



第6回 科学の甲子園ジュニア 全国大会

筆記競技

平成30年12月8日

注意事項

- 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。
- 問題冊子はこの表紙以外に2ページから27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。
- 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。
- 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。
- 問題冊子は競技終了後回収します。
- 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。
- 競技においては、チームのメンバーと話し合って解答して構いません。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。
- 筆記用具以外の道具（電卓、三角定規、思考用教具）は、配付されているものを使用してください。
- 図書および携帯電話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。
- 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。
- 「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。
- 本競技の第1位と第2位のチームには表彰があります。得点が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	
-------	--	-----------	--

工作に使った豆電球の余りがありました。手にとってよくみると、電球の根元分には、 $2.5\text{V}/0.3\text{A}$ という表記があります。これは、この豆電球を 2.5V の電源につないだ時に、 0.3A の電流が流れるように作られていることを意味しているそうです。

豆電球をルーペで観察すると、コイル状の電線がつながっていました。豆電球について調べてみると、コイル状の電線はタンゲステンという金属でできたもので、フィラメントと呼ばれています。豆電球はフィラメントに電気を流して電流による発熱で高温になったフィラメントが発する光を利用した白熱電球の一種であることが分かりました。



【写真 1】 豆電球とフィラメント

次の問1～問5に答えなさい。

問1 【写真1】に示した豆電球は、 2.5V で点灯した時に、 0.3A の電流が流れるように設計されています。このときの豆電球の消費電力と、豆電球の抵抗値（設計値）を求めなさい。

豆電球について、もう少し調べたくなって、テスターで抵抗を測定したら、 1Ω でした。テスターで測定した抵抗値が豆電球に書いてある電圧と電流の値から計算した問1の結果と大きく食い違ったのを不思議に思いました。

先生に質問すると、「テスターの抵抗測定の仕組みは、テスターが電源（電池）と電流計を兼ねていて、テスターからある電圧を出した時の電流値から抵抗を求めているんだ。テスターから出ている電圧が 1V よりはるかに小さいことが原因かもしれない。」とヒントを下さいました。

そこで、豆電球にかける電圧を変えながら、電流値を測定してみました。

問2 豆電球にかける電圧を変えながら、そのときの電流値を測定したところ、【表1】のような結果となりました。測定時の室温は30°Cでした。以下の(1)～(5)に答えなさい。

【表1】豆電球の電圧と電流

電圧 (mV)	0	1.0	2.0	5.0	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0
電流 (mA)	0	1.34	2.67	6.69	13.4	26.4	39.0	51.0	62.1
電圧 (mV)	60.0	70.0	80.0	90.0	100	125	150	175	200
電流 (mA)	72.2	81.5	89.8	97.4	104	118	128	135	140
電圧 (mV)	300	500	1000	1500	2000	2500	3000		
電流 (mA)	151	165	210	251	288	321	351		

- (1) 【表1】の測定結果を使って、豆電球に加えた電圧が0 mV から 50 mV の範囲で、電圧（横軸）と電流（縦軸）の関係を表すグラフを書きなさい。
- (2) 【表1】の測定結果を使って、豆電球に加えた電圧が1 mV から 50 mV の範囲で、電圧を横軸に、それぞれの電圧をかけたときの抵抗値を縦軸にしたグラフを書きなさい。
- (3) 豆電球に加えた電圧を小さくしていって、限りなく 0 mV に近づいたときの豆電球の抵抗値を推測して、理由とともに記しなさい。
- (4) 【表1】の測定結果を使って、豆電球に加えた電圧が0 mV から 3000 mV の範囲で、電圧（横軸）と電流（縦軸）の関係を表すグラフを書きなさい。ただし、電圧が0～200 mV の範囲は、50 mV おきに点をとること。
- (5) 豆電球を 3 V で点灯したときの抵抗値は、室温 30°C で豆電球に電流を流さないときの抵抗値の何倍であるかを求めなさい。

問2の結果から豆電球にかけた電圧と電流のグラフを見ると、電圧が小さい時は抵抗値がほぼ一定だけれども、電圧が高くなると抵抗値が大きくなることが分かります。

白熱電球が発光するときフィラメントが高温となることを考えると、発光しているフィラメントの抵抗は、室温より大きくなっていることになります。

そこで、タングステンの抵抗が温度によってどう変化するかを示すデータを探したところ、表2のようなデータが見つかりました。

【表2】断面積1平方mm、長さ1mのタンクスチーン棒の抵抗 単位:Ω

温度 (°C)	30	200	400	600	800
抵抗 (Ω)	0.0563	0.0992	0.153	0.211	0.270
温度 (°C)	1000	1200	1400	1600	1800
抵抗 (Ω)	0.331	0.394	0.459	0.524	0.591
温度 (°C)	2000	2200	2400	2600	2800
抵抗 (Ω)	0.659	0.728	0.800	0.872	0.947

問3 豆電球のフィラメントの断面は円形で、直径は0.03mmでした。フィラメントの線の長さをミリメートル単位で求めなさい。ただし、円周率を3.14とします。

問4 【表2】のデータを使って、断面積1平方mm、長さ1mのタンクスチーン棒の抵抗値について、横軸を温度、縦軸を抵抗値にしたグラフを描きなさい。

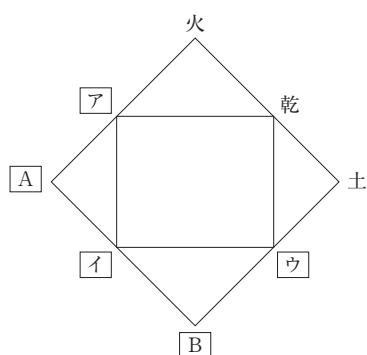
問5 豆電球を3Vで点灯したときのフィラメントの温度を求めなさい。どのようにして求めたかも説明して下さい。

世の中のすべての物質は目に見えない小さな粒子からできている。この小さい粒子のことを原子とよんでいる。また物質を構成する原子の種類を元素といい、H, C, Oなどの原子の種類を表す記号を元素記号という。原子は粒に注目した名称なので、その数は1個、2個…と数えるのに対して、元素は種類に注目した名称なので、その数は1種類、2種類…と数える。水素や酸素などの多くの物質では、原子が1個ずつばらばらに存在するのではなく、いくつかの原子が結びついてできた粒子が単位となっている。この粒子のことを分子という。

