

理 科

15:00～17:30

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55ページある。このうち、「物理」は2～10ページ、「化学」は11～28ページ、「生物」は29～47ページ、「地学」は48～55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。

学部・系・群・学科・専攻 科目	総合入試					学部別入試						入試			
	理系					医学部						歯学部	獣医学部	水産学部	
	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	作業療法学専攻				
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、指定された箇所に必ず記入せよ。
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, それぞれの間に答えよ。

I 病原体などの異物が体内に侵入すると, B細胞で作られる抗体(免疫グロブリン)と呼ばれる物質が働き, 異物は排除される。このような抗体の作用による免疫を体液性免疫という。このとき, 体内で免疫応答を引き起こす異物は, 抗原と呼ばれる。

樹状細胞は, 食作用によって抗原を取り込むと, その情報をヘルパーT細胞に伝える。抗原情報を受け取ったヘルパーT細胞は, 抗原情報を認識したB細胞を活性化させる。活性化したB細胞は, 抗体をつくる細胞(形質細胞)に変化し, 抗体を細胞外に放出する。1種類の抗体は, 1種類の抗原にのみ結合する。また, 各B細胞が^aつくり出せる抗体も1種類である。つまり多くの種類のB細胞が存在し, それぞれ異なる抗体をつくることで多くの抗原に対応している(図1)。

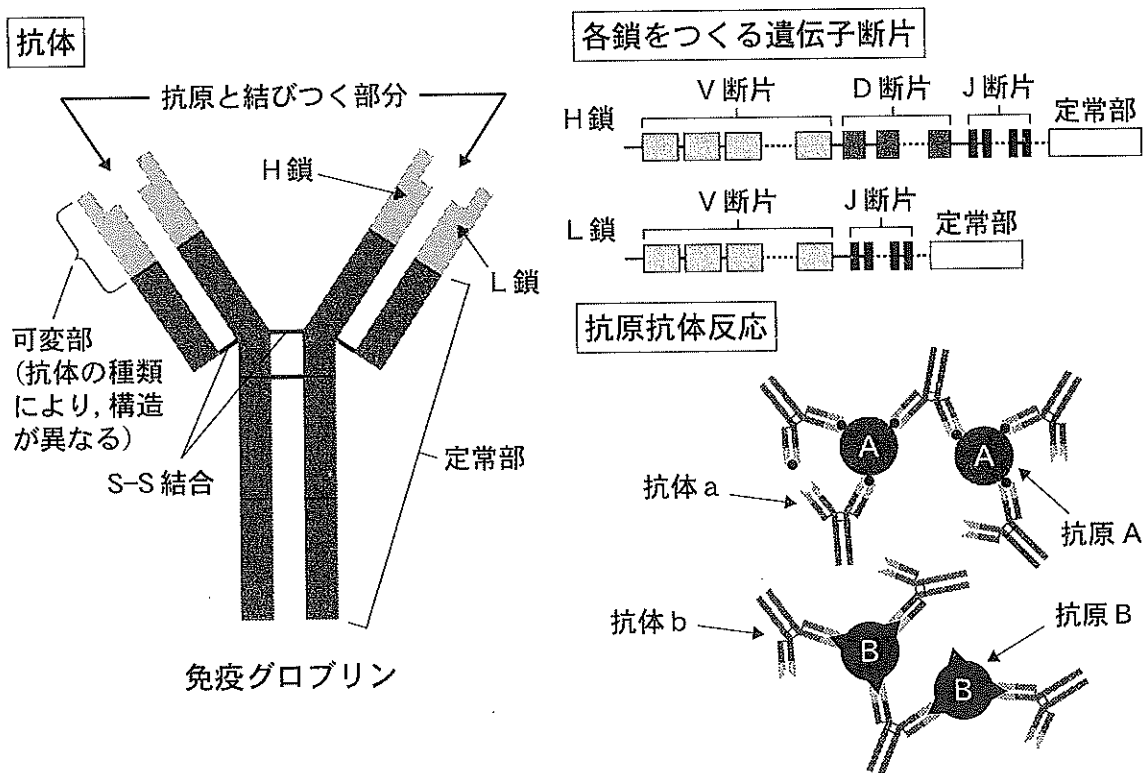


図1 抗体の構造と各鎖をつくる遺伝子断片および抗原抗体反応

体液性免疫の仕組みは、病気の予防や治療にも応用されている。たとえば、毒性を弱めた病原体や無毒化した毒素を抗原として人為的に接種し、体内に免疫記憶細胞や抗体をつくらせて病気を予防することがある。このときに用いられる抗原は と呼ばれ、インフルエンザやはしかなどの伝染性の病気に対する予防に用いられている。また、病原体などに対する抗体をウマなどの動物につくらせ、その抗体を含む血清を注射して病気を治療することがある。このような治療方法を という。 は、破傷風やヘビ毒中毒症など、緊急を要する患者の治療に用いられる。

