

日本大学大学院総合基礎科学研究科
令和8年度入学試験問題 解答例（第二期）

試験科目	専門
専攻名	相関理化学専攻（博士前期課程）

- (1) 以下の18問の中から4問を選択して解答せよ。
- (2) 解答は指定の解答用紙に記入せよ。

解答

問題 1

(1) 球の半径が r のとき、球の表面にある質点 m の運動方程式は

$$m \frac{d^2 r}{dt^2} = -\frac{GMm}{r}$$

となることから導かれる。

(2) 運動方程式を 1 回積分すると、 C を積分定数として

$$\frac{1}{2} \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 - \frac{GM}{r} = C$$

となる。ここで、初期条件より $C = -\frac{GM}{R}$ 。

(3) エネルギー積分の式で $r = R \cos^2 \theta$ とおいて t について積分すると

$$\begin{aligned} t &= \int_0^t dt = - \int_R^r \frac{dr}{\sqrt{2GM \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right)}} \\ &= \sqrt{\frac{R^3}{2GM}} \int_0^\theta 2 \cos^2 \theta \, d\theta \\ &= \sqrt{\frac{R^3}{2GM}} \left(\theta + \frac{1}{2} \sin 2\theta \right). \end{aligned}$$

したがって、 $r = 0$ になるまでの時間は $\theta = \frac{\pi}{2}$ として

$$\frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{R^3}{2GM}}$$

問題 2

(1) $\frac{\sin \theta}{\sin \theta'} = \frac{n_2}{n_1}$.

(2) 屈折の法則を適用すれば, $\sin \theta' = \sin \theta / n_2$ より, $\theta' < 0$ 。すなわち, $x = 0$ 面で $x < 0$ の方向へ反射しているように伝播する (図 1 上参照)。

(3) 媒質を抜け出て像を結ぶ点までの距離を d_3 とすると (図 1 下参照), $\sin \theta' = \sin \theta$ より

$$d_3 = (d_2 \tan \theta' - d_1 \tan \theta) \frac{1}{\tan \theta} = d_2 \frac{\tan \theta'}{\tan \theta} - d_1 = d_2 - d_1.$$

