

調製液状乳の開発：製造技術と栄養設計

高橋 啓 次*

(株式会社明治 研究本部 ニュートリション開発研究ユニット, 〒192-0919 東京都八王子市七国 1-29-1)

Development of Liquid Formula: Manufacturing Technology and Nutritional Design

Keiji Takahashi

(Nutrition Development Research Unit, R&D Division Meiji Co., Ltd. 1-29-1 Nanakuni, Hachioji, Tokyo 192-0919, Japan)

要 旨

近年の災害と防災意識の高まりにより、常温保存可能で調乳が不要な乳児用の調製液状乳が注目されている。当社は2019年に乳児用の調製液状乳「明治ほほえみ らくらくミルク」を発売した。当製品では、備蓄用途や災害時用途を重視し、微生物学的リスクの徹底低減、長期間備蓄での品質維持のため、レトルト殺菌法とスチール缶を組み合わせることで、常温で最長18ヵ月の賞味期限を実現した。栄養設計は、粉・キューブタイプの「明治ほほえみ」と同等とした。熱により利用性が低下するたんぱく質と減衰しやすいビタミンCおよびビタミンDを十分に確保するとともに、液色に影響する側面もあるが乳児にとって重要な鉄を「明治ほほえみ」と同量維持とした。今後も、研究開発を通じて、調製乳を必要とする乳児はもちろんのこと、育児に関わる全ての方が暮らしやすい社会づくりに貢献したい。

1. はじめに

近年の災害と防災意識の高まりにより、常温保存可能で調乳が不要な乳児用・幼児用の調製液状乳（いわゆる「液体ミルク」）への注目が高まっている。災害発生時には、母乳が一時的に出にくくなることも報告されているため、そのような状況下において調製液状乳の意義は特に大きい。こうした中、当社は乳児用の調製液状乳「明治ほほえみ らくらくミルク」を2019年に、幼児用の調製液状乳「明治ステップ らくらくミルク」を2021年に発売した。本稿では、乳児用の調製液状乳「明治ほほえみ らくらくミルク」の栄養設計と製造技術について概説する。

* E-mail : keiji.takahashi@meiji.com

2. 調製液状乳の発売に至るまでの経緯

我が国で乳児用の調製液状乳（いわゆる液体ミルク）が発売された背景は、度重なる災害で災害用備蓄としてその必要性に注目が高まったことにある。2011年3月に発生した東日本大震災では、フィンランドから調製液状乳商品14,000本が被災地に送付された。2016年4月に発生した熊本地震の際にも同様に、調製液状乳商品約5,000本が被災地に送付された。こうして調製液状乳が注目されたが、当時我が国で調製乳に対して定められていた法令は粉乳のみを対象としていたため、当社を含む調製乳メーカーは、調製液状乳を製造、販売することができなかった。こうした中、日本小児科学会による要望（「大災害時の乳児栄養の確保を目的とした液状

表1 「明治ほほえみ らくらくミルク」の災害時に適した特徴

	粉・キューブ	液（らくらくミルク）
湯	必要	不要
哺乳瓶	必要	アタッチメント* / カップがあれば不要
調乳・冷却	必要	不要
常温保存	可	可

* 「明治ほほえみ らくらくミルク」の缶と人工乳首を接続する器具

ミルクの国家備蓄についての要望) がなされたこと等によって、2018年8月に厚生労働省において「乳及び乳製品の成分規格等に関する省令」、「食品、添加物等の規格基準」が、消費者庁において「健康増進法施工令」、「特別用途食品の表示許可等について」が改正され、乳児用、幼児用の調製液状乳の国内製造、販売が解禁された。当社を含めた2社の乳児用の調製液状乳が消費者庁に認可され、2019年3月に我が国での発売に至った。

3. 災害時に乳児用の調製乳に求められる要素

災害時に乳児用の調製乳に求められる要素は、調乳不要の液体であること・常温で長期保存できることの2点が重要と考えられる。

災害発生時、避難生活では衛生状態が悪くなることもあることから、抵抗力の弱い乳児には母乳が最良であるが、緊張や疲れ、強いストレス状態にあると母乳が一時的に出にくくなることも報告されている。リラックスできる状況を整え、落ち着ける場所で授乳できることが母乳分泌を回復させるといわれている。それでも母乳が足りない場合には、母乳代替食品が乳児の命を守る重要な栄養源となる。

