調製粉乳の進歩と問題

土屋 文安
(Fumiyasu TSUCHIYA)
明治乳業株式会社研究所

はじめに

調製粉乳は人工栄養児にとっては唯一の生命の糧であり、常に完全性を要求される食品である。最近のわが国の人工栄養児の率は、図1に示すように、漸増傾向にあり、現在では70%以上の乳児が調製粉乳（以下 調粉）によって哺育されていると考えられる。このような傾向に対し、小児科医をはじめ乳児栄養指導関係から、「母乳第一主義」が唱えられ、母乳の意義が強調されている⁽¹⁾。しかし、米国においてはすでに10年以前に人工栄養率が60%をこえているように、社会生活様式の変化とともに人工栄養の増加は世界的傾向といえよう。この傾向の是非はともかくとして、このような趨勢は調粉を中心とする人工栄養方式の発達によって可能となった

ものと考えられる。

わが国の調粉の生産量は、図1に示すように、昭和41年には約5万トンに達し、国内生産牛乳の約9%がこれに当てられていることを考えると、産業的意義もきわめて大きいと言わなければならない。

一方、わが国の乳児死亡率は、図1のごとく、昭和40年には出生1,000当り18.5と低死亡率国群に属するまでに改善されてきた。この原因は、もちろん、医学、環境衛生の進歩に負うところが大きいが、調粉の進歩も一半の寄与をしていると考えられる。

調粉の変遷

今日、調粉による人工栄養によって乳児を育てることに、疑問を抱く人はほとんどないであろう。しかし、わが国において、このように、安心して乳児に与える調粉が得られるようになったのは、必ずしも古いことではない。

歴史的に古代から中世においては、母乳不足の乳児は乳母に預けるか、パンがゆ、重湯のごときものか、動物の乳汁をそのまま——場合によっては動物の乳房から直接——与えることによって育てられたという⁽²⁾。しかし、19世紀後半になっても、なお人工栄養は天然栄養の10倍もの死亡率を示し、その原因の探求に、当時ようやく発達してきた化学分析手段によって、牛乳と人乳の粗化学的差異が注目されるようになってきた。たとえば、牛乳は蛋白質と無機質が人乳の2~3倍も多いことから、牛乳を稀釈し、その結果不足する熱量を炭水化物の添加によって補うという調整が行なわれるようになった。それにもかかわらず、いぜん人工栄養の成績はかんばしくなく、1874年 Biedert の牛乳カゼイン障害説をはじめとして、牛乳脂肪有害説、乳清有害説などが唱えられ、ますます牛乳を稀釈することが行なわれた。たとえば生後4~6週を1/3牛乳、以後4~6カ月を1/2牛乳というような極端なことが行なわれたが、当然、事態はなんら改善を見なかった。

1910年、鈴木梅太郎によるビタミンB₁の発見に始ま

図1 調粉生産量、乳児死亡率、栄養法別割合(東京)の変遷

る近代栄養学の発展は、乳児栄養にも新しい進歩をもたらすことになった。同時に乳業技術の進歩は、衛生的処理方法、ソフトカード化、均質化、ビタミン強化などによって安全性の高い、消化性のよい製品の供給を可能とした。

わが国において調粉が製造されるようになったのは、大正末期からであり、鈴木梅太郎指導による「パトロージェン」(1929)はその最も初期のものである。これを今日から見れば、当時の高稀釈牛乳による人工栄養方式を反映してか低蛋白質・低脂肪の製品であるが、マッカラム塩による無機質の強化調整と、ビタミンB₁ 給源に酵母を、またビタミンD 強化のため紫外線照射酵母を用いるなど、当時の栄養学的知識を応用した製品であった。

医学関係においては、昭和17年に初めてわが国の標準人工栄養方式として「大政翼賛会乳児栄養委員会案」が作成されたが、この案はドイツ流の1/2牛乳、2/3牛乳を基調とするものであった。

第2次大戦後は15%加糖全脂粉乳、35%加糖全粉を経て、昭和26年の「乳および乳製品の成分規格などに関する省令」に調製粉乳の規格が制定される前後において、ソフトカード化、ビタミン強化、鉄強化などを行なった現代的調粉が製造されるようになった。これに応ずるように人工栄養方式は「母子愛育会小児保健部会案」が昭和25年に発表された。この案は、生後2カ月を2/3牛乳、3~4カ月を4/5牛乳、以後全乳を基本とし、体重kg 当り蛋白質3.5g以上、熱量120Calを確保することを基準とするものであった。これら調粉、人工栄養方式の進歩によって、当時、乳児の生長発育は画期的に改善されたといわれている。

