

撥水について

3601 足立大樹

3535 松田大海

3610 片山陽介

<要旨>

世の中には水をはじく必要のあるものが多く存在する。私たちは撥水作用と、前述のものに応用できる構造の発見を目的として研究を行った。撥水に関係のある、細かい突起やワックスに水を垂らして観察し、表面張力が撥水に関わっていることを証明した。器具を用いて水滴の動き始める角度を調べたりするなどの様々な実験を行った。また、アメンボやハスの葉などを用いて自然模倣的な撥水表面の構造を確認した。結果として、撥水には水の表面張力を保つ媒体が必要であると分かった。それは、極端に水の結合に力を加えない、楕円形の構造であると結論を得た。

1. 目的

水をはじくと便利な物 (傘、フロントガラスなど) に応用できる撥水構造を発見する。

2. 使用した器具

- ・ヨーグルトのふた(2種類)、ホオバの葉、(実験1)
- ・ハスの葉、ブロッコリー (実験2)、
- ・自作した器具、スポイト、ロウソク、里芋の葉、蟬の羽、キャベツ (実験3)
- ・一円玉、アメンボ、界面活性剤 (実験4)
- ・クリップ (実験5)
- ・ピアノ線、爪楊枝、髪の毛、針(金属) (実験6)

3. 実験の手順・結果

『実験1』

【方法】…ホオバの葉と2種類あるヨーグルトの蓋を用意してそれぞれスポイトで水を垂らして接触角を調べた。

【仮説】…葉は、その表皮にある細かい毛によって水をはじく。

【結果】…ホオバの葉は表側より裏側の方が接触角が大きかった。

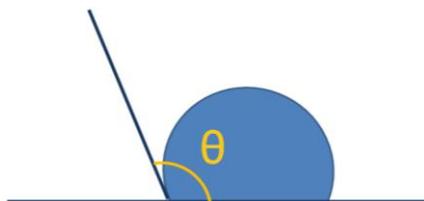
ヨーグルトの蓋のつぶつぶした突起が付いている方がつるつるの面よりも非常に接触角が大きかった。

『実験2』

【目的】…前回の実験において突起がある表面に効果的な撥水性が見られたため、表面に多数の突起があるブロッコリーでも水をはじくのか調べる。

【方法】…ブロッコリーに水を垂らして接触角を観察した。

※接触角…水滴と固体のなす角



【仮説】…凹凸があると水をはじく。

【結果】…最初は非常に大きい接触角を示した。しかし、ブロッコリーを水洗いしたところ、全く撥水性を示さなかった。

『実験3』

『目的』…前回の実験から植物の表面にあるワックスでも水をはじくことが分かった。そこで、水をよりはじく物を調べるために、ワックス、毛状の構造のどちらの方が水をはじくのかを調べる。

【方法】…凹凸のある物質とロウが付いている物質をそれぞれ用意し、水が転がり始めるときの斜面の角度を、自作した測定機で調べた。(下図)

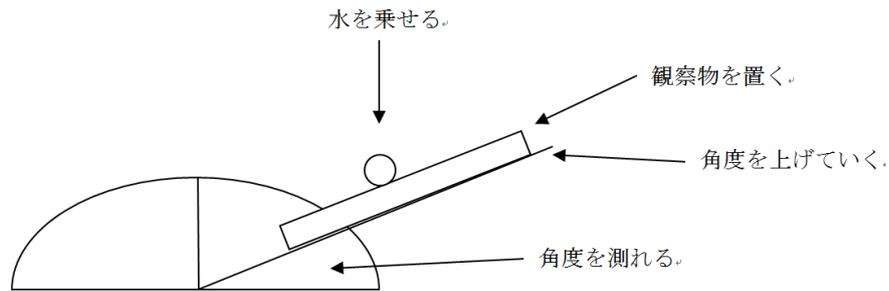


図1

【仮説】…毛の方がワックスよりも毛をはじく。

【結果】

表1

物質名	ろうそくの ロウ	キャベツ	里いもの葉 (小さい)	里いもの葉 (大きい)	蝉の羽
角度	21°	45°	33°	10°	20°

『実験4』

『目的』…前回の実験から自然界に水をはじく構造が存在していることが分かった。ここで、生物の代表として、自らの体が水に沈むのを防いでいるアメンボを用いて水をはじく仕組みを探る。

【方法】…アメンボが水に浮く仕組みは、水の表面張力とアメンボに働く重力とが釣り合っている事だと分かったため、アメンボを浮かせて界面活性剤を入れてみた。

【結果】…アメンボが沈んだ。

『調査』

水の表面には、表面張力が働いている。その表面張力を保つことで水が球体となり葉の上に乗ると分かった。また表面張力はその液体の表面積をできるだけ小さくしようとする力がある。宇宙空間では水が球体になる。それは、球体が最も表面積を小さくする理想的な形だからである。

