

試験問題(記述式) — 理 科(生物)

(注意) 解答はすべて別紙解答用紙の定められた欄に書くこと。

1 以下の設問に答えよ。

問 1 ヒトの腎臓による体内の水分の調節について、以下の設問①②③に答えよ。

- ① 集合管に作用して水分の再吸収量を調節する、神経分泌細胞から放出されるホルモンの名称を答えよ。
- ② 上記のホルモンを分泌する器官の名称を答えよ。
- ③ 集合管の細胞において水分子輸送に関わっているチャネルの名称を答えよ。

問 2 成人の腎臓に関して表 1 を見て、以下の設問①②③に答えよ。

- ① 血しょう中の  $\text{Na}^+$  濃度に対する尿中の  $\text{Na}^+$  濃度の比(濃縮率)を計算せよ。
- ② 尿素の一日あたりの再吸収量(g)を計算せよ。
- ③ ろ過された原尿の量が仮に10%増えたときの尿量(L/日)を求めよ。ただし、水の再吸収量(L/日)は変わらないと仮定する。

表 1 血しょう、原尿、尿における各成分の濃度 (g/L)

	血しょう	原尿	尿
$\text{Na}^+$	3.3	3.3	3.3
尿素	0.27	0.27	18

原尿量：170 (L/日)、尿量：1.5 (L/日)

問 3 表 2 および図 1 は、哺乳類を用いた動物実験を通して得られた糸球体における物質ろ過に関するデータである。以下の設問①②③に答えよ。

表 2 分子量にもとづく糸球体毛細血管の物質ろ過性

物質	分子量	ろ過率 (原尿中の濃度/血しょう中の濃度)
$\text{K}^+$	39	1
グルコース	180	1
イヌリン (多糖類のひとつ)	5,500	1
ミオグロビン (タンパク質のひとつ)	17,000	0.75
アルブミン (タンパク質のひとつ)	69,000	0.005

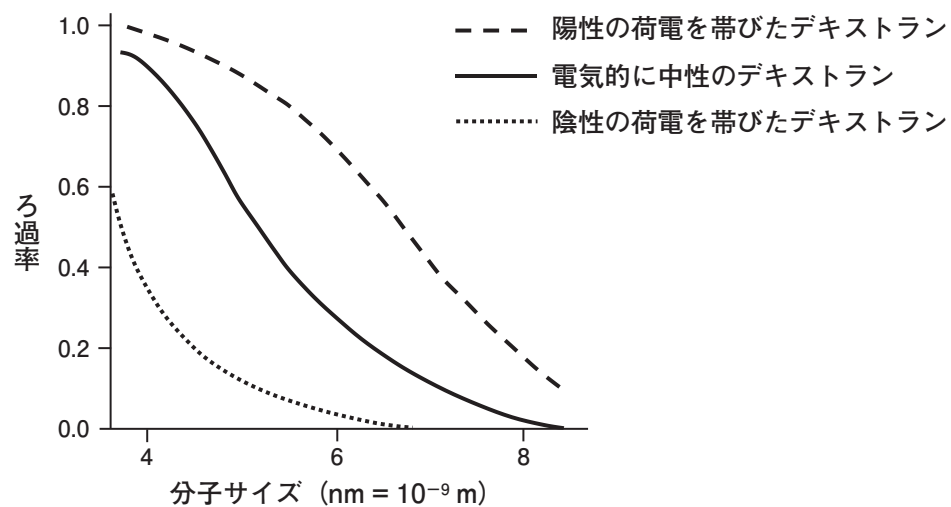


図 1 デキストランの分子サイズと電荷が糸球体毛細血管のろ過性に及ぼす影響

(デキストランとはグルコースからなる多糖類の総称で、人工的に分子量数万から数百万までのものを合成できる。なお、分子サイズは分子量と相関すると考えてよい。)

