

平成 20 年度厚生労働科学研究費補助金（循環器疾患等生活習慣病対策総合研究事業）

日本人の食事摂取基準を改定するためのエビデンスの構築に関する研究

—微量栄養素と多量栄養素摂取量のバランスの解明—

主任研究者 柴田 克己 滋賀県立大学 教授

Ⅲ. 分担研究者の報告書

3. コンプ加工食品のヨウ素含量

分担研究者 吉田 宗弘 関西大学 教授

研究要旨

コンプはヨウ素濃度が高く、日本人にとって最大のヨウ素供給源であるといわれている。日本人のコンプからのヨウ素摂取量を推定する目的で、日本人が摂取しているコンプなどの乾燥食用海藻類、および各種のコンプ加工食品を、京都市内および函館市内で購入し、ヨウ素濃度を誘導結合プラズマ質量分析法で測定した。コンプ類のヨウ素濃度は、その種類とは無関係に、他の食用海藻類に比較して明らかに高く、収集した 8 試料すべてが 2 mg/g を上回っており、平均で 5 mg/g 近い値となった。コンプ以外の海藻類ではヒジキとモズクのヨウ素濃度が 1 mg/g を上回っていたが、ワカメとアマノリのヨウ素濃度は 0.5 mg/g を下回っていた。伝統的なコンプ食品中、削りコンプのヨウ素濃度は未調理の乾燥コンプと同程度であったが、佃煮や塩昆布のヨウ素濃度は未調理の乾燥コンプの約 10% だった。コンプ菓子類の中で、酢コンプと乾燥コンプ小片を味付け、あるいは食用油で揚げた状態で食する菓子類のヨウ素濃度は未調理の乾燥コンプと同程度だった。熱水と水を用いた溶出試験より、コンプから出汁へのヨウ素の移行は最大でも 50% 程度と考えられた。以上の結果と統計資料にもとづき、日本人 1 人がコンプから摂取するヨウ素は平均値として 1 mg/d に達していない可能性が高いと推定した。しかしヨウ素濃度の高いコンプ菓子類に関しては、日常的に摂取した場合に、ヨウ素の過剰摂取につながる危険性が高いと判断された。

A. 目的

ヨウ素は甲状腺ホルモンであるヨードチロニン (T₄), またはその活性型であるトリヨードチロニン (T₃) を構成している. 甲状腺ホルモンは様々な生理的プロセスを制御しており, ほとんどの組織において, エネルギー代謝を亢進させる. また, 甲状腺ホルモンは, 胎児において, 脳や骨格などの発達と成長を促す. 慢性的にヨウ素が欠乏すると, 甲状腺刺激ホルモン (TSH) の分泌が亢進し, 甲状腺が異常肥大または過形成を起こして, いわゆる甲状腺腫となり, 甲状腺機能は低下する. 妊娠中のヨウ素欠乏は, 死産, 流産, 胎児の先天異常, および胎児甲状腺機能低下 (先天性甲状腺機能低下症) を起こす. 重度の先天性甲状腺機能低下症は全般的な精神遅滞, 低身長, 嚔啞, 瘻直を起こす. 中央アフリカでは, ヨウ素欠乏によって, このような神経学的障害ではなく, 甲状腺の萎縮と繊維化を伴う粘液水腫型胎生甲状腺機能低下症が認められる¹⁾.

ヨウ素欠乏の地域は世界中に存在している. 現在では, 食卓塩へのヨウ素添加が多く, 多くの国で実施されているため, 重度の甲状腺機能低下を伴うヨウ素欠乏の発生は稀であるが, 軽度から中等度のヨウ素欠乏は依然として多く, 小児の認知機能の発達遅滞や学力低下を招くおそれがある. WHO は 2 億 8500 万人の学童期の子供を含む 20 億近くの人々がヨウ素欠乏であるとしている²⁾.

