

# 「豆乳」を創生したプラントベースミルク技術

重山俊彦・大島秀隆

(キッコーマンソイフーズ株式会社, 〒105-0003 東京都港区西新橋 2-1-1)

## ‘SOYMILK’ is created by PLANT BASE MILK TECHNOLOGY

Toshihiko SHIGEYAMA and Hidetaka OSHIMA

(KIKKOMAN SOYFOODS COMPANY)

### 要 旨

幅広く高齢者から子供まで愛飲され、今や約 850 億円（小売ベース）の市場規模に成長した植物性たんぱく飲料「豆乳」の開発経緯と、それを可能にしたプラントベースミルク技術の概要について紹介する。

#### 1. はじめに

豆乳の開発は、1972年に株式会社紀文（現紀文食品）により埼玉県狭山市に設立された紀文食品研究所に起源を発する。紀文食品の事業の中心であった水産たんぱく食品（水産ねり製品）からの事業拡大を図るべく、「植物性たんぱく食品」を開発するために設立された。

「植物性たんぱく質」を多く含む原料は「大豆」であり、大豆の代表的な加工食品は「豆腐」である。当時の豆腐は家内工業として造られ、商品その日の内に消費する地産消費型の市場だった。それをロングライフ化（長期保存商品）して供給地域の拡大を図る事を狙いに、およそ50年前に研究が始まった。

「豆腐」の商品化と合わせて、豆腐の生産過程で出来る「呉汁」（豆乳ベース）を対象に、イリノイ大学の協力を得て「豆乳」の基礎研究も始めた。「豆腐」の商品化の目途が立ったところに、大手企業による豆腐業界への参入が問題化し、間の悪いことに分野調整法（中小企業の事業活動の機会の確保の

ための大企業者の事業活動の調整に関する法律）が成立する。やむなく豆腐市場への参入を見送り「豆乳」の開発に集中した。いくつかの課題を克服して、ようやく飲用に耐える豆乳の目途が立ち1977年に満を持して「ソイーナ」と銘打って首都圏にて発売。

「コーラは弟たちにまかせておけばいい。」をキャッチフレーズに女性をターゲットに「チルド仕様の紙カップ容器」で発売したが、商品クレームの多発によりあえなく失敗。併せて、豆腐屋での豆乳市場ポテンシャルの高かった九州にて豆腐で研究していたロングライフ技術を活用し、賞味期限30日のテトラパック容器を使った「調製豆乳」を発売した。運よく、この商品が今日の市場を育ててくれた。余談ではあるが発売当時は食品衛生法に「豆乳」のカテゴリーは無く、保健所の指導は「生菓子」であった。

#### 2. 「大豆」の特性

大豆は根粒細菌による窒素固定でたんぱく質を蓄え、植物性脂質も豊富に含んでいる。そのため「畑

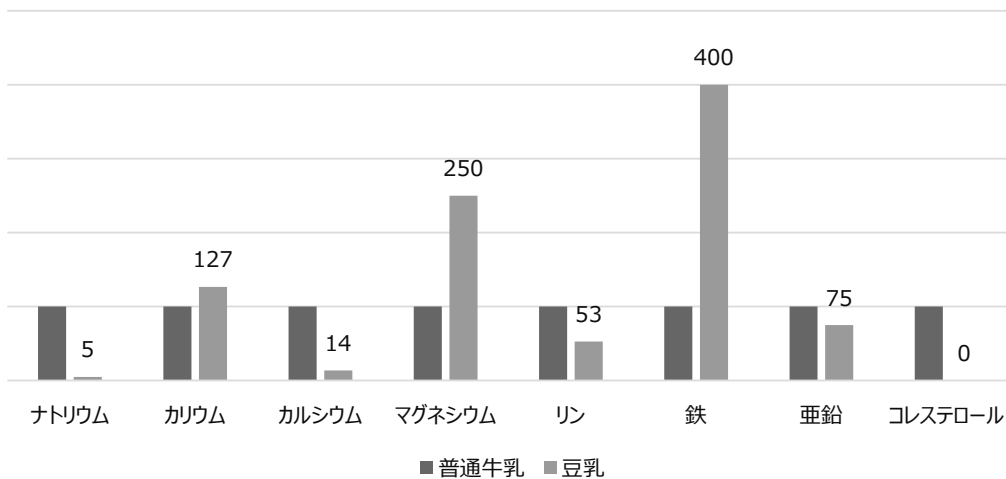


図1 普通牛乳と豆乳の微量元素対比  
普通牛乳を100としたときの相対値(日本食品標準成分表2020年版(八訂)から改編)

