第１１章　化学と化学結合

　この章では、化学の基本となる原子間の結合、化学結合について勉強していきましょう。化学結合と固体や液体、気体などの物質の状態の関係を理解すると、氷に塩をまくとなぜ溶けるかまでも理解することができるようになります。今回は、ミクロなレベルからマクロな状態をどの王に理解できるのかについて見ていきましょう。



電子の殻と周期表

前回出てきた、電子の殻と周期表の関係を復習しておきましょう。原子に一番近い殻には電子が２つ入ることができます。次のシェルには８個まで入ることができ、合計１０個で殻がふさがります。このようにして、２，10,18,36 個の電子で殻が構成されています。これらを**魔法数**と言います。このような電子の配置は非常に安定です。原子として原子番号が 2,10,18,36 などであればこのような数の電子を持ちます。このような原子番号が 2,10,18,36 となる原子は、他にもっと安定な状態がないため、化学反応を起こしません。また、お互いに引き合う力が弱いので、常温では一般に気体です。このため、このような原子を、**不活性ガス**と言います。それ自身単体で分子となりますので単原子からなる分子、単原子分子となります。周期表で見ると一番右側のヘリウム、ネオン、アルゴンなどが不活性ガスです。また、他の原子や分子と化学的に反応しません。逆にこのような性質のため、化学反応によって原子を特定することが困難でした。

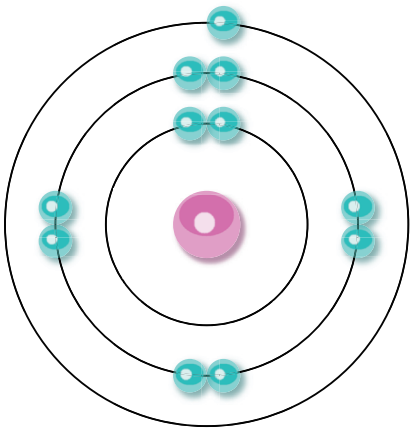
また、このように閉じた状態にある電子は安定なため、不活性ガス以外では、化学結合で重要になるのは、閉じた状態にはない最も外側の電子です。この一番外側の電子を**価電子**と言います。化学結合では、この価電子の個数をその原子の**価数**と言います。

自然界のすべての物質はできるだけエネルギーの低い状態に行こうとします。それはその方向に力が働くからで、たとえば、川の水が海に行こうとするのもポテンシャルエネルギーの低い状態に行くような力が働くためです。魔法数の電子を持たない原子は、他の原子と反応して結合し、電子の配置を魔法数に近づけようとします。このように、電子の配置を魔法数に近づけようとすることによっておこる原子間の結合を**化学結合**と言います。この結合の仕方には結合する元素間の性質に応じて３つのタイプがあります。すなわち、ほとんどの原子は、殻を満たすために、３つのタイプの結合のうちの一つを採用します。化学結合の仕方は、電子を放棄するか、電子を受け取るか、または電子を共有するかです。これらは、国などの力関係による同名の仕方によく似ていますね。国の兵力が強ければ領土を奪い取り、弱ければ放棄し、力が拮抗していれば共有することも考えられます。また、領土を国連の管理下に置き、すべての国で共有することも考えられますね。

一般に原子は結合して分子をつくっています。原子同士の結びつきを変えた方が安定なことがありますが、このためにはいったん原子の結びつきを引き離す必要があります。たとえば、炭素と酸素分子を反応させ、二酸化炭素を作るためには、酸素分子の酸素通しを引き離す必要があります。木や紙を燃やすときに外部から火を与えると熱運動によってこの引き離すエネルギーを得て、それ以後は二酸化炭素となったときの余分に発生したエネルギーを用いて化学反応を続けます。これが、燃焼です。また、同様に物質は外部からエネルギーを得て、新しい結合状態にすることができます。プラスチックなどの工業的に作られる物質のほとんどはこのようにしてできたものです。

価電子の電子が原子に引きつけられる電荷は？

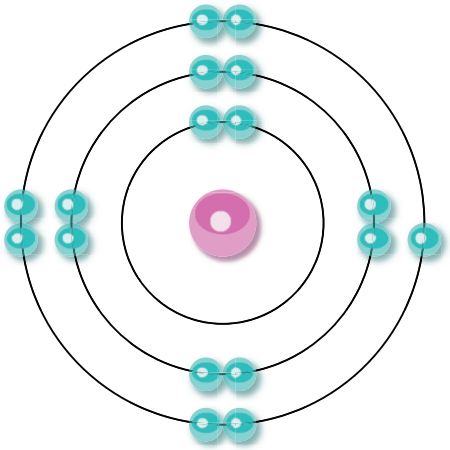
化学結合では最も外側にある電子が重要であると述べましたが、この電子に働く力についてもう少し詳しくみていきましょう。最外殻にいる電子には、お互いの電子の反発力に加えて、核子からの電荷の力と、内側の殻にある電子からの力が加わります。内側の殻の電子は、核子の電荷をいくらか中和していると考えることができます。価電子に働くこの電子によっていくらか中和された原子核の電荷を**有効核電荷**と言います。たとえば、ナトリウムは核子が１１の正の電荷を持っていますが、１０個の電子が殻をなしていますので、最外殻にある１つの価電子には、１１－１０＝１の有効核電荷が働きます。クーロンの法則により、電荷を持った物体には、その電荷に比例した力が働くため、このため、この電荷を原子が引きつける力が弱く、電子が失われやすい状態になっています。



ナトリウムの最外殻の電子の受ける
中心からの電荷は１
最外殻電子を引きつける力は弱い

同様に、塩素は１７の電荷を持つ核子がありますが、この内の１０個は内側の殻にある電子で中和されていますので、１７－１０＝＋７の有効核電荷を持っています。このため、電子を引きつける力は強く、他の原子から電子を奪いやすいのです。

このように、周期表の左側の原子は、電子を奪われやすく、周期表の右側の原子は電子を奪いやすいのです。



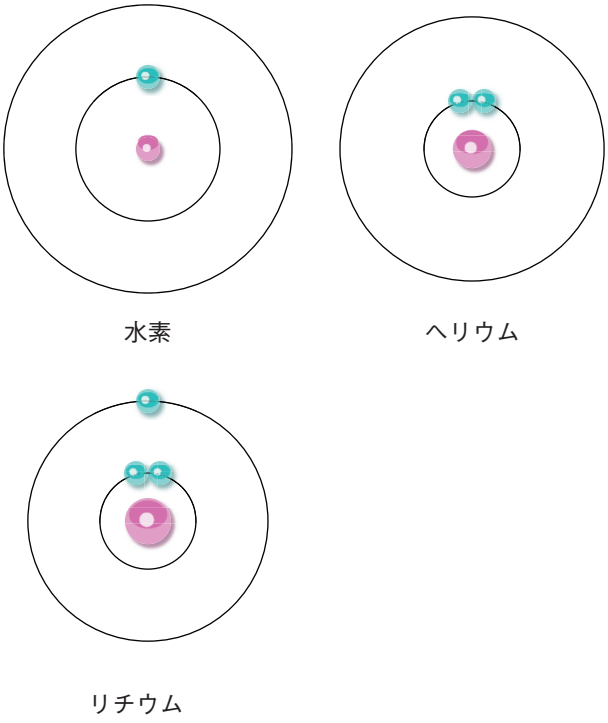
塩素の有効核電荷は７
電子を引きつけて奪いやすい

周期表の一番左にある第１族の原子、水素・リチウム・ナトリウム・カリウムは、アルカリ金属と呼ばれています。これらは単体で金属光沢がある金属ですが、電子を失いやすいので、化学反応をしやすくなっています。

