

〔Ⅰ〕以下の文章を読んで、設問に答えなさい。

植物は、食料や酸素の作り手などとして、人類にはなくてはならない存在である。日本は、南北に長い島国であり、亜熱帯から亜寒帯に及ぶ多様な気候が見られる。したがって、生息する植物も多様であり、日本でしか見ることができない固有種も多い。また、世界的に見ても顕著で普遍的な価値を有する種も少なくないことから、^①世界自然遺産に登録されている地域もある。

生物の分類法として、リンネの時代から長らく動物界と植物界に分ける二界説が用いられてきた。しかし、様々な生物の発見に伴い、生物を5つの界に分類する五界説が広く用いられるようになった。五界説では生物を、動物界、植物界、、原核生物界（モネラ界）、原生生物界に分類する。植物界は、乾燥や重力に適応したからだをもつ陸上植物からなる。一般的に植物界は、シダ植物、、コケ植物の3群に分類されている。根・茎・葉の区別があるシダ植物では、根によって吸収された水や養分は、通道組織であるを通して葉などに運ばれる。一方、コケ植物にはこの様な組織はない。

動物や植物の細胞は、核膜で覆われた核を持ち、細胞と呼ばれている。一方、細菌類やラン藻類の細胞では、染色体は核膜に囲まれておらず、ミトコンドリアやゴルジ体などの細胞小器官は見られない。この様な細胞は、原核細胞と呼ばれる。植物細胞は動物細胞と異なり、セルロースなどにより構成されるが細胞膜の外側に存在する。また、植物細胞には発達した液胞があり、栄養分や老廃物を貯蔵したり、浸透圧の調節をおこなったりしている。植物に特徴的な器官としては、栄養器官である根、茎、葉や、生殖器官である花がある。^②根は、地下部にあつて体を支えているだけでなく、土壌から水と養分を吸収するという重要な役割も担っている。

植物や一部の微生物が、外界から取り入れた二酸化炭素を炭素源として有機物を合成する働きをと呼ぶ。この中で特に^③太陽の光エネルギーを利用するものを光合成と呼ぶ。光合成の場となるのが、細胞小器官の一つである葉緑体である。葉緑体の内部には、多くの酵素が溶解し液状のと、扁平な袋状のチラコイドがある。チラコイドの膜には、クロロフィルなどのがあり光エネルギーの吸収を行っている。この様に、光エネルギーが関係する反応を反応といい、光合成ではチラコイドの膜にある2種類の反応系でおこる。

光合成速度は、光の強さ、温度や二酸化炭素濃度といった様々な生育条件により決まる。ある時間内に行われる光合成の量は、これらの環境条件の中で植物にとって最も不足する条件によって決まる。この条件のことを要因という。^④植物がどれくらい光合成を行ったかは、二酸化炭素の吸収量を測定することで知ることができる。また一方で、植物は呼吸により酸素を消費して二酸化炭素を放出している。したがって、光合成速度が呼吸速度を上回るような条件でないと、植物は生育することができない。

気孔から取り込まれた二酸化炭素は、植物内に大量に存在するリブローズビスリン酸カルボキシラーゼ/オキシゲナーゼ（以下ルビスコ）という酵素の働きにより、C5物質であるリブローズ1,5-ビスリン酸（RuBP）と反応し、C3化合物である3-ホスホグリセリン酸（3PG）が2分子生成する。ルビスコにより生成した3PGは、様々な反応を経て再びRuBPになる回路反応を形成しており、これは発見者の名前にちなんで (K) 回路と呼ばれている。光合成産物は、一時的に葉緑体中にデンプンとして蓄えられる。これが分解されて生成したスクロースは、師管を通して各器官に運ばれるが、これを (L) という。そして、根や種子などの貯蔵組織では再びデンプンとなり貯蔵される。

植物ゲノムの解析は、その機能を深く理解するだけでなく、それらの機能を利用する観点からも極めて重要な研究である。2000年には、高等モデル植物の一つ「シロイヌナズナ」の全ゲノムが解析され、植物の機能解析が飛躍的に進歩した。また、2011年には、シダ植物として初めてイヌカタヒバのゲノムが解読にされ、新聞でも取り上げられた。シダ植物は、乾燥耐性能力や耐病害虫性などの優れた性質を持っている。そこで、⑤ バイオテクノロジーによりこれらの機能を農作物に付与することができれば、品種改良に役立つことが期待される。