のお肉」と呼ばれている。

調製豆乳は植物性たんぱく飲料として牛乳のたんぱく質量を参考にして設計した。大豆のたんぱく質は9種の必須アミノ酸をバランス良く含み、そのアミノ酸スコアは100で、良質なたんぱく質である。日本人の食生活が欧米化し動物性たんぱく質の摂取割合が年々増えつつある。動物性たんぱく質を摂取するとき同時にコレステロールなどの動物性脂質も一緒に摂取されることが多い。コレステロールの適度な摂取は必要だが、取り過ぎはよろしくない。豆乳であれば大豆由来の不飽和脂肪酸も摂取することができるので、牛乳から豆乳への置き換えは生活習慣病予防の観点から良いことのように見える。しかし牛乳と豆乳とはそれぞれに含量が少ない微量元素があるため、完全な置き換えが体にとって最適とは言えない。具体的には、牛乳の代表成分にカルシウムがある。これは豆乳には少ない。しかしカルシウムを体内に取り込むために必要なマグネシウムは豆乳の方が多い。鉄は牛乳には少ないが豆乳には多い。ナトリウムとカリウムのバランスは血圧調整に重要なミネラルである。このように牛乳と豆乳はどちらか一方に偏るのではなくバランス良く摂取することで微量元素の相互補完ができる。(図1)

温室効果ガスの地球環境への影響が深刻化している。日本は温室効果ガスを2030年までに2013年度比で46%削減を目標としている。2050年ま

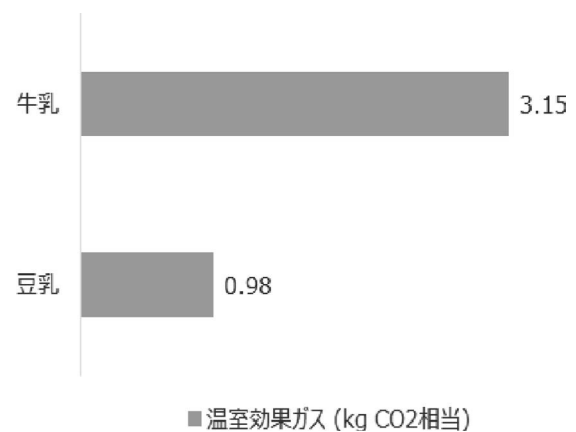


図2 牛乳と豆乳の温室効果ガス発生量の比較  
Poore, J., & Nemecek, T. (2018). Science, 360 (6392), 987-992. より抜粋

ではカーボンオフセット (<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyoseisaku/climate/jcredit/offset/carbonoffset.html>) を目標にしている。

温室効果ガスで代表的なものは二酸化炭素、メタンガスである。二酸化炭素は化石燃料の燃焼ガスとして、メタンガスは水田や反芻動物のゲップに含まれることが知られている。牛乳1Lを生産する過程で発生する温室効果ガスは3.15 kgCO<sub>2</sub>相当、豆乳1Lの場合0.98 kgCO<sub>2</sub>相当で圧倒的に豆乳の方が少ないと言われている。(図2, 文献2)

