

原料乳・市乳の過去・現在・未来

誌名	ミルクサイエンス = Milk science
ISSN	13430289
著者名	山根,正樹 元島,英雅
発行元	日本酪農科学会
巻/号	58巻3号
巻号補足	
掲載ページ	p. 161-168
発行年月	2009年12月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター

Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



ショートレビュー

平成21年度日本酪農科学シンポジウム編

「I. 乳・乳製品の過去・現在・未来」

原料乳・市乳の過去・現在・未来

山根正樹・元島英雅

(よつ葉乳業株式会社, 中央研究所, 北海道北広島市輪厚 061-1264)

Raw milk and market milk in Japan: its past, present and future

Masaki Yamane and Hidemasa Motoshima

(Research Center, Yotsuba Milk Products Co., Ltd Wattsu, Kitahiroshima, Hokkaido, 061-1264, Japan)

1. はじめに

戦後、食生活の西洋化とともに牛乳や乳製品の消費は急速に増加している。しかし、近年の国民一人当たりの飲用牛乳消費はやや低下傾向にあり、平成6年(1994年)の112.9 ml/日をピークに、平成19年(2007年)には86.6 ml/日と低減している¹⁾。この原因としては、人口構成の変化、景気の低迷、茶系飲料などの増加、牛乳害悪説の流布など、様々なことが影響していると思われるが、「牛乳を飲むとお腹の調子が悪くなる」あるいは、「牛乳は飲んだあと口に残る」あるいは「牛乳は味にくせがある」などの牛乳固有の理由で、飲用しない層も多いことがわかっている²⁾。乳業各社では牛乳という栄養価が高く、独自の風味をもつ食品のよさを生かすために、いかに美味しい飲用乳を製造するかということに努力を傾注している。本稿では、日本の乳業における原料乳から市乳に至る過去、現在、未来に関して概観することで、原料乳や市乳の未来について考察したい。

2. 日本における牛乳飲用の歴史

我が国における牛乳飲用の歴史についてはすでに多くの成書があり、詳しく述べられている^{3,4)}。それらによると、最初の飲用は飛鳥時代に帰化人の善那が孝徳天皇に献上したのが始まりといわれている。善那は孝徳天皇より和薬使主(ヤマトクスリノオミ)という姓をうけ、乳長上(チノオサノカミ)という職に任ぜられたという。その後、平安時代では天皇や貴族の一部で牛乳を飲用していたと言われる。更に鎌倉時代になると、貴族から武

士の時代となり、牛の飼育よりも馬の飼育が優先されたため、酪農は衰退し、ついには消失した。次に日本の歴史に乳が登場するのは江戸時代である。八代将軍の徳川吉宗が現千葉県の上野に白牛3頭を輸入し、白牛酪の製造を開始した。この白牛酪は牛乳を煮詰めた乳製品であったといわれ、主に肺結核の薬など滋養薬として将軍家や高位の大名たちに珍重されたという。またこの上野牧場は現在千葉県上野牛乳試験場となり、この敷地内には「日本酪農発祥の地」という石碑が建てられ、我が国の近代酪農はここから始まったといわれている。明治にはいると大名屋敷跡地などに牛乳搾乳所が出来、乳の製造、販売が行われたが、外国人や一部上流階層への普及にとどまるにすぎなかった。

日本で牛乳、乳製品が広く一般に浸透するのは第二次世界大戦後である。この時代、食の欧米化が進み、牛乳が学校給食へ導入され、一般家庭への冷蔵庫の普及が相まって牛乳の消費は大きく伸び、現在のように手軽に乳、乳製品を入手することが出来るまでになった。戦後に始まった牛乳飲用が拡大、一般化されたことは日本人の体位の向上に貢献した一因であろう。文部科学省「年齢別平均身長推移」データでは昭和23年(1948年)の11歳、男児の平均身長は130.4 cmであったのに対し、平成18年(2006年)では145.1 cmと14.7 cmもの体位向上が見られ、牛乳飲用に呼応していると思われる。

3. 日本における生乳生産

日本の生乳生産は平成8年(1996年)には865.9万トン/年に達したが、その後やや下降の傾向にあり平成19年(2007年)には802万トンになった(図1)¹⁾。それでも、平成19年には生乳換算で441.9万トンに相当する乳製品をチーズや脱脂粉乳、バター等として輸入している

