

生 物

I 次の文章を読み、以下の問に答えよ。

被子植物では、花粉管内に生じた精細胞と胚のう内の卵細胞の受精により有性生殖がおこなわれる(図1)。精細胞を形成する過程で、おしべでは花粉が形成される。おしべの葯内では、花粉母細胞が減数分裂をおこない を形成する。 を構成する細胞が体細胞分裂をおこない花粉内に と花粉管細胞を生じる。受粉後に は、さらに体細胞分裂をおこなうことで、花粉管内で2つの精細胞となる。花粉管はめしべの中を伸長し精細胞を運び、胚のうに到達し受精にいたる。一方、めしべでは胚珠の中に ^(a)があり、減数分裂により1個の とそれよりも小さい3個の細胞が形成され、3個の小さな細胞は後に退化する。 の3回の核分裂の後、胚のうが形成される。胚のうの中では、珠孔側^{しゅこう}に卵細胞と2個の助細胞、極核をもつ中央細胞、珠孔の反対側に3個の ^(b)が配置されている。やがて、受精により卵細胞は胚へと発生し、中央細胞は胚乳となる。

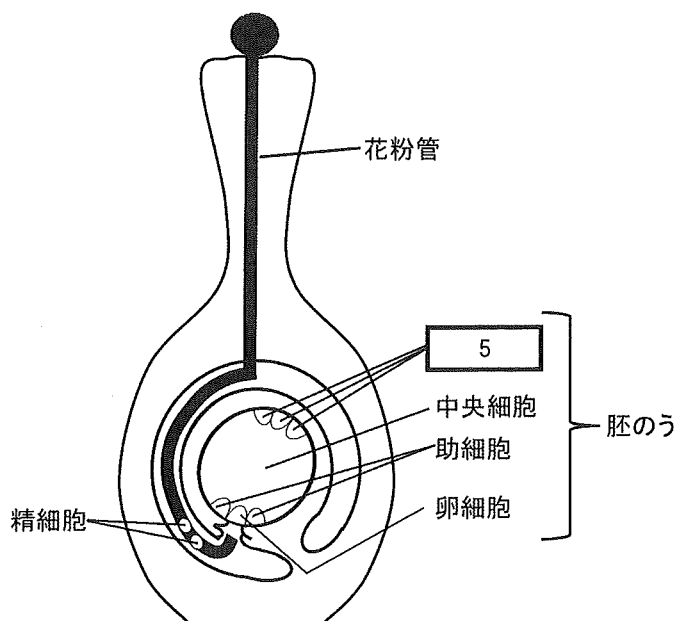


図1 被子植物の受精

問 1 空欄

1

 ~

5

 に当てはまる最も適切な語を記せ。

問 2 被子植物の生殖過程で生じる卵細胞, 助細胞, 胚乳について, それぞれの核相を下記のア~カから選び記号で記せ。

ア. n	イ. $2n$	ウ. $3n$
エ. $4n$	オ. $6n$	カ. $8n$

問 3 下線部(a), (b)のような被子植物に特徴的にみられる受精様式の名称を記せ。

問 4 下線部(a)について, 花粉管による受精は, シダ植物とコケ植物がおこなう受精と比較して, どのような利点をもつと考えられるか, 20 字以内で記せ。

II 次の文章を読み、以下の間に答えよ。

ヒトは、星空の下の暗所から太陽の下の明所に至る広範囲の光量とその変化に対応して、視覚に必要な情報を得ることができる眼球をもっている。眼球に入った光が網膜で電気信号に変換されるまでの過程には、広範囲な光量とその変化に対応するためのしくみがかかわっている。まず、網膜に入射する光量が自立的に調節される。網膜には、暗所ではたらく と、明所ではたらく と呼ばれる視細胞が存在し、これらが異なる光環境下ではたらく。さらに、網膜は層構造を形成しており、ヒトの網膜の場合、約1億2500万個の視細胞が介在ニューロンを経て約100万個の視神経細胞へと連絡する神経回路を利用したしくみをもっている。これらのしくみを利用して視神経細胞で受け取られた情報は、 から眼球の外側へ出た視神経を介して中枢へと送られる。

