

令和3年度入学者選抜学力検査問題(前期日程)

理 科

生物基礎・生物

(注 意)

1. 問題冊子は指示があるまで開かないこと。
2. 問題冊子は16ページ、解答用紙は5枚、また、下書き用紙が1枚ある。指示があってから確認すること。
3. 解答はすべて解答用紙の指定のところに記入すること。
4. 計算や下書きを試みる場合は、問題冊子の余白や下書き用紙を利用してもよい。
5. 解答用紙は持ち帰ってはならないが、問題冊子及び下書き用紙は必ず持ち帰ること。

〔 I 〕 次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

遺伝子組換え技術により、ヒトの遺伝子を大腸菌の中で発現させて大量にタンパク質を合成できるようになった。そのため、この技術は通常では大量生産が困難な医薬品の製造などに利用されている。以下の(i)～(viii)は、大腸菌を用いたホルモン製剤の生産過程の概要を説明したものである。

- (i) 目的遺伝子を発現する細胞から mRNA を抽出した後、相補的 DNA (cDNA) を合成する。
- (ii) cDNA を鋳型とした PCR 法により 目的遺伝子を増幅する。
- (iii) 増幅した DNA をアガロースゲル電気泳動法により分離した後、ゲルから目的の塩基対数の DNA 断片を抽出する。
- (iv) プラスミド(図 1)のプロモーター(P₁)領域下流に存在する 特定の塩基配列 ^(ア) _(イ) を切断する。
- (v) 抽出した DNA 断片を切断した プラスミドに連結した ^(ウ) 後、大腸菌溶液と混合して大腸菌の形質転換を行う。
- (vi) アンピシリン(amp : 抗生物質)添加培地において形質転換した大腸菌のコロニーを形成させた後、コロニーの 1 つを選択して大量培養する。
- (vii) 組換え大腸菌の一部を破碎してプラスミドを抽出し、塩基配列を確認する。
- (viii) 残りの大腸菌を破碎してタンパク質を抽出し、クロマトグラフィーにより組換えタンパク質のみを精製する。

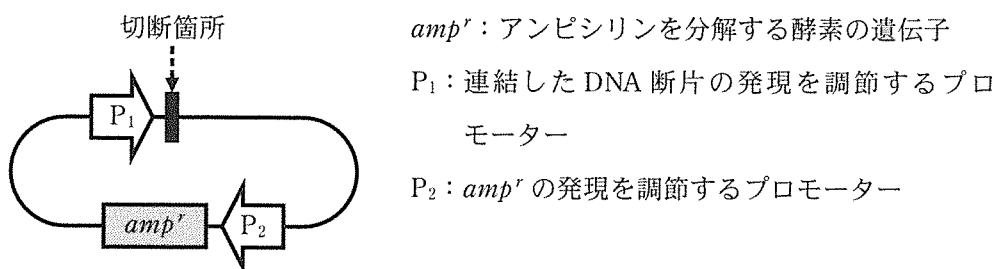


図 1 使用したプラスミドの構造

今回は、骨や筋肉の発達に不可欠なホルモン X の製剤を、遺伝子組換え技術により作製することを試みた。図 2 は、健常者における遺伝子 Y (ホルモン X をコード) の mRNA (u は t に置換して示してある) の塩基配列であり、二重下線は開始コドンまたは終止コドンを示す。

番号	配列
1	cagctcacct tagctgcaat <u>gtt</u> cccaacc attcccttat ccaggctttt tgacaacgct
61	atgctccgcg cccatogtct gcaccagctg gcctttgaca cctaccagga gtttgaagaa
121	gcctat <u>at</u> atcc caaaggaaca gaagtattca ttctgcaga acccccagac ctccctctgt
181	ttctcagagt ctattocgac acctccaac agggaggaaa cacaacagaa atccaacctta
241	gagctgctcc gcatctccct gctgctcatc cagtcgtggc tggagcccggt gcagttcctc
301	aggagtgtct tgcccaacag cctgggtgtac ggcgctctg acagcaacgt ctatgacctc
361	ctaaaggacc tagaggaagg catccaaacg ctgatgggga ggctggaaga tggcagcccc
421	cggactgggc agatcttcaa gcagacctac agcaagtctg acacaaactc acacaacgat
481	gacgcactac tcaagaacta cgggctgctc tactgcttca ggaaggacat ggacaaggtc
541	gagacattcc tgcgcatcgt gcagtgccgc tctgtggagg gcagctgtgg <u>cttctag</u> ctg
601	ccgggtggc atccctgtga ccctcccca gtgcctctcc tggccctgga agttgccact
661	ccagtgccca ccagccttgt cctaataaaa ttaagttgca tcaaaaaaaaa aaaaaaa

