

3. 牛を食べて豚になる

蛋白質の加水分解とアミノ酸

我が家の大部分の食べ物は肉や豆類などの蛋白質、パンやご飯などのでんぷんや糖類などの糖質、バターやオリーブ油などの脂質の3種類に大別されます。この3種類は人間の生命維持のためのエネルギー源になるばかりでなく、筋肉などの身体を作る材料にもなる最も大切な栄養です。そこで本章では、始めに蛋白質について考えて見ましょう。ある種の標準的な微生物の細胞を構成する物質の種類と重さの比を表3-1にまとめました。この表で分るように4500種以上の多種多様の複雑な物質がそれぞれの機能を担って生命活動を維持していますが、特に蛋白質が3000種類も含まれています。食物の蛋白質には動物の体を形作っている動物性蛋白質と発芽などのために必要なことから豆類や穀物などの種子類に含まれる植物性蛋白質があります。

蛋白質はあまり水に溶けない、主要構成元素が炭素と窒素と酸素と水素からなる大きな分子量を持つ一群の化合物の総称です。長時間水中で煮ていますと、次第に分解して水に溶ける α -アミノ酸に変化してゆきます。表3-2には主な食物に含まれる蛋白質の構成アミノ酸の種類とその割合をモル比(%)で表しました。なお、アミノ酸の名前は生物化学の分野の習慣に従い簡略化のために、図3-1にも挙げたアルファベット3~5文字の省略符号であらわしておきました。牛肉や豚肉などのように動物の筋肉を形作る蛋白質と卵や牛乳に含まれる蛋白質では分解して生成する α -アミノ酸の種類と割合が違います。また、髪の毛や絹糸のような繊維状の蛋白質も異なった種類と割合の α -アミノ酸で構成されています。しかし、ほとんど全て

表3-1 生体内物質の組成

	重量(%)	種類
水	70	1
蛋白質	15	3000
DNA	1	1
RNA	6	1000
炭水化物	3	50
脂質	2	40
無機イオン	1	12
その他	2	500

の蛋白質が分解して生成する α -アミノ酸は図2-4に示すグリシン、アラニン、アルギニン、メチオニンの他に、図3-1に示す α -アミノ酸の計20種類に限られています。これらの α -アミノ酸の化学構造を比較すると明らかなように、最も簡単な構造のグリシンの炭素に結合した水素の1つが種々の原子団で置き換わった構造を持っています。例えばアラニンはグリシンの炭素に結合した水素の1つが CH_3 の原子団で置き換わった構造を持っています。同じように、グルタミン酸はグリシンの炭素に結合した水素の1つが $\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$ の原子団で置き換わった構造を持っています。グリシンの炭素に結合した水素の1つが種々の原子あるいは原子団で置き換わった α -アミノ酸は無数に存在する可能性を持っていますが、蛋白質を分解して生成する α -アミノ酸は主に20種類に限られており、これ

表 3 - 2 主な食物中の蛋白質の構成アミノ酸（％）

アミノ酸	全卵	卵黄	牛乳	チーズ	魚肉	食肉	肝臓	大豆	落花生	米	小麦粉	トウモロコシ	馬鈴薯	コラーゲン
Gly	3.6	0.0	3.1	0.0	0.0	6.7	10.7	0.0	6.7	0.0	0.0	0.0	0.0	27.3
Ala	0.0	0.0	0.0	0.0	7.9	8.3	5.3	3.7	4.7	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0
Val	6.2	0.0	6.0	6.6	5.1	4.7	5.1	4.5	3.8	5.3	3.5	4.5	4.5	2.2
Leu	7.0	0.0	8.4	6.9	7.3	6.1	6.4	6.1	5.1	6.3	5.3	11.5	7.3	3.2
Ileu	5.5	0.0	5.7	5.6	5.0	4.6	3.7	4.6	3.5	4.0	3.2	4.9	2.8	0.0
Pro	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6	5.2	0.0	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.9
Phe	3.8	2.7	3.3	3.9	2.7	3.0	3.7	3.2	3.1	3.0	3.3	3.0	3.6	1.1
Tyr	2.5	3.1	3.3	3.8	2.1	2.2	2.2	2.2	2.4	3.1	2.1	3.3	0.0	0.4
Try	0.7	0.7	0.7	0.8	0.6	0.7	0.7	0.7	0.5	0.6	0.4	0.3	1.0	0.0
Ser	0.0	0.0	4.1	0.0	3.8	5.7	7.0	4.0	0.0	0.0	4.1	8.1	0.0	2.4
Thr	3.6	2.9	3.9	3.1	3.9	4.2	4.5	3.3	1.3	3.2	2.3	3.1	5.8	1.4
Cys	2.0	1.6	0.8	0.3	1.0	1.0	1.2	1.6	1.3	1.1	1.6	1.2	0.0	0.0
Met	2.7	2.0	2.1	2.3	2.1	2.1	2.1	1.1	0.7	2.2	1.3	2.1	1.7	0.4
Arg	3.8	4.1	2.4	2.1	4.3	4.4	3.8	4.2	6.5	4.1	2.2	2.8	2.9	3.7
His	1.5	1.0	1.7	2.1	1.7	2.1	1.6	1.9	1.4	1.1	1.4	1.6	1.4	0.4
Lys	4.8	3.9	6.0	5.8	6.2	6.8	4.8	4.6	2.1	2.2	1.3	1.6	5.7	2.3
Asp	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.9	5.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6
Glu	0.0	0.0	14.6	0.0	0.0	10.5	7.2	12.5	11.8	0.0	0.0	0.0	0.0	5.8
Hyp	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.1
合計	47.7	22.0	66.3	43.3	56.2	84.3	75.0	62.5	54.9	36.3	32.1	48.0	36.7	80.3

らを必須アミノ酸と呼んでいます。置き換わる原子団が CH_3 の α -アミノ酸はアラニンですし、バリンとロイシンやイソロイシンはそれぞれ C_3H_7 と C_4H_9 の原子団で置き換えられた α -アミノ酸ですが、それらの中間と考えられる C_2H_5 の原子団を持つ α -アミノ酸は必須アミノ酸に含まれていません。このように特別に 20 種類の α -アミノ酸が必須アミノ酸として選ばれてきたことは生物の進化や生体物質の生合成されてくる過程に関係したものと思われる。

蛋白質を水中で煮ていると 20 種類の必須アミノ酸に分解することから、沢山の必須ア

ミノ酸が鎖状に並んでできた構造の物質であることが考えられます。 α -アミノ酸はアミン (NH_2) とカルボン酸 (COOH) の原子団を持っていますが、この 2 つの原子団は水を放出して容易に縮合します。2 つの α -アミノ酸は縮合してペプチド結合 ($-\text{CO}-\text{NH}-$) で結ばれますが、生成してきたジペプチドも末端にはまだアミンとカルボン酸の原子団を持っています。同じように、3 つのアミノ酸、4 つのアミノ酸がペプチド結合で結ばれても末端にはアミンとカルボン酸の原子団が残ります。言い換えれば、 α -アミノ酸は幾つでもペプチド結合により連続的に鎖状に結合できます。このように多くの α -アミノ酸がペプチド結合で鎖状に結合した物質をポリペプチドと呼んでいます。特に必須アミノ酸が連続的に鎖状に結合したものを蛋白質と呼んでいます。

必須アミノ酸が 2 つ結合して出来る可能なジペプチドは 20×20 種の組み合わせとなり、 n 個の必須アミノ酸が鎖状に結合するときの組み合わせは 20^n 種となります。 n が大きな数字であればその組み合わせは無限にありますから、必須アミノ酸はわずかに 20 種類に限られていますが、無限に近い種類の蛋白質の存在が可能になります。

