

シリーズ “アミノ酸” No.7

アミノ酸と生命のかかわり

味の素(株)顧問 高橋 迪雄

# アミノ酸と生命のかかわり その2

味の素(株)顧問 高橋 迪雄

## 1

### たんぱく質の摂取から見た食習慣

たんぱく質、つまりアミノ酸の摂取をほとんど小麦のみに依存している人々がいることに前回触れました。小麦のたんぱく質のグルテンは、必須アミノ酸のリジンの含有量が極端に低いために、彼ら（たとえば中国の湖南省の一部の人々）はリジンの必要量を満たすだけの多量の小麦を摂取するために、うどんに加工して食べるような食習慣をとっています。現代の欧米の農業は、穀物生産としての小麦の栽培とともに、必ずといってよいほど畜産を行なっています。人々は小麦をパンなどにして食べますが、それだけではなく、同時に畜産物を食べています。この複合的農業をたんぱく質摂取の面から最も単純に解釈すれば、小麦で不足するリジンを、畜産物の肉、牛乳、鶏卵などで補っているといえます。

米に含まれるたんぱく質の必須アミノ酸のバランスは（量ではなく、バランスです）、比較的動物のそれに近いものがありますから、ある程度の量の米を食べていれば、小麦を食べているときのような、必須アミノ酸のアンバランスが起きません。この特徴が、アジアのほぼ全域に畜産が付随していない米作地帯を発展させた原動力と考えられます。日本では最近畜産物の消費が著しく増加しましたが、これにはパン食の普及が伴っており、現代の日本には米と麦に依存した独特の食習慣が定着しつつあるようです。

穀物は一年生草本の種子です。この種子には、根付いて水分吸収が可能になり、葉を出して光合成が可能になるまでの植物の生命を養うのに必要最小限の養分が含まれています。小麦は土の上に種が落ちて発芽する植物ですが、米は浅い水の底で種が発芽します。この生態の違いが、小麦と米に含まれるアミノ酸のバランスを大きく変えている原因かと思われませんが、このいずれかを主食として選択することにより、食習慣、さらには文化全体にも大きな影響が及んでしまうことがわかります。

さて、地球上には穀物の耕作に適していない場所にも人々が住んでおり、わずかに生えた草本を家畜に食べさせ、その家畜そのもの、あるいは家畜の乳を主たる食糧にすることが行なわれます。一般に単位土地面積当たりの草の生産量は低いですから、このような生活はしばしば移動を伴う遊牧生活になります。遊牧民の食生活をたんぱく質摂取という面から見れば、動物たんぱく質そのものを摂取しているわけですから、特定の必須アミノ酸が欠乏するというような問題は起きません。

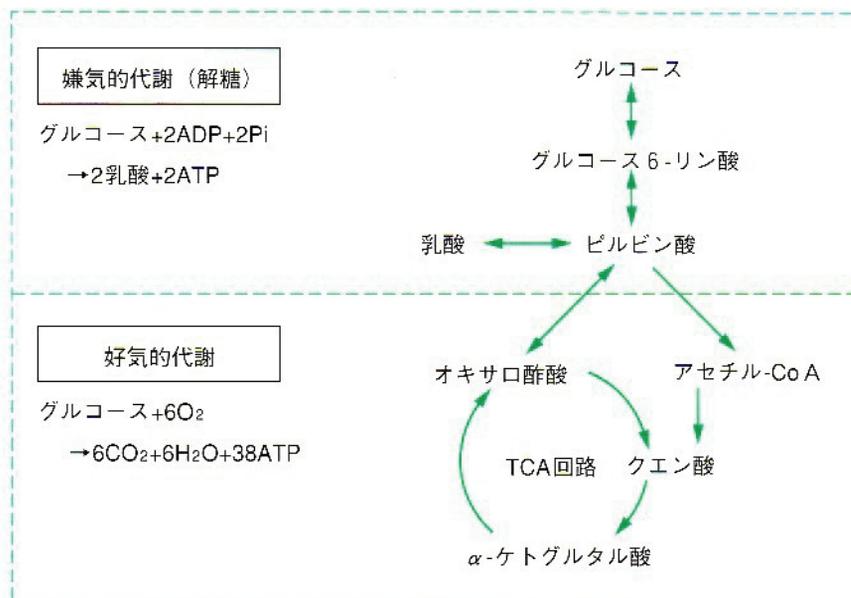
ところで、草ばかりを食べている家畜はなぜ遊牧民に良質なたんぱく質を供給することが可能なのでしょうか。