その後、分析化学、栄養学、生物化学の目覚ましい発展は、人乳と牛乳の差異に新たな局面を見だし、脂肪、蛋白質など、各成分の加工処理に人乳を目標においた改善が行なわれるようになってとともに、医学面では腎ホメオスタシスの考え方から、高蛋白高電解質栄養方式が反省され、「小児栄養懇話会案」(昭和36年)が提案されて今日に至っている。一方、前記省令には昭和34年、母乳の成分に類似させるための栄養素を加えることを加味する“特殊調製粉乳”の規格が追加され、現在わが国

表1 わが国の調粉の変遷

製 品	発売年	蛋白質 %	脂 肪 %	炭水化物 %	灰 分 %	熱 量 Cal
パトロージェン	昭 4	14.63	10.94	68.31	4.68	430
15号調粉	昭 22	23.04	21.75	47.91	4.97	480
調製粉乳 (ソフトカード 明治コナミルタ)	昭 26	18.13	18.65	56.57	4.65	466
特殊調製粉乳 (ソフトカードF 明治コナミルタ)	昭 35	15.85	20.00	58.00	4.15	475
市 販 A	昭 41	13.0	18.0	64.0	3.0	470
市 販 B	昭 42	13.0	22.0	60.8	2.2	493

表2 内外調粉の調乳液の組成

製品名	(国)	調乳濃度 g/dl	蛋白質 g/dl	脂 肪 g/dl	炭水化物 g/dl	灰 分 g/dl	熱 量 Cal/dl
SMA S-26	(米)	13	1.5	3.6	7.2	0.25	68
Humana Milch 1	(独)	14	1.7	3.5	7.4	0.4	71
ソフトカード FM	(日)	15	2.0	2.7	9.6	0.45	71
Pelargon	(スイス)	16	2.6	2.7	9.1	0.7	78
Honig Milch 1	(独)	16	2.2	2.1	10.5	0.48	72
Baby energia Jr	(デンマーク)	13.3	2.3	1.5	8.9	0.53	59

で市販されている調粉はほとんどこれである。

わが国の調粉の組成の変化を例示すると、表1のようになる。

最近の内外調粉の特徴

最近の内外育児用乳製品を分類的に考察すると、次のようになる。

(1) 人乳組成類似の低蛋白質・高脂肪の製品：最近の米国の多くと、一部の欧州の調粉がこれに属し、そのほとんどが脂肪全置換、炭水化物を乳糖のみとしたものであり、使用時の調乳濃度は、蛋白質1.5%、脂肪3.5%、熱量67Cal/dlとなるようにできており、熱量の約半量を脂肪によっている。

(2) 調乳時2/3牛乳となることを基本とし、脂肪と炭水化物を補った製品：現在のわが国の市販品の大部分がこれに属し、調乳して蛋白質2%、脂肪3%前後、熱量70~74Cal/dlとなり、熱量の35~40%を脂肪によっている。脂肪は半~全置換であり、炭水化物は乳糖以外にショ糖、可溶性多糖類などを併用している。

(3) 調乳時に、稀釈牛乳+炭水化物となるようにした製品：わが国の法規上の調製粉乳(30%加糖全粉型)や欧州の製品に見られ、脂肪と蛋白質の比はほぼ牛乳と同じであり、脂肪は牛乳脂肪のままである。炭水化物は(2)と同様、各種糖が併用されている。

(4) 部分脱脂牛乳に炭水化物を補った製品：北欧系の製品に見られ、脂肪は乳脂肪だけであるが、蛋白質よりその含量が低い。乳製品輸出国の国策の反映と見ることもできる。

、以上の製品の中から、代表的と考えられる製品の調乳液の組成を示すと、表2のようである。

わが国で人工栄養といえば調粉が大部分であるが、欧米においては必ずしも調粉ないし調製乳（液状滅菌製品）が主流ではなく、牛乳または無糖練乳を使用する方式がかなり行なわれていると聞く。したがって、上記の調粉が、その国の人工栄養方式をそのまま反映したものとはいえない面もあるが、その国の乳児栄養に対する考え方のあらわれとして見ると、興味ぶかいものがある。