過敏な抗原抗体反応は、じんましんや喘息、目のかゆみなどを引き起こすことがある。このような生体に不都合な反応を伴う免疫応答は、 と呼ばれる。植物の花粉が抗原となって引き起こされる涙・鼻水などの症状は、花粉症と呼ばれる。花粉症では、花粉の成分に対して産生された特定の抗体による抗原抗体反応がきっかけとなって症状が現れる。 を起こす物質が2回目に体内に入ったとき、特に激しい症状が現れることがある。このような反応を という。

が生じると、症状が全身的に現れて急激な血圧低下や意識低下を起こすことや、ときには死に至ることもある。免疫反応は、本来、自分のからだの成分に対しては起こらないが、まれに、自分のからだの成分に対して抗体やキラーT細胞が反応することがある。これによる病気は、 と呼ばれる。

問 1 文章中の ～ に適切な語句を入れよ。

問 2 下線部 a について、ヒトは多種多様な抗体(免疫グロブリン)をつくる
ことができる。これらの抗体を作る細胞は、抗原が侵入する前から存在する
ことがわかっている。ヒトの場合、未成熟な B 細胞にある免疫グロブリ
ンの H 鎖の遺伝子領域の中には、可変部の遺伝子である V 遺伝子、D 遺
伝子、J 遺伝子と定常部の遺伝子が並んでいて、L 鎖の可変部には V 遺伝
子と J 遺伝子が並んでいる。ヒトの全遺伝子の数は 22,000 程度であるこ
とが知られているが、遺伝子の数以上の種類の免疫グロブリンタンパク質
をつくることができる。なぜヒトは遺伝子の数を超えた種類の免疫グロブ
リンタンパク質をつくることができるのか説明せよ。

Ⅱ ウイルスや結核菌などの病原体が、体内の組織や細胞に侵入し、その中で増殖することを感染という。抗体は細胞内に入ることにはできないため、体液性免疫は感染した細胞内の病原体に対しては作用しない。しかし、私たちのからだには、これを排除する獲得免疫が存在する。

病原体に感染した細胞を取り込んだ樹状細胞がT細胞に抗原提示をするときには、取り込んだ病原体の成分を断片化して、その一部を (カ) と呼ばれるタンパク質上にのせて抗原の提示をしている。T細胞の表面には (カ) にのった抗原のみを認識する (キ) という膜タンパク質があり、ここで抗原を認識する。抗原を認識したT細胞は (ク) と呼ばれるタンパク質を放出し、ヘルパーT細胞やキラーT細胞が増殖する。ヘルパーT細胞はマクロファージの食作用を強化し、キラーT細胞は、同一の抗原情報^bを提示している感染細胞を見つけて結合し、攻撃することで感染細胞ごと細胞内の病原体を排除する。

エイズはHIV(ヒト免疫不全ウイルス)の感染によって獲得免疫が働かなくなり、感染症やがんなどを生じる病気である。HIVは、獲得免疫で重要な働きをするヘルパーT細胞に感染する。感染によってヘルパーT細胞が破壊されると、獲得免疫が正常に働かなくなる。獲得免疫の働きが低下したヒトは、^c健康な状態では感染しても発症しない病気を発症したり、がんを発症したりしやすい。

一般に、免疫は同じ種でも異なる個体の細胞やその成分に対しては作用することが多い。たとえば、同じ種の動物でも、別の個体の皮膚や臓器を移植すると、通常、生着しないで脱落する拒絶反応^dを起こす。