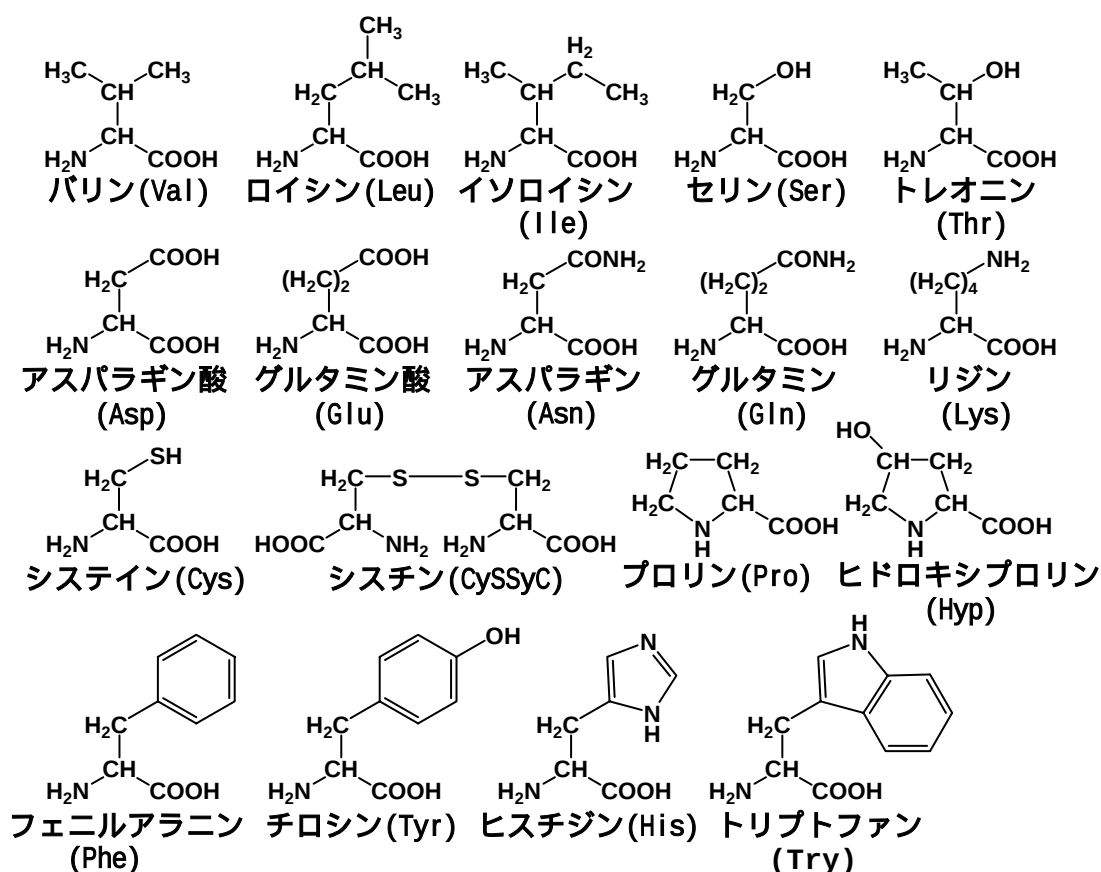


図3 - 1 必須アミノ酸の構造

アミノ酸などを構成する炭素原子は 4 つの元素と結合することが出来ますが、図 3 - 2 のメタンの立体構造でわかるように、炭素を正 4 面体の重心に置くとときにその結合は頂点の方向に出て、互いの結合の間の角度が 109.5° になります。そのため、炭素に結合し

ている4つの原子あるいは原子団がみな異なるときには3次元的に前後と左右と上下が異なってきますから、その相対的な位置関係から2種類の化合物が考えられます。アラニンはグリシンの炭素に結合した水素の1つ

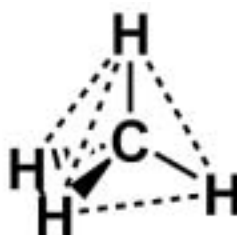


図3-2 メタンの立体構造（正四面体構造）

がCH₃の原子団で置き換わった構造をしていますから、中心となる炭素原子にはカルボン酸とアミンとCH₃の原子団および水素原子が結合しています。グリシンの炭素原子についた2つの水素原子のうち、何れの水素原子がCH₃の原子団で置き換わるかにより、異なった構造が考えられます。すなわち、水素原子が遠くに炭素原子が手前になるように分子を置き、中心炭素原子に結合した3種の原子の原子番号を大きい順番に並べるときに、時計回りに回るように位置する構造（R-型）と反時計回りに位置する構造（S-型）の2種類の構造です。例えば、中心炭素原子に結合した3種の原子団がアミンとカルボン酸とCH₃の順になりますから、2種のアラニンの構造は図3-3に示すようになります。化学的な研究の結果、蛋白質から分解されてくるアラニンはS-型の構造を持っていることが分かっています。さらに、アラニンとグリシン以外の18種類のα-アミノ酸も全てS-型の構造を持っていることが分かっています。しかし、何故そのように蛋白質から分解してくるα-アミノ酸が全てS-型になっているか未だに原因が明らかになっておりません。この謎を明らかにすることが出来れば、多分ノーベル賞を受賞することができるでしょう。

蛋白質を水中で煮ていると20種類のS-型の必須アミノ酸に分解することから、蛋白質は多くの必須アミノ酸がペプチド結合で鎖状に結合した構造の物質であると考えられます。n個の必須アミノ酸が鎖状に結合すれば20ⁿ種となりますから、必須アミノ酸はわずかに20種類に限られていますが、無限に近い種類の蛋白質の存在が可能になります。しかも、そのように多くの種類の蛋白質がそれぞれ固有の性質を示していると思われず。

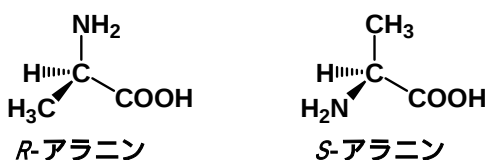


図3-3 アラニンの立体構造

キモトリブシンの化学

蛋白質は必須アミノ酸が長く鎖状につながった物質で、水中で長時間煮ていれば次第にアミノ酸に分解してゆきます。このとき図3-4に示すように、水が反応に関与しますから加水分解と呼んでいます。しかし、室温の純粋な水の中では蛋白質が半分まで加水分解するためには300年以上も掛かります。温度を上げてぐらぐら煮れば多少は反応の時間が短縮されますが、それでも实际的でないほど長時間を要します。酸性あるいは塩基性の水溶液の中では、水素イオンあるいは水酸イオンが触媒になって図3-4のような経路を通り、

蛋白質の加水分解は飛躍的に加速されます。

台所にはない薬品ですが、塩酸を加えて煮ますと蛋白質は1時間程度で簡単にほとんど加水分解してしまいます。著者は小学校の理科の実験室で、大豆の煮汁に塩酸を加えて1時間ほど煮る実験をした覚えがあります。得られた溶液は塩酸の強い酸性を示していますから、水酸化ナトリウムで中和しますと、塩酸と水酸化ナトリウムから食塩が生成して、台所にある醤油と化学的にはほとんど同じ必須アミノ酸の溶けた塩水になります。理科の先生はこれをアミノ酸醤油と呼び、大丈夫だから舐めてみてごらんとおっしゃったので恐る恐る試しましたが、台所と理科の実験室が非常に近いことに驚き、小学生なりに不思議な気持ちになったことを覚えています。

人間が蛋白質を食べますと、胃の中はかなり強い酸性になっていますから、ある程度は加水分解しやすい条件になっています。しかし、人間は食べて半日ほどの間に完全に消化して栄養として体内に取り込まなければなりませんから、酸性条件だけでは間に合いません。実際、人間は十二指腸でキモトリプシンなどの種々の加水分解酵素を出して、蛋白質のアミノ酸への消化を早めています。