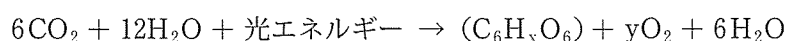
問1 文中の空欄 (A) ～ (L) に当てはまる語句を答えなさい。

問2 下線①について、2011年6月に世界自然遺産に登録された場所を、次の（あ）～（お）の中から一つ選び記号で選びなさい。

（あ）知床 （い）小笠原諸島 （う）屋久島 （え）白神山地 （お）平泉

問3 下線部②について、2011年3月の東北地方太平洋沖地震の時に発生した津波の影響として塩害が懸念されている。塩害とは、農地に含まれる塩分によって農作物の生育が阻害される現象を言う。塩害のメカニズムを浸透圧という言葉を用いて2行以内で説明しなさい。

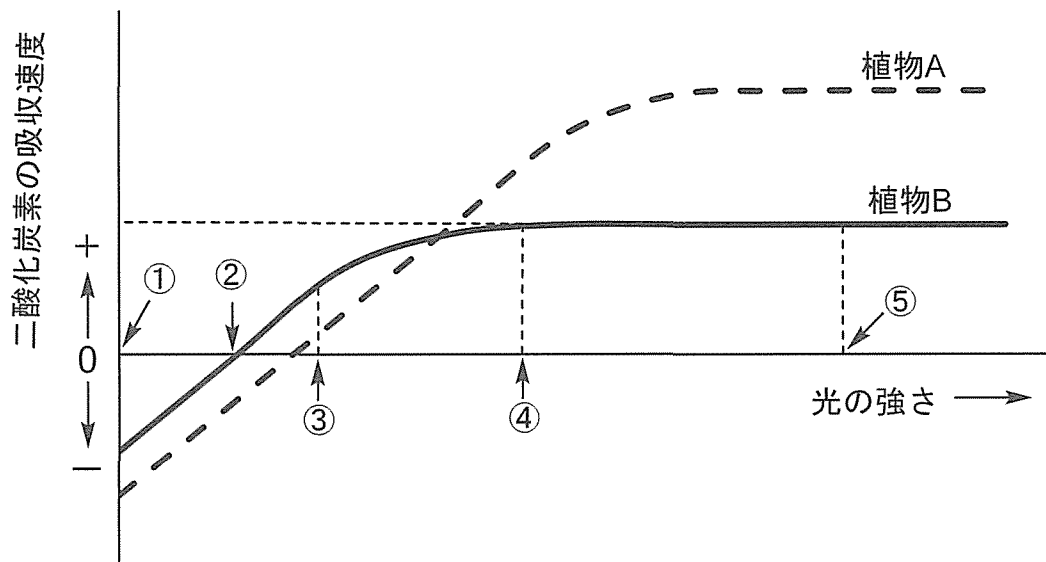
問4 下線部③について、光合成の反応をまとめると次式の様に表すことができる。x と y に適する数字を答えなさい。



問5 下線部④について、次の問いに答えなさい。

(1) 植物Aと植物Bについて、光の強さと二酸化炭素の吸収速度を調べたところ、以下の様なグラフになったと仮定する。植物Bの光飽和点を、グラフ中の光の強さ①～⑤から一つ選び番号で答えなさい。

(2) 日当たりの良い条件(光の強さ⑤)では、植物Aと植物Bのどちらが生育に適しているか答えなさい。また、その理由を2行以内で説明しなさい。



問6 下線部⑤について、バイオテクノロジーにより作成された以下の植物体(あ)～(お)の中で、親と全く同じ遺伝情報を持つものを一つ選び記号で答えなさい。

- (あ) ペチュニア由来の青色色素の生合成系遺伝子が導入されたバラ
- (い) トマトとジャガイモの細胞融合により作成されたポマト
- (う) 組織培養により大量生産された朝鮮人参
- (え) 放射線照射による突然変異により病原耐性を持つようになったナシ
- (お) コシヒカリと初星の交配により作り出されたひとめぼれ

