

問題 [1]

出題の意図

本問題は、界面現象を通して、熱力学に関する基本的理解と与えられた情報をもとに現象の本質を見抜く力、論理的に考察し、その考察に基づいて仮説を立てる力を問うことを意図しています。

解答例

問 1

$$dw_1 = -Fdx = \gamma Ldx = \gamma dA$$

問 2

$$dG = dw_1 = \gamma dA < 0 \quad \text{かつ} \quad \gamma > 0 \quad \rightarrow \quad dA < 0$$

問 3

自発過程では、 $dA < 0$ なので、表面積はできるだけ小さくならうとする。同体積で最も表面積が小さい（比表面積が最小の）立体は球のため、シャボン玉は球形になる。

問 4

$$dw_2 = P_{\text{out}}dV + \gamma dA - P_{\text{in}}dV$$

問 5

$$dV = (4/3)\pi(R + dR)^3 - (4/3)\pi R^3 = 4\pi R^2 dR$$

$$dA = 4\pi(R + dR)^2 - 4\pi R^2 = 8\pi R dR$$

問 6

$$dw_2 = P_{\text{out}} 4\pi R^2 dR + \gamma 8\pi R dR - P_{\text{in}} 4\pi R^2 dR = 0 \quad \rightarrow \quad \Delta P = P_{\text{in}} - P_{\text{out}} = 2\gamma / R$$

問 7

$$\Delta P = (2 \times 1 \text{ [mN/m]}) / (1 \times 10^{-6} \text{ [m]}) = 2,000,000 \text{ [mN/m}^2\text{]} = 2,000 \text{ [Pa]}$$

問題 [2]

出題の意図：タンパク質化学に関する基礎理解，測定原理，構造安定性，分光法の応用，そしてタンパク質構造概念の知識を問う。

解答例

問 1

解答例：ドメイン構造は、一つのポリペプチド鎖内に存在する独立して折りたためる機能単位である。サブユニット構造は、複数のポリペプチド鎖（サブユニット）が集合してできる四次構造の構成単位である。

問 2

解答例：熱により α ヘリックスや β シートなどの二次構造が崩壊する。

問 3

解答例：構造内部は疎水環境であり、水分子による競合が少ないため、水素結合のエネルギーが相対的に強く安定化されるため。

問 4

解答例：試料分子に照射する光の波長を、分子内の電子遷移吸収帯に近づけることで、特定の振動モードのラマン散乱強度が大きく増強される現象である。

問 5

解答例：ラマン分光法では水がラマン散乱にほとんど寄与しないため、水溶液中でもバックグラウンドシグナルの干渉が少なく、タンパク質試料の振動スペクトルを明瞭に測定できる点。

問題 [3]

出題の意図

生命科学分野でも重要な化学反応速度論の問題である。大学で初出の零次反応を含む逐次反応のスキームから、初等数学を用いて微分方程式を立てて解き、さらにその解の関数形をグラフに表現できるかどうかという総合的な能力を問う問題である。問5については $y = e^x$ のグラフが解ればその反転や平行移動などの操作から容易に関数の形状が推測できる。

問1

$$\underline{\frac{d[A]}{dt} = -k_1[A]}, \quad \underline{\frac{d[B]}{dt} = k_1[A] - k_2}, \quad \underline{\frac{d[C]}{dt} = k_2}$$

問2

$$\frac{d[A]}{[A]} = -k_1 dt, \quad \int_{[A]_0}^{[A]_t} \frac{d[A]}{[A]} = - \int_0^t k_1 dt, \quad [\ln[A]]_{[A]_0}^{[A]_t} = [-k_1 t]_0^t,$$

$$\ln \frac{[A]_t}{[A]_0} = -k_1 t, \quad \frac{[A]_t}{[A]_0} = e^{-k_1 t} \quad \therefore \underline{[A]_t = [A]_0 e^{-k_1 t}}$$

