

伊豆諸島周辺海域におけるキンメダイの年齢と成長

秋元 清治

Age and growth of the alfonsino *Beryx splendens*
from the waters around Izu Islands

Seiji Akimoto*

Abstract

Age and growth of the alfonsino *Beryx splendens* from the waters around Izu Islands were determined by examination of whole otoliths. The samples consist of 248 fish were collected in the fishing ground around Izu Islands from September 1988 to January 2006. The study indicated that one opaque and one hyaline zone were formed annually in sagittal otoliths. Growth of *B. splendens* was expressed by the von Bertalanffy asymptotic growth function as $Lt = 492.1\{1 - \exp[-0.108(t + 3.67)]\}$ for males, and $Lt = 531.7\{1 - \exp[-0.108(t + 3.02)]\}$ for females, where t is age (year) and Lt is Fork length (mm) at age t . These two equations were significantly different ($p < 0.01$). The results of the present study were compared with those of other researchers who had studied alfonsino.

緒言

キンメダイ *Beryx splendens* は、太平洋、大西洋、インド洋の熱帯から温帯域の海山および大陸棚縁辺部の25~1,240mの水深帯に世界的規模で分布している¹⁾。日本周辺では主に茨城県から四国、九州沖を経て南西諸島に到る大陸棚縁辺部をはじめ、伊豆諸島から小笠原諸島にいたる海域に点在する海山、九州・パラオ海嶺、南緯30度付近にある駒橋海山および紀南礁などの沖合の海山群もキンメダイの良好な漁場となっている^{2,4)}。

日本周辺におけるキンメダイ資源は、主に静岡県、千葉県、高知県、神奈川県、東京都の1都4県の立縄釣り、樽流し釣りおよび底立延縄漁業者により漁獲されている。その漁獲量は、1976年の2,205トン以降急速に増大し、1984年から1990年初頭までは8,600~10,000トンの高水準が続いたが、1991年の11,041トンをピークに減少し⁴⁾、2003年には6,141トンと最盛期の約6割にまで減少しており、その資源の適切な管理が求められている。

伊豆諸島周辺海域におけるキンメダイの性比は尾叉長が36cmを越えると、雌の比率が有意に高くなることが知られている⁵⁾。このような大型魚で雌の比率が高まる性的二型は、カレイ類^{6,7)}、ヒラメ⁸⁾で良く知られているように雌雄の成長差に起因している可能性がある⁵⁾。

キンメダイの年齢と成長に関しては、これまでも日本周辺海域で多くの研究が行われてきたが^{3, 9-13)}、成長式を雌雄別に求めたものはAdachi et al¹⁴⁾および明神ら¹⁵⁾の2例があるにすぎない。このうちAdachi et al¹⁴⁾は雌雄の極限体長はほとんど変わらないとしているが、明神

ら¹⁵⁾は雌の極限体長は雄のそれよりも大きいことを示している。また、ニューカレドニア海域¹⁶⁾およびニュージーランド海域¹⁷⁾で行われたキンメダイの成長解析では、雌雄間で明神ら¹⁵⁾の報告よりもさらに大きな成長差があることが示されている。このように、キンメダイの雌雄間の成長差については幾つかの異なる知見があることから、性比の原因を検討するためには雌雄別の年齢と成長について再検討することが望まれていた。

そこで本研究では、伊豆諸島周辺海域で採集したキンメダイ成魚試料の耳石輪紋を読み取り、雌雄の年齢と成長について検討を試みた。さらに、本研究の結果および既往の知見から尾叉長の性的二型が雌雄間の成長差に起因する可能性について考察した。

材料と方法

実験に供したキンメダイ成魚試料は、1988年9月から2006年1月までの間、房総半島沖から伊豆諸島周辺海域までに点在するキンメダイ漁場において、神奈川県水産技術センター調査船江の島丸(99t)および立縄釣り漁船によって採集した雄99個体(FL 220-516mm)と雌149個体(FL 186-490mm)の計248個体である(Table 1, Fig. 1)。採集した成魚試料は氷蔵状態で実験室に持ち帰り、尾叉長(mm)、体重(g)を測定するとともに、生殖腺を摘出し、肉眼により性の判別を行った。その後、左右の耳石(扁平石)を摘出し、プラスチック袋に乾燥保管した。

