

生体システム工学 I

次の[I - 1]～[I - 3]の 3 題を，それぞれ別の解答用紙に答えよ．各問題に 2 枚以上の解答用紙を用いる場合は，[I - 1]（2 枚目）のように記入せよ．

[I - 1]

(問 1) 観測データの統計処理に関する以下の問いに答えよ．

(ア) 大数の法則とはどのような法則であるか，知るところを記せ．

(イ) 平均 μ ，分散 σ^2 の正規分布を $N(\mu, \sigma^2)$ と表記する．正規分布に対して，以下の性質が成り立つことを示せ．

A) 確率変数 X が $N(\mu, \sigma^2)$ に従っているとき，確率変数 $Y = cX$ は $N(c\mu, c^2\sigma^2)$ に従う．

B) 確率変数 X_1 と X_2 が独立で，それぞれ $N(\mu_1, \sigma_1^2)$ および $N(\mu_2, \sigma_2^2)$ に従っているとき，確率変数 $Z = X_1 + X_2$ は $N(\mu_1 + \mu_2, \sigma_1^2 + \sigma_2^2)$ に従う．

(ウ) 問 (イ) で述べた A), B) の性質を用いて，母集団が平均 μ ，分散 σ^2 の正規分布である場合に，無作為抽出された標本数 n の標本平均が従う確率分布を求め，大数の法則が成り立つことを示せ．

(問 2) 観測データへの直線のあてはめに関する以下の問いに答えよ．

(ア) n 組の観測データ $(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$ に対して，直線 $y = ax + b$ をあてはめる．残差の二乗和 E を最小とする係数 a, b の導出手順（最小二乗法）について述べ，そのときの係数 a, b を x_i, y_i, n を用いて表せ．残差の二乗和 E は以下の式で与えられる．

$$E = \sum_{i=1}^n \{y_i - (ax_i + b)\}^2$$

(イ) 下の表に示す観測データに対して，直線 $y = ax + b$ をあてはめる．残差の二乗和を最小とする係数 a, b の値を求めよ．

x_i	0	1	2	3	4
y_i	10	18	24	28	35

(ウ) 観測データに対する主成分分析によっても，観測データに対する近似直線を得ることができる．最小二乗法と主成分分析によって得られる近似直線の性質について，知るところを記せ．必要であれば図を用いて説明してもよい．

[I - 2]

(問 1) 仰臥位でのヒト身体の重心位置を図 1 (a) のような装置で測定する。ここでは、距離 L だけ離れた位置 A, B にそれぞれ支点とはかりを設置し、これらの上に水平に硬い板を設置する。はかりの読みは板がのせられた状態で 0 kg になるように調整する。また、測定時には図 1 (b) のように被験者の足底の水平位置が A に一致するように体を配置する。被験者の体重(質量)を M とし、足底から重心 G までの水平方向の距離を l とする。この装置に被験者をのせたとき、はかりの読みが W であったとする。はかりの高さの変位は無視できるものとして、以下の問いに答えよ。

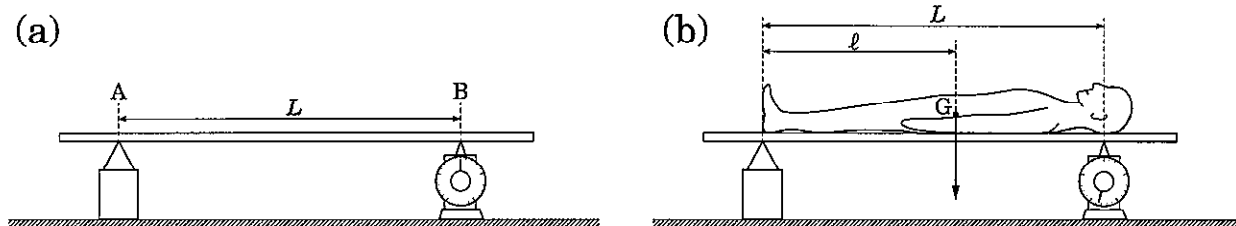


図 1

- (ア) この装置に被験者をのせたことにより位置 A の支点到働く抗力 F_A を求めよ。ここでは、重力加速度の大きさを g とする。
- (イ) 被験者をのせた状態で位置 A の支点を中心としたモーメントのつり合いの式を求めよ。
- (ウ) $L = 160 \text{ cm}$, $M = 65 \text{ kg}$, $W = 39 \text{ kg}$ のとき、 l の値を求めよ。