しかし、災害時の調乳作業には様々な制約が発生する。災害発生時には水や電気、ガスといったライフラインが断絶する可能性がある。そのような状況では、衛生的な水や湯、清潔な哺乳瓶などの器具を用意することが困難となるため、粉やキューブタイプの調製乳では、乳児に衛生的に栄養を与えることが難しくなる。このため、災害時には調乳作業の必要がない調製液状乳が求められる。乳児用の調製液状乳は、粉やキューブタイプと異なり、70℃以上

の湯による殺菌を兼ねた調乳が不要のため、災害時でも極力衛生的に利用可能である(表1)。

ライフラインが断絶した場合、その復旧には時間がかかることもある。実際に、ライフラインが9割程度復旧するまでにかかった日数は、阪神淡路大震災では電気で2日、水道で37日、ガスで61日、東日本大震災では電気で6日、水道で24日、ガスで34日であった¹⁾。こうした場合に備え、調製液状乳を備蓄しておくことが望ましい。備蓄や災害時での利用の観点から、粉やキューブタイプのミルク同様に常温保存できることが求められる。また、備蓄には長期保存できることが求められる。2020年1月～2月に全国1,788の地方自治体を対象に当社が実施した「災害時における授乳環境の整備、および乳児用液体ミルクなどの備蓄状況に関する実態調査」²⁾によって、乳児用の調製液状乳を備蓄している自治体は全体の12.3%にとどまっており、備蓄に至っていない最大の理由は、「賞味期限が短く廃棄ロスの懸念があること」であることが判明した。また、既に調製液状乳の備蓄を実施している自治体では、「保存期間が長いこと」が選ぶ際の重視点であった。

4. 乳児用の調製液状乳の研究開発における重視点

当社では、備蓄用途や災害時用途を重視して乳児用の調製液状乳「明治ほほえみ らくらくミルク」の研究開発を行った。具体的には、調乳作業が必要ない液体であること、微生物によるリスクを徹底的に低減すること、災害発生下の過酷な状況や長期間の備蓄でも品質を維持できることを重視した。ま

た、乳幼児の生命と身体により良い成長を栄養で支え、健康で充実した家族の生活に貢献することを念頭に置き、「明治ほほえみ（粉・キューブ）」と同等の栄養設計とすることを目指した。

5. 乳児用の調製液状乳の製造技術

調製乳は栄養成分を豊富に含むため、水分活性の高い液体では粉やキューブタイプに比べて微生物学的なリスクが高い。このリスクを徹底的に低減するために、「明治ほほえみ らくらくミルク」では、内容物を容器に充填後に強い熱負荷をかけて商業的無菌状態とするレトルト殺菌法を採用した。また、災害発生下の過酷な状況においても内容物の品質を維持するため、酸素や光といった品質劣化をもたらす要因を高い密閉性・遮光性によって安定して遮断できるスチール缶を採用した。このレトルト殺菌法とスチール缶を組み合わせることで、常温で18ヵ月（200 ml 缶）／15ヵ月（120 ml 缶）の賞味期限を実現し、備蓄適性を向上させた。

「明治ほほえみ らくらくミルク」は、各種原材料の調合、均質化、一次殺菌、貯液・調整、缶充填、レトルト殺菌といった工程を経て製造する。製造技術の一部について以下に概説する。

5-1. 容器内の酸素量低減

調製液状乳の品質劣化を促進する主要因の一つが酸素である。長期間の備蓄においても内容物の品質を維持するためには、容器内の酸素を低減することが必須である。調製液状乳製造における酸素の由来としては、容器内の残存、容器外からの流入および内容液溶存が挙げられる。「明治ほほえみ らくらくミルク」においては、容器のヘッドスペースに残存する酸素量が最も大きい。そこで、不活性ガスによってヘッドスペースを一部置換することで、容器内の酸素量を低減している。また、容器として、酸素流入を低減しながら、堅牢性と優れた利便性を併せ持つスクリュウキャップスチール缶（図1）を採用した（「明治ほほえみ らくらくミルク」：2023年より、「明治ステップ らくらくミルク」：2024



図1：スクリュウキャップスチール缶

年よりリニューアル）。

5-2. 商業的無菌とするためのレトルト殺菌

調製液状乳の常温・長期間備蓄を可能にするためには、微生物学的リスクの徹底的な低減、具体的には、商業的無菌状態とすることが必須である。内容物を商業的無菌状態とする手段としては、内容物を容器に充填後に120°C・4分間と同等以上の加熱を行う方法（いわゆるレトルト殺菌）、または、連続流動式加熱殺菌機で殺菌後に殺菌済容器に無菌的に充填する方法（いわゆる無菌充填）が挙げられる³⁾。「明治ほほえみ らくらくミルク」では、工程エラーによる微生物学的リスクの残存の可能性が原理的に低いと当社が考えるレトルト殺菌法を採用した。