Table 1 Samples collected for growth estimation of alfonsino, *Beryx splendens*

Fishing ground	Date	Number of fish (length range in mm)		Total
		Males	Females	
Off Boso Pen.(Okinoyama, Tomidashi)	3 Sep. 1998 - 12 Jan. 2006	12 (220-338)	36 (186-353)	48
Off Miyakejima (Sanbon)	6 Jul. 1999 - 1 Sep. 2005	18 (220-343)	16 (202-331)	34
Off Mikurajima (Inanba)	15 Jul. 1999 - 30 Aug. 2005	27 (300-449)	24 (228-460)	51
West of Hachijojima (Nishinose, Nanseise)	27 Jul. 1999 - 30 Jun. 2004	29 (276-516)	43 (206-490)	72
West of Torishima	26 Apr. 2000 - 12 Nov. 2003	13 (316-399)	30 (329-420)	43
Total		99	149	248

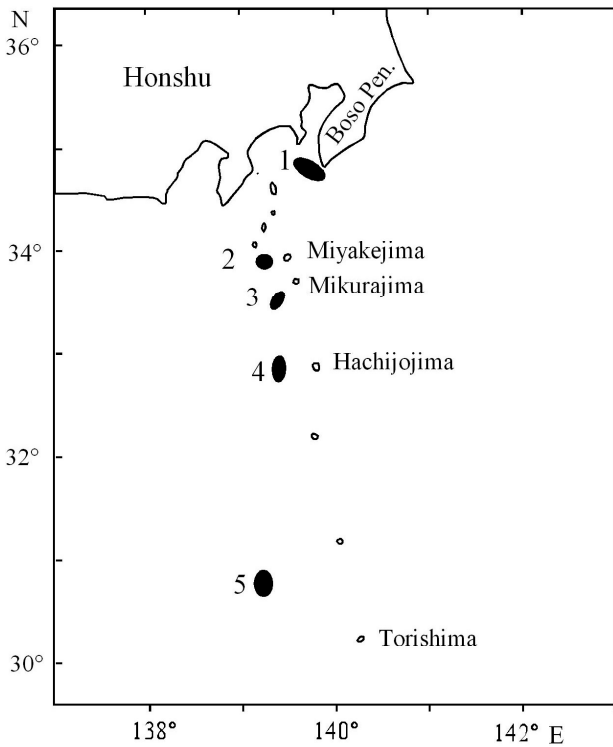


Fig. 1 Sampling locations for *Beryx splendens* in the fishing grounds around Izu Islands, Middle of Japan. 1, off Boso Peninsula (Okinoyama, Tomidashi); 2, off Miyakejima (Sanbon); 3, off Mikurajima (Inanba); 4, west of Hachijojima (Nishinose, Nanseise); 5, west of Torishima.

本種の耳石は魚体の前後方向に長く、背腹方向に短く、外面が凹状に窪んだ構造をしている。耳石輪紋の観察には原則として右側の耳石を用いたが、破損している場合は左側の耳石を用いた。耳石をグリセリンまたは蒸留水に浸漬し、デジタルマイクロスコープVHX-100 (KEYENCE社製)により反射光下で、耳石の凹面側を20 - 40倍に拡大し、輪紋数(不透明帯の外縁数)およびFocus¹⁶⁾から各不透明帯の外縁までの距離(r)を読み取った。なお、耳石の読み取り部位、輪紋の読み取り法、marginal index および年齢の算出法は、Lehodey and