図 2 遺伝子 Y の mRNA の塩基配列

〔1〕 下線部(ア)~(ウ)のために使用した酵素の名称をそれぞれ答えよ。

〔2〕 cDNA 合成に関して、以下の問いに答えよ。

(1) mRNA を鋳型として cDNA を合成する反応の名称を答えよ。

(2) (1)の反応に使用するプライマーとして適切なものを下から 1 つ選び、記号で答えよ。

(a) 5' - aaaaaaaaaaaaaaaaaa -3'

(b) 5' - tttttttttttttttttt -3'

(c) 5' - gggggggggggggggggg -3'

(d) 5' - cccccccccccccccc -3'

(3) (2)で選んだプライマーを使用する理由を、句読点を含めて 40 字以上 60 字以内で説明せよ。

- 〔3〕 次の文章を読み、(①)～(④)に当てはまる適切な数値または語句を答えよ。

PCR 法に使用する下線部(ア)の酵素は、DNA のヌクレオチドの(①)'の炭素に結合するヒドロキシル基および次のヌクレオチドの(②)'の炭素に結合する(③)基との間の結合を触媒する。そのため、DNA のヌクレオチド鎖は、(②)'側→(①)'側の方向へのみ伸長する。また、この酵素が DNA のヌクレオチド鎖を伸長させる際には、起点となるプライマーが必要である。今回の方法では、目的遺伝子の開始コドンから終止コドンまでの(④)塩基対の DNA 断片を増幅できるように 2 種類のプライマーを人工的に合成して使用した。

- 〔4〕 今回の方法では、形質転換した大腸菌のみが増殖した。その理由を、句読点を含めて 40 字以上 60 字以内で説明せよ。

- 〔5〕 組換えホルモン X 製剤のアミノ酸の数を答えよ。

- 〔6〕 図 2 で示された塩基配列のうち、□で囲った 126 番目の塩基が[a]に置換した遺伝子 Y をもつヒトでは、定期的に組換えホルモン X 製剤を投与しなければ骨や筋肉の発達が停止してしまう。このような塩基配列の遺伝子 Y をもつヒトにおいて、ホルモン X が機能しない理由の記述として正しいものを下から 1 つ選び、記号で答えよ。

- (a) ナンセンス突然変異により、ホルモン X よりも短いポリペプチドが合成されるため。
- (b) ミスセンス突然変異により、アミノ酸置換が起きたホルモン X が合成されるため。
- (c) フレームシフト突然変異により、ホルモン X よりも短いポリペプチドが合成されるため。
- (d) フレームシフト突然変異により、アミノ酸置換が起きたホルモン X が合成されるため。

〔Ⅱ〕 次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

生体内で物質の化学反応が進行するためには、物質は反応しやすい状態となる必要がある。この状態になるために必要なエネルギーを(①)という。(①)は非常に大きいため、化学反応を促進する触媒がない場合は、物質を高温や高圧状態などにする必要があり、生体内では触媒の作用をする酵素によって、物質は常温常圧の条件下でも化学反応が進行する。

酵素は特定の物質にしか作用しない。これは、酵素がそれぞれ特有の立体構造を有しており、その構造に適合した物質のみが(②)と呼ばれる部分と結合することで、基質は酵素の作用を受けて生成物となるためである。酵素の作用によって起こる化学反応の効率は温度に影響され、それぞれの酵素には最も効率的に作用する温度がある。

ヒトの口から摂取されたデンプンは、(③)によって(④)に分解され、さらに(⑤)によって2分子のグルコースに分解される。スクロースはスクラーゼによって(⑥)とグルコースに分解される。このように食物中の成分はそれぞれ特定の酵素によって分解され、消化管から吸収される。そのとき、酵素には最も適した pH が存在しており、それ以外の pH では酵素の作用が十分に発揮されない。

〔1〕 文章中の(①)～(⑥)に入る適切な語句を答えよ。

〔2〕 下線部(ア)の特性は何と呼ばれるか。名称を記せ。

〔3〕 下線部(イ)の理由を、句読点を含めて50字以上70字以内で説明せよ。

〔4〕 下線部(ウ)について、図1は4種類の消化酵素におけるpHと酵素反応速度の関係を示したものである。トリプシンとペプシンは、それぞれa～dのどれに該当するか、記号で答えよ。