また、周期表の右から２番目の第 17 族元素、フッ素・塩素・臭素・ヨウ素は、価電子が最も多く、有効核電荷が大きいので電子を受け取る化学反応をしやすくなっています。

原子の大きさと周期表

次に原子の大きさについて見てみましょう。シェルモデルからでは原子の大きさはわかりにくいですね。電荷の大きい核子ほど、中心の電荷が大きいほど引く力が強いために、各シェルの中心からの距離は小さくなります。たとえば、水素にくらべてヘリウムの核子は電荷が２倍になりますので、二つの電子の原子中心までの距離は、水素原子よりも小さくなります。この電子の中心までの平均距離を原子の大きさとします。後で見ますが、核子の大きさはこの電子の回る距離よりも約１０万分の１であり、この電子の軌道の大きさが原子の大きさを決めているのです。リチウムでは、内側のシェルの距離はさらに小さくなりますが、価電子は次の殻になりますので、原子の大きさは水素よりも大きくなります。そしてこの殻が埋まるにつれて、原子の有効核電荷は大きくなるので原子の大きさは小さくなっていきます。



原子核の電荷が大きいほど引きつける力が大きくなる。

このように、原子の大きさは、周期表の右上が一番小さく、左下に行くほど大きくなっていく傾向があります。

また、価電荷が大きく、中心からの距離が小さい電子には、クーロンの法則により大きな力が働きます。このことから、周期表の右上の原子ほど、電子を引きつける力が大きいことがわかります。

たとえば、第１７族元素で原子価７のフッ素は、同じ属の塩素に比べて価電子の中心からの距離は小さくなります。そのため、塩素より電子を引きつける力が大きく、他の原子と非常に反応しやすくなります。

原子は、最外殻に電子を引きつけたり、電子を失ったりすることができます。電子を失うと、全体でプラスに帯電し、電子を得ると全体でプラスに帯電します。このような状態の原子を**イオン**と言います。そして、最外殻の電子をはがすのに必要なエネルギーを**イオン化エネルギー**と言います。周期表の右上ほど、価電子を引きつける力が強いので、より大きなイオン化エネルギーを持ちます。また周期表の左下ほど、中心からの距離が大きくなり、有効核電荷が小さいため、イオン化エネルギーは小さくなるのです。

このように、周期表の左下の原子ほど、電子を放棄しやすく、周期表の右上の原子ほど電子を受け取りやすいということがわかりますね。

このように、原子の性質は、殻の構造と電気の力の考え方によって理解できるのです。

化学結合としては、主要となるのは、３つのタイプです。それらは、**イオン結合**、**共有結合**、**金属結合**と呼ばれています。これからこの３つのタイプの結合を見ていきましょう。

元素の周期表　原子半径

周期＼族	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H 水素 Hydrogen 53																	2 He ヘリウム Helium 31
2	3 Li リチウム	4 Be ベリリウム											5 B 硼(ホウ)素 Boron	6 C 炭素 Carbon 67	7 N 窒素 Nitrogen 56	8 O 酸素 Oxygen 48	9 F 弗(フッ)素 Fluorine 42	10 Ne ネオン Neon 38
3	11 Na ナトリウム	12 Mg マグネシウム											13 Al アルミニウム	14 Si 珪(ケイ)素	15 P 燐(リン)	16 S 硫黄	17 Cl 塩素	18 Ar アルゴン Argon
4	19 K カリウム	20 Ca カルシウム Calcium	21 Sc スカンジウム Scandium	22 Ti チタン Titanium	23 V バナジウム Vanadium	24 Cr クロム Chromium	25 Mn マンガン Manganese	26 Fe 鉄 Iron	27 Co コバルト Cobalt	28 Ni ニッケル Nickel	29 Cu 銅 Copper	30 Zn 亜鉛 Zinc	31 Ga ガリウム Gallium	32 Ge ゲルマニウム Germanium	33 As 砒(ヒ)素 Arsenic	34 Se セレン Selenium	35 Br 臭素 Bromine	36 Kr クリプトン Krypton

不活性ガスの利用

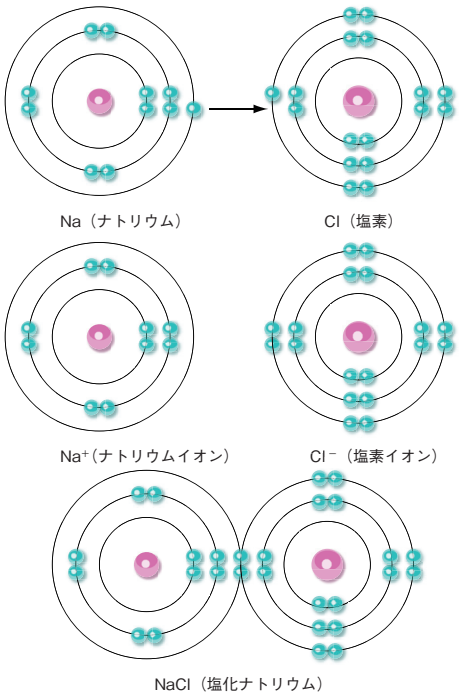
不活性ガスは反応しにくい物質が必要であるときに利用されます。
比較的身近なのが、風船や飛行船へのヘリウムガスの利用です。これらには、軽い分子が適しているため水素分子も考えられますが、水素分子は酸素と反応して爆発する可能性があるので、化学反応しないヘリウムが適しているのです。
スキューバダイビングでは、通常空気と同じで、窒素と酸素の混合を高圧で液体にしたボンベを利用します。通常では窒素は体内に吸収されません。しかし、水深の深いところでは、その圧力故に窒素も肺から吸収されてしまい、気分が悪くなってしまいます。このため、水深が深いところでは、酸素とヘリウムの混合ボンベが用いられます。ヘリウムは肺から吸収されますが、化学反応を一切引き起こさないので、気分が悪くなることがありません。しかし、ヘリウム中では音が速く進むため、男の人でも女の人のように音声の音階が高くなってしまいます。これは、風船用のヘリウムガスで試したことがある人も多いでしょう。

