

京都大学

平成 28 年度 入 学 試 験 問 題

理 科

各科目 100 点満点

《配点は、学生募集要項に記載のとおり。》

物 理	(1～12 ページ)	化 学	(13～28 ページ)
生 物	(29～48 ページ)	地 学	(49～62 ページ)

(注 意)

1. 問題冊子および解答冊子は係員の指示があるまで開かないこと。
2. 問題冊子は表紙のほかに 62 ページである。また、解答冊子は表紙のほかに、
物理：20 ページ，化学：20 ページ，生物：16 ページ，地学：16 ページ，である。
3. 問題は物理 3 題，化学 4 題，生物 4 題，地学 4 題である。
4. 試験開始後，選択した科目の解答冊子の表紙所定欄に学部名・受験番号・氏名
をはっきり記入すること。表紙には，これら以外のことを書いてはならない。
5. ◇総合人間学部(理系)・理学部・農学部受験者は，物理・化学・生物・地学の
うちから 2 科目を選択すること。
◇教育学部(理系)受験者は，物理・化学・生物・地学のうちから 1 科目を選択
すること。
◇医学部・薬学部受験者は，物理・化学・生物のうちから 2 科目を選択するこ
と。
◇工学部受験者は，物理・化学の 2 科目を解答すること。
6. 解答は，すべて解答冊子の指定された箇所に記入すること。
7. 解答に関係のないことを書いた答案は無効にすることがある。
8. 解答冊子は，どのページも切り離してはならない。
9. 問題冊子は持ち帰ってもよいが，選択した科目の解答冊子は持ち帰ってはなら
ない。

生 物

(4 問題 100 点)

生物問題 I

次の文章(A)~(C)を読み、問 1 ~ 問 6 に答えよ。解答はすべて所定の解答欄に記入せよ。

- (A) マウスの第 2 染色体(常染色体)上には遺伝子 Y があり、この遺伝子の突然変異によりマウスの毛色が黄色化することが知られている。遺伝解析を行った結果、 Y 遺伝子座の正常型対立遺伝子のホモ接合体の毛色は灰色であるが、突然変異が生じた Y 遺伝子と正常型対立遺伝子のヘテロ接合体の毛色は黄色になることが示された。一方、突然変異が生じた Y 遺伝子のホモ接合体は、胎児の段階で死亡する。

問 1 以下の交配から得られる産子のうち、毛色が黄色になる産子の予想される割合を百分率(%)で記せ。ただし、有効数字を 2 けたとする。

- (1) 灰色マウスと黄色マウスの交配
- (2) 黄色マウス同士の交配

この問題は、31 ページに続いている。

白 紙

(B) 同種内の同一遺伝子座でも DNA 塩基配列がわずかに異なる部分があり，これを利用すれば，それぞれの個体をもつ対立遺伝子の組み合わせ(遺伝子型)を知ることができる。また，このような遺伝子をマーカー遺伝子として利用することで，相同染色体間の乗換えについて調べることができる。

図1は，黄色マウスの第2番染色体上のマーカー遺伝子の位置と遺伝子型を示す模式図である。各対立遺伝子間の距離は正確な組換え価を反映していないが，動原体(灰色および黒色の丸)に近い側から A, B, C, D の順にマーカー遺伝子が並んでいる。また，突然変異した Y 遺伝子は A 1, B 1, C 1, D 1 対立遺伝子が乗っている染色体に存在する。

この黄色マウスと，灰色マウス(動原体側から A 2, B 2, C 2, D 2 の順に対立遺伝子が並んだ第2番染色体のホモ接合体)との交配で 200 匹の産子が得られた。

表1は，それぞれの遺伝子型と表現型を示すマウスの匹数を表している。

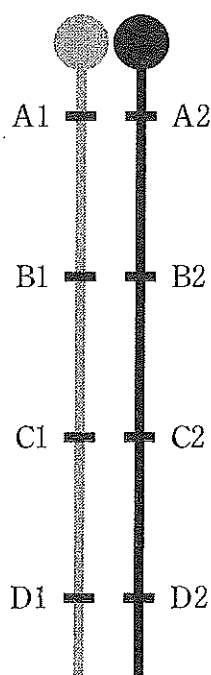


図1

表 1

遺 伝 子 型	マーカー A	A 2/A 2	A 2/A 2	A 2/A 2	A 2/A 2	A 1/A 2	A 1/A 2	A 1/A 2	A 1/A 2
	マーカー B	B 2/B 2	B 2/B 2	B 2/B 2	B 1/B 2	B 1/B 2	B 1/B 2	B 1/B 2	B 2/B 2
	マーカー C	C 2/C 2	C 2/C 2	C 1/C 2	C 1/C 2	C 1/C 2	C 2/C 2	C 2/C 2	C 2/C 2
	マーカー D	D 2/D 2	D 1/D 2	D 1/D 2	D 1/D 2	D 1/D 2	D 2/D 2	D 2/D 2	D 2/D 2
表現型		灰色	灰色	黄色	黄色	黄色	黄色	灰色	灰色
匹 数		90	2	2	3	96	2	4	1

