



# 第11回 科学の甲子園ジュニア 全国大会

## 筆記競技

令和5年12月9日

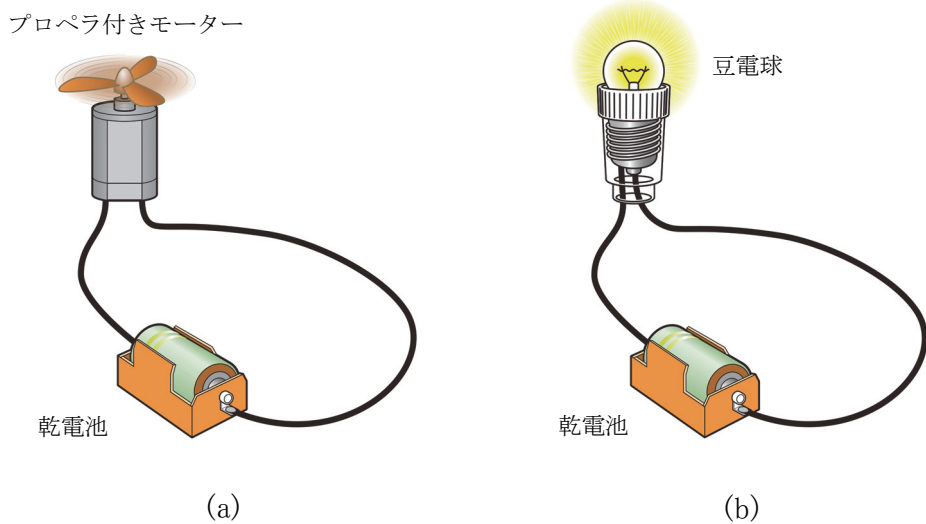
### 注意事項

1. 競技開始の合図があるまでは、問題冊子を開いてはいけません。
2. 問題冊子はこの表紙以外に2ページから31ページまであります。競技開始の合図で全ページ印刷されていることを確認してください。競技中に問題冊子の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁、解答用紙の汚れ等に気づいた場合は、手を挙げて監督の先生に知らせてください。
3. 競技開始の合図があったら、問題冊子および解答用紙の表紙の所定の欄に、都道府県名とチーム番号を記入してください。また、解答用紙の2枚目以降はチーム番号のみを記入してください。
4. 解答はすべて解答用紙に記入してください。解答用紙以外は採点しません。
5. 問題冊子は競技終了後回収します。
6. 問題は第1問～第6問で構成されています。どの問題から取り組んでも結構です。
7. 競技においては、チームのメンバーと話し合っ解決して構いません。一人当たりの解答数などの決まりはありませんので、チームで作戦を立てて問題に取り組んでください。
8. 筆記用具以外の道具（電卓、定規、モーター、プーリー、電池、豆電球）は、配付されているものを使用してください。
9. 図書および携帯電話、スマートフォン等外部と接続可能な電子機器（スマートウォッチを含む）の持ち込みを禁止します。
10. 終了の合図があるまで、監督の先生の許可なしに、会場の外に出ることはできません。気分が悪くなったとき、トイレに行きたくなったときは、手を挙げて監督の先生に知らせてください。
11. 「終了」の合図で、すぐに筆記用具を置いてください。その後、指示に従い解答用紙をクリップ留めしてください。
12. 本競技の第1位と第2位のチームには表彰があります。得点と同じチームが複数ある場合は、満点の問題の数が多いチームを上位として、第1位と第2位を決定します。満点の問題の数も一致する場合は、満点に一番近い得点の問題の数が多いチームを上位とします。

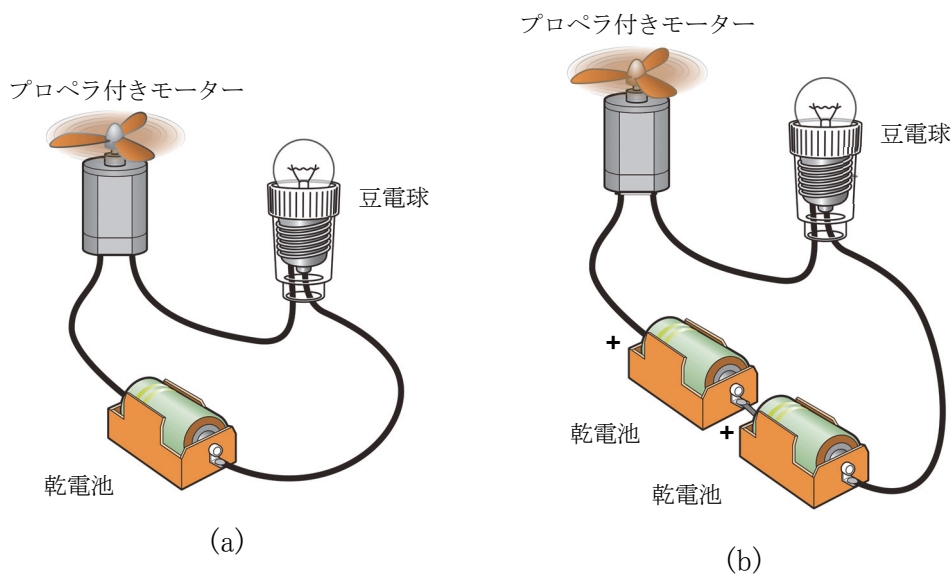
都道府県名		チーム 番号	
-------	--	-----------	--

次の文章を読んで、後の問1に答えよ。

豆電球とプロペラ付きモーターと乾電池を【図1】(a), (b)のように接続したところ、プロペラ付きモーターは回転し、豆電球は点灯しました。次に、同じ、豆電球、乾電池、プロペラ付きモーターを使って【図2】(a), (b)のように接続したところ、両方ともプロペラ付きモーターは回転しましたが、豆電球は点灯しませんでした。しかし、プロペラ付きモーターの回転を手で止めると、両方とも豆電球は点灯しました。どうしてこのようなことが起こるのでしょうか。



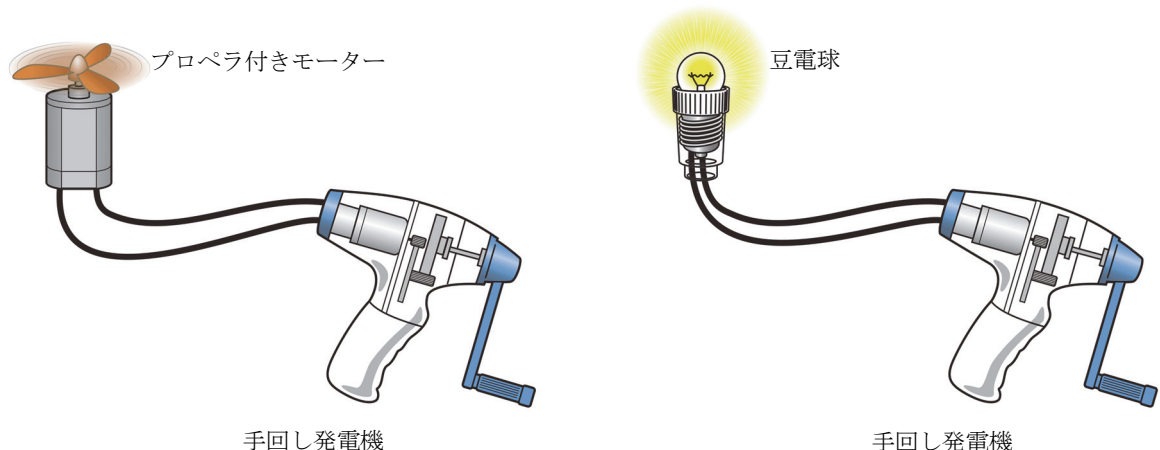
【図1】



【図2】

【図3】のように、【図1】の乾電池を手回し発電機に変え、豆電球やプロペラ付きモーターをつなげて手回し発電機のハンドルを回すと、豆電球が点灯したりプロペラ付きモーターが回転したりしました。