電球には通常、ネオンやアルゴンのような不活性ガスが封入されています。電気によって熱せられたフィラメントは、不活性ガスと反応しません。もし、空気中でフィラメントを熱したら、フィラメントはすぐに焼き切れてしまいます。

イオン結合とは？

一つの原子が電子を失い、それを他の原子が受け取ると、両者の間には電気的な力が働きます。**このように電子の受け渡しによって生じた電気的な力による結合を**<u>**イオン結合**</u>と言います。

例として、身近な食塩を見てみましょう。食塩は、塩化ナトリウム、つまり塩素と炭素が結合したものです。まず、ナトリウムでは最外殻の電子は有効核電荷は＋１でひきつける力は弱くなっています。一方、塩素では最外殻に電子が一つ足りないのでこの方向から見ると、電子は中心からの殻による電荷が勝り、引きつけられます。すると、それぞれナトリウムイオンと塩素イオンとなりますが、両者はクーロン力で引きつけられることになるのです。これがイオン結合です。

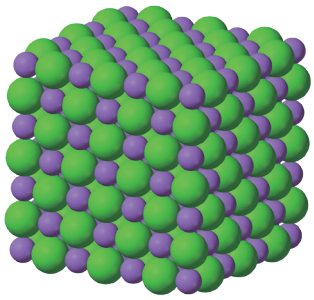


塩素とナトリウムのイオン結合

砂浜の砂などにも多く含まれているのが、ケイ素（シリコン）です。これらは酸素とイオン結合して**２酸化ケイ素** SiO_2 となっています。これは、鉄（Fe）がさびて酸化鉄となっているのと同様です。これらもイオン結合です。


岩塩（食塩の結晶）

イオン化したそれぞれの原子は、お互いに引き合います。たとえば、食塩では、ナトリウムは多くの塩素を引きつけ、また逆に塩素は多くのナトリウムを引きつけます。このため、ナトリウムはより多くの塩素に取り巻かれ、逆に塩素はより多くのナトリウムに取り巻かれた状態が安定になります。このため図のような規則的なパターンの状態になります。このように、**イオン結合によって規則的に並んだ状態を**<u>**イオン結晶**</u>と言います。食塩も顕微鏡で見るとこのようなきれいな角張った状態であることがわかりますが、大きな結晶も岩塩として売られています。イオン結合のうち、一つは単体では金属である元素からなります。金属であることは後で見るように電子がはがれやすい証拠でもあるのです。

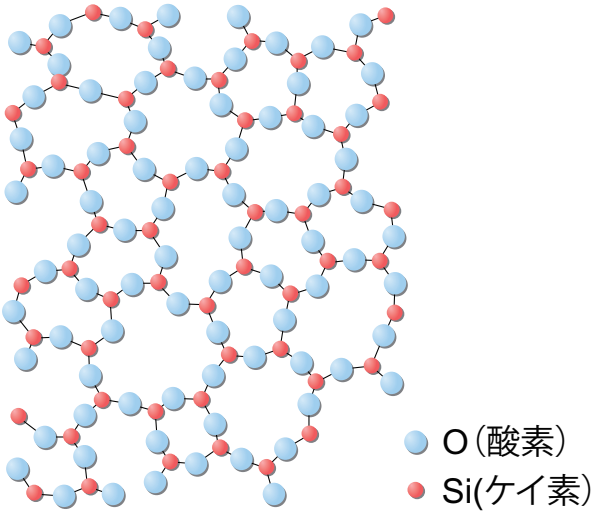

食塩結晶構造

イオン結合は非常に強いので、イオン結合で結びついた物質の融点（固体から液体に変わる温度）は、おおむね５００℃以上です。たとえば、NaCl では、融点は８０１℃です。

２酸化ケイ素も結晶構造を取ることができ、これを**石英（クオーツ）**と言います。中でも不純物を含まずに透明なものを水晶と言います。


クオーツ（石英）

一般が、高温の状態から冷やして安定な結晶構造になるのには、並べ替えが必要なため時間がかかります。つまり、小学校で生徒が整列するのにはみんなが走り回っても時間がかかるのと同様です。一方、小学生に急いで並ばせたら完全に整列した状態になりません。２酸化ケイ素も同様で、高温の溶けた状態から急速に冷やすと結晶の状態にはならず、乱雑にとなり通しが引きつけ合っただけの状態になります。このような状態を**アモルファス**と言い、ガラスなどがその例です。



イオン結合は日常見られる、石や、瀬戸物、ガラスなど多くの物質を形成する結合です。

イオン結合をした物質は、押したり引いたりするようなイオンを引き離す方向には力が強いのですが、ひねったり曲げたりして一部の結合にだけ大きな力が働くと結合は壊れてしまいます。いったん結合が外れるとクーロン力は距離の二乗に反比例するため弱くなり離れたままになってしまいます。このため、イオン結合の物質はもろく、壊れやすいのです。

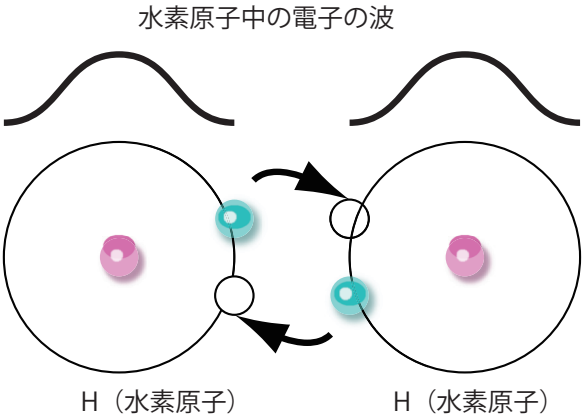
骨のイオン

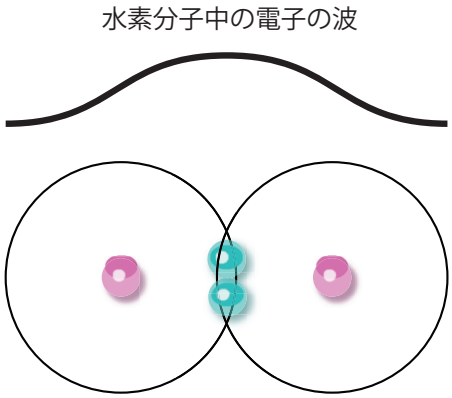
骨は硬い硬骨の部分と、コラーゲンを主成分とする軟骨によって形成されています。骨の約７０パーセントはミネラル分である、ハイドロキシアパタイトで、カルシウムイオンとリン酸イオン、そして水酸イオンからなります。$Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ これは、非常に耐久性のある構造をしています。

