

New Food Industry

食品加工および資材の新知识

<http://www.newfoodindustry.com>

2011 Vol.53 No.12

12

論 説

- β グルカンの機能-2
- 魚肉タンパク質と魚肉ペプチドの健康機能について
- 沢わさびの抗生活習慣病特性
- 脂質の胃腸内消化で起こること、体重制御との関わり
- 中国版保健機能食品「保健食品」について
- クリーム類の開発に役立つ技術情報としての特許明細書
- 先人の知恵の結晶を未来へ活かす
— 独創的な文理融合研究による環境汚染改善への挑戦 —
- 業界を変えた驚くべきヒット食品 — 「チーザ」江崎グリコ株式会社 —

連載 ユーラシア大陸の乳加工技術と乳製品

- 第12回 古代東アジア — 『斉民要術』を基にした乳製品の復元



論 説

- β グルカンの機能-2
..... 酒本 秀一, 糟谷 健二 1

- 魚肉タンパク質と魚肉ペプチドの健康機能について
..... 細見 亮太, 吉田 宗弘, 福永 健治 12

- 沢わさびの抗生活習慣病特性
..... 伊藤 芳明, 渡部 達也, 吉田 潤, 木村 賢一, 長澤 孝志 20

- 脂質の胃腸内消化で起こること, 体重制御との関わり
..... 藤田 哲 25

- 中国版保健機能食品「保健食品」について
 卓 興鋼, 大森 豊緑, 矢野 友啓, 渡邊 昌,
 賈 夢, 馬 徳福, 張 玉梅, 王 培玉..... 36

- クリーム類の開発に役立つ技術情報としての特許明細書
..... 宮部 正明 59

- 先人の知恵の結晶を未来へ活かす
- 独創的な文理融合研究による環境汚染改善への挑戦 -
..... 三好 恵真子, 姉崎 正治 69

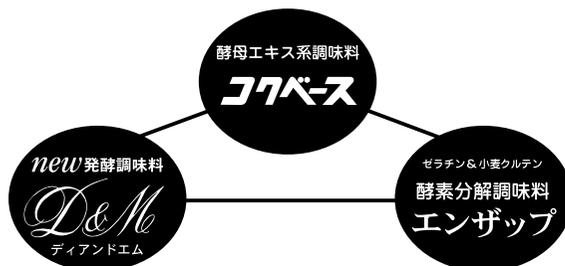
- 業界を変えた 驚くべきヒット食品
- 「チーザ」江崎グリコ株式会社 -
..... 田形 暎作 80

連載 ユーラシア大陸の乳加工技術と乳製品

- 第11回 バルカン半島
- ブルガリア南部の定住化移牧民の事例
..... 平田 昌弘 84

おいしさと健康に真剣です。

酵素分解調味料なら
大日本明治製糖へ



新発売! 乳製品にベストマッチな調味料

コクベース
ラクティックイーストエキス
乳加工品・製パン・製菓・チーズ・バターへの
コクづけ、味や風味の底上げなど、ユニークな
特長がある乳酵母エキスです。



大日本明治製糖株式会社

食品事業部

β グルカンの機能— 2

酒本 秀一^{*1} 糟谷 健二^{*2}

^{*1} SAKAMOTO Shuichi, ^{*2} KASUYA Kenji (オリエンタル酵母工業株式会社 研究統括部 酵母機能開発室)

Key Words : β グルカン・コラーゲン・骨関節炎・肌の老化・創傷治癒・免疫賦活

前報に引き続きβグルカンの機能と、その機能が現れるメカニズムを文献類と当社パン酵母βグルカンの試験結果を中心に要約する。今回はコラーゲンの合成と免疫機能（主として細胞性免疫）に及ぼすβグルカンの作用を説明する。

コラーゲンの合成

1. 骨関節炎症状の改善

飼料用パン酵母βグルカン MacroGard が犬の骨関節炎の臨床症状に及ぼす影響を調べた¹⁾。骨関節炎症状を示す犬46頭（犬種、年齢、体重などは多様で統一性無し）をそれぞれ23頭ずつ2群に分けた。一方には MacroGard を800ppm になるように添加したエクストルーダー処理飼料を、もう一方には無添加飼料を投与した。試験は二重盲検・プラセボ法で行った。試験用飼料をそれぞれの犬の飼い主に送って、毎日必要量を与えてもらった。その他の飼育条件はそれぞれの飼い主に一任した。試験期間は合計11週間で、最初の2週間はそれぞれの犬の症状確認と症状の数値化を行い、次の1週間で試験飼料へ馴致させ、最後の8週間は試験飼料のみで飼育した。試験開始時と第9～11週の犬の状態を飼い主に送付したアンケート表に

数値化して記入してもらった。調査項目は、犬の活動性、関節の硬直性、関節の肥大程度、跛行症状、麻痺症状、痛み、体調（肥満程度や肋骨の張り出し程度など）である。試験終了後アンケート表を回収して有意差検定を行った。その結果、βグルカンの投与によって犬の活動性、関節の硬直性、痛みが有意に改善されていた。

MacroGard が犬の骨関節炎症状を軽減させる機構は、供試した犬では調べることが出来なかったが、ブタ²⁾での試験結果から以下のように推定している。

パン酵母βグルカンを経口投与すると血漿中のIL-6やTNF-αの様な前炎症性サイトカインの濃度が減少し、抗炎症性サイトカインであるIL-10の濃度が上昇する。このことからβグルカンが炎症を抑制することによって痛みを緩和しているのが一因と考えられる。また、TNF-αは軟骨細胞間質でMMP-3 (Metalloproteinase-3) の産生を促進している。MMP-3は軟骨細胞間質の変性したコラーゲン分子に含まれることが証明されている³⁾。よって、βグルカンは軟骨細胞間質のコラーゲンの変性を防止しており、これによって関節を正常な状態に維持していると考えられる。

以上の結果から、MacroGard は犬の軟骨細胞

間質の炎症やコラーゲンの変性を防止することによって、骨関節炎の症状を軽減していると推定出来る。

オリエンタル酵母工業（株）の食品用パン酵母 β グルカン（BBG）が炎症にどのような影響を及ぼすかを調べた報告⁴⁾も有るので、簡単に紹介しておく。

マウス RAW264.7 培養細胞において炎症剤であるリポ多糖（LPS）刺激により誘導される NO 産生に対する BBG の効果を検討したところ、BBG は濃度依存的に NO 産生を抑制した。次いで NO 合成酵素である iNOS の発現について調べたところ、BBG は iNOS の発現を顕著に抑制したが、炎症関連遺伝子などの代表的な転写因子である NF- κ B の活性は阻害していなかった。中和抗体を用いた試験により、BBG の NO 産生抑制作用には Dectin-1 が関与していないことも分かった。また、サイトカインアレイを用いて調べた結果、IL-1 などの炎症性サイトカインの産生を BBG が抑制していることも明らかになった。以上の結果から、BBG がマウスのマクロファージにおける LPS 誘導性の炎症メディエーターの産生を Dectin-1 の関与なく抑制することが証明された。

上記のパン酵母 β グルカンによる炎症性メディエーターの産生抑制も、犬の骨関節炎の痛みの軽減に関与しているものと思われる。

2. 肌の老化抑制

コラーゲンは皮膚に最も多く存在しているが、紫外線、放射線、オゾンなどによって発生する活性酸素によって質、量ともに変化する。また加齢によって線維芽細胞による合成が低下してしまうので、分解される量が合成される量を上回るようになる。その結果として、シミやシワが発生していわゆる皮膚の老化が起こる。皮膚の老化は、角質層の劣化とともに真皮の細胞外基質であるコラーゲンやエラスチン量の低

下とコラーゲン繊維束の分解によって起こる。

低タンパク質食を与えて作製した擬似老化モデルラットは健常ラットに比較してコラーゲンタンパク質に特徴的なアミノ酸であるヒドロキシプロリンの皮膚中含量が低下している。この擬似老化ラットにキノコのハナビラタケの粉末（含まれる β グルカンの主体は β -1,3- グルカンである）を投与すると、ヒドロキシプロリン量为非投与群より有意に増加し、コラーゲンの合成量が増えていた⁵⁾。また、ヒト正常皮膚線維芽細胞 NHDF（線維芽細胞は皮膚組織中に存在し、コラーゲンやヒアルロン酸の産生などに重要な役割を果たしている細胞）にハナビラタケ子実体熱水抽出物（ β -1,3- グルカン）を添加して 37°C、5%CO₂ 濃度の条件下で培養した。培養後、NHDF 細胞数と培養上清中の I 型プロコラーゲン C 末端プロペプチド（PIP= コラーゲン産生の指標）を測定し、対照区と比較することで、 β グルカンによる NHDF 細胞の増殖促進効果とコラーゲン産生促進効果を評価した。その結果、ハナビラタケ β グルカンを添加した群では、NHDF 細胞の増殖が促進され、細胞 1 個当たりのコラーゲン産生能力も向上していることが分かった^{6,7)}。

この様に、ハナビラタケ β グルカンの経口摂取は線維芽細胞のコラーゲン産生を促進し、皮膚中のコラーゲン量を増やすことによって肌の老化を防止していると考えられる。

オートムギの β グルカンでも肌の改善効果が調べられている。オートムギ β グルカンの 5% 溶液を毎日 5mg/cm² 濃度で肌に塗ると、グルカンの分子量が大きいにも係わらず皮膚に浸透してシワの数を減らして深さを小さくし、肌の質を改善すると報告されている⁸⁾。

一方、パン酵母 β グルカンでは水溶化処理された物の塗布によるシワの軽減作用は報告されている⁹⁾が、未処理の物の経口摂取による肌の老化抑制については調べられていないよう

である。但し、次の創傷治癒の項で説明するように、パン酵母βグルカンの経口摂取によってコラーゲンの合成が促進されることは明らかなので、パン酵母βグルカンの経口摂取によって肌の老化が抑制される可能性は高いと考えられる。

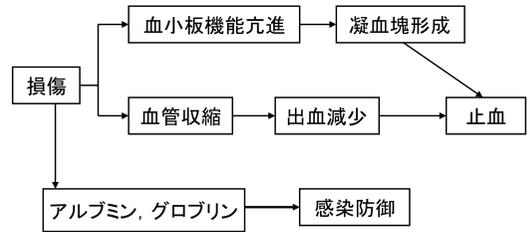


図1 凝血止血期

3. 創傷治癒

外的刺激によって正常組織が離断あるいは離開されることを損傷という。損傷のうち開放性損傷を「創」、非開放性損傷を「傷」、両者を合わせて「創傷」と呼ぶ。創傷の治癒過程は便宜的に①凝血止血期、②炎症期、③増殖期、④組織再構築期、⑤成熟期の5期に、あるいはもっとも簡便に①炎症期、②増殖期、③成熟期の3期に分けられている。それぞれの過程を簡単に説明すると以下ようになる。

①凝血止血期（受傷後1～2日）

傷を受けた部分の血管は一時的に収縮して出血を減少させる方向に働く。傷の部分に溜まった血液は血小板などの機能亢進によって凝血塊を形成し、止血する。凝血塊の中には細菌などが存在するが、アルブミンやグロブリンによって感染が防御されている。図1に要約する。

②炎症期（受傷後1日～1週間）

主に血小板や損傷された組織から放出される様々なグロースファクター（GF）、炎症性物質などによって創傷部付近の毛細血管壁の結合が緩くなり、血管内成分が創傷部へと漏出してくる。細胞成分として最初に集まってくるのが多核白血球や好中球である。好中球は創傷内の細菌を殺していく。時間が経つとマクロファージや肥満細胞が集まってくる。マクロファージ

は好中球が殺すことの出来なかった細菌を取り込んで殺したり、創傷部のゴミを取り込んで傷の中を綺麗にする。また、集積した細胞から炎症性サイトカイン、ヒスタミン、NO、プロスタサイクリンなどが過剰放出されるので、血管拡張や血管透過性亢進が起こる。この過剰放出には虚血やNF-κBなどによる転写誘導も関与している。血管透過性が亢進したことによってフィブリノーゲンが血管外へ漏出する。漏出したフィブリノーゲンがトロンピン、Ca²⁺、第8因子などと接触することによってフィブリン網を形成する。図2に要約する。

③増殖期（受傷後3日～2週間）

血小板から放出されるPDGF（Platelet Derived Growth Factor）によってマクロファージや線維芽細胞が損傷部へ誘導されるとともにTGF-β（Transforming Growth Factor）の分泌

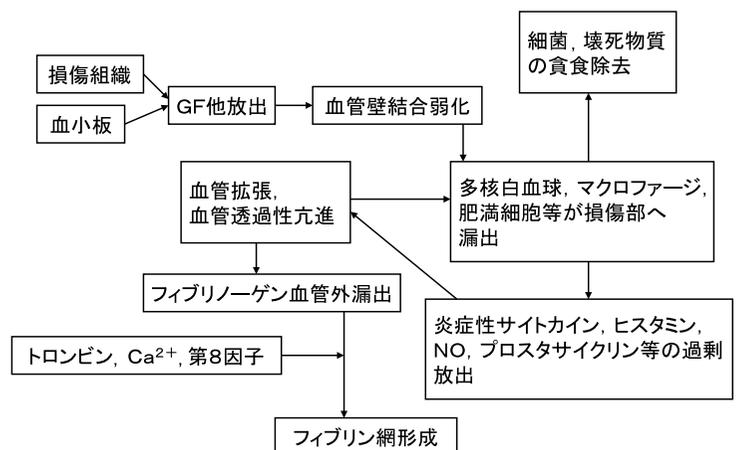


図2 炎症期

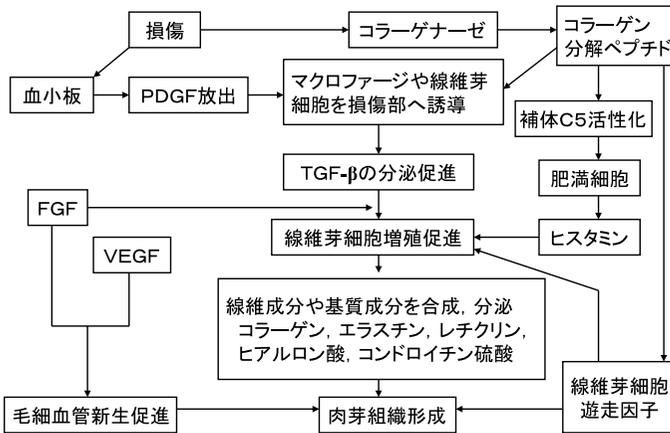


図3 増殖期

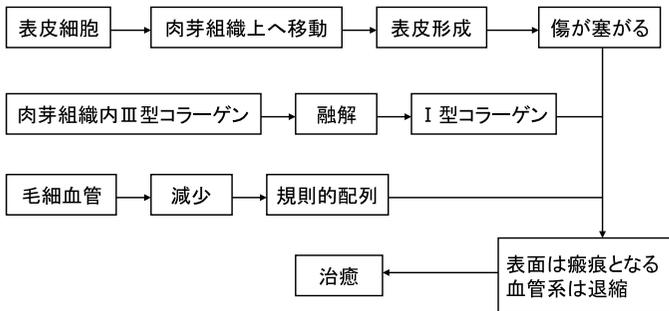


図4 組織再構築期, 成熟期

を促す。線維芽細胞はGFの働きで血管内皮細胞が遊走・分裂して出来る細胞で、コラーゲン線維を合成する。この時期に働く重要な物質はPDGF, TGF-β, 線維芽細胞増殖因子FGF (Fibroblast Growth Factor)であり、線維芽細胞の増殖やコラーゲンの合成を促進させ、細胞外基質ECM (Extracellular Matrix)の合成を促進している。血管内皮細胞増殖因子VEGF (Vascular Endothelial Growth Factor)も上昇してくる。血管新生にはFGFとVEGFが関与しているので、この時期に血管新生も促進される。この様に、増殖期は肉芽組織形成期とも言える。この時期のコラーゲン線維はⅢ型コラーゲンと云われ、細くてバラバラな方向に形成されているので、物理的に非常にもろい

状態である。肉芽組織が出来る時、つまりタンパク質合成が盛んに起こる時にはビタミンCと亜鉛が大量に消費されるので、不足しないように注意しなくてはならない。図3に要約する。

④組織再構築期 (受傷後5日～3週間)

肉芽組織が出来ると、肉芽組織中のコラーゲンを足場としてGFで刺激された表皮細胞が受傷部に遊走、分裂し、表皮が出来て傷が塞がってくる。この時肉芽組織の中でも変化が起こる。細くてバラバラだったⅢ型コラーゲンが融解し、新たに太くて短い丈夫なⅠ型コラーゲンが規則的な方向で再構築される。同時に細くて脆い毛細血管も壊され、数が少なくなり規則的な配列を持つようになる。その結果として組織が締まって丈夫になっていく。

⑤成熟期 (受傷後2週間～2年)

血管系は最終的には退縮し、表面は平滑な癒痕となり、傷は治癒する。④の組織再構築期と合わせて図4に要約する。この様な創傷の治癒過程の何れの段階においてβグルカンがどの様に係わっているのであろうか。

βグルカンの創傷治癒促進効果に関する報告は沢山ある^{5,6,10-14}。βグルカン源はキノコ、パン酵母、β-1,3-glucan phosphate、供試動物はラット、マウス、モルモット、投与法は経口、注射、外用などと多彩である。何れの報告においてもβグルカンの作用機構は共通しており、次のように纏められる。①βグルカンは補体を活性化し、白血球の走化性を高めていち早く損傷部へ到達させる。其処で細菌等の感染生物や組織崩壊物を貪食し、炎症を拡大しない。②βグルカ

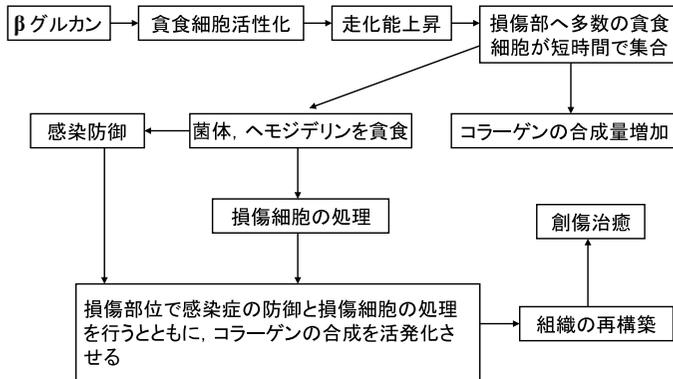


図5 βグルカンの創傷治癒促進作用

ンは炎症性サイトカインやNOの産生を調節することによって炎症状態を調整し、線維芽細胞の損傷部への遊走と増殖を促進する。③βグルカンは線維芽細胞を活性化することによってⅢ型コラーゲンとⅠ型コラーゲンの産生を促進する。④βグルカンはコラーゲンのクロスリンクを促進し、堅固なコラーゲン線維にする。

この様に、βグルカンは主として炎症期、増殖期、組織再構築期においてコラーゲンの合成を促進することによって創傷の治癒を促進している。要約すると図5のようになる。

4. 考察

βグルカンによるマクロファージの活性化を経てコラーゲンの合成が促進される、あるいはマクロファージの活性化を経ず直接 Procollagen mRNA の発現を促す¹⁵⁾ ことによってコラーゲンの合成が促進され、その結果として創傷の治癒が促進される。βグルカンには創傷治癒促進作用があること、次項で説明するように細菌感染の抑制効果があること、さらに他の薬剤と併用することによる弊害が知られていないことなどから、βグルカンは長期入院患者の床ずれ（褥瘡）の治癒促進や糖尿病患者の手術や外傷の治癒促進、あるいは火傷の治癒促進などに利用出来るのではないだろうか。褥瘡¹⁶⁾の治癒促進の

ため、既にビタミンCや亜鉛は入院患者の食事や流動食に強化されているようであるが、βグルカンの強化は未だ一般的に行われていないようである。また、実験動物での試験ではあるが、糖尿病¹⁷⁾の外傷や火傷¹⁸⁾の治癒にβグルカンは有効であるとの報告もある。

以上の結果から、βグルカンは褥瘡、糖尿病、火傷などによる損傷を軽減する為の食品の原料として利用出来る可能性があると思われる。

免疫賦活作用

βグルカンの免疫賦活作用に関する報告は沢山ある。本題に入る前にβグルカンで試験する場合に問題になるであろうと思われる点を幾つか説明する。

1. 問題点

1-1. βグルカンの定量法

試験物質を生物に与えてその効果を調べる場合、試験物質中に含まれる有効成分の種類と量が明確になっていることが最低限必要である。もしこれらの点が明確になっていないと効果の本質も至適使用量も分からないので、試験する物毎に同じ試験を繰り返さなければならないことになる。

βグルカンは由来によって分子構造も分子量も違うので、全てのβグルカンを同じ方法で定量することは出来ないのが現状である。βグルカンの定量法は田村¹⁹⁾が纏めている。それによるとβグルカンの分析法は化学分析法（簡易検出法、酵素法）、免疫学的測定法（酵素免疫学的測定法、受容体結合法）、酵素活性測定法（リムルス法、SLP法）などに大別される。

各法とも一長一短があり、決定的な方法ではないが、現在では化学的分析法の酵素法が一般的に行われているようである。

大麦βグルカン(β-1,3-1,4-グルカン)は McCleary 法^{20, 21)}で定量されるのが一般的である。測定原理は、サンプルを緩衝液で懸濁・水和させ、β-1,3-1,4-D-グルカンを特異的に加水分解する酵素であるリケナーゼをこれに反応させて大麦βグルカンをβグルコオリゴ糖に分解し、次にβグルコシダーゼを反応させてグルコースに分解する。生成されたグルコースは、グルコースオキシダーゼ/ペルオキシダーゼ試薬を用いて定量する。このグルコース量から、β-1,3-1,4-グルカン量を計算で求める。この McCleary 法は公定法として使用されている。

β-1,3/1,6-グルカンでは、黒酵母のβグルカンを製造・販売している某社が、土壌から単離した *Ceriporiopsis* sp. の培養液中に菌体外分泌されたβ-1,3-グルカナーゼとβ-1,6-グルカナーゼが含まれていることを見出し、両グルカナーゼを用いてβ-1,3/1,6-グルカンを分解したところ、完全にグルコースへと加水分解され、β-1,3/1,6-グルカンを特異的に定量することが可能になったとしている。ところが、未だ測定法そのものが公表されておらず、一般的ではない。現在はβ-1,3/1,6-グルカンを製造あるいは販売している会社がそれぞれ独自の方法で定量しているのが実情であるが、未だいずれの方法も公定法として認められていない。

最近 Lyticase, oxo-D-Glucanase および β-Glucosidase を用いる酵素法でβ-1,3/1,6-グルカンを定量する方法²²⁾が開発され、本法は高度に分岐したβ-1,3-グルカンにも、分岐していないβ-1,3-グルカンにも利用可能とのことである。本法は近日中にアメリカ薬局方に収載される予定であるとのことなので、本法がβ-1,3/1,6-グルカンの公定法になる可能性はある。この方法の精度、再現性、汎用性などが

確認されて公定法として認められれば、β-1,3-1,4-グルカンの定量法と合わせ、βグルカンの研究が大幅に進展する可能性がある。

1-2. βグルカンの体内取込

βグルカンが消化管を通じて体内に取り込まれるか否かについては意見が分かれている。レンチナン、カードラン、クレスチンなどについては取り込まれるとする報告がなされている。

レンチナン(シイタケ由来βグルカン)はそのままでは粒子径が100μm以上なので消化管から吸収されないが、レンチナンをレシチンと共に高圧ホモジナイザー処理して1μm以下の粒子径にして再凝集を防いでやれば、パイエル板のM細胞から取り込まれる^{23, 24)}。

カードラン(*Agrobacterium* や *Alcaligenes* などの細菌が発酵により培地中に生産する多糖で、ほぼ純粋な直鎖のβ-1,3-グルカン)を DBA/2 マウスに7日間毎日1mgずつ経口投与あるいは十二指腸に単回投与した後、小腸組織を採取した。組織中のβグルカンを可溶性βグルカン受容体(Dectin-1)をプローブとして蛍光染色を行った。その結果、7日間投与マウスでは、小腸絨毛リンパ管内にβグルカンが集積していた。十二指腸単回投与マウスでは、腸上皮細胞内へのβグルカンの取込が認められた。更にヒト腸上皮細胞様細胞 Caco-2 を用いて細胞内への取込および基底膜側への輸送について解析したところ、βグルカンの細胞内への取込とβグルカン濃度依存的な基底膜側への輸送が確認された²⁵⁾。以上の結果から、カードランは消化管から吸収されると判断出来る。

クレスチン(PSK)はカワラタケ(*Trametes versicolor*) CM-101 株菌糸体より得られる多糖類で、タンパク質と結合している。C¹⁴あるいはS³⁵でラベルされたクレスチンを正常なラットに経口投与すると、投与後経時的に血清中にC¹⁴あるいはS³⁵を含む物質が出現してくる。この結果から、クレスチンの一部は腸管から吸

取されると考えられている²⁶⁾。

一方、高分岐βグルカンであるSSG (*Sclerotinia sclerotiorum* IFO9395株の培養外液から得られるβグルカン)をマウスに経口摂取させて消化管からの吸収を調べたところ、殆ど吸収は認められなかった。カードランなどが吸収されることとの違いは、腸内微生物叢の分解酵素の基質特異性に関連しているのではないかと推定されている²⁷⁾。ヒトはパン酵母βグルカン(β-1,3/1,6-グルカン)を分解する酵素を持っていないので、パン酵母βグルカンは消化管から殆ど吸収されないのではないかとされている。EFSAのPanelもパン酵母βグルカンは明確な量は吸収されないのではないかと推定している(Based on the nature of the ingredient and the literature provided, the Panel considers that 'yeast beta-glucans' is not absorbed to a significant degree.)²⁸⁾。

Poly (DL-lactide-co-glycolide)で調製した微粒子やI¹²⁵でラベルしたNonionic and carboxylated fluorescent polystyreneで調製した微粒子を経口投与して消化管からの吸収を調べた報告もある。5μm以上の粒径の物は長期間腸管内に留まり吸収されないが、5μm以下の粒径の物は吸収されることと、高い吸収率を得るためには100 nm以下の粒径が良いことが証明されている。また、腸管のパイエル板のM細胞経路で吸収され、リンパ管を通じてリンパ節や脾臓へ運ばれることや、マクロファージに取り込まれることによって血液経路で肝臓、脾臓、骨髄などに運ばれることも明らかにされている²⁹⁻³¹⁾。

上記の様に消化酵素が関与せず、物理的な取込作用によって吸収される経路もあるようなので、パン酵母βグルカンなどの高分岐βグルカンも微粉碎してやれば一部分は消化管から取り込まれると考えるのが妥当ではないだろうか。

今後、高分岐βグルカンの粒子径と消化管からの吸収の関係を明確にする必要が有る。も

し吸収されるのであれば、吸収後βグルカンによって起こされる反応も再検討する必要があるのかも知れない。

1-3. βグルカンの粒径

βグルカンが生物に及ぼす影響を調べる場合、生物試験に先立って、あるいは平行して培養細胞での試験を行うのが一般的である。培養細胞で試験を行う場合に、βグルカンの粒径がどのような影響を与えるであろうか。

オリエンタル酵母工業(株)の食品用パン酵母βグルカンBBGを用いて調べた熊本大学の試験³²⁾を紹介する。

未処理のBBGは粒径が6-10μmである。これを微粉碎して粒径1-3μmの細粒化BBG(BBG-Fとする)を調製した。つまりBBGとBBG-Fは同じ物で、粒径が違うだけである。BBGとBBG-Fを用いてマウスマクロファージRAW264.7細胞でTNF-α mRNAとiNOS mRNAの発現レベル、NOの産生量を調べた。更に、マウス腹腔マクロファージによるB16メラノーマ細胞に対する障害性を調べた。その結果、BBG-FはBBGより強くTNF-α mRNAとiNOS mRNAの発現を誘導し、TNF-αとNOの産生量を増やした。また、腹腔マクロファージにおいて、BBG-FはBBGより強くB16メラノーマ細胞を傷害し、生残率を減少させた。この様に、同じパン酵母βグルカンでも粒径が小さい方がマウスのマクロファージを活性化する力が強いことが証明された。

何故このような結果になるのかを考えてみる。

考察を簡単にするためにBBG, BBG-F, マクロファージの形状を球形と仮定し、粒径をそれぞれ9μm, 3μm, 15μmとする。球の体積は $4\pi r^3/3$ なので、径が3倍になれば体積は $3^3=27$ 倍になる。培養細胞に試験物質を添加する場合には重量を基準にする場合が多い。そうなると同じ重量を添加してもBBG-Fの方がBBGよりも27倍も数が多いことになる。つまり1個の

培養細胞に対する β グルカンの粒子数が BBG-F の方が BBG よりも 27 倍多いことになる。また、マクロファージ 1 個に何個の BBG あるいは BBG-F が付着可能かを考えてみる。BBG の場合は BBG の径が $9\mu\text{m}$ 、マクロファージの径が $15\mu\text{m}$ なので、BBG のマクロファージへの付着可能表面積 (球の表面積 $S=4\pi r^2$) は $S(\text{BBG})=4\pi(15/2+9/2)^2=576\pi$ となる。BBG の円の面積 ($S=\pi r^2$) は $S(\text{BBG})=\pi(9/2)^2=20.25\pi$ となる。よって、 $576\pi/20.25\pi=28$ 個の BBG が 1 個のマクロファージに付着が可能である。一方、BBG-F の場合は BBG-F の径が $3\mu\text{m}$ なので、BBG-F のマクロファージへの付着可能面積は $S(\text{BBG-F})=4\pi(15/2+3/2)^2=324\pi$ となる。BBG-F の円の面積は $S(\text{BBG-F})=\pi(3/2)^2=2.25\pi$ となる。よって、 $324\pi/2.25\pi=144$ 個の BBG-F が 1 個のマクロファージに付着可能である。 β グルカンの粒径に係わらず β グルカン 1 個のマクロファージに対する接触面積が同じであると仮定すると、 $144/28=5.1$ となり、BBG-F の方が BBG よりも 5.1 倍接触面積が多いことになる。

実際には球の表面に球が接触するのであるから多くの隙間が出来、上記のようにはならないが、粒径が小さければ小さいほど培養細胞に付着可能な β グルカンの数が多くなることに間違いはない。

以上の結果が示すように、 β グルカンの粒径が小さければ小さいほどマクロファージに接触可能な β グルカンの数が多くなり、接触面積も多くなる。当然、マクロファージに対する刺激も強くなり、マクロファージがより強く活性化されて産生物の量も増えることになる。また、 β グルカンの粒径が一定以上に小さくなるとマクロファージに貪食される可能性も出てくるのではないだろうか。そうすると、貪食したことによる刺激が加わり、更にマクロファージは活性化するのではないか。この様に考えると、熊本大学で得られた試験結果は当然の結果である

とも思える。

試験に供する物の効果を調べるのであれば粒径に注意を払う必要は無いが、有効物質の効果そのもの、あるいは幾つかの物質の効果を比較するような場合には、粒径に十分注意を払い、マクロファージ 1 個に対して付着可能な試験物質の数を一定にしないと正しい結果が得られないように思うが、如何であろうか。この様な考えで過去の文献を見ると納得出来る点が沢山ある。

2. 免疫賦活作用

β グルカンの感染症抑制効果に関する試験は、細菌、ウイルス、カビなどを対象にして実験動物とヒトで色々行われており、検索を掛ければ多くの報告書が出てくる。詳細はそちらを見て頂くとして、ここでは MacroGard を用いて当社と広島大学でニジマスとアユを用いて行った試験^{33,34)}の結果を簡単に説明する。

姿形や色など、所謂見た目も魚類の品質を規定する大きな要因のひとつである。養殖魚では海産魚、淡水魚を問わず鱭 (特に尾鱭や背鱭) が丸く小さくなったり、殆ど無くなったりして見栄えが悪くなり、商品価値が低くなるのが大きな問題になっている。この鱭欠損症の原因をニジマスを用いて調べたところ、*Flavobacterium* 属細菌の感染症の一症状であることが分かった。経口投与によって感染予防効果を有する物をスクリーニングしたところ、パン酵母 β グルカン (MacroGard) とブドウ種子抽出物に強い効果が認められた。至適添加量は MacroGard が飼料に対して 0.1%、ブドウ種子抽出物は製品によって著しく異なった。また、MacroGard とブドウ種子抽出物の併用効果は認められなかったが、両者にビタミン C とビタミン E を併用するとより効果が強くなることと、ビタミン C とビタミン E にも至適添加量が有ることが分かった。次にアユを用い

て MacroGard, ブドウ皮粉砕物 (今回は皮の粉砕物を使用), ビタミン C およびビタミン E の飼料への添加効果を調べた。MacroGard の添加によって, 頭腎貪食細胞の貪食能の活性化と肝臓において非特異的免疫機能を司る補体成分 C3 遺伝子の発現ならびに代謝の活性化や低水温耐性上昇に関する遺伝子の発現が認められた。一方, ブドウ皮粉砕物, ビタミン C, ビタミン E の添加によって, C3, C3-H1, C4, C4-2, C9 などの補体関連遺伝子の発現が上昇し, 同時に Wap65 や HSP47 などのストレス耐性に関する遺伝子の発現も変化

していた。また, この試験とは別の試験 (未公表) で, アユ用飼料に MacroGard とビタミン C, ビタミン E を強化すると, 白血球の活性酸素産生能が有意に高くなる (=白血球の殺菌能が強くなる) と共に血漿中のリゾチーム活性も上昇することを確認している。以上の結果から, MacroGard およびブドウ皮粉砕物, ビタミン C, ビタミン E などが魚の抗病性に及ぼす機構を以下の様に推定した。

β -1,3/1,6-グルカンとブドウ (種子抽出物あるいは皮粉砕物) によって補体 C3 群が活性化される。これによって病原菌と C3 が複合体を作り (オプソニン化), 貪食細胞に取り込まれ易くなる。貪食細胞の活性酸素産生量が増えているので, 殺菌能も上昇している。取り込まれた病原菌は速やかに殺菌される。さらに, ビタミン C とビタミン E の併用によって C3 群以外に C4 群も活性化される。C3 と C4 によって C5 が刺激される。これによって好中球の走化性 (=遊走能) が上昇し, 短時間で多数の好中球が病原菌の侵入場所へ集合する。複合体になった病原菌を好中球が活発に取り込み, 好中球内で産生量が増加した活性酸素によって殺菌

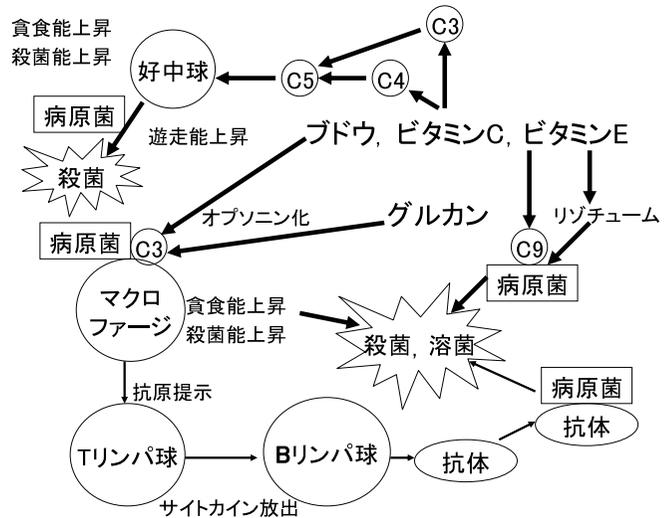


図6 作用機構の推定

が促進される。また, これらの物質によって活性化された C9 やリゾチームによって病原菌の壁に穴を開けて溶菌することによる殺菌能も上昇する。このような非特異的免疫の強化が β -1,3/1,6-グルカンやブドウ (種子抽出物および皮粉砕物), ビタミン C, ビタミン E の主たる作用で, 特異的免疫の活性化は副次的な作用であろう。以上を纏めたのが図6である。さらにマダイ稚魚とゼブラフィッシュ稚魚での試験³⁵⁾で, ブドウ種子抽出物の生体内抗酸化作用によって酸化生成物による免疫系の障害が軽減され, 免疫系が強化されていることも確認した。

3. 考察

石橋ら³⁶⁾は「ヒトや高等動物で β グルカンの機能性を考えるためには, 3種の経路に大別して考えるのが妥当ではないだろうか。第一には細胞上の受容体を介した直接の白血球活性化機構, 第二には体液成分に存在する自然免疫に係わる生体分子 (補体関連分子) を介した活性化, そして第三には特異抗体を介した活性化である。」と述べている。これまでに報告されている主な β グルカン受容体には CR3, TLR-

2/6, Dectin-1 などがある。これらの受容体は貪食細胞に発現しており、免疫系の制御にかかわる多機能性の分子で、盛んに研究が行われている。β グルカンによる補体の活性化は古くから知られているが、最近マンナンによる補体活性化と類似の経路がβ グルカンにも有るらしいことが示され、β グルカンは複数の経路を利用して補体を活性化することが分かってきた。補体系の活性化は炎症ならびに免疫系を起動する初期反応として極めて重要である。β グルカンに対する特異抗体の存在はあまり研究されて来なかったが、最近抗β グルカン抗体がヒトに普遍的に存在する抗体であることが証明された。抗体は抗原と白血球を繋ぐアダプタ分子であり、抗体のFc受容体を介して白血球が活性化されることが推定出来る。この様に、

β グルカンは宿主の自然免疫と獲得免疫の両システムによって認識される分子であり、両免疫系を活性化することによって抗病性を高めているのであろう。さらにShenら³⁷⁾はマウスに微粒子化レンチナン含有食品を経口投与し、腸管の上皮間リンパ球を観察した。その結果、CD8分子やTCR分子の有意な増加、がん細胞P815への細胞障害性、免疫増強タンパク質TNF-α、IL-2の有意な産生増強が認められ、微粒子化レンチナンは、経口投与で腸管粘膜免疫を活性化していた。酵母の不溶性β グルカンでも同様の結果²⁷⁾が得られているようである。この様にβ グルカンは粘膜面を介しても免疫系を活性化することが出来、抗病性を高めている可能性が高い。

・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 文 献 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

- 1) A. C. Beynen and E. Legerstee : Influence of dietary beta-1,3/1,6-glucans on clinical signs of canine osteoarthritis in a double-blind, placebo-controlled trial. *A. J. Animal and Veterinary Sci.*, **5**(2), 90-94 (2010)
- 2) J. Li, D. F. Li, J. J. Xing, Z. B. Cheng and C. H. Lai : Effects of β -glucan extracted from *Saccharomyces cerevisiae* on growth performance, and immunological and somatotropic responses of pigs challenged with *Escherichia coli* lipopolysaccharide. *J. Anima. Sci.*, **84**, 2374-2381 (2006)
- 3) C. M. O'Connor, M. X. Fitzgerald: Matrix metalloproteinases in lung disease. *Thorax*, **49**, 602-609, PMID: 8016800 (1994)
- 4) 保田倫子, 許小娟, 水野雅史, 芦田均: パン酵母β - グルカンのマクロファージにおける炎症抑制効果. 第65回日本栄養・食糧学会大会講演要旨集 p103 2D-01a (2011)
- 5) 山本恭介, 木村隆: β グルカン高含有キノコ「ハナビラタケ」の健康保険効果について. β グルカンの基礎と応用 (大野尚仁監修), シーエムシー出版, 東京, 263-274 (2010)
- 6) H. Kwon, Z. Qiu, M. Hashimoto, K. Yamamoto and T. Kimura : Effects of medicinal mushroom (*Sparassis crispa*) on wound healing in streptozotocin-induced diabetic rats. *Am. J. Surg.*, **197**(4), 503-509 (2009)
- 7) 山田宗紀, 植村康一: ハナビラタケ, セラミドの美容効果, およびその組み合わせによる新規美容素材. 食品と開発, **40**(12), 74-77 (2005)
- 8) R. Pillai, M. Redmond and J. Roding : Anti-wrinkle therapy : Significant new findings in the non-invasive cosmetic treatment of skin wrinkles with beta-glucan. *IFSCCE Magazine*, **8**(1), 2-6 (2005)
- 9) L. Ber : The skin connection. *Natures Impact*, Dec (1997)
- 10) M. Wolk and D. Danon: Promotion of wound healing by yeast glucan evaluated on single animals. *Med. Biol.*, **63**(2), 73-80 (1985)
- 11) W. Browder, D. Williams, P. Lucore, H. Pretus, E. Jones and R. McNamee : Effect of enhanced macrophage function on early wound healing. *Surgery*, **104**(2), 224-230 (1988)
- 12) R. Compton, D. Williams and W. Browder : The beneficial effect of enhanced macrophage function on the healing

