

空気の重さ

気体の空気の重さを感じることはかなり難しいはずですが、なぜなら陸上で私たちが生活している時は、空気の中に漬かって生活をしているわけですから、その状態で空気の重さを感じようと思っても難しいものがあります。

たとえば2リットルの烏龍茶ペットボトルはかなり重いものですが、これを水の中に入れてみるとどうでしょう。重さを感じなくなるはずですが、それと同じで空気の中で空気の重さを感じる事が難しかった訳です。

でも本当は空気にも重さがあるのです。そして実はこれは中性浮力に関する重要な知識になります。

1. 分子量を理解しよう

空気の重さは、高校の化学を使うと簡単に求めることができますので、もう一度ここで思い出してみましょう。気体の粒(分子)1個の重さを考えると非常に微量になるため扱いづらくなります。そこで測定しやすかった炭素(Carbon)原子1個の重さを12とおいて、これと比較して他の原子の重さを表現しようと考えました。

炭素の分子量を12と決めると、それをもとにして次々に様々な分子の重さを決めることができました。例えば酸素です。炭素が12に対して、酸素(Oxygen)1個のおもさは16となることが分かりました。こうして原子一個の重さを炭素と比べて表現されるようになったのです。この数値を**原子量**とよびます。

ところで気体になった状態の粒を分子と言います。というのも必ずしも原子が1個ずつ飛んでいるわけではなく、例えば酸素(Oxygen)や窒素(Nitrogen)は、2個ずつペアになっていないと落ち着かない物質の為、**O₂**や**N₂**というように原子が二個くっついた分子になっています。酸素が分子になっていることを見つけたのはイタリアの物理学者アヴォガドロです。炭素12と比べた重さとしては、酸素分子**O₂**は16×2=32の粒になっているという訳です。これを**分子量**と言います。



炭素原子(Carbon:カーボン)
原子の重さ(原子量)は12



酸素原子(Oxygen:オキシジェン)
原子の重さ(原子量)は16



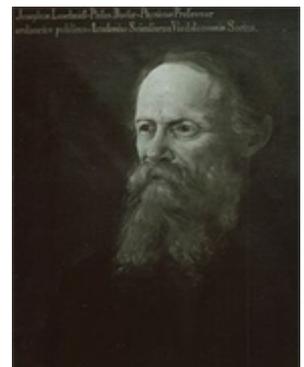
酸素分子 O₂
分子の重さ(分子量)は32

しかし気体の粒、分子1個の重さを議論しても、なかなか実際に私たちが使いやすい重さの単位になってくれません。私たちが使いやすい重さの単位と言うのはやはり**グラム**ということになります。そこでかなり乱暴な決め方ではありますが、この炭素を基にして決めた分子一個分の重さ(例えば酸素**O₂**の場合は分子量は32)ですので分子量に**グラム**をくっつけた量(例えば酸素**O₂**の場合は32→32g)を標準的な気体の量とすれば扱いやすいのではないかということになりました。

実はどんな気体分子を分子量[g]分集めても、そこに含まれる分子の数はどんな気体でも同じということは分かっていました。これを発見したのはイタリアの物理学者アヴォガドロです。ではこの分子量[g]という量には、いったいどれくらいの数の分子が集まっているのでしょうか。分子量[g]で実際にはどれくらいの数の分子があるのかを調べた方が居ます。オーストリアの物理学者ロシュミットです。酸素分子(**O₂**)が32グラム分集まると、なんと6.02×10²³個だったということです。窒素(Nitrogen)は分子だと**N₂**で、分子量は28となります。この窒素分子が28グラム分だとやはり6.02×10²³個ということになります。ロシュミットが見つけたこの6.02×10²³個という数は、現在ではアヴォガドロ定数と呼ばれています。

$$\text{分子量[g]} = 6.02 \times 10^{23} \text{個} \quad (\text{どんな種類の気体でも同じ})$$

アヴォガドロ定数

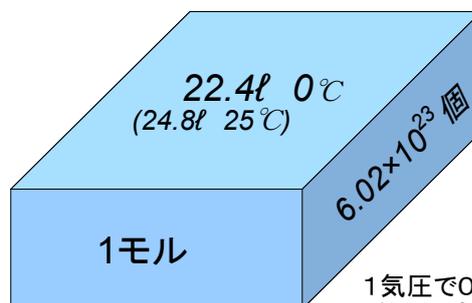


1821-1895 ロシュミット

分子の数が同じなら、結局は気体になった場合の体積も同じです。つまり酸素分子(**O₂**)が6.02×10²³個集まっても、窒素分子**N₂**が6.02×10²³個集まっても、気体の体積は同じということになります。これをアヴォガドロの法則と言います。

$$\text{分子量[g]} = 6.02 \times 10^{23} \text{個} = 22.4 \text{リットル} \quad (\text{どんな種類の気体でも、} 0^\circ\text{Cで} 1 \text{気圧の場合})$$

