



# A2ミルク

“いま、わかっていること、  
まだわかっていないこと”

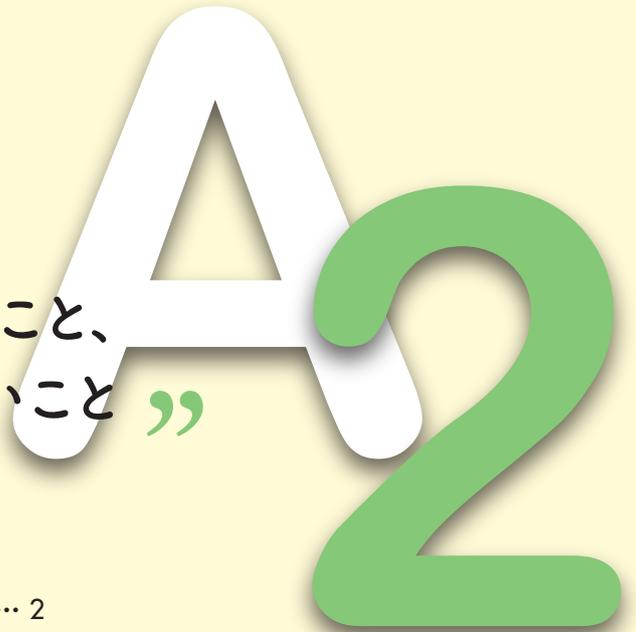


一般社団法人 Jミルク

# Contents

## A2ミルク

“いま、わかっていること、  
まだわかっていないこと”



### 「A2ミルク」の現在 ..... 1

#### 1 A2ミルクとは何か? ..... 2

- (1)  $\beta$ -カゼイン ..... 2
- (2)  $\beta$ -カゼインの遺伝的変異型 ..... 3
- (3) 北ヨーロッパ原産の牛にA1型遺伝子保因牛が多い ..... 4

#### 2 A2ミルクの製造・認証・検査 ..... 5

- (1) A2ミルクの生産・製造・流通 ..... 5
- (2) 日本A2ミルク協会による認証制度の構築と商品化 ..... 6
- (3) 乳牛の遺伝子検査 ..... 6
- (4) 牛乳の検査 ..... 7

#### 3 A2ミルクは 「おなかにやさしい」のか? ..... 8

- (1) 乳糖不耐 ..... 8
- (2) 乳たんぱく質などの乳成分またはその分解物に対する不耐症状 ..... 9
- (3) 乳アレルギー ..... 12
- (4) その他 ..... 12

#### 4 これまでのA1 $\beta$ -カゼインと A2 $\beta$ -カゼイン研究について ..... 13

- (1) A1 $\beta$ -カゼインとA2 $\beta$ -カゼインの違いは何か ..... 13
- (2)  $\beta$ -カソモルフィン-7 (BCM-7) の研究について ..... 14
- (3) システムティックレビューによるA2ミルクの有用性に関する評価 ..... 14
- (4) A1/A2ミルクに関する公的機関の見解 ..... 15

#### 5 A2ミルクの乳凝固性と チーズ製造に与える影響 ..... 17

#### 6 A2ミルクのマーケット動向 ..... 18

# 「A2ミルク」の現在

牛乳乳製品は、世界中の人々の食生活に欠かすことのできない重要な栄養源の食品です。

牛乳乳製品は、大切なカルシウムやたんぱく質の供給源であり、高い栄養価 **図1** で私たちの身体の形成や健康をサポートし、特に子どもの適切な成長に貢献するエネルギーと栄養素を提供しています。

また近年は機能性にも注目が集まっており、健康の維持・増進や生活習慣病予防に役立つという報告も蓄積。子どもから大人、高齢者まで、それぞれの世代に応じた身体と健康づくりに貢献する食品として改めて認識されています。

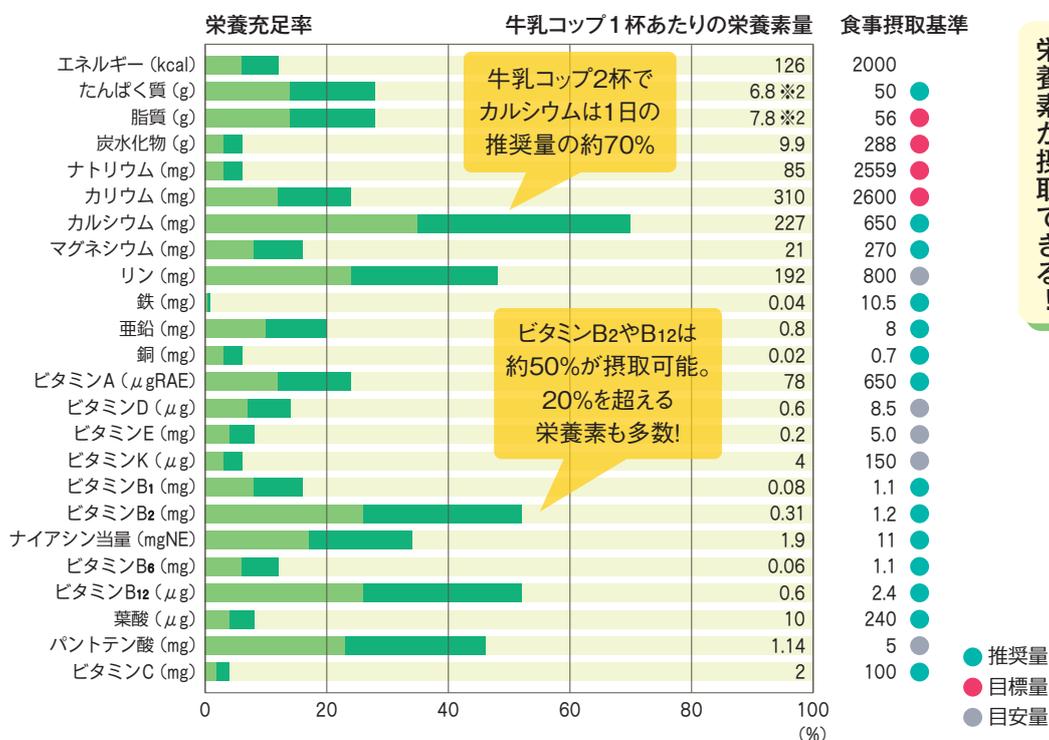
こうした中、世界ではオーストラリアや北米を中心に、「A2ミルク」が一定のマーケットを形成し、日本でも最近、話題に上るようになり、市場でも「A2ミルク」の商品が並ぶようになりました。

「A2ミルク」については、既存の牛乳との差別化や付加価値の提供の面で、牛乳の新しい選択肢の一つとして一部の酪農家や中小の乳業会社で期待する声も大きくなっています。

一方、「A2ミルク」が従来の牛乳に比べて「おなかにやさしい」や「おなかがゴロゴロしない」とされる科学的な根拠については、いくつかの介入研究での効果が報告されているものの、その作用機序については科学的な説明が難しく、不明な点も多く存在します。

こうした現状を踏まえ、この資料は、現在までに「A2ミルク」に関して、「わかっていること」および「わかっていないこと」を整理した中間報告として、「A2ミルク」の可能性と課題の把握にご活用いただくために作成しました。

**図1** 牛乳コップ1杯あたりの栄養素量と  
1杯（200mL※1）・2杯（400mL※1）あたりの栄養充足率



牛乳も、もちろんA2ミルクも、  
コップ1〜2杯で  
こんなに多種多様な  
栄養素が摂取できる！

・ 栄養素量について：他に水分180.4g、灰分は総量で1.4gを含む。  
 ・ 栄養充足率について：18〜29歳女性（身体活動レベルⅡふつう）の食事摂取基準に対する割合を示している。脂質は目標量の中央値25%エネルギー（56g）で、炭水化物は目標量の中央値57.5%エネルギー（288g）で、ナトリウムは目標量の食塩相当量6.5g（2559mg）で計算している。ナイアシンは、たんぱく質から算出した体内で生合成されるナイアシン量を加えたナイアシン当量（mgNE）で計算している。

※1 牛乳200mLは206.4g、400mLは412.8g。  
 ※2 アミノ酸組成によるたんぱく質（アミノ酸残基の総量）の割合は6.2、脂肪酸のトリアシルグリセロール当量の場合は7.2。

# 1

## A2ミルクとは何か？

A2ミルク（A2牛乳）とは、牛乳中のたんぱく質の一種であるβ-カゼインの遺伝的な変異型（バリエーション）に由来する牛乳を示す慣用的な呼称です。変異型とは同種の生物個体間に形態的、生理的な差異が現れることを意味します。この場合は、乳牛のβ-カゼインを作る遺伝子の違いにより、アミノ酸配列が一部変化したたんぱく質ができることをさします。