この環境負荷の差は、植物性ミルクや大豆ミートが注目される理由の一つであろう。

植物は太陽光、水、二酸化炭素、土中ミネラルや

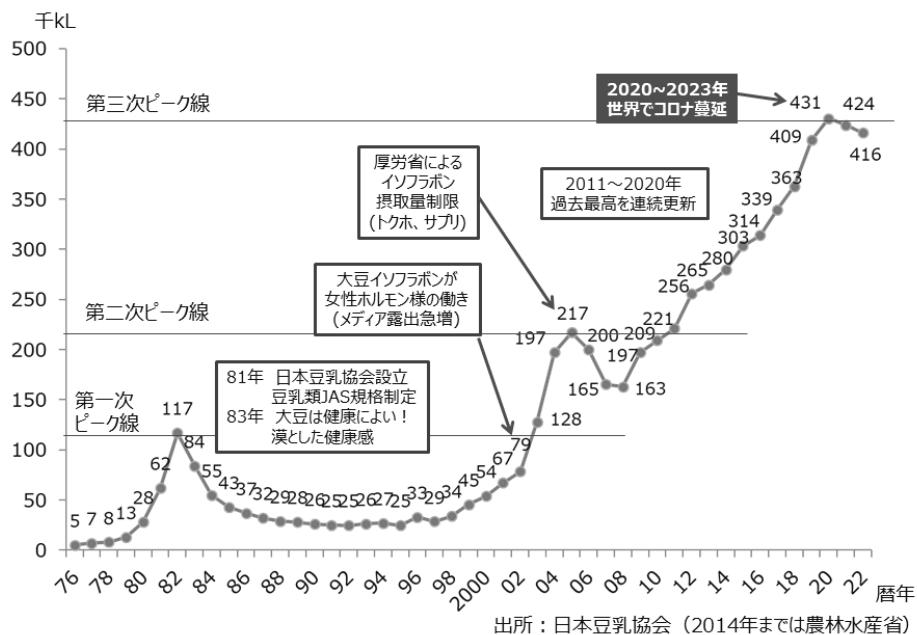


図3 日本の豆乳生産量推移（1976年～2022年）

無機態窒素から有機物を作る。人間がDNAやたんぱく質を生合成するためには炭素（C）、水素（H）、酸素（O）、窒素（N）が必要だが、大気中の窒素を直接利用することができないので、窒素化合物（主にたんぱく質）を摂取しなければ新たなDNAやたんぱく質を作ることができない。人間の体は乾燥重量の50%がたんぱく質と言われている。我々にとってたんぱく質を摂取することは重要なのである。

1983年には大豆が健康に良いイメージが広がり、豆乳の消費も大きく伸びた。市場には多くのブランドが参入し様々な品質の豆乳が溢れたが、風味や喉ごしが受け入れられず、まもなく人気は去った。（図3）

大豆には脂質が多く含まれている。この脂質が大豆のリポキシゲナーゼという酵素により酸化されると大豆臭、青草臭と呼ばれる臭気成分となる。豆腐ではこの臭気が豆腐らしい香りとなるが飲用の豆乳では受け入れられなかった。そのため製造工程でリポキシゲナーゼが失活するための条件を検討した。脂質と出会う前に酵素が失活すれば酸化させず臭気の発生も抑えることができる。大豆子葉部に素早く熱を伝えるための温度、処理時間を組み合わせた設備を設計することで臭気の発生を抑えることができ

た。また豆乳の滅菌工程では直接式蒸気加熱方式を採用し、減圧時の製品濃度調整と脱臭効果で青草臭や大豆臭を抑えるようにした。

豆乳は栄養価が高く腐敗しやすい。原料大豆は農産物であるため土壌細菌の*Bacillus*属の汚染を受けやすい。これは耐熱性芽胞を持つ特徴があり、芽胞の状態では死滅させるには高い温度や長い時間による滅菌が必要である。

豆乳はたんぱく質を含むことから間接式滅菌機では焦げ付き等の風味悪化の影響があったため直接式滅菌機を採用することにした。また腐敗が速いためテトラパック社の無菌充填システムを採用し紙パック容器での販売とした。（文献1）

### 3. 原料大豆

豆乳は、牛乳のように絞れば液体がでてくるものではなく、硬い大豆を砕いて液状化しなければならない。余談だが、節分で鬼に向かって大豆をぶつけるのは鬼の金棒よりも大豆が硬いからだそうだ。（諸説ある）

そんな硬い大豆の子葉部を砕き、酵素を失活させ、おからを取り除くことでおいしい豆乳ができる。弊社ではカナダ、アメリカ産の大豆を使用して

いる。大豆を砕いて液状化しているので大豆の風味は豆乳に影響する。カナダやアメリカの大豆は種子メーカーの品種開発も盛んなので、豆乳に合う風味の良い物を選んで使っている。一方、大豆は搾油、飼料、バイオエタノール原料のために投機対象となる。さらに最近ではコロナ禍でのコンテナ不足、ウクライナ侵攻での収量不安、急激な相場変動、円安での価格高止まり傾向にあり調達が難しくなっている。特に日本国内では非遺伝子組換え大豆の需要が高いが、大豆相場の高騰で北米の生産者は手間の掛かる非遺伝子組換え大豆を栽培する必要性を感じておらず年々調達が難しくなっている。

