

# 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) ～ (7) のすべてに答えよ。

タンパク質は [ ア ] 結合によりつながれた <sub>(a)</sub> アミノ酸 からなり、細胞内でリボソームにより合成される。合成されたタンパク質は <sub>(b)</sub> 正しい立体構造に折りたたまれる ことで機能を獲得する。タンパク質の立体構造は自由エネルギーが [ イ ] になるよう決定されるため <sub>(c)</sub> アミノ酸配列によって決定されている といえる。また、タンパク質が折りたたまれる際には多くの場合、<sub>(d)</sub> ある種のタンパク質がその折りたたみを介助する。

(1) [ ア ]、[ イ ] に適切な語句を入れよ。

(2) 下線部 (a) について、タンパク質を構成するアミノ酸は20種類あり、その側鎖によって、極性を持たないもの、電荷を持たず極性を持つもの、正電荷を持つもの、負電荷を持つもの、の4つに分類できる。4つの分類に該当するアミノ酸をそれぞれ2つあげよ。また、硫黄原子を含むアミノ酸を2つあげよ。

(3) 下線部 (b) について、タンパク質の折りたたみに使われる非共有結合の名称を4つ記せ。また、折りたたみで生じる2次構造の名称を2つ記せ。

(4) 下線部 (c) について、ある酵素の立体構造がアミノ酸配列によって一義的に決定されていることを証明するためにはどのような実験を行えばよいか。3行程度で説明せよ。

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

(i) このようなタンパク質の総称を記せ。

(ii) 細胞には細胞内のタンパク質の折りたたみ状態を感知して、折りたたみを助けるタンパク質の量を調整する応答が複数備わっている。このような応答の例を1つ名称で記せ。

(次ページに続く)

(6) 特定のタンパク質の折りたたみに異常が生じることは細胞にとって重大な危機となることがある。このような折りたたみ異常を原因とするヒトの疾患の名称を1つ記せ。

(7) タンパク質を分子量で分離するための実験手法として **SDS** ポリアクリルアミドゲル電気泳動法が用いられている。実験の原理を以下の単語をすべて用いて5行程度で説明せよ。

[ドデシル硫酸ナトリウム (SDS)、還元剤、ポリアクリルアミドゲル、電荷]

(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。

電子伝達系はミトコンドリア内膜や葉緑体のチラコイド膜にあり、電子運搬体を介して高エネルギー電子が移動する過程でエネルギーが放出される。活性運搬体の 1 つである NADH は電子を失うと  $\text{NAD}^+$  になる。 $\text{NADH}/\text{NAD}^+$  のような物質の組み合わせを [ ア ] という。ある物質の電子の受け渡しに関する性質は、酸化還元電位で特徴付けられる。  
(a) 標準酸化還元電位は (b)  $\text{NADH}/\text{NAD}^+$ 、還元型ユビキノン/酸化型ユビキノン、 $\text{H}_2\text{O}/\text{O}_2$  でそれぞれ  $-320 \text{ mV}$ 、 $+30 \text{ mV}$ 、 $+820 \text{ mV}$  となる。葉緑体のチラコイド膜にある光化学系においては、(c) スペシャルペアとよばれる 2 個の [ イ ] が [ ウ ] の一部として存在する。光合成の電子伝達は、光のエネルギーで励起したスペシャルペアから電子運搬体へ高エネルギー電子が移動することで引き起こされる。

(1) [ ア ] ～ [ ウ ] に適切な語句を入れよ。

(2) 下線部 (a) について、生物学における「標準状態」を 1 ～ 2 行で説明せよ。

(3) 下線部 (b) に関連して、標準状態において NADH からユビキノンへ電子が移動する際の標準自由エネルギー変化 ( $\Delta G^\circ$ ) は 1 電子あたり  $-8.0 \text{ kcal/mol}$  である。標準状態において、1 分子の NADH に由来する電子が分子状酸素に至る過程で生じるエネルギーによって、ADP と無機リン酸から ATP は最大何分子生成できると考えられるか、計算過程を含めて記せ。ただし、電子の移動で生じた自由エネルギーがすべて ATP 合成に消費されるものとする。また、ATP が ADP と無機リン酸になる反応の標準自由エネルギー変化 ( $\Delta G^\circ$ ) は  $-7.3 \text{ kcal/mol}$  である。

(4) 下線部 (c) について、光化学系 II で電荷分離したスペシャルペアの酸化還元電位は水分子の酸化還元電位より高いと考えられるか、あるいは低いと考えられるか。理由とともに 3 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) ～ (5) のすべてに答えよ。

DNA から適正なタンパク質を産生するために、真核細胞はさまざまな工夫をしている。まず細胞核中で<sub>(a)</sub>RNA ポリメラーゼと呼ばれる酵素が DNA の情報を RNA に写し取る(転写)。転写を開始する位置を規定する DNA の領域を [ ア ] と呼び、この領域にある塩基配列の認識に必要な転写因子を [ イ ] と呼ぶ。

<sub>(b)</sub> 合成された RNA は一般に RNA プロセッシングと呼ばれる加工を受ける。そのなかでも、<sub>(c)</sub>イントロンによって分断化されたタンパク質の情報を RNA レベルで切り貼りする過程である RNA [ ウ ] には正確性が必要である。この切り貼りが 1 塩基でもずれると、それ以降のタンパク質の [ エ ] がずれ、異常なタンパク質が生じてしまうからである。

