

平成30年10月入学

平成31年 4月入学

東京農工大学大学院

生物システム応用科学府

生物機能システム科学専攻博士前期課程（修士）

食料エネルギーシステム科学専攻一貫制博士課程

入学試験問題（基礎）

- | | | |
|------------|-----------|-----------------|
| 1. 解析学 | 2. 線形代数学 | 3. フーリエ及びラプラス変換 |
| 4. 確率及び統計学 | 5. 力学 | 6. 電磁気学 |
| 7. 光学及び波動 | 8. 情報基礎 | 9. 物理化学 |
| 10. 有機化学 | 11. 無機化学 | 12. 分析化学 |
| 13. 分子生物学 | 14. 細胞生物学 | 15. 生理・生化学 |
| 16. 生態学 | | |

（注意事項）

1. 以上16題の中から任意の4題を選択し、解答すること。
2. 解答は問題ごとに別々の解答用紙に記入すること。
3. 受験番号と問題番号を解答用紙の所定欄に必ず記入すること。

1. (解析学)

(1) $y(x)$ に関する次の微分方程式の一般解を求めよ。ただし、答えを導く過程も示すこと。

$$\frac{d^2y}{dx^2} - 3\frac{dy}{dx} = 0$$

(2) $x(t), y(t)$ に関する次の連立微分方程式の一般解を求めよ。ただし、答えを導く過程も示すこと。

$$\begin{cases} \frac{d^2x}{dt^2} - 2x - 3y = e^{2t} \\ \frac{d^2y}{dt^2} + x + 2y = 0 \end{cases}$$

2. (線形代数学)

3つのベクトル $(\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \mathbf{a}_3)$ から, Gram-Schmidt の正規直交化法によって, R^3 の正規直交基底を作りたい.

(1) まず, $\mathbf{b}_1 = \mathbf{a}_1$ とする. \mathbf{b}_1 に直交するベクトル \mathbf{b}_2 を, \mathbf{b}_1 と \mathbf{a}_2 を用いて表せ.

(2) $\mathbf{a}_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ 0 \end{bmatrix}$, $\mathbf{a}_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$ として, \mathbf{b}_2 を求めよ.

(3) (1)と同様に, $\mathbf{b}_1, \mathbf{b}_2$ に直交するベクトル \mathbf{b}_3 を, $\mathbf{b}_1, \mathbf{b}_2$ および \mathbf{a}_3 を用いて表せ.

(4) $\mathbf{a}_3 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$ として, \mathbf{b}_3 を求めよ.

(5) 得られた $(\mathbf{b}_1, \mathbf{b}_2, \mathbf{b}_3)$ の結果より, 目的の正規直交基底 $(\mathbf{c}_1, \mathbf{c}_2, \mathbf{c}_3)$ を求めよ.

3. (フーリエ及びラプラス変換)

以下の問いに答えよ。ただし、答えを導く過程も記すこと。

(1) 次の $f(x)$ をフーリエ級数に展開せよ。

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{4}(-\pi - x) & (-\pi < x < 0) \\ 0 & (x = 0) \\ \frac{1}{4}(\pi - x) & (0 < x \leq \pi) \end{cases}$$

(2) 次の関数 $f(t)$ のフーリエ変換 $F(\omega)$ を求めよ。

$$f(t) = \begin{cases} -2t & (-1 \leq t \leq 1) \\ 0 & (t < -1, 1 < t) \end{cases}$$

(3) (2)の結果を利用して定積分

$$\int_{-\infty}^{\infty} \frac{(\sin \omega - \omega \cos \omega)^2}{\omega^4} d\omega$$

を求めよ。なお、パーシバルの等式 $\int_{-\infty}^{\infty} |f(x)|^2 dx = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |F(\omega)|^2 d\omega$

を用いてもよい。

4. (確率及び統計)

1 から 12 までの整数が 1 つずつ記された 12 個のボールが箱の中に入っている。この箱の中から 1 個のボールを無作為に取り出し、その数字を記録してから再び箱の中に戻す試行を n 回行うとき、以下の問いに答えよ。(2)~(7)は答えを導く過程も示せ。