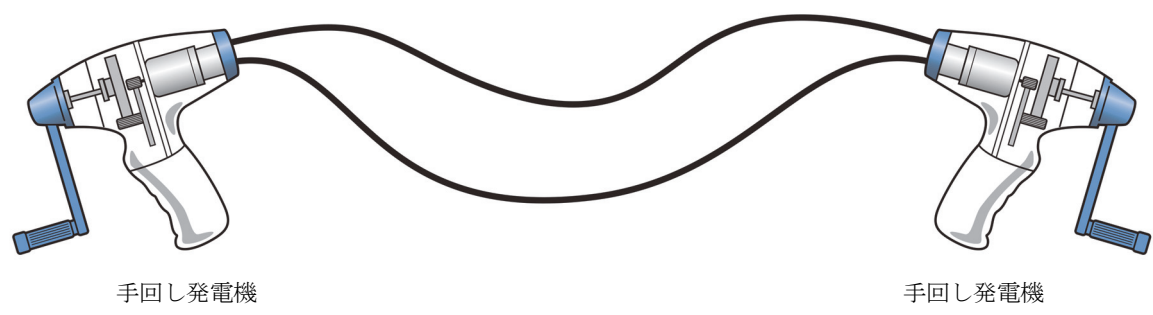
問1 手回し発電機のハンドルを回す速さを速くすると、豆電球の点灯の様子やプロペラ付きモーターの回り方はどのように変化するか答えなさい。また、なぜそのようなことが起こるのかを説明しなさい。



【図3】

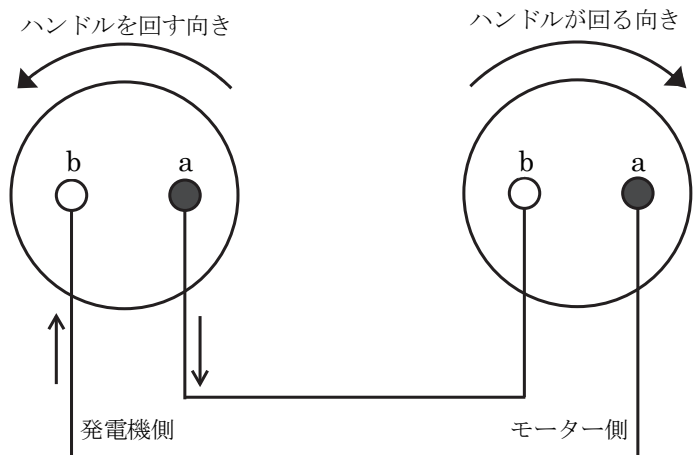
次の文章を読んで、後の問2に答えよ。

【図4】のように、手回し発電機どうしを導線で接続して、片方の手回し発電機のハンドルを回してみました。すると、もう一方の手回し発電機のハンドルが回り出しました。これは手回し発電機がモーターでもあることを示しています。つまり、モーターと発電機は同じものなのです。



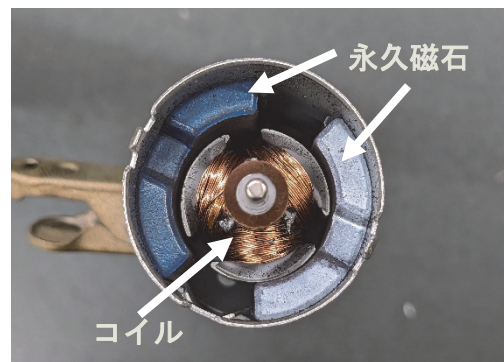
【図4】

また【図5】は、【図4】の実験のときの手回し発電機の端子の部分的模式的に表したものです。この場合、発電機側のハンドルを反時計回りに回すと、電流は発電機側の端子 a から出て、モーター側の端子 b に入ることを表しています。このとき、モーター側の手回し発電機は【図5】のように時計回りに回りました。つまり、発電機として発電するときに流れる電流の方向にモーターの電流を流すと、モーターは逆向きに回り出すのです。



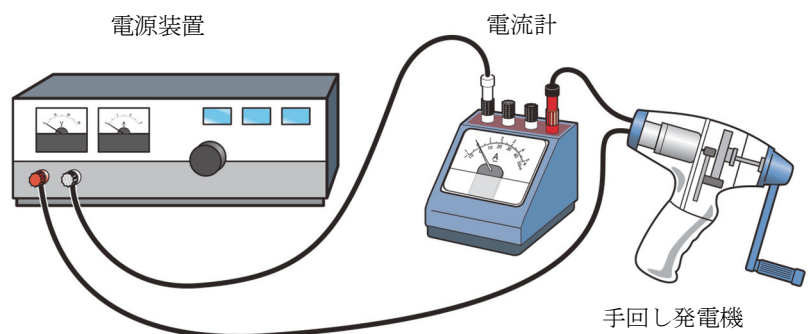
【図5】 2つの手回し発電機の接続の仕方

【図6】は、手回し発電機の中に入っているモーターを取り出して、その中身を分解したものです。モーターは回転する物体(回転子)に銅線を巻いたコイルの周りに、永久磁石(固定子)が設置されています。コイルに電流を流すと、コイルが作る磁場と永久磁石の作る磁場の間に生じる力によって、回転子が回ります。通常、電気回路を考えるときは銅線(導線)の電気抵抗は大変小さいために無視しています。しかし、モーターのコイルを構成している銅線は細く、また非常にたくさん巻いているため、大変長くなるので、電気抵抗は無視することはできません。この電気抵抗を巻き線抵抗と呼んでいます。



【図6】 モーター内部の様子

【図7】のように手回し発電機に電源装置と電流計を接続し、電源電圧を変化させて電流計の値を計測します。



【図7】 手回し発電機に加えた電圧と電流を調べる実験

**実験(a)** 手回し発電機のハンドルを回らないように固定して，手回し発電機に加えた電圧と，手回し発電機を流れた電流を測定したら次の【表1】になりました。

【表1】 実験(a) 手回し発電機にかけた電圧と流れる電流の関係 (ハンドル固定)

電圧 [V]	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.3	1.4	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
電流 [mA]	65	110	145	187	210	230	245	270	350	442	561	709	930

**実験(b)** 手回し発電機のハンドルを自由に回ることができるようにして，実験をすると，電圧が低いときハンドルは回りませんが，ある電圧以上になってからは加える電圧が大きくなるにしたがって，手回し発電機のハンドルが回転する速さは速くなります。手回し発電機に加えた電圧と，手回し発電機に流れた電流を測定したら【表2】になりました。

【表2】 実験(b) 手回し発電機にかけた電圧と流れる電流の関係 (ハンドル自由)

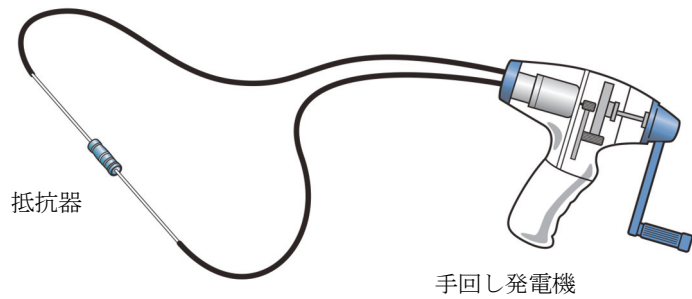
電圧 [V]	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.3	1.4	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
電流 [mA]	65	110	145	187	210	230	55	58	62	64	67	73	78
ハンドルの様子	回っていない						回っている						

問2 実験結果に対して次の作業を下さい。

- (1) 横軸に手回し発電機に加えた電圧，縦軸に手回し発電機に流れた電流をとり，実験(a)の手回し発電機が回転していないときの実験結果を，解答用紙のグラフに●印で表しなさい。また，その●印を元に適切な線を引きなさい。
- (2) (1)のグラフを用いて，手回し発電機の巻き線抵抗の値を小数第1位まで求めなさい。なお，解答用紙には電気抵抗値の求め方が分かるように計算過程も記入すること。
- (3) (1)と同じグラフに，手回し発電機が回り始めた電圧 1.4 V以降の実験(b)の実験結果を，○印で表しなさい。また，その○印を元に適切な線を引きなさい。
- (4) (1)(3)のグラフから，手回し発電機(モーター)に加えた電圧が 1.3 Vと 1.4 Vの間で手回し発電機(モーター)の電流値が大きく変わったことが分かる。これは，モーターが回転したことが原因である。モーターが回転すると電流値が減少する理由を，「手回し発電機が発電している電圧の方向は」に続けて書きなさい。

