

昆布から出汁へのヨウ素の遊離と昆布出汁から食材へのヨウ素の移行

由上文子, 中島恵美, 吉田宗弘

(関西大学化学生命工学部栄養化学研究室*)

Release of Iodine from Kombu to Soup Stock and Infiltration of Iodine from Kombu Soup Stock to Ingredients

Ayako YUKAMI, Megumi NAKAJIMA, Munehiro YOSHIDA

Laboratory of Nutritional Chemistry, Faculty of Chemistry, Materials and Bioengineering,
Kansai University

Summary

To estimate iodine intake from ingredients cooked with kombu soup stock, we examined a release of iodine from kombu to the soup stock and an infiltration of iodine from the kombu soup stock to ingredients. Approximately 10 g of tabular dried kombu (*Saccharina japonica* in Hokkaido; iodine content, 5.98 mg/g) was immersed in pure water 100 times in volume at room temperature. After the immersion for 60 min, the water with kombu was heated until boiling. Iodine content in the kombu soup stock thus prepared was 47.9 $\mu\text{g/mL}$. Small pieces of ingredients (taro, shiitake mushroom, carrot or Japanese radish) were boiled with a commercial kombu soup stock (iodine content, 4.53 $\mu\text{g/mL}$) for 30 min and were stayed in the soup stock at room temperature for further 30 min. Iodine content of the cooked ingredients increased to 2.56 to 3.93 $\mu\text{g/g}$ wet weight. These results indicate that approximately 80% of iodine in kombu is released to the soup stock and that iodine content in ingredients cooked with kombu soup stock increases to the value of 60 to 85% of that of the soup stock.

ヨウ素は甲状腺ホルモン（チロキシン）の構造中に含まれており、成人期での不足は甲状腺機能低下や甲状腺腫、幼児期での不足は成長や知能発達の阻害、さらに胎児期での不足は致命的な粘液水腫型クレチン病を引き起こす¹⁾。全世界的には10億に近い人々がヨウ素不足の状態であり、WHOではヨウ素をビタミンA、鉄とともに欠乏症への対応に必要な栄養素に位置づけている²⁾。一方、過剰にヨウ素を摂取すると、甲状腺ホルモンの合成と甲状腺へのヨウ素の輸送が阻害されるため、欠乏時と同様の甲状腺機能低下や甲状腺腫が生じる³⁾。ヨウ素は海藻類をはじめとする海産物に豊富に含まれるため、これらを日常的に摂取する日本人は世界でも例外的な高ヨウ素摂取の集団であると考えられている。

昆布は海藻類の中でも際立って高濃度のヨウ素を含有している。食品成分表（七訂）は、乾燥昆布（マコンブ）のヨウ素濃度を2 mg/gと記載している⁴⁾。日本人の食事摂取基準では、成人のヨウ素摂取の推奨量を130 $\mu\text{g/日}$ 、耐容上限量を3 mg/日としているが⁵⁾、計算上は、昆布約0.1 gの摂取でヨウ素摂取の推奨量は満たされ、約1.5 gの摂取で上限量を超えることになる。このようなことから、

昆布は日本人のヨウ素摂取への寄与がきわめて大きい食品だと考えられている。

昆布はそれ自身を調理して食する以外に出汁として多くの料理に使用される。食品成分表では昆布出汁のヨウ素濃度を52 $\mu\text{g/g}$ と記載しており⁴⁾、計算上は、出汁を約3 mL摂取すれば推奨量、約60 mL摂取すれば上限量を超えることになる。さらに、昆布出汁を用いて調理した場合、食材にもヨウ素が移行すると推察されるが、どの程度が移行するのかを調べた研究は見当たらない。本研究では、食事からのヨウ素摂取量を食事記録から推定することを想定し、昆布から出汁へのヨウ素の遊離、および昆布出汁を用いて調理した場合に食材に移行するヨウ素量について検討した。

実験方法

1. 試料

大阪市内の小売店から、マコンブ (*Saccharina japonica*)、ラウスコンブ (オニコンブ *Saccharina diabolica*)、ガゴメコンブ (*Saccharina sculpera*) の乾物を購入した。マコン

*所在地：大阪府吹田市山手町3-3-35 (〒564-8680)

ブについては北海道産のものと岩手県三陸産の2点を購入した。各乾物昆布試料はミルを用いて細粉とした。また、北海道産マコンプは約5×3 cm (約10 g)の板状にも切断した。

一方、昆布だし中のヨウ素の食材への移行を調べる実験のために、大阪市内の小売店でサトイモ(愛媛県産)、シイタケ(徳島県産)、ニンジン(長崎県産)、ダイコン(長崎県産)を購入した。洗浄後、シイタケはそのまま、他は表皮をむき、約10 gの小片に切り分けた。また、この実験に用いる昆布出汁には、市販の顆粒昆布出汁(素材力だし・昆布だし、理研ビタミン、東京)1 gを100 mLの水道水に溶かしたものをを用いた。

