

## 6. 人間の身体に起こる無常の変化

### 水の分解で作られるブドウ糖

第2章で考えたように化学反応では、反応の起こる前の系 A が活性化自由エネルギーを貰って不安定な中間の峠を乗り越え、系 B への反応が進行してゆくと考えられます。この活性化自由エネルギーを要する中間の峠が高ければ高いほど系 A から系 B への変化は遅くなり反応は進行し難くなりますが、峠を越えた後は安定な系 B に反応が進行して行きます。この峠が低い場合には系 A から系 B への変化も系 B から系 A への変化も速やかに進行しますから反応は可逆平衡反応となり、わずかに 3kcal/mol ほどの自由エネルギー変化 ( $G$ ) により平衡は完全に偏り反応が完結してしまいます。あたかもわずかな重さの違いで大きく傾く天秤のように極めてわずかな自由エネルギー変化により系の平衡の割合は鋭敏に大きく変化します。通常の溶液中の反応ではその反応の種類や素材により、中間の峠を越すために要する活性化自由エネルギーの大きさが異なりますから、反応の速さにはかなり違いがあります。

表 6 - 1 には生命活動に関係深い代表的な反応の室温における速さを半減期の形で纏めたデータを挙げておきます。一般にコレステロールは配糖体の形でブドウ糖と結合していますが、その結合の半分が水により分解するのに約 1 千万年掛かります。これに対して、3 次元的な構造の変化による蛋白質の変性は 3 分ほどで完結してしまいます。これらの反応は式 2 - 6 で表される別れの反応あるいは式 2 - 5 で表される溶媒として周囲に大過剰に存在する水との出会いの反応ですから、2 種の物質の衝突する機会が影響する通常の出会い

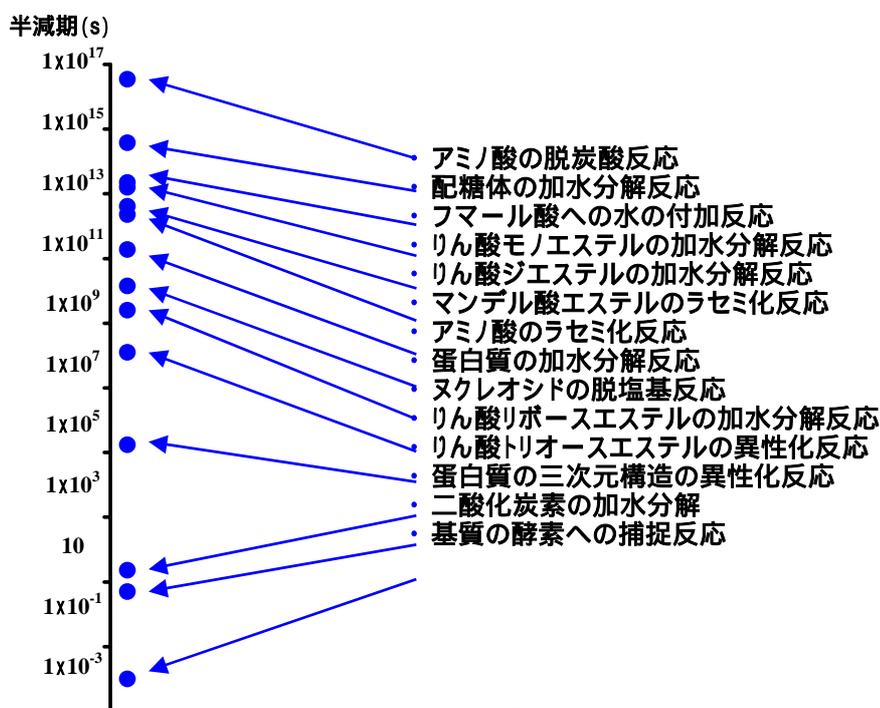


表6 - 1 生命活動関連の反応の半減期

の反応では有りません。日常生活で口にする食物の中でパンやご飯などのでんぷんや糖類のもとになるブドウ糖は  $C_6H_{12}O_6$  の分子式を持つアルコール類で、ほとんど全ての生物にとって生命を維持するエネルギーの源になる物質です。多くの植物は太陽からの光エネルギーを吸収して、6分子の二酸化炭素を還元し、6分子の水を酸化分解する光合成反応により、1分子のブドウ糖と6分子の酸素を生産しています。

一般に、水を酸化分解して酸素を発生させる反応は試験管の中では熱エネルギーや電気エネルギーで進行しますが、大きな活性化自由エネルギーを要するためにはかなり過激な条件を必要とします。植物の組織にとってはそのような過激な条件は余り適しませんので、植物の中では主に光エネルギーで進行します。地球表面には 250 nm よりも長波長の電磁波が太陽から到達しますが、中でも赤色の光を多く含んでいますから、生命活動に必要な物質を生産するために生物は赤色の可視光線のエネルギーを有効に利用して水を酸素まで酸化分解すると考えられます。その波長の光を最も効率よく吸収する物質は RGB 3 原色系の補色にあたる緑色の物質ですから、水の分解反応に有効な波長領域の光を最も効率よく吸収する物質は黄色から緑色をしています。ちなみに、植物はその生体を構成する糖類やでんぷんを生産するために葉緑素という緑色の物質を介して光エネルギーを利用しています。植物の組織の中では図 6 - 1 に示すように、葉緑素が太陽光を吸収して得た 68kcal/mol のエネルギーで水を酸素まで酸化分解し、 $NADP^+$  (別名ビタミン  $B_3$ ) を還元能力の高い  $NADPH$  まで還元します。この反応で生成した  $NADPH$  が  $NADP^+$  に戻るときに  $C=O$  結合や  $C=N$  結合を還元しますから、 $NADP^+$  と  $NADPH$  は水の酸化分解で生まれた還元する能力を伝達する役目を担っています。

簡単な物質から生命活動の維持に必要な複雑な物質へ変化してゆく出会いの反応においては分子が衝突しなければなりません、6分子の二酸化炭素と6分子の水の分子が同時に会う可能性は全くありませんから、この反応は多段階の反応が複雑に組み合わせられ、小さなエネルギーの積み重ねにより進行しているものと思われます。実際、二酸化炭素が

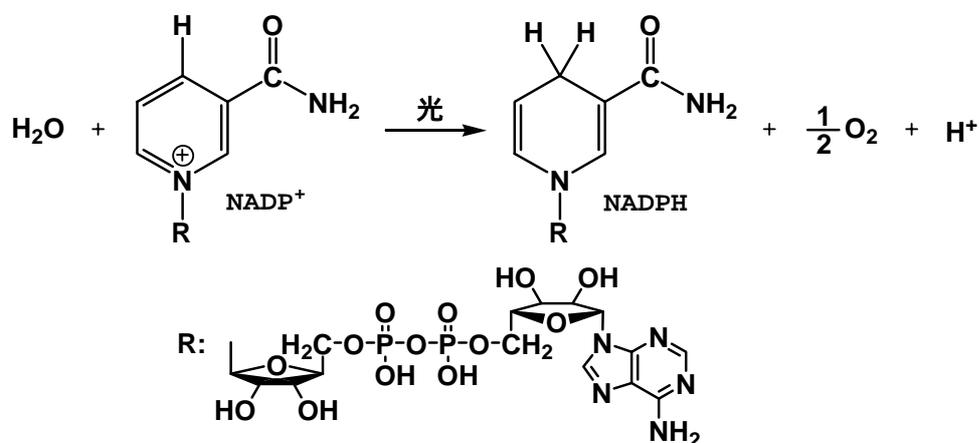


図6 - 1 太陽光による水の酸化反応

らブドウ糖への反応は、図 6 - 2 に示すように、炭素原子同士が結合する縮合反応とその逆反応の多段階に組み合わさった複雑な反応と考えられています。特に五炭糖に二酸化炭素が取り込まれて、三炭糖のグリセルアルデヒドの 2 分子に変化する過程を図 6 - 3 に示しておきますが、その過程においてカルボン酸の部分が NADPH によりアルデヒドに還元されてゆきます。全体としては式 6 - 1 にまとめたように、6 モルの二酸化炭素が 1 モルのブドウ糖に変化するためには 12 モルの NADPH による還元過程が必要であり、別途進行する太陽光による 12 モルの水の酸素への分解反応により供給されています。この過程で、6 モルの水が同時に生成してきますから、この化学変化では 6 モルの二酸化炭素と 6 モルの水から、1 モルのブドウ糖を生産することにより太陽の光エネルギーから植物は 673 kcal の化学エネルギーを蓄えています。

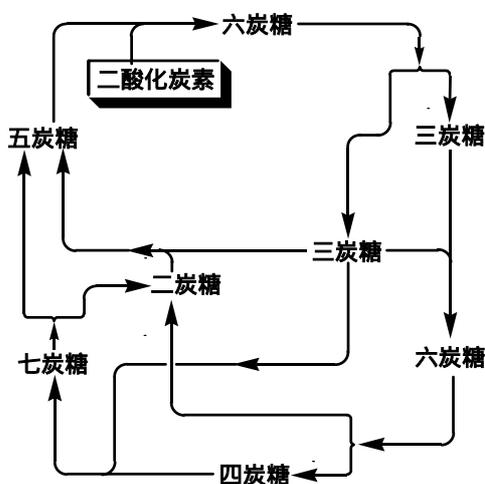


図6 - 2 光合成反応の複雑な反応過程

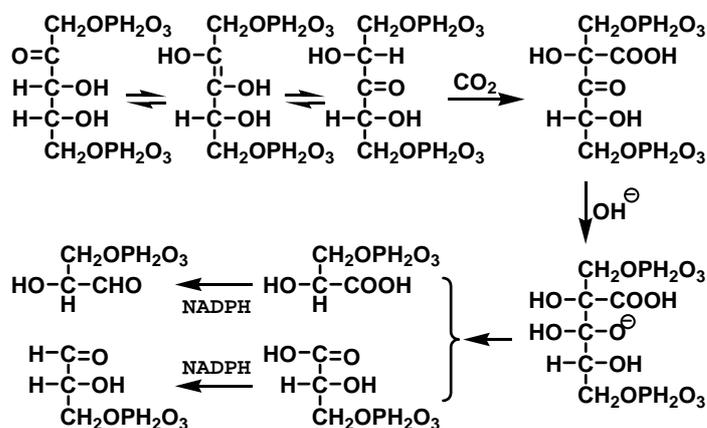


図6 - 3 光合成反応の一部の機構

植物の中では太陽の光エネルギーを吸収して、水が酸素に分解され、二酸化炭素がブドウ糖に変換されて固定化されてゆきます。この反応において、NADPH は水の酸化分解で生まれた還元する能力を二酸化炭素の還元反応に伝達する役目を担っています。この変化により二酸化炭素は還元度の高いブドウ糖に変換され、多くの太陽からの光エネルギーが蓄えられます。このようにして生合成されたブドウ糖を栄養にして、全ての生物は生命活動を維持しています。人間をはじめとする動物にとっては、光エネルギーで水を分解して二酸化炭素からブドウ糖を生合成し供給してくれる植物が唯一の頼りなのです。