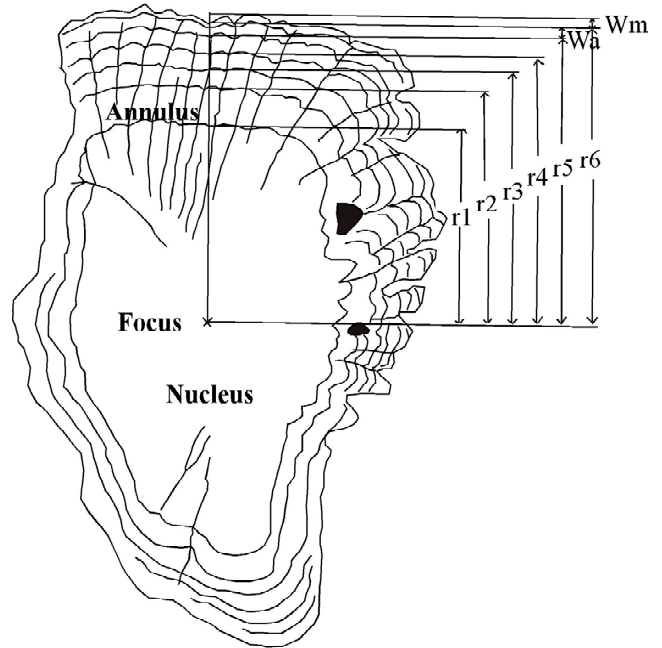


Fig. 2 Diagram of sagittal otolith, showing method used to measure radii (r) of annuli (Wm width of margin; Wa width of last complete annulus).

Table 2 Readability categories used for interpretation of sagittal otoliths and weighting coefficients

Level of readability	Categories	Weighting coefficients
Clear and unambiguous	1	4
Little or doubt	2	3
Slight doubt	3	2
Considerable doubt	4	1
Unreadable	5	0

Grandperrin¹⁶⁾の方法に従った (Fig. 2)。

Marginal index¹⁶⁾の季節変化から耳石輪紋の年周性を確認するとともに、耳石輪紋の読み取りやすさを5つのカテゴリ - に区分し、読み取りやすさによる重み付けをした後、成長解析を行った (Table 2)。

推定した各成魚試料の年齢と尾叉長のデータをもとに

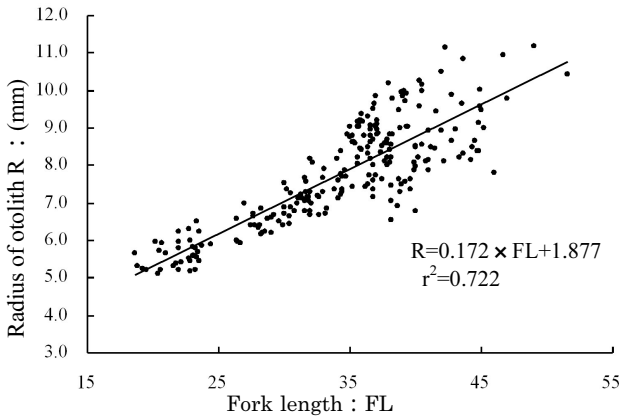


Fig. 3 Relationship between otolith radius and fork length of the alfonsino. The points and curve show the data and the estimated curve.

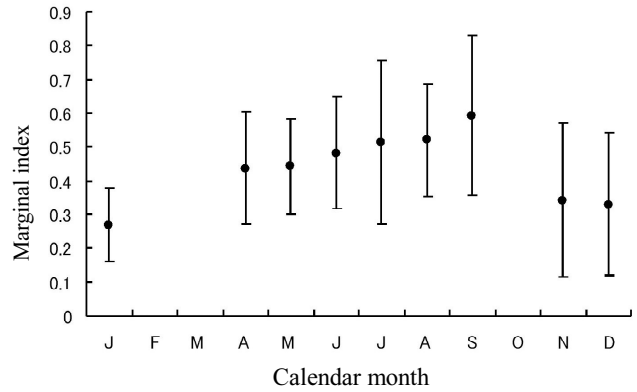


Fig. 4 Seasonal changes in mean marginal index of sagittal otoliths; both sexes combined. Data are represented by means (black circle) standard deviations.

Table 3 Frequencies and percentages of otoliths as a function of readability category, Fork length and sex

Fork length (mm)	Categories in level of readability					
	No	1	2	3	4	5
Male						
-300	19	0.0	52.6	42.1	5.3	0.0
300-350	21	4.8	23.8	61.9	9.5	0.0
350-400	44	0.0	4.5	61.4	29.5	4.5
400-	15	0.0	0.0	13.3	60.0	26.7
Total	99	1.0	17.2	50.5	25.3	6.1
Female						
-300	39	7.7	46.2	43.6	2.6	0.0
300-350	28	0.0	21.4	75.0	3.6	0.0
350-400	44	0.0	9.1	75.0	13.6	2.3
400-	38	2.6	2.6	31.6	50.0	13.2
Total	149	2.7	19.5	55.7	18.1	4.0