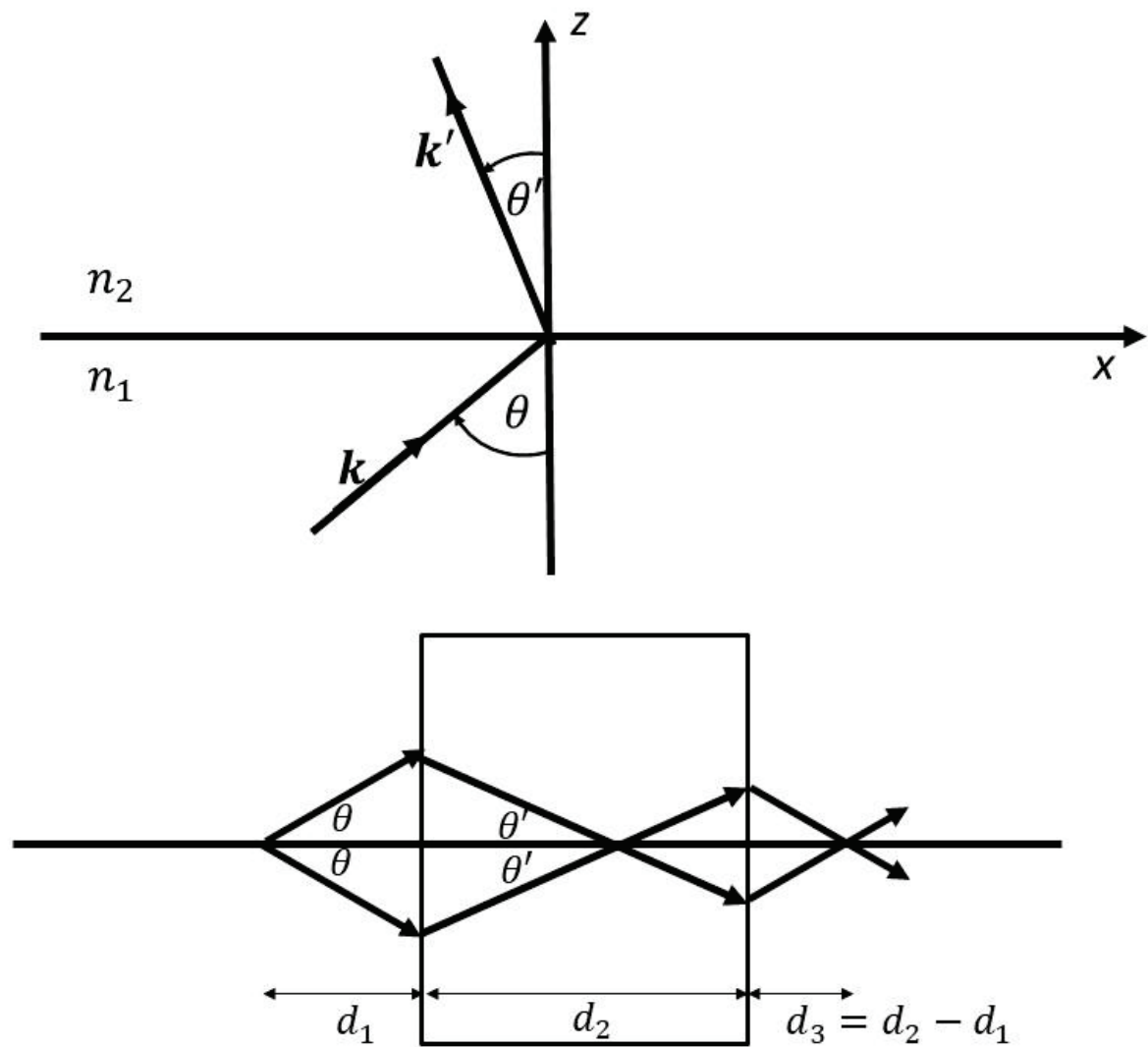


図 1

問題3

(1) 対称性より磁場は円筒座標 (ρ, ϕ, z) において ϕ 方向のみを持つ。ビオ・サバールの法則

$$\mathbf{B}(\mathbf{r}) = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int \frac{d\mathbf{l}' \times (\mathbf{r} - \mathbf{r}')}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|^3}$$

を用いる。

$$d\mathbf{l}' = dz' \hat{\mathbf{z}}, \quad \mathbf{r} - \mathbf{r}' = \rho \hat{\boldsymbol{\rho}} + (z - z') \hat{\mathbf{z}} \quad \text{より} \quad d\mathbf{l}' \times (\mathbf{r} - \mathbf{r}') = \rho dz' \hat{\boldsymbol{\phi}}.$$

したがって

$$\mathbf{B}(\mathbf{r}) = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \hat{\boldsymbol{\phi}} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\rho dz'}{(\rho^2 + (z - z')^2)^{3/2}}.$$

$u = z - z'$ とおくと

$$\int_{-\infty}^{\infty} \frac{\rho du}{(\rho^2 + u^2)^{3/2}} = \frac{2}{\rho}.$$

よって

$$\mathbf{B}(\mathbf{r}) = \frac{\mu_0 I}{2\pi\rho} \hat{\boldsymbol{\phi}}.$$

(2) 対称性より磁束密度は z 成分のみ有限である。ここで

$$\mathbf{r}' = (a \cos \phi', a \sin \phi', 0), \quad d\mathbf{l}' = a(-\sin \phi', \cos \phi', 0) d\phi'$$

とおくと

$$(d\mathbf{l}' \times (\mathbf{r} - \mathbf{r}'))_z = a^2 d\phi'.$$

したがって

$$B_z = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_0^{2\pi} \frac{a^2 d\phi'}{(a^2 + z^2)^{3/2}} = \frac{\mu_0 I a^2}{2(a^2 + z^2)^{3/2}}$$

より

$$\mathbf{B}(0,0,z) = \frac{\mu_0 I a^2}{2(a^2 + z^2)^{3/2}} \hat{\mathbf{z}}.$$

(3) ビオ・サバールの法則より

$$\mathbf{B}(\mathbf{r}) = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \oint \frac{d\mathbf{l}' \times (\mathbf{r} - \mathbf{r}')}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|^3}.$$

$r \gg a$ として一次まで展開すると

$$\frac{\mathbf{r} - \mathbf{r}'}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|^3} = \frac{\mathbf{r}}{r^3} + \frac{3(\mathbf{r} \cdot \mathbf{r}')\mathbf{r} - r^2 \mathbf{r}'}{r^5}.$$

第一項は $\oint d\mathbf{l}' = 0$ より消える。

$$\mathbf{B}(\mathbf{r}) = \frac{\mu_0 I}{4\pi r^5} \left[3 \oint (\mathbf{r} \cdot \mathbf{r}') d\mathbf{l}' \times \mathbf{r} - r^2 \oint d\mathbf{l}' \times \mathbf{r}' \right].$$

