

であり<sup>3)</sup>、離乳食における市販品の地位は増大している。このことは、市販離乳食からの栄養素摂取量が6か月以降乳児の食事摂取基準策定において重要となっていることを意味している。本研究では、6か月以降乳児の栄養素摂取量の中で、情報量がとくに少ない微量ミネラル（鉄、亜鉛、銅、マンガン、セレン、モリブデン）に関して、市販離乳食中の濃度を測定し、市販離乳食と母乳に依存した場合の6か月児以降乳児におけるそれらの摂取量を推定した。

## 実験方法

### 1. 試料の収集

5つの国内メーカーより、レトルト、もしくは瓶詰め状態で販売されている離乳食53食を購入し、微量ミネラル測定用の試料とした。収集した離乳食は「7か月頃より」の表示のあるのが24食、「9か月頃より」の表示のあるのが29食である。

### 2. 分析

収集した離乳食は、1食ごとにすべてを凍結乾燥後、ミル (Retsch GM200) で均一・細粉化した。次いで、細粉化した凍結乾燥試料1gを濃硝酸10mLと60%過塩素酸2mLを用いて湿式灰化した。そして、灰化物を水で10mLにメスアップして調製した溶液中の鉄、亜鉛、銅、マンガンをつレーム式原子吸光光度計 (島津AA-6300)、セレンとモリブデンを誘導結合プラズマ質量分析器 (島津ICPM-8500) により定量した。なお、セレンの定量には質量数82を用い、モリブデンの定量には質量数95, 97, 98を用いて得られる分析値の平均値を使用した。

### 3. 微量ミネラル摂取量の算定

分析結果をもとに、各離乳食の微量ミネラル濃度を離乳食湿重量 (g) あたりとエネルギー (kcal) あたりで求めた。本研究で収集した離乳食は「7か月頃より」、および「9か月頃より」の表示があったことから、6~8か月児が前者、9~11か月児が後者を摂取した場合の微量ミネラル摂取量を以下の式にもとづいて算定した。[市販離乳食からの微量ミネラル摂取量] = [各離乳食のエネルギーあたりの微量ミネラル濃度] × [6~8か月児、または9~11か月児の離乳食からのエネルギー摂取量の報告値の平均値 (6~8か

**Table 1** Estimated intake of trace minerals from human milk in Japanese infants

Trace minerals	Concentration in human milk*	Estimated intake**	
		6~8 mo	9~11 mo
Iron	0.43 mg/L	0.26 mg/d	0.19 mg/d
Zinc	1.83 mg/L	1.10 mg/d	0.82 mg/d
Copper	0.35 mg/L	0.21 mg/d	0.16 mg/d
Manganese	< 0.01 mg/L	< 0.01 mg/d	< 0.01 mg/d
Selenium	17 µg/L	10.2 µg/d	7.7 µg/d
Molybdenum	3.0 µg/L	1.8 µg/d	1.4 µg/d

\* Quoted from Dietary Reference Intakes for Japanese, 2010<sup>1)</sup>.

\*\* Estimated from the concentration in human milk and averaged intake of human milk in Japanese infants (6~8 mo, 600 mL; 9~11 mo, 450 mL)<sup>1, 5)</sup>.

月児 171 kcal/d, 9~11か月児 452 kcal/d)<sup>2)</sup>。さらに、この算定した市販離乳食からの微量ミネラル摂取量に、2010年版DRIsで採用されている母乳中微量ミネラル濃度から推定される母乳由来の微量ミネラル摂取量 (Table 1)<sup>1)</sup>を加え、市販離乳食と母乳を摂取した場合の微量ミネラル摂取量をもとめた。

## 結果

Table 2~7に市販離乳食中の各微量ミネラル濃度およびこれらの離乳食由来の微量ミネラル摂取量をまとめた。いずれの微量ミネラル濃度においても、試料間の変動が大きかった。鉄、亜鉛、銅においては、9か月以降表示の離乳食における変動が7か月以降表示に比較して大きい傾向にあった。鉄濃度の高い離乳食の献立は、「7か月以降表示が「鶏レバーとジャガイモの煮物」、「ヒラメと卵のおじや」、9か月以降表示が「肉団子と野菜のシチュー」、「牛肉とマグロのうま煮」などであり、レバー、畜肉、卵、赤身魚肉などを食材として使用したものだった。また亜鉛、および銅濃度も鉄濃度と同様に、畜肉または水産物の食材を使用したメニューが高値を示した。マンガンとモリブデン濃度は、7か月以降表示と9か月児との間に明確な差がなかった。マンガンの場合は野菜類、モリブデンの場合は穀物を使用した献立が使用しない献立に比較して明らかに高値を示した。セレン濃度は、鉄、亜鉛とは逆に、7か月以降表示の離乳食が9か月以降表示に比較して変動が大きい傾向にあった。セレン濃度の高い離乳食の献立は「ツナとトマトの野菜グラタン」、「牛肉とマグロのうま煮」などのように、マグロを食材に使用したものだった。

**Table 2** Iron concentration in commercial baby foods and estimated iron intake from commercial baby foods

	For 7 or more mo baby (n = 24)			For 9 or more mo baby (n = 29)		
	Concentration		Intake* mg/d	Concentration		Intake** mg/d
	µg/g	µg/kcal		µg/g	µg/kcal	
Mean	1.25	2.36	0.40	2.20	3.48	1.57
SD	0.60	0.98	0.17	2.45	3.21	1.45
Maximum	3.05	5.15	0.88	13.88	18.20	8.23
Minimum	0.46	0.77	0.13	0.56	0.67	0.30
Median	1.18	2.37	0.41	1.41	2.49	1.13

\* Estimated intake in 6 to 8 mo infants.

\*\* Estimated intake in 9 to 11 mo infants.

**Table 3** Zinc concentration in commercial baby foods and estimated zinc intake from commercial baby foods

	For 7 or more mo baby (n = 24)			For 9 or more mo baby (n = 29)		
	Concentration		Intake*	Concentration		Intake**
	µg/g	µg/kcal		µg/g	µg/kcal	
Mean	1.03	2.00	0.34	1.51	2.37	1.07
SD	0.48	0.93	0.16	0.88	1.12	0.51
Maximum	1.94	3.66	0.63	3.94	5.37	2.43
Minimum	0.23	0.36	0.06	0.15	0.22	0.10
Median	0.99	2.04	0.35	1.31	2.45	1.11

\* Estimated intake in 6 to 8 mo infants.

\*\* Estimated intake in 9 to 11 mo infants.

**Table 4** Copper concentration in commercial baby foods and estimated copper intake from commercial baby foods

	For 7 or more mo baby (n = 24)			For 9 or more mo baby (n = 29)		
	Concentration		Intake*	Concentration		Intake**
	µg/g	µg/kcal		µg/g	µg/kcal	
Mean	0.23	0.44	0.08	0.34	0.54	0.25
SD	0.08	0.13	0.02	0.20	0.31	0.14
Maximum	0.43	0.67	0.12	1.00	1.66	0.75
Minimum	0.08	0.23	0.04	0.13	0.20	0.09
Median	0.24	0.43	0.07	0.29	0.46	0.21

\* Estimated intake in 6 to 8 mo infants.

\*\* Estimated intake in 9 to 11 mo infants.

**Table 5** Manganese concentration in commercial baby foods and estimated manganese intake from commercial baby foods

	For 7 or more mo baby (n = 24)			For 9 or more mo baby (n = 29)		
	Concentration		Intake*	Concentration		Intake**
	µg/g	µg/kcal		µg/g	µg/kcal	
Mean	0.52	1.03	0.17	0.71	1.16	0.64
SD	0.24	0.51	0.09	0.31	0.49	0.27
Maximum	1.14	2.33	0.39	1.53	2.44	1.35
Minimum	0.17	0.28	0.05	0.29	0.43	0.24
Median	0.46	0.90	0.15	0.63	1.10	0.61

\* Estimated intake in 6 to 8 mo infants.

\*\* Estimated intake in 9 to 11 mo infants.

**Table 6** Selenium concentration in commercial baby foods and estimated selenium intake from commercial baby foods

	For 7 or more mo baby (n = 24)			For 9 or more mo baby (n = 29)		
	Concentration		Intake*	Concentration		Intake**
	ng/g	ng/kcal		ng/g	ng/kcal	
Mean	13.2	22.9	3.9	10.0	15.8	7.2
SD	15.2	21.4	3.7	6.3	9.1	4.1
Maximum	69.6	92.8	15.9	29.8	49.7	22.5
Minimum	0.8	1.2	0.2	2.7	6.2	2.8
Median	7.5	16.4	2.8	8.7	13.2	6.0

\* Estimated intake in 6 to 8 mo infants.

\*\* Estimated intake in 9 to 11 mo infants.

**Table 7** Molybdenum concentration in commercial baby foods and estimated molybdenum intake from commercial baby foods

	For 7 or more mo baby (n = 24)			For 9 or more mo baby (n = 29)		
	Concentration		Intake*	Concentration		Intake**
	ng/g	ng/kcal		ng/g	ng/kcal	
Mean	20.4	36.6	6.3	24.1	36.0	16.3
SD	19.0	29.4	5.0	22.3	30.1	13.6
Maximum	71.4	126.9	21.7	79.5	123.1	55.6
Minimum	2.4	4.5	0.8	2.4	5.9	2.7
Median	13.6	27.8	4.7	15.7	24.5	11.1

\* Estimated intake in 6 to 8 mo infants.

\*\* Estimated intake in 9 to 11 mo infants.

