

## シャトルカード通信

みなさんがシャトルカードを使ってした質問のなかで、面白いもの・重要なものを取り上げるのが、シャトルカード通信です。すでに質問者の方には個別に回答していますが、質問/回答に関する情報をみんなで共有しよう、ということです。

### 目次

化学者・科学者に関する質問	1
原子の構造・原子の物理学に関する質問	2
電磁波・光についての質問	4
同位体についての質問	5
原子核・素粒子についての質問	8
元素についての質問	9
電子・電子軌道・電子配置についての質問	13
化学結合についての質問	17
物質の状態についての質問	20
温度についての質問	22
溶液についての質問	24
化学反応熱・エントロピーに関する質問	25
化学反応についての質問	27
イオンと電離についての質問	28
酸と塩基についての質問	29
化学平衡についての質問	31
酸化と還元についての質問	31
電池・電気分解についての質問	32
日常生活関連物質についての質問	35
数学・計算についての質問	40
語源についての質問	41
原子力発電と事故についての質問	44
エネルギーについての質問	45
環境問題と化学についての質問	46
高分子化合物・界面活性剤についての質問	47
化学についての質問	48

## 化学者・科学者についての質問

○「アボガドロ定数のアボガドロって、どんな意味ですか」

イタリアの物理学者でもある化学者の名前です。アボガドロの法則、アボガドロ定数で有名です。1776年に生まれて80歳で亡くなっています。アボガドロ法則もアボガドロ定数も化学でとても重要なものですが、その意味が広く理解されて評価されたのはアボガドロが死んでからだとされています。

○「アレニウスって、どんな人ですか」

○「アレニウスの式のアレニウスは、なにの研究をし

ていたのですか」

スウェーデンの化学者です。1859年生まれで、今から100年くらい前に化学の多くの分野で大活躍しました。この授業（化学2）でも2回、アレニウスの名前が出てきます。1回目は、今日の授業です。化学反応の速度の温度依存性を表す式（「アレニウスの式」）2回目は、数回後の授業で、酸と塩基（アルカリ）の定義「アレニウスの酸と塩基の定義」についてのところ。酸と塩基に関連する研究で、ノーベル化学賞（1903年）を受けています。

○「ル・シャトリエって、どんな人ですか」

19～20世紀のフランス人の化学者です。「ル・シャトリエの原理」以外では、でてきませんね。

Le Chatelier とフランス語で書いて、ル・シャトリエと読みます。Leは英語で言えばTheです。姓にTheが付くことの意味・理由はよく知りませんが、フランス人では時々あるようです。

○「ボイルの法則、シャルルの法則など、外国人の名前が使われた法則名は、よく聞くのですが、日本人の名前のついた法則はあるのですか」

高校、大学1年生の基礎化学には、日本人の名前のついた法則はほとんど出てこないですね。そのあたりで勉強する化学の法則は、17～19世紀に発見され、確立したものがほとんどです。ボイルの法則は1662年、シャルルの法則は1787年の発表でした。その時代（17～19世紀）は、日本は江戸時代から明治時代前半で、まだ化学、物理学の研究は盛んではなかったのです。

近代・現代は日本の科学者の名前のついた先端的分野での科学的用語は、かなりあります。それらが、大学1年生の基礎化学の教科書に登場することは、ほとんどないですが。

○「ファラデーは電磁気でも化学でも、活躍しているんですね」

マイケル・ファラデーは19世紀のイギリスで活躍した物理学者であり化学者です。Aくんのいうとおり、物理学では、電磁場の基礎理論を確立しました。

化学者としては、授業でやった電気分解の法則をはじめとして多くの業績があります。ファラデーは小学校くらいしか出てなくて、高等教育を受けていません。高度な数学はわからなかったそうです。でも、優れた洞察力をもって自然を見る力があつたのでしょね。

コンデンサの静電容量の単位F（ファラッド）は、ファラデーに因んだものです。

○「ダニエルという人は、どうして2つのピーカーをつなげる事をおもいついたのだろう」

○「ダニエルという人は、どんなことをしていた人なのですか」

ダニエルはイギリスの化学者です。1790年生まれます。気象学も研究していたようです。昔の科学者というのは多方面に手を出す傾向にあったようです。

1800年ころボルタという人がボルタの電池を作りました。その改良版として、ダニエルが授業で説明したダニエル電池を作りました。したがって、初めて2つビーカーの金属板を、初めて電線でつないだのは、ダニエルではなくボルタというべきでした。

電圧の単位はボルト (V) ですが、これはボルタの名前からとったものです。ボルタは「動物電気」と名付けられた現象を研究していたようです。動物電気とは、2種類の金属をカエルの脚に接触させると、その筋肉がけいれんするという現象です。これからヒントを得て、電池を作ったとされています。

### **原子の構造・原子の物理学に関する質問**

○「アルファ粒子ってなんですか」

アルファ =  $\alpha$  です。話がややこしくなるのを避けるため、講義では詳しいことは省略しました。 $\alpha$  粒子はヘリウム4 ( ${}^4\text{He}$ ) の原子核です。2つの陽子と2つの中性子からできています。+2の正電荷をもちます。このことは1909年にラザフォードが実験的に確認しています。当時物質に対して透過力のある放射線が発見されていました。 $\alpha$  線 (飛んでる  $\alpha$  粒子の流れ) は、その一つです。

○「原子の中心に原子核があるって、どうしてわかったのですか」

とても良い質問です。鋭いとも言えます。アルファ粒子を金箔に当てて、ほとんどが通過、ほんのわずかが大きく跳ねかえる、という実験 (ラザフォードの実験) 結果からだけでは、

- (1) 原子はスカスカである。
- (2) 正電荷/質量が集中している部分がある。

とまでは言えても、原子の中心に位置するかどうかは、断定できませんね。

ボーアのH原子モデルなどから、結果的にそうであることは、はっきりしてきますが。

○「(ボーアの) 原子モデルは、あくまで「モデル」なのか」

とても良い質問です。難しい質問でもあります。「モデル」は、ここでは、「考え方」「仮説」と置き換えたらかわりやすいでしょう。正しいかどうかはわからない (実証されていない)、という意味が込められていると思います。

結局正しくなかったわけですが、数回前の講義で出てきた「ブドウパンモデル」なんてものもありましたね。重要なものは、実験記録/観察記録、つまり事実あるいは証拠です。

「モデル」は「事実」とまったく別に考え出されるものではなく、事実を横にらみしながら作り上げられ、事実と照らし合わされる。そして必要があれば修正される、という道筋をとるのだと思います。

「ボーアの原子モデルは、教科書に出てくるくらいだから、正しかったのだろう。だったら、「モデル」ではなく、「理論」といっても良いのでは？」が疑問のポイントだと思います。ひとつの考え方だと思います。そのように記述してある教科書もあります。

○「惑星モデルとブドウパンモデルは誰が考えたのですか」

原子のブドウパンモデルを提唱 (1903年) したのは、トムソンです。トムソンは電子を見つけた科学者でもあります。正に帯電した「パン」の中にブドウのように電子が埋まっている、という喩えであることは授業でも述べました。

原子の惑星モデル、すなわち、正に荷電した原子核のまわりを電子が回っているとするモデルを最初に考案 (1904年) したのは日本人です。長岡半太郎という物理学者です。その後ラザフォードが、実験によって惑星モデルがより正しいことを示した (1911年) ことは勉強しました。

○「ブドウパンってなんですか。レーズンパンのことですか」

干しぶどう (レーズン) が入っているパンですから、レーズンパンが正しいかもしれませんね。生のブドウ (グレープ) の実が入ったパン、想像するだけで気持ち悪い。「ブドウパン (レーズンパン) モデル」ではなく、「スイカモデル」と書いてある本もあります。スイカの種が電子ということですね。そういえば・・・レーズンの種って、どうなっているのですかね。

○「原子は太陽系と同じ動きをしている。地球は宇宙の電子かもしれない」

○「地球も電子の一つではないのですか」

“原子は太陽系と同じ動きをしている。太陽が原子核で、地球は電子かもしれない”という質問、というより、感想ですかね。おもしろい考えですね。

私も、Tくんと同じ年齢のころ、大学生として原子モデルを勉強したとき、自分の体を作っている原子が、ひとつひとつ宇宙 (太陽系) だったら???

そして、それぞれの原子の太陽系に惑星があって・・・それを形成する原子は、またさらに小さい太陽系で・・・とか考えたことがあります。

○「真空の誘電率って言葉が、あまりわからないのですが。空気の気圧のことですか」

誘電率（正確には真空の誘電率  $\epsilon_0$ ）の説明は、授業では全面カットしましたね。

物理の電磁気学の分野の内容になります。大同大学の物理学教室の3人の先生が書いた教科書「基礎から学ぶ 熱・電磁気」にとってもわかりやすい誘電率の説明があります。わたしも、Mくんの質問に答えるために、あらためて勉強しました。詳しくは、また正確には、上の教科書（p.100）を読んでください。

ある位置に、ある大きさの電荷Qがあったとします。そこから距離r離れている位置（Mくんが、そこにいるとしましょう）での電場Eを考えます。電場Eは、単位電荷（1クーロン）が感じる電気力ですので、Mくんが1クーロンの電荷であるとしたら電荷QからMくんが感じる・・・という喩えでイメージが湧くかな。

Q、rの値が同じであっても、電場Eの値は電荷QとMくんの間に存在する物質が何か（あるいは何も無い＝真空）によって変わってきます。Q、rが同じ条件（同じ値）でEが大きくなる物質は、相対的に誘電率は小さくなります。したがって、誘電率は、電荷が、離れた位置に電場をつくるときの、作りにくさ（伝わりにくさ）、電気の留めやすさ、と言ったらよいでしょう。物質がない（＝真空）場合でも、やはり電気の伝わりにくさということもあり、その値が  $\epsilon_0$  ということになります。（電場の説明は、上の教科書の p.92-93）

○「 $\epsilon_0$ 、真空での誘電率とは、どうやって調べたのか」

誘電率（正確には真空の誘電率  $\epsilon_0$ ）の説明は、授業では全面カットしましたね。クーロンの法則の式は、次のようでした（高校の物理）。

$$F = k Q_1 Q_2 / r^2$$

真空中に電荷  $Q_1$  と  $Q_2$ （単位は Cクーロン）が、距離 r（単位は mメートル）は離れてある場合に、働く力 F（単位は Nニュートン）を示した式であり、kは比例定数である。電荷  $Q_1$  と  $Q_2$  が真空中にある場合は、

$$k = k_0 = 9.00 \times 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2 \text{ となります。}$$

$k_0 = 1 / (4\pi \epsilon_0)$  の関係があり、

$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-2}$  が得られます。

○「原子を壊したら、どうなりますか」

原子は、原子核と電子からできていることは、勉強しました。「原子を壊す」には、2通りあります。

- ① 電子を剥ぎ取る。
- ② 原子核を壊す（変化させる）。

電子を剥ぎ取ったとき、原子は陽イオンになります。1個の電子であれば、+1の陽イオン、2個であれば、

+2の陽イオンになります。

これは、もうすぐ授業で出てきます。

原子核を壊すことは、原子核反応と言ったりします。原子番号が変わってしまう場合が多いです。別な元素の原子になるということです。

○「原子核は壊すことができますが、中性子や陽子も壊す（崩壊させる）ことができますか」

陽子も中性子も、自分自身で壊れます。「壊れる」というより変化するといったほうが正しいですが。

その変化の速度は、陽子、中性子が

- (1) 単独で存在するとき
- (2) 原子核をつくっているときで異なります。

(1) 単独のときの陽子は、 $10^{33}$ 年の寿命をもつと言われていています。 $10^{33}$ 個の陽子を集めたとき、1年間で1個が崩壊するという速度ですので、むちゃくちゃ遅い崩壊速度です。

それに対して、単独の中性子は、早く崩壊します。半減期10分です。100個の中性子があったとしたとき、10分後には50個は崩壊しています。

(2) 原子核中に陽子、中性子があるときは、陽子の数と中性子の数に組み合わせによって、陽子の1個が中性子に、あるいは中性子の1個が陽子にかわることがあります。このようなことがおこる原子核を「放射性」（＝放射能をもつ）と言います。その変化の速度は陽子・中性子の数の組み合わせでいろいろとなります。

○「昔に、原子の存在を認めない化学者とか、いたんですか」

この質問は「ボーアの水素原子に対するモデル（考え方）は、最初は受け入れられなかった」という私の授業での説明に対してのものだと思われます。

それは「原子の存在」を認めなかったのではなく、ボーアが提案した「円運動する電子の角運動量がとびとびの（不連続の）値をとる」という考え方に対する拒否反応でした。それは、通常の私たちが体感できる運動とかけ離れているからだ、ということは授業で言いましたね。

○「将来、原子が見えるメガネとか、出てきそうですか」

おもしろい質問です。「メガネ＝眼鏡」はピントを合わせにくくなっている眼球の補助装置ですので、裸眼で見えないものが、メガネをかけることによって見えるようになることはありません。

Kくんは、顕微鏡が将来進歩して原子1個そのものを観測できる（見ることができる）のか、ということを引きかかったのではないかと思います。

現在、顕微鏡には、光学顕微鏡、電子顕微鏡、SP

Mなどがあります。SPMは走査型プローブ顕微鏡のことですが、これを使うと分子、原子のかたちがうっすらと観測できるということです。

○「原子は新しくできたりするのですか」

現在地球にある原子は、約150億年前ビッグバンという大爆発がおこり、できたといわれています。そのビッグバンで宇宙そのものが生成したようです。誕生した宇宙は急激にふくらみ、そして温度が下がり、電子や陽子などができました。それらが結びついて、最初の原子・水素ができました。さらに原子番号の大きい原子が次第にできていったということです。

現時点で、原子が新しく生成することはないです。

**電磁波・光についての質問**

○「プランク定数って、なんですか」

光（電磁波）のエネルギーの話が、水素からでる光のところで出てきました。

光のエネルギーは振動数に比例します。そのときの比例定数がプランク定数 $h$ です。

光のエネルギー  $E$ 、

光の振動数  $\nu$ 、(ニューと読みます(ギリシャ文字))  
とすると、 $E=h\nu$  という式が成り立つということです。

光の速度  $c$ 、(定数で、 $3.00 \times 10^8$  m/s)

光の波長  $\lambda$  (ラムダ) とすると、

$\lambda\nu=c$  の関係があります。

$E$ を、 $\lambda$ 、 $c$ 、 $h$ を使って表すと、どうなりますか？  
やってみてください。

上にでてくる2つの式を連立させて、 $\nu$ を消去すればよいですね。

○「光っているから波長がでているのか。波長の具合で光っているのか。光が、そもそも何なのか不思議に思った」

光は電磁波です。波ですので、波長(ラムダ、 $\lambda$ )という物理量を持ちます。

他に、エネルギー $E$ 、振動数 $\nu$ (ニューと読みます)という物理量を持ちます。

物体であれば、質量とか体積とかの物理量を持ちますね。それと同じことです。

光が目に入ってくると、目のなかの化学物質が反応して「光っている」と感じます。

その反応の仕方が、光の波長によって、いくらか違うので、見え方/感じ方が変わってきます(色が違って見える。そもそも見えない、など)。

○「赤外線と遠赤外線の違いは何ですか」

赤外線は電磁波のなかで、波長が $0.7 \times 10^{-6}$ mから $1 \times 10^{-3}$ mまでの範囲にあるものです。

赤外線は、波長によって、次のように3つに分けられます。

近赤外線； 波長  $0.7 \times 10^{-6}$  mから $2.5 \times 10^{-6}$  m

中赤外線； 波長  $2.5 \times 10^{-6}$  mから $4.0 \times 10^{-6}$  m

遠赤外線； 波長  $4.0 \times 10^{-6}$  mから $1 \times 10^{-3}$  m  
( $=1000 \times 10^{-6}$  m)

近赤外線と中赤外線を、あわせて赤外線と分類することもあるようです。

すなわち、

赤外線； 波長  $0.7 \times 10^{-6}$  mから $4.0 \times 10^{-6}$  m

遠赤外線； 波長  $4.0 \times 10^{-6}$  mから $1 \times 10^{-3}$  m  
( $=1000 \times 10^{-6}$  m)

確認ですが、 $10^{-6}$  m =  $\mu$  m、 $10^{-3}$  m = mm です。

○「光の屈折率で、空の色が決まるんだったら、なぜ緑色の空は存在しないのですか」

屈折率が光の波長で異なり、色のついていない光(「白色光」と言います)を分光して、いろいろな色(駄洒落です)、すなわちいろいろの波長の光に分けることができます。これが、スペクトルです。虹が見えるのも、この原理です。

しかし、Nくんの質問の「光の屈折率で、空の色が決まる」は違うと思います。私は授業でそうは言っていません。何かに書いてあったことですか。

以下は、以前、私自身がホームページに書いたものです。<http://www.daido-it.ac.jp/~yocsakai/qa007.html> (2004. 12) 昼の空が青くて、夕焼け空は赤い、どうしてですか

回答 太陽からの光には、いろいろな長さの波長の光(いろいろな色の光)が、混合しています。その結果、白色光となります。絵の具はいろいろな色を混ぜますと黒になりますが、光の場合は色がなくなります。要するに、太陽からは波長の値がちがう多くの光がやってくるということです。真空中出れば光は直進しますが、空気( $O_2$ 、 $N_2$ 分子など)にあたりますと、散乱という現象がおこります。光の一部の方向がアッチコッチに変えられるということです。散乱は波長の短い光(目に入ったとき青として感じる光)の方が、より強くおこります。

昼間は散乱した青い光は、程よく、多く私たちの目に、空の方向から飛びこんできます。ところが、4限の講義が終わって、帰宅するころ(夕焼けの時間)、空は赤くなります。これは、太陽光線の射す角度が小さくなり(影が長くなり)、太陽と目の間の空気層が厚くなった結果です。青い光は、空気による散乱をたくさん受けすぎて、目に届かなくなります。逆に波長の長い光(赤い光)は、散乱しにくいわけですから、相対

的にたくさん目に届くということです。それで、夕空は赤く見えます。

では、夕方時点、私たち（名古屋住民）のところへ届かなくなった青い光は、どうなったのでしょうか？それは、日本より6-7時間くらい時間の遅いインドあたりで、「今日のお昼の空が青いな」とか言いながら眺めているインド人の目に入っているわけです。

Nくんの質問の直接の回答にはなっていませんが、ここから考えればわかることだと思います。キーワード・ポイントは、光の散乱、異なった波長の光の混合→人間の目で感じる色=無色

○「光の屈折には、何か条件的なものはあるのですか」

光の屈折という現象に対する法則のことを知りたい、ということですね。それはスネルの法則です。屈折の法則とも呼ばれ、17世紀、スネルという人によって定式化されました。

媒質Aにおける波の速度を $v_A$ 、媒質Bにおける波の速度を $v_B$ 、媒質Aから媒質Bへの入射角（またはBからAへの屈折角）を $\theta_A$ 、媒質Bから媒質Aへの入射角（またはAからBへの屈折角）を $\theta_B$ とすると、以下の関係が成立します。

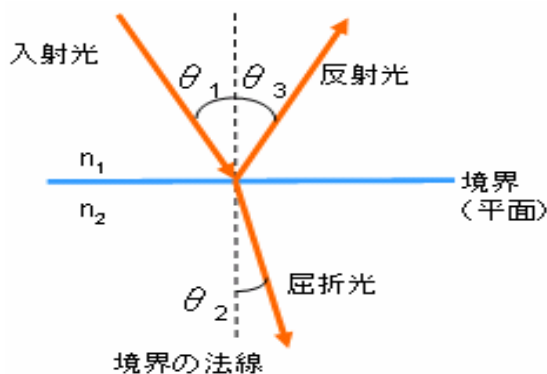
$$\frac{\sin \theta_A}{\sin \theta_B} = \frac{v_A}{v_B}$$

ここで、 $v_A/v_B$  値を媒質Aに対する媒質Bの相対屈折率と定義し、これを $n_{AB}$ で表す。

以上のことをまとめると

$$\frac{\sin \theta_A}{\sin \theta_B} = \frac{v_A}{v_B} = n_{AB}$$

となります。



上の説明と左図の関係

- A → 1
- B → 2

(左図で、1とあるのはA、2とあるのはBとすると、

上の説明文と整合性をもちます。)

**同位体についての質問**

○「なぜ、同じ原子で、質量数がちがうものが存在するのですか」

○「原子（同位体）の存在率ってどうやって調べるのですか」

○「同位体の存在しない原子もありますか」

3つとも、とても良い質問です。

これらに回答する前に、授業では説明不足であったことを補足します。

放射性同位体 (=不安定同位体) のことです。

同じ原子番号をもつ元素の原子で、原子核中の中性子の個数 (すなわち質量数) が異なるものを同位体と言うのでしたね。原子番号は原子の種類 (元素) を決定します。ということで、授業の例題で出てきた<sup>35</sup>Clと<sup>37</sup>Cl (塩素-35、塩素-37) は同位体の関係にあることになるわけです。

同位体は英語では isotope、アイソトープといいます。isoは「同じ」、topeは「位置、場所」という意味です。「同じ場所」は、元素の周期表のそれぞれの枠 (四角) と考えて良いですね。

原子核は複数個の陽子と中性子が合体してできたものである、ことは授業でできました。そのときの説明は、原子番号Zの原子の原子核は、Z個の陽子と、Zまたはその周辺の数の中性子をもつ、ということでした。

同じことを、ちがった言い方をしてみます。

原子核は、**ほぼ同数の陽子と中性子の合体物である**。**ほぼ同数**という条件であるので、その**組み合わせは、たくさんある**。同じ陽子数、すなわち同じ原子番号Zの原子核をもつ原子を同位体という。

例題で出てきた塩素C 1 (原子番号17) をとりあげれば、次のようです。

<sup>34</sup> Cl	陽子数 ; 17,	中性子数 ; 17,	質量数 ; 34
<sup>35</sup> Cl	17	18	35
<sup>36</sup> Cl	17	19	36
<sup>37</sup> Cl	17	20	37

「授業では<sup>34</sup>Cl、<sup>36</sup>Clなんて出てこなかったぞ！」と思っていますね。授業では、詳しく言いませんでしたが、同位体は大きく2つに分けられます。安定同位体と放射性同位体 (「不安定同位体」といってもよい) です。塩素の場合で言いますと、安定同位体が、<sup>35</sup>Clと<sup>37</sup>Cl (塩素-35、塩素-37) であり、放射性同位体は、<sup>36</sup>Cl、<sup>38</sup>Cl、他にもたくさんあります。

一番目の質問「なぜ、同じ原子で、質量数がちがうものが存在するのですか」には、上の説明で回答に

なっていると思います。

二番目の質問「原子(同位体)の存在率ってどうやって調べるのですか」に回答します。

自然界に存在するのは安定同位体です。複数の安定同位体がある場合、それらの存在率は、どこでも(この産地のどんな物質中でも)一定と考えてよいです。授業でやった例題にあったように、 $^{35}\text{Cl}$ 、と $^{37}\text{Cl}$ (塩素-35、塩素-37)の場合であれば、それぞれ、75.78%と24.22%です。

質問は、75.78%、24.22%をどうやって調べたのか、測定したのか。その方法は?ということですよ。

質量分析法という手段で調べることができます。この方法の原理を、ごくごく簡単に説明します。原子(同位体)をイオン化して、磁場中を通過させます。そのとき同位体は方向を曲げられるのですが、その曲げられ度合いは、同じ電荷(同じイオン価)であれば、質量の小さいものほど大きくなります。このことを利用して、質量数の異なる同位体を分離することができ、その個数を数えれば存在率が分かることになります。イオンが磁場中で曲げられる現象については、物理の授業で詳しくやると思います。

三番目の質問「同位体の存在しない原子もありますか」への回答は以下のようです。

質問をすこし言い換えてみました。

「安定同位体が1つしかない元素はありますか? 存在率100%となりますが」

回答は、YESです。多くはありませんが、いくつかあります。フッ素、コバルトが、その代表的例です。それぞれ、 $^{19}\text{F}$ 、 $^{60}\text{Co}$ が唯一の安定同位体です。フッ素については教科書のp.19の表2・1を見てください。 $^{19}\text{F}$ の存在率(存在比)100%とあります。

○「同位体の相対原子質量は、どのように求めるのですか」

○「同位体の相対原子質量と存在比はどうやったら、わかるのか疑問に思った」

$^{12}\text{C}$ の同位体(原子)の1個の実際の質量は、 $1.9926 \times 10^{-26}\text{kg}$ であることは授業でもやりましたし、教科書にもあります。この値は実験的に測定したものです。原子1個の質量は測定できます。加速器質量分析という方法を使います。

$^{12}\text{C}$ の質量を基準値(12ちょうど)として他の同位体の相対原子量を求めます。

$^6\text{Li}$ を例として、説明します。

(1)  $^6\text{Li}$ の原子1個の質量を測定します。

$9.9881 \times 10^{-27}\text{kg}$ という測定値が得られます。

(2)  $1.9926 \times 10^{-26}\text{kg}$ を12とするのですから、実際の質量が $9.9881 \times 10^{-27}\text{kg}$ である $^6\text{Li}$ の同位体としての相対原子質量をMとすると、次の比例関係となります。

$$1.9926 \times 10^{-26}\text{kg} : 9.9881 \times 10^{-27}\text{kg} = 12 : M$$

(3) これから

$$M = 9.9881 \times 10^{-27} \times 12 / 1.9926 \times 10^{-26} \\ = 6.0151$$

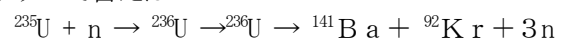
$^6\text{Li}$ の同位体としての相対原子質量、6.0151が求められます。

授業で例題としてやりましたが(教科書p.19の表2.1)、リチウムの同位体は $^6\text{Li}$ と $^7\text{Li}$ で、その存在比は、それぞれ、7.59%、92.41%です。Kくんのもうひとつの疑問は、この存在比の値をどうやって測定したのだ、ということですよ。

質量分析法という手段で調べることができます。この方法の原理を、ごくごく簡単に説明します。原子(同位体)をイオン化して、磁場中を通過させます。そのとき同位体は方向を曲げられるのですが、その曲げられ度合いは、同じ電荷(同じイオン価)であれば、質量の小さいものほど大きくなります。このことを利用して、質量数の異なる同位体を分離することができ、その個数を数えれば存在率が分かることになります。イオンが磁場中で曲げられる現象については、物理の授業で詳しくやると思います。

○「あるTV番組でウランとプルトニウムの核爆弾について紹介していたのですが、「おたがいに中性子のせいで核爆発がおこる」と言っていました。どうしてでしょう」

原子力発電や原子爆弾で、エネルギーを取り出すときは、ウランUやプルトニウム核分裂を利用します。ウランで言えば・・・



このような核分裂が起こるときは、大量のエネルギーを出します。

nは中性子です。この反応は、自然には起こらず、人工的に起こします。

上の核分裂の式で、3nに注目ください。1個のnで核分裂が起こり、3個のnを放出する。その3つのnが、さらに連鎖的に同じ核分裂反応をおこします。プルトニウムでの同様のことがおこります。

