

生 物

(4 問題 100 点)

生物問題 I

次の文を読み、問1～問3に答えよ。解答はすべて所定の解答欄に記入せよ。なお、文中の は ですすでに与えられたものと同じものを表す。

神経細胞の細胞膜は ア 二重層を基本構造とする。 ア は分子内に親水性の部分と疎水性の部分を持つため、細胞膜の断面は図1 イ に示すような構造を形成する。一般に、イオンは ア 二重層膜を通過できず、細胞内と細胞外ではイオンの組成が大きく異なっている。たとえば、 K^+ 濃度は細胞外よりも細胞内で高く、逆に、 Na^+ 濃度は細胞外よりも細胞内で低い。この K^+ と Na^+ の不均等な分布は、細胞膜を貫通した構造を持つある種のタンパク質(図1中のP1)が ウ を加水分解して得られるエネルギーを利用してこれらのイオンを エ 輸送することによって維持されている。また、分泌や筋肉の収縮に重要な役割を果たす オ の濃度も細胞外に比べて細胞内で低いことが知られている。

外部からの刺激がない状態では、神経細胞の内部は外部に対して負の電位を有している。これを静止電位と呼ぶ。この静止電位が生じる機構を調べるために、イカの神経細胞膜を用いて細胞外 K^+ の濃度を $10 \times 10^{-3} \text{ mol/l}$, $20 \times 10^{-3} \text{ mol/l}$, $50 \times 10^{-3} \text{ mol/l}$, $100 \times 10^{-3} \text{ mol/l}$, $200 \times 10^{-3} \text{ mol/l}$, $500 \times 10^{-3} \text{ mol/l}$ と変化させ、ガラス微小電極によって静止電位を記録した。その結果、図2の片対数グラフに示すようなデータが得られた。この実験結果は、外部から刺激のない状態では、神経細胞の細胞膜は K^+ に対して高い透過性を有することを示している。神経細胞の細胞膜がこのような性質を持つのは、細胞の内外を貫通し、特定のイオン(この場合 K^+) のみを透過させる特殊な構造を持つ膜タンパク質(図1中のP2)が存在するためである。このような膜タンパク質は一般にイオンチャネルと呼ばれている。

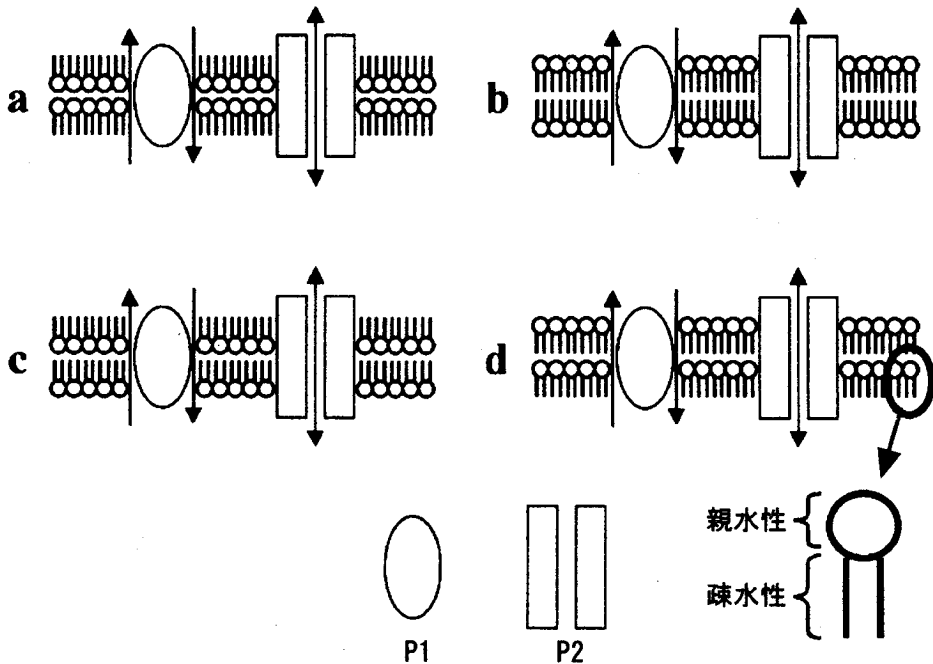


図 1

(注) P1, P2 はタンパク質を, 膜に対して垂直な矢印はイオンの流れを表す。また, a~dのそれぞれにおいて, 上方が細胞外, 下方が細胞内を表すものとする。