問 1 空欄 ~ に当てはまる最も適切な語を記せ。

問 2 下線部(a)のはたらきの名称を記せ。またその反応中枢は神経系のどこにあるか記せ。

問 3 ヒト網膜上の部位による光感度の違いを調べるために、図1左のように、暗順応させた被験者の左眼を覆い右眼のみに光が入射できるようにして、次のような実験を行なった。まず、右眼の視野中心上にあるP点に置いた点光源から光刺激を一定時間与え、見えたと感じるのに必要最小限の光の強さ(閾値)を測定した。続いて、被験者の視点はP点に固定させたまま点光源を右側に角度 θ 移動させ、同様に閾値を測定した。緑色の点光源を用いて行なった場合、図1右のグラフの黒丸のようになった。一方、赤色の点光源を用いて行なった場合、図1右のグラフの白丸のようになった。

(1) 緑色の点光源を用いた場合、網膜の中央部に対して周辺部で閾値が低い理由を70字以内で記せ。

(2) 赤色の点光源を用いた場合、網膜の周辺部で閾値の低下が起こらなかった理由を 30 字以内で記せ。

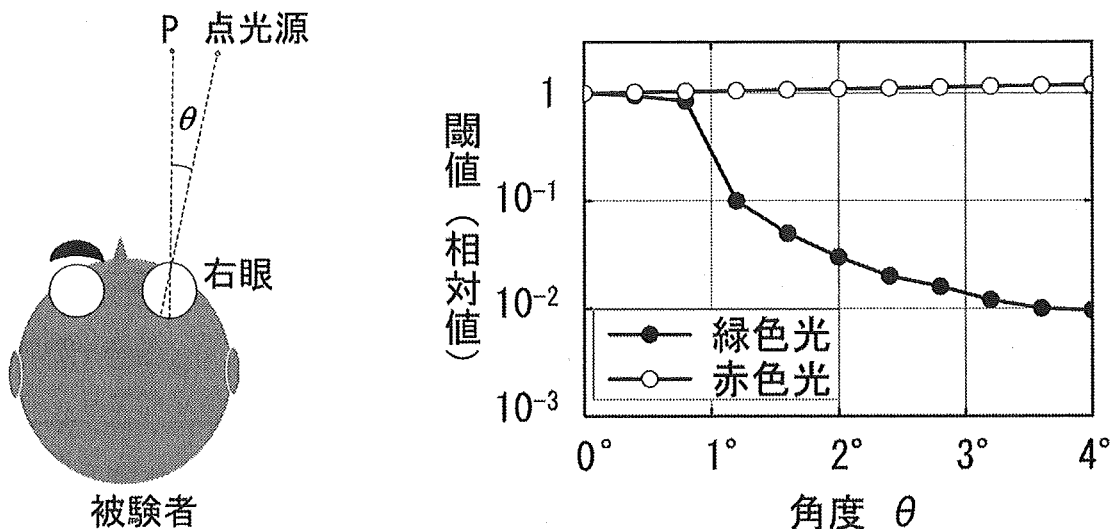
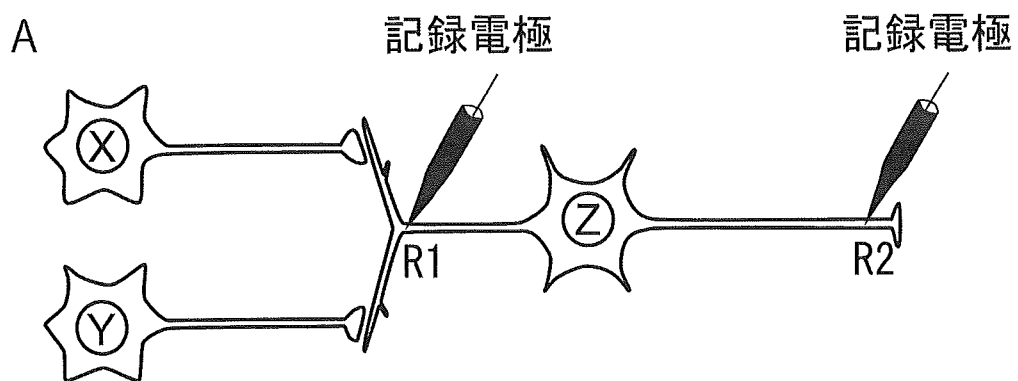


