

第28章 有機化学の世界

私たちの暮らしには、洗剤や芳香剤、歯磨きなど様々な化学製品にあふれています。こうした製品のほとんどは有機化合物が関係しています。今までは主に、簡単な有機化合物と生命に関係した化合物のみを学んできましたが、ここでは身の回りの有機化合物について学んでみましょう。



有機化合物

今までも有機化合物についてふれてきましたが、もう一度述べておきましょう。19世紀の始め頃、科学者達は化学化合物を無機物と有機物に分けました。無機物は鉱物などで構成されているものであり、有機物は生体によって作られる物質でした。このため、有機という名前がつけられたのです。生物の細胞にあると思われる「生命の力」によって有機物は合成されるものと思われていました。この先入観は、1828年に化学者フレデリック・ヴェーラーが、タンパク質の代謝の産物である尿素を合成したときに誤りであることがわかりました。この反応は結局のところ

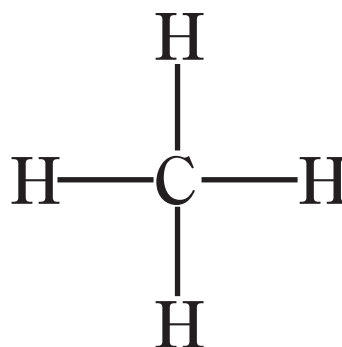
シアン酸アンモニウム NH_4CNO が熱により尿素になるものでした。

今では、有機化合物は炭素化合物の研究分野として定義されています。ほとんどの有機化合物は極性を持たず、分子間の引力が弱いので、融点や沸点が低いものが多いのです。また水に溶解しません。たとえば、サラダ油のような脂肪酸などがそうですね。

また炭素と水素が多いために、よく燃焼するものが多いのです。それに比べて、無機物の多くは、イオンになっています。食塩は水中でイオン化しますが、砂糖などの有機物はイオン化するものが少ないのです。

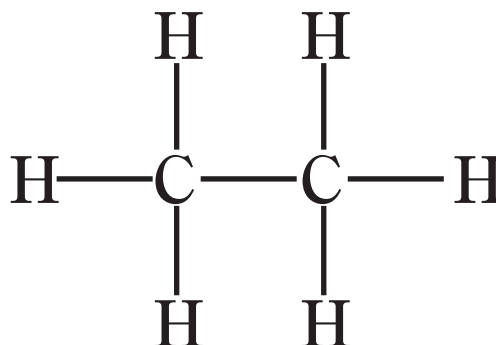
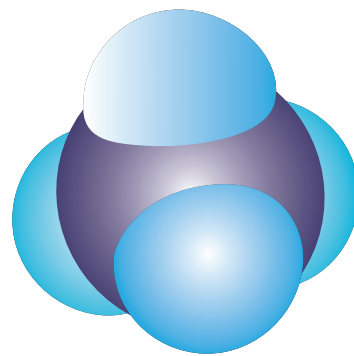
炭化水素

炭化水素は、炭素と酸素からなる有機化合物です。炭素が一つあると、その足が4つあるので、一番単純なのがメタン CH_4 です。立体的には水素が正四面体のように配置されます。炭素二つの場合は、それらを1重結合で結ぶとエタンになります。このように1重結合だけで炭素をつないでいった構造の炭化水素をアルカンと言います。



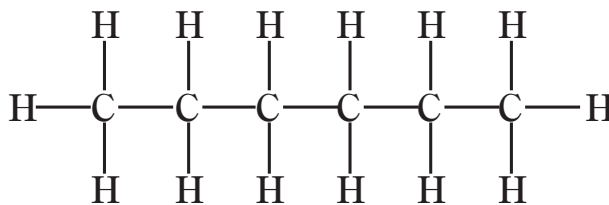
名前の付け方の基本は？

有機化学の呼び名の規則をお話しておきましょう。はっきり言って、専門にならない限り名前の付け方をしっかり理解しておく必要は全くありません。しかし、見知らぬ単語がたくさん出てくるのも嫌だと思う人は覚えておいてください。直線上の炭素の個数によってメト(1) エト(2) プロポ(3) ブト(4) ペント(5) ヘクサ(6) ヘプト(7) オクト(8) などと決まっています。そして、アルカンでは語尾に「アン」をつけます。つまり、炭素の個数によって、メタン、エタン、プロパン、ブタン、ペンタンなどとなるのです。



書き方の基本

炭素や水素が多くなってくると、構造式を書くだけでも嫌になってしまいます。特に、CとかHが良く出てくるので書くのが面倒になります。そのため、もっと簡単に書くための簡略式を使います。これは、図のヘキサンのように、炭素同士の結合の様子だけを書いて、折れ線で表すのです。こうすると、何も書いてないところは水素が結合するというルールにしておけば書くのが非常に楽です。また、後で出てきますが、水素以外の結合の場合だけその原子を書くようにします。



