第2回
科学の甲子園 ジュニア

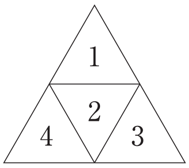
筆記競技

解答例と解説

問１

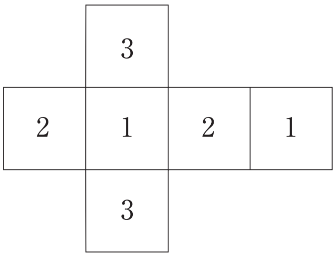
展開図を考えよう。

(1)



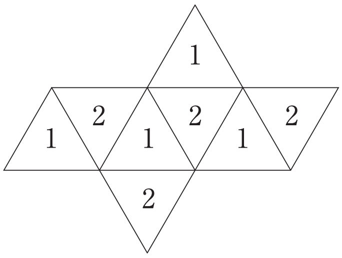
より<u>４色</u>

(2)



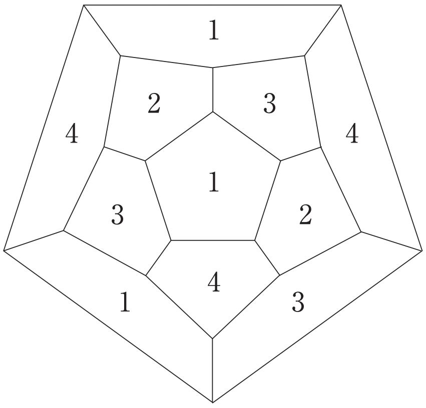
より<u>３色</u>

(3)



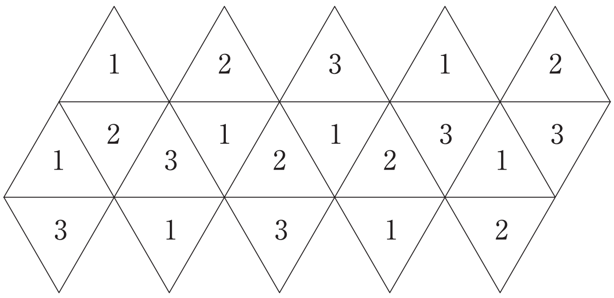
より<u>２色</u>

(4)



一面ぬいて平面におしつけると左図のようになる。
外は２とすることより<u>４色</u>

(5)



より<u>３色</u>

問２

⑴　４色のうち１色を底面に固定すると残りの３側面は回転による重なりを考えると２通り。

答　２通り

⑵　まず６色のうち１色を底面に固定する。

底面の対面の色は５通り

残った４側面の塗り分けは回転による重なりを考えて　$3\times2=6$（通り）

よって求める塗り分けの総数は　$5\times6=30$（通り）

答　30通り

⑶　まず１つの面を底面として固定し，８色のうち１色をそれにあてる。

その対面の色は７通り

残りの６つの面の塗り分け方は　$6\times5\times4\times3\times2\times1$（通り）であるが，

底面に接する３面は回転して同じになる（重ねることができる）ので，

$\dfrac{6\times5\times4\times3\times2\times1}{3}=240$（通り）

よって，求める塗り分け方の総数は　$7\times240=1680$（通り）

答　1680通り

⑷　まず１つの面を底面に固定し12色のうち１色をそれにあてる。

その対面の色は11通り

残った10側面のうち固定した底面に辺を接する５つの面と接していない５つの面に分けて考えると，

辺を接する５つの面の１つを固定して考えることができるので，

塗り分け方は　$\dfrac{10\times9\times8\times7\times6\times5\times4\times3\times2\times1}{5}=725760$

よって，求める塗り分け方の総数は　$11\times725760=7983360$（通り）

答　7983360通り

（別解　１面を固定して考えると　$11\times10\times9\times8\times7\times6\times5\times4\times3\times2\times1$（通り）だがその面に辺が接する面が５つあるので５で割って

7983360通り

また20面体の場合は同様に考えて

$\dfrac{19\times18\times17\times\cdots\cdots\times3\times2\times1}{3}=40548366802944000$（通り）

である。）

【解説】

問１はいわゆる「４色問題」としてよく知られている問題である。つまり「いかなる平面上の地図も隣接する領域が異なる色になるように塗るには４色あれば十分だ」という定理である。（一面はずして平面上に押し付けて展開図を考えれば多面体の本問の場合も４色で十分であり，実際の答えを見てもそうであることがわかる。）

これは19世紀からなかなか証明できない数学の大難問の一つだったのだが，20世紀に入りコンピュータの発達とともに状況が変わり，1976年にコンピュータプログラムを利用してアッペルとハーケンが証明を行った。この４色定理は地図作製だけではなく，現在では携帯電話の基地局配置にも応用されている。

周波数が同じ電波同士で混信してしまう携帯電話システムで隣接する基地局には同じ周波数を割り当てないように配慮しており，これは結局地図の塗り分け問題と同じであることがわかる。理論的には周波数は４種類準備すればよいのである。

以下の図を４色を用いて塗り分けてみよう。

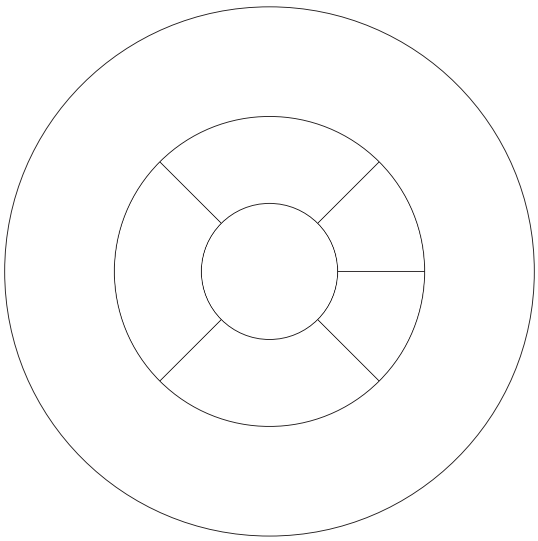


図１

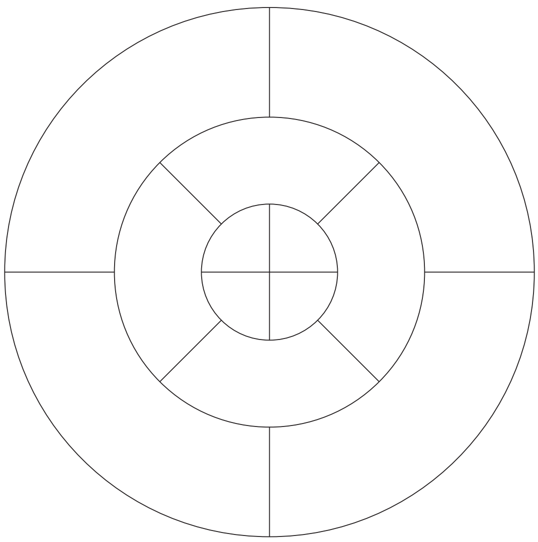


図２

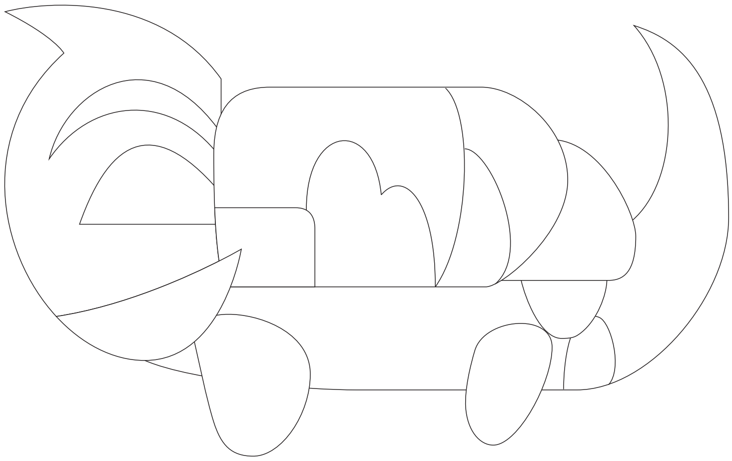


図３

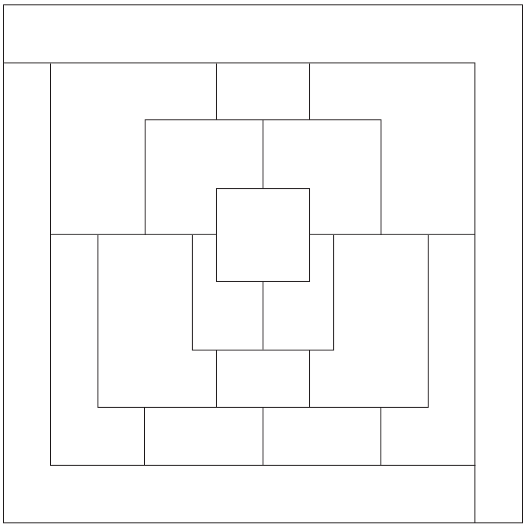


図４

以下は正多面体が正四面体，正六面体，正八面体，正十二面体，正二十面体の５種類しかないことを説明しよう。

正多面体の各面を正 p 角形，正多面体の頂点に集まる面の数を q とする。p 角形の内角の和は $(p-2)\times180°$（もちろん中学教科書で習う）より正 p 角形の各頂点の内角は

$\dfrac{p-2}{p}\times180°$ である。

正多面体の１つの頂点には q 個の正 p 角形が集まるとすると

$$\frac{p-2}{p}\times q\times180° < 360°$$

つまり　$pq-2q<2p$　　さらに変形すると　$(p-2)(q-2)<4$

となり　$p=3$ のとき　$q=3,\ 4,\ 5$　　$(p,\ q)=(3,\ 3)$　（正四面体）

$(p,\ q)=(3,\ 4)$　（正八面体）

$(p,\ q)=(3,\ 5)$　（正二十面体）

　$p=4$ のとき　$q=3$　　$(p,\ q)=(4,\ 3)$　（正六面体）

　$p=5$ のとき　$q=3$　　$(p,\ q)=(5,\ 3)$　（正十二面体）

となる。

また，オイラーの定理（この事実も数学的に面白い）

　頂点の数－辺の数＋面の数＝2

を用いても正多面体が５種類であることがわかる。

　このオイラーの定理は，最初に述べたサッカーボールのように正多面体でない多面体においても成立するものである。

　実際サッカーボールは正五角形の面の数＝12，正六角形の面の数＝20，辺の数＝90，頂点の数＝60 である。実際のサッカーボールで数えてみるとよいだろう。以下正多面体として v 個の頂点，e 個の辺，f 個の面とすると，$v-e+f=2$ である。また各面が正 p 角形とすると，

$$e=\frac{f\cdot p}{2}\quad \text{（１つの辺は２個の面に接している。）}$$

また，１つの頂点に q 個の面が集まっているとすると，$v=\dfrac{f\cdot p}{q}$

$$\therefore\quad \frac{f\cdot p}{q}-\frac{f\cdot p}{2}+f=2 \qquad \therefore\quad \frac{p}{q}-\frac{p}{2}+1=\frac{2}{f}$$

これを f に関して解いて　$f=\dfrac{4q}{2p+2q-pq}$

よって，

$$e=\frac{2pq}{2p+2q-pq},\quad v=\frac{4p}{2p+2q-pq}$$

であることがわかる。すると $f>0$，$q>0$ より，$2p+2q-pq>0$

　$\therefore\quad pq-2p-2q+4<4$　より　$(p-2)(q-2)<4$

となり，$(p,\ q)=(3,\ 3)$，$(3,\ 4)$，$(3,\ 5)$，$(4,\ 3)$，$(5,\ 3)$ となるのは前と同様である。

$(p,\ q)=(3,\ 3)$ のとき　$(f,\ e,\ v)=(4,\ 6,\ 4)$　　（正四面体）

$(p,\ q)=(3,\ 4)$ のとき　$(f,\ e,\ v)=(8,\ 12,\ 6)$　　（正八面体）

$(p,\ q)=(3,\ 5)$ のとき　$(f,\ e,\ v)=(20,\ 30,\ 12)$　（正二十面体）

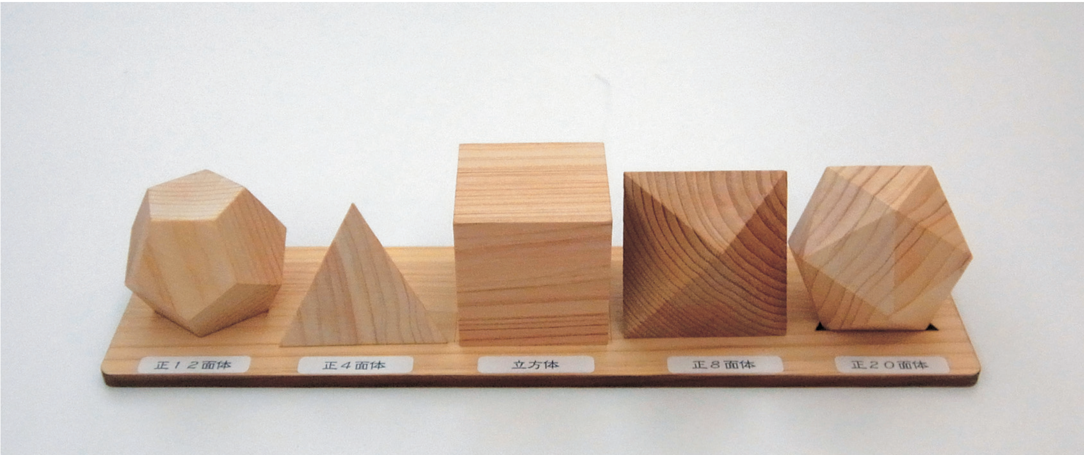
$(p,\ q)=(4,\ 3)$ のとき　$(f,\ e,\ v)=(6,\ 12,\ 8)$　　（正六面体）

$(p,\ q)=(5,\ 3)$ のとき　$(f,\ e,\ v)=(12,\ 30,\ 20)$　（正十二面体）

サッカーボールのような場合（準正多面体という）はもっと複雑になるが同様の考察ができるので調べてみよう。

問２は色がn色のときの塗り分け方の総数の問題である。空間で回転して重なるときは同じ塗り方と考えるので回転でどう重なるか（数学でいう対称性）を考えることがポイントになる。このような対称性がどうなるかといったことも数学において重要な話題の一つで，「対称性」を調べる「現代数学」の分野は「群論」として現代も発展中である。かなり難しくはなるが，ルービックキューブで模様が何通りあるか？ などを考えると面白いと思う。

〈使用した多面体模型〉



問１

筆算において，余りは１以上分母未満となるので，余りの種類は有限個である。よって，筆算を続けていくと，あるところで，過去に出た余りと同じ余りが出て，それ以降は同じ余りのパターンを繰り返すことになる。よって，いずれ循環することになる。

問２

⑴　求める数を A とおくと，$100A-A=1$ より，$A=\dfrac{1}{99}$　　答 $\dfrac{1}{99}$

⑵　求める数を A とおくと，$100000000A-100A=314153532$ より，

$A=\dfrac{314153532}{99999900}=\dfrac{1021}{325}$　　答 $\dfrac{1021}{325}$

問３

$$A=0.0102030405060708091 0\cdots$$

とすると，

$$0.01A=0.0001020304050607080 9\cdots$$

となり，引き算すると

$$0.99A=0.01010101010101\cdots$$

となる。そこで

$$B=0.01010101010101\cdots$$

とすると

$$100B=1.010101010101\cdots$$

となり，引き算して $99B=1$，$B=\dfrac{1}{99}$，よって，$A=\dfrac{B}{0.99}=\dfrac{100}{9801}$　　答 $\dfrac{100}{9801}$

問４

$$A=0.0101020305081321345 5\cdots$$

とすると，

$$0.01A=0.0001010203050813213 4\cdots$$

となり，引き算すると

$$0.99A=0.0100010102030508132 1\cdots$$

と，途中から再びフィボナッチ数が現れる。よって

$$0.99A=0.01+0.0001A$$

が成り立つので，$A=\dfrac{100}{9899}$　　答 $\dfrac{100}{9899}$

【解説】

無理数と小数

実数のうち，分数で表されるようなものを有理数といい，$\sqrt{2}$ や円周率πなど，分数では表されない実数を無理数という。

問１は，有理数は必ず有限小数か循環小数で表されるということを示している。一方で，**問２**の結果を一般的に考えてみると，循環小数は必ず有理数になることもわかる。