問3

問2の結果を問1で得た $d[B]$ に代入して

$$d[B] = (k_1[A] - k_2)dt = (k_1[A]_0 e^{-k_1 t} - k_2)dt$$

$$\int_{[B]_0}^{[B]_t} d[B] = \int_0^t (k_1[A]_0 e^{-k_1 t} - k_2)dt$$

$[B]_0=0$ より

$$\underline{[B]_t} = - \left[\frac{1}{k_1} k_1 [A]_0 e^{-k_1 t} - k_2 t \right]_0^t = -[A]_0 e^{-k_1 t} - k_2 t - (-[A]_0 e^0 - 0) = [A]_0 - [A]_0 e^{-k_1 t} - k_2 t$$

問4

問1の結果より $d[C] = k_2 dt$ であるから

$$\int_{[C]_0}^{[C]_t} d[C] = \int_0^t k_2 dt, \quad [C]_0=0 \text{ より}, \quad \underline{[C]_t = [k_2 t]_0^t = k_2 t}$$

問5

e

問題 [4]

問1

出題の意図：細胞の基本構造である染色体の微小構造、タンパク質の多様性を実現する分子メカニズム、遺伝を司る染色体構造に関する知識と理解を問われている。

(1)

解答例：核の内部では DNA はヒストンと呼ばれるタンパク質に巻き付いた構造をとりヌクレオソームを形成している。ヒストンはメチル化やアセチル化といったアミノ酸修飾を受けることで遺伝子発現の調節を行う。ヌクレオソームがビーズ状に多数連なった構造がクロマチンである。

(2)

解答例：DNA から転写された RNA はスプライシングを受け、イントロンが除去され、エキソンが残ることでメッセンジャーRNA がつくられる。この時、すべてのエキソンが繋がれるとは限らず、使われないエキソンが存在することもある。このようなエキソンの選択が行われることでメッセンジャーRNA の多様性を実現することを選択的スプライシングとよぶ。

(3)

解答例：テロメアは染色体の末端に存在する構造で反復配列となっており、テロメラーゼと呼ばれる酵素により反復配列が伸長する。細胞分裂の際、通常、テロメアは短縮する。このことが細胞の老化や寿命に関連していると考えられている。

問2

出題の意図：ゲノム上の具体的な DNA 変異と遺伝子の生体における機能の関連する理解を問われている。

(1)

解答例：遺伝子Aの発現を活性化する領域に欠損が起こった場合、遺伝子Aの発現を活性化することが不可能となり遺伝子Aの発現は低下し機能は低下する。

(2)

解答例：遺伝子Aからつくられるタンパク質の活性中心に欠損がおこり、遺伝子Aの機能は低下する。

(3)

解答例：遺伝子Aの発現を抑制することにより、遺伝子Aの機能は低下する。

問題 [5]

出題の意図：真核細胞における遺伝情報の発現に関して、分子生物学の基礎知識を問うことを意図している。とくに、DNA と RNA の構造、転写のメカニズム、RNA の転写後修飾、リボザイムについて問う。

解答例

問 1

- 1：ホスホジエステル結合 2：プロモーター 3：基本転写因子
4：5' キャップ (7-メチルグアノシン) 5：ポリ A 配列 (ポリ A 尾部)

問 2

RNA に使われる糖のリボースは 2' 位に OH 基をもつが、DNA に使われる糖のデオキシリボースの 2' 位には OH 基がない。また、DNA で使われる塩基のチミン (T) の代わりに、RNA ではウラシル (U) が使われる。

問 3

5' - GGCACAAAUUUUCUGUCAGCGGAGAGGGUGAAGG - 3'

問 4

RNA ポリメラーゼの C 末端ドメイン (CTD) には YSPTSPS の反復配列があり、転写開始時には 5 番目のセリンがリン酸化され、そこにキャップ形成因子が結合する。そして、RNA ポリメラーゼから RNA の 5' 末端が出てきた段階で 5' キャップを形成する。同様に、伸長段階ではさらに 2 番目のセリンがリン酸化されて、そこにスプライシングタンパク質が結合し、必要に応じて合成中の RNA に作用する。