『実験5』

『目的』…上記の調査から、水の表面張力を保てば水をはじく要因と成り得ると分かったが、水をはじく媒体の配置や大きさは関係あるのか調べる。

【方法】…様々な形や大きさのクリップを、水面に浮かせてどのような形状が水に浮くのかを調べる。

【結果】…クリップが浮くかどうかは形や大きさに左右された。一貫した相関性は分からなかったが最も安定して浮いたのはクリップを円状にしたときであった。

『実験6』

『目的』…水をはじく媒体が水をはじくかどうかは大きさや形で決まると分かった。そこで、水をはじく媒体の形状についてより詳しく調べる。

【実験】…ピアノ線、爪楊枝、髪の毛で水面を押す。

【結果】

表2

物質	結果
ピアノ線	最も水を深く押せた。
爪楊枝	水を深く押せた。
針	水を深く押せなかった。(水面に突き刺さった)
髪の毛	水を深く押せた。

4. 各実験の考察

《実験1》

葉や、つぶつぶした突起が付いているヨーグルトの蓋は、水との間が銀色に光っていた。この事から、水との間に空気の層があり、水と接する面積がとても小さいことが分かる。接するところが点に近くなるほど接触角は大きくなるので、より“点”で水と接する凹凸構造が必要であると考えられる。

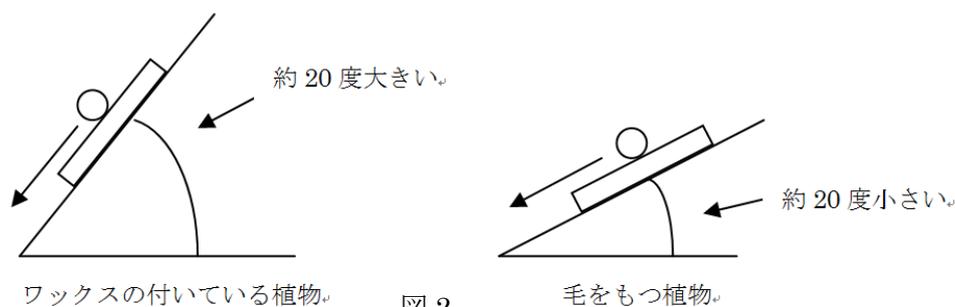
《実験2》

前提として、ブロッコリーの撥水は、突起と、表面のワックスブルームという油との二つで成り立っている。ブロッコリーが次第に撥水作用を失ったことから、ブロッコリーはワックスブルームの様な水と分離する油の構造によって水をはじいていると分かる。

《実験3》

表面にワックスがある植物の方が水が転がる角度が大きかった（水が完璧な球体に近づくほど水が転がる角度は小さくなる。）ことから、ワックスよりも毛状構造の方が水をはじき易いことが分かった。

(下図)



《実験4》

前提として、アメンボは足の先に油が付いている。よって界面活性剤を入れたことで表面張力が弱まり、アメンボが沈んだという事は油の様に水と分離する構造が撥水性を持つと考えられる。

《実験5》

クリップを円状にしたとき、重心は円の中心にある。従って水の表面に均等の力が加わるので安定して水に浮くと考えられる。従って、水の表面張力を超える力をかけないように圧力を均等にする構造が撥水性を持つと考えられる。

《実験6》

実験した結果ピアノ線が最も水面を押すことが出来たが、これは押す物体の形状が大きく関わっていると考えた。図のように楕円状に水面を押せば、表面の水分子に均等に力が加わり、水面は破れにくい。針のように先端が尖っていると先端の水分子の結合に大きな力が加わってしまい、簡単に水面は破れてしまうと考えられる。よって、楕円状で水の表面に触れる構造が撥水性を持つと考えられる。