### ●変異型

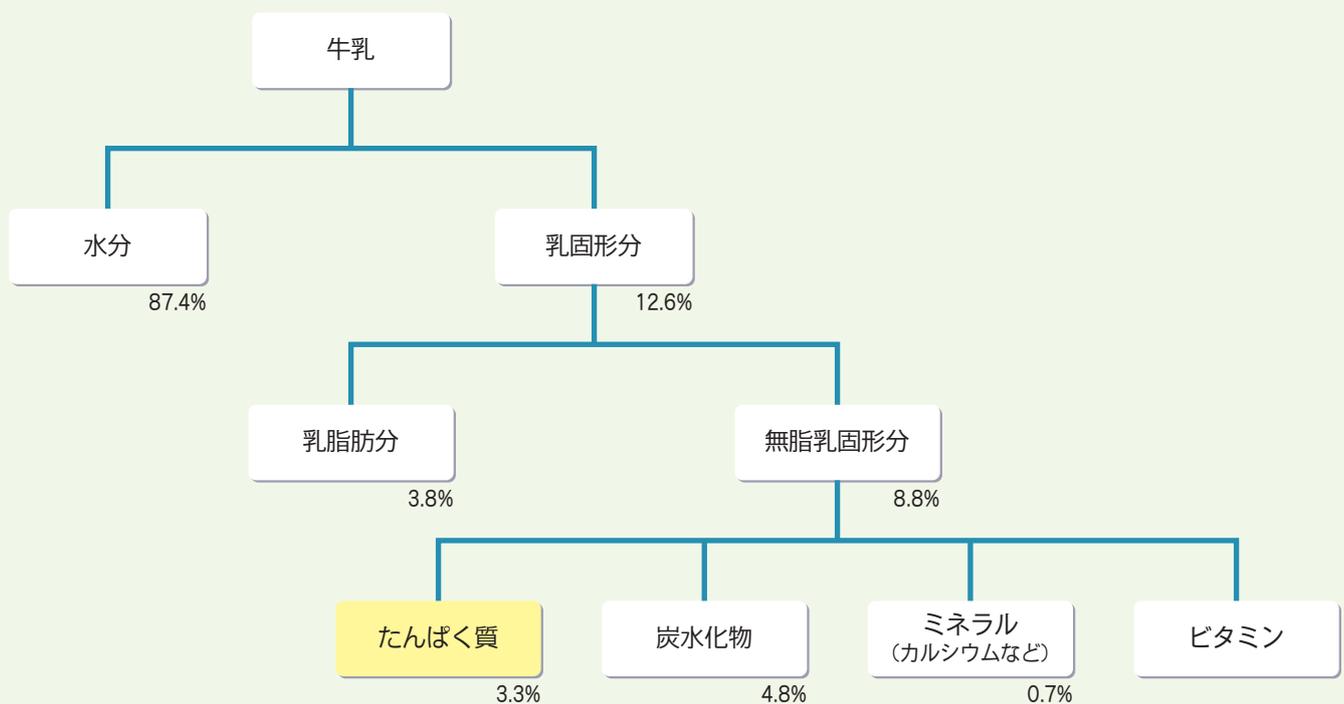
遺伝情報を伝えるDNAの一部に何らかの原因により変化が生じ、同種の生物個体間に形態的、生理的な差異が現れること。近年は多様性（variation）を示す「バリエーション（variant）」も使われる。

### (1) β-カゼイン

牛乳は、たんぱく質、脂質、炭水化物（主に乳糖）、ミネラル、ビタミンおよび水で大半が構成されています **図2**。

乳たんぱく質は、牛乳200mLあたり6.8g含まれており、大きくカゼインとホエイ（乳清）たんぱく質に分けられます。乳たんぱく質のうち約

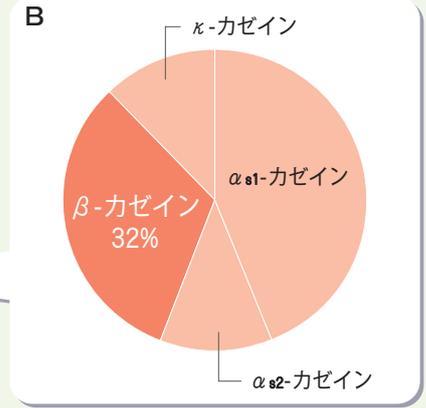
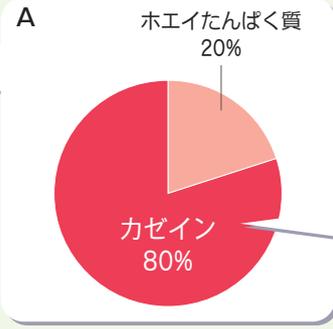
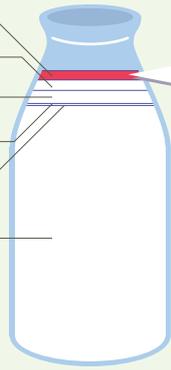
**図2** 牛乳の組成と各成分の割合



出典：一般社団法人日本乳業協会ホームページ。 [https://nyukyoku.jp/dairyqa/2107\\_018\\_468/](https://nyukyoku.jp/dairyqa/2107_018_468/) (2024年7月29日アクセス)。

図3 牛乳の主な成分

乳たんぱく質 3.3%  
 乳脂肪 3.8%  
 乳糖 4.8%  
 ミネラル 0.7%  
 ビタミン 微量  
 水分 87.4%



出典：文部科学省. 日本食品標準成分表（八訂）増補2023年 / Jミルク. メディアミルクセミナー ニュースレター No.16 / J. Dairy Sci. 2004;87(6):1641-1674.

80%はカゼインで、約20%がホエイたんぱく質です（図3 A）。

さらにカゼインには、α<sub>s1</sub>-カゼイン、α<sub>s2</sub>-カゼイン、β-カゼイン、κ-カゼインの4グループがあり、その一つがβ-カゼイングループになります（図3 B）。カゼインはリン酸化されたり糖鎖が結合したりすることで種類が異なり、全体で30種類以上のたんぱく質の集団で乳中に存在しています。β-カゼインは牛乳中の全カゼインの30～35%を占めており（表1）、牛乳200mLあたり1.7～2.1g含まれています。

表1 カゼインの種類と組成

カゼインの種類	組成 (%)
α <sub>s1</sub> -カゼイン	44
α <sub>s2</sub> -カゼイン	12
β-カゼイン	32
κ-カゼイン	12

出典：J. Dairy Sci. 2004;87(6):1641-1674.

## (2) β-カゼインの遺伝的変異型

たんぱく質はアミノ酸が鎖のようにつながってできています。β-カゼインも209個のアミノ酸が結合したたんぱく質です。結合するアミノ酸の種類は、遺伝子の3つの塩基の組み合わせ（コドンという）で決まります。

β-カゼインを作り出す遺伝子は牛の第6番染色体に存在し、遺伝的変異によりA1、A2、A3、B、C、D、E、F、G、H1、H2、Iなどの対立遺伝子（ある形質に対してバリエーションをもたらす遺伝子）が知られており、その構造は牛の品種や遺伝的特性によって異なります（表2）。

### ●対立遺伝子

ヒトや牛などの染色体は、性染色体を除き、父親と母親それぞれから1本ずつ受け継ぎ対となっている。対応する位置にはある特定の形質（例えば、血液型や花の色など、形や性質などの特徴）に関する遺伝情報が入っているが、中には異なる種類の遺伝子が存在する場合があります。対立遺伝子とよぶ。例えば、A1とA2という2つの対立遺伝子がある場合、両親から受け継ぐ遺伝子の組み合わせ（遺伝子型）はA1A1、A2A2、A1A2の3通りで、それぞれに対応した形質（表現型）が決定される。

表2 β-カゼイン遺伝的変異型のアミノ酸配列の違い

たんぱく質	変異型	N-末端からのアミノ酸の位置													
		18	25	35	36	37	67	72	88	93	106	122	137/138	152	?
β-カゼイン	A1						His								
	A2	SerP	Arg	SerP	Glu	Glu	Pro	Gln	Leu	Met	His	Ser	Leu/Pro	Pro	Gln
	A3										Gln				
	B						His					Arg			
	C			Ser		Lys	His								
	D	Lys													
	E				Lys										
	F						His							Leu	
	G						His						Leu		
	H1		Cys						Ile						
	H2							Glu		Leu					Gln
I									Leu						

A2と同じアミノ酸の場合は空白

出典：J. Dairy Sci. 2004;87(6):1641-1674.