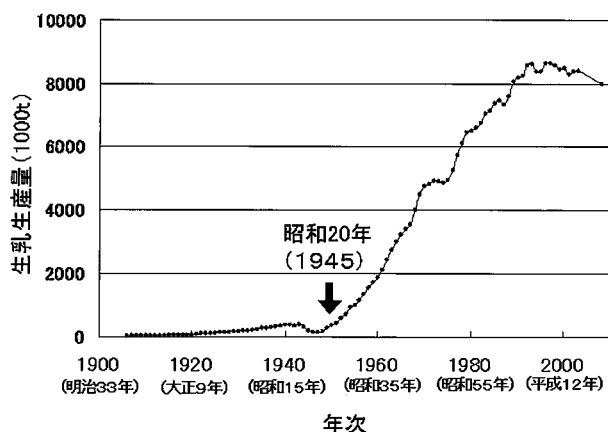


図1 日本の生乳生産の推移（1906-2008年）
総務省統計局データ「生乳、鶏卵、鶏肉及び枝肉生産量」より作成

ため、生乳換算で1307.8万トンに相当する牛乳・乳製品を消費していることになる¹⁾。

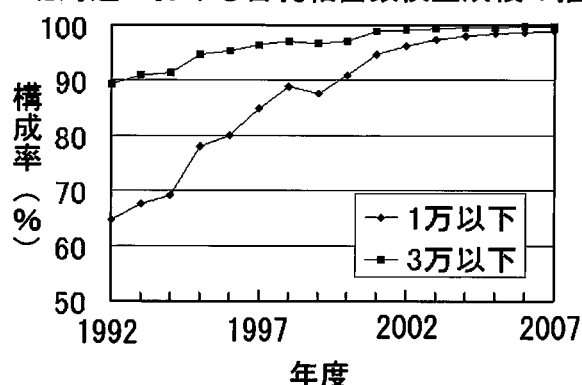
このうち、国内生乳生産の飲用向け用途の割合は、平成20年（2008年）で57%であり、日本の生乳生産の半分以上が飲用用途であることがわかる。特に、本州で生産されている生乳451.4万トン（2007年）のうち、97.6%が直接飲用用途に加工されているという特殊性がある。ちなみに、生乳生産に占める直接飲用の割合は、2007年で例えばアメリカで33%、カナダで37.6%である（文献1より算出）。それ故、日本における飲用乳の消費低迷は酪農業に大きな影響力がある。

4. 北海道の生乳の品質向上

日本における生乳の乳質改善の歴史的な経過に関しては荒井がまとめており^{5,6)}、乳質の改善は明らかに牛乳や乳製品の風味を良くし、飲用乳の消費の増加につながったと考えられる。また、北海道における乳質改善の努力については熊野が詳細に報告している⁷⁾。北海道の生乳生産量の国内生産量に占める割合は年々上昇しつつあり、平成19年（2007年）度では382.9万トンで、国内生乳生産量の47.7%を占めている。そのうち、飲用向けとして54万トンが北海道内で加工され、さらに本州に飲用向けとして生乳のまま移出されているもの36.6万トンを加えると、北海道産生乳のうち、約90.6万トンが飲用向けと推定される。本州向けの生乳は、道内各地のクーラーステーションで2℃前後に冷却され、専用船はくれん丸を用いて毎日輸送されている。

北海道において乳質改善を推進する組織としては、まず北海道乳質改善協議会がある。本協議会はホクレン、農協同組合（JA）、乳業会社、行政、北海道酪農検定検査協会、農業共済組合連合会などで構成されている。

北海道における合乳細菌数検査成績の推移



北海道における合乳体細胞数の推移

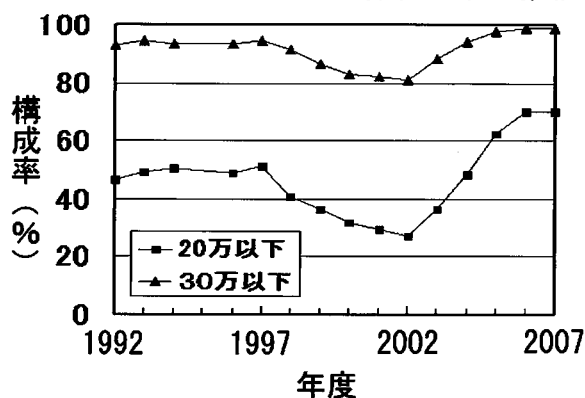


図2 北海道の生乳品質の向上
（北海道酪農検定検査協会のデータによる⁸⁾）

そこで推進されている主な対策として、細菌汚染防止、体細胞数削減、抗生物質残留防止、農場衛生管理システム手帳、生乳受託契約や生乳集荷契約整備などがある。また、北海道酪農検定検査協会は、北海道、ホクレン、農業協同組合中央会、乳業会社、その他関係団体など計44会員より構成されており、主な業務は乳牛検定関連として乳牛検定事業、後代検定事業、経営改善指導、生乳検査関係として、生乳検査、乳質改善支援業務、調査試験業務などがある。

図2に北海道の合乳（タンクローリー乳）の細菌数と体細胞数の検査成績の推移を示した^{7,8)}。生乳の細菌数は、生乳の衛生的品質を示すものとして極めて重要である。北海道酪農検定検査協会は、平成元年（1989年）まで直接個体鏡検法（ブリード氏法）で菌数検査を行ってきたが、この方法は低菌数を評価するのが困難なため、乳質の改善に伴い平成元年からスパイラル法、平成13年度（2001年）からは蛍光光学式細菌数測定法（バクトスキャン法）で細菌数を検査している⁷⁾。菌数が多い生乳においては、特にシュドモナス属細菌などの低温性のグラム陰性菌が牛乳の新鮮度を失わせ、残存プロテアーゼやリパーゼによって製品の品質を低下させる。