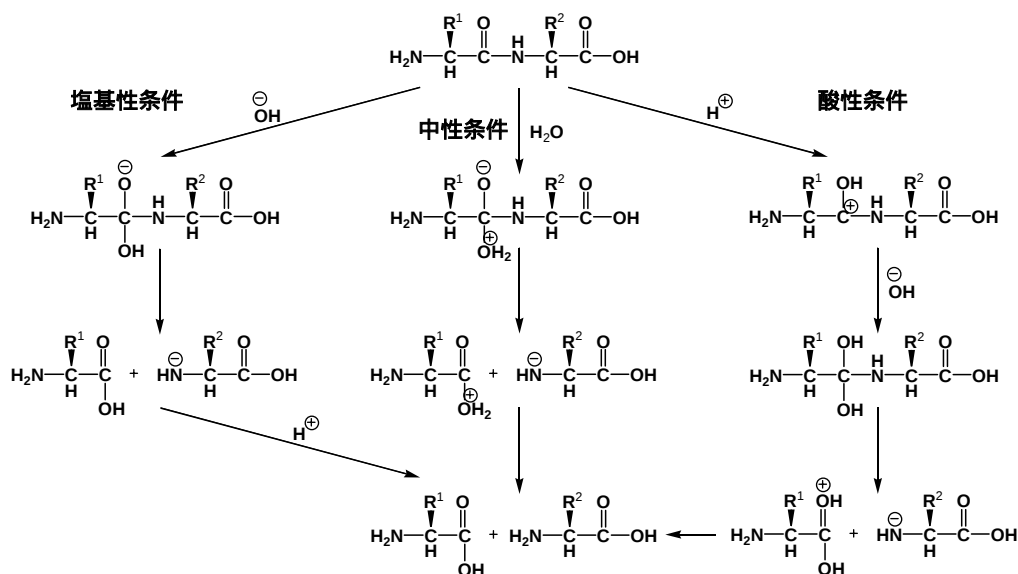


図3 - 4 ペプチド結合の加水分解

キモトリプシンはアミノ酸の並び方や分子の大きさやその絡まり方などの3次元的な構造が最もよく研究されている消化酵素で、食物の蛋白質を加水分解する機構までかなり明らかになっています。X線結晶構造解析により明らかにされたキモトリプシンを構成する約240のアミノ酸が結合した蛋白質の鎖の絡まりあった形を図3-5にリボンの塊のように示しましたが、これによると蛋白質の鎖により蛸壺のように大きく穴の開いた器の形になっています。蛸壺の中には、セリンの CH_2OH の原子団とアスパラギン酸の CH_2COOH の原子団とヒスチジンのイミダゾール環が突き出しています。蛸が蛸壺に入るように、蛋白質がキモトリプシンの穴の中に首を入れると、そこには丁度セリン、アスパラギン酸、

ヒスチジンの側鎖が待ち構えています。この 3 つのアミノ酸の側鎖部分は連携して水素イオンをペプチド結合の酸素原子に与えますから、図 3 - 4 の酸性条件のように反応が加速され加水分解が進行してゆきます。キモトリプシンの穴の中に水素イオンが待ち構えていますから、この加水分解の反応は蛋白質が穴に入る速さに依存し非常に早く進行します。

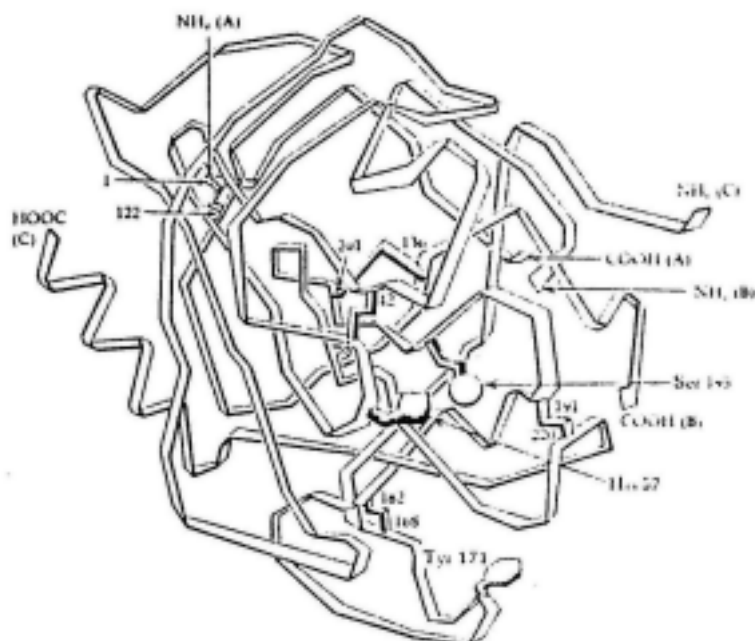


図3-5 キモトリプシンの構造

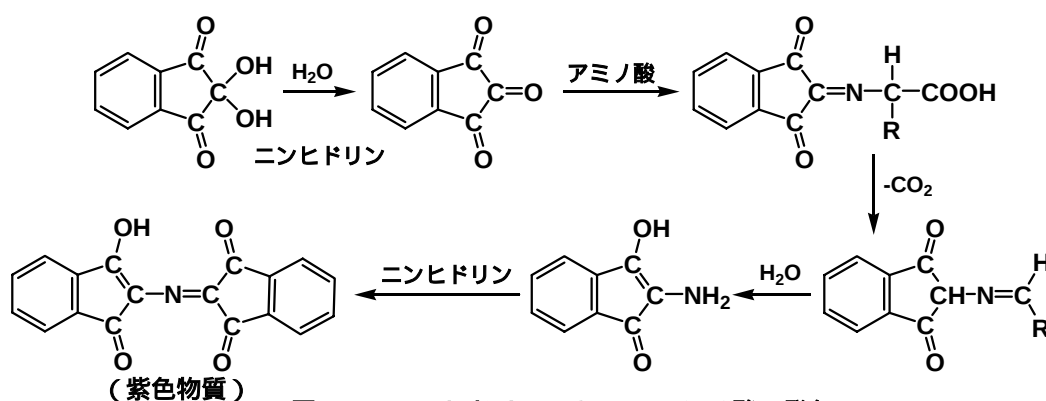
蛋白質は純粹の水の中では極めてゆっくりとしか分解しませんが、酸性条件下では容易に加水分解されます。さらにキモトリプシンなどの消化酵素が蛋白質に働くと非常に速やかに蛋白質は必須アミノ酸に加水分解されます。

牛から豚への化学変化

牛肉の蛋白質も豚肉の蛋白質も大豆の蛋白質も全て必須アミノ酸がペプチド結合で鎖状に結ばれた構造をしています。しかし、それぞれの蛋白質を構成している必須アミノ酸の種類や並び方はその蛋白質の機能により異なります。牛肉は牛の筋肉ですから強い繊維の性質を持っており、多くのグリシンやアラニンで構成されています。牛乳にふくまれる蛋白質のカゼインは構成アミノ酸としてセリンを比較的多く含み、その水酸基とのりん酸エステルが界面活性剤の性質を示し、乳化材の働きをしています。また、キモトリプシンの構成アミノ酸の中にはセリンとヒスチジンがなければその機能を示すことができません。同じように、人間の身体を作っている蛋白質にも筋肉や内臓や毛髪などそれぞれの機能に応じて、構成する必須アミノ酸の種類も並び方も違いがあります。

このように食物の中に含まれる蛋白質は多種多様でその構成する必須アミノ酸の種類も割合も異なります。蛋白質の性質を調べるためには、必須アミノ酸の種類と割合と並び方を明らかにしなければなりません。その必須アミノ酸の種類と構成割合を分析するため