問 2 表 1 のデータをもとに、マーカー遺伝子間(A-B間, B-C間, C-D間)の組換え価を百分率(%)で記せ。ただし、隣接するマーカー遺伝子間で二重乗換えはないものとする。また、有効数字は2けたとする。

問 3 問 2 の結果を用いて、マウス第 2 番染色体の染色体地図を作成し、突然変異した Y 遺伝子の染色体地図上の位置を記せ。各マーカー遺伝子間の距離および Y 遺伝子とマーカー遺伝子間の距離は、組換え価で表すこと。ただし、有効数字は2けたとする。

(C) 突然変異には、染色体の構造や数に変化が生じた^①染色体突然変異と、DNA の塩基配列に変化が生じた遺伝子突然変異がある。いま、第 2 番染色体上のマーカー遺伝子 A から C までのゲノム領域が逆位になった染色体をヘテロにもつマウスがいたとする。図 2 は、このマウスの染色体上の対立遺伝子の位置関係を表している。このような逆位の染色体をヘテロにもつ個体では、減数分裂時に相同染色体が図 3 のように対合する。このとき、マーカー遺伝子 B とマーカー遺伝子 C の間で単一乗換えが生じると、4 種類の染色体が得られる。このうち、動原体を 1 つもつ染色体は 2 種類あり、(動原体)-(A 1)-(B 1)-(C 1)-(D 1)、(動原体)-(C 2)-(B 2)-(A 2)-(D 2)と表すことができる。残りの 2 種類の染色体のうち、動原体を 2 つもつ染色体は、(動原体)-(A 1)-(ア)-(イ)-(動原体)と表される。また、動原体をもたない染色体は、(D 1)-(ウ)-(エ)-(オ)-(カ)と表される。

問 4 下線部①について、逆位の他に染色体の構造変化を伴う染色体突然変異を 3 つ解答欄に記せ。

問 5 文中の ア ～ カ に当てはまる適切な対立遺伝子名を解答欄に記せ。

問 6 図 2 に示す第 2 番染色体をもつマウスと灰色マウス(動原体側から A 2, B 2, C 2, D 2 の順に対立遺伝子が並んだ第 2 番染色体のホモ接合体)を交配したところ、マーカー遺伝子 C とマーカー遺伝子 D との間で組換えを生じた産子を得られた。しかし、逆位部分のマーカー遺伝子(A, B, C)の間で組換えが生じた産子を得ることはできなかった。その理由を、「動原体」と「乗換え」の 2 語を用いて解答欄の枠の範囲内で説明せよ。

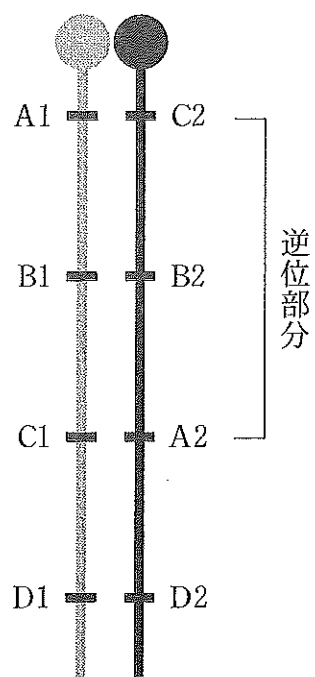


图 2

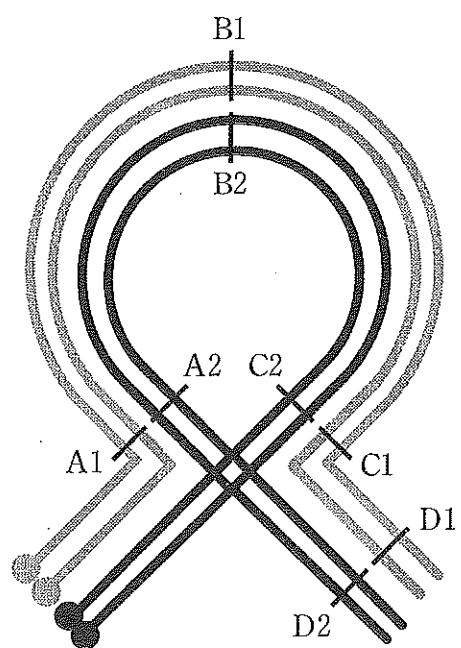


图 3

生物問題 II

次の文章(A)、(B)を読み、問1～問7に答えよ。解答はすべて所定の解答欄に記入せよ。

(A) サクラソウは、北海道から九州にかけての湿地や草原に自生する多年草である。

サクラソウの花は、おしべとめしべの位置が同一の花の中でずれており、図1のようにおしべが長くめしべが短い短花柱花のみをつける個体と、おしべが短くめしべが長い長花柱花のみをつける個体が、通常は集団中に1：1の比率で存在している。サクラソウでは、短花柱花と長花柱花の間で受粉が起こると正常に種子ができるが、同じ型の花同士では、たとえ異なる個体間で受粉が起きても花粉管が正常に伸長せず、種子が形成されない。これは、自家受粉による ア の影響を防ぐ自家不和合性が、同じ型の花をもつすべての個体に及ぶためである。

