

地殻を構成する元素の重さのおよそ 50%は酸素。

酸素が多いのは、地殻を構成する元素の多くが二酸化ケイ素 SiO_2 、酸化アルミニウム（アルミナ） Al_2O_3 、酸化鉄 Fe_2O_3 などのような酸化物になっているからです。

現在も地球の内部は 6000°C ほどの高温であり、全ての物質は融けて溶岩状のマントルとなっています。しかしこれは地球誕生時の熱が残っているからではありません。当時の熱は 46 億年の間に宇宙空間に放出されつくしました。

現在の熱は、地球が自分で獲得した熱なのです。その原因は原子核反応です。カリウム K やラジウム Rd やウラン U などの**放射性元素**が原子核崩壊反応を起こし、その際に発生する核反応エネルギーによって熱くなっているのです。

温室効果ガスというと二酸化炭素を思い出します。しかし**温室効果**が一番大きい気体は**水蒸気**といます。晴れた朝の放射冷却を見れば良く分かります。乾燥した砂漠では日中と夜間の温度差が 40°C 、 50°C になります。

現在の大气の温室効果のうち、約 6 割が水蒸気によるもので、約 3 割が二酸化炭素によるものといわれます。にもかかわらず地球温暖化というと二酸化炭素が目玉の敵にされるのは、水蒸気の量は人間の自由にできないからです。海・洋から蒸発する水蒸気の量をどうやって制御できるでしょう？

~~~~~

砂漠は乾燥していて地表にも空気にも水分がほとんどない。水は空気に比べて熱しにくく、冷めにくい性質を持ち、水分があれば、昼に太陽熱をゆっくり吸収し、夜にその熱をゆっくり放出する。... 砂漠のように水分がないと、熱しやすく冷めやすい性質になり、温度差も大きくなるのである。

~~~~~

温室効果ガス

温室効果ガスとは、大気圏にあって、**地表から放射された赤外線の一部を吸収することにより**、温室効果をもたらす気体のことである。水蒸気、二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素、フロンなどが温室効果ガスに該当する。近年、大気中の濃度を増しているものもあり、地球温暖化の主な原因とされている。

~~~~~

対流圏の特徴は地表に接しているということです。そのため、地

表の熱がダイレクトに伝わってきます。太陽に照らされた地表が熱くなると、その熱を受け取った気体は膨張して比重が小さくなり、上昇気流となって高空に達します。すると熱い地表を離れたこと、および高空に達して気圧が低くなり、断熱膨張したことなどによって温度が下がります。すると中に蓄えられていた水蒸気が液化して氷や雨となり、空中を落下します。

このような変化は平坦な平野でだけ起こるものではありません。山岳地帯、森林地帯、海岸地帯、更には洋上でも起こります。すると大気は垂直移動だけではなく、水平移動をも起こすことになります。つまり風が起こり、雷が起こり、嵐となるのです。

ということで、対流圏の大気は常に攪拌され続けます。これが対流圏と呼ばれるゆえんです。

対流圏の一つの特徴は、垂直方向の気温の変化割合が大きいことです。すなわち高度とともに気温が著しく低下するのです。平均的な気温低下は 100m につき約  $0.65^{\circ}\text{C}$  であることが知られています。つまり、標高 3000m の山に登った場合、標高 0m の場所よりも約  $20^{\circ}\text{C}$  も低い気温になるということです。

## 水素燃料電池

一般に燃料電池というのは、燃料を酸素と結合（燃焼）して、その時に発生する化学エネルギーを電気エネルギーとして取り出す装置のことをいいます。

ですから、発電所と同じ原理の発電であり、その意味で電池というより小型の携帯型発電機といった方が正しいようなものです。そのうち、燃料として水素ガスを用いる物を特に水素燃料電池といえます。

水素燃料電池の仕組みは図のような物です。つまり、負極の表面に水素ガス  $\text{H}_2$  を通すと、電極表面の白金 Pt の触媒作用によって水素が水素イオン  $\text{H}^+$  と電子  $\text{e}^-$  に分解します。 $\text{H}^+$  は電池内の電解液を通過して正極に行き、 $\text{e}^-$  は外部回路を通過して同じく正極に行きます。これが電流です。

正極には酸素ガス  $\text{O}_2$  が通っており、ここで正極表面の白金触媒の作用によって  $\text{O}_2$  と  $\text{H}^+$  と  $\text{e}^-$  が反応して水  $\text{H}_2\text{O}$  になるというものです。

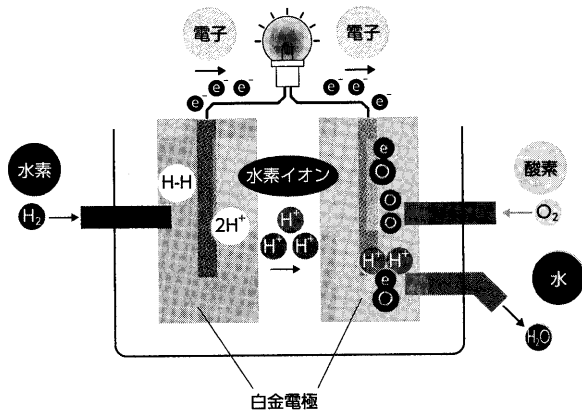
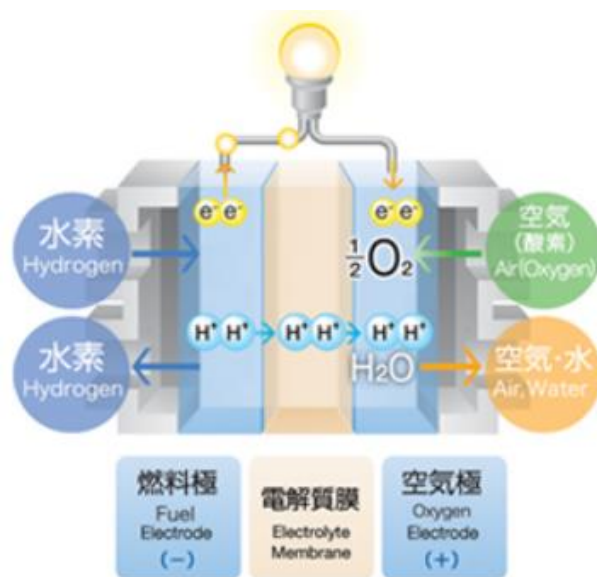


図4-2 燃料電池

