

理 科

15:00~17:30

解 答 上 の 注 意

1. 試験開始の合図があるまで、この問題紙を開いてはならない。
2. 問題紙は60ページある。このうち、「物理」は2~10ページ、「化学」は11~28ページ、「生物」は29~49ページ、「地学」は50~60ページである。
3. 「物理」、「化学」、「生物」、「地学」のうちから、あらかじめ届け出た2科目について解答せよ。各学部・系・群・学科・専攻の必須科目(◎印)と選択科目(○印)は下表のとおりである。

学部・系・群・学科・専攻 科 目	総 合 入 試					学 部 別 入 試					歯 学 部	獣 医 学 部	水 産 学 部	
	理 系					医 学 部								
	数学重点選抜群	物理重点選抜群	化学重点選抜群	生物重点選抜群	総合科学選抜群	医 学 科	保 健 学 科							
							看護学専攻	放射線技術科学専攻	検査技術科学専攻	理学療法学専攻				作業療法学専攻
物 理	○	◎	○	○	○	◎	○	◎	○	○	○	○	○	○
化 学	○	○	◎	○	○	○	○	○	◎	○	○	○	○	○
生 物	○	○	○	◎	○	○	◎	○	○	○	○	○	○	○
地 学	○	○	○	○	○									○

4. 受験する科目のすべての解答用紙には、受験番号および座席番号(上下2箇所)を、監督者の指示に従って、指定された箇所に必ず記入せよ。
5. 解答はすべて解答用紙の指定された欄に記入せよ。
6. 必要以外のことを解答用紙に書いてはならない。
7. 問題紙の余白は下書きに使用してもさしつかえない。
8. 下書き用紙は回収しない。

生 物

1 次のⅠ、Ⅱの文章を読み、それぞれの問に答えよ。

Ⅰ 私たちヒトの体には3種類の筋肉がある。膀胱^{ぼうこう}や小腸などの内臓器官を形成し、その動きに関わる平滑筋、心臓を拍動^aさせる心筋、そして腱^{けん}を介して骨につながった骨格筋である。このような筋肉の動きや筋力は、外部環境と内部環境の両方の影響を受け、さまざまな生体メカニズムを介して制御されている。また、種々の薬剤は筋肉の収縮や弛緩に影響を与える。これらの薬剤には、心筋梗塞^{こうそく}や筋力低下を伴う病気の治療薬として医療利用されるものや、南米先住民が狩猟の際に矢毒として用い、動物の骨格筋を麻痺させるものなどがある。

小腸の運動や心臓の拍動は自分の意思で変えることができないが、間脳の と呼ばれる脳部位によって制御されている。その制御に関わる自律神経系は、交感神経と副交感神経に分けられる。これに対して、骨格筋の動き^bの制御には、大脳皮質の と呼ばれる脳部位が関係し、自分の意思によって動かすことができる。しかし、ひざ関節のすぐ下を打つと無意識に足が跳ね上がることが起きる。これは、 反射と呼ばれ、自分の意思に関係なく反応する。

問 1 文中の (ア) ~ (ウ) に適切な語句を入れよ。

問 2 下線部 a について、平滑筋、心筋、骨格筋すべてが発生過程で同じ胚葉から分化してくる。この胚葉から分化してくる他の組織を次の(A)~(G)からすべて選び、記号で答えよ。

- (A) 脳 (B) 骨 (C) 表皮 (D) 肝臓
(E) 腎臓 (F) 気管 (G) 肺

問 3 下線部 b について、交感神経と副交感神経のそれぞれのはたらきとして適切なものを、次の(A)~(E)から2つずつ選び、記号で答えよ。

- (A) 胃のぜん動運動抑制 (B) 膀胱^{ぼうこう}の排尿促進
(C) 立毛筋の弛緩 (D) 気管支の収縮
(E) 瞳孔の拡大

II 骨格筋の収縮と弛緩の様子を観察するための実験を行った。カエルのふくらはぎの筋肉(腓腹筋)とそれに付属する坐骨神経を取り出した。この神経筋標本を図1のように、リンガー液(生理的塩類溶液)中で張力測定装置に取り付けた。これによって筋肉の収縮により生じる張力を測定した。また、レールの上においた電気刺激装置によって、坐骨神経をさまざまな刺激の強さ、時間間隔、そして刺激箇所(刺激点)で刺激できるようにした。