サクラソウの自然集団では、吸蜜に訪れるマルハナバチが花粉の媒介を担っている。それぞれの型の花の花粉は、^{やく}葯の位置の違いによってマルハナバチの体の異なる部位に付着するため、短花柱花の花粉は長花柱花の柱頭に、長花柱花の花粉は短花柱花の柱頭に届けられやすい。サクラソウのように集団内でおしべとめしべの長さに二型が見られる性質は二型花柱性^①と呼ばれ、被子植物の25以上の科で独立に進化している。サクラソウではおしべとめしべの長さや自家不和合性反応に関わる花粉や柱頭の性質が決まった組み合わせで受け継がれることから、花型を特徴付ける一連の形質は1つの遺伝子座で決定されているとみなすことができる。^②

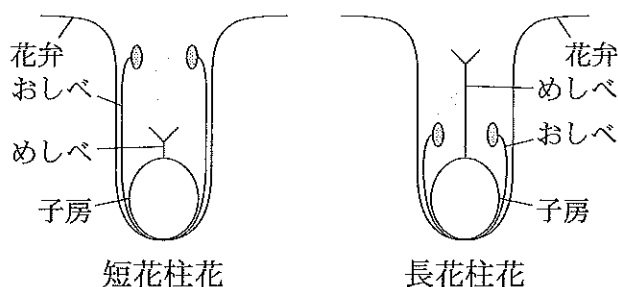


図1 短花柱花および長花柱花の断面の模式図

一方、埼玉県田島ヶ原のサクラソウ集団では、周囲の宅地化に伴って花粉媒介者のマルハナバチが消失し、短花柱花および長花柱花の結実率が他の集団のそれと比べて顕著に低い。この集団には、突然変異によって生じた、おしべとめしべの長さが等しい等花柱花をもつ個体が低頻度で存在する。短花柱花や長花柱花と異なり、等花柱花は自身の花粉を受粉しても種子を作ることができる性質をもつ。この集団において、それぞれの花型をもつ個体は表1のように種子を生産していた。現在のような種子生産の傾向が続いた場合、アの影響が大きく、等花柱花がいくら種子を生産してもそれが次世代の確保につながらなければ集団は衰退に向かうと予測されるが、アの影響がそれほど大きくない場合、この集団では自然選択による進化が急速に起こると考えられる。^③

表1 埼玉県田島ヶ原のサクラソウ集団における花型ごとの平均結実率および平均種子生産数(Washitani *et al.*, 1994 の表を改変)

花型	花あたりの結実率(%)	花あたりの種子生産数
長花柱花	20	7.6
短花柱花	9	2.1
等花柱花	82	32.0

問1 下線部①について、類似した環境下で個別に進化した異なる生物が、よく似た形質を独立に進化させることを何と呼ぶか、解答欄に記せ。

問2 サクラソウで集団中の短花柱花と長花柱花の比率が1:1であるのは、いずれの花が生産した種子からも短花柱花と長花柱花が等しい確率で生じるためである。下線部②の遺伝子座において、短花柱花を作らせる対立遺伝子Aが、対立遺伝子aに対して優性である場合、短花柱花の遺伝子型を解答欄(あ)に、長花柱花の遺伝子型を解答欄(い)にそれぞれすべて記せ。ただし、等花柱花の存在は無視できるものとする。

問3 下線部③について、田島ヶ原のサクラソウ集団でどのような進化が起こると考えられるか。理由も含め解答欄の枠の範囲内で記せ。

(B) アリ、ハチ、シロアリなどは高度に組織化された集団をつくって社会生活を営んでいる。シロアリでは、生殖に専念する王と女王、生殖に参加せず、採餌や子の世話などの労働を担うワーカー、天敵から巣を防衛する兵隊などの分業がある。近年、シロアリの巣内の血縁関係について、詳しい分析が進められ、これまで知られていなかった繁殖の仕組みが明らかになった。

北海道から九州まで幅広く分布するヤマトシロアリでは、初夏に雄と雌の羽アリが一斉に巣を飛び立ち、出会った雌雄がペアを組み、一夫一妻で新たな巣をつくる。はじめに巣をつくった雄と雌が、その巣の王と女王になる。女王は、ほとんどの子を有性生殖で産むが、ごく一部の子を単為生殖で産む。巣が大きくなると、子の中から卵巣を発達させて副女王になる個体が複数現れ、女王とともに生殖を行う。女王が死亡した後は、副女王が女王の後継者となって生殖を引き継ぐ。

社会性昆虫の巣内の血縁関係を知る方法の1つに、ゲノム中でCTACTACTA・・・のように決まった塩基配列が繰り返し現れる部分(マイクロサテライトと呼ばれる)を調べるものがある。マイクロサテライトの塩基配列の繰り返し数は多様であり、1個体においても、父親由来のDNAと母親由来のDNAの間で繰り返し数が異なることが多い。ある巣から王、女王、4匹の副女王、および5匹のワーカーを取り出し、あるマイクロサテライトを含むDNAの領域を人工的に増幅して電気泳動を行ったところ、図2のような結果を得た。ただし、染色体数を確認したところ、すべての個体の染色体は42本であった。