に多くの方法があります。最も経済的に安価で、操作の簡単な分析法はペーパークロマトグラフィー法です。これはろ紙に分析したい必須アミノ酸の試料を付けて、ブタノールの水溶液に一端を浸します。当然吸い取り紙のように液体が吸い上がってゆきます。試料の必須アミノ酸もこれにつれて吸い上がってゆきますが、アミノ酸の種類により吸い上がり方が微妙に違ってきますので、この違いから種類を明らかにすることが出来ます。この方法はアミノ酸の割合を正確に知ることができない欠点を持っています。図 3 - 6 に示すようにニンヒドリンがアミノ酸と特異的に赤紫色に発色することを利用し、イオン交換クロマトグラフィーを組み込んだアミノ酸分析計は最も正確で微量のアミノ酸まで分析する方法です。特殊なイオン化の装置を装着した質量分析計を用いれば、さらに極微量のアミノ酸を分析することができますが、この分析機器は極めて高価なものです。



食物に含まれている蛋白質には種々の性質を示すものがあり、栄養として吸収しても、そのままでは人間の身体を形作る蛋白質にはなりません。そのため、人間は種々の蛋白質を栄養として食べ、胃の中でキモトリプシンなどの消化酵素の助けを借りて全て必須アミノ酸に分解します。必須アミノ酸は腸で吸収された後、血管を通して各部に配達され、そこで人間の身体に必要な蛋白質として組み直されます。蛋白質の加水分解とアミノ酸の縮合反応による蛋白質の形成は平衡反応で、加水分解酵素やペプチダーゼなどの酵素はこの両方向の反応を触媒する働きを持っています。例えば、血管を通して配達されたアミノ酸は筋肉にあるペプチダーゼの触媒作用により、速やかに縮合して蛋白質を形成して筋肉になります。逆に、栄養不足により体内のアミノ酸が不足すると、筋肉などの蛋白質は加水分解してアミノ酸にして、よりアミノ酸を必要とする部位に供給されます。結果として筋肉が少なくなって痩せていきます。

軟骨や腱や靱帯や皮膚や血管などを形作っている張力に強い繊維状の蛋白質はコラーゲンと呼ばれ、プロリンとヒドロキシプロリンとグリシンが鎖状に結合したものです。プロリンやグリシンは牛肉などの蛋白質にも含まれている必須アミノ酸ですが、ヒドロキシプロリンは他の蛋白質にはあまり含まれていません。骨と骨の間で衝撃を和らげる役目を

する軟骨は、人間にとっては極めて大切な部品です。また、肌を若々しく保つためには、皮膚の新陳代謝を活発にすることが大切です。当然、コラーゲンは大切な蛋白質ですが、その原料となるヒドロキシプロリンを通常の蛋白質から摂取することは容易ではありません。蛋白質が消化されてアミノ酸に加水分解されるように、牛のすじ肉や鶏の皮や軟骨などに多く含まれるコラーゲンもヒドロキシプロリンなどに分解してゆきます。このヒドロキシプロリンなどが体内で、コラーゲンに再生されて、軟骨や腱や靱帯や皮膚や血管などを形成してゆきます。コラーゲンからはコラーゲンを再生しますが、栄養不足になればコラーゲンも筋肉などの通常の蛋白質の原料にもなります。

蛋白質のペプチド結合が加水分解され、必須アミノ酸として腸で吸収され、身体の各所で再びアミンとカルボン酸の原子団が縮合してペプチド結合を造り、蛋白質となります。牛肉を食べても、大豆を食べても結局筋肉になります。人間の身体の中で起こる蛋白質の変化を総括すると、牛肉を食べ過ぎると豚のように太ってしまうことになります。我が家の言い習わしでは「牛を食べると豚になる」となります。

牛はじっくり寝かせてから食べる

蛋白質の加水分解とアミノ酸の縮合反応による蛋白質の形成は平衡反応で、加水分解酵素やペプチダーゼなどの酵素はこの両方向の反応を触媒する働きを持っています。人間の体内では血管を通して配達されたアミノ酸は筋肉にあるペプチダーゼの触媒作用により、速やかに縮合して蛋白質を形成して筋肉になります。逆に、栄養不足により体内のアミノ酸が不足すると、筋肉などの蛋白質は加水分解しアミノ酸として、よりアミノ酸を必要とする部位に供給されます。結果として筋肉が少なくなって痩せて行きます。牛も豚も鶏も人間と同じように、筋肉にはペプチダーゼなどの酵素がありますから、栄養として吸収したアミノ酸が血管を通して配達されてくると、新たに筋肉になって行きます。これらの酵素は複雑な分子構造を持っていますが、単なる一種の蛋白質ですから、生命活動が停止しても、その化学的性質を失うことはありません。当然、生命活動の停止により血管を通してのアミノ酸の供給が停止した筋肉では、蛋白質の加水分解によるアミノ酸への分解が始まります。動物の死後に起こるこの分解反応は決して早いものではありませんが、徐々に肉体は加水分解されて水に溶けるアミノ酸となって自然に帰ってゆきます。これが自然の摂理です。

人間は牛や豚や鶏などの動物の筋肉などを食用にするために、始めに屠殺して血液を除き、内臓などの各部位を分けます。食用肉となる筋肉の中にはペプチダーゼなどの酵素がまだ残っていますから、肉の中では蛋白質の加水分解が始まります。牛肉は屠殺したての新鮮なものよりも、長時間熟成させて、多少色が赤黒く変色しかけたときが食べごろとされています。これは牛肉の蛋白質が酵素によりアミノ酸に一部分解したために、旨味成分が増しているためと考えられます。栃木畜産試験所では鶏肉も熟成させてから市場に出荷するように指導しています。また、大阪教育大学食物学研究室の竹井教授らは、4 で牛肉

を 8~10 日、豚肉を 3 日、鶏肉を 6~12 日熟成させたときに、旨味成分のアミノ酸が最も肉の中に増加すると報告しています。特に、代表的な旨味成分のメチオニンは豚肉を 6 日間熟成させたときに約 3 倍まで増加すると報告しています。

新鮮な肉は旨味が少なく、長時間熟成させて、十分に肉の中のペプチダーゼにより蛋白質を加水分解してもらい、メチオニンなどの旨味成分が溜まった後が肉の食べごろです。昔からの言い伝えは「食べてすぐ寝ると牛になる」ですが、食肉を化学して導かれた結論は「牛はじっくり寝かせてから食べる」のようです。

腐ると美味しくなる蛋白質

生物の生命維持活動が化学反応でなされていることから、活力となるエネルギーも化学反応で供給されていると思われます。ある物質が新しい物質に化学反応をして変化してゆくとき、熱エネルギーや光エネルギーや電気エネルギーなどを出します。また、熱エネルギーや光エネルギーや電気エネルギーを加えてやらないと化学変化が起こらないこともあります。このように物質の化学変化において、その自由エネルギーは変化しますが、同時に余った一部のエネルギーは熱エネルギー、光エネルギー、電気エネルギーあるいは運動エネルギーとして放出されます。生物体内でも構成する物質が化学的に変化し、そのとき副生する熱エネルギーや運動エネルギーが利用されて全ての生命活動が維持されています。身の回りには至るところに種々の微生物が住んでいますから、化学エネルギーを供給できるような蛋白質やでんぷんを含む食物があれば、微生物は喜んでその食物の上に寄宿して生命活動を開始します。多くの微生物は蛋白質から必須アミノ酸に加水分解し、そのとき発生する熱エネルギーで生命活動を維持します。

第 8 章にお酒のことをまとめたように、西欧では穀類を麦芽の酵素で糖化してからお酒を醸造していますが、東洋では麹菌ででんぷんを糖化してからお酒を醸造しています。麹菌はでんぷんをブドウ糖などの糖類まで加水分解してゆくときに発生するエネルギーを利用して生命活動を維持しています。しかし、麹菌はでんぷんばかりでなく蛋白質の加水分解も得意とし、必須アミノ酸に分解するときのエネルギーも利用して生活することができます。

