

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。

細胞の特性は、細胞がもつ分子によって決まる。分子は [ア] によってつながった原子の集まりである。[ア] には2個の原子から1個ずつ提供された電子2個を共有してできる [イ] や、2個の原子が電子を2個ずつ出し合い4個の電子を共有した [ウ] などがある。[イ] を作る2個の原子が異なる場合、共有価電子を引きつける強さが違う。このように共有電子が偏っている [ア] は [エ] という。

細胞内にある有機化合物は、すべて単純な化合物群から合成され、もとの化合物に分解される。この一連の反応は厳密な化学的法則にしたがう。細胞内の化合物には化学的によく似たものが多く、細胞内の化合物のほとんどは糖、(a) 脂肪酸、(b) ヌクレオチド、(c) アミノ酸 の4種類に分けることができる。

(1) [ア] ~ [エ] に適切な語句を入れよ。

(2) 下線部 (a) について、パルミチン酸 $C_{16}H_{32}O_2$ の構造式を示せ。さらに、この脂肪酸が保有する化学的に異なる2つの部分を具体的に指し示し、パルミチン酸の性質において担う役割をそれぞれ2行程度で説明せよ。

(3) 下線部 (b) について、ヌクレオチドは DNA と RNA の構成単位である。デオキシリボヌクレオチドが結合して鎖状構造を作るときの結合様式の名称を答えよ。また、デオキシアデノシンーリン酸 (dAMP) とデオキシシチジンーリン酸 (dCMP) が結合しているときの構造式を示せ。

(4) 下線部 (c) について、酸性アミノ酸の名称を2つあげ、それぞれの構造式を示せ。

(5) タンパク質の構造決定とともに、その構造の特徴を説明するモデルの開発も進んできた。主鎖モデル、リボンモデル、針金モデル、空間充填モデルの中から2つを選び、それらのモデルの特徴をそれぞれ2行程度で説明せよ (必ず2つだけを選ぶこと)。

(次ページに続く)

(B) 以下の文章を読んで、設問 (1)、(2) 2問とも解答せよ。

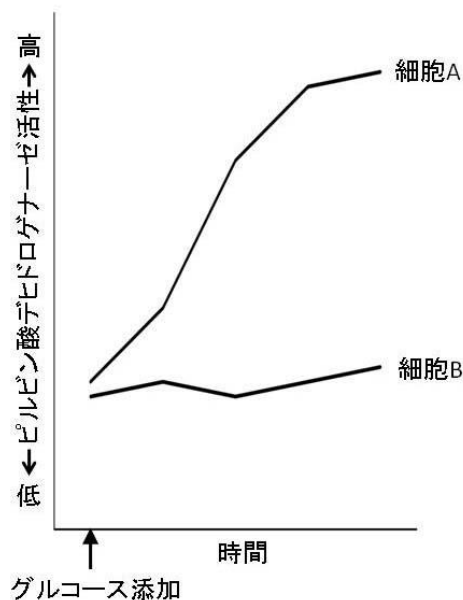
グルコースなどの糖質はすべての生物にとって重要なエネルギー源である。この糖質からのエネルギー獲得は、解糖とよばれる酸素が関与しない一連の反応による ATP 生成から始まる。解糖では6炭素のグルコースが3炭素のピルビン酸2分子に代謝される。その後は、ピルビン酸が細胞内の[ア]にとどまり、酸素が関与しない嫌氣的代謝経路、および、ピルビン酸が細胞内の[イ]に運ばれ、二酸化炭素とアセチル CoA に代謝され、酸素を消費してエネルギー獲得をするクエン酸回路によって ATP が生成される。

異なるグルコース代謝の特徴を持つ2つの細胞AとBをあわせて1つの培養皿で培養し、グルコースを添加した。(a) その結果、酸素消費量のグルコース消費量に対する比率の実測値は理論値 (すべてのグルコースが酸素消費によるエネルギー獲得に用いられた場合の値) よりも低いことが観測された。

(1) [ア]、[イ] に適切な語句を入れよ。

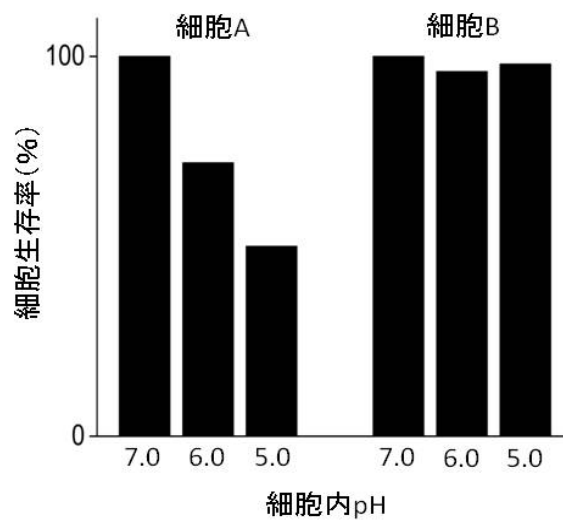
(2) 下線部 (a) について、以下の設問 (i) ~ (iii) のすべてに答えよ。