王は女王に比べて長寿であるが、王が死亡した場合は、子の中から精巣を発達させて副王になる個体が現れ、生殖を引き継ぐ。ただし、副王に入れ替わった巣は、近親交配による ア の影響により衰退する。

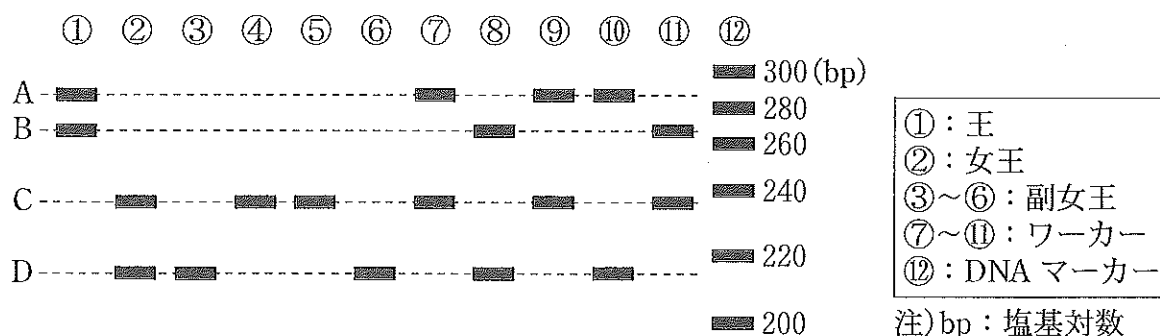


図2 電気泳動の結果

問4 文章(A)と(B)の に共通して当てはまる適切な語句を解答欄に記せ。

問5 下線部④に関連して、ワーカーや兵隊は自分の子を残さず、王や女王を助けて兄弟や姉妹を増やしている。自らの適応度がゼロになるにもかかわらず、なぜこのような行動が進化したのか、個体間の血縁関係の観点から考え、解答欄の枠の範囲内で説明せよ。

問6 下線部⑤に関連して、図2の王の遺伝子型をAB、女王の遺伝子型をCDとすると、副女王の遺伝子型をすべて解答欄(あ)に記せ。また、図2から読み取れるヤマトシロアリの繁殖の仕組みを解答欄(い)の枠の範囲内で説明せよ。

問7 下線部⑥に関連して、図2の王が死亡して副王に入れ替わった後に生まれるワーカーの遺伝子型として適当でないものを、次の 内に示す遺伝子型からすべて選び、解答欄に記せ。

AA, AB, AC, AD, BB, BC, BD, CC, CD, DD

生物問題 III

次の文章(A)、(B)を読み、問1～問8に答えよ。解答はすべて所定の解答欄に記入せよ。

(A) カルビン・ベンソン回路において、 CO_2 は炭素を3つ含む化合物(C_3)であるホスホグリセリン酸として固定される。大気中の CO_2 を直接ホスホグリセリン酸に固定する植物を C_3 植物と呼ぶ。 CO_2 の固定反応を触媒する酵素であるルビスコは、 CO_2 の代わりに O_2 の取り込みも触媒し、光合成の効率を低下させる。

一方、一群の C_4 植物は、図1に示すような代謝経路をもつことにより、ルビスコによる O_2 の取り込み反応を防いでいる。葉肉細胞において、 CO_2 は HCO_3^- (炭酸水素イオン)となり、ホスホエノールピルビン酸(C_3)に固定され、炭素を4つ含む化合物(C_4)であるオキサロ酢酸を生じる。オキサロ酢酸は、リンゴ酸に変換され、維管束鞘細胞^{しょう}に運ばれる。リンゴ酸はそこで CO_2 を放出し、ピルビン酸(C_3)を生じる。ピルビン酸は、葉肉細胞に戻され、ATPを消費してホスホエノールピルビン酸が再生される。 C_4 植物は、この回路をもつため、維管束鞘細胞での CO_2 の濃度が高くなり、光合成の効率が上昇する。^①

