

科学部に所属する中学生の晴美さんたちは、授業での実験をきっかけに、原子説に興味をもち、実験を行いました。[三人の会話]と[実験]を読んで(1)～(12)に答えなさい。

[三人の会話]

晴美： 授業で銅粉を加熱して酸化銅にする実験をしたけど、一定質量の銅に化合する酸素の質量が決まっているというのがすごく不思議だったなあ。加熱すればいくらでも酸素が結合するんだと思っていたわ。

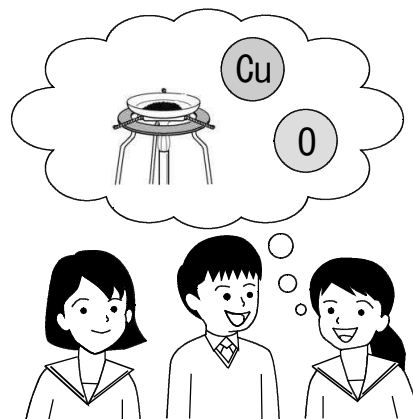
昭雄： 僕もそう思ったよ。良い意味で予想を裏切ってくれるところに理科の面白さがあるね。

奈津： 物質は原子でできていて、1個あたりの質量が決まっている原子どうしが決まった数の比で結合するからそうなるのね。でも、物質が原子という小さな粒でできているなんて、それ自体とても不思議だわ。

晴美： でも、原子なんて知らない昔の人は、原子が決まった質量をもっていて、それが決まった比で結合するなんてこと、どうやって考えついたんでしょうね。

奈津： たしかにそうね。でも、たぶん、いろいろな化学反応の結果から、原子1個あたりの質量を推測していったんだと思うわ。

昭雄： 目に見えない原子の質量を考えるなんて、ほんとうに昔の人はすごいや。



(1) 晴美さんたちの授業の実験では、銅粉0.8 gを加熱したとき、酸化銅が1.0 g生じた。

(a) このとき0.8 gの銅と反応した酸素は何gか、求めなさい。

0.2 g

【解説】 化学反応においては、反応の前後で質量の総和は保存される。これを質量保存の法則という。質量保存の法則は、1774年、フランスのラボアジェにより提唱された。

(b) 酸化銅において、銅原子と酸素原子が結合するときの個数の比は1 : 1である。銅原子1個と酸素原子1個の質量の比はいくらか、求めなさい。

銅 : 酸素 = 4 : 1

【解説】 銅原子1個と酸素原子1個が結合して酸化銅になるので、酸化銅に含まれる銅と酸素の質量の比がそのまま原子1個の質量の比となる。

銅 : 酸素 = 0.8 g : 0.2 g = 4 : 1

[三人の会話]

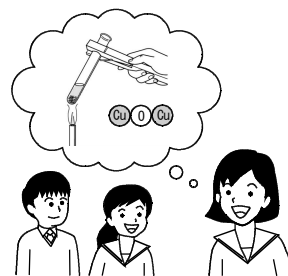
晴美： 銅と酸素の原子はなぜ1：1の個数の比で結合するのかなあ。  
 奈津： わたしも不思議に思って、先生に質問したら、実は違う比で結合する酸化銅もあるって教えてくださったの。