図 1

問 4 下線部(b)に関連して、次の文章を読み、以下の設問(1)~(3)に答えよ。

一つのニューロンが複数のニューロンからの入力を受ける場合があるが、そのはたらきを考察するために、次のようなモデルを考える。次ページの図 2 A に示すように、光に対して応答を示すニューロン X と Y が、ニューロン Z の樹状突起上にシナプスを形成している。ニューロン Z の樹状突起上の R 1 および軸索上の R 2 の位置において、記録電極で膜電位を測定した。ニューロン X と Y、どちらか一方の細胞のみに、時刻 0 秒において光刺激を 1 ミリ秒間与えた。まず、ニューロン X または Y に強さ I_1 の光刺激を与えた場合、図 2 B に示す膜電位変化が得られた。次に、ニューロン X または Y に I_1 の 3 倍の強さの光刺激を与えた場合、図 2 C に示す膜電位変化が得られた。R 1 の膜電位変化の振幅は刺激の強さに応じて大きくなったが、R 2 の膜電位は変化を示さなかった。そこで、さらにニューロン X または Y に与える光刺激の強さを次第に強くしていったところ、 I_1 の 10 倍の強さの光刺激を与えた時、図 2 D に示すように、R 2 で活動電位の発生が観察された。



R1の膜電位

R2の膜電位

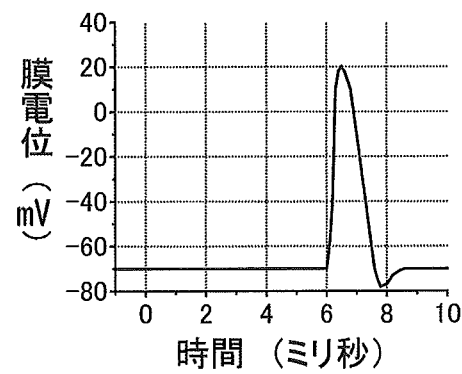
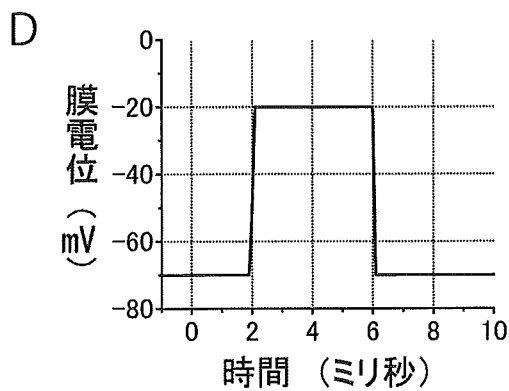
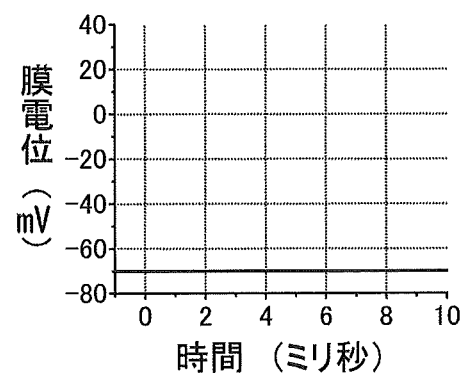
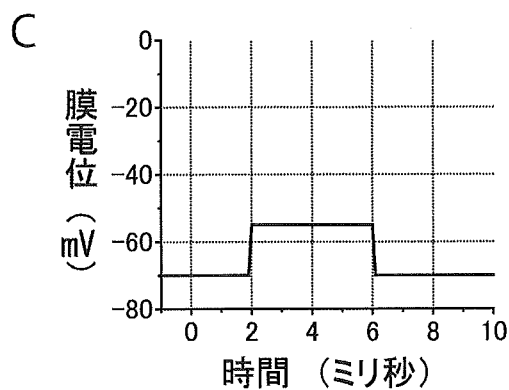
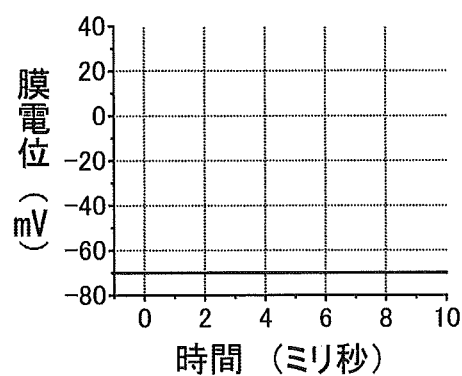
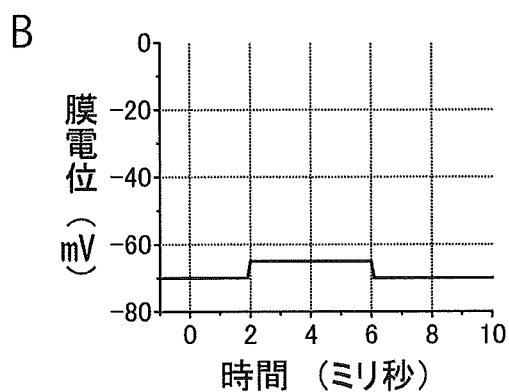


