

## 耳石中微量元素組成による日本周辺キンメダイの行動生態把握

堀井善弘、櫻井四郎<sup>1</sup>、久坂夕貴<sup>1</sup>、青木紘美<sup>1</sup>、世良耕一郎<sup>2</sup>、後藤祥子<sup>3</sup>、高橋千衣子<sup>3</sup>

東京都島しょ農林水産総合センター  
100-1511 東京都八丈島八丈町三根 4222

<sup>1</sup>大妻女子大学社会情報学部環境情報学専攻  
206-8540 東京都多摩市唐木田 2-7-1

<sup>2</sup>岩手医科大学サイクロロンセンター  
020-0173 岩手県岩手郡滝沢村滝沢字留が森 348-58

<sup>3</sup>日本アイソトープ協会滝沢研究所  
020-0173 岩手県岩手郡滝沢村滝沢字留が森 348-58

### 1 はじめに

本研究はキンメダイの耳石を種類、産地で分類して、微量元素分析を行い、元素組成や各元素濃度の差から回遊経路の可能性について検討するものである。

キンメダイ属にはキンメダイ *Beryx splendens*、ナンヨウキンメ *Beryx decadactylus*、フウセンキンメ *Beryx mollis*の3種が知られており、日本周辺海域ではこの3種すべてが生息している。これらのキンメダイ属魚類は、すべて水深200~800m前後の深海に生息している<sup>12)</sup>。そのうち、キンメダイは漁獲高が多く、水産上重要な魚種であり、ナンヨウキンメとフウセンキンメの漁は少ないが、各地域で利用されている。日本周辺におけるキンメダイの操業海域は、八丈島周辺を含む伊豆諸島海域、四国沖、鹿児島から沖縄にかけての薩南海域と限られ、各漁場間で700 km以上離れており、漁場間での回遊や遺伝的交流などはほとんど解明されていない。

一般的に、硬骨魚類の回遊履歴を推定するためには、生息している海洋環境の微量元素を炭酸カルシウムのアラゴナイト結晶内に取り込み生涯にわたって蓄積依存される性質がある耳石における微量元素の分析が、有効的であると考えられる<sup>34)</sup>。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<sup>4)</sup>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。ニシン<sup>5)</sup>やキンメダイ<sup>6)</sup>では、耳石のSr/Ca比の分析結果から、成長に伴い、生息水深帯を徐々に深めていくという報告があるものの研究例は少ないのが現状である。

そこで、本研究では硬骨魚類の耳石が生息環境の微量元素を取り組む特性に着目し、キンメダイ耳石を産地別に採集し、PIXE法により微量元素組成を把握し、元素組成や各元素濃度の差から回遊経路の可能性について検討することを目的とした。

## 2 測定方法

### 2.1 前処理

耳石試料は 2008～2009 年に八丈島周辺海域で漁獲されたキンメダイ 35 個体、青ヶ島海域で漁獲された 5 個体、沖ノ鳥島海域で漁獲された 20 個体の合計 57 個体である (Fig.1)。キンメダイの耳石は、魚体測定後直ちに取り出し、蒸留水中で超音波洗浄 30 分 3 回実施し、恒温乾燥機により 40°C で 24 時間以上乾燥させたものを分析用試料とした。