- ① 分子量とろ過率の関係について表2より読み取れることを述べよ。(40字以上60字以内)
- ② 次のデキストランのうち、ろ過率がもっとも小さいと考えられるものの番号を選べ。
1. 分子サイズ 8 nm の陽性荷電デキストラン
  2. 分子サイズ 7 nm の電気的中性デキストラン
  3. 分子サイズ 6 nm の陰性荷電デキストラン
  4. 分子サイズ 5 nm の電気的中性デキストラン
  5. 分子サイズ 4 nm の陽性荷電デキストラン
- ③ マッコウクジラとブタのミオグロビンの分子量はほぼ同じであるが、マッコウクジラのミオグロビンの荷電状態はブタのミオグロビンよりも陽性に傾いていることが知られている。それぞれのミオグロビンのろ過率を調べるために、ラットの腎臓を取り出して腎動脈にそれぞれのミオグロビンを含んだ食塩水を注入してろ過率を計測した。どちらのミオグロビンのろ過率が大きいと考えられるか。また理由を説明せよ。(40字以上60字以内)

問4 ヒト腎臓でのグルコースのろ過および再吸収に関して、以下の設問①②に答えよ。

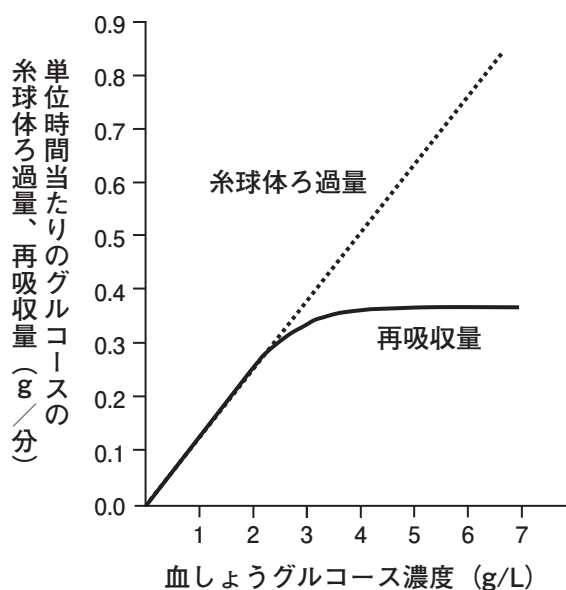


図2 血しょうグルコース濃度と単位時間当たりのグルコースの糸球体ろ過量、再吸収量との関係

- ① 図2に示すように、血しょう中のグルコース濃度が3 g/L 前後より高くなると、ろ過されたグルコースの単位時間当たりの再吸収量が上限に達する。このとき、再吸収されなかったグルコースはどのように考えられるか答えよ。(10字以内)
- ② グルコースの再吸収は、腎細管の細胞膜にある輸送体(担体)を介する。このグルコース輸送体(担体)に作用してグルコースの運搬速度を半分程度まで低下させる薬剤があると仮定する。この薬剤を腎細管に作用させたとき、図2の再吸収量のカーブはどのようにになると考えられるか。グラフ内に図示せよ。

2 次の文章を読んで以下の設問に答えよ。

哺乳類の眼の発生は [ア] と呼ばれる脳の一部の突出が頭部の左右両側で表皮に近接することから始まる (図1)。[ア] が表皮の近くまで達すると、これに呼応して表皮は肥厚し、細胞塊を作って皮下に陥入して水晶体が形成される。これと同時に [ア] は水晶体を包み込むように形を変え、眼杯となる。眼杯は成熟して網膜となる。

この一連の過程では、<sup>(a)</sup>[ア] の近接がなければ表皮の肥厚は生じず、水晶体は形成されない。そして、水晶体の形成がないと成熟した網膜は形成されない。