また、本州に生乳のまま、長距離輸送を行う場合、温度管理とともに、生乳の初期菌数が少ないことが極めて重要になる。図2に示されているように、北海道の生乳の細菌数は平成19年度において1万/ml以下が合乳の98.9%を占めており、原料乳段階での微生物問題は非常に少なくなっているのが実情である。

一方、生乳中に含まれる体細胞というのは、血液に由来する白血球のことである。乳房炎になって乳腺が微生物によって感染を受けると牛乳中の白血球の数が増加する。そのため、生乳の体細胞数は乳房炎の指標として重要である⁹⁾。乳房炎は、乳量の減少や、成分低下、治療費の上昇など経済的な影響とともに公衆衛生上の観点からも問題となる。また、体細胞数が多いと飲用乳において体細胞に由来するリパーゼ活性やプロテアーゼ活性が残存し風味劣化が早くなることが報告されている^{10,11)}。北海道では体細胞数30万/ml以下を目標として改善に取り組んでおり、平成4年度(1992年)には体細胞数30万以下93.0%、20万以下46.6%であったものが、平成19年度(2007年)には検体数13.7万検体の調査で体細胞数30万以下98.9%、20万以下でも70.3%と改善している(図2)⁸⁾。

乳質の改善は長期的に見ると成分においても際立った進歩があり、北海道では平成4年度には平均の脂肪率3.85%、無脂乳固形分率8.63%であったものが、平成19年度には脂肪率4.01%、無脂乳固形分率8.72%に向上した⁸⁾。乳脂肪分や蛋白質が高いと嗜好性も高くなることが知られており¹²⁾、乳成分の向上も飲用乳のおいしさの向上に直接的に貢献していると考えられる。また全国飲用牛乳公正取引協議会の規約では「無脂乳固形分8.5%以上及び乳脂肪分3.5%以上、並びに細菌数10万/ml以下及び体細胞数30万/ml以下」の生乳を使用すること等を条件に、「特選」、「厳選」、「優良」等当該飲用乳の品質が優れた印象を与える文言を表示することができ、製品の差別化にも利用できる。

5. 市乳製造技術の進歩

5-1. 殺菌技術の変遷^{13,14)}

昭和2年に警視庁省令により乳の殺菌が義務づけられるまでは牛乳は未殺菌で瓶詰めされ、流通、販売されていた。しかし一部は、瓶詰め後、蒸気を当てて殺菌した牛乳が「消毒牛乳」や「蒸気殺菌牛乳」という名で製造、販売されていた。実際に全ての乳が殺菌されるのは東京では昭和2年、全国では昭和8年以降のことである。殺菌の義務化以降昭和20年代までは低温保持殺菌(LTLT法)が一般に普及していた。この殺菌法は殺菌用のタンクで乳を加熱し、63~65℃で30分間保持するものである。昭和20年代後半になると高温短時間殺菌(HTST法)が導入された。これはプレート式熱交換機を使用して72℃、15秒の条件下で連続的に乳を処理するもので、バッチ式のLTLT法と比べ、その生産効率は飛躍的に向上した。昭和30年代に入り超高温殺菌(UHT法)が導入された。この殺菌法もプレート式熱交換機を用い、120~130℃で1~3秒殺菌する方法である。現在では牛乳の90%以上はこのUHT殺菌牛乳となっている。

5-2. 連続式の殺菌方法とその特徴

乳業に用いられる殺菌技術には、いくつかの詳しい総説がある^{15,16)}。図3に一般に牛乳の殺菌に使用される連続式加熱殺菌法を示した¹⁷⁾。大きく分けて間接加熱殺菌と直接加熱殺菌に分類される。間接加熱殺菌のプレート式殺菌とチューブ式殺菌法は、どちらの方式も熱媒体と製品の牛乳は直接接触しないという特徴がある。プレート式は設置面積が小さく熱効率が良いが、一方、チューブ式は構造が単純でメンテナンスしやすい。日本ではUHT牛乳の殺菌方式はプレート式が圧倒的に多いがチューブ式殺菌や直接殺菌方式を採用している企業もある。

