

我が家の料理法を 化学する

鹿島 長次

(2007.3)

目次

1.	まえがき	3
	男子厨房に入る	3
	錬金術は台所で	4
2.	料理は洗い物に始まり洗い物に終わる	6
	液状の水の中での物質の挙動	6
	油を水に溶かし込む石鹼	9
	水と油の間のまとめ役	12
3.	料理は最も根源的な人間の文化	17
	人間とけだものを分ける料理の文化	17
	食べ物から栄養への化学変化	18
	焼く、蒸す、煮る、揚げる、炒める	21
	ふるい分けとろ過の原理は同じ	23
	料理の極意は抽出の仕方	24
4.	水の特性を熟知すれば料理上手	29
	圧力鍋は優れたもの	29
	凍らせたまま煮詰めてつくるインスタントコーヒー	31
	料理の温度を操る気化熱の魔法	32
	食材を変える水の体積変化	33
	0℃では凍らない肉や野菜	35
	水が一方通行する細胞膜	37
	水が動き回ると熱くなる	39
5.	食べ物を保存して豊かな生活	45
	冷蔵保存には時間的な限界が	45
	食べ物保存の大敵は微生物	47
	食べ物の貯蔵は冷凍保存で	50
	乾燥して保存する穀物	51
	漬物は食べ物を保存する高度の食文化	53
	肉を美味しく保存する燻製	55
6.	台所に入り込んできた怪しげな化学薬品	59
	湿気を防ぐ青いシリカゲル	59
	果物を苦くするポストハーベスト	61
	酸化を防ぐ物には毒性もある	63
	食べ物の長期保存に有効な鉄粉	65
	犬も吐き出すキャベツの外葉	68

7. 料理を向上させる化学.....	71
料理の根源は化学変化.....	71
料理法の基本は化学の技術.....	72
索引	75

1. まえがき

男子厨房に入る

著者は永年にわたり有機化学、特に合成有機化学の研究をしてきました。種々の薬品を溶媒と共に混ぜて掻き回し、バーナーやヒーターで熱して反応を起こさせてきました。さらに、抽出、ろ過、クロマトグラフィー、蒸留、濃縮などの手法で、反応した混合物から反応生成物を純粋に取り出し、そ



の性質を調べてきました。このような一連の操作は高い精度と再現性を必要としましたが、同時に、頃合を見計らう勘、微妙な変化を見逃さない観察力、臨機の迅速な対応、細かな操作を可能にする器用さなども必要としました。

著者は60歳を過ぎる頃から家庭の事情により、単身赴任の生活を余儀なくされました。毎日の食事を自分自身で調達しなければならなくなり、必然的に台所に立つことになりました。心ならずも男子が厨房に入ってしまった。お米を磨いで炊飯器に仕掛けて置きましたから、野菜を切ってサラダを作り、油と塩と胡椒とお酢を混ぜてフレンチドレッシングとし、フライパンで豚肉を炒めてソースで味を付け、鰹出汁の素を入れた汁に溶き卵を入れて夕食の完成です。帰宅してから鍋釜の洗いまで済ませて、30分ほどで食卓に付くことができました。化学反応の円滑な進行のために少量の触媒を加えるように、塩を少々加えるだけで料理の味が格段に際立つことも知りました。段取りの取り方、料理の手順、調味料の入れ方、食器の洗い方など化学実験と極めて似ていて、料理が意外に面白いことに気がきました。

63歳で定年退職し年金生活を始めましたが、暇を持って余すようになり、永年連れ添ったカミさんの指導の下で、台所に立って料理の修行をすることにしました。揚げ物の後には揚げ油を油濾し紙でろ過をしています。山菜は灰や重曹を加えてアルカリ性の湯で茹でると、渋味が取れて美味しく食べられますが、渋味は酸性の物質によるものなのでしょうか。ラーメンに欠かせないラー油は唐辛子の匂いと色と辛味を油に溶解させ

たもので、抽出という化学実験の基本的な手法と同じです。葡萄の汁で赤色に斑点の着いた布巾は石鹼で洗うとリトマス試験紙のように青色に変わります。目的は違っていても、料理は知らず知らずのうちに化学実験と同じことをしているのです。

台所には換気扇の付いたレンジと洗い物のできる流しと配膳台がありますが、実験室にも毒ガスを排気するドラフト、加熱用のガスバーナー、ビーカーやフラスコを洗う流し、反応や測定をする実験台があります。化学の実験室の必需品とも思われる電子秤と温度計と体積を計量する容器が、我が家の台所にも揃っていました。食器棚の隅には重曹(炭酸水素ナトリウム)や鉄明礬(硫酸鉄アルミニウム)や化学調味料(グルタミン酸ナトリウム)などの化学薬品が並んでいるばかりでなく、塩も砂糖もお酢も考えてみれば化学薬品の一種なのです。台所は設備や道具の点でも、機能の点でも化学の実験室とよく似ているのです。

錬金術は台所で

古代エジプトに起源を持つ錬金術は **Alchemy** と呼ばれ、18 世紀までヨーロッパで伝え継がれてきた技術ですが、魔力のようなその技術を多くの人に公開したのでは金儲けの手段とならないため、人知れず研究され、その奥義は書物に書き残すこともなく秘密裡に伝承されてきました。その技術は種々の物質を混ぜたり溶かしたり煮たり焼いたりして変化させることにより貴金属や長寿のクスリを合成するもので、最も目立たず便利でどこにでもある台所で研究が行われたと思われまふ。19 世紀になると **Alchemy** の本質と思われる物質の変化に興味を持つ人が出てきて、次第に金儲けの手段から学問に進化してゆき、接頭語の **Al** が消えてなくなり **Chemistry** (化学) になりました。

Alchemy から **Chemistry** への進化の過程で、錬金術の時代に用いられていた台所用品は、当然化学の研究の場にも引き継がれてゆきました。多少、形や材質は変わっていますが、現在の化学実験室にも多くの台所用品の名前が残って便利に使われています。例えば、フラスコはワインを入れるガラスの器、レトルトはブランデーなどのお酒を蒸留する釜、オーブンは肉やパンを焼く高温の天火、キャセロールはシチューを煮る磁器製の鍋、スパチュラは鍋の中身を掻き回したり取り出したりするときに使う箆ですが、化学の実験室には必ず取り揃えられて盛んに使用されている道具です。化学の実験書で見慣れた英単語が英文で書かれた料理のレシピにしばしば登場してきますから、著者は料理のレシピを読むときに余り不便を感じません。台所の中で発達した錬金術の技術は料理のための技術や手法が基礎になっており、この錬金術の技術が化学の基礎になっているのですから、化学実験と料理が似ているのは当然のことかもしれません。

19 世紀以降の約 200 年間に化学は学問として独立した発展を遂げ、料理も近代的な技術革新や世界的な交流などにより新しい色々な材料や道具や技術を取り入れて発展してきました。その結果、現在では全く異なった世界を築き上げており、お互いの交流はほとんどないのではないのでしょうか。しかし、化学も料理も同じような技術や手法により物質を変化させるものであり、そこには相互に利用できる知識や技術や道具があるように思われ

ます。

本書では我が家の台所で毎日行われる料理の手法や道具を化学の知識を織り交ぜながら独善的に見てゆこうと思います。さらに、料理法の化学的な合理性なども考えてみたいと思っております。人間とけだものとを分けるものは文化であり、中でも料理は最も根源的な文化と思われまますから、身近な事柄として興味を持って見たり聞いたり考えたりすることができます。日常的に台所で為されている料理の手法や道具や知識のうちで、何か一つでも化学の研究や教育に役立つものを見つけ出せば良いと思っております。また、逆に多くの化学的な技術や知識が美味しい料理や健康に良い料理を生み出す助けになれば、本書はさらなる意義を持つことになると思われまます。

2. 料理は洗い物に始まり洗い物に終わる

液状の水の中での物質の挙動

日本料理を食べさせてくれる小さな調理場しかない飲み屋や小料理屋では、職種の分化がなされていませんから、まな板の前に立つ人という意味をもつ板前が遣り繰りしながら全ての作業を担当して料理を作っています。しかし、料亭や割烹の大きな調理場では、板前、煮方、焼き方、洗い方の4つの職種に分かれて料理を作っています。板前は料理の献立から、味付け、盛り付けまで全てを取り仕切る料理の監督指揮の役目を果たしています。焼き方は直接加熱して、食材を料理する作業を受け持ち、煮方は食材を水の中で加熱する料理を受け持っています。鍋の中で食材を加熱するという点では蒸し物や揚げ物も煮方が担当するようです。

洗い方の人たちは食材に付着した泥などの食べられない物や味を損ねる物を綺麗に洗い落とします。また、いつでも次の料理が出来るように、鍋釜や食器の汚れを洗浄することも洗い方の人たちの仕事です。大根や馬鈴薯に付いている泥、レタスや小松菜に付いている埃や農薬、鮮魚や食肉の残り血。食材には種々の汚れが付いていますから、前もって洗い落とさなければ料理ができません。魚を開いた後のまな板に残った血や鱗や匂い、フライパンやプラスチック容器に残った油、お皿にこびり付いたカレー、お鍋の底の焦げ付き。料理や食事の後には鍋釜から食器まで洗わなければ後片付けが終わりません。料理の下拵えとして最も大切な食材の洗浄と食器の後片付けのためには水を使いますから、はじめに、水の中における物質の挙動について考えましょう。

一般に、物質が溶媒に溶ける現象は物質の溶ける前後における平衡の変化ですから、式2-1の平衡定数Kの値が物質の溶け易さを意味します。物質が溶媒の液体の中に入り込んで拡散するときには、物質のエントロピー変化(ΔS)が増大して安定化するため物質は溶媒に溶けてゆきます。アイスコーヒーに砂糖を溶かすことが難しいために、しばしば液状のシロップを用意しますが、温度(T)が高くなれば、安定化が大きくなりますから溶解度は大きくなります。当然、ホットコーヒーには砂糖を入れても簡単に溶けてくれます。表2-1には料理に関係のあるいくつかの物質の水に対する溶解度の温度変化を纏めておきます。

$$K = \chi e^{-\frac{\Delta H - T\Delta S}{RT}} \quad \text{式 2-1}$$

しかし、液状の水では水素結合により、水分子が絡み合っ塊としての挙動をとると考えられますので、その3次元的な網目の中にほかの物質が入り込むためには、網目の隙間を見つけて入り込むか水素結合を切って入り込まなくてはなりません。3次元的な水素

表 2-1 水に対する溶解度 (g/100g)

	0°C	20°C	40°C	60°C	80°C	100°C
NaCl	35.7	36.0	36.6	37.3	38.4	39.8
NaHCO ₃	6.9	9.6	12.7	16.4		
カリ明礬	3.0	6.0	13.6	35.3		154.0
グリシン	141.8	225.2	331.6	452.6		671.7
コハク酸	2.8	6.9	16.2	35.8	70.8	120.9
砂糖	179.2	203.9	238.1	287.3	362.1	487.2
ブドウ糖	9.2	20.6	43.3	78.3	125.0	185.0

結合の網目を切れれば、結合形成による安定化を犠牲にしなければなりませんから、エンタルピー変化 (ΔH) が増大してしまいます。当然、エントロピーの増大による安定化はあるものの、 K の値は小さくなり物質が溶けにくくなります。

物質が非常に小さな分子で出来ている場合には、その分子は網目の隙間に入り込める可能性があると考えられます。そのような場合には、水素結合によるエネルギーの安定化を犠牲にすることなく、エントロピーの増大による安定化があるものと思われまから水に溶け込んでゆくと思われま。小さな元素の水素やヘリウムで出来た水素やヘリウムの分子は最も小さな分子と考えられますが、そのような小さな分子でも地球表面では約 0.15mg/L しか水に対して溶けませんから、如何なる分子を取り込むためにも水の水素結合の隙間は十分な大きさを持っていないことになり、水素結合の網目を切ることなく物質が水の中に入り込むことは出来ないこととなります。

液状の水では水素結合により、水分子が絡み合っ一塊としての挙動をとると考えられますので、その 3 次元的な網目の中ほかの物質が入り込むためには、水素結合を切らねばなりません。当然、エントロピーの増大による安定化はあるものの、水素結合によるエネルギーの安定化を犠牲にしなければなりません。水と水素結合を作らない物質は水の水素結合の網目の中に入り込んでも、その水素結合を切ってしまうだけで不安定になってしまいます。このような物質は水の中に入っても、馴染むことが出来ず溶けることが出来ません。水の網目状の水素結合の切断が最小になるように水から遊離して、仕方なく最も表面積の小さな球状の油滴となります。しかし、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それを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変更してゆく交換反応であるため、酸性も塩基性もほとんど示さない炭化水素は水と水素結合をほとんどすることが出来ません。

気体のアセチレンやエチレンのほかにも、液体の状態のベンゼンやその部分構造を持つ

ものも、炭素=炭素 2 重結合、炭素≡炭素 3 重結合を持つ多くの液体の化合物も、多重結合を持たない炭化水素も全く水素結合をすることが出来ません。また、イオンに解離することも極めて困難ですから、水にはほとんど溶けず油滴となるかあるいは 2 相に分離してしまいます。

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、酸からの水素原子が塩基分子との間で結合と解離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は水と水素結合をすることが出来ます。また、水素陽イオンを供給できる分子も水と水素結合をすることが出来ます。アルコールなどの酸素—水素結合を持つ物質は両方の性質を持っていますから、特に水と強い水素結合をします。3 次元的な網目の中にほかの物質が入り込むために、水の水素結合の切断により不安定化しますが、アルコールなどの物質と新しい水素結合をすることによりエネルギーの安定化が起こります。このため、水素結合による安定化をあまり犠牲にせず、エントロピーの増大による安定化が支配的になり、3 次元的な網目の中に水素結合できるアルコールなどの物質が入り込むことができます。結果として水素結合し易い酸素—水素結合、窒素—水素結合を持つ物質は水に溶け易い性質を示します。

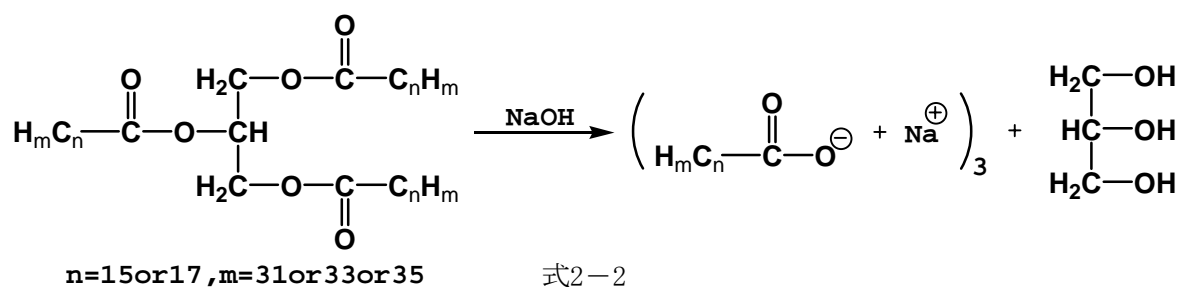
液状の水は水素結合をしているために、水を構成している水素原子は若干ながら正電荷を帯び、酸素原子は同じく僅かに負電荷を帯びています。一方、イオン結合性の物質は水の中で陽イオンと陰イオンに解離し、両イオンはそれぞれ電荷を帯びます。この電荷を帯びたイオンが正負に若干電荷を帯びた網目の中に入り込んでも、そのイオンの電荷が適当に分散できるために安定化し、水素結合を切ることによるエネルギーの損失を打ち消します。このため、水酸化ナトリウム、塩化水素、硫酸、食塩、塩化マグネシウムなどのイオン結合性の物質は水によく溶けますし、鉄やコバルトなどの金属のイオンも水に溶けます。また、二酸化炭素、酸化窒素、アンモニア、二酸化硫黄は水と反応して炭酸、硝酸、水酸化アンモニウム、亜硫酸などの酸や塩基に変化しますから、水の中でイオン化して非常に高い水溶性を示します。

大根や馬鈴薯に付いている泥、レタスや小松菜に付いている埃や農薬、鮮魚や食肉の残り血。食材には種々の汚れが付いていますから、前もって洗い落とさなければ料理ができません。魚を開いた後のまな板に残った血や鱗や匂い、フライパンやプラスチック容器に残った油、お皿にこびり付いたカレー、お鍋の底の焦げ付き。料理や食事の後には鍋釜から食器まで洗わなければ後片付けが終わりません。食事の前後に台所では種々の洗い物が行われますが、塩や砂糖や残り血や農薬は水に溶け易いので、水で洗うだけで十分に洗い落とすことができます。泥や埃や食べ残しや焦げ付いたものは水に浮かせて掬い取ることができます。しかし、鍋釜や食器に付いた油は水に溶け難いので、水で洗い流すことができません。また、油は液体ですから簡単に掬い取ることも出来ません。特にプラスチックは油と親和性の高い物質ですから、その容器に付いた油は非常に洗い難いものです。

油を水に溶かし込む石鹼

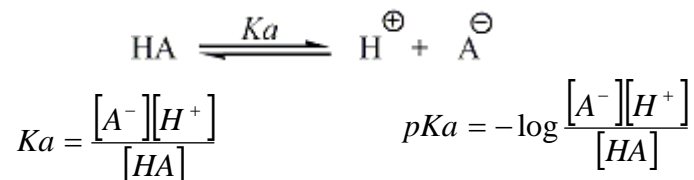
水によく溶ける部分構造と溶け難い部分構造を同一の分子の中に持つ物質を水の中に混ぜ込むと、水に溶け易い部分が外側に並んで膜が作られ、内側が油と馴染み深く、外側が水と馴染み深い膜となります。このような1重膜の風船が大きな水の塊の中に出てくると、あたかもフラスコのような小さな油の別世界が生まれることとなります。このとき、水の網目の中に入り込むことの出来ない油などの物質は水に溶け難く水の中では居心地が悪いので、この油滴の中に逃げ込んで安定な状態になります。本来水に溶け難い油が1重膜に囲まれた小さな油滴となって水の中に拡散するようになり、このような現象を乳化と呼んでいます。また、乳化を起こす性質を持つ物質は界面活性剤と呼ばれ、巨視的に見れば油を水に溶け込ませてしまう働きをします。

油脂を水酸化ナトリウム水溶液と煮た後に冷やすと、固まってくる脂肪酸のナトリウム塩は石鹼と呼ばれて最も古くから用いられている界面活性剤です。やし油や大豆油などの植物油あるいは鯨油や魚油などの動物油が油脂原料として用いられています。これらの油脂は主に16または18個の炭素原子を含む脂肪酸のグリセリンエステルですから、式2-2に示すように水酸化ナトリウムと反応して脂肪酸のナトリウム塩とグリセリンに加水分解します。脂肪酸のナトリウム塩は炭素原子15ないし17の長い鎖状の炭化水素部分とカルボン酸ナトリウム塩の部分で構成されています。長い鎖状の炭化水素部分は水に溶け難い部分構造であり、カルボン酸ナトリウム塩の部分は水の中でカルボン酸陰イオンとナトリウム陽イオンに解離しますから、それぞれイオンとして水によく溶ける部分構造となります。水の中で石鹼は外側にカルボン酸イオンの部分構造を、内側に炭化水素部分を並べた1重膜の泡を作ります。油はこの泡の中に逃げ込んで安定化しますから、巨視的に見れば油を石鹼水で洗い落とすこととなります。



石鹼が油を水で洗い落とすために非常に役立ちますので、石鹼の性質を調べて見ましょう。デンマークの化学者の Brønsted は水素陽イオンを出す性質を酸性、水素陽イオンを受け取る性質を塩基性と定義しています。この定義によると酸と塩基の反応は水素陽イオンの遣り取りと考えることができ、酸と塩基の関係は相対的なものであります。ある物質が2種類の溶媒に溶けている場合に、一方の溶媒中では酸性を示し、他方の溶媒中では塩基性を示すこともあり得ることとなります。そのため式2-3に示すように、物質の pK_a (解

離定数) が酸性度を示す尺度として用いられています。ある溶媒の pK_a よりも小さな pK_a



式 2-3 酸塩基平衡と pK_a の定義式

を持つ物質はその溶媒中で酸性を示し、大きな pK_a をもつ物質は塩基性を示します。さらに、 $pK_a < 1$ のような小さな pK_a を持つ酸は強い酸性（強酸）の性質を示し、比較的大きな pK_a を持つ酸は弱い酸（弱酸）の性質を示します。石鹼に用いられている脂肪酸をはじめとして生活に関係の深い酸の物質の pK_a を表 2-2 にまとめました。表 2-2 によると水の中ではカルボン酸類、フェノール類、メルカプタン類等は酸性を示しています。脂肪酸の系列は直鎖の炭化水素を持つカルボン酸で最も炭素数の少ない蟻酸が最も強い酸性を示し、炭素数が多くなるほど pK_a の値は大きくなります。炭素数が 8 以上の脂肪酸ではその pK_a はほぼ 4.9 に一定し、石鹼に用いられているミリスチン酸、ステアリン酸、オレイン酸、リノール酸などの脂肪酸も比較的弱い酸の性質を示しています。そして、アルコール類は水と同じような pK_a 値を持っていますから、水の中ではアルコール類は中性を示します。

塩酸が代表的な強酸であり、そのナトリウム塩に相当する食塩が水の中で中性を示すことから分かるように、一般に強酸のナトリウム塩は水の中で中性を示します。これに対して、弱酸のナトリウム塩は塩基性物質で、 pK_a を弱酸の解離定数、 C を水溶液の濃度とするとその弱酸のナトリウム塩の水溶液の pH は式 2-4 で概算することができます。石鹼に用いられているミリスチン酸、ステアリン酸、オレイン酸、リノール酸が同じように比較的大きな pK_a の値を持つ弱酸ですから、そのナトリウム塩は表 2-2 に示すように塩基性を示します。塩基性の水溶液は皮膚や眼にとってはあまり好ましくありませんから、皮膚炎やアレルギー疾患を持っている人にとっては強い刺激になってしまいます。古くから使われている石鹼の組成が脂肪酸のナトリウム塩ですから、水溶液が塩基性を示し皮膚を傷める欠点を持っています。

$$pH = \frac{1}{2}(\log C + pK_a + 14) \qquad \text{式 2-4}$$

カルボン酸のナトリウム塩は水に溶解易くよく解離しますが、カルシウム塩は余り高い溶解度を示しません。例えば、石鹼に多く含まれているオレイン酸のナトリウム塩は水 1L に対して 100g ほど溶けますが、オレイン酸のカルシウム塩は 0.4g しか溶けません。石鹼を軟水の中で使用するときには問題なく油を洗い落としますが、硬水の中では多量に含まれ

表 2—2 馴染み深い酸とそのナトリウム塩

酸		ナトリウム塩 0.1M 水溶液	
物質名	pKa	示性式	pH
蟻酸	3.75	HCOONa	8.4
酢酸	4.76	CH ₃ COONa	8.9
プロピオン酸	4.87	CH ₃ CH ₂ COONa	8.9
酪酸	4.83	CH ₃ (CH ₂) ₂ COONa	8.9
ペンタン酸	4.84	CH ₃ (CH ₂) ₃ COONa	8.9
ヘキサン酸	4.86	CH ₃ (CH ₂) ₄ COONa	8.9
ヘプタン酸	4.89	CH ₃ (CH ₂) ₅ COONa	8.9
オクタン酸	4.89	CH ₃ (CH ₂) ₆ COONa	8.9
ノナン酸	4.95	CH ₃ (CH ₂) ₇ COONa	9.0
デカン酸	4.90	CH ₃ (CH ₂) ₈ COONa	9.0
安息香酸	4.21	C ₆ H ₅ COONa	8.6
フェノール	9.99	C ₆ H ₅ ONa	11.5
p-クレゾール	10.26	CH ₃ C ₆ H ₄ ONa	11.6
炭酸	6.38	NaHCO ₃	9.7
	10.25	Na ₂ CO ₃	11.6
塩酸	-6.10	NaCl	7.0
硝酸	-1.34	NaNO ₃	7.0
硫酸	-3.00	NaHSO ₄	7.0
	1.92	Na ₂ SO ₄	7.5
りん酸	2.12	NaH ₂ PO ₄	7.6
	7.22	Na ₂ HPO ₄	10.1
	12.36	Na ₃ PO ₄	12.7
ベンゼンスルホン酸	0.70	C ₆ H ₅ SO ₃ Na	7.0
水	15.74	NaOH	13.0
メタノール	15.54	CH ₃ ONa	13.0
エタノール	16.00	CH ₃ CH ₂ ONa	13.0
グリセリン	14.16	HOCH ₂ CHOHCH ₂ ONa	13.6
エチルメルカプタン	10.50	CH ₃ CH ₂ SNa	11.8
ブチルメルカプタン	10.66	CH ₃ (CH ₂) ₃ SNa	11.8
チオフェノール	7.80	C ₆ H ₅ SNa	10.4

る炭酸カルシウムと反応して、石鹼は脂肪酸のカルシウム塩になり沈殿してしまいますから、界面活性剤としての働きを示さず、油を洗い流す洗剤として役に立ちません。脂肪酸のナトリウム塩でできている石鹼は硬水中でその能力を失活する欠点を持っています。

脂肪酸のナトリウム塩でできている石鹼はこのようにいくつかの欠点を持っていますが、油分を乳化して水で洗い流すときに、下水中ではナトリウム塩が中和されて脂肪酸に戻ります。脂肪酸は廃水中に棲息する多くの微生物により容易に分解されてしまいますから、多少生物化学的酸素要求量 (BOD) の値が高くなる程度で比較的的環境にやさしい界面活性剤と考えられます。また、幼児が食べてしまうなどの事故により、石鹼が誤って体内に入ってしまう場合でも、胃の中は強い酸性の状態にありますから、中和されて脂肪酸になってしまいます。人間は胃の中で種々の脂肪分を消化して脂肪酸とグリセリンに分解していますから、新たに脂肪酸が体内に生成することは全く不都合がありません。結局石鹼の主成分の脂肪酸のナトリウム塩は体内に入っても全く毒性を示しません。

水と油の間のまとめ役

液状の水では水素結合により、水分子が絡み合っ一塊としての挙動をとると考えられますので、その 3 次元的な網目の中にほかの物質が入り込むためには、水素結合を切らねばなりませんから、水素結合によるエネルギーの安定化を犠牲にしなければなりません。ベンゼンや直鎖の炭化水素のように、水と水素結合を作らない物質は水の水素結合の網目の中に入り込んでも、その水素結合を切ってしまうだけで不安定になってしまいますから、水に馴染むことが出来ず溶けることが出来ません。

水素結合は本質的に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は水と水素結合をすることが出来ます。また、水素陽イオンを供給できる分子も水と水素結合をすることが出来ます。アルコールなどの酸素—水素結合を持つ物質は両方の性質を持っていますから、特に水と強い水素結合をします。3 次元的な網目の中にほかの物質が入り込むためには、水の水素結合の切断により不安定化しますが、アルコールなどの物質と新しい水素結合をすることによりエネルギーの安定化が起こるため、水素結合しやすい酸素—水素結合、窒素—水素結合を持つ物質は水に溶け易い性質を示します。

液状の水は水素結合をしているために、水を構成している水素原子は若干ながら正電荷を帯び、酸素原子は同じく僅かに負電荷を帯びています。一方、イオン結合性の物質は水の中で陽イオンと陰イオンに解離し、両イオンはそれぞれ電荷を帯びます。この電荷を帯びたイオンが正負に若干電荷を帯びた網目の中に入り込んでも、そのイオンの電荷が適当に分散できるために安定化し、イオン結合性の物質は水によく溶けます。

一つの分子の中に水に溶け易い部分と水に溶け難い部分を持つことにより、界面活性剤の性質が発現しますから、これらの部分構造の組み合わせにより種々の特徴を持った界面活性剤を設計することができます。水に溶け易い部分としてイオン結合性の部分構造と水

素結合しやすい部分構造をもつ界面活性剤が可能です。水素結合しやすい部分構造を持つものを非イオン性界面活性剤と呼び、イオン結合性の部分構造を持つイオン性界面活性剤には陽イオン界面活性剤、陰イオン界面活性剤、両性界面活性剤の3種があります。

古くから用いられてきた石鹸は陰イオン界面活性剤の一種で、表2-2から分かるようにミリスチン酸、ステアリン酸、オレイン酸、リノール酸などのナトリウム塩が皮膚や眼にとってはあまり好ましくない塩基性を示しますから、皮膚炎やアレルギー疾患を持っている人にとっては強い刺激になってしまい、皮膚を傷める欠点を持っています。蛇足ながら、塩基性の強い石鹸は羊毛や絹糸の洗濯、洗髪にも不適當で衣服の繊維や髪の毛を傷めてしまいます。

陰イオン界面活性剤のなかで、石鹸は弱酸のナトリウム塩ですから、塩基性を示します。しかし、ベンゼンスルホン酸や硫酸がそれぞれ pK_a 0.70、-3.00 の強酸ですから、スルホン酸や硫酸エステルナトリウム塩は中性を示します。同じようにりん酸も pK_a 2.12 とかなり強い酸ですから、りん酸エステルのナトリウム塩もほとんど中性の水に溶解しやすい部分構造として働きます。しかし、スルホン酸も硫酸もりん酸もカルシウム塩が水にあまり溶解しませんから、石鹸と同じように硬水中で界面活性を失ってしまいます。陽イオン界面活性剤に分類されるアルキルアンモニウムの塩酸塩も水に溶解しやすいイオン性の部分構造を持っていますが、酸性を示します。

