

理 科

15:00~17:00

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47ページある。このうち、「物理」は2～7ページ、「化学」は8～22ページ、「生物」は23～39ページ、「地学」は40～47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。

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			
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 生物の共通点の1つは、体が細胞できていることである。細胞やその内部の構造は小さいため、顕微鏡を用いてはじめてその詳細な観察が可能になる。

1665年、フックは、自作の顕微鏡でコルクの薄片を観察し、小さな部屋のように見える構造を見だし細胞と名づけた。実際フックが観察したのは、死んだ植物細胞の (ア) である。19世紀に入り、シュライデンとシュワンは「細胞は生物体をつくる基本単位である」という細胞説を提唱した。

その後、顕微鏡の性能が向上し、また、細胞の内部構造を色素で染め分ける方法なども発達した。このようにして細胞のなかに存在する大小の細胞小器官が観察できるようになったものの、一般の光学顕微鏡ではミトコンドリア程度の大きさのものを見るのが限界である。^a

一方、20世紀になり電子顕微鏡が開発され、細胞内部のより微細な構造の観察が可能になった。^b ルスカはこの業績によりノーベル賞を受賞した。現在では、電子顕微鏡によりDNAやタンパク質などの分子の構造も観察できるようになった。

また今世紀に入り、オワンクラゲから (イ) を発見した下村の功績に対し、ノーベル賞が授与された。この (イ) 遺伝子を調べたい遺伝子につないで細胞に導入すると、その遺伝子から作られたタンパク質が細胞のどこに存在するのかなどを蛍光を指標に知ることができる。^c さらに2014年には、光学顕微鏡がもつ分解能の限界を打ち破る技術の開発に対しノーベル賞が授与された。このように顕微鏡に関する技術革新は現在も進み、生命科学の進展に貢献している。

問 1 文中の (ア) ~ (イ) に適切な語句を入れよ。

問 2 下線部 a について、識別できる 2 点間の最小距離を分解能とよぶ。ヒトの眼、光学顕微鏡、電子顕微鏡の順に分解能をあらわした組み合わせで最も適切なものを(A)~(D)のなかから選び、記号で答えよ。

(A) 0.01 mm, 0.02 μ m, 0.01 nm

(B) 0.1 mm, 0.2 μ m, 0.1 nm

(C) 1 mm, 2 μ m, 1 nm

(D) 10 mm, 20 μ m, 10 nm

問 3 下線部 b について、次の(A)、(B)はそれぞれリボソーム、中心体について述べたものである。各記述には不適切な部分が 1 か所ずつ含まれている。不適切な部分に下線をひき、正しい語句に改めよ。

(A) リボソームは、原核細胞と真核細胞のどちらにも見られる。リボソーム RNA とタンパク質からなり、一重の生体膜で囲まれた粒状の細胞内の構造物である。mRNA と結びつきタンパク質を合成する場として重要である。

(B) 中心体は、動物細胞と一部の植物細胞に存在する。筒状の 2 個の中心粒(中心小体)とその周囲にある中間径フィラメントからなる構造で、生体膜に囲まれていない。細胞分裂時に紡錘体形成の起点となるほか、べん毛やせん毛の形成にも関与する。

問 4 下線部 c について、このように人為的に導入した外来の遺伝子をもつ生物のことを何とよぶか。

II 光学顕微鏡を用いて植物の細胞を観察すると、細胞質が流れるように動く原形質流動(細胞質流動)を観察することができる。図1は、オオカナダモの葉における原形質流動の様子について、観察開始時(図1左)と15秒後(図1右)の細胞を接眼マイクロメーターの目盛りとともに描いたものである。この観察について次の問に答えよ。

