

日本近海産キンメダイ耳石に含まれる微量元素分析

堀井善弘、櫻井四郎¹、蔭山江里¹、

世良耕一郎²、後藤祥子³、高橋千衣子³

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

¹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

²岩手医科大学サイクロトロンセンター
020-0603 岩手県滝沢市留が森 348-58

³日本アイソトープ協会滝沢研究所
020-0603 岩手県滝沢市留が森 348-1

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種すべてが水深 200~800m 前後の深海に生息している^{1,2)}。そのうち、キンメダイは主に太平洋南岸での漁獲高が多く、水産上重要な魚種となっており、ナンヨウキンメとフウセンキンメも漁獲量自体は大きくないが、各地域で利用される水産資源となっている。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^{3,4)}。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⁴⁾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⁵⁾やキンメダイ⁶⁾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海域差の把握および回遊経路解明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2008～2012年に八丈島周辺海域で漁獲されたキンメダイ39個体、青ヶ島海域で漁獲された31個体、沖ノ鳥島海域で漁獲された20個体の合計90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℃で24時間以上乾燥させたものを分析用試料とした。

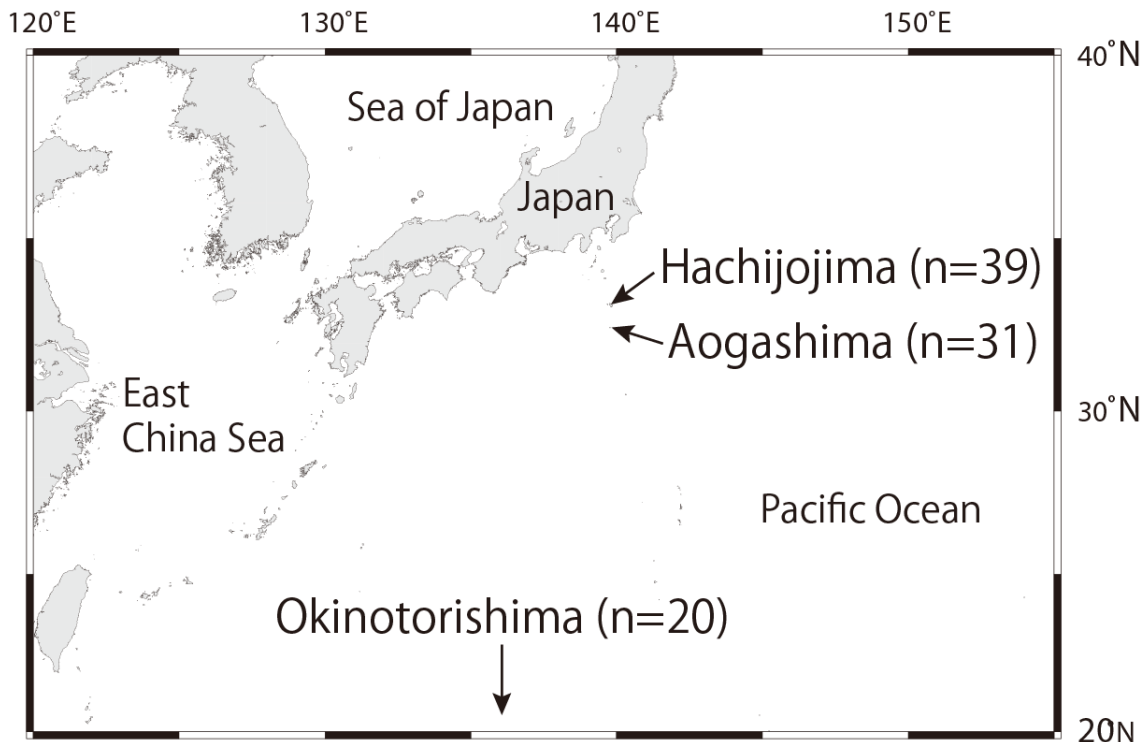


Fig.1 Sampling area and number of Alfonsino, *Beryx splendens*

2.2 試料調製

キンメダイ90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^{7,8,9)}。内部標準法は、全てのサンプルを均一にして、ハロゲン进行分析のために使用した。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℃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リ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5μLをバックリ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 γ 線スペクトロメトリー