**Table 8** Correlation matrix in energy based concentration of trace mineral in commercial baby foods

	Correlation coefficient				
	Iron	Zinc	Copper	Manganese	Selenium
Zinc	0.288*				
Copper	0.223	0.556***			
Manganese	0.066	0.083	0.411**		
Selenium	-0.016	-0.133	0.114	-0.105	
Molybdenum	-0.176	0.215	0.066	0.019	0.136

\*,  $p < 0.05$ ; \*\*,  $p < 0.01$ ; \*\*\*,  $p < 0.001$ .

**Table 9** Estimated trace mineral intake from commercial baby foods and human milk in 6 to 8 and 9 to 11 mo infants\*

	Iron (mg/d)		Zinc (mg/d)		Copper (mg/d)		Manganese (mg/d)		Selenium (μg/d)		Molybdenum (μg/d)	
	6~8 mo	9~11 mo	6~8 mo	9~11 mo	6~8 mo	9~11 mo	6~8 mo	9~11 mo	6~8 mo	9~11 mo	6~8 mo	9~11 mo
Mean	0.66	1.76	1.44	1.89	0.29	0.41	0.17	0.64	14.1	14.9	8.1	17.7
Minimum	0.39	0.49	1.16	0.92	0.25	0.25	0.05	0.24	10.4	10.5	2.6	4.1
25 percentile	0.54	1.06	1.31	1.51	0.27	0.32	0.12	0.45	11.7	11.7	3.3	8.4
Median	0.67	1.32	1.45	1.93	0.28	0.37	0.15	0.61	13.0	13.7	6.5	12.5
75 percentile	0.75	1.96	1.54	2.23	0.30	0.47	0.22	0.78	14.9	17.3	10.3	25.6
Maximum	1.14	8.42	1.73	3.25	0.33	0.91	0.39	1.35	26.1	30.2	23.5	57.0
EAR**	3.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AI***	-	-	3	-	0.3	-	0.5	-	15	-	3	-

\* Intakes were estimated from trace mineral concentration in commercial baby foods and human milk.

\*\* Estimated average requirement for 6 to 11 mo infants described in Dietary Reference Intakes for Japanese, 2010<sup>1)</sup>.

\*\*\* Adequate intake for 6 to 11 mo infants described in Dietary Reference Intakes for Japanese, 2010<sup>1)</sup>.

Table 8 にエネルギーあたりの微量ミネラル濃度について、ミネラル間の相関関係をまとめた。鉄濃度は亜鉛、および銅濃度と弱い相関があった。これらの微量ミネラルの供給源（畜産物や水産物）に共通性のあることを反映したものと考えられる。亜鉛と銅、銅とマンガンの間には強い相関が存在したが、亜鉛とマンガンの間には相関を認めなかった。マンガンの濃度の高い植物性食品の中に、銅濃度の高いもの（豆類や種実類など）が含まれていることを反映したと思われる。セレンとモリブデン濃度は、他の微量ミネラル濃度との間に有意な相関を示さなかった。

Table 9 に、収集した市販離乳食と母乳に依存した場合の、各微量ミネラルの1日摂取量の推定値の算定結果をまとめ、日本人の食事摂取基準2010年版に示されている6~11か月児に対するEARまたはAIとあわせて示した。鉄は微量ミネラルの中で、唯一、食事摂取基準において6~11か月児に対するEARとRDAが設定されている。市販離乳食と母乳に依存した場合の鉄摂取量を算定したところ、EAR (3.5 mg/日) を上回る摂取量を与えるのは特定の1製品（「鶏レバーとジャガイモの煮物」）を利用した場合のみであった。また亜鉛は、市販離乳食と母乳に依存した場合、目安量 (3 mg/日) の半量から3分の2程度の摂取量になると推定された。これに対して、銅、マンガンのセレンは、算定値の平均値または中央値がAIにほぼ一致していた。また、モリブデンは、市販離乳食と母乳からの摂取量がAIを大幅に上回っていた。

## 考 察

今回収集した離乳食は国内の主要メーカーが販売してい

るものであり、一般に流通しているレトルトおよびびん詰めタイプの離乳食の大半をカバーしたものである。したがって、得られた結果は、離乳食の大半を市販品に依存している乳児の微量ミネラル摂取量を推定するのに十分なものと判断する。

7か月以降表示と9か月以降表示の離乳食の違いは、前者のほとんどが、「おじや」や「五目うどん」といった主食と副食の区別のない献立であるのに対して、後者の約半数が副食のみの献立という点である。鉄、亜鉛、銅の場合、9か月以降表示離乳食において含有量の変動が大きくなったのは、副食のみの献立に含有量の高い食材（レバーや水産物）が大量に使用されていたためと考えられる。他のミネラルの場合も、それぞれのミネラルを高濃度に含有することが報告されている食材（たとえば、セレンのマグロ<sup>6)</sup>、マンガンの野菜類<sup>7)</sup>、モリブデンの穀物<sup>8)</sup>など）を使用した献立において、該当するミネラルの含有量が高いことが確認できた。

一般に市販離乳食を利用する場合、単一の製品ではなく、複数の製品を利用すると考えられる。したがって、市販離乳食と母乳を摂取する6~11か月児の微量ミネラル摂取量の算定結果 (Table 8) において意味を持つのは、平均値または中央値であり、25または75パーセンタイル値は偏った利用の場合の参考値とみなせる。銅とマンガンの摂取量の平均値または中央値が6~11か月児のAIとほぼ一致していた。これら2元素のAIは離乳食からの摂取を考慮して設定されていることから、この一致は妥当なものと考えられる。セレンも同様に、摂取量の平均値または中央値が6~11か月児のAIとほぼ一致していた。セレンのAIは母乳からの摂取量のみにもとづいて設定されて

いるが、この一致は、離乳食からの摂取を考慮した場合も、6～11か月乳児に対するセレンのAIがほぼ同じ値に落ち着くことを意味している。

市販離乳食からのモリブデンの摂取量はAIよりも相当高い値となった。これはモリブデンが母乳に比較して穀物や豆類に高濃度に存在している<sup>9)</sup>ためである。したがって、摂取量の中央値にもとづいて乳児のAIを設定するのであれば、6か月以降乳児のモリブデンのAIは食事摂取基準2010年版よりも相当高い値に設定しなければならないことになる。

市販離乳食を利用した場合の亜鉛の摂取量はAIの半分から3分の2の値であった。AIは摂取の目安量であり、栄養素の必要量を意味するものではない。したがって、今回の結果をもとに、市販離乳食と母乳に依存する乳児において亜鉛が摂取不足であると結論することは適切でない。むしろ、日本の乳児において、亜鉛の摂取不足に起因する大規模な健康障害の報告がないことを考慮すれば、今回の結果は、6か月以降乳児のAIをより低い値に変更できる可能性を示すと考える。なお、中埜らの報告<sup>2)</sup>において、離乳食由来の亜鉛摂取量は7か月児0.75、9か月児1.66 mg/dであり、Table 3に示した今回の結果の2倍近い値となっている。ただし、中埜らの報告における亜鉛摂取量は食品成分表にもとづくものである。このことは、収集した市販離乳食の食材が低亜鉛のものに偏っていたか、あるいは調理加工における亜鉛の損失が大きいことを示しているのかもしれない。

市販離乳食に依存した場合の鉄の摂取量は、レバーを主要な食材とした特定の献立を利用しない限り、EARにはるかに及ばないことが判明した。中埜らの報告<sup>2)</sup>においても、離乳食由来の平均鉄摂取量は、今回の推定よりは高いものの、7か月児0.9、9か月児1.9 mg/dであるとしている。母乳中の鉄濃度が低く、母乳からの鉄摂取に期待ができないことを考えると、鉄が強化されている調製乳を摂取しない場合には、6か月以降乳児がEARを超える鉄摂取を達成することはきわめて困難と思われる。鉄は乳児の成長にきわめて重要であり、その不足は身体面のみならず、

知的・精神面の発達にも悪影響を及ぼす。6か月以降の乳児は、生涯でもっとも鉄の要求量が増大する時期である。したがって市販の離乳食に対しては、鉄含有量の高い食材を積極的に利用した鉄濃度の高い製品が複数種開発されることが期待される。

本研究は、平成21年度厚生科学研究費補助金（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推定するためにエビデンスの構築に関する研究（主任研究者：柴田克己））、および平成21年度関西大学大学院理工学研究科高度化推進事業の援助を受けたものである。

## 参考文献

- 1) 厚生労働省 (2009) 日本人の食事摂取基準 [2010年版], 第一出版, 東京, pp.218-275.
- 2) 中埜 拓, 加藤 健, 小林直道, 島谷雅治, 石井恵子, 瀧本秀美, 戸谷誠之 (2003) 乳幼児の食生活に関する全国実態調査. 離乳食および乳汁からの栄養素等の摂取状況について, 小児保健研究 62: 630-639.
- 3) 厚生労働省 (2006) 平成17年度乳幼児栄養調査. pp. 8-13, (<http://www.mhlw.go.jp/houdou/2006/06/dl/h0629-1b.pdf>よりダウンロード).
- 4) 米山京子, 後藤いずみ, 永田久紀 (1995) 母乳の栄養成分の授乳月数に伴う変動, 日公衛誌 42: 472-481.
- 5) 米山京子 (1998) 母乳栄養児の発育と母乳からの栄養素摂取量, 小児保健研究 57: 49-57.
- 6) Yoshida M, Abe M, Fukunaga K, Kikuchi K (2002) Bioavailability of selenium in defatted dark muscle of tuna. Food Add Contam 19: 990-995.
- 7) 荒川泰昭 (2003) マンガン, ミネラルの事典 (糸川嘉則編), 朝倉書店, 東京, pp.266-278.
- 8) Hattori H, Ashida A, Ito C, Yoshida M (2004) Determination of molybdenum in foods and human milk, and estimation of average molybdenum intake in the Japanese population. J Nutr Sci Vitaminol 50: 404-409.



