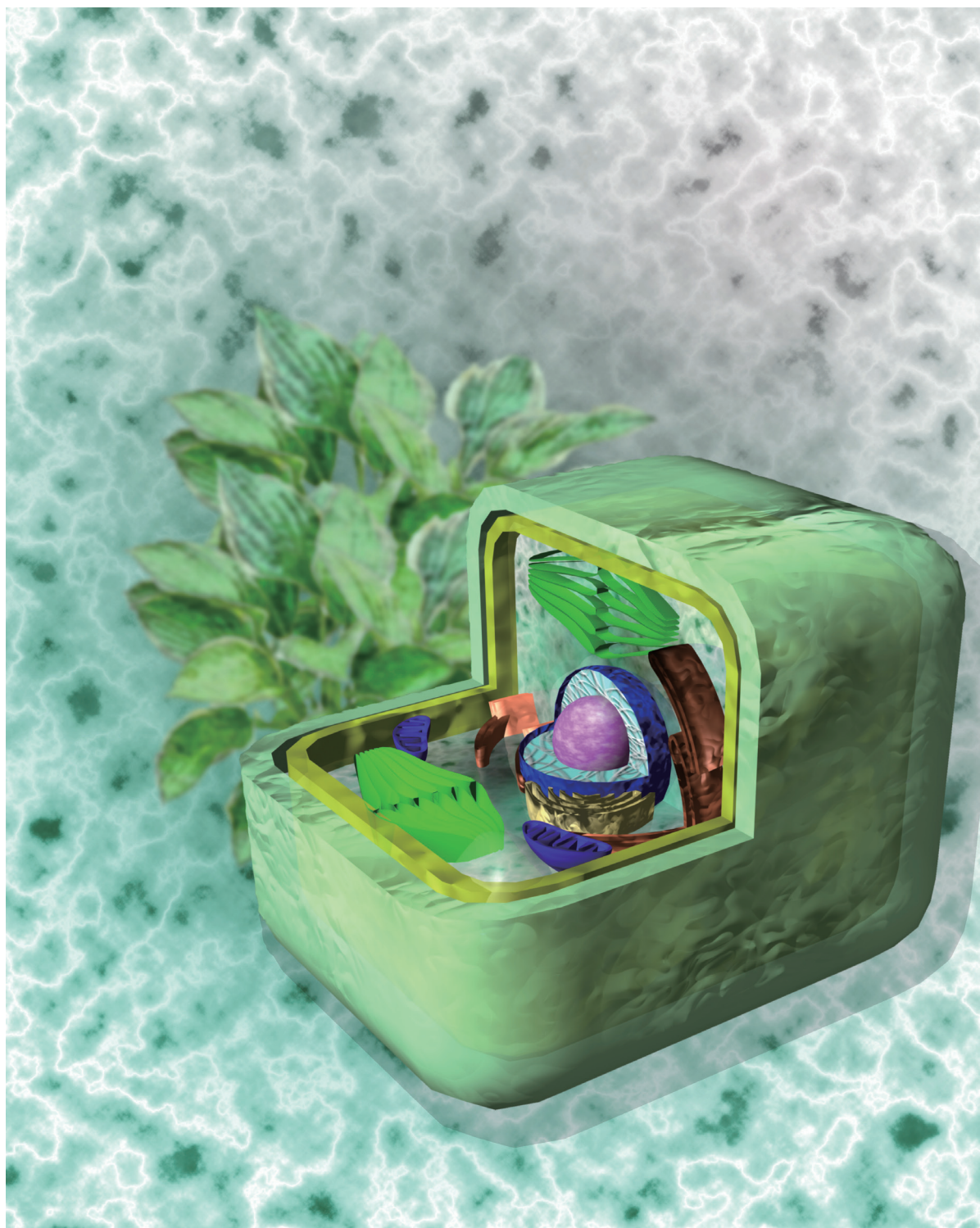


第 2 2 章 細胞

細胞は生命の最小単位です。細胞ではどのような営みがなされているのでしょうか？今回はこの細胞で行われている働きについて勉強していきましょう。



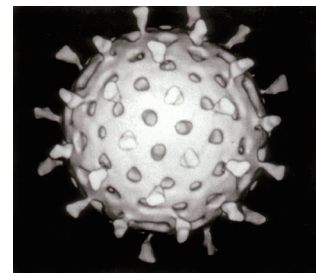
生物とは何か？

そもそも生物とは何でしょうか？生きているものという言い方ができますが、生きているとはどういうことでしょうか？動いているだけでしたら、水の中のゴミも動き回りますし、ロボットも自分で考えて動くことが可能になるでしょう。現在、地球上で生物として認められている物体には特徴があります。

まず、外部からエネルギーを取り込み利用します。これはたとえば移動するときには、仕事をする必要がありますからエネルギーが必ず必要になります。また、生物は成長し、生殖によって遺伝物質を子孫に与えて、種としての性質を伝えます。もちろんこうした生殖をしない場合もあるのですが、それは死滅して現在まで種として伝えられていないわけです。しかし、海辺にある塩の結晶などでも自然に成長していき、大きくなると分裂するので上の生命の定義では、こうした結晶の成長と生命とは区別できなくなってしまうかもしれません。それでは、生命はどのように定義したらいいのでしょうか？