次の文章を読んで、後の問3に答えよ。

【図8】のように手回し発電機に抵抗器を接続してハンドルを回すと、抵抗器の抵抗値が小さいほどハンドルを回す手応えは大きくなりました。

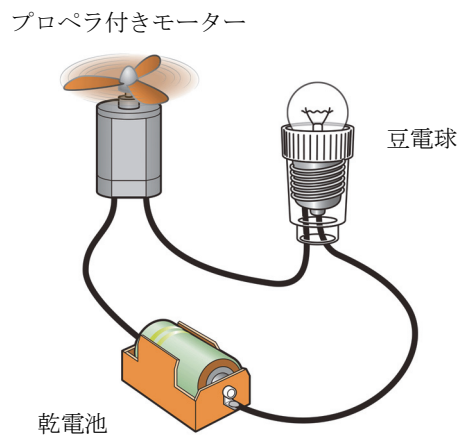


【図8】 手回し発電機に抵抗器をつなげる

問3 接続する抵抗器の抵抗値が小さいほど、手回し発電機のハンドルを回す手応えが大きくなる理由を、手回し発電機の発電によって生じる電流の大きさとの関係に触れながら説明しなさい。

今までのことをふまえて、次の問4に答えよ。

問4 【図9】のように接続したとき、プロペラ付きモーターが回っているときには豆電球は点灯しないのに、プロペラ付きモーターの回転を手で止めると豆電球が点灯する理由を説明しなさい。

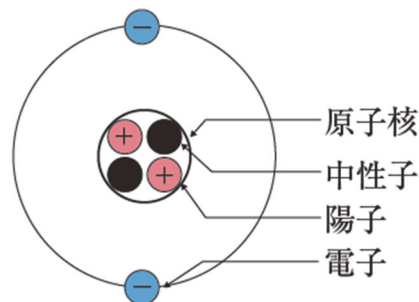


【図9】 乾電池にプロペラ付きモーターと豆電球を直列に接続する



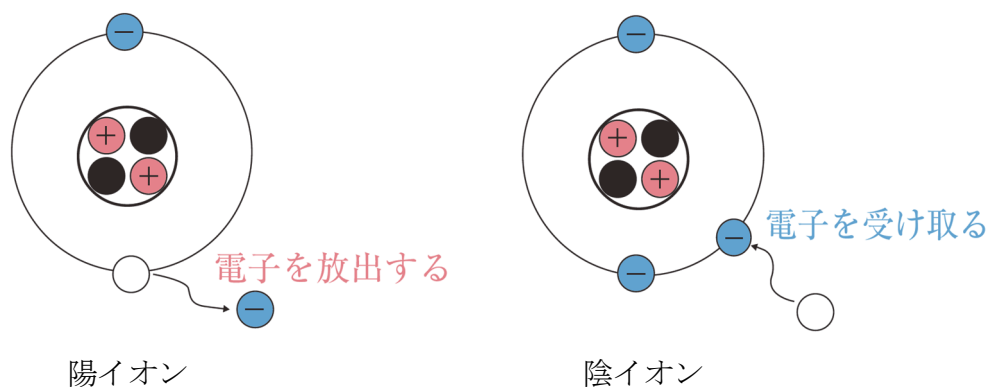
物質を作る最小の単位を「原子」とよぶ。原子は化学変化によってそれ以上細かくすることができない粒子で、アルファベットの記号で表される。

原子は、原子核と電子 ( $e^-$ ) からできている。原子核は、原子の中心にあり、+の電気を帯びた陽子と電気を帯びていない中性子からできている。原子核のまわりには-の電気を帯びた電子が存在している（【図1】）。



【図1】 原子の構造の概念図

原子の陽子の数は、電子の数に等しい。陽子1個がもつ+の電気の量と、電子1個がもつ-の電気の量が等しいので、原子は全体として電気を帯びていない。原子が電子を失ったり、受け取ったりして、電気を帯びたものをイオンという。電子を失って+の電気を帯びたものを陽イオンといい、電子を受け取って-の電気を帯びたものを陰イオンという（【図2】）。



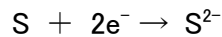
【図2】 イオンのでき方の概念図



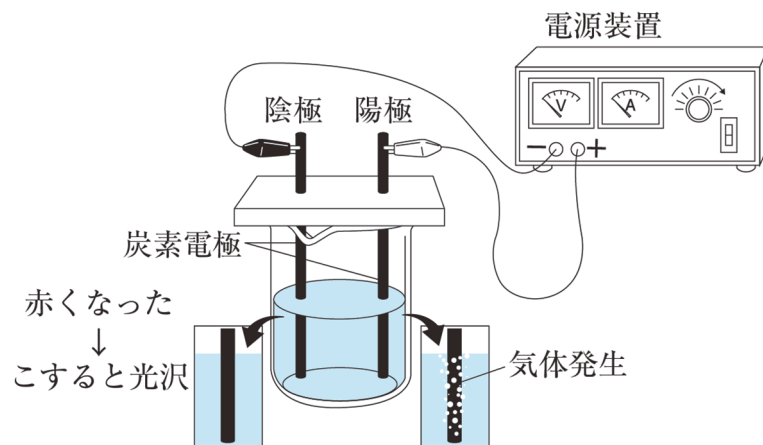
陽イオンを表すときは元素記号の右上に+の記号と失う電子の数をつけ、陰イオンを表すときは-の記号と受け取る電子の数をつける。例えば、ナトリウム (Na) 原子は電子を1個失い、ナトリウムイオン (Na<sup>+</sup>) になる。ナトリウム原子が電子を1個失ってナトリウムイオンになる反応式は、次のように表される。



また硫黄 (S) 原子は電子を2個受け取り、硫化物イオン (S<sup>2-</sup>) になる。硫黄原子が硫化物イオンになる反応式は次のように表される。



塩化銅 (化学式 CuCl<sub>2</sub>) 水溶液に電流を流すと陰極の表面に赤色の物質が付着した。軽くこすってみると金属光沢が現れることから、この物質は銅であることがわかる。また、陽極の表面からは気体が発生し、そのにおいから塩素であることがわかる。このことから、塩化銅水溶液に電流を流すことによって、塩化銅が銅と塩素に分解したと考えられる(【図3】)。



【図3】 CuCl<sub>2</sub>水溶液の電気分解

塩化銅は水に溶けると、+の電気を帯びた銅イオンと-の電気を帯びた塩化物イオンに電離する。電流を流すと、陰極の表面では銅イオンが陰極から電子を2個受け取り銅原子となり、陰極の表面に付着する。陽極の表面では、塩化物イオンが陽極で電子を1個失って塩素原子となる。塩素原子は2個ずつ結びついて塩素分子となり、気体となって空気中に出ていく。

このように電気分解のしくみは、それぞれの電極でおこる電子の受け渡しによって説明することができる。

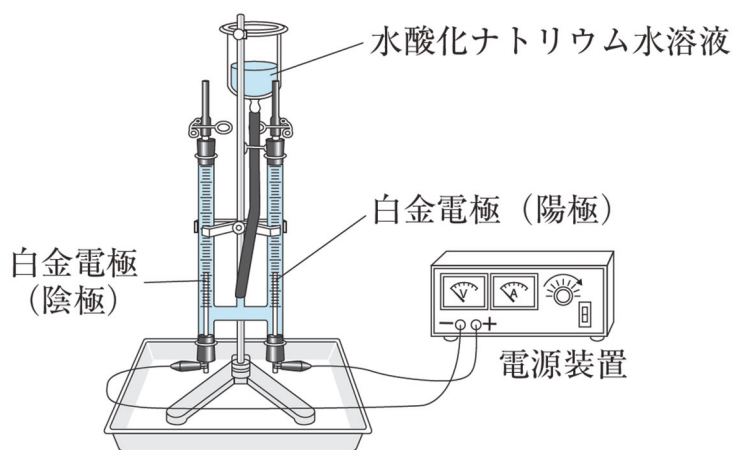
問1 塩化銅が水に溶けてイオンに分かれるときのようすを、イオンを含む反応式で示せ。

問2 銅イオンと塩化物イオンがそれぞれの電極上で、電子の受け渡しによって銅原子と塩素分子になるときのようすを電子の記号 e<sup>-</sup> を使ってイオンを含む反応式で示せ。

