

生 物

70

(前期日程・私費外国人留学生選抜)

「解答はじめ」の合図があるまでは問題冊子を開いてはいけません。

注意事項

1. 問題冊子は1ページから13ページまでの綴りでできています。「解答はじめ」の合図の後、ページの落丁、乱丁あるいは印刷の不鮮明なものがあれば、手をあげて試験監督者に申し出てください。
2. 問題は4問あります。解答用紙は合計4枚あります。4枚の解答用紙の全てに受験番号を必ず記入してください。
3. 解答は該当する解答用紙の解答欄に記入してください。
4. 問題冊子の空白ページや余白は、下書き用紙として使用してください。
5. 問題冊子は、試験終了後、持ち帰ってください。

以下の文章を読み、問いに答えよ。

昆虫はペットとして捉えられることもある。特に(ア)カブトムシやクワガタムシは、子供から大人までの幅広い愛好家がいるため、国内外の多数の種類がペットショップなどで取り扱われている。しかし、日本国内でペットとして飼われていた昆虫が逃げたり、捨てられたりすることで野生化し、(イ)生態系への影響が心配されるため、一部の外来クワガタムシは近年、輸入や取引が禁止されている。このように外来昆虫が生態系に影響を与える一方で、他の(ウ)外来生物が在来昆虫に影響を与えることもある。例えば、2021年に日本国内の小学生を含む研究グループから学術誌で報告された研究成果によると、観葉植物である(エ)シマトネリコが導入されたことにより、もともと主に夜行性であるカブトムシが、この木では夜だけでなく昼間にも活動するようになった。

- 問1 下線部(ア)について、カブトムシは夏の風物詩とされる。このことを踏まえ、カブトムシのはねを観察して、その仕組みを一年を通して研究しようとする場合に生じる問題点は何かを、カブトムシの生態から考え2行以内で記せ。また、その問題点の対策方法として、どのような実験計画が有効であると考えられるか、2行以内で記せ。
- 問2 下線部(イ)について、外来昆虫にはさまざまな性質があり、在来昆虫と外来昆虫の交雑により、攻撃性の高い昆虫の個体が増え、問題となることがある。なぜ攻撃性の高い個体が増えるのか、また、何が問題となるのかを、「地理的隔離」、「種内競争」、「遺伝的多様性」という言葉を使って、4行以内で説明せよ。
- 問3 下線部(ウ)について、日本において外来生物に該当する生物種を2つ記せ。また、それらの外来生物が、生態系にどのような影響を与えることが危惧されているか、それぞれ2行以内で説明せよ。
- 問4 下線部(エ)について、シマトネリコはカブトムシが樹液を吸うためによく集まる木として近年知られてきた。一方、在来種でカブトムシがよく集まるクヌギの木では、昼夜を問わず活動するカブトムシは、ほとんど見られない。シマ

トネリコとクヌギのそれぞれに集まるカブトムシで生態に違いが見られるのはなぜだろうか。考えられる理由として仮説を1つ、3行以内で記せ。また、その仮説を証明するには、どのような実験をすれば検証できるか、実験計画を6行以内で説明せよ。問題文にある内容から考え、実証されていない仮説を推測して述べてもかまわない。

以下の文章を読み、問いに答えよ。

ヒトの脳は、大脳、間脳、小脳、中脳、橋、(ア)延髄から構成される。大脳には、感覚・運動に関わる部位や記憶・判断など高度な神経活動に関わる部位がある。図1の領域1は聴覚を処理する感覚野（聴覚野）、領域2は運動を処理する運動野である。

空気の振動による刺激である音は外耳、中耳を経て(イ)内耳に伝わる。図2は外耳、中耳、内耳の構造である。音は内耳の聴細胞において電気信号に変換され、延髄、中脳を経て図1の領域1に情報として送られる。音は音波として空気中を伝わる。音波は空気の振動である。空気の振動は海面の波のように高さが変化するわけではない。変化するのは空気の密度である。音波は空気分子密度の薄い層と濃い層が交互に伝わることで生じる。音波の「ピーク（頂点）」とは、空気の密度が最も濃いところである。逆に音波の「谷」とは、空気の密度が最も薄いところである。