TV番組を観てないのでわかりませんが、上のことを言いたかったのではないかと思います。

○「ウランやプルトニウムなどにおこる原子崩壊は自然に起こるのでしょうか」

ウランUもプルトニウムPuも安定同位体をもたない元素です。すべて不安定な放射性同位体です。したがって、U原子、Pu原子は、「自然に原子崩壊」している、ということになります。

ウランとプルトニウムは核燃料であることは、知っていると思います。原子力発電など(核兵器も)で、エネルギーを取り出すときは、核分裂を利用します。

ウランで言えば・・



このような核分裂が起こると、大量のエネルギーを放出します。n は中性子です。この反応は、自然には起こらず、人工的に起こします。

「ウランは資源として産出するのに、安定同位体がないって、どういうこと？」という次なる疑問が湧いたかもしれませんね。それは、こういうわけです。

太陽系が生まれたとき、ウランの放射性同位体（たとえば $^{235}\text{U}$ ）も一緒にできました。不安定な放射性同位体ですが、寿命がとても長いのです（自然崩壊の速度がゆっくり）。そのため、まだ生き残っているのです。

○「水素の同位体 $^2\text{H}$ ですが、存在率が0.01%と、とても少ないように感じますが、どのように見つけたのでしょうか」

おもしろいところに目を付けましたね。とても良い質問です。何回か前の授業で、水素Hから出る光という話をしました。ほとんどの水素原子は $^1\text{H}$ ですので、光も $^1\text{H}$ からのものがほとんどということになります。「全部」じゃなくて「ほとんど」というところが大事です。1932年、アメリカのUrey（ユレー）という人が、水素から出る光のなかに、ほんのわずかな量で、ほんのわずかな波長がずれているものを観測したのが、 $^2\text{H}$ の発見です。

○「炭素の放射性同位体で $^{14}\text{C}$ というのがあるようですが、ある一定量の炭素があった場合に、 $^{14}\text{C}$ が含まれているとして、 $^{14}\text{C}$ と $^{12}\text{C}$ の結合は、 $^{14}\text{C}$ が別の原子に変わってしまったとき、どうなるのですか。また、そのとき放射線（ $\beta$ 線）がでるのですが、化合物への影響はないのでしょうか」

おもしろい質問です。良いところに気がついたと思います。まず $^{14}\text{C}$ の特性について述べます。

$^{14}\text{C}$ は $\beta$ 線を放出して $^{14}\text{N}$ に壊変します。100個の $^{14}\text{C}$ 原子があったとして、5730年が過ぎると半分の50個が壊変するという、ゆっくりとした速度です。

$^{14}\text{C}$ は放射性同位体ですが、炭素原子のうちの $1.2 \times 10^{-10}\%$ の個数含まれています。8000億の炭素原子のうち1個が $^{14}\text{C}$ 原子という割合です。

化合物中に $^{14}\text{C}$ - $^{12}\text{C}$ 結合があつて、突然 $^{14}\text{C}$ が $^{14}\text{N}$ に変われば化学結合は壊れます。そして、そのとき同時に $\beta$ 線という放射線がでますので、放射線によるダメージはあります。

しかし、最初に書いたように、 $^{14}\text{C}$ の割合の少なさと、壊変の確率の小ささから、目に見えるような変化はないといって良いです。Kくんは、 $^{12}\text{C}$ - $^{14}\text{C}$ - $^{12}\text{C}$ - $^{14}\text{C}$ - $^{12}\text{C}$ という図を描いてくれましたが、 $^{14}\text{C}$ の含まれる割合がそんなには小さくなく、むしろちや小さいということです。

○「半減期を短くすることは可能なのでしょうか」

Mくんの質問のポイントは、「放射性同位体の半減期を短くすることができれば、早く壊変してしまい放射能がなくなって安全化することができるではないか」、ということですね。

とても素晴らしい視点です。実際、そのようなことは考えられています。応用面での目的は、Mくんが考えたことと同じです。

放射性同位体に圧力をかけたり、化学形態を変えたりして、半減期を変えようとする試みの研究はこれまでも行われています。しかし、そのような方法で起こる変化は特定の放射性同位体に対して、1%程度またはそれよりずっと小さいという結果しか得られていません。残念ながら実用化は難しいというのが現状です。

○「安定同位体の存在比は、どのように求めるのですか」

同位体は、同じ原子番号をもつ元素の原子で、原子核中の中性子の個数（すなわち質量数）が異なるものでしたね。原子番号は原子の種類（元素）を決定します。ということで、たとえば、教科書のp.19・表2.1にある $^{35}\text{Cl}$ と $^{37}\text{Cl}$ （塩素-35、塩素-37）は同位体の関係にあることになるわけです。

同位体は英語ではisotope、アイソトープといいます。isoは「同じ」、topeは「位置、場所」という意味です。

「同じ場所」は、元素の周期表のそれぞれの枠（四角）と考えて良いですね。

授業では、詳しく言いませんでしたが、同位体は大きく2つに分けられます。

安定同位体と放射性同位体です。

塩素の場合で言いますと、安定同位体が、 $^{35}\text{Cl}$ と $^{37}\text{Cl}$ （塩素-35、塩素-37）であり、放射性同位体は、 $^{36}\text{Cl}$ などたくさんあります。

自然界に存在するのは、安定同位体です。その存在比は、どこでも（どこの産地のどんな物質中でも）一定と考えて良いです。

例題にあったように、 $^{35}\text{Cl}$ 、と $^{37}\text{Cl}$ （塩素-35、塩素-37）の場合であれば、それぞれ、75.78%と24.22%です。Mくんの質問は、この75.78%、24.22%をどうやって調べたのか、測定したのか。その方法は？ということですよ。

質量分析法という手段で調べることができます。この方法の原理を、ごくごく簡単に説明します。原子（同位体）をイオン化して、磁場中を通過させます。そのとき同位体は方向を曲げられるのですが、その曲げられ度合いは、同じ電荷（同じイオン価）であれば、質量の小さいものほど、大きくなります。このことを利用して、質量数の異なる同位体を分離することができ、その個数を数えれば存在比が分かることになります。

○「たとえば、水素の原子量は1.0079とされていますが、それは水素の原子である以上一律のものなのですか。わざわざ原子量が増えた水素はないのでしょうか」

良い質問です。

近いうち授業で出てきますが、実は「原子量」(=相対原子質量)には2種類あるのです。

(1) 同位体としての原子量

(2) 元素としての原子量

この2つです。

Kくんの質問にある水素の原子量1.0079は、(2)の元素として原子量です。

(1)の同位体としての原子量は、同位体が特定されれば、常に(一律に)決まった同じ値です。しかし(2)の元素としての原子量は、ほんのわずかではあります変動することがあります。元素としての原子量は、同じ元素であっても複数の同位体がある場合は、同位体の原子量の加重平均値になるのです。そのため、同位体の存在率が変動するようなことがあると、(2)の元素としての原子量は変動することがあります。ただし、その変動幅は極めて小さいので、実質的には一定であると考えても、ほとんど問題ないです。

○「原子(同位体)は、どのようにして質量を調べたのですか」

$^{12}\text{C}$ の原子(同位体)の1個の実際の質量は、 $1.9926 \times 10^{-26}\text{kg}$ であることは授業でもやりましたし、教科書にもあります。この値は実験的に測定したものです。原子1個の質量は測定できます。加速器質量分析という方法を使います。

$^{12}\text{C}$ の質量を基準値(12ちょうど)として他の同位体の相対原子量を求めます。

$^6\text{Li}$ を例として、説明します。

(1)  $^6\text{Li}$ の原子1個の質量を測定します。

$9.9881 \times 10^{-27}\text{kg}$ という測定値が得られます。

(2)  $1.9926 \times 10^{-26}\text{kg}$ を12とするのですから、実際の質量が $9.9881 \times 10^{-27}\text{kg}$ である $^6\text{Li}$ の同位体としての相対原子質量をMとすると、次の比例関係となります。

$$1.9926 \times 10^{-26}\text{kg} : 9.9881 \times 10^{-27}\text{kg} = 12 : M$$

(3) これから

$$M = 9.9881 \times 10^{-27} \times 12 / 1.9926 \times 10^{-26} = 6.0151$$

$^6\text{Li}$ の同位体としての相対原子質量、6.0151が求められます。

○「ホウ素も炭素も安定同位体の中性子の数は原子番号Zに対して、+1でしたが、マイナスになったり+2以上になったりするものもあるのですか」

たいへん良い質問です。よいところに気づいたと思

います。質問文に少し手を加えました。「同位体」を「安定同位体」にしました。

授業では、詳しく言いませんでしたが、同位体は大きく2つに分けられます。

安定同位体と放射性同位体です。

安定同位体は、自然界に安定に存在するものです。放射性同位体は、放射能を出して壊変していく(壊れていく)同位体です。

元素としての相対原子質量、すなわち「原子量」に関係するのは安定同位体だけです。

原子番号Zが1~10(H~Ne)の安定同位体について、中性子の数で以下のように分けられます。

ZとZ-1のもの H

Z+1だけ Be, F

Z+1とZ+2のもの He

ZとZ+1のもの Li, B, C, N

ZとZ+1とZ+2のもの O, Ne

#### 原子核・素粒子についての質問

○「正電荷を持ったものと負電荷を持ったものは引き付けあいますが、陽子と中性子はなんでくっつくのですか。中性子は電氣的には中性ではないですか」

素粒子物理学の分野になります。たしかに、Kくんの疑問のとおり、原子核は陽子と中性子の集合体ですが、その結びつきは電氣的な力によるということはありません。原子核が陽子と中性子できているとわかったとき(1932年)、Kくんと同じ悩みを当時の物理学者はもちました。理論的および実験的研究の結果、陽子と中性子を結び付けているものとして中間子の存在があることが、今では分かっています。電氣的引力とはまったく違う方式になります。

中間子の存在を理論的に最初に予測(1935年)したのが、日本人最初のノーベル賞受賞者(物理学賞、1949年)の湯川秀樹です。

○「ウランなどの原子が分裂することは知っているのですが、原子同士が合わさって別の原子になるのですか」

○「核融合ってなんですか」

質問のようなことは、おこります。核融合といいます。ウランなどでおこる質問文の前半の現象を、原子核分裂といいます。後半は原子核融合といいます。「原子」を省略して、核分裂、核融合ということはありますが、原子分裂、原子融合とは言いませんので、注意してください。

さて、その核融合ですが、これがおこると莫大なエネルギーを発生します。身近な(?)例は、太陽です。



太陽では、次の核融合反応が起こっています。



この式の $\text{e}^+$ は陽電子と呼ばれるものです。

核分裂も大きなエネルギーを出します。ウランなどの核分裂を利用したエネルギー発生装置が、原子炉です。核融合を利用したエネルギー発生装置は、核融合炉と呼ばれます。

○「中性子や陽子より小さい物質は存在するのですか」

中性子、陽子は、それぞれが3つのクォークという粒子で構成されているというのが定説です。

(1) 中性子：アップクォークが1個とダウンクォークが2個

(2) 陽子：アップクォークが2個とダウンクォークが1個

クォークは今のところは物質の最小単位のひとつです。そのような最小単位の粒子を素粒子といいます。クォークには5種類あって、アップ、ダウン、ストレンジ、チャーム、ボトムという名前がついています。

○「原子モデルだけで、「クォーク」や「超ひも」はやらないのですか」

やりません。原子・原子核の構成粒子について、基礎化学でやる最小単位は、陽子、中性子、電子までです。

○「原子に $\alpha$ 粒子にぶつける実験の話で、LHCを思い出した」

LHC、Large Hadron Collider のことだったですね。大型ハドロン衝突型加速器、たしかに、さかのぼれば、ラザフォードの1911年のアルファ粒子の実験に、その発想の起源を持つのかもかもしれませんね。

○「ニュートリノについて知りたいです。ニュートリノが光と同じ速さとは本当ですか」

「中性微子」とも呼ばれる素粒子のうちのひとつです。電子ニュートリノ、ミューニュートリノ、タウニュートリノの3種類と、それぞれの反粒子をあわせた6種類あるとされています。もっと詳しく知りたいということであれば、「素粒子」の基礎から勉強してください。

最近の大きいニュースとして、ニュートリノの速度が、光速より大きいことが実験的に示された、というのがあります。どんな物質（粒子）も光より速く運動することができない、というのはアインシュタインの相対性原理の基盤です。この基盤が崩れる可能性ができてきたということは重大なことです。アインシュタインの相対性原理は現代物理学の基礎の一つです。それが違っていた、あるいはそれを超える現象があった、ということになれば現代物理学における影響は巨大なものになるでしょう。だから、本当にこの実験結

果が正しいのか、どこかにミスはないのか、ということは慎重に調べなければなりません。現在はその検証の段階です。

## 元素についての質問

○「元素の周期表とは、適当に作られていないことは分かっていたけど、あらためて勉強してみると新しい発見がたくさんありました」

○「周期表のならばいろいろな意味があっただろい」

○「元素の周期表の空いている部分には、中学のときから疑問をもっていたが、ちゃんと意味があることが理解できてよかった」

とても重要なことが、分かったと思います。電子軌道への電子の配置の仕方と周期表のスペースのとり方は重要な関係がありました。というか、電子配置のシステムティクス、そのものが、元素の周期表のスペースのとり方である、といってもよいですね。

その関係に、「そうだったのか」、と思ったということとは両方を理解できた、ということですから、素晴らしいと思います。

○「元素は原子番号の何番まで覚えればよいのでしょうか」

「全部、111番まで」、と言いたいところですが・・・原子番号30までは覚えてください。理科リメディアルでは、20番まで覚えなければならぬようになっていますよね。原子番号21～30は、工学部の学生にとって、重要な元素のラインナップです。材料として重要な金属元素が目白押し（めじろおし）。

○「アルカリ金属とアルカリ土類金属のちがいは」

○「2属の元素は、なぜアルカリ土類金属と呼ばれているのですか」

元素の周期表において、アルカリ金属元素は、1族（一番左の縦列）アルカリ土類金属元素は、2族（左から2番目の縦列）です。

ここまで、教科書どおりの回答です。

名称としては「土類」という単語が、あるかないかのちがいですね。そのあたりに興味があったのかもしれませんが、英語では、それぞれ、alkaline metal、alkaline-earth metalです。これを和訳して、アルカリ金属、アルカリ土類金属ということです。ここでearthは、「土」の意味です。（「地球」ではありません。）

2族の代表ともいえるカルシウムは、酸化物( $\text{CaO}$ )、炭酸塩( $\text{CaCO}_3$ )などとして古くから知られている物質でした。化学が学問になる前の昔の人たちにとっては、

金属でない物質は「土」だったのです。CaOは水に溶かすと、反応して僅かに溶けてアルカリ性を示します。それで、アルカリ土と呼ばれました。アルカリ土に含まれていた金属元素（単体としては金属）ということで、アルカリ土類金属元素と名付けられました。

アルカリ金属元素の酸化物や炭酸塩は水によく溶ける性質を持っています。そのため、昔の人にとっては、「土」のように存在しなかったということです。

○「宇宙の元素構成比の75%以上は水素なのに、なぜ地球の元素構成比の一番大きい元素は酸素なのですか？ 水素が多くならないのですか」

とても、良い質問です。教科書の図1・2を注意深く見て考えたから、できた質問ですね。たいへん素晴らしいと思います。

宇宙レベルで言うと、元素は時間の経過とともに変化していきます。星の中で核融合反応がおこることにより、初期宇宙では、水素だけが存在するといわれています。

水素（ $Z=1$ ）が核融合して、ヘリウム（ $Z=2$ ）ができ、ヘリウムが核融合してベリリウム（ $Z=4$ ）ができ、ヘリウムとベリリウムから炭素（ $Z=6$ ）ができ、ヘリウムと炭素から酸素（ $Z=8$ ）ができ・・・

長い時間で核融合により徐々に重い元素（原子番号の大きい原子）が増えていったと考えられています。重い元素が集まって、地球などができていきます。その過程は、今でも続いています。とういことで、Kくんが質問したような状態になっている、ということです。

○「元素は周期表以外に、存在するのですか」

○「コペルニシウムより大きいものは、今後発見される可能性はありますか」

○「元素の数が増えるというところに、とてもロマンを感じました」

周期表に載っていないものが、さらに発見される可能性はあります。この授業の教科書では、原子番号1～111まで、周期表にあります。

原子番号113、114、115、118などの元素は、研究中あるいは確認中です。ちなみに、113番の元素は、日本人が研究の最先端にいます。

○「Cn（コペルニシウム）は、コペルニクスとどのような関係があるのですか」

ポーランドの天文学者コペルニクス(1473. 2. 19～1543)の名前をとってつけられた元素名であることは、授業で話しました。Oくんの質問は「天文学と新元素」の関係が、いまひとつよくわからない、ということですね。

コペルニクスは地動説（太陽を中心として地球などの惑星が回転運動する）を唱えた天文学者です。地動

説は、原子核のまわりを電子が回転するという原子の模型（考え方）にも応用されたとして、コペルニクスへの感謝の気持ちでの名前がつけられました。コペルニクスの誕生日は1473年2月19日ですが、この元素名の発表は2010年2月19日に行われました。これもコペルニクスに敬意を表してのことです。

○「コペルニシウムは、どのような原子（元素）なのでしょうか」

原子番号112番のコペルニシウムCnの元素の周期表での位置を確認してください。Cnの真上は水銀Hg、その上はカドミウムCd、さらにその上はZnですね。

元素の周期表の重要なポイントとして、縦に並んでいる元素は性質が似ている、というのがあります。Cnは、Hg、Cd、Znの性質に似ているということになります。

○「原子は消えたり、なくなったりするのですか」

原子が消滅するか、ということであれば、それはありません。しかし、別の原子に変わってしまうということはあります。原子の中心には原子核があることは授業で出てきました。その原子核には、安定なものや不安定なものがあります。不安定な原子核は、放射線を出して安定な別の原子核に変化します。安定な原子核をもつ原子を安定同位体、不安定な原子核をもつ原子を放射性同位体とよびます。

○「少し変わった質問です。もし今後Z=112以降の元素（性質的にかなり不安定だと思われるが）が見つかり、電子軌道の5gが使用される元素が登場した場合、周期表にはアクチノイドやランタノイドのように、まとめられるでしょうか？自分の考えでは、基本となる元素が1～18族となっているので、まとめると思いますが」

おもしろい質問です。自分の考えも述べているし、とても高く評価します。この件は、考え方の問題です。2通りの考え方の可能性があります。

一つ目は、Fくんが考えたことです。おそらく、現実的には、そうやっているし（4f、5f）、仮に5gが使われるとしてもそうなると思います。

二つ目は、4f、5fの場合でも、同じなのですが、周期表を横に長くして、つまりまとめずに、族の数を増やしてしまうことです。

ここで、こちらから問題です。

(1) 4f、5fをまとめなかったとしたら、何族まで必要になるでしょう？

(2) さらに、まとめない形で、5gを加えたら、どうなるでしょう？

計算してみるとわかりますが、二つ目は凄いな数の族に

なり、現実的でない。それに、一つの元素しかない「族」が、たくさんあることになる。やはり、現実的・実用的ではない、と言えそうですね。

○「もともと閉殻の18族は、化学反応しにくいのですか」

そのとおりです。18族（希ガス）、He、Ne、Ar、Kr、Xe、Rnの共通の性質として、

- (1) 単独原子の状態が安定、
- (2) 化合物をつくらない、
- (3) 化学反応しない。

上の3つのことは、同じことを言っているともいえますね。授業で(1)、(2)は言ったけど、(3)は言わなかったですね。

Krはクリプトンという元素です。このあいだ、深夜放送でスーパーマンの映画（シリーズ1）を見ていたら、スーパーマンが生まれた星は「クリプトン星」であったことを思い出しました。Mくんの質問とは何の関係もないけど・・・これは少し関係ある話。

アルゴン（Ar）は、「なまけもの」という意味から名前がついています。化学反応しない、ということが「なまけもの」ということです。

○「17族のハロゲンというと、ヒーターのあのハロゲンですか」

そのとおりです。タングステン（W）金属をフィラメントに通電して、そこから発生する光を利用するのが白熱電球です。普通の白熱電球のなかにはアルゴンあるいは窒素（N<sub>2</sub>）などの気体が封入されています。なぜ、このような気体を入れるかと言いますと、高温になるタングステンの消耗を防ぐためです。

ここにさらに、ヨウ素、塩素、臭素などのハロゲン族の元素の化合物を微量加えると、消耗度がさらに減ります。そうなると、通電量を増加して明るくすることが現実的に可能になります。この現象を利用し、ハロゲン化合物を加えた電球をハロゲンランプと言います。このハロゲンランプを、ヒーターとして利用したものが、Sくんの興味を持ったハロゲンヒーターです。

○「遷移元素の ” 遷移 “ の由来はなんですか」

「遷移」は、移り渡ることという意味です。何が「遷移」するのだろうか？というのが質問のポイントですね。これは周期表の発展の歴史に、その語源をさかのぼることができます。メンデレーエフは周期表をつくり、元素の周期律に早くに気がついたロシアの化学者ですが、彼はI族からVII族（現在の1～18族とは別物であることに注意）の枠のある周期表をとりあえず作成していました。そこにVIII族を加えたようです。VIII族は現在の8～10族（鉄、コバルト、ニッケル族）です。VII族から次の周期のI族へ移り渡るあいだに出てきた元

素であるので、VIII族を遷移元素と呼んだのが始まりのようです。それ以外のものはメンデレーエフ的には周期表の普通枠に収まっているということで「典型元素」という名前がよいということでしょう。

○「水銀は金属、それとも半金属ですか」

水銀は金属元素です。金属元素は、単体が常温で金属の特性（金属光沢、電気伝導性、熱伝導性、延性、展性）をもつものという説明をしました。

水銀は常温では液体ですが、金属の特性をもちます。ただし、延性、展性は、金属を固体であるという前提とした性質ですので、当てはまりません。水銀は常温で液体である特殊な金属です。液体であること活かした水銀の利用はいろいろあります。日常生活で身近なものとしては温度計ですね。水銀に半金属元素の性質はありません。

○「高校では、半金属元素は半導体でしたが、今日の授業で詳しいことがわかってよかったです」

半金属元素の単体が半導体の主要な材料であることは正しいです。ただ、半導体の特性をだすためには、微量のほかの物質をくわえる必要があります。だから完全に、半金属元素＝半導体 ではないことに注意してください。

また半金属元素同士の化合物、たとえばGaAsも半導体として使われています。

○「典型元素と遷移元素の違いは何ですか」

遷移元素では、最外殻の電子配置の共通性のため、族が変わっても性質が大きくは変わらないということがあります。それに対して、典型元素は族が変わると大きく性質が変化します。そこが大きい違いです。元素の性質は、電子配置、とくに最外殻の電子によることは、これからの先の授業で説明します。遷移元素は原子番号が増加しても、最外殻は変わらないで、内側のd軌道（またはf軌道）に電子が詰まっていきます。

第3周期の遷移元素（Z=21～30）を例にあげれば、以下のようです。

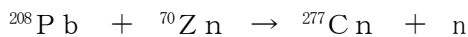
Sc	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^1 4s^2$
Ti	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^2 4s^2$
V	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^3 4s^2$
Cr	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^1$
Mn	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^2$
Fe	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^6 4s^2$
Co	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^7 4s^2$
Ni	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^8 4s^2$
Cu	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^1$
Zn	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2$

（規則性が、CrとCuで、少々崩れますが）

○「新しい元素は、どうやって発見されるのですか」

原子番号が 93 以上の元素は、自然界には存在しない人工元素です。人工的（実験的）に生成させるのですが、その生産は微量で寿命も短いので検出するのが難しいです。実験には加速器という巨大で高額な実験施設が必要です。

金属原子に、別の金属イオンビームを加速して（運動エネルギーを高くして）ぶっつけるのです。それによって、新元素を作ります。たとえば、コペルニシウム Cn の場合ですと、鉛金属に亜鉛イオンビームが当てられました。



という反応で生成され、発見されました。

上の式で数字は質量数、n は中性子を意味します。

○「元素は、どうなったら認定されるのですか」

S 君の質問は「原子は、どうなったら認定されるのですか」でしたが、上の意味ですね。

新しい元素が発見されたり、人工的に作り出されたとき、それを新しい元素として認定することは簡単なことではないです。IUPAC（:International Union of Pure and Applied Chemistry=国際純正・応用化学連合）と呼ばれる国際組織があり、そこで会議を開いて決めます。IUPAC にはいろいろな国の化学者がメンバーとして参加しています。

新しい元素の化学的性質、物理負荷的性質の研究結果を精査して、確かなものであるかどうかをチェックした上で認定します。そこで新元素の名前も付けます。

○「Cn やまだ発見されていないものなど、元素の数は決まってないのですか」

決っていません。現在でも研究中だからです。周期表に載っていないものが、さらに発見される可能性はあります。

この授業の教科書では、原子番号 1~111 まで、周期表にあります。原子番号 112 番は Cn コペルニシウムの名前が付いたこと授業で話しましたね。原子番号 113、114、115、118 などの元素は、研究中あるいは確認中です。ちなみに、113 番の元素は、日本人が研究の最先端にいます。

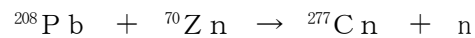
○「元素って増えたり減ったりすることはあるんですか。新しい元素の発見とか」

減ることはありません。増えることはあります。

原子番号が 93 以上の元素は、自然界には存在しない人工元素です。人工的（実験的）に生成させるのですが、その生産は微量で寿命も短いので検出するのが難しいです。実験には加速器という巨大で高額な実験施設が必要です。

金属原子に、別の金属イオンビームを加速して（運動エネルギーを高くして）ぶっつけるのです。それによって、新元素を作ります。

たとえば、コペルニシウム Cn の場合ですと、鉛金属に亜鉛イオンビームが当てられました。



という反応で生成され、発見されました。

上の式で数字は質量数、n は中性子を意味します。

○「レントゲニウムは、どのような物に含まれるのですか」

Rg レントゲニウムは原子番号 111 で人工元素です。元素としての存在は確立されたといっても、これまで 10 数個の原子が見つけれられた、というものです。だから、どのような物に含まれますか、という質問に答えるのは難しいです。

もし仮に Rg が大量に存在するようなことになったとしたら、金、銀、銅と類似の化学的性質を持ちますので、それらを含む物質に含まれる可能性があります。

Rg の元素の周期表の位置を確認してください。その上を見てください。金、銀、銅がありますね。

元素の周期表の重要なポイントとして、縦に並んでいる元素は性質が似ている、というのがあります。

○「最初のメンデレーエフの元素の周期表には、何番まで元素があったのですか」

原子番号で何番まで、ということではなく、とびとびにあたりなかつたりして、63 の元素があったといわれています。

○「Unb, Unt, ~Unc といった、原子番号 112, 113~118 の元素記号が周期表に表記されないのは何故ですか」

まず、Unb などという 3 文字を使って表されている元素記号の意味について説明します。Unb はウンウンビウム(ununbium)、Unt はウンウントリウム(ununtrium) と読みます。ウン=1、ビウム=2、トリウム=3 という意味ですので、Uub=112, Unt=113 ということになります。Uub、すなわち原子番号 112 の元素は、2010 年 2 月に Cn コペルニシウムという名前の正式名称が付けられたことは授業で説明しました。つまり、Uub という元素名は仮の名前なのです。名前が正式でないということは未だ研究途上ということです。ということで、周期表の元素として載せないということもあるのです。

○「ダイヤモンドは炭素でできていますが、他の宝石、たとえば水晶やアメジストなども同じ炭素なのでしょうか」

宝石は、その名前のとおり「石」あるいは鉱物である

のが普通です。したがって、ケイ素、アルミニウム、酸素が主成分である場合がほとんどです。炭素だけでできている宝石・ダイヤモンドは、むしろ異端者であり、特別なのです。水晶もアメジスト(=紫水晶)も化学式で記せば、 $SiO_2$ です。

○「ダイヤモンドだけが、Cが成分ということで他の宝石と違うということですね。ですが、ダイヤモンドも他の宝石と一緒に採掘されるんですよ。だったら、どうしてダイヤモンドだけが元素成分が違うのですか」

ダイヤモンドは炭素が高温高压の条件下におかれたとき生成します。他の宝石の生成にも高温高压が必要です。だから、ダイヤモンドと他の宝石と一緒に採掘されることは、よくあると思います。でも、どうして、ダイヤモンドだけが、他の宝石と元素成分が異なるかと質問されても回答のしようがないです。たまたま、ダイヤモンドができる元素(Cのことですね)と他の宝石ができる元素が共存していた、ということだと思います。

回答しにくい質問でしたが、おもしろい質問で良い質問でもありました。

○「人工ダイヤモンドは、どうやってつくるのですか」

○「ダイヤモンドはどのようにしてできるのか」

炭素が、高温・高压になるとできます。自然界ではそのような条件は地球深部となります。ダイヤモンドは宝石としてもはやされるばかりでなく、その硬さのため研磨剤、切削材などとして利用されるという工業的価値があります。そこで人工的にダイヤモンドを造りたい、といことになります。

1950年ころ、5万気圧、2000°Cという条件で、初めて人工ダイヤモンドが造られました。

○「どうして重い原子は見つかりにくいのですか」

原子番号が93以上の元素は、自然界には存在しない人工元素です。人工的(実験的)に生成させるのですが、その生産は微量で寿命も短いので検出するのが難しいです。実験には加速器という巨大で高額な実験施設が必要です。そういうことで、重い(原子番号の大きい)元素を発見して、確認するということは、大変なことなのです。

○「「水は酸素をふくむ」と「空気は酸素をふくむ」の「酸素」の厳密な意味はちがう、ということですが、よくわかりませんでした」

「酸素」は元素名である、と同時に酸素の単体としての物質名でもあるのです。複数の意味で使われます。このことは「酸素」だけでなく他の元素でも全く同じです。化学に慣れていないひとにはたいへんわかりにくく、

化学嫌いを誘発・増長しそうですね。元素の名前は、化学あるいは理工系・医薬生物系分野、そして日常生活においても、たくさん出てきます。使い方は次の3つに分類してよいと思います。

- 元素の概念として使っている。(E)
- 元素の単体としての物質名として使っている。(M)

○ 本当はその元素を含む化合物(群)を意味しているのだが、元素名を使ってしまう。(C)

(C)は、(E)のなかに含まれるとしてもよいかも知れませんが、質問の最初の「酸素」は(E)として、2番目は(M)として使われています。他の具体例を、クイズ形式で考えてみましょう。

次の元素名「酸素」の使い方は、元素の概念、単体物質名、化合物(群)のどれと判断しますか?