問3 塩化銅を電気分解したときの全体の化学変化を、化学反応式で示せ。

電気分解の実験において、電源装置から流れた電気の量と電極で生成された銅や塩素の量との間にはどのような関係があるのだろうか。1830年ごろ、イギリスの科学者ファラデーはそのような疑問に答えるべく研究をおこなった。当時、電気分解の際の条件、すなわち電解質が溶解した水溶液の濃度や電極の大きさが、電気分解される物質の量とどのような関係にあるのかは、はっきりわかっていなかった。そもそも、電源装置から流れた電気の量を正確に測る方法が確立されていなかったのである。そこで、電気の量を正確に測るために、ファラデーは電解電量計の原型となる装置を発明した。ファラデーが用いた電解電量計は、希硫酸の電気分解装置で、白金電極に発生した水素を目盛りつきガラス管に集めて、その体積の測定から、流れた電気の量を正確に知ることができる装置である。ファラデーは、水素 1.0 g が生じるときの電気の量を流し、いろいろな電解質の水溶液を電気分解し、電極に生成する物質の質量を調べた。

ここで、ファラデーの実験を再現してみよう。まず、ホフマン型電気分解装置（【図4】）を用いて水の電気分解をおこない、流した電気の量と発生する水素の体積の関係を調べた。うすい水酸化ナトリウム水溶液に 0.010 A の電流を流し、陰極に発生する水素の体積を測定した。また、流す電流を 0.030 A にして、同様に水素の体積を測定した。結果を【表1】に示した。



【図4】 ホフマン型電気分解装置

【表 1】 ホフマン型電気分解装置により水を電気分解したときの時間と水素の体積の関係

時間[分]	30	60	90	120	150	180	210	240
0.010 A での水素の体積[cm <sup>3</sup> ]	2.0	4.1	6.2	8.3	10.4	12.4	14.5	16.5
0.030 A での水素の体積[cm <sup>3</sup> ]	6.1	12.4	18.6	25.0	31.1	37.4	43.6	50.0

※実験中に温度と気圧は変わらなかった。

問 4 【表 1】の結果をグラフにせよ。その際目盛りの最大値は適切に設定し、わかりやすく記入せよ。

問 5 上記の水の電気分解で、異なる条件（電流や時間）で生成する水素の体積が等しいとき、流した電気の量は等しい。このことより、電気の量は、流した電流の大きさ、および時間とどのような関係にあるといえるか説明せよ。

次に、10%の塩化銅水溶液に 0.50 A の電流を流し、陰極に付着する銅の質量を測定したところ、【表 2】の結果が得られた。

【表 2】 塩化銅水溶液を電気分解したときの時間と陰極に付着する銅の質量の関係

時間[分]	30	60	90	120	150	180	210	240
銅の質量[g]	0.29	0.60	0.91	1.19	1.52	1.81	2.08	2.42

問 6 【表 2】の結果をグラフにせよ。その際目盛りの最大値は適切に設定し、わかりやすく記入せよ。

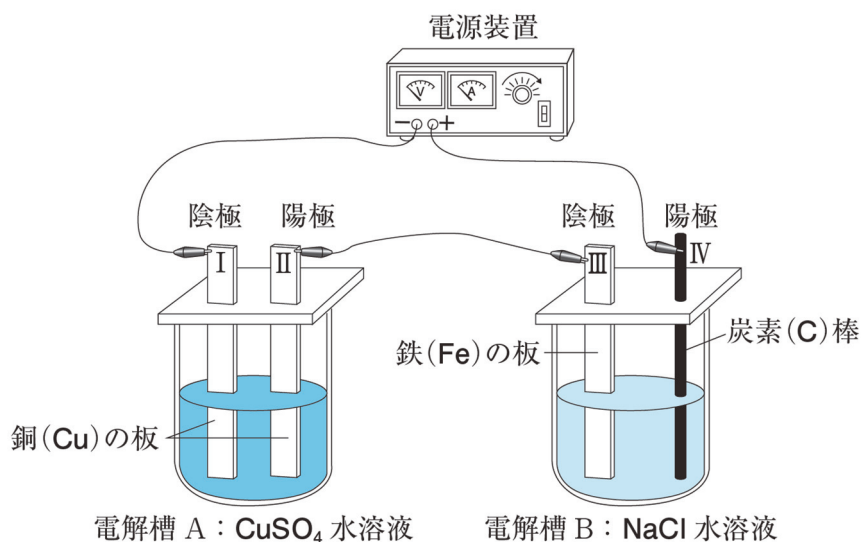
問 7 水素の密度を 0.000090 g/cm<sup>3</sup>としたとき、水素が 1.0 g 生成する電気の量で塩化銅水溶液を電気分解したときに電極に付着する銅の質量[g]を、小数第 1 位を四捨五入して整数で求めよ。

ファラデーは、いろいろな物質の電気分解実験をおこない、生成する物質の質量を測定した。例えば、水素が 1.0 g 生成する電気の量で、マグネシウムは 12.7 g、バリウムは 68.7 g 生成した。これらの結果から、ファラデーは「電気分解の法則」とよばれる法則を見出した。

問8 ファラデーの「電気分解の法則」として最も適切な文章を次の a～d より選べ。

- a. 電気分解によって生成する物質の質量は、電流を流した時間のみに比例する。
- b. 電気分解によって生成する物質の質量は、流した電気の量が同じならば、物質の種類によらず常に同じ値となる。
- c. 電気分解によって生成する物質の質量は、流した電気の量に比例し、その質量は物質の種類によって異なる。
- d. 電気分解によって生成する物質の質量は、流した電気の量に関係なく、物質の種類によって同じ値となる。

【図5】のような装置を組み立てた。電極Ⅰ、Ⅱは銅の板を用い、電極Ⅲは鉄の板、電極Ⅳは炭素棒を用い、電解槽Aには硫酸銅（化学式  $\text{CuSO}_4$ ）水溶液、電解槽Bには塩化ナトリウム（化学式  $\text{NaCl}$ ）水溶液が入っている。この装置に 3.0 A の電流を 20 分間流した。



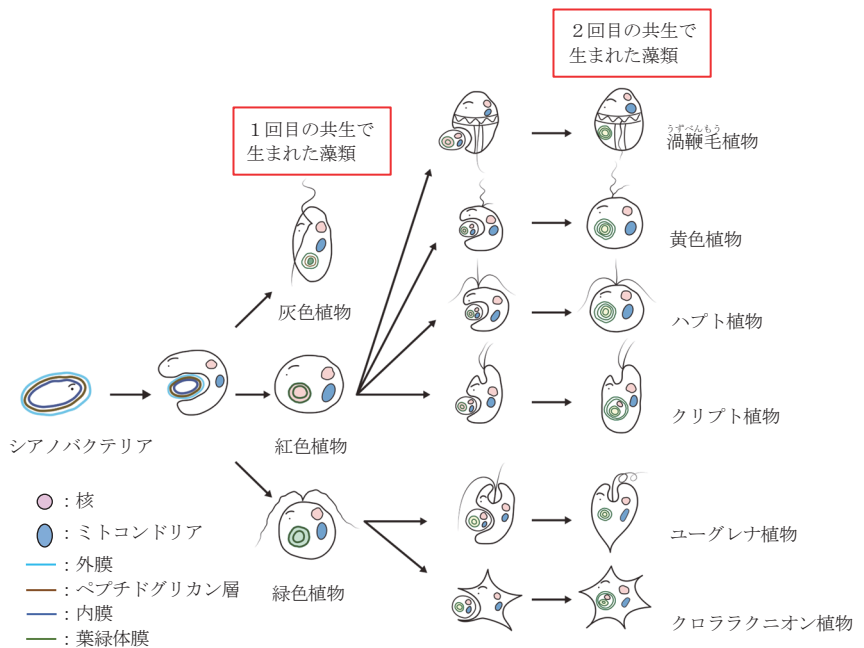
【図5】 電解槽Aと電解槽Bを組み合わせた電気分解装置

問 9 電極 I ~IVでは次の(1)~(4)のいずれかの反応がおきている。どの電極でどの反応がおきているか、解答用紙に番号を記入せよ。ただし、各選択肢は一度しか使用してはいけない。