図 2

- (1) ニューロン X と Y 両方同時に、強さ I_1 の光刺激を時刻 0 秒において 1 ミリ秒間与えた場合、R 1 および R 2 の膜電位変化はどのようなになるか、解答用紙に実線で示せ。なお、解答用紙の破線は、ニューロン X または Y どちらか一方の細胞のみに、強さ I_1 の光刺激を与えた場合の膜電位変化をあらわす。
- (2) R 2 において活動電位が観察されるのに必要とされる最低限の光の強さは、ニューロン X または Y どちらか一方のみに光刺激を与える場合と、ニューロン X と Y 両方同時に光刺激を与える場合とでは、どちらが弱い。以下のア～ウから最も適切なものを一つ選び記号で記せ。
- ア. 両方同時に与える場合の方が弱い。
- イ. 一方のみに与える場合の方が弱い。
- ウ. いずれの場合も同じ強さ。
- (3) 視細胞は介在ニューロンを経て視神経細胞へと連絡している。一つの視神経細胞へ連絡する視細胞の数は、網膜の領域により異なることが知られている。一つの視神経細胞に連絡する視細胞の数がより多い領域では、少ない領域に比べて、視覚にどのような影響が及ぶと考えられるか。以下のア～オから最も適切なものを一つ選び記号で記せ。
- ア. 視神経細胞はより広い範囲の視細胞からの光情報を受け取れるため、光の感受性は高くなり、より細部が見える。
- イ. 視神経細胞はより広い範囲の視細胞からの光情報を受け取れるが、視細胞自身の性質は変わらないため、光の感受性には影響しないが、より細部が見える。
- ウ. 視神経細胞はより広い範囲の視細胞からの光情報を受け取れるため、光の感受性は低くなるが、より細部が見える。
- エ. 視神経細胞はより広い範囲の視細胞からの光情報を受け取れるため、光の感受性は高くなるが、より見え方が粗くなる。
- オ. 視神経細胞はより広い範囲の視細胞からの光情報を受け取れるが、光の感受性や見え方には影響しない。