レトルト殺菌法において、最低限必要な加熱条件である120°C・4分間は、ボツリヌス菌の芽胞を死滅させる条件として定められている。一方で、調製液状乳に用いる一般的な乳原料には、病原性は持たないものの腐敗による品質劣化を引き起こし、かつ、耐熱性の芽胞を形成する*Bacillus*属菌等の細菌が含まれることが知られている⁴⁾。「明治ほほえみ らくらくミルク」におけるレトルト殺菌では、最低限必要な加熱条件を満たした上で、さらに、使用乳原料に含まれ得る耐熱性芽胞形成細菌を死滅させる加熱条件とした。この加熱条件は、温度分布が生じるレトルト殺菌の釜内で、最も低温となる箇所にて配

置された容器内の中心温度で達成される。これに加えて、一定期間後に容器に漏れや膨張のないことを全数検査することで、工程エラーによる微生物学的リスクが残存していないことを確認している。

6. 乳児用の調製液状乳の栄養設計

当社では、母乳で育つ赤ちゃんと同じ発育を目指し、一つ一つの成分を母乳に近づける「母乳サイエンス」という考え方に基づいて乳児用の調製乳「明治ほほえみ」の栄養設計を行っている。乳児の発育や成長に必要な栄養素を乳児用調製乳の許可基準（消費者庁⁵⁾の範囲内で、母乳中の成分含量分析値、母乳／乳児用調製乳を哺乳した乳児の発育哺乳量調査結果、また、乳児用調製乳の国際規格（FAO/WHO⁶⁾、「日本人の食事摂取基準」^{7,8)}、ならびに欧州食品安全機関EFSAの推奨⁹⁾等を参考として設計している。上述の通り、「明治ほほえみ らくらくミルク」は、「明治ほほえみ（粉・キューブ）」と同等の栄養設計としている（表2）。強い熱負荷がかかるレトルト殺菌を用いる製法に適するよう、アミノカルボニル反応等によって利用率が低下するたんぱく質と減衰しやすいビタミンCおよびビタミンDを十分に確保するため、これらを増量した。また、乳児にとって重要だが不足しやすく、液色に影響する鉄を「明治ほほえみ（粉・キューブ）」と同量維持とした。なお、対象が乳児であることに配慮し、液体を安定化させるための乳化剤・増粘剤や、保存料は使わない原材料配合としている（表3）。栄養設計について以下に概説する。

6-1. たんぱく質の量

たんぱく質は、栄養の本体ともいえる最も重要な栄養素で、身体を構成するたんぱく質や種々の生理活性物質の材料として使われる。乳児は、たんぱく質栄養が不足しないように十分量のたんぱく質を摂取することが重要である¹⁰⁾。一方で、たんぱく質摂取量が極端に多いと腎臓に負担がかかり、脱水症状を引き起こすことがある。さらに近年、「乳幼児期のたんぱく質過剰摂取は将来の健康状態に影響する

可能性がある」という仮説について検証が進められている。このため、乳児のたんぱく質摂取量は、乳児の良好な発育が確保される範囲内でより少なくすることが望ましいと考えられる。当社はこれまで、「明治ほほえみ（粉）」においてたんぱく質の利用効率を高めるための様々な改良を行いながらたんぱく質量を低減してきた。リニューアルの都度、乳児の「発育哺乳量調査」を行い、たんぱく質を減量したミルクを哺乳した乳児の発育が母乳栄養児と同等であることを確かめている。

「明治ほほえみ（粉・キューブ）」では、発育哺乳量調査結果も踏まえ、たんぱく質量を母乳の範囲内（1.47-2.33 g/100 kcal）である2.20 g/100 kcalとしている。一方で、「明治ほほえみ らくらくミルク」では、2.42 g/100 kcalと「明治ほほえみ（粉・キューブ）」に比べて10%高い設計としている（図2）。これは、レトルト殺菌工程でたんぱく質を構成しているアミノ酸のうちリジンが強い熱負荷を受けると糖と結合反応（アミノカルボニル反応）を起こし、さらに熱が加わると連鎖反応として他のアミノ酸も修飾され、これらの修飾を受けたアミノ酸がいずれも栄養として利用できなくなることへの栄養学的な配慮として行っている。この反応によって起こる調製液状乳特有の褐変化を、たんぱく質の配合量を下げることで抑制するという手段もあるが、たんぱく質は乳児にとって重要な栄養素であることから、増量することで利用可能なアミノ酸を「明治ほほえみ（粉・キューブ）」と同量確保できる設計とした。