- (1) n 回記録した整数の積が 3 の倍数となる事象を A とする。事象 A は、 n 回中少なくとも 1 回は のいずれかのボールを取り出した場合である。文章中の空欄 (ア) に入る適切な整数を全て答えよ。
- (2) 事象 A の余事象 \bar{A} は、 n 回中の全てで のいずれかのボールを取り出した場合である。文章中の空欄 (イ) に入る適切な整数を全て答えよ。
- (3) 余事象 \bar{A} の起こる確率 $P(\bar{A})$ を求めよ。
- (4) $P(\bar{A})$ を用いて事象 A の起こる確率 $P(A)$ を求めよ。
- (5) n 回記録した整数の積が 5 の倍数となる事象を B とする。余事象 \bar{B} の起こる確率 $P(\bar{B})$ を用いて、事象 B の起こる確率 $P(B)$ を求めよ。
- (6) n 回記録した整数の積が、事象 A でなく、かつ、事象 B でない確率 $P(\bar{A} \cap \bar{B})$ を求めよ。
- (7) n 回記録した整数の積が 15 の倍数となる確率は、事象 A かつ事象 B が起こる確率であり、 $P(A \cap B)$ と表される。 $P(A \cap B)$ を(4), (5), (6)の結果を用いて示し、 n を用いて表せ。

5. (力学)

図1のように固定点Oから長さ1.0 mの糸Aをつるし、その先に、質量1.0 kgのおもりAを取り付け、さらにその先に長さ L_B [m]の糸Bと質量0.50 kgのおもりBを取り付けた。2つのおもりと2つの糸は、同一鉛直面内にある状態で、点Oを通る鉛直線周りに一定角速度 ω [rad/s]で回転しており、糸Aが鉛直方向となす角 θ_A は 15° 、糸Bが鉛直方向となす角 θ_B は 30° であった。おもりは質点とみなせ、糸の質量の影響は無視できるものとする。重力加速度の大きさを 10 m/s^2 として、以下の問題に答えよ。必要であれば以下の近似を用いてよい。 $\sqrt{2} = 1.4, \sqrt{3} = 1.7$

- (1) 糸Aと糸Bの張力の大きさ T_A [N]と T_B [N]をそれぞれ求めよ。
- (2) ω^2 を求めよ。
- (3) L_B を求めよ。

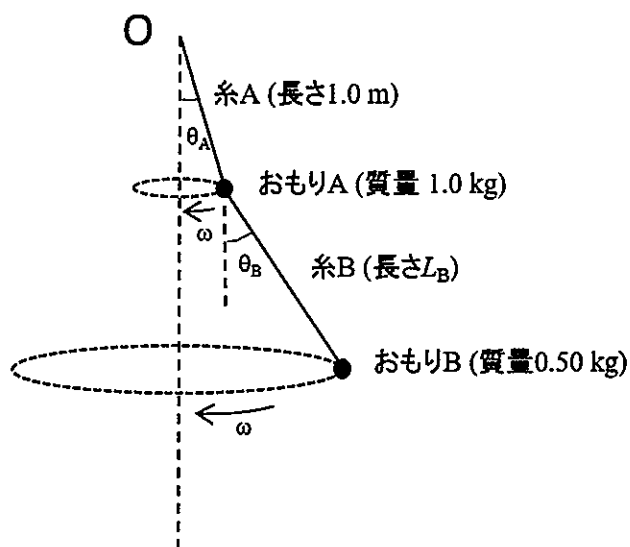


図1

6. (電磁気学)

真空中 (誘電率 ϵ_0 [F/m]) に内半径 a [m] の中空円筒導体内に中心軸および両端が一致するように半径 b [m] の円柱導体を設置した。ただし、 $b < a$ とし、両導体の長さは L [m] とする。端部の効果は無視できるとして、以下の問いに答えよ。