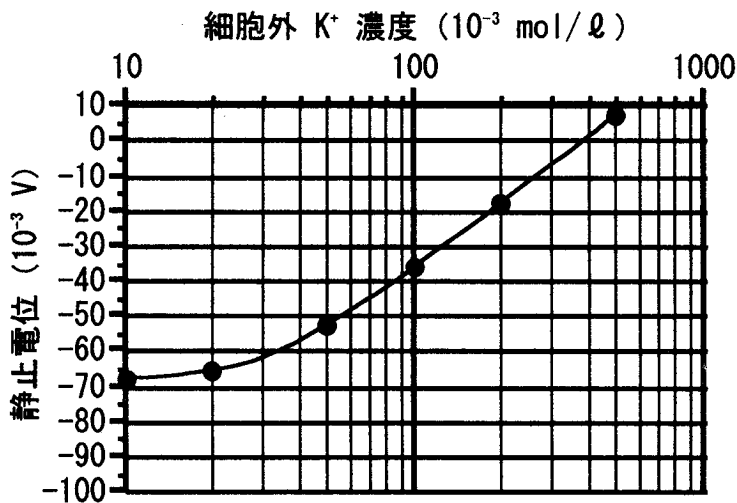


図 2

問 1 文中の **ア** ~ **オ** を適切な語句で埋めよ。ただし **イ** については、図 1 中の選択肢 a ~ d の中から適切なものを選び。

問 2 図 2 の実験結果のうち、細胞外 K^+ 濃度が $50 \times 10^{-3} \text{ mol/l}$ より高い領域での細胞外 K^+ 濃度と静止電位の関係を表すのに最も適切な式を以下から選び、記号で答えよ。

(い) $V_m = 10 \times \log_{10} \frac{[K^+]_i}{[K^+]_o}$

(ろ) $V_m = 60 \times \log_{10} \frac{[K^+]_i}{[K^+]_o}$

(は) $V_m = 10 \times \log_{10} \frac{[K^+]_o}{[K^+]_i}$

(に) $V_m = 60 \times \log_{10} \frac{[K^+]_o}{[K^+]_i}$

ただし、 V_m は静止電位、 $[K^+]_o$ は細胞外 K^+ 濃度、 $[K^+]_i$ は細胞内 K^+ 濃度である。

問 3 図 2 の実験結果から、この神経細胞の細胞内 K^+ 濃度は何 mol/l と推定されるか。ただし、 $[K^+]_o$ を変化させても $[K^+]_i$ は変動しないものと仮定する。

生物問題 II

次の文(A), (B)を読み, 問1~問4に答えよ。解答はすべて所定の解答欄に記入せよ。なお, 文中の は ですすでに与えられたものと同じものを表す。

(A) 遺伝学においては, 個体の表現型として ア と イ というものを考える。 ア とは, 異なる対立形質を持つ純系の個体同士を交配させた場合に雑種第1代で表現される性質のことを言い, イ とは, この際に打ち消されて表現されない性質のことを言う。これを遺伝子という単位を念頭において言い換えるならば, ア とは, ある対立遺伝子を ウ それに対応する性質が表現される場合を言う。ヒトの遺伝物質は主として細胞 エ に存在する オ であるが, 遺伝子暗号に従って実際に様々な機能を果す カ を合成するためには, オ の情報の一部がメッセンジャー RNA(伝令 RNA)として キ され, それが細胞 ク 中のリボソームで ケ される必要がある。

問1 文中の ア ~ ケ に適切な語句を下の(a)~(t)から選び, その記号を記入せよ。

- | | | |
|-------------|------------------|-------------|
| (a) 質 | (b) 核 | (c) 壁 |
| (d) 骨格 | (e) 外 | (f) ミトコンドリア |
| (g) タンパク質 | (h) 優性形質 | (i) 劣性形質 |
| (j) X染色体 | (k) Y染色体 | (l) 突然変異 |
| (m) 1個でも持てば | (n) 2個持ったときにはじめて | |
| (o) リボ核酸 | (p) デオキシリボ核酸 | (q) 翻訳 |
| (r) 複製 | (s) 転写 | (t) 分解 |