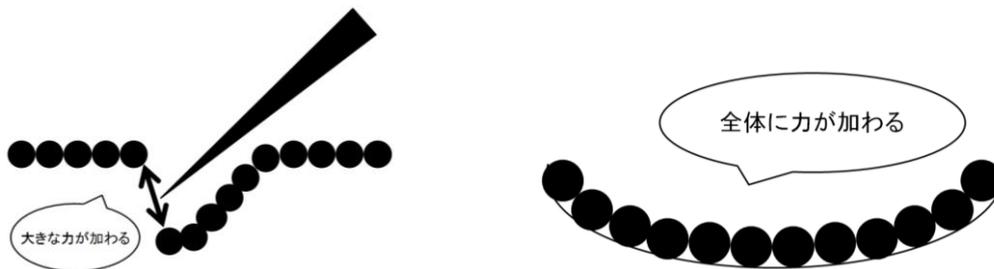


図3

《実験7》

様々な物質を使用して表面に水滴を垂らし、その表面の接触角を測る。

〈実験に使った素材〉

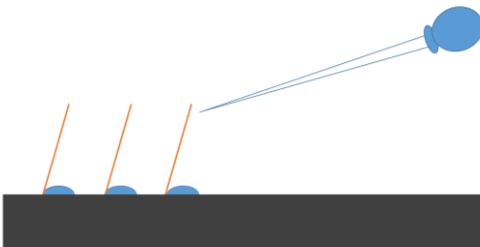
- ・鉄、銅、ガラス、アクリル

〈実験方法〉

マイクロピペットを用いて $20\mu\text{l}$ の水滴を垂らす。

真横から写真を撮りそれに接触角を書き込みその角度を測る。

十個の水滴を垂らしてその接触角の平均をとる。



〈接触角〉

素材	一滴目	二滴目	三滴目	四滴目	五滴目	六滴目	七滴目	八滴目	九滴目	十滴目
ガラス	34.2	31.6	28.2	38.4	39.0					
アクリル	79.0	70.0	68.2	80.2	72.2	64.2	62.0	60.8	75.0	65.0
銅	92.0	114.0	115.6	116.0	85.0	99.0	81.0	117.8	104.0	115.6
鉄	55.0	68.6	70.0	66.0	68.0					

〈十個の接触角の平均〉

ガラス	アクリル	銅	鉄
34.28	69.66	104.00	65.52

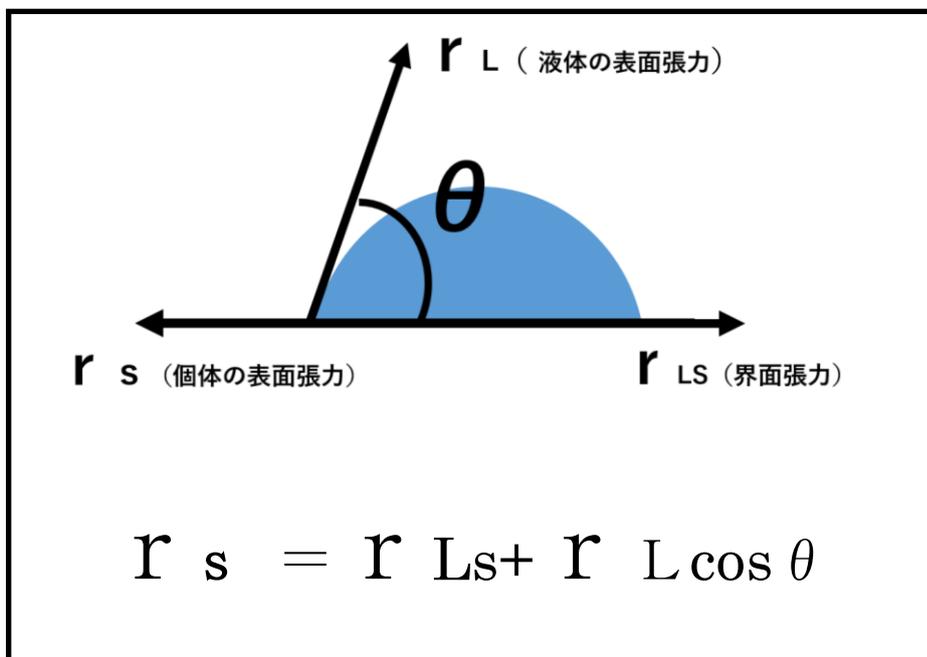
〈実験の結果〉

銅の接触角が一番大きいことが分かった。

このことから、凹凸の密度を高くしたら表面張力は上昇するだろう、という仮説の下につまようじを多量に並べて行った実験を、針で置き換えて行ったことは間違っていたことが分かる。形状による変化を調べようとしているのに、材質を変えてしまっているので、表面張力が変わってしまっていた。よって、この仮説を検証するためには、木の針状のもので行わなければならない。

【考察】

各物資によって、固有の力が働いていると分かった。それは各物質における固体の表面張力ではないかと推測できる。以前「爪楊枝の先端を束にして、その上に水滴を垂らし、接触角を観察する」実験を行った。爪楊枝一つ一つの先端にも固有の表面張力があるため、爪楊枝の束全体を一つの表面とみなすことはできないと分かる。また、撥水に関する専門的な書籍より以下のことが分かった。



ここで、角度 θ を求めるために

$$\cos \theta = \frac{r_s - r_{LS}}{r_L}$$

とすれば角度が求められることが分かった。また個体の表面張力に比例して ($0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$) の範囲で接触角が大きくなることが、分かった。したがって今までの実験で表面張力を保つ形を見つけることは正しかったとわかる。

5. 結論

前提として、自然界にあるハスの葉のように、多数の微細な水をはじく媒体が存在すれば撥水作用をもたらす。そこで、我々が定義したように水の表面張力を保つ媒体があればよい。そこで、それに適した形状を持つ媒体が必要である。それは、水に触れる際、極端に圧力がかかるものではなく、水の分子間の結合を解かないようにする楕円形が最も適している。また、実験7と調査から、接触角は物質の固有の表面張力に比例して大きくなる。そして、接触角を大きくするためには、個体の表面張力を小さくし、界面張力を大きくすることが必要である。

6. 参考文献

超撥水と超親水 米田出版 辻井薫 著