

筆答試問

一般基礎科目

試験時間 13:00～15:00

○ 問題は下表の通り 11 題ある。

これらのうちから 3 題を選択し解答すること。

ただし、生物学 1 題は必ず選択すること。

○ 各問題の中の小問(A)、(B)、・・・などの解答には、それぞれ別々の解答用紙を用いること。1 つの小問への解答が 2 枚にわたる場合は、1 枚目の右下に「次ページに続く」、2 枚目の左上に「1 ページ目からの続き」と大きく明記すること。

解答用紙の裏面は使用しないこと。

○ すべての解答用紙の所定の欄に、受験番号（2 箇所）、氏名、および選択した問題の番号を記入すること。選択した問題の番号は、1 ～ 11 の問題番号と、(A)、(B)などの小問の記号を、1-(A)のように記入すること。

○ とくに指定のない限り、解答は日本語または英語で記述すること。

科 目	問題番号
生物学	1
生物学	2
生物学	3
生物学	4
生物学	5
生物学	6
生物学	7
生物学	8
物理学	9
化学	10
数学	11

生物学

問題 1

(A)、(B) 2問とも解答せよ。また、それぞれの答えを別の解答用紙に記入せよ。

(A) 以下の文章を読んで、設問 (1) ~ (5) のすべてに答えよ。

細胞内で起こる多くの化学反応は、酵素によって触媒される。酵素は、化学反応の[ア]を低下させることにより、反応を加速させることができる。多くの酵素の主成分はタンパク質であり、その分子内に基質と結合する (a) 活性部位を持つ。この活性部位の構造が (b) 酵素の触媒活性にとって重要な働きをする。

タンパク質は20種類のアミノ酸が共有結合によりつながった物質である。これらのアミノ酸のうち、[イ]以外は光学異性体があるが、タンパク質に含まれるのは[ウ]型のみである。タンパク質の性質を詳細に調べるためには、生体組織や遺伝子組換え細菌などから、目的のタンパク質を大量に単離することが必要である。そして、(c) 目的のタンパク質を分離・精製するためにはクロマトグラフィーが多用される。クロマトグラフィーにはいくつかの種類があり、[エ]クロマトグラフィーは、目的のタンパク質と特異的に結合する充填剤を用いて分離を行う。また、(d) ゲル濾過クロマトグラフィーは、タンパク質の大きさによって分離を行う。

(1) [ア] ~ [エ] に適切な語句を入れよ。

(2) 下線部 (a) について、活性部位にアミノ酸以外の小分子や金属イオンを結合する酵素も存在する。そのような酵素の1つにカルボキシペプチダーゼがあり、亜鉛イオンを結合している。この酵素の触媒する反応について、亜鉛イオンの働きを含めて3行程度で答えよ。

(3) 下線部 (b) について、多くの酵素はその活性を示すのに最適な pH (至適 pH) を持ち、環境の pH が至適 pH から変化した場合、酵素活性は低下することが知られている。その理由を以下の2つの場合に分けて、それぞれ3行程度で説明せよ。

(i) 環境の pH が極端に酸性やアルカリ性に変化した場合

(ii) 環境の pH が至適 pH 付近で変化した場合

(次ページに続く)

- (4) 下線部 (c) について、クロマトグラフィーを用いてタンパク質の分画を行う場合、280 nm 付近の紫外光の吸収の大きさを指標にタンパク質が溶出した画分を区別することができる。この波長の紫外光を吸収できる芳香族アミノ酸をすべて答えよ。
- (5) 下線部 (d) について、ゲル濾過クロマトグラフィーがタンパク質の大きさによって分離を行うことができる原理を 5 行程度で説明せよ。

(次ページに続く)

(B) 以下の文章を読んで、設問 (1) ～ (5) のすべてに答えよ。

脂肪は、糖質と同様に生物にとって重要なエネルギー源である。脂肪の分解で生成される脂肪酸は、 β 酸化と呼ばれる反応によって [ア] に変換される。[ア] はグルコースを出発点とするエネルギー獲得経路でも生成される分子であり、これ以降の反応経路はグルコース代謝によるエネルギー産生と共通している。すなわち、^(a) クエン酸回路を介して、[ア] 由来の炭素原子が酸化される過程で [イ] や [ウ] などの活性運搬体がつくれ、酸化リン酸化による ATP 合成に利用される。クエン酸回路が 1 サイクルする間に最も多く生成される活性運搬体は [イ] である。

脂肪は、^(b) 脂肪滴として細胞に蓄えられ、必要に応じて活用される。^(c) ある種の脂肪細胞では、脂肪の酸化により生じるエネルギーの大半が、ATP 合成ではなく熱産生に利用されることが知られている。

(1) [ア] ～ [ウ] に適切な語句を入れよ。

(2) 下線部 (a) について、クエン酸回路は、様々な細胞内分子を合成するための前駆物質を供給する役割も持つ。クエン酸回路でつくられる代謝中間体のうち、以下の (i)、(ii) のアミノ酸に直接変換され得るものをそれぞれ答えよ。

(i) アスパラギン酸

(ii) グルタミン酸

(3) 下線部 (b) について、動物の脂肪細胞に蓄えられる脂肪滴の主成分の名称を答えよ。

(4) 下線部 (c) について、該当する細胞の名称を答えよ。また、この細胞で ATP 合成ではなく熱産生が優先的に行われる仕組みを 5 行程度で説明せよ。

(5) 細胞膜の主成分の 1 つであるリン脂質の炭化水素鎖尾部は脂肪酸に由来する。炭化水素鎖尾部の不飽和度は細胞膜の流動性に影響を与えることが知られている。どのような影響を与えるか、不飽和炭化水素鎖が取り得る構造的な特徴も合わせて 5 行程度で説明せよ。