直接加熱殺菌は主にスチームインジェクションとス

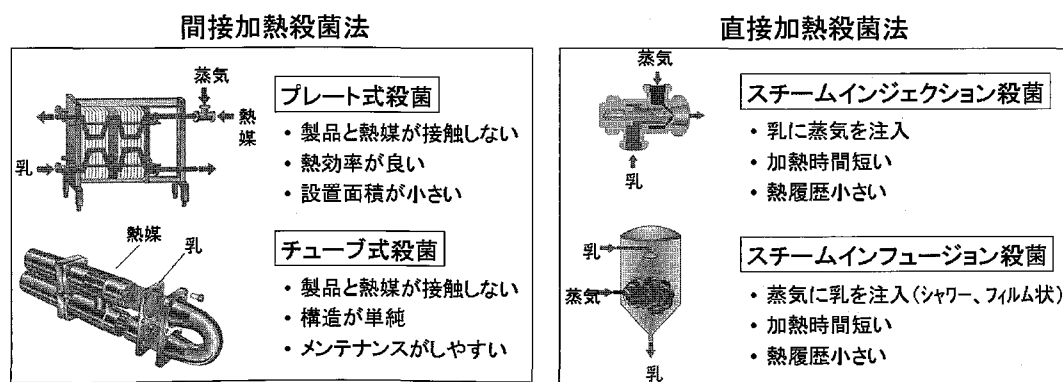


図3 一般に乳の殺菌に用いられる連続式加熱殺菌法の種類と特徴

チームインフュージョンに分けられ、前者は牛乳に熱媒である蒸気を吹き込み熱交換する方式であり、後者は飽和蒸気に牛乳を通過させて熱交換する方式になっている。大きな特徴は蒸気と原料乳が直接混合することである。蒸気によって加水されるので、真空チャンバー内で相当する水分量を蒸発させて除去する工程が含まれる。一般に直接加熱殺菌の特徴は間接加熱殺菌に比べて瞬時に加熱されるため製品の熱履歴が低くなり、相対的に加熱臭が少ないことである。直接加熱殺菌が牛乳殺菌に使用されるようになったのは昭和60年の乳等省令改正からのことである。それまでは、蒸気が混入するということがで原料が生乳のみであっても加工乳の扱いであった¹⁶⁾。

5-3. 包装容器の変遷

日本の牛乳容器の変遷や技術に関しては既に優れた報告^{18,19)}があり、本稿では概要にとどめることとする。

昭和8年(1933年)の牛乳営業取締規則の改正以降牛乳の容器は透明ガラス瓶と定められ、昭和40年代まではガラス瓶が主流であった²⁰⁾。しかし東京オリンピック以降本格的に紙パックが導入され、軽量化による輸送効率の上昇、ワンウェイ化による量販店での販売、工場での洗瓶、用水、排水等の省力化が可能となり、昭和44年には1.4%にすぎなかったシェアが昭和54年には62.6%に急増し、平成11年には87.2%を占めるに至った。

近年、容器をめぐる大きな変化に、ESL (Extended Shelf Life: 賞味期限延長) 包装充填技術の導入がある。この技術は1980年代に米国で概念化され、現在広く普及している技術である²¹⁾。従来は牛乳をUHT殺菌しても、包装材料や充填装置の無菌化は不十分であったが、無菌性の高い充填機を使用し、包装材料も殺菌処理することで以前よりも製品の安定性が増加し、飲用時における製品の質的向上が可能となった。ESLシステムは、LL牛乳のような常温保存可能な完全に無菌充填とは概念が異なり、あくまで決められた賞味期限内の安定的な品質を保証するものであり、10℃以下の管理が必須である。

また、ESL製品であっても、無菌性のみが製品の安定性を決めるわけではなく、実際の牛乳の流通においては、ショーケースの照明などによる光酸化による風味の劣化の問題が重要である^{18,19)}。

6. 牛乳の風味研究

牛乳の風味は牛乳特有のものであって、生乳に異常風味がないということが、美味しい牛乳を製造するための出発点となる。風味研究は主に異常風味の発生と原因と対策に関するものと、殺菌などの加工技術によってどのような風味が生じるか、あるいは保存中の風味変化に関

するものに分けられる。初期においては主に海外の牛乳風味研究に関する啓蒙的な文献紹介が主だったが²²⁻²⁵⁾、現在では、国内でも牛乳の風味を良くするための研究がさかんに行われるようになってきている。

6-1. 異常風味乳

美味しい飲用乳を製造するためには、そもそも原料となる生乳に風味異常がないことが前提である。そのため、どの乳業工場においても、受け入れ前に担当者が生乳に異常風味がないことを確認する。Shipeらの分類²⁶⁾によると、異常風味としては、加熱臭、光酸化臭、ランシッド臭(脂肪分解臭)、微生物臭、酸化臭、移行臭(飼料臭、牛臭など)、その他に分けられる。このうち生乳で時折、問題となるのは、主にランシッド臭と、酸化臭、移行臭(飼料臭)である。生乳でのランシッド臭は主に生乳の脂肪が内在性のリパーゼによって分解され、遊離脂肪酸が発生することで起こる。乳牛の栄養バランスが崩れることで脂肪球膜が脆弱になり発生する自発型リポリシスと、低温性細菌の増殖、ミルカーの不備、ミルクラインでの空気の混入、バルククーラーなどの冷却の際に乱暴に攪拌することなどで脂肪球膜が損傷しておこる誘導型リポリシスがある。北海道酪農検定検査協会ではミルコスキャンを用いた遊離脂肪酸含量の実態調査を行い、原因究明と対策を行っている⁸⁾。