- (1)  $\text{H}_2$  の気体が発生する。
- (2)  $\text{Cu}$  電極がイオンとなって溶液に溶ける。
- (3)  $\text{Cu}$  が電極に付着する。
- (4)  $\text{Cl}_2$  の気体が発生する。

問 10 電極に生成する物質 ( $\text{H}_2$  ,  $\text{Cu}$ ) の質量[g]を求めよ。 $\text{H}_2$  は割り切れない場合は小数第 4 位を四捨五入して小数第 3 位まで、 $\text{Cu}$  は割り切れない場合は小数第 2 位を四捨五入して小数第 1 位まで求めよ。なお、水素の密度を  $0.000090 \text{ g/cm}^3$  とする。

植物というと「光合成」や「葉緑体」という用語が浮かんでくると思うが、この葉緑体は、もともとは「シアノバクテリア」という、大腸菌と同じ細菌のなかまだったのだ。シアノバクテリアは、光合成色素であるクロロフィルをもつ生物で、先カンブリア時代初期のおよそ30億年前に海洋中出现し、現在も海洋や淡水の至る所に生息している。



【図1】 シアノバクテリアと共生によって生まれたさまざまな植物

さて、シアノバクテリアがどのようにして葉緑体になったのかということ、それは「共生」という現象による。ある生物の細胞内に取り込まれたシアノバクテリアが消化されずにその細胞内にとどまり、共生を経て細胞内小器官である葉緑体になったのである（【図1】）。1回目の共生によって灰色植物、紅色植物、綠色植物が誕生し、さらに、1回目の共生で生まれた紅色植物や綠色植物が、また違う生物に取り込まれて、2回目の共生が起こった。これらの過程を細胞内共生という。細胞内共生によってできた葉緑体の秘密を探っていこう。

問1 シアノバクテリアに関する次の文章内の（①）～（③）に入る語句を記せ。

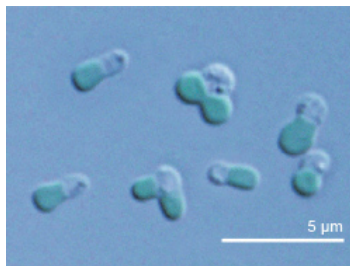
シアノバクテリアは、私たちに酸素だけではなく、鉄ももたらしてくれた生物である。【図2】は、鉄分が多く含まれている層と、生物由来の二酸化ケイ素(SiO<sub>2</sub>)が多く含まれている（①）層が繰り返して堆積してつくられた縞状鉄鉱層である。この地層は、海洋中に溶け込んでいた鉄が、シアノバクテリアの光合成によって放出された（②）と反応し、水に溶けない酸化鉄となることで海底に沈殿したもので19～27億年前に形成された。



【図2】 縞状鉄鉱層

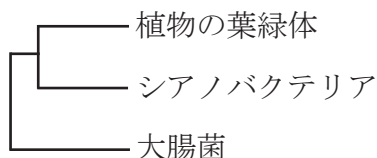
現在、私たちが利用している鉄のほとんどは、この先カンブリア時代に海底に堆積した縞状鉄鉱層が地殻変動によって（③）し、地表に現れたものから採掘されている。

では、どのようにして葉緑体の正体がシアノバクテリアであるとわかったのだろうか？葉緑体は植物の種によって1~5 μm (0.001~0.005 mm) の大きさをしており、細胞内で【図3】のように分裂を行って増える。生物と同じように分裂によって増えることなどから、葉緑体の正体はシアノバクテリアであると予想はされていたが、決定的証拠として葉緑体内にあるDNAの存在があげられる。核とは別に葉緑体内にもDNAが存在し、そのDNAの情報は、現在も水中に生きているシアノバクテリアがもつDNAの情報と似ていたのである（【図4】）。



(提供：国立遺伝学研究所)

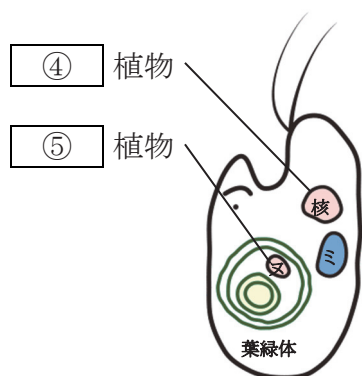
【図3】 *Cyanidioschyzon merolae* (紅色植物) の葉緑体の分裂



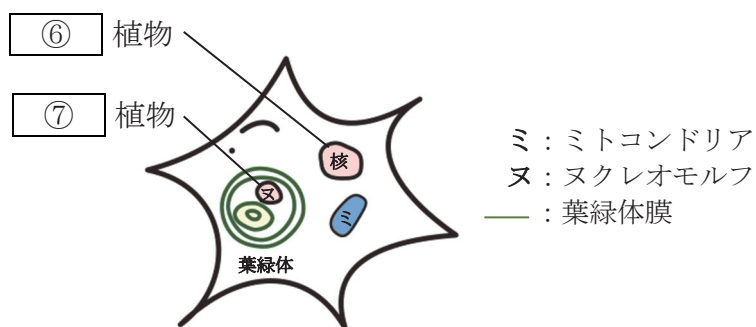
【図4】 シアノバクテリアと葉緑体中のDNAによる系統関係

1回目の共生の後、さらに2回目の共生が起こるのだが、その共生の過程を反映しているのが、【図5】の示しているクリプト植物と【図6】のクロララクニオン植物である。これらももつ葉緑体内には、シアノバクテリアのDNAだけではなく、別の植物の核の名残であるヌクレオモルフという構造体が存在する。このヌクレオモルフにはDNAが残されており、クリプト植物、クロララクニオン植物がもっている核のDNAとは違う植物の情報が刻まれている。

問2 クリプト植物（【図5】）とクロララクニオン植物（【図6】）の核、およびヌクレオモルフのDNAにはそれぞれどの植物の情報が刻まれているのだろうか。【図1】を参考に、下図内の（④）～（⑦）に植物名を記せ。



【図5】 クリプト植物



【図6】 クロララクニオン植物



葉緑体を得て誕生した植物は、まず水中で繁栄した。体が主に緑色である陸上の植物とは異なり、水中に生息している植物は緑色だけでなく紅色や褐色などのものがあり、とてもカラフルである（【図7】）。それら植物の体の色の違いは、葉緑体内で光を吸収する働きを担っている光合成色素の組成が異なるためである（【図8】、【図9】）。

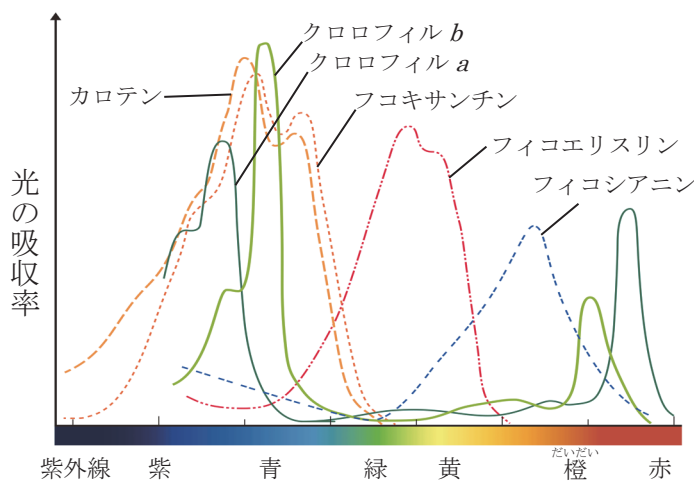


【図7】 さまざまな色の植物

	緑色植物	紅色植物	黄色植物
クロロフィル a	○	○	○
クロロフィル b	○		
カロテン	○		
フコキサンチン			○
フィコエリスリン		○	
フィコシアニン		○	