- of bowel anastomoses. *Am. Surg.*, **62**(1), 14-18 (1996)
- 13) C. A. Portera, E. J. Love, L. Memore, L. Zhang, A. Muller, W. Browder and D. L. Williams : Effect of macrophage stimulation on collagen biosynthesis in the healing wound. *Am. Surg.*, **63**(2), 125-131 (1997)
 - 14) C. Celal, Y. Mehmet, C. Murat, B. Serkan, D. Duygu and G. Alpaslan : The effects of topical and systemic beta glucan administration on wound healing impaired by corticosteroids. *Wounds*, **20**(12), (2008)
 - 15) D. Wei, D. L. Williams and I. W. Browder : Glucan stimulates human dermal fibroblast collagen biosynthesis through a nuclear factor-1 dependent mechanism. *Wound Rep. Reg.*, **10**(3), 161-168 (2002)
 - 16) 倉澤隆平, 久堀周治郎, 奥泉宏康 : 亜鉛基礎研究の最前線と亜鉛欠乏症の臨床. *Biomed. Res. Trace Elements*, **21**(1), 1-12 (2010)
 - 17) M. Berdal, H. I. Appelbom, J. H. Eikrem, A. Lund, S. Zykova, L. T. Busund, R. Seljelid and T. Jessen : Aminated beta-1,3-D-glucan improves wound healing in diabetic db/db mice. *Wound Repair Regen.*, **15**(6), 825-832 (2007)
 - 18) Z. Hale, S. Goksel, J. Nermina, U. Bahar, A. Serap and C. Y. Berrak : B-glucan protects against burn-induced oxidativ organ damage in rats. *International Immunopharmacology*, **6**(2), 156-169 (2006)
 - 19) 田村弘志 : β グルカンの検出系. β グルカンの基礎と応用 (大野尚仁監修), シーエムシー出版, 東京, 74-88 (2010)
 - 20) B. V. McCleary : Measurement of (1 \rightarrow 3),(1 \rightarrow 4)- β -D-glucan in barley and oats : A streamlined enzymatic procedure. *J. Sci. Food Agric.*, **55**(2), 303-312 (1991)
 - 21) B. V. McCleary and D. C. Mugford : Determination of β -glucan in barley and oats by streamlined enzymatic method: Summary of collaborative study. *J. AOAC Int.*, **80**(3), 580-583 (1997)
 - 22) M. E. Danielson, R. Dauth, N. A. Elmasry, R. R. langeslay, A. S. Magee and P. M. Will : Enzymatic method to measure β -1,3- β -1,6-glucan content in extracts and formulated products (GEM assay). *J. Agric. Food Chem.*, **58**, 10305-10308 (2010)
 - 23) 梶浦正俊, 須賀哲也 : ナノテクノロジーによる機能性食品の開発. *Fragrance J.*, **32**, 87-96 (2003)
 - 24) 須賀泰世, 松永佳子, 佐藤雄士, 村田正弘, 須賀哲也 : 抗腫瘍効果発現における β -1,3- グルカンの粒子径の重要性. *Biotherapy*, **19**(3), 273-278 (2005)
 - 25) 日野真吾, 横嶋麗実, 鬼頭亜姫, 灘野大太, 森田達也, 松田幹 : β グルカンは腸吸収上皮細胞の経細胞輸送機能により吸収される. 第 65 回日本栄養・食糧学会大会講演要旨集 p215 3H-06p (2011)
 - 26) S. Tsukagoshi, Y. Hashimoto, G. Fujii, H. Kobayashi, K. Nomoto and K. Orita : Krestin (PSK). *Cancer Treat Rev.*, **11**(2), 131-155 (1984)
 - 27) 大野尚仁 : β グルカンの構造と免疫賦活機構の解析. β グルカンの基礎と応用 (大野尚仁監修), シーエムシー出版, 東京, 3-12 (2010)
 - 28) EFSA : Scientific Opinion-Scientific opinion on the safety of "yeast beta-glucans" as a novel food ingredient. *EFSA Journal*, **9**(5), 2137 (2011)
 - 29) J. H. Eldridge, R. M. Gilley, J. K. Staas, Z. Moldoveanu, J. A. Meulbroek and T. R. Tice : Biodegradable microspheres : vaccine delivery system for oral immunization. *Curr. Top. Microbiol. Immunol.*, **146**, 59-66 (1989)
 - 30) P. Jani, G. W. Halbert, J. Langridge and A. T. Florence : The uptake and translocation of latex nanospheres and microspheres after oral administration to rats. *J. Pharmacy and Pharmacology*, **41**(12), 809-812 (1989)
 - 31) P. Jani, G. W. Halbert, J. Langridge and A. T. Florence : Nanoparticle uptake by the rat gastrointestinal mucosa: quantitation and particle size dependency. *J. Pharmacy and Pharmacology*, **42**(12), 821-826 (1990)
 - 32) 境啓満, 首藤剛, メリーアン スイコ, 甲斐広文 : β -グルカンによる自然免疫受容体を介した免疫賦活機構. 第 23 回日本薬学会九州支部大会資料 (2006)
 - 33) 酒本秀一, 糟谷健二 : 魚類の細菌感染症に対するブドウ種子抽出物と β -1,3/1,6- グルカンの予防効果. *New Food Industry*, **53**(7), 26-40 (2011)
 - 34) 酒本秀一, 糟谷健二, 海野徹也, 古澤修一 : パン酵母 β -グルカン, ブドウ皮粉砕物, ビタミン C およびビタミン E の投与で魚の抗病性が向上する理由. *New Food Industry*, **53**(8), 1-11 (2011)
 - 35) 酒本秀一, 糟谷健二, 山本真司, 村田修, 海野徹也 : パン酵母 β -グルカンとブドウ種子抽出物を生物餌料経由でマダイおよびゼブラフィッシュ仔魚に与えた効果. *New Food Industry*, **53**(9), 15-26 (2011)
 - 36) 石橋健一, 大野尚仁 : β -グルカンの構造と免疫賦活機構の解析. 食品と開発, **44**(11), 4-7 (2009)
 - 37) J. Shen, H. Ren, C. Tomiyama-Miyaji, Y. Suga, T. Suga, Y. Kuwano, T. Iiai, K. Hatakeyama and T. Abo : Potentiation of intestinal immunity by micellary mushroom extracts. *Biomedical Research*, **28**(2), 71-77 (2007)

魚肉タンパク質と魚肉ペプチドの 健康機能について

細見 亮太*1 吉田 宗弘*2 福永 健治*3

*1 *HOSOMI Ryota* (鳥取短期大学生生活学科 食物栄養専攻)

*2 *YOSHIDA Munehiro*, *3 *FUKUNAGA Kenji* (関西大学化学生命工学部 食品工学研究室)

Key Words：魚肉タンパク質・魚肉ペプチド・パルミン・コレステロール

はじめに

Dyerberg らはグリーンランドイヌイットを対象に疫学調査を行い、虚血性心疾患罹患率が極めて低いこと、その要因として血液中に n-3 系高度不飽和脂肪酸 (PUFA) が高濃度に存在することを報告している¹⁾。これが発端となり、n-3PUFA であるエイコサペンタエン酸* (EPA) やドコサヘキサエン酸 (DHA) の生理機能、特に循環器疾患の予防効果を中心に作用機序の解明が急速に進展し、健康機能性が広く知られるようになった。一例として、n-3PUFA は肝臓での超低密度リポタンパク質およびトリグリセリド (TG) の合成を抑制することによって血清 TG 濃度を低下させることが確認されている²⁾。

栄養学者や臨床家のなかには、EPA や DHA の摂取による血清 TG 濃度の低下作用と同様に、血清総コレステロールおよび低密度リポタンパク質コレステロール (LDL-C) 濃度に対して低下作用があると信じている諸氏も少なからずいる。しかし、EPA や DHA には動脈硬化性疾患の危険因子の一つである血清総コレステロールおよび LDL-C 濃度の低下作用はほとんどない³⁾。これは、魚介類をそのまま摂取した

場合に、血清総コレステロールおよび LDL-C 濃度の低下が確認されることから、魚介類の機能性は EPA や DHA の効果だと誤解されたことに起因する。血清総コレステロールおよび LDL-C 濃度の低下作用は、n-3PUFA ではなく、脂質を除いた主要な栄養素であるタンパク質にあることを示している。本稿では今まであまり着目されてこなかった魚肉タンパク質の健康機能、特に脂質代謝改善機能について、本研究室で行っている研究を中心に述べる。

1. 我が国の水産物消費動向

食糧安全保障が世界的な課題になる中で、水産物への期待がますます大きくなりつつある。また、水産物が健康によいと見直され、欧米諸国で日本型食生活が注目されている。我が国では古くから水産物を食し、高度経済成長期に達するまで、動物性タンパク質の大部分を魚介類に依存してきた。我が国において、魚介類の消費量が多い理由は、国土の四方が海に囲まれており、広大な経済水域を有し、世界有数の好漁場であること、漁獲技術が優れていることなどがあげられる。また、明治以前においては、仏教による食肉忌避の風習が長きにわたって存在していたことも深く関わっている。しかし、我

* IUPAC 命名法ではエイコサペンタエン酸 (IPA) 表記が推奨されているが、本稿では慣用名であるエイコサペンタエン酸 (EPA) で記述した。

が国は第二次世界大戦終戦後から急速に食生活の欧米化が進み、畜肉、鶏卵、乳製品などの摂取量が著しく増加した。国民健康・栄養調査報告によると、平成11～13年では一人一日あたりの魚介類摂取量は約90gであるが、年々摂取量は減少し、平成21年では74.2gである。また平成18年には初めて魚介類摂取量が肉類摂取量を下回り、この摂取量の差は広がる傾向にある⁴⁾。タンパク質の摂取量についても、1975年では動物性タンパク質の供給量の50%を魚介類が占めていたが、2008年では42%と年々減少傾向にある⁵⁾。

2. 魚肉タンパク質の特性とその利用

動物の筋肉タンパク質は、筋形質、筋原繊維、筋基質の3種類のタンパク質から構成されており、動物、筋肉の種類によって組成に相違が見られる。牛や豚など畜産動物の筋肉は筋形質タンパク質が30-35%、筋原繊維タンパク質が50%、筋基質タンパク質が15-20%である。一方、魚類は種によって多少変動はあるものの、普通筋の筋形質タンパク質が20-40%、筋原繊維タンパク質が60-75%と畜産動物より多く、筋基質タンパク質が2-5%とかなり少ない⁶⁾。畜肉は結合組織を構成しているコラーゲン、エラスチンなどの筋基質タンパク質が多いため、魚肉よりも組織がしっかりしている。

タンパク質は、生体内において生命活動の担い手として重要な役割を果たしている。またタンパク質を摂取する意義は、体タンパク質やその他の窒素化合物を生合成するための窒素を供給することにある。摂取されたタンパク質は、まず胃のペプシンによって分解され、次いで膵液から分泌されるトリプシンやキモトリプシンなどの作用を受けてアミノ酸、ジペプチドやトリペプチドにまで分解され小腸から体内に吸収される。魚肉タンパク質の消化率は97%と非

常に高く、畜肉などの動物性タンパク質と同等であり、植物由来タンパク質よりも優れている⁷⁾。また、タンパク質の栄養価の目安として用いられるアミノ酸スコアは畜肉タンパク質と同様の100であり⁸⁾、消化率・アミノ酸スコアの点から魚肉タンパク質は栄養価が非常に高い。

しかし水産物は、畜肉と比べて鮮度低下が速く、腐敗しやすいという欠点がある。したがって、漁獲直後から冷蔵や冷凍を行う必要がある。

加工食品の中で、魚肉タンパク質を利用したかまぼこ・ちくわをはじめとする水産練り製品がある。水産練り製品は、筋原繊維タンパク質のゲル化特性を生かした我が国独特の魚肉加工品である。練り製品には、鮮魚としての価値の低い魚、鮮度が少し低下した魚、他の加工に向かない魚も利用することができることや、調味料や副原料との混合によって品質の改良ができる特徴をもつ。

このように水産物は、数多くの加工品、また多くの魚種によってさまざまな食感、呈味性を示すことから、古くから日本人に好まれてきた。しかし、魚肉タンパク質の物性に関する研究は多くなされているが、健康機能に着目した報告は少ない。そこで、私たちが行っている魚肉タンパク質の健康機能に関する研究について報告する。

3. 魚肉タンパク質の血清コレステロール濃度低下作用

厚生省の指標増刊国民衛生の動向(2010/2011)によると、我が国の三大死因は順に悪性新生物、心疾患、脳血管疾患であり、三大死因による死亡率は56.6%を占める⁹⁾。この中で循環器疾患である心疾患と脳血管疾患をあわせて26.5%を占め、また欧米においては心疾患が死因の一位であり、早急な治療や予防が切望される。循環器疾患である心疾患・脳血管疾患が高い死亡

率を占めているのには様々な原因があるが、粥状硬化病変（プラーク）の崩壊と引き続く血栓症といった動脈硬化性疾患が主な原因と考えられている。動脈硬化性疾患の主たる危険因子は、高血清 LDL/高密度リポタンパク質（HDL）比、高 TG 血症に代表される脂質代謝異常症である。また肥満、糖尿病、高血圧といった食生活の影響が強い病態も深く関わっている。さらにこれらの疾病が合併した状態をメタボリックシンドロームと呼び、循環器疾患との高い因果関係が認められている。これら疾患の増加は食生活が欧米化してきたことが関係しており、食事・栄養の管理はこれらの循環器疾患の治療・予防において重要である。

食事性タンパク質のうち、とりわけ大豆タンパク質はヒトや実験動物を対象に高コレステロール血症改善効果をはじめ、種々の生理機能が解明されている^{10, 11)}。一方、動物性タンパク質についても報告があるが^{12, 13)}、十分とは言えない。そこで、我が国において重要な動物性タンパク質である魚肉タンパク質、さらに牛、豚、鶏肉のタンパク質をラットに給餌し、血清脂質濃度に対する影響を比較検討した。

対照のタンパク質にカゼインを用い、被検動物性タンパク質源として、国産のスケトウダラ、牛、豚および鶏肉を用いた。ミンチ状にした各試料を水洗し、次いで、ヘキササン・エタノール（1：1 v/v）で3回脱脂を行った後、風乾し被検タンパク質とした。タンパク質源をカゼイン（20%）とする AIN93G¹⁴⁾（カゼイン群）、AIN93G のタンパク質源を牛、豚、鶏、魚肉タンパク質に 50% 置換した餌料（牛肉、豚肉、鶏肉、魚肉群）を雄性 Wistar ラットに 4 週間給餌した。

血清脂質成分は、カゼイン、牛、豚、鶏肉タンパク質給餌による血清 TG、総

コレステロール濃度に変化はみられなかったが、魚肉タンパク質給餌群において、血清 TG および総コレステロール濃度の低下がみられた（図 1）。また、これらの餌料にコレステロールを添加した餌料の給餌においても同様の結果が得られた（図 1）¹⁵⁾。この血清脂質改善効果は、現代人の主要なタンパク質源である動物性タンパク質うち、魚肉タンパク質に特有の効果があること示している。

血清総コレステロール濃度の低下作用機序として、小腸内腔でのコレステロールおよび胆汁酸の吸収阻害があげられる¹⁶⁾。そこで、魚肉

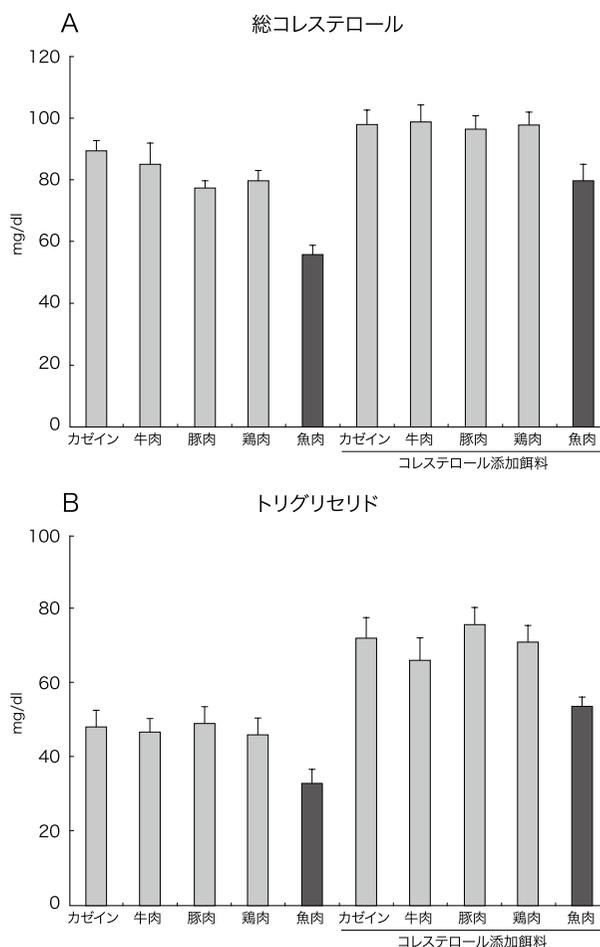


図 1 動物性タンパク質を給餌したラットの血清総コレステロール (A) とトリグリセリド (B) 濃度

平均土標準誤差 (n=7)

タンパク質給餌によるコレステロールと胆汁酸吸収について検討するために、糞へのコレステロールおよび胆汁酸排泄量を測定した。魚肉タンパク質給餌群で糞へのコレステロールおよび胆汁酸排泄量の増加が確認された。これは、魚肉タンパク質による小腸での吸収阻害すなわち排出促進を示している（図2）。我々はこれまで、ラットに魚肉タンパク質の給餌し、コレステロールから胆汁酸合成の律速酵素である肝臓のコレステロール7 α -ヒドロキシラーゼ（CYP7A1）のmRNA発現量が増加することを報告した（図3）¹⁷⁾。以上から、魚肉タンパク質による血清総コレステロール濃度の低下作用機序は、小腸でのコレステロール吸収および胆汁酸再吸収阻害、肝臓でのCYP7A1発現増加

によるコレステロールの胆汁酸への合成増加によって起こっていると考えられる。

最近、特に若年層を中心に水産物の摂取量が減少しており、またタンパク質摂取割合は畜肉や乳製品が増加している^{4, 5)}。ゆえに今後、畜肉タンパク質と比べ血清総コレステロールとTG濃度の低下効果を持つことが確認された魚肉タンパク質やEPA・DHAといった高い生理機能を持つ魚油が含まれている水産物の摂取量を増やすことで、食生活が大きく影響する高脂血症や肥満といった生活習慣病の予防が可能であると考えられる。以上の点から若年層の嗜好性の変化に対応した調理・生活スタイルに合わせた食品の開発による水産物摂取量の増大が望まれる。

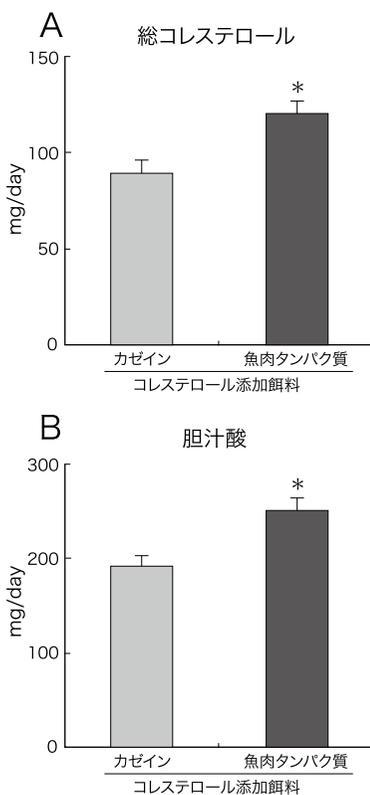


図2 魚肉タンパク質を給餌したラットの糞へ排泄されたコレステロール (A) と胆汁酸 (B) 量
平均土標準誤差 (n=7) * $p < 0.05$

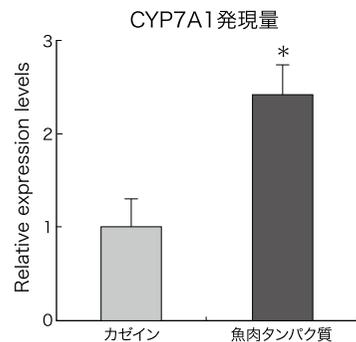


図3 魚肉タンパク質を給餌したラットの肝臓コレステロール7 α -ヒドロキシラーゼ(CYP7A1)のmRNA発現量

平均土標準誤差 (n=7) * $p < 0.05$

4. 魚肉ペプチドの血清コレステロール濃度低下作用

タンパク質をプロテアーゼで加水分解して得られるペプチドは、本来タンパク質がもつ特性が改変され、新しく機能が付加される場合がある。その例として、タンパク質よりも水に溶解しやすくなる、高濃度溶液にしても粘性が低いことなどがある¹⁸⁾。これらは、タンパク質分

子がプロテアーゼによって低分子化され、その高次構造が破壊されるためである。またペプチド化することによって健康機能が付与される場合がある。大豆タンパク質をペプシンで加水分解し得られた高分子画分は、大豆タンパク質に比べ高い血清総コレステロール濃度の低下効果がみられる¹⁹⁾。さらに豚肉タンパク質のパパイン分解物や牛心臓タンパク質のプロナーゼ分解物中の可溶性低分子画分の摂取にも血清総コレステロール濃度の低下効果を有することが明らかにされている^{20, 21)}。これらの機能改変がみられたペプチドは、分子サイズや水に対する溶解性をもとに分画されたものである。一方、非利用画分はほとんどの場合、廃棄処分されることが懸念される。そこで我々は、血清総コレステロール濃度の低下作用が確認された魚肉タンパク質をプロテアーゼによってペプチド化後、分画することなくラットに給餌し血清脂質濃度に及ぼす影響を検討した。

プロテアーゼは工業的に利用されているアルカラゼ（ノボザイムズ（株））、オリエンターゼ 20A（エイチビィアイ（株））、サーモリシン（大和化成（株））、ペプシン（和光純薬工業（株））、パパイン（アサヒビール（株））を用いた。被検タンパク質に対して、プロテアーゼを 0.1% 添加し、至適温度および至適 pH で 2 時間反応させ、加熱（95 度、20 分）によって反応停止し、凍結乾燥を行った後、餌料用ペプチドとした。これらのペプチドの分子量を SDS-PAGE で測定したところ約 3-5kDa 付近であった。タンパク質源をカゼイン（20%）とする AIN93G14（カゼイン群）、AIN93G のタンパク質源を魚肉タンパク質に 50% 置換した餌料（魚肉タンパク質群）と各魚肉ペプチドに 50% 置換した餌料（アルカラゼ、オリエンターゼ、サーモリシ

ン、ペプシン、パパイン群）を雄性 Wistar 系ラットに 4 週間給餌した。

魚肉タンパク質給餌群で血清総コレステロールと LDL-C 濃度の低下傾向が見られた。さらに、魚肉ペプチド給餌群の中でアルカラゼ、サーモリシン、パパインによるペプチドに魚肉タンパク質よりも高い血清総コレステロールと LDL-C 濃度の低下がみられ、なかでもパパイン分解ペプチドの効果が高かった（図 4）²²⁾。

また、糞へ排泄されたコレステロールと胆汁酸量を測定したところ、血清総コレステロール濃度の低下と相関してアルカラゼ、サーモリシン、パパイン分解ペプチド給餌に高いコレス

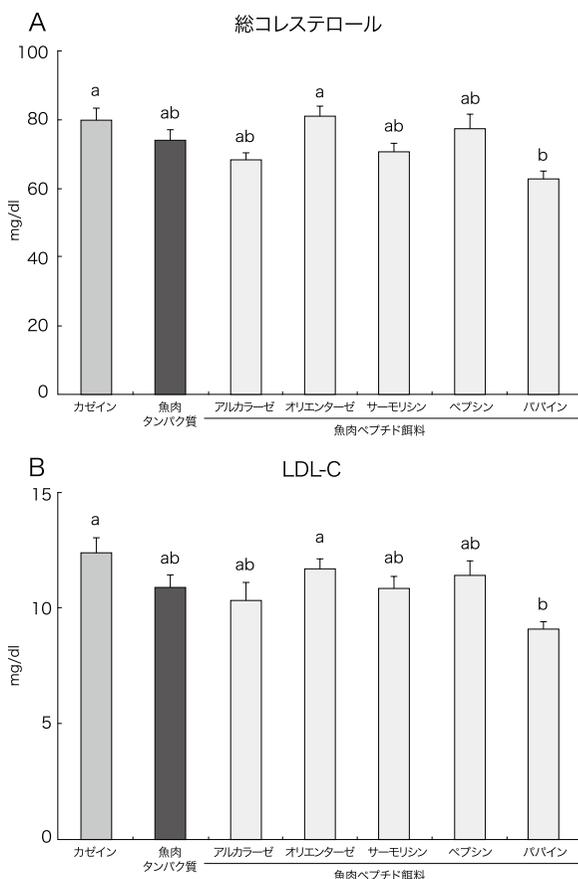


図 4 魚肉タンパク質と各魚肉ペプチドを給餌したラットの血清総コレステロール (A) と低密度リポタンパク質コレステロール (B) 濃度

平均土標準誤差 (n=7) 異なるアルファベット間で有意差あり

テロールと胆汁酸排泄量の増加がみられた (図5)²²⁾。これらの魚肉ペプチドは魚肉タンパク質よりも糞へのコレステロールと胆汁酸排泄量の増大機能を有することから、血清総コレステロール濃度の低下作用を示したと考える。

ペプチド化した魚肉タンパク質を給餌することで糞へのコレステロールと胆汁酸排泄が増加したが、用いたプロテアーゼによってその程度に差が見られた。今回用いたアルカラゼ、サーモリシン、パパインは、ヒトの消化管から分泌されるペプシンやトリプシンなどとは異なる位置でタンパク質を切断するために、切断末端のアミノ酸に差異が生じる。そしてそれらが小腸

でさらに消化され生成するペプチドの末端アミノ酸の差異により生じたと推測される。このことは、ペプシンを用いた魚肉ペプチドには血清総コレステロール濃度の低下効果の増大がみられないことから分かる。

近年、分析技術の進歩によって β -ラクトグロブリンのトリプシン分解物から IIAEK²³⁾、卵白由来タンパク質から GLWEK²⁴⁾ や大豆タンパク質から VAWWY²⁵⁾ といったコレステロール代謝改善ペプチドが分離・同定されている。しかし、魚肉タンパク質由来のコレステロール代謝改善ペプチドの同定の報告はない。血清総コレステロール濃度の低下効果を有することが確認された魚肉タンパク質や魚肉ペプチドにおいてもコレステロール代謝改善ペプチドの同定が期待される。

魚肉タンパク質をアルカラゼ、サーモリシン、パパインを用いた魚肉ペプチドについて工業化を主眼に置き、調製方法を検討した。アルカラゼとサーモリシンは至適 pH が 8 付近であり塩基性条件下で調製を行う必要がある。一方、パパインは至適 pH が 7 付近である。魚肉ペプチドを調製するにあたり、パパインを用いることは他の二つのプロテアーゼよりも穏やかな反応条件で調製することが可能であり、かつ安価に製造することができる。また、魚介類由来タンパク質加水分解物の他の健康機能として血圧低下効果が報告されている。しかし、数多くの研究報告や総説²⁶⁾があるために本稿では割愛した。

おわりに

水産物は、長く日本人に好まれてきた。その健康機能については、水産物に特徴的に含まれる EPA や DHA といった高い生理機能が発揮される n-3PUFA が注目され、タンパク質はその陰に隠れ、見過ごされ

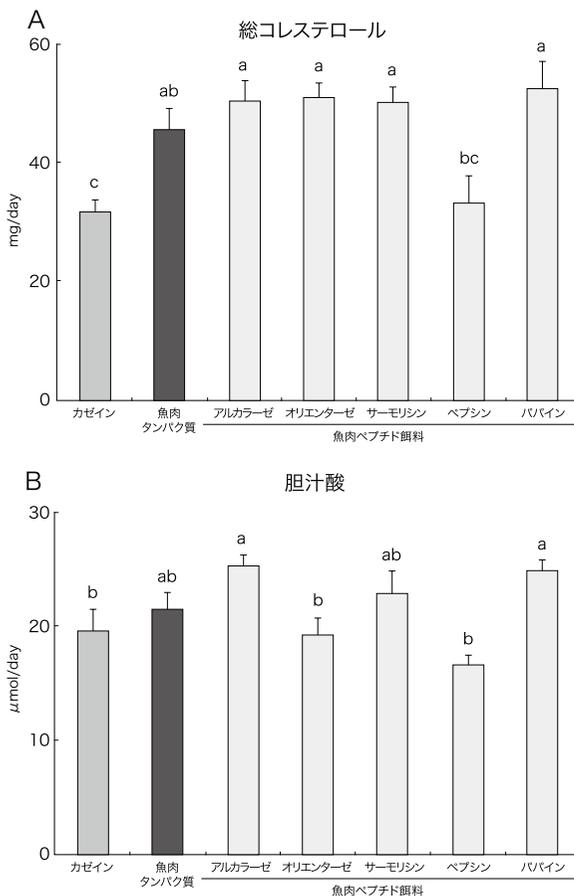


図5 魚肉タンパク質と各魚肉ペプチドを給餌したラットの糞へ排泄されたコレステロール (A) と胆汁酸 (B) 量
平均土標準誤差 ($n=7$) 異なるアルファベット間では有意差あり

てきた。しかし我々の研究をはじめ、内外の研究者からも、魚肉タンパク質の健康機能が見いだされるようになった。また、パパインで加水分解した魚肉ペプチドには、さらに高い血清脂質改善効果をもつことも分かった。

魚肉タンパク質を用いた加工食品としてかまぼこに代表される水産練り製品がある。これらの製造過程において、容易に種々の栄養成分や

機能性成分を添加することができる。最近では EPA や DHA などの n-3PUFA やタウリンなどを強化した製品が作られている。水産練り製品は和食にとどまらず、様々な食品との組み合わせが容易である。ゆえに今まであまり注目されていなかった魚肉タンパク質と他の生理活性物質との相互作用の研究や新たな商品の誕生が期待される。

・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 参考文献 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

- 1) Dyerberg J, Bang HO, Hjorne N : Fatty acid composition of the plasma lipids in Greenland Eskimos. *Am J Clin Nutr* **28** : 958-966, 1975.
- 2) Nestel PJ : Fish oil and cardiovascular disease: lipids and arterial function. *Am J Clin Nutr* **71** : 228-231, 2000.
- 3) Balk EM, Lichtenstein AH, Chung M, *et al* : Effects of omega-3 fatty acids on serum markers of cardiovascular disease risk: a systematic review. *Atherosclerosis* **189** : 19-30, 2006.
- 4) 厚生労働省平成 21 年国民健康・栄養調査報告, <http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000000xtwq.html>, pp. 25, 2011 年 8 月 20 日アクセス.
- 5) 厚生労働省: 国民健康・栄養の現状 - 平成 20 年厚生労働省国民・栄養調査報告より -, 第一出版, 2009.
- 6) 岡田稔: かまぼこの科学, 成山堂書店, p43-44, 2000.
- 7) 科学技術庁: 資源調査会報告書, 1982.
- 8) 文部科学省: 五訂増補日本食品標準成分表, 2005.
- 9) 財団法人 厚生労働統計協会: 厚生 の 指 標 増 刊 国 民 衛 生 の 動 向 2010/2011, 2010.
- 10) Sirtori CR, Eberini I, Arnoldi A : Hypocholesterolaemic effects of soya proteins: results of recent studies are predictable from the anderson meta-analysis data. *Br J Nutr* **97** : 816-822, 2007.
- 11) Weisse K, Brandsch C, Zernsdorf B, *et al* : Lupin protein compared to casein lowers the LDL cholesterol:HDL cholesterol-ratio of hypercholesterolemic adults. *Eur J Nutr* **49** : 65-71, 2010.
- 12) Brandsch C, Shukla A, Hirche F, *et al* : Effect of proteins from beef, pork, and turkey meat on plasma and liver lipids of rats compared with casein and soy protein. *Nutrition* **22** : 1162-1170, 2006.
- 13) Shukla A, Bettzieche A, Hirche F, *et al* : Dietary fish protein alters blood lipid concentrations and hepatic genes involved in cholesterol homeostasis in the rat model. *Br J Nutr* **96** : 674-682, 2006.
- 14) Reeves PG, Nielsen FH, Fahey GC Jr : AIN-93 purified diets for laboratory rodents: final report of the American Institute of Nutrition ad hoc writing committee on the reformulation of the AIN-76A rodent diet. *J Nutr* **123** : 1939-1951, 1993.
- 15) 今池宏充, 細見亮太, 西山利正, 他: 動物タンパク質およびカゼイン給餌がラットの脂質代謝に及ぼす影響, 第 64 回日本栄養・食糧学会講演要旨集, p92, 2010.
- 16) Nagata Y, Tanaka K, Sugano M : Serum and liver cholesterol levels of rats and mice fed soy-bean protein or casein. *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo)* **27** : 583-593, 1981.
- 17) Hosomi R, Fukunaga K, Arai H, *et al* : Effects of dietary fish protein on serum and liver lipid concentrations in rats and the expression of hepatic genes involved in lipid metabolism. *J Agric Food Chem* **57** : 9256-9262, 2009.
- 18) 菅野道廣, 尚弘子: 大豆タンパク質の加工特性と生理機能, 建帛社, p133-134, 1999.
- 19) Nagaoka S, Awano T, Nagata N, *et al* : Serum cholesterol reduction and cholesterol absorption inhibition in CaCo-2 cells by a soyprotein peptic hydrolyzate. *Biosci Biotechnol Biochem* **61** : 354-356, 1997.
- 20) Morimatsu F, Ito M, Budijanto S, *et al* : Plasma cholesterol-suppressing effect of papain-hydrolyzed pork meat in rats fed hypercholesterolemic diet. *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo)* **42** : 145-153, 1996.

- 21) Nakade K, Kaneko H, Oka T, *et al* : A cattle heart protein hydrolysate ameliorates hypercholesterolemia accompanied by suppression of the cholesterol absorption in rats and Caco-2 cells. *Biosci Biotechnol Biochem* **73** : 607-612, 2009.
- 22) 清水裕絵, 細見亮太, 西山利正, 他: ラットの脂質代謝に及ぼす魚肉タンパク質加水分解物給餌の影響, 第64回日本栄養・食糧学会講演要旨集, p92, 2010.
- 23) Nagaoka S, Futamura Y, Miwa K, *et al* : Identification of novel hypocholesterolemic peptides derived from bovine milk beta-lactoglobulin. *Biochem Biophys Res Commun* **281** : 11-17, 2001.
- 24) 岩田紅美子, 長沼里栄子, 渡邊乾二: 卵白由来ペプチドによるコレステロール代謝改善作用, 2006年度日本農芸化学会大会講演要旨集, p53, 2006.
- 25) Choi SK, Adachi M, Utsumi S : Identification of the bile acid-binding region in the soy glycinin A1aB1b subunit. *Biosci Biotechnol Biochem* **66** : 2395-2401, 2002.
- 26) 西川研次郎 他: 食品機能性の科学, 産業技術サービスセンター, 2008.

白石カルシウムの炭酸カルシウム	
<p>炭酸カルシウムとは?</p>	<p>古くから食品に使用されている安全性・吸収性に優れたカルシウム源です。用途も栄養強化はもちろんのこと、練製品の弾力増強などの品質改良、粉体の流動性向上・固結防止といった加工助剤などその目的は多彩です。</p>
	<p>分散性・混合性に優れたものや、飲料用として沈澱を抑制したタイプ等、品揃えしております。</p> <p>一般の栄養強化には、「ホワイトン」</p> <p>機能を求めるならば、「コロカルソ」</p> <p>飲料用には、スラリー状の「カルエッセン」</p> <p>詳細につきましては、弊社営業担当にお気軽にお尋ね下さい。</p>
白石カルシウム株式会社	
食品部：東京都千代田区岩本町 1-1-8 TEL. 03-3863-8913 本社：大阪市北区同心 2-10-5 TEL. 06-6358-1181	

沢わさびの抗生活習慣病特性

伊藤 芳明*1 渡部 達也*2 吉田 潤*3 木村 賢一*4 長澤 孝志*5

*1 ITO Yoshiaki, *2 WATANABE Tatsuya, *3 YOSHIDA Jun, *4 KIMURA Ken-ichi, *5 NAGASAWA Takashi
(岩手大学 農学部)

Key Words：沢わさび・糖尿病・イソチオシアネート

はじめに

「わさび」というと、沢わさび（水わさび）や畑わさび、西洋わさび等が知られるが、前者の二つはどちらも植物分類学上はアブラナ科ワサビ属に分類される *Wasabia japonica* Matsumura という同じ植物である。沢わさびは原産地が日本列島とされ、飛鳥時代の木簡に記述があるなど古くから日本人の生活に結びついている。一方、西洋わさび (*Cochlearia armoracia* L.) は同じアブラナ科であるが、トモシリソウ属に分類され、ヨーロッパ原産とされる。

岩手県は沢わさびの生産量では全国の1%に満たないが、畑わさびでは半分弱を占め、両者

を併せると静岡県や長野県に次いで3番目に生産量の多い県である¹⁾。沢わさびでは量こそ静岡県や長野県には及ばないが、岩手県にも宮守村（現在の遠野市）など古くから産地として定着している地域に加え、最近では雫石町や八幡平市などで、従来の溪流沿いで行われる畳石式などの高度な土木工事を要する方式ではなく、平坦地で湧水などを水源として利用したボックス栽培方式（図1）が行われている。冷涼で豊かな水資源に恵まれた東北地方は沢わさび栽培に向けた地域と言えるが、こうした生産方式は他の地域でも行われており、ひと頃の高値で取引されていた時期に比べ、需給のバランスから生産物の価格は低下する傾向にある。そのため、

(A)



(B)



図1 平坦地で行われるボックス栽培方式の外観 (A) と栽培される沢わさびの様子 (B)

新規に取り組もうとする生産者には厳しい面もある。本稿では、こうした地域におけるわさび栽培の現状を背景に、地域特産品としてのわさびの高付加価値化を考え、食材としての健康機能性を検討した例を紹介したい。

わさび粉末の生理機能性

1. これまでに知られるわさびの健康機能性について

わさびの用途としては、刺身や鮨など生ものと合わせ、香辛料として臭みを消す、または殺菌効果を期待したものがほとんどである。しかし、10世紀の書物に「補益食也」（食を補益する也の意と捉えることができる）の記述があり、現代でいうサプリメントや機能性食品のような効果も認識されていたとも考えられる²⁾。実際、最近の研究からわさびの生理機能性として、抗腫瘍効果、解毒・抗酸化効果、抗炎症作用、抗ピロリ菌効果³⁻⁷⁾などが明らかにされている。我々は新たに生活習慣病に対する効果について

評価を行った。

2. わさび粉末混餌食に対する摂取忌避性の検討

わさびはアリル辛子油の強い刺激性を持つために、動物に飼料として与えた際に忌避性や組織障害性を与えることが懸念された。そこでまず、正常動物に対してわさび粉末を飼料に混餌して与えた場合の成長や代謝に対する影響を検討した。Wistar系5週齢の雄性ラットに、わさび乾燥粉末（品種：グリーンサム）を5%もしくは7%含む20%カゼイン飼料（AIN93G準拠）を7日間給餌した。ここで用いたわさび粉末は、わさびを根わさびとして、出荷用に成形する際に廃棄される細い根の部分（ひげ根）を乾燥・微粉末化したもの（昭栄建設）を用いた。その結果、最終体重および総摂取量にわさび粉末の添加により低下が認められた（表1）。この差の要因には、飼料を与えた1日目にわさび添加群で摂取量が対照群に対して半分程度に落ちたことが挙げられる。摂取量は徐々

表1 正常ラットにわさび混餌食を与えたときの成長および代謝への影響

	対照群	5% わさび混餌食群	7% わさび混餌食群
初体重 (g)	104.1 ± 0.8	104.2 ± 2.1	104.2 ± 1.9
終体重 (g)	143.1 ± 2.8 ^a	135.5 ± 2.7 ^{ab}	126.3 ± 2.4 ^b
総摂取量 (g)	92.1 ± 3.7 ^a	78.1 ± 1.5 ^b	69.8 ± 2.5 ^b
臓器重量 (g/100g 体重)			
肝臓	4.14 ± 0.07 ^a	4.60 ± 0.09 ^b	5.00 ± 0.17 ^b
腎臓	0.76 ± 0.01 ^a	0.82 ± 0.02 ^b	0.85 ± 0.01 ^b
睾丸	0.88 ± 0.04	0.89 ± 0.05	0.98 ± 0.06
血中成分			
血中アルブミン濃度 (g/dL)	3.5 ± 0.09	3.7 ± 0.04	3.7 ± 0.09
血中 AST 活性 (IU/L)	30.9 ± 3.6 ^a	25.6 ± 0.7 ^{ab}	21.4 ± 0.5 ^b
血中 ALT 活性 (IU/L)	8.0 ± 1.0 ^a	6.6 ± 0.6 ^{ab}	5.0 ± 0.4 ^b
血糖値 (mg/dL)	166.1 ± 2.4	167.9 ± 5.3	167.4 ± 6.1
T3 濃度 (ng/mL)	1.8 ± 0.04	1.8 ± 0.04	1.9 ± 0.03

値は平均値±標準誤差、異なる符号間で $p < 0.05$

に回復し、最終日（7日目）には群間で有意な差は認められなかった。血中指標では血糖値やアルブミン値には差がなく、肝臓や組織に障害があった場合に上昇が認められるASTやALT値には特に異常はなかった。また、アブラナ科植物に含まれる成分には甲状腺の機能に影響を与える成分があることが知られるため、甲状腺ホルモン（トリヨードサイロニン, T3）濃度を測定したが、特に影響は認められなかった。以上のことから、沢わさび添加により高用量摂取群で摂取忌避性が若干認められるが、今回行った条件では特に組織障害性などは認められない範囲であることが分かった。

3. 沢わさび粉末混餌食による2型糖尿病態への効果

沢わさび粉末の生活習慣病に対する生理機能性を評価する上で、糖尿病に対する効果を検討した。糖尿病は先進諸国では人口の5-6%程度の患者を抱える疾患で、日本においても厚生労働省の国民健康・栄養調査によると糖尿病を強く疑われる人は890万人、可能性が否定できない人を合わせると2,210万人と推計されている。糖尿病のうち9割以上は2型糖尿病であることから、本検討では肥満2型糖尿病モデル動物KK-Ayマウスを用いて行った。

マウスに3%あるいは5%沢わさび粉末を含む高脂肪食を45日間給餌したところ、表2に示すように平均摂取量ではわさび粉末を加えることで若干低下する様子を示したが、体重には有意な影響を与えるほどではなかった。また組織重量から脂肪量にも変化はなく、肥満を抑制するような効果は認められなかった。その一方、糖代謝の指標では、飼育期間中の血糖値は対照群に比べ、わさび粉末混餌食群で低い傾向を示し、インスリン負荷試験についても低く推移した（図2）。また、解剖時の血糖値およびインスリン値についてはわさび群で低い傾向もしくは有意に低い値を示した。過去数週間の平均血糖を反映するとされるHbA1c値についても同様の結果を示した（図3）。また、結果には示さないが、先ほどのラットでの実験同様AST値やALT値を測定したところ、特に異常値は認められず、長期間のわさび粉末食の摂取においても特に組織や肝臓への障害は認められなかった。さらに糞の排泄量や糞中の脂質排泄量にもわさび粉末添加の影響は認められなかったことから、わさび粉末由来の食物繊維等による消化吸収への効果を介したものではないと考えられた。以上のことから、わさび粉末により2型糖尿病モデルマウスの病態の進行を改善する可能性が示唆された。

表2 KK-Ayマウスにわさび混餌食を与えたときの体重変化、摂餌量および臓器重量への影響

	対照群	3% わさび混餌食群	5% わさび混餌食群
初体重 (g)	24.8 ± 0.4	23.8 ± 0.6	24.2 ± 0.2
終体重 (g)	45.2 ± 1.3	42.1 ± 1.4	42.1 ± 0.9
平均摂取量 (g/day)	4.31 ± 0.10 ^a	3.99 ± 0.11 ^{ab}	3.93 ± 0.08 ^b
臓器重量 (g/100g 体重)			
肝臓	4.48 ± 0.23 ^a	4.01 ± 0.22 ^{ab}	3.71 ± 0.15 ^b
腎臓	1.31 ± 0.06 ^a	1.08 ± 0.04 ^b	1.06 ± 0.02 ^b
脂肪 (腎周囲, 精巣周囲, 腸間膜)	8.29 ± 0.29	7.73 ± 0.87	7.96 ± 0.40

