

本学で研究・開発した乳豆腐について

井 上 貢

(香川短期大学 名誉教授)

1. 乳豆腐研究の目的と経緯

平成元年ごろは高齢化社会を迎える直前の時代であり、食物栄養専攻の教員全員で取り組むべき共通の研究テーマとして、高齢者の栄養改善を取り上げた。具体的研究テーマとして、当時から栄養上の問題であった日本人の慢性的カルシウム摂取不足と高齢者の骨粗鬆症を解決するために、良質たんぱく質と吸収のよいカルシウムを含むことが予想された、乳豆腐の研究に取り組むこととなった¹⁾。乳豆腐は、明治20年頃に香川県で最初に酪農が始まった東讃地方で^{2) 3)}、初乳を食酢で凝固させ固めた「ちちどうふ」として、酪農家やその周辺で昭和初期ごろから食されていた^(注1)。そこで日本栄養改善学会での我々の最初の研究発表において、「ちちどうふ」という名称をイメージの改善のために、乳（にゅう）とnewとを掛けて乳豆腐（にゅうとうふ）と呼ぶことを提案した^{1) 4)}。

現在まで、香川短期大学の食物栄養専攻教員によって、乳豆腐に関する多面的な研究、乳豆腐の栄養的・食味食感的な改善をはじめ、栄養成分の分析、他食品への添加効果、食味食感調査、調理法の開発、老人ホームでの嗜好調査などが行われてきた。研究成果は、学会での口頭発表、本学紀要論文25編の掲載、「壮快」^{5) 6)}や「健康」⁷⁾という大衆健康雑誌、高齢科学シンポジウム⁸⁾などで公表されている。また我々の開発した乳豆腐は主要な新聞にも取り上げられた^{9～12)}。

この研究の結果、日本人のカルシウム栄養摂取不足問題や高齢者の骨健康生活に貢献しうる乳豆腐、商品名「恐るべきミルクの力」が誕生した。乳豆腐を商品化しようとした藤川牧場と香川県産業支援財団と香川短期大学との産・官・学連携で、この商品化が実現し、販売されている。

2. 本学での乳豆腐研究

(1) 食酢により凝固させた乳豆腐の製法とその食品栄養学的特徴

乳豆腐は当初、飲用には適さない初乳（出産後1週間内）を原料としてつくられたものである^{注1)}。今後の広範な乳豆腐の普及を図るためには、簡便に手に入る市販の牛乳や脱脂粉乳を原料として、家庭で簡単に効率よく作成する方法を開発する必要があった。また、一般の食品として流通を考慮した製造法の開発も検討した。

最初に、酪農家が当初から行っていた、食酢で凝固させる方法を再検討した¹⁾。乳豆腐収量や食味のよい乳豆腐を得るために、食酢の量を変化させた時、牛乳0.5ℓあたり12.5mlの食酢添加が最適の凝固、すなわち凝固粒子が大きく、ろ過時間の短縮、乳豆腐の適度な硬さ、くずれにくさ、食したときに酸味が残らないなどの長所を有した¹⁾。また食酢の量が増加するに伴い乳豆腐ホエーのpHが下がり、乳豆腐中の灰分とりわけカルシウムの含量が急激に減少することが分った¹³⁾。このように少量の食酢を使用して乳豆腐を作成することは乳豆腐の食味や食感以外に、目的成分の一つであるカルシウムを乳豆腐中に、より多く残留させるためにも有益であった。加熱の時間や温度についても検討し、加熱時間

平成28年11月2日受理

連絡先 〒761-0121 香川県高松市牟礼町牟礼15

TEL 087(845)1684

Email casalsmi@yahoo.co.jp

を80℃に低下することにより、従来の方法に比べ、エネルギーの節約や焦げなどの品質低下を回避できた¹⁾。

食酢12.5ml／牛乳0.5ℓで作成した乳豆腐（12.5乳豆腐または通常乳豆腐）のたんぱく質には、牛乳たんぱく質の93.2%が残留しており、牛乳たんぱく質の80%はカゼインたんぱく質であるので、13.2%の乳清たんぱく質が含まれていることになる^{1) 14)}。生物価やたんぱく質効率から見た栄養評価は、乳清たんぱく質がカゼインたんぱく質に比べ良質であり、さらにこの両者に含まれる必須アミノ酸の相補効果も加わり¹⁵⁾、乳豆腐のたんぱく質はカゼインたんぱく質からなる一般のチーズのそれよりかなり良質である。

また脂質については、牛乳の脂質のほぼ全量がこの乳豆腐中に回収される¹⁴⁾。牛乳の脂質は飽和脂肪酸を50～60%含んでおり、またコレステロールもある程度含まれているが、乳脂肪に不飽和脂肪酸も約1/3含まれ、また肥満になりにくい脂肪酸と言われている短鎖及び中鎖脂肪酸を約14%含んでいる¹⁵⁾。また乳豆腐に含まれる乳清たんぱく質及びその分解物が血中コレステロールを低下させる作用を持つことが知られている¹⁵⁾。一方、牛乳の炭水化物は、ほとんど乳糖であるが¹⁵⁾、乳豆腐中には牛乳のその89%が乳豆腐ホエー中へ流出し、11%しか回収されない¹⁴⁾。つまり乳糖不耐傾向の人にも乳豆腐は利用しやすい。

乳豆腐の栄養的特徴の一つは、カルシウムを非常に多く含むことであり、このカルシウムはリン酸と結合しており、リンに対するカルシウムの比率は1.4であり¹³⁾、この比率は骨の成分であるハイドロキシアパタイトの1.7やリン酸カルシウムの1.5に近く、骨栄養上も良好な比率（0.5～2.0）¹⁶⁾である。乳成分にはカルシウムの吸収を促進する乳糖やカゼイン（分解物）など^{15) 16)}が含まれ、魚や野菜などに比べ、カルシウムの吸収がよいことがよく知られている。乳豆腐にもこれらの成分がかなり多く含まれており^{1) 13)}、乳豆腐のカルシウムは吸収がよいことが分る。