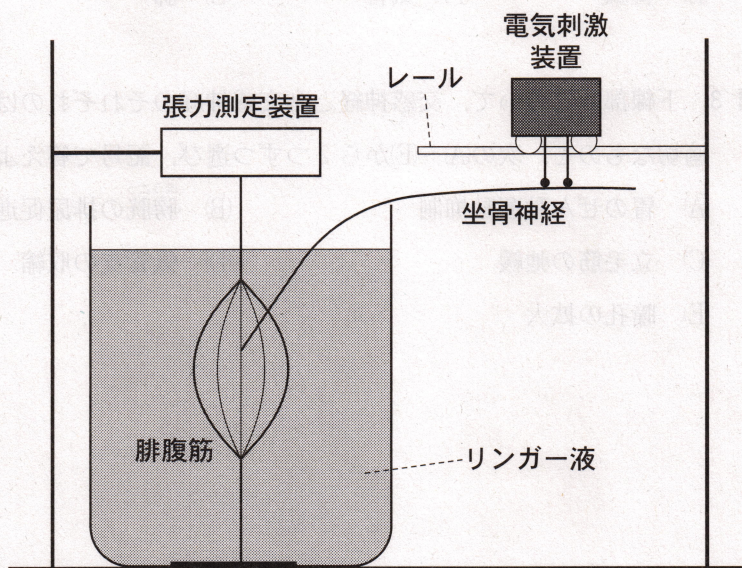


図1

(実験1) 坐骨神経に10秒に1回の間隔で、刺激時間0.5ミリ秒の単発刺激を与えた。刺激強度を徐々に大きくしたところ、刺激強度0.1mAのときに張力が最大になった。このときの単収縮の様子は、図2の収縮曲線として観察された(縦軸は張力を相対値として示している)。次に、刺激強度を0.1mAのまま、一定の短い時間間隔で連続12回の刺激を与える連続刺激に変えた。連続刺激の時間間隔を徐々に短くしていくと、図3で示したようなノコギリ歯状の収縮曲線が観察された。さらに、刺激の持続時間を変えずに回数を増やして、時間間隔を短くしていくと、図4で示したようななめらかな収縮曲線へと変化した。

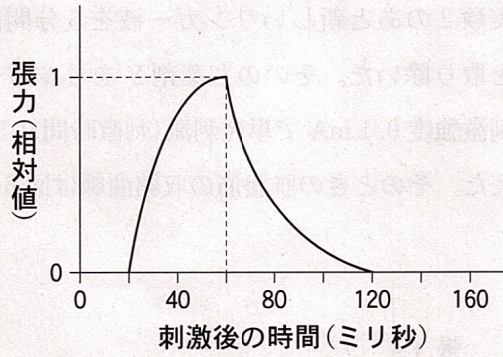


図 2

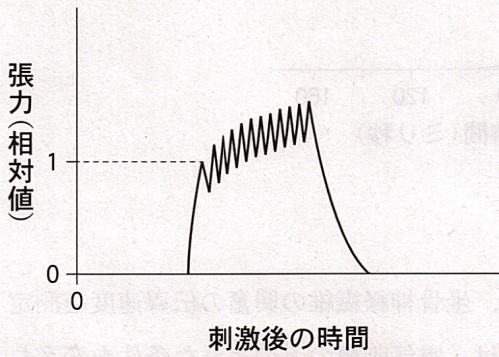


図 3

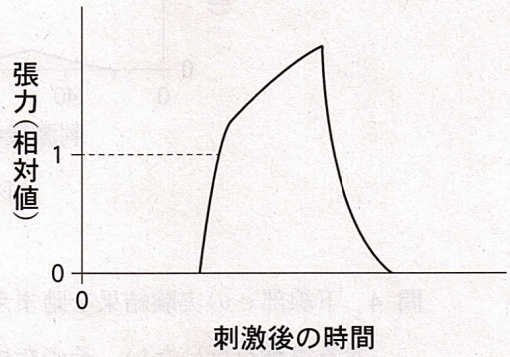


図 4

(実験 2) リンガー液中に、薬物 X を加えた。その 5 分後、刺激強度 0.1 mA の単発刺激(刺激時間 0.5 ミリ秒)を坐骨神経に与えた。このとき、腓腹筋の収縮曲線は図 5 のようになった。

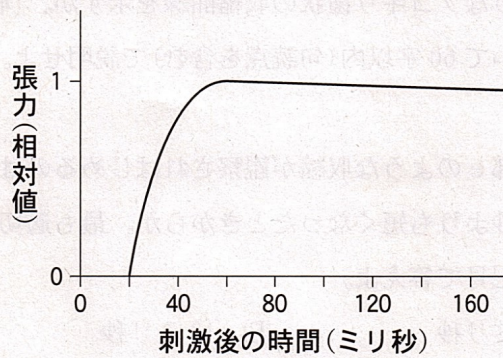


図 5

(実験3) 実験2のあと新しいリンガー液を5分間隔で3回交換し、薬物Xを取り除いた。そののち薬物Yをリンガー液に加えた。5分後、刺激強度0.1 mAで単発刺激(刺激時間0.5ミリ秒)を坐骨神経に与えた。そのときの腓腹筋の収縮曲線は図6のようになった。

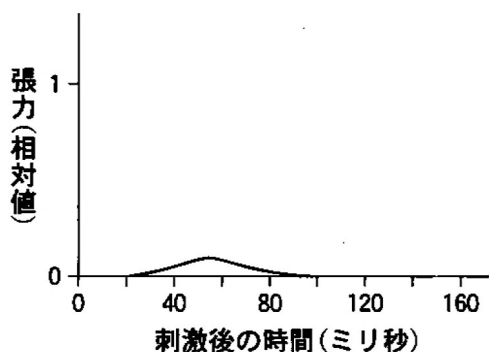


図6

問4 下線部cの実験結果を踏まえて、坐骨神経繊維の興奮の伝導速度を測定する実験を行いたい。そのためには、電気刺激のどのような条件を変えればよいか、述べよ。また、そのとき図2のグラフの何が変化することを計測すればよいか、述べよ。ただし、図1で示した実験機器類以外の機材は用いないこととする。