## 食べ物を栄養分に換える加水分解反応

小学館の国語大辞典によりますと、増殖、成長、物質代謝、刺激反応性、調節性などの生活現象を表すものの総称を生物と呼んでいます。人間も種々の生物の一種に過ぎませんから、当然、増殖、成長、物質代謝、刺激反応性、調節性などの基本的な挙動を示す物であり、高い再現性と発展性を持ち、極めて複雑で、繊細で、効率の良い組織と考えられます。人間の食べ物は砂糖やでんぷんなどの糖質、肉や豆類などの蛋白質、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種類の食べ物は各器官で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、筋肉や種々の機能を持つ臓器などの身体の各器官を最良の状態に維持するための物質代謝に必要な材料にもなる大切な栄養です。このような生命活動を維持するための基本的な過程の他に、生存競争を勝ち抜くための刺激反応性や調節性を保つためには、高い五感の能力や運動能力や思考能力が必要で、多くの複雑な化学変化過程が体内で進行しています。さらに、人間をはじめとする全ての生物は種の保存と繁殖のために欠くことのできない増殖と成長の能力を持っていますが、この生物にしか認められない能力が極めて複雑な化学変化過程により生み出されています。このような多くの複雑な反応を促進したり制御したりするためには、酸性の物質や塩基性の物質や酵素や酸化や還元の仕事をする物質など極めて多くの物質が関与しています。

ブドウ糖から二酸化炭素への酸化反応で発生するエネルギーは生命活動の維持のために必要なエネルギーとして費やされます。蛋白質はエネルギーの源になるばかりでなく、筋肉や皮膚や血管や軟骨や五臓六腑と呼ばれる臓器など種々の器官を形作る材料として極めて重要な物質です。脂質は生物が生命維持のために必要とする親油性の物質の総称で、石油や石炭から作られる炭化水素などは含まれません。脂質にはバターやオリーブ油のように水が関与して分解することの出来る油脂とコレステロールや薄荷脳のように加水分解のし難い不けん化性脂質があります。これらの食べ物は人間の生命維持に必要な物質の原料ですから、水に溶けなければ消化器から体内に取り込むことができず、栄養として役に立ちませんがでんぷんも蛋白質も油脂も水にあまり溶けやすくありません。そのため、人間は食べ物を摂取した後に、でんぷんはブドウ糖に、蛋白質は  $\alpha$ -アミノ酸に、そして油脂は脂肪酸とグリセリンにばらばらに分解して栄養として吸収して、再度人間に適合した糖質や蛋白質や油脂に作り直しています。

蛋白質はあまり水に溶けない物質で長時間にわたり水中で煮ていると、次第に分解して計 22 種類の水に溶ける  $\alpha$ -アミノ酸に変化してゆきますから、蛋白質は多くの  $\alpha$ -アミノ酸が鎖状に結ばれた物質であると考えられます。このときの反応は図 6-4 の上から下方向への水が関与する変化ですから加水分解と呼んでいます。しかし、表 6-1 から分かるように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、それでも実際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 ( $H^+$ )

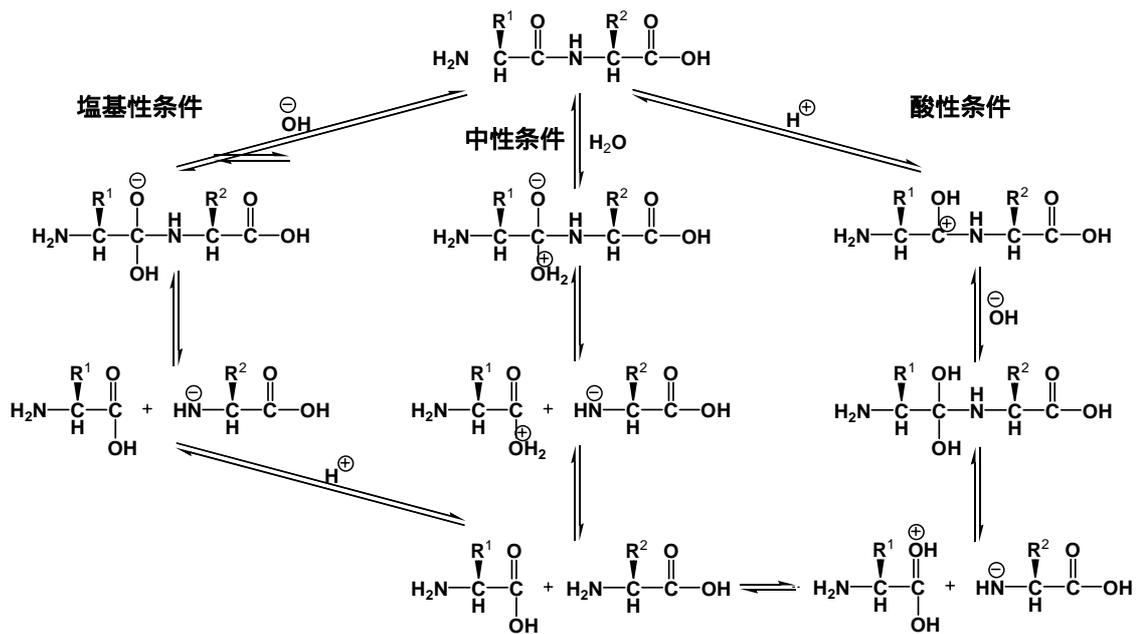


図6 - 4 ペプチド結合の加水分解

あるいは水酸イオン (OH<sup>-</sup>) が触媒になって図 6 - 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。胃の中はかなり強い酸性になっていますから、蛋白質を食べますと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、人間は三度三度の食事の折に蛋白質を食べて、半日ほどの間に完全に加水分解して -アミノ酸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、人間は消化器官の中でキモトリプシンやペプチダーゼなどの種々の加水分解を早める消化酵素を出して、蛋白質の -アミノ酸への消化を早めています。

牛肉の蛋白質も豚肉の蛋白質も大豆の蛋白質も全て -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 -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する -アミノ酸としてセリンを比較的多く含み、その水酸基のりん酸エステルが界面活性剤の性質を示し、乳化剤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 -アミノ酸の種類も並び方も違います。そのため、人間は種々の蛋白質を食べ物として摂取し、消化器官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 -アミノ酸に分解します。

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促進する触媒の働きを持っています。 -アミノ酸は水によく溶ける性質を持っていますから腸で吸収された後、血管を通

て各器官に配送され、そこで人間の身体の器官に存在するペプチダーゼなどの酵素の働きで必要な蛋白質として組み直されます。例えば、血管を通して配送された  $\alpha$ -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再生して筋肉になります。逆に、栄養不足により体内の  $\alpha$ -アミノ酸が不足すると、筋肉などの蛋白質が  $\alpha$ -アミノ酸に加水分解され、より  $\alpha$ -アミノ酸を必要とする器官に供給されます。結果として筋肉が少なくなって痩せていきます。

植物はブドウ糖を鎖状に長く繋げることによりセルロースの形で幹や枝や葉を作り、でんぷんとして栄養を芋や種子などの形で貯蔵しています。人間はセルロースを直接消化する機構を持ち合わせていませんから、バラバラにブドウ糖に加水分解することが出来ません。食べ物として摂取した米や麦や芋などのでんぷんは消化器官の中で、消化酵素の助けを借りてブドウ糖に分解し、腸から体内に吸収されます。栄養として吸収されたブドウ糖は赤血球に結合した蛋白質に包み込まれ、脳や筋肉などのエネルギーを必要とする器官まで赤血球と共に配送されます。配送先でブドウ糖は酸化されて、還元能力を持つ NADPH や高い化学エネルギーを内蔵する ATP を生成します。このようにして生成した NADPH は生命活動に必要な種々の物質を生成しますし、ATP は体内の各器官が支障なく機能するためのエネルギーを配送する運び屋の働きをします。同じように、食べ物として摂取したバターやオリーブ油や豚脂や牛脂などの油脂も消化器官の中で酵素の助けを借りて脂肪酸とグリセリンに加水分解します。グリセリンは極めて水に溶けやすい物質ですし、酸性物質の脂肪酸は腸内の塩基性の環境では水溶性を示しますから腸から体内に吸収されます。吸収された脂肪酸とグリセリンは血管の中を人間の身体の各器官まで配送され、油脂に再生されたり筋肉や内臓などの多くの器官を構成する細胞の細胞膜の材料に用いられています。

## 生物の活力はブドウ糖が持つ化学エネルギー

植物の中では吸収された太陽の光エネルギーで水が酸化分解され、二酸化炭素がブドウ糖に変換されて、光エネルギーが蓄えられます。このようにして生合成されたブドウ糖を鎖状に長く繋げておくことによりセルロースの形で植物は幹や枝や葉を作り、でんぷんとして栄養を芋や種子などの形で貯蔵しています。このように太陽のエネルギーを蓄えたブドウ糖を二酸化炭素と水に分解する時に発生するエネルギーで、全ての生物は生命活動を維持しています。生物体内におけるこのブドウ糖の分解過程により、還元能力を持つ NADPH や高い化学エネルギーを内蔵する ATP を生成します。

ブドウ糖は生体内では異性化反応、分解反応、酸化反応などの反応経路でピルビン酸に変化しますが、この過程で 2 分子の ADP とりん酸から図 6 - 5 に示すように 2 分子の ATP が生成します。同時に図 6 - 6 に示すように 2 分子の  $\text{NADP}^+$  が NADPH まで還元されます。酸化能力を持つ  $\text{NADP}^+$  が十分に供給される場合には、ピルビン酸は図 6 - 7 に示すような複雑な構造を持つ補酵素 A (HS-CoA) と酵素の働きで二酸化炭素を生成しながら、チオエステル結合を持つアセチル補酵素 A (アセチル-S-CoA) に変換されます。同時にこのピル

