日本人の人乳に関する研究(第1報)

Studies on Human Milk (Part 1)

札幌で採取した混合乳の化学組成に関する予備的調査

Preliminary Examination on Chemical Composition of Composite Milk from Mothers in SAPPORO.

(昭和37年3月31日受理)

古市 栄一 土肥 達 今村 正男
(Eiichi Furuichi) (Tohru Doi) (Masao Imamura)

The chemical composition, distribution of N and P compounds and fatty acid composition of composite milk from mothers in Sapporo were investigated.

1. The chemical compositions (total protein, fat, lactose and ash) were close to those presented by NRC. Ca and P were less, but Na was more, than NRC values and those in the Standard Tables of Food Composition in Japan.

2. The ratio of casein : albumin-globulin : non-protein N was 43.0 : 37.0 : 19.1, whereby the total N amounted to 181.4mg/100g milk. It seemed that casein N content was a little higher than those obtained for foreign woman milk, although the values in the foregoing literatures varied greatly in themselves.

3. Among several characteristics of fat, the iodine value took the highest numbers ever reported. Linoleic and linolenic acid contents were higher than those in foreign woman milk.

4. The ratio of acid-insoluble P : acid-soluble organic P : inorganic P, in total P of 12.9mg%, was 16.3 : 47.3 : 36.4. A majority of the acid-soluble P passed through collodion films. Total P of 91.0mg% in cow's milk, on the contrary, showed a higher percentage of inorganic P content, and 31.9% of it was impermeable colloidal P of inorganic nature.

緒 言

人間社会の文化が進むにしたがい、本来の自然の栄養方法である母乳栄養が減少し、牛乳を主体として加工した人工乳を用いる人工栄養が普及し、これに伴って人工乳も著しく改善されてきた。しかし動物の乳汁には種族特異性がある、その成分に大きなちがいのあることは古くから知られている。人乳と牛乳についての研究は数が多く、その成分のちがいが明らかにされるとともに、乳児の消化、吸収、蓄積を人乳と同じにすることを目標とした人工乳は、その成分を人乳に近づけることが試み

られてきた。もちろん人乳は生体の生産物である限り、その成分は各種の因子によって変動することが報告されているが、これらの研究はほとんどすべてが外国人乳乳についてのものであって日本人乳乳について広範囲にかつ詳細に行なった研究はない。

著者らは育児用の牛乳製品を製造するものの立場から製品をさらに改善するためには、原料である牛乳についての知識を深めるとともに目標である日本人乳乳について研究し、牛乳および外国人乳乳との相異を明らかにすることが必要と考え、日本各地より季節別に採取した人乳乳についての研究をはじめた。今回は予備実験として札幌

幌市居住の婦人より採取した混合乳について、一般成分組成、NおよびP化合物の分割、および脂肪酸組成の測定を行なった結果を報告する。

実 験 方 法

1. 試 料

昭和35年2月、札幌市中央保健所において健康な乳児を母乳栄養または育児用粉乳との混合栄養で哺育している健康な婦人32名より午前11時から午後2時までの間に採取した。採取方法は婦人自身の手搾りで、試料は直ちに氷冷し凍結保存した。採取量は最高300cc、最低60cc、平均120ccで、乳児の月令分布は2ヶ月4人、3ヶ月4人、4ヶ月8人、5ヶ月5人、6ヶ月3人、7ヶ月4人、8ヶ月4人である。乳児はいずれも発育良好で健康であり採取した試料には乳児の発育に不適当な異常乳は含まれていないと思われる。

2. 一般成分組成の測定法

- 1) 全固形分：真空乾燥法
- 2) 全蛋白質：セミマイクロケルダール法、 $N \times 6.38$
- 3) 脂質：レーゼ・ゴットリーブ変法
- 4) 乳糖：レーン・アイノン法
- 5) 灰分：電気炉灰化法
- 6) Ca：EDTA法
- 7) 全P：過塩素酸・硝酸分解、Fiske-Subbarow法
- 8) Na：炎光分析法
- 9) クエン酸：ピリジン-無水醋酸呈色法