（2）各種乳豆腐の開発

〔栄養改善をめざした乳豆腐〕

a) 脂質を除去した脱脂粉乳豆腐または脂質低下した乳豆腐

コレステロールや飽和脂肪酸が高脂血症の原因の一つになるので、牛乳から脂質を除去した脱脂粉乳^{1) 13)}や低脂肪牛乳¹⁷⁾からの乳豆腐の作成を検討した。その結果、これらの脂質を減じた乳豆腐の作成が可能であった^{1) 13) 17)}。脱脂粉乳豆腐は脂質をほとんど含まないが¹³⁾、脱脂粉乳特有の臭いが残り、硬くてごつごつしており、食品としては適しない¹⁾。しかし牛乳0.5ℓに脱脂粉乳を100gまで混入した混合乳豆腐の場合、脱脂粉乳特有の臭いもほとんどなく、食味も良い¹⁾。この混合乳豆腐は、通常乳豆腐に比べ、脂質含量が半分以下になった¹³⁾。しかもこれは、たんぱく質が1.35倍、カルシウムが1.74倍、リンが1.91倍となり富栄養化しそしてカルシウム／リン比率が通常乳豆腐とほぼ同じであった¹³⁾。通常乳豆腐と脱脂粉乳豆腐の収量の合計に比べ、それらと同量の原料からなる混合乳豆腐の収量は、1.13～1.17倍になった^{1) 14)}。この原因は、混合乳豆腐に比べ、たんぱく質の回収率では、脱脂粉乳豆腐が顕著に低く、通常乳豆腐と脱脂粉乳豆腐各々の水分や炭水化物や灰分の回収率も低いことである。また混合乳豆腐は、通常乳豆腐に比べ、カルシウムやリンの含量¹³⁾や回収率¹⁴⁾が非常に高いことも栄養上特筆すべき点である。1%から2%までの各種の低脂肪牛乳から作成した乳豆腐では¹⁷⁾、通常乳豆腐に比べ、乳脂肪は36%から54%までに減じることができ、たんぱく質は1.4倍から1.2倍に、カルシウムやリンは1.4倍から1.2倍に増加し、カルシウム／リン比率はほとんど変わらなかった¹⁷⁾。また鉄を強化した低脂肪牛乳から作成した場合、乳脂肪が高いほど、鉄が乳豆腐に多く回収されることが分かった¹⁷⁾。以上より低脂肪牛乳から作成した乳豆腐や混合乳豆腐を作成することによって、脂質を減じた各種栄養成分の特徴を持つ乳豆腐の作成が可能であった。

b) 植物脂質の導入のための豆乳添加の乳豆腐

乳豆腐中の脂質含量を低下させることや植物油の導入による脂肪酸組成の改善や良質の植物たんぱく質を目的として、乳原料に豆乳を混入することを検討した^{18) 19)}。

牛乳と豆乳を混合した〔牛乳＋豆乳〕豆腐は、牛乳あるいは豆乳のみから作成した豆腐に比べ、欠点であったそれぞれの原料特有の臭いが消失しており、通常乳豆腐のきしきしとした歯触りも有しない¹⁸⁾。この〔牛乳＋豆乳〕豆腐は、栄養成分から見ると¹⁹⁾、通常乳豆腐に比べ、水分126%、たんぱく質80%、脂質60%、灰分69%、カルシウム39%、リン63%であり、水分以外の成分が低下している。回収率からみても通常乳豆腐に比べ、たんぱく質や脂質の回収率が少し低く、炭水化物や灰分の回収率がやや高い¹⁹⁾。

つまり牛乳に豆乳を混入した豆腐は、脂質含量が60%に抑制され、大豆由来の植物油が導入されており、脂肪酸組成が改善され、コレステロールも減少していることが推定され、老人食の食材に適するものとなった。

c) カルシウムまたはマグネシウムにより凝固させた乳豆腐^{20) 21)}

カルシウム含量だけでなく骨粗鬆症治療にはマグネシウムも大切であることが知られている²²⁾。そこでこれらの栄養強化を図る目的で硫酸カルシウムや硫酸マグネシウムによって凝固させたカルシウム乳豆腐やマグネシウム乳豆腐を作成した。カルシウム乳豆腐もマグネシウム乳豆腐も通常乳豆腐に比べ、水分や灰分の量がやや多く、たんぱく質や脂質の量がやや少なかった。カルシウム乳豆腐は通常乳豆腐に比べ、カルシウム添加量に応じて、カルシウム含量が2.1倍から3.5倍に増加した。マグネシウムやリンも1.2から1.3倍に増加した。マグネシウム乳豆腐は通常乳豆腐に比べ、マグネシウムが約7.7倍に増加したが、リンはやや多く、カルシウムは若干少なかった。当然、カルシウム乳豆腐はカルシウム高含量であり、マグネシウム乳豆腐はマグネシウム高含量であった。

〔食味食感などの改善を目指した乳豆腐〕

食品として利用するためには、通常乳豆腐が持つごくわずかではあるが食酢由来の不快臭や不快な味や通常乳豆腐の食品物性などの問題点があった。これらを解決するために、各種の検討を行った。

a) 通常乳豆腐への着色素材を添加した乳豆腐²³⁾

通常乳豆腐に添加して不足する栄養成分を補充し、強化することは可能であるが、ここでは嗜好性

に関わる様々な色、香り、味、物性の改善を目的に各種着色素材（砂糖及び甘味類、種実類、豆類、魚介類、乳類、果実類、藻類、嗜好飲料、調味料及び香辛料に属する55種類）の添加効果の検討結果について述べる。乳豆腐は、赤色系（7種類）、緑色系（13種類）、黄色系（14種類）、茶色系（17種類）、無彩色系（4種類）に着色された。よい香りを与える素材は、トマトケチャップ、かまいた茶、抹茶、バナナ、マヨネーズ、ココア、コーヒーなどであった。とりわけ通常乳豆腐の消臭には、ほうじ茶が有効であった。通常乳豆腐の味覚の改善には、それ自身がおいしい素材である、あずきあん、いちごジャム、梅干し、トマトケチャップ、煮干しサクラエビ、青きな粉、あまのり、乾燥わかめ、いり白ごま、温州ミカン（缶詰）、きな粉、くり甘露煮、粉チーズ、しょうが湯（粉末清涼飲料）、マヨネーズ、味付けぼん酢、ウスターソース、かつお節、ココア、醤油、いり黒ごまを挙げることができる。乳豆腐の物性は、添加素材により大きく変化した。

水分含量の多いまた少ない素材の添加は、その添加量に応じて、通常乳豆腐の元の状態であるだんご状→クリーム状→水っぽいくリーム状→どろどろ状に、またはだんご状→板状→もろもろ状→粉末状へ順次変化した。また砂糖、ぶどう糖、水あめなどの糖類を含む素材は、だんご状の乳豆腐をクリーム状にする効果を有していた。糖類を含む、ほんだし、砂糖、コーヒー（インスタント）は水分をほとんど含まぬ素材だがこの効果を有していた。糖類のこの性質を利用すれば、水分量の調節とは違った方法で乳豆腐の物性を変化させることが可能となる²³⁾。

b) 凝固剤として果汁を利用した乳豆腐²⁴⁾

通常乳豆腐の凝固剤として使われる食酢が、乳豆腐の不快な臭いや味の原因となっていることが推測された。そこでこの改善のため、リンゴ酢やクエン酸をはじめ、各種有機酸や糖類や特有の味や香りや色を含む各種果汁を凝固剤として乳豆腐を作成した。

各種果汁を凝固剤として適量添加した場合、牛乳臭が抑えられた、各凝固剤特有の味やかおりや色がかすかに残る良好な食感を有する乳豆腐が作成された。すなわち各々牛乳100mlに、リンゴ酢や10%クエン酸溶液やすだち果汁やレモン果汁それぞれ