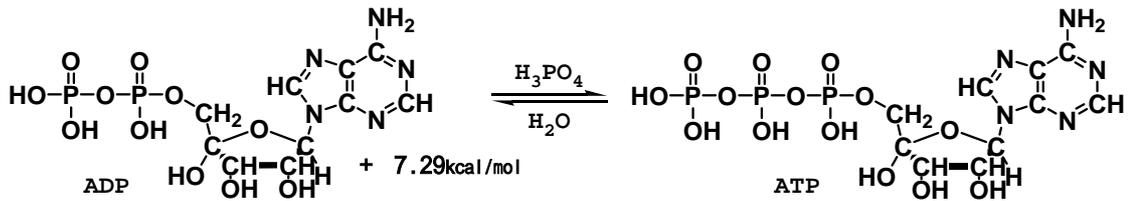


図6 - 5 ADP - ATP間の反応

ピルビン酸からアセチル補酵素 A に変化する反応においても  $\text{NADP}^+$  から 1 モルの  $\text{NADPH}$  が作られます。

ピルビン酸は酸素など酸化剤の供給のない還元状態では、酸化剤の  $\text{NADP}^+$  が十分に供給されませんから、ピルビン酸から二酸化炭素とアセチル補酵素 A に変化する反応が進行せず、 $\text{NADPH}$  により炭素=酸素 2 重結合が還元されて乳酸に変化します。急激な運動などで十分な酸素の供給が

ないまま ATP を必要とする場合には、酸化能力を持つ  $\text{NADP}^+$  が十分に供給されませんから、ブドウ糖が消費されて生成するピルビン酸は還元され、筋肉の中に乳酸が溜まります。そのため筋肉は疲労します。

酸化状態で生成するアセチル補酵素 A は縮合反応を加速する働きをしますから、オキザロ酢酸と縮合反応をしてクエン酸を生成します。このクエン酸は脱水反応、水の付加反応、酸化反応、脱炭酸反応などを経てオキザロ酢酸に戻ります。クエン酸サイクルと呼ばれるこの一連の反応では図 6 - 8 に示すように、本質的にはオキザロ酢酸に酢酸が反

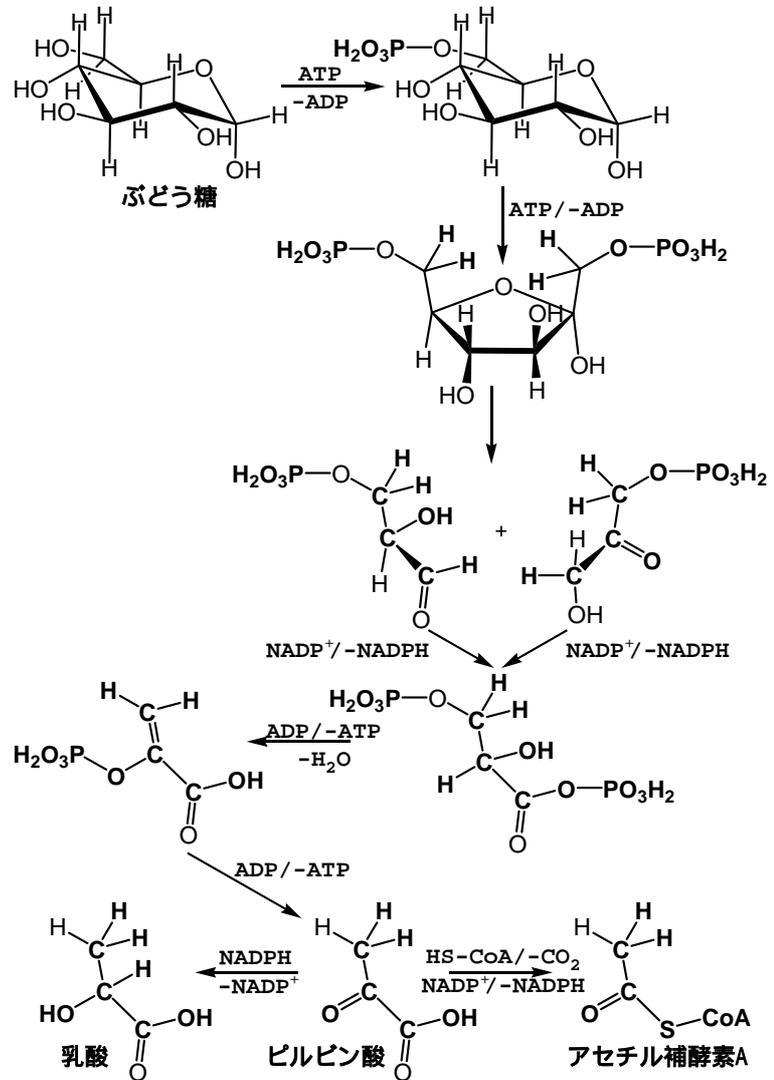


図6 - 6 解糖反応の機構

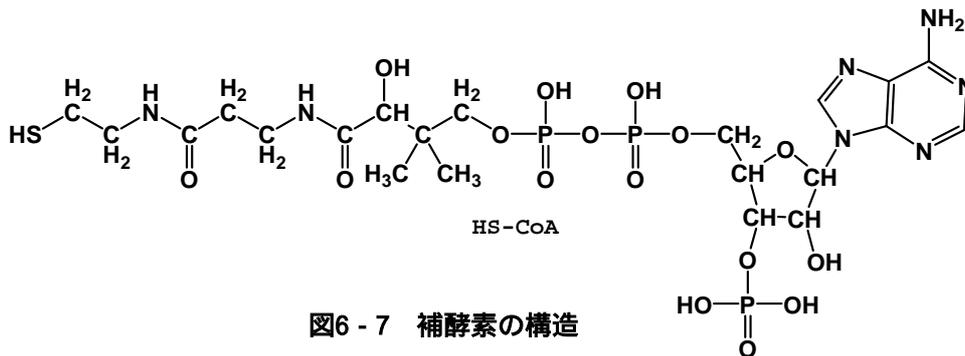


図6-7 補酵素の構造

応しますが、加えられた酢酸は度重なる酸化反応により二酸化炭素まで変化してゆき、オキザロ酢酸が触媒として回収されます。

このクエン酸サイクルの反応では酢酸が分解して2分子の二酸化炭素を生成しますが、同時に3分子のNADP<sup>+</sup>と1分子のビタミンB<sub>2</sub>がそれぞれNADPHと還元型ビタミンB<sub>2</sub>まで還元され、発生するエネルギーは1分子のADPとリン酸を縮合させてATPとして蓄えられます。ここで生成するNADPHと還元型ビタミンB<sub>2</sub>は還元能力を持つ物質で生体内の物質を還元しますが、NADPHと還元型ビタミンB<sub>2</sub>はその還元反応に必要なエネルギーをそれぞれ3分子と2分子のATPの形で含んでいます。ブドウ糖の分解によるピルピン酸への変化、アセチル補酵素Aへの脱炭酸反応、クエン酸サイクルを経由する二酸化炭素まで分解過程を総括しますと、1モルのブドウ糖から6モルの二酸化炭素に酸化される過程で、4モルのATPと10モルのNADPHと2モルの還元型ビタミンB<sub>2</sub>を生成します。結局、ブドウ糖の二酸化炭素への酸化反応で発生するエネルギーは38モルのATPを生成することに費やされます。

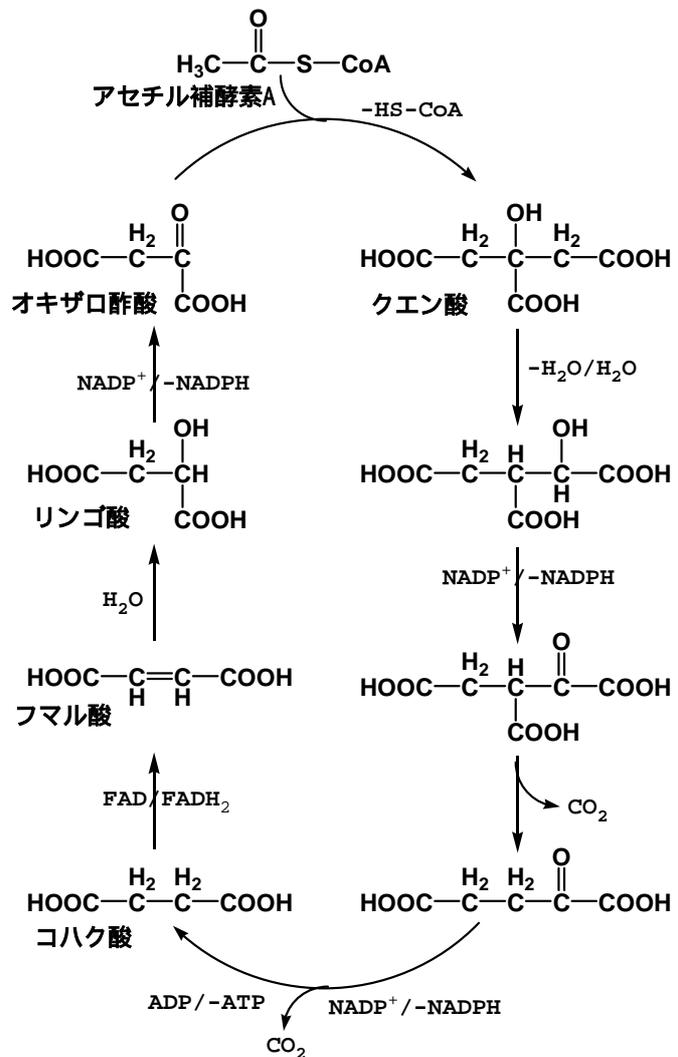


図6-5に示すようにADPとリン酸からATPを生成するために要する自由エネルギー変化

は 7.29kcal/mol と見積もられていますから、ブドウ糖の分解による 38 モルの ATP の生成は生物が活力として利用しうる 277.0kcal のエネルギーを生み出すことを意味しています。1 モルのブドウ糖を燃焼して 6 モルの二酸化炭素と 6 モルの水に分解するとき発生する燃焼熱は 673.0kcal と見積もられていますから、生体内における極めて複雑な一連のブドウ糖の分解反応が約 41% の熱効率でなされていることとなります。ちなみに、現在使用されているガソリンエンジン、ディーゼルエンジン、火力発電、軽水炉型原子力発電の熱効率はそれぞれ 20~30、28~34、41.8、34% と報告されています。火力発電の熱効率が発電機の出力部での値であり、長い送電の間の熱効率の低下や、エネルギーの需要に応じた出力制御などを考えると、この生物体内のエネルギー変換は驚異的な機構と考えられます。