#### 4. 工程別の加工技術

弊社の豆乳は前処理工程、調合工程、滅菌工程、充填工程、梱包工程の5つの工程で製造している。(図4)

前処理工程は、北米からの丸大豆を弊社工場内で剥皮、除芽をし、子葉部のみとした後にリポキシゲナーゼ失活、磨砕、おから分離を経てベースとなる豆乳を製造している。中でも「おいしい無調整豆乳」は大豆と水しか使わないので大豆のおいしさを活かすために特別な製法「スーパーチリング製法」を開発し、大豆への加熱を極力少なくするように工夫している。

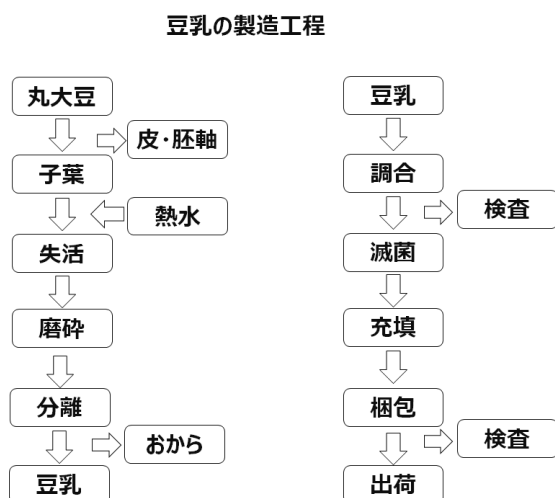


図4 豆乳の製造工程図(キッコーマンソイフーズ)

#### <前処理工程>

豆乳の品質は大豆の臭いを如何にコントロールできるかであるが、豆乳商品が多様化する中で豆腐をその場で手作りすることができる商品も業務用で販売している。飲用豆乳では不快と感じられる臭いも、豆腐では「おいしさ」と認識されるので、豆腐にしたときに必要な臭いは残さないといけない。弊社は豆乳の臭いを「コントロールする技術」を特徴としている。

前処理工程は豆乳の品質を決める心臓部と言える。

#### <調合工程>

調合工程では前処理工程で作った豆乳に風味原料、調味料などをブレンドする。豆乳には大豆たんぱく質が含まれているので加える原料によっては物性が変わってしまうことがある。特に酸性の果菜汁や一部のミネラル類などは大豆たんぱく質と反応し分離や凝集を誘導する。これらを防ぐためにブレンド前の処理や溶解方法に工夫を凝らしている。豆乳類は食品表示基準で名称ごとに定義されているため、これを逸脱しないように原料投入順を考慮しなければならない。(表1)

#### <滅菌工程>

滅菌工程では直接式滅菌機を用い耐熱性芽胞を死滅させる。直接式とは製品に高压蒸気を吹きつけ同時に製品温度を上げ、一定時間保持した後に減圧する。減圧時に一部の臭気も抜かれる。間接式滅菌機の場合、豆乳のように固形分が高いと焦げ付きやすく、その臭いが製品に付いてしまうことがある。

滅菌機以降、無菌タンクから充填ノズルの先端までは機器・ライン滅菌で無菌状態となっている。無菌充填品では滅菌工程までの製品液、作業環境を如何に汚染させないかが重要なポイントとなる。そのため作業場のドライ化は不可欠であり、作業員の高い衛生意識も必要である。弊社の豆乳工場の全てでFSSC22000認証を受け衛生面、風味等の品質面を管理している。

