

令和6（2024）年度
東京大学大学院総合文化研究科
広域科学専攻修士課程入学試験問題

生命環境科学系 総合科目

（令和5年8月17日 9:30～12:30）

試験開始の合図があるまで問題冊子を開いてはいけません。開始の合図があるまで、下記の注意事項をよく読んでください。

1. 本冊子は、生命環境科学系を志望する受験者のためのものである。
2. 本冊子の本文は 25 ページである。落丁、乱丁又は印刷不鮮明の箇所があった場合には、手を挙げて申し出ること。
3. 第1問～第22問から3問を選択して解答すること。
4. 配付された3枚の解答用紙（両面使用可）は、問題ごとに1枚を使用すること。
5. 解答用紙の上の欄に、解答した問題の番号、科目名、氏名及び受験番号を、次の記入例のように記入すること。なお、氏名、受験番号を記入していない答案は無効である。

記入例

問題番号	科目名	氏名	受験番号
第9問	生物学（4）	〇〇〇〇	〇〇〇〇

6. 日本語または英語で解答すること。
7. 本冊子の最後の3枚は草稿用紙である。切り離して使用してもよい。
8. 試験の開始後は、中途退場を認めない。
9. 本冊子、解答用紙及び草稿用紙は持ち帰ってはならない。
10. 次の欄に受験番号と氏名を記入せよ。

受験番号	
氏名	

生命環境科学系 総合科目 目 次

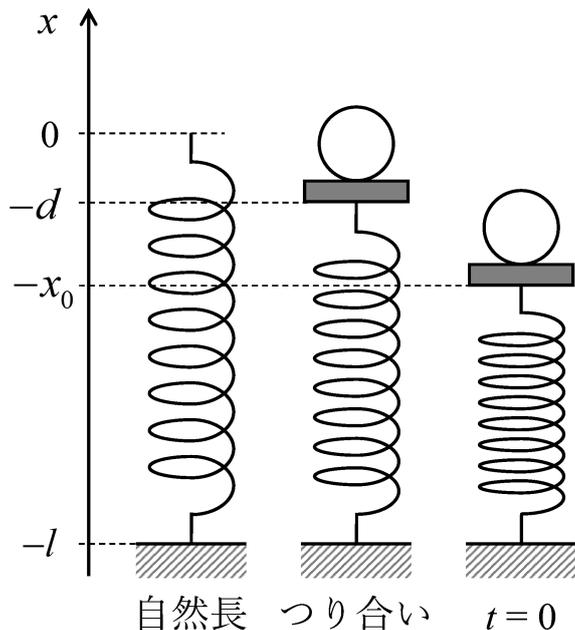
第1問	物理学・生物物理学（1）	1
第2問	物理学・生物物理学（2）	3
第3問	化学・生化学（1）	5
第4問	化学・生化学（2）	6
第5問	化学・生化学（3）	7
第6問	生物学（1）	8
第7問	生物学（2）	9
第8問	生物学（3）	10
第9問	生物学（4）	11
第10問	身体運動科学（1）	12
第11問	身体運動科学（2）	13
第12問	身体運動科学（3）	15
第13問	身体運動科学（4）	16
第14問	身体運動科学（5）	17
第15問	認知行動科学（1）	18
第16問	認知行動科学（2）	19
第17問	認知行動科学（3）	20
第18問	認知行動科学（4）	21
第19問	認知行動科学（5）	22
第20問	神経科学（1）	23
第21問	神経科学（2）	24
第22問	神経科学（3）	25

2024 年度修士課程入学試験問題
生命環境科学系 総合科目

第 1 問 物理学・生物物理学（1）（その 1）

以下の I と II すべてについて解答せよ。

I. 図のように、一端が床に固定されて鉛直上向きに立てられた軽いばね（ばね定数 k ，自然長 l ）がある．鉛直上向きに x 軸をとり，ばねが自然長のときの上端の位置を原点とする．このばねの上端に質量 M の板をとりつけ，その上に質量 m の物体を乗せたところ，ばねは d ($d > 0$) だけ縮んでつり合い，板の底面（すなわち，ばねの上端）の位置を示す座標は $-d$ になった．次に，板の底面の位置を示す座標が $-x_0$ ($x_0 > 0$) になるまで鉛直下向きにばねを縮ませ，時刻 $t=0$ のときに静かに放したところ，板と物体は鉛直上向きに動きはじめた．ある値 x_c ($x_c > 0$) よりも x_0 が小さい場合（すなわち， $x_0 < x_c$ の場合）には，物体は板から離れることなく単振動を行ったが， $x_c < x_0$ の場合には，時刻 $t=t_1$ のときに物体は板から離れ，鉛直上方に投射された．以下の問いに答えよ．ただし，ばねは鉛直方向にのみ伸び縮みするものとし，板と物体も鉛直方向にのみ動けるものとする．また，重力加速度は g であり，ばねの重さや，板と物体の大きさは無視できるものとする．



- (1) d を M ， m ， g ， k を用いて表せ．
- (2) 時刻 t （ただし $0 \leq t \leq t_1$ ）における板の底面の位置を示す座標を x ，板が物体を押す力の大きさを N とする．このとき，板と物体それぞれについての運動方程式を求めよ．
- (3) 時刻 t （ただし $0 \leq t \leq t_1$ ）における x と N をそれぞれ求めよ． d を用いて答えてもよい．
- (4) x_c を M ， m ， g ， k を用いて表せ．
- (5) $x_c < x_0$ の場合，物体が板から離れるとき（すなわち，時刻 $t=t_1$ のとき）の板の底面の位置を示す座標 x_1 を求めよ．
- (6) $x_c < x_0$ の場合，物体が板から離れたあと鉛直上方に移動できる最大の距離 h を求めよ． d を用いて答えてもよい．

次ページにつづく

2024 年度修士課程入学試験問題
生命環境科学系 総合科目

第 1 問 物理学・生物物理学（1）（その 2）

II. 水溶性の球状タンパク質が溶けた水溶液がある。このタンパク質は 25 °C において天然状態であったが、圧力一定の条件下で温度を上昇させたときと低下させたときのどちらの場合にも、タンパク質は変性状態へと転移した。以下の問いに答えよ。

まず、簡単のために、温度を変えてもタンパク質の状態が変化しない場合を考える。

- (7) このとき、この系のエンタルピー H の温度 T への依存性を表す式 $H(T)$ を求めよ。ただし、温度を dT だけ微小変化させたときのエンタルピーの微小変化 dH は、 $dH = C_p dT$ と表すことができる。ここで C_p は定圧比熱であり、温度によらず一定とする。また基準となる温度を T_m 、その温度におけるエンタルピーを $H(T_m)$ とし、これらを用いて答えよ。
- (8) 同様に、この系のエントロピー S の温度依存性を表す式 $S(T)$ を求めよ。ただし、温度を dT だけ微小変化させたときのエントロピーの微小変化 dS は、 $dS = (C_p/T)dT$ と表すことができるとする。また、 T_m におけるエントロピーを $S(T_m)$ とし、これを用いて答えよ。
- (9) (7)と(8)の結果を用いて、この系のギブス自由エネルギー G の温度依存性を表す式 $G(T)$ を求めよ。