耳は音を聞くだけでなく他の処理にも用いられる。メンフクロウでは、獲物が立てた音が左右の耳に達するときの強度差、時間差をもとに、音の発生場所を突き止める。これを(ウ)音源定位という。

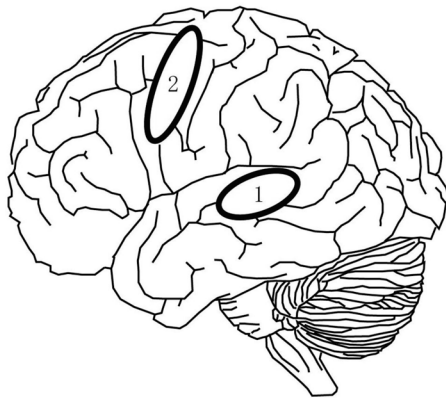


図1 左側から見たヒトの脳

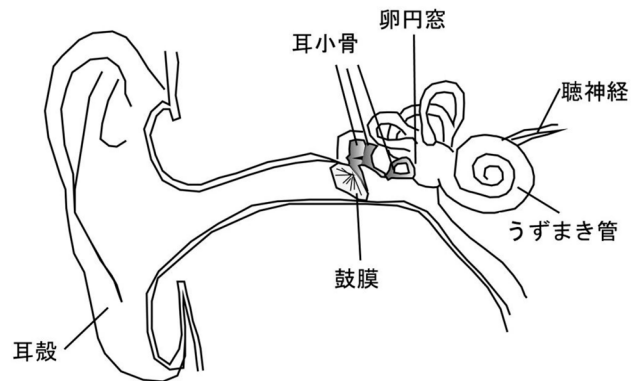


図2 ヒトの耳の構造（模式図）

問1 図1の領域2が事故や病気で損傷すると、右半身が麻痺し動作ができなくなる場合がある。それはなぜか、下線部（ア）の語を使って2行以内で説明せよ。

問2 ヒトの耳で音の刺激が受容される際に起こる以下の①～⑥までの現象を，起こる順に並べよ。

- ① うずまき管内のリンパ液の移動
- ② 基底膜の振動
- ③ 聴神経の興奮
- ④ 鼓膜の振動
- ⑤ 聴細胞の感覚毛の変形
- ⑥ 耳小骨の振動

問3 図2に示すように，鼓膜と卵円窓は3つの耳小骨で連結され，また，鼓膜の面積は卵円窓の面積よりも約17倍広い。これらの構造上の特徴は音波を鼓膜から内耳に伝える上でどのような効果があるか，2行以内で記せ。

問4 下線部（イ）にはうずまき管がある（図3）。周波数が一定の音がしばらく鳴った後に，音波のピークが鼓膜に当たったとき，うずまき管内の基底膜はどのように変化するか。また，音波の谷が鼓膜に到達したとき，うずまき管内の基底膜はどのように変化するか。それぞれ解答欄に実線で記せ。ただし，解答欄中の破線は音が無いときの基底膜の位置である。

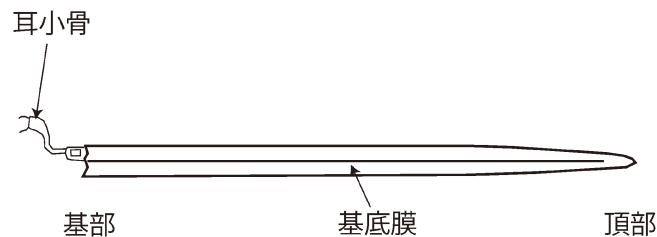


図3 うずまき管を模式的にのびしたもの
(ただし，基底膜は音が無いときの状態を示す)