- (1) 二酸化炭素は炭素と酸素からできている。
- (2) 水を電気分解すると、水素と酸素が発生する。
- (3) 空気の主成分は窒素と酸素である。
- (4) オゾンが酸素の単体である。

答は、元素の概念(E)が(1)、(4)であり、単体物質名(M)が(2)、(3)で、ここで「酸素」は $O_2$ という化学式で示される単体のことです。

では、次の下線の元素名については、どうでしょう。

- (5) マーガレット・サッチャーは鉄の女と呼ばれた。(M)
- (6) 胃の検診で、バリウムを飲んだ。(C)
- (7) 鉛色の空。(M)
- (8) 夜明けの金星 消えゆく空はコバルト。(？、C)

元英国首相「鉄の女」の鉄は強さの比喩としての鉄金属(単体)であると考えられるから、答はM。

胃の検診で飲むのは硫酸バリウム( $BaSO_4$ )であるので、Cが正解。

鉛金属の色のことだから、M。

最後の(8)は、荒井(松任谷)由美の「コバルト・アワー」(1975)の詩の一節。「金星」、これは難しい・・・Venusを金星と和訳したのは何故・・・わかりません。後ろの「コバルト」はコバルト・ブルーのことです。ある種のコバルト化合物が示す美しく深く澄んだ青色のことだから、正解はCとしてよいでしょう。

#### 電子・電子軌道・電子配置についての質問

○「電子の発見が、そんなに昔でないことに驚いた」

電流の考え方が出てきた時期に比べると、電子の発見は新しいです、という授業での説明に関連した驚きですね。トムソンというイギリスの物理学者が電子の正体を明らかにし、その後すぐアメリカの物理学者ミリカンが負電荷の値をけっこう正確に測定したのが、

19世紀から20世紀の変わり目のころです。電子の発見から現在まで100年ちょっと、ということです。

それに対し電磁気学は、17世紀の摩擦電気の発見あたりから始まり、19世紀半ばには確立しています。そのなかで電流は正電荷の流れと決められました。電子は負電荷ですので、電子の流れと電流は互いに逆向きになっている、ということです。

もし電子の発見が、電磁気学の発展に先んじていたら、電流の向きは負電荷の流れと定義されたと思います。

#### ○「そもそも電気って、いつからあったんだろう」

静電気や雷などとして、電気は昔から感知されていたようです。電気学、電磁気学がきちんとした学問として始まったのは18世紀半ばくらいのことです。19世紀に目覚ましく発展し、おおむね現在の形になりました。

電子が発見されたのは19世紀と20世紀の変わり目のあたりです。電子が発見されるより前に電磁気学が発展し、ほぼ完成していたことは授業で話しましたね。(電流と電子の流れの向きが逆になるところで)

#### ○「電子って何なんでしょう？電気とは違うよなあ〜」

##### ○「存在確率密度とは、なんですか」

電子は電気とは違います。負の電荷をもった小さい粒子です。(負の電気を帯びた小さい粒子です。)ただし、電子が電子軌道中にあるときは、表現がむずかしいです。

電子軌道のなかにある電子がどうなっているかを、正確に・厳密に理解するには、電子が粒子で原子核の周りをぐるぐると運動しているという考えかたを捨てなければならぬのです。

量子力学では、電子軌道とは電子が存在できる空間のことです。電子が存在できるというのは、電子の存在確率が高い、あるいは存在確率密度が大きいという言い方になります。電子の存在確率密度が高い部分を3次的にプロットすると(点を打つと)、雲のようになります。それを「電子雲」と言うのです。

#### ○「電子の波動性ということは、波の性質があるということだと思いますが、粒子が波動性をもつなんてことが、ありえるのですか」

とても良い質問です。答えるのに難しい質問でもあります。答えは、YESです。Hくんが感じているように、とても不思議ですね。

原子の世界は「とびとび」と同じように、普通の私たちが見ている世界ではそのようなことは基本的にないです。だから実感できないし、不思議です。

電子という小さい世界だから、あり得ることなのです。やや詳しい説明は、教科書のp. 166~167の「7

ー2. 電子の波動性と電子軌道(物質の二重性)」、とくに「7-2-1. 電磁波の粒子性と物質の波動性(ド・ブロイ波)」を読んでみてください。(コピーを、裏面に付けました)

電子の波動性の、逆として、光(電磁波)の粒子性っていうのもあるのですよ。それも、教科書の上に紹介した部分を、読んでみてください。7章は「付録:2章の発展的内容」で、授業ではやりません。

#### ○「電子軌道の形(リボン形)などは、どうやって調べたのですか？見ることができるとはですか」

電子軌道の大きさは原子と同じくらいか、それより少し大きいくらいですから見ることはできません。量子力学という物理から理論的に、導かれたことです。それは、実験データ的に確かめられるのか？ということが疑問ですよ。

それは、メタンとかエチレンなどの、基本的な有機化合物の形が、2p電子軌道がリボン形で説明できる、といったところに、やや間接的な答えがあります。

#### ○「電子軌道の $p_x$ 、 $p_y$ 、 $p_z$ が、どう違うか、よくわからなかった」

違いがわかりにくいにも当然です。たとえば、 $2p_x$ 、 $2p_y$ 、 $2p_z$ の、3つについて言うと、3つとも、形(リボン形)も大きさは、まったく同じだからです。エネルギーも一緒です。ただ向いている方向だけが違う。「それを「違う」と言ってもよいのか？」という疑問ですね。電子軌道の分類としては、そう言う、と理解してください。

#### ○「方位量子数 $l=0, 1, 2, 3, 4$ に対応する記号s、p、d、f、gの規則性がわからない」

##### ○「電子軌道の記号s、p、d、f、gって、どんな意味ですか。なんかの単語の略とか・・・」

##### ○「方位量子数( $l=0, 1$ )の記号は、なぜs、pとかなのですか」

規則性はありません。s、p、d、f軌道などの電子軌道についての物理は原子からの光の観測から始まったことは、授業でもやりました。原子から出てくる光(スペクトル)に以下のような特徴をもつものがあるって、その頭文字を使ったとされています。

s、シャープ(sharpe; 鋭い)

p、プリンシパル(principal; 主な)

d、デヒューズ(defuse; ぼやけた)

f、ファンダメンタル(fundamental; 基本的な)

そのあとは、g、h、iと続きますが、f以降はアルファベットの順ですね。

たぶん、つける由来の名前がなくなったからだと思います。

○「電子軌道の記号で、 $l=5$ のとき「h」ですが、使われているのですか。表3を見ると使われていない気がします」

○「電子軌道の記号は、どこまである」

○「電子軌道の記号のsやpなどは、全部でいくつありますか」

たいへん良い質問です。

1s  
2s 2p  
3s 3p 3d  
4s 4p 4d 4f  
5s 5p 5d 5f 5g  
6s 6p 6d 6f 6g 6h  
7s 7p 7d 7f 7g 7h 7i  
8s 8p 8d 8f 8g 8h 8i 8j

という図を描いて(途中までですが)、電子軌道のエネルギーの順番を説明しました。

1s<2s<2p<3s<3p<4s<3d<4p<5s<4d<5p<6s<4f  
<5d<6p<7s<5f < 6d< 7p<8s<5g・・・

2 2 6 2 6 2 10 6 2 10 6 2 14 10  
6 2 14 10 6 2 18

上は電子軌道のエネルギーの順番、下はその電子軌道に最大入ることのできる電子の数です。

s軌道は、1つだから、2

p軌道は、3つあるから、6

d軌道は、5つあるから、10

f軌道は、7つあるから、14

g軌道は、9つあるから、18 ですね。

三行目はその3つの数字は、

二行目の黄色部分の合計、黄色+青部分の合計、黄色+青+ピンク部分の合計です。

Z個の電子を順に詰めていったとき、どこまでの電子軌道が使われるか、ということですね。

Zは原子番号ということでもあります。現在Zの最大値は110~120ですので、一行目の8s以上は、電子軌道として存在はしても、実質的には意味がないということになります。

質問への回答としては、原理的には(電子軌道としては)、g、h・・・という記号もありうるが、実際に存在する原子で使われる記号はfまでで十分である、ということになります。

○「電子軌道の大きさの限界はあるのですか」

水素原子から出てくる電磁波(光)からは、 $n=10$ は実験的に確認できるようです。

原理的には、もっとnの値が大きい電子軌道があっても良いのかもしれません。それが、実験的に観測できるかどうかは別問題とすればですが。

ボーア半径 $a_0$ とすると、水素原子の一番小さい円( $n=1$ のとき)の電子軌道の半径は $a_0$ です。 $n=10$ のときの半径は、 $100 a_0$ です。

○「なぜ(ひとつの)電子軌道に入れる電子の数は2個までなのでしょう」

量子力学という理論から出てくることです、というのが安易な回答です。

しかし、それ以上の答え方を、私はできません。

教科書のp.30にパウリの排他原理というのが、のっていますよね。これが、Nくんの聞いているポイントなのですが、知りたいのは「そのパウリの排他原理」が成り立つのは、なぜ?ということですね?

話がまた最初に戻ってしまいますが、量子力学という理論から出てくること、と回答します。そして、パウリの排他原理(定員2)を前提とすると、化学結合などがすべて上手く説明がつくのです。だから、そうになっていることは確かです。納得のできる回答になっていないですね。

○「p軌道やd軌道は、中心で電子がぶつかりあわないのですか」

結論からいいますと、電子どうしがぶつかりあうこともないし、電子が原子核にぶつかることもないです。電子は電子軌道中であるときの実態は、粒子というより、煙のような状態になっているのです。そういう状態を電子雲(教科書;28ページ)と言います。量子力学という、原子・電子の世界で成り立つ理論物理から、そうになっていることが分かっています。

回答するのに難しい質問でした。でも、よい質問です。

○「電子殻と電子軌道は、どちらがうのでしょうか」

K殻、L殻、M殻というのが電子殻ですよ。高校の化学でも出てきました。

K殻は、一番内側にあつて、電子は2個まで入る・・・そうですね、1s電子軌道と同じですね。

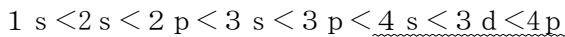
L殻とM殻は、内側から2番目と3番目の同心円で、それぞれ、8個と18個まで電子が入る・・・

L殻は、ひとつの2s電子軌道と3つの2p電子軌道をまとめたものです。

M殻は、ひとつの3s電子軌道と、3つの3p電子軌道、5つの3d電子軌道をまとめたものです。

つまり、電子殻(K, L, M)は、電子軌道を、nの値(1, 2, 3)ごとにいくつかまとめたものです。ただし、例外的に K殻=1s電子軌道 ですね。

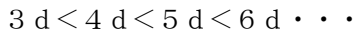
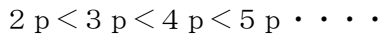
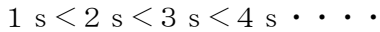
○「電子軌道のエネルギーの順番の根拠を教えてください」



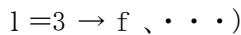
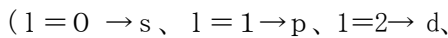
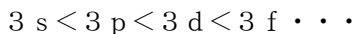
このあたりが気になっての質問だと思います。

電子軌道の記号の最初の数字は、主量子数  $n$  です。主量子数  $n$  が大きくなると、電子軌道のエネルギーは大きくなることは、授業で説明しました。

したがって、



となります。主量子数  $n$  が同じで、方位量子数  $l$  が変わっていくと (たとえば  $n=3$ )、



という性質があります。

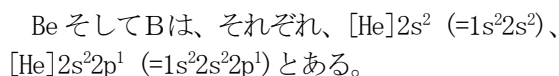
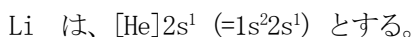
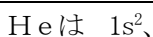
この兼ね合いで、全体の順番が決まってきます。

とうことで、 $4s < 3d < 4p$  のような、 $n$  の値としてはエネルギー順の逆転が起こります。

○「量子数  $m$  の磁氣的性質とは、具体的にどんなものですか」

3つの  $2p$  電子軌道で、説明してみます。  $2p$  は、 $2p_x$ 、 $2p_y$ 、 $2p_z$  と3つあります。この3つの電子軌道は、磁場がかかってないときは、エネルギーは全く同じです。しかし磁場がかけられるとエネルギーに差ができます。その差ができるのが  $m$  の値に関係するということで、 $m$  を磁気量子数と呼びます。

○「電子配置の書き方で、なぜ [Be] という表し方はできないのですか」

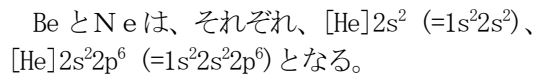
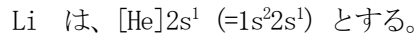
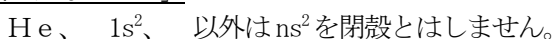


それだったら、B を  $[\text{Be}]2p^1$  としても良いじゃないか・・・という疑問ですね。

そうはしません。  $[X]$  という形でまとめるのは、 $X=18$  族 (希ガス) 原子だけです。18 族は、単独原子が安定に存在し化合物をつくらない、その電子配置を閉殻構造という、ということを勉強しました。Be は化合物をつくります。[Be] が使われない理由のひとつです。

○「Ne の電子配置  $[\text{He}]2s^2 2p^6$  を、 $[\text{Be}]2p^6$  と書くのはだめですか」

○「 $ns^2$  で終わるもの ( $ns^2$  が最外殻であるもの) は閉殻ではないのか」



それだったら、Ne を  $[\text{Be}]2p^6$  としても良いじゃないか・・・という疑問ですね。

そうはしません。  $[X]$  という形でまとめるのは、 $X=18$  族 (希ガス) 原子だけです。18 族は、単独原子が安定に存在し化合物をつくらない、その電子配置を閉殻構造という、ということを勉強しました。Be は化合物をつくります。[Be] が使われない理由のひとつです。

確認ですが、He は化合物をつくらない元素です。

○「K 殻、L 殻、M 殻、N 殻ですが、何で KLMN という順序なのですか」

K、L、M、N は、初めは電子殻の名前ではありませんでした。イギリスの物理学者 G. Barkla (1877-1944) は、アルミニウム Al の薄板による二次 X 線の吸収の測定をするなかで、各元素には特有の波長をもつ X 線 (これを特性 X 線といいます) の 2 つの系列があること発見しました。彼は論文を発表する前は、波長の短い系列に B 列 X 線、長い方に A 列 X 線という名前をつけていたのですが、その後書いた論文では、これを K 列、L 列に変えました。

その理由として、さらに波長の短い特性 X 線の系列が発見されることを予想したから、アルファベットの中程にある K、L を使うほうがよいと判断したのです。しかし、K 殻が結局一番内側だったので、今のように、アルファベットの中途半端なところ (すなわち K) から始まるという羽目になってしまった、といういきさつのようなのです。

$n=1$  が K 殻、 $n=2$  が L 殻に相当します。原子からの光 (電磁波 (X 線の場合もあり)) は古くから測定されていたが、その意味はボーアモデル以降にわかったので、このようなことが起こったのです。

○「電子軌道について、s、p、d はやりましたが、f、g とか、他にもあるのですか」

○「電子軌道の  $1s$  とか  $2p$  とか、アルファベットに何か意味 (理由) はあるのですか」

○「 $1s$ 、 $2p$  など、s、p、d、f という並び方の由来は何ですか」

s、p、d、f 軌道などの電子軌道についての物理は原子からの光の観測から始まったことは、授業でもやりました。

原子から出てくる光 (スペクトル) に以下のような特徴をもつものがあって、

その頭文字を使ったとされています。

s、シャープ (sharpe ; 鋭い)



p、プリンシパル (principal ; 主な)  
d、デヒューズ (defuse ; ぼやけた)  
f、ファンダメンタル (fundamental ; 基本的な)  
そのあとは、g、h、i と続きますが、f 以降はアルファベットの順ですね。たぶん、つける由来の名前がなくなったからだと思います。g または h が実際上最終として良いです。

○「元素の周期表を見ると、電子軌道と電子配置が分かりやすいことが分かった」

とても重要なことが、分かったと思います。電子軌道への電子の配置の仕方と周期表の枠の数、スペースのとり方は重要な関係がありました。というか、電子配置のシステマティクス、そのものが、元素の周期表の枠の数、スペースのとり方である、といってもよいですね。

その関係に、「そうだったのか」、と思ったということは両方を理解できた、ということですから、素晴らしいと思います。

○「メンデレーエフが周期表を完成させたときには、最外殻の存在は証明されていたのでしょうか。メンデレーエフは最外殻 (の共通性が化学的性質の類似性につながること) を取り入れて周期表をこんな形にしたのでしょうか」

とても良い、そして鋭い質問です。授業を集中して聴き、化学に興味をもっていないと、こういう質問はできないと思います。

メンデレーエフが周期表を提案したのが 1869 年 (明治維新の次の年) です。電子軌道のスタートは、授業でもやりましたが 1913 年のボーアのモデルです。それから電子配置、最外殻のことがわかってきたのですから、メンデレーエフは、電子軌道のことも、最外殻のことも知らなかったということです。メンデレーエフは、元素の性質という実験的事実のみを積み上げ、あの表を作ったのです。

つまり、話は逆なのです。

電子軌道、電子配置の研究が進んできたな。そういえば、メンデレーエフの周期表なんてのがあるぞ。あっ！これは電子配置の最外殻の共通性だ！と誰かが気がついたんでしょうね。

### 化学結合についての質問

○「原子の陽子数と原子数が違う場合、安定して存在できないみたいですが、その場合、他の原子と結合するのでしょうか」

質問の意味が、少し分かりにくいです (特に前半)。こういうことですか? 「原子の状態で、電子配置が閉

殻と違う場合、安定して存在できないみたいですが、その場合、他の原子と結合するのでしょうか?」

↑ こうであれば、回答は YES です。他の原子と結合する前段階として、陽イオンや陰イオンになるものもあります。

○「Ne+Ne → Ne<sub>2</sub> って 問題ありますか」  
問題あります。

Ne<sub>2</sub> 分子は存在しません。したがって、M さんの質問の化学反応は起こりません。

18 族 (希ガス)、He、Ne、Ar、Kr、Xe、Rn の共通の性質として、

- (1) 単独原子の状態が安定、
- (2) 化合物をつくらない、
- (3) 化学反応しない。

上の 3 つのことは、同じことを言っているともいえますね。

授業で (1)、(2) は言ったけど、(3) は言わなかったですね。

○「共有結合についてもっと詳しく知りたくなった」

詳しく知りたい M さんに、ふさわしいかどうか。。でも、是非紹介したい本があります。

改訂新版「物質とはなにか 原子から微生物まで」  
水島三一郎 (ブルーバックス・講談社)

この本の共有結合に関係にある部分のコピーを付けました。

長くないので、読んでみてください。

上の本は図書館にあると思います。興味がわいたら借りて読んでみることをお勧めします。

○「酸素の結合体 (同素体) オゾン O<sub>3</sub> は、どのような結合になるのでしょうか。正三角形の形になるのでしょうか」

酸素原子は、1 原子あたり不対電子を 2 つ持っています。たとえ話的に言えば、結合の手を 2 本 持っています。3 人の酸素原子が両手を広げて、互いに手をつなげば、F くんが考えたように、

O<sub>3</sub> 分子は正三角形となり、結合の方式としても上手く説明できます。しかし、これは違っていました。実験的に O-O-O の作る角度が測定されたのですが、60° ではなく、117° という事実であったのです。したがって、正三角形のリングを作っているのではなく、直線を折り曲げた分子の形です。結合の方式は、配位結合を取り入れた複雑なものになります。文字で書くのはやっかいなので、授業のあと板書と口頭で説明します。

○「高校の化学で「単結合は回転できるが、二重結合以上の結合になると回転できなくなる」と習いました。

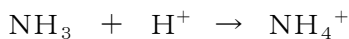
なぜでしょうか]

s p<sup>2</sup>混成、s p混成の説明を、授業では詳しくしませんでした。それぞれ、C=C (二重結合)、C≡C (三重結合) の成り立ちを説明するものです。教科書のp. 44の図3・6にあるように、単結合は1個のσ結合でできていて、二重結合は1個のσ結合と1個のπ結合で、三重結合は1個のσ結合と2個のπ結合でできています。

Hくんの質問に分かりやすく答えると、次のようになります。2つの発泡スチロールの球を、1本の棒の両側に突き刺したとします(単結合にあたる)。突き刺した部分にすこし余裕があれば、2つの球は、それぞれ、回転できますよね。ところが、2つの球を2本の棒(または3本の棒)で同じようにつなぐと、球は回転できなくなります。

○「配位結合のところだけ、いまいち、理解できなかった。なぜ進んでイオンになる」

とても面白い (interesting) 質問です。配位結合として、次の例を出したことを言っているのですよね。

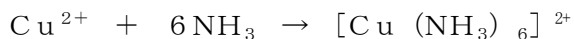


配位結合のポイントは次の2つでしたね。授業でやりました。

- (1) できた結果は共有結合と同じ。
- (2) 片方が電子対(2つの電子)を一方向的に提供し、相手は一方向的に受け取ることによって、配位結合となる。

電子対を提供するものをドナー、受け取るものをアクセプターといいます。上の例でいえば、NH<sub>3</sub>がドナー、H<sup>+</sup>がアクセプターです。ドナーには非共有電子対を持っている分子がなりやすいです。アクセプターは、空の電子軌道があり、そこに電子対がやってきて(1対とは限らない)はまり込むと閉殻構造になるものなりやすいです。そのような条件を満たすものとしては、陽イオンが多いです。

2年生の基礎工学実験(化学)の定性分析で、次の反応がありました。



これも配位結合の生成です。どれがドナーでアクセプターかは、もうわかりますね。

○「H<sub>2</sub>Oが折れ線型分子で、CO<sub>2</sub>が直線型分子だったわけですが、それを見分ける方法みたいなものはあるのですか」

授業で説明したように双極子モーメントμの実測値から判定できます。

μ(H<sub>2</sub>O)は、0でない ⇒ 折れ線型

μ(CO<sub>2</sub>)=0である ⇒ 直線型

でもSくんは、そのことは授業でしっかり聴いていた

わけだから、質問の意味は、もっと一般的に他の実験的方法があるのかどうか質問しているのだと思いました。

分子の形(=分子構造)を決める、というのは化学者にとって重要で永遠のテーマのひとつです。

複数の原子からなり、いろいろな形をとる分子構造は、どのようにして決められるのでしょうか。

分子は大まかな形は保ちつつも、結合の長さや角度を変えて振動し、また全体として回転もしています。振動し回転するためにはエネルギーが必要です。振動や回転の速さやモードが変わるとエネルギーが放出されたり、吸収されたりします。このエネルギーの放出・吸収は赤外線、マイクロ波(電子レンジで使われている電磁波)などの電磁波の放出・吸収でおこります。赤外線、マイクロ波の放出・吸収を測定し、データを解析することにより分子構造を決めることができます。試料が大きい結晶である場合は、X線を当てて反射させたり回折させたりすることによって、分子をつくっている原子の位置(座標)を決めることができます。これでも、分子構造が決定できますね。他にも、いろいろ方法がありますが、基本的なことは以上です。

○「双極子モーメントがK Iのときだけ、大きいのはなぜですか?電気陰性度がIは大きいからという理由であれば、例えば、もっと電気陰性度の大きいFのKFは、どうなるのですか」