雌雄の成長曲線を求めた。成長式には von Bertalanffy の成長曲線を用い、Excel (Microsoft ver. 2000) のソルバーを用い、非線形最小二乗法により成長式の当てはめを行った。また、赤嶺¹⁸⁾に従い、残差平方和を比較して雌雄間の成長曲線の有意差検定 (F 検定) をおこなった。

結果

観察した全試料 (248 個体) において、尾叉長 (FL: mm) と核から耳石縁辺部までの距離 (R: mm) の間には、 $R = 0.172 \times FL + 1.877$ ($r^2 = 0.722$) の正の相関が認められた (Fig. 3)。

耳石表面には核 (Nucleus)¹⁶⁾ を含む不透明帯に続き、透明帯および不透明帯が交互に観察された。輪紋の読み取りやすさカテゴリ - 1 ~ 3 (疑惑がないあるいは少ない)

は、全試料中、雌では 77.9%、雄では 68.7% を占め、雄に比べ雌のほうが耳石輪紋は若干読み取りやすかった (Table 3)。カテゴリ - 5 (読み取り不可能) は、全試料中、雄では 6.1%、雌では 4.0% を占め、両性ともその出現率は低かった (Table 3)。また、尾叉長 300mm 未満の試料においては、カテゴリ - 1 ~ 3 は雄では 94.7%、雌では 97.4% を占めたのに対し、尾叉長 400mm 以上の試料では同階級は雄では 13.3%、雌では 36.8% と低下し、耳石輪紋は小型魚ほど読み取りやすく、大型魚になるほど読み取りにくい傾向が認められた (Table 3)。

本研究に用いた成魚試料は 6 ~ 9 月の夏場にかけて採集されたものが多く、2, 3, 10 月は試料が得られず、冬場の試料が少ないという不規則なサンプリングであったが、marginal index は 7 ~ 9 月の夏場に高く、11 ~ 1 月の冬場に低くなる傾向が認められた (Fig. 4)。Marginal Index のこのような年周性については Lephodey and Grandperrin¹⁶⁾、Massey and Horn¹⁷⁾ も報告しており、本研究で観察された耳石輪紋は年輪と考えられた。

各試料の推定年齢と尾叉長データをもとに von Bertalanffy の成長曲線の当てはめを行った。読みやすさカテゴリ - 5 の試料を除く、雄 93 個体、雌 143 個体のデータから推定された雌雄別の成長曲線を Fig. 5 に示す。成長式はそれぞれ

$$\text{雄: } Lt = 492.1 \{1 - \exp[-0.108(t + 3.67)]\}$$

$$\text{雌: } Lt = 531.7 \{1 - \exp[-0.108(t + 3.02)]\}$$

と表された。 F 検定により残差平方和を比較した結果、両曲線は有意に異なり ($p < 0.01$)、雌は雄よりも大きい体サイズを示した。雌雄間の尾叉長差は 1 ~ 5 歳では 2.1 ~ 9.8mm、10 歳では 22.6mm、15 歳では 29.8mm、20 歳では 34.0mm と年齢が増すにしたがって増加した。