Ⅲ 次の文章を読み、以下の問に答えよ。

生物には個体差があり、そのばらつきが集団全体に機能をもたらすことがある。例えば、あるアリの1種の7つのコロニーそれぞれから、1頭の女王と150頭のワーカーからなる人工的なコロニーをつくり、 するために全てのワーカーに印をつけた実験が知られている。1ヶ月におよぶ観察から、すべてのコロニーでワーカーごとの仕事をしてきた割合が大きく異なり、観察された行動(休止を含む)の9割以上において仕事をしているような、よくはたらくワーカーから、ほとんど何もしないはたらかないワーカーまで、幅広く存在することがわかった。

これらのコロニーから、よくはたらく30頭のワーカーを残したコロニーを3つ、はたらかないワーカーを30頭残したコロニーを4つ作り、 と共に更に1ヶ月間飼育したところ、どのコロニーでもワーカーの一部がよくはたらし、一部がはたらかなくなり、仕事^(a)が行動に占める割合の頻度分布は元のコロニーと同様になった。つまり、ワーカーたちは発生した仕事の要求に柔軟に対応したと考えられる。仕事^(a)が行動に占める割合のワーカー間の違いは、幼虫がエサをねだる様子など、仕事を促す刺激に対する閾値^{いき}の個体差によって説明できる。この考え方によると、よくはたらくワーカーの閾値は低いため、すぐに仕事をするが、はたらかないワーカーの閾値は高く、仕事をしないことになる。

植物においても、このような個体に固有の閾値を使って、温帯地域で木々の結実^{そろ}が揃う現象や、熱帯雨林の木々の一斉開花を説明しようとする試みがある。これらの植物において個々の個体は、開花までに などによって体内に資源を貯め、その資源量がある閾値を越えると開花する。開花した場合、同種他個体から十分な花粉^(b)が提供されれば、資源を大量に消費して結実する一方、花粉の供給がなければ結実しない。また、結実した個体は、資源量が閾値を大きく下回ってしまうため、しばらくの期間は開花できない。結実できない個体は子孫を残すことなく寿命を迎えるため、進化的に十分長い時間が経った後、お互いに花粉を供給しあって結実した個体の子孫^(c)は、数年周期で開花を繰り返し、一斉開花するグループを形成すると考えられる。この場合、上記のアリの場合とは大きく異なり、閾値を使ったしくみがむしろ、個体間の閾値のばらつきを させることになる。

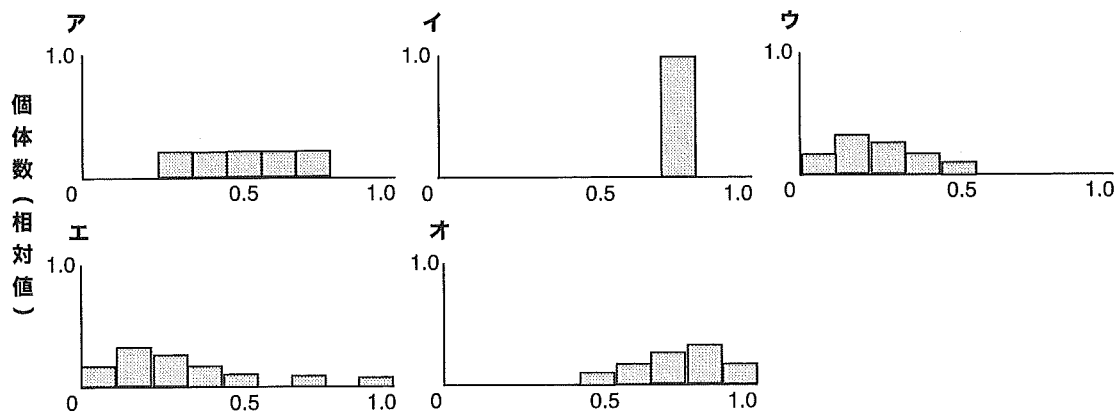


図1 仕事が行動に占める割合，または資源量の閾値の頻度分布

問1 空欄 ~ に当てはまる最も適切なものを，以下のア～シから選び記号で記せ。

- | | | | |
|---------|---------|---------|--------|
| ア. 体重測定 | イ. 個体識別 | ウ. 再捕獲 | エ. 女王 |
| オ. オス | カ. ワーカー | キ. 富栄養化 | ク. 光合成 |
| ケ. 呼吸 | コ. 増加 | サ. 減少 | シ. 維持 |