お酒ばかりでなく、西欧の料理の原点は牛乳とぶどう酒にあります。中国や韓国や日本などの東洋の料理は豆や穀物を麹菌で腐らせることを基盤にしているように思います。麹菌などの微生物の助けを借りて大豆などの蛋白質を多く含む食物を腐らせて、必須アミノ酸まで分解する技術が古くから中国に発展してきました。前章で述べたように多くの必須アミノ酸が旨味の味覚成分として効果がありますから、蛋白質を腐らせるこの技術は食物を美味しくすることに役立ちます。この技術は中国文化の伝播と共に、朝鮮半島から日本へ、ベトナムからタイなどの東南アジアへと伝えられて、それぞれの地方で独特の色と味と香りを持った調味料として発展してゆきました。中国から朝鮮半島ではラージャンやシャージャンやコチユジャンなどの「醤」と呼ばれるいろいろな味付けのための調味料が考

案されています。

醤油は主な原料である大豆と小麦と食塩に麹菌などの微生物を働かせて作る「醤」の一種です。醤油の伝統的な製造方式は本醸造法と呼ばれ、蒸した大豆と炒った小麦をほぼ同量混合し、種麹を加えて原液となる「麹」を造ります。これを食塩水とともに仕込み、

攪拌を重ねながら約6～8カ月熟成させます。多くの微生物は食塩濃度の高い環境では生育できませんが、麹菌や酵母や乳酸菌などは食塩濃度の比較的高い環境でも生育できますから、雑菌の妨害も受けにくく乳酸菌や酵母が主役となって容易に醗酵が進行します。風味は主に大豆の蛋白質から、香りは小麦のでんぷんから、それぞれ微生物の働きにより醸し出されます。また、特徴的な色は、蛋白質から分解して生成するアミノ酸と、でんぷんから分解して生成するブドウ糖が生み出すものです。大豆の蛋白質から生成するアミノ酸の旨味、小麦のでんぷんから生成する糖類の甘味とお酒の味、乳酸菌により生成する乳酸の酸味がはじめに加えた食塩の塩味と互いに作用しあいます。最後に繊維質などの固形物をろ過しますと、特有の色と味と香りの美味しい醤油ができあがります。ちなみに、米
国農水省の食品の栄養に関するデータベースによる醤油のアミノ酸成分表を表3-3に引用しておきます。代表的な旨味成分のグルタミン酸とアルギニンが特に多く含まれていることがこの表からも分かります。

表3-3 醤油 100g 中のアミノ酸含有量

アミノ酸名	含有量 (mg)
トリプトファン	0.074
トレオニン	0.209
イソロイシン	0.245
ロイシン	0.414
リジン	0.294
メチオニン	0.075
シスチン	0.091
フェニルアラニン	0.272
チロシン	0.188
バリン	0.256
アルギニン	0.357
ヒスチジン	0.134
アラニン	0.227
アスパラギン酸	0.555
グルタミン酸	1.218
グリシン	0.229
プロリン	0.380
セリン	0.299

日本の料理の調味料として非常に重要な位置を占める味噌も、醤油と同じように「醤」から改良されたもので、農村部では近年までそれぞれの家庭で自製されていました。一般的な味噌の作り方は、始めに米や麦を蒸して麹菌と塩を混ぜ合わせて、蛋白質の分解を助ける塩麹を用意します。大豆を良くふやかした後にお湯の中で柔らかく煮ます。江戸時代には味噌豆と呼んでいましたが、この煮た豆を適当にすり潰し、塩麹をよく混ぜ込みます。4ヶ月以上熟成すると、麹菌の働きで大部分の蛋白質がアミノ酸に分解し、味噌が出来上がります。麹の種類や混ぜ込み方など色々原料や作り方の違いから、白味噌、赤味噌、八丁味噌など種々の味噌が日本中に生産されています。米や麦を多く加えて醗酵させれば当然糖類が多くなり、甘味の強い味噌になり、乳酸菌の多い麹を使えば酸味の強い味噌になり

ます。長く熟成すれば、蛋白質の分解がより進むため、アミノ酸の濃度が高くなり旨味の強い味噌になりますが、同時に濃い褐色に色付いてしまいます。

京都の「大徳寺納豆」や浜松の「浜納豆」に代表される「塩辛納豆」あるいは「唐納豆」は 400 年～600 年前に中国から伝来したもので、戦国時代の兵糧として珍重され、とくに徳川家康の好物だったと伝えられています。味は納豆というよりも、味噌のような感じで、著者の好物として我が家のお茶づけやおにぎりにしばしば登場してきます。作り方は、柔らかく蒸した大豆を冷まし、「種麹」を加えて 2 日間醗酵させます。冷えるのを待って、塩水に漬けて 2～3 ヶ月寝かせます。その後、太陽の光で干して完成です。塩辛納豆は納豆とはいえ、氏も素性も「醬」の流れを汲む味噌の一種と考えられます。

水戸納豆は塩辛納豆とは異なる系引き納豆と呼ばれ、柔らかく蒸した大豆を藁苞の中に包み込んで 2 日ほど暖かい所で熟成させて作ります。藁には納豆菌と呼ばれる微生物が付着しているために、大豆の蛋白質を腐らせて必須アミノ酸に分解します。旨味成分のアミノ酸のほかに独特の香りの成分も醸成してきますから、食べ慣れない人には嫌われますが、消化を助ける酵素も副生してきます。價格的にも安価な水戸納豆は栄養豊富で茨城県では学校給食にもしばしば登場するそうです。なお、極めて類似の系引き納豆がベトナムの奥地にも作り継がれていると聞いたことがあります。

植物性の蛋白質を微生物でアミノ酸へ加水分解する「醬」ばかりでなく、動物性の蛋白質を微生物で腐らせてアミノ酸に加水分解した調味料や食べ物が各地に作られています。鰹やイカの内臓を麹などの微生物と共に塩漬けした塩辛は原料の蛋白質の醗酵により、アミノ酸の加水分解が進み、アミノ酸の旨味に富んだ食べ物に仕上がります。苦味の強い鮎の内臓やなまこのわたを麹とともに漬け込んだ塩辛はそれぞれ渋うるかやこのわたと呼ばれて酒の肴として極めて珍重されていますが、何れも旨味成分のアミノ酸を多く含んでいます。また、ベトナムやタイなどの東南アジアでは、塩辛に良く似た味のナンプラと呼ばれる魚から作られた「醬」が調味料として広く用いられています。

身の回りには至るところに種々の微生物が住んでいますから、化学エネルギーを供給できるような蛋白質やでんぷんを含む食物があれば、微生物は喜んでその食物の上に寄宿して生命活動を開始します。多くの微生物は蛋白質から必須アミノ酸に加水分解し、発生する熱エネルギーで生命活動を維持します。このとき蛋白質はアミノ酸に加水分解して行きますから、これを腐敗と呼んでいます。微生物の中には麹菌や納豆菌や青黴のように、人間にとって有益な働きをするものもありますが、生命活動を維持する間に毒物を分泌するものもあります。また、多くの微生物は食塩濃度の高い環境では生育できませんが、麹菌や酵母や乳酸菌などは食塩濃度の比較的高い環境でも生育できますから、雑菌の妨害も受けにくく乳酸菌や酵母が主役となって容易に醗酵が進行します。しかし、食塩濃度の高い環境を好む変わり者の微生物も蛋白質を食べに来ます。ボツリヌス菌という名の微生物は強い毒性物質を分泌しますが、この毒素は 2×10^{-6} g 食べると人の命を奪うほどに強力で、ふぐの毒素の約 30 倍の毒性に相当し、現在までに知られている最も毒性の強い物質と考え

