

# 耳石Sr:Ca比から推定するキンメダイの生息水深と生活史

秋元清治・小竹朱・新井崇臣

Movements and life history patterns of the alfoncino *Beryx splendens*  
collected around Japan, as inferred by otolith Sr:Ca ratios

Seiji AKIMOTO \*, Aya KOTAKE \*\*, Takaomi ARAI \*\*\*

## ABSTRACT

The strontium (Sr) and calcium (Ca) concentrations in the otoliths of the alfoncino *Beryx splendens* collected in the Pacific Ocean around Japan were examined by wavelength dispersive X-ray spectrometry on an electron microprobe. Mean values of otolith Sr:Ca ratios calculated by all specimens fluctuated along the life history transect in accordance with the migration pattern from epipelagic zone to deeper zone. Pelagic duration and turning point (occurrence time) of moving into the lower mesopelagic zone are estimated to be 235 days and 7 years, respectively based on the fluctuation pattern of otolith Sr:Ca ratios and the previous studies which are tag-release and recapture experiments and otolith increment analysis for *Beryx splendens* by other researchers.

## 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に世界的規模で広く分布している<sup>1)</sup>。生息水深は25–1,240mとされるが、主に水深200–800mに多く生息し<sup>2)</sup>、市場価値が高いことから世界各地で底曳網、延縄釣り、立縄釣りで大量に漁獲されている。

キンメダイの仔稚魚の採集事例は世界的に少なく、仔稚魚期の生態は不明な部分が多いが<sup>3)</sup> 仔稚魚は胸鰭を除く各鰭条が伸長し、特に背鰭第5条は長く体長の90%、腹鰭第2条も体長の70%に伸びる形態的特徴を持つことが分かっている<sup>4, 5)</sup>。このような魚類の形態は餌料をめぐる競争の少ない漂流生活圏への適応の結果として過度の変形が生じた可能性が考えられ<sup>6)</sup>、キンメダイ仔稚魚の場合も数ヶ月の漂流期間を経て、ある大きさに成長した後に漁場に着底（加入）していると考えられる<sup>7)</sup>。また、これまで行われた標識放流調査や漁獲調査によって、漁場に着底した後の1才前後の若魚は7歳ぐらいまでは漁場に強く滞留する傾向があるが<sup>8)</sup>、成長に従って徐々に沖合域の深い水深帯に移動することが知られている<sup>8–11)</sup>。

生息環境水中の微量元素は魚類の耳石に取り込まれ生涯にわたって蓄積保存される。中でも耳石中のストロンチウム (Sr) は含有濃度が高く、環境水中のSr濃度、塩分、水温などの変化に応じてその濃度が変化することから、多くの魚類の生活履歴や回遊履歴の研究で分析対象

とされている<sup>12–13)</sup>。この耳石解析は、生活史の中で海水と淡水の間を行き来する通し回遊魚ではSr:Ca比が顕著に変化することから有効であり、多く魚種で研究成果があがっている<sup>13)</sup>。また、海洋のみを回遊する非通し回遊魚についてもSr:Ca比の変化からニシン仔魚<sup>14)</sup> やカツオ<sup>15)</sup> で回遊中の水温履歴が推定されている。キンメダイは一生涯を海洋ですごす非通し回遊魚であるが、前述のとおり成長に伴い生息水深を変化させることから、生息環境の水温が耳石中のSr:Ca比に反映している可能性がある。

本研究はキンメダイ成魚の耳石Sr:Ca比を分析し、その変化から本種の成長に伴う生息環境の変化について考察した。

## 材料と方法

キンメダイ試料は2000年8月25日から2004年5月12日かけて房総半島沖（漁場名：メラゼ）、三宅島西方（漁場名：ナカンバ、イナンバ）、八丈島西方（漁場名：ハチジョウニシ）、駒橋第2海山の各キンメダイ漁場において立て縄釣りおよび底立延縄釣りによって採集したものを、それぞれ2、7、6、1個体ずつ用いた。試料の尾叉長、体重、生殖腺重量を測定した後、左右の耳石（平衡石）を取り出した。また、試料魚の年齢は大型魚試料の耳石輪紋<sup>16)</sup> が不明瞭であったことから尾叉長と成長式<sup>16)</sup> から推定した（Fig 1, Table 1）。

耳石Sr:Ca比の分析には基本的に右耳石を用い、右耳

2009. 11. 17 受理 神水セ業績No. 09-001

脚注\* 神奈川県環境農政部水産課

\*\* 東京大学海洋研究所

\*\*\* 東京大学海洋研究所附属国際沿岸海洋研究センター

Table 1. *Beryx splendens*. Specimens used for otolith microchemistry analyses.

