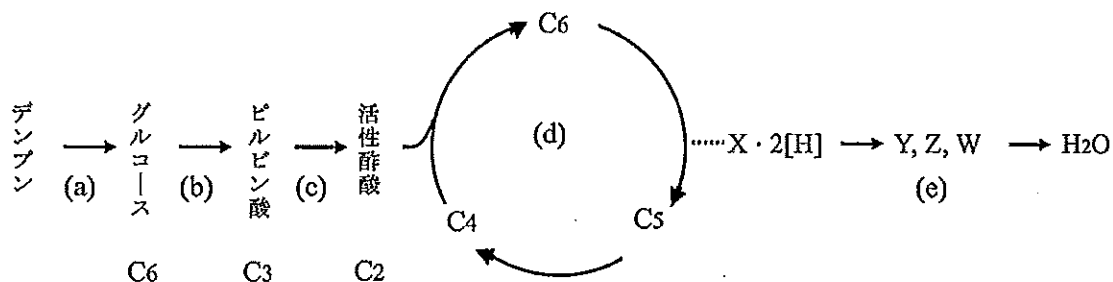


生

生物

生物 問題 Ⅰ

細胞の主要なエネルギー源はグルコースであり、細胞はグルコースを分解する過程で得られるエネルギーをATPに蓄え、これをさまざまな生命活動に利用している。下の図はグルコースの代謝経路を示したもので、図中のa, b, c, d, eはそれぞれ異なる反応過程を表している。ヒトは摂取したデンプンを反応過程aによりグルコースに分解して吸収し、これをエネルギー源として利用している。呼吸の基質であるグルコースは反応過程b, c, dを経てCO₂に分解される。また、反応過程b, c, dにおいて生成されるX・2[H]の2[H]は反応過程eのいろいろな中間体(Y, Z, W)を経て最終的にH₂Oになる。なお、図中のC₂, C₃, C₄, C₅, C₆はそれぞれ炭素原子を2個、3個、4個、5個、6個含む化合物を表している。下の図に基づいて以下の各問に答えよ。



問1. 生体内にはいろいろな化学反応がみられるが、a～eの反応過程全体を1つの用語で表わすと、次の(ア)～(オ)のうちどれになるか。該当するものを1つだけ選び、記号で答えよ。

(ア) 同化 (イ) 異化 (ウ) 酸化 (エ) 還元 (オ) 呼吸

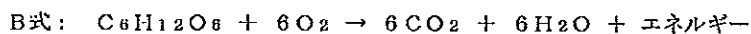
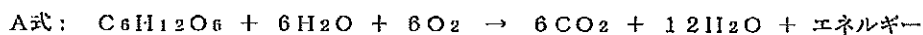
問2. 次の(1)～(5)の記述は図中のa～eのうち、どの反応過程に当てはまるか。当てはまる反応過程をすべて選び出し、a～eの記号で答えよ。

- (1) 反応にともないH₂Oが取り込まれる
- (2) 脱炭酸酵素がはたらいて基質からCO₂が奪われる
- (3) 反応は細胞内のミトコンドリアの中で進行する
- (4) 反応は細胞内のミトコンドリアの外で進行する
- (5) 反応は細胞の外で進行する

問3. a, b, d, eの反応過程はそれぞれ何と呼ばれているか、各反応過程の名称を記せ。

問4. 好気呼吸には酸素とミトコンドリアが欠かせないため、そのどちらか一方が欠けても、細胞は好気呼吸ができず嫌気呼吸によりATPを生成する。(A) 酸素があってもミトコンドリアがない場合、(B) ミトコンドリアがあっても酸素がない場合のそれぞれについて、ヒトの体内で嫌気呼吸によりATPを生成する細胞名を1つずつ記せ。

問5. b～eの反応過程を1つの化学反応式にまとめると下のA式になり、A式は好気呼吸全体を表す化学反応式とされている。A式をさらに簡略化するとB式になるが、好気呼吸を示すのにB式ではなくA式が用いられるのはなぜか、その理由を述べよ。