生物は細胞を持つ

それでは、生物を決定的に特徴づけるのはいったいなんなのでしょうか？生命を特徴づける性質は、**細胞**があることです。つまり、**生命は細胞という膜により環境と自分とを分けて、自己というものを持っています。**また、**細胞内には遺伝情報を伝えることができる物質が含まれています。**そして、**そのための生命と生殖の維持の情報を細胞内に持っているのです。**このように、この細胞を持つということが決定的に生命か生命でないかを分けることになります。



ウイルスの一種

ウイルスは、細胞膜を持たずに遺伝情報とある種のタンパク質のみを持ちます。このため、ウイルスは生物とは認定されません。しかし、そもそもこうした生物という分け方自身も、自然界がではなく、人間が決めた取り決めであることにも注意しましょう。人間が生物と認定するしないにかかわらず、ウイルスも進化して現在まで生き残っていることには変わりはありません。また、今後地球外の生物が見つかり、分類法が変わるかもしれません。

細胞が生命の決め手となるので、**細胞は、生命体における最小の単位**です。つまり、これ以下の階層では、分子の化学反応として機能しており、それ自身で生きていくということを定義できません。逆に言うと、分子の移動や変化などの過程の多くは、細胞の中のどこで、どのようにして起こるかということによって理解できるのです。多細胞の器官では、様々なタイプの細胞からなり、それぞれが独自の働きをします。しかし、器官全体の作用は、個々の細胞のレベルで理解する必要があります。

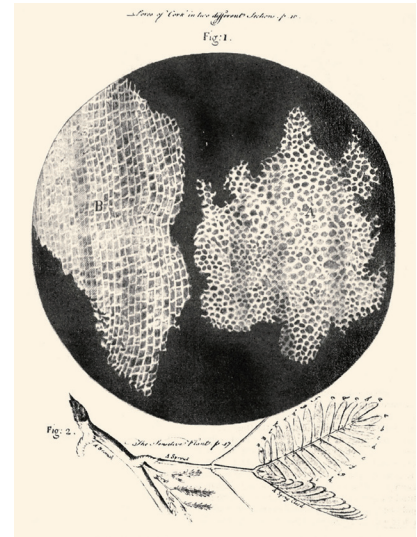
細胞の理論

生物学にとって最初の革命がこの細胞理論と言えるでしょう。物質の最小単位が原子であったように、生物学にとって最小の単位があることの発見は大きかったです。

1665年にイギリスのロバート・フックが、顕微鏡でコルクの構造を調べました。当時は、30倍の倍率でしたが、フックは奇妙な構造を見つけたのです。小さな穴が多数ある構造でこれは細胞と呼ばれました。

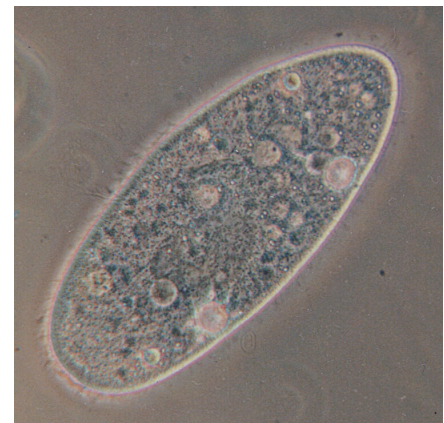
フックの研究が発表されてすぐに、アントニ・ファン・レーウェンフックが、もっと強力な顕微鏡を作ることに成功します。その倍率は約3000倍です。その顕微鏡で、池の水をみて、ゾウリムシのような単細胞生物を発見します。彼はまた、血液細胞や精子なども観察しました。

1670年代に入ると、研究者達は植物は細胞の集まりからできていることを発見しました。そして、1800年代には、それまでの観察を元に生物学者達は、すべての生物は細胞からなっていると認識するようになっていきました。



細胞の理論と科学的方法

科学的方法では、次のことが重要です。まず、どのようなパターンがあるのかを認識することです。そして次に、それがどのようなメカニズムでおこるのかを説明することです。細胞の理論のパターンとしては、すべての生物は細胞から構成されていることです。そして、それがどのようにしてできたかについては、それ以前に存在した細胞から作られるのです。しかし、腐ったものには虫が自然にわいてくるように見えますし、放置した牛乳や水が腐敗していくのも自然に起こります。



このため、生命が必ずそれ以前の生命から作られるということは、19世紀になるまでそんなに明らかではなかったのです。

科学的方法では、生命は自然にはわいてこないという仮説について実験的な証明が必要です。ルイ・パスツール(1822 - 1895)は、栄養素を入れ、煮沸したフラスコに外気から遮断されていると菌が育たず、外気に触れていると菌が繁殖することを示し、菌は自然にはわいてこないことを明らかにしました。このような実験は多数試みられており、生命が自然と現れる状況は確認されていません。

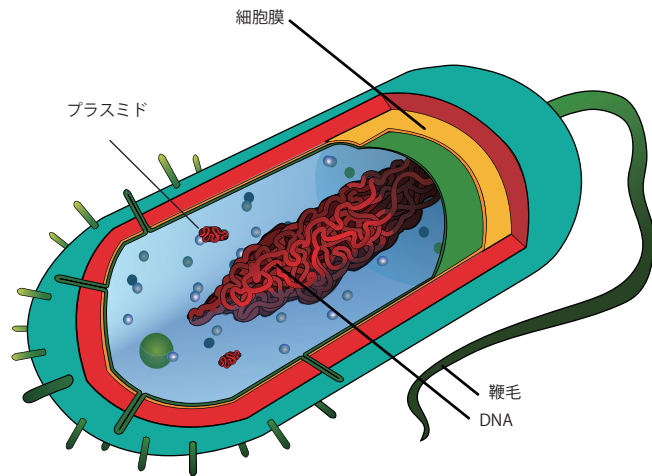
もちろん細胞が元の細胞からどのようにして作られていくのかについては、この本で詳しく見ていくことになります。つまり、生物学においても科学的方法は循環して回っていくのです。

