

ヨーロッパにおける乳業の最近の研究と プロバイオティック食品を中心とした商 品開発の動向について

The Trend of Recent Researches and Development of Probiotics Products on Milk Industry in Europe

八 木 直 樹
YAGI Naoki

はじめに

筆者は、農協系の乳業メーカーの団体である財団法人、全国農協乳業協会から、最近のヨーロッパの主要乳業研究施設について、その運営上の特徴、研究内容と研究の動向、牛乳をベースとした新製品の開発状況などの調査依頼を受けた。17年前の1981年にも同様な依頼を受け、その調査結果を「農協乳業プラントの商品開発の在り方について」と題する報告書にまとめて報告した経緯があるが、この17年の間に、世界の情勢は大きく変わり、また研究と開発のスピードは速く、それとともに商品開発の方向にも大きな変化が現れている。この変化の様相を自分の眼で確かめてみたいとの思いもあって今回の調査の依頼を引き受けることにした。以下は1998年3月に実施したヨーロッパにおける乳業の研究動向とプロバイオティック食品の開発状況の調査結果である。

1. ヨーロッパにおける代表的酪農乳業研究機関

1) ドイツ国立キール酪農乳業研究所 (Bundesanstalt für Milchforschung)

所在地：Hermann-Weigmannstr. 1-27 Kiel, D.

乳業試験所として1877年に、ドイツを代表するホルスタイン州のキールに設立され、1922年に酪農乳業の研究所となり今日に至っている。図-1は研究所の所在地とその周辺図である。

ここでは、酪農乳業の全分野にわたる研究が行なわれており、農務省の管轄下にある。研究所は9つの研究組織に分かれており、それぞれ専門の立場から研究活動が営まれている。

八木 直樹：ヨーロッパにおける乳業の最近の研究とプロバイオティック食品を中心とした商品開発の動向について

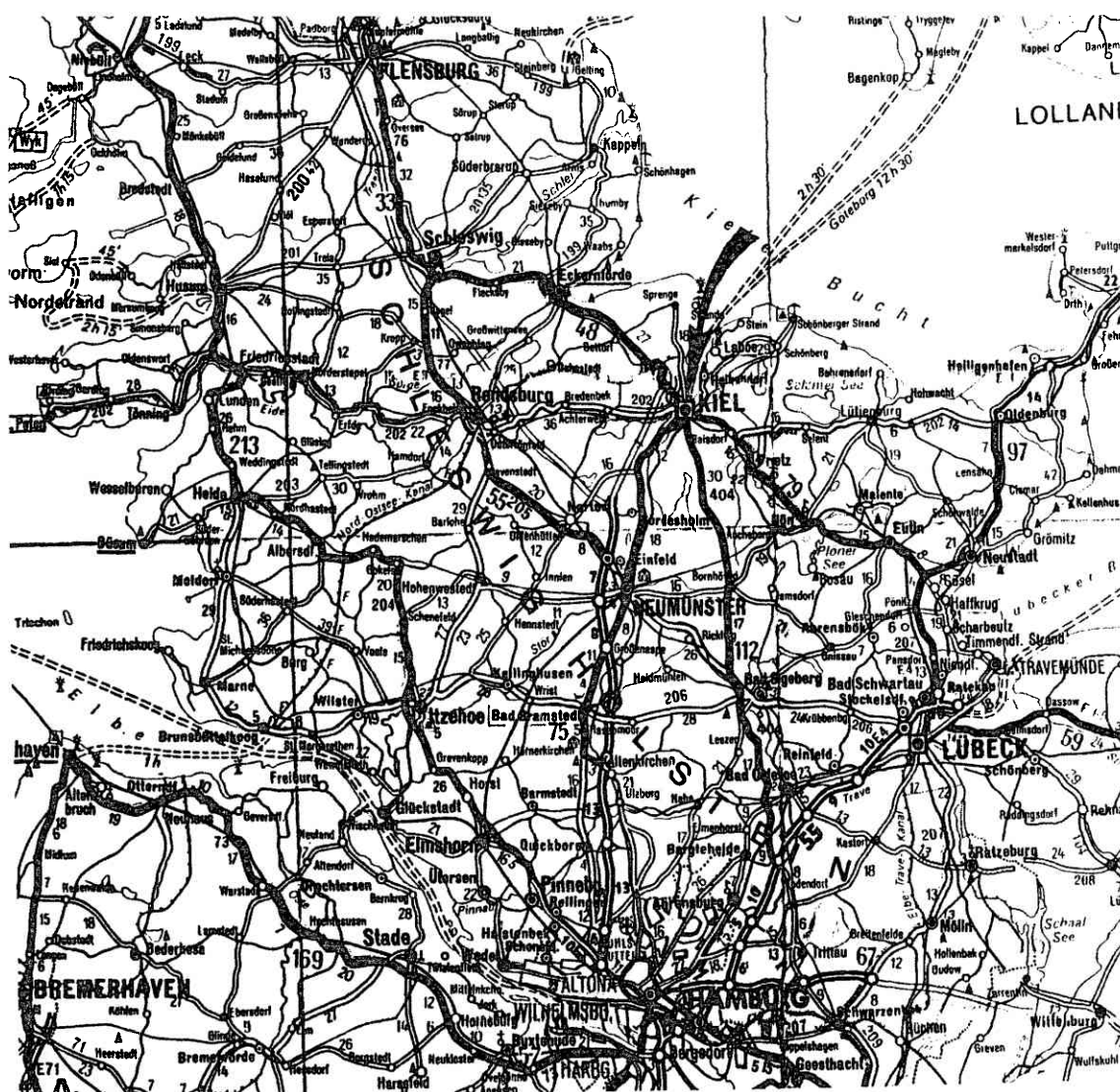


図-1 ドイツ酪農乳業研究所（キール）の所在地

- (1) 牛乳生産部門
乳牛の飼養から余剰乳問題までを研究対象としている。
- (2) 衛生部門
乳質、衛生問題についての研究を担当している。
- (3) 微生物部門
チーズやヨーグルト等の乳酸菌や、スターターカルチャーに関する研究を行っている。
- (4) 栄養部門
牛乳や殺菌乳の栄養問題や、牛乳・乳製品の摂取と疾病との関係を研究している。
- (5) 化学部門
検査、分析技術の研究を行っている。

(6) 物理部門

牛乳・乳製品の物性研究、電子顕微鏡による微細な構造についての研究及び、放射能汚染問題を研究している。

(7) 乳業工場部門

乳業工場の設備、装置等について研究している。

(8) 製造技術部門

製造技術の改善を中心に研究している。

(9) 経済及び市場調査研究部門

酪農・乳業界の経済構造の改善や、マーケティングに関する政策の研究。流通の機能研究や生産コストの分析、市場分析等の経済性について研究している。

以上の各分野で研究された成果は、毎月、当研究所が発行している科学技術専門雑誌であるMilchwissenschaftに掲載されて発表されている。

この研究所で行われている最近の研究内容は、

- ① 乳牛用飼料中のアフラトキシン前駆物質の測定法に関する研究。
- ② 膜処理によるバターミルクからのリン脂質の回収について。
- ③ バクテリオファージ中の溶菌活性成分に関する研究。
- ④ 細菌検査の迅速化のための細菌自動測定機の開発研究。
- ⑤ 部分水素添加された食用油脂中（マーガリンやショートニングオイル等）のトランス酸の迅速定量法の研究。
- ⑥ 乳タンパク質から誘導された生理活性ペプチドに関する研究。
- ⑦ 生乳中の細菌の性質測定のための日常試験法の開発研究。
- ⑧ 牛乳中の抗微生物剤の相互作用について。
- ⑨ 新しく出現した耐熱性細菌の研究。
- ⑩ カゼイン由来のマクロペプチドの特性とその利用についての研究。
- ⑪ 牛乳中の抗生物質の検出方法のシステム化の研究。
- ⑫ 超高温瞬間加熱処理（UHT）乳の品質に影響を与える耐熱性細菌に関する研究。
- ⑬ 水素添加により生ずるトランス型脂肪酸の摂取がヒトの健康に与える影響について。
- ⑭ 食品中でのトランス型脂肪酸の存在量と日常摂取量の調査とトランス型脂肪酸の分析法に関する研究。
- ⑮ 乳酸菌由来の新しいトリペプチダーゼの特徴について。
- ⑯ 乳酸菌のエンドペプチダーゼ活性の測定法に関する研究。