問5 下線部dについて、連続刺激の時間間隔がどのような範囲のときに、図3のようなノコギリ歯状の収縮曲線を示すか。「収縮」と「弛緩」の2つの語句を用いて60字以内(句読点を含む)で説明せよ。

問6 下線部eのような収縮が観察されはじめるのは、連続刺激の刺激間隔が何ミリ秒よりも短くなったときからか。最も適切なものを次の(A)~(F)から選び、記号で答えよ。

- | | | |
|-----------|-----------|-----------|
| (A) 5ミリ秒 | (B) 10ミリ秒 | (C) 15ミリ秒 |
| (D) 25ミリ秒 | (E) 40ミリ秒 | (F) 60ミリ秒 |

問 7 実験2と実験3について、薬物Xと薬物Yのはたらきを説明する最も適切な文章を、次の(A)~(G)からそれぞれ1つ選び、記号で答えよ。

- (A) 神経終末のアセチルコリン受容体の数を多くする。
- (B) 神経終末からのアセチルコリン放出の速度を遅くする。
- (C) アセチルコリン受容体に結合してその機能を阻害する。
- (D) 筋小胞体からのカルシウムイオンの放出量を増やす。
- (E) アセチルコリン分解酵素のはたらきを阻害する。
- (F) 筋細胞の不応期を長くする。
- (G) アセチルコリン受容体の立体構造を変化させ、その機能を活性化する。

2 次の文章を読み、以下の問に答えよ。

DNA の塩基配列にはさまざまな遺伝情報が含まれている。真核生物の細胞では、DNA の塩基配列の情報を基に RNA が転写される。転写開始時には、DNA 中の (ア) とよばれる特別な塩基配列をもつ領域に、(イ) という酵素が (ウ) とよばれるタンパク質とともに結合する。転写された RNA は、スプライシングやポリ A 尾部の付加などの修飾を受けて mRNA となる。mRNA は DNA の遺伝情報を写しとったもので、連続した 3 塩基の並びを (エ) と呼ぶ。 (エ) のほとんどはアミノ酸を指定している。

a 遺伝子の機能を解析するにはさまざまな方法があるが、生物個体に化学変異原を投与し、DNA の塩基配列を変化させる方法が知られている。この方法を用いて以下の実験を行った。

実験 1

化学変異原となる化学物質を雄マウスの腹腔に投与すると、ある DNA の塩基が別の塩基に置換された精子が産生された。塩基置換が生じる場所は、個々の精子によってさまざまであった。この化学物質を与えた雄マウスと、化学物質を与えていない雌マウス(野生型マウス)を交配して第 1 世代を得た。第 1 世代の雄マウスと野生型の雌マウスを交配し第 2 世代を得た。さらに第 2 世代の兄弟姉妹間で交配し第 3 世代を得たところ、第 3 世代には体内における酵素 X の産生量が著しく減少したマウスが出現した。酵素 X の産生量が少ないことが原因となり、このマウスには代謝異常がみられた。この家系を家系 1 とし、図 1 に家系図を示す。記号の丸(○)は雌、四角(□)は雄を示し、黒く塗りつぶされた記号は代謝異常がみられた個体を示す。右肩の番号は個体番号を示す。なお、一般的にマウスでは親子などの世代間、兄弟姉妹などの世代内での交配実験が可能である。

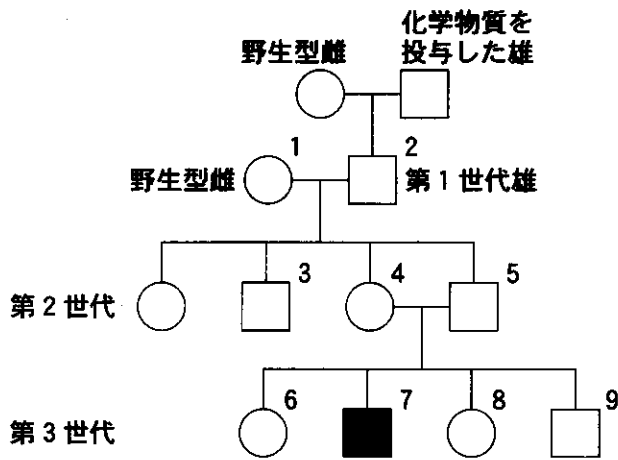


図 1

実験 2

酵素 X の分子量および産生量を確認するために、電気泳動を行った。電気泳動を行うことにより、タンパク質や DNA を分子量に応じて分離し、バンドとして検出できる。図 2 に示すように、ゲル上部にあるウェル(穴)に実験試料を注入して電気泳動を行うと、分子量が小さいものほど速く移動するためバンドはゲルの下部に位置する。一方で、分子量が大きいものほど移動に時間がかかるため、バンドはゲルの上部に位置する。