【図8】 3つの植物がもつ主な光合成色素

図中の色は、それぞれの光合成色素の色を示している。



【図9】 光合成色素が吸収する光と吸収率

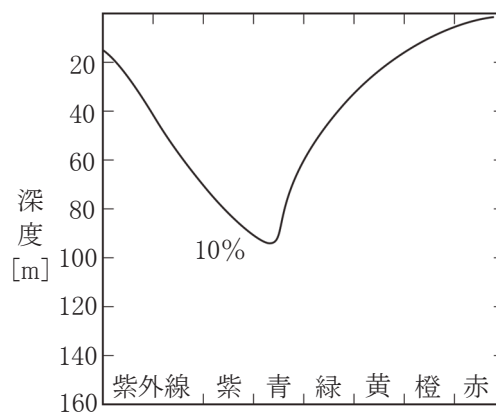
問3 【図7】～【図9】を参考にし、光合成色素に関する次の（ア）～（オ）の文章が正しい場合は○、正しくない場合は×を記せ。

- （ア） 緑色植物（【図7】 a）は、主に赤色光、青色光、そして青紫色光を吸収し、光合成を行っている。
- （イ） 黄色植物（【図7】 b）は、主に赤色光、青緑色光、青色光、そして青紫色光を吸収し、光合成を行っている。
- （ウ） 紅色植物（【図7】 c, d）は、緑色植物や黄色植物が吸収できないような光を吸収することができる。
- （エ） アオサ（【図7】 a）は、吸収できなかった緑色光を反射しているため体の色が緑色である。
- （オ） コンブ（【図7】 b）は、<sup>とろ</sup>橙色光と黄色光を多く吸収しているため体の色が褐色である。



植物に含まれる光合成色素の量や種類の違いは、それぞれの植物が生息している場所の違いを反映している。例えば、緑色の体をしているマツノリ（【図7】d）は、体の色から緑色植物に思えそうであるが、紅色植物のなかまである。これは、紅色植物がもつ赤色の光合成色素であるフィコエリスリンの量の違いによるものである。他の光合成色素よりフィコエリスリンの量が多いとユカリ（【図7】c）のように体は紅色になり、少ないとマツノリ（【図7】d）のように体が緑色になる。

問4 ユカリ（【図7】c）とマツノリ（【図7】d）では、どちらの方が水中のより深いところに生息するのに適しているだろうか。また、どうしてそのように考えたのか、【図7】～【図10】を参考にして説明せよ。

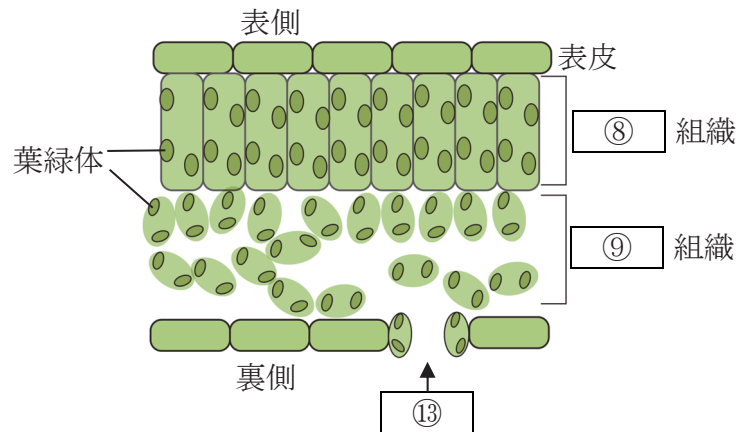


【図10】 海洋中における波長ごとの光の透過率  
透過率が10%になる水深を線で結んでいる。  
(井上 (2006) を改変)

問5 細胞内共生によって水中には多くの植物の種が誕生したが、陸上へ進出した植物は緑色植物だけである。この陸上植物に関して次の（ア）～（オ）の文章のうち**適当でないもの**を全て選べ。

- （ア） 陸上植物は、主に赤色光、青色光、そして青紫色光を吸収して光合成をしている。
- （イ） 陸上植物には、コケ植物、シダ植物、裸子植物、被子植物が含まれる。
- （ウ） 陸上植物の体は共通して、根、茎、葉の3つの器官から成り立っている。
- （エ） 水中では周囲に存在する水を吸収していたが、すべての陸上植物は地中から水を吸収するための維管束を発達させた。
- （オ） コケ植物とシダ植物は孢子によって、裸子植物と被子植物は種子によって子孫を残す。

問6 【図 11】は陸上へ進出した植物が獲得した器官である葉の断面図である。下の文章内の（ ⑧ ）～（ ⑭ ）に入る語句を記せ。

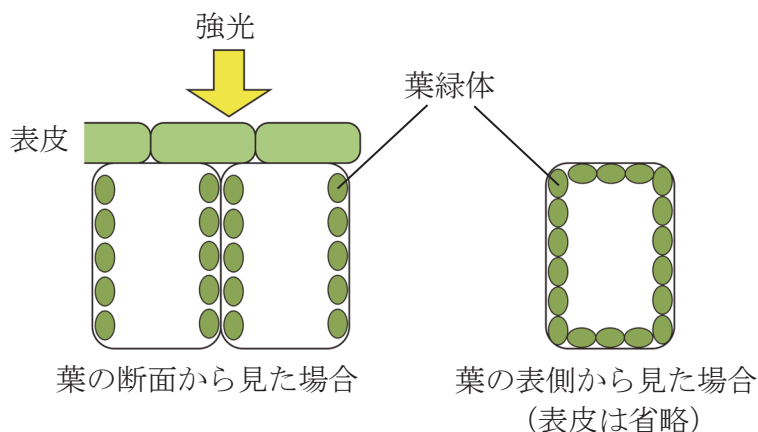


【図 11】 葉の断面図

葉には、表皮下に細長い細胞がきれいに整列して構成されている（ ⑧ ）組織，その下部に形のそろっていない細胞が色々な方向を向いて構成されている（ ⑨ ）組織，そして，主に裏側の表皮中に，光合成や呼吸に関わる（ ⑩ ）や（ ⑪ ）の気体の出入りや，根からの水の吸収を促進する（ ⑫ ）を行う（ ⑬ ）が存在する。

この葉の構造は，陸上植物の葉緑体内に多く含まれている光合成色素が吸収しづらい緑色光を少しでも多く吸収するために工夫されたものになっている。光が葉の表側から内部に入ると，まず（ ⑧ ）組織内では光は曲がらずに直進する。ここで陸上植物の光合成色素によって赤色光と青色光のほとんどが吸収され，吸収されなかった緑色光は（ ⑨ ）組織へ届く。（ ⑨ ）組織では，細胞が不規則に並んでおり，また細胞間にはたくさんの隙間（細胞間隙<sup>かんげき</sup>）が存在する。細胞は液体，細胞間隙は空気で満たされているため緑色光はそれらの境目に達するたびに（ ⑭ ）をする。そのため，緑色光の進む道である光路は葉内で散乱し，多くの細胞内を通過するチャンスが高まり，そして，葉緑体に出会うチャンスも高まる。その結果，（ ⑨ ）組織に届いた緑色光は光合成色素によってより有効に吸収される。

葉では、吸収した太陽からの赤色、青色、そして緑色などの光を効率よく吸収する工夫をしているが、光の量が増えれば増えるほどよいかというとそうではない。光の量が多すぎると光合成で使いきれなくなってしまう、余った光のエネルギーによって細胞が傷つけられてしまうことがある。そのため、強い光が照射された場合、葉を構成する組織の細胞内に存在する葉緑体は、【図 12】のように光の当たりにくい側面に移動して、吸収する光の量を調整する工夫をしている。



【図 12】 強い光が照射されたときの細胞内の葉緑体の位置

問 7 光の照射が弱いとき、細胞内の葉緑体はどこへ移動するだろうか。解答用紙の葉緑体内部を塗りつぶし、弱光時の葉緑体の位置を示せ。

葉緑体は光によって栄養をつくる光合成ができるため、とても便利な細胞小器官に思える。しかし、その便利な葉緑体を獲得したにもかかわらず、光合成の能力を使わなくなった生物が存在する。例えば、ヒトにマラリアという病気をもたらすマラリア原虫である。他の生物から栄養を得る「寄生」という生活様式を選んだマラリア原虫の細胞内には、葉緑体から光合成能力が失われたアピコプラストという細胞小器官が存在する。このアピコプラストは、葉緑体がになっていた機能の全てを失っておらず、マラリア原虫が生きていくために必要な機能が残されている。そのため、マラリアに対する薬の開発においては、アピコプラストに残された機能を攻撃する薬剤の研究が進められている。