核から細胞質へと輸送された RNA (mRNA) の配列を元にタンパク質が合成される(翻訳)。翻訳を行う装置がリボソームである。リボソームは全体として約 [ オ ] 種類のタンパク質と [ カ ] 種類の RNA からなる大きな RNA・タンパク質複合体である。リボソームには mRNA を結合する部位が [ キ ] カ所と tRNA を結合する部位が [ ク ] カ所あり、<sub>(d)</sub> 正確な翻訳のために必須の機能を果たしている。

(1) [ ア ] ～ [ ク ] に適切な語句や数字を入れよ。ただし、[ オ ] には以下の 5 つの数字から選んで入れよ。

[ 10、20、40、80、160 ]

(2) 下線部 (a) について、転写反応自体の正確性はそれほど重要ではない理由を DNA 合成の場合と比較して 1 行程度で簡潔に述べよ。

(3) 下線部 (b) について、転写と RNA プロセッシングは関係していることが知られている。この関係を担保する分子機構を「リン酸化された尾部」という語句を含めて 2 行程度で述べよ。

(次ページに続く)

(4) 下線部 (c) について、このような遺伝子編成は一見無駄が多いが利点もある。  
「産生タンパク質の多様性」と「遺伝子の進化」という 2 つの観点から考えられる 2 つの利点を各 3 行程度で説明せよ。

(5) 下線部 (d) について、mRNA の情報をアミノ酸配列へ正確に変換するために重要なステップが 2 つある。以下の 3 つの語句を用いてあわせて 6 行程度で説明せよ。

[アミノアシル tRNA 合成酵素、コドン、アンチコドン]

(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。

細胞内では絶えず DNA 損傷が起こっている。(a) 自然によく起こる DNA 損傷の原因として脱プリン反応と脱アミノ反応が知られている。放射線照射、複製中の事故、さまざまな化学反応によって (b) DNA 二本鎖切断が生じることがある。また、紫外線は DNA に (c) チミン二量体を生じさせる。そして、こうした DNA 損傷を修復する様々なしくみが細胞には備わっている。色素性乾皮症の原因は紫外線によって生じた DNA 損傷が修復できないことにある。

DNA 複製の際に誤対合した塩基は、DNA ポリメラーゼの校正機能によって正しい塩基に置き換えられる。さらに、校正し損なった複製の誤りは (d) DNA 誤対合修復 (DNA mismatch repair) によって取り除かれる。

- (1) 下線部 (a) の脱プリン反応と脱アミノ反応について、あわせて 3 行程度で説明せよ。
- (2) 下線部 (b) の DNA に生じた二本鎖切断の修復機構には、相同組換え修復と非同源末端連結がある。これらの修復機構のしくみについて、その長所と短所を含めそれぞれ 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) 下線部 (c) について、チミン二量体は DNA 複製にどのような影響をおよぼすのか 1 行程度で説明せよ。
- (4) 下線部 (d) の修復機構について 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) ~ (3) のすべてに答えよ。

小腸は消化物から栄養を吸収する器官であり、その管腔の内壁には絨毛と呼ばれる短い突起がびっしりと生えている。絨毛の狭間には陰窩と呼ばれる結合組織にくい込んだ窪みがあり、絨毛と陰窩は一続きの<sub>(a)</sub> 単層上皮で覆われている。絨毛を覆う上皮は、主に栄養を吸収する吸収細胞と分泌細胞から成り立っており、絨毛によって小腸内壁の表面積が増えることによって、効率良く栄養吸収が行なわれる。

<sub>(b)</sub> この小腸上皮をサイクリン D1/E1 の抗体で免疫組織染色したところ、陰窩を構成する細胞が染色された。次に、DNA 複製期のゲノムに特異的に取り込まれるブロモデオキシウリジン (BrdU) を、成体のマウスに投与し、2 日後に BrdU を取り込んだ細胞を観察した。<sub>(c)</sub> このとき BrdU 標識細胞は陰窩から絨毛の先端まで幅広い上皮細胞に分布していたが、さらに2日経って観察したところ、絨毛の先端付近を除く領域では BrdU 標識細胞が著しく減少していた。

- (1) 下線部 (a) の小腸上皮はしなやかさと強靱さをもち、かつ腸管の内容物が腸管外に滲み出さないようバリア機能を有する。このような性質をもたらす上皮の構造的な特徴を、以下の3つの語句をすべて用いて4行程度で説明せよ。

[基底膜、ヘミデスモソーム、アクチンフィラメント]

- (2) 下線部 (b) においてみられたサイクリン D1/E1 陽性の細胞は、APC (*Adenomatous Polyposis Coli*) 遺伝子の欠失により増加し、その逆に TCF4 遺伝子の欠失により減少した。こうした変化をもたらす分子機構を、以下の2つの語句をすべて用いて6行程度で説明せよ。なお、ここでいう APC 遺伝子は後期促進複合体 APC とは異なる。

[Wnt 経路、 $\beta$ -カテニン]

- (3) 下線部 (c) の観察結果を、小腸上皮の性質を踏まえて5行程度で説明せよ。なお、投与された BrdU は、核酸に取り込まれたものを除き、投与してから2日までにすべて体外に排出されるものとする。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。