2. 昆布から出汁へのヨウ素の溶出

細粉化した乾物昆布と板状に切断した乾物昆布について、含有されるヨウ素がどの程度水に抽出されるのかを調べた。まず、細粉化した昆布0.2 gに純水または0.5%テトラメチルアンモニウムヒドロキシド(TMAH)6 mLを加え、十分に攪拌したのち、3時間90℃に加熱した。加熱終了後、遠心(1,500 x g, 15分)して上清の一定量を採取し、ヨウ素濃度を測定した。

次に昆布から出汁に移行するヨウ素量を検討するため、板状に切断した約10 gの北海道産マコンプ(乾物)に100倍量(w/v)の純水を加え、室温(22℃)下で60分間放置した。その後、沸騰する寸前まで数分間加熱した。これらの途中に2 mLずつ数回サンプリングを行い、出汁に溶出したヨウ素を定量した。

3. 昆布出汁から食材へのヨウ素の移行

鉄製鍋(φ18 cm)に、4種の食材(サトイモ、シイタケ、ニンジン、ダイコン)の小片(約10 g)を4つずつ合計16片と水道水に溶かした顆粒昆布出汁500 mLを入れ、蓋をして、加熱し沸騰させた。沸騰後はアルミ箔で落とし蓋をして、沸騰が継続する程度の弱火で30分間加熱した。その後、加熱を止め、30分間室温(約22℃)に置いた。以上の調理の終了後、各食材を取り出し、1小片ずつ凍結乾燥後、乳ばちですり潰して細粉化した。細粉化した食材中のヨウ素を昆布粉末と同様に0.5% TMAHで抽出し、ヨウ素を定量した。この実験は3回繰り返した。

4. ヨウ素の定量

昆布または食材からの各種抽出液は0.5% TMAHで適宜希釈後、フィルター(0.45 μm)でろ過した。ろ液中のヨウ素は誘導結合プラズマ質量分析(ICPMS)によって定量した。ICPMSの分析では、装置として島津ICPM-8500、分析質量数として127、内部標準としてテルル(質量数128)を用いた。

結果

Table 1に細粉化した乾物昆布から0.5% TMAHまたは純水によって抽出されたヨウ素量を示した。0.5% TMAHによる抽出での分析値は1.29~5.98 mg/gであり、岩手県三陸産マコンプ(1.29 mg/g)が他(4.01~5.98 mg/g)に比べて低いヨウ素濃度を示した。純水抽出の場合はTMAH抽出に比較して93.5~99.2%の分析値であり、大きな差は認められなかった。

Fig. 1に板状に切断した約10 gの北海道産マコンプ(ヨウ素濃度, 5.98 mg/g (Table 1))から純水約1 L, すなわち出汁1 Lに溶出したヨウ素量を示した。出汁中ヨウ素濃度は浸漬時間の経過とともに上昇し、60分後には42.8 μg/mLとなった。また、60分間経過後に沸騰させると出汁中ヨウ素濃度は47.9 μg/mLまで上昇した。

Table 2に市販の昆布出汁で食材(サトイモ、シイタケ、ニンジン、ダイコン)を煮た場合に食材に移行するヨウ素量をまとめた。なお、今回用いた市販昆布出汁のヨウ素濃度は4.53 μg/mLであり、実際に昆布からとった出汁の10分の1の値だった。調理前の食材のヨウ素濃度は< 0.01 μg/gだったが、調理後には湿重量あたりで2.56~3.93 μg/gにまで上昇していた。

考察

食品中に含有されるヨウ素を0.5% TMAHで抽出し、テルルを内部標準に用いてICPMSで定量する分析法は食品成分表において採用されているものである⁶⁾。したがって、Table 1に示した0.5% TMAHで抽出する方法での分析値は各昆布試料の総ヨウ素濃度と考えることができる。今回、測定した乾物昆布のヨウ素濃度は1.29~5.98 mg/gであり、試料ごとに相当な差を認めた。食品成分表(七訂)はマコンプとナガコンプ(*Saccharina longissima*)のヨウ素濃度をそれぞれ2.0 mg/g, 2.1 mg/gと記載している⁴⁾。また、われわれは別の測定において、各種の乾物昆布のヨウ素濃度として2.4~5.6 mg/gを報告している⁷⁾。以上のことは、昆布は特異的に高濃度のヨウ素を含有する食材であるが、含有量自体には相当な変動があることを意味している。昆布のヨウ素濃度の変動要因として、昆布の種類、産地、収穫時期、さらに部位などが考えられる。どのような要因の寄与が大きいかは今後の検討課題であろう。