~~~~~



1. 外部から供給された水素(H₂)が、水素極で2個の電子(e⁻)を離して水素イオン(H⁺)になります。
2. 水素から離れた電子は、外部回路を通して反対側の酸素極に電流として流れます。ここで電力が発生します。
3. 酸素極では、空気中から取り入れられた酸素分子(O₂)が、外部回路から戻ってきた電子を受け取り、酸素イオン(O₂⁻)になります。
4. 酸素イオンは、電解質を伝って移動してきた水素イオン(2H⁺)と結合して、水(H₂O)になります。

http://www.jari.or.jp/portals/0/jhfc/beginner/about_fc/index.html

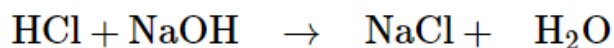
~~~~~

周期表の 17 族はハロゲン元素と呼ばれます。ハロゲンとは酸と塩基の中和で生成する塩を形成するものという意味です。

~~~~~

Cl 塩素は 17 族。

酸と塩基を混ぜると水と塩(えん)が生じます。



この中和反応の **NaCl** が塩です。

<https://fromhimuka.com/chemistry/254.html>

~~~~~

気体金属

金属が気体になるというと不思議に聞こえるかもしれませんが、決して不思議なことではありません。水銀は 357°C で沸騰して気体水銀になります。これを利用して**奈良の大仏を金メッキ**したことは第 6 章で見ることになります。金は 2856°C で気体になりますし、鉄も 2862°C で気体になります。

~~~~~

奈良の大仏と表面処理

http://www.tmk.or.jp/history_06.html

~~~~~

このメッキ法は、金アマルガムを鑄造像の表面に塗り、これを加熱して水銀を蒸発させ、表面に金を残す「アマルガム法」であった。

[https://www.jstage.jst.go.jp/article/isljsl/95/5-6/95\\_150/article-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/isljsl/95/5-6/95_150/article-char/ja)

~~~~~

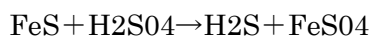
像に塗布したアマルガムの水銀を蒸発させるために加熱する温度は 350°C とされており、沸点 (356.73°C) に近い温度である。