(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。

ある生物種の集団において、ゲノム DNA 上の同じ遺伝子座に複数の異なる型が存在することを [ ア ] という。有性生殖を行う生物種の集団中に観察される様々な [ イ ] 型の中には、ゲノム DNA 上の特定の一座位の塩基の違い、すなわち [ ウ ] に起因することが明らかになった例もある。ヒトの耳垢には湿ったタイプ (湿型) と乾燥したタイプ (乾型) があり、これら [ イ ] 型の違いは、第 16 番染色体にコードされた ABCC11 遺伝子の特定の一座位の塩基の組み合わせによって決まる。<sup>(a)</sup> 両親に由来する ABCC11 遺伝子のこの座位の塩基の組み合わせが「G と G」あるいは「G と A」だと湿型の耳垢になり、「A と A」だと乾型の耳垢になる。ABCC11 タンパク質は ABC (ATP-binding cassette) トランスポーターの一種であり、細胞内に入ってきた薬剤などを細胞外に排出する機能を持つことが知られている。なお、<sup>(b)</sup> 日本を含む東北アジア地方では乾型が多数派であるのに対して、アフリカおよびヨーロッパではほとんどが湿型であり乾型は少数派である。

(1) [ ア ] ～ [ ウ ] に適切な語句を入れよ。

(2) 下線部 (a) の ABCC11 遺伝子のように、ヘテロ接合型が一方のホモ接合型と同じ形質や特性を示す場合があるのはなぜだろうか。考えられる理由を 3 行程度で述べよ。

(3) 下線部 (b) のように、ヒトの地域集団によって耳垢の湿型と乾型の割合が大きく異なる場合がある。ある地域集団について疫学調査を行ったところ、耳垢が湿型と判定された人の割合は 84%であった。また、この地域集団における ABO 式血液型遺伝子の 3 つの対立遺伝子 A、B および O の遺伝子型頻度はそれぞれ 0.27、0.13 および 0.60 であった。この地域集団において、ABCC11 遺伝子と ABO 式血液型遺伝子の両方ともにヘテロ接合型となる人および両方ともにホモ接合型となる人はそれぞれ何%を占めると推定されるか。計算してそれらの推定値を求めよ。なお、ヒトの ABO 式血液型遺伝子は第 9 番染色体にコードされている。

# 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) ～ (5) のすべてに答えよ。

動物の細胞骨格は (a) 微小管、アクチンフィラメント、中間径フィラメントの3種類のタンパク線維で構築されている。微小管はチューブリンからなる中空の管である。アクチンフィラメントはアクチンからなるらせん状の構造である。中間径フィラメントは線維状タンパクの重合体からなる安定なロープのような構造である。

細胞内で微小管とアクチンフィラメントは (b) 伸長したり収縮したりする。その過程において、(c) 微小管では動的不安定、アクチンフィラメントではトレッドミルと呼ばれる状態が見られることがある。

(d) 動物細胞の細胞分裂時において細胞骨格は重要な機能を果たしている。また、細胞骨格はレールのような機能も担っており、(e) モータータンパクの働きによって細胞小器官が細胞骨格に沿って移動することが知られている。

- (1) 下線部 (a) について、これら3種類のタンパク線維はそれぞれ異なる直径をもつ。直径の大きい順に名称をならべて記せ。
- (2) 下線部 (b) について、微小管とアクチンフィラメントのそれぞれの伸長と収縮のしくみについて、あわせて5行程度で説明せよ。
- (3) 下線部 (c) について、微小管の動的不安定とアクチンフィラメントのトレッドミル現象について、あわせて5行程度で説明せよ。
- (4) 下線部 (d) について、細胞分裂時に現れる微小管およびアクチンフィラメントからなる2つの構造体の名称と、それぞれの役割をあわせて3行程度で説明せよ。
- (5) 下線部 (e) について、微小管とアクチンフィラメントに結合するモータータンパクの名称をそれぞれ1つずつ記せ。どちらに結合するかを明示すること。

(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。

多細胞生物の細胞は、さまざまな細胞外シグナル分子を使って連絡しあっている。動物では、内分泌細胞が [ ア ] を血中に分泌して広く全身に情報を伝えることができる。一方、[ イ ] 型シグナル伝達では、シグナル分子は分泌細胞から細胞外液中へ拡散して、周辺細胞に情報を伝える。<sub>(a)</sub> 神経細胞は、細胞体から遠く離れたその軸索末端と標的細胞の間に [ ウ ] を形成し、この間隙に [ エ ] を分泌してシグナル伝達を行う。また、接触細胞間のシグナル伝達では、互いの膜結合タンパクが作用しあう分子機構が知られている。

細胞外シグナルは細胞表面にある受容体タンパクを介して細胞内シグナルに変換される。その後、<sub>(b)</sub> 細胞内シグナル伝達経路によるシグナルの伝達、変換、[ オ ]、<sub>(c)</sub> 統合、配分などを経て、細胞応答が引き起こされる。このような細胞の働きの変化には、数ミリ秒から数分程度でおこる速いものと、[ カ ] が必要なために数時間程度かかる遅いものがある。

(1) [ ア ] ~ [ カ ] に適切な語句を入れよ。

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

(i) 強い刺激を受けた神経細胞では、電位依存  $\text{Na}^+$ チャネルが開いて活動電位を発生させる。軸索膜に沿う活動電位の伝播は、軸索末端に向かって一方方向に行われるが、これは電位依存  $\text{Na}^+$ チャネルのどのような性質によるものかを5行程度で説明せよ。

(ii) 刺激を受けて脱分極した軸索膜を再分極した静止状態に戻すために働く主なタンパク質を2つあげて、それぞれの役割をあわせて5行程度で説明せよ。

(3) 下線部 (b) について、細胞はシグナル伝達の効率や正確性を高めるために、細胞膜近傍にシグナル分子を局在させる分子機構を備えている。どのようなものがあるか、具体例を1つあげて3行程度で説明せよ。

