、以下の関係式で表された (Fig. 7)。なお、これらの式は、雌雄それぞれで求めた回帰直線に共分散分析を適用した結果、傾きが等しく、切片が異なる 2 直線で表される ($p < 0.05$)。ここで、雌雄不明の 1 個体については、標本中の最小個体かつ唯一の 1 輪魚であったため、雌雄両方のデータとして用い、それぞれの標本数にも含めた。

$$\text{雌: } SL = 48.2OR + 6.2 \quad (R^2 = 0.45)$$

$$\text{雄: } SL = 48.2OR + 14.5 \quad (R^2 = 0.63)$$

これらの式と各個体の第 1, 第 2 輪紋径より推定した満 1, 2 歳時の体長および横断面法により得られた各個体の年齢と体長のデータを、非線形最小二乗法によりベ

Fig. 8 Length-at-age data fitted to von Bertalanffy growth equations for female and male *Branchiostegus japonicus*. Open (female, male) and closed (unknown sex) circles indicate the data obtained by the cross-section method. Crosses indicate length data for 1 and 2-year-old fish back-calculated using the surface method in ring groups 1–3. Solid and dotted growth curves are estimated from all plots and circles only, respectively.

ルタランフィの成長式に当てはめた結果、雌雄別に以下の成長式が得られた (Fig. 8)。ここでも、雌雄不明の1個体については雌雄両方のデータに加え、それぞれの標本数にも含めた。

$$\text{雌: } Lt = 276(1 - \exp^{-0.490(t-0.215)}) \quad (n = 391)$$

$$\text{雄: } Lt = 389(1 - \exp^{-0.320(t-0.0483)}) \quad (n = 159)$$

ここで、 Lt は年齢 t 歳における標準体長 (mm)、 n は雌雄それぞれの標本数であり、3輪以下群から推定して補完した1, 2歳の体長データ数は含まれていない。

両式から推定される雌雄それぞれの体長は1, 3, 5, 10歳で、雌が88, 205, 249, 273 mm, 雄が102, 238, 310, 373 mmとなった。各年齢時の推定体長は雄で大きく、極限体長も雄で389 mmと雌の276 mmに比べて大きい。また、雌の成長は6, 7歳以降ではほぼ横ばいとなったのに対し、雄で成長が停滞するのは10歳以降であった。成長の個体差は比較的大きく、雌では4歳、雄では5歳で、極限体長に近い体長を示す個体が見られた。なお、1, 2歳時のデータ補完を行わなかった場合の雌雄それぞれの成長式を同様の方法で推定し、Fig. 8に併せて示した。

考 察

年齢起算日 本研究では、雌で成熟個体の割合が特に高かった8, 9月を産卵盛期とし、年齢起算日を9月1

日と仮定して年齢査定を実施した。既往の知見では、若狭湾西部海域におけるアカアマダイの産卵期は6–10月、産卵盛期は9, 10月とされている。^{1,2)} 本研究で用いた10月の標本は10月下旬に得られたものであり、また6月末よりも早い時期の標本も未入手のため、近年における本種の産卵期間およびその盛期、特に10月が産卵盛期かどうかについては検討することは出来ない。しかし、10月下旬の標本における雌の成熟個体の割合が33%と低く、産卵盛期は遅くとも10月中旬までと考えられたことから、年齢起算日を9月1日としても満年齢とのずれは大きくないと言える。

輪紋形成期 3–6輪群の縁辺成長率の月ごとの階級別出現割合から、7–11月は、全体としては、最外輪紋の外側に透明帯が形成され、その幅が増大していく期間にあたり、主に7月までには（最外）輪紋が形成されていると考えられた。若狭湾西部海域における尾崎ら⁴⁾による表面法の年齢解析では、耳石縁辺部における不透明帯の出現割合は6, 7月で高く、輪紋の読み取り位置とした透明帯の内縁（不透明帯の外縁）の形成時期を主に8, 9月であるとしている。表面法で観察される不透明帯は、横断面では核の左右方向に形成される幅広い帯状の不透明帯に対応する (Fig. 2a)。本研究で輪紋と定義した耳石が肥厚する方向の不透明帯は、核の左右方向まで連続した構造であり、核の左右方向では概ね不鮮明ではあるものの、その一部については上述の帯状の不透明帯の内縁（付近）でも確認される (Fig. 2b)。すなわち横断面においては、本研究における輪紋に続いて帯状の不透明帯が形成され、その外縁の形成時期が表面法における輪紋形成期と一致すると考えられる。このことにより本研究における横断面法と尾崎ら⁴⁾による表面法との輪紋形成期の違いが説明可能である。