(i) ピルビン酸デヒドロゲナーゼの活性を測定したところ、下図のような結果が得られた。このことから、下線部 (a) となる理由を、3行程度で説明せよ。



(次ページに続く)

- (ii) 細胞Bでは、乳酸が多く産出され、モノカルボン酸トランスポーターを介して細胞Aに輸送された後、ピルビン酸へと代謝される。また、細胞AとBにおいて、下図のような細胞内 pH と細胞生存率の関係が存在する。このとき、培養皿でのグルコース量はそのまま、酸素供給を停止したところ、細胞Aの細胞死が観察された。また、酸素供給を停止した状態で、グルコースの添加量を2倍にしたところ、細胞Aの細胞死は加速された。細胞Aの細胞死がグルコースの添加量増加で加速した理由を5行程度で説明せよ。



- (iii) 酸素供給下で細胞AとBに、1分子ずつのグルコースが与えられた場合に、それぞれの細胞で合成される ATP の数を答えよ。ただし、1分子のグルコースがピルビン酸に代謝される過程では、2分子の ATP が合成される。また、1分子のピルビン酸がクエン酸回路で代謝される過程では、15分子の ATP が合成されるものとする。

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) ~ (5) のすべてに答えよ。

遺伝情報の担い手である DNA は、通常はアデニンと [ア]、シトシンと [イ] が水素結合した安定な二重らせん構造をとっている。細胞分裂の際には DNA ポリメラーゼが新たな DNA を複製し、二本鎖の鋳型が [ウ] 的にコピーされ、娘細胞に伝わる。この仕組みを利用して試験管内で目的領域の DNA を増幅するのが PCR 法であり、目的領域の末端と [エ] 形成する 2 本の ^(a) プライマーを起点としたポリメラーゼ反応が試験管内で繰り返される。また、^(b) サンガー法では 1 本のプライマーを起点としたポリメラーゼ反応を試験管内で行い、その産物の長さを解析することにより塩基配列を決定する。

[エ] 形成は、様々な分子生物学的実験に用いられる。例えば、^(c) サザン・ブロット法では [オ] を用いて DNA を断片化し、目的の塩基配列を検出することができる。また、組織切片や細胞上で RNA と [エ] 形成するプローブを用いることにより、RNA の局在部位を同定することができる。さらに、^(d) マイクロアレイと呼ばれるプローブの並んだ基板を用いて RNA の量を推定することも可能である。近年では、マイクロアレイの使用は減少し、次世代シーケンサーを用いた、より情報量の多い解析方法に移りつつある。

- (1) [ア] ~ [オ] に適切な語句を入れよ。
- (2) 下線部 (a) について、この設計の際にアデニンやシトシンの含有量が重要になる。PCR 法の手順に基づいてその理由を 5 行程度で述べよ。
- (3) 下線部 (b) について、その原理を 5 行程度で述べよ。
- (4) 下線部 (c) について、その原理を 3 行程度で述べよ。
- (5) 下線部 (d) について、その原理を 3 行程度で述べよ。

(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。

真核細胞においては、タンパク質をコードする mRNA 前駆体は RNA ポリメラーゼによって転写される。大半の遺伝子は、エキソンがイントロンによって分断されているため、主に [ア] RNA とタンパク質複合体の働きにより配列中の (a) イントロンは除去される。 この一連の反応はスプライシングと呼ばれる。

核内でプロセッシングを受けて成熟した mRNA は細胞質へ輸送され、rRNA とタンパク質の複合体であるリボソームで翻訳される。翻訳過程において mRNA 内の連続した 3 つの塩基配列 (トリプレット) は [イ] と呼ばれ、それぞれ 1 つのアミノ酸を指定する。mRNA をタンパク質に翻訳するには、tRNA と呼ばれる長さが約 [ウ] ヌクレオチド長の RNA 分子が介在する。tRNA の [エ] 末端には [イ] に対応するアミノ酸が [オ] 酵素により付加される。翻訳の開始時に運ばれるアミノ酸は通常修飾されていない [カ] であるが、これは後に特異的プロテアーゼにより除去される。

(1) [ア] ~ [カ] に適切な語句または数字を入れよ。

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

(i) スプライシングの過程を以下の 3 つの用語をすべて用いて 3 行程度で説明せよ。

[分岐構造、アデニン、リボース]

(ii) スプライシングにより除去されたイントロンは特徴的な構造をとることが知られている。この構造を図示し、末端に 5' または 3' 末端かの区別を明示せよ。

(3) 上記は真核生物についての説明である。[カ] について、原核生物の場合に用いられるアミノ酸の名称を答えよ。

(4) リボソームが翻訳を開始するための [イ] を見つける過程は、真核生物と原核生物において異なる点がある。この違いを mRNA の構造をふまえて、5 行程度で説明せよ。