簡単に言うと、22.4リットル、つまり牛乳パック22本半分の気体の重さは、分子量[g]というものです。ここまできると空気1リットル分の重さもなんとなく求められそうになってきたのではないのでしょうか。ちなみに**6.02×10²³**個の分子のことを1モル(mol)と言います。モルとは分子(molecule)の頭3文字を取ってつけられた単位で、日本語に直すと「1ブン」とかいう感覚といえば分かりやすいかもしれません。



1気圧で0℃の時
(但し温度25度の時は24.8ℓ)

2. 空気の重さを求めてみよう

空気の成分は窒素78%、酸素21%、アルゴン約1%、その他となります。空気1ℓあたりに含まれるそれぞれの気体の重量を求めるところから始めてみましょう。

(1)1ℓの空気に含まれる窒素の重さを求める

窒素分子は、分子量28の数字そのまま単位をgに付け替えたら28gで1モル(22.4リットル,0℃)となります。空気には78%の窒素(N₂)が入っていますから、空気1リットル中に含まれる窒素は以下のようになります。

$$\text{空気1リットル中の窒素} = (28\text{g} \times 0.78) / 22.4\text{リットル} = 0.975\text{g}$$

(2)1ℓの空気に含まれる酸素の重さを求める

酸素分子は、分子量32の数字そのまま単位をgに付け替えたら32gで1モル(22.4リットル,0℃)となります。空気には21%の酸素(O₂)が入っていますから、空気1リットル中に含まれる酸素は以下のようになります。

$$\text{空気1リットル中の酸素} = (32\text{g} \times 0.21) / 22.4\text{リットル} = 0.3\text{g}$$

(3)1ℓの空気に含まれるアルゴンの重さを求める

残りの約1%はアルゴン(Ar)ガスですが、アルゴンガスは単原子分子と言って、原子1個で分子として飛んでいます。

アルゴンの単原子分子は、分子量は40です。分子量40の数字をそのまま単位をgに付け替えたら40gで1モル(22.4リットル,0℃)となります。空気には約1%のアルゴン(Ar)が入っていますから、空気1リットルに含まれるアルゴンは以下のようになります。

$$\text{空気1リットル中のアルゴン} = (40\text{g} \times 0.01) / 22.4\text{リットル} = 0.018\text{g}$$

(4)1ℓの空気の重さを求める

空気1ℓに含まれる窒素、酸素、アルゴンの重さを求めることができました。この3つの気体を足すとほぼ100%になりますし、アルゴンですら全体からすると小さな量ですので、これ以下の二酸化炭素(CO₂:分子量44)等は無視し、窒素と酸素とアルゴンの重さを足し合わせると1ℓの空気の重さになります。

$$\text{空気1リットル(0℃で1気圧)} = 0.975\text{g} + 0.3\text{g} + 0.018\text{g} = 1.293\text{g/リットル}$$

3. ダイビングタンクの重量変化を考えてみよう

通常のダイビングで使用する10リットルタンクの場合、10気圧毎に何グラムずつ重さが減るか考えます。

$$10\text{リットル} \times 10\text{気圧の空気の重さ} = 1.293\text{g} \times 10\text{リットル} \times 10\text{気圧} = 129.3\text{g}$$

つまり10気圧減るごとにタンクの重さは約130gずつ減る計算となります。

4. 例題

10リットルタンクの圧力が200気圧から50気圧まで減った場合、タンクの重量は何グラム減少するか？
1気圧0℃における1ℓの空気の質量を1.3gとする。

$$1.3\text{g} \times 10\ell \times (200\text{気圧} - 50\text{気圧}) = 1950\text{g} \quad \text{答え 約1950g減少する。}$$

つまりダイビングの後半には2kgもウェイトが軽くなってしまっているということになります。つまりこの状態で中性浮力を取るためには、あらかじめ2kgオーバーウェイトにしておく必要があり、言い換えれば潜降時に2kgのオーバーウェイト状態が適正ウェイトということになります。但しこの計算では、0℃で計算をしました。今度は下の応用編で25℃の時の重量の変化を求めてみましょう。

5. 応用問題(課題)

(1)25℃の環境で12リットルタンクの圧力が200気圧から30気圧まで減った場合、タンクの重量は何グラム減少するか？
酸素、窒素、アルゴンそれぞれの分子量を32、28、40とし、1気圧25度における1モルの体積は24.8ℓとする。

(2)インストラクターとOW講習生がそれぞれ200気圧充填されている10リットルタンクを用いて10mに40分のダイビングを行い、その後5mで安全停止を行った。ダイビング中、インストラクターは1分間に8リットル、OW講習生は1分間に20リットルのエアを消費するとすると、安全停止開始時におけるインストラクターとOW受講生のタンク重量の差は何gか？
酸素、窒素、アルゴンそれぞれの分子量を32、28、40とし、1気圧25度における1モルの体積は24.8ℓとする。

(3)課題: 上記の(2)の場合、インストラクターのウェイトは3kgであった。安全停止時にインストラクターはBCを完全排気して中性浮力がとれていた場合、OW講習生がインストラクターと同じ水深で留まるのに必要なウェイト量は最低何kgとなるか検討せよ。またOW講習生のBCを完全に排気させたことを確認できている場合、OW講習生が誤って息を吸った状態で息を止めても吹き上げられないウェイトは最低何kgとなるかを検討せよ。