草食動物というのは、いわばバクテリアの発酵タンクを抱えた動物のことなので、草食動物の話に入る前に、バクテリアのことについて触れましょう。

一般のバクテリアは（植物も）すべてのアミノ酸、ビタミンを自分自身で作ります。ちなみに、ビタミンも生体にとって不可欠な物質です。高等動物が不可欠でありながらビタミンを自分では作らずに、その供給を食物に仰いでいるという事情（あるいはその積極的な意義）は、前回必須アミノ酸について説明したものと同じです。ただし、必須アミノ酸は筋肉などのたんぱく質の中に組み込まれていますから、筋肉のたんぱく質が分解されることによってもある程度補うことが可能です。したがって相当量が体の中に「貯蔵されている」状態にあることになります。一方、ビタミンを貯蔵しておくというシステムは発達しておりませんから、その欠乏症は必須アミノ酸に比べて急激に表れます。いずれにせよ、言いたいことは、ビタミンや必須アミノ酸を自分で合成している多くのバクテリアにとっては、ビタミン、必須アミノ酸という概念自体が必要ないということです。

空気中の酸素を使って炭水化物を「燃焼」させれば、エネルギーが得られることは理解していただけたと思いますが、生命が誕生したときの地球の大気には酸素がなかったのですから、無酸素状態でエネルギーを得る方法（嫌氣的代謝）を獲得しない限り生命が誕生することはあり得なかったはずで

す。実際ある種のバクテリア（嫌氣性バクテリア）は、今でも無酸素条件で生存するためのエネルギーを得ています。嫌氣的代謝では、酸素を使って盛んにエネルギーが得られる好氣的代謝の直前の段階で止まってしまいます。酸素を使って酸化すればさらにたくさんのエネルギーが得られるはずの、酢酸、プロピオン酸、乳酸などは、これ以上代謝できない老廃物として排泄されます。嫌氣性バクテリアは嫌氣的代謝で得られるわずかなエネルギーを使って生きています。現在のわれわれの細胞にも嫌氣的代謝の仕組みは残っており、解糖とも表現されます。ちなみに、われわれ高等動物は、生命進化のあるとき、酸素を使って酸化のエネルギーを得る手段（好氣的代謝）を獲得した藻



バクテリアの種類によって嫌氣的代謝の最終産物は酢酸、プロピオン酸、乳酸などになる

図1 炭水化物の嫌氣的および好氣的代謝

類の一種が、ミトコンドリアという形で細胞の中に寄生して生き続けている生物の子孫です。このミトコンドリアという寄生体を細胞に住ませ続けることができたおかげで、嫌氣的代謝ではこれ以上エネルギーを取り出せないという酢酸、プロピオン酸、乳酸などから大量のエネルギーを取り出すことが可能になりました（図1、前ページ）。

植物が光合成で作出す有機物の量は、1年に $2 \times 10^{11}$ tといわれ、そのうちの3分の1はセルロースになります。セルロースとでんぷんはいずれもブドウ糖がたくさんつながった分子でよく似ていますが、不思議なことにセルロースを分解できる高等動物はいません。

地上で生産される最多のこの有機物を分解できるのは、セルロース分解酵素を持ったバクテリアやカビだけです。アミノ酸、ビタミンをすべて合成する、あるいは嫌氣的代謝のみで生きられるというのは、バクテリアが生物の古い性質を持ち続けていることの証拠のようなものかもしれませんが、セルロースを分解するというのは、バクテリアが地球上の新たな環境に適応して、新たにこのような機能を獲得した結果と考えられます。バクテリアの世代交代は、われわれが20年かかるところを、分単位で行なっていますから、進化・適応のチャンスはわれわれよりはるかに高いことになります。バクテリアが進化してヒトのような生物ができてきたと考えがちですが、これは進化の特定のひとつの道筋がそうであっただけで、バクテリアの仲間にはバクテリアの姿を残したままで、猛烈に進化し続けています。だからこそ、地球上の思いもよらぬ環境にも、ちゃんとバクテリアは住んでいられるのです。

