

令和 5 年度

# 理 科

物	理	1 ページ～ 8 ページ
化	学	9 ページ～20 ページ
生	物	21 ページ～33 ページ

## 注意事項

1. 監督者の許可があるまでは、中を見てはいけない。
2. 問題冊子に欠けている部分や印刷が不鮮明な箇所などがあれば申し出ること。
3. 解答用紙は、物理(その1～その2)、化学(その1～その4)、生物(その1～その4)の3科目分を綴ってある。

解答を始める前に、自分の選択する2科目に関係なく全科目の解答用紙に必ず受験番号を記入すること。なお、受験票の理科受験科目届の○で囲んだ科目以外を解答した場合は採点されないので注意すること。

4. 解答は、必ず解答用紙の所定の解答欄に記入すること。
5. 問題用紙の余白は、計算用紙として利用してもよい。





# 生 物

1 次の(文1)を読み、問1から問5に答えよ。

(文1) 生物の遺伝情報を担うDNAは2本鎖からなる構造をしており、それぞれの鎖はヌクレオチドと呼ばれる単位が連なってできている。ヌクレオチドは、塩基、糖、a から構成される。DNAを構成するヌクレオチドは、塩基として、b (Aと略される。以下同じ)、c (C)、d (G)、e (T)のいずれかを持ち、糖としてfをもつ。DNAを構成する2本のヌクレオチド鎖は、互いに逆方向に並んでねじれた二重らせん構造を形成している。らせんの内側では、2本のヌクレオチド鎖上の向かい合った位置に存在する塩基どうしが、<sup>(1)</sup>水素結合によって決まった組み合わせでのみ結合している(図1)。このように、特定の塩基どうしが対(塩基対)をつ

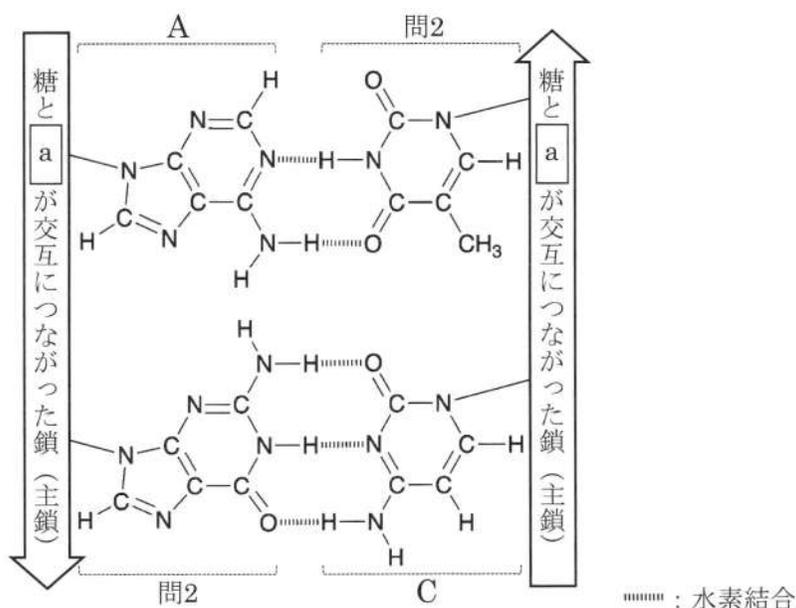


図1 DNAにおける塩基対の構造

4つの塩基のうち、AとCのみは明示してある。

くる性質を塩基の g という。この性質のおかげで、二重らせん構造を形成している2本のヌクレオチド鎖においては、一方の塩基の並び方(塩基配列)が決まると、もう一方の塩基の並び方もそれに対応して決まる。遺伝情報の実体はこの塩基配列である。DNAが複製されるときには、2本鎖が1本ずつに分離し、それらを鋳型として新たなヌクレオチド鎖が合成されることで、もとのDNAと同じ構造をもつ2組の2本鎖ができる。どちらの2本鎖も、ヌクレオチド鎖の1本はもとからあったものなので、このような複製様式を h 複製という。さらに、損傷が生じたDNAが修復される際や、DNAを鋳型にRNAが転写される際にも、塩基の g にもとづいて正しい塩基配列をもったヌクレオチド鎖が合成される。