(4) 下線部 (c) について、細胞内シグナルタンパクが多種類の情報の統合装置として働いている例を1つあげて3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) 以下の設問 (1) ～ (4) のすべてに答えよ。

(1) セン類（コケ植物）、ヒカゲノカズラ類（シダ植物）、針葉樹類（裸子植物）の違いを次の語句をすべて用いて 4 行程度で説明せよ。

[核相、独立、配偶体、孢子体、本体、 $n$ 、 $2n$ ]

(2) 植物界の範囲は見解により異なっており、五界説（Whittaker 1969）、修正五界説（Margulis 1971）、修正六界説（Cavalier-Smith 1998）の間でも異なっている。設問 (i)、(ii) 2 問とも解答せよ。

(i) 五界説（Whittaker 1969）の植物界に含まれるが、修正六界説（Cavalier-Smith 1998）の植物界には含まれない生物を下の (a) ～ (f) からすべて選び、記号（アルファベット）で記せ。

(ii) 修正六界説（Cavalier-Smith 1998）の植物界には含まれるが、修正五界説（Margulis 1971）の植物界には含まれない生物を下の (a) ～ (f) からすべて選び、記号（アルファベット）で記せ。

(a) イチョウ属 *Ginkgo*（イチョウ類）

(b) クロオコックス属 *Chroococcus*（藍藻類）

(c) ゼニゴケ属 *Marchantia*（タイ類）

(d) ツルギミドロ属 *Draparnaldia*（緑藻類）

(e) テングサ属 *Gelidium*（紅藻類）

(f) ホンダワラ属 *Sargassum*（褐藻類）

(3) APG IV (2016) による分類体系に基づいた被子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。

[アンボレラ目、イネ目、真正双子葉植物 (Eudicots)、単子葉植物 (Monocots)、ブナ目、モクレン目]

(次ページに続く)

(4) 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 つだけ選ぶこと)。

- (i) 維管束 (vascular bundle)
- (ii) 異形孢子 (異型孢子) (heterospore、anisospore)
- (iii) ウォレス線 (Wallace line)
- (iv) 共有派生形質 (synapomorphy)
- (v) 雑種崩壊 (hybrid breakdown)
- (vi) 珠心 (nucellus)
- (vii) 脊索 (notochord)
- (viii) パラレクトタイプ (paralectotype)

(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。さらに、設問 (4) にも答えよ。

琉球列島に分布するオキナワトカゲは、異所的分布をする 2 つの亜種<sup>(a)</sup> オオシマトカゲ *Plestiodon marginatus oshimensis* (Thompson, 1912) とオキナワトカゲ *P. m. marginatus* Hallowell, 1861 とに分けられていた。ミトコンドリア遺伝子の複数マーカーを用いた分子系統解析の結果、両亜種はそれぞれ単系統群となり、さらに亜種間では深い遺伝的分化が示された。<sup>(b)</sup> 両亜種の遺伝距離は、同属の別種間で既に明らかになっている遺伝距離と同程度であったことから、それぞれを独立種として扱うべきだと判断された。

(1) 爬虫類をはじめとした脊索動物を含む系統群の名称を、以下より 1 つ選択し答えよ。さらに選択した系統群の、形態的特徴における固有派生形質を 1 つ記せ。ただし、解答する系統群名は日本語名称のみでかまわない。

[珍無腸動物 (Xenacoelomorpha)、新口動物 (Deuterostomia)、脱皮動物 (Ecdysozoa)、らせん卵割動物 (Spiralia)]

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

(i) オオシマトカゲの学名における *marginatus* のように、動物の種の学名において、属名に続く第二名の名称を記せ。

(ii) オオシマトカゲの学名の著者と年が丸括弧で包まれているのはなぜか。2 行程度で説明せよ。

(3) 下線部 (b) について、設問 (i)、(ii) 2 問とも解答せよ。

(i) 既知遺伝距離を用いた同種／別種の判定はしばしば行われているが、問題もかかえている。生物学的種概念から見た遺伝距離比較による同種／別種判定の問題点を、以下の 3 つの語句をすべて用いて 4 行程度で説明せよ。

[分子進化速度、遺伝マーカー、生殖隔離]

(ii) 生物学的種概念が含む問題点を解決するために、代替する様々な種概念が提唱されてきた。Wiley (ワイリー) が 1981 年に規定した進化学的種概念 (evolutionary species concept) の定義を、以下の 3 つの語句をすべて用いて 3 行程度で記述せよ。

[独自性、進化的傾向、祖先—子孫個体群]

(次ページに続く)

(4) 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 つだけ選ぶこと)。

- (i) 維管束 (vascular bundle)
- (ii) 異形孢子 (異型孢子) (heterospore、anisospore)
- (iii) ウォレス線 (Wallace line)
- (iv) 共有派生形質 (synapomorphy)
- (v) 雑種崩壊 (hybrid breakdown)
- (vi) 珠心 (nucellus)
- (vii) 脊索 (notochord)
- (viii) パラレクトタイプ (paralectotype)