No.	Sampling location	Sampling date	Fork length (cm)	Body weight (g)	Sex	Condition of otolith <sup>a</sup>	Ages <sup>b</sup>
1	Off Boso Peninsula	7 Jul 2003	30.3	588	♀	○	4.8
2	Off Boso Peninsula	7 Jul 2003	31.1	722	♀	○	5.1
3	West of Miyake Island	7 Sep 2000	27.0	431	♀	○	3.5
4	West of Miyake Island	7 Sep 2000	28.0	459	♀	○	3.9
5	West of Miyake Island	25 Aug 2000	30.4	623	♀	○	4.8
6	West of Miyake Island	25 Aug 2000	32.4	723	♀	○	5.7
7	West of Miyake Island	3 Dec 2000	34.2	892	♂	○	7.3
8	West of Miyake Island	3 Dec 2000	38.4	1249	♂	○	10.4
9	West of Miyake Island	3 Dec 2000	41.3	1436	♀	○	10.9
10	West of Hachijo Island	12 May 2004	38.1	1180	♂	○	10.1
11	West of Hachijo Island	12 May 2004	46.0	2219	♂	×	21.6
12	West of Hachijo Island	12 May 2004	46.6	2170	♀	×	16.3
13	West of Hachijo Island	12 May 2004	47.1	2313	♂	○	25.5
14	West of Hachijo Island	12 May 2004	49.3	2730	♀	○	21.2
15	West of Hachijo Island	12 May 2004	50.0	2641	♀	○	23.1
16	Komabashi-daini Seamount	13 Aug 2003	38.4	1266	♀	○	8.8

<sup>a</sup> The condition of otolith margin. Circles and cross marks represent the unbroken and broken condition of otolith margin respectively.

<sup>b</sup> Ages were estimated from the von Bertalanffy asymptotic growth function akimoto 2006<sup>16)</sup>.

石が破損していた場合は左耳石を用いた。Taniuchi *et al.*<sup>17)</sup>の方法に従い、体軸にそって耳石の長軸方向を核から尾部方向の縁辺部まで切断し、スライドガラス上にエポキシ樹脂ハイスーパー5（セメダイン株）で抱埋した後、回転研磨機Doctor-Lap ML180（MARUTO社製）、耐水研磨紙（#2000）およびアルミナコンパウンド（0.3 $\mu$ m）を用いて、核から尾部方向の縁辺部までの耳石の微細輪紋構造が露出する状態まで研磨した。観察面のイメージ図をFig. 2に示す。研磨後の耳石試料は超音波洗浄し、脱イオン水で観察面を洗い流した。EPMA分析のため耳石試料の観察面を真空蒸発装置中で白金パラジウムによりコーティング後、Arai *et al.*<sup>18)</sup>の方法により波長分散型X線分析装置JXA-8900R（JEOL社製）を用いて、耳石観察面のSr:Ca比を測定した。なお、分析では電子線の焦点は直径10 $\mu$ mとし、30 $\mu$ m間隔で耳石の核から縁辺部までを測定した。また、カルサイト（CaCO<sub>3</sub>）とストロンチアナイト（SrCO<sub>3</sub>）を校正基準とし、分析時の電圧と電流は、それぞれ15kV、1.2 $\times 10^{-8}$  Aとした。

## 結 果

分析に供した16試料の内訳は、雌は尾叉長27.0～50.0cmの11試料、雄は尾叉長34.2～47.1cmの5試料で

あり、成長式から年齢はそれぞれ3.5～23.1歳、7.3～25.5歳と推定された（Table 1）。16試料の中2試料は研磨中に耳石の縁辺部をわずかに破損したが、残りの14個体は耳石の核から縁辺部までの研磨に成功した（Table 1）。観察面上の分析点におけるSr:Ca比の平均値（全試料）及び標準偏差をFig. 3に示す。耳石の核付近（0～90 $\mu$ m：A領域）のSr:Ca比は $5.35 \times 10^{-3} \pm 1.39 \times 10^{-3}$ （平均値 $\pm$ 標準偏差，n=64）であったが、核からの距離が2,000 $\mu$ m付近（1,950～2,040 $\mu$ m：B領域）ではSr:Ca比は $4.78 \times 10^{-3} \pm 1.18 \times 10^{-3}$ （n=64）とわずかに減少し、両領域間のSr:Ca比には有意差が見られた（Mann-Whitney *U*-test,  $P < 0.05$ ）。また、核から2,000 $\mu$ m以降のSr:Ca比は緩やかに増加傾向を示し、核からの距離が4,000 $\mu$ m付近（3,960～4,050 $\mu$ m：C領域）ではSr:Ca比は $5.68 \times 10^{-3} \pm 1.38 \times 10^{-3}$ （n=64）となり、BおよびC領域間のSr:Ca比には有意差が見られた（Mann-Whitney *U*-test,  $P < 0.001$ ）。その後、核からの距離が4,000～7,000 $\mu$ mの範囲ではSr:Ca比はほぼ横ばいで推移し、7,000 $\mu$ m付近（6,930～7,080 $\mu$ m：D領域）のSr:Ca比は $6.02 \times 10^{-3} \pm 1.40 \times 10^{-3}$ （n=48）であり、C及びD領域間のSr:Ca比には有意差は見られなかった（Mann-Whitney *U*-test,  $P < 0.05$ ）。しかし、核からの距離が7,000～9,000 $\mu$ mの領域では変動幅は大