〔5〕 酵素反応速度は、基質濃度の影響を受ける。図2は基質濃度と酵素反応速度を示したグラフである。

- (1) 酵素濃度が一定の場合、酵素反応速度(X)に達した時に基質と酵素はどのような状態にあるか、簡潔に説明せよ。
- (2) (X)の速度は何と呼ばれるか。名称を記せ。
- (3) 酵素反応において、基質とよく似た構造を有する物質が基質と同時に存在すると、基質と酵素との反応は抑制される。このような、基質と似た構造を有する物質による反応の抑制作用を何と呼ぶか。名称を記せ。

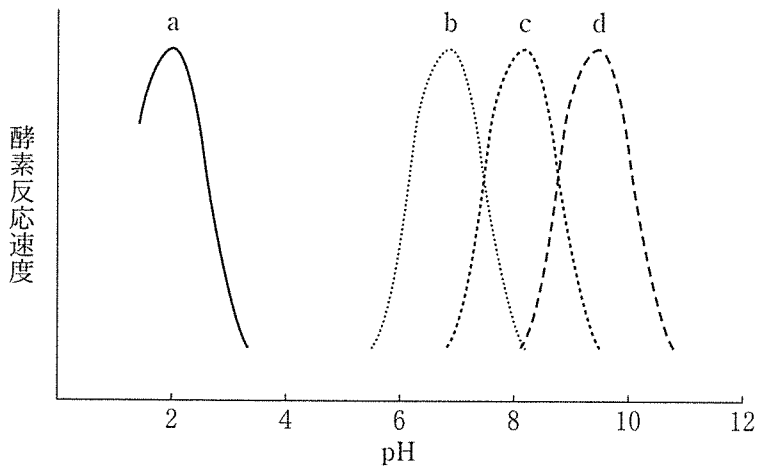


図1 pH と酵素反応速度

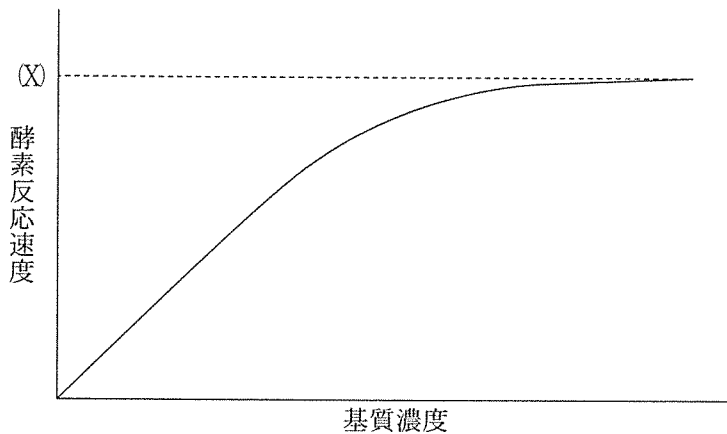


図2 基質濃度と酵素反応速度

〔Ⅲ〕 次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

植物の光合成は、光エネルギーを用いていくつかの基質から有機物を合成する^(ア)反応であるが、その過程は複雑である。

まず、葉緑体のチラコイド膜上にある(①)が光エネルギーを吸収し、そのエネルギーが光化学系Ⅱの反応中心の(①)に集まると活性化されて(②)が放出される。その放出による不足分を補うため、物質Xの酸化分解で生じた(②)を受け取って、(①)は還元された元の状態に戻る。その際、物質Yが発生するとともに、(③)が生じる。

光化学系Ⅱの反応中心が放出した(②)は、電子伝達系のシトクロム *b6f* 複合体などを介して、光化学系Ⅰの反応中心に受け渡される。そこで生じた還元力を利用してストロマ側にあるフェレドキシンで(④)が生成される。また、電子伝達の反応過程で生じた(③)がチラコイド内部に取り込まれると濃度が上昇し、その濃度勾配を利用してチラコイド膜上にある酵素によって(⑤)が合成される。