細胞には、原核生物と真核生物がある

細胞には2種類あります。一つは、**原核生物**で次のような特徴があります。まず、一つの細胞膜で覆われており、内部には取り立てて敷居がありません。つまり、人間の住居にたとえば、キッチンと台所と寝室の敷居がない、ワンルームマンションのような構造をしています。また、原核細胞は単細胞の器官ではありますが、ときには細胞通して共同の作業もすることもあります。

内部には、遺伝情報を持つ**染色体**があります。また、**プラスミド**という、染色体とは別に遺伝情報を独立に持つ器官があります。これは、細胞が分裂するときに染色体同様に複製されます。

細菌が原核生物の代表です。



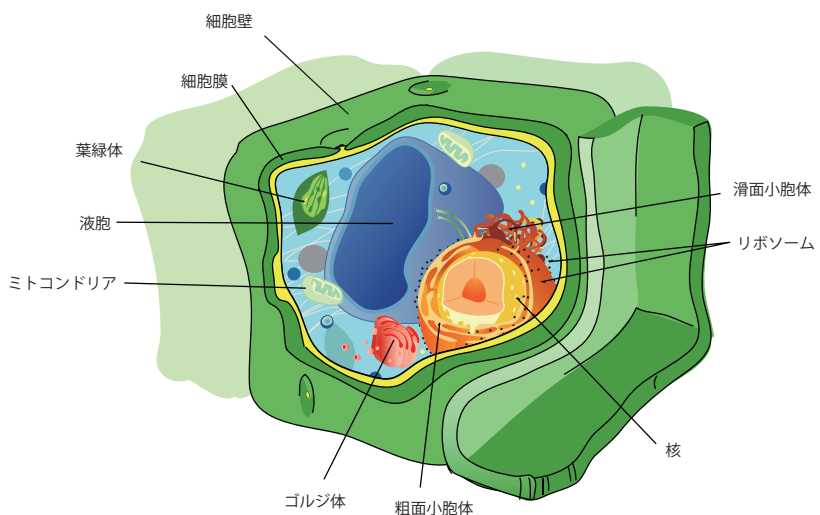
もう一つのクラスは、**真核生物**で、次のような特徴があります。まず、細胞内には、**細胞小器官**と呼ばれる、多数の小器官から構成されています。しかも細胞小器官はそれ自身膜で覆われていて、次の3つの過程をするものに分けられます。

1. **核**は情報の伝達のための小器官です。核は染色体と呼ばれる、設計図にあたるものを持っています。

2. 糖などを分解してエネルギーを取り出す、**ミトコンドリア**と、植物が光合成により当分を蓄える**葉緑体**は、エネルギーに関係した細胞小器官です。

3. **小胞体**、**ゴルジ体**、**エンドソーム**、**リソソーム**などの小器官は、外部と化学物質をやりとりしており、輸送にかかわっています。

次に、これらの細胞小器官の働きについて少し詳しく見ていきましょう。



植物の細胞

真核生物での細胞

真核生物は、海や池などにいる藻、アメーバから動物、植物も含まれます。真核細胞は原核細胞にくらべてどのくらい大きいのでしょうか？原核細胞の大きさは、直径1マイクロメートルから10マイクロメートルととても小さいのに対して、ほとんどの真核細胞の大きさは直径約5マイクロメートルから100マイクロメートルの大きさです。そして、真核生物の細胞小器官と原核生物の細胞とはほとんど同じ大きさです。したがって、真核細胞は、原核生物の細胞を捕食して、内部に細胞小器官としたという仮説が成り立ちそうです。実際、千以上の単細胞真核生物が、原核生物を捕食して現在も生きています。ただし通常は、捕食の関係で両者が共存しているだけで、同時には細胞分裂しません。しかし、飲み込んだ細胞と飲み込まれた細胞が同時に分裂するようになったときに、飲み込まれた原核生物の細胞が細胞小器官となったと考えられます。

大きな原核生物はなぜ存在しないのでしょうか？非常に大きな原核生物があったとしましょう。一カ所で製造したATPやアミノ酸などが、細胞全体に拡散して行き渡るには時間がかかってしまいます。すると細胞の一カ所でATPが消費されたとき、他の箇所からATPが拡散してくるには時間がかかりすぎて、活動が停滞してしまいます。また、化学物質は大量に作らないと、大きな細胞では濃度が上がらなく、そのために化学反応がしにくくなります。それに対して、現存する原核細胞では、イオンやATPが拡散して行くにはちょうどいい大きさなのです。このように、原核細胞の大きさは、化学物質の拡散による輸送という制限によって決まっており、このため、大きな原核細胞はないものと考えられています。

それでは、真核細胞では、この大きさの問題をどのように解消しているのでしょうか？そこで、細胞小器官の登場です。細胞小器官で区切られているからこそ、細胞小器官の中で、原核細胞同様の化学反応を行うことができるのです。また、このことにより、ATPの製造や、アミノ酸の製造などを分けて行うことができるので、混ぜて行くと都合が悪い化学反応を、細胞小器官内で分けて行うことができます。また、化学反応にかかわる物質は、細胞小器官の狭い範囲の中で行われますので、分子同士の濃度が上がり、衝突しやすくなりますので、効率よい化学反応ができるのです。