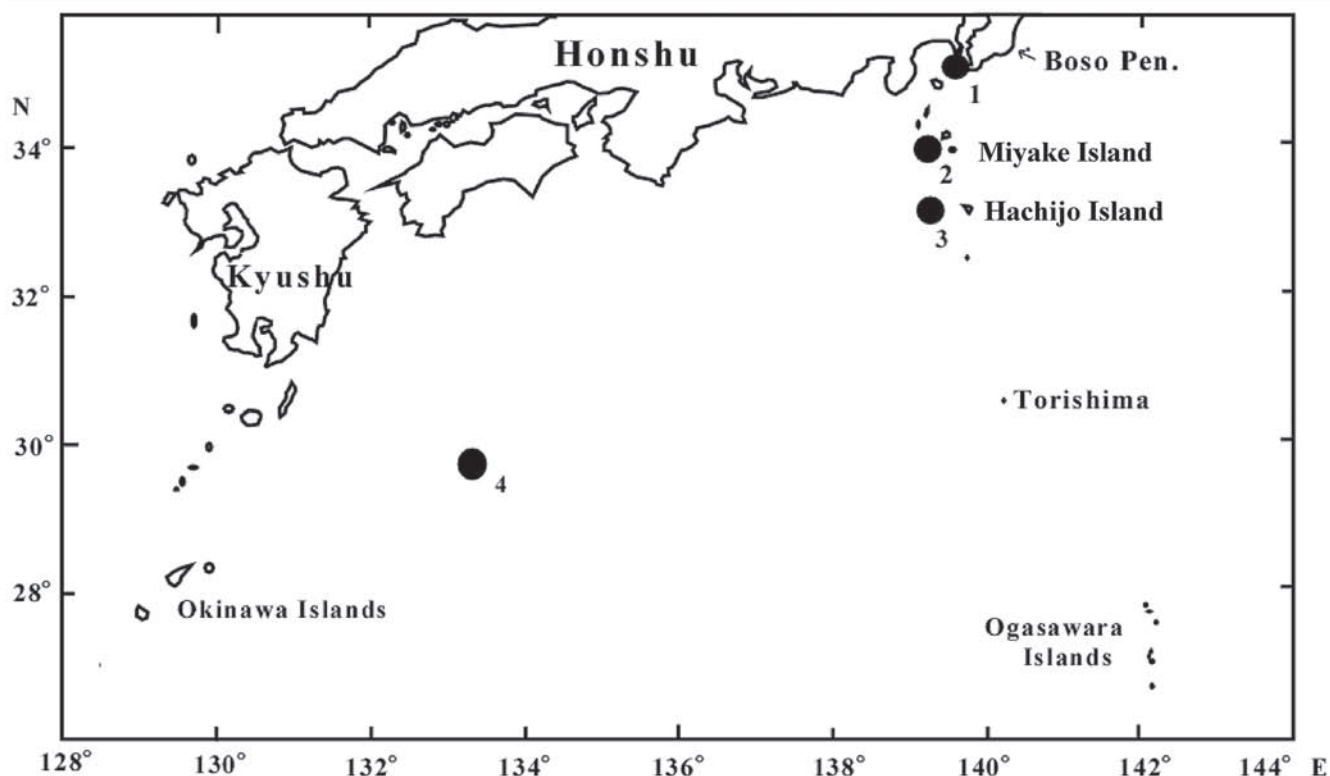


Fig. 1 Sampling locations for specimens of alfonsino *Beryx splendens* in the Pacific Ocean around Japan. 1, off Boso Peninsula; 2, west of Miyake Island; 3, west of Hachijo Island; 4, Komabashi-daini Seamount.

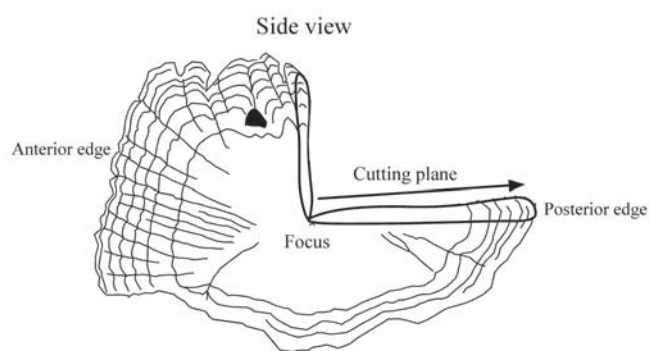


Fig. 2 Cutting plane of sagittal otolith and analyzing direction from focus toward outermost margin.

