

# ミネラル摂取量のモニタリング指標としての1日尿中排泄量の有効性 —食品に含まれる吸収促進・阻害因子が若年女性のカルシウム、 マグネシウム、亜鉛の1日尿中排泄率に及ぼす影響

吉田 香<sup>1)</sup>, 鴻野 みさき<sup>1)</sup>, 川田 希<sup>1)</sup>, 古和 栞奈<sup>1)</sup>,  
岡崎 明香里<sup>1)</sup>, 古家 由貴<sup>1)</sup>, 菅野 美波<sup>1)</sup>, 北村 真理<sup>2)</sup>

(<sup>1)</sup>同志社女子大学生生活科学部食物栄養科学科\*, (<sup>2)</sup>武庫川女子大学生生活環境学部食物栄養学科\*\*)

(受付 2019年9月1日, 受理 2019年10月31日)

## Effectiveness of Daily Urinary Excretion of Minerals as an Indicator of Dietary Mineral Intake: Effect of Absorption-Promoting or Inhibiting Factors in Foods on Daily Urinary Excretion Rate of Calcium, Magnesium and Zinc in Young Women

Kaoru YOSHIDA<sup>1)</sup>, Misaki KONO<sup>1)</sup>, Nozomi KAWATA<sup>1)</sup>, Kanna KOWA<sup>1)</sup>,  
Akari OKAZAKI<sup>1)</sup>, Yuki FURUYA<sup>1)</sup>, Minami KANNO<sup>1)</sup>, Mari KITAMURA<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Department of Food Science and Nutrition, Doshisha Women's College of Liberal Arts

<sup>2)</sup>Department of Food Science & Nutrition, Mukogawa Women's University

### Summary

In recent years, several reports have shown that a number of mineral deficiencies arise. Similarly, the risk of excessive intake of mineral is increased by intake of dietary supplements accompanied with foods. It is important to know nutritional status of minerals. However, there is still no reliable indicator of dietary intake of minerals. In our previous research we reported that the urinary excretion of magnesium (Mg) and zinc (Zn) could be a useful indicator of dietary Mg and Zn intake. In this study we examined whether urinary excretion of calcium (Ca), Mg, and Zn can be used as an index of dietary intake considering digestion and absorption by comparing urinary excretion rates. Comparing soy food group and bean corrosion group, the urinary excretion rate of Mg and Zn decreased in soy food group. Comparing cooked food and processed food group, the urinary excretion rate of Ca and Mg decreased in the processed food group. Furthermore, it was shown that the urinary excretion rate of Ca, Mg, and Zn decreases as the phosphorus (P) content in the meal increases. The results suggested that P inhibits absorption of Ca, Mg and Zn, and phytic acid and dietary fiber inhibits absorption of Mg and Zn. Changes in the urinary excretion rate due to factors that promote and inhibit mineral absorption in the diet confirmed the effectiveness of the urinary excretion as a monitoring index.

ミネラル(多量ミネラル・微量元素)が不足すると、欠乏症が生じる。一方で、ミネラルを過剰摂取すると過剰症を引き起こすことも知られている。多量ミネラルであるカルシウム(Ca)の欠乏症としては骨軟化症やくる病が、マグネシウム(Mg)の欠乏症としては脈の乱れや筋肉の震えがある。微量元素である鉄(Fe)の欠乏症としては貧血、疲労感、倦怠感が、マンガン(Mn)の欠乏症としては成長障害、骨格異常、耐糖能障害が、亜鉛(Zn)の欠乏症としては皮膚炎、味覚異常、毛髪の脱落が、銅

(Cu)の欠乏症としては貧血、心臓や動脈異常、脳神経障害や色素異常がある<sup>1)</sup>。一方、Caの過剰症としては意識障害、疲労感、知覚異常、不整脈が、Feの過剰症としてはヘモクロマトーシスが、Mnの過剰症としてはMn肺やパーキンソン症候群が、Cuの過剰症としては接触性皮膚炎、発熱、舌苔青色化がある<sup>1)</sup>。この欠乏症が現れる量と過剰症が現れる量の間が狭いのがミネラルの特徴である<sup>1)</sup>。食事摂取基準2015年度版では、ミネラルの推定平均必要量、推奨量、目安量及び耐容上限量がミネラルの種類に応

\*所在地:京都市上京区今出川通寺町西入(〒602-0893)

\*\*所在地:兵庫県西宮市池開町6-46(〒663-8558)

じて示されている。Caでは推奨量と耐容上限量が、リン(P)では目安量と耐容上限量が、Feでは推奨量と耐容上限量が、Znでは推奨量と耐容上限量が、Mnでは目安量と耐容上限量が示されているが、それらの差は小さい<sup>2)</sup>。

近年の健康志向によりサプリメントを摂取するヒトが増えており、サプリメントによる健康被害が問題となっている<sup>3,4)</sup>。サプリメントと食物の合わせた摂取によりミネラルが過剰摂取となり、健康被害が起こる可能性がある。われわれの先行研究において、中高年の多くのヒトは健康に気を使って食事をしているにもかかわらず摂取量が不十分と考え、天然原料を主成分とするサプリメントを複数・毎日飲用する傾向があること<sup>5)</sup>、植物性や動物性の天然原料より製造されたサプリメント中にアルミニウム(Al)およびMn量が多いものがあること<sup>6)</sup>が明らかになっており、サプリメントと食事を合わせた摂取による微量元素の過剰摂取の可能性が示された。一方、偏った食事や若者にみられる朝食の欠食がミネラルの欠乏症を引き起こす可能性もある。従って、摂取する食物中のミネラル量を把握し、至適摂取量を意識して摂取していく必要がある。