非イオン性界面活性剤は水と水素結合の出来るアルコール性の水酸基の部分構造を持っており、中性の性質を示します。特にブドウ糖などの糖類は多くの水酸基を持っていますから、非常に水に溶解しやすい部分構造として働きます。さらに、水素結合が本質的に酸か

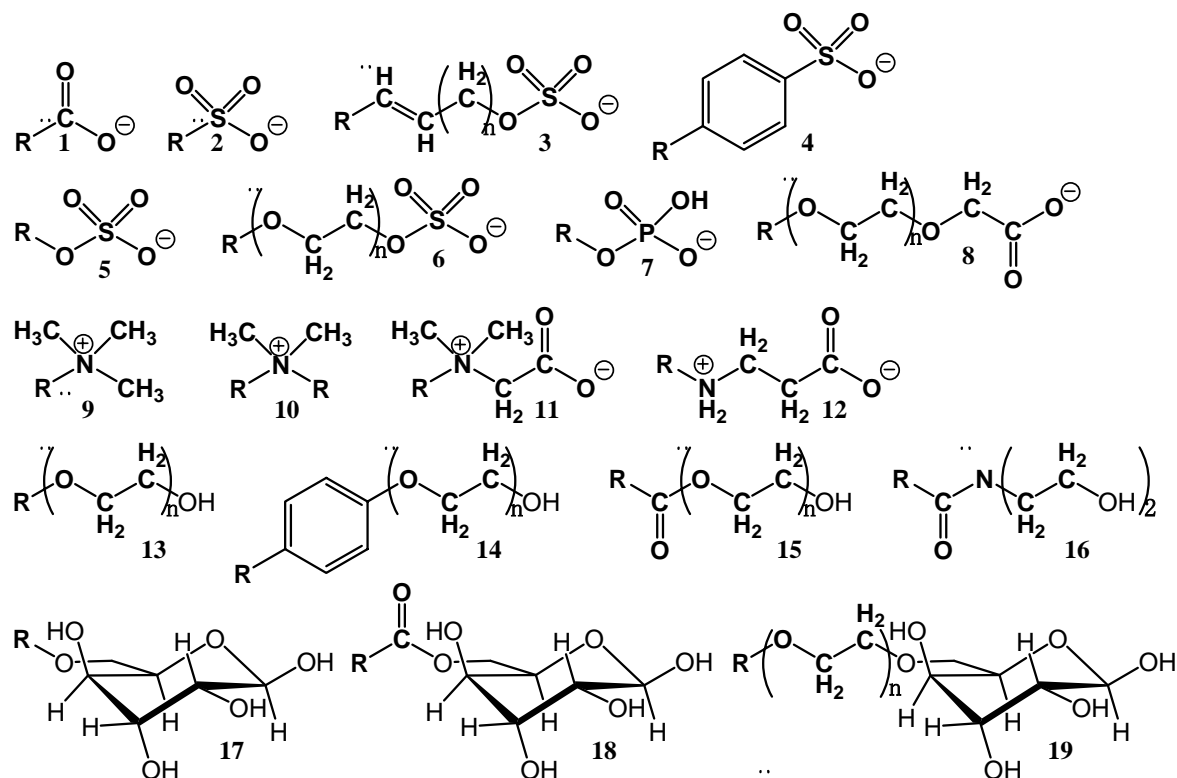


図2-1 代表的な界面活性剤

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は水素原子と水素結合をすることが出来ます。エーテル結合の酸素原子は塩基として働くことの出来る 1 対の電子を持っていますから、多くのエーテル結合を持つ物質も水素結合により水に溶け易い性質を示します。他方、石鹸ではミリスチン酸、ステアリン酸、オレイン酸、リノール酸などのような直鎖の炭化水素鎖を水に溶け難い部分構造として持っていますが、ベンゼン環を含むアルキルベンゼンも水に溶け難い部分構造として利用することができます。一つの分子の中に水に溶け易い部分と水に溶けにくい部分を持つことにより、界面活性剤の性質が発現しますから、これらの部分構造の組み合わせにより種々の特徴を持った界面活性剤を設計することができます。現在、食器や食材の洗剤ばかりでなく洗濯用、化粧品用、医療用、工業用に用いられている主な界面活性剤の化学構造を図 2-1 に纏めました。ただし、R は直鎖の炭素数 12~18 の炭化水素鎖をあらわしています。

石鹸 (図 2-1、1) のカルボン酸部分をスルホン酸で置き換えたアルキルスルホン酸のナトリウム塩 (図 2-1、2) および炭化水素の部分に二重結合を含むオレフィンスルホン酸のナトリウム塩 (図 2-1、3) は中性の界面活性剤として用いられています。炭化水素鎖を持つベンゼンスルホン酸のナトリウム塩 (図 2-1、4) も皮膚に優しい中性を示す界面活性剤として働きます。しかも、図 2-2 に示すように石油から合成されるアルキルベンゼンを硫酸でスルホン化することにより、容易に調製できますから、アルキルベンゼンスルホン酸のナトリウム塩は極めて安い中性洗剤として用いられるようになりました。しかし、アルキルベンゼンの部分構造は生物の代謝を受け難く、スルホン酸の部分構造を代謝する微生物や酵素は限られていますから、アルキルベンゼンスルホン酸のナトリウム塩は生物の力では分解し難く、誤って体内に入った場合には体内で代謝できず毒性を示します。自然界においても分解し難く残り易いため、自然環境を破壊する危険性を持っています。

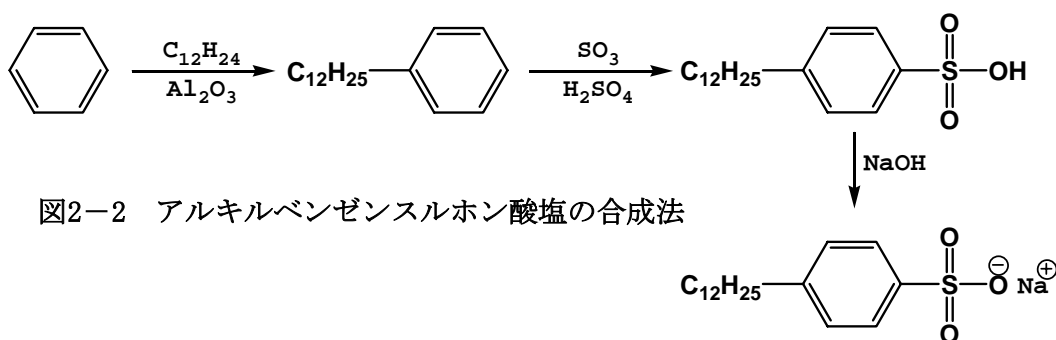


図2-2 アルキルベンゼンスルホン酸塩の合成法

別段価格が高いわけではありませんが、長い炭化水素鎖を持つアルコール類を高級アルコールと呼んでいます。この高級アルコールの部分構造を一つ持つ硫酸エステルナトリウム塩 (図 2-1、5) は高級アルコールと硫酸から容易に合成できる中性の界面活性剤です。同じように高級アルコールりん酸エステルのナトリウム塩 (図 2-1、7) も界面活性性

を示しますが、排水中のりんの濃度が高くなって微生物の異常繁殖を引き起こします。

窒素原子に4つの原子が結合した4級アンモニウムイオンは安定な陽イオンとして、塩素イオンや硫酸イオンなどと塩を作り水に溶解易くなります。水に溶解難い炭化水素鎖の部分構造が窒素原子に結合したアンモニウム塩は弱い酸性を示す陽イオン界面活性剤となります。長い炭化水素鎖を1つ結合したアンモニウム塩(図2-1、9)や2つ結合したアンモニウム塩(図2-1、10)は比較的安定で弱い酸性を示す陽イオン界面活性剤として用いられています。さらに窒素原子上にカルボン酸を含む部分構造が結合したアンモニウム塩(図2-1、11および12)では、窒素原子上で陽イオンに、カルボン酸部分で陰イオンになりますから、両性界面活性剤として働きます。

図2-3に示すように、石油や天然ガスから得られるエチレンの酸化によりエチレンオキシドが安く大量に生産されています。エチレンオキシドは小さな結合角による歪みから高い反応性を示し、容易に重合して多くのエーテル結合を持つポリオキシエチレンと呼ばれる物質に変化します。エーテル結合の酸素原子は塩基として働くことの出来る1対の電子を持っていますから、多くのエーテル結合を持つ物質も水素結合により水に溶解易い性質を示します。このポリオキシエチレン部分を挟み込んだ高級アルコールの硫酸エステルのナトリウム塩(図2-1、6)および長い炭化水素鎖にポリオキシエチレンを挟み込んだ脂肪酸のナトリウム塩(図2-1、8)は水により溶解易い部分を持つ陰イオン界面活性剤として働きます。しかも、非イオン性界面活性剤はカルシウムイオンとの相互作用があまりありませんから、硬水中でも界面活性の性能の低下がありません。さらに、ポリオキシエチレンの合成条件を変化させることにより、エーテル結合の数nを調節することが出来ますから、当然水に対する溶解易さを調節することが出来ます。結果として極めて多種多様な界面活性の性質を実現することが出来ますから、現在最も多量に、広範に利用されています。

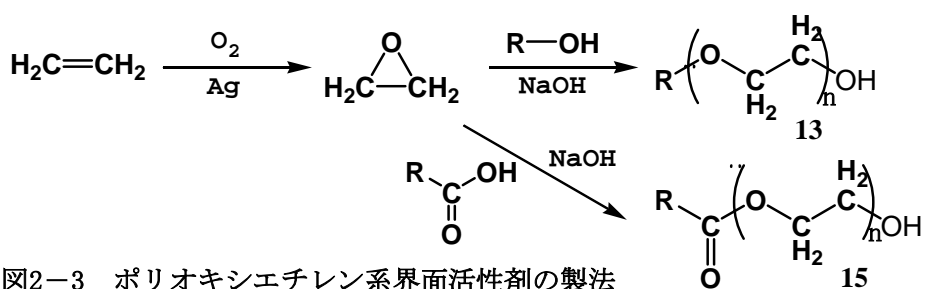


図2-3 ポリオキシエチレン系界面活性剤の製法

ポリオキシエチレンは多くのエーテル結合を持つアルコール類ですから水に溶解易い部分構造となり、水に溶解難い炭化水素部分と結合した場合には、全くイオン性を持たない物質でありながら界面活性を示すために、非イオン性界面活性剤に分類され、アルキルベンゼンがポリオキシエチレンとエーテル結合した化合物(図2-1、14)が非イオン性界面活性剤として用いられています。同じように脂肪酸のポリオキシエチレンエステル(図2-1、15)も全くイオン性を持ちませんので非イオン性界面活性剤に分類されます。ポリ

オキシエチレン部分は酸性条件では比較的容易にエチレングリコールに加水分解しますから、これらの界面活性剤は自然環境に残留する心配は無いように思われます。

生物にとって最も重要な糖類は多くの水酸基を持つアルコール類で、中でも植物が光合成で生産するブドウ糖は安価に入手できる物質です。表 2—1 に示すようにブドウ糖は水に極めてよく溶けます。ブドウ糖を水に溶け易い部分構造とし、水に溶け難い炭化水素部分と結合した物質も非イオン性界面活性剤として働きます。高級アルコールとエーテル結合した物質（図 2—1、**17**）や脂肪酸とエステル結合した物質（図 2—1、**18**）のほかに、ポリオキシエチレン部分とも結合させた物質（図 2—1、**19**）など種々の非イオン性界面活性剤が現在利用されています。また、ブドウ糖の代わりに砂糖を水に溶け易い部分構造として導入した界面活性剤も開発されています。これらのブドウ糖や砂糖を水に溶け易い部分構造に持つ界面活性剤は分解したときに、生物にとって栄養にこそなれ毒性を示すことのないブドウ糖や砂糖を再生します。分解生成物が糖類と脂肪酸ですから、人間の体内に入っても顕著な毒性もなく、食材や食器を洗うための洗剤や歯磨き用の界面活性剤として適しています。さらに、食品添加物として利用されていることもあります。

1950 年代以降に界面活性剤は石鹼から飛躍的に進化し、人体に毒性が少なく、環境にやさしく、しかも界面活性の能力の高いものに改良されてきました。しかし、細胞膜などの生体膜はいずれもリン脂質と呼ばれる界面活性剤で出来た二重膜ですから、より強い界面活性剤により置き換えられたり、破壊されたりしてしまいます。結果として人間をはじめ多くの生物にとって毒として働きます。界面活性の弱いものでは油と水を仲良くさせることができず、強い活性のものは生物にとって有毒になります。料理の下拵えとして最も大切な、食材の洗浄と食器の後片付けのためには水を使いますが、ただの水洗いでは不十分ですから、種々の界面活性剤を使って汚れと水を仲良くさせて洗い落としていきます。しかし、石鹼や洗剤などの界面活性剤は人間の身体にとってあまり好ましい物質ではありませんから、その使用に当たりできる限り皮膚に着けることや、口から体内に入ることのないように、気を付けるべきだと思います。

3. 料理は最も根源的な人間の文化

人間とけだものを分ける料理の文化

人間とけだものとの分けるものは文化であり、中でも食べ物を食べやすくまた美味しくするための料理は最も根源的な文化と思われます。けだものでも食べ物を地面に叩き付けたり、食いちぎったりして食べ易い形にします。我が家の愛犬が豚の大腿骨を食べるときには、食べ易いところから噛み砕いてゆきますが、歯の立たないときには根気よく歯をやすりのように使って周りの部分を削り落として行きます。人間は消化し易く栄養になりやすい形の食べ物を食べ易いと感じ、不足しがちな栄養を含む食べ物を美味しいと感じる習性を持っていると思われます。人間は道具を使う術を持っていますから、種々の工夫をして食べ難い骨や硬い繊維を取り除き、食べ易い形にしています。包丁を使って、太い骨を取り除き、食べ物を小さく刻むことにより、消化を助け栄養として吸収しやすくします。さらに、加熱や微生物の利用などの技術により栄養として吸収しやすい化合物に変化させています。このように食べ物を消化し易く栄養になりやすい形に変え、不足しがちな栄養を含む食べ物を摂取し易くする作業が最も根源的な料理と考えられます。そこで、本章では料理の最も基本となる事柄を化学的に考えて見ましょう。

「……………を化学する」シリーズの1部として掲載している「我が家の食べ物を化学する」(http://www.geocities.jp/choji_kashima/FoodsChem/index.html) に詳細にまとめておきましたが、人間が食べ物として口にする物は主に蛋白質と炭水化物と脂肪の3種類を多く含むものです。人間が蛋白質や炭水化物や脂肪を含む食べ物を食べる時、はじめに口の中で歯を使って咀嚼します。食べ物は細かく噛み砕かれ、唾液に含まれている種々の消化酵素と混ざります。噛み砕かれた食べ物は食道を通過して、胃の中で別の消化酵素を含む胃液と酸性条件下で混ざります。十二指腸に流れ出たところで塩基により中和され、さらに消化酵素が加えられて、食べ物中の蛋白質はアミノ酸へ、炭水化物はブドウ糖へ、脂肪は脂肪酸とグリセリンに加水分解されます。これらの加水分解生成物は腸の壁から体内に吸収されて、栄養として人間の身体を作る素材となり、活力の源になります。

体内では食べ物の加水分解の温度が約 37°C の体温に一定していますから、反応の速さは食べ物と消化酵素の混ざる速さで決まると考えられます。咀嚼した食べた物が細かければ細かいほどその表面積は大きくなり、消化酵素と接触する確率が高くなりますから、加水分解反応が早くなります。脂肪は余り硬い物ではありませんし、食べ物の中で多量に偏在していることもありませぬから、身体の中で容易に消化酵素と混ざり合い、栄養として吸収しやすい化合物に化学変化してゆきます。蛋白質は動物の身体を形成している物質ですから、人間が栄養として吸収するには牛肉や豚肉などは堅牢で食べ易くありません。植物性の食べ物も葉や幹や根や実ですから、炭水化物を堅牢なセルロースの繊維が包むように組織が作られています。そのため、蛋白質と同じように人間にとって必ずしも食べ易く

ありません。包丁で刻んだり箸で潰したりすることで、より咀嚼しやすくなりますから、食べ易く加水分解の進行を援けます。

人間はアミノ酸とブドウ糖と脂肪酸とグリセリンのほかに、食塩などのミネラルやビタミン類など種々の栄養を摂取する必要があります。しかし、食べ物からこれらの多くの種類の栄養を過不足なく摂取することはかなり困難を伴います。そのため人間は不足しがちな栄養を含む食べ物を美味しく感じる習性を持っていると思われます。例えば、食塩は人間が生きてゆくうえで必須の物質ですから、不足しないように塩で味付けした食べ物を好みます。ブドウ糖が人間の生命を維持する活力の源になりますから、ブドウ糖の供給源となる砂糖などの甘味を美味しく感じます。また、アミノ酸を食べたくなるように、アミノ酸を旨味として感じる味覚が人間には備わっています。人間が生きてゆくうえで必要とする栄養を過不足なく摂取するために、砂糖や食塩を添加し、食べ物を美味しく食べられるように味付けをする必要があります。この味付けは料理の過程で最も基本的な作業の1つと考えるとよいでしょう。

食べ物から栄養への化学変化

原始時代の人間は生の食べ物をそのまま食べて、咀嚼しながら噛み砕き、唾液や胃液に含まれる種々の消化酵素で加水分解してきました。しかし、現代の人間は食べ物を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、食べ物の加水分解を早めるために料理をするようになりました。

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 3-1 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。また、でんぷんも水と反応して、ブドウ糖に加水

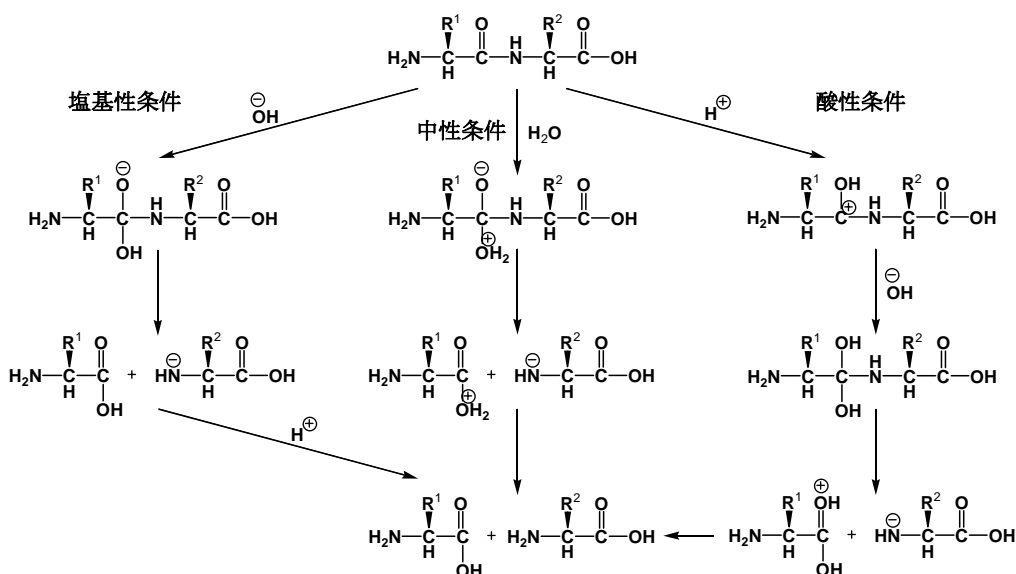


図3-1 ペプチド結合の加水分解

分解して行きますが、その反応は極めてゆっくりと進行します。同じように脂肪も水と反応して、ステアリン酸などの脂肪酸とグリセリンにゆっくりと加水分解して行きます。これらの加水分解反応は蛋白質やでんぷんや脂肪などの基質が水と出会って進行しますから、出会いの反応と呼ぶことが出来るように思います。

A 子さんと B 君はそれぞれ広い東京にわびしく暮らしていましたが、二人は仕事の都合で同じ電車に乗るようになり毎日の出会いが始まりました。いつの日からか B 君は A 子さんに惹かれるようになりました。B 君の情熱が通じて、ついに二人は幸せな恋人として結ばれることになりました。この恋愛物語を振り返ってみると、A 子さんも B 君もわびしい生活をしてきたためかなり精神的に不安定で恋人の欲しい状態にありました。また、偶然に二人が度々出会う機会に恵まれました。さらに、B 君の情熱的なエネルギーが A 子さんの心を動かし二人とも幸せになったのではないのでしょうか。化学反応における出会いの反応はこの恋愛物語と極めてよく似ています。

加水分解の反応は蛋白質やでんぷんや脂肪などの反応の基質と水の反応ですから、A 子さんと B 君が電車の中で出会ったように、反応基質と水の分子が互いに衝突する機会が多いほど反応は速やかに進行します。この 2 種の分子がそれぞれ多ければ多いほど、その衝突する機会は多くなります。ある体積の中の分子数を濃度と呼んでいます。出会いの反応の速度はそれぞれ分子の濃度の積に比例します。ここで反応の基質の濃度を[A]、水の濃度を[B]、反応速度定数を k とするとき、この加水分解のような出会いの反応の速度 v は式 3-1 のようになります。基質が水に溶ける場合には、溶媒となる水の分子は非常に大量にあり、反応に伴う濃度変化がありませんから、反応の速さは基質の水溶液の濃度だけに影響されます。基質が油のような水に溶けない液体の場合には、よくかき回すことによって分子の衝突の機会が増し、反応が加速されます。しかし、気質が固体の場合には、その表面のみで水と衝突が起こりますが、固体の内部では分子が殆ど動き回れず、その上、水が固体の内部に入り込めませんから全く衝突の機会はありません。固体の基質と水の反応は固体表面だけで起こりますから、その表面積が大きくなるように固体を細かく砕かなければなりません。

$$v = k[A] \cdot [B] \quad \text{式 3-1}$$

さらに、この 2 種の分子の衝突する機会はそれぞれの分子の動き回る運動の速度にも比例します。冬の寒い日にはコタツに入って丸くなり動きたくないように、分子の運動も温度が上昇すると早くなり、温度が低くなると遅くなります。全宇宙を支配していると考えられる熱力学の 3 法則によりますと、絶対温度 0 度（約 -273.16°C ）では全ての分子は凍結して動かなくなると考えられています。このように反応の速度は温度が大きく影響し、高温なほど容易に反応が進行することを意味しています。

A 子さんが恋人として B 君との付き合いを決心するためには、気持ちの整理をし、周囲のことも考え合わせて種々の障害を乗り越えなければなりません。化学反応においても、

反応の起こる前の原系から比較的エネルギー的に不安定な中間の状態を越えて、進行してゆくと考えられます。原系から中間の状態までのエネルギー差は活性化エネルギー (E_a) と呼ばれ、反応が進行するときに乗り越えなければならないエネルギー的に不安定な中間の障壁あるいは峠と考えられます。反応は峠を越えた後は安定な生成系に進行して行きますが、図 3-2 に示すように逆に生成系から原系への反応も同じように活性化エネルギー (E_a') の峠を越えて進行します。この反応およびその逆反応の反応温度および活性化エネルギー E_a と反応速度定数 k の間の関係はそれぞれ式 3-2 で表すことができます。ただし、 R は気体定数、 T は絶対温度で示す反応温度を意味しています。

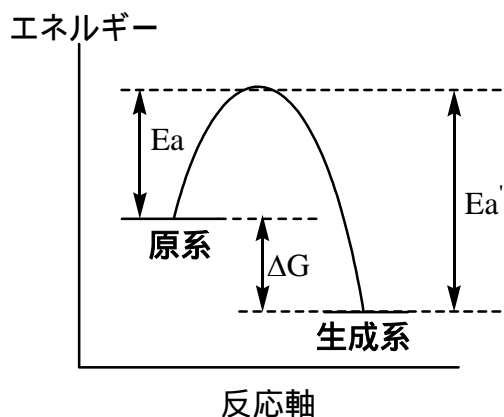


図3-2 反応のエネルギー関係

$$k = \chi e^{-\frac{E_a}{RT}} \quad k' = \chi e^{-\frac{E_a'}{RT}} \quad \text{式 3-2}$$

原系から生成系への反応とその逆反応におけるそれぞれの活性化エネルギーの差は自由エネルギー変化 (ΔG) と呼ばれ、両反応のエンタルピー変化とエントロピー変化の間に式 3-3 のような関係を持っています。

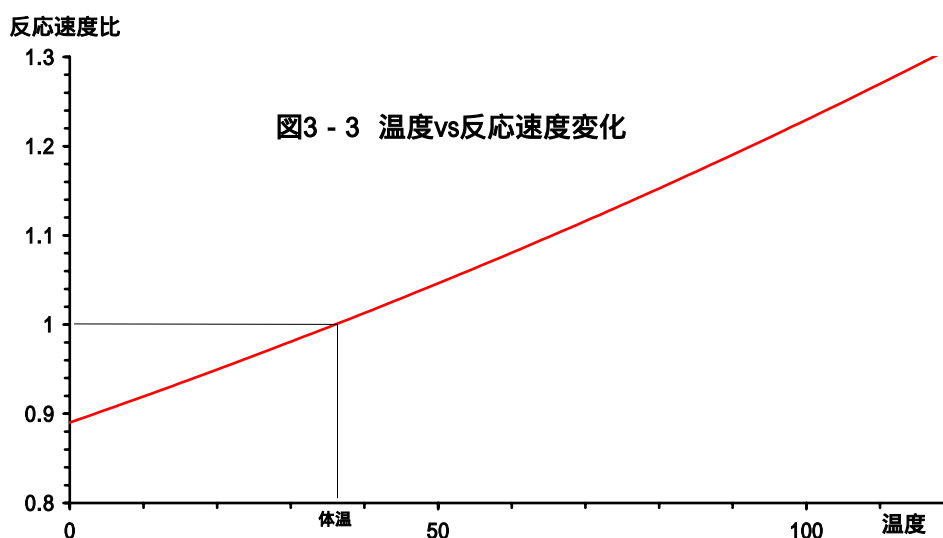
$$\Delta G = E_a' - E_a = \Delta H - T\Delta S \quad \text{式 3-3}$$

平衡反応は原系から生成系への反応とその逆反応が相互に容易に進行する反応であり、その平衡定数 K はそれぞれの反応速度定数の比で表すことができますから、式 3-4 のように式 3-2 および式 3-3 より式 2-1 に定義した関係を導くことができます。

$$K = \frac{k'}{k} = \chi e^{-\frac{E_a' - E_a}{RT}} = \chi e^{-\frac{\Delta G}{RT}} = \chi e^{-\frac{\Delta H - T\Delta S}{RT}} \quad \text{式 3-4}$$

A 子さんと B 君のわびしい生活による精神的に不安定で恋人の欲しい気持ちが恋愛反応を成就する活力になったように、基質と水が反応の起こる前の原系の状態がエネルギー的に高く不安定な場合には、峠を越すための活性化エネルギーが相対的に小さくなりますから反応が容易に進行します。ある活性化エネルギーを持つ反応において、式 3-2 の温

度変化に対する反応速度定数の変化は図 3-3 のように表すことができ、温度を上げてぐらぐら煮れば反応速度定数が大きくなりますから、蛋白質やでんぷんや脂肪の消化の時間が多少短縮されますが、それでも毎日食べた物を消化して栄養とするには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、水素イオンあるいは水酸イオンが触媒になって図 3-3 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。



肉や野菜などの食べ物は殆ど固体ですから、咀嚼しながら噛み砕いて食べ物の表面積を増して消化を早めます。人間の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、唾液や胃液に含まれる種々の消化酵素と良く混ざるようにして消化を早めています。このように蛋白質やでんぷんや脂肪の消化する巧妙な仕組みが人間には備わっていますが、古くから人間は料理をしてより食べ易くより消化し易い形に食べ物の形を変えてきました。

焼く、蒸す、煮る、揚げる、炒める

蛋白質やでんぷんや脂肪の消化する巧妙な仕組みが人間には備わっていますが、食べ難い食材や、食べられない邪魔物を取り除き、食材だけを取り出してきました。さらに、古くから人間は料理をしてより食べ易くより消化し易い形に食べ物の形を変えてきました。消化しにくい食べ物をあらかじめある程度加水分解をするように多くの料理法が用いられています。蛋白質やでんぷんや脂肪の消化反応は基質と水の出会いの反応ですから、前節で述べたように出来るだけ食べ物を細かく刻んで水の中で反応させます。また、反応温度を高くすることは反応の速度を速めます。

焼く、蒸す、煮る、揚げる、炒めるなどの操作は料理で最もしばしば用いられている基本的な調理法です。秋刀魚や鯛などの魚を塩焼きにしたり、バーベキューで肉を焼くときには、食べ物に含まれている水分が高温に熱せられ、高い反応温度で加水分解が進行して食べ易く消化し易い形に変形することが出来ます。とくに、塩焼きでは食べ物の中の水分を蒸発させる働きを早めますから、反応の温度をより高温にすることが出来ます。蒸す調理法は水蒸気で 100℃に加熱する操作ですから、食べ物を高い温度で食べ易く消化し易い形に変形するばかりでなく、全く乾燥させない調理法です。

煮る調理法は水の中で食べ物を熱するものですから、食べ物を高い温度で食べ易く消化し易い形に変形するばかりでなく、食べ物に含まれる水溶性の物質を溶かし出します。同時に、水に溶けている物質が食べ物の中に滲み込み食べ物に作用します。2 種類以上の食材を一緒に煮れば、それぞれの食材から溶け出す水溶性の物質が互いに影響しあって、複雑な味わいを醸し出します。また、塩や砂糖を加えて煮れば、塩や砂糖は水に溶け、食べ物に味を付け美味しく食べ易い形に変えます。さらに、酸性のお酢や塩基性の炭酸水素ナトリウム（重曹）などの触媒を加えて加水分解を促進することも出来ます。