生

生 物

- 問6. 好気呼吸によりグルコース1分子から38分子のATPが生成される。このときb, c, d, eの反応過程で生成されるATPはそれぞれ何分子になるか。
- 問7. グルコースは主にデンプンから供給されているが、血糖量が低下した場合には、あるホルモンのはたらきにより肝臓内の貯蔵物質が分解されてグルコースが供給される。肝臓内の貯蔵物質とは何か。また、この場合にはたらくホルモンの名称は何か。
- 問8. 脂肪は脂肪酸とグリセリンに分解された後に、それぞれがグルコースの分解経路に合流するかたちで分解されて、エネルギー源となる。脂肪酸とグリセリンは図中のC₂~C₆のうち、どの化合物となってグルコースの分解経路に入るか。それぞれC₂~C₆の記号で答えよ。

生物 問題 II

動物の呼吸器とガス交換に関する以下の【A】と【B】に答えよ。

【A】 動物は体の大きさや生活環境によりさまざまな方法を用いてガス交換を行っている。小型の無脊椎動物のなかには特別な呼吸器を持たずに体表でガス交換を行っているものもあるが、多くの動物には鰓(えら)、気管、肺などの呼吸器が備わっていてガス交換の効率を高めている。以下の各問に答えよ。

問1. 次の(ア)~(オ)の動物のうち、特別な呼吸器を持たずに体表でガス交換を行っているものはどれか。1つ選び、記号で答えよ。

(ア) ザリガニ (イ) ウニ (ウ) ショウジョウバエ (エ) プラナリア (オ) アサリ

問2. 動物により呼吸器や心臓の構造には違いがある。下の3つの経路はそれぞれフナ、カエル、ヒトの体内における血液の循環経路の一部を示したもので、血液は→の方向に循環している。(1)~(10)に該当する心臓の部位の名称を下の(ア)~(カ)より選び、フナ、カエル、ヒトの血液の循環経路を完成せよ。同じ部位名をくり返し使ってもよいが、答えは(ア)~(カ)の記号で記せ。

魚類(フナ)

大静脈 → (1) → (2) → 鰓動脈 → 鰓(えら) → 鰓静脈 → 大動脈 → 全身

両生類(カエル)

大静脈 → (3) → (4) → 肺動脈 → 肺 → 肺静脈 → (5) → (6) → 大動脈 → 全身

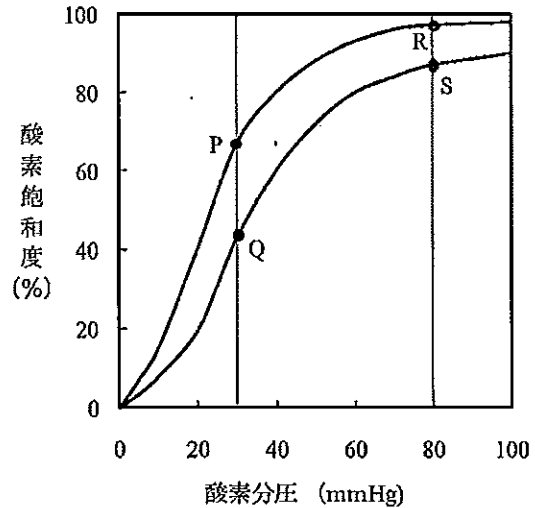
哺乳類(ヒト)

大静脈 → (7) → (8) → 肺動脈 → 肺 → 肺静脈 → (9) → (10) → 大動脈 → 全身

【心臓の部位】 (ア) 心室 (イ) 心房 (ウ) 左心室 (エ) 右心室 (オ) 左心房 (カ) 右心房

問3. カエルの肺はゴム風船のような形状であり、肺の内表面に隔壁がある程度で、ヒトの肺に見られるような肺胞は発達していない。カエルはなぜこのような単純な構造の肺で生きていられるのか、その理由を述べよ。