# 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。

動物行動の進化を研究するうえで、ゲーム理論による解析は究極要因の考察において重要である。

典型的なタカ・ハトゲーム (hawk-dove game) では、個体間の闘争場面において、常に相手との闘争を選択するタカ戦略と、直接的な闘争を回避するハト戦略が想定される。利得を  $V$  とした食物資源をはさんで 2 個体が対峙した場合を考える。闘争をした場合、敗北し負傷した場合の損失を  $C$  とする。利得の期待値は対峙する組み合わせによって決定されるため、 $V$  や  $C$  を用いて対峙相手に応じた自分の利得の期待値をまとめた利得行列表を、以下のように作ることができる。ただし、タカ戦略者とタカ戦略者が闘争した場合の勝者は偶然で決定され、ハト戦略者とハト戦略者が対峙した場合はお互いが均等に資源を分割すると仮定する。また、2 者の戦略が異なる時、ハト戦略者は逃避するものとする。

| 自分 \ 相手 | タカ戦略  | ハト戦略  |
|---------|-------|-------|
| タカ戦略    | [ ア ] | [ ウ ] |
| ハト戦略    | [ イ ] | [ エ ] |

こうした利得関係を考慮すると、進化的に安定となる戦略の条件が数理的に考察できる。たとえば、タカ戦略のみが進化的に安定となる条件を考察する。1 個体が生涯に対戦する回数を  $n$ 、対戦によらない適応度を  $W_0$  とした場合、タカ戦略集団におけるタカ戦略者の適応度は  $W_0 + n \times [ \text{ア} ]$  となり、タカ戦略集団におけるハト戦略者の適応度は  $W_0 + n \times [ \text{イ} ]$  となる。この場合、ハト戦略の適応度がタカ戦略の適応度より常に低くなる  $V$  と  $C$  の条件が、ハト戦略がタカ戦略集団内で広がらないための条件と考えられる。同様の適応度の大小関係に基づいた考察をすると、この利得行列表の条件下では、(a) ハト戦略のみの状態が進化的に安定とはならない。(b) しかし、条件によってはタカ戦略者とハト戦略者がいる割合で混在している状態が進化的に安定となる場合もある。

(次ページに続く)

(1) こうした経済学で考案されたゲーム理論を生物の行動進化に応用し、初めて発表した研究者の名前をフルネームで1名あげよ。アルファベットでもカタカナでもよい。

(2) [ ア ] ～ [ エ ] に適切な値を、以下の選択肢のなかから選べ。

$$\left[ 2V, 2C, V, C, \frac{V}{2}, \frac{C}{2}, V-C, C-V, \frac{V}{2}-C, V-\frac{C}{2}, \frac{V-C}{2}, \frac{V}{C}, 1, 0 \right]$$

(3) 下線部 (a) について、ハト戦略のみの状態が安定とならない理由を、文中の適応度と  $V$ 、 $C$  を用いて、7 行程度で説明せよ。

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

タカ戦略者が集団内に占める割合を  $p$  ( $0 \leq p \leq 1$ )、ハト戦略者の割合を  $1-p$  とした混合集団を考える。文中同様に、1 個体が生涯に対戦する回数を  $n$ 、対戦によらない適応度を  $W_0$  とし、どの個体も一定値であり差がないものと仮定する。

(i) 混合集団内のタカ戦略者の適応度とハト戦略者の適応度を、 $V$ 、 $C$ 、 $n$ 、 $p$ 、 $W_0$  を用いて表せ。

(ii) (i) で求めた適応度から、タカ戦略者とハト戦略者が混在し平衡状態となりえる混合割合  $p$  を求めよ。さらにその際の利得  $V$  と損失  $C$  の条件を求めよ。解答に至る過程も含めて 10 行程度で答えよ。

(B) 動物行動学に関する以下の語句 (1) ～ (6) 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) 刷り込み (imprinting)
- (2) 生得的解発機構 (innate releasing mechanism)
- (3) 血縁選択 (kin selection)
- (4) 集団選択 (group selection)
- (5) 精子競争 (sperm competition)
- (6) 心の理論 (theory of mind)

# 生物学

## 問題 7

(A)、(B) の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)のすべてに解答せよ。

生物種間の捕食－被食関係においては、攻撃や防衛に関わる形質に関して、軍拡競走（もしくは軍拡競争）と呼ばれる進化過程が進行することがある。従来、進化過程は生態学的過程よりもはるかに大きな時間スケールで進行すると考えられてきた。しかし、<sup>(a)</sup>「赤の女王仮説」(Red Queen's hypothesis) が想定する状況が報告されるようになり、進化過程と生態学的過程との間の関係性が見直されつつある。実際に、<sup>(b)</sup>急速な進化が攻撃や防衛に関わる形質に起こることで捕食者や被食者の個体群動態に対して大きな影響をおよぼすことが知られている。

生物種によっては、遺伝子型のみではなく、環境に応じて攻撃や防衛に関わる形質の表現型が決まることもある。このような能力は表現型可塑性と呼ばれている。エゾアカガエル (*Rana pirica*) は幼生期において、捕食者であるエゾサンショウウオ (*Hynobius retardatus*) が生息する池で顕著に頭胴部が膨らむ。このように、<sup>(c)</sup>捕食者が生息する池だけで防御形質が誘導されることは、エゾアカガエルにとって適応的である。

(1) 下線部 (a) の用語について、3行程度で説明せよ。

(2) 下線部 (b) に関して、急速な形質進化が起こりやすい条件を以下の用語をすべて用いて3行程度で答えよ。

[ 変異量、自然選択圧、世代時間、遺伝率 ]

(3) 下線部 (c) について、このカエル幼生の表現型が、遺伝要因のみで決定される場合よりも表現型可塑性によって制御される場合において適応的となる状況を、以下の用語をすべて用いて5行程度で答えよ。

[ 環境の変動、トレード・オフ、適応度 ]

(次ページに続く)