牛乳乳清たんぱく質の約50%を占め、一般的な乳児用の調製乳の多くに含まれる β -ラクトグロブリンに限ってみると、「明治ほほえみ（粉・キューブ）」では選択的に分解して配合している。これは、胃ペプシンや膵プロテアーゼで消化されにくく¹¹⁻¹³⁾、一部は吸収消化されずに高分子のまま小腸下部に達し得ることが報告されているためである^{14,15)}。一方、「明治ほほえみ らくらくミルク」では、高温殺菌工程でのアミノ酸の変化を少なくするために原料中の β -ラクトグロブリンの分解を

表2 「明治ほほえみ らくらくミルク」における栄養成分比較 (A: 栄養成分, B: その他の成分)

A: 栄養成分

		粉・キューブ	液 (らくらくミルク)
エネルギー*	kcal/100 ml	68	68
たんぱく質	g/100 kcal	2.20	2.42
脂質	g/100 kcal	5.16	5.13
コレステロール	mg/100 kcal	15	15
炭水化物	g/100 kcal	11.40	11.23
食塩相当量	g/100 kcal	0.071	0.071
ナイアシン	mg/100 kcal	0.59	0.59
パントテン酸	mg/100 kcal	0.85	0.85
ビオチン	μg/100 kcal	2.4	2.4
ビタミン A	μg/100 kcal	77	77
ビタミン B ₁	mg/100 kcal	0.079	0.079
ビタミン B ₂	mg/100 kcal	0.12	0.12
ビタミン B ₆	mg/100 kcal	0.059	0.059
ビタミン B ₁₂	μg/100 kcal	0.40	0.40
ビタミン C	mg/100 kcal	14	11.3-70
ビタミン D	μg/100 kcal	1.3	1.04-2.5
ビタミン E	mg/100 kcal	1.2	1.2
ビタミン K	μg/100 kcal	4.9	4.9
葉酸	μg/100 kcal	20	20
亜鉛	mg/100 kcal	0.59	0.59
カリウム	mg/100 kcal	97	97
カルシウム	mg/100 kcal	75	75
セレン	μg/100 kcal	2.1	2.1
鉄	mg/100 kcal	1.2	1.2
銅	mg/100 kcal	0.063	0.063
マグネシウム	mg/100 kcal	7.9	7.9
リン	mg/100 kcal	42	42

*フラクトオリゴ糖 1g を 2 kcal として計算, 粉・キューブは 13.5%調乳液として

(B) その他の成分

		粉・キューブ	液体 (らくらくミルク)
アラキドン酸	mg/100 kcal	13	13
ドコサヘキサエン酸	mg/100 kcal	20	20
リノール酸	g/100 kcal	0.71	0.71
α-リノレン酸	g/100 kcal	0.085	0.085
リン脂質	mg/100 kcal	50	50
フラクトオリゴ糖	g/100 kcal	0.40	0.40
イノシトール	mg/100 kcal	18	18
β-カロテン	μg/100 kcal	14	14
塩素	mg/100 kcal	61	61
カルニチン	mg/100 kcal	2.0	2.0
タウリン	mg/100 kcal	5.5	5.5
ヌクレオチド*	mg/100 kcal	2.8	2.8
灰分	g/100 kcal	0.45	0.45

*「らくらくミルク」では、ヌクレオチド当量

ヌクレオチド当量とは、ヌクレオシドの量をヌクレオチド相当量に換算し、ヌクレオチドと合計した量

行っていないが、利用可能なアミノ酸の量が「明治ほほえみ（粉・キューブ）」と同等となるようにたんぱく質全体の濃度を高めた。

「明治ほほえみ」では、これまでの「発育哺乳量調査」および「母乳組成調査」の結果に基づき、主要栄養素のエネルギー構成比率、すなわち、たんぱく質、脂質、糖質のバランスを母乳に近似させている。「明治ほほえみ らくらくミルク」では、たん