寿命（標本の最高齢） 本研究では、横断面法により雌では18歳、雄では14歳までの年齢査定が可能であった。10歳以上とされた21個体についてはその29%（6個体）で年齢を特定することが出来なかったが、尾崎らによる表面法で雄の8輪以上魚、雌の9輪以上魚の輪紋判読が不確実であるとされたことと比べて、⁴⁾横断面法はアカアマダイ高齡魚の年齢査定に十分に有効であると言える。なお、若狭湾西部海域における本種の寿命に関する明確な報告はないものの、他海域での寿命は、成長解析に用いた標本の最高齢から、アカアマダイ東シナ海系群の雌で9歳程度、雄で10歳程度、^{15,17)}徳島県太平洋沿岸域で雌雄ともに12歳とされている。¹³⁾ また、本研究と同じく横断面法を用いた土佐湾の報告では、標本の年齢範囲や寿命に関する記述は見られないものの、雌で19歳、雄で16歳までの年齢と全長の関係を図示している。¹⁶⁾ 最高齢が雌で約9歳、雄で約10歳であった、山下ら¹⁵⁾による東シナ海の報告では、大型

個体を含む多数の標本が用いられており、また、表面法による輪紋判読を実施しているものの、大型個体の一部については横断面法による判読結果と比較し、表面法でもほぼ同等に輪紋を読み取れるとしている。このことから、山下ら¹⁵⁾と本研究に見られた最高齢の違いは、標本の体長範囲や表面法による年齢の過小推定によるものではなく、漁獲物の年齢組成を反映したものであると考えられた。本研究も含め、本種の寿命あるいは成長解析に用いた標本の最高齢には大きな海域差が見られた。^{13,15-17)} 本種は穴居生活を行うという習性²²⁾から定着性が強いと考えられるほか、東シナ海では漁獲物の体長組成に海域差があることが報告されており、²³⁾ 海域ごとの漁場環境や漁獲圧、資源状況が、標本に用いた漁獲物の年齢組成に影響を及ぼしている可能性がある。

本研究では、標本に占める雌の割合が71%と高かった。また、10歳以上の高齢魚の割合は、雌では4.6% (19個体)であったのに対し、雄では1.2% (2個体)と低かった。本種では雄の方が大型化し、体長315 mm以上の個体は全て雄であった。このことから、雄で高齢魚の割合が低かったことは雌雄の寿命差に起因するものではなく、標本に雄の高齢魚にあたる大型個体 (体長350 mm以上) が少なかったことによると考えられた。

成長の既往知見との比較 本研究で得られた雌雄それぞれの年齢と成長の関係を、代表的な海域における比較的近年の知見^{4,13,15)}とともに Fig. 9 に示した。いずれの海域においても雄の成長は1歳時から雌を上回り、極限体長も大きい。本研究の結果を同海域における表面法による知見⁴⁾と比較すると、各年齢時の推定体長は、雄

では1歳時を除き、本研究で一貫して大きく、加齢に伴って体長差が増大した。雌においても概ね本研究の方が大きかったが、4歳以降は加齢に伴って体長差は縮小し、6-8歳ではほぼ同程度となった。本研究では延縄による漁獲物のみを標本に用いており、雌雄不明の1歳魚1個体、雌雄各1個体の2歳魚を除く、全てが3歳以上であった。このため1, 2歳時の体長データは、表面法により3輪以下群から逆算推定、補完したものである。一方、尾崎ら⁴⁾は、釣延縄による漁獲物の他に桁曳網試験操業で採捕された個体を用いており、通常、釣延縄では漁獲されにくい1, 2歳魚が標本の多くを占めていることから、1, 2歳時の推定体長については実データに基づいたものであると言える。ただし、両研究の1, 2歳時の推定体長差は、雌の1歳時を除いて大きくはなく、本研究では表面法で1, 2歳時のデータを補完したことにより、1, 2歳魚の標本不足を概ね補うことが出来たと言える。