〔Ⅱ〕以下の文章を読んで、設問に答えなさい。

ヒトの血液の有形成分として赤血球、(A)、そして(B)がある。(A)は進入した^①異物や細菌からの生体防御に、そして(B)は止血に役立っている。また、赤血球の主な役割は肺からの酸素の運搬であり、ヒトの赤血球は直径(あ)程度の大きさで、他の細胞と比べて(い)がないことが特徴である。赤血球の中には、その重さの1/3を占めるヘモグロビンというタンパク質が含まれている。ヘモグロビンは、2個のヘモグロビン α 鎖と2個のヘモグロビン β 鎖の計4個の単位から成り立っている。ヘモグロビンの α 鎖と β 鎖はそれぞれ酸素と結合することができるが、^②ヘモグロビンに何個の酸素が結合するかは、そのヘモグロビンが置かれている環境（酸素分圧や pH）に依存する。このヘモグロビンの遺伝病として、鎌状赤血球症とサラセミア症が知られている。

鎌状赤血球症とは、11番染色体にある^③ヘモグロビン β 鎖の第7番目にあるグルタミン酸を指定する塩基が置換されたために起こる常染色体劣性遺伝病である。鎌状赤血球症では、酸素が不足すると赤血球の形が鎌状になり、毛細血管を通過するときに赤血球が壊れやすいので貧血となる。遺伝子型が(C)接合型の場合、常時発症しているのでたいていの場合は成人前に死亡する。しかし、遺伝子型が(D)接合型の場合は、低酸素状態でのみ発症するので日常生活は営める。さて、鎌状赤血球症はおもにアフリカで多くみられる疾患であるが、マラリアの流行と深い関連がある。マラリアは、マラリア原虫が蚊の一種であるハマダラカを介して感染することでおこる感染症で、発症すると40度近い高熱が出る。もし、幼児期に罹患すると、死に至る可能性が高いのが特徴である。ヒトに感染したマラリア原虫は赤血球内で発育し、成長した原虫が血中に出るときに赤血球を破壊するため発熱する。しかし、鎌状赤血球症患者では、短時間に赤血球が壊れてしまう。したがって、マラリア原虫が増殖することができず、マラリアの発症を抑制できるのである。すなわち、鎌状赤血球症自体は、保因者の(う)に不利である。しかし、その遺伝子型が(D)接合型の場合は、非保因者と比べて相対的にマラリア感染に有利である。このような現象を(え)という。一方で、保因者ばかりになると、保因者同士の子には(C)接合型の遺伝子型を持つ確率が増える。したがって、非保因者が頻度依存淘汰的に不利になり、非保因者の割合も一定に保たれていると考えられている。

一方、サラセミア症の多くの場合は、ヘモグロビン遺伝子の^④スプライシングに関わる部位の塩基が変異したことが原因である。その結果、スプライシングが正常に行われず、イントロンを含む未完成な伝令 RNA は、核から(お)に輸送されないためにヘモグロビンへの翻訳が行われず、ヘモグロビン量が異常に低下するのである。

問1 文中の空欄 (A) ～ (D) に当てはまる語句を答えなさい。

問2 文中の空欄 (あ) ～ (お) にもっともよく当てはまる語句を、次の語群から1つずつ選んで答えなさい。

[語群]