### 3

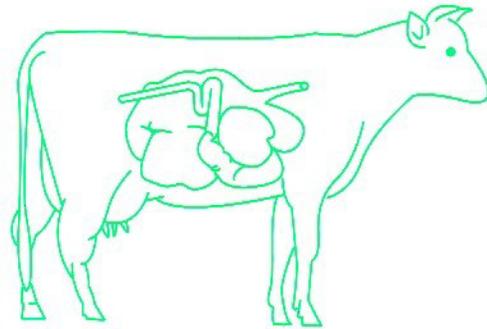
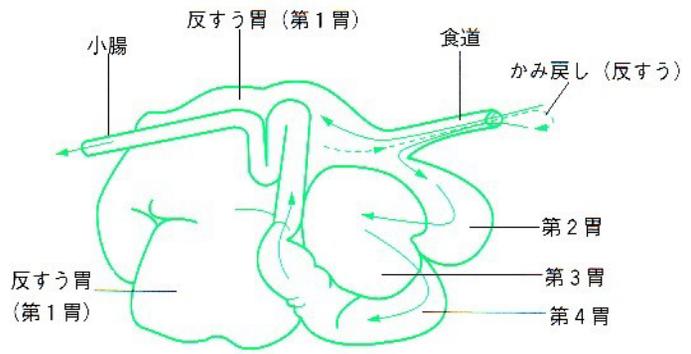
## 反すう動物は栄養摂取の魔術師

約2,000万年前に地球上には本格的な草原が出現しました。草原を埋めた草本は、セルロース繊維が大変多い植物で、これを主たる食物にして成立したのが、ウシ、ヤギ、ヒツジなどの反すう動物です。そして彼らがセルロースを利用するためには、バクテリアの助けが必要です。反すう動物の代表的家畜である乳牛は、分娩後10ヵ月の間に7,000kgもの牛乳を出します（最近ではこの量がさらに20,000kgにもなるものもあり、スーパー・カウと呼ばれます）。7,000kgの牛乳の中には200kgのたんぱく質、250kgの脂肪、300kgの糖、5kgの無機塩類が含まれています。成人の体から水分を除くと15kgくらいしかありませんから、これらの数字がいかに膨大かがわかるでしょう。草しか食べないウシが、なぜ、こんなにたくさんの栄養素を体の外に出せるのでしょうか。

図2（次ページ）に示したように、ウシやヒツジなどの反すう動物の胃は4つに分かれています。本当の胃、つまりわれわれ単胃動物の胃に相当するのは最後の第4胃で、前の3つは、反すうといわれる食物のかみ戻しと、発酵を行なうための仕かけです。いちばん前にある「反すう胃」は、500kgのウシで100kg以上もの目方になります。内容物には1g当たり10~100億という莫大な数のバクテリアが住み着いています。ウシは盛んに草を食べますが、ウシ自身のために食べているというより、反すう胃の中にいる膨大なバクテリアのために食べているということが出来ます。草に含

まれる炭水化物はセルロースを含めて、バクテリアのエネルギー源、さらにはたんぱく質の合成にも使われます。

バクテリアが酸素のない条件で発酵して作る最終産物は、酢酸、プロピオン酸、乳酸などの有機酸と呼ばれる酸であることは先ほど述べましたが、ウシはこれらを吸収して、自分の細胞内でミトコンドリアを使って好氣的代謝を行ない、大きなエネルギー（基礎代謝量の70%にも相当します）を得ています。発酵の結果酸ができますから、反すう胃の中が酸性になって発酵が止まってしまう危険があるのですが、反すう動物は炭酸水素ナトリウムを含んだアルカリ性

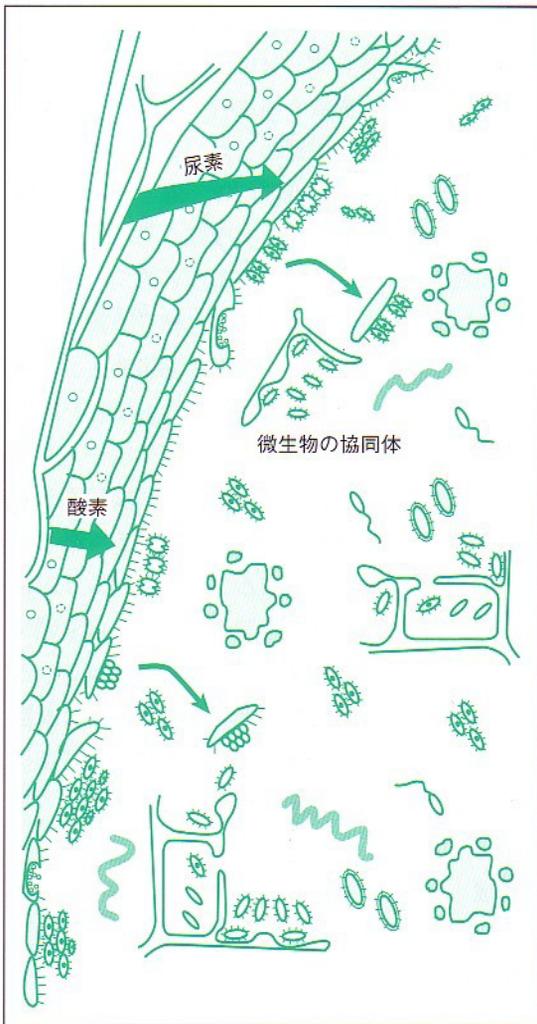


第4胃がヒトなどの単胃動物の胃に相当する

図2 ウシの胃の構成

の唾液を大量に分泌し、これを反すう胃に注ぎ込んで内容物を中和しています。ウシの1日の唾液の量は100~190 lにも達します。これはウシの体全体の水分量の約半分という、思いもよらぬ大量の水分です。