ストロマにおけるカルビン・ベンソン回路では、リブローズビスリン酸(リブローズ二リン酸, RuBP)と物質Zが反応して、ホスホグリセリン酸(PGA)が2分子できる。この反応はRuBPカルボキシラーゼ/オキシゲナーゼ(ルビスコ, RubisCO)という酵素が触媒している。PGAは(⑤)と(④)によって、グリセルアルデヒドリン酸(GAP)になるが、その過程で物質Xが生じる。GAPの一部が有機物の合成に使われ、残りは(⑤)によってRuBPに再生される。合成された有機物は一時的に葉緑体に貯蔵されるが、夜間に細胞質でスクロースに変換された後、各器官に転流されて成長や貯蔵に利用される。

地球上の多くの植物は、上記のような光合成を行うC₃植物であるが、その他にも、C₄植物やCAM植物^(イ)があり、様々な環境に適応している。

〔1〕 文章中の(①)～(⑤)に入る適切な語句を答えよ。

〔2〕 文章中の物質 X, 物質 Y および物質 Z はそれぞれ何か。適切な物質名を答えよ。

〔3〕 下線部(ア)について, 以下の問いに答えよ。

合成される有機物の量は光合成と呼吸の速度によって決まる。これらを測定するため, 透明なアクリル板で同化箱(体積 1 L)を作製した。この装置は, 入口から出口に向けて一定の流量(50 L/時)で空気が流れており, その出入口の CO_2 濃度をそれぞれ測定することができる(出入口以外は完全に密閉されている)。この同化箱に, ある C_3 植物の健全な葉 1 枚(葉面積 200 cm^2)を入れて葉柄部分を完全に封じた。

この葉に異なる強さの光を照射し, それぞれの光条件における入口と出口の CO_2 濃度を測定したところ, 図 1 の光-光合成曲線が得られた。

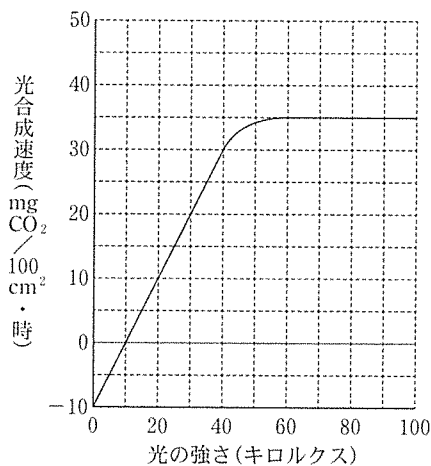


図 1 ある C_3 植物の光-光合成曲線

(1) 30 キロルクスの光を 3 時間照射した時に同化された有機物の総量(mg)はいくらか。必要に応じて四捨五入し, 小数点以下 1 桁まで求めよ。なお, この有機物は全てグルコースとし, 原子量は H : 1, C : 12, O : 16 とする。

(2) 光飽和する強さの光を8時間照射した後、暗黒下(0キロルクス)に16時間置いた。光合成によって同化された有機物と呼吸で消費された基質が全てグルコースだとすると、24時間後の葉に含まれるグルコース量(mg)の増減はいくらか。必要に応じて四捨五入し、小数点以下1桁まで求め、増加する場合には数値の前に「+」、減少する場合には「-」の符号をつけよ。なお、暗黒下における転流は一切生じないものとする。

〔4〕 下線部(イ)について、以下の問いに答えよ。

(1) 以下の文章のうち、 C_4 植物とCAM植物に関する記述として誤っているものを1つ選び、記号で答えよ。

- (a) C_4 植物の炭酸固定を触媒するホスホエノールピルビン酸(PEP)カルボキシラーゼはルビスコよりも CO_2 に対する親和性が高いため、 CO_2 濃度が低い環境でも効率よく CO_2 を固定することができる。
- (b) C_4 植物の光合成経路は、葉肉細胞における C_4 ジカルボン酸回路と維管束鞘細胞におけるカルビン・ベンソン回路から成る。
- (c) C_4 植物は高温・乾燥環境に、CAM植物は乾燥環境に適応した光合成機構を有している。
- (d) CAM植物の光合成は、夜間に気孔から取り込んだ CO_2 をオキサロ酢酸として液胞中に貯え、日中に脱炭酸してカルビン・ベンソン回路の基質として利用する。
- (e) C_4 植物とCAM植物の代表的な種は、それぞれサトウキビとパイナップルである。

(2) 光合成は、光の強さ、気温、CO₂濃度などの環境の影響を受けるが、これらに対する応答はC₃植物とC₄植物で大きく異なる。C₃植物が図2の実線であった場合、C₄植物はどのような応答を示すか。光の強さ、気温、CO₂濃度のそれぞれについて、図2に示した①~③から最も適切なものを選び。