骨の組織は絶えず吸収され再形成されています。４０歳を過ぎると、骨が吸収される速度が再生される速度を上回ることが多くなります。このため、骨に小さい穴ができて、骨粗鬆症となることがあります。骨粗鬆症では、日常生活程度の運動でも骨折を引き起こす場合が多くなります。特に高齢の女性に多く注意が必要です。特に喫煙が骨粗鬆症を引き起こすことも報告されています。カルシウムの摂取よりも、骨組織の吸収を抑えることが重要です。実際、カルシウム摂取量の多い国ほど、逆に骨折が多いようです。砂糖や動物性の食品では、カルシウムの排泄が進むようなので、控えるのがよいでしょう。また、野菜や果物などの摂取がよいとされています。

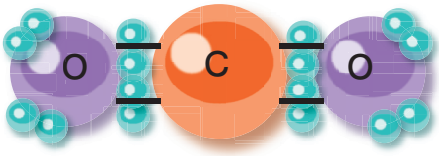
共有結合とは？

一方が電子を失いやすく、もう一方が電子を得やすい場合には電子を受け渡してイオン結合となりました。しかし、お互いに電子の失いやすさが同等のときにはどうなるのでしょうか？今度は水素を見てみましょう。水素ではお互いに電子の入る順位に空きがあります。このようなときに、電子の波としての性質が出てきます。電子は、ドブロイの関係から波長が大きいほどその速度は小さく、エネルギーが小さくなるのです。つまり、電子の波長はなるべく大きな方が安定なわけです。そのため、お互いに電子を共有することにより、よりエネルギーの低い状態になることができます。このように、お互いに電子を共有することによる結合を**共有結合**と言います。



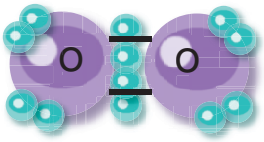


空気中に含まれる、窒素や酸素もまた共有結合をしています。この場合、酸素と炭素は二組の電子対を共有して、より強い結合となっています。空きの２つある酸素同士が結びついた酸素分子でも同様です。このように二つの電子対を共有した結合を**二重結合**と言い、それに対して水素分子などのように一つの電子対の結合を**単結合**と言います。



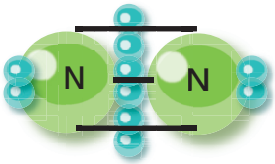
２酸化炭素

また、最外殻に３つの空きがある窒素は、原子の大きさも小さく、強力に電子を引きつけます。そして、電子対を３つ作る**三重結合**となることにより強力な結合となっています。



酸素分子

このように見ていくと、周期表の同じ族のものは同様な共有結合をするように思えます。しかし、二重結合や三重結合では、結合を強固にする側面だけではありません。二重結合や三重結合では電子同士の距離が近づくことで電子同士の反発力が生まれます。したがって、原子が電子を引きつける力の強い、周期表の右上の方の原子のみが二重結合などをすることができます。たとえば、酸素と同族である硫黄では、原子の大きさが大きいため電子を引きつける力は酸素より劣ります。そのため、２つの硫黄で二重結合となることなく、多数の硫黄原子が単結合で結びついた固体となるのです。

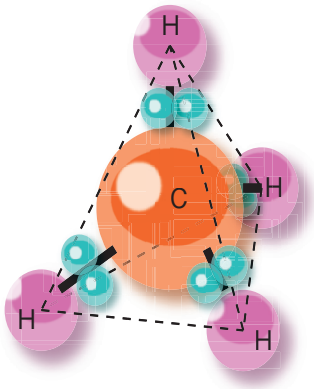


窒素分子

何が分子の形を決めるのか？

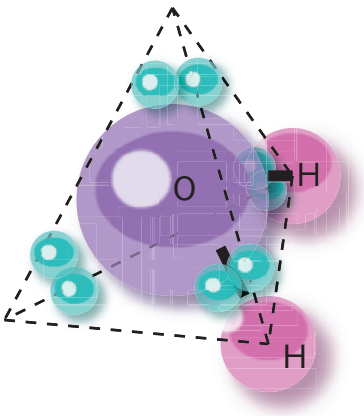
分子の形は様々ですが、いったい何がこの形を決めているのでしょうか？

たとえば炭素と水素の結合を考えてみましょう。炭素は、４つの価電子を持ち、この４つが他の４つの電子と電子を共有しようとします。しかし、注意したいのは、この共有された電子はお互いにクーロン力で反発しあっていることです。そこで共有された電子はお互いにできるだけ離れようとして電子対の形が決定されます。そのため、４つの水素と炭素の結合した分子である、メタン（CH_4）では、８つの価電子が２つずつ組になり正四面体を作ります。



メタン

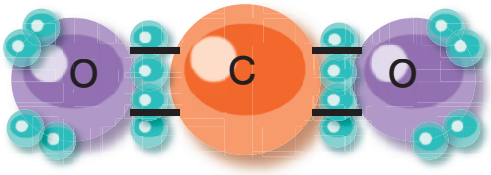
水の場合も同様です。価電子はお互いに最も離れようとして、メタンと同様の形をすることになるのです。水の分子の形が折れ曲がっているのは原子のみ見ているからで、電子を見るメタンと同様の対称な形をしているのです。アンモニアも同様なことが図からわかりますね。



水分子

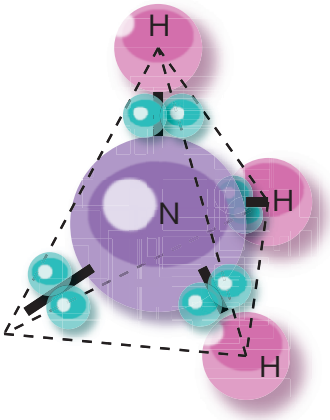
他の例として、二酸化炭素を見てみましょう。炭素と酸素とは４つの電子を共有して、二つの電子の共有よりもより強い結合をしています。このため、二酸化炭素は安定で、エネルギーの低い状態です。これらの共有結合はお互いに離れようとして直線的になります。