3. N化合物の分割法

1) カゼイン-N：人乳30ccを3倍に希釈し40°Cに約10分間保持したのち10%醋酸とN-醋酸ソーダ液を加えて正確にpH4.6とし（ガラス電極pHメーター使用）カゼイン凝固沈澱させる。3時間静置したのち遠心分離し上澄液を傾瀉し沈澱は再びpH4.6の緩衝液に懸濁させる。この操作を3回行なって附着している乳清蛋白を除きN量を測定する。

2) アルブミン-グロブリン-N：前記の上澄液と洗液に0.1N-NaOHを加えてpH7.0としたのち醋酸でpH4.75とし95~98°Cに約1時間加熱し凝固したアルブミン-グロブリンを遠心分離して沈澱させ、pH4.75の水で3回洗ったのちN量を測定する。

3) 20%TCA沈澱画分：前記の上澄液と洗液を約50ccに濃縮し20%トリクロル醋酸（TCA）50ccを加え沈澱を定量用No. 4濾紙で濾別する。10% TCA 10ccで3回洗いN量を測定する。この画分はプロテオース-ベプトン-Nと考えられる。

4) 10%リントングステン酸画分：前記の濾液と洗液に10%リントングステン酸30ccを加え沈澱を濾別し5

%リントングステン酸で3回洗ったのちN量を測定する。この画分はアミノ-Nと考えられる。

5) 前記の濾液と洗液のN量を測定する。この画分は非アミノ-Nと考えられる。

4. 脂肪特数と脂肪酸組成の測定法

1) 脂肪の分離：人乳を小型クリーム分離機にかけて脱脂乳とクリームに分ける。クリームに多量の無水硫酸ナトリウムを加えて水分をほぼ吸着させたのちエチルエーテル-エチルアルコール混液で数回脂肪を抽出する。抽出液を水洗、脱水したのち減圧下に溶剤を除いて脂肪を得る。

2) 脂肪特数：酸価、けん化価、沃素価（ウイス法）、ライハルトマイスル価、ポレンスケ価、融点（上昇法）、不けん化物含量は基準油脂分析試験法¹⁾（日本油化学協会編）によって測定した。

3) 脂肪酸メチルエステルのガスクロマトグラフィ

(i) 脂肪酸メチルエステルの調整

脂肪より混合脂肪酸を調整し¹⁾、メタノール・硫酸法²⁾でメチルエステルとした。

(ii) ガスクロマトグラフィ

装置：島津製作所 GC2A型

カラム：銅製 4mm×3m, 4mm×5m

充填剤：固定液相 Polyethyleneglycol adipate（島津製作所）、担体 Shimalite (30~60メッシュ、島津製作所）、液相：担体比1:3

カラム温度：200°C

キャリアガス：ヘリウム

流速：30~60cc/分

5. P化合物の分割法

1) 全P、無機P、有機P：全Pは試料を過塩素酸と硝酸で分解後に、無機Pは試料を分解せずにFiske-Subbarow法で測定する。有機Pは全Pより無機Pを差引いて求める。

2) TCAによる分割：試料に20% TCAを加え沈澱を酸不溶性P（有機P）、濾液を酸可溶性P（有機Pと無機P）とする。

3) 限外濾過による分割：酸可溶性部をGreenberg & Larson³⁾の改良装置を用いコロジオン膜による600mmHgの圧で吸引濾過し透過性P（有機Pと無機P）と非透過性P（有機Pと無機P）に分ける。

実 験 結 果 お よ び 考 察

1. 一般成分組成

第1表には著者らの測定値と日本人および外国人乳の標準値と考えられる日本食品標準成分表⁴⁾およびNational Research Council⁵⁾ (NRC) の値を示した。

人乳の成分は泌乳段階（出産後の経過日数）、出産回数、年令、食餌と栄養状態、人種、季節をはじめ一日の時間や哺乳中においてさえも変動することが知られ完全な試料を得ることは非常にむずかしいといわれている。一日の全乳量を採取するか一定時間に一定方法で採取することが変動を少なくするためには望ましいが、実際的には極めて困難であり、またこのような方法で採取して