これより，無理数は決して循環小数にならず，また循環しない小数は必ず無理数になることがわかる。

この事実を用いると，ある数が無理数であることを簡単に示すことができる。例えば，小数点以下，どんどん間隔が広がりながら１が出現するような数

$$0.1101001000100001000001000000100000001\cdots$$

は無理数である。

また，小数点以下，１から順に数を詰めて並べていった数

$$C = 0.1234567891011121314151617181920212223\cdots$$

も無理数である。この数はチャンパーノウン数と名付けられている。

チャンパーノウン数には，どんな数字の並びも無限回出現する。例えば，391 という並びを考えると，391 を含むような数は 391，1391，2391，3391，3910，3911…などなど，無限個あるので

$$C = 0.\cdots391\cdots1391\cdots2391\cdots3391\cdots39103911\cdots$$

と 391 は無限回現れることがわかる。

さて，チャンパーノウン数が長さ n の循環節（じゅんかんせつ）を持ったとしよう。そのとき，循環節が現れた位置より下位に出現する n 個の数字の並びは，最大で n 通りしかないことがわかる。たとえば循環節を 12345 とすると，循環節が現れた位置より下位に現れる，引き続く５個の数字の並びは 12345，23451，34512，45123，51234 の５通りしかない。しかし，チャンパーノウン数には n 個のあらゆる数字の並びが無限回現れるので，矛盾が生じることになる。

つまり，チャンパーノウン数は循環節を持たず，従って無理数であることがわかる。

$\sqrt{2}$ や円周率πなどは無理数なので循環節を持たないが，チャンパーノウン数のように，あらゆる数の並びが無限回現れるかどうかもわかっていない。それどころか，$\sqrt{2}$ やπに０～９がそれぞれ無限回現れるのかどうかさえも証明されていない。

循環節の長さ

分母が２と５以外の素数 p のときには，循環小数の循環節の長さは $p-1$ の約数になることが知られている。たとえば，７は素数なので，$\dfrac{1}{7}$ の循環節の長さは６の約数となり，実際に $\dfrac{1}{7}=0.142857142857\cdots$ であるので循環節の長さは６となる。

分母がどのような素数のときに循環節の長さがちょうど $p-1$ になるかどうか，法則についてはわかっていない。また，分母が合成数のときの循環節の長さについてもわかっていないことは多い。

$\dfrac{1}{p}$ の循環節の長さが偶数の場合には，循環節を２つに分割して足し合わせると 999…9 になるという面白い性質がある。たとえば，$\dfrac{1}{19}$ を考えると

$$\frac{1}{19}=0.052631578947368421052631578947368421 0\cdots$$

より，循環節は 526315789473684210 であるが，２つに分割すると 526315789 と 473684210 になり，足すと 999999999 となる。この面白い定理は，ミディの定理として知られている。

母関数

問３と**問４**は，母関数という概念を背景にした問題である。母関数とは，与えられた数列を係数とした関数のことである。

たとえば，数列０，１，２，３，４，５，６，７…の母関数は $\dfrac{x}{(1-x)^2}$ であり，実際に $-1<x<1$ となる x に対して

$$\frac{x}{(1-x)^2}=x+2x^2+3x^3+4x^4+5x^5+6x^6+7x^7+\cdots$$

が成り立つ。両辺に 0.01 を代入すれば**問３**の答えとなる。

フィボナッチ数列１，１，２，３，５，８，13，21…についても母関数が存在し，$\dfrac{x}{1-x-x^2}$ となる。

実際，$|x|$ がおおよそ 0.618 未満の x に対して

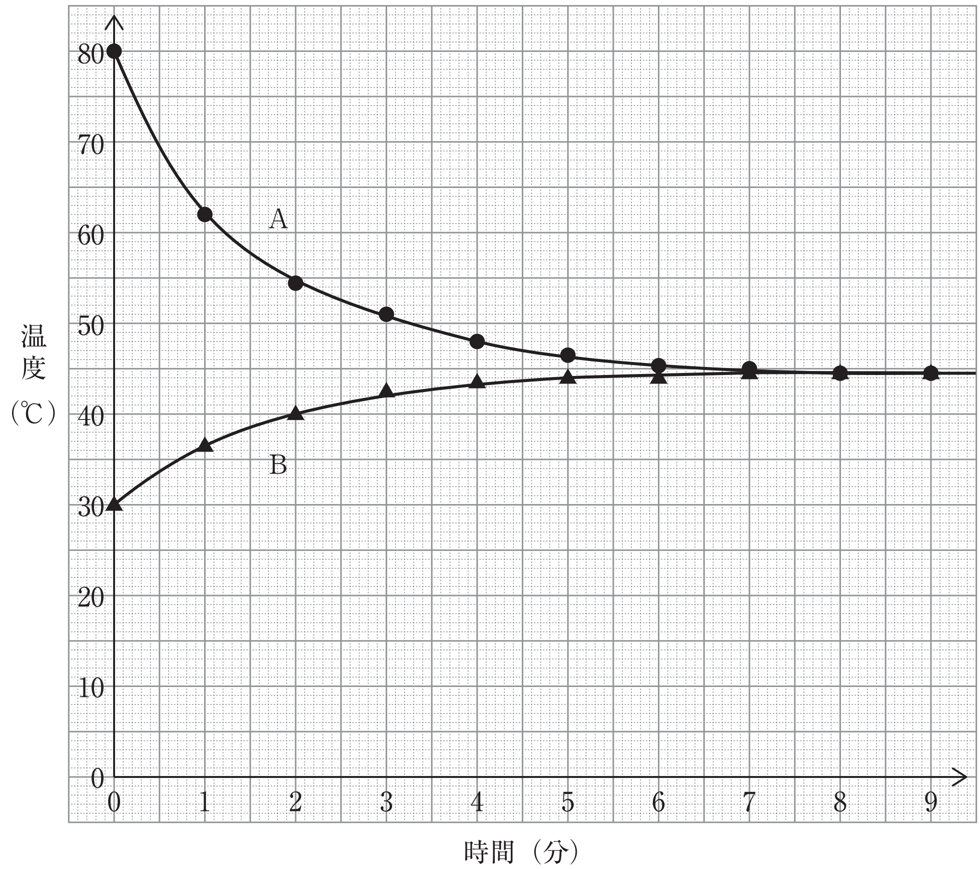
$$\frac{x}{1-x-x^2}=x+x^2+2x^3+3x^4+5x^5+8x^6+13x^7+21x^8+\cdots\cdots$$

が成り立つ。

まとめ

小数，分数，数列などには面白い問題が多く，電卓を片手に色々と実験してみると面白いだろう。ここで紹介した，ミディの定理のような興味深い法則を発見できるかもしれない。電卓の桁数を不足に感じるようなら，パソコン上で 1000 桁とか 10000 桁の計算ができるソフトも色々とあるので，試してみるといいと思う。

問１



問２

湯が失った熱量：　44.7（kJ）

水が得た熱量：　30.5（kJ）

問３

⑴　$100800-1260x$　（J）

⑵　$2100x-63000$　（J）

⑶　$x=48.8$　（℃）

問４

湯 56(g)，水 44(g)　　もしくは　　湯 55(g)，水 45(g)

問５

(ア)，(エ)

問６

⑴　41.4（kJ）　　⑵　20（分）

問７

温度：０（℃），水：1009（g），氷：491（g）

【解説】

熱とはいったい何かということは，古くから科学者たちの関心事であった。物体の温度が変わるのは熱の出入りによるのであろうとする考えは古くからあったが，熱の正体はわからなかった。現在は水の融点を０℃，沸点を100℃とし，その間を100等分したセルシウス度（摂氏）が主流であるが，18世紀ヨーロッパでは，温度の単位がたくさんあったことも，関心の高さを表しているだろう。

18世紀初頭のヨーロッパでは，カロリック説という，物体の温度変化をカロリック（熱素）という物質の移動により説明する学説が唱えられた。カロリックとは目に見えないほど小さく質量のない熱の粒子で，これが流れ込んだ物体は温度が上がり，流れ出して減れば冷えるというわけである。

この考え方では，湯と水を混合すると温度がどうなるかを説明することができる。そのため，カロリック説は多くの科学者によって支持され，19世紀初めまで信じられていた。

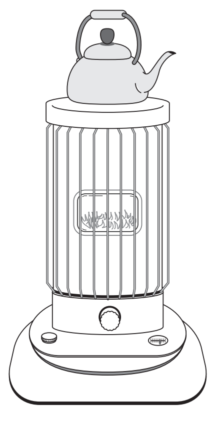
19世紀初頭，イギリスのランフォードは，水中で大砲の砲身を削る工程を観察していたところ，水が沸騰するほどの熱が発生することに注目した。この結果からランフォードは，熱の本質がカロリックならば，熱が生み出された分だけ削られた金属のカロリックが少なくなっているはずだと考えた。しかし，金属はすがたは変わっても化学変化しておらず，さらに，この工程で生み出される熱は無尽蔵といえるほどの量なので，これが金属の中から現れ出たとは考えられないと推測し，カロリック説を否定した。

その後の実験で，熱は大きく分けて以下の３つの形で伝わっていくことがわかってきた。

放射 ･･･ ストーブのそばは熱い

熱伝導 ･･･ ストーブの上にのせたやかんの水があたたまる。

対流 ･･･ ストーブによってあたためられた空気により室内の温度が上昇する

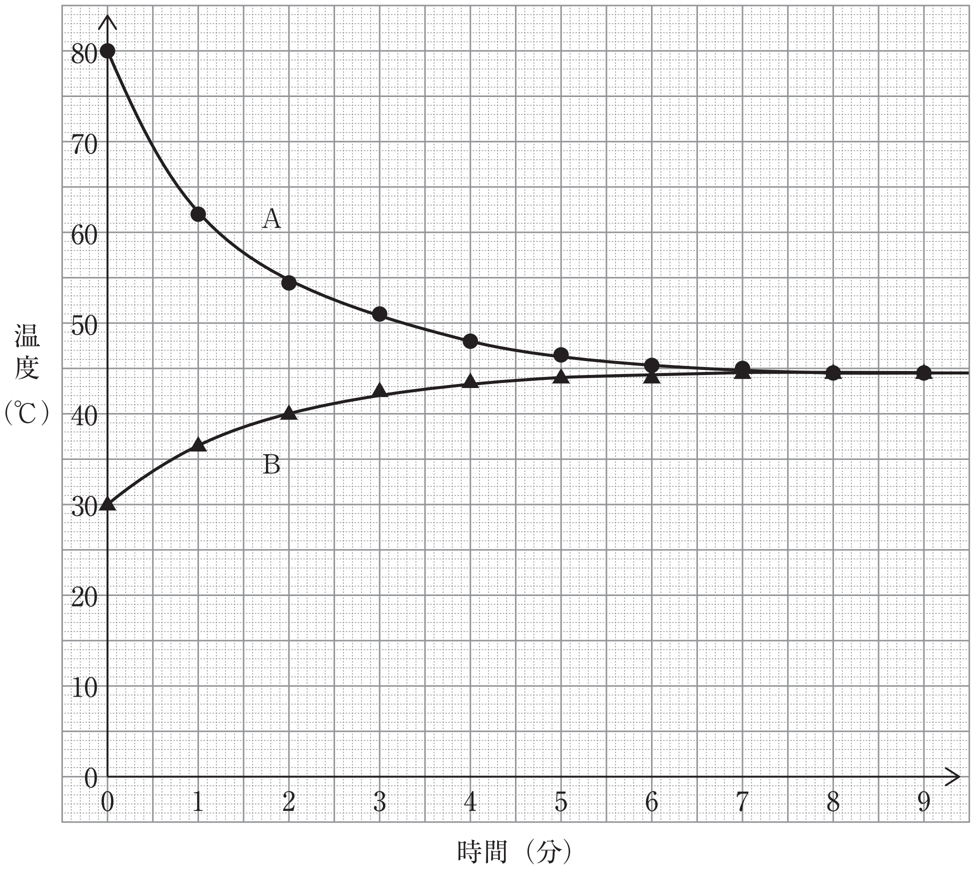


このような熱の伝わり方が明らかになっていくと，物体の中に熱の性質をもった粒子があるという考え方のままでは，いろいろな現象を説明するのは難しいと思われるようになった。

現在では，熱はエネルギーの一形態，より正確にはエネルギー移動の一形態であることが明らかになっている。熱は高温の物体から低温の物体に伝わり，それによって物体を構成する原子や分子の振動の激しさが変化する。

問１

グラフ作図の問題である。表をもとにプロットし，なめらかに結ぶと，次のようになる。



問２

熱量(J)＝水の質量(g)×温度変化(℃)×4.2

で与えられるので，この式にそれぞれ代入する。

湯が失った熱量(J)＝300×(80.0－44.5)×4.2＝44730(J)

1000 J＝1 kJ なので，四捨五入して 44.7 kJ となる。

水が得た熱量(J)＝500×(44.5－30.0)×4.2＝30450(J)

1000 J＝1 kJ なので，四捨五入して 30.5 kJ となる。

問３

熱量(J)＝水の質量(g)×温度変化(℃)×4.2

で与えられるので，**問２**を参考に，この式にそれぞれ代入する。

熱量は正の値をとることに注意すること。

(1)　湯が失った熱量　300×(80－x)×4.2＝100800－1260x(J)

⑵　水が得た熱量　　$500\times(x-30)\times4.2=2100x-63000$(J)

⑶　⑴，⑵が等しいので，

$100800-1260x=2100x-63000$　　が成立する。

解いて　$x=48.75$ より，48.8(℃)

問４

湯と水を混合する割合を変えることで，いろいろな温度に調節できる蛇口は，皆さんの家庭でも見かける。科学の甲子園ジュニア全国大会の宿舎でも利用したのではないだろうか。式の立て方は**問２**，**３**と同様である。

$y\times(60-40)\times4.2=(100-y)\times(40-15)\times4.2$

$20y=2500-25y$　　　解いて　$y=55.5\cdots$

したがって　湯 56 g，水 44 g　　もしくは　　湯 55 g，水 45 g

問５

状態変化についての正誤問題である。

㋐　正しい。

㋑　誤り。すべての氷が融けて水になってから，水温が上がっていく。

㋒　誤り。氷を２倍にすると，融けるまでの時間は２倍になる。

㋓　正しい。沸騰している間は常に温度は一定である。

したがって，正しい記述は㋐，㋓である。

問６

氷を融かして，さらに 20 ℃にするために必要な熱量を求める。問題の誘導にしたがって解く。

⑴　氷を融かすための熱　$Q_1=330\times100=33000$(J)

水を０℃から 20 ℃まで上昇させるための熱

$Q_2=100\times20\times4.2=8400$(J)

したがって，$Q=Q_1+Q_2=41400$(J)　つまり 41.4 kJ

⑵　水を０℃から 20 ℃まで上昇させるためには 8400 J 必要であり，この過程に５分を要したことから，１分間に水に与えられる熱は 1680 J であることがわかる。

氷を融かすために 33000 J が必要なので，その時間は

$33000\div1680=19.64\cdots$

四捨五入して整数値にすると，20 分と求まる。

問７

氷 1000 g を融かすのに $330 \times 1000 = 330000$(J) の熱量が必要になる。しかし，80 ℃の湯 500 g が 0 ℃になったとすると，放出されるエネルギーは $500 \times 80 \times 4.2 = 168000$(J) である。したがって，氷は融け残っている。

融けた氷を z(g) とすると，

$168000 = 330z$　　　　$z = 509.0\cdots$ より，509 g

水は，$1000 - 509 + 500 = 1009$(g)

したがって，温度は 0 ℃で，水 1009 g，氷 491 g が存在する。

問１

⑴　12 個

⑵　３－19－７－２－３－８－18－９－16－２－11－５

問２

㈀，㈥，㈧

問３

(a)　7

(b)　ＵをＧに変えた（または「Ｇに変えた」）

(c)　Ｇを取り除いた（または「取り除いた」）

問４

記号１つでは４通り，記号２つでも 16 通りしか区別できないため，20 種類のアミノ酸には対応できないが，記号３つなら 64 通り区別できるので 20 種類のアミノ酸に対応できる。