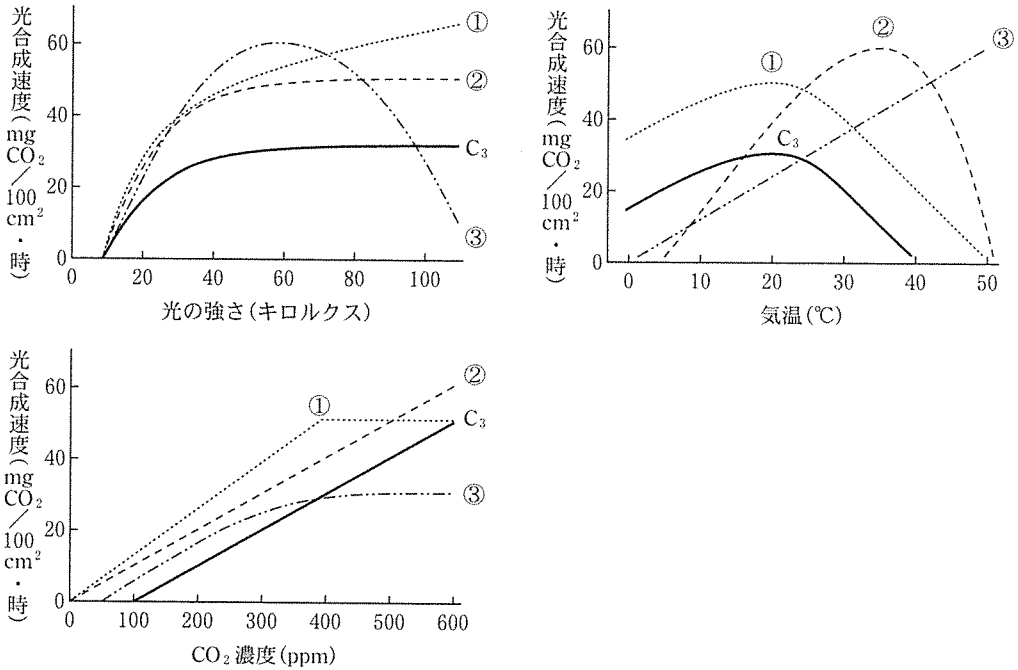


図2 光の強さ、気温、CO₂濃度の変化に対するC₃植物とC₄植物の光合成の応答
注) ppmは割合を示し、1 ppm = 0.0001% (100万分の1)である。

(3) IPCC(気候変動に関する政府間パネル)の報告書によると、今世紀末にはCO₂濃度と平均気温が大幅に上昇する可能性が高いと予測されている。ある地点における気温が20℃、CO₂濃度が400 ppmであった場合、これらがそれぞれ10℃、200 ppm上昇すると、C₃植物の光合成速度はどのように変化すると考えられるか。図2を用いてその応答を予測し、句読点を含めて80字以上100字以内で答えよ。ただし、気温とCO₂濃度が光合成に与える影響は互いに独立しており、これら以外の環境条件や光合成以外の植物の応答は全く同一とする。

〔IV〕 次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

私たちは常に体内外の様々な情報を受容し、その情報にもとづいて適切な反応を示す。外部環境の化学物質は鼻粘膜や舌表面に分布する感覚受容器に作用し、^(ア)これらの情報は、いくつもの神経細胞を介して、香り・匂いや味として認識される。例えば、街を歩いているとき、おいしそうな匂いがしてくると、匂いの源となる店を探して歩き回ったりする。^(イ)しばらくすると、胃や腸の運動も高まり始め^(ウ)る。いったん匂いの出所を突き止めると、次からは探索することもなくその店にたどり着くことができる。このように、私たちは得た情報をもとに学習し、記憶して、それを活用することで豊かな生活を送っている。

学習と記憶の仕組みについては、エリック R. カンデル博士が軟体動物を実験^(エ)に用いて明らかにした「刺激に対する慣れと鋭敏化の神経メカニズム」が今日のモデルとなっている。このモデル構築の実験に用いられた軟体動物は、ひとつひとつの神経細胞が大きく、その性質も明らかにされていることから、体内から神経細胞を取り出してシャーレ上で任意の神経回路を人工的に作製し、回路に組み込まれた各々の神経細胞の振る舞いを電氣的に調べることができる。