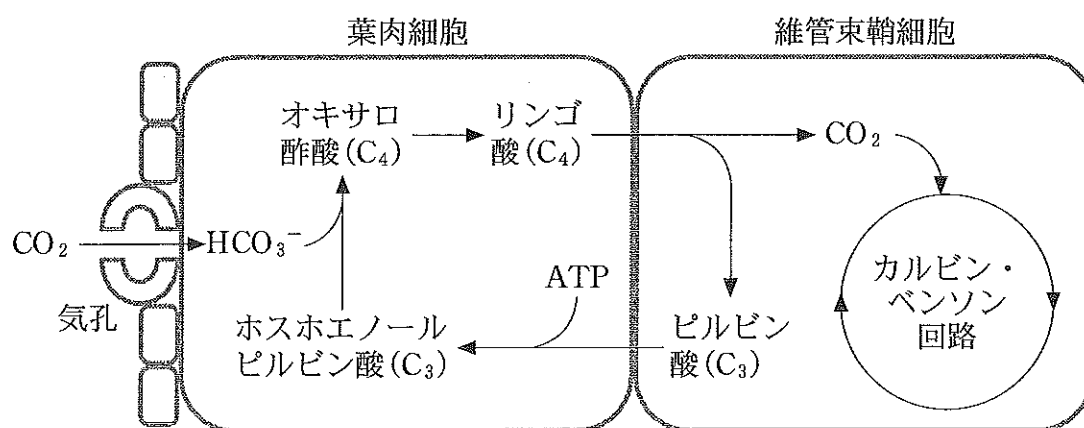


図1

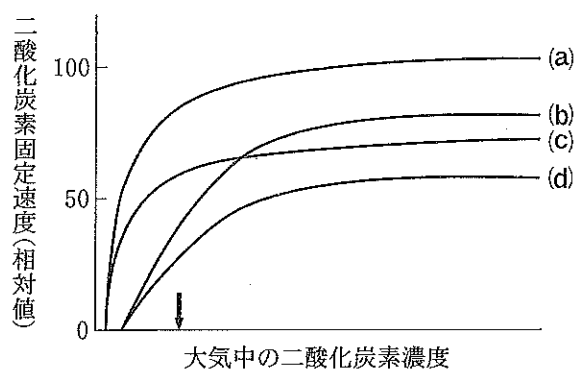
問 1 次の植物の中から C_4 植物を 2 つ選び、解答欄に記入せよ。

イネ、トウモロコシ、エンドウ、コムギ、サトウキビ、ホウレンソウ

問 2 下線部①に関連して、 C_4 植物が C_3 植物に比べて少ない水でも生育可能な理由を解答欄の枠の範囲内で述べよ。

問 3 大気中の CO_2 濃度が現在よりはるかに高くなると、 C_3 植物でもルビスコによる O_2 の取り込み反応が起こらなくなる。そのような環境下では、 CO_2 濃縮回路をもたない方が、代謝の観点から生存に有利であると考えられる。その理由を解答欄の枠の範囲内で述べよ。

問 4 図 2 の曲線(a)~(d)は、光飽和点を超える光強度のもとでの CO_2 固定速度の CO_2 濃度依存性を示している。 C_3 植物と C_4 植物の関係を表すもっとも適切な曲線の組み合わせを、表 1 の選択肢(あ)~(し)から 1 つ選び解答欄に記せ。



図中の矢印は、現在の大気中の二酸化炭素濃度を示す。ただし、葉面積当たりのタンパク質含量は、それぞれの植物で同一とする。

図 2

表 1

選択肢	C_3 植物	C_4 植物
(あ)	(a)	(b)
(い)	(a)	(c)
(う)	(a)	(d)
(え)	(b)	(a)
(お)	(b)	(c)
(か)	(b)	(d)
(き)	(c)	(a)
(く)	(c)	(b)
(け)	(c)	(d)
(こ)	(d)	(a)
(さ)	(d)	(b)
(し)	(d)	(c)

(B) ヒトを含む動物において、光や音など周囲の環境からの刺激を受けとめる装置である **ア** と、運動など刺激に対する反応を担う筋肉などの **イ** は、神経系によってつながっている。神経系では、それぞれの神経細胞内、および複数の神経細胞間で興奮が伝えられる。^② 脊椎動物では、多くの神経細胞が脳と脊髄に集中しており、これらはまとめて **ウ** と呼ばれている。**ウ** のうち、ヒトは他の動物と比較して脳が発達している。脳の表面に近い部分は神経細胞の細胞体が集まっている大脳皮質で覆われ、内部には神経細胞の軸索が集まっている **エ** がある。^③ 大脳皮質は新皮質や辺縁皮質(古皮質・原皮質)などから構成され、それらに含まれる領域ごとに役割分担があることが知られている。新皮質のうち、視覚や聴覚などの特定の感覚に特異的に関与する領域を感覚野、それらの情報を結びつけて言語や記憶などの複雑な情報処理に関与する領域を **オ** 、主に随意運動に関与する領域を運動野と呼んでいる。また、^④ 大脳は左右の半球に分かれており、それらは主に脳梁^{のうりょう}によって連絡されている。

問 5 文中の **ア** ~ **オ** に当てはまる適切な語句を解答欄に記せ。

問 6 下線部②について、神経細胞内で興奮が伝わることは伝導と呼ばれるが、一般に伝導速度は有髄神経繊維の方が無髄神経繊維より速いことが知られている。有髄神経繊維にみられるこのような速い伝導を何と呼ぶか、その名称を解答欄(1)に記せ。また、無髄神経繊維をもつ動物の中でもヤリイカの神経繊維は、有髄神経繊維と同様の速い伝導速度を示すことが知られている。その理由は何か、解答欄(2)の枠の範囲内で述べよ。

問 7 下線部③に関連して、特定の脳領域と機能の関係について述べた以下の文章のうち、正しいものをすべて選び、その記号を解答欄に記せ。

- (あ) 右手の運動を行うことで、右大脳半球の運動野の活動の増加が左大脳半球の運動野の活動の増加よりも大きくなる。
- (い) ヒトの言語処理に特に重要とされる脳領域は大脳皮質にあり、主に言語の「理解」に関与する領域と「発声」に関与する領域とに分かれている。
- (う) 辺縁皮質は感情などの処理と関係が深く、他の動物と比較してヒトで特に発達している。
- (え) 視覚刺激は、視神経を通して大脳皮質の後端部に入力されることで「見える」感覚が生じる。
- (お) 右大脳半球の皮膚感覚の処理に関係する領域が損傷した場合、左手を触られることで感じる皮膚感覚は、右手を触られることで感じる皮膚感覚と比較すると低下することが多い。