表 1 豆乳類の定義（食品表示基準）

区分	名称	定義
豆乳類	豆乳	大豆（粉末状のもの及び脱脂したものを除く。以下豆乳類の項において同じ。）から熱水等によりたんぱく質その他の成分を溶出させ、繊維質を除去して得られた乳状の飲料（以下豆乳類の項において「大豆豆乳液」という。）であって大豆固形分が八パーセント以上のものをいう。
	調製豆乳	次に掲げるものをいう。 一 大豆豆乳液に大豆油その他の食用植物油及び砂糖類、食塩等の調味料を加えた乳状の飲料（以下豆乳類の項において「調製豆乳液」という。）であって大豆固形分が六パーセント以上のもの 二 脱脂加工大豆（大豆を加えたものを含む。）から熱水等によりたんぱく質その他の成分を溶出させ、繊維質を除去して得られたものに大豆油その他の食用植物油及び砂糖類、食塩等の調味料を加えた乳状の飲料（以下豆乳類の項において「調製脱脂大豆豆乳液」という。）であって大豆固形分が六パーセント以上のもの
	豆乳飲料	次に掲げるものをいう。 一 調製豆乳液又は調製脱脂大豆豆乳液に粉末大豆たんぱく（大豆豆乳液、調製豆乳液若しくは調製脱脂大豆豆乳液を乾燥して粉末状にしたもの又は大豆を原料とした粉末状植物性たんぱくのうち繊維質を除去して得られたものをいう。以下別表第四、別表第十九及び別表第二十の豆乳類の項において同じ。）を加えた乳状の飲料（調製豆乳液又は調製脱脂大豆豆乳液を主原料としたものに限る。以下豆乳類の項において「調製粉末大豆豆乳液」という。）であって大豆固形分が四パーセント以上のもの 二 調製豆乳液、調製脱脂大豆豆乳液又は調製粉末大豆豆乳液に果実の搾汁（果実ピューレー及び果実の搾汁と果実ピューレーとを混合したものを含む。以下この表及び別表第十九の豆乳類の項において同じ。）、野菜の搾汁、乳又は乳製品、穀類粉末等の風味原料を加えた乳状の飲料（風味原料の固形分が大豆固形分より少なく、かつ、果実の搾汁を加えたものにあつては果実の搾汁の原材料及び添加物に占める重量の割合が十パーセント未満であり、乳又は乳製品を加えたものにあつては乳固形分が三パーセント未満であり、かつ、乳酸菌飲料でないものに限る。）であつて大豆固形分が四パーセント以上（果実の搾汁の原材料及び添加物に占める重量の割合が五パーセント以上十パーセント未満のものにあつては二パーセント以上）のもの

#### <充填工程>

充填工程では紙パック容器に無菌的に充填する。主としてテトラパック社のブリックパックを採用している。この容器の利点や欠点は後述するが、充填機オペレーターは30分ごとにパックチェックを行い、ピンホール検査、シール圧着検査、整形状態検査、容器外観（キズなど）、内容量を確認している。これは熟練社員による経験が必要になるので、今後は多能工化、自動化をいかに進めるかが課題である。

#### <梱包工程>

梱包工程では紙パックに賞味期限、工場記号、ライン番号、充填時刻を印字した後、印字のズレ、カスレ、にじみなどが無いかをライン上のカメラを用いて製造中に全数検査を行っている。また定期的に製品を抜き取り、外観異常、成形不良の確認も行っている。カートンに梱包した後、非破壊状態で封緘状態を確認できるよう温度差を見るカメラで全数検査をしている。検査をパスした製品は自動パレタイザーから自動倉庫へと搬送する。

#### <生産現場での衛生管理>

弊社では2005年から生産現場の床をドライ化し

た。床が濡れていると転倒や感電の原因にもなる。また設備との隙間で微生物の温床になり衛生的にも望ましくない。

ドライ化を進めることで作業員の安全面、衛生面への意識が高まり、作業手順のルール化、明文化が進みFSSC22000認証取得へと繋がった。

#### <機器洗浄>

豆乳は栄養価の高い液体であり、たんぱく質、脂質を含んでいる。そのため通流する配管、バルブ、設備内部に成分が付着しやすく、簡単な水洗浄だけでは時間の経過と共に残成分が汚染源となってしまう。（文献3）

残成分を取り除くために洗剤液によるCIP洗浄（Cleaning in Place 洗浄、定位置洗浄）を実施している。CIPでは洗剤液を乱流化し生産ラインを洗浄する。洗剤には酸性洗剤やアルカリ性洗剤を使うことで水に不溶な成分やバルブ内の僅かな段差に付着したものを洗い流す。