このように、共有結合にかかわる価電子が、分子の形を決めているのです。



２酸化炭素

共有結合した電子の反発力で棒状に



アンモニア

メタン、水、アンモニアは電子同士の反発で四面体構造に

赤外線の吸収と地球温暖化

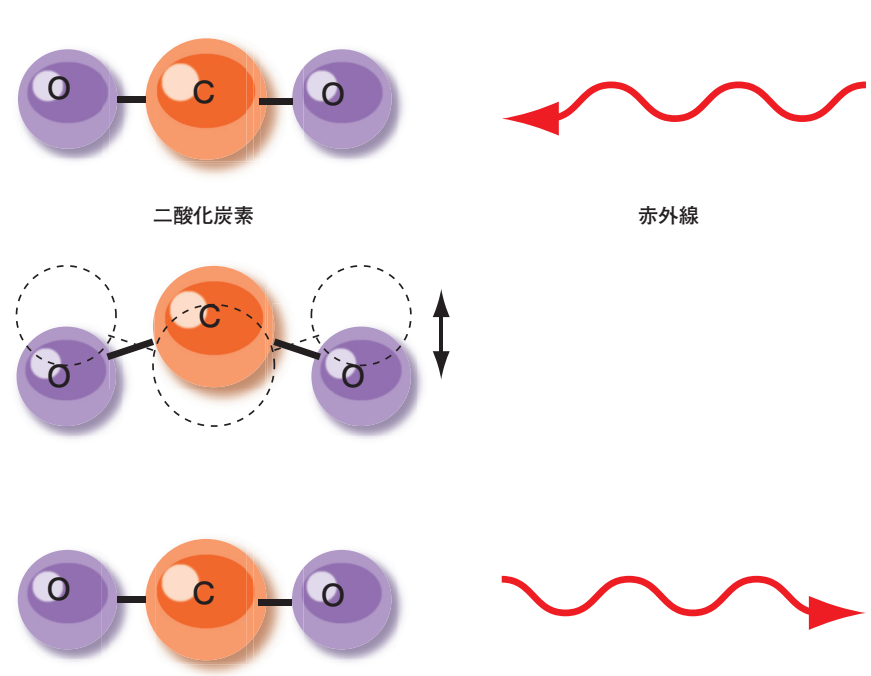
温室効果については熱のところでみましたが、ここでは分子がどのようにして赤外線を吸収するのかを見てみましょう。

熱運動している分子や原子は振動したり互いに衝突したりして光子を放出しま分子の平均運動エネルギーと光子の平均エネルギーが比例することになるわけです。分子の平均運動エネルギーは絶対温度に比例し、プランクの関係式により光子のエネルギーはその振動数に比例していましたね。そのため、絶対温度と放出される光子の平均振動数は比例します。

太陽の表面温度は約６０００Ｋで、主に可視光の振動数の光を放出しています。地球表面はこの太陽の光によって暖められ、300K くらいで、可視光よりも振動数の小さな赤外線を放出します。この赤外線が宇宙に逃げていって、地球の平均温度が保たれているのです。

分子は赤外線を吸収します。この赤外線の放出は、赤外線の光の振動数と、分子の振動数が一致したときに多く怒ります。酸素分子や窒素分子では結合他強いため、原子間の距離が変わる振動の振動数は大きく、赤外線は吸収されません。

一方、二酸化炭素では同じ共有結合ですが、３つの原子からなるので折れ曲がる振動をすることができます。いかに硬く結合していても折れ曲がるのは比較的容易です。たとえば下敷きは結合が強いため引っ張ってもほとんど伸びませんが折れ曲がるのは簡単ですね。分子の折れ曲がりも基本的にはこれと同じです。この様な振動はニュートンの法則により加速度が弱く振動で同じ位置に戻ってくるまで時間がかかります。つまり、振動の振動数は小さく、赤外線と同じ振動数となり、赤外線を吸収するのです。このように３つ以上の原子からなる分子では、分子振動の励起により赤外線を吸収します。また、水やメタンは複雑な振動のパターンが多いため、二酸化炭素より多くの赤外線を吸収します。



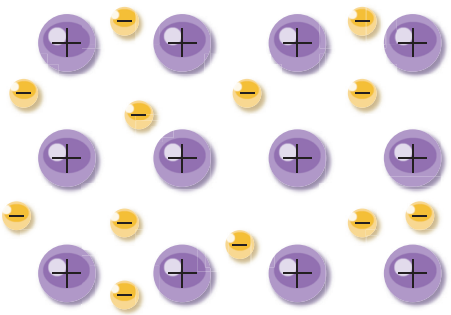
二酸化炭素の振動は弱いエネルギーで可能となる
このため赤外線のような弱いエネルギーの光子を吸収、放出する

このような分子の振動が赤外線を吸収し、温室効果をもたらす原因となっているわけですね。

金属結合とは？

原子番号が大きく、原子の大きさが大き原子では、価電子を引きつける力は弱くなります。このような原子同士が集まったときには、電子はより多くの原子間の間で共有した方が、波として波長が長く安定した状態となるのです。

金、銀、銅、アルミニウムなどの金属では、このように多数の電子をすべての原子で共有して結合しています。このように、多数の原子により電子を共有することによって生じる結合を**金属結合**と言います。



金属結合
原子半径が大きいと各原子に束縛されずに全体で共有する電子が現れる

金属柱の電子は自由に動くことができるので自由電子と呼ばれています。この自由電子は外部の電場によって移動するため、導体です。また、自由電子は熱を運びますので熱伝導率が高く、さわると手の熱が急速に失われ、冷たく感じるのです。



金属光沢は、自由電子が光により振動して電磁波を放出することによっておこる

金属に光である電磁波を照射すると、自由電子は電磁波によって自由に移動し、再び電磁波を放出するのでほぼ波長によらない光を放出します。このため、白色光を跳ね返す金属光沢が生じます。一方、最外殻の電子は自由に移動しますが、それ以下の殻の電子も存在します。そのため、内側の殻の電子が特定の波長の光を吸収して励起することがもあります。このため、金属では白色光を反射光にしますが、金属によって吸収する波長が異なります。そのため、金属によって色の違いが生じるのです。たとえば、金や銅では、緑色の光を吸収して金色色に見えるのです。

周期表を見ると、半数以上の元素が金属であることも驚きですね。

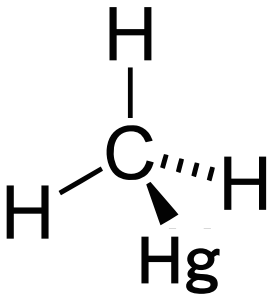
水銀

水銀は、金属でありながら常温で液体である物質で、金属光沢を持ちます。水銀を飲むなどした場合には消化されませんが、気化した水銀を吸い込むと肺から血液中に入り、タンパク質を破壊したり、細胞の活動を阻害したりします。長期的に水銀を摂取すると、脳や肝臓を破壊します。



海水中では、ある種のバクテリアが水銀を有機水銀（メチル水銀）に変えます。この有機水銀は、毒性が強く、中枢神経に障害を与えるのです。この有機水銀を、プランクトンが食べ、それを魚が摂取するため、私たちは魚を食べることにより有機水銀を摂取してしまうことになります。日本人は魚を多く食べるため、他の国に比べて水銀摂取量が多いのですが、通常は健康被害を与える量になることはありません。ただし、メチル水銀は水には溶けませんが、油には溶けます。そして、大きな魚はメチル水銀を脂肪の中に蓄えます。そのため、アメリカなどでは、胎児などへの影響を考え、妊婦がマグロや金目鯛などの大型魚を食べることは推奨されていません。

水銀による被害として、工場排水に起因する有機水銀中毒である、水俣病（熊本県八代海）や阿賀野川流域（新潟県）でおきた第２水俣病などが有名です。有機水銀によって、２０００人以上が脳や中枢神経に障害をきたし、死亡者も出たのです。生体内からのメチル水銀は排泄しにくいので、中枢神経の破壊が長期的に続いてしまいました。