問2 下線部(a)の頻度分布として最も適切なものを，図1のア～オから1つ選び記号で記せ。ただし，横軸は個々のワーカーが仕事に従事する比率で，0は仕事を何もしない，1.0はいつも何らかの仕事をしていることを示す。

問3 はたらかないワーカー30頭を残すコロニーの実験結果が下線部(a)のようになった理由を，仕事を促す刺激に対する閾値に注目して，60字以内で記せ。

問4 下線部(b)の植物個体間の花粉の供給方法として，温帯や熱帯の森林において考えられるものを，20字以内で記せ。

問5 下線部(c)において，一斉開花するようになった植物個体のグループにおいてみられる，開花のための資源量の閾値の頻度分布はどのようになると考えられるか，最も適切なものを図1のア～オから1つ選び記号で記せ。ただし，横軸は資源量の閾値をあらわし，その最大値は1.0とする。

IV 次の文章を読み、以下の問に答えよ。

図1の系統関係を仮定し、その下で、ある遺伝子 p の DNA の塩基配列が置換によって進化し、現存の生物 A~D の遺伝子 p の塩基配列に至ったものとする。これら生物の遺伝子 p の塩基配列は既知であるとする。いま、生物 A~D の共通祖先 O、生物 A~C の共通祖先 X、生物 A、B の共通祖先 Y における遺伝子 p の塩基配列も既知であると仮定する。表1には、遺伝子 p の塩基配列のうち、対応するタンパク質 P のアミノ酸4個分の塩基配列(12塩基分)を示してある。さらに塩基配列の右側には、対応するアミノ酸配列を示してある。なお、表1の12塩基分の塩基配列の進化の過程で、この表に示されている以外の変化は生じなかったものとする。また遺伝子 p のこれ以外の部分には変化は生じなかったものとする。

現存の2生物の塩基配列間での塩基の置換数は、それら2生物間の進化的な隔たりの度合い、すなわち進化距離をあらわすと考えられる。そこで表1の12塩基に関して2生物間での進化距離を計算する。置換数に基づく2生物間の進化距離を $d(*, \#)$ (ただし*, #は生物名) とすると、

$$d(A, B) = d(Y, A) + d(Y, B) = 1 + 1 = 2$$

$$d(A, C) = d(X, Y) + d(Y, A) + d(X, C) = 1 + 1 + 2 = 4$$

$$\begin{aligned} d(A, D) &= d(O, X) + d(X, Y) + d(Y, A) + d(O, D) \\ &= 2 + 1 + 1 + 4 = 8 \end{aligned}$$

以下同様にして、 $d(B, C) = 4$ 、 $d(B, D) = 8$ 、 $d(C, D) = 8$ となる。これらをまとめて表の形にあらわしたものを距離行列といい、図2 [手順1 a] に示してある。

一般に、系統間での塩基置換速度すなわち進化速度がほぼ一定という仮定の下で、距離行列^(a)に基づき、置換数を単位として系統樹の各枝の長さ(枝長)を表現した系統樹を描くことができる。図2には表1に示した12塩基に基づく距離行列から系統樹を描くための手順を示してあり、図2 [手順3 b] がその結果得られた系統樹である。

問 1 化石の記録により、共通祖先 O から生物 D に至る系統が分岐した年代が 2.0×10^7 年前であることが既知であるとする。このとき、下線部(a)の仮定の下で共通祖先 Y から生物 A もしくは B に至る系統が分岐した年代を求め、有効数字を 2 桁として、「 $a.b \times 10^x$ 年前」のように記せ。ただし、 a 、 b 、 x は整数とする。

