

ヒジキ（海洋性褐藻類）のカルシウム（Ca）、鉄（Fe）、マグネシウム（Mg）、亜鉛（Zn）、ヒ素（As）の挙動について

片 山 眞 之*

大阪青山大学健康科学部健康栄養学科¹⁾

Behavior of minerals and arsenic in dried Hijiki, *Sargassum fusiforme*.

Masayuki KATAYAMA

Osaka Aoyama University, Department of Health and Nutrition,

Summary Dried Hijiki, *Sargassum fusiforme*, is rich in nutritionally beneficial minerals such as calcium (Ca), iron (Fe), magnesium (Mg) and zinc (Zn). The concentration of arsenic (As) in Hijiki is also found to be higher than that in most other classes of seaweeds. Japanese people traditionally had eaten Hijiki since ancient times, thus their biological behavior is a subject to be elucidated.

We incubated water-swollen Hijiki in the presence of digestive enzymes (pepsin and pancreatin) *in vitro*, and studied time courses of the dissolution of arsenic (As) into water. The amount of arsenic dissolved by the digestive enzymes was not so high; thus the augmentation of arsenic absorption via the digestive tract by the digestive enzymes is not likely. When Hijiki is ingested, the arsenic retained in Hijiki after water-soaking would be mostly excreted into the feces.

The other minerals loosed by water-soaking as the pre-cooking process could be supplied by co-cooking with several food stuffs, as found in Japan's traditional dishes.

The concentrations of various minerals in members of several classes used as foodstuffs, such as *Phaeophyceae* (brown algae), *Rhodophyceae* (red algae), *Chlorophyceae* (green algae), *Ulvophyceae* and *Cyanophyceae* (blue green algae) were referred.

Keywords : Hijiki, *Sargassum fusiforme* (Harvey) Setchell; *Phaeophyceae* class, brown algae; arsenic (As); calcium (Ca); Iron (Fe); magnesium (Mg); zinc (Zn); digestive enzymes; water-soaking; ヒジキ [*Sargassum fusiforme* (Harvey) Setchell], 褐藻類 (*Phaeophyceae*), ヒ素 (As), カルシウム (Ca), 鉄 (Fe), マグネシウム (Mg), 亜鉛 (Zn), 消化酵素, 水戻し

要 旨

海洋性藻類のヒジキは褐藻類に属する。これら褐藻類には、多くの種で、ヒ素 (As) 元素の含有量が高い。一方、紅藻類、藍藻類、緑藻類のメンバーでは多くの場合 As 濃度は低い。これらの藻類のうち、食用とされるメンバー中の As 濃度とともに、栄養的に重要なミネラル (Ca, Fe, Mg, Mn, Zn) についても概観した。

以下の実験では、新鮮藻体の凍結乾燥品および市販の乾燥ヒジキが用いられた。食品として乾燥ヒジキを利用する時、水戻しが行なわれるが、この水溶液中に As が溶出される。30℃以上の温水で 30 分以上浸漬させた残渣には、総 As 量の 10~20% の残存 As があった。溶出された As は無機体 As が 60% 有機体 As が 40% であった。水戻し処理後のヒジキに *in vitro* で消化酵素を作用させて、残存 As の可溶性を測定した。3 時間以後 24 時間後までの間、可溶性にはほとんど変化がなく、そのレベルは水戻し後の残存量とほぼ同じであった。

30℃, 30 分間水に浸漬したとき、明らかに Ca, Fe, Mg, Zn の溶出が認められるが、なおもヒジキ組織中には Ca, Fe, Mg, Zn の総量のうち、各々、51%、69%、24%、30% が残存していた。なお、これら諸元素の損失分を補う上でも他の食品と炊き合わせることが有効である。

* 大阪青山大学客員教授 E-mail: katayama@osaka-aoyama.ac.jp

1) 〒562-8580 箕面市新稲 2-11-1

褐藻類ヒジキの特性

ヒジキ〔Hijiki, *Sargassum fusiforme* (Harvey) Setchell¹⁾, 旧学名は *Hizikia fusiforme* Okam.〕は海洋性褐藻類であり、日本では古来、食材として利用されてきた。