現在では当たり前のこととなったこれらの事項も、数多くの科学者の探究により明らかになったものである。今日はこの探究の歴史をひも解いていこう。

古代ギリシャ時代には哲学者のアリストテレス（前384～前322）が四元素説を唱えた。

私は哲学者アリストテレスです。私が考えた四元素説は、この世界の物質は、火・水・土・空気の4つの基本的な「元素」と、熱・冷・乾・湿の4つの基本的な「性質」の組み合わせからなるという考え方です。これらの「元素」と「性質」を相反する性質が正方形の対角線に位置するように表すと【図1】のようになります。私は4つの「元素」はそれぞれ両側にある「性質」を特に強く持っていると考えています。例えば、火は熱くて乾燥しており、空気（注：ここでいう空気は現在の大気というよりも水蒸気という方がアリストテレスのイメージに近いだろう）は熱くて湿っているのです。私の考えた四元素説は、後の時代には物質に何かの作用を加えると性質が変化する（つまり物質が変わる）とする鍊金術の理論的支柱になりました。すごいでしょう。



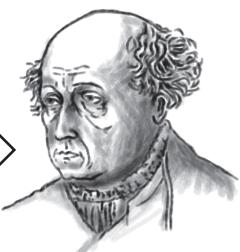
アリストテレス

【図1】アリストテレスの四元素説

問1 図1の [A], [B] には、四元素のうち「火」「土」以外の水・空気のいずれかが、
 [ア]～[ウ] には、4つの性質のうち「乾」以外の熱・冷・湿のいずれかがあてはまる。
 アリストテレスの発言を参考にして、それぞれの [] に最も適した語句を答えよ。

アリストテレスの四元素説に対して、16世紀ごろにドイツなどで活躍した医者であるヴァン・ホーエンハイム・パラケルスス（1493～1541）が新たに考えたのが三原質説である。

私は三原質説を提唱しました。三原質説とはすべての物質はその素となる「硫黄」・「水銀」・「塩」という3つの原質からできているという考え方です（注：パラケルススのいう三原質は、現在の硫黄、水銀、塩を意味するものではなく、物質の中にあって物質を有する状態にするもので、「硫黄」は可燃性〔燃えやすいという性質〕、「水銀」は流動性〔常温では液体の状態で、形を変えやすいという性質〕と揮発性〔沸点が低く蒸発しやすい性質〕、「塩」は不揮発性〔沸点が高く蒸発しにくい性質〕と不燃性〔燃えにくいという性質〕を代表するものだとした）。私は医師なので、この三原質の不均衡によって人間は病気になるから、その治療には化学物質を薬にすればよいと考えているのです。この考え方には、治療には薬草を使うという考え方を大きく変えるものでした。だから私は「医科学の祖」と呼ばれています。えっへん。



パラケルスス

問2 三原質説に基づいて、「硫黄」、「水銀」、「塩」の性質によってア～ウの物質を分類したとき、「水銀」に分類されるものはどれか。記号で答えよ。

ア：石英 イ：砂糖 ウ：水

17世紀になると実験が重要視されるようになり、イギリスのロバート・ボイル（1627～1691）が活躍した。

私は『懷疑の化学者』（1661年）、『形相と質の起源』（1666年）という本で四元素説や三原質説を否定しました。私は、すべての物質には実験によってそれ以上単純なものに分けられない微粒子としての共通した同じ「元素」があると考えています。この「元素」がたくさん集まつてはじめて目に見える物質をつくり、「元素」の運動と配列が全ての物質の性質を決めるのではないでしょうか。例えば、鉄と金の違いは「元素」の配列の違いによるものであり、配列を変えれば鉄を金に変えることができると考えています。でも結局は鉄を金に変えることはできませんでした。グスン（涙）。



ボイル

問3 ボイルの「元素」についての考え方は、現在とどのように異なっているか。鉄と金の違いを例にして説明せよ。

17世紀後半には燃焼のしくみが問題となった。ドイツのゲオルク・エルンスト・シュタール（1659～1734）は、「すべての可燃物はフロギストンを含んでおり、燃焼とはフロギストンが空気中に放出されることである」とした。これをフロギストン説という。

私はフロギストン説を提唱しました。炭を燃やすと灰になるのは、物質に含まれるフロギストンが放出されるからで、放出したフロギストンの分だけ質量が小さくなつて灰が残ります。これは、「炭 → 灰 + フロギストン」と表されますね。また、密閉した容器中では物質の燃焼が途中で終わってしまうのは、一定量の空気は一定量のフロギストンしか吸収できないため、空気がフロギストンで飽和されると燃焼は止まるからです。このように多くの化学現象は、私が考えたフロギストン説でうまく説明できるのです。でも困っていることもあります、①金属は燃焼すると金属灰ができることはフロギストン説ではうまく説明できないのです。だれか説明してくれませんか？



シュタール

問4 下線部①にあてはまる化学反応の例を一つ、化学反応式で書け。

なお、化学反応式の書き方については、必要ならば下記の記述を参考にせよ。

化学反応式とは化学式を使って化学反応を表したものである。例えば、「水素が燃焼すると、酸素と化合して水が生じる」という反応は化学反応式で表すと、



となる。これは、「2個の H_2 が1個の O_2 と反応して、2個の H_2O が生成した」ということを表している。このとき、矢印（→）の左側にある物質と右側にある物質で原子の数が等しくなっている（H原子は4個ずつ、O原子は2個ずつ）ことが大事なポイントである。

現在では燃焼とは酸素との化合であることが知られているが、当時は「酸素」という気体が発見されておらず、大気は「空気」という単一の気体のみからなると考えられていたので、フロギストン説は広く受け入れられていた。その後時代が進むにつれて、様々な気体が発見されたが、当初は「～空気」という名前で呼ばれていた。

問5 次の(1)～(4)の科学者が発見したと主張している気体について、発言を参考にしながら現在使われている適切な名称で答えよ。

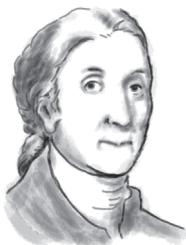
(1) スコットランドの科学者 ジョセフ・ブラック (1728～1799)

私は1756年に固定空気を発見しました。この気体は石灰岩を加熱したり、炭酸カルシウムに酸を加えたりすると発生します。この気体は空気よりも重く、この気体中では物が燃えることはないし、生物が生きることもできません。



ブラック

(2) イギリスの科学者 ヘンリー・キャベンディッシュ (1731～1810)



キャベンディッシュ

私はとうとう1766年にフロギストンを発見しました！ 亜鉛、鉄などの金属を酸に浸すとこの気体は発生します。この気体は軽く、よく燃えます。この気体を金属灰に通しながら加熱すると元の金属に戻るのです。これは金属から酸によって追い出されたフロギストンに違いありません。

(3) スコットランドの科学者 ダニエル・ラザフォード (1749～1819)

私は1772年にフロギストン化空気を発見しました。まず、密閉した箱の中で火が消えるまで物質を燃焼させました。その後、残った気体をブラックが発見した固定空気を吸収する溶液に通しました。そして得られた気体の中では物質は燃焼せず、またその中でハツカネズミは生きることができませんでした。これは、固定空気を取りのぞいた残りの気体中には飽和状態のフロギストンが残っているから物質が燃焼しないのだと考えて、これをフロギストン化空気と名付けました。