本研究および他海域を含む既報の成長式パラメータを Table 4 に、雌雄の成長式を Fig. 6 にそれぞれ示す。

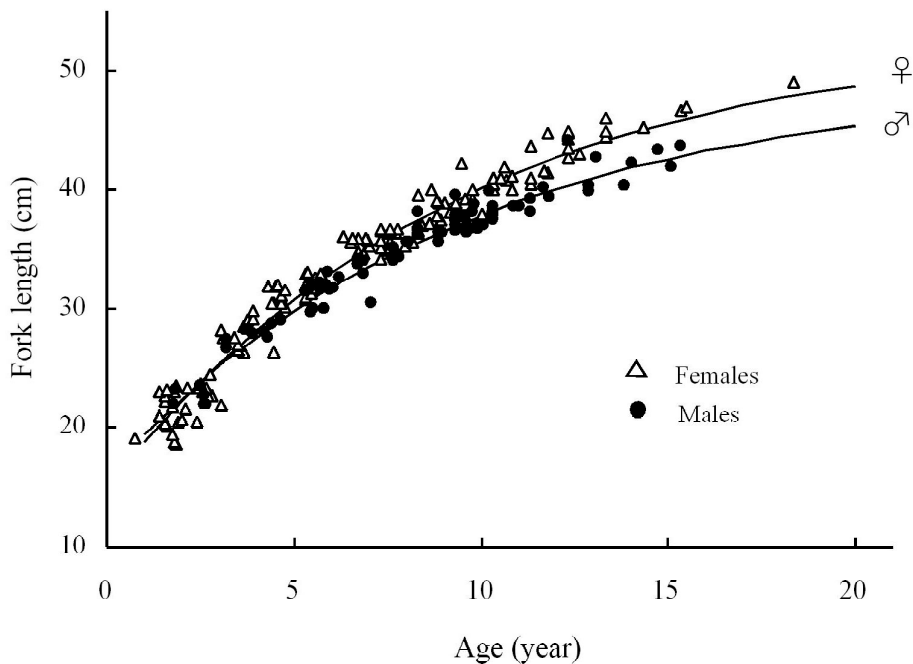


Fig. 5 Von Bertalanffy growth curves for males and females.

Table 4 Comparison of von Bertalanffy growth parameters for present study with those from other studies in different geographic zones

Area	L_{∞}		K		t_0		Source
	Males	Females	Males	Females	Males	Females	
Japan							
Around Izu Islands	49.2	53.2	0.108	0.108	-3.67	-3.02	Present study
Around Izu Islands	44.4	45.0	0.132	0.150	-3.45	-2.08	Adachi <i>et al.</i> (2000) ¹⁴⁾
Off Muroto Promontory	42.7	45.8	0.178	0.162	-1.99	-2.04	Myojin and Ura (2003) ¹⁵⁾
New Caledonia							
Norfolk-Loyalty ridges	45.2	50.8	0.146	0.134	-2.34	-2.00	Lehodey and Grandperrin (1996) ¹⁶⁾
New Zealand							
Palliser Bank	51.1	57.5	0.110	0.088	-3.56	-4.10	Massey and Horn (1990) ¹⁷⁾

L_{∞} asymptotic length; K rate at which L_{∞} is approached; t_0 age at length = 0 according to von Bertalanffy growth function

雄の成長式の中で、成長が早く、最も極限体長が大きかったのはニュージーランド海域¹⁷⁾で、成長が遅く、最も極限体長が小さかったのは室戸岬沖¹⁵⁾であった。本研究の成長式は1~14歳まではニューカレドニア海域¹⁶⁾とよく一致したが、15歳以降その差は広がり、極限体長はニュージーランド海域¹⁷⁾について大きかった。また、いずれの成長式においても1~12歳までは尾叉長差が4.0cm以下と概ね類似したが、13歳を越えると次第にその差は広がった。雌の成長式の中で、成長が早く、最も

極限体長が大きかったのはニュージーランド海域¹⁷⁾で、成長が遅く、最も極限体長が小さかったのは伊豆諸島周辺海域 (Adachi *et al.*)¹⁴⁾であった。本研究の成長式は両者の中間にあり、ニューカレドニア海域¹⁶⁾のものとよく一致した。また、いずれの成長式においても1~10歳までは尾叉長差は2.8cm以下と概ね類似したが、11歳を越えるとその差は広がり、特に室戸岬沖¹⁵⁾、伊豆諸島周辺海域 (Adachi *et al.*)¹⁴⁾は他の報告に比べて極限体長が小さかった。

