

有害元素を多量に含む海産食品の分析

世良耕一郎¹、後藤祥子²、細川貴子²、齊藤義弘²

¹ 岩手医科大学医歯薬総合研究所高エネルギー医学研究部門（サイクロトロンセンター）
020-0603 岩手県滝沢市留が森 348-58

² 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

近年、我が国におけるホタテ・牡蠣・ワカメ・昆布などの海産物、特に養殖海産物は有害元素を多く含むことが確認されている¹。これは主に、地下水系・河川水などの重金属汚染が沿岸海域の汚染をもたらしているからである^{2,3,4}。また港湾域においては船舶からの廃油等⁵の影響もある。陸における水系汚染の源は、鉱山あるいは廃坑^{6,7}、温泉⁸、そして産業廃棄物処理場からの浸出水などである。

このような沿岸海域の重金属汚染の問題をいっそう深刻化させたのは、2011年三陸海岸を襲った3.11津波である。ホタテ・牡蠣などの養殖業は三陸地方の主要産業の一つであったが、津波により汽水域における海洋生態系が壊滅したため、一時継続不能になった。津波がもたらしたものは膨大な人的・物的被害、海洋生態系の破壊ばかりではない。津波は多量の重金属に汚染された海底のヘドロ⁹を、海洋生態系を育む汽水域や人々の生活圏・農地などに運び上げた。そのため、沿岸海域における重金属汚染に一層拍車がかかり、その海洋生態系再生や人の健康に与える影響は一層深刻なものとなった^{9,10,11}。

一般に食される養殖海産物、例えばホタテの貝柱・ワカメ・昆布などの重金属濃度はしばしば分析されており、有害元素の「一日最大許容摂取量」との関連が議論されている。しかし地域によっては、一般には食されない食材・部位などを多量に食する独自の食文化があり、それらはホタテの外套膜（ひも）、中腸腺（うろ）、ホヤの鰓嚢・内臓等である。特にホヤは、産地が東北と北海道太平洋沿岸に限定されており全国的に親しまれる食材とは言えないが、この地域の人々には soul food 的な食材である。また近年ホタテの外套膜も生食食材として一般に普及し、一度に多量摂取する食環境が生まれつつある。これらは独特の風味があるため一部の人々は多量に摂取するが、一般的な食材ではないこともあり殆ど分析報告がない。

本研究においては、一般に食されるホタテ貝柱、ホヤ身等に加えホタテの外套膜・中腸腺、ホヤの鰓嚢・内臓、また無機ヒ素が多く危険とされているひじきの分析を行い、ヒ素、カドミウムなどの有害元素濃度を確認し、一日最大許容摂取量との関係を調べる。また、養殖海産物ではないが水銀濃度が高いと言われるクジラ皮の脂身の分析も行う。ひじき、クジラ皮など調理を行うものに関しては、調理による有害元素濃度の減少の可能性なども検討する。

2 実験

2.1 対象試料

Table1 に分析を行った海産物試料と部位の一覧を示す。ホタテに関しては一般に貝柱が刺身として食される。しかし焼く・煮るなど調理を施すことも多く、その場合貝柱以外の部分も食される結果となる。近年、海産物の保存・輸送技術の向上に伴い、外套膜（ひも）も生食用として容易に手に入るようになった。この食材は安価なため無乾燥試料に対して 100 g 近く摂取する場合も多い。また冬季にのみ発達する生殖器官；精巣・卵巣の分析も行う。これらもボイルした形で市販され、なべ物の具材等で広く食されるようになった。カドミウム・ヒ素を多量に含むことが知られている中腸腺も含め、以上の 4 部位に関し分析が行われた。

ホヤに関しては、やはり一般には身の部分のみが食されるが、地元の人々は風味を楽しむため、鰓嚢、内臓なども捨てずに食す習慣がある。そのため、身・鰓嚢・内臓の 3 部位の測定を行った。クジラの脂身に対しては、表皮の黒い部分とその下の白い部分に分けて分析を行った。

以上の試料の各部位は 3~4 個体から採取され分析された。そのため以下に示す分析結果はそれらの固体の平均値を取ったものである。

Table 1. Samples and their portions analyzed, and the manners of target preparation and cooking.

Marine foods	Target elements	Parts	Method of target preparation	Cooking manner
Whale (Fin whale)	Hg	Fatty meal (outer and inner skin)	Untreated	Heating
Hijiki	As, Cd, Pb	Whole body	Chemical ashing -Internal standard Untreated	Soaking in water (10 and 40 min) Soaking in hot water (10 and 40 min)
Scallop	As, Cd, Pb	Adductor, mantle, mid-gut gland, ovary, spermary	Chemical ashing -Internal standard Untreated	Raw Baked Boiled
Ascidian	As, Cd, Pb	Muscle, internal organs, pharyngeal basket	Chemical ashing -Internal standard Untreated	Raw

2.2 試料調製と調理法

Table 1 中には、各試料に対する調理法に加え試料調製法も併せて示されている。クジラの脂身は一般に茹でるか燻製にした後食されるため、加熱処理を行い加熱により滲み出る油と残りの脂身を分離し、別々に測定を行った。このような油試料に対しては硝酸灰化法の適用が難しいため、以前に開発を行った「油試料に対する無標準法 (the standard-free method for oil samples) ¹²」を適用し、定量分析を行った。

ひじきは通常乾物として売買され、水に浸し戻してから調理を行う。そのため 10 分間、40 分間の水出し・お湯 (90 °C) 出しを行い、ヒ素濃度の変化が調べられた。残りのひじきの身と共に水・湯の分析も行い、ヒ素の移動を確認した。その後、105 °C で数時間完全に乾燥させ、秤量した後「硝酸灰化-内部標準法」により調製が行われた。灰化により失われるハロゲンの分析のために、灰化を行わずメノウ乳鉢内で均一化した無調製試料も測定した。それらに対しては、内部標準法で得られた K (potassium) 濃度で規格化し、定量値が得られた。ターゲットは、灰化試料に対しては 5 μL を 4-μm-thick prolene

backing 膜上に滴下し乾燥、無調製試料に対してはおよそ 10 µg を backing 膜状に薄く塗布し、作成した。同様の試料調製法が、ホタテ・ホヤの各部位に対しても適用された。クジラ脂身は無調製無標準法で分析されたため、手を加えずそのまま少量をバックリング膜状に固定、あるいは塗布してターゲットとした。

ホタテの各部位は 105 °C で 4 時間乾燥させた後、硝酸灰化-内部標準法に基づき調製された。それに加え、ひじきと同様にハロゲン分析の目的で化学処理を加えず均一化した無調製試料もターゲットとした。貝柱に加え、15 年前の分析で多量の Cd と As を含むことが確認されている中腸腺、また以前は主に干物として食されていたが、近年は刺身としても広く食されるようになった外套膜（ひも）も同様に調製され分析された。それらに加え、冬季のみ発達する生殖器：卵巣と精巣も分析の対象とした。これらはボイルした食品として売られ、安価なため鍋物などで多量に摂取する可能性がある。ごく稀に生で食する場合もあるが、多くの場合ボイルされたものが売られているためそれらを分析試料とした。