昭雄： へえ、でもそんなの中学生にわかるわけがないよ。

奈津： わたしもそう思ったの。でも、その別の酸化銅は教科書にのっているらしいのよ。ベネジクト液で糖を調べるときの赤い沈殿がその酸化銅なんですって。

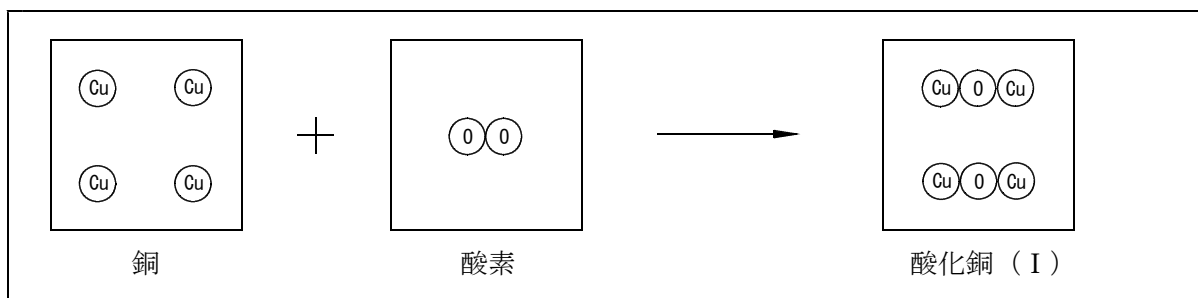
昭雄： ベネジクト液なら知っているよ。うわあ、またまた裏切られちゃったね。

晴美： 中学の教科書には、結構すごいことがのっているのね。



(2) 銅の酸化物には黒色の酸化銅(Ⅱ)と赤色の酸化銅(Ⅰ)の2種類がある。空气中で銅を加熱するとき、加熱温度が1000℃より低いときは酸化銅(Ⅱ)ができるが、1000℃より高いと酸化銅(Ⅰ)ができる。酸化銅(Ⅰ)において、銅原子と酸素原子が結合するときの個数の比は2：1である。

(a) 銅と酸素が反応して酸化銅(Ⅰ)ができるときのようすを、銅の原子を  $\text{Cu}$ 、酸素の原子を  $\text{O}$ 、酸化銅(Ⅰ)を  $\text{CuO}$  で表したモデルでかきなさい。



【解説】 化学反応においては、原子は新たに生成したり消滅したりしない。よって、反応前と反応後では、原子の個数が等しくなっている。酸素分子は酸素原子2個からできているので、酸素分子を1個としたとき、銅原子は4個、酸化銅は2組なければならない。

(b) 銅と酸素がちょうど反応して酸化銅(Ⅰ)が生成するときの、銅と酸素の質量の比を求めなさい。

計算 2個の銅原子と1個の酸素原子が結合するときの質量の比を考えると  
 原子1個の質量の比は、銅原子：酸素原子＝4：1より  
 銅原子2個の質量：酸素原子2個の質量  
 ＝ 2×4 : 1×1  
 ＝ 8：1

答え  
 銅：酸素 ＝ 8：1

【解説】 化学反応において、化合する物質の質量の比は一定になっている。代表的なものとして、銅と酸素から酸化銅（Ⅱ）が生じる反応を学習し、そのとき銅と化合する酸素の質量の比が4：1になることを実験から求めるようになっている。このような質量の関係が成り立つのは、原子が決まった質量をもっており、それが決まった比で結合するからである。ここでは、教科書では学習しない酸化銅（Ⅰ）について、結合する原子の個数の比から、質量の比を考えることになっている。教科書での、酸化銅（Ⅱ）の学習内容について、本質的な理解をすることが大切である。

- (c) 銅16.0 gをすべて酸化銅（Ⅰ）にするために、1100℃でしばらく加熱したが、加熱が不十分であったため、酸化銅（Ⅰ）と酸化銅（Ⅱ）の混合物が18.5 gできた。この混合物に含まれる酸化銅（Ⅰ）と酸化銅（Ⅱ）の質量はそれぞれ何 gか、求めなさい。ただし、このとき未反応の銅は残っていないものとする。