問 3 文章中の (カ) ~ (ク) に適切な語句を入れよ。

問 4 下線部bについて、異物や異物が侵入した細胞に免疫細胞が直接結合して生体から排除する免疫をなんと呼ぶか、答えよ。

問 5 下線部cについて、健康な状態では発症しないが、獲得免疫の低下により発症する感染をなんと呼ぶか、答えよ。

問 6 下線部dについて、免疫細胞による拒絶反応の仕組みについて、適切に説明した文を下から2つ選び、その記号を答えよ。なお、ここでは皮膚や臓器を提供した側をドナー、移植を受けた側をレシピエントと定義する。

(A) ドナーの皮膚や臓器の成分が、レシピエントの樹状細胞に非自己として認識されるため自己のT細胞から攻撃される。

(B) レシピエントの樹状細胞が、ドナーの皮膚や臓器の成分を自己のT細胞に提示し、その成分を自己のT細胞が異物として認識し、攻撃することにより排除される。

(C) レシピエントの樹状細胞が自己の成分をT細胞に提示し、ドナーの皮膚や臓器が自己として認識されないために攻撃される。

(D) ドナーの皮膚や臓器に存在している細胞が自己の成分を提示し、その成分がレシピエントのT細胞によって異物として認識されるため攻撃される。

(E) ドナーの皮膚や臓器に存在している免疫細胞が、レシピエントの成分を非自己として認識し、レシピエントの細胞を攻撃するため排除される。

2 次の文章を読み、以下の問に答えよ。

過去 50 年で日本人の食生活は洋風化が進み、代表的な主食である米の 1 人当たりの年間消費量は一貫して減少傾向にある。一方、主食に占めるパンの割合は増加するなど、食が多様化している。北海道大学 1 年生の北海太郎さんと北野花子さんは、春の日差しがあふれる北大キャンパス内の芝生の上で昼休みに一緒に食事をしている。太郎さんは焼き魚に白米のお弁当、花子さんは手作りパンとヨーグルトを食べながら雑談していると、お互いの食べ物の違いから話は思わぬ方向に発展していく。

太郎：僕は白米を食べないと食事をした気がしないよ。

花子：白米もパンも^aデンプンが消化されてエネルギー源として使われるのは同じだけど、消化・吸収のされやすさが食品によって違うみたいね。

太郎：そういえば、食品の種類によって^b血糖値の上がり方が違うって聞いたことがあるよ。

花子：白米に比べると私が食べているライ麦パンは血糖値の上がり方が緩やかな食品に分類されているのよ。

太郎：じゃあライ麦パンのほうが体に良いのかな？

花子：必ずしもそうじゃないと思うわ。運動する時みたいにエネルギーが必要なときに白米はとても良い炭水化物源よ。私は気分や目的によっていろいろな食品をバランス良く食べるようにしているわ。

太郎：そうだよね。米でもパンでもバランスの良い食事が健康にとって大事だね。

花子：私は健康のために発酵食品を食べるようにしているの。

太郎：今日もヨーグルトを食べているね。僕たちは白米やパンからエネルギーを得ているけど、ヨーグルトの中の乳酸菌はどうやってエネルギーを得ているのかな？

花子：牛乳に含まれる^c乳糖を発酵してエネルギーを得ているみたいよ。その時にできる乳酸は雑菌の増殖を抑える効果があるからヨーグルトは保存性が良いんだって。

太郎：さすが生物系志望だけあってよく知ってるね。

花子：微生物って不思議よね。このパンも酵母を使って生地を膨らませること^dでふっくら仕上がるの。

太郎：微生物って僕たちの食生活と深く関わっているんだね。

花子：食生活だけじゃなくて生物の進化とも深く関わっているみたいよ。植物や動物の細胞にも大昔の微生物の痕跡があるらしいわよ。^e

太郎：僕たちの体や目の前にある芝の細胞の中にも大昔の痕跡があると思うと不思議な感じだね。

花子：春になって暖かくなると植物がいつせいに芽吹いてキャンパス中は緑に包まれるし、私たちもお昼になるとお腹が空いて、ご飯を食べると満たされて、そのすべてにいろいろな仕組みがあると思うと生き物って本当に不思議だと思うわ。