ぱく質の増量によって増加するエネルギー量を、主に糖質の減量によって、「明治ほほえみ（粉・キューブ）」と同じ 68 kcal/100 ml に調整した。なお、「明治ほほえみ らくらくミルク」の糖質と脂質の調整幅は「ほほえみ（粉・キューブ）」と比較して1%程度であり、糖質と脂質のエネルギー構成比率は母乳の範囲内である（図3）。

表3 「明治ほほえみ（粉・キューブ）」と「明治ほほえみ らくらくミルク」の原材料

粉・キューブ	液体（らくらくミルク）
乳糖（アメリカ製造）、調整食用油脂（豚脂分別油、大豆白絞油、パーム核油、精製魚油、アラキドン酸含有油脂）、乳清たんぱく質、カルシウムカゼイネート、フラクトオリゴ糖、バターミルク、デキストリン、脱脂粉乳、食塩、酵母／リン酸Ca、塩化Mg、炭酸Ca、塩化K、炭酸K、V.C、イノシトール、コレステロール、タウリン、ピロリン酸鉄、塩化Ca、硫酸亜鉛、シチジル酸Na、V.E、パントテン酸Ca、ウリジル酸Na、L-カルニチン、ナイアシン、イノシン酸Na、グアニル酸Na、5'-AMP、硫酸銅、V.B ₁ 、V.A、V.B ₆ 、V.B ₂ 、カロテン、葉酸、ビオチン、V.K、V.D、V.B ₁₂	乳糖（アメリカ製造）、調整食用油脂（豚脂分別油、大豆白絞油、パーム核油、精製魚油、アラキドン酸含有油脂）、脱脂粉乳、乳たんぱく質、デキストリン、バターミルクパウダー、フラクトオリゴ糖、ホエイパウダー、酵母、食塩／V.C、炭酸Ca、炭酸K、塩化Mg、イノシトール、クエン酸鉄Na、コレステロール、塩化K、タウリン、V.E、硫酸亜鉛、L-カルニチン、シチジル酸Na、パントテン酸Ca、ナイアシン、ウリジル酸Na、イノシン酸Na、グアニル酸Na、硫酸銅、5'-AMP、V.A、V.B ₁ 、V.B ₆ 、カロテン、V.B ₂ 、葉酸、V.K、ビオチン、V.D、V.B ₁₂

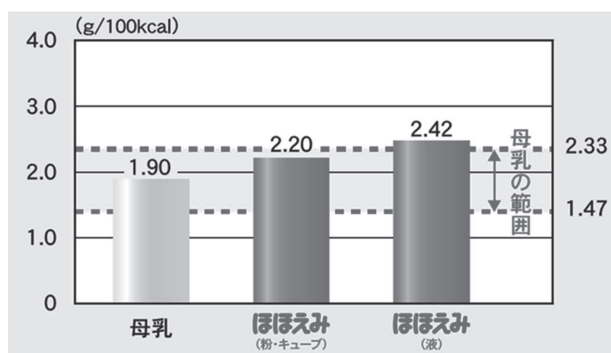


図2 「明治ほほえみ（粉・キューブ）」と「明治ほほえみ らくらくミルク」(液)のたんぱく質濃度

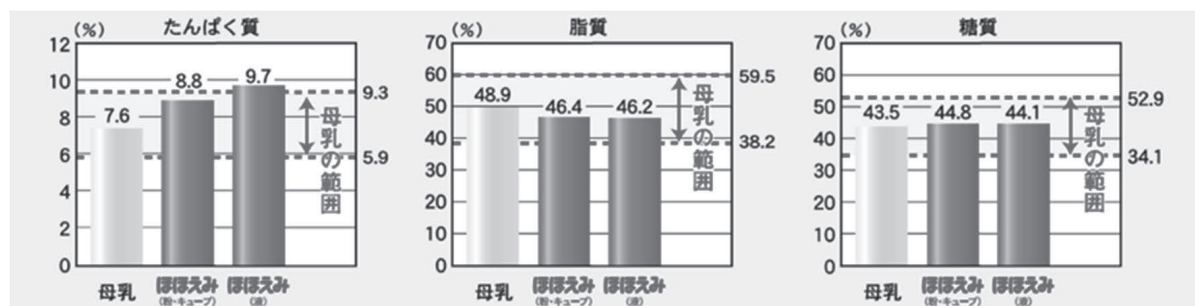


図3 「明治ほほえみ（粉・キューブ）」と「明治ほほえみ らくらくミルク」(液)のエネルギー構成比率

6-2. アミノ酸組成の調整

「明治ほほえみ」では、たんぱく質の量だけではなく、乳児にとっての不可欠アミノ酸および準不可欠アミノ酸のそれぞれが不足することなく摂れるように設計している（表4）。たんぱく質の原料として用いるカゼインと乳清たんぱく質は、アミノ酸組成が異なる。カゼインはフェニルアラニン、チロシン、メチオニンを豊富に含むのに対し、乳清たんぱく質はシスチンとトリプトファンを豊富に含む。一方で、乳清たんぱく質は、フェニルアラニン、チロシン、メチオニンが少ないという特徴を持つ。また、母乳の乳清たんぱく質のうちで最も多く含まれ