KFの双極子モーメントμの測定値は28.6 x 10<sup>-30</sup> Cmです。

K I (36.9 x 10<sup>-30</sup> Cm)に比べて小さい値です。

この2つの化合物における、K-F、K-Iの結合距離rは、それぞれ、

0.217nm, 0.305nmです。

$$\mu = q r$$

ですので、結合距離の大小も、μの値の大小に関係してくるということです。

○「μ(双極子モーメント)の測定値は、どうやって求めるのか」

誘電率ε測定を行ないます。物質の誘電率εと双極子モーメントμには、関係式があつて、εが測定されるとμが求められます。真空の誘電率については、Kくんは以前に、シャトルカードで質問しました。

誘電率εとは、物質に外部から電場をかけたとき、物質を構成する分子がどのように応答するかによって決まる値です。応答がすばやいときは誘電率が小さく、応答ののろいと誘電率は大きくなります。誘電率の測定については、Kくんの所属の電気電子工学科の分野だと思います。そちらで勉強してください。

○「イオン化エネルギーは、熱か光などによるもので

すか」

熱エネルギーでも、電磁波(=光)のエネルギーでも、原子から電子を放出させイオン化することができます。電磁波のなかでも、紫外線、X線、γ線などのエネルギーが高いものが原子のイオン化を引き起こすことができます。

実際にイオン化エネルギーを測定するときは、エネルギーの値がきちんと制御でき測定できる電磁波(X線など)が用いられます。

○「第一イオン化エネルギーと電子親和力の違いがよく解りません」

電子親和力については、ほとんど説明をしませんでした。

教科書をよく読んでいたことがわかりました。グッドです。

第1イオン化エネルギー(IE):

電氣的に中性の原子(M)が、電子( $e^-$ )を1個失って、+1の陽イオン( $M^+$ )になるために必要なエネルギーです。

式で示せば、 $M + IE \rightarrow M^+ + e^-$  となります。

第一イオン化エネルギーが小さければ、 $M^+$ が生成しやすいこととなります。

1族の元素は、第1イオン化エネルギーが小さいです(図2.11)。

電子親和力(EA):

電氣的に中性の原子(M)が、電子( $e^-$ )を1個受け取って(取り込んで)、-1の陰イオン( $M^-$ )になるとき、安定化のために放出されるエネルギーです。

式で示せば、 $M + e^- \rightarrow M^- + EA$  となります。

電子親和力が大きければ、 $M^-$ が生成しやすいこととなります。

17族の元素は、電子親和力が大きいです。

解りづらいのは、電子親和力の説明のところ、「安定化のため放出されるエネルギー大きい」→「起こりやすい」というところではないでしょうか。エネルギーを放出する変化の場合は、「大きいエネルギー放出」→「より大きい安定化」→「起こりやすい」となります。どんな変化でも、必ずエネルギーの増減を伴います。「エネルギーが小さくなる(放出され、減少する)」場合は、上のようなことが一般的に言えます。

○「1族の原子の電子配置が閉殻構造より1電子多くて、17族が1電子少ない。ということは、1族と17族はくっつきやすいのですか」

とても良いところに気づきました。次回の授業でイオン結合を勉強しますが、まさにMくんが考えたこ

とそのものが、イオン結合の生成で起こっています。

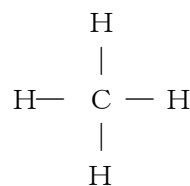
$NaCl$  塩化ナトリウム(食塩)がイオン結合でできる代表的な化合物として取り上げられますが、Naは1族、Clは17族ですね。 $NaCl$ と書きますが、実は $Na^+Cl^-$ であることは、わかりますね。

○「メタンの分子の形、ピラミッド型ではだめですか? 正四面体=ピラミッド型ではないのですか? 教科書には「ピラミッド型」配置とありましたが」

まず、結論から言います。「ピラミッド型」は間違いです。「ピラミッドの形=正四面体」でしょうか。これが問題です。ピラミッドはエジプトにある古代モニュメントですが(私は実物をみたことはありませんが、Mくんはどうですか?)、形は四角錐(しかくすい)です。四面体と四角錐は根本的に違います。四面体は三角錐です。

ピラミッドに三角錐の形をしたものがあるのか、「ピラミッド型」という用語に三角錐を容認する語源的な根拠があるかどうか、という問題になってきます。私自身は、この問題(ピラミッド=四面体?)に興味があったので調べて、ひとつの結論(この回答文書の冒頭)に至りました。Mくんも興味があれば調べてみることをお勧めします。

○「メタンの書き方は、下のようではいけないのでしょうか」



いけなくありません。問題なしです。このような書き方を構造式といいます。紙、黒板など平面上に書くときは、これで良い、というか、こうしかない、ということです。でも、実際の分子の形は正四面体です。

「構造式」については、教科書の10ページ、またはアップリントchem.9に詳しくでています。

○「化学結合や化学反応の話がでましたが、たとえば銅に亜鉛を加えて真鍮にしたりするのは、化学の範疇ですか」

金属や合金(真鍮など)において原子(正確には陽イオン)を、結び付けているのは金属結合です。金属結合そのものは化学の分野といえると思います。しかし、真鍮などの合金の作り方・性質などは、金属材料工学の範疇かもしれませんね。

○「ファンデルワールス結合とは、どんなものですか」  
ファンデルワールス力は、電荷を持たない中性の原

子間、分子間に働く凝集力のことです。授業で説明した極性をもたない場合（原子はそういうことになりませよね）でも、働く弱い力です。でも授業では「極性による」結合といました。それは、短い時間の周期で電子分布が揺らいでいて、瞬間・瞬間では極性をもつが、時間平均すると極性はない、というわかりにくい仕組みによるものです。でこの弱い凝集力によって分子間に形成される結合を、ファンデルワールス結合と言います。

○「電気陰性度の説明からすると、化学結合をつくらぬ18族の元素が電気陰性度をもっている、ということはどういうことで、どうしてわかったのですか」

「どうして18族の元素に電気陰性度が与えられていることを知っているのか？」というのが、Fくんのシャトル・コメントを読んだときの感想でした。18族の元素の電気陰性度は、基礎化学の教科書では記載されないのが普通（ある意味当然）だからです。ところが、この授業の教科書では、KrとXe（IとCsの間の点）の電気陰性度が、グラフとしてですが与えられていましたね（図3.13）。それをチェックしての質問です。

希ガス（18族）も例外的に化合物をつくることがあります。特別な条件で不安定にしか存在しません。

KrF<sub>2</sub>などです。この教科書の著者らは、その事実を尊重してKr、Xeに電気陰性度があるような記述にしたと思われます。

○「電解の例で、酢酸があげられていました。カルボキシル基のO-H結合のHが電離するのは、O-H結合の原子間距離が一番短いから、という意味でしょうか。私的には、原子間距離の短いほうが結合力は強いので、メチル基のHが、むしろ電離しそうに思えるのですが・・・」

おもしろい質問です。

自分なりの考察も含まれていて、良い質問です。結合の種類の問題です。

カルボキシル基のO-H結合はイオン結合性が高く、メチル基のC-H結合は共有結合性が高いです。イオン結合性の高いカルボキシル基のO-HのHが電離します。

前期の化学1でやった結合のあたりを復習してみてください。キーワードは、共有結合、イオン結合、電気陰性度、の3つです。酸素、水素、炭素の電気陰性度は、それぞれ、3.4、2.2、2.5です。電気陰性度の違いが大きい結合ほどイオン結合性が高くなります。

○「エチレンが平面型、アセチレンが直線型という分子の形とのことでしたが、どのようにしてわかったの

ですか」

分子の形（＝分子構造）を決める、というのは化学者にとって重要で永遠のテーマのひとつです。

複数の原子からなり、いろいろな形をとる分子構造は、どのようにして決められるのでしょうか。分子は大まかな形は保ちつつも、結合の長さや角度を変えて振動し、また全体として回転もしています。振動し回転するためにはエネルギーが必要です。振動や回転の速さやモードが変わるとエネルギーが放出されたり、吸収されたりします。このエネルギーの放出・吸収は赤外線、マイクロ波（電子レンジで使われている電磁波）などの電磁波の放出・吸収でおこります。赤外線、マイクロ波の放出・吸収を測定し、データを解析することにより分子構造を決めることができます。試料が大きい結晶である場合は、X線を当てて反射させたり回折させたりすることによって、分子をつくっている原子の位置（座標）を決めることができます。これでも、分子構造が決定できますね。他にも、いろいろな方法がありますが、基本的なことは以上です。

○「結合におけるσ結合、π結合について、σとπという記号が使われる理由は、何かあるのですか」

ギリシャ文字σとπは、英文字でsとpに対応します。s軌道、p軌道のs、pです。

σ結合は、結合の軸と、重なりあう電子軌道のもともとの向きが一致しているという結合です。それに対して、π結合は、結合の軸と重なりあう電子軌道のもともとの向きが垂直である結合です。

（1）s軌道かかわる結合は、相手の電子軌道が何であろうと、すべてσ結合です。

（2）π結合はp軌道とp軌道とでしかできません。

（3）p軌道とp軌道で、σ結合を作ることもありません。

（1）（2）のことから、ついている結合の名前だと思います。

### 物質の状態についての質問

○「ボイルとシャルルは、どんな研究をしていて、それぞれの法則（ボイルの法則、シャルルの法則）を見つけたのですか」

イギリスの化学者ボイルは、ボイルの法則を発見（1662年）するころは、「真空」に興味を持っていたようです。真空をつくるポンプなどを作成しているうちに、気体の圧力を減少させると、体積が反比例の関係で増加することに気がついたのではないのでしょうか。

シャルルは、パリの大学で実験物理学の教授として教育・研究のかたわら、気球を操る冒険家として活躍

していました。水素気球の発明者でもあります。そのような体験の中で、大雑把に気体の体積の温度変化の関係に気がついたようです。

きちんとした実験を行ってシャルルの法則を確かめ、論文として発表（1802年）したのは、ゲイ・リュサックという人です。ゲイ・リュサックは、謙虚で誠実な研究者であったようで、1787年ころシャルルが大雑把に言ったことに敬意を表して、論文に「自分より前にシャルルが、このことに気がついている」と書いています。そんな経緯で、この法則が確立されたので、「シャルルの法則」ではなく、「ゲイ・リュサックの法則」と呼ばれることもあります。

参考図書

ボイルについて：久保昌二、「化学史 化学理論発展の歴史的背景」、白水社（1959）

シャルルについて：Keith Laidler, “The World of Physical Chemistry”, Oxford Univ. Press (1993)

○「ボイル、シャルルの法則って高校の化学Ⅱや物理でやりましたが、ボイルさんやシャルルさんは、どっちの分野の学者なんでしょう」

ボイルとシャルルが、それぞれの法則を世に出したのは、1660年と1787年です。このころは、化学と物理学の分野が、必ずしもはっきり分かれていたわけではないし、二人ともいろいろなことを研究していたようで、どちらの分野と明確に言うことは難しいです。ボイルは「疑い深い化学者」という有名な本を書いていることもあり、化学者とするのが一般的で、シャルルは物理学者ということが多いようです。

○「ボイルの法則、シャルルの法則の他に、「体積が一定のとき、気体の圧力は絶対温度Tに比例する」というアモントンの法則があると思いますが、化学ではどうして説明されないのですか。アモントンの法則は物理で勉強し、高校などではやりませんでした」

「化学はやらない」・・・たしかにそのとおりですね。物理でも高校、大学教養段階は出てこないですね。大同大学の物理の先生方が著して使っている教科書には出ていますが（たぶん、そこで勉強したのですね）。

$$PV/T = \text{一定}$$

これは、ボイル・シャルルの法則、これに条件を付けると。。。

条件・一定温度 →  $PV = \text{一定}$  ボイルの法則

一定圧力 →  $V/T = \text{一定}$  シャルルの法則

一定体積 →  $P/T = \text{一定}$  アモントンの法則

ということです。こういう整理の仕方をする、3つも教えたほうが（教えられたほうが）わかりやすいということが明らかです。本学の物理の先生方は、そのように考えたということですね。

高校・大学教養教育で「アモントンの法則が取り上

げられることが少ない」のはなぜか、というのがFくんの質問です。ここからは、酒井の考えです。

- (1) P, T, Vの3者の関係だから、2者について一定（定温、定圧）とすれば、3つ目は省いてもわかる。別な言い方をすれば、ボイル・シャルルの法則を、ボイル・シャルル・アモントンの法則といわなくても、物理的・化学的な本質は損なわれない。「あんまり、たくさん教えても、かえってわかりにくい」と考えられているということでしょうか。
- (2) アモントンの実験結果は、時代が早かったせいもあり、正確さに欠けていたようです。そんなこともあり、認知度が低いのかもかもしれません。

○「H<sub>2</sub>Oが昇華する状態変化がイメージできないのですが」

化学1（前期）で勉強した水と二酸化炭素の状態図を思い出してください。化学1の教科書のp.63です。

1気圧のもとで、氷とドライアイス（二酸化炭素の固体）が温度を上げられた場合、氷→水→水蒸気の状態変化だが、ドライアイス→二酸化炭素（気体）である。

しかし、圧力を下げた状態を考えると（緑の矢印を下へ下ろすと）、水の場合も固体から気体への変化がおこること（緑の矢印とピンクの曲線の交差）が起きますね。すなわち、H<sub>2</sub>Oの昇華は、Tくんが言っているように、1気圧のもとでは、イメージしにくいのですが、圧力を下げたときは盛大におこる、ということです。

○「気体の粒子はどのような運動をしているのですか」

とても良い質問です。授業では、「気体中で粒子（分子または原子）は大きい速度で、いろいろな方向（四方八方に）乱雑に運動している」という説明をしました。付け加えると、運動の速さも、すべての粒子で同じではなく、いろいろです。

Aくんの疑問はこういうことではないですか？

「いろいろな方向にでたらめに運動している粒子が衝突し、単位面積あたりの容器の壁に与える力が、気体の圧力という説明だったが、でたらめな方向に運動している粒子がきちんとした物理的値（「物理量」といいます）としての圧力の原因って、どういうこと？」  
ものすごく巨大な容器に粒子が1個しか入っていないとします。それが容器の壁に与える力は、ほとんどの時間においてゼロ、衝突がおこる僅かな時間だけ力が及ぼされる、となります。こういうケースでは圧力という物理量は、意味をなしません。

次に、粒子が莫大な個数あるとして考えてみてください。この場合は、絶えまなく・常時、壁に相当数の

粒子が衝突することになります。そして壁に与える力の総計は、莫大な数の粒子の速さの平均値に関係しそうだということが、わかりますね。

このように、たくさんの数の事象があつて、その統計的な平均が物理量となる、物理量として意味を持つ、そういう物理学の分野を統計力学、あるいは統計熱力学といいます。気体の圧力、温度を厳密に理解するには、統計的な考え方が不可欠です。このあたり、後期の化学2の授業で、すこしだけですがやります。

○「シャルルとボイルの法則は、100年以上発見されるのが違うのに、一緒に使えるのはすごいと思った」

質問ではなく感想ですね。なぜシャルルの法則が、100年以上遅くなったと思いますか？

法則を証明する実験の難しさによります。

ボイルの法則 (1662) :

実験 \*\*\* 温度一定の条件で、圧力を変えて、体積の変化を測定した。

シャルルの法則 (1787) :

実験 \*\*\* 圧力一定の条件で、温度を変えて、体積の変化を測定した。

温度をキチンと測定する方法 (物理・化学実験に使えるような温度計) が、シャルルの法則が発見される頃まではなかったのです。

○「ボイルとシャルルの法則は、どのような実験でわかったのですか」

イギリスの化学者ボイルは、ボイルの法則を発見 (1662年) するころは、「真空」に興味を持っていたようです。真空をつくるポンプなどを作成しているうちに、気体の圧力を減少させると、体積が反比例の関係で増加することに気がついたのではないのでしょうか。

シャルルは、パリの大学で実験物理学の教授として教育・研究のかたわら、気球を操る冒険家として活躍していました。水素気球の発明者でもあります。そのような体験の中で、大雑把に気体の体積の温度変化の関係に気がついたようです。

きちんとした実験を行ってシャルルの法則を確かめ、論文として発表 (1802年) したのは、ゲイ・リュサックという人です。ゲイ・リュサックは、謙虚で誠実な研究者であったようで、1787年ころシャルルが大雑把に言ったことに敬意を表して、論文に「自分より前にシャルルが、このことに気がついている」と書いています。そんな経緯で、この法則が確立されたので、「シャルルの法則」ではなく、「ゲイ・リュサックの法則」と呼ばれることもあります。

参考図書

ボイルについて :

久保昌二、「化学史 化学理論発展の歴史的背景」、白

水社 (1959)

シャルルについて :

Keith Laidler, "The World of Physical Chemistry", Oxford Univ. Press (1993)

○「分子量はどのようにして測られるのですか」

分子量測定の方法には、いろいろたくさんあります。蒸気あるいは気体の密度から、理想気体として振舞うものと仮定して求める方法が最もよくつかわれます。ビクター・マイヤー法といいます。

$PV = (w/M) RT$  の式を使います。

### 温度についての質問

○「この先、 $-273.15^{\circ}\text{C}$ 以下の温度が見つかったら、絶対0度も変わるのですか」

○「実際に温度の下限は $-273.15^{\circ}\text{C}$ なのですか。シャルルの法則によると $V=0$ となって物質がなくなったように感じますので、 $t$ が $-273.15^{\circ}\text{C}$ より下がったとき $V=0$ に限りなく近づきながら低下するのではないかと思いました」

Fくんが上のように考えたことは、ほぼ正しいです。「 $t$ が $-273.15^{\circ}\text{C}$ より下がったとき」、というところを除いてです。 $t$ は $-273.15^{\circ}\text{C}$ より下がることはないのです。下限なのです。大切なのは、なぜ下限があるのか、というポイントです。

温度とは何か、という本質的・根源的な大切な問題に帰着します。温度は、分子、原子の運動によるものです。運動が激しい状態、すなわち運動エネルギーが高いときは、温度が高くなります。運動エネルギーは、原理的にはいくらでも高くなりますから、温度の高温側は限界がないわけです。

逆に運動がおさまってくると温度は下がっていきま。運動がなくなったところが最低温度となりそれ以下になることはない、ということになりますね。以上のことは、実験においても (測定においても) 証明されています。

○「最低温度 (絶対0度)  $-273.15^{\circ}\text{C}$  ( $=0\text{K}$ ) を、測定によって証明できるのでしょうか」

$0.3\text{K}$  ( $=-272.8^{\circ}\text{C}$ ) くらいであれば、比較的一般的な装置でも簡単に作りだせます (測定もできています)。特殊な装置で、 $0.003\text{K}$  くらいもいけるようです。すべてが、測定結果として最低温度 (絶対零度) が、 $-273.15^{\circ}\text{C}$ であることを指し示しています。

○「高校で高い温度は理論的には何度でも上げられると習いました。しかし、低温には限界があり、

—273.15°Cという不規則な値としての最低ですが、先生はなぜだと思いますか]

○「—273.15°Cよりも低い温度はあり得ない、それはなぜですか?

○「—273.15°Cより、なぜ低い温度はないのでしょうか]

温度は、分子、原子の運動によるものです。運動が激しい状態、すなわち運動エネルギーが高いときは、温度が高くなります。運動エネルギーは、原理的にはいくらでも高くなりますから、温度の高温側は限界がないわけです。

逆に運動がおさまってくると温度は下がっていきます。運動がなくなったところが最低温度となりそれ以下になることはない、ということになりますね。

最低温度ということで、絶対温度目盛りでは、OKという、きっぱりした値になっています。

—273.15°Cは、セ氏温度でということですが、セ氏温度はH<sub>2</sub>Oの融点(氷点ともいいます)を0°Cとしています。そのため、適当な(中途半端な?)値になっているということです。

○「絶対温度に最低値(0K)はあるけれど、最高温度はどれくらいですか]

温度の最低値は、絶対温度0K(セ氏温度で—273°C)ですが、最高温度には限界値はないといつてよいです。温度は、分子、原子の運動によるものです。運動が激しい状態、すなわち運動エネルギーが高いときは、温度が高くなります。運動エネルギーは原理的には、いくらでも高くなりますから、温度の高温側は限界がないわけです。知られている最高温度は、超新星の100億度(K)でしょうか。後期でやる化学2の教科書(p.18)にあります。

○「この世の中に、絶対0度(—273°C)の場所ってあるのですか]

南極、北極のような極寒の地においては、絶対0度近くまで温度が下がるか、という興味かと思いますが、それはないです。記録に残っている最低気温は、1983年7月(冬)南極の—89.2°C(184K)だそうです。宇宙空間で、なにもないところでエネルギーが供給されない領域は絶対0度に近いようです。

低温で物質がどうなるか、どういう性質を示すかはいへん興味あることです。その実験をするために、小さい限定された密閉空間で低温を作り出すことは行われています。0.3K(=—272.8°C)くらいであれば、比較的一般的な装置でも簡単につくりだせます(測定もできている)。特殊な装置で、0.003Kくらいもいけるようです。

○「絶対温度、絶対0度の「絶対」の意味はなんですか]

か]

国語辞典によれば、「絶対」には、「他との比較対立を越えていること」、「制限されないこと」、「条件をつけられないこと」、「それ自体として他と関係なくとも存在すること」、「相対的・比較的でないこと」という意味があります。

絶対0度(=0K)とセ氏0度(=0°C)の意味を比較してみると、わかるのではないかと思います。

OKは、それ以下の低い温度がない、正真正銘のゼロ度、「条件なしの」ゼロ度です。

0°Cは、水の凍る温度をゼロとして、相対的に決めた、条件付のゼロ度です。絶対0度の絶対は、「条件なしの」という意味でよいと思います。上の説明からわかったかと思いますが、「絶対」の反対語は「相対」です。

クイズです。以下に3つの「絶対」がありますが、1つは漢字が間違いです。どれかわかりますか。

**絶対**に4年間で大学を卒業する。そのためには化学1の単位をとることは**絶対**条件だ。もし落とすようなことがあれば、**絶対**絶命だ]

答は、**絶対**絶命の「絶対」です。正しくは「**絶体**絶命」です。「絶体」は「絶体絶命」以外で使われるのを、私はみたことはありません。

○「絶対零度は、なんで—273.15°Cっていう中途半端な値なんですか]

これは、「温度」が明らかになってきた歴史によるのです。まずセ氏温度があつて、それから後にシャルルの法則が発見されて絶対温度の存在がわかりました。セ氏温度は、H<sub>2</sub>Oの1気圧のもと凍る温度と沸騰する温度を、それぞれ0°C、100°Cと、人間が決めたわけです。だから、わかりやすい0、100となっているわけです。ところが、絶対零度(0K)はセ氏温度の0°C、100°Cが決められた後の発見です。

—273.15°Cは「自然」という神様が決めた値です。それを人間が決めた尺度(セ氏温度)で言おうとするから、中途半端な値(—273.15)となります。

○「気体の運動エネルギーが絶対温度に比例するということでしたが、絶対温度が0Kのときは運動エネルギーも0になり、気体粒子は停まるのですか]

そのとおりです。

温度は、分子、原子の運動によるものです。運動が激しい状態、すなわち運動エネルギーが高いときは、温度が高くなります。運動エネルギーは、原理的にはいくらでも高くなりますから、温度の高温側は限界がないわけです。

逆に運動がおさまってくると温度は下がっていきます。運動がなくなったところが最低温度となりそれ以下になることはない、ということになりますね。

○「ウルトラマンに出てくるゼットンという怪獣を見ていて思ったのですが、一兆度という温度をつくりだせるのでしょうか」

ゼットンは一兆度の温度の火の玉ビームを出すウルトラマンの強敵怪獣ですね。

一兆度という温度がありえるのか？あるいは温度の最大値はどれくらい？という質問ですね。

温度の最低値は、絶対温度 0 K (セ氏温度で  $-273^{\circ}\text{C}$ ) ですが、最高温度度は、原理的には、限界値はないといつてよいと思います。

超新星では 100 億度 (K) くらいの高温であるとされていることは、化学 2 の教科書 (p.18) にありましたね。「つくりだせるのか」、という質問に対する回答としては「人工的にはできない」だと思います。

○「空気も液化するんですよ」

そのとおりですね。空気を冷却していった液体になったものが、液体空気です。酸素  $\text{O}_2$  と窒素  $\text{N}_2$  が液化された状態になっています。酸素は  $-183^{\circ}\text{C}$ 、窒素は  $-196^{\circ}\text{C}$  が沸点です。

空気を  $-190^{\circ}\text{C}$  冷却すると酸素は液体になるが、窒素は気体のままといふことになります。ここで液体の酸素などを除き、気体部分をさらに、 $-200^{\circ}\text{C}$  まで冷却すると窒素が液体になります。このようにして、酸素と窒素を分離して、ほぼ純粋な液体窒素が得られます。この液体窒素は冷剤として、利用されています。大同大学でも、上の方法で液体窒素を製造して実験に使っています。

○「温度を表す用語として絶対温度、摂氏温度と、もうひとつ華氏温度があったと思いますが、化学では使わないのですか」

○「絶対温度、セ氏温度 (セルシウス温度) のほかに、カ氏温度というのがありますが、どのような意味だろう」

華氏温度は、いくつかの温度目盛りのうちのひとつです。ファーレンハイト温度ともいいます。「華氏」は、ファーレンハイト (Fahrenheit) の中国語の音訳「華倫海特」によるものだそうです。

ドイツの物理学者ファーレンハイトが 1724 年に提案した温度目盛りです。ファーレンハイトの頭文字を取って “F” と書き表されます。「 $32^{\circ}\text{F}$ 」は、日本語では「華氏 32 度」、英語では “32 degrees Fahrenheit”、または、“32 deg F” と表現されます。

ファーレンハイト (華氏) 温度目盛 (F) とセルシウス (摂氏) 温度目盛 (C) の間には、次の式で表わされる関係があります。

$$F = \frac{9}{5}C + 32$$

$0^{\circ}\text{C}$  は、 $32^{\circ}\text{F}$  ということになります。

$40^{\circ}\text{C}$  は、 $104^{\circ}\text{F}$  です

アメリカでは、日常生活で華氏温度目盛りを使いますが、日本ではほとんど使用することはないです。ということで、アメリカの TV では「今日は無茶苦茶暑い日です。最高気温は百度を超えます」という天気予報がオンエアされます。

### 溶液についての質問

○「不凍液には、どんな物質を使っていますか?」

授業中に不凍液のことを紹介しました。溶液の凝固点効果の説明・例題のところでした。その例題を思い出してください。溶媒が水、溶質がエチレングリコール (分子式;  $\text{CH}_2(\text{OH})\text{CH}_2(\text{OH})$ )、すなわちエチレングリコール水溶液の凝固点を計算する演習でした。

自動車のラジエーター用の不凍液として、多く使われているのはエチレングリコール水溶液です。なぜエチレングリコールが溶質として使われるのか? エチレングリコールが、揮発性が弱い、ラジエーターの金属材料を傷めないなどの化学的性質をもつためです。

北海道では冬の朝は  $-15^{\circ}\text{C}$  くらいになるようです。この温度まで、凝固しない (凍結しない) ようにするためには、水 1 k g あたりにエチレングリコールを何 k g 溶かせばよいのでしょうか? 授業でやった例題を参考にして計算してみてください。

