

〔「物理基礎・物理」〔化学基礎・化学〕〔生物基礎・生物〕〕

(時間：2出題科目で120分)

注 意 事 項

- 1 試験開始の合図があるまで、この問題冊子の中を見てはいけません。
- 2 出題科目、ページ及び選択方法は、下表のとおりです。

出 題 科 目	ページ	選 択 方 法
〔物理基礎・物理〕	1～3	左の3出題科目のうちから、あらかじめ届け出た2出題科目について解答しなさい。
〔化学基礎・化学〕	4～5	
〔生物基礎・生物〕	6～8	

- 3 試験中に問題冊子の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁および解答用紙の汚れ等に気付いた場合は、手を挙げて監督者に知らせなさい。
- 4 解答は、すべて解答用紙の所定の欄に記入しなさい。
- 5 問題冊子の余白は計算等に用いて構いません。
- 6 試験終了後、解答用紙のみを回収します。

生物基礎・生物

〔1〕ヌクレオチドに関する次の文章を読み、下の問い(問1～4)に答えよ。

核酸の構成単位であるヌクレオチドは、塩基と **ア** からなるヌクレオシドにリン酸が結合してできている。核酸の一種である **イ** の場合、塩基にはアデニン、グアニン、ウラシル、シトシンがあり、**ア** は **ウ** である。ヌクレオシドにリン酸が3つ結合したヌクレオシド三リン酸のうち、塩基がアデニンのものはATP(アデノシン三リン酸)と呼ばれる。ヌクレオチドの新規合成には、ウラシル、シトシン、チミンを含むピリミジンヌクレオチドの合成経路とアデニン、グアニンを含むプリンヌクレオチドの合成経路がある。ピリミジンヌクレオチドの生合成は、ATCase(アスパラギン酸トランスカルバミラーゼ)の触媒による、カルバモイルリン酸とアスパラギン酸の反応から始まり、UMP(ウリジン一リン酸)に終わる5段階の反応からなる。UMPはさらにCTP(シチジン三リン酸)へと変換される。一方、DNAを合成する場合、リボヌクレオシド二リン酸の **ウ** がリボヌクレオチド還元酵素によってデオキシ **ウ** へと還元され、さらにリン酸が1つ結合して、デオキシリボヌクレオシド三リン酸が作られる。このデオキシリボヌクレオシド三リン酸がDNAの複製時に酵素である **エ** の働きによって結合することで、新生鎖が伸長していく。

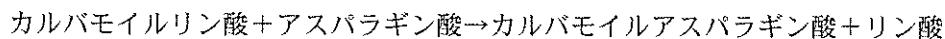
問1 文中の **ア** ～ **エ** に適切な語句を記せ。

問2 下線部①について、ヒトの場合、ATPは細胞1個当たり0.00084ngしか存在しないが、1日に細胞1個当たり0.84ngのATPが消費されている。ヒトの身体が60兆個の細胞からできているとすると、1日に何kgのATPを消費することになるか、小数第一位まで求めよ。なお、1ngは 1×10^{-9} gである。

問3 下線部②について、基質濃度と酵素活性の関係について調べるため、大腸菌のATCaseを用いた次の実験を行った。

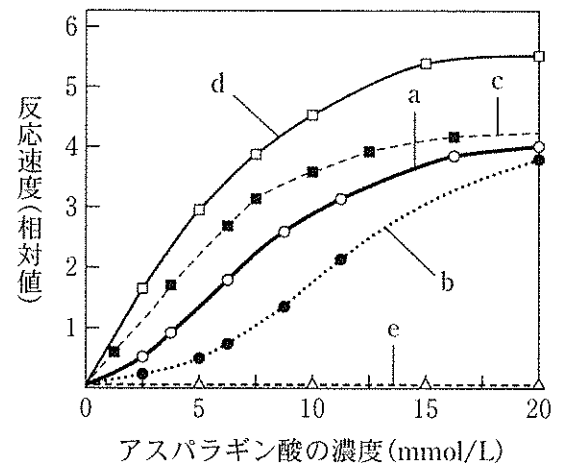
実験 ATCaseは6つの触媒サブユニット*と6つの調節サブユニットからなる酵素で、次の反応を触媒する。

