

母乳哺育 (その2)

牛乳の科学で使われる述語

和歌山県立医科大学小児科 名誉教授 小池 通 夫

この前は「赤ちゃんが生まれたら、なるべく早くお母さんの胸の上に赤ちゃんを肌と肌とを合せる形で置いてあげて下さい。母乳分泌にはこの出生直後の接触、正しく言うと2時間以内という時間が臨界期として大切で、この時間の母児接触を逃しては母乳は出ないとまでは言いませんが、かなり難しくなりますよ」と、さらに「BFHでは、体重測定も産湯もすべて後回しにして胎脂をぬぐっただけの裸でお母さんに抱いてもらい、タオルで覆っただけで2人だけの時間を作ってさし上げていますよ」という話をしました。勿論、この2人だけの時間を助産婦さんたちは気付かれないように、しかし静かにですが注意深く見守っているわけです。そして、これにまつわる国立岡山病院院長だった山内逸郎先生（故人）のエピソードをお話しました。これが前回のあらすじです。

さて、今回は何からと色々迷いました。母乳がいかに優れたものであるかをご理解いただくゴールははっきりしているのですが、そのための用語、術語、方法論をご理解いただくためには、どうしても牛乳の科学（＝乳業科学・酪農科学 dairy science (diaryは日記ですよ)）の話に踏み込む必要があります。

牛乳の加工、チーズやバター、ヨーグルト作りといった分野は、人類が牧畜を始めた2万年前に遡る歴史があります。

牛乳のために人が牛を飼い、牛乳を搾り、乳製品を作る付き合いを発展させた2万年の間、その間、ヒトの母乳の方はといえば、た

だ赤ちゃんがお母さんの乳房にすがって吸うだけのものでした。ただ日本では乳母(うば)という習慣が鎌倉時代から知られていましたが、これは実の母でなく乳母に育ててもらった方が強い武士になれる、乳母の子ども達も有力な味方になるといった半ば信仰ともいえる考えに基づいたものようです。

母が死ぬ(産婦死亡)も最近まで多かったのですが、その時は近所の最近子どもが生まれた家のお乳のよく出るお母さんに“もらい乳”をして育てるのが唯一の救いで、後は赤ちゃんは可哀相ですが、死ぬにまかされたようです。人工乳(育児用調整粉乳)にいたっては、わが国の法律で製造のための基準が初めて決められたのは1952年(昭和27年)ですから、本当に50年少々の歴史しかありません。使う術語はすべて牛乳の乳業科学の二番煎じです。従って、ここではまずチーズを作る工程の話から始め、さらに詳細にという順序で話をすすめて下さい。

1 牛乳など乳業、乳製品に用いる原料乳

この前にまず何からミルクを得るのが問題です。常識ではまず牛乳ですが、日本ではホルシュタイン種(白と黒の大きな斑模様の背模様がある牛)やジャージー種(茶色)が有名ですが、この牛乳、飲み比べてみるだけで味の違いは明らかで、誰でも組成の差を想像すると思います。その他の牛の乳も用いられますが、少し差のある南洋系の水牛のミルク由来のチー

ズはグリュイエール(とろける)チーズとして有名です。この他、山羊は私が子どもの頃は近所で飼乳を搾るのを目にしました。羊、ラクダのチーズは北京では毎日食べていました。ヤクヤリヤマの乳も用いるようですが、これはどこでもではないと思います。お気付きになったと思いますが、以上すべて偶蹄類です。今春も宮崎で口蹄疫 foot and mouth disease 騒ぎがありましたので、まだご記憶のことと思いますが、偶蹄類は草食動物で複数の胃袋を持つ—そしてミルク蛋白のカゼインが独得で α sカゼインという他にはない少々消化に時間のかかるカゼインが大量に存在するのですが、これは後にまわしましょう。偶蹄類にはこの他シカ類(日本鹿、ヘラシカ、レイヨウ)やブタなどもありますが、これらのミルクは飲まれることはありませんね。

偶蹄類以外で飲むのは馬乳です。モンゴルの馬乳酒は馬乳を醗酵させたもので、アルコール度はそれほどでもなく醗酵で作られるビタミン類が野菜を食べる習慣のない彼等には貴重という話ですが、本当の所はよく知りません。18世紀のパリの子ども病院(孤児院が出发点)では庭の木蔭に母親ロバ(驢馬・ass)が繋いであり、時間が来ると寝かせた子の上にロバを曳いて行き、直接子どもに吸わせていたという写真付きの解説を馬場一雄先生(元日大小児科教授)のご著書で読ませていただいたことがあります。この馬とロバの乳が偶蹄類以外のミルクで人類が飲食用に用いている中で唯一の例外というのが、私の知る限りでは確かなことのようにです。

育児用乳の蛋白質源は殆んどは牛乳ですが一部大豆蛋白のものもあります。その場合大豆蛋白は蛋白消化酵素で原形を留めぬほど細分化されています。また、多種類の精製アミ

ノ酸を用い再構成したアミノ酸方式乳もあります。外国ではこの他牛肉蛋白を用いた beef-formula もあります。日本では粉ミルクだけですが、欧米では調乳済の液状乳もよく用いられています。これは東日本大震災の時、フィンランドからの援助物資に入っていたので有名になりました。これは2リットル程の容器入りのようですが、被災地のようなきれいな飲用水が十分手に入らぬ所には便利ですが逆に1回与えて飲み残すと後は衛生面はどうなるのだろうか心配になりました。さらに欧米ではどうしているのだろうか考え込んでしまいました。—あ、また余談になってしまいました。