ホルスタイン種の牛におけるβ-カゼインの主要な変異型はA1型とA2型で、アミノ酸配列のN-末端から数えて第67番目の構成アミノ酸が異なります。A1型ではこの位置にヒスチジン（His）がありますが、A2型ではプロリン（Pro）です。

この違いは、β-カゼイン遺伝子の違いから生じ、元々はプロリンをコードするシトシン・シトシン・チミン（CCT）のコードン67の真ん中のシトシン（C）がアデニン（A）に変化する一塩基置換が自然変異で起こり、ヒスチジンをコードするシトシン・アデニン・チミン（CAT）が発生し、これがA1β-カゼインを産生するようになったと考えられています。

### (3) 北ヨーロッパ原産の牛にA1型遺伝子保因牛が多い

牛乳に含まれるA1型およびA2型のβ-カゼインの割合は、牛の種類によって異なります。最初に家畜化された牛は、インディアン牛に由来するA2型のβ-カゼイン遺伝子を持っていたと考えられます。進化の過程で、ヨーロッパ地域の牛は67番目のアミノ酸がヒスチジンへと変異しました。ホルスタインなどのアメリカとヨーロッパの品種は主にA1β-カゼインを生産し、旧世界のガーンジーとジャージー、インドの牛はA2β-カゼインを生産します。

地域で見ると、ほとんどのアフリカおよびアジアの牛はA2β-カゼインのみを生産しますが、ヨーロッパ、アメリカ、オーストラリア、ニュージーランドおよび日本の牛は、A1およびA2β-カゼインの両方を生産します。

現在、一般に流通している牛乳は、A1β-カゼインとA2β-カゼインの両方を含んでいますが、「A2ミルク」として市販されている牛乳はA2β-カゼインのみを含んでいます **図4**。

#### ●コードン

1個のアミノ酸を規定する（コードする）3個1組の塩基配列。

#### ●旧世界

アメリカ大陸発見以前に知られていた地域。すなわち、ヨーロッパ・アジア・アフリカおよびその周辺の島しょ部のこと。

**図4** β-カゼインの遺伝子型と表現型

遺伝子型	表現型 (牛乳に含まれるβ-カゼインの種類)
A1A1型	A1型β-カゼインだけが作られる
A2A2型	A2型β-カゼインだけが作られる
A1A2型	A1型β-カゼインとA2型β-カゼインが作られる



# 2

## A2ミルクの製造・認証・検査

### (1) A2ミルクの生産・製造・流通

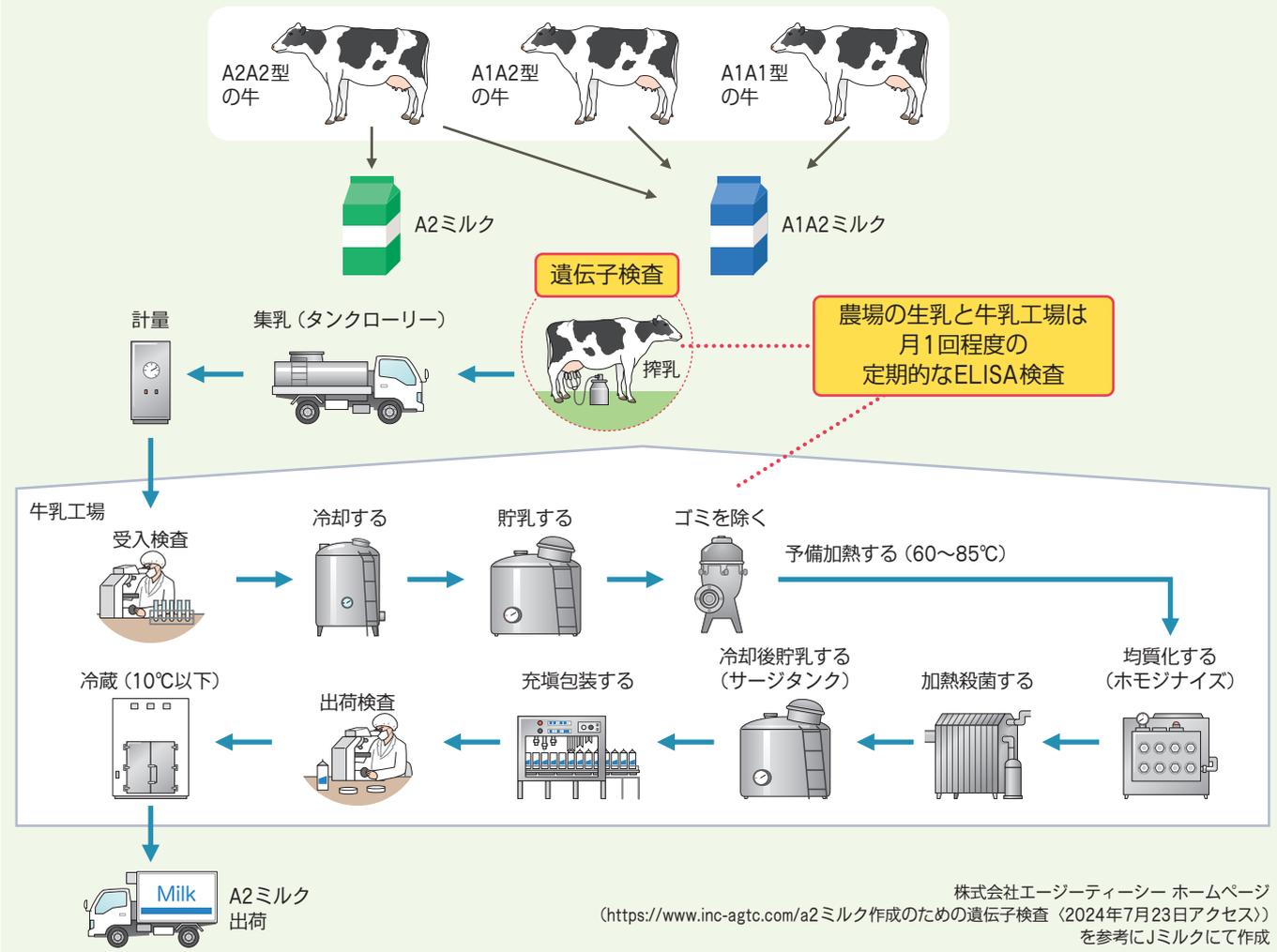
一般社団法人A2ミルク協会などによると、A2ミルクの牛乳は、酪農家の生産段階でその日に搾乳されたA2の遺伝子を持つ牛の個体識別番号を記録として残し、当日出荷されたA2ミルクは何番の乳牛から搾られたのかが追跡（トレース）できるように管理しています。

牛乳工場では、本来であればA2ミルク専用の貯乳タンクや製造ラインが必要ですが、現実的にまだそこまでの製造量がないこともあり、タンクやラインの洗浄後、その日の一番最初に使用し、混入（コンタミネーション）がないようにA2ミルクの牛乳を製造しているのが一般的です。

A2ミルクを製造するためには、A2型のβ-カゼインだけを作るA2A2型の遺伝子型を持つ乳牛から搾乳して、A1A1型またはA1A2型の

図5 A2ミルクができるまで

※日本A2ミルク協会認証マークのある農場や工場の場合



乳牛から搾乳した牛乳が混入することなく集乳し、殺菌などの工程を経て製品化する必要があります。日本A2ミルク協会によると、A2ミルクを製造するために乳牛が確実にA2A2型の遺伝子型を持つ乳牛であるかを確認する遺伝子検査を実施するとともに、さらに認証マークを付与した農場の生乳、および牛乳工場での製造段階で月1回のβ-カゼイン定期検査を実施しています。また、検査と農場HACCP、JGAP、ISO22000の各認証による品質管理体制、第三者委員会による監査会議をシステム化して実施することでA2ミルク製造の信頼度を高めています（5ページ ）。

## (2) 日本A2ミルク協会による認証制度の構築と商品化

2024年3月、一般社団法人日本A2ミルク協会（北海道富良野市、藤井雄一郎代表理事：https://www.japan-a2milk-association.or.jp）は、日本初となるA2ミルクの認証制度の運用を開始し、3月より「日本A2協会牛乳」を発売しています。

この認証制度は、A2ミルクの商品を対象に実施するものとなり、生産から輸送、加工時まで一貫した品質管理基準を保証することを目指し、トレーサビリティ（生産履歴の追跡）の観点からも定期的な監査を実施し、一定の基準を満たした場合に限り、商品に対する認証マークが付与されます。認証制度の骨子は以下のとおりです<sup>1)</sup>。

- 牧場自体の監査（運営管理体制、認証基準など含め）
- 乳牛の遺伝子検査（体毛、耳片、毛根などの体組織）と協会への登録
- 生乳（牧場で搾乳された未殺菌状態の牛乳）の検査\*
- 牛乳（生乳を殺菌した後、牛乳として流通した段階）の検査\*  
※日本A2ミルク協会認定牛乳は、β-カゼインA1が混入していないか定期的に検査を実施。
- 継続的な検査（一度きりだけでなく検査が継続されているのか）
- 輸送時や加工時の混入がないシステムであることを監査  
（一般社団法人日本A2ミルク協会、2024/01/22プレスリリース）

## (3) 乳牛の遺伝子検査

日本A2ミルク協会の認証制度の中で行われている乳牛の遺伝子検査は、東京農業大学の庫本高志教授によって開発された方法が用い

### 文献

- 1) 一般社団法人日本A2ミルク協会、2024/01/22プレスリリース。https://www.japan-a2milk-association.or.jp/3120/（2024年7月29日アクセス）。
- 2) 株式会社エージーティーシー、A2ミルク作成のための遺伝子検査。https://www.inc-agtc.com/a2ミルク作成のための遺伝子検査（2024年7月23日アクセス）。