また、最近になって、いわゆる自発性酸化臭と呼ばれる異常風味を有する生乳の存在が日本でも指摘されている²⁷⁾。これは以前から北欧や、カナダ、アメリカ等で問題が顕著化しており、国際酪農連盟(IDF)も総説をまとめている²⁸⁾。この問題は、主に飼料中のビタミン不足と、飼料中の不飽和脂肪酸が多いことが原因であると推定されており、新鮮な飼料を給餌しにくい冬から春にかけて発生することが多い。このことは、より美味しい牛乳を製造するためにはまだ原料乳の面でも改善の余地があることを示唆するものである。

6-2. 殺菌技術が風味に与える影響について

アメリカやイギリス、北欧などではUHT牛乳の加熱臭を嫌う傾向がはっきりしていて、HTST牛乳が普及している。そのため、UHT牛乳のフレーバーに関する研究も多い^{29,30)}。ここで注意しなければならないのは海外の文献でUHT牛乳と記載されているものは通常、日本でいうところのLL牛乳のことを意味することである。そのため、海外のUHT牛乳の風味研究というのは、LL牛乳についての研究であり、日本とやや事情が異なっている。日本のように、120℃~130℃程度のUHT殺菌を行ってチルド管理する製品は国際的には少ないようである。アメリカではUHT殺菌を行ってESL充填後、チルド流通される牛乳は、ウルトララスチュライズド牛乳と定義されるが、日本と違い、少なくとも138℃2秒以上の殺菌が必要である³¹⁾。アメリカではこのよう

な概念の牛乳は近年になって一般化し始めたもので、ウルトラパステライズド牛乳の消費者受容性に関する研究がなされている³²⁾。

日本では、そもそも UHT 牛乳が大部分を占め、HTST 牛乳の市場に占める割合はごく僅かであるため、牛乳といえば UHT 牛乳の風味をイメージする。岩附らは、牛乳の嗜好性に及ぼす殺菌条件の影響を調べ、LTLT 牛乳、HTST 牛乳、UHT 牛乳 (130℃殺菌)、UHT 殺菌 (140℃殺菌) のうち、UHT 殺菌 (130℃) が最も嗜好性が高いことを示した³³⁾。また、別の試験で、LTLT 牛乳と UHT 殺菌 (120℃殺菌)、UHT 殺菌 (140℃) の嗜好性を評価し、UHT 殺菌 (120℃殺菌)、UHT 殺菌 (140℃)、LTLT 牛乳の順であったが、評価員に対してノンブラインドで試験を行うと、LTLT 牛乳の評価が向上することを報告している³⁴⁾。一般に新鮮な HTST 牛乳はさっぱりした風味で加熱臭が少なく、同じ生乳を UHT 殺菌したものと風味は大きく異なるが、日本のように一般に LTLT 牛乳や HTST 牛乳を飲む機会が少ない場合、そもそも加熱臭を認識しにくいものと思われる。

図4に同じ生乳を UHT 殺菌と HTST 殺菌した場合の GC/MS のクロマトグラムの例を比較して示したが (自社データ)、UHT 牛乳では、2-ヘプタノンや2-ノナノンなどのケトン類やジメチルサルファイド類が多く、これらの加熱生成フレーバーが UHT 牛乳に特有の香気を与えている。岩附らはすでに各種殺菌条件でのこれらフレーバー成分とその官能に対する寄与について詳細な同定を行っている³⁵⁾。

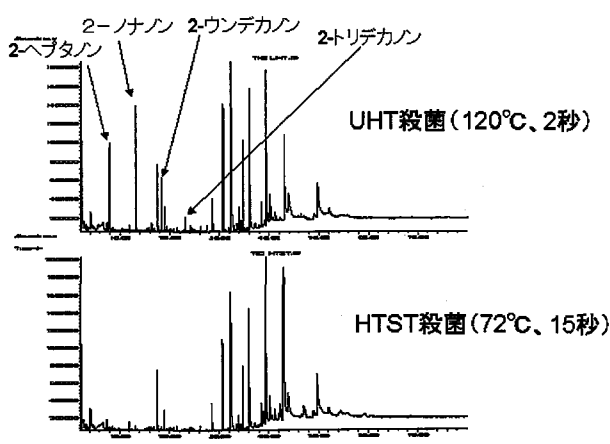


図4 同じ生乳を UHT 殺菌と HTST 殺菌した場合のフレーバーの GC/MS クロマトグラム比較例
条件 (SBSE 法; GERSTEL Twister 膜厚 0.5 mm 長さ 10 mm, 25 °C 60 分 rpm, Agilent 5973 MSD, キャリアガス: He, カラム: DB-WAX 30 m × 0.25 mm × 0.25 μm (液層), 温度条件: 40°C 2 min → 230°C (5 分/min) 40 min, 測定モード: TIC)