問5 うずまき管の基底膜は，基部から頂部にかけて性質が変化する。その性質の変化と音が聞こえる仕組みとの関係について，高校生のAさんは疑問をもった。ある日，ピアノを習っていた友人Bさんから次のことを聞いた。

Bさん：ピアノの弦の太さは音の高さと関係があって，同じ長さだったら太い弦は細い弦より低い音を出すんだよ。

Aさん：これって耳のうずまき管の基底膜にもあてはまるかも。

Bさん：太い弦では低い周波数の振動が出やすく，細い弦では高い周波数の振動が出やすいんだよ。

Aさん：耳の内耳では入ってくる音の高さによって基底膜の振動する場所が異なるんだよ。これってピアノの弦の性質で説明できるかもしれない。

以上のAさんとBさんの会話を聞いて，うずまき管内の基底膜の構造の特徴について2行以内で記せ。

問6 高校生のCさんはモスキート音について興味があったので調べたところ，次のことがわかった。

「17 キロヘルツ前後の高周波数の音のことであり，個人差はあるものの，20代前半までの若者にはよく聞こえるが，それ以上の年代の人には聞こえにくい音である」

この話をもとに，年代が上がるにつれモスキート音が聞こえにくくなる原因についてどのように考えられるか，1行で記せ。

問7 図4のグラフはさまざまな周波数の音をある実験動物に聞かせたとき，うずまき管内のA，B，Cの各場所で測定した“ある値”を図示したものである。何を測定したグラフか，縦軸の に入る言葉を解答欄に記せ。

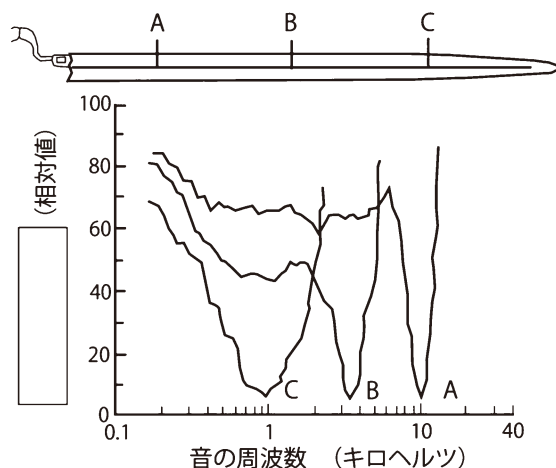


図4 うずまき管内の異なる場所で測定されたある値

問8 下線部（ウ）に関してメンフクロウ同様，ヒトも音源定位を行う。耳からの情報は左右聴覚野に達するが，耳と左右聴覚野が正常でも，音のする方向が分からなくなる疾患がある。このような疾患がどのような仕組みで起こるのか，2行以内で記せ。

被子植物の集団について、以下の文章を読み、問いに答えよ。ここではそれぞれの遺伝子座に2つの対立遺伝子しか存在しないと仮定する。

単一の遺伝子座で表現型が決まる場合、表現型が同じでも遺伝子型が異なる場合がある。どちらの遺伝子型であるかは、^(ア) 検定交雑で調べることができる。また、複数の遺伝子座が同一の染色体に存在する場合と、異なる染色体に存在する場合で、遺伝様式が異なる。そのどちらであるかも、検定交雑で調べることができる。例えば、遺伝子AとBが異なる染色体に存在する場合は、^(イ) 染色体の乗換えを考慮に入れる必要がないため、AとBの遺伝子は独立に遺伝する。一方で、AとBの遺伝子が同一の染色体に存在する場合は、AとBの遺伝子間に連鎖が存在するため、独立には遺伝しない。^(ウ) この現象を利用すると、同一染色体上に存在する遺伝子の位置関係と互いの距離を把握できる。

自然界に生育している植物集団の遺伝子は、メンデルの法則から発展したハーディ・ワインベルグの法則に従い、対立遺伝子頻度の割合が長期間にわたり変化していないものが多い。しかし、^(エ) ハーディ・ワインベルグの法則に従わないものもある。その中には、^(オ) 集団内で生き残るために有利な変異を獲得した遺伝子が存在する。