*サブユニット：四次構造を持つタンパク質において、個々のポリペプチドが形成する構造のこと



なお、ATCaseには、酵素の活性を調節する低分子物質(エフェクター)が結合するアロステリック部位が存在する。

ATCase活性を、カルバモイルリン酸が十分に存在する条件下で、アスパラギン酸の濃度を変化させて測定した(曲線a)。同様の実験を2.0mmol/L CTP存在下(曲線b)、2.0mmol/L ATP存在下(曲線c)で行った。また、触媒サブユニット単独でATCase活性を測定すると曲線dが得られた。一方、調節サブユニット単独でATCase活性を測定すると曲線eが得られた。



- (1) 本実験でCTPがATCase活性に与えたような、最終生成物の生産量を調節するしくみを一般的に何と呼ぶか答えよ。
- (2) ATPはATCaseのどこに結合し、どのように活性を調節しているか、曲線aと曲線cを比較して考察せよ。
- (3) ATCase活性の基質濃度と反応速度の関係(曲線a)は、S字型である。分子との結合において、このような濃度依存性を示す、ヒトが持つタンパク質の例を1つ挙げ、その性質が生理的に有利であることを説明せよ。なお、タンパク質は酵素でなくても良い。
- (4) 曲線a, d, eを比較して、ATCaseの触媒サブユニットと調節サブユニットの働きについて考察せよ。
- (5) デオキシリボヌクレオシド三リン酸の一種であるdATP(デオキシアデノシン三リン酸)が、ATCase活性に対して及ぼす影響を調べたところ、曲線cと同じ結果が得られた。このような調節はDNAの複製過程において、どのような意味があるか考察せよ。なお、dTTP(デオキシチミジン三リン酸)はUMPから合成される。

問4 下線部③について、リボヌクレオチド還元酵素が阻害されると、細胞にどのような影響を及ぼすと考えられるか述べよ。

[2] 遺伝に関する次の文章を読み、下の問い(問1～5)に答えよ。

哺乳類は一般的に、雄XY型、雌XX型の性決定様式を有している。哺乳類の雌の場合、胚発生の過程で細胞内の2本のX染色体のうち1本が不活性化されることが知られている。ヒトやネコでは、この不活性化は細胞ごとにランダムに起こり、細胞分裂後も不活性の状態が維持され、片方のX染色体上の遺伝子発現が抑制される。

ネコの毛色に関わる代表的な4つの遺伝子を表1に示す。白色(W)、アグチ(A)および白斑(S)遺伝子は常染色体上に存在するが、茶色(O)遺伝子はX染色体上にある。そこでネコの遺伝子型を $WwAaSs/X^OY$ のように表すことにする(X^O はX染色体上に優性の遺伝子Oが存在することを示す)。野生型のネコの遺伝子型は $wwA-ss/X^OY$ (雄)または $wwA-ss/X^OX^O$ (雌)であり、X染色体上に劣性の遺伝子oが存在するため、アグチの遺伝子Aが働いて黒と茶灰色のアグチ毛となる。なおここで「-」は、優性A、劣性aのいずれの遺伝子が入ってもよいことを意味している。通常雄はO遺伝子を一つしか持つことが出来ず、 X^O の場合は茶毛、 X^o の場合はアグチ毛または黒毛を生じうる。従って、雄ネコには最も多色の場合でも、白斑ともう一色の二色の毛色しか生じない。一方、雌はX染色体を二本持つため、三色の毛色を有することがあり、これは三毛ネコと呼ばれている。

なお以下の設問においては、各遺伝子間の連鎖や組換えは考慮しなくてよい。

表1

遺伝子		性 質
白色の遺伝子	W 遺伝子	他のすべての毛色遺伝子よりも優性。Wを持つと全身が白毛になる。wwの場合は別の毛色が現れる。
アグチの遺伝子	A 遺伝子	Aを持つとアグチ毛(1本の毛の先端と根元が黒で中間が茶灰色)になる。aaは1本の毛全体が黒になる。
白斑の遺伝子	S 遺伝子	Sを持つと白斑(ぶち)を生じる。SSは体全体に広い白斑が発現し、Ssは腹部や四肢のみ白斑あり、ssは白斑なしになる。
茶色の遺伝子	O 遺伝子	OはAに対して抑制的に働く。Oを持つと茶色の毛を生じる。Oを持たない場合は、Aまたはaの遺伝子が働く。