γ 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^{10,11)}。

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、リン P、硫黄 S、塩素 Cl、カリウム K、カルシウム Ca、チタン Ti、バナジウム V、クロム Cr、マンガン Mn、鉄 Fe、コバルト Co、ニッケル Ni、銅 Cu、亜鉛 Zn、ガリウム Ga、セレン Se、ヒ素 As、臭素 Br、ルビジウム Rb、ストロンチウム Sr、ジルコニウム Zr、ニオブ Nb、モリブデン Mo、水銀 Hg、鉛 Pb、合計 29 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。耳石の基質となる Ca の他に、Si と Sr はすべての個体で検出された。また、検出率が 80% を超える元素は、Na、Zn の 2 元素、50% を超える元素は S、Fe の 2 元素であった。

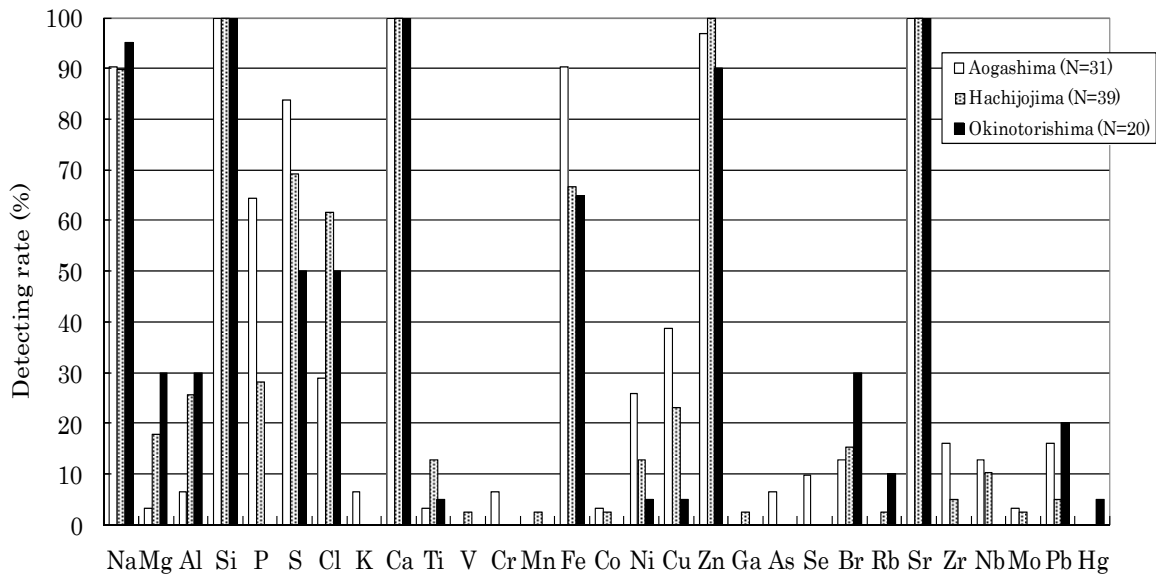


Fig. 2 Detecting rate of elements in otoliths of Alfonsino by PIXE method

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、Si、Fe、Zn では海域間によって濃度差が確認された。

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 $r=0.5360$ とやや高い正の相関があることが確認された。

