

使用回数による鍋からのアルミニウムの溶出

中平真由巳, 松井 正枝*¹, 高村 仁知*²

Relationship between Frequency of the Use of Pan and Its Aluminum Elution

Mayumi Nakahira, Masae Matsui and Hitoshi Takamura

緒 言

アルミニウムは軽量で熱伝導率が高く、塑性加工が容易であるという特性を持つことから、広く食品関係の器具・容器の素材として用いられている。酸やアルカリに侵されやすい特性を持つ一方、空気中では表面に安定な酸化膜（アルマイト）ができるために内部は侵されにくく、自然に腐食が防止されている。

アルミニウムは、体内ではそのほとんどが吸収されずそのまま排泄される¹⁾。僅かに体内に残ったアルミニウムの大部分は、腸管を通して吸収された後に腎臓を経由して尿中に排泄される¹⁾とされているが、未だ解明されていないのが現状である。さらに、ヒトに対するアルミニウム摂取がアルツハイマー症の発症を増強あるいは加速するという仮説が唱えられている^{2,3)}。WHOではこれを一概に否定することは出来ないが、正確には算出出来るものではないとする見解を示している⁴⁾。

食品関係の器具・容器においてアルミニウムが溶出していると考えられる事例は数多く、アルミニウム溶出に関する報告も多い⁵⁻¹²⁾。しかし、実際に食する料理中へのアルミニウム鍋からの溶出量を測定した報告^{10,13)}は少なく、そのほとんどが未使用鍋を用いたものである。本研究では、家庭での調理は、鍋を何度も繰り返し用いるのが通常であることに着目し、アルミニウム鍋を繰り返し使用することによる料理中へのアルミニウム溶出量の変動について、液性の異なる料理を用いて検討を行った。

*1 元滋賀短期大学 (Shiga Junior College) 非常勤講師

*2 奈良女子大学 (Nara Women's University)

実験方法

1 調理器具

調理による鍋からのアルミニウム溶出量を検討するために、鍋は、大阪府内で購入したアルミ雪平鍋（直径 13 cm・厚さ 1.5 mm・価格 100 円・表面加工なし・組成 Al 99.183%, Fe 0.298%, K 0.297% 他）を同素材の蓋と共に用いた。

2 試薬

硝酸、塩酸は特級試薬（キシダ化学（株）製）、アルミニウム標準液は、原液（1,000 ppm, マルク社製）を 3%硝酸溶液で希釈して用いた。

3 アルミニウム定量法

アルミニウムの定量は、誘導結合プラズマ質量分析計（ICP-MS）Agilent 7500i を用いて行い、ICP-MS 測定条件は 10 ppm アルミニウム標準溶液を用いた 1 点標準化法で測定した。

4 料理試料

酸性・アルカリ性の強い食品を用いた料理として、すし酢、ゆでこんにゃく、中性の料理はチキンスープを選んだ。調理は広く利用されているテキストである同文書院の「調理と理論」¹⁴⁾、建帛社の「調理」¹⁵⁾ の調理方法に従って行った。

一人分を 1 試料とし、材料は同一日、同一店で購入したものをを用いて素材の大きさ、切り方、調味料添加時間、加熱時間を全て同一とし、火力は対照と各アルミニウム鍋の間で 100℃になるまでの時間が同じになるように調節した。対照はパイレックス製ピーカーを用いて同じ調理操作を行った。

すし酢は調理した汁、ゆでこんにゃく、ゆで汁およびチキンスープは料理後均一にホモゲナイザーで破碎した懸濁液を料理試料とし、pH の測定を行った。

5 料理試料調製法

各料理毎に未使用鍋 3 個（n=3）を用いて調理し、これを鍋の使用回数一回目の料理試料とした。調理後の鍋を一般家庭で行う洗浄方法に従い、家庭用中性洗剤とスポンジたわしを用いて水道水できれいに洗浄し、洗浄した鍋を用いて調理した料理を鍋の使用回数 2 回目の料理試料とした。さらに繰り返して洗浄した同一鍋を用いて 3～25 回同操作を行い、鍋使用回数 3～25 回の料理試料とした。