【B】 右のグラフは成人の血液の酸素分圧と酸素ヘモグロビンの割合（酸素飽和度）を示した酸素解離曲線である。2本の曲線のうち一方は肺泡を流れる血液のもとで測定された酸素解離曲線であり、他方は組織を流れる血液のもとで測定された酸素解離曲線である。グラフの横軸は酸素分圧を、縦軸は酸素ヘモグロビンの割合（%）を示している。酸素ヘモグロビンの割合は酸素分圧以外に、血液のpHや二酸化炭素分圧によっても変化することが分かっている。以下の各問に答えよ。



問1. 血液のpHと酸素ヘモグロビンの割合にはどのような関係があるか。下の（ア）～（ク）より正しいものを2つ選び、記号で答えよ。

- （ア）肺では二酸化炭素分圧が高いため、血液のpHが下がり、酸素ヘモグロビンの割合は高くなる
- （イ）肺では二酸化炭素分圧が低いため、血液のpHが下がり、酸素ヘモグロビンの割合は高くなる
- （ウ）肺では二酸化炭素分圧が高いため、血液のpHが上がり、酸素ヘモグロビンの割合は高くなる
- （エ）肺では二酸化炭素分圧が低いため、血液のpHが上がり、酸素ヘモグロビンの割合は高くなる
- （オ）組織では二酸化炭素分圧が高いため、血液のpHが下がり、酸素ヘモグロビンの割合は低くなる
- （カ）組織では二酸化炭素分圧が低いため、血液のpHが下がり、酸素ヘモグロビンの割合は低くなる
- （キ）組織では二酸化炭素分圧が高いため、血液のpHが上がり、酸素ヘモグロビンの割合は低くなる
- （ク）組織では二酸化炭素分圧が低いため、血液のpHが上がり、酸素ヘモグロビンの割合は低くなる

問2. 高い山に登った時、肺泡内の酸素分圧は80mmHgであり、組織内の酸素分圧は30mmHgであった。この状況下でヘモグロビンによって肺から組織へ供給される酸素は、肺でヘモグロビンに結合した酸素のうち何%になるか求めたい。図中のP、Q、R、Sの4点の酸素飽和度（%）をそれぞれp、q、r、sとする。p～sの記号のうちいくつかを使って、ヘモグロビンにより組織へ供給される酸素の割合（%）を求める計算式を作れ。

問3. 胎児の赤血球には胎児型ヘモグロビンが含まれていて酸素の運搬に役立っており、胎児の筋肉にはミオグロビンが含まれていて酸素の貯蔵に役立っている。また、胎盤では母体の成体型ヘモグロビンから胎児の胎児型ヘモグロビンへと酸素が受け渡されている。胎児型ヘモグロビン、成体型ヘモグロビン、ミオグロビンの3つを酸素との親和性の高いものから低いものへ順に並べると、下の（ア）～（カ）のうちどれになるか、1つ選び記号で答えよ。

- （ア）成体型ヘモグロビン、胎児型ヘモグロビン、ミオグロビン
- （イ）成体型ヘモグロビン、ミオグロビン、胎児型ヘモグロビン
- （ウ）胎児型ヘモグロビン、成体型ヘモグロビン、ミオグロビン
- （エ）胎児型ヘモグロビン、ミオグロビン、成体型ヘモグロビン
- （オ）ミオグロビン、胎児型ヘモグロビン、成体型ヘモグロビン
- （カ）ミオグロビン、成体型ヘモグロビン、胎児型ヘモグロビン