ここで

$$\mathbf{r}' = (a \cos \phi', a \sin \phi', 0), \quad d\mathbf{l}' = a(-\sin \phi', \cos \phi', 0) d\phi'$$

とおいて積分を計算すると

$$\mathbf{B}(\mathbf{r}) = \frac{\mu_0 I a^2}{4r^5} [3z\mathbf{r} - r^2 \hat{\mathbf{z}}] = \frac{\mu_0}{4\pi r^3} \left[\frac{3(\mathbf{m} \cdot \mathbf{r})\mathbf{r}}{r^2} - \mathbf{m} \right]$$

が得られる。ただし, $\mathbf{m} = I\pi a^2 \hat{\mathbf{z}}$ とした。

問題4

(1)

$$Z = \sum_{\theta_1} \sum_{\phi_1} \cdots \sum_{\phi_N} \exp\left(\beta\varepsilon \sum_{i=1}^N \cos \phi_i\right) = \sum_{\theta_1} 1 \times \sum_{\phi_1} e^{\beta\varepsilon \cos \phi_1} \times \cdots \times \sum_{\phi_N} e^{\beta\varepsilon \cos \phi_N}$$

$$= 4(e^{\beta\varepsilon} + e^{-\beta\varepsilon} + 2)^N$$

(2)

$$F = -k_B T \ln Z = -k_B T [\ln 4 + N \ln(e^{\beta\varepsilon} + e^{-\beta\varepsilon} + 2)] \cong -Nk_B T \ln(e^{\beta\varepsilon} + e^{-\beta\varepsilon} + 2)$$

ここで、 $N \gg 1$ より第1項の $-k_B T \ln 4$ を省略した。

(3)

$$U = -\frac{\partial}{\partial \beta} \ln Z = -N\varepsilon \frac{e^{\beta\varepsilon} - e^{-\beta\varepsilon}}{e^{\beta\varepsilon} + e^{-\beta\varepsilon} + 2}$$

(4)

$$C_v = \frac{\partial U}{\partial T} = -\frac{1}{k_B T^2} \frac{\partial U}{\partial \beta} = \frac{N\varepsilon}{k_B T^2} \left[\frac{\varepsilon(e^{\beta\varepsilon} + e^{-\beta\varepsilon})}{e^{\beta\varepsilon} + e^{-\beta\varepsilon} + 2} - \frac{\varepsilon(e^{\beta\varepsilon} - e^{-\beta\varepsilon})^2}{(e^{\beta\varepsilon} + e^{-\beta\varepsilon} + 2)^2} \right] = 2Nk_B \left(\frac{\varepsilon}{k_B T}\right)^2 \frac{1}{e^{\beta\varepsilon} + e^{-\beta\varepsilon} + 2}$$

(5)

	ヘルムホルツの自由 エネルギー F	内部エネルギー U	定積熱容量 C_v
グラフの概形 (A~Hの英字)	D	C	E

問題 5

(1) $[\hat{x}, \hat{p}] = i\hbar$ を用いて計算すると

$$[\hat{a}, \hat{a}^\dagger] = \frac{m\omega}{2\hbar} \left[\hat{x} + \frac{i}{m\omega} \hat{p}, \hat{x} - \frac{i}{m\omega} \hat{p} \right] = \frac{m\omega}{2\hbar} \left(-\frac{i}{m\omega} (i\hbar) + \frac{i}{m\omega} (-i\hbar) \right) = 1.$$

(2) 逆変換

$$\hat{x} = \sqrt{\frac{\hbar}{2m\omega}} (\hat{a} + \hat{a}^\dagger), \quad \hat{p} = -i \sqrt{\frac{\hbar m\omega}{2}} (\hat{a} - \hat{a}^\dagger)$$

をハミルトニアンに代入すると

$$\hat{H} = \hbar\omega \left(\hat{a}^\dagger \hat{a} + \frac{1}{2} \right).$$

よってエネルギー固有値は

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

(3) 基底状態は $\hat{a}|0\rangle = 0$ で与えられるので、位置表示で

$$\left(x + \frac{\hbar}{m\omega} \frac{d}{dx} \right) \psi_0(x) = 0$$

より

$$\psi_0(x) = A \exp\left(-\frac{m\omega}{2\hbar} x^2\right).$$

規格化条件から

$$\psi_0(x) = \left(\frac{m\omega}{\pi\hbar}\right)^{1/4} \exp\left(-\frac{m\omega}{2\hbar} x^2\right).$$