ヒジキは日本列島の黒潮が洗う海岸線の間潮帯の岩場に付着生育している(写真1)。秋に、胞子が発芽して冬の間生長し続けて、4～5月には1m以上に伸長する。夏～秋には開花・胞子形成後やがて流れ藻となる。沿岸地域では、4～5月に採集されて海岸で1～2日天日乾燥をされてから、粗乾燥原藻として袋につめられ倉庫に貯蔵されている(写真2)。

上記の粗乾燥原藻は一定量づつ鉄製大釜やステンレス製蒸煮槽に入れられて2～3時間煮沸される。水洗後天日乾燥または熱風乾燥されて選別小分け封入されて市場へ出荷されている。図1参照。



写真1. 海岸の岩場に生育するヒジキ

Hijiki, *Sargassum fusiforme*, growing on rocks in the intertidal zone of the ocean-side coastline along the Japan Kuroshio current. (Kushimoto, Wakayama)

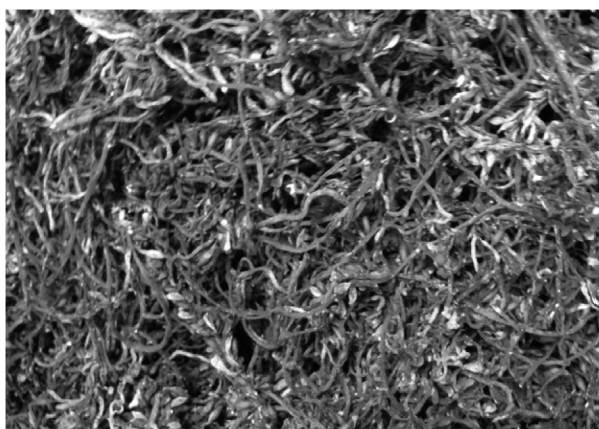


写真2. 粗乾燥ヒジキ。表面に塩分が白く凝析している。
The crudily dried Hijiki.



図1. 乾燥ヒジキ製造工程

Fig.1 The process to produce dried Hijiki

乾燥ヒジキの成分

製品として市場に出ているヒジキの成分は、約50%が食物繊維であり²⁾、ミネラル類にはCa(カルシウム)、Fe(鉄)、Mg(マグネシウム)、Zn(亜鉛)などが豊富に含まれている^{3,4)}。日本食品成分表に出ているミネラル成分を他の食品藻類(褐藻類、の他に紅藻類、緑藻類、藍藻類)とともに表1にまとめた^{3,4)}。

褐藻類の中ではヒジキは褐藻類のマコンブやワカメに比べて1桁から2桁もFeの含有量が高いことは注目される。乾燥ヒジキの調製の過程では鉄釜で煮沸する工程があることから乾燥ヒジキにはFe含有濃度が高いのだと説明されているが、鉄釜で煮沸する前後の試料で測定すると、Fe含有濃度は煮沸後約2倍になっていた*。褐藻類のなかでヒジキにFe含有量が高いことは、ヒジキ自体の特性であろう。(表1)。

海藻における諸ミネラルの存在意義

我が国で食用に供される藻類では、海藻が圧倒的に多く収穫され消費されている⁵⁾。海藻は大洋の海水成分に直接接触して生育しているので、海藻組成には海水成分が大幅に反映されている。

例えば、Ca濃度は日本の河川水中には6～33μg/ml⁶⁾(水道水(福岡市)の場合10μg/ml)しか含まれていないのに海中には40mg/mlと大量に含まれ、海藻中には1～10mg/g dry weightという高濃度で含まれる。表1に見られるように、ヒジキにおけるCa含有濃度は他の褐藻類とともに高いが、緑藻類についてもCa含有濃度が比較的高い。