ホヤに関しては蒸したものと燻製にしたものも売られているが、東北・北海道の人々が多量に食するのは生の刺身や酢の物である。そのため生のものを 105 °C で 4 時間乾燥させ、ホタテの各部位と同様に調製を行った。部位は一般に食される身、そして地元の人々が好んで食べる鰓嚢、内臓も分析対象とした。

上述のように、これらの試料は、3~5 以上の個体から部位を採取し、それぞれにターゲットを作成し分析を行った。以下に示す結果は、いずれもそれらの平均値である。

2.3 ビーム条件と測定、解析

2.9 MeV の陽子ビームは NMCC の小型サイクロトロン（島津製作所：MCY1750）から引き出され、X-Y の steering magnets、2 組の quadrupole magnets を経て PIXE 真空散乱層に導かれる¹³。Beam spot size はターゲット直前のグラフィートコリメータにより 1.5~6 mmφ に整形され、ターゲットを照射する。本研究におけるビーム条件は、6 mmφ、60-90 nA であった。発生した X 線は 2 基の Si(Li) 検出器により同時に測定される¹⁴。No.1 検出器には種々の吸収体を取りつけられ、K、Ca 以上の重元素の測定に用いる。No.2 検出器には計数率を調整するための graphite collimator が装着され、吸収体無しで Na~Ca までの軽元素測定が行われる。本研究においては、500 µm-Mylar 吸収体が No.1 検出器に取り付けられた。1 試料当たりの測定時間は 3-10 分間、Cd に注目する試料に対しては約 10 分間の測定時間とした。得られた X 線スペクトルは SAPIX と KEI のプログラム¹⁵により解析され、元素濃度の定量値が得られた。

3 結果

3.1 クジラ皮の脂身

Fig.1 にクジラ皮脂身の結果を表層の黒い部分と内側の白い部分に分けて示す。結果を見ると、As 濃度は十分低い、Pb はやや高い。予想された通り Hg 濃度は高く、表層の黒い部分に対して 37.2 ± 6.4 µg/g、内側の白い部分に対し 17.1 ± 4.6 µg/g であり、表面近くに濃縮していることが分かる。さらにクジラの脂身試料は 105 °C で熱処理され、溶けだした液体の油と、残りの身に分けて分析が行われた。その結果を Fig.2 に示す。水銀濃度は残りの身に対して 38.6 ± 5.7 µg/g、溶け出た油に対し 20.4 ± 4.1 µg/g と大きな違いはなかった。

3.2 ひじき

Fig.3 にひじきの結果を調理法別に示す。水銀濃度はほぼ無視可能なレベルであった。一方鉛は無調理試料に対し 8.25 ± 7.3 µg/g とやや高かったが、問題になるほどの高値ではなかった。注目のヒ素に関しては、無調理の試料に対し 83.8 ± 3.7 µg/g とかなりの高値を示した、しかし 10 分間の水出し後、その濃度は半分以下に減ることが分かった。Fig.4-a に水出し・お湯出し後のヒ素濃度の変化を示す。水出し後、As 濃度はおよそ半分に、お湯出し後は約 1/4 に減ることが確認されたが、10 分と 40 分では有意差は無く 10 分浸せば十分であることが確認できた。一方、Fig.4-b、c に示される Cl、Br などの

ハロゲンに関しては大幅な変化を示し、特に Cl に関しては 3 桁の減少と、ほぼ全てが水に漏出することが分かった。

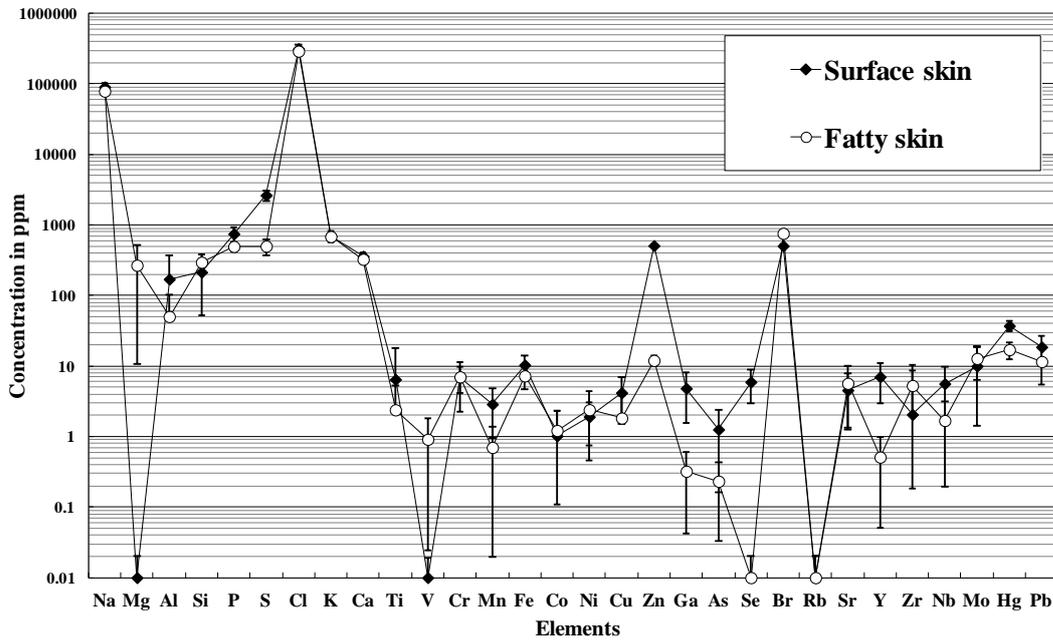


Fig. 1 Elemental concentrations in untreated fatty skins of whale, where closed diamonds indicate the surface skin and open circles the inner skin.