(問 2) 図 2 (a) のように、肘関節を 90° 曲げ、手のひらに質量 m の物体を持った状態を考える。このとき、必要な筋力、及び肘関節に加わる負荷を見積るため、図 2 (b) のような滑らかなヒンジでつながれた 2 個の剛体に、上腕二頭筋に相当する大きさ F の筋力が働いている系を考える。ここでは、上腕に対応する剛体の位置は固定されているとする。前腕に対応する剛体の質量を M とし、その重心からヒンジまでの距離を l_M とする。ヒンジから筋力 F が作用する点、及びおもりの重心までの距離をそれぞれ l_F , l_m とし、水平な剛体部分と筋力 F のなす角を α とする。このとき、以下の問いに答えよ。

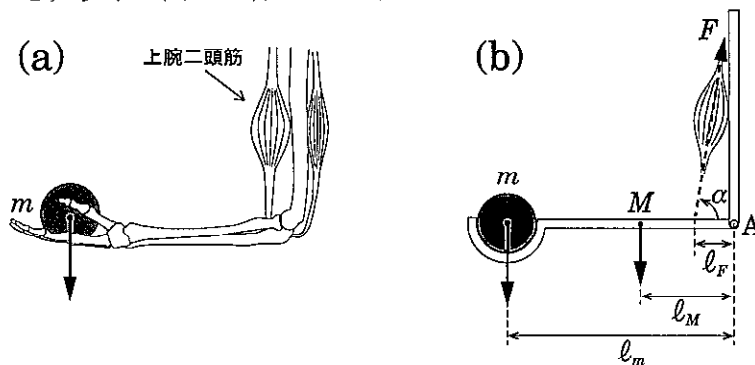


図 2

(次のページに続く)

(ア) 肘関節に対応するヒンジ部 A に加わる力を鉛直方向，水平方向のそれぞれについて求めよ。

(イ) 筋力 F を求めよ。

(ウ) てこは支点，力点，作用点の相対的な位置関係により，次の 3 種に分類される。

第 1 種てこ：支点を挟んで，力点と作用点が反対側に位置するもの。

第 2 種てこ：作用点を挟んで，力点と支点が反対側に位置するもの。

第 3 種てこ：力点を挟んで，支点と作用点が反対側に位置するもの。

上腕二頭筋の働きにより肘関節が屈曲する運動は，これらの 3 種類のてこのうち，どの構造に対応するかを答えよ。さらに，その構造の力学的特徴を述べよ。

(問 3) 図 3 は質量 m のおもりを持つヒトを模式的に表したものである。ここでは，体全体を全関節が固定された質量 M の剛体とみなし，体の前後方向を含む二次元平面(矢状面)内の運動のみを考える。体の重心 G からおもりの重心位置，及びつま先位置 P までの水平距離をそれぞれ l_1 ， l_2 とする ($l_1 > l_2$)。また，地面は十分に粗く，体が前に倒れるときの回転の中心はつま先位置 P とする。重力加速度を g とする。このとき，以下の問いに答えよ。

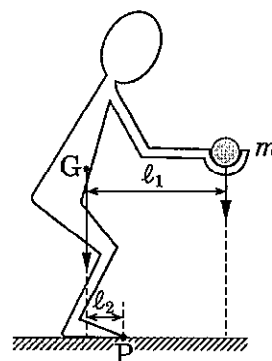


図 3

(ア) 体が前に倒れることなく立ち続けられるための条件式を求めよ。

(イ) $M = 65 \text{ kg}$ ， $l_1 = 56 \text{ cm}$ ， $l_2 = 16 \text{ cm}$ のとき，体が前に倒れることなく持つことのできるおもりの最大質量を求めよ。

(ウ) ここでは，図 4 (a) のように手のひらから h だけ離れた高さから初速度 0 で落とされた質量 m のおもりを，図 4 (b) のように受け止める場合を考え，その他の条件は同じとする (ただし，前問 (イ) の条件は仮定しない)。手のひらに相当する部分がおもりを受け止めるとき，極めて短い時間 Δt の間に一定の撃力 F が働くとし，体の重心位置や手の相対的な位置の変化は無視できるとする。このとき，撃力 F を求めるとともに，体が前に倒れることなくおもりを受け止められる高さ h の条件式を求めよ。

