

生物

第1問

以下の文章を読んで、下の問い（問1～4）に答えよ。

(a) 髄鞘は、個々の繊維を分離させている（ア）の役目をしている。神経繊維の興奮が一つの繊維から他の繊維に伝わり、その結果「混線」が生じるのを防止している。ただ一つ、科学者にとってわからなかったことは、なぜ髄鞘が電線の被膜のように連続してなく、長さ1ミリの断片からなっているかということだ。髄鞘はある間隔をおいて欠けており、この部分を（イ）とよび、神経繊維が裸になっている。

神経繊維の本来の薄い細胞膜は、物質を選択的に透過させる。すなわち、ある物質は通すが、別の物質は通さない。カリウムと水素イオンはこの細胞膜を自由に通過するが、他の陽イオン、たとえばナトリウムイオン、カルシウムイオン、それに陰イオンも通さない。

この細胞膜の両側ではイオン濃度は一般的に異なっている。すなわち、神経繊維内部のナトリウムと塩素のイオン濃度は、組織液中の濃度の10分の1だが、そのかわり（ウ）イオンの濃度は20倍に達する。だから（ウ）の陽イオンは外に出ようとし、神経繊維の外側にプラスの電荷をつくる。一方、陰イオンは、（ウ）を追いかけることができず、神経繊維の内側にたまり、そこにマイナスの電荷をつくる。それゆえ細胞膜の内側はつねにマイナスの電気をおび、外側はプラスの電気をおびる。この電位の差、すなわち（エ）は50～90mVである。

この（エ）は、神経繊維に興奮が生じるまで一定に保持される。(b) 神経細胞、神経終末あるいは神経繊維のほかの部分が刺激をうけ、そこに興奮が生じると細胞膜の透過性が短時間ではあるが、ただちに変化する。ナトリウムイオンは細胞膜を通って細胞中にはいり、そのため神経繊維の細胞膜の分極が逆転し、外側がマイナスの電位、内側がプラスの電位となる。この結果、細胞内の二つ隣り合う部分は、そのあいだになんの仕切りもないのに、電位はプラス・マイナスが逆になる。

しかし、この状態は長続きせず、隣り合った部分のあいだを電流が流れ、電氣的パルスを生じる。電流は、これまでマイナスの電位をもっていた神経繊維の隣の部分を

興奮させ、その結果、細胞膜はナトリウムを通すようになり、電位がプラスになる。だがこれが起こるや否や、新たに興奮させられた繊維の部分とつぎの部分とのあいだに電流が流れ、以後これがくり返される。神経インパルスが神経繊維を通過する現象は、この過程の無限の反復からなっている。髄鞘でおおわれていない細い繊維では、このようにして興奮が伝わる。

「おもしろい生理学」セルゲーエフ著、金光不二夫訳、pp. 183-185、一部改変

問 1 下線部 (a) に示す髄鞘はある細胞が軸索に何重にも巻き付いてできている。この髄鞘を作っている細胞を答えよ。また髄鞘があることで起きる伝導を答えよ。

問 2 (ア)～(エ) に適切な単語を入れよ。

問 3 下線部 (b) に示される電位について、この神経細胞が興奮するときの電位変化を図 1 に示す。

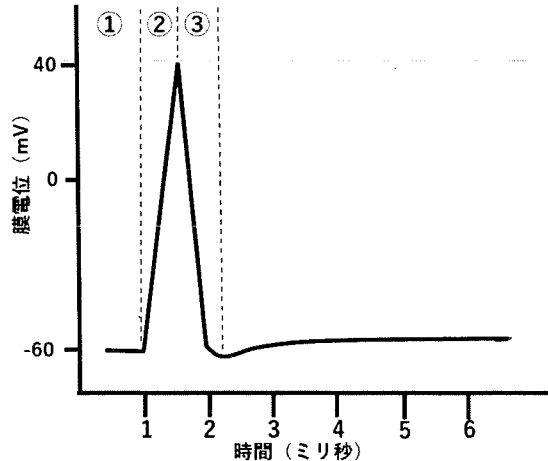


図 1 神経細胞の電位変化

図中の①～③の各状態のときに起きているイオンの流れとイオンチャネルやポンプとの関係を、以下の語句を用いて、それぞれ①60字、②65字、③90字以内で簡潔に説明せよ。