生物の器官形成において隣接する細胞集団に対する働きかけのことを [イ] と呼ぶが、上記の眼の形成はこれが連続する、「[イ] の連鎖」の例である。

眼の発生はこの後、さらに続き、水晶体はその表層側の表皮に対して [イ] をおこない、表皮は [ウ] へと分化する。

[イ] の過程では、働きかける側から働きかけられる側に対して、[イ] 因子と呼ばれる分子が放出されている。この因子の多くはタンパク質である。働きかけられる側にはこの因子に対する感受性があることが必須であり、この受け手の感受性のことを [エ] という。

多くの場合、この因子は働きかけられる側の組織の中で拡散するため、濃度勾配ができ、その局所濃度に応じて発生運命が異なる例もある。

図2は胎生期のマウスの水晶体の断面の模式図である。水晶体は外から見ると球体だが、内部を構成する細胞の形態は水晶体の表皮側と網膜側で大きく異なっている。この細胞形態の違いも [イ] の産物といえる。

問1 空欄 [ア] ~ [エ] に当てはまる語を記せ。

問2 下線部(a)について、図1を参考にして、眼杯の形態を図示せよ。

(表皮は描かなくてよい。)

問3 水晶体と網膜はそれぞれ何胚葉由来か。

問4 [エ] の有無は [イ] 因子に対する受容体の有無として捉えることができる。では、[イ] を受ける側にその受容体があるかを検出する実験手法としてはどのようなものがあるか、1つ記せ。

問5 図2のように水晶体内部の構造が表皮側と網膜側で大きく異なる点も [イ] の結果だと考えると、どのような機序が働いたと考えられるか、述べよ。(40字以内)

問6 脊椎動物の表皮に由来する構造物には [ウ] 以外にも [イ] によって形成されるものが複数あるが、その例を1つ挙げ、その発生機序を述べよ。(30字以内)

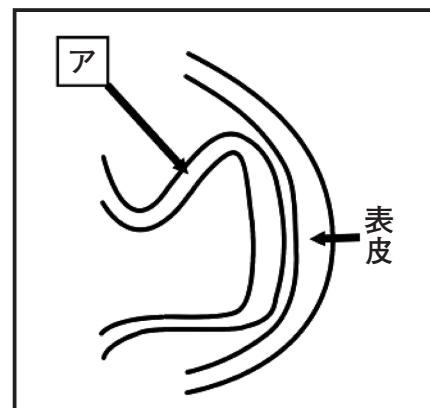


図1 眼の発生初期の模式図

眼の発生は、脳の一部が側方に突出することから始まる。(片側のみを描いている。)

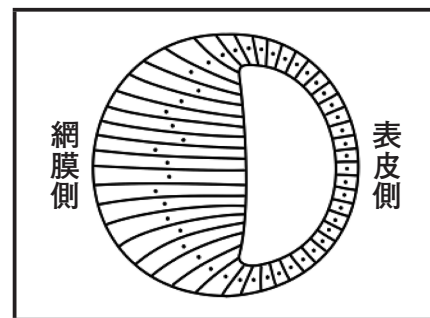


図2 胎生期マウスの水晶体

表皮側には立方状の、網膜側には細長い細胞が配列している。

3 次の文章を読んで以下の設問に答えよ。

酸素は血しょうのような水溶液には溶け難いため、活発な代謝を行う高等動物の進化は体内での酸素の運搬と貯蔵の担い手を必要とした。赤血球のヘモグロビンは、ヘムを含んだ $\alpha$ グロビン2分子と $\beta$ グロビン2分子からなる4量体タンパク質である。一方、ミオグロビンは筋肉中に豊富で、ヘムを結合して酸素の貯蔵に働く1量体の球状タンパク質である。遺伝子の塩基配列を比較すると、ヘモグロビンとミオグロビンは同じ祖先型の遺伝子から派生したものであるであり、生命が一度獲得した酸素運搬体を体内で様々な応用していることが示唆される。2つのタンパク質は、酸素結合に関わる互いによく似た構造を持っているが、わずかな違いがそれぞれの働きの差となっている。