問 8 アピコプラストを攻撃する薬剤は、マラリアの治療薬としてどのような点が期待されているのか説明せよ。

私たちの暮らしや地球を守り、豊かで幸せな未来をつくるために、今あるいろいろな問題を解決し、誰もが安心して満足した暮らしができるように、2015年に、国際社会共通の目標SDGs（Sustainable Development Goals 持続可能な開発目標）が定められた。SDGsは17のゴール（目標）と169のターゲット（具体目標）からなり（【図1】）、2030年までに、私たちはこれらの目標をすべて達成することをめざしている。毎日水を飲むたびに、世界には、安全な水が容易に手に入らない人がいることを思い出したり、夜、家で明かりをつけたとき、このエネルギー資源は、実は限りがあるのだということを意識したりすることが求められているのである。

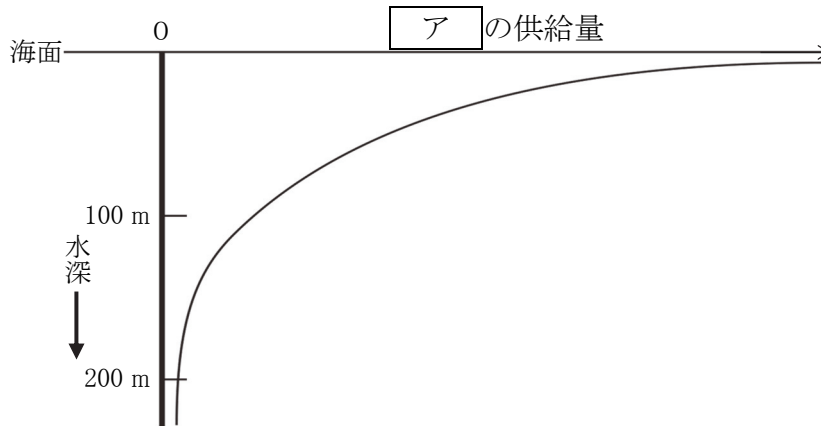
ここではSDGsに関連した問題に挑戦し、みなさんも私たちの地球や地球を取り巻く宇宙に、より一層関心を深めてほしい。



【図1】 SDGs（世界を変えるための17の目標）のマーク

問1 目標14「海の豊かさを守ろう」について考えるときに、現状を把握し、それに基づいて地球温暖化により、海の豊かさがどのように変化するかを考察することが大切である。ここでは、海と生物の関わりについて考察しよう。

(1) 日光は三陸沖の漁場では水深200 m付近までしか届かない。【図2】は水温を一定としたときの植物プランクトンの単位時間あたりの（例えば1分あたりの）光合成量をグラフに表している。横軸を表す「ア」に入る用語を答えよ。



【図2】 水深と単位時間あたりの光合成量の関係

(2) 光合成に必要な養分（栄養塩という）は、200 mより浅い水深では、光合成に使われてしまい、どこから補給がないとやがて栄養塩が不足して光合成ができなくなる。このため、冬期に海面が冷やされて対流が起きることが重要になってくる。

① 対流が起きるとなぜ栄養塩が補給されるのか、その理由を答えよ。

② ①の補給源に栄養塩が豊富に存在する理由を答えよ。

(3) 温暖化が進むとプランクトンの供給が減少することが心配されている。(2)に関連してその理由を答えよ。

(4) 北極海の水温が上昇すると、今までベーリング海にすんでいたシロザケ（ふだん私たちが食べている鮭）が北極海に進出するといわれている。その理由を考えよ。ただし、次の単語を最低1回は使うこと。

変温動物

問2 目標7には、「すべての人々に環境にやさしいエネルギーを届けること」が掲げられている。では、環境にやさしいエネルギーとはどのようなものだろうか。そもそも、私たちはどのようにして、日常生活を営むためのエネルギーを手に入れているのだろうか。

(1) 環境にやさしいエネルギーに対して、石炭や石油、天然ガスなどは、大昔の動植物の遺骸<sup>がい</sup>が長い年月をかけて姿を変えたものと考えられており、限りある資源である。このような大昔の動植物に由来する資源をまとめて何と呼ぶか、漢字4文字で答えよ。

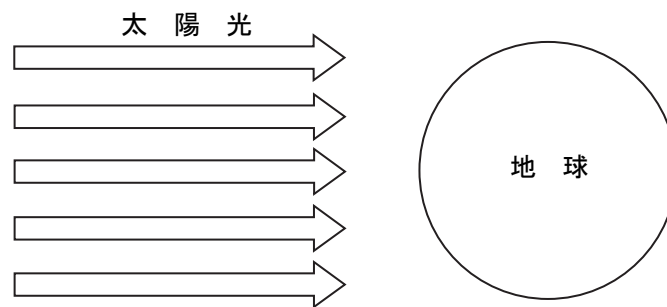
(2) 太陽から地球に届くエネルギーは環境にやさしいエネルギーである。そして、様々な発電方法にも関係している。次の(a)～(f)のうち、太陽から地球に届くエネルギーが無くなると、行えなくなる発電方法をすべて選び、記号で答えよ。

- (a) 火力発電            (b) 水力発電            (c) 原子力発電  
(d) 風力発電            (e) 地熱発電            (f) 潮汐発電

次に、太陽から地球に届くエネルギーについて、より詳しく考えてみよう。ただし、太陽から地球に届くエネルギーの量(熱量)は、地球の大気圏<sup>けん</sup>外において、太陽光に垂直な1 m<sup>2</sup>の広さに対して1.37 kW であるとする。

(3)① 太陽から地球に届くエネルギーの総量を計算してみよう。地球を半径 6378 km の球だと考えると、1秒間に太陽から地球に届くエネルギーの量は、約  kW になる。この  に入る数字は、3桁の整数の数字  の後に、「0」が  個続く。この ,  に入る整数を答えよ。なお、円周率には3.14を用い、計算過程も書け。

- ② 1 g の水の温度を 1℃ 上昇させることができるエネルギー量は 4.18 J である。地球が大気圏外で、1 分あたりに 1 m<sup>2</sup> の広さで受け取る太陽からの平均のエネルギーの量は、1 kg の水の温度を何℃ 上昇させることができるか、求めよ。なお、答えは 3 桁の数字で答え、計算過程も示せ。ただし、太陽と地球の間の距離は極めて長いため、太陽からのエネルギーを運ぶ太陽光は、【図 3】のように平行に地球に降り注いでいると考えてよい。



【図 3】 地球に届く太陽光の模式図

問 3 目標 11「住み続けられるまちづくりを」の目標の一つとして、災害に対する強靱さ<sup>きょうじん</sup>を目指すためには、地震や津波などの災害を引き起こす現象に対する理解を深めて備えることが重要となる。地震の揺れは、通常、小さな揺れが続いたあとに大きな揺れが始まるが、これは P 波と S 波の伝播速度<sup>でんぱ</sup>の差によるものである。大きな地震が起こったときに、①大きな揺れが予想されることを直前に知らせる緊急地震速報は、この P 波と S 波の伝播速度に差があるという性質を利用している。

大きな地震が海底で起きると、津波が発生することがある。地震が、例えば沖合 100 km 程度の近海（平均水深 400 m とする）の海底で起こった場合には、津波は、20～30 分程度で海岸にまで到達する。震源の位置によっては、5 分程度で津波に襲われる<sup>おそ</sup>可能性もあり、海岸近くで揺れを感じた場合には、ただちに避難する行動をとらなければならない。②津波が伝わる速さは水深による（水深の平方根\*に比例する）ので、水深の変化によって、津波にともなう潮位変動（海水面の上下変動）が増幅されることがある。

津波を起こす最も一般的な原因は海底の地震だが、その他に、火山噴火や沿岸の山崩れなどによって発生することもある。2022 年 1 月 15 日には南太平洋のトンガにある火山の大規模噴火にともなって津波が発生した。③トンガから遠く 8000 km 離れた日本の太平洋沿岸でも津波と似た大きな潮位の変動が観測されたが、このときの潮位変動は、津波の伝播速度から考えられる時間より 2 時間も早く観測された。津波が海を伝播してきたのではなく、噴火にともなう空気の大変動が大気中を音速で伝播し、日本近海で海面の変動を引き起こしたのだと考える専門家もいる。