次に、温度変化に伴ってタンパク質の状態が変化する場合を考える。このタンパク質は、水溶液中で天然状態 N と変性状態 U の 2 つの状態をとることができる。天然状態と変性状態における H 、 S 、 G をそれぞれ H_N 、 S_N 、 G_N および H_U 、 S_U 、 G_U と表し、タンパク質が天然状態から変性状態へと転移したときのそれぞれの変化量を $\Delta H = H_U - H_N$ 、 $\Delta S = S_U - S_N$ 、 $\Delta G = G_U - G_N$ と定義する。また、天然状態と変性状態における定圧比熱の差を ΔC_p とする。さらに、高温における変性転移の温度を T_m とし、 T_m における ΔH 、 ΔG をそれぞれ $\Delta H(T_m)$ 、 $\Delta G(T_m)$ とする。

- (10) このとき、 ΔG の温度依存性を表す式 $\Delta G(T)$ を、 ΔS を用いずに表せ。ただし、 $\Delta G(T_m) = 0$ が成り立つものとする。
- (11) このタンパク質の T_m が 330 K、 $\Delta H(T_m)$ が 60 kcal mol^{-1} 、 ΔC_p が $2.0 \text{ kcal mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ であるとき、 $\Delta G(T)$ を T に対してプロットしたグラフを描け。必要ならば、 $\ln(330) \approx 5.80$ 、 $\ln(302) \approx 5.71$ を用いてもよい。
- (12) タンパク質によっては、高温における変性転移が天然状態→中間状態、中間状態→変性状態という 2 段階で起きるものがあり、モルテン・グロビュール状態と呼ばれる中間状態が観測される。このような中間状態の構造的特徴を述べよ。また、この中間状態がタンパク質のフォールディング反応とどのように関係しているのかについて説明せよ。

2024 年度修士課程入学試験問題
生命環境科学系 総合科目

第2問 物理学・生物物理学（2）（その1）

以下の問 I, II に答えよ。ただし、プランク定数を 2π で割った定数を \hbar とする。また、計算を要する問題は、結果だけでなく、導出過程も簡単に記すこと。

I. 以下のハミルトニアンで表される質量 m 、固有振動数 ω の1次元調和振動子を量子力学的に考察しよう。

$$\hat{H} = \frac{1}{2m}\hat{p}^2 + \frac{m\omega^2}{2}\hat{q}^2$$

ただし、 \hat{q} と \hat{p} はそれぞれ位置座標演算子と運動量演算子で、交換関係 $[\hat{q}, \hat{p}] = i\hbar$ を満たす。ここで、消滅演算子 \hat{a} とそのエルミート共役である生成演算子 \hat{a}^\dagger を次のように定義する。

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

- (1) ハミルトニアン \hat{H} を \hat{a} と \hat{a}^\dagger を用いて表せ。
- (2) $x = 0$ でテイラー展開可能な関数 $f(x)$ およびその微分 $f'(x)$ に対して、 $[\hat{a}, f(\hat{a}^\dagger)] = f'(\hat{a}^\dagger)$ が成り立つことを示せ。
- (3) $\hat{a}|A\rangle = A|A\rangle$ を満たす \hat{a} の固有状態 $|A\rangle$ を基底状態 $|0\rangle$ と \hat{a}^\dagger を用いて表せ。ただし、固有値 A は一般に複素数とする。また、本問では状態の規格化は問わない。
- (4) 前問で構成した状態 $|A\rangle$ を、ノルムが1となるように規格化せよ。
- (5) 状態 $|A\rangle$ に対して、位置座標演算子 \hat{q} と運動量演算子 \hat{p} の期待値を求めよ。ただし、複素数 A を実数 r, θ を用いて $A = re^{i\theta}$ と表し、解答では r, θ を用いること。また、 $t = 0$ で状態 $|A\rangle$ にあるとして、時刻 t における \hat{q} の期待値を求めよ。

次に、位置座標や運動量のゆらぎを考えよう。 $(\hat{a}$ の固有状態とは限らない) 規格化された一般の状態 $|X\rangle$ に対して、位置座標と運動量のゆらぎを表す演算子 $\Delta\hat{q}, \Delta\hat{p}$ をそれぞれ

$$\Delta\hat{q} = \hat{q} - \langle X|\hat{q}|X\rangle, \quad \Delta\hat{p} = \hat{p} - \langle X|\hat{p}|X\rangle$$

のように導入する。また、ゆらぎの大きさを特徴付ける量として

$$\langle(\Delta\hat{q})^2\rangle = \langle X|(\Delta\hat{q})^2|X\rangle, \quad \langle(\Delta\hat{p})^2\rangle = \langle X|(\Delta\hat{p})^2|X\rangle$$

を考える。

- (6) 基底状態 $|0\rangle$ に対して、位置座標と運動量のゆらぎ $\langle(\Delta\hat{q})^2\rangle, \langle(\Delta\hat{p})^2\rangle$ をそれぞれ計算せよ。
- (7) \hat{a} の固有状態 $|A\rangle$ に対して、位置座標と運動量のゆらぎ $\langle(\Delta\hat{q})^2\rangle, \langle(\Delta\hat{p})^2\rangle$ をそれぞれ計算せよ。
- (8) 一般に、位置座標と運動量のゆらぎの積 $\langle(\Delta\hat{q})^2\rangle\langle(\Delta\hat{p})^2\rangle$ が取り得る値には下限値が存在することが知られている。この下限値を導出せよ。

2024 年度修士課程入学試験問題
生命環境科学系 総合科目

第2問 物理学・生物物理学（2）（その2）

II. 弱い周期ポテンシャル中の質量 m の粒子の1次元的な運動を量子力学的に考える。座標の演算子を \hat{x} 、運動量の演算子を \hat{p} 、系のハミルトニアン \hat{H} を

$$\hat{H} = \frac{1}{2m} \hat{p}^2 + V(\hat{x})$$

とし、問(8)以外では ϵ を $\epsilon \geq 0$ の定数、 a を正の定数として、

$$V(x) = 2\epsilon \cos\left(\frac{2\pi x}{a}\right)$$

とする。ただし ϵ は、0ではないときには $\pi^2 \hbar^2 / (2ma^2)$ の1/10程度の量とする。また、 \hat{p} の固有値 p の固有状態を $|p\rangle$ とし、

$$\langle p_1 | p_2 \rangle = \delta(p_1 - p_2)$$

とする。以下の問いで、 k は $e^{i\hat{p}a/\hbar}$ の固有値を e^{ika} と表すときの $-\pi/a \leq k \leq \pi/a$ の領域の実数を表すものとする。