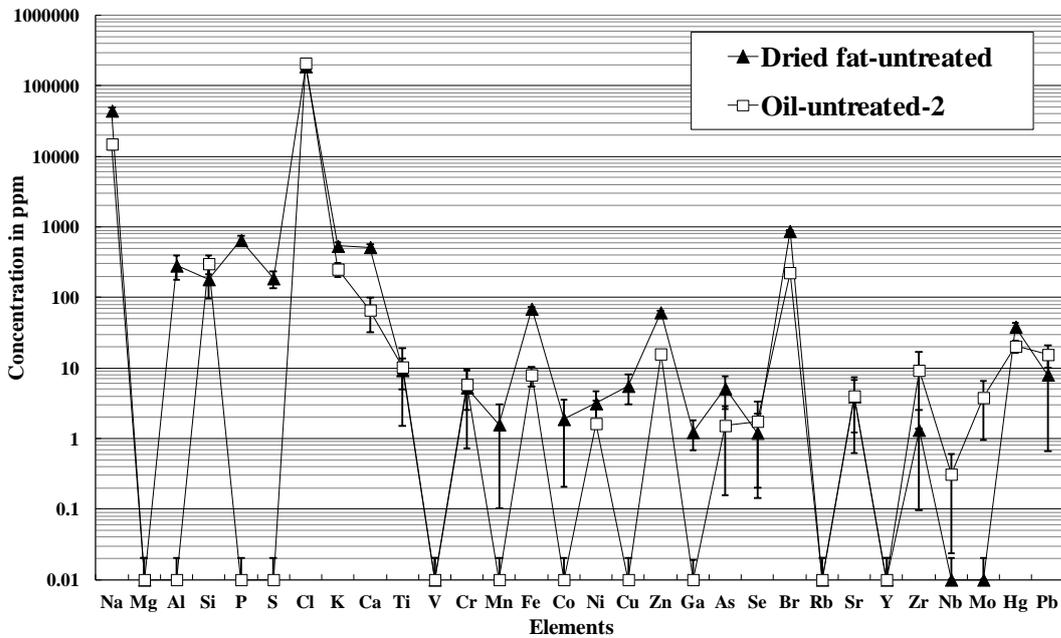


Fig. 2 Elemental concentration in untreated fatty whale skin, where open squares indicate oil liquated from the skin and closed triangles the rest of the skin

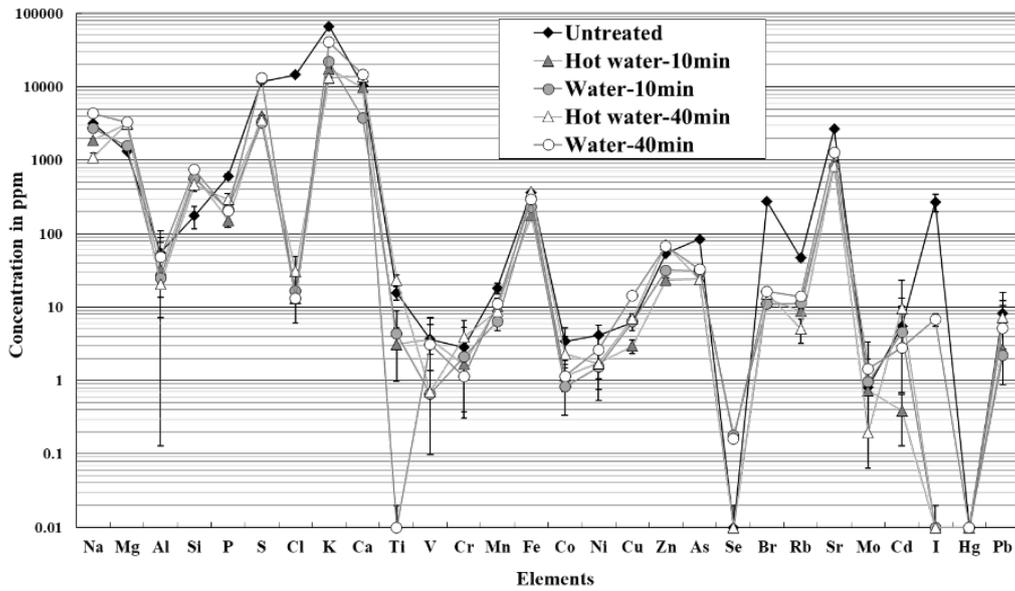


Fig. 3 Elemental concentration in hijiki, with differences depending on the cooking manner shown.

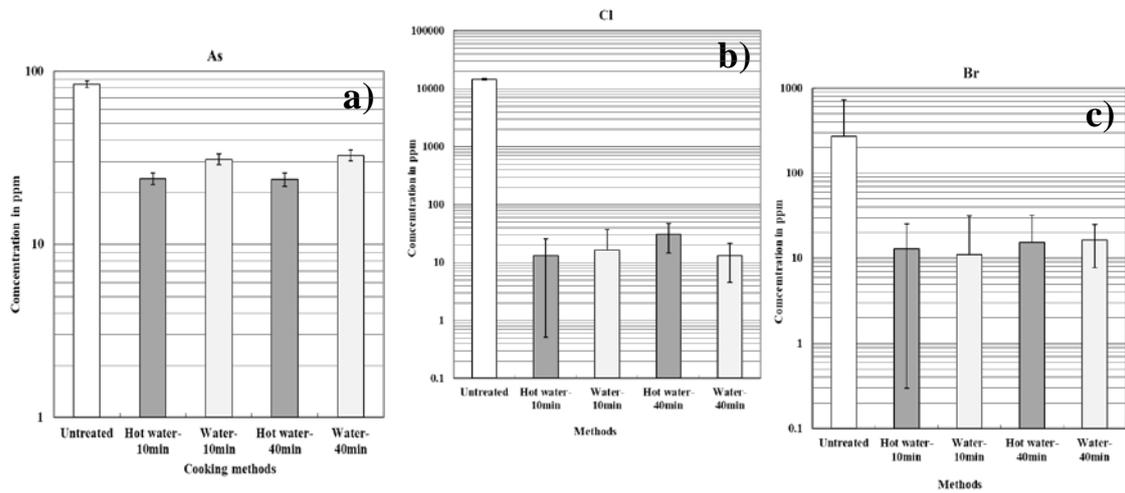


Fig. 4 Changes in the elemental concentrations of arsenic (a), chlorine (b) and bromine (c) in hijiki after soaking in water and hot water for 10 and 40 minutes.

3.3 ホタテ

Fig. 5 にホタテ中腸腺の結果を示す。図中には硝酸灰化-内部標準法の結果とともに、そのまま小片を取り出しターゲットとしたもの、また 105 °C で数時間乾燥させ、メノウ乳鉢内で均一化した後一部を取り出してターゲットとしたものの結果も合わせて表示している。これらの定量値は、硝酸灰化法で得られた K の値で規格化し得られた。注目の Cd 濃度はおよそ 100 $\mu\text{g/g}$ であり、15 年前の我々の測定結果 (未発表) よりも若干低い値を示したが、産地が異なることを考慮すればほぼ同じ傾向が再現されたと言える。一方ヒ素濃度は、以前の分析値 (約 300 $\mu\text{g/g}$) と比べ明らかな低値を示した。有害元素濃度はあまり調製法に依らない傾向にあるが、乾燥粉末の場合 Cd、As とともに高値を示している。

この図において、硝酸灰化-内部標準法の場合用いた試料は 30 mg ほどであるのに対し、無調製法で採取された試料は 10 μg ほどと少なく、中腸腺の表面から小片を採ったものである。それに対し乾燥粉

末法の場合、中腸腺全体を乳鉢内で均一化し、その中から 5 μg ほどの試料をバッキング膜上に固定しターゲットとした。そのため後者は全体の平均値を反映している。図を見ると、Ca、Fe、Ni、Cu、Zn、As、Se、Br、Sr、Y、Zr、Mo、Cd 等の多くの元素が、乾燥粉末法で最大値を示しており、このことはこれらの元素が中腸腺の中心部付近に局在していることを示唆している。

