

界面活性剤の作用[1]：表面張力とは

(Ver.1.00, 2004.11.22)

横浜国立大学教育人間科学部 大矢 勝

界面活性剤の性質を論じる際、表面張力、また界面張力という用語がよく使われます。ここではまず表面張力と界面張力についての知識を整理することにしましょう。

表面張力とは界面張力的一种ですから、まずは界面張力からみていきましょう。界面とはお互いに混ざり合わない2相の接触する面を意味する言葉です。ここで相とよんでいるのは、気相（気体の領域）、液相（液体の領域）、固相（固体の領域）を指します。よって、2相の界面とは気相と液相、気相と固相、液相と液相、液相と固相、固相と固相の5つの組み合わせにおける界面です。気体はどのような種類のもので混ざり合ってしまうので気相と気相の界面というものは存在しません。液相と液相という組み合わせも気相同士と同様に混ざってしまうのではないかと思いがちですが、ここで指す2種の液相とは、水と油のように混ざり合わないものを想定しています。

表面張力とは、これらの界面張力の中の片側が気相である場合の別称です。すなわち液体の表面張力は気相と液相の界面張力、固体の表面張力は気相と固相の界面張力をそれぞれ示します。

続いて界面張力はどのようなものかをイメージすることとしましょう。簡単にいえば、表面張力とは「界面の面積をできるだけ小さくしようと働く力」と表現できます。たとえば、水道の蛇口から水がごく少量もれている状態を想像します。当初は水の流が非常に細くなっていきますが、更に流水量を少なくすると、水滴としてポタリポタリと落下する状況になっていくことが思い浮かぶでしょう。なぜ、もっと細い水流になるのではなく、水滴(球状の塊)に変わるのでしょうか。

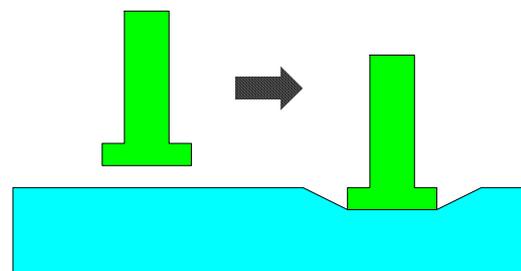
実はある一定の体積の物質が、その表面積を最も小さくする形状が球形なのです。よって、水滴は少量の水の塊がその表面積を最小にしようと

して球形になったものなのです。その原動力が水の表面張力（=気相と液相の界面張力）です。

水の表面張力の説明の際に用いられる事例としてアメンボが水の上に浮く現象が取り上げられることが多いようです。アメンボが水に浮くのは水の表面張力によるものだという説明です。実際、アメンボが水の上に浮いているのは水が大きな表面張力を有しているためで、水の表面張力を小さくしてやるとアメンボは水中に沈んでしまいます。では、アメンボが水上に浮く現象と表面張力との関係をもう少し詳しくみていきましょう。

アメンボが水面に脚を乗せていますが、その先は水にぬれにくい性質になっています。よって、アメンボの脚が水中に入り込もうとすると、水の表面に変形が生じます。水の表面はもともと水平な平面で、その状態で水面は最小面積です。アメンボの脚が水中に入り込もうとすると、水面の面積が広がろうとします。一方、水の表面張力は水面の面積が広がろうとするのに抵抗する力であり、アメンボの脚が水中に入り込もうとするのを防ぐように作用します。

水にぬれにくい固体の侵入に対応した水面形状の変化



アメンボが水に浮く理由の最大のポイントは、実はアメンボの脚の先端が水にぬれにくい性質・構造になっていることなのですが、それによ

って水の表面張力を水面上に体を支える力にそのまま利用することができるようになっていきます。アメンボの脚がぬれやすいのならば、アメンボの脚が水中に入り込んでいく際に水面の面積変化は小さくなってしまい、表面張力はアメンボが浮くための力として作用しません。

いずれにしても、水にぬれにくい固体が水中に入り込もうとした際には水面の面積が大きくなるのですが、水の表面張力は水面の面積変化をなくする方向に作用するため、結果的には水にぬれにくい異物が水中に入り込もうとするのを防ぐこととなります。

もともと、ある固体物質が水に浮く・沈むを決定するのは、水に対してその固体物質の比重が大きいかが小さいかが最も重要な要因となります。しかし接触面を水にぬれにくい性質にすると、その固体物質が水に沈み込むことによる水面の面積変化に抵抗するように表面張力が作用し、結果的に水に浮きやすくなるのです。

さて、この表面張力とは具体的にはどの程度の大きさなのでしょう。事例からみてみましょう。表面張力の単位は mN/m で表すのが一般的です。以前は dyn/cm で表していたことも多かったのですが現在は mN/m が基本です。どちらの単位を使用しても数値の部分には変わりはありません。

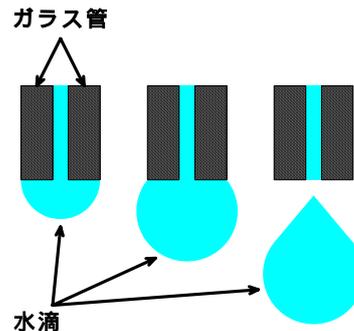
そして、水の表面張力は 20°C で 72.8mN/m 、エタノールの表面張力は 22.27mN/m となります。水の表面張力は一般の液体の中で最大です。但し、水銀では 482.1mN/m (25°C) というとてもない大きな値を示しますが、これはあくまで例外として扱います。

さて、水の表面張力を実際にどの程度の力なのかを考えてみることにしましょう。水道の蛇口から水滴がポタリポタリと落ちていく際、水滴が球形に近い形状を示すのは水の表面張力が働くためであると説明しましたが、その水滴の大きさも表面張力に関係します。その水滴の大きさとの関係で考察します。

ここに、外径 5mm のガラス管があるとしましょう。内径は 1mm 程度であるとします。すると、下図のようにガラス管の下面に水滴が成長し、そ

の重量がガラス管と水滴を結び付けている力を上回ると、水滴が落下することになります。その水滴とガラス管とを結び付けている力は、ガラス管の下面の外側周に沿って作用している表面張力です。すなわち、ガラス管外周長に沿ってはたらく表面張力が、落下する液滴一つ分の重量に釣り合っていることとなります。

ガラス管から水滴の落下過程



では、実際に外径 5mm のガラス管から落下する水滴の重量を計算してみましょう。温度は 20°C とします。外径 5mm であれば、外周長は 15.7mm となります。 72.8mN/m の表面張力が 15.7mm の長さに作用するので、結局1つの水滴に作用する重力に対して 1.14296mN 作用しています。

1kg に 1 m/s^2 の加速度が作用すると 1N になるので、 1g に重力加速度 (9.80665m/s^2) が作用すると約 9.8mN となります。すると、 1.14296mN に対応する水滴の重さは $1.14296 / 9.8 = 0.117\text{g}$ となります。これは、 0.117mL 、または 117mm^3 となります。これは、一辺 4.89mm の立方体の体積です。また球の体積は $\frac{4}{3} r^3$ で表されるので、逆算すると半径 3.03mm の球の大きさになることがわかります。直径 5mm のガラス管から滴下する水滴が、直径約 6mm ということになり、ほぼ図に示したような状態で水滴が落下していることがわかります。但し、実際にはこの理論をそのまま適用すると、数十パーセントの誤差が生じるので補正係数が必要となります。

このように、外径 5mm のガラス管の周長にはたらく水の表面張力で、そのガラス管の径よりも少し大きな径の水滴に作用する重力と釣り合うこととなります。