太郎：白米とパンの話からすごく壮大な話になったね。こうやって話してみると自分たちの食べるものや身の回りの生き物にもいろいろな疑問や興味が湧いてくるよ。

花子：そろそろ講義に行く時間ね。また身の回りの楽しい生物学の話をしましょうね。

問 1 下線部 a に関連する下の文章中の (ア) ~ (エ) に適切な語句を入れよ。

ヒトが摂取したデンプンはアミラーゼによりグルコースに分解され小腸で吸収される。アミラーゼの活性が最も高くなる最適 pH は約 7 である。一方、タンパク質分解に関わるペプシンとトリプシンの最適 pH はそれぞれ約 2 および約 8 であり、酵素によって最適 pH は異なる。酵素反応の第一段階として、酵素は基質と結合して (ア) を形成する。次いで酵素の (イ) において基質は触媒作用を受け、生成物へと変化する。一般に酵素は特定の物質にだけ作用する (ウ) という性質を持ち、これはそれぞれの酵素タンパク質が特有の (エ) を持つためである。最適 pH を外れると酵素の活性が低くなるのは、pH の影響を受け (エ) が変化し、(ア) の形成や (イ) の触媒作用が阻害されるためである。

問 2 下線部 b について、ヒトの血糖値とその調節に関連する以下の(A)~(D)の文章のうち誤った記述を含むものを 2 つ選び、その文章の記号を解答欄に記入せよ。また、誤りを含むそれぞれの文章について、誤っている語句およびそれを正した語句を解答欄に記入せよ。

- (A) 肝臓は他の臓器と違い、動脈と静脈の 2 種類の血管を通して血液が流れ込んでいる。特に動脈系の肝門脈は小腸で吸収されたグルコースを肝臓に運ぶ重要な役割を担っている。
- (B) 肝臓に運ばれたグルコースの一部はグリコーゲンに変換され、エネルギー源として貯蔵される。一方、細胞がエネルギーを必要とする場合にはグリコーゲンは酵素によって分解されグルコースとなり、血液中に戻される。
- (C) 血糖値は体内のグリコーゲン、グルコース、またはタンパク質の代謝調節によりほぼ一定に保たれている。これには複数のホルモンが関与しており、中でもすい臓から分泌されるインスリンとグルカゴン、副腎から分泌されるアドレナリンと糖質コルチコイドは重要とされている。血糖値の調節において、これら 4 つのホルモンは自律神経系のみで制御されている。
- (D) 血糖値が低下するとグルカゴン、アドレナリン、糖質コルチコイドの分泌が促進され、グリコーゲンまたはタンパク質からグルコースが作られることで血糖値が上昇する。一方、血糖値が上昇するとインスリンの分泌が高まり、細胞におけるグルコースの取り込みと分解およびグリコーゲンの合成が促進され、血糖値は低下する。

問 3 下線部 c について、動物の一般的なエネルギー獲得様式である呼吸と比較して、乳酸発酵によるエネルギー獲得の長所と短所を述べよ。

問 4 下線部dについて、以下の図1は酵母によるアルコール発酵を示したものである。 (オ) ~ (キ) に当てはまる化合物を記入し、パン生地を膨らませた生成物を答えよ。なお化合物については化学式または化合物名のどちらを用いても構わない。

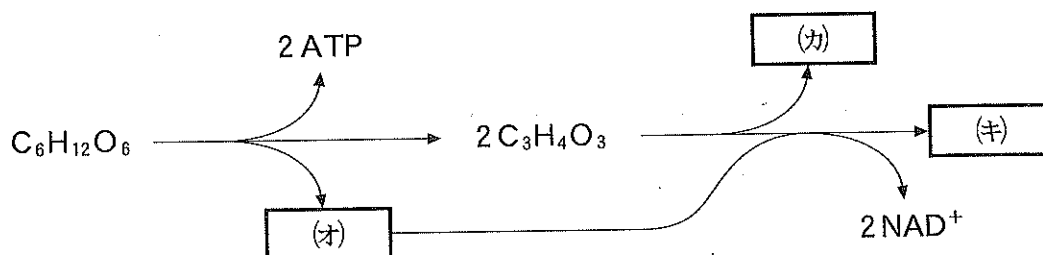


図1 酵母によるアルコール発酵

問 5 下線部eは細胞内共生説のことを指している。植物と動物の細胞にみられる細菌由来と推定される細胞小器官の名称を答えよ。また、細胞内共生により真核生物の進化および多様化が進んだと考えられている。この点について、下の文章中の問に答えよ。

初期の真核生物は海中で長い年月をかけて進化および多様化し、やがて陸上へと進出した。最初に植物が陸上に進出して繁栄すると続いて動物が陸上に進出し、やがて今日見られる生態系が形作られた。なぜ生物の陸上への進出には長い年月を要したのか。生物の陸上進出を妨げていた環境要因とそれが解消された理由を100字以内(句読点含む)で述べよ。