構造式

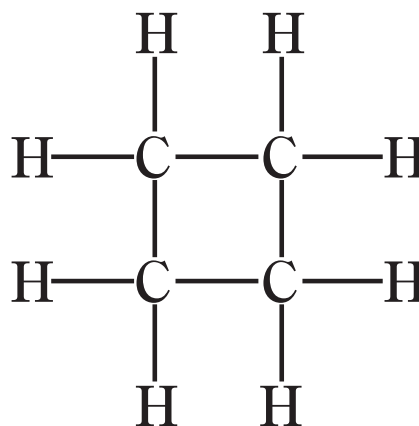
このように有機化合物は簡素化して書かれることが多いのです。



簡略化した構造式

シクロアルカンとは？

一直線上に伸びた端が結びついてサイクル状になったものを**シクロアルカン**と言います。言い方はサイクルを表すシクロを頭につけます。例えば、図のようなのは、ブタンの環状になったものなので、シクロブタンです。構造式は四角形となります。同様にシクロペンタンは5角形などとなります。



シクロブタン構造式

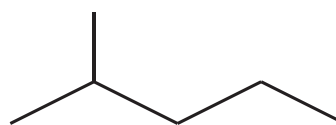
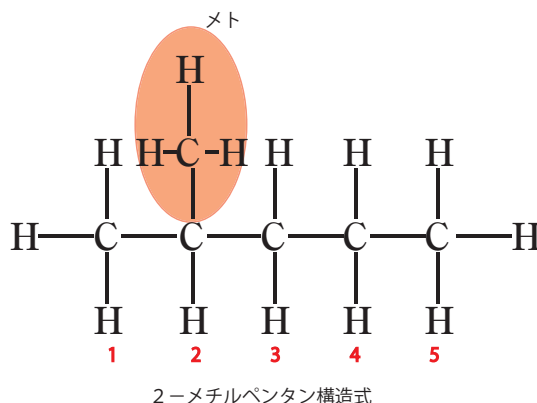


簡略化した構造式

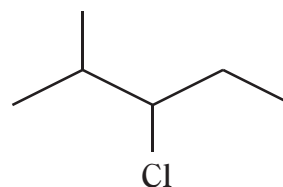
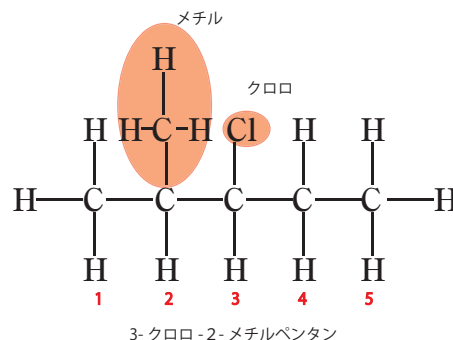
枝分かれのときは？

一直線上でなく炭素が分岐したりすることがあります。このとき、分子式は同じですが構造が異なることになります。このようなものを異性体と言いました。名前の付け方を見てみましょう。まず直線上に並んでいる部分の個数は5個です。従ってペンタンをつけます。また、炭素がついた場合、先の接頭語、メト(1)エト(2)プロプ(3)などに「ピル」をつけて、エチル、メチル、プロピルなどとしています。図の例では炭素1つなのでメチルです。これがつく場所をしていますが、直線状の炭素の左から1, 2, 3, 4, 5と名前をつけて2番目の炭素にメチルがつきますので、「2-メチルペンタン」となります。

また、炭素がつくのではなく塩素がつけば「クロロ」となります。図のように、3番目に塩素がつくと、「3クロロ-2-メチルペンタン」とします。



簡略化した構造式

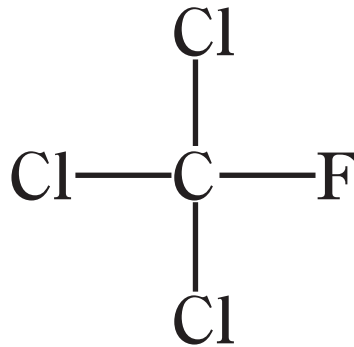


簡略化した構造式

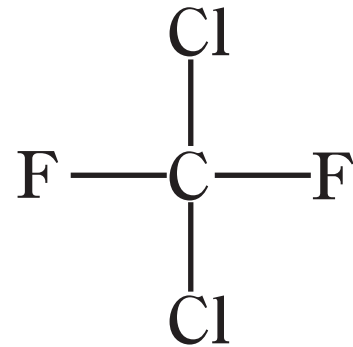
オゾンホール

クロロフルオロカーボン (CFC) は、冷蔵庫の冷媒として 1928 年に開発されました。メタンにおいて水素の代わりに、塩素と窒素が結合してより強力な結合になっています。