られています。ボツリヌス菌は微生物ですから、極微量の毒素しか分泌しませんが、それでも日本中で毎年数件の食中毒による死亡事故が起こっています。蛋白質を含む食物は腐らせるほど旨味成分が増えて美味しく食べられますが、そのとき毒のない微生物を厳選しなければなりません。

黴のお陰で生活は豊かに

第2章で述べましたが、牛乳は油脂分を乳化する界面活性剤の働きを示す、セリンの水酸基にエステル結合でりん酸が付いたりん蛋白質を多く含んでいます。このりん蛋白質のカルシウム塩はイオンの部分構造を持っているために、水に溶け易くなっています。しかし、りん酸部分は酸性条件下では解離しませんから、当然水に溶け難くなります。蛋白質の長い鎖の部分は水に溶け難い性質を示しますから、りん蛋白質全体の水溶性は酸性にすることにより極端に低くなります。実際、牛乳にお酢を加えると牛乳は酸性になり蛋白質が間もなく凝固してゆきます。

乳酸菌などの微生物はでんぷんや糖類を分解酸化して、生命活動を維持していますが、そのとき副生してくる酢酸やクエン酸や乳酸は何れも酸性を示します。牛乳などの動物の乳に微生物が寄生すると蛋白質が固まってきます。例えば、ヨーグルト菌は乳酸菌の一種ですが、このヨーグルト菌を含んだ市販のヨーグルトを温めた牛乳に混ぜて放置しますと、約5~6時間で固まってヨーグルトになってしまいます。このようにヨーグルト菌により牛乳が凝固したものをスメタナあるいはヨーグルトと呼び、東ヨーロッパの各地で広く好まれています。さらに、長時間乳酸菌に働いてもらおうと液が酸性になり蛋白質が硬く固まってきます。このように固まった蛋白質をフレッシュチーズと呼んでいます。コテージチーズは脱脂乳などから作られるフレッシュチーズですが、白く脆い外観をしており、約80%の水分を含み、味は淡白で、わずかな酸味とさわやかな風味を持っています。この淡白な味は新鮮な野菜とよく合いますから、サラダやサンドイッチに入れています。また、砂糖と共にチーズケーキの基になります。

コテージチーズとは逆に牛乳に脂肪分を多く含む生クリームを加えて高脂肪の牛乳にして、クエン酸などで酸性にしますと脂肪分の高いフレッシュチーズが出来上がります。マスカルポーネはイタリアのミラノを中心とするロンバルディア地方で作られるこの種類のチーズで、チーズの味がするクリームとして入れたケーキはティラミスと呼ばれ、東京でも大流行したことがあります。原乳を酸性にする方法のほかに酵素を用いても乳蛋白質は固化します。モッツアレッラは水牛の乳あるいは牛乳に牛の内臓からとった酵素を加えて蛋白質を固化させ、お湯の中で揉んで水を搾り出して最後に塩水の中に漬け込みます。

チーズは牛や羊や山羊の乳の蛋白質を固めたもので、出来立てのフレッシュチーズは爽やかな風味に富んでいますが、味が淡白でコクがありません。そのため、このフレッシュチーズを色々の微生物に食べてもらい、アミノ酸に加水分解してもらって旨味のあるチーズに熟成する処理が古くからなされています。フランスのロックフォールやイタリアのゴ

ルゴンゾーラなどのブルーチーズは原乳から作ったチーズに青黴を混ぜ込んで、全体が青緑色になるほどに熟成させて造ります。青黴はチーズの蛋白質を食べながら生命活動を維持しますが、そのとき加水分解により生成するアミノ酸がチーズの旨味となります。蛋白質と混在している脂肪も一部分解しますから、熟成している間に酪酸などの比較的分子量の小さな脂肪酸が副生してきます。酪酸は汗などに含まれる耐え難いほどに臭い匂いの物質ですから、食べ慣れない人は抵抗を感じるものと思われます。

フランスのブリやカマンベールなどのクリームチーズは出来立てのチーズの周りに白黴を生やして熟成します。微生物は一度活動を始めると他の微生物を駆逐して生活圏を維持しようとする性質がありますから、白黴が他の雑菌の進入を抑え、旨味を増すばかりでなく、保存効果を増す働きもします。

イギリスの細菌学者フレミングもこのようなチーズを食べていたのでしょう。ブドウ球菌の培養実験をしているうちに偶然に、青黴(*Penicillium notatum* Westling)が生命活動を維持するために他のブドウ球菌のような微生物を駆逐して生活圏を維持しようとするのを見つけました。しかも、生活圏を守るために青黴は抗菌性の物質を分泌していることも見出しました。常日頃触れている現象が背景になって、ちょっとした偶然の実験事実が貴重な結果に結びついたわけです。その後、多くの研究者によりこの抗菌性物質がペニシリン G という図 3 - 7 に示すような化学構造を持つ物質であると明らかにされました。ペニシリン G はβ-アラニンが分子内でアミド結合したβ-ラクタム構造を持っており、このβ-ラクタム構造を持つセファロスポリンなどの化合物は皆抗菌性を示すことから精力的に研究が進められました。有効な抗菌性物質が発見されて医療に用いられるようになると、微生物も生活を維持するために変異を繰り返し抗菌性物質に抵抗します。結果として、現在の地球上に棲息している病原性の菌類に対して、ペニシリン G は既に全く抗菌性を示さなくなっています。抗菌性物質の改良と微生物の変異はイタチゴッコの関係になっていますから、残念ながら万能の抗菌性物質は未だに作られていません。

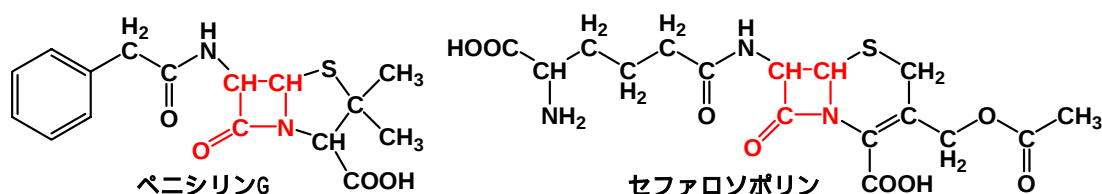


図4 - 7 抗生物質の分子構造

東洋では古くから麹菌や納豆菌など種々の微生物を利用して、食べ物を美味しくする工夫がなされてきましたが、ペニシリンの発見以来多くの医薬品を作り出す技術が進歩しました。このような微生物を利用する技術をバイオテクノロジーと呼んでいます。人間の叡智を集める将来が楽しみな技術でしょう。これからも微生物と共生して、微生物のお陰で人間の生活は豊かになるでしょう。

蛋白質の鎖の絡み方が性質を決める

蛋白質は水中で煮ていると 20 種類の必須アミノ酸に分解することから、沢山の必須アミノ酸が鎖状に並んでできた構造の物質であると考えられます。α-アミノ酸はアミン(NH₂)とカルボン酸(COOH)の原子団を持っていますが、この 2 つの原子団は水を放出して容易に縮合します。2 つの α-アミノ酸は縮合してペプチド結合(-CO-NH-)で結ばれますが、生成してきたジペプチドも末端にはまだアミンとカルボン酸の原子団を持っています。同じように、3 つのアミノ酸、4 つのアミノ酸がペプチド結合で結ばれても末端にはアミンとカルボン酸の原子団が残ります。言い換えれば、α-アミノ酸は幾つでもペプチド結合により連続的に鎖状に結合できます。このように多くの α-アミノ酸がペプチド結合で鎖状に結合した物質をポリペプチドと呼んでいます。特に必須アミノ酸が連続的に鎖状に結合したものを蛋白質と呼んでいます。