3 次の文章を読み、以下の問に答えよ。

動植物の生活環の様式は、図1に示すように、細胞が単相(n)の核を持つ世代^aと複相($2n$)の核を持つ世代とが交互にあらわれるものとして、一般化することができる。動物の多くは、からだが複相の細胞からなり、単相の配偶子を作る。それらは有性生殖によって複相の細胞となる。それに対し、植物の生活環では、^b孢子を形成して生殖をおこなう世代である孢子体と、配偶子を形成して生殖をおこなう世代である配偶体が交互にあらわれる。

生活環において、有性生殖は、遺伝子の新たな組み合わせを生じさせ、生物の多様性を増大させる過程である。被子植物では、おしべの葯において、花粉母細胞から減数分裂により花粉四分子ができ、それぞれの細胞が花粉になる。また、めしべの子房の中の胚珠では、胚のう母細胞から減数分裂により4個の細胞が生じ、そのうちの1個の細胞が胚のう細胞になる。胚のう細胞では核の分裂が起^cき、複数の核を持つ胚のうが生じる。花粉がめしべの柱頭に付着すると花粉管が胚珠に向かって伸び、花粉管の中を移動してきた精細胞の1個が胚のうの卵細胞^dと受精する。受精卵は分裂を繰り返し、胚になる。また、もう1個の精細胞が2個の極核を含む胚のうの中央細胞と融合し、分裂を繰り返し、胚乳となる。胚、胚乳を含め、胚珠の全体が種子へと変化する。

植物においては倍数体化が新たな種の形成に関与したことが明らかになっている。倍数体化とは染色体が倍加した個体が生じることである。すなわち、交雑と^e倍数体化は植物の進化において重要な役割を果たしてきたと推察される。

問 1 下線部 a について, 図 1 の (ア) ~ (ウ) の過程を示す語句として最もふさわしいものを次の(A)~(I)より選び, 記号で答えよ。

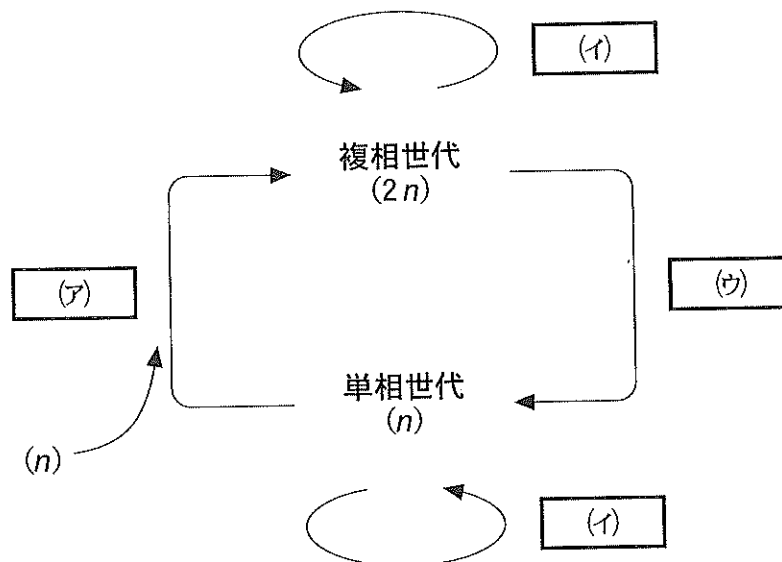


図 1

- | | | |
|------------|----------|------------|
| (A) 異数化 | (B) 乗換え | (C) 染色体の重複 |
| (D) 染色体の脱落 | (E) 減数分裂 | (F) 体細胞分裂 |
| (G) 卵割 | (H) 接着結合 | (I) 接合 |

問 2 下線部 b について，コケ植物，シダ植物，ならびに，種子植物で，一般的に生活環の主体となるのは，配偶体と孢子体のどちらであるか。また，それらの相互関係はどのようなものであるか。それぞれ次の(A)と(B)，および，(C)～(E)からふさわしい記述を 1 つずつ選び，記号で答えよ。

＜生活環の主体＞

- (A) 配偶体が生活環における主体として発達し，人間の目に触れる機会が多い植物体は配偶体である。
- (B) 孢子体が生活環における主体として発達し，人間の目に触れる機会が多い植物体は孢子体である。