米国は、乳児栄養学の先端的研究が最も盛んであるとともに、これを実地に応用するのにきわめて大胆であるように思われる。ここでは第2次大戦前後の高蛋白栄養方式から、1950年代の高蛋白—低蛋白論争を経て、現在では低蛋白論が主流を占めたことが、最近の調粉組成を決定しているかのようである。脂肪は、植物油ならば乳児が充分消化吸収できるという考え方から全置換し、しかもその量を人乳と等しく、また乳糖の量も人乳と等しくしたために、他の糖類の添加が不要となっている。このような製品が乳児栄養上最適であるか否かについては、なお検討を要するところであるが、少なくとも、わが国の乳児に直接あてはめてよいか否かはかなり疑問がある。たとえば、生後1カ月以内から乳汁以外の固形食を与える方式をとっている米国の育児法（この方式自体、すでに調製乳のみによる栄養方式に対する不信のあらわれとも見ることもできる）と、離乳食を与え始めるのが、早くて4カ月からであるわが国の方式とは、同一には論じ得ないであろう。

米国に比し、欧州はかなり保守的であるように思われる。Wachtel⁽³⁾によれば、ドイツにおいては今も生後4週間までを1/2牛乳、その後5カ月までを2/3牛乳、以後全乳として、糖質添加によって熱量を調整する方式が標準とされている。しかし最近では、米国型に近い組成の製品もあらわれており、Humana Milch などのように、体重または月齢により2~3段階に分けて、それぞれに応じた製品を使い分けるなど、新しい動きも見られる。

わが国の調粉は、米国型と欧州型の間中型ともいえるもので、蛋白質の量について2/3乳を基本としながら、熱源を徐々に炭水化物から脂肪へ転換し、その脂肪の植物油置換率を次第に高くする方向に進みつつある。このような漸進的態度は、乳児栄養学のような、実験の場に制約の大きい学問としては止むを得ないことであり、慎重という意味から急変を避けるのは当然であろう。

従来、わが国では調乳に際して調粉と添加糖質が併用されてきた。このような方式は欧米ではほとんど見られ

ず、法規上の調製粉乳が30%加糖全粉型であったことが原因の一部であるが、最近の製品は添加糖質を廃し、これを調粉に含む形とし、ほとんどが“単一調乳”を特徴とするものになってきた。しかし、米国のように月齢にかかわらず、一定濃度の“単一処方”とすることには、上述のように、離乳食への移行が遅いわが国では、今後問題となる点であろう。

わが国の調粉が欧米に見られない特徴を示しているのは、ビタミン類をはじめとする微量成分の添加である。これを学問的進歩の帰結と見るか、コマーシャルイズムの影響と見るかは、見る人の立場によろうが、人乳の分析的調査や、実験事実から各種の微量栄養素が添加される傾向が強い。この点では、わが国のメーカーは欧米より大胆であるかのようである。

乳児栄養の基礎的研究の動向と問題点

(1) 蛋白質

牛乳と人乳の蛋白質については、多くの蛋白質化学的研究が行なわれている。

まず古くから知られていることは、含窒素成分中カゼインが、牛乳では約80%であるのに対し、人乳では約40%であることである。その栄養学的意義は充分明らかではないが、乳清蛋白質増強を特徴とする調粉が内外ともに販売されている。これはチーズ製造の副産物であるホエーを添加したものであるが、カゼインもその区分において差があるように、乳清蛋白質についても、牛乳では β -ラクトグロブリン区分が約半分であるのに対し、人乳では α -ラクトアルブミン区分が多いというように、その性質が異なっている。したがって、単純にホエー添加が蛋白質栄養価の向上になるということではできない。Barnessら⁽⁴⁾は、未熟児においてホエー蛋白増強調粉を実験し、成長、窒素平衡および蛋白効率に差を認めなかったと報告しており、Fomon⁽⁵⁾は、無糖練乳、ホエー蛋白増強乳（カゼイン：ホエー蛋白質=40：60）、メチオニン添加大豆乳を人乳と比較実験し、いずれも血清アルブミン濃度が人乳に比し有意に低かったと述べており、これらの点において、乳清蛋白増強による母乳化は目的を達していないと考えられる。しかしNatelsonら⁽⁶⁾は、新生児期においてalbumin formulaのほうが、人乳同様、血中尿素窒素値が低くなると述べているが、蛋白質の栄養価の判定に血中尿素窒素値のみを指標とすることには、なお問題のあるところである。