必須アミノ酸は 20 種類ですから、2 つの必須アミノ酸が結合して出来る可能なジペプチドは 20 × 20 種の組み合わせとなり、n 個の必須アミノ酸が鎖状に結合するときの、組み合わせは 20ⁿ種となります。n が大きな数字であればその組み合わせは無限にありますから、必須アミノ酸はわずかに 20 種類に限られていますが、無限に近い種類の蛋白質の存在が可能になります。

水素原子が遠くに炭素原子が手前になるように分子を置くと、アミンとカルボン酸と側鎖の原子団が時計回りに回るように位置する構造(R-型)と反時計回りに位置する構造(S-型)の 2 種類の構造を持つ α-アミノ酸が存在します。しかし、蛋白質から分解されてくるグリシン以外の 21 種類の必須アミノ酸は全て S-型の構造を持っていることが分かっています。この S-型の必須アミノ酸がペプチド結合で結ばれてゆくと、側鎖の原子団同士が遠ざかるようとする相互作用により、蛋白質の鎖は螺子のように時計回りにねじれてゆきます。しかも、必須アミノ酸には色々の大きさの側鎖の原子団がありますからねじれ方も複雑になります。蛋白質は鎖状に結ばれている必須アミノ酸の種類により、その鎖のねじれ方が異なってきますから、当然分子の形も違ってきます。

システインは側鎖部分に SH (メルカプト基)を持つ必須アミノ酸で、近くに別のシステインのメルカプト基があると、容易に酸化されて S-S (ジスルフィド結合)を形成し、シスチンになって結びつきます。蛋白質には其処此処にシステインがありますから、酸化条件でこれらは互いに結びついてシスチンになり、蛋白質のペプチド鎖はジスルフィド結合で橋掛け構造を作ります。S-型の必須アミノ酸が結合して出来ている蛋白質は螺子型にねじれており、さらに、シスチンのジスルフィド結合の橋が架かって 3 次元的に構造が固定します。しかし、多くの蛋白質ではシステインの割合はあまり高くありませんから、蛋白質の鎖を結びつけるジスルフィド結合は多くありません。蛋白質の構造を完全に 3 次元に固定するには、シスチンの橋掛け構造の数は不十分と思われます。

また、蛋白質を構成している必須アミノ酸の中には、アスパラギン酸やグルタミン酸の

ように側鎖に酸性部分を持つ酸性アミノ酸とリジンやヒスチジンのように側鎖に塩基性部分を持つ塩基性アミノ酸が含まれています。これらのアミノ酸の側鎖部分が近接するときには、当然弱いながらも酸と塩基の間の相互作用があり蛋白質の構造を 3 次元的に固定する働きをします。

第 2 章で述べたように、水素結合が本質的に酸からの解離による水素陽イオンの供給と受け取る塩基との間の水素陽イオンの遣り取りにより、酸の水素原子が塩基分子に結合を瞬時にしてゆく交換反応であるため、塩基として働くことの出来る 1 対の電子を持つ分子と水素陽イオンを供給できる分子は水素結合をすることが出来ます。ペプチド結合の酸素原子は孤立電子対と 2 重結合の π 電子を持っていますから、水素陽イオンを受け取る塩基の性質を持っています。また、ペプチド結合の N-H はアミンの N-H に比べて酸性が強く、窒素上に結合した水素原子は容易に水素陽イオンとして解離します。このようにペプチド結合の酸素原子と窒素原子には水素結合をしやすい性質を持っています。n 個のアミノ酸が鎖状に結合するときには(n-1)個のペプチド結合があり、同じ数の C=O 結合の酸素原子と窒素上にある水素原子を持っています。当然、沢山あるペプチド結合のあちらこちらで水素結合をすることが出来ますから、長い蛋白質の鎖は絡み合うように水素結合をして安定化します。S-型の必須アミノ酸が結合して出来ている蛋白質は螺子型にねじれており、シスチンのジスルフィド結合の橋が架かって 3 次元的に構造が固定します。その上、酸性の側鎖部分と塩基性の側鎖部分が、酸と塩基の間の相互作用をして、3 次元的に構造を固定する働きを助けます。さらに、多くの水素結合により、全ての蛋白質はそれぞれ固有の 3 次元的な構造を持って安定化します。先に挙げたキモトリプシンの例でも分かりますように、蛋白質の分子の 3 次元的な構造はその化学的性質に反映し、種々の機能を持って働きます。

豆の蛋白質を固める苦汁

性質や機能に大きな影響を与える蛋白質の 3 次元的な構造は構成する必須アミノ酸の並び方、螺子のようなねじれ方、シスチンのジスルフィド結合による橋掛け構造、酸性と塩基性の側鎖部分とのイオン結合による相互作用、ペプチド結合の間の水素結合により安定に固定されています。蛋白質を水の中で加熱してもペプチド結合を加水分解するためには 300 年以上もかかりますから、必須アミノ酸の並び方が変化したり切れたりすることはほとんどありません。シスチンのジスルフィド結合を切断するためには還元剤が必要で、通常の条件では橋掛け構造を壊すことも困難です。

酸は図 3-8 に示すように水素陽イオンと対応する酸の陰イオンに解離しますが、強い酸性の水溶液中では酸は余り解離せず、中性あるいは塩基性の条件下では酸はほとんど解離した状態になります。半分の酸が解離したときの pH の値を pK_a といい、その酸の解離のし易さを表す尺度にしています。このため pK_a の値が小さな酸は強酸の性質を示し、大きな酸は弱酸の性質を示します。また、塩基は水素陽イオンと反応して対応する塩基の陽

イオンになりますが、強い塩基性の水溶液中では塩基は余り陽イオンにならず、中性あるいは酸性の条件下では塩基はほとんど陽イオンの状態になります。このことを反対に考えれば、塩基の陽イオンは酸

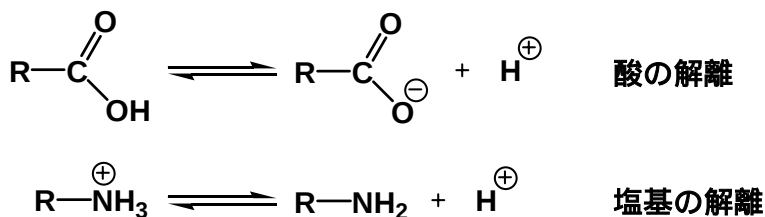


図3 - 8 酸、塩基の解離

性や中性では安定に存在しますが、強い塩基性条件下では水素陽イオンと塩基に解離しますから、塩基の陽イオンの pK_a は塩基の強さを表す尺度になることを意味しています。ちなみにメチルアミン、イソブチルアミン、アンモニアに対応する陽イオンの pK_a はそれぞれ 10.62、10.41、9.24 ですから、アミノ酸の腐敗により生成するこれらのアミン類は何れもアンモニアよりの強い塩基であり、苦味を感じさせる性質を持っています。

α -アミノ酸は酸の性質を持つカルボン酸と塩基の性質を持つアミンを原子団に持つ物質ですから、表 3 - 4 に示すように 2 つ以上の pK_a の値を持っています。アセトアミドに対応する陽イオンの pK_a は 1.40 ですから、アミノ酸がペプチド結合で結ばれると、酸性を示すカルボン酸部分も塩基性を示すアミンの部分も全く塩基性を示さない部分構造に変化することを意味しています。結果として、ペプチド結合で結ばれた蛋白質では、アスパラギン酸とグルタミン酸の側鎖カルボン酸が酸性を示し、中性や塩基性の条件では解離して陰イオンになります。また、リジンの側鎖アミン部分とヒスチジンのイミダゾール環が塩基性の性質を示しますから、酸性や中性の条件では陽イオンとして存在しています。中性ではこれらの酸性アミノ酸部分も塩基性アミノ酸部分も側鎖部分がイオンとして存在していますから、お互いにイオン結合をするために、蛋白質の 3 次元的な構造は安定な形に固定しています。

