

# メディアミルクセミナー

主催: 社団法人 日本酪農乳業協会 <http://www.j-milk.jp/>  
後援: 農林水産省・独立行政法人 農畜産業振興機構

セミナー事務局 (株) トークス内 〒102-0074 東京都千代田区九段南4-8-8 日本YWCA会館  
TEL (03) 3261-7715・FAX (03) 3261-7174

No.16

## 牛乳のウソ、ホント

～ 人間にとって牛乳を飲む意味は？牛乳の成分とその機能を知る ～

東京大学大学院農学生命科学研究科教授  
清水 誠先生

牛乳はからだにいいのか、悪いのか・・・情報があふれ、消費者は混乱しています。そこで、食品の機能について長年研究されてきた東京大学大学院農学生命科学研究科の清水誠教授に、牛乳の成分とその機能、そして人間が牛乳を飲む意味を伺いました。また、昨今の牛乳をめぐる風評についてもお話いただきました。

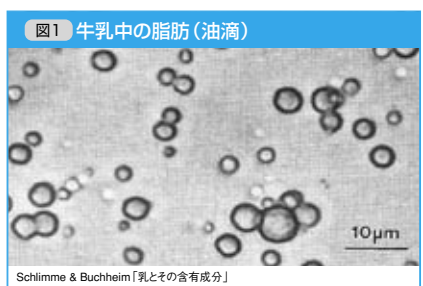
### 整腸を助ける乳糖、エネルギー源となる乳脂肪

昨今、何を食べてもからだにいい、あるいは健康に悪いという短絡的な話題が多いように思います。その食品がどういいうものであるかを知るためには、成分を知っておく必要があります。

まず、ふだんから飲んでる牛乳がどういいうものであるかを復習してみます。

光学顕微鏡では、脂肪（油滴）は丸い玉として見えます（図1）。脂肪は一般の牛乳には約3.6%含まれています。さらに細かく見える電子顕微鏡では、脂肪の白い粒に加え、タンパク質（カゼイン）とカルシウムを中心とするミネラルが凝集してできる「カゼインミセル」が黒い粒子として見えます。カゼインは約2.6%、ミネラルは0.7%あり、それ以外に牛乳には乳糖が4.5%、カゼインとは違う乳清タンパク質が0.6%、さらに微量のビタミンがあります。

牛乳中には10～12%の固形分があり、実は野菜のキュウリより水分が少ないのです。牛乳はそれだけ栄養が含まれたり



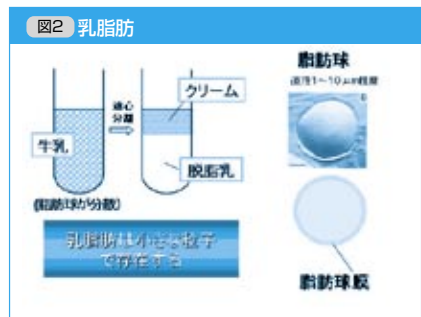
った食品であるといえます。

乳糖はガラクトースとグルコース（ブドウ糖）が結合したもので、自然界では牛乳のみに含まれる糖です。乳糖分解酵素ラクターゼによってガラクトースとグルコースに分解されます。

乳糖の栄養学的特性としては、エネルギー源である（4kcal/g）、腸内の乳酸菌の発育を助ける＝整腸作用につながる、腸の中が弱酸性になり、腸内のカルシウムの吸収を助ける、といった点が挙げられます。

食品学的特性としては、乳糖がなければヨーグルトやチーズを作ることができません。これらを作るのに必要な乳酸菌のような微生物は、乳糖を栄養源として要求するからです。

乳脂肪は先に述べたように油滴の形で小さな粒子として存在し、牛乳を遠心分離すると脂肪の生クリームとなって浮いてきます（図2）。電子顕微鏡で見ると、クリームには直径約1～10μmの油滴が集まっています。油滴の周りに脂肪球膜という膜ができていて、お互いに融合したりしないのです。