- (1) 図1のように電圧 V_0 [V] の直流電源を導体間につないだ。十分時間が経過したのちの円柱導体に蓄えられる電荷 Q_b [C] を求めよ。なお、直流電源につなげる前の電荷はゼロとする。
- (2) (1) の状態の後に、直流電源から切り離し、帯電していない比誘電率 ϵ_x [-], 外半径 a , 内半径 b , 長さ L の筒状誘電体を外部から導体間に挿入し、静止させた。この際、外部からなされた仕事の値の正負および絶対値を答えよ。なお、 $\epsilon_x > 1$ であり、中空円筒導体および円柱導体と筒状誘電体の間に摩擦はなく、筒状誘電体は変形しないとする。

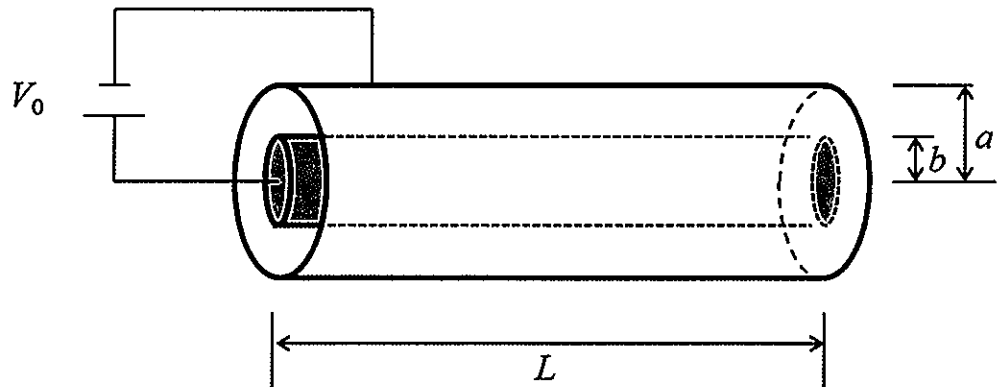


図1

7. (光学および波動)

波動について、以下の文章の空欄に最も適した語句または式をそれぞれ答えよ。

波動とは空間的なパターンがある速度で動いている現象である。波動を表す関数 f は、空間座標 x と時間 t の関数である。この波が速度 c_p で x 軸上を正の方向に進むとき、波動関数は、 $f(\text{[1]})$ と書ける。最も基本的な波動関数として、波数 k をもち x 軸上で正の方向に進行する正弦波は、 $f = \sin(\text{[2]})$ である。正弦波は位相が 2π ごとに同じ変化を繰返す周期関数であるので、空間座標の繰返し長さは波数 k を用いて $\lambda = \text{[3]}$ を [4] といい、時間座標の繰返し時間 $T = \text{[5]}$ を [6] という。 T の逆数は波動の周波数を与える。一般によく用いられるのは角周波数 ω であり、波数 k を用いると $\omega = \text{[7]}$ となる。ここで、 $f = \sin(\text{[2]})$ を角周波数を用いて書換えると、 $f = \sin(\text{[8]})$ となる。このとき、波が進行する速度 c_p を [9] という。ここで、波数と角周波数が k_0 と ω_0 の振幅 1 の正弦波と、波数と角周波数がそれぞれ $k_+ = k_0 + \delta k$ とそれに対する ω_+ および $k_- = k_0 - \delta k$ とそれに対する ω_- の振幅 1/2 の正弦波を重ね合わせる。この合成波を波数 k_0, k_+, k_- および角周波数 $\omega_0, \omega_+, \omega_-$ を用いて表すと

$$f = \text{[10]} \quad (1)$$

となる。振幅 1/2 の正弦波の和を変形すると、 $k_0, k_+ + k_-, \omega_0, \omega_+ + \omega_-$ の関数として次式になる。

$$f = \text{[11]} \quad (2)$$

ここで、 $\delta k \ll k_0$ が成り立つとして、式(2)の $(\omega_+ + \omega_-)/2$ と $(\omega_+ - \omega_-)/2$ について ω を波数 k に関して ω_0 の周りでテーラー展開して 2 次微分以上を無視することによって代入する。 $k_0 = (k_+ + k_-)/2$ と $\delta k = (k_+ - k_-)/2$ とおくと、式(2)は次式となる。

$$f = \sin(k_0 x - \omega_0 t) \text{[12]} \quad (3)$$

式(3)において、 $\sin(k_0 x - \omega_0 t)$ は波動 f の搬送波であり、 [12] は包絡線である。この包絡線の速度 $c_g(\omega) = \text{[13]}$ を、 [14] という。もし、波動が媒質中を伝搬する速度が波長に依存しない場合と依存する場合は、それぞれ $c_p = c_g$ と $c_p \neq c_g$ となる。 $c_p \neq c_g$ となる現象を [15] という。