赤血球は分化する過程で核やその他の細胞小器官を失う代わりに、酸素を効率よく運ぶために細胞質の大半をヘモグロビンが占めるようになる。このヘモグロビンの遺伝的変異が様々な体の異常を引き起こすことから、これまで多くの研究がなされてきた。鎌状赤血球症では、赤血球中で変異ヘモグロビンが大きな繊維を形成することで、赤血球が物理的に鎌状に変形し硬直化して体内の血流を障害する。このようなヘモグロビンの性質の変化は $\beta$ グロビン遺伝子の突然変異による単一アミノ酸置換で起こることが知られている。正常なヘモグロビンは細胞質内に分散して存在している。一方、変異型 $\beta$ グロビタンパク質を含む変異ヘモグロビンは、酸素が解離すると互いに結合して繊維を形成してしまう。

問1 下線部(a)について、図1はヒトの11番染色体上に並んだ $\beta$ グロビン遺伝子群( $\epsilon$ 、 $\gamma$ 、 $\delta$ 、 $\beta$ )を示している。これらの遺伝子はヒトの成長の異なる時期に発現し、それぞれヘモグロビン構成タンパク質として働く。このように体内での役割が異なるが互いに似た塩基配列を持つ遺伝子群が生じる機構を説明せよ。(40字以内)

ヒト11番染色体

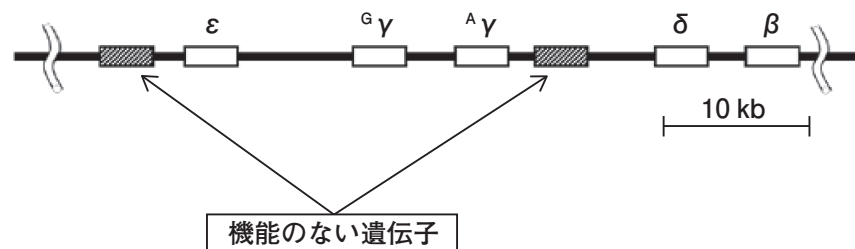


図1  $\beta$ グロビン遺伝子群

問2 下線部(b)について、図2のヘモグロビンとミオグロビンの酸素解離曲線を比較し、活発な代謝と運動を必要とする哺乳類の酸素運搬体としてヘモグロビンがより優れている点を指摘せよ。(60字以内)