https://www.jstage.jst.go.jp/article/isljsl/95/5-6/95_150/pdf

~~~~~

硫化水素

硫化水素の化学式は  $\text{H}_2\text{S}$  で、天然には火山ガス、硫黄を含む温泉などに含まれますが、実験室的には硫化鉄に希硫酸を作用させて製造します。



硫化水素は無色の有毒ガスであり、濃度が薄いと腐った卵のような匂いがしますが、**濃度が濃くなると嗅覚が麻痺して匂いがしなくなる**といひます。そしてそのような濃度では吸うと同時に意識を失い、そのまま死亡するという恐ろしいガスです。

濃度が 60ppm を超えるガスを 30 分吸うと肺水腫が起き、150ppm を超えると意識混濁、呼吸マヒの症状が現れ、800ppm 以上だと即死するとされます。

空気より重いため、窪地に溜まることが多く、スキーヤーが窪地に突っ込んで硫化水素を吸い、倒れてそのまま亡くなるというような事故も発生しています。温泉では顔が位置する浴槽の湯面近くにたまります。

また、2002 年にはマンホール内で清掃作業をしていた作業員 5 人が亡くなる事故も起きています。原因はマンホールの近くに積んであった建築廃材の石膏ボード (CaSO<sub>4</sub>) が溶けてマンホール内に流れ入り、そこに棲んでいた微生物によって分解発酵し硫化水素を発生させたものでした。

ある種の入浴剤と洗剤を混ぜると硫化水素が発生することがインターネット上に載りました。これを契機に硫化水素自殺が増加し、2008 年 1 年間だけで **1056 人もの人が硫化水素自殺**をし、社会問題となったこともありました。

青酸カリなどを服用すると胃に入って胃酸 (塩酸 HCl) と反応して青酸ガスが発生し、それが食道を逆流して気管に入り、肺に達します。すると酸素運搬物質のヘモグロビンと不可逆的に結合して、ヘモグロビンの酸素運搬を阻害し、細胞に酸素が行き渡らなくなって生物は死亡します。このように毒が回っていくメカニズムは一酸化炭素の場合も同じです。このような毒を一般に呼吸毒といいます。**呼吸毒**というのは「息をできなくする」のではなく、**肺は動いて息をしているのですが、吸った酸素が細胞に行くことができなくなるようにする毒**なのです。

太陽の光は、一見まっすぐに進んでいるように見えますが、酸素や窒素の分子に当たってさまざまな方向に反射されています。このことを散乱と呼びます。その結果、散乱光は太陽の方向からだけでなく、あらゆる方向から目に飛び込んでくるので、空はどの方向を見ても明るいのです。そして、空が青く見えるのは散乱光が青いからなのです。

散乱光が青いとはどういうことでしょうか？ 光は粒子に衝突すると反射して散乱しますが、粒子が空気分子程度の大きさのときに起こる散乱を**レイリー散乱**といいます。レイリー散乱を起こす確率は光の波長の 4 乗に反比例します。波長を  $\lambda$  とすると、 $1/\lambda^4$  となるということです。これは波長の短い光 (青い光) ほど散乱されやすいことを意味します。青い光 (波長 400nm) と赤い光 (700nm) で計算してみると**青い光のほうが 10 倍も散乱されやすい**ことになります。

そのため、空は太陽の光から散乱された青い光で一杯になり、青く

見えるのです。水が青く見えるのも同じ原理です。光が水分子によってレイリー散乱されているのです。

この説明では、波長の短い紫が空の色になるはず。なぜ紫ではないのか。  
→目の紫に対する感度が、青の10分の1しかないらしい。

朝日で山肌が紫に見えるのは何故？

青空に対して雲は白く見えます。雲は水滴でできた霧の一種です。色の無い水滴の集まりが白く見えるのはなぜでしょう。雲が白いのも散乱のせいです。ただし、青空のようなレイリー散乱ではありません。