(4) $A = \left(\frac{m\omega}{\pi\hbar}\right)^{1/4}$, $\alpha = \frac{m\omega}{\hbar}$ とする。まず, $\psi_0(x)$ は偶関数なので $\langle \hat{x} \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} x |\psi_0(x)|^2 dx = 0$ である。

また, 与えられた公式を a で微分すると

$$\frac{d}{da} \int e^{-ax^2} dx = \int (-x^2) e^{-ax^2} dx \Rightarrow \int_{-\infty}^{\infty} x^2 e^{-ax^2} dx = -\frac{d}{da} \sqrt{\frac{\pi}{a}} = \frac{1}{2} \sqrt{\pi} a^{-3/2}$$

という関係が得られ, これを用いることで

$$\langle \hat{x}^2 \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} x^2 |\psi_0(x)|^2 dx = A^2 \int_{-\infty}^{\infty} x^2 e^{-\alpha x^2} dx = \sqrt{\frac{\alpha}{\pi}} \cdot \frac{1}{2} \sqrt{\pi} \alpha^{-3/2} = \frac{1}{2} \alpha^{-1} = \frac{\hbar}{2m\omega}.$$

よって, $(\Delta x)^2 = \langle \hat{x}^2 \rangle - \langle \hat{x} \rangle^2 = \frac{\hbar}{2m\omega}$.

次に, $\hat{p} = -i\hbar \frac{d}{dx}$ より, $\langle \hat{p} \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} \psi_0^*(-i\hbar) \frac{d\psi_0}{dx} dx = i\hbar\alpha A^2 \int_{-\infty}^{\infty} x e^{-\alpha x^2} dx$.

被積分関数は奇関数なので, $\langle \hat{p} \rangle = 0$.

また, $\langle \hat{p}^2 \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} \psi_0^*(-\hbar^2) \frac{d^2\psi_0}{dx^2} dx = -\hbar^2 A^2 \int_{-\infty}^{\infty} (\alpha^2 x^2 - \alpha) e^{-\alpha x^2} dx = -\hbar^2 \sqrt{\frac{\alpha}{\pi}} \left[\frac{1}{2} \sqrt{\pi} \alpha^{1/2} - \sqrt{\pi} \alpha^{1/2} \right] = \frac{\hbar m\omega}{2}$

より, $(\Delta p)^2 = \langle \hat{p}^2 \rangle - \langle \hat{p} \rangle^2 = \frac{\hbar m\omega}{2}$.

したがって, $\Delta x \cdot \Delta p = \sqrt{\frac{\hbar}{2m\omega} \cdot \frac{\hbar m\omega}{2}} = \frac{\hbar}{2} \geq \frac{\hbar}{2}$ が成り立つ。

問題6

(1)

(a) $x \rightarrow 0$ のとき, $\ln \left| \frac{1+x}{1-x} \right| = \ln(1+x) - \ln(1-x) = \left(x - \frac{x^2}{2} + o(x^2) \right) - \left(-x - \frac{x^2}{2} + o(x^2) \right) = 2x + o(x^2)$.

$$\therefore \lim_{x \rightarrow 0} f(x) = \lim_{x \rightarrow 0} \left[1 + \frac{1-x^2}{2x} (2x + o(x^2)) \right] = \lim_{x \rightarrow 0} \left[1 + \frac{1-x^2}{2} (2 + o(x)) \right] = 2$$

(b) $\lim_{x \rightarrow 1} f(x) = \lim_{x \rightarrow 1} \left[1 + \frac{1-x^2}{2x} (\ln|1+x| - \ln|1-x|) \right] = 1 + \frac{0}{2} \ln 2 - \lim_{x \rightarrow 1} (1-x) \ln|1-x|$

ここで、 $|1-x| = e^{-t}$ とおくと、 $\lim_{x \rightarrow 1} (1-x) \ln|1-x| = \lim_{t \rightarrow +\infty} \frac{\pm t}{e^t} = 0 \quad \therefore \lim_{x \rightarrow 1} f(x) = 1$

(c) $t = 1/x$ とおくと、

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} f(x) = \lim_{t \rightarrow +0} \left[1 + \frac{t}{2} \left(1 - \frac{1}{t^2} \right) \ln \left| \frac{1+t}{1-t} \right| \right] = \lim_{t \rightarrow +0} \left[1 - \frac{1-t^2}{2t} (2t + o(t^2)) \right] = \lim_{t \rightarrow +0} \left[1 - \frac{1-t^2}{2} (2 + o(t)) \right] = 0$$