問５

160,000 種類

問６

ＣＵＵ，ＣＵＣ，ＣＵＡ，ＣＵＧはすべてロイシンを表す。したがって３番目の記号がどのように入れ替わってもアミノ酸列には違いが出ない。

問７

①㈂　②㈀

問８

ＧＡＧが表すグルタミン酸は水になじみやすく，ＧＵＧが表すバリンは水になじみにくい。アミノ酸の性質が大きく異なるためタンパク質の形や性質に影響を及ぼす。

【解説】

私達の体には，髪の毛，皮膚，筋肉から唾液（だえき）に含まれる酵素（こうそ）にいたるまで実に様々なタンパク質があり，その種類はおよそ10万とも言われている。この膨大（ぼうだい）な種類のタンパク質は，基本的には20種類という少数の「アミノ酸」の並び方によってつくり分けられている（それ以外に，脂質，炭水化物，リン酸などがタンパク質に結合することで性質が変わる例もある)。そして20種類のアミノ酸は，わずか4種類の物質の並び方によって区別されている。この物質のことを「塩基（えんき）」といい，設計図に書かれていた4種類のアルファベット（U，C，A，G）は塩基の略号として使われている。それぞれ，ウラシル（uracil)，シトシン（cytosine)，アデニン（adenine)，グアニン（guanine）の頭文字を表している。タンパク質は細胞の中でつくられている。たった4種類の塩基から膨大な種類のタンパク質がつくり分けられること，その仕組みが動物，植物，微生物を問わず共通のルールであることは，それらが解明された現在でもなお，生命の神秘のひとつといえよう。

本問題は，4種類の塩基からタンパク質がつくられる仕組みのうち，「翻訳（ほんやく）」と呼ばれる仕組みについて取り上げている。「翻訳」ではメッセンジャーRNAと呼ばれる物質からタンパク質がつくられる。「設計図」はメッセンジャーRNAのことであり，アッピン君が行っていた作業は，実際の細胞では「リボソーム」と呼ばれる装置が担っている。なお，メッセンジャーRNAは，遺伝子であるDNAをもとにつくられ，この過程は「転写（てんしゃ）」と呼ばれる。「転写」の仕組みにも生命の絶妙な仕組みが秘められている。しかし長くなるのでここでは述べない。興味のある人はぜひ調べてみてほしい。

問１・２

本問の前に図１などですでに取り上げているが，**問１**では翻訳における重要な仕組みである「コドン」のことを問うている。コドンとは，アミノ酸を表す３つ１組の塩基の集まりのことである。未学習の内容だが，図１，図２，および表１「アミノ酸対応表」から答えを導き出せる。なお，アミノ酸対応表は，正式には「コドン表」といわれる。

64種類のコドンで20種類のアミノ酸を表すことから，異なる複数のコドンが同一のアミノ酸を表すことになる。これは「コドンの縮重（しゅくじゅう）（または縮退（しゅくたい））」と呼ばれる。**問２**はこのことを扱っており，**問４**に繋がる内容である。

問３

コドン表のなかには，対応するアミノ酸がない「終止」（実際には「終止コドン」と呼ばれる）が含まれている。実際の細胞内では，メッセンジャーRNA上に終止コドンが現れると翻訳作業が終了し，メッセンジャーRNAからリボソームが離れる。いったんリボソームがメッセンジャーRNAから離れてしまうと，アミノ酸に対応したコドンが終止コドンの後に続いていたとしても，それらが翻訳されることはない。本問題で初めて「終止」に関する

理解が問われるが，アミノ酸対応表と表の説明文を注意深く読むことで正解を導き出せるであろう。

問４

アルファベット１つでは４通り，２つでは16通りしか区別できないので足りないが，３つあれば64通りの組み合わせができ，20種類のアミノ酸を区別することができる。アルファベット１つで表現される４通りの組み合わせとアルファベット２つで表現される16通りを合わせると20通りとなり20種類のアミノ酸を表現できそうだが，アルファベット１つと２つの表記が混在すると境界がどこにあるのか判別できず，再び正しくアミノ酸に対応させることができない。つまり，アミノ酸を表すアルファベットの数は全てのアミノ酸について同数でなければならず，この条件を満たすのは３個１組の表記となる。

問５

組み合わせの問題である。終止コドンを考えないので，20^4 通り =160,000通りの異なるアミノ酸配列をつくり出すことができる。終止コドンの可能性を考えると組み合わせはさらに増え，３個のアミノ酸列（20^3=8,000通り），２個のアミノ酸列（20^2=400通り）を併せて合計168,400通りとなる。

ヒトのつくり出すタンパク質は10万種類と言われるが，わずか12個のアルファベットであってもこの数を超える種類のタンパク質（アミノ酸の列）をつくり出すことができる。この原理は，30億塩基（えんき）もあるヒトの染色体から特定の配列を見つけ出し，増殖させることができる「ポリメラーゼ連鎖反応（れんさはんのう）（PCR）」と呼ばれる技術にも使われている。

問６

コドンの縮重（しゅくじゅう）（または縮退（しゅくたい））に関する理解を問うており，**問２**で扱った内容と本質的には同じであるが，理解している内容を記述しなければならないため，より整理された理解とその表現力が求められる。

問７

この問題以降，コドンの暗号を読み解く問題からアミノ酸およびタンパク質の物性や機能に関わる話となる。実際，タンパク質の形や機能はアミノ酸の並び方によって，つまりは塩基の並び方によって完全に決まるのかというと，そうではない。アミノ酸の並び方（一次構造と呼ばれる）が同じでも，その立体的な折りたたまれ方が変わると全体の形（立体構造）が違ってくる。立体構造が違えば，他の分子との関わり方が違ってくる。すなわち機能が違ってくるということである。

タンパク質の立体構造を研究する分野は「構造生物学」と呼ばれ，現在盛んに研究されて

いる。まだ解明されていないことが多々あるが，それでも近年のコンピュータを用いた生物学（バイオインフォマティクス）の進歩は目覚ましく，アミノ酸の配列からタンパク質立体構造を予測する手法は次々と開発されつつある。**問７**で取り扱うのは立体構造予測に必要となる「アミノ酸の疎水性」という性質である。本文中にもあるように，水になじみにくいアミノ酸（疎水性アミノ酸）同士は集合しやすく，また水になじみやすいアミノ酸（親水性アミノ酸）同士も集合しやすいが，疎水性アミノ酸と親水性アミノ酸は互いに遠ざけようとする（さらにはアミノ酸の酸塩基性も関係するが複雑になるのでここでは取り扱わない)。この考え方に基づくと，水溶性タンパク質，すなわち水に溶けているタンパク質はその表面に親水性アミノ酸がなければならない。このタンパク質が疎水性アミノ酸を含んでいるとすれば，それらはタンパク質表面ではなく内側に隠されていることになる。

さてタンパク質は様々な物理的要因，化学的要因に応じて性質が変化する。タンパク質の形が変化することにより他の物質との関わり方が変わり，機能が変わる。このような変化を通して，タンパク質は様々な状況に応じた機能を発揮する。しかし，あまりに激しい変化にさらされてしまうとタンパク質は機能できる範囲を超えて大きく変化してしまう。最も激しい要因は燃焼で，タンパク質の基本単位であるアミノ酸も二酸化炭素や水に分解される。塩酸などの酸処理では，アミノ酸は分解されないがアミノ酸同士の結合（ペプチド結合）が分解され，バラバラのアミノ酸になる（加水分解という)。さらに緩やかな要因では何が起こるか，それが**問７**の内容である。熱水で処理したり塩の濃度を急激に変えたりすると，アミノ酸の性質やアミノ酸同士のつながり（一次構造）は保たれているものの，立体構造が壊れてしまうことがある。すなわちアミノ酸同士の立体的な位置関係が壊れ，内側に隠れていた疎水性アミノ酸が外側に出てしまうことも生じうる。こうなるとタンパク質はもはや，本来の機能を発揮しえない（活性を失うので「失活」と呼ばれる)。このように熱によりタンパク質が機能を失うほど性質を変化させることをタンパク質の「熱変性」と呼ぶ。熱変性により，水溶性のタンパク質が不溶性になるなど性質が大きく変わることがある。鍋を煮たときに生じる「アク」には，そのような原因で出現したタンパク質が含まれているのである。なお，生物は熱変性したタンパク質を再び本来の立体構造に修復するという巧妙な仕組みも持っている（この仕組みにより全ての熱変性したタンパク質が修復できるわけではない)。

問８

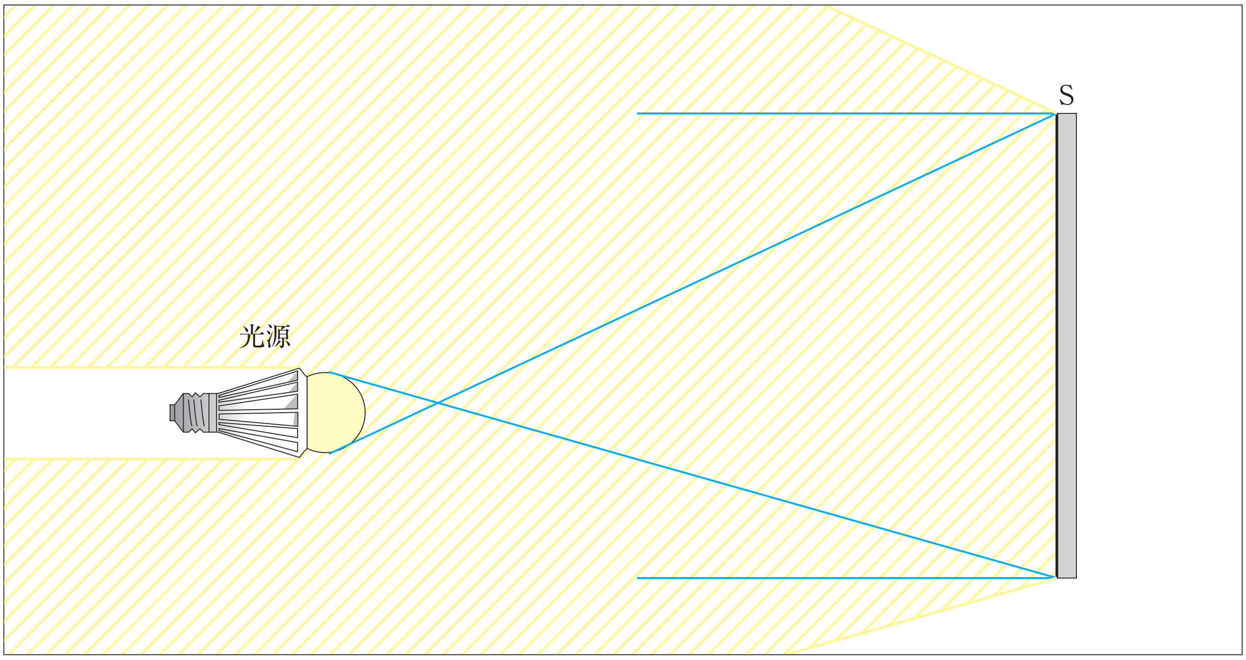
問７で扱ったのは，タンパク質の立体構造が外的な要因（高温）で変化する例である。しかし，本来のタンパク質の構造が変化する要因としては，このような外的要因だけではなく内的な要因もある。すなわち遺伝情報が変化することでタンパク質の構造変化を引き起こすケースである。**問６**までで扱った遺伝暗号の問題と**問７**のタンパク質構造の問題が，**問８**で複合的に取り扱われている。

遺伝暗号（塩基配列）の変化は「変異」あるいは「突然変異」と呼ばれる。変異の内容に

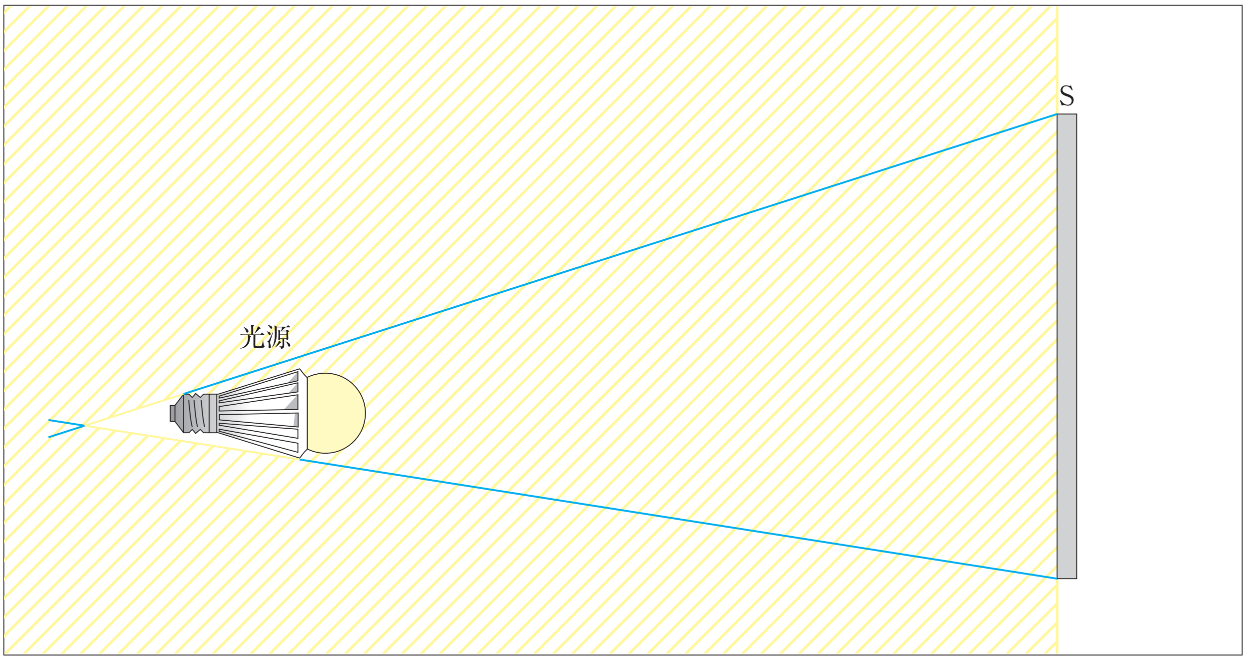
より，タンパク質の構造や機能に実質的な影響を及ぼさないものもあれば，重大な影響を及ぼすものもある。**問８**で扱っているのは「鎌状(かまじょう)赤血球症」と呼ばれるもので，わずか１塩基(えんき)で生じた変異で重大な変化が生じる典型的な例として知られ，詳しく研究されている。問題文で示したように，ある塩基がＡからＵに変化したために，この塩基で表されるアミノ酸がグルタミン酸（ＧＡＧ）からバリン（ＧＵＧ）に変化する。グルタミン酸は親水性(しんすいせい)の，バリンは疎水性のアミノ酸であり，グルタミン酸からバリンに替わることでタンパク質（ヘモグロビン β(ベータ) 鎖(さ)）の性質が変化する。この変化により，ヘモグロビンタンパク質の溶解度(ようかいど)（水に溶ける度合い）が低下し，このことで赤血球の形が鎌状に変化する。鎌状赤血球症では，正常なヘモグロビンが不足するため酸素運搬能力が低下しており，貧血を起こしやすい。鎌状赤血球症の全体を理解しようとすると医学，遺伝学や生化学と呼ばれる分野の知識が必要となり大変手強(てごわ)いが，興味のある人はぜひ挑戦してほしい。

一方，鎌状(かまじょう)赤血球症では，感染症であるマラリアに対して耐性を示すことが知られている。このことにより，マラリアがよく見られる地域では鎌状赤血球症もまたよく見られる。鎌状赤血球症は，本問題で扱ったようにわずか１塩基の違いが重大な疾患(しっかん)をもたらす例であると同時に，生存に重大な影響を及ぼす疾患が別の面では生存に優位な条件となっている例としても知られている。