また、この標準的な塩基対とは異なった塩基対が生じる場合もある。たとえば、DNA上のCは生理的条件下で自然に脱アミノして、通常はDNAに存在しないウラシル(U)を生じることがある。このままDNAが複製されると、新しく合成されるヌクレオチド鎖には、Cの相手として取り込まれるはずだったものとは異なる塩基をもつヌクレオチドが、Uの相手として取り込まれてしまうため、<sup>(2)</sup> そうならないように、DNAを修復するしくみによってUに変わった部分はもとのCに戻される。

また、ウイルスにも標準的な塩基対とは異なった塩基対をDNAにもつものがある。たとえば、細菌に感染するあるウイルスは、A、C、G、Tの4種類の塩基のうちの一つが、特殊な塩基(Zと略される)に置き換わった2本鎖DNAをもつ<sup>(3)</sup>(図2)。宿主の細菌はZを合成することはできないので、このウイルスは

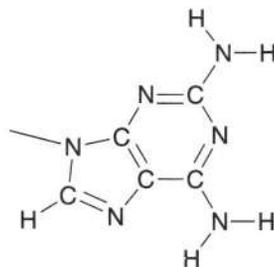


図2 塩基Zの構造

Z を合成する酵素の遺伝子をもっている。細菌のもつウイルス感染防御機構である DNA 切断酵素は、Z を含んだ DNA を切断できないため、このウイルスは感染を広げやすいと考えられている。

問 1  ~  に入る最も適当な語を記せ。

問 2 下線部(1)について、A と塩基対を形成する塩基、C と塩基対を形成する塩基を、それぞれアルファベット一文字で表される略号で答えよ。

問 3 下線部(2)について、U の相手として取り込まれてしまう塩基は何か、アルファベット一文字で表される略号で答えよ。

問 4 下線部(3)について、図 2 に示した Z の構造を参考に、どの塩基が Z に置き換わっているか、アルファベット一文字で表される略号で答えよ。また、Z を含む塩基対の塩基間で形成される水素結合の数を答えよ。

問 5 下線部(4)について、細菌のもつ DNA 切断酵素が切断できないようにするためには、ウイルスの DNA に含まれる塩基が Z を含んだ 4 種類の塩基のみからなる必要がある。一方、細菌は A, C, G, T からなる自身の DNA を合成するしくみを備えている。この細菌の細胞内で、Z を含んだ 4 種類の塩基のみからなるウイルス DNA を合成するためには、Z を合成する酵素以外にどのようなしくみが必要であると考えられるか、述べよ。



2 次の(文2)を読み、問1から問6に答えよ。

(文2) 原核細胞と真核細胞は構造が大きく異なる。原核細胞ではDNAが **a** 中に存在するが、真核細胞のDNAの大部分は **b** 内に存在する。また真核細胞では **b** 以外にも様々な細胞小器官が発達している。一部の細胞小器官は膜で囲まれており、細胞膜と細胞小器官の膜を合わせて **c** と呼ぶ。細胞膜および細胞小器官の膜は主に **d** の二重層からなり、この膜を透過しにくい極性分子やイオンは膜内に配置された輸送タンパク質の働きによって輸送される。**c** が特定の物質を透過させる性質を **e** という。このうち濃度勾配に従った物質輸送を **f** 輸送、エネルギーを消費して濃度勾配に逆らう物質輸送を **g** 輸送という。細胞内を膜で区切り、その区画内外の物質輸送を制御することは、細胞内で起こる化学反応の場所と時間を調節する重要な仕組みの1つである。一方で、特別なタンパク質やRNAが寄り集まって形成される膜のない区画も存在し、それらは非膜細胞小器官と呼ばれることもある。

ある神経疾患への関与が疑われるタンパク質Xの性質を調べるため、このタンパク質の遺伝子に緑色蛍光タンパク質(GFP)の遺伝子をつなげたGFP-タンパク質X遺伝子を細胞に導入して発現させ、蛍光顕微鏡を用いて細胞内のどこにGFP-タンパク質Xが存在するか観察した(図3)。タンパク質Xの性質はGFPをつなげて変化しないものとする。観察の結果、GFP-タンパク質Xは通常の状態では細胞内に一様に存在するが(図3、非ストレス条件)、37℃が最適温度の細胞を短時間45℃の高温にさらすなどのストレスを与えると急速に集合し、GFP-タンパク質Xからなる非膜細胞小器官を形成することがわかった。これをX小体と呼ぶ(図3、ストレス条件)。X小体は細胞がストレスから解放されると迅速に分散し、ストレス前の状態に戻った。