ご飯を炊く調理法は「始めチョロチョロ、中パツパ、赤子泣いても蓋取るな」と言い伝えられてきたように、生米をゆっくりと煮る操作と適当に煮絞める操作と蒸す操作を連続的に組み合わせた調理法です。これによりお米に含まれるでんぷんは人間の消化し易いでんぷんに熱的に変性します。キャンプなどで使われる飯盒はこの調理法に適した鍋ですが、炊き上がった飯盒を熱いうちに逆さにして蒸す操作をすることが美味しい飯盒飯の炊き方のコツです。現在では、この調理法を電氣的に制御するプログラムを組み込んだ電気釜が完成していますから、ただ電源を入れるだけで美味しいご飯が炊けるようになっています。

煮る調理法と同じように、揚げる調理法も食べ物を溶媒の中で熱する操作ですが、水ではなく油を溶媒として用いますから、水とは異なる油の性質が大きく影響します。油は種々の脂肪酸のグリセリンエステルの混合物ですから、明確な沸点はありませんが食用に用いられる白絞油（白胡麻の油）や大豆油などは何れも約 200℃までは沸騰しません。そのため食べ物を極めて高温で熱することが出来ますから、食べ易く消化し易い形への大きな変形を伴います。水の沸点は 100℃ですから、食べ物をフライやてんぷらのように揚げると、食べ物中に含まれる水分は沸騰して水蒸気として揮発してしまいます。結果として食べ物を強制的に脱水乾燥する効果があります。比較的低い温度から徐々に油の温度を上げますと、比較的食べ物の内部の水分が失われませんから、食べ物の風味や味を保ちながら熱することが出来ます。これに対して、高温に熱した油の中に食べ物を入れて揚げますと、食べ物の中に含まれる水分は急激に体積の膨張を伴って爆発的に沸騰しますから、組織の破壊が起こりスポンジ状に空洞を作ります。固く干からびた餅も揚げ餅にすれば体積が膨張し柔らかく食べることができるようになります。骨の中の水分までも脱水乾燥しますから、通常では硬くて食べることのできない鯉の骨でも、中国では食べられるように料理しています。

匂いの成分は比較的沸点が低いために、100℃を越す高温では食べ物から揮発して行きます。紫蘇の大葉や山椒の芽などはてんぷらにすると香りが飛び易く、高い技術を必要とします。これに対して多少生臭い魚もてんぷらにすれば、その臭みの成分が揮発してしまうために美味しく食べることができます。アミノ酸などの旨味成分は水にはよく溶けますが油には比較的溶け難いため、揚げ物では食べ物の中の旨味を閉じ込める働きがあります。そのため、煮物のようにお互いの旨味の相乗効果で味わいを深めることは揚げ物には期待出来ません。

フライやてんぷらのような揚げ物では、カロチンやビタミン D などの食べ物中の油に溶ける成分は揚げる操作中に溶媒の油の中に溶け出します。しかし、大量の油を溶媒として用いたこの調理法では、料理の後でその油を食べることはありません。炒める調理法は油で食べ物を調理する方法ですが、使う油の量が少なく全て食用にしますから、油に溶け易い食べ物中の栄養分を失うことはありません。しかし、食べ物に接する油の量が少ないために、加熱する速度が遅く、高温で料理することが難しい欠点を持っています。

消化しにくい食べ物をあらかじめある程度加水分解をするように多くの調理法が用いられていますが、その殆どは高温にして反応を促進する方法です。でんぷんも蛋白質も脂肪も体内では消化酵素を触媒として消化を早めています。温暖な地方で生育されているパパイアには蛋白質を加水分解するパパインと呼ばれる酵素が含まれています。このパパインは 60~90℃の高温で酸性でも中性でも塩基性においても、重量比が約 3%ほどの少量で、油の少ない肉を消化する酵素の活性を持っています。そのため、パパイアの果実を食材として加えたシチュウやソースを作りますと、その果物の甘味が絶妙の味わいを引き出しますが、同時に肉類を柔らかくする働きをします。このパパイアの加水分解酵素のパパインはパパイアの種から比較的高い純度で取り出すことが出来ますから、肉類を柔らかくする粉末の調味料のテンダライザーとして米国では市販されています。歯の立たないほどに硬い牛肉に塩や胡椒と同じように、このテンダライザーを振りかけて料理しますと、格段に柔らかくあたかも高級な牛肉のようなステーキに焼きあがります。

このように、焼く、蒸す、煮る、揚げる、炒めるなどの調理法は種々の特徴を持っていますから、食べ物の個性や味や香りに適した調理法を選ぶことが食べ易く消化し易い食べ物に変化させる料理の基本と思われれます。

ふるい分けとろ過の原理は同じ

多くの動物は食べ物に近づき、そのまま食べて、咀嚼しながら噛み砕き、唾液や胃液に含まれる種々の消化酵素で加水分解します。しかし、海の中に住む鯨は食べ物となる鰯や小魚をいちいち捕まえるような手間をかけません。大量の海水とともに食べ物を吸い込み、口を閉じて歯の間から水だけ吹き出しますと、鰯などの小魚が口の中に残りますから、簡単に鯨の食べ物になります。鯨は口の中で分け取りますが、手を合わせて魚や貝を掬い上げる動物もいます。人間は投網や四つ手網や地曳網やトロールなど種々の工夫をした網で

魚を獲っていますが、これは魚を水の中からふるいにかける一つの方法です。このように、混ざり物を同じような方法で網やざるを通し、液体と固体を分け取るこの技術はふるい分けあるいはろ過といい、台所でもしばしば用いられています。また、固体と固体を同じように分離する方法をふるい分けと呼んでいます。

ろ過もふるいも物質の形態的な大きさの違いにより分離する技術で、固体の大きさより小さな目の網やふるいを用いれば大きな固体だけ分離することができます。2種類の大きさを持つ固体の混ざり物でも、粒の大きさが異なればこの技術により分離することができます。泥の付いた馬鈴薯を水の中で洗い、めの洗いざるにそのまま取れば、泥はざるの目を通して抜け落ち、馬鈴薯だけが分けて取り出せます。材料となる小麦粉に塊があると、出来上がったケーキにむらが出来てしまいますから、パティシエは粉の塊を取り除くために、必ず材料の粉をみな細かい目のふるいにかけて使います。さらに、大きさの異なる何種類かのふるいを使えば、物質の大きさによりそのふるいの数に分けることもできます。この方法によりミカンや栗の実を種々の大きさの目を持つふるいに通して大きさ別に選別しています。

固体と違い液体は非常に小さな穴でも流れ出ますから、固体の大きさより小さな目の網やふるいを用いれば固体を液体から分離することができます。一晩水に浸したもち米をざるにとって、釜の上で蒸すと餅つきが始まります。また、蒸した豆を搗り潰して造った豆乳を布に入れて絞ると、多少粗く搗り潰した粒まで濾されてきますが、この濾し汁に苦汁を加えると蛋白質が凝固して豆腐が出来上がります。ここで濾し取られた豆の繊維質はおからと呼ばれ、最近では豚などの家畜の飼料になることが多いようです。豆乳は搗り潰した豆の細かい粉が水に浮いている状態で懸濁液と呼ばれ、にがり液は塩化マグネシウムが水に溶けた状態で、このような状態を溶液と呼んでいます。懸濁液は固体の浮遊した状態ですからそれ以上に目の細かいふるいを通せば取り除くことができますが、溶液に溶けている物質は幾ら細かいふるいを使っても濾し取ることができません。

紙は細い植物の繊維が絡み合った状態で薄く並んだ物ですから、繊維の間に小さな隙間のあるふるいのような物です。化学ではろ紙と呼ばれる紙をふるいにして固体と液体を分離しています。活性炭やシリカゲルなどの非常に細かい粒子は通常使うろ紙をわずかながら通り抜けてしまいますから、精密な実験には分析用ろ紙と呼ばれる目の細かい特別のろ紙を使います。科学技術の進歩により、分析用ろ紙よりもさらに小さな隙間しかないフィルターが開発され、ウイルスのような極めて小さな固体まで濾し取ることが出来るようになってきました。このように極めて小さな固体でも濾し取ることが出来ますが、溶液となって液体に溶け込んだ物質は濾し取ることができません。

料理の極意は抽出の仕方

水と油はお互いに殆ど溶け合いませんから、2層に分離して比重の重い液体が下層になります。どちらかの液層に溶けている成分は次第に他方の液層に一部移動して行きます。

このときその成分は両液に対する溶解度の割合に分配されます。この現象を利用すればある液体に含まれる成分を他方の溶媒で取り出すことが出来ますので、液-液抽出法という化学の研究には欠かせない分離精製法となります。図 3-4 (A) は分液漏斗と呼ばれる液-液抽出法に使われるガラス器具で、混ぜり合わない 2 種の液体を入れてよく振盪しますと、2 液の間の接触面積が大きくなり、容易に成分の分配平衡に達します。下のコックを開けて下層の液体を排出して 2 液を分離すれば抽出は終了します。また、図 3-4 (B) は 2 液間で成分を連続的に抽出するために考案されたガラス器具です。このように種々の抽出器具が考案され、化学の研究では広く用いられている分離精製法ですが、台所ではあまりこの技術は利用されていません。

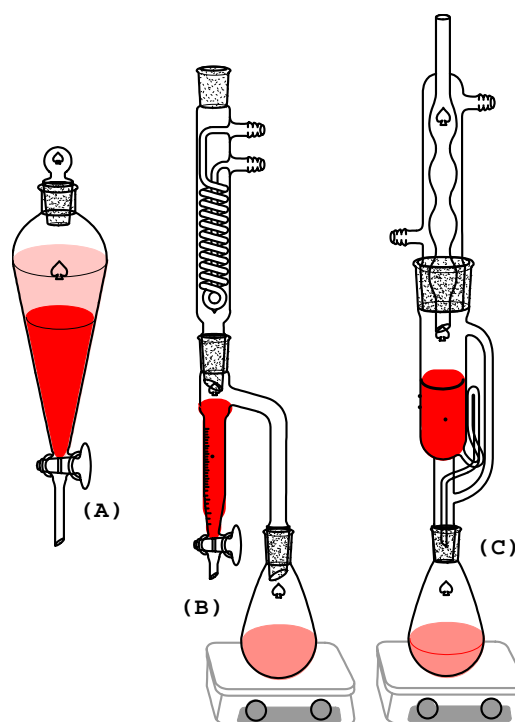


図3-4 抽出用の実験器具

これに対して固体の中から含まれている成分を溶媒により取り出す固-液抽出法は台所でしばしば用いられる技術です。人間は食べ物の中に含まれるごく少量の色や香りや味の成分だけを楽しむことも身に着けてきました。特に薬効のある物質を体調を整えたり健康の回復のために服用してきました。しかし、これらの成分は極少量しか含まれていませんから、食べ物や薬物の中からその少量の成分を取り出すために、抽出あるいは煎じる技術が生まれました。

物質の溶け易さは表 3-1 に示すように溶媒により大きく異なります。一般に水に溶け易い物質は油には余り溶けませんし、逆に油に溶け易い物質は水に溶け易くありません。固体の食べ物や薬物から色や香りや味や薬効の成分を抽出するためには、よく溶ける溶媒を用いる必要がありますし、食べ物や薬物の表面積を大きくして溶媒との接触を容易にする必要があります。次節で述べますが、高い温度の溶媒を用いることも抽出の効率を向上させます。

中国南部が原産のお茶は紀元前 200 年ごろに薬用に飲まれるようになり、全世界に普及しました。お茶には図 3-5 に示すような構造式を持つタンニン、テアニン、カフェイン、ビタミン C を多く含んでいます。主に 4 種のタンニンは茶カテキンとも呼ばれ止瀉、整腸の作用を持っています。テアニンはグルタミン酸と類似のアミノ酸で興奮を抑える働きをし、カフェインは覚醒、解熱、鎮痛、利尿など種々の作用を持つために多くの風邪薬にも入っています。ビタミン C は抗酸化作用を持ち人間の体内ではコラーゲンの生成など多くの働きをしています。お茶はこのように種々の薬効を持つ成分を含むものですが、その

表 3-1 食べ物に関する化合物の溶解度 (20°C)

物質名	分子式	溶解度 (g/100g)	
		水中	エタノール中
エタノール	C ₂ H ₅ OH		
砂糖	C ₆ H ₁₁ O ₆ -C ₆ H ₁₁ O ₅	203.9	0.15
乳糖	C ₆ H ₁₁ O ₆ -C ₆ H ₁₁ O ₅	16	不溶
ブドウ糖	C ₆ H ₁₂ O ₆	20.6	1.94
果糖	C ₆ H ₁₂ O ₆		難溶
グリセリン	HOCH(CH ₂ OH) ₂		
ステアリン酸グリセリル	C ₁₇ H ₃₅ CO ₂ CH(OCOC ₁₇ H ₃₅) ₂	不溶	可溶
食塩	NaCl	36.0	0.065
炭酸水素ナトリウム	NaHCO ₃	9.6	不溶
にがり	MgCl ₂ ·6H ₂ O	54.5	5.6
酢酸	CH ₃ CO ₂ H		
乳酸	CH ₃ CH(OH)CO ₂ H		
酒石酸	HO ₂ CCH(OH)CH(OH)CO ₂ H	139	易溶
クエン酸	HO ₂ CC(OH)(CH ₂ CO ₂ H) ₂	12.5	易溶
リボース	C ₅ H ₁₀ O ₅	可溶	難溶
イノシン酸	C ₅ H ₃ N ₄ O-C ₅ H ₈ O ₄ -PO ₃ H ₂		難溶
アデニル酸	C ₅ H ₄ N ₅ -C ₅ H ₈ O ₄ -PO ₃ H ₂	可溶	可溶
グアニル酸	C ₅ H ₄ N ₅ O-C ₅ H ₈ O ₄ -PO ₃ H ₂	可溶	
グリシン	CH ₂ (NH ₂)CO ₂ H	225.2	0.017
アラニン	CH ₃ CH(NH ₂)CO ₂ H	157.8	0.017
グルタミン酸	HO ₂ C(CH ₂) ₂ CH(NH ₂)CO ₂ H	7.17	0.004
メチオニン	CH ₃ S(CH ₂) ₂ CH(NH ₂)CO ₂ H	3.38	不溶
メントール	C ₁₀ H ₂₀ O	難溶	可溶
シトロネラール	C ₁₀ H ₁₈ O	難溶	
バニリン	C ₈ H ₈ O ₃	1.0	
カプサイシン	C ₁₈ H ₂₇ NO ₃	0.0001	
ビタミン A	C ₂₂ H ₃₀ O	不溶	可溶
ビタミン B ₂	C ₁₂ H ₉ N ₄ O ₂ -C ₅ H ₁₁ O ₄	0.033	難溶
ビタミン C	C ₆ H ₈ O ₆	33	3.3
ビタミン D ₂	C ₂₈ H ₄₄ O	不溶	可溶
ビタミン E	C ₂₉ H ₅₀ O ₂	不溶	

葉はあまり食べ易い物ではありません。その上これらの薬効成分は何れも水によく溶けますから、昔の中国でお茶は水で抽出してクスリとして飲むように考えられました。急須やティーポットにお茶の葉を入れてお湯を注ぎますと、お茶の薬効成分が抽出されてお湯に溶け出します。最後に茶漉しなどでお茶の葉をろ過して、1杯のお茶が淹ります。

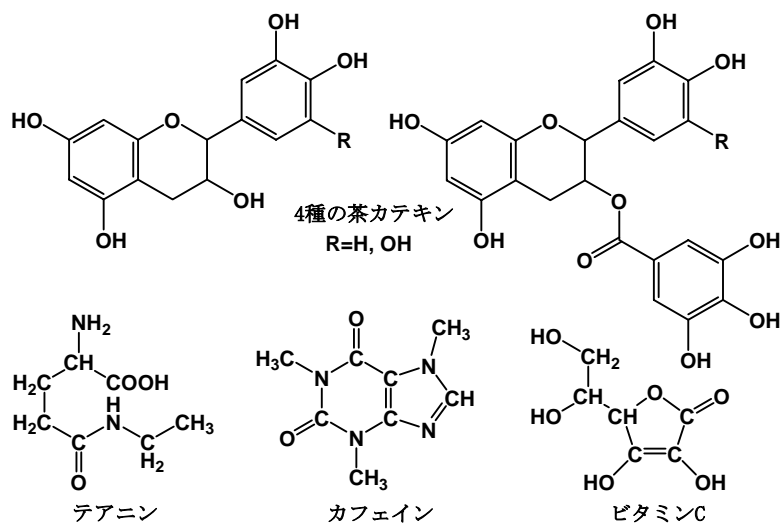


図3-5 お茶の薬効成分

煎ったコーヒー豆をお湯で抽出すればコーヒーになりますが、豆のままでは抽出の効率が低く、カフェインや匂いの成分などがあまり溶け出してきません。そのため、コーヒー豆を粉末にして抽出しやすくしていますが、デミタスコーヒーのように成分を濃く抽出するためには、パーコレーターなどを用いて連続的に長時間抽出する必要があります。コーヒーの香りや味やカフェインを抽出した懸濁液から、コーヒーの粉末の出廻らしをネル布や紙でろ過して取り除くと、1杯のコーヒーの完成です。

固体の物質の中の成分を抽出する場合にはお茶やコーヒーと同じように、抽出の操作とろ過の操作を組み合わせる場合が多々あります。薬草や香料の研究などで古くから固体の試料から有効成分の抽出がなされてきましたが、そのために図 3-4 (C) に示すソックスレイ抽出器が使われてきました。赤色の中間部分に試料をろ紙に包んで入れておき、ヒーターでフラスコの中の溶媒を煮立てます。溶媒は気化して上昇し、上部の冷却器で液化した溶媒は流れ落ち、中間部の試料を抽出してもとのフラスコに戻ります。この抽出器は連続的に操作することができますから、デミタスコーヒーのパーコレーターのように効率よく濃度の濃い抽出液を作ることが出来ます。

昆布は塩昆布やとろろ昆布や昆布巻きなどの食材として種々の形に料理されていますが、湯豆腐の鍋の底に敷いたり吸い物の出汁の食材としても使われています。醤油で味付けした鰹節は人気の高い握り飯の食材と思われませんが、日本料理の最も基本は鰹節の出汁と考えられます。フランス料理のスープ、特にコンソメの味は鶏や牛のプロスで決まります。鰹出汁も昆布出汁も鶏や牛のプロスもそれぞれの食材に含まれるアミノ酸類やヌクレオチド類の旨味成分を水で抽出した溶液です。しかし、それぞれの食材には旨味成分のほかにも水に溶け易い物質が含まれていますから、旨味成分だけでなく、匂い成分などと相まって最も美味しい味を調えるためには抽出の条件は必ずしも同じではありません。冷たい水にゆっくりと浸す抽出法、短時間に煮立つ湯で煮る抽出法、ゆっくりと煮込む抽出

法など食材により抽出温度も抽出時間も異なりますから、最も適した調理法を選ぶ必要があります。

お茶やコーヒーの成分も出汁やブrossの成分も水によく溶けますから、水で抽出して飲んでいますが、薄荷の匂い成分のメントールも柑橘類の匂い成分のシトロネラルも表 3-1 に示すように水よりはエタノールによく溶けます。そのためこれらの匂いの成分はお酒で抽出して、ペパーミントやオレンジキュラソとしてカクテルなどに加えられて飲まれています。ラン科の蔓性植物の種を発酵させて作られるバニラはケーキやアイスクリームなどの香料として広く用いられていますが、主成分はバニリンと呼ばれる芳香族アルデヒドです。このバニリンも表 3-1 に示すようにエタノールにむしろ良く溶けますから、エタノールで抽出したエキスをバニラエッセンスとして菓子作りなどに便利に利用しています。さらに、表 3-1 に示すカプサイシンは唐辛子の辛味成分ですが、水には溶け難くエタノールや油によく溶けますから、島唐辛子を焼酎で抽出したコーレーグースは沖縄の調味料、唐辛子をごま油で抽出したラー油はラーメンや餃子に欠かせない調味料です。

ビタミン D の原料となるカロチンは人参に多く含まれていますが、水よりも油によく溶けます。人参を細かく刻んで油で炒めると、油が黄色に変色して、含まれているカロチンが抽出されますから、栄養として摂取し易くなります。細く刻んだ人参のてんぷらは著者の好物の 1 つですが、栄養成分を有効に摂取できる人参の優れた料理法と思われる。

お茶、コーヒー、出し汁、ブross、各種のリキュール、ラー油などの香辛料。抽出の技術は料理の味や香りを左右する最も大切な調理法の 1 つと思われます。抽出の条件を最適に整えることが料理の極意ではないでしょうか。

4. 水の特性を熟知すれば料理上手

圧力鍋は優れもの

食べ物は水を溶媒とする生物組織が多く、人間も水を溶媒とする組織ですから、栄養として体内に吸収するときには食べ物を全て水に溶ける形に変化させています。料理は食べ物を食べ易く、消化し易くして美味しく食べることができるようにすることですから、化学的には食べ物を水と反応させ、水に溶かす技術と考えることも出来ます。そのため、水の性質を知ることは、料理を上手に作るうえで大切なことと思われまます。そこでこの章では水の特性がどのように料理に生かされ、どう工夫すればその特性を利用できるか考えてみようと思います。はじめに水の状態の変化が料理にどのように反映するか調べましょう。

テニスのボールが飛んできて身体にぶつかるとうれを受けて痛みを感じます。同じように、質量を持った分子が自由に動き回り、壁に衝突すると壁は何がしかの力を受けます。これを圧力といいます。地球の大気が地球の表面に衝突するときには生まれる圧力を大気圧といい、海拔 0m では 1cm^2 に約 1kg となります。衝突で受ける力は分子の数が少なければ少なく、分子の数が多ければ受ける力も大きくなります。言い換えれば、圧力は自由に動き回る分子の密度に比例するという事です。密度がある一定の体積中の分子の数を意味していますから、圧力はその体積に反比例し、分子の数に比例します。

また、ゆっくりしたテニスのボールにぶつかってもあまり痛くありませんが、強烈なスマッシュのボールにぶつかるとうれが出来ると痛いのものです。物質の衝突で生まれる力はその物質の速度が速ければ速いほど大きくなります。温度が高くなって分子の運動が激しくなると、壁に衝突する数も増加しますが同時に分子の速度も大きくなります。結果として温度が高くなれば圧力が高くなります。体積 V の器の中に n 個の分子を入れると、温度 T のときに器の中の圧力 p は温度と分子の数に比例し器の体積に反比例します。比例定数を R とすれば、式 4-1 は自由に動き回る分子同士の相互作用が全くない理想的な気体に対する温度と圧力と体積に関する関係式で、これを理想気体の状態方程式と呼び、比例定数 R を気体定数と呼んでいます。

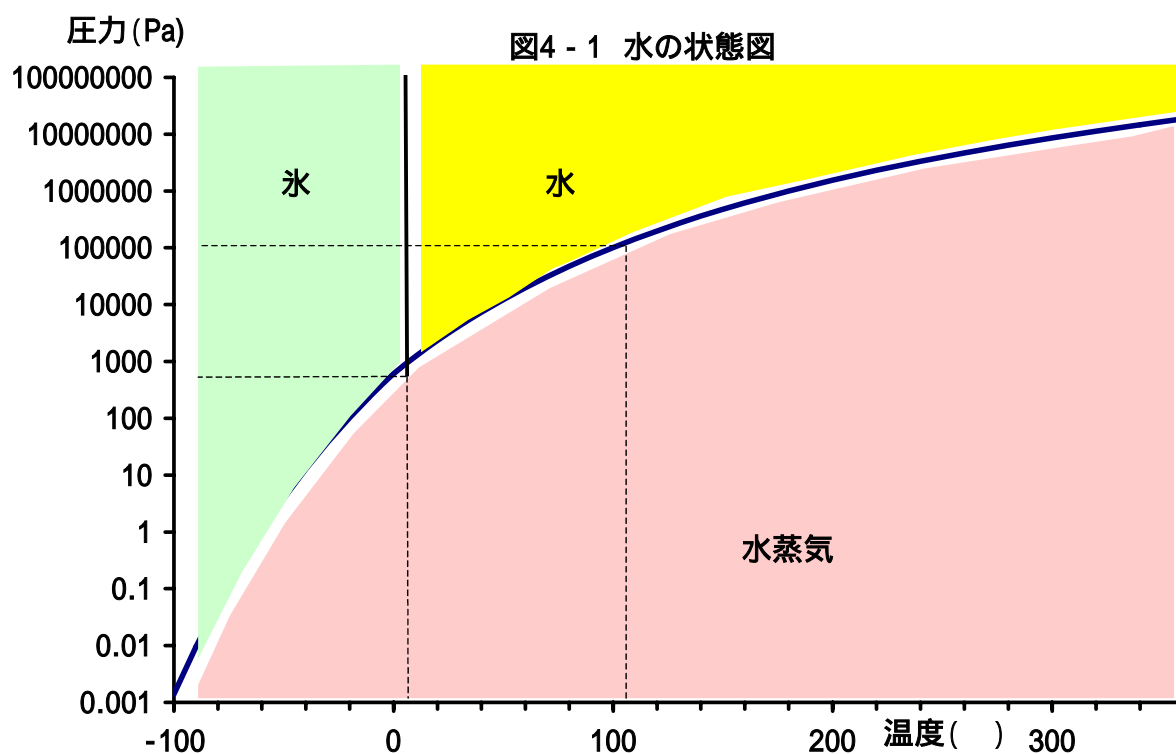
$$pV = nRT \quad \text{式 4-1}$$

実在する気体では一般に、分子と分子の間には相互に働く分子間力と呼ばれる弱い引力が働いています。分子間力は分子と分子の間の距離に反比例するように変化しますから、圧力が高くなり分子の密度が高くなると、分子の間の距離が小さくなるため分子間力が大きくなります。また、物質の中で分子は動き回りますが、そのときの運動エネルギーは低温では小さく温度が高くなるほど大きくなります。物質には固体、液体、気体の3態があり、分子と分子の間で相互に働く分子間力と運動エネルギーの大きさの大小により物質の状態は決

まってきます。しかも、運動エネルギーは温度により変化しますし、分子間力は圧力により変化しますから、物質の状態も温度と圧力により固体から液体へ、さらに液体から気体に変化します。

温度が低いために分子の運動エネルギーが分子間力よりはるかに小さいときには、固体の状態になり、分子は整然と規則的に並んでほとんど動くことが出来なくなります。この状態では分子はその配列を崩すほどには動くことが出来ません。温度が少し高くなり分子間力とほとんど同じ程度まで分子の運動エネルギーが大きくなると、分子は整然としたその配列を保つことが出来なくなり、液体となって物質の中を分子は自由に動き回るようになります。さらに温度が高くなり分子間力よりも分子の運動エネルギーがはるかに大きくなると、分子は物質の中の分子間力のしがらみから開放されて、自由な世界に飛び出してゆきます。この飛び出す現象を気化といい、分子が分子間力の影響をほとんど受けずに自由に運動できる状態を気体の状態といいます。

いろいろな温度と圧力で水が氷、水、水蒸気の3態の何れの状態にあるかは、図4-1に示す水の状態図で表すことができます。101000Pa (1010hPa、1気圧)の時に水は0°Cで固体の氷から液体の水に変化し、100°Cで水蒸気の圧力が101000Paになりますから、沸騰しどんどん気化が進みます。沸騰している水は液体が完全に水蒸気として気化するまでその温度を100°Cに維持します。図4-1からも分かるように、101000Paよりも高い圧力の下では水は100°Cよりも高い温度の沸点を示します。



電気炊飯器の普及する以前にはお釜でご飯を炊いていましたが、お釜には重い木の蓋が使われていました。このしっかりした蓋によりお釜が良く密閉され、内部は比較的高い圧力になりますから、水温が高くなってご飯を美味しく炊くことが出来るように工夫されていました。我が家で現在使用している電気炊飯器も、美味しいご飯が炊けるように内部の圧力が若干高くなるように工夫されています。

地表の気圧は海拔 0m の所で最も高く約 101000Pa ですが、高い山や高原では次第に気圧は下がって行きます。海拔 3000m を超すと気圧が 70000Pa まで低くなり、酸素不足から高山病に罹ることもあります。軽井沢や富士五湖地方のような高原では、強い台風の中心気圧ほどの 90000Pa しか気圧がありませんから、水は約 96°C で沸騰してしまい、いくら火を強くして煮ても、それ以上に温度が上がりません。しっかりした蓋をすると爆発の危険はありますが、圧力鍋は安全弁や気圧の調節弁を付けて爆発の危険のないように工夫されています。この圧力鍋を使いますと、どんなに気圧の低い土地でも、100°C 以上の高い温度で食べ物を煮たり蒸したりすることが出来ますから、食べ易く消化し易い食べ物に変化させるための調理法の幅を広げることが出来ます。圧力鍋は料理をするうえで優れものの道具と思われます。