生

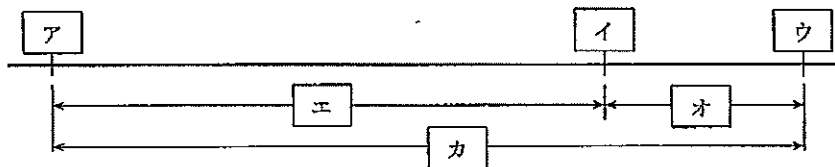
生物

生物 問題 III

キイロシヨウジョウバエ ($2n=8$) は3対の常染色体と1対の性染色体を持ち、雄 (σ) の性染色体はXY、雌 (ρ) ではXXである。いま互いに連鎖した3つの野生型の遺伝子、灰色の体色 (y^+)、赤色の眼 (v^+)、長い翅 (m^+) (翅とははねのこと) と、それらの突然変異型である黄色体色 (y)、朱色眼 (v)、小形翅 (m)、に関して実験1～3の交配を行い、その結果を下の表にまとめた。各実験の第1列は交配にもちいた純系の親 (P) の表現型、第2列はその結果得られた子 (F_1) の表現型、また第3列は子 (F_1) 同士を交配して得られた孫 (F_2) の表現型とその個体数を示している (ただし表現型は、体色・眼色・翅の長さの順に記してある)。次の問に答えよ。

	親 (P)	子 (F_1)	孫 (F_2)
実験1	♀ 灰・赤・長	♀ 灰・赤・長	♀ 灰・赤・長 89
	♂ 黄・朱・長	♂ 灰・赤・長	♂ 灰・赤・長 32 灰・朱・長 13 黄・赤・長 17 黄・朱・長 38
実験2	♀ 黄・赤・長	♀ 灰・赤・長	♀ 灰・赤・長 148 黄・赤・長 129
	♂ 灰・赤・小形	♂ 黄・赤・長	♂ 灰・赤・長 30 黄・赤・長 54 灰・赤・小形 42 黄・赤・小形 24
実験3	♀ 黄・朱・長		
	♂ 黄・赤・小形		

- 問1. 3つの突然変異型の遺伝子、黄色体色 (y)、朱色眼 (v)、小形翅 (m) は、どの染色体上にあるのか。常染色体、X染色体、Y染色体の中から1つ選び記せ。また、それぞれの突然変異型は、野生型に対して優性か劣性か記せ。
- 問2. 実験1の孫 (F_2) の雌は1つの表現型しか示さないが、複数の遺伝子型が含まれている。何種類の遺伝子型があるか記せ。
- 問3. 実験3の子 (F_1) の表現型を雌と雄について、それぞれ表にならって体色・眼色・翅の長さの順に記せ。
- 問4. 実験1～3の交配結果のうち、孫 (F_2) の雄の表現型の頻度をもとに、3つの突然変異型の遺伝子、(y)、(v)、(m) の間の組換え価を計算し、次の染色体地図を完成させよ。[ア]～[ウ]には突然変異型の遺伝子記号を、[エ]～[カ]には組換え価を記せ。ただし、実験3の孫 (F_2) の結果より、(v) と (m) の間の組換え価は4%であった。また、組換え価 (%) とは、(組換えによって生じた個体数) ÷ (交配によって生じた全個体数) × 100 で与えられるものとする。



- 問5. 実験1～3では子 (F_1) 同士を交配させて孫 (F_2) を得た。この場合、孫 (F_2) の雌と雄では表現型の比が異なり、また雌の結果は遺伝解析に使いにくい。そこで、孫 (F_2) の雌の表現型の比が、孫 (F_2) の雄の表現型の比とほぼ等しくなるような結果を得たい。このためには、子 (F_1) の雌にどのような表現型の雄を交配すればよいのか。雄の表現型を表にならって体色・眼色・翅の長さの順に1つ記せ。
- 問6. キイロシヨウジョウバエの減数分裂の結果生じる配偶子では、染色体の組み合わせは何通りあるか記せ。ただし、染色体の乗換え (遺伝子の組換え) は起こらないものと仮定する。
- 問7. 問4のような交配をくり返し行い、染色体にある遺伝子間の相対的位置を示す染色体地図 (連鎖地図) を作る方法を何と呼ぶか。またそれを考案した米国の研究者の名前を記せ。さらに、キイロシヨウジョウバエの幼虫には、遺伝子の位置を観察するのに適した巨大な染色体が含まれるが、この染色体の名称は何か。