雲は水滴や氷の集まりです。その直径は0.01~0.1mmですから、可視光線の波長、0.0004~0.0008mmに比べると100~1000倍の大きさになります。このように大きなものが起こす散乱はミー散乱と呼ばれ、波長の選択性はなくなり、全ての波長にわたって散乱します。ですから、散乱光は全ての色が混じった白色となります。このため、雲は白く見えるのです。霧や霞が白く見えるのも同じ理由です。ただ、太陽光をどれだけ透過するかによって、厚い雲は黒く、薄い雲は白く見えるのです。

虹が見えるためには条件があります。まず雨上がりなどで、**空気中に十分な量の水**滴が存在していなければなりません。この空気中の水滴に太陽光が散乱されることによって虹ができるのです。この条件は滝などでも満たせます。

...

そして次の条件は、**観察者の後ろ側から光（太陽光）が差し込む**ことです。虹は、これらの条件が重なったとき光の屈折と、水滴による全反射によって起こる現象です。

...

全反射して目に届くためには、**入射光に対して一定の角度になる**必要があります。この角度は赤で**42°**、紫で**40°**です。これが、**虹の形が半円である理由**です。目を中心にして一定の角度でだけ現れるのです。また、半円なのは、下半分は地面になってしまうからです。

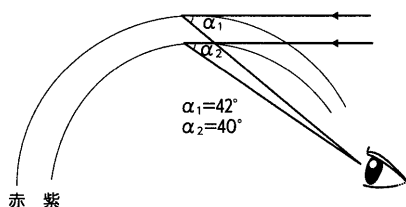


図5-7 虹が見える理由

副虹、白虹、赤虹

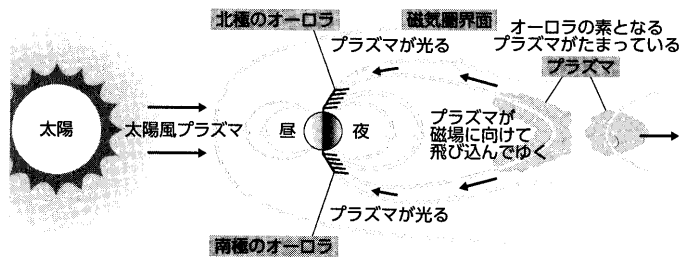


図5-11 オーロラの原理

太陽からの素粒子の「風」は常に地球に吹きつけています。太陽風はそのまま地表に吹き付けるわけではなく、地球の持っている磁気の影響によって進路が変わります。その結果、素粒子は太陽とは反対方向、つまり地球の夜側へと吹き流されてプラズマシートと呼ばれるシート状の領域に溜まります。

このプラズマシート中のプラズマが何らかのきっかけで地球大気（電離層）へ高速で降下することがあります。このプラズマは地球の磁力線に沿って、極地帯に流れ込みます。この時にプラズマが大気中の気体分子や原子と衝突すると、これらの粒子が高エネルギーを持った励起状態になり、それが元の基底状態に戻るときに発光します。これがオーロラの基本原理です。

18g (1 モル) の水の体積は 18mL、0.018L です。この水が水蒸気になると 22.4L になります。水蒸気の体積のうち、液体の水 (18mL) の体積は 0.08% に過ぎません。残りの 99.92% は原子のない真空の体積なのです。つまり、水分子自体の体積は非常にわずかに過ぎないのです。

ドライアイス  $-78.2^{\circ}\text{C}$

式 (1) を理想気体の状態方程式

$$PV = nRT \quad (1)$$

$$\frac{PV}{nRT} = 1 \quad (2)$$

図6-5 気体体積の圧力、温度との関係

前提として考えた気体の性質

- ① 気体分子は体積を持たない。
- ② 気体分子は他の分子や容器の壁との間に引力も斥力も持たない。

というものでした。これが間違いの元だったのです。気体分子はしっかり体積を持っていますし、他の分子や容器の壁とも分子間力に基づく引力を持っているのです。

しかし、このような仮想的な気体分子を考えることは、理論形成の出発段階として重要なことです。

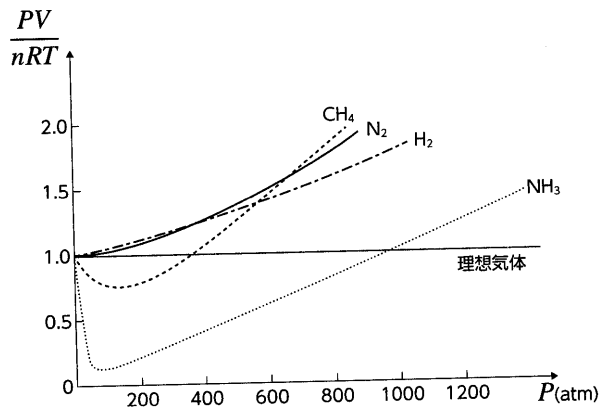


図6-6 式(2)と実際の気体の比較

理想気体に対して、実際の気体は実在気体と呼ばれます。実在気体は分子体積を持ち、分子間力も持ちます。そして、このような実在気体に使うことのできる状態方程式 (3) を**実在気体の状態方程式**、あるいは考案者の名前を取って**ファンデルワールスの状態方程式**といいます。