このため、他の物質と反応しにくく、生物には無害です。また、非常に安価に製造できるためヘアスプレーやペンキのスプレーなどにも広く使われました。



フロン 11



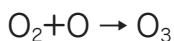
フロン 12

クロロフルオロカーボン (CFC)

酸素分子の化学結合は強力ですが、大きなエネルギーの紫外線によって電離されます。つまり



そして、この電離した酸素原子は、近くの酸素の電子部分に引きつけられオゾン O_3 となります。



このオゾン分解するには紫外線の中でも少しエネルギーの低い紫外線により



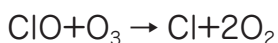
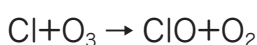
として弱い紫外線も吸収してくれます。これは弱いと言っても生命には害があるのです。

このようにして、成層圏では、太陽から降り注ぐ約 99 パーセントの紫外線を遮断しています。成層圏では、オゾン層があり、これらが紫外線を吸収しているのです。これらのオゾン層は、酸素がよりエネルギーの高い紫外線を吸収し分解されることによって生成されています。

1970 年代になって科学者たちは、クロロフルオロカーボンが、オゾン層を破壊している事実に関心を持つようになりました。CFC が、強いエネルギーの紫外線によって分解されると塩素イオンを放出します。つまり、



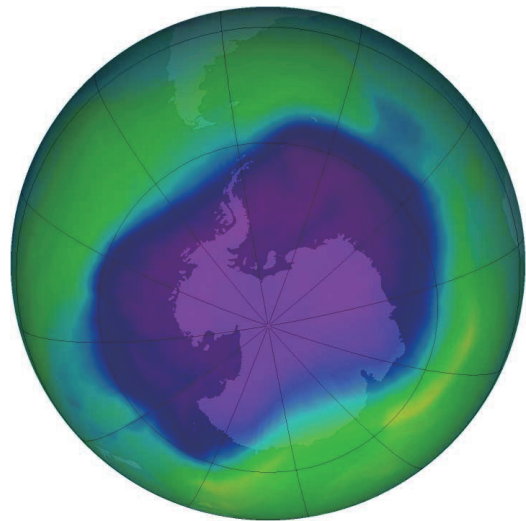
すると塩素がオゾン分解を触媒として働くようになります。つまり、塩素はオゾン中の酸素原子を引きつける力よりは強い力で酸素原子を引きつけるのですが、酸素原子同士の引きつける力よりは弱いので、オゾンから酸素原子を奪いますが、他の酸素原子が近づくとそれに酸素原子を明け渡します。つまり、



となり、次々とオゾン層を破壊します。このように塩素は大気圏では有害ですが、元々塩素は反応性が高いので大気圏まで塩素が達することは通常ではなかったのです。しかし、安定なフロンによって大気圏まで運ばれてしまいました。

一つの塩素が平均して10万個ものオゾンを破壊すると言われています。1985年には、南極上空の50パーセントのオゾンが破壊され、強烈な紫外線が地上に降り注いでいることを報告し、フロンの製造中止を呼びかけました。

紫外線は、DNAに衝突するとDNAを損傷させることがあります。細胞はDNAの修復機能を持っていますので、多くのDNAは修復されますが、修復されずに細胞分裂でも残ってしまうことがあります。これが皮膚ガンなどを引き起こすのです。これは、白色人種などのように皮膚にメラニン色素などの紫外線吸収が少ない人種では深刻です。そのため、1987年にモントリオール議定書で、フロンの製造中止がへの道筋が決定されました。しかし、成層圏の塩素は安定で、オゾンが復活していくまで数十年かかるものと言われています。

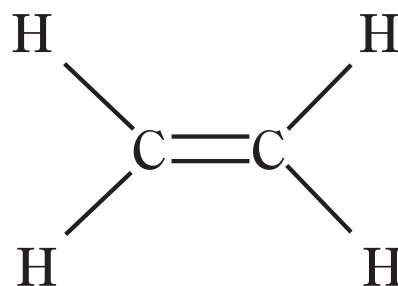


アルカンの性質は？

ガソリンやディーゼル用の軽油などにアルカンが使われています。アルカンは炭素と酸素が電子を引き合う主税はほぼ同じなため極性はありません。そのため、分子数が多いほどファンデルワールス力が大きくなります。メタン、エタン、プロパン、ブタンは常温で気体です。プロパンガスは、燃料として良く使われていますね。炭素が5-8のアルカンは常温で液体です。これらは非常に燃えやすく、ガソリンなどのように燃料として用いられています。9-17個の炭素を持つアルカンも液体ですが、沸点が高くこれらは、ディーゼル用燃料やジェット燃料として用いられています。炭素の数が18より多いアルカンは分子間力が大きいためにべとついた、どろどろの液体です。