ところで、同じ UHT 殺菌でも、直接加熱殺菌とプレート式殺菌では熱履歴の違いによってフレーバー成分の相対的な量に大きな違いがある。図5では、直接加熱殺菌牛乳とプレート式殺菌による UHT 牛乳のフレーバー成分の相対量を比較して示した (自社データ)。直接加熱殺菌牛乳は全体として総香気成分量が少なく、特に、加熱生成物のケトン類が少ないことがわかる。直接加熱殺菌は、一般にプレート式殺菌よりも加熱臭が少ないことは、海外の文献でも数多く報告されているが³⁶⁾、日本人での嗜好性については、十分な報告はないように思われる。

また、加熱殺菌時の牛乳中の溶存酸素が加熱臭の形成に大きな影響を与えることは以前から報告されている³⁷⁻⁴¹⁾。牛乳の加熱風味には β ラクトグロブリンの加熱変性による遊離の SH 基の生成が重要な役割を担っており、これが極めて反応しやすく加熱臭生成の主要原因のひとつとなる。これには殺菌温度、容器の酸素透過性、保存温度などの他、不飽和脂肪酸も重要な関与をしていると言われる⁴²⁾。様々な要因が影響するため、加熱臭の推移が製品の嗜好性に与える影響については実際の製造、保存条件での評価が必要であろう。現在では窒素ガスを生乳に混合して脱気することで加熱殺菌時の溶存酸素を低下させ、加熱臭を低減させるという特許にもとづいた製品が販売されている^{42,43)}。

6-3. 飼料が風味に与える影響について

風味の良い製品を作るために、各社とも殺菌条件などで様々な工夫を行っているが、それと同様に風味に大きな影響を与えるものに、生乳自体の風味がある。生乳の

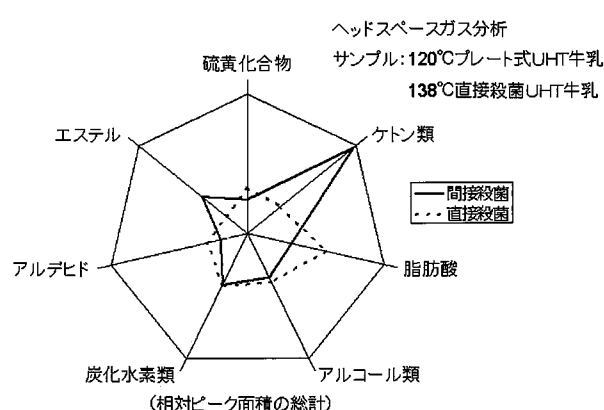


図5 直接蒸気殺菌と間接プレート式殺菌による牛乳の総香気成分量の違い (自社データ)
条件 (ヘッドスペース法: 窒素ガスを吹き込み Tenax TA (0.01 g) に吸着, GC/MS 条件: 装置: Agilent 5973 MSD, キャリアガス: He, カラム: TC-WAX 30 m × 0.25 mm × 0.25 μm (液層), 温度条件: 50°C → 120°C (3°C/min) - 120 → 250°C (5°C/min), 各ピーク面積の総量を成分別にまとめ相対比較した)

風味には、飼料内容が影響を与えるが、海外では多くの研究がなされている^{44,45)}。

一般に放牧による青草臭や、サイレーン臭などは、強すぎれば飼料臭として認識されるが、牛の生理の一部をなしており、弱ければ牛乳の特徴をなすものとも考えられる。特に、放牧の場合、青草に由来する揮発成分は生乳に移行し、独特の風味を付与するため、牛乳に季節感を与えるものと考えられる。

我々は現在、飼料構成が牛乳の風味に与える影響を調査しているが、飼料の種類の違いによっても生乳の風味に明確な影響を与え、牛乳の嗜好性に影響していることは確かなようである⁴⁶⁾。

7. 今後の課題とまとめ

飲用乳の消費の低迷を打破して、より消費を拡大するには、消費者のニーズに合わせて多様化、差別化を行っていく必要がある(図6)。すでに、殺菌方法などの製造条件について各社が独自製法による差別化を主張して販売しており大きな影響力を有している。また、遮光容器の利用や、成分を調整するなどの様々な特徴を出して市場の活性化を図っている。

新たな差別化の例としては認証制度を利用する場合がある。オーガニックミルクは、農林水産省の有機畜産物及び有機飼料のJAS規格に基づいて第三者の登録認定機関が認定するもので、すでに商品も登場している。また、新たに「放牧畜産基準」という認証制度を日本草地畜産種子協会が創設した。これは放牧畜産実践牧場において生産された牛乳や乳製品に対して認証を与えるものである。すでに、この制度を利用した「放牧牛乳」も販売されている。また、全国農協乳業協会においては、会員企業に対して「生乳鮮度重視牛乳」という認定制度を実施している。これは、生乳段階での鮮度を重視して、