凍らせたまま煮詰めてつくるインスタントコーヒー

水を 100°C に煮立てますと沸騰して水蒸気になりますが、この水蒸気が冷やされると再び液状の水に戻ります。このように液体から気体の状態を経て再び液体に戻る現象を蒸留といいます。でんぷんや糖分の醗酵により醸造されたお酒は約 10% のエタノール水溶液ですが、水よりもエタノールは沸点が低いために、エタノールの方が気化し易く、蒸留によりエタノールの濃度を高くすることが出来ます。ぶどう酒を蒸留するとエタノールの濃度の高いブランデーになりますし、お酒を蒸留すれば焼酎になります。食塩や砂糖の沸点は水に比較して極端に高温ですから、食塩水や砂糖水を熱すると、水だけが蒸留してゆき、鍋の底に食塩や砂糖が煮詰まってきます。

図4-1に示した水の状態図から分かるように、室温では水の蒸気圧は 3000Pa ですから、水は沸騰することなく僅かづつ水蒸気になります。しかし、気圧を 3000Pa まで減圧にしますと、水は室温でも沸騰をはじめて水蒸気に気化します。電気冷蔵庫の冷凍室は約 -10°C に設定されていますが、その温度では水は氷の状態に固化していますが、250Pa の蒸気圧を持っています。このように氷が僅かながら蒸気圧を持っていることは、氷の状態の水が徐々に水蒸気として蒸発してゆくことを意味しています。揮発した水蒸気はさらに冷たい所に氷として凝縮しますが、この固体から気体の状態を経て再び固体となる現象を昇華といいます。昇華は蒸留と同じように相変化による現象で、ドライアイスが液体になることなく二酸化炭素に気化してゆくときに見ることが出来ます。冷凍庫の中では水の昇華の現象が起こりますから、食べ物の水分が蒸発して乾燥してゆき、揮発した水分は冷却装置の部分に凍り付きます。

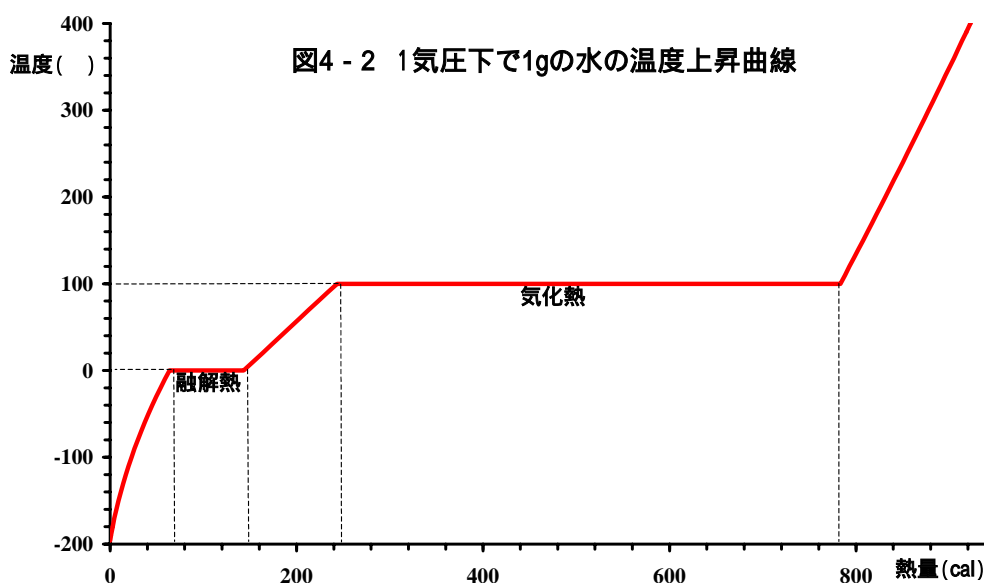
酸化や重合などの食べ物の変性を伴う化学反応は高温で比較的早く進行します。特に、

通常の蛋白質の変性点は約 70℃ですから、水の温度を上げて濃縮すると蛋白質の変性が起こってしまいます。このような食べ物の反応は低温では比較的ゆっくりと進行しますから、低い温度では味や風味があまり損なわれません。水を含む物質を凍結した後に、昇華により低温で水分を取り除き乾燥させる凍結乾燥という技術が開発されています。この技術では匂い成分などの揮発性の物質は多少失われますが、食べ物に含まれる殆どの物質を変性することなく、その味や風味を保ったまま乾燥することが出来ます。

コーヒー豆から抽出して淹れたコーヒーの液を凍らせて、凍結乾燥により水分を取り除きますと、コーヒーの苦味や風味が余り失われることなく乾燥した粉末になります。この粉末は水を加えるだけで容易に溶けて元のコーヒーに戻りますから、インスタントコーヒーとして忙しい現代生活では愛好されています。さらに、ネギや海老や油揚げなどの乾燥にもこの技術が用いられ、具や薬味として即席ラーメンや各種のカップ麺に加えられています。

料理の温度を操る気化熱の魔法

スープも味噌汁も澄まし汁もみな食べ物が入った水溶液あるいは懸濁液ですから、水を暖めたときにどのように温度が上がるか知ることは、料理を上手に作るうえで大切なことと思われます。図 4-2 は 1 気圧 (101000Pa) の下で 1g の水を暖めたときに加えられる熱量とそのときの温度の上昇をグラフに表したものです。この図で分かるように、水には相の変化に伴う大きな熱の収支がありますが、特に大きな気化熱を持っています。0℃の水 500g を薬缶に入れて台所のガスレンジで温めたときに、融けるまでの時間、水が沸騰するまでの時間、沸騰してから完全に水蒸気になって薬缶が干上がるまでの時間はそれぞれ 50



秒、1分、5分25秒と換算することが出来ます。ただし、ガスレンジの発熱量は1分間に100kcalで、熱効率50%でガスレンジの熱が水を暖めるとします。この概算した時間から、水が沸騰を始めてから完全に蒸発し終わるまでの時間の極端に長いことが分かります。このことは100℃の水蒸気が100℃の水に凝縮するときには、非常に大きな熱量を放出することを意味しています。シュウマイや饅頭を上手く蒸すことが出来るのはここで放出する大きな熱量によると思われます。料理の間に100℃の水蒸気が皮膚に当たりますと凝縮して水になりますが、同時にその部分の皮膚に短時間に多量の熱が集中しますから、非常に危険な火傷を引き起こすことがあります。

油の浮いた中国料理のスープやラーメンの汁が非常に冷めにくく湯気も立っていないのに、口に入れると火傷するほどに熱いと感じた経験があると思います。沸騰点以下でも高温の水は大量の水蒸気を蒸発しますから、大量の熱量を失い水の部分は冷えて行きます。しかし、水面を油の膜で覆われていますと、水面からの水蒸気の蒸発は極度に抑えられてしまいます。そのために気化による熱量の放出が抑えられ冷え難くなっていますから、高温の水が冷えてゆく通常の時間感覚で推測する温度よりも高い温度に保たれていることになり、口の中を火傷することになります。水面が多く露出するように油の膜を壊して掻き回せば、水蒸気の蒸発が起こり温度は急激に低下するでしょう。

アンコールワットへの観光旅行の折に、レストランでは大型の扇風機を回していましたが、その風の流れに霧状の水を撒いていました。小さな水滴は風の流れの中で即座に気化しますが、そのとき多くの気化熱を流れる風から奪いますから、風の湿度は高くなりますが温度は下がります。熱帯にあるカンボジアで利用できる簡易型の冷房装置です。電気冷蔵庫の普及していなかった時代には日本でも同じような原理を利用して、夏になると濡れた布巾で器を包み風通しのよい所に置いておきました。布巾に含まれた水は風に当たって気化しますが、そのとき多くの気化熱を器から奪いますから、器の中まで良く冷えます。

多くの気体はポンプで電氣的に加圧しますと発熱を伴って液化し、圧力の低いところで霧として拡散しますと気化すると共に、気化熱を奪いながら急激に温度が下がります。気化した気体は再びポンプで加圧して冷却しながら液化して循環しますから、電氣的にポンプを働かせることにより温度を下げる事が出来ます。水の大きな気化熱には及びませんが、アンモニアやフロンガスなども気化するとき熱を奪います。水は電気器具に利用することが難しいために、アンモニアやフロンガスなどを使った冷却装置が電気冷蔵庫に用いられています。しかしフロンガスも公害物質として規制されていますから、ブタンガスなどが次第に使われるようになって来ました。

食材を変える水の体積変化

前の説で述べたように、気体の状態では分子と分子の間に相互に働く分子間力が極めて弱いために、式4-1に示す理想気体の状態方程式は現実に存在する気体の関係を比較的良く表しており、実際の化学の研究に便利に用いられています。この式4-1を用いて計算

すると、1gの水の体積は室温で約1mLですが、100℃まで加熱して完全に気化すると約1700倍の体積の水蒸気に膨張します。気化した水は式3-3の関係式のように温度上昇と共に体積をさらに増大しますが、その様子は図4-3(A)に示すとおりです。水を入れた容器を密閉して加熱すると、水が気化して膨張しますから内部の圧力が高くなり、内部の水の温度は100℃よりも高くなります。この高い圧力を利用すれば蒸気機関を動かすことも出来ますが、容器の耐圧強度を越すと容器が壊れて爆発をすることもあります。

逆に、液状の水は温度が下がると共に次第に体積も小さくなり、4℃のときに1gの体積が1mLまで小さくなります。さらに温度が下がりますと、若干体積を増しますが、図4-3(B)のように0℃で体積を約10%増加して固化します。水は地球上では極めてありふれた物質ですから、全ての液体がこのように複雑な体積の増減をするように思われますが、現在までに性質の知られている全ての物質は固体、液体、気体の3態を通して温度の上昇と共に体積が増加します。4℃の水は最も小さな体積で密度がもっとも大きいために水の底に沈み、対流現象を起こさなくなってしまう。また、氷は水よりも体積が大きく密度が小さいために、水面に浮かぶようになります。器に入っている水が冷やされると、次第に体積が小さくなりますが、4℃からは体積が大きくなります。0℃で表面から凍り始め、内部が体積の小さな液体の状態に器に蓋をするように凍ります。さらに温度が下がりますと、内部の液体が約10%の体積の増加を伴って凍ります。しかし、既に氷の蓋が出来ていますから内部に非常な圧力がかかり、器を破壊してしまいます。

豆腐は豆乳の中の蛋白質を苦汁(MgCl₂)で凝固させた食べ物ですから、蛋白質の網目の中に多くの水を含んでいます。このようにして作られた豆腐を冬の寒い夜に外に置いて凍らせると、含まれている水が氷になりますが、そのとき体積が約10%ほど膨張しますから、豆腐の中に小さな穴が開きます。昼間は豆腐の中の氷も融けて水になりますが、夜

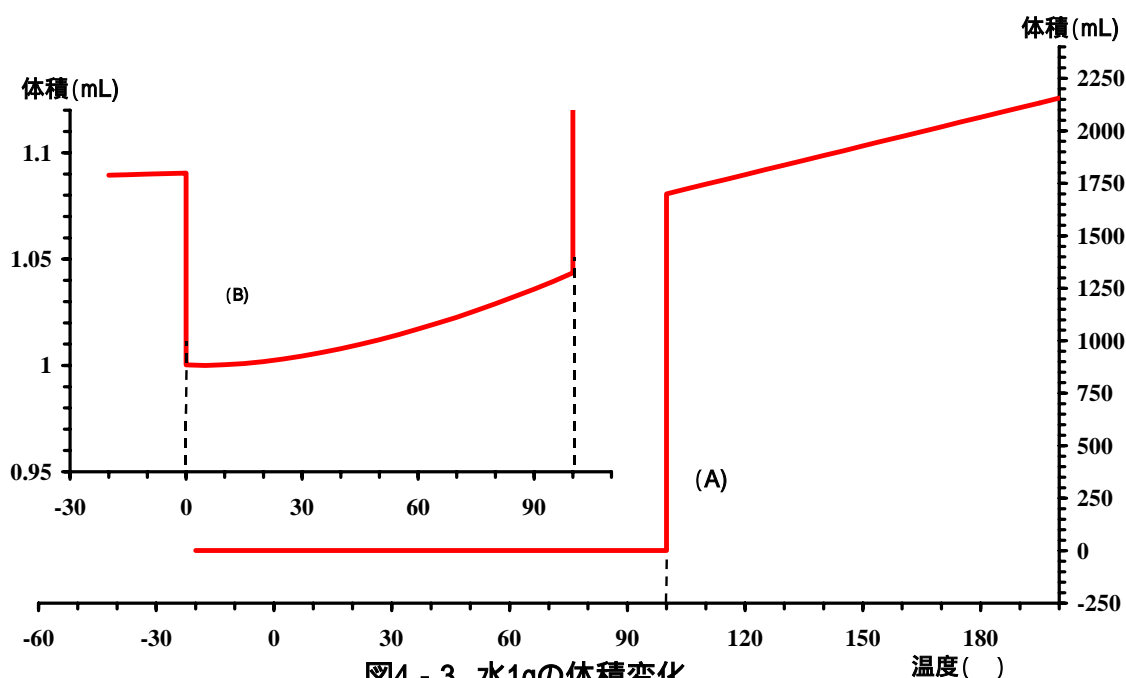


図4-3 水1gの体積変化

になると再び凍りますから豆腐の中の小さな穴はまた少し大きくなります。豆腐に含まれる水の凍結と融解が繰り返されるうちに、次第に小さな穴は成長しますから豆腐は海綿状になり、含まれる水が次第に凍結乾燥されて、凍み豆腐あるいは高野豆腐と呼ばれる日本料理や中国料理の重要な食材になります。

テングサから抽出したアガロースと呼ばれる食物繊維を水に溶かしますとトコロテンを作ることが出来ますが、豆腐と同じようにトコロテンもアガロースの網目の中に水を含んでいます。このトコロテンを冬の寒い夜に外に置いて凍らせると、大きな穴の開いたトコロテンが出来上がります。海綿状になっているためにお湯に容易に溶けてトコロテンを再生することができ、古くから寒天と呼んで愛用されてきました。乾燥していて寒さの厳しい土地が凍み豆腐や寒天の製造に適していますから、東北地方や長野県の名物になっています。

大部分の食材は植物や動物の細胞を含んでいますが、細胞は種々の栄養や構成成分と共に水を細胞膜で包み込んでいます。近年、保存のために食べ物の冷凍の技術が進歩しましたが、この冷凍食品は細胞の中の水まで凍らせてしまいます。当然、細胞に含まれる水は膨張しますから、細胞膜は破壊されます。解凍されると共に内部の栄養や構成成分も漏れ出してしまいますから、すぐに食用に供さなければ味も食感も極端に低下してしまいます。食べ物を冷凍し解凍するためには、出来る限り細胞膜の破壊されないようにしなければなりません。高温で解凍したり、度々冷凍と解凍を繰り返すことは細胞膜の破壊を進行させますから、味や食感を劣化させることになると思われます。水が凍るときに体積が 10%ほど膨張する性質が食材の味や食感をしばしば変化させる原因になります。

0℃では凍らない肉や野菜

一般に、分子と分子の間には相互に働く分子間力と呼ばれる弱い引力が働いています。分子間力は分子と分子の間の距離に反比例するように変化しますから、圧力が高くなり分子の密度が高くなると、分子の間の距離が小さくなるため分子間力が大きくなります。また、物質の中で分子は動き回りますが、そのときの運動エネルギーは低温では小さく温度が高くなるほど大きくなります。物質には固体、液体、気体の3態があり、分子と分子の間で相互に働く分子間力と運動エネルギーの大きさの大小により物質の状態は決まってきます。温度が低いために分子の運動エネルギーが分子間力よりはるかに小さいときには固体の状態になり、分子は整然と規則的に並び、その配列を崩すほどには動くことが出来ません。温度が少し高くなり分子間力とほとんど同じ程度まで分子の運動エネルギーが大きくなると、分子は整然としたその配列を保つことが出来なくなり、液体となって物質の中を分子は自由に動き回るようになります。さらに温度が高くなり分子間力よりも分子の運動エネルギーが大きくなると、分子は物質の中の分子間力のしがらみから開放されますから、沸騰して自由な世界に飛び出してゆきます。この飛び出す現象を気化といい、分子が分子間力の影響をほとんど受けずに自由に運動できる状態を気体の状態といいます。

食塩や砂糖のような物質を溶かした溶液においても、分子間力よりも分子の運動エネルギーが大きくなると分子の間に働く分子間力のしがらみから開放されて、溶媒分子が自由な世界に飛び出してゆきます。しかし、溶媒分子が飛び出せば溶液が濃縮しますから、溶けている物質の分子間力は大きくなり、系全体としても分子間力が大きくなります。そのため、溶媒分子は気化し難く、その溶液の沸点は溶媒の沸点よりも高くなります。同じような分子間力の変化により、溶液の凝固点は溶媒の凝固点よりも低くなります。これらの現象をそれぞれ沸点上昇および凝固点降下と呼んでおり、溶けている物質の濃度と沸点あるいは凝固点の変化の大きさ (ΔT) の間には式 4-2 の関係が成り立っています。ただし、 w^1 を物質の重量、 w^2 を溶けている溶媒の重量、 M を溶けている物質の分子量とするときに、比例定数 K_b を沸点上昇度、比例定数 K_f を凝固点降下度と呼んでいます。なお、参考のために表 4-1 には各種の溶媒の沸点上昇度 (K_b) と凝固点降下度 (K_f) の値をまとめておきます。

$$\Delta T = K_b \frac{1000w^1}{Mw^2} \quad \Delta T = K_f \frac{1000w^1}{Mw^2} \quad \text{式 4-2}$$

食べ物を食べ易くするための刻んだり煮たり焼いたりする操作と共に、塩や砂糖による味付けも料理の本質を形作る大切な作業と考えられます。日本では料理をするときに最も

表 4-1 各種溶媒の沸点上昇度と凝固点降下

溶媒	分子量	沸点 (°C)	K_b	凝固点 (°C)	K_f
水	18.02	100.0	0.52	0.0	1.86
メタノール	32.04	65.0	0.88		
エタノール	46.07	78.3	1.20		
アセトン	58.08	56.5	1.73		
蟻酸	46.02	100.6	2.40	8.6	2.77
ベンゼン	78.11	80.2	2.57	5.5	5.12
酢酸エチル	88.10	77.1	2.79		
酢酸	60.05	118.1	3.07	16.7	3.90
クロロホルム	119.50	61.2	3.88		
ニトロベンゼン	123.11	210.9	5.27	5.7	6.90
ナフタリン	128.16	218.0	5.80	80.2	6.90
樟腦	152.23	209.0	6.09	178.0	40.00

大切なものは、**さ、し、す、せ、その** 5 つの味とされてきました。多少語呂合わせもありますが、**さ**は砂糖、**し**は塩、**す**は酢、**せ**は醤油（旧仮名遣いでは**せうゆ**と書く）、**そ**は味噌を指し、酸っぱい、甘い、苦い、塩っぱい、旨いの5つの味を主に感じます。これらの種々の味は味覚物質が水溶液となって口の中に入り、舌の味覚を感知する部分に接触したときに味覚として感じられます。水に溶け込んでいる味覚物質の濃度が高いほど、舌の上の味覚を感じる部分と接触する確率が高くなりますから、味を強く感じるようになります。

水に溶けた味覚物質は式 4-2 に従って、水の沸点を上昇させ、凝固点を降下させます。野菜や乾燥したスパゲッティは出来るだけ高温に保つために、塩水で茹でる工夫がされています。また、種々の味覚物質を溶け込ませたスープはかなり高い沸点を示すと思われる。さらに、カレーや葛湯では多くのでんぷんを溶かし込んだ粘性の高い水溶液になっていますから、高い沸点を示し、しかも高い粘性により対流が抑えられますから放熱も抑えられます。結果としてカレーも葛湯も長時間にわたり高温を保ちます。

氷に塩を混ぜると塩による凝固点降下により、急激に氷が融けますから混合物の温度が下がります。塩の混ぜ具合で氷から -15°C 程度まで冷やすことが出来ますから、砂糖を加えて甘くした牛乳と卵をこの方法で冷やしながら攪拌しますと、アイスクリームを作ることが出来ます。同じ現象によりウイスキーや焼酎のオンザロックも 0°C より温度が下がりますからグラスの外側に霜の凍り付くことがあります。

0°C に水を置いておくと次第に氷が成長して行きます。しかし、食べ物の大部分を構成する動物や植物の細胞の中に包み込まれている水の中には種々の物質が溶け込んでいますから、凝固点降下現象により 0°C では凍りません。日本の国内ばかりでなく海外からも冷凍食品ばかりでなく鮮度の高い種々の食材が我が家に供給されていますが、これには 0°C に保冷して運搬する方法が開発されたためと思われる。我が家の台所には 0°C に温度を保つ氷冷室がありますから、肉も魚も野菜も霜げたり凍ったりしないで新鮮さを保つことが出来ます。

水が一方通行する細胞膜

ろ過もふるいも物質の形態的な大きさの違いにより分離する技術で、固体の大きさより小さな目の網やふるいやざるを用いれば大きな固体だけ分離することが出来ます。固体と違い液体は非常に小さな穴でも流れ出ますから、固体の大きさより小さな目の網やふるいを用いれば固体を液体から分離することが出来ます。紙は細い植物の繊維を絡み合った状態で薄く並べた物ですから、繊維の間に小さな隙間のあるふるいのような物です。化学ではろ紙と呼ばれる紙をふるいにして固体と液体を分離しています。このように懸濁液は固体の浮遊した状態ですからそれ以上に目の細かいふるいを通せば取り除くことが出来ますが、溶液に溶けている物質は幾ら細かいふるいを使っても濾し取ることができません。

ろ紙よりもさらに小さな隙間しかないフィルターが開発され、ヴィールスのような極めて小さな固体まで濾し取ることが出来るようになっていますが、化学の進歩はさらに小さ

な隙間しかない半透膜と呼ばれる膜をつくる
 ことが出来るようになりました。この半透膜
 を間に挿んで砂糖や食塩などの物質の溶けた
 溶液とその溶媒だけを隣り合わせに置くと、
 溶媒は膜を通して両方の液体の相を往き来し
 ますが、溶液の中に溶けている物質の分子は
 通り抜けることが出来ません。

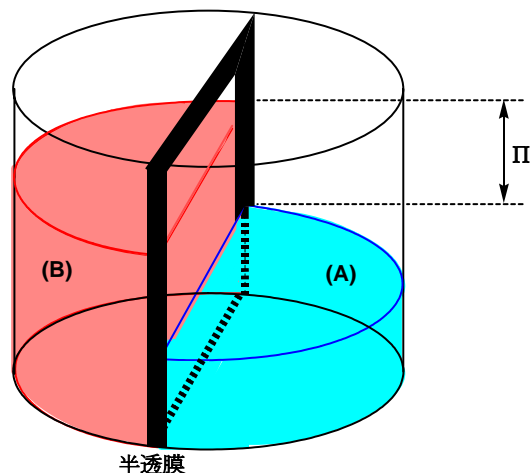


図4-4 浸透圧の現象

一般に、物質が溶媒に溶ける現象は物質
 の溶ける前後における平衡の変化ですから、
 式 2-1 の平衡定数Kの値が物質の溶け易さ
 を意味します。物質が溶媒の液体の中に入り
 込んで拡散するときには、物質のエントロピ

ー変化 (ΔS) が増大するため溶液が薄くなるほど安定化が進みます。逆に溶液の濃度が
 高くなるときにはエントロピー変化が減少しますから不安定になります。溶液の濃度が小
 さくなる変化がエントロピー的に安定ですから、半透膜を通して往き来する溶媒の量には
 多少の差が生じます。2つの液層が半透膜で仕切られた図 4-4 のような装置を使い、van't
 Hoff はこの現象を研究し、半透膜を通過する溶媒の量の違いから物質の溶けていない溶媒
 相 (A) の液面より物質の溶けた溶液相 (B) の液面が高くなることを見出しました。さら
 に、その結果を理想気体の状態方程式と類似の式 4-3 の法則にまとめました。

$$\Pi V = n_b RT \quad \text{式 4-3}$$

ただし、 Π は浸透圧といい、半透膜を通り抜けるために必要な溶媒の圧力の差を意味し
 ます。また、 V は溶液の体積、 n_b は溶液に溶けている物質のモル数、 T はこの系の絶対温
 度、 R は気体定数を表しています。さらに、溶液のモル濃度を c_b 、 ρ_b を溶けている物質の
 質量、 M_b をその物質の分子量とすれば、式 4-4 と書き換えることが出来ますから、この
 関係式を利用すれば、物質の分子量を測定することも出来ます。

$$\Pi = c_b RT = \frac{\rho_b RT}{M_b} \quad \text{式 4-4}$$

食べ物の大部分は植物質と動物質でそれぞれ細胞膜を持っていますが、細胞膜はリン脂
 質と呼ばれる界面活性剤でできており、細胞の内外を区別しています。細胞膜は半透膜
 の性質を持っていますから、浸透圧の現象が観測されます。青菜に食塩を振り掛けると、
 葉の上で濃い食塩水ができますが、このとき細胞膜が食塩水と細胞の内部を区切っていま
 すから、浸透圧の現象が進み、細胞の中の水分が滲み出して食塩水の濃度を下げます。そ
 の結果、昔からの格言どおり、「青菜に塩」のように生気を失い萎びてきます。

著者は 20 年ほど以前にイスラエルとヨルダンの間にある死海を観光したことがあります。死海は世界で最も塩分濃度の高い湖ですから、泳がなくても沈むことなく浮いていることが出来ます。しかし、湖岸には 1 時間以上死海に入っているのは危険と注意書きが立てられていました。高い塩分濃度の水の中では体内の水分が浸透圧の現象により吸いだされてしまい、脱水症状を起こしてしまいます。

この浸透圧の現象は食塩に限らず、苦汁、砂糖、酢酸、エタノールなど水に溶けるあらゆる物質に起こります。水以外のあらゆる溶媒に対しても高い溶解度を持つ物質であれば、観測できる一般的な現象です。エタノール濃度の高い焼酎に青梅と氷砂糖を入れて数ヶ月放置しますと、梅の匂いや味の成分がエタノールに抽出されて、美味しい梅酒が出来上がります。梅酒の中には高い濃度の砂糖やエタノールが溶けていますから、その数ヶ月の間に、浸透圧の現象により青梅の内部の水が滲み出してしまい、萎びて皺が寄ってきます。このように、浸透圧の現象は食材の中から、水分を吸い出してしまいますから、食感を変えるだけでなく保存などの点でも、料理に色々と役に立ちます。

水が動き回ると熱くなる

電磁波にはその波長により γ 線のような放射線や目に見える可視光線、テレビやラジオで情報を送る極超短波や長波など種々の性質の違いがあります。これらの電磁波のエネルギーは式 4-5 に示すようにその波長に反比例するため、短い波長の光ほど高いエネルギーを持っています。ただし、 E は光エネルギー(kcal/mol)、 h はプランク定数、 λ は波長 (m)、 c は光の速さ(m/s)、 ν は振動数 (Hz) を表しています。表 4-2 には電磁波の種類、波長、振動数、その電磁波が持つ光エネルギーをまとめておきました。

$$E = \frac{hc}{\lambda} = h\nu \quad \text{式 4-5}$$

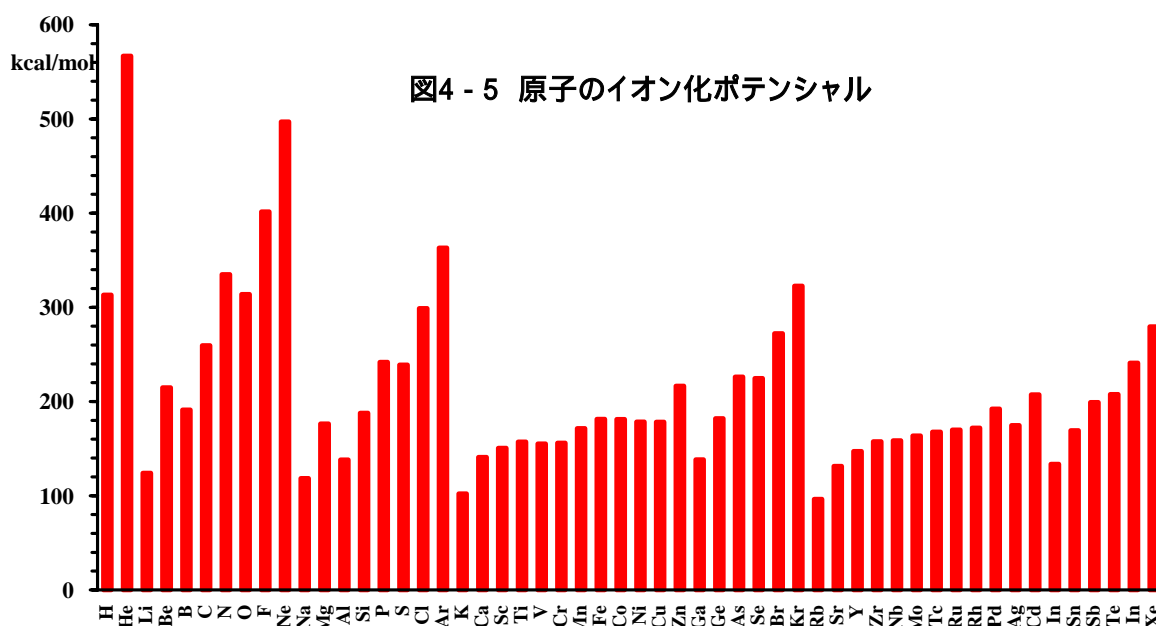
核分裂など原子核の変化に伴って発生する γ 線はきわめて短い波長の電磁波ですから、種々の物質を通り抜けてしまい遮蔽することが極めて困難です。しかも、非常に高い光エネルギーを持っていますから、生物の細胞を破壊するような危険な電磁波です。原子核の内部の変化は極めて高いエネルギーの収支が伴いますが、原子核の周囲に存在する電子の変化もそれに次ぐ高いエネルギーの収支を伴います。原子核には電子が種々の環境で取り巻いていますが、原子の中心付近に存在する電子は原子核との相互作用が強いために、叩き出すために高いエネルギーを要します。最も容易に電子を叩き出して原子をイオン化するために要するエネルギーをイオン化ポテンシャルといいます。このイオン化ポテンシャルは原子により違いがありますが、図 4-5 に示すように 1 モル当たり 100~600kcal で、比較的波長の長い X 線から波長の短い紫外線の電磁波のエネルギーに相当します。X 線のエネルギーがこのように中心に近い電子に影響を与えますから、物質を構成している原子は大きな影響を受け、生物にとっても危険な電磁波と考えられます。このように X 線は危

