

# 牛乳・乳製品と微量栄養素について

松 井 徹\*

(京都大学名誉教授)

## Micronutrients in dairy products

Tohru Matsui

(Emeritus Professor at Kyoto University)

### 要 旨

母乳中の微量栄養素濃度は試料によって大きな差があり、6か月齢未満の乳児では母乳からの供給のみではビタミン（V）D, VK, 鉄の不足が危惧される。乳児用調製粉乳の100 kcalあたりのVK, VD, 鉄含量は栄養基準である目安量に比べて多く、他のほとんどの微量栄養素同様に乳児用調製粉乳の表示許可基準やCodex国際規格を満たしており、これらが不足するリスクは低減していた。日本人は、牛乳としては普通牛乳を、チーズとしてはプロセスチーズを主に摂取している。学童期の子供では、平均的な普通牛乳の摂取量から供給されるVB<sub>2</sub>, パントテン酸, VB<sub>12</sub>, カルシウム, ヨウ素, モリブデン, リン, セレンについてはそれぞれの栄養基準量の20%以上に達しており、普通牛乳の摂取はこれら微量栄養素の充足に大きく貢献していると考えられる。また、VA, VD, VB<sub>1</sub>, ナイアシン, ビオチン, マグネシウム, 亜鉛についてはそれぞれ栄養基準量の10%程度以上が供給されており、普通牛乳はこれらの供給源としても期待できる。成人では平均的な普通牛乳の摂取量が少ないので、普通牛乳からの微量栄養素の供給は限定的である。またプロセスチーズについては子供も成人も料理等として摂取する量を含めた平均的な摂取量が少ないため、微量栄養素源としての貢献はわずかである。成人では子供と同程度の普通牛乳の摂取が健康増進に貢献することが示唆される。

### はじめに

身体を構成する無機質のなかで摂取する必要がある元素がミネラルである。日本人の食事摂取基準(2025年版)(食事摂取基準)<sup>1)</sup>では、ヒトにおいて必要な量が鉄を上回る元素は多量ミネラル、必要な量が鉄以下の元素は微量ミネラルに区分されている。微量摂取が必要な有機質である脂溶性ビタミンや水溶性ビタミンとともにミネラルは微量栄養素と呼ばれている。

\* E-mail : matsui.tohru.57e@st.kyoto-u.ac.jp

食事摂取基準<sup>1)</sup>には、健康な日本人が摂取すべき栄養素の1日あたりの基準量(栄養基準量)が年齢階級別や性別の集団ごとに設定されている。摂取不足を防ぐための栄養基準量には、各集団において構成員の半数が必要量を満たす量として定義される推定平均必要量と、その集団の構成員のほとんど(97~98%)が必要量を満たす量として定義される推奨量がある。また、十分な科学的根拠がないため推定平均必要量や推奨量が設定できない場合は、対象とする集団で不足する構成員がほとんどいない十分な量である目安量が用いられる。一方、過剰

摂取による健康被害を防ぐために十分な科学的根拠がある場合、耐容上限量が設定されている。食事摂取基準では、脂溶性ビタミンであるビタミンA (VA)、ビタミンD (VD)、ビタミンE (VE)、ビタミンK (VK)、水溶性ビタミンであるビタミンB<sub>1</sub> (VB<sub>1</sub>)、ビタミンB<sub>2</sub> (VB<sub>2</sub>)、ナイアシン、ビタミンB<sub>6</sub> (VB<sub>6</sub>)、ビタミンB<sub>12</sub> (VB<sub>12</sub>)、葉酸、パントテン酸、ピオチン、ビタミンC (VC)、多量ミネラルであるナトリウム (食塩相当量)、カリウム、カルシウム、マグネシウム、リン、微量ミネラルである鉄、亜鉛、銅、マンガン、ヨウ素、セレン、クロム、モリブデンについて摂取不足を防ぐための栄養基準量がそれぞれ設定されている。ナトリウム摂取の増加は心疾患や脳血管疾患など生活習慣病のリスクを高め、カリウム摂取の増加はこれら生活習慣病のリスクを低める。そこで、生活習慣病のリスクの高まりを予防する目的で、食事摂取基準では、摂取過剰や不足を防ぐための栄養基準量とは別に、現在の日本人の当面の目標とすべき摂取量 (目標量) として、微量栄養素では1日あたりのナトリウムの摂取上限量およびカリウムの摂取下限量が設定されている。生活習慣病の予防には、子供の頃からの健全な食習慣の獲得が重要である。そこで、ナトリウムでは1歳以上から、カリウムでは3歳以上から目標量が設定されている。

高用量のクロム化合物は糖尿病モデル動物やヒトに対して糖代謝改善効果を有することが報告されているが、効果があったとしても薬理的作用であり、クロムの欠乏症は知られていないため、クロムは微量ミネラルとされていない<sup>2)</sup>。また、コバルトも微量ミネラルに含めることがあるが、ヒトではVB<sub>12</sub>の構成成分として機能しており、コバルト自体を摂取する必要はない。この他、動物においてホウ素、ニッケル、ケイ素、バナジウムなどが必須であることが示唆されているが<sup>3)</sup>、知見は十分ではなく、再現も多くの場合確認されておらず、現時点では必須性の判断はできていない。

6か月齢までは母乳と乳児用調製粉乳が主な栄養源となる。また、日本人の食事を構成する食品群の

中で、乳類の摂取量は、嗜好飲料類、穀類、野菜類に次いで多く、嗜好飲料類を除く食品摂取総重量の約10%に相当する<sup>4)</sup>。乳類の主体である牛乳と乳製品はタンパク質や微量栄養素を比較的多く含んでいる。本稿では、6か月齢までの乳児における母乳と乳児用調製粉乳から供給される微量栄養素の貢献について解説する。また、学童期の子供と成人の男女における牛乳や乳製品に由来する微量栄養素の貢献について解説する。なお、微量栄養素の耐容上限量については、通常の母乳や牛乳、乳製品では超えることは想定されないので、本稿では言及していない。

## 1. 乳児の微量栄養素摂取

母乳は乳児の成長に必要な栄養素を供給できる完全栄養食であり、6か月齢までの完全母乳栄養児には栄養素の不足はないとされている。母乳が不足した場合や授乳の継続が困難な場合に母乳の代替品として、牛乳由来の成分を主要原料とする乳児用調製粉乳が用いられる。

国内では、乳児用調製粉乳は特別用途食品に分類されており、乳児用調製粉乳の表示許可基準<sup>5)</sup>に示された範囲に適合するように栄養素含量を調整し、乳児の発育に必要な栄養条件を満たすように設計されている。FAOとWHOが合同で設置している国際食品規格委員会 (Codex 委員会) が策定した乳児用調製粉乳の下限值 (minimum) と上限値から成るCodex国際規格がある<sup>6)</sup>。国内の表示許可基準はほとんどがCodex国際規格と一致している。Codex国際規格では上限値としてVA、VD、ナトリウム、カリウムで超えてはならない最大値 (maximum) が、その他の微量栄養素では指導値 (guidance level, 十分な科学的根拠はないが、安全性が確認されている値であり、通常は超えてはならない値) が設定されている。しかし日本の表示許可基準ではこれらの区別はなくすべて基準範囲の上限値として示されている。また、Codex国際規格では設定されている塩素、VK、マンガン、ヨウ素の基準値が表示許可基準では未設定であること、セレンについてはCodex国際規格の指導値よりも表示許可基準の

上限値が低い点などが異なっている。アメリカでも連邦規則集 (Code of Federal Regulations, CFR)<sup>7)</sup>で乳児用調製粉乳の栄養素基準値として下限値 (minimum level) と上限値 (maximum level) を策定しているが、多くの微量栄養素の基準値は Codex 規格と CFR 規則で異なっている。

食事摂取基準<sup>1)</sup>では、VD、鉄、ヨウ素以外の微量栄養素について国内の代表的な母乳中濃度と標準的な哺乳量 (基準哺乳量, 780 mL/日) から推計された母乳からの1日あたりの微量栄養素供給量を基に目安量が設定されており、100 kcal あたりで示すと微量栄養素目安量は国内の代表的な母乳から供給される量の94%~128%であった。なお、鉄については、食事摂取基準は代表とされる国内の母乳中铁濃度の知見が十分ではないとして、アメリカ・カナダの食事摂取基準 (Dietary Reference Intakes, DRI)<sup>8)</sup> で採用されている母乳中铁濃度を用いて、目安量が設定されている。ヨウ素については、国内の母乳中ヨウ素濃度から得られる目安量は、DRIで設定されている目安量を参照した結果、高すぎると判断した。そこで、DRIの目安量を基に、乳児の体格差を考慮してヨウ素の目安量が設定されている。VDに関しては後述する。