アルケンとアルキン

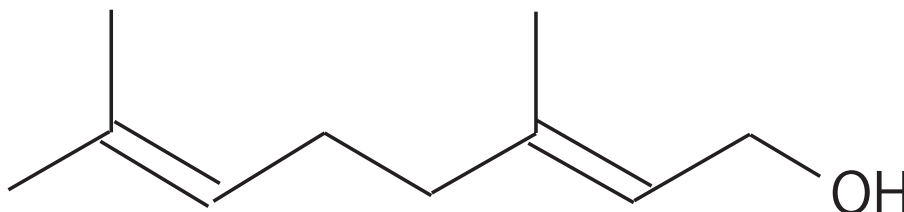
アルカンは炭素同士が1重結合をしていました。炭素同士が2重結合しているものをアルケンと言い、3重結合をしているとアルキンと言います。電子はお互いに離れようとするので互いの角度は図のように 120° 近くで折れ曲がったようになっています。エチレンは、重合反応でポリエチレンになりましたね。



エチレン

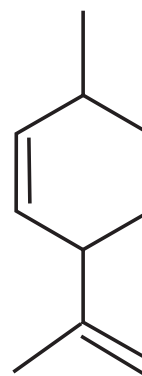
不飽和炭化水素

アルケンやアルキンは、2重結合があります。たとえば水素をもう一つくっつけたいときには2重結合を1重にしてそのあまった足に水素を結合させることができます。1重結合ではもう余った足がありませんので、これ以上水素を結合させられません。こういった意味で、2重結合がある場合を不飽和であると言い、1重結合だけのときは飽和していると言います。この意味で、アルケンやアルキンは不飽和炭化水素です。



ゲラニオール バラの香り

アルケンの中には植物によって発せられる香りの成分になるものがあります。たとえば、ゲラニオールはバラの香りの成分で不飽和部分を含みます。また、みかんやレモンの香りの成分も不飽和なアルケンです。



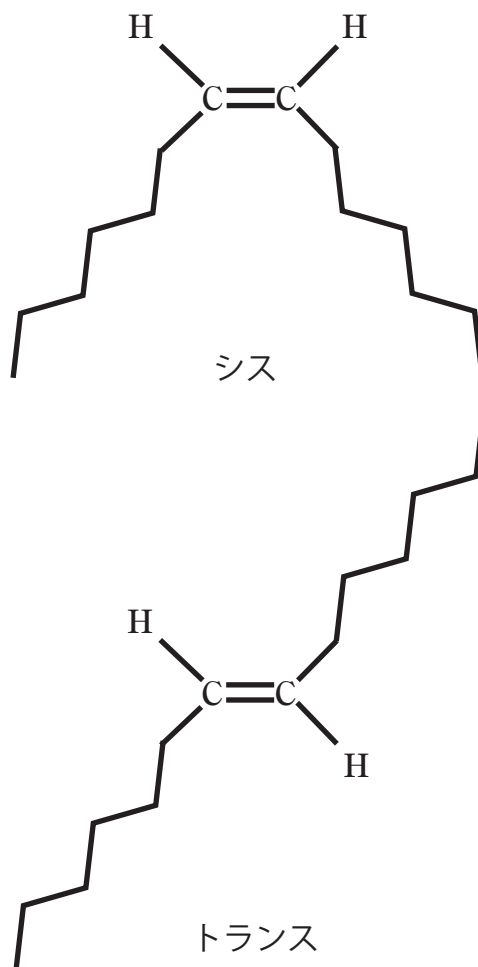
リモネン
みかんやレモンの香り成分

シスとトランス異性体とは？

1重結合だけのアルカンでは、一直線上に伸びます。しかし2重結合があるアルケンでは、2重結合のために方向が変わります。結合によって伸びる方向が異なってしまうのをシスと言い、伸びる方向が変わらないのをトランスと言います。結合する場所が異なりますので、アルケンにはこうした異性体が必ずあります。

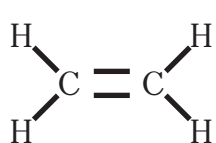
シスでは、折れ曲がっているために分子同士の接する部分が少なくなり、ファンデルワールス力は弱くなります。このため、融点や沸点は、トランスの場合よりも高くなります。