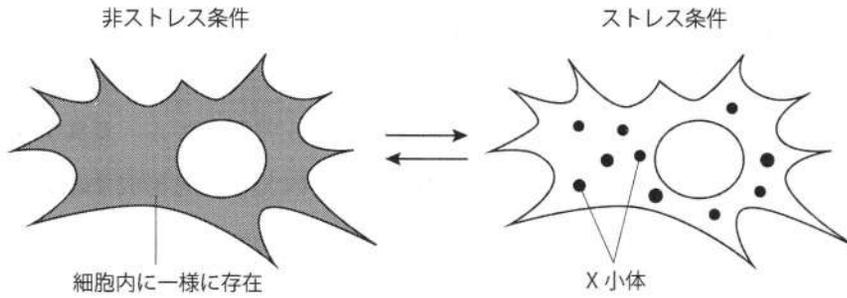


図3 GFP-タンパク質 X の細胞内分布の変化

(注) 蛍光顕微鏡では暗い背景に蛍光が明るく観察されるが、この図では明暗を逆転させてある。

続いて、GFP-タンパク質 X を試験管内で細胞内に近い条件の緩衝液に加え、蛍光顕微鏡で観察した。この試験管の温度を 45℃ にすると自然に X 小体に似た構造体が形成された。これを試験管内 X 小体と呼ぶ。GFP 分子は強力なレーザー光を照射されると蛍光を消失し、一度消失した蛍光は復活しない。GFP のこの性質を利用して試験管内 X 小体の性質を調べた(図4)。観察は 45℃ で行った。X 小体の左半分だけに強力なレーザー光を照射して蛍光を消失させ、図4に示す A 点および B 点の蛍光の強さを測定した。その結果をグラフに示す。グラフは A 点および B 点の蛍光の強さの経時変化であり、横軸がレーザー照射後の時間、縦軸が蛍光強度である。

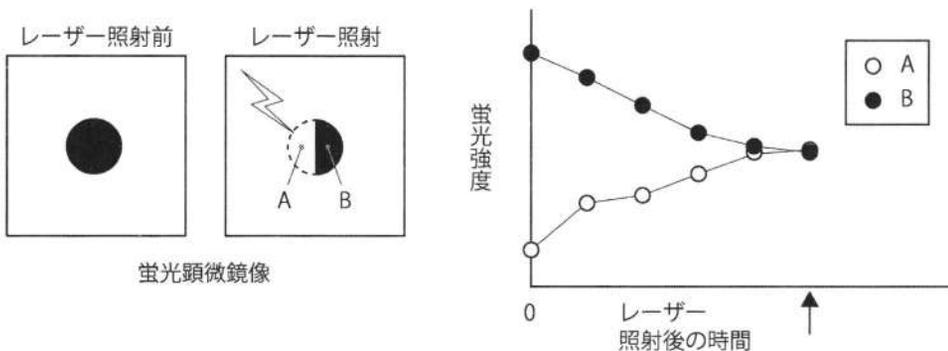


図4 試験管内 X 小体の蛍光強度の経時観察

ある神経疾患の患者の多くでは、タンパク質 X を構成するアミノ酸の 1 つが別のアミノ酸に置き換わる変異が生じている。ここではこの変異をもつタンパク質 X を変異型と呼び、正常なタンパク質 X を正常型と呼ぶ。変異型タンパク質 X と GFP をつなげたものを、正常型が試験管内 X 小体を形成する条件においたところ、正常型とは異なる形状の試験管内変異型 X 小体が形成された。この試験管内変異型 X 小体に対して上述のレーザー照射実験と経時観察を行った結果を図 5 に示す。