細粉化した昆布からのヨウ素の抽出を0.5% TMAHではなく、純水で行った場合の測定値はTMAHの場合とほとんど差がなかった。昆布中のヨウ素の大半は無機物のヨウ化物イオンであると報告されていることから⁸⁾、昆布に限れば、アルカリ条件でなくても、試料が十分に細粉化されていれば水でも100%近くのヨウ素が抽出できると思われる。

煮物などに用いる昆布出汁の調製法は、板状に切断した昆布に約50~100倍量の水を加え、30分から1時間程度

Table 1 Water extractable iodine in kombu powder

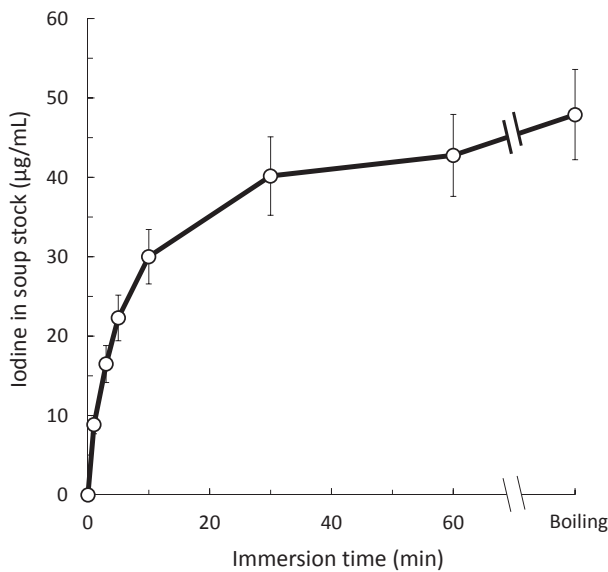
Kombu sample	Extractable iodine (mg/g)		Ratio
	0.5% TMAH	Water	
<i>Saccharina japonica</i> in Hokkaido (Ma-konbu)	5.98 ± 0.18	5.65 ± 0.01	0.945
<i>Saccharina japonica</i> in Iwate (Ma-konbu)	1.29 ± 0.01	1.27 ± 0.02	0.984
<i>Saccharina diabolica</i> (Oni-konbu)	4.01 ± 0.11	3.75 ± 0.04	0.935
<i>Saccharina sculpera</i> (Gagome-konbu)	4.91 ± 0.07	4.87 ± 0.07	0.992

Each dried kombu powder (0.2 g) was mixed with 6 mL of 0.5% *tetra*-methylammonium hydroxide (TMAH) or water and heated at 90°C for 3 h. After then, the mixture was centrifuged (1,500 x g, 15 min) and the supernatant was collected and diluted with 0.5% TMAH. After then iodine in the diluted solution was determined by ICPMS after filtration with a membrane filter (0.45 μm). Values are means ± SD (n = 4).

Table 2 Iodine content in ingredients after boiling with kombu soup stock

Ingredients	Iodine content (μg/g)		
	per dry weight	per wet weight	per weight of original ingredients
Taro (<i>Sato-imo</i>)	15.3 ± 1.7	2.56 ± 0.14	2.85 ± 0.15
<i>Shiitake</i> mushroom	48.7 ± 0.9	3.45 ± 0.07	2.87 ± 0.15
Carrot	49.4 ± 2.9	3.28 ± 0.17	3.14 ± 0.16
Japanese radish	108.4 ± 5.4	3.93 ± 0.21	3.73 ± 0.21

Four small pieces (approximately 10 g) of each ingredient were put all (16 small pieces in total) in the same pan and boiled with 500 mL of a commercial kombu soup stock (RIKEN VITAMIN Co., Ltd., Tokyo; iodine content, 4.53 μg/mL) for 30 min. After then, the cooked ingredients were stayed in the soup stock at room temperature for 30 min. Values are the means ± SD for 3 trials.

**Fig. 1** Release of iodine from kombu into soup stock

Approximately 10 g of tabular dried kombu (*Saccharina japonica* in Hokkaido) was immersed in pure water 100 times in volume at room temperature. After the immersion for 60 min, the water with kombu was heated until boiling. Circles and bars express means and SD ranges (n = 6), respectively.