## 夜盲症の原因となるビタミン A 不足

人間は米や麦や砂糖や肉や魚や豆類や油などを食べ、消化器官で糖質をブドウ糖に、蛋白質を - アミノ酸に、油脂を脂肪酸とグリセリンに加水分解して栄養分として腸から吸収します。吸収した栄養分は血管の中を筋肉や皮膚や血管や軟骨や脳や五臓六腑と呼ばれる臓器など種々の器官へ配送されますが、アミノ酸は配送先で図 6 - 4 の上方向への反応が進行して蛋白質に再生され、脂肪酸とグリセリンは構成する細胞膜や脂質に変換されます。前節で見てきたようにブドウ糖は配送先で二酸化炭素と水に分解されますが同時に NADPH と ATP を生成します。ここで生成する NADPH は還元能力を持つ物質で生体内の種々の物質を還元して生命活動に必要な種々の物質を生成します。また、ATP は体内の各器官が支障なく機能するためのエネルギーを配送する運び屋の働きをします。

人間は米や麦や砂糖や肉や魚や豆類や油などを食べ、ブドウ糖やアミノ酸や脂肪酸やグリセリンを栄養分として吸収し、生命維持のための活力にすると共に、酵素など極めて多くの物質を体内で合成しています。しかし、体内で進行しているすべての反応に関与する全ての物質を完全に自給自足することができませんから、人間は栄養分となるブドウ糖やアミノ酸や脂肪酸やグリセリンのほかに、体内で自給できないビタミン類や栄養分には含まれないナトリウムやカリウムやカルシウムや鉄などの金属元素をミネラルとして種々の食べ物から摂取しています。

人間の眼は角膜と水晶体と硝子体で構成される光学系により対象物の光学像を網膜上に結び、網膜上で起こる感光物質の変化を視神経が知覚し、その情報を脳の中の視覚中枢で整理する機構を持っています。1970 年代に眼を通して物事を認識する機構に興味を持った化学者が、屠殺場に出かけて行って牛の眼球を大量に入手してきました。持ち帰った目玉から網膜をとりだして、その中に含まれているロドプシンと呼ばれる感光物質を分離精製しました。ロドプシンは図 6 - 9 に示すように色素物質と蛋白質が結合した複雑な構造の物質でしたので、オプシンと呼ばれる蛋白質とレチナールと呼ばれる色素物質に加水分解し、それぞれの分子構造を明らかにしてきました。その後、2000 年にはじめてロドプシン全体の立体的な原子の配置が明らかにされました。



回転異性化反応により機能していますが、その 11-cis-レチナールは酵素の働きで 11-trans-レチナールから異性化されますから、再度オプシンと結合してロドプシンを再生しています。しかし、この光異性化反応と酵素による異性化による光を検知する一連の反応においても、ロドプシンがわずかながら消費されてゆきます。人参やカボチャやトウモロコシなどを摂取し、中に含まれる黄色色素の  $\beta$ -カロチンを酸化して、人間は中間にビタミン A を経由して 11-trans-レチナールを体内で合成しています。このようにして消費したロドプシンを補充していますが、 $\beta$ -カロチンの摂取が不十分でビタミン A の供給に支障が起こりますとロドプシンが不足しますから、網膜での光を検知する能力が低下してしまい夜盲症を発症します。

体内で進行しているすべての反応に関与する全ての物質を完全に自給自足することができませんから、人間は栄養分となるブドウ糖や アミノ酸や脂肪酸やグリセリンのほかに、体内で自給できないビタミン類や栄養分には含まれないナトリウムやカリウムやカルシウムや鉄などの金属元素をミネラルとして種々の食べ物から摂取しています。食べ物からの栄養分の供給が不十分の場合には、自分の身体を構成する脂肪や蛋白質を分解して一時的に補充します。しかし、ビタミン A の不足の場合でも明らかなように、わずかな物質が欠乏した場合でも種々の化学反応過程が円滑に進行しなくなり、健康を害します。人間の身体は極めて精巧にできた化学コンビナートのようです。

## 人間の寿命は 100 ~ 150 年？

人間は米や麦や砂糖や肉や魚や豆類やサラダ油などを食べ、消化器官で糖質をブドウ糖に、蛋白質を アミノ酸に、油脂を脂肪酸とグリセリンに加水分解して栄養分として腸から吸収します。吸収した栄養分は血管の中を種々の器官へ配送され、 アミノ酸は蛋白質に再生され、脂肪酸とグリセリンは構成する細胞膜や脂質に変換されて、人間の身体の各器官を作り上げてゆきます。このようにして作り上げて成長してきた各器官の組織も諸行無常の変化をしますから、時間の経過と共に機能が低下し痩せ細ってゆきます。各器官の機能を維持するためには、食べ物から吸収した栄養分を原料にして、その組織を再生して新たに補強しなければなりません。諸行無常に痩せ細る変化と新たに再生する変化の競争ですから、再生が優れば器官は成長し、痩せ細る変化が優れば機能が低下してゆきます。新陳代謝と呼ばれるこの競争する変化は生命活動の一環として続きますが、栄養分の供給の停止に伴い再生が止まりますと、各器官の機能が低下し生命活動が停止する死を迎えます。

新生児は体重 3 ~ 5kg、身長 50 ~ 55cm ですが、誕生後の 1 ヶ月で体重が約 1kg も増える勢いでドンドン成長します。文部科学省から発表された 2010 年の日本人の身長と体重の標準値を図 6 - 10 に掲げましたが、身長の伸びは次第に鈍り 20 歳でほぼ止まります。他方、体重は 40 歳前後まで増加し続けますが、その後は身長も体重も減少し始めます。このように再生する変化と痩せ細る変化の釣り合いは各器官によっても年齢によっても異なります

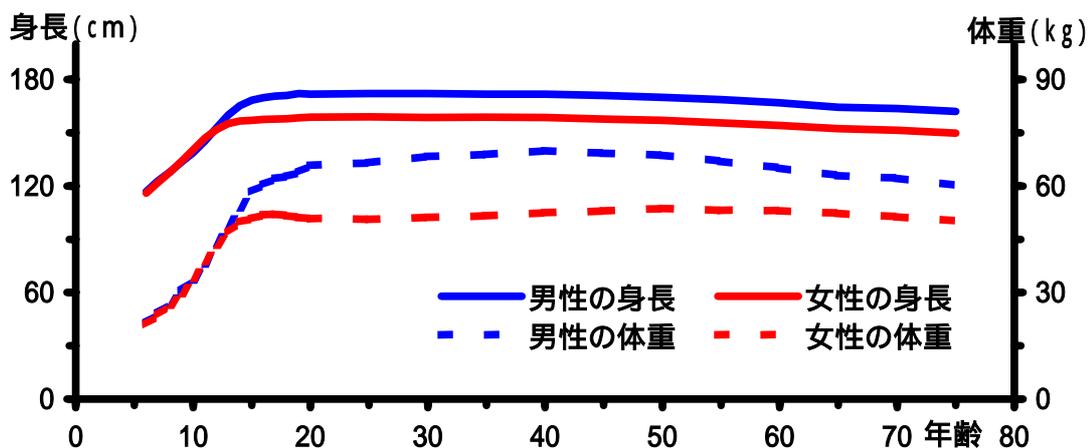


図6 - 10 日本人の標準体格

が、各器官の機能が総じて最も高いときを壮年期といい、老年になりますと全ての器官が痩せ細ってゆきます。

鉄製の鍋の中で鉄屑を塩酸に溶かす実験をしますと、鉄屑は確かに塩酸に溶けますが鉄鍋も溶けますから、鍋に穴が開いてしまい塩酸溶液は漏れ出してしまいます。このような矛盾に満ちた実験をする化学者は居りませんが、人間を創造した神様はこの矛盾に満ちた実験と良く似た組織を人間の身体に作ってしまいました。前節で見てきたように種々の消化酵素の助けを借りて、人間は摂取した肉や魚や豆類などの蛋白質を - アミノ酸に消化器官の中で加水分解して栄養分として吸収しています。このように食べ物の蛋白質を加水分解している消化器官は蛋白質でできていますから、鉄製の鍋のように消化器官が - アミノ酸に加水分解されてしまいます。消化器官がこのように矛盾を含んでいますから、神様はその矛盾を解決するように種々の対応策を取っています。その一つとして、内側で蛋白質を加水分解する消化器官の外側を裏打ちするように、腸で吸収した栄養分の - アミノ酸から新しい蛋白質を再生、補充して消化器官に穴が開くことを防いでいます。健康な状態では消化されて減少する消化器官の蛋白質に相当する量の新しい蛋白質を補充する非常に早い新陳代謝が行われていますが、精神的にあるいは肉体的に健康を害しますとこの新陳代謝の釣り合いが微妙に崩れますから、胃炎などの障害を引き起こします。

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種類の物質が考えられます。中心となる炭素原子に水素原子とアミノ基とカルボン酸の3つの原子団の他に種々の原子団(R)が結合した - アミノ酸には、図6-11に示すようにR-型とS-型の2種類の構造の異なる異性体が存在します。未だに原因が明らかになっておりませんが、蛋白質から分解されてくる - アミノ酸はほとんど全てS-型の構造を持っていることが化学的な研究の結果から分かっています。これらのR-型とS-型の2種類の異性体はラセミ化反応と呼ばれる平衡反応により互いに変換しますが、両者は全く同じ種類の結合で結ばれているから、自由エネルギー変化( $\Delta G$ )に差が認められません。このような $\Delta G$ に差の無い双

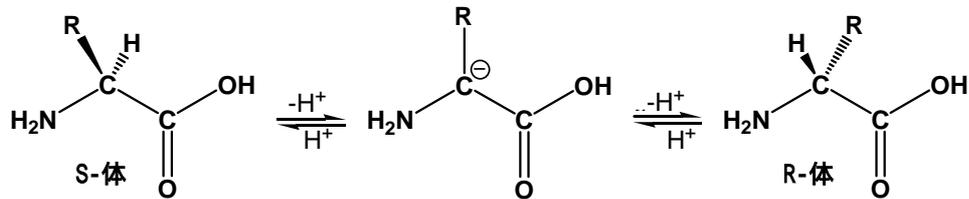


図6 - 11 - アミノ酸の異性化反応機構

方向とも別れの反応の平衡反応の例を図 2 - 10 の青色線には掲げておきましたが、平衡反応の初期には S-型の - アミノ酸は減少し、R-型の - アミノ酸が増加し、式 2 - 14 から R-型と S-型の 2 種類の異性体の成分比がともに 50% で平衡状態に達します。

しかし、この - アミノ酸のラセミ化反応において両異性体の間には比較的高い活性化自由エネルギーの障壁が横たわっていますから、表 6 - 1 に掲げたように多くの種類の S-型 - アミノ酸は約 6000 年で半減し、このラセミ化反応が平衡状態に達するためには約 60000 年を要します。しかし、蛋白質を構成する - アミノ酸の中で、構造的な要因によりアスパラギン酸のラセミ化反応だけが比較的早い速度で進行します。京都大学大学院藤井紀子教授は R-型と S-型の 2 種類の - アミノ酸の異性体比を精密に測定することにより、- アミノ酸の生成から経過してきた年月を算出する化学時計について永年にわたり研究されてきました。

