

技術報告

うどん・そうめん類と中華めん類のゆで調理における安定ストロンチウム
および主要無機元素の挙動

進藤 久美子*, 八戸 真弓, 濱松 潮香

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 食品研究部門
〒305-8642 茨城県つくば市観音台2-1-12

**Residual and elution amount of stable strontium and
main inorganic elements during cooking of Japanese or Chinese noodles**

Kumiko Shindoh, Mayumi Hachinohe and Shioka Hamamatsu

Food Research Institute, National Agriculture and Food Research Organization
2-1-12 Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305-8642, Japan

Abstract

Amount of stable strontium during noodle cooking was investigated to estimate the dynamics of radioactive strontium (^{90}Sr) in prepared food. A total of 24 kind of Japanese noodles (“Udon”, “Somen” and “Hiyamugi”) and Chinese noodles (yellow alkaline noodles including Okinawa noodles) in the marketplace were boiled and water cooled, then broth, rinsing water and boiled noodles were obtained. Food processing retention factor (Fr , ratio of amount in boiled noodles to uncooked one) of stable strontium were 0.65 (0.51-0.75) for Japanese noodles and 0.97 (0.95-1.00) for Chinese noodles, respectively. Main inorganic elements were also determined to evaluate possible association between radioactive strontium and each element. Fr of stable strontium was most similar to calcium’s.

Key words: strontium, inorganic elements, Japanese noodles, Chinese noodles, noodle boiling

食品中の成分は、加工・調理の過程で変化し、多くの場合減少する。これは、食品中に含まれる放射性核種でも同様で、国内外における放射性核種の数少ない貴重な実測データを集めたものには、1994年に刊行さ

れた『環境パラメータ・シリーズ4 食品の調理・加工による放射性核種の除去率』（財団法人原子力環境整備センター、現在の公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター）があり¹⁾、2011年3月の東日本大

* 連絡先 (Corresponding author), shindoh@affrc.go.jp

震災に伴い発生した東京電力福島第一原子力発電所事故後には、日本の食品の加工・調理による、放射性セシウムの除去率データを中心として収集・整理した増補版が2013年に刊行されている²⁾。原子力発電所事故において、飲食物を介した人の健康への長期的な影響が考えられる核種には、放射性セシウム (^{134}Cs および ^{137}Cs) と放射性ストロンチウム (主として ^{90}Sr) が挙げられており、規制対象として考慮されている半減期1年以上の核種には、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{90}Sr 、 ^{238}Pu 、 ^{239}Pu 、 ^{240}Pu 、 ^{241}Pu および ^{106}Ru がある。増補版では、CsはKと化学的性質が似ていることから、 ^{134}Cs および ^{137}Cs のデータがない場合の目安として、Kに着目してまとめた結果が掲載されており、さらに目的とする放射性核種と同じような挙動をする主要元素があれば、調理・加工による除去率が類似し、目安として代用できる可能性があるとして、『日本食品標準成分表2010』のデータを用いて算出したNa, K, Ca, Mg, P, Fe, Zn, CuおよびMnの残存割合や除去率が示されている²⁾。しかし、これらの主要元素は、成分値の表示桁数が少ないことが影響して、調理・加工による含量増加がなくとも、負の除去率となる場合もあり、 ^{134}Cs および ^{137}Cs の挙動をKから推定すること以外、他の放射性核種の挙動の推定に有効な元素については具体的に記載されていない。

^{134}Cs (半減期2.06年) および ^{137}Cs (半減期30.17年) については、上述の増補版の刊行後も、乾めんの製麺や調理による挙動など、日本独特の食品の加工・調理のデータが取得されている^{3)~5)}。一方、これらとともに長期的な影響が考えられる ^{90}Sr (半減期28.79年) については、定量に時間がかかることや、定量下限以下および定量下限に近い試料がほとんどであり、加工・調理を行うとさらに濃度が低下して精度のよい測定が困難であることから、 ^{90}Sr の実測による加工・調理のデータの蓄積は進んでいない現状がある。

人工的に生成する放射性核種も天然に存在する同位体とほぼ同じ化学的性質を持つ。そこで本研究では、日本の食品の中の「うどん・そうめん類」と「中華めん類」の調理を対象として、 ^{90}Sr の挙動を推察するために、天然に存在する安定Srの含量変化を調べた。また、Srと類似の挙動となる主要元素があるかどうかを確認し、 ^{90}Sr や安定Srのデータがない場合にどの主要元素のデータを目安として用いるのが適切かを検討するため、上述の増補版で残存割合や除去率が算出され、最新の『日本食品標準成分表2015年版 (七訂)』⁶⁾にも掲載されているNa, K, Ca, Mg, P, Fe, Zn, Cuお

よびMn、そしてSrと同じアルカリ土類金属のBaなど同じ定量方法を適用できる無機元素を併せて調べた。『日本食品標準成分表2015年版 (七訂)』作成のための無機質の定量⁷⁾において、測定用の試料溶液調製では、乾式灰化法がCa, Mg, P, Fe, Zn, CuおよびMnの標準的な方法として使用されており、この方法はSrなど他元素にも適用できる。測定では、誘導結合プラズマ発光分析法 (ICP-AES) が食品成分表の作成でも多くの無機質の測定方法となっており、種々の元素の中でもSrの検出下限が低いことから、安定Srの高感度な測定が可能である。本研究では、主要元素の定量に用いられている、これら乾式灰化法による試料溶液調製とICP-AESによる測定を行って、安定Srをはじめとする無機元素を定量することとした。