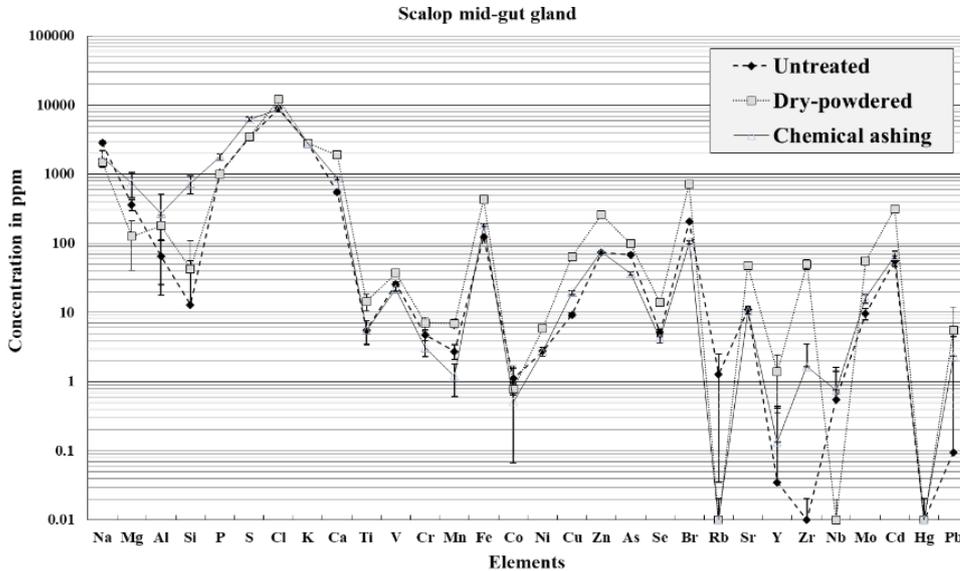


Fig. 5 Elemental concentrations in the mid-gut gland of a scallop, with results for different preparation methods shown (1: Untreated, 2: Dry-powdered and 3: Chemical ashing).

Fig. 6 には、ホタテの部位の中でも最も一般的な食材である貝柱の分析結果を示す。中腸腺と同様に、異なる 3 種の調製法に対して結果が示されている。中腸腺では危険レベルであった As は 10 μg/g 前後、Cd は 1 μg/g 以下と、十分な低値を示している。Fig. 7 にはホタテの外套膜（ひも）に対する結果を示すが、この部位は近年刺身や干物で多く食されるようになり、一度に多量に摂取する可能性の高い部位である。図に見られるように As、Cd 濃度は 100 μg/g 以上と中腸腺とほぼ同じ高値を示している。

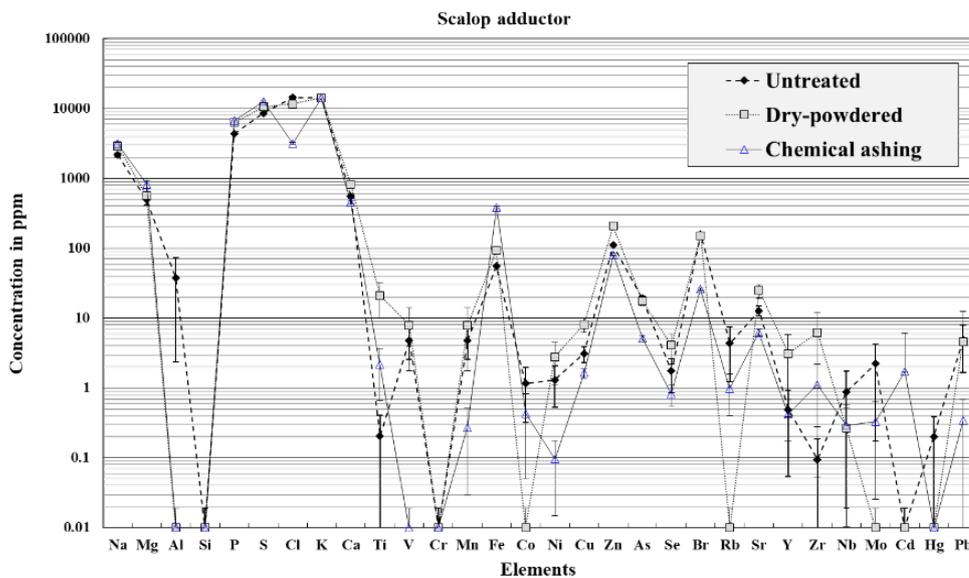


Fig. 6 Same as Fig. 5 but the elemental concentrations in the adductor of scallop.

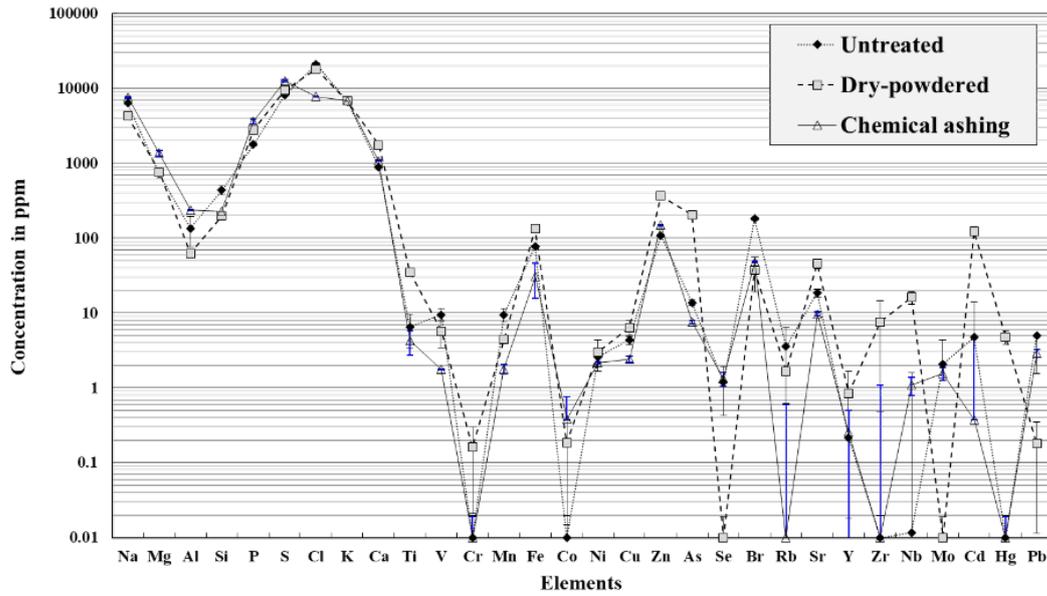


Fig. 7 Same as Fig. 5 but the elemental concentrations in the mantle of scallop.