8. (情報基礎)

実変数関数 $f(x)$ について、方程式 $f(x)=0$ の解をニュートン法によって求める計算手順の一例を示せ。

ただし、関数 $f(x)$ は以下の性質をすべて満たすことがわかっているものとする。

- ・無限回微分可能
- ・ $a \leq x \leq b$ の範囲において $f'(x) > 0$ かつ $f''(x) > 0$
- ・ $f(a) < 0$, $f(b) > 0$
- ・ $f(x)=0$ の解は1個だけである

(a, b は定数)

また、実数 x に対して $f(x)$ および $f'(x)$ を計算するプログラムは与えられているものとする。

解答の書き方は、

プログラム風 (for 文, while 文, if 文 などを利用した) 記述

簡条書き (ループや条件分岐などを明示せよ)

フローチャート

などの中から自由に選べ。

必要に応じて考え方の説明 (図解可) を付加せよ。

計算誤差などによって無限ループに陥ることのないよう留意せよ。

ニュートン法以外の算法を用いた解答でも採点するが、減点対象となる。

9. (物理化学)

(1) $A \rightleftharpoons B$ の可逆な一次反応が体積 V の密閉された容器の中で平衡状態にある。反応温度 T は一定で A, B はいずれも完全気体である。 A, B の容器内での分圧をそれぞれ p_A, p_B とする。また、標準状態(圧力 p°)での純粋な気体 A, B それぞれの化学ポテンシャルを μ_A°, μ_B° とする。以下の問いに答えよ。

(i) 気体 A と B の化学ポテンシャル μ_A, μ_B を求めよ。気体定数を R とする。

(ii) 標準反応ギブスエネルギー ΔG° を求めよ。

(iii) 平衡定数 K を ΔG° を用いて表せ。計算の途中経過も示すこと。

(2) 十分に攪拌されているビーカー内の溶液で $2A \rightarrow B \rightarrow C$ の逐次素反応が起こる場合、以下の問いに答えよ。ただし、 $2A \rightarrow B$ の2分子反応の速度定数を $k_1, B \rightarrow C$ の単分子反応の速度定数を k_2 とする。また、 A, B, C それぞれのモル濃度を $[A], [B], [C]$ とし、溶液の体積 V と温度 T は一定であるとする。

(i) 成分 A の反応速度 $d[A]/dt$ を速度定数とモル濃度を用いて表せ。

(ii) 成分 B の反応速度 $d[B]/dt$ を速度定数とモル濃度を用いて表せ。

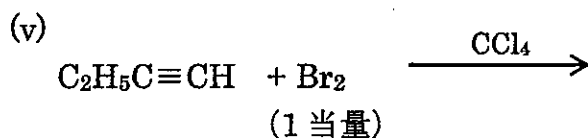
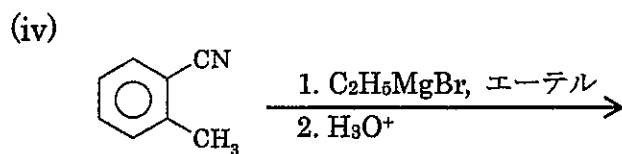
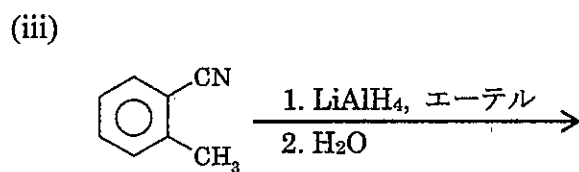
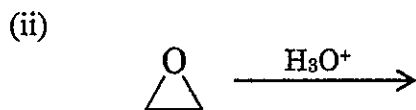
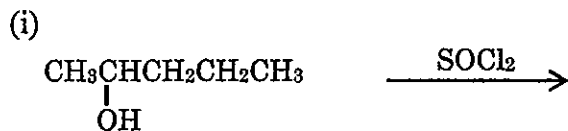
(iii) 成分 C の反応速度 $d[C]/dt$ を速度定数とモル濃度を用いて表せ。