0.1 μm 7 μm 70 μm 140 μm

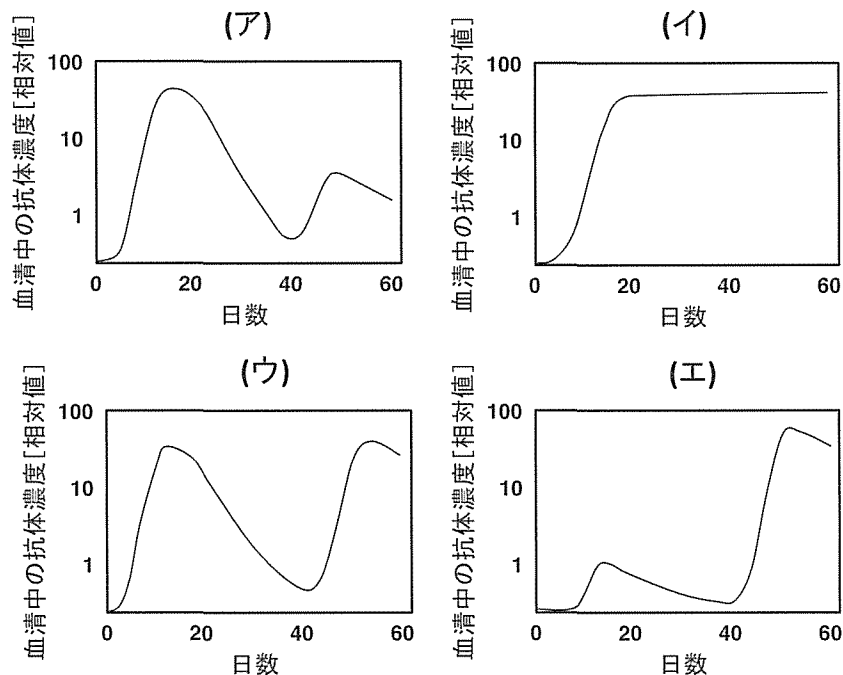
遺伝的浮動 細胞膜 有利 不利 中立説 感染

びん首効果 細胞質 生存 致死 自然選択 核

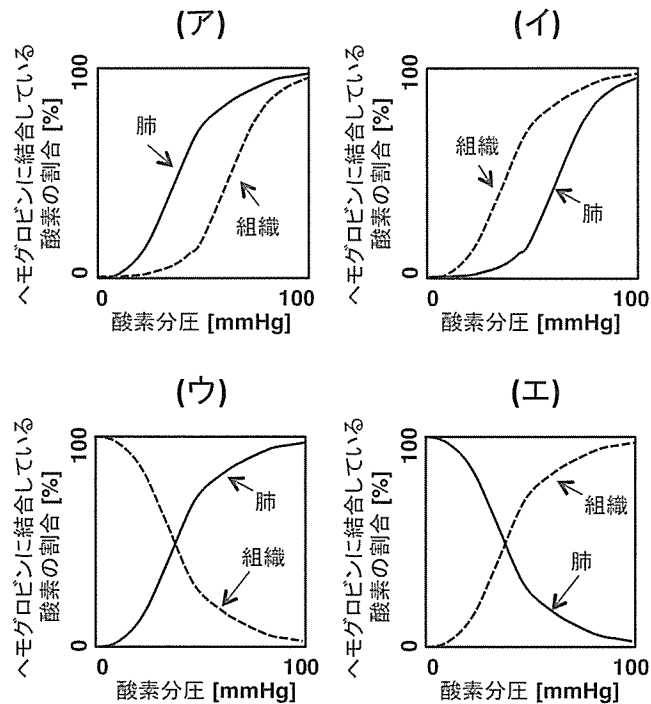
問3 下線部 ① について、以下の問に答えなさい。

(1) 生まれつき備わっている免疫を何というか回答欄 (a) に答えなさい。また、生後獲得する免疫のうち、免疫グロブリンが主に活躍する免疫を何というか回答欄 (b) に、リンパ球が主に活躍する免疫を何というか回答欄 (c) にそれぞれ答えなさい。

(2) 免疫における記憶の仕組みについて、抗原に対する一次応答と二次応答の様子を正しく示した図を、下図の (ア) ～ (エ) の中から1つ選び記号で答えなさい。なお、0日目に1回目の抗原を注射し、40日目に2回目の抗原注射をしたものとする。



問4 下線部②について、肺と末梢組織におけるヘモグロビンに結合している酸素の割合と、酸素分圧の関係を正しく示している図（酸素解離曲線）を、下図の（ア）～（エ）の中から1つ選び記号で答えなさい。なお、血液のpHが下がるとヘモグロビンと酸素の結合は弱くなる性質がある。



問5 下線部③について、以下の問に答えなさい。

(1) この様な変異を何というか、次の語群から1つ選んで答えなさい。

[語群]

染色体突然変異 欠失 断片化 逆位 点変異 転座

(2) 下図に2つのDNA配列がある。一つは正常な、もう一つは鎌状赤血球症を発症した患者のヘモグロビンβ鎖のDNA配列である。これらDNA配列は二つとも、全く同じ領域のDNA配列で、ヘモグロビンβ鎖の第1番目～第12番目のアミノ酸を指定するDNA配列を含んでいる。さてこの時、鎌状赤血球症を発症した患者のヘモグロビンβ鎖の第7番目のアミノ酸は何になるか答えなさい。