2 ミルクからスキムミルク(skim milk・脱脂乳)に

チーズは乳脂肪の入ったままの搾りたての生の牛乳を原料とすることが多いのですが、我々は牛乳蛋白質分画の研究が目的ですから、牛乳からまず脂肪分を除き脱脂乳を作りました。チーズの本態は蛋白質ですからスキムミルクから作れるチーズもあります。脂肪分が少ない、低カロリー高蛋白と女性に好まれている(本当かな?)カッテージチーズ(cottage cheese)がそうです。これはお家でも作れますが、その場合は温めた無調整牛乳に食酢を加えて作ります(等電沈殿蛋白—後述)。この場合脂肪は含まれますので、当然味はよくなりますがカロリーは高くなります。

プロセスチーズ(procecced cheese)もスキムミルクから作られますが、これは熟成された本格的なチーズで、脂肪分が少ない点と最後に練り直してパッケージしたものを加熱殺菌されている点がナチュラルチーズとの違いです。

さて、スキムミルクの作り方ですが、実験室ではまず全体を5℃に冷却します。こうす

ると搾乳されたままの生牛乳では上の方にクリーム層が浮いてきます。時間が経つほど量も増え、クリーム層がはっきりしてくると牛乳の質が変わったのか、ひょっとすると腐りかけているのではないかと心配する人も出てくる始末です。そのため家庭で飲んでいる牛乳や育児用粉乳にはホモジナイズという加工が行われ、クリームが分離する現象は（最近では）生じないようになっています。homogenized milkと市販ミルクにも粉ミルクの缶にも書かれているのがそれですが、実は特別なことをしているではありません。その製造の過程にある「攪拌しながら加熱」の工程でクリームが分離しにくいホモジナイズドになるのです。

話を戻します。ミルクは冷却したまま1,500 rpm×5～10分遠沈するとクリーム層は上に浮き上り、2～3mmの膜を形成します。スパーテルでこれをそっと取除くか掻き寄せた隙間から下の液層のスキムミルクを遠沈管を傾斜(デカンテーション)させて採取するのです。人乳の場合、1,500×10分ではクリーム層の形成は不完全で3,000×15分回転でクリーム層の安定化をはかり、その上にデカントの前にクリーム層を静かに掻き、乱さぬように注意深く扱います。

両者の違いはクリームの主成分である脂肪分が「油」か「脂」かの差です。牛乳の脂肪分はバター(butter)です。これは牛脂(ヘッド)、豚脂(ラード)などと同様、常温下に固型をなし「脂」と総称されます。トリグリセリドを構成する脂肪酸がステアリン酸、パルミトオレイン酸、オレイン酸など飽和脂肪酸(-C-Cの間に二重結合(-C=C-)の無いか少ない)を多く含んでいます。これに対して常温で液体の「油」は二重結合が2つ、3つのリノール酸C₁₈₋₂、リノレン酸C₁₈₋₃などの不飽和脂肪酸のトリグリセリドを多く含む性質があり、サラダ油、

大豆油、オリーブ油などがこれに属します。

牛乳のクリームは主成分がバターの「脂」ですが、同じクリームという名であっても人乳のクリームの主成分は不飽和脂肪酸-トリグリセリドが比較的多く含まれるため、5℃であっても液状の「油」状を示すことが多いためです。

工場でのバターの作り方(すなわちまずクリームの集め方)は冷却ではなく、加温して行われます。加温でも脂肪分は浮き上がってくるのでこれを集めるのです。この方法ではスキムミルク側に残留する脂肪分は0.01%以下とほぼ完全に採取できます。バターは色々な乳製品の中で一番高価に売れる商品なので、このように丁寧に扱われるわけです。

3 クリームからバターに

私の実験の目的にはクリームは必要無いのですが、牛乳からスキムを作るのは蛋白分画の研究のほか、ビフィズス菌用の培地(根岸培地)にも必要で、そのためクリームは沢山余るので、一度暇に任せてバター作りをしたことがあります。

小学校の遠足で牧場へ行った子が経験するのは、まずペットボトルにクリームを入れ、それだけでは振り混ぜは無理なので、少量の牛乳を追加し、後は蓋をしてひたすら振るだけです。シェーカーを振るように。3,000回位振りなさいと言われ、腕が動かなくなる頃ペットボトルの壁にポツポツとバターの付着が見えるようになります。

私が選んだのはもっと簡単なものです。研究室にワーリングブレンダーというスクレーパーが底で高速で回転するミキサーがありましたので、これにクリームを入れ、5分程スイッチを入れたり止めたり回転を続けて温度上昇する

ことだけ気を付けていると、ローターの羽にバターが付着して動かなくなるのでこれを掻き集める、水分は捨てる。これを繰り返すと結構な量のバターが採れました。真っ白の無塩バターでしたが、家に持ち帰り家族に試食してもらいましたが、バターとして香りも高く口ざわりも味もよく、最高の出来でした。真っ白な色だけが気になりました。

チベットやモンゴルでの昔ながらのバターのとり方は木の丸太を円筒のようくり抜いたものと、その内径サイズの木の円板の中心に管以上の長さの柄を付け、円板には丸い穴を幾つかあけたものを用意して、筒の中にクリーム分を入れて、柄を握って円板を上下に勢いよく動かす。円板の穴からクリームが噴き出し引き込まれる重労働ですが、これが古くからのバターを作る道具で「チャーン」という名前が付いています。これは現地では女性の仕事です。