＜相互関係＞

- (C) 配偶体は孢子体に依存した状態で生活する。
- (D) 孢子体は配偶体に依存した状態で生活する。
- (E) 配偶体と孢子体は独立して生活する。

問 3 下線部 c について，一般的な被子植物では，胚のう細胞から胚のうが作られる過程において，核の分裂により最終的に何個の核が生じるか，答えよ。

問 4 下線部 d について、配偶子が持つ遺伝子とその次世代への伝達を考える。

2 組の対立遺伝子 A と a および B と b は同じ染色体上に存在する。遺伝子型 $AABB$ と遺伝子型 $aabb$ の植物系統を交雑して雑種第一代 (F_1) の個体を得た。この F_1 個体を用いた実験に関し、次の(1)~(3)に答えよ。なお、(1)と(2)の答えは「○, △, □ (○, △, □は遺伝子型)が、それぞれ $X:Y:Z$ (X, Y, Z は整数)」のように記述せよ。

- (1) 遺伝子 A と B ならびに遺伝子 a と b が組換え価 20 % で連鎖している場合、 F_1 個体の産生する卵細胞の遺伝子型とその比を答えよ。
- (2) (1)の組換え価での連鎖がある場合、この F_1 個体のめしべに遺伝子型 $aabb$ の個体の花粉を受粉させたときに作られる胚乳の遺伝子型とその比を答えよ。
- (3) F_1 個体において遺伝子型 AB, Ab, aB, ab の配偶子がそれぞれ $n:1:1:n$ の比で生じるとする。 F_1 個体の自家受粉によって得られる F_2 世代における、遺伝子 a による劣性形質と遺伝子 B による優性形質の両方の形質を示す個体の割合を n を用いて表せ。

問 5 下線部 e について、現在栽培されているコムギが生じた過程の概要を図 2 に示す。50 万～300 万年前、一粒系コムギ ($2n = 14$) とクサビコムギ ($2n = 14$) が交雑してできた植物が倍数体化して二粒系コムギが生じた。このコムギがタルホコムギ ($2n = 14$) と交雑してできた植物が倍数体化して 7,000～9,500 年前にパンコムギができた。このことに関し、次の(1)と(2)に答えよ。なお、図 2 中の AA, BB, DD 等はゲノムの構成を表している。

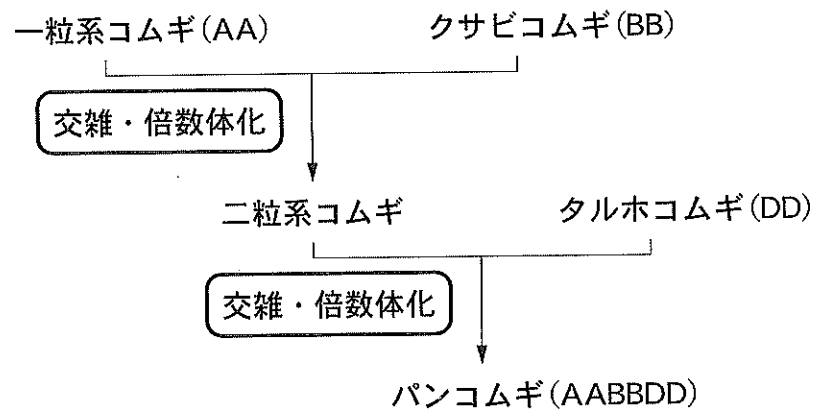


図 2

- (1) 倍数体化を引き起こす主な機構として、減数分裂の際に起きる異常があげられる。それは減数分裂の過程におけるどのような異常であるか、20 字以内(句読点を含む)で説明せよ。

- (2) 次の文章の ～ に入る最もふさわしい値を下の(A)～(I)より選び、記号で答えよ。

パンコムギが生じた過程の理解にはゲノムの分析が大きく寄与した。1918年に発表された北海道帝国大学(現在の北海道大学)の坂村徹博士がおこなった研究により、コムギ属の染色体数は、7を基本数とし、その整数倍であることが明らかになった。その後、木原均博士により、花粉母細胞における二価染色体の形成頻度に基づいてゲノムの違いを明らかにする分析法が確立された。この分析法により、一粒系コムギ、クサビコムギ、タルホコムギは異なるゲノムを持つことが明らかになった。