そこで、次のような人工神経回路を作製して実験を行った。後の図1には、Ca²⁺を含む人工組織液(培養液)を満たしたシャーレに神経細胞 N1～N4 を用^(オ)いて作製した人工神経回路を示している。N1～N3の細胞体には刺激するための刺激電極をおき、実験条件に合わせて、それぞれの神経細胞が活動電位を発生させるのに十分な刺激を与えた。N4の細胞体には記録電極を挿し入れ、神経活動(電位変化)を測定・記録した。図2に実験操作①～⑦とそれによって得られた神経活動の記録を示した。なお、これらの神経細胞の特性は次のとおりである：

- ・ N1～N3は、いずれも N4 とだけシナプスを形成している。
- ・ 各神経細胞が放出する神経伝達物質は、それぞれ 1 種類である。
- ・ 少なくとも N3 と N4 は、刺激の有無にかかわらず一定のリズムで活動電位を発する(自発発火する)。

- 〔1〕 下線部(ア)について、以下の問いに答えよ。
- (1) 舌表面で化学物質を受容する細胞がつくる構造物を何と呼ぶか。名称を答えよ。
 - (2) 鼻粘膜と舌表面で受容される化学物質の状態にはどのような違いがあるか。句読点を含めて 50 字以内で答えよ。
- 〔2〕 下線部(イ)を制御する神経系のうち、神経筋接合部で放出される神経伝達物質は何か。名称を答えよ。
- 〔3〕 下線部(ウ)を制御する神経系は何と呼ばれるか。神経系の名称を答えよ。
- 〔4〕 下線部(エ)について、エリック R. カンデル博士が用いた軟体動物は何か。動物の名称を答えよ。
- 〔5〕 下線部(オ)について、実験の内容を十分理解して以下の問いに答えよ。
- (1) 実験操作②のように N1 を単独刺激しても、実験操作③のように N2 を単独刺激しても、実験操作①と比べて N4 の活動電位は変化しなかった。この理由について、句読点を含めて 80 字以上 100 字以内で説明せよ。
 - (2) 実験操作⑥のように Ca^{2+} を取り除いた培養液に置換すると、N1 ~ N3 を刺激しなくても、実験操作①と比べて N4 の活動電位の発生頻度は高まった。この理由について、シナプスで起こっている現象を、句読点を含めて 80 字以上 100 字以内で説明せよ。

- (3) 実験操作⑦のように、通常の培養液にあらかじめ物質 X を添加し、N1 と N2 を同時に刺激すると、実験操作⑤と比べて N4 の活動電位の発生頻度は高まった状態が長時間持続した。物質 X の作用として適切なものを下から 2 つ選び、記号で答えよ。
- (a) N1 および N2 の神経終末において、神経伝達物質の放出を抑えた。
- (b) N1 および N2 の神経終末において、放出された神経伝達物質の回収を高めた。
- (c) N1 および N2 の神経終末において、放出された神経伝達物質の回収を阻害した。
- (d) シナプス間隙において、N1 および N2 から放出された神経伝達物質の分解を高めた。
- (e) シナプス間隙において、N1 および N2 から放出された神経伝達物質の分解を阻害した。
- (f) N4 の細胞膜において、N1 および N2 から放出された神経伝達物質の受容体を阻害した。

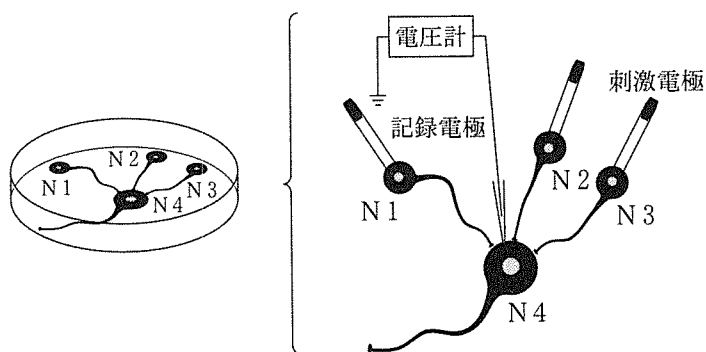


図1 実験に用いた人工神経回路

実験操作

左の各実験操作で得られた
N4の神経活動(電位変化)