表 4-2 電磁波の波長とエネルギーと物質に対する現象

波長 (λ)		振動数 (ν)	電磁波の 種類	光エネルギー	物質に対する 物理現象
(m)		(Hz)		(kcal/mol)	
10 ⁻¹⁶		3 x 10 ²⁴	γ線	2.86 x 10 ¹¹	原子核の変化
10 ⁻¹⁵		3 x 10 ²³		2.86 x 10 ¹⁰	
10 ⁻¹⁴		3 x 10 ²²		2.86 x 10 ⁹	
10 ⁻¹³		3 x 10 ²¹		2.86 x 10 ⁸	
10 ⁻¹²	1pm	3 x 10 ²⁰		2.86 x 10 ⁷	
10 ⁻¹¹		3 x 10 ¹⁹		2.86 x 10 ⁶	
10 ⁻¹⁰	1Å	3 x 10 ¹⁸	X線	2.86 x 10 ⁵	電子の励起
10 ⁻⁹	1nm	3 x 10 ¹⁷		2.86 x 10 ⁴	
10 ⁻⁸		3 x 10 ¹⁶		2.86 x 10 ³	
10 ⁻⁷		3 x 10 ¹⁵	紫外線	2.86 x 10 ²	共有結合の励起
10 ⁻⁶	1μm	3 x 10 ¹⁴	可視光線	2.86 x 10	
10 ⁻⁵		3 x 10 ¹³	赤外線	2.86	共有結合の運動
10 ⁻⁴		3 x 10 ¹²		2.86 x 10 ⁻¹	
10 ⁻³	1mm	3 x 10 ¹¹	マイクロ波	2.86 x 10 ⁻²	分子の運動
10 ⁻²	1cm	3 x 10 ¹⁰		2.86 x 10 ⁻³	
10 ⁻¹		3 x 10 ⁹	極超短波	2.86 x 10 ⁻⁴	
1	1m	3 x 10 ⁸		2.86 x 10 ⁻⁵	
10		3 x 10 ⁷	短波	2.86 x 10 ⁻⁶	
10 ²		3 x 10 ⁶		2.86 x 10 ⁻⁷	
10 ³	1km	3 x 10 ⁵	長波	2.86 x 10 ⁻⁸	
10 ⁴		3 x 10 ⁴		2.86 x 10 ⁻⁹	
10 ⁵		3 x 10 ³		2.86 x 10 ⁻¹⁰	

陰な電磁波ですが非常に波長が短いために、骨などの密度の高い部分以外は人間の身体を通り抜けてしまいます。そのため「大きく息をすって、そのまま止めて……」に用いられて健康診断に役立っています。

炭素、水素、窒素、酸素などの原子はその電子が関与して共有結合で結ばれますが、結合の形成によりエネルギー的な安定化が起こります。ここで生ずる安定化エネルギーを結合エネルギーと呼んでおり、種々の結合の平均的な結合エネルギーを表 4-3 にまとめました。2重結合に4個の電子が関与していますが、そのうちの2個の電子が関与しなくな



って、単結合に変化するときには、2重結合の結合エネルギーから単結合のエネルギーに安定化エネルギーが減少します。この2重結合と単結合の結合エネルギーの差は π 結合の結合エネルギーと考えることが出来ます。炭素=炭素2重結合の平均的な結合エネルギーが146 kcal/mol、炭素-炭素単結合が平均的に83 kcal/molですから、炭素=炭素2重結合のうちで π 結合の結合エネルギーは約63 kcal/molと見積もることができ、 σ 結合の83 kcal/molよりはかなり小さな値と考えられます。これらの結合エネルギーに相当するエネルギーを外部から与えられると、結合が切断され、励起状態と呼ばれる状態になります。

共有結合は構成する元素によりその結合エネルギーが異なりますが、50~200 kcal/molですから表3-2からも分かるように紫外線あるいは可視光線の光エネルギーに相当します。そのような光を吸収して共有結合は励起状態に変化しますが、励起状態は不安定で、吸収した光と同じ波長の光を発光して元の共有結合の状態に大部分は戻ります。このような共有結合の吸収と発光の過程で、熱輻射などによるエネルギーの損失で僅かながらも光の発光量よりも吸収量が多くなりますから、共有結合は特有の波長の光を吸収する結果になります。水は酸素-水素結合を持っていますから、120nmの光を吸収します。大気中には水蒸気のほかに共有結合を持つ酸素分子や窒素分子が大量に存在しますから、太陽から来る種々の電磁波のうちで、200nm以下の紫外線はみな吸収されてしまい、地表には全く到達しません。

目に見える可視光線よりも波長の長い赤外線は結合エネルギーに相当するエネルギーより低いエネルギーしか与えませんから、結合の切断も励起状態への移項も出来ません。原子同士を結び付けている共有結合は巻きバネのように伸び縮みをしますし、結合同士の角度も変化します。分子の中で原子の間に起こるこれらの相対的な位置の変化は原子の重

表 4-3 共有結合の結合エネルギーと光吸収波長

結合	化合物	結合エネルギー kcal/mol	吸収波長 nm	結合	化合物	結合エネルギー kcal/mol	吸収波長 nm
C-H	CH ₃ -H	104	138	C-O	CH ₃ -OH	91	157
C-H	C ₂ H ₅ -H	98	146	C-O	C ₆ H ₅ -OH	112	128
C-H	C ₆ H ₅ -H	112	128	C-O	CH ₃ O-CH ₃	80	179
C-H	HOCH ₂ -H	92	155	C=O	CH ₃ CH=O	176	81
C-H	CH ₃ CO-H	86	166		(π 結合)	85	168
C-H	C ₆ H ₅ CO-H	74	193	C=O	(CH ₃) ₂ C=O	179	80
N-H	NH ₂ -H	94	152		(π 結合)	88	163
N-H	CH ₃ NH-H	92	155	C=O	OC=O	128	112
N-H	C ₆ H ₅ NH-H	80	179	C-N	CH ₃ -NH ₂	79	181
O-H	HO-H	119	120	C-N	C ₆ H ₅ -NH ₂	100	143
O-H	CH ₃ O-H	102	140	C-F	CH ₃ -F	108	132
O-H	CH ₃ COO-H	112	128	C-Cl	CH ₃ -Cl	84	170
C-C	CH ₃ -CH ₃	88	163	C-Cl	CCl ₃ -Cl	73	196
C-C	CH ₂ =CH-CH=CH ₂	112	128	C-Br	CH ₃ -Br	70	204
C-C	C ₆ H ₅ -CH ₃	100	143	C-I	CH ₃ -I	56	255
C-C	C ₆ H ₆	138	104	N-N	H ₂ N-NH ₂	59	242
	(π 結合)	55	260	N=N	HN=NH	100	143
C=C	CH ₂ =CH ₂	172	83		(π 結合)	41	349
	(π 結合)	74	193	N \equiv N	N ₂	227	63
C \equiv C	CH \equiv CH	200	72		(π 結合)	127	113
	(π 結合)	54	265	O-O	HO-OH	50	286
C=C	CH ₂ =CHCH=CH ₂	143	100	O=O	O ₂	119	120
	(π 結合)	66	217		(π 結合)	69	207

さ（原子量）により、また変化の種類により異なりますが、赤外線を持つ光エネルギーに相当します。水に 2.75 μ m の赤外線を照射しますと、その光によるエネルギーにより酸素-水素間の結合が伸び縮みの運動を起こしますし、7~9 μ m の赤外線の光エネルギーにより酸素-水素間の 2 本の結合の角度を変化させる運動を始めます。ちなみにほとんど共有結合性がなくイオン結合で結び付けられている食塩の結晶では、赤外線を照射しても全く吸

収することなく透過してしまいます。

赤外線よりもさらに長波長のマイクロ波は十分なエネルギーを持っていませんから、分子の結合を切断したり、伸縮したりするような分子の中の原子の位置の変化は起こりません。物質は多くの分子が集まって出来ていますが、分子同士は弱い分子間力によってお互いに結ばれています。固体では分子間力が運動エネルギーよりもはるかに大きく、分子同士はお互いに自由に動きまわることが出来ません。気体は逆に分子運動が大きいため分子間力が殆ど影響しません。液体では分子間力と分子の運動エネルギーの大きさが余り違いませんから、分子が集合した液体の状態にわずかなエネルギーを与えると分子は激しく運動することが出来るようになります。

水は水素と酸素の原子で出来ておりその原子の性質の違いにより、酸素原子が陰イオン性に水素原子が陽イオン性に結合電子が多少偏っています。このように結合電子に偏りがあり、陰イオン性部分と陽イオン性部分を持つ分子を極性分子と呼んでいます。電氣的に負に帯電した陰イオンは正の電場に引き寄せられ、正に帯電した陽イオンは負の電場に引き寄せられます。水は極性分子であり弱いイオンの偏りを持っているから、電場のベクトルと分子の極性の方向が反対方向になるように分子が向きを替えて移動します。

電磁波は進行方向に対して直行する面内に電気ベクトルと磁気ベクトルを持つ横波で、1周期ごとに電場が正負に交互に変化します。紫外線や可視光線や赤外線は高い周波数を持っているから、電場が交互に変化しても分子の運動がその早い変化に追従することが出来ません。しかし、マイクロ波は1mm~1mの波長の電磁波ですから、その周波数に相当する1秒間に 10^{10} ~ 10^{11} 回(10^{10} ~ 10^{11} Hz)ほど電場が交互に変化します。短時間に電場が交互に変化するたび毎に水の分子の方向も変化しますから、マイクロ波を照射するとその周波数の数だけ水の分子は非常に激しく運動します。結果として、水の分子が動き回ると互いに衝突したり、強く摩擦し熱くなりますから、マイクロ波の光エネルギーは熱エネルギーに効率よく変換されます。このエネルギー変換をマイクロ波加熱と呼んでいます。食べ物をはじめ地球上の殆ど全ての物質は水を含んでいますから、マイクロ波を照射すればその水分子が高温に加熱されます。しかし、分子間力で分子の動きが制限されている氷の場合には、マイクロ波の照射にもかかわらず、水の分子の運動が十分に追従できないために、マイクロ波の光エネルギーを熱エネルギーに変換できません。また、分子の中にイオン性の部分が無いような無極性の物質の場合には、このマイクロ波加熱の機構は機能しません。

1947年に商品化された電子レンジは日本では一般的にISMバンドと呼ばれる 2.45×10^9 Hzの周波数を持つマイクロ波を用いて水分子を加熱しています。アメリカなどでは 9.15×10^{11} Hzの周波数を持つマイクロ波も使用されています。汁物や牛乳は水の中に食材が含まれた物ですから、水が加熱されれば全体に効率よく加熱されます。内部に多量に含まれる水がマイクロ波により加熱されますから、水の中に入れなくても野菜を茹でることが出来ます。水や極性物質を含まない陶磁器やプラスチックはマイクロ波により加熱されませ

んから、ご飯や残り物の料理も鍋や釜を使うことなく、茶碗や皿にいたままでマイクロ波により加熱することが出来ます。物質が極性であるか無極性であるかによりマイクロ波による加熱の効率が著しく異なる性質を利用して、あらかじめ調理した冷凍食品をプラスチックの袋にいたまま解凍、加熱することが出来ますから、インスタント食品を料理することなく食べることのできるようになりました。

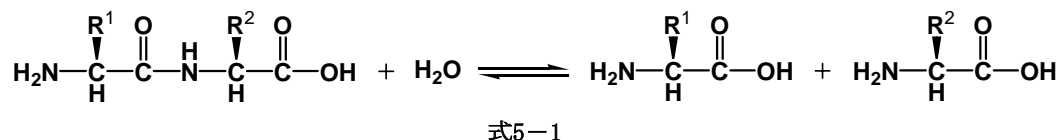
電磁波は波長により種々の性質を持っていますが、水に対しても特有の作用をします。X線は水の分子を壊してしまい、紫外線は水に吸収され、赤外線は水の結合を変化させます。マイクロ波は分子の変化は起こしませんが、水の分子を激しく揺り動かします。水が激しく動き回ると熱くなりますから、電子レンジに応用され食べ物の加熱のために便利に使われています。

5. 食べ物を保存して豊かな生活

冷蔵保存には時間的な限界が

人間とけだものを分けるものは文化であり、最も根源的なものは食べ物にかかわる文化であると思われます。食べ物を消化し易く栄養になりやすい形に変え、不足しがちな栄養を含む食べ物を摂取し易くする作業が最も根源的な料理と考えられます。食べ物を料理する文化のほかに、食べ物を貯蔵して安定した生活を維持することも重要な食文化と思われます。しかし、食べ物は種々の要因により変性して行きますから、長時間にわたり食べ物を貯蔵することは困難で、そのための技術開発や工夫が文明の発祥以来なされてきました。食べ物の変性には食べ物由来の性質による変性と外的な要因による変性があり、外的要因には化学変化などによる変性と微生物による変性があります。

アミノ酸と蛋白質間の変化を式 5-1 にまとめることができますが、この反応は平衡反応でアミノ酸を多く供給すれば蛋白質の生成反応が進行し、アミノ酸が不足すれば蛋白質の加水分解反応が進行します。プロテアーゼと呼ばれる酵素は、蛋白質の加水分解反応と蛋白質生成反応の両方向の反応が生体内で容易に進行するように触媒します。牛や豚は飼料をプロテアーゼの助けを借りて消化して栄養としてアミノ酸の形で吸収しますが、吸収したアミノ酸は血管の中を筋肉まで運ばれて、そこでプロテアーゼにより新たな蛋白質に作り上げられます。これらの家畜が屠殺された後にも筋肉を作り出すプロテアーゼは分解することなく筋肉の中に残りますが、屠殺の瞬間から栄養の供給がなくなりますから、プロテアーゼは逆反応の蛋白質を加水分解する働きを触媒するようになります。結果として、豚や牛の肉は時間と共にアミノ酸に分解変性する熟成が始まります。蛋白質の生成を援けるプロテアーゼが蛋白質の加水分解も援けるように、体内で脂肪の生成を援けるエステル化酵素のリパーゼも動物の死後は脂肪の加水分解酵素の働きを持ちます。このように食べ物はその中に含まれている酵素による自己分解により変性して行きます。

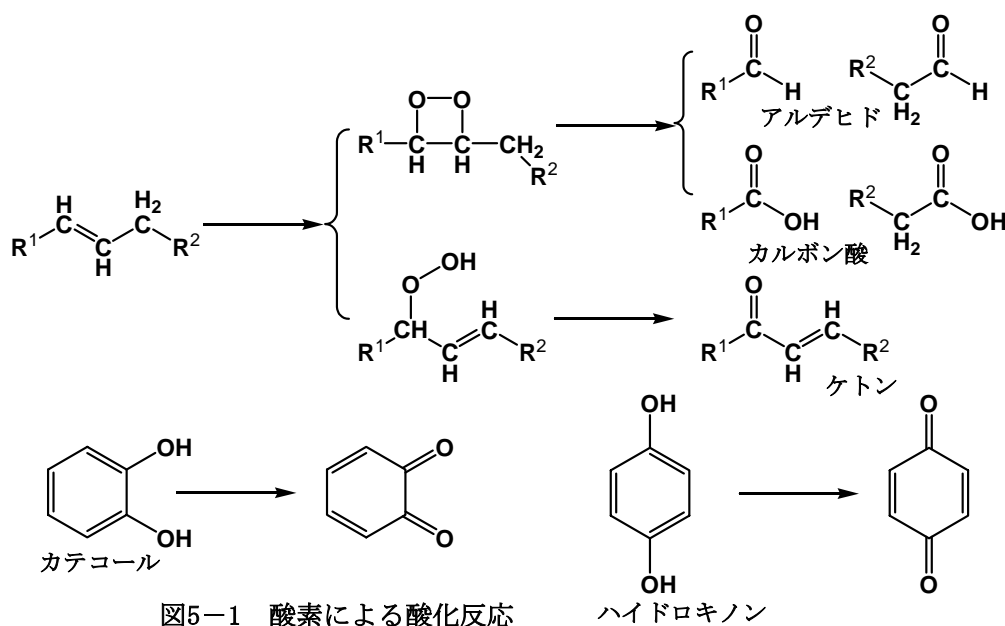


プロテアーゼもリパーゼも化学物質であり屠殺後も触媒活性を保ちますから、自己分解による変性をとめるためには酵素を失活させなければなりません。酵素は生物体内で種々の化学反応を触媒する複雑な化学物質で、大きな蛋白質の中に活性を持つ部位を持つ構造をしています。一般に約 70℃で蛋白質の立体的構造は変化してしまいますから、酵素の活性も失われ、自己分解による変性が止まります。また、酵素反応は酵素と基質との出会いの反応から始まりますから、低い温度では変性の反応も遅くなります。冷凍や乾燥により細胞中の水が溶媒として働かなくなり、酵素も運動することが出来なくなりますから自己

分解による変性が止まります。

長時間にわたり食べ物を貯蔵する上で、最も大きな影響を与える食べ物の変性には食べ物由来の性質による変性と外的な要因による変性があり、外的要因には化学変化などによる変性と微生物による変性があります。生活の環境の中で食べ物の変性を引き起こす化学物質としては、各種のミネラルや酢酸などの酸性物質がありますが、食べ物の変性に最も大きな影響を与える化学物質は酸素と思われます。

酸素は大気中に 21%含まれており、1L の水に対して 3.1mL 溶け込みますから、地球のあらゆる所に普遍的に存在しています。しかも、酸素は反応性の高い気体で、多くの物質を酸化する性質を持っています。図 5-1 に示すように酸素はハイドロキノンやカテコールを対応するキノンに酸化します。図 3-5 に挙げた茶カテキンや、図 5-2 に示すようなコーヒーに含まれるクロロゲン酸やそばに含まれるルチンなどのポリフェノール類は水酸基が隣接した位置に結合したベンゼン環の構造を持っていますから、カテコールと同じように酸素で酸化され易い物質です。ビタミン C も同じような部分構造を持っていますから、酸素により酸化されます。ポリフェノール類やビタミン C は新鮮な野菜や果物に多く含まれていますから、酸素による野菜や果物の変性は抑えられます。



また、図 5-1 に示すように炭素=炭素 2 重結合を持つ化合物は直接酸素分子と反応して、過酸化物を経て 2 重結合が切断されアルデヒド類やカルボン酸類やケトン類に変化します。植物性の油脂や魚に含まれる油脂はヨウ素価が高く、不飽和脂肪酸のグリセリンエステルを多く含んでいるため、炭素=炭素 2 重結合を多く含んでいます。当然、植物油や魚油を多く含むゴマや胡桃や落花生などの種子類や鰯や鯖などの青い魚類は酸素により変性して行きます。

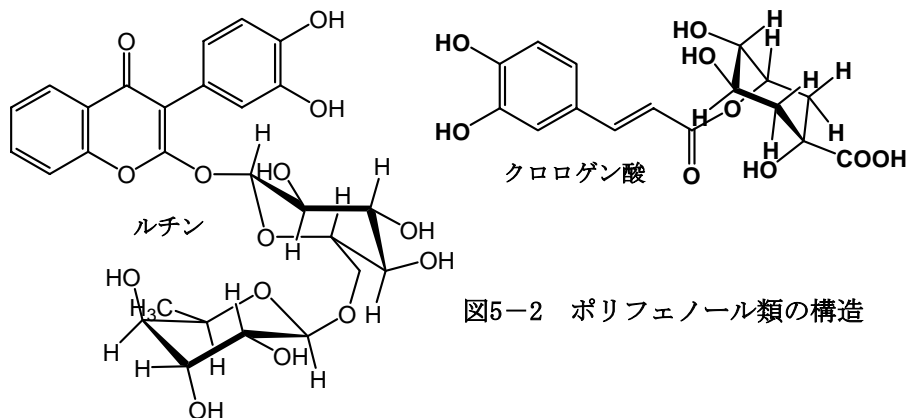


図5-2 ポリフェノール類の構造

さらに、酸素に日光が当たりますと、1重項酸素と呼ばれる極めて反応性の高い状態の酸素に変化し、炭素=炭素2重結合の重合反応の触媒になります。鰯や鰯は不飽和脂肪酸のグリセリンエステルを多く含みますから、空気に曝しながら太陽の光に照らして干しますと、1重項酸素が触媒となって油脂が重合して、魚の表面に皮膜を作ります。新鮮な鰯や鰯とは全く味も香りも異なる干物に変性してしまいます。

第3章で述べたように原系の濃度と温度により化学反応の速さは変化します。食べ物由来の性質による変性も外的要因による化学変化も食べ物の化学反応ですから、食べ物を低温に保てば変性が遅くなり、比較的長時間にわたり食べ物を貯蔵することができます。しかし、0℃以上の温度では食べ物の変性を起こす化学反応を完全に抑えることは出来ませんから、冷蔵保存には時間的な限界があります。

食べ物保存の大敵は微生物

食べ物を料理する文化のほかに、食べ物を貯蔵して安定した生活を維持することも重要な食文化と思われます。長時間にわたり食べ物を貯蔵するためには、食べ物由来の性質による変性と化学変化などによる変性と微生物による食べ物の変性を抑える必要があります。食べ物由来の性質による変性も外的要因による化学変化も食べ物の化学反応ですから、0℃以上の温度では食べ物の変性を起こす化学反応を完全に抑えることは出来ませんので、冷蔵保存には時間的な限界があります。

微生物は食べ物を栄養として変化させてその生命を維持しますが、そのとき微生物が排出する物質が人間にとって有害な物であれば腐敗といい、有益な物であれば醗酵といいます。大豆の蛋白質を栄養として麹菌が繁殖するときに、種々のアミノ酸類を排出しますから、味噌や醤油の旨味の味覚成分となります。米を栄養として麹菌が繁殖するときには、そのでんぷんをブドウ糖に加水分解し、さらにエタノールと二酸化炭素まで分解して行きます。日本人はここで排出されるエタノールを日本酒としてこよなく愛しています。牛乳を栄養として繁殖する乳酸菌は乳酸を排出して液を酸性にしますから、コロイド上に液化

していた牛乳は蛋白質が凝固してヨーグルトなどの凝乳を作ります。

有益な排出物を出す微生物ばかりでなく、有害な排出物を出す微生物も食べ物を栄養として繁殖してきます。赤痢菌や大腸菌O157は湿度と温度の比較的高い環境で繁殖する微生物ですが、出血性大腸炎を引き起こす微生物は毒性の蛋白質のベロ毒素を排出します。また、ボツリヌス菌は最も強い毒性を示す物質を排出する微生物で、日本国内で毎年数件の死亡事故となる食中毒を引き起こします。微生物にとっては生命の維持の活動の一環に過ぎませんが、人間にとっては食べ物を変性させ、有害物質を撒き散らす害悪ですから、繁殖を抑えなければ食べ物の長期保存が出来ません。

食べ物の変性を抑えて長期の保存をするためには、微生物の繁殖を抑えなければなりません。微生物も生物の一種ですから、生命を脅かすような環境や毒物は微生物の繁殖を押さえるためには非常に効果的です。たとえば、生物の重量の70%は水で構成されているので、水の無い環境では生命の維持は殆ど不可能になりますから、食べ物を乾燥した環境に置くだけで、微生物の繁殖を抑えることが出来ます。

繁殖に適した環境は微生物により異なり、酸素を必要とする好気性微生物や酸素の存在が反って繁殖を妨げる嫌気性微生物があります。微生物に限らず全ての生物は環境に適合するように進化してゆきますから、現在の地球上の環境に近い環境を好む好気性微生物が多く繁殖しています。食べ物の周りを油で覆いますと、空気も水も外界から遮断することが出来ますから、微生物の繁殖を抑えることが出来ます。中性の環境で多くの微生物は繁殖し、酸性でも塩基性でも繁殖できません。酢酸やクエン酸などのカルボン酸は環境を酸性にしますから、多くの好ましくない微生物の繁殖を抑える効果を示します。炭酸水素ナトリウムも環境を塩基性にしますから、同じように好ましくない微生物の繁殖を抑える働きをします。

ふぐやある種の茸のように中毒事故を起こす食べ物も有りますが、日常食べている食べ物や調味料にも弱いながらも毒性があります。毒性には短時間に毒性の発現する急性毒性と生涯の間に次第に発症する慢性毒性があります。塩辛い食べ物を食べ続けると、食塩を過剰に摂取することになり成人病に罹り易くなりますが、このような毒性が慢性毒性と考えられています。食べ物の長期保存を目的として、化学物質の慢性毒性により微生物の繁殖を抑えることはほとんど出来ません。急性毒性の致死量を示すLD₅₀は一般にラットやマウスなどの検体動物に服用させたときに、50%の確立で死ぬ最小量を検体動物の体重1kg当りに換算した値として規格化しています。例えば、人間にとって必要不可欠な食塩のLD₅₀は3.75g/kgですから、検体動物と同類の哺乳動物である人間の体重を60kgと仮定すれば、食塩の急性毒性による致死量は約230gと概算できます。人間や哺乳動物でなくとも、ナメクジにとっても食塩は毒性を示し即死してしまいます。食塩は微生物に対しても急性毒性を示しますから、食べ物の長期保存に効果があると思われま。

表 5-1 には台所の周辺にある化学物質のLD₅₀を纏めておきましたが、食塩と同等あるいはより強い毒性の食べ物や調味料などもありますから、食べ物の長期保存に効果を示

表 5-1 食べ物の急性毒性を示すLD₅₀(g/kg)

化学物質	分子式	LD ₅₀	備考
エタノール	C ₂ H ₅ OH	10.30	アルコール類
グリセリン	HOCH(CH ₂ OH) ₂	31.50	アルコール類
砂糖	C ₆ H ₁₁ O ₆ -C ₆ H ₁₁ O ₅	15.00	糖類、調味料
乳糖	C ₆ H ₁₁ O ₆ -C ₆ H ₁₁ O ₅	10.00	糖類
ブドウ糖	C ₆ H ₁₂ O ₆	35.00	糖類
果糖	C ₆ H ₁₂ O ₆	15.00	糖類
ステアリン酸ナトリウム	C ₁₇ H ₃₅ CO ₂ Na	17.00	界面活性剤
ベンゼンスルホン酸ナトリウム	C ₆ H ₅ SO ₃ Na	2.50	界面活性剤
砂糖ステアリン酸エステル	C ₁₇ H ₃₅ CO ₂ C ₆ H ₁₀ O ₅ -C ₆ H ₁₁ O ₅	20.00	界面活性剤
食塩	NaCl	3.75	調味料
炭酸水素ナトリウム	NaHCO ₃	4.20	重曹
塩化マグネシウム	MgCl ₂ ・6H ₂ O	0.18	苦汁
酢酸	CH ₃ CO ₂ H	3.53	カルボン酸類
乳酸	CH ₃ CH(OH)CO ₂ H	3.70	カルボン酸類
クエン酸	HO ₂ CC(OH)(CH ₂ CO ₂ H) ₂	0.98	カルボン酸類
グルタミン酸ナトリウム	HO ₂ C(CH ₂) ₂ CH(NH ₂)CO ₂ Na	16.20	アミノ酸類
フルフラール	C ₄ H ₃ O-CHO	2.30	燻煙成分
フェノール	C ₆ H ₅ -OH	0.53	燻煙成分
グアイヤコール	CH ₃ O-C ₆ H ₄ -OH	0.90	燻煙成分
メントール	C ₁₀ H ₂₀ O	2.00	香辛料、医薬品
バニリン	C ₈ H ₈ O ₃	3.00	香辛料、医薬品
カプサイシン	C ₁₈ H ₂₇ NO ₃	0.08	香辛料、医薬品
カフェイン	C ₁₂ H ₉ N ₄ O ₂ -C ₅ H ₁₁ O ₄	0.20	香辛料、医薬品
アスピリン	CH ₃ CO ₂ C ₆ H ₄ CO ₂ H	1.75	香辛料、医薬品

す物もあると思われます。例えば、エタノールは食塩の30%程度の毒性しかありませんが、微生物の繁殖を抑える強い効果を持っています。点滴や採血で注射針を皮膚の中に刺すときには、エタノールで消毒をします。まな板や食器にカビが生えないようにエタノールで殺菌することもあります。当然、微生物の繁殖を抑える働きをしますから、食べ物を長期保存するために有効に働きます。また、LD₅₀の値が0.075g/kgと報告されていますから、唐辛子の辛味成分のカプサイシンは人間ばかりでなくあらゆる生物にとってかなり毒性の強

い物質と考えられます。魚や野菜と共に唐辛子を一緒に漬け込みますと、味が締まるばかりでなく、好ましくない微生物の繁殖を抑える働きをしますから、食べ物の長期保存に効果があると思われます。