また、若狭湾西部海域では、延縄によるアカアマダイ漁獲物の約80%以上が4歳以上であり、⁴⁾ 卓越年級群が2歳で多く漁獲された年を除くと、雌では5歳、雄では4歳の漁獲尾数が最も多い。^{4,24)} ここで、山下ら²⁵⁾は、東シナ海産アカアマダイにおける釣針の種類、大きさ別の漁獲サイズ選択性を単調増加のロジスティック曲線で表している。これらのことから、若狭湾西部海域においては、雌で5歳、雄で4歳に達するまでは、釣針 (や釣餌) の種類や大きさの影響で小型個体ほど漁獲されにくい、すなわち、同年齢でも大型の個体ほど漁獲されやすいと考えられる。本研究と同様、延縄漁獲物のみを標本とした東シナ海産アカアマダイの年齢と成長に関する報告¹¹⁾では、表面法による若齢魚の各輪紋径が高齢魚と比べて大きく (Lee 現象)、各輪紋形成時の推定体長も大きいことから、若齢魚では特に成長のよい個体のみが漁獲対象となっているとしている。このことから、本研究においては、延縄による漁獲開始以降、完全な漁獲対象となるまでの、雌の5歳未満、雄の4歳未満の各年齢の標本の体長および推定体長は、実資源における同年齢の平均より大きくなっている可能性が高い。

一方、尾崎ら⁴⁾が用いた桁曳網のサイズ選択性は明らかでないものの、体長50 mm程度の標本も含まれることから同網の目合いは十分に小さく、小型個体の網目からの逃避による、1歳以上魚のサイズ選択性への影響はないと考えられる。また、底曳網によるアカアマダイのサイズ選択性は、全長が大きくなるほど選択率が低下する単調減少のロジスティック曲線で表される。²⁶⁾ 底曳網の一種である桁曳網においても、全長が大きくなるほど選択率が低下すると仮定した場合、延縄とは対照的に、同年齢では大型の個体ほど漁獲されにくくなる。すなわち、桁曳網で得られた標本を含む尾崎ら⁴⁾の各年齢時の

Fig. 9 Comparison of growth curves of *Branchiostegus japonicus* between present study and previous studies.

推定体長は、全長の増大に伴う選択率の低下により桁曳網による漁獲がほとんど見られない年齢範囲(大型個体)を除いて、延縄による漁獲物のみを標本とした本研究と比べて小さくなる可能性がある。

延縄による完全な漁獲対象となる5歳以降の雌で、本研究と尾崎ら⁴⁾との推定体長差が縮小し、6-8歳ではほぼ同程度となったことは対照的に、雄で4歳以降も差が増大することは、上述の漁具の違いによる説明と矛盾する。本研究では、雄の成長が停滞するのは10歳以降であると考えられたが、尾崎ら⁴⁾においては、表面法による輪紋判読が不確実との理由で8輪以上魚が解析から除外されている。その結果、尾崎ら⁴⁾による雄の極限体長は、同研究で得られた最大個体(386 mm)および本研究による極限体長(389 mm)より過小な336.5 mmとなっている。このことから、雄で4歳以降も両研究の推定体長差が増大するのは、それぞれの成長式の推定に用いた標本の年齢、体長範囲に起因すると考えられた。

その他にも標本の得られた年代や水深帯、その年代の資源状況や環境要因等の違いが両研究で見られた成長差の原因となっている可能性は否定できないが、ここでは検討することが出来なかった。

また、他海域との比較においては、雌では東シナ海と同様で徳島県太平洋岸を概ね上回る成長、雄では徳島県太平洋岸と同様で東シナ海を概ね上回る成長を示した。^{13,15)} 雌雄では傾向が異なり、また、1,2歳や7歳以降で海域間の関係が逆転する場合も見られた。雌雄それぞれの成長と海域の関係は明瞭ではなく、年齢査定が可能であった最大体長や各海域における若齢魚に対する漁獲サイズ選択性が、推定結果に影響している可能性もある。