実験方法

1. 試料

『日本食品標準成分表2015年版 (七訂)』に記載の食品に合わせて、「うどん・そうめん類」は、「うどん」、「干しうどん」、「そうめん・ひやむぎ」および「手延そうめん・手延ひやむぎ」を、「中華めん類」は、「中華めん」、「干し中華めん」、「沖縄そば」および「干し沖縄そば」を、市販品で3品ずつ計24品を入手した。『日本食品標準成分表2015年版 (七訂)』の「表16 調理方法の概要」の「そうめん・ひやむぎ」、「手延そうめん・手延ひやむぎ」にある「ゆで→湯切り→水冷→水切り」のゆで調理を行い、調理前後のめん、湯切り後のゆで液と水冷・水切り後のすすぎ水を試料とした。

2. ゆで調理

『日本食品標準成分表2015年版 (七訂)』の表16と同じく、めんゆで調理に用いる水が10倍量である、小麦のめん適性評価法⁸⁾を参考に、「ゆで→湯切り→水冷→水切り」を行った。すなわち、「生」または「乾」めんに対して10倍量の水から沸かした沸騰水でゆでた後、ざるにとって30秒間湯切りした。湯切り後は10倍量の水で30秒間水冷し、再びざるにとって30秒間水切りをして、ざるを5回たたいた後のめんを「ゆで」とした。商品のパッケージに表示されている目安のゆで時間が、温かい状態と冷やした状態で食べるときの両者がある場合は、いずれも冷やした状態で食べるケースのゆで時間が長いことから、ゆで時間はパッケージに表示の目安の範囲で最長の時間とした (例:「10~12分」と表示があれば12分)。ゆで調理は、市販品一

つにつき1回行った。なお、水は後述の無機元素定量に用いたのと同じ水で、鍋は強化ガラス製、それ以外の調理器具はプラスチック製を用いた。

3. 重量変化率と水分

重量変化率 (%) は、以下の式 (1) より算出した。

$$\text{重量変化率(\%)} = \frac{\text{ゆで調理後のめん重量(g)}}{\text{ゆで調理前のめん重量(g)}} \times 100 \quad (1)$$

調理前および調理後のめん的水分は、135℃の通風加熱乾燥法により測定した⁷⁾。

4. 無機元素の定量

「生」または「乾」めん、ゆで調理で得られた「ゆで」めん、ゆで液およびすすぎ水ともに1試料につき3点併行で試料溶液調製と測定を行い、その平均値を試料含量とした。測定用の試料溶液調製は、白金皿を用いる乾式灰化法により行った⁷⁾。1点につき、調理前後のめんは、水分測定に使用したのと同じ均質化した試料1-6gを、ゆで液は20-30 mL、すすぎ水は100 mLを乾燥させてから用いた。20%塩酸および1%塩酸は、多摩化学製TAMAPURE AA-100、30%塩酸を水で希釈した。希釈に用いた水はメルクミリポアのSuper-Qシステムで製造した超純水を用いた。

測定には、ICP-AESを使用した。測定した無機元素と波長は、Sr (421.552 nm)、Ba (455.403)、Na (589.592)、K (766.491)、Ca (317.933)、Mg (279.800)、P (213.618)、Fe (238.204)、Zn (213.857)、Cu (327.395)、Mn (257.610)、Cr (267.716)、Mo (202.032) である。使用装置はAgilent 5100で、NaとKは観測高さ8mmのラジアルモードで、そのほかの元素はアキシアルモードで測定した。プラズマ条件は、RFパワー1.20 kw、プラズマガス流量12.0 L/min、補助ガス流量1.0 L/min、ネブライザガス流量0.7 L/minである。検量線作製の標準液は、関東化学製原子吸光分析用の標準原液から、Pは単独で、そのほかは混合して1%塩酸で希釈し作製した。

前処理から測定までの定量に用いた方法の確認には、同じ穀類であるNMIJ CRM 7502-a白米粉末を用いた。この白米粉末認証標準物質の場合は、白米中に含まれるいくつかの無機元素含量を国家計量機関が種々の方法で実測して決めた認証値がついており、認証値と得られた定量結果を比較することで、用いた定量方法が適切かどうかを客観的に判定することができる。白米粉末の乾燥質量換算をするための水分測定は、認証書に記載の85℃、12-16時間の加熱乾燥法により行っ

た。なお、ろ紙を使用するとNaの操作ブランク（空試験値）が高くなる。原材料に食塩が使用され、高濃度のNaを含むうどん・そうめん類や中華めん類試料では問題ないが、白米粉末認証標準物質の微量のNaを定量しようとする、機器測定で観測されるNaのピークの2/3以上を操作ブランク由来のNaが占め、また白米の微量のNaに対して操作ブランク由来のNaのばらつきが大きいため、精度よく測定できない。このため、白米粉末認証標準物質については、ろ紙を使用する前にNa測定用に試料溶液を一部採取する乾式灰化法を用いた⁹⁾。

5. 無機元素の残存割合の算出

無機元素の残存割合Fr (Food processing retention factor) は、以下の式 (2) より算出した。

$$\text{残存割合Fr} = \frac{\text{ゆで調理後のめん中濃度}(\mu\text{g/g}) \times \text{ゆで調理後のめん重量(g)}}{\text{ゆで調理前のめん中濃度}(\mu\text{g/g}) \times \text{ゆで調理前のめん重量(g)}} \quad (2)$$