- (1) $\epsilon = 0$ のとき、エネルギー固有値 E を \hat{p} の固有値 p の関数 $E(p)$ と考え、 $E(p)$ の概形を図示せよ。
- (2) $\epsilon = 0$ のとき、エネルギー固有値 E を k の関数 $E(k)$ と考え、 $E(k)$ の $0 \leq E \leq 9\pi^2 \hbar^2 / (2ma^2)$ の領域の概形を図示せよ。
- (3) $[\hat{p}, e^{i\lambda \hat{x}}]$ を \hat{p} を用いずに表せ。ただし、 λ を定数とする。
- (4) $e^{i\lambda \hat{x}} |p\rangle$ は \hat{p} の固有状態である。 $e^{i\lambda \hat{x}} |p\rangle$ の \hat{p} の固有値を求めよ。
- (5) $\langle p_1 | V(\hat{x}) | p_2 \rangle = 2\epsilon \langle p_1 | \cos(2\pi \hat{x}/a) | p_2 \rangle$ を求めよ。
- (6) エネルギーが縮退する付近の2準位の有効的なハミルトニアンの行列表示 H_{eff} が、 Δk を実数の変数とし、 E_* 、 A を正の定数、 ϵ を $\epsilon \geq 0$ の定数として、

$$H_{\text{eff}} = \begin{pmatrix} E_* - A\Delta k & \epsilon \\ \epsilon & E_* + A\Delta k \end{pmatrix}$$

のように与えられているとき、2つのエネルギー固有値を求めよ。また、 $\epsilon = 0$ の場合と $\epsilon > 0$ の場合の2つのエネルギー固有値を Δk の関数としてすべて1つの図の中に図示せよ。

- (7) ハミルトニアン \hat{H} で $\epsilon > 0$ のとき、 $0 \leq E \lesssim 3\pi^2 \hbar^2 / (2ma^2)$ の領域におけるエネルギー固有値 $E(k)$ の概形を図示せよ。
- (8) a を正の定数として $V(x)$ が $V(x+a) = V(x)$ を満たす一般的な弱い周期ポテンシャルの場合を考える。ハミルトニアン \hat{H} のエネルギー固有値 E の最小値を E_0 とするとき、 $E_0 \leq E \lesssim E_0 + 5\pi^2 \hbar^2 / (2ma^2)$ の領域におけるエネルギー固有値 $E(k)$ の概形を図示し、そのような概形になる理由を簡潔に述べよ。

2024 年度修士課程入学試験問題
生命環境科学系 総合科目

第3問 化学・生化学（1）

次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

タンパク質はDNAを鋳型として転写されたmRNAから翻訳される。mRNAのタンパク質コード領域では、連続した 塩基の配列（コドン）がタンパク質のアミノ酸1個に対応する。コドンは全部で 種類あり、全部で20種類の①アミノ酸をコードしている。②翻訳されたタンパク質は安定な立体構造をとるように折り畳まれて機能する。タンパク質の機能は細胞内で調節されることが多く、リン酸化はその一例である。プロテインキナーゼにより、 から③タンパク質を構成する特定のアミノ酸にリン酸基が転移されることでタンパク質はリン酸化される。④タンパク質どうしが相互作用することでその機能が調節されることもある。

(1) 、 に当てはまる数字を答えよ。

(2) 下線部①について、次に示す第1群のa)~d)のそれぞれの性質を持つアミノ酸を第2群からすべて選び答えよ。

[第1群] a) 280 nmの紫外線を吸収する b) 平面構造ではない環状構造をもつ
c) 複数の不斉炭素をもち、疎水性の側鎖をもつ d) 等電点が最も高い

[第2群] リシン イソロイシン アルギニン トレオニン トリプトファン
ロイシン チロシン プロリン セリン

(3) 下線部②について、タンパク質の二次構造の例を一つあげ、その形成に重要な分子間力と官能基に言及しながら説明せよ。図示しながら説明しても良い。

(4) 水溶液のpHがタンパク質の等電点に近づくとそのタンパク質は凝集しやすくなる。この理由について、タンパク質の電荷と水分子に言及しながら説明せよ。

(5) に当てはまるヌクレオチドの名称を答えよ。

(6) の化学構造を図1に示す。図中のV、W、X、Y、Zをそれぞれ書け。

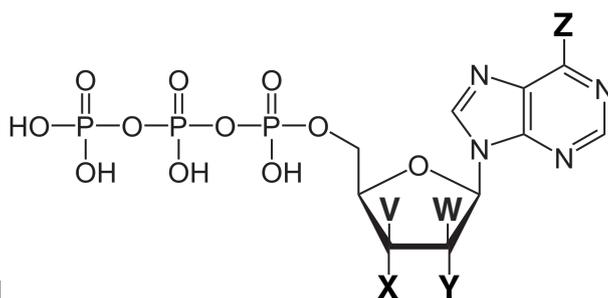


図1

(7) 下線部③について、真核生物のプロテインキナーゼにリン酸化されるアミノ酸を(2)の第2群からすべて選び答えよ。

(8) 下線部④について、次に列挙するタンパク質相互作用の解析法a)~d)から二つ選択し、その解析法の原理と、その解析法を用いることでタンパク質相互作用に関するどのような情報を得ることができるのかについて、それぞれ説明せよ。

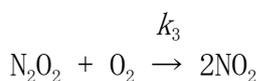
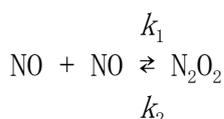
a) 蛍光共鳴エネルギー移動 (FRET) 法 b) 表面プラズモン共鳴 (SPR) 法
c) ツーハイブリッド法 d) 免疫沈降法

2024 年度修士課程入学試験問題
生命環境科学系 総合科目

第4問 化学・生化学（2）

以下の問いに答えよ。答えだけでなく、導出過程も記すこと。括弧内の g は気体を示す。必要があれば、気体定数 $R = 8.31 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ 、 $0 \text{ }^\circ\text{C} = 273 \text{ K}$ 、 $\ln 2 = 0.69$ 、 $\ln 5 = 1.61$ を用いよ。なお、答えの有効数字は2桁とせよ。

- I. 一酸化窒素 NO の酸化反応 $2\text{NO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{NO}_2(\text{g})$ は、以下の素反応からなる。各素反応の速度定数を k_1 、 k_2 、 k_3 とする。



- (1) 反応中間体 N_2O_2 について定常状態近似を行い、 NO_2 の生成速度を NO の濃度 $[\text{NO}]$ 、 O_2 の濃度 $[\text{O}_2]$ を用いた速度式で表せ。
(2) NO_2 の生成速度が、 $[\text{O}_2]$ には依存せずかつ $[\text{NO}]$ について二次の速度式に従う時、その速度式を示せ。

- II. 反応物 X が生成物 Y になる一次反応を考える。この反応の活性化エネルギーは 51.6 kJ mol^{-1} であり、温度によらず一定とする。

- (1) 温度を $t_A \text{ }^\circ\text{C}$ から $t_B \text{ }^\circ\text{C}$ に変化させると反応の速度定数が k_A から k_B に変化したとする。 $\ln(k_B/k_A)$ を t_A と t_B を用いた関係式で表せ。
(2) 反応物の濃度が初濃度の半分に減少するのに要する時間を半減期という。一次反応の反応温度を $10 \text{ }^\circ\text{C}$ 上げると、半減期が $1/2$ 倍になった。この場合、最初の反応温度は摂氏何度であるか求めよ。