ヒトが摂取する栄養素量を把握するため、通常、秤量法、24時間思い出し法、食物摂取頻度調査法などの食事調査法が用いられている。しかし、これらの方法は日本食品標準成分表2015年版(七訂)<sup>7)</sup>を使用し、調理前の食品の栄養素量から計算するため、おおよその摂取量は把握できるが、真値とは言えない。特に、食品中のミネラル量は、収穫時期、保存期間、産地による差が大きく<sup>8,9)</sup>、調理操作によるミネラルの損失や鍋からの溶出があるため<sup>8,10,11)</sup>、実際に摂取したミネラル量と秤量法、24時間思い出し法、食物摂取頻度調査法による食事調査の値は大きく異なる場合がある<sup>8,12)</sup>。また、近年、加工食品、菓子類、嗜好飲料など摂取する食品の種類も多様化している。その多くが日本食品標準成分表2015年版(七訂)に記載されておらず、ミネラル摂取量の把握ができない。また、食事に加えてサプリメントを摂取している場合は、摂取量の把握をさらに困難にしている。摂取量の正確な把握方法として、摂取した食物と同じものを同量用意し、それを化学分析する陰膳法がある。陰膳法は季節、産地、調理による影響を受けないため、実際に摂取した正確なミネラル量の把握ができる調査方法である。しかし、対象者すべてについて陰膳法でミネラル摂取量を把握することは手間や経費の問題から難しい。また、陰膳法で調査した場合でも、摂取されたミネラルの体内への吸収率は、元素の種類、化学形態、共存する元素などにより大きく異なる<sup>13)</sup>。さらに、食品成分による相互作用があり、正確な体内への摂取量すなわち吸収量の把握は難しい。例えば、フィチン酸や食物繊維によるMg、Znの吸収阻害<sup>14)</sup>、PによるCa、Mgの吸収阻害<sup>15)</sup>、酢によるCaの吸収促進<sup>16)</sup>が動物実験により報告されている。したがって、消化吸収率を加味したミネラル摂取量の指標の開発が必要である。

ファストフード、インスタント食品、コンビニ弁当など

の日常的に摂取する加工食品中に食品添加物の「リン酸塩」が多く含まれており、近年、Pの過剰摂取が危惧されている<sup>17)</sup>。Pの過剰摂取による人体への影響として、他のミネラルへの吸収阻害があげられる。P過剰により腸内でCaと結合してリン酸カルシウムの結晶を生成し、腸管で吸収されずに体外へ便として排出され、Ca吸収量が減少する<sup>18)</sup>。食品添加物は、物質名の表示が義務づけられているが、例外として、乳化剤、膨張剤、pH調整剤、イーストフード、ガムベース、調味料、かんすい、苦味料、酵素、光沢剤、香料、酸味料、豆腐用凝固剤、チューインガム軟化剤の用途で使用される場合は一括名表示が認められている。食品添加物として認められているリン酸化合物はリン酸水素カルシウム、ヘキサメタリン酸ナトリウム、トリポリリン酸ナトリウムなど約30種類がある。これらの化合物は前述の一括名表示をしてもよい用途として使用されるため、食品中に使用されているリン酸化合物の種類や量を消費者は把握できない<sup>17)</sup>。

ミネラルの尿中排泄量が食品添加物、サプリメントを合わせた食物によるミネラルの摂取量を評価する指標(モニタリング指標)として利用できる可能性がある。これまでもミネラルの摂取量と尿中排泄量の関連を調べた報告はあるが、その有効性は確定できていない<sup>19-22)</sup>。われわれは先行研究において、Mn、Cu、Feの尿中排泄率は低いがZn、Mg、Caの尿中排泄率は高いこと、Zn、Mgは摂取量と尿中排泄量の間に関係があり、尿中排泄量が摂取量のモニタリング指標として利用できる可能性があることを示した<sup>23)</sup>。そこで本研究では、ZnとMg及び尿中排泄率が高いCaについて、消化吸収率を加味した摂取量のモニタリング指標として、1日尿中排泄量が有効であるかを検証した。すなわち、ミネラルの腸管吸収を促進するとされている食品成分であるフィチン酸・食物繊維がヒトのミネラルの尿中排泄率に与える影響を調べた。

## 実験方法

### 1. 試薬

塩酸及び硝酸は関東化学株式会社(東京)の精密分析用、標準液は関東化学株式会社の原子吸光用(100 ppm)を使用した。その他の試薬はすべて和光純薬株式会社(大阪)製の特級試薬を用いた。

### 2. 調査対象者および調査方法

本研究は、同志社女子大学と武庫川女子大学においてそれぞれ「人を対象とする研究計画等倫理審査」の承認を得て行った(同志社女子大学:2018年7月11日承認,承認番号2017-24,武庫川女子大学:2018年8月26日承認,承認番号No.17-34)。被験者には調査の目的、検査内容、個人情報保護などについて十分な説明を行い、同意を得たのみを対象とした。研究協力に同意した後、または研

究協力中であっても、拒否または取消しできることとし、実験開始後も、個人の嗜好や当日の体調に合わせ、調査に参加するようにした。

消化吸収率は年齢差や性差の影響を受ける<sup>24, 25)</sup>。食品成分の消化吸収率への影響を尿中排泄率により比較するには、調査対象者の年齢と性別を一致させ、年齢差や性差の影響を排除して行う必要がある。本研究では、年齢や性別を一致させ、近畿地方の K 大学と M 大学の栄養系学科に在籍する 21 ~ 22 歳の女子学生 16 名を対象として行った。