4 ミルクの中の脂肪分の存在形式

なぜクリームからバターをとるのにこの様に苦勞させられるのか、それはミルク中の脂肪分が脂肪球という袋に詰まった「球」の形で存在するからです。この「脂肪球」の外皮は細胞膜そのものです。ミルクが乳腺細胞から出て来る(分泌される)時、水溶性の蛋白質や乳糖と違い脂肪分(トリグリセリドを中心とした脂肪と脂溶性ビタミン類)は脂肪類同士で集まり、最後に細胞膜をまとった形で細胞外へ膨らみ出し、その根元がくびれて細胞外に出る、ホロクライン(holocrine)という形で脂肪球として分泌されます。こうしてできた脂肪球の外膜は細胞膜ですからリン脂質が主成分です。そのため、母乳には結構な量のコレステロールが含まれています。

お母さんの乳房から母乳を1滴、スライドグラスに採り、カバーグラスを載せ鏡検する、これで脂肪球が見えます。弱拡大でカバーグラスの直下に一面に並んだ球状のものが脂肪球です。母乳では細胞成分(白血球、顆粒球)が2,000/mm³程度存在する、これも見える筈ですが一面に広がる目の前の脂肪球が邪魔をして他には何も見えません。先ほどお話した「クリームとスキムミルクとを分ける遠沈操作」の時に述べるべきでしたが、この時、上層のクリームと同時に人乳でははっきり目視できる量の沈渣があり、尿沈渣を見る時のように遠沈管の底をガリガリさせスライドグラスを載せるとすぐ白血球が目飛び込んできます。メチレンブルーなどで簡単に染めるともっとはっきりします。

市販の牛乳ではホモジナイズ操作中に脂肪球は破壊され、一方、粉ミルクでは乳由来の脂肪は僅かで植物油を主とした脂肪に置換され、何れも脂肪球を見ることはできません。そのため粉ミルクのコレステロール分は母乳より少なく、コレステロールをわざわざ添加した製品もあるほどです。これがいいことかどうかを論じる十分なデータはありません。

5 スキムミルクからカゼインを分取し上清部分のホエー(乳清)とに分ける

スキムミルクからカゼイン(casein)を採取し、残された液がホエー(whey)ということです。ホエーは乳清(milk serum)とも言います。血液でいうとカゼインが血餅、ホエーが血清に相当することからの命名でしょう。なお、カゼイン、ホエーは有史以前から付いていた名前です。英語読みはケーシンですね。

スキムミルクからカゼインを採る方法には①等電沈殿法、②酵素法、③塩析法の3方法が

あります。

①等電沈殿法

この内、カゼインの採取には主に①と②が用いられますが、カゼインの化学構造に変化を生じないという理由から我々はもっぱら①等電沈殿法を用いました。

全ての蛋白質には等電点がありますが、カゼインの場合これがpH4.6の酸性域にあります。これは牛乳でも人乳でもほぼ等しく、これは人乳カゼインと牛乳カゼインのアミノ酸組成や物理学的性状に近いことを示しています。ミルクを少し温めて攪拌下に酸を滴下していくとカルシウムイオン(内在)と温度(27°C以上)の条件下にやがて凝乳塊(クロット clot)の形成が始まり、pH4.6で大きな塊りが作成されます。研究室では酸として1規定の塩酸でしたが、家庭では食酢(酢酸)でも作ることができます。これがカッテージチーズです。ガーゼで濾し採ります。カゼインは水に不溶で、そのまま水道の水で洗い精製します。実験室では遠沈器にかけ上清のホエーをデカントして採り、沈渣(カゼイン)は混在するホエー成分を除くため蒸留水を加え洗い、遠沈するを3回繰り返します。カゼインは水に不溶ですのでこれを凍結乾燥する前に可溶化する必要があります。少量の水を加えガラス棒でつぶしながらカゼイソーダ(NaOH)液をごく少量ずつ加えpHをアルカリ側に上げる操作が必要です。

ホエーには一番多い水以外に後述する乳清蛋白質(複類)のほか乳糖、カルシウムなど多くの物質が含まれます。

ところで、上記と同じことが赤ちゃんの胃の中でも起っているはずと直ぐに考えた人は想像力豊かな人で尊敬します。そうです、赤ちゃんの胃にも塩酸(胃酸)が出ています。成人のpH1までは行きませんがpH2程度にはなるよう

です。赤ちゃんは噴門がゆるく、幽門はよく締まるという生理的特徴があり、哺乳直後によく吐乳が見られます。また、赤ちゃんはお乳を飲む時ゴクゴクと力強く吸い続け、その間に息つきをしないということにお気づきですか。これは大人がビールを飲む時を考えると違いは明らかです。すなわち、ゴクゴクとしばらく飲み、フーッと息を吐き、またゴクゴク、フーッ。そして最後にゲブーと嘔気(ゲップ)。飲む時は呼吸は止め、飲むのを休んで呼吸するという型です。

赤ちゃんは息つきせず吸い続けるように見えますが、本当は1回お乳を吸い1回呼吸する—これを繰り返す芸当、いや特殊能力が備わっているのです。この能力は一旦おっぱいを止めると失われてしまいますので我々大人には真似できぬ芸です。そのため赤ちゃんは咽頭の後の口蓋垂から気管分岐部(嚥下運動では呑み込む時に気管が上(頭の方)に突き上げられて気管入口が閉鎖される)までの“空気柱”分の空気をゴクンゴクンの度に毎回胃に収めることを繰り返すわけです。1回約15分の哺乳毎に3,000回のゴクンゴクンを繰り返すといわれています。1回0.3mlとしても1l近い空気ですから、赤ちゃんは吸いながらゲップをし、飲み終わったらお母さんの胸にタテに抱いて背中をさすり軽打する「ゲップを出す」操作が行われます。哺乳後、いきなり仰臥位をとらずと胃泡は腹壁(前方)に移動し、胃内容がゲップの形で吐き出されます。長くなりましたが、こうした哺乳直後の赤ちゃんのゲップに混じる溢乳や吐乳には白いツブツブが混じり、また少し酸臭があるはずで