0.5kg という答が出てくるはずですが、これを質量パーセント濃度でいうと、33%ということになりますね。

○「溶液にすることにより沸点等に変化があり、その影響は濃度だけであり、同じ濃度であれば影響の大きさは溶質の種類にはよらず溶媒の種類だけ、ということに驚きました。溶液の蒸気圧曲線が変化するのであれば、溶液の状態図も変化するのでしょうか」

質問に対する回答は「YES」です。

しかし、溶液の状態図が実際に使われることはないですね。というのは、濃度によって状態図は変わってくるわけですから作ってもあまり利用価値がないということですかね。

○「洗濯ノリのような、ドロドロしたものは液体ですか? 固体ですか」

たしかに、液体か固体か迷う状態は身近にけっこうありますよね。そういうものを表す用語として、ゾル、ゲルというのがあります。洗濯ノリについて考えてみましょう。

洗濯ノリには流動性があり、液体状です。これがゾルです。これを放っておくと固まっていきます。この固まった状態をゲルと言います。ゾルは流動性をもつ



が、ゲルはもちません。  
洗濯ノリは流動性がありますから、ゾルということになります。

○「海水には塩分がありますが、水に対して溶ける飽和状態と比べるとどれくらいの濃度なのですか」

海水の塩分は種々の塩からなるのですが、塩化ナトリウム NaCl が大半をしめる主成分です。3%程度の濃度です。水に対する、常温 (25°C) での NaCl の飽和濃度は 26%程度です。

ちなみに、塩分濃度が高いので有名な死海 (イスラエル) の海水 (湖水?) の濃度は 20%です。

○「塩分濃度が高いと、なぜ人の体は浮くのですか」

塩分濃度が高いので有名な死海 (イスラエル) では、なにもしなくても人が浮いていられます。塩分濃度が高い水溶液で浮きやすくなるのは、人体だけではなくすべての物体です。

アルキメデスの原理というのは習ったことがないですか。私たちのころは中学校で習いましたが。

水中の物体は、その物体がおしのけた水の質量だけ軽くなる、というものです。上の文章で「水」を、「水溶液」あるいは「海水」と読みかえればBくんの質問の回答になりますね。アルキメデスは、古代ギリシャの科学者です。

○「どんな液体でも溶解できるのですか」

すこし意味がとりにくい質問文ですが、「どんな液体でも、何らかの物質を溶解することができるのか」ということですね。

溶解の定義は、授業で説明したように、「均一で透明の状態になる」ことを条件にしています。溶解する溶質の濃度については、特別な条件はありません。濃度はいくら低くてもよいわけですので、どんなに溶解しにくい溶媒と溶質の組み合わせでも、原理的には「溶解」はおこる、ということになります。以上は、原則論的な回答です。基本的には正しいです。

しかし、ほんのわずかしが溶解しないとき、実質的に「溶解しない」と表現することは日常的には普通のことですね。化学でも、そのような言い方をすることになります。

### 化学反応熱・エントロピーについての質問

○「反応熱は化学反応する前の物質の温度にも影響されるのか」

たいへん良い質問です。まず回答を端的に言う  
と・・・

反応熱は、化学反応がおこる温度、圧力に影響され

るです。そうすると、教科書や授業で示されている反応熱は、いったいどういう値なのだ、という疑問が出てきますね。

温度は 25°C (=298K)、圧力は 1 気圧 (=1.013kPa) での化学反応熱のことです。

正確な言い方をすると、反応熱は標準エンタルピー変化 ( $\Delta H_{298}$ ) と呼ばれるものなのです。

○「昇華で、気体から固体になるときの熱化学方程式は、

$H_2O(g) = H_2O(s) + 50 kJ$  でよいですか

よいです。

$H_2O(s) = H_2O(g) - 50 kJ$  (1)

$H_2O(g) = H_2O(s) + 50 kJ$  (2)

(1) が授業でやった 固体→気体 の昇華の熱化学方程式ですね。

(2) が、気体→固体のものです。

(1) と (2) は数学の式としてみたときは、全く同じ意味ですね。

(1) 式の右辺の  $-50 kJ$  を、左辺に移項して、左辺と右辺を入れ替えると (2) 式になります。

つまり、方程式のように扱えます。

これが「熱化学方程式」と呼ばれる理由です。

○「ヘスの法則は、誰が考えたのですか」

ヘスという名前のスイス生まれのロシア人の化学者が、1840年に提唱しました。総熱量不変の法則ともよばれます。この法則は熱力学第一法則 (エネルギー保存の法則) の応用ともいえます。

○「ヘスの法則は何がきっかけで発見することができたのですか」

硫酸と水を混合すると、大きい発熱が起こります。ヘスは様々な割合で、水と硫酸を混合し、反応熱を測定しました。これにより化学反応の反応熱は反応前後の状態のみで決まり反応経路によらず一定であることを実験的に確認したとされています。

○「化学反応で発生する熱エネルギーは、速く反応させた場合も、ゆっくり反応させた場合でもエネルギー変化の総量は同じなのか」

同じです。ただし、温度は同じという前提条件は付きますが。教科書の p. 41 の図 3. 5、(3-10) 式が、説明になります。

温度を変えて、反応を速めたり、遅くしたりすれば、反応熱は変わってきます。

○「吸熱反応なのでということで、さわると冷たく感じるのだろうか」

とてもおもしろい、良い質問です。発熱反応は、反応すると外に熱を放出します。別な言い方をすれば、外の何か熱を与える、ということです。

それに対して、吸熱反応は、反応すると、外の何か熱を反応するものに与えている、ということになります。言い方を変えれば、外の何かは熱を奪われることとなりますね。外の何かは、Mくんの手であれば、冷たさを感じます。

もっとも分かりやすい例は、氷を手でさわることです。吸熱反応（正確に言うと吸熱状態変化、すなわち、氷→水）が起こり、熱を氷に与えた手は冷たくなるということです。

○「エントロピーについて、「有用性」と習ったことがあるのですが、そのような考え方もあるのでしょうか」

エントロピー⇔有用性、という考え方は物理学、化学の範囲内では、きいたことがありません。

ただ、ひとつだけ関連が思い当たることがあります。

「有用性」→「有効性」→「効率」と連想して・・・

「熱力学」、「効率」、「エントロピー」というキーワードの組み合わせで、ひとつのアカデミック・ストーリーはできます。熱機関／カルノー・サイクルのところですが、しかし、ここでも、「エントロピー＝効率」ではありません。このあたりについて、詳細に関心があれば、以下の教科書を参照してください。

「基礎から学ぶ 熱・電磁気」 70～83ページ  
大同大学の物理学教室の3人の先生（原科、今井、斉田先生）が書いた教科書（学術図書出版社）

基礎から、わかりやすく説明してくれる教科書です。お勧めです。私も物理の基礎を確認するときは、必ずこの本を参照します。

○「乱雑さや平均化された度合いのことを、エントロピーと思えばよいのですか。エントロピーが大きいものは乱雑で、小さいもの乱雑でないということで良いのですか」

厳密な物理学的・化学的な説明にこだわらず、ポイントの理解という意味では「エントロピーとは、不確定性、乱雑さ、無秩序の度合いである」という程度でよいと思います。

もともとエントロピーは、クラウジウスという物理学者が1865年に導入した熱力学的概念なので、正確にエントロピー概念を理解するためには、熱力学における本来の意味をしっかりと理解する必要がありますが。

○「エンタルピーという言葉が出てきましたが、どんなことですか」

○「エントロピーとエンタルピーの違いがよくわからなかった」

○「エントロピーとエンタルピー、まちがえそうだった」

た」

○「「H エンタルピー」という板書がありましたが、エンタルピーがわかりません」

○「エンタルピーとエントロピーがごちゃごちゃにならないようにする」

○「エンタルピーとエントロピーの区別がつきません」

○「エンタルピーとエントロピーが、何のことかよくわかりませんでした」

エントロピーSについては、数学的、数式的な意味というよりは、考え方を授業で説明しました。「平均化、または乱雑さの度合い」という物理量です。

エンタルピーHは、名前は良く似ていますが、エントロピーとはまったく別物です。Hはエネルギーの一種です。以下のように説明されます。

“エンタルピー”は熱力学の用語で、記号としてはHを使います。

$H=U+PV$  という式で定義されます。

Uは内部エネルギー、pは圧力、Vは体積です。

圧力Pが一定という条件（化学反応は普通この条件でおこります）では、

エンタルピー変化量 $\Delta H$ は、次の式で表されます。

$$\Delta H = \Delta U + P\Delta V$$

上の式の $\Delta U$ は内部エネルギー変化量、 $\Delta V$ は体積の変化量です。

内部エネルギーとは、物質が内部にもつエネルギーのことです。 $\Delta U$ は、具体的には、主に化学結合のエネルギー（複数の化学結合があれば、そのトータル）の変化量のことです。

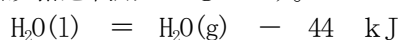
「変化量」という言葉がでていますが、ここでの「変化」は化学反応（変化）のことです。したがって、 $\Delta H$ 、 $\Delta U$ 、 $\Delta V$ は、化学反応の前後の変化量ということになります。授業で $\Delta H$ が化学反応熱になる、という説明をしました。

吸熱反応を考えたとき、 $\Delta H$ の熱が吸収されますが、一部は化学結合のエネルギーの変化（ $\Delta U$ ）に、また別の一部は体積変化による仕事（ $P\Delta V$ ）に使われます。ということがあるので、 $U+PV$ という物理量が必要となり、それをH、エンタルピーとしたのです。

○「吸熱反応とは、熱さまシートが実例に当てはまりますか」

○「ヒエピタは、吸熱反応ですか」

熱さまシート（ヒエピタなど）は、水などの液体の蒸発熱を利用したものです。



という熱化学方程式で表される吸熱変化です。

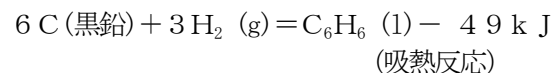
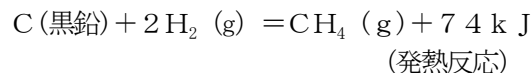
水を肌につけると、あるいは注射のとき消毒のためにエタノールで腕をふくと、ひんやり感じます。それも同じ原理です。

ホカロンなど使い捨てカイロは、鉄（粉）の酸化の発

熱を利用したものです。

○「ある物質の生成反応が吸熱反応の場合、生成熱は負の値になるのですか」

たとえば、メタン (CH<sub>4</sub>) とベンゼン (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) の生成反応の熱化学方程式は、次のとおりです。



Mくんの疑問は、このとき、ベンゼンの生成熱は、49 kJなのか、-49 kJなのか。どっち？ということですね。-49 kJが正しいです。したがって、メタンの生成熱は 74 kJ、ベンゼンの生成熱は -49 kJ となります。

○「なぜΔHの符号はいちいち逆で、表されるのですか。逆のほうがわかりやすいからですか」

○「なぜ発熱反応のΔHの符号が負になるのですか」

この符号の付け方は、熱力学の約束です。

系(問題にしているもの・状態のこと)に入ってくる方向を正、出て行く方向を負とする。

という約束です。入ったり、出たりするものは、熱エネルギーなどです。エンタルピーも熱エネルギーの一種です。

人間が設定した「約束」ですから、逆でも良かったのですが、全世界的に統一されていないと混乱が起こります。

○「「エントロピー」も、人も名前ですか」

「エントロピー」は人の名前ではありません。

もともとは、「現象がおこる方向の転換」という意味をもっています。1865年ころクラウジウスという物理学者が、「エントロピー」という用語を初めて使いました。

○「「エンタルピー」は、どうしてその名前になったのですか」

語源的な意味としては、「中で暖める」ということです。ついでながら、エントロピーは「中での方向の転換」という意味を、もともとはもっています。

○「「エントロピー」と「エンタルピー」で、語感が似ていると思うのですが、関係はあるのですか」

エンタルピー語源的な意味としては、「中で暖める」ということです。

エントロピーは「中での方向の転換」という意味を、もともとはもっています。

「中で」が「エン」で共通といえばそうですね。「トロピー」と「タルピー」が似ていると感ずるとすれば、

語源的には、それは偶然ですね。

○「エントロピーは、同素体の場合は異なるのですか」異なります。

授業では詳しく説明しませんでした。エントロピーSも物質・状態による状態量です。同素体(たとえばダイヤモンドと黒鉛)は、同じ元素からなる単体ですが、並び方がちがいます。並び方の平均化度(無秩序度)によって、エントロピーSの値は違ってきます。

○「反応速度が速いもので、安全な反応はありますか。反応速度が大きい(高い) = 危険、というイメージがありますが」

おもしろい質問です。化学反応が危険ということには、2種類あると思います。

- (1) 爆発的なエネルギーを放出する。
- (2) 毒性のある生成物を放出する。

	反応速度 高	反応速度 低
反応エネルギー 高	危険	そうでもない
反応エネルギー 低	そうでもない	安全

上の表で、私の言いたいことは、わかりますね。毒性のある物質を生成する場合は、反応が速いとき、もちろん危険です。

反応が遅いときでも、毒性生成物の滞留時間が長いと危険になる可能性はあります。

### 化学反応についての質問

○「一次反応、二次反応、三次反応、四次反応と種類があるのは分かったのですが、最大何次反応まであるのですか」

良い質問です。一次反応、二次反応、・・・N次反応というのは、素反応に対する用語です(このところは、授業では説明していません)。Hくんの質問は、Nの最大値は?ですね。

ここで、Nの意味を理解する必要があります。

Nが2以上の場合、乱雑にいろいろな方向に運動している多数の分子のうちのN個の分子が、同時に出会って(衝突して)反応が起こることを前提にしています。

N=2は、しょっちゅう起こりそうですね。

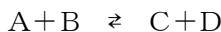
N=3、同時に3個の分子が衝突する可能性は、かなり小さくなりそう・・・

N=4、4つが会う・・・ほとんど、なさそう・・・ということから、N=3が実質的な最大値とって良いのかと思います。

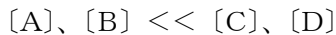
○「不可逆反応というものがある、と教科書で知りました。それはとても少ない、とありましたが、身近な反応で、そのような反応はあるのですか」

「不可逆反応が少ない」、とは書いていないと思います。教科書の46ページの横註のことをFくんは質問しているのですが、そこで書いてあることを、もうすこし分かりやすく説明すると以下のようです。

反応は、原理的には、すべて可逆反応とってよいです。



という反応で、平衡状態になったとき、



という条件であれば、見かけ上（事実上）、不可逆反応である、ということです。

見かけ上不可逆反応、すなわち“一方通行”反応の例はいくらでもあります。教科書で「きわめて少ない」という表現は、上の私の説明で言えば、「AとBの濃度（[A]、[B]）がきわめて低い」ということです。

○「素反応は、何次反応まで存在するのですか」

良い質問です。まず確認ですが、一次反応、二次反応、・・・N次反応というのは、素反応に対する用語です。Dくんの質問は、Nの最大値はいくつ？ということですね。

ここで、Nの意味を理解する必要があります。Nが2以上の場合は、乱雑にいろいろな方向に運動している多数の分子のうちのN個の分子が、同時に出会って（衝突して）反応が起こることを前提にしています。

N=2は、しょっちゅう起こりそうですね。

N=3、同時に3個の分子が衝突する可能性は、かなり小さくなりそう・・・

N=4、4つが会う・・・ほとんど、なさそう・・・ということから、N=3が実質的な最大値とって良いのかと思います。

### イオンと電離についての質問

○「H原子の電子配置は1s1ですが、陰イオン、陽イオンのどちらになりやすいのですか？1族だから陽イオンですか」

とても良い、そして鋭い質問です。まず、結論から言いましょう。

圧倒的に陽イオンH<sup>+</sup>になりやすいです。陰イオンになることも、ないではないです。

Fくんが考えたように、陽イオンによりなりやすい、だから1族、正しいです。NaH、LiHという化合物があるのですが、このときはH<sup>-</sup>です。Na、LiのほうがHより、電子を放出しやすいということが、H<sup>-</sup>が存在する理由とされています。

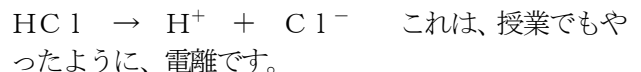
○「電離はすべての原子に対して、定義できますか」

Mくんは、「電離」と「イオン化」を混同しているかもしれませんね。

原子でおこるのがイオン化です。たとえば、



イオン化は、おこりやすいかどうかを別にすれば、すべての原子に対して定義できます。原子が、上のように、イオンになることを電離とはいいません。



電離は、電氣的に中性の化合物（分子）が陽イオンと陰イオンに分かれること、です。

○「電離しないものってありますか」

水に溶けたとき、陽イオンと陰イオンに分かれることを電離といいました。電離する物質を電解質といいました。電離して、H<sup>+</sup>を生じる物質を酸、OH<sup>-</sup>を生じる物質を塩基という・・・

ここまでは、授業でやったことの復習ですね。

水にとけるけど電離しない物質はけっこうあります。ショ糖などの糖類、アルコール類など、有機化合物系が多いですね。このような物質を非電解質といいます。

○「電解質のなかに水は含まれますか？」

水の電離は、 $H_2O \rightleftharpoons 2H^+ + O^{2-}$  でよいですか」

良い質問です。回答に困る質問でもあります。

今日（11月23日）の授業で、「水の電離」についてやります。

純粋な水（＝純水、駄洒落ではありませんよ）は、ほんのわずか電離します。

電離反応式は、質問のようではなく、以下です。



25℃のときでいいますと、1Lの水で、電離するH<sub>2</sub>Oは、 $1 \times 10^{-7}$  molです。1Lの水は1000gで、55.6molですので、 $1.8 \times 10^{-9}$ の割合で、すなわち $1.8 \times 10^{-7}$  %だけ電離していることになります。

電解質の定義は、「水に溶けて、電離して電気を通す物質」です。

純粋な水を「電解質」というには、以下の2つの微妙な問題がありますね。

（1）ほんのわずかでも電離すれば電解質？

(2) 純水は、水に溶けている状態か???

(1) に関しては、「電気を通す」がひとつの目安でしょうか。現在の測定技術でそう判定される・・・とすれば純水は、電解質とは言えなそうですね。

(2) については、純水における  $H_2O$  のモル濃度  $[H_2O]$  が定義されることがありますので、 $H_2O$  という溶質が、水という溶媒に溶けているという考え方はあるようです。 $[H_2O]=55.6\text{mol/L}$  です。なぜ、この値になるのかは、前半の説明で理解できますね。私自身は、大学生のときに初めて、 $[H_2O]=55.6\text{mol/L}$  を習ったとき以来、(2) にはずっと違和感を持っています (No の立場)。

以上のことから、水を電解質とはいわない。私の意見です。

○「酢酸以上に電離しやすいものはありますか」

たくさんあります。

強酸、強塩基、塩は強電解質 (100%電離) です。すべて、酢酸より電離しやすいです。弱酸、弱塩基のなかでも、酢酸より電離しやすいものはたくさんあります。

○「100%電離、または100%そのまま(電離しない)のは存在しますか」

両方とも存在します。

100%電離 ( $\alpha = 1$ ) ; 強酸、強塩基、塩は、そういう物質です。こういうものを強電解質といいます。

0%電離 ( $\alpha = 0$ ) ; ショ糖などの糖類、アルコール類など、有機化合物系が多いですね。このような物質を非電解質といいます。

○「オキソニウムってどんな物体ですか」

$H_3O^+$  をオキソニウムイオンといいます。

オキソニウムという物質があってそれがイオンになる、ということではありません。

オキソニウムというと元素名みたいだけど。

○「水のイオン積は、誰が発見したのか」

pH という考え方を最初に言い出したのはセレンセンというデンマークの化学者で、1909年のことです。pH と水のイオン積の関連は密接なので、このとき水のイオン積の考え方、測定値についても、ある程度はわかっていたのではないかと考えられます。

○「 $[H^+]$  と  $[OH^-]$  の関係がよくわからなかった」

25°C では、純水および水溶液で、次の関係式が成り立ちます。

$$[H^+] \cdot [OH^-] = 1.0 \cdot 10^{-14} \text{ (mol/L)}^2$$

これを水のイオン積といいましたね。

$[H^+]$  と  $[OH^-]$  の積が一定値 ( $1.0 \cdot 10^{-14}$ ) ですから、

$[H^+]$  と  $[OH^-]$  は反比例の関係にあるということです。

### 酸と塩基についての質問

○「なぜ、「塩基」という名前なのだろうか? 塩化物と反応するからだろうか」

酸と塩基との反応を、中和反応と言います。中和反応の生成物を、一般的に塩と呼びます。

酸と中和反応して塩を生成する物質のグループ名として「塩基」という名前が付けられたということのようです。

酸は英語では、acid,

塩基は英語で言うと base です。

英語に忠実に訳した部分は「塩基」の「基」のほうだということですね。

○「塩基は水溶液の状態の方が多いか、それ以外の方が多いか、どちらですか」

水溶液になったとき、水酸化物  $OH^-$  を生成するという定義 (アレニウスの「塩基」) で言われる塩基が圧倒的に多いです。

Tくんの疑問は、「じゃあ、水溶液になったとき、水酸化物  $OH^-$  を生成しないけれども、塩基というのはあるのか? どんなものか? たくさんあるのか?」ということですよ。

酸と塩基に、ルイスの定義というのがあります。酸は電子対を受け取るあらゆる物質であり、塩基は電子対を供与するあらゆる物質である、という定義です。この定義だと、水溶液にならない状態でも、塩基とされるものがあります。

○「水素イオンや水酸化物イオンと、逆のイオンを足すと、ちょうどよくなるということですか」

上の Yくんの考えは、基本的に正しいです。

化合物のなかで、イオンを含むものについて、一般的に次のことが言えます。

(1) 化合物は、電気的に中性である。

(2) イオンは、陽イオンと陰イオンの2種類である。

(3) 化合物では、陽イオンと陰イオンは電気を打ち消しあう比率で含まれる。

たとえば、



$CaCl_2 ; \quad Ca^{2+} (Cl^-)_2$  ということです。

○「電離度  $\alpha$  の値によって、酸や塩基の pH が変わる

のですか」

変わります。電離度  $\alpha$  の値は、 $H^+$  のモル濃度  $[H^+]$  に、大きく影響しますね。したがって、 $\alpha$  が pH の値に影響を与えます。

$\alpha$  は、弱酸あるいは弱塩基のモル濃度  $c$  と電離定数で、表せます。第5回目宿題で使った式のことです。ということから、弱酸、弱塩基の pH は、初期モル濃度  $c$  (実験者がコントロール・設定できる値) と電離定数で表されます。

酢酸  $c$  mol/l の pH は、以下の式となります。

$$pH = -\frac{1}{2}(\log c + \log K_a)$$

この式は、これまでに授業でやった式、考えかたから、導けるとおもいます。

挑戦してみてください。

ヒント： 使うのは、pH の定義の式、第5回目宿題で使った式です。

あと、弱酸において、 $H^+$  のモル濃度  $[H^+]$  がどうなるか、を確認することがポイントです。

○「酸性と塩基性の水溶液をまぜると中和反応が起こり中性に近づきますが、酸性水溶液に純水をまぜると中性に近づくのですか」

酸性水溶液を純水で希釈していくと、中性に (pH = 7 に) 近づきます。

同じように、塩基性溶液を純水で希釈していくと、中性に (pH = 7 に) 近づきます。

直感的には当たり前という気もしますが、けっこう深い意味があります。

以下の文章はトリックです (つまり嘘です)。

どこがトリックなのか、見破って論破してください。

pH = 2 の酸性水溶液を、純水で 10 倍に希釈すると、 $[H^+]$  は 0.01 mol/l から、0.001 mol/l になるから、pH = 3 となる。さらに純水で 100 倍に薄めると pH = 5 となる。

さらに純水で 1000 倍に薄めると、pH は、3 だけ下がるから、pH = 8 である。

酸性の水溶液を純水で希釈していったら pH = 8、

すなわち塩基性になった!