今回の調査では食酢を使用した献立である「酢あり食」、食酢を使用せず、それ以外の食材や調理方法が同じ献立である「酢なし食」、リンを含む食品添加物が入っている加工食品を用いた「加工食」、 「加工食」と同じ献立を加工食品を使用せずに調理した「手作り食」、食物繊維・フィチン酸を多く含む大豆を使用した献立である「大豆食」、それと同じ献立で、大豆を使用せず、食物繊維・フィチン酸の少ない絹豆腐を使用した献立である「豆腐食」の 6 つの食事を 1 日分（朝食、昼食、夕食、間食）被験者に提供し、尿を採取した。調査日は 2018 年 8 月から 10 月の間で、それぞれの食事について 4 日以上間隔を開けて設定した。「酢あり食」と「酢なし食」は食酢のミネラル吸収促進効果、「大豆食」と「豆腐食」は食物繊維・フィチン酸によるミネラル吸収阻害効果、「手作り食」と「加工食」は P 過剰摂取によるミネラル吸収阻害効果を調べるためのものである。なお、1 日当たり「酢あり食」は酢を 146 ml、「大豆食」はゆで大豆を 175 g、「豆腐食」は絹豆腐を 210 g を用い、対象者の嗜好を考慮して献立を作成した。それぞれの献立の摂取エネルギーは食事摂取基準（2015 年版）の 18-29 歳女性の推定エネルギー必要量とほぼ一致させ、今回の研究対象項目である Ca, Mg, Zn も同様に食事摂取基準の推奨量とほぼ一致するようにした。さらに、比較する「酢あり食」と「酢なし食」、「大豆食」と「豆腐食」のそれぞれ 2 群間はほぼ同じミネラル摂取量となるようにした。ミネラル摂取量は、秤量記録法による食事調査の結果をもとに「エクセル栄養君 Ver. 8」のパソコンソフトを用いて求めた値（秤量法値）と化学分析による陰膳法により求めた値（陰膳法値）を示した。

### 3. 尿採取の方法

食事調査と同日の起床後 2 回目の尿から翌朝起床時 1 回目までの 24 時間尿を毎回 8 分の 1 尿量ずつ採取した。採取した尿は、予め重量を測定したポリ瓶に蓄尿した。24 時間尿の重量を測定後、分析に使用するまで -20℃ で保存した。1 日尿量 (g) の算出は、ポリ瓶に入った 1 日尿 (1/8 量) 試料の全重量 (g) から容器の重量 (g) を差し引いた値の 8 倍量として算出した。なお、使用したポリ瓶は、6% 硝酸溶液に 1 晩以上浸漬した後、純水で洗浄したものを使用した。

### 4. 食事時のミネラルの分析

陰膳用の各朝食、昼食、夕食、間食、それぞれの 1 食分の重量 (g) を秤り、フードプロセッサー（チタンコーティング、TESCOM）で 1 食分を均一にした後、それぞれの 1/10 量（1 食分の重量より計算）を秤り取り、1 つに合わせた。合わせた朝食、昼食、夕食、間食をフードプロセッサーに移し、均一にしたのち、ポリ瓶に移し、1 日分の陰膳の試料として分析まで -20℃ で冷凍保存した。

ミネラル量の分析は、食品衛生検査指針<sup>26)</sup> に準じた方法により前処理をし、測定した。すなわち、均一化した試料（約 10 g）をビーカーに精秤し、予備灰化後、電気炉（475℃）で乾式灰化した。灰化後の試料に 20% 塩酸 5 ml を加え、水浴上で蒸発乾固した後、10% 塩酸 5 ml を加えて加温した。加温溶解した試料をろ過後、試験溶液とした。Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, 及び Cu 濃度の測定は日立製作所偏光ゼーマン原子吸光光度計（Z-6100 型）を用い、バックグラウンド補正を行った。P の測定は、モリブデンブルー吸光光度法を用いた。

### 5. 尿中のミネラルの分析

尿 20 g をトールビーカーに精秤し、硝酸分解を行った。分解後、硝酸を蒸発乾固させた後、10% 塩酸 2.5 ml を加えて加温し、25 ml に定容して試験溶液とした。分析に使用したガラス器具およびポリ容器は、食事時のミネラルの分析同様、6% 硝酸に浸漬した後、純水で洗浄したものをを用いた。Ca, Mg および Zn の測定は日立製作所偏光ゼーマン原子吸光光度計（Z-6100 型）で行った。ミネラルの 1 日排泄量は、尿中ミネラル濃度に 1 日尿量 (g) を乗じて求めた。なお、分析時、試料と同様の前処理操作を空試験として行い、試料測定値より空試験の測定値を差し引いて尿中濃度を求めた。

### 6. 尿中排泄率

食品成分による吸収の阻害因子・促進因子の影響を調べるため、各食事群の比較を尿中排泄量ではなく尿中排泄率を用いた。これは、排泄量の比較では摂取する食事の献立ごとにミネラル摂取量が異なるために単純に比較できないこと、また、ミネラルの摂取量と尿中排泄量の間に相関関係がある場合、尿中排泄率は一定になるが、吸収の阻害因子があると尿中排泄率が低下し、促進因子があると尿中排泄率が上昇するため、尿中排泄率が消化吸収率の違いを反映するためである。ミネラルの尿中排泄率は以下の式により求めた。