生物学

問題 2

(A)、(B) 2 問とも解答せよ。また、それぞれの答えを別の解答用紙に記入せよ。

(A) 以下の文章を読んで、設問 (1) ～ (3) のすべてに答えよ。

細胞は分裂する前に (a) 遺伝子の本体である DNA を複製する。DNA の複製は、細菌や酵母では約 [ア] 塩基対からなる複製起点から開始する。複製起点には開始タンパク質が結合するための配列があり、[イ] に富んだ配列が存在することが多い。開始タンパク質が結合すると二重らせんが開き、DNA 分子中には Y 字形の [ウ] が 2 個形成される。(b) DNA 合成の段階へ移行すると、DNA ポリメラーゼは伸長中の DNA 鎖の 3' 末端に、鋳型鎖と塩基対を形成するヌクレオチドを付加していく。[ウ] の移動と同じ方向に連続的に合成される DNA 鎖を [エ]、逆方向に不連続に合成される DNA 鎖を [オ] とよぶ。[オ] で合成される短い DNA 断片は [カ] とよばれる。

- (1) [ア] ～ [カ] に適切な語句もしくは数字を入れよ。ただし、[ア]、[イ] にはそれぞれ以下から選んで入れよ。

ア : [10、100、1000、10000]

イ : [A と C、A と G、A と T、C と G、C と T、G と T]

- (2) 下線部 (a) について、グリフィス (Frederick Griffith) とアヴェリー (Oswald Avery) らは病原型の肺炎球菌 (S 株) と無毒化型の肺炎球菌 (R 株) を利用した実験により DNA が遺伝物質であることを示唆する結果を得た。この実験の内容を、以下の単語をすべて用いて 10 行程度で説明せよ。図を用いてもかまわない。ただし、図は行数に含まないものとする。

[マウス、S 株、R 株、形質転換、分解酵素]

- (3) 下線部 (b) について、DNA ポリメラーゼによるヌクレオチドの付加には鋳型鎖と塩基対を形成した核酸の 3' 末端を必要とするが、二重らせんを開いただけではそのような 3' 末端は存在しない。この問題はどのように解決されているか、2 行程度で説明せよ。

(次ページに続く)

(B) 以下の文章を読んで、設問 (1)、(2) 2 問ともに解答せよ。

「遺伝情報は DNA→mRNA→タンパク質の順に伝達される」というセントラルドグマの概念は、細菌などの原核生物と、動物や植物などの真核生物に共通する基本原理である。しかし、mRNA やタンパク質合成の量やタイミングを調節する分子機構には原核生物と真核生物で異なる点も多い。例えば、(a) 転写を担う RNA ポリメラーゼは原核生物には 1 種類しか存在しないのに対し、真核生物には RNA ポリメラーゼ I、II、III の 3 種類が存在する。また、タンパク質への翻訳は原核生物では mRNA への転写と共役して起こるのに対し、真核生物では mRNA が様々なプロセッシングを受けて成熟し、細胞質へと輸送された後に起こる。これとは対照的に、(b) 翻訳時にリボソーム内でポリペプチド鎖が伸長する際の基本的な分子機構は、原核生物と真核生物でよく似ている。

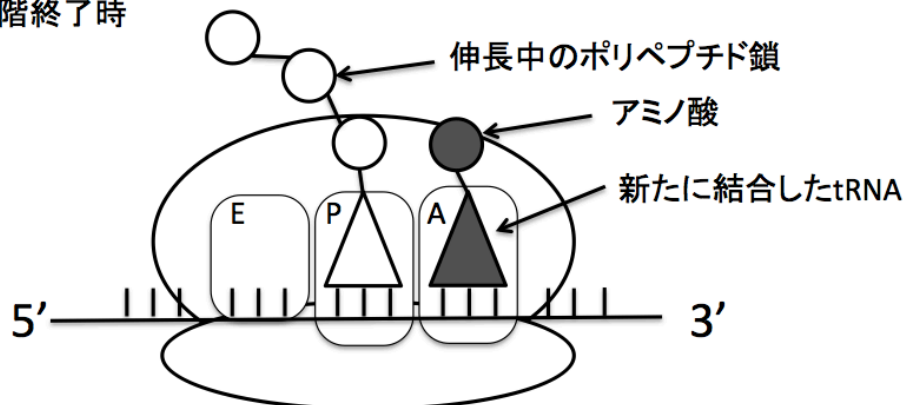
(1) 下線部 (a) 以外にも真核生物と原核生物の転写機構には違いがある。mRNA の転写機構の違いについて、以下の (i)、(ii) 2 つの観点からそれぞれ 3 行程度で記述せよ。

(i) RNA ポリメラーゼを含む、転写開始に必要な因子

(ii) 染色体 DNA の構造

(2) 下線部 (b) について、ポリペプチド鎖の伸長は一連の段階的な反応が繰り返されて進行する。下にこの反応の第 1 段階終了時を模式図で示した。第 1 段階終了時、A 部位には mRNA のコドンに対応するアミノ酸を付加した tRNA が結合し、P 部位には伸長中のポリペプチド鎖と連結した tRNA が結合している。これ以降、伸長反応がどのように進むかをリボソームの E 部位、P 部位、A 部位と tRNA の位置関係を示しながら、段階を追って 10 行程度で説明せよ。図を用いても構わない。ただし図は行数に含まないものとする。

第1段階終了時



生物学

問題 3

(A)、(B) 2 問とも解答せよ。また、それぞれの答えを別の解答用紙に記入せよ。

(A) 以下の文章を読んで、設問 (1) ～ (4) のすべてに答えよ。

動物の有性生殖では、(a) 雄性および雌性配偶子の受精によって次世代がつくられる。配偶子は、減数分裂によって染色体数が半減した特殊な細胞で、染色体を 1 セットしかもたない一倍体である。減数分裂では、(b) 通常の細胞分裂と同じように、すべての染色体が倍加する。しかし、(c) 倍加した染色体がその後たどる経過は、通常の細胞分裂とは異なる。

半減した染色体数は受精によって復元される。ヒトでは多数の精子が射出され卵管膨大部に到達するが、最終的に受精に至るのは通常 1 個である。それは、最初に受精に成功した精子が卵の細胞質内に [ア] 波を引き起こすことで、他の精子が入り込むのを防ぐためである。