問1 下線部(ア)について、ある個体がもつ遺伝子型がAA, Aa, aaのいずれであるかを決定する交雑の方法を4行以内で具体的に説明せよ。ただし、遺伝子Aは優性の対立遺伝子であり、aは劣性の対立遺伝子である。

問2 下線部(イ)について、3対の相同染色体をもつ二倍体の植物種($2n = 6$)の1個体に着目し、以下の問いに答えよ。ただし、対となる相同染色体は同一ではないとみなす。

(1) 乗換えが起こらないと仮定したとき、自家受粉で受精(自家受精)してできた細胞で、染色体の組み合わせが何通りありうるか計算せよ。解答を導き出した考え方と計算式を記せ。

(2) 胚のう母細胞と花粉母細胞で減数分裂する際に、相同染色体ごとにそれぞれ1箇所乗換えが起きたとする。そのとき、自家受精してできた細胞で、染色体の組み合わせが何通りありうるか計算せよ。解答を導き出した考え方と計算式を記せ。

問 3 下線部 (ウ) について、同じ染色体に存在する 3 つの遺伝子 A, B, C について以下の 3 つの交配実験を行った。3 つの遺伝子の位置関係と、遺伝子間の距離の比率を答えよ。

[実験 I] 遺伝子型 AABB と遺伝子型 aabb を交配し、AaBb の F₁ 世代を得る。これらの AaBb を aabb と交配させると、AaBb が 425 個体、aabb が 435 個体、Aabb が 65 個体、aaBb が 75 個体になった。

[実験 II] 遺伝子型 AACc と遺伝子型 aacc を交配し、AaCc の F₁ 世代を得る。これらの AaCc を aacc と交配させると、AaCc が 470 個体、aacc が 480 個体、Aacc が 22 個体、aaCc が 28 個体になった。

[実験 III] 遺伝子型 BBCC と遺伝子型 bbcc を交配し、BbCc の F₁ 世代を得る。これらの BbCc を bbcc と交配させると、BbCc が 440 個体、bbcc が 460 個体、Bbcc が 55 個体、bbCc が 45 個体になった。

問 4 下線部 (エ) について、ある集団 X の遺伝子 D に着目すると、遺伝子型 DD が 50%、遺伝子型 Dd が 40%、遺伝子型 dd が 10%であった。別の集団 Y では、遺伝子型 DD が 40%、遺伝子型 Dd が 20%、遺伝子型 dd が 40%であった。

(1) 遺伝子 D に着目すると、集団 X と Y の一方がハーディ・ワインベルグの法則に従い、もう一方は従っていない。ハーディ・ワインベルグの法則に従わない集団は、X と Y のどちらか、記号で答えよ。また、その理由を遺伝子頻度を計算した上で説明せよ。

(2) (1) で答えた遺伝子 D でハーディ・ワインベルグの法則に従わない集団において、D 以外の遺伝子の多くは、ハーディ・ワインベルグの法則が概ね成り立っていた。このとき、遺伝子 D ではハーディ・ワインベルグの法則が成り立たない理由を 3 行以内で説明せよ。

問 5 下線部（オ）について，以前から存在していた対立遺伝子 E から突然変異によって対立遺伝子 e が出現し，対立遺伝子 e の頻度が上昇した。この対立遺伝子 e は，有利な機能を獲得した可能性がある。それを調べるために，対立遺伝子 e をもつ個体のグループ内の塩基多様性（SNP の相違性）と，対立遺伝子 E をもつグループ内の塩基多様性を比較した（図 1）。その結果，対立遺伝子 e の周辺の塩基多様性が，対立遺伝子 E の周辺の塩基多様性と比べ，著しく低かった。この場合，対立遺伝子 e は，この集団で有利な機能をもつ可能性が高いと考えられる。その理由を 4 行以内で説明せよ。