- III. $30 \text{ }^\circ\text{C}$ 一定で、 2.0 mol の理想気体を 1.0 L から 10 L まで等温可逆膨張させた。

- (1) 内部エネルギー変化 ΔU を求めよ。
(2) エントロピー変化 ΔS とギブズエネルギー変化 ΔG を求めよ。

2024 年度修士課程入学試験問題
生命環境科学系 総合科目

第5問 化学・生化学（3）

化学・生化学実験に関する以下の問いに答えよ。

I. 試料の濃度や純度を測定する際に吸光光度計が用いられる。Lambert-Beer の法則が適用できるものとして以下の小問に答えよ。

- (1) 吸光光度計の入射光強度を I_0 、透過光強度を I とする。吸光度 A を、 I_0 と I を用いた式で表せ。
- (2) 測定試料の濃度が半分になるように希釈した。希釈後の試料の吸光度の値が 1 を示したとき、希釈後の透過率 (I/I_0) は希釈前の透過率の何倍に変化したか計算過程も含めて答えよ。
- (3) 生体試料から抽出された DNA の純度を吸光光度計を用いて評価する方法について、測定すべき波長を含め 5 行程度で説明せよ。

II. タンパク質を分離する際、イオン交換クロマトグラフィーやサイズ排除クロマトグラフィーが用いられる。以下の小問に答えよ。

- (1) イオン交換クロマトグラフィーによる分離メカニズムについて、カラム担体とタンパク質間の相互作用、さらに溶離液による影響を含めて 5 行程度で説明せよ。
- (2) サイズ排除クロマトグラフィーによる分離メカニズムについて、カラム担体の役割、さらに溶出時間とタンパク質の分子量の関係を含めて 5 行程度で説明せよ。

III. サンプル中の RNA を定量する方法として、リアルタイム PCR 法が用いられる。同手法の測定原理を、下記の語句を全て使用して 5 行程度で説明せよ。必要であれば図を用いても良い。

逆転写酵素、蛍光強度、サイクル数、検量線

2024 年度修士課程入学試験問題
生命環境科学系 総合科目

第6問 生物学（1）

次の文を読み、以下の問Ⅰ～Ⅴに答えよ。

初期発生の研究では、(a)着目する遺伝子が胚のどの領域で発現するかを知ることが、その遺伝子の機能を理解する助けとなる。ショウジョウバエでは、様々な空間的な発現パターンを示す遺伝子を簡便かつ網羅的に同定する方法が知られている。まず図1に示すように、(b) β -ガラクトシダーゼをコードする *lacZ* 遺伝子と、転写に必要な最低限のプロモーター配列が2つのトランスポゾン由来配列で挟まれた構造をもつプラスミドDNAを用意する。次に、このプラスミドDNAを転移酵素とともに受精卵に注入すると、トランスポゾン由来配列に挟まれた領域（領域Xとする）がゲノムにランダムに挿入される。羽化した成体から得られる胚を、発色基質である5-Bromo-4-Chloro-3-Indolyl- β -D-Galactoside (X-gal)を用いて染色すると、(c)ゲノム上に存在する、ある遺伝子の空間的な発現パターンが可視化される。また、(d)領域Xの塩基配列を手がかりに、領域Xがゲノムのどこに挿入されたかを知ることができる。

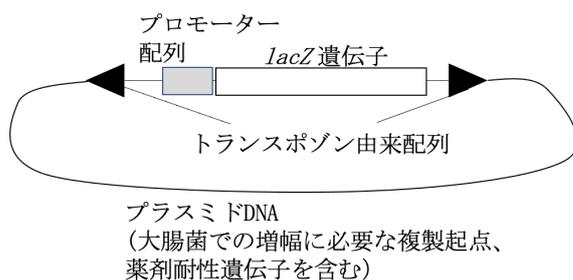


図1

- 問Ⅰ 下線部(a)について。胚における遺伝子の空間的な発現パターンを知る方法を2つ選び、それらの概略をそれぞれ2行程度で記せ。
- 問Ⅱ 下線部(b)について。*lacZ* 遺伝子は、大腸菌を用いたクローニング実験において目的の DNA断片がプラスミドDNAに挿入されているかどうかを、大腸菌コロニーの段階で確認するためにも用いられる。具体的に、どのようにすればDNA断片の挿入の有無を判断することができるか、3行程度で説明せよ。
- 問Ⅲ 下線部(c)について。領域Xがゲノムに挿入されると、ある遺伝子の空間的な発現パターンが *lacZ* 遺伝子によって検出できるようになるのはなぜか。2行程度で説明せよ。
- 問Ⅳ 図1のプラスミドDNAを使った場合、領域Xがゲノムに挿入されているかどうか、ハエ個体をそのまま観察しただけでは確認できない。その理由と、それを避けるにはどのようにすればよいか、3行程度で説明せよ。
- 問Ⅴ 下線部(d)について。
- (1) 領域Xがどこに挿入されたかを知るためには、どのような実験を行えばよいか、記せ。ただし、全ゲノムシーケンシング以外の方法とする。
 - (2) 挿入領域付近のDNA配列を得るためには、どのような実験を行えばよいか、記せ。
 - (3) 挿入領域が判明しても、可視化できた発現に対応した遺伝子がすぐに同定できるとは限らない。その理由について、2行程度で説明せよ。

2024 年度修士課程入学試験問題
生命環境科学系 総合科目

第7問 生物学（2）

次の文を読み、以下の問Ⅰ～Ⅲに答えよ。

植物は固着生活を営むため、生育環境の変化に応じて成長と発生様式を調節するしくみを発達させてきた。このしくみにおいて重要なはたらきをしているのが (a) 植物ホルモン である。シロイヌナズナの芽生えを用いて、以下の実験1、実験2を行った。

実験1 図1左のように、シャーレ中の寒天培地表面を這うように暗所で5日間芽生えを生育させた後、シャーレを反時計回りに90度回転させ（図1右）、さらに暗所で1日生育させた。

実験2 芽生えを暗所で5日間生育させた後、図2のように切れ目を入れた暗箱に移し、茎頂付近に一方から光を照射しながら、さらに1日生育させた。

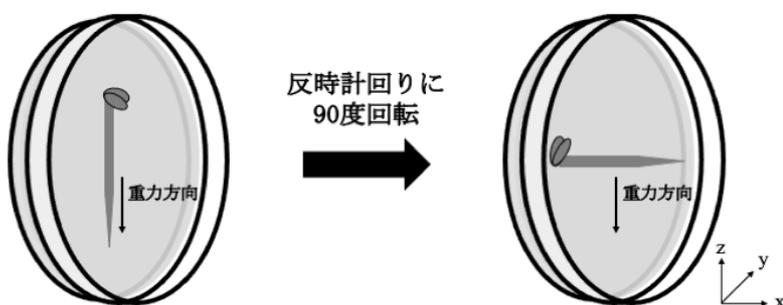


図1 実験1の概要

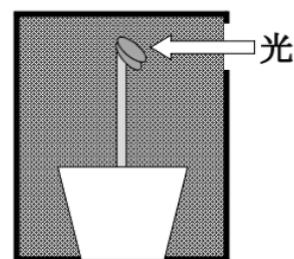


図2 実験2の概要

問Ⅰ 下線部(a)について。

- (1) ジベレリンの生理作用として適切でないものを、以下の選択肢から全て選び解答せよ。
 - ① 花芽形成を抑制する。
 - ② 微小管の配向を変化させ、細胞伸長を抑制する。
 - ③ α アミラーゼの発現を誘導し、胚乳におけるデンプンの加水分解を促進する。
 - ④ 単為結実を促進する。
 - ⑤ 果実の成熟を促進する。
- (2) アグロバクテリウムが植物に感染し、腫瘍を形成する際に生産される主要な植物ホルモンの名称を2つ記せ。