(B) 新進気鋭の分子生物学者である若狭博士は、あまり研究の進んでいないある病気(Y病)の原因に関わると推定される遺伝子を発見し、「EUREKA」と名付けた。若狭博士が「EUREKA 遺伝子の突然変異こそY病の原因である」と主張する根拠は、以下のようなものであった。

若狭博士の主張

知見 1) Y病患者3人の患部組織(注1)を調べたところ、EUREKA 遺伝子に対応する mRNA(注2)は検出されなかった。

知見 2) 3人のY病患者の中の1人(K君, 18才)のリンパ球から EUREKA 遺伝子を単離し、その塩基配列を解読したところ、Y病でない人のものと比べ、1塩基の違いがみつかった。

なお、この研究は、ヒトゲノム研究に関するガイドラインに従い、患者本人の同意を得た上で行なわれたものである。

一方、先輩の古井博士は、「これらの証拠だけでは、EUREKA 遺伝子がY病の原因と断定するには不十分である」と反論し、その理由として以下の問題点を挙げた。

古井博士の反論

あ) EUREKA 遺伝子に対応する mRNA が Y 病でない人の体で検出されるのかどうか明らかでない。

い) Y 病が遺伝子の異常によって起こる病気であるという証拠がない。

う) K 君の EUREKA 遺伝子に見つかった構造変化が意味のある変異であるという証拠がない。

え) 仮に K 君の EUREKA 遺伝子に見つかった構造変化が意味のある変異だとしても、これと EUREKA 遺伝子に対応する mRNA の量との関係が明らかでない。

そこで、若狭博士は、さらに研究を続け、以下のような新たな知見を得た。

若狭博士の新たな知見

知見 3) K君の父親の弟と、母親の母親も現在同じY病を患っている。しかし、似た生活環境と生活習慣のもとで暮らしている他の家族にはY病は見られない。遠隔地に住んでいる他の2人の患者についても、親戚に発病者がいる。

知見 4) K君の患部組織およびリンパ球内には *EUREKA* 遺伝子に対応する mRNA が検出できなかったが、Y病でない人の対応する組織およびリンパ球では *EUREKA* 遺伝子に対応する mRNA がはっきりと検出できた。

知見 5) Y病でない人のリンパ球から単離された *EUREKA* 遺伝子全長を含む染色体 DNA 断片の一部に、標識となる塩基配列を人工的に付加し、これをY病でないヒトのリンパ球から得た培養細胞に導入したところ、もともと細胞内に存在する mRNA の他に、新たに導入された *EUREKA* 遺伝子に対応する mRNA も検出された。一方、K君のリンパ球から単離された DNA 断片を用いて同様な実験を行ったところ、新たに導入された *EUREKA* 遺伝子に対応する mRNA は検出されなかった。

(注1) この組織は、リンパ球ではない。

(注2) 文中では、メッセンジャー RNA を mRNA と略記してある。

問 2 知見 5 の下線部のような結果が得られた原因として、以下のうち、明らかに不適切と考えられるものをすべて選び、記号で答えよ。

- (a) この DNA 断片には *EUREKA* 遺伝子が含まれていない。
- (b) この DNA 断片は分解されやすい。
- (c) この DNA 断片には不純物が混入していた。
- (d) この DNA 断片に含まれる *EUREKA* 遺伝子は mRNA 合成を指令できない。
- (e) この DNA 断片に含まれる *EUREKA* 遺伝子から合成された mRNA は分解されやすい。
- (f) この DNA 断片に含まれる *EUREKA* 遺伝子から合成された mRNA はタンパク質をコードしていない。
- (g) この DNA 断片に含まれる *EUREKA* 遺伝子にコードされたタンパク質は分解されやすい。
- (h) この DNA 断片に含まれる *EUREKA* 遺伝子は細胞を殺す活性を持っている。
- (i) この DNA 断片に含まれる *EUREKA* 遺伝子は細胞を分裂させる活性を持っている。