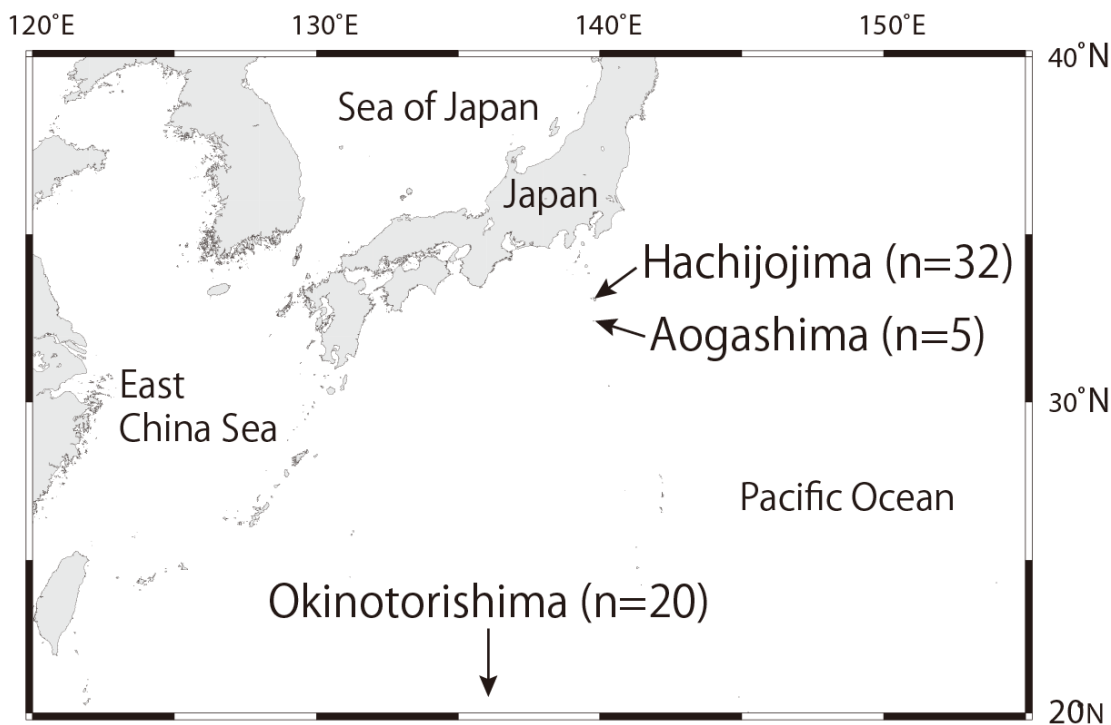


Fig.1 Sampling area and number of *Alfonsino*, *Beryx splendens*

### 2.2 試料調製

キンメダイ 57 個体分の耳石サンプルの定量分析を、仁科記念サイクロトロンセンターで PIXE 法にて行った。サンプルは粉末状にし、内部標準法と化学灰化法の両方法によって分析した<sup>7,8,9)</sup>。内部標準法は、全てのサンプルを均一にして、ハロゲンを分析するために使用した。この方法は、サンプルを液体窒素で乳鉢内において微粉末にし、均一化したものを 105°C で 15 時間乾燥させ、さらに均一化する。この場合パラジウムカーボン粉末を内部標準値として使用。最後に約 1mg の細かい粉末をバックングフィルムの上に置き、希釈したコロジオンで接着させて分析した。一方、化学灰化法では、サンプルは均一にした後に硝酸と共に圧力容器に入れ、乾燥して重量を計測した。その後マイクロウェーブで灰化し、3 分間加熱し完全に溶解。最後にサンプルの約 5  $\mu$ L をバックングフィルムの上に垂らしてから乾燥させた。フッ素を含むハロゲンの大部分は、化学灰化の過程で消失するので、化学灰化する前に少量のサンプルを処理した。

### 2.3 $\gamma$ 線スペクトロメトリー

$\gamma$ 線スペクトロメトリーは世良らが開発した方法にて行った<sup>10,11)</sup>。

### 3 結果

今回の分析で、キンメダイの耳石からナトリウム Na、マグネシウム Mg、アルミニウム Al、ケイ素 Si、硫黄 S、塩素 Cl、カルシウム Ca、チタン Ti、バナジウム V、クロム Cr、鉄 Fe、コバルト Co、ニッケル Ni、銅 Cu、亜鉛 Zn、臭素 Br、ルビジウム Rb、ストロンチウム Sr、鉛 Pb、合計 19 種類の元素が検出された。

キンメダイ耳石中元素の海域別検出率を Fig. 2 に示した。検出率が 80% を超える元素は基質となる Ca の他に、Na、Si、S、Zn、Sr の 5 元素、50% を越える元素は Cl、Fe の 2 元素、残り 12 元素は検出率が 30% を下回った。また、Cl と Fe は海域により検出率が大きく異なる傾向が見られた。