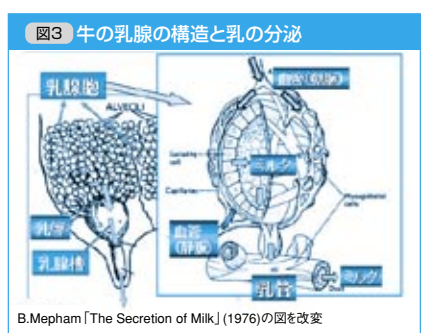


### プロフィール

清水誠 (しみずまこと)  
東京大学大学院農学生命科学研究科教授、日本動物細胞工学会会長。1977年東京大学大学院農学系研究科博士課程修了（農学博士）。東京大学農学部助手、静岡県立大学食品栄養科学部助教授などを経て、1996年東京大学大学院農学生命科学研究科応用生命化学専攻教授。専門は食品科学。著書は『タンパク質分解物、“機能性食品の事典”』（朝倉書店）ほか多数。

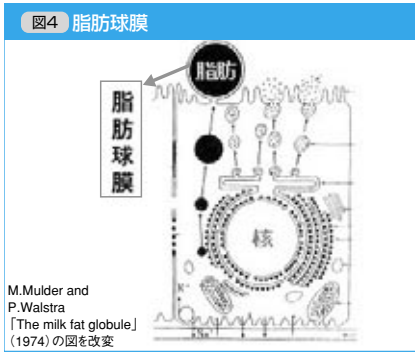
この形には、巧みな哺乳類のメカニズムが関わっています。

牛の乳房の中には乳腺と呼ばれる小さい袋がたくさんあります（図3左）。この袋は乳腺上皮細胞の層でできています。周りには1日に数千～1万リットル血液が流れ、その栄養分が細胞内に取り込まれて、牛乳のタンパク質、乳糖、脂質などが合成されます（図3右）。合成された乳糖やタンパク質は細胞から出て袋にたまった後、乳管を通して、本流として集まり、乳頭から出てきます。



一方、脂肪滴は細胞内で集まってだんだん大きくなり、乳腺上皮細胞から出るときに、まるで包み紙で包まれるように細胞膜に覆われます（図4）。この膜のために脂肪は分離しないで、いつまでも油滴のままです。

乳脂肪の役割としては、エネルギー源となり、体内に不可欠な脂肪酸・コレステロールを供給するという栄養的な特性が挙げられます。また、バター・クリームの原料となる、チーズなどの風味形成

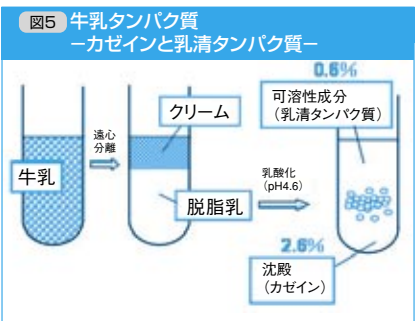


に必要という食品学的特性もあります。牛乳に限らず、脂肪の主成分はグリセリンに脂肪酸が3個ついているトリグリセリドで、脂肪酸の性質が栄養的にも食品的にもいろいろな意味を持ちます。脂肪酸の性質は、炭素の数、二重結合があるかないか、あるとすればいくつあるかで異なります。

牛乳は短い脂肪酸から長い脂肪酸まで幅広く分布し、炭素が14~18個くらいが一番多く、二重結合（不飽和結合）を1個持っているものが非常に多いという特徴があります。一方、大豆はほとんどが長い脂肪酸で、不飽和結合が2個あるリノール酸などが多くなっています。

**牛乳のタンパク質は、必須アミノ酸のバランスがいい**

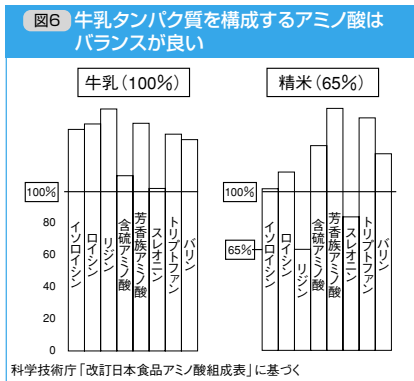
牛乳の重要な成分であるタンパク質はその約8割がカゼインで約2割が乳清タンパク質です。脱脂乳にお酢など酸性の物質を加えてpH4.6くらいにするとタンパク質の一部が凝集し、固まって沈みます。これがカゼインで、牛乳の2.6%くらいあり、沈まないものが乳清タンパク質です（図5）。この性質の違いは大きな意味を持ちます。