実験結果および考察

1. 無機元素定量方法の確認

『日本食品標準成分表2015年版(七訂)』に記載されている無機質は、Na、K、Ca、Mg、P、Fe、Zn、Cu、Mn、I、Se、CrおよびMoである。そのうち、食品成分表作成のためのI、Se、CrおよびMoの定量は、マイクロ波酸分解による試料溶液調製と、誘導結合プラズマ質量分析法(ICP-MS)による測定であり⁶⁾⁷⁾、本研究の方法と異なっている。一方、平成27年4月に施行された食品表示基準では、それまでの栄養表示基準にはなかった、定量分析によってMo含量を表示する場合の方法が規定され、乾式灰化法またはマイクロ波酸分解による試料溶液調製と、ICP-MSまたはICP-AESによる測定となっている¹⁰⁾¹¹⁾。また、定量分析によってCr含量を表示する場合の方法は、乾式灰化法、湿式分解法または低温灰化法による試料溶液調製と、ICP-AESによる測定である¹⁰⁾。本研究で用いる乾式灰化法による試料溶液調製とICP-AESによる測定が定量分析法として規定されているMoとCrも定量した。

NMIJ CRM 7502-a白米粉末の定量結果を表1に示す。FeとCrは、測定値に対して操作ブランクが高く、またばらついたことから、精度よく測定ができなかったため記載していない。Srは認証値の範囲となり、後述する「うどん・そうめん類」と「中華めん類」試料のSr含量は白米粉末認証標準物質より高いことから、十

分に定量可能と判断された。また, Ba, Na, K, Ca, Mg, P, Cu, Mn, Zn, Moも認証値とよく一致したことから, 以後はこれらの無機元素を定量した。

表1 NMIJ CRM 7502-a 白米粉末の定量結果

	認証値*		定量値**	
	(mg/kg)		(mg/kg)	
Sr	0.068 ±	0.003	0.066 ±	0.002
Ba	0.137 ±	0.005	0.142 ±	0.003
Na	5.8 ±	0.8	6.0 ±	0.9
K	1430 ±	50	1390 ±	10
Ca	60 ±	3	59 ±	1
Mg	560 ±	21	551 ±	3
P	1800 ±	90	1750 ±	10
Zn	26.0 ±	0.9	26.7 ±	0.3
Cu	3.02 ±	0.11	3.01 ±	0.01
Mn	11.2 ±	0.4	11.5 ±	0.1
Mo	0.79 ±	0.03	0.78 ±	0.02

* 標準物質認証書に記載の認証値と拡張不確かさ

** 4点併行で試料溶液調製および測定を行った平均値±標準偏差

2. ゆで調理の残存割合Fr

食品成分表では, 原則として標準的な市販品を用いることとしており, 本研究でも市販品を入手して試験に供した。『日本食品標準成分表2015年版(七訂)』では, 「表16 調理方法の概要」の「うどん・そうめん類」と「中華めん類」の調理過程の多くで「ゆで→湯切り」となっているが, これらのめん類も冷やし麺として供される場合もあることから, 「そうめん・ひやむぎ」, 「手延そうめん・手延ひやむぎ」の調理過程である「ゆで→湯切り→水冷→水切り」ですべてを調理した。

ゆで調理で得られるゆで液, すすぎ水, ゆでめんの概要を図1に, ゆで液, すすぎ水およびゆでめんのSrの残存割合Frを市販品別に表2に示す。残存割合Frと同様の考え方として「移行率」, またどれだけ低減するか観点から「除去率」も使われるが²⁾, 本研究では式(2)で定義する残存割合Frを用い, ゆでめん以外の, ゆで液とすすぎ水も同様に残存割合Frとして算出した。「うどん・そうめん類」においてSrは, ゆで液に平均0.30(0.20-0.44)が移り, ゆでめんの残存割合Frは平均0.65(0.51-0.75)となったが, 生めんと乾

表2 安定 Sr の残存割合 Fr

	ゆで液	すすぎ水	ゆでめん	回収率
[うどん・そうめん類]				
うどん a (生)	0.44	0.04	0.51	0.99
うどん b (生)	0.34	0.04	0.60	0.97
うどん c (生)	0.27	0.03	0.70	1.00
干しうどん d (乾)	0.27	0.04	0.70	1.01
干しうどん e (乾)	0.32	0.06	0.59	0.98
干しうどん f (乾)	0.33	0.04	0.64	1.01
そうめん g (乾)	0.20	0.05	0.75	1.00
ひやむぎ h (乾)	0.22	0.04	0.74	1.00
そうめん i (乾)	0.23	0.03	0.72	0.98
手延そうめん j (乾)	0.25	0.07	0.65	0.98
手延ひやむぎ k (乾)	0.37	0.06	0.55	0.99
手延そうめん l (乾)	0.35	0.08	0.59	1.03
[中華めん類]				
中華めん m (生)	0.02	0.01	0.97	1.00
中華めん n (生)	0.06	0.01	0.96	1.03
中華めん o (生)	0.01	0.00	0.98	1.00
干し中華めん p (乾)	0.03	0.00	0.99	1.01
干し中華めん q (乾)	0.04	0.01	0.97	1.02
干し中華めん r (乾)	0.05	0.01	0.95	1.01
沖縄そば s (生)	0.01	0.00	0.98	1.00
沖縄そば t (生)	0.03	0.01	1.00	1.03
沖縄そば u (生)	0.01	0.00	1.00	1.01
干し沖縄そば v (乾)	0.06	0.02	0.98	1.06
干し沖縄そば w (乾)	0.06	0.01	0.95	1.02
干し沖縄そば x (乾)	0.05	0.01	0.97	1.03

めんの違いおよびめんの太さによる明確な差は認められなかった。「中華めん類」ではFrが平均0.97(0.95-1.00)で、生めんと乾めんの違いおよびめんの太さにかかわらず、Srのほとんどが残存していた。うどん・そうめん類のすすぎ水のFrは平均0.05(0.03-0.08)と小さかった。水冷を行わない「ゆで→湯切り」の調理を行った場合に、すすぎ水のFrがゆでめんのFrに加わることに