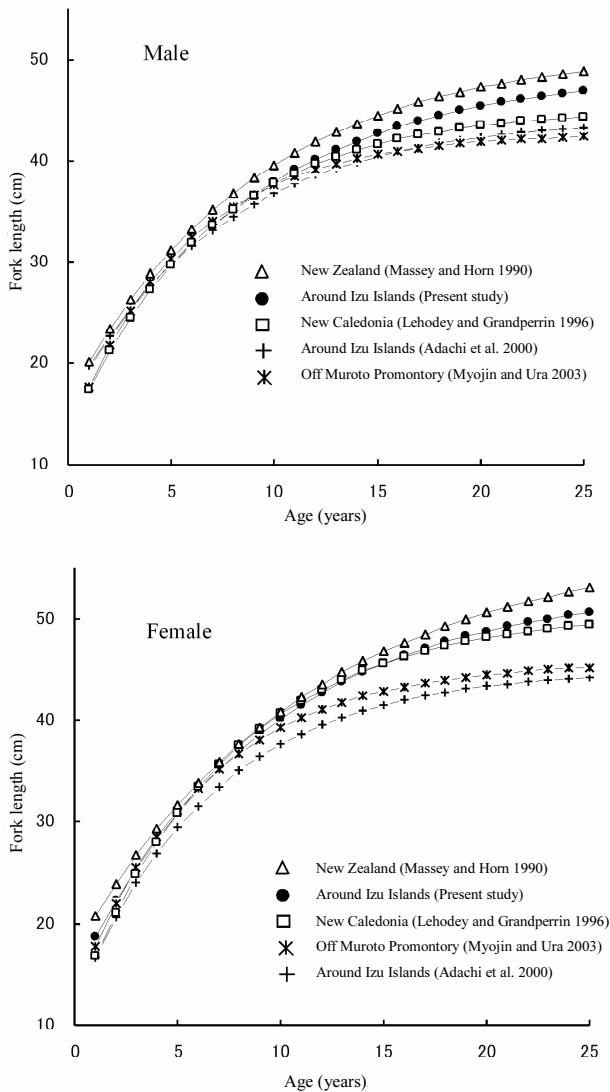


Fig. 6 Comparison of the von Bertalanffy growth curves for *B. splendens*.

考 察

伊豆諸島周辺海域における本種の性比は尾叉長が36cmを越えると雌が雄より有意に多くなることが報告されている⁵⁾。同様に大型魚になるほど雌の比率が高まるとい現象は、ニューカレドニア海域⁶⁾、千葉県勝浦沖¹⁹⁾、アゾレス諸島沖、マデイラ諸島沖、カナリア諸島沖²⁰⁾でも共通に見られており、このような現象がキンメダイの生態に起因することを示唆している⁵⁾。

本研究における雌雄の極限体長はそれぞれ53.2cm、49.2cmと算出され、その差は4.0cmであった。また、*F*検定では両成長曲線は1%レベルで有意に異なり、雌は雄よりも大きい体サイズを示した。雌雄の極限体長の差

についてはニュージーランド海域¹⁷⁾では6.4cm、ニューカレドニア海域¹⁶⁾では5.6cm、室戸岬沖¹⁵⁾では3.1cm、伊豆諸島周辺海域 (Adachi et al.)¹⁴⁾では0.6cmと報告されており、いずれも雌は雄より極限体長が大きい。本研究の成長式によれば性比の有意差が生ずる尾叉長36cm時の年齢は雄で8.5歳、雌で7.4歳と推定され、約1.1歳の年齢差が生ずる。本種の自然死亡および漁獲死亡係数については研究事例がないことから年齢別の生き残りについて詳細な議論はできないが、本種の場合、産卵期における雌雄の空間分布の違い⁵⁾に加え、雌雄間の成長差が尾叉長の性的二型を生み出している可能性は高い。

本研究の成長曲線は、比較した成長曲線と比べて雄では1~14歳、雌では1~10歳までよく一致した (Fig. 6)。しかし、極限体長は日本周辺海域で報告されている伊豆諸島周辺海域 (Adachi et al.)¹⁴⁾および室戸岬沖¹⁵⁾に比べ、雄では4.8、6.5cm、雌では8.2、7.4cmそれぞれ大きかった。また、伊豆諸島周辺海域 (Adachi et al.)¹⁴⁾および室戸岬沖¹⁵⁾の成長曲線が高齢になるにしたがって極限体長に収束するように見えるのに対し、本研究およびニュージーランド海域¹⁷⁾の成長曲線は漸近的な傾向に乏しく、魚が生涯を通して成長し続けるように見える。このように成長式の極限体長は研究者によって違いが見られるが、これは海域別に本種の成長様式が異なるとも考えられる。一方で大型魚 (高齢魚) の耳石輪紋の読取り精度が研究者により異ったために生じた可能性がある。

本研究においても大型魚の耳石輪紋は核から10本目程度までは比較的明瞭に観察されたが、これを越えると雌雄とも多くの試料で不透明帯の出現が不明瞭となった。このことは、耳石輪紋の読取りカテゴリー1~3が尾叉長300mm未満魚の場合、雄では94.7%、雌では97.4%を占めたのに対し、尾叉長400mm以上の大型魚ではその割合が雄では13.3%、雌では36.8%と著しく低下したことに顕著に表れている (Table 3)。このような大型魚の耳石輪紋の読取りにくさについては、明神ら¹⁵⁾およびLehodey and Grandperrin¹⁶⁾も報告しており、大型魚の耳石輪紋の読取り誤差が極限体長の違いを生んだ可能性が高い。