Feの含有量は褐藻類ではヒジキの3桁台を除くとあと

* Katayama M. et al, unpublished data

表 1. 各種藻類におけるミネラル含有量

Table 1. Mineral contents in various algae^{3,4)}

		<i>Ca</i> (mg/g)	<i>Fe</i> (μg/g)	<i>Mg</i> (mg/g)	<i>Zn</i> (μg/g)
Brown algae					
<i>Sargassum</i>	Hijiki	14	550	6.2 (7.1)	18 (22)
<i>Undaria</i>	Wakame	10	7	11 (8.9)	3 (23)
<i>Laminaria</i>	Kelp, Makonbu	7.1	39	5.1 (4.8)	8 (7.7)
Blue-green algae					
<i>Aphanothece</i>	Suizenjinori	0.63	25	0.18 (3.7)	1 (16)
Red algae					
	Funori (Raw)	3.3	48	7.3 (2.5)	18 (5)
	Tengusa, Ceylon moss			1.6	7.1
<i>Porphyra</i>	Amanori	1.4	107	3.4 (3.2)	37 (29)
<i>Campylaeophora</i>	Egonori	2.1	68	5.7 (4.2)	20 (12)
Green algae					
<i>Prasiola</i>	Kawanori	4.5	613	2.5 (3.7)	55 (77)
<i>Enteromorpha</i>	Aonori	7.2	748	13 (26)	26 (13)
<i>Ulva</i>	Aosa	4.9	530	32 (9.4)	120 (11)

The values in parentheses were cited from Ref. 4.

は1~2桁台なのに、緑藻類にはアオノリやアオサの他にカワノリのいずれでも3桁台の多さであることは注目される。

表1には、日本人にとって、不足しがちなCa, Feに加えて、Mg, Znも収録した。ファーストフードやスナック菓子ばかりの食生活では、これらのミネラルも不足がちだと指摘されて久しい。海藻類には淡水産藻類スイゼンジノリにおけるよりもMgやZnの含有濃度が高い。なお、カワノリにはZn含有濃度が大きいことが注目される。

海藻類がいろいろなミネラルを吸収蓄積しているのは藻類自体の生命活動に必要なからであろう。進化の過程で海藻類が取捨選択してきたものは、生命活動にとって無用な元素や有害な元素を排除して有用な元素を蓄積することであつたに違いない。

なお、他種の微小生物が海藻に共生的または非共生的に付着していて、洗浄しても除去できない場合は、付着生物の成分も当該海藻類の成分として分析値に入っているであろう。

海藻におけるヒ素(As)元素の含有量

海洋中には平均5 μmol/L程度のリン酸が含まれていて⁷⁾植物の栄養源となっている。大都市の近辺など沿岸部には大量のリン酸が流れ込んで富栄養化された海域が

あり、しばしば赤潮の大発生を引き起こしている。これとは対照的に熱帯で海藻類が盛んに繁茂している場合、その海域ではリン酸が消費され尽くして貧栄養状態になっている。サルガッソウ海域のリン酸濃度は0.01 μmol/Lという低濃度である⁷⁾。

As(ヒ素)は元素周期律表の上ではP(リン)と同じ族に位置していて、その化学構造もリン酸(H₃PO₄)とヒ酸(H₃AsO₄)とはよく似ている(図2)。微生物の細胞膜にはリン酸が取り込まれる経路があるが、この経路は立体構造の類似したヒ酸(図3)も通過する⁸⁾。海洋環境中のリン酸濃度が低下して相対的にヒ酸濃度が高くなると、そこに生育する海藻類はリン酸の代わりにヒ酸を吸収するようになる。

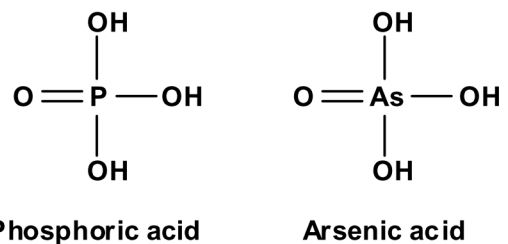


図2. リン酸、ヒ酸の化学構造

Fig.2 Chemical structural formulas of phosphoric acid and arsenic acid.