このように、真核細胞では、様々な化学反応を行う工場にわかれたコンピナートのようになっており、原核生物よりも複雑な操作が可能となります。

タンパク質の合成と輸送

細胞の小器官には様々なものがあります。ここではまずタンパク質の合成にかかわる小器官を見てみましょう。

タンパク質の設計図の保管場所 核

核は、細胞小器官の中でも最大級の大きさです。この核の中には、**染色体**があります。この染色体の役割や構造は後の章で詳しく説明します。ここでは、タンパク質の合成に必要な情報がここから発せられるところとして覚えておきましょう。

タンパク質の合成場所 リボソームと粗面小胞体

細胞内の核以外のところに、小さな球形の泡のようなものが多数散らばっています。その膜の中をよく見ると、2つの部品があります。それは、タンパク質とRNAです。これを含んだ小さな泡のようなものを**リボソーム**と言います。ここでは、主にタンパク質の合成が行われています。

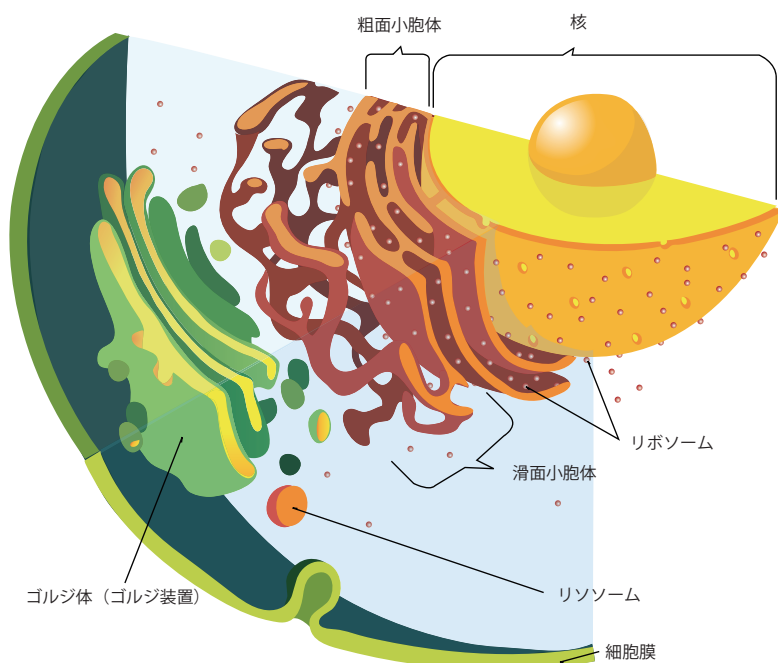
細胞内に多数のリボソームがありますが、それ以外に膜にリボソームが多数くっついていて小器官があります。これには、数百から数千のリボソームが張り付いているので、ごつごつに見えます。これを、**粗面小胞体**と言います。よく見ると、これは核につながった構造をしています。

粗面小胞体にくっついたリボソームは、核からの情報に基づき、タンパク質を合成し、それ自身が細胞外に分泌されたり、後で見るリソソームという細胞小器官に運ばれたりします。

粗面小胞体で生成されたタンパク質は、いろいろな役割をもっています。他の細胞に送るメッセージの役割をするものもあれば、細胞膜からの輸送に使われるタンパク質であったり、はてまた酵素であったりします。ここで生成されたタンパク質の多くは、細胞内外の別の場所に輸送されます。

ゴルジ体

粗面小胞体で生成されたタンパク質の多くは、**ゴルジ体（ゴルジ装置）**と呼ばれる小器官に運ばれます。ここで、送る場所ごとに仕分けされ、パック詰めされて各所に送られるのです。このように、**ゴルジ体が行っているのは輸送業務**なのです。



脂肪生成の小器官 滑面小胞体

粗面小胞体をよく見ると、ごつごつしてリボソームがくっついている部分だけでなく、リボソームの輸送に関係していない部分があります。リボソームがくっついていなくて、ごつごつしていないのでこれを**滑面小胞体**と言います。この部分では、脂質の合成や分解を行う酵素があります。これにより、有用な脂肪を作り出すとともに、細胞に害のある脂質を破壊しています。脂質は、ステロイドなど、ホルモンを作るために必要な脂質の合成だけでなく、細胞膜のためのリン脂質も合成します。また、信号として使うためのカルシウムイオンを蓄えておく部分としても使われています。ここで合成された脂質は、輸送用小器官であるゴルジ体に運ばれて、細胞内外に輸送されます。

タンパク質の動きをどのように知ったのか？

サイエンスでは帰結された結果だけでなく、どのようにしてその事実を知ったのかも重要です。科学は再現可能な実験や観測により自然界を知ることでした。そこで、十分な証拠がなければ、理論は信用できないものなのです。そこでここでは、タンパク質がどこに運ばれていくのかはどのようにしてわかったのかをみてみましょう。古くからある方法としては、ある特定の化学物質の反応により、特定したい物質に色をつけてそれを観測することでした。しかし、必要な化学物質の染色剤はそうあるものではありません。そこで、14章で学んだ放射性物質を使います。ある特定の時期だけ、細胞の養分として放射性物質を大量に投与します。するとそれによって合成されたタンパク質は、ガンマ線などの放出します。そこでそのガンマ線を検出することで位置が特定できるのです。放射線の放出箇所を追っていけば、まるで目に見えるように輸送の仕方がわかるのです。生物学においてこのトレーサーと呼ばれる技術は非常に重要な技術です。