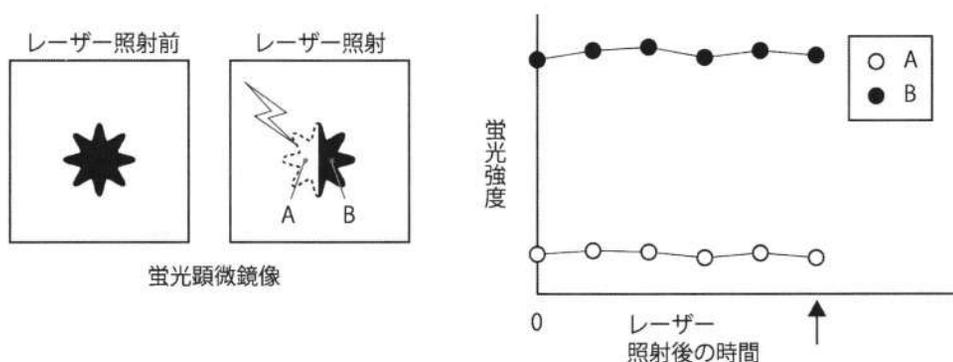


図 5 試験管内変異型 X 小体の蛍光強度の経時観察

問 1  ~  に入る最も適当な語を記せ。

問 2 下線部(1)について、細胞内構造のうち膜を持つものを次の(ア)~(キ)からすべて選び、その記号を記せ。

- (ア) ミトコンドリア      (イ) リボソーム      (ウ) 小胞体  
(エ) 中心体      (オ) 葉緑体      (カ) ゴルジ体  
(キ) アクチンフィラメント

問 3 図 4 について、グラフ上の矢印の時点において試験管内 X 小体はどのように見えると考えられるか、蛍光の分布と強度に関してレーザー照射前の状態と比較して述べよ。

問 4 図 5 について、グラフ上の矢印の時点において試験管内変異型 X 小体はどのように見えると考えられるか、蛍光の分布と強度に関してレーザー照射前の状態と比較して述べよ。

問 5 正常型と変異型の試験管内 X 小体について、図 4 と図 5 の実験からわかる、形状以外の性質の違いを述べよ。

問 6 タンパク質 X が変異型になることで疾患が生じるメカニズムについて、図 3 ~ 5 の実験結果を踏まえて仮説を述べよ。

3 次の(文3)を読み、問1から問6に答えよ。

(文3) ヒトを含む多くの多細胞生物は体細胞と生殖細胞から成り立っている。体細胞は体細胞分裂を行い、生殖細胞は減数分裂を行う。生殖細胞のうち、精子や卵などのように合体して新個体をつくる細胞を **A** という。精子と卵は **B** を起源にもつ。オスでは **B** が精巣のもととなる精巣原基に定着する。成熟した精巣の断面を顕微鏡で観察すると、精細管と呼ばれる丸い管内で精子形成が行われている(図6)。精細管内では **B** から分化した **C** が体細胞分裂を行い、その数を増やしている。**C** は分化して **D** となり、さらに減数分裂の第一分裂を行い **E** となる。その後、第二分裂を行い、精細胞となる。精細胞は形を変えて精子となる。

精子と卵が受精すると、胚発生が始まる。精子は父親由来の染色体、卵は母親由来の染色体をそれぞれもち、これらの染色体があつまって、ヒトでは44本(22対)の常染色体と2本の性染色体となる。この染色体上の遺伝子に変異がある場合、疾患としてあらわれることがある。特定の遺伝子変異で起こる遺伝性疾患が多数知られている。そのうち血液に関する遺伝性疾患として、X染色体に連鎖した伴性遺伝を示す血友病や、常染色体性の遺伝を示すかま状赤血球貧血症がある<sup>(1)</sup>。かま状赤血球貧血症は鎌の形に変形した赤血球が見られる貧血症で、患者のヘモグロビンのβ鎖の遺伝子の1か所でAがTに置換している。この結果、ヘモグロビンのβ鎖を構成するアミノ酸の1つがグルタミン酸からバリンに変わり、ヘモグロビンの立体構造が変化して病気を引き起こす。かま状赤血球貧血症の治療法としては骨髄移植があるが、最近ではiPS細胞を用いた遺伝子治療なども開発されつつある。<sup>(2)</sup><sup>(3)</sup><sup>(4)</sup>