# 微量ミネラル

鉄、亜鉛、銅、マンガン、ヨウ素、セレン、クロム、モリブデン

吉田宗弘  
Yoshida, Munehiro  
関西大学 化学生命工学部

## 鉄

鉄はヘモグロビン (Hb) や各種酵素の構成成分であり、欠乏により貧血や運動・認知機能の低下を招く。とくに小児期での欠乏は知能発達にも悪影響を及ぼす。月経血による鉄損失は成人女性の鉄栄養状態に大きく影響する。国民健康・栄養調査によれば、20~49歳女性の約25%がWHOによる一般成人女性の貧血基準であるHb濃度12 g/dl未満の状態にある<sup>1)</sup>。

表1に鉄の食事摂取基準を示した。鉄の推定平均必要量は2005年版と同様に要因加算法により求めた。ここでいう要因とは、基本

的損失(大半は消化管排泄)、月経血への損失、成長にともなう蓄積(大半はHbの増加)、妊娠・授乳にともなう需要増加、および消化管吸収率である。すなわち、18歳以上男性と月経のない18歳以上女性は「基本的損失÷吸収率」、月経のある18歳以上女性は「(基本的損失+月経血損失)÷吸収率」、6か月~17歳は月経のない場合が「(基本的損失+成長にともなう蓄積)÷吸収率」、月経のある場合が「(基本的損失+月経血損失+成長にともなう蓄積)÷吸収率」、そして妊娠・授乳女性への付加量は「妊娠・授乳にともなう需要増加÷吸収率」の式により算定した。

推奨量は、推定平均必要量に6か月~14歳では1.4、15歳以上では1.2を乗じて求めた。なお、今回の推定平均必要量と推奨量は過多月経(月経出血量80 ml/回以上)の人を除外して設定している。6か月未満乳児の日安量は日本人の母乳中铁濃度と哺乳量にもとづき算定した。

各要因の具体的数値は、諸外国の文献にある式および数値に日本人の体重を適用して推定した。月経血量については日本人の値<sup>2,3)</sup>を採用した。基準体重が異なるため、2005年版と比較して性・年齢階級によっては若干の変化が生じている。妊娠にともなう鉄需要増加中、循環血液量増加分については日本人の体重などをもとにした推定値を採用したため、妊娠女性に対する付加量において、中期と末期は2005年版に比較して推定平均必要量が

表1 鉄の食事摂取基準(mg/日)<sup>1)</sup>

性別	男性				女性					
	推定平均 必要量	推奨量	目安量	耐容 上限量	月経なし		月経あり		目安量	耐容 上限量
					推定平均 必要量	推奨量	推定平均 必要量	推奨量		
0～5 (月)	-	-	0.5	-	-	-	-	-	0.5	-
6～11 (月)	3.5	5.0	-	-	3.5	4.5	-	-	-	-
1～2 (歳)	3.0	4.0	-	25	3.0	4.5	-	-	-	20
3～5 (歳)	4.0	5.5	-	25	4.0	5.5	-	-	-	25
6～7 (歳)	4.5	6.5	-	30	4.5	6.5	-	-	-	30
8～9 (歳)	6.0	8.5	-	35	5.5	8.0	-	-	-	35
10～11 (歳)	7.0	10.0	-	35	6.5	9.5	9.5	13.5	-	35
12～14 (歳)	8.0	11.0	-	50	7.0	10.0	10.0	14.0	-	45
15～17 (歳)	8.0	9.5	-	45	5.5	7.0	8.5	10.5	-	40
18～29 (歳)	6.0	7.0	-	50	5.0	6.0	8.5	10.5	-	40
30～49 (歳)	6.5	7.5	-	55	5.5	6.5	9.0	11.0	-	40
50～69 (歳)	6.0	7.5	-	50	5.5	6.5	9.0	11.0	-	45
70以上 (歳)	6.0	7.0	-	50	5.0	6.0	-	-	-	40
妊婦(付加量)	/									
初期					+2.0	+2.5	-	-	-	-
中期・末期					+12.5 (+8.0) <sup>2)</sup>	+15.0 (+9.5) <sup>2)</sup>	-	-	-	-
授乳婦(付加量)	/				+2.0	+2.5	-	-	-	-

<sup>1)</sup> 過多月経(月経出血量が80 ml/回以上)の人を除外して策定した。

<sup>2)</sup> 妊娠中期・末期の鉄の消化管吸収率を高め(40%)に見積もった場合の(現実的な目標と考えられる)数値。

4.3 mg/日、推奨量が5.1 mg/日小さな数値になった。

上述のように、妊娠女性に対する付加量は、2005年版に比べて小さくなったが、依然として大きな数値であるため、妊娠女性における推奨量は総量で中期が15 mg/日、末期が20 mg/日を上回る。国民健康栄養・調査によれば、15 mg/日を上回る鉄摂取量の妊娠女性は約5%にすぎない<sup>1)</sup>。しかし、わが国の妊娠貧血有病率は非妊娠女性の貧血有病率よりわずかに高い程度にとどまっている<sup>2)</sup>。妊娠貧血有病率が低い理由のひとつとして、妊娠にともなう鉄需要の増加が鉄吸収率の増大を起

している可能性がある。

そこで、日本人の妊娠女性の鉄吸収率を40%<sup>3)</sup>と高めに見積もって付加量を試算すると、推定平均必要量が中期6.7 mg/日、末期9.1 mg/日(両期の平均で7.9 mg/日)、推奨量が中期8.0 mg/日、末期10.9 mg/日(両期の平均で9.5 mg/日)となり、総量(18～29歳)では、推定平均必要量が中期11.7 mg/日、末期14.1 mg/日(両期の平均で12.9 mg/日)、推奨量が中期14.0 mg/日、末期16.9 mg/日(両期の平均で15.5 mg/日)となる。これらの数値は妊娠女性の鉄摂取の現実的な目標と考えられる。

表2 亜鉛の食事摂取基準(mg/日)

性別	男性				女性			
	推定平均 必要量	推奨量	目安量	耐容 上限量	推定平均 必要量	推奨量	目安量	耐容 上限量
0～5 (月)	-	-	2	-	-	-	2	-
6～11 (月)	-	-	3	-	-	-	3	-
1～2 (歳)	4	5	-	-	4	5	-	-
3～5 (歳)	5	6	-	-	5	6	-	-
6～7 (歳)	6	7	-	-	6	7	-	-
8～9 (歳)	7	8	-	-	7	8	-	-
10～11 (歳)	8	10	-	-	8	10	-	-
12～14 (歳)	9	11	-	-	8	9	-	-
15～17 (歳)	11	13	-	-	7	9	-	-
18～29 (歳)	10	12	-	40	7	9	-	35
30～49 (歳)	10	12	-	45	8	9	-	35
50～69 (歳)	10	12	-	45	8	9	-	35
70以上 (歳)	9	11	-	40	7	9	-	30
妊婦(付加量)					+1	+2	-	-
授乳婦(付加量)					+3	+3	-	-

鉄の耐容上限量は2005年版と同様に、FAO/WHOの暫定耐容最大1日摂取量である0.8 mg/kg/日<sup>6)</sup>にもとづき算定した。基準体重が異なるため、性・年齢階級によっては2005年版と比較して若干の変化が生じている。

### 亜鉛

亜鉛は、DNAポリメラーゼなど多くの酵素の機能発現に必須の構成成分である。亜鉛欠乏は亜鉛非添加の高カロリー輸液施行時や低亜鉛含量の母乳を摂取した乳児などに発生しており、いわゆる腸性肢端性皮膚炎や慢性下痢などを起こす。また味覚障害者のなかに亜鉛剤投与で回復する症例が多いため、味覚障害は亜鉛欠乏の典型的な症状とされている。一方、要介護高齢者における亜鉛不足は褥瘡

の発生リスクを高めるといわれている<sup>7)</sup>。

表2に亜鉛の食事摂取基準を示した。亜鉛の推定平均必要量は2005年版と同様に要因加算法で求めた。すなわち、「総排泄量＝腸管内因性排泄量＋尿中排泄量＋体表消失量＋精液または月経血への損失量」と考え、総排泄量に見合う真の吸収量を与える摂取量を「真の吸収量＝1.113×摂取量<sup>0.5462</sup>」の式より算定した<sup>8)</sup>。総排泄量を求めるための各要因にいずれも体重76 kgの米国人の数値を適用したので、最終的に得られた摂取量(男性11.18 mg/日、女性10.03 mg/日)は76 kgの人に対する推定平均必要量と考えた。そして18歳以上は体重比の0.75乗、12～17歳は体重比の0.75乗と成長因子を用いて外挿し、性・年齢階級別の推定平均必要量を算定した。

1～11歳に関しては、日本人小児を対象と

表3 銅の食事摂取基準(mg/日)