目的地がどうしてわかるのか？

郵便の集配所に荷物が運ばれてきたとしましょう。もしそれに宛名がないと、どこに運ばよいかわかりませんね。細胞内のタンパク質でも同様です。タンパク質が生成されるとき、それがどこで必要なかわからなければなりません。どのようにしてそれがわかるのでしょうか？

実は、タンパク質の合成のときに、どこで必要かという情報も一緒に組み込まれています。そのため、必要なタンパク質にどこで必要下の郵便番号となる糖がついた形で合成されているのです。粗面小胞体やゴルジ体などでは、この郵便番号に基づき、細胞小器官や、細胞外へと仕分けするのです。

消化の小器官 リソソーム

老廃物や、外部からの栄養分の消化にかかわるのが**リソソーム**です。リソソームの形は、組織によってかなり異なります。リソソームの内部は酸性で、40ほどの消化酵素を含んでいます。これにより、タンパク質、核酸、脂質、炭水化物などあらゆるものを分解します。

外部から運ばれてきた栄養分は、リソソームが受け取り、分解して新たに栄養として使うことのできる形にします。また、壊れてしまった細胞小器官は、リソソームが分解します。このように、リソソームはリサイクル工場です。

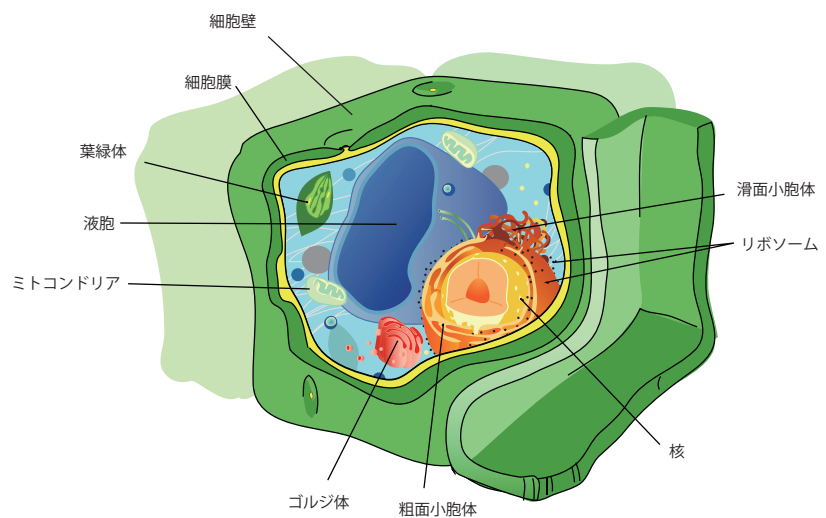
エネルギー通貨の生産 ミトコンドリア

細胞小器官の生成するためには、エネルギー通貨 ATP が必要です。ミトコンドリアでは、グルコースの分解の最終段階である ATP の合成が行われています。細胞によっては、一つの細胞に百万以上のミトコンドリアを含むものもあります。このミトコンドリアは原核生物と同様に環状の DNA を独自に持っています。この遺伝子は ATP 合成の酵素などの遺伝情報を持っています。

エネルギー生産工場 葉緑体

植物では、葉緑体という、光合成を行うための細胞小器官があり、光合成を行います。これについては、ほとんどの人がよく知っているので詳しくは説明しません。

植物ではこの他に、細胞内の圧力の調整などに使われる、**液胞**が発達しています。



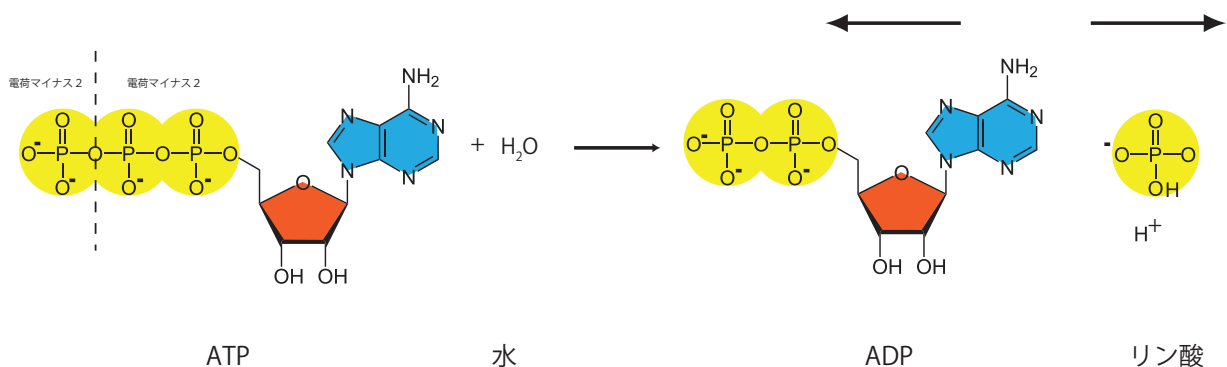
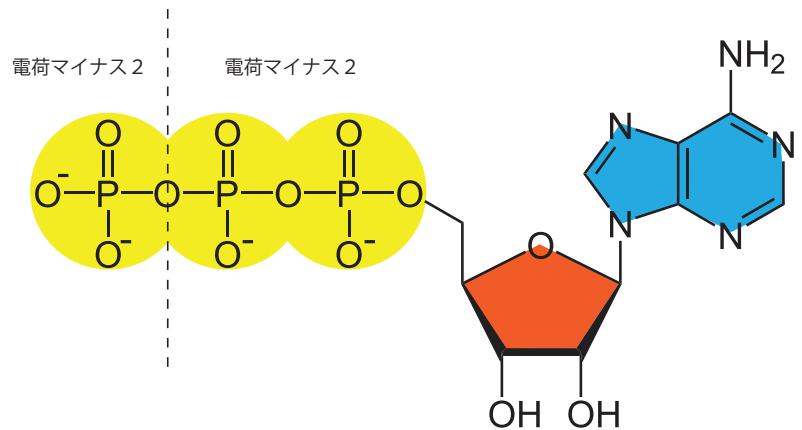
細胞の代謝と ATP