耳石輪紋は冬季の成長停滞期に形成される透明帯と、夏期の成長期に形成される不透明帯の2層が連続して形成される。両者の構造上の違いは炭酸カルシウムと有機質の割合に季節的な変動があるために生じると考えられており、不透明帯は透明帯に比べて有機質含量が比較的多いとされるが、その形成機構については完全な説明がなされていない²¹⁾。キンメダイは水深25~1,240mまで分布するとされるが¹⁾、漁場の水深により漁獲物のサイズが異なることから分かるように³⁾、成長に伴い深場へ移動することが知られている²²⁾。また、生息帯を深海に移すことで食性も変わり、胃内容物調査では魚類のほ

かに小型魚では甲殻類 (Crustacea) が多く、大型魚では頭足類 (Cephalopods) およびサルパ (Salps) が多くなることが知られている²³⁾。温帯域の水温鉛直分布は水深0~200mまでは表面混合層で季節的な水温変化が見られるが、水深200~1000mは永年温度躍層で水温も10~4℃と低くなり²⁴⁾、水温の季節的な変動はほとんどないと考えられる。このような水温が低く、安定した深海帯に生息する大型魚は、成長率がわずかで耳石輪紋の成長幅が読取りにくくなることは勿論であるが、摂餌のための鉛直移動²⁵⁾を考慮したとしても、水温変動が小さい深海帯に生息する時間が長くなることで、成長の早い時期に形成される不透明帯が形成されにくくなると考えられる。

伊豆諸島周辺海域で漁獲され、神奈川県三崎市場に水揚げされるキンメダイの中には、尾叉長が50cmを越えるものが僅かだが一定の割合で見られる²⁶⁾。このことは Adachi et al.¹⁴⁾ および明神ら¹⁵⁾の極限体長に比べて、本研究の結果が本種の極限体長の実態に近いことを示唆している。一方で耳石表面上の輪紋を用いた年齢査定は耳石横断薄層切片を用いた場合に比べ、高齢魚の年齢を過小評価することが、ヒラメ、アカカマス、カサゴ、アイナメなど多くの魚種で示されている⁸⁾。これら報告から類推すると、耳石表面を観察した本研究の高齢魚は年齢が過小評価されている可能性がある。本研究では予備実験として厚地ら⁹⁾の手法に従い、キンメダイ大型魚の耳石横断薄層切片を観察したが、耳石の表面観察を上回る明瞭な輪紋は観察できなかった (未発表)。

今後、キンメダイ高齢魚の年齢査定の精度を上げるためには、耳石横断薄層の観察部位の選択、研磨方法、焼き入れ法²¹⁾についてさらに検討していく必要がある。また、輪紋 (年輪) 間に観察される耳石日周輪数^{13,27)}から輪紋の年周性を確認することも有効と考えられる。

謝 辞

本研究をとりまとめるにあたり、本センター所長の今井利為博士には原稿の校閲をしていただいた。また、試料の採集にあたってはみうら漁業協同組合および本センター調査船江の島丸の乗組員に大変お世話になった。ここに記して心から感謝申し上げる。