問Ⅱ 実験1について。

- (1) シャーレを反時計回りに90度回転させた1日後の植物の様子を図示し、このような現象を何と呼ぶか記せ。なお、図示する際には図1にならって重力方向を示すこと。
- (2) (1)の現象を引き起こす上で重要な役割を担っている細胞小器官の名称を記せ。
- (3) (2)の細胞小器官を簡便に観察するのに適した手法を2行程度で説明せよ。その際に、その手法を用いて細胞小器官を観察できる理由も記述すること。
- (4) 実験1で観察される反応では、オーキシンが重要なはたらきをしている。シャーレを反時計回りに90度回転させた1日後の、根におけるオーキシンの分布パターンと、その分布パターンを生じさせる分子機構について5行程度で説明せよ。

問Ⅲ 実験2について。

- (1) 暗箱に移した後に植物がみせる反応は、特定の波長（色）の光によって誘導される。この反応を誘導する「光の色」と「光受容体」の名称を記せ。
- (2) 実験2で観察される反応においても、実験1の反応と同様にオーキシンが重要なはたらきをしている。実験1と実験2の結果を比較し、オーキシンと植物の生理反応の関係性について5行程度で推察せよ。なお、「移動」「濃度差」「細胞伸長」「至適濃度」という語句を全て用いて解答せよ。

2024 年度修士課程入学試験問題
生命環境科学系 総合科目

第8問 生物学（3）

次の文を読み、以下の問Ⅰ～問Ⅶに答えよ。

視床下部には、内分泌系と自律神経系の中枢があり、体内のさまざまな器官のはたらきを調節し、外界の環境が変化しても体液の を維持する。視床下部の (a) 神経細胞 には、シナプス小胞に貯蔵した神経伝達物質を放出するものやホルモンを分泌するものがある。この神経細胞は、神経分泌細胞と呼ばれ、下垂体前葉からのホルモン分泌を調節する視床下部ホルモンや、下垂体後葉から直接分泌されるホルモンを分泌する。これら分泌されたホルモンは、標的細胞の に結合し、それぞれ特有の作用を發揮する。

空腹時のヒトの血中には、 $1.0 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ のグルコースが含まれ、グルコースの主な供給源である の摂取直後を除き、ほぼ一定の状態に保たれている。血中グルコース量が一定の状態から低下すると、視床下部から や下垂体へその情報が伝達される。その結果、副腎髄質からは が、副腎皮質からは が分泌される。また、(b) 膵臓の内分泌腺 であるランゲルハンス島の 細胞から が分泌され、血中グルコース量が増加する。

食事により血中グルコース量が上昇すると、視床下部の血糖調節中枢から へと情報が伝達される。ランゲルハンス島の 細胞へグルコースが取り込まれると、ミトコンドリアでATPが産生される。これがきっかけとなり、 細胞からインスリンが分泌され、血中グルコース量が低下する。

実験1 マウスXおよびYから膵臓を摘出し、インスリン分泌細胞だけを単離した。作製したインスリン分泌細胞を 37°C に保温したグルコースを含まない生理食塩水を満たした容器に浸した。このインスリン分泌細胞に濃度が $3.0 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ になるようにグルコースを生理食塩水に加えると、マウスX由来のインスリン分泌細胞（X細胞）からはインスリンが分泌されたが、マウスY由来のインスリン分泌細胞（Y細胞）からは、インスリンが分泌されなかった。

問Ⅰ 文中の空欄1～10に適切な語を入れよ。

問Ⅱ 下線部(a)について。シナプス小胞と細胞膜との膜融合（エキソサイトーシス）に関与するタンパク質複合体を構成する3種類のタンパク質の名称とその複合体を解離させるタンパク質の名称を記せ。

問Ⅲ エキソサイトーシスには2種類あるが、それぞれの名称とその機能の違いについて説明せよ。そして、その機能の違いを可能にしているタンパク質の名称とその細胞内の局在と機能について説明せよ。

問Ⅳ 下線部(b)について。膵臓は外分泌腺として膵液も分泌する。膵液中に含まれる消化酵素の1つについて、その名称を挙げよ。また、内分泌腺と外分泌腺の違いについても説明せよ。

問Ⅴ 血糖量を増加させるホルモンの種類は、減少させるホルモンよりも多い。それはなぜか説明せよ。

問Ⅵ 体重75 kgの健康なヒトの食後の血中グルコース量は、約何gか。ただし、食後の血糖量は、食事前の2倍、血液の重さは、体重の8%とする。なお、解答に至る考え方や計算過程などを必ず記述すること。

問Ⅶ 実験1について。X細胞とY細胞の遺伝子を解析したところ、Y細胞にのみグルコキナーゼ遺伝子に変異があることがわかった。なぜこの遺伝子に変異が起こるとインスリン分泌不全に陥るのか説明せよ。

2024 年度修士課程入学試験問題
生命環境科学系 総合科目

第9問 生物学（4）

次の文を読み、以下の問I～VIIIに答えよ。

細胞では、ATP等のリボヌクレオチドの加水分解に伴う自由エネルギー変化を利用して、生体物質の合成・細胞運動・細胞分裂など多くの生命活動が行われる。好気性真核細胞では、ミトコンドリア内で合成された大量のATP分子は細胞内に拡散し、モータータンパク質によって駆動される様々な生体反応のエネルギー源としても利用される。ヒト細胞においても、モータータンパク質の欠損や機能不全は様々な疾患の原因となる。

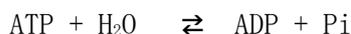
問I ヒト細胞のおおよその大きさとして最も適するサイズを次の(1)～(4)から選べ。

- (1) 0.1-1 μm (2) 1-10 μm (3) 10-100 μm (4) 100-1000 μm

問II ATP分子がヒト細胞内の核付近のミトコンドリアから細胞膜付近まで単純拡散で移動した場合に要する平均的な時間を概算せよ。なお、水溶液中でのATP分子の拡散係数 D は100 $\mu\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ とする。また、ヒト細胞は球状とし、大きさは問Iで解答したサイズの範囲で仮定すること。概算過程も記載すること。

問III あるヒト細胞内において、ATP濃度が1.67 mmol L^{-1} である場合、細胞内でのATP分子同士の平均的な距離（混み具合）を概算せよ。なお、細胞は立方体と仮定し、細胞小器官はないと仮定する。立方体の一辺は問Iで解答したサイズの範囲で仮定すること。概算過程も記載すること。