(B) 以下の文章を読んで、設問 (1) ～ (4) のすべてに解答せよ。

生物の有性生殖では、様々な頻度依存的現象が見られる。たとえば巻貝では同じ方向に巻く個体間でないと交尾がうまくいかないため、左巻と右巻の頻度の [ ア ] 方が不利になる。送粉者を共有している二種の植物が同時期に同所的に開花していて、送粉者は区別なくその二種の花を訪れる場合、頻度の [ イ ] 種の方が異種間の花粉移動による送粉者共有のデメリットを受けやすいと考えられている。植物の自家不和合性を制御する *S* 遺伝子座 (*S* locus) については、頻度の [ ウ ] 対立遺伝子を持つ方が潜在的な交配相手が多く有利になる。

性比にも、頻度依存的選択が働く。フィッシャーは、ランダム交配のもとでは、(a) 頻度依存的選択によって 1 : 1 の性比が安定的に維持されることを説明した。(b) このフィッシャー性比は、単純に繁殖効率だけを考えると、個体群サイズの増加率を低下させることがある。個体間に働く自然選択が、個体群サイズの成長にも正に働くとは限らない一例である。

有性生殖を行う様々な生物種においてフィッシャー性比が実現しているが、例外もある。たとえば、(c) モンシロチョウに寄生するアオムシコマユバチなどのような寄生蜂には、メスに偏った性比を持つものがある。これは局所的配偶競争のためだと考えられている。

(1) [ ア ] ～ [ ウ ] に、「高い」・「低い」のいずれか適切な方を入れよ。

(2) 下線部 (a) について、1 : 1 の性比が保たれる理由を、個体群中のメス対オスの頻度が 1 :  $x$  のときにそれぞれの性が残す子どもの数の比がどうなるかを示しながら、5 行程度で説明せよ。

(3) 下線部 (b) の理由を 3 行程度で説明せよ。

(4) 下線部 (c) について、性比がメスに偏る理由を、モンシロチョウの幼虫に産卵するアオムシコマユバチのメス親の適応度の観点から 5 行程度で説明せよ。アオムシコマユバチのメス親について、その子の性比と孫の数の関係を議論しつつ、解答せよ。

# 生物学

## 問題 8

(A)、(B) の 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。

オトナのオスとメスをそれぞれ複数含む集団で生活する霊長類種では、<sub>(a)</sub> 雌雄いずれかの個体が繁殖開始年齢前に他の集団に移籍することが多い。オトナのオス間にはメスとの交尾をめぐる競合が見られるが、競合の強さは <sub>(b)</sub> 繁殖が可能なオスとメスの数の比や、  
<sub>(c)</sub> 繁殖の季節性の有無によって大きく異なる。いくつかの種では、<sub>(d)</sub> メスが妊娠する可能性のない期間にも発情をみせることがあり、性行動が繁殖以外の役割も担っている。

(1) 下線部 (a) について、メスが集団間に移籍する広鼻下目 (新世界ザル) および狭鼻下目 (旧世界ザル) の種を、以下の (i) ～ (vii) から 1 つずつ選べ。

- (i) アヌビスヒヒ
- (ii) カニクイザル
- (iii) ケナガクモザル
- (iv) コモンマーモセット
- (v) チンパンジー
- (vi) ボルネオオランウータン
- (vii) コモンリスザル

(2) 下線部 (b) について、このような比を何と呼ぶか答えよ。

(3) 下線部 (c) について、繁殖の季節性の有無がオス間の性的競合にどのような影響をおよぼす可能性があるか、3 ～ 5 行程度で説明せよ。

(4) 下線部 (d) について、たとえばニホンザルでは、交尾期のはじめの頃に妊娠したメスが、その後も交尾を繰り返すことがある。このような行動がメスに対してもたらすと考えられる利益を 2 点、それぞれ 2 ～ 3 行で説明せよ。

(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。

現生の霊長類は、伝統的に、真猿類と原猿類に分類されてきた。しかし、(a) SINE\*の挿入を指標とした系統解析は、(b) 原猿類に分類されるメガネザル類が真猿類の姉妹群である可能性が高いことを示している。この系統仮説においては、原猿類は〔ア〕系統群である。分岐関係を反映した分類体系として、霊長類を〔イ〕類（真猿類とメガネザルを含むクレード）と、(c) 曲鼻類に分類する表記方法もある。

\* SINE: short interspersed element

(1) 下線部 (a) における **SINE** とは、自らのコピーをゲノムの別の場所に挿入させながら増幅していく反復 DNA 配列のことである。挿入は不可逆的で、異なる系統で独立に同じ場所に挿入される可能性は極めて低い。**SINE** 挿入が分岐関係の推定における指標として優れている点を、DNA の塩基置換を指標とする場合と対比させながら 2 行程度で説明せよ。

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

(i) 現生のメガネザル類と曲鼻類が共有する、原猿類の形態特徴を以下の(a)～(f)から1つ選べ。

- (a) 把握能力のある尾 (prehensile tail)
- (b) 複数対の乳頭 (multiple pairs of nipples)
- (c) 二稜歯性の大臼歯 (bilophodont molars)
- (d) シャベル型切歯 (shovel-shaped incisors)
- (e) 眼窩後壁 (postorbital plate)
- (f) 骨性外耳道 (bony external auditory meatus)

(ii) 現生のメガネザル類は、他の霊長類に比べ、体サイズのわりに眼球サイズが大きい。その解剖学のおよび適応的な要因として考えられることを、[タペタム (tapetum lucidum)] という用語を用いて3行程度で説明せよ。

(3) 「ア」、「イ」に適切な文字または語句を入れよ。

(次ページに続く)