第1表 一般成分組成 (100cc中)

	測定値	日本食品成分表	NRC
全固形分 g	12.13	11.8	12.4
全蛋白質 g	1.16	1.4	1.2
脂 質 g	3.66	3.1	3.8
乳 糖 g	7.09	7.1	7.0
灰 分 g	0.20	0.2	0.2
Ca mg	27.6	35	33
P mg	12.9	25	15
Na mg	21.1		15
クエン酸	41.0		

も個人差や日差が非常に大きいことが知られている。著者らは今回は予備試験として平均組成を求めるために採取した全試料の混合乳について測定した。

著者らの測定値は全般的には日本食品成分表よりもむしろ NRC の値に近い。乳糖と灰分は比較的変動が少ないといわれているが、著者らの結果も標準値とほとんど一致している。日本食品成分表の値よりも全蛋白質が少なく脂肪が多い。また全固形分の差は脂肪含量の差が大きな原因となっている。CaとPはいずれも低い値を示しているが特にPは日本食品成分表の約 $\frac{1}{2}$ でNRCの値に近い。NaはNRCの値よりもかなり高い。クエン酸は人乳については報告が少ないが有機酸の主体であって里&村田⁶⁾の平均値29.6mgよりも高くKunz⁷⁾の43.9~61.8mgよりも少ない。最近、中山ら⁸⁾は東京都居住の婦人91名について測定した平均値として全固形分11.97g, 全蛋白質1.13g, 脂質3.01g, 乳糖7.08g, 灰分0.21g, Ca37.8mg, P22.7mgと報告しているが、著者らの値にくらべ脂質がなり少なくCaとPは非常に高い値を示して

いるが全蛋白質、乳糖、灰分はほとんど一致している。これらの結果から個人的変動が少ないといわれている乳糖と灰分は日本人と外国人乳にほとんど差はないが脂質は最も変動が大きく全蛋白質は日本食品成分表の値がやや高すぎるように考えられる。またCa, P, Na も変動が大きいことが予想される。

牛乳の成分の標準値として日本食品成分表と NRC はそれぞれ全蛋白質3.0と3.3g, 脂質3.2と3.7g, 乳糖4.5と4.8g, 灰分ともに0.7g, Ca100と125mg, P90と96mgとしている。牛乳は全蛋白質と灰分がはるかに多く乳糖が少ないのが特徴で脂質には大きなちがいはない。

2. N化合物の分割

人乳は牛乳のように容易に蛋白質を酸または無機塩で沈澱させることができないために用いた方法によってN化合物の分割の結果には相当の差があるばかりでなく、牛乳ほどその分布は詳しく調べられていない。このことは人乳と牛乳の蛋白質は理化学的性質が異なることを示している。Ericksonら⁹⁾はカゼインを醋酸-醋酸ソーダでpH4.6で沈澱させ、アルブミン-グロブリンを含むフラクションを、TCAで沈澱させている。Macyら¹⁰⁾はカゼインを40°Cで醋酸で沈澱させ濾液を中和したのちアルブミン-グロブリンを加熱によって凝固させるAOAC法で分離している。著者らが前述の方法を用いて得られた結果を第2表に示す。プロテオーズ-ベプトン-Nをアルブミン-グロブリン-Nに含め、アミノ-Nと非アミノ-Nを非蛋白Nとすると、カゼイン-N:アルブミン-グロブリン-N:非蛋白-Nの比は43.9:37.0:19.1となる。このようなN化合物の分割について Macyら¹⁰⁾は35.1:42.6:22.3, Ericksomら⁹⁾は38.0:38.0:24.0, Waisman & Petazze¹¹⁾は40.5:41.6:17.9および39.9:39.3:20.8と報告しているほか、里 & 村田¹²⁾は日本人乳について44.6:40.7:15.3と報告している。またカゼイン-NについてNRCは全N194.3mg中に62.7mg (32.3%), 中山ら⁸⁾は全N177.1mg中に81.5mg (46.0%)と報告している。これらの結果から日本人母乳にはカゼイン-Nの比率が多く、したがってアルブミン-グロブリン-Nが少