(2)

与式は

$$(2x + y)dx + (x + 2y)dy = 0 \cdots (i)$$

と書ける。

$$\partial_y(2x + y) = \partial_x(x + 2y) = 1$$

より、(i)は完全微分形。よって、

$$\partial_x \Phi(x, y) = (2x + y) \cdots (ii), \quad \partial_y \Phi(x, y) = (x + 2y) \cdots (iii),$$

を満たす $\Phi(x, y)$ に対して、 $\Phi(x, y) = C$ が一般解 (C は定数)。(ii)より

$$\Phi(x, y) = x^2 + xy + f(y).$$

これを、(iii)に代入すると、 $x + f'(y) = x + 2y$ 。よって、 $f(y) = y^2 + C'$ (C' は定数)。よって、方程式の一般解は

$$x^2 + xy + y^2 = C - C' = D$$

となる (D は任意の正定数)。

(3)

A の固有値を λ とすると、 $|\lambda E - A| = (\lambda - 2)(\lambda - 1)(\lambda + 2) = 0$ より、3固有値は $\lambda = 2, 1, -2$ 。

$\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3$ より、 $\lambda_1 = 2, \lambda_2 = 1, \lambda_3 = -2$ 。 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ に対する規格化された固有ベクトルは、それぞれ

$$v_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ -1 \end{pmatrix}, v_2 = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}, v_3 = \frac{1}{\sqrt{6}} \begin{pmatrix} 1 \\ -2 \\ 1 \end{pmatrix}.$$

v_1, v_2, v_3 は、実対称行列 A の異なる固有値に対する固有ベクトルなので、互いに直交する。よって、こ

れらを並べた

$$V = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{6}} \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{-2}{\sqrt{6}} \\ \frac{-1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{6}} \end{pmatrix}$$

は直交行列であり、 $V^t A V = \begin{pmatrix} 2 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -2 \end{pmatrix}$ が成り立つ。

問題 7

(1)	ア	-1/2
	イ	主
	ウ	リュードベリ
	エ	バルマー
	オ	可視光
(2)	<p>(1 K) $0.833 \text{ mJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$</p> <p>(2 K) $6.67 \text{ mJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$</p>	

採点欄

問題 8

(1)	②	(2)	②
(3)	①	(4)	③
(5)	③	(6)	②
(7)	③		

採点欄

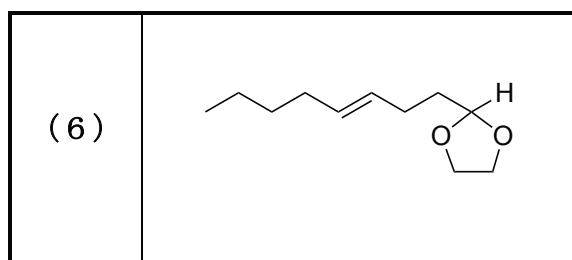
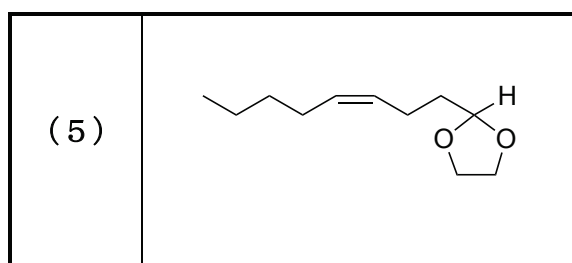
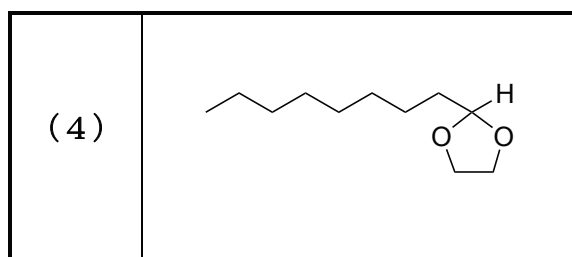
問題 9

(1)	(a) 3	(b) 2	(c) 2	(d) 3	(e) 3
(2) (i)	(a) 6		(b) 8		(c) 4
(ii)	0.41				
(iii)	0.73				

採点欄

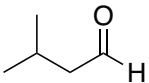
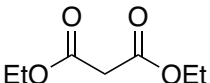
問題 10