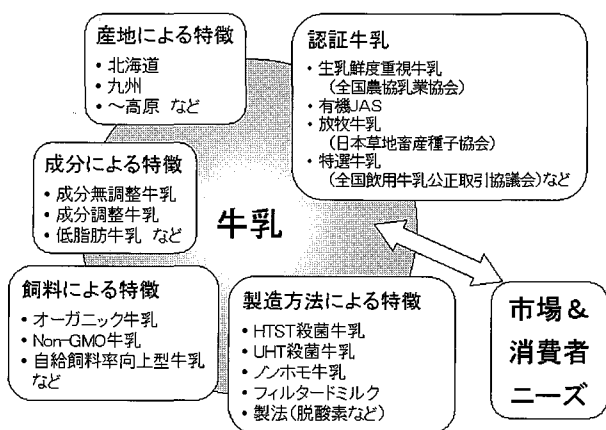


図6 牛乳の多様化の概念図

搾乳後一定時間以内に殺菌処理することが条件となっている。この他、新たな考え方としては家畜福祉(アニマルウェルフェア)がある⁴⁷⁾。この概念は、有機畜産物のJAS規格や放牧畜産基準と重複する部分も多いが、家畜福祉の観点から基準化していくもので、いずれ認証制度ができてくるだろう。すでにヨーロッパ等では重要な認証制度として、商品の差別化に重要な影響力を与えていると言われる。

牛乳は一般の清涼飲料などと異なり、栄養食品としての独特の地位を占めている。従来と同様に、牛乳の栄養学的な正しい情報を積極的に提供して行きながら、酪農生産者やメーカーが一丸となって、より美味しい牛乳作りの研究を進めることが重要であろう。

謝 辞

本稿をまとめるにあたり、社団法人北海道酪農検定検査協会の熊野康隆氏から資料の提供とアドバイスをいただきましたことを深く感謝致します。

参考文献

- 1) 飼酪農乳業速報編：日刊酪農乳業速報 資料特集 73 (2009)
- 2) 社団法人北海道酪農乳業協会：牛乳・乳製品の消費動向に関する調査(要約版) (2008)
- 3) 吉田 豊：牛乳と日本人 新宿書房 (2000)
- 4) 海沼 勝：東京の牛乳衛生史—130年のあゆみ—(旬白眉堂 (2001)
- 5) 荒井威吉：日本における乳質改善の経過，ミルクサイエンス，**55**, 201-215 (2007).
- 6) 荒井威吉：原料乳の品質と機器分析などの検査技術における課題，ミルクサイエンス，**57**, 113-117 (2008)
- 7) 熊野康隆：北海道の原料乳の品質と生産現場における乳質改善，ミルクサイエンス，**53**, 11-21 (2003)
- 8) 社団法人北海道酪農検定検査協会：平成19年度生乳検査事業成績書 (2008)
- 9) 北海道酪農検定検査協会：生乳取扱技術必携 平成19年版 (2007)
- 10) Ryan, Y. Ma, C., Barbano, D. M., Galton, D. M., Rudan, M. A., Boor, K. J.: Effect of somatic cell count on quality and shelf-life of pasteurized fluid milk. *J. Dairy Sci.* **83**, 264-274 (2000)
- 11) Fernandes, A. M., Moretti, T. S., Bovo F., Lima, C. G., and Oliveira C. A. F.: Effect of somatic cell counts on lipolysis, proteolysis and apparent vis-