生物 問題 IV

哺乳類では雌の細胞はX染色体を2本もち、雄の細胞は1本しかもたないが、雌の細胞では2本のX染色体のうち、1本が不活性化され転写されず、活性のあるものは1本だけである。不活性化されたX染色体は凝縮して核内に濃く染まるスポット（バール体）として顕微鏡で観察できる。X染色体の不活性化に関する最初の解析はライアンによってなされたが、それはマウスの毛色のパターンに関するものであった。マウスの毛色を調節する色素遺伝子が常染色体上にあるならば、その遺伝子についてヘテロ接合体のマウスの毛色は両親のどちらかに似るか、両者の中間色である。いずれにせよ、ヘテロ接合体のマウスの毛色は単色になるはずである。ところが、マウスの毛色を調節する色素遺伝子がX染色体上にあるために、この色素遺伝子についてヘテロ接合体の雌マウスの毛色は一方の親の毛色の部分と他方の親の毛色の部分がパッチ状に分布する“ぶち”になる。この結果を説明するためにライアンは次のような仮説を提出した。（1）雌の動物の初期発生においては、両方のX染色体が活性である。（2）発生が進むにつれて、各細胞で2本のうち1本のX染色体が不活性化される。（3）この不活性化の過程はでたらめに起こり、ある細胞では父親由来のX染色体が不活性化され、他の細胞では母親由来のX染色体が不活性化される。（4）この過程は不可逆的であり、ひとたびX染色体が不活性化されると、その細胞の子孫全体において同じX染色体が不活性となる。このように哺乳類では雌のすべての組織が2つの細胞タイプのモザイクである。この仮説に対する最も印象的な証拠は、ヒト細胞のクローンについての生化学的研究から得られている。ヒトにはレッシュ・ナイハン症候群という遺伝病があり、これはX染色体上にある遺伝子の産物、ヒポキサンチン・グアニンホスホリボシルトランスフェラーゼ（HPR T）が欠損している。この変異をもつ男性はこの病気が発症して死ぬことがある。この疾患の男子を持つ母親はキャリアー（保因者）と呼ばれる。ライアンの仮説が正しいとすると、その女性由来の細胞はどちらのX染色体がはたしているかにより、活性あるいは不活性なHPR Tを作ることになる。HPR Tについてヘテロ接合体の女性の皮膚細胞を取りだし、別々に培養することによりこの予想をテストした。個々の細胞は分裂して細胞クローンを形成し、これらのクローンについて活性型HPR Tの存在を調べるための染色をした。すると約半分のクローンが活性型の酵素をもち、半分にはなかった。また、X染色体にはグルコース-6-リン酸脱水素酵素（G6PD）をコードする遺伝子も存在する。この酵素は二量体（2本のポリペプチドからなるタンパク質、各々はサブユニットと呼ばれる）で、1対の対立遺伝子によりAまたはBのサブユニットが作られる。従って、雄はG6PDのサブユニット構成がAAかBBであるのに対して、雌ではAA、BBまたはABである。ヘテロ接合体の女性から採取した皮膚組織全体ではG6PDの両方のタイプ（AAとBB）がある。しかし、ヘテロ接合体から採取した皮膚組織の個々の体細胞クローンを調べると、各クローンはAAかBBのどちらかであり、両方とも発現しているクローンやABを発現しているクローンはなかった。

問1. X染色体の不活性化が無作為に起こるとするライアンの仮説の（3）が成り立たない場合を考える。仮に、父親由来のX染色体はすべて不活性化され、母親由来のX染色体だけが選択的に活性化されるとするならば、毛色の異なる両親から生まれたヘテロ接合体の雌マウスの毛色はどのようになるはずか。次の（ア）～（オ）より1つ選び、記号で答えよ。

- （ア） 父親と同じ毛色になる
- （イ） 母親と同じ毛色になる
- （ウ） 父親か母親のどちらか一方と同じ毛色になる
- （エ） 父親の毛色と母親の毛色のぶちになる
- （オ） 父親の毛色と母親の毛色の中間色になる