などである。

八木 直樹：ヨーロッパにおける乳業の最近の研究とプロバイオティック食品を中心とした商品開発の動向について

2) オランダ酪農研究所 (Nederland Instituut voor Zuivelonderzoek) 略してNIZO。

所在地：Kernhemseweg 2, Ede, Nederland (英語Netherlands)

オランダは、エダムチーズ、ゴータチーズの生産国で、ヨーグルトの国民一人当たりの消費量も世界のトップに在るといふヨーロッパの中でも酪農先進国である。

オランダには、農林省の管轄下に、農業大学の酪農研究所と、国立酪農施設があり、更にこれとは別に酪農乳業界の管轄下にオランダ酪農研究所 (NIZO) がある。この方が世界的にも有名となっているので、これについて紹介する。オランダ酪農研究所は Nederlands Instituut voor Zuivelonderzoek といふ略して NIZO と呼んでいる。図-2 はその所在地及び周辺の地図である。



図-2 オランダ酪農研究所 (NIZO) の所在地

NIZOは、1889年に農業と家畜の育成について研究する目的で、国立の農業試験所が開設され、その一部門であった実験酪農場が母体となっている。第2次世界大戦中は閉鎖状態となっていたが、戦後いち早く酪農乳業協同組合連合会、酪農乳業連合会、商社のグループ、乳業工場及びチーズ生産農民組合が設立委員となって正式にNIZOとして再出発した。研究所が設立され、研究活動が開始されたのは1952年になってからである。

このような設立時のいきさつから、この研究所は酪農協同組合や乳業会社も利用できる半官半民の形をとる研究施設で、世界に類を見ない大規模な研究施設として注目を浴びている。

その運営の方法もユニークで、研究所を構成するメンバーは、NIZO以外の関係乳業界の市乳、チーズ、粉乳、バター、濃縮乳製品、装置工学、栄養・生理学担当の専門家からなるコンタクト・グループと、NIZOの関係者よりなる前記同様の専門家及び総合大学の関係者で栄養学、物理・化学分野、工学と微生物学、食品科学を担当する学識経験者及び政府機関の他の関係研究機関の代表者よりなる評議員、それに理事会メンバーとして農林省、乳製品事業団、乳業連合会、酪農乳業協同組合、チーズ生産農民組合、NIZO労働組合が加わった構成メンバーとなっている。

研究所の運営や業務の遂行は、種々の情報や研究依頼が研究所に持ち込まれると、コンタクト・グループで検討され、協議の結果は評議委員会で更に検討されて理事会に推薦されたテーマが最終的に正式なプログラムとして認可され研究が開始される仕組みとなっている。

研究所運営の経費の約1/2は、乳製品事業団の基金から助成金として出資されており、その他は国内の全処理乳に課せられる賦課金が、オランダ酪農事業所を通じて提供され、更に乳業界からの寄付金と、特許のライセンス料や技術のロイヤリティー等が運営の資金となっている。

研究業績は、the Netherlands Milk and Dairy Journalに掲載されて世界中に発表されている。

研究組織は、生物・化学系と製造技術工学系とに大きく2分されており、生物・化学系には微生物、物理化学、分析化学、栄養生理の各部門があり、製造技術工学系には装置工学、製造技術、実験農場の各部門がある。各部門でなされた最近の研究実績は、

(1) 乳酸菌及びスターターカルチャー関係

- ① *Lactococcus lactis*の遺伝子の研究。
- ② *Lactococcus lactis*の分泌する抗菌性物質のNisinに関する研究。
- ③ *Lactococcus lactis*の細胞外多糖生成を支配するプラスミドに関する研究。
- ④ 脱苦味特性を持つCheese Cultureの研究。
- ⑤ 殺菌剤のフェージ不活性化及びスターター阻害性との関係。

八木 直樹：ヨーロッパにおける乳業の最近の研究とプロバイオティック食品を中心とした商品開発の動向について

- ⑥ 新しい乳酸菌の生乳や自然発酵乳からの分離に関する研究。
- ⑦ *Lactococcus cremoris*のチーズフレーバー生成に関する研究。

(2) 牛乳の成分に関する研究の成果

- ① ホエータンパク質の構造特性に関する研究。
- ② 貯蔵されたUHT殺菌乳の経時的性状の変化と挙動について。
- ③ 脱脂乳の酸性化にともなう諸変化について。
- ④ カゼインミセルの低温下での酸に対する挙動について。
- ⑤ 牛乳の加熱処理とタンパク質の変性との関係。
- ⑥ カルシウムの脂肪酸及び二次胆汁酸との反応による腸管の保護作用について。
- ⑦ 牛乳中のカルシウム濃度と熱安定性との関係について。
- ⑧ β -ラクトグロブリンの熱による影響について。

(3) チーズに関する研究成果

- ① チーズ製造中のキモシンの役割。
- ② ゴーダーチーズの生産性の向上に関する研究。
- ③ チーズの割れ目形成の原理と追求。
- ④ チーズ製造中のタンパク質の分解を制御する方法の研究。
- ⑤ チーズの製造と酵素の役割の研究。
- ⑥ チーズのガス膨張に係る汚染菌の研究。

(4) 製造工学系に関する研究の成果

- ① 牛乳中のセレウス菌の殺菌に関する研究。
- ② 熱交換機の汚損に関する研究。
- ③ セレウス菌の熱に対する挙動の研究。
- ④ 牛乳処理場での汚染のメカニズムの究明。
- ⑤ 牛乳の加熱による熱交換機のプレート表面へのホエータンパク質の附着現象について。
- ⑥ 牛乳中のセレウス菌のヒトへの影響について。
- ⑦ ヨーグルトの生産性を向上するための装置的手段。
- ⑧ 熱交換機のプレートの汚染への対処について。
- ⑨ 熱交換機のプレートの汚損と気泡が殺菌性能に及ぼす影響について。

以上、ヨーロッパにおける代表的な酪農乳業の研究機関について紹介した。ヨーロッパでは幾つかある産業の中でも酪農・乳業の占める役割は大きく、長い伝統と厚い歴史を通じて一番生活者に密着した産業となっている。

従って酪農・乳業の研究機関は、これ以外にも各国毎に国立の研究所が存在している。その中でも前記二つの研究所はきわ立った存在で、わが国の農水省の所轄となっている「食品総合研究所」をそのまま酪農・乳業の専門の研究所にしたような規模で、非常に広範囲に、牛乳・乳製品の研究ができるようになっている。

特に装置工学的な研究は、日本の食品機械メーカーでもやっていない微生物や衛生学の専門家、流体力学や材料強度を専門とする大学教授陣、加工中に起こるかも知れない物質変化や栄養成分の変化に対応するためのそれぞれの専門家といった各方面のスタッフを揃えて研究と開発が進められていることである。

これは酪農・乳業関係の機械や装置の新しい開発は、輸出によって国の財政を支える重要な産業業績となり得るからで、専門のスタッフは時には大学から派遣され、機械や装置の組立や部品の供給は機械メーカーが担当し、産学協同の形で進められている。

日本のように国内に数多くの競争相手となる同業のメーカーが存在していないことが、かえって産学協同の成果をあげ易い素地をつくっているともいえる。

3) ヨーロッパにおける酪農・乳業に関する大学での研究について

酪農・乳業に関する研究施設を持っている大学で、国の酪農・乳業に関する研究所的な役割を果たしているものに、イギリスのUniversity of Readingの食品科学部がある。リーディング大学の所在地を図-3に示した。

この学部は1887年にイギリス酪農乳業研究所として設立されたが、1896年にReadingカレッジに統合され、1901年にReading大学、1926年にReading総合大学となり、酪農乳業学部となったが、1968年に食品科学部に名称変更されて今日に至っている。その歴史が示すように、イギリスの酪農・乳業に関する研究の中心的役割を負っており、全面的に国が財政の援助をおこなっている。University of Reading, Department of Food Scienceの所在地は、London Road, Reading, RG1 5AQ, Berks, United Kingdomである。

スウェーデンのLund大学工学部食品研究所は国立酪農研究所として1937年に設立されたものが、1967年にLund大学の食品研究所の中に統合されて現在に至っている。名称はThe Food Research Institute, the Faculty of Technology, the University of Lundで所在地はAlnarp, Lund, Sweden, 大学の所在地の地図は図-4に示した。