表 3 - 4 酸性アミノ酸と塩基性アミノ酸の pK_a

アミノ酸	側鎖構造	pK_a		
		カルボン酸部分	アミン部分	側鎖部分
グリシン	H	2.35	9.78	
アラニン	CH ₃	2.34	9.87	
アスパラギン酸	HOOC-CH ₂ CH ₂	1.99	9.80	3.86
グルタミン酸	HOOC-(CH ₂) ₃	2.30	9.67	4.28
リジン	H ₃ N ⁺ -(CH ₂) ₄	2.18	8.95	10.53
ヒスチジン	Imidazolyl ⁺ -CH ₂	1.82	9.17	6.12

表 3 - 2 から分かるように、塩基性アミノ酸のリジンはあらゆる蛋白質に平均的に含まれていますが、卵や魚肉や穀物の蛋白質では酸性アミノ酸を殆ど含んでいませんから、酸と塩基の間のイオン結合による蛋白質の 3 次元的な構造の安定化は余り大きな影響を示しません。しかし、牛乳や豆類の蛋白質には酸性アミノ酸が多く含まれていますから、蛋白質の 3 次元的な構造の安定化に影響を与えています。

酸性アミノ酸を含む蛋白質では塩基性の金属イオンと反応すると、側鎖のカルボン酸がカルボン酸の金属塩に変化します。特に、マグネシウムやカルシウムのイオンは 2 価の金属イオンですから、金属塩になって水に溶解難くなるばかりでなく、2 つの側鎖カルボン酸を結びつける働きをし、蛋白質の変性を引き起こします。大豆の蛋白質はグルタミン酸を多く含んでいますから、豆乳と呼ばれるその懸濁液に塩化マグネシウムを加えると変性が起こり凝固してきます。この固体は豆腐と呼ばれ、暑い夏の冷ややっこも寒い冬の湯豆腐も著者の好物です。海水から食塩を取り除いた苦汁と呼ばれる残渣の中には、マグネシウムやカルシウムのイオンが多量に残りますから、これを豆乳に加えて古くから豆腐が製造されてきました。しかし、名前からも分かるようにマグネシウムイオンが若干苦味を伴いますから、近年は塩化カルシウムで凝固させた豆腐が広く作られています。このような 3 次元的な構造の変化による機能や性質の変化する現象を蛋白質の変性と呼んでいます。

卵豆腐は卵を豆腐のように柔らかく固めたものですが、卵には酸性アミノ酸が殆ど含まれていませんから、苦汁で固める方法は適用できず、ゆで卵のように熱を加えて卵の蛋白質を変性させて作ります。また、胡麻豆腐はすりごまを葛と呼ばれるでんぷんで固めたものですから、卵豆腐も胡麻豆腐も豆腐もどきと云うべきものでしょう。豆乳のように酸性アミノ酸を多く含む蛋白質は酸性にしてもマグネシウムやカルシウムのイオンを加えても変性しますから、原料の食材とは異なる形の豆腐やヨーグルトなどの食材として食生活を豊かにしています。

半熟卵と温泉卵

性質や機能に大きな影響を与える蛋白質の 3 次元的な構造は構成する必須アミノ酸の並び方、螺子のようなねじれ方、シスチンのジスルフィド結合による橋掛け構造、酸性和塩基性の側鎖部分との相互作用、ペプチド結合の間の水素結合により安定に固定されています。シスチンのジスルフィド結合を切断するためには還元剤が必要で、通常条件では橋掛け構造を壊すことも困難です。表 3 - 2 から分かるように、牛乳や豆類以外の蛋白質では酸性アミノ酸を殆ど含んでいませんから、酸と塩基の相互作用による蛋白質の 3 次元的な構造の安定化は余り大きな影響を示しません。

これに対して、水素結合の結合エネルギーはあまり大きくありませんから、容易に水素結合の結び替えが起こり、多くの蛋白質は 60 ~ 70 °C で 3 次元的な構造の変化に基づく変性が起こります。しかし、蛋白質の種類や構造の違いによりこの結び替えの温度は若干異なります。当然、3 次元的構造の変化に関連している、機能や性質の変化も温度に若干違い

があります。

鶏の卵は卵白の蛋白質にはアルブミン、卵黄の蛋白質にはレシチンが多く含まれています。アルブミンは比較的高い温度で変性して固まりますが、レシチンはアルブミンよりも低い温度で変性して固化します。卵を 100 で温めると、外から徐々に温められてゆきますが、熱の伝導があまり早くありませんから、3 分程度の短時間では卵黄を変性するほど暖めることが出来ません。結果として、アルブミンは変性して卵白は固まりますが、レシチンの変性は十分に完了していないために、卵黄は半分ほどしか固まらず、卵は半熟の状態で止まります。さらに、100 で加熱を続けると卵黄のレシチンも完全に変性しますから、全て硬くなり 10 分ほどでゆで卵になります。

各地には色々の温泉がありますが、噴気孔のように蒸気が吹き上げているところでない限り、かなり高温の温泉でも 50~60 の温度の温泉が多いように思います。このように沸騰水に比べると低い温度の湯の中に長時間浸した卵は、卵全体が中までこの低い温度で温められます。卵黄の変性温度は比較的低いためこの条件でも固まりますが、卵白は変性温度に達しませんからあまり固まりません。結果として半熟卵と全く反対に、温泉で温めた卵は中が硬く外側が柔らかい温泉卵になります。このことを知っていますから、我が家の台所では適当な温度のお湯を発泡スチレンの箱の中に入れ、その中に生卵を浸して温泉卵を作っています。1 時間ほどで出来上がります。

牛肉も豚肉も鶏肉も、食肉の蛋白質は何れも約 70 で変性しますが、そのとき蛋白質は硬くなるばかりでなく保水力が低下します。そのため肉のみずみずしさが減って食感が悪くなります。肉の大きな塊を焼く場合には、変性しても中の水はあまり外側に漏れ出すことがありませんから、比較的味や食感を保つことが出来ますが、ひき肉では加熱しすぎは水分を失ってしまいます。ハンバーグを料理するときはこの点に注意する必要があると、我が家の料理指南が教えてくれました。

蛋白質は 20 種類の必須アミノ酸が鎖状に並んでできた構造の物質で、アミン (NH_2) とカルボン酸 (COOH) の原子団を持っていますから、この 2 つの原子団から水が脱離して縮合したペプチド結合 ($-\text{CO}-\text{NH}-$) で結ばれています。必須アミノ酸は 20 種類ですから、2 つの必須アミノ酸が結合して出来る可能なジペプチドは 20×20 種の組み合わせとなり、 n 個の必須アミノ酸が鎖状に結合するときの、組み合わせは 20^n 種となります。 n が大きな数字であればその組み合わせは無限にありますから、必須アミノ酸はわずかに 20 種類に限られていますが、無限に近い種類の蛋白質の存在が可能になります。蛋白質を構成する必須アミノ酸は S-型であり、この S-型の必須アミノ酸が結合して出来ている蛋白質は螺子型にねじれています。そのねじれを結ぶように、シスチンのジスルフィド結合の橋が架かって 3 次元的に構造が固定します。さらに、酸性和塩基性の側鎖部分との相互作用や多くの水素結合により、全ての蛋白質はそれぞれ固有の 3 次元的な構造を持って必須アミノ酸のペプチド鎖が安定しています。蛋白質の分子の 3 次元的な構造はその化学的性質に反映し、種々の機能を持って働きますが、適当に変性させたりアミノ酸まで分解することで蛋

白質を含む食物を料理しています。