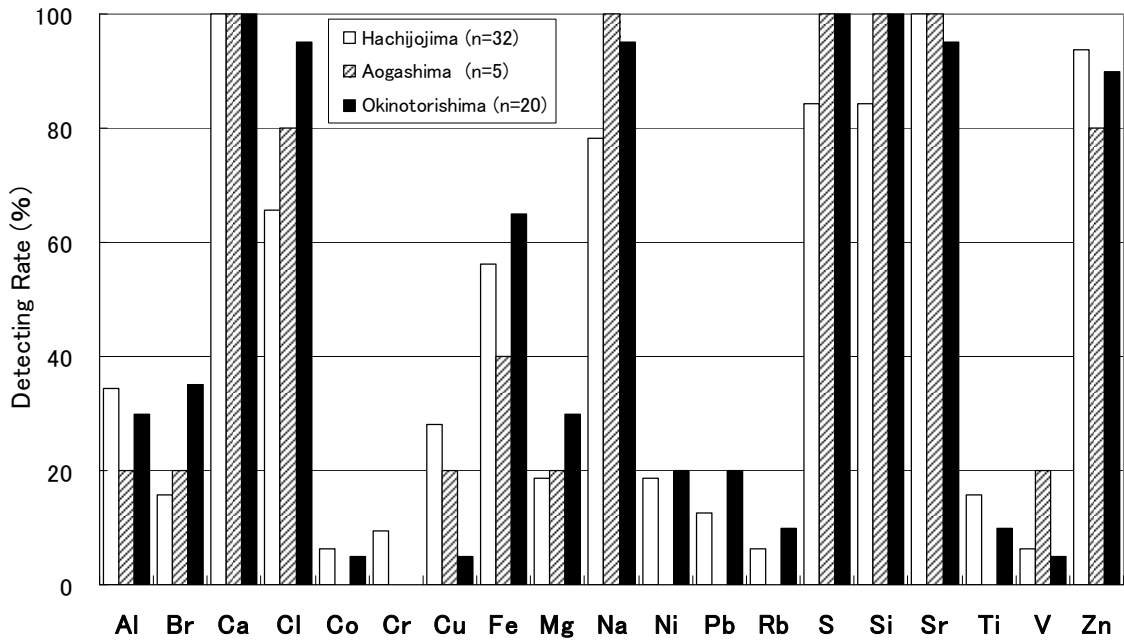


Fig. 2 Detecting rate of elements in otoliths of Alfonsino by PIXE method

次に、キンメダイ耳石中の元素濃度を Fig. 3 に示した。耳石の基質である Ca の含有量が最も多く、次いで Sr が多く、Na、S、Si の順となり、検出率の高い元素では含有量も多い傾向が確認された。また、海域別に見ると、八丈島産では Al、Cr、Cu、Fe、Ni、Pb の含有量が他の海域産と比較して有意に多かった。その中でも Cr と Pb は顕著に高い値を示した。次に、海域別のキンメダイ耳石中 Sr/Ca 比を Fig. 4 に示した。キンメダイ耳石中の Sr/Ca 比は青ヶ島産の個体では他の海域よりも有意に高く、八丈島産と沖ノ鳥島産は似た傾向を示した。しかし、八丈島産と沖ノ鳥島産とで Sr/Ca 比の分散を比較すると、八丈島産で有意に大きく、沖ノ鳥島産は小さい傾向が確認された。

さらに、八丈島産キンメダイの尾又長と耳石中の Si の含有量の関係を Fig. 5 に示した。八丈島産キンメダイの尾又長と耳石中の Si 含有量には相関係数  $r=0.4997$  とやや高い正の相関があることが確認されたことから、キンメダイ耳石中の Si 含有量は、尾又長が大きい個体ほど多くなることが示唆された。