問 3 若狭博士が得た新たな知見(3～5)は、古井博士の反論(あ～え)のどれに対応するものか。それぞれに該当するものをすべて、記号(あ～え)で記入せよ。

問 4 若狭博士の新たな知見を見た古井博士は、「『*EUREKA* 遺伝子の突然変異こそ Y 病の原因である』という主張には、まだ無理がある。」と感じた。若狭博士が自説をさらに確かめるのに必要と思われる実験を、簡潔な文章で 3 つ提案せよ。

生物問題 III

次の文(A)、(B)を読み、問1～問5に答えよ。解答はすべて所定の解答欄に記入せよ。

(A) ハツカネズミの胚は、受精後3日目には胚盤胞(胞胚)期に至り、胚内には腔が形成される。このことにより、腔の内外で細胞の局所性が生まれ、細胞分化の最初の方向付けがなされるといわれている。胚の外側を構成する細胞は、その後、胎盤の形成に関与するのに対し、胚の内側に位置する細胞の塊(内部細胞塊)は、胎児の体を構成するさまざまな組織や臓器に分化する。哺乳動物は、体細胞によって自らの組織を構築していくと同時に、種を維持するために重要な **ア** 細胞をつくる。これらは **イ** や **ウ** に分化し、子孫の形成に関わる。

受精卵のように、1つの個体を形成することができる能力を **エ** と呼ぶ。細胞分化の過程は非可逆的であると考えられるので、すでに細胞としての役割が決定している体細胞からの個体形成は困難であると考えられていた。しかし、現在では、体細胞の核を未受精卵の細胞質に移植(核移植)したものをを用いることによって個体(クローン個体)をつくることが可能となっている。表1は、ある哺乳動物種において、いろいろな細胞の核を用いてこのような実験を行った際に、クローン個体が生まれた効率を示す。

表 1

核の由来	クローン個体生成効率
発生初期の細胞	30%
内部細胞塊の細胞	20%
胎児の体細胞	5%
成体の体細胞	1%

問 1 文中の ア ~ エ に適切な語句を記入せよ。

問 2 下線部のような操作が成功するためには、未受精卵の細胞質が体細胞の核にどのような影響を与えることが必要と考えられるか。簡潔に記せ。

問 3 表 1 からどのようなことが推測されるか。簡潔に記せ。

(B) ヒトやハツカネズミの血液中には、赤血球、白血球、血小板など様々な種類の血球が存在する。成熟したこれらの血球は、一般に分裂能力を持たず、寿命も限られている。ハツカネズミの場合、顆粒球(白血球の一種)は1日、血小板は4日、赤血球は約20日で死滅する。ヒトやハツカネズミの骨髄中には造血幹細胞と呼ばれる細胞が存在することが知られている。この造血幹細胞の能力を調べるために次のような実験が行われた。

実験：ある量の放射線をハツカネズミAに照射したところ、2週間のあいだに血液中の血球が徐々に消失し、ハツカネズミAは死に至った。次に、同じ量の放射線を照射された別のハツカネズミBの骨髄に、無処理のハツカネズミCの骨髄から取り出した造血幹細胞を1個だけ移植したところ、このハツカネズミBはそのまま生存し続けた。死を免れたハツカネズミBは、正常な種類の血球を正常な数だけ持ち、そのほとんどは移植された1個の造血幹細胞に由来するものであった。

問 4 放射線照射によりハツカネズミAの血球が消失したのはなぜか。成熟した血球の寿命が限られていることをふまえて、簡潔に説明せよ。

問 5 上記の実験結果より、造血幹細胞にはどのような能力が備わっていると考えられるか。以下のうち、適切なものを2つ選び、解答欄の左側に記号を、また、右側にそれぞれの答えの根拠となる実験結果を、簡潔に記せ。

- (ア) 分裂するときに自分自身とまったく同じ性質の細胞をつくる能力
- (イ) 血球系以外の細胞に作用して分裂を引き起こす能力
- (ウ) 一つの個体を形成する能力
- (エ) 血球系以外の細胞に作用して血球への分化を引き起こす能力
- (オ) すべての種類の血球に分化する能力

生物問題 IV

次の文を読み、問1～問4に答えよ。解答はすべて所定の解答欄に記入せよ。なお、文中の は ですすでに与えられたものと同じものを表す。

水中に起源した緑色植物は、やがて陸に上がり、さまざまな環境に適応放散していった。図1は、現生の植物の系統樹である。これは、核酸の塩基配列と化石試料をもとに分岐関係や分岐年代を推定して得られたものである。