ている α -ラクトアルブミンは、不可欠アミノ酸を多く含み、特にトリプトファンを豊富に含む¹⁶⁻¹⁸）。

「明治ほほえみ」では、カゼインと乳清たんぱく質の比が適切になるように乳原料を配合することで、個々のアミノ酸の量を確保している。また、脳内でセロトニンやメラトニンの材料として利用されるトリプトファン^{19,20}）は、脳内への移行が大型中性アミノ酸（LNAA）と呼ばれるロイシン、イソロイシン、バリン、フェニルアラニンおよびチロシンとの比率によって影響を受けるため、トリプトファン/LNAA比にも配慮している^{21,22}）。

表4 「明治ほほえみ（粉・キューブ）」と「明治ほほえみ らくらくミルク」のアミノ酸組成（実測例）

■不可欠アミノ酸および準不可欠アミノ酸 (mg/100 kcal)

	母乳	粉・キューブ	液（らくらくミルク）
イソロイシン	89.9 ± 24.4	124	138
ロイシン	175.5 ± 47.9	216	251
リジン	117.9 ± 32.1	182	190
メチオニン+シスチン	68.0 ± 19.0	88	92
メチオニン	26.5 ± 7.2	48	53
シスチン	41.5 ± 12.2	40	38
フェニルアラニン+チロシン	133.9 ± 39.3	173	192
フェニルアラニン	72.9 ± 24.1	93	97
チロシン	61.1 ± 16.6	80	95
スレオニン	80.3 ± 22.5	131	138
トリプトファン	32.0 ± 11.1	37	40
バリン	97.5 ± 26.1	137	149
ヒスチジン	52.8 ± 16.9	60	59
アルギニン	60.7 ± 18.2	60	68
不可欠アミノ酸および準不可欠アミノ酸合計	908.5 ± 253.7	1208	1317

■可欠アミノ酸 (mg/100 kcal)

	母乳	粉・キューブ	液（らくらくミルク）
アラニン	66.8 ± 19.3	89	104
アスパラギン酸*1	159.7 ± 45.3	208	222
グルタミン酸*2	308.5 ± 82.0	402	471
グリシン	41.3 ± 11.9	45	47
プロリン	163.8 ± 45.4	174	192
セリン	81.2 ± 23.3	121	127
可欠アミノ酸合計	821.3 ± 222.6	1039	1163

*1 アスパラギンとの合計値

*2 グルタミンとの合計値

6-3. たんぱく質態の量

「明治ほほえみ（粉・キューブ）」では、「たんぱく質」の形態をしたアミノ酸の量が母乳に近い約1.45 g/100 kcal となるように設計している。一方で、「明治ほほえみ らくらくミルク」では、2.14 g/100 g となるように設計した。

母乳中のアミノ酸の大部分は、ペプチドや遊離アミノ酸ではなく、たんぱく質の形態で存在している。これまで、乳児期にアミノ酸をたんぱく質の形態で摂取することの栄養学的および生理学的意義に関する多くの論文やコメントが出されている^{10,23-29}。乳児用の調製乳の設計においては、たんぱく質態成分の量を十分に考慮する必要があると考えられる。

6-4. 鉄

鉄の要求量は、6か月齢以降、大幅に増加する⁸。これは、胎児期に母体から得た鉄が生後6か月頃までに失われてしまうことに加え、成長に伴って日々ヘモグロビンが増加するようになり、その材料となる鉄が多く必要となるためである。さらに鉄は、脳組織中の酵素の一部として不可欠な成分であるため、3歳頃までは十分量の鉄を摂取するように注意が必要である³⁰。しかし、この時期は、一生のうちで最も多くの鉄（体重あたり）が必要な時期であるため、母乳や離乳食、通常の幼児食で必要量を摂ることは容易ではなく、鉄が不足しやすくなる。「明治ほほえみ」は、12か月齢まで、離乳食由来と合わせて十分量の鉄を摂取できる設計としている。