八木 直樹：ヨーロッパにおける乳業の最近の研究とプロバイオティック食品を中心とした商品開発の動向について

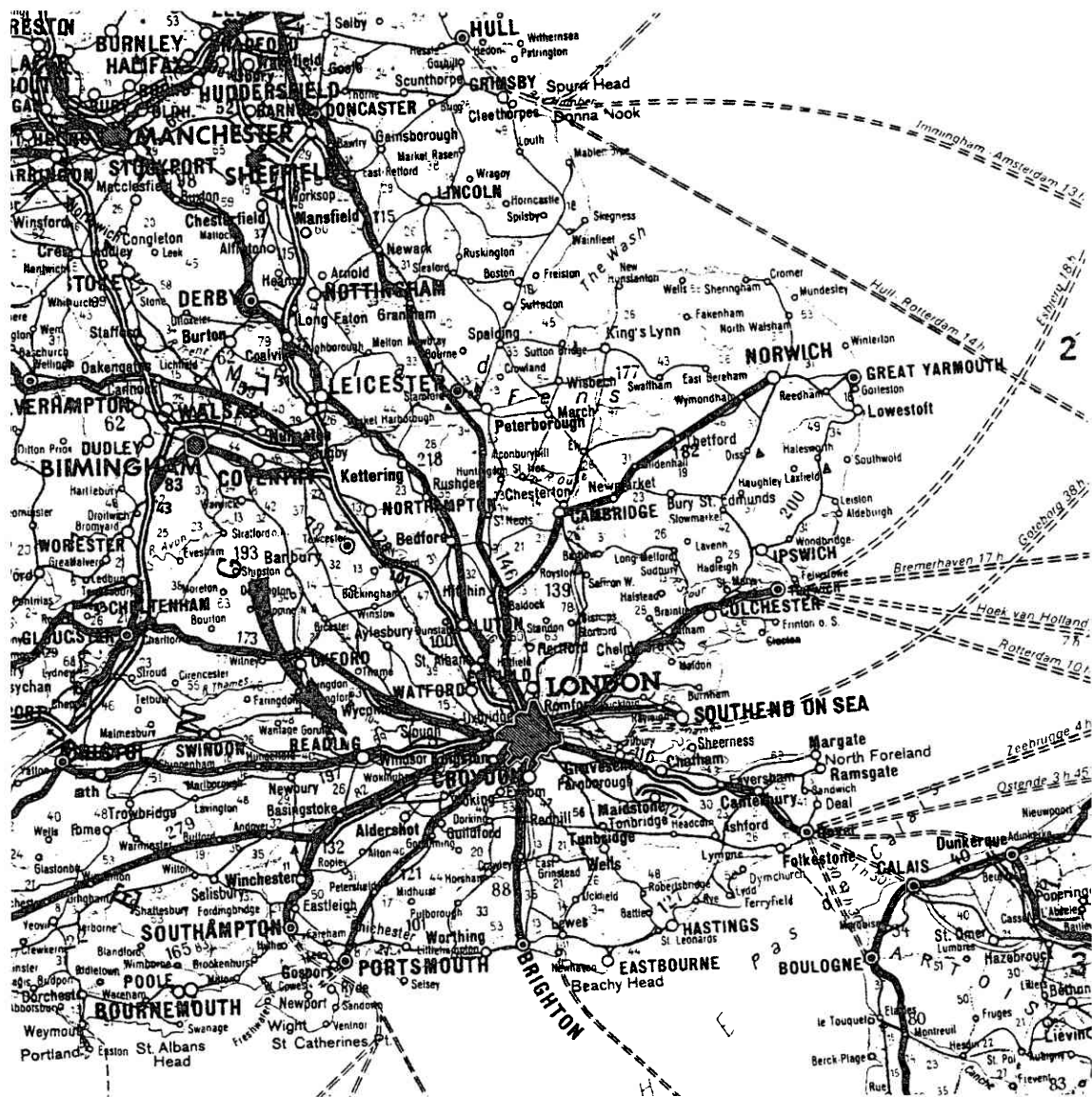


図-3 イギリス リーディング大学所在地



図-4 スウェーデン ルンド大学所在地

八木 直樹：ヨーロッパにおける乳業の最近の研究とプロバイオティック食品を中心とした商品開発の動向について

2. 代表的企業の研究所及び研究活動

1) DMV

De Melkindustrie Veghelの頭文字をとってDMVと呼んでいるが、オランダに本拠を置く国際的総合乳製品企業であるCampina Melkunie（カンピナミルクユニー）の乳原料製品の事業部で、新鮮な脱脂肪やチーズホエーなどを原料として広範囲にわたる高品質の製品をつくり、世界の食品・医薬品の原料として供給するメーカーである。

表-1 DMVの主な取扱い製品

<ul style="list-style-type: none"> • 乳タンパク <ul style="list-style-type: none"> 総合乳タンパク (Refit) 濃縮乳タンパク (MPC-80/80LR) カゼイネート (Ca-, Na-, K-, Mg) • ペプチド (タンパク加水分解物) 各種 <ul style="list-style-type: none"> 低アレルギー性 易吸収性 易溶解性・風味良好 耐酸・耐熱性 • 生理ペプチド <ul style="list-style-type: none"> グルタミンペプチド CPP含有ペプチド 	<ul style="list-style-type: none"> • 生理活性タンパク質 <ul style="list-style-type: none"> ラクトフェリン ラクトパーオキシダーゼ • 乳清カルシウム (ラクトバル) • 微結晶セルロース • コーヒーホワイトナー • カプチーノフォーマー • トッピングベース • 粉末脂肪 • ラクトース (食用乳糖)
---	--

主な取扱い製品は、表-1に示したが、乳タンパク質関係では濃縮乳タンパク質 (Milk Protein Concentration=略してMPC)、各種のカゼイネート (Ca, Na, k, Mg)、ペプチド関係では、低アレルギー性のペプチド、易吸収性のペプチド、易溶解性のペプチド、風味改良の目的で使用されるペプチド、耐酸、耐熱性のペプチドといった各種のペプチドの他に、生理活性ペプチドとして、グルタミンペプチド、カルシウムの吸収促進作用のあるカゼインホスホペプチド (Casein Phospho Peptide=略してCPP) などがある。生理活性作用のあるタンパク質としては、ラクトフェリン、ラクトパーオキシダーゼがある。この他に乳清カルシウム、微結晶セルロース、トッピングベース、粉末脂肪、乳糖、 β -乳糖、乳糖の錠剤などがある。

オランダ国内で得られるチーズホエーを収集して、そこから乳糖を取り出し、精製して医薬品や、ペニシリン製造用の培地、食品用の乳糖をつくることから始まったDMVであるが、今や牛乳を原料として、その中の成分を取り出したり更に加工して、より付加価値の高い製品づくりをするファインケミカル的な役割を負った世界的企業へと発展した。特にラクトフェリンは、鉄の吸収を倍以上に高めることで血中ヘモグロビンの酸素運搬能を改善し、運動能力の回復と向上に貢献することからスポーツ界で注目されており、また酵素による分解物であるラクトフェリシンと共に感染防御剤として注目されており、この方面の研究に力を入れている。最近発表された研究業績をみると、

- ① ラクトフェリンの研究。
- ② 高圧処理によって影響された β -ラクトグロブリンの機能的及び構造的な特性。
- ③ ラクトパーオキシダーゼの構造と機能及び応用について。
- ④ アイスクリームにおける乳タンパク質の役割。
- ⑤ ホエータンパク質の溶解度に対するイオン強度の影響のコロイド化学的なアプローチ。
- ⑥ フローズンヨーグルトについて。
- ⑦ 高い機械的性質と改善された耐蝕性を有する新しいステンレス鋼について。
- ⑧ 食用タンパク質の加水分解物の酵素による生産。
- ⑨ グルタミンペプチドのスポーツ栄養への利用。
- ⑩ 乳糖の物理的な特性と製剤への利用について。
- ⑪ 種々の結晶乳糖の同一粒子径分画の二成分混合物について。
- ⑫ レンネットによる凝乳の整合性モデル。
- ⑬ 乳糖の打錠特性に関する研究。
- ⑭ 噴霧乾燥乳糖からつくられる乳糖錠の崩壊に対する粒子径、不定形乳糖の含量及び崩壊剤添加の影響。
- ⑮ 液体基質と固体基質とで生育された*Rhizopus oligosporus* NRRL 5909のエルゴステロール含量について。
- ⑯ 噴霧乾燥乳糖剤における初期粒子径および非結晶型乳糖含有量変化の影響。
- ⑰ 噴霧乾燥によるアモルファス乳糖の硬着と緻密性。
- ⑱ 粉乳製造時のサルモネラ汚染の危険性と管理。
- ⑲ β -乳糖 1 水和物の脱水後の結合能力と流動性の増加。