問 5

- ① 種類：スプライソソーム中の snRNA

触媒する反応：RNA スプライシングにおけるエステル転移反応

- ② 種類：rRNA

触媒する反応：翻訳におけるペプチド転移反応

問題 [6]

出題の意図：次世代 DNA シーケンサーを使って塩基配列を解読する方法である RNA Sequencing (RNA-Seq) 法とそのデータ解析に関して、大学院での研究活動に必要な広範かつ統合的な知識を問う。

解答例

問 1

発現マイクロアレイ

すでに解読済みの遺伝子配列情報を元にプローブを設計，ハイブリダイゼーションで RNA の量を測定する実験をミニチュア化と高密度化した手法

問 2

リファレンス配列ありの手法：ゲノム配列をリファレンスに用いて遺伝子の領域にマップされたリード数を定量する HISAT2 や，トランスクリプトーム配列をリファレンスに用いて遺伝子の出現頻度を定量する salmon や kallisto などがある。

リファレンス配列なしの手法：得られたリードをアセンブルすることで転写配列を解析する Trinity などが用いられる。

問 3

(1) Transcript Per Million (TPM)

(2) $400 / ((10 \text{ k} / 1\text{k}) \times (4000 \text{ 万} / 100 \text{ 万})) = 1 \text{ TPM}$

問題 [7]

【出題の意図】

この大問は、生命科学の基礎である遺伝および遺伝情報の発現と伝達に関して、基本的な知識や理解・考え方を修得しているかどうかを問うものである。植物ホルモンを題材としているが、解答にあたっては問1を除き、当該分野に特有の専門的知識や思考力を必要としないよう配慮した。

【解答例】

問1：

ジベレリン

問2：

- (1) 2つの遺伝子座（遺伝子）が異なる染色体上にあること。
- (2) 2つの遺伝子座（遺伝子）が同一の染色体上にある場合は、互いの位置が十分に離れ全く連鎖しないこと（非姉妹染色分体間の「乗換え」や「交叉」等の用語で説明している場合は、「2遺伝子間の組換え価が50%であること」に言及していること）。

問3：

- (1) 塩基の位置：3番目の塩基。
- (2) 理由：コドンの3番目の塩基は、遺伝暗号における冗長性（縮重性）によって、変化しても同じアミノ酸を指定することが多く、コドン構成する3つの塩基の中で同義コドン（サイレント変異）となる傾向が最も高いため。

問4：

- (1) 基質との相互作用や触媒反応に直接関与したり、或いは補因子や補酵素のリガンドになるなど、酵素の活性中心を構成する。
- (2) 活性や機能の発現の前提となる立体構造の保持に必要であったり、熱力学的な安定性や分解を受けにくい構造の形成に寄与するなど、酵素の構造安定性に寄与する。

問5：

- (1) 分子修飾：タンパク質のリン酸化（他に、メチル化やアセチル化修飾など）
- (2) 分子結合：GTPの結合（他に、 Ca^{2+} やcAMP等のセカンドメッセンジャーとの結合など）

問6：

あらかじめ抑制された状態で下流の情報伝達因子が存在するため、負の制御因子の分解が起きただけで即座に情報伝達を開始される。したがって、新たに正の制御因子や伝達因子を合成したり活性化する必要がなければ、活性化型の情報伝達より速やかな応答が可能と考えられる。（但し、論理的整合性と科学的妥当性が認められる解答は他にも正答とする）

問題 [8]

出題の意図： 解析学の基本的な理解と計算力を問う。一義的な解答がない問題については解答の過程を省略しているが、解答の過程も採点対象としている。

解答例

問 1

$$D' = \{(u, v) \in \mathbb{R}^2 : u + v \leq 1, u \geq 0, v \geq 0\}$$

問 2

$$I = \iint_{D'} 4u^3 v \, du \, dv = \int_0^1 \left(\int_0^{1-u} 4u^3 v \, dv \right) du$$