2.5mlを添加した場合、りんご果汁50mlを添加した場合、ぶどう（巨峰）果汁を25～30mlを添加した場合などは、食味が良好であった。一方、食味の良くないのは、苦みが強いパイナップル果汁や青臭さが残るキウイフルーツ果汁である。これらの果汁に含まれる有機酸は主にクエン酸であり、他にリンゴ酸（りんご果汁）やキナ酸（キウイフルーツ果汁）である。これらの有機酸は我々に良好な味覚を与える²⁵⁾。ゆえに、パイナップルやキウイフルーツ果汁からの乳豆腐の不快な味は、有機酸以外の成分によると考えられる。乳豆腐の色については、用いた果汁の種類に依存している。すなわち温州ミカンでは薄い黄色、レモン果汁ではやや黄色、パイナップルでは黄色から黄緑色、りんご果汁やぶどう果汁ではやや褐色、キウイフルーツでは黄白色などの着色した乳豆腐が得られた。

上述の10%クエン酸2.5ml/100ml牛乳で作った乳豆腐は、食味も風味も良く、口当たりもやや滑らかであった。またこの凝固剤を使用して作成するインドの一般的な乳製品であるパニール²⁶⁾と非常に似たものになると思われたが、栄養成分や食味食感もこの乳豆腐が優れていた²⁴⁾。

これらの凝固剤に次のような共通の傾向がみられた。牛乳の凝固に要する果汁の添加量は、果汁のpHが低いほど、添加量は少なく、高いほど多くなった。またこれらの各々の乳豆腐ホエーのpHと凝固粒子の形状と乳豆腐の食感との間に密接な関連性がみられた。ホエーのpHが5.5付近の場合、凝固粒子が最大となり、乳豆腐がよく固まり、崩れにくく、弾力があり、比較的滑らかな口当たりを示す傾向があり、pHが下がるにつれて、凝固粒子が小さくなり、ろ過しにくくなり、できた乳豆腐のきめが粗くなり、崩れやすくなる。そして口当たりがばさつき、粉っぽくなる傾向を有した。ホエーのpHが上がり、6に近づくと凝固粒子が観察できなくなる。乳豆腐は、凝固粒子の大きいほどしっかり固まり、弾力があり、口当たりが滑らかであり、反対にそれが小さいと崩れやすきめが粗く、口当たりがざらつき、粉っぽく感じられた。すなわち乳豆腐の食感が凝固粒子の大きさに密接に関係していることが明らかになった。

c) 大豆豆腐用無機凝固剤を利用した乳豆腐^{20) 21)}

大豆豆腐用無機凝固剤である硫酸カルシウムや硫酸マグネシウムを使用して乳豆腐を作成した。これらの乳豆腐は牛乳100mlあたり1gの硫酸カルシウムまたは硫酸マグネシウムの添加で得られる乳豆腐（それぞれ1.0カルシウム乳豆腐、1.0マグネシウム乳豆腐）は、20g前後得られ、これまで作成した乳豆腐の中でも最高の収量に属する。当然、これらは食酢による乳豆腐の不快臭がなく、牛乳の良い香りと味がかすかに残り、弾力はあるが、滑らかで食べやすく食味食感はよかった。これらの凝固剤で作成した乳豆腐と食酢で作成した乳豆腐のかたさを破断荷重で比較した場合、1.0マグネシウム乳豆腐が一番柔らかく、より硬いのが1.0カルシウム乳豆腐で、さらに固いのが食酢凝固乳豆腐（通常乳豆腐）であった²⁰⁾。

〔乳豆腐と他の乳製品との比較〕

乳豆腐は基本的にはカッテージチーズの仲間であるが、通常乳豆腐はカッテージチーズに比べ、水分以外の主要栄養素、たんぱく質、脂質、炭水化物、灰分などの含量はかなり多く、カルシウムは8倍以上、リンは2倍以上含まれる。この乳豆腐はカマンベールチーズと比較すると、水分、たんぱく質、脂質、カルシウム、リンの含量が類似しており、炭水化物含量がやや多く、灰分は少ない¹³⁾。この乳豆腐は木綿豆腐やソフト豆腐と比較した場合、たんぱく質は約3倍、脂質は3～4倍、炭水化物は約4倍、灰分は約3倍、カルシウムは4倍から9倍、リンは4～5倍含まれ、これらの栄養成分が豊富である¹⁹⁾。通常乳豆腐に比べ、食味や食感がよいカルシウム乳豆腐は、水分が若干多く、たんぱく質や脂質が少し減少し、炭水化物は少し増加し、灰分は硫酸カルシウム添加によって2～3倍に、リンも少し増加している。塩分量の指標となるナトリウム含量は、どの乳豆腐にも共通して少なく、チーズ類は乳豆腐の12～45倍であった²¹⁾。どのチーズも製造過程でかなりの食塩を添加することが高塩分の原因である。つまり以上の乳豆腐はカマンベールチーズ並みに主要エネルギー成分やカルシウムやリンが豊富であり、塩分が少ないという長所を持つ食品である。

(3) 通常乳豆腐の調理への応用（献立）と嗜好調査²⁷⁻²⁹⁾

高齢者の食事は糖質に偏る傾向があり、たんぱく質やビタミン、カルシウムなどの栄養素の摂取が十分ではない。高齢者の中には、これらを満たす牛乳を、その臭いや味が嫌いでもた乳糖不耐が原因で、飲用できない者がいる²⁸⁾。そこで味も淡白で匂いもほとんどなく、調理素材として、和、洋、中華などあらゆる料理に利用可能な通常乳豆腐を使った料理法を検討した。白和え、さつま揚げ、まんばのけんちゃん、味噌汁、冷奴、煮つけなどを学生に試食させた²⁸⁾。白和え、さつま揚げ、まんばのけんちゃんは普通よりかなり良いという評価になった。とりわけさつま揚げは食味や食感とも非常に評価が高かった。一方、冷奴や味噌汁や煮つけは評価が低かった。

日常よく家庭料理に取り挙げる、ほうれん草の胡麻和えやきゅうりとわかめの酢の物や肉じゃがなどと比較しても、さつま揚げや白和えなどはかなり高い評価を得た。そこで乳豆腐入り料理も日常の家庭料理として十分取り入れていけるものと考えられる。また牛乳が飲めない学生でも飲める者と変わらなく乳豆腐を摂取できることが分った。他に、焼き豆腐、くず煮、炒り豆腐、雪花煮、つくね煮なども調べたが²⁹⁾、炒り豆腐やつくね煮は美味しいとの評価が高かった。以上から、学生の場合、乳豆腐の形状がそのまま残る料理より、つぶした料理の評価が高かった。