表-2 MPCの用途の概観

製品特性	応用領域
たん白質の質	高たん白エネルギー飲料、臨床（経腸）栄養・流動食、プロテイン・タブレット、ビスケット、たん白補給
たん白強化	ダイエット調製品、ビスケット、老人食、スポーツ食、高たん白エネルギー飲料、食餌代替物、乳製品、ベーカーリー製品
カルシウム強化	乳製品、老人食
感覚器官受容性	高たん白エネルギー飲料、プロテイン・タブレット、食餌代替飲料、スポーツ食、低カロリーチョコレート、乳製品、老人食
粘度	ヨーグルト、臨床（経腸）栄養・流動食
熱安定性	臨床（経腸）栄養・流動食、高たん白エネルギー飲料、乳児用調整乳
乳化性および安定化性	臨床（経腸）栄養・流動食、食餌代替飲料、ダイエット用濃縮脂肪、畜肉魚肉練り製品、ドレッシングおよびソース
起泡性	低カロリーデザート、低カロリーアイスクリーム
密度改良性	畜肉魚肉練り製品
圧縮性	プロテイン・タブレット

八木 直樹：ヨーロッパにおける乳業の最近の研究とプロバイオティック食品を中心とした商品開発の動向について

等々である。なかでも濃縮乳タンパク質（MPC又はTMP）の実用化のための応用研究と、ラクトフェリンの研究は、将来を見据えた企業の柱とするべく精力的に研究が進められている。

MPCの品質特性と対応領域については表-2に、また脱脂粉乳と比較した成分組成表を表-3に示し、製造に使用されるUF処理の原理図を図-5に示した。

表-3 スキムミルクパウダーとDMV・MPC80の組成

	SMP (脱脂粉乳)	※DMV・ MPC80
たん白質(N 6.38)	36%	80%
乳糖	51.3%	6.5%
無機質	7.7%	6.5%
脂肪	1.0%	2.0%
水分	4.0%	5.0%
ナトリウム	4,800ppm	1,100ppm
カリウム	16,500ppm	2,400ppm
カルシウム	12,500ppm	23,300ppm
マグネシウム	1,250ppm	950ppm
リン	10,000ppm	14,500ppm
塩素	11,000ppm	500ppm

※DMV・MPC80はスキムミルクの限外濾過により製造されたミルクプロテインコンセントレート（MPC）

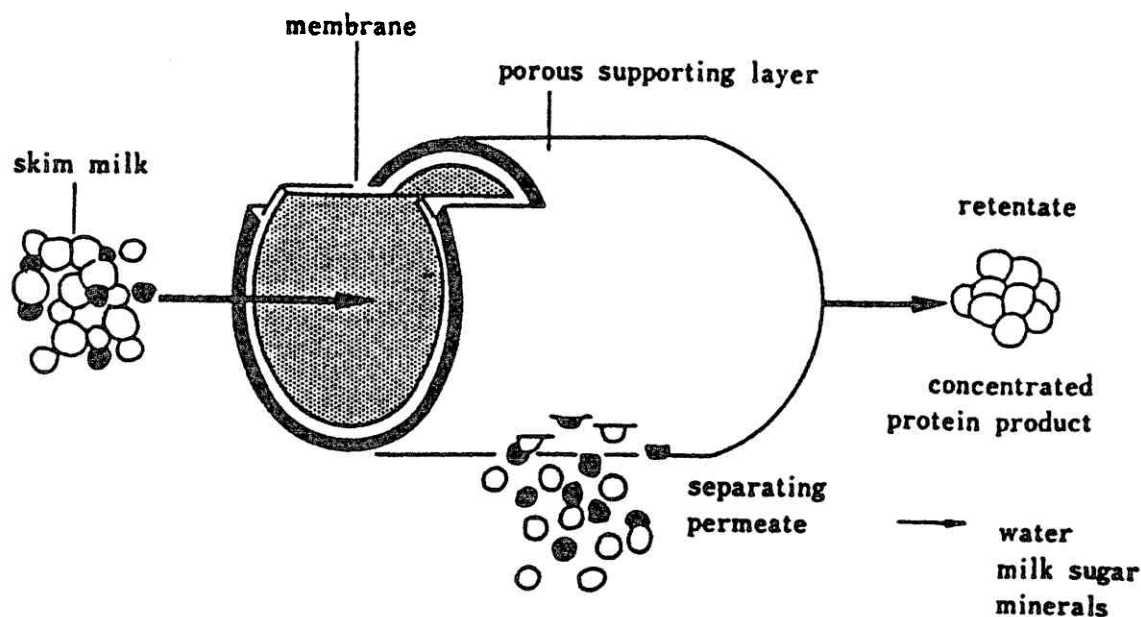


図-5 限外濾過の原理

2) WIESBY社

WIESBY社は、デンマークのHANSEN社と並ぶドイツの乳酸菌カルチャーのメーカーで、HANSEN社がチーズカルチャーに実績を持つとすれば、WIESBY社はヨーグルトカルチャーに力を置いているといってもよいであろう。

ヨーグルトの製造にとって、乳酸菌カルチャーは欠かせないもので、ヨーグルトの品質を支配するだけに重要な存在である。

WIESBY社は、ユトランド半島のデンマークとの国境から車で僅か数10分のところにあるNiebl (ニーブル) 図-6の地図に示したところに本社と工場が在ったが、税金の有利性等の理由から本社をデンマーク領の方に移した。従ってカタログ等にWIESBY社の所在地