問 8 下線部④について、右利きの多くのヒトでは、左大脳半球が複雑な言語機能に関与するが、右大脳半球はほとんど関与しないことが知られている。ここで、脳梁の機能が全体的に失われた右利きのヒトに対して、左右の視野に異なる文字を同時に瞬間提示し、一方の視野に提示された文字が他方の視野には入らないようにした場合の言語機能に関する検査を行った。その結果、右視野に提示された文字は口頭で正しく答えることができたが、左視野に提示された文字については正しく答えることができなかった。なぜこのようなことが起きるのか、考えられる理由を解答欄の枠の範囲内で述べよ。

生物問題 IV

次の文章(A)~(C)を読み、問1~問6に答えよ。解答はすべて所定の解答欄に記入せよ。

(A) 二本鎖 DNA をいくつかの制限酵素で切断し、それらの切断部位を決定することで制限酵素地図が作成できる。あるプラスミド(10,000 塩基対数, 10 kbp)を3種類の制限酵素(*Eco*RI, *Hind*III, *Pst*I)およびそれらの組み合わせで切断した後、アガロースゲルを用いた電気泳動で断片を解析した。得られた電気泳動像を模式化したものが図1である。

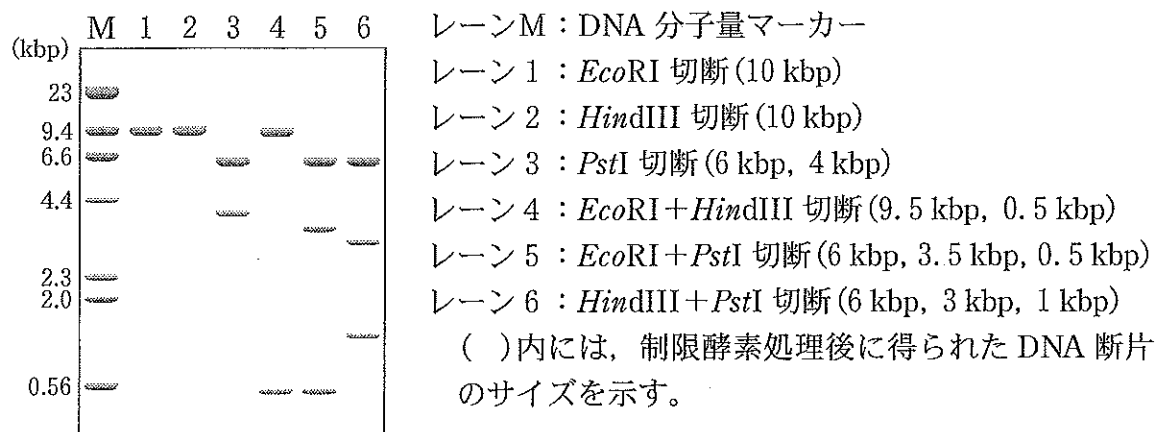
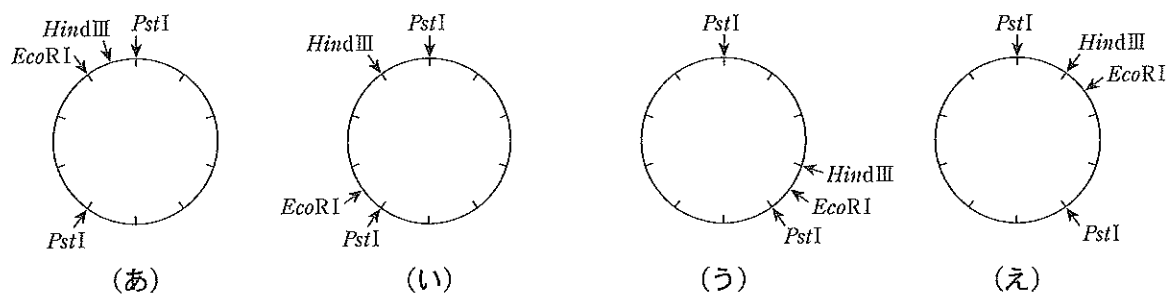