食事摂取基準<sup>1)</sup>で代表的とされる母乳中微量栄養素含量、日本食品標準成分表 (八訂) 増補 2023 年 (標準成分表 (八訂))<sup>9)</sup> で示されている乳児用調製粉乳と乳児用調製粉乳の主原料である牛乳中の微量栄養素含量について、それぞれの微量栄養素の表示許可基準を用いて比較した。なお、Codex 国際規格では設定されているが、表示許可基準では未設定である VK、マンガン、ヨウ素は Codex 国際規格を用いて比較検討した。表示許可基準や Codex 国際規格では微量栄養素含量は 100 kcal あたりで示されている。そこで、母乳中濃度については比重 1.017<sup>1)</sup> を用いて 100 g あたりの微量栄養素含量に換算し、100 g あたりで示されている乳児用調製粉乳と普通牛乳の微量栄養素含量とともに、それぞれのエネルギー含量<sup>9)</sup> から、100 kcal あたりの微量栄養素含量を算出した。1日あたりの摂取量として設定され

ている微量栄養素の目安量は、基準哺乳量とエネルギー含量を用いて 100 kcal あたりの含量として示した。塩素については多くの場合、塩化ナトリウムとして摂取されており、ナトリウムと並行して摂取量が増減するため、食事摂取基準では栄養基準量が設定されていないので、今回の検討から除いた。

#### (1) 母乳中微量栄養素量

国内の母乳中微量栄養素濃度を調査した報告では、母乳中濃度は試料により大きく変動することが示されており<sup>10-12)</sup>、母親の健康、栄養、生理状態などの影響によって変動すると考えられている。

授乳期の進行に伴って、母乳中 VB1、VB2、VB6 濃度は上昇し、VK を含む脂溶性ビタミン、VB12、葉酸、VC 濃度は低下する<sup>10,12)</sup>。また、母乳中ナトリウム、カリウム、カルシウム、亜鉛、銅、セレン濃度も授乳期の進行とともに低下する<sup>11,13)</sup>。

母親の鉄、銅、亜鉛の栄養状態はこれらの母乳中濃度には影響しない<sup>14)</sup>。しかし、一部の微量栄養素では、母親の欠乏が母乳中濃度を減少させ、母乳栄養児でもその微量栄養素の欠乏が生じる可能性がある。

ヒトを含めた動物では、食物由来や皮膚で合成される VD の多くが、体内で 25-ヒドロキシビタミン D に変換されるので、25-ヒドロキシビタミン D が血清中の主な VD であり、VD の栄養状態の指標になる。また、母乳、牛乳、乳製品には VD に匹敵または VD 以上の 25-ヒドロキシビタミン D が含まれている<sup>15-17)</sup>。

欧米での研究で、血清中 25-ヒドロキシビタミン D 濃度が低く VD 欠乏と判定された授乳中の母親に VD を補給すると、母親の血清中 25-ヒドロキシビタミン D 濃度が顕著に回復し、母乳中 VD と 25-ヒドロキシビタミン D 濃度から算出された抗くる病活性および乳児の血清中 25-ヒドロキシビタミン D 濃度も上昇したことから、母親のビタミン D 栄養状態が母乳を介して乳児に影響することは明らかである<sup>15,18)</sup>。

国内の調査において、近年では1989年と比べて夏季の母乳中のVDと25-ヒドロキシビタミンD濃度が著しく低下しており、母親が屋外で日射を受ける時間の減少や「健康」のために用いられる日焼け止めなどによる皮膚での日射量の減少によって、VD合成が低下していると考えられている<sup>19)</sup>。乳児でも母親と同様に、日射機会の抑制により特に夏期の皮膚でのVD合成が低下していることが示唆されている<sup>20)</sup>。国内では、出産後の母親の36%でVDの摂取量が目安量を下回っており、低い血清中25-ヒドロキシビタミンD濃度から多くの母親がVD不足であることが示された<sup>21)</sup>。また、22%の新生児がVD欠乏の臨床状態である頭蓋癆と診断され<sup>22)</sup>、母乳栄養児の約50%が低い血清中25-ヒドロキシビタミンD濃度からVD欠乏であると判定されている<sup>20,22)</sup>。日本小児内分泌学会<sup>23)</sup>も、乳児のビタミンD欠乏の危険因子として、完全母乳栄養、母親のビタミンD欠乏、日光ばく露不足を挙げている。国内の乳児においてVD合成が低下している状態では、VD不足である母親の母乳からのVD供給では十分でなく、多数の乳児でVDが不足している可能性がある。そのため乳児のVD目安量の設定に、国内の代表的な母乳中VDと25-ヒドロキシビタミンD濃度をそのまま用いることは適切ではない。食事摂取基準は、日照を受ける機会が少なく、くる病のリスクがある母乳栄養児に対しVDを補給し、くる病が予防できた補給量と母乳からの供給量のVD総摂取量を根拠として設定されたアメリカ小児学会のガイドライン<sup>24)</sup>を適用し、乳児のVD目安量としている。

VKは胎盤を通過しにくいため出生時の蓄積量は多くない<sup>8)</sup>。また、一般に母乳中のVK濃度は低く、腸内発酵から限定的ではあるがVKが供給されている成人とは異なり、乳児では腸内発酵によるVK産生がないため、欠乏症が生じやすい。VK欠乏症では、出生直後に頭蓋骨の骨膜下、頭蓋内、胸郭内、腹腔内で出血が生じる<sup>25)</sup>。次いで出生2日後から2週に、典型的な乳児のVK欠乏症として知られている消化管、副腎、頭蓋内、鼻、皮膚などで出血が認

められ、2週から12週後でも消化管、皮膚、頭蓋内で出血が生じる。母親のVK栄養状態の改善により、母乳中のビタミンK濃度は上昇する<sup>26)</sup>。しかし、母乳からのVK供給のみに依存している乳児では欠乏症が生じる可能性がある。国内では、乳児のVK欠乏を予防するため、出生直後にVKが投与されており、食事摂取基準のVK目安量はVKが投与されていることを前提に設定されている<sup>1)</sup>。

これら以外に、母乳中のセレン濃度は母親のセレン摂取量の影響を受ける可能性<sup>27,28)</sup>、母親のヨウ素摂取量の増加に伴って母乳中ヨウ素濃度が上昇すること<sup>29)</sup>、母乳中モリブデン濃度は母親のモリブデン摂取量に大きく影響される可能性<sup>30)</sup>、母親の骨密度が高いほど母乳中カルシウム濃度も高く、母体の骨組織に蓄積されたカルシウムが多いほど母乳へ多く移行すること<sup>31)</sup>などが報告されている。

新生児では、胎児期に母親から供給された余剰の鉄が蓄積されている。しかし、母乳からの鉄供給は十分ではなく、母乳栄養児では成長に伴い鉄の蓄積量は低下し続ける。特に妊婦が鉄不足の場合は胎児の鉄蓄積量が少なく、男児では出生後6か月までに鉄欠乏が生じ始めるとされており、母乳哺育の延長は鉄欠乏性貧血発生のリスクをさらに高める<sup>32)</sup>。国内の調査でも、9か月齢の母乳栄養児では人工栄養児と比べ鉄欠乏性貧血が生じやすいことが示唆されている<sup>33)</sup>。

多くの微量栄養素の乳児用調製粉乳の表示許可基準<sup>5)</sup>の下限値は100 kcalあたりで示した代表的な母乳中含量の80%程度以上であった(表1、表2)。しかし、パントテン酸、銅、セレンの表示許可基準の下限値は母乳中の含量の半分程度以下であり、Codex国際規格<sup>6)</sup>のマンガン下限値も母乳の半分程度であった。パントテン酸、銅、セレンの表示許可基準の下限値とこれらにマンガンを加えたCodex国際規格の下限値は100 kcalあたりで換算した目安量も大きく下回っていた。各微量栄養素の目安量は不足することがほとんどない十分量として設定されているので<sup>1)</sup>、目安量を下回ることが必ずしも不足を意味していないことに留意する必要がある。

表1 母乳および乳児用調製粉乳中のエネルギーあたりのビタミン含量

		母乳 <sup>(1)</sup>	乳児用調製粉乳 <sup>(2)</sup>	乳児用調製粉乳 表示許可基準 <sup>(3)</sup>		普通牛乳 <sup>(2)</sup>
ビタミン A <sup>(4)</sup>	μgRAE/100kcal	66.25	109.80	60	180	62.30
ビタミン D <sup>(5)</sup>	μg/100kcal	—	1.82	1	2.5	0.49
ビタミン E <sup>(6)</sup>	mg/100kcal	0.60	1.08	0.5	5	0.16
ビタミン K	μg/100kcal	0.83	4.71	[4]	[27]	3.28
ビタミン B <sub>1</sub>	mg/100kcal	0.02	0.08	0.06	0.3	0.07
ビタミン B <sub>2</sub>	mg/100kcal	0.06	0.14	0.08	0.5	0.25
ナイアシン <sup>(7)</sup>	mg/100kcal	0.32	1.06	0.30	1.5	0.16
ビタミン B <sub>6</sub>	mg/100kcal	0.04	0.07	0.035	0.175	0.05
ビタミン B <sub>12</sub>	μg/100kcal	0.07	0.31	0.1	1.5	0.49
葉酸	μg/100kcal	8.70	16.08	10	50	8.20
パントテン酸	mg/100kcal	0.81	0.43	0.4	2	0.90
ビオチン	μg/100kcal	0.81	0.86	1.5	10	2.95
ビタミン C	mg/100kcal	8.06	10.39	10	70	1.64