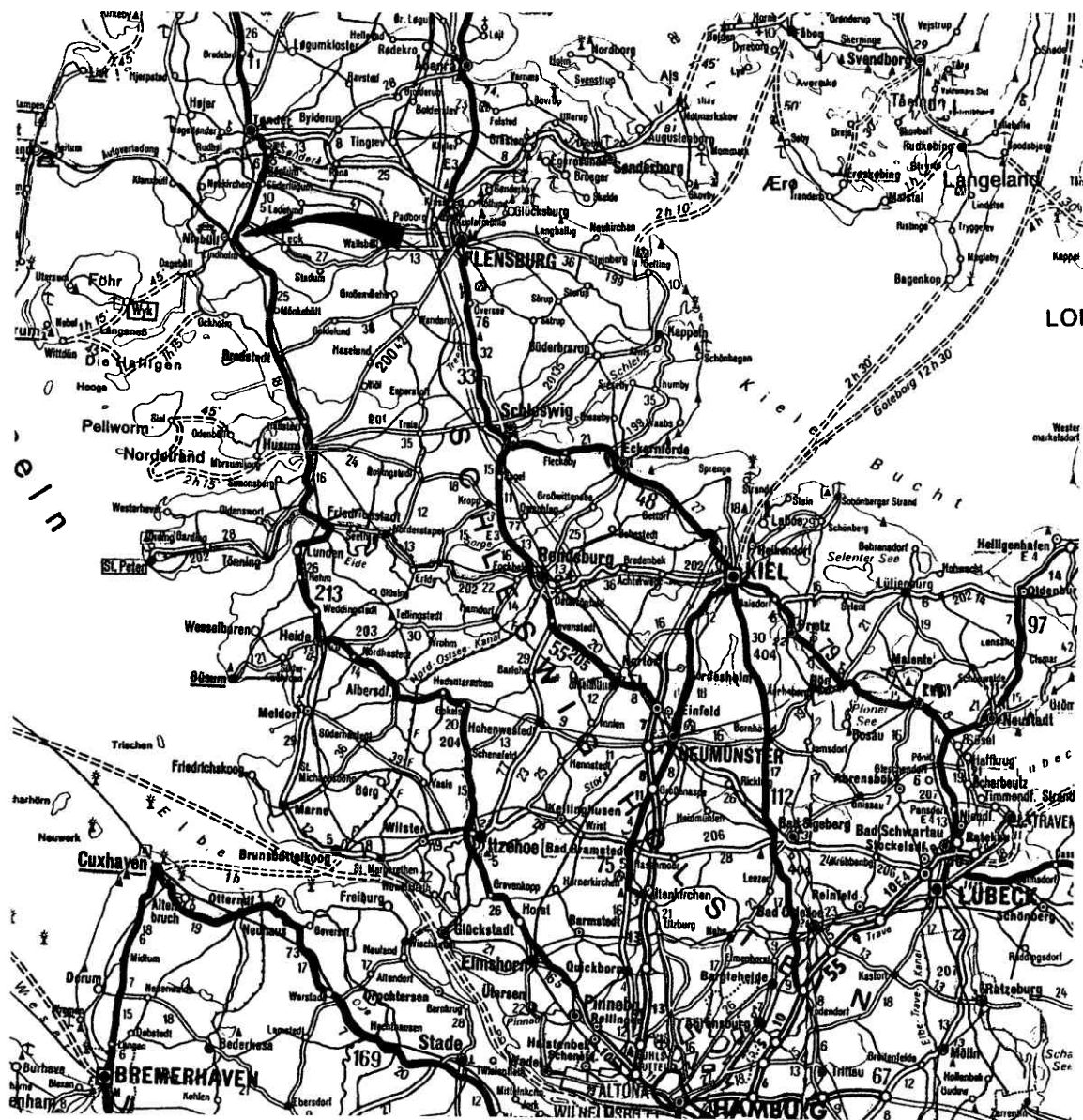


図-6 WIESBYの所在地

八木 直樹：ヨーロッパにおける乳業の最近の研究とプロバイオティック食品を中心とした商品開発の動向について

が、ドイツとデンマークの2ヶ所の表示になっているのはこのためである。

WIESBY社の研究所では、食品工業に用いられるスターターカルチャー全般にわたる研究の他、特に乳製品工業で使用するスターターカルチャーの研究に重点を置いており、世界中の発酵乳について調査研究がなされている。

その中に、日本の森永乳業(株)のビヒダスヨーグルトに使用されているビフィズス菌についての詳しい調査研究があり、現在使用されている世界中のビフィズス菌の中で、耐酸素性、耐酸性に最も優れ、ヨーグルトの製品の中での生残性が良く、また腸内への定着性にも優れていることが明らかにされ、この結果をもとに森永乳業(株)との間に、このビフィズス菌の使用についての契約が結ばれ、ヨーグルトカルチャーの中のビフィズス菌として使用されている。

しかしこのビフィズス菌は、森永乳業側からの使用に当たっての条件として、日本国内での使用が禁止されているので、わが国で入手して使用することはできない。

ヨーロッパの各国では、発酵乳についての長い歴史と伝統を持っているが、スターター管理の合理化、品質の一定と安定化、生産の合理化等の面から、乳酸菌スターターカルチャーを専門のメーカーから購入して、しかもマザーカルチャー、バルクカルチャーといった増菌の手段をとらず、直接に製品の調合液の中に、大量の菌体からなる凍結カルチャーを添加する方法がとられている。またヨーグルトについては後進国といえる韓国では、カルチャーを、培養を繰り返しながら次第に増量していくという技術の蓄積がないままに、生産の工業化が急速に行われたので、ヨーロッパと同じように凍結カルチャーを直接投入してヨーグルトをつくるという方法が主流となっている。

このため、1回当りのカルチャーの使用量も多く、供給する側であるカルチャーのメーカーにとっても採算のとれる相手ということが出来る。

日本の場合、ヨーグルトが大量に販売されているのはスーパー等の量販店であり、そこでは価格競争の対象品になり易く、メーカーにとってもコストダウンが最大の目標となっている。このこともあって、ヨーグルトの製品価格の中に占めるカルチャーのコストは極めて厳しく制約され、凍結カルチャーを使用しても再三にわたる増量のための培養を行って、最初に購入するカルチャーの使用量の低減に努めている。このため購入カルチャーの一回当りの使用量も少なく、カルチャーのメーカーとしては、一回の納入量が少なく、冷凍したまま航空便で輸送するので輸送費がかさみ、これがコスト高の要因となり、これらが専門メーカーよりのカルチャーの購入使用を不利にしている。

専門メーカーによる乳酸菌スターターカルチャーを使用することのメリットは、至便性、安定性等が大きな要素であるが、それ以外に、自然界より膨大な数の適切な菌株が選ばれたうえに、更に遺伝子工学による改良が加えられ、性能の異なる菌株が数多く用意されているので、この中から自由に選択して使用できることにある。

この作業を限られた人数の研究員ですることは容易ではないというより、不可能に近いことで、世界に乳酸菌やカルチャーを供給する専門メーカーであるからこそできることであって、その最先端の乳酸菌を使用しての製品開発が可能になることは、更に大きなメリットとなり、カルチャーメーカーが存続できる要因でもある。

凍結カルチャーと凍結乾燥スターターカルチャーの製造方法は図-7に示した。

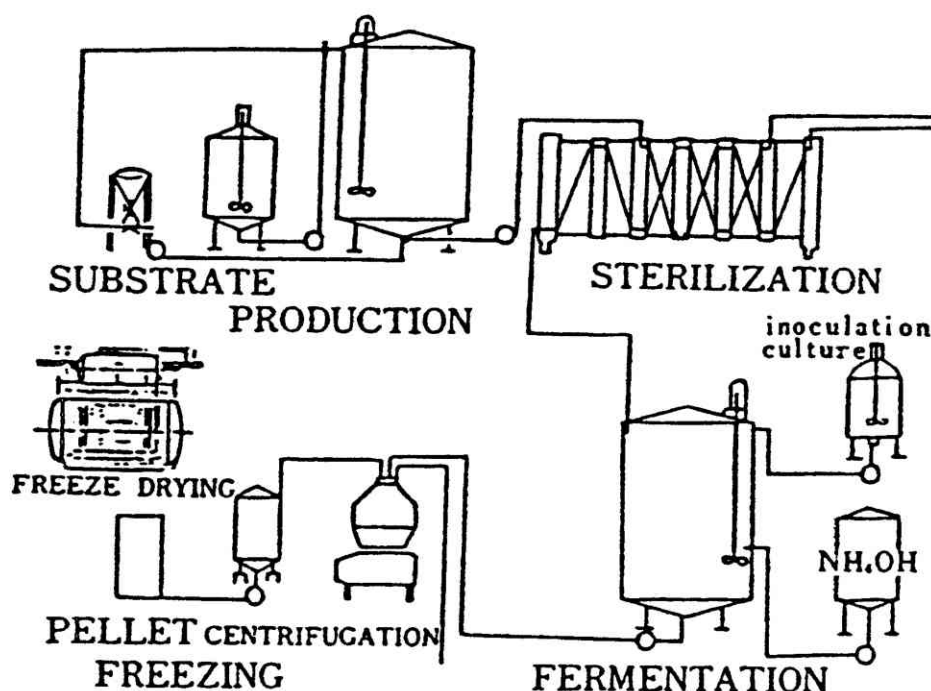


図-7 凍結・凍結乾燥スターター・カルチャーの製造方法

日本の大手乳業の研究所でもそうであるが、最近乳酸菌のプラスミドについての研究が盛んにおこなわれている。プラスミドに粘性多糖類の生産性や、薬剤耐性といった遺伝子情報がコードされているからで、新しい乳酸菌をつくり出すうえで欠かせない研究となっている。

例えば、抗腫瘍性の粘性多糖類を多量に分泌する乳酸菌を使用して治療に効果的なヨーグルトを生産するとか、癌の予防効果が著しいヨーグルトの出現とか、プロバイオテック食品の開発には欠かせない研究となっている。