本研究では、若狭湾西部海域より得られたアカアマダイの成長解析に際し、横断面法を用いて、表面法では困難であった10歳以上の高齢魚も含めた年齢査定を実施し、同海域の漁獲物に15歳以上の個体が含まれることを明らかにした。一方、大型の雄の標本数が不十分であったこと、雌雄ともに確認された20歳以上の個体で年齢の特定が出来なかったことから、具体的な寿命については明示出来なかった。資源特性値の一つとしての「寿命」は魚類の資源解析結果に大きな影響を与えることから、若狭湾西部海域のみならず各海域のアカアマダイにおいても、横断面法を用いて、より多くの大型個体での解析を実施することにより雌雄それぞれの寿命を明らかにすることが必要である。また、本研究では雌で18歳、雄で14歳までの標本を用いたベルタランフィの成長式が得られたが、延縄による漁獲物のみを標本としたため、ほとんど漁獲されない1,2歳魚の標本が乏しく、また、漁獲開始年齢以降であっても、延縄の漁獲サ

イズ選択性により若齢時の体長が過大推定されている可能性も考えられた。これらのサンプリング方法に起因する問題点については、調査船を用いた桁曳網調査など、延縄以外の漁法により得られた個体を標本に加えること、若狭湾西部海域で操業される延縄漁法による漁獲サイズ選択性を明らかにすること等により、再検討する必要がある。我が国におけるアカアマダイの主漁法は延縄漁法であり、多くの成長解析においても延縄による漁獲物が主に用いられている。^{11,13,15,16)} 各海域で用いられる釣針(や釣餌)の種類(形状)および大きさも様々であると考えられることから、本種の成長解析およびその結果を用いた資源解析、あるいは成長の海域間比較等の際には、標本の漁獲方法、特に延縄による漁獲サイズ選択性についても考慮した検討を行うことが望ましい。以上のように、本研究により、若狭湾西部海域におけるアカアマダイの年齢と成長についての新たな知見が得られ、また、解決すべき課題が明らかとなったことは、当海域のみならず、我が国における本種の資源生物学的研究および資源管理を進める上で有用な成果であると言える。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、黒田 高氏、黒田憲夫氏、斉藤治雄氏、斉藤博信氏、下野雅己氏、永濱 肇氏、福田 稔氏ならびに京都府漁業協同組合の関係者の皆様には、標本の入手にご理解、ご尽力を賜りました。ここに記して関係各位に感謝の意を表する。魚体計測、耳石横断切片の作成にご協力いただいた日本海区水産研究所の元契約職員の漁野繁子氏、契約職員の稲垣由紀氏、ご助言、ご助力をいただいた同研究所の職員各位に厚く御礼申し上げる。また、本稿を査読頂いた2名の匿名審査員と担当編集委員に深謝する。