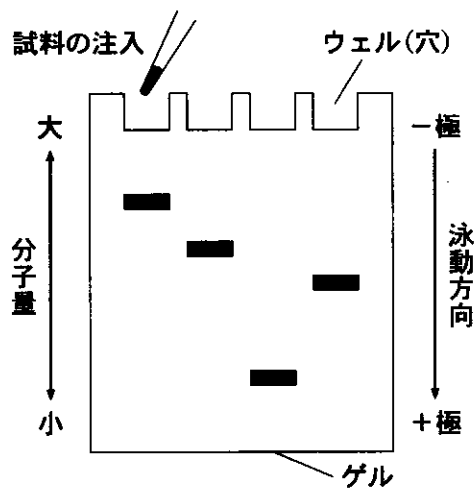


図 2

家系1の個体1~9それぞれの組織から酵素Xを抽出し、電気泳動を行った。泳動後に酵素Xを染色した。図3にその泳動像を示す。家系1の個体1~9から得られたバンドは、分子量に違いはみられなかったが、バンドの濃淡に違いがみられた。バンドの濃淡は酵素の量を反映しており、色が濃いバンドほど酵素の量が多い。各バンドは濃淡に応じて明確に3段階に分けられ、それぞれの見本となるバンドをA~Cとし図4に示す。例えば個体1のバンドはA、個体2のバンドはB、個体7のバンドはCの濃さである。なお、個体1は野生型マウスである。

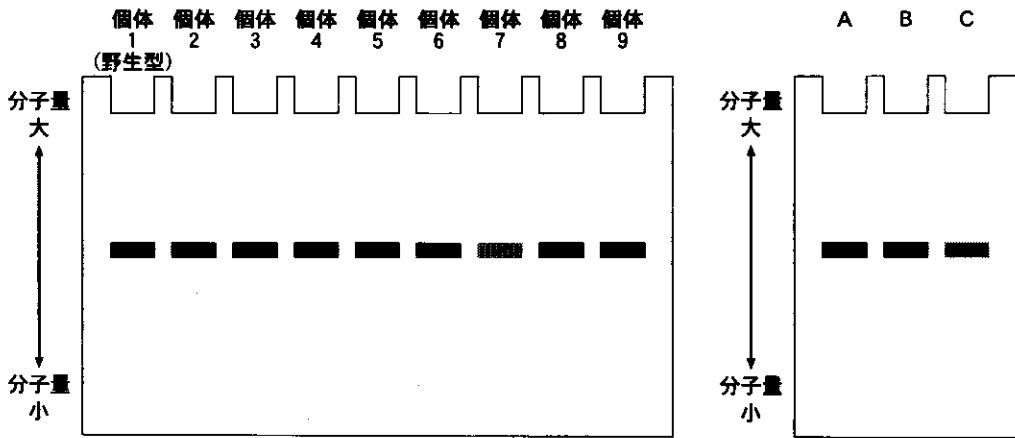


図 3

図 4

実験 3

変異原となる化学物質を別のマウスに投与する実験を繰り返した。その結果、家系1とは異なる塩基置換が原因で代謝異常を起こす家系2~5のマウスを得た。家系2~5から代謝異常がみられる個体を1個体ずつ選び、実験2と同様の方法で酵素Xをバンドとして検出した。なお、比較対照として野生型マウスから抽出した酵素Xも同時に検出した。図5にその泳動像を示す。家系2~5の代謝異常を示す個体では、得られたバンドの濃淡に違いはみられなかったが、分子量に違いがみられるものがあった。

実験4

実験3に用いた個体から mRNA を抽出し、これを鋳型として DNA を合成した。合成した DNA を用いて、酵素 X のアミノ酸情報を担う遺伝子 X の DNA を増幅した。増幅した DNA を、ある特定の塩基配列を認識して切断する制限酵素で処理した後に、電気泳動を行った。DNA は染色液によって検出した。図6にその泳動像を示す。家系2～5の個体では、得られたバンドの分子量に違いがみられるものがあった。さらに家系4の個体ではバンドが2本検出されたが、この2本のバンドの分子量を合わせると野生型マウスで得られたバンドの分子量と一致した。