このツブツブが凝乳塊でありカードと呼ばれています。「curd」であり「card」ではありません。母乳の場合、カードは細かく軟らかい。

人工乳ではもう少し大きいものです。牛乳を赤ちゃんに与えることはありませんが、先ほどの研究室で見た通り、牛乳では凝乳塊は大きく硬い。その分消化液も侵入しにくいように見えます。牛乳のカードをhard curdとすると母乳のはsoft curdです。人工乳では予備消化とか牛乳蛋白を色々加工してsoft curd化がはかられています。ミルク缶のラベルに見られる“ソフト・カード”はそういう意味です。

②酵素法—レンニン(ラブ酵素)という仔牛胃由来の蛋白分解酵素を用いる方法

これはチーズ製造目的に大昔から使われていた方法で、チーズ作りにはこの方法が本道です。仔牛の胃袋は結構丈夫な袋です。牛乳の容器として牛乳を入れ両端を結んだ袋として持ち歩いているうちに酵素でチーズの原型が出来、それが存外に保存性に優れるということがわかり、色々改良されたものが現在のチーズに至った—これが語り継がれているチーズの歴史です。

この原理ですが、牛乳のカゼインという蛋白質は本来、水に不溶性です。牛カゼインにはかなり構造の異なる3種類のカゼインがあり α_s -カゼイン(55%)と β -カゼイン(35%)は水に不溶、僅か10%だけの κ (カッパ)-カゼインだけが水溶性です。 κ -カゼインは糖蛋白ですが α_s -カゼイン、 β -カゼインはいずれもリン(磷酸)を持つリン蛋白質です。また、 α_s -カゼインは偶蹄類のミルクだけにしか存在しないという特異なカゼインです。この3種類のカゼインのことは次回詳しく申し上げますが、3種ある話がわから無いとレンニンの働きが説明できないので一部先走りしてお話することになります。

水に難溶性の α_s -カゼイン、 β -カゼインの花束の中央に κ -カゼインを、しかも κ -カ

ゼインを水溶性にしている原因の糖鎖部分を先頭の花に見立てた形に束ねた形、この小さい花束を幾つも集め、昔からの造り酒屋の軒に釣り下げられた杉玉—酒屋のシンボル—のように丸めたもの、これがカゼインミセルです。この中心部にはリン酸カルシウムが結晶状の構造をしたリン酸カルシウムアパタイトが存在する所まで判明しています。牛乳の中でカゼインはこのミセルの形で可溶化されています。

牛の胃袋は4つあり、それぞれ機能も大きさも様々です。レンニン(Rennin, Lab酵素)はその第四胃(皺胃, abomasum, 関西の焼肉屋ではマカセンと呼ばれる)の壁に存在する酵素で、ヒト胃のペプシンとよく似ています。ペプシンは酸性条件下に蛋白質のペプチド結合しているアミノ酸の中でフェニルアラニンとチロジンという(両方ともベンゼン核をもつ)芳香族アミノ酸のカルボキシル基(-COOH)の側(C-末端)を切断する役割をもつプロテアーゼ(蛋白質消化酵素)です。レンニン(ラブ酵素)はよく似ていますが、ペプチドの中のチロジン—メチオニンの間を切断します。このTyr-Metの部位が κ -カゼインのC末端の糖鎖にごく近い位置に存在し、そこを切断された結果、N末端をメチオニンとする短いペプチドに糖鎖の付いたGMP(glycomacropptide)が切り離され残りのカゼインミセルは花を切り取られた花束のように水に不溶となり、不溶となったミセル同士が会合して凝乳塊を作るに至るというわけです。これが次のチーズ作りの材料になります。

血液凝固でその始まりはフィブリノーゲンがトロンビンで切断され、FDP(fibrinogen degradation products)が切離されフィブリンの凝固が始まる。よく似た機序です。

牛の4つの胃袋、一番大きいのは第一胃で

す。成牛では600kgの全体量の1/3、200kgを占めるものもあるそうです。内容は青草とか干草、藁の類です。その量で第一胃の重量は左右されます。草や藁そのものは栄養価値が低い、特に蛋白質はゼロに近いものです。胃の内容を口に戻して噛み直してまた呑み込む一反芻を繰り返すうちに栄養に化けます。この間に枯草に細菌を繁殖させる。細菌は蛋白質のアミノ酸を炭水化物と窒素源と水から作ることが出来ます。第一胃と第二胃でセルロースを分解してセロビオース、これはブドウ糖2分子で出来ていますが β -1,4結合です。同じブドウ糖2分子でも α -1,4結合のマルトース(麦芽糖)や α -1,6結合のイソマルトースなら動物は消化し、ブドウ糖2分子に出来ませんが β -1,4結合の消化は細菌かカビしか出来ません。このようにして増殖した細菌(と栄養素)はいよいよ第三胃に移されます。

第三胃、ここには小豆のような赤い、丸まったダンゴ虫によく似た原虫が棲んでいます。本当の名称は知りませんが、和歌山の屠殺場で見せていただいた獣医さんたちは“アズキ”と呼んでいました。第三胃には他のものは殆んど混じっていない、このアズキだけが一升枡で量れるほどいました。この原虫は細菌を餌に増殖し、この死骸が牛の蛋白源になるわけです。

第四胃からがヒトの胃に相当するわけで、ここにレンニンというペプシンに似た酵素があっても不思議ではありません。

もう一つ余分な話を続けましょう。ウシは草食動物に分類されますが、牛乳しか飲まない仔牛はどうでしょう。農芸化学の教授に伺った話ですが、仔牛が牛乳を飲むと牛乳は第一から第三の胃袋はアッという間に流下し、いきなり第四胃に収まるということです。仔牛