問IV ATPの加水分解反応の自由エネルギー変化 ΔG は次のように表される。



$$\Delta G = \Delta G^{0'} + RT \ln \frac{[\text{ADP}][\text{P}_i]}{[\text{ATP}]}$$

標準自由エネルギー変化($\Delta G^{0'}$)は-30.5 kJ mol^{-1} 程度であることが知られているが、細胞内で実際に利用できる自由エネルギー変化(ΔG)は $\Delta G^{0'}$ の値よりも大きい場合が多いと考えられる(例えば-54 kJ mol^{-1})。この理由を細胞内の溶液環境を考えて論じよ。

問V ATPの加水分解反応の自由エネルギー変化を利用して力学反応を起こす代表的なタンパク質として真核細胞においてはモータータンパク質が挙げられる。細胞骨格と相互作用するモータータンパク質の内、キネシン、ダイニン、ミオシンのそれぞれについて、対応する細胞骨格上での運動方向を「プラス端に移動する」、「マイナス端に移動する」、「種類によってどちらかの端に移動する」、のいずれかに分類せよ。

問VI ある種類のキネシン分子は、1分子のATPの加水分解反応ごとに微小管上で最大7 pNの力を出し、8 nm移動することができる。この時のエネルギー変換効率を推定せよ。なお、ATPの加水分解反応の自由エネルギー変化 ΔG を-54 kJ mol^{-1} として計算せよ。計算過程も記載すること。

問VII ある種類のキネシン遺伝子やダイニン遺伝子の先天異常がある場合、(1)気管支感染の頻発、(2)内臓逆位、(3)不妊、を同時に呈する場合が多い。(1)～(3)のうち1つを選び、その症状が発生する理由について簡潔に説明せよ。なお、(1)～(3)に共通して関係する細胞内の構造体（細胞小器官等）の名称を必ず記載すること。

問VIII 抗ガン剤としてチューブリン分子を標的とした微小管作用薬が多く用いられているが、副作用のあることが知られている。このため、新たにキネシン分子を標的とした抗ガン剤の開発が期待されている。

(1) どのようなキネシン分子を標的としているかを答えよ。

(2) また、(1)で解答したキネシン分子に特異的に作用する薬剤は微小管作用薬より副作用が少ないと考えられる理由を考察せよ。

2024 年度修士課程入学試験問題
生命環境科学系 総合科目

第 10 問 身体運動科学 (1)

以下の設問すべてに答えなさい。

- I. 骨格筋を肥大させるためには、レジスタンストレーニングを行うことに加えて、骨格筋の材料となるたんぱく質を摂取することが重要となる。たんぱく質摂取に関する以下の問いに答えなさい。
- (1) 食事で摂取したたんぱく質が消化・吸収され、筋たんぱく質になるまでの過程とその過程に対してレジスタンストレーニングがどのような影響を及ぼすのか説明しなさい。
 - (2) 体重60 kgの人が高強度のレジスタンストレーニングを行ったとする。その日の基礎代謝量とトレーニングを含む身体活動時のエネルギー消費量の合計（食事誘発性熱産生を含まない）が3,000 kcalであった場合、(a) トレーニング効果を高めるためには、たんぱく質、脂質、炭水化物（糖質）をおおよそ何gずつ摂取すべきか、(b) たんぱく質の摂取量が充足しているかどうかを評価するための方法にはどのようなものがあるか、説明しなさい。なお、(a)については計算過程も示し、(b)については方法の概要と測定原理も説明すること。
- II. 運動時のエネルギー代謝に関する以下の問いに答えなさい。
- (1) 運動時の骨格筋のエネルギー代謝に関連した性差について、知るところを述べなさい。
 - (2) 持続時間が30秒程度の高強度運動を単発で行う際のエネルギー代謝について説明しなさい。
 - (3) 持続時間が30秒程度の高強度運動を4分間の休息を挟んで3回繰り返した場合、1回目と比較して3回目にはエネルギー代謝にどのような変化が生じるか、説明しなさい。

2024 年度修士課程入学試験問題
生命環境科学系 総合科目

第 11 問 身体運動科学 (2) (その 1)

以下の設問すべてに答えなさい。

I. 以下の文 1 を読み、各問に答えなさい。

[文 1]

学習や記憶をはじめとした脳の機能には、非常に多くのニューロンによって構築された神経回路網が必要であるが、ニューロン間の情報伝達においてはシナプスにおける神経伝達物質によって次のニューロンへの情報伝達が適切かつ可塑的に行われることが重要である。シナプス前ニューロンによる神経伝達物質の放出の結果、シナプス後ニューロンに生じる電位変化には興奮性と抑制性があり、興奮性シナプス伝達においては細胞外から細胞内への [①] イオンの流入による [②] 性の電位変化が生じ、抑制性シナプス伝達においては細胞外から細胞内への [③] イオンの流入による [④] 性の電位変化が生じる。脊髄から出る運動神経の終末は骨格筋との間に神経筋接合部と呼ばれる特殊なシナプスを構成し、運動神経の終末から神経伝達物質として [⑤] が放出される。その結果、筋細胞では [⑥] から [⑦] イオンが放出され、筋が収縮するがこの一連の過程を興奮収縮連関という。脊髄を中枢とする反射において代表的なものの 1 つに伸張反射がある。伸張反射の反射弓において、 [⑧] 受容器とも称される筋紡錘から出る求心性ニューロン (感覚神経) の終末は脊髄において運動ニューロン (運動神経) と興奮性シナプス結合を形成している。

実験 1 図は伸張反射に関わる神経回路を示している。神経束を A 点において電気刺激し、屈筋の活動電位を記録したところ、ある刺激強度においては刺激後 4.0 ミリ秒後と 10.2 ミリ秒後に活動電位が記録された。なお、A 点から脊髄内の感覚神経の終末まで、また、運動神経の細胞体から A 点まではそれぞれ 20 cm で、神経伝導速度は 80 m/秒であった。

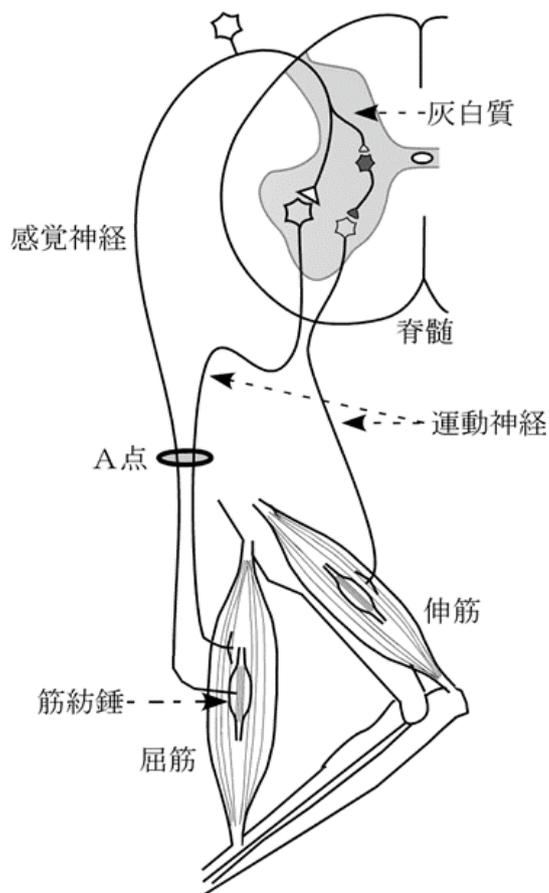


図 伸張反射に関わる神経回路

次ページにつづく

2024 年度修士課程入学試験問題
生命環境科学系 総合科目

第 11 問 身体運動科学 (2) (その 2)