次に高齢者について嗜好調査した場合²⁷⁾ ²⁹⁾、乳豆腐の白和えと含め煮について、白和えの方が含め煮より高い評価であった。含め煮の場合でも、普通以上の評価をあたえた者が83%おり、おいしくないと答えたものは17%であった。白和えは、牛乳の飲用可と不可の者の間で評価は変わらなかった。含め煮の場合、飲用可の方がやや評価が高かった。乳豆腐入り味噌汁と炒り豆腐についても調べたが、それぞれおいしいと答えたものは、71%、85%であった。以上より料理法によっては乳豆腐を幅広い年齢層に利用可能であると考えられる。

(4) 通常乳豆腐を添加した食品の試作

菓子は高齢者に日常的に食べられることから、栄

養豊富な乳豆腐の摂取形態として適したものであると考えられた。青のりと番茶ときな粉などを加えた乳豆腐入りのもちやうどんを作成した結果、素材を反映した色、香り、味を持ち、物性も通常のものと大きな変わりのない、カルシウム、リン、ビタミンA、B₂などの栄養性の改善されたものを作ることができた²³⁾。洋菓子14種、和菓子7種を作成した結果、洋菓子は全種類とも普通以上の評価を得た³⁰⁾。和菓子は、7種中4種にとどまった。乳豆腐入りを作る場合、洋菓子の方が和菓子より作りやすいことが分った。栄養改善という観点からは、エネルギー含量は洋菓子では、平均10%減少し、和菓子では平均5%増加した。乳豆腐添加による洋菓子と和菓子における栄養成分増加の平均値は、たんぱく質含量では41%と47%、カルシウム含量では139%と462%、リン含量では41%と51%、並びにカルシウム/リンの比率では64%と245%の増加であった。以上、全ての菓子でこれらの栄養成分の改善がみられた。

以上の菓子類は、乳豆腐の量を増加すると、口当たり、味、匂い、色の順で悪い影響があった。しかし蒸しパンにおいては、薄力粉に対する乳豆腐添加比率を10/45から30/25まで高めた場合、無添加のものより評価は高かった³¹⁾。2種類の配合の通常の蒸しパンに比較して、薄力粉に対する乳豆腐添加比率が30/25の場合は、脂質を29~61%、炭水化物を21~44%を減じ、たんぱく質は65~109%、灰分は67~100%、カルシウムは412~814%、リンは102~128%増加させることができ、さらにエネルギーは21~30%減少し低エネルギー化され、栄養改善できた。またカルシウム/リンの比率も1以上になり改善された。この蒸しパンの欠点であった食酢中の酢酸による乳豆腐臭を消すために、中和効果のある重曹添加が有効であった³²⁾。また空洞のない十分に膨化した蒸しパンを作るには、上白糖を少し多くし、乳豆腐を裏ごしすることが有効であった³²⁾。

乳豆腐入りシフォンケーキも検討した結果、評価は普通と少しよいの間であり、十分おいしく食べられることが分った³³⁾。そしてこの乳豆腐入りのものは、普通のシフォンケーキに比べ、たんぱく質を2.5倍、カルシウム6.1倍、リン2.4倍に栄養改善した。また乳豆腐を約30%混合した5種類の食品、

ホイップクリーム、ポテトペースト、ショートブレッド、しょうゆもち、豆もちを試作し、その官能検査と栄養成分評価を行った³⁴⁾。外観、味、テクスチャー、総合評価については、普通以上であった。乳豆腐添加により、たんぱく質、脂質、炭水化物、カルシウム、リンの含量のバランスがよくなり、栄養改善された。

上述のように通常乳豆腐は糖類を混合することにより柔らかくなる性質を有する。これを利用して、よい色、香りあるいは味を付与する材料を添加し、これをパンや菓子の塗り物として使用した³⁵⁾。官能検査によって、ココア、きな粉、あるいは黒すりごまを添加した塗り物が最も好まれることが分った。これらの塗り物をした菓子はカルシウムを中心に栄養成分を増加した。たこ焼き、和風クッキー、ベーカドチーズケーキの焼き菓子を試作し、官能検査をし、栄養評価をした。焼くことによって、通常乳豆腐の与える固さの欠点を防ぐことができた。またたんぱく質やカルシウムも増加していた。バニラアイスクリームの材料に30%の含量になる乳豆腐と少量の各種添加物を混合することにより、通常のものと同色のない官能評価を示し、より低カロリーでたんぱく質およびカルシウム含量が強化された乳豆腐入りアイスクリームを8種類作成することができた³⁶⁾。また乳豆腐30%添加したシャーベット14種類を作成した³⁷⁾。官能評価で、8種類が通常のレモンシャーベットと同等の少しよい、残り6種類がふうであった。口当たりはアイスクリームとシャーベットの中間的なものであった。この栄養成分はアイスクリームに類似の組成であり、どのアイスクリームよりもたんぱく質が多く含まれていた。

通常乳豆腐30%添加したおやつを和風3種類（6品目）、洋風5種類（6品目）、中華風1種類（1品目）を試作した³⁸⁾。通常のものより高い評価を受けたもの1種類（1品目）、同等の評価を受けたもの6種類（9品目）、一段低い評価を受けたもの3種類（3品目）であったが、いずれも普通以上の評価であった。また栄養成分的には、エネルギー、たんぱく質、脂質、カルシウム並びにリン含量が大きく強化され、カルシウム/リン比率が改善された。

以上、通常乳豆腐入り食品の多くは普通に食べやすい食品であり、高齢者にとって栄養効果が期待で

きる食品であることが分った。

（5）乳豆腐の構造と形成のしくみ

〔乳豆腐の主成分と成分変動のしくみ〕

乳豆腐のたんぱく質1g当りに各成分が何g含有しているか計算した²¹⁾。水分（3.1~3.9g）と灰分（0.1~0.3）を除けば、通常乳豆腐、1.0カルシウム乳豆腐、0.5カルシウム乳豆腐（0.5g硫酸カルシウム/100ml牛乳）、1.0マグネシウム乳豆腐は、エネルギー16kcal、脂質1.2g、炭水化物0.2~0.3gでほぼ等しかった。市販牛乳を原料とした場合、凝固法の違いにかかわらず、これらの乳豆腐ではたんぱく質1gに対して、脂質1.2g、エネルギー16kcalという比率は一定であった²¹⁾。

乳豆腐の成分変動の法則性や特徴を理解するために、単純な変動モデルを考えた。各々の食品や食品集団における主要成分間の相関の組み合わせと変動モデルに基づく理論的相関の組み合わせとを比較し、両者で相関の正負の矛盾のないものを適合モデルとした³⁹⁾。各食品の変動モデルに基づく各成分の変動方程式を作り、その計算値が実際の食品の成分値とよく合えば、その食品の成分変動はその変動モデルに従うと考えた。その結果、通常乳豆腐は水分が増加するにつれ、他の主要成分やエネルギーは、連動して減少する水分割合変動モデルに従うことが分った⁴⁰⁾。生乳および成分無調整牛乳、チーズ類もほぼこれに従った。そこで通常乳豆腐は、牛乳における水分以外の主要成分の相互に密接な関係がほぼ保持されていると考えられる。