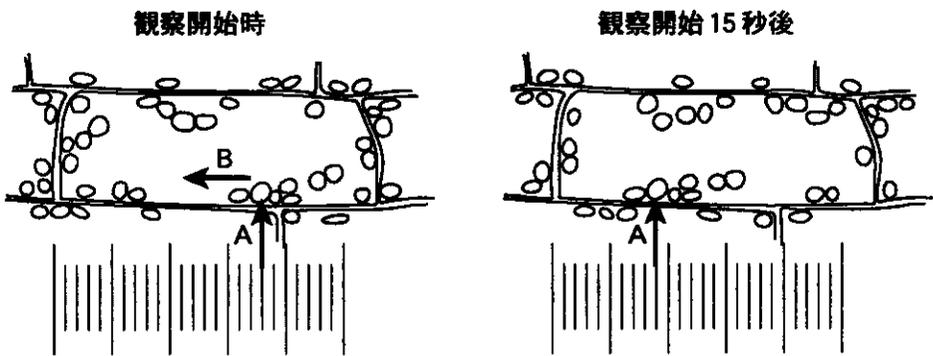


図1

問5 図1の矢印Aの細胞小器官は何か。名称を答えよ。

問6 光学顕微鏡で観察を行うとき、マイクロ(マイクログ)メーターを使うと細胞の大きさや2点間の距離などを測定することができる。原形質流動の観察を接眼マイクロメーターを用いて行うことにした。接眼マイクロメーターの1目盛りの長さは、観察する顕微鏡の倍率によって変わるので、あらかじめ求めておく必要がある。いま、接眼レンズ10倍、対物レンズ20倍の組み合わせのとき、接眼マイクロメーターの目盛りと対物マイクロメーターの目盛りが重なっているところを探した。その結果、接眼マイクロメーターの18目盛りが対物マイクロメーターの10目盛りと重なっていた。このことから接眼マイクロメーターの1目盛りが何 μm に相当するかを答えよ。ただし、対物マイクロメーターには1mmを100等分した目盛りがついている。答えが整数で割り切れない場合は、小数第2位を四捨五入した値を答えよ。

問 7 観察開始時に矢印Aで示した細胞小器官はその後矢印Bの方向に動いていた。15秒後の矢印Aの細胞小器官の位置に注目し、この細胞における原形質流動の速度を時速(mm/時)で求めよ。ただし、観察に用いた顕微鏡の設定は接眼マイクロメーターを含めすべて問6と同じとする。答えが整数で割り切れない場合は、小数第1位を四捨五入した値を答えよ。

問 8 原形質流動の速度は、いつも一定ではなく、周囲の環境の影響を受けて変化する。原形質流動の速度におよぼす光と温度の影響を調べた。表1～表2はその結果をまとめたものである。これらの実験からどのようなことが考えられるか。以下の文中の (ウ) ~ (オ) にあてはまる最も適切な語句をそれぞれの選択肢の中から1つ記号で選び、文章を完成させよ。ただし、表1の実験は30℃で、表2の実験は6000ルクスで行ったものとする。

表 1

光(ルクス)	原形質流動の相対速度(%) (6000ルクスのときを100とする)
窓 際(6000)	100
室内灯 (600)	26
室内灯 (60)	8
暗 所 (0.2)	1

表 2

温度(℃)	原形質流動の相対速度(%) (30℃のときを100とする)
40	29
30	100
20	56
10	32

原形質流動は、細胞小器官に結合したモータータンパク質である (ウ) が、細胞骨格の上を移動することで起こると考えられている。モータータンパク質の運動には (エ) の分解により得られるエネルギーが必要であり、(エ) を得るためには光合成や呼吸のはたらきが重要である。これらのことをふまえると、本実験結果より、活発な原形質流動のためには適切な (オ) の条件が必要であると考えられる。

(ウ)の選択肢

- | | |
|------------|------------|
| (A) ダイニン | (B) インテグリン |
| (C) キネシン | (D) サルコメア |
| (E) ミオシン | (F) カドヘリン |
| (G) デスモソーム | (H) シャペロン |

(エ)の選択肢

- | | |
|----------|------------|
| (A) ビタミン | (B) リン酸 |
| (C) ATP | (D) ヌクレオチド |
| (E) 脂肪 | (F) NADH |
| (G) 頭部 | (H) ペプチド |