語句：カリウムチャネル、ナトリウムチャネル、ナトリウムポンプ

問 4 神経が受ける刺激の強さと感覚の強さについて以下の問いに答えよ。

1) 下線部 (b) の電位が生じた場所が、短い時間ではあるが別の刺激に反応できない状態となる。その理由を 30 字以内で答えよ。

2) 刺激を受けた時、与えられた刺激が弱いときは反応せず、ある強さ以上になって初めて反応する現象がある。この現象を何というか答えよ。

第2問

ABO式血液型に関する次の文章を読み、下の問い（問1～5）に答えよ。

ヒトの個体間で血液を混ぜ合わせると、血液が凝集する(固まる)ことがある。これは、一方の個体の血漿中に含まれる（ア）と呼ばれるタンパク質と、他方の個体の赤血球表面にある（イ）と呼ばれる糖鎖とが（ウ）を起こすためである。このような反応の起こり方によって血液を分類したものが血液型である。ABO式血液型はその1つであり、その表現型にはA型・B型・AB型・O型の4種類がある。

表1にまとめられるように、血液型がA型のヒトの赤血球にはA型の糖鎖が、B型のヒトの赤血球にはB型の糖鎖が、AB型のヒトの赤血球にはA型とB型の糖鎖がともにあり、O型の赤血球には基本となるH型の糖鎖はあるがAまたはBの糖鎖は存在しない。血漿中のタンパク質についても表中に示す通りに存在する。

また、ヒトのABO式血液型を決める複対立遺伝子（A, B, O）は常染色体上に存在し、メンデルの遺伝の法則に従って次世代に遺伝する。遺伝子AとBはOに対して顕性であり、AとBの間には顕性・潜性の差はない。

表1 ABO式血液型の赤血球上の糖鎖と血漿中のタンパク質の関係

血液型	赤血球上の糖鎖	血漿中のタンパク質
A型	A	B
B型	B	A
AB型	A, B	なし
O型	H	α , β

問1 空欄（ア）（イ）（ウ）に入る適切な語句を下記から選択せよ。

語句：酵素，凝集素，凝集原，繊維素，
線維素原，血液凝固反応，抗原抗体反応

問 2 ある家系における血液型の表現型を図 1 に示す。図中の X, Y, Z の血液型を遺伝子型で答えよ。複数考えられる場合はすべてを答えよ。

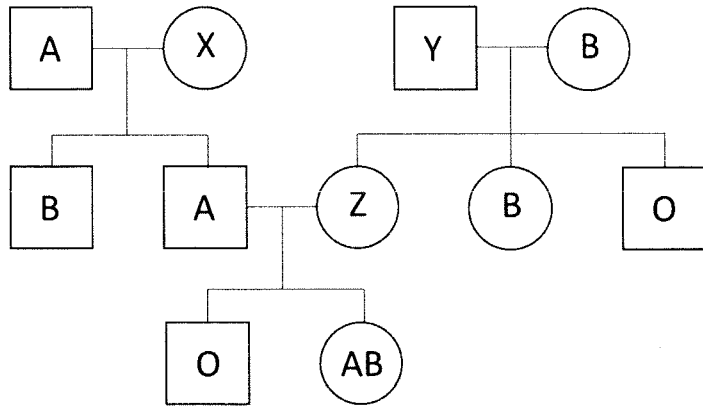


図 1 家系図

問 3 あるヒトからあるヒトへ赤血球輸血を行う場合を考える。表 1 を参考にしながら、表 2 の①②③④の組み合わせについて凝集が起こるか否かを答えよ。

表 2 輸血の組み合わせ

		血液を提供するヒトの血液型			
		A 型	B 型	AB 型	O 型
ヒトの血液型 輸血を受ける	A 型				①
	B 型			②	
	AB 型		③		
	O 型	④			

問 4 あるヒトの集団において ABO 式血液型の表現型を調べたところ、A 型が 39%、B 型が 24%、AB 型が 12%、O 型が 25%であった。この集団ではハーディ・ワインベルグの法則が成り立っていると仮定して、この集団における A 型遺伝子、B 型遺伝子、O 型遺伝子の頻度を求め小数で答えよ。

問 5 血液型は、ABO 血液型以外にもおよそ 400 種類存在する。中でも、Rh 血液型は ABO 血液型に次いで輸血医学上重要な血液型である。Rh 血液型では主要な抗原である D, C, E, c, e を含め多数の抗原が関与しているが、中でも D 抗原が最も重要であり、D 抗原を持つヒトを Rh(+), もたないヒトを Rh(-) と定義している。D 抗原の有無は、第 1 番染色体に RhD 遺伝子が存在するかどうかで決まり、Rh(+)のヒトは一对の第 1 番染色体の両方あるいは片方に RhD 遺伝子が存在している。**問 4** と同じヒトの集団において、RhD 遺伝子の出現頻度は 0.9 であるとする。ハーディ・ワインベルグの法則が成り立つと仮定して、この集団における AB 型でかつ Rh(-) のヒトの割合を求めパーセントで答えよ。