問1 下線部について、三毛ネコは全身に、白斑、アグチ(または黒)、および茶の三色のまだらの毛色を持ち、ほとんどが雌である。白(広い白斑)、アグチ、茶の雌の三毛ネコが有する可能性のある遺伝子型をすべて示せ。なお大文字と小文字を区別できるよう、 $WwAaSs/X^OX^o$ のように大文字には下線を引くこと(以下の問いも同様とする)。また、なぜこの遺伝子型を持つと三色の毛色を持つのか、その理由を述べよ。

問2 全身の毛色が黒の雄と野生型(アグチ毛)の雌との間に雄の子ネコが生まれた。生まれた子ネコにはどのような模様が出現すると考えられるか。可能性のある遺伝子型とその毛色を、例にならって全て挙げよ。例) $wwAAss/X^OY$ (アグチ毛)

問3 ごくまれに雄の三毛ネコが生まれることがある。ある雄の三毛ネコの染色体構成を調べたところ、染色体数が通常のネコよりも1本多かった。この雄が三毛ネコになった理由を、その染色体構成や遺伝子型を挙げて説明せよ。

問4 ある地域集団のネコの毛色を観察したところ、表2の結果が得られた。なおこの集団では雄と雌の数は等しいと仮定する。

(1) 表2の結果から白斑の対立遺伝子Sとsの遺伝子頻度pおよびqをそれぞれ推定せよ。ただし $p + q = 1$ とする。なお計算過程を示し、結果は分数で示すこと。

(2) この地域集団が白斑の遺伝子についてハーディ・ワインベルクの平衡にあると仮定した場合、有色の毛を持ち広い白斑を有する個体は何匹か、期待される個体数を求めよ。計算過程を示し、結果は分数で示すこと。

表2

表現型		個体数
全身が白色		95
有色の毛を持つ	広い白斑	45
	腹部や四肢のみ白斑	279
	白斑なし	81
計		500

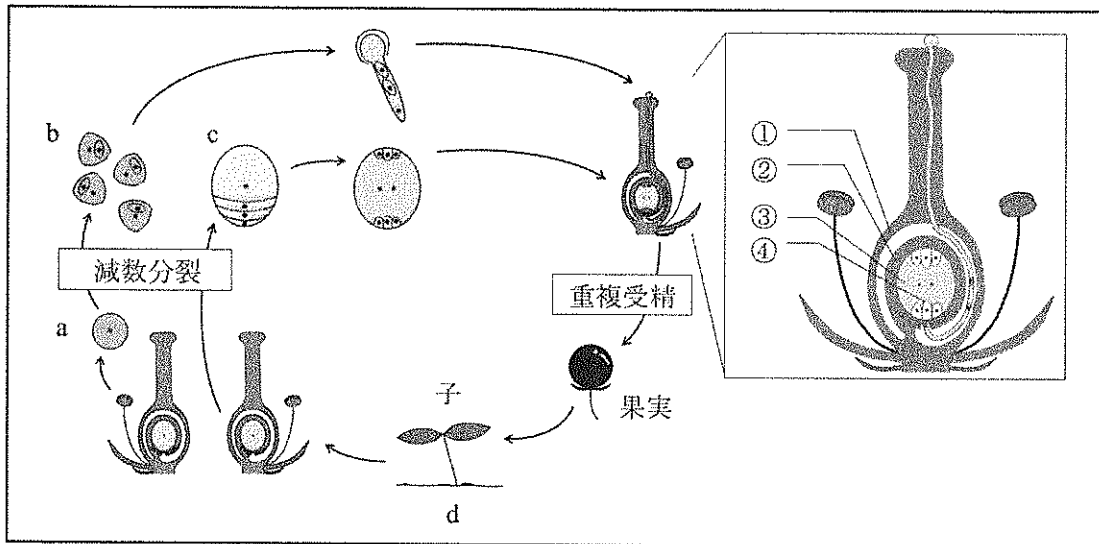
問5 あるネコの体細胞から核を取り出し、別のネコの核を除去した未受精卵に入れることで、クローンネコを作成することができる。白(広い白斑)、黒および茶の雌の三毛ネコの体細胞から核を取り出し、野生型の雌の卵細胞に注入した。この細胞を仮親の雌ネコ(広い白斑と黒の二色)の子宮に入れてクローンを作成したところ、広い白斑と黒の二色の毛色を持つ子ネコが生まれた。なぜ子ネコはこのような二色となったのか、その理由を説明せよ。