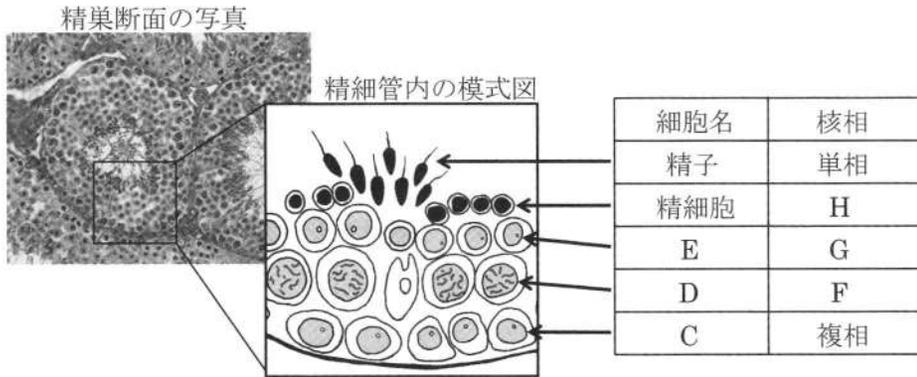


図6 精巣の断面

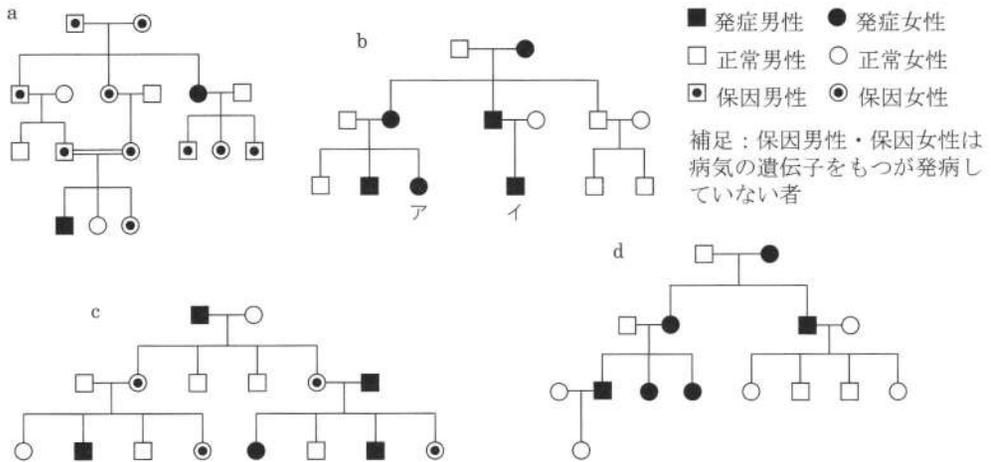


図7 さまざまな遺伝性疾患の家系図

問1 文中と図6の A ~ H に入る最も適切な語を記せ。  
F ~ H には単相あるいは複相のどちらかが入る。

問2 図7に家系図を示した。下線部①の伴性遺伝の遺伝形式は図7のa~dのどれにあたるか記号で答えよ。

問3 図7bについて、アとイの間に生まれる子供が発症する確率は何パーセントか答えよ。

問 4 下線部(2)について、かま状赤血球貧血症は、ヘモグロビンの $\beta$ 鎖の遺伝子変異をホモ接合でもつと重度の貧血により致死となる。

ある集団では 361 人に 1 人の頻度で重度の貧血を示すホモ接合個体が出現する。この集団がハーディ・ワインベルグの法則を満たす場合、361 人中のこの疾患遺伝子をヘテロ接合でもつ者は何人が答えよ。計算式も記入せよ。

問 5 下線部(3)について、正常なヘモグロビンののはたらきを簡潔に説明せよ。

問 6 下線部(4)について、かま状赤血球貧血症の治療法としてどのような方法が考えられるか。カッコ内の用語を使って簡潔に説明せよ。

(iPS 細胞, 造血幹細胞, ゲノム編集)



4 次の(文4)を読み、問1から問4に答えよ。

(文4) 動物は環境からの刺激を受け、それらに対する反応としてさまざまな行動を示す。行動のなかには生まれつきパターンが備わっていて、経験や学習がなくても出現するものがある。そのような行動を  的行動という。こうした行動は、しばしば特定の刺激が引き金となって起こる。このように行動の引き金となる特定の刺激を  と呼ぶ。また、動物によっては、学習によって行動を変化させるものもある。例えば、アヒルのひなは、ふ化後の非常に早い時期に最初に目にした動くものあとをついて歩く。これは、  と呼ばれる特殊な学習の例であるが、“あとをついて歩く”という部分は  的で“何に”ついて歩くかという部分は生後の経験によって決まっている。