ラザフォード

(4) イギリスの科学者 ジョセフ・プリーストリー (1733～1804)



プリーストリー

私は1774年に脱フロギストン空気を発見しました。私はレンズでいろいろなものを加熱したのですが、水銀灰を高温で熱するとこの気体が得られました。この気体を集めて火のついたロウソクを入れると、ロウソクの炎がすごく大きくなったのです！ この気体はフロギストンを強力に引き込んでいる、つまりフロギストンがない状態にある気体なので、これを脱フロギストン空気と名付けました。

このように空気が単一の物質ではなく、混合物であることは徐々に明らかになってきたが、フロギストン説を否定し、燃焼とは酸素と化合することだという正しい結論を導き出したのはフランスの科学者アントワーヌ・ラヴォアジエ（1743～1794）であった。

私は金属が燃焼するとその質量が大きくなるのは、フロギストンが出ていくのではなく、何かがくっつくのではないかと考えて、金属のスズを用いて次の実験を行いました。

- ① スズの質量をはかったところ、a [g] であった。
- ② このスズを密閉した容器に入れて、容器ごと質量をはかったところ、b [g] であった。
- ③ 加熱して完全にスズをスズ灰にして容器ごと質量をはかったところ、c [g] であった。
- ④ ここで容器の口を開けると、シュッと音がして空気が容器内に入ったので、この状態でまた容器ごと質量をはかったところ、d [g] であった。
- ⑤ 容器から取り出したスズ灰の質量をはかったところ、e [g] であった。

この実験から空気の中の何か（実際は酸素とスズが結合したのだが、空気が酸素と窒素の混合物であることはこの段階ではまだわかっていない）とスズが結合したこと、さらに質量保存の法則が見いだせたのです。



ラヴォアジエ

問6 次の(1), (2)について、適切なものをそれぞれア～オから一つ選び記号で答えよ。

(1) 質量保存の法則を表す式

ア $a=c$ イ $b=c$ ウ $c=d$ エ $a=e$ オ $b=d$

(2) a [g] のスズに結合した酸素の質量 [g] を表す式

ア $b-a$ イ $a-c$ ウ $b-c$ エ $e-a$ オ $d-e$

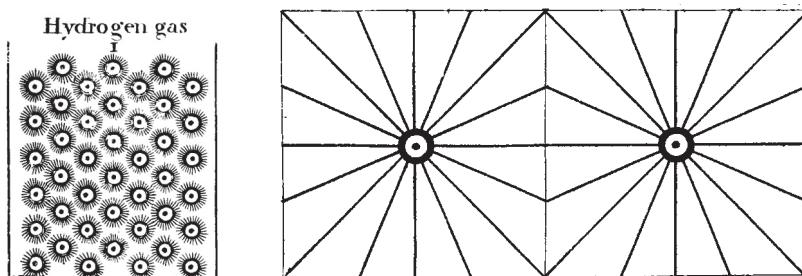
ラヴォアジエの業績はこれだけではない。天秤を利用した正確な質量測定の方法を武器として様々な実験を行い、空気が混合物であることや、水を熱分解して水素を取り出して水が元素ではないことを明らかにしたり、これらの結果をもとに「水素」や「酸素」、「酸化～」という名称を考え出したりした。現在まで通じる「元素」の概念を確立したのは彼の業績である。彼は「近代化学の父」と呼ばれている。

ラヴォアジエが「元素」の概念を確立した人物なら、「原子」の概念を確立したのは1766年にイングランドで生まれたジョン・ドルトン（1766～1844）である。彼はたぐいまれなる粘り強さときちょうめんさの持ち主であり、21歳で気象観測に興味を持ち、実に57年間1日も休まずに観測結果を記録し続けた。そして気象の研究から大気の性質を調べ始め、物質を細かくしていくとどこかでこれ以上分割できない最小の粒子になるのではないかと考え、これを「原子」と名付けた。

私は、気象観測を通して、窒素と酸素では酸素のほうが重いのに、どの高度で空気を採取してもその組成が同じことに疑問を持ちました。本来なら地表に近い場所のほうが重い酸素の割合が多くなるはずではないでしょうか？そこで、気体は^②【図2】の左の図のように空間にぎっしり目に見えない大きさの原子が詰まつていて、周りにとげのよう熱をまとい、同種の原子は反発する（だから低いところには酸素が集まらない）と考えました。



ドルトン



【図2】ドルトンが考えた気体としての水素(左)と2個の水素原子(右)

そして私は1808年に原子についての考えを『化学哲学の新体系』という本にまとめたのです。この本の内容をまとめると次のようにになります。

- ・すべての物質は原子とよばれる小さな粒子から成り立っている。
- ・原子には多くの種類があり、それぞれ質量が異なっていて区別できる。
- ・化合物は異なる原子が一定の割合で結合してできる。
- ・化学反応は、原子と原子の結合の仕方が変化するだけで、新たに原子が生成したり、消滅したりすることはない。

気体を冷やして固体にすることのできる現在では、下線部②のように原子は空間にぎっしり詰まっているのではなく、空間はスカスカであることがわかっている。気体の粒子は熱運動のエネルギーにより、スカスカの空間をとてつもないスピードで飛び回っているのである。では空気をすべて固体にすると、その体積は、空間のどれくらいの割合を占めるのか、次の問7で実際に計算してみよう。

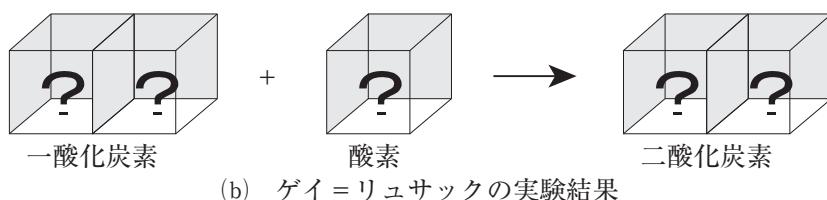
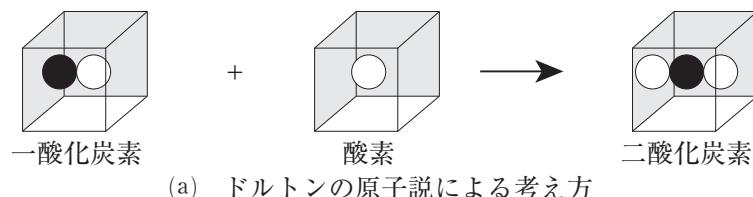
問7 0℃、1気圧（約1013 hPa）の空気22.4 L（1 L=1000 cm³）中には、窒素が22.4 gと酸素が6.4 g含まれている。この空気を冷却して窒素、酸素をともに固体にしたとき、それらの固体の占める全体積はもとの空気の体積（22.4 L）の何%になるか、小数第3位を四捨五入して小数第2位まで求めよ。計算の過程も記せ。ただし、窒素の固体の密度は1.0 g/cm³、酸素の固体の密度は1.6 g/cm³とし、空気には窒素と酸素以外の気体は含まれないものとする。