〔3〕 生物多様性に関する次の文章を読み、下の問い(問1～3)に答えよ。

生物多様性の概念には、遺伝的多様性、種の多様性、および生態系の多様性の3つの階層が含まれる。人類が生物多様性から受ける恩恵のことを **ア** と呼ぶ。例えば、現在使用されている多くの医薬品は野生生物から見つかったものであるし、多くの作物がマルハナバチ類のような野生の昆虫の送粉によって支えられている。生物多様性を保全するために作られた法律である「種の保存法」では、**イ**などを国内希少野生動植物に指定し、保護の対象としている。また「外来生物法」では、**ウ**などを特定外来生物に指定し、輸入や飼育、生きたままの運搬、及び野外への放逐等を禁じている。

問1 **ア**～**ウ**に適切な用語または生物名を入れよ。

問2 下線部について、生物が種内の遺伝的多様性を維持する上で有性生殖が重要な役割を果たす。二倍体の被子植物の有性生殖の様子を説明した右の図に関して、次の問いに答えよ。



(1) 図のa～dの核相、及び①～④の名称を答えよ。

(2) 表1はある被子植物の

1つの種子に対して、3つの遺伝子座を用いて種皮と胚の遺伝子型を比較した結果である。この種子は自家受粉(花粉が同じ個体の花の柱頭につくこと)に由来する種子であると言えるか否か、理由と併せて答えよ。なお、遺伝子座Aには3つ、遺伝子座Bには4つ、遺伝子座Cには2つの対立遺伝子があるとすると、また、 A^1/A^1 は対立遺伝子 A^1 のホモ接合、 A^1/A^2 は A^1 と A^2 のヘテロ接合であることを表している。

表1

組織	遺伝子座A	遺伝子座B	遺伝子座C
種皮	A^1/A^3	B^2/B^4	C^1/C^2
胚	A^1/A^3	B^2/B^3	C^2/C^2

表2

調査項目	シカ不在地域	シカ高密度地域
植物Xの個体数	1000株	20株
マルハナバチ類の訪花数(/時間)	30匹/株	0.2匹/株

【語群】

近交弱勢・自然浄化・人口学的確率性・生態系のバランス・ニッチ・びん首効果

表3

調査項目	シカ不在地域	シカ高密度地域
芽生えの自殖率	0本/36本	0本/8本
種子の自殖率	5粒/50粒	40粒/50粒

問3 近年、森林において、増えすぎたニホンジカの食害による生物多様性の低下が全国的に問題となっている。シカのいない地域とシカの密度が高い地域で、絶滅危惧種である植物Xの個体数とマルハナバチ類の訪花数を調査したところ、表2の結果を得た。ここで両調査区の面積は等しいとする。なお、マルハナバチ類は生活史の全体を通じて花蜜や花粉を餌としており、花が沢山咲いている場所を記憶してそのような場所を頻繁に訪れることで、効率的に餌を集めることができる。表2の結果より、シカ高密度地域では植物Xが絶滅の渦に陥っていることが示唆された。次の問いに答えよ。

- (1) シカ高密度地域の植物Xにおいて減少していると考えられる生物多様性は、下線部のどの階層であるか答えよ。また、その多様性が失われた理由について、語群の用語から適切なものを1つ用いて説明せよ。
- (2) どちらの地域においても、花を訪れていたのは主にマルハナバチ類であった。この事実と表2の結果を踏まえて、植物Xの絶滅にアリー効果が及ぼす影響を説明せよ。なお、植物Xが開花する割合は両地域で同じとする。
- (3) 両方の地域それぞれについて、開花個体10株から10粒ずつ種子を採取し、それぞれの半分を植木鉢にまいた。発芽した芽生え(種皮付き)と、まかなかつた残りの種子の両方について、問2(2)の方法で自殖率(自家受粉の割合)を調べたところ表3の結果を得た。この結果から読み取れることを、語群の用語から適切なものを1つ用いて説明せよ。ただし、(1)で選んだ用語は用いてはならない。