このシスが不飽和脂肪酸の性質として重要でしたね。

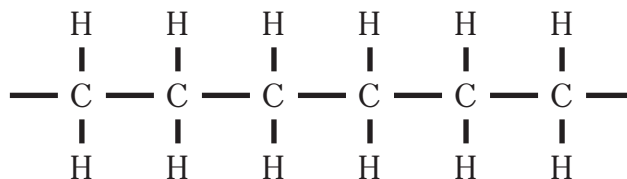


アルケンの重合体

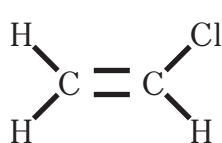
アルケンはポリマー重合体を作る元となる意味で、工業的に非常に重要です。以前12章でエチレンの重合体のポリエチレンについて勉強しました。2重結合の2本足のうち一本を外して、炭素同士を結びつける足にすると重合体ができ、1000個以上つながった分子が誕生します。



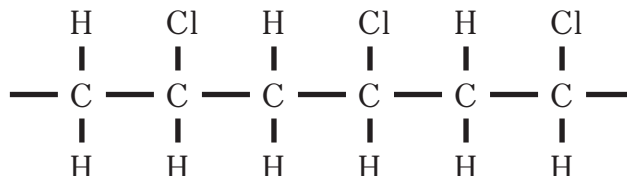
エチレン



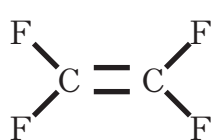
ポリエチレン



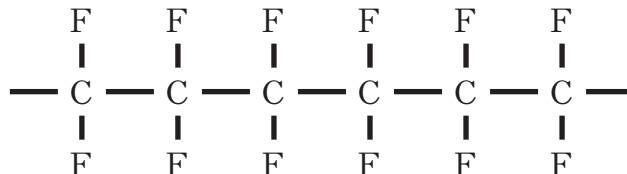
塩化ビニル



ポリ塩化ビニル (PVC)



テトラフルオロエチレン ポリテトラフルオロエチレン (テフロン)



塩化ビニルは、水素の代わりに塩素をつなげたもので、これを重合させるとポリ塩化ビニル

(PVC) となります。電線に被膜など多くのところに使われています。

ポリ塩化ビニルは、他の有機物質と混ぜて不完全燃焼させると、塩素と芳香族からなるダイオキシンが出るおそれがありますので、燃やすのはやめましょう。

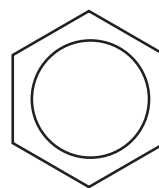
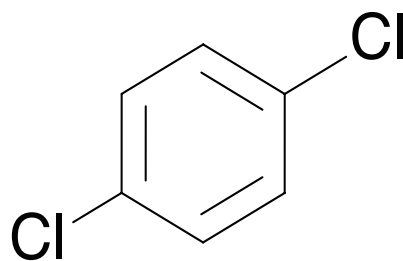
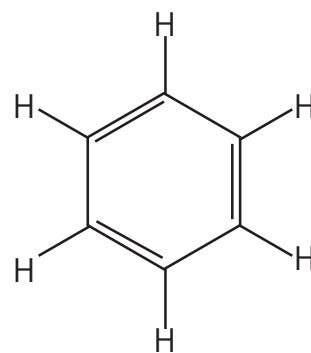
また、水素の代わりにすべてフッ素にするとテトラ（4つの意味）フルオロ（塩素）エチレンとなります。非常に強固な結合のため分子間力がほとんど働かなくなります。これを重合したのがテフロンです。フライパンの表面にコーティングしてあることが多く、料理をする人にはおなじみですね。



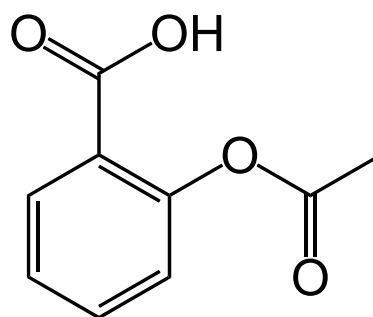
芳香族化合物とは？

図のように2重結合を含む6角形の形をした部分を芳香族化合物と言います。代表的なのがベンゼンです。1825年にマイケルファラデーはベンゼンを発見しました。簡略化した書き方では、真ん中に円を描くことがあります。この芳香族という言い方は、このベンゼン環があると、においがするものが多いのです。つまり、鼻のにおいの受容体に結合しやすくなります。芳香剤などもこうしたベンゼン環を持っていることも多く、パラジクロロベンゼンは、塩素のにおいを加味したようなにおいをして虫除けにも使われています。

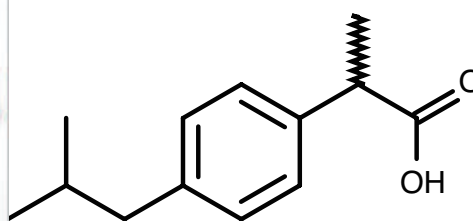
また、アスピリン、イブプロフェン、アセタミノフェンなど鎮痛剤なども芳香族化合物です。