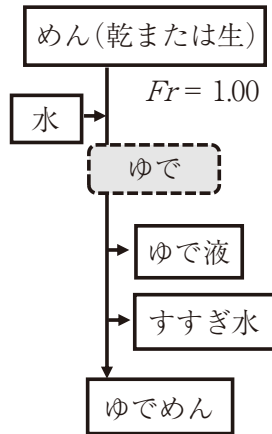


図1 ゆで調理と得られる試料

なっても、その影響は非常に小さいと考えられた。中華めん類ではゆで液への移行も少なく、すすぎ水のFrは平均0.01(0.00-0.02)と非常に小さいことから、水冷の有無はゆでめんのFrにほとんど影響しないと考えられた。放射性降下物が農作物表面に付着する場合と、土壌から吸収されて農作物に存在する場合は、放射性核種の加工・調理による除去の程度が異なる²⁾。本研究における小麦製品の安定Srの由来は、基本的に土壌から吸収されて小麦子実中に存在するものである。ただし、製粉を経て、さらに均質なめんにされるなど加工が進んでいる場合には、もとの農産物の放射性核種の付着位置や存在場所の影響が小さくなることや、めん加工時には、うどん・そうめん類では食塩、中華めん類では食塩に加えてかん水など、小麦以外の原材料由来分も出てくることから、放射性降下物があるかどうかの時期によらず、これら小麦を原料とするめんを出発点としたゆで調理による残存割合としては、本研究の安定Srの値が⁹⁰Srの代替として使用できると考えられる。

ゆでめん中のSrと各無機元素の残存割合Frの比較を図2に示す。測定値に対して操作ブランクが高く、ま

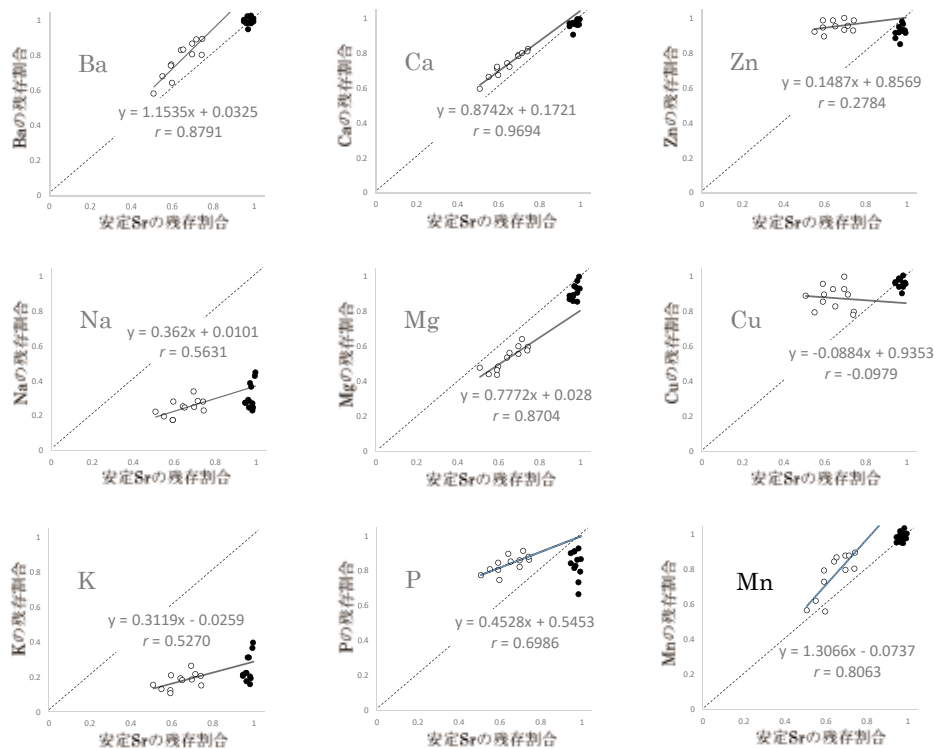


図2 ゆでめん中の安定Srと無機元素の残存割合の関係

○：うどん・そうめん類，●：中華めん類
 実線はうどん・そうめん類の最小二乗法による回帰直線で、数式と相関係数rを図中に示した。点線は同じ残存割合のラインを示す。