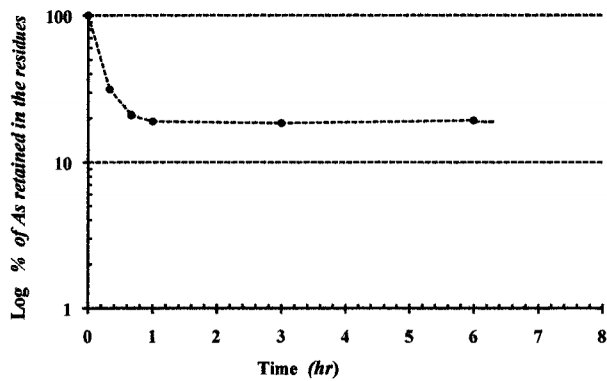


図3. 乾燥ヒジキの水戻し過程におけるヒ素保持量の経時変化 (水温 37°C)¹⁵⁾

Fig.3 The time course of changes in the retained arsenic concentration during water-soaking without the digestive enzymes at 37°C.

The values were interpolated from the values¹⁵⁾ at 30°C and those at 45°C.

海洋には海流が流れ寄っている海域がある。ここでは潮流は海底へと沈み込んでいて、海流に乗ってきた流れ藻は海面に取り残されて無数に寄り集まっている。流れ藻全体で旺盛な光合成が起っていて、当該海域の栄養成分は吸収され尽くして貧栄養状態になっている。そのような海域 (例えば、大西洋のサルガッソウ海域) に生育している海藻を採集してみると、高濃度に As が吸収蓄積されている^{**}。貧栄養の海域には植物性プランクトンも少なく透明度も高い。そのような海域に生息する二枚貝はヒ素濃度の高い海藻類を摂食しているので、貝組織中には高濃度のヒ素が集積してくる⁹⁾。

さて、褐藻類には一般的に As が高い濃度に集積しているのであるが、ヒジキにおいても例外ではない。紅藻類、藍藻類、緑藻類のメンバーでは多くの場合 As 濃度は低い。緑藻 (表2)³⁾ ではアオサの As 濃度が高いのであるが、北海道在の研究者によるとアオサの As 濃度はもっと低い値であったという。

ヒジキの場合には、海洋環境や生理的条件によって As 元素の集積が大幅に異なっている (表3)¹⁰⁾ (表4)¹¹⁾。海岸から直接採集した新鮮試料について我々が測定した結果の一部を引用すると、表3・表4の平均値±標準偏差値から明らかのように、株ごとや同一株内でも茎によって、あるいは同一の茎内でも部位によって As 含有量 (濃度) が大幅に異なっていた。これらの試料は平均値では比較的 As 濃度が低かったものである。限られた期間内の試料であるが、いろいろな地域で採集された乾燥市販品について測定してみると、やはり可成りの幅が認められた (表5)¹²⁾。

** Benson AA: Private communication.

表2. 各種藻類におけるヒ素元素の含有量^{3)*}

Table 2. Arsenic contents in various algae^{3)*}

		As ($\mu\text{g/g}$ Dry weight)
Brown algae		
<i>Sargassum</i>	Hijiki	110
<i>Undaria</i>	Wakame	34
<i>Eisenia</i>	Arame	28
<i>Laminaria</i>	Kelp, Makonbu	62
Green algae		
<i>Prasiola</i>	Kawanori	14
<i>Enteromorpha</i>	Aonori	7.2
<i>Ulva</i>	Aosa	86
Blue-green algae		
<i>Aphanothece</i>	Suizenjinori	4.2
Red algae		
<i>Porphyra</i>	Amanori	17
<i>Campylaeophora</i>	Egonori	0

* Commercially available dried samples were used.