$$\left(P + \frac{an^2}{V^2}\right)(V - bn) = nRT \quad (3)$$

この式のポイントは、二種のパラメータ  $a$ 、 $b$  を用いたことです。 $a$  は引力や斥力のような分子間力にかかわるパラメータを、 $b$  は無いものと仮定していた気体分子の体積を意味しています。このパラメータは気体によって異なり、その値はなんと実験によって決めるのです。

溶液とは複数の成分を持った液体の事をいいます。

溶液は液体が他の物質を溶かしたものです。溶かす液体を**溶媒**、溶かされる物質を**溶質**といいます。砂糖水なら砂糖が溶質であり、水が溶媒です。

魚たちにとっては死活問題です。つまり、**水温が高くなると、溶存空気、すなわち水中の酸素量が少なくなるのです。**そのため、金魚鉢の金魚は空気中に顔を出して酸素を吸います。



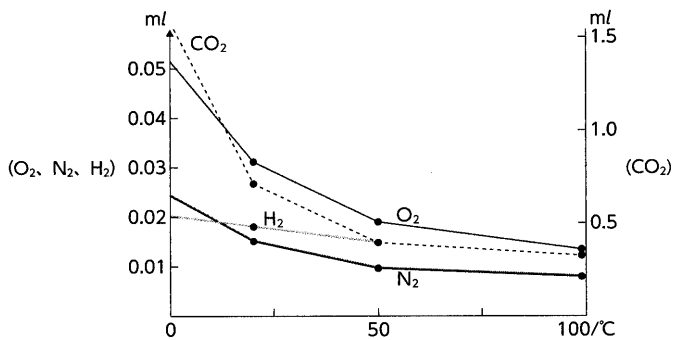


図6-9 1気圧で水1mlに溶ける気体の体積(標準状態)

### 根平均二乗速度

$$C^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$$

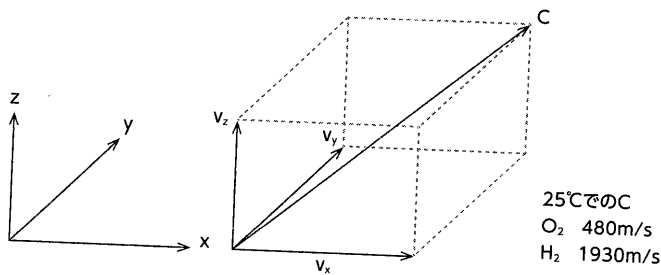


図7-2 分子の根平均二乗速度

三平方の定理でCの長さは出る。

気体中を音が伝わる場合には、概ね分子量が小さい物質ほど速くなります。例えば、媒質が空気(平均分子量29)の時よりヘリウム(分子量4)の時の方が音速は約3倍速くなります。ヘリウムを含むガスを吸入してしゃべるとかん高い声になる現象が知られています。これは声帯の中を伝わる速度が速くなり、それに伴って振動数が増加した音波が空気中を伝わり声が高くなったように聞こえます。

音の発生源が自分に近づく場合には、波の振動が詰められて周波数が高くなり、逆に遠ざかる場合は振動が伸ばされて低くなるのです。この現象を、発見者の名前をとってドップラー効果といいます。

### ウォーターオーブン

水を加熱すると100°Cで沸騰して水蒸気になりますが、その水蒸気をさらに加熱した100°C以上の気体を過熱水蒸気といいます。この

過熱水蒸気が、魚を焼くのです。水蒸気というと湯気が思い浮かぶ方もいるかと思いますが、**水蒸気と湯気は全くの別物**です。湯気は霧と同じで細かな水滴の集まりですが、水蒸気は完全な気体であり、酸素や窒素や二酸化炭素と同じです。

稲妻による窒素固定

地表の空気は宇宙からの放射線などによって非常に微量ですが電離してイオンができています。このため、電圧をかけると、ごくわずかですが電流が流れます。これが稲妻として私たちの目に見えるのです。

・・・

**稲妻には空気中の窒素をアンモニア NH<sub>3</sub> 等の分子に変える作用がある**ことが知られています。これを空中窒素の固定といいます。窒素は植物の三大栄養素の一つであり、植物の葉や茎などの本体を作る重要な元素です。

・・・

稲妻が光るとアンモニアができ、アンモニアはやがて変化して植物が利用できる窒素肥料に変化するのです。つまり、稲妻の多い年は農作物が良く実ったのです。

**球電は空中を発光体が浮遊する現象**で、以前は UFO のように疑惑の目で見られていましたが、最近では信憑性のある話として市民権を得て来たようです。

目撃例の多くは、光を放つ直径 10～30cm、大きければ 1m 位の球体が空中を数秒から数十秒浮遊するというものです。移動中の金属体を追いかける、送電線などの細い金属を蒸発させる、などの特異な性質をもちます。大抵は雷雨の時に現れます。正体については諸説ありますが、**自然発生したプラズマのかたまり**という説が有力です。