きくなりつつもSr:Ca比は増加傾向を示し、9,000 $\mu$ m付近(8,910~9,090 $\mu$ m: E領域)ではSr:Ca比は $7.58 \times 10^{-3} \pm 1.94 \times 10^{-3}$  (n=28)となり、D及びE領域間のSr:Ca比には有意差が見られた(Mann-Whitney *U*-test,  $P < 0.001$ )。次に、各試料の耳石Sr:Ca比の変化をFig. 4に示す。各試料において前述のSr:Ca比の増減が変化する点(核からの距離)は500 $\mu$ m程度前後したが、16個体中12個体(No.1、2、3、4、5、7、8、9、11、12、14、16 in Fig. 4)のSr:Ca比は基本的に前

述の増減パターンを示した。しかし、試料No.6は中心核からの距離が2,000 $\mu$ m付近まではSr:Ca比が減少したが、その後Sr:Ca比は上昇せずに7,000 $\mu$ m付近まで横ばいで推移した(Fig. 4)。また、試料No. 10では中心核からの距離が2,000 $\mu$ m付近までは減少したが、その後は一貫して増加傾向を示し、試料No. 13及び15は核から7,000~8,000 $\mu$ mまでほとんどSr:Ca比は横ばいで推移した後急激な上昇が見られるなど、上述の増減パターンとは異なる個体も見られた(Fig. 4)。また、尾叉長が45cmを越える大型魚5試料(No. 11、12、13、14、15)のうち、耳石縁辺部が破損したNo. 11及び12を除く3試料については核からの距離が7,000~8,000 $\mu$ mの地点をターニングポイントとしてSr:Ca比の顕著な上昇が見られた(Fig. 4)。

## 考 察

キンメダイの場合、産卵場<sup>19, 20)</sup>、仔稚魚<sup>21, 22)</sup>、若魚<sup>5)</sup>、成魚<sup>23)</sup>の分布域はいずれも海洋にあり、汽水域で生活する期間を持たないことから、生息環境中の塩分濃度の変化はわずかと考えられ、耳石Sr:Ca比の変化は主に生息環境中の水温の影響を受けたものと考えられる。魚類における水温と耳石Sr:Ca比の関係は、ニシン *Clupea harengus*<sup>14)</sup>、*Fundulus heteroclitus*<sup>24)</sup>、*Gadus*