メチル水銀

分子間の結合と物質の状態

空気中の酸素や窒素などは単一の分子が熱によって飛び回っています。しかし、身の回りの見に見える物質の多くは、これら分子が結合している状態であり、目に見えるほどマクロな大きさを持っています。これらはアボガドロ数として知られる、おおよそ 1023 個という途方もない数の分子や原子が結合しています。この結合と、温度や圧力とにより物質の配置の仕方には様々なものになります。それらは大きく分けて、**固体、液体、気体、プラズマ**です。地球上の多くの物質では、プラズマ状態は希なので、プラズマをのぞいた３つの状態を**物質の三態**と言います。次に、これらの違いを見ていきましょう。

プラズマ

太陽の内部のように非常に高い温度では、その熱の運動のため原子は非常に激しい衝突を繰り返しています。そのため、原子から電子が引き離されているしまっています。このように、原子が電子と原子核に分かれてしまった状態をプラズマと言います。この状態では電子やイオンが比較的自由に移動できるので導体と同じようになっています。

プラズマは私たちの日常生活ではなじみは少ないのですが、宇宙の 99.9% の物質はプラズマ状態にあります。つまり、宇宙全体から見るとプラズマでない物質は希なのです。

蛍光灯ではプラズマが用いられています。蛍光灯の管の内部気体が一部プラズマ状態になり、電気が流れます。

気体、液体、固体

気体とは分子がお互いに自由に移動できる状態です。私たちの周りの空気がこうした状態です。

液体の代表は水でしょう。分子はお互いに完全に自由に動いているわけではありません。もしお互いに自由に移動できるのだったら、気体となって飛んでいってしまいます。液体中の分子は、お互いの分子の力によりくっついたり離れたりを繰り返しています。このため、決まった形を取ることはありません。

固体とは、決まった形と体積を持つ状態です。
固体の中でも、分子同士の結びつき方によって分類があります。**結晶**とは、原子が決まったパターンで繰り返されるものを言います。たとえば、金属や食塩などがこれにあたりました。決まったパターンを持たないものを**アモルファス**と言います。たとえば、ガラスは、結晶とは異なり、決まったパターンで現れません。



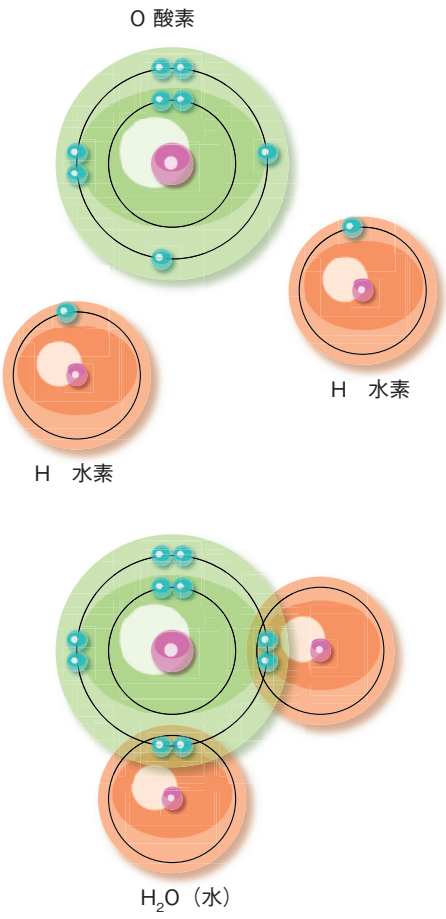
状態の転移

物質に熱を加えていき、固体から液体に変わる温度を融点と言い、液体から気体へ変わる温度を沸点と言います。水の融点は 0℃であり、沸点は 100℃ですね。

また、ドライアイスなどのように固体からいきなり気体に変わるものもあります。

一般に、分子間の力が強いほうが熱運動に逆らって固体になりやすいため、融点が高くなります。そのため、常温で気体である物質は分子間力が比較的小さな物質であり、常温で固体や液体名物質は分子間力が強いということになります。たとえば、窒素や酸素は気体ですから分子間力が弱く、水はそれにくらべて強い分子間力があることがわかります。

極性分子と非極性分子とは？



図のように酸素と水素も共有結合をしています。ただし、異なる分子間では、一般に分子を引きつける力、クーロン力が異なります。そのため、共有すると言っても、引きつける力の強い方に偏って共有することが多いわけです。水の場合、酸素の方が有効核電荷が大きいため、酸素側に偏って共有されます。このため、水素はプラスに帯電して酸素はマイナスに帯電することになります。一般にこのように、電荷の偏りがあり、分極した分子を**極性分子**と言います。水は、極性分子の代表的なものです。

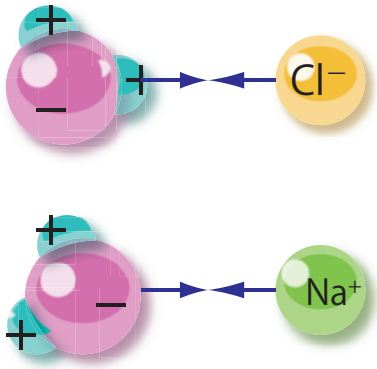
一方、酸素分子や窒素分子、二酸化炭素などは極性を持っていません。このように電荷の偏りがない分子を**非極性分子**と言います。

後で見るように、このような分子の違いが、分子の性質に大きく影響してきます。

分子間に働く力

通常分子の大きさは小さく、目に見える物体の多くは小さな分子通しが分子間の力によって結合された状態になっています。今からこの分子間に働く力を見てみましょう。この分子間力もまた、基本的に電気的な力ですが、分子が極性を持つか持たないかでその働き方が大きく異なります。

まず、水などの極性分子を見てみましょう。極性分子ではプラスの原子とマイナスの原子は引き合いますので、極性分子は引き合うことになります。中でも、水素が入った原子では、他の原子と電子を共有すると、電子は元々一つしかなく、しかも核子からの距離も小さいため、引きつける力が強く大きな力となります。したがって、水の状態では、水分子はお互いに自由に動く反面、水素のプラスの電荷の部分と酸素のマイナスの電荷の部分が引き合い、引き合った状態になっています。このような水素による結合を**水素結合**と言います。水素結合は原子から分子を作る上での結合ではなく、分子間の結合であることに注意してください。また、水素を持った分子がすべて水素結合をするわけではありません。たとえば、水素と炭素とでは引きつける力が同じ位なので炭素と水素の結合では極性を持ちません。



極性によりプラスの電荷もマイナスの電荷も共に引きつけられる

水はこの極性のためにイオンを引きつけます。食塩を水に入れると、ナトリウムと塩素の間のイオン結合よりも水の水素結合が勝り、食塩はナトリウムイオンや塩素イオンイオンとして水の中に溶けてしまいます。