〔乳豆腐の基本的構造であるカゼインミセルの存在〕

通常乳豆腐のカゼイン100gあたりに結合しているCa、Mg、Pのミリモル数はそれぞれ75.2、6.1、68.8と計算される²¹⁾。すなわちCa:P=1:0.9、Mg:Ca=1:12、Mg:P=1:11となり、多くの研究者によって報告された、牛乳中カゼインミセルに結合している、Ca:P=4:3=1:0.8、Mg:Ca=1:12、およびこれから計算したMg:P=1:10に類似している²¹⁾。すなわち通常乳豆腐に結合したCa、Mg、Pの量やそれらの比は、牛乳カゼインミセルのそれらとほぼ同等であった。ゆえにDijkの提案によるセリン残基を中心にした、カゼイン間のリン酸カルシウム架橋モデルが基本となった、牛乳中カゼインミ

セルとほぼ同じ構造が⁴¹⁾、この乳豆腐にも存在していると考えられる。このモデル以外にも各種モデルがあるが、このDijkのモデルがこれまで得られた他の研究者の多くの実験結果と矛盾しないと報告されている⁴¹⁾。

このカゼインミセルの構造は、硫酸カルシウム乳豆腐にも存在していると考えられた²¹⁾。すなわち1.0カルシウム乳豆腐や0.5カルシウム乳豆腐のたんぱく質100gあたりに結合している牛乳由来のMg:Pは1:11であり、通常乳豆腐のカゼインミセルに類似している。実際にはこれらの乳豆腐には通常乳豆腐に比べ、PもMgも少し多く結合している。しかしこの増加分のMgとPの比は1:10となり、牛乳カゼインミセル構造の比率に等しい。つまりこれらのことは、カルシウム乳豆腐にも牛乳カゼインミセルが存在していることを示唆する。1.0及び0.5カルシウム乳豆腐のカゼインミセル中のカゼイン間架橋部位に結合するCa量は、牛乳カゼインミセルのMg:Ca=1:12から推定すると、100gたんぱく質当たりそれぞれ82.8、86.4ミリモルである。これらの乳豆腐に結合したCaの全量からこれらを差し引いたそれぞれ、165.0、61.0ミリモルのCaがカゼイン間架橋部以外に結合していると考えられる。このCaの多くは、Foxが指摘したように⁴²⁾、乳豆腐のカゼインや乳清たんぱく質の酸性アミノ酸、アスパラギン酸残基やグルタミン酸残基と結合していると考えられる。同様に検討した結果、1.0マグネシウム乳豆腐でも、たんぱく質100gあたり結合したMgのごく一部、5.8ミリモルがカゼインミセル中の架橋部に結合し、39.8ミリモルのMgは上述のカルシウム乳豆腐のCaと同様に、架橋部以外の酸性アミノ酸残基と結合していると考えられる。Mg添加の影響で、牛乳のカゼイン間架橋部への結合が増加することは報告されているように^{41) 43)}、通常乳豆腐に比べ、CaやPの結合から推計したマグネシウム乳豆腐はCaやPのカゼインミセルへの結合がやや増加するが、MgやPの増加量から推計したとき、カルシウム乳豆腐ほど、カゼイン間架橋構造は増加しなかった²¹⁾。この理由はPとの結合において、MgはCaほどカゼイン同士を架橋する能力はない⁴³⁾ ことによると考えられる。

〔乳豆腐の形成のしくみ〕

乳豆腐作成にはまず牛乳を80℃（ないし90℃）に加熱する。そのとき牛乳のカゼインミセル自体はあまり変化しないと考えられている。カゼインミセルは変性した乳清たんぱく質と複合体を作るか⁴⁴⁾、凝固沈殿しない可溶性凝集体となっているといわれている⁴⁵⁾。この段階では、牛乳中にほとんど凝固粒子はみられない。この後、凝固剤として食酢などの酸添加によって、各種カゼインやほとんどの乳清たんぱく質の等電点に近い⁴⁶⁾、pH5.3程度までpHを低下すると、これらのたんぱく質の負電荷が減り、疎水結合などによって、複合体同志の結合が促進される。Glaserらがカテージチーズで報告している基本粒子の大きさはカゼインミセル径88nmの2倍かそれ以上の200nmに比べ⁴⁷⁾、通常乳豆腐作成過程の凝固粒子の走査電子顕微鏡写真（写真1）から計算すると、凝固粒子の複合体の大きさは、平均径620nmで、径が300nmから820nmまで多様である。つまりこの複合体はカゼインミセルがカテージチーズの基本粒子より多く凝集し、さらに多くの乳清たんぱく質が結合していると考えられる。この複合体が基本となり相互に結合し、3次元的に網目構造を作っている²¹⁾（写真1）。この中に、脂質はたんぱく質と脂質が一定の比率（1:1.2）になるように取り込まれている。その結果、最終的に乳豆腐に適する大きな

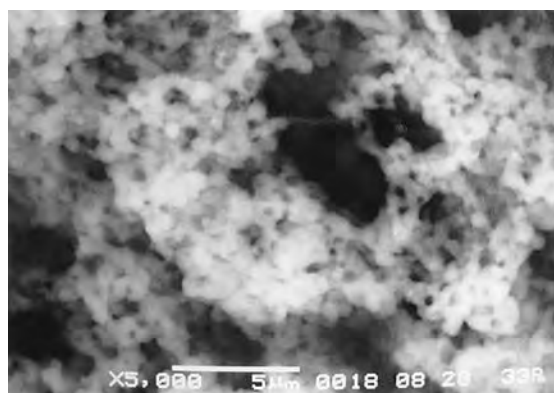


写真1 乳豆腐作成途中に見られる凝固粒子の低真空走査電子顕微鏡写真
5000倍で撮影した。写真中のバーの長さは5μmを示す。
80℃に牛乳を加熱し、食酢25mℓ/ℓ牛乳を添加し凝固したもの。

凝固粒子に発達する。この凝固粒子を布でろ過し、それを布に包んで30分以上吊るしておくと、凝固粒子同士がしっかり結合し、しっかりした滑らかな均質な乳豆腐ができる。以上が食酢やクエン酸や果汁などを添加して凝固させて作る、乳豆腐やパニールの形成の仕組みと考えられる。

通常乳豆腐に比べ、上述のようにカルシウム乳豆腐やマグネシウム乳豆腐では、リン酸セリン残基を多く持っている、カゼインミセル中の $\alpha s1-$ 、 $\alpha s2-$ 、 β -カゼインと Ca^{++} や Mg^{++} などの2価のカチオンがより多く結合し、カゼイン間架橋を強化していると考えられる²¹⁾。またこれらのカチオンはカゼインや乳清たんぱく質の酸性アミノ酸にも結合し、これらの負電荷を中性化する^{42) 48)}。その結果、ファンデルワールス力や疎水結合によって⁴²⁾、カゼインミセルと乳清たんぱく質からなる複合体同志の結合が促進され、通常乳豆腐同様に、カルシウム乳豆腐やマグネシウム乳豆腐の生成過程でも、最終的には乳豆腐作成に適した大きな凝固粒子が形成されることが考えられる。