6 アルミニウム測定試料の調製

料理試料 2 g をピーカーに採取し、それぞれホットプレート上（180℃、10 分間）で蒸発乾固して濃硝酸 1 ml を加えてガスバーナーで 30 分間加熱して予備灰化後、さらに 500℃恒温器で 3 時間灰化した。冷却後に灰化物を濃塩酸 2 ml で溶かし、ホットプレートで再び蒸発乾固して 3%硝酸溶液で溶かした後 10 ml に調整し、メンブレンフィルター（0.45 μm, 岩城硝子社製）

でろ過して試料とした。

7 計算法

アルミニウム量 (mg/100g) = ICP-MS 測定値 (mg/L) × 100 / (100 - 蒸発率) × 0.5

0.5 : 実験操作に由来する係数

蒸発率 : 加熱調理による水分蒸発率 (%)

鍋からのアルミニウム溶出量は、パイレックス製ビーカーを用いて得られた対照実験値で補正して示した。

8 溶出量の有意差検定

SPSS による T 検定を用いておこなった。

結果および考察

酸性およびアルカリ性の料理は、アルミニウム鍋を用いて料理すると、鍋素材であるアルミニウムが溶出しやすいという報告^{1~3)}を踏まえ、酸性の強い食品を使った料理としてすし酢、アルカリ性の強い食品を使った料理にゆでこんにゃく、中性の料理にチキンスープを選択し、アルミニウム鍋を繰り返し使用した回数による鍋からのアルミニウム溶出量を測定した。同時に、採取した各料理または料理の破砕物の pH を測定した。

(1) 酸性の強い料理

すし酢に使用した鍋からのアルミニウム溶出量を表 1 に示した。鍋の使用回数 1 ~ 15 回までは 0.13 から 0.69 mg/100 g の間で、鍋の使用回数とアルミニウム溶出量の間に関係はみられなかった。しかし、20 および 25 回目では溶出量がやや多く 0.93 および 1.03 mg/100 g であった。酸性の強い料理は、繰り返して鍋を使用することにより、アルミニウムが徐々に溶出しやすい状態になると推察された。アルミニウム製の弁当箱に梅干を繰り返して入れたたり、酸味の強い果実

表 1 使用回数によるアルミニウム鍋からのアルミニウムの溶出量

— 酸性の料理 —		
使用回数 回	mg/100g	p H
1	0.13 ± 0.13	1.9
2	0.00 ± 0.01	2.1
3	0.69 ± 0.19	2.1
4	0.30 ± 0.26	2.3
5	0.58 ± 0.20	—
10	0.34 ± 0.45	1.7
15	0.23 ± 0.10	1.4
20	0.93 ± 0.29	2.2
25	1.03 ± 0.32	2.1

注) 使用回数 1 回目 = 未使用鍋 n=3

使用回数による鍋からのアルミニウムの溶出

表2 使用回数によるアルミニウム鍋からのアルミニウムの溶出量
— アルカリ性の料理 —

使用回数 回	mg/100g	pH
1	3.25±0.12	9.7
2	3.24±0.30	9.3
3	2.41±0.60	9.0
4	2.94±0.63	8.9
5	2.88±0.28	9.2
10	1.77±0.32	8.5
15	1.71±0.64	8.8
20	1.39±0.14	8.6
25	1.27±0.43	8.5

注) 使用回数1回目 = 未使用鍋 n=3

ジャムをアルミニウム鍋で繰り返して作る際に、鍋に穴があくことがあることがあるが、同じ原理であると推察される。すし酢のpHは1.4~2.3であり、かなり強い酸性である。一般家庭で同じ鍋を一種類の料理のみに使い続けることは考えにくいですが、酸性の料理のみに鍋を使用し続けた場合、少なくとも15回までは未使用鍋と繰り返し使用したアルミニウム鍋との間でアルミニウム溶出量に有意に差はみられなかった。しかし、すし酢のような酸性の強い料理では、たとえ加熱時間が1分間と短い場合であっても、20回以上繰り返し使用した場合はアルミニウム溶出量が増加する傾向にある。果実ジャムのように酸性が強く長時間加熱する料理は、アルミニウム鍋を使用することは避けたほうが良いと考えられる。