上記アオサの場合もヒジキの場合に見られるように、蓄積レベルが個体間、産地間でかなり異なるのではないだろうか。

なお、採集された海藻において As の含有量に幅があることの理由は明らかではなく、今後解明の待たれる課題である。

乾燥ヒジキ中の As 濃度を減少させる調理前処理について

通常利用されている市販乾燥ヒジキは、調理前に水戻しが行われる。この時、ヒジキ成分の幾分か溶出されるが As も溶出される¹²⁾。浸漬水の温度を変えて As 溶出率を測定したところ、30°C以上の水温で半時間以上浸漬すると全 As 量の 80%が溶出された¹⁵⁾ (図3)。溶出される As 化合物は無機体 As が全 As 量の 60%あり有機体 As が 40%である¹⁶⁾。ここで用いられた条件下では検出される無機体 As は殆どヒ素酸 (As (V)) である。また、有機体 As は液体クロマトグラフィ上でアルセノベタインに類似した溶出時間を示していた。

なお、マウスにおけるアルセノベタインの LD50 は 10g/kg であり¹⁷⁾、尿中に排泄されて毒性は無いと見なされている。

ヒ素化合物のヒジキ組織中における局在性について

乾燥ヒジキを水戻し処理を行うとき、溶出される有機体 As と無機体 As の溶出曲線が異なっている。無機体 As の溶出速度は温度の逆数に対して 2 相性を示すのに有機

表3. 新鮮なヒジキ藻体中のヒ素含有量 (測定例-1)¹⁰⁾ Table 3. Arsenic levels in fresh Hijiki plants¹⁰⁾

Harvesting areas	Samples		Means ** ± SD	
	Stocks	Stalks with leaves	$\mu\text{g As/g Dry weight of Hijiki}$	
S	A	A-1	5.23	± 2.08
		A-2	4.67	± 3.63
		A-3	9.03	± 0.61
		A-4	7.18	± 2.01
	B	B-1	6.61	± 2.54
		B-2	6.18	± 2.76
		B-3	7.01	± 5.24
		B-4	5.97	± 0.68
	C	C-1	4.11	± 4.06
		C-2	4.76	± 3.55
		C-3	7.19	± 0.70
	A'	A-1	4.70	± 2.57
		A-2	3.97	± 3.75
	B'	B-2	5.00	± 3.56
		B-3	5.44	± 5.30
C'	C-1	3.42	± 3.48	
O	A	A-1	5.66	± 2.68
		A-2	4.74	± 3.70
	B	B-1	6.61	± 1.81
		B-2	6.74	± 5.67
		B-3	4.16	± 3.69
	C	C-1	1.88	± 2.88
		C-2	2.26	± 2.57
	A'	A-1	5.03	± 4.66
	B'	B-1	6.31	± 4.30
	C'	C-2	2.05	± 2.37
C	A	A-1	3.83	± 3.23
		A-2	4.08	± 4.82
		A-3	2.01	± 1.73
		A-1	3.92	± 3.91
		A-3	2.07	± 2.22

* Harvesting areas of the Hijiki plants are abbreviated as alphabet letters.

** The values are means ± SD of $\mu\text{g As/g}$ of dry weight of several 10cm sections of each stalk with leaves (1 to 4) from the stocks (A ~ C, A' ~ C'). (The data of the Table 3 in Ref. ¹⁰⁾).

表4. 新鮮なヒジキ藻体中のヒ素含有量 (測定例-2)¹¹⁾ Table 4. Arsenic levels in fresh Hijiki plants¹¹⁾

Harvesting areas	Samples		Means*** ± SD	
	Stocks	Stalks with leaves	$\mu\text{g As/g Dry weight of Hijiki}$	
U	A	A-1 ~ A-3	12.24	± 6.13
Ou	A	A-1 ~ A-2	8.39	± 2.07
Ts	A	A-1 ~ A-4	8.82	± 9.78
As	A, B, C	A-1 ~ A-2, B, C	9.45	± 3.43

* Harvesting areas of the Hijiki plants are abbreviated as alphabet letters.

** The values are means ± SD of $\mu\text{g As/g}$ of dry weight of several 10cm sections of each stalk with leaves (1 to 4) from the stocks (A ~ C, A' ~ C'). (The data of the Table 3 in Ref. 11).