(オ)の選択肢

- | | |
|----------|--------------|
| (A) 光 | (B) 二酸化炭素 |
| (C) 湿度 | (D) 温度 |
| (E) 酸素 | (F) 光と二酸化炭素 |
| (G) 光と温度 | (H) 二酸化炭素と湿度 |

2 次のⅠ～Ⅲの文章を読み、それぞれの間に答えよ。

Ⅰ 神経細胞の軸索の末端は神経終末とよばれる。神経終末はわずかなすき間をおいて、他の神経細胞の樹状突起や細胞体などに接している。この部分をシナプスという。活動電位が神経終末に到達すると、電位依存性の (ア) チャネルが開き、(ア) が神経終末に流入し、(イ) が神経終末の膜に融合する。これにより (イ) から神経伝達物質がシナプス間隙に放出される。興奮性の神経伝達物質としてグルタミン酸などがあり、抑制性の神経伝達物質としてγ-アミノ酪酸(GABA)などがある。また快感などの報酬系に関わる神経回路では、主要な神経伝達物質として (ウ) がある。シナプス前細胞による神経伝達物質の放出の結果、シナプス後細胞に生じる変化をシナプス後電位とよぶ。たとえば、(エ) チャネルが開くと脱分極性の興奮性シナプス後電位が生じ、クロライドイオン(Cl^-)チャネルが開くと過分極性の抑制性シナプス後電位が生じる。興奮性シナプス後電位を生じさせるシナプスを興奮性シナプス、抑制性シナプス後電位を生じさせるシナプスを抑制性シナプスという。

問 1 文中の (ア) ~ (エ) に適切な語句を入れよ。

Ⅱ 脳内では複数のニューロンがシナプスを介して結合し、神経回路をつくっている。興奮性と抑制性のシナプス結合をもつ神経回路の例を以下の図1A～図1Cとして示す。これらの神経回路のシナプス結合は、次の2点の性質をもつとする。

- (i) 1つの興奮性シナプスからの興奮性シナプス後電位によってシナプス後細胞で活動電位が生じる。
- (ii) 抑制性シナプス後電位は興奮性シナプス後電位をある一定時間打ち消すことができる。