ドルトンが「原子」についての考えを発表した頃、フランスではジョセフ・ルイ・ゲイ＝リュサック（1778～1850）が気体の反応について量の関係を精密に実験し、「2種類以上の気体が関与する反応では、反応する物質も生成する物質も、その体積の間には、1:1, 1:2:3のような簡単な整数の比となる」という法則を見つけた。これを気体反応の法則という。

でも私が発見した気体反応の法則は、ドルトンさんには受け入れてもらえませんでした。彼は気体の酸素や水素、窒素は1個の原子からできていると考えていたからです。ドルトンさんの考えに従うと、一酸化炭素と酸素から二酸化炭素が生成する反応は、
【図3】(a)に示すように、一酸化炭素（●○）と酸素（○）と二酸化炭素（○●○）の体積の比は1:1:1にならねばならなかったのですが、私の実験によればその比は2:1:2となる（**【図3】(b)**）ので、矛盾するからです。



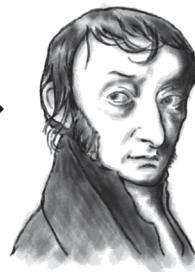
ゲイ＝リュサック



【図3】一酸化炭素と酸素の反応
 (ドルトンの考え方とゲイ＝リュサックの実験結果)

これを解決するアイデアを提出したのはイタリアの科学者アメデオ・アボガドロ（1776～1856）だった。

私は1811年に、酸素や水素、窒素などの粒子（ドルトンが考えた原子）は、二つの原子からできていると仮定し、これを分子とよぶことにしました。また同じ温度と圧力では同じ体積に含まれる分子の数は気体の種類によらず同じと考えました。この私のアイデアなら、一酸化炭素分子と酸素分子から二酸化炭素分子ができる反応について、ドルトンさんの原子説とゲイ＝リュサックさんの気体反応の法則の両方を矛盾なく説明できるのです！



アボガドロ

問8 アボガドロの考え方をもとに、【図3】(b)の?の部分を、酸素原子は○、炭素原子は●で表して完成させよ。

アボガドロの仮説は気体分子の相対的な質量を決めたり、原子と原子が結合する比を決めたりすることができ、現代の化学に通じる重要なものであったが、50年以上も理解されないままであった。その主な原因として、アボガドロの仮説は発想がきわめて新しく、ドルトンがいうところの原子が更に分割できるように見えることや、同じ種類の原子が結びつく理由がわからなかったから、などの理由が挙げられる。なぜ酸素や水素、窒素が原子でなく分子として存在するのか、その理由を理論的に説明できるようになったのは、100年以上経った20世紀になってからであった。アボガドロの考え方方がいかに先進的であったかわかるであろう。

問9 現在の精密な実験によると、一酸化炭素の5.6 gと過不足なく反応する酸素の質量は3.2 gである。酸素分子の質量を100とすると、二酸化炭素分子の相対的な質量はいくらになるか。計算の過程を記し、小数第1位を四捨五入して、整数で答えよ。

次の文章を読み、設間に答えなさい。

茜さんと真理子さんは、夏の終わりに茜さんの祖父母の家に泊まりがけで遊びに行きました。お祖父さんと話がはずんで夜中近くになりました。家の中から窓の外を見ると、道路の向こうのビニールハウスが明るく光っているのが見えました（【図1】）。以下はその時の会話です。

真理子さん「あれ、いつのまにか向こうのビニールハウスに明かりが点いているわ。随分明るいわね。」

茜さん「そういえば、去年もそうだったわ。お祖父さん、こんな夜中に何の作業をしているの？」

お祖父さん「あの明かりは、ハウスの中で育てている切り花用のキクのためのものなんじゃ。」

茜さん「あ、分かったわ！ 夜も光合成をさせて早く花を咲かせるんでしょう。」

お祖父さん「残念、その逆なんじゃよ。あそこで育てているキクは、茎の先端に花を付けるタイプじゃが、茎が長い方が切り花としての商品価値が高い。そこで茎がまだ短い間は花芽が出来ないよう、照明を点けているんじゃ。花芽とは蕾（つぼみ）のことじゃよ。」

茜さん「え？ 光を当てた方が、花芽ができないの？ 不思議ね。」

お祖父さん「専門用語では、1日のうち光が当たる期間を明期、当たらない期間を暗期と言うんじゃ。キクの多くの品種やアサガオなど、“短日植物”と呼ばれる植物は、暗期の長さが一定時間以上になると花芽を付ける。逆に一定時間以上になると、草丈が低くても花芽を作るんじゃ。そういう面白いアサガオの写真があったのう（【図2】）。」

真理子さん「つるが全然伸びていないのに花を咲かせている！ こんなの初めて見ました。」

お祖父さん「アサガオの花ができる位置には、葉の付け根と茎の先端とがあるんじゃよ。これは茎が伸びてつるになる前に茎の先端にも花芽ができてしもうたんで、小さいまま花を咲かせておる。あそこのビニールハウスで



【図1】夜中に照明をつけているビニールハウス



【図2】茎の先端にも花をつけたアサガオ

は、年に数回キクを育てておるんじゃが、この時期に育てるときは、夜間照明をせんと背丈が低くなってしまうんじゃ。」

茜さん「ふ～ん。“長日植物”というのもあるの？」

お祖父さん「そのとおりじゃ。一定時間以上の暗期があると花芽を付けない植物のことじゃ。アブラナやダイコン、コムギなどじゃな。この花芽を形成するかしないかのギリギリの時間の暗期を“限界暗期”というんじゃよ。」