これは、あり得ない。

F くん、どう考えますか? どこがおかしいのかな? (ヒント; 2 行目までは、基本的には正しいです。キーワードは「水のイオン積」)

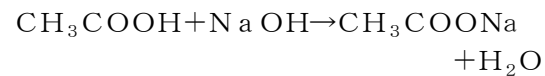
○「授業ではあまり触れなかった加水分解とはどんなものですか」

基礎の化学の授業としては、ややレベルの高い内容なので (それほど応用範囲も大きくないこともあり) 詳しく説明しませんでした。

弱酸と強塩基の水溶液の中和反応では、生成する水

溶液は中性ではなく塩基性となるということは授業で述べました。

酢酸 (弱酸) と水酸化ナトリウム (強塩基) の中和を例として考えてみます。

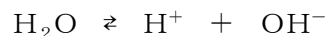


これが中和反応ですね。中和反応で生成した水溶液は、酢酸ナトリウム ( $CH_3COONa$ ) を水に溶かしたもので、とまったく同じということです。

塩の一種である酢酸ナトリウムは、水溶液で完全に電離しています。



水は、わずかに電離しています。



酢酸イオン ( $CH_3COO^-$ ) は  $H^+$  と反応し、酢酸 ( $CH_3COOH$ ) 分子になります。



この反応で  $H^+$  が消費されますので、 $OH^-$  の濃度が相対的に大きくなり塩基性を示すこととなります。以上の現象を加水分解といいます。「水の分解がおこる」という意味あいです。

○「アルカリ金属の“アルカリ”とは、pH のところで出てくる酸性-アルカリ性 (塩基性) と同じ意味ですか」

良い質問です。両方、同じ意味から発生した用語としてよいと思います。

酸性に相対する正式用語は塩基性です。アルカリ性は、水溶液が塩基性を示すときに使われる用語です。

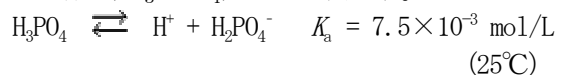
「アルカリ」は、もともとは植物灰・木灰を意味するアラビア語起源の言葉です。植物灰・木灰を水に入れかき混ぜますと、水溶液はアルカリ性を示すことは、昔から知られていて種々の化学工程で利用されていたようです。

1 族の元素の単体を水に溶かすと、水溶液はアルカリ性を示します。それでアルカリ金属とよべれます。

○「酸・塩基の電離度  $\alpha$  の値は 1 にすごく近い、0 にすごく近いの両極端だけなのですか」

たいへんよい気づきで、よい質問です。

授業で、 $\alpha$  は 1 にとても近い酸・塩基 (強酸・強塩基)、ゼロに近い酸・塩基 (弱酸・弱塩基) の両極端となっている、ということを行いました。しかし、よく考え、また調べてみたら、E くんが「どうして、ないのかな」と疑問をもった中間的なものも数少ないがあります。リン酸 ( $H_3PO_4$ ) がその例です。



上の電離定数  $K_a$  (=0.0075 mol/L) を使って、 $\alpha$  を計算してみましょう

$$K_a = \frac{c \alpha^2}{1 - \alpha}$$

上の式 (3-41 式、教科書、ノート参照) と、計算を単純化するために、

$c = 0.075 \text{ mol/L}$  を使うことにしましょう。

上で述べた  $K_a$  と  $C$  の値を、3-41 式に代入すると、次の 2 次方程式が得られます。

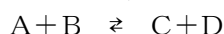
$$10 \alpha^2 + \alpha - 1 = 0$$

これを解きますと、 $\alpha = 0.27$  が得られます。

### 化学平衡についての質問

○「平衡定数は、生成物と残りの割合みたいなものですか」

B さんの理解は、基本的に正しいです。



という反応で、平衡状態になったときの平衡定数  $K$  は

$$K = \frac{[A][B]}{[C][D]}$$

と表されます。

この式における、 $[A]$ 、 $[B]$ 、 $[C]$ 、 $[D]$  の意味を確認することが重要です。

平衡状態になったときの (ここがたいへん重要)、

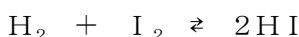
$A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$  のモル濃度ですから、生成物の量 (正確には濃度、 $[C]$ 、 $[D]$ ) と、反応物の残りの量 ( $[A]$ 、 $[B]$ ) の比ということになります。

反応がどれくらいまで進んで、見かけ上停止する (平衡状態になる) のかの割合を、数値で表した、 と言ってよいですね。とても、良い質問でした。

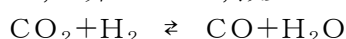
○「平衡定数は温度により決まる定数とありましたが、温度が上がると平衡定数は上がるのですか、それとも下がるのですか？もし温度が上がって平衡定数が上がる場合は、実際の応用では温度を下げる方向に条件設定するのですか」

温度  $T$  に対する平衡定数  $K$  の依存性の方向についての質問ですね。

教科書の 50 ページの表 3.4 をみてください。



$T$ ; 上昇  $\Rightarrow K$ ; 減少



$T$ ; 上昇  $\Rightarrow K$ ; 増大

となっていますね。

上の二つの反応の本質的な違いは、左から右への反応が、発熱反応か吸熱反応かです。

授業でやったアンモニアの合成は、発熱反応ですので、



$T$ ; 上昇  $\Rightarrow K$ ; 減少

だから、アンモニアの合成という応用の立場から見たときは、アンモニアを作りやすくしたい。

平衡定数  $K$  は増大させる方向がよい ( $K$  の式の中身を考えてください)。

温度  $T$  は下げる方向がよい、ということになるので

「もし温度が上がって平衡定数が上がる場合は、実際の応用では温度を下げる方向に条件設定するのですか？」

の質問の回答は・・・もうわかりますね。逆ですね。このケースは、温度を上げるが正しい方向です。

### 酸化と還元についての質問

○「還元は誰が発見したのですか」

ラバオジェというフランスの科学者です。18 世紀のひとです。質量不変の法則の発見者でもあります。

燃焼という現象が、酸素が化合すること、すなわち酸化であることを初めて提唱し実験的に証明しました。その酸化の逆反応 (酸化物から酸素がとれる反応) として、還元を定義しました。

「還元」という言葉は、日常生活的には「戻す」という意味ですよ。

○「最大の酸化数は、どれくらいですか。またその物質はなんですか。」

プラス側の酸化数の最大値は、+7 です。

宿題であったように、 $MnO_4^-$  イオンにおけるマンガンの酸化数は +7、 $HClO_4$  における塩素の酸化数は +7 です。これが最大値です。

マイナス側は、-4 です。

これも宿題であったように、 $CH_4$  における炭素の酸化数が -4 です。

○「錆落としは還元によるものか」

ちがいます。

硫酸、塩酸、クエン酸などを成分とする酸性溶液です。錆や汚れを溶かして取り除くというものです。

○「水素に満たされた空間に長時間、錆びた自転車をいたら錆びなくなるか」

おこらないです。

金属の酸化物と水素を、高温で反応させると金属酸化物が還元されて金属になることはあります。

水素の気体に曝して (さらして)、錆止めの効果があるかという質問ですが、これは全くないです。

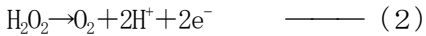
○「酸素の酸化数が例外的な値をとる過酸化水素が、他の物質と反応したとき、酸化数で酸化還元を考える

ときに、影響しないのですか]

たいへん良い質問です。

過酸化水素は酸化剤としても還元剤としても働きます。

ただ、その異常な酸素の酸化数(-1)をもつという過激さゆえに、他の物質と直接反応するというのではなく、以下の2つの反応(1)(2)をします



(1)が酸化剤として働く、(2)が還元剤として働いている過酸化水素です。

(1)では電子を、受け取っていますね。自分は還元されています。

酸化数で考えれば、 $\text{H}_2\text{O}_2$ の酸素の酸化数は-1、反応後の $\text{H}_2\text{O}$ の酸素の酸化数は-2

過酸化水素は還元された、となりますね(酸化数減少)。

(2)では、電子を放出して(失って)いますね。自分(= $\text{H}_2\text{O}_2$ )は酸化されています。

$\text{H}_2\text{O}_2$ の酸素の酸化数は-1、反応後の $\text{O}_2$ の酸素の酸化数は0

過酸化水素は酸化された、となりますね(酸化数増加)。

酸素の酸化数のことばかり述べましたが、水素はどうなっているの?との疑問が浮かぶかもしれません。反応式(1)(2)の水素の酸化数は、どれも+1で、変化がないことに注目してください。

○「ステンレスは、なぜ酸化しないのですか」

ステンレスは、鉄にクロム・ニッケルを加えた合金です。

ステンレス(=stainless)は、金属鉄に比べて、錆びにくい(いわゆる「酸化しにくい」)です。ステンレスの「ステン(stain)」は「汚れ、錆」で、「less」は「ない」です。「ステンレス」は、汚れない、錆びないという意味を持っているのです。

ステンレスは、なぜ錆びないか、これがIくんの質問でしたね。

鉄にクロムを加えることで表面に非常に薄い酸化皮膜(不動態皮膜)をつくり、周辺環境と反応しにくくなり耐食性が強くなります。金属が錆びるには、空気中の酸素と水が必要なのです。その接触を避けるカバーが酸化皮膜です。

○「たとえば「NaCl」は、「Na<sup>+</sup>Cl<sup>-</sup>」と+、-をつけませんが、Naの酸化数は+1となるのですか」

良い質問です。

イオン結晶化合物ABは、一般に「A<sup>+</sup>B<sup>-</sup>」とは書きませんが、実態は「A<sup>+</sup>B<sup>-</sup>」です。NaClのようなイオン結晶における酸化数は、実態で考えます。

たとえば、硫酸カルシウム  $\text{CaSO}_4$  の Ca と S

の酸化数を考えるとき、次のようになります。

(1) 硫酸カルシウム  $\text{CaSO}_4$  はイオン結晶である。

(2) 陽イオンは  $\text{Ca}^{2+}$  (単原子イオン) であり、陰イオンは  $\text{SO}_4^{2-}$  (多原子イオン) である。

る。

(3) Caの酸化数は、+2 (約束②)

(4) Sの酸化数Xは、

$$X + (-2) \times 4 = -2 \quad \text{(約束④)}$$

$$\text{⑥}$$

$$X = 6$$

### 電池・電気分解についての質問

○「オレンジでも電池を作ったおぼえがあります」

授業ではダニエル電池を取り上げて説明しました。

もうひとつ、歴史的に重要な電池としてボルタ電池というのがあります。

ダニエル電池とボルタ電池のちがいは、電解液です。電解液とは電極が差し込まれている水溶液のことです。

ダニエル電池の電極と電解液

正極: Cu金属、

硫酸銅(II)水溶液( $\text{Cu}^{2+}$ 水溶液)

負極: Zn金属、

硫酸亜鉛(II)水溶液( $\text{Zn}^{2+}$ 水溶液)

それに対して、ボルタ電池の電極と電解液は、

正極: Cu金属、

濃度のうすい硫酸の水溶液

負極: Zn金属、

濃度のうすい硫酸の水溶液

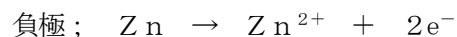
Aくんが作ったことのあるオレンジ電池とかレモン電池では、次のようです。

正極: Cu金属、クエン酸の水溶液

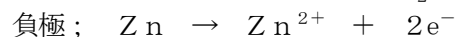
負極: Zn金属、クエン酸の水溶液

クエン酸はオレンジ、レモンなどの柑橘類の果汁に含まれる弱酸です。

ダニエル電池でおこる反応(授業でやりました)



ボルタ電池とオレンジ電池あるいはレモン電池では、



となります。

○「現在の化学電池も液体(水溶液)が入っているのですか」

電池の3要素は、正極、負極、電解液といわれています。どんな化学電池でも電解液は入っています。電解



液が漏れない工夫がいろいろなされています。何かに浸み込ませるとか、水溶液ではなく別の溶媒の溶液にするとかです。

それでも、電解質が漏れるトラブルはあって、それが「電池の液漏れ」です。最近はあまり聞かなくなりましたがね。

○「充電電池は使いすぎると、使えなくなりますが、充電電池のなかほどのような反応が起こっていますか」

○「電池はいつかえなくなってしまうんですが、充電電池とどう違うのか不思議だ」

「充電電池」という用語は、今回初めて知りました。

私は「二次電池」、「充電式電池」と言っています。

「充電式電池」は説明不要ですね。

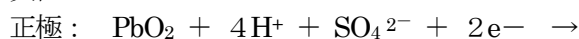
充電できない電池を「一次電池」、充電できる電池を「二次電池」といいます。

二次電池として、身近なものとしてはリチウム二次電池と鉛蓄電池があります。前者は携帯電話、後者は自動車のエンジンのスターターの電源（バッテリー）として使われています。

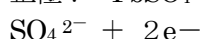
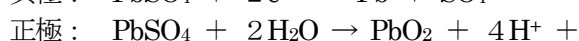
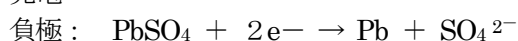
二次電池の充電プロセスは、放電プロセスの真逆となります。

鉛蓄電池を例に、放電反応と充電反応を説明します。

放電



充電



と放電と充電は真逆となります。

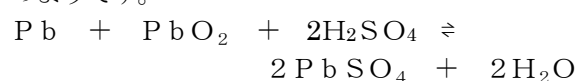
だから、放電・充電を繰り返すことができるわけです。

一次電池では、このような真逆の反応ができない物質の酸化還元が使われています

○「車のバッテリーがあがる、というのは反応が終わってしまったということですか」

車のバッテリーは鉛蓄電池という二次電池です。中に詰まっている化学物質が反応してしまいなくなって使えなくなるのは、一次電池の場合です。

鉛蓄電池の全体の酸化還元反応（充放電反応）は次のようです。



→ の方向が、放電

← の方向が、充電です。

PbO<sub>2</sub>が正極、Pbが負極です。

鉛蓄電池の欠点として、放電が過度に進むと、極板

にPbSO<sub>4</sub>がたまってしまい機能が落ち、失われます。正極のPbO<sub>2</sub>も劣化します。

だから、鉛蓄電池はしょっちゅう充電することが必要になるのです。車のバッテリー（鉛蓄電池）は、エンジンの運動エネルギーを利用した発電機で常時充電を行っています。

過度の放電（エンジン停止中のライトの消し忘れなどで、一気にバッテリーが動かないのはこのためです。このような失敗はなく普通に使っていても、正極、負極の劣化、電解液の変質は、長い期間ではおこります。車のバッテリーには寿命があるということです。

○「二次電池の中身の構造はどうなっているのですか」

二次電池にも、いろいろあります。

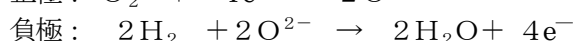
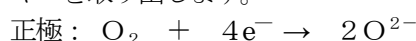
たとえばリチウムイオン二次電池は以下のような構造と原理です。

鉛蓄電池の構造は、高校の教科書にたいてい出ていますのでそちらを見てください。

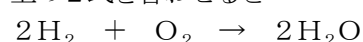
○「水素電池は、 $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ で電気が発生するんでしたっけ」

「水素燃料電池」、あるいは「燃料電池」のことですね。

酸化還元反応で放出されるエネルギーを、電気エネルギーとして取り出す仕組み（装置）が化学電池であることは、授業で勉強しました。「燃料電池」も化学電池の一種です。水の電気分解で水素と酸素が発生しますが、燃料電池はその逆の酸化還元反応で電気エネルギーを取り出します。



上の2式を合わせると



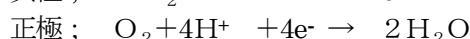
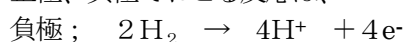
となり、水素の燃焼反応になります。

○「電気自動車の水素と酸素を化合して水を出す電池の正極と負極は何ですか」

「水素と酸素を化合して水を出す電池」のことを「燃料電池」、あるいは「水素-酸素燃料電池」といいます。後藤くんの質問文は、陽極と陰極となっていました。電池の場合は正極と負極という用語を使いますので、修正しました。

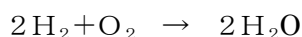
「何ですか」という質問が、なんでできているかという材質に関して、であれば、答は白金です。

正極、負極でおこる反応は、



となります。

上の2つの式を合わせると（足し算すると）、



となります。

これは水素の燃焼反応で水ができる反応です。燃焼反応のエネルギーは普通は熱エネルギーですが、工夫をして電気エネルギーに変換するものが「燃料電池」です。

○「携帯電話はリチウムですが、一番もちが良い電池は何か気になりました」

充電をあまり頻繁にしなくてよい、長持ちする2次電池があれば、携帯電話には都合がよいな、という思いからの質問と思われます。

電池として何を使うかというのは、案外むずかしい問題です。電化製品の機能によって、何ボルトまででる電池が必要か？

どれくらい持たなくてはいけないか？

電池の開発、電化製品の改良をやっている人たちは、そのあたりについても知恵をしぼり経験を活かしながら、相当な苦勞をしています。

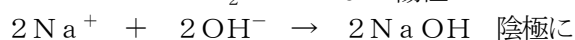
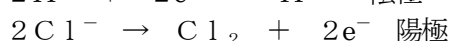
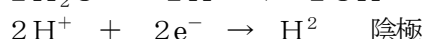
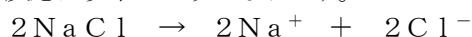
Hくんも、社会に出てそういう苦勞(=生きがい)をすることになるのだと思います。

○「電気分解でH<sup>+</sup>がH<sub>2</sub>になって消費されても、ルシャトリエの原理でH<sup>+</sup>が補給されH<sup>+</sup>は減らない、とおっしゃっていましたが、そうするとH<sub>2</sub>Oが減ってOH<sup>-</sup>が増えるのだと思いますが、そうですか」

陰極に水素H<sub>2</sub>が発生するが、陽極に酸素O<sub>2</sub>が発生しない電気分解では、基本的には、Nくんの考えたとおりです。

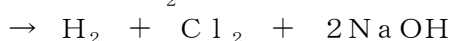
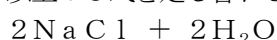
たとえば、授業でやったNaCl水溶液の電気分解では、陰極に水素H<sub>2</sub>、陽極に塩素Cl<sub>2</sub>が発生するのでしたよね。陰極の近くではOH<sup>-</sup>の濃度が高くなります。Na<sup>+</sup>イオンも電位分解では消費されないので、Na<sup>+</sup>とOH<sup>-</sup>は水溶液にたまって濃縮されます。その結果水酸化ナトリウムNaOHの濃度が高くなっていく。実は、NaCl水溶液(食塩水)の電気分解はNaOHをつくる方法でもあります。この方法はNaOHとともに塩素Cl<sub>2</sub>も生産できることとなりますね。

反応は以下ようになります。



近い水溶液中

以上の5式を足し合わせると、



となります。

○「水は電気分解以外でしか分解できない、と高校で習ったのですが、物質にはそれぞれ固有振動数がありますよね。それで分解はできませんか。また原子レベルで固有振動数はあるのですか」

水が電気分解でしか分解できない、というのは間違いです。高温状態、あるいはエネルギーの高い電磁波(紫外線、放射線)を当てると、分解は起こります。

固有振動数とは、振動する原子、分子に特有の振動数のことです。1原子の場合は、固体として存在している原子が、特有の振動数を持ちます。これが原子の固有振動数です。分子の場合は、化学結合で結びつけられている原子が振動しますが、この振動数が分子の固有振動数です。原子がパチンコの玉、化学結合がバネ、と喩えて考えると、イメージがわかりやすいと思います。

Mくんの質問は、分子に固有振動数に対応するエネルギーを与えたら結合が切れないか、という質問だと思います。このエネルギーは赤外線領域にあたります。固有振動数に相当する赤外線を分子に当てても、普通は、振動するだけで結合が切れることはありません。

○「電気分解は定性分析になるのでしょうか。もし、定性分析の場合、判断できるのは、もっとも電気分解されやすいもの(イオン)だけでしょか」

前半の質問の意味は、こういうことですか？

**何が溶けている水溶液があって、電気分解したとき陽極と陰極に発生する物質を調べることによって、何が溶けているかを判定できるか？**

水溶液の溶質が何であるか、を見定めることは定性分析のひとつですね。

そういう意味では、原理的には、そして限定的には、電気分解が定性分析の一種といえないことはないかもしれません。

たとえば、ある水溶液を電気分解したとき、陽極に塩素、陰極に水素が発生したとします。1種類の電解質(電離する物質)Aが溶けていたとします。物質Aの可能性としては、Cl<sup>-</sup>を持つことは言えますが、NaCl, KClなどいくつかの可能性が有ります。電気分解の生成物による“定性分析”は、候補である物質の範囲を狭めることは可能ですが、断定することはできません。実験手法としても、簡単ではありません。実際に、応用はされていないとしてよいです。

○「ファラデー定数(96500C/mol)ってなんですか」

電子は負の電荷を持っています。

電子1個の電荷の値(絶対値)は、 $1.602 \times 10^{-19}\text{C}$ です。電子が1molあるというのは、 $6.022 \times 10^{23}$ 個(アボガドロ数)あるということです。電子1molのトータル

の電荷は、上の2つの数字をかけてやればよいです。

$1.602 \times 10^{-19} \times 6.022 \times 10^{23} = 96500 \text{ C/mol}$   
となります。

この値 (96500 C/mol) がファラデー定数です。

1C (クーロン) は、1A (アンペア) の電流を1秒間流すことに相当しますので、たとえば、1Aの電流であれば、96500秒間流せば、1molの電子を反応させることとなります。

○「なぜ、電子1molが、96500Cになるのですか」

○「ファラデーの法則の定数(ファラデー定数)の数値 96500 C/molは、どこから来ているのですか」

「ファラデー定数 96500 C/molの求め方は」  
電子1molが、96500Cということの説明しました。  
電子1molは、電子がアボガドロ定数の数だけあるということです。電子1個の電荷(電気素量、教科書の裏表紙のうらのページ参照)をeとします。

アボガドロ定数を $N_A$ とします。

値は  $e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$

$N_A = 6.02 \times 10^{23} / \text{mol}$  です。

ファラデー定数 F は、 $F = e \times N_A = 96500 \text{ C/mol}$  として求められます。

○「マンガン乾電池とアルカリ電池は、基本的ななにがちがうのでしょうか」

アルカリ乾電池とマンガン乾電池の間で、何が違うのかというと、乾電池に使われている電解液が大きく異なります。電解液とは、乾電池の陽極と陰極を浸すために使う液体であり、理科の実験で電気分解を行った時などに使用した経験があると思います。

マンガン乾電池では、電解液として塩化亜鉛、または塩化アンモニウムが使われており、アルカリ乾電池では、電解液としてアルカリ性の水酸化カリウムが使用されています。これがアルカリ乾電池と呼ばれる所以です。同じ酸化還元反応ですので、得られる電圧は同じです。正確に言えば、電解液の違いの他に、乾電池内部の構造にも違いがありますが、アルカリ乾電池とマンガン乾電池の違いと言えば、電解液の違いであると言えます。以上を踏まえると、アルカリ乾電池とマンガン乾電池との間には、乾電池内部に違いがあるだけで、実用面では違いは無いと考えられますが、実際は実用面においても違いはあります。

その違いは、流せる電流量の違いです。一般的にアルカリ乾電池の方が、大きな電流を長時間流す事ができます。大きな電流を長時間流せるという事は、消費電力が大きい機器を、正常に長時間使用できるという事です。

一方のマンガン乾電池は、大電流を流す事が苦手です。

例えば、乾電池が使用可能なデジタルビデオカメラやデジタルカメラにマンガン乾電池を使用すると、正常に長時間使用できない場合があります。これらの機器は、消費電力が大きく、大電流が必要なため、マンガン乾電池では力不足となってしまう事が多いです。消費電力がかなり高い機器にマンガン乾電池を使用すると、アルカリ乾電池を使用した場合の1割程度の時間しか使用できない場合もあります。よって、このような機器では、アルカリ乾電池の使用を指定している事が多いです。

また、アルカリ乾電池の使用が指定されていない機器でアルカリ乾電池を使用すると、寿命が長くなるというメリットがあります。このような機器では、大電流が必要でないため、マンガン乾電池でも使用可能ですが、アルカリ乾電池では、取り出せる電流の量が多いという特徴も持っていますので、それだけ電流を流す事ができる時間が長くなるというわけです。

○「電気分解は生活の、どこで役に立っていますか」

工業的応用としては水酸化ナトリウムの製造、金属の精錬があるということは授業で言いました。工業製品は生活につながっています。

実際に日常生活をしていて電気分解と装置を見られる例が一つあります。

スーパーマーケットにある電解水(アルカリ電解水)製造機です。しかし、私は、これは意味のない装置だと考えています。

興味があれば、私のホームページを見てください。

<http://www.daido-it.ac.jp/~yocsakai/chemqa.html>  
の質問19のQandA

#### 日常生活関連物質についての質問

○「スペースシャトルを打ち上げる時、(燃料として)水素を使っていると聞きましたが、よく分からないので教えてください」

シャトルカードに、ふさわしい質問ですね。

水素 $H_2$ を燃料として使っています。ロケットには $H_2$ と同時に酸素 $O_2$ も搭載しています。エネルギーを得る燃焼の化学反応はとても単純です。



$H_2$ の燃焼( $O_2$ との反応)の結果、水 $H_2O$ しか生成しません。クリーンな燃料です。

たくさんの $H_2$ と $O_2$ が必要ですので、液化した状態で載せています。両物質とも、液体状態はとても低温です。「アポロ13」という映画はみましたか? 打ち上げのシーンで、ロケットが凍りついていて、ばらばら氷を落としながら上昇していきます。

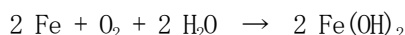
○「シャトルカード通信をみて思ったことが一つ。スペースシャトルなどの燃料は液体燃料ですか。固形燃料ではないのでしょうか」

両方あるようですね。燃料と酸化剤が両方とも液体の場合は液体（燃料）ロケット、両方とも固体であると固体（燃料）ロケット、固体と液体の組みあわせの場合はハイブリッドロケット、と呼ばれるようです。

○「車のタイヤに空気かわりに、窒素を入れることがあります（料金は割高になる）、この意味・メリットは何ですか」

私自身は、このことを、これまで知りませんでした。空気と窒素で、タイヤの圧力媒体としての物理的役割に違いがあるとは思えません。このあたりは、数回先の講義「気体の性質」のところで勉強します。

化学的な意味であれば、いくつかあるように思います。空気は酸素O<sub>2</sub>と窒素N<sub>2</sub>の混合気体です（水蒸気、二酸化炭素などの微量成分もあります）。窒素は化学的には不活性な物質（反応しにくい物質）です。酸素は酸化反応を引き起こします。水蒸気が共存すると反応は促進されます。たとえば、鉄の腐食（錆びる）の初期過程は、次の反応です。

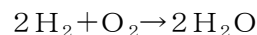


この反応に関連した化学実験は、2年生での科目「基礎工学実験」でやります。楽しみにしててください。タイヤの内壁の材質・構造については良く知りませんが、ゴムも酸化・劣化します。金属部分があるとすれば、酸素、水蒸気を含まない窒素を使うメリットは、とても大きいかもしれませんね。

化学の研究実験では、酸素に対して不安定な物質を取り扱うとき、グローブボックスあるいはグローブバッグというものを使うことがあります。中が見えるようになっている箱または袋に、手袋がついているものです。中に試薬や実験器具を入れて操作を行います。そのとき、窒素をフローさせて（つまり酸素をパージした状態で）、実験中の不安定物質の変質を防止するわけです。さて・・・「グローブバッグ」、日本語で言えば、「手袋袋」。ちょっとヘンテコリンですね。

○「ものを燃やしたとき、たとえばそれに炭素が含まれていない場合でも、燃やしたあとに炭素はでるのですか」

「燃やす」は、酸素と化合させるというのが化学的意味です。たとえば、「水素を燃やす」の反応式は、以下のようです。



「鉄が“燃える” = 鉄が錆びる」であれば、 $4\text{Fe} + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3$  となります。もう分かったと思いますが、炭素の入っていないものを燃やしたとき、炭素の化合物（例えば

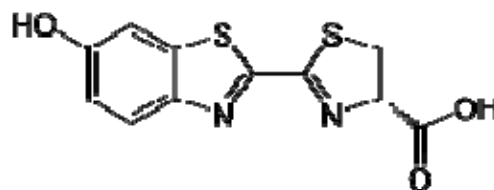
CO<sub>2</sub>）が生成することは、ありえません。

○「ホタルやホタルイカは、どうして光るんですか」

ホタルあるいはホタルイカは、発光物質を体内に持っています。ルシフェリンという化合物です。

体内中で、その化合物と他の物質、酸素O<sub>2</sub>が反応して、高いエネルギー状態（励起状態）ができます。高いエネルギー状態が、低い状態に移るときに、その差額分が光エネルギーとして放出されます。

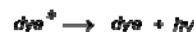
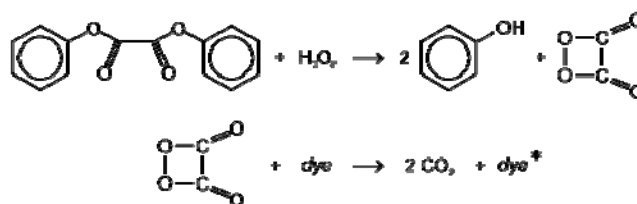
ホタルルシフェリンの構造式



○「ポキッとおると光る棒がありますが、ホタルやホタルイカと同じような理由で光るのでしょうか」

化学反応を利用して、分子の励起状態（エネルギーの高い状態）をつくり過剰のエネルギーを光として放出させる、という意味では同じ仕組みと言ってよいです。光る棒の仕組みは、次のように説明されます。

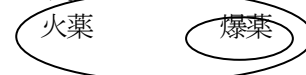
シュウ酸ジフェニールと過酸化水素が、別々の容器に入れて、全体として棒状になっています。その棒を折る容器が破壊されて、シュウ酸ジフェニールと過酸化水素（H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>）混ざり、下図の1段目のような化学反応が起こります。生成物のひとつが色素化合物（「dye」と表示）と2段目のように反応し色素化合物の励起状態（dye\*）ができます。色素化合物の励起状態（dye\*）が、過剰のエネルギーを光（hν）として放出し元の状態（dye）に戻るために輝いてみえる、という仕組みです。



○「火薬と爆薬のちがいはなんですか」

爆薬は、物体を爆破させる火薬類で、例としてはダイナマイトなどがあげられます。

火薬のなかの一部として爆薬があるのではないのでしょうか。図で示すと下のようです。



爆薬ではない火薬とは、たとえば、花火などがありますね。

○「炭酸飲料を振ると、なぜ炭酸は抜けてしまうのですか」

炭酸飲料では、水に二酸化炭素を加圧して溶かしてあります。開封する前のビンあるいは缶のなかは圧力が1気圧（大気圧）より高い状態です。開封すると、圧力が下がりますので溶けていた二酸化炭素が気体として（泡として）出てくるわけです。

開封後、振ると液体内部が表面にでて空気（大気圧部分）に触れる確率が高くなりますから、泡の発生が強くなるということです。

○「なんでガムとチョコと一緒に食べると溶けるのですか。化学的なことなんですか」

○「ガムをかんでるとき、チョコを食べると溶けるのは何故ですか」

化学的なことだと思います。

ガムの化学成分を、チョコレートが溶かすのです。口の中でおこることです。チョコレートは温まって溶けて液体状態になります（これが油性溶媒となる）。これが酢酸ビニル系樹脂（ガム）が、溶けるのだと思われます。

チョコレートかわりに、バターとかマーガリンでも同じようになるのではないかしら。

試してみてください。結果を教えてください。

○「扇風機やドライヤーから出ているマイナスイオンは何のマイナスイオンなのですか。本当に効果はあるのですか」

○「森の木などからは、どのようなマイナスイオンが出ているのですか」

○「家電製品にマイナスイオンとかありますが、あれはいったい何ですか」

○「マイナスイオンでリラックスできる、とよくいわれますが化学的にも実証されていますか」

「わかりません」というのが正直な回答です。

何のマイナスイオンかは、売っているほうも分かっていない、と思います。あるいは森林にあるといわれているマイナスイオンが何であるかは、効果があるといっているひとたちも、はっきり分かっていないのではないかと思います。

そもそも、その存在すら怪しいという意見も多いです。私は、効果はない、と思っています。

○「教科書のビタミンCのところに出てくる「壊血病」とは何ですか」

ビタミンCとは、アスコルビン酸という化合物です。「壊血病」という病名は「ビタミンCの欠乏症」として、教科書的には中学生のころから知っていましたが、どんな病気なのか知らないし、自分の周囲にその病気に罹ったという人も知りません。

昔、イギリスの大航海時代に野菜・果物不足になった船員が苦しんだ病気のように。「壊血病」、名前からして恐ろしそうですが、血管が損傷し出血するというものらしいです。

ビタミンCというと、ライナス・ポーリングという化学者がすぐ思い浮かびます。

ビタミンCは風邪の治療薬・予防薬であると提唱しました。

The daily intake of vitamin C that suffices to prevent scurvy in most people is about 45 mg, but large amounts, 1000 to 5000 mg per day, are valuable in preventing or ameliorating the common cold and other diseases.