(2) アルカリ性の強い料理

ゆでこんにやくに使用した鍋からのアルミニウム溶出量を表2に示す。一般に、アルカリ性の料理の種類は多くない。水酸化カルシウムを凝固剤として使用しているこんにやく、主として炭酸カリウムをかんすいとして用いている中華麺、他にわらびの灰汁抜きなどがある。アルミニウム溶出量は鍋の使用回数1~5回目までは、2.41から3.25 mg/100 gの間であり、鍋の使用回数とアルミニウム溶出量の間に関連はみられなかった。一方、10~25回目では1.27から1.77 mg/100 gと溶出量が1~5回目より低い傾向にあった。これは使い回している間に、安定なアルマイト皮膜やよごれ(煮汁の成分が何らかの形で残り鍋の表面に付着したもの)が鍋に形成・付着・固定され、アルミニウムが溶出しにくくなったためだと考えられる。アルミニウム溶出量を酸性の料理であるすし酢と比較すると、すし酢の1~15回までの0.13から0.69 mg/100 g、20および25回の0.93および1.03 mg/100 gより、アルカリ性の料理であるゆでこんにやくのアルミニウム溶出量の方が1~5回目では2.41から3.25 mg/100 g、10~25回目では1.27から1.77 mg/100 gであり溶出量が多い。アルカリ性の強い料理の場合も、一般家庭で同じ鍋を一種類の料理のみに使い続けることは考えにくいですが、少なくとも25回までは未使用鍋と

表3 使用回数によるアルミニウム鍋からのアルミニウムの溶出量
— 中性の料理 —

使用回数 回	mg/100g	p H
1	1.09±0.35	—
2	1.40±2.73	6.2
3	0.00±0.01	6.0
4	0.14±0.18	6.1
5	0.63±0.88	6.2
10	0.30±0.12	6.9
15	0.00±0.44	6.0
20	0.01±0.02	6.2
25	0.15±0.03	6.0

注) 使用回数1回目 = 未使用鍋 n=3

繰り返して使用したアルミニウム鍋との間で、アルミニウム溶出量に有意に差はみられなかった。

(3) 中性の料理

酸性およびアルカリ性の料理に加え、中性の料理としてチキンスープを選択し、同様に繰り返して使用した鍋についてアルミニウム溶出量を測定した結果を表3に示す。中性の料理においても鍋の使用回数とアルミニウム溶出量の間に関連はみられず、3～25回目の溶出量は0～0.63 mg/100 gであった。1および2回目は3回目以降よりは溶出量は多く、1.09 および 1.40 mg/100 gであった。アルカリ性の料理と同じく中性の料理においても、使い回している間に安定な皮膜が鍋に形成・固定され、鍋素材であるアルミニウムが溶出しにくくなったものと推察される。アルミニウム溶出量は鍋の使用回数1～25回を通じて0～1.40 mg/100 gであった。アルカリ性の料理の1.27～3.32 mg/100 gよりも溶出量は低いが、酸性の料理0.13～1.03 mg/100 gとの差はほとんど認められなかった。

WHOの試算によるアルミニウムの1日摂取量は2.5～13 mg、WHOとFAOでは、人が一生涯にわたって毎日摂取し続けても健康に害をおよぼさないと判断される量であるアルミニウムの一日許容摂取量 ADI 値を 1 mg/day/kg としている¹⁶⁾。したがって、仮に体重 50 kg であるならば、ADI 値 50 mg/day となり、各液性におけるどの使用回数のアルミニウム鍋からの溶出量も健康上問題にならない値であると考えられる。

今回用いたアルミ雪平鍋は、表面加工なしのいわゆる安価な100円鍋である。アルミニウムの溶出量には鍋の厚みが影響し、高価な鍋（鍋の厚み、鍋の表面状態の均一性、金属素材の違い）の方がアルミニウム溶出量が低い傾向にある¹³⁾ ことから、一般家庭で用いられている鍋の溶出量は、今回実験に用いた鍋と同等あるいはそれ以下であると考えられる。

アルマイト皮膜は金属たわしなどの摩擦や洗浄により容易に傷つけられるが、空気中の酸素に

使用回数による鍋からのアルミニウムの溶出

よって再びアルマイト皮膜を形成し、常にアルミニウム鍋の表面は酸化皮膜に保護された安定な状態にあり、鍋の表面を無理に傷つけない限り溶出量は増えないと考えられる。

以上のことからアルミニウム鍋を安全に使用するためには、次のことに気を付けることが必要であると考えられる。トマトスープや果実ジャムなど長時間の酸性煮込み料理にアルミニウム鍋を使用することは避ける。出来上がった料理は、アルミニウム鍋に入れたまま放置せず他の容器に移し替える。また、アルミニウム鍋の酸化皮膜は、はがれやすく傷つきやすいため、たわし等による洗浄には注意を払って使用する必要がある。