前節で見てきたように、人間の眼は角膜と水晶体と硝子体で構成される光学系により対象物の光学像を網膜上に結び、光エネルギーにより網膜上で起こるロドプシンの変化を視神経が知覚し、その情報を視覚中枢で整理する機構を持っています。ロドプシンは酵素により再生されていますが、わずかずつ消耗するロドプシンは適宜ビタミン A から新陳代謝により補給されています。このようにロドプシンは早い新陳代謝で視力を維持していますが、眼の機構の中にはほとんど新陳代謝をしない部分もあるようです。眼のレンズの働きをする水晶体は新陳代謝がなく、クリスタリンという蛋白質が整然と並ぶことにより、透明性を保持しています。藤井教授はこのクリスタリンを構成するアスパラギン酸の部分の異性化反応により水晶体中のクリスタリンの構造変化が生じ、整然とした配列が乱され透明度が失われることを見出されました。この新陳代謝しない蛋白質クリスタリンの構造変化により、水晶体は年齢を重ねる間に次第に劣化して黄白色の濁りを帯びてきますから、入射した光が散乱してレンズとしての性能が低下してしまい、白内障と呼ばれる視覚障害を発症します。著者は数年前に白内障を患い非常に視力が低下してしまいましたので、水晶体の蛋白質をポリアクリロニトリルのレンズと交換する手術を受けました。結果として世の中の明暗の差が際立ち鮮明で、しかも白色が本当の白色に見えるようになりました。

生命活動を維持するためには、諸行無常の変化により劣化する各器官は補強し更新するように新陳代謝を繰り返していますが、眼の水晶体は例外的にほとんど新陳代謝をしない器官です。白内障はこの新陳代謝をしない水晶体が別れの反応による構造変化で劣化して

白濁する障害ですから、図 2 - 10 の青色線のような減衰曲線でその機能を失ってゆきます。そのため、白内障は年齢を重ねるにつれて発症の割合が増加し、80 歳以上の高齢者はほとんどが何らかの形で白内障の症状を引き起こしています。このことから 160 歳の高齢になれば 10~20%まで視力を失うと推定され、本来の眼の機能が 100~150 年の耐用年限を持っていると考えることができます。人間の身体は非常に複雑な多くの器官が総合して働くように極めて精巧に良く組織されていますから、生命活動に必要な器官ばかりで不要の働きをする器官は無いと思われず、すべての器官が過不足なく機能している間だけ人間は生命活動を維持することができ、ある器官が機能を失えば他の器官が長い耐用年限を持って機能していても人間は生命を維持できません。当然、すべての個々の器官は同じ程度の耐用年限を本来持っていると思われず、このように考えてきますと、すべての器官が新陳代謝を繰り返して正常に機能しても、100~150 年の寿命を持って人間は諸行無常の変化をするものと考えられます。

### 生命活動に不可欠な物質で発症する通風

図 6 - 12 に示すプリン

は窒素原子と炭素原子と水素原子からなる極めて安定な物質ですが、このプリンの骨格にアミノ基 (NH<sub>2</sub>) や酸素が結合したアデニンとグアニンは



図6 - 12 生物にとって重要なプリン塩基

生物にとって生命活動を維持する上で欠くことのできない極めて重要な働きをする原子団です。前節で見てきたように、ブドウ糖の二酸化炭素への多段階の酸化反応において鍵となるアセチル補酵素 A の分子には図 6 - 7 に示すようにアデニンの原子団が含まれています。その上この一連の酸化反応で発生するエネルギーは図 6 - 5 に示すようにりん酸とリボースとアデニンが結合した構造の ATP を生成することに費やされます。ここで生成する ATP は体内の各器官が支障なく機能するためのエネルギーを配送する運び屋の働きをします。

DNA は約 1%の重量比で細胞中に必ず含まれており、その細胞の進化の過程や生命活動のすべての情報を記憶しています。全ての生物に個性を与える遺伝情報などのすべての情報を記憶した DNA は、デオキシリボースとりん酸の結合したポリエステルの長い鎖状分子に 100000 個を越す核酸塩基と呼ばれるアデニンとグアニンとシトシンとチミンの 4 種類の核酸塩基が結ばれた構造をしています。ここで DNA の長い鎖の最先端のデオキシリボースに結ばれた核酸塩基の種類は 4 種のうちの 1 種であり、第 2 番目のデオキシリボースに結ばれた核酸塩基の種類も 4 種類の可能性がありますから、連結した 2 個のデオキシリボースに結ばれて並ぶ核酸塩基の組み合わせは 16 種類になります。n 個のデオキシリボースにこれらの 4 種類の核酸塩基が結ばれる並び方の数は 4<sup>n</sup>ですが、DNA のデオキシリボース

スの数  $n$  が 100000 を越す極めて大きな値を持っていますから、文字のような 4 種類の核酸塩基によりその並び方で膨大な情報を表現することができます。近年飛躍的に進歩してきた PC やコンピューターは記憶素子上の電氣的な + と - あるいは磁氣的な N と S の 2 種類の並び方で情報の記憶を行っていますが、生物は DNA のデオキシリボースに結ばれた 4 種類の核酸塩基の並び方で情報を記憶しています。このように DNA は 4 種類の核酸塩基の並び順序により、生物の 38 億年にわたる発生以来の進化の歴史を表現し記録しています。言い換えれば DNA は生物の記憶素子の役目をする物ですから、記憶されている内容の保存と読み出しと必要に応じた書き換えができなければなりません。

アデニンとグアニンとシトシンとウラシルの 4 種類の核酸塩基とリボースのりん酸エステル結合したヌクレオチドが、DNA と相互作用しつつ鎖状に結合して RNA は作り出されていますから、DNA の情報は RNA に転写するように読み出されています。DNA に含まれる多くの情報を個々別々に読み出しますから、細胞中に含まれる RNA の種類は約 1000 種類でその重量比は約 6% に及びます。そのため、全ての細胞は DNA と RNA が正常に機能しなければ、個々にその生命活動を停止して死滅します。このように DNA と RNA は機能においても重量比においても無視できない物ですが、その中核をなす核酸塩基のうちのアデニンとグアニンはいずれもプリン骨格を持っています。

ブドウ糖の酸化分解において鍵となるアセチル補酵素 A も、その過程で発生するエネルギーの運び屋の働きを持つ ATP も、生物の進化の過程や生命活動のすべての情報を司る DNA と RNA も、かなり大量のアデニンとグアニンが重要な働きをしています。人間が激しい運動をする場合には、当然多くのブドウ糖を分解して多くのエネルギーを ATP の形でエネルギーを必要とする各器官に配送しなければなりませんから、多くのアデニンとグアニンを必要とします。また、成長に伴う細胞分裂において、新しい細胞には新たに DNA と RNA が必要になります。このようにアデニンとそのヌクレオチドは人間にとって生命活動を維持する上で欠くことのできない極めて重要な物質ですが、特に身体的に成長し激しく活動する青春期には多くアデニンとそのヌクレオチドが必要と考えられます。

これらのアデニンとグアニンはプリン環の骨格を持っていますからプリン塩基と呼ばれていますが、デオキシリボースあるいはリボースのりん酸エステルに結合したヌクレオチドの形で生物体内で働いています。アデニンのヌクレオチドとグアニンのヌクレオチドはそれぞれ AMP と GMP とよばれていますが、この 2 種類のプリン塩基のヌクレオチドは図 6-13 に示すような過程でイノシン酸から体内で生合成されています。これら 2 種類のヌクレオチドの前駆物質となるイノシン酸は図 6-14 に示すようにリボースりん酸にグリシンやグルタミンやアスパラギン酸などの -アミノ酸と種々の酵素が作用して人間の体内で生合成されています。イノシン酸は人間にとって最も重要なプリン塩基のヌクレオチドの前駆物質ですから、人間自身が生合成するだけでなく多くの食物からも摂取しています。

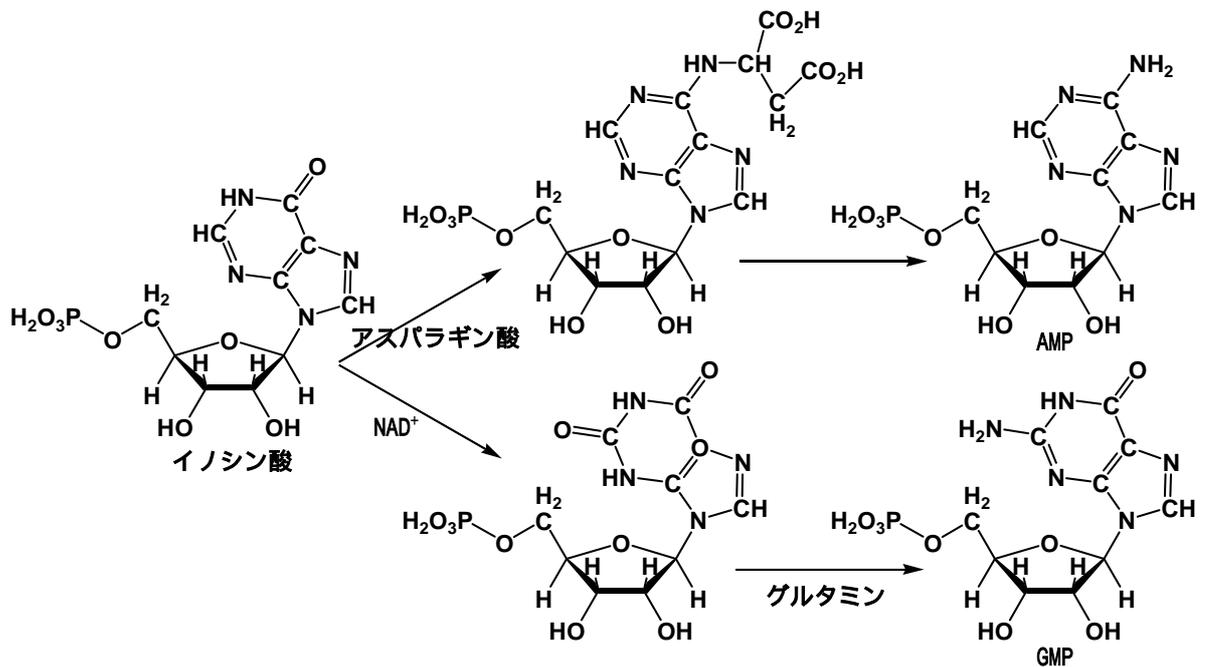


図6-13 プリンヌクレオチドの生合成経路

人間の基本的な味覚が西欧では酸っぱい、甘い、苦い、塩っぱいの4味と考えられてきましたが、東洋では酸っぱい、甘い、苦い、塩っぱいのほかに旨いの味が加わった5味と考えられています。そのため料理をする人間によって旨味に関して色々な工夫がなされ、旨味成分の水溶液は出し汁と呼ばれて料理の要とも考えられてきました。近代化学の進歩