られ、検査業務は、株式会社エージーティーシー（静岡県浜松市：<https://www.inc-agtc.com/>）を中心に行われています。この遺伝子検査の概要は以下のとおりです<sup>2)</sup>。

#### ●乳牛の遺伝子検査方法

乳牛の耳片または毛を用いて遺伝子サンプルを採取し、タカラバイオ社のCycleave RT-PCR技術を応用したジェノタイピング法を用いて検査されます<sup>3) 4)</sup>。特異的なプローブを用いたリアルタイムPCR (RT-PCR) によって、β-カゼイン遺伝子のコドン67が、プロリンをコードするA2遺伝子の塩基配列CCTか、ヒスチジンをコードするA1遺伝子の塩基配列CATかを検出します **図6**。

**図6** 乳牛の遺伝子検査方法

β-カゼイン遺伝子

遺伝子型	塩基 (8101)	アミノ酸	たんぱく質
A2A2型	CCT	プロリン	A2β-カゼイン
A1A1型	CAT	ヒスチジン	A1β-カゼイン

CとAの塩基の違いを Cycleave PCR技術で調べる

出典：株式会社エージーティーシー ホームページ。  
<https://www.inc-agtc.com/a2ミルク作成のための遺伝子検査>  
(2024年7月23日アクセス)

## (4) 牛乳の検査

日本A2ミルク協会の認証制度に基づく生乳、および牛乳の出荷検査においては、以下のような方法で行われています。

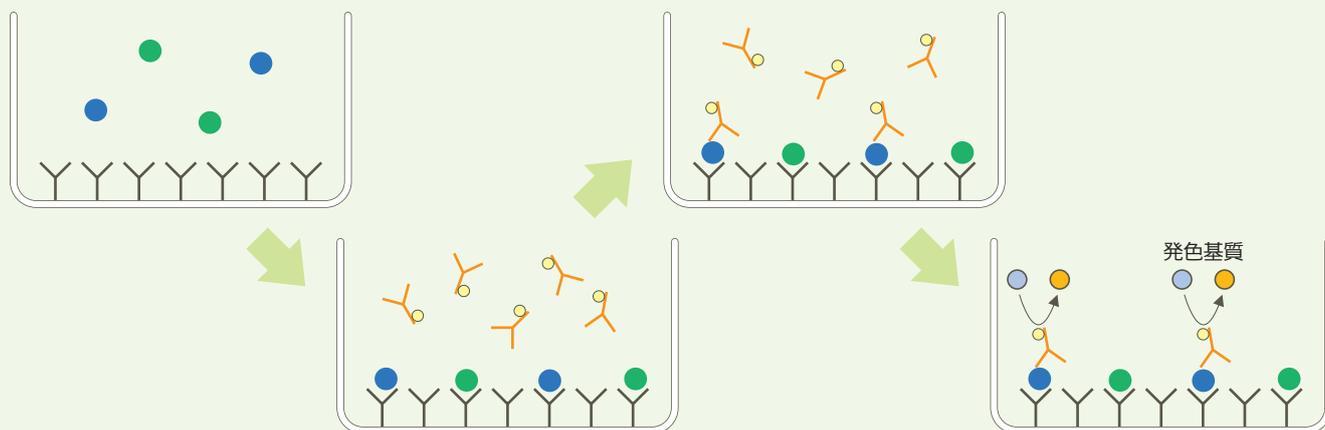
生乳および殺菌された牛乳のどちらも共通して、乳中に含まれるA1型β-カゼインたんぱく質を検出することができるエライザ (ELISA) 検査が用いられています **図7**。この方法については東京農業大学の庫本教授と重井医学研究所の松山誠氏らによって共同開発された方法で、日本初の検査方法 (特許申請中)。A1、A2の区別なくβ-カゼイン特異的に結合するモノクローナル抗体 (図では灰色のYの抗体) と、A1型β-カゼイン特異的に結合するモノクローナル抗体 (図では橙色のYの抗体) で抗原 (図の青の丸印) を挟み、A1型β-カゼインたんぱく質の存在を確認します。現在、この方法で乳たんぱくβ-カゼイン検査を実施しているのは日本A2ミルク協会のみで、検査をクリアした農場と牛乳工場にのみ認証マークが付与されています。

#### 文献

- 3) タカラバイオ株式会社 (takara-bio.co.jp). Cycleave RT-PCR Core Kit説明書. [https://catalog.takara-bio.co.jp/PDFFiles/CY502\\_j.pdf](https://catalog.takara-bio.co.jp/PDFFiles/CY502_j.pdf)
- 4) タカラバイオ株式会社. リアルタイムPCRの原理～サイクリングプローブ法～. [https://catalog.takara-bio.co.jp/product/basic\\_info.php?unitid=U100009037](https://catalog.takara-bio.co.jp/product/basic_info.php?unitid=U100009037) (2024年7月29日アクセス).

**図7** ELISA (サンドイッチ法) によるA1型β-カゼインの検出

- Y β-カゼインに結合する抗体
- A1型β-カゼイン
- Y A1型β-カゼインだけに結合する抗体を酵素で標識したもの
- A2型β-カゼイン



# 3

## A2ミルクは「おなかにやさしい」のか？

A2ミルクの付加価値として「おなかにやさしい」や「おなかがゴロゴロしない」などの特徴が言われています。具体的には、牛乳を摂取後にしばらくして腹痛や下痢などの腹部不快症状が一部の人に現れる現象がA2ミルクでは起こりにくいとされていますが、この点については行き過ぎた訴求や科学的に誤った解釈や誤解を避けるために、これまで「わかっていること」と「まだわかっていないこと」を整理してみたいと思います。

### 牛乳を飲んだ後に一部の人で起こる腹部不快症状と推定される原因

#### 乳糖 ▶p.8

(1) 乳糖不耐(乳糖に対する不耐症状)

#### アレルギー ▶p.12

(3) 乳アレルギー(未分解の乳たんぱく質に対する免疫反応)

#### たんぱく質 ▶p.9

(2) 乳たんぱく質などの乳成分またはその分解物に対する不耐症状

#### 思い込み 腸の疾患 ▶p.12

(4) その他(過敏性腸症候群や炎症性腸疾患など腸の病気が原因)



おなか  
ゴロゴロ...?

### (1) 乳糖不耐

#### 乳糖不耐は牛乳の摂取方法により改善の可能性

牛乳を飲むと「おなかにガスがたまる」「ゴロゴロする」「下痢をする」などの不快症状が現れることがあります。これはほとんどの場合、「乳糖不耐」と言われてきました。

「乳糖不耐」は、乳糖を分解する小腸の酵素(ラクターゼ)の分泌が成長に伴って小腸で少なくなることで起こりますが、これは自然な生理現象で病気ではありません。乳幼児期以降、小腸のラクターゼ酵素の発現を抑える遺伝子が働き、乳糖は小腸でほとんど消化されず、そのまま大腸に到達し、大腸の腸内細菌により乳糖が発酵されることで多量のガスや酸が発生して、おなかがゴロゴロしたり、腹痛や下痢をする状態になります。乳糖不耐は、地球上の3分の2の成人が該当し、哺乳動物で成長に伴い自然に起こる変化です。

### 牛乳で おなかがゴロゴロする人に おすすめの摂取方法

栄養的な観点から、牛乳乳製品はぜひとも利用したい食品です。牛乳乳製品をとるとおなかがゴロゴロするという人におすすめの摂取方法をご紹介します。

#### 数回にわけて飲む

少しずつ数回にわけて飲むことで乳糖が分解しやすくなる。

#### 温めて、ゆっくり飲む

腸への刺激が弱まり、ラクターゼのはたらきも盛んになる。

#### 毎日飲む習慣をつける

腸内環境が改善され、乳糖の分解や代謝増進が期待できる(プレバイオティクス効果)。

#### 料理にプラスする

牛乳が苦手な人もとりやすく、料理にもコクが出る。

#### 代わりにヨーグルトやチーズを食べる

乳糖がヨーグルトは少なく、チーズは含まれないため、乳糖不耐が起こりにくい。

#### 乳糖を含まない、 または含量を抑えたミルクを試す

無乳糖乳(ラクトースフリーミルク)、乳糖含有率が約5分の1の低乳糖乳を試してみる。

ヨーグルトは乳酸菌による発酵によって乳糖の20~40%が分解されて減少しています。チーズは製造過程で乳糖の大部分がホエイ（乳清）に移行して取り除かれているので、乳糖不耐の人でも症状が出ずに摂取できる場合もあります。

また、最近の研究で、牛乳の摂取を少量から始めて徐々に量を増やすことによって、乳糖不耐の症状が緩和されるという報告もあります<sup>5)</sup>。

さらに、乳糖は乳児期の大切なエネルギー源であり、腸内環境の改善に有効とされる研究もあることから、乳糖の有用性についても改めて注目する必要があります。

### ●日本国内で行われた乳糖不耐が疑われる人への臨床研究

Jミルクの委託で行われた臨床研究<sup>5)</sup>によると、日常生活で牛乳・乳製品を摂取することにより、おなかに何らかの自覚症状が出る46人に対し、200mL牛乳摂取による単盲検比較試験（どのような牛乳を飲んだかわからないように行う試験）を行ったところ、牛乳で明らかな症状を訴える人は22人（48%）でした（図8）。また、乳糖を減らした牛乳を飲んで明らかな症状を訴える人は16人（34%）、2種類の牛乳を飲んでいずれも症状を訴える人は4人（9%）、いずれも症状が出ない人が4人（9%）でした。