#### <清浄度検査>

CIP後にバルブ内部や配管との接続部分などで僅かな段差部分では清浄度検査を実施している。

清浄度検査はルミテスターという検査装置を用い

ている。これは蛍光発光の原理を応用した装置で、被検体に含まれる AMP, ADP, ATP と検査液のルシフェラーゼによって発光する光量を数値化する。バルブや配管を専用綿棒で拭き取り、ルミテスターで測定すると数秒で汚れ具合が数値化される。(文献4)

この検査は瞬時に結果が出ること、作業員の検査熟練度が不要であることから再現性が高い。

## 5. アセプティック容器の採用

豆乳は腐敗しやすいため牛乳のような殺菌条件での要冷蔵品、日配販売が難しい。(図5)

そのためテトラパック社の無菌充填システムを採用し紙パック容器に詰めて常温保存可能なロングライフ商品とした。テトラパック社の紙容器はロール状に繋がったパック紙を充填機内で筒状にしながら無菌的に充填した後、パックを四角く成形している。このシステムの利点は充填前の容器がロール状になっているためにかさばらないこと、容器自体がビンや缶に比べて軽いこと、飲み終えた後に捨てやすいことなどが挙げられる。しかし紙容器であるため衝撃に弱く、目に見えない穴「ピンホール」が空くことがあり、パック中身の無菌性が崩れることがある。

## 6. トレースバック・システムによるバックアップ

前処理工程から梱包工程まで、製品に使用した原料、資材およびケース番号、パレット番号は、それらのロット番号や使用時刻の記録と紐付けし、どこに出荷したかまでトレースできるようにしてある。

弊社のお客様センターではお問い合わせ、お申し出をフリーダイヤルやメールで受けている。いただいたお申し出でパック天面に印字された情報を教えていただくとトレースシステムにより製造時の状況を調べることができる。お申し出には可能な限り社員がお客様のところにお伺いし、状態を確認するようにしている。

またお客様からいただいたお問い合わせを参考に、パッケージやホームページの内容を充実させ、弊社豆乳をより詳しく知っていただくようにしている。

## 7. 豆乳の成長経過 (40年のトレンド)

1976年から2022年までの豆乳生産量推移を見ると1983年には大豆の漠とした健康感からブームがあった。このとき多数のブランドが参入し品質の悪い商品が多く見受けられ、ブームはすぐに去ってしまった。豆乳に対する評価は大豆の悪臭、喉ごしが悪いといった点であった。以降、メーカーでは大

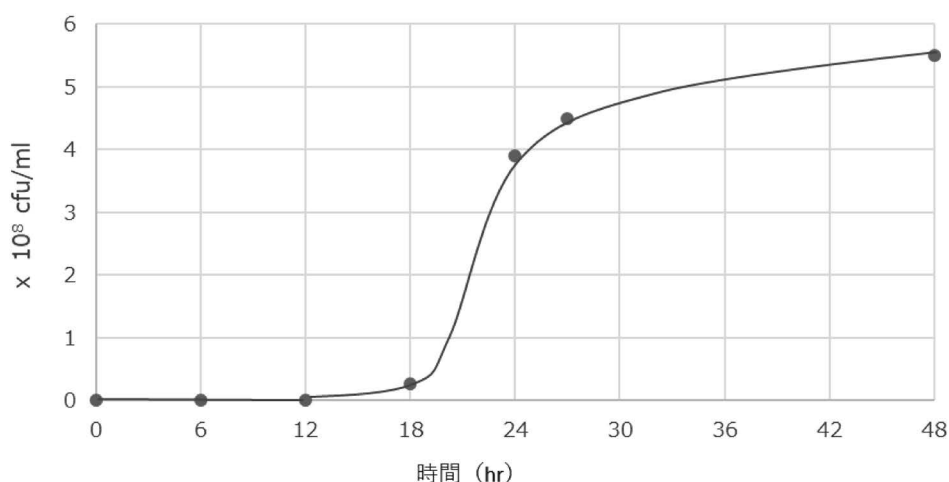


図5 豆乳の生菌数推移

豆の臭いを抑える研究を各社で競うことになった。1990年以降、分析機器の発達によりこれまでの官能検査試験に代わり、臭気成分を短時間に分析できるようになり開発スピードが格段に速くなった。製造ラインに条件を落とし込み、臭いが少なく喉ごしの良い豆乳を作ることができるようになった。