の第一・第二・第三胃は成牛のように膨らんでおらず、その底の溝を通り流れ下るそうです。出生直後で胃はまだ小さく、拡大する前の状態にあると考えるべきでしょう。従って、仔牛は牛乳というものを飲む肉食動物と変らぬ胃というわけです。

これでようやく仔牛と牛乳とチーズの話が出来る条件が整いました。仔牛が牛乳を飲むと、それはいきなり第四胃に到達します。そこで胃壁から塩酸(胃酸)が分泌され、レンニン(ラブ酵素)が分泌され、凝乳塊が出来る。牧場では搾った牛乳を温めながら攪拌しながらレンニンを加える。容器が胃袋か槽かの違いだけです。

仔牛の第四胃を乾燥させたものを、そもそもレンネット(rennet)と呼んだようで、レンネットからの粗酵素がレンニン(rennin)、さらに酵素だけまで精製したのがLab酵素という次第なのです。因みにチーズ製造にはレンニンの他、色々なものが用いられ、その1つが杉の樹液で、これで作るイーストはチェダーチーズだったと思います。

もう1つ仔牛について皆様のご存知無い話をします。それは、出生直後の仔牛の血中には免疫グロブリンが何も無い、ゼロという話です。ヒトの子はIgGだけ、大人よりわずかですが高い濃度のIgGをもっています。妊娠の第3三半期に経胎盤的に移行する。拡散でなく能動輸送です。従って、大人よりわずかにでも高いレベルなのです。IgMは胎児期から産生能力があることは先天感染では臍帯血で20mg/dl以上が診断基準になっていますし、オギャーと泣いた途端に細菌まみれになり、生後数日で正常児のIgMは100mg/dlを超えることから証明できます。従って、経胎盤移行も無い産生能力も無いIgA、特に分泌型のsIgA

を高濃度にもつ母乳，特に初乳が重要視されるわけです。

これらが仔牛では全てゼロなのです。スイス型無ガンマグロブリン血症です。一方，ウシ初乳ですが，人乳と違いIgAは含まれていません（微量）。IgGが十分に存在します。無ガンマグロブリン血症の仔牛にIgG-richのウシ初乳を与える—静注ではなく口から飲ませる—驚くべきことにこれで仔牛血中のIgGレベルはゼロから400 mg/dl (200 mg以上で一応感染予防可能とされています)に上昇するのです。分子量16万のIgGが小腸壁を自由に，いやpinocytosisですから能動的に吸収されるのです。このピノサイトーシスはヒトの新生児でも存在することが知られ，そのためヒト新生児に母乳以外のものは与えたくないのです。

実験室でウイルス培養によくFCSが用いられます。血清を培養に加えればその中の抗体はどうなるのか。今までの話でその心配が全く無いことがご理解いただけたことでしょう。FCS(fetal calf serum)，胎児ではなく，実際は新生仔牛ですが牛初乳を与える前に採血すればIgGを含めすべての抗体=0の状態ですから，この点は成牛では血清でなくアルブミン分画BSA (bovine serum albumin)が使われるのと考え合せて下さい。

驚くことはまだ続きます。仔牛に与えられるウシ初乳は仔牛を生んだ母ウシのものではないかも知れぬということです。機械や人の手で搾り容器や哺乳瓶から与えることはあっても少なくとも仔牛が母ウシの乳房に直接吸いつくことはありません。そうさせると次からも仔牛が母ウシの周りをうろうろして母ウシの乳を搾乳機で搾って出荷することが出来なくなるからです。乳牛が仔を生むのは，その後出るようになる牛乳を搾るためなのですから。

話はまだまだ続きます。初乳だけは法律に基づいて与えることが義務付けられている仔牛ですが，次の日からは母乳どころか牛乳もいただけないのです。2日目からの仔牛は骨粉を蛋白源に作った人工乳だけが与えられ，1～2カ月で離乳に至ります。2日目から母牛とは会うことはありません。

ところで，その「骨粉」ですが，屠殺場で肉や内臓など食用にしますがこのような資源として利用出来ぬもの—皮膚，内臓の端々，骨，血液などあらゆる余りものを全て乾燥し，粉末化したものの総称で，蛋白質源として色々に利用されています。仔牛に2日目以降与える人工乳もこれを主たる原料に作られたものです。

今は弊獣(病死した動物)の死骸の使用は禁じられていますが，10年少し前まではこれも利用されていました。狂牛病，BSE (bovine spongy encephalitis)はこのようにして拡がりました。最初はプリオン病の1つ，スクレイピー病の羊，これを121℃でオートクレーブにかけた缶詰にしたものを仔牛の餌に与えたことに始まります。これを続けるうちに，プリオン病が動物種を超えて(羊→牛)拡がり，このBSEの弊獣(牛)の骨粉を与え，ウシ→ウシに爆発的に拡がった。一番ひどかった英国では最終的に300万頭の牛を焼却して拡大を防ぎました。プリオンは133℃で感染力を失います。

牧場にはまだまだ驚くことがあります。ホルスタイン系の母牛が黒毛和牛の子を生みます。大柄な乳牛が小柄な和牛の子を生むわけで，お産はとても軽く済みます。この黒毛和牛は黒毛和牛雌牛の卵子と同じく種牛の精子を子宮外で受精させたものをホルスタイン雌牛の子宮内に移植(妊娠)させたものです。卵子の方は失念しましたが，精子の方は1回分2,000