問１

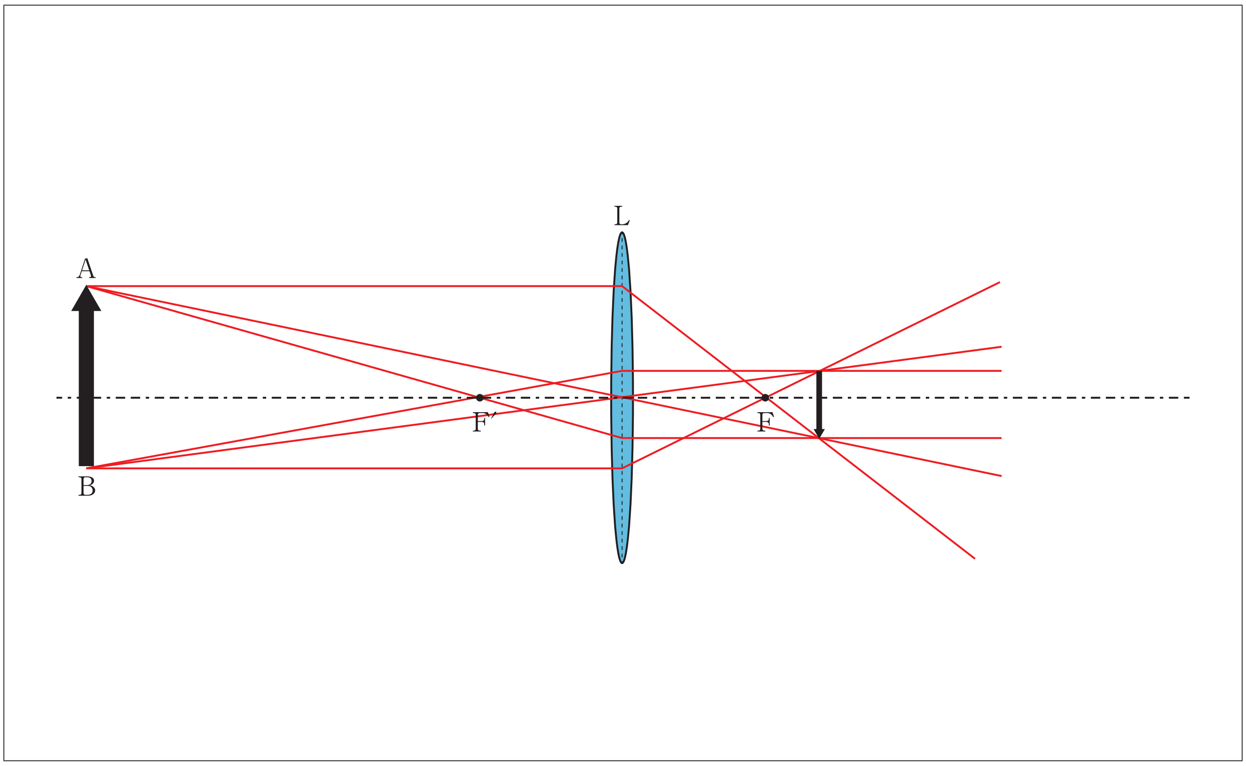


問２



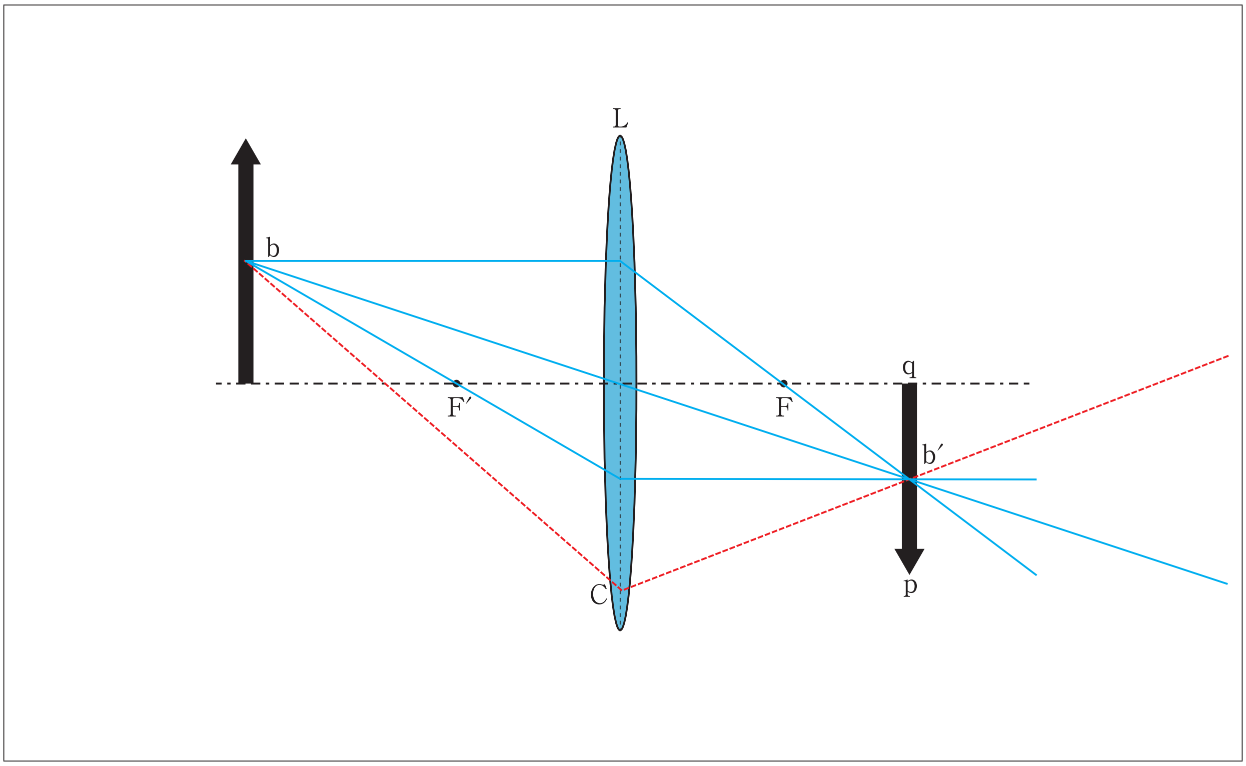
問３

光軸(こうじく)に平行な光線，焦点を通る光線，レンズの中心を通る光線という特徴的な光線による，ごく基本的な作図をすればよい。

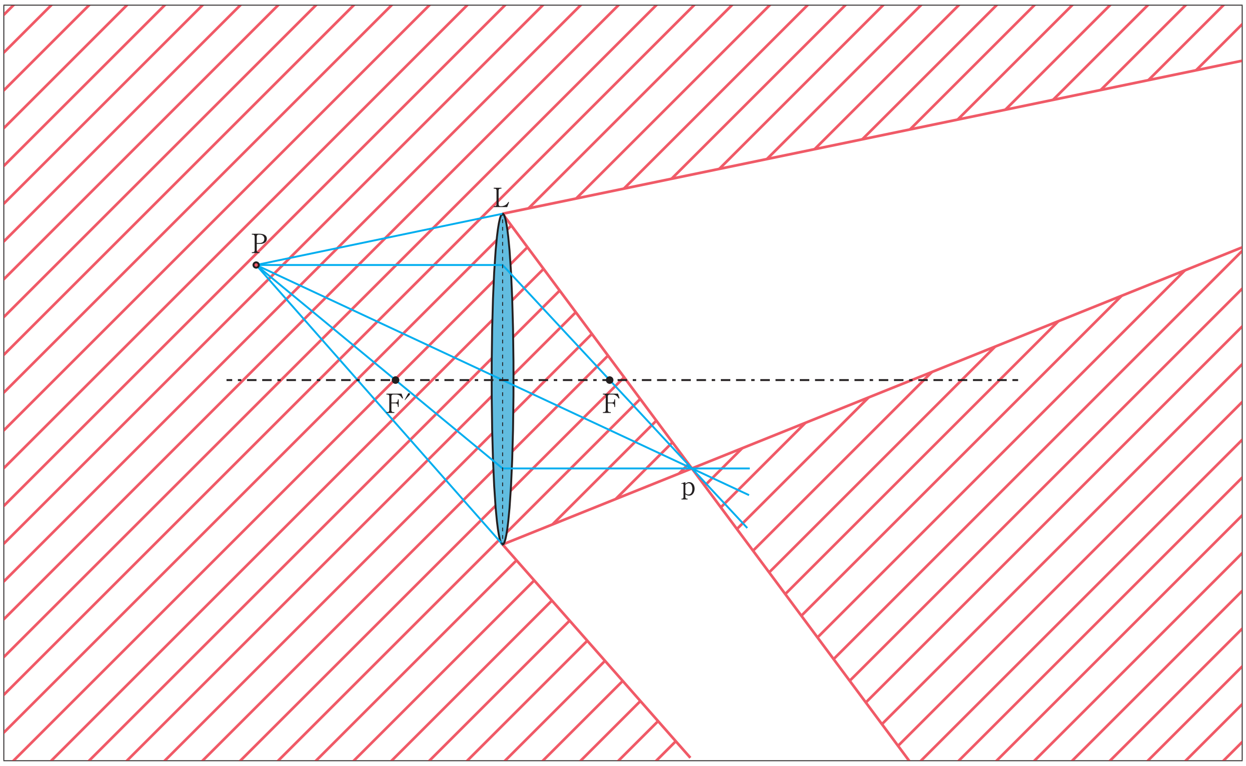


問4

物体と同じ像が見えているということは，物体から出たのと同じようにその像から光が出ていることになる。その光は，物体から出て，レンズで屈折し，物体のその点に対応する像の点を通る。この場合は，物体の中央ｂから出て像の中央ｂ′を通る。



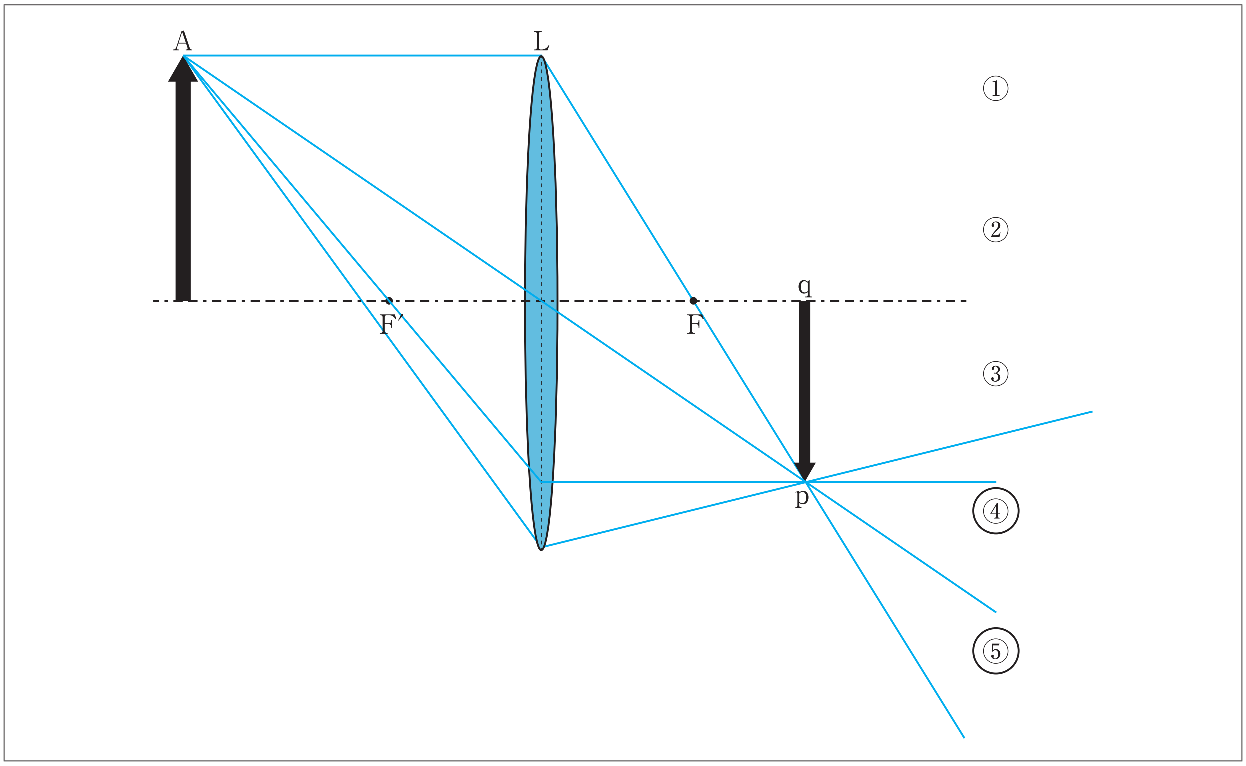
問5



問６

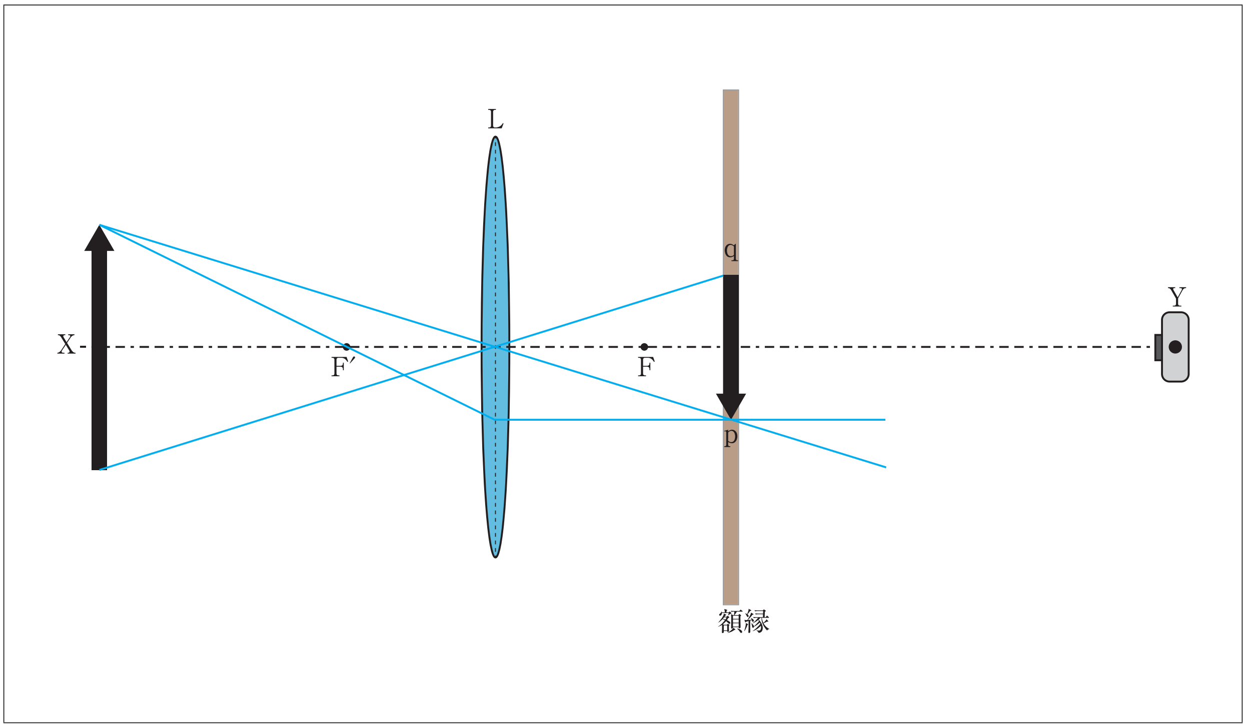
像ができていることから，物体の上部 A 点から出た光のうち，レンズを通った光が像の p 点に集まることが分かる。像の部分には何もないので，光はそのまま直進する。したがって p 点を通る光は，下図のような直線に挟まれた空間を通る。この光が眼に入れば，A 点の像 p 点が見える。

したがって，A 点の像 p 点を見ることができる眼の位置は，④，⑤である。



問７

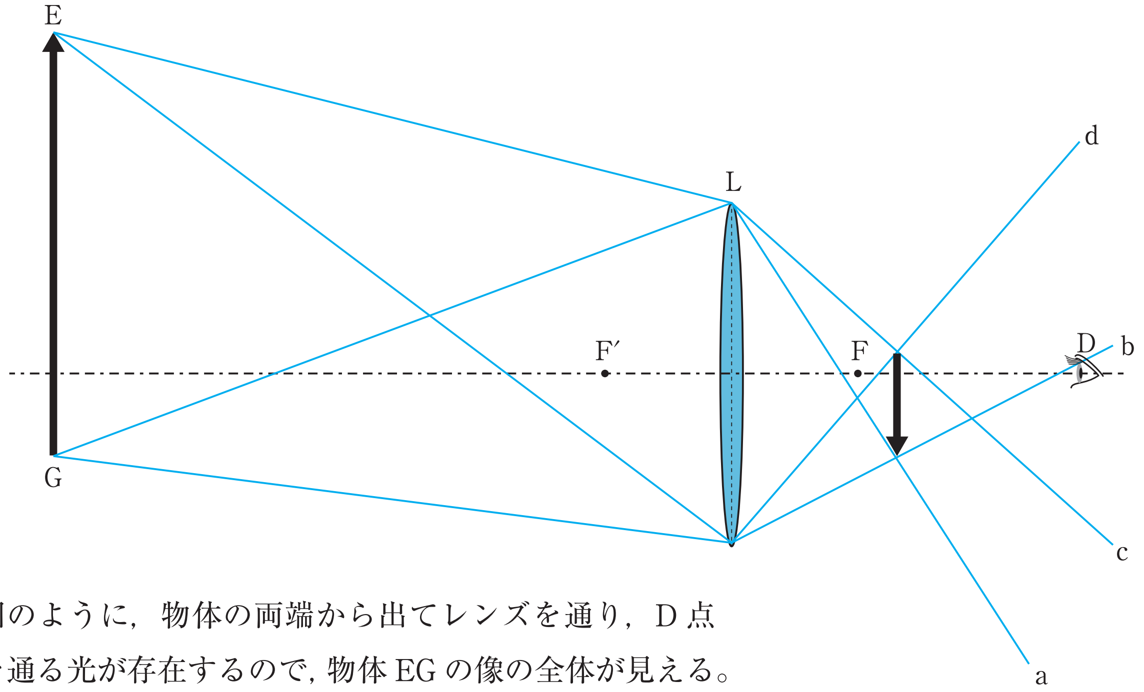
カメラのピントは像にあっているので，同じ位置に額縁を置けば，額縁の中に像が入っているように写る。このためには，像 pq を作図し，Y − p 間の距離を物差しで測り，縮尺比（問題中に Y − レンズ間距離 90 cm が与えてある）から算出する。