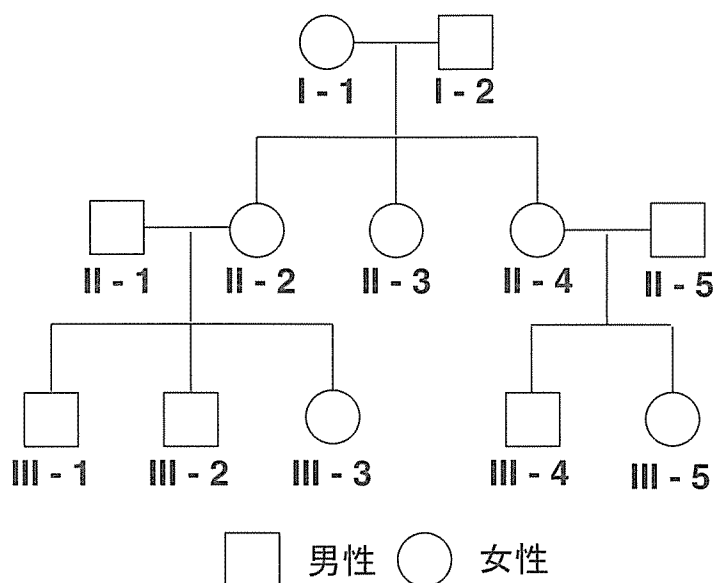
正常

caccatggtgcacctgactcctgaggagaagtctgccggt
gtggtaccacgtggactgaggactcctcttcagacggcaa

鎌状赤血球症

aacggcagacttctccacaggagtcaggtgcacatggtg
ttgccgtctgaagaggtgtcctcagtcacgtggtaccac

問6 次の家系図を見て答えなさい。



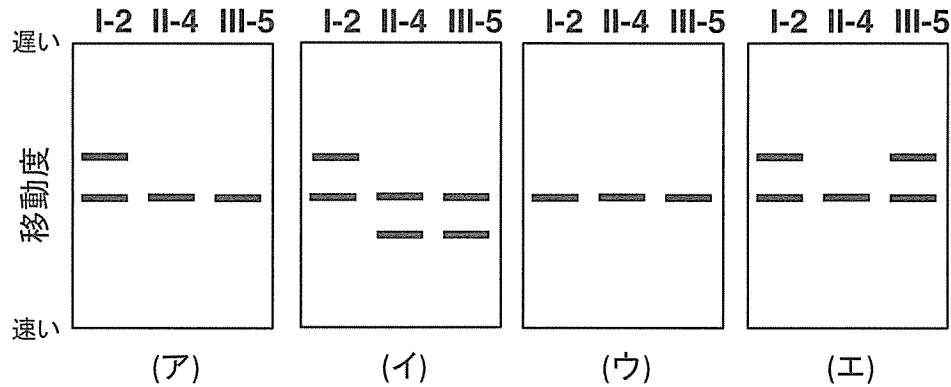
今、上図のような家系図を持つ、全員がアフリカ系アメリカ人の家族がいると仮定する。アフリカ系アメリカ人社会においては、鎌状赤血球症を発症する割合は出生数400人あたり1人でみられる。この時、ハーディー・ワインベルグの法則が成り立つとすると、鎌状赤血球症保因者の確率は〔ア〕となる。もし、I-2が鎌状赤血球症の保因者である（その確率は100%）とすると、II-2が鎌状赤血球症原因遺伝子を受け継ぐ確率は、父親から2分の1、すなわち〔イ〕の確率で原因遺伝子を受け継ぎ、母親からも5%の確率で原因遺伝子を受け継ぐ。したがって、II-2は〔ウ〕の確率で保因者となる。またその時、III-2が保因者となる確率は〔エ〕となる。一方で、III-5が鎌状赤血球症を発症する確率は、両方の親から変異アレルを受け継ぐ場合であるので、その確率は〔オ〕となる。

(1) 文中の空欄〔ア〕～〔オ〕に入る適切な数字を、次の選択肢の中から選んで答えなさい。

なお、小数点第1位は四捨五入して計算している。

1%	2%	5%	10%	25%	33%
50%	55%	60%	66%	75%	100%

- (2) I-2, II-4, および III-5 のそれぞれから DNA を採取し、ヘモグロビン β 鎖遺伝子を PCR にて増幅した。その後、増幅した DNA を寒天ゲル電気泳動にて分離後、DNA を染色した。下図の (ア) ~ (エ) のうち、正しい電気泳動の結果を示しているのはどれか、記号で答えなさい。