代謝とは、体外から取り入れた物質から、生体で必要なエネルギー源を取り出す化学反応のことです。体内で好くに使えるエネルギー通貨は ATP です。ここではまず ATP がなぜエネルギーを多く含むのか考えてみましょう。

有機化学での詳しい名前の付け方は、ほとんどの人にとって学ぶ必要はありません。でもアデノシン三リン酸 (adenosin triphosphate, **ATP**) は、リン酸が3つついた形をしています。水中ではイオン化して、電荷はマイナス4のイオンとなっています。つまり、ATP 内部のリン酸はどれも電気的な力でお互いに反発しあっており、中間に位置する酸素は、互いに反発するリン酸イオンを必死に結びつけています。そのため、内部の酸素による結合をきると、お互いにクーロン力による反発力で飛んでいってしまいます。このときにエネルギーを放出するわけです。特に、一個のリン酸を離れたときには、お互いに電荷がマイナス2同士であるため、クーロン力による反発は大きくなりますね。

ATP からリン酸が一つ離れて、リン酸の数が二つになったものをアデノシン二リン酸 (Adenosine diphosphate, **ADP**) と言います。

エネルギーの消費は ATP から ADP にするプロセスですが、ADP から ATP にするには、エネルギーが必要なのです。代謝のほとんどは、この ATP をどのようなプロセスで作るかというプロセスなのです。



代謝のしくみ

ATP は、私たちの体でも一分間に数百万個作られています。これにより、この本を読み、考えたりもしているのです。通常、細胞では ATP の生産がなしの状態では、活動はわずか1分程度しか持ちません。このため、ATP の生産過程は非常に素早く行われる必要があります。そのため、まず考える必要があるのは、通常の代謝において私たちのエネルギーの元となるグルコースはどこで生成されるのかということです。

グルコースは主に、光合成によって炭水化物として作られます。動物や菌類、古細菌などはそれを食べることによって炭水化物を得ています。動植物はグルコースを脂肪として蓄えたりもします。炭水化物や脂肪は、お金にたとえれば、銀行に預けてある貯金のようなものです。それに対して ATP は現金です。現金であるグルコースはデンプンなど炭水化物などの貯金から得られるのです。細胞内の代謝は次の3つのステップで行われます。

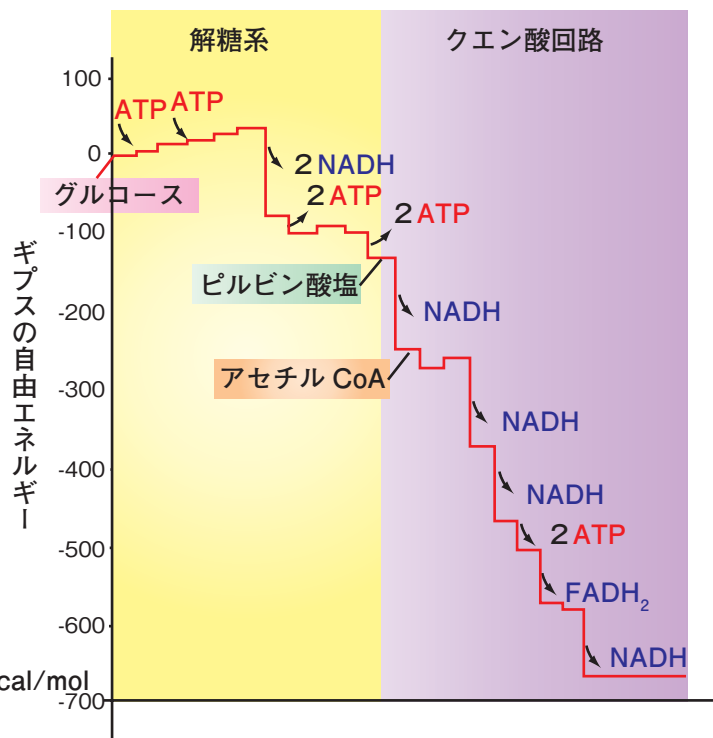
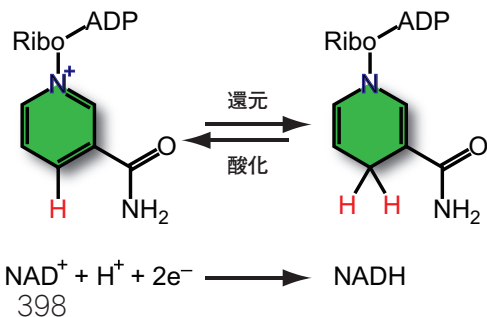
1. 解糖系