- (1) 食事摂取基準<sup>1)</sup> が目安量の根拠として採用したビタミン D 以外の代表的な国内の母乳中濃度を 100 kcal あたりに変換した。
- (2) 標準成分表 (八訂)<sup>9)</sup> から推計した。
- (3) 乳児用調製粉乳の表示許可基準<sup>5)</sup> の下限と上限、表示単位を一部変更している。ビタミン K は Codex 国際規格<sup>6)</sup> を参照した。
- (4) ビタミン A 活性当量、レチノール含量のみの値で示されている。
- (5) 普通牛乳ではビタミン D と 25- ヒドロキシビタミン D が含まれている。
- (6) α-トコフェロール含量、代表的な母乳中α-トコフェロール濃度は 3.5~4.0 mg/L なので平均値を用いた。
- (7) 母乳はニコチン酸アミド含量、調製粉乳と普通牛乳はニコチン酸とニコチン酸アミドの合計量で示されている。

表2 母乳および乳児用調製粉乳中のエネルギーあたりのミネラル含量

		母乳 <sup>(1)</sup>	乳児用調製粉乳 <sup>(2)</sup>	乳児用調製粉乳 表示許可基準 <sup>(3)</sup>		普通牛乳 <sup>(2)</sup>
ナトリウム	mg/100kcal	21.76	27.45	20	60	67.21
カリウム	mg/100kcal	75.76	98.04	60	180	245.90
カルシウム	mg/100kcal	40.30	72.55	50	140	180.33
マグネシウム	mg/100kcal	4.35	7.84	5	15	16.39
リン	mg/100kcal	24.18	43.14	25	100	152.46
鉄	mg/100kcal	0.06	1.27	<0.45	未設定	<0.016 <sup>(4)</sup>
亜鉛	mg/100kcal	0.26	0.55	0.5	1.5	0.66
銅	mg/100kcal	0.06	0.07	0.035	0.12	0.02
マンガン	μg/100kcal	1.77	9.80	[1.0]	[100]	<0.819 <sup>(4)</sup>
ヨウ素	μg/100kcal	—	8.04	[10]	[60]	26.23
セレン	μg/100kcal	2.74	1.57	1	5.5	4.92
モリブデン	μg/100kcal	0.48	3.14	未設定		6.56

- (1) 食事摂取基準<sup>1)</sup> が目安量の根拠として採用したヨウ素以外の国内の母乳中濃度を 100 kcal あたりに変換した。鉄はアメリカ・カナダの DRI<sup>8)</sup> で採用された含量を用いた。
- (2) 標準成分表 (八訂)<sup>9)</sup> から推計した。
- (3) 表示許可基準<sup>5)</sup> の下限と上限、表示単位を一部変更している。マンガンとヨウ素は Codex 国際規格<sup>6)</sup> を参照した。
- (4) 定量下限未満。

CFR 規則<sup>7)</sup> のパントテン酸、銅、セレンの下限値は、100 kcal あたり 0.3 mg, 0.06 mg, 2 µg であり、パントテン酸の下限値は表示許可基準や Codex 国際規格と CFR 規則とで大きな差はない。一方、銅とセレンの下限値は表示許可基準や Codex 国際規格と比べ CFR 規則で 2 倍程度高く、国内の代表的な母乳中の 100 kcal あたりの銅とセレン含量は CFR 規則の下限値と大きな差はなかった。表示許可基準や Codex 国際規格の銅とセレンの下限値と比べると CFR 規則の下限値や母乳中の含量にはかなりの差があるので、表示許可基準の銅とセレンの下限値が妥当であることを確認することが望まれる。

## (2) 乳児用調製粉乳の原料としての牛乳

産業動物である乳牛は泌乳量が著しく多く、健康や高い生産性を維持するために、厳密な栄養管理が必要になる。一般に乳牛にはミネラルや脂溶性の VA, VD, VE の不足を防ぐために飼料添加物が与えられている。一方、水溶性の VB 群や脂溶性の VK は、大きな発酵槽である反芻胃で十分量が合成されており、また、霊長目やモルモットなど以外の多くの哺乳動物同様にウシは十分量の VC を肝臓で合成できるので不足することは稀である<sup>34)</sup>。

各農場からは平均 60 頭程度の泌乳牛から搾乳した生乳がまとめて集荷され、市販牛乳の各ロットでは複数の農場から集荷された生乳が製造前に混合されるので、個体間差や農場間差は打ち消されている。そのため、母乳と比べると、市販の牛乳中の微量栄養素濃度の変動は小さい<sup>35,36)</sup>。

普通牛乳中の 100 kcal あたりの VE, ナイアシン, VC, 銅含量は母乳の 50% を下回っており、これらの中のナイアシン以外の微量栄養素と 25-ヒドロキシビタミン D を含む VD は乳児用調製粉乳の表示許可基準の下限値の 50% 以下であった (表 1, 表 2)。なお、普通牛乳中の鉄含量は定量下限<sup>9)</sup> を下回っており、極めて低い。

牛乳中の鉄、銅、亜鉛は母乳より生体利用能が低いとされている<sup>8)</sup>。普通牛乳中の 100 kcal あたりの亜鉛含量は母乳より 2 倍以上高く、乳児用調製粉

乳の表示許可基準下限値も上回っているのが、亜鉛の生体利用能は乳児では大きな問題ではないと考えられるが、普通牛乳中の鉄や銅の 100 kcal あたりの含量は、母乳中の量や表示許可基準の下限値より著しく低いため、多量の普通牛乳を乳児に与える場合は、生体利用能の低さも問題となる。牛乳のみを与えられていた乳児で銅欠乏を発症した事例がイスラエルから報告されている<sup>37)</sup>。またカナダでは 9 か月齢まで、アメリカでは 1 歳までの乳児には牛乳摂取は推奨されていない<sup>8)</sup>。鉄や銅と同様に、普通牛乳中の 100 kcal あたりの含量が表示許可基準の下限値を大きく下回る VD, VE, VC も牛乳を乳児の主要な食事として与えると、不足する可能性はある。

普通牛乳中の VK, VB1, VB2, VB12, ビオチン, 多量ミネラル, 亜鉛, セレン, モリブデンの 100 kcal あたりの含量は母乳中含量の 2 倍を上回っていた。これらビタミンの牛乳における高い含量は反芻胃での多量の合成が一因であると考えられる。

普通牛乳中ビタミンと微量ミネラルは、乳児用調製粉乳の表示許可基準の上限値を下回っていたが、多量ミネラルはすべて表示許可基準の上限値を超えていた。過剰な多量ミネラルは腎臓に負荷をかけるので、牛乳由来の素材を主な原料とする乳児用調製粉乳の製造では対策が必要となる<sup>38)</sup>。

## (3) 乳児用調製粉乳中微量栄養素

乳児用調製粉乳中のビオチンを除く微量栄養素の 100 kcal あたりの含量は表示許可基準の下限値を上回っていた。加えて、表示許可基準で設定されていない VK とマンガンは Codex 国際規格の下限値を上回っており、ヨウ素は Codex 国際規格の下限値と大きな差はないため、これらが不足する可能性は低い。乳児用調製粉乳中の 100 kcal あたりのビオチン含量は母乳中の含量と同程度だったが、表示許可基準の下限値の 60% 程度であった。神野ら<sup>39)</sup> は、2006 年から 2007 年における調査で、1 ブランドの乳児用調製粉乳に含まれるビオチン、ヨウ素、セレン含量は、それぞれ 0.65, 11, 1.5 µg/100 kcal であり、実測した乳児用調製粉乳の摂取量から、微量栄