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。

成人のヘモグロビンは α グロビンと β グロビンが2つずつ会合した $\alpha_2\beta_2$ 四量体タンパク質である。 β グロビンには、配列の類似度が高い ϵ グロビンや γ グロビンなどが存在し、 β グロビンファミリーを形成している。ヒト第11染色体上には、上流から ϵ 、2種類の γ 、 δ 、 β グロビンの遺伝子が近接して並んだ領域がある。さらに、この領域に2ヶ所、配列が類似しているが遺伝子産物を作らない[ア]化した部分がある。 β グロビンファミリーは、遺伝子[イ]と変異によって生じたと考えられる。(a) 胚の時期のヘモグロビンでは、 α グロビンは β グロビンではなく ϵ グロビンと会合し、胎児期には α グロビンは γ グロビンと会合することが知られている。発生段階に応じて、ヘモグロビンを作る β グロビンファミリーが変化していくのは、[ウ]の制御が変化するためである。

成人では一部のヘモグロビンが β グロビンのN末端で血液中のグルコースと非酵素的に結合し、ヘモグロビンA1cとなる。糖尿病は血液中のグルコース濃度(血糖値)が慢性的に高いことによって引き起こされる疾病である。健康診断の際、(b) ヘモグロビンA1cの全ヘモグロビン中のパーセンテージ(HbA1c)は血糖値とともに糖尿病の疾病マーカーとして測定される。

(1) [ア]～[ウ]に適切な語句を入れよ。

(2) 遺伝子[イ]はどのような機構によって生じることが多いか。以下の3つの語句をすべて用いて3行程度で説明せよ。

[相同組換え、不等交差、欠失]

(3) 下線部(a)について、胎児型ヘモグロビンと成人型ヘモグロビンではどのように機能が違うか。またそれにはどのような生物学的意義があるか。あわせて3行程度で説明せよ。

(4) 下線部(b)について、血糖値だけではなくHbA1cを測定する意義を以下の3つの語句をすべて用いて4行程度で説明せよ。

[ホルモン、赤血球の寿命、食事の影響]

(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。

細胞周期はG₁期、S期 (DNA複製期)、G₂期およびM期 (分裂期) の4つの時期に分けられる。細胞内DNAが複製され、そして順序正しく細胞分裂が行われるように細胞周期は厳密に制御されている。

- (1) S期で倍加した姉妹染色分体は、コヒーシンと呼ばれるリング状構造のタンパク質複合体によって接着する。そしてコヒーシンは紡錘体が適切に形成された後に切断される。この切断の過程を以下の語句の両方を用いて4行程度で説明せよ。
[セキュリン、後期促進複合体]
- (2) M期で正しく有糸分裂が行われるためには、微小管に生じる張力が重要である。同じ紡錘体極から伸長した複数の微小管が姉妹染色分体の両方の動原体に誤って結合した場合と、正常に結合した場合には、張力のかかり方にはどのような違いがあるか。3行程度で説明せよ。
- (3) 栄養が十分に含まれる培地、栄養が少ない培地でそれぞれ哺乳動物細胞を培養しておき、生存細胞の割合を比較したところ、両者に違いは見られなかった。次に、それぞれの培地にDNA複製を阻害する薬剤を加え、さらに培養したところ、生存細胞の割合は低栄養培地のほうが高かった。これは低栄養培地中の細胞にどのような変化が起きたためと考えられるか。3行程度で説明せよ。
- (4) 真核生物では、通常のDNA複製で用いられる複製起点以外に、多くの複製起点が存在することが知られている。この余剰な複製起点はどのような役割をもっていると考えられるか。4行程度で説明せよ。

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) ~ (5) のすべてに答えよ。

脂質二重膜は、^(a) 多くの物質を透過させない。そのため、特定のイオンを ^(b) 能動輸送によって汲み出すことで、膜を介した [ア] を形成し、維持することができる。[ア] は、動物の神経細胞における情報伝達、ミトコンドリアや葉緑体における ATP 合成など、さまざまな生命現象において重要な役割を果たす。

ミトコンドリアや葉緑体における呼吸や光合成による ATP 合成機構はH⁺の [ア] を利用するという点において類似している。[ア] はミトコンドリアでは [イ]、葉緑体では [ウ] とよばれる膜を介して形成され、これによって引き起こされるH⁺の流れが膜に埋め込まれた ATP 合成酵素を回転させることで ATP を作り出す。^(c) [ア] が失われたミトコンドリアは、機能不全に陥ったものとして認識され自食作用により除去される。

(1) [ア] ~ [ウ] に適切な語句を入れよ。

(2) 下線部 (a) について、以下の物質のうち最も膜を透過しやすいもの、最も透過しにくいものを選び、その理由をそれぞれ2行程度で述べよ。

[N₂、Cl⁻、ヌクレオチド、H₂O、グリセロール]