\* 2 乗して a になる数を a の平方根という。例えば、4 の平方根は 2、10 の平方根は約 3.2 となる。



(1) 「小さな揺れのあとに大きな揺れが始まる」という現象は、P波とS波の伝播速度に違いがないとしても、地震の発生時にはP波が発生した後に遅れてS波が発生すると考えることによって説明することもできる。しかし、いくつかの観測点でのデータを比較すると、この考えでは説明ができないことがわかる。どのような観測事実を説明できないのかを答えよ。

(2) 下線部①について、緊急地震速報では、地震の規模や震源を推定し、強い揺れが起こることを予測している。どのようにして、実際に起こる前に予想しているのか、そのしくみを説明せよ。

(3) 下線部②について、津波の伝播速度は伝わる海域の水深によるため、水深の変化によって、波のエネルギーが狭い領域に集中して、波高が<sup>はこう</sup>高くなることがある。水深が浅い海岸付近では、津波の速さと高さはどのようになるか。次の(a)～(e)の中から選べ。

- (a) 速くて高くなる
- (b) 速くて低くなる
- (c) 遅くて高くなる
- (d) 遅くて低くなる
- (e) 変わらない

(4) 津波がトンガから日本まで海（平均水深 4000 m とする）を伝播してくると、どれくらいの時間がかかると考えられるか。本文中の数値を使いながら計算過程を示し、答えは次の中から最も近いものを選べ。

100 時間	48 時間	24 時間	10 時間	3 時間
--------	-------	-------	-------	------

(5) 次の(a)～(f)にある6つの速度について、速い順に記号で並べよ。

- (a) P波の速度
- (b) S波の速度
- (c) 大洋での津波の速度
- (d) 沿岸での津波の速度
- (e) 空気中の音速
- (f) 光の速度

ただし、「大洋」は水深 4000 m, 「沿岸」は水深 400 m の場合で考えよ。





次の問に答えなさい。

- 問1** 1 から 10 までの自然数から異なる数を 5 個選び、和が 11 になる 2 つの数が含まれないようにしたい。たとえば,  $\{1, 3, 4, 5, 9\}$  に含まれるどの 2 つの数を足しても 11 にはならない。そのような 5 つの自然数の組合せは何通りあるか。
- 問2** 1 から 10 までの自然数から異なる数を 6 個選ぶと、その中には和が 11 になる 2 つの数が含まれることを説明しなさい。
- 問3** 1 から 100 までの自然数から何個以上の異なる数を選べば、その中に必ず和が 102 になる 2 つの数が含まれるようになるか。その個数の最小値を理由とともに答えなさい。



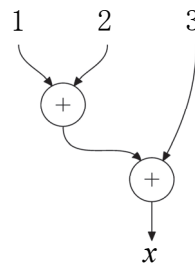
式を計算するときには、適切な順序で演算を実行する必要がある。例えば、以下の式を考えよう。

$$x = (1 + 2) + 3 \cdots \text{(式1)}$$

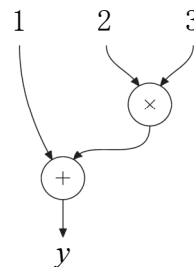
$$y = 1 + (2 \times 3) \cdots \text{(式2)}$$

(式1) を計算するには、まず  $1 + 2$  の演算を実行して、次にその答えに  $3$  を足す。(式2) を計算するには、まず  $2 \times 3$  の演算を実行して、次にその答えに  $1$  を足す。

ここで、「計算ネットワーク」について考えてみよう。「計算ネットワーク」とは、演算の順序を図で表したものである。例えば、(式1) と (式2) の計算ネットワークはそれぞれ【図1】と【図2】のように表せる。



【図1】

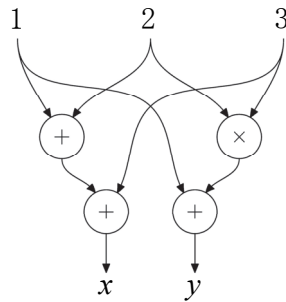


【図2】

計算ネットワークは次のルールにしたがって描く。

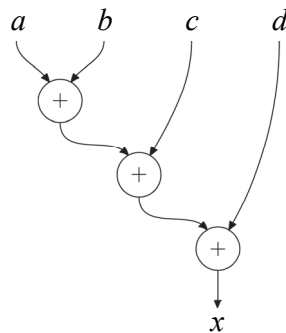
- 図の一番上に計算式の入力となる値または記号を書く ((式1) では1と2と3)。  
また、図の一番下に計算式の出力の記号を書く ((式1) ではx)。
- 演算は丸で囲んで書く。演算には、四則演算 (+, -, ×, ÷) に加えて、後述する演算<?>が利用できる。四則演算は入口が2つあり出口が1つある。ただし、式で左側に位置する値が左上から入るようにする。演算<?>では入口が2つあり出口も2つある。
- 入力と演算、演算と演算、演算と出力を矢印で結ぶ。入力や演算から複数の矢印が出てよい。矢印は交差してもよい。

計算ネットワークでは、複数の式を同時に描くこともできる。例えば、(式1)と(式2)の両方を表す計算ネットワークは、【図3】のように描ける。



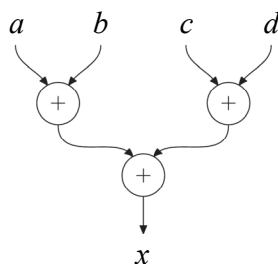
【図3】

問1 以下の【図4】に示す  $x = ((a + b) + c) + d$  の計算ネットワークを参考にして、 $x = a + (b + (c + d))$  の計算ネットワークを描け。



【図4】

【図5】に  $x = (a + b) + (c + d)$  の計算ネットワークを示す。【図4】と【図5】の計算ネットワークの形状は異なるが、同じ値が入力された場合に出力される値は最終的に等しくなる。このように、同じ値を出力する計算ネットワークは複数ありうる。



【図5】

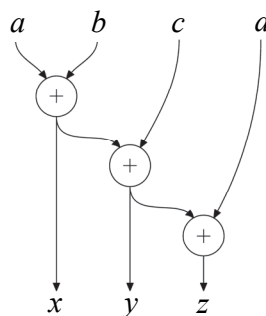
計算ネットワークの形状を比較できるように、計算ネットワークの「高さ」を次のように定義する。

計算ネットワーク中の入力と出力を結ぶすべての経路について、それら経路上に出現する演算の個数の最大値を、その計算ネットワークの「高さ」と呼ぶ。

例えば【図4】では、入力  $a$  と出力  $x$  を結ぶ経路上に演算が3つあり、これが最大なので、【図4】の計算ネットワークの高さは3である。【図5】では、入力と出力  $x$  とを結ぶすべての経路上に演算が2つあるため、【図5】の計算ネットワークの高さは2である。

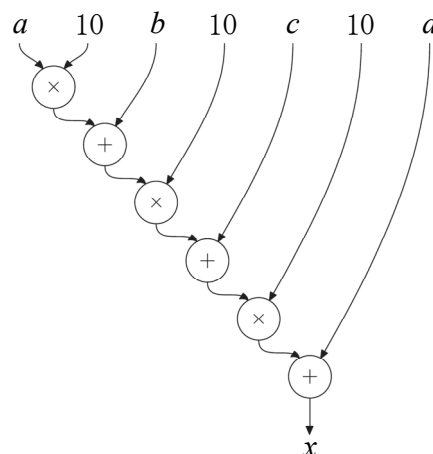
問2  $x = ((a-b)-c)-d$  と同じ値を出力するような、高さ2の計算ネットワークを描け。ただし、 $-$ 以外の演算も用いてよい。

問3 以下の【図6】に示す計算ネットワークと同じ値を出力するような、高さ2の計算ネットワークを描け。



【図6】

問4 入力  $a, b, c, d$  (ただし、これらには1桁の数が入るとする) に対して、それらを並べたものを10進数として読んだ数を出力  $x$  とする式を考える。例えば、入力が  $a=4, b=3, c=1, d=5$  のとき、 $x=4315$  となる。この計算を行う計算ネットワークのひとつを【図7】に示す。同じ値を出力するような、高さが5以下の計算ネットワークを描け。ただし、入力には【図7】と同じように  $a, b, c, d$  とそれらの間に置いた10だけが利用できる。



【図7】