計算

銅16.0 gのうち、 $x$  [g] が酸化銅（Ⅰ）になったとする。

酸化銅（Ⅰ）が生じるときの銅と酸素の質量の比は、銅：酸素=8：1だから、

銅と酸化銅（Ⅰ）の質量の比は、銅：酸化銅（Ⅰ）=8：9

よって、 $x$  [g] から生じた酸化銅（Ⅰ）は、 $x \times (9/8)$  [g] ……①

また、酸化銅（Ⅱ）ができるときの銅と酸素の質量の比は銅：酸素=4：1だから、

銅と酸化銅（Ⅱ）の質量の比は、銅：酸化銅（Ⅱ）=4：5

よって、残りの銅  $(16.0 - x)$  [g] から生じた酸化銅（Ⅱ）は、

$(16.0 - x) \times (5/4)$  [g] ……②

①、②の合計が18.5 gだから

$$x \times (9/8) + (16.0 - x) \times (5/4) = 18.5$$

$$x = 12 \text{ g}$$

よって、酸化銅（Ⅰ）は  $12 \times (9/8) = 13.5 \text{ g}$

酸化銅（Ⅱ）は  $12 \times (8/9) = 5.0 \text{ g}$

酸化銅（Ⅰ）	13.5 g
酸化銅（Ⅱ）	5.0 g

【解説】 化学反応が完全に進行しない場合は、未反応の物質や副生成物が混じった混合物ができる。このような混合物に含まれる、それぞれの物質の質量を求めるときには、方程式をつくって解くとよい。このとき、反応後の物質を変数にするのではなく、反応前の物質を変数にする方がわかりやすい場合が多い。

[三人の会話]

昭雄： 原子説はイギリスのドルトンが1803年に発表したと教科書に書いてあるよ。ドルトンは独自の記号を使って原子の種類を表したんだって。今の原子の記号とずいぶん違うんだね。

晴美： ドルトンは、物質が原子という小さな粒が集まってできているということだけじゃなくて、物質をつくっている原子がその種類によって異なった質量と性質をもつところまで考えていたところがすごかったのね。

奈津： 実はわたし、このへんのことにすごく興味があったから本で調べてみたの。ドルトンは原子説を発表するときに、原子説の証拠として、「倍数比例の法則」というのを発表しているの。この法則は、

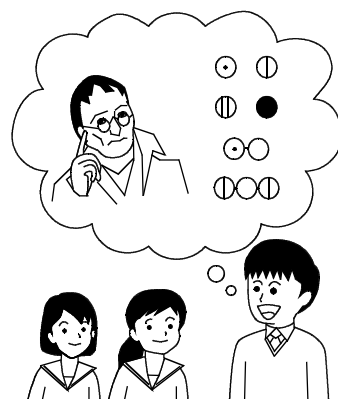
A, B 2種類の原子からなる化合物が2種類以上あるとき、これらの化合物を構成する一定質量のAと化合するBの質量の比は簡単な整数比になる。

というもののなの。

昭雄： なんだかむずかしいなあ。

奈津： わたしもよくわからなかったから、先生に相談してみたら、今度、科学部で実験してみようって言ってくださったの。2種類の酸化銅を使って、「倍数比例の法則」を確かめる実験だそうよ。

晴美： それは楽しみね。



[実験]

- ① 十分に乾燥した酸化銅 (I) を1.0 g はかりとり、薬包紙に包んだ。
- ② あらかじめ質量を測定したステンレス皿に、①の酸化銅 (I) をのせ、再び質量を測定した。このとき、薬包紙にはいくらかの試料が付着したままであった。
- ③ ②のステンレス皿を、図1のように燃焼管の中に入れた。
- ④ 気体発生器に亜鉛を入れ、塩酸を加えて水素を発生させた。発生した水素は、水中を通し、さらに、塩化カルシウム管を通して乾燥させた。
- ⑤ 水素を燃焼管の一方より送り込み、数分おいて、燃焼管内に残留空気がないことを確認してから、燃焼管のステンレス皿の部分をガスバーナーで加熱した。
- ⑥ 試料が完全に銅粉に変化したら加熱を止め、燃焼管が冷めるまで水素を通した。
- ⑦ ステンレス皿を燃焼管からとり出して質量を測定した。
- ⑧ 酸化銅 (I) の質量を2.0 g, 3.0 g と変化させ、①～⑦の操作を行った。
- ⑨ 酸化銅 (II) について、酸化銅 (I) と同様に①～⑧の操作を行った。
- ⑩ 実験結果を表にまとめた。