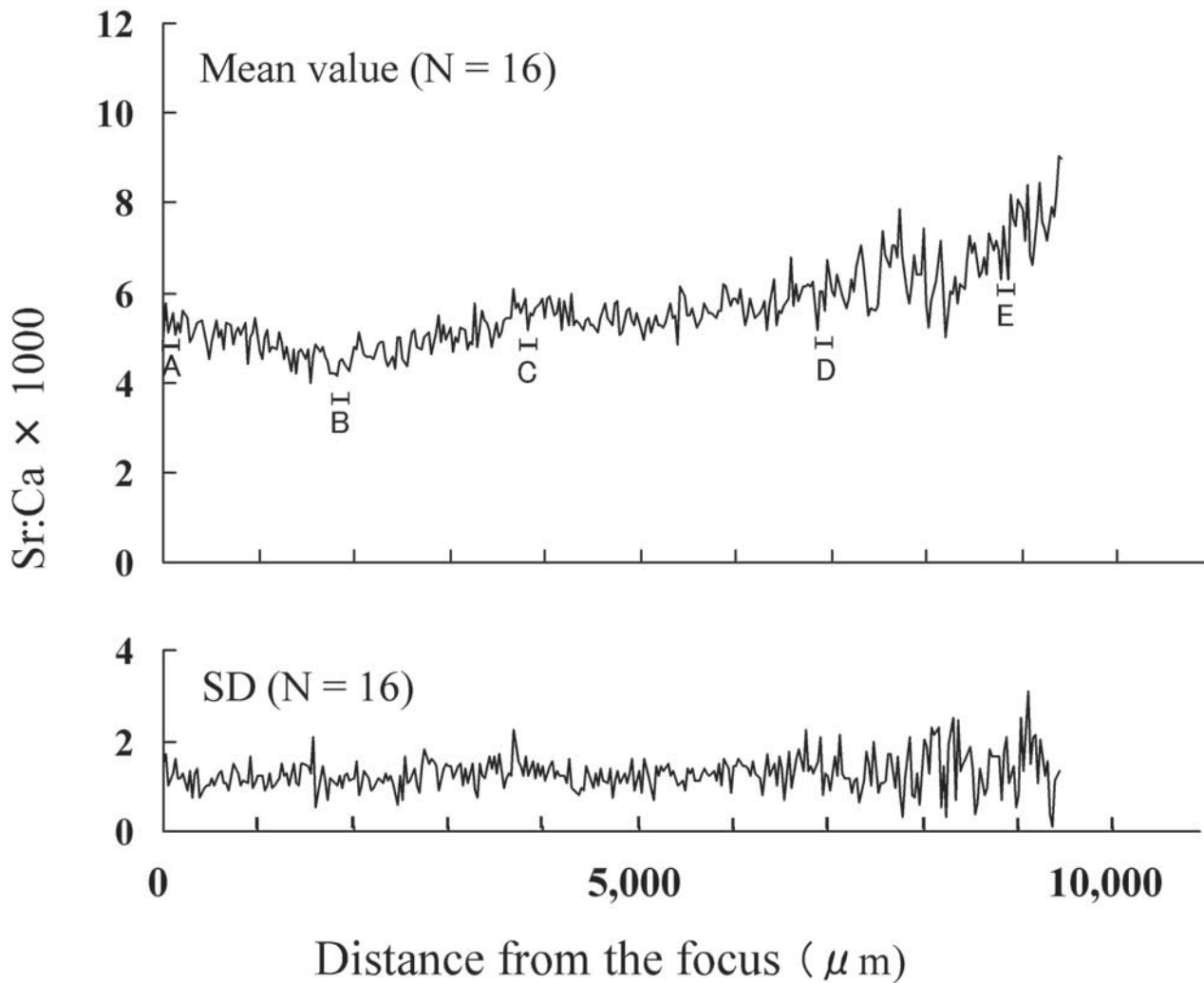


Fig. 3 Mean values of Sr:Ca ratio and their standard deviations along line transects from the focus to the outermost margin of sagittal otoliths for alfonso *Beryx splendens* specimens collected in Pacific Ocean around Japan. Areas of A, B, C, D and E whose lengths are about one hundred micrometers respectively are used for analyzing whether Sr:Ca ratio level of sagittal otolith decrease or increase.

*morhua*<sup>25)</sup>、カツオ *Katsuwonus pelamis*<sup>15)</sup> などの多くの種で逆相関を示すことが知られているが、逆にマダイ *Pagrus major*<sup>26)</sup> のように水温と正の相関を示すものもある。キンメダイの生息水温と耳石 Sr:Ca 比の関係については、これまで水槽実験等では確認されていないが、本種は成長に伴い深い生息水深帯（より低い水温帯）へ移動することが知られており<sup>10)</sup>、耳石の酸素安定同位体を用いた生息水温履歴の解析においても、体長が大きくなるにつれて低水温域で生息する傾向が示されている<sup>27)</sup>。本研究においても大型魚の耳石 Sr:Ca 比は核からおよそ 7,000 $\mu\text{m}$  を越えると顕著に増加する傾向が見られ、本種の場合、他の多くの魚種と同じように、耳石 Sr:Ca 比と

生息水温は逆相関を示すと考えられた。

本研究において成長に伴う耳石 Sr:Ca 比の変化は、個体差は見られるものの分析試料の平均値では増減に一定の傾向が見られた (Fig. 3)。すなわち、Sr:Ca 比は耳石の核から 2,000 $\mu\text{m}$  付近までわずかに減少した後、反転して 4,000 $\mu\text{m}$  付近まで増加傾向を示した。その後、4,000~7,000 $\mu\text{m}$  付近まではほぼ横ばいで推移したが、核からおよそ 7,000 $\mu\text{m}$  を越えると顕著な増加傾向を示した (Fig. 3)。キンメダイ耳石の切断面において微細輪紋と日周性の関係はいまだ明確ではないが<sup>17)</sup>、仮に耳石の微細輪紋を日周輪と仮定した場合、核からの距離が 2,000 $\mu\text{m}$ 、4,000 $\mu\text{m}$  時点の日齢は、キンメダイ若魚を対