まず、**解糖系**という代謝の過程があります。ここでは、グルコースが3つの炭素からなる化学物質ピルビン酸に分解されます。ここで ATP と NAD と呼ばれる物質を還元し、NADH と呼ばれる物質にします。この NADH は他の分子にすぐ電子を手渡そうとする物質です。これまでの過程で特徴的なのは、外部からの酸素が全く使われていないことです。

2. クエン酸回路

次に、**クエン酸回路**と呼ばれる経路を利用します。酸素が利用できる環境では、ピルビン酸からアセチル CoA という化合物が作られた後、アセチル CoA が酸化され、二酸化炭素が作られます。この過程で、ATP が合成されると共に、NAD⁺ と FAD⁺ と呼ばれる物質が還元され、NADH, FADH₂ が作られます。オキサロ酢酸という物質がアセチル CoA によりクエン酸となり、様々な酵素により反応を繰り返した後、ふたたびオキサロ酢酸 になることから回路の名称がついています。

グルコース1つを処理するのに、解糖系で ATP を2個消費し、4個放出します。そしてクエン酸回路では、ATP を2個しか生成しません。このため、これらの代謝では肝心の ATP はわずかに4個しか作られていません。必要なエネルギーのほとんどは、還元された物質として蓄えられているのです。



3. 電子伝達系

グルコースの分解反応は
 $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{エネルギー}$

ですので、ここまででは、酸素と結合するための様々な還元された物質が登場してきました。そして、これまでのステップで還元された化合物が酸化され、そのときにATPが作られるのがこの電子伝達系です。還元によって蓄えられた、電子により、ADPとリン酸からATPを合成します。この余った電子が伝達するときに、水素イオンの濃度勾配を作り出し、それによりATPを作り出すATP合成酵素のエネルギー源とします。このためこの過程を**電子伝達系**と言います。電子伝達系の代謝は、水素イオンをためる場所が必要なため、ミトコンドリアの中で行われます。

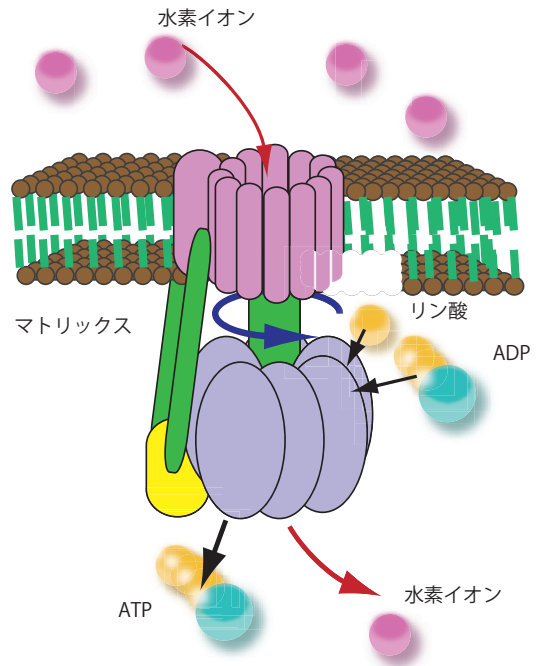
電子伝達系でおこっていることはたとえていうなら、電気によるポンプで水をくみ上げ、それによって水車を回すことです。電子伝達系で生成されるATPは、グルコース1つあたり34個にもおよび、全体でグルコース1つにつき38個のATPが生成されるのです。

代謝で起きていること

細胞の代謝では、グルコース1つの分解で、38個のATPを生産します。これは、グルコースを2酸化炭素と水とにするときのエネルギーの約40パーセントに相当するエネルギーです。残りは熱となりますが、車の燃焼の効率が30パーセント前後ということに比べて非常に良い効率です。代謝では、グルコースと酸素を一気に二酸化炭素と水にするよりも遙かに高いエネルギーを利用できたこととなります。代謝が非常に多くの化学変化を含むのも、高効率でエネルギーを取り出すためなのです。また、生物は熱を生体の温度維持にも使うことができるので、あながち放出される熱が無駄になっているわけではありません。

それでは、生命はなぜグルコースのエネルギーをそのまま利用しないのでしょうか？言ってみればグルコースが1万円札だとすれば、ATPは100円玉です。私たちの暮らしで一万円札だけでは不便で、もっと小さい単位の通貨が必要ですね。それと同様なことが生物のエネルギーについても言えるでしょう。エネルギーの使用に際して、適度なエネルギーで使いやすい形のものであるほうが有利です。生物は、グルコースを燃やしたときのエネルギーを38個に分解して蓄えており、ATPは、生体内で通貨として使用するには都合がよいのです。

また、グルコースそのものをほとんどの生物が利用している理由は、生命が起こった初期にこの利用が始まったからだと考えられています。それでは、果たしてグルコースでなく、他の物質でも良かったのかについては他の生物が存在しないので実証できません。



発酵とは？

生体内では、クエン酸回路や電子伝達系において酸素を利用します。酸素の補給が間に合わなかったりする状況では、それらの代謝に変わって**発酵**という酸素を利用しない代謝で急場をしのぎます。たとえば、長距離を走るときには、肺からの酸素が筋肉細胞に補給されにくくなります。そのとき、電子伝達系は働かなくなり、発酵がおこります。人間ではこの発酵により乳酸が作られるので、**乳酸発酵**と言います。

また、菌の中には発酵によりアルコールを造るものがあります。密閉した中で、それらの菌が増えると、すぐに酸素を使い果たし、その後発酵によりエチルアルコールを作るのです。