ミネラルの尿中排泄率 (%) = ミネラルの尿中排泄量 (mg) / 1 日ミネラル摂取量 (陰膳法値) (mg) × 100

### 7. 統計

各群間の比較は尿中排泄率で行い、統計学的有意差検定は GraphPad Prism の解析ソフトを用いてマン・ホイットニーの U 検定を行い、p 値が 0.05 以下を有意差有とした。

## 結 果

### 1. 各食事群のミネラル量

各食事群の P, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, Cu 量の秤量法値と陰膳法値の比較を Table 1-3 に示した。「酢あり食」,

「酢なし食」の Fe, Cu 量は秤量法値に比べて陰膳法値で 30-48% の減少が, 「酢なし食」の Mn 量は 26% の減少がみられた (Table 1)。「大豆食」, 「豆腐食」では, 秤量法値と陰膳法値の間に全てのミネラル量で 20% 以上の増減はなかった (Table 2)。「手作り食」では, 秤量法値に比

**Table 1** Calculated values and chemical data of no vinegar group and vinegar group.

Element	No vinegar group		Vinegar group	
	Calculated Values <sup>a</sup>	Chemical data <sup>b</sup>	Calculated Values	Chemical data
Phosphorus (mg)	1212	1002	1290	1066
Calcium (mg)	637	543	682	586
Magnesium (mg)	289	229	319	256
Iron (mg)	10.2	5.30	11.0	6.19
Zinc (mg)	8.1	6.76	8.6	7.38
Manganese (mg)	2.34	1.74	2.44	2.46
Copper (mg)	1.17	0.807	1.25	0.874

<sup>a</sup> The calculated values were obtained using the Japanese Standard Food Composition Table (7th Ed.).

<sup>b</sup> Chemical data were obtained by chemical analysis of foods.

**Table 2** Calculated values and chemical data of soy food group and bean corrosion group.

Element	Soy food group		Bean corrosion group	
	Calculated Values <sup>a</sup>	Chemical data <sup>b</sup>	Calculated Values	Chemical data
Phosphorus (mg)	1442	1596	1309	1405
Calcium (mg)	700	676	675	766
Magnesium (mg)	386	437	383	340
Iron (mg)	11.4	12.4	10.0	9.70
Zinc (mg)	13.8	15.1	12.4	12.7
Manganese (mg)	3.73	4.26	3.73	3.20
Copper (mg)	1.75	1.91	1.60	1.54

<sup>a</sup> The calculated values were obtained using the Japanese Standard Food Composition Table (7th Ed.).

<sup>b</sup> Chemical data were obtained by chemical analysis of foods.

**Table 3** Calculated values and chemical data of processed food group and cooked food group.

Element	Processed food group		Cooked food group	
	Calculated Values <sup>a</sup>	Chemical data <sup>b</sup>	Calculated Values	Chemical data
Phosphorus (mg)	—	1120	1222	1090
Calcium (mg)	—	724	670	605
Magnesium (mg)	—	223	263	197
Iron (mg)	—	8.50	10.0	6.46
Zinc (mg)	—	10.0	12.3	14.4
Manganese (mg)	—	2.36	2.90	4.35
Copper (mg)	—	0.766	1.08	0.825

<sup>a</sup> The calculated values were obtained using the Japanese Standard Food Composition Table (7th Ed.).

<sup>b</sup> Chemical data were obtained by chemical analysis of foods.

**Table 4** Mineral concentration in processed food group and cooked food group.

Element	Processed food group	Cooked food group
Phosphorus (μg/g)	812	709
Calcium (μg/g)	524	393
Magnesium (μg/g)	162	128
Iron (μg/g)	6.13	4.20
Zinc (μg/g)	7.28	9.34
Manganese (μg/g)	1.71	2.83
Copper (μg/g)	0.555	0.537

べて陰膳法値の Mg, Fe, Cu 量は 23-36% の減少が, Mn 量は 50% の増加がみられた (Table 3)。

P を含む食品添加物が使用されている「加工食」とそれと同じ献立の「手作り食」の P 及びその他のミネラル濃度を比較した (Table 4)。「加工食」は「手作り食」に比べて P 濃度が約 15% 高かった。P 以外のミネラルでは、「加工食」は「手作り食」に比べて Ca 濃度が約 30%, Mg 濃度が約 25%, Fe 濃度が約 45% 高かった。しかし, 1 日食事重量が「加工食」1380 g と「手作り食」1538 g であったため, 陰膳法によるミネラル摂取量に換算すると差が小さくなっていた (Table 3)。

## 2. 各食事群における Ca, Mg, Zn の尿中排泄率の比較

各食事を摂取した際の Ca, Mg, Zn の尿中排泄率を Table 5-7 に示した。食酢のミネラル吸収促進効果を調べるため, 摂取した食酢量 0 ml/ 日の「酢なし食」と摂取した食酢量 146 ml/ 日の「酢あり食」それぞれの摂取によるミネラルの尿中排泄率を比較した (Table 5)。Ca, Mg, Zn の尿中排泄率は「酢なし食」摂取と「酢あり食」摂取で有意差は認められなかった。