図1 Aの入力刺激とニューロン n1 ~ n4 の活動電位の発生パターンが図2 A のようになった。横軸が時間、縦軸が活動電位の大きさを表している。

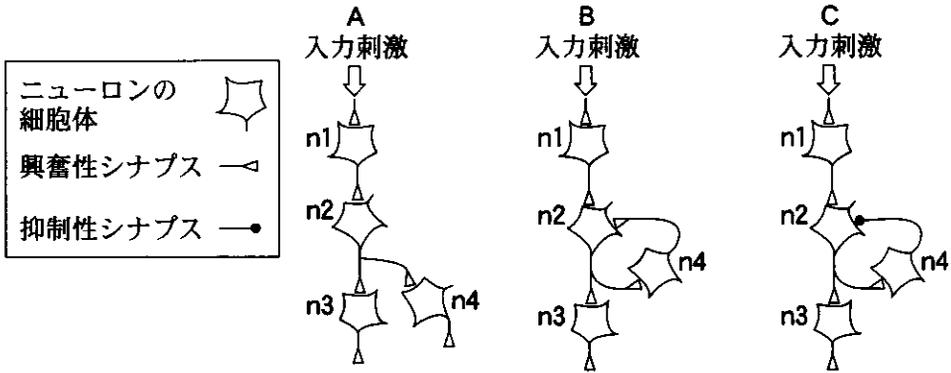


図1

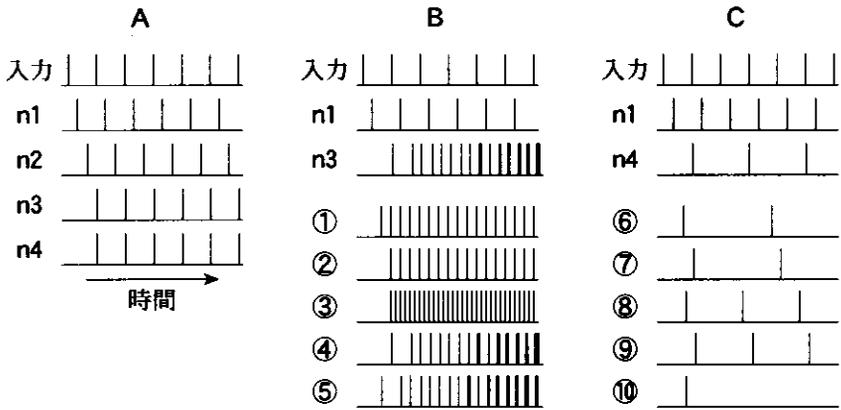


図2

問2 図1 Bの入力刺激とニューロン n1 と n3 の活動電位の発生パターンが図2 B のようになるとき、図1 Bのニューロン n2 と n4 の活動電位の発生パターンはどのようになるか。図2 Bの①~⑤からそれぞれ選び、数字で答えよ。

問3 図1 Cの入力刺激とニューロン n1 と n4 の活動電位の発生パターンが図2 C のようになるとき、図1 Cのニューロン n2 と n3 の活動電位の発生パターンはどのようになるか。図2 Cの⑥~⑩からそれぞれ選び、数字で答えよ。

III アフリカツメガエルの幼生は、左右の体側筋を交互に収縮することによって水中で遊泳(スイミング)行動する。アフリカツメガエル幼生の遊泳軌跡(高速度ビデオ撮影画像)を図3 Aとして示し、左体側筋(図3 Aの矢印部)の収縮変化の一部を図3 Bとして示す。図3 Cに簡略化して示した神経回路によって、このようなリズムカルな行動パターンがつくられると考えられており、これら複数のニューロンの遊泳中の活動電位の発生パターンの一部を図3 Dとして示す。ただし、図3 Cの興奮性と抑制性シナプスの性質は前述のIIで示した(i)と(ii)の性質をもつとする。また、ニューロンn1とn4は活動電位を連続して4回まで発生することができるが、その最後の活動電位の発生後20ミリ秒間は一時的に興奮できない性質をもつとする。