Fig. 8 にはホタテ各部位間の比較を示す。有害元素の観点からは、貝柱中濃度は十分に低く安全と言えるが、中腸腺・外套膜中の As、Cd 濃度は予想以上に高く注意を要する。

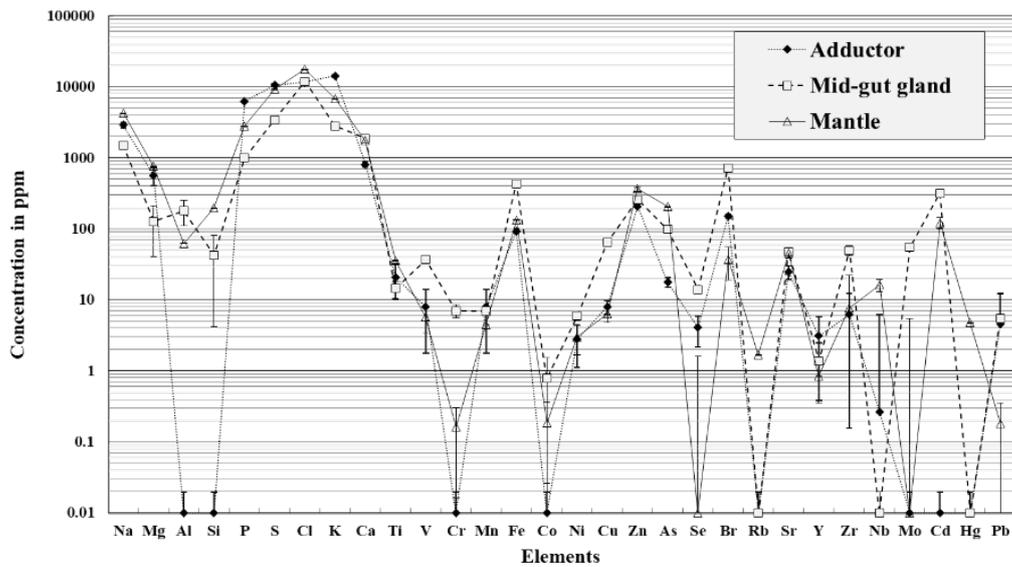


Fig. 8 Results for different parts of a scallop.

以上の部位は年間を通して手に入る食材であるが、卵巣・精巣は冬季にのみ発達し、食材として普及し始めている。以前は貝柱以外の部位は殆ど捨てられていたが、現在は食文化の多様化と流通機構の発達により、他の部位も食材として利用されるようになった。卵巣・精巣は通常ボイルしたものが安価に多量に売られ、鍋物などの具材として親しまれている。東北・北海道の太平洋沿岸に住む人々には、昔から馴染みのある食材である。しかし、中腸腺などはその危険性が指摘され、有害元素濃度がよく調べられているが、卵巣・精巣などの生殖器に関しては殆ど分析報告がない。そのため、今回分析を試みた。その結果を Fig. 9 に示す。

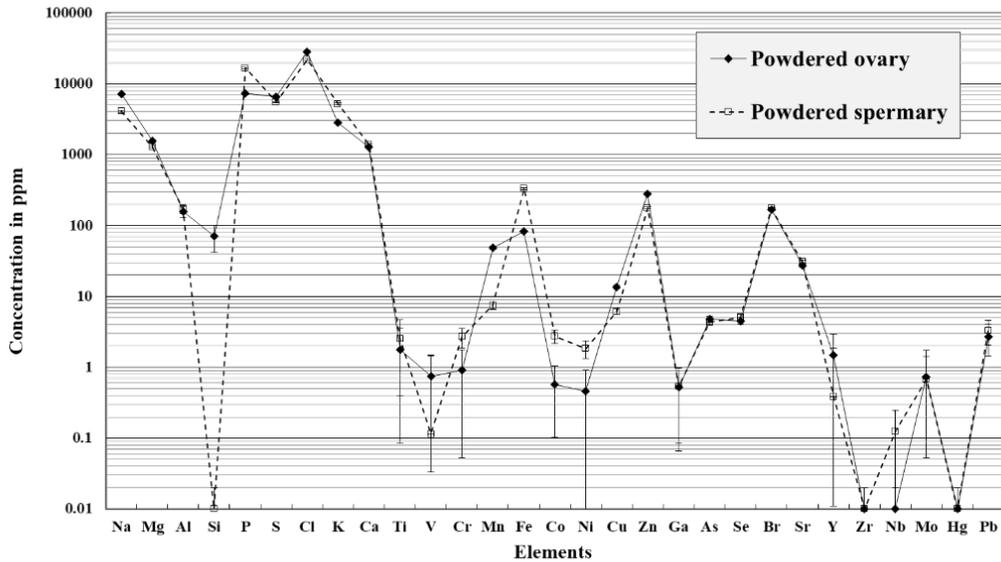


Fig. 9 Results of analyses of the ovary and spermary of scallop.

この図に見られるように、As、Cr、Pb、Hgなどの有害元素濃度は十分に低く、Cdは検出限界値以下であり、有害元素の観点からは安全な食材と言える。図に示される卵巣・精巣の結果について、一つ注目すべき点がある。Seはglutathione peroxidaseの活性中心であることが知られており、この酵素は心筋梗塞を予防し¹⁶、泌尿器系癌の発生を抑制し¹⁷、悪性リンパ腫の発症も抑制する¹⁸ことが確認されている重要な酵素である。Seは通常のご食物中には不足気味で十分な摂取が難しい元素であるが、これらホタテの生殖器の中には5 µg/gほどのSeが含まれ、にんにくと並び¹⁷貴重なSe供給源になることが期待される。

3.4 ホヤ

Fig.10にホヤの身に対する結果を同様に示す。ホタテ中腸腺や外套膜と比べると、ホヤ身中のAs、Hg、Pb、Cd濃度はそう高くない。しかしホヤは地域の食文化によっては多量に食される食材であるため、過度の摂取を避けるよう心掛ける必要がある。

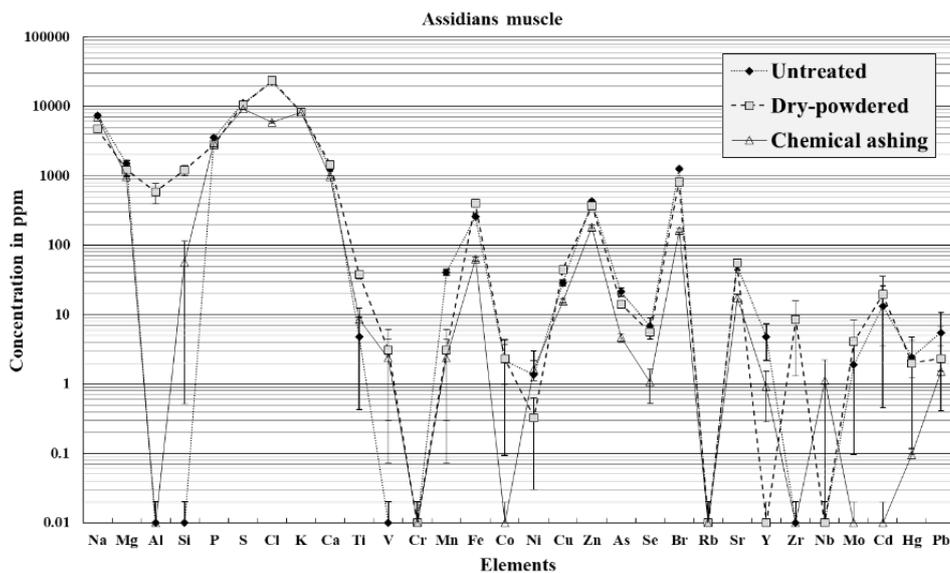


Fig. 10 Elemental concentrations in the muscle of ascidians.