と、「Chemistry」という本に書いています。

（壊血病にならないために必要なビタミンCの摂取量は1日45mgであるが、1日に1～5gを摂ると風邪や他の病気の予防・治療になる）

ビタミンC 1gは、ミカンにすると何個分でしょうね。大好物のミカン、冬場にたくさん食べる私は、そのせいか、風邪をひきません。愛知県は冬に、安くて美味しいミカンが手に入るので嬉しいですね。

上の「Chemistry」というポーリングの本は、化学の基礎のことであれば何でも書いてある、とても良い本です。

○「天然と人工の境界は、どのへんでしょう」

天然は自然のもので、人工はひとがつくったものです。

この二つは、対になっています。

天然繊維 vs. 人工繊維

天然氷 人工氷

天然芝 人工芝 など

「境界」は、はっきりしているように思います。

ただ、天然繊維と人工繊維は、物質として違う種類で、言ってみれば天然の代用品としての人工物ですね。人工芝も、ある意味そうですね。

人工氷は、物質としては天然氷と同じ固体のH<sub>2</sub>Oだけど、作り方だけがちがう。

たしかに、ケースバイケースで、難しいですね。

「人工天然」とは、ほんとうは天然（ボケ）ではないが、天然のフリをする人のこと、だそうです。

○「Cで、C骨格というなら他の原子でも骨格というものもありえますよね」

とても良い質問です。

元素の周期表をみると、炭素Cの真下はケイ素Siですね。炭素とケイ素は性質が似ています。周期表で縦の列は「族」といって、性質が似るのでしたね（化学1）。

ケイ素は4価で（つまり結合の手を4本持つ）、炭素と

同じですので、C骨格と同じSi骨格を作ってもいいように思えますね。ところが、それはできません。似ているといっても、同じじゃないということですね。しかし、ケイ素は酸素Oと交互に並ぶことにより、骨格を作ることができます。

Siは4個のOに取り囲まれて結合し、正四面体構造をとります。その正四面体がたくさん連結するのです。岩石や土などの主成分はそういうものです。

前半の話の余談です。

SF小説では、炭素が完全にケイ素に完全に置き換わった有機化合物、それからできた生命体、それらが作る生命体社会といった別世界を取り扱ったものがあつたように思います。しかし、それはサイエンス・フィクション(SF)＝科学的空想物語です。

#### ○「錆びた鉄をきれいにするには、塩基性のものをぬれば錆は落ちるのでしょうか」

塩基性ではなく酸性の溶液のほうが、錆落としとしての利用に適切だと思います。市販の錆落とし剤は、硫酸、塩酸、クエン酸などを成分とする酸性溶液で、錆や汚れを溶かして取り除くというものです。

#### ○「なんで、髪の毛を燃やすと臭いのですか」

毛髪にはケラチンというタンパク質が主成分として存在します。ケラチンにはイオウが多く含まれています。イオウが燃焼してできる化合物が悪臭の原因です。イオウの化合物は、悪臭を持つものがほとんどです、

#### ○「炭酸飲料(炭酸水)に、ラムネやメントスを入れると泡がふきでるのは、どういう化学反応が起こるのですか」

#### ○「なんでコーラのなかに、ラムネを入れるとコーラがあふれるのですか」

炭酸水とは、圧力をかけて二酸化炭素(炭酸ガス)を強制的に・大量に水に溶け込ませているものです。だから、圧力がかかっていない状態になると、つまり、密閉していた栓または蓋をあけると、二酸化炭素が発砲してきます。

ビンをふったりして物理的ショックを与えてやると、発砲は激しくなります。何かを炭酸水に投入すると、それが物理的なショックとなり、発砲が速くなります。投入する物質の表面の状態、泡の出やすさを加速する度合いが違うようです。メントスは、そういう条件が良いものなのでしょう。化学反応の影響ではないと思います。

#### ○「医薬品の中にも一類、二類とありますが、何が違うのですか」

副作用などの面から使用方法の難しさのレベルで、

3つのグループ(第一類、第二類、第三類)に分類されています。一番難しいのが第一です。

第一類医薬品は、副作用等により日常生活に支障を来す程度の健康被害が生ずるおそれがある医薬品のうち、その使用に関し特に注意が必要なもので、薬剤師が必ず顧客と対面して販売しなければなりません。

第三類医薬品になると、薬剤師は必要でなく商品説明に際して法的制限を受けず、また、通信販売も可能とされているようです。

#### ○「人間や動物が物質の塊なのに意志とかを持ったりすることに、すごく不思議を感じた」

質問というよりは、感想・感慨ですね。

そうですね。とても不思議ですね。

人間に意志あるいは感情などの精神活動があることは事実です。

もう一方で、Kくんが言うように、物質であることも厳然とした事実です。

ということは、人間の精神的な活動も結局は物質が起こしているもの、つまりは化学反応に、根本的には源があることになります。

ただ、精神活動に関係する化学反応は複雑で、多様で、膨大なで、多くの反応の組み合わせなので、十分に解明できていないのです。そこは、現代科学の分野のなかで未解決として残された領域なのです。そこにチャレンジする科学者も現在たくさんいます。ライフサイエンス、脳科学とかがそれらにあたりで、これからの注目の分野ですね。

#### ○「金属の特性のうちの、延性と展性について教えてください」

金属は延ばしやすく、また、展ばしやすいのです。どちらも「のびやすい」と読みますね。

科学的な立場から言えば、両者は区別がないし、違いを考えることに意味はないようです。欧米では(英語では)、どちらも **ductility** です。

敢えて言えば、「延性」は金属の塊は延びやすいという性質で、「展性」はのびやすく広がりやすい性質、というくらいの表現上の微妙な違いだと思います。

#### ○「炭素Cを含む化合物が有機化合物だが、二酸化炭素CO<sub>2</sub>、一酸化炭素COが例外で、無機化合物となる理由がよくわかりません。有機化合物の一般的性質がないからでしょうか」

化学の歴史に関係することだと思います。二酸化炭素も一酸化炭素も、炭素の酸化物(酸素との化合物)です。いろいろな元素の酸化物については、有機化合物の現代的な化学的概念が確立するより早く研究が進んでいました。そのような歴史的な経緯と、Nくんが指摘したように性質も有機化合物的ではない、という

ことが合わさった結果だと思えます。

○「Ca (カルシウム) は金属元素ですが、骨の一部になっていることを不思議に思いました」

たしかに生物を作っている物質というと、有機化合物というイメージがありますので、カルシウムが金属元素である、ときくと違和感をもつかもありませんね。骨の主成分はリン酸カルシウムです。リン酸イオン ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) とカルシウムイオン ( $\text{Ca}^{2+}$ ) がイオン結合したものです。

カルシウム以外にも様々な金属元素は、生体中に微量存在しています。それぞれ重要な役割を担っています。

○「消毒に使われているアルコールは何ですか」

エタノールです。

今日の授業でやったように、アルコールは、有機化合物のなかで官能基—OH をもつもののグループ名です。一般的には、

「アルコール」=エタノール ですが、アルコールには、エタノール以外のものも含まれます。重要なことは、アルコールで有害でないのは、エタノール以外ないのです。消毒作用としてだけからは、アルコール (類) は、たいていは使用できる可能性はあると思います。

○「金と銀を溶かして混ぜたらどのようになりますか」  
合金になります。

単一の金属元素からなる純金属に対して、複数の金属元素、あるいは金属元素と元素非金属元素からなるものを合金といいます。見かけは純金属と変わらないです。

純粋な金 (=純金) は柔らかすぎて、装飾品などにするにはむいていません。

銀 (または銅) を混ぜた合金にすると硬度が増し、加工しやすくなるようです。

「二十四金」、「十八金」というのを、きいたことはありませんか。

「二十四金」は純金です。「十八金」は18/24すなわち75%が金、25%が銀 (または銅) の合金です。

○「宇宙も原子と分子でできているのですか」

そのとおりです。

ただ、宇宙のなかでは、もの凄い高温になっているところもあります。そういうところでは、プラズマという状態で原子が存在しているといわれています。

温度が上昇すると、物質は固体から液体に、液体から気体へと状態が変化します。気体の温度が上昇すると気体の分子は解離して原子になり、さらに温度が上昇すると原子核のまわりを回っていた電子が原子から

離れて、正イオンと電子に分かれます。この現象は電離とよばれています。そして電離によって生じた荷電粒子を含む気体をプラズマとよびます。

○「人はどれくらいの数の原子から成り立っているのだろうか」

おもしろい質問ですね。

ヒトは、もちろん、いろいろな元素からできています。

教科書 p.9 の図 1.2 によれば、質量%で

O ; 62.6%、C ; 19.5%、H ; 9.2%、N ; 5.2%、その他 ; 3.4% となります。

その他は無視して、4元素の割合を考えて平均原子量を計算してみると、

$$(16.0 \times 0.626 + 12.0 \times 0.195 + 1.01 \times 0.092 + 14.0 \times 0.052) / 0.966 = 13.6$$

体重 60 kg の人で考えると、原子数 N は以下のように計算されます。

$N = (60,000 / 13.6) \times 6.02 \times 10^{23} = 2.6 \times 10^{27}$  個  
ここでやっている計算の意味は自分で考えてみてください。すごい数ですね。

○「人の体の皮膚に植物の葉緑体を移植することは可能か。できれば光を浴びるだけで生きるのに必要なエネルギーを作ることができるか」

不可能だと思います。動物と植物のちがいは、葉緑体をもたないかもつかです。葉緑体に対する受け入れの基本が根本的に違います。

SF が出てきそうな話ですが、できないことだと思います。

○「コーラで歯や骨が溶けるというのは本当でしょうか」

$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ 、アパタイトという物質を主成分として、骨や歯はできています。アパタイトは酸に溶ける性質をもっています。コーラなど炭酸飲料水は微酸性ですから、たしかにコーラは歯や骨を溶かす可能性はあります。

しかし、それは長時間浸されているという状況下でのことです。普通に炭酸飲料水を飲むだけであれば、歯や骨が溶けて困るということはないでしょう。

○「マヨネーズは、冷やさなくても腐らないのは、酢と油のおかげなのですか」

腐る可能性があるのは卵ですよ。

界面活性剤の働きもあり、卵は小さい粒になり、油、酢、食塩などで取り囲まれています (乳化している)。酢 (酢酸)、食塩 (塩化ナトリウム) には殺菌効果がありますので、卵は腐らないのです。

## 数学・計算についての質問

○「 $0.003 \times 0.005$  の計算結果は、有効桁数を考慮したとき、どうなりますか」

少数点があり、0がある数値の有効桁数は、わかりにくいかもしれません（まちがいやすい）。

$0.003$ 、 $0.005$  の有効桁数は、どちらも1桁です。したがって、積の有効桁数も1桁となります（アップリント chem.2 を読んでください）。

ということで、 $0.003 \times 0.005 = 0.000015 = 0.00002$  となります。

○「ネピア数とは何ですか」

○「ネピア数は、何を表した数なのですか」

○「ネピア数  $e$  は、どうやって求めるのですか」

○「ネピア数は、 $e^x$  をマクローリン展開で解けば、算出できますか」

○「ネピア数は、どうやって、何を考えた数なのか、ピンとこない」

関数  $a^x$  を、 $x$  で微分したとき、その結果が同じ関数形  $a^x$  となる (1) 式 よう

$$\frac{d}{dx} a^x = a^x \quad \text{—— (1)}$$

すなわち (1) 式が成り立つように、 $a$  の値を決めると

$2.71828\cdots$  となります。

この数をネピア数と呼び、 $e$  を使って表します。ネピア数  $e = 2.71828\cdots$

このように決めた  $e$  は自然対数の底でもあります。

○「ネピア数  $e$  は、どういう計算で、数字が求められるのですか」

○「ネピア数は、どうやって、何を考えた数なのか、ピンとこない」

ネピア数の求め方は、以下のようになります。

数学で、マクローリン展開というのがあります。

関数  $f(x)$  は、次のように展開できます。

$$f(x) = \sum (f^n(0) \cdot x^n/n!)$$

ここで、 $f^n(x)$  は  $f(x)$  の  $n$  階微分です。関数  $f(x) = e^x$  のとき、 $f^n(x)$  は  $n$  の値にかかわらず  $e^x$  となります。これから、 $n$  の値にかかわらず  $f^n(0) = e^0 = 1$  となります。

$n$  は0からはじまる整数で無限大までいきます。

ということから、 $n$  を4まで展開すると、

$$e^x = 1 + x + x^2/2! + x^3/3! + x^4/4! \cdots \text{となります}$$

ここで  $x = 1$  とすると、

$$e = 1 + 1 + 1/2! + 1/3! + 1/4! \cdots$$

$$\text{ここで } 2! = 1 \times 2, \quad 3! = 1 \times 2 \times 3,$$

$$4! = 1 \times 2 \times 3 \times 4 \text{ ですから、}$$

$$e = 1 + 1 + 1/2! + 1/6 + 1/24 \cdots$$

$$= 2.71 \cdots$$

ここでは  $n=4$  までですが、 $n$  の値を増やしていくと（無限大に近づくと）、ネピア数  $2.71828\cdots$  が求められます。

○「アボガドロ定数の  $6.02214 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  のように有効桁数が多い場合は、計算につかうとき、どこで切り捨てればよいのですか」

計算するときは、上のことは気にしないで、与えられた数値、測定された数値をそのまま使ってやってください。

その結果に対して、授業で説明したルールで適切に四捨五入すれば良いのです。

○「有効数字の計算は誰がどうして決めたのですか」

歴史のことは、調べてみましたがよくわかりませんでした。

かなり昔から、有効数字、有効桁数の考え方はあったように思います。

測定値、実験値というものがあるのが歴史に登場したとほとんど同時に、有効数字、有効桁数の考え方は出てきたのではないかと思います。

たとえば、土地の「測量」とかは歴史的には古代からあったわけで、そういうことから考えれば、有効数字、有効桁数はそれくらいからあるのではないのでしょうか。誰が決めたということがはっきりしないくらい昔ですね。

○「常用対数  $\log 2$  の値が  $0.3010$  であり関数計算のできる電卓を使えば簡単に求められることはわかっています。では、電卓のなかった昔、どうやって対数の値を求めていたのですか。筆算(手計算)で、やっていたはずですよ。筆算で  $\log 2$  の数値を得る方法を教えてください。今、ここで、やってみて」

この質問と要望には、完全なる降参でした。これまでに、まったく考えたこともない問題でした。授業後の教室で、私はMくんの目前で、ただただ途方にくれていました。でも、とても素直で鋭い質問だと思いました。Mくんに回答したいということと、同時に私自身、この問題に強い興味をもって調べてみました。以下は片山孝次さんという数学者の著した岩波ジュニア選書202「数学公式徹底入門」(1992、片山孝次、大槻真)のp.71~72からの全面的引用です。言葉使いだけはすこし私流にしましたが。

常用対数  $\log 2$  は、おおよそ、いくつかな？

$1 < 2 < 10$  ですので、 $10^0 < 2 < 10^1$  となり、 $0 < \log 2 < 1$  であることとなります。

そこで、 $\log 2 = 0.pqrs \cdots$  とします。(答に先



回りすれば、 $p=3, q=0, r=1, s=0$  ってことですね)

まず、 $\log 2$  の値を小数点第 1 位まで求めてみます。  
つまり、 $p$  を得ようということです。

$$\log 2 = 0.p \dots$$

両辺を 10 倍します。

$$10 \log 2 = p. \dots$$

したがって、 $\log 2^{10} = p. \dots$ 、 $2^{10} = 1024$  ですから (これは筆算でできますね)、

$10^3 < 1024 < 10^4$  ですから、 $p = 3$  となります。  
次に、小数点第 2 位まで求めることを考えてみましょう。

$$\log 2 = 0.pq \dots$$

両辺を 100 倍します。

$$100 \log 2 = pq. \dots$$

したがって、 $\log 2^{100} = pq. \dots$ 、 $2^{100} = 1.27 \times 10^{30}$  ですから (これは筆算でできますね。たいへんだけど)、

$10^{30} < 1.27 \times 10^{30} < 10^{31}$  ですから、 $p q = 30$  となり、 $p=3, q=0$  となります。

$r, s$  を求めるのも、同じやり方です。もちろん、  
どんどん計算は、たいへんになってきますが。

### 語源についての質問

○「デルタって、いろいろありますね。今回出てきたのは  $\delta$ 。他にも  $\Delta$  で、デルタもありますし」

$\Delta$  と  $\delta$  はギリシャ文字で、英文字の D と d に対応します。

T くんのおり、物理、化学を始めとする理工系で  $\Delta, \delta$  はよく出てきます。いずれの場合も、「変化量」、「違い」に係る物理量に対して使います。

変化、違い = difference

に由来すると思います。

数学の「微分」は、英語で differentiation です。微分では (積分でも)、 $dx, dy$  という記号がでてきますが、この  $d$  も同じ意味合いでしょう。

○「pH は、なんで pH とよばれるのですか？ 何かの略語ですか」

H は、水素のことです。

$p$  は power のことだとされています。水素のパワー (力) という意味ですね。pH は次の式で定義されることは既に勉強したことです。

$$pH = -\log [H^+]$$

$[H^+]$  は、水素イオンのモル濃度で、 $\log$  は常用対数の記号です。式からわかるように、pH の値は小さいほど、 $[H^+]$  は高くなり、酸性度が大きいということになります。だから、「水素イオンのパワーの順位」のようなものと、とらえたらわかりやすいでしょう。

$pH = x$  とすると、 $[H^+] = 10^{-x} \text{ mol/l}$  となりますね。数学用語で power は冪数 (べき数) で、「The third power of 2 is 8.」、「2 の 3 乗は 8 だ」。(ランダムハウス (英語辞書) より引用) という使い方をします

( $2^3 = 8$ )。これと化学の pH の  $p$  とは関係あるのでしょうか？ そのあたりは、調べてはみましたが、よくわかりませんでした。

○「pH は、中学ではペーハー、高校ではピーエイチでしたね」

おそらく中学でもピーエイチで教えるのが、教員の文部科学省的ルールだと思います。しかし、昔はペーハーのほうが優勢だったこともあり、根強く残っています。どちらかといえば、年配の方がペーハーを使うという傾向はあります。

○「希ガスの「希」はどういう意味ですか？」

「希」という漢字の意味は知っていると思いますが、「まれな、めったにない、めずらしい (rare)」です。英語では rare gas といいます。18 族元素の存在率が低いので、珍しい存在の気体ということでしょう。

noble gas ということもあります。高貴なる珍しいガスということです。高貴だから、だれともくっつかない (他の元素と化学反応しない) という意味も含んでいます。

余談ですが、希ガス (18 族) のアルゴン (Ar) は、「なまけもの」という意味から名前がついています。化学反応しない、ということが「なまけもの」ということです。

○「ダイヤモンドより硬い物質に「ハイパーダイヤモンド」というものがあるそうですが、さらに硬い物質ができれば「ウルトラダイヤモンド」という名称になるのでしょうか」

おもしろい質問ですね。こういう質問は大歓迎です。

長い間ダイヤモンドがもっとも固い物質であるとされてきましたが、ダイヤモンドに傷をつけることのできる、すなわち、ダイヤモンドより硬度の大きい物質が合成されました。それをハイパーダイヤモンドと呼びます。ダイヤモンドと同様、炭素の同素体です。それで、「超ダイヤモンド」、「ダイヤモンドを越えたもの」という意味の「ハイパーダイヤモンド」となったようです。

H くんの問題は、さらに硬度の高い炭素の同素体があれば、何という名前にするのだろうか、という好奇心からのものですね。

ハイパー (hyper-) というのは、超越した、過度の という意味をあらわす接頭語です。他の類似の意味の接頭語に、ウルトラ (ultra-)、スーパー (super-) などがありますね。

ウルトラ(ultra-)は、「超えて向こう側にいった」という意味の「超」のようです。

スーパー(super-)は「超えて上にある」くらいの「超」でしょうか。

そう考えれば、Hくんの考えたハイパーダイヤモンドより硬いものはウルトラダイヤモンドという用語は、可能性ありかもしれません。

「超えて下にある」という意味の接頭語は、インフラ(infra-)です。

紫外線をUV (ultra-violet ray)、赤外線をIR (infra-red ray)といいます。

紫(violet)を超えて上にある電磁波、赤を超えて下にある電磁波、これは何の高い/低い(上にある/下にある)を言っているのか、わかりますか。

電磁波のエネルギーですね。

○「熱化学方程式で、C(黒鉛)、C(ダイヤモンド)のように具体的に物質名を書くものは、他の物質でありますか」

固体の場合で、化学式で書くと元素記号ひとつで表すが、結晶構造が違って化学エネルギーが変わる場合に、C(黒鉛)のような具体名を書くことになります。

そのような他の例として金属のFeがあります。 $\alpha$ -Fe、 $\gamma$ -Feといった表記により区別されますので、Fe( $\alpha$ -鉄)といった書き方、あるいはFe( $\alpha$ )という書き方になるのかもしれませんが。実際には、教科書などでは見たことはありませんが。

○「「質量保存の法則」はなぜ「保存」なのでしょう。 「質量不変」とかのほうが良いような気がします」

もともとは英語の用語で「The law of Conservation of Mass」といいます。Conservationを訳すとき、「保存」を当てたのでしょうか。もちろんConservationは「保存」はもちろんです、「不変」という意味もあります。「質量不変の法則」とも言うこともあります。国語辞典で「保存」を引くと、「そのままの状態を保つようにして、とっておくこと」とありますので、たしかに、「The law of Conservation of Mass」には「質量不変の法則」のほうが、ベターなような気はしますね。

○「「吸熱」と「冷却」のちがいは」

おもしろい質問です。

本質的な点で考えてみると、物理学的には、「吸熱」も「冷却」も、熱(エネルギー)の移動、あるいは他のエネルギー形態への変換ということです。

熱エネルギーに去られた系(物質)は、「吸熱」され、その結果「冷却」される、ということかと思えます。

○「pHは、いつ発見され使われるようになったので

すか」

授業で説明したように、酸性の強いところ(例えばpH=1)では、

$[H^+] = 0.1 \text{ mol/L}$  であり、

中性(pH=7)では、

$[H^+] = 0.0000001 \text{ mol/L}$  ( $= 10^{-7} \text{ mol/L}$ ) であり、

塩基性の強いところ(例えばpH=13)では、

$[H^+] = 0.0000000000001 \text{ mol/L}$  ( $= 10^{-13} \text{ mol/L}$ ) です。

(ゼロの数、合ってますかね・・確かめるのも、たいへんだ!!)