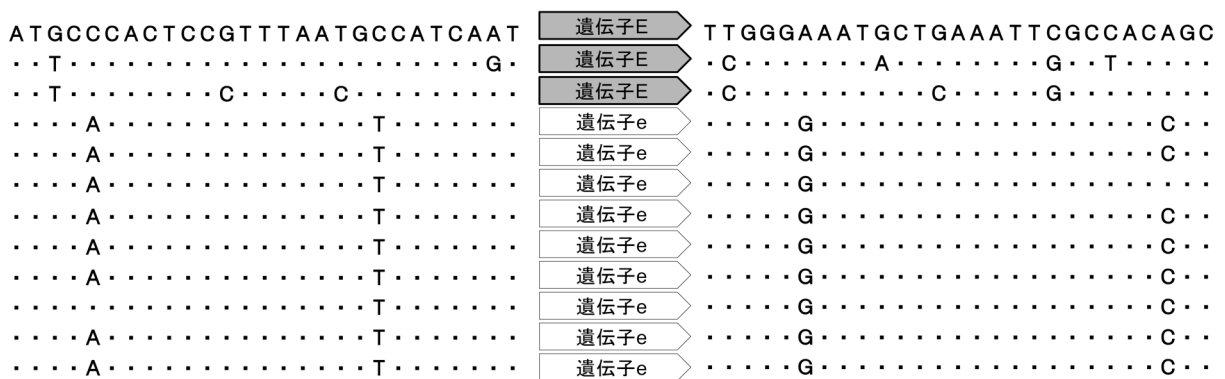


図 1 対立遺伝子 E と対立遺伝子 e の周辺に存在する SNP の多様性の模式図
 最上位の配列と同じ塩基をもつときは，「・」としている。最上位の配列と異なる塩基をもつときは，その塩基を示している。

以下の文章を読み、問いに答えよ。

酵素は生体内の化学反応を触媒するタンパク質であり、(ア)一般的な触媒(無機触媒)に比べて触媒効率が高いことが知られている。例えば、(イ)カタラーゼは、過酸化水素を基質として分解する酵素であるが、カタラーゼが触媒する反応速度は、同じ反応を触媒する鉄イオンに比べて、60万倍ほど大きい。また、酵素の中には、条件に応じて反応速度が変化するものもある。例えば、(ウ)ホスホフルクトキナーゼは、解糖系の初期段階の反応を触媒し、アロステリック酵素として、解糖系全体の進行を調節している。

問1 下線部(ア)に関連して、酵素の特徴について、上記の文章に書かれていること以外を2つ記せ。

問2 下線部(イ)について、以下の2つの実験を行った。

〔実験Ⅰ〕初期濃度 a の過酸化水素を含む水溶液に、基質濃度に比べて十分小さい一定濃度のカタラーゼを加え、時間を追って反応溶液中の生成物量を測定した。その結果、図1のようなグラフが得られた。ただし、カタラーゼが失活しない温度で実験を行った。

〔実験Ⅱ〕過酸化水素の濃度をさまざまに変え、〔実験Ⅰ〕を行った。それぞれの基質濃度に対する反応速度(●)を曲線で結ぶと、図2のようなグラフが得られた。図中の a は〔実験Ⅰ〕で用いた過酸化水素の濃度を示している。