養素の中でこの3種のみが目安量を下回ることがあると報告している。この報告で示されているビオチン、ヨウ素、セレンの100 kcalあたりの含量は、標準成分表（八訂）から算出した乳児用調製粉乳中の含量と大きな差はなく、ヨウ素とセレンは表示許可基準またはCodex国際規格の下限値より高く、表示許可基準の下限値を下回るのはビオチンのみであった。乳児用調製粉乳の表示許可基準では2016年にビオチンの追加が施行されている。本稿では、2023年出版の標準成分表（八訂）<sup>9)</sup>に記載されている乳児用調製粉乳の100 gあたりの微量栄養素含量とエネルギー含量から100 kcalあたりの微量栄養素含量を推計したが、標準成分表（八訂）の乳児用調製粉乳中の各微量栄養素の含量は日本食品標準成分表2010年版（六訂）を踏襲している。したがって、標準成分表（八訂）に記載されている乳児用調製粉乳の微量栄養素含量は表示許可基準改正前の値である。近年、ビオチンは乳児用調製粉乳用の添加物として利用できるようになっており<sup>40)</sup>、現在市販されている乳児用調製粉乳では、ビオチンの添加によってその100 kcalあたりの含量も表示許可基準の範囲内に調整されていると考えられる。

母乳栄養児では特にVD、VKと場合によっては鉄不足が危惧される。乳児用調製粉乳中の100 kcalあたりのVKと鉄含量は母乳中の値のそれぞれ5.7倍、23倍であり、乳児用調製粉乳中VD、VK、鉄含量は100 kcalあたりで示した目安量の1.8倍、5.7倍、12.3倍であった。また、乳児用調製粉乳中のVDと鉄は表示許可基準の下限値のそれぞれ1.8倍、2.8倍、VKはCodex国際規格の下限値の1.2倍であった。国内の報告では、血清中25-ヒドロキシビタミンD濃度を指標にすると、母乳栄養児と比べるとVD欠乏と判断された人工栄養児は著しく少なかったことや<sup>20)</sup>、母乳栄養児とは異なり人工栄養児ではVD欠乏は認められなかったこと<sup>22)</sup>が報告されている。欧米の報告では乳児用調製粉乳には多くのVKが含まれているので、出生時直後を除き、VKの補給を行わなくてもVK欠乏症は生じないことが報告されている<sup>41)</sup>。国内の報告では、9か月齢

の乳児では乳児用調製粉乳の利用で鉄欠乏性貧血が生じにくくなることが示唆されている<sup>33)</sup>。したがって、人工栄養児ではVD、VKと鉄の不足のリスクは低減していると言える。

乳児用調製粉乳中で母乳よりも著しく高かった100 kcalあたりのVK、VB1、VB2、VB12、モリブデン含量は普通牛乳中でも高かった。乳児用調製粉乳に含まれるビタミンのうちVB2、VB12などのビタミンB群とVKについてはかなりの部分が乳原料に由来するが、少なくともその他のビタミンについては添加することで調整されていると考えられている<sup>38)</sup>。また、モリブデンの表示許可基準は未設定であり、製造過程で意図的にモリブデンを多く含む素材が用いられる可能性は低いので、乳原料に由来していると考えられる。

多様な添加物によって、乳児用調製粉乳は微量栄養素を充足するように製造されている。ビオチンとともに亜セレン酸ナトリウム、グルコン酸亜鉛、グルコン酸第一鉄、グルコン酸銅、硫酸亜鉛、硫酸銅が乳児用調製粉乳の添加物として利用できるようになっている<sup>40)</sup>。これらは、一般的な食品添加物とは異なり、使用用途が乳児用調製粉乳等に限定されている。成人における安定同位体投与試験で、酸化亜鉛と比ベグルコン酸亜鉛に含まれる亜鉛の吸収率は高いとされており<sup>42)</sup>、これらグルコン酸化合物に含まれる微量ミネラルは利用性が高いと考えられている。かつては乳児用調製粉乳へのセレン補給のため、セレン（強化）酵母が一般食品として用いられてきた。しかし、セレン酵母によるセレン補給には限界があり、必要な量を満たすことは困難であった<sup>27)</sup>。現在は添加物として利用可能となった亜セレン酸ナトリウムを用いて、乳児用調製粉乳に含まれるセレン含量を高め、十分な量が供給可能である。

牛乳中微量栄養素の生物学的栄養強化(biofortification)が試みられており、飼料添加物によるヨウ素やセレン補給、良質の牧草やサイレージによるVA(カロテン)やVE補給は強化に有効である<sup>43)</sup>。フィンランドでは、かつて農畜産物中のセ

レン含量が低いためヒトのセレン摂取量が著しく少なかったが、1984年に全国でセレン強化肥料を用いる政策が施行され、牛乳を含む農畜産物中セレン含量は顕著に改善し<sup>44)</sup>、畜産物や農産物中セレン含量の上昇に伴って、母乳中のセレン濃度も改善した<sup>28)</sup>。今後は、対象とする微量栄養素を多く含む飼料や飼料添加物が国内で利用可能ならば生物学的強化された牛乳を原料とした乳児用調製粉乳の生産も考えられる。

普通牛乳ではすべての多量ミネラルが乳児用調製粉乳の表示許可基準上限値を上回っていたが、腎臓への負荷低減のために、乳児用調製粉乳では乳清等のタンパク質源に対して脱塩処理等が行われており、脱塩処理後にカリウム、カルシウム、マグネシウムの塩化物や炭酸塩が添加されている<sup>38)</sup>。乳児用調製粉乳の100 kcalあたりの多量ミネラル含量は表示許可基準上限値を大きく下回り、表示許可基準の下限値の2倍以内であった(表2)。

## 2. 小児と成人における牛乳とチーズからの微量栄養素の供給

国内では牛乳・乳製品はカルシウムとリンの優れた供給源であることが認識されている<sup>45)</sup>。欧米では牛乳・乳製品はカルシウムを含むミネラルやビタミンの重要な供給源であるとされている。国内と欧米では食習慣が異なり、そのため牛乳・乳製品摂取量には差がある。また、国内では泌乳量の多いホルスタイン種乳牛が主に飼育されているが、欧米では多様な品種の乳牛が飼育されており、国内の牛乳に含まれるカルシウム、マグネシウム、リン濃度は欧米の報告と比較して20~30%低く、そのため、牛乳・乳製品からの供給によるカルシウム摂取への貢献度は、国内と欧米で大きく異なる<sup>45)</sup>。カルシウム、マグネシウム、リン以外の牛乳中の微量栄養素濃度も国内<sup>9)</sup>とアメリカ<sup>46)</sup>で異なっている。

そこで、国内における牛乳と乳製品由来の微量栄養素供給量を推計し、微量栄養素充足率(微量栄養素供給量/栄養基準量×100(%))から、牛乳・乳製品の微量栄養素源としての貢献を検討した。ま

た、ナトリウム(食塩相当量)とカリウムの目標量と牛乳と乳製品由来の摂取量との比較も行った。国民健康・栄養調査<sup>4)</sup>では乳類(牛乳・乳製品)は牛乳、チーズ、発酵乳・乳酸飲料、その他乳製品の4種の食品群小分類に区分され、男女別と年齢階級別の集団ごとに各小分類の摂取量が示されている。なお、各小分類の摂取量としては、そのまま摂取する部分と素材として用いられて料理として摂取する部分などの総計が示されている<sup>47)</sup>。標準成分表(八訂)<sup>9)</sup>では、牛乳、チーズ、発酵乳・乳酸飲料の小分類に含まれる多様な牛乳・乳製品ごとの栄養素含量が示されている。低脂肪の牛乳や乳製品では脂溶性ビタミン濃度は低く、普通牛乳と低脂肪乳の100 gあたりのVA含量はそれぞれ38 µgと13 µgであり大きな差がある<sup>9)</sup>。また、チェダーチーズとカマンベールチーズの水分はそれぞれ35%と52%であり<sup>9)</sup>、このような水分の差は各乳製品のすべての微量栄養素含量に影響する。このように、小分類が同一でも含まれる各牛乳や乳製品中の微量栄養素含量には大きな差があるので、小分類の微量栄養素含量として標準成分表(八訂)が示す多種類の牛乳や乳製品の平均値を適用することは適切ではない。食品摂取頻度・摂取量調査の特別集計業務報告書(特別集計業務報告書)<sup>48)</sup>では、男女の区別はないが7~14歳と20歳以上など年齢階級別に小分類を構成する各種牛乳や乳製品の摂取量内訳が示されており、牛乳では普通牛乳が、チーズではプロセスチーズが主体で、各年齢階級でいずれも85%以上を占めていた。そこで、国民健康・栄養調査で示されている牛乳とチーズ小分類の摂取量と特別集計業務報告書で示されている牛乳小分類中の普通牛乳とチーズ小分類中のプロセスチーズの摂取割合から、性別と年齢階級別(7~14歳と30~39歳)の集団の普通牛乳とプロセスチーズの摂取量を推計した。次いで、標準成分表(八訂)<sup>9)</sup>の普通牛乳とプロセスチーズに含まれる微量栄養素含量を用いて各集団の1日あたりの普通牛乳とプロセスチーズ由来の微量栄養素摂取量を算出した。このように算出した各集団の微量栄養素摂取量と、子供では10~11歳、