第3問

次の文章を読み、下の問い（問1～5）に答えよ。

蛍光タンパク質である GFP を大腸菌内で発現させるために、遺伝子組換え実験を行った。まず、耐熱性 DNA ポリメラーゼを用いて DNA 断片を短時間で多量に増幅することが可能な（ア）法で GFP 遺伝子と同じ配列を持つ DNA 断片を増幅した。その後、(a) 電気泳動により想定通りの DNA 断片の増幅を確認した。このとき、増幅した DNA 断片の末端に（イ）である *EcoRI*, *XhoI* が認識し、切断する塩基配列を追加しておく。次に、(b) 特定の塩基配列を認識する（イ）である *EcoRI*, *XhoI* により増幅した DNA 断片およびプラスミドを切断した。切断後、DNA 断片とプラスミドを（ウ）を用いて連結させた。（ア）法はある一定の頻度で塩基に変異が入ってしまう。そのため、プラスミドに組み込んだ GFP 遺伝子の塩基配列が正しいのか確認するために、(c) 改良型サンガー法を用いて塩基配列を解析した。

次に、GFP 遺伝子が組み込まれたプラスミドを大腸菌に取り込ませることで、大腸菌内で GFP の合成を試みた。大腸菌内では、プラスミドにあるプロモーターに（エ）が結合することで mRNA が（オ）される。次に mRNA の塩基配列に従って (d) 翻訳が起こることで GFP が合成される。大腸菌内で GFP が大量に合成されていれば、大腸菌に紫外線を照射することで緑色の蛍光が観察される。

問1 文章中の（ア）～（オ）に最も適切な語句を入れよ。

問2 下線 (a) の電気泳動について、下記の問いに答えよ。

(ア) 法で増幅した DNA は+極、-極のどちらに泳動されるのか、図1で示したいずれかの矢印を丸で選択せよ。また、DNA はなぜ電気泳動されるのか40字以内で答えよ。

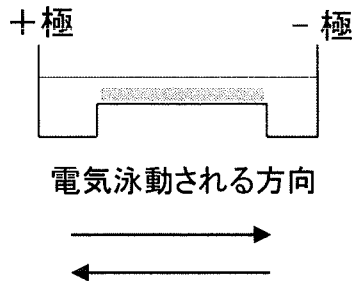


図1 電気泳動

問3 下線 (b) に関して、*EcoRI*、*XhoI* で切断した DNA 断片の塩基配列を図2に示す。下記の1)～4)はプラスミドの塩基配列の一部を示している。DNA断片と連結することができるプラスミドの塩基配列を1)～4)から1つ選び、番号で答えよ (Xは任意の塩基、YはXと相補の塩基を示している)。

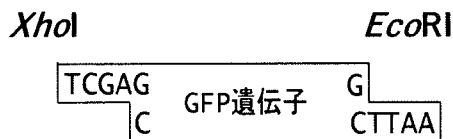


図2 DNA断片

- 1) 5'- XXXCTCGAGXXXXXGAATTCXXX
3'- YYYGAGCTCYYYYYCTTAAGYYY

- 2) 5'- XXXCTCGAGXXXXXGTTAAGXXX
3'- YYYGAGCTCYYYYYCAATTCYYY

3) 5'- XXXGTAGAGXXXXXGTTAACXXX
3'- YYYCATCTCYYYYYCAATTGYYY

4) 5'- XXXTCGAGXXXXXGTTAAXXX
3'- YYYAGCTCYYYYYCAATTYYY

問 4 下線 (c) の改良型サンガー法について、1)、2)の問いに答えよ。

1) 以下の文章は改良型サンガー法で塩基配列を決定する原理について説明している。(カ)～(ケ)に入る最も適切な語句を下記から選択せよ。

改良型サンガー法とは、調べたい DNA の(カ)DNA を鋳型として、(カ) DNA に結合するプライマーを用いて(キ)DNA 鎖を合成する。DNA を合成する際、反応液にヌクレオチドと似た化合物を混合しておくこと、ヌクレオチドと似た化合物が一定の確率で取り込まれることでヌクレオチドの伸長は(ク)する。例えば、ヌクレオチドである A と似た化合物を混ぜておくと(ケ)大きさの DNA が合成される。同様の反応を T, G, C でも行い、電気泳動を行うことで、調べたい DNA の塩基配列を推定することができる。

語句：片方の、類似な、両方の、停止、二本鎖、相補的な、
進行、延長、様々な、一定の

2) A, T, G, C と似た化合物をそれぞれ混ぜた溶液を用いて反応後, 電気泳動を行なった結果, 図 3 の結果が得られた。調べたい DNA の塩基配列を 5'末端から記載せよ。