(4) 下線部 (c) について、曲鼻類に含まれる動物を以下の (i) ~ (vii) からすべて選べ。

- (i) ヒト
- (ii) マレーヒョケザル
- (iii) ワオキツネザル
- (iv) ニホンザル
- (v) ノドジロオマキザル
- (vi) アイアイ
- (vii) ヨザル

# 物理学

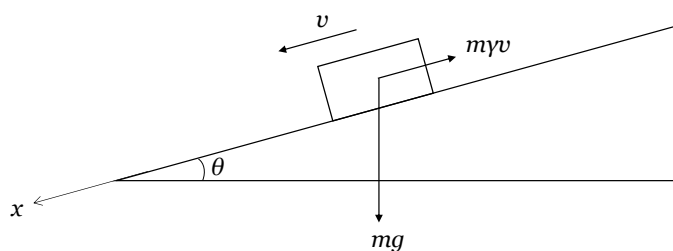
## 問題 9

(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) ～ (3) のすべてに答えよ。

下図に示すように、質量  $m$  の物体が、速度  $v$  に比例した空気抵抗による力  $-m\gamma v$  を受けながら摩擦のない滑らかな斜面 (傾斜角  $\theta$ 、斜面に平行な方向を  $x$  軸とする) を滑り始めた。 $\gamma$  は、単位質量あたりの抵抗係数である。重力加速度の大きさを  $g$  とし、以下の問いに答えよ。

- (1) 時刻  $t$  における物体の速度  $v(t)$  を、 $t$ 、 $\theta$ 、 $\gamma$  および  $g$  を使った数式で表せ。ただし、 $t = 0$  のとき  $v = 0$  とせよ。
- (2) 時間の経過に従って、 $v(t)$  が一定の値に近づくことを示せ。
- (3) 時刻  $t$  における物体の位置  $x(t)$  を、 $t$ 、 $\theta$ 、 $\gamma$  および  $g$  を使った数式で表せ。ただし、 $t = 0$  のとき  $x = 0$  とせよ。



(次ページに続く)

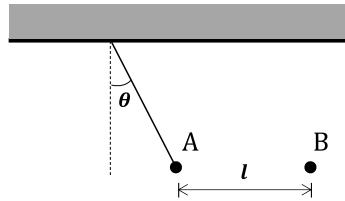


(B) 以下の設問 (1)、(2) 2 問ともに答えよ。

- (1) クーロンの法則によると、距離が  $d$  離れた 2 つの点電荷  $q_1$  と  $q_2$  の間に働く力の大きさ  $F$  は、真空の誘電率  $\epsilon_0$  を使って以下の式で表される。

$$F = \frac{|q_1||q_2|}{4\pi\epsilon_0 d^2}$$

真空中で質量  $m$ 、電荷  $q$  を持つ小球 A を重さの無視できる絶縁糸でつるし、これに電荷  $Q$  を持つ小球 B を、A と同じ高さで近づけていく。B と A の距離が  $l$  のとき、A は下図の様に鉛直方向と  $\theta$  の角度をなしてつり合った。 $Q$  を  $q$ 、 $m$ 、 $l$ 、 $\theta$ 、 $\epsilon_0$  および重力加速度の大きさ  $g$  を含む数式で表せ。ただし、 $q > 0$  と  $Q < 0$  とする。



- (2) ボーアの水素原子模型では、原子核の周りの円形軌道 (半径  $r$ ) を電子 (質量  $m_e$ 、電荷  $-e$ ) が一定の速さ  $v$  で周回すると仮定する。(i)、(ii) 2 問ともに答えよ。

- (i) このとき、電子の運動エネルギー  $T$  とポテンシャルエネルギー  $U$  のあいだに、以下の関係があることを示せ。

$$T = -U/2$$

- (ii) ボーアの量子条件によると、電子が周回する軌道は、軌道角運動量 ( $m_e v r$ ) が  $nh/2\pi$  のときのみ許容される。ここで、 $n$  は自然数、 $h$  はプランク定数である。この水素原子模型におけるイオン化エネルギー  $E_{\text{ion}}$  が、以下のように表されることを示せ。

$$E_{\text{ion}} = \frac{m_e e^4}{8(\epsilon_0 h)^2}$$

# 化学

## 問題 10

(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。

原子の基底状態の電子配置は、水素型オービタルがどんな順序で占有されるかを考えることで説明できる。オービタルが占有される順序は、それぞれのオービタルのエネルギーが [ ア ] 方から占有される。(a) 各オービタルには [ イ ] 個よりも多くの電子を占めることはできず、もし [ イ ] 個の電子が一つのオービタルを占めるならば、そのスピンは対になっていなくてはならない。一方、縮退した副殻のオービタルに複数の電子が収容されるとき、それらの電子は [ ウ ] オービタルを占める。さらに、それらの電子スピンの向きは [ エ ]。これをフントの規則という。

(1) [ ア ]、[ ウ ]、[ エ ] に当てはまる語句を、下記の選択肢の中から一つ選べ。また、[ イ ] に適切な数字を入れよ。

[ ア ] : 高い、低い

[ ウ ] : 同じ、異なる

[ エ ] : 同じになる、異なる

(2) 下線部 (a) について、この原理を何というか。

(3) 窒素原子の電子配置を示せ。縮退したオービタルは区別して書き、スピンの向きが分かるように書くこと。

(4) 水素型原子における 3s 電子の動径波動関数  $R(r)$  は下の式で与えられる。半径方向の節の数と、原子核から節までの距離  $r$  を答えよ。ただし、ボーア半径  $a_0$  を 53 pm、 $\sqrt{3}$  を 1.7 とせよ。

$$R(r) = \frac{1}{9\sqrt{3}} \left(\frac{1}{a_0}\right)^{3/2} \left(6 - 2\rho + \frac{1}{9}\rho^2\right) e^{-\rho/6} \quad \text{ただし } \rho = \frac{2r}{a_0} \text{ である。}$$