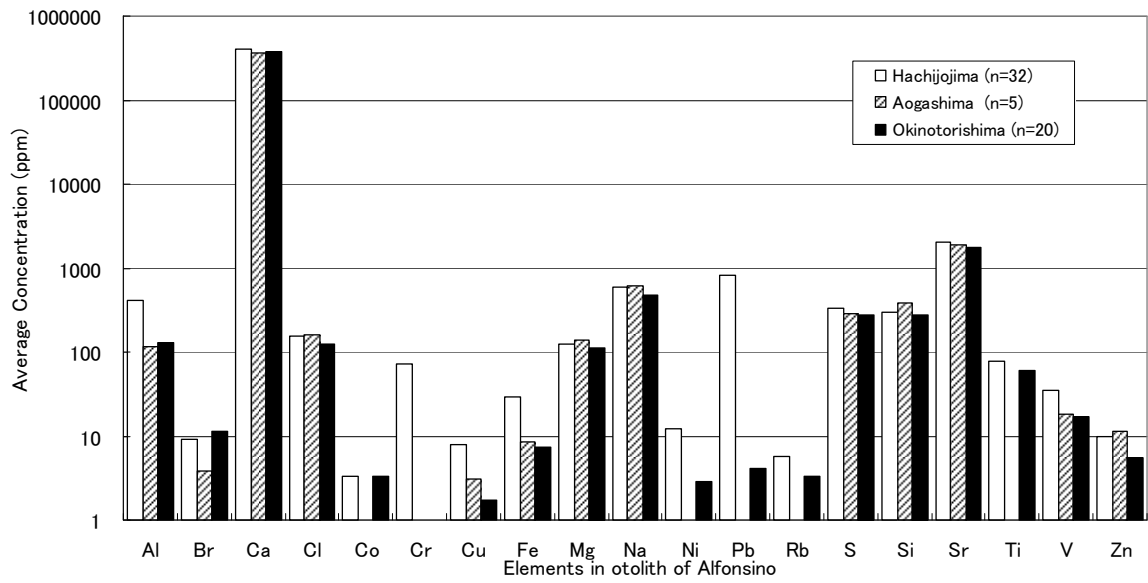


Fig.3 Average concentrations of elements in otoliths of Alfonsino by PIXE method

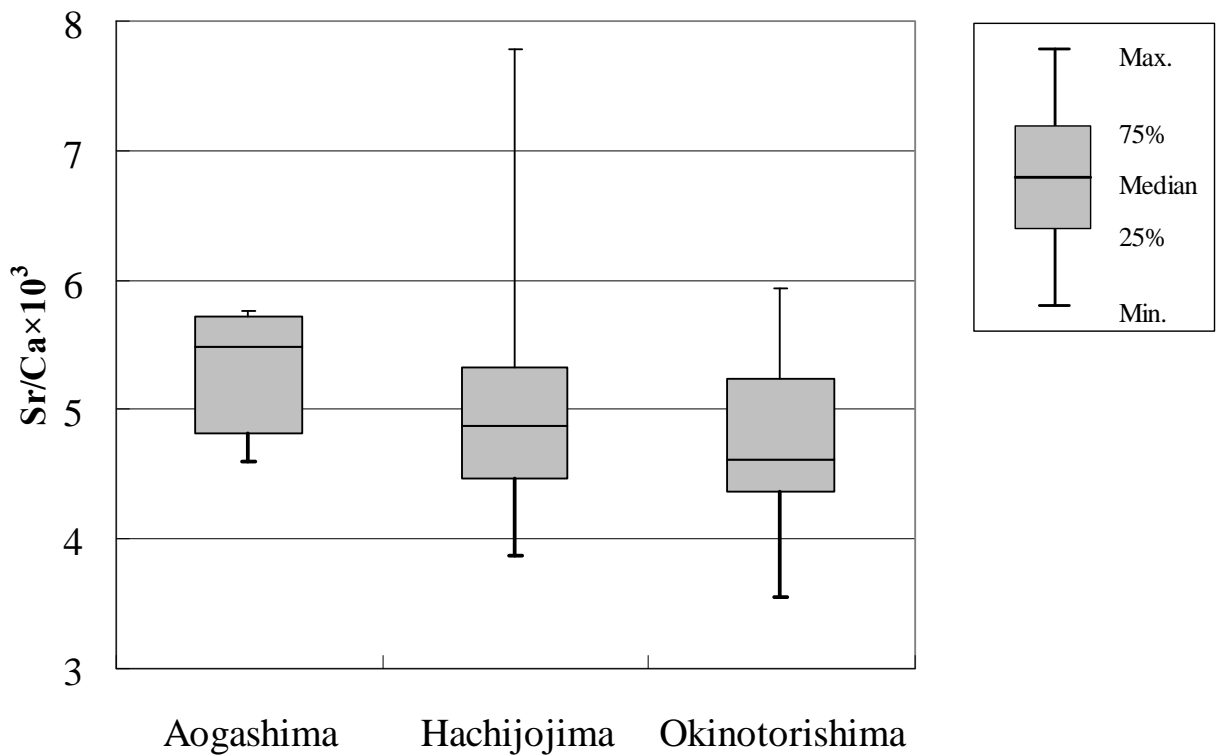


Fig.4 Box chart of Sr/Ca ratio in otoliths of Alfonsino by sampling area

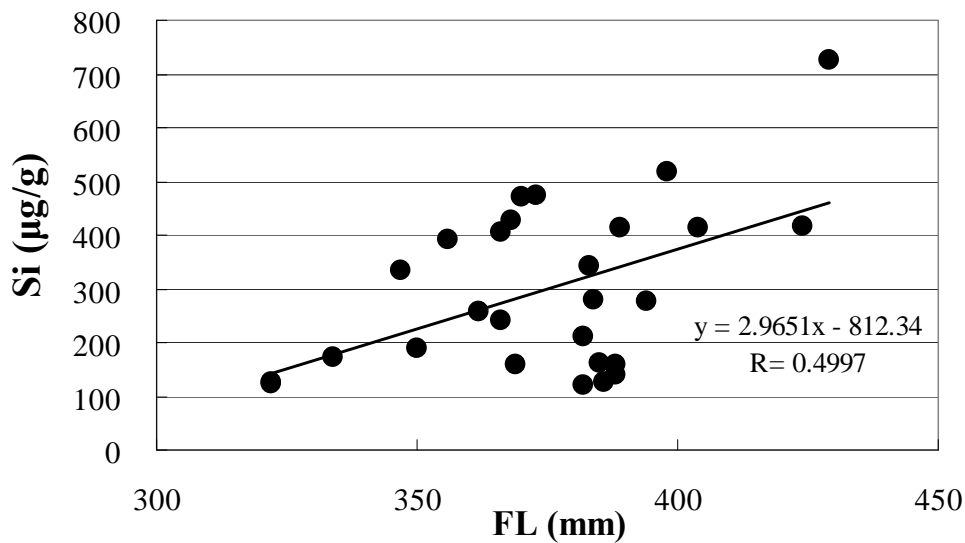


Fig.5 Relationship between body length and the concentration of Si in otolith of Alfonsino caught around Hachijojima

#### 4 考察

日本周辺海域でのキンメダイ耳石による PIXE 分析の結果、Na、Mg、Al、Si、S、Cl、Ca、Ti、V、Cr、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、Br、Rb、Sr、Pb の 19 元素が確認され、そのうち Na、Si、S、Ca、Zn、Sr の 6 元素の検出率が高く、かつ含有量が高い傾向が確認された。また、その一方で検出率の低い元素では海域毎に含有量が異なる傾向が確認され、生息域での海洋環境を反映させていると考えられる。