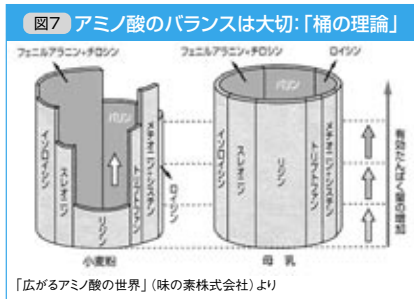
牛乳タンパク質の栄養学的特性は、必須アミノ酸を多く含み、消化性が高いこと、カルシウムの運び屋となることです。また、食品学的特性はチーズやヨー

グルトの素材となることです。逆にいうと、これらの食品はカゼインがないと存在しません。

アミノ酸はバランスがよくないと栄養的に役に立ちません。牛乳のタンパク質は必須アミノ酸のすべてが必要量を超過して存在する一方、お米はリジンが少ないなど、バランスに凹凸があります（図6）。



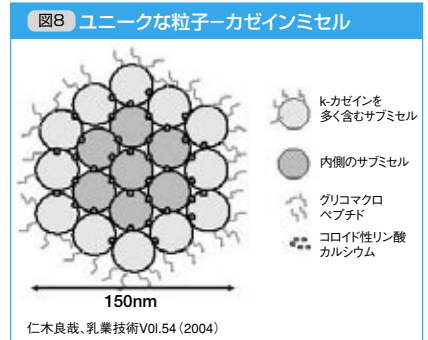
有名な“桶の理論”は、それぞれのアミノ酸を桶の材料の板とみなし、アミノ酸バランスを見るものです。アミノ酸のバランスに凹凸があると、桶に例えた場合に一番低い板のところまでしか水が貯められないのと同じで、一番少ないアミノ酸にあわせて栄養価が決まってしまう。母乳は赤ちゃんにとって完全なアミノ酸バランスであるのに対し、小麦のタンパク質ではアミノ酸にばらつきがあり、水を注ぐと水がたまりません（図7）。こうしてみると牛乳はアミノ酸バランスがいいことがわかります。



それだけでなく、消化性がよいのも特徴です。タンパク質はそのままでは消化酵素がアタックしても切れない構造を持っていますが、食品の場合は加熱して変性させると消化性が高くなり、栄養になります。牛乳のタンパク質の8割を占めるカゼインはもともと変性した構造を持っており、残り2割の乳清タンパクは加熱すれば消化性が上がります。

カゼインはカゼインミセルという粒子の構造を取っており、カゼインミセルはサブミセルと言われる、サイズ150 nm

(1μmの数分の1) くらいの粒子が集まっています（図8）。サブミセル同士の間をつなぎあわせているのはリン酸カルシウムで、カゼインミセルはカゼインというタンパク質同士をカルシウムとリンが結びつけているのです。言い換えると、カゼインミセルはタンパク質とカルシウムとリンがリッチに凝集されている塊で、牛乳はすぐれたタンパク質、ミネラルの供給食品といえます。



例えば、牛乳コップ一杯（200ml）を飲んだときの栄養充足率を見ると、18~29歳の女性ではカルシウムの1日の所要量の37.8%を摂ることができます。カルシウム源としては、ひじきなども挙げられますが、実際に食べる量で換算すると、カルシウムを摂るには牛乳が一番です。カルシウムは吸収率が大切で、牛乳は40%であるのに対し、小魚は33%、野菜は19%、と低くなり、その意味からも牛乳は優れた食品です。

ビタミンは、種類によっては1日の所要量の10~30%を補強してくれます（図9）。エネルギーの充足率は7.7%で太るとはいえません。タンパク質と炭水化物は12.4%、脂質は15.6%です。

図9 コップ一杯(200ml)のビタミン充足率

ビタミン A	14.8%
ビタミン D	24.4
ビタミン E	2.5
ビタミン K	7.3
ビタミン B1	10.0
ビタミン B2	31.0
ビタミン B12	25.0
パントテン酸	22.8

●栄養充足率:成人女性(18~29才)