食事摂取基準 (2005 年版) では, 成人のヨウ素の推定平均必要量 (estimated average requirements : EAR) を 95 $\mu\text{g}/\text{d}$, 推奨量 (recommended dietary allowances: RDA) を 150 $\mu\text{g}/\text{d}$ に設定している³⁾. 日本人は高濃度にヨウ素を含む海藻類を食べる習慣がある

ため, 世界でも有数の高ヨウ素摂取量の集団と考えられている. そして, 尿中ヨウ素濃度の分析^{4, 5)}, 陰膳方式で収集した食事の分析^{6, 7)}, さらにコンブ消費量⁸⁾などを総合することによって, 日本人のヨウ素摂取量は, コンブ製品などの海藻類をあまり含まない食事からの 500 $\mu\text{g}/\text{d}$ 未満を基本として, 間欠的に摂取する海藻類を多く含む食事分が加わり, 1 日当たりの平均値としては約 1.5 mg/d になると推定されている.

一方, ヨウ素の充足している人が, 過剰のヨウ素を日常的に摂取した場合, 甲状腺において, 過剰に取り込まれたヨウ素のためにヨウ素の有機化反応が阻害される Wolff-Chaikoff 効果が出現するが, やがて甲状腺へのヨウ素輸送が低下する "脱出(escape)" 現象が起こり, 甲状腺ホルモンの生成量は正常範囲に維持される⁵⁾. しかし, 脱出現象が成立しない場合には, 比較的低摂取量であっても, 過剰ヨウ素の影響が生じる. 過剰ヨウ素の影響として, 軽度の場合には血清甲状腺ホルモン濃度の低下と TSH 濃度の上昇で診断される甲状腺機能低下を起こし, 重度の場合には甲状腺腫が発生する⁹⁾. そして, アメリカ/カナダの食事摂取基準では, 日常的なヨウ素摂取が 200~300 $\mu\text{g}/\text{d}$ の人を対象にした研究において, 1.5 mg/d のヨウ素を連日投与すると血清 TSH 濃度が明らかに上昇することから, 摂取の上限量 (tolerable upper intake level : UL) を 1.1 mg/d としている⁹⁾.

上述のように, 日本人のヨウ素摂取量は平均で約 1.5 mg/d に達していると推定されているが, 甲状腺機能低下や甲状腺腫の発生はほとんど認められない. このため日本の食事摂取基準 (2005 年版) ではヨウ素の UL を 3.0 mg/d としている³⁾. 日本人がアメリカ/カナ

ダの食事摂取基準の UL を上回るヨウ素を摂取しても健康障害が起こらない原因として、日本人の高ヨウ素摂取が、間欠的な海藻類の多食がもたらすものであって、連続的な高用量摂取ではないこと、甲状腺へのヨウ素の取り込みを阻害するイソフラボンを含む大豆製品を多食することなどが推定されるが、詳細は明らかでない。

最近、ヨウ素摂取量の中央値が 741 $\mu\text{g}/\text{d}$ である北海道沿岸部の小児において、甲状腺体積が有意に大きいことが示されている¹⁰⁾。このことは、日本人といえども過剰にヨウ素を摂取すれば健康に有害な影響が生じることを意味している。したがって、日本人を対象にしてヨウ素摂取と甲状腺機能の関連をあらためて正確に把握する必要がある。

食用海藻中でヨウ素濃度が最大なのはコンブであるとされている。しかし、通常のコンブの摂取法（出汁をとる、佃煮類に加工するなど）では、コンブ中のヨウ素をすべて摂取することがないので、コンブ製品の摂取がヨウ素過剰摂取につながる危険性は小さいと考えられてきた。しかし、近年では、コンブの新規な食べ方が開発されており、コンブ中のヨウ素をほとんどすべて摂取する機会が出現している。事実、新規なコンブ加工食品の大量摂取により甲状腺機能異常をきたした症例も報告されている¹¹⁾。

本研究では、日本人のヨウ素摂取の実態を明らかにする目的で、各種コンブ製品のヨウ素含量を測定し、ヨウ素の過剰摂取につながるコンブ製品、およびコンブの食べ方の特定を試みた。