第2表 N 化 合 物 の 分 割

分割法 N区分	醋酸-醋酸ソーダ沈澱, pH4.6	95~98°C 加熱凝固沈澱 pH4.75	20%TCA. 沈 澱	10%リンタン グ ス テ ン 酸 沈	濾 液	全 N
	カゼイン-N	アルブミン- グロブリン- N	プロテオーズ- ベプトン-N	アミノ-N	非アミノ-N	
N mg/dl	79.95	59.62	7.79	6.21	27.86	181.43
%	43.9	32.7	4.3	3.5	15.6	100

ない傾向が認められるが、研究者間に相当のちがいがあ
ることは個人的変動が大きいこと、分割方法のちがいが、
さらに試料採取後経時的にN化合物の分布に変化を生ず
ることなどが原因と考えられる。

牛乳のN化合物を同様に分割したカゼイン-N:アルブ
ミン-グロブリン-N: 非蛋白-Nの比率についてRowland¹³⁾
は78.3:16.7:5.0, Shahani & Sommer¹⁴⁾は79.0:16.
0:5.0 と報告している。人乳はカゼインとアルブミン-
グロブリンがほぼ等量で非蛋白Nが約20%も含まれてい
るのに対し、牛乳は全Nの約80%がカゼインでアルブミ
ン-グロブリンが少なく非蛋白Nはわずかに5%であって
N化合物の分布には大きなちがいがある。

3. 脂肪特数と脂肪酸組成

脂肪特数を第3表に示す。日本人乳の脂肪特数につ
いての報告は殆んどなく外国人乳についてArnold¹⁵⁾
はSV205~206, IV45~46, RMV1.5~2.5, PV1.4~1.6,
AV1.6~2.0, Bosworth¹⁶⁾はSV205.2, IV56.2, RMV
2.5, PV0.1と報告している。また、NRCはSV205~
206, IV45~62, RMV1.5~2.6, MP26~36°Cの範囲を示
している。

第3表 脂 肪 特 数

酸	価	AV	3.5
け ん 化	価	SV	208.5
沃 素	価	IV	70.1
ライヘルト・マイスル	価	RMV	1.46
ボ レ ン ス ケ	価	PV	2.65
融 点	(°C)	MP	26.6
不 け ん 化 物	(%)	USM	1.05

著者らの結果はこれらの文献値にくらべSVとPVがやや
高く、RMVがやや低い傾向が認められるが最も著しい
特徴はIVがNRCの最高値62よりもかなり高いことで、
IVは文献値でも変動が大きく、初乳は成乳よりも高いこ
とが知られているが、著者らの結果はこれまでの文献値
にはみられない高い値を示している。このような脂肪特
数の傾向から不飽和脂肪酸が多いことが予想される。一
方牛乳の脂肪特数はAmerican Oil Chemists Society¹⁷⁾
によるとSV210~233, IV26~42, RMV21~36, PV1.5
~3.5, MP28~38°Cの範囲であるが人乳脂肪にくらべ
SVとRMVが高くIVが低いことが著しいちがいで牛乳
には飽和脂肪酸とくに揮発性酸が多いことがわかる。

ガスクロマトグラフィー (GLC) によって脂肪酸組成
を測定した結果をNRCの値とともに第4表に示す。脂
肪酸の同定は標準脂肪酸メチルエステルの保持時間と対
比して行ない、組成比率はピーク面積比から求めた。

>C₂₀は保持時間が非常に長くピークもシャープに現

われないため明らかにできなかったが、脂肪のSVとIV
の測定値と脂肪酸組成から計算した中和価とIVとの関

第4表 脂 肪 酸 組 成 (%)