Y から額縁までの距離：60 cm

問８

物体の E 点から出てレンズを通った光は，a − b で挟まれる空間を通る。同様に，物体の G 点を出てレンズを通った光は，c − d で挟まれた空間を通る。この両方の光が眼を通るならば，像のすべての点から出た何らかの光が眼を通るので，像のすべてが見える。
作図は以下の通り。

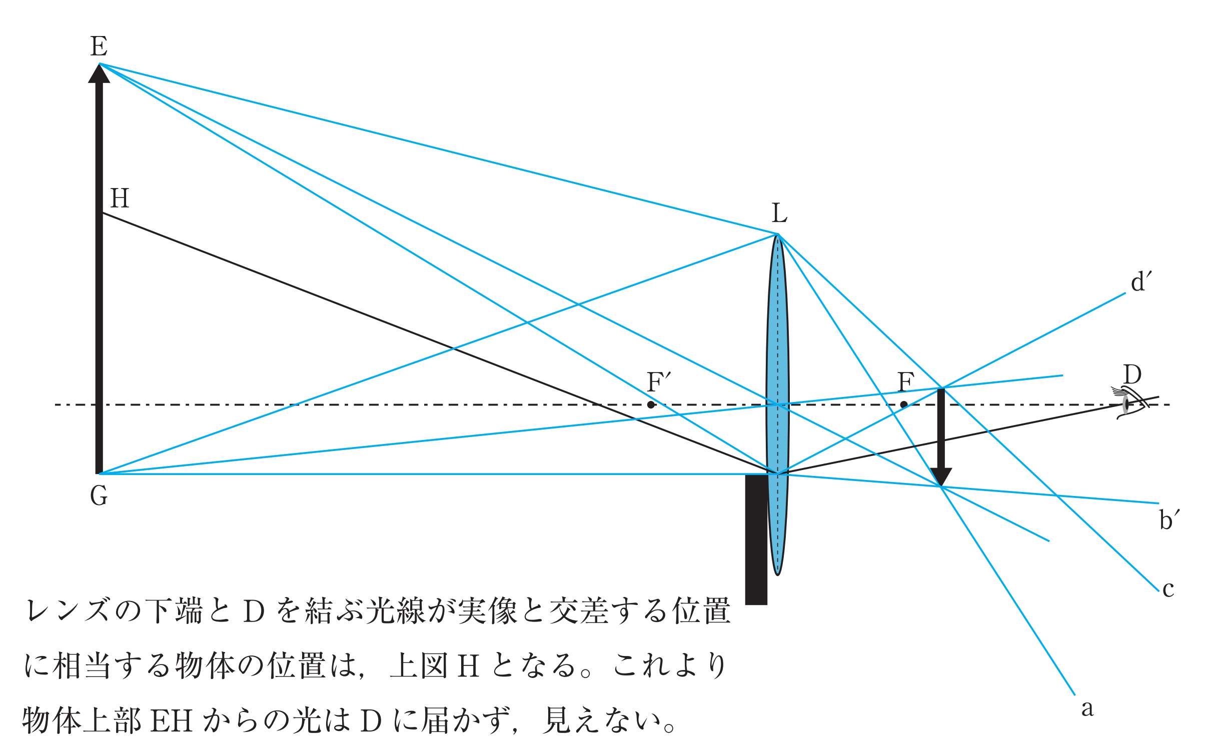


図のように，物体の両端から出てレンズを通り，D 点を通る光が存在するので，物体 EG の像の全体が見える。

問９

レンズが，板で隠された部分を除いた大きさになったとして，**問８**と同様にすればよい。

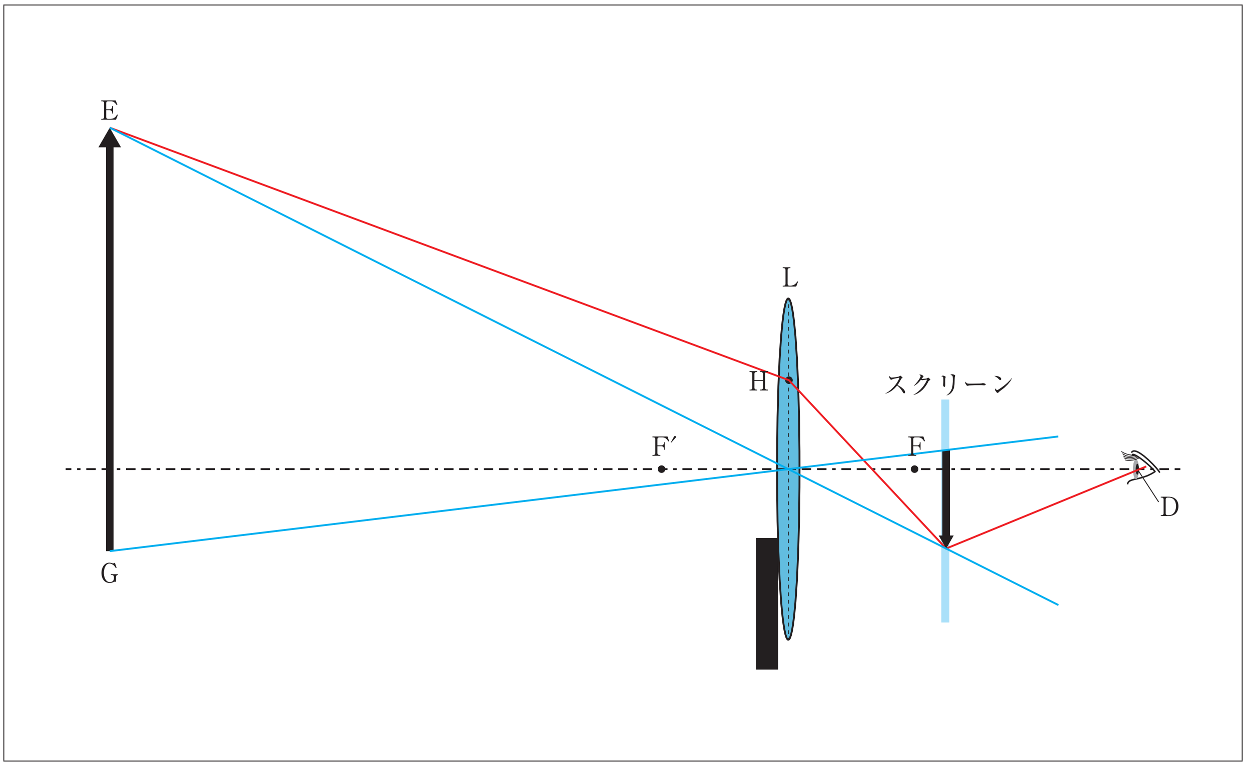
問９のレンズの大きさが，板で隠された分だけ小さくなったとすれば，レンズ下端を通ってDに達する光は下図のようになり，この光線と像が交差する位置に相当する物体の位置は，Hとなる。これより物体の上部EH部からの光はDに届かず見えない。



レンズの下端とDを結ぶ光線が実像と交差する位置に相当する物体の位置は，上図Hとなる。これより物体上部EHからの光はDに届かず，見えない。

問 10

物体からスクリーンまでの作図は，これまでと同じ。スクリーンに像が映ったということは，像からの光が眼に到達していなければならないので，下図のようになる。もちろん，スクリーンから D に至る光は，E から出てレンズを通って像を結んだ光の一部である。



問 11

スクリーン上の像があらゆる方向から見えるということは，スクリーンからあらゆる方向に像の光が届いているはずである。つまり，スクリーンは，像の光をあらゆる方向に散らす働きをしている。

（乱反射，またはそれに類した言葉を使っていても，意図が汲めれば正解とする）

【解説】

問 1

光源から出た光は，鏡 S で，入射角 = 反射角の関係を保って反射する。鏡の両端で反射の法則にしたがって反射光線を描き，この内側に反射光がくる。

問 2

白い紙は，ほとんど真横を含めて，あらゆる方向から見える。したがって，光源からの光をあらゆる方向に反射しているはずである。透過や屈折はしない（万が一しても，それは反射光ではない）から，紙の面と平行な向きを含めた前方すべてに向かって反射光が出る。

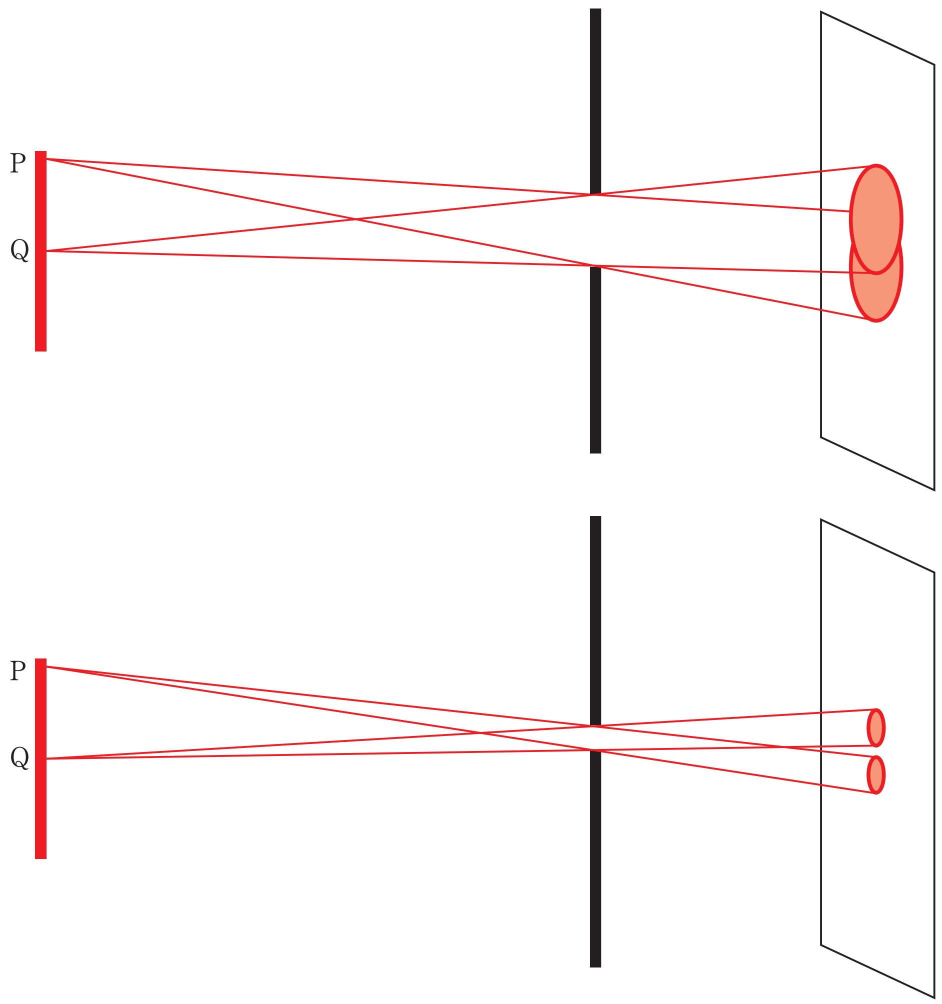
問３

光軸に平行な光線，焦点を通る光線，レンズの中心を通る光線という特徴的な光線による基本的な作図をすればよい。

凸レンズがなくても，真っ暗になる箱の壁に小さな穴（ピンホール）をあけただけでも，向かい側の壁には，風景が映る。これをピンホールカメラという。この原理は，光の直進性にある。

ピンホールの直径が大きいと，物体の２点から出て穴を通った光が広がって重なり合ってしまい，ぼやけた像になってしまう。しかし，ピンホールの直径が小さいと，各点から出た光の広がりが小さく，重なり合わないので鮮明な像となる。ピンホールが小さいほど像は鮮明になるが，像が暗くなる。凸レンズの場合は，レンズを通った光を実像の位置に集めるので，レンズの直径が大きいほど明るく，しかも鮮明な像になる。

なお，ピンホールの直径があまり小さすぎると，光の波としての性質のために，やはり不鮮明な像になってしまう。このあたりの学習は，高校３年生で物理の勉強をすると分かる。



問４

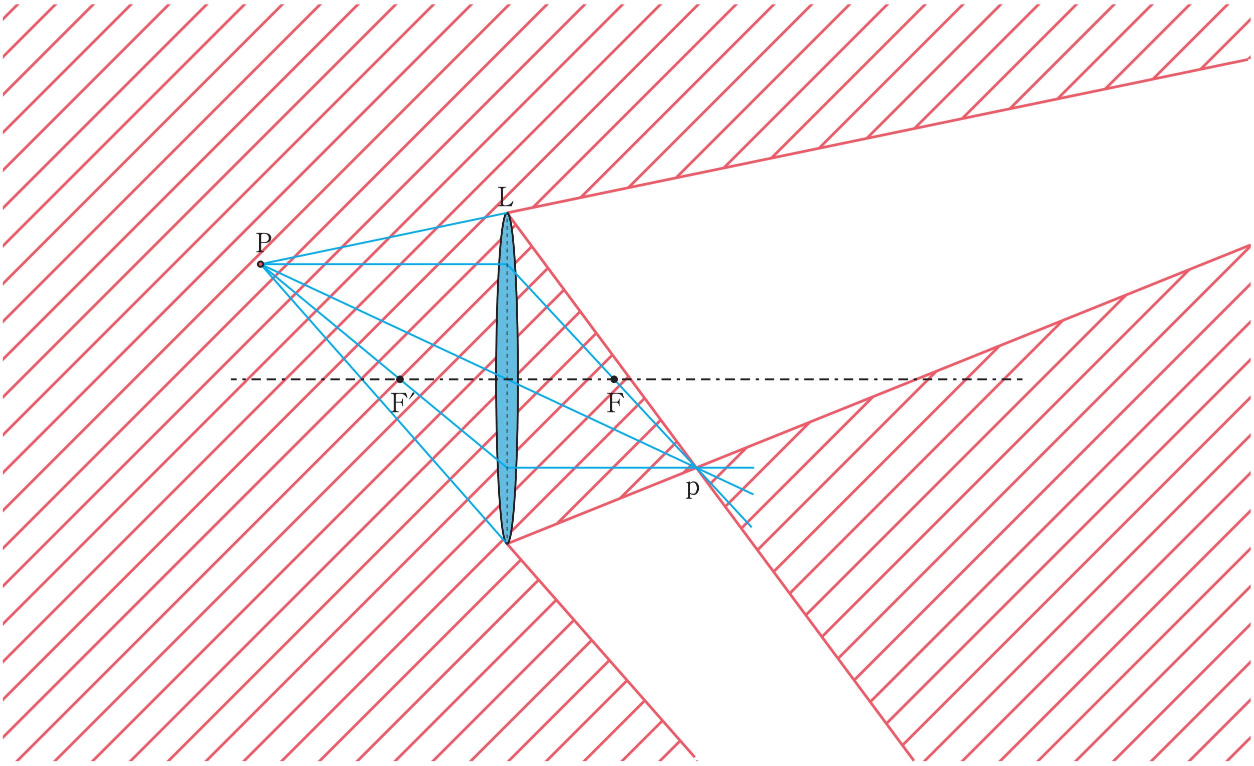
物体と同じ形の像が見えているということは，その像からも物体から出たのと同じように光が出ていることになる。その光は，物体から出て，レンズで屈折し，物体のその点に対応する像の点を通る。この問題の場合，光の進行方向を変えるのはレンズしかないから，レンズ以外では光は直進するので，物体の中央から出て，レンズを通った光は，物体の中央に対応する像の中央を通る直線として表される。

物体が見えているときと同じ位置から同じ角度で同じ色，同じ強さの光がやってくれば，そこに物体がなくても，その物体と同じように見える。これが，実像である。実際にある位置から光がやってこなくても，そこからやってきたのと同じ角度，強さ，色で眼に光が入れば，そこに物体があるのと同じように見える。これが虚像である。実際にそこに物体があるのか，実像なのか，虚像なのかは，眼が得た光の情報だけでは判断はできない。