B. 方法

1. 試料の収集

京都市内、および函館市内において、各種の食用海藻類、およびコンブ加工食品を合計 31 試料購入し、ヨウ素測定用の試料とした。収集試料の中で、乾燥物についてはミルで細粉化した。乾燥していない試料についてはヨウ素抽出直前に均一にすりつぶした。

2. ヨウ素の分析

試料約 500 mg に 5 mL の水と 1 mL の 25% テトラメチルアンモニウムヒドロキシドを加えてホモジナイズし、90°C で 3 時間放置して含有されるヨウ素を抽出した¹²⁾。抽出液を水で適宜希釈後、ヨウ素濃度を誘導結合プラズマ質量分析 (ICPMS) 法で測定した。分析の質量数としては 127 を用いた。

3. コンブからのヨウ素の溶出試験

約 4 × 2.5 cm (約 1 g) に切断した乾燥マコンブ (ヨウ素濃度, 5.03 mg/g) に水 (25°C)、または熱水 (90°C) をそれぞれ 100 mL 加え、それぞれの温度で放置した。そして、一定時間ごとにコンブから溶出するヨウ素量を ICPMS 法で測定した。なお、この溶出試験におけるコンブ小片と水または熱水の比率 (約 1 : 10) は、一般的なコンブ出汁調製法に準じたものである。

C. 結果

表 1 に収集した食用海藻類のヨウ素濃度を乾燥重量あたりで示した。コンブ類のヨウ素濃度は、他の食用海藻類に比較して明らかに高く、収集した 8 試料すべてが 2 mg/g を上回っており、平均で 5 mg/g 近い値となった。コンブ以外の海藻類ではヒジキとモズクのヨウ素濃度が 1 mg/g を上回っていたが、ワカメとアマノリのヨウ素濃度は 0.5 mg/g を下回っていた。表 2 はコンブのヨウ素濃度をコンブの種類ごとに比較したものである。今回の収

集試料中でコンブの種類が明らかだったのは6試料だったが、種類に関わらずいずれも高いヨウ素濃度を示した。表3は調理加工されたコンブ食品のヨウ素濃度をまとめたものである。伝統的なコンブ食品中、削りコンブのヨウ素濃度は未調理の乾燥コンブと同程度であったが、佃煮や塩昆布のヨウ素濃度は未調理の乾燥コンブの約10%であった。コンブ菓子類の中ではコンブ抽出液を混入しただけのコンブ飴のヨウ素濃度は未調理乾燥コンブの約5%であったが、酢コンブ、新規に市販されている乾燥コンブ小片を味付け、あるいは食用油で揚げた状態で食する菓子類のヨウ素濃度は未調理の乾燥コンブと同程度だった。

図1は乾燥コンブから水または熱水へのヨウ素の溶出を示すものである。水(25℃)の場合の溶出率は60分後でも10%未満だったが、熱水(90℃)の場合は15分で45%、60分で60%近くなり、さらに増加する傾向があった。60分後の溶出液中のヨウ素濃度は、水の場合が4.3 µg/mL、熱水の場合が29.4 µg/mLだった。

D. 考察

コンブから水、または熱水へのヨウ素溶出率は1時間でそれぞれ約10%と約60%だった。すなわち、長時間加熱した場合には、コンブから出汁へ70%程度のヨウ素が移行するが、一般に行われる水を用いての出汁調製、あるいは短時間加熱での出汁調製の場合は、コンブから出汁へのヨウ素移行は最大で50%までと考えられる。

長時間コンブを煮込んで調製される塩昆布と佃煮類のヨウ素濃度は未調理の乾燥コンブの約10%であった。長時間煮込むことに

より、コンブ中ヨウ素の大半が煮汁に逸脱したと考えられる。したがって、塩昆布や佃煮類は連日10g以上の摂取でなければ、ヨウ素過剰摂取につながることはないと思われる。