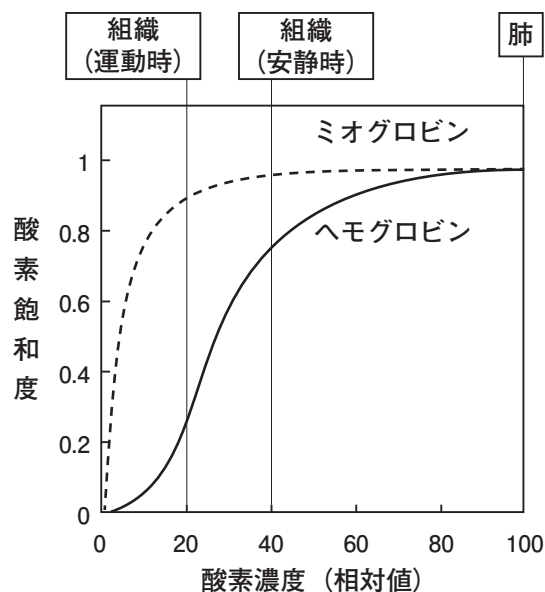


図2 ヘモグロビンとミオグロビンの酸素解離曲線

問3 鎌状赤血球症における変異ヘモグロビンについて以下の設問①～④に答えよ。

- ① 下線部(c)の突然変異で、1塩基の置換によりタンパク質の1つのアミノ酸に置換が起こる理由を簡潔に説明せよ。
- ② 下線部(d)について、以下の単純化したモデルを考える。健常者の正常ヘモグロビンは $\alpha$ グロビンと正常 $\beta$ グロビン( $\beta^A$ )が図3(ア)のような4量体を形成している。これに対し、鎌状赤血球症患者の変異ヘモグロビンは、 $\alpha$ グロビンと変異型 $\beta$ グロビン( $\beta^S$ )からなる4量体であり、酸素が解離すると図3(イ)のように $\beta^S$ どうしが結合して繊維状に会合するとする。心臓から拍出されて体循環で末梢組織に運ばれた赤血球内で、変異ヘモグロビンが起こす変化を簡潔に説明せよ。
- ③ 正常型 $\beta$ グロビン遺伝子と変異型 $\beta$ グロビン遺伝子のヘテロ接合の個人の赤血球中では、 $\beta^A$ と $\beta^S$ が同量存在しており、どちらも同じようにヘモグロビン4量体に取り込まれることとする。この時、図3(ウ)のX、Y、Zのヘモグロビン分子の存在比を答えよ。
- ④ 前問②③を参考にして、ヘテロ接合の個人ではホモ接合の患者に比べて鎌状赤血球の割合が明らかに少ない理由を考察せよ。ただし、 $\beta^A$ - $\beta^S$ 間と $\beta^A$ - $\beta^A$ 間では結合は起こらないこととする。(40字以内)

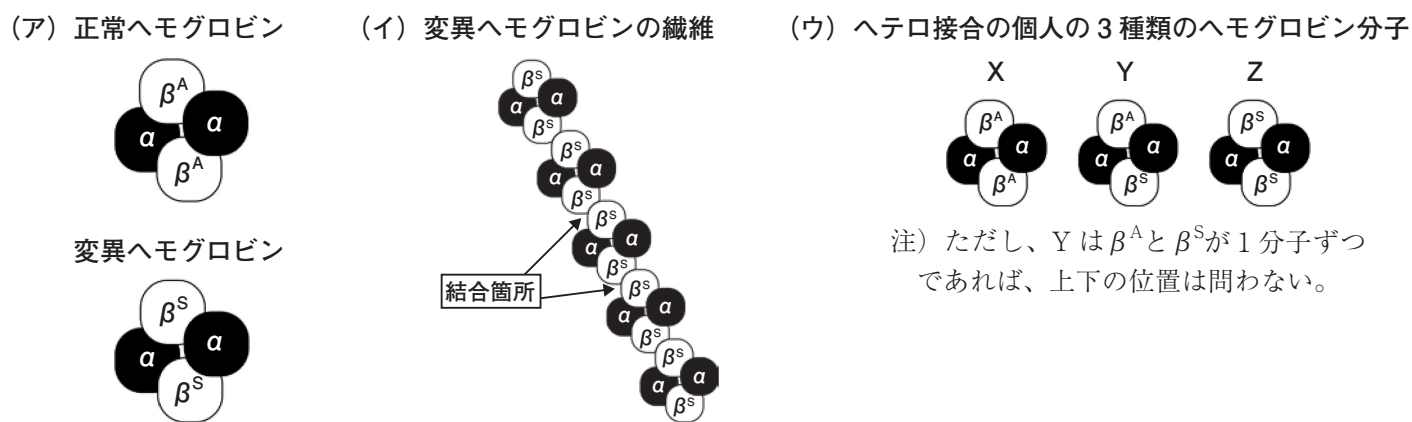


図3 正常ヘモグロビンと変異ヘモグロビン

問4 鎌状赤血球症の遺伝と形質発現に関する以下の設問①②に答えよ。

- ① 3人の個人の鎌状赤血球症に関わる変異の有無を判定するため、各人の体細胞からゲノムDNAを抽出し、PCRで $\beta$ グロビン遺伝子の一部を含む領域を増幅した(図4A)。続いて、増幅したDNA断片を制限酵素(*MstII*)処理後に電気泳動してバンドを検出した(図4B)。個人1～3の遺伝子型を、正常型ホモ、ヘテロ、変異型ホモの中から選べ。