性別	男性				女性			
	推定平均 必要量	推奨量	目安量	耐容 上限量	推定平均 必要量	推奨量	目安量	耐容 上限量
0～5 (月)	-	-	0.3	-	-	-	0.3	-
6～11 (月)	-	-	0.3	-	-	-	0.3	-
1～2 (歳)	0.2	0.3	-	-	0.2	0.3	-	-
3～5 (歳)	0.3	0.3	-	-	0.3	0.3	-	-
6～7 (歳)	0.3	0.4	-	-	0.3	0.4	-	-
8～9 (歳)	0.4	0.5	-	-	0.4	0.5	-	-
10～11 (歳)	0.5	0.6	-	-	0.5	0.6	-	-
12～14 (歳)	0.6	0.8	-	-	0.6	0.8	-	-
15～17 (歳)	0.7	0.9	-	-	0.6	0.7	-	-
18～29 (歳)	0.7	0.9	-	10	0.6	0.7	-	10
30～49 (歳)	0.7	0.9	-	10	0.6	0.7	-	10
50～69 (歳)	0.7	0.9	-	10	0.6	0.7	-	10
70以上 (歳)	0.6	0.8	-	10	0.5	0.7	-	10
妊婦 (付加量)					+0.1	+0.1	-	-
授乳婦 (付加量)					+0.5	+0.6	-	-

した出納試験における平衡維持量<sup>9)</sup>と米国人の値から推定した小児の体表損失量にもとづいて推定平均必要量を算定した。推奨量は推定平均必要量に1.2を乗じて求めた。乳児の目安量は母乳からの亜鉛摂取量の推定値にもとづき設定した。2005年版では総排泄量を求めるための要因の一部に体重の小さい日本人の数値を用いていた。このため2010年版において、とくに成人の数値は男女ともに2005年版に比較して大きな数値になっている。

18歳以上の亜鉛の耐容上限量は、2005年版と同様に、米国の成人女性を対象とした研究から得られる亜鉛の最低健康障害発現量60mg/日<sup>10)</sup>と不確実性因子1.5にもとづいて算定した。各年齢階級への外挿においては、2005年版とは異なり、男女ともに年齢階級別基準体重の61kg(米国成人女性の基準体重)

に対する比を用いた。このため2010年版の耐容上限量は、男性において2005年版よりも大きな数値になっている。

### 銅

銅は、スーパーオキシドジスムターゼ(SOD)など約10種類の酵素の必須の構成成分として、ヘム合成、活性酸素の除去、神経伝達物質の産生などに関与している。食事性銅欠乏の症状としては、貧血、白血球数減少、骨異常、毛髪の色素脱失などが知られている。一方、先天的な銅欠乏症であるメンケス病では発育遅延、知能低下、中枢神経障害が見られる。

表3に銅の食事摂取基準を示した。銅の推定平均必要量の算定法は2005年版とまったく同じである。すなわち欧米の2つの研



表4 マンガンの食事摂取基準(mg/日)

性別	男性				女性			
	推定平均 必要量	推奨量	目安量	耐容 上限量	推定平均 必要量	推奨量	目安量	耐容 上限量
0～5 (月)	-	-	0.01	-	-	-	0.01	-
6～11 (月)	-	-	0.5	-	-	-	0.5	-
1～2 (歳)	-	-	1.5	-	-	-	1.5	-
3～5 (歳)	-	-	1.5	-	-	-	1.5	-
6～7 (歳)	-	-	2.0	-	-	-	2.0	-
8～9 (歳)	-	-	2.5	-	-	-	2.5	-
10～11 (歳)	-	-	3.0	-	-	-	3.0	-
12～14 (歳)	-	-	4.0	-	-	-	3.5	-
15～17 (歳)	-	-	4.5	-	-	-	3.5	-
18～29 (歳)	-	-	4.0	11	-	-	3.5	11
30～49 (歳)	-	-	4.0	11	-	-	3.5	11
50～69 (歳)	-	-	4.0	11	-	-	3.5	11
70以上 (歳)	-	-	4.0	11	-	-	3.5	11
妊婦(付加量)					-	-	+0	-
授乳婦(付加量)					-	-	+0	-

究<sup>11,12)</sup>から、銅の栄養状態を示すバイオマーカー(血漿銅濃度、SOD活性など)の値が低下しない最低の摂取量(0.72 mg/日)を求めた。ごく最近の研究結果からもこれが妥当な数値であることは確認できる<sup>13)</sup>。

2つの研究の対象者の平均体重が74.7 kgであることから、0.72 mg/日を74.7 kgの人に対する推定平均必要量と考え、18歳以上は体重比の0.75乗、1～17歳は体重比の0.75乗と成長因子を用いて外挿し、性・年齢階級の推定平均必要量を算定した。推奨量は推定平均必要量に1.3を乗じて求めた。基準体重が異なるため、2005年版と比較して性・年齢階級によっては若干の変化が生じている。乳児の目安量は、6か月未満は日本人の母乳中銅濃度と哺乳量、6か月以降はこれに離乳食からの摂取量を加えて算定した。

銅サプリメント継続摂取に関する報告から得られる銅の健康障害非発現量10 mg/日<sup>14)</sup>と不確実性因子1にもとづき、18歳以上の男女に共通の銅の耐容上限量を2005年版と同様に10 mg/日とした。

### マンガン

マンガンはアルギニン分解酵素など、いくつかの酵素の構成成分である。実験的にマンガン欠乏食を投与された若年男性には皮膚炎の一種である水晶様汗疹の発生が観察されている。

表4にマンガンの食事摂取基準をまとめた。マンガン必要量を算定するのに有効な報告が不足しているため、2010年版においても2005年版と同様に、成人日本人の平均的なマンガン摂取量にもとづき目安量を設定するにとど

めた。目安量設定の根拠となる報告も増えていないので、2005年版と同様に、成人日本人の平均的なマンガン摂取量を3.7 mg/日<sup>15)</sup>と見積もった。そして、エネルギー摂取量の性差を考慮し、男性4.0 mg/日、女性3.5 mg/日を18歳以上の目安量とした。なお、国民健康・栄養調査の元データと食品成分表に付記されている食品中マンガン濃度にもとづいて成人の性・年齢階級別マンガン摂取量を試算したところ、上記の目安量は日本人のマンガン摂取量の中央値にほぼ一致していた。

小児の目安量は成人の値から体重比の0.75乗と成長因子を用いて外挿した。数値の丸め方を食事摂取基準全体の原則に統一したことにより、3~5歳において若干の変化が生じている。乳児の目安量は、6か月未満は日本人の母乳中マンガン濃度と哺乳量、6か月以降は離乳食からの摂取量の推定値にもとづき算定した。日本人の値を採用したことと離乳食からの摂取量を用いたことにより、2005年版とは異なる値となっている。

2005年版と同様に、米国での研究結果からマンガンの健康障害非発現量を11 mg/日<sup>16)</sup>と見積もり、不確実性因子を1として、18歳以上の男女に共通の耐容上限量を11 mg/日とした。

## ヨウ素

ヨウ素は甲状腺ホルモンの構成成分であり、欠乏すると甲状腺腫を起こし、甲状腺機能は低下する。胎児期のヨウ素欠乏は死産・流産、発育遅延、および精神遅滞を示す。食卓塩へのヨウ素添加によって重度のヨウ素欠乏は減少したが、中程度のヨウ素欠乏は現在でも世界各地で頻発している。日本人は海藻類、と

くに昆布を多食するため、世界でも稀な高ヨウ素摂取の国民である。いくつかの研究を総合すると、日本人のヨウ素摂取量は、日常的には0.5 mg/日未満であるが、間欠的に海藻類を大量に摂取するために、平均的には約1.5 mg/日に達すると推定できる<sup>17-19)</sup>。

表5にヨウ素の食事摂取基準を示した。ヨウ素栄養状態が適正である場合、ヨウ素の甲状腺への取り込み量は甲状腺からの逸脱量とバランスがとれており、甲状腺のヨウ素濃度は一定値に維持される。したがって、健常人における甲状腺へのヨウ素取り込み量を推定平均必要量とみなすことができる。

甲状腺へのヨウ素取り込み量に関する新たな報告がなかったため、2005年版と同様にこれを95 μg/日<sup>20,21)</sup>と推定し、18歳以上の男女に共通の推定平均必要量とした。1~17歳に関しては、18歳以上の値から体重比の0.75乗と成長因子を用いて外挿した。推奨量は推定平均必要量に1.4を乗じて求めた。数値の丸め方を統一したため、2005年版に比較して18歳以上の推奨量が20 μg/日小さな値となっている。乳児の目安量は高ヨウ素摂取でない母親の母乳中濃度<sup>22,23)</sup>と哺乳量にもとづき設定した。高ヨウ素摂取の母親の母乳を除外したため、2005年版よりも小さな値となっている。

ヨウ素は過剰に摂取した場合にも甲状腺機能低下や甲状腺腫を起こす。中国、およびアフリカにおける研究は、継続的な1.5 mg/日程度のヨウ素摂取が甲状腺腫の有病率を上昇させることを示している<sup>24,25)</sup>。しかし、成人日本人は平均的に1.5 mg/日のヨウ素を摂取しているが、甲状腺腫や甲状腺機能低下の有病率は高くない。北海道における調査を再検

表5 ヨウ素の食事摂取基準( $\mu\text{g}/\text{日}$ )