また、青ヶ島産キンメダイの耳石中 Sr/Ca 比は、他海域と比較して高い傾向が確認された。魚類耳石中の Sr/Ca 比と生息域の塩分環境についての研究が多く行われており<sup>34,12)</sup>、海水中の塩分が高くなるほど Sr 濃度も高くなることから、生息域の塩分と Sr/Ca 比に正の相関があることが知られている。このことから、青ヶ島産キンメダイの生息環境は他海域産キンメダイよりも高塩分環境に生息していると考えられる。その一方で、八丈島海域産と沖ノ鳥島海域産の Sr 濃度と Ca 濃度の相関係数の傾きに明瞭な差はないことから、八丈島海域と沖ノ鳥島海域のキンメダイの生息域における塩分環境はほぼ同じであることが示唆された。さらに、耳石の主成分であるアラゴナイトは、無機実験によりアラゴナイトへの Sr 分配係数と温度との関係式が求められており、その分配係数は温度に対して負相関になることが得られている<sup>13,14)</sup>。このことから、青ヶ島産キンメダイは他海域のキンメダイよりも低水温環境に生息し、八丈島海域産と沖ノ鳥島海域産のキンメダイの生息域の温度環境も大きな違いはないと考えられる。よって、海洋中では深所になるにつれて水温は低下し、塩分は上昇することが一般的に知られていることから、青ヶ島産キンメダイは、八丈島産および沖ノ鳥島産キンメダイよりも深い海域に生息していることが示唆された。

さらに、海洋中の元素分布には一定型、減少型、栄養塩型、増加型があり、Na、Sr は一定型、Zn、Si は植物プランクトンの光合成活動により利用されるために栄養塩型に属している<sup>15)</sup>。本研究では、八丈島海域産キンメダイの耳石中 Si 濃度が尾又長の大きい個体ほど高くなる結果が得られた。Si は珪藻の殻形成のために水深約 200m までの有光層では珪藻類に吸収されるが、有光層以深では急激に増加することが知られている。また、南太平洋ニューカレドニア海域では、海山域での漁獲調査により大型個体が深所に分布する傾向があり、成長に伴いキンメダイが深所に移動することが推定されている<sup>16)</sup>。よって、海洋中の Si の分布とキンメダイ耳石中の Si 濃度と尾又長に正の相関が認められることから、八丈島海域のキンメダイも成長に伴い深所に移動する可能性について耳石中微量元素の含有量の視点からも支持していることが明らかになった。

## 5 まとめ

日本周辺海域（八丈島海域産、青ヶ島海域産、沖ノ鳥島海域産）のキンメダイ耳石から 19 元素が PIXE 分析により検出され、Na、S、Si、Ca、Zn、Sr が全検体で検出された。また、海域毎にキンメダイ耳石中の Sr/Ca 比を比較した結果、青ヶ島産キンメダイのものが有意に高く、青ヶ島産キンメダイが他海域産キンメダイよりも高塩分・低水温環境の深層域に生息している可能性が示唆された。また、八丈島海域産キンメダイ耳石の Si 濃度はキンメダイの尾又長と正の相関が認められ、個体の成長により生息域をより水深の深いところに移動する可能性が示唆された。