(iv) $[A]$ を時間 t の関数として求めよ。ただし、 $t=0$ で、 $[A]=[A]_0, [B]=[C]=0$ とする。

(v) B は反応中間体である。モル濃度 $[B]$ の時間変化が無視できるくらい小さい場合、 $[C]$ を時間 t と $[A]_0$ の関数として求めよ。 $t=0$ での条件は(iv)と同じである。

10. (有機化学)

- (1) 次に示す反応の主な生成物の構造を描け。ただし、立体構造を区別する必要がある場合には、その違いがわかるように描け。
また、生成物の IUPAC 名 (英語) を答えよ。



- (2) 1,1,2,2-tetramethylcyclohexane をいす形配座で描き、各メチル基がアキシアルかエクアトリアルかを示せ。

- (3) *trans*-1,2-dichlorocyclohexane をいす形配座で描き、各塩素原子がアキシアルかエクアトリアルかを示せ。

1 1. (無機化学)

(1) 酸素分子についての以下の問いに答えよ。

(i) 酸素分子の価電子の数を求めよ。

(ii) 酸素分子の価電子が収容される分子軌道エネルギー準位は、図 A に示すとおりである。この分子軌道に価電子を適切に配置せよ。ただし、電子がもつ 2 種類のスピン角運動量の向きをそれぞれ \uparrow , \downarrow で表すこととする。

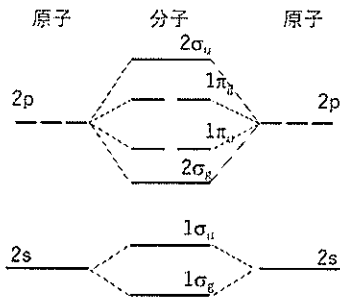


図 A 酸素分子の分子軌道エネルギー準位図

(iii) 酸素分子が常磁性を示す理由を、(ii)で求めた電子配置を用いて簡潔に説明せよ。

(2) 分子に関する以下の問いに答えよ。

(i) H_2O , NO_2 , CO_2 はいずれも三つの原子からなる分子である。永久電気双極子モーメントは CO_2 では生じないが、 H_2O と NO_2 では生じる。この理由を簡潔に説明せよ。

(ii) 図 B のグラフを用いて、 HCl 分子における核間距離と分子のポテンシャルエネルギーの関係の概略を示せ。ただし、 HCl 分子の平衡核間距離を R_e 、二つの原子が無限に離れているときのポテンシャルエネルギーを 0 とし、ポテンシャルエネルギーの最小値を D_e とする。 R_e と D_e に対応する位置を明記すること。

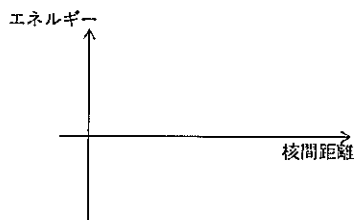


図 B

12. (分析化学)

(1) 弱酸 HA (分子量 74.0 とする) を 370 mg 秤量して, 200.0 cm³ メスフラスコを用いて純水で完全に溶解させたあと, 標線まで純水を加えて希釈することで水溶液 A を調製した. 次に, 水溶液 A をホールピペットで 10.0 cm³ 採取し, メスフラスコを用いて 50.0 cm³ まで純水で希釈して水溶液 B を調製した. 水溶液 B を 1.25×10⁻³ M の NaOH 標準水溶液を用いて中和滴定を行った. この酸-塩基中和滴定について以下の問いに答えよ.

ただし, 水のイオン積 $K_w=1.00\times 10^{-14}\text{mol}^2/\text{L}^2$ とする.

- (i) 水溶液 B における弱酸 HA の濃度を求めよ.
- (ii) 滴定前の水溶液 B は pH=4.00 であった.
弱酸 HA の酸解離定数 K_a を求めよ.
- (iii) 当量点となる NaOH 標準水溶液の滴下量を求めよ.
- (iv) 当量点での水素イオン濃度を求めよ.
- (v) この滴定ではどのような指示薬を添加すれば, 水溶液の色変化から当量点を判断できるか答えよ.

