

強者の戦略

先週の問題いかがだったでしょうか。早速、解説……の前に、まず本文を味わってみましょう。興味深いことが数多く示されています。

18世紀のヨーロッパでは、都市や地域によって長さや重さの異なる単位が使われていた。この状況を打開すべく、革命直後のフランスでメートル法が考案された。1799年には、メートル原器とキログラム原器が作られ、その後、メートル条約の成立にともない、キログラム原器が作り直されたが、100年間で質量に変動の兆候がみられた。

歴史を振り返れば、基本的には単位は身近なものが基準になることが多いです。宝石の質量の単位「カラット」はイナゴマメの質量が基準になっています。宝石でも、真珠の質量だけは「もんめ」で表されますが、これは元を迎れば中国の唐の時代に鑄造された貨幣「開元通宝」の質量がもとになっています。しかし、イナゴマメにしろ貨幣にしろ、質量にバラつきがあるので、現在では「1カラットは0.2グラム」「1もんめは3.75g」と、誰が扱っても誤りが生じないように定められています。余談ですが、現在製造されている「五円硬貨」の質量は1もんめ、すなわち3.75gです。もんめを再び貨幣の質量にしたのは、オシャレですね。

1キログラムも、1795年時点では身近なものの質量でした。何でしょう？ 答は「1Lの水の質量」です。しかし、単位体積当たりの水の質量は温度・圧力で変化します。なら、特定の温度・圧力のもとの値にすれば良さそうですが、圧力を定義するには質量が必要です。つまり、循環定義になってしまっています。そこで、当時の技術で4℃、1気圧における水1キログラムの水と同じ質量の白金とイリジウムの合金を作って、「キログラム原器」としました。

キログラム原器は「水で定義したキログラムを、扱いやすい形にしたもの」ではありません。「今後はキログラム原器の質量を1キログラムにする」という取り決めのもとで作られました。なお、単位の定義が表すものを、取り扱える形で示すことを「現示」といいます。例えば18世紀のパリで「長さはメートルに統一します！」と号令だけかけても、浸透するはずがありません。そこで、1メートルの長さが示された、メートル原器がパリの街中に16基設置されました。これが「現示」です。キログラム原器は、これとは異なるわけです。キログラム原器の質量こそが1キログラム、としたのです。

このキログラム原器の質量ですが、長い年月のうちに少しずつ変化していきました。厳重に保管されているにもかかわらず、です。これは、表面に何らかの物質がわずかずつ付着していることが理由であると考えられます。生じた誤差は50マイクログラム程度です。1キログラムの2000万分の1程度のわずかな誤差ですが、しかし、キログラム原器をもとに定義した質量では、それ以上の精度で質量をはかれないこととなります。大問題です。さて、どうしたか。これが本文の続きに示されています。

強者の戦略

人工物を質量の基準にしているため、これまでのアボガドロ数の定義、つまり「**ア**原子 12g 中に含まれる原子数」も、厳密にはその変動の影響を受けることになる。そこで、国際単位系について、プランク定数を用いて質量を定義し直し、(a)アボガドロ定数を不確かさのない値として定め、原子量の定義「**ア**=12」を廃止する案が 2018 年 11 月の国際度量衡総会で可決され、翌年 5 月に発効することになった。

アボガドロ数にも歴史があります。もともとは 32 グラム中の酸素分子の個数でした。しかし、後に酸素原子に同位体が存在することが分かりました。どれかの酸素原子に基づき定義しなおすと、アボガドロ数は従来使っていた値から大幅にずれてしまいます。同位体の存在を考慮し、あまり値が変化しないように検討した結果、「12 グラム中の質量数 12 の炭素原子の個数」がアボガドロ数と再定義され、最近まで使われていたわけです。

しかし、アボガドロ数を定義するために必要なキログラムが、先に述べた通り、現在要求される精度からすれば精度が低いものとなっていました。そこで、これまでとは反対にアボガドロ数を「定義値」とし、アボガドロ数個の同種原子を集めることで質量を表すことができるようにしたわけです。結果、アボガドロ数は $6.02214076 \times 10^{23}$ と定められました。大学入試においては基本的に与えられる数値ですので、覚えておく必要はありません。しかし、もし覚えたいなら「ろくてん ぜろにーひゃくよんじゅう なーむ6 .022 1 4 0 76」が「ゴロが良くて覚えやすい」と、元素に詳しい Vtuber である「元素学たん」に、私が主催したクイズ大会に解説に来ていただいたときに、教えていただきました。

閑話休題。アボガドロ数を定義するに当たっては、同種の原子ばかりを集めた結晶を用意する必要があり、次のような方法がとられました。

現時点で、アボガドロ定数を最も精度高く測定する方法の一つは X 線結晶密度法である。この測定には高純度の**(b)ケイ素の単結晶**を球体に研磨したものが用いられる。ケイ素の結晶はその**イ**元素である炭素の**ウ**の一つであるダイヤモンドと同形で、その単位格子は図 1 に示すように立方体である。ケイ素には天然に 3 種類の**エ**が存在し、その比率の測定精度も問題となる。そこで、実際には ^{28}Si の存在割合を 99.99% に高めた試料が用意された。