鉄は、調製液状乳において商業的無菌達成のために強い熱をかけることで発生の程度が大きくなるアミノカルボニル反応の促進、また、鉄原料自体の色調変化によって調製液状乳の液色に影響する。鉄を減量することで調製液状乳の液色変化を抑制するという手段もあるが、鉄は乳児にとって重要な栄養素であることから、「明治ほほえみ らくらくミルク」では、「明治ほほえみ（粉・キューブ）」と同じ設計とした。

6-5. ビタミンCおよびビタミンD

ビタミンCは、葉酸代謝、コラーゲンの合成、骨形成、神経伝達物質の合成、鉄の吸収など、様々な生物学的機能に必須である。ビタミンDは、カルシウム等の吸収を促進する働きがあり、欠乏すると骨の石灰化障害（小児では「くる病」）等に繋がる栄養素である。ビタミンD、また、特にビタミンCは、熱や酸素に対して不安定とされている。このため、「明治ほほえみ らくらくミルク」ではビタミンCおよびビタミンDを、賞味期限内で「明治ほほえみ（粉・キューブ）」と同等量維持できるように設計した。

6-6. 幼児用の調製液状乳の栄養設計

当社の幼児用の調製乳である「明治ステップ」は、1〜3歳頃の不足しがちな栄養をサポートする製品である。1歳以降は、離乳が進み、栄養源の主が食事となっていく時期である。しかしながら、幼児期に要求量が高まる栄養素の中には、通常の食事には含量が限られていること等から、十分量の摂取が容易ではないものもある。「明治ステップ」は、幼児期に不足しがちな鉄やカルシウム、また、ビタミンCやビタミンDといったミネラル類、ビタミン類を補給できるように設計している。同製品においても、調製液状乳としての栄養設計上の課題は、先述した「明治ほほえみ」と共通である。このため、調製液状乳「明治ステップ らくらくミルク」においても、鉄、ビタミンC、ビタミンDを「明治ステップ（粉・キューブ）」と同等以上確保する設計とした。

7. おわりに

当社は長年、乳児用の調製乳の研究開発において、「母乳栄養児の発育・発達に近づけ、乳児の発育・発達を優先した上で母乳の組成に可能な限り近づける」という栄養設計理念のもと、「母乳組成調査」と、製品改良のたびに乳児の発育を調査する「発育哺乳量調査」を行うサイクルを回して栄養設計を改良してきた。2019年に販売を開始した「明

治ほほえみ らくらくミルク」は、水や湯のない状況でもそのまま乳児に与えられることから災害緊急時の授乳でも使用可能であり、長期保存に適した製法と容器から災害用備蓄として有用である。さらに、「明治ほほえみ（粉・キューブ）」と同等の栄養設計であるため、必要に応じて普段の授乳に利用できる。また、その高い利便性からお出かけ時や夜間の授乳でもすぐに利用することができ、育児負担の軽減や時間短縮にも役立つことが期待される。今後、研究開発を通じて、調製乳を必要とする乳児はもちろんのこと、育児に関わる全ての方が暮らしやすい社会づくりに貢献したい。