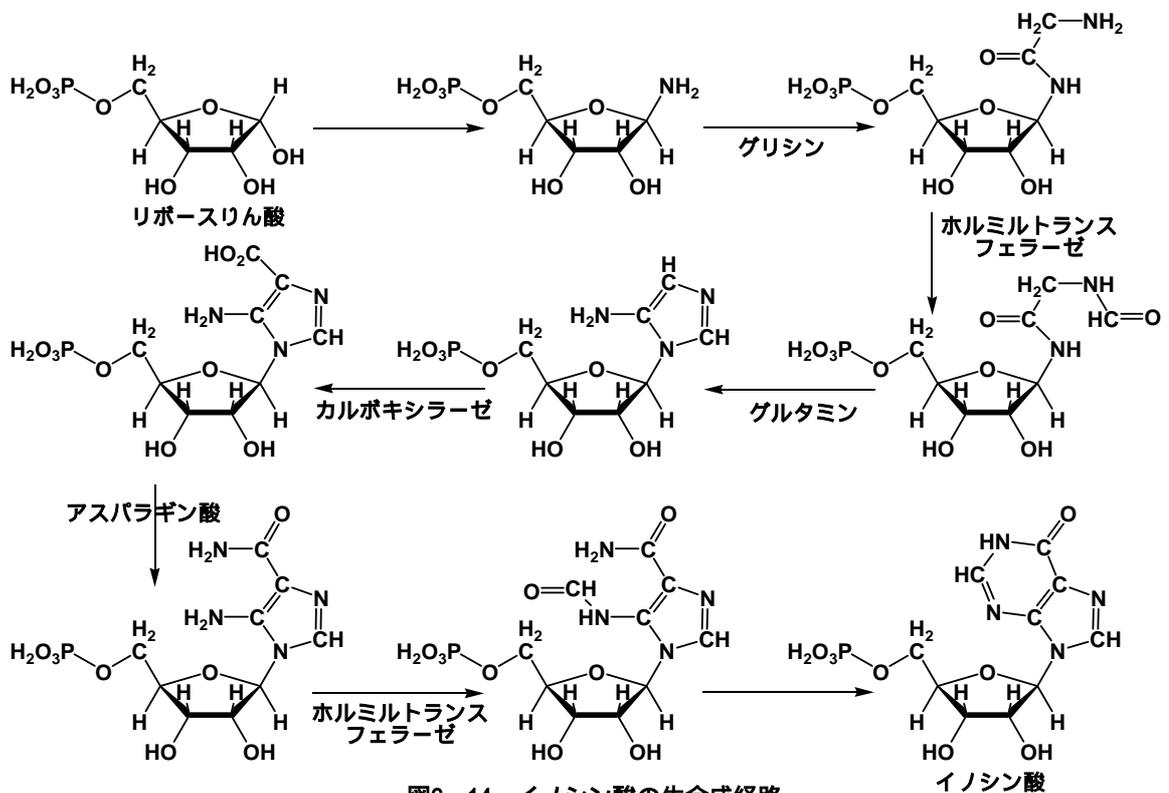


図6-14 イノシン酸の生合成経路

と共に、旨味成分の研究がなされるようになり、池田早苗博士が昆布や干し椎茸の出し汁や醤油の旨味成分がグルタミン酸ナトリウムをはじめとする  $\alpha$ -アミノ酸であることを見出しました。また、小玉新太郎博士は鰹節の出し汁からイノシン酸や AMP や GMP などのヌクレオチド類が旨味成分であることを見出しました。  $\alpha$ -アミノ酸は人間の身体を形作る蛋白質の原材料ですし、イノシン酸や AMP や GMP などのヌクレオチド類はアセチル補酵素 A や ATP や DNA や RNA などの人間にとって生命活動を維持する上で欠くことのできない極めて重要な物質ですから、人間にとっては両者とも必須の栄養素です。人間にとって重要な栄養素を好んで食べて体内に摂取したがるように、  $\alpha$ -アミノ酸やプリン塩基のヌクレオチド類が好ましい味に感じられるように旨味の味覚ができています。

人間はこのように生命活動を維持する上で欠くことのできない極めて重要なプリン塩基のヌクレオチド類を主に再利用していますが、一部は尿酸に酸化されてゆきます。また、青春期には身体の成長に伴う旺盛な細胞分裂と活発な活動を支える大量のエネルギー消費のために、大量のプリン塩基のヌクレオチド類を要しますが、人間は年齢を重ねる間に次第にその必要量が減少します。しかし、食べ物からの摂取量はあまり減少しませんから、プリン塩基のヌクレオチド類が必然的に体内に過剰になってきます。過剰に摂取されたプリン塩基のヌクレオチド類は図 6 - 15 に示すような脱アミノ化酵素による AMP からイノシン酸への変化、イノシン酸の酸化反応と加水分解により尿酸に分解されます。

水と酸素は人間が生命活動を維持するうえで欠くことのできない基本的な物質ですが、それぞれ極めて反応性の高い物質ですから、人間にとって毒性を示す過酸化水素や一重項酸素や水酸ラジカルなどの物質が金属化合物や紫外線的作用により副生します。プリン塩基のヌクレオチド類のイノシン酸への脱アミノ化反応とイノシン酸の酸化反応と加水分解により生成する尿酸は抗酸化剤の性質を持っていますから、血液中に発生する過酸化水素や一重項酸素や水酸ラジカルなどの有毒な物質を還元して解毒する抗酸化剤として、ビタ

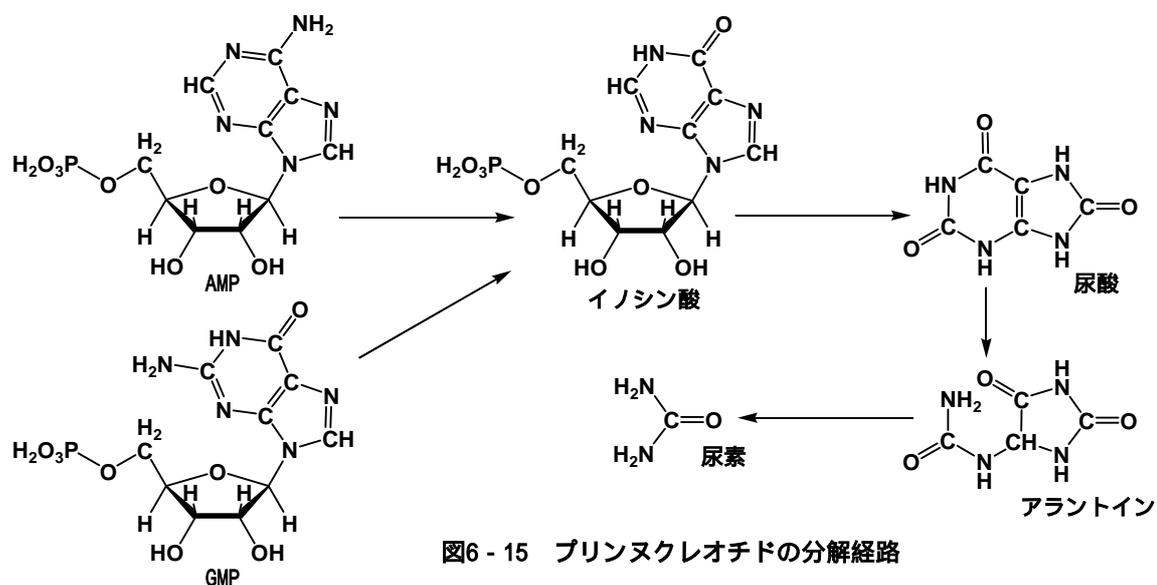
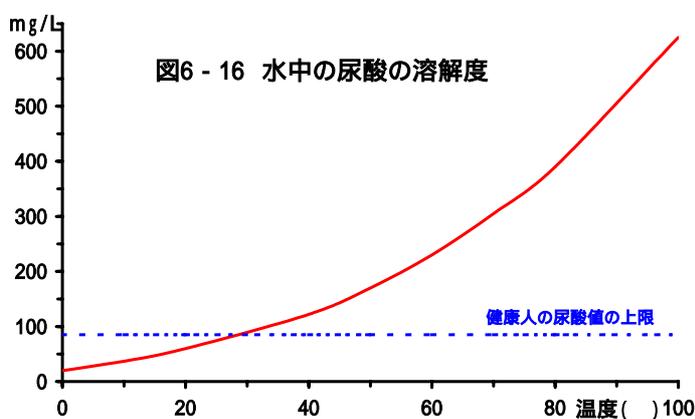


図6 - 15 プリンヌクレオチドの分解経路

ミン C と共に作用します。この尿酸が不要になりますと、人間の体内ではアラントインを経て尿素に分解して尿中に排泄されます。また、蛋白質や  $\alpha$ -アミノ酸が分解する時に発生する窒素化合物とともに、ここで脱アミノ化酵素により排出される窒素化合物はアンモニアとして尿中に排泄されます。

尿酸はプリン塩基のヌクレオチド類の分解した老廃物でありながら、重要な抗酸化剤の働きをする物質ですから、健康な女性の血液中には 20 ~ 70mg/L、男性では 21 ~ 85mg/L の尿酸が含まれています。しかし、水に溶解易い尿素やアンモニアと異なり、尿酸は図 6 - 16 に示すように人間の体



温の水には約 110 mg/L しか溶けず、平面状のプリン環骨格を持つ物質ですから結晶し易い性質を示しています。血液に含まれる尿酸の濃度が健康な人間の上限値よりわずかに高くなりますと、結晶が析出を始める飽和濃度に達してしまいます。特に、33 °C では 100 mg/L に、30 °C では 90 mg/L まで尿酸の溶解度が減少しますから、爪先や指先などのように比較的体温の低い身体の末端部分では尿酸がかなり結晶化しやすくなります。そのような場合には血液中に尿酸の針状結晶が析出してしまいますから、激しい痛みを伴って血液の流れに支障をきたします。この高尿酸血症はわずかの風に当たっても感じるほどの激痛を伴うことから通風と呼ばれる、プリン塩基のヌクレオチド類が体内に過剰になり易い熟年期の人にしばしば発症する疾患です。