表5. 市販乾燥ヒジキ中のヒ素含有量の測定例¹²⁾Table 5. Arsenic concentrations in commercial products of dried Hijiki¹²⁾

Harvested sites of products in Japan	Harvest year	Tissues	As $\mu\text{g/g dry weight of Hijiki}$
A	2000	Stalks	75
	2000	Leaves	88
B	2000	Stalks	108
	2000	Leaves	60
	2003	Stalks	37
A+C	2003	Stalks + Leaves	146

As was determined by thermal neutron activation analysis^{13,14)}.

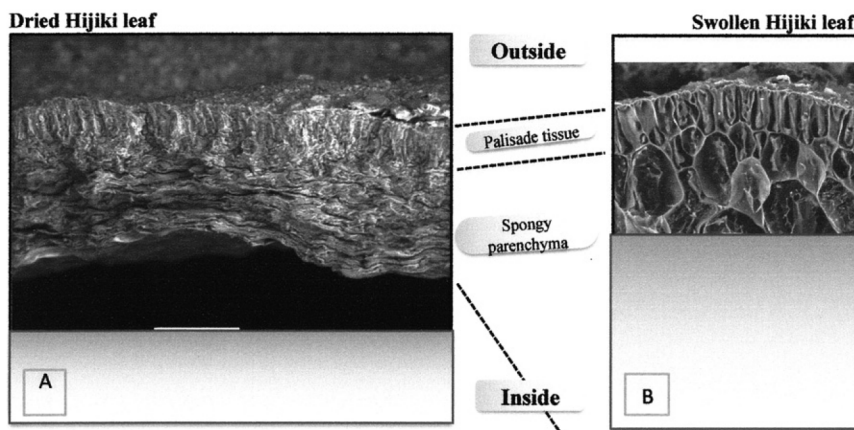


図4. 乾燥ヒジキ及び水膨潤ヒジキの走査型電子顕微鏡像
 Fig.4 Freeze-fractured SEM of the leaf section of a dried Hijiki sample (A) and that of a water-swollen Hijiki sample (B).

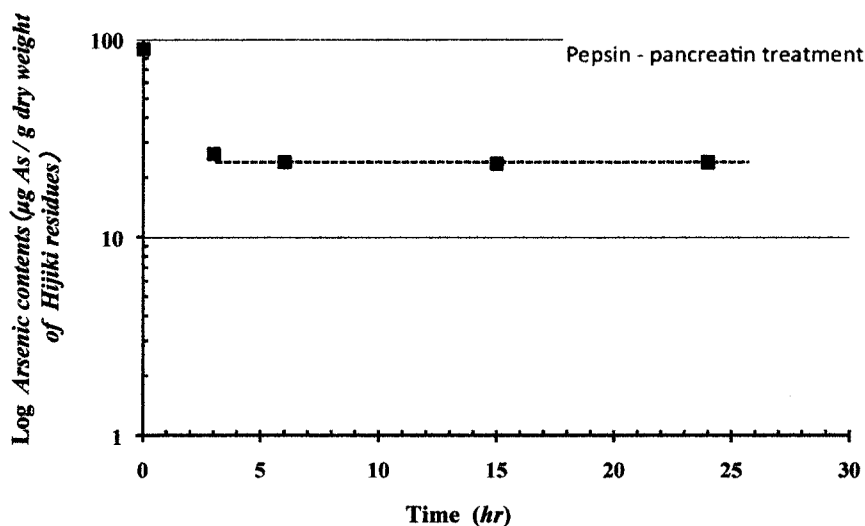


図5. 消化酵素処理によるヒジキ残渣中の含有ヒ素量の経時変化
 Fig.5 The time course of changes of the arsenic cocentrations in the Hijiki residues during incubation with the digestive enzymes, pepsin and pancreatin, at 37°C, for 3, 6, 15 and 24 hr. The experimental conditions were as describd in the text of Ref 18.