3) Carbery社

Carbery（カーベリー）社はアイルランドの南西部に在る酪農協同組合が所有する総合乳製品の企業である。（図-8）

アイルランドはメキシコ湾流の影響を受けて緯度が高い割には暖かく、年間で通じて牧草に恵まれた酪農地帯で、特に島の南部に在るコーク市（CORK）はその中心的役割を果

八木 直樹：ヨーロッパにおける乳業の最近の研究とプロバイオティック食品を中心とした商品開発の動向について

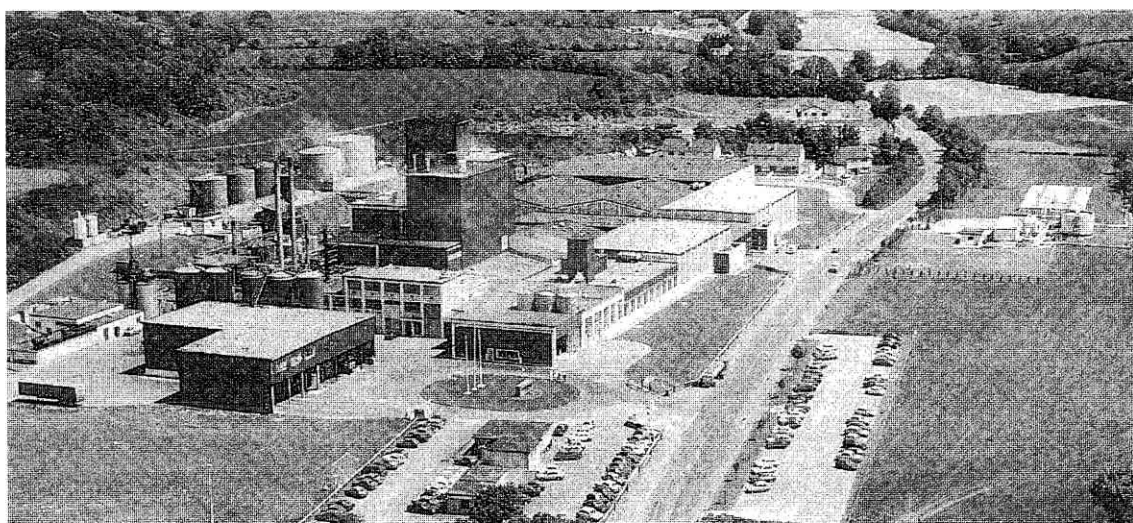


図-8 カーベリィ社全景

たしている。コーク市には1926年に設立されたコーク大学の酪農科学学部があり、酪農乳業化学、酪農乳業細菌学、酪農乳業工学、乳製品製造技術、酪農学、酪農経営学の学科をかかえ、そのスタッフも充実している。教育の目的から実験工場があり、種々の新しい装置が設置されている。コーク大学の所在地は図-9に示した。

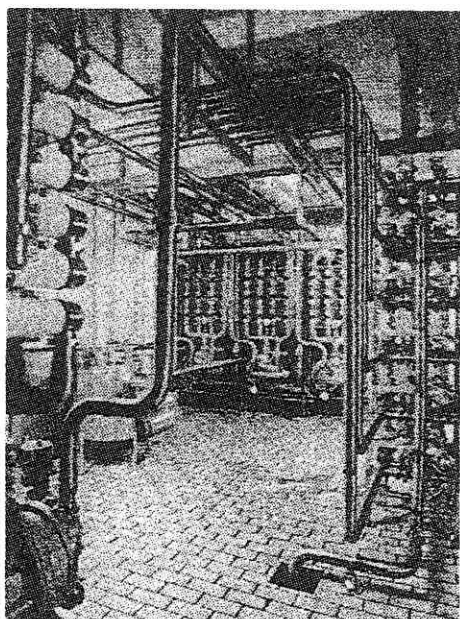
アイルランドの酪農技術を背負って立つ技術者は、このコーク大学の出身者である関係上、産業と大学の一体性は強く、酪農に関する技術や研究は、コーク大学のみでなされてきたのが今迄の姿である。ところが最近、乳業メーカーも大きく成長し、特にCarbery社はアイルランドの農協の会社として発展を続け、プライベートの乳業会社を吸収合併して、今ではアイルランド南部の酪農を掌握する迄に成長した。ここでは独自の研究所を持ち、今ではコーク大学の指導を殆ど受けることなく、自社で研究開発が行われている。チーズの廃液であるホエーから乳糖を取り出し、更にこれを発酵させてアルコールを製造するというユニークな会社であり、今でもかなりの量のアルコールを生産している。最近では、ホエーをUF処理(図-10)して得られるホエータンパク質を更に加工して、新しい物性を付与した製品化の研究を行っている。特に乳タンパク質の改変については、熱凝固性のないカゼインを、トランスグルタミナーゼで処理し、分子間の架橋の組替えを行って熱凝固性のあるカゼインにつくり替えようとするものである。トランスグルタミナーゼによる分子構造の変化の様相を図-11に示した。

トランスグルタミナーゼは、その供給源と収量の関係で非常に高価な酵素で、実用的に使用することは不可能であったが、日本の“味の素”㈱が微生物より摂取することに成功したので実用段階での使用が可能となったものである。この微生物からのトランスグルタミナーゼと、モルモットの肝臓から抽出した従来のトランスグルタミナーゼの特性の比較と各種タンパク質に対するゲル化の様子を表-4と表-5に示した。またカゼイネートのゲ