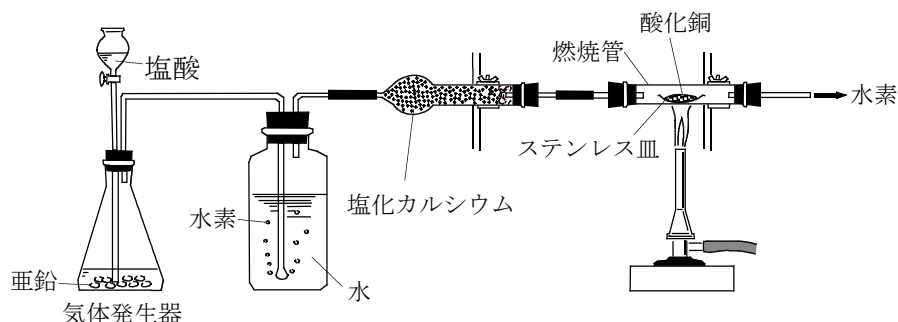


図1

表

試料	①のときの 質量 [g]	ステンレス皿 の質量 [g]	②のときの 質量 [g]	⑦のときの 質量 [g]
酸化銅 (I)	1.0	2.74	3.73	3.62
	2.0	2.72	4.73	4.51
	3.0	2.75	5.77	5.44
酸化銅 (II)	1.0	2.73	3.72	3.53
	2.0	2.76	4.77	4.37
	3.0	2.74	5.73	5.13

(3) 酸化銅 (I) や酸化銅 (II) から銅が生じるように、酸化物から酸素がとり除かれる化学変化を何というか、書きなさい。

還元

(4) 発生した水素を水中に通すのはなぜか、正しいものをア～エより1つ選びなさい。

- ア 発生した水素を冷却するため。
- イ 発生した水素を水に溶かして蓄えておくため。
- ウ 亜鉛の蒸気を水に反応させてとり除くため。
- エ 塩酸から発生した塩化水素を水に溶かしてとり除くため。

エ

【解説】 気体を発生させる際に、いったん水中を通す（水をくぐらせるともいう）のは、気体が発生する化学反応の際に生じる不純物のうち、水に溶けやすいものを取り除くためである。ただし、中学校では、このことを学習しないので、既習内容から考え、正解を選ぶことが必要である。

ア 銅を還元させるときに加熱しているのであるから、わざわざ冷却する必要はないので、誤りである。

イ 水素は水に溶けにくいので、誤りである。

ウ 亜鉛は金属であるため、沸点が非常に高く、塩酸との反応による反応熱でもそのような高温にはならず、蒸気は発生しない。よって誤りである。

エ 塩酸は、気体である塩化水素の水溶液であるので、化学反応の際に、成分の塩化水素が揮発して発生した気体に混ざる場合がある。中学では学習しないが、塩素を発生させる場合にも、塩酸を用いる場合に同様のことがおこる。なお、水中を通した後には、必ず水蒸気が含まれているので、適切な乾燥剤（ここでは塩化カルシウム）を用いて、水蒸気を取り除くことが必要である。

- (5) 実験⑤の下線部のように、装置中に残留空気がないことを確認してから加熱するのはなぜか、書きなさい。

空気には酸素が含まれ、この酸素と発生した水素が混ざった状態で点火すると、爆発して装置が破損し、危険だから。

- (6) 実験結果の表から、酸素の質量 $X$ 、銅の質量 $Y$ を求めるため、表の右側に下のような欄を追加した。 $X$ 、 $Y$ を求めるはどのような計算をすればよいか、表中の $P \sim S$ を用いて(例)のように表しなさい。

表

試料	①のときの 質量 [g]	ステンレス皿 の質量 [g]	②のときの 質量 [g]	⑦のときの 質量 [g]	酸素の質量 [g]	銅の質量 [g]
	P	Q	R	S	X	Y

(例)  $X = P + Q + S$

$X = R - S$	$Y = S - Q$
-------------	-------------

**【解説】** ここでは、実験の手順をよく読み、測定された値がもつ意味をしっかりと把握することが大切である。あらかじめはかりとった質量である $P$ は、②で「薬包紙に質量が付着していた」とあることから、実際にステンレス皿にのせた試料の質量と異なっている可能性があるので用いない。