(3) [ア] は2つの異なる成分から構成される。H⁺の [ア] が形成された膜において、H⁺と共役した他の一価の陽イオンのアンチポートがおこなわれた場合、それら2つの成分はどのように変化するか。あわせて2行程度で述べよ。

(4) 下線部 (b) の動力源として考えられるものを2つあげよ。

(5) 葉緑体では、下線部 (c) と同様の現象が起こるとは考えにくい。その理由について、葉緑体とミトコンドリアにおける [ア] の形成場所の違いに注目しながら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)～(4)のすべてに答えよ。

真核細胞内には様々な細胞小器官が存在し、役割分担をしている。

リソソームは、細胞内消化を行う細胞小器官であると考えられてきた。ある研究者が、細胞内のタンパク質分解においてもリソソームが主要な役割を果たすことを証明するために、(a) リソソームの消化機能を包括的に阻害する試薬Aを細胞に投与した。しかし、試薬Aが期待通りの効果を発揮してグリコーゲンなどの分解は止まったにも関わらず、(b) タンパク質分解は進行した。

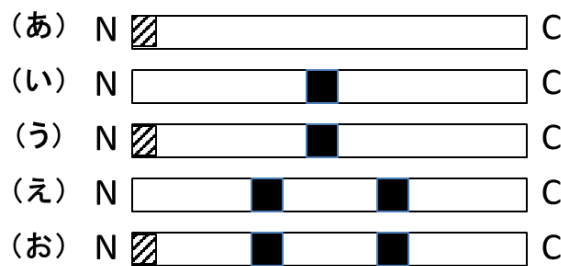
リボソームで合成されたタンパク質は、そのタンパク質がもつ(c) シグナル配列の働きによって目的の細胞小器官へ輸送される。(d) 細胞外に分泌されるタンパク質、細胞膜に局在する膜貫通型タンパク質、およびゴルジ体やリソソームに局在するタンパク質は、まず小胞体に取り込まれ、その後小胞輸送によって最終目的地へと輸送される。シグナル配列をもたないタンパク質は細胞質に局在する。

- (1) 下線部(a)について、試薬Aはリソソームにどのような影響を与えてその消化機能を包括的に阻害すると考えられるか。3行程度で説明せよ。
- (2) 下線部(b)について、それはなぜか。2行程度で説明せよ。
- (3) 下線部(c)について、核行き(核局在化)シグナル配列、小胞体行きシグナル配列、ミトコンドリア行きシグナル配列の特徴をそれぞれ1行程度で記述せよ。

(次ページに続く)

(4) 下線部 (d) について、以下の設問 (i)、(ii) 2問とも解答せよ。

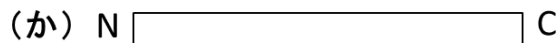
(i) 下図 (あ) ~ (お) に示したようなアミノ酸配列上の特徴を持つタンパク質が取り込まれると、小胞体でどのような配向を示すか。右下図の小胞体模式図を用いて、(あ) ~ (お) について、解答例 (か) を参考に個別に図示せよ。ただし、N は N 末端、C は C 末端、斜線入りの四角は小胞体行きシグナル配列、黒塗りの四角は膜貫通領域を表すものとする。図に N と C を必ず書き込むこと。四角の長さや太さは正確でなくてよい。



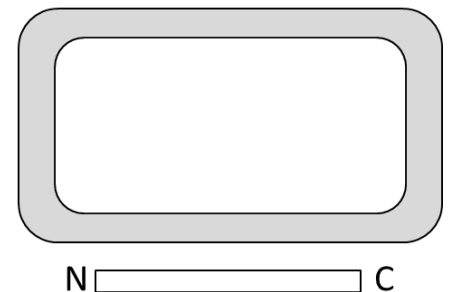
小胞体模式図



(
例) 小胞体に取り込まれないタンパク質である (か) の場合、解答は右下図のようになる。



(か) (解答例)



(ii) アドレナリン受容体のような G タンパク質共役型受容体が小胞体に取り込まれるとどのような配向を示すか。(i) の解答形式と同様に図示せよ。

生物学

問題 5

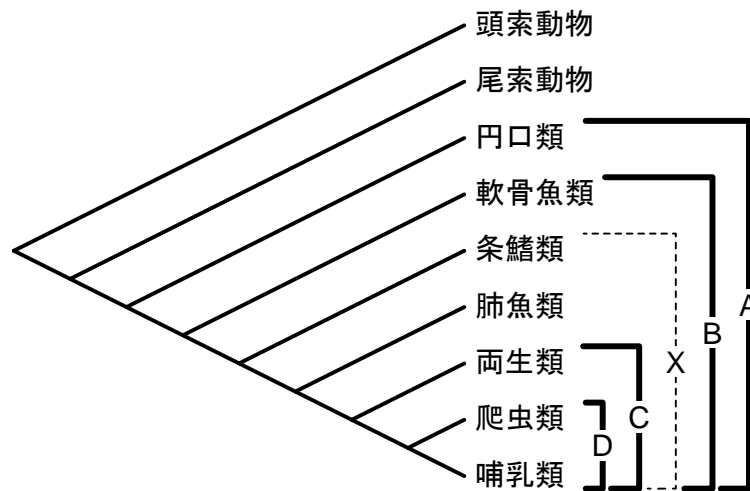
(A) ~ (C) のうち、2問を選んで解答せよ（必ず2問だけを選ぶこと）。また、それぞれの答えを別の解答用紙に記入せよ。