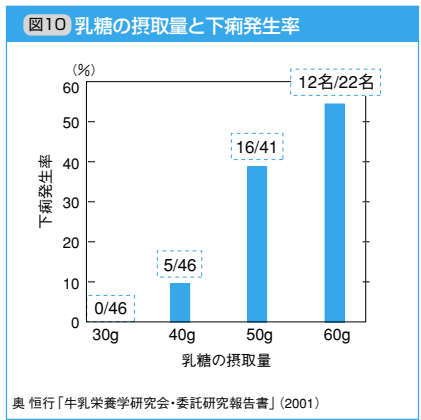
牛乳・乳製品健康づくり委員会「牛乳と健康」のデータに基づく

**牛乳の短所は乳糖不耐症とアレルギー**

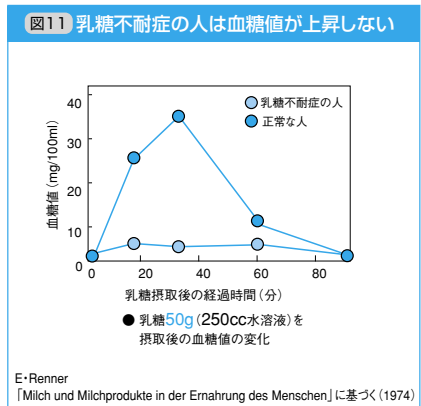
ただし、牛乳にはもちろん短所もあります。

ひとつは乳糖不耐症で、牛乳を飲むとおなかゴロゴロ鳴ったり、下痢をしたりするもので、アジア人に多く見られます。原因は乳糖分解酵素ラクターゼの不足で、乳糖のグルコースとガラクトースが結合したまま吸収されずに腸に残ります。そうすると腸の浸透圧が上昇して水が入ってきたり、細菌がエサだと思ってガスを発生し、おなかを張らせたり下痢を起こしたりします。

水に溶かした乳糖を飲ませてどのくらいで下痢が起こるかを見た実験結果があります(図10)。それによると、乳糖30g(牛乳700ml相当)ではひとりも下痢を起こさないため、コップ1~2杯の牛乳では多くの場合、問題がないといえます。



パラドックスのようですが、乳糖不耐症の人は牛乳を飲んでも乳糖からブドウ糖を吸収できず、血糖値が上昇しないというデータもあります(図11)。そのため、糖尿病の人は牛乳を飲んでも大丈夫だという学者もいますが、これはいいのか悪いのかわかりません。



牛乳を飲むとおなかゴロゴロする、といったような乳糖不耐症の人でも少しは乳糖分解酵素があるので、①一度に多量に飲まないで、分けて飲む、②牛乳を

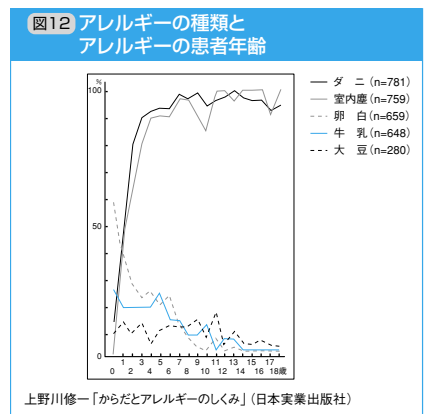
温めて飲む、③乳糖を少量にした牛乳を利用する、④乳糖が分解されているヨーグルトやチーズを食べる、⑤できるだけ毎日牛乳を飲む習慣をつけ、腸内の乳酸菌を増やして処理をしてくれるようにする、といった工夫で牛乳を摂ることができるようになります。

もうひとつの牛乳の短所は、牛乳アレルギーです。アトピー性皮膚炎、腸炎、下痢、喘息などの症状を引き起こします。少量の牛乳を飲んで下痢をする人は、乳糖不耐症でなくてアレルギーである可能性があります。

しかし、これによって牛乳を危険な食品だと考えることはありません。

食物アレルギーを起こす食品とその原因物質としては、牛乳のαs-カゼイン、β-ラクトグロブリンのほかに、鶏卵のオボムコイド、オボアルブミン、小麦のグルテニン、そばの24kDタンパク質、えびのトロポミオシン、Antigen II、落花生のAra h1、Ara h2、大豆のGM30K、コングリシニン、米の16kDグロブリンなどが挙げられます。これらはいずれも日常よく食べる食品です。たくさん食べる分だけアレルギーのリスクが高くなるので、免疫系が破綻すればふだん食べているものに対してアレルギーが起こりやすいのです。牛乳に限った話ではなく、食品全体に起こる問題です。

牛乳アレルギーは、赤ちゃんには4人にひとり見られますが、その後は年齢が上がると減り、中学生くらいでほぼ緩解します(図12)。



このように、乳糖を分解する酵素を持たない方や、アレルギーを引き起こしやすい体質の方にとってはある種のリスクがありますが、栄養素が豊富に含まれる、吸収されやすい仕組みを持っているという長所から見れば、牛乳は一般的には大きな問題のない食品と考えられます。