- cosity of UHT milk during storage. *Int. J. Dairy Technol.* **61**, 327-332 (2008)
- 12) 藤川咲子・川村周三: 理化学分析法による飲用牛乳の美味しさの評価, 日本食品科学工学会 第56回大会講演集, p. 86 (2009)
 - 13) 土屋文安: 牛乳読本 NHK 出版 (2001)
 - 14) 林 弘通: 20世紀乳加工技術史, 幸書房 (2001)
 - 15) Muir, D. D., Tamime, A. Y.: Liquid milk, in *Mechanisation and automation in dairy technology*. A. Y. Tamime, and B. A. Law, Sheffield Academic Press Ltd. pp. 53-94 (2001)
 - 16) 岩附慧二・秋山正行: 新しい殺菌技術, 乳業技術, **50**, 161-185 (2000)
 - 17) Bylund, G.: Dairy Processing Handbook. Tetra Pak Processing Systems (2003)
 - 18) 星野雄二・太田 進・伊藤英樹: 新しい充填包装技術と容器開発, 乳業技術, **50**, 186-205 (2000)
 - 19) 山住 弘・若井宗人・松野一郎: 牛乳容器の現状と未来, ミルクサイエンス, **56**, 209-218 (2008)
 - 20) 鷹尾 亨: 牛乳・乳製品の実際知識, 東洋経済新報社 (1977)
 - 21) 横山理雄・大塚雄三 (編): 次世代無菌包装のテクノロジー, ㈱サイエンスフォーラム (2004)
 - 22) 中江利孝: 牛乳の風味とその評価をめぐる諸問題, 乳質改善資料, **49**, 1-33 (1982)
 - 23) 片岡 啓・中江利孝: 加熱乳の風味について, 乳技協資料, **36**, 1-14 (1986)
 - 24) 足立 達: 牛乳風味論序説—「おいしい牛乳」論議に寄せて—, 乳質改善資料, **75**, 1-26 (1988)
 - 25) 桜田宏介・山下昭芳・永井政信: 牛乳の風味について—おいしい牛乳づくりとの関わりのあいだのなかでの牛乳の風味について, 乳技協資料, **39**, 31-45 (1989)
 - 26) Shipe, W. F., Bassette, R., Deane, D. D., Dunkley, W. L., Hammond, E. G., Harper W. J., Kleyn, D. H., Morgan, M. E., Nelson, J. H., Scanlan, R. A.: Off flavor of milk: Nomenclature, standards, and bibliography. *J. Dairy Sci.* **61**, 855-869 (1978)
 - 27) 大森敏弘・竹内幸成・加藤浩晶: 新鮮な生乳のおいしさをもとめて〜生乳生産から殺菌技術まで〜, ミルクサイエンス, **57**, 125-129 (2008)
 - 28) Nicholson, J. W. G.: Spontaneous oxidized flavour in cows' milk, *Bulletin of the IDF*, **281**, 2-12 (1993)
 - 29) Andersson, I., and Öste, R.: Sensory quality of UHT milk, in *Heat-induced changes in milk* 2nd ed. International Dairy Federation Special issue No. 9501, p318-330 (1995)
 - 30) Nursten, H.: The flavor of milk and dairy products: I. Milk of different kinds, milk powder, butter and cream. *Int. J. Dairy Technol.* **50**, 48-50 (1997)
 - 31) Food and Drug Administration (USA): Pasteurized Milk Ordinance 2007 Revision (2007)
 - 32) Chapman, K. W., Boor, K. J.: Acceptance of 2% ultra-pasteurized milk by consumers, 6 to 11 years old. *J. Dairy Sci.* **84**, 951-954 (2001)
 - 33) 岩附慧二・溝田泰達・住正宏・外山一吉・富田守: 牛乳の官能特性に及ぼす殺菌条件の影響, 日本食品科学工学会誌, **46**, 535-542 (1999)
 - 34) 岩附慧二・溝田泰達・今野隆道・松井洋明: 牛乳の官能特性と香気の評価, ミルクサイエンス, **49**, 1-13 (2000)
 - 35) 岩附慧二・溝田泰達・久保田哲夫・西村 修・増田秀樹・外山一吉・富田 守: Aroma Extract Dilution Analysis による殺菌牛乳の香気評価, 日本食品科学工学会誌, **46**, 587-597 (1999)
 - 36) Blake, M. R., Weimer, B. C., McMahon, D. J., and Savello, P. A.: Sensory and Microbial quality of milk processed for extended shelf life by direct steam injection. *J. Food Prot.* **58**, 1007-1013 (1995)
 - 37) Zadow, J. G., Birtwistle R.: The effect of dissolved O₂ on the changes occurring in the flavor of ultra-high-temperature milk during storage. *J. Dairy Research*, **40**, 169-177 (1973)
 - 38) Thomas, E. L., Burton, H. Ford, J. E. Perkin A. G.: The effect of oxygen content on flavor of chemical changes during aseptic storage of whole milk after ultra-high-temperature processing. *J. Dairy Sci.* **42**, 285-295 (1975)
 - 39) Wadsworth, K. D., Bassette, R.: Effect of oxygen in development of off-flavours in ultrahigh-temperature milk. *J. Food Prot.* **48**, 487-493 (1985)
 - 40) Burton, H.: Ultra-high-temperature processing of milk and milk products. Elsevier Applied Science (1988)
 - 41) Andersson, I., Öste, R.: Sensory development and free SH-groups in UHT milk *Milchwissenschaft*, **47**, 438-441 (1992)
 - 42) 竹内幸成: 牛乳のおいしさと風味向上に関する技術研究, 食品工業における科学・技術の進歩 (X), 光琳, p169-189 (2003)
 - 43) 神谷 哲・豊田 活・稲垣宏樹・竹内幸成・工藤俊一: 特許第3091752
 - 44) Urbach, G.: Effect of feed on flavor in dairy foods. *J. Dairy Sci.* **73**, 3639-3650 (1990)
 - 45) Croissant, A. E., Washburn, S. P., Dean, L. L., and Drake, M. A.: Chemical properties and consumer

- perception of fluid milk from conventional and pasture-based production systems. *J. Dairy Sci.* **90**, 4942-4953 (2007)
- 46) 山根正樹・柏谷真奈・内田健治・鮑田恵介・元島英雅：地域の特徴を活用するための生乳・牛乳の調査研究，全国農協乳業協会平成20年度共同研究報告書（2009）
- 47) 瀬尾哲也：家畜福祉総合評価法と家畜の健康・生産性との関係，畜産の研究，**62**, 41-43（2008）