ちなみに、乳糖吸収不全の確定診断である20g乳糖負荷試験（20gLBHT）を行ったところ、牛乳で明らかな症状が出た22人のうち陽性は19人で、陽性率は86%でした。

このように、乳糖を少なくした牛乳を飲んで消化器症状を訴える人が一定数存在することが明らかになりました。すなわち、乳糖を原因としない消化器症状を発現する人が一定数存在するという可能性はあるようです。

## (2) 乳たんぱく質などの乳成分 またはその分解物に対する不耐症状

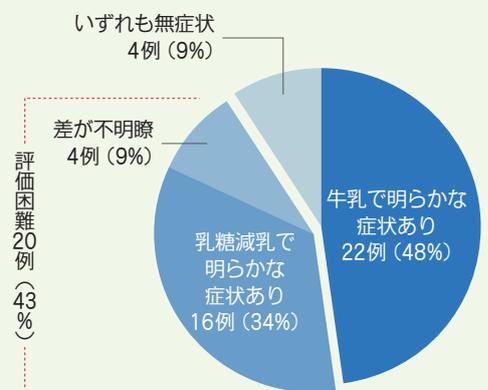
### カゼインの消化特性とは

乳たんぱく質は、前述のとおり、約80%を占める「カゼイン」と約20%の「ホエイたんぱく質」という2種類の乳特有のたんぱく質に大別できます。2つの乳たんぱく質には消化・吸収のスピードが異なるという特徴があります。

牛乳中のカゼインは胃に入ると「凝集」といって胃酸により固まり、「カード」と呼ばれるヨーグルト状になっていったん留まります。この現象が「牛乳は胃の中で固まるので消化されにくい」と誤解されることがありますが、実際は全く逆で、固まるからこそ消化が良くなります。一方、ホエイたんぱく質は胃酸で凝固しないために、カゼインより先に分解吸収されます。

牛乳摂取後の腹部不快感を訴える人の中には、このカゼインの

図8 200mL牛乳摂取による  
単盲検比較試験の結果（46例中）



出典：World J Clin Cases. 2023;11(4):797-808.

### 文献

- 5) Hasegawa M et al. Efficacy of incremental loads of cow's milk as a treatment for lactose malabsorption in Japan. World J Clin Cases. 2023;11(4):797-808.

消化特性が影響していることも指摘されています。それでは、 $\beta$ -カゼインの構造が異なるA1A2ミルクとA2ミルクでは、消化・吸収に違いはあるのでしょうか。

## 【A2ミルクに関する研究報告】

### カゼインの消化吸収速度の違いが 消化器症状に影響があるかは不明

2022年にニュージーランドで行われた臨床研究<sup>6)</sup>では、40人の被験者に対し種々の牛乳を飲んでもらい、30分間隔で3時間が経過するまで採血し、消化吸収されたたんぱく質の量を反映する血中アミノ酸濃度を測定しました。結果は、A1A2ミルクとA2ミルクを摂取して比較しても、血中アミノ酸濃度の変動において、消化吸収の違いは見られませんでした。また、A1A2ミルクとA2ミルク摂取後の被験者の消化器症状にも明確な差はありませんでした。

一方、A2 $\beta$ -カゼインは、A1 $\beta$ -カゼインよりも小さくて不安定なカゼインミセルを形成するといった報告<sup>7)</sup>や、A2ミルクで作ったヨーグルトでは、たんぱく質鎖がより細くより多孔性の微細構造であるため、A1A2ミルクで作ったヨーグルトに比べてゲル構造が弱いとする報告<sup>8)</sup>もあります。こうした報告を考えると、A2ミルクはA1A2ミルクに比べてたんぱく質が消化されやすい可能性があります。

また、このようなたんぱく質の物理化学的性質の違いだけでなく、動物実験モデル<sup>9)</sup>やヒト臨床調査<sup>10)</sup>においても、A2 $\beta$ -カゼインに比べてA1 $\beta$ -カゼインの胃排出速度が遅いことが報告されており、このことからA2ミルクはA1A2ミルクに比べて、たんぱく質の消化と吸収が早いことが推定されます。

ただし、このようなA2ミルクとA1A2ミルクの胃酸凝固カードの胃排出速度の違いが、「おなかがゴロゴロ」するような消化器症状にどのような影響をもたらすのかは、はっきりとはわかっていません。この点については、さらなる研究が必要です。乳たんぱく質、特にカゼインが消化不良を起こすことは考えにくく、可能性としては低いと考えられます。

### 乳たんぱく質分解物が

#### 一部の腹部症状に影響している可能性

牛乳を飲むと「おなかがゴロゴロする」などの消化器症状を訴える人で、乳糖以外が原因でそれが起こる場合のメカニズムははっきりとわかっていません。また、乳糖が原因で起こる消化器症状を助長するような因子があるのかについてもはっきりとはわかっていないのが現状です。ただ、腹部不快感は $\beta$ -カゼインから消化過程で派生するペプチド類に原因があるかもしれないという指摘があります。こうした可能性を明らかにするために、「A2ミルク」を用いた臨床研究がいくつか行われています。その概要について見てみます。

#### 文献

- 6) Prodhan UK et al. Circulatory amino acid responses to milk consumption in dairy and lactose intolerant individuals. *Eur J Clin Nutr.* 2022;76(10):1415-1422.
- 7) Raynes JK et al. Structural differences between bovine A1 and A2  $\beta$ -casein alter micelle self-assembly and influence molecular chaperone activity. *J Dairy Sci.* 2015;98(4):2172-2182.
- 8) Nguyen HTH et al. Differences in the yoghurt gel microstructure and physicochemical properties of bovine milk containing A1A1 and A2A2  $\beta$ -casein phenotypes. *Food Res Int.* 2018;112:217-224.
- 9) Barnett MP et al. Dietary A1  $\beta$ -casein affects gastrointestinal transit time, dipeptidyl peptidase-4 activity, and inflammatory status relative to A2  $\beta$ -casein in Wistar rats. *Int J Food Sci Nutr.* 2014;65(6):720-727.
- 10) Jianqin S et al. Effects of milk containing only A2 beta casein versus milk containing both A1 and A2 beta casein proteins on gastrointestinal physiology, symptoms of discomfort, and cognitive behavior of people with self-reported intolerance to traditional cows' milk. *Nutr J.* 2016;15:35.

## ● A2ミルクを用いた乳糖不耐症状を示す人を対象とした臨床研究

いわゆる乳糖不耐のような消化器症状を示す被験者を対象に、A1β-カゼインとA2β-カゼイン両方を含む従来のミルクとA2β-カゼインだけを含むA2ミルクを摂取させ、消化器症状などの発現をみる臨床研究がいくつか行われています。

いずれも、A1/A2ミルクの摂取で発現する消化器症状がA2ミルクの摂取では起こらなかったとしており、こうした臨床研究例が、A2ミルクの訴求点である「おなかにやさしい」の主たる根拠となっています。

ただ、前述のとおり、明らかに乳糖が原因で起こっている乳糖不耐の症状に対して、乳糖の含有量は従来の牛乳と比較して変わらないA2ミルクがどのようなメカニズムで消化器症状を緩和しているのか、乳糖が原因でないいわゆる「牛乳不耐 (Dairy intolerance)」のような人に対して、A1β-カゼインやA2β-カゼインがどのように関与するのかについて、科学的な根拠をもって十分に説明することはできていません。すなわち现阶段では各研究結果をみれば、「可能性はありそう」、ただし「確かなことはわからない」ということで、こうした研究結果を理解するには、さらなる研究が必要です。

### 研究報告1

2016年・中国<sup>10)</sup>

2016年に報告された中国での臨床試験では、乳糖不耐の症状を自己申告した中国人45人を対象に、A2β-カゼインたんぱく質だけを含む牛乳 (A2ミルク) またはA1とA2β-カゼインたんぱく質両方を含む牛乳 (A1/A2ミルク) を14日間摂取させ、その後14日間のウォッシュアウト (摂取休止) 期間を経て、それぞれ別の牛乳を摂取させるランダム化二重盲検クロスオーバー試験が行われました。その結果、A1/A2ミルクの摂取によって消化器の不快感、乳糖不耐のような症状の悪化が見られ、結腸および全腸の通過時間の延長と腸の炎症増加が確認されました。一方、A2ミルクの摂取では、ミルクを摂取していないベースライン時と比較して胃腸症状の変化は見られませんでした。

### 研究報告2

2017年・中国<sup>11)</sup>

2017年に報告された中国で行われた臨床試験では、乳糖不耐のような症状を自己申告した中国人600人を対象に、A2β-カゼインたんぱく質だけを含む牛乳 (A2ミルク) またはA1とA2β-カゼインたんぱく質両方を含む牛乳 (A1/A2ミルク) を、7日間のウォッシュアウト期間の前後に交互に1回摂取 (300mL) させるランダム化二重盲検クロスオーバー試験が行われました。