(1) [ア] に適切な語句を入れよ。

(2) 下線部 (a) に関わる以下の (i)、(ii) の用語についてそれぞれ 2 行程度で説明せよ。

(i) 不分離

(ii) 透明帯

(3) 下線部 (b) について、通常の細胞分裂と減数分裂第 1 分裂を染色体の挙動の違いがわかるように図示して 5 行程度で説明せよ。ただし、以下の単語を 2 つともを用いることとし、図は行数に含まないものとする。

[中期赤道面、二価染色体]

(4) 下線部 (c) に関連して、設問 (i)、(ii) 2 問とも解答せよ。

(i) ある動物が 10 対の染色体をもつとする。染色体の交差を無視すれば、この動物からは理論的に何通りの遺伝的に異なった配偶子が生じうるか答えよ。

(次ページに続く)

- (ii) 実際の動物では染色体の交差が起こり多様な配偶子が生み出される。交差の機構を図示して2行程度で説明せよ。ただし、以下の単語を2つとも用いることとし、図は行数に含まないものとする。

[シナプトネマ構造、キアズマ構造]

(次ページに続く)

(B) 以下の文章を読んで、設問 (1) ~ (3) のすべてに答えよ。

ヒトの体細胞は性染色体対を含む [ア] 対の染色体をもつ。性染色体以外の対となる相同染色体ではお互いの塩基配列がほぼ同一で、その違いはおおよそ [イ] %程度であると考えられている。_(a) 多くの生物でゲノム配列の解読がおこなわれているが、このような相同染色体間での塩基配列の違いが、解析の上での技術的な障害となりうるため、純系(pure line)または近交系 (inbred line)のゲノムを対象とすることも多い。_(b) 純系や近交系は、通常、近親交配を繰り返すことによって作成される。

(1) [ア]、[イ] に適切な数字を入れよ。[イ] は小数点以下1桁までの数字とする。

(2) 下線部 (a) に関連して、ヒト、線虫、出芽酵母、大腸菌の1倍体あたりのおおよそのゲノムサイズを次の表にまとめてある。[ウ] ~ [オ] に、適切な数字を表の下に示す選択肢から選んで入れよ。同じ選択肢を繰り返し使ってもよい。

生物名	1倍体あたりのおおよそのゲノムサイズ (塩基対の数)
ヒト (<i>Homo sapiens</i>)	$3 \times [\text{ウ}]$
線虫 (<i>Caenorhabditis elegans</i>)	$1 \times [\text{エ}]$
出芽酵母 (<i>Saccharomyces cerevisiae</i>)	$1.3 \times [\text{オ}]$
大腸菌 (<i>Escherichia coli</i>)	4.6×10^6

[10^5 、 10^6 、 10^7 、 10^8 、 10^9 、 10^{10} 、 10^{11} 、 10^{12} 、 10^{13}]

(3) 下線部 (b) に関連して、ある雌雄同体の自家受精可能な動物で、自家受精を繰り返して近交系の作成を試みることにした。この近交系作成実験について、設問 (i) ~ (iii) すべてに解答せよ。

(i) 親にヘテロ接合の部位がN個あったとし、すべての部位が生存に有利でも不利でもなくかつ独立だと仮定すれば、1回の自家受精を経たあとに期待されるおおよそのヘテロ接合の部位の数を、Nを含む数式で答えよ。

(次ページに続く)

- (ii) 自然環境から得た個体のゲノムを解析したところ、遺伝子座Aはヘテロ接合であることがわかり、対立遺伝子のそれぞれをA 1およびA 2と名付けた。自家受精によって得た次世代のうち、正常に成熟した十分な数の個体を調べたところ、どの個体もA 1のホモ接合体かA 1およびA 2のヘテロ接合体であり、A 2のホモ接合体は見つからなかった。その理由としてどのようなことが考えられるか、2行程度で簡潔に説明せよ。
- (iii) (ii)と同様な実験を対立遺伝子B 1、B 2をもつ遺伝子座Bについてもおこなったところ、遺伝子座Aと同様に次世代ではB 1のホモ接合体かB 1およびB 2のヘテロ接合体でありB 2のホモ接合体は見つからなかった。これらの実験で使った個体とは別の1個体から得た卵と精子から始めて、自家受精を十分に繰り返したあとで、多数の個体のゲノム解析をおこなった。ほとんど全ての遺伝子座がホモ接合となっていたが、遺伝子座Aおよび遺伝子座Bはどの個体でもA 1およびA 2、B 1およびB 2のヘテロ接合であった。この2つの遺伝子座を含む染色体領域はごく短く、組み換えがおこなわれることは非常にまれであることが予測される。なぜ遺伝子座Aおよび遺伝子座Bがヘテロ接合のまま維持されと考えられるか。この系統における遺伝子A、Bが含まれる領域の染色体ごとの遺伝子型を推測し、8行程度で説明せよ。図を用いてもかまわない。ただし、図は行数に含まないものとする。

生物学

問題 4

(A)、(B) 2問とも解答せよ。また、それぞれの答えを別の解答用紙に記入せよ。

(A) 以下の文章を読んで、設問 (1) ～ (3) のすべてに答えよ。

細胞の中では多くのタンパク質が生合成されている。それぞれのタンパク質がその機能を発揮するためには、正しい細胞内区画に運ばれる必要がある。

- (1) 小胞体で生合成されたタンパク質Aは、小胞によって別の細胞内区画へと運ばれる。輸送小胞が目的の細胞小器官に融合する過程は2段階で行われる。両段階の違いが分かるようにそれぞれの機構を3行程度で説明せよ。図を用いてもかまわない。ただし、図は行数に含まないものとする。
- (2) タンパク質Bは小胞体で生合成された後、ゴルジ装置を経由して、エキソサイトーシスによって細胞外へと分泌される。エキソサイトーシスには、構成性エキソサイトーシスと調節性エキソサイトーシスの2つの様式がある。両者の役割の違いを5行程度で説明せよ。図を用いてもかまわない。ただし、図は行数に含まないものとする。
- (3) タンパク質Cは細胞膜に存在する受容体タンパク質で、リガンドなどの特異的分子と結合した直後に細胞膜から消失することが知られている。この現象に関して、以下の設問 (i)、(ii) 2問とも解答せよ。
 - (i) タンパク質Cがリガンドと結合した直後に細胞膜から消失する機序について、2行程度で説明せよ。
 - (ii) 細胞膜から消失したタンパク質Cのその後の挙動について、可能性を2つあげてそれぞれ2行程度で説明せよ。