## 謝 辞

本研究を進めるにあたり、東京都島しょ農林水産総合センター八丈事業所の藤井大地事業所長ならびに工藤真弘前事業所長を始め職員の皆様に多大なるご協力を頂いた。記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) S. Busakhin, Systematics and distribution of the family Berycidae (Osteichthyes) in the world ocean, *J. Ichthyol.*, 22, 1-21 (1982)
- 2) A. Kotlyar, Age and growth of alfoncino, *Beryx splendens*, *J. Ichthyol.*, 27, 104-111 (1987)
- 3) S. Campana, Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 188, 263-279 (1999)
- 4) 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
- 5) R. Radtke, D. Townsend, S. Folsom and M. Morrison, Strontium: calcium ratios in larval herring otoliths as indicators of Environmental histories, *Env. Biol. Fish.*, 27, 51-61 (1990)
- 6) 秋元清治・小竹朱・新井崇臣 (2010): 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. 神奈川県水産技術センター: <http://www.agri-kanagawa.jp/suisoken/Sakana/Misc/Kinmedai/>
- 7) K. Sera and S. Futatsugawa, "Quantitative Analysis of Powdered Samples Composed of High-Z Elements" *Int'l Journal of PIXE*, Vol.8, No.2, 3 185-202 (1998)
- 8) J. Itoh, S. Futatsugawa, Y. Saitoh and K. Sera, "Application of a Powdered-Internal-Standard Method to Plant and Seaweed samples", *Int'l Journal of PIXE*, Vol.15, No.1&2, pp.27-39(2005)
- 9) Futatsugawa, S., Hatakeyama, S., Saitou, Y. and Sera, K. "Present Status of NMCC and Sample Preparation Method of Bio-Samples", *Int'l Journal of PIXE* Vol. 3- 4, 319-328 (1993)
- 10) K. Sera, K. Terasaki, S. Murao, S. Futatsugawa and Y. Saitoh, "A Three-detector Measuring System Using a Pure-Ge Detector," *Int'l Journal of PIXE*, Vol.13, No.1, 2 23-35 (2003)
- 11) K. Sera and S. Futatsugawa, "Spectrum Analysis Taking Account of the Tail, Escape Functions and Sub-lines (SAPIX version 4)," *Int'l Journal of PIXE*, Vol.10, No.3, 4 101-114 (2000)
- 12) R. Kimura, Y. Ozeki and H. Kubota, Up-estuary dispersal of young-of-the-year bay anchovy *Anchoa mitchilli* in the Chesapeake Bay: inferences from microprobe analysis of strontium in otoliths. *Marine Ecology Progress Series*, Vol. 208, 217-227, (2000)
- 13) D. Kinsman and H. Holland, The coprecipitation of cautions with CaCo<sub>3</sub> IV. The coprecipitation of Sr<sup>2+</sup> with aragonite between 16 and 96°C. *Geochim. Cosmochim. Acta*, Vol. 33, 1-17 (1969)
- 14) M. Dietzel, N. Gussone and A. Eisenhouer, Co-precipitation of Sr<sup>2+</sup> and Ba<sup>2+</sup> with aragonite by membrane diffusion of CO<sub>2</sub> between 10 and 50°C, *Chem. Geol.* Vol. 203, 139-151 (2004)
- 15) Y. Nozaki, Elemental distribution overview. In *Encyclopedia of Ocean Sciences*, Vol. 2, J. Steele, S. Thorpe and K. K. Turekian, eds., p.840, Academic Press, London, (2001)
- 16) P. Lehodey, P. Marchal, R. Grandperrin, Modelling the distribution of alfoncino, *Beryx splendens*, over the seamounts of New Caledonia, *Fishery Bulletin*, Vol. 92, p.748-759 (1994)

## Elemental compositions in otoliths and behavioral ecology of the alfonsino, *Beryx splendens*, in waters of Japan

Y. Horii, S. Sakurai<sup>1</sup>, Y. Kusaka<sup>1</sup>, H. Aoki<sup>1</sup>, K. Sera<sup>2</sup>, S. Goto<sup>3</sup> and C. Takahashi<sup>3</sup>

Hachijo Branch, Tokyo Metropolitan Center for Agriculture, Forestry and Fisheries on Izu islands  
4222 Mitsune, Hachijojima, Tokyo 100-1511, Japan

<sup>1</sup>Department of Environment Science, School of Information Studies, Otsuma Women's University  
2-7-1 Karakida, Tama, Tokyo 206-8540, Japan

<sup>2</sup>Cyclotron Research Center, Iwate Medical University  
348-58 Tomegamori, Takizawa, Iwate 020-0173, Japan

<sup>3</sup>Takizawa Laboratory, Japan Radioisotope Association  
348-1 Tomegamori, Takizawa, Iwate 020-0173, Japan

### Abstract

This study suggests the behavior ecological study of the alfonsino, *Beryx splendens*, by analysis of trace elements in otoliths. We analyzed 57 otoliths of the alfonsino in the water of Japan by PIXE method.

19 elements were detected in otoliths of the alfonsino, 6 elements were detected from all sample. Sr/Ca ratio of otoliths taken from Aogashima area was higher than those from Hachijojima area and Okinotorishima. This result suggests that the alfonsino from Aogashima area have inhabited in deeper area than those from Hachijojima and Okinotorishima. There were positive correlation between the concentration of Si in otolith and the body length in waters of Hachijojima. This result suggests that a habit area of alfonsino has moved into deeper waters as alfonsino ages.