値は平均値土標準誤差, 異なる符号間で $p < 0.05$

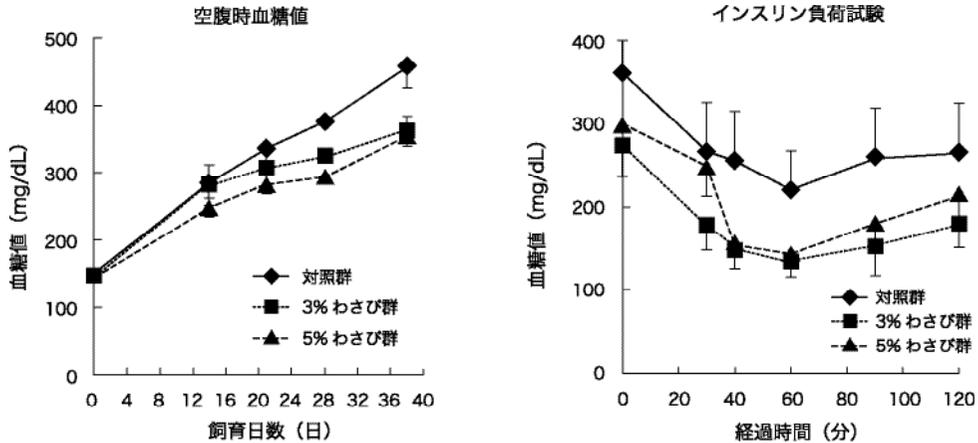


図2 KK-Ay マウスに沢わさび粉末添加食を給餌したときの空腹時血糖値の変化とインスリン負荷試験における血糖変化への影響

対照群:高脂肪食群,3% わさび群:3% 沢わさび粉末添加高脂肪食群,5% わさび群:5% 沢わさび粉末添加高脂肪食群,値は平均±標準誤差

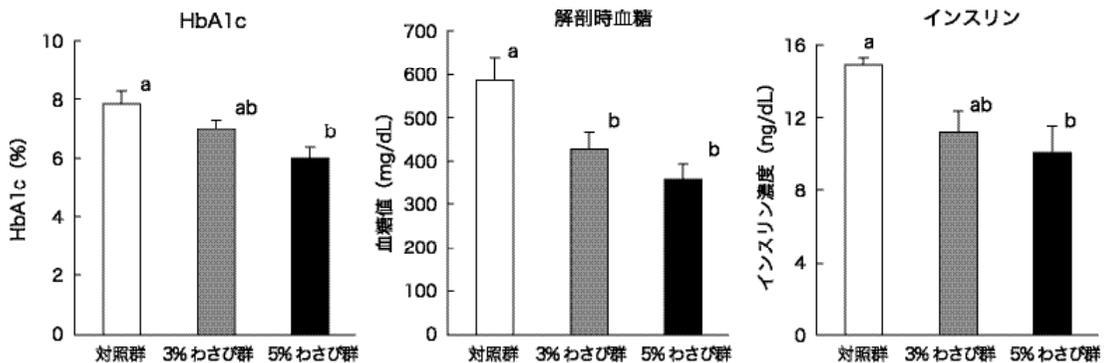


図3 KK-Ay マウスに沢わさび粉末添加食を給餌したときのHbA1c値,解剖時血糖およびインスリン値の変化

対照群:高脂肪食群,3% わさび群:3% 沢わさび粉末添加高脂肪食群,5% わさび群:5% 沢わさび粉末添加高脂肪食群,値は平均±標準誤差,異なる符号間で $p<0.05$

4. 沢わさびによる抗糖尿病効果のメカニズムの解析

わさびの特徴的な成分の1つにイソチオシアネート類があり,わさびの辛味成分であるアリル辛子油もその1つである。イソチオシアネート化合物で最も注目されているものにわさびと同じアブラナ科植物であるブロッコリーに含まれるスルフォラファンがあり,これまでに抗酸化効果やがん予防効果が知られている。わさび

にもスルフォラファンと類縁化合物が複数種含まれていることが知られている⁸⁾。

わさびの生理機能性成分を検索するために,遺伝子変異酵母を用いた検討を行った結果,わさびに含まれるイソチオシアネート化合物である6-methylsulfinylhexyl isothiocyanate (6MSITC)にGSK-3 β 阻害活性があることが示唆され,その阻害効果は*in vitro*での酵素活性の評価系で確認された⁹⁾。糖尿病態ではGSK-3 β 活性が亢進している場合があること,さらにその阻害は

病態を緩和することが報告されている¹⁰⁾。我々は既にラット肝臓細胞に対して、6MSITCが糖新生を抑制する活性（インスリン様活性）を有する成績を得ており、先の沢わさび粉末による糖尿病の緩和効果の要因の1つに6MSITCが関わっている可能性も考えられる。しかしながら、わさびには他のイソチオシアネート化合物も存在することから、主たる有効成分やその作用機序については今後の検討が必要である。

おわりに

ここで紹介した結果の一部は農林水産省の「地域ブランド化・新需要創造支援事業」において、岩手県沢わさびの利用促進に向けた取り

組みのなかで行われたものである。わさびは、多くの量を摂取するのは難しい食材であり、なかなか簡単に消費量アップは望みにくい面はある。しかし、折角の日本古来の食材である。岩手には熱心に商品開発に取り組む企業もあり、利用が広まれば良いと思う。また近頃、岩手県雫石町で採取された沢わさびをDNA多型解析の結果から比較したところ、従来の主要な栽培品種とは異なる遺伝的多様性をもつ系統であることが明らかにされた¹¹⁾。これらの採取された野生種は、岩手県の試験研究機関（岩手県林業技術センター）で栽培の試みも行われており、新たな地域おこしのシーズとなり得るかもしれない。

・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 参考文献 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

- 1) 林野庁平成21年特用林産物需給動態調査, http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/tokuyou_rinsan/index.html#
- 2) 木苗直秀, 小嶋操, 古郡三千代: 沢ワサビの歴史. ワサビのすべて 日本古来の香辛料を科学する, 学会出版センター, 13-34, 2006.
- 3) Fuke, Y., Shinoda, S., Nagata, I. *et al.* Preventive effect of oral administration of 6-(methylsulfinyl)hexyl isothiocyanate derived from wasabi (*Wasabia japonica* Matsum) against pulmonary metastasis of B16-BL6 mouse melanoma cells. *Cancer Detect. Prev.*, **30**:174-179, 2006.
- 4) Morimitsu, Y., Nakagawa, Y., Hayashi, K. *et al.* A sulforaphane analogue that potently activates the Nrf2-dependent detoxification pathway. *J. Biol. Chem.*, **277**:3456-3463, 2002.
- 5) Hasegawa, K., Miwa, S., Tsutsumiuchi, K. *et al.* Allyl isothiocyanate that induces GST and UGT expression confers oxidative stress resistance on *C. elegans*, as demonstrated by nematode biosensor. *PLoS ONE*, **5**:e9267, 2010.
- 6) Uto, T., Fujii, M. and Hou, D.-X. Inhibition of lipopolysaccharide-induced cyclooxygenase-2 transcription by 6-(methylsulfinyl) hexyl isothiocyanate, a chemopreventive compound from *Wasabia japonica* (Miq.) Matsumura, in mouse macrophages. *Biochem. Pharmacol.*, **70**:1772-1784, 2005.
- 7) Sekiguchi, H., Takabayashi, F., Deguchi, Y. *et al.* Leaf extract of *Wasabia japonica* relieved oxidative stress induced by *Helicobacter pylori* infection and stress loading in Mongolian gerbils. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **74**:1194-1199, 2010.
- 8) Etoh, H., Nishimura, A., Takasawa, R. *et al.* ω-Methylsulfinylalkyl isothiocyanates in wasabi, *Wasabia japonica* Matsum. *Agric. Biol. Chem.*, **54**:1587-1589, 1990.
- 9) Yoshida, J., Nomura, S., Nishizawa, N., Ito, Y., Kimura, K. Glycogen synthase kinase-3β inhibition of 6-(methylsulfinyl)hexyl isothiocyanate derived from wasabi (*Wasabia japonica* Matsum). *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **75**:136-139, 2011.
- 10) Kaidanovich-Beilin, O. and Eldar-Finkelman, H. Long-term treatment with novel glycogen synthase kinase-3 inhibitor improves glucose homeostasis in ob/ob mice: Molecular characterization in liver and muscle. *J. Pharmacol. Exp. Ther.*, **316**:17-24, 2006.
- 11) 笠島一郎, 平林孝之, 川合真紀, 内宮博文: 日本ワサビのDNA多型解析, 農業および園芸, **85**(6):633-636, 2010.

脂質の胃腸内消化で起こること、 体重制御との関わり

藤田 哲*

*FUJITA Satoshi (藤田技術士事務所)

Key Words : トリグリセリド・リパーゼ・胃・小腸・エマルション・界面活性・体重管理

要約

近年、ヒトの消化管内で進行する現象の研究について、*in vivo*の研究に代えて、*in vitro*で胃や腸をシミュレートした優れた装置が開発された。そこで、従来から十分に知られていなかった脂質類の消化吸収についても、多くの知識が得られるようになった。一般に加工食品の構造は複雑で、含まれる脂質は多くの場合、水中油形(O/W)エマルションの形態で存在する。食品エマルションの消化研究によって、油滴界面の膜構造や安定性などの性質が、消化管内での消化速度や利用性に影響することが分かった。油滴を構成する吸着層(界面活性物質や蛋白質)の性質と油滴径(界面の面積)の変化が、リパーゼの油滴への結合に影響して消化速度を支配する。さらにリパーゼ類による脂質分解産物自体には、小腸内での顕著な界面活性作用が示唆される。消化系で起こる脂質類変化の理解が進めば、エマルション構造や摂取方法の管理によって、満腹感を通じた肥満防止など、体重制御の可能性が開けるだろう。

はじめに

調理、加工された食品はきわめて多様であり、生鮮食品を含めてそれらを構成する成分や物理的構造が、ヒトの脂質利用に影響することが知られてきた。食事に由来する脂質は、大部分が動植物性油脂(トリグリセリド)であり、食品を構成する細胞膜の成分は主にリン脂質で、また食品はステロールや糖脂質などを含む。これらの脂質類消化については、従来から十分に知られていなかった。しかし近年、ヒトの消化管内での生理学的現象について、胃や腸を模した*in vitro*の装置が顕著に進歩した。それらの応用によって人体実験によらずに、種々の栄養素

の消化・吸収への理解が進んだ^{1,2)}。

日本の平均的な成人の1日当たり脂質摂取は、油脂50~60g(2007年平均54g)、リン脂質4~6gである。この平均油脂摂取量は、摂取エネルギー2000kcalの約25%に相当し、栄養的には良好な状態である。しかし、油脂の過剰摂取は肥満につながり、生活習慣病の原因になる。油脂は食品においしさを与え、必須脂肪酸を提供し、ビタミン、ステロールなど脂溶性栄養素の吸収媒体になる。また、油脂の種類と量がヒトの健全な成長と健康維持、生活習慣病などに関連することが明らかにされてきた³⁾。油脂のエネルギーは9.2kcalと炭水化物や蛋白

質の2.3倍であり、体の脂肪組織中でエネルギーを貯蔵する。

多くの加工食品では、油脂が水中油滴型 (O/W) エマルションの形態で含まれることが多い。この場合、リン脂質やモノ・ジグリセリドが乳化作用に与り、さらに一般的には蛋白質がエマルションを安定化する。また、エマルションは加工食品のテクスチャー、フレーバーに大きく影響する。

油脂の消化では、胃リパーゼに続き膵液リパーゼと胆汁が十二指腸に分泌され、胆汁は胆汁酸塩とレシチンなどを含んでいる。油脂の消化速度は、リパーゼがエマルションの油滴界面に結合する程度に依存する。そこで、エマルションの物理化学的な構造が、脂質消化の過程で酵素作用に与える影響が調べられた。例えば、エマルションの消化が遅いほど、空腹感が起こりにくい。また脂質消化が進むと反応生成物自体が界面活性を示す。消化系で起こる脂質類変化の理解が進めば、エマルション構造や摂取方法を管理することで、肥満防止など体重制御につながるだろう。また生理作用応答が調節された、特異的で新規な食品構造の設計ができるであろう。なお、この報告は参考文献に記載する総説⁴⁻⁶⁾によるところが大きい。(以下の文中では、脂質とはトリグリセリド、リン脂質、ステロールなどを総称し、油脂とはトリグリセリドと他の脂質を少量含む動植物性油脂を意味する)

1. ヒトの消化器系

以下、ヒトの食品消化を概観すると、消化は図1に示す消化器系によって行われる。消化器系は、口腔、食道、胃、小腸(十二指腸、空腸、回腸)、大腸(上昇大腸、横行大腸、下降大腸、直腸)、肛門から構成される。周知のとおり、食品はそしゃく、ぜん動、収縮などによる機械

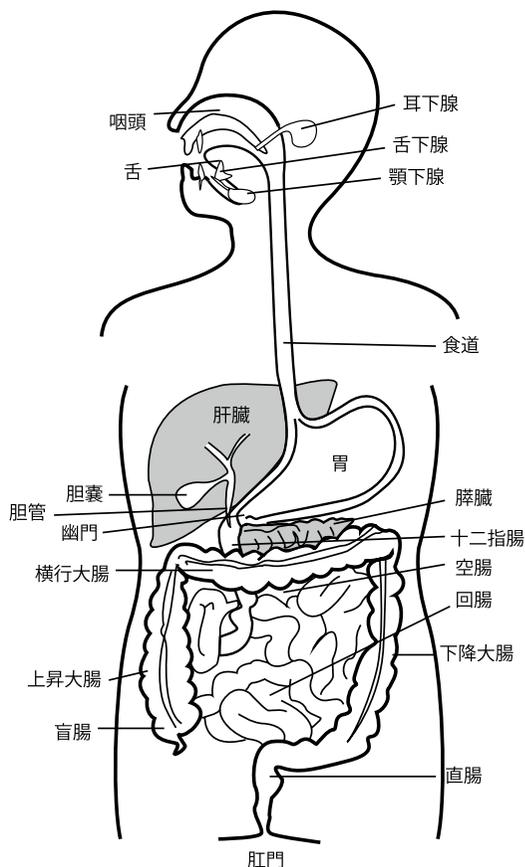


図1 ヒトの消化器系模式図

的破壊。消化液・酵素による化学的分解による消化を受ける。口腔では耳下腺、顎下腺、舌下腺から、種々の酵素、ムシン、塩類を含む唾液が食品と混合され、唾液中の酵素の作用が始まる。なおヒトの唾液リパーゼ作用は弱い。

食物は食道から胃に入り、胃液中の塩酸による低いpHの環境で、ペプシン、胃リパーゼなどの作用、ぜん動による攪はんを受ける。この間にエマルションは界面膜その他の構造変化、フロキュレーション(弱い凝集)、さらには油滴の合一などの破壊を起こすとみられる。しかし、*in vivo* 研究による結果は実験条件によって異なり、胃での*in vivo* 消化でのエマルション油滴の変化はよく分かっていない。

食物が胃から十二指腸に入ると、膵臓からの

各種の消化酵素，肝臓からの胆汁酸塩とリン脂質その他を含む胆汁が分泌され，食物は消化されて小型分子になり小腸壁で吸収される。しかし，人体は非常に複雑であり，年齢，性別，健康状態，食品形態などで消化吸収の現象は大きく異なる。

2. エマルションの形態と脂質消化

通常の O/W エマルション系は，油相が水相中に油滴として分散する状態で，粒径は 0.2 ~ 100 μm の範囲にある。油水間には界面活性物質による界面膜が形成されている。エマルションは熱力学的に不安定であり，種々の物理化学的要因によって，やがては破壊されて油相と水相に分離する。界面膜を形成する物質は，低分子の乳化剤，リン脂質，蛋白質（カゼイン分子，カゼインミセルとサブミセル，ホエー蛋白質，卵黄など）。しかし，食品中のエマルションは，牛乳などを除くと単純な O/W の分散系ではなく，脂質は食品基体中に分散して存在し，その形態は複雑な様相を呈する。これらを図 2 に模式化して示した。

2.1. 油脂消化の教科書的解説

摂取された油脂は，消化管中でトリグリセリドと他の食品成分との混合物で存在する。消化

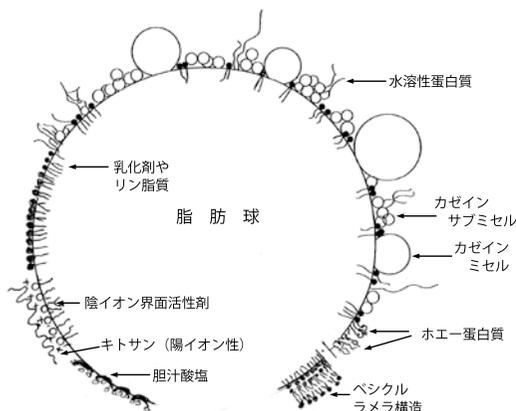


図 2 エマルション脂肪球への界面活性物質吸着

管内での脂質の挙動は十分に分かっていないが，歴史的には 1980 年の Friedman ら⁷⁾ による教科書的な解説があり，脂質消化は少なくとも 3 段階で進むとしている。

第 1 段階は，唾液が加わって咀嚼された食品中の油脂は，胃に入りその運動で細かい油滴になり，油水界面は増加して水溶性のリパーゼとの相互作用が可能になる。

第 2 段階では，胃液（成人 1 ~ 1.5 L/日）に含まれる胃リパーゼによって，トリグリセリドがエマルションの O/W 界面で加水分解される。胃液のリパーゼの至適 pH は 5.4，作用範囲は 3 ~ 7 である。中鎖脂肪酸トリグリセリド (MCT: C₈ ~ C₁₀) は，長鎖脂肪酸より分解が容易である。胃リパーゼの主要分解産物は，1, 2-ジグリセリドと 2, 3-ジグリセリドと脂肪酸であり，健康な成人ではトリグリセリドの 5 ~ 30% が分解される。部分加水分解された油脂の乳化物は，0.5 μm 以下の油滴になって十二指腸に入る。

十二指腸には肝臓で生成される胆汁と，膵臓からの膵液が分泌される。胆汁は胆汁酸とリン脂質などを含む。各種の消化酵素を含む膵液は弱塩基性で，脂質を分解するリパーゼ，コリパーゼ，ホスホリパーゼ A2，その他の脂質分解酵素を含む。胆汁（成人約 1.5 L/日）と膵液（成人 0.8 ~ 1.5 L/日）は同時に分泌され，両者の共同作用によって，エマルションは顕著な物理化学的变化を起こす。膵リパーゼは 2-モノグリセリドと脂肪酸を作る。膵リパーゼは胆汁酸塩とリン脂質の障害を避けるために，コリパーゼの存在を必要とする。他の脂質分解酵素，カルボキシエステルヒドロラーゼ（胆汁酸刺激リパーゼ）も，トリグリセリド分子を分解することができる。胃及び膵リパーゼの作用は，エマルションの油水界面の広さと物理化学的性質に影響され，油脂分解は油滴表面への酵素結合の程度に依存する。胆汁中のリン脂質は，ホス

フォリパーゼ A2 によって、リゾリン脂質と脂肪酸に分解される。

第3段階は、不溶性脂質分子の油滴からの脱着と、吸収可能な形態への分散である。消化された脂質は少なくとも2種の可溶化された微細な液滴、胆汁酸ミセルと、主にリン脂質で構成される単層ベシクルになる。これらの液滴は消化された脂質を小腸絨毛細胞の界面に放出し、脂質分子は小腸細胞膜での受動的拡散、または絨毛膜中の蛋白質による能動輸送によって吸収される。

2.2. 教科書的な脂質消化への疑問

以上の脂質消化機構には幾つかの疑問がある。小腸に入る時点での油滴径は $0.5\mu\text{m}$ 以下になるとされるが、これは初期の研究結果の引用である。現在の食品乳化技術でも、 $0.5\mu\text{m}$ 以下のエマルションの製造には、高圧のホモジナイザーが必要である。胃の筋肉の収縮による攪拌によって、このような微細エマルションができるとは考えにくい。最近の磁気共鳴画像 (MRI) では、胃の混合運動や胃壁の振動は強いものではなく、表面混合と破碎を起こす程度であるとされる。胃の環境では、ペプシンによる蛋白質の消化物、膜由来のリン脂質、複雑な多糖類が乳化にあずかるであろう。しかし、初期研究で認められた $0.5\mu\text{m}$ の油滴が胃中で形成されたものか、元来の食品由来であるかの識別は困難であったと推定される。

他方、乳化状態で摂食された食品は、胃の中で破壊され、MRI による研究では油相分離 (エマルションの破壊) が認められている。また、全てのトリグリセリドが吸収の前に、モノグリセリドと遊離脂肪酸になるとの説も検討を要する。脂質吸収前に腓リパーゼの 90% までが失活しているとされるが⁸⁾、この不足を胃リパーゼが補うことが示唆されている。

3. 消化管でのエマルションの物理化学的变化

製造されたエマルションの構造や、貯蔵中の変化はよく調べられているが、経口摂取後の変化はあまりよく知られていない。口腔内に入ったエマルションは、唾液 (成人 1 ~ 1.5 L/日) と混合され、温度は体温と同じになり、pH とイオン強度の変化に曝される。唾液中の酵素が作用し、歯や口腔内での諸運動によるせん断を受け、咽喉から食道を経て胃に運ばれる。この間にエマルションは酵素作用、粘膜蛋白質、塩類イオンの影響を受ける。唾液は pH が 6 ~ 7 で 1% の蛋白質と低分子量の塩類を含む。蛋白質は、酵素類、イムノグロブリン、抗菌性蛋白質、リゾチーム、血清アルブミン、プロリンに富む蛋白質、糖鎖の多いムシンである⁹⁾。エマルションは唾液成分とムシンによる凝集が進むとされる。

3.1. 胃での脂質消化

胃に入ったエマルションは、高イオン強度、酸性 pH、機械的せん断の作用を受け、酵素や塩分を含む消化液と混合される。胃の運動による混合はそれほど強いものではなく、エマルションの凝集体を再分散するには不十分とみられる¹⁰⁾。エマルションの界面に吸着した蛋白質は、等電点に近づくと電荷を失い、吸着蛋白質の形態は変化して油滴の安定性が低下する。カゼインやホエー系の蛋白質は等電点が 4.5 ~ 5.2 で、この付近では凝集が起こり、低 pH では凝集の回復が不完全になる可能性がある。そこで、エマルションの構造変化が進み、フロキュレーション、油滴の合一、界面膜の変化などが起こるとみられる。脂質消化は主に小腸で行われるが、その前に胃リパーゼによる消化作用がある。前述の通り、胃リパーゼはトリグリセリドの 1 位と 3 位 (sn-1, sn-3) に作用し、成人ではその 5 ~ 30% の脂肪酸を分離して 1,2- およ

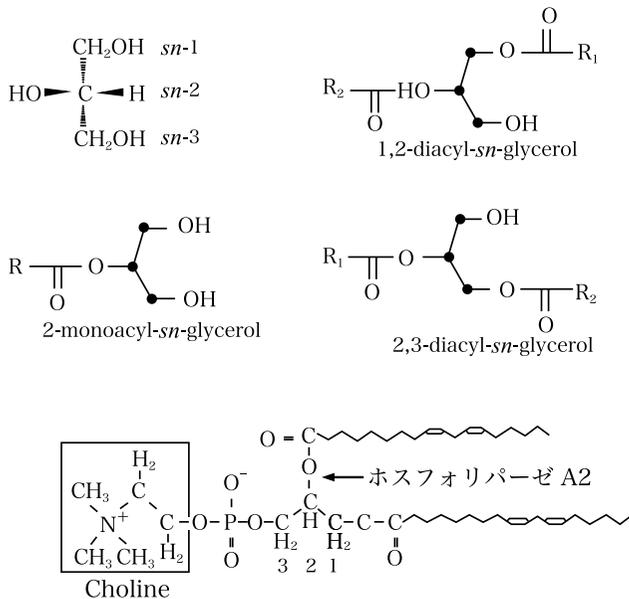


図3 グリセロール脂肪酸エステル、レシチンの構造

び2,3-ジグリセリドが生成する。

胃でのエマルション油滴径の変化はよく分かっていない。胃内には、分泌物、リン脂質、消化で生成した脂肪酸などの界面活性物質があり、胃の収縮活動による幽門洞／幽門通過時の噴射で、油脂が乳化され油滴が安定化するとみられる。このエマルションは、油滴径が1～50 μm で平均では15～30 μm になるとされ、油水界面が拡大することで、十二指腸での腓リパーゼによる脂肪分解が可能になる¹¹⁾。空腹時の胃液の表面張力はかなり低く、42～46 mN/mであり（純水の表面張力は72 mN/m、カゼインナトリウム水溶液は約50 mN/m、リン脂質約45 mN/m）、胃での界面活性物質の存在が示唆される¹²⁾。

3.2. 小腸での脂肪消化

小腸での混合は胃より弱く、その主要な作用は、粒子の微細化による物質移動の促進で酵素作用を助けることである。胃から小腸に食物が入っても胃リパーゼの作用が続き、腓リパーゼとそれに従属するコリパーゼと共に、油脂には

主に2種のリパーゼ作用が働く。腓リパーゼは油脂のsn-1とsn-3の脂肪酸を分解し、2-モノグリセリドができる。腓リパーゼ活性のpH範囲は4.5～7.5と広く、至適pHは6.5である。2-モノグリセリドはイソマー化するとされる。腓リパーゼは油滴界面の胆汁酸や界面活性剤によって阻害されるが、胃リパーゼは阻害を受けず作用は小腸で継続する。腓リパーゼの活性発現にはコリパーゼが必要で、両者の結合には遊離脂肪酸の存在を要する。

コリパーゼは酵素ではなく、分子量は約10 kDの蛋白質補因子で、親油・親水性の両親媒性がある。膵臓はこの補因子を前コリパーゼとして分泌し、トリプシンによる分解で、コリパーゼ

とエンテロスタチン（ペプチドホルモン）ができる。コリパーゼは腓リパーゼの活性化を2種の方法で行う。一つは、油滴界面への酵素吸着を助け、開いた界面に酵素を安定化させる。他は、コリパーゼが疎水性末端で油滴界面に吸着し、分子の上部で腓リパーゼのC末端と結合して酵素を油滴に結合させる¹³⁾。

胆汁酸塩は腸管の界面活性剤で、脂質消化と吸収に主要な役割を果たす。胆汁酸塩は平らな面状の構造をもち、ステロイド核は疎水性の面になり、ヒドロキシ基とイオン性頭部（タウリンまたはグリシン）が親水基になっている。亀にたとえると、甲羅が疎水面で頭と足が親水基といえよう。胆汁酸塩は疎水面を内側にして、炭俵のように脂肪酸などの疎水性物質を包み込み、水溶性のミセルを作ると考えられている。胆汁酸塩はヒドロキシ基の数と位置によって、界面活性が異なる。胆汁酸塩の油滴界面への吸着はその疎水性と比例し、タウロデオキシコール酸ナトリウムは界面活性が大きい。in vitroでは胆汁酸塩が多すぎれば、酵素の油滴

界面への吸着が制限される。しかしこの作用はコリパーゼの存在で克服され、腓リパーゼ/コリパーゼ複合体は胆汁酸塩の被覆界面に吸着する¹⁴⁾。

油滴に吸着した界面活性剤のポリソルベート 80 は、コリパーゼがあっても腓リパーゼを阻害する。しかし、臨界ミセル濃度 (cmc = 2 ~ 4 mM) 以上の胆汁酸塩は、ポリソルベートを脱着して置換するので、腓リパーゼ/コリパーゼの作用が可能になる¹⁵⁾。

脂質分解が進むと、脂肪酸と 2-モノグリセリドができ、また、ホスホリパーゼ A2 の作用で、リン脂質は界面活性の強い親水性のリゾリン脂質と脂肪酸になる。これらの脂質分解物の界面活性は大きい。胆汁酸塩とリン脂質類は、分解産物のモノグリセリドと脂肪酸を包んだ混合ミセルを作り、小腸表皮の微絨毛からそれらを吸収させ、この作用でリパーゼ反応が維持される¹⁶⁾。なお微絨毛の総面積は 500m² に達する (図 4)。膵臓からは腓リパーゼ、ホスホリパーゼ A2、コレステロールエステラーゼ以外に、多くの脂質類に作用する酵素の胆汁酸活性化リパーゼ、スフィンゴミエリナーゼなどが分泌される。これらの基質特異性が異なる脂質分解酵素類は小腸内で共同して作用する¹⁷⁾。

4. 小腸内の生理的・物理的環境

消化物の粘度と構造は、腸内混合への影響が大きい。十二指腸に食物がとどくと、胆嚢収縮が強まって胆汁が分泌され、また膵液による消化酵素が十二指腸に分泌される。十二指腸では重炭酸ナトリウムの分泌で胃の酸性が中和され、pH は 6 ~ 6.6 に高まり、等電点より高い pH で、蛋白質で安定化されたエマルション油滴の電荷が増加する。しかし油滴間の蛋白質に起因する静電反発作用は、電解質が存在するために緩やかである。イオン強度は 150 mM 程度と高く、Na⁺と Cl⁻が多く含まれ次いで K⁺と Ca⁺⁺を含む。食物が入ると浸透圧が増加し、Ca⁺⁺濃度が約 15 mM に高まると胆汁分泌が増加し、4 時間の消化で Ca⁺⁺は 3 ~ 4 mM に低下する。Ca⁺⁺は腓リパーゼの活性化に関わり、また不溶性の長鎖脂肪酸塩の生成に関連して、Ca⁺⁺は消化に重要な役割を果たす。

分泌された胆汁は、界面活性剤である胆汁酸塩とリン脂質 (レシチン:ホスファチジルコリン 98%) を含む。空腹時の小腸の胆汁酸塩濃度は低く、2 ~ 6 mM である。胆嚢の収縮で胆汁酸塩濃度は、十二指腸隣接部で 8 ~ 16 mM

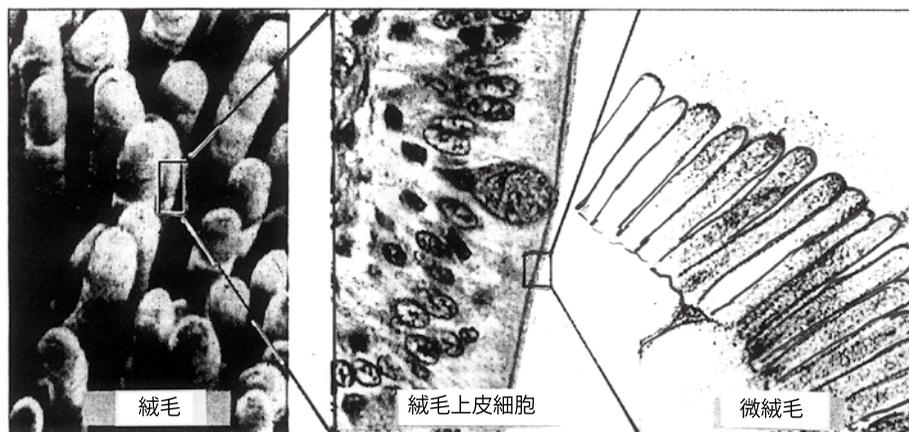


図 4 小腸での養分吸収組織 (絨毛, 絨毛上皮細胞, 微絨毛の構造)

に増加する。胆汁酸塩の界面活性は消化を助ける。胆汁酸塩の濃度は小腸中で徐々に減少し、回腸で再吸収される¹⁸⁾。レシチン分泌量は摂取油脂量に依存し一日当たり7~20 gとされ、小腸内濃度は胆汁分泌によって0.2 mMから3~6 mMになる。リン脂質はホスホリパーゼA2の作用を受ける。食事後の小腸におけるこの大量の胆汁酸塩とリン脂質の増加は、消化の界面活性作用のためである。胆汁酸塩とリゾリン脂質の混合ミセルには大きな可溶性容量があり、消化産物と脂溶性物質(ビタミン、コレステロール, ステロール)を可溶化する。

胃から十二指腸に入った食物に胆汁と膵液が混合され、蛋白質などエマルション油滴の吸着物質は、胆汁酸塩などによって部分的または完全に置換される。脂質分解反応の進行は、エマルション油滴を覆う吸着物質の界面活性、界面層の厚さ、および他の成分の存在に依存することが分かっている¹⁹⁾。

4.1. 小腸内で脂質加水分解物が示す界面活性

小腸では空腹時の腸液はpH 5.95~6.72で、表面張力は32mN/mと胃よりも低い¹²⁾。これは、胆汁酸塩、リン脂質(主にレシチン)、リゾリン脂質(主にリゾレシチン)、脂肪酸、2-モノグリセリドなど、界面活性のある成分の相乗作用によると考えられる。これら個別の界面活性剤成分については、体温でのおよその表面張力(mN/m)が、胆汁酸塩45、リン脂質45、リゾリン脂質35程度である。モノグリセリドと脂肪酸は単独では水に難溶であり、水溶液の表面張力は測定できない。

十二指腸以降の小腸内には、胆汁酸塩のほかに脂質の主要な消化産物として、2-モノグリセリド、脂肪酸、リゾリン脂質と、未反応のリン脂質を含む。*in vitro* 実験では、適量の胆汁酸塩とこれらの脂質が共存すると、混合物はミセルを形成して透明な可溶性溶液になり、強い界面活性を呈することが知られている²⁰⁾。こ

の場合、消化を受けた油脂の脂肪酸が不飽和であり、また炭素数10~14の脂肪酸が多いほど、溶液の界面活性が強まる。逆に脂肪酸が飽和のステアリン酸やパルミチン酸では、界面活性が低下する。例えば、リン脂質:リゾリン脂質:モノグリセリド:脂肪酸:タウロコール酸Naの重量比が、0.5/0.5/2/3/4であると(およその小腸内比率)、油脂の構成脂肪酸がリノール酸であれば、表面張力が28 mN/m、炭素数10のカプリン酸であれば25 mN/mになる。通常の工業用の界面活性剤では、これほどの表面張力低下能は得られない。またこれらのミセル溶液は、浸透濡れや表面濡れでも優れた界面活性を示す。

他方、ホスホリパーゼA2は細胞に偏在し、細胞膜脂質の代謝や構成に関わる。この酵素によるリン脂質の分解では、リゾリン脂質と脂肪酸の等モル混合物ができ、混合物の溶液は透明で強い界面活性を示す。特に脂肪酸が不飽和脂肪酸か、炭素数10~14の飽和脂肪酸の場合に界面活性は顕著である²⁰⁾。

5. エマルションの状態と脂質の加水分解

ヒトの消化系で、脂質加水分解に介在する主要リパーゼは、胃リパーゼ、膵リパーゼ/コリパーゼ、ホスホリパーゼA2、およびコレステロールエステラーゼである。体内の生理条件下では、酵素濃度は基質に比べて十分に存在する。脂質消化では、これらのリパーゼは油滴やベシクルの油水界面に結合し、吸着層とリパーゼの相互作用が脂質分解速度を支配する。

5.1. 油滴径及びコロイド安定性の脂肪消化への影響

エマルションの構造は消化に影響すると見られ、多くの*in vitro*, *in vivo* 実験と、臨床研究が行われた。*in vitro* 研究では、膵リパーゼの反応速度は平均粒径と逆相関し、界面の面積が

大きい小形油滴は大型油滴よりも早く分解される²¹⁾。しかし、エマルションの油滴径は酵素の油滴親和性とは関係がない。このことはヒトの *in vivo* 実験結果と一致し、油滴の粒度（界面の面積）が胃や十二指腸での消化挙動に影響する。

レシチンで安定化した平均粒径 $0.7\mu\text{m}$ のエマルションと、乳蛋白質で安定化した平均粒径 $10.1\mu\text{m}$ のエマルションの胃内消化を試験の結果、両エマルション共に粒径が増した。細かいエマルションの粒径分布は拡大し、平均粒径は 0.7 から $6\sim 8\mu\text{m}$ と約 10 倍になったが、粗エマルションは大型化しにくく、相対的に粒度分布範囲が減少して $20\sim 40\mu\text{m}$ の油滴が増えた。これは胃の幽門洞／幽門での噴射による均質化の影響によるとみられた。この場合、エマルションの安定性と胃の空化は関連し、レシチンを用いた細かいエマルションは、乳蛋白質による粗なものより空腹感までの時間が長かった。通常は、エマルションの構成が類似する場合は、油滴が微細で油滴面積の大きい方がリパーゼの吸着が多くなり、分解の程度が進む²¹⁾。

エマルション系が他の炭水化物、多糖類、食物繊維などを含む場合、消化管の中でのエマルション界面の構造や、リパーゼ親和性などの特性が変化するとみられる。それは、これらの食品成分と、界面構成物質や小腸への分泌物と間に相互作用が起こるためである。小腸内で多糖類は胆汁酸塩やリン脂質と結合し得るので、界面活性物質の量が減少し、また分解産物の混合ミセルによる輸送を遅らせるとみられる。多糖類はエマルション油滴に吸着し多重層を形成するので、リパーゼ／コリパーゼの吸着を阻害する。食物繊維のベクチン／キトサンで被覆したエマルションについて、*in vitro* 消化への影響を調べた結果、 pH に依存してベクチンは枯渇凝集を、キトサンは架橋凝集を促進した²²⁾。この種の凝集は消化管でのリパーゼ活性を阻害

する。また、ジガラクトシルグリセリドで安定化した油滴は、胆汁酸塩や腓リパーゼ／コリパーゼの吸着を阻害した²³⁾。この種の現象は、胃腸の消化管中で脂質分解酵素を阻害し、バイオアベラビリティ低下に有効であろう。

食品中のトリグリセリドの物理的性質は、油脂の給源と温度で大きく異なり、これも消化性に影響する。液状油エマルションは消化されやすく、トリパルミチンなど固体脂は消化されにくい。この原因は液状油界面の方が、リパーゼを吸着しやすいためと考えられている²⁴⁾。

in vitro 研究では、胃の酸性で、蛋白質で安定化したエマルションは等電点を通過し、電荷を失って強いフロキュレーションを起こす。さらに油滴表面での酵素による蛋白質分解で、油滴の合一が起こりやすくなる。耐酸性の非イオン界面活性剤 Tween80 と、耐酸性のない Span80 を用いて平均粒径約 $3.6\mu\text{m}$ のエマルションを作り、*in vivo* で胃中の経過を調べた結果がある²⁵⁾。MRI による胃の観察で、Tween80 エマルションは酸に安定で変化を起こさず、耐酸性のない Span80 エマルションは二相に分離した。不安定したエマルションの初期消化は早かった。しかし、形態変化の大差にもかかわらず、両者からのエネルギー供給は類似し、血しょう中のトリグリセリド組成も極めて類似した。これは多分、胃の幽門洞／幽門通過で再乳化が起こり、十二指腸に入ったためと推定された。

エマルションの油滴径と安定性が、十二指腸と回腸での脂質消化に及ぼす影響を、鼻腔からの管挿入で臨床的に調べた結果がある。粒形が $30\sim 170\mu\text{m}$ のエマルションと、 $1\mu\text{m}$ 以下のエマルション摂取で、微細エマルションは大形と比べて、血中のトリグリセリドとコレシストキニン (CCK) が増加した。CCK はペプチドホルモンで、胆嚢収縮と膵臓酵素の分泌を促進する。挿管法は、性質、構造の異なる特定のエマルションを胃腸管のどこにでも注入でき

る。胃の中では構造と表面積が大きく異なるエマルションであっても、小腸での油脂吸収速度はあまり変わらない。この理由は、胃の幽門洞／幽門でのホモジナイズで、十二指腸に入るエマルション構造が同様になるためと考えられた⁵⁾。しかし、表面構造と粒度が大きく異なるエマルションでは油脂の吸収速度に差異が起こる。

5.2. 脂質消化への界面構造の影響

胃での脂質分解はエマルションの油滴径と負に相関する。トリグリセリドやリン脂質などの脂質分解が進行すると、油滴界面の組成と物理的性質が変化する。多くの界面活性物質ができ、それらは分解に影響し、また消化中にできる種々の界面活性物質は界面への吸着で競合する。胃の油脂分解で発生した遊離脂肪酸は、濃度が高まると分解を阻害し、この現象は *in vitro* と *in vivo* で同様である。外部から遊離脂肪酸を加えても胃の脂質分解を阻害しないことは、胃で生成した脂肪酸が反応を阻害する事を示唆する。走査電子顕微鏡と免疫蛍光顕微鏡の観察で、胃での油脂分解によって、脂肪酸に富む粒子がエマルション表面にできることが分かった。胃リパーゼはこの粒子中に存在し、阻害はリパーゼが閉じこめられて、作用できなくなることを示唆した²⁶⁾。

同様に膵リパーゼの油脂分解産物である、2-モノグリセリドも脂肪の消化に影響する²⁷⁾。2-モノグリセリドの界面活性は遊離脂肪酸、ジグリセリドより高く、高濃度の2-モノグリセリドは界面で優位を占め、多くの界面活性物質を置換する。しかし、*in vivo* では胆汁酸塩とレシチンのミセルによって可溶化され、脂肪酸と2-モノグリセリドは連続的に除かれて反応が進行する。

膵液による脂質消化を制御する鍵の一つは、胆汁酸塩の界面活性剤作用である。原子間力顕微鏡と界面レオロジー測定の結果、胆汁酸

塩は油滴界面に吸着した界面活性物質を、一種の造山運動で引きはがして置換することが分かった²⁸⁾。しかし、油滴界面に強い膜ができると胆汁酸塩の置換が阻害される。レシチン／キトサン複合体で安定化したエマルションでは、油脂分解の速度と程度が低下し、この界面複合体はリパーゼと胆汁酸塩の接近を阻止すると考えられた²⁹⁾。

これらの結果は、前述のジガラクトリピドや多糖類の界面吸着の例を含めて、胆汁酸塩の置換を避ける界面構造を選べば、膵リパーゼ作用が制御可能になることを示唆する。

5.3. 脂質消化へのトリグリセリド構造の影響

トリグリセリドの物理化学的構造、鎖長、不飽和度、固体脂含量、結晶形などは消化に関連し、長鎖飽和脂肪酸が多く体温より高融点の油脂は、液状油より消化への抵抗性が大きい¹⁶⁾。遊離脂肪酸の鎖長は顕著にホルモン応答機構に影響し、それによって飽食感とエネルギー摂取に影響する³⁰⁾。ミスチン酸 (C₁₄) 以上の脂肪酸は CCK 分泌を促進し、エネルギー摂取を阻害して、空腹感を遅延させるが、ラウリン酸 (C₁₂) 以下の脂肪酸はそれをしない。ラウリン酸はオレイン酸より空腹感を起こしやすい。

トリグリセリド組成もエマルションの脂質消化に影響する。*in vitro* で、体温以下の融点の油脂は消化が早く、体温以上は遅い。しかし飽和脂肪のトリパルミチンエマルションでも消化は起こった³¹⁾。

まとめ

栄養過剰摂取による肥満は、アメリカをはじめ多くの国で深刻な問題になっているが、油脂のうまみ増強への嗜好は強く摂取を控えることは難しい。油脂は各種の必須脂肪酸源であり、脂溶性微量栄養素の運び手でもある。しかし、エネルギー価の高い油脂摂取の低減は世界的に重要な課題である。

過去 10 年間に、食品および油脂の消化に関する理解が大きく進歩した。食品の構造が体内の諸条件で受ける影響や、エマルション系の構造が、脂質消化に与える影響も分かってきた。脂質の消化吸収と代謝を、エマルション構造によってある程度制御可能なことがわかり、また消化管中での油脂、エマルション形態変化の理解が深まった。そこで、如何にして満腹感を増し、エネルギー摂取を減らして肥満問題を回避するか、また逆に栄養の効果を高めるかの情報も整ってきた。この種の知識の高まりは、脂肪の摂取を減らしたり、または促進するための機

能性食品の開発を可能にするであろう。

しかし脂質の消化吸収における、胆汁酸塩やレシチンの役割、油脂分解物が最終的に吸収される場合のミセルの状況など、探究されるべき疑問は多い。油脂の消化吸収では、モノグリセリドと脂肪酸、リン脂質やステロールなどの、小腸上皮細胞の微絨毛への輸送と吸収、細胞を通じての血管系への輸送は十分に研究されていない。

現在の脂質消理解の目的は、油脂摂取の利点を損なうことなく、健康問題を調整することである。

・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 参考文献 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