3. 乳豆腐の商品化とそのための検討

(1) 乳豆腐の収量と品質における生乳と市販牛乳との違い及び収量改善

乳豆腐の商品化のために、試験的に10～20ℓ規模で生乳から乳豆腐を作成した。しかし収率が低くかつ不安定であった。しかも安定して良質の乳豆腐が得られなかった。それまで普通の市販牛乳すなわち

超高温殺菌牛乳を原料として使用していたので、その牛乳のたんぱく質とりわけ乳清たんぱく質の変性はかなり進んでいると考えられる⁴⁹⁾。実際に牛乳たんぱく質の80%がカゼインと考えられているが、それより13.2%（乳清たんぱく質と考えられる）多い93.2%のたんぱく質が通常乳豆腐に取り込まれていた¹⁴⁾。一方生乳を原料としたとき、乳豆腐の製造工程の間での牛乳たんぱく質の変性は不十分であり、乳豆腐にうまく取り込まれなかったと推測された。そこで、乳豆腐の品質低下を招かず、牛乳たんぱく質（主に乳清たんぱく質）が十分に変性する条件として、85℃、20分の牛乳の前処理効果を調べた（表1）。原料が生乳の場合、前処理したものが、しないものに比べ、1.2倍増加した。一方、原料が市販牛乳の場合、前処理の有無でほとんど差がなかった。またこの前処理した生乳からの乳豆腐の品質は、市販牛乳から作成した場合に比べ、牛乳の良い香りが残り同等以上であった。すなわち牛乳たんぱく質の変性が乳豆腐の安定した収量や品質に関係していることが明らかになった。この前処理条件では、牛乳たんぱく質のカゼインよりも乳清たんぱく質が主として変性すると考えられる⁴⁹⁾。そこで、乳豆腐の形成には、乳清たんぱく質の変性も重要な要素のひとつと考えられる。

この前処理工程を加えることによって、乳豆腐の大量製造法は確立した。その結果、乳豆腐の商品化が実現した。

表1 乳豆腐収量に対する生乳の前処理加熱の影響

前処理加熱温度及び時間は、85℃、時間は20分。生乳は藤川牧場にて生産されたもの。(市販牛乳は四国乳業の成分無調整)

		乳豆腐収量 g (1ℓ原料乳当たり)	
		前処理加熱あり	前処理加熱なし
生乳	平均値	205.6	171.7 *
	標準偏差	25.7	9.3
市販牛乳	平均値	199.3	196.5
	標準偏差	19.2	20.7

*は前処理加熱ありとなしとの間の収量における5%レベルで有意。
SPSS統計ソフト使用。

(2) 乳豆腐、商品名 恐るべきミルクの力の特徴
(写真2)

- ①ミルクの力はカルシウムとマグネシウムによって凝固させ、作成した乳豆腐で、その100gあたり、たんぱく質15g、脂質15g、炭水化物4g、灰分3g、カルシウム800mg、リン330mg、マグネシウム60mg、ナトリウム60mgが含まれる。
- ②ミルクの力は牛乳に豆腐の凝固剤を加えただけの、極力自然を生かした食品。ナチュラルチーズとしての利用以外に、煮る、焼く、炒めるなどの調理が可能。和食、洋食、中華などの各種献立にも利用可。
- ③ミルクの力は、良質たんぱく質、吸収率の高いカルシウム、ビタミンA、B₂などを豊富に含み、マグネシウムや亜鉛の供給源としても、よい栄養食品。
- ④ミルクの力100gあたり日本人に不足しているカルシウムが牛乳の約7倍以上含まれ、成長期、成人、高齢者のカルシウム供給源として、最適の食品。とりわけ骨粗鬆症予防に最適の食品。ミルクの力のカルシウムの栄養素密度は、乳製品や豆腐の中で、群を抜いて高く、エネルギーをあまりとらないで、カルシウムを多く摂取できる食品。
- ⑤成長期の青少年が、リンとのバランスがよく、吸収のよいカルシウム豊富なミルクの力を日常的に摂取すれば、体格とりわけ身長向上が期待。



写真2 乳豆腐の商品「恐るべきミルクの力」

- ⑥ミルクの力は心疾患、高血圧、骨粗鬆症、尿路結石、糖尿病などの予防に大切なマグネシウムが最も多く含まれる乳製品のひとつ。
- ⑦乳製品ミルクの力によるカルシウム1000mg/日摂取はダイエットに効果が期待。
- ⑧チーズのたんぱく質は、カゼインがほとんど、ミルクの力は、カゼインと各種の効果を持つ生物価の高い乳精たんぱく質とを含有。乳清たんぱく質はラクトフェリンの感染防御作用や細胞増殖作用、鉄吸収調節作用、他の乳精たんぱく質の血清コレステロール低下作用や骨強化作用やビタミンA結合作用などもあり。
- ⑨ミルクの力に含まれるたんぱく質及びその分解物は、カゼイン分解物のCa吸収促進効果に加え、血圧上昇抑制や各種の免疫調節作用が期待。
- ⑩ミルクの力は、普通のチーズと異なり、食塩無添加でナトリウムが少なく、高血圧予防に良い食品。

4. 乳豆腐に対する今後の期待

(1) 日本人のカルシウム摂取不足及び骨粗鬆症の解消のための乳類摂取の必要性

国民栄養調査の結果⁵⁰⁾、現在まで数十年間、摂取不足が続いている栄養素は、カルシウム(Ca)だけである。Ca摂取が、高齢者に多くみられる骨粗鬆症の改善に有効であることが知られている^{51) 52)}。閉経後の骨粗鬆症の予防には、若い時期からCaを十分に摂取して、これを骨内に十分に貯金しておくことが有効と考えられている^{51) 52)}。しかし現在まで、日本人は従来の富カルシウム食品の豆類、野菜類(とりわけ緑黄色野菜類)、乳類、魚介類から十分にCaを摂取することができなかった⁵⁰⁾。学校給食の時期(7歳~14歳)は乳類約300g/日を摂取し、カルシウム600mg/日以上を摂取しており、まだ不足ではあるが、他の年代ほど甚だしくない。しかし学校給食が終わった高校生以後の年代から乳類摂取は急激に低下し、成人以後100g/日かそれ以下になる。それとともに給食時期以後、男女とも60歳未満までカルシウム摂取は400mg/日になる。とくに閉経後に骨粗鬆症に苦しむだろう成人女性では、少なくとも550mg/日摂るべきところ、この摂取が50