問 2 次ページの図 2 [手順 1 a] に示した現存生物間の距離行列は、共通祖先 O、X、Y の塩基配列が既知であると仮定して表 1 から算出したものであり、これを用いることにより図 2 [手順 3 b] の系統樹が描かれる。しかし、実際には共通祖先の塩基配列が既知であることは極めてまれであり、現存生物の塩基配列のみが既知である。そこで、現存 2 生物間での塩基相違数を距離行列とみなして系統樹を描くことがある。表 1 をもとに、生物 A~D の塩基配列だけから 2 者間の塩基相違数を集計して、解答欄の距離行列を完成させよ。さらに、図 2 の手順に従って、[手順 2 b]、[手順 3 b] の系統樹を描き、それらの枝長の計算値を記せ。ただし、小数点以下については第 2 位を四捨五入すること。

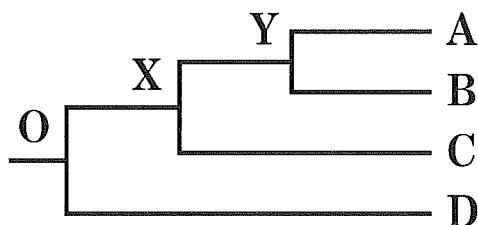


図 1 現存生物 A~D の系統関係

表 1 遺伝子 p およびタンパク質 P の部分配列

	...	(12 塩基)	...	...	(4 アミノ酸)	...
共通祖先 O	...	ACT GTG AGA TGT	...	...	トレオニン バリン アルギニン システイン	...
共通祖先 X	...	ACT GTA AGA TGC	...	...	トレオニン バリン アルギニン システイン	...
共通祖先 Y	...	ACT GTA CGA TGC	...	...	トレオニン バリン アルギニン システイン	...
現存生物 A	...	ACC GTA CGA TGC	...	...	トレオニン バリン アルギニン システイン	...
現存生物 B	...	ACA GTA CGA TGC	...	...	トレオニン バリン アルギニン システイン	...
現存生物 C	...	ACT GTA AGG TGT	...	...	トレオニン バリン アルギニン システイン	...
現存生物 D	...	ACG GTC CGA TGC	...	...	トレオニン バリン アルギニン システイン	...

[手順 1 a] 距離行列 → [手順 1 b] 枝長の計算と系統樹

	A	B	C	D
A	—	2	4	8
B		—	4	8
C			—	8
D				—

距離行列の各要素のうち、A と B の距離が最小なので、A と B を近縁とみなし、1 つのグループ AB とする。進化(置換)速度は一定なので A、B の共通祖先から A、B それぞれに至る枝長は $d(A, B)/2 = 1$ となり、それぞれの枝の上に数値を記す。[手順 2 a] へ進む。



注意：系統樹の縦方向の長さには意味はない。分岐順の表現のために必要なのである。

[手順 2 a] 距離行列 → [手順 2 b] 枝長の計算と系統樹

次に、AB と C の距離を A と C の距離と B と C の距離の平均として、以下のように計算する。

$$d(AB, C) = \{d(A, C) + d(B, C)\} / 2 = (4 + 4) / 2 = 4$$

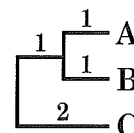
同様に、

$$d(AB, D) = \{d(A, D) + d(B, D)\} / 2 = (8 + 8) / 2 = 8$$

これより、以下に示す距離行列が得られる。

	AB	C	D
AB	—	4	8
C		—	8
D			—

AB と C の距離が最小なので、これらを近縁とみなし、AB と C を 1 つのグループ ABC とする。共通祖先から AB、C それぞれに至る枝長は $d(AB, C)/2 = 2$ となる。A、B、C の共通祖先から A、B の共通祖先に至る枝の長さについては、 $2 - 1 = 1$ となる。[手順 3 a] へ進む。