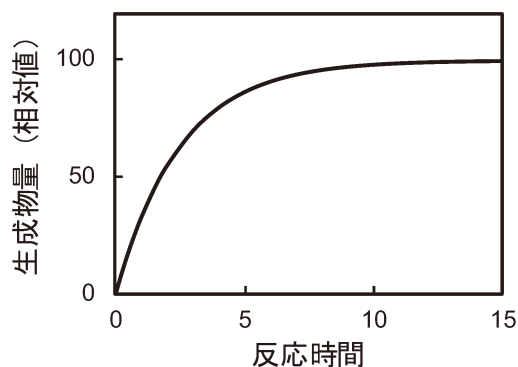


図1 反応時間と生成物量の関係

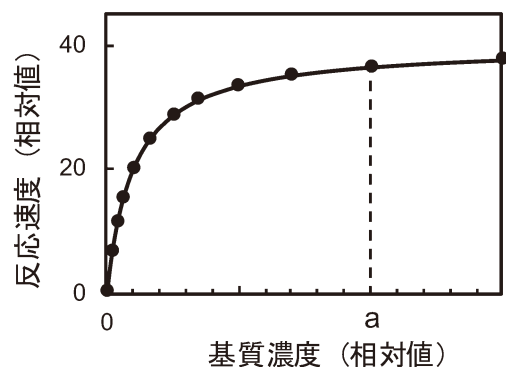
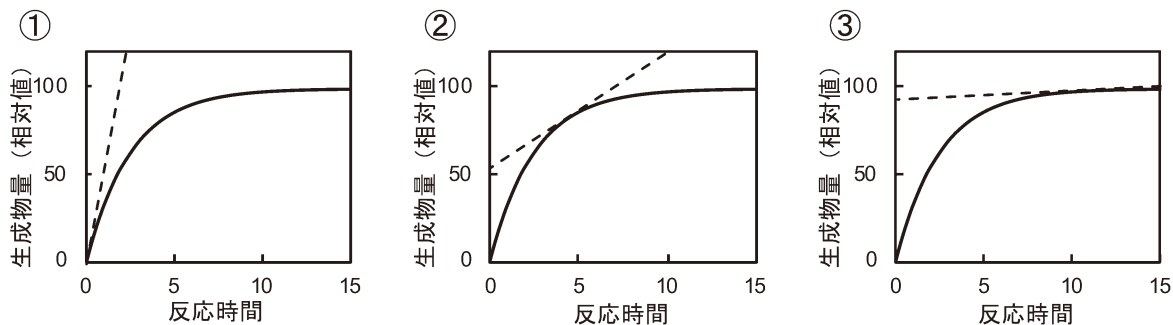
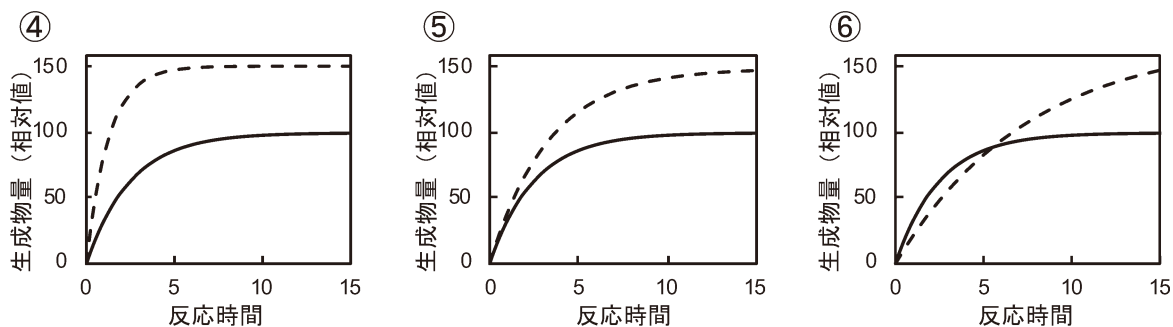


図2 基質濃度と反応速度の関係

(1) 反応速度とは、単位時間あたりの生成物の変化量で、図1に示す曲線に対する接線の傾きとして表すことができる。次の①～③に破線で示す接線のうち、過酸化水素の初期濃度 a における反応速度を求めるのに最も適切なものを選び、その理由を2行以内で記せ。ただし、過酸化水素はすべて分解されたものとする。



(2) 過酸化水素の濃度が a の 1.5 倍の場合の実験結果について、濃度が a の場合と比較した。その結果として、次の④～⑥のうち最も適切なグラフを選び、その理由を2行以内で記せ。ただし、実線は濃度 a のときの結果であり、破線は濃度 $1.5a$ のときの結果である。また、過酸化水素はすべて分解されたものとする。