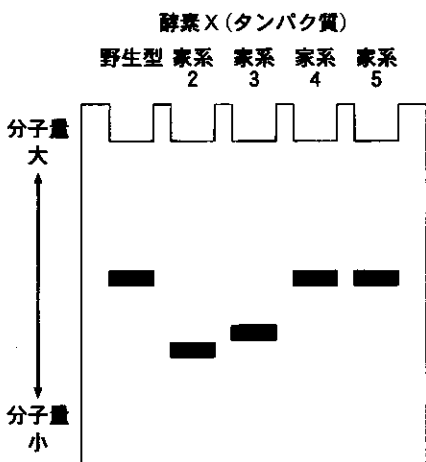


図5

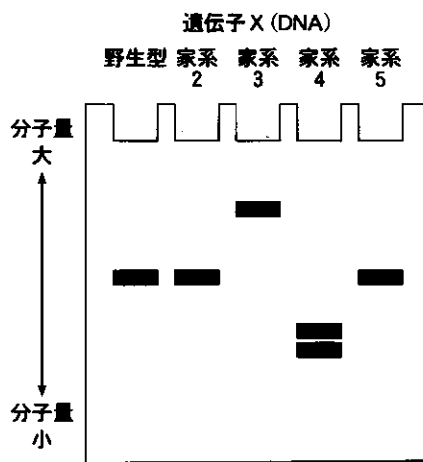


図6

問1 文中の ~ に適切な語句を入れよ。

問2 下線部aについて、アミノ酸を指定する他に特別な機能をもつ の名称を二種類答えよ。

問3 家系1の個体2と個体4を交配して生まれる子、また、個体4と個体7を交配して生まれる子の酵素Xを電気泳動にて検出した場合に、得られると予想されるバンドの種類を図4A~Cからすべて選び、記号で答えよ。

問 4 家系 1 に生じた塩基置換を調べるために、遺伝子 X とその周辺の塩基配列を解読したところ、アミノ酸を指定する配列に塩基置換は生じていなかった。このことから、どのような場所に塩基置換が生じたと予想されるか答えよ。また、その塩基置換がどのようにして代謝異常を引き起こしたのか、予想されるしくみを説明せよ。

問 5 実験 3, 4 の結果から、家系 2 ~ 5 で代謝異常の原因となった遺伝子 X の塩基置換の説明として、予想される最も適切な文を(A)~(D)から選び、家系ごとに記号で答えよ。

- (A) アミノ酸を指定する配列中に塩基置換が生じ、酵素 X の活性部位のアミノ酸が変化した。
- (B) アミノ酸を指定する配列中に塩基置換が生じ、翻訳が途中で停止した。
- (C) 塩基置換によりスプライシングが正常に起こらず、mRNA にイントロン領域が含まれた。
- (D) 塩基置換により mRNA が不安定になり、mRNA が体内で分解されやすくなった。

3 次の文章を読み、以下の問に答えよ。

植物は独立栄養生物であるが、微生物と常にかかわりながら、自身の成長を調節して生きている。馬鹿苗病菌^aと根粒菌^bを例として、植物と微生物のかかわりを考えよう。

イネの病気のひとつに、苗が異常に伸長して倒れやすくなる馬鹿苗病がある。この病気は、子のう菌類に分類される馬鹿苗病菌の感染が原因である。イネの苗を伸長させる原因物質として、馬鹿苗病菌からジベレリンが単離された。その後、植物自身もジベレリンを生産していることが分かり、ジベレリンは植物ホルモン^cのひとつであることが明らかにされた。近年、イネにおいてジベレリンを合成する酵素や、ジベレリン受容体タンパク質が明らかにされた。イネの体内で合成されたジベレリンはジベレリン受容体タンパク質と結合し、^d苗を伸長させるための遺伝子の発現を引き起こす。

病原菌だけではなく、植物に有益な働きをする微生物もいる。植物は一般に、土壌中の硝酸イオンを根から吸収して、同化に使うことができる。加えて、マメ科植物は細菌(バクテリア)である根粒菌によって、根に形成される根粒から栄養を得ることができる。根粒菌は根粒内でニトロゲナーゼという酵素によって、窒素ガスをアンモニウムイオンに変換する。窒素ガスからアンモニウムイオンをつくる働きを という。生成したアンモニウムイオンはマメ科植物に受け渡され、有機窒素化合物の合成に使われる。1分子の窒素(N₂)を2分子のアンモニウムイオンに変換する根粒菌の反応は、16分子のATPという大量のエネルギーを必要とする。マメ科植物は根粒菌から窒素栄養を受けとり、根粒菌はマメ科植物から光合成産物を受けとるといふ、互いが利益を得る の関係にある。

マメ科植物と根粒菌の関係は一定ではなく、外部の環境条件によって根粒数は変化する。マメ科植物であるダイズ(*Glycine max*)を用い、土壌中の硝酸イオン濃度を変化させ、形成される根粒数を計測した。その結果、図1^eで示すように、根粒数に変化が観察された。次に、ダイズで根粒数が変化するしくみを理解するため、野生型ダイズと比べて多数の根粒が形成される変異体ダイズを実験に用い

た。この変異体ダイズは、情報の受容や送信にかかわる受容体タンパク質の機能が失われている。根粒形成は根でおこる現象だが、根粒数の決定には「根と地上部の間での情報伝達物質のやりとり」がかかわっている。野生型ダイズと変異体ダイズを組み合わせて接木を行い、根粒数を計測したところ、図2のような結果になった。接木とは、植物を地上部と地下部に切り分け、切断された地上部(接穂)と地下部(台木)を接着させて植物個体をつくる手法である。接木によって地上部と地下部は連結し、異なる個体に由来する地上部と地下部をもつ植物個体をつくることができる。