性別 年齢	男性				女性			
	推定平均 必要量	推奨量	目安量	耐容 上限量	推定平均 必要量	推奨量	目安量	耐容 上限量
0~5 (月)	-	-	100	250	-	-	100	250
6~11 (月)	-	-	130	250	-	-	130	250
1~2 (歳)	35	50	-	250	35	50	-	250
3~5 (歳)	45	60	-	350	45	60	-	350
6~7 (歳)	55	75	-	500	55	75	-	500
8~9 (歳)	65	90	-	500	65	90	-	500
10~11 (歳)	75	110	-	500	75	110	-	500
12~14 (歳)	95	130	-	1,300	95	130	-	1,300
15~17 (歳)	100	140	-	2,100	100	140	-	2,100
18~29 (歳)	95	130	-	2,200	95	130	-	2,200
30~49 (歳)	95	130	-	2,200	95	130	-	2,200
50~69 (歳)	95	130	-	2,200	95	130	-	2,200
70以上 (歳)	95	130	-	2,200	95	130	-	2,200
妊婦(付加量)					+75	+110	-	-
授乳婦(付加量)					+100	+140	-	-

討し、成人日本人におけるヨウ素の健康障害非発現量を $3,300 \mu\text{g}/\text{日}$ <sup>26)</sup>と推定した。安全性を高める観点から不確実性因子を1.5と見積もり、18歳以上のヨウ素の耐容上限量を $2,200 \mu\text{g}/\text{日}$ とした。この値は2005年版よりも $800 \mu\text{g}/\text{日}$ 小さい。

ヨウ素摂取が約 $750 \mu\text{g}/\text{日}$ である北海道の小学生において甲状腺容積の有意な増大が認められており、小児ではヨウ素摂取が $500 \mu\text{g}/\text{日}$ を超えると有害な影響が生じると考えられている<sup>27)</sup>。これにもとづき、6~11歳の耐容上限量を $500 \mu\text{g}/\text{日}$ とし、他の性・年齢階級にはこの値と成人の値から体重比で外挿した数値を適用した。また、ヨウ素過剰摂取と推定される乳児のヨウ素摂取量<sup>23)</sup>にもとづき、乳児の耐容上限量は $250 \mu\text{g}/\text{日}$ とした。なお、18歳未満に対するヨウ素の耐容上限量は

2010年版においてはじめて設定したものである。

### セレン

セレンはグルタチオンペルオキシダーゼ(GPX)をはじめとする含セレンたんぱく質の形態で、抗酸化機能や甲状腺ホルモン代謝などにかかわっている。セレン未添加の高カロリー輸液を長期間投与された症例では致死的な心筋障害が発生している。また、セレン摂取量が少ない中国東北部で多発していた地方性心筋障害である克山病にセレン欠乏がかかわっていた可能性は高い。

表6にセレンの食事摂取基準をまとめた。GPXなどの含セレン酵素の活性値は、セレン摂取量と強く相関するが、摂取量が一定値を超えると飽和する。セレン欠乏症の予防と

表6 セレンの食事摂取基準(μg/日)

性別	男性				女性			
	推定平均 必要量	推奨量	目安量	耐容 上限量	推定平均 必要量	推奨量	目安量	耐容 上限量
0～5 (月)	-	-	15	-	-	-	15	-
6～11 (月)	-	-	15	-	-	-	15	-
1～2 (歳)	10	10	-	50	10	10	-	50
3～5 (歳)	10	15	-	70	10	15	-	70
6～7 (歳)	15	15	-	100	15	15	-	100
8～9 (歳)	15	20	-	120	15	20	-	120
10～11 (歳)	20	25	-	160	20	20	-	150
12～14 (歳)	25	30	-	210	20	25	-	200
15～17 (歳)	25	35	-	260	20	25	-	220
18～29 (歳)	25	30	-	280	20	25	-	220
30～49 (歳)	25	30	-	300	20	25	-	230
50～69 (歳)	25	30	-	280	20	25	-	230
70以上 (歳)	25	30	-	260	20	25	-	210
妊婦 (付加量)					+5	+5	-	-
授乳婦 (付加量)					+15	+20	-	-

いう立場からは、含セレン酵素の活性値が飽和している必要はなく、血漿 GPX 活性値の場合は飽和値の3分の2の値で十分と考えられる。以上より、セレンの推定平均必要量は2005年版と同様に、血漿 GPX 活性値が飽和値の3分の2となるときのセレン摂取量(体重60kgの人で24.2 μg/日)<sup>28)</sup>とした。そしてこの値から18歳以上は体重比の0.75乗、1～17歳は体重比の0.75乗と成長因子を用いて外挿し、性・年齢階級別の推定平均必要量を求めた。

推奨量は推定平均必要量に1.2を乗じて求めた。外挿法と数値の丸め方を食事摂取基準全体で統一したことによって年齢階級によっては若干の変化が生じている。なお、低セレン摂取がいくつかのがんの発生リスクを高めるため、がんをはじめとする生活習慣病予防

の観点からセレンの食事摂取基準を定めることも検討したが、現状ではがん予防に適切なセレン摂取量を定めることが困難であるため、従来どおり欠乏症予防の観点からセレンの食事摂取基準を定めた。乳児の目安量は、日本人の母乳中濃度と哺乳量にもとづき設定した。母乳中濃度の採用値が異なるため、2005年版とは若干異なる数値になっている。

毛髪と爪の脆弱化・脱落などの慢性セレン中毒症状を指標にしたセレンの健康障害非発現量は13.3 μg/kg/日である<sup>29)</sup>。2005年版ではこの値と不確定因子2を用いて耐容上限量を設定していた。しかし米国において、血清セレン濃度が121.6 μg/l以上の集団に200 μg/日のセレンをセレン酵母サプリメントとして投与すると2型糖尿病の発生率が有意に上昇したと報告された<sup>30)</sup>。血清セレン濃度



表7 クロムの食事摂取基準( $\mu\text{g}/\text{日}$ )<sup>1)</sup>

性別	男性				女性			
	推定平均 必要量	推奨量	目安量	耐容 上限量	推定平均 必要量	推奨量	目安量	耐容 上限量
0～5 (月)	-	-	0.8	-	-	-	0.8	-
6～11 (月)	-	-	1.0	-	-	-	1.0	-
1～2 (歳)	-	-	-	-	-	-	-	-
3～5 (歳)	-	-	-	-	-	-	-	-
6～7 (歳)	-	-	-	-	-	-	-	-
8～9 (歳)	-	-	-	-	-	-	-	-
10～11 (歳)	-	-	-	-	-	-	-	-
12～14 (歳)	-	-	-	-	-	-	-	-
15～17 (歳)	-	-	-	-	-	-	-	-
18～29 (歳)	35	40	-	-	25	30	-	-
30～49 (歳)	35	40	-	-	25	30	-	-
50～69 (歳)	30	40	-	-	25	30	-	-
70以上 (歳)	30	35	-	-	20	25	-	-
妊婦(付加量)					-	-	-	-
授乳婦(付加量)					-	-	-	-

<sup>1)</sup> 身体活動レベルIIの推定エネルギー必要量を用いて算定した。

121.6  $\mu\text{g}/\text{l}$  はセレン摂取量 84  $\mu\text{g}/\text{日}$  に相当する。したがって、セレン摂取量が 100  $\mu\text{g}/\text{日}$  に近い人が 200  $\mu\text{g}/\text{日}$  のセレンをサプリメントから付加的に摂取し続けることは健康に対して好ましくない影響を与える可能性がある。

以上より、性・年齢階級別体重が最大である 30～49 歳男性（基準体重 68.5 kg）のセレンの耐容上限量を 300  $\mu\text{g}/\text{日}$  とし、他の年齢階級の耐容上限量には 300  $\mu\text{g}/68.5 \text{ kg}/\text{日} = 4.4 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{日}$  を適用した。なお、この 4.4  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{日}$  という数値は、慢性セレン中毒を指標にした場合の健康障害非発現量に不確実性因子 3 を適用したのと結果的に同じであるので、2010 年版の耐容上限量は 2005 年版のほぼ 3 分の 2 の値となっている。

## クロム

クロムはクロモデュリンと呼ばれるクロム結合オリゴペプチドの形態で、インスリン作用の増強にかかわっている<sup>31)</sup>。クロム未添加の高カロリー輸液を投与された患者において耐糖能低下などの糖代謝異常に関連した症状が観察されている。

表 7 にクロムの食事摂取基準を示した。18 歳以上のクロムの推定平均必要量は、2005 年版と同様に高齢者を対象とした出納実験の結果<sup>32,33)</sup> にもとづき、摂取エネルギーあたりの必要量 (12.8  $\mu\text{g}/1000 \text{ kcal}$ ) から設定した。推奨量は推定平均必要量に 1.2 を乗じて求めた。基準体重が変化しているため、性・年齢階級によっては値が若干変化している。これ

表8 モリブデンの食事摂取基準( $\mu\text{g}/\text{日}$ )

性別 年齢	男性				女性			
	推定平均 必要量	推奨量	目安量	耐容 上限量	推定平均 必要量	推奨量	目安量	耐容 上限量
0~5 (月)	-	-	2	-	-	-	2	-
6~11 (月)	-	-	3	-	-	-	3	-
1~2 (歳)	-	-	-	-	-	-	-	-
3~5 (歳)	-	-	-	-	-	-	-	-
6~7 (歳)	-	-	-	-	-	-	-	-
8~9 (歳)	-	-	-	-	-	-	-	-
10~11 (歳)	-	-	-	-	-	-	-	-
12~14 (歳)	-	-	-	-	-	-	-	-
15~17 (歳)	-	-	-	-	-	-	-	-
18~29 (歳)	20	25	-	550	20	20	-	450
30~49 (歳)	25	30	-	600	20	25	-	500
50~69 (歳)	20	25	-	600	20	25	-	500
70以上 (歳)	20	25	-	550	20	20	-	450
妊婦 (付加量)					-	-	-	-
授乳婦 (付加量)					+3	+3	-	-