真理子さん「おもしろいですね。あのビニールハウスでは、夜中から照明を点けて暗期を短くしているのですね。あれれ、温室の照明が消えたわ。」

茜さん「朝までずっと点いているわけじゃないの？」

お祖父さん「そうなんじゃよ。花芽ができるしくみはなかなか複雑でのう。今日はもう遅くなつたからおしまいじゃ。朝になつたら詳しく話してあげよう。」

朝になって、茜さんと真理子さんが起きてくると、お祖父さんは食卓の上に資料を広げて待っていました。

茜さん、真理子さん「おはようございます。」

お祖父さん「おはよう。さっそく昨日の話の続きをしようか。」

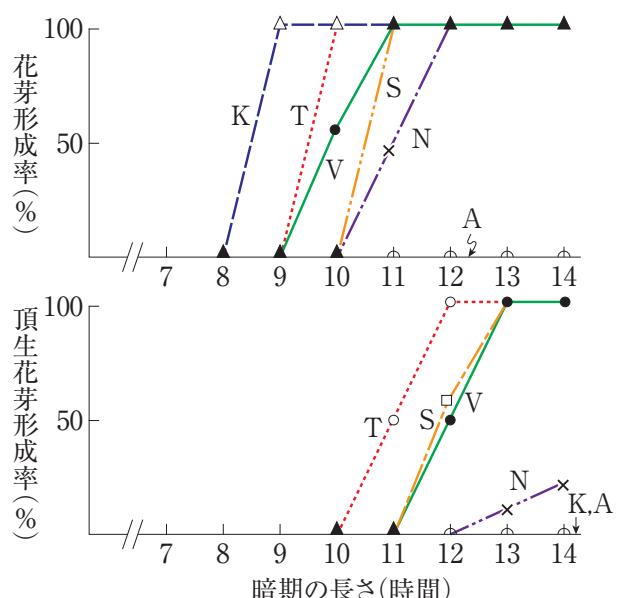
茜さん「お願い！ なんで真夜中に少しの間だけ明るくするのか、気になって仕方がないわ。」

真理子さん「背の低いアサガオの話もおもしろかったわ。」

お祖父さん「二人とも好奇心旺盛じゃのう。まずは最初にアサガオを使って、暗期の長さと花芽ができる割合について調べた有名な実験（【図3】）を見てみようか。この実験ではいろんな場所から採ってきたアサガオの種子をまいて、室内で育てたんじゃよ。アサガオといつても、その中には地域ごとに親から子へと伝わる特徴が異なるグループがいろいろあってのう。こういうのを系統というんじゃが、それぞれの系統はその場所の環境に適した性質を持っていると考えてよいぞ。」

茜さん「室内で？ 温室みたいなもの？」

お祖父さん「そうじゃ、花芽の付き方は温度によっても変わるからのう。室温を22℃に保った温室で人工照明を使って、暗期の長さを調整したんじゃ。芽が出てから7日間は、特定の長さの暗期になるように調整し、その後はずっと明るくして育てた。そ



【図3】 特定の長さの暗期で7日間育てたアサガオ（系統A, K, N, V, S, T）における花芽形成率（上）と頂生花芽形成率（下）

して、3週間後にそれぞれの系統ごとに花芽ができた個体の割合“花芽形成率”と、つるの先端に花芽を付けた個体の割合“頂生花芽形成率”を調べたんじゃよ。」

真理子さん「同じアサガオでも系統によって随分反応が違うんですね。」

お祖父さん「そうなんじゃ。〔ア〕はヒマラヤ周辺で育っていた系統、〔イ〕は西アフリカのギニア周辺で育っていた系統、それ以外の4つは日本や北京などで育っていた系統なんじゃ。」

茜さん「えー、アサガオって日本だけの植物かと思っていた。」

お祖父さん「アサガオの原産地は中南米で、そこから世界各地に広がり、日本には奈良時代に中国を経由して伝わったようじゃ。」

真理子さん「同じ系統の植物を同じ温度で育てても、暗期の長さによって植物の様子が随分違ってくるのですね。」

お祖父さん「季節の変化の目安には温度の変化よりも夜の長さの変化の方が確実じゃからのう。」

茜さん「次はなぜ真夜中に少しの間だけ明るくするのか、教えて！」

お祖父さん「よしよし、【図4】を見てごらん。これは、限界暗期が9時間の短日植物と長日植物を①～⑥の条件で育てたときに、花芽を形成するかどうかを表したものじゃ。条件①～④では明期と暗期の時間の合計を24時間としてそれを繰り返しておる。条件⑤と⑥では明期と暗期を合わせて16時間にして、繰り返しとるんじゃ。それぞれの条件で花芽が形成したときは○、しなかったときは×で結果を示しておる。」

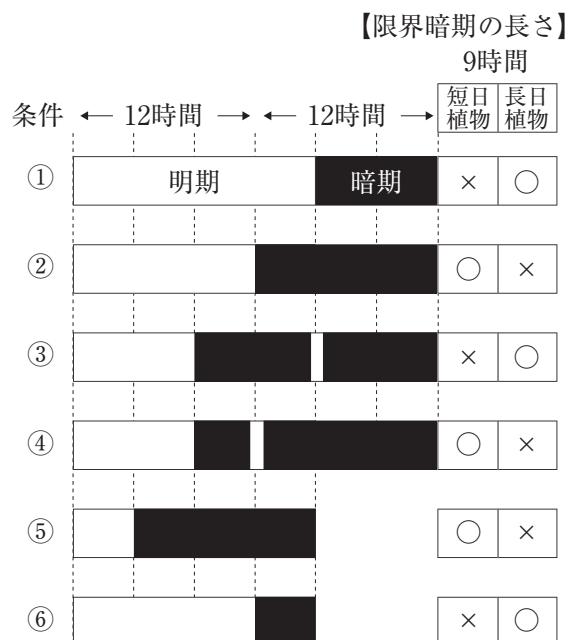
真理子さん「なるほど、この図を見ると暗期の長さが決め手だということがよくわかりますね。」

茜さん「③、④の条件で、暗期の中に白い線が入っているのは？」

お祖父さん「そこが肝心じゃ。それは暗期中に光を短時間だけ照射したことを表しとる。“暗中断”と呼ばれておる。光の強さによって数分から数時間行うことがあるんじゃが、この実験では強い光を1分間だけ照射しとるんじゃ。暗期は連続しておることが重要なんじゃよ。」

茜さん「キクを育てているビニールハウスで、夜中に少しの時間だけ照明を点けているのはこの暗中断に相当するのね！」

お祖父さん「そのとおりじゃ。夜間の照明によって開花時期の調整を行う栽培方



【図4】限界暗期が9時間の短日植物、長日植物の花芽形成反応

法を“電照栽培”といつて、(ア)照明の方法について今も研究されているんじゃが…」
お祖母さん「はいはい、朝から勉強熱心なこと。でも、さっきからみんなのお腹が鳴っていますよ。そろそろ朝ご飯にしましょうか。」

問1 下線部(ウ)の理由を述べよ。

問2 【図3】で用いた系統 A, K, N, V, S, T のうち、暗期の長さが 13 時間のときに、処理したすべての個体が花芽を付けながらつるを伸ばし続けたのはどの系統か。

問3 短日植物では多くの場合、同じ種でも緯度が高いところに生息する系統ほど、限界暗期が短くなる傾向がアサガオやその他の植物で報告されている。その理由について説明せよ。