歳未満において400mg/日を少しオーバーする程度である⁵⁰⁾。年齢進行とともに、乳類以外のカルシウム給源の緑黄色野菜類や豆類は増加傾向であるが、すべての年代でカルシウム不足である⁵⁰⁾。学校給食後、牛乳や乳製品の摂取の減少がまさに日本人のCa不足の原因と考えられる。

カルシウム摂取における、牛乳・乳製品依存度は、欧米で例えば、アメリカで72%、イギリスで56%であり、日本の24%に比べ、非常に高い⁴⁵⁾。日本人よりかなり多くカルシウムを摂取しているアメリカでさえ、カルシウムの摂取不足²²⁾の解消のために、2003年から3-A-DAYという運動、すなわち一日3品の牛乳・乳製品をとる運動がスタートした。その後、この運動はヨーロッパや日本にも広がっている。しかしながらこのような牛乳・乳製品摂取の推進運動にもかかわらず、日本人は平成8年ごろから現在まで、牛乳・乳製品の摂取量が頭打ちになっている⁵⁰⁾。日本人の乳類摂取不足が、骨粗鬆症およびその予備軍が約3000万人に達している原因の一つであることを否めない。カルシウム摂取不足の解消のために、日本でも、牛乳・乳製品の摂取増加が望まれ、そこで日本人の食生活に適合する乳製品の開発が期待される。

(2) 日本人の体格向上のための乳類摂取の必要性
日本人の体格について、身長がほぼ止まる17歳

の男女の身長をみると⁵³⁾、平成6年から13年ごろにピークを迎え、その後現在までやや低下している。また体重も身長よりピークが2～3年遅れるが、同様の傾向を有する。そのころから牛乳・乳製品の摂取量が頭打ちになっている⁵⁰⁾。

そこで身長に影響すると考えられるカルシウムや乳類の摂取量⁵⁰⁾と17歳男女の身長⁵³⁾との相関を調べた。戦争が日本人の青少年の体格に大きな影響を与えたので⁵⁴⁾、その影響がなくなると考えられた1957年から身長がピークに達した1996年までの間を対象とした。表2で分かる通り、乳類摂取は身長と非常に強い相関があった。そしてこの相関は、カルシウムの影響を取り除いても非常に強い相関があった。一方、カルシウム摂取量は身長と強い相関があったが、乳類の影響を取り除くと、この正の相関が消失した。この相関は乳類摂取の影響で現れた擬似相関である。ゆえに体格、少なくとも身長の向上に対して、乳類摂取はカルシウムや他のカルシウム給源の摂取によっては代替できないものと考えられる。体重は身長と相関が非常に強いことはよく知られたことである。そこで、日本人の体格（身長と体重）の向上のためには、これまで以上に牛乳や乳製品を摂取する必要がある。

(3) 日本人の乳類摂取推進のために有望な乳豆腐
そこで本学で研究・開発された乳豆腐は、商品名

表2 乳類やカルシウムの摂取と17歳の男女の身長との相関

	制御変数	相関係数 有意確率（両側）	カルシウム 摂取量	身長	
				男子	女子
乳類摂取量	なし	ピアソン相関 有意確率	0.892 0.000	0.992 0.000	0.986 0.000
カルシウム摂取量	なし	ピアソン相関 有意確率		0.893 0.000	0.852 0.000
乳類摂取量	カルシウム摂取量	偏相関 有意確率		0.959 0.000	0.955 0.000
カルシウム摂取量	乳類摂取量	偏相関 有意確率		0.147 0.371	-0.361 0.024

中学・高校の生徒の体格について戦争の影響⁵⁴⁾がなくなった1957年から身長がピークに到達した1996年までの調査結果から身長⁵³⁾と食品・栄養の摂取量⁵⁰⁾の相関関係を検討した。食品・栄養の摂取量は各年の日本人の1人1日当りの平均摂取量である。
SPSS統計ソフト使用。

恐るべきミルクの力の特徴を持ち、和・洋・中華何れの料理にも適応でき、さらにはおやつとの添加として、子供から大人までどの世代にも適合する食品である。また乳豆腐は牛乳嫌いの者にも受け入れられる。乳豆腐の摂取の拡大は、カルシウム摂取不足や老人の骨粗鬆症の解消や日本人の体格の向上に役立つものと期待される。

注1) 古くから東讃地域で酪農に携わる農家から直接聞いた。

5. まとめ

本学で、日本人のカルシウム摂取不足や高齢者の骨粗鬆症などの対策のひとつとして、吸収の良いカルシウムと良質たんぱく質を含む乳豆腐研究を始めて、28年経った。研究対象として、食味や食感のよい乳豆腐の開発、栄養上より優れた乳豆腐の開発、乳豆腐の成分分析、乳豆腐の調理法の開発、乳豆腐の嗜好調査、乳豆腐添加による菓子類の栄養価の向上、乳豆腐の構造と形成のしくみ、乳豆腐の商品化などについての検討結果に、考察を加えて記述した。カルシウム不足や骨粗鬆症の解消のためだけでなく、体格向上のためにも乳類摂取増加の重要性を指摘した。

謝 辞

本研究に当たり、この発展に貢献された先生方、とりわけ上原哲先生を筆頭に、鎌倉克子先生や大西喜代子先生や本研究に関与された先生方に心より感謝申し上げます。また本学食物栄養専攻の助手の方々の惜しみないご助力に御礼申し上げます。乳豆腐の商品化が、産・官・学の連携により実現致しました。この実現にご尽力頂いた藤川牧場の前社長藤川弘幸様、(公財)かがわ産業支援財団の前地域共同研究部長山下正夫様、本学理事長大久保直明先生、本学関係者各位に心より感謝いたします。

引用文献

1) 井上貢, 上原哲, 鎌倉克子, 大西喜代子, 1990, 香川短期大学紀要, 18, 43-48.

2) 香川県畜産試験場編, 1983, 香川県畜産試験場20年史, p.2.

3) 香川県農業史編纂委員会編, 1977, 香川県農業史, pp.906-907.

4) 井上貢, 上原哲, 鎌倉克子, 大西喜代子, 1989, 日本栄養改善学会講演要旨集, p.800.

5) 井上貢, 1993, 壮快 (マイヘルス社, 講談社), 20 (5), 197-198.

6) 井上貢, 1993, 壮快 (マイヘルス社, 講談社), 20 (8), 91-94.

7) 井上貢, 1994, 健康 (主婦の友社), 19 (11), 216-218.

8) 琵琶湖長寿科学シンポジウム実行委員会編, 1991, 老人の食生活と栄養, 医歯薬出版, pp.78-79.

9) 日本農業新聞, 1992, 5月28日.

10) 日本経済新聞, 2012, 12月12日.

11) 毎日新聞, 2012, 12月19日, 2013, 4月4日.

12) 四国新聞, 2013, 2月1日, 3月26日.

13) 上原哲, 井上貢, 鎌倉克子, 大西喜代子, 1990, 香川短期大学紀要, 18, 49-53.