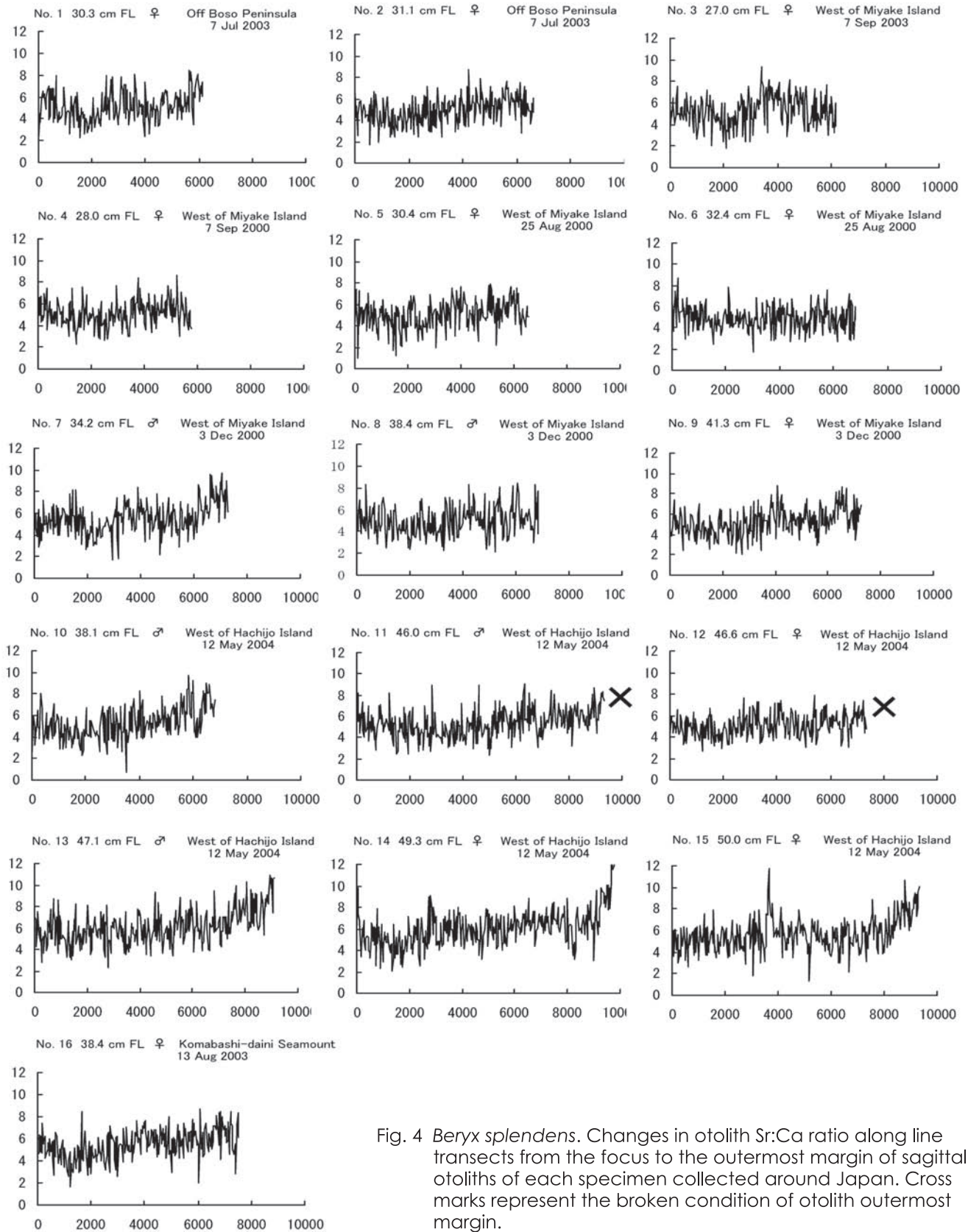


Fig. 4 *Beryx splendens*. Changes in otolith Sr:Ca ratio along line transects from the focus to the outermost margin of sagittal otoliths of each specimen collected around Japan. Cross marks represent the broken condition of otolith outermost margin.

象とした耳石日周輪解析によると、耳石半径（核からの距離＝日周輪幅の累積値）（ $y$  :  $\mu\text{m}$ ）と日周輪数（ $x$  : 日数）の関係式  $y = 1633.6 \ln(x) - 4921.1$ <sup>3)</sup> から、それぞれ70日、235日と推定される。一方、キンメダイ耳石日周輪の成長幅は孵化後（約10 $\mu\text{m}$ /日）から徐々に増加し、50～100日齢にはピーク（約30 $\mu\text{m}$ /日）をむかえた後、徐々に減少して300日以降には5 $\mu\text{m}$ /日以下の水準で安定して推移する<sup>3)</sup>。これらの結果は、いずれもキンメダイの仔稚魚が摂餌による日周鉛直移動を行いつつも、孵化から70日齢程度まで餌の豊富な水温の高い上層域で過ごし、その後、生息水深帯を徐々に深めていくことを示唆する。

キンメダイ仔稚魚の漂泳期間に関して、Lehodey & Grandperrin<sup>28)</sup> はニューカレドニア沖のキンメダイ漁場で底曳網により採集された最小試料22尾（FL13–15cm）の耳石日周輪を解析し、これら試料の日齢が平均で240日であることを報じている。また、秋元<sup>3)</sup> はキンメダイ若魚の尾叉長と耳石半径（核からの距離）の関係、耳石半径と日周輪数の関係から、底曳き網によってキンメダイ漁場で漁獲されはじめる最小体長個体（尾叉長11.9～18cm）の日齢を150～300日と推定し、これが本種の漂泳期間に相当すると考察している。

本研究において耳石 Sr:Ca 比の上昇は核から約2,000 $\mu\text{m}$ （70日齢前後）～4,000 $\mu\text{m}$ （235日齢前後）の領域で見られ、この期間は生息水深を徐々に深めていると考えられるが、核から4,000～7,000 $\mu\text{m}$ の領域では耳石 Sr:Ca 比は横ばいで推移していることから、核から4,000 $\mu\text{m}$ 周辺が着底期（漁場への加入期）に対応している可能性が考えられた。漁場へ加入後の成魚は摂餌による日周鉛直移動を繰り返す<sup>29)</sup> ことで異なる水温帯を移動していると考えられるが、核から約4000～7,000 $\mu\text{m}$ の期間は耳石の Sr:Ca 比はほぼ横ばいで推移していることから、この期間には摂餌による日周鉛直移動を繰り返しながらも基本的に生息水深帯を大きく変えることはないと考えられた（Fig. 3）。