- 1) F. Kong and R.P. Singh, A Human Gastric Simulator to Study Food Digestion in Human Stomach, *J. of Food Science*, **75** (9) E627-635 (2010)
- 2) N.H. Mermelstein, Simulating Digestion, *Food Technology*, **64** (12) 71-76 (2010)
- 3) 藤田 哲：油脂と健康, 「食用油脂」改訂版, p.172-186, 幸書房 (2011)
- 4) H. Singh *et al.*, Structuring food emulsion in the gastrointestinal tract to modify lipid digestion, *Progress in Lipid Research*, **48**, 92-100 (2009)
- 5) M. Golding and T.J. Wooster, The influence of emulsion structure and stability on lipid digestion, *Current Opinion in Colloid & Interface Sci.*, **15**, 90-101 (2010)
- 6) D.J. McClements, *et al.*, Controlling lipid bioavailability through physicochemical and structural approaches, *Crit. Rev. Food Science Nutrition*, **49**, 48-67 (2009)
- 7) H. Friedman and B. Nylund, Intestinal fat digestion, and transport - a Review, *Am. J Clin Nutr*, **33**, 1108-1139 (1980)
- 8) L. Marciani *et al.*, Enhancement of intragastric acid stability of a fat emulsion meal delays gastric emptying and increases cholecystokinin release and gallbladder contraction, *Am J physiol Gastrointest Liver Physiol*, **292**, 1607-1613 (2007)
- 9) F. Carriere *et al.*, Dose the pancreas really produce much more lipase than required for fat digestion?, *J Pancreas*, **6**, 206-215 (2005)
- 10) S.P. Humphrey and R.T. Williamson, A review of saliva: normal composition, flow, and function, *J Prosthet Dent*, **85**, 162-169 (2001)
- 11) W. Schwizer *et al.*, Magnetic resonance imaging for the assesment of gastrointestinal function, *Scand J Gastroenterol*, **41**, 1245-1260 (2006)
- 12) M. Armand *et al.*, Physicochemical characteristics of emulsions during fat digestion in human stomach and duodenum, *Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol*, **34**, G172-183 (1996)
- 13) L. Kalantzi *et al.*, Characterization of the human upper gastrointestinal contents under conditions simulating bioavailability/bioequivalence study, *Pharm Res*, **23**, 165-176 (2006)
- 14) M.E. Lowe, Structure and function of pancreatic lipase and colipase, *Ann Rev Nutr*, **17**, 141-158 (1997)
- 15) M.E. Lowe, The triglyceride lipase of the pancreas, *J Lipid Res*, **43**, 2007-2016 (2002)
- 16) Y. Gsrgouri *et al.*, Studies on the detergent inhibition of pancreatic lipase activity, *J Lipid Res*, **24**, 1336-1342 (1983)

- 17) H.L. Mu et al., The digestion of dietary triacylglycerols, *Prog lipid Res*, **43**, 105-133 (2004)
- 18) R-D Duan, Enzymatic aspects of fat digestion in the gastrointestinal tract, in A.B. Christophe and S. De Vriese ed. "Fat digestion and absorption", p. 25-46, AOCS Press (2000)
- 19) L. Kalantzi *et al.*, Characterization of the human upper gastrointestinal contents under conditions simulating bioavailability/ bioequivalence studies, *Pham Res*, **23**, 165-176 (2006)
- 20) S. Mun and D.J. McClements, Influence of droplet characteristics on the formation of O/W emulsions stabilized by surfactant-chitosan layers, *Food Res Int*, **40**, 770-781 (2007)
- 21) S. Fujita and K. Suzuki, Surface activity of lipid products hydrolyzed with lipase and phospholipase A2, *J Am Oil Chem Soc*, **67**, 1008-1014 (1990)
- 22) M. Armand *et al.*, Effects of droplet size, triacylglycerol composition, and calcium on the hydrolysis of complex emulsions by pancreatic lipase - an in vitro study, *J Nutr Biochem*, **7**, 333-341 (1992)
- 23) M. Beysseriat and D.J. McClements, Preliminary study of the influence of dietary fiber on the properties of O/W emulsions passing through an *in vitro* human digestion model, *Food Hydrocolloids*, **20**, 800-809 (2006)
- 24) B.S. Chu *et al.*, Modulating pancreatic lipase activity with galactolipids: Effects of emulsion interfacial composition, *Langmuir*, **25**, 9352-9360 (2009)
- 25) L. Bonnaire and D.J. McClements *et al.*, Influence of lipid physical state on the in vitro digestibility of emulsified lipids, *J Agric Food Chem*, **56**, 3791-3797 (2008)
- 26) L. Marciani *et al.*, Enhancement of intragastric of fat emulsion meal delays gastric emptying and increases cholecystokinin release and gallbladder contraction, *Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol*, **292**, G1607-1613 (2007)
- 27) Y. Pafumi *et al.*, Mechanisms of inhibition of triacylglycerol hydrolysis human gastric lipase, *J Biol Chem*, **277**, 2870-2879 (2002)
- 28) P. Reis *et al.*, Competition between lipases and monoglycerides at interfaces, *Langmuir*, **24**, 7400-7407 (2008)
- 29) J. Maldonado-Valderrama *et al.*, Interfacial characterization of beta-lactoglobulin networks: displacement by bile salts, *Langmuir*, **24**, 6759-6767 (2008)
- 30) S. Mun and D.J. McClements, Influence of interfacial composition on in vitro digestibility of emulsified lipids: potential mechanism for chitosan's ability to inhibit fat digestion, *Food Biophys* **1**, 21-29 (2006)
- 31) K.L. Feltrin *et al.*, Effects of intraduodenal fatty acids on appetite, antropyloroduodenal motility, and plasma CCK and glp-1 in humans vary with their chain length, *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, **287**: R524-533 (2004)
- 32) L. Bonnaire, D.J. McClements *et al.*, Influence of lipid physical state on the in vitro digestibility of emulsified lipids, *J Agric Food Chem*, **56**, 3791-3797 (2008)

中国版保健機能食品「保健食品」について

卓 興鋼^{*1} 大森 豊緑^{*2} 矢野 友啓^{*3} 渡邊 昌^{*4}
賈 夢^{*5} 馬 徳福^{*6} 張 玉梅^{*7} 王 培玉^{*8}

^{*1} TAKU Kyoko (独立行政法人国立健康・栄養研究所 国際産学連携センター 生物統計研究室)

^{*2} OMORI Toyonori (名古屋市立大学 大学院医学研究科 医療健康政策科学分野)

^{*3} YANO Tomohiro (東洋大学 生命科学部食環境科学科/研究所工業技術研究所)

^{*4} WATANABE Shaw (社団法人 生命科学振興会/独立行政法人国立健康・栄養研究所 栄養教育研究部)

^{*5} Jia Meng (Department of Nutrition and Food Hygiene, School of Public Health, Peking University)

^{*6} Ma De-Fu (Department of Social Medicine and Health Education, School of Public Health, Peking University)

^{*7} ZHANG Yu-Mei (Department of Nutrition and Food Hygiene, School of Public Health, Peking University)

^{*8} WANG Pei-Yu (Department of Social Medicine and Health Education, School of Public Health, Peking University)

Key Words：保健機能食品・特定保健用食品（トクホ）・栄養機能食品・健康食品・保健食品

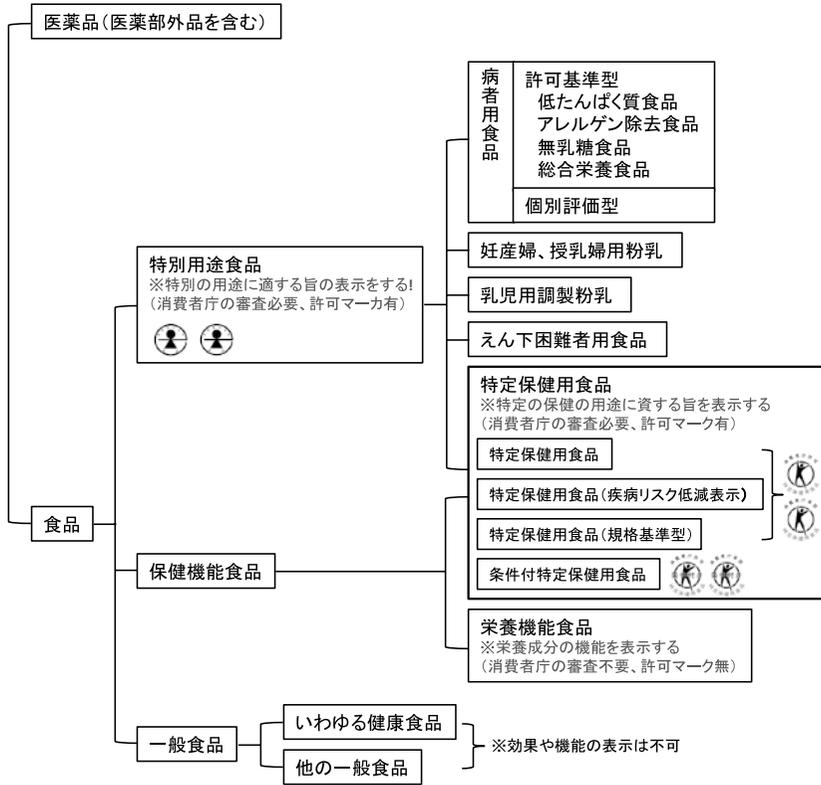
はじめに

近年、食生活の多様化や疾病構造の変化、高齢化の進展、国民の健康意識の高揚等に伴い、「健康食品」に対するニーズが高まり、市場規模も拡大している。一方、不適切な成分や過剰摂取等により健康被害を起こす事例も生じていることから、消費者である国民が健康食品を適切に選択し、利用できるための仕組みづくりが求められている。

日本の現行の「保健機能食品」制度は、2001年の厚生労働省による食品保健制度の改正に伴い新たに位置づけられたもので、国の定めた規格や基準を満たす食品については保健機能を表示することができるものである¹⁾。保健機能食品には、科学的根拠を提出し表示の許可を得た「特定保健用食品」(通称、特保(トクホ))²⁾と、特定の栄養素を含み基準を満たしていれば表示が可能となる「栄養機能食品」³⁾がある(図1)。なお、厚生労働省の「健康食品

に係る制度のあり方に関する検討会」において出された「健康食品」に係る今後の制度のあり方について(提言)⁴⁾では、健康食品から保健機能食品を除いたものを、「いわゆる健康食品」と表現している⁴⁾。さらに、2005年には、先の「提言」を受けて、「条件付き特定保健用食品」、「特定保健用食品(規格基準型)」及び「特定保健用食品(疾病リスク低減表示)」の導入、栄養機能食品制度の見直し、「錠剤・カプセル状等食品の原材料の安全性に関する自主点検ガイドライン」の策定など⁵⁾、「健康食品」に係る制度の見直しが行われた。

特定保健用食品には、「血糖値が気になる方の食品」、「血圧が気になり始めた方の食品」などのように、特定の保健効果が期待できることを表示できる。ただし、製造や販売者が自由に表示して良いわけではなく、個別の製品に対して、有効性については消費者庁(2009年9月厚生労働省より所掌移管)の消費者委員会(新



(「健康食品」 = 保健機能食品 + いわゆる健康食品)

図1 食品と医薬品の大きな分類

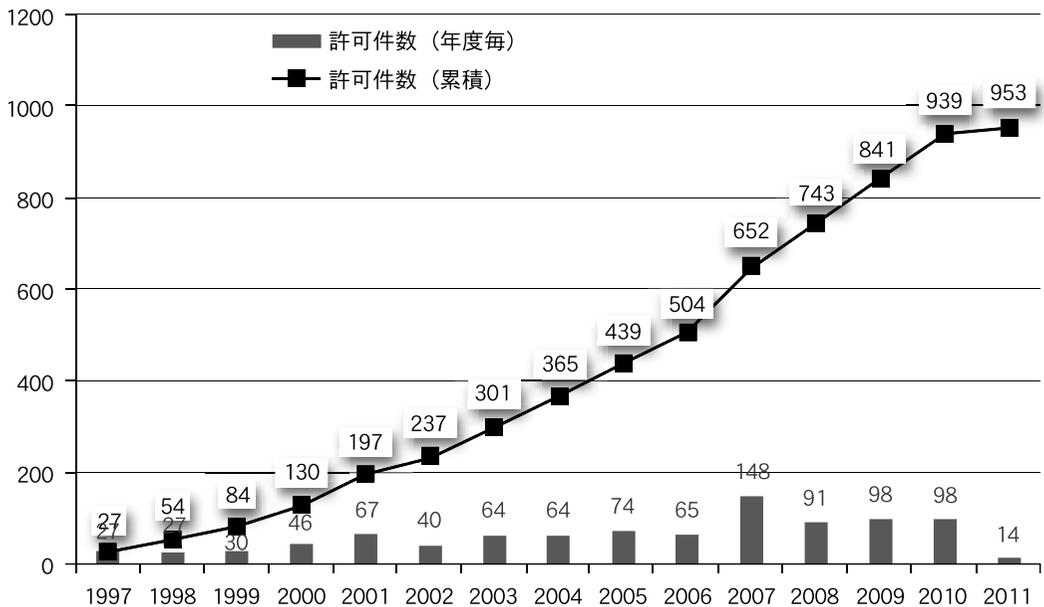


図2 日本の特定保健用食品(トクホ)の許可件数(2011年4月1日更新)

開発食品調査部会、新開発食品評価第一・第二調査会)⁶⁾が、安全性については食品安全委員会(新開発食品専門調査会)⁷⁾が審査し、許可を受けたものだけが表示できることになっている。2011年4月1日現在、955品目の特定保健用食品が厚生労働省及び消費者庁に許可(953品目、図2)・承認(2品目)されている⁸⁾。特定保健用食品は、保健の用途によって大きく10種類程度に分類できるが、「お腹の調子を整える、通便改善等」の製品が最も多い。また、関与成分については、これまで様々なものが認められている。特定保健用食品は国民の生活にかなり浸透しており、財団法人日本健康・栄養食品協会の調査によると、2009年度の市場規模は推定5,494億円に達する⁹⁾。

一方、栄養機能食品は、栄養素の補給・補完の目的に利用する食品であり、栄養素として許可されている成分は、ビタミンKを除く12種類のビタミン(水溶性ビタミンのB₁, B₂, B₆, B₁₂, ビタミンC, パントテン酸, 葉酸, ナイアシン, ビオチン, ならびに脂溶性ビタミンのA, E, D)と5種類のミネラル(鉄, カルシウム, 銅, 亜鉛, マグネシウム)である³⁾。栄養機能食品に関しては、機能表示が認められている栄養成分について、その上限値と下限値の基準値を満たしていれば、国への届け出や許可の必要なく、製造・販売することができる。すなわち、栄養機能食品は特定保健用食品のように国による個別の審査は行われていないので、表示されている栄養成分としては評価されていても、該当する製品全体としては評価されていない。そのため製品全体としてみたときの有効性や安全性は不明なことがある。以前、「体によいと言われている〇〇エキス」などと商品の前面に記載し、栄養機能食品として販売している事例があった。その製品には確かに、ビタミンあるいはミネラルは国が定めた基準を満たしていたが、消費者が〇〇エキスは国が認めた補給・補

完成分と勘違いしてしまう状況であった。現在では、「栄養機能食品(ビタミンやミネラル名)」と具体的に表示し、消費者が何の栄養成分を補給・補完する商品かを理解しやすく表示しなければならないことになっている¹⁰⁾。

中国においても最近、健康食品に対する国民の関心が急速に高まってきたことから、国家食品薬品监督管理局(SFDA, State Food and Drug Administration; URL: <http://www.sfd.gov.cn/>)は、2005年4月30日に日本の「保健機能食品」に相当する中国「保健食品」の登録申請に関する新法規《保健食品登録管理弁法(試行)》(局令第19号)¹¹⁾を公布し、2005年7月1日より施行した。本稿では「保健食品」の新法規について、重要なポイントを抜粋して解説する。また、著者らが今まで日本のトクホの審査申請の一部に関わった経験を踏まえ、日本の保健機能食品との相違点についても言及する。

1. 中国の保健食品における問題点

2004年12月24日に中国SFDAから「保健食品登録を展開する関連状況調査に関する通知(食薬監注函[2004]152号)」¹²⁾が公表された。この通知によると、中国の保健食品の許認可制度は1996年から始まり、中国の衛生部(日本の厚生労働省に相当する保健行政機関)および国家食品薬品监督管理局(米国のFDAに相当する行政機関)は、それまでに6000品目以上の保健食品を許認可していた¹³⁾。許認可する権限が2003年に衛生部より国家食品薬品监督管理局に移ったため、当時、中国の市場にある保健食品は「衛食健字(衛生部が許可したものに付ける許可番号)」と「国食健字(国家食品薬品监督管理局が許可したものに付ける許可番号)」との二種類が混在していた。

制度改正前にも、保健食品の効能効果の受容範囲(健康表示基準)や審査評価技術規範(審

査基準)等が何度か改訂されたものの、それ以前に許認可された製品の再審査は行われなかったため、当時の市場には効能効果や原料などが現行の規定に適合しない製品が存在していた。また、許可品の更新制度もなかったことから、許認可された保健食品数が増える一方、許認可製品の一部しか市場に流通していない状態が続いた。

さらに、当時中国の市場に流通していた保健食品の名称は非常に紛らわしく、中には医薬品と同じ名称を用いて有効性を誇大に宣伝しているものもあり、市場や消費者の混乱を招いていた。

2. 新法規《保健食品登録管理弁法（試行）》について

上記の問題点を改善する目的で、新法規では、保健食品の許可証書の有効期限は5年と規定された。また、国家食品薬品监督管理局は2005年後半から保健食品の整理及び許可証書の切換えが行われた。これにより、新法規に適合しない製品や市場に流通していない製品が多数整理され、あるいは取り消されたと思われる。また、保健食品の名称の審査を強化するため、保健食品の名称には、治療効果を明示あるいは暗示したり、保健効果を誇大に表示したりする文字や医薬品と同じ名称の使用は“不可”であることが明確に規定された。

新法規に関する重要なポイントについては、筆頭著者が5年程前に翻訳した日本語PDFファイルを独立行政法人国立健康・栄養研究所のホームページ¹⁴⁾に掲載しているので、参照していただきたい。今回の解説では、新しい内容を盛り込んで、新法規について紹介する。新法規は第一章 総則（第一条～第六条）、第二章 申請と審査許可（第一節 一般規定：第七条～第十八条；第二節 製品登録申請と審査許

可：第十九条～第三十三条；第三節 変更申請と審査許可：第三十四条～第四十八条；第四節 技術譲渡製品の登録申請と審査許可：第四十九条～第五十八条）、第三章 原料と補料（第五十九条～第六十六条）、第四章 表示と説明書（第六十七条～第七十一条）、第五章 試験と検査（第七十二条～第七十八条）、第六章 再登録（第七十九条～第八十九条）、第七章 覆審（第九十条～第九十二条）、第八章 法律責任（第九十三条～第一百零一条）、第九章 附則（第一百零二条～第一百零五条）から構成されている。これらの内容については別添資料1のとおりであるが、新法規の重要なポイントを下記に概説する。

保健食品の定義及び種類について

新法規でいう保健食品は第二条で定義されている。中国の保健食品が登録申請できる既定の保健効能効果は表1¹⁵⁾に示した。表1の最初の27項目の保健機能表示が許可された保健食品で日本の特定保健用食品（からだの生理学的機能などに影響を与える保健機能成分を含む食品で、血圧、血中のコレステロールなどを正常に保つことを助けたり、おなかの調子を整えたりするのに役立つ、などの特定の保健の用途に資する旨を表示するものをいう。）²⁾に相当するが、許可された保健機能の項目数は特定保健用食品の許可表示に比べ多い。また、第28項目「栄養素補充剤」は日本の栄養機能食品（栄養成分（ビタミン・ミネラル）の補給のために利用される食品で、栄養成分の機能を表示するものをいう。）³⁾に相当するが、日本では、個別に審査する必要がないのに対して、中国では他の保健機能と同様、個別に審査評価する必要がある。

輸入保健食品について

第十九条で規定している輸入保健食品は日本の承認特定保健用食品に相当する。登録申請に

表1 保健機能及び相応の適応者、不適応者表¹⁵⁾

保健機能	適応者	不適応者
免疫力の増強	免疫力の低下者	
抗酸化	中高齢者	少年児童
記憶の補助的改善	記憶改善の必要者	
体力疲労の緩和	疲れやすい者	少年児童
減肥	単純性肥満者	妊娠期及び授乳期女性
成長発育の改善	成長発育の不良な少年児童	
酸欠耐力の上昇	酸欠環境にいる者	
放射線障害の補助的保護機能	放射線の被曝	
血中脂質の補助的降下	血中脂質高めの者	少年児童
血糖の補助的降下	血糖高めの者	少年児童
睡眠の改善	睡眠状況の不良者	少年児童
栄養性貧血の改善	栄養性貧血者	
化学性肝障害の補助的保護機能	化学性肝障害の危険がある者	
乳汁分泌の促進	授乳期女性	
眼精疲労の緩和	眼の疲れやすい者	
鉛排泄の促進	鉛汚染環境の接触者	
咽（のど）の調整	咽の不調者	
血圧の補助的降下	血圧高めの者	少年児童
骨密度の増加	中高齢者	
腸内菌叢の調節	腸管機能が乱れている者	
消化の促進	消化不良者	
便通	便秘者	
胃粘膜への補助的保護機能	軽度胃粘膜傷害者	
痤瘡（ニキビ）の解消	痤瘡のある者	児童
肝斑（シミ）の解消	肝斑のある者	児童
皮膚水分の改善	皮膚乾燥者	
皮膚油分の改善	皮膚油分欠乏者	
栄養素補充剤	補充する必要がある者	

あたり、既に中国の国外にて生産・販売が1年以上の実績がある食品でなければならないことに注意する必要がある。

保健機能効果の範囲について

第二十条によると、登録申請する予定の保健機能効果が国家食品薬品监督管理局の公布した範囲内（表1）にない場合は、申請者は独自に動物実験或いは人体試食試験を行い、研究報告を指定の検査機関に提出する必要がある。製品

の研究開発報告には研究開発の立案・計画、効能効果の選定過程及び期待できる効能効果などの内容を含む必要がある。研究報告には機能効果の名称、申請理由、有効性試験及び評価方法、結果などの内容を含む必要がある。動物実験或いは人体試食試験ができない場合、効能効果の研究報告内にその理由を説明し、関連資料を提出する必要がある。また、第二十一条によると、申請されている機能が国家食品薬品监督管理局の公表した範囲内にはない場合は、その機能学検

査と評価方法及びその試験結果をも検証し、試験報告を出さなくてはならない。

製品の品質管理について

第二十六条によると、保健食品登録申請用のサンプル品は、「保健食品良好生産規範（GMP）」に適合した工場で生産しなければならない、その加工過程は「保健食品良好生産規範」に適合しなければならない。また、第五十条によると、技術譲渡を受ける海外の保健食品生産企業は、現地相応の生産品質管理規範に適合しなくてはならない。これに対し、日本の保健機能食品のGMP基準の遵守については、行政側から明確に規制されていない。

保健食品許可の有効期限について

第三十三条によると、保健食品の許可証書の有効期限を5年とされている。また、第八十条によると、保健食品許可証書の有効期限を延長する必要がある場合、申請者は有効期限の3ヶ月前に再登録を申請しなくてはならない。現段階では、日本の保健機能食品には有効期限が規定されていないが、今後有効期限を10年間とする法改正が議論されている。

保健食品の原料と補料について

第六十条によると、保健食品に使用する原料と補料は国家基準と衛生要求に適合しなければならない。国家基準がない場合は、業界基準或いは独自に制定した品質基準を提示し、ならびに当該原料と補料に関連する資料を提供しなくてはならない。また、第六十一条によると、保健食品に使用する原料と補料は人体に安全で、無害でなければならない。制限量のある物質について、その用量は国が定めた基準を超えてはならない。さらに、第六十二条によると、国家食品薬品监督管理局と国家関連部門が使用不可と規定した保健食

品の原料と補料、使用禁止の物質を保健食品の原料と補料にしてはならない。

第六十三条によると、国家食品薬品监督管理局の公布した保健食品に使用可能な物、衛生部の公表或いは許可した食用及び普通食品を生産するために使用する原料と補料は保健食品の原料と補料として使用できる。2005年5月27日に中国SFDAが公表した「《保健食品登録管理弁法（試行）》実施に関する問題の通知」¹⁶⁾より、保健食品原料と補料の使用と審査許可は暫定的に衛生部の公表した「衛生部の保健食品原料管理更なる規範化に関する通知（衛法監發[2002]51号）」¹⁷⁾に準拠することになっている。中国の保健食品に使用可否の素材リストを図3に抜粋した。

第六十四条によると、登録を申請する保健食品に使用する原料と補料は本法第六十三条の規定範囲にない場合、関連規定に従い当該原料と補料に相応の安全性毒理学評価試験報告及び関連の食用安全資料を提供しなくてはならない。2005年5月20日に中国SFDAが通告し、2005年7月1日に施行する「保健食品申告と審査評価補充規定（試行）」¹⁸⁾の第八条では、保健食品中に使用する補料は、一般的に「食品添加剤使用衛生基準」或いは衛生部の公告した食品添加剤新品種リストにあるものでなければならない。そうでない場合、当該補料の食用安全性及び国内外使用状況の関連資料を提出しなくてはならない。

保健食品の名称について

第六十九条によると、保健食品の名称は下記の要件に適合しなくてはならない：

- (一) 国家の関連法律、法規、規章、標準、規範的規定に適合している；
- (二) 製品の正確な属性を反映し、簡明で、分かりやすく、中国語表現習慣に適合している；

添付資料1 食品と薬品との両方である素材リスト(筆画順序による)

丁香,八角茴香,刀豆,小茴香,小蓟,山药,山楂,马齿苋,乌梢蛇,乌梅,木瓜,火麻仁,代代花,玉竹,甘草,白芷,白果,白扁豆,白扁豆花,龙眼肉(桂圆),决明子,百合,肉豆蔻,肉桂,余甘子,佛手,杏仁(甜,苦),沙棘,牡蛎,芡实,花椒,赤小豆,阿胶,鸡内金,麦芽,昆布,枣(大枣,酸枣,黑枣),罗汉果,郁李仁,金银花,青果,鱼腥草,姜(生姜,干姜),枳椇子,枸杞子,栀子,砂仁,胖大海,茯苓,香橼,香薷,桃仁,桑叶,桑椹,桔红,桔梗,益智仁,荷叶,莱菔子,莲子,高良姜,淡竹叶,淡豆豉,菊花,菊苣,黄芥子,黄精,紫苏,紫苏籽,葛根,黑芝麻,黑胡椒,槐米,槐花,蒲公英,蜂蜜,榧子,酸枣仁,鲜白茅根,鲜芦根,蝮蛇,橘皮,薄荷,薏苡仁,薤白,覆盆子,藿香。

添付資料2 保健食品に使用可能な素材リスト(筆画順序による)

人参,人参叶,人参果,三七,土茯苓,大蓟,女贞子,山茱萸,川牛膝,川贝母,川芎,马鹿胎,马鹿茸,马鹿骨,丹参,五加皮,五味子,升麻,天门冬,天麻,太子参,巴戟天,木香,木贼,牛蒡子,牛蒡根,车前子,车前草,北沙参,平贝母,玄参,生地黄,生何首乌,白及,白术,白芍,白豆蔻,石决明,石斛(需提供可使用证明),地骨皮,当归,竹茹,红花,红景天,西洋参,吴茱萸,怀牛膝,杜仲,杜仲叶,沙苑子,牡丹皮,芦荟,苍术,补骨脂,诃子,赤芍,远志,麦门冬,龟甲,佩兰,侧柏叶,制大黄,制何首乌,刺五加,刺玫果,泽兰,泽泻,玫瑰花,玫瑰茄,知母,罗布麻,苦丁茶,金荞麦,金樱子,青皮,厚朴,厚朴花,姜黄,枳壳,枳实,柏子仁,珍珠,绞股蓝,胡芦巴,茜草,萆薢,韭菜子,首乌藤,香附,骨碎补,党参,桑白皮,桑枝,浙贝母,益母草,积雪草,淫羊藿,菟丝子,野菊花,银杏叶,黄芪,湖北贝母,番泻叶,蛤蚧,越橘,槐实,蒲黄,蒺藜,蜂胶,酸角,墨旱莲,熟地黄,熟地黄,鳖甲。

添付資料3 保健食品に使用禁止素材リスト(筆画順序による)

八角莲,八里麻,千金子,土青木香,山萇若,川乌,广防己,马桑叶,马钱子,六角莲,天仙子,巴豆,水银,长春花,甘遂,生天南星,生半夏,生白附子,生狼毒,白降丹,石蒜,关木通,农吉利,夹竹桃,朱砂,米壳(罂粟壳),红升丹,红豆杉,红茴香,红粉,羊角拗,羊躑躅,丽江山慈姑,京大戟,昆明山海棠,河豚,闹羊花,青娘虫,鱼藤,洋地黄,洋金花,牵牛子,砒石(白砒,红砒,砒霜),草乌,香加皮(杠柳皮),骆驼蓬,鬼臼,莽草,铁棒槌,铃兰,雪上一枝蒿,黄花夹竹桃,斑蝥,硫磺,雄黄,雷公藤,颠茄,藜芦,蟾酥。

図3 中国の保健食品に使用可否の素材リスト

(三) 通用名は許可済みの登録薬品名称を使用
してはならない。

上記の規定により、違法な、分かりにくい、
医薬品と紛らわしい保健食品の名称が規制され
る見通しである。

保健食品の許可の取り消しについて

第九十四条によると、下記ケースの一つを有
する場合、SFDAは相応の保健食品許可番号を
抹消しなければならない：

- (一) 保健食品許可証書の所持者が取消しを申
請した場合；
- (二) 製品に安全性の問題が確認された場合；
- (三) 法律法規に違反し、その保健食品の許可

証書を取り消さなければならない場合；

(四) その他、法に従い取り消さなければなら
ない場合。

現在、日本においては、特定保健用食品の
許可の取り消しに関する規定はないが、製品
に安全性の問題が確認された場合、許可の取
り消しができるような法改正が検討されてい
るようである。

3. 《栄養素補充剤申告と審査評価規定(試
行)》等8つ関連規定について

新法規《保健食品登録管理弁法(試行)》に
従い、栄養素補充剤などの申告と審査評価を

規範化，統一するため，2005年5月20日にSFDAは《栄養素補充剤の申告と審査評定規定（試行）》¹⁹⁾，《真菌類保健食品の申告と審査評価規定（試行）》²⁰⁾，《益生菌類保健食品の申告と審査評価規定（試行）》²¹⁾，《核酸類保健食品の申告と審査評価規定（試行）》²²⁾，《野生動物植物類保健食品の申告と評価規定（試行）》²³⁾，《アミノ酸螯合物等保健食品の申告と審査評価規定（試行）》²⁴⁾，《大孔吸附樹脂分離純化工法を応用し生産した保健食品の申報と審査評価規定（試行）》²⁵⁾，《保健食品申告と審査評価補充規定（試行）》¹⁸⁾という8つ保健食品の申告と審査許可に関連する規程を制定した。上記の規程は2005年7月1日より正式に実施すると通告した。

4. 「保健食品検査と評価技術規範」

現在，中国版保健機能食品「保健食品」の申請手続きは，中華人民共和国衛生部が2003年3月2日に公表した「保健食品検査と評価技術規範（2003版）」²⁶⁾に従って行うこととなっている（図4）。また，保健食品の技術審査評価業務を規範化し，保健食品の行政許可の公開性，公平性，公正性を保つため，《保健食品登録管理弁法（試行）》等関連規定に従い，2011年5月18日中国SFDAは「保健食品技術審査評価要点の発行に関する通知」²⁷⁾を公表し，公表日より施行とした。

日本のトクホを審査申請する際には，中国



図4 保健食品検査と評価技術規範（2003版）

の衛生部が公表した「保健食品検査と評価技術規範」のような詳細なマニュアルは今のところは見当たらない。消費者庁のホームページには、申請に関する2つの関連通知が掲載されている²⁸⁾。「保健機能食品制度の見直しに伴う特定保健用食品の審査等取扱い及び指導要領の改正について（平成17年2月1日付け食安発第0201002号）」²⁹⁾と「特定保健用食品の審査申請における添付資料作成上の留意事項について（平成17年2月1日付け食安新発第0201002号）」³⁰⁾である。例えば、血中脂質の保健用途に関する試験の留意事項については、下記のような記載しかない。

(1) コレステロール関係

原則として、総コレステロール値については200～240mg/dL、LDLコレステロール値については120～160mg/dLの被験者を主要な対象とした12週以上の試験を行うこと。

(2) 中性脂肪関係

原則として、中性脂肪が正常高値域からやや高め（120～200mg/dL）の被験者を主要な対象とすること。空腹時の中性脂肪に対する低下効果を求める場合には、12週以上の試験を行うこと。

また、結果判定に関する基準も記載されておらず、消費者委員会（新開発食品調査部会、新開発食品評価第一・第二調査会）において委員の合意により評価されるのが実情である。そのため、申請品目によって基準が一致しなかったり、委員によって意見が分かれたりするなどの理由により、申請者への説明に難しい場合も見られる。体脂肪関係以外の効果評価基準は暗黙的に2ポイントずつ有意差があり、かつ臨床的意義のある変化でなければならない。すなわち、3ヶ月の長期有効性試験において、摂取1ヶ月後、2ヶ月後、3ヶ月後（終了後）といった3つの時点のうち、2つの時点で摂取前に比べ有意なポジティブな変化が認められ、しかも群間

比較でもその2つの時点で有意差がなければならない。さらに、その作用機序が医学的、栄養学的に解釈できる必要がある。そのため、日本のトクホの許可申請が世界中一番厳しいと言われる、許可品件数は僅かでないか伸びないことは理解できる。

上述した日本のトクホ審査事情に対して、中国の衛生部は審査申請を行うための詳細な「保健食品検査と評価技術規範（2003版）」を公表していることは評価できる。27項目の機能のうち、目次「保健食品機能学評価手順と検査方法規範」の第二部分「機能学評価検査方法」にある「二、血中脂質の補助的降下機能検査方法」の詳細な記述を例にして資料2のとおり訳してみた。日本の評価基準に比べ、それほど厳しくない。また、保健食品の行政許可の公開性、公平性、公正性はより高く、保健食品の許可も取れやすいように思われる。中国の保健食品審査関係者は、日本のトクホ既許可品の中国における保健食品への展開にあたり、中国国内で最小限の動物実験と人体試食試験等を行い、関連資料を提出すれば、保健食品の許可は難しくないと言う。

5. 中国の保健食品の許可件数

5.1 中国の国産保健食品の許可件数

中国SFDAの関連データベース（<http://www.sfda.gov.cn/>）を検索した結果に基づき、中国の国産保健食品の許可件数（2011年6月8日現在）を許可年度毎と累積と2つの系列で図5に示した。現在まで、衛生部と国家食品薬品监督管理局が許可した国産保健食品は総計10,721件であった。但し、国家食品薬品监督管理局のデータベースに収録されている保健食品の許可番号に「衛食健字」と「国食健字」のものが混在している。「衛食健字」のものは衛生部が許可した保健食品で、2005年7月1日より施行され

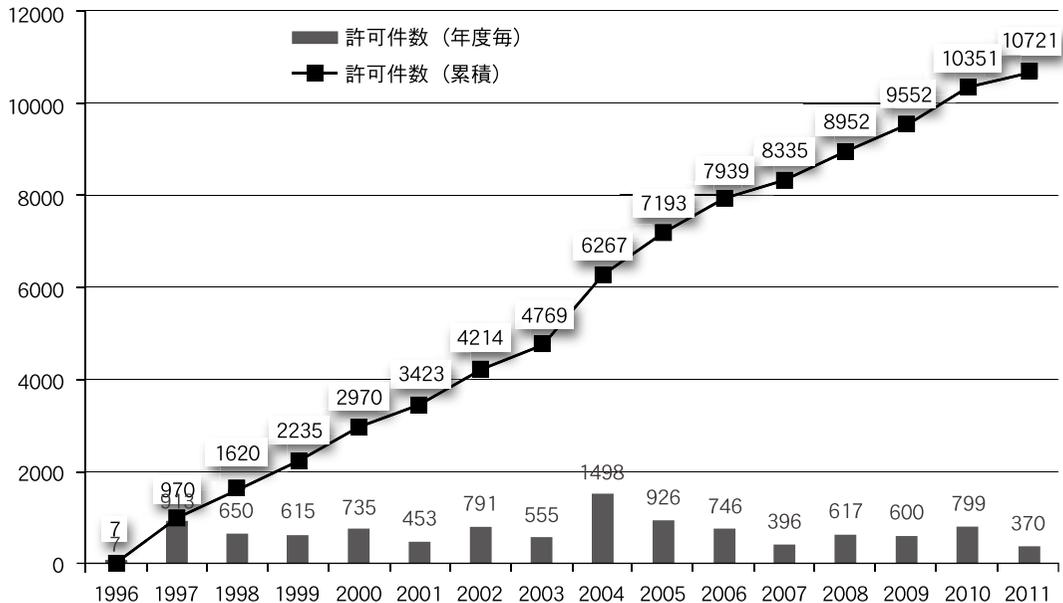


図5 中国の国産保健食品の許可件数（2011年6月8日現在）

- ① データベースより提供された2003年12月12日以後中国国家食品薬品监督管理局が許可した保健食品の基本情報に基づき作成した。
- ② 衛生部が許可し許可番号に「衛食健字」が付く保健食品は計4692件で、国家食品薬品监督管理局が許可し許可番号に「国食健字G」が付く保健食品は計6029件であった。
- ③ 2002年までの許可件数は許可番号が全て「衛食健字」のものであった。
- ④ 2003年の許可件数のうち、478件は「衛食健字」で、77件は「国食健字G」のものであった。
- ⑤ 2004年以後の許可件数は全て「国食健字G」のものであった。

た新法規《保健食品登録管理弁法（試行）》により「国食健字」への切り替えが予定されていたが、その実行状況は未だデータベースに反映されていないようである。また、新法規では、保健食品の有効期間は5年間と規定されていたが、データベースには失効日や有効期限の情報が不足しているため、どのくらいの国産保健食品の許可証書が取り消され、あるいは許可番号が抹消されたかは不明である。さらに、現在市場に実際に流通している国産保健食品はどのくらいあるかについて、このデータベースでは十分に把握できないため、さらに詳しく調査する必要がある。

また、保健食品の機能別許可件数（2011年6月8日現在）を表2に示した。国家食品薬品監

督管理局データベースに記載されている10,721件保健食品のうち、約半分（5,632件）の保健食品機能項目に情報が登録されていないため、全ては機能別の分類ができなかった。27項目の機能別でみると、「免疫力の増強」機能の保健食品が一番多かった（1,504件）。次いで「体力疲労の緩和（615件）」、「便通（351件）」、「睡眠の改善（309件）」、「骨密度の増加（252件）」、「肝斑（シミ）の解消」、「減肥」、「血中脂質の補助的降下」、「血糖の補助的降下」、「化学性肝障害の補助的保護機能」、「栄養性貧血の改善」、「咽（のど）の調整」、「抗酸化」、「酸欠耐容力の上昇」、「腸内菌叢の調節」、「記憶の補助的改善」、「放射能線障害の補助的保護機能」、「眼精疲労の緩和」、「消化の促進」、「皮膚水分の改善」、「血圧

表2 保健食品の機能別許可件数（2011年6月8日現在）*

保健機能	国産	輸入	国産&輸入
免疫力の増強	1504	38	1542
抗酸化	116	2	118
記憶の補助的改善	74	0	74
体力疲労の緩和	615	17	632
減肥	228	6	234
成長発育の改善	18	0	18
酸欠耐力の上昇	82	2	84
放射線障害の補助的保護機能	63	0	63
血中脂質の補助的降下	225	8	233
血糖の補助的降下	187	10	197
睡眠の改善	309	20	329
栄養性貧血の改善	133	3	136
化学性肝障害の補助的保護機能	162	7	169
乳汁分泌の促進	7	0	7
眼精疲労の緩和	61	3	64
鉛排泄の促進	38	0	38
咽（のど）の調整	129	8	137
血圧の補助的降下	45	0	45
骨密度の増加	252	16	268
腸内菌叢の調節	75	2	77
消化の促進	56	1	57
便通	351	15	366
胃粘膜の補助的保護機能	29	0	29
痤瘡（ニキビ）の解消	35	1	36
肝斑（シミ）の解消	237	9	246
皮膚水分の改善	46	4	50
皮膚油分の改善	0	0	0
栄養素補充剤	12	2	14
小計	5089	174	5263
不明（中国 SFDA データベース未掲載）	5632	472	6104
合計	10721	646	11367

の補助的降下」,「鉛排泄の促進」,「痤瘡（ニキビ）の解消」,「胃粘膜の補助的保護機能」,「成長発育の改善」,「栄養素補充剤」,「乳汁分泌の促進」,「皮膚油分の改善（0件）」である。

国家食品薬品监督管理局のデータベースに収載されている保健食品には日本の栄養機能食品に相当する「栄養素補充剤」も含んでいるが、日本の許可トクホ件数 953 件（2011 年 4 月 1

日現在、図 2）⁸⁾ よりは、中国の国産保健食品が遥かに多い。

5.2 中国の輸入保健食品の許可件数

中国の輸入保健食品の許可件数（2011 年 6 月 8 日現在）を許可年度毎と累積と 2 つの系列で図 6 に示した。現在まで、衛生署と国家食品薬品监督管理局が許可した輸入保健食品（日本の承認トクホに相当するもの）は総計 646 件で

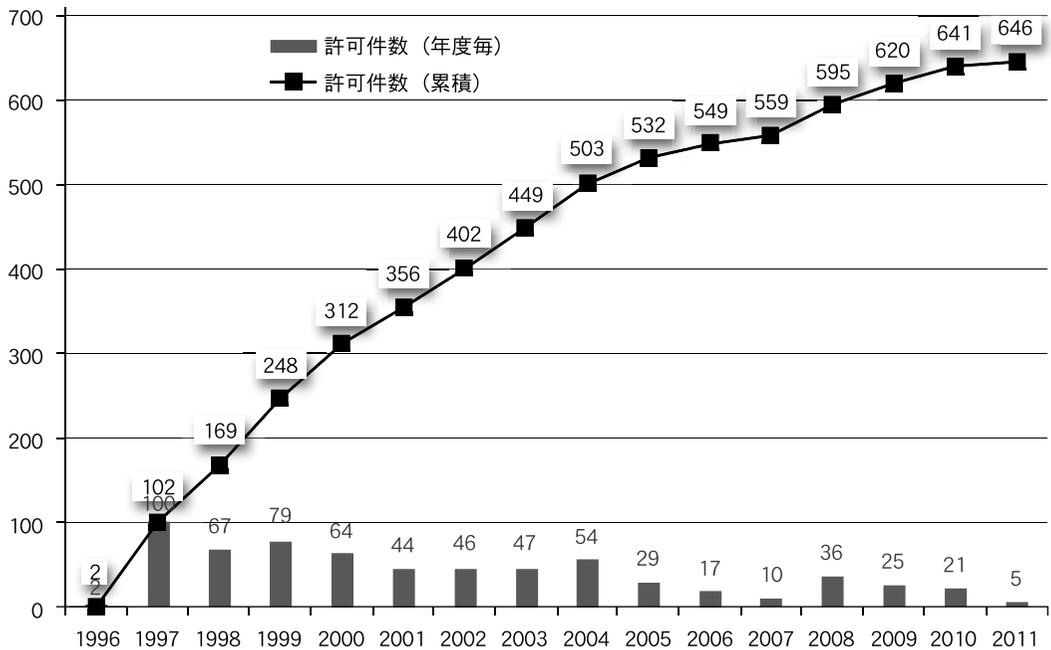


図6 中国の輸入保健食品の許可件数（2011年6月8日現在）

- ① データベースより提供された2003年12月12日以後中国国家食品薬品监督管理局が許可した保健食品の基本情報に基づき作成した。
- ② 衛生部が許可し許可番号に「衛」が付く保健食品は計445件、国家食品薬品监督管理局が許可し許可番号に「国食健字」が付く保健食品は計201件であった。
- ③ 2002年までの許可品全ては許可番号に「衛」が付く保健食品であった。
- ④ 2003年の許可品のうち、43件は「衛」で、4件は「国食健字J」のものであった。
- ⑤ 2004年以後の許可品全ては「国食健字」のものであった。
- ⑥ 技術譲渡製品があるため、646件許可品のうち、21件（2005年＝2件、2006年＝2件、2008年＝17件）の許可番号に「国食健字G」が付いていた。