問2. X染色体の不活性化は不可逆的であるとするライアンの仮説の（4）だけが成り立たない場合を考える。細胞によっては不活性化されていたX染色体が活性化され、逆に活性化されていたX染色体が不活性化されることが起こるとするならば、毛色の異なる両親から生まれたヘテロ接合体の雌マウスの毛色はどのようになるはずか。次の（ア）～（オ）より1つ選び、記号で答えよ。

- （ア） ぶちにはならず単色で、父親と同じ毛色になる
- （イ） ぶちにはならず単色で、母親と同じ毛色になる
- （ウ） 父親の毛色に母親の毛色の大きなぶちが入る
- （エ） 母親の毛色に父親の毛色の大きなぶちが入る
- （オ） 父親の毛色と母親の毛色が細かく入り混じる

生

生物

問3. 下線部の2つの細胞タイプとはどのような細胞タイプか説明せよ。

問4. レッシュ・ナイハン症候群は次の(ア)～(オ)のうちどれに分類される遺伝病か、1つ選び記号で答えよ。

- (ア) 常染色体上に遺伝子がある優性遺伝病
- (イ) 常染色体上に遺伝子がある劣性遺伝病
- (ウ) X染色体上に遺伝子がある優性遺伝病
- (エ) X染色体上に遺伝子がある劣性遺伝病
- (オ) Y染色体上に遺伝子がある限性遺伝病

問5. ヘテロ接合体の女性の体細胞のG6PDを調べてみると、例外的にAA, BB, ABの3型が発現している細胞があるが、その細胞名は何か。次の(ア)～(オ)より1つ選び、記号で答えよ。

- (ア) 心筋細胞
- (イ) 横紋筋細胞
- (ウ) 平滑筋細胞
- (エ) 肝細胞
- (オ) 乳腺細胞

問6. ヒト女性の体内にはX染色体が2本とも活性がある細胞があり、ヘテロ接合体の女性のその細胞ではG6PDにAA, BB, ABの3型が現れる。X染色体が2本とも活性がある細胞の名称を1つ記せ。

問7. 細胞当たり活性のあるX染色体は1本しかないとするば、次の(a)～(c)に示す染色体異常のヒトの体細胞の核には不活性化されたX染色体(バール体)がそれぞれ何個あるか。

- (a) $44+XO$ の女性
- (b) $44+XXX$ の女性
- (c) $44+XXY$ の男性

問8. 盛んに分裂している細胞で、染色体が活性で転写が可能なのは細胞の分裂周期のうちどの時期か。次の(ア)～(オ)より1つ選び、記号で答えよ。

- (ア) 前期
- (イ) 中期
- (ウ) 後期
- (エ) 終期
- (オ) 間期

問9. 哺乳類の雌の個体で2本のX染色体のうち1本が不活性化されるのは何のためと考えられるか。

問10. 色覚障害は伴性遺伝をすることが知られている。日本人における色覚障害者の割合は男性では約20人に1人、女性では約400人に1人と言われている。色覚障害の遺伝子をヘテロにもつ保因者の色覚は正常であることが多いが、一部に軽い色覚障害の症状が現れたり、片方の眼だけに色覚障害が現れる症例などが知られている。(A)色覚障害の保因者は何人の女性に1人の割合で存在しているか、下の(ア)～(オ)より1つ選び、記号で答えよ。また、(B)保因者の女性の網膜の状態は下の(カ)～(コ)のうちどれに近いと考えられるか、1つ選んで記号で答えよ。

- (ア) 約10人に1人
- (イ) 約20人に1人
- (ウ) 約40人に1人
- (エ) 約100人に1人
- (オ) 約200人に1人

- (カ) 保因者の女性の網膜では、優性の正常遺伝子の存在するX染色体が選択的に活性化されている
- (キ) 保因者の女性の網膜では、色覚障害の遺伝子の存在するX染色体が選択的に不活性化されている
- (ク) 保因者の女性の網膜では、正常な部分と色覚障害の部分がモザイク状に分布している
- (ケ) 保因者の女性の網膜では、X染色体の不活性化が起こらないような仕組みになっている
- (コ) 色覚障害の遺伝子はY染色体上に存在するので、女性の網膜では色覚障害が起こりにくい