水の中に溶ける物質は？

水の中に溶けるのはイオンだけではありません。他の極性をもった分子でも水と引き合います。このため、極性分子は水の中に溶けるのです。砂糖が水に溶けるのも砂糖が極性を持っているためです。また、２酸化ケイ素などでできたガラスなども分子極性を持った分子の集まりです。しかし、共有結合が強くてガラスは水には溶けませんね。しかし、ガラスに水を垂らすとガラスの面と水とが引き合うために広がります。このように水と引き合う物質を、その性質から物質に**親水性物質**と言います。

極性分子と非極性分子の間の力は？

それでは、極性を持たない分子はどうでしょうか？この場合、水分子通しの引力によって水からはじき出そうとします。このため、非極性分子は水に溶けません。油などがこうした極性を持たない分子であり、油が水に溶けないのはこのためなのです。

もっとも電気の章では非極性分子であっても、電場があると分極することを見ました。たとえば酸素を見てみましょう。酸素分子は極性を持ちませんが、水のプラスの部分が近づくと電子に引力が働き、核子に反発力が働くため、分子中の電子が近づいてきて分極した状態になります。クーロンの法則により近くなるほど大きな力となるため、分子全体としては引力となるわけです。もっとも、極性分子と非極性分子の間で生まれるこのような力は大変弱いため、非極性分子は極性分子にはほとんど溶けません。酸素が水に溶けにくいのはこのためです。こうしたことから非極性の分子からなる物質を**疎水性物質**と言います。こように、水に溶ける性質と、極性分子であることとは関係しているのです。

また重要な性質として、非極性分子は、水には溶けないが、油など非極性分子の液体には溶けることがあります。これは後の節述べる、非極性分子同士に働く力によるものです。たとえば、炭素とフッ素からなる分子数の大きな分子、パーフルオロカーボンは非極性分子です。高分子であることから常温で液体です。この中には非極性分子である酸素が多量に溶けます。このように酸素を多量に状態では、この液体中で人間は呼吸をすることができます。

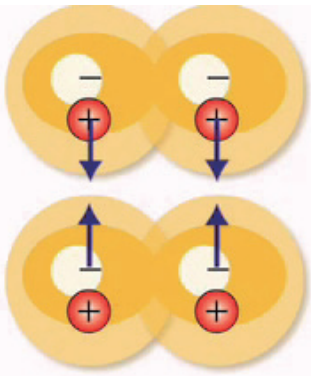
非極性分子と極性分子の力も高分子だと大きな力になる？

極性分子と非極性分子の力は、構成する原子の数が小さい分子では電子の偏りが小さく、大変小さい力です。しかし、分子数が多い高分子では、全体として大きな偏りとなり大きな力となります。たとえば、サランラップは非常に多くの分子からなる非極性分子です。これが、極性を持つガラスに接すると、サランラップの電子が移動して分極が生じてガラスと引き合います。このように、サランラップがガラスにくっつくのも電気的な力によるものなのです。



サランラップがガラスにつくのも電気的力

非極性分子同士の力は？



非極性分子同士では、電荷の偏りがありませんので、力は働かないように思いがちです。しかし、非極性分子が極性分子と引き合ったように、非極性分子双方が一時的に電荷の偏りを作り出して引き合う力を作り出します。偏りは振動しますが、近い電荷の知己合う力が勝りお互いに引き合うのです。このような、非極性分子同士の力を**ファンデルワールス力**と言います。

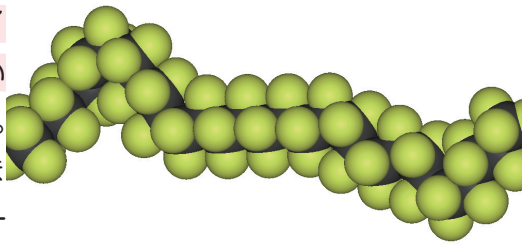
酸素分子や窒素分子同士にはこのファンデルワールス力が働き、そのため低温ではお互いにくっつき合って液体になります。非極性分子の二酸化炭素がドライアイスになるのもこのファンデルワールス力のおかげです。



原子の大きさが大きいほど電荷の偏りも大きく、分極にかかわる原子の数が増加します。したがって、大きな原子ほどファンデルワールス力は大きくなります。二酸化炭素が酸素などに比べて固体になる温度が高いのはこれが理由です。

逆に小さい原子はファンデルワールス力は小さいことになります。たとえば、ヘリウムでは原子が小さく、ファンデルワールス力は非常に小さいため液体になる温度は非常に低くなります。

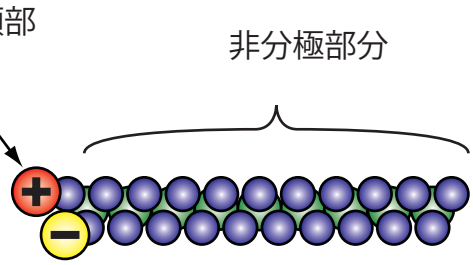
フッ素は非常に小さな原子であり、炭素と結びついた状態では非極性分子です。これは非常に小さな分子間力しかありません。これが、**テフロンコーティング**の原理です。テフロンコーティングではフッ素が炭素と結びついた状態で、原子間の力が強いため分極が小さく、フライパンの表面の肉などとほとんど引き合うことがないのです。このためこびりつかないことになります。ただし、350℃で熱により炭素の結合が壊れてしまい、はがれてしまいます。このため、テフロンコーティングしたフライパンでは、高熱にしてはいけないのです。また、このようにしてはがれたテフロンは、鳥に害があることが報告されており、多量に食べると人間にも風邪のような症状が出ます。このため、フライパンの空だきにはくれぐれも気をつけましょう。



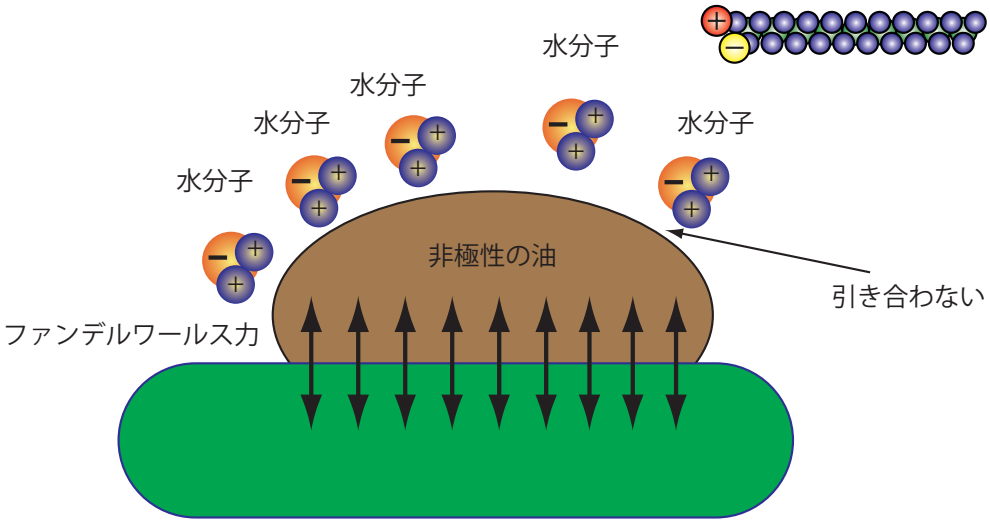
ファンデルワールス力の強さが、分子の大きさと関係していることにより、常温でメタンが気体であり、ガソリンが液体であることを説明できます。メタンは CH_4 と比較的小さな分子であり、分子間力が弱いので、熱による運動が勝り気体の状態です。一方、ガソリンの主成分のオクタン C_8H_{18} では、分子が大きいためその間の分子間力は大きくなります。そのため熱運動では完全に自由に運動できずに液体となるのです。また、石油を精製したときにできるタールはどろどろしており、これは非常に分子数が大きいことに関係しています。