問4 A, K, N, V, S, T の系統のうち、(ア) と (イ) にあてはまる系統として最も適当なものをそれぞれ 1 つずつ答えよ。

問5 【図3】の 6 系統のうち、A, N, T の 3 系統を選んで 6 月 30 日に種をまいて静岡市の屋外（自然条件下）で育て、最初に花が開く日（初花開花日）を比較した。各系統 12~17 個体の植物を育てたところ下の表のような結果になった。系統 1~3 は、A, N, T の系統のそれぞれに相当するか答えよ。

ただし、自然条件下では、気温や夕方の光の影響、また、明暗周期が繰り返されることで、各系統の限界暗期は【図3】で調べられたものよりも短くなる。さらに、発芽してからの時間が経つにしたがい、限界暗期はしだいに短くなり花芽を付けやすくなる。

	観察 個体数	初めて開花した日 (初花開花日)の平均	種をまいてから初花開花日 までの日数の平均
系統 1	17	8 月 13 日	44
系統 2	15	9 月 3 日	65
系統 3	12	9 月 25 日	87

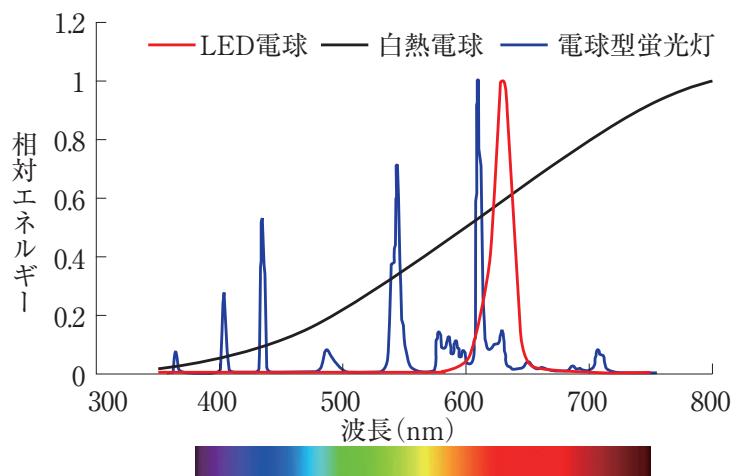
問6 下線部(エ)の根拠を、【図4】にもとづいて説明せよ。

問7 【図4】の条件①~⑥に対し、限界暗期が 14 時間または 6 時間の短日植物、長日植物は、花芽形成に関してそれぞれどのような反応をすると考えられるか。花芽を形成するときは○、しないときは×で結果を解答欄に示せ。

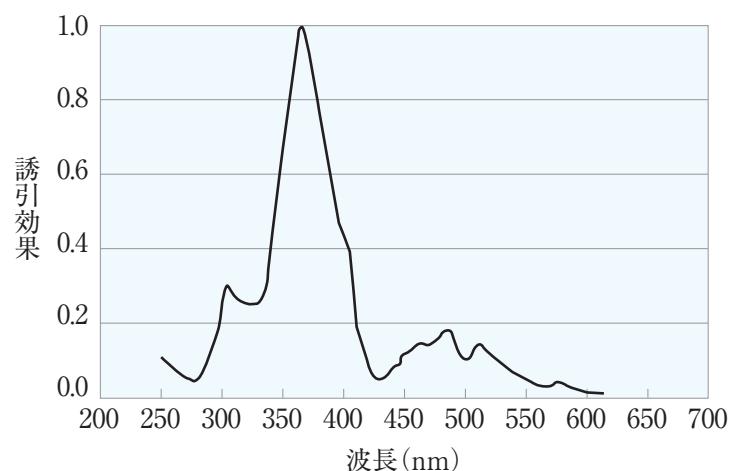
問8 光は音と同様に波としての性質をもち、生物はそれぞれ特定の波長の光を刺激として認識する。人間が認識できる波長の光は可視光と呼ばれ、波長の違いは色の違いとして認識される。下線部(オ)として検討されているものとして光源の種類がある。

暗中断に効果的な波長が赤色付近であるため、近年、赤色LEDが光源として用いられることがある。その場合の利点について、次の【図5a】～【図5c】を参考にしながら経費や他の生物への影響の点から説明せよ。

ただし、【図5a】は各光源がどのような色の光を出しているか、【図5b】は昆虫がどのような色の光に引き寄せられるかを表したものであり、【図5c】は電照キク栽培の照明に必要なコストを光源別に比較したものである。



【図5a】 赤色LED電球、電球型蛍光灯、白熱電球の波長と相対エネルギーの関係
(波長と対応する色を横軸の下に示してある)



【図5b】 ハエの仲間に対する光の波長別の誘引効果を相対的に示したもの

項目	白熱電球 75 W	蛍光灯電球色 23 W	LED 赤色 7 W
ランプ単価 (円)	180	500	3000
ランプ寿命 (時間)	1000	2500	40000
ランプ設置数	200 球		
年間点灯時間	500 時間		
電気使用料金単価	10 円 /kWh		

【図 5c】 電照キク栽培の照明コストを光源の種類別に比較したもの（10 アールあたり）

古来、月と太陽は、私たちにとって身近な存在であった。地球・月・太陽についての下記の会話文を読み、以下の問1～問7に答えなさい。



さくら：今日は中秋の名月だって。晴れるといいなあ。

なゆた：月って、①昇り始めた時と頭の真上にある時で、大きさが違って見えるよね？

さくら：そんな気がするけれど、Aらしいよ。

なゆた：へえーそうなんだ。

さくら：ところで、月と太陽ってどっちが大きいか知っている？

なゆた：そりや太陽だよ。

さくら：どうしてそう言えるの？

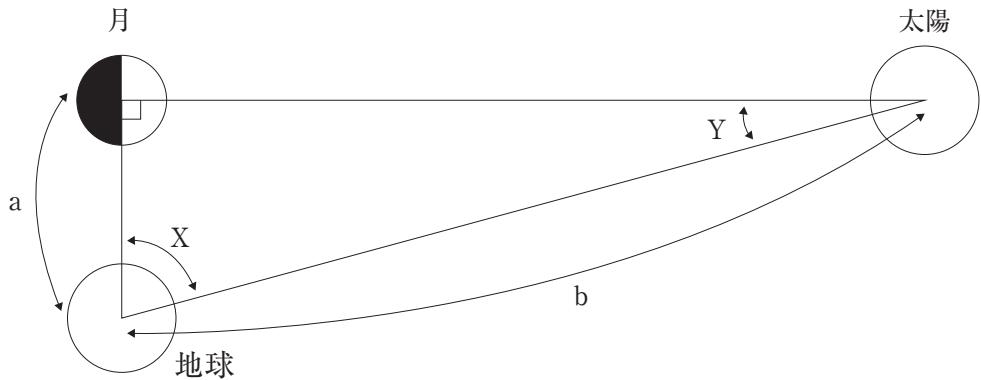
なゆた：教科書に載っていたから…。あ、月は太陽の反射で光るから、自分で光ることができる太陽の方が大きいのかな。そもそも太陽と月のどちらが大きいかなんて、どうやったらわかるんだろう？