木原博士が確立した分析法について、パンコムギと二粒系コムギの間の雑種を例に考える。この雑种植物の体細胞は35本の染色体を持つ。そのうちわけは、パンコムギに由来する 本の染色体と二粒系コムギに由来する 本の染色体である。この雑种植物の花粉母細胞のある時期においては 個の二価染色体、および、相同な染色体がないために二価染色体を形成していない 個の染色体(一価染色体)が観察される。このことから、パンコムギは二粒系コムギが持っている染色体と二粒系コムギが持っていない染色体の両者を持つことがわかる。

- | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|
| (A) 0 | (B) 3 | (C) 4 | (D) 7 | (E) 14 |
| (F) 21 | (G) 28 | (H) 35 | (I) 42 | |

4 次の文章を読み、以下の問に答えよ。

脊椎動物においてヘモグロビンは (ア) と呼ばれる細胞の中に存在しており、 (イ) を全身に運搬する機能を担っている。ヒト成体のヘモグロビンは 141 個のアミノ酸からなる α 鎖と 146 個のアミノ酸からなる β 鎖のそれぞれ 2 つから構成される四量体構造をしている。

下の表はさまざまな脊椎動物のヘモグロビン α 鎖のアミノ酸配列をヒトの α 鎖と比べ、異なるアミノ酸の数をまとめたものである。

グループ	種の和名	ヒトと異なるアミノ酸の数
哺乳類	ニホンザル	4
	ウマ	18
	カモノハシ	38
(ウ)	X	48
(エ)	Y	68

化石の研究からヒトとウマは今からおよそ 8000 万年前に共通祖先から分かれたと推定されている。その共通祖先から現生のヒトとウマにいたるそれぞれの進化の過程で起きた変化について、次の 3 つの条件が成立するものと仮定する。

条件①・・・ヘモグロビン遺伝子の塩基配列に生じた変化は、全てアミノ酸の変化をもたらすような突然変異である。

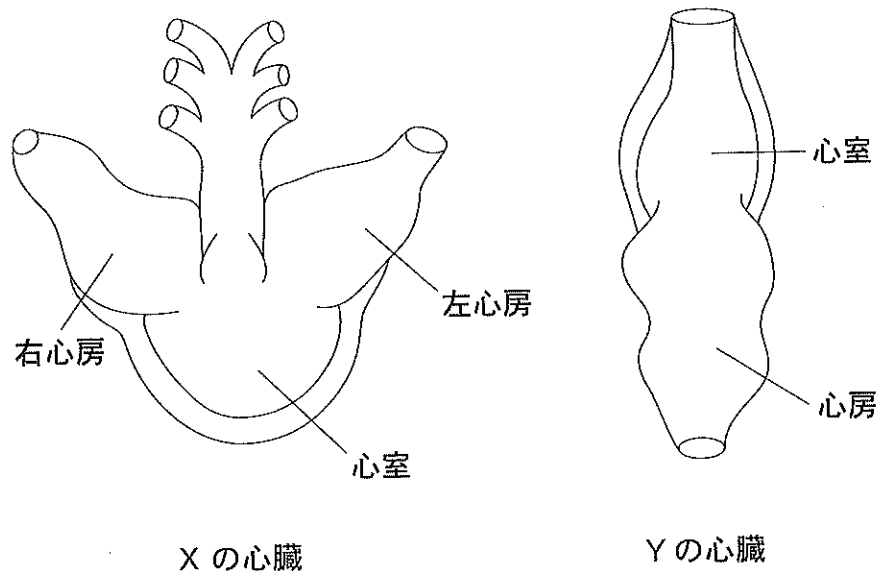
条件②・・・実際に生じたアミノ酸置換数は、現生種間で観察されるアミノ酸の相違数に等しい。

条件③・・・共通祖先からヒトおよびウマへと続く 2 つの系統のそれぞれにおいて起きたアミノ酸の置換回数は等しい。

これらの条件が成立している場合、141 個のアミノ酸のうちの 1 つが別のアミノ酸に置換されるのに要する年数は、平均しておよそ (オ) 年である。この値がウマ以外の生物にも当てはまり、なおかつ上の①～③の条件がヒト^aーウマ以外の生物にも成立していると仮定すると、それぞれの動物がヒトとの共通祖先から分かれたのがおよそ何年前なのかを見積もることができる。