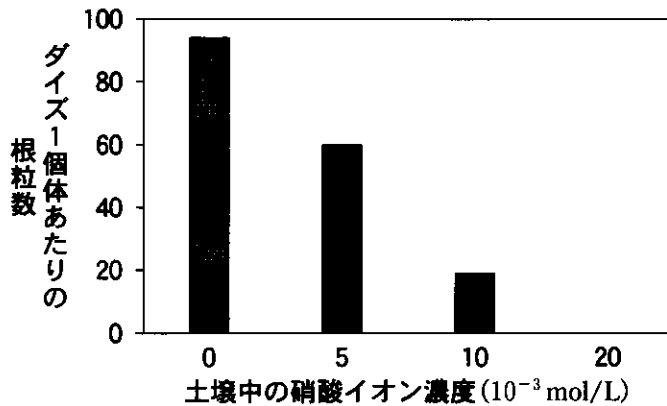


図1

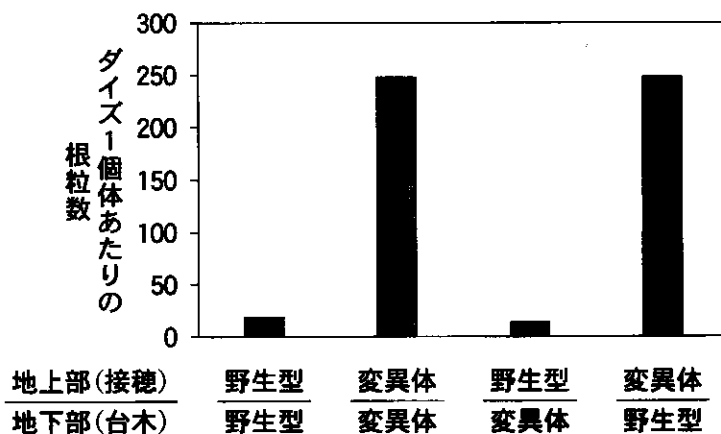


図2

問 5 下線部 e について、図 1 で根粒数が減少することには、ダイズにとってどのような有利な点があると考察されるか。考察される有利な点を 60 字以内（句読点を含む）で述べよ。ただし、形成された根粒ひとつあたりの大きさや重さ、ニトロゲナーゼ活性には変化がないものとする。また、根粒数の違いは養分吸収活性などのダイズの根の性質に影響しないものとする。なお、本実験での土壌の硝酸イオンはダイズに対して成長を阻害するなどの毒性は示さない。

問 6 下線部 f について、図 2 の実験結果をもとに、この変異体ダイズにおいて失われている、受容体タンパク質の機能を考察する文として適切なものを (A)~(F) からすべて選び、記号で答えよ。なお、本実験の接木では、台木には根のみが含まれ、接穂には地上部のみが含まれているものとする。

- (A) 受容体タンパク質は、根粒数を増加させる機能をもつ。
- (B) 受容体タンパク質は、根粒数を減少させる機能をもつ。
- (C) 受容体タンパク質は根で情報の送信に働いて、根粒形成を抑制する情報を根から地上部へ送るために必要である。
- (D) 受容体タンパク質は地上部で情報の受容に働いて、根から地上部へ送られる根粒形成を抑制する情報を受けとるために必要である。
- (E) 受容体タンパク質は地上部で情報の送信に働いて、根粒形成を抑制する情報を地上部から根へ送るために必要である。
- (F) 受容体タンパク質は根で情報の受容に働いて、地上部から根へ送られた根粒形成を抑制する情報を受けとるために必要である。

4

次のⅠ～Ⅲの文章を読み、それぞれの問に答えよ。

Ⅰ 動物の行動はさまざまな意思決定により引き起こされる。また、色や形といった表現形質も多く環境条件に影響される。これに伴い、このような行動や形質を決定するメカニズムは複雑である。しかし、それらの利益・損失(ベネフィット・コスト)を考えることで、動物の行動や形質を比較的簡単に理解できることがある。

まず、なわばり行動を考えてみる。なわばりとは特定の場所を防衛し、餌や繁殖相手を確保するための空間である。なわばりが大きいほど、より多くの資源を確保できるという利益がある。一方、なわばりが大きいほど、他の個体を排除するための闘争や見張りのコストが大きくなる。なわばりの大きさが最適となるのは、得られる利益から損失を引いた値が最大になるときであると考えられる。

これらの関係性を図示して考えてみる。なわばりが大きいほど確保できる資源量は増えるが、利益はやがて頭打ちとなる(図1の実線)。一方、なわばりが大きいと防衛コストも高くなる(図1の点線)。なわばりの利益と損失が図1のように表わされるとき、最適ななわばりの大きさは になる。また、この生息地に他の個体に移入して個体群密度が上昇すると、防衛コストが上昇する(ただし、利益は影響を受けないとする)。その結果、図1の損失曲線の傾きが なるので、最適ななわばりの大きさは なる。さらに密度が増加すると防衛コストが大きくなり過ぎて、もはやなわばりを持つことが適応的でなくなる。この考え方は単純ではあるが、一部の生物のなわばり特性をうまく表現している。例えば、アユは密度が低い時はなわばりを持つが、密度が高くなるとなわばり制は崩壊する。