問 3

$$I = \frac{1}{30}$$

問題 [9]

出題の意図：線形代数の基本的な理解と計算力が問われている。一義的な解答がない問題については解答の過程を省略しているが、解答の過程も採点対象としている。

解答例

問 1 :

$$D: (e^x \cos 2x, e^x \sin 2x) \rightarrow (e^x \cos 2x - 2e^x \sin 2x, e^x \sin 2x + 2e^x \cos 2x)$$

$$= (e^x \cos 2x, e^x \sin 2x) \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ -2 & 1 \end{pmatrix} \text{ より } A = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ -2 & 1 \end{pmatrix}$$

問 2 :

固有値は $1 + 2i, 1 - 2i$, 対応する固有ベクトル (の例) は $\begin{pmatrix} 1 \\ i \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} i \\ 1 \end{pmatrix}$

問 3 :

V の基底は $\{e^x \cos 2x + ie^x \sin 2x, e^x \sin 2x + ie^x \cos 2x\}$.

この基底に関する表現行列は $\begin{pmatrix} 1 + 2i & 0 \\ 0 & 1 - 2i \end{pmatrix}$.

問題 [10]

出題の意図：物理学の力学と数値計算アルゴリズムの基本的な理解と計算力を問う。一義的な解答がない問題については解答の過程を省略しているが、解答の過程も採点対象としている。

解答例

問 1

$$\begin{cases} f(x, v) = v \\ g(x, v) = \frac{F(x, v)}{m} \end{cases}$$

問 2

$\frac{dE}{dt}$ もしくは E を具体的に計算し、 E が時間的に一定であることを示せばよい。

問 3

$$E_{i+1} - E_i = \frac{k}{m} \Delta t^2 E_i$$

$$\lim_{i \rightarrow \infty} E_i = \infty.$$

問 4

問 2 と問 3 の結果の違いを適切に把握し表現できるかを問うている。

問題 [11]

出題の意図：確率，統計，微分方程式に関する基本的な理解と計算力を問う。一義的な解答がない問題については解答の過程を省略しているが，解答の過程も採点対象としている。

解答例

問 1 : B

問 2 :

周辺確率は以下のようになる。

$$P(X = 0) = a + c$$

$$P(X = 1) = b + d$$

$$P(Y = 0) = a + b$$

$$P(Y = 1) = c + d$$

A. $a = b = c = d = 1/4$ より

$$P(X = 0)P(Y = 0) = 1/4 = P(X = 0, Y = 0)$$

$$P(X = 0)P(Y = 1) = 1/4 = P(X = 0, Y = 1)$$

$$P(X = 1)P(Y = 0) = 1/4 = P(X = 1, Y = 0)$$

$$P(X = 1)P(Y = 1) = 1/4 = P(X = 1, Y = 1)$$

となり，独立である。

B. $a = 1/2, b = 0, c = 0, d = 1/2$ より

$$P(X = 0)P(Y = 0) = 1/4 \neq P(X = 0, Y = 0)$$

$$P(X = 0)P(Y = 1) = 1/4 \neq P(X = 0, Y = 1)$$

$$P(X = 1)P(Y = 0) = 1/4 \neq P(X = 1, Y = 0)$$

$$P(X = 1)P(Y = 1) = 1/4 \neq P(X = 1, Y = 1)$$

となり，独立でない。

C. $a = 1, b = 0, c = 0, d = 0$ より

$$P(X = 0)P(Y = 0) = 1 = P(X = 0, Y = 0)$$

$$P(X = 0)P(Y = 1) = 0 = P(X = 0, Y = 1)$$

$$P(X = 1)P(Y = 0) = 0 = P(X = 1, Y = 0)$$

$$P(X = 1)P(Y = 1) = 0 = P(X = 1, Y = 1)$$

となり，独立である。

問 3

$$\alpha = -1/2, f'' + \frac{1}{2}(\eta f)' = 0.$$