反すう胃内のバクテリアは、宿主にエネルギー源を供給することはもちろん、たんぱく質を供給することも行ないます。多くのバクテリアは、適当な炭水化物があってさらにアンモニアのような窒素源、また一部のアミノ酸（システイン、メチオニン）に必要な硫酸塩のような硫黄の供給源があれば、すべてのアミノ酸を合成して、菌体それ自身を含めて必要なたんぱく質を作ることができます。このようにして作られた菌体は、原生動物に食べられたりしますが、そのようなものも含めて相当な速さで第4胃へと流れ落ちていきます（図3）。第4胃がわれわれの胃に相当していますから、ウシの消化管の中の食物の流れを第4胃を出発点に眺めれば、ウシは草



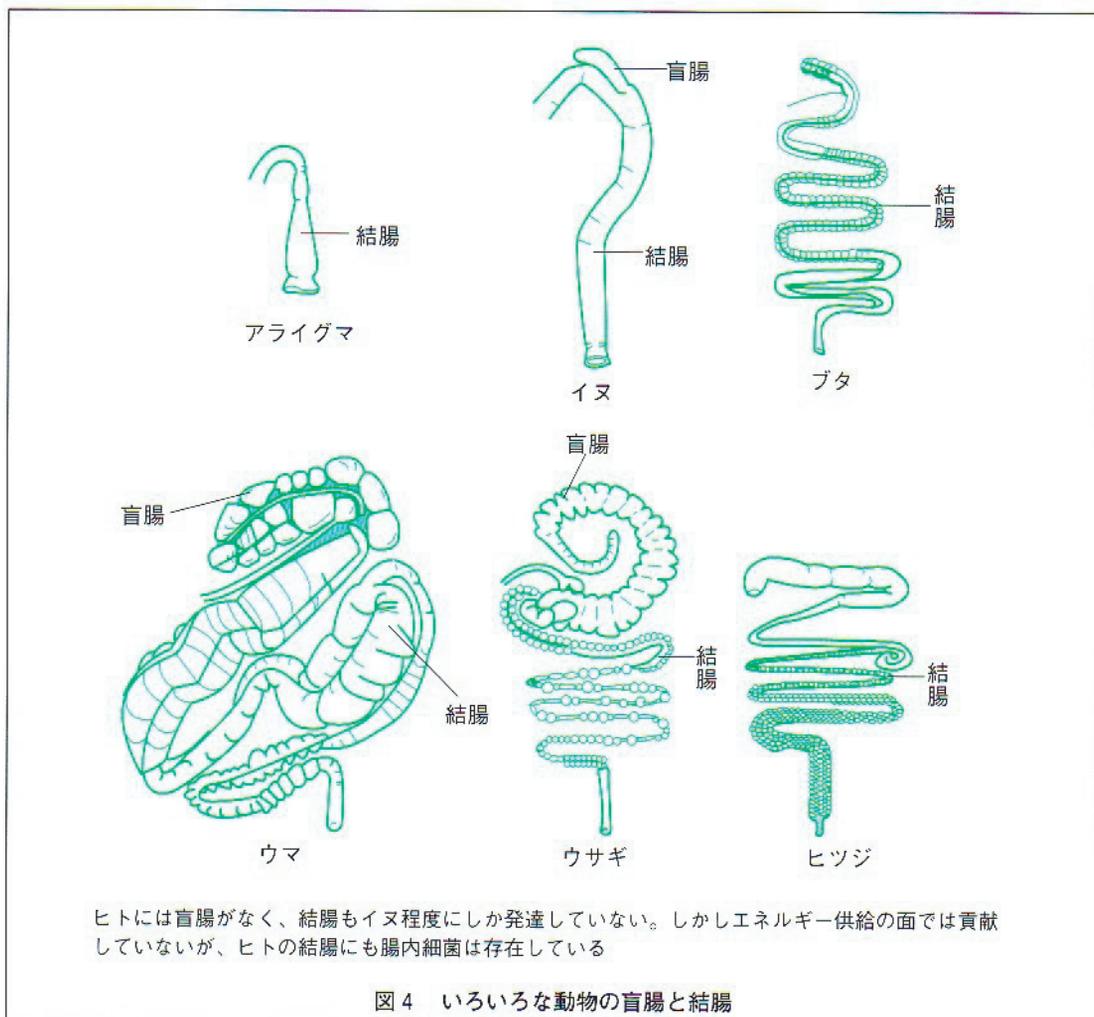
これらの微生物が第4胃から小腸に流れ込み、たんぱく質やビタミンを宿主に提供する

図3 反すう胃の中の微生物

を食べているのではなく、バクテリア、原生動物などたんぱく質に富んだ食材を丸ごと食べていることになります。

## 4 ヒトの本性は肉食動物

草食動物の進化の歴史をたどると、発酵はまず大腸、盲腸などの消化管の最後部で起こってきます。ウマなど古い奇蹄類の動物は今でもこのような方式をとっています。このような動物は消化管の最前部で発酵が起きている反すう動物に比べて決定的に劣るところがあります。それは発酵しているバクテリアが糞として外に出てしまい、利用できないということです。つまり、発酵でできた有機酸を吸収してエネルギー源にすることは可能ですが、バクテリアの作ったたんぱく質からアミノ酸を得るためには消化吸収の過程が必要で、消化管の最後の部分で発酵が起きているために、ウマなどはそれができないということです。多くのネズミの仲間、ウサギ、コアラなどは大きな盲腸を持ち、そこで発酵が起きていますが、このような動物は盲腸から出てくる糞を食べます。この「糞食」は、「盲腸発酵」動物の一般的な性質です。糞食をする理由は、言うまでもなく発酵していたバクテリアを回収して、バクテリアの作ったたんぱく質を消化してアミノ酸を吸収することにあります。



このように見てくるとウマは、たんぱく質の摂取に大きな問題を抱えた珍しい（古い）草食動物と  
いうことができます。

草食動物はバクテリアを発酵させるために、消化管のどこかが目立った変化を見せません（図4、  
前ページ）。そのような観点でヒトの消化管を見ると、ヒトの消化管はイヌやネコのそれと同様に  