図1

問1 図1の電気泳動像をもとに、このプラスミドの制限酵素地図を作成した。正しいものを下記の(あ)~(え)から選び、解答欄にその記号を記せ。

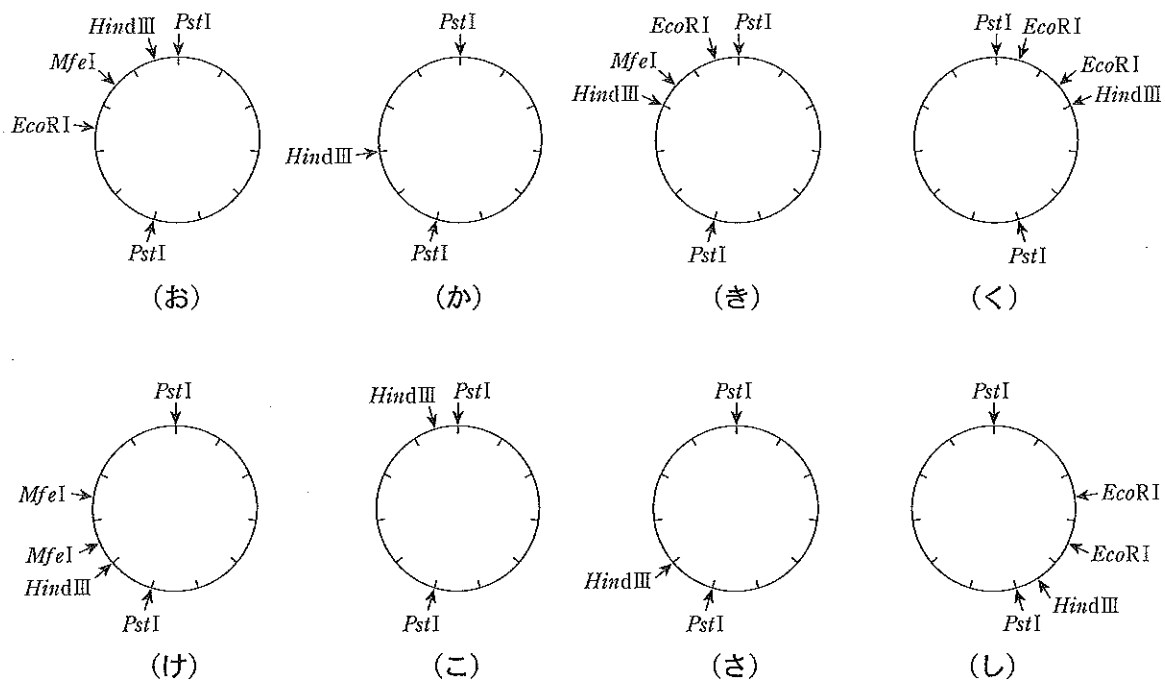


注) 1目盛りは1 kbpを表している。

問 2 別のプラスミドを制限酵素 *Mfe*I で切断して得た 1 kbp の DNA 断片がある。この DNA 断片内には、*Eco*RI、*Hind*III および *Pst*I の認識部位は存在しない。この DNA 断片を、(A) で用いたプラスミドの *Eco*RI 切断部位に挿入した。なお、*Eco*RI と *Mfe*I の認識部位と切断後の末端部分を図 2 に示す。この遺伝子組換え操作により新しくできたプラスミド (11 kbp) の制限酵素地図として正しいものを下記の (お) ~ (し) から選び、解答欄にその記号を記せ。

制限酵素	認識部位の配列	切断後の末端部分
<i>Eco</i> RI	<pre> G A A T T C C T T A A G </pre>	<pre> G A A T T C C T T A A G </pre>
<i>Mfe</i> I	<pre> C A A T T G G T T A A C </pre>	<pre> C A A T T G G T T A A C </pre>

図 2

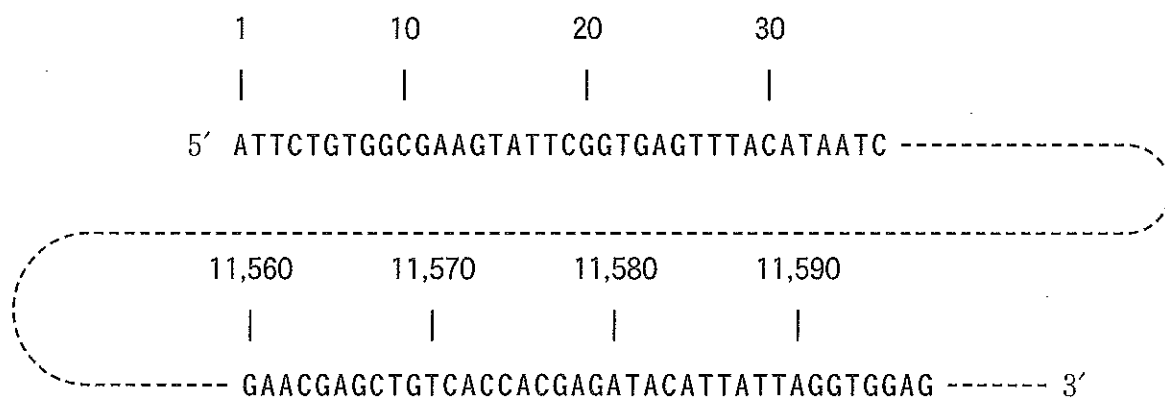


注) 1 目盛りは 1 kbp を表している。

(B) ある遺伝子の mRNA (真核生物由来) に相補的な DNA (cDNA) を、PCR を利用してクローニングする場合は、まずこの mRNA を強く発現している組織から RNA を抽出する。次に、mRNA の ア と相補的なチミンヌクレオチドが並ぶプライマーを用い、イ 酵素を使って cDNA を合成する。その後、PCR を実施し、得られる DNA 断片をプラスミドに挿入することにより、目的とする cDNA クローンを得る。