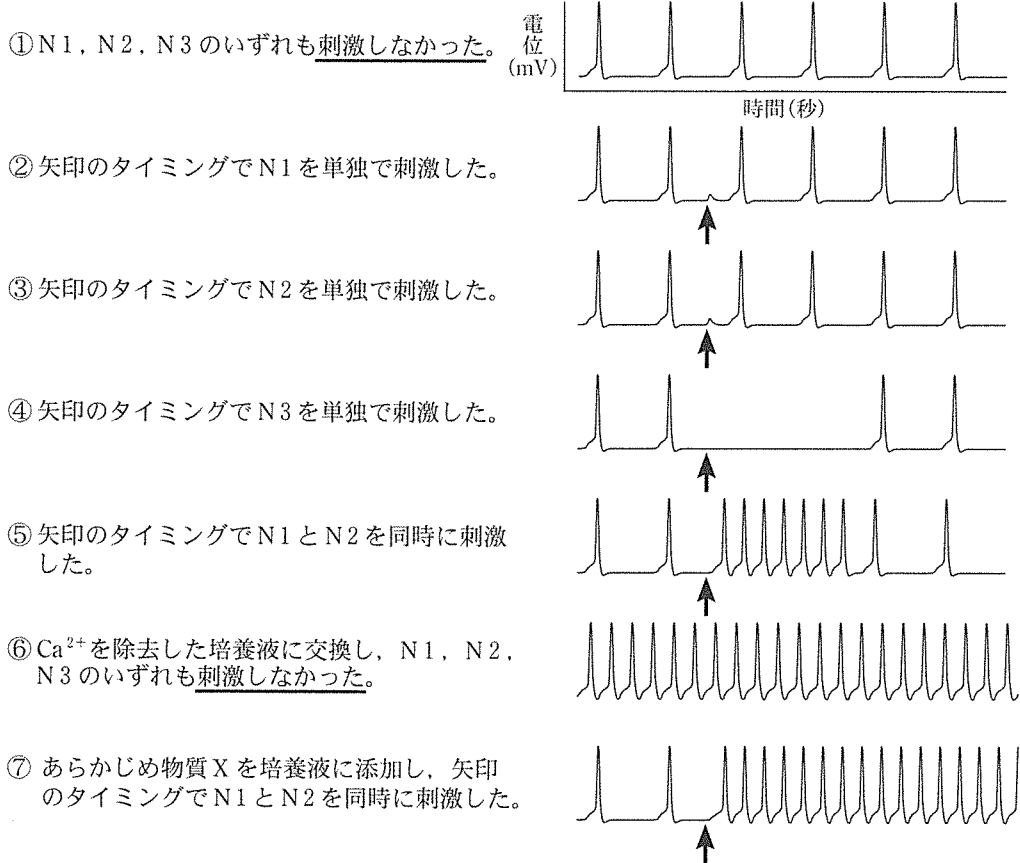


図2 実験操作と実験結果

注) 神経活動の軌跡の縦軸は電位(mV), 横軸は時間(秒)であり, 実験操作②~⑦では縦軸と横軸を省略しているが, 得られた神経活動の記録の時間経過は①と同一である。

〔V〕 次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

ある地域における同種の集まりを個体群という。個体群の特徴を理解するためには、その個体群密度を計測することが重要である。例えば、個体群密度が変化すると個体の発育や形態などに影響が現れる。このように個体数の増減に伴って、個体群の性質が変化することを(①)という。また、年齢ピラミッドを作成することで、個体群の将来の変化を予測することができる。

個体群内の生物の分布様式は種によって異なり、シマウマやイワシのように群れを作って生活する種もいる。群れで生活することは、餌の発見効率が高まるなどの利益がある一方、病気が蔓延しやすいなどの不利益もある。そのため、群れの大きさはこれら利益と不利益のバランスによって決まると考えられている。

自然界では、生物が1種のみで生息することはなく、複数の個体群が混ざって存在している。ある一定の場所に生息する個体群の集合を(②)という。各生物が生態系の中で占める位置は(③)と呼ばれ、(③)の重なりが大きい種間では、資源をめぐる(④)が起こる。(④)によって一方の種が他方の種を駆逐し、同じ場所に共存できないことがある。このような現象を(⑤)という。一方、生物間の関係では、花と花粉媒介者のようにお互いに利益を受ける関係もある。

〔1〕 文章中の(①)～(⑤)に入る適切な語句を答えよ。

〔2〕 下線部(ア)について以下の問いに答えよ。

- (1) 面積 1000 m^2 の池において、コイの個体群密度(個体数/ m^2)を調べるため、罟を使ってコイを80個体捕獲し、すべてに標識をつけてその場で放流した。5日後、再び罟を使って125個体のコイを捕獲したところ、25個体に標識が認められた。この池のコイの個体群密度(個体数/ m^2)を答えよ。数値は必要に応じて四捨五入し、小数点以下1桁まで示すこと。