(次ページに続く)

(B) 以下の文章を読んで、設問 (1) ～ (4) のすべてに答えよ。

光遺伝学 (optogenetics) とは、光感受性タンパク質を遺伝子工学の手法により特定の細胞に発現させ、その機能を特定の波長の光照射によって高い時間精度で操作する技術である。光遺伝学に主に用いられる光活性化タンパク質は、^(a) 光活性化非選択的陽イオンチャネル、^(b) 光活性化クロライドイオンポンプ、光活性化プロトンポンプなどの微生物型ロドプシンであるが、[ア] 型受容体である ^(c) 動物型ロドプシン が用いられることもある。これらのロドプシンは [イ] 回膜貫通ドメインを持ち、発色団として [ウ] を用いている。近年では、^(d) 受容体の三次元構造を調べてその構造に基づいて変異を導入し、受容体特性を変化させるなどの改良が盛んに行なわれている。

これらの光受容体を哺乳動物の神経細胞に発現させて光刺激を行うことで、遠方領域からの ^(e) シナプス入力 の同定など、光遺伝学は神経回路の機能解明に数多く利用されている。一方で、近年では光刺激により [エ] や [オ] を活性化させ、それぞれ環状 AMP と、イノシトールトリスリン酸およびジアシルグリセロールの産生を促進させるなど、細胞内シグナル伝達を光操作する方法や、光によって遺伝子発現操作やゲノム編集を行う方法の開発も進んでおり、その適用範囲は様々な組織、生物に広がりつつある。

(1) [ア] ～ [オ] に適切な語句もしくは数字を入れよ。

(2) 下線部 (a) ～ (c) について、設問 (i)、(ii) 2 問とも解答せよ。

(i) 下線部 (a) ～ (c) は、光によって刺激された後、それぞれ異なる機構で細胞の膜電位を変化させる。それぞれの機構について各 3 行程度で説明せよ。

(ii) 下線部 (a) ～ (c) のうち、膜電位変化に受動輸送に関わるものをすべてあげよ。

(3) 下線部 (d) について、一般にタンパク質の三次元構造を調べるために用いられている技術を 2 つあげよ。

(4) 下線部 (e) について、シナプスにおける神経伝達には興奮性と抑制性のものがある。そのうち興奮性シナプスについて、主な神経伝達物質を 2 つあげ、それらがシナプス後膜の膜電位を変化させる機序を 2 行程度で説明せよ。

生物学

問題 5

(A)、(B) のうち、1 問を選んで解答せよ（必ず 1 問だけを選ぶこと）。

(A) 設問（1）～（3）のすべてに答えよ。

（1）現生の無種子維管束植物は、(a) ヒカゲノカズラ類とシダ類の 2 つのクレードをつくる。これらの植物の祖先のなかには (b) 維管束や根、葉の進化によって、石炭紀には巨木になったものもあり、森林が形成された。化石の葉の気孔の数の計測や、プランクトンの化石の炭素同位体比の測定などから、過去の気候復元が行われ、(c) 石炭紀からペルム紀にかけては地球環境が劇的に変化したと推測されている。以下の設問（i）～（iv）すべてに答えよ。

（i）下線部（a）について、コケ植物、裸子植物、ヒカゲノカズラ類、シダ類、被子植物の進化的関係を表す系統樹を描け。なお、シャジクモ藻類を外群とすること。

（ii）下線部（a）について、ヒカゲノカズラ類とシダ類の形態的な違いを 2 行程度で説明せよ。

（iii）下線部（b）により、維管束植物は高く成長することが可能となった。背が高い植物が、背の低い植物よりも有利であると考えられる点を 1 つあげて、2 行程度で説明せよ。

（iv）下線部（c）について、このころどのような地球環境の変化が起きたと推測されているか、以下の単語をすべて用いて 2 行程度で説明せよ。
[二酸化炭素、気温、氷河]

（次ページに続く）

(2) 種子をもつ植物群は種子植物とよばれ、裸子植物と被子植物からなる。現生の裸子植物は、(a) ソテツ類、イチヨウ類、グネツム類、球果類の4つの分類群に分けられ、約800種が知られている。一方、(b) 被子植物は地球上で最も多様化した植物群であり、約25万種が知られている。以下の設問(i)、(ii)2問とも答えよ。

(i) 下線部(a)について、4つの分類群の中で、最も種数が多い分類群と、最も種数が少ない分類群をそれぞれ答えよ。

(ii) 下線部(b)について、被子植物の共有派生形質を3つ記せ。

(3) 分類学、系統学に関する以下の用語(i)～(viii)の中から3つを選び、それぞれについて3行程度で説明せよ(必ず3つだけを選ぶこと)。

- (i) 原生中心柱 (protostele)
- (ii) 二名法 (binominal nomenclature)
- (iii) 輪状種 (環状種) (ring species)
- (iv) 葉序 (phyllotaxis)
- (v) 網状進化 (reticulate evolution)
- (vi) ホロタイプ (holotype)
- (vii) 方形骨 (quadrate bone)
- (viii) 有羊膜類 (Amniota)

(次ページに続く)

(B) 以下の設問 (1) ～ (3) のすべてに答えよ。

- (1) (a) 哺乳類では様々な運動様式が見られる。歩行様式ではクマ類（食肉目）などの蹠行型、(b) イヌ類やネコ類（食肉目）などの指行型、偶蹄類（鯨偶蹄目）や奇蹄目などの蹄行型がある。また、皮膜を発達させることにより、コウモリ類（翼手目）が飛翔能力を獲得し、齧歯目、有袋上目、皮翼目では (c) 平行的に滑空が進化した。さらに四肢を鰭状に変化させて水中適応したものとして鯨類（鯨偶蹄目）やアシカ・アザラシ類（食肉目）などの (d) 3目が知られる。以下の設問 (i) ～ (iv) すべてに答えよ。