ここでは、

②のときの質量は、 ステンレス皿の質量 + 酸化銅の質量

⑦のときの質量は、 ステンレス皿の質量 + 銅の質量

である。このことを実験の手順から読みとらなければならない。

このように実験においては、測定により得られたさまざまな数値が、どのようにして得られたのか、ということをしかりと理解することはもちろん、得られた数値が、どの程度正確な値なのか、どのくらいの誤差が含まれているのかを把握し、データを処理することも重要である。

(7) 酸化銅 (I) と酸化銅 (II) のそれぞれについて、とり除かれた酸素の質量と生じた銅の質量との関係を表すグラフを下の方眼紙にかきなさい。

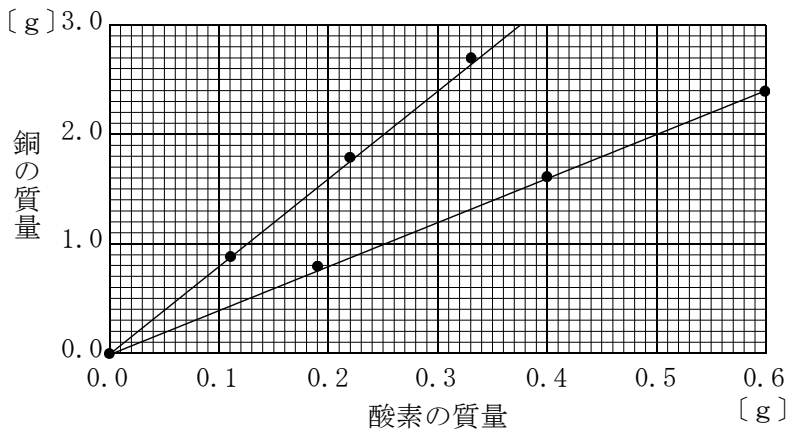


図 2

【解説】 (6)の方法で、銅の質量及び酸素の質量を計算すると以下のようなになる。

試料	酸素の質量 [g]	銅の質量 [g]
酸化銅 (I)	0.11	0.88
	0.22	1.79
	0.33	2.69
酸化銅 (II)	0.19	0.80
	0.40	1.61
	0.60	2.39

この数値をもとに、グラフを作成する。

(8) このグラフの傾きは、何を表しているか、説明しなさい。

酸素 1 g あたりに化合する銅の質量 [g]

(9) 酸化銅 (I) と酸化銅 (II) について、それぞれのグラフの傾きを整数値で求めなさい。

酸化銅 (I)      8                      酸化銅 (II)      4

(10) 酸化銅 (I) と酸化銅 (II) のグラフの傾きの比を最も簡単な整数比で求めなさい。

酸化銅 (I) : 酸化銅 (II) =      2      :      1

【解説】 今回の実験では、酸化銅（Ⅰ）と酸化銅（Ⅱ）について、それぞれに含まれる酸素の質量を横軸に、銅の質量を縦軸にグラフを作成した。グラフにすることにより、酸素の質量と銅の質量との関係が、それぞれの酸化銅ごとにどのように異なるのかが、よく理解できるようになる。グラフには、このように、「数値の関係を視覚的にわかりやすく示す」という効果がある。

一方、グラフにすることには、誤差を考慮して数値の関係を調べるという役割もある。実験で得られる数値は誤差を含んでいる場合が多いので、反応させる物質の質量を2倍にしても、そのときに生成する物質の質量が2倍にならない場合がある。このように、単純な比例関係が予想されるような場合でも、実際の実験では、1つの条件で測定しただけでは予想される数値の関係が得られないことが多い。よって、測定値の間にどのような関係があるのかを調べる場合には、複数の条件で測定を行い、グラフ化をして処理することが一般的となっている。

(11) 次の文は、「倍数比例の法則」をこの実験にあてはめて述べた文である。正しい文となるように、文中の（あ）～（か）に適する語句または数値を書きなさい。

（あ）と（い）の2種類の原子からなる化合物は、（う）及び（え）の2種類があるが、これらの化合物を構成する一定質量の（あ）と化合する（い）の質量の比は、簡単な整数比となり、（う）：（え）＝（お）：（か）である。