(2) 個体群密度を調べる方法として、上記(1)の方法が適用できない動物を、次の(a)~(e)から1つ選び、記号で答えよ。

- (a) テントウムシ (b) チョウ (c) カニ
 (d) ホヤ (e) ブラックバス

〔3〕 下線部(イ)に関連して、年齢ピラミッドが老齡(化)型を示した個体群における近い将来の個体数変化の予測として、最もふさわしいものを次の(a)~(e)から1つ選び、記号で答えよ。

- (a) 個体数は増加する。
 (b) 個体数は減少する。
 (c) 個体数は変化しない。
 (d) 雄の個体数は増加するが、雌の個体数は減少する。
 (e) 雄の個体数は減少するが、雌の個体数は増加する。

〔4〕 下線部(ウ)に関連して、各個体に図1の関係性がみられる群れについて、次の問いに答えよ。

- (1) この群れの最適な大きさを、図中のa~cから1つ選び、記号で答えよ。
 (2) (1)を選んだ理由を、句読点を含めて60字以上80字以内で述べよ。

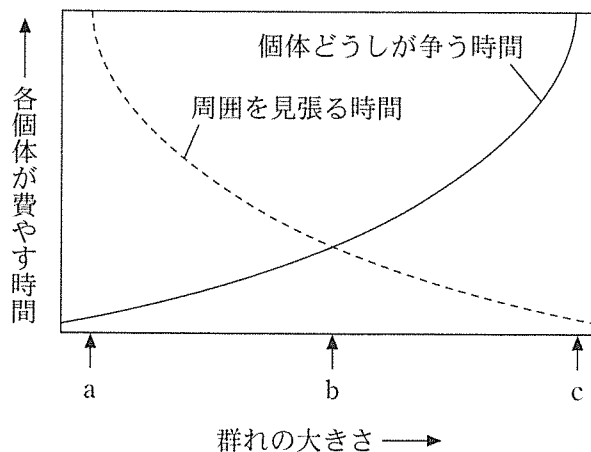


図1 群れの大きさと各個体が費やす時間の関係

〔5〕 下線部(エ)に関連して、ある島(以下では本島と呼ぶ)とその周辺離島に生育する植物の一種は、主に3種の鳥に花粉の媒介を依存している。離島には現在も3種の鳥が生息しているが、本島では、そのうち2種の鳥がすでに絶滅した。そこで、鳥類の絶滅が植物の着果率(着果数/着花数)に及ぼす影響を解明するため、植物に「花を袋で覆う(袋がけ)」,「自然状態のまま放置する(自然)」,「人工的に授粉する(人工授粉)」の処理を行い着果率を測定したところ、図2の結果が得られた。なお、本島と離島では環境条件が似ており、また、絶滅の前後で各種の鳥の個体数に変化はなかったものとする。

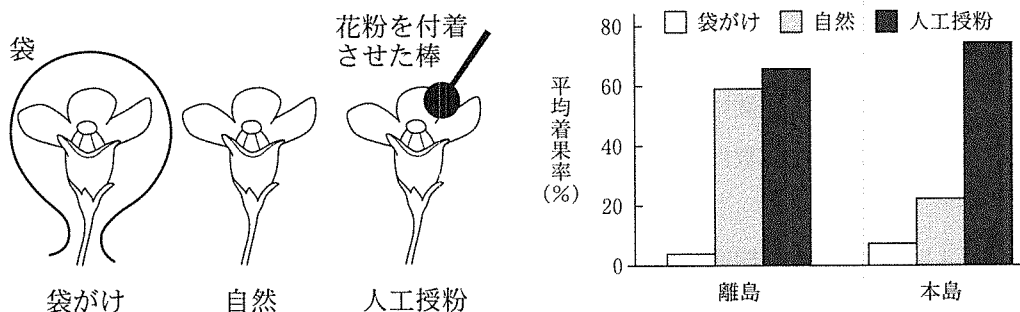


図2 実験のイメージ(左)、および、実験結果(右)

- (1) 鳥の絶滅が植物の着果率に及ぼす影響を、句読点を含めて20字以内で述べよ。
- (2) 本研究において「人工授粉」実験を行わなければならない理由を、「人工授粉」実験が検証している事象を明確にして、句読点を含めて80字以上100字以内で述べよ。