Fig.11 にはホヤの鰓嚢の結果を示す。これは黒色の部位であり多量の海水を貯めて膨れ上がる器官であるが、一般的食材からは除外される。しかし一部の地域の人々には、その風味を好んで食べる食文化がある。この図を見ると、Cd と Pb 濃度は明らかに身の部分よりも高く、As 濃度は約 100 $\mu\text{g/g}$ と非常に高い。Fig.12 には内臓部の結果を示すが、この部位も一部の地域の人々が好んで食する部位である。As、Cd、Pb 濃度が非常に高く、ホタテよりも安価で多量に摂取する食材であることから注意が必要である。

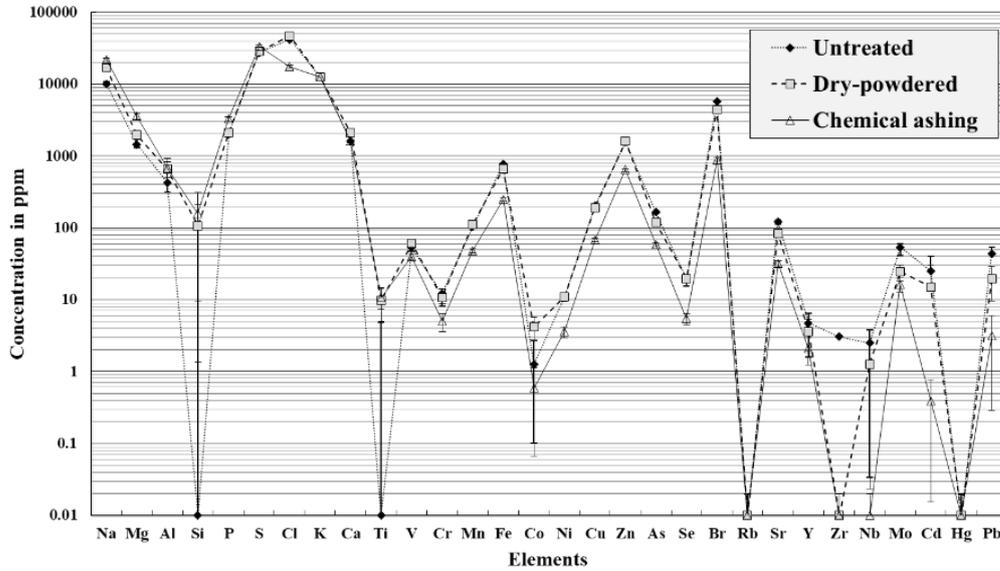


Fig. 11 Same as Fig. 10 but for the pharyngeal basket of ascidians.

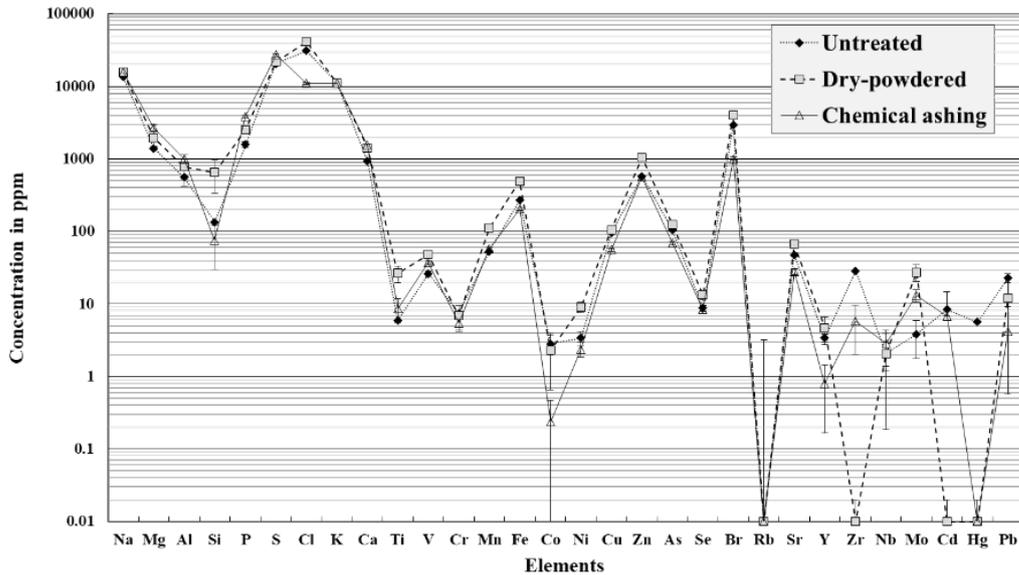


Fig. 12 Same as Fig. 11 but for the internal organs of ascidians.

Fig.13 に、ホヤ各部位の元素濃度が比較されている。Pb 濃度は部位による差は見受けられないが、Cd 濃度は身以外の部位では高い値を示している。一方、As と Cr 濃度に関しては、身中の濃度と比べ、鰓嚢、内臓中濃度が 10 倍ほど高く、有害元素がこれらの部位に集中していることが分かる。

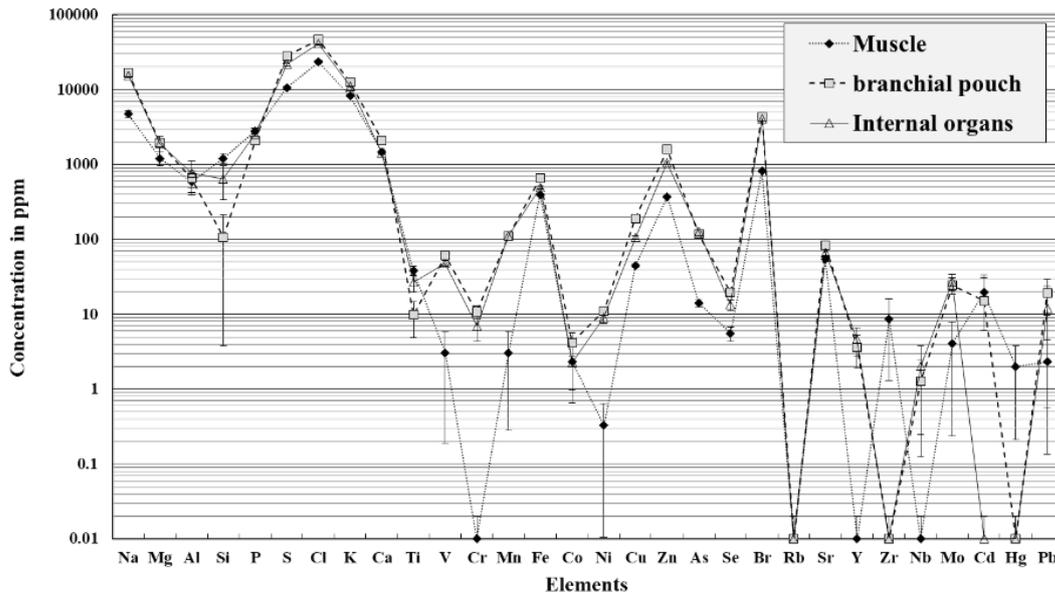


Fig. 13 Comparisons of the elemental concentrations for each part of ascidians.