**栄養成分に加え、生体調節を担う成分も豊富**

牛乳には、生体調節機能を持つ成分も含まれています。例えば、骨の強化に役立つ成分、腸内細菌を改善する成分、感染防御作用を持つ成分、免疫系を活性化させる成分、睡眠を促進する成分などです。実際に飲んで効くかは明確でないものもありますが、いろいろな報告が出ています。

その一例として、抗菌・免疫増強作用を持つラクトフェリン、抗炎症作用を持つα-ラクトアルブミン、骨形成を助けるシスタチンのような機能性タンパク質があります。

また、機能性ペプチドとして、カルシウム吸収を高めるCPP(カゼインホスホペプチド)、骨形成を助けるキニノーゲン由来ペプチド、血圧上昇を抑えるACE阻害性ペプチド、抗菌作用を持つラクトフェリン、コレステロール値の上昇を抑えるラクトスタチン、免疫増強作用を持つペプチドなどが世界各国で発見されています。

カルシウムの腸管吸収を促進する成分は歴史的に早く見つかったものです。

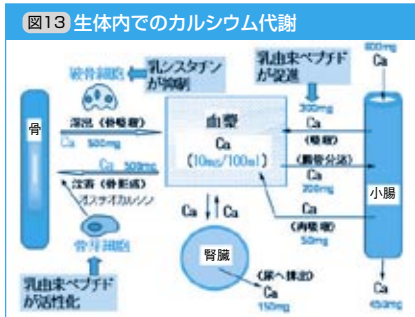
カルシウムの腸管吸収の仕組みは案外複雑で、腸の細胞にあるカルシウム輸送タンパク質が重要です。活性型ビタミンDを摂るとカルシウム輸送タンパク質の量が増え、吸収が促進されます。胃の中は酸性ですが、小腸内を進むにつれてpHがだんだん上がり、カルシウムなどは不溶性の塩を作り、吸収されずに体外へ排出されてしまいます。

しかし、CPPはカルシウムを結合してその可溶性を保つ働きがあることがずいぶん前にわかってきました。カゼインの中にある、セリンにリン酸がくっつくという特殊な配列構造がその機能を持っており、この配列は牛だけでなく哺乳類では遺伝子的に保存されていて、変異を起こさないようになっています。

また、牛乳に含まれるキニノーゲン由来ペプチドは骨を作る骨芽細胞を活性化させ、シスタチンは骨を吸収させる破骨細胞の働きを抑制する働きがあることがわかりました(図13)。牛乳には、カルシウム代謝を改善し、骨粗鬆症を防ぐ道具がたくさんあり、これらは特定保健用食品にも使われています。

このように見ていくと、牛乳は機能性

食品の原点であるといえます。



牛乳に関する風評は科学的根拠に乏しい

最後に、牛乳に関する風評についてお話しします。

①「牛乳カゼイン（タンパク質）は消化が悪い？」

先ほどカゼインは酸を入れると凝集するとお話ししました。赤ちゃんがミルクを飲んだ後に吐くとタンパク質が凝集しているのがわかります。これは自然のことで、消化に悪い影響はありません。電子顕微鏡で凝集したカゼインを見ると、間に酵素が自由に入り込める構造であることがわかります。カゼインはゆっくりであっても分解するので問題はないと考えていいと思います。

②「牛乳を多く飲むと骨粗鬆症になる？」

牛乳が骨粗鬆症の予防に効果があるかどうかについて議論があるのは確かです。P.Herneyが1975年から2000年までの25年間の論文をレビューした結果、118（86%）の論文が「骨の健康を良くする」、19（13%）の論文が「どちらとも言えない」、2つ（1.4%）の論文が「効果がない」という結果であったことを報告しています（2000年）。

ただし、「牛乳を飲むと骨粗鬆症になる」と言及した論文はなく、これが根拠のない説であることがわかります。

大量の牛乳を飲むことでカルシウムを補給すればカルシウム・バランスが狂う、何リットルも飲んだら何か不都合があるかもしれないというのは理解できますが、コップ1~2杯の量で何か悪いことが起こるとは考えにくいと思います。