らの値の信頼性が高くないため、1~17歳に外挿することは見合わせた。乳児の目安量は日本人の母乳中濃度<sup>34)</sup>と哺乳量にもとづき設定した。なお、乳児の目安量は2010年版においてはじめて設定したものである。

糖尿病患者に200~1,000  $\mu\text{g}/\text{日}$ のクロムサプリメントを投与すると症状の改善が認められる。しかし、健康な人へのクロムサプリメント投与が健康にとって好ましい影響を与えることは認められていない<sup>35)</sup>。一方、200~1,000  $\mu\text{g}/\text{日}$ のクロムサプリメント継続摂取による副作用の報告が散発的に認められるが、いずれも同時に服用していた医薬品やサプリメント類の影響を否定できない。以上より、クロム摂取と健康障害との量・反応関係に関する研究は不十分と判断し、2005年版と同様にクロムの耐容上限量設定は見合わ

せた。しかし、このことが200~1,000  $\mu\text{g}/\text{日}$ のクロム摂取が無害であることを保証するものではないことを強調したい。

### モリブデン

モリブデンは3種のモリブデン酵素の必須の構成成分として機能している。モリブデン未添加の高カロリー輸液を長期間投与された一例において、モリブデン酵素である亜硫酸オキシダーゼの低下にもとづくと考えられる症状が認められている。しかしヒトのモリブデン欠乏はこの一例のみである。

表8にモリブデンの食事摂取基準を示した。モリブデンの推定平均必要量は2005年版と同様に、4人の米国人を対象とした出納実験にもとづいて体重76.4kgの人で25  $\mu\text{g}/\text{日}$ <sup>36)</sup>とした。そしてこの値から体重比の0.75

乗を用いて外挿し、18歳以上の性・年齢階級の推定平均必要量を求めた。推奨量は推定平均必要量に1.2を乗じて求めた。外挿法を食事摂取基準全体で統一したことによって性・年齢階級によっては若干の変化が生じている。これらの値の信頼性が高くないため、1～17歳に外挿することは見合わせた。乳児の目安量は日本人の母乳中濃度<sup>34)</sup>と哺乳量にもとづき設定した。なお、乳児の目安量は2010年版においてはじめて設定したものである。

2005年版ではアルメニアで発生した中毒事例にもとづいて、モリブデンの耐容上限量を5  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{日}$ としていた。しかし、この事例報告には多くの問題点があり、この報告に記載される高尿酸血症と痛風様症状にモリブデンがかかわることは疑わしいと判断した。ラットにおけるモリブデンの健康障害非発現量は900  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{日}$ である<sup>37)</sup>。これをヒトに外挿するには、安全性を高める観点からヨーロッパ食品科学委員会が用いている不確実性因子100を適用し、9  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{日}$ にすべきであると考へた。なお、米国における出納実験<sup>38)</sup>からは、ヒトにおけるモリブデンの健康障害非発現量を18  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{日}$ と解釈できるため、上記の9  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{日}$ はヒトの健康障害非発現量に不確実性因子2を適用したことになる。

以上より、18歳以上のモリブデンの耐容上限量には9  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{日}$ を適用した。したがって2005年版に比較して約1.8倍の数値になっている。

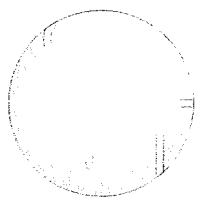
#### 文献

- 1) 厚生労働省. 平成18年国民健康・栄養調査報告. 2009.
- 2) Yokoi K. Numerical methods for estimating iron require-

- ments from population data. *Biol Trace Elem Res* 2003; 95(2): 155-72.
- 3) 野上保治. 経血量に関する研究. *日本不妊学会雑誌* 1966; 11: 189-203.
- 4) Takimoto H, Yoshiike N, Katagiri A, et al. Nutritional status of pregnant and lactating women in Japan: A comparison with non-pregnant/non-lactating controls in the National Nutrition Survey. *J Obstet Gynaecol Res* 2003; 29(2): 96-103.
- 5) Kamei A, Uenishi K, Ishida H, et al. Iron intake and absorption in pregnant and lactating women. *Ann Nutr Metab* 2001; 45 (Supp 1): 44-5.
- 6) FAO/WHO. Evaluation of certain food additives and contaminants. Twenty-seventh report of the Joint FAO/WHO Committee on Food Additives (WHO Technical Report Series, No. 696). FAO/WHO, Rome, 1983 (and corrigenda).
- 7) 倉澤隆平, 久堀周次郎. 地域住民にみる亜鉛欠乏の実態と亜鉛の有効性. *微量栄養素研究* 2008; 25: 1-7.
- 8) Food and Nutrition Board, Institute of Medicine. Zinc. In: *Dietary reference intakes for vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium, and zinc*: National Academies Press; 2001. p 442-501.
- 9) 鈴木和春, 五島孜郎, 菅家祐輔ほか. 小児期における亜鉛および銅出納について. *日本栄養・食糧学会誌* 1983; 36(4): 231-7.
- 10) Fosmire G. Zinc toxicity. *Am J Clin Nutr* 1990; 51(2): 225-7.
- 11) Turnlund JR, Keen CL, Smith RG. Copper status and urinary and salivary copper in young men at three levels of dietary copper. *Am J Clin Nutr* 1990; 51(4): 658-64.
- 12) Turnlund JR, Scott KC, Peiffer GL, et al. Copper status of young men consuming a low-copper diet. *Am J Clin Nutr* 1997; 65(1): 72-8.
- 13) Turnlund JR. Human whole-body copper metabolism. *Am J Clin Nutr* 1998; 67 (5 Suppl): S 960-4.
- 14) Pratt WB, Omdahl JL, Sorenson JR. Lack of effects of copper gluconate supplementation. *Am J Clin Nutr* 1985; 42(4): 681-2.
- 15) 白石久二雄. 微量元素の摂取量. *臨床栄養* 1994; 84(4): 381-9.
- 16) Food and Nutrition Board, Institute of Medicine. Manganese. In: *Dietary reference intake for vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium, and zinc*: National Academies Press; 2006. p 350-5.
- 17) Fuse Y, Saito N, Tsuchiya T, et al. 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* 2007; 17(2): 145-55.
- 18) Nagataki S. The average of dietary iodine intake due to the ingestion of seaweed is 1.2 mg/day in Japan. *Thyroid* 2008; 18(6): 667-8.
- 19) Katamine S, Mamiya Y, Sekimoto K, et al. Iodine content of

- various meals currently consumed by urban Japanese. *J Nutr Sci Vitaminol* 1986; 32(5) : 487-95.
- 20) Fisher DA, Oddie TH. Thyroidal radioiodine clearance and thyroid iodine accumulation : contrast between random daily variation and population data. *J Clin Endocrinol Metab* 1969; 29(1) : 111-5.
  - 21) Fisher DA, Oddie TH. Thyroid iodine content and turnover in euthyroid subjects : validity of estimation of thyroid iodine accumulation from short-term clearance studies. *J Clin Endocrinol Metab* 1969; 29(5) : 721-7.
  - 22) Muramatsu Y, Sumiya M, Ohmomo Y. Stable iodine contents in human milk related to dietary algae consumption. *Hoken Butsuri* 1983; 18 : 113-7.
  - 23) Nishiyama S, Mikeda T, Okada T, et al. Transient hypothyroidism or persistent hyperthyrotropinemia in neonates born to mothers with excessive iodine intake. *Thyroid* 2004; 14(12) : 1077-83.
  - 24) Zhao J, Wang P, Shang L, et al. Endemic goiter associated with high iodine intake. *Am J Public Health* 2000; 90(10) : 1633-5.
  - 25) Seal AJ, Creeke PI, Gnat D, et al. Excess dietary iodine intake in long-term African refugees. *Public Health Nutr* 2006; 9(1) : 35-9.
  - 26) 今野則道, 飯塚徳男, 川崎君王, ほか. 北海道在住成人における甲状腺疾患の疫学的調査 —ヨード摂取量と甲状腺機能との関係—. *北海道医学雑誌* 1994; 69 : 614-26.
  - 27) Zimmermann MB, Ito Y, Hess SY, et al. High thyroid volume in children with excess dietary iodine intakes. *Am J Clin Nutr* 2005; 81(4) : 840-4.
  - 28) WHO/FAO/IAEA. Selenium. In: *Trace elements in human nutrition and health*. WHO, Geneva, 1996 : 105-22.
  - 29) Yang G, Zhou R. Further observations on the human maximum safe dietary selenium intake in a seleniferous area of China. *J Trace Elem Electrolytes Health Dis* 1994; 8(3-4) : 159-65.
  - 30) Stranges S, Marshall JR, Natarajan R, et al. Effects of long-term selenium supplementation on the incidence of type 2 diabetes : a randomized trial. *Ann Intern Med* 2007; 147(4) : 217-23.
  - 31) Vincent JB. Recent advances in the nutritional biochemistry of trivalent chromium. *Proc Nutr Soc* 2004; 63(1) : 41-7.
  - 32) Bunker VW, Lawson MS, Delves HT, et al. The uptake and excretion of chromium by the elderly. *Am J Clin Nutr* 1984; 39(5) : 797-802.
  - 33) Offenbacher EG, Spencer H, Dowling HJ, Pi-Sunyer FX. Metabolic chromium balances in men. *Am J Clin Nutr* 1986; 44(1) : 77-82.
  - 34) Yoshida M, Takada A, Hirose J, et al. Molybdenum and chromium concentrations in breast milk from Japanese women. *Biosci Biotechnol Biochem* 2008; 72(8) : 2247-50.
  - 35) Balk EM, Lau J, Tatsioni A, et al. Effect of chromium supplementation on glucose metabolism and lipids : A systematic review of randomized controlled trials. *Diabetes Care* 2007; 30(8) : 2134-63.
  - 36) Turnlund JR, Keyes WR, Peiffer GL, Chiang G. Molybdenum absorption, excretion, and retention studied with stable isotopes in young men during depletion and repletion. *Am J Clin Nutr* 1995; 61(5) : 1102-9.
  - 37) Fungwe TV, Buddingh F, Demick DS, et al. The role of dietary molybdenum on estrous activity, fertility, reproduction and molybdenum and copper enzyme activities of female rats. *Nutr Res* 1990; 10(5) : 515-24.
  - 38) Turnlund JR, Keyes WR, Peiffer GL. Molybdenum absorption, excretion, and retention studied with stable isotopes in young men at five intakes of dietary molybdenum. *Am J Clin Nutr* 1995; 62(4) : 790-6.