4 議論

クジラ皮の脂身は、ベーコン（燻製）にして食されることが多く、煮物にする場合もある。ごく一般的な食材とは言えないが、多くの日本人に親しまれている。しかし以前から、鯨脂身には多くの Hg が含まれることが指摘されていた。水銀は腎機能での排泄が難しいため、その生物学的半減期は長く、ヒトの場合でも加齢とともに増加する傾向にある^{19,20}。そのため、Hg は海洋食物連鎖の頂点に立つマグロなどの大魚・クジラに集積する傾向がある。Fig. 1、2 に示すように、クジラ脂身中水銀濃度は 20～40 $\mu\text{g/g}$ であった。この値は、水銀を比較的多く含む食材の中でもかなり高い値である。燻製を作る過程において、油が本体から染み出しある程度取り除かれることを予想し、染み出した油と残りの脂身を分けて分析を試みた結果、Fig. 2 に見られるように両者間に Hg 濃度の大きな差はなく、調理による Hg の減少は見込めないことが分かった。

厚生労働省は、妊婦に対する有機水銀の 1 日最大許容量として 16 $\mu\text{g/day}$ という基準を示している。測定された水銀のうち 30% が有機水銀と仮定すると、クジラ脂身 0.5 g の摂取で許容量を超えてしまう。これらの結果から判断すると、妊婦の方はたとえ少量であってもクジラ皮脂身の摂取は避けるべきである。

ひじきは高濃度の無機ヒ素を含む食材であることが知られており、危険食品として欧米では売買も制限されている。実際 Fig. 3 の結果によれば、As 濃度は無調製試料に対して 100 $\mu\text{g/g}$ 程度であり、ひじきの場合この多くが危険な無機ヒ素と考えられる。WHO (World Health Organization) が 1988 年に示した無機ヒ素に対する 1 日最大許容摂取量の基準は 150 $\mu\text{g/kg}$ である。農林水産省の調査によると、日本人の平均ヒ素摂取量は 1 日に有機ヒ素に対し 122.3 μg 、無機ヒ素に対し 18.6 μg であり、全ヒ素のうち 15.2% が無機ヒ素である。それらを考慮すると、全ヒ素の 1 日最大許容摂取量は体重 50 kg の人に対しおよそ 0.7 mg/day 程度と見積もることができる。農林水産省の別の調査によれば、全ヒ素摂取の 55.2% が動物性海産物から、残りの 44.8% が海藻を含む農作物からの摂取であり海洋動物からの接種の割合が高いことが分かる。

Fig. 3 に示される通り、無調製ひじき中の As 濃度は 90 $\mu\text{g/g}$ ほどであり、その結果から見積もると、乾燥ひじき 7.8 g の摂取で 1 日最大許容量を超える可能性がある。しかし Fig. 3、4 から分かるように、乾燥ひじき中 As 濃度は水出し・お湯出しを行うと数分の 1 に減少し、通常は調理の前に必ず水で戻すため、実際の許容量はこの 2～4 倍とみて良い。

Cdに関しては、農林水産省の基準が示されており1日最大許容摂取量は60 µg/dayである。Cdは農作物からの摂取もあり、同省の調査では海産物以外のCdの摂取の平均値が20 µg/day、そのため特定海産物からの摂取の限度量は約40 µg/dayとなる。本研究の結果から、大きなホタテの中腸腺の場合、1個の摂取でこの基準を超えてしまうことが分かった。それに加え外套膜(ひも)中にも数10 µg/gのCdが含まれ、この場合10gほどの摂取で許容量を超えてしまう。安価で美味しいホタテひもは多量に摂取する人が多いため、1回の食事で許容量を大幅に超えてしまう危険性が高く注意を要する。

ホヤは全国的に食される食材ではないが、流通機構の発達とともに関東・関西圏でも人々の口に入る機会が多くなり、一般的食材になりつつある。特に東北・北海道の太平洋沿岸の人々にとってはなじみ深い食材であり、大量に食するが多い。それに加え、地元の人々の多くは鰓囊、内臓などの風味も好み、それらも食することが多い。ホタテ・ほや・牡蠣などは汽水域で養殖されており、現在の汽水域は3.11津波の影響もあり重金属汚染が深刻である^{9,10,11}。以前は安全な食材であっても、現在の環境はいつそう厳しいものになっていることに注意を払う必要がある。Fig.10の結果が示す通り、身のみを食べていれば大きな問題はないが、Fig.11、12に見られるように鰓囊や内臓のAs、Cdレベルはホタテの中腸腺や外套膜にも匹敵するレベルである。ホヤの鰓囊・内臓などは安価なため多量に摂取することが多く、リスクレベルはほぼホタテの中腸腺。外套膜と同等であり、摂取量には十分注意を払うべきである。

本研究には結果を報告していないが、ワカメ・昆布などの海藻類にもAsが100 µg/g以上含まれ¹、また牡蠣、ハマグリ、サザエ、つぶなどホタテ以外の貝類の中腸腺にも多量のCd、Asが含まれていることがPIXE分析によって確認されている。特につぶ、サザエ等の中腸腺(巻貝を殻から引き出すと最後に現れる黒い部分)からは、産地によっては数百µg/gものCdが検出されている。そのため身以外の部分は捨てることをお勧めしたい。

以上のような有害元素曝露の可能性のある食品中有害元素量を、農作物中のものも含め全て総合的に考慮し、各有害元素の摂取量を見積もりそれを管理する必要がある。特に海産食品の摂取量には十分な注意を払う必要性があることが、本研究の結果から強く示唆される結果となった。