成人では30～49歳の摂取不足を防ぐための栄養基準量や目標量<sup>1)</sup>を比較した。なお、普通牛乳に含まれる鉄とマンガンおよびプロセスチーズに含まれるVDとVCの含量は定量下限値を下回っており<sup>9)</sup>、微量栄養素供給への貢献は低いことは明らかなので集計していない。また、子供では摂取不足を防ぐための食塩相当量の栄養基準量は設定されておらず、食塩相当量の目標量のみが設定されている。特別集計業務報告書<sup>48)</sup>における発酵乳・乳酸飲料小分類ではプレーンヨーグルトの摂取量が60%を占めていたが、標準成分表(八訂)に記載されている多様な発酵乳・乳酸飲料類の名称との突き合わせができなかったので検討しなかった。

男女ともに学童期の子供における普通牛乳の1日平均摂取量は約230gであったが、成人では約40gであり少なかった(図1)。学童期の子供における普通牛乳の多い平均摂取量は給食からの供給が大きな原因であろう。なお、国民健康・栄養調査<sup>4)</sup>では11月の日曜日および祝祭日を除く任意の1日で調査が行われており、給食を摂取しない日曜日および祝祭日の牛乳摂取量が考慮されていないので、平均値としては過大な見積もりになっている。アメリカの成人は1日に平均180g程度の牛乳を摂取していた<sup>49)</sup>。国内の子供はアメリカの成人とほぼ同程度の牛乳を摂取しているが、国内の成人の牛乳の平均摂取量はアメリカの成人の約20%であった。

男女ともに子供の平均的な普通牛乳摂取からのVB2、パントテン酸、VB12の供給によりそれぞれの栄養基準量充足率が20%以上に達しており、普通牛乳はこれらビタミンの摂取に大きな貢献をしていることが推察された(図1)。また、VA、25-ヒドロキシビタミンDを含むVD、VB1、ナイアシン、ビオチン供給によるそれぞれの充足率は10%程度以上であり、前述のように、乳児にとって牛乳中VDやナイアシン含量は多くないが、子供ではこれらの供給源としても普通牛乳は期待できる。しかしその他のビタミンの充足率は5%程度以下であり、平均的な普通牛乳摂取ではビタミン供給への貢献は限定的である。

子供の平均的な普通牛乳の摂取量により供給されるミネラルでは、カルシウム、ヨウ素、モリブデンの栄養基準量充足率は30%以上、リン、セレンの充足率は20%程度以上であり、これらミネラルの摂取にも普通牛乳は大きな貢献をしていることが推察される(図1)。また、マグネシウムと亜鉛供給量も栄養基準量の10%以上であり、供給源として期待できる。一方、銅については普通牛乳からの供給量は栄養基準量の4%程度であり、また鉄含量は定量下限未満なので、普通牛乳は鉄源や銅源としては期待できない。

子供における普通牛乳からの食塩相当量の摂取量は目標量の4%程度であった。一方、カリウム摂取量は目安量の18%以上と多く、目標量の16%を占めていた。子供において平均的な普通牛乳摂取は食塩相当量の摂取に及ぼす影響はわずかで、カリウムの目標値達成には貢献している。

成人では男女ともに普通牛乳からの供給による栄養基準量充足率の増加傾向は、子供と同様であったが、子供に比べて普通牛乳の摂取量が著しく少ないため、ビタミンで充足率が高いVB2やパントテン酸でも女性では5%、男性では3%程度であり、ミネラルで最も充足率が高いカルシウムでも女性では7%、男性では5%であった(図1)。この様に成人の普通牛乳の平均摂取量では、ミネラルやビタミン栄養に対する貢献はわずかである。なお、普通牛乳由来の食塩相当量とカリウムの供給量はそれぞれ目標量の0.5%と2%であり、大きな影響はなかった。

欧米での報告では、牛乳はVA、VD、カルシウムの重要な供給源であり、VB2、VB12、パントテン酸、ナトリウム、カリウム、亜鉛、ヨウ素、セレンの栄養にも貢献しているとされている<sup>50)</sup>。また、1カップ(244g)の牛乳からはDRIの35%以上のVB2、36～61%のVB12、37～40%程度のカルシウム、10%程度のVB1、カリウム、マグネシウム、亜鉛が供給されること<sup>51)</sup>、500mLの牛乳摂取によるVA、VB2、VB12のDRI充足率はそれぞれ15～20%、60～80%、90%であり、特にVB2とVB12への貢献は大きかったが、VEや葉酸はDRI充足

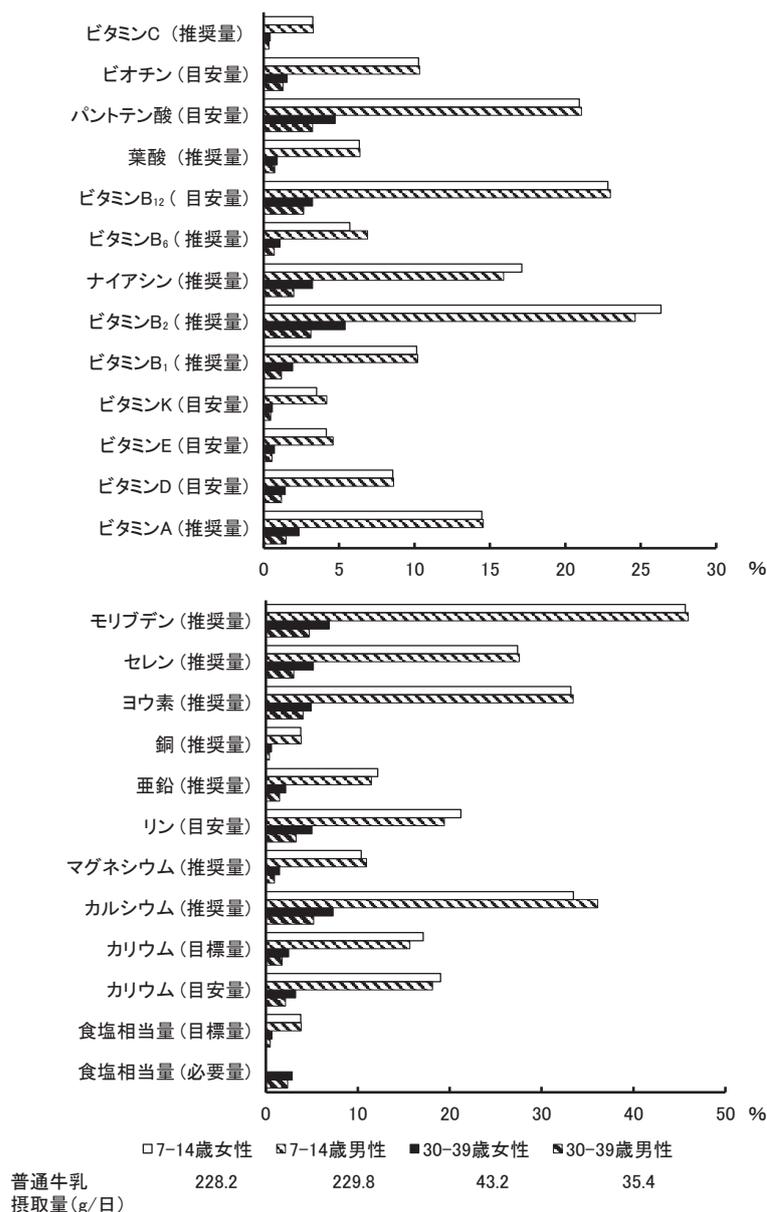


図 1 普通牛乳に含まれる微量栄養素の栄養基準充足率 (%)  
 充足率 (%) = 栄養素摂取量 / 栄養基準量 × 100  
 ビタミン A はレチノール当量、ビタミン E は  $\alpha$ -トコフェロール、  
 ナイアシンはナイアシン当量で示した。  
 ビタミン D には 25-ヒドロキシビタミン D が含まれている。  
 ナトリウムは食塩相当量で示し、推定平均必要量を必要量と表記した。子供では、食塩相当量の推定平均必要量は設定されていない。  
 食塩相当量の目標量は示した数値未満、カリウムの目標量は示した数値以上である。  
 普通牛乳に含まれる鉄とマンガン濃度は定量下限値を下回っていたので示していない。  
 栄養基準は 10-11 歳と 30-49 歳の男性と妊娠・授乳していない女性のデータを適用した。  
 加えて鉄に関しては月経ありの女性のデータを適用した。

率が2%、6%と低かったこと、また、カルシウム、マグネシウム、亜鉛、セレンのDRI充足率は、それぞれ40~50%、12~16%、18~25%、30%であることも報告されている<sup>43)</sup>。1日あたり500 mLの牛乳摂取量は、アメリカ人の平均牛乳摂取量である180 g<sup>49)</sup>よりも多く、得られた微量栄養素の供給量は過大な見積もりになっている。しかし、牛乳の貢献が大きい微量栄養素の種類とその傾向は国内の子供と欧米の成人では大きな差はなかった。