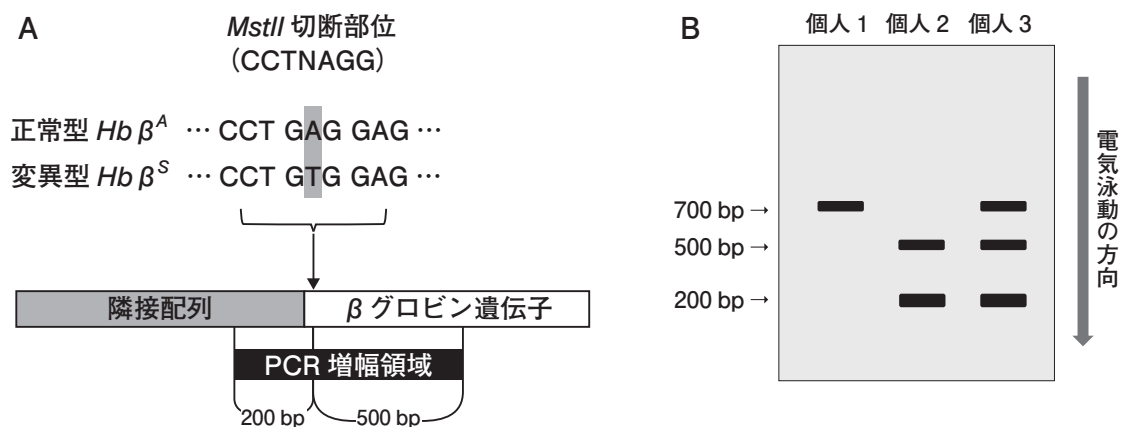


図4  $\beta$ グロビン遺伝子の変異の判定実験

- A PCRによる増幅領域と*MstII*切断配列(ただし、Nはどの塩基でも良いとする)
- B 電気泳動の結果(bp:塩基対)

② 前問①の個人1～3から血液を高地と低地で採取して作成した血液塗抹標本の赤血球の様子を図5に示す。標本a～cはそれぞれ個人1～3の誰のものか、特定せよ。

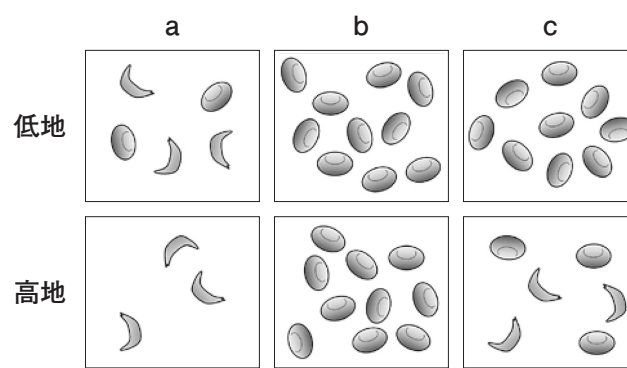


図5 個人1～3の高地と低地での血液塗抹標本

4 次の文章を読んで以下の設問に答えよ。

森林の形成には地球の気候変動が密接にかかわっている。古生代の終わりに寒冷化と乾燥化が進んだ後、中生代にはシダ植物に代わって裸子植物が森林で優占的となった。続いて、約1億4000万年前に登場した被子植物が温暖化が進んだ新生代のはじめに森林の主役となった。その後の気候変動によって、被子植物の中から新たな形質を持つ植物が出てきた。乾燥が強い地域に生息するベンケイソウやサボテンは昼と夜の2段階でのCO<sub>2</sub>固定を行う。また草原に多いイネ科植物の中で高温で日射量の多い環境に生息するサトウキビやトウモロコシでは、まず [ア] で固定された後、その反応産物を [イ] で分解して発生させたCO<sub>2</sub>を改めてカルビン・ベンソン回路で固定する。一方でその他多くの被子植物では大気から取り込んだCO<sub>2</sub>をそのままカルビン・ベンソン回路で固定する。