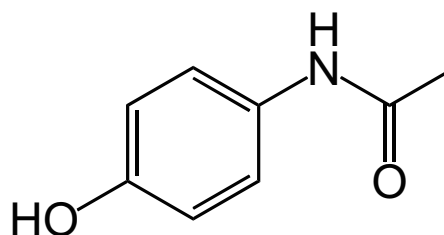
パラジクロロベンゼン



アスピリン



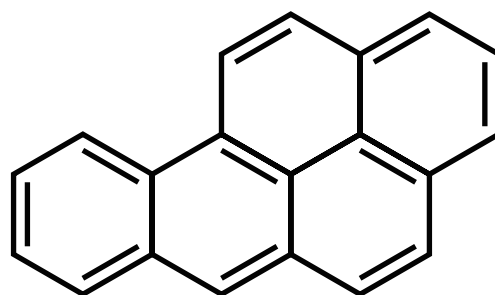
イブプロフェン



アセタミノフェン

危険な芳香族炭化水素 多環芳香族炭化水素

芳香族が多数集まっているものを多環芳香族炭化水素と言います。防虫剤として用いられるナフタレンは芳香族二つついたものです。このように、工業的に利用されているものも多いのですが、中には発ガン性物質となるものが多く存在します。ネズミにコールタールを塗ると、ガンになる率が高くなることが確認されました。調べてみるとた



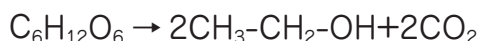
例えば、図のようなベンゾピレンは、コールタールの中に含まれていて、これが発ガン性物質であると特定されました。この成分はたばこの煙の中にも含まれており、肉を焼いたときの焦げた部分にも含まれます。ガンになるかはあくまで確率の問題ですが、できるだけこのような発ガン性物質にふれるチャンスを避けた方がよいでしょう。

アルコール

アルコールとは、炭化水素にヒドロキシ基 (OH) がついたものを言います。これは極性があり水素結合しますので、分子数が小さければ水に溶けるようになります。中でもエチルアルコール $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$ は、お酒に含まれているのでおなじみです。イソプロピルアルコールは消毒にも用いられます。ヒドロキシ基のおかげで反応性が高く、消毒作用があるのです。

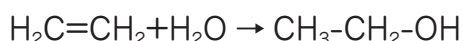
アルコールには最後に「ール」をつけるルールになっています。つまりエタンにヒドロキシル基をつけると、エタノールとなり、メタンはメタノールとなります。

エタノールは、以前代謝で出てきたようにグルコースの発酵でできます。



となります。

しかし、石油などの炭化水素を熱分解してエチレンを取り出し、そこから作ることもできます。つまり、エチレンを、酸などを触媒として高温高圧でと反応させると



と工業的に作ることも可能です。元はといえば、石油も生物から作られているので結局は同じです。

芳香族にヒドロキシ基 (OH) をつけたものをフェノールと言います。植物のエッセンシャルオイルなどに使われる香りの成分の多くがこのフェノールです。たとえば、バニラに含まれるバニリンやラベンダーやミントの香りもこうした成分を持っています。また、チョコレートやワインなどの香りもそうです。

体内でのエチルアルコールの分解

エタノールは、私たちに最もなじみのあるアルコールです。アルコールは人間の体内で、中枢神経系の抑制の効果があり、酔います。このアルコールは、体内では肝臓で代謝されます。アルコールは分解酵素で分解され、アセトアルデヒドに酸化され、それがクエン酸にまで分解され、クエン酸回路に入ります。しかし、途中でできるアセトアルデヒドやカルボキシル酸は、肝臓の細胞にダメージを与えます。このため、多量にアルコールを飲むと頭痛などの二日酔いが起きるのです。

日本人の中には、このアルコールの分解酵素の分泌が遺伝的に弱い人がいます。こうした場合、訓練しても多く飲むことはできませんので注意しましょう。また血中のアルコール濃度が0.4パーセント以上では死に至ることがあります。このため、一気に強いアルコールを飲むことは危険です。飲み過ぎにはくれぐれも注意しましょう。

チオール

酸素と硫黄とはどちらも同じ荷電荷が2です。そのため、ヒドロキシ基 OH があれば SH という結合もあるわけです。SH がつくのをチオールと言います。SH の部分はチオール基と呼ばれます。言い方としては、最後に「チオール」がつきます。たとえば、メタンは OH 基でメタノールですが、SH 基では、メタンチオールと言います。

チオールの大きな特徴と言えるのが、その強烈なにおいです。牡蠣やチーズからはメタンチオールが出てにおいます。タマネギはプロパンチオールのにおいであり、ガーリックはプロペン（プロパンの2重結合したアルケン）チオールのにおいです。