「大豆食」, 「豆腐食」で使用した大豆と絹豆腐の食物繊維量は日本食品標準成分表 2015 年版 (七訂) によると, それぞれ 17.9 g/100 g, 0.3 g/100 g である。秤量法により 1 日食物繊維摂取量を計算すると, 「大豆食」で 26.4 g/ 日, 「豆腐食」で 14.1 g/ 日であった。提供した食事を使用した大豆と絹豆腐のフィチン酸量の分析値 (一般財団法人日本食品分析センター) は, 大豆 516 mg/100 g, 絹豆腐 176 mg/100 g であった。この結果より, 「大豆食」では, 大豆よりフィチン酸を 903 mg/ 日, 「豆腐食」では, 絹豆腐より 246 mg/ 日摂取したことになり, 2 群のフィチン酸の摂取量の差は 657 mg/ 日であった。「大豆食」と「豆腐食」の摂取によるミネラルの尿中排泄率を比較した (Table 6)。「豆腐食」に比べて「大豆食」摂取の尿中排泄率は Mg 及び Zn で低い傾向を示した。一方, Ca は「豆腐食」と比べて「大豆食」の摂取で尿中排泄率が高い傾向を示した。

食品添加物中の P がミネラル吸収量に影響を与えるかどうかを調べるため, 「加工食」と「手作り食」の摂取によるミネラルの尿中排泄率を比較した (Table 7)。Ca と Mg では「手作り食」に比べて「加工食」の摂取により尿中排泄率が低くなる傾向を示した。一方, Zn の尿中排泄率は「加工食」摂取で有意に高くなっていた。

食品添加物中の P によるミネラル吸収阻害効果だけではなく, 食事全体の P によるミネラル吸収への影響を調べるため, 全 6 食品群の P 摂取量とミネラルの尿中排泄率の関係を示した (Fig. 1)。P の摂取量と Mg, Zn の尿中排泄率の間には相関が認められ, P の摂取量が増えると, Mg, Zn の尿中排泄率が有意に低下していた。

**Table 5** Daily urinary excretion rate in no vinegar group and vinegar group.

	No vinegar group (n = 7)	Vinegar group (n = 9)
Calcium (%)	17.4 ± 9.3	16.6 ± 6.9
Magnesium (%)	33.4 ± 7.1	31.5 ± 8.8
Zinc (%)	6.05 ± 1.66	5.80 ± 2.11

Data are represented as the means ± SD. n = number of samples.

Urinary excretion rate was calculated as follows (daily urinary excretion) / (chemical analysis data) × 100

There are no significant differences in excretion rate between groups.

**Table 6** Daily urinary excretion rate in soy food group and bean corrosion group.

	Soy food group (n = 6)	Bean corrosion group (n = 8)
Calcium (%)	14.4 ± 4.7	11.5 ± 5.3
Magnesium (%)	21.3 ± 7.5	23.3 ± 2.6
Zinc (%)	2.01 ± 0.50	2.59 ± 0.95

Data are represented as the means ± SD. n = number of samples.

Urinary excretion rate was calculated as follows (daily urinary excretion) / (daily intake) × 100

There are no significant differences in excretion rate between groups.

**Table 7** Daily urinary excretion rate in processed food group and cooked food group.

	Processed food group (n = 7)	Cooked food group (n = 8)
Calcium (%)	13.1 ± 6.3	15.4 ± 7.0
Magnesium (%)	27.8 ± 6.3	31.1 ± 5.3
Zinc (%)	3.44 ± 1.17*	2.03 ± 0.85

Data are represented as the means ± SD. n = number of samples.

Urinary excretion rate was calculated as follows (daily urinary excretion) / (daily intake) × 100

Significant different from excretion rate in cooked food group (\**p* < 0.05)

## 考 察

各食事群のミネラル量を秤量法と陰膳法で比較すると, Table 1-3 に示したように一致しなかった。その要因として, 秤量法で使用される日本食品標準成分表 2015 年版 (七訂) に記載されている食品の栄養成分と実際に購入した食材の成分は収穫時期や産地が異なるためミネラル量が異なったこと, また, 秤量法が日本食品標準成分表 2015 年版 (七訂) の調理前の「生」の値で算出されているのに対し, 陰膳法では食材を調理したものを試料としているため, 調理操作によるミネラルの損失や使用した金属製鍋からの溶出の影響を受けていたことが考えられる。調理に使用した水道水中には Ca と Mg が多く含まれており, これらの成分が調理の際に食材に浸透したことも考えられる。今回使用した水道水中の Ca と Mg を測定した結果, Ca 17.6 mg/l, Mg 4.92 mg/l であった。