収集した乾燥コンブのヨウ素濃度は平均で4.82 mg/gだった。2006年の日本の世帯当たり年間コンブ消費量は、いわゆる乾物換算で450gであると報告されている⁸⁾。同年の1世帯当たりの平均人数は2.65人であるから¹³⁾、日本人1人当たりのコンブ消費量は $450/365/2.65 = 0.465$ g/dと算定できる。そして市販されている乾物コンブには約10%の水分が含まれていることを考慮すると、日本人のコンブからの平均的なヨウ素摂取量は、コンブ中のヨウ素をすべて摂取したとして $4.82 \times 0.465 \times 0.9 = 2.0$ mg/dとなる。しかし、塩昆布や佃煮にしたコンブのヨウ素濃度は未調理のもの10分の1であったこと、コンブ出汁には長時間加熱をしたときのみヨウ素が溶出すること、さらに出汁をすべて摂取しない場合もあることを考慮すれば、実際に日本人1人がコンブから摂取するヨウ素は平均値として1 mg/dに達していない可能性が高いと考えられる。したがって、日本人にコンブ摂取に起因するヨウ素過剰障害が認められないのは、ほとんどの日本人のヨウ素摂取量が食事摂取基準におけるヨウ素のULである3 mg/g³⁾を明らかに下回り、アメリカ/カナダの食事摂取基準が設定するUL 1.1 mg/d⁹⁾をも下回っているからではないかと想像する。

以上のことから、出汁として摂取する、あるいは塩昆布や佃煮などの長時間煮るという調理を経たものを摂取するなど、伝統的なコンブの摂取法であれば、コンブを原因とするヨウ素過剰摂取が起こることはないと思

われる。しかし、これら以外の形式でコンブを日常的に摂取する場合にはヨウ素過剰摂取の起こる危険性があると判断する。たとえば、トロロコンブなどの名称で流通している削りコンブのヨウ素濃度は湿重量当たりでもすべて3 mg/gを上回っている。したがって、これを毎日1つまみ食べ続けることはULを超えるヨウ素摂取につながる危険性がある。さらに最近、市場に登場し、いわゆるスナック菓子の感覚で摂取するように設計された味付け昆布あるいは昆布チップなどの製品は、未調理の乾燥コンブと同程度のヨウ素を含有している。このような昆布菓子は大量に摂取する可能性があり、ヨウ素過剰摂取につながりやすいと危惧する。したがってこのような製品に関しては、ヨウ素含有量を明示し、連日に摂取することが健康上のリスクにつながることを表示させるなどの指導が必要と思われる。

E. 健康危機情報

特記する情報なし

F. 研究発表

1. 発表論文

なし

2. 学会発表

Yoshida M, Shimono K: Iodine content in kombu (edible kelp) products consumed in Japan, 3rd International IUPAC Symposium on Trace Elements in Food, April 1st – 3rd, Rome, Italy, 2009 (予定)

G. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む)

1. 特許予定

なし

2. 実用新案特許

なし

3. その他

なし

H. 引用文献

1. Zimmermann MB (端田寛子, 志村二三夫 訳) (2007) ヨウ素とその欠乏による障害. 最新栄養学第9版 (Bowman BA, Russel RM eds. (翻訳監修, 木村修一, 小林修平)). 建帛社, 東京, 469-77.
2. World Health Organization (2004) Iodine status worldwide. WHO Global Database on Iodine Deficiency, WHO, Geneva.
3. 厚生労働省策定 (2005) 日本人の食事摂取基準 [2005年版], 第一出版, 東京, 189-93.
4. Fuse Y, Saito N, Tsuchiya T, et al. (2007) Smaller thyroid gland volume with high urinary iodine excretion in Japanese schoolchildren: Normative reference values in an iodine-sufficient area and comparison with the WHO/ICCIDD reference. *Thyroid* 17: 145-55.
5. Zimmermann MB, Hess SY, Molinari L, et al. New reference values for thyroid volume by ultrasound in iodine-sufficient schoolchildren: a World Health Organization/Nutrition for Health and Development Iodine Deficiency Study Group Report. *Am J Clin Nutr* (2004) 79:231-7.
6. Suzuki M, Tamura T Iodine intake of Japanese male university students: Urinary iodine excretion of sedentary and physically