耳石半径7,000 $\mu\text{m}$ の時点のキンメダイの尾叉長は、キンメダイ成魚における尾叉長と耳石半径の関係式  $Y = 6.535 \text{EXP} (0.0002361X)$  ( $r^2 = 0.744$ )<sup>30)</sup> から34.1cmと推定される。尾叉長34.1cmの魚の年齢は、成長式、雄： $Lt = 492.1 \{1 - \exp[-0.108(t + 3.67)]\}$ 、雌： $Lt = 531.7 \{1 - \exp[-0.108(t + 3.02)]\}$ （ $Lt$ ：尾叉長mm、 $t$ ：年齢）<sup>16)</sup> から、雌の場合6.5歳、雄の場合7.3歳と推定される。木幡ら<sup>8)</sup> はキンメダイの標識放流試験の結果を詳細に検討し、漁場へ補給されたキンメダイ群は成長に伴い生息水深を深めてゆくが、ほぼ同一漁場内の同一生息域に95%が7才前後までの長期間滞留することを明らかにしている。また、4才頃から南下趨性を示し始め、7才前後を逸散時期として、一部を深場に残しながら、一斉に産卵場へ向けて移動をすると推

定している。本研究の結果は漁場へ加入したキンメダイが7歳前後まで生息水深帯を大きく変えることをせず、7歳前後をターニングポイントとして深場へ移動することを示唆しており、木幡らの考察と一致する点で興味深い。

本研究で分析に供した試料中には、駒橋第2海山で採集した尾叉長38.4cmの標識放流魚（Table 1、No. 16）が含まれていた。放流にたずさわった千葉県水産試験場の記録によると、この魚は房総半島沖のキンメダイ漁場（漁場名：メラゼ）で標識放流された尾叉長28.4cmの個体であり、放流後7年11ヶ月後に直線距離で約910km離れた駒橋第2海山において底立延縄漁船によって漁獲されたものである。上述の成長式<sup>16)</sup> に従えば、放流時の標識魚（尾叉長28.4cm）の年齢は雌で4.1歳、雄で4.3歳と推定され、再捕時の年齢は12歳程度に達していたと考えられる。しかし、成長式<sup>16)</sup> に従えば12歳時のキンメダイの尾叉長は雌で42.71cm、雄で40.2cmと計算されるため、当該標識魚は通常よりも成長が悪いと考えられた。キンメダイの標識による成長阻害については、杉浦<sup>31)</sup> や高木<sup>32)</sup> も指摘しているが、本研究においてもこれが確認された。また、当該標識魚は12歳と高齢であるにもかかわらず、耳石縁辺部の Sr:Ca 比は増加していなかった（Fig. 4）。このことは、本種の深海域へ移動するタイミングが、年齢ではなく、体長に依存して起きている可能性を示唆している。

## 謝 辞

本研究の耳石 Sr:Ca 比の分析にあたって、東京大学海洋研究所の大槻まゆみ技官には大変お世話になりました。また、試料採集にあたって、神奈川県みうら漁業協同組合所属の石渡美根和氏（亀吉丸）および神奈川県水産技術センター漁業調査指導船江の島丸の乗組員にご協力いただきました。さらに、千葉県水産総合研究センターの池上直也上席研究員には標識放流魚のデータを教えていただきました。ここに記して、心から感謝申し上げます。

## 引用文献

- 1) BUSAKHIN S. V., (1982) : Systematics and distribution of the family Berycidae (Osteichthyes) in the world ocean, *J. Ichthyol.*, **22**, 1-21.
- 2) KOTLYAR A. N., (1987) : Age and growth of alfoncino, *Beryx splendens*, *J. Ichthyol.*, **27**, 104-111.
- 3) 秋元清治 (2007) : ミトコンドリアDNA分析によるキンメダイの集団遺伝構造および卵仔魚の分布様式の解析（神奈川県水産技術センター論文集），神奈川県水産技術センター，三浦，64pp.
- 4) 沖山宗雄 (1988) : キンメダイ目，日本産稚魚図鑑