(2) エタノールとジメチルエーテルは分子式 C₂H₆O となる構造異性体である. エタノールとジメチルエーテルを ¹H-NMR で測定すると, どのようなスペクトルが得られるか, 二つの違いがわかるようにスペクトルの概略図を描き説明せよ.

1 3. (分子生物学)

(1) 以下の文章は大腸菌のゲノム DNA の複製について説明したものである。括弧内に当てはまる最も適切な単語や数字を答えよ。

大腸菌のゲノムは環状構造を持ち、DNA の複製は、複製起点と呼ばれる部位の 2 本鎖 DNA の分裂によって生じる「複製バブル」と呼ばれる構造内で始まる。娘 DNA 鎖の合成は (①) による親 DNA 鎖に対して相補的な RNA プライマーの合成から始まる。次に (②) が、この RNA プライマーにつなげて娘 DNA 鎖を合成する。DNA 複製反応において合成される娘 DNA 鎖は、デオキシリボースの構造に対して必ず決まった方向にしか伸長しない。それは鋳型鎖に相補的に結合した「次に来るヌクレオチド」が、既にある娘 DNA 鎖の末端部で必ず決まった形式でつながるからである。すなわち、「次に来るヌクレオチド」はデオキシリボースの (③) 位の炭素原子に結合したリン酸基を使って、既にある娘 DNA 鎖末端デオキシリボースの (④) 位の炭素原子の水酸基に結合する。この合成反応をつかさどるのは大腸菌では (②) である。ところで、DNA 複製は 2 本に解離した親 DNA 鎖のそれぞれで同時に進行する。親 DNA 鎖を鋳型にして、2 本鎖 DNA の解離が進む方向に伸長する娘 DNA 鎖は (⑤) と呼ばれ、それはそのまま伸長を続けられる。一方、これとは反対側の親 DNA 鎖においては、娘 DNA 鎖の伸長は 2 本鎖 DNA の解離が進む方向に対して反対方向に伸長する。したがって、解離が進むとともに随時後方に戻ることを繰り返して、小刻みに合成を繰り返す必要がある。この 2 本鎖 DNA の解離が進む方向に対して反対方向に伸長する娘 DNA 鎖は (⑥) と呼ばれる。また、小刻みに繰り返して作られた娘 DNA 鎖断片は発見者にちなんで (⑦) と呼ばれる。

(2) 真核生物のゲノムや mRNA 前駆体にはエクソン領域とイントロン領域がある。この構造に関連した次の間に答えよ。

(i) 一つの遺伝子に由来するタンパク質分子の機能多様化に mRNA 前駆体の選択的スプライシング (alternative splicing) が貢献することがある。では、どのような選択的スプライシングが起こればどのような構造と機能を持つ (あるいは持たない) タンパク質になるのか。次の仮想上のタンパク質 X を題材にして 2 例以上あげて具体的に説明せよ。

タンパク質 X : タンパク質 X の mRNA 前駆体には 4 つエクソン (エクソン 1 から 4) が存在し、エクソン 1 から 4 のそれぞれは次のような領域を持つか、アミノ酸配列あるいはドメインをコードする。すなわち、エクソン 1 は翻訳開始シグナル AUG を持つとともに小胞体シグナル配列をコードし、エクソン 2 は受容体タンパク質 Y に結合するドメインをコードし、エクソン 3 は酵素 Z

ドメインをコードし、エキソン 4 は疎水性の輸送停止配列（膜貫通ドメイン）をコードする。

(ii) mRNA 前駆体はスプライソソームによってスプライシングされ成熟 mRNA になる。スプライソソームの構成要素を答えよ。また、イントロンが切り出される仕組みを説明せよ。

(iii) タンパク質の分子進化に異なる遺伝子の融合が関与することがある。遺伝子の融合に由来するタンパク質の分子進化において、真核生物ゲノムのエキソンとイントロンからなる構造が果たしている役割を、原核生物のタンパク質の分子進化様式と比較して説明せよ。

1 4. (細胞生物学)

(1) タンパク質の膜輸送と膜固定に関する以下の問いに答えよ.