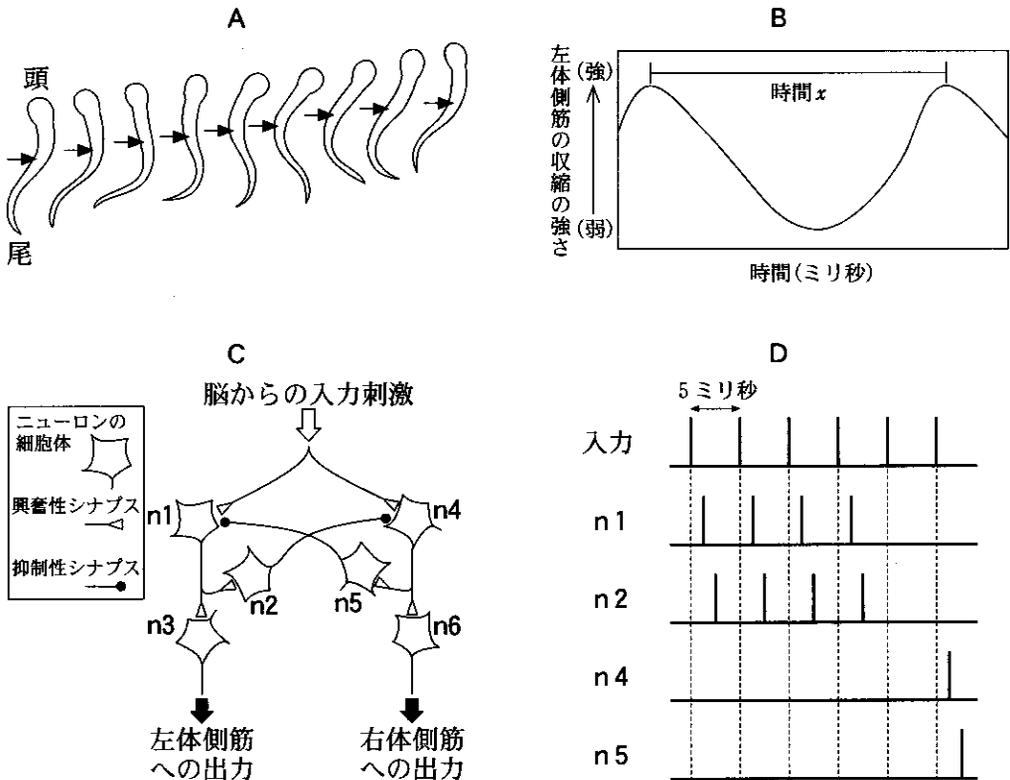


図3

問 4 図 3 D のニューロン n_1 , n_2 , n_4 , n_5 の活動電位の発生パターンの続きを解答欄の太線枠内部に記入せよ。

問 5 図 3 D で示したように入力刺激が 5 ミリ秒間隔で繰り返して入力されるとき、図 3 B の時間 x は何ミリ秒になるか、答えよ。

問 6 図 3 C のニューロン n_1 と n_4 が活動電位を連続して 2 回まで 発生することができ、その最後の活動電位発生後 20 ミリ秒間は一時的に興奮できない性質をもっていた場合では、図 3 A の場合と比べてどのような泳ぎ方になるか。次の(A)~(E)から 1 つ選び、記号で答えよ。

- (A) 尾を振るリズムがゆっくりとなり、尾の曲がりは大きくなる。
- (B) 尾を振るリズムがゆっくりとなり、尾の曲がり小さくなる。
- (C) 尾を振るリズムが速くなり、尾の曲がり大きくなる。
- (D) 尾を振るリズムが速くなり、尾の曲がり小さくなる。
- (E) 左右の体側筋が同時に収縮するため、尾を曲げることができなくなる。

3 次の文章を読み、以下の問に答えよ。

被子植物のエンドウの種子は受精後に胚珠が発達して形成される。受精の際、おしべのやくでつくられた花粉はめしべの柱頭に付着して発芽し、花粉管が伸長する。このとき、花粉管の先端ではエキソサイトーシス^aが活発に起こる。花粉管が胚のうに到達すると、受精^bが起こる。受精によって生じた受精卵は分裂を繰り返す、とよばれる構造ができ、の上部には球状胚がつけられ、胚発生が進行する。イネ科やカキノキ科などでは種子発芽時の栄養は胚乳に貯蔵されているが、マメ科であるエンドウでは胚乳は種子形成時に発達せずに退化し、栄養分はに蓄えられる。栄養分としてはデンプンやタンパク質、脂質が貯蔵される。デンプンはグルコースが多数連結した多糖であり、スクロース(ショ糖)から合成される。スクロースは、グルコースとから構成される二糖である。デンプンは水に溶けにくい、スクロースは水に容易に溶ける。エンドウの葉でつくられたスクロースは維管束のを経由して種子に運ばれ、種子でスクロースからデンプンが合成され、蓄積される。胚珠の珠皮は種皮となり、種子の最外層となる。これらの過程を経て、最終的に種子は脱水して乾燥種子となり、休眠状態に入る。

19世紀にメンデルは、エンドウが示す形質の遺伝様式を定量的に研究した。そのひとつは、丸い種子としわのよった種子(以下、丸としわと表す)という対立形質であった。約130年後、この形質を決定する原因となる遺伝子が、形態形成にはたらく遺伝子ではなく、デンプン合成に必要な酵素の遺伝子のひとつであることが明らかにされた。しわの種子をつくる系統において、この遺伝子に大きなDNA配列の挿入^cが見つかった。このような配列の挿入は、丸の種子をつくる系統の遺伝子では見つからなかった。また、丸としわの種子の乾燥重量あたりのデンプン量とスクロース量を比較したところ、表1で示すように異なっていた。さらに、図1で示すように、しわの種子が成熟(脱水)する前に若いさを開いたところ、種子は丸い形態を示していた。種子にしわがよるのは成熟(脱水)後のこと^dであった。