ま と め

- 1 酸性、アルカリ性および中性の料理では、鍋の使用回数において少なくとも1回目（未使用）から25回目までは使用回数によるアルミニウム鍋からのアルミニウム溶出量に有意の差はなかった。
- 2 アルカリ性の料理は、1回目（未使用）から少なくとも5回目まではアルミニウム溶出量 $2.41\sim 3.25\text{mg}/100\text{g}$ は酸性および中性の料理に比べて高かった。しかし、鍋の使用回数が6回以上に増えると溶出量は低くなる傾向にあった。
- 3 アルミニウム鍋を安全に使用するために、長時間の酸性煮込み料理にアルミニウム鍋を使用することは避けるとよい。
- 4 WHOの試算によるアルミニウムの1日摂取量は $2.5\sim 13\text{mg}$ 、許容摂取量 ADI 値は $1\text{mg}/\text{day}/\text{kg}$ であるので、今回選択した料理による鍋からのアルミニウム溶出量は安全上問題なかった。

参 考 文 献

- 1) 今堀和友・他編 (1998) 生化学辞典 第3版; 東京化学同人
- 2) Graves A.B., White E., Koepsell T.D., Reifler B.V., Belle G.V., Larson E.B., (1990), The Association Between Aluminum-containing Products and Alzheimer's Disease, *J. Clin. Epidemiol.*, **43**, 35-44.
- 3) Deloncle R. and Guillard O., (1990), Mechanism of Alzheimer's Disease: Arguments for a Neurotransmitter- Aluminum Complex Implication., *Neurochem. Res.*, **15**, 1239-1245.
- 4) 祐田泰延 (2007) アルツハイマー病と金属代謝との関わりファルマシア, **43**, 9, 881-884.
- 5) 今堀和友・他編 (1998) 生化学辞典 第3版; 東京化学同人
- 6) 武田由比子, 河村葉子, 山田 隆 (1998), アルミ箔製品から各種食品擬似溶媒へのアルミニウム溶出挙動, *食衛誌*, **39**, 178-183.
- 7) 武田由比子, 河村葉子, 山田 隆 (1998), アルミホイルから各種食品等へのアルミニウムの移行と食品成分の影響, *食衛誌*, **39**, 266-271.
- 8) 武田由比子, 河村葉子, 山田 隆 (1999), 調理によるアルミ箔成型容器から食品へのアルミニウムの移行, *食衛誌*, **40**, 172-177.
- 9) 馬場二夫 (1999), 食品擬似溶媒による使用暦ならびに表面加工処理の異なるアルミニウム製器具からの Al 溶出量の検討, 大阪市立環境科学研究所報告, **61**, 26-35.

- 10) 馬場ニ夫 (1999), アルミニウム製鍋等での調理にともなう Al 摂取量に関する検討, 大阪市立環境科学研究所報告, 61, 36-43.
- 11) H. Liukkonen-Lilja, S. Piepponen (1992), Leaching of Aluminum from Aluminum Dishes and Packages, *Food Addit. Contam.*, 9(3), 213-223
- 12) N. Finreite, O. ø. Hansen, H.C. Pettersen (1997), Aluminum Concentrations in Selected Foods Prepared in Aluminum Cookware, and Its Implications for Human Health, *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 58, 1-7.
- 13) 中平真由巳, 松井正枝, 高村仁知, 的場輝佳 (2005), 調理中における鍋からのアルミニウムの溶出, 家政学研究, 52, 39-44.
- 14) 島田キミエ, 山崎清子 (1983), 『調理と理論』, 同文書院, 東京, 120, 283, 382.
- 15) 調理教育研究会編 (1978), 『調理』, 建帛社, 東京, 143.
- 16) 国立医薬品食品衛生研究所 安全情報部, 食品化学物質関連情報 (抜粋), 食品安全情報 15 (2008) 24-27.