

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 (S) 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、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	20	40	60	80	100
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、 ΔK 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やすから水に溶け込んでゆくと思われやす。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。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、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れても、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。

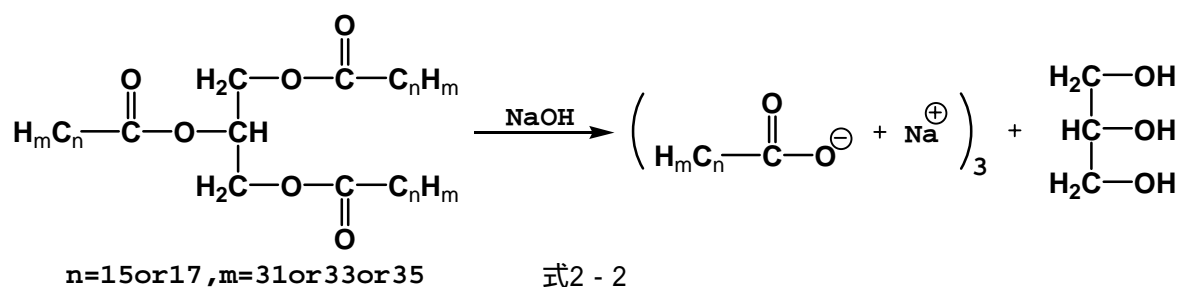
液状の水は水素結合をしているために、水を構成している水素原子は若干ながら正電荷を帯び、酸素原子は同じく僅かに負電荷を帯びています。一方、イオン結合性の物質は水の中で陽イオンと陰イオンに解離し、両イオンはそれぞれ電荷を帯びます。この電荷を帯びたイオンが正負に若干電荷を帯びた網目の中に入り込んで、そのイオンの電荷が適当に分散できるために安定化し、水素結合を切ることによるエネルギーの損失を打ち消します。このため、水酸化ナトリウム、塩化水素、硫酸、食塩、塩化マグネシウムなどのイオン結合性の物質は水によく溶けますし、鉄やコバルトなどの金属のイオンも水に溶けます。また、二酸化炭素、酸化窒素、アンモニア、二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

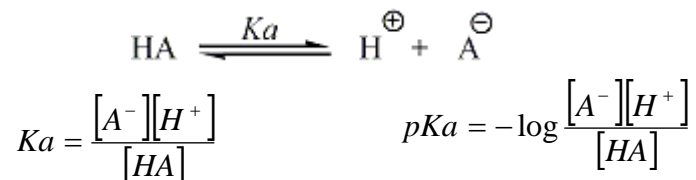
水によく溶ける部分構造と溶け難い部分構造を同一の分子の中に持つ物質を水の中に混ぜ込むと、水に溶け易い部分が外側に並んで膜が作られ、内側が油と馴染み深く、外側が水と馴染み深い膜となります。このような1重膜の風船が大きな水の塊の中に出来ると、あたかもフラスコのような小さな油の別世界が生まれることとなります。このとき、水の網目の中に入り込むことの出来ない油などの物質は水に溶け難く水の中では居心地が悪いので、この油滴の中に逃げ込んで安定な状態になります。本来水に溶け難い油が1重膜に囲まれた小さな油滴となって水の中に拡散するようになり、このような現象を乳化と呼んでいます。また、乳化を起こす性質を持つ物質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