表3 うどん・そうめん類と中華めん類の100g当たりの水分, 安定 Sr, Br および

食品名		水分 (%)	Sr (μ g)	Ba (μ g)	Na (mg)	K (mg)	Ca (mg)
[うどん・そうめん類]							
うどん a	生	32.6 \pm 0.1	75 \pm 1	33 \pm 1	561 \pm 1	75 \pm 1	13 \pm 0
	ゆで	66.7 \pm 0.5	23 \pm 0	11 \pm 0	73 \pm 0	7 \pm 0	4 \pm 0
うどん b	生	32.3 \pm 0.1	44 \pm 0	21 \pm 0	901 \pm 1	60 \pm 1	11 \pm 0
	ゆで	67.4 \pm 0.2	13 \pm 0	7 \pm 0	129 \pm 0	6 \pm 0	4 \pm 0
うどん c	生	30.7 \pm 0.0	91 \pm 0	46 \pm 0	903 \pm 2	64 \pm 1	16 \pm 0
	ゆで	67.3 \pm 0.2	34 \pm 1	20 \pm 0	166 \pm 2	9 \pm 0	7 \pm 0
干しうどん d	乾	14.0 \pm 0.0	134 \pm 1	62 \pm 1	1859 \pm 8	115 \pm 0	18 \pm 0
	ゆで	74.6 \pm 0.1	31 \pm 0	18 \pm 0	153 \pm 1	7 \pm 0	5 \pm 0
干しうどん e	乾	14.6 \pm 0.0	102 \pm 1	50 \pm 3	1505 \pm 16	103 \pm 2	16 \pm 0
	ゆで	75.9 \pm 0.2	19 \pm 0	11 \pm 0	80 \pm 0	4 \pm 0	3 \pm 0
干しうどん f	乾	14.9 \pm 0.1	134 \pm 1	43 \pm 2	1977 \pm 4	110 \pm 1	16 \pm 0
	ゆで	74.5 \pm 0.2	30 \pm 0	12 \pm 0	172 \pm 1	7 \pm 0	4 \pm 0
そうめん g	乾	13.2 \pm 0.0	100 \pm 1	50 \pm 2	1426 \pm 13	110 \pm 2	15 \pm 0
	ゆで	74.9 \pm 0.5	25 \pm 0	15 \pm 0	109 \pm 0	6 \pm 0	4 \pm 0
ひやむぎ h	乾	13.0 \pm 0.0	110 \pm 2	73 \pm 1	975 \pm 9	75 \pm 1	18 \pm 0
	ゆで	71.5 \pm 0.7	30 \pm 0	21 \pm 0	99 \pm 0	6 \pm 0	5 \pm 0
そうめん i	乾	13.4 \pm 0.0	114 \pm 0	61 \pm 1	1807 \pm 6	103 \pm 1	16 \pm 0
	ゆで	69.2 \pm 0.5	32 \pm 1	21 \pm 1	202 \pm 4	9 \pm 0	5 \pm 0
手延そうめん j	乾	11.6 \pm 0.1	93 \pm 0	86 \pm 2	2241 \pm 17	87 \pm 1	18 \pm 0
	ゆで	72.1 \pm 0.3	22 \pm 0	26 \pm 0	199 \pm 8	6 \pm 0	5 \pm 0
手延ひやむぎ k	乾	13.5 \pm 0.0	153 \pm 2	58 \pm 2	2019 \pm 35	124 \pm 3	20 \pm 0
	ゆで	73.6 \pm 0.5	27 \pm 0	13 \pm 0	127 \pm 0	5 \pm 0	4 \pm 0
手延そうめん l	乾	13.7 \pm 0.1	100 \pm 0	59 \pm 1	2228 \pm 6	111 \pm 2	16 \pm 0
	ゆで	75.8 \pm 0.0	19 \pm 0	14 \pm 0	124 \pm 1	4 \pm 0	4 \pm 0
[中華めん類]							
中華めん m	生	33.8 \pm 0.2	44 \pm 1	55 \pm 1	539 \pm 6	206 \pm 2	12 \pm 0
	ゆで	66.6 \pm 0.1	22 \pm 0	27 \pm 1	108 \pm 3	33 \pm 1	6 \pm 0
中華めん n	生	31.8 \pm 0.2	44 \pm 0	56 \pm 2	935 \pm 6	655 \pm 12	12 \pm 0
	ゆで	71.9 \pm 0.5	20 \pm 0	26 \pm 0	128 \pm 0	68 \pm 1	5 \pm 0
中華めん o	生	31.6 \pm 0.1	66 \pm 0	25 \pm 1	1057 \pm 6	422 \pm 2	74 \pm 0
	ゆで	68.3 \pm 0.3	34 \pm 0	13 \pm 1	203 \pm 3	69 \pm 2	38 \pm 2
干し中華めん p	乾	13.5 \pm 0.0	93 \pm 1	38 \pm 2	1867 \pm 9	350 \pm 3	15 \pm 0
	ゆで	70.8 \pm 0.2	32 \pm 0	14 \pm 0	162 \pm 1	24 \pm 0	5 \pm 0
干し中華めん q	乾	13.0 \pm 0.1	143 \pm 2	70 \pm 1	984 \pm 12	178 \pm 2	19 \pm 0
	ゆで	70.7 \pm 0.3	47 \pm 0	23 \pm 0	95 \pm 0	13 \pm 0	6 \pm 0
干し中華めん r	乾	12.9 \pm 0.0	82 \pm 0	71 \pm 1	702 \pm 3	257 \pm 1	15 \pm 0
	ゆで	70.8 \pm 0.4	28 \pm 0	26 \pm 0	69 \pm 0	20 \pm 0	5 \pm 0
沖繩そば s	生	29.6 \pm 0.0	318 \pm 5	59 \pm 1	874 \pm 7	86 \pm 1	112 \pm 3
	ゆで	70.4 \pm 0.4	148 \pm 1	29 \pm 0	112 \pm 1	8 \pm 0	52 \pm 1
沖繩そば t	生	24.1 \pm 0.0	62 \pm 1	85 \pm 2	715 \pm 12	377 \pm 7	15 \pm 0
	ゆで	63.9 \pm 0.1	32 \pm 0	43 \pm 0	165 \pm 1	76 \pm 0	7 \pm 0
沖繩そば u	生	25.6 \pm 0.1	622 \pm 0	92 \pm 2	858 \pm 7	201 \pm 2	234 \pm 0
	ゆで	62.8 \pm 0.0	330 \pm 2	49 \pm 1	196 \pm 2	39 \pm 1	124 \pm 1
干し沖繩そば v	乾	13.9 \pm 0.0	78 \pm 0	114 \pm 3	1154 \pm 5	137 \pm 2	17 \pm 0
	ゆで	70.3 \pm 0.1	28 \pm 0	43 \pm 1	99 \pm 1	8 \pm 0	6 \pm 0
干し沖繩そば w	乾	12.0 \pm 0.0	86 \pm 2	108 \pm 2	1356 \pm 32	157 \pm 3	18 \pm 0
	ゆで	69.8 \pm 0.2	31 \pm 0	42 \pm 1	142 \pm 1	12 \pm 0	7 \pm 0
干し沖繩そば x	乾	13.7 \pm 0.0	75 \pm 0	113 \pm 1	1216 \pm 2	149 \pm 0	17 \pm 0
	ゆで	69.2 \pm 0.3	29 \pm 0	46 \pm 1	119 \pm 0	10 \pm 0	6 \pm 0