多くの動物は蛋白質やヌクレオチド由来の窒素原子を含む老廃物を尿素やアンモニアとして排泄しますが、効率的に飛行をする鳥類は体重を軽減するために、尿素やアンモニアを多量の水に溶かした尿ではなく尿酸として糞のように固体の状態で排泄します。また、外部との物質の出し入れのできない卵は水の供給を受けられませんが、生命活動を維持する時に不要になった窒素原子を含む老廃物を外部に排泄できませんから、無毒で水を必要としない尿酸のかたちで内部に蓄積します。結果として卵の中には多くの尿酸が含まれますから、鶏卵に限らず数の子や鱈子やイクラやキャビアなどの魚卵は高尿酸血症の症状を悪化させます。このように人間にとって生命活動を維持する上で欠くことのできない極めて重要なプリン塩基のヌクレオチド類といえども過不足の供給により、人間の各器官の機能に支障をきたすこととなります。

## コレステロールの功罪

生物はブドウ糖を二酸化炭素と水に酸化しますが、その時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。この酸化反応の過程で中間に生成するアセチル補酵素 A が 3 分子重合するとメバロン酸になり、二酸化炭素の脱離、脱水、還元、りん酸とのエステル化の過程を経て、テルペン類の基本単位となるジメチルアリルピロリン酸に変化します。このジメチルアリルピロリン酸からゲラニルピロリン酸、ファルネシルピロリン酸、スクワレンを中間に経由してトリテルペン類の一種のラノステロールが生合成します。さらに、このラノステロールから図 6 - 17 に示すように、酸化、還元、環化、脱水などの多くの化学変化を経てコレステロールが体内で生合成してきます。

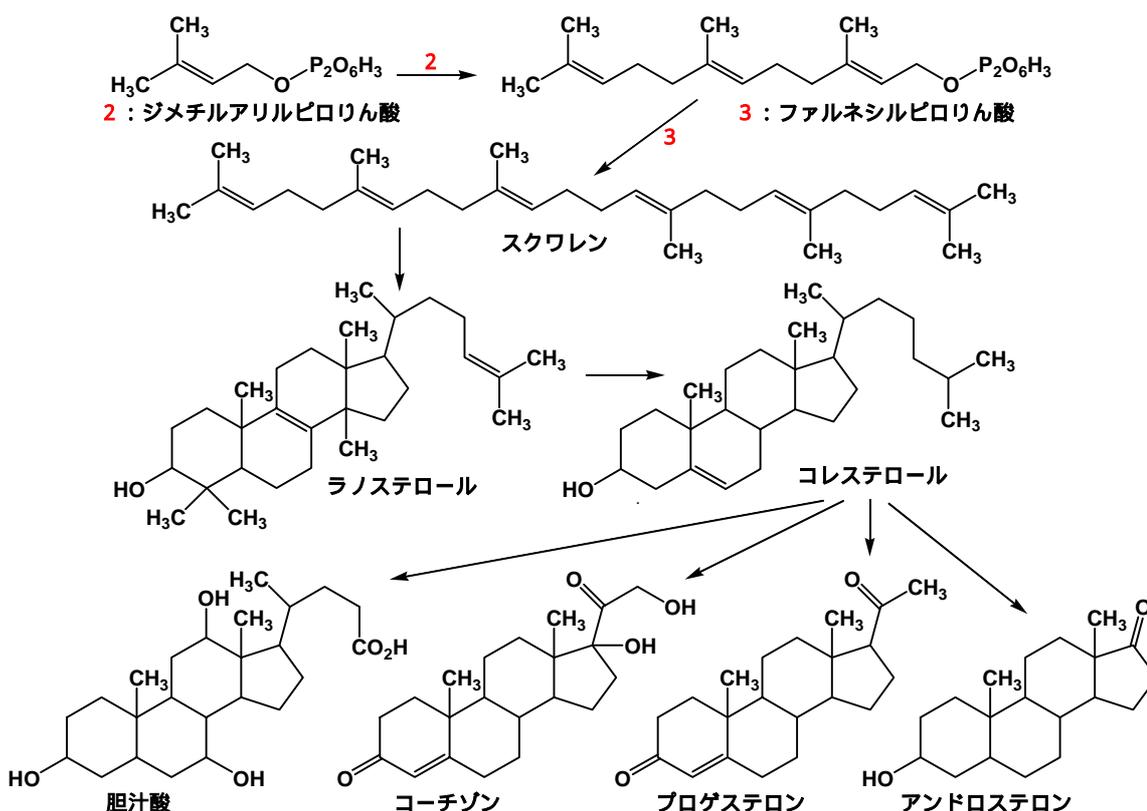


図6 - 17 コレステロールなどのステロイド類の生合成経路

このコレステロールは蛋白質と結び付いて、血液の中を体の各器官まで栄養を運ぶ役目を担っていますし、細胞膜の中に混ざりこんでその柔軟性を高いものにしています。さらに、男性ホルモンの性質を持つアンドロステロン、女性ホルモンの働きをするプロゲステロン、膠原病をはじめとする各種疾患の治療に役立つコルチゾンなどの副腎皮質ホルモン、胆汁の中に入っていて栄養分の脂肪を乳化する働きを持つ胆汁酸など各種のホルモンは生命活動の維持のためには重要な働きをしています。これらのホルモン類がステロイドと呼ばれ何れもコレステロールと類似の構造を持っていますから、コレステロールが各種のホルモンの根源となる物質と考えられています。このように人間を始めとするほとんどの動物にとってコレステロールは生命活動を維持し、円滑な成長や増殖を遂行させるために極めて重要な物質と思われます。

青春期には旺盛で多くの性ホルモンなどにより活発な生命活動をしていますから、コレステロールを多量に必要とします。動物の成長や増殖と深い関わりを持つ肝臓や卵巣などの中に多くのコレステロールが含まれていますから、鶏卵や魚の卵や豚や鳥の肝臓などの食べ物から摂取します。同時に人間の体内で必要に応じて生合成していますから、生命活動を維持し円滑な成長や増殖を遂行させるために必要なコレステロールが供給されています。しかし、熟年期になるにつれて次第に人間は枯れて行き生命活動は不活発になり、コレステロールの消費量は減少しますから、必要量を超える量を食べ物から摂取するようになります。結果として熟年期になると共に、生命活動において極めて重要な物質のコレステロールが体内に過剰になってきます。

このコレステロールは $C_{27}H_{48}O$ の元素組成を持つ4つの環が繋がった比較的堅牢な構造をしていますから、図6-18に概観するように多少波打っていますが全体としては平盤な形をした分子です。そのため板や紙が積み重なるようにコレステロールの分子も面に平行に整列し易く非常に結晶化しやすい性質を示します。過剰になったコレステロールの分子は結晶化し易いために血管中で固化して、血液の流れを阻害します。血液の流れが滞れば、身体の各部への栄養分の配送に支障をきたすことになり、各器官の機能が低下してしまいます。

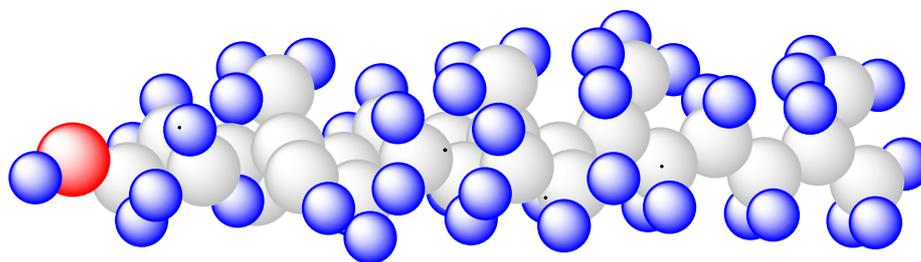


図6-18 コレステロールの概観図

生命活動を維持するための基本的な過程の他に、生存競争を勝ち抜くための刺激反応性や調節性を保つためには、高い五感の能力や運動能力や思考能力が必要で、多くの複雑な化学変化過程が体内で進行しています。さらに、人間をはじめとする全ての生物は種の保存と繁殖のために欠くことのできない増殖と成長の能力を持っていますが、この生物にしか認められない能力が極めて複雑な化学変化過程により生み出されています。多くの複雑な反応を促進したり制御したりするためには、酸性の物質や塩基性の物質や酵素や酸化や還元の仕事をする物質など極めて多くの物質が関与しています。人間の身体はこのような多くの物質が関与する多くの複雑な反応で機能していますが、それらの中の一種類の物質でも供給に過不足の生じる場合には、各器官の機能に支障が生じます。人間の身体は非常に複雑な多くの器官が総合して働くように極めて精巧に良く組織されていますから、結果として身体の機能に均衡が失われて病気を引き起こす原因になります。本来100~150年の寿命を持っている人間も、たとえ1つの器官の機能でも完全に停止する場合には死に繋が

ります。

## 糖の生物による分解反応と炭化反応の競争

植物は太陽の光エネルギーを吸収して、水を酸素に酸化分解し還元する能力を持つ NADPH を生じますが、この NADPH が二酸化炭素を還元してブドウ糖に変換します。このように二酸化炭素から生合成されたブドウ糖をさらにセルロースまで重合して葉や枝や幹や根を形造っていますが、また砂糖やでんぷんなどの別の物質にも変換し植物の生命活動の活力として貯蔵しています。これらのブドウ糖を構成単位とするセルロースや砂糖やでんぷんを糖質と呼んでいますが、この糖質が酸素と反応しますと水と二酸化炭素に戻りますが、そのとき大量の発熱を伴いますから、人間をはじめとするすべての生物は生命活動を維持するための活力の源として、この糖質が水と二酸化炭素に変化する時に放出するエネルギーを利用しています。

バーで飲んでいるときに遊び人の友人から、角砂糖に火をつける遊びを教えてもらったことがあります。普通にマッチで角砂糖に火を点けても簡単には燃えはじめませんが、角砂糖にタバコの灰を少々摺り込んでから点火すると比較的容易に青い炎を揚げて燃え始めます。この角砂糖の燃焼は活性化自由エネルギーの大きな反応ですが、自由エネルギー変化 ( $G$ ) が負の値を持つ発熱反応であることを示しています。このように着火し難い砂糖を 160 以上に温めると、褐色に変色しながら分解してカラメルになります。このとき図 6-19 に示すように一部の砂糖から水が失われて黒色の炭素が生成し、着色する炭化反応が起こっています。さらに十分な酸素の供給される燃焼の条件においては、生成した炭素も空気中の酸素と反応して二酸化炭素に変化します。砂糖はブドウ糖が 2 分子結合した物質ですが、この砂糖の炭化反応は  $G$  が  $-217.0\text{kcal/mol}$  の自由エネルギー変化を伴いますから、高温では容易に進行する発熱反応です。同様に  $G$  が  $-106.7\text{kcal/mol}$  の自由エネルギー変化を伴いますからブドウ糖も高温では容易に炭化反応が進行します。