眼を閉じてオーケストラの演奏を聴くとき，音の情報は両方の耳から入ってくるだけだが(実際には肌で感じる振動もある)，どのあたりにピアノがあり，どのあたりにティンパニーがあるのか分かる。この演奏を，離して置いた２つのマイクロホンで録音し，録音した音をマイクの位置から同じ強さで出せば，２つの耳には生演奏と同じ音がやって来る。実際にオーケストラはそこになくても，ピアノの位置やティンパニーの位置が分かる。これが，ステレオ録音・ステレオ再生である。実際には各位置に各楽器があるわけではないのだが，まるでそれぞれの位置からそれぞれの楽器の音がやってきているように思えるだろう。これは音の虚像といえるかもしれない。

問５

Ｐ点から出て凸レンズを通る光のうち，典型的な３本の光線によって，Ｐ点の実像の位置ｐを見つける。Ｐ点から出てレンズを通った光は，すべてこの点を通る直線となる。レンズを通らない光は，Ｐ点から放射状に直線的に進む。



問５の追加解説 1

虫眼鏡で太陽光を集めると，焦点に光が集まる。しかし，限りなく小さな点にはできず苦労した覚えはないだろうか。これは，太陽に大きさがあるため，この実像が広がりを持った大きさになるためである。太陽の実像を，点にはできないのである。普通の虫眼鏡（焦点距離 7 cm くらい）であると，この像の直径は約 0.7 mm である。太陽から凸レンズに届いた光はすべてこの実像に集まってしまうので，輝く実像の周りにはレンズの影ができる。**問５**にも，この影に相当する光の届かない場所があることが分かる。

先の太陽の実像の周りの凸レンズの影が真っ暗にならないのは，明るい空からの光や他の物体で反射した光等がこの影を照らしているからである。空が明るいのは，太陽からの光が空気などにより，さまざまな方向に散らされているからである。月のように空気がない世界では，空は黒く，影も極めて暗くなるはずである。

虫眼鏡が作る太陽の実像の直径 D を求める。実像はほぼ焦点の位置にできるので，物体とレンズと像との間の相似関係を利用すれば，以下のようになる。

（太陽の直径）：（実像の直径）＝（レンズから太陽までの距離）：（焦点距離）

これに実際の距離を入れると，

140 万 km：D＝1.5 億 km：7 cm

D≒0.065 cm≒0.7 mm

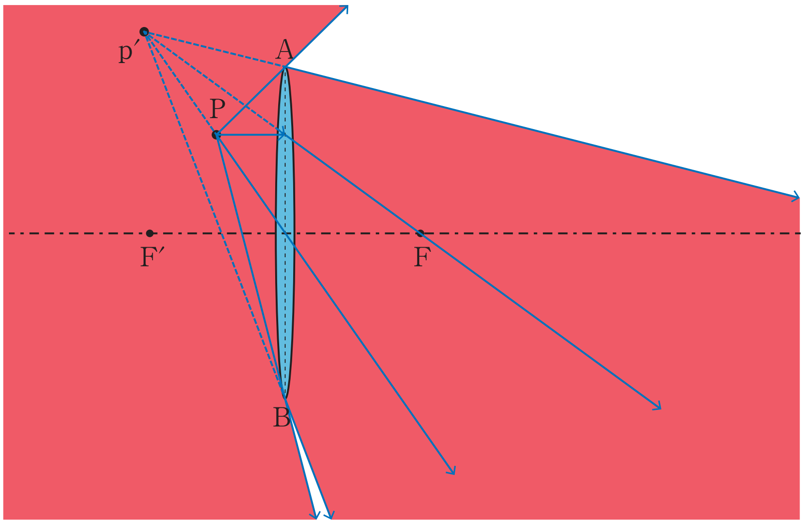
なお，焦点距離 100 cm の凸レンズ（天体望遠鏡のレンズなど）を使うと，大体直径 1 cm の太陽の実像ができる。

月の直径は3474 km，地球から月までの距離は約38万km（地球に一番近いときは36.3万km，遠いときは40.5万km。このためスーパーフルムーン，皆既日食，金環食などの変化が現れる）で，太陽と同様にして求めると，焦点距離100 cmの凸レンズの実像は，直径約1 cmで太陽とほぼ同じである。太陽も月も，見かけの大きさは大体同じ（視角にして，約0.5度）に見える。

焦点距離5 mの凸レンズで太陽や月の実像を作れば，直径5 cmくらいの像が投影される。

問５の追加解説２

光源Pが焦点と凸レンズの間にあるとき，Pから出た光の届く範囲はどうなるだろうか。たとえば，下図のP点に光源があったとする。この虚像は作図により，p′点にできる。Pを出て凸レンズを通った光は，このp′点から放射状に出ているように見えるはずである。したがって，下図のようになる。

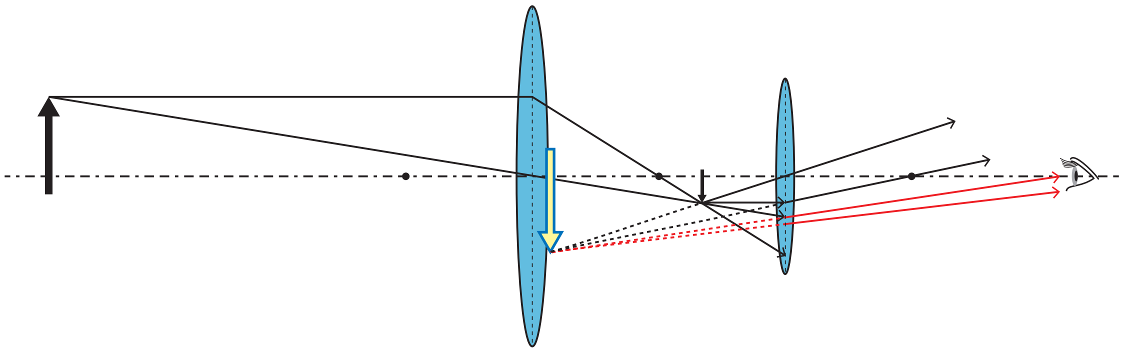


問５の追加解説３

天体望遠鏡の仕組み

凸レンズで物体を拡大して見るためには，物体を焦点の内側に置く必要がある。しかし，遠くの月を虫眼鏡の焦点の内側に置くことはできない。そこで，対物レンズと呼ばれる大きな凸レンズで，月の実像を焦点近くに作り，これを虫眼鏡の働きをする接眼レンズで拡大すれば望遠鏡になる（次図）。

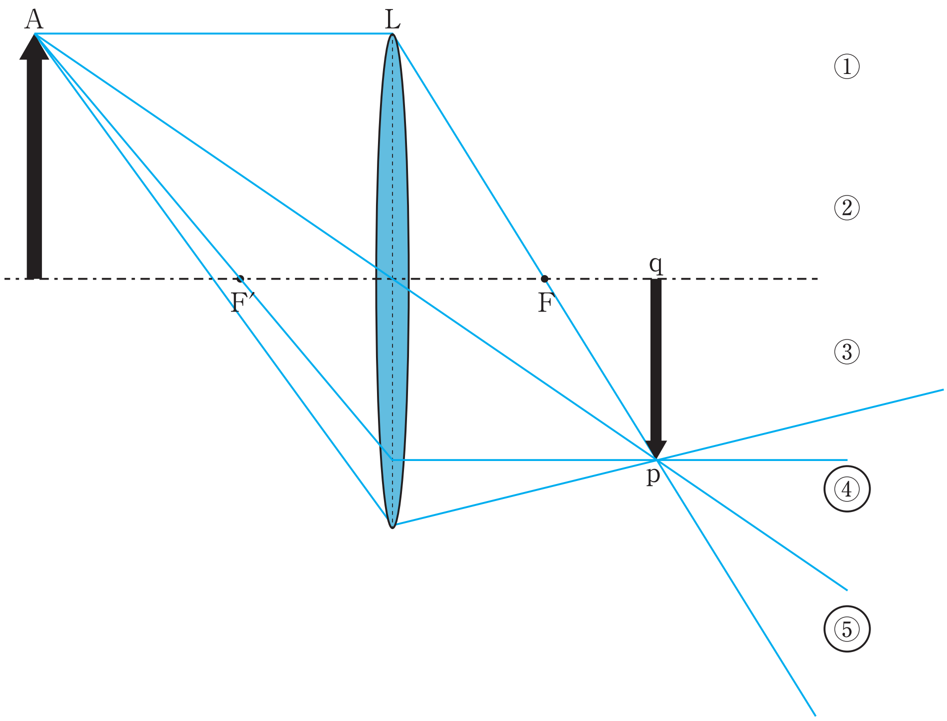
対物レンズの直径が大きいほど多くの光を集めることができ，暗い星まで見ることができる。また，対物レンズの焦点距離が長ければ，これが作る実像を大きくできる（**問５**の追加解説１参照）ので，これを接眼レンズでさらに拡大すれば，より大きな像が得られる。



問６

像ができていることから，物体の上部 A 点から出た光のうち，レンズを通った光が像の p 点（下図参照）に集まることが分かる。像の部分には何もないので，光はそのまま直進する。したがって A 点から出て凸レンズを通って p 点を通る光は，下図のような直線に挟まれた空間を通る。この光が眼に入れば，A 点の像 p 点が見える。

したがって，A 点の像 p 点を見ることができる眼の位置は，④，⑤である。

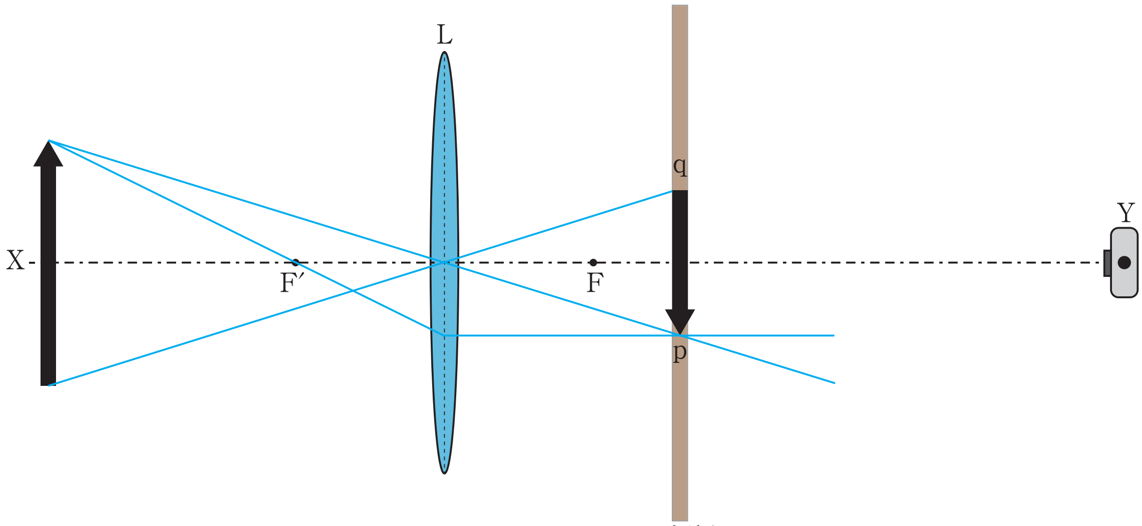


問７

カメラのピントは像にあっているので，同じ位置に額縁が来れば，額縁の中に像が入っているように写る。このためには，pq を作図し，Y から像までの距離を物差しで測り，縮尺比（問題中に Y－レンズ間距離 90 cm が与えてある）から算出する。

Y から実像までの距離 x の計算は，以下の比例式から求める。

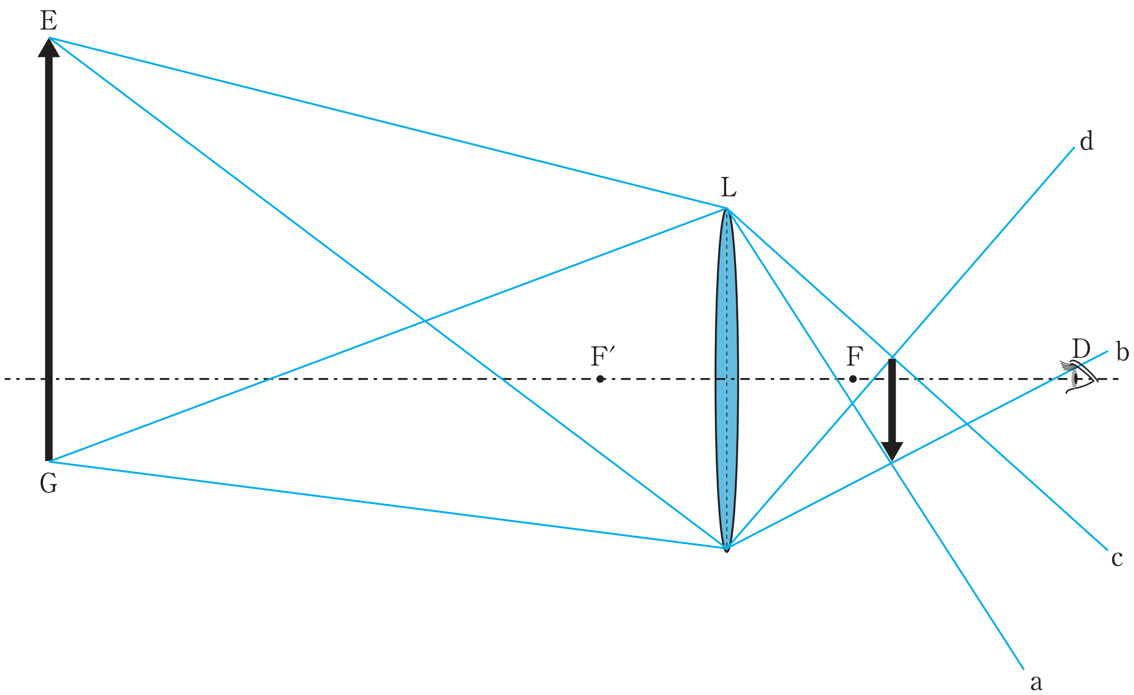
90 cm：x＝(図上の Y からレンズまでの距離)：(図上の Y から像までの距離)



Y から額縁までの距離：60 cm

問８

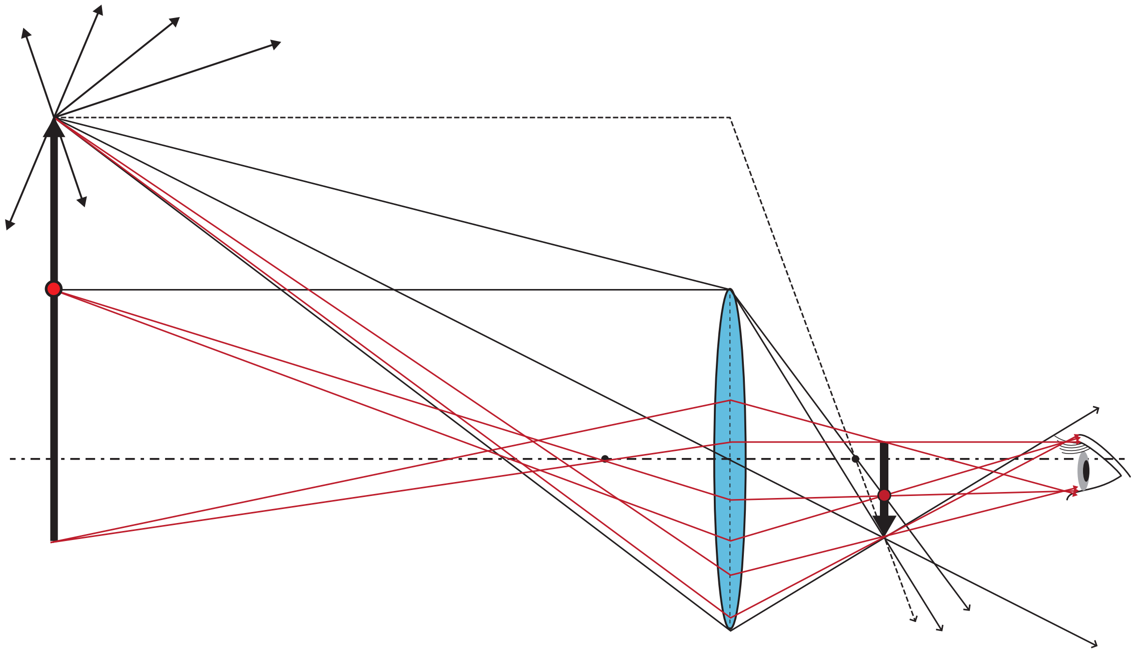
下図のように，物体の E 点から出てレンズを通った光は，a − b で挟まれる空間を通る。同様に，物体の G 点を出てレンズを通った光は，c − d で挟まれた空間を通る。この両方の光が眼を通るならば，像のすべての点から出た何らかの光が眼を通るので，像のすべてが見える。