## 微量元素(2)

スポット

### 日本人はセレン摂取を増やすべきか

関西大学 化学生命工学部 食品工学研究室 吉田宗弘 *Yoshida, Munehiro*

必須微量元素であるセレン (Se) は、がんなどの慢性疾患に対して予防的に作用するといわれており、健康増進の立場からその積極的な摂取を勧める向きもある。しかし、Se はヒ素に匹敵する毒性元素であり、米国では Se サプリメントの過剰摂取による、爪変形などの症状をとまなう中毒事例も報告されている。本稿では、日本人の Se 摂取の現状と、日本人ががん予防のために Se 摂取を増やす必要があるかを論じる。

#### Se の機能と欠乏症

ヒトにはグルタチオンペルオキシダーゼ (GPX) など 25 種の含 Se 蛋白質が存在する。Se の栄養機能はこれらの含 Se 蛋白質の機能に一致する。なかでも GPX は、過酸化水素や過酸化脂質を分解する機能を有しており、細胞を酸化ストレスから保護している。ヒトを含む高等動物に発生する Se 欠乏症はいずれも酸化障害であることから、GPX の抗酸化機能の重要性は明らかである。一方、甲状腺ホルモンの活性化に必須のヨードチロニン脱ヨウ素酵素も含 Se 蛋白質である。ヨウ素欠乏地域であるアフリカ中央部では、Se 欠乏がヨウ素欠乏症を重症化しているといわれている。

ヒトの Se 欠乏症は心肥大、ミトコンドリアの崩壊、心筋壊死を特徴とする心筋症として発現する。このような重度の栄養性 Se 欠乏症を予防するために、日本の食事摂取基準では、成人の Se 推奨量 (RDA) を 25~35  $\mu\text{g}/\text{日}$ としている<sup>1)</sup>。

#### 食品中の Se 含量と Se 供給源

魚介、畜肉、卵、小麦製品は 0.2  $\mu\text{g}/\text{g}$  以上の Se 含量が期待でき、主要な Se 供給源である。ただし、小麦製品は、高 Se 地域の北米産硬質小麦を原

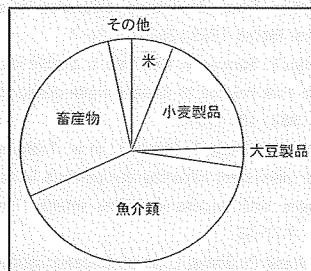


図1 日本人の Se 摂取に対する各食品群の寄与

料とするパン、国産パスタ、および即席麺類のみが高 Se 含量である。世界各国の Se 摂取量は、魚介類摂取と家畜飼料も含めた北米産穀物への依存度にほぼ規定される。図 1 に、日本人の Se 摂取に対する各食品群の寄与を示した<sup>2)</sup>。魚介類を多食する日本人の Se 摂取量は 50~200  $\mu\text{g}/\text{日}$  (平均で約 100  $\mu\text{g}/\text{日}$ ) であり、通常の食生活であれば、かつての中国の克山病のような Se 欠乏症の発生する可能性は低い。ただし、高 Se 食品を摂取しない偏食や食習慣、たとえばビーガンと称される極端な菜食主義者では、Se 欠乏を起こす危険性があるため<sup>3)</sup>、適切な食事指導を行う必要がある。

日本での Se 欠乏症のほとんどは、静脈栄養か経腸栄養を施されていた患者に発生している<sup>4)</sup>。現在でも成分栄養剤には Se が補給されていないので、このような患者は定期的に血清 Se 濃度を測定し、Se 栄養状態を監視する必要がある。

#### Se 栄養状態とがん発生との関連

疫学研究において、低 Se 栄養状態はがん発生の危険因子と同定されている。図 2 は、フィンランドで行われた研究結果である<sup>5)</sup>。血清 Se 濃度の低い集団ほど肺癌発生のリスクが上昇している。しかし、フィンランド人の平均 Se 摂取量が約 30

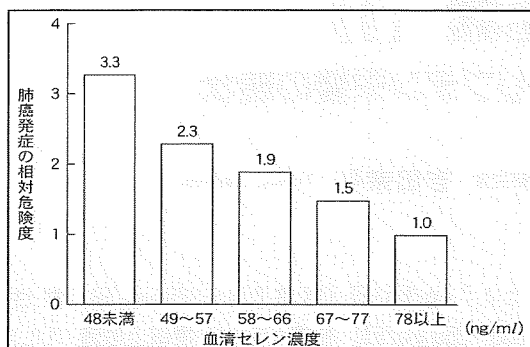


図2 肺癌の発生と血清セレン濃度との関係  
10年前の血清Se濃度にもとづいて対象者を5群に分け、現在の肺癌発生率を、もっともSe濃度の高い群を1.0として比較した。(文献5より)

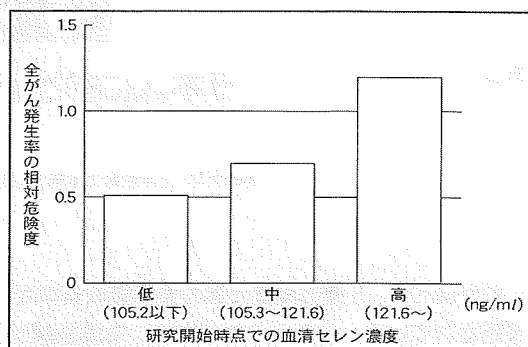


図3 栄養上必要量以上のセレン投与によるがん発生率変化  
皮膚癌既往者に4.5年間、200 $\mu$ g/日のSeを投与、研究開始時点の血清セレン濃度に基づいて3群に分け、Se非投与者とのがん発生率を比較した。(文献8より)

$\mu$ g/日、日本人血清Se濃度が80~140 $\mu$ g/ml(平均で110~130 $\mu$ g/ml)であることから<sup>6)</sup>、この研究結果を日本人に適用することはできない。

近年、米国において、皮膚癌既往者に200 $\mu$ g/日のSeを4.5年間投与したところ、全がんの発生率と死亡率が50%近く低下したという研究が報告された<sup>7)</sup>。この研究は、RDAを大幅に超えるSeの摂取ががん予防に繋がることを暗示するとして、Seの積極摂取を勧める根拠にされている。しかし、この研究の最終報告では、図3のように、Se投与効果が明らかだったのは、研究開始時に低血清Se濃度の集団であり、高血清Se濃度の集団ではSe投与は無効だったことが示されている<sup>8)</sup>。

### 日本人はSe摂取量を増やすべきか

図3の結果は、がん予防に対するSe補給効果が、一定投与範囲でのみ生じ、その範囲を超えると無効、もしくは逆効果になることを意味している。日本人血清Se濃度の平均値(110~130 $\mu$ g/ml)とSe摂取量の平均値(約100 $\mu$ g/日)から判断すると、日本人のほぼ半数は、図3の高血清Se濃度群に相当し、この研究のような200 $\mu$ g/日ものSe補給は、食事摂取基準の上限量(350~450 $\mu$ g/日)を超える危険性があるといえる。

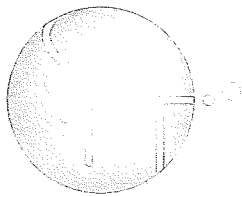
以上のことから、Se補給によってがん予防を期待できるのは、フィンランド人のように平均Se摂取量が50 $\mu$ g/日未満の集団であり、日本人のよ

うに食事からRDAを大幅に超えるSe摂取が達成できている集団の場合は、個人単位でSe栄養状態を把握したうえで、Se補給量を判断すべきといえる。しかし、現実問題として、個人のSe栄養状態を把握し、Se補給量を決定することが可能だろうか。RDAを大幅に超えるSe摂取ががん予防に繋がることを示す研究が上記一例のみであることを考慮すれば、日本人ががん予防を目的として、サプリメントなどから積極的にSeを摂取するのは時期尚早といわざるをえない。

なお米国では、32,000人を対象に、12年間にわたってSeとビタミンEによるがん抑制効果を調査するSELECT (Selenium and Vitamin E Cancer Prevention Trial) が開始されている。がん予防にSeを積極的に利用すべきかの判断もこの研究結果にかかっている。

### 文献

- 厚生労働省策定 日本人の食事摂取基準(2005年版):第一出版;2005. p 184-8.
- 吉田宗弘. 日本栄養・食糧学会誌 1992;45:485-94.
- Larsson CL, Johansson GK. Am J Clin Nutr 2003;76:100-6.
- 岡田 正. Biomed Res Trace Elem 1991;2:283-8.
- Knekt P, Alfthan G, Aromaa A, et al. In: Selenium in Biology and Medicine (Ed by Wendel A):Springer-Verlag;1989. p 313-6.
- 姫野誠一郎. 日本臨牀 2004;62(増刊号12):295-300.
- Clark LC, Combs GF Jr, Turnbull BW, et al. JAMA 1996;276:1957-63.
- Duffield-Lillico AJ, Reid ME, Turnbull BW, et al. Cancer Epidemiol Biomarkers Prev 2002;11:630-9.