さくら：今から2000年以上前の人々は、②月食や半月の時の観測から、月と太陽の大きさや距離を求めたんだって。地球より小さい月はともかく、大きい太陽が地球の周りを回るのは不自然だから、地球が太陽の周りを回っていると考えたみたいね。

なゆた：へえー、昔は地球が宇宙の中心だと考えていたって聞いたけれど、もっと昔はそんなふうに考えた人もいたんだね。僕たちもちょっと考えてみようよ。

問1 下線部①の質問に対する答えについて、□A□に最も適切な語句または文章を入れよ。

下線部②について、古代ギリシャの科学者アリストルコスの観測した手法は、以下の【図1】のとおりである。

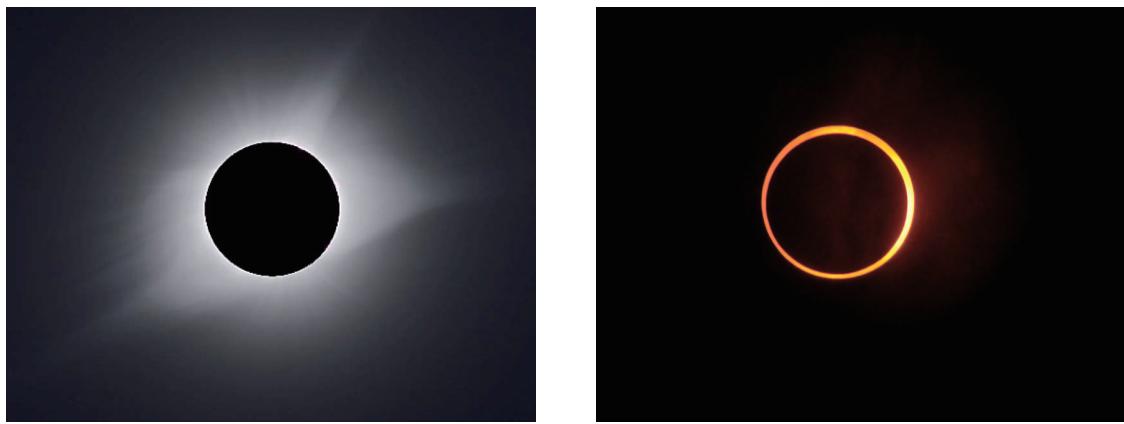


【図1】 半月に見える時の太陽と地球と月がなす直角三角形の模式図

アリストルコスはまず、月食の時に月にうつる地球の影の大きさを何回か測定し、月の半径は地球の半径の $\frac{1}{3}$ 倍の大きさであると求めた。

次に、月は球形だから、月のちょうど半分が照らされている半月は、太陽光が真横からあたっているにちがいないと考えた。つまり、月が完全な半月に見える時は、太陽－月－地球のなす角度が直角であるので、太陽－地球－月のなす角度を測定すれば、太陽と月と地球がつくる直角三角形の形が決まるのである。そこで、半月に見える時の太陽と月を観測して、太陽の方向と月の方向の間の角度X（【図1】）を87度と求めた。直角三角形の角度がわかれば、各辺の比も求められるため、【図1】の直角三角形の辺aと辺bの長さの比を、月－地球と太陽－地球の距離の比とみなすことができる。

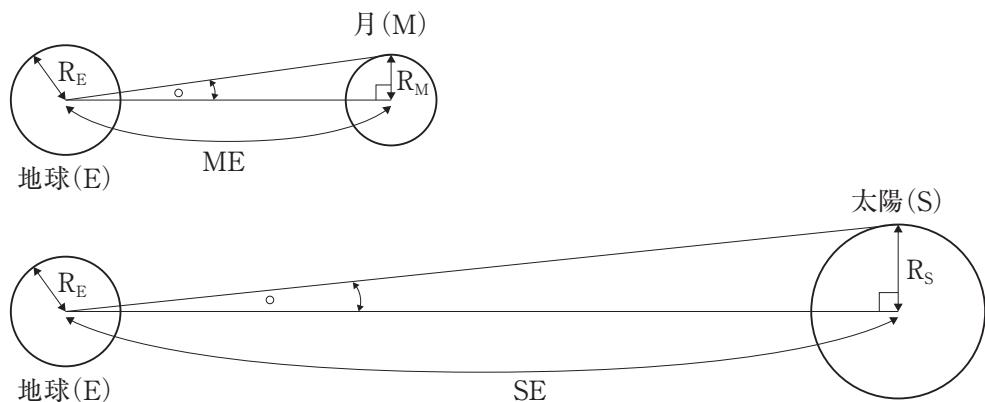
問2 【図1】の直角三角形では、アリストルコスの観測結果の角度Xが87度のときに角度Yが3度と十分小さいので、距離aは、半径bで中心角Yの扇形の弧の長さと同じと見なせる。このとき、地球－太陽の距離bと地球－月の距離aの比である $\frac{b}{a}$ の値を整数で求めよ。ただし、円周率を $\pi = 3.14$ とし、計算過程も示せ。



【図2】 皆既日食のときの太陽と金環日食のときの太陽

問3 地球では皆既日食と金環日食（【図2】）が観測されることから、太陽と月の見かけの大きさがほぼ同じであることがわかる。

つまり、太陽の半径 (R_S) と太陽 (S) – 地球 (E) の距離 (SE) を辺にもつ直角三角形と、月の半径 (R_M) と月 (M) – 地球 (E) の距離 (ME) を辺にもつ直角三角形において、 R_S と SE、及び、 R_M と ME の比は同じであると考えられる（【図3】）。このことから、問2のアリストルコスが求めた数値では、太陽の半径は地球の半径の何倍となるか、整数で求めよ。計算過程も示せ。



【図3】 太陽と地球、月と地球がなす直角三角形の模式図

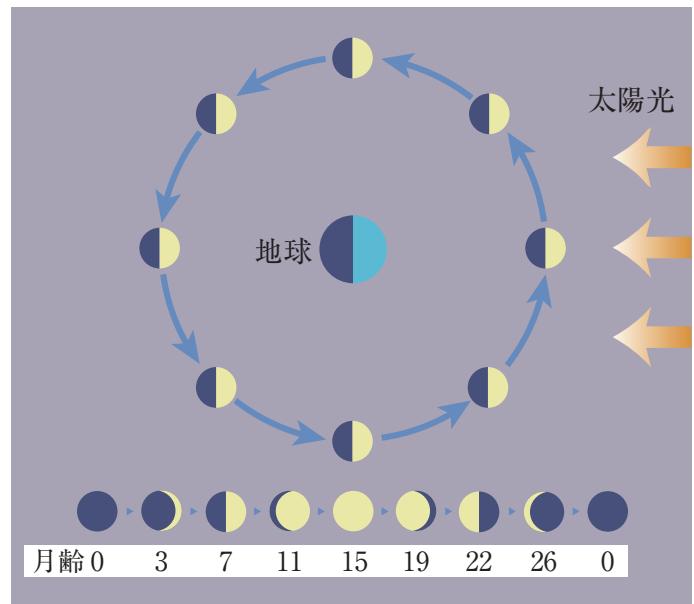
問4 実際の太陽 – 地球の距離は、月 – 地球の距離の約 400 倍である。アリストルコスが求めた太陽 – 地球の距離は、なぜ大きく違ったのだろうか、その理由を説明せよ。