引用文献

- 1) 日本気象協会, 備蓄品にはこれが必要 (知る防災), tenki.jp (<https://tenki.jp/bousai/knowledge/48ae160.html>), (2024年9月24日アクセス)
- 2) 株式会社明治, 災害時における授乳環境の整備, および乳児用液体ミルクなどの備蓄状況に関する実態調査 (2020年)
- 3) 内閣府食品安全委員会, 資料1-3: 調製液状乳の規格基準の設定について, 第692回食品安全委員会 (2018年4月10日)
- 4) Janšťová B. et al., Heat Resistance of *Bacillus* spp. Spores Isolated from Cow's Milk and Farm Environment, *Acta Vet. Brno*, **70**, 179-184 (2001年)
- 5) 消費者庁次長, 特別用途食品の表示許可等について, 消食表第296号 (2019年)
- 6) FAO/WHO, CODEX STAN 72 "STANDARD FOR INFANT FORMULA AND FORMULAS FOR SPECIAL MEDICAL PURPOSES INTENDED FOR INFANTS" (2007年)
- 7) 厚生労働省, 日本人の食事摂取基準 (2015年版) (2014年)
- 8) 厚生労働省, 日本人の食事摂取基準 (2020年版) (2019年)
- 9) EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies, Scientific Opinion on the essential composition of infant and follow-on formulae, *EFSA J*, **12(7)**:3760, 1-106 (2014年)
- 10) 木ノ内俊, 乳児期のアミノ酸栄養に関する研究: DOHaDの観点から, *アミノ酸研究*, **9**, 79-84 (2015年)
- 11) 大谷元, プロテアーゼ処理 β -ラクトグロブリンの天然抗原性, *日畜会報*, **52**, 47-52 (1981年)
- 12) Reddy IM, et al., Structural and conformational basis of the resistance of β -lactoglobulin to peptic and chymotryptic digestion, *J Agric Food Chem*, **36**, 737-741 (1988年)
- 13) Mahe S, et al., Gastrojejunal kinetics and the digestion of [^{15}N] β -lactoglobulin and casein in humans: the influence of the nature and quantity of the protein, *Am J Clin Nutr*, **63**, 546-552 (1996年)
- 14) Yvon M, et al., In vivo milk digestion in the calf abomasum. II. Milk and whey proteolysis, *Reprod Nutr Develop*, **24**, 835-843 (1984年)
- 15) Koritz TN, et al., Antigenic stimulation with proteins of cow's milk via the oral route in guinea pigs and rats. 1. Measurement of antigenically intact beta-lactoglobulin and casein in the gastrointestinal contents of duodenum, jejunum and ileum, *Int Arch Allergy Appl Immunol*, **82**, 72-75 (1987年)
- 16) 金子哲夫, たんぱく質栄養から見た乳児用調製粉乳における母乳化の展望, *日本臨床栄養学会雑誌*, **21**, 13-17. (2000年)
- 17) Harzer G, et al., Main compositional criteria of human milk and their implication in nutrition in early infancy, *New Aspects of Nutrition in Pregnancy, Infancy and Prematurity Proceedings of an International Workshop on the composition and physiological properties of human milk*, Elsevier Science Publishers, 83-94 (1987年)
- 18) Akesson PMK, et al., Protein and amino acid metabolism in three- to twelve-month-old infants

- fed human milk or formulas with varying protein concentrations, *J Pediatr Gastroenterol Nutr*, **26**, 297–304 (1998 年)
- 19) Janas LM, et al., Indices of protein metabolism in term infants fed either human milk or formulas with reduced protein concentration and various whey/casein ratios. *J Pediatr*, **110**, 838–848 (1987 年)
- 20) Heine W, et al., alpha-Lactalbumin-enriched low-protein infant formulas: a comparison to breast milk feeding, *Acta Paediatr*, **85**, 1024–1028 (1996 年)
- 21) 木ノ内俊, 母乳成分の科学—蛋白質—, 周産期医学, **38**, 1211–1215. (2008 年)
- 22) Heine WE., The significance of tryptophan in infant nutrition, Tryptophan, Serotonin, and Melatonin: Basic Aspects and Applications, Kluwer Academic/Plenum Publishers, 705–710 (1999 年)
- 23) EUROPEAN COMMISSION Scientific Committee on Food, Report of the Scientific Committee on Food on the Revision of Essential Requirements of Infant Formulae and Follow-on Formulae, SCF/CS/NUT/IF/65 Final, 1–211 (2003 年)
- 24) Szajewska H., Extensive and partial protein hydrolysate preterm formulas, *J Pediatr Nutr*, **45**, S183–S187 (2007 年)
- 25) Zuppa AA, et al, Hydrolysed milk in preterm infants: An open problem, *Acta Paediatr*, **94**, 84–86 (2005 年)
- 26) 木ノ内俊, 低出生体重児用ミルクの蛋白質栄養の設計, 周産期医学, **35**, 370–373 (2005 年)
- 27) 木ノ内俊, ミルクアレルギーの赤ちゃんのためのペプチドミルク, 免疫機能食品の基礎と応用, シーエムシー出版, 179–186 (2010 年)
- 28) Kinouchi T, et al., Large molecule protein feeding during the suckling period is required for the development of pancreatic digestive functions in rats, *J Pediatr Gastroenterol Nutr*, **39** (Supplement1), S486–S487 (2004 年)
- 29) Kinouchi T, et al., Evaluation of the development of intentional function in rats reared on hydrolyzed or native protein-based milk formula, *J Pediatr Gastroenterol Nutr*, **29**, 155–162 (1999 年)
- 30) 五十嵐隆 他, 授乳・離乳の支援ガイド (2019 年改訂版) 実践の手引き, 公益財団法人母子衛生研究会 (2020 年)