表 1

	丸の種子	しわの種子
種子乾燥重量あたりのデンプン量 (%)	42	35
種子乾燥重量あたりのスクロース量 (%)	5	12

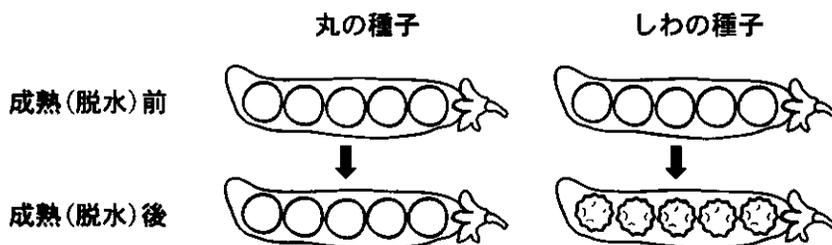


図 1

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、エキソサイトーシスを説明する文で適切なものを(A)~(D)から 1 つ選び、記号で答えよ。

- (A) 細胞質の一部を取り込む小胞をつくり、取り込んだ細胞質を酵素によって分解する。
- (B) 小胞が細胞膜と融合し、小胞内部の物質を細胞外へ放出する。
- (C) 細胞膜が内部に陥入して、細胞外にある物質を細胞内に取り込む。
- (D) 細胞膜に存在する受容体とホルモンが結合し、細胞の伸長方向を決定する。

問 3 下線部 b の受精も含め、植物の生殖を説明する文で適切なものを(A)~(E)からすべて選び、記号で答えよ。

- (A) コケ植物では、雄株の造精器から放出された精子は水のなかを泳いで卵細胞と受精する。
- (B) シダ植物では、胞子のうのなかで胞子がつくられ、胞子の減数分裂により造精器と造卵器がつくられる。
- (C) 裸子植物では、中央細胞の 2 つの極核と精細胞の核が融合して胚乳細胞を形成する。
- (D) 被子植物では、胚のう細胞で核分裂が 3 回起こり、1 つの卵細胞、1 つの中央細胞、2 つの助細胞と 3 つの反足細胞ができる。
- (E) 被子植物の生殖は、有性生殖のみが知られており、無性生殖は起こらない。

問 4 下線部 c について、しわの種子をつくる系統に生じた配列の挿入は、この遺伝子の機能にどのような影響をあたえると考えられるか。表 1 の結果をもとに、(1)配列の挿入が遺伝子の機能に与える影響と、(2)そのように考えられる根拠を、それぞれ 30 字以内(句読点を含む)で記せ。ただし、大きな DNA 配列の挿入以外の違いはないものとする。

問 5 細胞における水の輸送について、(1)~(2)に答えよ。

- (1) 細胞膜での水の輸送にはたらく、水チャネルの名称を記せ。
- (2) アフリカツメガエルの卵母細胞には(1)の水チャネルがほとんど存在しない。この卵母細胞に(1)の水チャネル遺伝子を導入し、細胞膜に水チャネルを人工的に大量に形成させ、細胞を蒸留水に浸した。このときに起こる現象の説明として適切なものを(A)~(F)から1つ選び、記号で答えよ。
 - (A) 細胞膜の水の透過性が高まり、細胞内へ水が流入し、細胞の体積が大きくなる。
 - (B) 細胞膜の水の透過性が高まり、細胞外へ水が流出し、細胞の体積が小さくなる。
 - (C) 細胞膜の水の透過性が高まり、細胞内外への水の流出入が起こるが、見かけ上の細胞の体積は変わらない。
 - (D) 細胞膜で水の能動輸送が行われ、細胞内へ水が流入し、細胞の体積が大きくなる。
 - (E) 細胞膜で水の能動輸送が行われ、細胞外へ水が流出し、細胞の体積が小さくなる。
 - (F) 細胞膜で水の能動輸送が行われ、細胞内外への水の流出入が起こるが、見かけ上の細胞の体積は変わらない。

問 6 下線部 d について、丸の種子と比較してしわの種子は成熟(脱水)前に多くの水を含むため、種子が膨張し、結果として脱水後に種皮にしわがよると考えられた。しわの種子が脱水前に多くの水を含むと考えられる理由を、表1の結果をもとに50字以内(句読点を含む)で記せ。なお、表1で示したデンプンとスクロース以外の成分は、含む水の量に影響を与えないものとする。