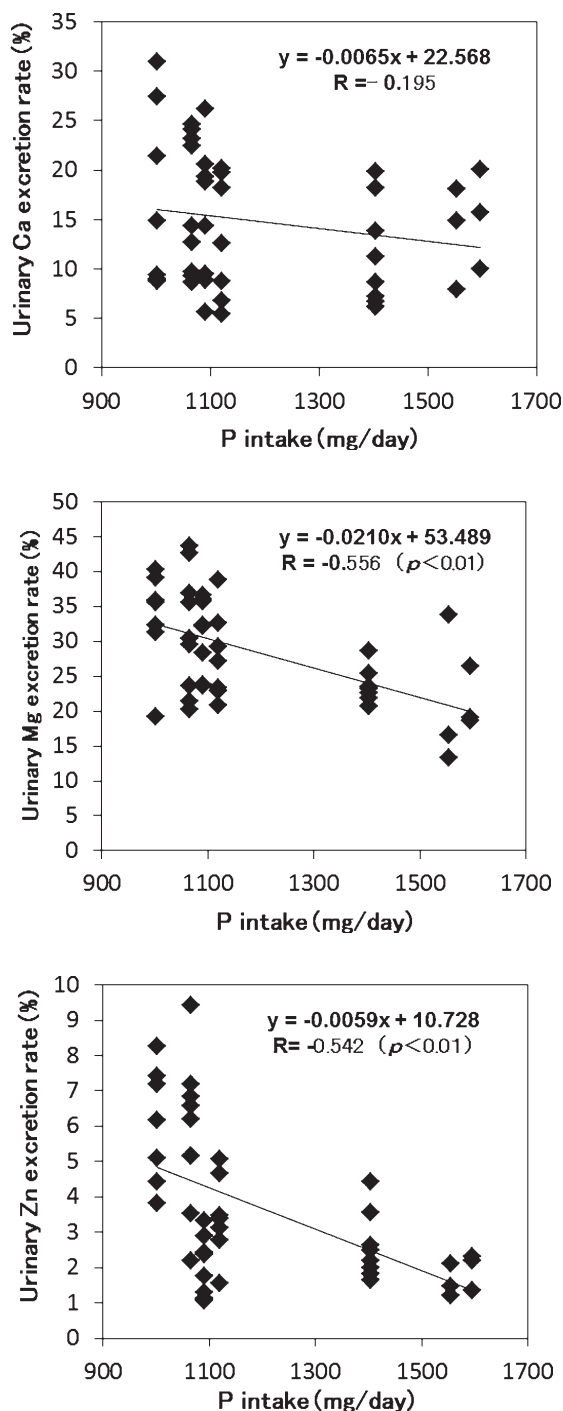


Fig. 1 Relationship between urinary excretion rate of minerals (calcium, magnesium and zinc) and dietary intake (mg/day) of phosphorus.

食酢は、ラットにおいてCaの吸収を促進させる働きがあるという報告がある<sup>16)</sup>。本研究では「酢あり食」摂取と「酢なし食」摂取によるミネラルの尿中排泄率を比較し、食酢によるミネラル吸収促進効果を調べた。その結果、Ca、Mg及びZnにおいて酢の添加による尿中排泄率の上昇は認められなかった (Table 5)。この結果は、酢による腸管での吸収促進は認められなかったことを示しているが、その理由として本研究において摂取期間が1日であったことが考えられる。吸収促進効果が認められた研究では、すだちジュース含む食事を被験者に6日間連続で与え、食酢

がCa、Mg、Pの生物学的利用能に及ぼす影響を調べており、その結果、食酢により生物学的利用能が上昇することを示していた<sup>27)</sup>。動物実験では、卵巣摘出ラット3群に食酢が入っていない食餌、食酢を0.4%添加した食餌、食酢を1.6%添加した食餌をそれぞれ32日間与え、腸管でのCaの吸収率の増加を28日以降確認していた<sup>16)</sup>。また、血液中のCa濃度は副甲状腺ホルモンにより調節されているが、食酢を添加した食餌を与え続けることにより実験開始から28日以降から副甲状腺ホルモンの分泌が低下し、Caの吸収が促進されていた<sup>16)</sup>。以上より、食酢によるCaの吸収促進を得るためには、長期間食酢を摂取する必要があると考えられる。

食物繊維とフィチン酸はミネラルの吸収を阻害することがこれまでの研究で報告されている<sup>28, 29, 30)</sup>。本研究では、食物繊維・フィチン酸が多い「大豆食」摂取と少ない「豆腐食」摂取によるミネラルの尿中排泄率を比較し、食物繊維・フィチン酸のミネラル吸収阻害効果を調べた。その結果、「豆腐食」摂取に比べて「大豆食」摂取でMgとZnの尿中排泄率が低くなる傾向があり、「大豆食」摂取によるZn及びMgの吸収阻害の可能性が示唆された (Table 6)。一方、Caの尿中排泄率は「大豆食」摂取の方が高くなった。Ca吸収は食品成分だけでなく、生体側の条件や日照時間、運動などの影響を受けるとされている。そのため、フィチン酸、食物繊維以外の様々な要因によってCaの吸収が促進された可能性がある。

加工食品には、リン酸塩を含む食品添加物が使用されており、このリン酸塩がミネラルと不溶性の塩を形成し、ミネラルの吸収を阻害すると考えられている<sup>18)</sup>。このため、本研究では「手作り食」摂取と「加工食」摂取によるミネラルの尿中排泄率を比較し、P過剰摂取がミネラル吸収に及ぼす影響を調べた。まず、「加工食」中のP濃度が高くなっているかを確認した。その結果、「手作り食」に比べて「加工食」中のP濃度は約15%高くなっていた (Table 4)。食品添加物のリン酸塩は一括表示をしてよいものが多く、実際の加工食品中の食品添加物としてのP量は不明である。そのため添加物中のPにより食事のP濃度が高くなっていた可能性がある。しかし、CaやMg濃度も加工食品の方が多く含まれていたため、食品添加物の影響だけでは断言できない。ミネラルの中でもPは細胞に存在するため、多くの食品 (特に肉や魚、チーズや脱脂粉乳などの乳製品、アーモンドやゴマなどの種実類) に含まれている<sup>17)</sup>。食品中のPはそのほとんどがタンパク質と結合しているため、タンパク質の摂取が増えると必然的にPの摂取量が増加する<sup>17)</sup>。本研究において、1日当たりの摂取量に換算すると、「手作り食」、「加工食」はそれぞれ1090 mg、1120 mgのPを含んでいた。「手作り食」と「加工食」の摂取による尿中排泄率の比較では、「加工食」摂取は「手作り食」摂取に比べ、Mg、Caの尿中排泄率が低下傾向を示していた。この結果より、PによりMg、Caの吸収が阻害されたことが示唆された。一方、Znは逆に