- active students and sweat iodine excretion during exercise. *J Nutr Sci Vitaminol* (1985) 31, 409-15.
7. Katamine S, Mamiya Y, Sekimoto K, et al. Iodine content of various meals currently consumed by urban Japanese. *J Nutr Sci Vitaminol* (1986) 32: 487-95.
 8. Nagataki S (2008) The average of dietary iodine intake due to the ingestion of seaweed is 1.2 mg/day in Japan. *Thyroid* 18: 667-8.
 9. Food and Nutrition Board, Institute of Medicine, National Academy of Sciences. (2001) Iodine. Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc, National Academy Press, Washington DC. 258-89.
 10. Zimmermann MB, Ito Y, Hess SY, et al. High thyroid volume in children with excess dietary iodine intake. *Am J Clin Nutr* (2005) 81, 840-4.
 11. Matsubayashi S, Mukuta T, Watanabe H, et al. Iodine-induced hypothyroidism as a result of excessive intake of confectionery made with tangle weed, Kombu, used as a low calorie food during a bulimic period in a patient with anorexia nervosa. *Eat Weight Disord* (1998) 3, 50-2.
 12. Dawczynski C, Schäfer U, Leiterer M, et al. Nutritional and toxicological importance of macro, trace, and ultra-trace elements in algae food products. *J Agric Food Chem* (2007) 55, 10470-5.
 13. 厚生統計協会 (2007) 国民衛生の動向 2007年版, 厚生統計協会, 東京.

表 1. 食用海藻類のヨウ素濃度

海藻	n	ヨウ素濃度 (mg/g dry weight)
コンブ類	8	4.82 (2.42~9.39)
ワカメ	2	0.39 (0.30~0.47)
アマノリ	1	0.22
ヒジキ	1	1.1
モズク	1	1.31
アオサ	1	0.17

値は平均値（最小値～最大値）を示す.

表 2. コンブのヨウ素濃度 (mg/g dry weight) の種類別比較

種類	濃度
マコンブ <i>Laminaria japonica</i>	4.24
エナガオニコンブ* <i>Laminaria diabolica</i>	5.6
リシリコンブ <i>Laminaria ochotensis</i>	2.42
ミツイシコンブ** <i>Laminaria angustata</i>	3.07
ガゴメコンブ <i>Kjellmaniella crassifolia</i>	4.58

*別名, ラウスコンブ

**別名, ヒダカコンブ

マコンブのみ 2 試料の平均値. 他は 1 試料の値.

表 3. コンブ食品中のヨウ素濃度

食品	n	ヨウ素濃度 (mg/g dry weight)
塩昆布	1	0.28
つくだ煮	5	0.36 (0.29~0.42)
削り昆布*	3	6.09 (4.01~8.89)
昆布茶	1	0.24
昆布菓子類		
昆布飴	1	0.2
酢昆布	2	2.63 (2.10~3.17)
味付け昆布**	3	5.16 (1.54~8.31)
昆布チップ***	1	3.69

*商品名, とろろ, またはおぼろ昆布など

**乾燥昆布の小片に調味料や塩で味付けし, そのまま食する形態のもの

***乾燥昆布の小片を油で揚げたもの

値は平均値（最小値～最大値）を示す.

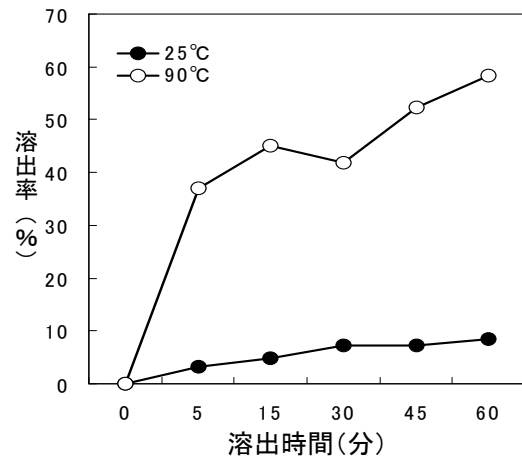


図1. 乾燥コンプから水または熱水へのヨウ素の溶出