牛乳は多くのカルシウムを含む食品であるが、牛乳以外にカルシウムを比較的多く含む食品としては、緑黄色野菜、種実類、豆類がある。牛乳中カルシウムは、豆類、いも類、ほうれんそうに含まれるカルシウムよりも吸収されやすいが、ブロッコリーやケール中カルシウムよりも吸収されにくい<sup>50)</sup>。結果として、牛乳に含まれる吸収可能なカルシウム含量は、ブロッコリーとケールを含む緑黄色野菜、種実類、豆類の3~20倍と多く、牛乳は優れたカルシウム源である。今回の検討では、子供では普通牛乳からカルシウム栄養基準量の30%以上が供給されていたが、高い吸収効率を考慮するとこの貢献はさらに大きいと考えられる。

料理等として摂取する量を含めた1日あたりのプロセスチーズ平均摂取量は年齢階級と男女の大きな影響を受けず、3.5~4.3 gであった(図2)。学童期の子供におけるプロセスチーズ摂取量は、普通牛乳の平均摂取量の2%を下回り、成人では普通牛乳摂取量の10%を下回っていた。アメリカの成人では、素材として用いられて料理として摂取する量などを含めた1日あたりのチーズ平均摂取量は34 gであり<sup>52)</sup>、日本人のプロセスチーズ平均摂取量はアメリカ成人の約10%であった。

ビタミンではプロセスチーズから供給される栄養基準量充足率はVB12が最も高かったが3~4%であり、次いで充足率が高かったのはVAとナイアシンで2%を下回っていた(図2)。ミネラルでは、プロセスチーズから供給される食塩相当量の栄養基準量充足率が最も高く、7~8%だった。また、カルシウムとリンの充足率も相対的に高かったが2~

4%であり、パントテン酸とビオチンを含めたその他のビタミンの充足率は1%未満であった。したがって、プロセスチーズの平均摂取量では微量栄養素源としての貢献はわずかである。プロセスチーズ由来の食塩相当量は、目標量の1.6%程度であり、平均摂取量ならば食塩多量摂取の問題は大きくはない。カリウム供給量については目標量の1%を下回っており、プロセスチーズからの貢献は期待できない。

アメリカの成人では、料理等として摂取する部分を含めたチーズからのVA、VD、VB12、カルシウム、ナトリウムの供給量は、総摂取量のそれぞれ17%、13%、12%、33%、10%を占めており<sup>52)</sup>、日本人がアメリカの成人と同程度のチーズをプロセスチーズとして摂取すると、微量栄養素供給への貢献は大きくなるが、プロセスチーズ由来の食塩相当量は目標量の13%に達することを考慮する必要がある。

Saitoら<sup>53)</sup>は、牛乳や乳飲料のみを摂取した集団、チーズやヨーグルト等を含む乳製品のみを摂取した集団およびどちらも摂取しなかった集団における食事全体からの微量栄養素摂取量と各構成員に対応した異なる栄養基準量を用いて充足率の集団間比較を行っている。牛乳または乳製品を摂取した男性集団では、どちらも摂取しなかった集団と比べ、ナイアシンと銅を除くすべての微量栄養素の充足率が高かった。これらの結果は、牛乳や乳製品を摂取している成人では多様な微量栄養素の栄養状態が向上していることを示唆している。しかし、この報告では、牛乳には鉄が、乳製品ではVCがほとんど含まれないにもかかわらず、牛乳または乳製品を摂取した集団でこれらの充足率は高かった。牛乳や乳製品を摂取した集団は、穀類や砂糖などの摂取が少なく、野菜や果物の摂取が多かった。したがって、牛乳または乳製品からの微量栄養素供給だけではなく、その他の食品の摂取量変化が微量栄養素の摂取を増加させた可能性がある。

国内の成人ではVD、カルシウム、マグネシウム、亜鉛が不足する場合があります、VD不足による転倒・骨折リスク増加と筋力低下<sup>54)</sup>、低カルシウム摂取群

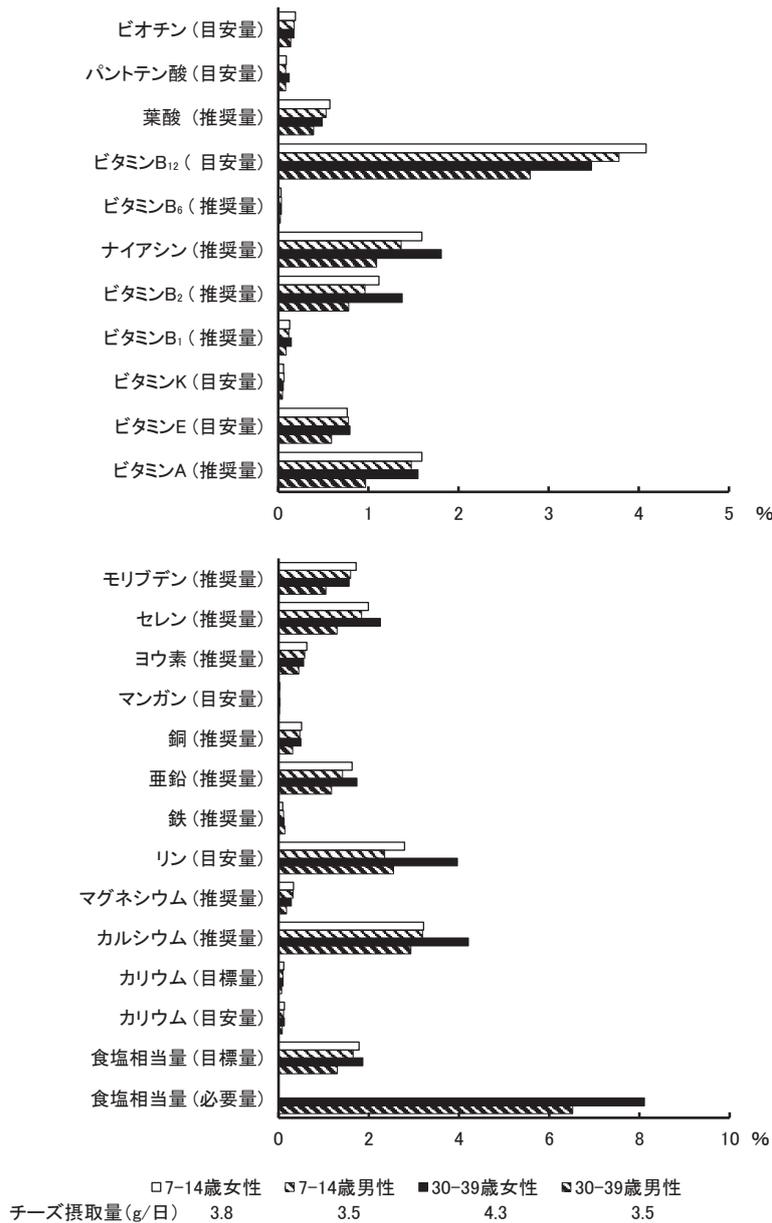


図2 プロセスチーズに含まれる微量栄養素の栄養基準充足率 (%)

充足率 (%) = 栄養素摂取量 / 栄養基準量 × 100

ビタミンAはレチノール当量、ビタミンEはα-トコフェロール、ナイアシンはナイアシン当量で示した。

ナトリウムは食塩相当量で示し、推定平均必要量を必要量と表記した。子供では、食塩相当量の推定平均必要量は設定されていない。

食塩相当量の目標量は示した数値未満、カリウムの目標量は示した数値以上である。

プロセスチーズに含まれるビタミンDとビタミンC含量は定量下限を下回っていたので示していない。

栄養基準は10-11歳と30-49歳の男性と妊娠・授乳していない女性のデータを適用した。

加えて鉄に関しては月経ありの女性のデータを適用した。

での日常生活動作の低下や女性の骨量低下と骨折リスク増加<sup>55,56)</sup>、低マグネシウム摂取群でのインスリン感受性低下<sup>57)</sup>、血清亜鉛濃度が低い群における味覚異常、腎臓機能低下や心血管疾患のリスク増加<sup>58)</sup>が報告されている。国内の成人では欧米と比べると牛乳摂取量は著しく少なく、その結果、牛乳からのVD、カルシウム、セレン、マグネシウム、亜鉛の供給は多くない。国内の成人でも学童期の子供と同程度の牛乳摂取量ならば、これら微量栄養素の不足を少なくとも部分的には改善できると考えられる。国内の50歳以上の閉経女性におけるコホート研究では、試験開始時に血清中25-ヒドロキシビタミンD濃度が低かった集団において、1日あたりのコップ1杯以上の牛乳を摂取していた集団の骨折の発生率は低いことが示されており、牛乳から供給されるVDによる効果が示唆されている<sup>59)</sup>。牛乳に含まれるVDと25-ヒドロキシビタミンD摂取自体による直接的な作用か、または牛乳を摂取する習慣に伴う他の要因の効果かは明らかではないが、1日あたりのコップ1杯以上の習慣的な牛乳摂取は閉経女性の骨折予防には有効であろう。