尿中排泄率が上昇していた (Table 7)。これは、「手作り食」と「加工食」では、食事中的 Zn 量が異なり、それぞれ 14.4 mg, 10.0 mg であったため、Zn トランスポーター ZIP4 による影響を受けたと考えられる。Zn が十分存在するときには腸管内のトランスポーターである ZIP4 は細胞表面から速やかにエンドサイトーシスされ、分解を受けるが、Zn 欠乏になると、ZIP4 たんぱく質の発現が増加し、小腸上皮細胞の頂端膜に存在するという報告がある<sup>31-33)</sup>。この機構により「加工食」摂取では、腸管からの吸収率が上昇し、Zn の尿中排泄率が上昇した可能性が考えられる。

食品添加物中の P によるミネラル吸収阻害効果だけではなく、食事中的全ての P によるミネラル吸収への影響も考えられる。全 6 食事群で比較した結果、P 含有量の多いほど Zn, Mg, Ca の尿中排泄率が有意に低下していた (Fig. 1)。食品添加物のポリリン酸ナトリウムやピロリン酸ナトリウムが消化管内に存在する Ca と結合して不溶性のリン酸カルシウムを形成すると吸収が阻害されること<sup>18)</sup>、食品添加物のリン酸二水素ナトリウムやトリポリリン酸ナトリウムは、Ca, Mg の吸収を低下させること<sup>15)</sup> が報告されている。また、大豆をはじめとする植物中の P の貯蔵物質としてフィチン酸は重要な物質であるが、フィチン酸はミネラルとキレート塩を形成して難消化性物質し、吸収を阻害することも報告されている<sup>34)</sup>。各食事群中に含まれるこれら成分中の P の存在により Zn, Mg, Ca の吸収が阻害されたと考えられる。

以上を要約すると、「酢あり食」と「酢なし食」の摂取の比較では、P, Ca, Mg, Zn の尿中排泄率の上昇は見られず、腸管での吸収促進効果は確認できなかった。「大豆食」と「豆腐食」の摂取を比較すると、「大豆食」摂取で Mg, Zn の尿中排泄率が低下した。また「手作り食」と「加工食品」の摂取を比較すると、「加工食」摂取で Ca, Mg の尿中排泄率が低下した。さらに食事中的 P 含有量が多いほど、Ca, Mg, Zn の尿中排泄率が低くなることが示された。以上の結果より、P は Ca, Mg, Zn の吸収を阻害し、フィチン酸・食物繊維は Mg, Zn の吸収を阻害することが示唆された。食事中的ミネラル吸収促進・阻害因子により尿中排泄率に変化が見られたことから、モニタリング指標としての尿中排泄量の有効性が確認できた。しかし、今回、「大豆食」摂取での Mg, Zn の尿中排泄率の低下や「加工食」摂取での Ca, Mg の尿中排泄率の低下では有意差は認められなかった。これは検体数が少なかつたためと考えられる。今後、検体数を増やして研究を進めていく必要がある。

## 謝 辞

本研究の一部は JSPS 科研費 (基盤研究 (C) 課題番号 17K00939) の助成を受けて行った。

## 参考文献

- 1) 桜井弘 (2006) 生命元素辞典, オーム社, 東京: pp.5-16, 28-126.
- 2) 菱田明, 佐々木敏監修 (2014) 日本人の食事摂取基準 (2015 年度版), 第一出版, 東京: pp.256-265, pp.283-284, pp.286-305, pp.335-338.
- 3) Asher BH (2010) The dietary supplement health and education act: time for a reassessment: comment on "acute selenium toxicity associated with a dietary supplement". Arch Intern Med 17: 261-263.
- 4) Palmer ME, Haller C, McKinney PE, Klein-Schwartz W, Tschirgi A, Smolinske SC, Woolf A, Sprague BM, Ko R, Everson G, Nelson LS, Dodd-Butera T, Bartlett WD, Landzberg BR (2010) Adverse events associated with dietary supplements: an observational study. Lancet. 361: 101-106.
- 5) 吉田香, 桐木麻紀, 久保田祐子, 上甲有利, 北村真理 (2013) サプリメントによる微量元素過剰摂取の可能性について—サプリメントの使用実態・意識調査—, Trace Nutr Res 30: 74-78.
- 6) 吉田香, 寺本敬子, 魏民, 北村真理, 川添禎浩 (2009) アルミニウムおよびマンガンの慢性曝露がマウスの行動に及ぼす影響, Biomed Res Trace Elements 20: 310-315.
- 7) 香川芳子監修 (2015) 食品成分表 (2015), 女子栄養大出版部, 東京
- 8) 吉田香, 梅澤真紀子, 北村真理, 黒田孝一 (2007) 食物中の微量元素量に影響を与える要因について, 生活衛生 51: 385-390.
- 9) 吉田香, 池田佳菜, 岩崎祐佳, 片神美咲, 鴻野みさき (2017) 収穫時期, 地域の違いがニンニクとショウガの無機元素量に及ぼす影響—無機元素分析による産地判別への応用—, Trace Nutr Res 34: 18-23.
- 10) 渡邊智子, 鈴木亜夕帆, 山口美穂子, 熊谷昌士, 見目明継, 竹内昌昭, 萩原清和 (2005) 動物性食品に含まれる栄養素の調理による変化率の算定と適用, 日本調理科学会誌 38: 6-20.
- 11) 高橋敦子, 松田康子, 駒場千佳子, 奥嶋佐知子, 吉田企世子 (2006) 異なる土壌条件で栽培したコマツナのミネラル含量および硝酸態窒素含量, アミノ酸含量の調理操作による変動について, 日本調理科学会誌 39: 115-121.
- 12) 吉田宗弘, 児島未希奈, 三由亜耶, 森田明美 (2011) 病院および介護施設の食事からの微量ミネラル摂取量の計算値と実測値との比較, Trace Nutr Res 28: 27-31.
- 13) 篠原厚子, 千葉百子 (2001) 微量元素の健康への影響, 応用物理 70: 823-826.
- 14) 福井健介, 桑田五郎, 今井正武 (1997) ラットにおけ