この研究は、結論として乳糖不耐の症状を自己申告した中国人被験者において、A2ミルクの摂取では、A1/A2ミルクの摂取時に見られる急性の胃腸症状が軽減されることを示しました。A2ミルクによる胃腸症状の軽減は、乳糖不耐の確定診断者だけでなく、自己申告のみで検査では乳糖不耐が確認できない被験者でも同様に見られました。これらの結果は、乳糖不耐の症状を自己申告している一部の人では、牛乳摂取後の胃腸症状が、乳糖そのものではなく、牛乳中のA1β-カゼインの存在に関連している可能性があることを示唆している、と考察されています。

### 研究報告3

2020年・米国<sup>12)</sup>

2020年に報告された米国における研究では、米国在住の乳糖消化不良者33名 (負荷試験による乳糖不耐症の確定診断者25名含む) を対象に、4つのタイプのミルクを1回ずつ摂取 (245mL) するクロスオーバー試験が行われました。4つのタイプのミルクは、A2β-カゼインのみを含む牛乳、ジャージー牛乳、従来の牛乳、乳糖を除去 (分解) した牛乳です。

乳糖不耐症確定診断者25名の分析結果から、A2β-カゼインのみを含む牛乳では、従来の牛乳と比較して、摂取後の顕著な下腹部痛が低減することが明らかになりました。なお、本来はA2β-カゼインのみを産生するはずのジャージー牛乳を摂取した後も、従来の牛乳と比較して乳糖不耐のような症状は軽減されませんでした。これはおそらく試験に用いたジャージー牛乳にある程度のA1β-カゼインが存在していたためと考察されています。A2β-カゼインのみを含む牛乳を摂取した後、これら乳糖不消化者で消化器症状が大幅に軽減され、不消化乳糖の腸への流入を示す呼気水素量も低下したとしています。

### 文献

- 11) He M et al. Effects of cow's milk beta-casein variants on symptoms of milk intolerance in Chinese adults: a multicentre, randomised controlled study. *Nutr J.* 2017;16(1):72.
- 12) Ramakrishnan M et al. Milk Containing A2 β-Casein ONLY, as a Single Meal, Causes Fewer Symptoms of Lactose Intolerance than Milk Containing A1 and A2 β-Caseins in Subjects with Lactose Maldigestion and Intolerance: A Randomized, Double-Blind, Crossover Trial. *Nutrients.* 2020;12:3855.

### (3) 乳アレルギー

#### 乳アレルギーは「乳由来」であれば変わらない対応を

乳アレルギーの特徴的な症状は、腹痛、下痢、嘔吐などの消化器症状の他に、かゆみやじんましんなどの皮膚症状がよく見られます。

乳アレルギーでは、摂取した牛乳中の乳たんぱく質に対して免疫系が反応し、症状が現れます **図9**。腹痛や下痢など乳糖不耐症とよく似た症状が出るがありますが、乳糖ではなく乳たんぱく質が原因です。一部の人は、未消化のまま腸管から吸収されたり、湿疹のある皮膚から侵入した乳たんぱく質に免疫系が反応したIgE抗体が作られると、牛乳を摂取した際にアレルギー症状を引き起こすことがあります。重篤な場合はアナフィラキシーショックを起こして命にかかわることもあります。これは、乳たんぱく質をアレルゲンとして、体内にすでにIgE抗体ができており、そこに摂取して吸収された乳たんぱく質が反応することで起こります。

209個のアミノ酸配列中の1つのアミノ酸が異なるだけのA1β-カゼインとA2β-カゼインのアレルゲン性（免疫系に認識されてアレルギー反応を誘発する性質）に違いがあると考えるのは難しく、従来の牛乳とA2ミルクとで誘発されるアレルギー症状に違いはないと言えるでしょう。

食物アレルギーの食事対応は、専門医による診断と指示のもと適切に行うことが大切です。牛乳アレルギーの対応として安易にA2ミルクを選択するのは非常に危険であり、避けなければなりません。

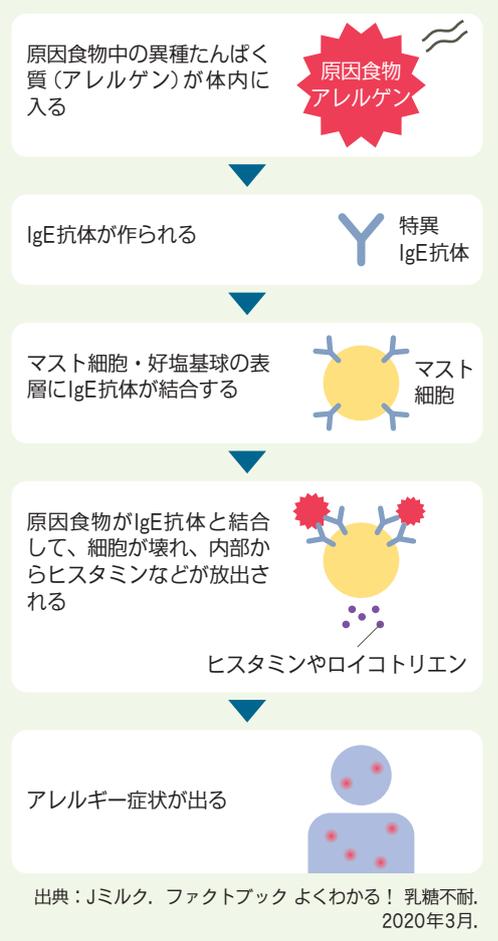
### (4) その他

#### 先入観や暗示による影響、腸疾患の場合も

多くの場合「乳糖不耐」は、主観的な判断によるものであるため、牛乳を飲むとおなかがゴロゴロすれば「乳糖不耐」だと思い込んでいることもあるようです。また、「過敏性腸症候群」や「炎症性腸疾患」などの腸疾患が潜んでいる場合も考えられます。

しかし、乳糖が原因でない消化器症状を発現する、「牛乳不耐」と呼ばれるような人が一定数存在する可能性は確かにあり、こうした消化器症状が発現するメカニズムについて解明していく必要があります。さらに、こうした消化器症状に、A1β-カゼインやA2β-カゼインがどのように関わっているのかについても、現状、「わかっていないこと」が多く、今後の研究の進展が期待されます。

**図9** 食物アレルギーの発症メカニズム



# 4

## これまでのA1β-カゼインとA2β-カゼイン研究について

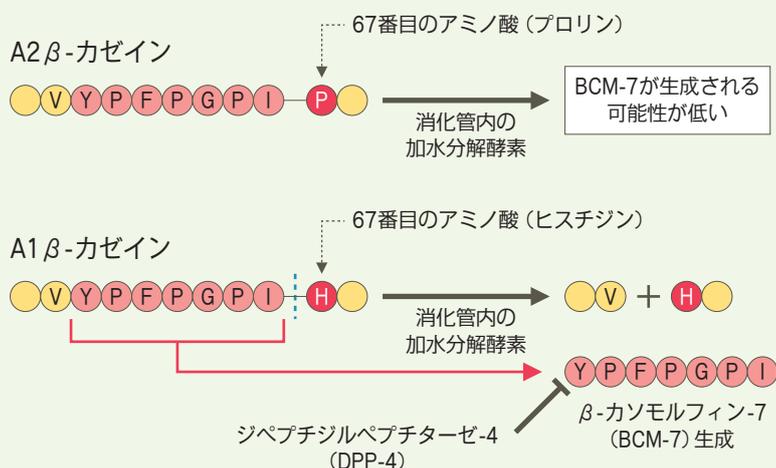
### (1) A1β-カゼインとA2β-カゼインの違いは何か

A1β-カゼインとA2β-カゼインの違いは、β-カゼインを構成する209個のアミノ酸のうちN-末端から数えて67番目がA2型はプロリン (Pro)、A1型はヒスチジン (His) になっている点です。

β-カゼインの消化過程では、ヒスチジンのペプチド結合は胃ペプシンや腸トリプシンなどのたんぱく質分解酵素によって切断されやすいため、A1型の場合、67番目より上流の7つのアミノ酸残基（60～66番目のアミノ酸）が切り出されて、β-カソモルフィン-7 (BCM-7) というペプチドが生成されます **図10**。一方、A2型は67番目がプロリンであるため、たんぱく質分解酵素の影響を受けにくく、BCM-7が生成されないとされています。ただし、これは試験管の中での確認で、実際に胃や小腸でBCM-7が生成し、それが小腸から吸収されて血中に存在したり、腸管に刺激を与えたりすることについての臨床的な検証は十分に行われていないので注意が必要です。