あった。但し、国家食品薬品监督管理局のデータベースに収載されている保健食品の許可番号に「衛」と「国食健字」のものが混在している。「衛」のものは衛生部が許可した保健食品で、2005年7月1日より施行された新法規《保健食品登録管理弁法（試行）》により「国食健字」への切り替えが予定されていたが、その実行状況はデータベースに反映されていないようである。また、国産保健食品と同様、新法規では、保健食品の有効期間を5年間と規定されていたが、データベースには失効日や有効期限の情報が不足しているため、どのくらいの輸入保健食品の許可証書が取り消され、あるいは許可

番号が抹消されたかは不明である。さらに、現在市場に実際に流通している輸入保健食品はどのくらいあるかについて、このデータベースでは十分に把握できないため、さらに詳しく調査する必要がある。

また、保健食品の機能別許可件数（2011年6月8日現在）は表2に示した。国家食品薬品监督管理局データベースに収載されている646件保健食品のうち、約四分之三（472件）の保健食品機能項目に情報が登録されていないため、全ては機能別の分類ができなかった。27項目の機能別でみると、「免疫力の増強」機能の保健食品が一番多かった（38件）。次いで「睡眠の改

善 (20 件)], 「体力疲労の緩和 (17 件)], 「骨密度の増加 (16 件)], 「便通 (15 件)], 「血糖の補助的降下], 「肝斑 (シミ) の解消], 「血中脂質の補助的降下], 「咽 (のど) の調整], 「化学性肝障害の補助的保護機能], 「減肥], 「皮膚水分の改善], 「栄養性貧血の改善], 「眼精疲労の緩和], 「抗酸化], 「酸欠耐容力の上昇], 「腸内菌叢の調節], 「栄養素補充剤], 「消化の促進], 「痤瘡 (ニキビ) の解消], 「皮膚油分の改善 (0 件)], 「記憶の補助的改善 (0 件)], 「放射線障害の補助的保護機能 (0 件)], 「血圧の補助的降下 (0 件)], 「鉛排泄の促進 (0 件)], 「胃粘膜の補助的保護機能 (0 件)], 「成長発育の改善 (0 件)], 「乳汁分泌の促進 (0 件)」である。

国家食品薬品监督管理局のデータベースに記載されている保健食品には日本の栄養機能食品に相当する「栄養素補充剤」も含んでいるが、日本の承認トクホ件数 2 件 (2011 年 4 月 1 日現在)⁸⁾ よりは、中国の輸入保健食品が遥かに多い。

6. 中国の保健食品市場と今後の発展

20 世紀 90 年代末、中国保健食品の市場売上高は 200 億～300 億元 (1 元≒12 円で換算すると約 2,400 億～3,600 億円) であり、2000 年は 500 億元 (同 6,000 億円) に増えた。2010 年で市場規模が 1,000 億元 (同 12,000 億円) になると言われている³¹⁾。中には栄養素補充剤の台頭が遅いものの、著しい発展を遂げ、売上高は大きく上昇したと報告されている。中国国内で GMP (適正製造規範) 認証を獲得した企業は 3,000 社余りがあり、従業員は 500 万人に上り、毎年 10%～15% が伸びているという。許可された保健食品のうち、600～700 品目は市場に流通しているようで、実際に売上高に寄与しているものは約 100 品目に過ぎないという。中国国家统计局が 2009 年に公表した全国保健

食品売上ランキングによると、「脳白金」という保健食品は 9 年連続売上高トップの座を維持し、メディア等に多く取り上げられ、非常に注目されたようである。

中国の市場に人気のある保健食品は、主に美容関係、カルシウム補充、ビタミン補充、便通、ダイエット、睡眠改善、のどの調整、免疫力の増強等に関連しているという。これらの保健食品は通常の食品と明らかに異なり、食品形態で生産されている保健食品 (例えば、酒類) はごく僅かな割合を占めている。保健食品の原料は基本的に 4 種類 (ハーブ、薬用と食用と両用品種、ハーブ+薬用と食用と両用品種、その他) に分類できる。

現在、人気のある保健食品の機能成分のうち、下記のもが大きく注目されている。

- ①抗酸化剤：初期では抗酸化ビタミンとミネラルが良く使用されたが、近年天然植物より抽出された活性成分、例えば、リコペン (lycopene) やルテイン (lutein) が大きく注目され、急速に発展した。
- ②ハーブ (漢方薬)：ハーブは昔から中国伝統医学 (中医) の重要な構成成分であり、近年欧米各国での発展が速く、米国のダイエタリー・サプリメントの主要原料となった。一部のハーブは特別な機能があり、その作用機序は現在不明のものもあるが、通常医薬が解決しにくい健康問題を解消することも期待されるため、保健食品において広く注目されている。
- ③プロバイオティクス (probiotics)、プレバイオティクス (prebiotics)：現在、欧米と日本各国はこの種類の製品開発を重視し、お菓子等の食品に入れている。中国ではこの種類の食品が少ないが、今後注目が集まる可能性が高いと考えられる。

また、別の報告によると、2009 年中国保健食品売上高は 60 億米ドル (1 ア米ドル≒80 円

で換算すると約 4,800 億円)で、米国の売上高 750 億米ドル (同 60,000 億円) や日本の売上高 320 億米ドル (同 26,000 億円), ヨーロッパの売上高 600 億米ドル (同 48,000 億円) よりはるかに少なかった³²⁾。但し、中国人口が 14 億もあり、半健康人が 80% を占め約 11.2 億人となり、保健食品の需要量が非常に大きいと言われている。中国において、食生活の欧米化や不摂生の生活習慣と仕事習慣等により、多くの人が半健康人となった。また、中国では、昔から「医食同源」や「薬食同源」の思想があり、食べて治すことや食品による疾病予防・健康増進に馴染みやすく、自らの健康に保健食品を利用することが多いと思われる。中国国内外において産学官連携による保健食品の研究開発も進み、近い将来は保健食品産業が迅速に発展することが期待できる。

7. 国際的健康食品の動向

日本の行政機関は積極的に問題のある健康食品を摘発・公表している。また、厚生労働省は健康食品の安全性確保を推進するため、錠剤・カプセル状食品の事業者等に対し、製造工程管理を通じた一層の品質の確保を図ろうとする GMP (適正製造規範) 及び原材料の安全性を確保するための自主点検ガイドラインを提示している⁵⁾。GMP とは、Good Manufacturing Practice の略で、原料の入庫から製造、出荷にいたる全ての過程において、製品が「安全」に作られ、「一定の品質」が保たれるように定められた規則とシステムのことである。医薬品については、かなり以前から GMP が製薬メーカーに義務付けられている。また、化粧品や食品添加物でも業界の自主的な取り組みが始まっている。

中国の保健食品の製造は GMP 認証を受けている工場で作らなければならないと国家食品薬

品监督管理局が規定している。また、米国において FDA によるダイエタリー・サプリメントの GMP 基準が 2008 年 6 月 25 日の官報に記載され、8 月 24 日より発効となったようである。米国の GMP は海外から輸入されるサプリメント等の健康食品に対しても適用されるため、日本からの健康食品の輸出にも大きな影響を及ぼすと思われる。

一方、日本国内では、現在、健康食品の GMP 基準の遵守は行政側から明確に規制されていないが、最近、民間団体である財団法人日本健康・栄養食品協会 (JHNFA) と日本健康食品規格協会 (JIHFS) がそれぞれ独自に GMP の認可制度を実施している。2010 年 11 月 10 日現在、計 72 製造所が JHNFA より「健康補助食品 GMP 認定工場」の認証を受け、2011 年 6 月 2 日現在、合計 80 製品に「日健栄協 GMP 認定工場製品」マークの表示が認められている³³⁾。また、JIHFS が「健康食品 GMP」, 「原材料 GMP」, 「輸入健康食品 GMP (GMPI)」という 3 種類の GMP を認定している³⁴⁾。2011 年 4 月 1 日現在、23 社の企業が JIHFS より認証を受けたが、そのうち 1 社が工場閉鎖による認証取下げとなった³⁵⁾。2011 年 4 月 8 日現在、302 品目の製品に対して「GMP マーク使用許可製品」の使用が許可されたが、そのうち 248 品目は使用停止となったため、実質 54 品目の製品に「GMP マーク使用許可製品」の使用が許可されている³⁶⁾。

ところで、米国 FDA によるダイエタリー・サプリメントの GMP 基準と日本の民間団体が認証している GMP の内容と中国の GMP 基準は異なっているところがある。また、日本国内の 2 つ民間団体 JHNFA と JIHFS の GMP 認証制度は同一ではなく、消費者に混乱を招くおそれがある。今後、GMP 制度の統一や国による義務化などが検討されると思われる。

おわりに

消費者は健康食品という言葉から、摂取すれば健康になれるという印象を持っている。市場に出回っている様々な健康食品の中には、健康効果について全く科学的根拠（エビデンス）のない製品、安全性が懸念される製品も多い。消費者は日常の食生活の中で、健康の維持・増進に安全で、効果の確かな製品の利用を望んでいるが、どのような健康食品を摂取すればよいか迷っていることがしばしばあると思われる。そのため、製品を選択する際に公正かつ科学的に確かなエビデンスが求められているのである。健康の維持・増進、疾病の予防・治療を図るためには、生活習慣病やメタボリックシンドローム等に関連する各種健康・栄養指標の生物統計学的な総合評価が不可欠である。独立行政法人

国立健康・栄養研究所国際産学連携センター生物統計研究室では、以下のような産学官連携による共同研究・事業の展開を見据えた基礎的・応用的研究を行っている。

1) システムティックレビューまたはメタアナリシスによる各種健康・栄養指標の総合評価

2) 特定保健用食品(特保)や中国の「保健食品」等の人における有効性・安全性評価

3) 信頼性の高いエビデンスを確立するための臨床試験やコホート研究等の企画立案, 実施, 統計的解析

今後、産学官連携による共同研究の国際的ネットワークを広げ、多くの方々にご協力いただくことにより、共に発展し、国民の健康維持・増進、疾病の予防・治療に貢献できることを期待している。

資料 1

《保健食品登録管理弁法（試行）》（抜粋）

第一章 総則

第二条 本法でいう保健食品とは、特定の保健機能を有する、あるいはビタミン、ミネラルの補充を目的とする食品であることと規定している。すなわち、特定の対象者に適し、生体調整機能を有し、疾病治療を目的としない、かつ人体にいかなる急性、亜急性、慢性の健康障害を与えない食品である。

第三条 中国の国内で、国産及び輸入の保健食品の登録申請において、本法を適用する。

第四条 保健食品登録とは、国家食品薬品监督管理局が申請者の申請により、法で定められた内容に則り、登録申請食品の安全性、有効性、品質の再現性、表示及び説明書の内容などを系統的に評価・審査した上で、登録の可否を決定する審査許可過程である。申請には製品の新規登録申請、変更申請、技術譲渡製品の登録申請を含む。

第五条 国家食品薬品监督管理局は全国の保健食品の登録及び管理を主管し、責任を負って保健食品の審査許可を行うこととする。省、自治区、直轄市（食品）薬品监督管理局部門は、国家食品薬

品監督管理局の委託を受け、国産保健食品の登録申請資料の受理及び形式審査を行い、登録申請食品の試験とサンプル品調製現場を確認し、サンプル品検査を実行する責務を負うこと、また国家食品薬品监督管理局の指定した検査機関は、登録申請の保健食品の安全性・毒性試験、効能試験（動物実験又はヒト試験を含む）、有効成分あるいは標識成分の検査測定、衛生試験、安定性試験などを行い、サンプル品の検査及び再確認検査などの具体的な業務を担当する責務を負うこととする。

2.2 第二章 申請と審査許可

第一節 一般規定

第七条 保健食品の登録申請者は保健食品登録申請を提出し、相応の法律責任を負い、かつ当該申請の許可を得てから保健食品許可証書を有する者である。国内申請者は中国国内において合法的に登録されている国民、法人その他の組織でなければならない。また、国外申請者は国外の合法的な保健食品生産メーカー或いは取扱者でなければならない。国外申請者は輸入保健食品の登録申請を行う際、自社の中国国内の駐在事務所を経由するか、或いは中国国内の代理機関に委託して申請する必要がある。

第二節 製品登録申請と審査許可

第十九条 製品の登録申請には国産保健食品の登録申請と輸入保健食品の登録申請を含む。国産保健食品の登録申請は、申請者が中国国内で生産・販売する保健食品の登録申請を指す。輸入保健食品の登録申請は、既に中国の国外にて生産・販売が1年以上の実績がある保健食品を中国の国内市場において販売するための登録申請を指す。

第二十条 申請者は保健食品の登録申請をする前に、関連の研究を行う必要がある。研究終了後、申請者は当該製品のサンプル品及び試験関連の資料を国家食品薬品监督管理局の指定した検査機関の関連試験と検査測定に提出しなければならない。登録申請する予定の保健効能効果が国家食品薬品监督管理局の公布した範囲内であれば、申請者は製品の研究報告を指定の検査機関に提出すればよい。登録申請する予定の保健機能が国家食品薬品监督管理局の公布した範囲内でない場合は、申請者は独自に動物実験或いは人体試食試験を行い、研究報告を指定の検査機関に提出する必要がある。製品の研究開発報告には研究開発の立案・計画、効能効果の選定過程及び期待できる効能効果などの内容を含む必要がある。研究報告には機能効果の名称、申請理由、有効性試験及び評価方法、結果などの内容を含む必要がある。動物実験或いは人体試食試験ができない場合、効能効果の研究報告内にその理由を説明し、関連資料を提出する必要がある。

第二十一条 検査機関が申請者の提供したサンプル品と関連資料を受け取った後に、国家食品薬品监督管理局が公表した保健食品検査と評価技術規範、及びその他関連部門が公表または企業が提供した検査方法に従い、サンプル品の安全性毒理学試験、機能学試験、機能成分或いは標識成分の測定、衛生学試験、安定性試験等を実施しなければならない。申請されている機能が国家食品薬品监督管理局の公表した範囲内でない場合は、その機能学検査と評価方法及びその試験結果を検証し、試験報告を出さなければならない。

第二十二條 検査機関が試験報告を出した後でなければ、申請者は保健食品の登録を申請できない。

第二十六條 保健食品登録申請用のサンプル品は、「保健食品良好生産規範（GMP）」に適合した工場で生産しなければならない、その加工過程は「保健食品良好生産規範」に適合しなければならない。

第三十三條 保健食品の許可証書の有効期限は5年とする。国産保健食品許可番号は「国食健字G + 4桁年代表記 + 4桁順序番号」とし、輸入保健食品許番号「国食健字J + 4桁年代表記 + 4桁順序番号」とする。

第三節 変更申請と審査許可

第三十四條 変更申請は申請者が保健食品の許可証書及びその添付資料に記載内容を変更する申請を指す。

第三十五條 変更申請の申請者は保健食品許可証書の所持者でなくてはならない。

第四節 技術譲渡製品の登録申請と審査許可

第四十九條 技術譲渡製品の登録申請は、保健食品許可証書の所持者が製品の生産販売権と生産技術全ての権利を保健食品の生産企業に譲渡し、ならびに譲渡を受ける方に発行される新しい保健食品許可証書を共同で申請する行為を指す。

第五十條 譲渡を受ける中国国内の保健食品生産企業は、法に従い保健食品衛生許可証を取得し、且つ「保健食品良好生産規範」に適合している企業でなくてはならない。譲渡を受ける海外の保健食品生産企業は、現地相応の生産品質管理規範に適合しなくてはならない。

2.3 第三章 原料と補料

第五十九條 保健食品の原料は保健食品の機能に関連する基本物質を指す。保健食品の補料は保健食品を生産する時に用いる賦形剤及び他の添加物を指す。

第六十條 保健食品に使用する原料と補料は国家基準と衛生要件に適合しなければならない。国家基準がない場合は、業界基準或いは独自に制定した品質基準を提示、ならびに当該原料と補料に関連する資料を提出しなくてはならない。

第六十一條 保健食品に使用する原料と補料は人体に安全で、無害でなければならない。摂取制限のある物質については、その用量は国が定めた関連規定を超えてはならない。

第六十二條 国家食品薬品监督管理局と国家関連部門が使用不可と規定した保健食品の原料と補料、使用禁止物質を保健食品の原料と補料にしてはならない。

第六十三条 国家食品薬品监督管理局の公布した保健食品に使用可能な物質、衛生部の公表或いは許可した食用及び普通食品を生産するために使用する原料と補料は保健食品の原料と補料として使用できる。

第六十四条 登録を申請する保健食品に使用する原料と補料は本法第六十三条の規定範囲にない場合、関連規定に従い当該原料と補料に相応の安全性毒理学評価試験報告及び関連の食用安全資料を提供しなければならない。

2.4 第四章 表示と説明書

第六十九条 保健食品の名称は下記の規則に適合しなければならない：

- (一) 国家の関連法律、法規、規章、標準、規範の規定に適合している；
- (二) 製品の正確な属性を反映し、簡明で、分かりやすく、中国語表現習慣に適合している；
- (三) 通用名は許可済みの登録薬品名称を使用してはならない。

第七十条 保健食品名称はブランド名、通用名、属性名の三部分により構成しなければならない。ブランド名、通用名、属性名は下記の要件を満たす必要がある。

- (一) ブランド名は製品の登録商標或いは他の名称を使用できる；
- (二) 通用名は正確で、科学的であり、治療効果を明示或いは暗示する及び保健効果を誇大に示す文字を使用してはならない；
- (三) 属性名は製品の客観的な形態を表し、その記述は規範に則り、正確でなければならない。

2.5 第五章 試験と検査

第七十二条 安全性毒理学試験は、検査機関が国家食品薬品监督管理局の公表した保健食品安全性毒理学評価手順と検査方法に従い、申請者が検査に供するサンプル品に対して食用安全性の検証を目的とする動物試験を指し、必要な場合は人体試食試験を行うことができる。

機能学試験は、検査機関が国家食品薬品监督管理局の公表した或いは企業の提供した保健食品機能学評価手順と検査方法に従い、申請者が検査に供するサンプル品に対して保健機能の検証を目的とする動物試験又は／或いは人体試食試験を指す。

機能成分或いは標識成分の測定は、検査機関が国家食品薬品监督管理局及び関連部門の公表した或いは企業の提供した保健食品機能性成分或いは標識成分の測定方法に従い、申請者が検査に供するサンプル品の機能成分或いは標識成分の含量及びその品質保証期間内の含量変化に対して行う測定を指す。

衛生学試験は、検査機関が国家関連部門の公表した或いは企業の提供した検査方法に従い、申請者が検査に供するサンプル品の衛生学及びその製品品質に関する指標（機能成分或いは標識成分以外）に対して行う測定を指す。保健機能の検証を目的とする動物試験又は／或いは人体試食試験を指す。

安定性試験は、検査機関が国家関連部門の公表した或いは企業の提供した検査方法に従い、申請

者が検査に供するサンプル品の品質保証期間内における衛生学及びその製品品質に関する指標（機能成分或いは標識成分以外）の変化状況に対して行う測定を指す。

サンプル品検査は、検査機関が申請者の申告した品質基準に従い、食品薬品監督管理部門の提供するサンプル品に対し行う全項目検査を指す。

確認検査は、検査機関が申請者の申告した品質基準中機能成分或いは標識成分の測定方法に対して行う確認的検査を指す。

2.6 第六章 再登録

第八十条 保健食品許可証書の有効期限を延長する必要がある場合、申請者は有効期限の3ヶ月前に再登録を申請しなければならない。

2.7 第七章 覆審

第九十条 申請者はSFDAが出した登録不可の決定に対し異議がある場合は、登録不可通知を受けた日から10日以内にSFDAに書面的覆審申請を提出し、ならびに覆審の理由を説明することができる。

2.8 第八章 法律責任

第九十四条 下記の場合の一つに該当する場合、SFDAは相応の保健食品許可番号を抹消しなければならない：

- (一) 保健食品許可証書の所持者が取消しを申請する場合；
- (二) 製品に安全性の問題が確認された場合；
- (三) 法律法規に違反し、その保健食品の許可証書を取り消さなければならない場合；
- (四) 法に従い取り消さなければならない他の場合。

第九十八条 申請者が詐欺、賄賂などの不当手段で保健食品許可証書を取得した場合、SFDAは当該保健食品の許可証書を取り消さなければならない、ならびに当該保健食品許可番号を抹消しなければならない。この場合、申請者は三年以内に、再度、当該保健食品の登録申請を提出してはならない。

2.9 第九章 附則

第一百零三条 直接保健食品に接触する包装材料と容器は、国の食用或いは薬用の要件に適合しなければならない、人体の健康、安全を保障する基準に適合しなければならない。

第一百零五条 本弁法は2005年7月1日より施行する。

資料 2

二、血中脂質の補助的降下機能検査方法

Method for the Assessment of Assisting Blood Lipids Reduction Function

1 動物実験

省略

2 人体試食試験

2.1 被験者適格基準

単純性血中脂質異常者、半年内 2 回採血し、2 回とも血中総コレステロール $\geq 5.2\text{mmol/L}$ ($5.2 \div 0.02586 = 201\text{mg/dL}$) 或いは血中中性脂肪 $\geq 1.65\text{mmol/L}$ ($1.65 \div 0.01129 = 146\text{mg/dL}$)³⁷⁾、を予備対象者とする。

非入院中の高脂血症患者を優先的に被験者とし、自由意思で参加し、試験期間中日常生活および食事習慣を保持し、空腹採血にて各指標を測定する。

2.2 被験者除外基準

2.2.1 年齢が 18 歳以下或いは 65 歳以上の者

2.2.2 妊娠或いは哺乳期間中女性、試験食にアレルギーのある者

2.2.3 心臓、肝臓、腎臓および造血系統等重篤な疾患を合併する者、精神病患者

2.2.4 短期内検証する効能に関連する物を服用し、結果の評価に影響する者

2.2.5 納入基準に不適合、規定の試験食を試食しない、効能評価不可能或いは資料不備により有効性・安全性評価に影響のある

2.3 試験サンプル品の用量と使用方法

試験サンプル品の推奨量と推奨方法により確定する。

2.4 試験デザイン及び割り付け

個人内と群間との 2 種類の比較を用いて設計する。無作為化盲検法に基づきグループへの割り付けを行う。被験者の血中脂質濃度に応じて試食群と対照群に割り付ける。なるべく、結果に影響する主な因子を考慮し、例えば、年齢、性別、飲食等の群間比較性を保つため、均衡性検定を行う。1 群あたりの被験者は少なくとも 50 例とする。試食群は試験サンプル品を摂食し、対照群はプラセボ或いは空白対照とすればよい。試験サンプル品の投与期間は 30 日とし、必要があれば 45 日まで延長可能である。

2.5 観察指標

2.5.1 安全性指標

2.5.1.1 一般状況（精神、睡眠、飲食、大小便、血圧等）

2.5.1.2 血液検査、尿検査、便検査

2.5.1.3 肝臓、腎臓機能検査

2.5.1.4 胸部 X 線、心電図、腹部超音波検査（試験開始前のみ実施）

2.5.2 効能性指標

2.5.2.1 総コレステロール (TC) 濃度および変化率、中性脂肪 (TG) 濃度および変化率、HDL コレステロール (HDL-C) 濃度および変化率

2.5.2.2 効能判定基準

有効：TC 低下 >10%；TG 低下 >15%；HDL-C 低下 >0.104mmol/L。

無効：有効基準に達していない

総コレステロール (TC) の有効率、中性脂肪 (TG) の有効率、HDL コレステロール (HDL-C) の有効率および総有効率を観察する。

2.6 データ処理と結果判定

個人内対照データは paired-t 検定を、群間平均比較は unpaired-t 検定を用いる。後方の場合には等分散性の検定を必要とする。正規分布でない或いは等分散でないデータは適宜データ変換を行い、正規等分散性に満たした後、変換データを用いて t 検定を行う。変換データが正規等分散に満たさない場合は、t' 検定或いは順位和検定を採用する。等分散で変異係数が大きすぎる（例えば CV>50%）のデータは順位和検定を用いる。有効率および総有効率は X² 検定を行う。四格表総例数が 40 未満、或いは総例数 ≥40 で理論数は ≤1 の場合は、適切な確率法を用いる。

総コレステロール (TC)、中性脂肪 (TG)、HDL コレステロール (HDL-C) の変化を群内および群間比較し、有意差があり、且つ判定基準に達した場合、総コレステロール (TC)、中性脂肪 (TG)、HDL コレステロール (HDL-C) の結果は有効と判定できる。

人体試食試験結果判定：①総コレステロール (TC) と中性脂肪 (TG) と二指標が有効で、HDL コレステロール (HDL-C) は対照群より有意に低くない場合は、試験食が「補助的に血中脂質降下効能作用があり」と判定できる；②総コレステロール (TC) と中性脂肪 (TG) の 2 指標のうち 1 指標が有効で、HDL コレステロール (HDL-C) が対照群より有意に低くない場合は、試験食が「補助的に血中総コレステロール低減或いは補助的に中性脂肪低減作用あり」と判定できる。

・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 参考文献 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

- 1) 卓興鋼, 梅垣敬三, 渡辺昌: 国内における健康機能食品の現状と動向. アンチ・エイジング医学—日本抗加齢医学会雑誌, 4 (1): 21-29, 2008.
- 2) 消費者庁. 特定保健用食品とは. 2011; <http://www.caa.go.jp/foods/pdf/syokuhin86.pdf>. Accessed June 10, 2011.
- 3) 消費者庁. 栄養機能食品とは. 2011; <http://www.caa.go.jp/foods/pdf/syokuhin89.pdf>. Accessed June 10, 2011.
- 4) 「健康食品」に係る制度のあり方に関する検討会. 「健康食品」に係る今後の制度のあり方について (提言). 2004; <http://www.mhlw.go.jp/shingi/2004/06/s0609-1a.html>. Accessed June 15, 2011.
- 5) 厚生労働省医薬食品局食品安全部長. 「錠剤, カプセル状等食品の適正な製造に係る基本的考え方について」及び「錠剤, カプセル状等食品の原材料の安全性に関する自主点検ガイドライン」について (平成17年2月1日付け食安発第201003号). 2005; <http://www.nihs.go.jp/hse/food-info/mhlw/news/2005/050203/050203-9.pdf>. Accessed June 10, 2011.
- 6) 内閣府. 消費者委員会. 2011; <http://www.cao.go.jp/consumer/index.html>. Accessed June 10, 2011.
- 7) 食品安全委員会. 新開発食品専門調査会 2011; <http://www.fsc.go.jp/senmon/sinkaihatu/index.html>. Accessed June 10, 2011.
- 8) 消費者庁食品表示課. 特定保健用食品許可 (承認) 品目一覧. 2011; <http://www.caa.go.jp/foods/index4.html>. Accessed June 9, 2011.
- 9) (財) 日本健康・栄養食品協会. 2009年度特定保健用食品の市場規模 5,494億円. 2010; <http://www.jhnfa.org/topic97a.html>. Accessed June 10, 2011.
- 10) 消費者庁. 「栄養成分の補給ができる旨の表示」及び「栄養機能食品」の対象成分への亜鉛, 銅及びマグネシウムの追加について (健康増進法施行規則の一部を改正する省令, 栄養表示基準の一部を改正する件及び栄養機能食品の表示に関する基準の一部を改正する件の施行等について) (平成16年3月25日付け食安新発第0325001号). 2004; <http://www.caa.go.jp/foods/pdf/syokuhin343.pdf>. Accessed June 10, 2011.
- 11) 国家食品薬品监督管理局. 《保健食品注册管理办法 (试行)》 (局令第19号). 2005; <http://www.sda.gov.cn/WS01/CL0053/24516.html>. Accessed June 7, 2011.
- 12) 国家食品薬品监督管理局. 关于开展保健食品注册有关情况调查的通知. 2004; <http://www.sda.gov.cn/WS01/CL0847/10341.html>. Accessed June 8, 2011.
- 13) 独立行政法人国立健康・栄養研究所. 健康食品に関する海外情報 (中国における新法規施行, 2005年7月). 2005; <http://hfnet.nih.go.jp/contents/detail663.html>. Accessed June 7, 2011.
- 14) 独立行政法人国立健康・栄養研究所. 中国 SFDA の健康食品登録申請に関する新法規の公布及び施行について. 2005; http://hfnet.nih.go.jp/usr/annzenn/ChinaSFDA_20050822.pdf. Accessed June 7, 2011.
- 15) 国家食品薬品监督管理局. 关于印发《营养素补充剂申报与审评规定 (试行)》等8个相关规定的通告. 2005; http://www.sda.gov.cn/WS01/CL0055/10396_10.html. Accessed June 8, 2011.
- 16) 国家食品薬品监督管理局. 关于实施《保健食品注册管理办法 (试行)》有关问题的通知. 2005; <http://former.sfda.gov.cn/cmsweb/webportal/W945325/A64003265.html>. Accessed June 8, 2011.
- 17) 中华人民共和国卫生部. 卫生部关于进一步规范保健食品原料管理的通知. 2002; <http://www.moh.gov.cn/publicfiles/business/htmlfiles/mohwsj/dj/s3593/200810/38057.htm>. Accessed June 8, 2011.
- 18) 国家食品薬品监督管理局. 保健食品申报与审评补充规定 (试行). 2005; http://www.sda.gov.cn/WS01/CL0055/10396_9.html, http://www.sda.gov.cn/WS01/CL0055/10396_10.html. Accessed June 8, 2011.
- 19) 国家食品薬品监督管理局. 营养素补充剂申报与审评规定 (试行). 2005; <http://www.sda.gov.cn/WS01/CL0055/10396.html>, http://www.sda.gov.cn/WS01/CL0055/10396_1.html, http://www.sda.gov.cn/WS01/CL0055/10396_2.html. Accessed June 8, 2011.
- 20) 国家食品薬品监督管理局. 真菌类保健食品申报与审评规定 (试行). 2005; http://www.sda.gov.cn/WS01/CL0055/10396_3.html, http://www.sda.gov.cn/WS01/CL0055/10396_4.html. Accessed June 8, 2011.
- 21) 国家食品薬品监督管理局. 益生菌类保健食品申报与审评规定 (试行). 2005; <http://www.sda.gov.cn/WS01/>

- CL0055/10396_4.html, http://www.sda.gov.cn/WS01/CL0055/10396_5.html. Accessed June 8, 2011.
- 22) 国家食品药品监督管理局. 核酸类保健食品申报与审评规定(试行). 2005; http://www.sda.gov.cn/WS01/CL0055/10396_5.html. Accessed June 8, 2011.
 - 23) 国家食品药品监督管理局. 野生动植物类保健食品申报与审评规定(试行). 2005; http://www.sda.gov.cn/WS01/CL0055/10396_6.html. Accessed June 8, 2011.
 - 24) 国家食品药品监督管理局. 氨基酸螯合物等保健食品申报与审评规定(试行). 2005; http://www.sda.gov.cn/WS01/CL0055/10396_7.html. Accessed June 8, 2011.
 - 25) 国家食品药品监督管理局. 应用大孔吸附树脂分离纯化工艺生产的保健食品申报与审评规定(试行). 2005; http://www.sda.gov.cn/WS01/CL0055/10396_8.html. Accessed June 8, 2011.
 - 26) 中華人民共和國衛生部. 保健食品検査と評価技術規範(2003年版)2002.
 - 27) 国家食品药品监督管理局. 关于印发保健食品技术审评要点的通知. 2011; <http://www.sda.gov.cn/WS01/CL0847/62391.html>. Accessed June 8, 2011.
 - 28) 消費者庁. 健康や栄養に関する表示の制度について. 2011; <http://www.caa.go.jp/foods/index4.html>. Accessed June 10, 2011.
 - 29) 厚生労働省医薬食品局食品安全部長. 保健機能食品制度の見直しに伴う特定保健用食品の審査等取扱い及び指導要領の改正について(平成17年2月1日付け食安発第0201002号). 2005; <http://www.caa.go.jp/foods/pdf/syokuhin91.pdf>. Accessed June 10, 2011.
 - 30) 厚生労働省医薬食品局食品安全部基準審査課新開発食品保健対策室長. 特定保健用食品の審査申請における添付資料作成上の留意事項について(平成17年2月1日付け食安新発第0201002号). 2005; <http://www.caa.go.jp/foods/pdf/syokuhin92.pdf>. Accessed June 10, 2011.
 - 31) 博思数据研究中心. 分析我国保健食品市场特征. 2010; <http://www.bosidata.com/baojianshichang1012/X416189JQI.html>. Accessed June 9, 2011.
 - 32) 博思数据研究中心. 2011-2015年中国保健食品行业发展前景及投资分析报告. 2011; <http://www.bosidata.com/baojian1101/8219847C8M.html>. Accessed June 9, 2011.
 - 33) 財団法人日本健康・栄養食品協会. GMPとは. 2010; <http://www.jhnfa.org/>. Accessed June 10, 2011.
 - 34) 一般社団法人日本健康食品規格協会. JIHFS GMP. 2010; <http://www.jihfs.jp/>. Accessed June 10, 2011.
 - 35) 一般社団法人日本健康食品規格協会. GMP 認証企業. 2011; <http://www.jihfs.jp/jgn01.html>. Accessed June 10, 2011.
 - 36) 一般社団法人日本健康食品規格協会. GMP マーク使用許可製品. 2011; <http://www.jihfs.jp/jgn02.html>. Accessed June 10, 2011.
 - 37) Taku K, Umegaki K, Sato Y, *et al*: Soy isoflavones lower serum total and LDL cholesterol in humans: a meta-analysis of 11 randomized controlled trials. *Am J Clin Nutr*, **85** (4) :1148-1156, 2007.

クリーム類の開発に役立つ 技術情報としての特許明細書

宮部 正明*

* MIYABE Masaaki (不二製油株式会社知的財産室)

Key Words：特許明細書・技術開発・クリーム類・ホイップクリーム・コーヒークリーム

はじめに

食品に関する教科書，専門書等から得られる知識，情報と開発現場において必要とする知識，情報に「乖離」があることをしばしば経験する。実戦レベルで得られる開発現場の情報は，実験に基づく経験的な情報であり，これらの情報を開発に役立つ確固たる知識にまで止揚する必要がある。

特許明細書は実戦レベルで得られた情報を技術思想に止揚したものであり，開発現場で必要とする技術知識，技術情報の宝庫と言える。

食品の中でもクリーム類を取り上げて，実戦レベルで役立つ技術知識，技術情報を特許明細書より提供しようとするものである。

1. クリーム類について

クリームは，水中油型乳化物であって油脂と水とは混じり合わない。第3の成分である界面活性物質によって安定化される。この水中油型乳化物は熱力学的に不安定な系である。この不安定な水中油型乳化物に対する認識について，松本¹⁾は「食品の物性とは何か」で次のように述べている。

「分散系は一つの系の中に，二つ以上の異種（異質）の成分がそれぞれ独立した相を形成し，

混在した状態にあります。したがって，その中では，互いに分子のレベルで混ざり合えない（溶け合わない）二つの成分が接するところの「界面」が，必然的に存在します。分散系はその形態の多様性を問わず，異種の成分が互いに接する「広大な界面をもつ」ことと，分散系の状態が一般に「不安定である」こととが，実に密接に関係しています。」

このように油相と水相を有する分散系である水中油型乳化物は広大な界面を有しており，熱力学的に不安定な系である。それ故にこれらクリーム類の製品化に際しては賞味期限内で少なくとも乳化状態が安定であることが要求され，それが実現されていることが必要条件である。本稿では，クリーム類の中で代表的なホイップクリームとコーヒークリームについて述べる。

2. ホイップクリーム

2-1. ホイップクリームとは

ホイップクリームは，油脂，蛋白質，乳化剤，水を主成分とする水中油型乳化物であって，その平均油脂粒子径は0.5～5 μmであり広大な界面を有している。

ホイップクリームは，液状のクリームを起泡して目的とする硬さに仕上げられ，その独特の

食感と口溶け、芳醇な味わいと香りを有するが故に、ケーキのデコレーション、ケーキやパフェのトッピング、シューやパンのフィリングにと幅広く使用されている。

このホイップクリームの液状状態から硬さをもった起泡物状態への変化については以下のように考えられている。

ホイップクリームが起泡されることにより、油脂粒子表面の主に蛋白質と乳化剤で構成された界面膜の一部が破壊され、油脂粒子が互いに凝集し、ホイップ中の気泡に吸着し、蛋白質や乳化剤も作用して気泡が安定化される。

そして、更に凝集した油脂粒子によって繋がれて水も包含したネットワーク構造を形成することによってしっかりとしたボディ感即ち硬さを持った起泡物となる。

ホイップクリームに求められる特性として以下の点が挙げられる。

- ①貯蔵、配送などの流通での振動及び温度での変化において状態変化（クリーミング、乳漿分離、ボテ現象）が起きないこと。乳化安定性と風味安定性が良いこと。
- ②ホイップ時に適度に乳化が破壊され気泡を安定的に抱きこみ、起泡し過ぎても転相や分離を起こさないこと。
- ③ホイップさせた起泡物が長期間保形性が良く表面のツヤが良いこと。
- ④製造工程、特に殺菌工程での乳化破壊がなく、安定であること。等が要求される。

2-2. ホイップクリームにおける油脂、蛋白質、乳化剤の役割

ホイップクリームの主要な成分は、油脂、蛋白質、乳化剤である。原料油脂の選定、蛋白質と乳化剤の種類と添加量及びその配合割合には種々のノウハウがある。

若干古い論文ではあるが、久保田²⁾は製菓用油脂についての中で、ホイップクリームの油

脂及び乳化剤の役割と影響並びに製造方法について総説的に説明している。ここでは個々の成分の役割について考察する。

2-2-1. 油脂

ホイップクリームの油脂分は、10～60重量%であり、低油分化が進んでいるがホイップクリームの中で最も重要な成分である。

ホイップした際に得られる起泡物は、凝集した油脂粒子のネットワーク構造によって安定した状態が保持される。このネットワーク構造の保持には凝集した油脂粒子を構成する油脂のSFC（固体脂含量）が重要であって10℃において20～80%位と言われている。

ホイップクリームの油脂を種類で区別すると、乳脂肪タイプ（乳脂肪）、コンパウンドタイプ（乳脂肪と植物性油脂）、植物性タイプ（植物性油脂）に分かれる。

これらの油脂原料は、ナタネ油、大豆油、ヒマワリ種子油、綿実油、落花生油、米糠油、コーン油、サフラワー油、オリーブ油、カポック油、胡麻油、月見草油、パーム油、シア脂、サル脂、カカオ脂、ヤシ油、パーム核油等の植物性油脂並びに乳脂であり、これらの油脂を硬化、分別、エステル交換を施した加工油脂である。

油脂の融点は20～40℃のものが使用される。油脂の融点が低すぎるとホイップに際して起泡物が得難くなり、得られたとしても起泡物が軟らかいものとなる。油脂の融点が高すぎると起泡物の口溶けが悪くなり芳醇な味わいが得難くなる。

次に実戦レベルで役立つ技術情報としての特許明細書からホイップクリーム用油脂を見ると、少なくとも50重量%の天然動植物油脂を水素添加したグリセリドを含む油脂であって、SCI特性値が0℃で25～55、10℃で20～55、20℃で12～45、30℃で0～30、40℃で5以下、上昇融点20～40℃の油脂³⁾が提案され、また、ラウリン脂肪20～50重量%、液体油5～30重量%及びパーム硬質脂肪40～60重量%を共

ランダム化せしめ、上昇融点が30～37℃のクリーム状組成物用油脂の製造法⁴⁾が提案され、ラウリン脂肪10～35重量%、液体油4～20重量%及び、パーム油及び/又はパーム軟質脂肪60～80重量%を共ランダム化せしめ、上昇融点が30～37℃のクリーム状組成物用油脂の製造法⁵⁾が提案されている。これらは乳脂以外の油脂から乳脂類似油脂を追求したものである。

そして、油脂中にSUS型トリグリセリドを25%以上、ラウリン系油脂を5～60%含み、SFCが5℃で50%以上、15℃で40%以上であるクリーム用油脂⁶⁾が提案され、無脂乳固形分及び水を含む水中油型乳化物において、油脂分中のS2L型トリグリセリド(但し、式中のSはステアリン酸及びパルミチン酸、Lはリノール酸)の含有量が0.8～18%であることを特徴とし、油脂分中のS2L型トリグリセリドの含有量が、油脂分をX%(但しXは10～45)として、 $8/900 \times (X - 45)^2 + 8$ より小さく、起泡性水中油型乳化物中のS2L型トリグリセリドが数%以下の少量であって、油脂のSFCが10℃において50～95の範囲の油脂⁷⁾や、下記油脂A及び油脂Bを含有する油脂組成物であって、該油脂組成物の全構成脂肪酸中におけるトランス脂肪酸含量が5質量%未満、該油脂組成物の35℃でのSFC(固体脂含量)が5%未満、該油脂組成物の15℃でのSFC(固体脂含量)と25℃でのSFC(固体脂含量)の差が30%以上である油脂組成物。油脂A:ラウリン系油脂、ラウリン系油脂の分別油及びラウリン系油脂の極度硬化油からなる群から選ばれる1種又は2種以上、油脂B:油脂Cをエステル交換反応することにより得られるエステル交換油、油脂C:全構成脂肪酸中における炭素数16以上の飽和脂肪酸含量が20質量%以上75質量%未満、全構成脂肪酸中における炭素数16以上の不飽和脂肪酸含量が25質量%以上70質量%未満である油脂である⁸⁾、が提案されている。

2-2-2. 蛋白質

ホイップクリームにおいては、蛋白質は液状状態の乳化の安定性と起泡物状態の気泡の安定性に深く係っている。蛋白質は、乳蛋白質、大豆蛋白質、小麦蛋白質、卵白、卵黄、全卵等の水溶性性、水分散性の良好なものが使用されるが、食感、風味から乳蛋白質が好ましい。