(A) 緑色植物に関する以下の設問（1）～（3）のすべてに答えよ。

- (1) 種子をつくらない維管束植物と種子植物との間では、精子（精細胞）が卵細胞のもとへ運ばれる方法に大きな違いがある。その違いを5行程度で説明せよ。
- (2) 緑色植物の分類について、次の語句をすべて用いて5行程度で説明せよ。
[コレオケーテ類、シャジクモ類、ストレプト植物、陸上植物、緑藻植物]
- (3) 着生植物と寄生植物の例を、それぞれ1種ずつあげよ。また、着生植物と寄生植物の違いを3行程度で説明せよ。

(次ページに続く)

(B) 脊索動物の系統関係が下図のとおりであるとする。このとき以下の設問(1)～(3)のすべてに答えよ。



- (1) 脊索動物の形態的特徴を4つあげよ。
- (2) 図のA、B、C、Dで示した各クレードの分類群名をあげ、それぞれの固有派生形質を1つずつ記せ。ただし、分類群の階級を示す必要はない。
- (3) 図のクレードXは、消化管から膨出して発生する袋状の器官をもつ。この器官は大多数の条鰭類においては消化管背側に位置し、無対で鰾(うきぶくろ)とよばれる。一方、肺魚、両生類、爬虫類、哺乳類においては消化管腹側に位置し、対をなして肺とよばれる。以下の設問(i)、(ii)2問とも答えよ。
- (i) 条鰭類のうち腕鰭類は他の全ての条鰭類の姉妹群であり、肺をもつ。クレードX内における肺と鰾はどのように進化してきたと考えられるか。肺と鰾が相同器官と仮定し、3行程度で説明せよ。
- (ii) 古生代に栄えた板皮類というグループが知られ、クレードBの姉妹群と考えられている。板皮類の少なくとも一部のグループは肺をもっていたと考えられている。この前提のもとで、軟骨魚類が肺も鰾ももたないことはどのように説明されるか。2通りの可能性をあわせて3行程度で説明せよ。

(次ページに続く)

(C) 分類学、系統学に関する以下の用語 (1) ~ (7) から4つを選び、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) ネオタイプ (neotype)
- (2) 原糸体 (protonema)
- (3) 最節約法 (maximum parsimony methods)
- (4) 接合前生殖隔離 (prezygotic reproductive isolation)
- (5) 隠蔽種 (cryptic species)
- (6) 先取権 (優先権) の原則 (principle of priority)
- (7) 真体腔 (deuterocoel)

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。

動物には、親以外の個体が子供の世話をするものがある。ハチやアリの仲間などでは、不妊のワーカーが未成熟個体の世話をする例が数多く知られており、これを [ア] 社会性とよぶ。鳥類や哺乳類でも、[イ] とよばれる成熟した個体が、自らは繁殖せずに親元にとどまり、年下のきょうだいの養育に参加する例が知られており、これを協同繁殖とよぶ。

(a) 雌雄のペアとその子供たちからなるグループがテリトリーを作る種で、好適なテリトリーが他のグループに占有されているような場合に、このような協同繁殖が見られることがある。 [イ] は血縁のあるきょうだいの養育に参加し、その生存率を高めることで、間接的な利益を得ていると考えられてきた。このことは、(b) 野外操作実験によっても確かめられている。 しかし、それだけでなく、(c) [イ] はただちに自分で繁殖するよりも親元にとどまることで、自身の生存率や将来の繁殖成功度を高めるといふ、直接的な利益もあることが分かってきた。

(1) [ア]、[イ] に適切な語句を入れよ。

(2) 親以外の個体による子供の世話の進化を考える上で、世話をする個体とされる個体間の血縁度が重要である。血縁度に関する以下の設問 (i)、(ii) 2問とも解答せよ。

(i) 鳥類や哺乳類において、同じ両親から生まれたきょうだいの血縁度を答えよ。

(ii) ハチやアリなどに見られる半倍数性の遺伝様式の昆虫では、メスは倍数体、オスは半数体である。このような昆虫において、同じ両親から生まれたメスの姉妹の血縁度を答えよ。

(次ページに続く)