アルコール発酵は人類にとって必須の代謝である。

タンパク質と脂肪の代謝

炭水化物だけが代謝の元となるわけではありません。たとえば、脂肪分にはもっとたくさんのエネルギーが蓄えられています。脂肪分は、細胞内で分解され、グリセロールと脂肪酸に分解されます。そして、グリセロールは解糖系で用いられ、脂肪酸は、クエン酸回路で用いられます。

また、タンパク質もエネルギー源として用いられます。タンパク質はアミノ酸に分解された後、アンモニアとピルビン酸になり、ピルビン酸がクエン酸回路で使われるのです。このように、生物は様々なものをエネルギー源として用いるのです。

ダイエットのとき、食事制限のみでやせると、脂肪だけでなく筋肉のタンパク質が代謝として使われます。このため、ATPの消費量の激しい筋肉細胞が減少するので、元々細胞維持に必要なエネルギーが少ない体になってしまいます。そこで、食事制限をやめ、以前の食生活に戻ると、今度は以前よりも多くなった余分のエネルギーは、脂肪として蓄えられやすくなります。また、多くの脂肪細胞は食欲を引き出す信号を発してより食欲が増加し、さらに肥満となっていきます。このため、食事制限をすると返って肥満となることになります。これを**リバウンド**と言います。このため、**長期的なダイエットのためには、食事制限をすると共に、適度な運動をして筋肉をおとさないようにする必要があります。**運動抜きダイエットに挑戦した多くの方は、リバウンドを経験していますので気をつけましょう。人間は、ほとんどの製品にエネルギー効率の良さを求めているのに、人間自身に対してはエネルギー効率が悪い方がいいというのは皮肉なことですね。

光合成とは？

今から30億年ほど前に、光合成が始まりました。光を吸収する分子と酵素が共同作業して、二酸化炭素と水に光のエネルギーにより、炭水化物と酸素を合成したのです。この光合成の登場は、大気中の二酸化炭素濃度を減らし、酸素濃度を劇的に増やすなど地球の発展に大きな影響を与えました。

グルコースを作るときの反応は



となり、代謝の逆の反応をするのです。つまり、生物全体の代謝とは結局植物を媒介として太陽のエネルギーを生物の生命維持のエネルギーに変えることだとも言えます。

光の吸収は？

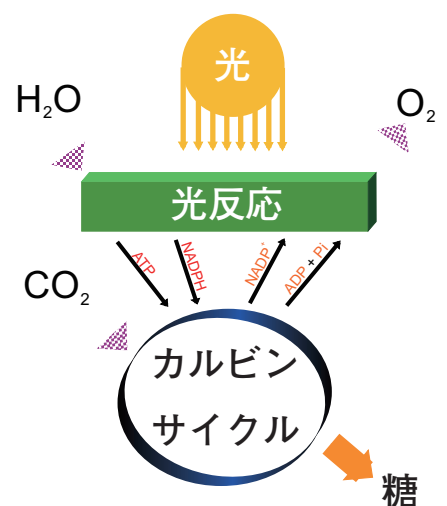
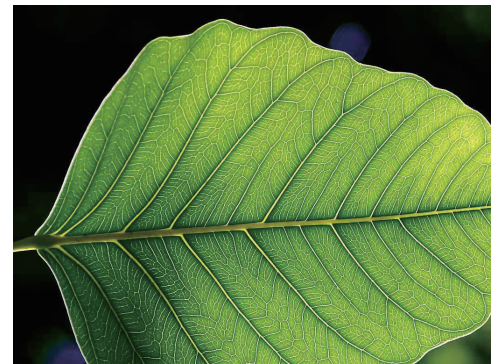
光の吸収は主にクロロフィルという物質によって行われます。これは、青と赤の光を吸収し、緑色を反射または透過させます。またもう一つの色素カロチノイドが、青と緑の色に相当する光を吸収します。クロロフィルとカロチノイドにはそれぞれ数種類存在します。そのため、全体としては、光合成に使う光の領域は多くなっています。広葉樹では、秋になって葉っぱが枯れると、まずクロロフィルが分解されます。その後に黄色や赤の色が残りますが、それがさまざまな種類のカロチノイドの色なのです。このように紅葉の色はカロチノイドの色なのです。またカロチノイドは、紫外線などを吸収し、クロロフィルを危険な紫外線から守る役割をしています。

光合成で行われているのは？

光合成で行われていることは、詳しく話せば、代謝同様非常に複雑な構造をしています。しかし、おおむね、代謝の逆だと思っていいでしょう。まず、光のエネルギーにより電子を取り出し、電子伝達系でATPや、NADHを作ります。これを酸化するとATPが生成されます。また、生成された、NADHやATPを利用して、クエン酸回路を逆に回して、クエン酸を合成し、そこからグルコースを作るのです。クエン酸回路の逆の回路を発見者の名前を取って**カルビン回路（カルビンサイクル）**と言います。

なぜ生成物がグルコースのような炭化水素が基本になるのか考えてみましょう。それは、光合成では空気中の二酸化炭素などを還元してエネルギーを蓄えることに関係しています。還元すると炭素は電子を受け取るのと同時に水素を受け取ります。そのため、C-H結合が基本となる分子が生成されていくのです。このため、炭化水素が作られていくのです。

おそらく専門的に使う人以外にはこれ以上のことは知る必要はありません。最も重要なことは、生物の活動が化学反応の集まりであり、光合成と代謝により、太陽の光のエネルギーが私たちのエネルギーの源であることを認識することでしょう。



キーワード