この乳蛋白質の原料としては、牛乳、脱脂乳、脱脂粉乳、全脂乳、全脂粉乳、カゼインナトリウム、ホエー蛋白質、バターミルクパウダーが例示できる。

次に特許明細書から蛋白質を見ると、乳化性油脂組成物に牛乳、脱脂乳(又は乳固形分若しくは脱脂乳固形分を含む水溶液)を添加乳化し水中油型エマルジョンとすることを特徴とするクリーム状油脂組成物の製造法⁹⁾が提案されている。

そして、少量のカゼインと大量の油脂を原料として合成クリームを製造するに際し、前記カゼインを溶解し、これにモル比でカルシウムイオン1部に対し、ピロリン酸又はその塩を1/3～4/3部、有機酸又はその塩を1/10～2/3部添加してカゼインミセル溶液となし、該溶液に前記油脂と乳化剤を加えて均質化し、冷却、エージングすることを特徴とするホイップ用合成クリームの製造法¹⁰⁾が提案され、油脂10～60%(組成物全体に対する重量パーセント、以下同じ)、乳化剤0.1～3%、無脂乳固形分1～45%および水38～65%からなる水中油型エマルジョンであって、カゼインを1～15%およびイオン状カルシウムとして0.0013～0.02%に相当するカルシウム塩を含有してなる凍結保存性を有する水中油型起泡性乳化組成物¹¹⁾が提案され、油脂含量3～60重量%からなるO/Wエマルジョンに酵素修飾蛋白質を0.005～0.3重量%含有させてなるエマルジョン組成物¹²⁾が提案され、油相と水相とを乳化剤の存在下に予備乳化、均質化、殺菌して起泡性

水中油型エマルジョンを製造するに際し、プロテアーゼで酵素処理した蛋白質成分を含む水相を使用することを特徴とする、耐酸性を有する起泡性水中油型エマルジョンの製造法¹³⁾が提案されている。

また、可溶分が18%～65%、不溶分が35%～82%になるように変性した蛋白質を含むホイップクリーム調製用水中油型乳化物¹⁴⁾が提案され、クリーム又はバターからバターオイルを製造する際に生じる水相成分である乳脂肪皮膜成分を含有する水中油型乳化脂¹⁵⁾が提案されている。

2-2-3. 乳化剤

乳化剤は、蛋白質と共に液状状態の乳化の安定性と起泡物状態の気泡の安定性に深く係っている。特許庁公報周知慣用技術集¹⁶⁾に、合成クリームでの乳化剤の役割については次のように説明されている。

乳化剤には大きく3つの役割があって、

- ①乳化を安定にする。
- ②攪拌、エアレーションなどにより乳化が適度に破壊される。
- ③気泡を安定にとりこむ、である。

①の乳化を安定化させる効果を有する乳化剤としては、いわゆる親水性乳化剤といわれるもので、HLBの高い乳化剤が効果的であり、例えばショ糖エステル、ソルビタンモノステアレート、ソルビタンモノパルミテートなどがある。②の効果を有する乳化剤としては、不飽和脂肪酸からなる乳化剤、HLBの非常に低い乳化剤(例えばソルビタントリステアレート)及びレシチンが有効である。③の効果を有する乳化剤としては、飽和脂肪酸からなる乳化剤であり、例えば、グリセリンモノステアレート、プロピレングライコールモノステアレートなどがある。

具体的に特許明細書を見てみると、生クリーム及び、牛乳又は脱脂乳と油脂からなる調整クリーム、或いはこの両者の混合物にポリグリセ

リンエステルを0.1～2.0%加えることを特徴とする生クリーム類の品質改良法¹⁷⁾が提案され、上昇融点5℃以上の食用油脂中に該油脂に対してそれぞれレシチンを0.2～3.5%、シュガーエステルを0.1～2.5%添加、均一に分散させることを特徴とするクリーム状油脂組成物製造用乳化性油脂組成物の製造法¹⁸⁾が提案されている。

そして、10℃のSFI特性値が25～51で上昇融点が25～38℃の油脂と乳化剤と水及び無脂肪固形分を含有し、乳化剤の合計量が1.0～2.2重量%であって、大豆レシチン、ショ糖脂肪酸エステル、飽和/不飽和モノグリセリド、プロピレングリコール脂肪酸エステルを用いる水中油型乳化脂¹⁹⁾が提案され、上昇融点15～45℃の油脂25～55重量%、乳固形分を含有する水溶液75～45重量%、クエン酸モノグリセリド0.05～4重量%およびグリセリン脂肪酸エステル、ソルビタン脂肪酸エステル、ショ糖脂肪酸エステル、ポリグリセリン脂肪酸エステル、レシチンからなる群より選ばれた少なくとも1種以上の乳化剤0.05～4重量%とを混合乳化し均質化後加熱殺菌して得られるクリーム状起泡性油脂組成物²⁰⁾が提案され、不飽和脂肪酸エステルと飽和脂肪酸エステルとの重量比が25:75～55:45である乳化剤の合計量が、組成物全体に対し0.03～1.0重量%であることを特徴とする起泡性水中油型乳化クリーム状組成物²¹⁾が提案され、グリセリン・ジ・脂肪酸エステル0.01%～3.0%、ショ糖脂肪酸ジ・トリ・ポリエステル0.01%～1.0%を2種以上含有する油性物質を起泡することを特徴とするホイップドクリームの製造法²²⁾が提案され、全乳化物に対して、30～30重量%の油脂及び0.1～1.2重量%の乳化剤を含有する起泡性水中油型乳化脂であって、上記乳化剤が、ポリグリセリン脂肪酸エステル及びショ糖脂肪酸エステルからなる群より選ばれた水溶性乳化剤1種以上と、グ

リセリン脂肪酸エステル、ポリグリセリン脂肪酸エステル、シヨ糖脂肪酸エステル、ソルビタン脂肪酸エステル、プロピレングリコール脂肪酸エステル及び燐脂質からなる群より選ばれた油溶性乳化剤1種以上とからなり、且つそれらの重量比（前者：後者）が50：50～95：5である、起泡性水中油型乳化剤²³⁾が提案されている。

2-3. ホイップクリームの製造方法

ホイップクリームの製造方法は、クリーム類の製造方法と同様である。筆者²⁴⁾は、食品とガラス化・結晶化技術の中でクリーム類の製造について、次のように述べている。クリーム類の製造は以下の工程で行われる。予備乳化→均質化→殺菌→再均質化→冷却。予備乳化で原料を混合乳化し、一定の乳化物にした後、均質化により、より安定な乳化物に調製する。再均質化は殺菌により不安定になった乳化物を調整する工程である。冷却により乳化物を安定化させる。

製造工程の中でも特に殺菌工程が重要である。殺菌とホイップクリームの乳化の安定性について、特許庁公報周知・慣用技術集²⁵⁾に次のように説明されている。

殺菌工程では乳化物が加熱されること及び殺菌装置内に乱流が生じることによって、乳化が破壊される。殺菌温度が高い程、又保持時間が長い程、乳化が破壊される。バッチ方式は連続方式に比べてより乳化を破壊する。更に連続殺菌方式の中でも殺菌後に均質処理工程を有する直接方式がより乳化の破壊が少ない。

次に実戦レベルで役立つ技術情報としての特許明細書からホイップクリームの製造方法を見ると、油脂28～60重量%と牛乳、脱脂乳もしくは水又はそれらの混合物72～40重量%及び乳化剤とからクリーム状組成物を得る公知の調整高油分クリーム状組成物の製造方法において、乳化剤としてレシチンとポリグリセロール

脂肪酸エステル、ポリオキシエチレンソルビタン脂肪酸エステル、シヨ糖脂肪酸エステル、ソルビタン脂肪酸エステル、リンゴ酸モノグリセリド及びプロピレングライコール脂肪酸エステルから成る親水性界面活性剤の群から選ばれた1以上の親水性界面活性剤を夫々油脂分に対し0.1～3.0重量%を併用すること及び乳化後の組成物の殺菌手段として直接加熱方式を用いることを特徴とする調整高油分クリーム状組成物の製造方法²⁶⁾が提案され、油脂20～60重量%と無脂乳固形分2～10重量%と乳化剤0.1～3重量%と水とからなり、水相中に分散している油相のエマルジョン粒子が下記の粒子径分布：2 μ 以下のもの5～25%、2 μ より大きく4 μ 以下のもの50～90%、4 μ より大きく6 μ 以下のもの5～25%を有している起泡性水中油型乳化剤²⁷⁾が提案されている。

そして、乳化油脂組成物を熱交換機で冷却するに当たり、0℃以下の冷媒を使用し、図1において下記の数式1で示される条件(1)及び(2)を満たすような冷却曲線で急速冷却することを特徴とする乳化油脂組成物の冷却方法²⁸⁾が提案され、油脂分として全油脂分に対し乳脂肪を15重量%以上含むクリーム類を製造するに際し、直接加熱方式によりUHT滅菌処理する前及び又は後で間接加熱処理することを特徴とする、クリーム類の製造法²⁹⁾が提案され、冷却工程の最終冷却温度を15～30℃に制御する起泡性水中油型乳化組成物の製造方法³⁰⁾が提案され、食用油脂を含む油相部と水相部とを乳化して水中油型エマルジョンを作成し、該水中油型エマルジョンを加圧晶析することを特徴とする起泡性水中油型乳化食品の製造方法³¹⁾が提案され、クリーム類に、不活性ガスを通気して液中溶存酸素を低下せしめたのちに、脱泡処理を行い、ついで加熱殺菌することを特徴とする、風味が良く、流通・保存時の乳化安定性にすぐれたクリーム類の製造法³²⁾が提案されている。

3. コーヒークリーム

3-1. コーヒークリームとは

コーヒークリームは、油脂、蛋白質、乳化剤、水を主成分とする水中油型乳化物であって、その平均油脂粒子径は0.2～2 μmであり広大な界面を有している。この油脂粒子径の大きさがコーヒークリームのホワイティング効果や乳化安定性と多に関連している。

コーヒークリームはコーヒー液に添加して初めてその役割を果たす。

コーヒー液は、コーヒー豆の銘柄によるpH、酸度の違いや、個人の嗜好による濃度や温度によっても相違する。温度については夏場の冷たいコーヒー液から冬場の熱いコーヒー液というように決して一様ではない。

コーヒークリームに求められる特性として以下の点が挙げられる。

- ①適度な粘度と流動性を有していること。
- ②熱いコーヒー液に添加した際に、フェザリング（羽毛状の凝固物で蛋白質の変性により蛋白質・油脂の凝集物が生成する）やオイルオフ（コーヒー液上面に油が浮くことで乳化破壊により油脂分離が起こる）を起ささないこと。
- ③冷たいコーヒー液に添加した際に、よく分散してクリームの分離がないこと。
- ④コーヒー液に適切な白濁性（ホワイティング効果）を与えること。
- ⑤コーヒー液の苦味、酸味を抑えてマイルドにすること。
- ⑥常温流通又は冷蔵流通での振動及びこれらの温度での保存において状態変化（クリーミング、乳漿分離、ボテ現象）が起きないこと。特に流通段階における振動や1～40℃の幅広い温度域での保存に対して、乳化安定性と風味安定性が良いこと。、等が要求される。

3-2. コーヒークリームにおける油脂、蛋白質、乳化剤の役割

コーヒークリームの主要な成分は、油脂、蛋白質、乳化剤である。原料油脂の選定、蛋白質と乳化剤の種類と添加量及びその配合割合には種々のノウハウがある。ここでは個々の成分の役割について考察する。

3-2-1. 油脂

コーヒークリームの油脂分は、15～30重量%であり、低油分化が進んではいるが最も重要な成分であることに変わりはない。コーヒークリームに適度な粘度と流動性を与え、水に比べ比重が低いのでコーヒー中への沈み方と分散に大きく関係している。そして、コーヒー液に適度な白濁性を与え、油脂はコーヒー液の苦味、酸味を抑えてマイルドにすることが出来る。また、乳化安定性と風味安定性に深く係わっている。

コーヒークリームの油脂を種類で区別すると、乳脂肪タイプ（乳脂肪）、コンパウンドタイプ（乳脂肪と植物性油脂）、植物性タイプ（植物性油脂）に分かれる。

これらの油脂原料は、ナタネ油、大豆油、ヒマワリ種子油、綿実油、落花生油、米糠油、コーン油、サフラワー油、オリーブ油、カポック油、胡麻油、月見草油、パーム油、シア脂、サル脂、カカオ脂、ヤシ油、パーム核油等の植物性油脂並びに乳脂であり、これらの油脂を硬化、分別、エステル交換を施した加工油脂である。

油脂の融点は15～35℃のものが使用される。油脂の融点が低すぎると適度な粘度が得難くなり、オイルオフを起しやすく、白濁性が弱くなり、味が油っぽくなり、風味安定性も悪くなる。油脂の融点が高すぎるとコーヒー液に添加した際の分散性が悪くなり、後味が悪くなる。そして、常温流通又は冷蔵流通での振動及びこれらの温度での保存において乳漿分離やボテ現象を起し易くなり乳化安定性が悪くなる。

次に特許明細書からコーヒークリーム用油

脂を見ると、DSC測定において70℃から20℃/minの冷却速度で冷却したとき結晶化開始温度が8～18℃の範囲にあり、0℃で10分保持し、2℃/minの昇温速度で30℃迄昇温したとき吸熱曲線が試料1mg当り0.07 mcal/sec以下となる如く調製し、得られた油脂又は油性物質を乳化することを特徴とする常温安定性の良い乳化物の製造方法³³⁾が提案され、また、構成油脂の上昇融点が35℃以下で、DSC吸熱ピーク面積の分割積分により求めたSFC値が、5℃で3～60%、20℃で0から20%であって、当該油脂中に含まれる炭素原子数2～10個の脂肪酸が1位及び又は3位に結合し、当該油脂中に含まれる炭素原子数14個以上の脂肪酸が2位に結合するトリグリセリド（以下、短中鎖結合トリグリセリド、と略すことがある）成分を、全油脂分に対して0.5重量%以上、好ましくは2重量%以上含むコーヒークリーム³⁴⁾が提案されている。

そして、健康意識の高まりからトランス酸を含まないか、又は低減したコーヒークリーム用油脂が開発され、パーム核油の低融点画分を添加することを特徴とする液状クリームの製造法³⁵⁾や、全構成脂肪酸中のオレイン酸が18%以上であるラウリン系油脂及び全構成脂肪酸中のオレイン酸が40%以上である液状油脂を使用し、10℃のSFC値が2～40%である、食用油脂組成物³⁶⁾や、トランス酸含有量が1質量%以下の油脂組成物であって、構成脂肪酸に炭素数4～10の脂肪酸を4～50質量%、炭素数16～18の脂肪酸を50～96質量%含む、分子内に二重結合を2以上含む多価不飽和脂肪酸の含有量が10質量%以下で、30℃におけるSFCが5以下、5℃におけるSFCが40以下である、液状コーヒーホワイトナー用油脂組成物³⁷⁾が提案されている。

3-2-2. 蛋白質

コーヒークリームにおいて乳化を安定化させ

る主役は蛋白質と思われる。しかしながら、蛋白質はコーヒー液の酸や熱によって変性を受けフェザリングの原因となるので、その使用に際しては注意が必要である。

藤田³⁸⁾は、蛋白質と水の相互作用について、食品蛋白質の溶解性、分散性、湿潤性（ぬれ）、膨潤性は蛋白質—水間の熱力学に依存する。粘性、ゲル化、凝集などの流体力学的性質は蛋白質の大きさ、形態、分子の柔軟性などと、それらの溶媒である水との相互作用によっている。食品蛋白質の水溶性は基本的には構成アミノ酸に依存する、蛋白質の親水性疎水（親油）性バランス（HLB）によっている。しかし水溶性は、特に分子表面の親水性／疎水性が関与し、食品に対する種々の機能に影響する、と述べている。

コーヒークリームも、日本では当初生クリームの代替を課題として開発された関係からか、蛋白質は乳蛋白質を前提としているように思われる。この乳蛋白質は、牛乳、脱脂乳、脱脂粉乳、全脂乳、全脂粉乳、カゼインナトリウム、ホエー蛋白質、バターミルクパウダーに由来するものである。

次に特許明細書から蛋白質を見ると、乳化性油脂組成物に牛乳、脱脂乳（又は乳固形分若しくは脱脂乳固形分を含む水溶液）を添加乳化し水中油型エマルジョンとすることを特徴とするクリーム状油脂組成物の製造法⁹⁾が提案されている。

そして、コーヒー用クリーム原料に乳化剤として、全カゼインを蛋白質分解酵素で限定分解して得られる5乃至50個のアミノ酸から構成されるポリペプチドを0.5乃至2重量%配合したものを乳化、均質化した後、レトルト処理に付することを特徴とする耐熱性を有するコーヒー用クリームの製造方法³⁹⁾が提案され、蛋白性水分散性マクロコロイド0.5～50%、油脂及び又は水添脂1～30%、安定剤0.5～2%、乳化剤0.1～1%を必須成分として配合してな

るコーヒーホワイトナー様食品組成物⁴⁰⁾が提案され、食用油脂、乳化剤、乳成分及び／又は糖類を含む水中油型乳化物を製造するに際し、脂質と蛋白質との結合体である脂質蛋白質複合体を配合することを特徴とする水中油型乳化物の製造法⁴¹⁾が提案され、分離大豆蛋白が0.3～3.0重量%、植物性油脂が10～40重量%、燐酸塩が0.2～1.5重量%、乳化剤が0.4～1.5重量%の割合で含まれたコーヒーホワイトナーであって、上記乳化剤として、親水性乳化剤である有機酸モノグリセリドとシュガーエステルとが併用されてなることを特徴とするコーヒーホワイトナー⁴²⁾が提案され、大豆蛋白質と乳蛋白質とを含むコーヒーホワイトナー用の乳化剤であって、HLBが13以上のシヨ糖脂肪酸エステル40～60重量%と、グリセリンコハク酸脂肪酸エステル30～50重量%と、ソルビタン脂肪酸エステル3～10重量%とを含むことを特徴とするコーヒーホワイトナー用乳化剤⁴³⁾が提案されている。

3-2-3. 乳化剤

乳化剤は、蛋白質と共に乳化に大きく関与している。特許庁公報周知慣用技術集¹⁶⁾に、コーヒー用合成クリームにおいては、乳化を安定にすることが唯一の乳化剤の役割である。即ち、コーヒーの酸及び熱によって乳化が破壊されないこと、さらに貯蔵、配送などの流過程で、増粘及びバター粒の形成などの乳化破壊による物性変化を起こさないことが、製品にとって必要条件である、と記載されている。

戸田⁴⁴⁾らは、各種乳化剤毎のコーヒークリームへの使用時の効果について、・ポリグリセリンエステル：製造時の初期乳化を行い、保存時の安定性を保ち、オイルオフを防止する。・シヨ糖エステル：製造時の初期乳化を行い、保存時の安定性を保ち、オイルオフを防止する。・クエン酸モノグリセリド、ジアセチル酒石酸モノグリセリド：フェザリング防止効果が強く、乳

化力もある。・酵素分解レシチン：強い乳化力を有し、オイルオフ防止効果が高い、と述べている。

具体的に特許明細書を見ると、油脂に対してレシチン0.2～3.5%及びシヨ糖脂肪酸エステル0.1～2.5%の併用が有効である¹⁸⁾とし、増粘剤としてシヨ糖脂肪酸エステルを油脂に対して0.6～3.0%を添加したり⁴⁵⁾、モノ脂肪酸エステル60重量%以上含むシヨ糖脂肪酸エステルとプロピレングリコール脂肪酸エステルの併用⁴⁶⁾や、飽和脂肪酸モノグリセリドと親水性シヨ糖脂肪酸エステルなどを主剤にし、大豆レシチン、ソルビタン脂肪酸エステルなどを加えて総量で、対油脂2%以上用いる⁴⁷⁾というものである。

そして、レシチンとコハク酸モノグリセリドの併用⁴⁸⁾や、HLB値が6以下であるシヨ糖脂肪酸エステルと有機酸モノグリセリドの併用⁴⁹⁾、ジアセチル酒石酸モノグリセリドとレシチンおよび／またはソルビタン脂肪酸エステルの併用⁵⁰⁾、等がある。

3-3. コーヒークリームの製造方法

コーヒークリームの製造方法は、クリーム類の製造方法と同様である。予備乳化、均質化、殺菌、再均質化、冷却である。これらの工程とその意味、油脂粒子状態、乳化の安定化・不安定化について、表1⁵¹⁾に纏めた。

表1に示したような工程を通すことにより、設計したコーヒークリームを得ることができる。

そして、予備乳化工程での乳化剤と蛋白質の作用機作は大きく異なっている。低分子物質である乳化剤は、両親媒性であり機械的操作により新しくできる油相と水相の界面に瞬間的に配列して界面張力を下げ、油脂粒子の凝集、合一を防ぐ。一方、水に分散・溶解した高分子である蛋白質は比較的ゆっくりと油水界面に吸着されて、油脂粒子の凝集、合一を防ぐ。

表1 コーヒークリームの製造方法と乳化の安定性

工程(目的)	意味	油脂粒子状態	乳化について 安定化 ↑ 不安定化 ↓
予備乳化	機械的エネルギーインプット	油脂粒子径 1 ~ 10 μm, 幅広い 乳化剤、蛋白質の界面への吸着	↑
均質化	強力な機械的エネルギーインプット	機種、圧力により異なる 油脂粒子径 0.2 ~ 2 μm, 幅狭くなる 乳化剤、蛋白質の界面への効率的な吸着	↑↑
殺菌	高温処理 熱による原料の変質	直接殺菌法では油脂粒子径が小さくなる傾向 間接殺菌法では油脂粒子径が大きくなる傾向	→ ↓
再均質化	強力な機械的エネルギーインプット	油脂粒子状態の調整	↑
冷却	液/液状態から 半固/液状態へ変化する	油脂粒子の結晶化 乳化剤、蛋白質の界面への吸着の安定化	→

野呂⁵²⁾は安定な乳化製品をつくるには、工学的な因子と界面化学的な因子の両方を考慮しなければならないと述べている。そして、工学的因子としては、乳化装置の大きさ、羽根の形と直径、せん断速度の大きさ、所要動力、処理容量、乳化時間を挙げ、界面化学的因子としては、主として油相や水相の種類及び添加方法、分散相の濃度、乳化剤の種類及び濃度、界面膜の吸着機構及び乳化温度が挙げられると述べている。

次に、特許明細書からコーヒークリームの製造方法を見ると、水相中に分散している脂肪粒子の40重量%以上が0.4 μ以下粒子径を有している水中油型エマルジョンであることを特徴とするコーヒークリーム⁵³⁾が提案され、定法によりクリームを調製した後、高圧処理を施すことを特徴とする食用クリームの改質法⁵⁴⁾が提案されている。

おわりに

クリーム類の中で代表的なホイップクリームとコーヒークリームについて、開発に役立つ技術情報として特許明細書を紹介してきた。これらは紙面の都合もあってほんのポイントを紹介したに過ぎない。詳しくは公報を見ていただき理解を深めることを望む。その際には出願当時の技術常識や技術知識及び市場状況を考慮に入れて欲しい。

そして、これらの特許明細書を精読し読み込むことによって、先人の開発への意欲と工夫、更には発明への情熱を感じ取ることができる。そのような心境を勝ち得たとき、実戦レベルで役立つクリーム類の技術知識、技術情報を学び取った瞬間でもある。

以上クリーム類に関する拙い技術情報であったと思うが、今後のホイップクリームやコーヒークリーム等のクリーム類の開発に少しでも参考になれば幸甚であります。

・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 参考文献 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

- 1) 松本幸雄, 食品の物性とは何か, p88, 弘学出版株式会社, 1991.
- 2) 久保田, 油化学, 第27巻, p757-765, 1978.
- 3) 不二製油株式会社, 特開昭48-13574, (1971:出願日)
- 4) 旭電化工業株式会社, 特開昭52-78203, (1975:出願日)
- 5) 旭電化工業株式会社, 特開昭52-78204, (1975:出願日)
- 6) 不二製油株式会社, 特開平5-219887, (1992:出願日)
- 7) 不二製油株式会社, WO2006/112138, (2005:優先日)

- 8) 日清オイリオグループ株式会社, 特開2008-228610, (2007:出願日)
- 9) 不二製油株式会社, 特公昭55-43739, (1967:出願日)
- 10) 明治乳業株式会社, 特開昭58-94360, (1981:出願日)
- 11) 鐘淵化学工業株式会社, 特開昭58-152457, (1982:出願日)
- 12) 鐘淵化学工業株式会社, 特開昭60-130354, (1983:出願日)
- 13) 不二製油株式会社, 特開昭64-23867, (1987:出願日)
- 14) 花王株式会社, 特開平7-107, (1993:出願日)
- 15) 旭電化工業株式会社, 特開2002-51700, (2000:出願日)
- 16) 日本国特許庁, 特許庁公報周知・慣用技術集, **6**, p37, 1980.
- 17) 不二製油株式会社, 特公昭45-31914, (1966:出願日)
- 18) 不二製油株式会社, 特公昭51-6161, (1967:出願日)
- 19) 旭電化工業株式会社, 特公昭58-54850, (1976:出願日)
- 20) 理研ビタミン株式会社, 特開昭58-86056, (1981:出願日)
- 21) 鐘淵化学工業株式会社, 特開昭58-149649, (1982:出願日)
- 22) 明治乳業株式会社, 特開昭59-179044, (1983:出願日)
- 23) 旭電化工業株式会社, 特開平2-128644, (1988:出願日)
- 24) 村勢則郎ほか, 食品とガラス化・結晶化技術, p101-105, 2000.
- 25) 日本国特許庁, 特許庁公報周知・慣用技術集, **6**, p48, 1980.
- 26) 不二製油株式会社, 特公昭50-11458, (1970:出願日)
- 27) 旭電化工業株式会社, 特開昭53-26803, (1976:出願日)
- 28) 明治乳業株式会社, 特開平4-237457, (1991:出願日)
- 29) 不二製油株式会社, 特開平7-79725, (1993:出願日)
- 30) 花王株式会社, 特開2000-300199, (1999:出願日)
- 31) 鐘淵化学工業株式会社, 特開2001-333719, (2000:出願日)
- 32) 明治乳業株式会社, 特開2004-201601, (2002:出願日)
- 33) 明治乳業株式会社, 特開昭58-134961, (1982:出願日)
- 34) 不二製油株式会社, 特開平7-79698, (1993:出願日)
- 35) 不二製油株式会社, 特開2005-204653, (2003:優先日)
- 36) 不二製油株式会社, 特開2007-274997, (2006:出願日)
- 37) 日油株式会社, 特開2008-127, (2006:優先日)
- 38) 藤田哲, 食品の乳化—基礎と応用—, 株式会社幸書房, p258-259, 2006.
- 39) 雪印乳業株式会社, 特開昭63-68041, (1986:出願日)
- 40) 味の素株式会社, 特開平3-133336, (1989:出願日)
- 41) 花王株式会社, 特開平5-236896, (1992:出願日)
- 42) 不二製油株式会社, 特開平6-303901, (1993:出願日)
- 43) 第一工業製薬株式会社, 特開2009-232754, (2008:出願日)
- 44) 戸田義郎ほか, 食品用乳化剤—基礎と応用—, 株式会社光琳, p206, 1997.
- 45) 不二製油株式会社, 特開昭50-12259, (1973:出願日)
- 46) 三菱化成工業株式会社, 特開昭53-75364, (1976:出願日)
- 47) 旭電化工業株式会社, 特開昭53-145960, (1977:出願日)
- 48) 森永乳業株式会社, 特開昭62-95133, (1985:出願日)
- 49) 第一工業株式会社, 特開昭63-87942, (1986:出願日)
- 50) 雪印乳業株式会社, 特開平5-168403, (1991:出願日)
- 51) 松村康生ほか, 食品の界面制御技術と応用, 株式会社シーエムシー出版, p164-171, 2011.
- 52) 野呂俊一, 表面, Vol.18, p595-611, 1980.
- 53) 不二製油株式会社, 特開昭57-2649, (1980:出願日)
- 54) 雪印乳業株式会社, 特開平4-187046, (1990:出願日)

先人の知恵の結晶を未来へ活かす

— 独創的な文理融合研究による環境汚染改善への挑戦 —

三好 恵真子 *1 姉崎 正治 *2

*1 MIYOSHI Emako (大阪大学大学院 人間科学研究科グローバル人間学専攻)

*2 ANEZAKI Shoji (大阪大学大学院 人間科学研究科博士課程後期)

Key Words : 環境改善・重金属汚染・銀鉱山・製錬技術・ポトシ銀山・ペルー・都市電子廃棄物

はじめに

本稿では、グローバル化する環境問題改善を目論み、歴史学と製錬工学を基軸とした文理融合研究により生み出された「環境改善・貴金属回収」に関わる技術開発の一端を紹介する。特に、この技術開発は、「異なる専門領域の学融合」および「過去・現在・未来の時間軸を超えた対話」という、主として2つの「つながり」を軸にしてなし得た独創的かつ多次元的な研究成果にある点をまず強調しておきたい。

そもそも、技術開発の発端は、イスパノアメリカ植民地時代にまでにさかのぼる。1568年5月にペルー第5代副王として就任したフランシスコ・デ・トレドは、当時低迷していたペルー銀鉱山を振興させるために、1572年に水銀を用いた金属製錬^{*1}（水銀アマルガム法^{*2}）を導入した¹⁾。この手法は、低品位の

銀鉱石から高純度の銀の製錬が可能となり、16世紀後半からの銀生産の急成長（トレド効果）を導き（図1）^{*3}、19世紀末に銀鉱脈が衰えるまでの数百年にもわたり、広く汎用されたのである。

本研究では、この「水銀アマルガム法」に着目し、当時の製錬技術工程に関して描写されている古文書を含むスペイン語で記述された歴史的諸資料を読み解きながら、現代科学（主として製錬工学理論とその応用技術）の視点から再

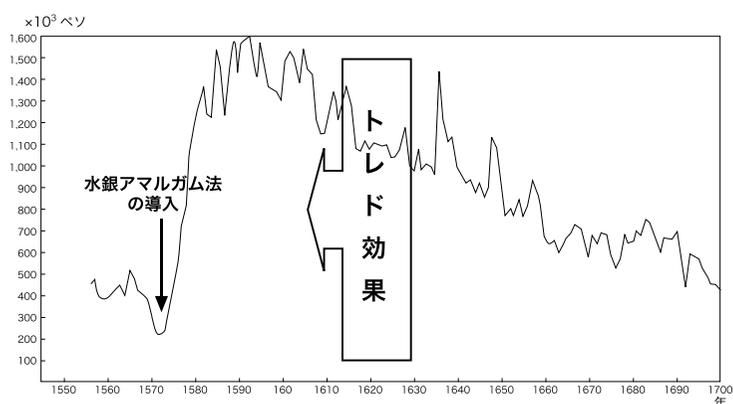


図1 ポトシ銀鉱山の銀生産量のうち王室の5分の1税の納税金額²⁾

*1 製錬 (smelting) は主に鉱石から金属を抽出する操作であるが、精錬 (refining) は金属から不純物を除去する操作である。

*2 水銀は常温で液体であり、多くの金属と化合物（特に金属間化合物）を容易に形成するが、その化合物もしくはその微粒子を懸濁した状態をアマルガムと総称する。金が最もアマルガム状態になり易く、古くからこの性質を利用して製錬やメッキが行われてきた。銀に関してはその原理が生かされ実用化されたのは中世以降である。アマルガム製錬は多くの場合媒溶剤と同時に塩と水を添加するので湿式製錬に属し、本稿でも詳細を述べている。

*3 銀の生産量を示す使用の一つとして、王室への納税金額（その主体は、5分の1税:quinto）が用いられる。よって、5分の1税表示の場合は、その数値の5倍がほぼ銀生産量に相当するものである。

分析を試み、当時の技術体系を模式図としてまとめ上げることができた（詳しくは後述）。同時にペルーのポトシ銀山とそこへ水銀を供給したワンカベリカ水銀鉱山における水銀汚染・健康被害の実態について追跡するとともに、これらを含む植民地時代の主要銀鉱山を対象に水銀の蓄積量の推算を数学的に試みた結果、当時の急性的健康被害はもとより、数世紀もの時を超えて莫大な水銀がストックされ、今日までに及ぶ健康被害や環境汚染をもたらしている懸念が浮上してきたのである³⁾。

しかしながら、このポトシ銀山で開発・発展してきた古典的な製錬技術を再評価した結果、グローバル化の進展とともに、益々問題が顕著化している都市電子廃棄物から貴金属回収という「現代社会」に応用還元可能なシステム構築の基礎理論を見出すことに成功するに至った⁶⁾。

以下、その画期的な着想の契機となった歴史的事象の分析より順次整理しつつ、新技術開発に至った経緯と今後の展望についても若干述べてゆくこととする。

1 研究の発端：ペルー副王領のポトシ鉱山における銀のアマルガム製錬技術への着目

1-1. 副王トレドが推進した鉱山業の成功要因

1568年5月、第5代ペルー副王に任命されたフランシスコ・デ・トレド（在任期間：1569-1581）は、合同会議（同年7月）の特命を受けて、1569年にリマに到着した。その特命こそ、当時低迷していたペルーの鉱山業（特に銀鉱山業）を振興して、王室歳入の改善を図ることであった¹⁾。彼は、ワンカベリカ水銀鉱山^{*4}とポトシ銀山^{*5}を一体化し、鉱山業のシステム化の実現を図ったのであるが（図2）、技術的観点から見て、それは非常に単純な仕組みであることが功を奏していたといえる。すなわち、水銀と銀の生産拠点をそれぞれ一カ所に収斂し、製錬手法も統一することにより、基本となる物資の流れに外乱が入りにくいシステムとして調整しており、また物量を基本とする定量的な観測が可能になると考えられる。さらに、この単純化されたシステムから、トレドが王室の財政難に対する最善の諸策を投じている目論見をも伺い知ることもできる。こうして大躍進

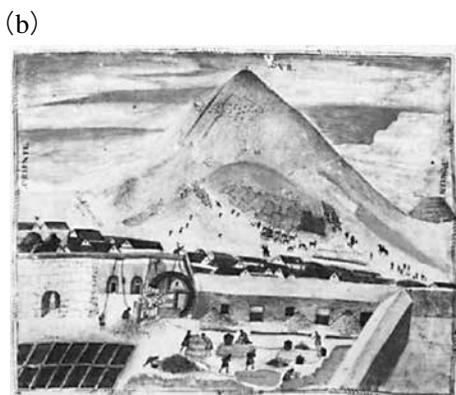
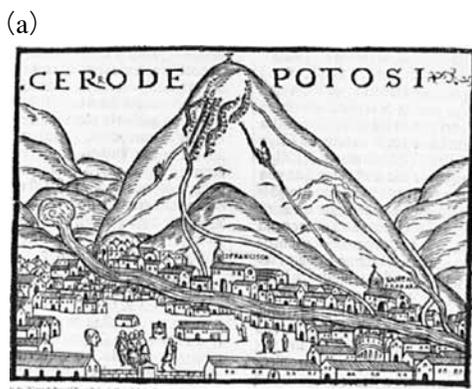


図2 副王トレドの在任前後のトレドの概観の変化
(a)：トレド以前のポトシ⁴⁾；(b)：トレド以降のポトシ⁵⁾

^{*4} 1563年に発見されたペルー領内にあるワンカベリカ鉱山の水銀を、王室の専売として確保した。

^{*5} ポトシ銀鉱山は、1545年に発見されていたが、当初は伝統的な先住民のグアイラ法で精錬されていた。この手法では、高品位の鉱石のみしか精錬できず、1572年頃には品位が落ちて低迷し、しかも屑鉱が堆積してしまった。

を果たしたトレド鉱山業における基本的な政策とシステム化の特徴は、以下の6点に集約することができる。

- 1) 先住民インディオの集住化（レドゥクション；reducción）と強制労働（ミタ制度；mita）を導入し、それにより鉱山での労働力を確保して、管理することができた。同時に、キリスト教の布教を進めるとともに、微税や労働力確保のための人口動向を管理していた⁷⁾。
- 2) 銀の製錬法として「水銀アマルガム法」を全面的に採用する。銀の水銀アマルガム法は、既に1556年にメキシコにおいて、パティオ（patio）法として発明されており、実用化しつつあった⁸⁾。しかしながら、この手法は、当時のペルーの条件（鉱石の条件、気象条件、物資調達等）には適合せず、採用されなかった。その後、1572年に、トレドの命を受けたフェルナンデス・デ・ベラスコが、低品位の屑鉱石からの銀の抽出に成功し、カホネス（cajones）法と名付けられ、ポトシにおける基本技術を確保してゆくことになる⁹⁾。カホネス法とパティオ法との最大の相違は、アマルガム工程で反応槽（カオン）を「加熱」していた点にある。これにより、製錬効率を4倍に上昇させることを可能にし、当初100年分に相当すると見積もられていた屑鉱や坑内の残鉱が、トレド在任中の1577年頃にはほとんどなくなった²⁾と言われるほどであった（詳細は後述）。
- 3) アマルガム製錬では、原料鉱石の粉碎が重要な鍵を握るが、破碎・粉碎の動力源として、水力（水車）を利用した。すなわち、ポトシでは、大々的なダム建設と疎水工事が施され、貯水池－水路－水車の巨大ネットワークが構築されたため、16世紀末には必要な水量をほぼ確保することを実現できていた¹⁰⁾。

- 4) ワンカベリカ水銀鉱山とポトシ銀鉱山を結ぶ物流（陸路、海路、貯蔵所）ルートを固定し、水銀輸送の安全化を図っていた。すなわち、チンチャ港とアリカ港間を王室の海上輸送とし、鉱山と港の間は、リヤマ隊の陸送で、運搬業者との契約を結んだ。また、両港には、水銀の王室倉庫を設置していた¹¹⁾。
- 5) 法制面では、1571年にワンカベリカ鉱山法並びに1574年にポトシ鉱山法を制定し、また1572年に最初のミタ制度を導入した。この中には、水銀蒸気を吸引しないようにする一種の作業基準として、鉱山労働者や製錬労働者の水銀中毒を予防するための基本的な対応が明文化されていた¹²⁾。
- 6) 水銀を王室の専売商品として価格と取引を規制することにより、銀生産を管理した。¹¹⁾

以上のように、トレドは、製錬技術、労働供給体制、資材運搬体制、水源確保等の必要措置を強力に進め、法制面を含めて、鉱山業を体系化していった。そして、1574年からアマルガム製錬が本格化して、1578年にはトレド鉱山政策の構想の骨格がほぼ完成し、離任時の1581年には銀生産量がそれ以前の低迷期の7～8倍にあたる急増を可能にしたのである²⁾。

1-2. ポトシ鉱山における水銀のアマルガム製錬技術（カホネス法）の特徴

ペルーで行われていたアマルガム製錬法は、上述のように、カホネス法と呼ばれるものである。それに関して記述のある史料は、発行年代順に、カポチュ（1585）¹³⁾、アコスタ（1590）¹⁴⁾、バルバ（1640）¹⁵⁾ およびアルサンス（1736）¹⁶⁾ が存在する。この中で、カポチュの記述が、16世紀後半に採用された製錬プロセスを説明する基本的なものとして捉えることができ、またアコスタの記述は、それを補足する上で重要な情報源となる。一方、バルバの著書『Arte de los

metales (冶金学)』(1640)は、トレド以降の鉱山学・冶金学の名著として賞賛されているが、その中で、アマルガム法の製錬上の改良点についても言及している点は注目に値する。特に1609年頃にバルバ自身が開発したとされる「カソ法(Cazo)」は、銅製の反応容器を用いており、その下部から「加熱して水分を沸騰させながら反応させる」という手法¹⁷⁾は、後に述べる技術開発の重要な点に連結しているのである。

そこで本稿では、ポトシの製錬工場の全体像を捉えることができる、アルサンスの絵図(図3)を元に(必要に応じて、カポチュエの記述などから補足することにより)、そのプロセスを具体的に分析してみることにする。図3は、代表的な製錬工場(インヘニオ; ingenio)の平面図としての描写であり、工場全体は、壁と建屋で囲まれていて、周囲半分を水路(リベラ; Ribera)が流れている。このアルサンスの絵図から推察される「設備配置および作業動線」は以下の通りである。

物の流れは、図の上から鉱石搬入、鉱石粉碎、混合と反応槽作業、分析作業となっており、その左に河川で水洗選鉱を経て、加熱分解と回収工程へと連結し、最下段に倉庫と管理棟が設置されている。下部には正門である第一通用門があり、鉱山主(アソグエロ; azoguero)の住居と礼拝堂が立地し、さらに銀と水銀の保管倉庫が存在する。主要な設備としては、2基の水車駆動式の粉碎機(1基は敷地外の片軸型、もう1基は、敷地内の両軸型)、中央付近に金網でできた篩装置が2枚ある。また、加熱炉(ブイトロント; buitrón)は4基あり、各炉に6~9面の反応槽(カホン) (総称がカホネス)

がある。

この工場(インヘニオ)の操業要員としては、描かれている人員だけでも、合計60名であり(カホン要員が最大の31名、物資受け入れ側に12名、鉱石粉碎機には敷地内に2名、洗浄要員が6名、待機人員3名など)、これは、17世紀前後の平均的なインヘニオス(mill)における要員配分であると考えられる^{*6}。

また、総括的な作業工程は、以下の5つに段階付けられる。

1) 採鉱した鉱石の搬入:

鉱石搬入には、上部の第二通用門が利用され、鉱石搬入監視所と見張り小屋及び製錬に必要な物資の受付所が並び、それらの受け入れ用の取引窓口が設置されている。

2) 鉱石の粉碎:

銀鉱石の種類と品位に関して、先住民がグアイラ法に供していた銀鉱石は、タカーナ(tacana)と呼ばれ、銀収量は、鉱石1キ

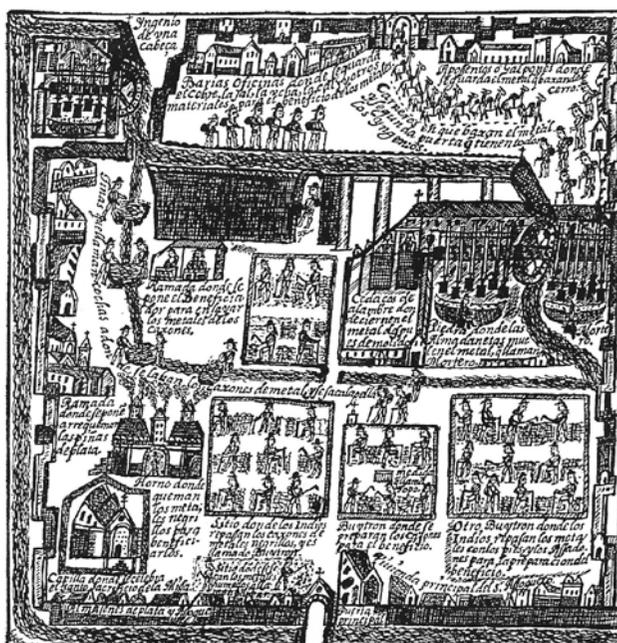


図3 ポトシ鉱山における製錬工場の概観図¹⁶⁾

^{*6} 1603年のポトシ全体の先住民配分の数値によると、インヘニオス(mill)に配分された労働者は、4000人となっており、これをインヘニオスの数132で割ると、1工場当たり約30人になり、アルサンスの絵図の31人とほぼ一致する。