(i) 下線部 (a) について、哺乳類の四肢と胴の姿勢にみられる爬虫類との違いを3行程度で説明せよ。

(ii) 下線部 (b) について、2つの歩行様式をあわせて3行程度で説明せよ。

(iii) 下線部 (c) について、滑空適応した動物を以下から3つ選べ。

[ニホンムササビ、フクロモモンガ、ハネオツパイ、マレーヒヨケザル、スローロリス、ハネジネズミ]

(iv) 下線部 (d) について、もうひとつの目の名称を記せ。和名でも学名でもかまわない。

- (2) 動物地理学において、1876年に[ア]によって出版された『動物の地理的分布 (The geographical distribution of animals)』によって (a) 6つの動物地理区が提唱された。日本はこのうち旧北区と東洋区に属する。後の研究からその日本での境界線はトカラ構造海峡にあり、人名にちなんで[イ]線ともよばれている。一方で、いずれも旧北区である本州と北海道の間にも動物相の違いが認められ、本州のみに同属種が分布する例（ニホンザルなど）、(b) 本州と北海道でそれぞれに同属別種が分布する例などが知られている。また、(c) 本州では固有種が、北海道はユーラシア大陸東北部との共通種が多くみられる。このことから、動物地理学の境界線として津軽海峡はブラキストン線とよばれることがある。以下の設問 (i) ～ (iv) すべてに答えよ。

(i) [ア]、[イ]に適切な語句を入れよ。

(ii) 下線部 (a) について、旧北区と東洋区以外の4つの動物地理区をすべてあげよ。

(次ページに続く)

(iii) 下線部 (b) について、陸棲脊椎動物 2 種の組み合わせを 1 つあげよ。和名でも学名でもかまわない。

(iv) 下線部 (c) の原因について、以下の単語をすべて用いて 5 行程度で説明せよ。

[陸橋、更新世、最終氷期、海水準変動、分散、隔離、種分化]

(3) 分類学、系統学に関する以下の用語 (i) ~ (viii) の中から 3 つを選び、それぞれについて 3 行程度で説明せよ (必ず 3 つだけを選ぶこと)。

(i) 原生中心柱 (protostele)

(ii) 二名法 (binominal nomenclature)

(iii) 輪状種 (環状種) (ring species)

(iv) 葉序 (phyllotaxis)

(v) 網状進化 (reticulate evolution)

(vi) ホロタイプ (holotype)

(vii) 方形骨 (quadrate bone)

(viii) 有羊膜類 (Amniota)

生物学

問題 6

(A)、(B) 2 問とも解答せよ。また、それぞれの答えを別の解答用紙に記入せよ。

(A) 以下の文章を読んで、設問 (1) ～ (4) のすべてに答えよ。

ある仮想的なトカゲ (種 A とする) では、繁殖期になると雄の頭部側面が鮮やかな赤みを帯びる。このトカゲについて、以下の (i) ～ (iii) のことが実験的に明らかになっているとする。

(i) 鮮やかな赤色をしている雄ほど、雌に交尾相手として選ばれやすい。

(ii) 鮮やかな赤色をしている雄ほど、捕食者に発見されやすい。

(iii) 鮮やかな赤色をしている雄ほど、生存率が高い。

上記の (i) ～ (iii) のことから、雄の頭部側面の赤い色は [ア] 選択により進化したと考えられる。また、_(a) 雌が鮮やかな赤色の雄を好む理由は、アモツ・ザハヴィ (Amotz Zahavi) が提唱した [イ] の原理により説明することが可能である。

(1) [ア]、[イ] に適切な語句を入れよ。

(2) 下線部 (a) について、雌が鮮やかな赤色の雄を好む適応的な理由を、上記 (ii) および (iii) の内容を踏まえながら、5 行以内で説明せよ。

(3) 種 A の雄は、尾の背面が鮮やかな黄色をしている。しかし、雌が交尾相手として雄を選ぶ際には、この黄色の鮮やかさは影響しないとする。この場合、雄のみが鮮やかな黄色の尾を持つように進化した適応的な理由として考えられる仮説を 1 つあげ、2 行程度で答えよ。

(次ページに続く)

- (4) 種 A の雄は、黄色い尾を数秒にわたって継続的に左右にくねらせ続けるという「尾振り」ディスプレイを行う。ある 2 人の研究者が、このディスプレイの適応的機能を明らかにするための手がかりを得るために、大きさの異なる 2 個体の雄（それぞれ雄 α 、雄 β とする）を対象として、尾振りディスプレイを行う傾向を同時に 2 時間にわたって調べた。この際、2 人の研究者は以下のような異なる観察方法を用いた。

研究者 1：まず雄 α を目を離さずに継続して 5 分間観察し、ディスプレイを行うたびに尾を振っている時間の長さを記録した。次に雄 β を 5 分間継続して同様に観察、記録した。この交互の観察を 2 時間のあいだ繰り返して行い、尾を振った時間の長さの合計を 2 個体間で比較した。

研究者 2：まず雄 α を目を離さずに継続して 5 分間観察し、ディスプレイを行った回数を記録した。次に雄 β を 5 分間継続して観察して、同様の記録を行った。この交互の観察を 2 時間のあいだ繰り返して行い、ディスプレイを行った回数の合計を 2 個体間で比較した。

2 人の研究者の観察結果を比較したところ、研究者 1 では雄 β のほうが雄 α よりディスプレイを行う傾向があると結論し、一方、研究者 2 では雄 α のほうが雄 β よりディスプレイを行う傾向があると結論した。

このように 2 人が違った結論を出した理由としては、研究者間での行動観察の手法の違いが考えられる。これについて 5 行程度で具体的に説明せよ。

- (B) 動物行動学に関する以下の用語 (1) ~ (7) の中から 4 つ選び、それぞれについて 3 行程度で説明せよ (必ず 4 つだけを選ぶこと)。

- (1) 警戒行動 (vigilance behavior)
- (2) 3/4 仮説 (3/4 theory)
- (3) 命—ごちそう原理 (life-dinner principle)
- (4) 局所的資源競争 (local resource competition)
- (5) オペラント条件づけ (operant conditioning)
- (6) 先住効果 (residence effect)
- (7) 感覚便乗仮説 (sensory exploitation hypothesis)