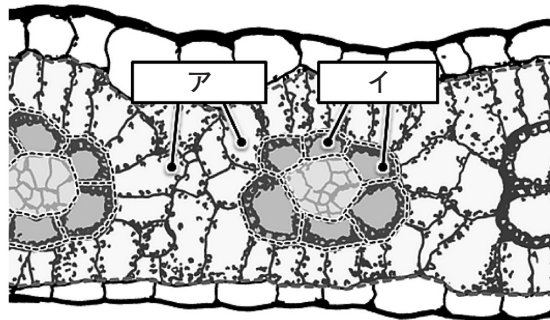
問1 下線部(a)について、古生代後半におけるシダ植物森林の繁栄は寒冷化をもたらしたとされる。シダ植物森林の繁栄が寒冷化を引き起こしたメカニズムを説明せよ。(60字以内)

問2 下線部(b)について、なぜシダ植物よりも裸子植物が寒冷および乾燥環境に強かったか述べよ。(60字以内)

問3 下線部(c)について、被子植物が優占的となる森林環境に適応してきた脊椎動物の分類群は何か。綱レベルで答えよ。また、その動物と被子植物の間の相利共生関係を記述せよ。(100字以内)

問4 被子植物の葉で行われる光合成様式について、以下の①～⑤の設問に答えよ。

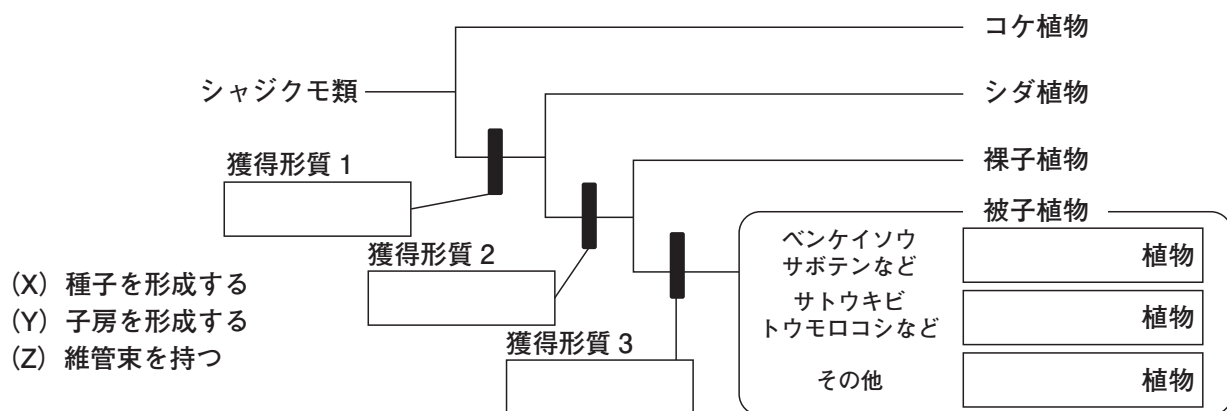
① 本文中および下図に示すトウモロコシの葉の断面図の [ア] と [イ] に入る細胞名を埋めよ。



② 前問①の [ア] と [イ] でCO<sub>2</sub>固定のために主として働く酵素を述べよ。

③ 前問②の [イ] で働く酵素に比べ、[ア] で働く酵素は低いCO<sub>2</sub>環境でも活性を保つことができる。この性質により、[ア] で働く酵素を利用する植物が乾燥環境でも光合成効率を維持できる理由を述べよ。(60字以内)

④ コケ植物から被子植物までの系統樹を完成させよ。獲得形質1～3には(X)～(Z)の記号を、被子植物枠内の空欄には下線部(d)、(f)、(g)のようなCO<sub>2</sub>固定様式を持つ植物の総称を、それぞれ記入せよ。



⑤ 下線部(e)について、アフリカ大陸東部で約1000～500万年前に登場し、現在も見られるイネ科の草本植物主体のバイオーム名と、そこに適応した哺乳類を1科挙げよ。