微生物同士にも生存競争がありますから、ある微生物が先に繁殖している所に他の微生物が割り込むように後から繁殖することは稀なことのよう思われます。海水中などのように食塩濃度の高い環境では多くの微生物は繁殖できませんが、生存競争をしなくて済みますから好塩菌と呼ばれる環境の悪い所で生活できる微生物が繁殖します。同じように、群馬県の草津温泉は温度が高く強い硫酸酸性を示していますから、通常の微生物はこの湯船に繁殖することが出来ません。そのため、極めて繁殖力の小さい特殊な菌類が繁殖しています。あらかじめ有害な排出物を出さず、食べ物の変性もあまり起こさない微生物を繁殖させておけば、有害な微生物の繁殖を抑える効果あり、食べ物の長期保存に効果があると思われます。農作物の生産においても、このような微生物を微生物農薬と呼んで利用しています。

食べ物の貯蔵は冷凍保存で

長時間にわたり食べ物を貯蔵するためには、食べ物由来の性質による変性と化学変化などによる変性と微生物による食べ物の変性を抑える必要があります。食べ物由来の性質による変性も外的要因による化学変化も食べ物の化学反応ですから、第3章で説明したように反応の温度が高ければ反応は早く進行し、低ければ低いほど反応の進行は遅くなります。生命の維持も化学反応でなされていますから、低い温度の環境では生命活動を継続することは出来ません。1年を通じて気温の低い南極や北極などの寒冷地には生物はあまり棲息しておらず、微生物の繁殖も困難と思われます。このような寒冷の環境では、食べ物由来の性質による変性も酸素などとの化学変化による変性も微生物による食べ物の変性も抑えられますから、食べ物は長期に保存されます。

2006年に名古屋で開催された万国博覧会に公開されたマンモスの遺体は数万年前に生命が停止したにもかかわらず、シベリヤのツンドラ地帯で凍土の中に埋蔵されていたため、その肉は食用に供することが出来るほどに新鮮で殆ど変性を起こしていませんでした。遠洋で取れたマグロや鰹もマンモスと同じように冷凍すれば自己分解による変性も微生物による腐敗も進行しませんから、鮮度を保って輸送できます。このようにして世界中の魚介類が冷凍されて輸入され保冷倉庫の中に保存されています。同じようにオーストラリアや米国で飼育された牛も冷凍されて、長期間保存されるようになりました。

しかし、食べ物を冷凍して保存するためにはいくつかの技術的な問題点がありました。冷凍保存のためには0℃付近の温度では不十分で、食べ物の変性を完全に止めることが出来ません。第4章にまとめましたが、食べ物を氷点よりも低温にしますと、水の凍結により水の体積は膨張しますから、食べ物の細胞の破壊が起こってしまいます。また、凍結した氷も昇華して水分が揮発してゆきますから、冷凍食品も長期間には次第に乾燥してしま

います。さらに、食べ物の熱伝導は必ずしも優れておりませんから、食べ物の外側と中心部では凍結の仕方に差が出てしまいます。これらのことを解決するためには急速に冷凍することが好ましく、強力な冷凍設備が必要になります。この急速な冷凍には技術的に困難を伴っていましたが、1950年代までは冷凍保存は限られていましたが、現在では冷凍食品が広く普及して多くの食べ物が長期保存されています。

凍結時の水の体積膨張などにより、冷凍食品では食べ物の細胞が既に部分的に破壊されていますから、解凍しても完全に復元することは出来ません、冷凍時の状態に近づけるように解凍することにも種々の技術的な進歩が必要と思われます。また、野菜と食肉と穀類と根菜類では冷凍－解凍による変化も異なりますし、食材と調理済み食べ物でも冷凍－解凍による変化は異なります。これらの詳細な点まで技術的に克服される日も近く、食べ物の長期保存の主流が冷凍保存になると思われます。

乾燥して保存する穀物

食べ物を長期保存するためには食べ物の変性を抑え、しかも微生物の繁殖を抑えなければなりません。近い将来には食べ物の長期保存の主流が冷凍保存になると思われますが、冷凍保存の歴史は40年ほどしかないため、古来その他の種々の保存方法を開発し、高度の食文化に発展させてきました。

長期保存の上で最も問題となる腐敗を引き起こす微生物も生物の一種ですから、生命を脅かすような水の無い環境は微生物の繁殖を押さえる上で非常に効果的で、食べ物を乾燥した環境に置くだけで、微生物の繁殖を抑えることが出来ます。その上、でんぷんや糖分などを多く含む植物性の食べ物では、加水分解を援ける消化酵素を含んでいませんから、食べ物由来の性質による変性を殆ど起こしません。特に、米や麦や豆類は種として成熟し、時期が来るまで変性することなく発芽のための胚芽ばかりでなく栄養をも保存する性質を自然に備えています。例えば、現在でも食べることの出来る状態で米の種が弥生時代の古墳から出土したという話を聞いたことがあります。また、古墳から出土した蓮の実が見事に育ち、花を咲かせた大賀蓮の例もあります。種の保存と繁殖のためのこの性質は長期貯蔵のために極めて有用で、発芽の条件が満たされないように保管することにより、米や麦や豆類などの種子類の食べ物を保存することが出来ます。

通常の子種は冬の厳しい寒さから開放される春先に発芽を始めますが、そのためには温暖な気温と水を必要とします。穀物を長期にわたり保存するためには、発芽を抑えなければなりませんから、保管温度を冬の寒さの状態あるいは水のない乾燥した状態に保つ必要があります。米や麦は秋に乾燥しておきますと、殆ど変性を起こさずに何年でも発芽しないままで貯蔵することが出来ますから、古来生活の安定のための食料の保存と安定した蓄積に適した食べ物と考えられます。江戸時代には加賀百万石などのように、大名の勢力を計る尺度として米の取れ高(石高)を用いていましたが、これは貯蓄出来る米の量を表すことから、定常的に養うことの出来る兵隊の数を意味しているためと思われます。

葡萄や林檎や胡桃やミカンなどの果物は種子の周りを非常に水分を多く含む果肉が覆っています。胡桃やアーモンドは果肉を食用にしませんから、果肉を取り除き種子の部分だけにして乾燥すれば長期保存が可能になります。ミカンなどの柑橘系の果物は水分の多いことを特長としていますから、乾燥してはその特長が生かせません。そのため、乾燥して保存することは殆どないように思います。林檎や葡萄は長時間にわたり乾燥させれば、干し葡萄などのようにドライフルーツとして長期保存が可能になりますが、かなり食べ物の味や香りや食感などが変化してしまいます。

多くの野菜の中には切干大根や干瓢や干しぜんまいなどのように乾燥して保存できるようにした食べ物もありますが、食べ物の味や香りや食感などが大きく変化してしまいますから、別の種類の食べ物と考えられていることが多いように思います。さらに、椎茸やイタリア人に好まれる茸のポルチーニなどのように、乾燥するときに内蔵する酵素により味も香りも大きく変化し向上する食べ物もあり、長期保存の目的以上の効果をもたらす場合もあります。

ビーフジャーキーは牛肉を細くあるいは薄く切って良く乾燥した長期保存のための牛肉の食べ方ですが、豚や牛の肉は時間と共にアミノ酸に分解変性する熟成が進みますから、食肉を乾燥する間にも熟成が進行してしまいます。食肉を変性させることなく乾燥することが困難なために、食肉を乾燥して保存することはあまり広く行われていません。これに対して、魚介類は古くから乾燥して干物として保存してきました。空気中で太陽光に曝しますと、鰹や鰯のような魚は不飽和度の高い脂肪酸で構成される油脂を多く含んでいますから、その油脂が重合して表面にプラスチックのような皮膜を形成します。この皮膜が魚の腐敗や酸化を防ぎ、干物として魚の鮮度を保ちながら保存することに役立ちます。

鰹や鰯のような青魚と異なり、鱈やホッケのような白身の魚では脂肪中の不飽和脂肪酸の割合が少ないために、太陽光に曝しても皮膜を作ることはありません。そのため、鱈やホッケの腐敗し易い内臓の部分を取り除き、塩分濃度を上げて腐敗の進行を遅らせながら乾燥させて、干鱈などに加工して長期保存をします。同じように、イカやあわびなどはするめや干しあわびのような塩干加工品にして保存しています。東シナ海から揚子江を2000kmも遡った中国四川省までは、海産物を新鮮に運ぶことが出来ませんでしたから、全ての海産物を塩干加工品として長期保存できる形に変えて運びました。四川省では塩干加工品に種々の工夫が加えられて、干しあわびや干しナマコや干し海老などを使った独特の四川料理が発達してきました。しかし、四川省の料理人の努力にもかかわらず、幸か不幸か四川料理の魚介類は新鮮な物とは味も香りも食感も全く異なった食べ物です。

米や麦などの穀類や豆類は種として成熟し、時期が来るまで変性することなく発芽のための胚芽ばかりでなく栄養をも保存する性質を自然に備えています。種の保存と繁殖のためのこの性質は長期貯蔵のために極めて有用で、発芽の条件が満たされないように乾燥した条件で保管することにより、米や麦や豆類などの種子類の食べ物を長期保存することが出来ます。しかし、穀物を除くすべての食べ物は、乾燥することにより長期保存が可能に

なりますが、変性してしまい味も香りも食感も本来とは異なる別の食べ物になります。

漬物は食べ物を保存する高度の食文化

長期間にわたり食べ物を貯蔵するためには、食べ物由来の性質による変性と化学変化などによる変性と微生物による食べ物の変性を抑える必要があります。微生物も生物の一種ですから、生命を脅かすような水の無い環境は微生物の繁殖を押さえる上で非常に効果的で、食べ物を乾燥した環境に置くだけで、微生物の繁殖を抑えることが出来ます。米や麦などの穀類や豆類は種の保存と繁殖のため長期間にわたり、変性することなく発芽のための胚芽ばかりでなく栄養をも保存する性質を自然に備えています。発芽の条件が満たされないように乾燥した条件で保管することにより、米や麦や豆類などの種子類の食べ物を長期保存することが出来ます。しかし、穀物を除くすべての食べ物は水分を多量に含んでいるために、乾燥が困難で多くの時間と労力を要します。

人間にとって必要不可欠な食塩の LD_{50} は 3.75g/kg ですから、食塩の急性毒性による致死量は約 230g と概算できます。人間や哺乳動物でなくとも、食塩は微生物に対しても急性毒性を示しますから、微生物の繁殖を抑える効果があり、食べ物の長期保存に有効であると思われます。その上、大部分の食べ物では半透膜の性質を持つ細胞膜が細胞の内外を区別していますから、前章で説明しましたように浸透圧の現象を起こします。青菜に食塩を振り掛けると、葉の上で濃い食塩水ができますが、このとき細胞膜が食塩水と細胞の内部を区切っていますから、浸透圧の現象が進み、細胞の中の水分が滲み出して食塩水の濃度を下げます。その結果、昔からの格言どおり、「青菜に塩」のように生気を失い萎びてきます。このように、浸透圧の現象は食材の中から、水分を吸い出してしまうから、食感を変えるだけでなく保存などの点でも、料理に色々と役に立ちます。

大根や白菜などの野菜を食塩と共に容器に入れておきますと、野菜の中の水分が染み出してきて野菜は多少脱水されて、塩漬けの漬物になりますから長期保存が可能になります。大量の千切りキャベツをその重さの約 $3\sim 5\%$ の食塩と共に漬け込みますと、6時間ほどでキャベツから水分が染み出してきて、塩辛い水がキャベツを覆い微生物の侵入を防ぐようになります。さらに2~3月間、温度のあまり高くない場所で漬け込みますと、ザワークラウトが完成します。キャベツは夏の野菜ですから、ドイツやロシアでは寒い冬の季節にはキャベツを入手することが困難でした。そのため、ザワークラウトは冬の野菜の無い季節の重要な保存野菜として塩抜きして食べられ、現在ではドイツ料理には欠かせない食材の一つになっています。

6月の初めに実る青梅は香り高い果実ですが、多量の水分を含んでいますから長期に保存することが困難でした。そのため、食塩とともに漬け込んで、果肉の中に含まれる香りの成分や糖分などを失うことなく、浸透圧の現象により水分だけを脱水します。十分に脱水した塩漬けの梅を太陽の下で乾すことにより、表面の水分を乾燥させれば梅干しの完成です。梅干しは極めて長期にわたり味や香りを損なうことなく保存することの出来る漬物

で、しかも高い殺菌力を示しますから、江戸時代から極めて重要な携帯食料でした。そのため、多くの大名は梅干しの生産に努力したと思われ、水戸や紀州や小田原など各地に名物の梅干しの生産が現在まで受け継がれて、日の丸弁当や梅のおにぎりなどに入れられて日本の味の原点になっています。

蛋白質を含む食べ物と共に野菜を塩漬けにしますと蛋白質が一部アミノ酸に加水分解しますから、野菜類を長期に保存できるばかりでなく味わいを増すことが出来ます。特に、麹菌や乳酸菌などの味わいを向上させる微生物を繁殖させた中に野菜を漬け込みますと、食べ物を腐敗させる微生物の繁殖を抑える効果もありますから、さらに野菜類を長期に保存し味わいを増す働きをします。糠は蛋白質を多く含む米の胚芽を主体としていますから、この中に食塩と共に野菜を漬け込みますと、朝食に欠かすことの出来ない糠漬けが出来上がります。味噌は大豆と小麦を食塩と共に麹菌で醗酵させたものですから、当然、食塩と麹菌と蛋白質とアミノ酸を含んでいます。この味噌の中に野菜を漬け込みますと、糠漬けと同じように、野菜は浸透圧の現象により脱水し、腐敗の原因となる微生物から麹菌により保護されつつアミノ酸による味付けがなされて、美味しい味噌漬けが出来上がります。

お酢は酢酸の約3%水溶液ですが、表5-1に示すように酢酸もLD₅₀が3.50g/kgを示す物質です。しかも、かなり強い酸性を示しますから、微生物の繁殖を強く抑える性質を持っています。お酢のこの性質を利用して、あらかじめ塩漬けしてある程度脱水したきゅうりを香料と共にお酢に漬け込みますと、ピクルスと呼ばれる長期保存が可能な野菜となります。砂糖で甘味を加えたピクルスはハンバーガーには欠かせない存在ですし、ディルと呼ばれる香草と共に漬け込んだピクルスは添え物としてサンドウィッチを引き立たせます。

この漬物による保存の技術は食肉や魚に対しても利用することが出来ます。北の海で水揚げされる鮭は新鮮な形で東京まで運ぶことはほとんど不可能でした。そのため水揚げされた鮭はすぐに内臓を取り除き、大量の食塩にまぶして長期保存が出来るようにしていました。当然、鮭の身から浸透圧の現象により水分が抜けて身の締まった新巻鮭になり、歳の暮れに魚屋さんの店先に並べられました。

コンビーフとは英語では **Corned Beef** と書き、塩漬けの牛肉という意味を持っています。牛肉をソミュールと呼ばれる胡椒や香草類の入った食塩水に漬け込んでおきますと、牛肉に食塩や香り成分が滲み込むと同時に肉の中の水分が脱水します。1ヶ月ほど漬け込んだ後に表面の塩分を洗い流して蒸し上げますと、自家製のコンビーフが出来上がります。若干繊維質が目立ちますが、キャベツと煮込んだコンビーフキャベツは著者の若い頃からの好物でした。

良く血抜きした豚肉に食塩を良く擦り込んで2ヶ月ほど涼しい所に風乾しますと、肉の中の水分が浸透圧の現象により脱水し、代わりに塩分が滲み込みます。豚肉は重さの約3割の水分が抜けて軽くなり、見かけ上も小さく締まってきます。表面の余った塩分を水でよく洗い落としてから表面を乾燥させて風通しのよい冷暗所に吊るしておきます。表面に良質の微生物が付着して腐敗を引き起こす微生物を駆逐しながら、同時に肉の中ではプロ

テアーゼなどの加水分解酵素により蛋白質が一部アミノ酸に変化します。10ヶ月以上の長期間にわたり熟成させると余分の水分や脂肪分が外部に取り除かれ、肉の中に旨味成分のアミノ酸が十分に生成した生ハムが完成します。塩分と良質の微生物の働きで、生の豚肉を長期にわたり保存することが出来るようになります。

野菜や食肉などの食べ物を食塩と共に漬け込みますと、浸透圧の現象により細胞中の水分が滲み出すために、野菜も肉も適度に脱水して長期保存が可能になります。このとき食べ物に含まれる味や香りの成分は比較的温存されますから、味や香りや食感を保つことが出来ます。その上、アミノ酸や香料などを加えることにより味や香りを変化させることも出来ますから、漬物の技術は各地方に根付いた高度の食文化と考えることが出来ます。

肉を美味しく保存する燻製

木材は主にセルロース、ヘミセルローズ、リグニンの3つの成分で形作られていますが、この木材を空気と共に加熱しますと高温を発生しながら燃焼し、二酸化炭素と水に変化します。しかし、十分な空気の供給をしないで高温に加熱しますと、成分物質を形成している結合のうちの弱い結合がいろいろと切断して熱分解が進行し、木材は炭化され、固体生成物と気体生成物（煙）となります。炭焼き窯と呼ばれる窯に木材を入れ、十分に空気を供給することなく燃やすことにより、木材を炭化させて固体生成物を製造し、木炭として燃料に用いられてきました。

木材を炭化して木炭を製造するときに発生する気体生成物（煙）は大部分が水ですが、その他に200種類以上の化学物質が含まれています。セルロースはブドウ糖が鎖状に繋がった高分子化合物ですが、ブドウ糖とブドウ糖を結び付けているアセタール結合が最も切断し易いため、オリゴ糖と呼ばれる少数のブドウ糖の結合した化合物に熱分解します。さらに、オリゴ糖の熱分解が進行しますと酢酸などの分子量の小さい脂肪酸を生成します。しかし、酸素の供給が不十分な環境の下での熱分解ですから、脂肪酸ほどには酸化の進んでいない比較的還元状態のアルコール類やアルデヒド類やエステル類やケトン類も多く副生してきます。また、リグニンはベンゼン環に水酸基の結合したフェノールを部分構造に持つ高分子化合物ですから、熱分解によりフェノールやクレゾールなどのフェノール類が生成してきます。

木炭を製造するときに発生する気体生成物を凝集した後に、再度蒸留して極めて揮発性の高いホルムアルデヒドやアセトアルデヒドなどを取り除いた液体の留分が木酢液として市販されています。木酢液を製造する大幸TEC株式会社が報告している木酢液の成分表を表5-2に掲げておきますが、黄色に表示した成分は主にセルロースに由来し、淡赤色に表示した成分はリグニンに由来したものとされます。木酢液は酢酸を最も多く含むためにpH3以下の強酸性を示しますが、その他にメタノール、ヒドロキシアセトン、フルフラール、グアヤコール、4-メチルグアヤコールなどが含まれています。また、木酢液には少量ながら人体に有毒なクレゾールなどのフェノール類や発ガン性を示す3,4-ベン

ゾピレン、1,2,5,6-ジベンゾアントラセン、3-メチルコラントレンなどの芳香族炭化水素も含まれています。

木酢液の製造過程で取り除いたホルムアルデヒドやアセトアルデヒドのほかに、木酢液の中に含まれる多くの成分が木材を燻したときに発生する煙の中に含まれると考えられます。

表 5-2 木酢液中の主成分

成分名	分子式	含有量(%)
酢酸	$\text{CH}_3-\text{CO}_2\text{H}$	5.56
ヒドロキシアセトン	$\text{CH}_3-\text{CO}-\text{CH}_2-\text{OH}$	1.00
プロピオン酸	$\text{CH}_3\text{CH}_2-\text{CO}_2\text{H}$	0.54
酪酸	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{CO}_2\text{H}$	0.12
フルフラール	$\text{C}_4\text{H}_3\text{O}-\text{CHO}$	0.06
フルフリルアルコール	$\text{C}_4\text{H}_3\text{O}-\text{CH}_2-\text{OH}$	0.03
フェノール	$\text{C}_6\text{H}_5-\text{OH}$	0.07
3-メチル-2-ヒドロキシ-2-シクロペンテノン	$\text{CH}_3\text{C}=\text{C}(\text{OH})\text{CO CH}_2\text{CH}_2$ └──────────┘	0.10
o-クレゾール	$\text{CH}_3-\text{C}_6\text{H}_4-\text{OH}$	0.02
p-クレゾール	$\text{CH}_3-\text{C}_6\text{H}_4-\text{OH}$	0.03
グアヤコール	$\text{CH}_3\text{O}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{OH}$	0.18
4-メチルグアヤコール	$\text{CH}_3-\text{C}_6\text{H}_3(\text{OCH}_3)-\text{OH}$	0.08
4-エチルグアヤコール	$\text{CH}_3\text{CH}_2-\text{C}_6\text{H}_3(\text{OCH}_3)-\text{OH}$	0.01
その他		1.76
水	H_2O	90.45

すから、煙の中に食べ物を置いておきますと煙の成分が食べ物に付着します。煙の中にはクレゾールなどのフェノール類やベンツピレンなどの芳香族炭化水素が含まれていますが、これらの成分は人間にとっても微生物にとっても毒性を示す物質ですから、食べ物の外側に付着しますと腐敗を抑える効果を示します。そのため、燻製と呼んで食べ物を煙の中に置いて煙の成分を付着させ、食べ物を長期保存する技術が古くから行われてきました。

燻製をすることによる防腐効果として、フェノール類とアルデヒド類が燻煙中の食べ物の上に付着して、図 5-3 に示すような反応を起こすことも考えられます。生成した物質はフェノール-アルデヒド樹脂と呼ばれ、食べ物の表面を覆うように樹脂膜を形成しますから、外部からの微生物の侵入や酸素による酸化などの化学的変性を防ぎます。なお、フェノールとホルムアルデヒドが反応して生成する物質は、ベークライトと呼ばれるフェノール-アルデヒド樹脂で、最も早く実用化されたプラスチックです。ベークライトは電

気絶縁性に優れて
いたために差し込
みやプラグなど電
気部品の材料とし
て広く用いられて
いましたが、色が
黒く若干脆い性質
のために次第に他
のプラスチック
に代替えされてゆ
きました。

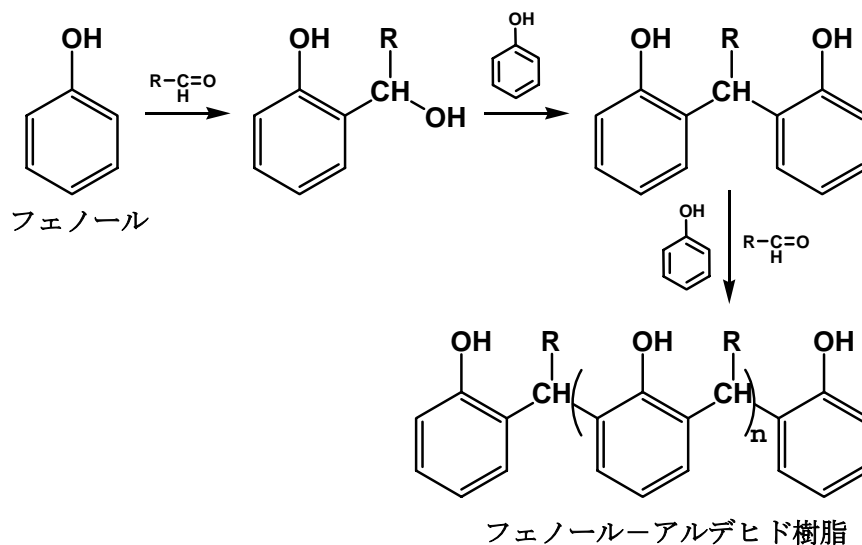


図5-3 フェノールとアルデヒドの反応

酸素などの酸
化剤が食べ物とフ
ェノール類の両者

が共存するときには、クレゾールやグアヤコールなどのフェノール類は非常に酸化され易い物質ですから、優先してフェノール類が酸化され、食べ物の酸化が抑えられます。生活の環境の中で不飽和脂肪酸の酸化などの食べ物の変性に最も影響を与える化学物質は酸素と思われませんが、煙に含まれる種々のフェノール類が酸化防止剤の働きをしますから、燻製をすることは化学変化による変性を抑え長期保存のために効果を示します。

煙に含まれるフルフラールは若干焦げ臭い香りを持っていますし、クレゾールやフェノールは病院の匂いですが極微量ではスットする好ましい香りです。さらにアセトアルデヒドは熟した柿のような甘い匂いがします。これらの芳しい香りの成分も食べ物に付着しますから、燻製を施した食べ物は独特の香りを持っています。用いる木材の種類により発生する煙の中に含まれる成分も微妙に異なりますから、食べ物を燻製するための適当な木材を選ぶ必要があると思われます。カナダのキングサーモンは梅の木を燻して発生させた煙で燻製し、オーストリアのチロル地方ではクリスマスツリーに使った樅の木で豚肉を燻製する習慣があると聞いています。通常食べ物を燻製するときには甘い香りが強く付着する桜の幹を燻して燻製することが一般に好まれるようです。

煙に含まれる成分が腐敗を引き起こす微生物にとって毒性を示すと共に酸化防止剤の働きを示すばかりでなく、容易にフェノール-アルデヒド樹脂を形成することから、食べ物の長期保存のためには極めて有効な技術と考えられます。前節で述べた漬物の技術も食べ物を長期保存するための有効な技術ですから、両者を併せればさらに長期保存のために大きな効果が生まれます。豚のあばら骨の近くの肉の部分に塩漬けにして脱水と味付けをして、保存効果を持たせます。さらに表面の食塩を取り除いた後に燻製をしてベーコンを作ります。著者は豚のあばら肉に食塩と香料と少量のアミノ酸を良く擦り込んで重石を載せながら約4日漬け込みます。流水で15分間表面の食塩などを洗い落とした後、70~80°C

の比較的高い温度で桜の木を燻しながら 4 時間ほど燻製します。出来上がった自家製ベーコンは著者の朝食に欠かすことのできない食べ物で、冷蔵庫で 2~3 ヶ月は保存できます。

ソーセージは色々な肉を細かく切ってひき肉にし、でんぷん（コーンスターチ）、卵、牛乳、ぶどう酒を種々の香辛料や調味料と共によく練って、腸詰めしてから加熱して造ります。羊の腸は細くて長いため、ウインナーソーセージなどの細いものに、豚の腸はフランクフルターなどの太さ 2cm 程度のソーセージになります。牛腸はポーランド風ソーセージなどのもっと太いものを作るときに使われるようです。このようにひき肉を作り、よく混ぜながら練り、細くて薄い腸に詰め込む操作の間に、温度が上がりますと蛋白質の変性が起こり、保水力が失われてしまいます。また、肉の腐敗や酸化による変性も温度が高いほど早くなりますから、手際よく冷たい温度の条件で肉詰めまで完了しなければなりません。さらに、腸詰めした生のソーセージの味と食感を保つために、蛋白質の変性温度よりも若干低い約 70℃の温度で加熱して調理と殺菌を行います。最後に燻製をして匂いを付け、自家製ソーセージの完成です。

腸は何れも栄養成分だけを吸収する働きを受け持つ内臓器官ですから、水分は比較的通過できますが微生物は殆ど通過できないろ紙やフィルターの働きをする膜になっています。腸の中に食べ物を詰めますと、外界からの空気や微生物の侵入を抑えることができ、長期保存を可能にします。さらに、外側を燻製することにより、煙の中に含まれる成分が微生物の繁殖を抑えますから、腐敗することなく保存できる期間を延長できます。

煙に含まれる成分が腐敗を引き起こす微生物にとって毒性を示すと共に酸化防止剤の働きを示すばかりでなく、容易にフェノールアルデヒド樹脂を形成することから、燻製の技術は食べ物の長期保存のためには極めて有効と考えられます。さらに、漬物の技術も食べ物を長期保存するための有効な技術ですから、両者を併せればさらに長期保存のために大きな相乗効果をもたらします。しかし、この燻製の技術は穀物や野菜などにはあまり適当でなく、それらの食べ物の保存方法としての利用例は多くないように思われます。

6. 台所に入り込んできた怪しげな化学薬品

湿気を防ぐ青いシリカゲル

長時間にわたり食べ物を貯蔵するためには、食べ物由来の性質による変性と化学変化などによる変性と微生物による食べ物の変性を抑える必要があります。米や麦や豆類など種子類の食べ物の発芽を抑えると共に、微生物の繁殖を抑えることに効果的ですから、乾燥した条件で保管することにより食べ物を長期保存することが出来ます。食べ物の内部に含まれている水分を取り除くためには、加熱したり太陽光に曝したり乾燥した風に当てたりします。しかし、梅雨の季節などには高い湿度を示し、それ以外の季節でも大気中には多くの水蒸気が含まれています。お煎餅が湿気でゆくように、これらの水蒸気は乾燥した食べ物に逆戻りしてゆきますから、食べ物の長期保存のためには好ましいことではありません。食べ物が湿気てしまうことを防ぐために、缶に入れたりラップをしたりして、水蒸気を含んだ空気に乾燥した食べ物を曝さない工夫をしてきました。残念ながら梅雨時などは、水蒸気を含んだ空気はいたるところにありますから、缶に入れておくだけでは湿気を食い止めるための万全の対策にはなりません。そのため乾燥剤が用いられるようになりました。

化学の実験室では目的に応じて種々の乾燥剤が用いられてきました。表 6-1 には実験室で用いられている種々の乾燥剤の形態変化、乾燥の機構、安全性、利用できる範囲、乾