* 3点併行分析の平均値 \pm 標準偏差

** 行ったゆで調理は水冷過程を含むことから、パッケージに記載の範囲で長いゆで時間で調理した。

日本食品標準成分表収載の無機質含量* (ただし, Fe, I, Se, Cr, Mo を除く)

Mg (mg)	P (mg)	Zn (mg)	Cu (mg)	Mn (mg)	重量変化率 (%)	備考 (パッケージ記載のゆで時間**等)
14 ± 0	47 ± 0	0.22 ± 0.00	0.06 ± 0.00	0.41 ± 0.00		
4 ± 0	22 ± 0	0.12 ± 0.00	0.03 ± 0.00	0.14 ± 0.00	169	5分
10 ± 0	53 ± 0	0.23 ± 0.00	0.07 ± 0.00	0.30 ± 0.00		
3 ± 0	20 ± 0	0.10 ± 0.00	0.03 ± 0.00	0.09 ± 0.00	195	6～7分
13 ± 0	50 ± 0	0.30 ± 0.00	0.08 ± 0.00	0.27 ± 0.00		
4 ± 0	22 ± 0	0.15 ± 0.00	0.04 ± 0.00	0.12 ± 0.00	185	2～3分
22 ± 0	70 ± 0	0.30 ± 0.00	0.09 ± 0.00	0.54 ± 0.00		
4 ± 0	20 ± 0	0.10 ± 0.00	0.03 ± 0.00	0.16 ± 0.00	304	8～13分
20 ± 0	67 ± 1	0.29 ± 0.01	0.08 ± 0.00	0.44 ± 0.00		
3 ± 0	17 ± 0	0.08 ± 0.00	0.02 ± 0.00	0.11 ± 0.00	325	9～12分
20 ± 0	60 ± 0	0.22 ± 0.00	0.07 ± 0.00	0.52 ± 0.00		
4 ± 0	19 ± 0	0.08 ± 0.00	0.02 ± 0.00	0.15 ± 0.00	290	10～13分
20 ± 0	72 ± 0	0.33 ± 0.00	0.10 ± 0.00	0.55 ± 0.01		
4 ± 0	21 ± 0	0.11 ± 0.00	0.03 ± 0.00	0.16 ± 0.00	300	2分
16 ± 0	61 ± 1	0.34 ± 0.02	0.10 ± 0.01	0.36 ± 0.00		
3 ± 0	19 ± 0	0.12 ± 0.00	0.03 ± 0.00	0.10 ± 0.00	275	3～4分
19 ± 0	71 ± 0	0.37 ± 0.00	0.09 ± 0.00	0.47 ± 0.00		
5 ± 0	25 ± 1	0.14 ± 0.00	0.03 ± 0.00	0.16 ± 0.00	255	2分
25 ± 0	87 ± 0	0.63 ± 0.01	0.14 ± 0.02	0.29 ± 0.00		
5 ± 0	27 ± 0	0.22 ± 0.00	0.04 ± 0.00	0.09 ± 0.00	278	1分半
18 ± 0	67 ± 1	0.32 ± 0.01	0.08 ± 0.00	0.58 ± 0.01		
3 ± 0	18 ± 0	0.09 ± 0.00	0.02 ± 0.00	0.12 ± 0.00	308	6分
19 ± 0	71 ± 0	0.35 ± 0.00	0.09 ± 0.00	0.51 ± 0.00		
3 ± 0	19 ± 0	0.11 ± 0.00	0.03 ± 0.00	0.12 ± 0.00	313	1分半～2分
15 ± 0	86 ± 1	0.45 ± 0.01	0.08 ± 0.00	0.19 ± 0.01		極細めん
7 ± 0	37 ± 0	0.19 ± 0.01	0.04 ± 0.00	0.09 ± 0.00	193	1分半
15 ± 0	64 ± 1	0.45 ± 0.01	0.08 ± 0.00	0.21 ± 0.00		
6 ± 0	24 ± 0	0.19 ± 0.00	0.04 ± 0.00	0.10 ± 0.00	213	2分半～3分半
11 ± 0	79 ± 1	0.27 ± 0.00	0.08 ± 0.00	0.35 ± 0.00		極太めん, 卵殻カルシウム入り
5 ± 0	36 ± 1	0.14 ± 0.03	0.04 ± 0.00	0.17 ± 0.00	190	5分
16 ± 0	119 ± 1	0.21 ± 0.00	0.07 ± 0.00	0.41 ± 0.00		
5 ± 0	31 ± 0	0.07 ± 0.00	0.02 ± 0.00	0.15 ± 0.00	283	5～6分
25 ± 0	85 ± 1	0.43 ± 0.00	0.09 ± 0.00	0.72 ± 0.01		
7 ± 0	26 ± 0	0.14 ± 0.00	0.03 ± 0.00	0.25 ± 0.00	294	3～4分
19 ± 0	79 ± 0	0.52 ± 0.00	0.10 ± 0.00	0.42 ± 0.00		
6 ± 0	24 ± 0	0.16 ± 0.00	0.03 ± 0.00	0.14 ± 0.00	277	5分半
16 ± 0	64 ± 1	0.41 ± 0.00	0.08 ± 0.00	0.22 ± 0.00		太めん, 貝殻焼成カルシウム入り
7 ± 0	20 ± 0	0.18 ± 0.00	0.04 ± 0.00	0.11 ± 0.00	211	6分
20 ± 0	80 ± 1	0.45 ± 0.01	0.09 ± 0.00	0.30 ± 0.01		
9 ± 0	36 ± 0	0.21 ± 0.00	0.05 ± 0.00	0.16 ± 0.00	195	4分
18 ± 0	84 ± 0	0.35 ± 0.01	0.09 ± 0.00	0.24 ± 0.00		焼成カルシウム入り
10 ± 0	36 ± 0	0.17 ± 0.00	0.05 ± 0.00	0.13 ± 0.00	188	3～4分
27 ± 0	96 ± 1	0.52 ± 0.00	0.12 ± 0.00	0.40 ± 0.01		細めん
9 ± 0	33 ± 0	0.18 ± 0.00	0.05 ± 0.00	0.15 ± 0.00	266	6～7分
26 ± 0	97 ± 2	0.53 ± 0.00	0.13 ± 0.01	0.43 ± 0.00		
9 ± 0	33 ± 0	0.19 ± 0.00	0.05 ± 0.00	0.16 ± 0.00	260	6～7分
27 ± 0	98 ± 0	0.51 ± 0.00	0.12 ± 0.00	0.39 ± 0.00		平めん
9 ± 0	35 ± 0	0.19 ± 0.01	0.05 ± 0.00	0.15 ± 0.00	251	6～7分