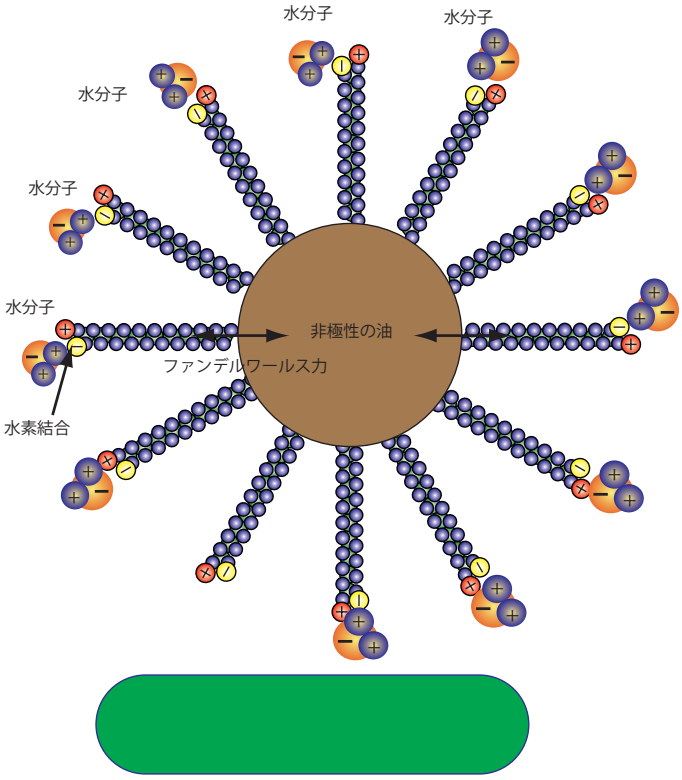
石けんが汚れを落とす仕組みは？

ねとねとした油汚れは、水では落ちませんね。これは、油が非極性分子であり、服など表面の分子とファンデルワールス力で引き合い、極性分子の水とあまり引き合わないどころか反発するためです。これを落とすには、非極性分子の溶剤を使います。ペンキをシンナーなどで落とすのも同じ理由です。



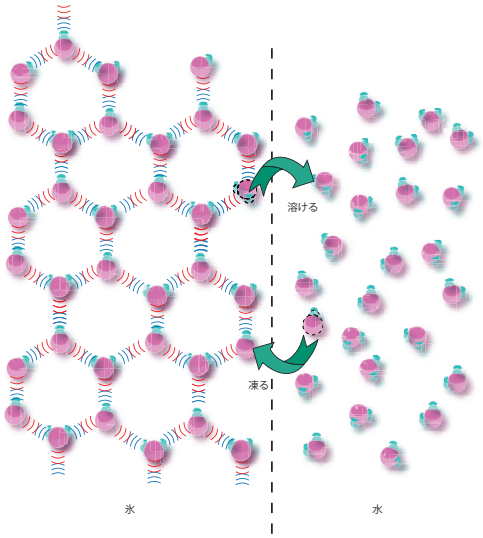
非極性分子の溶剤を使うよりも便利なのが、石けんと水とを使うことです。石けんは、一方の端がが非極性分子で、もう一方が極性分子となっています。このため、油汚れとは非極性分子の端がファンデルワールス力によってくっつき、その表面を極性分子とします。このため、水と引き合い、汚れを落とすのです。





氷の表面では凍るのと溶けるのが同時に起こる

氷は、水素結合によって水が結晶構造を漏った状態です。熱による運動エネルギーが大きな分子は、氷の状態から離れて行き、水となります。また、水の状態の分子は絶えず熱運動で氷に衝突していますから、運動エネルギーの小さな分子は、水素結合で捕獲されて氷になります。ゼロ℃より低いと、氷になる率が氷になる率を上回り氷が大きくなります。ゼロ℃より高い温度では、熱運動で溶ける率が凍る率を上回り、氷が溶けていきます。そして、ゼロ℃では、溶ける率と凍る率が等しくなるのです。

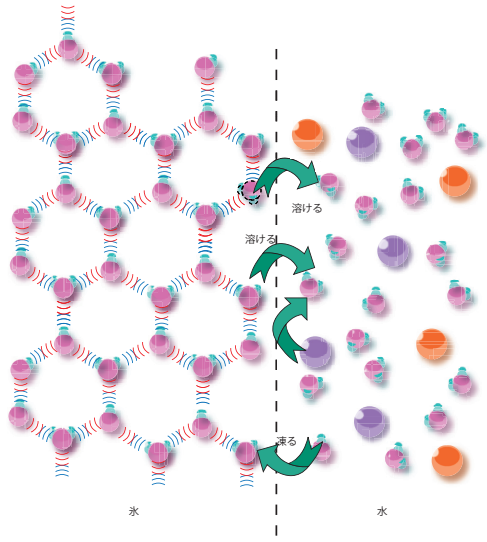


氷の表面では、水分子の衝突で絶えずとけたり凍ったりしている

氷に塩をまくとなぜ氷が溶ける？

このことから、氷に塩をまくと溶けることが次のように説明できます。氷は、その構造からナトリウムや塩素イオンを含みません。そのため、ナトリウムや塩素イオンがやってきても氷はそれを受け取ることができません。そのため、図のように溶ける水分子の数が凍る水分子の数に勝って溶けるのです。

このように、溶けたり凍ったりする物理的な性質は分子の運動によって説明できるのです。



ナトリウムイオンは氷に衝突しても結合しないので溶ける割合が勝るようになる

キーワード

魔法数、価電子、価数、不活性ガス、化学結合、有効核電荷、イオン、イオン化エネルギー、イオン結合、共有結合、金属結合、結晶、アモルファス、イオン結晶、固体、液体、気体、プラズマ、物質の三態、極性分子、非極性分子、水素結合、親水性物質、疎水性物質、ファンデルワールス力