表 6-1 種々の乾燥剤とその性状

乾燥剤	変化	機構	安全性	利用範囲	能力
活性炭	固→固	吸着	中性、安全	気、液	弱
シリカゲル	固→固	吸着	中性、安全	気、液、固	中
モレキュラシーブ 4A	固→固	吸着	中性、安全	液	強
無水硫酸ナトリウム	固→固	結晶水	中性、安全	液	中
無水硫酸マグネシウム	固→固	結晶水	中性、安全	液	中
食塩	固→液	溶解	中性、安全	気、液、固	弱
塩化カルシウム	固→液	溶解	中性、安全	気、液、固	中
水酸化ナトリウム	固→液	溶解	塩基性、皮膚に炎症	気、液、固	中
酸化カルシウム	固→固	反応	塩基性、皮膚に弱い炎症	気、液、固	強
水素化ナトリウム	固→固	反応	塩基性、皮膚に炎症、爆発性	液	強
水素化カルシウム	固→固	反応	塩基性、皮膚に炎症、爆発性	液	強
金属ナトリウム	固→固	反応	塩基性、皮膚に炎症、爆発性	液	強
金属マグネシウム	固→固	反応	塩基性、皮膚に炎症、爆発性	液	強
五酸化二燐	固→液	反応	酸性、皮膚に炎症	気、液、固	強
濃硫酸	液→液	溶解	酸性、皮膚に炎症	気、固	強

燥の能力などについてまとめておきます。これらの乾燥剤の中には極めて危険で、急激な発熱を伴い発火したり爆発する物質や、皮膚に触れると薬品による火傷を起こす物質もあり、日常生活に利用できない物も含まれています。モレキュラシーブ 4A は酸化アルミニウムと酸化ケイ素を主体とする人造の石のような物ですが、 $4 \times 10^{-10} \text{m}$ (4A) の直径を持つ穴が蜂の巣のようにあいた物質です。蛸が蛸壺に入るように水は $4 \times 10^{-10} \text{m}$ の穴に丁度入り込むことができますが、それ以外の物質はもっと大きな分子の形をしていますから、入り込むことができません。結果としてモレキュラシーブ 4A は水だけを取り込んで放しませんから、乾燥剤の役割を果たします。モレキュラシーブ 4A は原理的にも最も安全で、乾燥の効率が良く、再利用も可能ですが、未だ高価なため日常生活に利用できる乾燥剤にはなっていません。

シリカゲルと塩化カルシウムは中程度の乾燥能力ですが安全性と経済性に優れており、地球上のいたるところに存在する物質ですから、環境破壊の心配もほとんどありません。また、酸化カルシウム(生石灰)は石灰石を焼成するだけで製造することができ、皮膚に弱い炎症を起こすことがあります。乾燥能力が強い乾燥剤です。そのためシリカゲルと塩化カルシウムと酸化カルシウムが乾燥剤として広く日常生活に利用されています。塩化カルシウムは食塩から水酸化ナトリウムを製造するソーダ工業の副産物として生成してくる物質で、価格が極めて安く、大量に生産されています。この物質は固体ですが、極めて水に溶け易いために、空気中の水分を取り込んで水溶液になろうとします。この性質を潮解性と呼び、周囲の空気を乾燥します。固体や液体から少しずつ水分が蒸発して、周囲の乾燥した空気の湿度を上げます。空気中の水分は塩化カルシウムを潮解して、湿度の高かった空気は乾燥してゆきます。結局、固体や液体に含まれる水分が間接的に塩化カルシウムに取り込まれてゆきますから、液体でも固体でも容器の中に入れておけば空気を介して乾燥することができます。潮解性のために水溶液になった塩化カルシウムを固体に戻すことは極めて困難で、再利用は経済的に不利ですから、使い捨の乾燥剤と考えられます。塩化カルシウムは形態的には固体から次第に液状に変化してゆきますから、食べ物と直接接触させていますと長時間のうちに塩化カルシウム水溶液で汚れてしまう危険性があります。乾燥剤として塩化カルシウムを間接的に使用し、食べ物と直接接触しないように注意を要します。

酸化カルシウムは石灰石を焼成するだけで製造することができますから、極めて価格が安く大量に使用することができます。しかも酸化カルシウムは固体であり、水と反応して生成する水酸化カルシウムも固体ですから、水分を吸収しても食べ物を乾燥剤で汚す危険性はありません。その上、原料の石灰石も乾燥剤の酸化カルシウムも生成物の水酸化カルシウムも環境を汚染するような物質ではありません。しかし、酸化カルシウムも水酸化カルシウムも塩基性を示しますから、皮膚に付くと炎症を起こすことがあります。安全に取り扱うためには注意を要します。

シリカゲルは水晶や石英と同じ組成の酸化ケイ素の微細な粉末で、表面積が極めて大き

いために、多量の水を吸着することができます。この吸着力により乾燥剤として働きます。物質が変化するわけではありませんから、高温で過熱して吸着している水分を蒸発させれば、また乾燥剤としての能力を回復します。台所ではフライパンで煎ることにより、何度でもシリカゲルは再生します。しかも形態が変化することはありませんから、直接食べ物と接触してもあまり不都合は起こりません。

シリカゲルは白色の固体で粉末あるいは粉末を固めた形状に作られていますが、塩化コバルトの希薄水溶液を吸着させた後に乾燥して青色に着色したシリカゲルがしばしば用いられています。塩化コバルトは 6 分子の結晶水を持って淡紅色の結晶になりますが、室温付近の温度でも容易に結晶水を放出して無水塩化コバルトに変化し、コバルトブルーと呼ばれる濃い青色に変色します。シリカゲルに吸着している塩化コバルトも乾燥した状態では無水塩化コバルトの状態ですから濃い青色を呈しています。しかし、水分を吸着してシリカゲルが湿気を帯びると、塩化コバルトも結晶水を結合して淡紅色になり、実質的には無色に見えます。塩化コバルトがシリカゲルの乾燥の状態を示すバロメーターの役目を果たしていますから、青色が消えたらばフライパンで青く変色するまで煎れば再度使用可能になります。ちなみに、塩化コバルトを絵の具として用いますと、紙が濡れている間は絵が何も見えませんからただの白い紙ですが、太陽に当てたりストーブにかざしたりすると忽然と青色の絵が現れてきます。塩化コバルトを入手することは多少難しいかもしれませんが、最も色鮮やかな焙り出しの絵が作れます。

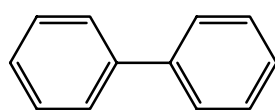
塩化カルシウムも酸化カルシウムもシリカゲルも比較的安全性が高く食べ物をはじめ多くの物質を乾燥することができますから、食べ物の保存に役立つ乾燥剤となります。塩化カルシウムも酸化カルシウムもシリカゲルもお煎餅や海苔などと共にしばしば入れられています。小さな文字で注意書きがしてあるように食べることでできない化学物質ですから、乳幼児が口にしないように注意を要します。

果物を苦くするポストハーベスト

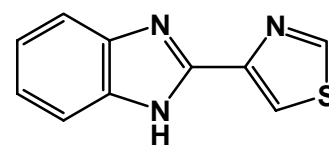
レモンはラグビーボール型をした柑橘系の果物で、特有の高い香りが果皮の部分に凝縮していますから、紅茶の香り付けに入れたり、レモンパイなどの洋菓子の材料にします。著者はカミさんの作るパウンドケーキが大好きですが、レモンの果皮をすりおろして入れることが香りの良いケーキを作るコツと講釈してくれます。レモンは日本の国内生産量が少なく、主に米国やチリ共和国や南アフリカ共和国から輸入されています。しかし、レモンは常温の暗所では数日間しか日持ちせず、乾燥を防ぐためビニール袋に入れて冷蔵庫内の 5～6℃くらいの環境でも 1 ヶ月ほどしか長期保存できません。そのため、新鮮な日本国産のレモンは国外産に比べて 2 倍から 4 倍の高値で取引されています。米国やチリ共和国や南アフリカ共和国などの遠国から新鮮な状態で輸入されるレモンには、乾燥を防ぐ蠟状の炭化水素を表面に膜状に塗るポストハーベストと呼ばれる処理が施されています。蠟状の膜により水分の蒸発は抑えることができますが、その内部における微生物の繁殖を抑

えることはできません。

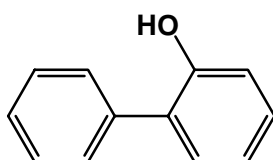
米国では通常、レモンの皮の部分を食べることは無く、多くの場合にレモンジュースとして食べますから、レモンの皮に少量の化学物質が付着することは許されると考えられています。そのためにジュースへの混入が少なくなるように水溶性の無い防カビ剤をレモンの表面に塗るポストハーベストが、米国産のレモンには施されて微生物の繁殖を



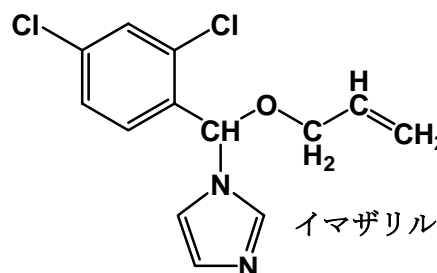
ジフェニル



チアベンダゾール



o-フェニルフェノール



イマザリル

図6-1 代表的防カビ剤の化学構造

抑え長期保存を可能にしています。同時に、乾燥を防ぐために蠟状の炭化水素が表面に施されますから、防カビ剤には炭化水素に溶け易く、水に溶け難い性質を持つ図 6-1 に示すような物質が用いられています。これらの物質は微生物の繁殖を抑える性質を持っていますが、同時に、人間に対しても種々の生理作用を示します。

人間に対する生理作用には短期間に死に至る急性毒性と長期間に発がん性や催奇性疾患を発症するような慢性毒性があり、急性毒性は LD_{50} により表し、慢性毒性は ADI により表します。ADI (Acceptable Daily Intake) は一生涯にわたり毎日摂取し続けても健康に影響を及ぼさないと判断される最大量を意味し、平均寿命が 2 年程度のねずみに毎日餌と共に薬物を混入して投与し、生理作用が観測できる最小薬物量を 1kg の体重の動物に規格化した後に 100 倍の安全係数を掛け合わせて算出します。

日本では認められておりませんが、米国などでは、殺虫剤、殺菌剤、除草剤などの一般農薬を収穫後に使用することを認めていますから、オレンジ、レモン、グレープフルーツ、バナナなどの輸入果物はジフェニル (DP)、o-フェニルフェノール (OPP)、チアベンダゾール (TBZ)、イマザリルなどの防カビ剤を蠟状の炭化水素に溶かしてポストハーベスト処理を施しています。これらの防カビ剤は遺伝子損傷性、変異原性、染色体異常、発ガン性などの生理作用を持っていますから、急性毒性はあまり強くありませんが、慢性毒性は無視できないように思われます。表 6-2 には防カビ剤の LD_{50} と ADI の値を厚生労働省で規定している食品添加物の許容最大残存量とともにまとめておきます。

著者と同業の化学者が研究した防カビ剤を用いてポストハーベスト処理をしているのですから、カミさんが皮を擦り込むとパウンドケーキが苦くなると云ってあまり作ってくれませんが我慢しなければならないでしょう。長期保存の方法としてポストハーベスト処理は有効と思われませんが、問題が残っているように思われます。

表 6-2 代表的防カビ剤、酸化防止剤の毒性と許容量

	LD ₅₀ (g/kg)	ADI (mg/kg/day)	許容残存量(g/kg)
ジフェニル	2.2	0.05	0.07
o-フェニルフェノール	1.1	0.4	0.010
チアベンダゾール	3.6	0.1	0.010
イマザリル	0.22	0.025	0.005
亜硝酸ナトリウム	0.85	0.06	0.070
ジブチルヒドロキシトルエン	1.39	0.3	0.20
ブチルヒドロキシアニソール	4.13	0.5	0.20

酸化を防ぐ物には毒性もある

長時間にわたり食べ物を貯蔵する上で、最も大きな影響を与える食べ物の変性には食べ物由来の性質による変性と外的な要因による変性があり、外的要因には化学変化などによる変性と微生物による変性があります。生活の環境の中で食べ物の変性を引き起こす化学物質としては、各種のミネラルや酢酸などの酸性物質がありますが、食べ物の変性に最も影響を与える化学物質は酸素と思われます。

酸素は地球のあらゆる所に普遍的に存在し高い反応性を持つ気体ですから、多くの物質を酸化する性質を持っています。図 5-1 に示すように酸素はヒドロキノンやカテコールを対応するキノンに酸化します。ビタミン C やフェノール類も同じような部分構造を持っていますから、酸素により酸化されます。食べ物と酸化され易い物質が共存するときには、酸素などの酸化剤が優先して酸化され易い物質を酸化し、食べ物の酸化が抑えられます。言い換えれば、ヒドロキノンやカテコールやフェノール類やビタミン C などの酸化され易い物質は酸化を防止する効果を示し、外的な要因による変性を有効的に抑えます。

穀類や木の実などから得られる植物油に含まれるビタミン E、コーヒー豆に含まれるクロロゲン酸、お茶に含まれるカテキン類などはヒドロキノンやフェノールの構造を持っていますから、食べ物の中に含まれていますが酸化防止の効果を示します。苺やレモンなど多くの果物の中に含まれるビタミン C は芳香族環を持っていませんが、カテコールと類似の部分構造を持っているために強力な酸化防止の効果を示します。食べ物の中ではこれらの酸化防止効果を示す成分は安定に存在しますが、取り出した物質は空気中で比較的不安定で次第に酸化されてしまいます。そのために近年になって食べ物の酸化による変性を抑えるために酸化防止効果を持つ食品添加物を加えるようになって来ました。

亜硝酸ナトリウム (NaNO₂) は酸化を抑えて新鮮な食肉の淡紅色を保つ効果があるために、食肉加工品や塩干加工品に鮮度を引き立たせる目的で加えられている酸化防止効果を

持つ食品添加物です。京都市衛生公害研究所は、55 検体の食肉加工品およびいくらやたらこなどの 11 検体の塩干加工品について検査を行った結果、法的な使用基準に適合していますが 93%および 45%の検体に亜硝酸ナトリウムが含まれていたと年報の中で報告しています。しかし、亜硝酸ナトリウムは表 6-2 に示すように LD₅₀ の値が 85mg/kg ですから代表的な毒薬のシアン化カリウム(青酸カリ)よりわずかに弱い急性毒性を示すと考えられます。さらに、図 6-2 に示すように、亜硝酸ナトリウムは極めて反応性の高い物質でアルコール類と反応すれば亜硝酸エステルになりますが、アミン類と反応するとアゾ化合物あるいはニトロソアミン類を生成します。蛋白質のもとになっているアミノ酸もアミンの部分構造を持っていますから、アミノ酸も蛋白質も部分的にアゾ化合物あるいはニトロソアミン類に変化します。アゾ化合物とニトロソアミン類は亜硝酸ナトリウムよりさらに反応性の高い化合物で、強い発がん性を示します。亜硝酸ナトリウムは人間の身体を構成している蛋白質に作用して発がん性物質を生成してしまいます。このように発がん性物質を生成することから、亜硝酸ナトリウムの ADI は 0.06mg/kg/day と評価されています。著者も自家製ソーセージを作るときに肉の色を美味しそうに見せるために、亜硝酸ナトリウムを加えてみましたが、見かけよりも健康が大切と思い、以後添加しないようになりました。

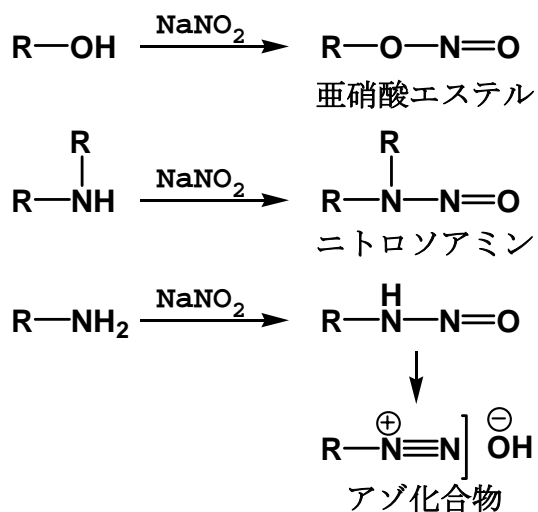


図6-2 亜硝酸ナトリウムの反応

魚や胡麻や大豆などに含まれる液状の油脂は不飽和結合を持つ不飽和脂肪酸を多く含んでいますが、これらの不飽和脂肪酸で構成される液状の油脂は酸素と非常に反応し易く、酸化されて過酸化物質やアルデヒド類などに変性してゆきます。この変性を油焼けと呼び、油脂の味や香りを劣化させますから、このような酸素による酸化を抑えることは油脂類を含む食べ物の保存にとって極めて重要なこ

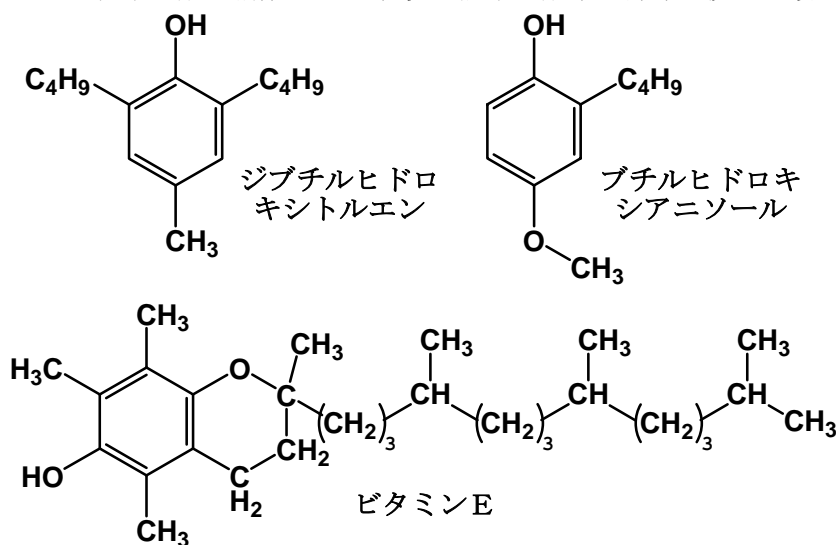


図6-3 代表的な酸化防止剤の構造

とです。そのため、油脂類、バター、塩干加工品などには酸化防止の効果を持つ食品添加物がしばしば加えられています。例えば、マーガリンや即席ラーメンには変性を防ぐために酸化防止剤としてビタミンEが添加されています。図6-3および表6-2にあげたジブチルヒドロキシトルエン(BHT)やブチルヒドロキシアニソール(BHA)はいずれも脂溶性のフェノール類で、食べ物に酸化防止剤として添加されることもありますが、比較的毒性が強いために使われない傾向になっています。しかし、犬や猫のためのペットフードには現在でもかなり添加されていると思われます。

食べ物の変性に最も影響を与える化学物質は酸素と思われるから、食べ物と酸素の化学反応を抑えることにより、外的な要因による変性を有効的に抑えることができます。ハイドロキノンやカテコールやフェノール類やビタミンCなどの酸化され易い物質と食べ物が共存するときには、酸素などの酸化剤が優先して酸化され易い物質を酸化し、食べ物の酸化が抑えられます。食べ物の中にはこのような酸化防止の効果を示す物質が存在していますが、人為的に加えられる多くの酸化防止剤は強い毒性を示します。そのため食品添加物として酸化防止剤を用いることはあまり好ましいことではありません。

食べ物の長期保存に有効な鉄粉

食べ物の変性に最も影響を与える化学物質は酸素と思われるから、食べ物と酸素の化学反応を抑えることにより、外的な要因による変性を有効的に抑えることができます。しかし、人為的に加えられる多くの酸化防止剤は強い毒性を示しますから、食品添加物として酸化防止剤を用いることはあまり好ましいことではありません。食べ物を酸素と触れないようにすれば、長期保存するために有毒の酸化防止剤を使う必要がなくなります。食べ物を缶やプラスチックの袋に封じ込めたのちに内部の空気から酸素を取り除けば、食べ物は酸素と触れることが無くなり酸素酸化による変性も、微生物の繁殖による変性も抑えられますから長期保存が可能になります。缶や袋の中に入れて酸素を取り除く脱酸素剤と呼ばれる物質は酸素と反応して酸化される性質を持っていないければなりません。

物質を構成する分子が十分な化学反応活性を持って衝突するときに物質の反応が進行します。酸化・還元反応においては、酸化還元電位の小さな還元状態の物質を電位が大きな酸化状態の物質に作用するときに、十分な反応活性が得られて反応が進行します。酸素の酸化還元電位は水の存在下では0.40Vですから、それよりも小さな酸化還元電位をもつ還元状態の物質が酸素と反応します。このような還元状態の物質は酸素と反応して酸素を消費してしまいますから脱酸素剤として働きます。表6-3には代表的な金属やビタミンCやハイドロキノンの酸化還元電位を抜粋しました。

気体状態の分子は自由に動き回ることができますから、気体同士の衝突が容易に起こり、反応がすみやかに進行します。液体の状態の分子は液体の中では自由に動き回れますが、ほとんど外部に飛び出せませんし、固体の状態の分子は分子として動き回ることができません。通常、酸素は気体の状態にありますから、水素やアセチレンなどのような気体の物

表 6 - 3 金属の酸化還元電位

還元状態	酸化状態	電位(V)	還元状態	酸化状態	電位(V)
K	K ⁺	-2.92	Sn	Sn ²⁺	-0.14
Ca	Ca ²⁺	-2.76	Pb	Pb ²⁺	-0.13
Na	Na ⁺	-2.71	H ₂	H ⁺	0.00
Mg	Mg ²⁺	-2.38	ビタミン C	酸化型ビタミン C	0.13
Al	Al ³⁺	-1.71	OH ⁻	O ₂ /H ₂ O	0.40
Mn	Mn ²⁺	-1.03	Cu	Cu ⁺	0.52
Zn	Zn ²⁺	-0.76	HQ	Q	0.70
Cr	Cr ²⁺	-0.56	Ag	Ag ⁺	0.80
Fe	Fe ²⁺	-0.41	Hg	Hg ²⁺	0.85
Co	Co ²⁺	-0.28	Au	Au ⁺	1.68
Ni	Ni ²⁺	-0.23			

質とはすみやかに反応しますが、液体や固体の物質とはその表面でしか衝突ができません。小さな酸化還元電位をもつ還元状態の物質であっても、物質の表面でしか酸素分子と衝突できませんから、酸化反応により酸素を取り除くことはできません。小さな酸化還元電位をもつ還元状態の物質を脱酸素剤として用いるためには、その表面積を大きくする必要があります。固体物質は細かく粉砕し、蜂の巣や海綿のように多孔質にすることにより相対的に表面積が大きくなります。

表 6-3 の黄色に色分けしたナトリウム金属などは酸素ばかりでなく水とも激しく反応してしまうため、取り扱いが難しく汎用性がありません。マグネシウムやアルミニウムは酸素との反応性が高く脱酸素剤として働きますが、表面が酸化されると保護膜となり反応が止まってしまうから、取り除ける酸素の量はあまり多くありません。微粉末にしたマグネシウムやアルミニウムは酸素と激しく反応して燃え上がりますから、危険が多く実用的な脱酸素剤となりません。紫色に色分けしたマンガンやクロムやニッケルなどの金属は微粉末にすれば酸素と反応しますが、反応後の生成物は公害物質ですから回収しなければならず、これらの金属も汎用性に欠けます。鉄の微粉末は酸素と反応して脱酸素材として働きますが、価格が安く、しかも反応後の生成物は地球上のどこにでも存在する酸化鉄ですから廃棄がきわめて容易で、高い経済性があります。

鉄などの金属を微粉末にして表面積を大きくする方法が種々考えられてきました。Raney の考案した方法では、ニッケル金属とアルミニウム金属を一緒に溶かして合金とします。アルミニウム金属は水酸化ナトリウムと反応して水に溶けますから、ニッケルとア

ルミニウムが一樣に混ざっている合金を水酸化ナトリウムで処理しますと、水に溶けないニッケル金属だけが固体として残ります。結果としてアルミニウムのあった所が空洞になりますから、多孔質の微粉末を作ることができます。Raney の考案したこの方法はニッケルばかりでなく、鉄やコバルトにも応用することができ、実験室で反応触媒としてしばしば用いられていますが、大量生産には適していません。

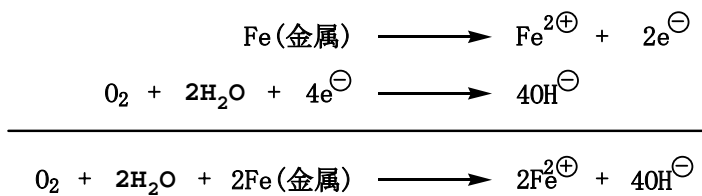
酸化鉄の粉末とコークスを一緒にして高温で加熱しますと、銑鉄のように炭素を含む鉄の微粉末ができます。このときできた粉末は Raney の合金のように鉄と炭素が一樣に混ざった状態になっています。これを水素で還元しますと炭素だけが炭化水素になって取り除かれますから、炭素のあったところが空洞になり、中に水素の吸着した鉄の多孔質の微粉末ができます。この方法で製造された鉄粉は還元鉄粉と呼ばれて工業的に供給されています。JFE スチールで供給されている商品は 0.05mm 以下の粒度の鉄粉を多く含んでいるようです。

高温の鉄は水と反応して水素と酸化鉄に変化しますが、そのとき反応が爆発的に進行します。高温に溶けた鉄に高压の水を吹き付けて冷却しますと、鉄は爆発しながら微粉末に粉碎され表面が酸化鉄で覆われます。この酸化鉄に覆われた鉄の粉末を水素で処理すると表面の酸化鉄が還元されますから、アトマイズ鉄粉(粉碎鉄粉)と呼ばれる 0.05mm 以下の粒度を持つ純粋の鉄粉を製造することができます。

鉄と酸素の反応は鉄が酸化され酸素が還元される酸化・還元反応ですから、式 6-1 に示すように鉄から放出された電子が水の存在下で酸素に吸収されて水酸イオンに変化する反応です。ただし、電子は負の電荷を持っていますから、 e^- で表しています。鉄を微粉末にして反応活性を向上しても、水の存在しないときには酸素と反応して脱酸素剤として働くことはありません。そのため、水分を多く含む食べ物と共に鉄粉の脱酸素剤を入れて缶や袋に封じ込めた場合には内部の酸素が円滑に取り除かれますが、乾燥した食べ物の場合には脱酸素剤の働きを示しません。このような脱酸素剤を水分依存型と呼んでいます。鉄粉には余り水分を吸着する傾向がありませんから、保水力を上げるために少量の食塩や活性炭を加えてあらかじめ水分を含んだ自力反応型にして、乾燥した食べ物にも利用できるように改良されています。

この鉄粉と酸素の反応は発熱反応ですから、活性な鉄粉を空気中に出せばすみやかに空気中の酸素と反応して発熱します。発熱した熱が逃げないように保温すればさらに反応温度を上がり、反

応の速度がはやくなりますから、火も電線も無い所でも発熱体として利用することができます。近年、広く用いられている使い捨てカイロは脱酸素剤とまったく同じ反応の機構で水を含んだ活性な鉄粉で作られている暖を取る商品です。



式6-1 鉄粉の酸素による酸化反応

食べ物を缶やプラスチックの袋に封じ込めたのちに内部の空気から酸素を取り除けば、食べ物は酸素と触れることが無くなり酸素酸化による変性も、微生物の繁殖による変性も抑えられますから長期保存が可能になります。このように酸素を取り除く物質として近年開発された多孔質の鉄粉は安価で、使用後の廃棄物が環境を汚染することも無いために経済的に有利で広く脱酸素剤として用いられるようになってきました。

犬も吐き出すキャベツの外葉

著者の愛犬はキャベツを毎朝夕に好んで食べており、キャベツの匂いや触る音を感じるだけで飛んできて貪り食ってしまいます。そのような愛犬を連れて日本一のキャベツの産地として知られている群馬県嬭恋村を旅行しましたが、その折に道路脇でキャベツを売っていただけだったので、車を止めて早速新鮮な収穫したてのキャベツを購入しました。愛犬は例によって早速キャベツの外葉に武者振り付きましたが、よほど不味かったのか一口噛んで吐き出してしまいました。帰宅してよく水洗いしたら、同じキャベツの外葉を喜んで食べてくれました。普通の人はそのような硬くて不味そうな外葉は食べませんから問題になりませんが、キャベツの外葉には水に溶ける何か不味い物が付いていたのでしょう。

インターネットで調べてみましたら、群馬県嬭恋村でキャベツを生産している森農園のホームページ (<http://www.mori-farm.com/>) を読むことができました。そこにはキャベツの生産におけるコナガなどの害虫や軟腐病などの微生物との戦を経て、虫食いの無い立派なキャベツが出荷される様子が記されています。特に9月初旬に収穫されるキャベツにどのような農薬を散布して微生物や害虫と戦っているか記されています。そこに記されている殺菌剤と殺虫剤はほとんど生物を駆逐する目的の化学物質ですから、当然人間にとっても