円、特に優れた種牛で7,000円ということです。乳牛の方は仔牛を生むと牛乳が出るようになる。そこで1年毎にまだ牛乳を分泌し搾乳が続いている内にタイミングを見計らって、人工的に受精卵で次の妊娠をさせる。生まれた仔は何しろ有名な黒毛和牛、肥育すれば高値で取引される。もしホルスタインがホルスタインの仔を生んだとすると(これが当り前なのですが)、雄仔牛はタダ同然の値で、大抵は去勢されて飼育され去勢雄乳牛として安い肉になる。雌仔牛は牛乳を出すようになるはずですが、これも有名種牛の仔でないと牛乳分泌が悪いと安い肉になる運命です。というわけで、ホルスタインの生む黒毛和牛、それも雌牛(雄は肉価値低い)が増加中で、現在黒毛和牛の1割を占めているとのこと。

以上のように、牧場はもはや牧歌的な場所ではなく、牛乳と肉牛の生産工場になり切っているようですよ。

③塩析法

余り途中が長くなり忘れるところでしたが、乳汁蛋白分画の精製には塩析法(salting out 法)も用いられます。蛋白質溶液に高濃度の塩が存在すると、蛋白質が凝集するという性質を利用したものです。塩なら何でもいいではなく、常温で飽和させると713 g/l も溶ける硫酸アンモニウムが用いられます。1 l に飽和で340 g 位(だったと思う)の食塩(NaCl)でもいいはずですが使ったことはありません。塩析法は乳蛋白でもカゼインの分画には用いることは稀で、専ら乳清蛋白の精製に用いました。

塩析法は、そもそもは血清蛋白の分画に用いられたのが始まりで、血清と飽和硫酸溶液を等量混ぜた時(50%飽和という)に生じる沈殿をグロブリン、その上清にさらに結晶硫酸

を加えていき、完全に飽和(713 g/l, 100%飽和)までに生じる沈殿物がアルブミンというのが、そもそもの血清アルブミン、グロブリンの由来です。もっとも今は、血清アルブミン、グロブリンは何れも冷蔵庫で冷アルコールで凝集させるコン(Conn)のアルコール分画法で作られています。この方が後で脱塩(塩抜き)するという面倒な手続きが要らぬからです。なお、乳清蛋白に出てくるラクトアルブミンとラクトグロブリン(ウシだけに存在)は、その名から推定されるところと異なり、何れも硫酸塩析ではアルブミン分画に属する蛋白です。

まとめ

これで「母乳の話」の辞書となり物差しとなる術語についての乳業科学(dairy science)の話は打上げです。次にお話する母乳と牛乳の違い、育児用粉乳の改良—(実は母乳に形だけ似せただけ)とされる歴史から、母乳はその子のためという当然の話、母乳を餌同然に扱って来た栄養学の過ちなどを読み解くための中学校英語の語学力は備わったものと思います。

本格的な話は次回に譲るとして、ここのその導入部を少々お話します。語学力の実力試しをなさって下さい。

Ⅲ 医師のための母乳哺育学入門編

1 何でも「ミルク」と呼ばないで—中味は動物種でこんなに違うのです(表1)

先日、ピロリ菌の学会で行った富山市のホテルの朝食で気になったことです。お定まりのバイキングで同じ形のピッチャーに白い液体が同じように冷やされていて、それぞれに「豆乳」

表1 乳汁成分の比較動物学

Ciba Foundation

	蛋白質 g/dl	脂肪 g/dl	カロリー Kcal	脂肪エネルギー %	乳糖 g/dl	灰分 g/dl
ヒト	0.9	3.8	66	51	7.0	0.2
カニクイザル	1.7	5.2	73	64	4.8	0.4
ウマ	2.5	1.9	52	33	6.2	0.5
ヤギ	2.9	4.7	70	60	4.1	0.8
ウシ	3.4	3.7	66	50	4.8	0.7
ヒツジ	5.5	7.4	108	62	4.8	1.0
クジラ	7.1	43.7	421	93	0.0	0.5
ラット	12.0	15.0	195	69	3.0	2.0
オットセイ	12.4	45.6	470	87	2.4	0.6

「減脂肪乳」、「全脂肪乳」の名札が付いていました。日頃気にしていることですが、これではカロリー差だけの評価ですね。スーパーに行って粉ミルクの棚を見ると、各社の育児用調整粉乳、フォローアップミルク(9カ月から用ミルク)、それに出産後の母用ミルクという、何の目的か私にもよく分からぬミルクが、誰か客が少し探した後など、本当に雑然と並んでいたりと、しかもこれら粉ミルクのネーミングが何のためのミルクなのか一読しただけでは不明。注釈を読めば書いてあるのですが、生命保険に入るわけでもないのに、と。私にはとても無神経な景色にしか見えません。最近、TVで大々的に広告している某社の“ミルク”なる商品。某プロ野球球団の有名監督が出演しているあれですが、聞いていると「カルシウムと鉄の1日分が摂取できる」という「ミルク」を強調している。成分無調整とか低温殺菌が話題になる牛乳なら鉄はゼロに近いものだし、カルシウムも1日分は無理だし。多分牛乳の成分をいろいろ操作した製品なのでしょうが、それを牛乳といわず“ミルク”として売る。いくら宣伝とはいえ人をだます手法は悪意すら感じられ、見るたびにむかっています。

哺乳動物の乳房から出る「真正」(?)のミルクの方は同じミルクと呼ばれるものであって

も、その内容には大きな差があります(表1)。

蛋白質の量だけを比べてもヒトの0.9 g/dlからオットセイ(fur seal)の12.4 g/dlまで。蛋白質量は出生体重が2倍になる時間(doubling-time)の短い動物のミルクほど濃いという説がありますが、おおよその傾向としては正しいと言えます。