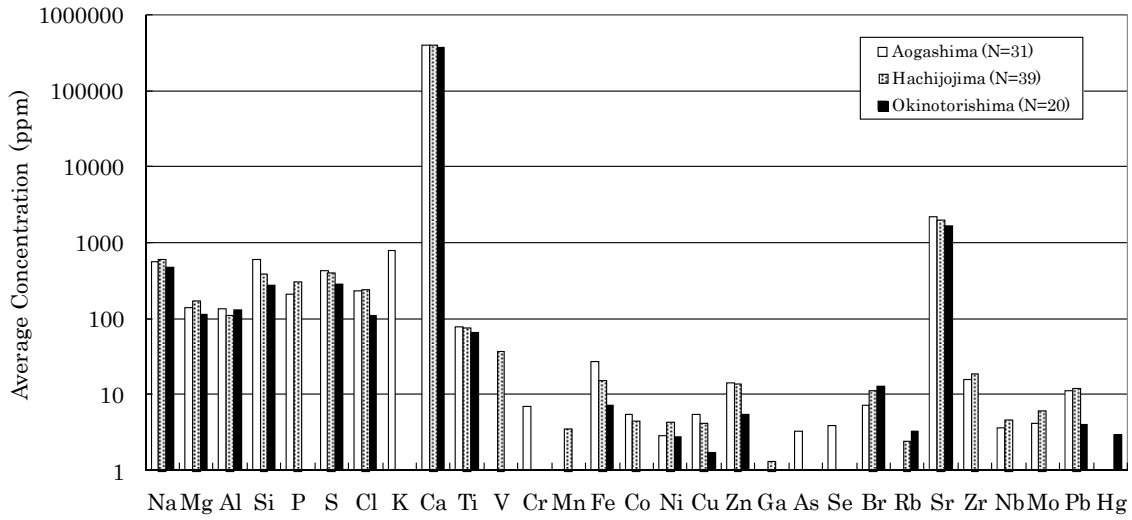


Fig.3 Average concentrations of elements in otoliths of Alfonsino by PIXE method

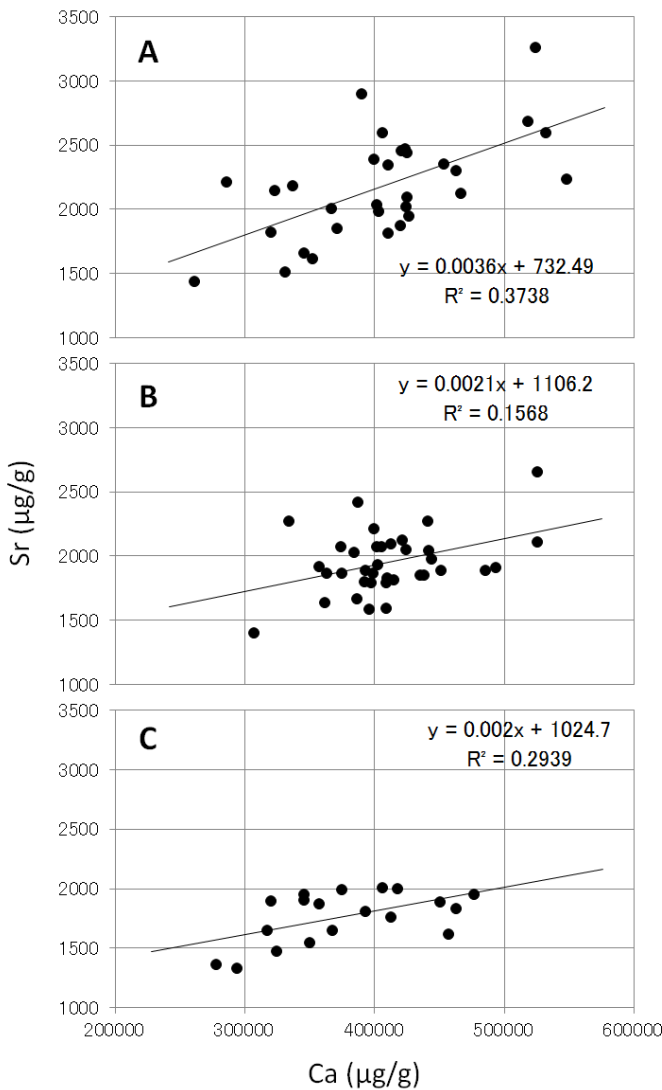


Fig.4 Relationships between Calcium concentration and Strontium concentration in otoliths of Alfonsino from Aogashima area (A), Hachijojima area (B) and Okinotorishima area (C). Solid lines are regression lines and the regression equations are also shown.