体Asは1相性であり温度変化に対する溶出率の変動も緩やかである。このことは、両者の溶出機構が異なっていることを推定させる。

乾燥ヒジキを水戻しする時、組織表層の柵状組織の細胞は、内部の柔組織と比べて膨潤変形の度合いが少ない*** (図4)。これら両種の組織に、有機体Asと無機体Asとがそれぞれ偏在していれば、2種のAs化合物が異なった溶出曲線を示すことが説明されよう。

水溶出後に残存するヒジキ中のAsの消化酵素に対する挙動について

水溶出後も、総As量の約20%が残渣部分に残っている。残渣中に残るこれらのAsを摂食した場合、この

As化合物はどのような挙動をするのだろうか。このことはヒジキを調理する上で重要な課題である。

この点を追求するために、水戻し後のヒジキに対して、*in vitro*で消化酵素を作用させた¹⁸⁾。図5に示すように3時間~24時間消化液を作用させた後にも可溶化されるAs量は僅かであり、ほぼ一定値が残渣中に残っていた。

すなわち、水戻し後のヒジキを調理して摂食した場合、残渣中に残存しているAsは消化吸収されることなく便中へ排出されると考えられる。

乾燥ヒジキ中のCa, Fe, Mg, Znは水戻し処理によってどれくらい失われるか

30°Cで30分間水戻しを行った場合、Caの49%、Feの

*** Katayama M. *et al*: in preparation for publication.

表 6. 乾燥ヒジキにおけるミネラル含有量¹⁹⁾
Table 6. Mineral contents in dried Hijiki¹⁹⁾

Ca (mg/g tissues)	Fe (µg/g tissues)	Mg (mg/g tissues)	Zn (µg/g tissues)
18.6	886.0	6.87	13.5

The element analysis was performed by ICP-spectrophotometry¹⁹⁾.
The values are means of duplicated or triplicated determinations.

表 7. 水戻し処理後のヒジキ残渣に保持されているミネラル量¹⁹⁾
Table 7. Ratios of minerals retained in Hijiki residues after water-soaking (%)¹⁹⁾

Ca	Fe	Mg	Zn
48.6	31.5	76.5	70

The ratios of the elements in the residues were calculated from the average values of the respective fractions of retained and solubilized minerals.

32%、Mg の 77%、Zn の 70%が水溶液中に流出する (表 5, 表 6)¹⁹⁾。しかし、Ca と Mg は、夫々 19mg/g dry weight、7mg/g dry weight のレベルで存在しているので、なお十分量が残存している。Zn については、日本古来の伝統食に見られるように、他種の食品と組み合わせて調理することによって補いたい。

今後の課題

乾燥ヒジキ中には種々の栄養学的に有用な成分があり、ヒジキの献立は日本人の食生活を豊かにしている。褐藻類が日本食に多用されるのは、その美味なことに由来しているのであろう。

海藻中に存在する As のような有害元素がどのような生理的条件下で蓄積してくるのか、また、どのような海洋条件下で生育させたら蓄積量が減少するのかなど、ヒジキを含めて褐藻類全般について近未来に解明の待たれる課題である。ヒジキ以外の海藻についても、食品中の有害成分 (有害元素) を調理前に除去するには、どのようにしたら効果的に実施できるのかなど、未解明の課題は多い。

これらの従来からの課題に加えて、今回の原子力発電所事故 (2011-03-11) に際して環境へ放出された放射性元素が、海藻類によってどのように吸収・蓄積されるのかについては早急に解明されることが急務である。また、食物連鎖を通して魚類や貝類に生物濃縮される過程の具体的解明もまたれる。大量の放射性元素を近海に放出した我が国にとっては、以上の課題解明が世界の人々への責務である。