アリストタルコスからおよそ2000年後、月に人類が降り立った。あなたは、月面上の研究施設「ムーンラボ」で科学者の一人として研究生活をしている。「ムーンラボ」からは、常に地球が見える。

問5 【図4】は、ある日の地球から見た月である。ムーンラボは、点Pにある。このムーンラボでの日の出から日の入りまでの時間はどれくらいか、次のア～カの中から最も適切なものを1つ選び、記号で答えよ。

また、点Pから地球を見るとどのように見えるか、その見え方を【図5】の「月の満ち欠けと月齢」の中から最も適切なものを1つ選び、その月齢を答えよ。

[ア. 6時間 イ. 12時間 ウ. 1日 エ. 15日 オ. 30日 カ. 60日]



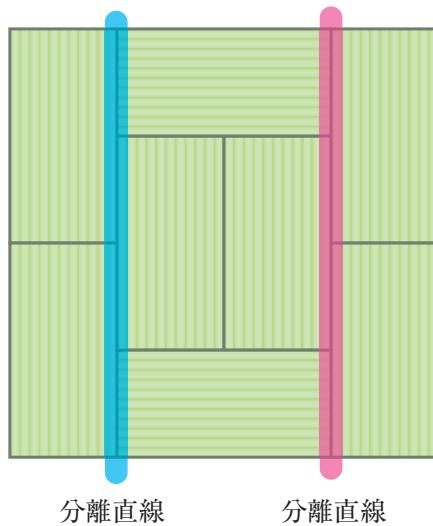
【図4】月面上の研究施設
「ムーンラボ」の位置P

【図5】月の満ち欠けと月齢

問6 つい先程、あなたは地球にいる友達から、「今、皆既月食が見えているよ」と連絡を受けた。この時、あなたがムーンラボ（点P）で地球の方を見ると、どのような天体現象が見えるだろうか。また、月で見えるこの天体現象と、地球で観測できる同様の天体現象との相違点を説明せよ。

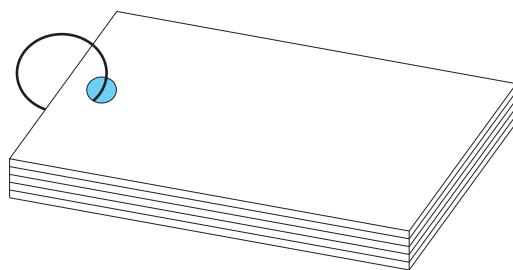
問7 太陽系の他の惑星でもし日食（または、太陽面通過）が見えるとすれば、どの惑星か。その惑星名と惑星が伴う衛星名の組合せを1つ答えよ。

問 正方形状の和室に畳（2辺の長さが1:2の長方形）を敷き詰めることを考える。たとえば、下図のように8畳の和室に畠を敷き詰めると、和室を縦に2畠と6畠に分ける直線が2本引ける。このように和室を2つに分ける直線を和室の「分離直線」と呼ぶことにする。以下の問い合わせに答えなさい。

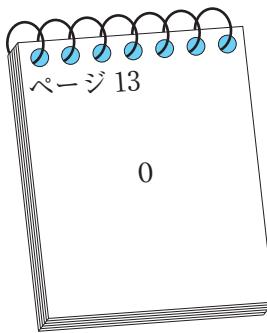


- (1) 正方形状の8畠の和室にどのように畠を敷き詰めても、分離直線があることを証明しなさい。
- (2) 分離直線がないように畠が敷き詰められた、8畠よりも広い正方形状の和室の例を示しなさい。

カード帳（【図1】）とメモ帳（【図2】）がある。



【図1】 カード帳



【図2】 メモ帳

カード帳の一枚のカードには、命令がひとつ書かれており、一番上のカードから順に命令を実行して一番下に回される。命令の種類は下に示す8通りである。同じ番号を持つしおりは存在しないものとする。また、メモ帳の各ページには整数をひとつ書き込むことができる。あらかじめすべてのページに0が書き込まれている。命令により何回でも書き換えることができる。今後、単にページ p ($p \geq 1$) の値と言ったとき、メモ帳に書かれた値のことを示しているものとする。

----- 命令の種類 -----

1. しおり m ($m > 0$)
2. 停止
3. ページ i に値 v を書き込む
4. ページ i にページ j の値を書き込む
5. ページ i の値にページ j の値を足した値をページ k に書き込む
6. ページ i の値からページ j の値を引いた値をページ k に書き込む
7. (ページ i の値) $>$ (ページ j の値) のとき、しおり m まで実行せずカードを送る
8. しおり m まで実行せずカードを送る

----- 例題のカード帳 -----

- (一番上) 1枚目：ページ1に値10を書き込む
2枚目：ページ2に値1を書き込む
3枚目：しおり1
4枚目：(ページ1の値) > (ページ3の値)のとき、しおり2まで
実行せずカードを送る
5枚目：停止
6枚目：しおり2
7枚目：ページ3の値にページ2の値を足した値をページ3
に書き込む
(一番下) 8枚目：しおり1まで実行せずカードを送る

例えば「例題のカード帳」に示すカード帳を実行してみる。最初に7枚目にあったカードが実行される度に、最初は0であったページ3の値が1ずつ増えていき、ある値になったときに停止する。

問1 「例題のカード帳」に示すカード帳を実行するとき、ページ3の値がいくつになったときに停止するか。つまり当初5枚目にあった「停止」カードが実行されるときページ3の値はいくらか。

問2 「例題のカード帳」に示すカード帳を参考にして、ページ3に最初に値9を書き込んだ後、その値を1ずつ減らしていき、0になったとき停止するカード帳を「例題のカード帳」にならって作れ。

問3 n を正の整数とする。「例題のカード帳」のカード帳の1枚目を「ページ1に値 n を書き込む」に変更し、さらにカードを1枚追加することにより、カード帳の実行が終了したときにページ4に1から n までの数をすべて合計した値 $1+2+\cdots+(n-1)+n$ が書かれているようにしたい。何枚目と何枚目の間にどのようなカードを追加すれば良いか。