③「牛乳の脂肪は過酸化脂肪である？（酸化されやすい）」

脂肪の酸化されやすさは二重結合の多さで決まります。炭素数18の不飽和脂肪酸で比べると、二重結合が1カ所あるオ

レイン酸と2カ所あるリノール酸と3カ所あるリノレン酸の酸化されやすさの比は1:12:25です（図14）。

乳脂肪はそれぞれの脂肪酸の比が26%、2%、1%あり、これら二重結合を持つ脂肪の割合は29%です。一方、大豆油はそれぞれ24%、54%、8%で合計86%あります。乳脂肪は大豆油に比べて酸化されにくいことがわかります。

図14 乳脂肪は酸化され難い！

二重結合数	1箇	2箇	3箇
乳脂肪(29%)	26	2	1
大豆油(86%)	24	54	8

酸化され易さ 1 : 12 : 25  
炭素数18の不飽和脂肪酸  
1箇:オレイン酸、2箇:リノール酸、3箇:リノレン酸  
森田ら「食品学総論」および藤田「食品油脂」を参考に作成

牛乳のコレステロールは100g中に12mgあり、1杯200mlとして24mgになります。卵1個を食べると252mgになるので、牛乳でコレステロールが上がるかどうか心配する必要がないと思います。

④「ヨーグルトの常食は腸相を悪くする？」

ヨーグルトなど発酵乳に含まれる乳酸菌には整腸作用、血清コレステロール低下効果、有害物質排泄作用、ミネラル吸収促進作用、免疫調節作用（感染防御）、免疫調節作用（抗アレルギー作用）、がん予防効果などが知られており、悪い作用は今のところ出てきていません。

⑤「牛乳は仔牛のためのもの、人間が飲むのは摂理に反する？」

私は食物を、異物とそうでないものの2つに分類できると考えています。人間にとって、母乳（人乳）以外は牛乳を含めたすべての食べ物が異物です。つまり、乳児期をすぎた人間の食物はすべて異物なのです。

健康にいいフラボノイドのような野菜や果物に含まれる有効成分を食べたときも、ダイオキシンを摂ったときも、腸の中では同じように解毒酵素系が活性化されます。私たちの腸は野菜の成分を異物として応答するのです。

人間は、エネルギー源として、栄養素として、生体調節成分として異物を食べざるを得ません。それにあたり、「なるべく有害性のないものを選び、なるべく食べやすい形に加工して、なるべく美味しく調理して、なるべく適量食べる」というのが、歴史の中で学んできた人類の知恵です。

昔、牛乳を加熱すると牛乳中の抗体がなくなってしまってよくない、という説



が出ました。これは仔牛にとってはよくありませんが、ヒトにとっては重要ではありません。むしろ加熱しないことによるリスクはるかに高いのです。牛乳は搾ったまま置いておいてもヨーグルトにはならず、腐るだけで、よほど清潔な環境で細工をしないと乳酸菌は生えず、雑菌が増えます。私たちは牛ではないので、母から子への免疫因子の伝達を牛乳に期待すべきではありません。牛乳は、栄養素の補給に適した「安全な食品」「美味しい食品」と位置づけるべきです。「食品」として考える以上、加熱して病原菌を殺すことは大切で、加熱で一部の栄養・健康機能が失われることはあっても、安全には替えられませんし、加熱によってタンパク質が消化されやすくなる利点もあります。食品として摂取するには加熱するほうが利点が多いというのが、多くの研究者の一致するところでした。

また、加工することで、アイスクリーム、チーズ、クリームなど多様性のある美味しい食品を作り出せるのが牛乳のいいところです。それに加えて、工夫すれば牛乳本来の良い健康機能を活かすことも可能で、その性質は特定機能食品の開発に生かされています。

牛乳は、我々人間にとっては完全食品ではありませんが、極めて優れた食品であり、賢く利用すべきであるということも多くの人に認識してもらうことが日本の将来にとって重要です。若い人たちが牛乳を敬遠して骨粗鬆症大国にでもなれば、医療費軽減どころではなくなるでしょう。この際、こういった風評は払拭して、国民のみなさんにいい食生活を送っていただきたいと思います。

**用語集**

- ミセル  
水をはじく部分を持つ分子が内側に、水となじむ部分を持つ分子が外側になって、球状に集まったもの。本来水になじみにくい脂溶性の物質が含まれていても、外側が水になじむために、水に溶けたようにふるまうことができる。
- ペプチド  
アミノ酸が2個以上結合したものの。タンパク質が分解すると最終的にはアミノ酸になるが、その途中段階であられる。