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

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

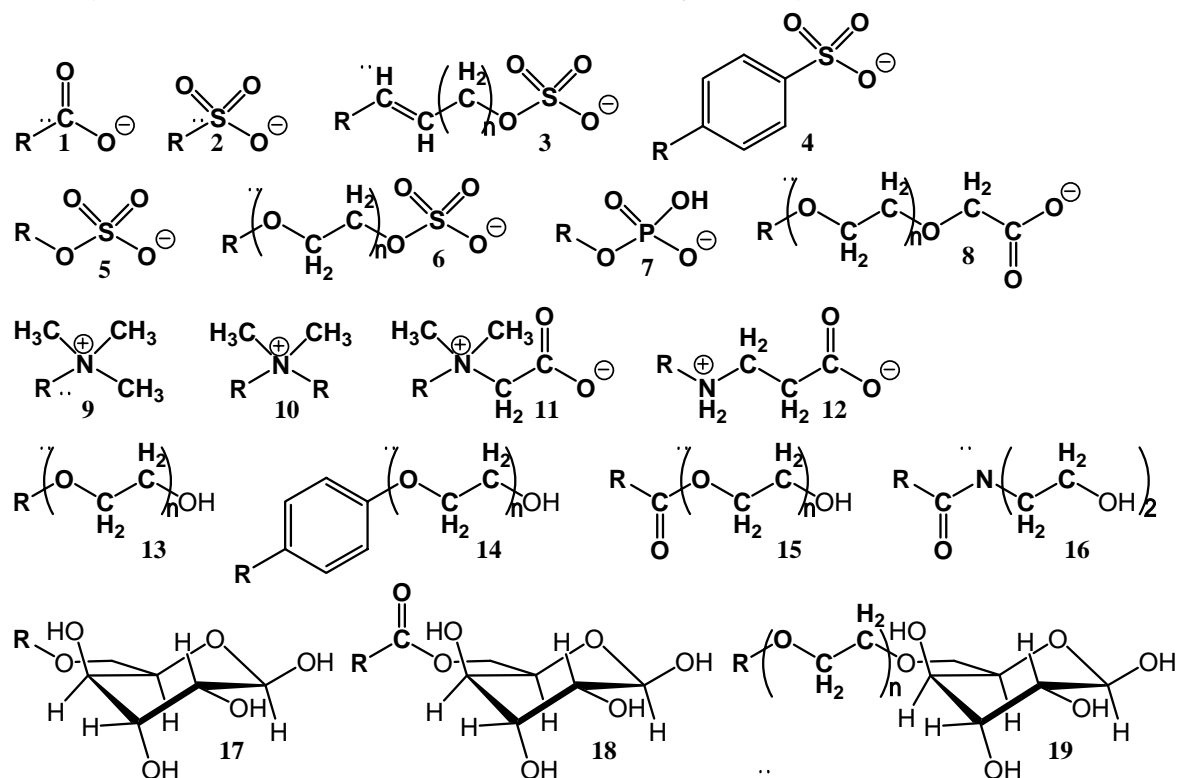
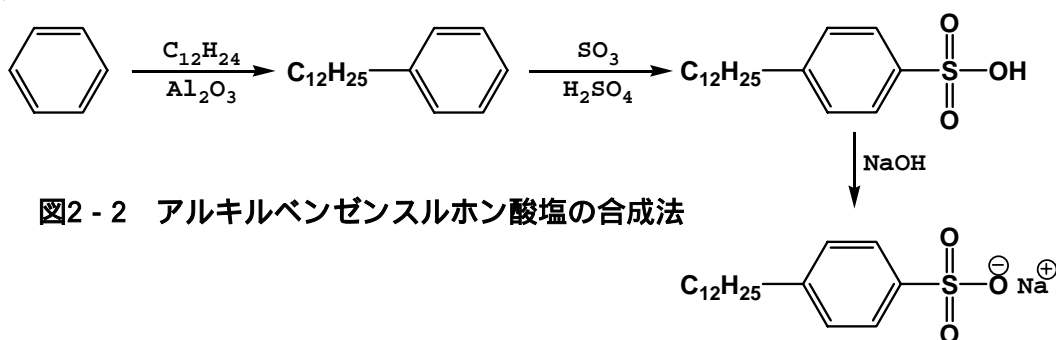


図2-1 代表的な界面活性剤

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。

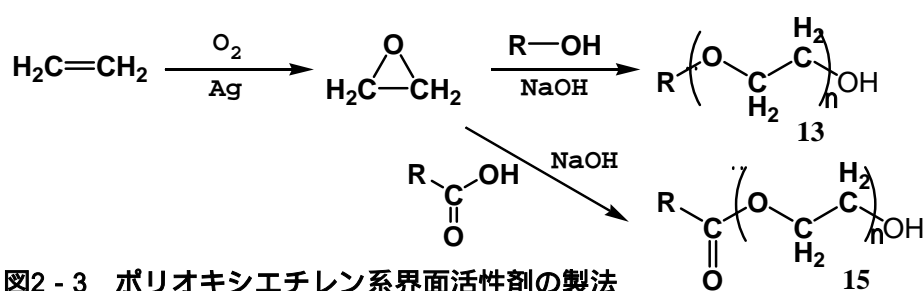


別段価格が高いわけではありませんが、長い炭化水素鎖を持つアルコール類を高級アルコールと呼んでいます。この高級アルコールの部分構造を一つ持つ硫酸エステルナトリウム塩 (図 2 - 1、5) は高級アルコールと硫酸から容易に合成できる中性の界面活性剤です。同じように高級アルコールりん酸エステルのナトリウム塩 (図 2 - 1、7) も界面活性性

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。



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。