浸漬後、短時間沸騰寸前まで加熱する「湯出し」と、水に2時間から一晩浸け置く「水出し」に大別される⁹⁾。今回の実験では、「湯出し」を想定し、板状に切断した乾物昆布約10gに100倍量の水を加えて60分間室温に放置し、その後、沸騰する寸前まで加熱するという条件を採用した。その結果、昆布出汁のヨウ素濃度として加熱前42.8 μg/mL、加熱後47.9 μg/mLという値を得た。出汁の調製に用いた北海道産マコンブのヨウ素濃度が5.98 mg/gであったことから、加熱前後の出汁へのヨウ素の移行率はそれぞれ

約71.6%と80.1%になる。1時間の浸漬によっても約70%のヨウ素が出汁に移行していたことは、今回採用しなかった「水出し（昆布を2時間から一晩水に浸漬する）」で調製した昆布出汁でも80%以上のヨウ素が移行することを強く示唆している。なお、食品成分表では、水と昆布を100:3の割合で混合して60分後の未加熱の昆布出汁のヨウ素濃度を52 μg/gと記載している⁴⁾。この昆布出汁の調製に用いた昆布が成分表に記載のあるヨウ素濃度2 mg/gのマコンブであるとする、乾燥昆布中ヨウ素の約85%が昆布出汁に溶出したことになる。以上より、調製法にかかわらず昆布出汁には昆布中ヨウ素の大部分（80%以上）が溶出していると考えられる。

市販の顆粒出汁から調製した昆布出汁（ヨウ素濃度、4.53 μg/mL）で煮ることによって、サトイモ、シイタケ、ニンジン、ダイコンのヨウ素濃度は湿重量あたりで2.56～3.93 μg/gになった。この値は出汁中ヨウ素濃度の56.5～86.8%に相当する。食材の種類ごとに比較すると、サトイモが出汁中濃度の56.5%だったが、残りの3種は72.4～86.8%であり、サトイモと残り3種との間でやや差が認められた。今回用いた4種の食材の水分含量を実測したところ、サトイモ82.1%、シイタケ93.9%、ニンジン93.7%、ダイコン96.5%であった。出汁が食材の水分に置き換わると考えれば、水分含量の少ないサトイモにおいてヨウ素の移行が最も少なかったことは妥当な結果と思われる。以上のことより、昆布出汁で十分に煮た食材のヨウ素濃度は、食材ごとの出汁の染み込みやすさによって変動はあるものの、出汁中ヨウ素濃度の60～85%くらいの値にまで高まるといえるだろう。

今回の市販顆粒昆布出汁で煮た4種の食材を小鉢一杯

(約 80 g) 食すると、ヨウ素摂取量は容易に 200 μg を超えることになり、ヨウ素摂取の推奨量を超えることになる。さらに、市販出汁ではなく、ヨウ素濃度が 10 倍高い昆布から調製した出汁で煮た場合は、食材のヨウ素濃度は今回の測定値の 10 倍程度になると想定できるので、ヨウ素摂取量は耐容上限量に近づくとと思われる。以上のことから、昆布出汁を使って調理したものを食した場合には、同重量の出汁を摂取した場合に近いヨウ素摂取が生じると結論できる。

参考文献

- 1) Zimmermann MB (2012) Iodine and iodine deficiency disorders, Present Knowledge in Nutrition, 10th ed (ed by Erdman JW, Macdonald IA, Zeisel SH), Wiley-Blackwell, Ames: 554-567.
- 2) World Health Organization (2004) Iodine Status Worldwide: WHO Global Database on Iodine Deficiency, <http://whqlibdoc.who.int/publications/2004/9241592001.pdf>
- 3) 吉田宗弘 (2013) マンガン, ヨウ素, セレン, クロム, モリブデン, 食品中の微量元素 — 必須元素から放射性核種まで —, 日本食品衛生協会, 東京: 51-67.
- 4) 文部科学省 科学技術・学術審議会 資源調査分科会編 (2015) 日本食品標準成分表 2015 年版 (七訂), 全国官報販売協同組合, 東京
- 5) 吉田宗弘 (2013) 微量ミネラルの過剰摂取 — 本人のヨウ素摂取は過剰水準か —, FFI Journal 218: 12-19.
- 6) 文部科学省 科学技術・学術審議会 資源調査分科会編 (2010) 日本食品標準成分表 2010, 全国官報販売協同組合, 東京: 476-477.
- 7) 菱田 明, 佐々木敏監修 (2014) 日本人の食事摂取基準 (2015 年版), 第一出版, 東京: 286-342.
- 8) Romarís-Hortas V, Bermejo-Barrera P, Moreda-Piñeiro A (2013) Ultrasound-assisted enzymatic hydrolysis for iodinated amino acid extraction from edible seaweed before reversed-phase high performance liquid chromatography-inductively coupled plasma-mass spectrometry, J Chromatogr A 1309: 33-40.
- 9) 日本昆布協会, こんぶネット昆布だしを極める, <http://www.kombu.or.jp/meister/voll.html>, 2016 年 8 月 22 日アクセス