謝辞

共同利用の運営に携わる共著者以外の岩手医科大学サイクロトロンセンター、日本アイソトープ協会 仁科記念サイクロトロンセンターのスタッフの方々に謝意を表します。

参考文献

1. J. Itoh, S. Futatsugawa, Y. Saitoh, F. Ojima, and K. Sera, "Application of a Powdered-internal-standard Method to Plant and Seaweed Samples.", *Int. J. PIXE*, Vol.15,(1&2), 27-39, (2005)
2. 大谷真司、藤巻宏和、世良耕一郎, "宮城県中部七北田河口域の植物に含まれる重金属元素濃度と土壤中の重金属元素濃度", NMCC共同利用研究成果報文集, 第14巻, 69-80, (2007)
3. 蕪木佐衣子、世良耕一郎、織田久男、川崎晃、末次忠司、諏訪義雄、二村貴幸、田村憲司、東照雄, "平水時における河川懸濁物質の元素濃度と年間移動量", NMCC共同利用研究成果報文集, 第10巻, 182-185, (2002)
4. 石山大三、佐藤比奈子、水田敏夫、世良耕一郎, "秋田県浜黒川-玉川-雄物川水系の河川水中の懸濁物の特徴", NMCC共同利用研究成果報文集, 第14巻, 184-190, (2008)
5. H. Kabir, T. Narusawa, F. Nishiyama, and K. Sumi, "Elemental Analysis of Uranouchi Bay Seabed Sludge Using PIXE.", *Int. J. PIXE*, Vol.16 (3&4), 221-230, (1993)
6. N. T. H. Ha, M. Sakakibara, S. Sano, S. Hori, and K. Sera, "The Potential of *Eleocharis* for Phytoremediation: Case Study at an Abandoned Mine Site.", *CLEAN Soil, Air, Water*, Vol.37(3), 203-208, (2009)
7. Y. Sueoka, M. Sakakibara, and K. Sera, "Heavy Metal Behavior in Lichen-Mine Waste Interactions at an Abandoned Mine Site in Southwest Japan.", *Metal*, Vol.5, 1591-1608, (2015)
8. 藤巻宏和、金原悠祐、世良耕一郎、二ッ川章二, "宮城県中部秋保湯元地区で行われた深層ボーリングコア中の

ヒ素及びカドミウムのPIXE分析”, NMCC共同利用研究成果報文集, 第12巻, 322-247, (2004)

9. F. Baba, K. Sera, S. Goto, C. Takahashi, and Y. Saitoh, “Analysis of Contaminated Sludge Deposited on the Land Attacked by Great Tsunami following Tohoku Great Earthquake Disaster.”, *Int. J. PIXE*, Vol.22 (1&2), 231-239, (2012)
10. K. Sera, F. Baba, S. Goto, C. Takahashi, and Y. Saitoh, “Analysis of Plants and Sediment from the Tidelands of the Coastal Regions of the Tohoku District Following the 2011 Tsunami.”, *Int. J. PIXE*, Vol.22 (1&2), 139-147, (2012)
11. K. Sera, S. Goto, C. Takahashi, Y. Saitoh, and M. Matsumasa, “Effects of heavy elements in the sludge conveyed by the 2011 tsunami on human health and the recovery of the marine ecosystem.”, *Nucl. Instr. Meth.*, B318, 76-82, (2014)
12. K. Sera, S. Goto, C. Takahashi, and Y. Saitoh, “Quantitative Analysis of Untreated Oil Samples in In-Air PIXE”, *Int. J. PIXE*, Vol.3 (4), 295-300, (1993)
13. K. Sera, T. Yanagisawa, H. Tshunoda, S. Futatsugawa, S. Hatakeyama, S. Suzuki and H. Orihara, “The Takizawa PIXE Facility Combined with a Baby Cyclotron for Positron Nuclear Medicine.”, *Int. J. PIXE*, Vol.2 (1), 47-55, (1992)
14. K. Sera, T. Yanagisawa, H. Tsunoda, S. Futatsugawa, S. Hatakeyama, Y. Saitoh, S. Suzuki and H. Orihara., “Bio-PIXE at the Takizawa Facility (Bio-PIXE with a baby cyclotron).”, *Int. J. PIXE*, Vol. 2 (3), 325-330, (1992).
15. K. Sera, and S. Futatsugawa, “Personal Computer Aided Data Handling and Analysis for PIXE.”, *Nucl. Instr. Meth.*, B 109/110, 99-104, (1996)
16. Y. Miura, C. Itoh, T. Miyakawa, K. Nakai, K. Hiramori, K. Sera, and S. Futatsugawa, “Simultaneous Determinations of Trace Elements in Sera of Patients with Acute Myocardial Infarction by PIXE.”, *Int. J. PIXE*, Vol.3 (4), 295-300, (1993)
17. Y. Miura, K. Nakai, A. Suwabe, T. Fujioka, K. Matsuda and K. Sera, “Selenium Concentrations in Renal Cell Carcinoma.”, *Int. J. PIXE*, Vol.12 (3&4), 145-150, (2002)
18. 梶山巖、伊藤伸彦、江尻剛、社領聡、古川義宣、二ッ川章二、世良耕一郎、”リンパ腫と食餌中 Se 含量に関する研究 (第 1 報)”, NMCC 共同利用研究成果報文集, 第 2 巻, 175-178, (1994)
19. K. Sera, S. Goto, T. Hosokawa, C. Takahashi, J. Itoh, Y. Saitoh, S. Futatsugawa, “Elemental Concentration in the Hair Taken from Healthy People for the Past 20 Years — 1. Long-term changes over 20 years.”, *Int. J. PIXE*, Vol.26 (1,2), 15-28, (2016)
20. K. Sera, S. Goto, T. Hosokawa, C. Takahashi, J. Itoh, Y. Saitoh, S. Futatsugawa, “Elemental Concentration in the Hair Taken from Healthy People for the Past 20 Years — 2. Sex-specific differences and changes with age.”, *Int. J. PIXE*, Vol. 26 (1,2), 15-28, (2016)

PIXE analyses of marine products containing a large quantity of toxic elements

K. Sera¹, S. Goto², T. Hosokawa² and Y. Saitoh ²

¹Cyclotron Research Center, Iwate Medical University
348-58 Tomegamori, Takizawa, Iwate 020-0603, Japan

²Takizawa Laboratory, Japan Radioisotope Association
348-1 Tomegamori, Takizawa, Iwate 020-0603, Japan

Abstract

In recent years, the contamination of marine products with heavy toxic elements has become a problem in Japan, as the Japanese coastal sea water is confirmed to be highly contaminated with heavy elements. In this study, parts of scallops and ascidians, which are the main foods of the people living in the Sanriku District, including hijiki and the fatty meal of whale, were analyzed. We also analyzed some parts that are not commonly eaten in general but are often consumed by some local populations, such as the mantle, mid-gut gland, ovary and spermary of scallops, and the internal organs and pharyngeal basket of ascidians. Dangerous quantities were detected for mercury in fatty meal of whale and for arsenic in hijiki, the mid-gut gland and mantle of scallops and the internal organs and pharyngeal basket of ascidians. In addition, concentrations of cadmium in the mid-gut gland and mantle of scallops as well as in the internal organs and pharyngeal basket of ascidians also showed high values. These results suggested that, even in the daily diet, it is possible to consume arsenic and cadmium in greater-than-tolerable quantities.