現生の陸上植物の中で種多様性が最も高いのは 植物で、その圧倒的優位が築かれたのは 紀であった。 植物のこの繁栄の背景には、それらの大半が動物媒であり、送粉(授粉)者との相互作用が植物の多様化を促進させた歴史があったと考えられている。例えば、 植物の多くは、送粉者に花蜜や花粉などを提供している。また、 植物の多くは果肉を発達させているが、これがトリやサルなどの 散布者をひきつけるのに役立っている。近年の森林伐採に伴う送粉者や 散布者の減少は、植物の繁殖に負の影響を及ぼしている可能性がある。また一方で、森林の分断化や孤立化は、そこに生息する生物の繁殖力や生存力の低下をもたらす。これは、生物の集団サイズが小さくなると、 交配の確率が高まるため、 接合体率が低下し、有害遺伝子の 接合体率が高まるためである。

植物の一部は二次的に水中にも分布を広げている。例えば、内湾にはア^①マモの海草群落が、池沼にはセキショウモやクロモ、フサモなどの沈水植物群落などが発達する。このような水中の生態系と比較して、森林生態系は、植物が生産した有機物が細胞壁として大量に蓄積されている点に特徴がある。石炭紀は大森林の時代とも称されるが、ヒカゲノカズラに近縁のリンボク^②など当時の植物が石炭として今日の地球に大量に蓄積されていることは、細胞壁の強力な分解者がそのころまだ出現していなかったことを示している。

細胞壁の主成分である は の重合体であるが、 を分解できる生物には木材腐朽菌や落葉腐朽菌などがある。 はゴキブリに近縁^③の昆虫で、社会性を発達させており、 分解酵素を持つ微生物を体内に共生

させている。これらの生物が分解者として森林生態系の維持に果している役割は大きい。

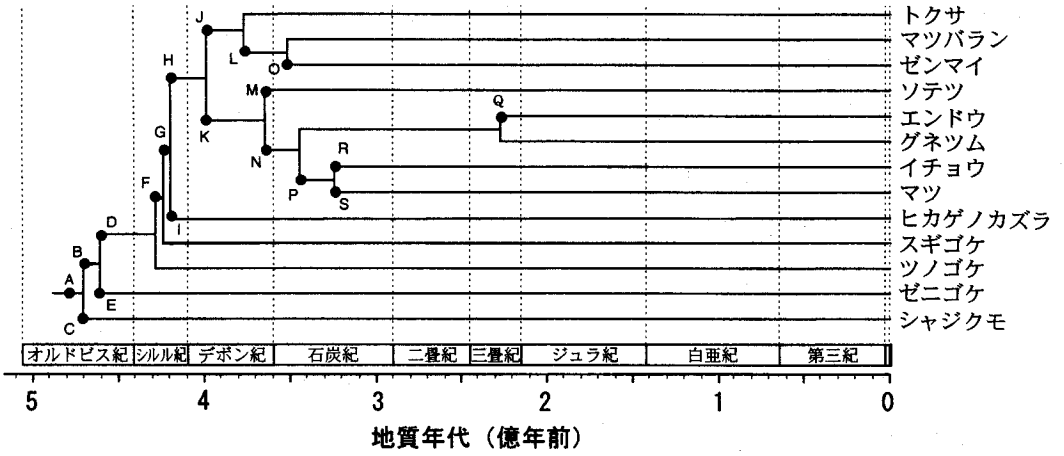


図 1

問 1 文中の **ア** ～ **ケ** に適切な語句を記入せよ。

問 2 図 1 において、以下の(a)～(d)のような形質はどの時点で現れたと考えられるか。図中の A ～ S より選べ。

- (a) 子房による胚珠の保護
- (b) 配偶体による孢子体への寄生
- (c) 維管束の発達
- (d) 陸上生活への適応

問 3 下線部①のアマモと下線部②のリンボクは何年前に分岐したか。図 1 を参照して推定せよ。

問 4 下線部③の例を以下の生物から一つ選べ。

根粒菌、アオカビ、サルノコシカケ、テングタケ、ウメノキゴケ、枯草菌