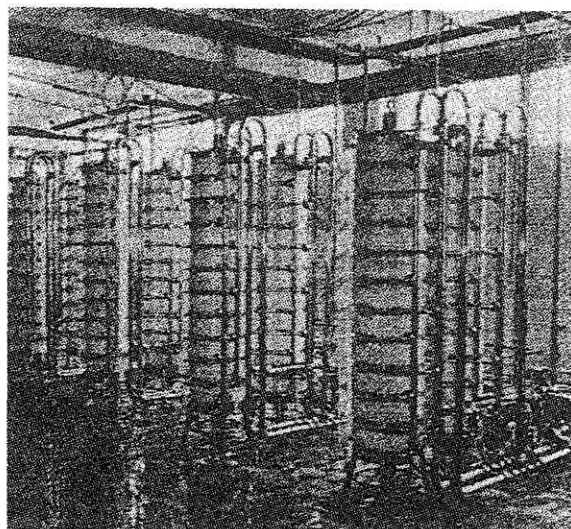


図-9 カーベリィー社及びコーク大学の所在地

八木 直樹：ヨーロッパにおける乳業の最近の研究とプロバイオティック食品を中心とした商品開発の動向について



ホエーのための限外ろ過プラント



ホエー処理のための限外ろ過プラント

図-10 ホエーのUF処理プラント

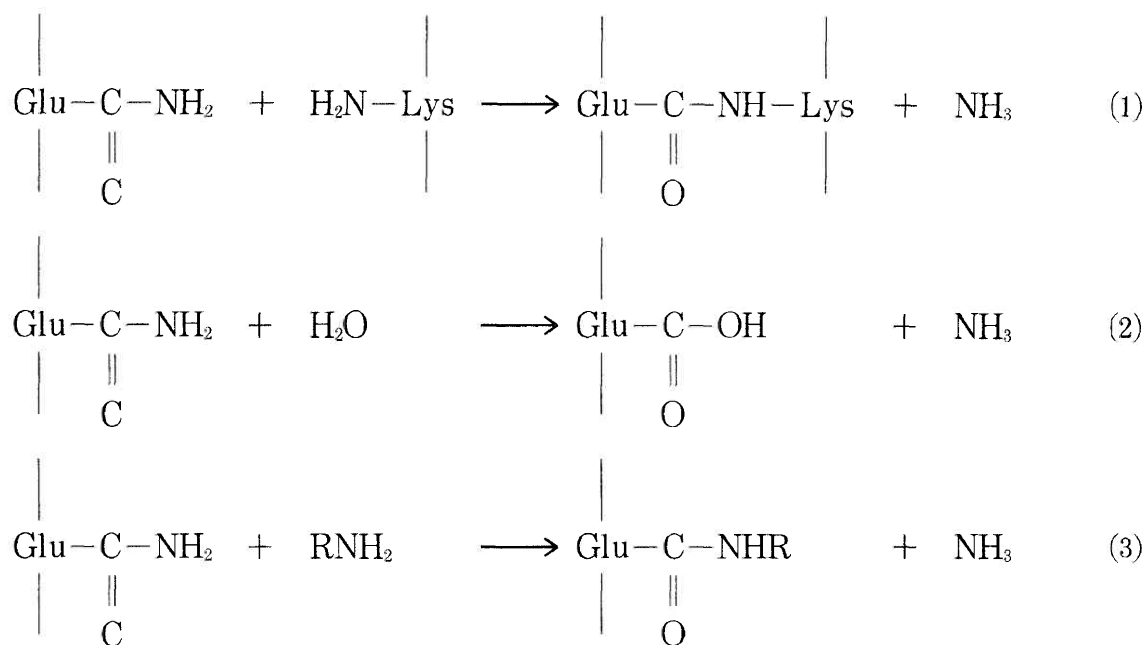


図-11 タンパク質に対するトランスグルタミナーゼの作用

- (1) タンパク質分子間架橋
- (2) タンパク質分子の脱アミド化
- (3) タンパク質分子への1級アミンの導入

大手前女子短期大学・大手前栄養文化学院「研究集録」第18号（1998年）

表-4 BTGaseとモルモット肝臓TGaseの特性比較

	BTGase	モルモット肝 TGase
至適pH	6～7	6
pH安定性	5～10	6～7.5
至適温度	ca. 50℃	50～55℃
37℃10分処理後の残存活性	74%	40%
分子量	38,000	76,620
等電点	9.0	4.5
カルシウムイオンの影響 (残存活性)		
None	100%	100%
1mM CaCl ₂	100	39
5mM CaCl ₂	99	100
阻害性の影響 (残存活性)		
None	100%	100%
1mM PCMB	56	2
1mM NEM	10	25
1mM MIA	76	3
1mM PMSF	111	106

表-5 各種タンパク質のBTGaseによるゲル化（試験管倒置法）

食品タンパク質	濃度 (%)	BTGase	MTGase
α_{s1} -カゼイン	5	○	○
	10	○	○
Na-カゼインネート	5	○	△
	10	○	○
大豆11Sグロブリン	5	○	△
	10	○	○
大豆7Sグロブリン	5	○	×
	10	○	○
アジプロンS-2	5	○	×
	10	○	○
水抽出大豆タンパク	5	○	×
	10	○	○
大豆タンパク粒子	5	○	×
	10	○	△
大豆タンパクミセル	5	○	×
	10	○	△
ゼラチン	5	○	×
	10	○	○
ウサギオミシン	1.5	○	○
エビミオシン	3.6	○	○

(注) ○：ゲル化 △：弱いゲル ×：溶液のまま

八木 直樹：ヨーロッパにおける乳業の最近の研究とプロバイオティック食品を中心とした商品開発の動向について

表-6 カゼイネートのゲル化特性に及ぼすBTGaseの影響

カゼイネート 濃度 (%)	BTGase濃度 (u/gタンパク質)			
	0	10	50	100
4.8	×	×	×	×
6.3	×	×	×	×
9.1	×	×	△	△
12.5	×	○	◎	◎

×；ゾル状

△；ゾル状～ゲル状

○；ソフトゲル状（粘りは残っているがクラゲ様の歯切れ）

◎；ハードゲル状（粘りがなく脆い）

ル化特性に及ぼす微生物由来のトランスグルタミナーゼの効果を表-6に示した。

Carbely社は、日本の乳業メーカーと提携してこのトランスグルタミナーゼを使用した、カゼインやホエータンパク質の物性改変された新しいタンパク質素材の開発を目指している。

乳資源の少ない日本の企業が、乳資源が豊富でしかも安価なアイルランドの企業と提携して、ハム・ソーセージ等の結着剤、ヨーグルトのゲル強化剤をつくり、人口が多く消費量も多い日本の市場へ売り込むという、まさに国際化を目指したプロジェクトの進行ともいえる。

3. ヨーロッパに見る研究と開発の現況とその動向

オードソックスな乳製品の研究の時代は過ぎて今は、牛乳成分や乳製品の持つ生理的機能の研究が中心になってきている。現在及び近い将来に機能性食品の成分として取り上げられるものを表-7に示した。

表-7 現在及び近い将来の機能性食品の成分（DMV製品案内より）

成 分	応 用 分 野
ラクトフェリン	鉄強化、抗酸化剤、運動能増大
グルタミンペプチド	疲労回復用ドリンク、抗ストレス補助剤
アンジオテンシン変換酵素阻害ペプチド	血圧正常化
グリコマクロペプチド	バイオヨーグルト
カゼインホスホペプチド	ミネラルの吸収促進

オランダのDMV社でラクトフェリンの研究が進められているが、鉄欠乏症が発展途上国だけの問題でなく、ヨーロッパ諸国でも大きな問題となっていることに着目したことが研究着手の動機となっている。鉄欠乏症は、小児、女性、高齢者、菜食主義者のなかに多いが、特に激しい運動をするスポーツ選手にも多発している。運動選手では鉄欠乏症が発

現すると、ヘモグロビンや鉄分を必要とするエネルギー代謝酵素の合成が阻害され、酸素の供給不足やエネルギー源となる物質が減少するために運動能力が低下することが知られている。これは運動選手にとっては致命的なことであるので、酸素供給能力を回復する目的で鉄分の補給がなされる。このときラクトフェリンに結合した鉄分を与えると、硫酸鉄を与えた時の倍以上の効果が得られることが証明されている。またラクトフェリンは大腸菌、ウエルシュ菌等の有害菌の増殖を抑制することが知られており、更にこのラクトフェリンをペプシン等の酵素で分解すると、より抗菌活性の強いラクトフェリンというペプチドに変化し、先の大腸菌やウエルシュ菌には強い抗菌活性を示すのに、ビフィズス菌や乳酸菌に対しては殆ど抗菌性を示さないものに変化するという特徴を持っている。

そのうえ抗原性はラクトフェリンのときより、分子量も低下するので約1/10,000以下に低減することもわかっている。乳幼児食に利用するのに誠に好都合な状態となるので、乳幼児の感染防御剤としても利用できるようになる。

北欧（ノルウェーやフィンランド等）では、鉄補給によってスポーツ選手の筋力を上昇させる目的で、スポーツ飲料の中にラクトフェリンを配合した新製品が出現している。同時に感染防御を目的とした医薬品、健康食品、飲料等の開発も進められている。

ラクトフェリンの供給源は、今迄牛乳、チーズホエー等で、その中から分画摂取されてきた。ヒト母乳中に対して牛乳中では含有量が少ないのでその分画摂取は容易ではなかった。

そこで最近では牛の初乳から採取する方法へと変化してきた。ヒトの免疫は胎盤を經由して親から子へと移行するのに対し、牛の場合は経口免疫で、哺乳時にミルクを通じて親の免疫性が子に伝達される。従って子牛に初乳を与えるという行為は大切なことで、初乳を牛から横取りして、ヒトの飲用に処理販売することは国際的に禁止されている。

しかし、初乳中にはラクトフェリンの含有が多いので、初乳から活性成分であるラクトフェリンを取り出して利用するという方向へと初乳の利用が広がっている。勿論、初乳全部を牛から取り上げるのではなく、余った初乳を利用する方向で進められている。今迄に足を踏み入れたことのない初乳の分野まで踏み込むと、これからは種々な新しい活性物質を入手することができるようになることが考えられる。

もう一つの開発の方向は、乳酸菌を用いたプロバイオティック食品の開発である。フィンランドでは粘質発酵乳として知られるVilli（ヴィーリー）が古くから有名であるが、最近になってプロバイオティック機能（健康に役立つ生理的機能をもったもの）を全面に揚げて登場してきた乳酸菌を利用した食品が出現している。

その一つは*Lactobacillus rhamnosus* GGという乳酸桿菌を使用したスイートミルク、ピーマ（バターミルクを利用した飲料）、フルーツヨーグルト、発酵ホエー飲料、ジュース等である。（図-12）*L. rhamnosus* GGのGGという菌株は、ヒトの糞便から、Gorbachと

八木 直樹：ヨーロッパにおける乳業の最近の研究とプロバイオティック食品を中心とした商品開発の動向について

Goldinという二人のアメリカ人によって発見された菌で、発見者の頭文字をとってGGと命名されたものである。この菌株は、プロバイオティック菌株の中で一番その性能、特徴などが調べられており、すでに50を越える原著論文があるといわれている。