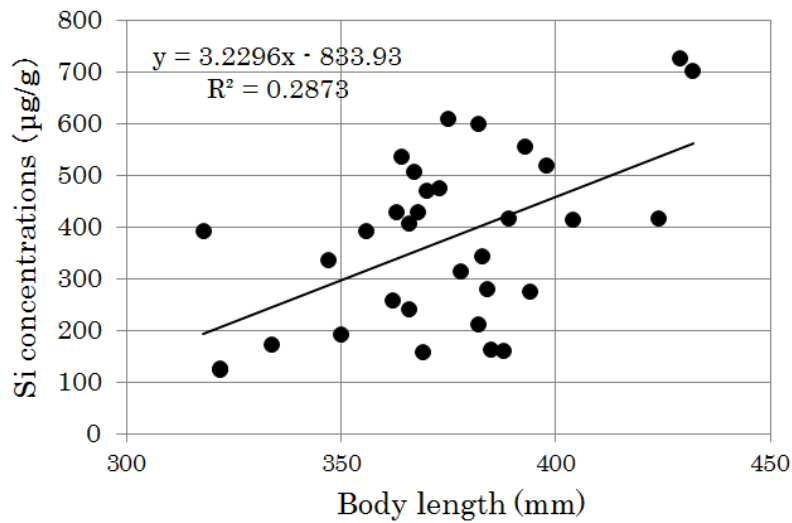


Fig.5 Relationship between body length and the concentration of Si in otolith of Alfonsino caught around Hachijojima

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、ナトリウム Na、マグネシウム Mg、アルミニウム Al、ケイ素 Si、リン P、硫黄 S、塩素 Cl、カリウム K、カルシウム Ca、チタン Ti、バナジウム V、クロム Cr、マンガン Mn、鉄 Fe、コバルト Co、ニッケル Ni、銅 Cu、亜鉛 Zn、ガリウム Ga、セレン Se、ヒ素 As、臭素 Br、ルビジウム Rb、ストロンチウム Sr、ジルコニウム Zr、ニオブ Nb、モリブデン Mo、水銀 Hg、鉛 Pb の 29 元素が確認され、そのうち Na、Si、Ca、Zn、Sr の 5 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^{3,4,12)}、海水中の塩分が高くなるほど Sr 濃度も高くなり、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^{13,14)}。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、塩分が高くな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、Fe、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¹⁵⁾。Fe、Zn、Si などの栄養塩型分布を示す元素では、青ヶ島海域産の含有濃度が高く、次いで八丈島海域産、沖ノ

鳥島海域産の順となった。八丈島海域と青ヶ島海域の地理的距離が近いこと、耳石中の栄養塩分布型元素の含有濃度は、漁獲水深による影響が大きく作用していると考えられる。その一方で、沖ノ鳥島海域は陸域から隔離されているため、植物プランクトンなどの基礎生産量の少ない貧栄養な海域であり、海域自体の栄養塩型元素も少ない。そのため、耳石中に取り込まれる栄養塩分布型元素が少ないことを反映していることが示唆された。

また、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¹⁶⁾。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 29 元素が PIXE 分析により検出され、Si、Ca、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 cations with CaCO_3 IV. The coprecipitation of Sr^{2+} with aragonite between 16 and 96°C. *Geochemi. Cosmochim. Acta*, Vol. 33, 1-17 (1969).
- 14) M. Dietzel, N. Gussone and A. Eisenhouer, Co-precipitation of Sr^{2+} and Ba^{2+} with aragonite by membrane diffusion of CO_2 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 alfonso, *Beryx splendens*, over the seamounts of New Caledonia, *Fishery Bulletin*, Vol. 92, p.748-759 (1994)

PIXE analysis of trace elements in otoliths of the alfonsino,
Beryx splendens, in waters of Japan

Y. Horii, S. Sakurai¹, E. Kageyama¹, K. Sera², S. Goto³ and C. Takahashi³

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

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

²Cyclotron Research Center, Iwate Medical University
348-58 Tomegamori, Takizawa, Iwate 020-0603, Japan

³Takizawa Laboratory, Japan Radioisotope Association
348-1 Tomegamori, Takizawa, Iwate 020-0603, Japan

Abstract

This study suggests the behavior ecological study of the alfonsino, *Beryx splendens*, by analysis of trace elements in otoliths. We analyzed 90 otoliths of the alfonsino in the water of Japan by PIXE method. 29 Elements were detected in otoliths of the alfonsino, 3 Elements were detected from all sample. Sr/Ca ratio of otoliths 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 habitat areas of alfonsino has moved into deeper waters as alfonsino ages.