(1)	②, ⑤	(2)	②	(3)	①, ④
-----	------	-----	---	-----	------



採点欄

問題 1 1

(1)		(2)	
-----	---	-----	---

(3)	②	(4)	⑤
-----	---	-----	---

(5)	(S)-3-aminomethyl-5-methylhexanoic acid (S)-3-アミノメチル-5-メチルヘキサン酸
-----	--

(6)	③
-----	---

採点欄

問題 1 2

(1)	②	(2)	④
(3)	④	(4)	③
(5)	②	(6)	②

(7)	プソイドウリジン (pseudouridine)
-----	-----------------------------

採点欄

問題 1 3

(1)

構造の名称：

(a-helix や b-sheet などの) 二次構造

この構造が共通して見られる理由：

二次構造は、アミノ酸の種類に依存しない主鎖を構成する原子間の水素結合により生じる。そのため、タンパク質により異なるアミノ酸配列に依存しない。

(2)

細胞外へ分泌されるタンパク質は N 末端側にシグナル配列をもつ。この領域は分泌される際に切断される。タンパク質合成開始時に N 末端に存在したメチオニン残基は、この際に切り取られるので、分泌されたタンパク質の N 末端は一般的にメチオニン残基ではない。

(3)

RNase A は単一のポリペプチドから構成され、分子内にジスルフィド結合を複数もつ。尿素と DTT により変性および還元され立体構造が崩壊するため活性を失うが、透析により立体構造が復活し活性が回復する。インスリンは 2 本のポリペプチド鎖 (A 鎖と B 鎖) がジスルフィド結合によって架橋された構造をもつ。この構造は、インスリンの成熟過程で次のように形成される。A 鎖と B 鎖が C ペプチドをはさんでつながっているインスリン前駆体において、まずジスルフィド結合による分子内架橋が形成される。その後、C ペプチドが切り除かれ A 鎖と B 鎖がジスルフィド結合によって架橋された構造になる。そのため、還元剤である DTT によっていったんジスルフィド結合が切断されると、透析によって DTT を除いても正しくジスルフィド結合が形成されることは難しい。

(4)

PTP は活性中心など酵素活性に重要な部位、あるいは立体構造の形成に重要な部位にシステイン残基が存在すると考えられる。細胞内ではこれらのシステイン残基は還元状態であるが、細胞外では酸化されてしまい PTP の活性が低下するのだと考えられる。そのため、PTP の活性測定においては DTT などの還元剤の添加が必要なのだと考えられる。

問題 1 4

(1)

成体においても多くの細胞は日々更新されている。また、損傷などにより失われた細胞を補う必要もある。そのため、比較的未分化な細胞を幹細胞として維持し、必要に応じて分化させている。

(2)

細胞：抗体産生細胞

現象：遺伝子再編成

(3)

①

小腸上皮細胞の核をもつ細胞から、オタマジヤクシのすべての細胞が形成された。このことは、分化した小腸上皮細胞に核も他の細胞に分化した細胞の核も、ひいてはそれらのもとになる未分化細胞の核も、遺伝的に等価であることを示している

②

分化した細胞の核が他の細胞に分化するためには、いったん未分化状態になるつまり脱分化する必要がある。小腸上皮細胞の核は、そのままでは脱分化することはないが、未受精卵の細胞質中に移植することで脱分化したと考えられる

(4)

③

未受精卵の核が発生に寄与しているのであれば、発生したオタマジヤクシの細胞は一倍体であると考えられる。しかし、オタマジヤクシは二倍体細胞で構成されていた。さらに移植核に 1-nu の核を用いたことにより、ホストの核と移植核を区別でき、オタマジヤクシは間違いなく移植核のはたらきで発生したことが示された。

④

移植には、培養した表皮細胞の核を用いた。この際、これらの細胞がケラチンを合成する表皮細胞に分化していることを確認している。そのため、分化組織中の未分化細胞の核を移植したのではなく、間違いなく分化した細胞の核が移植されたことが示された。

問題 15

(1)

神経細胞では、細胞膜上に存在する Na^+/K^+ ポンプの働きにより、 K^+ は細胞内に高濃度、 Na^+ は細胞外に高濃度に維持されている。静止状態では細胞膜は K^+ に対して透過性が高く、 Na^+ に対しては低いため、濃度勾配に従って K^+ が細胞外へ流出する。その結果、細胞内が相対的に負に帯電する。 K^+ の濃度勾配と電氣的勾配が釣り合ったときに成立する膜電位が静止膜電位である。

(2)

樹状突起は他の神経細胞からのシナプス入力を受容し、膜電位変化として細胞体へ伝える。細胞体では興奮性および抑制性のシナプス後電位が時間的・空間的に加算される。これらの加算結果に基づき、軸索起始部において活動電位を発生させるか否かが決定される。発生した活動電位は軸索を介して減衰することなく遠位へ伝導され、次の細胞への情報伝達の基盤となる。