これは髪の毛にも含まれていて、髪の毛を燃やすとくさいのはこのためです。髪の毛で髪型が代わりにくいのは SH 基による水素結合のためであることは以前見ましたね。



カルボキシル酸

メタンの一つの水素の代わりにカルボキシル基 (COOH) がついたものをカルボキシル酸と言います。水の中で水素が外れやすいので陽子を与えることから酸の名前がついています。

アミン

窒素が中心的な原子である小野をアミンと言います。アンモニア NH_3 やメチルアミン $\text{CH}_3\text{-NH}_2$ などがそうした例です。 NH_2 はアミノ基と呼ばれます。これはアミノ酸にも出てきましたね。アミンはにおいがするのがその特徴です。アンモニアにもおいますし、魚などのタンパク質が朽ちてくるとメチルアミンが出て魚の腐ったにおいの原因となります。植物が虫を寄せ付けないために作り出すアミンの中には人間に症状を現すものも多くあります。たとえば、お茶のカフェインやたばこのニコチン、またモルヒネ、コカイン、マリファナまであります。これらはニューロンの受容体がこれらに反応して、症状が現れます。



五感の科学

人間の五感は、視覚、聴覚、触覚、味覚、嗅覚があります。私たちは、もしこの五感がなかったら、自然界との接点が失われてしまいます。また逆に私たちが自然界に対して持つ感覚は、この五感によるところが大きいのです。それだけに五感は重要ですし、サイエンスを客観的に見るには、人間が外部からの情報をどのように受け取っているかを理解することも重要です。

五感のうち、視覚は光が網膜細胞を刺激して信号に変換するものですし、聴覚は、空気の振動を信号に変換して脳に伝えます。また、触覚も同様ですね。それに対して、味覚や嗅覚は様々な味やにおいがあるのですからそう単純ではなさそうです。これらは、食物に含まれる化学物質に対しての私たちの反応とかわかってくるのです。

味覚

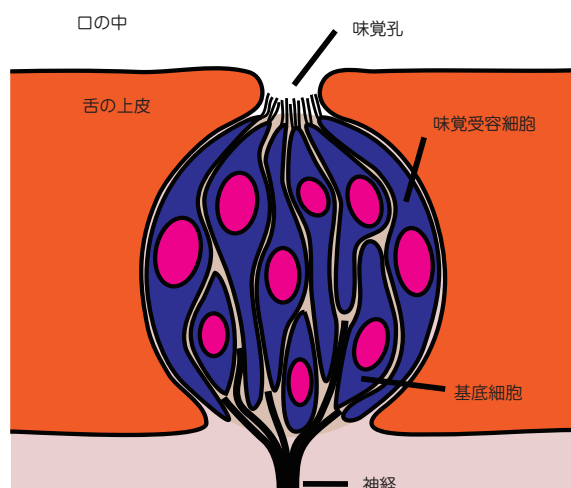
味覚には、甘味、酸味、塩味、苦味、うま味があります。このうち、うま味に関しては、主に日本で研究が進んだものですので、英語でも「umami」と称されます。これらがどのようにして働くのか見てみましょう。

私たちの舌には味の元になる化学物質を検出する部分があります。これは、およそ100個の細胞からなり、味の受容体がキャッチした情報を、電気的信号としてニューロンに受け渡し役割をしています。

塩味と酸味の仕組みとは？

基本的な味覚のうち、塩味と酸味については、イオンの働きに反応します。塩味は、食塩、塩化ナトリウムのナトリウムイオンやナトリウムと同じ周期表の列に属する、カリウムイオンなどに反応します。これは、細胞のナトリウムの出入りを制御するナトリウムチャンネルから入り、細胞内に電位差を作り出します。そして、これがニューロンに伝えられるのです。このナトリウムチャンネルについては、電気の章でみましたのでもう一度読み返してみてください。

酸味は、水素イオンによるもので、これも水素イオンを通過させる細胞のチャンネルから進入して細胞に電位差を作り出します。このため、食品のpHが低いほど、水素イオンが多く、これにより酸っぱく感じるというわけです。



苦みの不思議

苦みは長い間特に理解が困難な味覚の一つでした。塩味や、酸味については非常に単純な物質への反応でした。それに対して、苦みでは、私たちは非常に多くの異なった物質に対して苦みを感じるのです。これはどのようにして可能になっているのでしょうか？このような解決には遺伝子の解析が薬に立ちました。遺伝子では、苦みの受容体となるタンパク質を合成する遺伝子が40から80あることがわかりました。つまり、苦みを感じる化学物質の数はそれと同数は存在することになるのです。