BCM-7は、オピオイド活性を有するペプチドとして知られていますが、それ以外にも異なった配列のβ-カソモルフィンも数種類ほど生成されます。しかし、BCM-7ペプチドなどは腸管内のペプチド分解酵素であるジペプチジルペプチダーゼ-4 (DPP-4) によって速やかに分解されると考えられています **図10**。さらに、胃や小腸での消化過程で生じたBCM-7などは、アミノ酸が7残基という大きなペプチドですので、通常では実際に腸管から直接吸収されることも考えられません。そのため、

**図10** 胃腸管でのBCM-7の生成 (予想図)



- ①β-カゼインを構成するアミノ酸の鎖の67番目のアミノ酸は、A2型ではプロリン残基であるが、A1型ではヒスチジン残基に置き換わっている。
  - ②消化管内の加水分解酵素により、A1型では67番目以前の7つのアミノ酸から構成される鎖が切り離され、β-カソモルフィン-7 (BCM-7) が生成される。
  - ③BCM-7は、ジペプチジルペプチターゼ-4 (DPP-4) という酵素により腸内では分解される。
- (Kayら、2021)

出典：J Nutr. 2021;151(5):1061-1072 より一部改変

腸管の表層に存在する受容体などに認識されることで、自律神経に働きかけ、不快症状の原因となっていることが推定されます。しかし、臨床的なデータや論文は少なく、メカニズムは明らかになっていませんので、今後の詳細な研究が必要です。

## (2) $\beta$ -カソモルフィン-7(BCM-7)の研究について

BCM-7は、モルヒネのような物質（オピオイド様活性）の一つとして知られており、胃腸管および体全体において発現している細胞表面受容体タンパク質（ $\mu$ -オピオイド受容体）を活性化することによって、神経系、内分泌系、および免疫系に影響を与える可能性が知られています。動物実験では、鎮痛、鎮静、血圧のわずかな低下、吐き気、呼吸の低下、腸の運動性の低下などの作用が報告されています。

牛乳の消化過程において、A1 $\beta$ -カゼインからはBCM-7が生成されますが、A2 $\beta$ -カゼインからは生成されないと推定されます。したがって、牛乳の摂取によって一部のヒトに生じる“乳糖不耐のような”消化器症状の発現に関連する原因として、A1 $\beta$ -カゼインミルク（A1ミルク）から生成するBCM-7を指摘する報告があります。また、A1型とA2型の $\beta$ -カゼインの両方を含む牛乳（通常の牛乳）の摂取と比較した場合、A2 $\beta$ -カゼインだけを含む牛乳（A2ミルク）の摂取は、胃腸症状の軽減などの健康へのプラスの効果と関連しているとする報告もあります。

しかし、これらの研究報告は、研究によって結果に一貫性がないこと、A1およびA2 $\beta$ -カゼイン摂取量を評価する方法が明確でないことなど、これまでのところ、A1 $\beta$ -カゼインおよびA2 $\beta$ -カゼインがヒトの健康に及ぼす影響についての最終的な結論は得られていません。

最も重要なことは、BCM-7がヒトの消化管内で生成されたという確実な証拠は今のところ見つかっていない点です。仮にBCM-7がヒトの消化管内で生成されたとしても、ジペプチジルペプチダーゼ-4（DPP-4）という酵素によって速やかに分解されることなどから、腹部不快症状の原因がBCM-7であると断定することは現段階ではできません。

## (3) システマティックレビューによるA2ミルクの有用性に関する評価

システマティックレビューとは、関連するランダム化介入研究の文献をみれなく調査し、質の高い適切な研究を選択したうえで、それらのデータを総括して評価したもので、最もエビデンスレベルが高い評価とされています。A1 $\beta$ -カゼインあるいはA2 $\beta$ -カゼインと疾病との関連について、いくつかのシステマティックレビューの結果が報告されています。

システマティックレビューでの検討では、総じてまだまだ科学的証拠が不十分であり、明確な結論は出せないとしています。最終的かつ確定

的な結論を導くには、より大規模で長期間の質の高い介入研究に加えて、体内での作用機序を明らかにする機能研究が必須だと考えられます。

### システマティックレビュー 1

#### 消化機能との関連について<sup>13)</sup>

2017年にBrooke-Taylorらによって報告されたレビューによると、「ヒトでは、限られた数の研究から、A1 ( $\beta$ -カゼイン) 摂取が腸内通過の遅延 (1件の臨床研究) および軟便 (2件の臨床研究) にも関連しているという証拠があります。さらに、消化器の不快感は、A1 ( $\beta$ -カゼイン) ではヒトの炎症マーカーと相関しますが、A2 ( $\beta$ -カゼイン) では相関しません。さまざまな集団や食事環境において、A2 ( $\beta$ -カゼイン) と比較したA1 ( $\beta$ -カゼイン) の消化機能への影響を調査するには、ヒトにおけるさらなる研究が必要です。」としています。

### システマティックレビュー 2

#### 健康との関連について<sup>14)</sup>

2019年にKüllenberg de Gaudryらによって報告されたレビューでは、「このシステマティックレビューでは、ヒトを対象に実施され、2017年10月より前に発表された臨床試験および疫学研究から得られた証拠は、A1 $\beta$ -カゼインと比較してA2 $\beta$ -カゼインが消化器の健康に利益をもたらすという中程度の確実性を提供するが、その他の健康上の利点についての信頼性は低いまは非常に低いレベルに留まっています。よりまれな健康への悪影響を含む、A1ミルクのさらなる利点と潜在的な害をより明確に評価するには、より多くの参加者を含む質の高いランダム化臨床試験 (RCT) が必要であり、十分に長い介入期間と追跡期間をとって、関連する結果を測定する必要があります。このような研究は、A1およびA2ミルクの健康への影響に関する信頼できる情報を人々に提供し、将来の公衆衛生上の推奨事項を知らせるために不可欠です。」としています。

### システマティックレビュー 3

#### 健康との関連について<sup>15)</sup>

2021年に報告されたDaniloskiらによるレビューでは、「現在のデータに基づくと、A1 $\beta$ -カゼインミルク、またはA2 $\beta$ -カゼインミルクの摂取と健康関連に関する公衆衛生当局の推奨に値する十分な証拠はありません。興味深いことに、A2 $\beta$ -カゼインミルクと健康との間の科学的証拠の有無に関係なく、このミルクは市場で注目を集め続けています。こうした状況を踏まえ、これらの同定されたペプチドや遺伝子変異体の作用機序とその影響を理解するには、さらなる機能研究が必要です。A2 $\beta$ -カゼインミルクは人間の健康やミルクの技術機能的特性に影響を与える可能性があります。」としています。

## (4) A1/A2ミルクに関する公的機関の見解

### オーストラリア・ニュージーランド食品基準機関 (FSANZ)

2011年8月にオーストラリア・ニュージーランド食品基準機関 (FSANZ) により公表されたA1ミルクとA2ミルクに関するファクトシートの概要は、以下のとおりです。

#### Q. A2ミルクの機能性

A. A2ミルクは子供の自閉症だけでなく、成人の統合失調症、糖尿病、心疾患を防ぐという「主張」がある。2011年4月に乳幼児突然死症候群 (SIDS) 事例と血中の高レベルの $\beta$ -カソモルフィ

#### 文献

- 13) Brooke-Taylor S et al. Systematic Review of the Gastrointestinal Effects of A1 Compared with A2  $\beta$ -Casein. *Adv Nutr.* 2017;8(5):739-748.
- 14) Küllenberg de Gaudry D et al. Milk A1  $\beta$ -casein and health-related outcomes in humans: a systematic review. *Nutr Rev.* 2019;77(5):278-306.
- 15) Daniloski D et al. Health-related outcomes of genetic polymorphism of bovine  $\beta$ -casein variants: A systematic review of randomised controlled trials. *Trends in Food Science & Technology.* 2021;111:233-248.

ン-7 (BCM-7) との関連を示す1件のポーランドの研究をメディアが報告した。

**Q.** FSANZはこの主張をどう考えているか

**A.** FSANZは、この2種のミルクの健康影響を比較できる入手可能な証拠を検討してきた。FSANZはさらなる研究が進行中であることに留意し、試験されているいくつかの興味深い仮説がある一方、この主張を裏付ける十分な証拠がないと結論づけた。

- ・FSANZは、2011年のポーランドの研究を評価したが、その結果は、研究者らが示唆するような関連を示していないことを見いだした。
- ・2009年に、欧州食品安全機関 (EFSA) も、ミルクや他の食品中のBCM-7および関連ペプチドによる健康への影響の可能性に関する科学的証拠の詳細な見直しを行った。EFSAは、BCM-7の食事からの摂取、関連したペプチドあるいはそれらのたんぱく質前駆体とされるものと、心臓病や糖尿病のような非伝染性疾患との間に因果関係がないと結論づけた。

**欧州食品安全機関 (EFSA)**

2009年にまとめられたEFSAレポート (European Food Safety Authority Scientific Report) <sup>16)</sup> では、「BCM-7の摂取と各種疾病との因果関係は認められない」と宣言しています。

その因果関係を否定する主たる根拠となったのが、このペプチドの腸管粘膜や血液脳関門での通過性が疑問視されたためです。たんぱく質は消化によってアミノ酸まで分解されて吸収されますが、2~3個のアミノ酸が結合したペプチドであれば、腸管から吸収されます。しかし、BCM-7のようにアミノ酸が7個結合した長いペプチドが腸管上皮の細胞層を通過するメカニズムは明らかになっていません。たとえ通過したとしても、その量はわずかだと考えられます。

また、BCMはジペプチジルペプチダーゼ-4 (DPP-4) によって消化管内ですぐに分解されることが知られており、BCM-7が分解されないまま腸管粘膜や血液脳関門を通過することはできないと考えられます。また、通過したとする臨床的な証拠はありません。

さらに、このレポートにおいて、BCM-7と乳幼児突然死症候群 (SIDS)、自閉症との明確な関連を示すエビデンスは見いだせなかったとしています。A1β-カゼインの摂取と心血管疾患や糖尿病などのいわゆる非感染性疾患との関連を裏付ける明確な証拠も見つかっていないことから、BCM-7や関連ペプチドはこれらの疾患の原因にはならないと結論づけています。

文献

16) European Food Safety Authority (EFSA). Review of the potential health impact of β-casomorphins and related peptides. EFSA Scientific Report. 2009;231:1-107.