際立った変形はなく、肉食動物の特徴を備えています。肉食動物は主としてたんぱく質を摂取し、  
そこからアミノ酸を得るとともに、アミノ酸をエネルギー源としても使っています。アミノ酸の末  
端に付いているアミノ基は、比較的容易に酵素の作用で外すことができます。これが外されれば炭  
水化物になりますから、エネルギー源としても利用できるのです。肉食動物の尿には多量の尿素が  
含まれていますが、これは、アミノ酸がエネルギー源としても使われているためで、アミノ酸から  
外されたアミノ基は肝臓で毒性の低い尿素に換えられ、これが腎臓から排泄されています。アミノ  
基が外された炭水化物は、最終的にはミトコンドリアで酸素によって酸化され、ATPの形でエネル  
ギーが取り出されます。つまり、われわれの細胞にミトコンドリアが住み着いてくれているおかげ  
で、アミノ酸をエネルギー源として使うことは、きわめて容易なのです。現代のヒトは、確かに植  
物性の食物をたくさん食べますが、生理学的には肉食動物に違いありません。したがって遊牧生活  
をしている人たちが、最も自然に近い食生活をしていると言えるでしょう。

穀物を主たるエネルギー源にし始めたのは、人類400万年の歴史で、農耕が始まったわずか1万  
年前のころのことだと考えられます。さらに日本人は冒頭に述べましたように、この穀物について  
も、米と麦を併用するという複雑な食生活を送っています。「有機農業」をはじめとして、人間の  
食生活の自然回帰が叫ばれていますが、文明人はもともと「自然」からは大変解離した様式で生活  
をしています。寿命が著しく延長しているのも「自然」から大変解離した現象であることは確かで、  
この延長した寿命、つまり50歳以後の寿命を健康に維持していくためには、それなりの工夫をする  
ことが必要かと思われまます。とくに、肉食動物が草食をしているのがわれわれですから、高齢化に  
伴い食欲が落ち、さらに消化管機能が減退したときに、どれだけのアミノ酸をどのように摂取する  
かは、健康を維持していくための大問題になるかと思われまます。

---

## 高橋 迪雄<sup>略歴</sup>/TAKAHASHI MICHIO

1968年東京大学大学院博士課程修了。1986年～1999年、東京大学教授（農学生命科学研究科獣医  
生理学研究室）。1999年11月より味の素（株）顧問。日本獣医学会理事長、日本繁殖生物学会理  
事長などを務める。2000年度第37回読売農学賞受賞。