(i) 1 回膜貫通型タンパク質 (single-pass transmembrane protein) の中で最もよく知られるタイプでは, タンパク質は N 末端の小胞体シグナル配列のはたらきにより膜に輸送され, 最終的には小胞体シグナル配列を失った形で膜上に固定化される. このタンパク質の細胞膜上発現の仕組みを以下の単語を用いて説明せよ.

リボソーム, シグナル認識粒子, シグナル認識粒子受容体, タンパク質転送装置, 小胞体内腔, シグナルペプチダーゼ, 疎水性の輸送停止配列.

(ii) 膜タンパク質の中には, (i) で述べた 1 回膜貫通型タンパク質とは異なる原理で膜に固定化されるものがある. その一つ, GPI アンカー型タンパク質 (Glycosylphosphatidylinositol anchor protein) について膜固定の仕組みを説明せよ.

(2) 以下の問いに答えよ.

(i) チャネルとトランスポーターの違いについて述べよ.

(ii) 「プロテアソーム」とオートファジーを実行する細胞内小器官「オートファゴソーム」で分解対象となるタンパク質の違いについて述べよ.

(iii) 密着結合 (tight junction) と接着結合 (adherens junction) の機能や構造における主な違いについて述べよ.

15. (生理・生化学)

1. 次の文章を読んで、(1)～(4)の問いに答えよ。

消化酵素には、デンプンの主成分を分解する(A), 核酸を分解する(B), 脂肪を分解する(C), タンパク質を分解するプロテアーゼ (a) などがある。ある種の酵素は、低分子の補因子が必要である (b)。補因子には(D) と呼ばれる有機分子もあり、例えば酵母アルコールデヒドロゲナーゼ (YADH) に対するニコチンアミドアデニンジヌクレオチド (NAD^+) はその例である。YADH と NAD^+ によって、エタノールは(E) に変換される。

(1) 空欄 (A) ～ (E) に入る最も適切な語句を答えよ。

(2) 下線部 (a) が切断する化学結合の名称を答えよ。

(3) 下線部 (a) のうち、トリプシンやキモトリプシンに代表される酵素群の名称と、その特徴を答えよ。

(4) 下線部 (b) の理由を答えよ。

2. 次の(1)～(3)の用語について説明せよ。

(1) フィードバック阻害

(2) ホロ酵素

(3) リゾチーム

16. (生態学)

次の文章を読み、(1)～(4)の問いに答えよ。

これまでに報告されている最古の生物の化石は、オーストラリア大陸などで発見された、約35億年前の糸状の細菌と想定されるものである。これらの化石が含まれるチャートと呼ばれる岩石は、縞状の構造を有し、ストロマトライト①に由来することが推定されている。次第にラン藻類が繁茂して、大気中の酸素濃度が増加していくが、この過程で形成された縞状鉄鉱層②が現在も世界各地で見られる。

地球の大気の酸素濃度が上昇すると、酸素呼吸によって効率的にエネルギーを獲得できる真核生物が出現した。はじめは単細胞の藻類であったものが、10億年前になると次第に大型になり種も多様化していった。このころから6億年前にかけて4回の大きな(A)があり、地球の寒冷化が進んだ。最後の(A)が終わるころ、地球上にはエディアカラ動物群③と呼ばれる群集が出現することになる。時代が進み、5.3億年前のカンブリア紀には、多くの生物が現在の生物と類似した体制を獲得していたことがわかっており、これらの生物から成る群集は(B)動物群と呼ばれる。カナダで発見された(B)動物群の化石の調査によると、この時点で現代に生存・生息しているほとんどの門(生物の分類階級の一つ)に属する生物が出現していたことが確認されている。このような著しい生物の多様性の出現は(C)と呼ばれる。

- (1) 空欄(A)、(B)、(C)に入る最も適切な語句を答えよ。
- (2) 下線部①について説明せよ。
- (3) 下線部②がどのように形成されたのかについて説明せよ。
- (4) 下線部③の特徴を説明せよ。