問 7 下線部 ④ について、次の問に答えなさい。

- (1) 完成した伝令 RNA となる部分に対応する DNA の領域を何というか、回答欄 (a) に答えなさい。また、転写後に取り除かれて完成した伝令 RNA に残らない部分に対応する DNA の領域を何というか、回答欄 (b) に答えなさい。
- (2) スプライシングの異常が原因で発症する遺伝病 X があると仮定する。この遺伝病では、スプライシングされない全ての伝令 RNA 前駆体そのまま翻訳されてしまうため、本来とは異なったアミノ酸配列をもつタンパク質ができてしまう。さて、下図にある伝令 RNA 前駆体の配列と、正常なスプライシングが行われてから翻訳されたペプチドのアミノ酸配列を示した。遺伝病 X の患者では、この伝令 RNA 前駆体からどのようなペプチドが翻訳されるか、そのアミノ酸配列を書きなさい。

伝令 RNA 前駆体

5'-caauggaagguucagucuaacuugaccuagcguugacuagu-3'

↓ スプライシング

伝令 RNA

↓ 翻訳

メチオニン-グルタミン酸-アラニン-ロイシン-トレオニン-セリン

表1

第 2 番 目 の 塩 基						
第 1 番 目 の 塩 基	U	UUU } フェニル UUC } アラニン UUA } ロイシン UUG }	UCU } UCC } セリン UCA } UCG }	UAU } チロシン UAC } UAA 終始 UAG 終始	UGU } システイン UGC } UGA 終始 UGG トリプトファン	U C A G
	C	CUU } CUC } ロイシン CUA } CUG }	CCU } CCC } プロリン CCA } CCG }	CAU } ヒスチジン CAC } CAA } グルタミン CAG }	CGU } CGC } アルギニン CGA } CGG }	U C A G
	A	AUU } イソロイシン AUC } AUA } AUG メチオニン (開始)	ACU } ACC } トレオニン ACA } ACG }	AAU } アスパラギン AAC } AAA } リシン AAG }	AGU } セリン AGC } AGA } アルギニン AGG }	U C A G
	G	GUU } GUC } バリン GUA } GUG }	GCU } GCC } アラニン GCA } GCG }	GAU } アスパラギン酸 GAC } GAA } グルタミン酸 GAG }	GGU } GGC } グリシン GGA } GGG }	U C A G

第 3 番 目 の 塩 基

〔Ⅲ〕以下の文章を読んで、設問に答えなさい。

高度な情報処理が行えるヒトの脳は、どのような進化の道筋を歩んできたのだろうか？ヒトの脳には約250億個の神経細胞があると言われている。イタリアの医学者ゴルジは、独自の染色法により神経細胞全体を染色した結果、神経細胞の軸索は互いに融合し巨大な網を形成しているという説を唱えた。一方、スペインの医学者であるカハールは、軸索同士は連結しておらず、神経細胞は一つ一つ独立したものであると主張した。後の研究から、カハールの主張が正しいことがわかった。つまり、神経細胞同士は融合しているわけではなく、^①せまいすきまを隔てて接続していたのである。また、神経細胞は著しく非対称な形をしており、細胞体からは (A) と長い軸索を伸ばしている。実際に、ヒトの最も長い神経細胞の中には、長さが (B) に達するものもある。

原始的な多細胞動物であり、胚葉をもたない海綿動物には神経系が存在しない。一方、二胚葉性の刺胞動物では、最も単純な神経系がみられる。例えば、刺胞動物であるヒドらは (C) 系をもち、外部からの刺激によって筋を収縮させることができる。三胚葉をもつ扁形動物プラナリアはさらに神経細胞が集合し、頭部に脳をもつことにより複雑な筋活動の制御が可能である。また、プラナリアには神経細胞同士を互いにつなぐ (D) も存在する。このように、より高度な情報処理を行うために、神経細胞同士のつながりを複雑化することが、多細胞生物の進化の上で重要であったと考えられる。さらに、一部の無脊椎動物では、非常に太い軸索をもつ神経細胞がみられる。また、脊椎動物では軸索のまわりが髄鞘で囲まれており、活動電流を隣接するランビエ絞輪まで (E) させることができる。このような特徴は、神経細胞の軸索内を興奮が伝わる速度を速くして、より高速な情報処理を行うための進化であると考えられる。

種々の ^②脊椎動物の脳を比較してみると、基本的な構成は共通しており、それぞれの構成要素はさまざまな体のはたらきを分担していることがわかる。そして、これらの構成要素を各動物に適した割合へと段階的に変化させつつ脳が進化してきたことがわかる。