- るカルシウム, マグネシウムおよび亜鉛吸収率に及ぼす脱フィチン酸大豆タンパク質の影響, 日本栄養・食糧学会誌 50: 273-278.
- 15) 松崎広志, 中村カホル (2000) 雌ラットにおける腎臓中ミネラル濃度, 腎機能及びミネラル出納に及ぼす食餌性リン濃度とリン酸塩の影響, 栄養学雑誌 58: 253-259.
- 16) Kishi M, Fukaya M, Tsukamoto Y, Nagasawa T, Takehana K, Nishizawa N (1999) Enhancing effect of dietary vinegar on the intestinal absorption of calcium in ovariectomized rats. *Biosci Biotechnol Biochem* 63: 905-910.
- 17) 宮本賢一, 新井英一, 下村吉治 (2014) ミネラル摂取と老化制御—リン研究の最前線—, 建帛, 東京: pp. 69-74.
- 18) 辻村和也, 土井康平, 桑原浩一 (2014) Caco-2細胞モデルにおけるカルシウム腸管吸収過程に及ぼす有機酸塩の影響, 日本食品科学工学会誌 61: 286-292.
- 19) Yoshida M, Fukuwatari T, Sakai J, Tsuji T, Shibata K (2012) Correlation between Mineral Intake and Urinary Excretion in Free-living Japanese Young Women. *Food Nutr Sci* 3: 123-128.
- 20) 君羅満, 工藤陽子, 高地リベカ, 羽場亮太, 渡邊昌 (2004) 主要ミネラルの1日摂取量と24時間尿中排泄量との関連, 日衛誌 59: 23-30.
- 21) de Portela ML, Weisstaub AR (2000) Basal urinary zinc/creatinine ratio as an indicator of dietary zinc intake in healthy adult women. *J Am Coll Nutr* 19: 413-417.
- 22) Greger JL, Davis CD, Suttie JW, Lyle BJ (1990) Intake, serum concentrations, and urinary excretion of manganese by adult males. *Am J Clin Nutr* 51: 457-61.
- 23) 吉田香, 伊藤志保里, 清水陽子, 中村友佳里, 西野寿美怜, 北村真理 (2015) ミネラルおよびミネラル摂取量のモニタリング指標としての1日尿中排泄量の有効性, *Trace Nutr Res* 32: 44-48.
- 24) Drozdowski L, Thomson ABR (2006) Aging and the intestine. *World J Gastroenterol* 12: 7578-7584.
- 25) Finley JW, Johnson PE, Johnson LK (1994) Sex affects manganese absorption and retention by humans from a diet adequate in manganese. *Am J Clin Nutr*, 60: 949-955.
- 26) 厚生労働省監修 (2015) 食品衛生検査指針 理化学編, 公益社団法人日本食品衛生協会, 東京: pp. 212-266.
- 27) Nii Y, Osawa T, Kunii D, Fukuta K, Sakai K, Kondo M, Yamamoto S, Kondo M, Yamamoto S (2006) Effect of citrus fruit (sudachi) juice on absorption of calcium from whole small fish in healthy young men, *Food Sci Technol Res* 12: 27-30.
- 28) Brune M, Rossander-Hultén L, Hallberg L (1992) Iron absorption from bread in humans: inhibiting effects of cereal fiber, phytate and inositol phosphates with different numbers of phosphate groups. *J Nutr* 122: 442-449.
- 29) Hu JF, Zhao XH, Parpia B, Campbell TC (1993) Dietary intakes and urinary excretion of calcium and acids: a cross-sectional study of women in China. *Am J Clin Nutr* 58: 398-408.
- 30) Monnier L, Colette C, Aguirre L (1980) Evidence and mechanism for pectin-reduced intestinal inorganic iron absorption in idiopathic hemochromatosis. *Am J Clin Nutr* 33: 1225-1232.
- 31) 橋本彩子, 神戸大朋 (2016) 亜鉛トランスポーターZIP4を標的とした亜鉛栄養の改善, 亜鉛栄養治療 6: 67-72.
- 32) 神戸大朋 (2013) 亜鉛代謝の必須分子として機能する亜鉛トランスポーター, 日本衛生学雑誌 68: 92-102.
- 33) Kambe T, Tsuji T, Hashimoto A, Itsumura N. (2015) The physiological, biochemical, and molecular roles of zinc transporters in zinc homeostasis and metabolism. *Physiol Rev* 95: 749-784.
- 34) Jaffe G (1981) Phytic acid in soybeans. *J Am Oil Chem Soc* 58: 493-495.