蛋白質のアミノ酸組成が人乳と牛乳で異なることはいうまでもない。牛乳の含硫アミノ酸、とくにシスチン含

量の低いことは FAO の protein score を低くしている。この考え方から、わが国の調粉の中にはシスチンを強化した製品がある。蛋白質の栄養価をアミノ酸組成に還元しうるか否かは議論のあるところであるが、1965 年 FAO/WHO の合同委員会は、1957 年の暫定パターンの代わりに、全卵または人乳のパターンを基準とする chemical score を提案しており⁽⁷⁾、人乳のアミノ酸パターンを基準とすると牛乳蛋白質は含硫アミノ酸が第一制限アミノ酸となり、chemical score=75 となる。それにもかかわらず、同委員会は Fomon, Holt らの実験事実である「牛乳蛋白質はカードの消化が良好となるように処理されたものであれば、人乳蛋白質との間に栄養上差がない」という意見から、乳児の蛋白質所要量を牛乳を用いても、0~3 カ月において 1 日体重 kg 当り 2.3 g、3~6 カ月において 1.8 g としている。

前述の小児栄養懇話会案が、蛋白質摂取量を、月齢 0→5 カ月において 3.5→3.0 g/kg/day とすることを基準にしていることを考えると、FAO/WHO 案は著しく低蛋白栄養である。このような低蛋白に対し、わが国の乳児栄養学者たちは、現在の量で何ら障害がなく、低蛋白は抗病性の点で不安があり、離乳期に向かって発育低滞の傾向のあるわが国の実情から、疑惑を抱いているようである。

蛋白質所要量は古く、かつ新しい問題である。蛋白質の栄養価は、単にその質のみならず、熱量摂取量、熱量源の形態とも関連するので、蛋白質単独で論ずることは必ずしも有効ではないが、蛋白質の過剰摂取は機能的に未熟な乳児にとって負担となる反面、蛋白質欠乏は発育成熟途上の乳児に決定的打撃となることを考えると、調粉中の蛋白質の質と量は、今後も最大の問題となるであろう。

(2) 牛乳アレルギー

人体にとって異種蛋白質である牛乳蛋白質が、そのまま吸収されると血中に抗体が生産され、次に吸収された蛋白質との間に抗原-抗体反応が起こる結果、湿疹、下痢をはじめとする多くの症状があらわれ、これを牛乳アレルギーと呼んでいる。人工栄養児の牛乳抗体保有率は、調査者、検出方法により必ずしも一致しないが、松村⁽⁸⁾によれば 80% に達するという。また、血中抗体の存在と牛乳アレルギー症状の発現とは直接対応しないが、研究者により 0.1~20% の人工栄養児に症状の発現があるとされている。

牛乳アレルギーを予防するには、牛乳蛋白質の抗原構

造を破壊すればよいが、その処理としては加熱変性と酵素分解が考えられる。牛乳蛋白質の各区分について、抗体生産頻度に差があまりないようであるが、酵素による抗原性破壊は、カゼインは比較的容易であるのに対し、乳清蛋白質区分は破壊されにくく、逆に加熱では乳清蛋白質区分のほうが破壊されやすい。しかし従来、無糖練乳製造条件の加熱で完全に破壊されるという考え方は、鋭敏な反応によれば、乳清蛋白質についても、なお抗原性が残存するという最近の研究から修正されなければならない。

牛乳を用いる以上、牛乳アレルギーは避けたい問題であるが、消極的には多くの小児科医の勧告に見るように、少なくとも腸管透過性の高い新生児期に牛乳を与えないことと、積極的に抗原性低下のための処理加工法の研究が今後の問題であろう。

(3) 脂肪

乳児栄養において、牛乳脂肪は消化吸収性に劣り、必須脂肪酸が不足であることはすでに明らかである。したがって、最近の多くの調粉が植物油により、部分ないし全置換を行なっていることは前述した。しかし、この置換脂肪の理想像については今なお模索状態にある。乳汁の脂肪酸組成は蛋白質のアミノ酸組成とまったく異なり、母体の食餌などによる変動がきわめて大きい。したがって、人乳の平均的脂肪酸パターンを理想とする根拠も乏しいが、内外のいくつかの調粉は、脂肪置換の目標を人乳パターンの実現においている。

脂肪酸レベルにおいては、炭素数の少ないほど、不飽和度の高いほど吸収がよいことは明らかにされているが、脂肪の消化吸収性を脂肪酸組成のみに還元し得ないことも明らかであり、人乳と牛乳の脂肪のトリグリセライド構造に着目した研究や、摂食後の血中脂質の動きのパターンとしてとらえようとする研究も散見される。

乳児栄養における脂肪の古くからの関心事に、その投与量がある。牛乳脂肪の吸収率が低く、石ケン便などの悪影響があるとして半脱脂乳が用いられ、その伝統が今なお北欧に残っているが、米国の調粉は全置換して人乳と同じレベルになっている。しかし脂肪置換を行なっても、体重 3.5 kg 以下の乳児では吸収率の個人的変動が大きく、場合によっては 50% に満たないことが報告されている⁽⁹⁾。このように、新生児、未熟児において吸収率が不良である原因は不明であるが、脂肪の質と量、および乳児の消化吸収機能との間の関係の解明が必要であろう。