ンタル (約 45kg) 当たり, 30 から 50 ペソであったとされるが, 高品位の鉱石は, 鉛 (Pb) や硫黄 (S) が高く, アマルガム法には適さなかったと考えられる。一方, デスマンテ (desmante) といわれる廃鉱石や貧鉱石は, 鉛や硫黄が低く, アマルガムによる銀の抽出が容易であったと推察される。さらに, アルサンスは, 多くの鉱石の種類を, 微細な色調等の差異から識別していたとされ, 結論的には, 品位の見定めは, 長年の経験を要するものと思われる。さらに, パーシー (1880)¹⁷⁾ は, アルサンスの記述内容を次のように 2 種類に区分している。第 1 種は, パコス (pacos) と称され, 塩素 (Cl), ホウ素 (B), ヨウ素 (I) と結合した金属銀であり, 別名を ‘metal calido’ (熱い鉱石; 焙焼が不要の意) といい, アマルガム法が適用された。この中で, 鉄 (Fe) や銅 (Cu) を含むパイライト (硫化鉄: FeS_2) と結合するとムラトス (mulattos) になるという。パイライトが多くなると, アマルガム製錬の前に焙焼が必要になる。そして, 第 2 種は, ネグリージョス (negrillos: 黒色系鉱石) であり, 輝銀鉱石 (Ag_2S) 並びに, 硫化銀にアンチモン (Sb) が入ったもの (濃紅銀鉱石) やヒ素 (As) が入ったもの (淡紅銀鉱石) がこれにあたる。また第 2 種に分類される鉱石は, ‘metal frío’ (冷たい鉱石; 焙焼が必要の意) と呼ばれ, その焙焼過程は, アルサンスの図 3 の左側のラインで処理されているものに対応している。一方, 敷地の外に設置されている粉碎機は, ネグリージョ専用のものと推察される。

3) 反応槽での作業と分析:

粉碎された鉱石は秤量され, カホンに挿入され, 数人で足踏み混練している状況が伺える。鉱石 40 ~ 50 キンタル (約 1.8 から 2.3 トン) 当たり, 塩 5 キンタル (約 230kg)

と, 鉱石品位に基づいて, 水銀が荒布目を通じて散布され, その量は, 純銀量に対して, 約 4 ~ 5 倍である^{9), 13-15)}。それに水を加えて反応槽に挿入しているが, 水量に関する知見は記されていない。この図によれば, 4 基の加熱炉のうち, 1 基 (下部の中央) で準備作業をしており, 残りの 3 基は混練中であると推察される。また中央の左側にある分析所では, 各カホンの中の鉱石が精査され, 水銀量が決められていた。しかし特異な点としては, 当時, 富鉱とされていたネグリージョの処理プロセスだけは, 左側下部に集約されていることである。ここでは, 焙焼炉で焼成 (硫化鉱石を脱硫) し, その鉱石を第一通用門の左側で乾燥・冷却しており, 続いて, その上に描かれた専用加熱炉で混練して製錬されている。

1 基の加熱炉の上に 6 面のカホネスがあり, カホンごとに 1 ~ 2 名のインディオが従事している。5 ~ 6 日間保存した後, 分析をして, 加熱炉から取り出し, 引き続きプロセスに回される。

4) 水洗選鉱:

製錬後の処理として, 水洗選鉱が 2 回行われている。中央を横切る用水路の上流から, 回転羽の付く水車で回転させる 2 個の大樽 (ティナ; tina) を使って, 第 1 回目の水洗選鉱が行われ, ここで, 重量物と軽量物に分離される。1 回目で廃鉱とされる軽量物は ‘ラマス (lomas; 鉱泥)’ と呼ばれ, この中に水銀が含まれている。続いて, 2 個の子樽で 2 回目の水洗をして, 粗アマルガム (ページャ; pella) を取り出す。この 2 回目の廃鉱は ‘レラバス (relaves; 尾鉱)’ と呼ばれるが, この中にも水銀と銀が若干含まれている。

粗アマルガムは, 中央左にある絞り場 (ラマダ; ramada) で銀アマルガムと水銀に分

離され、さらに加熱炉で銀が蒸留分離される。得られた銀製品は、粗銀塊で、スポンジ状をしており、分解の程度（水銀残留量）で価値が決められていた。

5) 各工程から逸散する水銀の回収：

水洗過程で出てきた廃銀、特にラマスは、ため池（ポソ；pozo）に集められ、分析して回収製錬されていた（この図には記述なし）。

アコスタの記述によれば（1894）¹⁴⁾、約50の製錬所において、鉱泥からの水銀回収が行われたとされ、年間2000キントルを回収していたという。

1-3. ポトシ鉱山における水銀のアマルガム製錬による水銀汚染

1-2で述べてきた水銀アマルガム製錬工程において、労働者が水銀に曝露される可能性が高い作業は、①混練作業、②水洗分離作業、③抽出された銀アマルガムを加熱分離して水銀を回収する作業の3段階にあるといえる。

まず①について、海拔4000mのポトシ鉱山における混練中の加熱は、水銀の蒸発を促進させるため、水銀の放散とその作業中における水銀曝露を増大させたと考えられる。続いて②水洗分離作業では、上述のように、結果として大量の鉱泥の形での水銀が流出することになるが、鉱泥中に逸散した水銀のほぼ70～100%回収していたとされる¹⁴⁾。最後に、③の粗アマルガムの絞り作業と蒸留分離作業において、蒸留後の水銀蒸気は、凝集装置で回収され、再利用されているものの、10%ほど回収漏れが生じていたと見積もられている⁸⁾。

このように、ポトシ鉱山におけるアマルガム製錬工程において、主に蒸発ロスと水洗ロスがあったと考えられるが、文献に残された値から見積もると、大気中に10%、鉱泥中に30～50%と推定され、合計でも少なくとも40～50%の水銀ロスが発生していたと考えられる。現代においても水銀アマルガム法が利用されているアマゾンの小規模採取作業中には、添加水銀量の40～50%が河川に流出しており、残りは大気中に逸散していると報告されている¹⁸⁾。これはポトシのケースと異なり、非加熱製錬で、かつ回収という観念のない現場での数値である点に留意しておきたい。

一方、人体への影響は、混練作業と蒸留作業において、定常的な曝露であり、深刻であったと予測される。さらに、既定の工程作業以外にも、労働者が柔らかいペースト状態、あるいは液体の水銀を口に含んで持ち帰り、銀を回収して市場で売ることが頻繁に行われていたと報告されており¹³⁾、ポトシの町が水銀中毒の町であったことは確かであろう²⁰⁾。

2の全体を総括して、ポトシ鉱山におけるアマルガム製錬技術と水銀汚染との関係性を模式化すると、図4のように示すことができる。

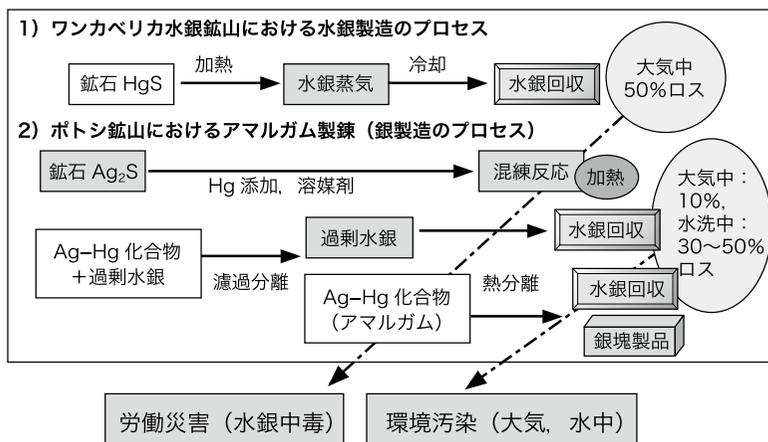


図4 ポトシ鉱山におけるアマルガム製錬技術と水銀被害との関係性

2 過去と現在の対話から未来への貢献：
重金属汚染改善の技術開発に向けて

2-1. アマルガム製錬技術進歩の変遷から得られる開発の鍵

アマルガム法に着目した水銀や銀に関する製錬技術の歴史の変遷は、19世紀中頃にその反応過程を記述する化学反応式が生まれる前後で二分される。そして、化学式が生まれる前の段階では、ポトシでの製錬技術を含めて、多くの試行錯誤の中から、まさに卓越した経験知の集積により創造されたものと言える。ここでは、この分岐に即して、技術開発の鍵となる重要な知見を中心にまとめてゆく。

(1) 19世紀中庸以前における経験知に秘められた再注目すべき技術

本研究が着目している水銀を用いる冶金術に関して、最初の歴史書として、プリニウスの『自然誌 (Naturalis Historia)』があり、辰砂の焙焼および水銀アマルガムによる砂金製錬や金メッキについて述べられており、水銀の物性や毒性に関しても、ギリシャ、ローマ時代から既に承知されていたと推察される²¹⁾。

中世の錬金術は、秘密厳守の世界に隠されていた。しかし、その禁を破ったのが、1540年に出版された『Pirotechnia (ピロテクニア)』(Biringuccio,1540)²²⁾であり、著者のピリングッチョ自身が習得した技術の詳細を記しており、また冶金を包括的に網羅する最初の出版書籍として位置づけられている。中でも、臼式の粉碎機を利用してアマルガム化する方法を明示しており(図5)、この操作により、金は水銀とのアマルガム反応が極めて活性化されるため、中世以降の実用化への原動力となったと推察される。しかしながら、銀の水銀アマルガム法が応用された事実は、

ヨーロッパには存在せず、上述したように、スペインの植民地アメリカの銀鉱山において、初めて実用化された点の特筆に値するであろう。

銀鉱石のアマルガム製錬法の方は、2で描写したように、スペイン植民地ヌエバエスパーニャ(現在のメキシコ)において、パティオ法として実用化され、その後ペルーにおいて、その気候等の条件に合うカホネス法が開発されて、トレド効果の機動力になってゆく。ペルーで採用されたアマルガム法の製錬過程を現代科学の視点から再構築して模式化したものが図6である⁶⁾。またこの図より、鉱石採取から水銀アマルガム精錬までのプロセスは、以下の4段階に分けることができる。



図5 中世ヨーロッパにおける石臼粉碎機を利用したアマルガム化²²⁾

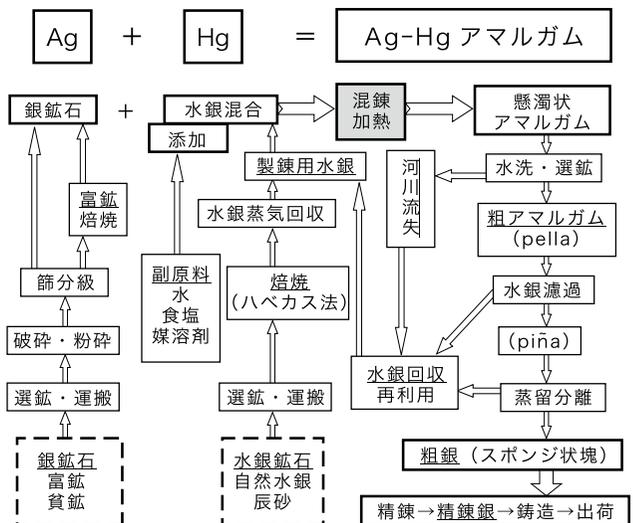


図6 ポトシ鉱山の銀製錬プロセスの工程図

- 1) 選鉱段階の精鉱化技術：①事前焙焼，②微粉化技術（粉碎と反応の同期化），③貧鉱処理
- 2) 高粘度鉱泥の湿式製錬技術：①高粘度流体の固液接触反応機構（湿式製錬の基礎），②攪拌混合方法と効果（反応場の集中化と反応効率），③貧鉱処理
- 3) アマルガム化後の分離精製技術：①浮遊選鉱法，②遠心分離法等
- 4) 仕上げ高純度化技術：①製錬法の選択，②スポンジ塊の活用

以上の中で、本研究の新技术開発における核心部は、2) の高粘度鉱泥の湿式製錬^{*7}技術にある。各種金属と水銀とのアマルガム反応に関する反応動力学的な研究は、現状でもほとんどなされていないが、基本的な系は、高粘度混合物（非ニュートン流体）中に分散された液体水銀粒と銀鉱石粉体との固液接触反応であると考えられ、これこそが湿式精錬に値するものである。そこで、注目すべき2) ①湿式製錬の基礎をみると、重要な事柄が2点存在している。すなわち、一つ目は、媒溶剤（マヒストラルmagistral；鉄と銅の硫酸塩）と食塩の添加の意義であり、異種の触媒作用と解釈される。また2つ目は、上述したようにカホネス法の特徴である加熱の効果であり、メキシコのパティオ法では、反応完了までに20～27日かかっていたものが、ペルーのカホネス法を用いると、速度効率が4倍に上がり、5～7日に短縮されたという。また、2) ②攪拌混合に関しては、メキシコではトルタ状（銀鉱石の粘性土壌）の鉱石を馬などの畜力で攪拌しているが、ペルーでは、先住民が足踏み混練（repasso）しており、高粘度の鉱泥に対して、このような攪拌がどのような作用を及ぼすかを説明するのは容易ではない。しかし高粘性流体の動力学的考察は、技術

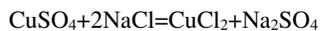
開発の上で非常に重要になるので、今後の基礎的研究の蓄積が待たれる。そして2) ③に関して、中世以降、アマルガム法が貧鉱処理に有利とされ、急速に導入されてきた理由として、廃鉱並び尾鉱に硫黄や鉛の含量が低かったこと、またそのことが、硫黄による界面反応抑制作用を低下させたと考えられる²⁸⁾。

さらに、1) から4) の全ての工程に関することとして、鉱石粉碎と水銀との反応を同期化する手法は、図5や後述する‘Pan Amalgamation（鍋混濁法）’²⁹⁾と同様な意義をなし、新開発技術の根幹に関わる側面でもあることを記しておく。

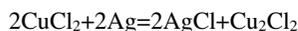
(2) 19世紀後半以降のアマルガム製錬技術の進歩

19世紀後半以降に、化学記号を用いてアマルガム法が描写されてゆくことになるが、その古典的な記述として『金と銀の冶金学』（1880）¹⁷⁾が存在する。この当時は熱力学の理論が誕生したばかりであるが、本書には、化学反応が元素の置換反応として表記されており、また鉱石の分類、元素の種類、製錬操作など広範囲に渡って網羅された示唆深い研究書である。また、『銀の抽出』（1895）²³⁾の中では、銀のアマルガム反応に関して、以下のような化学反応式の記述が見られる。

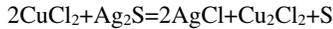
- 1) 媒溶剤（magistral；銅と鉄の硫酸塩）と食塩（NaCl）の反応



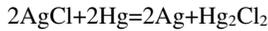
- 2) 塩化第二銅（CuCl₂）や塩化第一銅（Cu₂Cl₂）が自然銀（Ag）や硫化銀（Ag₂S）を塩化銀（AgCl）にして析出分離する反応



^{*7} 金属の製錬法には三方式ある。湿式/乾式/電解の各製錬法である。前二者に関しては製錬を水溶液などの溶媒中で行う場合湿式精錬であり、それ自体の熔融状態や気体を反応物質とする場合は乾式製錬である。駆動力に電気を使った湿式精錬が電解製錬といわれる。



- 3) 析出した塩化銀 (AgCl) が水銀によって還元され金属銀が生成する反応と、それが過剰の水銀 (α)^{*8} 中に取り込まれてアマルガムとなる反応



上記からも、多種多様な銀鉱石から塩化銀を析出されるためには、媒溶剤の工夫が必要であったと推察できる。一方、プロセス改善の面で、注目すべき手法は、‘Pan Amalgamation (鍋混濁法)’であり、これは、ピリングutchョの手法 (図5) の延長線上にある技術であると考えられる。

一方、アマルガム製錬法は、1886年にイギリスにおける青化法の工業化の成功以降に、第一線から退いてゆくことになるが、1930年代まで青化法との併用という形で使われていた^{24, 25)}。さらに、この鍋混濁法そのもの、あるいは青化法との併用の形で、我が国においても、明治以降の佐渡金山に継承されていた点は、注目すべき事象である。

2-2. 重金属汚染改善・貴金属回収に関する技術開発の基礎理論の構築

以上述べてきたように、本研究では、このポトシ銀山で開発・発展してきた古典的な製錬技術に再度着目して分析することにより、都市電子廃棄物から貴金属回収等の「現代社会」に応用還元可能な重金属汚染の復元・再資源化のシステム構築に関する基礎理論を見出すことに成功した。ここで抽出された重要な事柄は、以下の4点にまとめられる⁶⁾。

- 1) 高温煮沸反応 (製錬部のアマルガム反応槽を加熱することにより、処理効率を4倍向上させていた事実を検討)

- 2) 高圧反応 (海拔4000mのアンデス高地での製錬環境について、逆に加圧することで、浸透による同様な反応場を作ることが可能と想定)

- 3) 粉碎とアマルガム反応の同期化 (粉碎機の中で、粉碎と水銀アマルガム反応を同時に処理するのだが、衝撃や摩擦等の機械的エネルギーを与えることで、対象物質が活性化されて化学反応が促進する原理: メカノケミストリーを適用)

- 4) アマルガム後の分離精製技術 (当時の技術では、水銀の気中および水中への流出が推算されたが、現代科学の技術を用いて改良することにより、100%回収が可能)

これらの知見をもとに、現代科学の知見による幾つかの改良を加えることにより、貴金属回収のための新たなシステムとして再設計し、その効果を定性・定量分析装置による実験的検証を試みた⁶⁾。その結果、携帯電話等の電子廃棄物試料中の銀をはじめとする貴金属が、水銀アマルガムとしてほぼ100%回収出来ることが確認でき、その有効性の高さが十分に証明できている。また、その資源化対象は、都市電子廃棄物にとどまるものでなく、固体資源の焼却灰滓や汚染土壌、不銹鋼鋳滓並びに液体資源の酸洗廃液、メッキ廃液、処分場廃液などにも拡張・汎用できるという重要な利点も視野に入れつつ検討している。

おわりに

以上のように、本稿で紹介した学際的研究は、歴史学に端を発し、その結果に製錬工学を融合させて実践的展開を構想するという、極めて独自性の高い試みとして捉えることができる。また、水俣病の社会問題化により1970年代以降途絶えてしまった製錬研究分野に、応用開発の

*8 現在ではアマルガムを構成している金属間化合物は γ 合金 Ag_4Hg_5 であると判明している。

側面から新たな試金石を投じるものとなり、それ以前の重厚な学術的関連研究の意義を、今日的緊急課題の解決策へと浮上させ、また未来への実践的展開に発展させる可能性をも有していると考えられる。

これまでに、中国広東省スワトウ市近郊の貴嶼（Guiyu）村を事例として言及してきたように²⁶⁾、経済のグローバル化の進展にもなつて、循環資源（再生資源・中古品）の貿易による越境移動が拡大してきており、同時に環境汚染やリスクの移転問題も浮上してきている。したがって、もはや循環は国内だけを注視するものではなく、近未来的に国際的な循環型社会の構築を目指して、グローバルな視野から検討すべき時代を迎えているといえよう。そこで、まず人びとの生活を脅かすような重篤な環境問題から脱却を図ることが急務であるため、本研究における開発技術は、直面する重金属汚染土壌の修復に適用することが可能であり、将来的には、比較的安価で利便性が高い側面を活かし、現地社会のリサイクルシステム現場への導入等の国際貢献、もしくは日本への資源還流等の展望も期待できるものである。

こうした文理融合研究の重要性は認識されているものの、一般に専門化された学問領域間では、共通のコミュニケーションや包括的な研究が成立しない傾向がある側面は否めない。しかし、本研究が目指すものは、個々の問題ではなく「総合的なシステム」を考察するために、各プロセスにおいて「個人レベルの学融合」と「研究者間レベルでの学融合」の双方を意識することが、他の文理融合研究と一線を画している点であるといえよう。この包括的実践学の実現により、課題の認識と問題の解決策とが連鎖的につながってゆくダイナミックな関係性が生み出され、また各分野の協働による相乗的な前進を導くものと期待される。

本研究で開発した今日的課題に貢献できる独

創的な技術は、上述のように、旧スペイン領アメリカで用いられていた古典的な製錬技術から見出されている。また、こうした製錬反応過程を示す化学反応式が生まれるのは、19世紀中庸であることに鑑みると、その当時、計り知れぬ程の試行錯誤の繰り返しの中から、卓越した観察力と洞察力が活かされつつ、巧妙な技術として体系化されていったものである点も言及してきた。しかし、この鉱山業のシステム化を実現するためには、極めて多くの先住民が強制労働を強いられ、水銀中毒や過酷な労働による健康被害や命を落とす危機にさえ晒されていた事実⁷⁾があったことを忘れてはならない。

環境汚染問題は事の起こりから、その被害を受ける人々の多くが、経済的・社会的に不利益な立場に置かれている社会的弱者であったり、また老人や子どもなどの生理的弱者であったりしたが、グイユ村における都市電気廃棄物の事例に見るように、現代社会においてもその状況にはいまだ改善が見られない。よって、「社会的に脆弱な部分」²⁷⁾に注視してゆく人間の安全保障に立脚したアプローチとその実践的展開が、環境問題改善にも益々求められていることは間違いない。さらに、変化を繰り返す環境の中で、個人や地域がその能力を高めて、生活への脅威を認識する主体として、さらに自らの判断に基づいて行動する主体として、エンパワーメントを培ってゆくことも、長期的な視野を持って、包括的に支援してゆかねばならない。

以上のように、数百年前に生きる先人たちが残してくれた「人間の知恵の結晶」と称すべき技術の所産を、長期的な時間軸を超えて現代科学の視点を融合させることにより、今日、刻々と進行している人体・環境汚染改善の実践的還元へと導いてゆくために、包括的討究の今後のさらなる進展に期待してゆきたい。

・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 参考文献 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

- 1) 青木康征 (2000) 『南米ポトシ鉱山』中央公論新社.
- 2) Cole,A.J. (1985) *The Potosi Mita*, In ‘California’, Stanford University Press, 1573-1700.
- 3) 姉崎正治 (2008) 「イスパノアメリカの植民地時代における銀鉱山での水銀汚染に関する地域動態的研究」大阪大学グローバル人間学紀要 **1**, 55-69.
- 4) 増田義郎 (2007) 『インカ帝国誌』岩波書店.
- 5) Bakewell,P.J. (1997) Technical change in Potosi:The silver boom of the 1560's , *An Expanding World.The European Impact of Silver and Gold in the Americas* (ed. Bakewell,P.) VARIORUM, 75-95.
- 6) 姉崎正治, 三好恵真子 (2011) 「スペイン植民時代のポトシ鉱山における銀製錬技術の再評価と今日的応用開発への可能性」大阪大学人間科学紀要, **37**, 299-319.
- 7) 染田秀藤 (1989) 「スペイン領アメリカペルー副王領」『ラテンアメリカ史, 植民地時代の実像』(染田秀藤編)世界思想社, 97-206.
- 8) Probert,A.(1997) Bartollome de Medina:The Patio Process and the Sixteenth Century Silver Crisis, *An Expanding World.The European Impact on World History 1450-1800*(ed.Bakewell,P.), **19**, VARIORUM., 96-129.
- 9) Bargalló,M. (1955) *La Minería y la Metalurgia en la América Español durante la época colonial*,Mexico:Fondo de Cultura Economía.
- 10) レイノルズ, T.S. (1989) 末尾至行, 『水車の歴史－西洋の工業化と水力利用』, 平凡社 1 .
- 11) 近藤仁之 (1959) 「水銀アマルガム法, 水銀供給源, 及び価格革命:ポトシ鉱山とウアンカベリカ水銀鉱山」, 社会経済史学会編『社会経済史学』, **25**, 216-246.
- 12) Guillermo,L.V.(1986) *Francisco de Toledo-Disposiciones Gubernativas para el Virreinato del Perú,1569-1574*,Sevilla:Escuela de Estudios Hispano-Americanos.
- 13) Capoche,L. (1959) *Relación general de Villa Imperial de Potoí*,ed.Hanke,L.,Madrid.
- 14) Acosta,P.J. (1894) *Historia Natural y Moral de las Indias,(1590)*,Sevilla:Casa de Fuan de Leon.
- 15) Barba,A.A. (2003),*Arte de los metales*,Valladlid:MAXTOR.
- 16) Arzáns de Orsua y Vela,B.(1965) *Historia de la Villa Imperial de Potosí*,ed.Hanke,L.Y., Mendoza,G., Brown University Press.
- 17) Percy,J.(1880) *Metallurgy:Silver and Gold-I*,London:John Murray.
- 18) 原田正純, 中西準子, 小沼晋 (1995) 「ブラジル・アマゾン水域の採金による水銀汚染調査」, 公衆衛生, **59**, 307-311.
- 19) Guillermó,L.V.(1999) *Las Huancavelica en los siglos X VI y X VII*,Lima:PONTIFICIA UNIVERCIDAD CATORICO del PERU.
- 20) Kendall,W.B.(2001) Workers’ Health and Colonial Mercury Mining at Huancavelica,Peru,*The Americas*,**57**, 467-496.
- 21) 中野定雄, 中野里美, 中野美代 (1986) 『プリュウスの博物誌』(第三巻), 雄山閣出版 .
- 22) Biringuccio,V.(2005) *De la pirotechnia*,English,DOVER Publications Inc.
- 23) Rhead,L.E.L.(1895) Extraction of silver.*Metallurgy*.,pp.267-285.
- 24) 佐渡市教育委員会世界遺産・文化振興会, 新潟県教育庁文化行政課編著 (2008), 『黄金の島を歩く－佐渡銀金山の歴史と文化－』新潟日報事業者 .
- 25) 山本勇三 (1938) 『産金』ダイヤモンド社 .
- 26) 三好恵真子 (2010) 「集積する都市電子廃棄物による中国の環境問題とその対策－人間の安全保障とサステイナビリティ学の実践的展開を目指して－」 *New Food Industry*, **52**, 53-61.
- 27) The Commission Human Security (2003) *Human Security Now: Protecting and Empowering People*, N.Y..
- 28) Eissler, M. (1891) *The Metallurgy of Silver*, Crosdy Lockwood and Son, London.
- 29) Rhead, L.E.L. (1895) *Extraction of Silver*, Metallurgy, 267-285.

業界を変えた 驚くべきヒット食品

— 「チーザ」 江崎グリコ株式会社 —

田形 暁作*

*TAGATAYoshinari (TAGATA食品企画・開発)

Key Words：チーザ・ヒット商品・商品開発・ブランド化・マーケティング戦略

はじめに

2008年（平成20年）2月に江崎グリコ株式会社から『チーザ』が発売された（写真1）。発売エリアは北海道から近畿地区で開始。しかし、発売から約2週間で販売休止になった。もともと『チーザ』の生産能力は初年度全国展開後、売上金額15億円を計画していた。この数字は江崎グリコが2006年に上市したおつまみ用スナック第一弾「クラッツ」をベースにした。「クラッツ」は初年度に14億円、3年目に20億円を安定的に見込める商品に育ってきた。ところが、『チーザ』は発売から1週目にして計画量のおよそ2倍の売れ行きで生産が追いつかなくなった。ここで生産体制の見直しをし、再度4月から販売を再開した。先ずは4月は首都圏だけ、6月は中部地域、7月は近畿、11月は東北・北海道、2009年2月に全国発売となった。初年度（2008年）の売上

は「全国で1年売っていないにもかかわらず、初年度（全国販売）の目標15億円を大きく上回った。」スナック菓子市場に”大人のおつまみ”市場を新たに構築したと確信した。従って、更に詳しく『チーザ』の情報を入手するためにマーケティング部 松長氏 広報IR部、商品開発研究所に取材した。

1. スナック菓子市場に「大人のおつまみ」である「クラッツ」で市場参入

江崎グリコは1919年創業者の江崎利一が、牡蠣の煮汁にグリコーゲンが含まれることを確認し、1921年に栄養菓子「グリコ」を創製し、試験発売。合名会社江崎商店を設立した。翌年2月11日（のちに創立記念日）大阪三越で販売開始。その後、1933年に酵母菓子「ビスコ」を発売。1958年アーモンド1粒をチョコレートで包んだ「アーモンドチョコレート」を発売。1963年に「バターブリッツ」を発売。1966年に独創的なチョコレート菓子「ポッキーチョコレート」を発売した。ポッキーブランドはターゲットを明確にしながら商品をラインアップし、江崎グリコの菓子では最大のブランドに成長した。最大のブランドである江崎グリコの商



写真1 チーザ

表1 キャンディ、ビスケット、チョコレート、
チョコレート菓子スナック菓子の年間支
出金額状況 (2人以上世帯、2009年度)

品目	年間支出金額(円/年)
キャンディ	2,582
ビスケット	3,408
チョコレート	4,507
チョコレート菓子	1,128
スナック菓子	4,026

出所：家計調査年報 平成21年度

品カテゴリーは菓子類の中のキャンディー、ビスケット、チョコレート、チョコレート菓子を中心とし、スナック菓子市場では苦戦していた。表1に家計調査年報での菓子類の2人以上世帯の年間購入金額を示した。スナック市場はチョコレートに次ぐ市場規模である。スナック菓子市場はカルビーが1964年に「かっぱえびせん」を発売。1975年に「ポテトチップス」を発売した。ポテトチップスは他社も参入し市場規模を拡大した。この結果、スナック菓子市場が確立した。従って、スナック市場はカルビーの市場といっても過言ではない状況であった。江崎グリコはスナック市場に参入したいと希望は持っていたが、従来のポテトスナックでは既存ブランドには太刀打ちできない。江崎グリコの力は「小麦などありふれた材料を様々な菓子に変えていく高い加工ノウハウを持っている。」この技術と江崎グリコの消費者ニーズの分析力をドッキングすることができれば、有力メーカーと差別化した商品を創造できると確信した。

消費者ニーズの洗い出しは家庭内で食する酒のおつまみ市場3000億円に照準をあわせ、団塊世代ジュニアをターゲットにした商品を考えて出すことにした。この世代は外で飲むより自宅で夫婦であるいは1人で飲む機会が増えている。おつまみとして従来のさきイカ、サラミ、ピーナッツのような乾きものではなく、20代、30代の団塊ジュニアが好む、“おしゃれで洋風な大人のスナック”で「大人のおつまみ市場」参入を決定した。第一弾商品として「クラッツ」

を発売し、大人のおやつ市場の入り口を作った。

2. 「大人のおつまみ」第二弾『チーザ』の商品コンセプトと技術開発

第一弾の「クラッツ」は目標以上の売り上げを達成した。しかし、「クラッツ」1ブランドでは新しい大人のおつまみ市場を拡大していくには十分ではなかった。従って、第二弾の商品開発が必要であった。「クラッツ」は主に男性をターゲットにした商品である。従って、『チーザ』は団塊ジュニアの夫婦を主のターゲットとし、ビール系飲料だけでなく、ワインのおつまみも視野に入れた。商品イメージは「ピザの端の固いところ」とか「鉄板でお好み焼きをカリカリに焼いたような食感」といったアイデアができた。これを受け研究が試作を重ね「焦げたチーズの硬い棒」をサンプル提案した。商品企画メンバーはこの“かりかりしたチーズの固い棒”を第二弾の大人のおつまみにすることを決めた。研究所と製造技術が『チーザ』の開発に着手した。

一般にチーズ味のスナックはチーズ量は5～10%くらいである。ところが『チーザ』はチーズをおつまみに食べるという味わいを楽しむためにカマンベールタイプで51%、チェダータイプで52%を練りこむことにした。この技術は江崎グリコの技術ノウハウがあったので可能になった。技術ベースが出来た時点で商品企画から更なる要望が出た。「見た目もチーズのような形にして欲しい」ということである。6P



写真2 6P チーズ

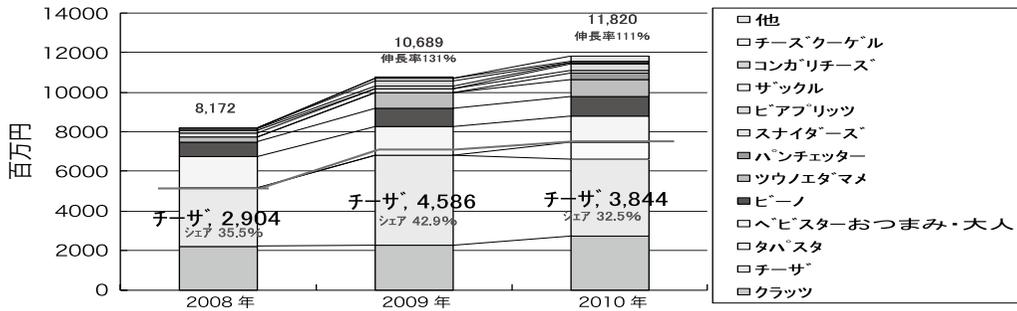


図1 おつまみスナックマーケットサイズ推移 (SRI)

チーズをイメージした。三角形のチーズが6個入り、丸くなった商品である (写真2)。

試作研究には約1年間は必要であった。チーズを生地に練りこむと、生地中の水分が抜けにくく、焦げやすいといった問題があった。そのため、配合を改良し、生地に一定の大きさの穴を開けるなど、様々な試作を繰り返した。試作品は「ピザの端っこのようなカリカリした味」「チーズが濃厚で新鮮な味」といったコンセプトどおりに仕上がった。

3. 『チーザ』の販売金額とブランドシェアトレンド

『チーザ』の販売金額とブランドシェアトレンドを図1に示した。2008年1月から12月の市場規模約82億に対しチーザの売上は29億であり、35.5%のシェアを確保した。更に、2009年、2010年と市場も拡大しチーザの販売金額も増加していった。

4. 『新商品開発の5P』について

新商品を開発し、その商品がお客様の手元に届くために、筆者は図2の新商品開発5Pをチェック用に使っている。

まず第一に「Product」ありきである。「Product」には商品コンセプト、商品仕様、ネーミングなどを決定しなければならない。第二は「Package」

である。包装仕様、デザインなどを決定しなければならない。第三は「Price」である。「Price」は販売、事業化に最も重要と考えている。第四は「Place」である。『Target』のお客様に届けるにはどのチャンネルが良いのか。量販店なのか、CVSなのか、専門店なのか、ドラッグなのか、それとも通販なのか。色々なチャンネルが出てきているので選択と集中が必要になる。第五は「Promotion」である。店頭プロモーション、媒体プロモーションなど費用がかかるので効果的なメディアミックスが重要である。

最後に5Pではないが、『Target』がある。全ての5Pは『Target』を明確にした後のことである。「Product」は『Target』が明確にならないと決まらないはずである。技術先行型の新商品は兎角『Target』を忘れて技術開発に自己満

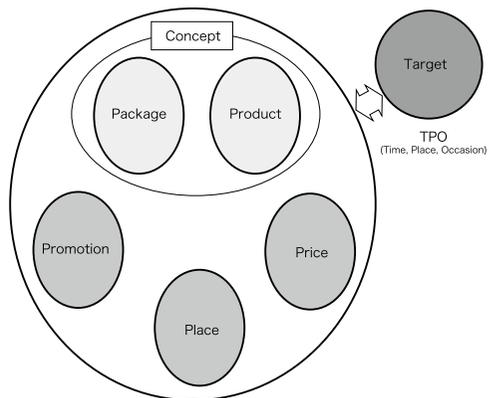


図2 商品開発5P；開発品はユーザーの手元に届く仕組みになっているか

足する傾向がある。顧客あつての新商品であることは最重要である。

5. 『チーザ』の新商品開発とマーケティング・販売を 5P にのっとり紹介

「Target」から順次説明していく。

『Target』は団塊世代ジュニアの夫婦である。

『TPO』は自宅で夕食後のくつろぎに、ワイン、ビールなどを飲むときのつまみとして。

「Product」の商品コンセプトは次のとおりである。

◎味は「ピザの端っこのようにカリカリした食感」, 「チーズの濃厚で新鮮な味」

◎チーズを 50% 以上配合

◎形は「アニメに出てくるような穴の開いたチーズのイメージ」

◎お酒との相性が良い

「Package」のデザインはチーズを想起することにこだわった。6P チーズをモチーフとして 6 個のチーザを円形に配置したデザインをあしらひ、日本人にとって馴染みのあるチーズのイメージを伝えようとした。パッケージの上部も半円形にカットした。これは生産効率上好ましくないのだが、こだわり、ブランドのアイキャッチとした。またパッケージの中央にブランドロゴでなく、「まるでチーズをカリカリに焼いたような」というキャッチコピーをレイアウトした。これはこの新しい商品がどのようなものであるかという特徴をイメージできるように伝えたかったためである。また一見コピーらしからぬ文章のような表現は『口コミ』して欲しい情報をそのままコピーとして使用したのである。

「Cheeza (チーザ)」というネーミングはチーザとピザを組み合わせ、響きの良さを優先して名づけた。

「Price」の価格設定はおつまみカテゴリーにおいてメインゾーンであった 120 円, 180 円 (税

抜) を意識して 180 円 (税抜) に設定した。クラッツの量販商材は 120 円 (税抜) に設定していたため、クラッツとチーザ 2 ブランドでメインゾーンをカバーする狙いである。

※クラッツの CVS 専用品は 180 円 (税抜) に設定。

「Place」はクラッツと連動して、おつまみ売り場で展開することにこだわった。「濃厚おつまみスナック」という新しいサブカテゴリーを創りあげることを目指した。

「Promotion」は菓子業界で珍しいユーザー取り組みを実施した。

ネットショップや一部飲食店、WEB 上でのサンプリングなど、あるところに行けば発売前のチーザを体験できる仕組みを発売日の 3 ヶ月前から徐々に実施した。狙いは口コミの発生による認知の拡大であった。デビュー後の調査でユーザー取り組みによるチーザブランド認知者が認知者全体の 20% を占めていることが確認できた。またデビュー時にはブログにチーザに関する評判や情報が多数書き込まれている状況を作り出した。

おわりに

江崎グリコは念願のスナック市場に団塊ジュニアの女性をターゲットに、自宅で夕食後のくつろぎにワインやビールを飲むときの”おつまみ”として、「クラッツ」の第二弾としてチーザを 50% 以上加えた『チーザ』を発売することで参入し、新たな市場を確かなものにした。CVS での売り場はおつまみであるさきイカ、ピーナッツなどのフックにかけた商品の上段にスタンディング状態で陳列してある。スナック菓子売り場ではない。今後、同じコンセプトで他社が参入してくることは多いと考えられるので、品質の改良とコストダウン、更には新たなコンセプトの”大人のつまみ”を開発し、他社の参入に備えていかなければならない。

ユーラシア大陸の乳加工技術と乳製品

第12回 古代東アジア

—『斉民要術』を基にした乳製品の復元

平田 昌弘*

*HIRATA Masahiro (帯広畜産大学)

Key Words：乳加工体系・東アジア・斉民要術・再現

はじめに

東アジアは、本来、乳文化圏にはない。本シリーズ第1稿目53(1)の伝統的搾乳地帯を示した図1を参照されたい(平田, 2011)。日本人, 朝鮮人, 漢人などの一般市民は、基本的には乳製品を食してこなかった。しかし、東アジアでは、牧畜民系統の北魏(AD 386年～AD 556年)や元(AD 1271年～AD 1368年)に長く統治されてきた歴史があり、乳製品の利用を示す古文書が多数残されている。また、日本では、貴族階級の一部の人びとに乳製品が医薬的に利用されていたことが『本草和名』『医心方』などの古文書や木簡に示されている(廣野, 1997; 有賀, 1998)。東アジアの古文書には、酪, 乾酪, 漉酪, 馬酪醇, 酥, 生酥, 熟酥, 蘇, 蕪, 醍醐といった乳製品が登場する。これらの乳製品がいったいどのようなものであったのだろうか、その再現は太古の昔の復元というロマンに満ち、極めて興味深い。

これらの乳製品は、時代と共に生起・消滅する。つまり、参考とする古文書によって、再現対象とする乳製品の内容が異なってくる。本稿では、『斉民要術』をテキストに、東アジアにおける古代乳製品を再現した結果を紹介しよう。『斉民要術』は、北魏時代(AD 386年～

AD 556年)の末期、AD530年～AD 550年に賈思勰によって編纂された。北魏は、牧畜民由来の鮮卑の集団が華北地方に建国した国家である。何故に『斉民要術』を取り上げるかという点、1) 編纂されたのがAD 530年～AD 550年と極めて古いテキストであること、2) 乳加工の説明が詳細に記述されていること、3) 斉民要術が引用した編纂文献数が約180と、後代の古文書と比較すると極めて少ないことから、生乳から最終産物までの一連の乳製品の再現にあたっては混乱をより避けられるであろうことに主によっている。

『斉民要術』に登場する乳製品の語彙は、牛乳を原料としてつくる酪・漉酪・乾酪・酥と、ロバとウマの混合乳を原料としてつくる馬酪醇である。ロバとウマの乳は入手が困難なため馬酪醇は再現実験を諦め、酪・漉酪・乾酪・酥についてのみ再現した結果を紹介してみたい。古代の東アジアや日本の乳製品を再現し、新たな商品化を試みられている開発者の方々の参考になれば幸いである。

1. 『斉民要術』の原典訳

図1に、斉民要術の原典の一部、乳加工につ

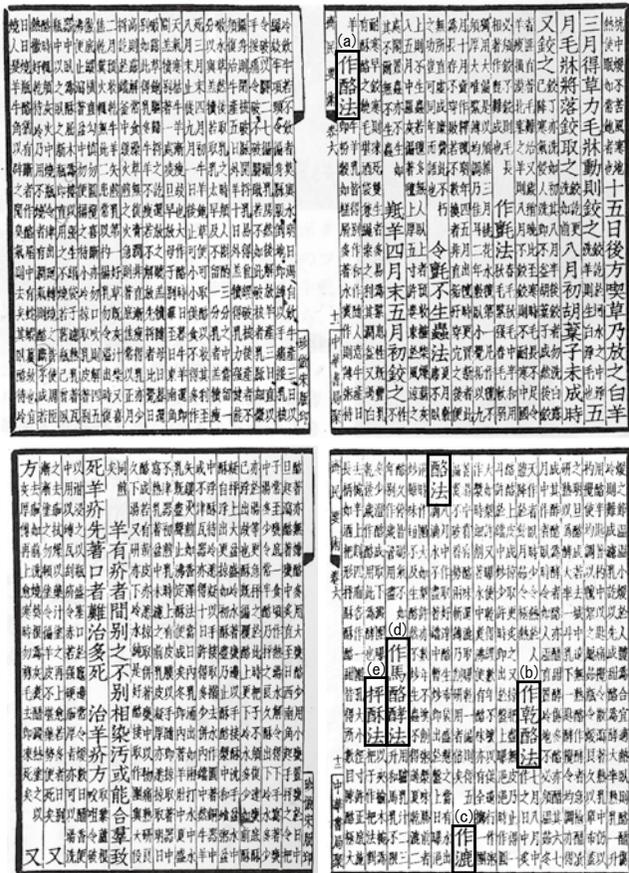


図1 芥民要術の原典の一部

酪，乾酪，漉酪，馬酪，酥についての詳細な記述がみられる。

いて記述のある箇所を示した。興味深いので、この原典の内、酪，乾酪，漉酪，酥の加工に言及している箇所をそのまま以下に訳を示す。この原典訳は、嶋田(1997)の訳に主に基づいている。