物を見ているときには，眼が網膜上に実像を作ることで見えているので，物体や像の 1 点から角度を持って放射状に広がって出た光の一部が眼のレンズで再び網膜上に集められている。実像や虚像を見ているときも同様に，単なる光線 1 本が眼に入っているのではなく，角度をもって目に入射している光の束で考える必要がある。

次の図では，左側の物体の各点から出てレンズを通った光の一部がそれぞれ眼に入ってい

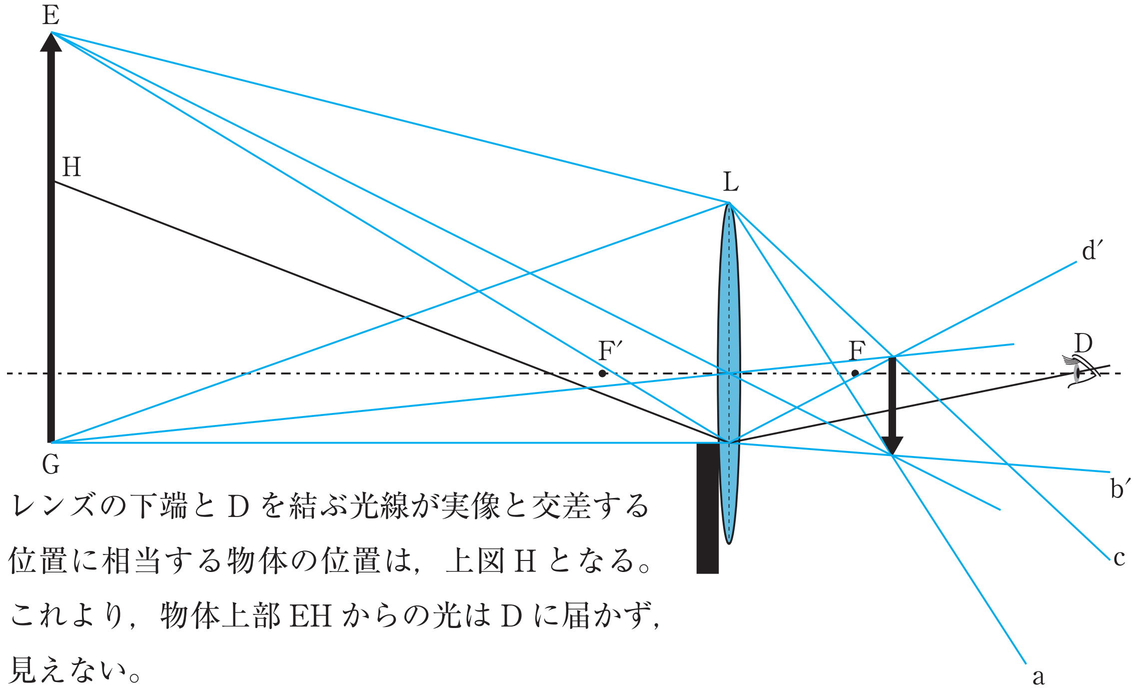
るので，全体像が見えている。



問９

　レンズが板で隠された部分を除いた大きさになったとして，**問８**と同様にすればよい。E を出て板に隠されずにレンズを通る光の上限は b′ であるので，眼には入らない。板の上端からレンズを通って D に来る光は図の黒い線である。この光線が通る像の部分と対応する位置から，逆にこの光が出た物体の部分の位置が分かり，それは H 点である。D-b′ で挟まれる像は，眼に入らないので見えない。

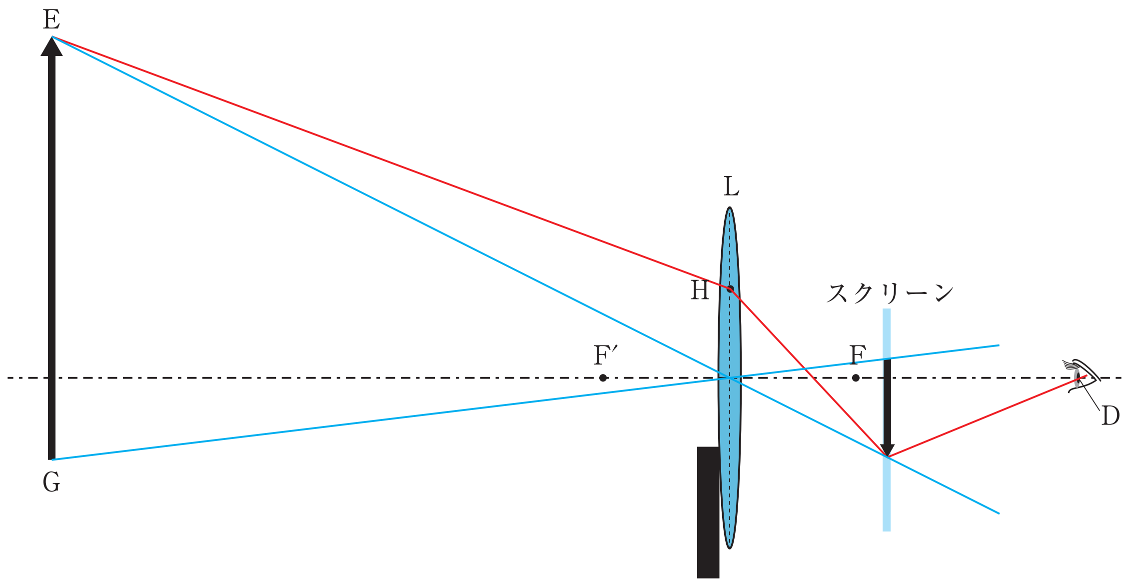
　遮蔽板（しゃへいばん）がレンズの前に置かれても，実像はできている。しかし，実像のうちのある部分から出る光は，眼に向かう角度ではなく，その部分は眼には見えない。



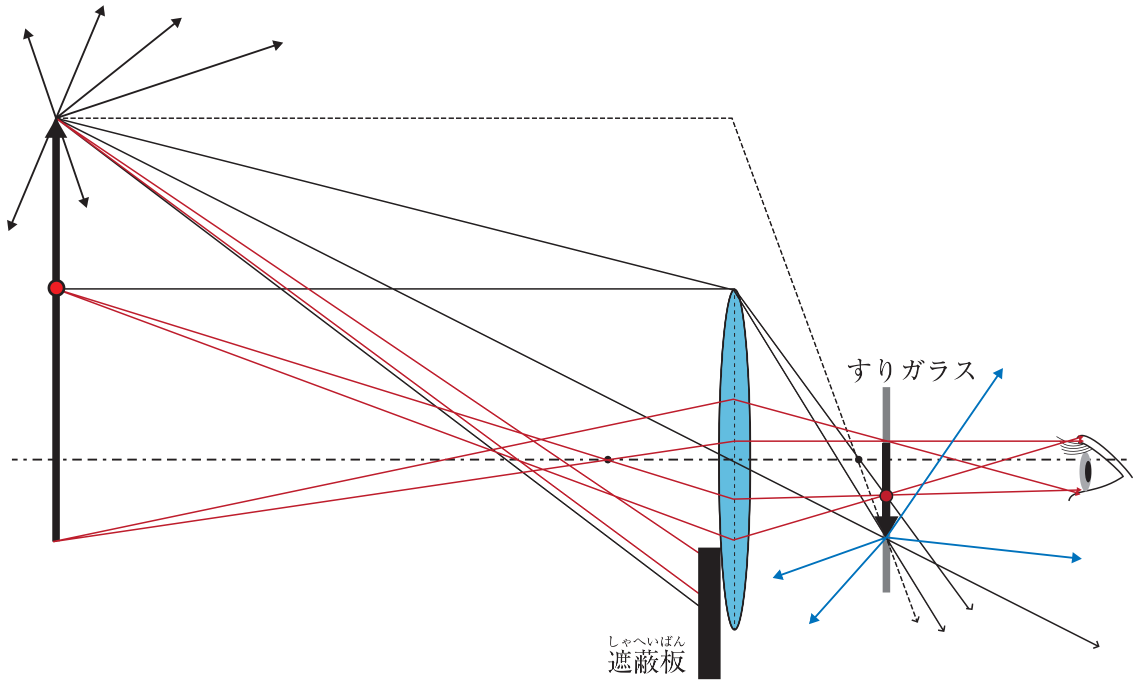
レンズの下端と D を結ぶ光線が実像と交差する位置に相当する物体の位置は，上図 H となる。これより，物体上部 EH からの光は D に届かず，見えない。

問 10

物体からスクリーンまでの作図は，これまでと同じ。スクリーンに像が映ったということは，像からの光が眼に到達していなければならないので，下図のようになる。もちろん，スクリーンから D に至る光は，E から出てレンズを通って像を結んだ光の一部である。



実像の位置にすりガラスなどを置くと，ここにやってきた光がいろいろな方向に散らされるので，その中には眼に入る光もある。このため，すりガラス上に映った像が見える。ただし，すりガラスで反射するなど，眼に向かわない光が増えるので，像はやや暗くなるであろう。**問８**の解説図ですりガラスのはたらきを含めて描くと次図のようになる。



問 11

　スクリーン上の像があらゆる方向から見えるということは，スクリーンからあらゆる方向に像の光が届いているはずである。つまり，スクリーンは像の光をあらゆる方向に散らす働きをしている。

【出題のねらい】

　中学校では凸レンズによる像について，典型的な３本の光線を引くことで像の位置を描くことばかりを勉強していなかっただろうか。それは科学の学習ではない。そんなことでは，本当の理解にはつながらず，具体的な現象の分析はできない。像ができているとは何か，ものが見えているとはどういうことかを，このレンズの学習で理解する必要がある。

　ここでは，物体や像が見えるとは何かを理解しながら，その理解を応用して，レンズを隠しても像が欠けない理由が説明できるように問題を構成した。

科学の学習方法とレンズの学習について

よく「○○の法則により，□□である。」といった説明がある。この法則は，最初から知られていた訳ではなく，具体的な現象の観察・実験から得られたものである。そこで得られた法則を用いて他の現象をうまく説明できるという多数の試練を経て，この法則が使えそうだと分かってきた。あくまで完璧な法則などありはしない。期待する範囲内で，大体あっていると言えるだけである（大体とは言ったが，現在の物理学の精度は極めて高い）。

科学的な理解は，具体的な現象の観察・実験から原理・原則・法則性を見出し（帰納的な方法），これを応用して未知の現象を理解する（演繹的な方法），この過程でさらに新たな疑問が出てきて次なる仮説が生まれ，観察・実験によりこの仮説が検証され・・・，と繰り返されながら深まっていく。

自然科学は，自然界の仕組みを理解しようとする学問である。したがって，自然界の事象を探究しないで理解することなどあり得ない。現象を知らないで法則や公式を覚えても，それは自然科学ではない。

凸レンズが作る実像を例に考えてみよう。なぜ凸レンズで実像ができるのかを知らなくても，実像ができる事実はある。まるで物体がそこにあるように見えることから，物体の１点から出た光が，物体に対応する像の１点に集まり再び出ていく，つまり相互の点が１対１対応していなければならないことが分かる。各対応点は，レンズを通して光線で結ばれている。この対応点を見つけるための代表の光線として，その通り道が明らかである３本の光線が作図に使われている。この方法を他のレンズで使ってみても，確かに像ができる位置が分かる。ところで，先の考え方からすると，物体のある点を出てレンズの任意の位置を通った光は，必ず物体に対応する像の点を通るはずである（仮説）。これを確かめるためには，物体のある１点からレーザー光線をレンズに照射し，レンズのどこを通っても決まった１点に集まることを確認すればよい（検証）。

ところで，なぜ凸レンズで光が集まるのだろうか。これを明らかにするには，ガラスで光が屈折するのはなぜか，透明とは何か，そもそもガラスとは何か，光とは何かに答えなければならない。

少しだけ，この先の世界を示しておこう。

光という空間の電気的・磁気的な振動が，物質を構成する原子の中の電子を振動させ，この振動が空間の電気的・磁気的な振動（つまり光）を生み出す。これらの無数の電子により生み出された光が重なり合い，その結果が透過，屈折，反射，吸収などの現象として観測される。

ここから先は，大学レベルの物理学での勉強が必要である。さらに勉強を続けてほしい。ただし，教えてもらうのではなく，自分で疑問を持ち，自ら理解しながら解決していかなければいけない。そうでなければ，すでに分かっていること以上に知見は広がらない。まだ誰も理解していない知の世界を開拓するのは君たちなのだ。

問１

記号：e

利用形態：農作物の肥料としての利用

問２

(ア)化石　(イ)凸レンズ　(ウ)丈夫であった（強かった）

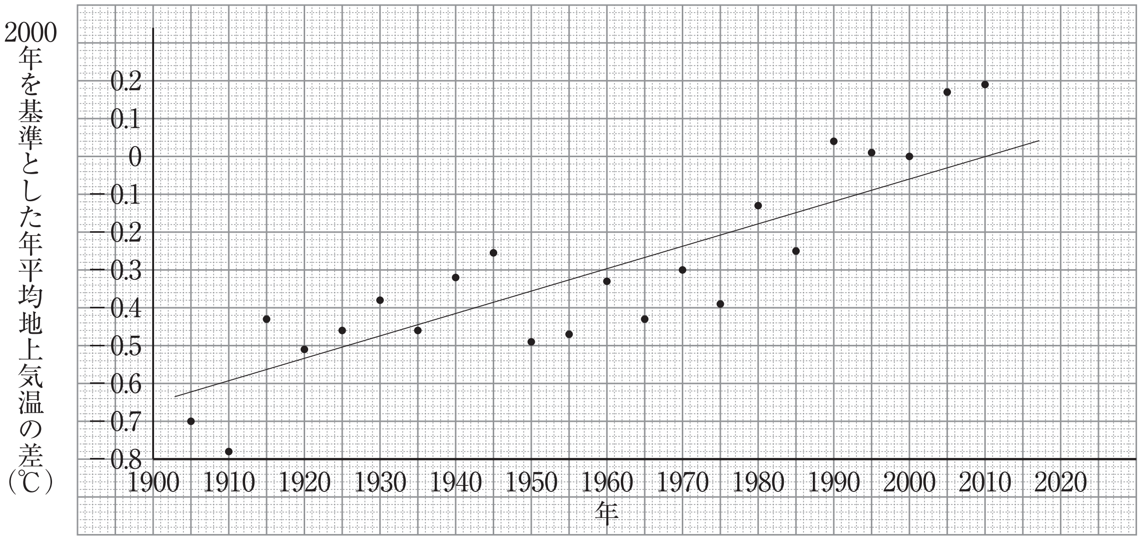
(エ)化学合成　(オ)産業革命

問３

6 m

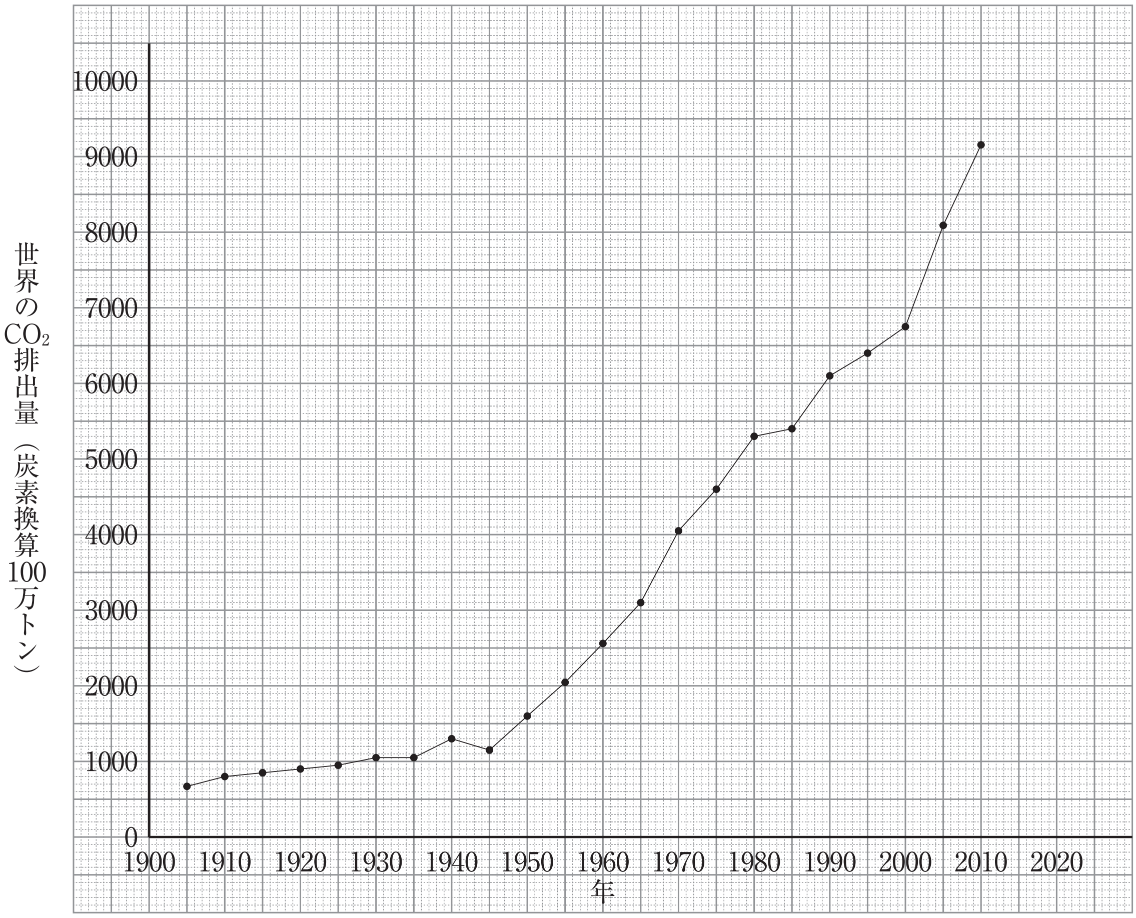
問４

(1)　グラフ



気温上昇の傾向：約 0.6℃ ／100 年間

(2)