問1 文中の空欄 (A) ～ (E) に当てはまる語句を次の語群より選んで答えなさい。

〔語群〕

1 mm	1 cm	10 cm	1 m	10 m	50 m	100 m
介在神経	末梢神経	跳躍伝導	反射	大きく	小さく	
反射神経	網状神経	樹状突起	伝達	シュワン細胞		
集中神経	散在神経	ニューロン	水管	グリア細胞		

問2 下線部①について、以下の設問に答えなさい。

(1) この神経細胞同士を結ぶ接続部位の名称を答えなさい。また、この接続部位では化学物質のはたらきにより、次の神経細胞へ情報が伝達されているが、このような物質を何というか答えなさい。

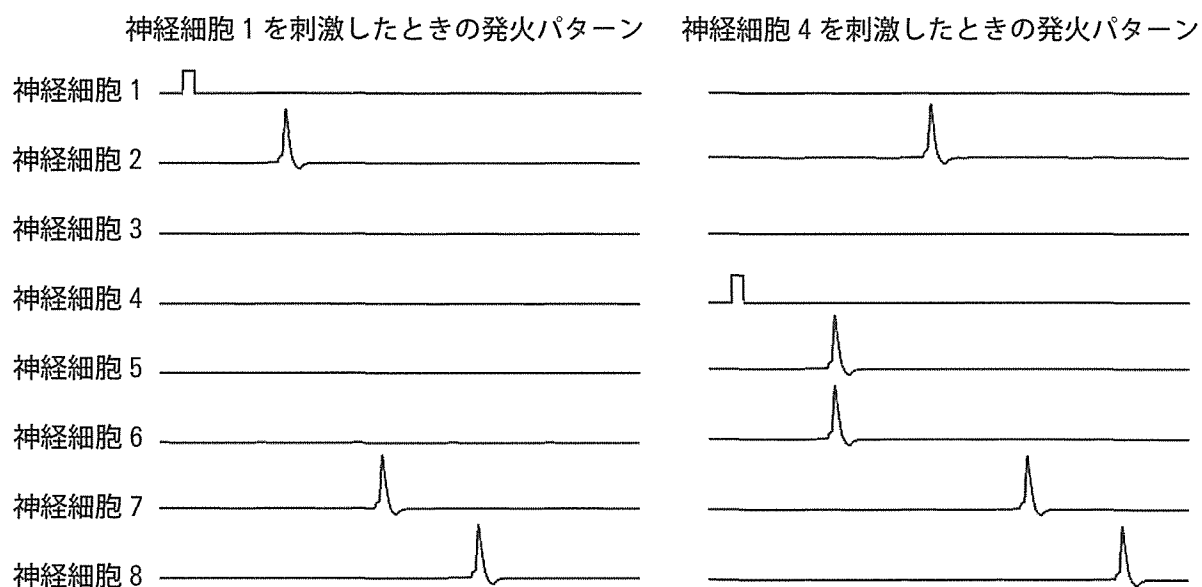
(2) 隣接する次の神経細胞への情報は、一方向にしか伝達しない。その理由を2行以内で説明しなさい。

問3 神経細胞1番～8番は、互いに以下の表のような接続があることがわかっているが、興奮の伝わる方向は明らかになっていない。

1 と 2 が接続	2 と 5 が接続	2 と 7 が接続	3 と 8 が接続
4 と 5 が接続	4 と 6 が接続	7 と 8 が接続	

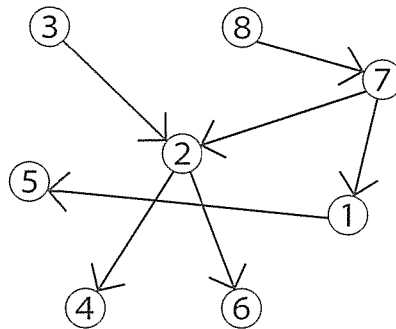
1番～8番全体の神経接続関係と興奮の伝達する方向を明らかにするために、以下の実験を行った。

＜実験＞ 1番の神経細胞の細胞体を人工的に興奮させると、残りの神経細胞にそれぞれ下左図のような異なるタイミングでの神経発火パターンが観察された。また、4番の神経細胞の細胞体を人工的に興奮させると、下右図のような神経発火パターンが観察された。ただし、興奮の神経細胞1つあたりを伝わる時間は一定であり、必ず次の神経細胞へ伝達されるものとする。