生物学

問題 7

(A)、(B) 2 問とも解答せよ。また、それぞれの答えを別の解答用紙に記入せよ。

(A) 以下の文章を読んで、設問 (1) ～ (4) のすべてに答えよ。

同一地域に生育する同種の個体の集まりを〔 ア 〕とよび、その個体数の増加・減少率は多くの場合、個体の密度に依存する。_(a) 新たな生育地において、最初、個体数は増加するが、いつまでも増加し続けるわけではない。

(1) 〔 ア 〕に適切な用語を入れよ。ただし、群れは正答としない。

(2) 下線部 (a) について、「内的自然増加率」と「環境収容力」をそれぞれ 2 行程度で説明せよ。図を用いても構わない。ただし図は行数に含めない。

(3) ある植物種 Z は、植物種 W に比べて、相対的に内的自然増加率が高い。同じ植生遷移系列初期において両種が優占種として出現する場合に、どちらの種がより早くに出現すると考えられるか。理由と合わせて 2 行程度で説明せよ。

(4) 植生遷移において、遷移の初期以外ではどのような植物種が優占種となるかは、内的自然増加率や環境収容力によっては決まらない。植物のどのような性質が優占種となるための重要な要因か、2 つあげて、理由と合わせてそれぞれ 2 行程度で説明せよ。

(次ページに続く)

(B) 以下の文章を読んで、設問 (1) ~ (3) のすべてに答えよ。

アメリカ合衆国東部に生息する周期ゼミ (*Magicicada* 属) には、幼虫期が 17 年と昆虫の中で最も長いものが含まれる。地域ごとに 1 つの年級群 (同じ年に生まれた個体の集団) しか存在しないので、17 年ゼミは 17 年に一度しか成虫の発生を見ることができない。他の年には地中に幼虫が存在するだけである。しかし発生する年には、限られた期間に膨大な数の成虫が同時に羽化する。オスは鳴き声でメスを引きつけて交尾し、メスは木の枝に産卵する。ふ化した幼虫は地中に潜り、木の根から吸汁して成長する。

- (1) ある地域の 17 年ゼミの 1 種において、ある世代の成虫個体数が 60,000、次の世代の成虫個体数が 63,000 であったとする。性比が常に 1 : 1 で、メス 1 個体が 300 個の卵を産むとした場合、初めの世代のメスが産んだ卵が成虫となるまでの死亡率は何%か。ただし、成虫となったすべてのメスが同様に交尾・産卵したものとする。
- (2) 周期ゼミのような 1 回繁殖型の生物と、成熟してから複数年にわたり繰り返し繁殖する多回繁殖型の生物を比較した場合、繁殖期における個体内部でのエネルギー・栄養分配における最も大きな違いは何か。2 行程度で説明せよ。
- (3) 周期ゼミの成虫が同時に発生することの利点 (適応的意義) として考えられることを 2 つあげ、それぞれ 2 行程度で説明せよ。

生物学

問題 8

(A)、(B) 2問とも解答せよ。また、それぞれの答えを別の解答用紙に記入せよ。

(A) 以下の文章を読んで、設問 (1) ～ (3) のすべてに答えよ。

人類を含め霊長類には、分散の仕方に性による偏りがみられる。初期人類は、雌雄どちらの性が出生地近くに留まる社会を形成していたのだろうか。この疑問に迫るのに大きく分けて以下のような3つのアプローチがあるが、その結果は必ずしも一致していない。

一つ目は現生のヒト以外の霊長類から迫るアプローチ。最もヒトに近縁のチンパンジーが父系の_(a) 地縁的集団を形成することは、初期人類が雌より雄が近くに留まる社会を形成していた可能性が高いことを示唆する。

二つ目は初期人類が営んでいたであろう生業形態を持つ現生の狩猟採集民から迫るアプローチ。婚姻後の居住形態が、夫方居住か妻方居住かが、重要な判断材料を提供してくれる。Marlowe (2004) による『スタンダード・クロスカルチュラル・サンプル』という民族誌データベースを用いた分析によれば、非狩猟採集民については夫方居住が60%を占めていたが、狩猟採集民では_(b) 選択居住が43%と最も高く夫方居住は34%に過ぎなかった。

三つ目は化石人類から迫るアプローチ。Copeland et al. (2011) は、南アフリカの同じ渓谷にある Swartkrans 洞窟、および Sterkfontein 洞窟において、一般に性的二型の認められることが多い永久歯を、パラントロプス・ロブストスのものと、アウストラロピテクス・アフリカヌスのものを採取し、それらに含まれるストロンチウムの同位体比*を調べた。そして、_(c) 洞窟周辺に生息する行動圏の小さな動物、および植物合わせて170種以上の同位体比と比較したところ、どちらの種においても大きなほうの歯の約90%が洞窟周辺の動植物の同位体比と似ていた。それに対して、小さいほうの歯ではおよそ半数しか似ていなかった。

* 動物のストロンチウム同位体比は、生息場所の地質や水質を反映しており、直接的には彼らの食物の同位体比を反映している。哺乳類ではストロンチウムは成長過程のエナメル質形成期に食物を通して歯に取り込まれる。

(1) 下線部 (a) について、チンパンジーが形成する地縁的集団とはどのようなものか、1行程度で説明せよ。

(2) 下線部 (b) の選択居住とは、どのような居住形態を指すか、3行程度で説明せよ。

(次ページに続く)

- (3) 下線部 (c) の結果から、初期人類は雌雄どちらの性が出生地近くに留まる社会であったらうと結論づけられるか、その理由とともに 5 行程度で説明せよ。

(B) 以下の文章を読んで、設問 (1) ～ (5) のすべてに答えよ。

2009 年に、[ア] に生きていた初期人類アルディピテクス・ラミダスの化石全身骨格が報告された。アルディという愛称のこの個体の _(a) 体重は約 50 kg、身長は約 120 cm で、その身体には _(b) 直立二足歩行をしていたと推測させる特徴と、樹上性であったと推測させる特徴が混在していた。手根や手指の関節が現生類人猿のそれらに比べ柔軟性に富むことから、アルディはナックルウォーキングをしていなかったと考えられている。アルディピテクス・ラミダスの犬歯は、アルディのもの以外にも多数見つかったが、それらのサイズはいずれも _(c) 現生大型類人猿のオスの犬歯に比べ小さく、変異の幅も現生大型類人猿に比べて小さかった。復元した頭蓋骨から、_(d) アルディの脳容量は 300～370 cm³ と見積もられている。