(3) 下線部 (b) について、どのような実験をすれば、[イ] がきょうだいの養育に貢献していることを検証できるか。実験のデザイン、予想される結果をあわせて3行程度で記述せよ。

(4) 下線部 (c) について、[イ] は親元にとどまることで、なぜ直接的な利益を得られると考えられるか。下線部 (a) の条件を想定し、以下の設問 (i)、(ii) 2問とも解答せよ。

(i) 自身の生存の可能性が高まる理由を、2行程度で記述せよ。

(ii) 自身の将来の繁殖の可能性が高まる理由を、2行程度で記述せよ。

(B) 動物行動学に関する以下の語句 (1) ~ (7) から4つを選び、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) 信号検出理論における誤警報 (false alarm in signal detection theory)

(2) 互惠的利他主義 (reciprocal altruism)

(3) フレーメン (flehmen)

(4) 共有地の悲劇 (tragedy of the Commons)

(5) 歩哨行動 (sentinel behavior)

(6) モビング (mobbing)

(7) 宿主操作 (host manipulation)

生物学

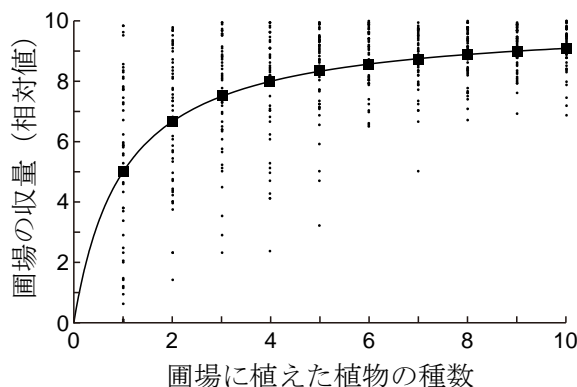
問題 7

(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) ~ (3) のすべてに答えよ。

生態系を構成する種の ^(a) 多様性と、一次生産や分解などの生態系機能にはどのような関係があるのだろうか？ 1990年代、Tilmanらは北米の草原の植物群集からランダムに植物種を選んで同一面積の圃場に植えた場合、^(b) 圃場に植えた種数が多いほど圃場の生産性(収量で評価)が平均的に高くなるという結果を得た。ただし、圃場に植える種子の総重量は同じにしてある。種数が多いほど圃場の生産性が平均的に高くなるメカニズムに関して、次の2つの仮説が提案された。^(c) 仮説1：圃場に植える種数が多いほど、生産性が高く競争にも強い種が含まれる確率が高まる。仮説2：圃場に植える種数が多いほど、資源利用ニッチの違いによって競争が緩和され、資源利用効率が高まる。

- (1) 下線部 (a) について、生態系が複数の小さな生態系から構成されている場合には、 α 多様性、 β 多様性、 γ 多様性を区別することがある。それぞれの多様性の違いを3行程度で説明せよ。
- (2) 下線部 (b) について、「平均的に」というただし書きが必要となる理由を、個々の種の生産性の違いに着目して5行程度で説明せよ。
- (3) 下線部 (c) について、下図は仮説1または2のいずれかが正しいとした場合に予測される種数と生産性の関係である。この図はどちらの仮説に基づくかをその理由とともに5行程度で説明せよ。



(図の説明)

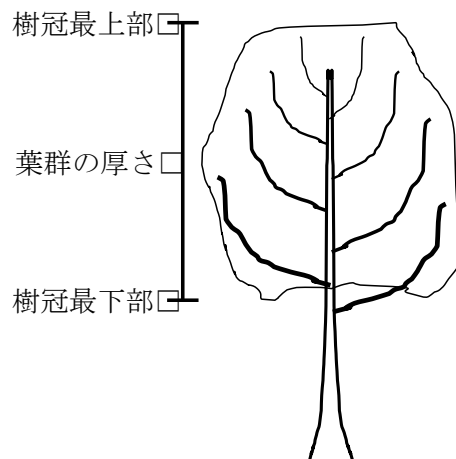
黒い四角は各種数における収量の平均、各点は1回の実験で得られた収量を表す。(PNAS, vol. 94, 1857-1861, 1997 を参考に作図)

(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。

明るい場所に生育する植物の葉は陽葉、暗い場所に生育する植物の葉は陰葉とよばれる。また1本の樹木の葉群の中でも、明るい樹冠上部の葉は陽葉に、暗い樹冠下部の葉は陰葉になる。陽葉と陰葉の特性の差異を大きくできる樹種もあれば、できない樹種もあり、葉の特性には大きな種間差が見られる。

- (1) 陽葉と陰葉では、葉面積あたりの光合成速度に違いが見られる。光飽和点での光合成速度、暗呼吸速度、光補償点はどのように異なるか。それぞれの葉の内部構造の違いに基づき、あわせて3行程度で説明せよ。
- (2) 陽葉と陰葉間の特性の差異を大きくできる樹種とできない樹種を比較した場合、葉群の厚さ(樹冠最上部と最下部の葉の距離: 下図参照)はどのように異なると予測されるか。理由とともに4行程度で説明せよ。
- (3) 一般に、落葉樹は常緑樹より葉が薄く、葉重あたりの光合成速度が高い。落葉樹の葉のそのような特性はどのように適応的であると考えられるか。3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) ~ (4) のすべてに答えよ。