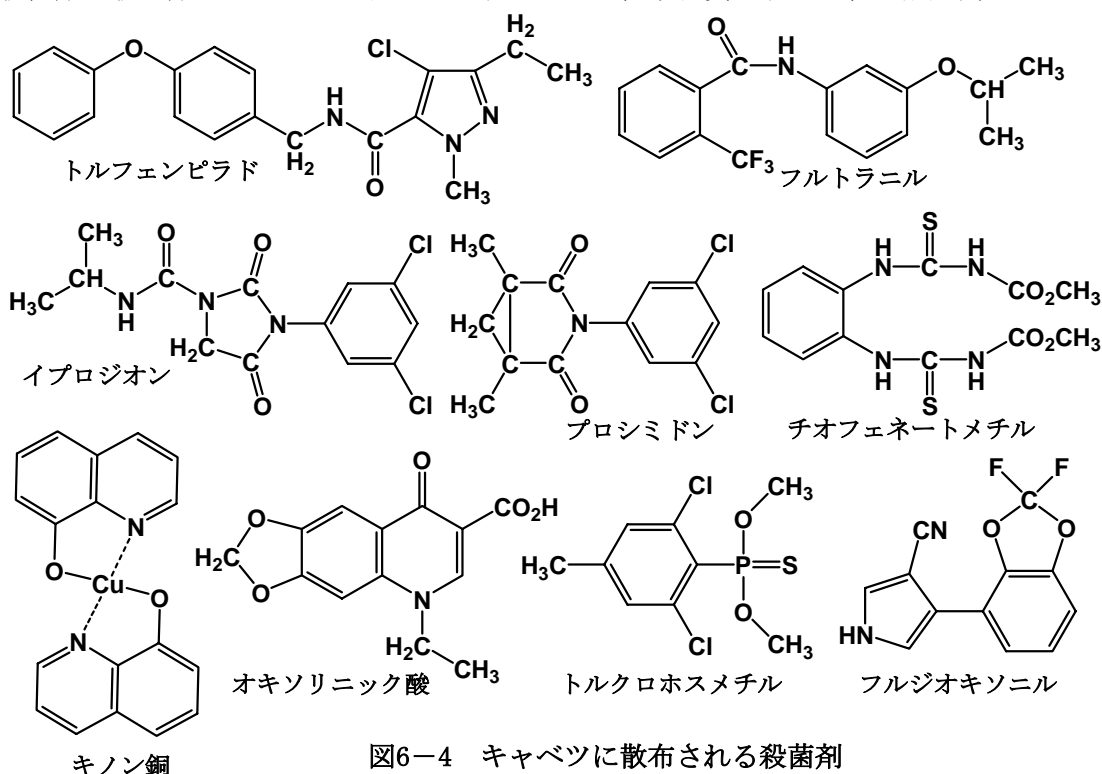


図6-4 キャベツに散布される殺菌剤

毒性が予想されます。そこで、微生物農薬を除くそれらの農薬の化学構造式を図 6-4 および図 6-5 にまとめておきます。ただし、エマメクチンは大きな分子ですので紙面の都合上 CH と CH₂ は折れ線で表しておきます。

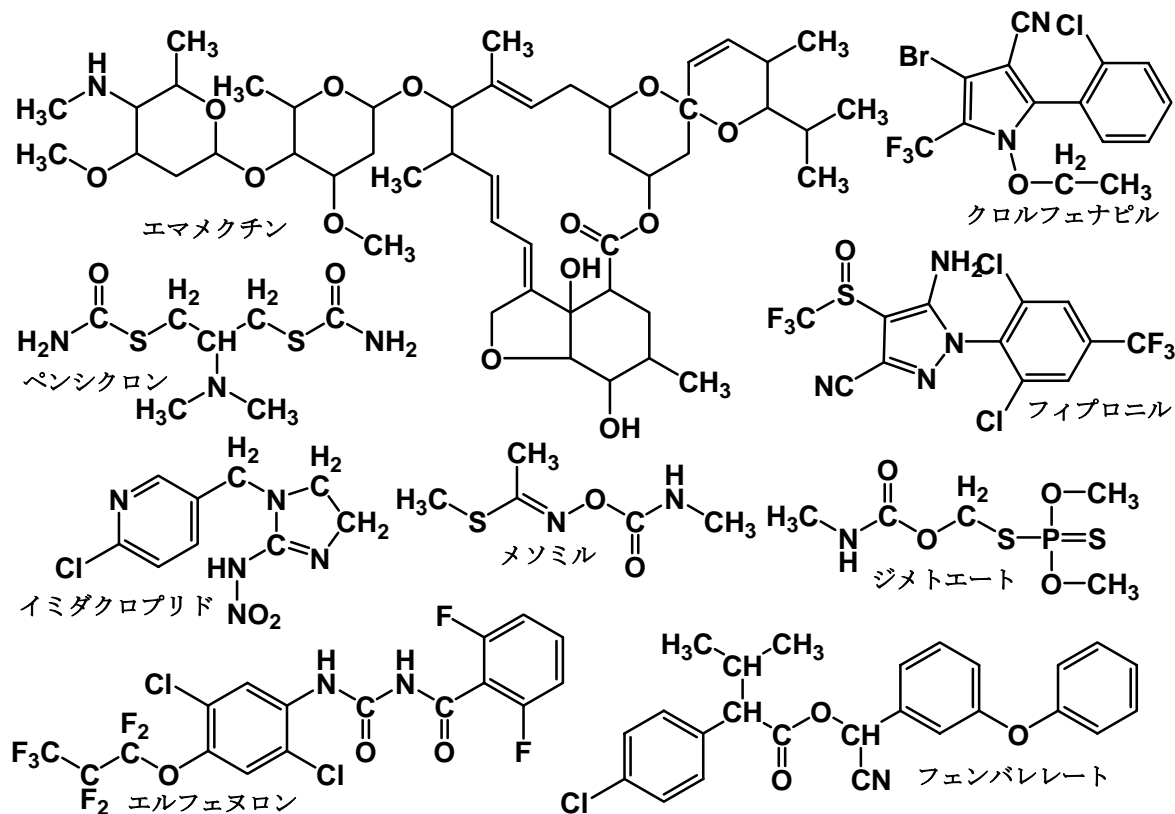


図6-5 キャベツに散布される殺虫剤

さらに、そこに記されている殺菌剤と殺虫剤の急性の毒性を示す LD₅₀ と慢性の毒性を表す ADI の値を表 6-4 にまとめました。毒薬として最もよく知られたシアン化カリウム(青酸カリ)の LD₅₀ と比較して、急性の毒性は格段に弱いことを意味していますが、ADI の値を比較しますとかなり強い慢性毒性を持っていることが分かります。つまり、少量の農薬を 2~3 回程度、口にしても人体には殆ど影響を与えませんが、習慣的にこれらの農薬が体内に入る場合にはかなり危険な性質を持っていることを意味しています。

硫酸銅と水酸化カルシウムを混合して調製するボルドー液は液の中では水酸化銅として存在していますから、太陽光にも酸素にも比較的安定です。また、水溶性を高めるためにキノン銅は銅の原子と 8-ヒドロキシキノリンと配位結合させて安定化させた化合物ですから、通常環境では安定な物質です。しかし、その他の表 6-4 に挙げた農薬は太陽光や酸素により比較的容易に分解されますから、長期間残留することは無いように思われます。また、散布の折に用いられる乳化剤の働きで、水によく溶けるようになっていますから、台所に届いたキャベツは食べる前に残存する農薬を洗い落とせば問題は無いように思います。

春先や秋の深まった季節のキャベツは虫や微生物との戦いも激しくないようで、あまり大量に農薬が散布されていないようですが、虫も微生物も美味しく感じるためか活動が激しくなりますから、最もキャベツの美味しい夏の季節には大量の農薬が散布されているそうです。夏の盛りの旬の季節に虫食いの無い美しいキャベツを食べると、愛犬の嫌いな農薬が体内に入る危険を伴います。農薬の危険を避けるためには虫が食べているような見掛けの悪いキャベツを選ぶ必要があります。現在の化学や農学の技術では二者択一を迫られていますが、将来は危険性の低い農業技術の発展により、見掛けが美しく味が良く安心して食べられるキャベツの生産される時が来るものと期待しています。

表 6-4 キャベツの散布される農薬の一例

薬剤	一般名	農薬名	LD ₅₀ (g/kg)	ADI (mg/kg/day)
殺菌剤	ボルドー液			
殺菌剤	フルジオキサニル	セイビア	5.000	0.0330
殺菌剤	イプロジオン	ロブラール	3.500	0.1250
殺菌剤	キノン銅		2.000	0.0170
殺菌剤	チオフェネートメチル	トップジン	6.640	0.0800
殺菌剤	オキシリニック酸	スターナ	5.000	0.0230
殺菌剤	プロシミドン	スマレックス	7.700	0.0350
殺菌剤	トルクロホスメチル	リゾレックス	5.000	0.0640
殺菌剤	フルトラニル	モンカット	10.000	0.0800
殺虫剤	イミダクロプリド	アドマイヤー	2.000	0.0840
殺虫剤	プロベナール	アドマイヤー	2.000	0.0200
殺虫剤	トルフェンピラド	ハチハチ	0.386	0.0056
殺虫剤	カルタップ	パダン	5.000	0.1000
殺虫剤	クロルフェナピル	コテツ	2.300	0.0260
殺虫剤	ジメトエート	ベジホン	0.300	0.0200
殺虫剤	フェンバレレート	ベジホン	0.450	0.0200
殺虫剤	メソミル	ランネート	0.017	0.0125
殺虫剤	チオジカルブ	ラービン		0.0300
殺虫剤	フィブロニル	プリンス	1.500	0.0002
殺虫剤	エマメクチン	アフーム	0.134	0.0025
殺虫剤	インフェスロン	マッチ	2.000	0.0047
	青酸カリ		0.003	0.0500

7. 料理を向上させる化学

料理の根源は化学変化

人間とけだものとの分けるものは文化であり、中でも食べ物を食べやすくまた美味しくするための料理は最も根源的な文化と思われます。けだものでも食べ物を地面に叩き付けたり、食いちぎったりして食べ易い形にします。我が家の愛犬が豚の大腿骨を食べるときには、食べ易いところから噛み砕いてゆきますが、歯の立たないときには根気よく歯をやすりのように使って周りの部分を削り落として行きます。人間は消化し易く栄養になりやすい形の食べ物を食べ易いと感じ、不足しがちな栄養を含む食べ物を美味しいと感じる習性を持っていると思われます。人間は道具を使う術を持っていますから、種々の工夫をして食べ難い骨や硬い繊維を取り除き、食べ易い形にしています。包丁を使って、太い骨を取り除き、食べ物を小さく刻むことにより、消化を助け栄養として吸収しやすくします。さらに、加熱や微生物の利用などの技術により栄養として吸収しやすい化合物に変化させています。このように食べ物を消化し易く栄養になりやすい形に変え、不足しがちな栄養を含む食べ物を摂取し易くする作業が最も根源的な料理と考えられます。

人間は雑食動物ですから、種々の食べ物を食べて生命の維持をするための活力となる栄養にしています。人間が基本的にエネルギーの源にしている物質はブドウ糖で、解糖反応によりピルビン酸まで分解し、さらにクエン酸サイクルの反応により二酸化炭素まで酸化分解してゆきます。この間に大量のエネルギーと物質を還元する能力を体の中に生み出します。口から摂取したでんぷんや砂糖を消化器官で加水分解してブドウ糖として腸で吸収し、筋肉や脳など人間の各部に移送し、その移送先でエネルギーに変えて活力にしています。また、人間の身体を構成している細胞はリン脂質が集まってできた細胞膜と多くの蛋白質でできています。これらの蛋白質やリン脂質も蛋白質や脂肪を食べて体の中で加水分解や縮合反応などの各種の化学反応により必要な形に組み替えられて人間の身体に作り上げられています。

身体の水分が不足すると渇きを感じて本能的に水を飲むように行動します。しかし、生命を維持するための活力となるぶどう糖の不足や身体を作り上げている蛋白質や脂肪は単独では摂取できません。そのため、体内のブドウ糖が過剰になったり、脂肪の摂取し過ぎが起こりかねません。さらに、人間の体液は海水と極めて近い濃度の食塩をはじめとする各種のミネラル類を含んでいますから、尿や汗として体液を排泄すれば当然食塩などの各種のミネラル類が不足してきます。このような身体の活力や構成素材となる物質の不足を補うように味覚や嗅覚や視覚が刺激して、本能的に食欲を促しています。身体から塩分が不足すると塩辛いものが美味しくなりますし、長時間の運動や重労働で身体の各部の活力が不足するときには、ブドウ糖を必要としますから、甘いものを食べたくなります。

逆に人間にとって不要の物質や害毒として働く物質は食欲を減退させ排泄を促すよう

に味覚や嗅覚や視覚が刺激して本能的に排除されるように働きます。蛋白質は腐敗し分解して毒性の物質を生成しますが、同時に二酸化炭素の脱離を伴ってアミン類が副生しますから、アミン類の特徴的な性質となる臭みや苦味を感知すると食欲を減退させます。また、糖類が腐敗すると二酸化炭素を発生しながらエタノールに変化し、酢酸やクエン酸に分解してゆきますから、酸味の強い味になります。そのため、人間は本能的には酸味の強い食べ物を嫌います。さらに毒性の物質は紫色や赤色などの色をしていることが比較的多いため、どぎつい色をした食品を人間は敬遠します。

20世紀半までは電気冷蔵庫が普及していませんでしたから、我が家の台所に登場していた食材はそれぞれ季節の旬のものばかりでしたし、ほとんど国内、特に著者の住んでいた地方で生産されたものばかりでした。そのため、食材の種類も少なく生産されてから短時間に消費されていましたが、それらの限られた食材の腐敗するまでの変化や時間や食中毒などに関する知識を十分に持っていました。微生物や空気などによる変化の仕方や早さが蛋白質と糖質と油脂では異なりますから、それぞれの食材の最も美味しい食べ方が違います。魚の油は短時間に酸化して変性しますから、新鮮さが味を保つためには極めて重要ですが、蛋白質は魚といえども時間をかけて徐々に加水分解を進めることで旨味を増すと思われまます。鯖や鯛や秋刀魚などの青い魚は酸化されやすい不飽和脂肪酸を多く含みますから新鮮さが味に影響を与えますが、平目や鯛などの白身の魚は多少時間を置いたほうが味の深まりを齎すように思います。このような食材による最適な食べ方を板前さんやシェフでなくとも家庭の主婦も熟知していました。

このように身体の活力や構成素材となる物質の不足を補うために、本能的に脳が味覚や嗅覚や視覚を刺激して、美味しく食物を食べられるように食欲を増進します。食物の供給が遅れて空腹になったときには、本能が目覚めて味覚や嗅覚や視覚が鋭敏になり、「空腹は最良の調味料」といわれるように、食物を美味しく食べることができます。しかし、近年の飽食の時代には、活力や構成素材となる物質の不足することがほとんどなくなりましたが、食欲を増進するために味覚や嗅覚や視覚が食物を美味しくする本能は人間に残っています。酸化や重合の反応が起こっていない不飽和脂肪酸を含む新鮮な魚、アミノ酸を多く含む牛や豚の肉、容易にブドウ糖に分解し易いでんぷんを含むお米が甘くて美味しい食べ物として好まれます。

料理法の基本は化学の技術

身体の活力や構成素材となる物質の不足を補うために、本能的に脳が味覚や嗅覚や視覚を刺激しますから、「空腹は最良の調味料」といわれるように、空腹時に食物を美味しく食べることができます。しかし、身体の状況ばかりでなく食材を食べ易くしかも消化しやすくする料理によっても食べ物の味は変わります。テレビの料理番組や食べ歩き番組などで出演者が食べ物を賛美するために、「柔らかくて美味しい」と「甘くて美味しい」の2つの表現が多く用いられていますが、これらの表現は体内に吸収しやすいように形を変えられ

た食べ物が好まれていることを示していると思われます。

料理のはじめに、食材の食べられない部分を取り除いたり洗い落としたりして、食材の下拵えをします。ついで、食材を切り刻み、煮たり焼いたり炒めたりしてより消化しやすい形に変わるように料理します、同時に不足し易い砂糖や食塩などの調味料で味付けをします。また、長時間熟成させて食肉の中にアミノ酸を増加させています。麹菌や酵母などの微生物の助けを借りて、食物中のでんぷんや蛋白質を加水分解し、酸化分解をして旨味成分や甘味成分やエタノールを増加させます。

蒸したり凍らせたりする料理法は水の性質を上手く利用したものと考えられますが、近年になって水の性質を巧みに利用した、凍結乾燥法や圧力鍋や電子レンジなどの技術が開発されて調理法が広げられたように思われます。さらに、旨味成分や甘味成分や砂糖や塩を加えて調味します。醤油や味噌などにより旨味成分のアミノ酸を加えることで東洋の食文化を豊かにしてきましたが、近年になって化学的に合成したアミノ酸やヌクレオチド類を化学調味料として加えて、旨味を増すようになりました。このようにして、脳が刺激して益々味覚や嗅覚や視覚から、美味しく食物を食べられるように食欲を増進しています。結果として、多くの人が栄養過剰になり、肥満になりますから、身体の各部に負担がかかり成人病を引き起こす原因になっています。

食べ物を消化し易く栄養になりやすい形に変え、不足しがちな栄養を含む食べ物を摂取し易くする料理の文化のほかに、食べ物を貯蔵して安定した生活を維持することも重要な食文化と思われれます。しかし、食べ物は種々の要因により変性して行きますから、長時間にわたり食べ物を貯蔵することは困難で、そのための技術開発や工夫が文明の発祥以来なされてきました。食べ物の変性には食べ物由来の性質による変性と外的な要因による変性があり、外的要因には化学変化などによる変性と微生物による変性があります。そのために乾燥、塩蔵、燻製など腐敗を引き起こす微生物の繁殖による変性を抑えて長期保存がなされてきました。

さらに冷凍技術の進歩により長期保存が容易になり、食材の産地が世界中に広がり、旬に季節が無くなってしまいましたから、味も香りも色も並外れたものまで台所に登場するようになりました。遠く南洋やアフリカや南アメリカの沖合いで取れた魚も数年前の魚も魚屋の店先に並びます。低い温度の状態では、微生物はほとんど繁殖できませんから、腐敗することはあまりありませんし、空気による酸化反応もきわめて遅くなりますから、不飽和脂肪酸の変性などもあまり起こりません。しかし、水は 100℃で沸騰して水蒸気になりますが、0℃以下の低温においても僅かながら蒸気圧を持っていますから、次第に水蒸気になって水分が冷凍品から失われてゆきます。さらに、細胞中の水分の凍結が起こり、細胞膜が破壊されますから、細胞中の香り成分やビタミン C などが解凍の折に失われやすくなります。また、運搬技術が向上して、海で網にかかった魚を生きたまま遠く離れた家庭のまな板の上に載せる技術まで完成されています。新鮮さを保つ方法の極みのように思えます。しかし、魚は生きていればエネルギーを消費しますが、悪い環境では十分な栄養

の補給が出来ませんから、おのれの身をやつしてゆきます。新鮮さを保つために痩せて身のない魚にすることもあります。高い経費をかけて鮮度を保ちますが、味や香りを完全に保つことは極めて困難です。

科学の進歩は農業や漁業を工業化させることになり、食べ物の長期保存や料理の簡便化のために種々の化学物質が台所に入り込む結果を招いています。シリカゲルや脱酸素剤のように人間の身体にとって比較的毒性の少ない物もありますが、危険と思われる毒性を示す化学物質も台所に侵入してきています。人間とけだものとを分けるものは文化であり、中でも食べ物を食べやすくまた美味しくするための料理は最も根源的な文化と思われます。料理が人間を滅ぼす文化ではなく、健康で幸せな生活を築き上げる文化になるように化学的知識も取り入れて進歩しなければならないでしょう。

索引

- あ**
- 亜硝酸ナトリウム 63
- アゾ化合物..... 64
- 圧力29, 34, 35
- 圧力鍋.....29, 31, 73
- アトマイズ鉄粉..... 67
- 焙り出し 61
- アミノ酸 17, 18, 23, 25, 27, 45, 47, 49, 52,
54, 55, 57, 64, 72, 73
- アラニン 26
- アルギニン..... 26
- アルキルベンゼンスルホン酸 14
- アルコール.....8, 10
- アルデヒド.....28, 46, 55, 56, 57, 64
- アンモニウム 8
- い**
- イオン7, 8, 9, 12, 14
- イオン化ポテンシャル..... 39
- イオン結合.....8, 12
- 1重項酸素 47
- 1重膜..... 9
- 陰イオン8, 12
- 陰イオン性..... 43
- う**
- 運動エネルギー.....29, 30, 35, 36, 43
- え**
- ADI.....62, 63, 64, 69, 70
- 液層24, 38
- 液体 .6, 7, 8, 19, 24, 29, 30, 31, 34, 35, 37,
38, 43, 55, 60, 65
- エステル ..9, 13, 14, 15, 16, 22, 45, 46, 47,
49, 55, 64
- エタノール26, 73
- X線 39, 40, 44
- LD₅₀ 48, 49, 53, 54, 62, 63, 64, 69, 70
- 塩化カルシウム59, 60, 61
- 塩化コバルト61
- 塩干加工品52, 63, 65
- 塩基性 7, 9, 21
- エンタルピー..... 7, 20
- エントロピー..... 6, 7, 8, 38
- か**
- 解凍 35, 44, 51, 73
- 界面活性剤 9, 12, 13, 14, 15, 16, 38, 49
- 解離 7, 8
- 可視光線..... 39, 40, 41, 43
- 加水分解.. 9, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 45,
47, 51, 54, 71, 72, 73
- 加水分解酵素..... 23, 45
- 活性化エネルギー..... 20
- カテキン 25, 46, 63
- カテコール 46, 63, 65
- 果糖 26
- カフェイン 25, 27, 49
- カプサイシン 26, 28, 49
- カルボン酸 10
- カロチン 23, 28
- 還元鉄粉 67
- 乾燥剤 59, 60, 61
- γ線 39, 40
- き**
- 気化 27, 30, 31, 33, 34, 35, 36
- 気化熱 32, 33
- 基質 19, 20, 21, 45
- 気体7, 20, 29, 30, 31, 33, 34, 35, 38, 43, 46,

	55, 63, 65
気体生成物.....	55
気体定数.....	20, 29, 38
キノン.....	46, 63, 69, 70
吸収.....	41, 42
急性毒性.....	48, 49, 53, 62, 64
吸着力.....	61
凝固点降下.....	36, 37
凝固点降下度.....	36
凝縮.....	31, 33, 61
共有結合.....	40, 41, 42
極性分子.....	43

く

クエン酸.....	26
グリシン.....	7, 26
グリセリン.....	9, 11, 12, 17, 18, 19, 22, 46, 47,
	49
グルタミン酸.....	26
クレゾール.....	11, 55, 56, 57
燻製.....	55, 56, 57, 58, 73

け

結合エネルギー.....	40, 41, 42
ケトン.....	46, 55
嫌気性微生物.....	48
懸濁液.....	27, 32, 37

こ

好気性微生物.....	48
光合成.....	16
麹菌.....	73
硬水.....	10, 12, 13, 15
高分子化合物.....	55
酵母.....	73
固化.....	31, 34
極超短波.....	39, 40

固体.....	19, 21, 24, 25, 27, 29, 30, 31, 34, 35,
	37, 43, 60, 61, 65, 66, 67

固体生成物.....	55
コバルトブルー.....	61
コラーゲン.....	25

さ

細胞膜.....	16, 35, 37, 38, 53, 71, 73
酢酸.....	26
殺菌剤.....	62, 68, 69, 70
殺菌力.....	54
殺虫剤.....	62, 68, 69, 70
砂糖.....	6, 26, 37, 73
酸化.....	8, 9, 15, 25, 31, 46, 52, 55, 56, 58, 59,
	63, 64, 65, 66, 67, 68, 72, 73
酸化・還元反応.....	67
酸化カルシウム.....	60, 61
酸化還元電位.....	65, 66
酸化剤.....	57, 63, 65
酸化防止.....	57, 58, 63, 65
酸化防止剤.....	57, 58, 65
3重結合.....	8
酸性.....	7, 9, 21
酸性度.....	10
酸素.....	8, 12, 14, 15, 31, 40, 41, 42, 43, 46, 47,
	48, 50, 55, 56, 57, 63, 64, 65, 66, 67, 68,
	69
3態.....	29, 34, 35

し

塩漬け.....	53, 54, 57
紫外線.....	39, 40, 41, 43, 44
σ結合.....	41
自己分解.....	45, 50
脂肪.....	9, 10, 12, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 23,
	45, 47, 52, 55, 64, 71, 72, 73
脂肪酸.....	9, 10, 12, 15, 16, 17, 18, 19, 22, 46,

	47, 52, 55, 57, 64, 72, 73
自由エネルギー.....	20
重合.....	15, 31, 47, 52, 72
酒石酸.....	26
昇華.....	31, 32, 50
消化.....	12, 17, 18, 21, 22, 23, 29, 31, 45, 71,
	72, 73
消化酵素.....	17, 18, 21, 23, 51
醸造.....	31
状態方程式.....	29, 33, 38
蒸留.....	3, 4, 31, 55
食塩.....	8, 26
食肉加工品.....	63
触媒.....	3, 21, 22, 23, 45, 47, 67
食品添加物.....	16, 62, 63, 64, 65
除草剤.....	62
シリカゲル.....	24, 59, 60, 61, 74
浸透圧.....	38, 39, 53, 54, 55
振動数.....	39, 40

す

水蒸気.....	22, 30, 31, 32, 33, 34, 41, 59, 73
水素結合.....	6, 7, 8, 12
水素陽イオン.....	9
ステアリン酸.....	26

せ

正電荷.....	8, 12
赤外線.....	40, 41, 42, 43, 44
石鹼.....	4, 9, 10, 12, 13, 14, 16
セリン.....	26
セルロース.....	17, 55

そ

相変化.....	31
ソックスレイ抽出器.....	27

た

多孔質.....	66, 67, 68
多重結合.....	8
脱酸素剤.....	65, 66, 67, 68, 74
脱水.....	22, 39, 53, 54, 55, 57
炭化水素.....	7
炭水化物.....	17
タンニン.....	25
蛋白質.....	17, 18, 19, 21, 23, 24, 32, 34, 45, 47,
	48, 54, 55, 58, 64, 71, 72, 73

ち

致死量.....	48
中間の状態.....	20
抽出.....	3, 4, 24, 25, 27, 28, 32, 35, 39
潮解性.....	60
長波.....	39, 40, 43

つ

漬物.....	53, 54, 55, 57, 58
---------	---------------------------

て

出会いの反応.....	19
電磁波.....	39, 40, 41, 43, 44
電子レンジ.....	43, 44, 73
電場.....	43
でんぷん.....	18, 19, 21, 22, 23, 31, 37, 47, 51,
	58, 71, 72, 73

と

凍結.....	19, 32, 35, 50, 51, 73
凍結乾燥.....	32, 35, 73

な

軟水.....	10
---------	-----------

に

二酸化炭素.....	8
------------	----------

2重結合	8, 40, 46, 47
ニトロソアミン	64
乳化剤	69
乳酸	26, 47, 49, 54
乳糖	26

ぬ

ヌクレオチド	27, 73
--------------	--------

ね

熱エネルギー	43
熱輻射	41

の

農薬	6, 8, 62, 68, 69, 70
----------	----------------------

は

π 結合	41, 42
ハイドロキノン	46, 63, 65
波長	39, 40, 41, 42, 43, 44
発芽	51, 52, 53, 59
発ガン性	55, 62
発がん性	62, 64
発光	41
醗酵	31, 47, 54
半透膜	38, 53
反応速度定数	19, 20, 21

ひ

pKa	9, 10, 13
光エネルギー	39, 40, 41, 42, 43
微生物農薬	50, 69
ビタミンE	26, 63, 65
ビタミンA	26
ビタミンC	25, 26, 46, 63, 65, 66, 73
ビタミンD	23, 26, 28
必須アミノ酸	18
皮膚	47, 52

表面積	7, 17, 19, 21, 25, 60, 66
-----------	---------------------------

ふ

フィルター	24, 37, 58
フェノール ..	10, 11, 46, 49, 55, 56, 57, 62, 63, 65
フェノールーアルデヒド樹脂	56, 57, 58
沸点上昇	36
沸点上昇度	36
負電荷	8, 12
ブドウ糖 ..	7, 13, 16, 17, 18, 26, 47, 49, 55, 71, 72

腐敗 ..	47, 50, 51, 52, 54, 56, 57, 58, 72, 73
不飽和度	52
プラスチック	6, 8, 43, 52, 56, 65, 68
プランク定数	39
ふるい	23, 24, 37
フルフラール	49, 55, 56, 57
プロテアーゼ	45, 55
分子間力	29, 30, 33, 35
分配平衡	25

へ

平衡	6, 10, 20, 38, 45
平衡定数	6, 20, 38
ベークライト	56
ベンゼン	7

ほ

防カビ剤	62, 63
芳香族炭化水素	56
防腐効果	56
ポストハーベスト	61, 62

ま

マイクロ波	40, 43, 44
マイクロ波加熱	43
マグネシウム	8

慢性毒性48, 62, 69

み

味覚物質 37

水の状態図.....30, 31

め

メチオニン..... 26

も

木酢液.....55, 56

モレキュラシーブ59, 60

ゆ

融解 35

油滴 7

よ

陽イオン7, 8, 9, 12, 14

陽イオン性..... 43

溶液9, 10, 11, 19, 21, 24, 27, 31, 32, 36, 37,
38, 54, 60, 61

溶解度 6, 7, 10, 25, 26, 39

溶媒. 3, 6, 9, 10, 19, 22, 23, 25, 27, 29, 36,
38, 39, 45

り

リグニン 55

理想気体 29, 33

リパーゼ 45

リボース 26

リン脂質 38, 71

れ

励起状態 41

冷凍 31, 35, 45, 50, 51, 73

冷凍食品 35, 37, 44, 50, 51

錬金術 4

ろ

ろ過 3, 23, 24, 27, 37