(次ページに続く)

(B) 核磁気共鳴法 (NMR) に関する以下の設問 (1) ~ (3) のすべてに答えよ。

- (1) 静磁場  $B_0$  に置かれた水素原子は異なる 2 つのエネルギー状態に分裂する。これをゼーマン分裂と呼び、そのエネルギー差は、下の式で表される。

$$\frac{h\gamma}{2\pi} B_0$$

ここで  $h$  はプランク定数、 $\gamma$  は核磁気回転比である。14 T (テスラ) の静磁場中に置かれた水素原子が熱平衡状態にあるとき、2 つのエネルギー状態に存在する粒子数の比率を答えよ。ただし、温度は 300 K、 $\gamma/2\pi$  を 43 MHz/T、ボルツマン定数を  $1.4 \times 10^{-23} \text{ m}^2\text{kg/s}^2\text{K}$ 、 $h$  を  $6.6 \times 10^{-34} \text{ m}^2\text{kg/s}$  とせよ。また、 $x \ll 1$  のときの近似式  $e^x = 1 + x$  を用いてもよい。

- (2) タンパク質を構成する 1 種類のアミノ酸を、重水素化 DMSO (dimethyl sulfoxide) 溶液中での  $^1\text{H}$ -NMR で測定したところ、化学シフト値が 3.3 ppm 付近にメチンおよびメチレン水素由来のシグナル、7 ppm 付近に芳香族炭化水素由来のシグナル、11 ppm 付近にイミノ水素由来のシグナルが観測された。このことから、このアミノ酸を同定し構造式を書け。ただし、立体異性体は考慮しなくてよい。
- (3) ある化合物が酢酸エチルかギ酸イソプロピルのどちらかであることがわかっている。どちらも分子式は同じ  $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$  である。この化合物の重水素化クロロホルム溶液中での  $^1\text{H}$ -NMR において、化学シフト値が 1.3 ppm に 2 重線、5.1 ppm に多重線、8.0 ppm に 1 重線のシグナルを示した。また、各シグナルの面積積分値は 6:1:1 であった。以上のことから、この化合物がどちらであるか記せ。また、その理由を 5 行程度で述べよ。

# 数学

# 問題 1 1

(A) ～ (C) のすべてに解答せよ。途中の計算過程が分かるように書くこと。また、それぞれの答えを別の解答用紙に記入せよ。

(A) 変数  $x$  と  $y$  が、

$$5x^2 + 2xy + y^2 = 7$$

の関係を満たすとき、 $y$  は  $x$  の陰関数である。このとき、

$y' = \frac{dy}{dx}$  および、 $y'' = \frac{d^2y}{dx^2}$  を  $x$  と  $y$  で表せ。

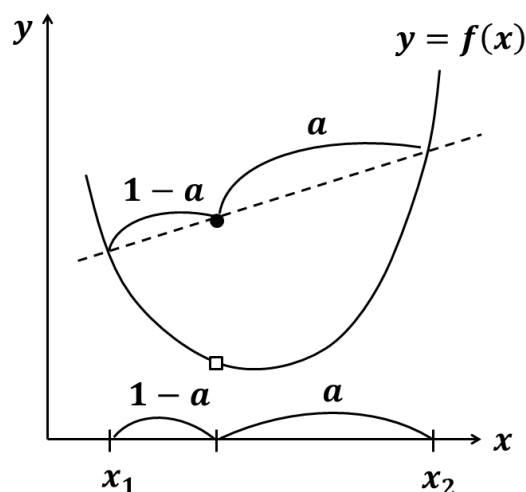
(B)  $f(x)$  は下に凸な実関数である。このとき任意の  $x_1, x_2, a$  ( $0 \leq a \leq 1$ ) に対して、  
 $af(x_1) + (1-a)f(x_2) \geq f(ax_1 + (1-a)x_2)$

が成り立つ (左辺、右辺はそれぞれ、図の●、□の  $y$  座標を表す)。

任意の  $x_i$  (ここで  $i = 1, 2, \dots, n$ )、 $\lambda_i \geq 0$  および  $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$  を満たす任意の  $\lambda_i$  に対して、イェンセンの不等式

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i f(x_i) \geq f\left(\sum_{i=1}^n \lambda_i x_i\right)$$

が成り立つことを証明せよ。証明には数学的帰納法を用いてもよい。



(次ページに続く)

(C) 正方行列において対角要素よりも左下の要素がすべて 0 であるものを上三角行列とよぶ。次の  $4 \times 4$  の上三角行列

$$M = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 2 & 3 \\ 0 & 1 & 4 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

について、以下の設問 (1) ~ (4) のすべてに答えよ。

(1)  $M$  の行列式を求めよ。

(2)  $2 \times 2$  の部分行列

$$M_2 = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

の逆行列  $N_2$  を求めよ。

(3) 次に  $N_2$  をもとに、 $3 \times 3$  の部分行列

$$M_3 = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 2 \\ 0 & 1 & 4 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

の逆行列  $N_3$  を求めよ。

(4) 次に  $N_3$  をもとに、 $M$  の逆行列  $N$  を求めよ。