たばらついたFe, Crに加え, 本研究で用いた試料のほとんどのMoがICP-AESによる測定では定量下限近くかそれ以下となり, ゆで液, すすぎ水およびゆでめんのFrを合計した回収率も良くなかったため検討から外した。図2に示す無機元素は, 回収率が0.90-1.07の範囲であったことから, これらの元素では, ゆで調理前後のめん, ゆで液, すすぎ水それぞれの定量値は問題なく, また水や調理器具の材質に由来する無機元素の増加や, ゆで調理の過程での損失等の点でも問題ないと考えられた。Srの挙動と類似性の高かったのはCaで, Srと同じ残存割合のライン付近に分布しており, うどん・そうめん類については相関係数 r も0.969と図2に示す無機元素の中で最も高かった。生物界では, Caの挙動に影響する要因はSrにも同様に作用するため, Sr濃度をCaとの対比として表すのが有効とされている¹²⁾。今回のうどん・そうめん類と中華めん類のゆで調理の結果も, SrとCaの密接な関連を示すものと考えられる。その中で, 中華めん類は, SrだけではなくCaもゆでめんにはほとんど残存しており, CaのFrも平均0.97 (0.91-1.00)であったが, うどん・そうめん類の残存割合Frは, Srの平均0.65に対し, Caは平均0.74 (0.59-0.82)と, Caのほうが少し高いものであった。Caとともにアルカリ土類金属であるMgとBa, ほかにMnも, Srとの相関係数 r が0.800以上で類似性が高い結果となった。⁹⁰Srとともに飲食物を介した人の健康への長期的影響が考えられる¹³⁴Csおよび¹³⁷Csについては, 芋及び根菜類ではKの除去割合と一致していないが, 野菜, 果実, 肉類および淡水魚ではKの除去割合とよく一致しており, 多くの食品ではKがCsの除去割合の指標の代替として利用できることが示されている²⁾。うどん・そうめん類のSrとCaでは, これらのCsとKのケースほど数値は一致しておらず, Caの残存割合が少し高かったが, これはすなわちCaデータを⁹⁰Srの代替とした場合に除去率を実際より高く見積もる可能性が少ない結果と言えるものであった。CaとSrの高い相関係数 r と考え合わせると, ⁹⁰Srや安定Srのデータがない場合に, 小麦を原料としたうどん・そうめん類と中華めん類において, ⁹⁰Srの残存割合Frの代替として主要元素のデータを利用する場合には, Caが良いと判断された。

中華めん類のゆでめんにおける各元素の残存割合Frは, Srのほかにも, Ba, Ca, Mg, Zn, Cu, Mnで, ごく一部の試料を除き0.90を超えていた。NaとKは, 中華めん類でもゆでめんの残存割合Frが低いが, それでもSr, Ba, Ca, Mg, Cu, Mnとともに, うどん・そうめん類より有意に高かった ($p < 0.05$)。なお, ⁹⁰Srと

ともに飲食物を介した人の健康への長期的な影響が考えられる¹³⁴Csおよび¹³⁷Csでは, うどんにおいて, 生めんでも乾めんでも太さによらず, 適切なゆで時間では80%以上がゆで液やすすぎ水へ移行すること³⁾⁴⁾, ゆで・湯切りまでの中華めんの調理でも47%がゆで液へ移行すること, およびかん水を使用する中華めんでは物性が硬くなることで移行を抑制する一因ではないかと報告されている¹³⁾。本研究でも, 中華めん類でゆでめんの残存割合Frが概ね高く, またほとんどの元素でうどん・そうめん類より高いことも, 同様の理由によると考えられる。¹³⁴Csおよび¹³⁷Csの挙動と関係の深いKの本研究の結果は, ゆでめんのKの残存割合Fr (水冷・水切りを含む)が, うどん・そうめん類で平均0.18 (0.11-0.26), 中華めん類では平均0.25 (0.16-0.39)であった。水冷・水切りを行わない場合にゆでめんの残存割合Frに加わることになるすすぎ水のFrは, 多くの無機元素がうどん・そうめん類で概ね0.06以下, 中華めん類で0.02以下であるのに対し, KとNaは無視できない量で, すすぎ水のKでは, うどん・そうめん類のFrで平均0.12 (0.07-0.18), 中華めん類では平均0.10 (0.06-0.15)であった。