脂 肪 酸	略号	組成比率	NRC
酪 酸	C ₄	痕跡	0.4
カ プ ロ ン 酸	C ₆	0.1	0.1
カ プ リ ル 酸	C ₈	0.3	0.3
カ プ リ ン 酸	C ₁₀	2.2	1.7
ラ ウ リ ン 酸	C ₁₂	10.0	5.8
ミ リ ス チ ン 酸	C ₁₄	12.4	8.6
C ₁₄ - 不飽和酸	C ₁₄ ¹⁼	痕跡	
パ ル ミ チ ン 酸	C ₁₆	22.6	22.6
パ ル ミ ト オ レ イ ン 酸	C ₁₆ ¹⁼	3.7	2.9
ス テ ア リ ン 酸	C ₁₈	5.2	7.7
オ レ イ ン 酸	C ₁₈ ¹⁼	23.6	36.4
リ ノ ール 酸	C ₁₈ ²⁼	13.2	8.3
リ ノ レ ン 酸	C ₁₈ ³⁼	2.3	0.4
C ₂₀ 以 上 酸	>C ₂₀	2.4	

係から考えると主に不飽和脂肪酸と推定される。またク
ロマトグラムにはその保持時間から考え奇数脂肪酸また
は分枝脂肪酸と推定されるピークが認められた。著者ら
の結果をNRCの値と比較すると飽和酸ではC₄の揮発
性水溶性酸が少なく、またC₁₈も少ないがC₁₀, C₁₂, C₁₄の
中鎖脂肪酸が多くなっている。不飽和酸ではC₁₈¹⁼がかな
り少ないがC₁₈²⁼とC₁₈³⁼の高度不飽和酸が多い。このよ
うな脂肪酸組成のちがいが脂肪特数のちがいとなって現れ
ているがIVが高いのはC₁₈¹⁼が少ないにもかかわらずC₁₈²⁼
以上の高度不飽和酸が多いことが原因となっている。
C₁₈²⁼, C₁₈³⁼はアラキドン酸とともに必須脂肪酸といわれ
体内で合成されないといわれているがこのような脂肪酸が
多いことは日本人と外国人の食生活、とくに摂取脂肪の
種類と量のちがいが原因と考えられる。

4. P化合物の分割

TCA および限外濾過によってP化合物の分割を行な
った結果を牛乳と対比して第5表に示す。Lenstrup¹⁸⁾
は人乳と牛乳の全Pを酸可溶性Pと酸不溶性Pとに分け
て比較しているが、人乳は全P 14.2mg, 酸不溶性P 2.6
mg (18.3%), 酸可溶性有機P 6.5mg (45.8%), 同無
機P 5.1mg (35.9%) であるのに対し牛乳は全P 95.4mg,
酸不溶性P 17.1mg (17.9%), 酸可溶性有機P 11.1mg
(11.8%), 同無機P 67.1mg (70.3%) と著者らとほと
んど同じ結果を報告しているが酸可溶性Pについてはこ

第5表 P 化合物の分割

試料		全 P	酸不溶性 P (有機 P)	酸 可 溶 性 P								
				全 P	有機 P	無機 P	透 過 性 P			非 透 過 性 P		
							全 P	有機 P	無機 P	全 P	有機 P	無機 P
人乳	mg/dl	12.9	2.1	10.8	6.1	4.7	9.9	5.7	4.2	0.9	0.4	0.5
	%	100	16.3	83.7	47.3	36.4	76.7	44.2	32.5	7.0	3.1	3.9
牛乳	mg/dl	91	17	74	12	62	41	8	33	33	4	29
	%	100	18.7	81.3	13.2	68.1	45.1	8.8	36.3	36.3	4.4	31.9

れ以上の分割は行なっていない。著者らの結果では酸不溶性 P は人乳 16.3% 牛乳 18.7% でほぼ等しいが酸可溶性 P のうち人乳は有機 P が 47.3% であるのに対し牛乳は 13.2% で人乳は全 P の量は著しく少ないが有機 P の比率が大きく牛乳は無機 P が 68.1% で無機 P の比率が大きい。さらに人乳は酸可溶性有機 P 6.1mg 中の 5.7mg (93.4%)、無機 P 4.7mg 中の 4.2mg (89.4%) がコロジオン膜透過性であるのに対し牛乳は有機 P 12mg のうち 8mg (66.7%)、無機 P 62mg のうち 33mg (53.2%) が透過性で非透過性 P の比率は人乳にくらべてはるかに大きい。この牛乳の全 P 91mg 中の 29mg (31.9%) を占める非透過性の無機 P は Ca と結合したコロイド状リン酸カルシウムの形で存在し牛乳カゼインの安定性に関係していると考えられている。