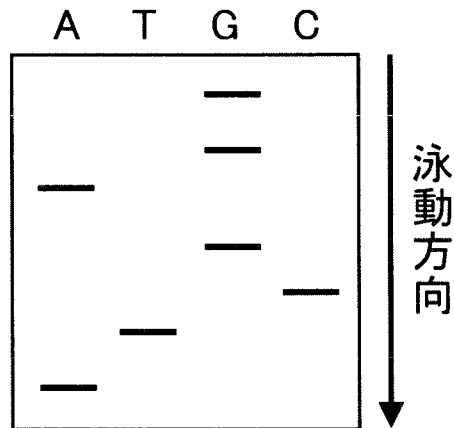


図 3 電気泳動

問 5 下線 (d) の翻訳の説明について, 正しいものを次の 1) ~ 6) からすべて選び, 番号で答えよ。

- 1) tRNA はアミノ酸をリボソームへと運ぶ。
- 2) tRNA にはコドンと呼ばれる塩基配列がある。
- 3) リボソームは DNA に結合することでタンパク質合成が起こる。
- 4) タンパク質合成の開始点を示す開始コドンは AUG である。
- 5) リボソーム上でアミノ酸どうしがポリペプチド結合によって連結される。
- 6) コドンは 20 通りある。

第4問

次の文章を読み、下の問い（問1～3）に答えよ。

地球上で生物が進化してきた道筋は系統と呼ばれる。複数の生物間での系統関係を推定するため、形態や発生の様式などの形質を比較し、それらの共通性が着目されてきた。しかし形態の類似には、(a) 共通の祖先の形質が引き継がれたことによる類似と、(b) 系統関係はないが同じ機能を持つ形態が独立に進化したことによる類似があり、系統関係の推定において混乱を生じさせる一因となっている。

そこで近年では DNA の塩基配列やタンパク質のアミノ酸配列などの分子データを比較して系統樹を作成する方法が用いられるようになってきた。ある特定の遺伝子の塩基配列やアミノ酸配列を生物間で比較すると、(c) 種間で異なる塩基やアミノ酸の数は分岐後の経過時間に比例して増加する傾向がある。このことは生物が共通祖先から分岐してどれくらい時間が経っているかの指標として用いることができる。これに、化石から推定される祖先種の生息年代を合わせ、分岐年代を推測することも可能である。

また、木村資生が提唱した（ア）説によると、DNA 配列に起こる突然変異は自然選択に対して、①有利なもの、②不利なもの、③どちらでもないもののうち、（イ）が大部分で、このような突然変異は（ウ）によって集団全体に広がる可能性があると考えられている。

問1 下線 (a) ～ (c) のことをそれぞれ何と呼ぶかを答えよ。また、空欄（ア）（ウ）に入る適切な語句と、空欄（イ）に①～③のどれが当てはまるかを答えよ。

問2 塩基配列が変化する速度にはいくつかの傾向が見られる。例えば、アミノ酸の種類の変化を伴わない同義置換率とアミノ酸の変化を伴う非同義置換率はタンパク質の種類によって異なる。以下の表1はヒトとマウスで比較したヒストンサブユニットの1つと成長ホルモンの同義置換率と非同義置換率（1塩基あたり10億年あたり）である。

表1 タンパク分子の置換率

	非同義置換率	同義置換率
ヒストンサブユニットの1つ	0.0	3.9
成長ホルモン	1.3	3.8

- 1) どちらの分子においても同義置換率の方が非同義置換率より高い理由を、空欄（ア）と（ウ）に入れた単語を用いて、100字程度で答えよ。
- 2) ヒストンサブユニットはDNAを巻きつけて核内に収納する役割がある。一方、成長ホルモンは標的細胞の受容体に結合することで作用する。これらの分子で非同義置換率が異なる理由を100字程度で答えよ。

問3 120アミノ酸から成るタンパク質Xのアミノ酸配列を比較したところ、4種の動物間でのアミノ酸の置換数は以下の表2のようになった。例えば、ヒトとネコで2種間のタンパク質Xのアミノ酸配列を比べたとき、18箇所の座位でアミノ酸が異なっていた。下線部(c)が成り立つと考え、以下の問いに答えよ。

表2 アミノ酸置換数

	ヒト	ネコ	カエル
ネコ	18		
カエル	60	58	
メダカ	64	68	66

- 1) ヒトとネコがその共通祖先から分岐したのが約9500万年前と考えられている。タンパク質Xのアミノ酸座位1個に置換が起こる率は1000万年あたりでどれくらいか。有効数字2桁で答えよ。
- 2) ヒトとカエルがその共通祖先から分岐したのは今から何億年前と考えられるか。ヒト、ネコ、カエル間のアミノ酸の置換数の平均から計算し、有効数字2桁で答えよ。