引用文献

- 1) Busakhin SV. (1982): Systematics and distribution of the family Berycidae (Osteichthyes) in the world ocean. J. Ichthyol., 22, 1-21.
- 2) 池田郁夫 (1980): 海山, バンクの底魚資源. 底魚資源. 青山恒雄 (編), 恒星社厚生閣, 東京, 331-342.
- 3) 増沢寿・倉田洋二・大西慶一 (1975): キンメダイその他底魚類の資源生態. 日本水産資源保護協会, 東京.
- 4) 本多仁, 池上直也, 米沢純爾, 秋元清治, 飯田益生, 明神寿彦, 清水学 (2004): 日本周辺におけるキンメダイ *Beryx splendens* の生物学的特性と漁業の実態. 黒潮の資源海洋研究, 5, 111-119.
- 5) 秋元清治 (2005): 伊豆諸島周辺海域におけるキンメダイの性比. 神水研報, 10, 83-86.
- 6) 正木康昭・伊東弘・東海正・山口義昭 (1986): 周防難産イシガレイの年齢と成長. 日水誌, 52, 435-445.
- 7) 正木康昭・伊東弘・東海正・山口義昭 (1986): 周防難産マコガレイの年齢と成長. 日水誌, 52, 423-433.
- 8) 厚地伸・増田育司・赤毛宏・伊折克生 (2004): 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. 日水誌, 70, 714-721.
- 9) Ikenoue H. (1969): Age determination by otolith of Japanese alfonso, *Beryx splendens*, with special reference of growth. J. Tokyo Univ. Fish., 55, 91-98.
- 10) 芝田健二 (1983): 房総海域におけるキンメダイについて - 年齢と成長. 千葉水試研報, 41, 55-57.
- 11) 清水利厚 (1991): キンメダイ *Beryx splendens* 若魚の形態と成長. 千葉水試研報, 49, 17-23.
- 12) 高木康司 (2000): 標識放流によるキンメダイの移動と成長. 静岡水試研報, 35, 9-15.
- 13) Taniuchi T., Kanaya T., Uwabe S., Kojima T., Akimoto S. and Mitani I. (2004): Age and growth of alfonso *Beryx splendens* from the Kanto District, central Japan, based on growth increments on otoliths. Fish. Sci., 70, 845-851.
- 14) Adachi K., Takagi K., Tanaka E., Yamada S. and Kitakado T. (2000): Age and growth of alfonso *Beryx splendens* in the waters around the Izu Islands. Fish. Sci., 66, 232-240.
- 15) 明神寿彦・浦吉徳 (2003): 高知県産キンメダイの年齢と成長. 黒潮の資源海洋研究, 4, 11-17.
- 16) Lehodey P., Grandperrin R. (1996): Age and growth of alfonso *Beryx splendens* over the seamounts off New Caledonia. Mar. Biol., 125, 249-258.
- 17) Massey BR. and Horn PL. (1990): Growth and age structure of alfonso (*Beryx splendens*) from the lower east coast, North Island, New Zealand. NZ. J. Mar. Freshwat. Res., 24, 121-136.
- 18) 赤嶺達郎 (2001): 成長式. 資源評価体制確立推進事業報告書. 日本水産資源保護協会, 東京, 44-51.
- 19) 芝田健二 (1985): 房総海域におけるキンメダイについて - 成熟と性比. 千葉水試研報, 43, 3-9.

- 20) Gonzalez J.A., Rico V., Lorenzo J.M., Reis S., Pajuelo J.G., Dias M.A., Mendonca A., Krug H.M. and Phinho M.R. (2003): Sex and reproduction of the alfonsino *Beryx splendens* (Pisces, Berycidae) from the Macaronesian archipelagos. *J. Appl. Ichthyol.*, 19, 104-108.
- 21) 西村明 (2001): 年齢・日齢査定法. 資源評価体制確立推進事業報告書. 日本水産資源保護協会, 東京, 31-43.
- 22) Lehodey P., Marchal P. and Grandperrin R. (1994): Modelling the distribution of alfonsino, *Beryx splendens*, over the seamounts of New Caledonia. *Fish. Bull.*, 92, 748-759.
- 23) Durr J. and Gonzalez J.A. (2002): Feeding habits of *Beryx splendens* and *Beryx decadactylus* (Berycidae) off the Canary Islands. *Fish. Res.*, 54, 363-374.
- 24) Lalli C.M. and Parsons T.R. (2005): 非生物的環境. 生物海洋学入門第2版. 講談社, 東京, 16-19.
- 25) Vinnichenko VI (1997): Vertical Diurnal Migrations of the Slender Alfonsino *Beryx splendens* (Berycidae) at the Underwater Rises of the Open North Atlantic. *J. Ichthyol.*, 37, 438-444.
- 26) 久保島康子・菊池康司 (1996): 7t級船の漁獲から見た伊豆諸島周辺海域のキンメダイの資源動向. 神水研研報, 1, 39-45.
- 27) 秋元清治 (1999): キンメダイ *Beryx splendens* 若令魚の日齢査定. 神水研研報, 4, 61-63.