暁新世に繁栄したプレシアダピス目は ^(a) 真主獣大目 (Euarchonta) のメンバーで、^(b) 真霊長類 (近代的霊長類) の祖先に近縁の分類群である。始新世の真霊長類にはアダピス上科とオモミス上科の2つがある。アダピス上科は真霊長類の中で最も原始的であるが、オモミス上科よりも大型であった。オナガザル上科とヒト上科は、漸新世の中期から後期に起源し、中新世以降、それぞれが異なる時期に多様化した。現生オナガザル上科には食性が大きく異なるオナガザル亜科と ^(c) コロブス亜科 がある。^(d) オナガザル亜科はその食性において類人猿と競合する。

- (1) 下線部 (a) に属する霊長類以外の現生哺乳類の目 (order) を2つ答えよ。
- (2) 下線部 (b) に関して、真霊長類の共有派生形質を3つ答えよ。
- (3) 下線部 (c) に関して、コロブス亜科の食性に関する適応が身体形態にどのように反映されているか。3行程度で説明せよ。
- (4) 下線部 (d) に関して、この競合を避けるためにオナガザル亜科はどのような行動をとっているか。3行程度で説明せよ。

(次ページに続く)

(B) 人類学に関する以下の用語 (1) ~ (9) から 5 つを選び、それぞれについて 3 行程で説明せよ (必ず 5 つだけを選ぶこと)。

- (1) 性偏向分散 (sex-biased dispersal)
- (2) 腕渡り (brachiation)
- (3) 曲鼻 (猿) 類 (strepsirrhines)
- (4) 指背歩行 (knuckle-walking)
- (5) 尻だこ (ischial callosity)
- (6) 矢状稜 (sagittal crest)
- (7) フローレス人 (*Homo floresiensis*)
- (8) 最適採食理論 (optimal foraging theory)
- (9) 親子の対立 (parent-offspring conflict)

物理学

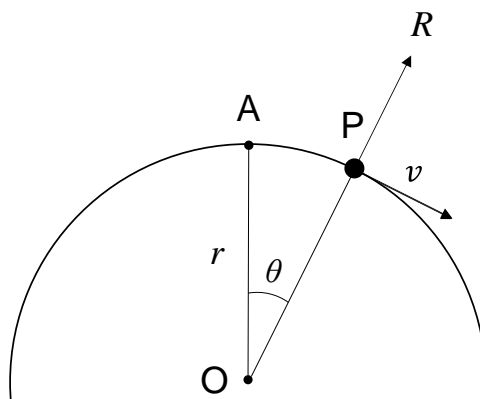
問題 9

(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。

下図のように、固定された滑らかな球の頂点 A から、質量 m の質点 P が初速度 0 ですべり出した。

- (1) 質点 P が球面の上をすべっているときの P の速さを v とおき、加速度の法線方向成分を、球の半径 r と v で表せ。
- (2) P が球面から受ける抗力の大きさを R とし、法線方向の運動方程式を書け。ただし、球の中心を O とし、AO と PO のなす角を θ 、重力加速度の大きさを g とせよ。
- (3) P が球面から離れたとき、 θ は、45 度よりも大きい小さいか答えよ。答えだけでなく、計算過程がわかるように解答すること。
- (4) 設問 (3) で、頂点 A から水平方向に大きさ v_0 の初速度を与えた場合、P が球面から離れるときの θ が満たすべき条件を、 v_0 、 g 、 r を用いて表せ。



(次ページに続く)

(B) 以下の設問 (1)、(2) 2問とも答えよ。

(1) 固有角振動数 ω の量子調和振動子のエネルギー準位が

$$E_n = \left(n + \frac{1}{2}\right) \hbar\omega \quad (n = 0, 1, 2, \dots)$$

で与えられるとき、温度 T における振動の分配関数 $q(T)$ が以下のように表されることを示せ。 \hbar はプランク定数を 2π で割った量とし、 $\beta = (k_B T)^{-1}$ で、 k_B はボルツマン定数とする。

$$q(T) = \frac{\exp(-\beta\hbar\omega/2)}{1 - \exp(-\beta\hbar\omega)}$$

(2) この調和振動子の平均エネルギー $\langle E \rangle$ が古典的なエネルギー等分配則から得られる平均エネルギーと一致するためには、温度 T がどのような条件を満たす必要があるか記せ。答えだけでなく、計算過程がわかるように解答すること。ただし、次の近似を用いてよい。