4 次の文章を読み、以下の問に答えよ。

生物の生存や繁殖には空間、食物、交配相手などの資源が必要である。資源のほとんどは有限なので、それらをめぐる個体間の **(ア)** 作用、すなわち競争が生じる。競争に有利な個体はより多くの子を次世代に残し、結果としてそのような個体の形質が 自然選択 により進化する。個体が自分の遺伝子をどれだけ次世代に残せたかは「^a適応度」という尺度で表される。

一方、自分では直接子を残さない個体もいる。たとえば一夫一妻制の鳥で、兄弟姉妹個体が自分では繁殖せず両親と共同で弟妹の世話をする例がみられる。繁殖を手伝うこれらの個体を **(イ)** という。利他行動とよばれるこのような行動は自分の繁殖機会を減らし、直接的には適応度を下げる。しかし血縁者は自分と共通する遺伝子ももつので、血縁者の適応度を上げる行動は自分の適応度に間接的な正の効果をもたらす。直接・間接の適応度を合わせて「包括適応度」とよび、利他行動により包括適応度が上がれば、その行動は自然選択により進化する。

血縁者間で遺伝子を共有する確率を「血縁度」とよぶ。有性生殖を行う2倍体の生物は、ゲノムの半分ずつを父母と共有する。自分がもつある ^{まれ}稀な対立遺伝子A (図1)を考えると、これを父親、母親、子と共有する確率はいずれも0.5で、これが自分からみた相手の血縁度となる。

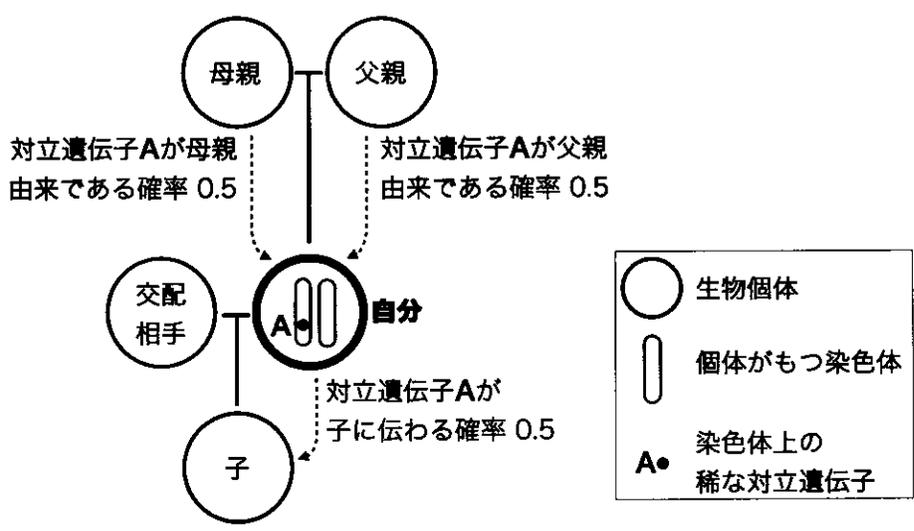


図1 自分からみた父親、母親、子との血縁度

近縁な血縁者ほど多くの遺伝子を共有するので、より近縁な相手への利他行動ほど包括適応度への効果大きい。血縁度の異なる血縁者に対して同じ利他行動をとった場合、それで得られる包括適応度の増加量は相手の血縁度に比例する。

膜翅目まくしもくに属するミツバチやアリなど (ウ) 性昆虫での利他行動の進化にも、血縁度と包括適応度が強く関係する。膜翅目のオスは未受精卵から発生し、母親由来のゲノムを1組だけもつ(図2左)。姉妹は父親のゲノムをすべて共有するので(図2右)、母親からみた子の血縁度は0.5であるのに対し、姉妹間の血縁度は (エ) となる。したがって膜翅目のメスは、自分の子を育てるより妹を育てる方が包括適応度上有利になる。このことは、血縁者がコロニーを形成し、繁殖に専念する女王と、自分では繁殖せず女王の子の世話を専念するメス個体(ワーカー)との分化がみられる例が膜翅目に多い理由の1つとされている。またアブラムシなどメス単独でクローンを産出する生物では姉妹間の血縁度が (オ) なので、やはり利他行動が進化しやすい。