その研究によれば、一過性ではあるがヒトの消化管に定着すること、腸管に対して強い免疫賦活作用があること、下痢の予防作用の他に、食物アレルギーの症状を軽減する効果などが明らかにされている。腸管への定着性は、乳酸菌が腸管上皮細胞に付着できるか否かに大きく支配されており、現在では菌体表層にあるレクチンが関与する場合と、腸管側にあるレクチンが関与する二つのケースが考えられている。その関係を図解したのが図-13である。



図-12 *Lactobacillus* GG.を含む製品

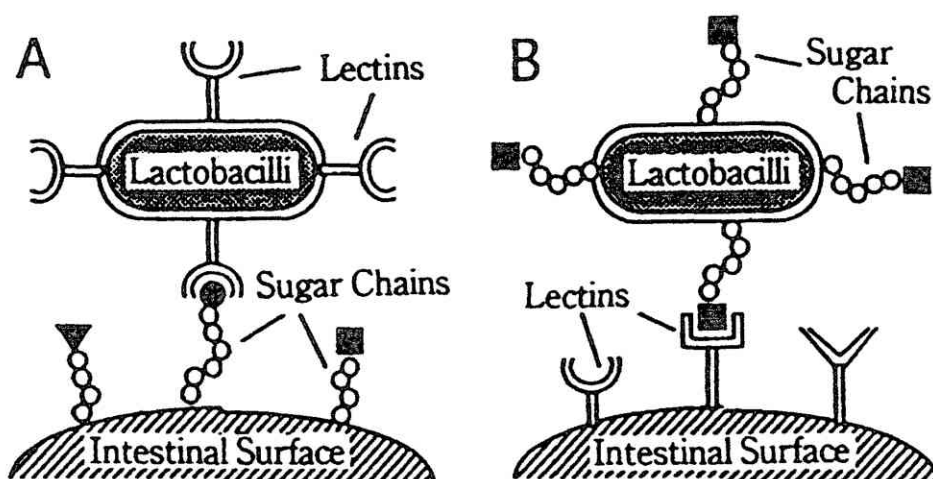


図-13 レクチンの関与する乳酸菌の上皮細胞への付着機構

菌体表層レクチンが関与する結合様式（図A）と宿主腸管側のレクチンが介在する結合（図B）

疫学調査によって、この菌株（GG）を摂取した場合の安定性も確かめられているので、今後は広く世界の市場に向けて商品化の進行することが予想される。

同様なプロバイオティック食品として、ごく最近になって開発された *Lactobacillus reuteri* という乳酸桿菌を使用したピーマ（バターミルクを使用した飲料）、プレーンヨーグルト、フルーツヨーグルト、ヴィーリー（粘質発酵乳）などがある。（図-14）この乳酸菌は、豚の小腸から分離された菌で、グリセロールの存在下で培養すると reuterin とい

う広い抗菌スペクトルを持つ物質を生産するもので、特にサルモネラ菌の感染治療に有効だといわれている他、一過性ではあるがヒトの消化管に定着して幼児の下痢の予防や治療に効力を発揮することが明らかにされている。

サルモネラ菌による食中毒は、食中毒の中でも第1位を占めるという世界各国を通じて最も恐れられている食中毒で、肉・卵が最大の原因食とされているので、サルモネラ食中毒対策はこれからもその重要性は増加することが考えられる。

北欧などには昔から粘調性を帯びた発酵乳が存在し飲用されてきたが、今でもその利用は増大している。この粘質成分である多糖類については、その構成糖の組成についても明らかにされると同時に、抗腫瘍性についても多くの研究の成果が報告されている。

こうした多糖類を生産する乳酸菌を使用しての製品開発は、或は飲用実績は北欧のみにとどまらず、今後益々、而も急速に世界中に拡がっていくことが予想される。

先進文明国の間では年々平均寿命が伸びる傾向が続いている。当然健康でありたいと思う願いは強く、プロバイオティック食品にかかる期待は今後も益々高まることは必至である。その研究の進展には大きな期待が寄せられていることを痛感した次第である。



図-14 *Lactobacillus reuteri* を含む製品

[参考資料]

- 1) SACHDEVA S., BUCHHEIM W., : Kiel Milchwirtsch Forschungsber, Vol.49, No.1(1997)
- 2) HERTWIG S., BOCKELMANN W., TEUBER M., : J. Appl. Microbiol., Vol.82, No.2, (1997)
- 3) MOLKENTIN J., PERCHT D., : Nahrung, Vol.40, No.6, (1996)
- 4) MEISEL H., SCHLIMME E., : Kiel Milchwirtsch Forschungsber, Vol.48, No.4, (1996)
- 5) PRECHT D., MOLKENTIN J., : Int. Dairy J., Vol.6, No.8, (1996)
- 6) LUITZ M., SUHREN G., HEESCHEN W., : Milchwissenschaft, Vol.51, No.7, (1996)
- 7) EL-SALAN M.H.A., EL-SHIBINY S., : Int. Dairy J., Vol.6, No.4, (1996)
- 8) HEESCHEN W.H., SUHREN G., : Milchwissenschaft, Vol.51, No.3, (1996)
- 9) SUHREN G., HEESCHEN W., : Nahrung, Vol.40, No.1, (1996)
- 10) HAMMER P., LEMBKE F., SUHREN G., HEESCHEN W., : Kiel Milchwissenschaft, Forschungsber, Vol.47, No.4, (1995)
- 11) PRECHT D., MOLKENTIN J., : Nahrung, Vol.39, No.5, (1995)
- 12) BOCKELMANN W., BEUCH H.P., LICK S., HELLER K., : Int. Dairy J., Vol.5, No.5, (1995)

八木 直樹：ヨーロッパにおける乳業の最近の研究とプロバイオティック食品を中心とした商品開発の動向について

- 13) BOCKELMANN W., HOPPE-SEYLER T., HELLER K., : *Milchwissenschaft*, Vol.50, No.1, (1995)
- 14) TE GIFFER M.C., BEUMER R.R., ROMBOUTS F.M., : *Int. J.Dairy Technol.*, Vol.50, No.2, (1997)
- 15) KUIPERS O.P., DE RUYTER P.G.G.A., KLEEREBEZEM M.DE VOS W.M., : *Trends Biotechnol.*, Vol.15, No.4, (1997)
- 16) VISSER J., JEURNINK TH.J.M., : *Exp.Therm Fluid Sci.*, Vol.14, No.4, (1997)
- 17) DE KRUIF C.G., : *J.Colloid Interface Sci.*, Vol.185, No.1, (1997)
- 18) VAN DENBERG G., VAN BOEKEL M.A., : *Neth.Milk Dairy J.*, Vol.50, No.4, (1996)
- 19) JEYRNINK T.J.M., WALSTRA P., : *Neth Milk Dairy J.*, Vol.50, No.3, (1996)
- 20) WEERKAMP A.H., KLIJN N., NEETER R., : *Neth Milk Dairy J.*, Vol.50, No.2, (1996)
- 21) ZOON P., ALLERSMA D., : *Neth Milk Dairy J.*, Vol.50, No.2, (1996)
- 22) MEIJER W., MARUGG J.D., HUGENHOLTZ J., : *Appl.Environ Microbiol.*, Vol.62, No.1, (1996)
- 23) JEURNINK T.J.M., : *Milchwissenschaft*, Vol.50, No.4, (1995)
- 24) KLIJN N.WEERKAMP A.H., : *Appl.Environ Microbiol.*, Vol.61, No.2, (1995)
- 25) MANNING D.J., RIDOUT E.A., PRICE J.C., : *J.Dairy Res.*, Vol.50, No.4, (1983)
- 26) VAN RENTERGHEM R., : *Milchwissenschaft*, Vol.52, No.2, (1997)
- 27) STEIJNS J.M., : *月刊フードケミカル*, Vol.13, No.1, (1997)
- 28) LAHL W.J., BRAUN S.D., : *Food Technol.*, Vol.48, No.10, (1994)
- 29) VROMANS H., BOLHUIS G.K., LERK C.F., : *Int. J.Pharm.*, Vol.39, No.3, (1987)
- 30) VAN KAMP H.V., BOLHUIS G.K., LERK C.F., KUSSENDRAGER K.D., : *Int. J.Pharm.*, Vol.28, No.2, (1986)
- 31) BARRY J.A., : *Dairy Ind.Int.* Vol.47, No.10, (1982)
- 32) HUNGER W., : *Milchwissenschaft*, Vol.41, No.5, (1986)