酸性度、塩基性度の基本は $H^+$ の濃度であるわけですが、そのまま書くと上ようになります。とても範囲がひろいですね。ゼロをたくさん書いたり指数表現を使ったり面倒ですよ。

そこで、賢い人が、 $pH = -\log [H^+]$  を考えて提案したわけです。

「賢い人」とは、シュレーセンというデンマークの化学者で、この式を発表したのは1909年のことです。

○「国際単位系(SI)は、何年前くらいに決められたのですか」

SI単位の「SI」とは、フランス語の“Le Systeme International d’Unites”、つまり「国際単位系」の略称です。国際的に単位を統一しようという世界で最初の条約は、1875年にフランスで締結されたメートル条約で、その後もメートル法を基本にした単位の統一が進められてきました。そして1960年、国際度量衡総会において採択された世界共通の単位系が、原則「一量一単位」であるSI単位系です。

○「どうして物質のことを、molと呼んでいるのですか」

たしかに「物質」という言い方はわかりづらいと思います。

1960年にSI国際単位が決められました。7つの基本単位があります。もちろん、化学や物理学、工学で出てくる単位は7つどころではなく、もっとたくさん山のようにあります。でも、その基本7単位以外はすべて誘導単位と呼ばれ、基本単位から誘導できるのです。他の単位から誘導できないのが基本7単位です。「物質」はそのひとつで、単位「mol」と決定されました。SI基本量「物質」は英語で言えば「Amount of substance」です。

「物質」を”物質の量”という意味の一般名詞と考えるとわからなくなります。自然科学と工学で「物質」というのは特別の意味をもつ固有名詞であると考えてください。そして、それにmolという単位がつけられた、と理解しましょう。

○「モルの考え方って、誰がつくったのですか」

アボガドロというイタリアの物理学者で化学者です。アボガドロの法則、アボガドロ数で有名です。1776年に生まれて80歳で亡くなっています。アボガドロ法則もアボガドロ数も化学でとても重要なものですが、その意味が広く理解されて評価されたのはアボガドロが死んでからだと言われています。

○「アボガドロ数などの単位のないものは、ない理由があるのですか」

個数には、理工学では単位が付きません。そのように単位がないものを無名数といいます。

アボガドロ定数は、1molあたりの個数ということで、単位として $\text{mol}^{-1}$ がつかます。

アボガドロ数も、意味は同じですが、1molあたりのという意味は当然のこととして、 $\text{mol}^{-1}$ の単位を省いたものと思われま

○「分子量と式量のちがいがよくわからない」

○「分子量と式量の違いがよくわからないです」

○「分子式と組成式の違いが、まだよくわからない」

化学式には、分子式、組成式、イオン式、構造式の4つに分類されるということを授業でやりました。

分子式： $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$ など

その物質が分子の状態であるものの化学式のことでした。

組成式： $\text{NaCl}$ 、 $\text{Al}$ など

その物質が分子の状態ではなく、イオン結晶、金属であるものを

化学式で書いたものです。

イオン式： $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ など

その物質がイオンであるものの化学式です。

( $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ は単原子イオン、 $\text{SO}_4^{2-}$ を多原子イオンといいます)

構造式は、分子、イオン結晶、多原子イオンの化学式を構造がわかるように表したものです

化学式で表されたものは「式量」をつかいます。分子式で表されるときだけ「分子量」を使います。

イオン結晶、金属は、分子のような一単位というまとまりがないのです。

だから化学式は、その組成でしか表すことができないのです。

$\text{H}_2\text{O}$ に対しては、「分子量」と「式量」の両方が使えます。

$\text{NaCl}$ 、 $\text{Al}$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ に対しては、「式量」しか使えません。

○「新しい同素体を創り出すような研究はされているのですか。されている場合、どのようにしてやるのでしょうか」

新しい同素体が発見される可能性は極めて小さいです。

○「「エントロピー」の語源って何ですか」

「エントロピー (entropy)」は en (内部の) + trope (変化) という意味をもっています。1865年ころクラウジウスという物理学者が、「エントロピー」という用語を初めて使いました。

○「塩基性の名前の由来はなんですか。アルカリ性ではいけないのですか」

とてもおもしろい(interesting)質問ですね。

塩基は、英語では base という、これは前回の授業でい

いました。辞書をひくと、base は基本、基礎、基礎となるもの、基地という意味が本来的なものであることがわかります。

「塩基」は、「酸」の「基地」なんでしょうね。「酸」が落ち着く先が「塩基」で、合体して落ち着いたものが「塩」ということになります。

酸 + 塩基 → 塩 + 水

これは、今日の授業でやる中和反応ですね。

塩基性が酸性に相対する正式用語です。アルカリ性は、水溶液が塩基性を示すときに使われる用語です。

「アルカリ」は、もともとは植物灰・木灰を意味するアラビア語起源の言葉です。植物灰・木灰を水に入れかき混ぜますと、水溶液はアルカリ性を示すことは、昔から知られていて種々の化学工程で利用されていたようです。

なぜ、植物灰・木灰を懸濁(けんたく)させた水は塩基性となるのでしょうか？植物灰・木灰には、炭酸カリウム $\text{K}_2\text{CO}_3$ が含まれています。もともと植物に含まれていたカリウムが、燃焼とその後の空気中成分との反応で $\text{K}_2\text{CO}_3$ になったのです。この化合物は水溶性ですが、なぜ塩基性を示すのでしょうか？それは次のような反応がおこるからです。

$\text{K}_2\text{CO}_3 \rightarrow 2\text{K}^+ + \text{CO}_3^{2-}$

これだけでは、塩基性にはなりません。さらに・・・

$\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_3^{2-} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{OH}^-$

$\text{H}_2\text{O} + \text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 + \text{OH}^-$

の反応が引き続き(というか、ほぼ同時に)おこり、 $\text{OH}^-$ イオンを生成します。これで塩基性となります。このような反応を加水分解といいます。

○「梅雨ですね。紫陽花もデンデン虫もいないです。アジサイって梅雨の花なのに、なんで「陽」の字が入っているのか不思議だ

質問というより、感想・・・ 独り言(?)ですね。

おもしろい感想ですね。

私も興味が出てきて「紫陽花」の語源を調べてみました。

調べたら、次のようなものが見つかりました。

アジサイの語源 京都府立植物園の「アジサイ」についての説明板より

アジサイに何か漢名をあてはめる必要に迫られたとき、唐の詩人白楽天の詩の中から日本のアジサイとは全く別植物の「紫陽花」を持ち出してきた。以来、アジサイは「紫陽花」となった。おかげで、アジサイは中国渡来の植物との誤解が多い。

(湯浅 浩史氏は千年の誤用と表現 2001. 6.:22 朝日新聞)

「紫陽花」は、中国の招賢寺という寺にあった名の知れぬ山樹に咲く花で、色は紫、芳香を放つ仙界の麗花であった、と言われ、日本のアジサイとは何の関係もない。

なんだか、いまひとつ はっきりしない話ですね。紫陽花の花 (正確には花ではなくガクだそうです) の色は、青とピンクのあいだですね。これは、植わっている土壤が酸性の時は青みが強くなり、アルカリ性の時はピンクが強くなるということです。リトマス試験紙と逆と覚えておきましょう。このあたり (日本では?) 青い紫陽花が多いですかね。酸性土壤が多い、ってことか?

### 原子力発電と事故についての質問

○「今、原発の放射能が問題になっていますが、具体的に放射線を被曝したら、体にはどういった影響をきたすのですか」

Nくんの質問は「放射能に被曝したら」と表記されていましたが、「放射線を被曝」が、表現として正しいので修正しました。

放射能は、放射線を出す能力、あるいはその能力をもっているものという定義です。

放射線にも、いくつかの種類があります。

大きく分けると、2種類です。

- (1) エネルギーの高い電磁波;  $\gamma$ 線、X線
  - (2) エネルギーの高い粒子線;  $\alpha$ 線、 $\beta$ 線など
- どちらにしても、人体を含めた物質中に入ってきたとき、化学結合を切断します。その結果、化合物は壊れます。その結果いろいろなことが人体への影響 (吐き気、だるさ、白血球の減少など) として、でてくるのです。ただ、人体に感じられる影響、健康に問題がでるほどの影響がでるのは、相当大量の放射線を短い時間で被曝した場合だけです。

○「なぜ日本の原子力の研究をしている学者たちは、今回の事故の対応で東電にもっと力を貸さないんですか。学者のような人たちでも解決するのは難しいのですか」

力は貸していると思いますよ。

なかなかうまく進まないように見えるのは、受け入れる側の問題のような気がします。受け入れる側とは、東電のトップかもしれませんし、政府の中核かもしれません。そのあたりは、はっきりとは私にはわかりません。

○「原子力発電所は、日本で、いくつありますか」

日本では現在 (2011. 4) 13道県に17か所の原子力発電所があり、原子炉は54基あるといわれています。

○「原子力発電所から、どうして放射能が漏れることがあるのですか」

原子力発電所では原子炉がエネルギー源となっています。

原子炉の中でウランが核分裂することによって高い熱エネルギーを放出します。熱エネルギーと同時に、放射性物質も生成します。ヨウ素-131、セシウム-137とニュースでいわれているものです。

これらは通常は漏れないようになっているのですが、事故のため密閉容器の一部が壊れたようで、漏れてきたということです。

○「放射能汚染した土地にヒマワリを植えると良いというのは何故ですか。放射能を吸収するのですか」

ここで放射能とは、セシウム-137 ( $^{137}\text{Cs}$ ) などのことです。

植物は根から土壤中の水分を吸い上げていますので、セシウムが溶けていれば一緒に吸い上げる可能性はあります。しかし、土壤中で不溶性 (固体状態、吸着状態) となっているセシウムは根から吸い上げられません。

汚染の原因となっているセシウム-137は主に固体・吸着状態と考えられますので、実際には、有効性はないというのが、私の考えです。

「ヒマワリが役に立つ、人を救う」というのは一般にはインパクトを持つようで、ニュースに取り上げられたりします。また、「ヒマワリを植えよう」運動をしたりする人がいるようですが、化学的にはあまり大きな意味はないかもしれませんね。

○「原子力発電所から、どうして放射能が漏れることがあるのですか」

原子力発電所では原子炉がエネルギー源となっています。

原子炉の中でウランが核分裂することによって高い熱エネルギーを放出します。熱エネルギーと同時に、放射性物質も生成します。ヨウ素-131、セシウム-137とニュースでいわれているものです。

これらは通常は漏れないようになっているのですが、

事故のため密閉容器の一部が壊れたようで、漏れてきたということです。

### エネルギーについての質問

○「燃料電池は代替エネルギーとして良いと思うのですが、先生はどう思いますか」

酸化還元反応で放出されるエネルギーを電気エネルギーとして取り出す仕組み（装置）が化学電池です。このことは、後期の化学2で勉強します。「燃料電池」も化学電池の一種です。水の電気分解で水素と酸素が発生しますが、燃料電池はその逆の酸化還元反応で電気エネルギーを取り出します。

正極： $O_2 + 4e^- \rightarrow 2O^{2-}$

負極： $2H_2 + 2O^{2-} \rightarrow 2H_2O + 4e^-$

上の2式を合わせると

$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$

となり、水素の燃焼反応になります。

燃料電池の「燃料」として水素 $H_2$ が必要だということはわかっていただけだと思います。この水素をどうやって手に入れるか、これがポイントでしょうね。これを作るために他のエネルギー、たとえば電気エネルギーを使えば、なんだか、もとの木阿弥みたいな話になります。そのあたりが燃料電池の普及のキーのように思います。

IくんはM科ですね。M科の堀先生は燃料電池の専門家です。質問してみたら良いでしょう。

○「メタンハイドレートとは？ テレビでは石油に替わる燃料だと言っていたけれど本当？ なら、なぜ政府は開発に力を入れない」

石油に替わるほどか、どうかはわかりませんが、有望なものの一つであることは正しいと思います。政府も、それなりに関心をもっているようです。

メタンハイドレートは、日本語にすれば「メタン水和物」ということになるでしょう。メタンを中心にして周囲を水分子が囲んだ形になっている固体です。低温で高圧の条件化でしか安定に存在できないので、そのような深海にたまっているものです。深海から地上に取り出せば、気体のメタンと水に分解します。気体のメタンは良質な燃料であることは、Mくんもよく知っていますね。

○「太陽の膨大なエネルギーは、水素がヘリウムになるときの核融合反応によって、でてくると言われていますが、いったい誰が、どうやって調べたのですか」

誰も太陽のそばに行くことはできない。それなのに、どうして太陽が水素とヘリウムからできていて、太陽エネルギーは水素がヘリウムに核融合す

るときに発生するということが分かるのだろう。それを研究し明らかにしたのはどういう人なのだろう、というのがNくんの疑問・興味ですね。

太陽への関心は大昔からありました。昔から現在まで、太陽からの情報は、太陽光です。19世紀に太陽光をプリズムで分光し、その波長をきちんと調べることに太陽にどのような元素がどれくらいの質量パーセンテージで存在するかわかりました。現在のデータですが、水素が73.5%、ヘリウムが24.9%です。

水素とヘリウムからできている太陽が、膨大なエネルギーを出し続けることができるのは核融合しかないと考えられました。核融合であることが証明されたのは20世紀半ばころです。

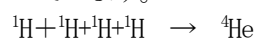
これまでに多くの科学者が関与して、長い年月かけてわかってきたことです。

○「太陽は、酸素が周りにないのに燃えていられるのですか」

太陽では、酸素が反応する一般にいう燃焼は、おこっていません。核融合です。

核融合とは、原子核と原子核が融合することです。

核融合がおこると莫大なエネルギーを発生します。身近な(?)例は、太陽です。太陽では、次の核融合反応が起こっています。



水素爆弾（水爆）も、核融合の応用です。

核分裂も大きなエネルギーを出します。ウランなどの核分裂を利用したエネルギー発生装置が、原子炉です。核融合を利用したエネルギー発生装置は、核融合炉と呼ばれます。

○「中学のときに、音エネルギーというのを習ったのですが、音→振動→力学的エネルギーの一種ということでしょうか」

そのとおりです。

超音波洗浄機なんていうのは、音エネルギー（=力学的エネルギー）のわかりやすい応用例かも知れませんね。超音波でマッサージするお風呂というものもありました。

超音波は振動数の高い音です。

○「光エネルギーとは、熱エネルギーと近似しているイメージを持っているのですが、どのようなものですか」

光エネルギーと熱エネルギーは全く別物です。

光は電磁波です。電磁波の持つエネルギーですが、熱は原子・分子の運動・振動・回転に由来するものです。

マイクロ波（電磁波の一種）は電子レンジに使われま

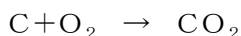
すが、これはマイクロ波のエネルギーを水分子に吸収させて分子の回転を起こさせ熱を発生しています。

### 環境問題と化学についての質問

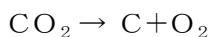
○「空気中の二酸化炭素 CO<sub>2</sub> を、炭素 C と酸素 O<sub>2</sub> に分解できる方法はないのでしょうか。これがあるなら地球温暖化が防げるように思いますが」

二酸化炭素 CO<sub>2</sub> はたいへん安定な化合物で、分解することは非常に困難です。

炭素 C (たとえば、石墨、炭(すみ)) の燃焼によって、二酸化炭素は発生します。反応式は次です。



この反応は発熱を伴うことは、日常生活の体験でも明らかです。発熱反応といいます。Kくんが興味をもった反応は、これの逆方向で



となります。これは吸熱反応で、進行させるには外からエネルギーを与えてやる必要があります。この外からのエネルギーが、太陽光、大気中の熱などにより、容易に効率よく供給されるとすればよいのですが、残念ながら、そううまくいきません(だから、温暖化問題が生じるのですが)。

そこで、二酸化炭素の炭素と酸素への分解ということにあきらかに、二酸化炭素を他の物質に変化させるということになります。光合成です。植物の葉緑素を触媒として太陽の光エネルギーによって、次のようにおこります。

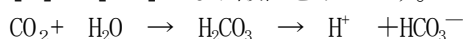
$6H_2O + 6CO_2 + \text{光エネルギー} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$   
温暖化の対策は、二酸化炭素の抑制と、緑の保全の2つである、という当たり前のお話でした。

○「“酸性雨”の酸性度の最低値はpH5.6と説明があり、その原因は空気中のCO<sub>2</sub>ということでした。一方、大気中のCO<sub>2</sub>は年々増加しているともありました。pH5.6(汚染のない雨のpH)は見直されているのでしょうか」

良い質問です。結論から言いますと、見直されていません。実質的にその必要がないからです。

pH5.6以下のものを酸性雨とするのが一般的です。もちろん、pH7より小さい雨水は、化学的には酸性です。それなのに、どうして5.6というボーダーがあるのでしょうか。

それは、雨は自然の状態でも(人為的な汚染が全くない場合でも)、pH5.6程度に、少し酸性になっているからです。空気中に存在する二酸化炭素 CO<sub>2</sub> が原因です。二酸化炭素が水に溶解すると次の反応で、雨水中では、 $[H^+] > [OH^-]$  となり酸性を示します。



H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> は炭酸という弱酸です。空気中の CO<sub>2</sub> の濃度は 0.035% (体積百分率) = 350ppm であることと、炭酸の上の反応の解離定数の値から、pH 5.6 が計算で求められます。この計算の詳細については、西村雅吉先生が大変わかりやすく記述しておられますので参照してください[1]。ということで、5.6 以下の pH の雨には人為的な汚染による酸性物質が含まれているわけで、それを「酸性雨」と呼ぶのが普通です。

[1] 西村雅吉著「環境化学」pp. 153-154(裳華房, 1991)

空気中の二酸化炭素の濃度 350ppm のときの汚染のない雨の pH を、pH (no 汚染、350ppm) と書くとします。

pH (no 汚染、350ppm) = 5.6 となります。350ppm が x ppm となったとします。x > 350 です。

pH (no 汚染、x ppm) = 5.6 + log(350/x) と計算されます。Log は常用対数です。

x = 380, x = 400, x = 500 で計算してみてください。変化は小さいことが分かりますね。

pH (no 汚染、380ppm) = 5.6      pH (no 汚染、400ppm) = 5.5      pH (no 汚染、500ppm) = 5.4

今のところ、400ppm に達するのはずいぶん先であるし、そして、さらに、増加を止めようとしているわけですので、5.6 は、当面そのままでも OK ということです。

○「もし地球の大気中の酸素濃度(酸素分圧)を高くすると人間や動物・植物はどうなりますか」

酸素濃度(酸素分圧)の上昇は、生物が生きていくうえで必要とされる酸素との化学反応を速くすることになります。どれくらいの上昇かにもよりますが、悪影響をあたえることは間違いないでしょうね。

酸素濃度の下降も、良い影響を与えません。

○「フロンによって成層圏のオゾン層が破壊されて薄くなり困るといふなら、飛行機にオゾン層を積んで成層圏までいき、ばら撒いて補給したらいいと思うのですが、どうでしょうか」

同じことを考えた人は、これまでにたくさんいます。研究して論文を書いた学者もいます。しかし、現在ではこのアイデアは、残念ながら却下されています。オゾン層は成層圏(上空 10-50km)にあり、数 ppm のオゾン(O<sub>3</sub>)濃度で地球全体を取り囲んでいます。太陽からやってくる有害な紫外線のフィルターの役割を果たしていることは知っていますよね。このフィルター(オゾン層のこと)、薄くなっても困るけれども、逆に厚くなりすぎても問題なのです。生物および地球環境に必要な光、紫外線をカットしすぎることになるからです。オゾン層のオゾン濃度、層の厚み、オゾン層の高さなど、大変微妙なバランスのもとに存在しています。このバランス関係は地球の何十億年という長

い時間をかけて成立したものです。オゾン層が現在のバランスを完成した後に、現在の生物繁栄の環境が出来上がったとも言えるわけです。したがって、人工物質の放出によってオゾン層を破壊することが大問題であることを認識すべきです。それと同時に、壊れたからといって簡単に修復することはできないのです。上空に行ってもオゾン層をまいてきても、上に述べた微妙な濃度のオゾン層を地球全体としてコントロールすることは不可能と言ってよいでしょう。

### **高分子化合物・界面活性剤についての質問**

○「厳密に言えば、プラスチックとは熱可塑性樹脂のことを指すようですが、熱硬化性樹脂の単体では、何か別の呼び方はあるのですか」

熱可塑性樹脂、本当の意味での「プラスチック」、の正式な名称は Thermoplastic resin (サーモ (熱)・プラスチック樹脂) です。Plastic のもともとの意味は「自由な形にできる」です。熱可塑性樹脂は加熱することによって軟らかくなり、目的の形に成形できる樹脂のことです。再び加熱すると、また軟らかくなり形を変えられます。

それに対して、加熱して硬化して元に戻らなくなる樹脂を熱硬化樹脂といいます。英語では Thermosetting resin (サーモ・セッティング樹脂) です。セッティングというのは固定する (固める) という意味として使っています。

○「有機ガラスもプラスチックに含まれますか」

材質としてはプラスチック、性質としては透明でガラス状のものです。

したがって、プラスチックの仲間です。

○「界面活性剤で表面張力が下がるということは、泡とは何ものなんですか。水が表面張力で丸くなっているわけはなに?」

よい質問です。鋭い質問ともいえます。

雨滴、あるいは葉っぱの上の水滴の形は、球形をしていますね。また、水の中に溶けずに混ざっている油滴も球形です。表面張力あるいは界面張力は、表面積をできるだけ小さくするように働く力なのです。ある一定体積の物質を考えたとき、その表面積が最小になる形は球です。

ということで、水滴あるいは油滴は球形なのです。

次に泡の問題です。泡とは何でしょう?そこから考えてみましょう。気体 (普通は空気) を液体がとりかこんでいる状態です。気体と液体の間には表面張力が働きます。だから界面活性剤 (あるいはそれに相当する不純物・汚染物) がない場合は、表面張力によ

って薄い液体膜は簡単に破壊されてしまいます。泡はできないということです。しかし界面活性剤が入っていると表面張力は適度に低下されて、泡が安定に存在しうるということになります。泡が球形であるということは表面張力 (低められたとはいえ、ある) によることであり、泡がある程度の時間で安定に存在できるということは、界面活性剤により表面張力が減じられているためだ、ということになります。

微妙なバランスのもとで泡は存在している、ということですね。

鴨長明が書いた「方丈記」、高校の古文の授業で習っていませんでしたか。出だしは次のようです。

行く川のながれは絶えずして、しかも本の水にあら

ず。  
よどみに浮ぶうたかたは、かつ消えかつ結びて久し

くとぶまるためしなし。  
うたかた 水の泡のことです

水の泡の不安定さを、世の中のはかなさにたとえているわけですね。

選挙になると、泡沫候補 (ほうまつこうほ) という言葉も耳にしますね。

○「界面活性剤が環境に悪いのはなぜですか」

基本的には生物への、特に微生物への、影響です。授業で、油滴が界面活性剤に取り囲まれて、水洗されることを説明しました。油滴が微生物だと思えばわかりやすいと思います。界面活性剤に取り囲まれて、最悪死亡 (即死) という影響を微生物は受けますよね。環境中で微生物は、腐敗物の分解など重要な役割をしています。

○「ボディソープに塩をふりかけると、めっちゃめっちゃ固くなったのですが、なんでですか」

塩析 (えんせき) という現象です。

ソープ (=石けん) は、界面活性剤という物質です (この後の授業でできます)。石けん分子は、水分子に取り込まれるかたちで、水に溶けています。ところが、より水分子を引き付けやすい塩 (塩化ナトリウムなど) を加えると、石けんから水分子がとられてしまい、溶けていられなくなり、固体となって析出します。

○「界面活性剤は、石けんの他に、代表的なものはないのですか」

界面活性剤そのものとしては、石けん (洗剤) くらいしかありませんが、界面活性剤が含まれて活用されているものとしては、化粧品、食品などいろいろあります。油系と水系を馴染ませることが界面活性剤の役割ですので、化粧品では乳液、食品ではマヨネーズなどが挙げられます。

○「最も大きい式量の物質はなんですか」

高分子化合物が、それにあたります。ポリエチレンとかポリプロピレンなどが、我々の身近な高分子化合物です。式量（分子量）は、最高値として数百万と言われています。高分子化合物については、化学2の終わりの方でやります。

○「身近にある高分子化合物で、ポリエチレン以外のものでは何がありますか」

ポリスチレンに空気の泡を入れたのが発泡スチロール、これは身近にありますね。ペット（PET＝ポリエチレンテレフタレート）が、飲料水用ボトルに使われていることは授業でも言いました。身の周りにある固めのプラスチック、これはポリプロピレンです。あと、繊維はやはり高分子化合物です。

○「授業で出てきたモノマー、ポリマー以外に、そのようなものはあるのですか」

授業では、

エチレン、ポリエチレン

塩化ビニル、ポリ塩化ビニル

スチレン、ポリスチレン

塩化ビニリデン、ポリ塩化ビニリデン

を紹介しました。

他には

プロピレン、ポリプロピレン（固めのプラスチック材料）

ビニルアルコール、ポリビニルアルコール（液体のりなどとして利用）

酢酸ビニル、ポリ酢酸ビニル（繊維などになる）

他にもいろいろあります。

○「「ポリ」がつく化合物は、どれくらいの種類ありますか」

高分子化合物のなかで、人工的に合成されるもの（合成高分子）の名前に「ポリ」が付きます。

授業で出てきただけでも、ポリエチレン、ポリ塩化ビニル、ポリスチレン、ポリ塩化ビニリデン、ポリエチレンテレフタレート（PET）などがあります。

科学的・工学的な意味で言えば100をはるかに超える種類があると思われそうですが、一般的に良く知られているものとしては20くらいです。

○「ポリエチレンの繰り返しつながり数は無限に増えていくのですか」

繰り返しつながり数  $n$  のことを重合度といいます。

原理的には、重合度は無限ですが、実際問題としては、数万から10万程度が限界です。重合度によって、ポリエチレンの硬さが変わってきます。

重合度が大きいほど硬くなります。何に利用するのか

で、重合度（硬さ）を選択します。

化学についての質問

○「普通に生活しているうえでは、当たり前と知っていることも、しっかりした法則に基づいているということが知ることができて化学は楽しいです」

とても嬉しい感想ですね。そのとおりだと思います。今回あるいは前回やったことで、水は放置しても、それが冷たい氷と熱い水蒸気にわかれることはない、でもその逆は自然におこる、なんてことは、日常生活でわかっていることですよ。でも、それはどうしてか？と問われると、答えに詰まる人が多いのではないのでしょうか。それはエントロピー増大の法則（＝熱力学第2法則）にしたがっているということでした。そういったことをきちんとした化学、あるいは物理学として勉強すること、理解することは、とても嬉しくて楽しいことであると思います。Sくんは、そこに気がついた。とても素晴らしいことです。

○「今より昔のほうが技術がないはずなのに、なぜ昔のほうが、多く公式と法則が発見されているのですか」

良い質問、気づきだと思います。

たとえ話ですか、誰も行くことがない山に松茸狩りに

行ったとします。見つかりやすいところにある松茸は、直ぐ見つかり

ます。でも、だんだん見つかりにくくなります。それまでに見つけた松茸についての情報も参考にするので、人目から離れたもので立派な価値ある松茸が見つけれ

るのですがその数は少ない。入山直後に見つかったものは、基礎的松茸(?)です。ので、中学校～大学の教科書にも載りますが、後から(最近)のものは、専門家向きで、あまり一般には知られない、ということもあるかもしれませんね。

○「原理と法則の違いは何ですか」

国語辞典によれば以下のとおりです。

【原理】 多くの物事を成り立たせる、根本的な法則。  
認識や行為の根本をなす理論。

【法則】 いつ、どこでも、一定の条件のもとでは常に成立する関係。

どこから「根本的」なのかの線引きは、簡単ではないですね。人によって、あるいは時代によって、判断も違うでしょうし、、、「ルシャトリエの原理」も、教科書によっては「ルシャトリエの法則」としているものもあります。

○「先生にとって、化学とは何ですか」



むずかしい質問ですね。簡潔に回答することにします。化学は「物質の科学」だと思っています。物理学は「物理の科学」です。

我々の周りにある物質は、極めて多様です。その根本は何か？その根本が、どのように組み合わせられ、多様な物質になるのか。物質同士の変換は、その根本が、どのように組み替えられるのか？

そういう素朴な疑問（興味）からスタートしているものだと思います。

そういう興味で積み上げられた知識は・・・物質に関する多様な知識は、とっても役に立つのです。

なぜって言えば、この世の中、すべて物質からできているからです。

2012. 2  
大同大学 酒井陽一