一方で、売り場の改革を行った。それまではチルド棚の陳列と言えばジュース、デザート、牛乳の並びで豆乳はデザートと牛乳の間に、商品数も少なかったのが数品が横並びで並べられていた。ここに「豆乳コーナー」を作るべく他社製品も含めて200mlサイズ、1Lサイズから縦陳列を提案した。

お客様の目にとまりやすいような配置をし、新製法で味も良くなった豆乳はまた徐々に見直されるようになった。2000年を迎える頃には豆乳マーケットは右肩上がりに伸長してきた。2002年には大豆イソフラボンが更年期障害緩和、乳がん予防の効果があると報道されたことで大きく伸びた。当時の豆乳は40代以上の女性がコア飲用者であったため大豆イソフラボンの二つの効果が非常に評価されたのである。そして2005年にはどのメーカーも生産能力が一杯となった。ちょうどその頃、厚労省では特定保健用食品の審査で、食経験のない抽出イソフラボンによる多量摂取についてガイドラインを設けた。これが一般消費者には「大豆イソフラボン摂取は健康を阻害する」と誤認され豆乳人気が下火となった。2008年、弊社ではこれまで豆乳業界には無かった秋冬限定商品を発売した。これは豆乳未経験の若年層に飲むデザートとして興味を持ってもらえた。各社の努力もあり、2009年には豆乳マーケットは回復し始めた。豆乳は飲むだけでなく料理素材としても活用できることも提案した。豆乳レシピ本も数多く出版され、テレビの料理番組でも豆乳を使った料理の紹介が増えてきた。喫茶店でもソイラテが一般のメニューに並び、料理屋では豆乳鍋も加わった。大豆から作る豆乳は料理とも相性が良いことが受け入れられるようになった。

2009年から2020年までの豆乳市場は前年比平均

7%で伸長したが、2021年からはコロナの影響、原料高やエネルギー高による商品値上げの影響で少し落ち込んでいる。(図5)

## 8. おわりに

2022年の業界総生産高は日本豆乳協会によると、41.6万kLである。これを200mlパック換算すると、一日の平均消費量は約570万パックで人口の4.8%の人に飲まれている事に成る。まだまだ少ない。

1977年に九州にて発売した「調製豆乳」が味の評判も良く、全国販売を始めた。当時、プロ野球の西武広岡監督が選手の体質改善に豆乳を推奨。「大豆は健康に良い!」という漠とした健康感により消費が伸びた。新規企業参入も相次ぎブーム現象となったが、豆乳の欠点を丸だしの飲み辛い商品も増え需要が急激に縮小してしまった。企業の撤退も目立ち業界の低迷が長く続くが、エビデンスの研究・品質の改善・ラインアップの開発・容器形態の変更等の地道な努力が功を奏して、2000年頃には小売店頭でのコーナー化もできるようになった。大豆たんぱく質のコレステロール低減効果・イソフラボンの効果などが注目され、高成長が再現できた。しかし海外で発信されたイソフラボンの過剰摂取が問題視され市場が縮小。豆乳協会の努力もあり世間の誤解も解けて、再度成長させる事が出来た。

紀文食品の事情もあって2009年に豆乳事業をキッコーマンに譲渡。それに伴い、食品業界では珍しいブランドの変更を余儀なくされ、時間を掛けて準備し2016年に紀文から「キッコーマン」に変更。かなり苦慮したが、幸いな事に業績には影響が無く何とか旨く実施できた。最近ではコロナと値上げの影響もあり需要が落ちているが、まだまだ今後の成長が期待される。(図6)

「国民的な飲料」として、豆乳が今後も益々愛飲されることを願ってやまない。



図6 キッコーマン豆乳のパッケージデザイン変遷

参考文献

- 1) 南波護, 駒木勝, 市川良子, 松田典彦: 缶詰時報, 66, 535~539
- 2) Poore, J., & Nemecek, T. (2018). Science, 360 (6392), 987~992.
- 3) 森信二, 田中孝, 豊田活, 遠藤光春: 乳業技術, 51, 45~57
- 4) 村上成治, 辰巳宏樹, 梶山直樹, 榊原達哉: 日本農芸化学会, 78 卷 7 号 630~635