脂肪量も大差が見られますが、その前に注目していただきたいのは、全カロリーに占める脂肪カロリーの割合(脂肪エネルギー%)の高さです。すべての動物種で脂肪のカロリーが全カロリーの50%以上なのです。難治性てんかんの治療食にケトン食という脂肪リッチにしたものがありました。この場合、効果は血中尿中のケトン体陽性に転じた後、けいれんが停止するかで判定しますが、尿ケトン陽性なら幼児なら嘔吐症になりますよ。全てのミルクはそれに近い高脂肪食で、なぜ乳児がこれに耐えられるのかまだよく分かっていません。

2 ミルク中の脂肪と乳糖含量の関係の動物種差(図1)

一番はっきりしているのは、ミルク中の乳糖と脂肪の関係です。脂肪含量の多いほど乳糖含量が少ないのです。これは図1を見れば一目瞭然です。図の右下の端の「人乳」、乳糖7 g/dlは全てのミルクの乳糖含量の中で一番濃度の高いものです。

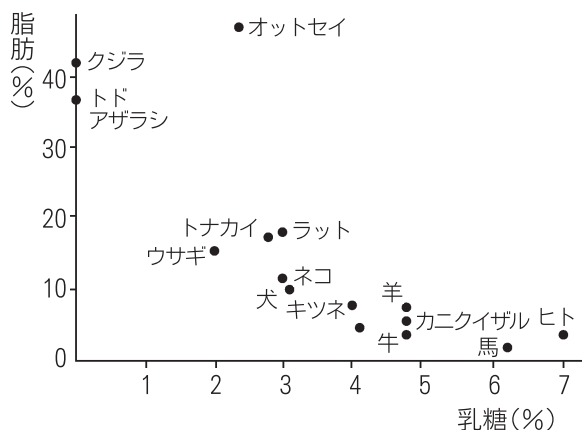


図1 ミルク中の脂肪・乳糖含量

この関係が注目される様になったのはクレッチャマー(Kretschmer)教授(カリフォルニア大小児科)がアシカ(california sea lion)のミルクに乳糖が含まれないことに気付かれた時に始まります。

クレッチャマー教授と直接お会いする機会がありました。山下文雄久留米大小児科教授が日本小児科学会を開催された折に、山下先生のご自宅と一緒に招聘いただき、下手な英語で先生を独占したのを覚えています。中味は興奮の余りよく覚えていないのは残念ですが、若い頃の日本小児栄養消化器病学会の友人小野栄一郎先生(春日市開業中)に撮っていただいた証拠写真がわが家のどこかに残っている筈です。

この大発見の後クジラ(whale), オットセイ(fur seal)など、多くの極地の哺乳類のミルクが乳糖が無いか極めて少なく、脂肪が多い部類に入ることが報告され、図1〔チバ財団の資料集〕のような関係図が完成しました。クジラといってもマッコウクジラか、白長須クジラか、はては和歌山県太地町で獲れるサラサゴンドウクジラか、イワシクジラか、またイルカも入るのか書いていないので分かりません。オットセイ、アシカの類もトド、アザラシ、セイウチ……よく頭の中で考えて、幼き日の水族館を懐かしむだけですが、恐らく乳糖が極めて少

ないミルクであろうことは想像がつかます。

乳糖は天然では哺乳類のミルク中にだけしか存在しない二糖類で、グルコースとガラクトースが β -1, 4結合した構造を持っています。糖といえばブドウ糖が単糖類として一番多いのでこういう場合、普通、ブドウ糖を先に言いますが、乳腺の中で乳糖が生合成される時もブドウ糖が先あってそれにUDP-Galactoseが接続する形で作られます。触媒する酵素はUDP-Galactose transferaseで、これは肝臓に一番多い酵素で通常時は蛋白質の糖鎖を作る時働いています。糖鎖の端にブドウ糖が位置する時、次位にガラクトースと鎖の長さを伸ばす役割を果たしています。

試験管内でグルコースとUDP-Galactoseとこの酵素(Gal-T)を反応させると糖蛋白の糖鎖が延伸されるのですが、この時 α -ラクトアルブミン(表2参照)というミルク乳清(ホエー)蛋白の1つが共存すると、糖鎖の延伸でなく乳糖が作られるようになることが証明されています。この意味でアシカのミルクに α -ラクトアルブミンの存在しないことに最初に気付いた

表2 乳汁蛋白の多様性

	母 乳	牛 乳
蛋白質 (g/dl)	0.89	3.31
カゼイン	0.25	2.73
α s-Cn [アルファエス]	(-)	(55%)
β [ベータ]	(60%)	(30%)
κ [カッパ]	(40%)	(15%)
乳清蛋白	0.64	0.58
α -ラクトアルブミン	0.26	0.11
ラクトフェリン	0.17	ir.
β -ラクトグロブリン	(-)	0.36
リゾチーム	0.05	ir.
血清アルブミン	0.05	0.04
Ig-A [アイジー・エイ]	0.10	0.003
-G	0.03	0.06
-M	0.002	0.003
蛋白N (mg/dl)	193	531
NPN	53	28

のはクレッチュマー教授で、それを証明したのが上記の実験です。クジラやオットセイのミルクに α -ラクトアルブミンが無い(ごく少ない)という報告もこれに続きました。見方を変えると、 α -ラクトアルブミンは乳糖が作られる時に必要で、役目を果たした後ミルク中に出てくるとも言えます。

ミルク蛋白はカゼインや α -ラクトアルブミンといった同じ名前が付いていても動物種差があり、アミノ酸構成もかなり違うものです。物理化学的性質が似ている、同じ抽出操作で採取出来るということだけで同じ名前が付いているものですが、この α -ラクトアルブミンだけは種族差が殆んど無いという点で共通する不思議な蛋白です。もう一度念を押しますが、ヒト血清アルブミンは人間同士なら共通して使えますが、同じアルブミンという名でもウシ血清アルブミン(BSA)は一発でショックや血清病が起こる—これなら考えるまでもなく明らかなことでしょう。なぜミルクの場合には同じ名がつくと同じと考えるしまう人がいるのか私にはわかりません。無神経としか思えません。