- (1) ①から⑧について、最も適切な語句を答えなさい。
- (2) 実験 1 について、感覚神経の終末から運動神経までの興奮伝達に要する時間は何ミリ秒か。数値は小数点第 1 位まで答えなさい。
- (3) 図において、屈筋の筋紡錘から出る感覚神経は、伸筋の運動神経に対しては脊髄灰白質内で抑制性介在ニューロンを経由して接続している。このような神経回路は伸張反射が起こる時にどのような役割を果たしていると考えられるか、簡潔に説明しなさい。
- (4) げっ歯類を対象にした実験においては、末梢神経が障害された際に、ある種の神経栄養因子がその修復に重要な働きをすることも報告されている。脳における脳由来神経栄養因子 (Brain-Derived Neurotrophic Factor) の産生と身体運動の関係性について簡潔に説明しなさい。

II. 以下の文 2 を読み、各問に答えなさい。

〔文 2〕

ヒトの新生児は、泣く、笑う、眼や手足を動かすなど様々な運動のレパートリーを備えている。これらに加えて、(ア) 掌を刺激すると手を握る、(イ) 身体を支えて直立させ、足が床面に触れると足を持ち上げる、(ウ) 足裏を刺激すると足の指が反り返るなど、特定の刺激に対して無意識に生じる反射としての運動も出現する。これらの反射は出現時期がおおよそ定まっており、生後一定の期間が経過すると観察されなくなる。

- (1) 下線部 (ア) (イ) (ウ) の各反射の名称を答えなさい。
- (2) 下線部 (ア) について、この反射が消失する背景にある神経系の変化について説明しなさい。
- (3) 下線部 (イ) について、成長に伴ってこの反射が観察されなくなる理由として、問 II-(2) の回答として挙げた以外の要因について説明しなさい。
- (4) 下線部 (ウ) について、この反射が 2 歳以降になっても消失しないとき、その原因としてどのようなことが考えられるか答えなさい。

2024 年度修士課程入学試験問題
生命環境科学系 総合科目

第 12 問 身体運動科学 (3)

以下の設問すべてに答えなさい。

- I. 最大筋力の規定因子を三つ挙げ、それぞれについて説明しなさい。さらに、一定期間 (3~6 ヶ月程度) 筋力トレーニングを実施した際における各々の規定因子の変化について知るところを述べなさい。
- II. 加齢に伴う筋機能および筋量の変化について知るところを述べなさい。
- III. 下の図 1 は肘屈筋の長さ—張力関係を調べるための実験系について示したものである。この系を用いて肘関節をある屈曲角度で固定し、肘屈筋に単一かつ一定強度の電気刺激を与えたところ、手関節部で計測された張力 F と上腕部の皮膚表面で計測された加速度 a について図 2 のようなデータが得られた。これに関連した以下の設問 (1) ~ (4) に答えなさい。

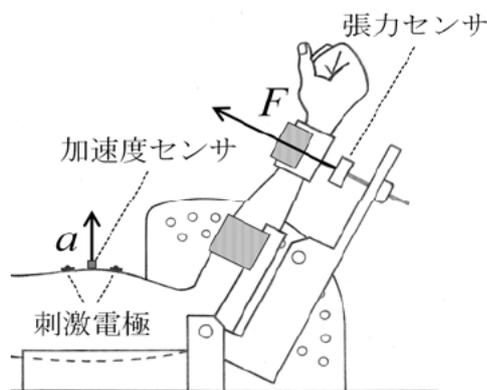


図 1

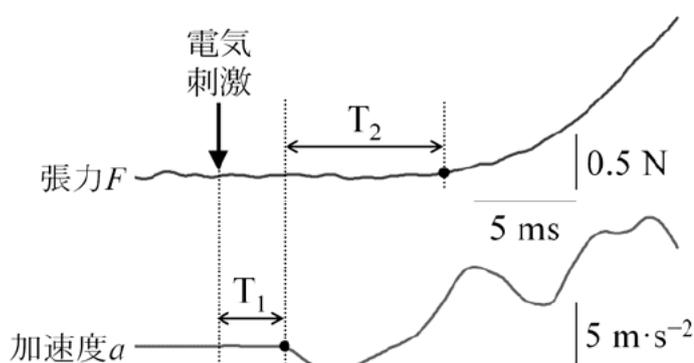


図 2

- (1) 単一の電気刺激によって起こる筋収縮について知るところを述べなさい。
- (2) 肘屈筋に電気刺激を与えてから加速度 a に変化が生じるまでの時間 (図 2 の T_1) は、生体内で電気信号が力学信号に変換される一連の過程を反映したものと考えられる。この過程について知るところを述べなさい。
- (3) 肘関節を図 1 の状態から 40 度屈曲させた。その角度にて同じ電気刺激を与えたところ、加速度 a に変化が生じてから張力 F が立ち上がるまでの時間 (図 2 の T_2) が増大した。この増大の要因について考察しなさい。
- (4) この実験系では、電気刺激を与える際の肘関節角度に依存して張力 F の最大値も変化することがわかっている。この要因として考えられることを二つ挙げなさい。

2024 年度修士課程入学試験問題
生命環境科学系 総合科目

第 13 問 身体運動科学（4）

以下の設問すべてに答えなさい。

- I. スポーツによる膝関節周囲の障害について、知るところを述べなさい。
強い外力によって急性に生じる外傷についての問いではない点に注意すること。
- II. メタボリックシンドロームについて、スポーツ医学の観点から知るところを述べなさい。
- III. スポーツによる突然死について、知るところを述べなさい。
- IV. 運動中に頭部を打撲した場合の対応について、知るところを述べなさい。

2024 年度修士課程入学試験問題
生命環境科学系 総合科目

第 14 問 身体運動科学 (5)

以下の設問すべてに答えなさい。

I. 以下の用語(1)～(4)すべてについて、説明しなさい。

- (1) 関節トルク
- (2) 投球におけるムチ動作
- (3) 相互作用トルク
- (4) マーカーレスモーションキャプチャ

II. ヒトが立位で静止しているときには、身体重心は支持基底面上に位置する必要があると考えられる。この理由を力学の観点から説明しなさい。

III. ヒトを含めた動物の走行は重りのついたバネが力学的エネルギーの散逸なく弾んで移動するようにモデル化されることがある。しかし、このモデルには能動的に身体の力学的エネルギーを増大させる要素（筋線維）は含まれず、実際の走行を説明できない部分がある。走行における筋線維の役割について、筋線維がなす仕事と身体の力学的エネルギーの観点から、以下の用語すべてを用いて説明しなさい。