【酪】についての原典訳（原典には作酪法と記される）

酪は牛乳，羊乳のいずれからでもつくれる。(中略)搾乳が終わったら，乳を鍋に入れ，弱火で加熱する。火が強いと音を立て，底のところが焦げる。例年，正月から二月にかけて，あらかじめ牛や羊の乾いた糞を集めておき，それを燃やして乳を加熱するのがもっともよい。草を燃料にすると灰が乳に入り，柴を燃料にすると火力が強くて焦げやすい。乾燥した糞を燃料に

すると火力が弱く，それらの欠点がない。加熱の途中では，継続的に乳を杓子でかきあげ，溢れでないようにする。ときどき底まで縦横十文字に攪拌する。まちがっても円く攪拌しない。円く攪拌すると，断れやすい。口で吹くことも禁物で，吹くと解ける。四，五回ふつふつと沸騰したならば加熱をやめ，浅い盆にあける。かきあげてはいけない。少し冷えたら，表面の乳皮をすくいとり，別の容器に入れる。乳皮は酥を作るのに用いる。木を曲げて輪を作り，これに生絹の袋を張り，加熱した乳をこれで濾過し，素焼きの瓶に入れてねかせる。(中略)酪をねかせるには，温度の調節が必要で，ぼかぼかして体温よりやや暖かいところが適温である。そ

れより温度が高いと、酪はすっぱくなり、低いと酪はできない。加熱した乳を濾過したのち、瓶に入れ、酵として前につくっておいた良質の酪を加える。その量は、適温にした乳約一升に対し小匙半杯である。酪を大きい杓子に入れ、匙でよくかきまぜてから、瓶に入れる。さらに杓子でむらのないようによくかきまぜる。絨毯や綿布などで瓶を包み、一重の布で蓋をしておくと、翌朝には酪ができあがる。(中略) 六月から七月に酪をつくるときには、体温ほどに保温し、土のうえに瓶をじかに置いてよく、包んで保温する必要はない。冬につくるときには体温よりやや高く、その他の季節では体温ほどにして、包んで保温する。

【乾酪】 についての原典訳（原典には作乾酪法と記される）

乾酪は七月から八月中につくる。酪を天日にさらすと、酪の表面に乳皮ができるから、それをすくいとる。さらにさらし、さらに乳皮をすくいとる。力が尽きて乳皮ができなくなるまで、この操作を続ける。乳皮が一斗ほどになったら、鍋に入れてしばらく加熱し、浅い盤にあけて、天日にさらす。それがどろどろの半乾状になったら、ナシの実の大きさほどの団子にまるめ、また天日にさらして乾かす。乾酪は何年たっても腐らないから、遠出の旅に用いられる。

【漉酪】 についての原典訳（原典には作漉酪法と記される）

漉酪は八月中につくる。上等の甘くて濃い酪をつくり、生布の袋に入れて吊るし置くと、水がぼたぼたと垂れる。水滴が出なくなったら、鍋に入れてしばらく加熱し、盤にあけて天日にさらす。どろどろの半乾状になったら、ナシの実の大きさほどの団子にする。これもまた、何年たっても腐らない。

【酥】 についての原典訳（原典には拵酥法と記される）

ろくろでつくった木椀で攪拌子を作る。作り

かたは、椀の上半分を切り捨て、四辺に孔を一個ずつ開ける。孔の大きさは直径一寸である。その底の中央に長柄をつけたもので、酒把子のような形に整える。酥をつくるのに用いる原料の酥や酪は、甘いもの、すっぱいもの、いずれでもよい。たとえば、数日を経た古い酪で、非常にすっぱくなったものでもよい。酪が多いときには大甕を、少ないときには小甕を用いる。甕を天日のもとに置き、朝早く起きてその甕に酪を入れて、天日にさらす。そのままにしておいて、太陽が西南の角にまわる頃まで待つ。それから手動で攪拌を始めるが、攪拌子は常に甕の底に着くように上下に動かす。一食の時間ほど攪拌したら、熱湯を沸かし、それに冷水を加えて手で触れられる程度の温度にし、それを甕に入れる。湯の量は常に酪の半量とする。これを再び攪拌する。しばらくすると酥ができるから、冷水を加える。その量は先の湯の量と同じくらいで、それから急いでまた攪拌する。酥が浮いているので、甕の底まで攪拌する必要はない。酥が酪の表面を覆うようになったら、また冷水を加える。その量は前と同じである。酥が凝集したら、攪拌は終りである。冷水を入れた小さい盆を甕のかたわらに置き、酥を手を受けて、その盆の水に沈めると、酥はひとりでに浮き上がる。ふたたびこれを繰り返す、甕の酥がなくなったら終りである。酥を取った残りの酪漿は、冷たい飯や粥に混ぜて利用できる。水盆中に浮いた酥は冷えると固まる。これを手で受け、水気を搾りとり、団子にして銅器に貯える。水の滲みない瓦器に貯えてもよい。十日ほどして、酥の量が多くなったら、全部をあわせて鍋に入れ、牛や羊の糞を燃やして、そのとろ火で加熱すること、酪の加熱の方法と同じである。この加熱によって酥に残っている乳の水分は湧き上がり、雨滴が水面を打つような音をたてて蒸発する。水分が無くなると、音はおさまり、これで酥の加熱は完了する。その酥を冬は羊腸

に、夏は水の滲まない容器に貯える。

酪の製法のところで述べたが、乳を加熱すると表面に皮膜ができるから、それを手ですくいと、別の容器に入れておく。また、加熱した乳を盆に入れておくと、濾過しないうちに厚い乳皮ができるから、これも残らずすくいとる。これらは翌日までには酪になっている。もし上面に黄皮ができたならこれも残らずすくいとる。これらの乳皮をすべて甕に入れ、攪拌子で力いっぱい入念に研ぎ、湯を加えてまた研ぎ、次に冷水を加える。これは純粋な高品質の酥であるから、手で受けて団子にまるめ、前述の方法と同様に過熱して乾かせばよい。

2. 原典訳に基づいた酪・乾酪・漉酪・酥の再現実験

齊民要術の原典訳に基づき、以下の通り再現実験をおこなった。

【酪】の再現実験

生乳を弱火で加熱し、55℃で表面に膜ができ始めたので、生乳をとときどき十文字に攪拌しながら、すくい落としを始めた。すくい落としにより、乳の表面は細かな泡で覆われた(写真1)。弱火で加熱しながらすくい落としを続け、加熱開始から2時間7分後に乳温が99℃に達し沸騰したので加熱を終了した。このとき表面いっばいに覆う泡が、2cm～3cmの厚さに達していた。この加熱した乳を樽に移し入れ、静置して冷却し、48℃となった時点で表面に形成した乳皮をすくい取った(写真2)。続いて、ガーゼを用いて乳を濾過した。乳の表面を覆った泡は、静置・冷却および乳皮の採取と濾過とにより、ほとんどが消失した。39℃となったところで生乳の1/10量の酸乳を加え、38℃で19時間静置して、酪を形成させた(写真3)。

酪は表面に薄いクリーム層が形成されていた。酪はヨーグルト様の香りを呈し、食味は酸っ

ぱいが円やかであった。

【乾酪】の再現実験

酪を40℃の恒温機に保持し、擬似天日乾燥させて、酪の表面に乳皮が形成されるのを待つ



写真1 生乳のすくい落とし。齊民要術には酪の加工において、生乳を加熱しながらすくい落とすことが明記されている。生乳をすくい落とすと、表面が泡で覆われる結果となった。



写真2 生乳を加熱し、静置しておく間に、表面に乳皮が形成する。



写真3 酵を添加後、38℃で静置して得られた酪の表面と内部。表面に薄いクリーム層が形成されていた。香はヨーグルト様を呈し、食味は酸っぱく円やかであった。

た。40℃のもとで6日間静置したが、酪の表面が乾燥するのみで乳皮は形成しなかった(写真4)。このため、乾酪についての以後の工程は中断する結果となった。

【漉酪】の再現実験

酪を綿袋で包み、水滴が垂れなくなるまで2時間吊るした。排出された水滴は青黄色であった。この脱水した酪を鍋に移し、ペースト状になるまで弱火から中火で約10分間加熱した(写真5)。加熱してペースト状になった酪を平皿に移し替え、40℃の恒温機で19時間乾燥させた。すると表面は白色から黄色に変色し、油で表面が照り、水分が抜けて容積が小さくなりヒビが入った。また、焼いたチーズのような香りがほのかにした。この酪を混ぜ合わせて均一にしてから、直径約7cmの球状塊に丸めた。こ



写真4 乾酪を加工するために、擬似天日乾燥させた酪。表面が乾燥するだけであった。

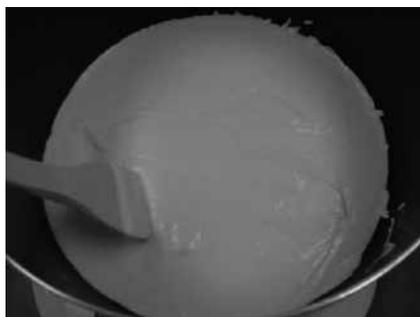


写真5 酪を脱水し、加熱したところ。ドロドロとなり、ペースト状の乳製品となった。

の球状塊を40℃の恒温機に静置して、擬似的天日乾燥の処置をおこなった。これを漉酪とした(写真6)。5日後、40℃の恒温機に静置した漉酪は、黄色から黄白色へと変化し、水分が抜けて漉酪は縮小してヒビ割れし、底部には油分が薄く溜まっていた。漉酪は、その後1ヶ月、常温で静置・保持しても青カビが生えることはなかった。

【酥】の再現実験

酥については、前半部分と後半部分とは明らかに異なる2系統の加工工程が説明されているので、【酥Ⅰ】と【酥Ⅱ】とに区別し、それぞれに再現実験をおこなった。

【酥Ⅰ】

酪を樽に入れ攪拌棒で上下に激しく攪拌した。開始から25分後に樽の蓋の裏に黄色を呈した米粒状の粒子が付着し始めた(写真7)。それから20分後、攪拌子や樽の内壁にも付着し、酪の表面にも0.2cm前後の粒子が浮き始めた。その後2時間、計3時間攪拌を続けると粒子の量が増え、大きさも0.2cm～1.5cmほどになった。このときの酪の温度は21℃であった。ここで、酪の半量の50℃の湯加えた。酪の温度は31.8℃となった。5分程度攪拌すると粒子



写真6 酪を脱水・加熱し、球状塊に整形し、40℃の擬似的天日乾燥させて加工した漉酪。擬似的天日乾燥すると、黄色から黄白色へと変化し、水分が抜けて漉酪は縮小してヒビ割れし、底部には油分が薄く溜まった。



写真7 酪をチャージングして、表面に現れた酥 I a. 黄色い米粒大の乳製品が形成した。

が溶解し大きさが0.3cm程度になった。蓋の裏や内壁に付着した粒子は溶けずにそのままであった。加えた湯と同量の8℃の冷水を2回加えると酪の温度は21℃に低下し、粒子の融合が進んで0.5cm～1cm程の大きさに凝集した。酪の表面に浮いた粒子凝集物、蓋の裏や内壁に付着した粒子を取り集め、一つの塊とした。その塊を冷水の入った洗面器に沈めると塊は水面に浮かび上がり、洗面器の底が見えなくなるくらい水が白濁した。ここで形成した乳製品を酥 I aとした(写真8)。

酥 I aを弱火で加熱すると、約2分で酥 I aは溶けて透明のオイル状になった(写真9)。加熱開始10分後、雨粒が跳ねるような音がし始め、加熱開始14分ほどで音が止んだので、加熱を終了し、ビーカーに移した。加熱によ



写真8 水洗後の酥 I a. バター様の形態と色合いを呈していた。

て少量の焦げができ、鍋やビーカーの底に茶色く沈んだ。ここで形成した乳製品を酥 I bとした。回収した酥 I bは、透明な黄色の液状で、メープルシロップに似た香りを呈していた(写真10)。

【酥 II】

土鍋で生乳を加熱し、表面に皮膜ができたらその都度すくい取り、合計15回皮膜をすくい取って加熱を終了した。加熱後の乳を樽に移し代えて2時間静置すると表面に乳皮が形成したので、乳皮をすくい取った。乳皮は皮膜に比べて形状がしっかりしており、皮膜より黄色味を帯びていた。乳は樽に入れたまま翌日まで静置した。翌朝、乳の表面には厚さ0.4cmほどの黄皮ができていたので、この黄皮をすくい取った。皮膜、乳皮、黄皮を合わせて同じ小型容器



写真9 酥 I aを弱火で加熱すると、溶けて透明のオイル状になりはじめ、しばらくすると雨粒が跳ねるような音がし始める。



写真10 酥 I b, 酥 I aを加熱して得られた乳製品。無色透明の液体で、メープルシロップに似た香りを呈し、油分に富んでいた。

に入れた後、上下左右に振盪した。振盪 5 分後、蓋の裏に脂肪塊様物が付着し始めた。振盪 8 分後、側面にも脂肪塊様物が付着し始めた。振盪 20 分後、皮膜、乳皮、黄皮の半量の 50℃の湯を加えると、全体の温度は 33℃となり、脂肪塊様物が溶け、表面一面にクリーム状になって浮いた。振盪 24 分後、湯と同量の 9℃の冷水を加えると、全体の温度は 25℃となり、少し振盪すると脂肪塊様物はクリーム状の状態から大きな厚い塊となって浮上した。更に、4℃の冷水を加えると、全体の温度は 20℃になった。この脂肪塊様物をすくい集め、脂肪塊様物を冷水で洗浄した。ここで形成した乳製品を酥Ⅱ a とした。

酥Ⅱ a を弱火で加熱すると、約 2 分で酥Ⅱ a は溶け始め、溶けきる少し前から兩粒が跳ねるような音がし始めた。加熱開始 5 分ほどで音が止んだので加熱を終了し、ビーカーに移した。加熱によって少量の焦げができ、鍋やビーカーの底に沈んだ。ここで形成した乳製品を酥Ⅱ b とした。回収した酥Ⅱ b は、透明な黄色の液状で、メープルシロップに似た香りを呈していた。

3. 酪・乾酪・漉酪・酥の同定

【酪】の同定

酪の水分含量は 86.8%、タンパク質は 3.3%、脂質は 3.8%、炭水化物は 5.0% であった (図 2)。この成分組成は、生乳および酸乳と類似したパターンを示していた。酪の pH は 3.8 で、生乳の 6.6 とは大きく異なっていたが、酸乳の 3.8 と同一であった。

酪は、その製法自体が酸乳の工程に酷似している。乳を人肌くらいに加熱・保温し、スターターとして酵を加え、保温しながら静置する。これは多くの牧畜民や工場生産による酸乳の加工工程と同一である。また、形成した酪の香がヨーグルト様であり、食味も酸っぱさを伴って

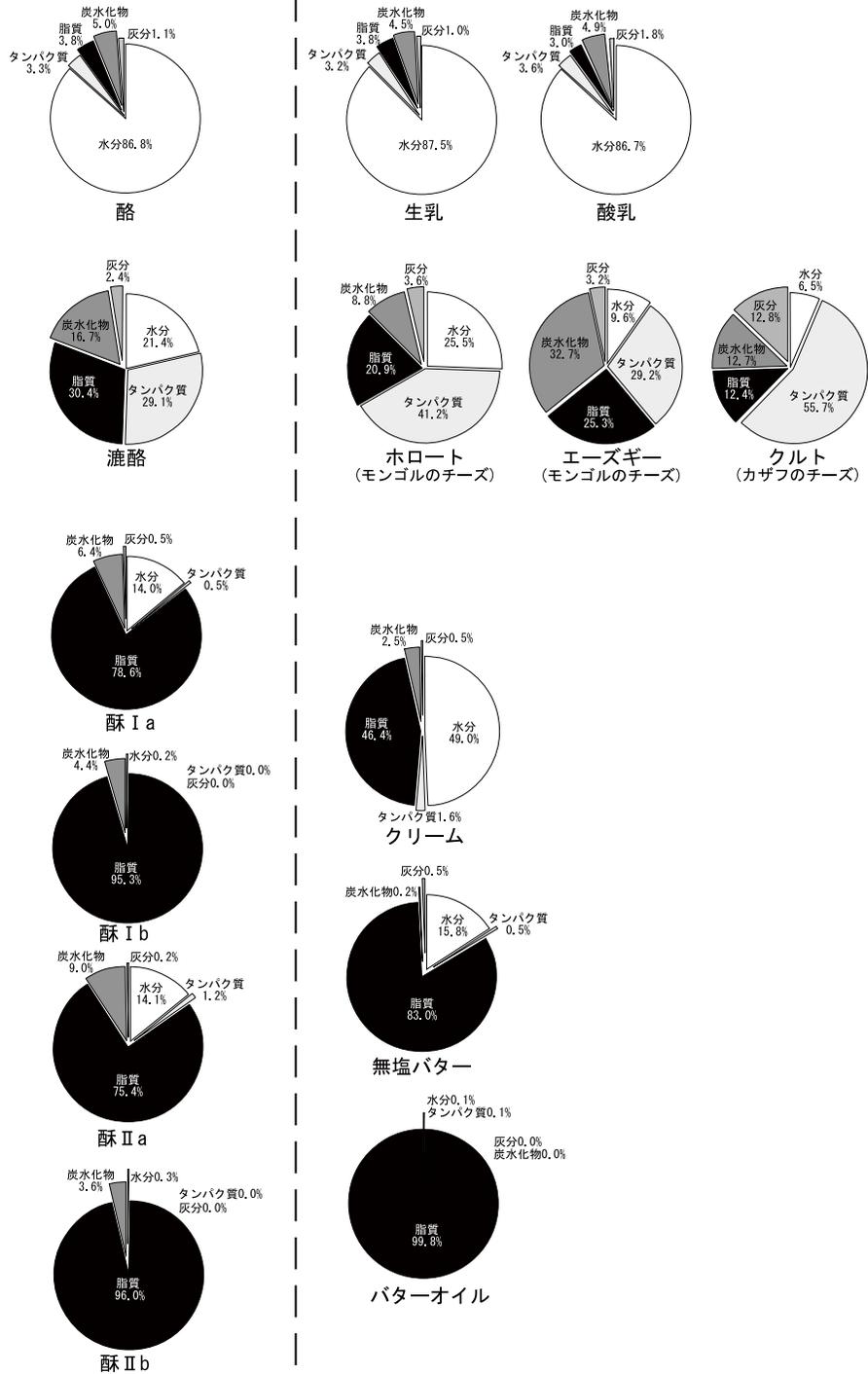
いたことも、酸乳を示唆している。

以上のことを考え合わせると、酪は酸乳であると同定できる。酵は乳酸発酵スターターであり、乳の加熱・酵添加・保温静置の一連の作業は、酸乳化の工程であることいえる。西山・熊代 (1969) や鴫田 (1997)、和仁 (1987) も、酪は酸乳であり現在のヨーグルトに似た乳製品であると推定し、本稿の結果はこれらの推定を実証したことになる。

【乾酪】の同定

酪を擬似的天日乾燥させて静置しておいても、表面に乳皮は形成されなかった。そのため、その後の加工を展開することができなかった。原典には「酪を天日にさらすと表面に乳皮ができる」としていることから、乳皮が形成されることが予想されたが、酪の表面が乾燥したのみであった。

酪表面の固まった部分を乳皮と表現していたとも考えることもできるが、単に乾燥を促すのであれば天日よりも加熱した方が効率良く、腐敗も防げるため、表面を乾燥化させる工程であった可能性は低い。天日にさらすことにより、乳酸菌もしくは腐敗菌が増殖して乳タンパク質が凝固・分離することも考えられたが、変化はなかった。酪とは記述されているが、生乳に極めて近い酪であったならば、表面に浮上した乳皮がクリームであった可能性もある。実際、内モンゴル自治区のモンゴル牧畜民は、生乳を非加熱のまま日陰で静置し、表層に浮いたクリームを分離している (水谷ら, 1997)。しかし、クリームを天日でさらし、どろどろの半乾状になったとしても、何年たっても腐らない乳製品になることはない。モンゴル牧畜民では、収集したクリームは加熱してバターオイルへと加工しており、バターオイルを球状塊に成形することはない。バターオイルであれば、以後で検討する通り、乾酪として新たな語彙を割り当てのではなく、酥として分類していたことであ



1) 齊民要術の記述をもとに再現した乳製品

2) 齊民要術が示す乳製品の同定のために比較検討した乳製品

図2 乳製品の成分組成比較
注) バターオイルは Jeness (1999) 従った

ろう。

西山・熊代（1969）は、乾酪はモンゴル牧畜民が加工するホロートに類似するものであるとしている。しかし、ホロートは酸乳の脱水を通じて得られる乳製品であり、斉民要術が説明する加工内容とは一致していない。ホロートはむしろ次の漉酪の加工と一致している。

以上の再現実験および牧畜民の加工事例から考察して、乾酪がどのようなものであるか同定することはできなかつた。むしろ、斉民要術の記述の方に不確かな要素があるものと考えられる。

【漉酪】の同定

漉酪の成分は、水分が21.4%、タンパク質は29.1%、脂質は30.4%、炭水化物は16.7%であった。漉酪の成分は、水分含量が酸乳（86.7%）やクリーム（49.0%）と比べて低すぎ、タンパク質含量がクリーム（1.6%）と比べて高すぎ、脂質含量がバター（83.0%）やバターオイル（99.8%）と比べて低すぎ、漉酪は酸、クリーム、バター、バターオイルのいずれとも成分組成が大きく異なっていた。一方、モンゴル牧畜民のチーズであるホロート、エーズギー、そして、カザフ牧畜民のクルトの成分は、水分が6.5%～25.5%、タンパク質は29.2%～55.7%、脂質は12.4%～25.3%、炭水化物は8.8%～32.7%であり、これらの牧畜民の乳製品は漉酪と近い成分組成を示していた。

加工工程としては、モンゴル牧畜民やカザフ牧畜民も、酸乳の加熱凝固・脱水・天日乾燥してホロートやクルトをつくっており、斉民要術が説明する漉酪の工程とほぼ一致している（平田，2002a；2002b；平田，2006）。再現実験した漉酪の外観も、乾燥していて表面が硬く、ホロートやクルトに類似していた。しかし、モンゴル牧畜民のエーズギーに関しては、酸乳を凝固剤として添加して加工すること、ホエイの大部分を凝乳と一緒に加熱して煮詰めている点

で、斉民要術が説明する漉酪の工程とは全く異なっている。成分的にも、エーズギーの炭水化物（乳糖）含量は32.7%と漉酪の16.7%の2倍ほども含有している。

以上の再現実験、および、牧畜民の加工事例から考察して、漉酪はモンゴル牧畜民のホロートやウイグル牧畜民のクルトに近い非熟成型チーズであると同定することができる。鴫田（1997）は、漉酪は西アジアの牧畜民がつくるクルト、チェルピー、ジャミートと呼ばれる乳製品と類似物であると推定した。クルトは西アジアから中央アジアにかけての牧畜民が（平田，1999；2002b）、チェルピーはチベット系の牧畜民が（平田，2004a；2004b，2009）、ジャミードは西アジアのヨルダン地域の牧畜民（平田，1999）がそれぞれに呼称するチーズであるが、乳製品自体はいずれも非熟成型チーズであり、加工工程もほぼ同一である。本稿の結果は、鴫田の推定とほぼ一致しており、鴫田の推定を実証したことになる。

【酥 I】の同定

酥 I a の成分は、水分が14.0%、タンパク質は0.5%、脂質は78.6%、炭水化物は6.4%であった。これはまさにバターの成分と類似している。酥 I a の工程で、酪を攪拌子で攪拌していたのはチャーニングの作業を意味していることとなり、攪拌の途中で黄色を呈した米粒大の粒子が出現しはじめたのは、バター粒が形成しているためである。酥 I b の成分は、水分が0.2%、タンパク質は0.0%、脂質は95.3%、炭水化物は4.4%であり、バターオイルの構成と酷似している。酥 I a を加熱して酥 I b に加工する工程は、水分、タンパク質、炭水化物を排除し、脂肪を精製する過程であったといえる。斉民要術が酥の加熱で、雨粒が跳ねるような音がすると記述していたのは、乳脂肪の中で水分が反発・蒸発していく際に生じる音を意味していたのである。酥 I b に茶色の凝固物となって沈殿して

いたのは、タンパク質や炭水化物が加熱により脂肪から分離・凝固していたのである。乳製品の中で、透明な黄色を呈しているのはバターオイル以外にはなく、透明な黄色であることは酥Ⅰbがバターオイルであることを強く支持している。この一連の加工工程をまとめると、酪を攪拌して酥の塊をつくり、酥を加熱して酥をつくるとする斉民要術の説明は、酸乳をチャーニングしてバターを形成させ、バターを加熱することによりバターオイルへと加工することを意味していると解釈できる。

この酸乳からのバター・バターオイル加工は、西アジアから南アジア、中央アジア、内モンゴル自治区の牧畜民の間に広く共有された技術である（梅棹，1955；平田，2008a）。いずれも、酸乳のチャーニングを3時間から半日もかけておこない、バターを形成させている。特に、攪拌の終り頃に、湯を加えてバター粒をいったん融解させ、冷水を加えることでバターを再び凝集させる加工法は、現在のチベット牧畜民などにもみられる（平田，2009）。いずれの牧畜民の事例でも、バターとバターオイルとを得ている。

以上の再現実験、および、牧畜民の加工事例から考察して、酥Ⅰaはバター、酥Ⅰbはバターオイルであると同定することができる。攪拌子での攪拌はチャーニングを、湯・冷水の添加はバターの融解・凝集を、一食の時間ほど攪拌するとは約3時間を、酥の加熱はバターの精製を意味していたと結論づけられる。

【酥Ⅱ】の同定

酥Ⅱaの成分は、水分が14.1%、タンパク質は1.2%、脂質は75.4%、炭水化物は9.0%であり、バターの成分と類似している。振盪の途中で黄色を呈した脂肪塊様物が出現しはじめたのは、酥Ⅰaの加工過程と同様に、バター粒が形成しているためである。湯・冷水を加える工程も酥Ⅰでの加工と全く同じ効果を狙っており、バター

の融解・凝集を意図した記述であるといえよう。斉民要術には、この皮膜・乳皮・黄皮を振盪して形成させる酥は純粋な高品質の酥であるとしている。しかし、酥Ⅰaと酥Ⅱaとは構成成分がほぼ同一で、成分分析的には相違がなかった。酥Ⅱbの成分は、水分が0.3%、タンパク質は0.0%、脂質は96.0%、炭水化物は3.6%であり、バターオイルの構成と酷似している。酥Ⅱaを加熱して酥Ⅱbを形成させている工程は、酥Ⅰの工程とまったく同一であり、最終生産物はバターオイルということになる。

酥Ⅰと酥Ⅱの加工が異なっていたのは、原材料とする乳製品が酥Ⅰの場合は酸乳、酥Ⅱの場合はクリーム様の乳製品である点である。皮膜、乳皮、黄皮の成分は、脂肪含量が25.9%～54.2%と高く、クリーム様の乳製品である。この原材料の違いによって加工上に変化をもたらしたことは、チャーニングの短縮化であった。脂肪含量が2.9%の酸乳をチャーニングするのに約3時間かかったが、脂肪含量が25.9%～54.2%の皮膜・乳皮・黄皮をチャーニングするのは約30分で終了した。この加工効率の向上が、脂肪含量の高いクリーム様の乳製品をチャーニングに用いる利点である。つまり、原材料の違いは加工効率には影響するが、生産物のバターやバターオイルには大きな影響を与えていないといえよう。

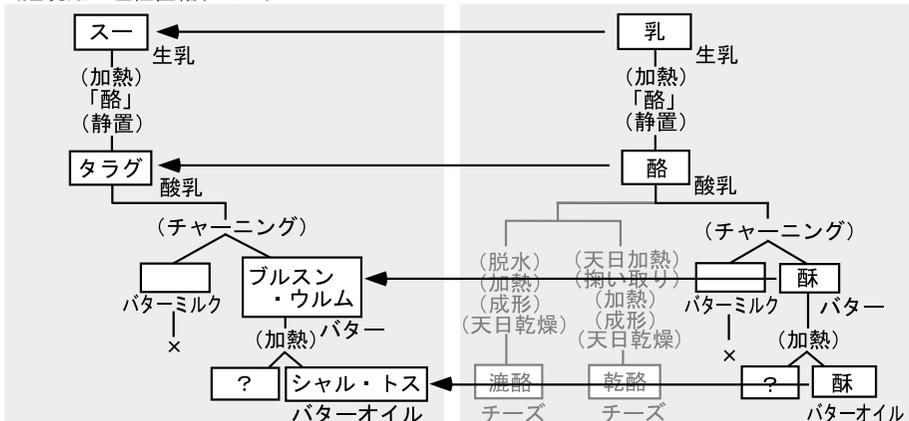
4. 東アジアへの乳文化の伝播経路

斉民要術に記述される生乳の酸乳（酪）化、酸乳（酪）のチャーニングによるバター（酥）加工、バターの加熱によるバターオイル（酥）加工は、西アジアから南アジア、中央アジア、内モンゴルの牧畜民（図3-1）の間に広く共有された技術である（梅棹，1955；平田，2008a）。クリーム様（皮膜・乳皮・黄皮）のチャーニングによるバター（酥）加工、バター

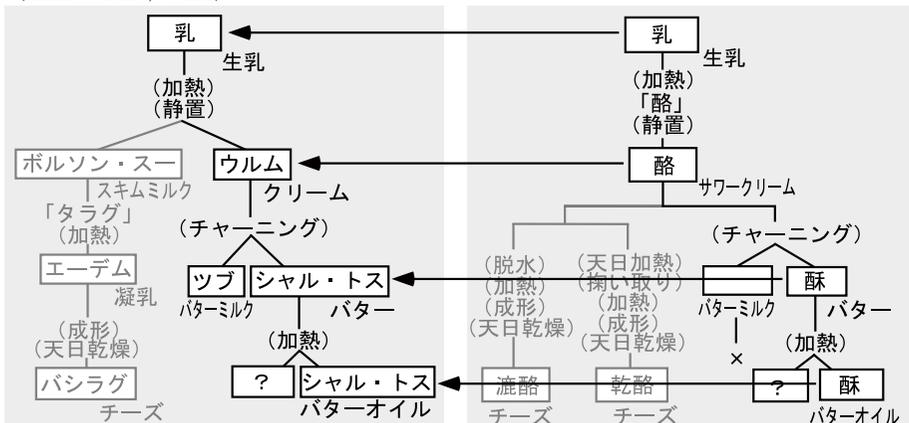
20世紀初期のモンゴル系牧畜民の乳加工技術

『斉民要術』に示された乳加工技術

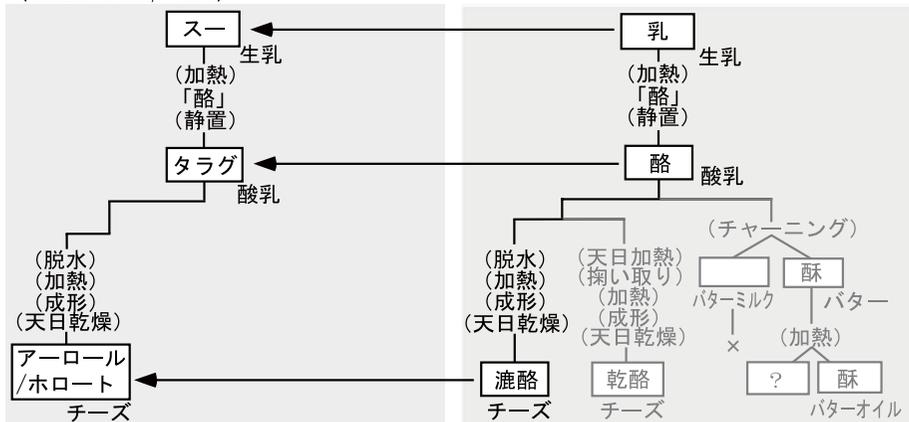
1) 酪（酸乳）から酥への加工（オラト集団）
（追晩釐・唾性直帽，1994）



2) 酪（クリーム）からの酥への加工（ワールド集団）
（Badamkhatan, 1996）



3) 酪（酸乳）から漉酪への加工（ワールド集団）
（Badamkhatan, 1996）



□ : 生産物 「 」 : 添加物 () : 処理

図3 20世紀初期のモンゴル系牧畜民オラト集団・ワールド集団の乳加工体系と『斉民要術』の記述との対比

の加熱によるバターオイル（酥）加工は、内モンゴル（図 3-2）から中央アジアとアジア大陸北方域でみられる加工である。また、先にも検討したが、漉酪はモンゴル牧畜民のホロート（図 3-3）やカザフ牧畜民のクルトに近い非熟成型チーズであった。カザフ牧畜民は、生乳からクリームを収集した後の脱脂乳を酸乳化し、酸乳を加熱・脱水・成形・天日乾燥することによりクルトを加工している（平田，2008b）。キルギス牧畜民では、脱脂せずに全乳からクルトを加工している。従って、キルギス牧畜民のクルトは脂肪含量がより高くなっているはずであり、より漉酪の成分に近い構成となっているものと考えられる。つまり、漉酪は中央アジアのトルコ系牧畜民のクルトや北アジアのモンゴル牧畜民のホロートに極めて類似した乳製品であるということがいえる。

現在のインドの牧畜民は、漉酪のような乳製品を加工する技術をもたない（平田，2005）。乳タンパク質の保存技術をもたないのは、ラクダとトナカイを飼養する牧畜民以外では、インドくらいである。従って、南アジアから東アジアに漉酪の技術が伝播した可能性は極めて少ないことが考えられる。だが、AD500 年頃の南アジアでは漉酪と類似した乳製品を加工していた可能性も否定はできず、本稿では南アジアからの漉酪加工技術の影響を完全には否定できない。これらの関係を明らかにするには紀元前後のインドの文献を詳細に調べていく必要がある。

江上は、BC5 世紀から AD5 世紀にかけて北アジアで強大な遊牧国家を築いた匈奴について、その乳製品利用を論考している（江上，1999）。匈奴の人びとは、酪、写酪、酥、馬乳酒を利用してたと報告している。写酪は、容器を用いずに脱水し、乾草の上などに置いて加工しており、齊民要術の漉酪に類似した乳製品を指しているものと考えられる。江上は、酪酥

等は華北においてのみ食用され、南方呉蜀においては用いられなかったことから、東アジアへの酪酥等の乳文化の伝播は、北方並びに西方の遊牧民からであったであろうと推論している。

以上をまとめると、齊民要術の乳加工技術の内容は、少なくとも北アジアのモンゴル系集団、および、中央アジアのトルコ系集団の影響を強く受けていたであろうと結論づけられる。

おわりに

本研究により、『齊民要術』が伝える 6 世紀頃の東アジアの乳加工を再現することができた。つまり、酪は酸乳、漉酪はモンゴル牧畜民のホロートやウイグル牧畜民のクルトに近い非熟成型チーズ、酥はバターとバターオイルであることが判明した。酥といっても、一種類の乳製品ではなく、現代の分類からはバターとバターオイルにまたぐ語彙であったのだ。これらの乳製品とその加工技術は、主に北方アジアや中央アジアの牧畜民の影響を強く受けていることも明らかとなった。

日本に伝えられた最初の中国本草書と考えられているのは『神農本草経集注』である（廣野，1996）。『神農本草経集注』は、漢時代の『神農本草』、3 世紀頃～4 世紀の『名医別録』、AD 500 年頃の『神農本草経』を AD 500 年頃の南北朝時代に陶弘景がまとめ直し、注釈を付した本草書である。中国において、乳製品について触れられた書物の中では、これらの本草書類が最も古い書物となる。これらの古文書には、乳、酪、酥、蘇、醍醐といった語彙が登場し、約 AD 300 年頃にインドで成立した経典『涅槃経』に示されている「牛より乳を出し、乳より酪を出し、酪より生酥を出し、生酥より熟酥を出し、熟酥より醍醐を出す。」を基本的には継承している。東アジア、および、日本に最初に乳製品とその効能が伝授されたのは、南方のインド系の技術と知識であり、『神農本草経集注』に集

約されていったと考えてよい。これは、北方アジアや中央アジアの乳加工技術に由来する『斉民要術』とは別起源となる。つまり、時代により、異なった地域から東アジアへと乳文化は伝来し、東アジアにおいて乳文化は重層的に展開していったということになる。

また、『斉民要術』以降の古文書として、AD 1290年頃に編纂された『居家必用』、AD 1330年頃に編纂された『飲膳正要』、AD 1578年に編纂された『本草綱目』など、乳加工について記述した多数の古文書がある。『本草綱目』については、有賀ら(1998)によって再現実験がなされているものの、これら多くの古文書の解明は未だ未だ進んでいないのが現状である。

著者は、古期インド語の系統を引く Pāli 語を解読でき、古代インド・アリーの祭式文献

(ヴェーダ文献) や初期仏典(パーリ仏典)に精通する東北大学の西村直子氏、漢語に精通し、中国医学を研究する北里大学の浦山きか氏と古代乳製品の再現に関わる共同研究を始めたところで、これからも古代の南アジアや東アジアの乳製品を再現していこうと考えている。東アジアは、本来は乳文化圏にはない。だからこそ、周辺からの影響が多重的であり、複雑である。今後、共同研究者と原典を丁寧に解読し、原典に忠実に再現実験をおこない、古代乳製品を一つずつ解明していこうと作業を進めている。

東アジアの古代乳製品にご興味のある方は、お気軽に問い合わせ下さい。是非ご一緒に、歴史に埋もれてしまった無形文化遺産の再構築というロマンを感じ、古代乳製品の再現を楽しもうじゃありませんか。

・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 参考文献 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

- 1) 有賀秀子, 橋セツ子, 倉持泰子, 浦島匡, 筒井静子, 1988. 「日本における古代乳製品の“酥”および“醍醐”の本草綱目(李著)にもとづく再現実験」『日本畜産学会報』59(3): 253-260.
- 2) 梅棹忠夫, 1955. 「モンゴルの乳製品とその製造法—乳をめぐるモンゴルの生態(III)」『内陸アジアの研究—ヘディン博士記念号(ユーラシア学会研究報告)』3: 217-296.
- 3) 江上波夫, 1999. 「匈奴の飲食」『江上波夫文化史論集3 匈奴の社会と文化』山川出版, 175-202頁.
- 4) 鴫田文三郎, 1997. 「酪, 乾酪, 漉酪, 馬酪, 酥の作り方」田中静一・小島麗逸・太田泰弘編訳『斉民要術 現存する最古の料理書』雄山閣, 47-56頁.
- 5) 西山武一, 熊代幸雄譯, 1969. 『後魏賈思勰撰 校訂譯註 齊民要術』アジア経済出版会.
- 6) 平田昌弘, 1999. 「西南アジアの乳加工体系—アラブ系牧畜民バツガラーの事例を通して」『エコソフィア』3: 118-135.
- 7) 平田昌弘, 2002a. 「中央アジアの乳加工体系—カザフ系牧畜民の事例を通して—」『民族学研究』67(2): 158-18.
- 8) 平田昌弘, 2002b. 「モンゴル国ドンドゴビ県サインツァガーン郡・テレン郡における乳加工体系」『沙漠研究』12(1): 1-11.
- 9) 平田昌弘, 2004a. 「青蔵高原西部におけるチベット牧畜民の乳加工体系」『言語文化学会論集』22: 159-176.
- 10) 平田昌弘, 2004b. 「青蔵高原東部における乳加工体系の変遷」『エコソフィア』14: 81-100.
- 11) 平田昌弘, 2005. 「インド西部の乳加工体系」『沙漠研究』15(2): 65-77.
- 12) 平田昌弘, 2006. 「アルタイ地域における乳加工体系—中国新疆ウイグル自治区イリ・カザフ自治州アルタイ地区での事例を通して—」『北海道民族学』2: 2-15.
- 13) 平田昌弘, 2008a. 「アジア大陸における乳文化圏と発酵乳加工発達史」石毛直道編著『世界の発酵乳』はる書房, 174-197頁.
- 14) 平田昌弘, Aibibula Yimamu, 2008b. 「中国新疆ウイグル自治区南西部における乳加工体系」『北海道民族学』4: 31-43.

- 15) 平田昌弘, 2009. 「インド北部ラダック地区の乳加工体系」『ヒマラヤ学誌』 **10**: 73-85.
- 16) 平田昌弘, 米田佑子, 有賀秀子, 花田正明, 河合正人, 内田健治, 元島英雅, 2010. 「『斉民要術』に基づいた東アジアの古代乳製品の再現と同定」『*Milk Science*』 **59**(1): 9-22.
- 17) 平田昌弘, 2011. 「ユーラシア大陸の乳加工技術と乳製品 第1回 人類が出会った乳利用」『*New Food Industry*』 **53**(1):89-95.
- 18) 廣野卓, 1996. 『古代日本のチーズ』角川書店.
- 19) 水谷潤, 斉藤芳男, 渡部恂子, 高野俊明, 有賀秀子, 1997. 「中華人民共和国内蒙古自治区における伝統的乳製品の製造法と乳利用体系」『*ミルクサイエンス*』 **46**(3): 193-200.
- 20) 和仁皓明, 1987. 「酥酪考」飲食史林刊行会編『*飲食史林*』 **1**: 21-38.
- 21) Badamkhatan, S., 1996. *Oyradin Ugsaatni jüy, 19-20 juuni jaag Üye, Mongol Ulsin Ugsaatni juy 2 Bot, Suqbaatar Kompanid Qewlew.*
- 22) Jenness, R., 1999. Composition of Milk. In: Wong N.P. *et al.* (eds.), *FUNDAMENTALS OF DAIRY CHEMISTRY (3rd EDITION)*, Aspen Publishers, Gaithersburg, pp.39-79.
- 23) 追晚鈕, 啞性直帽, 1994. 『抵性蒙風俗崗』内蒙古人民出版社 (ウイグル式蒙古文字).

注) 本稿は、2010年に『*Milk Science*』誌に発表した「『斉民要術』に基づいた東アジアの古代乳製品の再現と同定」をもとに大幅に書き改めたものである。



<モンゴル系遊牧民ハルハ集団のバターオイル加工>

斉民要術では、攪拌して先ず酥(バター)を生成させてから、その酥(バター)を加熱して酥(バターオイル)をつくと伝えている。現在のハルハ集団では、クリームを直接加熱することによりバターオイルを加工している。攪拌の作業を省略した簡便な手法である。乳脂肪分画のための乳加工技術の一つの発展した形態を指し示している。

<http://www.newfoodindustry.com/>

ニューフードインダストリー 第53巻 第12号

印刷 平成 23 年 11 月 25 日

発行 平成 23 年 12 月 1 日

発行人 宇田 守孝

編集人 村松 右一

発行所 株式会社食品資材研究会

〒101-0038 東京都千代田区神田美倉町10(共同ビル新神田)

TEL:03-3254-9191(代表)

FAX:03-3256-9559

振込先:三菱東京UFJ銀行 京橋支店(普通)0070318

三井住友銀行 日本橋支店(当座)6551432

郵便振替口座 00110-6-62663

印刷所 株式会社アイエムアート

定価 2,100円(本体2,000円+税)(送料100円)

email:info@newfoodindustry.com