- (沖山宗雄編), 東海大学出版, 東京, 355-356.
- 5) MUNDY B. C., (1990) : Development of larvae and juveniles of the alfoncins, *Beryx splendens* and *B. decadactylus* (Berycidae, Beryciformes), *Bull. Mar. Sci.*, **46**, 257-273.
  - 6) 沖山宗雄 (1991) : 変態の多様性とその意義, 魚類の初期発育 (田中克編), 恒星社厚生閣, 東京, 36-46.
  - 7) LEHODEY P., GRANDPERRIN R. and MARCHAL P. (1997) : Reproductive biology and ecology of a deep-demersal fish, alfoncino *Beryx splendens*, over the seamounts off New Caledonia, *Mar. Biol.*, **128**, 17-27.
  - 8) 木幡孜・今井正昭・杉浦暁裕・戸井田伸一・久保島康子・田島良博 (1992) : 標識放流・海域別年齢別漁獲尾数・漁獲試験によるキンメダイの分布生態, 神水試研報 **13**, 41-51.
  - 9) 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, 1-71.
  - 10) LEHODEY P., MARCHAL P. and GRANDPERRIN R. (1994) : Modelling the distribution of alfoncino, *Beryx splendens*, over the seamounts of New Caledonia. *Fish. Bull.*, **92**, 748-759.
  - 11) 池上直也 (2004) : 標識放流結果からみたキンメダイの移動, 黒潮の資源海洋研究, **5**, 65-70.
  - 12) CAMPANA S. E. (1999) : Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **188**, 263-297.
  - 13) 新井崇臣 (2002) : 魚類の回遊履歴: 解析手法の現状と課題, 魚類学雑誌, **49**, 1-23.
  - 14) RADTKE R. L., TOWNSEND D. W. FOLSOM S.C. and MORRISON M. A. (1990) : Strontium: calcium ratios in larval herring otoliths as indicators of environmental histories, *Env. Biol. Fish.*, **27**, 51-61.
  - 15) ARAI T., KOTAKE A., KAYAMA S., OGURA M. and WATANABE Y. (2005) : Movements and life history patterns of the skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* in the western Pacific, as revealed by otolith Sr:Ca ratios, *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, **85**, 1211-1216.
  - 16) 秋元清治 (2007) : 伊豆諸島周辺海域におけるキンメダイの年齢と成長, 神水セ研報, **2**, 13-19.
  - 17) TANIUCHI T., KANAYA T., UWABE S., KOJIMA T., AKIMOTO S. and MITANI I. (2004) : Age and growth of alfoncino *Beryx splendens* from the Kanto District, central Japan, based on growth increments on otoliths, *Fish. Sci.*, **70**, 845-851.
  - 18) ARAI T., OTAKE T. and TSUKAMOTO K. (1997) : Drastic changes in otolith microstructure and microchemistry accompanying the onset of metamorphosis in the Japanese eel *Anguilla japonica*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **161**, 17-22.
  - 19) 久保島康子 (1995) : 伊豆諸島周辺海域におけるキンメダイ *Beryx splendens* 卵の分布, 日水誌, **61**, 187-192.
  - 20) 秋元清治・久保島康子・三谷 勇・斎藤真美 (2005) : 伊豆諸島周辺海域におけるキンメダイ *Beryx splendens* 雌の成熟, 日水誌, **71**, 335-341.
  - 21) 秋元清治・瀬崎啓次郎・三谷 勇・渡部終五 (2005) : ミトコンドリア16S rRNA遺伝子判別法によるキンメダイ卵及び仔魚の同定と伊豆諸島周辺における分布様式, 日水誌, **71**, 205-211.
  - 22) 東京都水産試験場 (2003) 特定重要資源動向調査平成13年度事業報告, 東京都水産試験場, 東京, 8-11.
  - 23) 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.
  - 24) RADTKE R. L. (1989) : Strontium-calcium concentration ratios in fish otolith as environmental indicators, *Comp. Biochem. Physiol.*, **92**, 189-193.
  - 25) TOWNSEND D. W., RADTKE R. L., MALONE D. P. and WALLINGA J. P. (1995) : Use of otolith strontium: calcium ratios for hind-casting larval cod *Gadus morhua* distributions relative to water masses on Georges Bank, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **119**, 37-44.
  - 26) ARAI N., SAKAMOTO W. and MAEDA K. (1995) : Analysis of trace elements in otoliths of Red Sea bream *Pagrus major*, *Fish. Sci.*, **61**, 43-47.
  - 27) GAULDIE R. W., THACKER C. E. and MERRITT N. R. (1994) : Oxygen and carbon isotope variation in the otoliths of *Beryx splendens* and *Coryphaenoides produncicolus*, *Comp. Biochem. Physiol.*, **108**, 153-159.
  - 28) LEHODEY P. and GRANDPERRIN R. (1996) : Age and growth of the alfoncino *Beryx splendens* over the seamounts off New Caledonia, *Mar. Biol.*, **125**, 249-258.
  - 29) VINNICHENKO V. I. (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.
- 30) 上部修一 (2000) : キンメダイ耳石の微細輪紋に基づく年齢と成長の研究, 日本大学大学院農学研究科水産学専攻博士前期課程論文, 38pp.
- 31) 杉浦暁裕 (1990) : キンメダイ標識放流結果について- II. 神水試研報, **11**, 59-65.
- 32) 高木康次 (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.