(3)

活動電位がシナプス前細胞の軸索終末に到達すると、電位依存性 Ca^{2+} チャンネルが開口し、神経伝達物質が放出される。神経伝達物質はシナプス後細胞の受容体に結合して膜電位を変化させる。興奮性シナプスでは Na^+ などの陽イオンの流入により膜電位が脱分極し、活動電位の発生が促進される。一方、抑制性シナプスでは Cl^- の流入や K^+ の流出により膜電位が閾値から遠ざかることで、活動電位の発生が抑制される。

(4)

神経可塑性とは、経験や神経活動に応じて神経回路の機能や構造が持続的に変化する性質であり、学習や記憶の基盤となる。例えば、海馬における長期増強(LTP)では、シナプス前後細胞の同時活動によりNMDA型グルタミン酸受容体を介した Ca^{2+} 流入が生じ、CaMKIIなどが活性化される。その結果、AMPA受容体のリン酸化やシナプス膜への挿入が促進され、シナプス伝達効率が增大する(機能的変化)。さらに、樹状突起スパインの肥大や新たなシナプス形成といった構造的変化が生じ、長期的な情報保持が可能となる。

(5)

アルツハイマー病は、アミロイド β およびタウタンパク質の異常な蓄積を特徴とする神経変性疾患である。アミロイド β はアミロイド前駆体タンパク質(APP)の異常な切断により産生され、細胞外で凝集してアミロイド斑を形成し、シナプス機能障害や神経細胞への毒性を引き起こす。一方、タウは微小管結合タンパク質であり、過剰なリン酸化によって微小管から解離し、細胞内で神経原線維変化を形成する。その結果、軸索輸送が障害され、神経細胞の機能低下や細胞死が進行する。これら二つの異常が相互に関連しながら神経回路の破綻を引き起こすことが、アルツハイマー病の発症・進行に関与すると考えられている。

問題 16

(1)

原核生物と真核生物の細胞構造上の主な違いの一つは、核膜によって囲まれた核の有無である。真核生物では DNA が核内に隔離されることで、転写と翻訳が空間的に分離され、遺伝子発現の制御が高度化したと考えられる。

もう一つの違いは、ミトコンドリアや小胞体などの膜系細胞小器官の存在である。これらの細胞小器官の獲得により、真核細胞では代謝反応やエネルギー産生が区画化され、細胞機能の分業と複雑化が可能となり、多細胞生物への進化の基盤が形成された。

(2)

ミトコンドリアおよび葉緑体が独自のゲノムを保持していることは、これらがかつて自由生活性の原核生物であったことを示唆し、細胞内共生説を支持する重要な根拠の一つである。この仮説では、祖先的真核細胞が好気性細菌やシアノバクテリアを取り込み、相利共生関係を形成した結果、現在の細胞小器官が成立したと考えられている。二重膜構造や原核型リボソームの存在も、この仮説を支持する証拠である。

(3)

形態形質に基づく系統分類の利点は、化石を含む幅広い生物群に適用でき、進化的形質の変化を直接的に評価できる点にある。一方で、収斂進化や形質の可塑性により、系統関係を誤って推定する可能性があるという限界をもつ。

これに対し、分子系統解析に基づく分類は、塩基配列やアミノ酸配列といった客観的なデータに基づき、形態形質の差異の大小に関わらず、生物間の系統関係を高い分解能で推定できる利点がある。しかし、化石生物には原則として適用できないことや、解析手法や用いる遺伝子によって結果が左右される点が限界として挙げられる。

(4)

rRNA 遺伝子はすべての生物に存在し、機能的制約が強いため進化的保存性が高く、広い分類群間の系統関係を推定する指標として有用である。

一方、ミトコンドリア DNA は比較的進化速度が速く、母系遺伝で組換えがほとんど生じないことから、近縁分類群や集団レベルでの系統解析に適している。これらの特性に基づき、両者は解析目的に応じて使い分けられている。

(5)

原生生物は単細胞性の真核生物を便宜的にまとめた分類群であり、進化的には単系統性を欠く。分子系統解析により、単細胞性真核生物は動物、植物、菌類を含む複数の主要系統の基部や内部に分散して位置づけられることが明らかになっている。

また、原生生物には、細胞小器官の構成、栄養様式、運動様式などにおいて著しい多様性がみられ、単一の構造的・機能的特徴で定義することが難しい。このように、原生生物を一つの分類群として扱うことは、真核生物の進化や多様化の実態を正確に反映しないという問題をもつ。