乳糖の存在しないミルクを与えられ、育つべき仔動物の小腸には乳糖の消化酵素も存在しない。この事実をご存知なかったのが有名な随筆家で獣医師の畑正憲さんです。もっとも随分昔のことですが、随筆の中に「襟裳岬の海岸で拾われた親のないゼニガタアザラシの赤ちゃんを友人から預かり、(ヒト?の)育児用ミルクを与え、ひどい下痢で死なせてしまった」という話が出て来ます。この乳糖不耐症の話は「次回に続く」とさせていただきます。

とにかく乳糖はヒトの赤ちゃんでも消化の難しい糖のようで、母乳哺育児では健康でよく育っている子でもしばしば便中に排泄されま

す。赤ちゃんの便が還元糖反応が陽性—蔗糖(砂糖)以外の二糖類や全ての単糖類には還元性がある—になる時、母乳栄養児ではその原因が乳糖であることが証明されています。大便中に排泄されれば糖としての栄養価値はゼロになるわけですが、同じような未消化の栄養素の便中移行はラクトフェリンや分泌型IgAなど母乳中の蛋白にも認められる、むしろごく自然の現象のようです。この点も次章でとさせていただきます。

3 ミルク中の蛋白質は実に様々でしかも種族差がある(表2)

ミルク中の蛋白質について今までカゼインと乳清蛋白の2つのお話をしました。もっともチーズ作りの機序に関連して牛乳カゼインの3種類が結晶構造のリン酸カルシウムアパタイト(骨の主構造を思い出して下さい)を中心にカゼインミセルを作り可溶性になっているということは述べさせていただきました。

表2に人乳と牛乳の蛋白質を比較していません。

まず気付くのは牛乳の蛋白量の多さです。人乳の3倍以上あります。しかもそれはカゼインの差で、カゼインだけなら人乳の11倍あります。乳清蛋白に限ると0.64と0.58 g/dlですからむしろ人乳の方が多い。その結果から個々の蛋白質の項目別に見ると、人乳では β -カゼインが α -ラクトアルブミン、ラクトフェリンより少ない第3位にしかならず、牛乳の方は α _S-カゼインがダントツの1位、2位に β -カゼイン、3位が κ -カゼインか β -ラクトグロブリンかということになります。

α _S-カゼインが偶蹄類のミルクにしか存在せぬことも申し上げましたが、 β -ラクトグロブリンは牛乳にしか、またラクトフェリンは人乳にしか存在しない蛋白です。

ここで「存在しない」と申し上げましたが、本当は何れも trace(微量)と記載されています。測定法にもよりますが、殆んど存在しない、感度以下ということで科学の方法論では「完全に無い」ことの証明はまず不可能に近い。この中で全くゼロに本当に近いのは人乳中の β -ラクトグロブリンだけです。

ラクトフェリンは牛乳乳清中に人乳の1/50量程度存在します。前にも申し上げましたが、牛乳乳清はチーズを採取した後に大量に余るもので、産業廃棄物に近い扱いでした。そこから牛ラクトフェリンが採取され、現在では「トクホ」(厚労省認可 特殊保健食品)として市販もされています。後の章で詳しく述べる機会があると思いますが、これも同じラクトフェリンであってもウシとヒトのとは分子量もアミノ酸組成も異なり、ウシラクトフェリンはヒトにとってはやはり異種蛋白です。これも最近のTV-CMではウシのをただのラクトフェリンとして売っていますね。胃での消化に弱いもあまり本当ではないし、内臓脂肪を減らすも本当とは思えません。牛乳蛋白アレルギーの可能性があり食品なら〔原材料：牛乳…〕と書かねばならぬ商品です。

免疫グロブリンは人乳ではIgAが量的に多く、牛乳ではIgGが第1位という傾向が示されています。表2にお示ししたデータは出産後2週間以上後のいわゆる成乳(mature milk)のものであり、初乳(colstrum)では人乳ではIgAがここで示した数字の4倍に達するもの

になっています。これも次回触れます。

最後に。小児科の日本語の教科書では人乳の蛋白質含量が1 dl 当り1.1 g とか1.2 g となっているものも見られ、私の0.9 g の1.3倍になっています。蛋白質は児の発育に特に重要で「微差」と見逃すわけにはいかぬ数値です。

1.1 g, 1.2 g の数字は厚労省の示している数字で、毎年出される特殊ミルク情報もこの数字を引用しています。しかし実はこれは0.9 g /dl と全く同じ数値なのです。

そんなバカな。そうです。何れも蛋白質の定量にはマイクロケルダール法が用いられています。湿性灰化というミルクを濃硫酸に溶かし加熱し、蛋白質中の窒素(N)を硫酸アンモニウム $[(NH_4)_2SO_4]$ に変換し、その後アルカリ化して発生するアンモニアガス (NH_3) を水に捕捉し定量する方法です。アミノ基由来の窒素は蛋白質中ではほぼ均等に分布しますので、その逆数のAtwater係数6.25を乗じて蛋白質に換算します。

表2の下の方をもう一度よく見ていただくと、NPNが人乳ではN全体の1/4以上を占めていることに気付くと思います。牛乳では1/20です。NPNはnon-protein nitrogen(非蛋白態窒素)で尿酸とか蛋白の糖鎖中のアミノ糖とかシアル酸に由来するものです。これを無視してアトウォーターの係数を掛けてしまうので、1.1 とか1.2 g /dl になるのです。人乳のNPNの重要性も「後述」です。

では、次回を期待して下さい。