スポット

## 微量元素 (1)

### 日本人におけるモリブデン栄養の現状

関西大学 化学生命工学部 食品工学研究室 吉田宗弘 *Yoshida, Munehiro*

わが国では、8種の微量元素の食事摂取基準が策定されている。これらのなかには、栄養を専門にする人にとっても、なじみの薄いものが含まれている。とくにモリブデン(Mo)は、クロムなどと同様に食品成分表にも取り上げられておらず、臨床栄養に携わる人にとって「謎」につつまれた栄養素といえる。本稿では、Moの機能と欠乏症、および日本人のMo栄養の現状を紹介する。

#### Moの機能と欠乏症

ヒトにおいて、Moはキサンチンオキシダーゼ、アルデヒドオキシダーゼ、亜硫酸オキシダーゼの補酵素(Mo補欠因子)として機能している。先天的にMo補欠因子を合成できないヒトでは、亜硫酸の蓄積による重度の脳障害や水晶体の異常、およびキサンチン代謝異常による血清尿酸濃度の異常などが生じる。Moをほとんど含まない高カロリー輸液を長期間投与した一例において、亜硫酸オキシダーゼ活性の低下にともなうと思われる神経過敏、昏睡、頻脈、頻呼吸などの神経症状が発生している<sup>1)</sup>。これらの症状がMo投与により消失したことから、この症例はMo欠乏であると考えられている。しかしヒトでのMo欠乏はこの一例のみであり、食事性の欠乏症は知られていない。

#### Moの食事摂取基準<sup>2)</sup>

わが国では、米国でのヒトを対象にした実験をもとに、暫定的に、成人のMo推定平均必要量(EAR)を男性20 $\mu$ g/日、女性15 $\mu$ g/日、推奨量(RDA)を男性25 $\mu$ g/日、女性20 $\mu$ g/日としている。一方、アルメニアでの中毒事例から、Moの最低副作用発現量(LQAEL)は0.14mg/kg/日と考えられている。わが国では、この数値を30で除し

た4.7 $\mu$ g/kg/日(男性270~320 $\mu$ g/日、女性230~250 $\mu$ g/日)を成人のMo摂取上限値(UL)としている。このULは、WHOや米国の環境保護局(EPA)でも採用されているが、米国の食事摂取基準では、動物実験をもとに、MoのULを30 $\mu$ g/kg/日(2mg/日)としている<sup>3)</sup>。

わが国では、日本人母乳のMo濃度に関する情報不足を理由に、乳児のMo摂取目安量(AI)を設定していない。しかし最近の報告では、日本人女性78名の母乳Mo濃度の平均値、幾何平均値、中央値は、それぞれ4.5、3.4、2.9 $\mu$ g/lであることが示されている<sup>4)</sup>。ほかの微量元素と同様に、母乳中濃度の平均値と1日泌乳量(0.78l)を乗じたものを乳児のAIと考えるならば、日本人乳児のMoのAIは3.5 $\mu$ g/日となる。なお米国では、母乳Mo濃度の平均値を2 $\mu$ g/lとし、乳児のMoのAIを2 $\mu$ g/日としている<sup>3)</sup>。一方、わが国で市販されている調製乳中のMo濃度は、調乳後の平均値が2.4 $\mu$ g/lである<sup>4,5)</sup>。この値は日本人母乳の平均値よりは低いが、米国人母乳の平均値に匹敵している。

#### 食品中Mo含量とMo摂取量<sup>6)</sup>

高Mo含量の食品は穀物と豆類である。精白米のMo含量は約0.5~1.0 $\mu$ g/gであり、日本人にとってコメはもっとも主要なMo供給源である。大豆製品は、大豆の産地によってばらつきが大きい。豆腐のような水分含量の高いものでも0.3~0.5 $\mu$ g/gのMoを含む。したがって、大豆製品も主要なMo供給源である。なお、動物性食品のMo含量は、卵黄とレバーを除くときわめて低く、ほとんどが0.05 $\mu$ g/g未満である。

食品中Mo含量と国民健康・栄養調査における

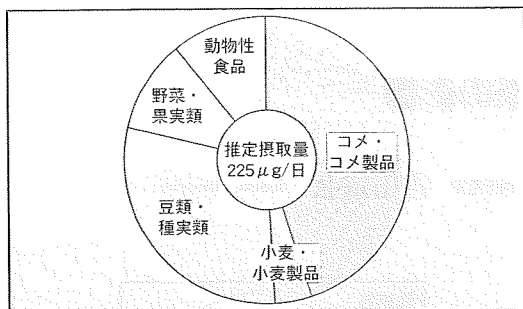


図 日本人の Mo 摂取への各食品群の寄与

食品群別摂取量をもとに、日本人の Mo 摂取量を推定すると 225.2 μg/日という数値が得られる。図は、この推定において、各食品群の寄与を示したものである。日本人の Mo 摂取の約 75% はコメと豆製品に由来し、動物性食品の寄与は約 10% にすぎない。一方、Mo 出納試験においては、大豆製品を使用しない献立、大豆製品中心の献立、および自由に調製した献立の Mo 濃度が、それぞれ 150 μg/日、320 μg/日、220 μg/日と実測されており、上記の推定と矛盾しない結果が得られている<sup>9)</sup>。これらのことから、一般の日本人は、日常的に RDA のほぼ 10 倍に相当する Mo を摂取しており、UL を上回る Mo 摂取も容易に起こりうると結論できる。したがって、通常の食生活では、Mo 摂取不足を懸念する必要はまったくないと断言できる。

### モリブデン栄養状態の指標

Mo 摂取が 150~320 μg/日の日本人女性を対象にした出納試験においては、食事中の Mo は 90% 以上が消化管から吸収されること、吸収 Mo のほとんどは速やかに尿に排泄されること、Mo 出納は平衡状態にあることが示されている<sup>9)</sup>。このことから、日常的な Mo 摂取の範囲では Mo の蓄積は生じないと考えられる。

ほかの微量元素と同様に、Mo の血漿中濃度は Mo の摂取状態にもなって変動するため、Mo 栄養状態の指標として利用できると考えられる。日本人成人 70 人の血漿 Mo 濃度を測定した報告においては、健常人の血漿 Mo 濃度の幾何平均値

は 0.70 μg/l であり、参照範囲は 0.10~4.73 μg/l であるとしている<sup>7)</sup>。また、血漿 Mo 濃度は、肝機能低下や腎臓疾患によって上昇する。

### おわりに

日本人の Mo 摂取量は、食事摂取基準と比較すると、RDA の 10 倍、UL を超えることも珍しくないというのが実情である。したがって、通常の献立において摂取不足を懸念する必要はない。高カロリー輸液施行者の場合は、血漿 Mo 濃度を定期的にモニターし、不足が懸念される場合には、一般人の摂取量の 4 分の 1~2 分の 1 に相当する 50~100 μg/日程度の Mo (モリブデン酸塩) を補足する必要があるかもしれない。

わが国の食事摂取基準における Mo の UL は毒性学立場から導かれた数値である。微量元素の場合、毒性学的に UL を算定すると、摂取の実情に合わなくなる場合が多い。現在の日本において、Mo 過剰摂取に起因する健康障害はまったく知られていない。Mo 摂取の実態が明らかになったことから、次回の食事摂取基準においては、Mo の UL は現在よりも大きな値 (少なくとも EU が採用している 600 μg/日<sup>8)</sup>) に改訂すべきであろう。大豆製品の大量摂取によって、Mo 摂取量が 400 μg/日に近い値になったとしても問題はないと思われる。

### 文 献

- 1) Abumrad NN, Schneider WR, Steel D, Rogers LS. Am J Clin Nutr 1981; 34: 2551-9.
- 2) 厚生労働省策定 日本人の食事摂取基準 (2005 年版): 第一出版; 2005. p 152-5.
- 3) Institute of Medicine. Dietary reference intakes for vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium and zinc: National Academy Press; 2001. p 420-41.
- 4) 吉田宗弘, 伊藤智恵, 服部浩之, ほか. 微量栄養素研究 2004; 21: 59-64.
- 5) Hattori H, Ashida A, Ito C, Yoshida M. J Nutr Sci Vitaminol 2004; 50: 404-9.
- 6) Yoshida M, Hattori H, Ota S, et al. J Trace Elem Med Biol 2006; 20: 245-52.
- 7) Yoshida M, Ota S, Fukunaga K, Nishiyama T. J Trace Elem Med Biol 2006; 20: 19-23.
- 8) EC Scientific Committee on Food. Opinion of the Scientific Committee on Food on the Tolerable Upper Intake Level of Molybdenum. (expressed on 19 October 2000). <http://europa.eu.int/comm/food/fs/sc/scf/out 80 h\_en.pdf>.