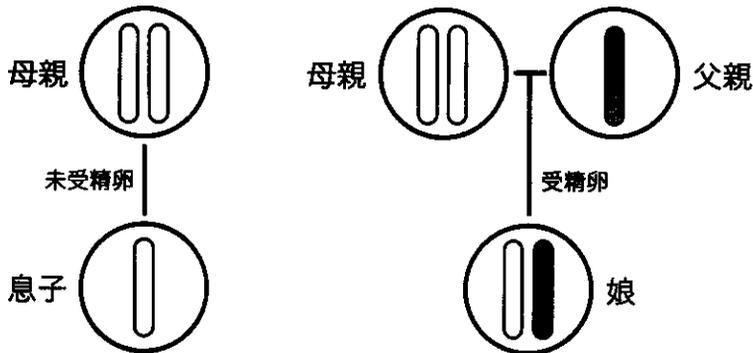


図2 膜翅目における息子(左)と娘(右)の産出

問1 下線部aについて、特に交配相手をめぐる競争ではたらく選択の名称を答えよ。

問2 文中の (ア) ~ (ウ) に適切な語句を、 (エ) ~ (オ) に適切な数値を入れよ。

問 3 次の文章は、膜翅目で同じ両親から生まれた姉妹の血縁度が $\boxed{\text{エ}}$ となる理由を説明したものである。文中の $\boxed{\text{カ}}$ ~ $\boxed{\text{キ}}$ に適切な数値を入れよ。

娘個体がもつ稀な対立遺伝子を考えると、その遺伝子が母親に由来している確率は 0.5、父親に由来している確率は $\boxed{\text{カ}}$ である。一方、母親がもつ稀な対立遺伝子が娘に伝わる確率は 0.5、父親がもつ稀な対立遺伝子が娘に伝わる確率は $\boxed{\text{キ}}$ である。兄弟姉妹間の血縁度は母親経由の血縁度と父親経由の血縁度の和となるため、膜翅目の姉妹間の血縁度は

$$0.5 \times 0.5 + \boxed{\text{カ}} \times \boxed{\text{キ}} = \boxed{\text{エ}}$$

となる。

問 4 下線部 b について、1 回の繁殖で、両親のみで育てることができる子の数(兄弟からみた弟妹の数)を x 、両親が兄弟個体と共同で育てることができる子の数(兄弟からみた弟妹の数)を y 、兄弟個体が他個体と繁殖して育てることができる自分の子の数を z とおく。兄弟個体による両親との共同子育て行動が進化するために必要な条件を記述した数式として適当なものを、次の(A)~(F)から 1 つ選べ。また、それを選んだ理由を説明せよ。ただし、母親によるつがい外交尾はなく、兄弟と弟妹は同じ両親から生まれたものとする。

- (A) $y > z$ (B) $\frac{y}{2} > z$ (C) $x - y > z$
 (D) $\frac{x - y}{2} > z$ (E) $y - x > z$ (F) $\frac{y - x}{2} > z$

問 5 下線部 c について、利他行動が進化するためには、包括適応度の上昇に加え、もう 1 つ条件が必要である。その条件を記せ。

問 6 下線部 d について、アリのコロニーから産出される繁殖成虫(ワーカーの妹にあたる次世代女王[メス]と弟にあたるオス)の数を比べると、オスの個体数よりもメスの個体数が多い例が知られている。この偏りは、ワーカーがオス幼虫をあまり世話しないことや、オスになる卵を間引くなど操作して生じている。繁殖成虫におけるオスとメスの比率の偏りが、ワーカーの操作によって生じる理由を、血縁度にもとづき記述せよ。ただし、このアリのコロニーは 1 個体の女王に由来し、その女王は 1 個体のオスとのみ交尾しているものとする。