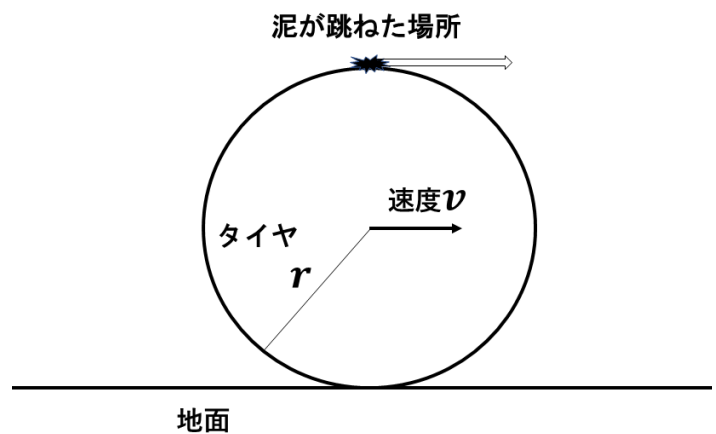
- (1) [ア] に入る地質年代を以下から 1 つ選べ (必ず 1 つだけを選ぶこと)。
[始新世、中新世、鮮新世、更新世、完新世]
- (2) 下線部 (a) について、アルディのボディマス指数 (Body Mass Index) を求めよ。ただし、小数点以下は四捨五入せよ。
- (3) 下線部 (b) について、直立二足歩行をしていたと推測させるものとして発見者らがあげた形質には、「比較的前方にある大後頭孔」と「S 字彎曲を示す脊柱」が含まれる。これら 2 つの形質が直立二足歩行と関係すると考えられる理由を、それぞれ 4 行程度で記せ。
- (4) 下線部 (c) について、発見されたアルディピテクス・ラミダスの犬歯に両性のものが含まれていたとすると、彼らはどのような性比の社会で暮らしていたと推測できるか。その理由を含めて 2 行以内で述べよ。
- (5) 下線部 (d) について、アルディの脳容量は平均的な成人の現代人と比べてどの程度の大きさであったか。以下の選択肢から最も近いものを 1 つ選び、その番号を記せ。
[(i) 1/2、(ii) 1/4、(iii) 1/6、(iv) 1/8、(v) 1/10]

物理学

問題 9

(A) ～ (C) 3問とも解答せよ。また、それぞれの答えを別の解答用紙に記入せよ。答えだけでなく計算過程が分かるように解答すること。

(A) 水平な地面の上を、半径 r のタイヤが道路に対して滑らずに転がっている。タイヤの中心が一定速度 v で進んでいるとき、タイヤの最高点から泥が跳ね、地面に着地した。泥が、跳ねた場所から着地するまでに進む水平距離はいくらか。また、この泥が落ちる途中でタイヤに触れないための条件を求めよ。ただし、泥の大きさ、空気抵抗は無視できるものとする。また、重力加速度を g とする。



(B) クーロンの法則によると、点電荷 q がそこから距離 r 離れた場所 P につくる電場 $\mathbf{E}$ は (MKSA 単位系を用いて)、

$$\mathbf{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{q}{r^2} \mathbf{r}_0$$

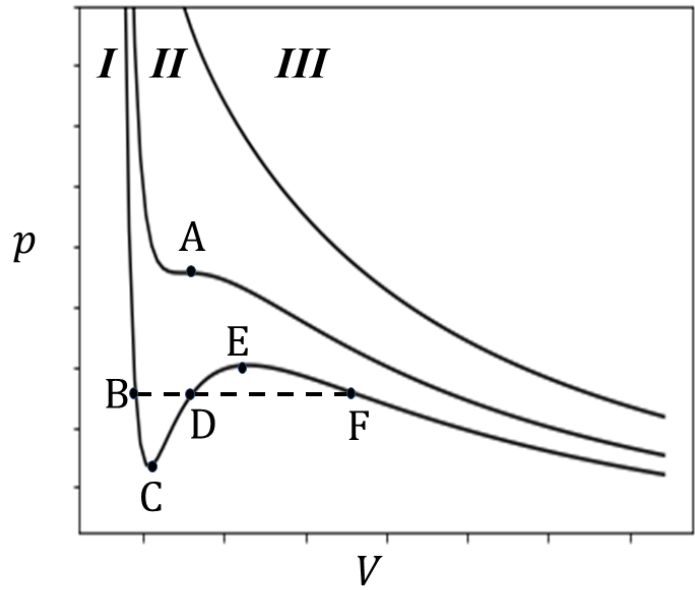
となる。ただしここで ϵ は媒質の誘電率、 $\mathbf{r}_0$ は点電荷の位置から P に向かう単位ベクトルである。いま、誘電率 ϵ の媒質中に、単位面積当たり σ の一様な面電荷をもつ (無限に続く) 平面があるとき、平面から距離 d の場所 P における電場 $\mathbf{E}$ の強さを求めよ。

(次ページに続く)

(C) ファンデルワールスの状態方程式は、

$$\left(p + \frac{an^2}{V^2}\right)(V - nb) = nRT$$

と書ける。ここで、 p は圧力、 V は体積、 n はモル数、 R は気体定数、 T は絶対温度を、それぞれ表す。 a および b は分子に固有の定数である。右図の $I \sim III$ は、3つの温度における状態方程式の pV 曲線を表す。B、D、F は曲線 I 上の圧力一定の点を表す。以下の設問 (1) ~ (4) のすべてに答えよ。