# 5

## A2ミルクの乳凝固性と チーズ製造に与える影響

2022年にイタリアの研究グループによって、 $\beta$ -カゼインの遺伝子型と牛乳の凝固性やチーズ収量との関連についての研究が報告されました。

それによると、「A2A2遺伝子型が凝固性およびチーズの収量に関連する形質に影響を与えており、BA1遺伝子型が最高のチーズ製造能力と関連している一方で、A2A2遺伝子型の牛乳ではレンネット凝固時間の延長、生成カードの硬度低下、凝固特性の悪化と歩留まりが低下することが判明しました。ただし、A2A2遺伝子型の頻度が低いことを考えると、この発見は追加の調査が必要としています。このA2ミルクの凝固特性がわずかに悪化する傾向が、より高い消化率と消化管に対するより好ましい生理機能に関連していることが証明できれば、乳業界は新鮮な消費を目的としたミルクとしてA2ミルクを支持するであろうが、A2ミルクをチーズ製造に使用することは勧められない」としています。A2ミルクは技術的特性の悪化に関連し、その結果、チーズ製造プロセスの効率が低下する可能性があるためです<sup>17) 18) 19)</sup>。

このように拙速にホルスタインの遺伝子型をA1型からA2A2型に変更することは、チーズ製造に対しては非効率化をもたらす危険性があります。

チーズは国内需要の8割を輸入が占めているため、生乳の需給改善にチーズの国内生産が重要になってくると考えられます。特に北海道で生産される生乳の約8割は加工向けとして処理されることから、A2ミルクへの転換を進める前に、こうしたカード化しにくい特性についても十分に検討しておくことが必須であると考えられます。

### 文献

- 17) Bisutti V et al. The  $\beta$ -casein (CSN2) A2 allelic variant alters milk protein profile and slightly worsens coagulation properties in Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 2022;105(5):3794-3809.
- 18) Vigolo V et al.  $\beta$ -Casein A1 and A2: Effects of polymorphism on the cheese-making process. *J. Dairy Sci.* 2023;106(8):5276-5287.
- 19) Gai N et al. Influence of  $\beta$ -casein genotype on physicochemical properties and functionality of bovine milk. *J. Dairy Sci.* 2023;106(12):8357-8367.
- 20) Daniloski D et al. What is the impact of amino acid mutations in the primary structure of caseins on the composition and functionality of milk and dairy products? *Curr Res Food Sci.* 2022;5:1701-1712.

### ヨーグルトの場合はどうか？

A2ミルクが、ヨーグルトをはじめとしたその他の乳製品に及ぼす影響はどのようなのでしょうか？

$\beta$ -カゼインA2型を含む牛乳は、空気を含んで泡立ち、泡を保持する「泡形成能力」は高くなりましたが、液体が固まる「ゲル化」が発生するのに長い時間が必要でした。ヨーグルト発酵終了時の「貯蔵弾性率」（硬さの指標）は、 $\beta$ -カゼインA2型ミルクゲルでは、 $\beta$ -カゼインA1型ミルクゲルと比較して大幅に低くなり、より多孔質な微細構造と、より

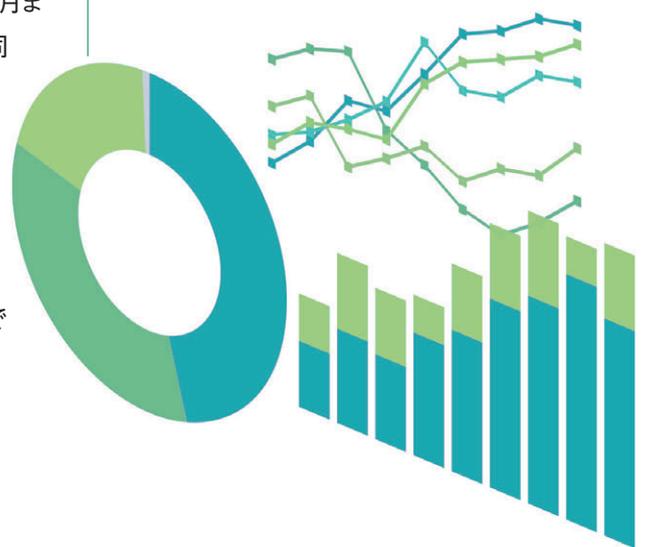
細いタンパク質鎖を有していることから、ゲル強度の低いことが判明しました。したがって、A2ミルクは、A1ミルクと比較すると柔らかくクリーミーなヨーグルトの製造に適している可能性があります。逆に、ゲル強度が高く安定した硬さのあるカードのヨーグルト製造には向かない可能性も考えられます。こうしたA2ミルクのゲル化特性は、新しい乳製品の開発や、乳製品加工をする際の向き不向きを理解するのに役立つかもしれません<sup>8) 20)</sup>。

## 6

## A2ミルクのマーケット動向

世界のA2ミルクに関するマーケット動向は、オーストラリア、ニュージーランド、アメリカを中心に、最近では中国やインドなどのアジア市場での市場規模が拡大し、2023年に日本円にして約2兆円、2032年までに約7兆円規模になるという市場規模予測を、民間調査会社のグローバルインフォメーションが2024年1月に公表しています。ただし、EUやイギリスなどのヨーロッパ諸国では、A2ミルクに関する市場の動きはあまり聞かれませんが、

国内においては、『日経トレンディ 2023年12月号』（2023年11月4日発売）で、2024年のヒット予測ベスト30を掲載し、10位に「A2ミルク」をあげ、「日本でもブレイクする可能性は高い」としています。実際に、最近のA2ミルクの販売動向について、調査会社の（株）インテージによると、1カ月の販売本数が2023年11月から2024年2月までに15倍以上も増加した製品もあってわかりました。また、同年3月には日本A2ミルク協会が乳業メーカーと「日本A2協会牛乳」の発売を開始しました。他にもA2ミルクのオーガニック牛乳の販売を開始したメーカーや、今後A2ミルク市場への参入を発表しているメーカーもあり、今後の国内のA2ミルク市場についてもある程度は活発化することが予想されます。しかし、国内の大手乳業3社による市場への参入の動きは2024年3月現在ではなく、将来的にどの程度の市場規模になるかは予想できません。



## 「A2ミルク」のこれから

牛乳乳製品は、人間の食生活において古くから重要な栄養源として受け入れられ、世界中の社会と食文化に深く根付いてきました。A2ミルクへの関心の高まりも、「牛乳乳製品をより積極的に食生活にとり入れたい」という消費者の「期待」の表れとも考えられます。

大切なことは、牛乳乳製品の高い栄養価は、普通のミルク（A1とA2が混在）か、A2ミルクかで変わるものではないということです。そのなかでA2ミルクには、これまで牛乳を摂取していなかった一部の消費者層にその価値理解を広げる可能性があります。ただし、A2ミルクとヒトの健康との関連については、科学的証拠（エビデンス）がまだまだ不十分で、チーズやヨーグルトなどの乳製品加工においては課題がありそうなことも事実であり、今後の継続的な研究が必要です。それゆえ、話題先行ではなく、研究の蓄積に基づく知見と情報を、Jミルクは専門家や関係者との連携により、継続的に収集・提供していきたいと考えています。

監修

東北大学名誉教授

齋藤忠夫 (さいとう・ただお)

本件に関するお問い合わせ先

一般社団法人 Jミルク

学術調査グループ

TEL : 03-5577-7494

URL : <https://www.j-milk.jp/>

E-mail : [info@j-milk.jp](mailto:info@j-milk.jp)

2024.3 (改訂版 2024.9)

2023年度 生乳需要基盤確保事業 独立行政法人農畜産業振興機構 後援



※本文中におけるデータ、コンテンツにつきまして、メディアに転載される際には、転載許可をご確認いただく必要がございます。

本資料に記載されております画像や有識者紹介につきましては、承諾が必要な場合がございますので、WEB、広告などに無断転載されることのないよう、お願い申し上げます。