(4) 炭水化物

すべての哺乳動物の乳汁中の炭水化物の大部分が乳糖である理由は、充分には明らかでない。脳・神経系の糖脂質の構成成分であるガラクトース給源であるという考え方もあるが、体成分としての量に比し供給量がきわめて多量であること、生体内にはグルコース→ガラクトース転換系の存在することを考えると、乳糖の意義を説明するには不充分である。乳糖がカルシウムの腸管吸収を助けるとか、腸内菌相、とくに *L. bifidus* の発現に関係あることが報告されているが、決定的役割を荷なっているとも考えにくい。乳糖の意義が必ずしも明らかでない現在、調粉の炭水化物についてあるべき姿もまた明らかではない。現在までの調粉は、経験的に糖質の種類と乳児の便性状に関係が深いことから、試行錯誤によって炭水化物組成を決めてきたが、乳児栄養における意義と効果には、なお検討すべき余地が残されていると考えられる。

(5) 無機質

無機質の栄養上の必要性は論ずるまでもないが、2/3牛乳においてもなお人乳の2倍以上の電解質負荷が、腎機能未熟な新生児期に代謝負担となることを考えると、最近、米国やわが国にあらわれた低電解質調粉の意義は認められるべきであろう。しかし腎負担の問題は、1940～50年代の濃厚栄養が、夏季熱などの臨床的障害の原因となったことに対する反省として提起されたものであり、腎最大濃縮力が成人の半分の700 mosm/kgといわれる乳児の中には、全乳以上の濃度では水分不足による症状があらわれるのも当然である。腎負担は蛋白質代謝による尿素も関与し、水分投与量(調乳濃度)も大きな関連を持っている。したがって、調粉の全組成、調乳方法が重要な要因であり、無機質はその一部の問題である。2/3牛乳の濃度では、理論的にも実験的にもほとんど水分不足は起こらないが、特別な酷暑、発熱時などにおける安全性を確保する意図が、さらに低蛋白質、低電解質へと方向づけているようである。

しかしながら、質的に異なる牛乳を用いる以上、栄養所要量を安全側にとることは必然であり、代謝負担における安全性と相反する要求であるが、ここに調和点を見いだすことは、今後に残された問題の1つであろう。

む す び

最近の調粉の動向と乳児栄養学の問題点の一部について述べた。過去における人工栄養の進歩は、Fomon⁽⁵⁾

によれば、牛乳の衛生的処理技術の確立、ビタミンC、Dの強化、ソフトカード化の3点が最大の寄与をしたとされている。たしかに調粉の進歩とその効果は著しいものがある。それにもかかわらず、今なお蛋白質所要量に結論がないように、残された問題も多い。

自然はあやまたず、母乳はすべてに優越すると考える以上、今日の科学と技術はなお理想に遠い存在であろう。

文 献

- 1) 浜本英次：日児誌，71，(1)，1 (1967)。
- 2) S.S. Levin："A Philosophy of Infant Feeding"，C. C. Thomas Publ. 1963。
- 3) U. Wachtel：Ernährungs-Umschau，13，34 (1966)。
- 4) L. A. Barnes et al.：Pediatrics，32，52 (1963)。
- 5) S. J. Fomon："Infant Nutrition"，W. B. Saunders Co.，(1967)。
- 6) S. Natelson et al.：Am. J. Dis. Child.，89，656 (1955)。
- 7) Report of a Joint FAO/WHO Expert Group："Protein Requirements" (1965)。
- 8) 松村竜雄：日児誌，60，404 (1962)，67，518 (1963)。
- 9) 二木武ら：第3回新生児学会総会講演 (1967)。

新 刊

Acetic Acid Bacteria

Classification and Biochemical Activities

朝井勇宣著 菊判・3,200 円

生 物 化 学 工 学 (上)

合葉修一，A. E. ハンフリー，N. F. ミリス著

永谷正治訳 A 5 判・600 円

Comparative Biochemistry and Biophysics of Photosynthesis

Ed. by K. Shibata, A. Takamiya
R. C. Fuller and A. T. Jagendorf

菊変判・3,200 円

JIS FORTRAN 入 門 (上)

——HARP 5020 に即して——

森口繁一著 B 5 判・700 円

東京都文京区 振替東京 59964
本郷東大橋内 東京大学出版会 電話 811-8814