かつての定義では、 ^{12}C がアボガドロ数の基準でしたが、炭素原子の中から質量数 12 のものばかりを集めるのは困難でした。そのため、ケイ素に白羽の矢が立ちました。ケイ素は純度を高めやすく、また欠陥の少ない結晶を作ることができます。そのため、質量数が 28 のケイ素の結晶を作り、真球状に成型したものをを用いて、アボガドロ数が測定されました。

普段何気なく使っている単位ですが、これも人類の英知の結晶です。もし良かったら、他の単位についても、どのような経緯を辿り、現在どう定義されているのか、を調べてみてはいかがでしょうか。

では、次ページより、設問の解答・解説です。

強者の戦略

【解答】

- ア ^{12}C イ 同族 ウ 同素体 エ 同位体
オ 疎水 カ 親水 キ 単分子 ク ブラウン
- キログラム原器の質量に変動があるので、12 g が示す質量も変動し、12 g 中に含まれる ^{12}C 原子の数も変動するため。
- (1) $N_A = \frac{32\pi r^3 w}{3a^3 m}$ (2) SiO_2
- (1) $N_A = \frac{MyS}{xzA}$
(2) b)
理由...ステアリン酸やパルミチン酸は飽和脂肪酸であるのに対し、オレイン酸は不飽和脂肪酸であるため、シス型の炭素二重結合を含み、折れ曲がった分子構造となっているので、分子が接近しにくく分子間距離が大きくなるため。
- (1) ① $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Cu}$ ② $\text{Cu} \longrightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$
(2) $N_A = \frac{30Itw}{eb}$
- (1) c) (2) b), c)

【解説】

- ア 2019 年まで、アボガドロ数の基準となっていた原子は ^{12}C であった。
イ 炭素とケイ素はいずれも周期表上で 14 族に属している。
ウ 同種の単一の元素からなるが、異なる物質どうしを同素体という。
エ 同種の原子だが、質量数が異なるものどうしを同位体という。
オ アルキル基は炭素と水素のみからなる。結合の極性が小さく、水分子と強く引き合わない。
カ カルボキシ基 $-\text{COOH}$ は極性が大きく、水分子との間で水素結合を形成できる。
キ 分子 1 層からなる膜が単分子膜である。
ク コロイド粒子が分散媒分子に衝突されることで起こす不規則な運動をブラウン運動という。
- 本文の記述がヒントとなっている。丁寧に読解して解くこと。斜め読み厳禁。

強者の戦略

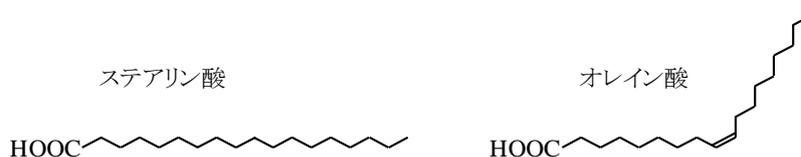
3. (1) 単位格子中のケイ素原子の個数が 8 個分なので、密度について、 $\frac{w \times 8}{N_A a^3} = \frac{m}{\frac{4}{3}\pi r^3}$ が成り立つ。

(2) 「石英と同じ組成」より、二酸化ケイ素であると分かる。

4.

(1) ステアリン酸分子の個数について、 $\frac{S}{A} = \frac{x}{M} \times \frac{z}{y} \times N_A$ が成り立つ。

(2) 下図の通り、C=C 二重結合の部分において、オレイン酸分子は折れ曲がっている。このため、1 分子が占有する面積が大きくなる。(なお、下の構造式は炭化水素基の炭素原子と水素原子を省略し、炭素間の結合のみを記している。)



5.

(1) 陽極では酸化反応が起こる。電極に金や白金などイオン化傾向の小さな金属か、炭素電極など非金属を使わない限り、陽極では電極が酸化され溶解する。

(2) ファラデー定数が eN_A となるので、流れた電子の物質質量について、 $\frac{I \times 60t}{eN_A} = \frac{b}{w} \times 2$ が成り立つ。

6. (1) ポリスチレンのモノマーはスチレンである。スチレンはベンゼン環にビニル基($-\text{CH}=\text{CH}_2$)が結合した物質である。

(2) 水の中に分散するコロイド粒子とするために、適切に成形しやすく、水に密度に近い必要がある。なお、a), d), e)はポリスチレンの性質としては正しいが、「この実験に使用する理由」としては適切でない。単純な正誤問題ではないことに注意すること。

計算問題は単位に注目しつつ、落ち着いて処理すれば攻略できそうです。設問 2 や 6 などは、問題の意図をキチンとくみ取って答えなければならず、差が付くとすればこの辺りでしょう。捨った問題は少ないので、習った単元で解ける設問は、ちゃんと正解する必要があります。

【参考文献】

「新しい 1 キログラムの測り方 科学が進めば単位が変わる」 臼田孝.2018.講談社

「「物理・化学」の単位・記号がまとめてわかる事典」 齋藤勝裕.2017.ベレ出版