この様な例からも、成人では子供と同程度の普通牛乳摂取が健康増進に貢献することが示唆される。

## 終わりに

本稿で用いた標準成分表(八訂)<sup>9)</sup>に記載されている乳児用調製粉乳中微量栄養素含量は、表示許可基準改正前の値であり、特にビオチン含量は現在の状況とは乖離していると考えられる。食事摂取基準<sup>1)</sup>と国民健康・栄養調査<sup>4)</sup>の年齢階級区分が一致していない。また、国民健康・栄養調査と標準成分表(八訂)で摂取量と微量栄養素含量が示されている食品の分類が異なっており、食品摂取頻度・摂取量調査の特別集計業務報告書<sup>48)</sup>も用いて普通牛乳とプロセスチーズの摂取量を推計した。これらのため数値の信頼性は低下していると考えられる。また、母乳、乳児用調製粉乳、普通牛乳、プロセスチーズ中の微量栄養素含量は平均値を用いており、各集団における摂取量分布は考慮されていない。加

えて、学童期の子供の牛乳の平均摂取量は過大な見積もりになっている。

この様な限界はあるが、乳児における母乳と乳児用調製粉乳および学童期の子供と成人が摂取している牛乳やチーズの大部分を占めている普通牛乳とプロセスチーズからの微量栄養素供給に対する貢献の概要を示すことができたと考えている。

摂取量が正常ならば、乳児用調製粉乳からの各微量栄養素の供給は十分であり、不足することはないと考えられる。一方、母乳中微量栄養素濃度は試料による変動が大きく、母乳栄養児では母親の栄養状態等によっては母乳からの供給が低下し、欠乏となる微量栄養素があることも想定されるので、授乳中の母親は自身の栄養管理に注意を払う必要がある。学童期の子供にとって牛乳からの微量栄養素供給は重要である。成人でも、牛乳摂取量を子供と同程度まで増やすことは、不足が危惧される微量栄養素の補給に有効であろう。

## 参考文献

- 1) 厚生労働省, 日本人の食事摂取基準(2025年版)策定検討会報告書, <https://www.mhlw.go.jp/content/10904750/001316469.pdf> (2025) (2025年7月10日閲覧)
- 2) Vincent JB, New evidence against chromium as an essential trace element, *J Nutr*, **147**, 2212-2219 (2017)
- 3) 横井克彦, 超微量元素の栄養, *日本食生活学会誌*, **13**, 226-231 (2003)
- 4) 厚生労働省, 令和5年国民健康・栄養調査報告, [https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou\\_iryoku/kenkou/eiyoku/r5-houkoku\\_00001.html](https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryoku/kenkou/eiyoku/r5-houkoku_00001.html) (2023) (2025年7月10日閲覧)
- 5) 内閣府, 別表第一(第八条第一項第九号関係), 健康増進法に規定する特別用途表示の許可等に関する内閣府令, [https://laws.e-gov.go.jp/law/421M60000002057/20241210\\_506M60000002111](https://laws.e-gov.go.jp/law/421M60000002057/20241210_506M60000002111) (2024) (2025年7月10日閲覧)

- 6) Codex Alimentarius, Standard for infant formula and formulas for special medical purposes intended for infant, [https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/es/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B72-1981%252FCXS\\_072e.pdf](https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/es/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B72-1981%252FCXS_072e.pdf) (2024) (2025年7月10日閲覧)
- 7) Food and Drug Administration, Infant formula, Food for human consumption, <https://www.ecfr.gov/current/title-21/chapter-I/subchapter-B/part-107> (2025) (2025年7月20日閲覧)
- 8) 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 Academies Press (2001)
- 9) 文部科学省, 日本食品標準成分表(八訂)増補 2023年, [https://www.mext.go.jp/a\\_menu/syokuhinseibun/mext\\_00001.html](https://www.mext.go.jp/a_menu/syokuhinseibun/mext_00001.html) (2023) (2025年7月10日閲覧)
- 10) Sakurai T, Furukawa M, Asoh M, Kanno T, Kojima T, Yonekubo A, Fat-soluble and water-soluble vitamin contents of breast milk from Japanese women, *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo)*, **51**, 239–247 (2005)
- 11) Yamawaki N, Yamada M, Kan-no T, Kojima T, Kaneko T, Yonekubo A, Macronutrient, mineral and trace element composition of breast milk from Japanese women, *J Trace Elem Med Biol*, **19**, 171–181 (2005)
- 12) Kamao M, Tsugawa N, Suhara Y, Wada A, Mori T, Murata K, Nishino R, Ukita T, Uenishi K, Tanaka K, Okano T, Quantification of fat-soluble vitamins in human breast milk by liquid chromatography–tandem mass spectrometry, *J Chromatogr B*, **859**, 192–200 (2007)
- 13) Vaughan LA, Weber CW, Kemberling SR, Longitudinal changes in the mineral content of human milk, *Am J Clin Nutr*, **132**, 2301–2306 (1979)
- 14) Domellöf M, Lönnerdal B, Dewey KG, Cohen RJ, Hernell O, Iron, zinc, and copper concentrations in breast milk are independent of maternal mineral status, *Am J Clin Nutr*, **79**, 111–115 (2004)
- 15) Dawodu A, Tsang RC, Maternal vitamin D status: effect on milk vitamin D content and vitamin D status of breastfeeding infants, *Adv Nutr*, **3**, 353–361 (2012)
- 16) Hollis BW, Roos BA, Draper HH, Lambert PW, Vitamin D and its metabolites in human and bovine milk, *J Nutr*, **111**, 1240–1248 (1981)
- 17) Jakobsen J, Saxholt E, Vitamin D metabolites in bovine milk and butter, *J Food Compos Anal*, **224**, 472–478 (2009)
- 18) Hollis BW, Wagner CL, Vitamin D requirements during lactation: high-dose maternal supplementation as therapy to prevent hypovitaminosis D for both the mother and the nursing infant, *Am J Clin Nutr*, **80**, 1752S–1758S (2004)
- 19) Tsugawa N, Nishino M, Kuwabara A, Ogasawara H, Kamao M, Kobayashi S, Yamamura J, Higurashi S, Comparison of vitamin D and 25-hydroxyvitamin D concentrations in human breast milk between 1989 and 2016–2017, *Nutrients* **13**, 573 (2021)
- 20) Nakano S, Suzuki M, Minowa K, Hirai S, Takubo N, Sakamoto Y, Ishijima M, Hoshino E, Tokita A, Shimizu T, Current vitamin D status in healthy Japanese infants and young children, *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo)*, **64**, 99–105 (2018)
- 21) Ichikawa R, Shibata M, Nakura Y, Iizuka K, Uenishi K, Sekiya T, Suzuki A, Nishizawa H, Inadequate calcium and vitamin D intake among Japanese women during the perinatal period: A