以上の様に、海藻類に関しては近未来、大至急に解決

されねばならない課題が山積している。

文 献

- 1) Yoshida T, Yoshinaga K, Nakajima Y (2000) Check list of marine algae of Japan (Revised in 2000) Jpn J Phycol (Sôru) 48: 113-166.
- 2) Mori B, Kusima K, Iwaki T (1981) Nippon Nogei Kagakukaishi (Jpn J Agr Chem Soc) 55: 787-791.
- 3) Suzuki Y, Tanusi S (1993) 15th group- ALGAE. in *Table of Trace Element Contents in Japanese Foodstuffs*, ed. by Suzuki Y, Tanusi S, Dai-ichi Shuppan, Tokyo: pp.152-153 (in Japanese).
- 4) Resources Council, Science and Technology Agency, Japan (editor) (2000) *Standard Tables of Food Composition in Japan*, 5th revised ed., Ministry of Finance, Tokyo, Japan.
- 5) Health service Bureau, Ministry of Health and Welfare, Japan (1989) *Japan National Nutrition Survey*, Tokyo, Japan.
- 6) National Astronomical Observatory (eds) (1925-2011, respective years) *Chemical compositions of Japanese rivers*, in Chronological Scientific Tables, Maruzen Publ. Co., Tokyo, Japan.
- 7) Johnson D V, Pilson M E Q (1972) Spectrophotometric determination of arsenite, arsenate, and phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta* 58: 289-299.
- 8) Villa-Bellosta R, Sorribas V (2010) Arsenate transport by sodium/phosphate cotransporter type IIb. *Toxicoll Appl pharmacol.*, 247: 36-40.
- 9) Benson A A, Summons R E (1981) Arsenic accumulation in Great Barrier Reef invertebrates. *Science*, 211: 482-483.
- 10) Sugawa-Katayama Y, Katayama M, Sakiyama C, Nakano Y (2004) Distribution of accumulated arsenic in the sea-weed Hijiki, *Sargassum fusiforme* (Harvey) Setchell (3). *Bull Fac Human Environ Sci, Fukuoka Women's University* 35: 91-100.
- 11) Sakiyama C, Katayama M, Nakano Y, Sugawa-Katayama Y (2004) Distribution of accumulated arsenic in the sea-weed Hijiki, *Sargassum fusiforme* (Harvey) Setchell (4). *Bull Fac Human Environ Sci, Fukuoka Women's University* 35: 101-106.
- 12) Sugawa-Katayama Y, Katayama M, Arikawa Y, Yamamoto Y, Sawada R, Nakano Y (2005) Diminution of the arsenic level in Hijiki, *Sargassum fusiforme* (Harvey) Setchell, through pre-cooking treatment. *Trace Nutrients Research* 22: 107-109.
- 13) Sugawa-Katayama Y, Katayama M, Otsuki K (1994) Effects of Hijiki feeding on arsenic distribution in rats administered large doses of arsenate. *Appl Organomet Chem* 8: 259-264.
- 14) Sugawa-Katayama Y, Katayama M, Sakiyama C, Nakano Y (2004) Distribution of accumulated arsenic in the sea-weed Hijiki, *Sargassum fusiforme* (Harvey) Setchell (2). *Bull Fac Human Environ Sci, Fukuoka Women's University* 35: 81-90.

- 15) Katayama M, Sugawa-Katayama Y (2007) Effect of temperature on the diminution of retained arsenic in dried Hijiki, *Sargassum fusiforme* (Harvey) Setchell, by Water-Soaking. J Home Econ Jpn 58: 75-80.
- 16) Katayama M, Sugawa-Katayama Y, Yamaguchi Y, Murakami K, Hirata S (2008) Effect of temperature on the extraction of various arsenic compounds from dried Hijiki, *Sargassum fusiforme* by water-soaking as a pre-cooking process. Trace Nutrients Research 25: 134-138.
- 17) Kaise T, Watanabe S, Itoh K (1985) The acute toxicity of arsenobetaine. Chemosphere. 14: 1327-1332.
- 18) Sugawa-Katayama Y, Katayama M, Imanishi H, Tomita K (2010) Effects of digestive enzymes on the retained arsenic in dried Hijiki, *Sargassum fusiforme*, Trace Nutrient Research, 27: 84-87.
- 19) Sugawa-Katayama Y, Katayama M (2007) Release of minerals from dried Hijiki, *Sargassum fusiforme* (Harvey) Setchell, during water-soaking. Trace Nutrients Research 24: 106-109.