問題 17

(1)

【あ】 エピジェネティック

【い】 ノンコーディング RNA (非コード RNA)

(2)

ヒストンの分子修飾は、DNA が巻き付いたヌクレオソームの構造や安定性を変化させることで、DNA の露出度を変え、転写因子が結合しやすくなるかどうかを調節するため、転写調節につながる。

(3)

二価クロマチン (bivalent chromatin) や二価ドメイン (bivalent domain) と呼ばれる。転写を活性化する修飾と抑制する修飾の両方を併せ持つことで、遺伝子をすぐに活性化または抑制できる「待機状態」に保つ役割をもつ。

問題 18

(1) 抗体 A と抗体 B で異なる染色像が得られた理由として、以下のような点が考えられる。

認識しているエピトープの違い

ポリクローナル抗体である抗体 A は、タンパク質 X 上の複数の部位を認識するため、細胞質中の非特異的結合や関連タンパク質への交差反応が起こりやすく、結果として細胞全体に蛍光が広がって見えた可能性がある。一方、モノクローナル抗体である抗体 B は特定のエピトープのみを認識するため、核内に局在する X のみを検出した可能性がある。

非特異的結合の程度の違い

ポリクローナル抗体は非特異的結合が起こりやすく、バックグラウンドが高くなりやすい。そのため、本来の局在とは異なり、細胞全体に蛍光が分布して見える可能性が高くなる。モノクローナル抗体はその傾向が弱い。

翻訳後修飾や立体構造の影響

抗体 B が認識するエピトープは、核内に存在する修飾状態の X でのみ露出している可能性があり、その結果、核局在のみが検出されたことも考えられる。

(2)

ワイドフィールド蛍光顕微鏡は、試料全体を一様に励起し、焦点面以外からの蛍光も含めて検出する顕微鏡である。そのため、像がぼやけやすい。一方、共焦点レーザー顕微鏡は、レーザーで一点ずつ励起し、ピンホールによって焦点面以外の蛍光を除去する仕組みをもつため、光学的切片像を得ることができ、高い空間分解能で観察できる。

(3) 両顕微鏡で異なる染色像が得られた理由として、以下の点が考えられる。

焦点面以外の蛍光の影響

ワイドフィールド蛍光顕微鏡では、核内の異なる深さに存在する蛍光が重なって検出されるため、X が核全体に広がって存在するように見えた。一方、共焦点レーザー顕微鏡では、特定の焦点面のみを観察できるため、核内の限られた領域への局在が明瞭に観察された。

核内構造に依存した局在の可視化

タンパク質 X がクロマチン領域や核内小体など、核内の特定構造に局在している場合、共焦点顕微鏡ではその局在が明確に分離されるが、ワイドフィールド顕微鏡ではそれらが重なって平均化され、核全体に分布しているように見えた可能性がある。

日本大学大学院総合基礎科学研究科

令和8年度入学試験問題 解答例（第二期）

試験科目	外国語（英語）
専攻名	相関理化学専攻（博士前期課程）

解答は指定の解答用紙に記入せよ。

問題 1

(1)

この部分は著作権の都合上、公開できません。

(2) 触媒量の硫酸存在下、カルボン酸のエタノール溶液を加熱還流条件で2時間攪拌した。塩基性水溶液を用いた洗浄操作を含む適切な後処理後、粗生成物の減圧蒸留を行い、目的とするエチルエステルを無色液体として収率 80%で得た。

(3) 近年、真核細胞内においてみられる膜でできたオルガネラではなく、液—液相分離によって形成されるような構造体が注目されている。このような構造体は非膜オルガネラとも呼ばれ、細胞の機能において重要な役割を果たすことが解明されてきている。細胞核内で最も明確な非膜オルガネラは核小体である。

問題 2

- (1) The kinetic energy of a body(an object) is in proportion to the product of the square of its velocity and its mass.
- (2) A hydrogen atom consists of a proton, a particle of electric charge $+e$, and an electron, a particle of charge $-e$.
- (3) The molecular formula of the compound was determined to be $C_7H_{12}O_4$ by high-resolution mass spectrometry (HRMS).
- (4) This unstable compound was synthesized under an inert atmosphere.
- (5) Life science deals with biological phenomena across a wide range of levels, from molecules to ecosystems.
- (6) During protein purification, the sample was accidentally left under high-temperature conditions for a long period of time, resulting in a loss of activity.