14) 上原哲, 井上貢, 鎌倉克子, 大西喜代子, 1991, 香川短期大学紀要, 19, 119-122.

15) 日本栄養食糧学会監修, 1993, 山内邦男, 今村経明, 守田哲朗責任編集, 牛乳成分の特性と健康, 光生館, pp.1-30.

16) 江指隆年, 中嶋洋子編, 2006, ネオアスカ 基礎栄養学, 同文書院, p.167.

17) 上原哲, 井上貢, 鎌倉克子, 大西喜代子, 1992, 香川短期大学紀要, 20, 43-50.

18) 井上貢, 上原哲, 鎌倉克子, 大西喜代子, 1991, 香川短期大学紀要, 19, 29-33.

19) 上原哲, 井上貢, 鎌倉克子, 大西喜代子, 1991, 香川短期大学紀要, 19, 35-39.

20) 井上貢, 小橋麻美, 上原哲, 鎌倉克子, 大西喜代子, 2001, 香川短期大学紀要, 29, 69-74.

21) 井上貢, 上原哲, 次田一代, 2012, 香川短期大学紀要, 40, 31-41.

22) 木村修一, 小林修平翻訳監修, 2007, 最新栄養学, 建帛社, pp.373-407.

23) 上原哲, 井上貢, 鎌倉克子, 大西喜代子, 1994, 香川短期大学紀要, 22, 109-121.

- 24) 井上貢, 高倉麻美, 上原哲, 鎌倉克子, 大西喜代子, 1996, 香川短期大学紀要, 24, 67-77.
- 25) 三浦洋, 荒木忠治, 1988, 最新加工講座, 果実とその加工, 建帛社, pp.1-93.
- 26) Bhupendra Mathur, Kazumoto Hashizume, Sakamoto Masumi, Yuji Nakazawa, Tokuji Watanabe, 1986, Japanese Journal of Dairy and Food Science, 35, A-138-141.
- 27) 鎌倉克子, 大西喜代子, 上原哲, 井上貢, 1990, 香川短期大学紀要, 18, 55-59.
- 28) 大西喜代子, 鎌倉克子, 上原哲, 井上貢, 1990, 香川短期大学紀要, 18, 61-64.
- 29) 鎌倉克子, 大西喜代子, 上原哲, 井上貢, 1991, 香川短期大学紀要, 19, 41-45.
- 30) 上原哲, 井上貢, 鎌倉克子, 大西喜代子, 1999, 香川短期大学紀要, 27, 91-106.
- 31) 上原哲, 井上貢, 鎌倉克子, 大西喜代子, 2000, 香川短期大学紀要, 28, 83-93.
- 32) 上原哲, 2015, 香川短期大学紀要, 43, 115-124.
- 33) 上原哲, 井上貢, 鎌倉克子, 大西喜代子, 2002, 香川短期大学紀要, 30, 37-42.
- 34) 上原哲, 井上貢, 鎌倉克子, 大西喜代子, 2005, 香川短期大学紀要, 33, 25-32.
- 35) 上原哲, 井上貢, 鎌倉克子, 大西喜代子, 2007, 香川短期大学紀要, 35, 27-47.
- 36) 上原哲, 井上貢, 2012, 香川短期大学紀要, 40, 117-123.
- 37) 上原哲, 2013, 香川短期大学紀要, 41, 127-133.
- 38) 上原哲, 2014, 香川短期大学紀要, 42, 109-117.
- 39) 井上貢, 次田一代, 諏訪りか, 渡辺ひろみ, 松永恵美子, 村川みなみ, 2010, 香川短期大学紀要, 38, 1-10.
- 40) 井上貢, 上原哲, 2011, 香川短期大学紀要, 39, 27-37.
- 41) H. J. M. van Dijk, 1990, Neth. Milk Dairy J., 44, 65-81.
- 42) P. F. Fox, 1989, In "Developments in dairy chemistry-4, Functional milk protein" Ed. P. F. Fox, CH.1 The milk protein system, Elsevier applied science, London, New York, pp1-53.
- 43) T. Aoki, A. Kawahara, Y. Kato, T. Imamura, 1987, Agricultural and Biological Chemistry, 53, 817-821.
- 44) C. Robert, 2007, Bulletin of International Dairy Federation, 420, 1-28.
- 45) 上野川修一編, 1996, 乳の科学, 朝倉書店, 東京, pp. 10-97.
- 46) J. E. Kinsella, D. M. Whitehead, J. Brady, N. A. Bringe, 1989, In "Developments in dairy chemistry-4, Functional milk protein" Ed. P. F. Fox, CH.2 Milk proteins: Possible relationships of structure and function, Elsevier applied science, London, New York, pp55-96.
- 47) J. Graser, P. A. Carroad, W. L. Dunkley, 1980, J. Dairy Science, 63, 37-48.
- 48) M. E. Johnson, 1988, Milk Clotting enzymes and cheese chemistry, Part II- Cheese chemistry, In "Fundamentals of dairy chemistry" 3rd edition, Eds. N. P. Wong, R. Jenness, M. Keeney, E. H. Marth, Van Nostrand Reinhold, New York, pp. 634-654.
- 49) 鷹尾亨 編著, 1989, 牛乳・乳製品の実際知識 (第3版), 東洋経済新報社,
- 50) 厚生労働省ホームページ, 国民栄養の現状 (昭和22年～平成14年) (http://www0.nih.go.jp/eiken/chosa/kokumin_eiyoubu/), 国民健康・栄養調査 (平成15年～26年) (http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/kenkou_eiyoubu_chousa.html).
- 51) V. Matkovic, 1991, Am. J. Clin. Nutr., 54, 245s-260s.
- 52) V. Matkovic, 1992, J. Internal Medicine, 231, 151-160.
- 53) 学校保健統計調査リスト (昭和23年～平成27年), e-Stat 政府統計総合窓口 (<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/NewList.do?tid=000001011648>)
- 54) 早瀬多恵子, 村松常司, 藤田定, 岡田暁宜, 村松園江, 2004, 愛知教育大学保健管理センター紀要, 3, 17-21.

The Milk-Tofu Researched and Developed in Kagawa Junior College

Mitsugu Inoue

Abstract

Twenty eight years ago, our research group began to study on the milk-tofu containing calcium absorbed easily and high quality protein for a Japanese elderly diet in order to prevent the osteoporosis and a lack of calcium intake. We aimed to develop the milk-tofu with good taste and texture and being superior in nutrition. We have analyzed various components of the milk-tofu, developed the recipe using it, practiced a sensory analysis of it, and improved the nutritive value of the confectionery by its addition. We have also studied on the structure and formation of the milk-tofu having casein micelles. We also pointed out the importance of much more intakes of milk and milk products containing the milk-tofu not only for preventing the osteoporosis and a lack of calcium intake but also for a large growth in the height of average Japanese people.

Key words: milk-tofu, development, improvement, structure, casein micelle, height