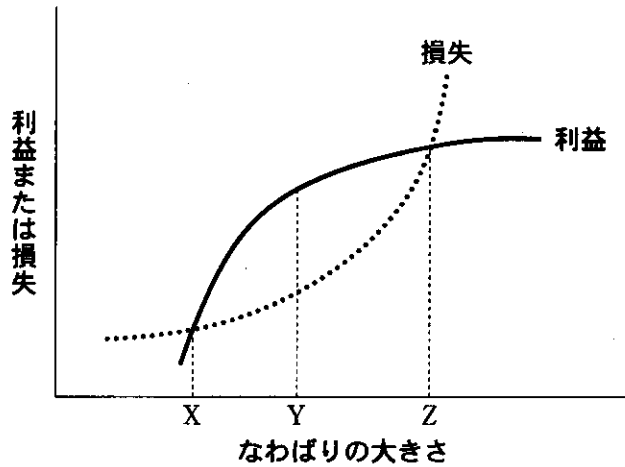


図 1

問 1 について、最適ななわばりの大きさは図中の X~Z のどこか記号で答えよ。

問 2 と の組み合わせについて、次の(A)~(D)から正しいものを選び、記号で答えよ。

- (A) イ：小さく、ウ：大きく
- (B) イ：小さく、ウ：小さく
- (C) イ：大きく、ウ：大きく
- (D) イ：大きく、ウ：小さく

問 3 下線部 a について、なわばりが大きくなっても、ある時点で利益が頭打ちになる理由はなぜか。40 字以内(句読点を含む)で説明せよ。

問 4 ある小鳥のなわばりの大きさが、図1の利益・損失曲線で決定されているとする。春に気温が上がり植物や昆虫のバイオマスが増加すると、生息地の単位面積当たりの餌量が増加する。このように生息地の質が上昇するにつれて、なわばりの大きさはどうなるか(A)~(D)からもっとも適切なものを選び、記号で答えよ。ただし、生息地の質が上昇しても小鳥が必要とする餌要求量は変わらないとする。また、損失曲線は変動しないものとする。

- (A) 単位面積当たりの餌量が増加するので、より利益を大きくするためになわばりも大きくなる。
- (B) 単位面積当たりの餌量が増加しても必要な餌要求量は変わらないため、なわばりの大きさは変わらない。
- (C) 利益曲線の立ち上がりが急峻になるが、利益の最大値は変わらない。その結果、利益から損失を引いた最大値が左にずれるため、なわばりは小さくなる。
- (D) 利益曲線の立ち上がりが緩慢になるが、利益の最大値は変わらない。その結果、利益から損失を引いた最大値が右にずれるため、なわばりは大きくなる。

II 次に、群れの大きさを考えてみる。小鳥やシマウマなどの草食動物はしばしば群れを作るが、群れにも利益と損失が存在する。群れの重要な役割は捕食者をいち早く発見できるなど、捕食のリスクを低下させることである。一方で群れが大きくなると餌資源をめぐる他個体との争いが激しくなる。

ここでは、群れにおける各個体の時間配分がどのようになるか考えてみる。群れが大きいと捕食者に対する警戒に費やす時間は短くなる(図2の実線)。一方で、群れが大きいと他個体と争う時間が長くなる(図2の点線)。採餌に費やすことができる時間は、全体の時間から警戒の時間と争いの時間を引いたものだと考えると、採餌時間を最大にするための最適な群れの大きさが決定される。

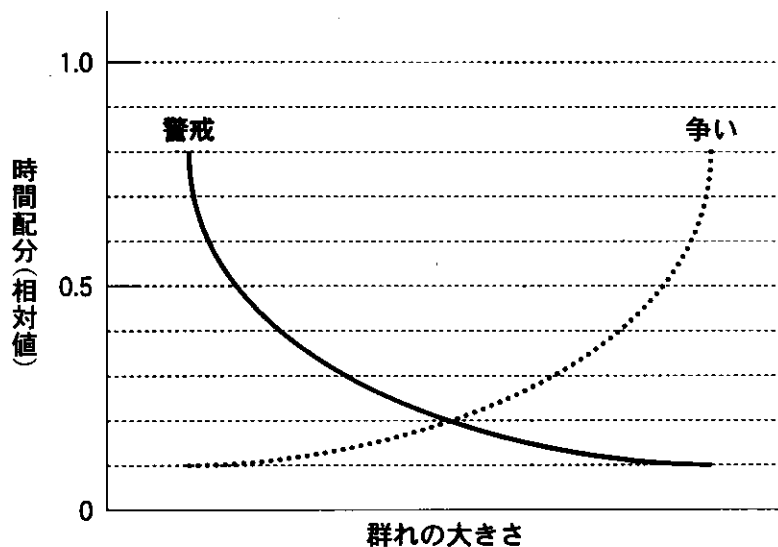


図2

問5 下線部bについて、群れの大きさ(横軸)に対する警戒と争いの時間(縦軸)が図2の曲線で表される場合、採餌に費やすことができる時間はどのような曲線あるいは直線で表されるか。解答欄の図中に書き込め。また、最適な群れの大きさも図中に矢印で示せ。ただし、警戒と争いの曲線は左右対称であり、個体がつ全ての時間は「警戒」「争い」「採餌」のいずれかに費やされると仮定する。