[手順 3 a] 距離行列 → [手順 3 b] 枝長の計算と系統樹

次に、ABC と D の距離を A と D の距離、B と D の距離、C と D の距離の平均として、以下のように計算する。

$$d(ABC, D) = \{d(A, D) + d(B, D) + d(C, D)\} / 3 = (8 + 8 + 8) / 3 = 8$$

これより、以下に示す距離行列が得られる。

	ABC	D
ABC	—	8
D		—

ABC と D の距離のみしかなく、これが最小なので、ABC と D を近縁とみなし 1 つのグループ ABCD とする。A、B、C、D の共通祖先から ABC、D それぞれに至る枝長は $d(ABC, D)/2 = 4$ となる。A、B、C、D の共通祖先から A、B、C の共通祖先に至る枝の長さについては、 $4 - 2 = 2$ となる。最後に A、B、C、D の共通祖先のところに系統樹の根もととして短い横線を付して完成。

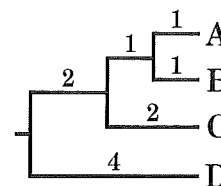


図 2 系統間での進化速度の一定性を仮定して系統樹を描く方法

—表 1 から算出した距離行列を例として—

問 3 以下の文章は、図 2 [手順 3 b] の系統樹と問 2 で得られた [手順 3 b] の系統樹について記したものである。□ 1 □ ~ □ 7 □ の空欄に当てはまる最も適切なものをア~ニから選び記号で記せ。

表 1 に示した遺伝子 p の部分塩基配列(12 塩基)および対応するタンパク質 P の部分アミノ酸配列から、塩基に生じた置換はいずれもアミノ酸の変化を伴わない置換であり、タンパク質の機能に影響を及ぼさない □ 1 □ な置換である。したがって、これらは自然選択を受けず、遺伝的 □ 2 □ により一定の速度で蓄積したと考えられるため、この部分配列の進化速度は一定となる。すなわち、下線部(a)の仮定は妥当なものと考えられ、図 2 [手順 1 a] を距離行列として描いた系統樹(図 2 [手順 3 b])の示す系統関係は、あらかじめ仮定した系統関係(図 1)に一致した。

一方、現存生物の塩基配列のみしか既知でない場合には、共通祖先と共通祖先の間もしくは共通祖先と現存生物の間で起こった置換に関する情報を考慮できない。そのため、一般に、「現存 2 生物間の塩基相違数」 □ 3 □ 「現存 2 生物間の塩基置換数(共通祖先から各生物に至る進化過程で生じた塩基置換数の和)」という関係がある。問 2 では、現存生物間の塩基相違数を距離行列とみなして計算した結果、生物 □ 4 □ と比べて、生物 A もしくは B との塩基相違数が □ 5 □ 生物 □ 6 □ が生物 A と B の共通祖先と近縁であるとみなされ、図 1 や図 2 [手順 3 b] の系統樹と □ 7 □ 系統関係を示す系統樹が描かれたのである。

- | | | | | |
|--------|--------|--------|-----------|-----------|
| ア. 相対的 | イ. 有利 | ウ. 有害 | エ. 中立 | オ. 少ない |
| カ. 同じ | キ. 多い | ク. 異なる | ケ. \leq | コ. \geq |
| サ. = | シ. 生態的 | ス. 多様性 | セ. 選択 | ソ. 浮動 |
| タ. A | チ. B | ツ. C | テ. D | ト. X |
| ナ. Y | ニ. O | | | |

問題訂正〔理科（物理，生物）〕

問題冊子について次のとおり訂正があります。

(1) 理科（物理）

問題冊子 4～5 ページ 問題Ⅱ

問 1～問 4 の解答には

必要であれば π を用いよ。

(2) 理科（生物）

問題冊子 2 1 ページ 問題Ⅱ

2 1 ページの最後に以下を追記。

「ただし，ニューロン X と Y のどちらを刺激した場合でも，図 2 B, C, D で示す結果が得られたものとする。」