それではなぜ苦みだけがそれほど多くの化学物質に反応するようになっているのでしょうか？科学者達は苦みを感じる物質の多くが毒を持つことに注目しました。つまり、苦みとはその植物が体にとって危険であるという信号なのです。もし苦みを感じなかったら、それを食べて死んでしまう確率が高くなります。つまり、動物が苦みを感じるのは、毒のある植物などを食べるときにそれに対して苦く感じるものが生き残ってきたことによる自然選択の結果であると考えられるのです。

まだ解明されていない味覚 甘味

私たちは、疲れたときに甘いものを食べたくなくなるときがあります。甘みは古来贅沢な味覚の一つでした。この甘味に関しては実はまだ良くわかっていません。同じ量で感じる甘味としては、糖によっても甘味に違いがあり、しかも人工甘味料では通常の糖の数百倍甘く感じるものもあるのです。また、動物によってもこの甘味の感じ方が異なるようで、このことはこの味覚は自然選択としてはあまり必要な感覚ではなかったことと関係があるのかもしれない。

うま味

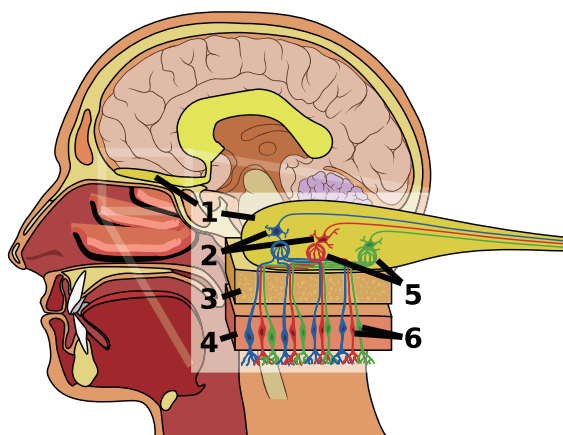
うま味は長らく、塩味など他の味覚の組み合わせでおこるものと考えられてきました。しかし、2001年にうま味の受容体が発見され、独立な味覚の一つであることが証明されたのです。うま味の元となる化合物は、アミノ酸の一つであるグルタミン酸です。うま味はこのグルタミン酸の受容体によって検出されるのです。グルタミン酸塩は、アミノ酸を燃料として使うときの代謝でも現れますし、神経の信号伝達のための物質として神経細胞にかかわる部分に豊富に存在します。また動物に含まれるグルタミン酸とによりよりうま味が増すことが知られています。

辛いと熱い

唐辛子などを成分のペプサイシンは、辛いという味覚の元になります。それと共に汗がでたりしますね。つまり、熱いという感覚と一体になっています。これはどうしてでしょうか？人間は43度以上の熱を感じたとき、熱いと感じるための神経系のイオンチャンネルを開き、その感覚を脳にまで伝えます。このイオンチャンネルは、けがをおって損傷を起こした細胞から出る化学物質にも反応して開きます。そして、傷口が熱くなることで感覚が過敏になり、損傷がより傷つきにくくしているわけです。ペプサイシンは、この損傷を受けたときに放出される化学物質に似ており、同じイオンチャンネルを開き、熱く感じるのです。唐辛子などは、動物に種が食べられないように、ペプサイシンを合成するという進化を遂げたものでしょう。一方、鳥にはこのイオンチャンネルはなく、鳥は唐辛子の種を平気で食べることができます。

嗅覚

嗅覚の構造自体は非常に単純です。においの化学物質を検出する受容体が鼻に達すると、鼻の上部の粘液層に入り、嗅覚の受容体タンパク質を刺激します。古くから、味覚同様に嗅覚も非常に基本的な臭覚で分類が可能であると思われてきました。たとえば、花の香りとか焦げ臭いなどです。しかし、1991年にこのような仮説が誤りであることがわかったのです。ネズミの嗅覚の受容体となるタンパク質を作り出す遺伝子が数百にもものぼることがわかったのです。ほ乳類では500から1000もの嗅覚受容体タンパク質があり、それらが独立に異なる化学物質の受容体となるのです。人間では、この内の半数は突然変異しており、現在は働かなくなった受容体があります。このため、他の動物のような嗅覚に比べて人間の嗅覚は非常に劣っているのです。



動物では、これらの受容体が複合的に働きます。たとえば、100番目と130番目、150番目の受容体を検出するとレモンの香りなどと感じるようになるのです。

私たちは有機化合物に囲まれて暮らしている

有機化合物について少しだけ詳しくみてきましたが、日常生活に有機化合物が多数あることをわかってもらえたでしょうか？ またそれは私たちがにおいや味として感じることに密接に関係していました。私たちの暮らしは、有機化合物によって成り立っている部分が多いのです。興味がある人はもっと勉強してみると面白いですよ。