(3)

○人為的な要因

・車の排気ガス中の物質の増加（NO_x，SO_x）

・工場からの煤煙（ばいえん）（酸性物質）

・都市化（ビルやコンクリート，舗装道路）

・水質汚濁や海洋汚染

・砂漠化や家畜の放牧

・焼き畑，熱帯雨林の伐採，耕地化

・二酸化炭素以外の温室効果ガスの増加例

（・メタンガスの増加の例：反芻（はんすう）動物のげっぷ，水田や天然ガス，ゴミの埋め立てなど
・フロンの増加の例：冷蔵庫やクーラーの冷媒の放出
・亜酸化窒素（あさんかちっそ）の増加の例：家畜の排泄物の増加）

問５

京都市は東，北，西を山に囲まれた盆地であるため風が弱く空気が滞りやすいために真夏日と冬日の年間日数は東京よりも多いことがわかる。しかしながら東京の熱帯夜の日数は京都市よりも多く，これは室外機やアスファルト道路，コンクリートの建造物からの排熱によるヒートアイランド現象によるものと考えられる。(145 字)

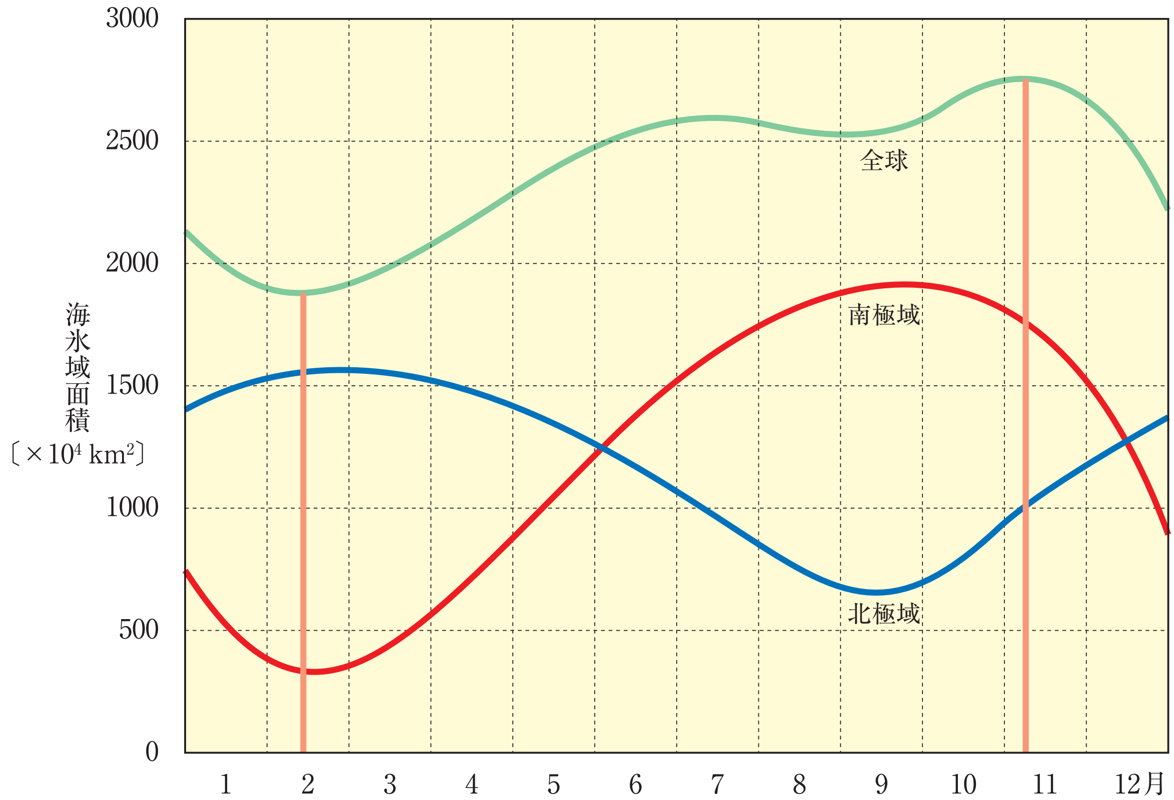
問６

(1)　(ア)陸地（大地）　(イ)低　(ウ)冬　(エ)春　(オ)大き　(カ)反射　(キ)縮小（減少）　(ク)吸収

(2)　地軸が約 23.4 度傾いているから。(17 字)

(3)　グラフ：下図

最大月：11 月，最小月：２月



問７

(1)　(ア)温室効果　(イ)メタン　(ウ)赤外線（熱）　(エ)同じ（等しい）

(2)　惑星名：金星　探査機名：②

問８

(1)　分別に費やされるエネルギーを減らすことができ，さらに不純物が混ざると品質が低下して再利用できなくなり，ゴミとして燃やされて二酸化炭素を排出するから。

⑵　古紙を回収し再利用することで，木（森林）を伐採せずにすむ。また木材は光合成により，二酸化炭素を吸収するので，温室効果ガスの一つといわれている大気中の二酸化炭素量を減らすことができる。

問９

１．印刷用紙に裏紙を使う。
２．連絡用印刷物をネット配信にする。
３．配布プリントを回収して再利用する。
４．余ったノートを再利用する。
５．夏時間を設ける。
６．チョークを最後まで使う。
　　など

【出題のねらい】

本問のねらいは「データ処理とデータ解析」にある。問題文の冒頭にも記したが，私たちの身の回りには溢れるばかりの情報で満ちている。これらの情報の真偽を見抜くためには，経験もさることながら，情報を裏付ける膨大なデータを整理して，そこから見えてくる真偽を見抜くことが大切である。この手法は，科学的な探求の方法に欠くことができないものである。そこで本問では三部構成とし，「各種データからの知見」と題した第二部において科学的なデータ処理と解析を行うが，闇雲にデータを解析するだけでは焦点もぼやけてしまうので，全体を通したテーマとして地球温暖化を選んだ。第三部で温暖化について考察するヒントとして，第一部では化石燃料の使用がなかった江戸時代の人々の生活を顧みて，様々な教訓を見つけることから始める。

【解説】

問１

　現在ではほとんど見られなくなった江戸時代の職業から，循環型社会・低炭素社会を担っている職業について考える。

a　鋳掛屋　ふいご（鉄を溶かす道具）を持ち，穴やひびの入った鍋や釜を**修理**する職業。
b　羅宇屋　煙管の中間にある竹管部分の**修理交換**やヤニの**清掃**を行う職業。
c　箍屋　桶や樽の板を固定する周囲の竹を**交換**したり**修理**する職業。
d　提灯張り替え　提灯の紙を張り替えて**修理**したり，新しく文字を書いたりする職業。
e　下肥問屋　契約した長屋から出る糞尿を集めて農家に売り，農家では肥料として利用した。できた農作物は都市部に運ばれて売られた。
f　灯心売り　藺草の茎の芯部分を**加工**して，行灯の灯心として売る職業。

このように江戸時代は，修理して物持ちよく大切に使用した時代であったことがわかる。さて，都市部と農村部の間で循環型社会を担っていた業種は下肥問屋である。下肥問屋は，農家で肥料として利用するために糞尿を回収していた。この糞尿中に含まれる窒素（N）やリン（P）は，農作物の肥料として役立った。できた農産物は都市部で売られたので，これらの成分は循環していたといえる。

問２

行灯の燃料，紙や衣服の原料を考察することで，資源として同じ生物資源ではあるが化石燃料の割合が現在では急増していることに気づく。

⑺　化石燃料も太古の生物の遺骸などが変化したものなので生物資源。

⑴　貴重なガラス製の凸レンズが江戸時代にはあった。

⑼　コウゾやミツマタの繊維は長く丈夫であり和紙作りに適していた。

⒀　天然繊維に対し石油由来の化学合成繊維。

⒁　時代と発祥地（イギリス）がヒント。

▼書見行灯

日本のあかり博物館貯蔵

問３

$$\text{照度（ルクス）}=\frac{\text{明るさ(光度)}}{\text{距離(m)}^2} \qquad \frac{1}{50} \fallingdotseq \frac{\text{明るさ(光度)}}{7^2}$$

現在の紙面の位置が光源（白熱電球）より１m 離れているので

$7-1=6$(m)

問４

⑴　縦軸は，基準値である 2000 年との差をとる。0 を中央付近にとり，範囲は -1 ～ $+0.5$ とするのがよい。気温の上昇傾向は，各点の上下変動の平均となるような直線を引き，最も広い範囲である 1900 年(-0.65)～ 2010 年($\pm$ 0)を読んで，100 年間に 0.6 度上昇していることを導く。年平均気温は，直線的に徐々に上昇していることがわかる。

⑵　縦軸に CO_2 排出量をとり，点を線で結ぶ。1950 年（第二次世界大戦）以降，CO_2 排出量の上昇率が高くなっていることがわかる。CO_2 の主な排出源は，化石燃料であることが推察できる。

⑶　確かに年平均気温の上昇原因には二酸化炭素の影響が考えられる。二酸化炭素は温室効果ガスの一つとされ排出量も多いからである。しかし，これだけのデータから断言するこ

とはできず，ほかの可能性を排除するには十分なデータとはいえない。年平均気温の上昇要因で人為的なものには，解答例のように家畜である反芻（はんすう）動物のはき出すげっぷ中に含まれるメタンなどが考えられる。メタンガスの温暖化への寄与度は，二酸化炭素の 20 倍以上ともいわれている。

問５

２地点の気象データ（グラフ）の読み取り問題である。まず真夏日を見比べると，東京も京都もわずかに増加傾向にある。また，その日数は，京都の方が東京より多いことがわかる。山に囲まれた京都の地形は盆地であり，空気の対流が少なく気温が上がりやすい。一方，東京（大手町）は関東平野の南寄りに位置するが，風を遮る山は遠方にあり，京都より熱が拡散されていると考えられる。

次に熱帯夜は，両都市とも近年増加傾向にあるといえる。都市化とともに夜間の発生熱が増加していることが考えられる。これをヒートアイランド現象というが，その程度は東京の方が京都より明らかに大きいことがわかる。

最後に冬日であるが，両都市とも減少傾向にあることがわかる。都市化に伴い両都市とも夜間の気温が下がらなくなっている。特に京都は，真夏日と同じように，東京と比べて盆地の地形の特徴から熱が拡散せず，冷気が盆地の中で動かないため冬日が多い。

問６

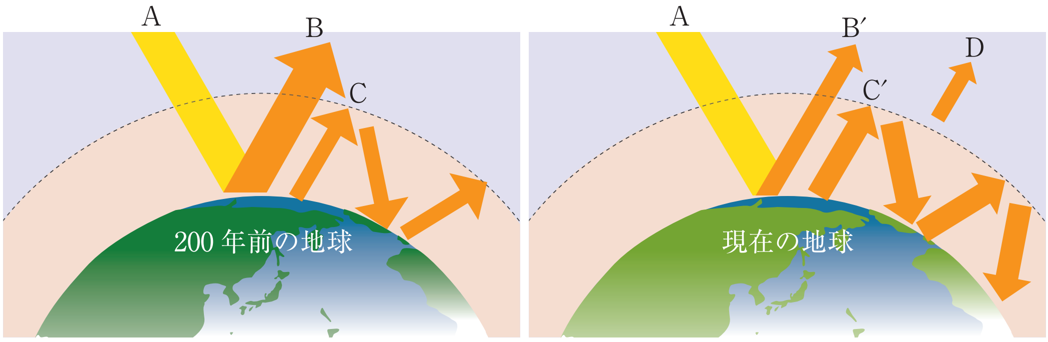
⑴　南極大陸は，その名の通り大陸があり，その上や周囲に氷がある。一方，北極は海であるので氷は浮いた状態にある。しかし，北極の場合，周囲が大陸に囲まれているので浮いた氷は動きにくく，氷は海の中で厚くなって成長していく。海氷は，通常白い雪が乗っているため，日射の６～７割を反射しているといわれる。しかし，海水は日射の１割しか反射しないので，海氷域が減少すると太陽エネルギーの吸収率が上がり温暖化が進む。

⑵　**図９**を見ればわかるが，これは地球の公転に伴う季節変動であり，その原因は地軸の傾きにある。

⑶　それぞれのグラフの値を合算すればよい。合計値の最大月が，南極大陸の海氷面積が一番大きくなる９月～ 10 月頃と錯覚してはいけない。きちんと合計面積を計算すると 11 月になる。合計値の最小月は，南極大陸の海氷面積の最小月と一致する。全球で見た場合，海氷の合計値の最大月と最小月との間隔が，三ヶ月程度しかないのは興味深い。

問７

⑴　温室効果ガスと温暖化の仕組みについての問題。**問４**でも年平均気温の上昇と二酸化炭素の排出量増加の因果関係について考察したが，二酸化炭素は排出量の増加や温暖化への寄与度からも温室効果ガスの一つであると考えてよい。太陽からのエネルギー（A）は地表に届いて地面を暖めると，赤外線となって宇宙に放出されるが（B），温室効果ガスがあると赤外線は温室効果ガス中に吸収されて（C），地表付近の気温が上昇することになる。これが温暖化である。なお，200 年前も現在も入射してくる太陽エネルギーの量と宇宙に放出されるエネルギー量は，ほぼ等しい（A＝B＝B′＋D）。



⑵　太陽系惑星の中で，厚い二酸化炭素の大気に覆われているのは金星である。気圧は 90 気圧，地表温度の上限は 500℃にも達する。

① かぐや：月周回衛星
② あかつき：金星探査機
③ はやぶさ：小惑星探査機
④ さきがけ：ハレーすい星探査試験機
⑤ ひてん：工学実験衛星

問８

⑴　分別回収と地球温暖化について考える問題である。日常行われているペットボトルの分別回収によって，材料の選別に費やされるエネルギーが減少し，また，分別回収した材料を再資源化することで資源の有効活用が可能となる。さらに分別しない場合には，再資源化が困難となり，ゴミとして処分されることになる。

⑵　古紙の回収は江戸時代も行われていたが，その際の資源はコウゾやミツマタなどの植物繊維であった。現在は，需要が拡大し樹木を裁断したチップが原料として使われている。これらの樹木は，光合成により二酸化炭素を吸収するはたらきがあり，温室効果ガスの一つである二酸化炭素を削減してくれる。古紙の再利用は，このような植物資源を守り，二酸化炭素を削減する効果がある。

問９

家庭や会社で取り組む温暖化対策として，様々な機関・組織からいくつかの試みが提案されている。ここでは中学生が学校生活の中で取り組むことができる温暖化対策の具体案を考える。たとえば自宅学習に切り替えるとか，給食をなくすなど，現在の教育環境は最低でも維持するものとする。江戸時代や現在行われている取り組みをヒントに考えてもらいたい。