問3 図3に示すフラボノイド骨格をもつ化合物Xの存在下, [実験Ⅱ]と同様の実験を行ったところ, 図4のような破線で示す結果が得られた。ただし, 実線は化合物Xが存在しない場合における結果で, 図2に実線で示す曲線と同じである。

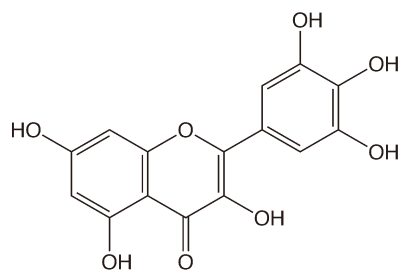


図3 化合物Xの構造

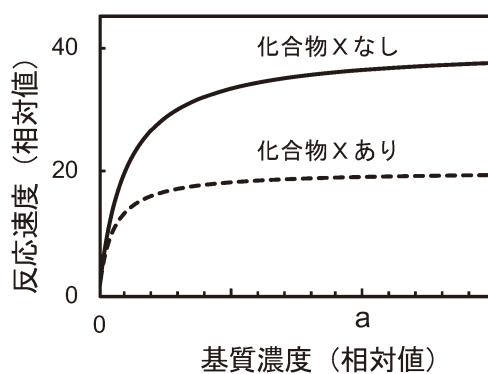


図4 基質濃度と反応速度の関係

この実験結果を見て, AさんとBさんは次のように会話したが, その内容には誤りがある。酵素の特徴に基づいて, それぞれの発言の誤りを3行以内で説明せよ。

Aさん:カタラーゼは分解酵素なので, 化合物Xが存在すると先にそっちを分解してしまって, 過酸化水素の分解速度が遅くなるんだね。

Bさん:図4の2つの曲線の比較から, 化合物Xは競争的阻害をしていると判断できるね。

問4 下線部(ウ)について、アロステリック酵素の活性に影響を与える物質はアロステリック因子とよばれ、酵素を阻害するものもあれば、活性化するものもある。ATPはホスホフルクトキナーゼのアロステリック因子の1つである。図5は、ホスホフルクトキナーゼの基質の1つであるフルクトース6-リン酸の濃度と反応速度の関係を示す。この関係は、ATPの濃度に依存して異なる曲線になる。

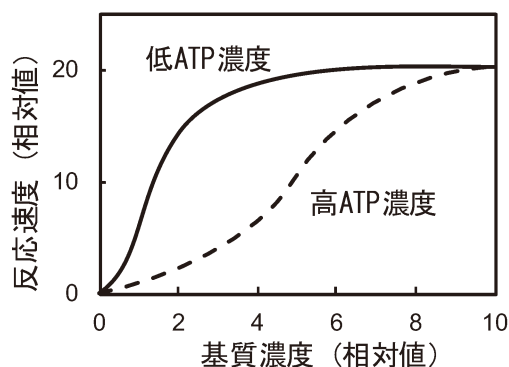


図5 ホスホフルクトキナーゼの基質濃度と反応速度の関係

- (1) ATPはホスホフルクトキナーゼに対してどのように作用すると考えられるか、解答欄の「阻害・活性化」のどちらかを丸で囲め。
- (2) ATPによってホスホフルクトキナーゼの反応速度が変化することは、ATPの合成に影響を与える。細胞内のエネルギーの供給が十分な場合とエネルギーの消費が激しい場合で、ATPの合成はどのように調節されるか、解糖系の進行に着目して、4行以内で説明せよ。

問5 ADPとクエン酸もホスホフルクトキナーゼのアロステリック因子として知られている。これらの作用について、AさんとBさんが予想を立てた。細胞内におけるエネルギーの需要と供給を考慮して、もし二人の考えに誤りがあれば、それぞれ指摘せよ。誤りがなければ、「なし」と記せ。

Aさん：ADPはATPと構造がほぼ同じだから、ATPと同じ作用をされると考えられるね。

Bさん：クエン酸はミトコンドリアからの信号として、さらにエネルギーを得るためにホスホフルクトキナーゼを活性化するはずだよ。