あ	酸素	い	銅	う	酸化銅（Ⅰ）	え	酸化銅（Ⅱ）	お	2	か	1
---	----	---	---	---	--------	---	--------	---	---	---	---

【解説】 ドルトンの「倍数比例の法則」に実験で扱う物質をあてはめることを通じて、今回の実験が何のための実験であったのかが理解できているかを問う問題である。「何のためにやっているか」が理解できていなければ、実験操作をどれだけ正確にやりとげたとしても意味がない。

教科書には、さまざまな観察・実験が掲載されている。それぞれが理科において非常に大切なものの見方や考え方を確かめるために行うものである。観察・実験を行う際には、「何のためにやっているか」という目的や意義をしっかりと理解した上で行うことが大切である。

目的や意義を理解した上で観察・実験や考察を行えば、一つ一つの操作をより丁寧に行うことができるようになったり、実験結果の考察をより深く行うことができるようになるはずである。また、それらを通じて、学ぶべきものの見方や考え方が、より確実に身につく、効果的に理科の学習を進められるはずである。



〔三人の会話〕

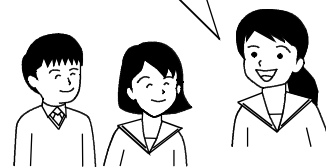
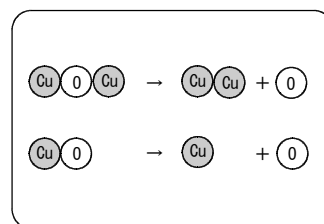
晴美： 「倍数比例の法則」って言葉だけで理解しようとする  
とむずかしいけれど，銅と酸素で具体的に考えたらよくわか  
ったわ。酸素と結びつく銅の質量の比が，2つの酸化物の  
間できれいな整数比になったのには驚いたわ。

奈津： 物質をつくっている小さな粒が決まった質量をもってい  
て，それが決まった割合で結びついたり，離れたりしてい  
るから，整数比になるのね。

昭雄： 教科書で原子について学んだときは，原子説のすごさが  
それほど感じられなかったけど，こうやって実験するとほ  
んとうにすごいと感じるね。

奈津： 原子を直接目で見ることはできないけれど，化学反応を，ただぼんやりとながめるだけで  
なく，質量を精密に測定したり，反応の条件を整えたりして，科学的に分析すれば，原子が  
あるという証拠がきちんと得られるのね。

晴美： 酸化物がきれいな銅に変わっていくようすも感動的だったわ。



(12) ドルトンが，倍数比例の法則を調べるために実際に用いた物質は，酸化銅ではなく，メタン  
とエチレンという気体であった。メタンとエチレンはともに，炭素と水素からなっているが，  
ドルトンは，一定質量の炭素に化合している水素の質量の比が，メタン：エチレン＝2：1と  
なっていることを示した。メタンに含まれる水素の質量の割合が25.0%であるとする  
と，エチレンに含まれる水素の質量の割合は何%か，小数第2位を四捨五入し，小数第1位まで求めな  
さい。

計算

メタンにおける炭素と水素の質量の比は，炭素：水素 = 75 : 25 = 3 : 1

一定質量の炭素に結合している水素の質量の比が，

メタン：エチレン = 2 : 1 なので

エチレンにおける炭素と水素の質量の比は，

$$\begin{aligned} \text{炭素：水素} &= 3 \times 2 : 1 \times 1 \\ &= 6 : 1 \end{aligned}$$

よって，エチレンに含まれる水素の割合は

$$\left( \frac{1}{6+1} \right) \times 100 = 14.3 \%$$

答え

14.3 %

【解説】 化学分野では，さまざまな形で数値の「比」を考える必要がある。その場合，そ  
の「比」がどのような意味をもつのかを正確に把握することが大切である。今回は，  
質量の比，原子数の比を意識して考えられなければならない。また，この他にも化  
学分野では，濃度や密度のように，「比」として意識されていないが，「比」の意  
味をもつ数値が扱われることもある。これらについても，単に「〇〇を△△で割る」  
のような暗記をするのではなく，それぞれの数値の意味をしっかりと理解するこ  
とが重要である。