要 約

札幌市に居住の婦人 32 名の混合乳の一般成分組成、N および P 化合物の分布、脂肪酸組成について研究した。

1. 全蛋白質、脂質、乳糖、灰分含量はそれぞれ 1.16, 3.66, 7.09, 0.20% で NRC の値に近かった。日本食品成分表の全蛋白質 1.4% は高すぎるように考えられる。

2. Ca は 27.6mg, P は 12.9mg, Na は 21.1mg で日本食品成分表、NRC 値に比し Ca と P は少なく Na は多い。

3. N 化合物の分布は全 N 181.4mg 中カゼイン：アルブミン・グロブリン：非蛋白 N の比率は 43.9: 37.0: 19.1 であった。一般に日本人母乳はカゼインの比率が高い傾向が認められるが文献値も変動が大きい。

4. 沃素価が 70.1 で従前の文献にない高い値を示していた。なお外国人乳にくらべ、けん化価とボレンスケ価がやや高くライヘルトマイスル価はやや低かった。

5. 脂肪酸組成ではリノール酸、リノレン酸などの高度不飽和酸が多いことが特徴でこのために沃素価が高い。そのほか酪酸、ステアリン酸、オレイン酸が少なく、カプリン酸、ラウリン酸、ミリスチン酸が多かった。

6. P 化合物の分布は全 P 12.9mg 中に酸不溶性 P 16.3

% 酸可溶性有機 P 47.3%, 無機 P 36.4% で酸可溶性 P のほとんど全部がコロジオン膜透過性であるのに対し、牛乳は全 P 含量が著しく多いほか無機 P の比率が多く、しかも人乳にはほとんど存在しない非透過性のコロイド状無機 P が 29mg (31.9%) も存在していた。

この研究にあたり種々御協力いただいた札幌市中央保健所の方々、および雪印乳業株式会社札幌研究室の仁木達室長ほか室員の皆様に深く感謝いたします。

文 献

- 1) 日本油化学協会編: "基準油脂分析試験法," (理化書院) (昭31)
- 2) 日本油化学協会編: "油脂化学便覧," (丸善)
- 3) Greenberg, D., Larson, C. E.: *J. Phys. Chem.*, **43**, 1139 (1939)
- 4) 総理府資源調査会: "改訂日本食品標準成分表," (第1出版) (1954)
- 5) National Academy Science: National Research Council Publication, No. 245. "The Composition of Milks" (1953)
- 6) 里, 村田: 札幌農林学会報, **110**, 238 (1932)
- 7) Kunz: *Arch. Chem. Mikros.*, **8**, 129 (1915)
- 8) 中山健太郎他: 小児科診療, **24**, 1494 (1961)
- 9) Erickson, B. H. et al: *J. Biol. Chem.*, **103**, 235 (1933)
- 10) Macy, I. G. et al: *Am. J. Dis. Child.*, **42**, 569 (1931)
- 11) Waisman, S. G., Petazze, M. L. A.: *Res. Assoc. argent. Distologia*, **3**, 166 (1945)
- 12) 里, 村田: 日本学術協会報告, **10**, 1, 176 (1935)
- 13) Rowland, S. W.: *J. Dairy Research*, **9**, 47 (1938)
- 14) Shahani, K. M., Sommer, H. H.: *J. Dairy Science*, **34**, 1010 (1951)
- 15) Arnold: *Unters. Nahr. Genussm.*, **23**, 433 (1912)
- 16) Bosworth, A. W.: *J. Biol. Chem.*, **106**, 235 (1934)
- 17) American Oil Chemists Society: Official and Tentative Methods (1956)
- 18) Lenstrup, E.: *J. Biol. Chem.*, **70**, 193 (1926)

(雪印乳業技術研究所)
(経費著者負担)