Ⅲ 利益と損失を考えた解析は、動物の行動だけでなく形態や色彩などの表現形質にも応用できる。例えば、サケ科魚類の一種であるカラフトマス(別名：セツパリマス)は、繁殖期にオスの体高が高くなる(図3)。この“セツパリ”の高さは地域間で異なる。体高が高いオスは、繁殖場である河川内において他のオスとの競争で有利になり、より多くの子供を残すことができる。一方、体高が高いと水面から背中が出てしまい、クマによる捕食のリスクが高くなる。カラフトマスの体高が地域間で異なる理由は、子を残すための **工** と捕食を避けるための **オ** の拮抗により最適な値が決まっていると考えられる。このような表現形質の進化においては、適応度がどのようになるかを考える。^c適応度は、生存率と繁殖成功度(生きのびた個体が残した子供の数)の積で表される。適応度が最も大きくなる点が最適な形質の値である。

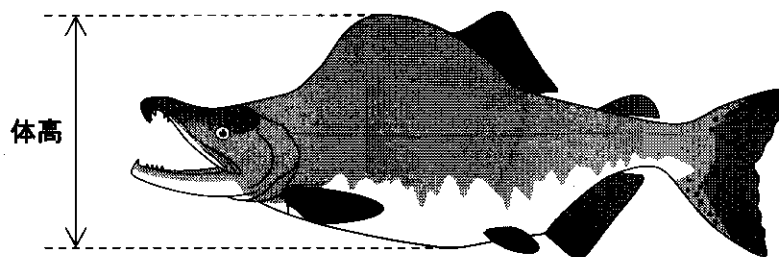
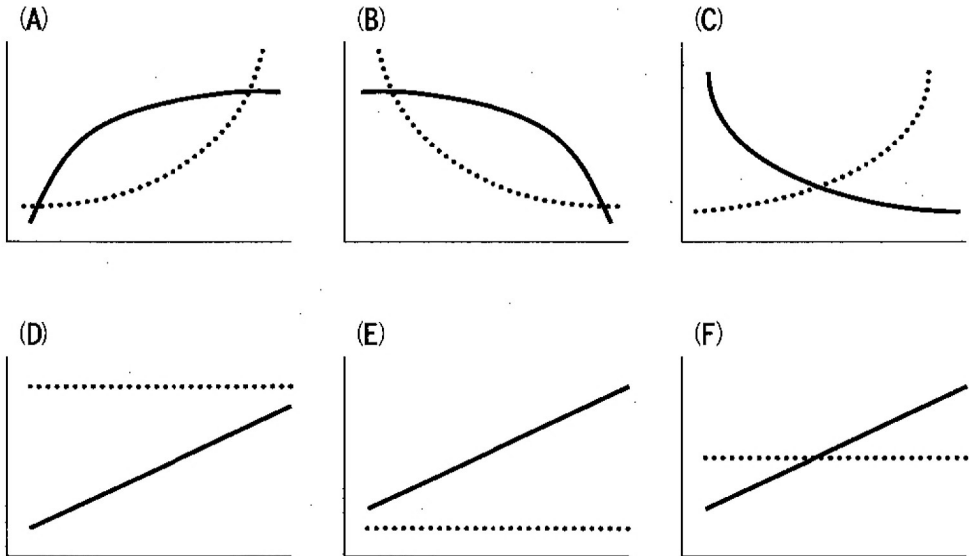


図3

問6 **工** と **オ** の組み合わせのうち、(A)~(D)から正しいものを選び、記号で答えよ。

- (A) 工：種内選択，オ：種間選択
- (B) 工：種間選択，オ：種内選択
- (C) 工：性選択，オ：自然選択
- (D) 工：自然選択，オ：性選択

問 7 下線部 c を説明するのに最も適した図を次の(A)~(F)から選び、記号で答えよ。



問 8 問 7 で選んだ図中の縦軸、横軸、実線、点線を示す言葉のうち、次の(A)~(D)から正しいものを選び、記号で答えよ。

- (A) 縦軸：体高，横軸：適応度，実線：繁殖成功度，点線：生存率
- (B) 縦軸：体高，横軸：適応度，実線：生存率，点線：繁殖成功度
- (C) 縦軸：適応度，横軸：体高，実線：繁殖成功度，点線：生存率
- (D) 縦軸：適応度，横軸：体高，実線：生存率，点線：繁殖成功度

問 9 本文から考察できるオスのカラフトマスの体高について、次の(A)~(D)から最も適切なものをひとつ選び、記号で答えよ。

- (A) ヒグマが多い河川ではカラフトマスの体高が高い
- (B) 漁師が多い河川ではカラフトマスの体高が高い
- (C) 浅い河川ではカラフトマスの体高が高い
- (D) オスの密度が高い河川ではカラフトマスの体高が高い