文 献

- 1) 船田秀之助. 若狭湾におけるアカアマダイの資源調査アカアマダイの生物学的研究. 京都府水産試験場業績第15号. 1963; 1-24.
- 2) 清野精次, 林 文三, 小味山太一. 若狭湾産アカアマダイの生態研究—I, 産卵と性比. 京都府立海洋センター研究報告 1977; 1: 1-14.
- 3) 清野精次, 林 文三. 若狭湾産アカアマダイの生態研究—II, 未成魚・成魚の分布. 京都府立海洋センター研究報告 1977; 1: 15-28.
- 4) 尾崎 仁, 飯塚 覚, 宮嶋俊明, 濱中雄一. 若狭湾西部海域におけるアカアマダイの年齢と成長. 京都府立海洋センター研究報告 2008; 30: 1-11.
- 5) Hayashi A, Dotsu K, Ohta M. Reliability of surface reading methods to count otolith opaque zones on aging in marbled rockfish *Sebastes marmoratus* compared with the cutaway reading method. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1995; 61: 1-5 (in Japanese with English abstract).
- 6) 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.
- 7) 山本昌幸, 片山知史, 牧野弘靖, 竹森弘征. 瀬戸内海中央部におけるコウライアカシタビラメの年齢, 成長および漁獲年齢組成. 水産海洋研究 2008; **72**: 174-181.
 - 8) Inagawa R, Hattori T, Watanabe K, Narimatsu Y, Ito M. Growth pattern and age composition of roughscale sole *Clidoderma asperum* off the Pacific coast of northern Honshu, Japan. *Nippon Suisan Gakkaishi* 2012; **78**: 1118-1126 (in Japanese with English abstract).
 - 9) Yasuda H, Kosaka M. On the growth of the Japanese principal fish. IV. *Branchiostegus japonicus* (Houttuyn) and its allied forms. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1950; **15**: 855-858 (in Japanese with English abstract).
 - 10) Lim PY, Misu H. On the age determination of the Akamada, *Branchiostegus japonicus japonicus* (Houttuyn), in the adjacent waters of Tsushima Islands. *Bull. Seikai Reg. Fish. Res. Lab.* 1974; **46**: 41-51.
 - 11) Hayashi Y. Studies on the growth of the red tilefish in the East China Sea-II: Estimation of age and growth from otolith-reading. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1976; **42**: 1243-1249 (in Japanese with English abstract).
 - 12) 築山陽介, 多部田修. 東シナ海産アカアマダイの年齢と成長. 平成7年度東海・黄海底魚資源管理調査委託事業報告書, 水産庁, 東京. 1996; 22-33.
 - 13) 渡辺健一, 上田幸男, 城 泰彦. 徳島県太平洋沿岸域のアカアマダイの年齢と成長. 平成5年度徳島県水産試験場事業報告書. 1995; 293-302.
 - 14) Yoo JT, Choi YM, Kim YH, Choi JH. Age and growth of the red tilefish, *Branchiostegus japonicus* in the northern East China Sea. *J. Environ. Biol.* 2008; **29**: 437-441.
 - 15) Yamashita H, Sakai T, Katayama S, Tokai T. Re-examination of growth and maturation of red tilefish *Branchiostegus japonicus* in the East China Sea. *Nippon Suisan Gakkaishi* 2011; **77**: 188-198 (in Japanese with English abstract).
 - 16) 明神寿彦. アマダイ類の資源生態の解明と資源管理手法の検討. 平成17年度高知県水産試験場事業報告書 2007; **103**: 20-25.
 - 17) 酒井 猛, 青沼佳方. 平成26(2014)年度アマダイ類(東シナ海)の資源評価. 平成26年度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種以外)第2分冊, 水産庁増殖推進部, 東京. 2015; 1076-1092.
 - 18) 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, 東京. 1995; 114-144.
 - 19) Hayashi Y. Studies on the maturity and the spawning of the red tilefish in the East China Sea-I: Estimation of the spawning season from the monthly changes of gonad index. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1977; **43**: 1273-1277 (in Japanese with English abstract).
 - 20) Hayashi Y. Studies on the growth of the red tilefish in the East China Sea-I: A fundamental consideration for age determination from otoliths. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1976; **42**: 1237-1242 (in Japanese with English abstract).
 - 21) 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.
 - 22) 堀川博史, 李 長松, 山田梅芳, 鄭 元甲, 時村宗春. アカアマダイの生物・生態特性. 「東シナ海・黄海主要資源の生物・生態特性一日中間の知見の比較」(堀川博史, 鄭 元甲, 孟 田湘編) 水産庁西海区水産研究所, 長崎. 2001; 65-76.
 - 23) Yamashita H. Geographical difference in body length composition of red tilefish *Branchiostegus japonicus* in the East China Sea. *Nippon Suisan Gakkaishi* 2007; **73**: 1074-1080 (in Japanese with English abstract).
 - 24) 京都府立海洋センター. 丹後海の釣延縄によるアカアマダイ漁業. 京都府立海洋センター季報 2008; **94**: 1-13.
 - 25) Yamashita H, Ochi Y, Shiode D, Tokai T. Comparison of hook selectivity curve between two different-shaped hooks for red tilefish *Branchiostegus japonicus*. *Nippon Suisan Gakkaishi* 2010; **76**: 46-53 (in Japanese with English abstract).
 - 26) 山下秀幸. 東シナ海産アカアマダイの資源管理に関する研究. 博士論文, 東京海洋大学, 東京. 2009.