$$x \ll 1 \text{ のとき、} \exp(x) = 1 + x$$

化学

問題 10

(A) ~ (C) のすべてに解答せよ。

(A) 以下の文章を読んで、設問 (1)、(2) 2問とも答えよ。

基底状態にある炭素原子は、エネルギーの低い方から順に、[ア]軌道に2個、[イ]軌道に2個、[ウ]軌道に2個の合計6個の電子をもっている。メタン分子 (CH_4) 中の炭素原子では [エ] 混成軌道が形成されており、水素原子との共有電子対は、その中に存在している。エチレン分子 (C_2H_4) 中の炭素原子では、[オ] 混成軌道が形成されており、水素、あるいはもうひとつの炭素と [カ] 結合を形成する。また、[ウ] 軌道の電子はもうひとつの炭素と [キ] 結合を形成する。

アンモニア分子 (NH_3) 中の窒素原子でも [エ] 混成軌道が形成されているが、3つの NH 結合がなす角度は互いに 107° である。これはメタンの CH 結合が互いになす角度である 109° より ^(a) わずかに小さい。

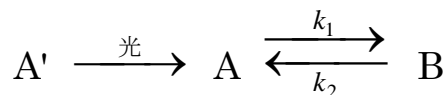
(1) [ア] ~ [キ] に適切な語句を入れよ。

(2) 下線部 (a) について、このようになる理由を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) ~ (3) のすべてに答えよ。答えだけでなく、計算過程がわかるように解答すること。

不活性状態にある化合物 A' にきわめて短時間光照射して、時刻 $t=0$ にすべての A' を活性状態にある A に変化させた。その後、化合物 A と化合物 B が熱平衡となる反応を考える。



ここで、A が B に変化するときの反応速度定数を k_1 、B が A に変化するときの反応速度定数を k_2 とする。

(1) 光照射直後の A の濃度を $[A]_0$ とするとき、十分に時間が経過した後の A の濃度 $[A]_\infty$ を、 k_1 、 k_2 、 $[A]_0$ を用いて表せ。

(2) 光照射直後の A の濃度の変化速度を、 k_1 、 k_2 、 $[A]_0$ を用いて表せ。

(3) 時刻 t における A の濃度 $[A]_t$ は、指数関数を用いて

$$[A]_t = Xe^{-Kt} + Y$$

という式で表すことができる。 X 、 Y 、 K を k_1 、 k_2 、 $[A]_0$ を用いて表せ。

(C) 一酸化窒素分子 (NO) で考えられる 2 つのルイス構造式を示せ。必要ならば形式電荷を付けよ。これらの構造に基づいて、NO が常磁性を示す理由を 3 行程度で説明せよ。

数学

問題 1 1

(A) ~ (C) すべてに解答せよ。途中の計算過程が分かるように書くこと。

(A) 変数 t について微分可能な関数 $x(t)$ が、次の微分方程式

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\frac{dx}{dt} - 8x = 0$$

を満たすとき、以下の設問 (1) ~ (3) のすべてに答えよ。

- (1) 解として、 $x(t) = C \exp(\lambda t)$ を仮定し、定数 λ の満たすべき方程式、およびその解を求めよ。ここで C は定数である。
- (2) $x(t)$ の一般解を 2 つの任意定数を用いて書け。
- (3) $x(0) = 0$ かつ $x(1) = 1$ であるとき、 $x(t)$ の特別解を求めよ。

(B) 3次元空間 (x, y, z) において、方程式 $x^2 + 2y^2 + 3z^2 + 2xy = 1$ を満たす曲面について、以下の設問 (1) ~ (3) のすべてに答えよ。

(1) ベクトル $\mathbf{v} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$ 、3行3列の対称行列 \mathbf{A} を用いると、上式の左辺

$x^2 + 2y^2 + 3z^2 + 2xy$ は $\mathbf{v}^T \mathbf{A} \mathbf{v}$ と表すことができる。ここで T は転置を表す。行列 \mathbf{A} を求めよ。

- (2) 行列 \mathbf{A} の固有値をすべて求めよ。
- (3) 方程式 $x^2 + 2y^2 + 3z^2 + 2xy = 1$ を満たす曲面の形状を、大きさや向きを含めて3行程度で説明せよ。

(次ページに続く)

(C) 白玉2個、赤玉3個が入っている袋から、2個の玉を順に無作為に取り出す。このとき、1回目白玉である事象をA、2回目赤玉である事象をBとする。以下の設問(1)、(2)2問とも答えよ。

(1) 事象Aが起こる確率 $P(A)$ 、事象Bが起こったことが所与の場合に事象Aが起こる確率 $P(A|B)$ 、事象Bが起こらなかったことが所与の場合に事象Aが起こる確率 $P(A|\bar{B})$ をそれぞれ求めよ。

(2) 白玉を取ると2点、赤玉を取ると1点を獲得できるものとする。1回目の点を x 、2回目の点を y とするとき、確率変数 x と y のピアソンの相関係数を求めよ。