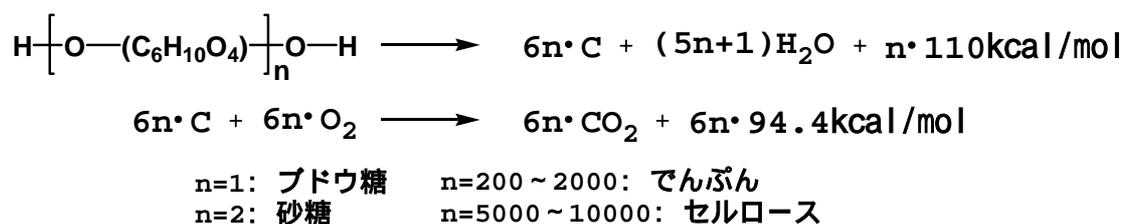


図6-19 糖類の炭化と燃焼の反応

大きな釜でご飯を炊きますと、炊き上がりの寸前には水分がほとんど蒸発して熱の伝導が難しくなりますから、釜に接する部分で米に含まれるでんぷんが高温になり炭化反応を起こしておこげができてしまいます。また、酸素の供給を抑えながら樫などの材木を窯の中で燃やしますと、高温のために炭化反応が進行しますが、酸素が不足するために炭素の二酸化炭素への酸化反応が抑えられますから、材木は窯の中で木炭となって残ります。ブドウ糖と砂糖の  $G$  の値から、ブドウ糖を構成単位とするでんぷんやセルロースなど種々

の糖質の炭化反応において、構成単位のブドウ糖 1 個当たりの  $G$  は約  $-110 \text{ kcal/mol}$  と推量することができます。ここで推量されるブドウ糖の発熱量と分子量から、砂糖やでんぷんやセルロースなどの糖質が炭化および燃焼をするときは平均してそれぞれ約  $0.680 \text{ kcal/g}$  と  $4.180 \text{ kcal/g}$  の発熱が見積もられています。実際、セルロースを主成分とするブナやカンバや樫や松などの材木の燃焼熱は表 4 - 4 に掲げたように約  $4 \text{ kcal/g}$  と報告されています。

砂糖やでんぷんやセルロースなどの糖質の炭化と燃焼は活性化自由エネルギーの大きな反応ですから室温では進行が極めて遅く、人間の一生のような短期間にはほとんど変化が見られません。しかし、これらの糖質が炭素や二酸化炭素や水に分解するとき自由エネルギー変化  $G$  が大きな負の値を示しますから、極めて長時間には徐々に水を放出しながら炭素に分解してゆきます。しかもこれらの分解反応は種々の触媒の働きにより加速され、反応時間が極めて短縮されます。

樹木が倒れ落ち葉が積もりますと、葉や枝や幹は新しいブドウ糖の供給が止まりますから、構成しているセルロースから二酸化炭素への分解と炭素への分解が競争するように進行します。適度な温度の下で十分な酸素と水がある環境では、多くの生物がこれらのセルロースを栄養として生命活動を維持しますから、生物の持つ種々の酵素が触媒として働きこのような植物の遺骸は優先的に水と二酸化炭素に分解されてゆきます。しかし、寒冷地や砂漠のように生命活動の困難な地域では生物の働きによる分解に長時間を要しますから、植物の発芽から枯死までの生活周期毎に植物の遺骸は次々に積み重なって堆積がすすみます。この堆積の過程で、植物の遺骸に含まれるセルロースは徐々に炭化しますから、生物の棲めないほど圧縮されて泥炭（PEAT）と呼ばれる塊に固まってきます。夏季は野草が生い茂りますが冬季は凍結するために生物の繁殖が制限されますから、北海道の石狩平野やフィンランドや英国スコットランドなどの湿原では泥炭が広く分布しています。この泥炭は干し草の一部が炭化したものですから、火力は大きくありませんが燃料として十分に利用できます。スコッチウイスキーの醸造には泥炭を燃やして麦芽を乾燥する工程が含まれていますが、このとき泥炭から燻る煙の匂いが残ってウイスキーの独特の香りを産み出しています。

このように植物の遺骸が長時間にわたり生物の分解もなく堆積しますと、炭化反応が徐々に進行して泥炭から褐炭になり、さらに 3 億年以上経過しますとすべての糖質成分は黒色の炭素に完全に变化して石炭となります。太陽の光エネルギーを吸収して植物は水を酸化し、二酸化炭素を還元してブドウ糖を光合成し、そのブドウ糖を結び合わせて砂糖やでんぷんやセルロースなどの糖質として葉や枝や幹や根を形作っています。生物が生命維持の活力を得るためにこれらの糖質を二酸化炭素と水に分解するばかりでなく、焚き火や山火事などによる燃焼においても糖質が分解されますが、炭化反応により炭素と水へ分解する場合もあります。周囲の温度や酸素の存在などの環境に大きく影響される複雑な過程により植物が光合成した糖質は分解し消失して行きます。枯死した植物の遺骸は一義的ではない複雑な諸行無常の変化により自然に帰っているようです。

## 自然に帰る遺骸

蛋白質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、筋肉や皮膚や血管や軟骨や五臓六腑と呼ばれる臓器など種々の器官を形作る材料として極めて重要な物質です。そのため、動物は蛋白質を摂取した後に全て  $\alpha$ -アミノ酸に加水分解しますが、 $\alpha$ -アミノ酸が水によく溶ける性質を持っていますから腸で吸収された後、血管を通して各器官に配送され、そこで動物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  $\alpha$ -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、血管を通して配送された  $\alpha$ -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  $\alpha$ -アミノ酸が不足すると、筋肉などの蛋白質が  $\alpha$ -アミノ酸に加水分解され、より  $\alpha$ -アミノ酸を必要とする器官に供給されます。結果として筋肉が少なくなって痩せ細ります。

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ペプチダーゼなどの加水分解酵素により  $\alpha$ -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  $\alpha$ -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、肉の中のペプチダーゼにより蛋白質を十分に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。

このように蛋白質のペプチド結合が加水分解され、 $\alpha$ -アミノ酸として腸で吸収され、身体の各部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結んで蛋白質となります。この一連の生体内の反応は蛋白質と水が反応して  $\alpha$ -アミノ酸へ分解する加水分解反応と、多くの  $\alpha$ -アミノ酸から水が失われて蛋白質になる縮合反応で、いずれも加水分解酵素やペプチダーゼなどの酵素が重要な働きをする平衡反応です。人間の身体の中で起こるこれらの蛋白質の変化を総括すると、非常に精巧な機構により牛肉を食べ過ぎると豚のように太ってしまうこととなります。我が家の格言では「牛を食べると豚になる」となります。

牛や豚や鶏と同じように、人間の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送されてくると、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、死後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ますと、人間の遺骸の筋肉の中では、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。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。

人間が摂取した肉や豆類などの蛋白質はエネルギーの源になるばかりでなく、筋肉や皮膚や血管や軟骨や五臓六腑と呼ばれる臓器など種々の器官を形作る材料として極めて重要な物質です。同じように他の生物にとっても極めて重要な栄養ですから、肉食動物ばかりでなく多くの生物は肉や豆類などの蛋白質を栄養として摂取し、生命活動を維持しています。結果として動物の遺骸は多くの生物の餌食になる変化として自然の循環系に組み込まれています。人間の遺骸がこの循環系に組み込まれた他の生物により餌食になる変化と、蛋白質中に含まれる加水分解酵素の働きで加速される -アミノ酸への分解の変化により消滅してゆく過程は、自然の摂理であり複雑な諸行無常の変化です。

時代や地域が異なりますと人間の遺体の埋葬の仕方も異なり、火葬や土葬や風葬や林葬や水葬など種々の葬祭法に付されて自然に帰されてゆきます。土葬や風葬や林葬や水葬は家族などの精神的な結び付きの強い人々の目に留まらないように、それぞれ土の中や山の上や森の中や海の中に埋葬する方法で、遺体は鳥や獣や虫や魚や多くの微生物の餌食となったり、雨水に溶かされて時間と共に自然に帰ってゆきます。人間は自然を構成する多くの物質の一つに過ぎませんから、死と共にその遺体は自然の循環系に組み込まれて他の物質に変化して行きます。

著者はシェーンブルン宮殿やシュテファン寺院などハプスブルク家の繁栄の面影を見て回るウィーンの観光旅行を楽しみましたが、その折ホーフブルク宮殿の裏手にある代々の王や女王が葬られている寺院の地下室に足を踏み入れました。国威が盛んな時代でしかも死後間もないマリアテレジアの棺が中央に祭られていましたが、古い時代の王や王子や皇女の髑髏が並べられており、壁際には手や脚の骨が薪のように山積みされていました。寺院の地下室は気温が低く比較的乾燥していますから、棺と遺体の蛋白質や脂肪や糖質は生物の餌食になって自然に帰っていましたが、りん酸カルシウムを主体とする骨や歯が白骨として残ってしまったようです。しかも寺院の地下室に並べることのできる棺の数には限りがありますから、埋葬当時は敬われていた王族でも、時代の流れと共に人々の記憶から消え去ってしまった王家の代々の遺体が、自然に帰ることも無く薪のように山積みされる結果になっていました。

明治時代以降の日本では、伝染病の予防の観点から遺体を火葬に付すように法律で定められています。人間の遺体を高温で火葬に付しますと、身体を構成している水も蛋白質も脂肪も糖質も気体の二酸化炭素と水蒸気と二酸化窒素に酸化されて自然に帰りますが、り

ん酸カルシウムの組成を持つ骨や歯は酸化反応も気化もしませんから、遺骨としてそのまま残ります。日本では永年にわたり、このようにして残った遺骨を素焼きの骨壺に納めて墓石の下に埋葬する習慣になっていました。先祖代々の墓は地面に石の枠を置きその上に蓋をするように墓石を乗せたものでしたが、著者の義父の遺骨を埋葬すべく墓を空けましたところ、墓石の下に納骨してあったはずの先祖代々の遺骨も骨壺も全く見当たりませんでした。墓石の下は空気が多少循環し、雨水が漏れて入ることができますから、当然モグラや微生物の侵入も可能です。素焼きは粘土を整形して乾燥し、釉薬をかけることなく高温で焼成したもので、多孔質で保水性に富み壊れやすい特徴を持っていますから、永年の風化により次第に形を失い本来の粘土に戻ってしまいます。遺骨もしみ込んでくる水に溶けて地中に帰っていったものと思われます。遺骨は数十年の間に完全に自然に帰り、全く跡形も無くなっていました。