残存割合Fr算出のもとになった定量結果のうち、『日本食品標準成分表2015年版(七訂)』の収載食品となっている, 「生」または「乾」めんと「ゆで」めん(本研究では水冷・水切り後のめん)については, 市販品別に100g当たりの含量, 重量変化率および他の試料と成分比較をする際に必要となる水分を併せて表3に示した。食品成分表に無機質として収載のある無機元素の定量結果は, 市販品個別には一致しない場合でも, 食品ごとに入手した3品の定量値を平均したり, 焼成カルシウム等が添加されている市販品を除いてCaの値を算出すると, 食品成分表に収載されている標準的な成分値に近いと判断される内容であった。パッケージに表示の範囲で長めにゆで調理を行ったためか, 重量変化率は食品成分表より少し高めではあったが, ゆでめんの水分値は食品成分表とあまり変わりなかった。

なお, 最新の食品成分表である『日本食品標準成分表2015年版(七訂)』の, ゆで調理前後の「生」または「乾」めんと「ゆで」めんの成分値と, 書籍版やPDF版では表15に, Excel版では成分表内に示されている重量変化率を使うと, ゆで調理における各成分の残存割合の算出が可能である。ただし, 表示されている桁数との関係で, 誤差が大きくなる場合がある。本研究では, 表2と図2で残存割合を示している以外に, 表3でも同

じ方法で個別市販品のゆで調理（本研究では水冷・水切りを含む）による各無機元素の残存割合の算出が可能であるが、食品成分表と同様に、表示桁数の関係で実際と離れた残存割合が算出される場合があるので、その点に留意していただければ幸いである。

要 旨

天然に存在する安定Srも、人工的に生成する放射性核種⁹⁰Srも、化学的性質はほぼ変わらないことから、定量操作が煩雑で時間もかかる⁹⁰Srの代わりに、安定Srを定量し、⁹⁰Srの挙動を推察した。日本食品標準成分表で「うどん・そうめん類」と「中華めん類」と分類されているめん類の市販品計24品のゆで調理（ゆで→湯切り→水冷→水切り）を対象としたところ、安定Srのゆでめんの残存割合Frは、うどん・そうめん類で平均0.65 (0.51-0.75)、中華めん類では平均0.97 (0.95-1.00)であった。目的とする放射性核種と同じような挙動をする主要元素があれば、目安として代用できる可能性がある点では、安定Srのゆでめんの残存割合FrはCaに近く、うどん・そうめん類および中華めん類において⁹⁰Srの代わりに指標として利用する主要元素としては、Caが良いと判断された。

本研究の一部は、農研機構高度解析センターの施設および設置機器を用いて行った。

文献

- 財団法人原子力環境整備センター、「環境パラメータ・シリーズ4 食品の調理・加工による放射性核種の除去率」(1994).
- 公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター、「環境パラメータ・シリーズ4増補版(2013年)食品の調理・加工による放射性核種の除去率-我が国の放射性セシウムの除去率データを中心に-」平成25年9月(2013).
- 八戸真弓, 内藤成弘, 明石 肇, 等々力節子, 松倉 潮, 川本伸一, 濱松潮香, うどん調理における放射性セシウムの動態解析, 日本食品科学工学会誌, **61**, 34-38 (2014).
- 八戸真弓, 内藤成弘, 明石 肇, 等々力節子, 松倉 潮, 川本伸一, 濱松潮香, 乾麺の製麺・調理における放射性セシウムの動態解析, 日本食品科学工学会誌, **62**, 56-62 (2015).
- 鍋師裕美, 堤 智昭, 植草義徳, 松田りえ子, 穂山 浩, 手島玲子, 蜂須賀暁子, 調理による牛肉・山菜類・果実類の放射性セシウム濃度及び総量の変化, RADIOISOTOPES, **65**, 45-58 (2016).
- 日本食品標準成分表2015年版(七訂)
http://www.mext.go.jp/a_menu/syokuhinseibun/1365297.htm
文部科学省科学技術・学術審議会資源調査分科会報告「日本食品標準成分表2015年版(七訂)」, 全国官報販売共同組合, 東京(2015).
- 日本食品標準成分表2015年版(七訂)分析マニュアル
http://www.mext.go.jp/a_menu/syokuhinseibun/1368931.htm
「日本食品標準成分表2015年版(七訂)分析マニュアル・解説」, 文部科学省科学技術・学術政策局政策課資源室監修, 安井明美, 渡邊智子, 中里孝史, 測上賢一編, 建帛社, 東京(2016).
- 食糧庁, 国内産小麦の評価に関する研究報告会, 小麦粉のめん(うどん)適性評価法, p. 27 (1997).
- 進藤久美子, 安井明美, 「新形質米」の搗精および炊飯による無機元素および窒素含有量の変化(食品成分の加工・調理による変化, 第2報), 食品総合研究所研究報告, No.60, 17-23 (1996).
- 食品表示基準について, 平成27年3月30日, 消食表第139号, 別添 栄養成分等の分析方法等.
- 松本輝樹, 市田尚子, 竹林純, 加藤美智子, 石見佳子, ICP-AESによる栄養表示のためのモリブデン定量法の単一試験室による妥当性確認, 日本食品化学学会誌, **23**, 49-54 (2016).
- 日本化学会編, 放射性物質とfood chain, 「環境汚染物質シリーズ 放射性物質」(丸善, 東京) pp.115-119 (1976).
- 八戸真弓, 内藤成弘, 佐々木朋子, 明石 肇, 川本伸一, 濱松潮香, 中華麺の調理工程における放射性セシウムの動態, 日本食品科学工学会誌, **60**, 54-57 (2013).