足部、散逸、衝突、正味、一周期

IV. ボールの投動作について考えたい。ボールのリリースおよび着地時の高低差を 0 m とし、ボールの空気抵抗を無視する時、ボールがリリースされてから着地するまでの水平距離について、下式で記述することができる。式中の L は水平距離、 v はリリーススピード、 θ は水平を基準とした投射角度、 g を重力加速度 (9.8 m/s^2) とする。

$$L = \frac{2v^2 \sin \theta \cos \theta}{g}$$

ここで、リリーススピード 21 m/s、投射角度 36 度でボールを投げ、おおよそ 43 m の水平距離を投げることができる人がいた場合、この人が 46 m の水平距離を投げられるようになる条件について調べたい。リリーススピードと投射角度のいずれか片方のみを改善可能と仮定したとき、どちらを向上することが望ましいか力学の観点から説明しなさい。なお、改善前の条件については $\sin 36^\circ = 0.59$ 、 $\cos 36^\circ = 0.81$ として計算した値である。

2024 年度修士課程入学試験問題
生命環境科学系 総合科目

第 15 問 認知行動科学 (1)

次の用語のうち、8個選んで簡潔に説明せよ。9個以上選んだ場合、解答はすべて無効とする。

- (1) 痕跡条件づけ (trace conditioning)
- (2) 系列順序学習 (serial order learning)
- (3) 心の理論 (Theory of Mind)
- (4) 感覚知覚における中心化傾向 (central tendency in sensation and perception)
- (5) 特殊神経エネルギー説 (doctrine of specific nerve energies)
- (6) クロノスタシス (chronostasis)
- (7) ドリフト拡散モデル (drift-diffusion model)
- (8) Go/NoGo課題 (Go/NoGo task)
- (9) 恒常法 (method of constant stimuli)
- (10) BOLD信号 (blood-oxygen-level-dependent (BOLD) signal)
- (11) 偽陽性と偽陰性 (false positive and false negative)
- (12) 多重比較補正 (multiple comparison correction)
- (13) 心理統計における一般線形モデル (general linear model in psychological statistics)
- (14) ケース・コントロール研究 (case-control study)

2024 年度修士課程入学試験問題
生命環境科学系 総合科目

第 16 問 認知行動科学（2）

以下の3問すべてについて解答せよ。

I. 中心視野と周辺視野における視覚特性の違いについて、心理物理学的知見を挙げつつ説明せよ。

II. 自然画像には統計的な規則性がある。そのような規則性の例を挙げるとともに、それがヒトの視覚系の機能とその発達についてどのような意味をもつかを論ぜよ。

III. 知覚・認知心理学の実験において、実際の事物の写真や音声を刺激として用いることと、線分や純音など人工的に生成された刺激を用いることの利点と欠点を論ぜよ。

2024 年度修士課程入学試験問題
生命環境科学系 総合科目

第 17 問 認知行動科学 (3)

以下の3問すべてについて解答せよ。

I. キローガ(Quiroga)らは、微小電極による単一ユニット記録や多細胞同時記録を実施して、ヒトの側頭葉内側部の神経細胞が、ある特定の人物や建物に特異的に反応することを報告した(Quiroga, Reddy, Kreiman, Koch, Fried. 2005, *Nature*)。物体認知や記憶の理論に関して、この研究報告が示唆することや、この研究に対する批判について記述せよ。

II. 網膜から下側頭皮質に至るまでの視覚の脳内情報処理経路のうち、主なものについて記述せよ。

III. 下側頭皮質において顔刺激に特異的に反応する脳領域の機能は、生得的なものかそれとも環境によって構築されたものかを確かめるために有効だと考えられる実験を記述し、得られた結果に応じてどのような結論が導き出されるかを含めて説明せよ。過去に行われ報告された実験でもよいし、自分で考えた実験でもよい。

2024 年度修士課程入学試験問題
生命環境科学系 総合科目

第 18 問 認知行動科学 (4)

以下の3問すべてについて解答せよ。

I. 社会的学習 (social learning) に関連した過程として、模倣 (imitation) や目的模倣 (goal emulation)、刺激強調 (stimulus enhancement) などがある。これら3つの過程をそれぞれ説明せよ。

II. ヒト以外の動物で知られている文化的行動 (cultural behavior) の事例を1つ挙げて、社会的学習によって文化的行動が成立する仕組みについて論ぜよ。

III. 動物を対象に、刺激の弁別を行動レベルで調べるための実験においては、オペラント条件づけによって弁別学習訓練を実施して調べる場合と、訓練を用いず馴化脱馴化法を用いて調べる場合の二種類の方法が知られている。これら二種類の方法を比較し、両者の利点と欠点について論ぜよ。

2024 年度修士課程入学試験問題
生命環境科学系 総合科目

第 19 問 認知行動科学 (5)

以下の4問のうち2問について解答せよ。3問以上選んだ場合、解答はすべて無効とする。

- I. 思春期でおこる変化を、脳、認知機能、行動のそれぞれの視点から説明せよ。

- II. 精神疾患の診断手順について説明し、臨床研究がこの手順に基づいて行われる際に問題となる点を述べよ。

- III. 肥満と脳機能の関連について説明せよ。

- IV. 摂食行動は大きくわけて、生理的摂食(homeostatic eating)と非生理的摂食(non-homeostatic eating)がある。それぞれについて説明し、これらの共通点や違いについて論ぜよ。

2024 年度修士課程入学試験問題
生命環境科学系 総合科目

第 20 問 神経科学 (1)

Answer all of the following questions. Answer either in Japanese or English.

I, Describe human traits related to cognition and behavior for which there is robust evidence that they are under genetic influence.

II, Describe the methods for estimating the magnitude of genetic influence on human traits related to cognition and behavior.

III, Describe the methods for identifying genetic factors associated with traits related to cognition and behavior.

2024 年度修士課程入学試験問題
生命環境科学系 総合科目

第 21 問 神経科学 (2)

Answer all of the following questions. Answer either in Japanese or English.

Obtaining a comprehensive map of connectivity between cells in neural circuits (a connectome) is an important step towards understanding the structure and function of circuits in the brain.

I, Describe the methods to obtain a connectome.

II, Describe the methods to examine the functionality of neural connections.

III, Discuss what other pieces of information are necessary besides a connectome to simulate the activity in neural circuits.

2024 年度修士課程入学試験問題
生命環境科学系 総合科目

第 22 問 神経科学 (3)

Answer any two of the following three questions either in Japanese or English.

A, Explain the prisoner's dilemma game that is used to explore decision making between two individuals.

B, Design an experiment to investigate behavioral and neural mechanisms underlying reciprocity and cooperation in animals or humans.

C, Discuss how different brain regions may differ in ways that they contribute to social cognition processes.

草稿用紙

草稿用紙

草稿用紙