- (1) a および b は分子のどのような性質を表すと解釈されるか、それぞれ 1 行で説明せよ。
- (2) 右図の曲線において、 I と III どちらのほうが高い温度に対応するか、そう判断する理由とともに、3 行程度で答えよ。
- (3) 右図の中で、以下の (i) ~ (iii) を表現する場所は点 A~F のどこか、それぞれ記号で答えよ。
 - (i) 臨界点
 - (ii) 臨界点から離れた熱平衡状態の一様液体
 - (iii) 臨界点から離れた熱平衡状態の一様気体
- (4) 臨界温度、臨界体積を求めよ。

化学

問題 1 0

(A) ～ (C) のすべてに解答せよ。また、それぞれの答えを別の解答用紙に記入せよ。

(A) 以下の文章を読んで、設問 (1) ～ (3) のすべてに答えよ。

化学反応の反応速度定数 k は温度に依存する。アレニウスの式では、ある温度 T における k を以下のように表すことができる。

$$k = A \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (1)$$

ただし、 A は頻度因子、 E_a はアレニウスの活性化エネルギー、 R は気体定数、 T は絶対温度である。一方、絶対反応速度論では、 k を以下のように表すことができる。

$$k = \left(\frac{k_B T}{h}\right) \exp\left(-\frac{\Delta H^\ddagger}{RT}\right) \exp\left(\frac{\Delta S^\ddagger}{R}\right) \quad (2)$$

ただし、 k_B はボルツマン定数、 h はプランク定数、 $\Delta H^\ddagger$ は活性化エンタルピー、 $\Delta S^\ddagger$ は活性化エントロピーである。

- (1) 式(1)、式(2)それぞれについて、 k の自然対数 ($\ln k$) を定圧条件において温度で微分せよ。ただし、 E_a 、 A 、 $\Delta H^\ddagger$ 、 $\Delta S^\ddagger$ の温度依存性は無視してよいものとする。
- (2) 式(1)、式(2)、および (1) で導いた式から、 A と E_a を $\Delta H^\ddagger$ と $\Delta S^\ddagger$ を用いて表せ。
- (3) 二次反応における A の次元を記し、 A が反応系のどのような性質を表す値かを 2 行程度で説明せよ。

(次ページに続く)

(B) 設問 (1)、(2) 2 問とも答えよ。答えだけでなく、計算過程がわかるように解答すること。

(1) 塩化セシウム (CsCl) の結晶は、単位格子となる立方体の 8 つの頂点に Cl^- 、単位格子の中央に Cs^+ が配置した構造をもっている。 CsCl の単位格子一辺の長さを有効数字 2 桁で求めよ。また、塩化セシウムの密度 (g/cm^3) を有効数字 2 桁で求めよ。ただし、 Cs^+ と Cl^- の半径をそれぞれ $1.69 \text{ \AA}$ 、 $1.81 \text{ \AA}$ 、 Cs^+ と Cl^- の原子量をそれぞれ 133、36、アボガドロ定数を 6.0×10^{23} とせよ。必要ならば、 $\sqrt{2} = 1.41$ 、 $\sqrt{3} = 1.73$ 、 $\sqrt{5} = 2.24$ 、 $\sqrt{7} = 2.65$ を用いよ。

(2) 同じ波長の X 線を用いて得た NaCl 結晶と KCl 結晶の X 線回折パターンを比較した。 NaCl では、 $\{100\}$ 面からの反射が 6.00° に見られたのに対して、 KCl では対応する反射が 5.38° に見られた。 NaCl の単位格子の一辺の長さが $5.64 \text{ \AA}$ のとき、 KCl の単位格子の一辺の長さを有効数字 3 桁で求めよ。ただし、 θ が小さいとき、 $\sin \theta = \theta$ と近似してもよい。

(C) あるタンパク質は構造 A と構造 B の平衡混合物になっており、ある条件では構造 A と構造 B の濃度比が 9 : 1 であった。このタンパク質にある変異を加えたところ、構造 A と構造 B の自由エネルギーの差 (ΔG) が 2 倍になった。この変異タンパク質の同じ条件での構造 A と構造 B の濃度比を求めよ。

数学

問題 1 1

(A)、(B) 2 問とも解答せよ。また、それぞれの答えを別の解答用紙に記入せよ。
答えだけでなく計算過程がわかるように解答すること。

(A) 漸化式 $a_{n+2} = a_{n+1} + a_n$ と、初めの 2 項 $a_0 = 0, a_1 = 1$ で定義される数列 $\{a_n\}$ を考える。
このとき、以下の設問 (1) ~ (3) のすべてに解答せよ。

(1) a_n を第 10 項まで ($n = 2, \dots, 10$) 示せ。

(2) 隣り合う 2 項の比 a_{n+1}/a_n が $n \rightarrow \infty$ において一定値 λ に収束すると仮定し、その値 λ を求めよ。

(3) 以下の形式を用いて、数列 $\{a_n\}$ の一般項を求めよ。

$$a_{n+2} - \alpha a_{n+1} = \beta(a_{n+1} - \alpha a_n)$$

$$a_{n+2} - \beta a_{n+1} = \alpha(a_{n+1} - \beta a_n)$$

(次ページに続く)

(B) 以下の $u(t)$ 、 $v(t)$ の時間 t に関する微分方程式系を考える。ただし a 、 b 、 c 、 d 、 e はいずれも正の定数とする。

$$\frac{du}{dt} = a(b - v) - cu \quad (\text{B.1})$$

$$\frac{dv}{dt} = du - ev \quad (\text{B.2})$$

- (1) $du/dt = 0$, $dv/dt = 0$ を満たす点 (u^*, v^*) を求めよ。
- (2) (u, v) 平面上に $du/dt = 0$ を満たす線と、 $dv/dt = 0$ を満たす線を描き、これらの線で分割された各領域での (u, v) の時間変化の方向を図示せよ。また、 (u, v) の時間変化のおおよその軌跡を示せ。
- (3) (u^*, v^*) からのずれを $U := u - u^*$ 、 $V := v - v^*$ とおき、 (U, V) に関する線形化方程式を導け。さらに、点 (u^*, v^*) が a 、 b 、 c 、 d 、 e に依存せず安定であることを示せ。