問 1 文章中の (ア) と (イ) に当てはまる語を答えよ。

問 2 下の図は表の種 X と Y の心臓を模式的に表したものである。表中の (ウ) と (エ) に当てはまる適切なグループの名称を答えよ。



問 3 ヒトとウマが分岐したのが 8000 万年前だとした場合、(オ) に当てはまる数字を答えよ。ただし答えは 10 万年の位を四捨五入すること。

問 4 下線部 a が成り立つとき、ニホンザル、カモノハシ、X、Y のそれぞれがヒトとの共通祖先から分岐したのは何万年前だったと見積もることができるか、問 3 で求めた値を用いて 10 万年の位を四捨五入して答えよ。また、それぞれについて当時地球上に存在していた生物を次の(A)~(F)から全て選び、記号で答えよ。

- | | | |
|----------|----------|------------|
| (A) 被子植物 | (B) 裸子植物 | (C) 三葉虫 |
| (D) 恐 竜 | (E) クラゲ | (F) アンモナイト |

問 5 「条件③、および下線部 a が成立するのは、分子レベルでの突然変異の大半が生物個体の適応度に影響を及ぼさないからである」、とする考え方を何と呼ぶか答えよ。また、この学説を提唱した研究者の氏名を答えよ。

問 6 条件①は実際には成立していないことの方が多い。次の遺伝暗号表を参考にして、ロイシンの CUG というコドンに対応する DNA の塩基の 1 つが別の塩基に置換されたとき、アミノ酸が変化する確率を求めよ。DNA の塩基置換はコドンの何番目かによらず、また塩基の種類によらず等しく生じるものとする。答えは小数第 3 位を四捨五入し、小数点以下第 2 位までの値とせよ。

1 番目の塩基	2 番目の塩基				3 番目の塩基
	U	C	A	G	
U	UUU } フェニル UUC } アラニン UUA } UUG } ロイシン	UCU } UCC } セリン UCA } UCG }	UAU } チロシン UAC } UAA (終止) UAG (終止)	UGU } システイン UGC } UGA (終止) 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 AUC } シン AUA } AUG メチオニン (開始)	ACU } ACC } トレオニン ACA } ACG }	AAU } アスパラ AAC } ギン 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 GAC } ギン酸 GAA } グルタミン酸 GAG }	GGU } GGC } グリシン GGA } GGG }	U C A G

問 7 一般に、比較する生物同士が系統的に遠く離れば離れるほど、条件②は成立しにくくなる。そのことの理由を考察してみよう。

たとえば、ある共通祖先 A から分かれた 2 つの現生種 B と C が発現しているタンパク質中の、ある相同な箇所におけるアミノ酸がどちらもアラニンだったとしよう。B と C が系統的に近いのであれば、これら 2 種が分化してから経過した時間も短いはずである。したがって、B と C の共通祖先 A における該当箇所のアミノ酸もアラニンだった可能性が高い。なぜならばアミノ酸置換が起きるのには十分な時間が経っていないと考えられるからである。では、置換が起きるのに十分な時間が経過しているにもかかわらず——例えば、その箇所で置換が一度だけでなく何度も起きていて不思議でないほど長い時間が経っているのに——現生 2 種のアミノ酸がどちらも同じであった場合はどのように解釈できるだろうか。もちろん、そのタンパク質が正常に機能するためには、その箇所がどうしてもアラニンでなければならないという可能性も十分考えられる。しかしその箇所がアラニン以外のアミノ酸であってもかまわないにもかかわらず——たとえば B または C に近縁な現生種においてその箇所が、アラニンに性質の似たロイシンやイソロイシンであるだけでなく、性質の異なるセリンやアスパラギン酸であった場合に——B と C のどちらにおいてもその箇所にアラニンが観察されたのだとしたら、条件②の妥当性はどうか。

以上の論考を踏まえ、次の(1)および(2)の問に答えよ。

- (1) 系統的に遠くに離れるにしたがって、アミノ酸の置換数として観察される値は、実際に起きた置換の回数に比べて過大評価されるようになるか、それとも過小評価されるようになるか、答えよ。
- (2) B と C という 2 つの現生種の共通祖先を A とする。(1)で答えたように評価されるのは、A から B への系統、および A から C への系統でどのようなアミノ酸置換が起きた場合だろうか。考えられる 2 つの場合をあげよ。