(1) それぞれの神経細胞間の接続と興奮の伝わる方向を、以下の解答例を参考に矢印で答えなさい。

回答例)

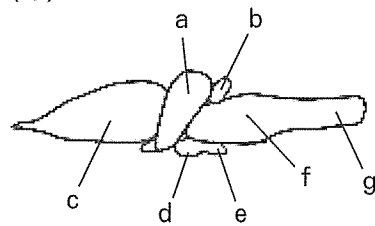


(2) 上の実験において1番の神経細胞の細胞体を人工的に刺激してから8番の神経細胞が発火するまでにかかる時間を計測したところ、18/1000秒であった。この結果から神経細胞1つあたりの興奮が伝わる時間を求めなさい。

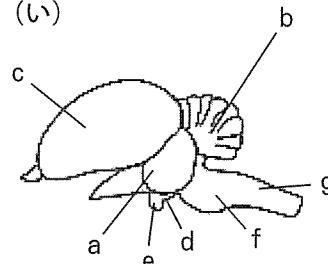
問4 下線部②について、以下の問いに答えなさい。

下図(あ)～(か)はそれぞれ異なる脊椎動物の脳を模式的に示した図である。

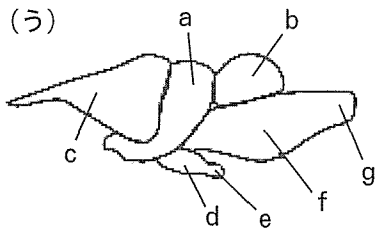
(あ)



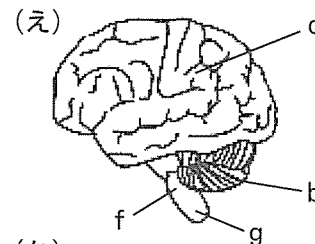
(い)



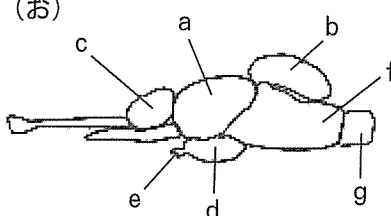
(う)



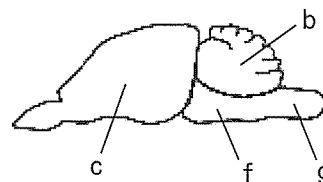
(え)



(お)



(か)



(1) 図中a, b, d, e, gに相当する各部位の名称を次の語群の(1)～(10)より選び数字で答えなさい。また、その部位の特徴を最も良く表した文章を次の選択肢(ア)～(ケ)より選び記号で答えなさい。

[語群]

- (1) 小脳 (2) 大脳 (3) 中脳 (4) 間脳 (5) 海馬
(6) 延髄 (7) 脊髄 (8) 脳下垂体 (9) 交感神経 (10) 副交感神経

[選択肢]

- (ア) 物を持ったときの筋力調節を担う
(イ) メラトニンを分泌する
(ウ) ホルモンを分泌する
(エ) 膝をたたくと脚が前に動く現象に関わる
(オ) 二酸化炭素の濃度に応じて呼吸の頻度を調節する
(カ) 哺乳類において顕著に発達している
(キ) 眼球や瞳孔の動きを調節する
(ク) 体温と血糖値を調節する

- (2) 次の表は脊椎動物 A～F のもつ特徴を示している。表中の左列に示した特徴がある場合は○，特徴がない場合は×を示してある。前の図中の(あ)および(か)の脳を有する動物は，A～F のうちいずれに該当すると考えられるか，それぞれ記号で答えなさい。

	A	B	C	D	E	F
脊椎	○	○	○	○	○	○
顎骨	×	○	○	○	○	○
四肢	×	×	○	○	○	○
羊膜	×	×	×	○	○	○
胎生	×	×	×	×	×	○
羽毛	×	×	×	×	○	×

問5 以下の文章のうち間違っているものを2つ選び記号で答えなさい。

- (ア) 環形動物は体節ごとに神経節をもつ
(イ) 空を飛ぶ鳥類は運動に重要な小脳が発達している
(ウ) 神経は中胚葉由来の組織である
(エ) 自律神経系は末梢神経に含まれる
(オ) 副交感神経は胃腸活動を促進する
(カ) 反射には感覚神経，介在神経，運動神経が必要である