問 3 ア , イ に適切な語句を記入せよ。

問 4 この遺伝子の転写開始点からの配列と終止コドンを含む配列は以下の通りであった。この配列をもとに、下線部①で用いるプライマーとして、転写開始点から 21 塩基のプライマー A と終止コドンの終わりまでの 21 塩基のプライマー B を設計した。プライマー A と B の 5' 末端側の 6 塩基を、解答欄 A, B にそれぞれ記入せよ。記入に際しては、5' 末端が左端に位置するようにすること。



注) 番号は転写開始点を 1 番とする。

この問題は、47 ページに続いている。

白 紙

(C) ミトコンドリア内膜に存在する ATP 合成酵素は、「分子モーター」と呼ばれる特徴的な構造を有する複合体である。呼吸鎖複合体によって形成された濃度勾配に従う H^+ の流れを利用して、分子モーターの心棒が回ると、この酵素は ATP 合成酵素として機能する。一方、この反応は逆向きにも進行することが知られている。図 3 に示す分子モーター構造をガラス基板上に構築して ATP を加えると、この複合体は ATP アーゼ活性を発揮して ATP を ADP とリン酸に分解し、その際生じるエネルギーを利用して心棒を回転させる。なお、この場合心棒は ATP 合成の場合とは逆向きに回転する。

様々な初期濃度の ATP 存在下で図 3 に示す分子モーターの回転速度を調べたところ、図 4 の曲線が得られた。

問 5 図 4 で ATP 濃度が $200 \mu\text{mol/L}$ のとき、分子モーターは 1 秒間あたり 360 個の ATP を加水分解したとする。1 個の ATP あたり、心棒は何度回転するか、回転角度を解答欄(1)に記入せよ。また、その理由を解答欄(2)の枠の範囲内で記せ。ただし、ATP 加水分解のエネルギーから回転エネルギーへの変換効率は 100 % とする。

問 6 図 4 の結果から、分子モーターの回転速度は、ATP 濃度が高くなるにつれて一定の値に近づいていくことがわかる。その理由として考えられることを、「ATP アーゼと ATP の複合体」という語句を用いて解答欄の枠の範囲内で記せ。

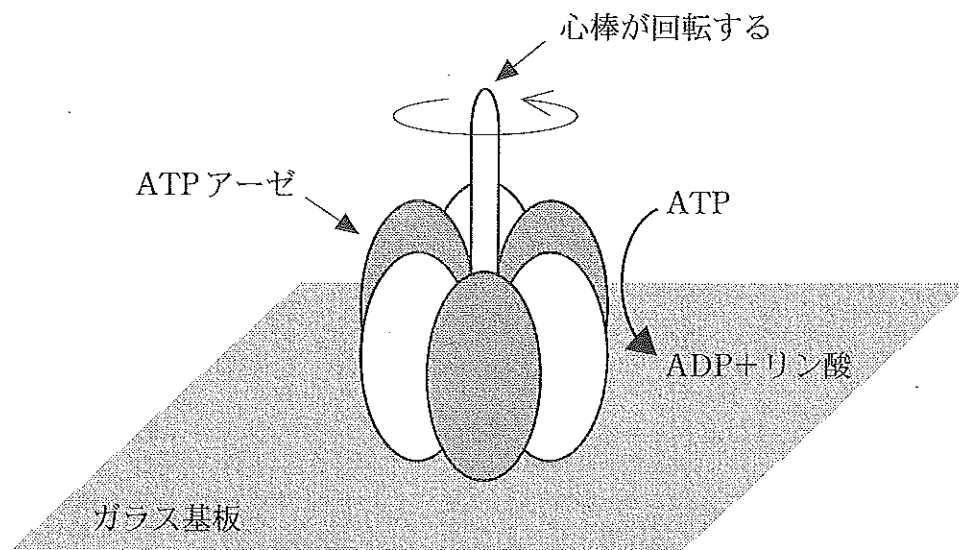


図 3

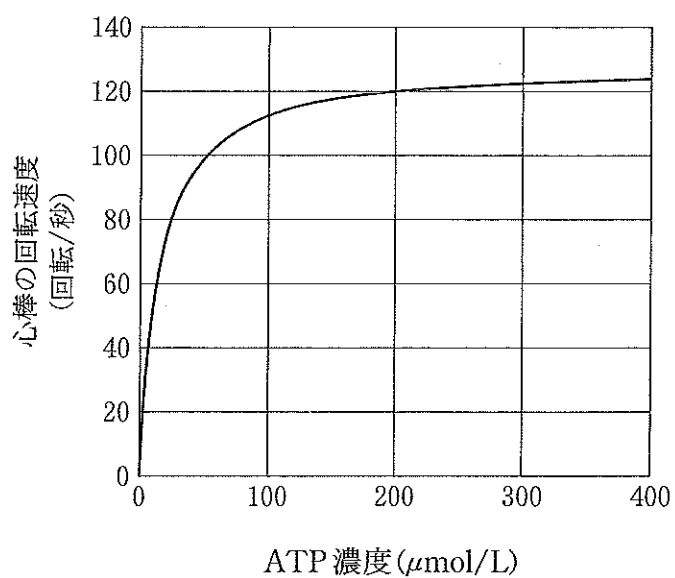


図 4

生物問題は、このページで終わりである。