- cross-sectional study with bone health assessment, *Nutrients*, **17**, 1075 (2025)
- 22) Yorifuji J, Yorifuji T, Tachibana K, Nagai S, Kawai M, Momoi T, Nagasaka H, Hatayama H, Nakahata T, Craniotabes in normal newborns: the earliest sign of subclinical vitamin D deficiency, *J Clin Endocrinol Metab*, **93**, 1784–1788 (2008)
- 23) 日本小児内分泌学会, ビタミンD欠乏性くる病・低カルシウム血症の診断の手引き, [http://jspe.umin.jp/medical/files/\\_vitaminD.pdf](http://jspe.umin.jp/medical/files/_vitaminD.pdf), (2013) (2025年10月3日閲覧)
- 24) Gartner LM, Greer FR, Prevention of rickets and vitamin D deficiency: new guidelines for vitamin D intake, *Pediatrics*, **111**, 908–910 (2003)
- 25) Mihatsch WA, Braegger C, Bronsky J, Campoy C, Domellöf M, Fewtrell M, Mis NF, Hojsak I, Hulst J, Indrio F, Lapillonne A, Mlgaard C, Embleton N, van Goudoever J, ESPGHAN Committee on Nutrition, Prevention of vitamin K deficiency bleeding in newborn Infants: A position paper by the ESPGHAN Committee on Nutrition, *J Pediatr Gastroenterol Nutr*, **63**, 123–129 (2016)
- 26) Greer FR, Vitamin K status of lactating mothers and their infants, *Acta Paediatr*, **Suppl 430**, 95–103 (1999)
- 27) 金子哲夫, 山脇見美子, 微量元素と母乳および調製粉乳, *Biomed Res Trace Elements*, **15**, 235–242 (2004)
- 28) Kantola M, Vartiainen T, Changes in selenium, zinc, copper and cadmium contents in human milk during the time when selenium has been supplemented to fertilizers in Finland, *J Trace Elem Med Biol*, **15**, 11–17 (2001)
- 29) Dold S, Zimmermann MB, Aboussad A, Cherkaoui M, Jia Q, Jukic T, Kusic Z, Quirino A, Sang Z, San Luis TOL, Vandea E, Andersson M, Breast milk iodine concentration is a more accurate biomarker of iodine status than urinary iodine concentration in exclusively breastfeeding women, *J Nutr*, **147**, 528–37 (2017)
- 30) 吉田宗弘, 伊藤智恵, 服部浩之, 土田博, 米久保明得, 西牟田守, 日本における母乳および調製粉乳中のモリブデン濃度と乳児のモリブデン摂取量, *Trace Nutr Res*, **21**, 59–64 (2004)
- 31) 米山京子, 池田順子, 妊娠中および授乳期の栄養状況が母乳成分へ及ぼす影響, *小児保健研究*, **62**, 331–340 (2003)
- 32) Ziegler EE, Nelson SE, Jeter JM, Iron stores of breastfed infants during the first year of life, *Nutrients*, **6**, 2023–2034 (2014)
- 33) Hirata M, Kusakawa I, Ohde S, Yamanaka M, Yoda H, Risk factors of infant anemia in the perinatal period, *Pediatr Int*, **59**, 447–451 (2017)
- 34) 松井徹, 微量元素・ビタミンの代謝, ルーメンの科学, 濃山漁村文化協会 222–243 (2023)
- 35) Ramalho HMM, Santos J, Casal S, Alves MR, Oliveira MBPP, Fat-soluble vitamin (A, D, E, and  $\beta$ -carotene) contents from a Portuguese autochthonous cow breed-Minhota, *J Dairy Sci*, **95**, 5476–5484 (2012)
- 36) Antunes IC, Bexiga1 R, Pinto, Vieira E, Delerue-Matos C, Quaresma M, Mineral profile of cow milk and plant-based milk alternatives, *J Dairy Sci*, **108**, 3324–3333 (2025)
- 37) Levy Y, Zeharia A, Grunebaum M, Nitzan M, Steinherz R, Copper deficiency in infants fed cow milk, *J Pediatr*, **106**, 786–788 (1985)
- 38) 和泉裕久, 育児用調製乳の過去・現在・未来, *ミルクサイエンス*, **58**, 169–175 (2009)
- 39) 神野慎治, 中村吉孝, 菅野貴浩, 金子哲夫, 人工栄養児のエネルギーおよび各栄養素の摂取量, *ミルクサイエンス*, **63**, 60–69 (2014)
- 40) 厚生労働省, 乳及び乳製品の成分規格等に関する省令及び食品, 添加物等の規格基準の一

- 部改正について, [https://www.caa.go.jp/policies/policy/standards\\_evaluation/food\\_additives/law/assets/000343631.pdf](https://www.caa.go.jp/policies/policy/standards_evaluation/food_additives/law/assets/000343631.pdf) (2018) (2025年7月29日閲覧)
- 41) Widdershoven J, Lambert W, Motohara K, Monnens L, de Leenheer A, Matsuda I, Endo F, Plasma concentrations of vitamin K<sub>1</sub> and PIVKA-II in bottle-fed and breast-fed infants with and without vitamin K prophylaxis at birth, *Eur J Pediatr*, **148**, 139–142 (1988)
- 42) Wegmüller R, Tay F, Zeder C, Brnic M, Hurrell RF, Zinc absorption by young adults from supplemental zinc citrate is comparable with that from zinc gluconate and higher than from zinc oxide, *J Nutr*, **144**, 132–136 (2014)
- 43) Haug A, Høstmark AT, Harstad OM, Bovine milk in human nutrition--a review, *Lipids Health Dis*, **6**, 25 (2007)
- 44) Alftthana G, Eurolab M, Ekholm P, Venäläinen E-R, Rootd T, Korkkainen K, Hartikainen H, Salminen P, Hietaniemi V, Aspilab P, Aroa A, Effects of nationwide addition of selenium to fertilizers on foods, and animal and human health in Finland: From deficiency to optimal selenium status of the population. *J Trace Elem Med Biol*, **31**, 142–147 (2015)
- 45) 小野伴忠, 3. 4 カルシウム, ミネラル, ビタミン, 乳の科学, 朝倉書店, 35–46 (1996)
- 46) U.S. Department of Agriculture, 1077 Milk, whole, 3.25% milkfat, with added vitamin D, FoodData Central, <https://fdc.nal.usda.gov/>, (2025) (2025年10月3日閲覧)
- 47) Takimoto H, Yoshiike N, Katagiri A, Ishida H, Abe S, 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*, **29**, 96–103 (2003)
- 48) 国立健康・栄養研究所, 平成22年度厚生労働省食品等試験検査費事業食品摂取頻度・摂取量調査の特別集計業務報告書, <https://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-11130500-Shokuhinanzendu/0000170577.pdf> (2010) (2025年7月18日閲覧)
- 49) Rhonda S, Sebastian RS, Joseph D, Goldman JD, Enns CW, LaComb RP, Fluid milk consumption in the United States, What we eat in America, NHANES 2005-2006, [https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/80400530/pdf/DBrief/3\\_milk\\_consumption\\_0506.pdf](https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/80400530/pdf/DBrief/3_milk_consumption_0506.pdf), U.S. Department of Agriculture (2010) (2025年9月10日閲覧)
- 50) San Julián L, Fernández-Rico S, González-Rodríguez N, Cepeda A, Miranda JM, Fente C, Lamas A, Regal P, The role of dairy in human nutrition: Myths and realities, *Nutrients*, **17**, 646 (2025)
- 51) Pereira PC, Milk nutritional composition and its role in human health, *Nutrition*, **30**, 619–627 (2014)
- 52) Sebastian RS, Goldman JD, Moshfegh A, Cheese consumption by U.S. adults, What we eat in America, NHANES 2017–2018, U.S. Department of Agriculture, <https://www.ars.usda.gov/research/publications/publication/?seqNo115=415298> (2024) (2025年9月10日閲覧)
- 53) Saito A, Okada E, Tarui I, Matsumoto M, Takimoto H, The association between milk and dairy products consumption and nutrient intake adequacy among Japanese adults: analysis of the 2016 National Health and Nutrition Survey, *Nutrients*, **11**, 2361 (2019)
- 54) 田中清, ビタミン不足の臨床的・社会的意義に関する研究, *Vitamins (Japan)*, **93**, 325–333 (2019)
- 55) Kogure M, Tsuchiya N, Narita A, Hirata T,

- Nakaya N, Nakamura T, Hozawa A, Hayakawa T, the NIPPON DATA90 Research Group, Relationship between calcium intake and impaired activities of daily living in a Japanese population: NIPPON DATA90, *J Epidemiol*, **31**, 119–124 (2021)
- 56) Nakamura K, Kurahash N, Ishihara J, Inoue M, Tsugane S, the Japan Public Health Centre-based Prospective Study Group, Calcium intake and the 10-year incidence of self-reported vertebral fractures in women and men: The Japan Public Health Centre-based Prospective Study, *British Journal of Nutrition*, **101**, 285–294 (2009)
- 57) Hata A, Doi Y, Ninomiya T, Mukai N, Hirakawa Y, Hata J, Ozawa M, Uchida K, Shirota T, Kitazono T, Kiyohara Y, Magnesium intake decreases Type 2 diabetes risk through the improvement of insulin resistance and inflammation: the Hisayama Study, *Diabet Med*, **30**, 1487–1494 (2013)
- 58) Yokokawa H, Fukuda H, Saita M, Miyagami T, Takahashi Y, Hisaoka T, Naito T, Serum zinc concentrations and characteristics of zinc deficiency/marginal deficiency among Japanese subjects, *J Gen Fam Med*, **21**, 248–255 (2020)
- 59) Kamiya K, Kojima A, Tachiki T, Imai N, Kouda K, Hamada M, Kudo A, Tsuda K, Hata A, Ohara K, Takashima N, Sato Y, Tanaka M, Kitagawa J, Uenishi K, Tamaki J, Kajita E, Kagamimori S, Matsumoto T, Iki M, Joint association of milk intake and blood 25(OH) D levels with fracture risk in postmenopausal women: 20-year follow-up data from the Japanese Population-Based Osteoporosis cohort study, *Osteoporos Int*, **36**, 1447–1458 (2025)