昆虫の学習について学ぶため、アゲハチョウに注目して研究を行った。アゲハチョウにとって、餌となる蜜が存在する花を探すことは、生きていく上で非常に重要な行動である。アゲハチョウが訪れる花の特徴を考えたとき、色が重要な手がかりとなっているのではないかと考え、アゲハチョウの一種であるナミアゲハを用いて吸蜜行動と色覚に関する実験を行った。

#### 実験1

羽化後2日間絶食させた、吸蜜未経験のナミアゲハ個体を放ち、床には赤、黄、緑、青の4種類の色の円盤を置き、ナミアゲハが最初に選んだ色を記録したところ、図8のような結果が得られた。

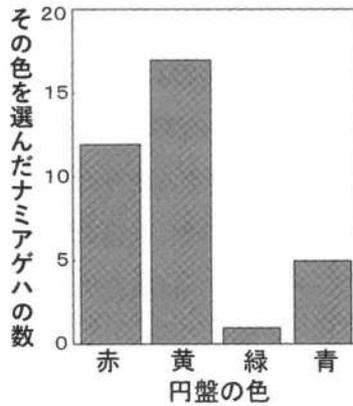


図8 吸蜜未経験のナミアゲハの4色の円盤への反応

### 実験2

床に青色の円盤を置き、吸蜜未経験のナミアゲハに羽化後2日目から円盤上で砂糖水を一日一回充分量与える。翌日、学習効果を確認するため、赤、黄、緑、青の4色の円盤を置いて、どの円盤を選ぶかというテストを5回行い、そのうち何回選んだかを記録する。この時、砂糖水はどの円盤にも置かない。このテストを行った後、再び青色の円盤上で砂糖水を充分与える。これを8日間繰り返す。多数のナミアゲハを用いて実験を行ったところ、図9のような結果が得られた。また、青色の代わりに黄色の円盤を置き、同様の実験を行った。多数のナミアゲハを用いて実験したところ、図10のような結果が得られた。

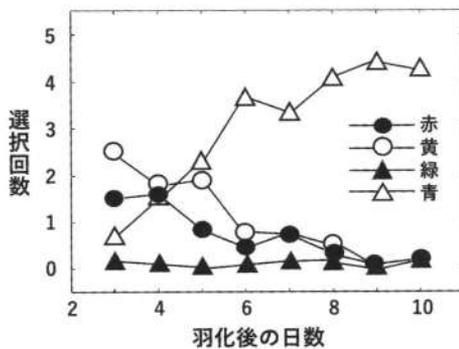


図9 青色の円盤での実験結果

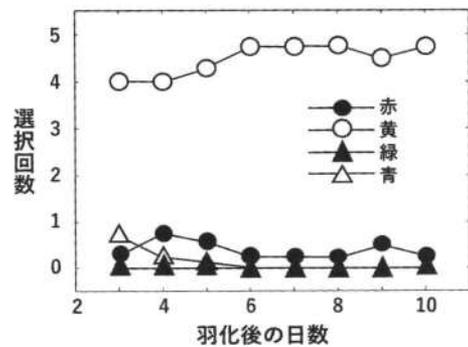


図10 黄色の円盤での実験結果

### 実験 3

4色の円盤を用いた実験からでは、ナミアゲハの色覚のテストには不十分であるとの指摘を受け、次のような実験を行った。

学習によって特定の色を選択するようになったナミアゲハに対して、さまざまな明るさの灰色の円盤と、学習した色の円盤を混ぜて置き、どの円盤を選ぶかを記録したところ、ナミアゲハは灰色の円盤と混同することなく、学習した色を選択した。

問 1  ~  に入る最も適切な語を記せ。

問 2 実験 2 での青色の円盤を用いての実験結果と黄色の円盤を用いての実験結果の違いは、ナミアゲハのどのような性質に基づくものであると考えられるか。またその性質がナミアゲハの生存にどのように役立っていると考えられるか、説明せよ。

問 3 実験 3 は、どのような点を明らかにするために行ったと考えられるか、説明せよ。

問 4 この研究では、吸蜜未経験のナミアゲハを用いて実験を行っている。仮に、吸蜜経験の豊富なナミアゲハを用いて実験を行った場合、どのような問題が生じると考えられるか、実験結果を参考にしながら、理由とともに述べよ。