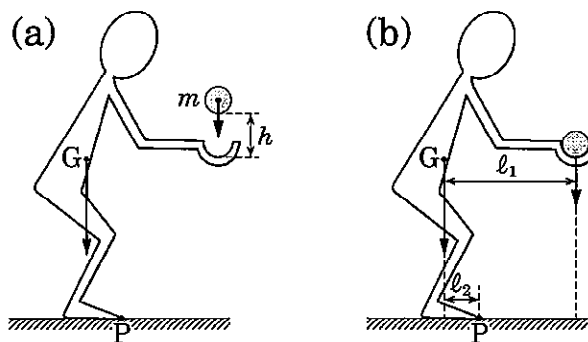


図 4

(次のページに続く)

(問 4) 図 5 の(a)~(c)に示した3種の姿勢で、重い荷物を保持して静止している状態を比較する。このとき、これらの姿勢の中で、腰椎に加わる負荷がどの順に大きいかを力学的な視点から議論せよ。ここでは、上半身、及び荷物の質量をそれぞれ M , m とし、それらの重心から腰椎までの水平距離をそれぞれ l_M , l_m とする。

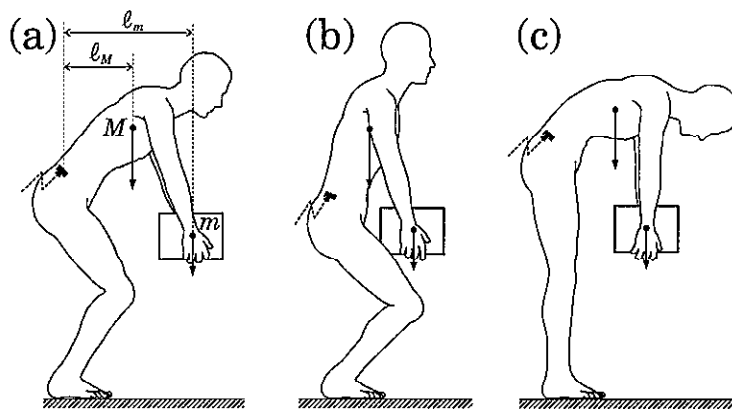


図 5

[I - 3]

(問 1) 物質代謝

1930 年代に米国のシェーンハイマーらは放射性同位元素を用いた代謝計測の方法を開発した。ネズミに放射性ラベル (^{15}N) したアミノ酸を与え、放射性同位元素 (^{15}N) の行方を 3 日後に検討したところ、投与した ^{15}N のうち約 30% が糞尿に含まれて排出され、体内に約 65% が残った。ネズミの体重変化は無かった。シェーンハイマーは、この実験を含む研究をまとめ、食物として取り込まれた物質と生体の関係について「The dynamic state of body constituents」という本を著している(1942 年刊行)。

この実験を踏まえて以下の質問に答えよ。

- (ア) 生体構成物質の代謝と個体維持の関係について見解を述べよ。(数行程度)
- (イ) 生命体の維持に関して、物質代謝が必要なことを、生命の特性を踏まえて複数の視点から論述せよ。(数行から半ページ程度)

(問 2) 細胞内の反応

- (ア) 細胞の機能は多数の化学反応が高度に関連したものとみることができる。水溶液中に ATP、各種酵素、DNA などを投入して生命体を作り出すことは可能であろうか。生命の特性やそれを実現している物質の特性を踏まえて論述せよ。(数行から半ページ程度)
- (イ) 生命の特徴に自己組織化がある。生体中(細胞の中)で自己組織化が生じる仕組みについて考察せよ。人工物では起らないのは何故か論述せよ。(数行程度)

(問 3) 幹細胞

- (ア) ES 細胞 (Embryonic Stem Cell) と iPS 細胞 (induced Pluripotent Stem Cell) の異同を論じよ。(数行程度)
- (イ) iPS 細胞における初期化とは何か、説明せよ。(数行程度)

(問 4) ミトコンドリアにおける ATP 合成

ミトコンドリア膜をプロトンが通過すると、プロトンの物質濃度勾配と、イオン輸送による電気ポテンシャルが生じる。プロトンが膜の外から中へ移動するときのエネルギー放出・変換について考える。

- (ア) プロトンの移動で放出されるエネルギー ΔG をプロトン濃度と膜電位を用いて表した式を記せ。式中で用いる記号については、列挙してそれぞれ説明を記せ。
- (イ) ミトコンドリア膜を介して 1 個のプロトンがミトコンドリアのマトリックス内部に輸送された場合、19.2 kJ/mol のエネルギーが放出されることが知られている。ATP 合成には 46~54 kJ/mol のエネルギーが必要とされる。ATP 1 分子を合成するのに必要なプロトンの移動数を求め、整数値にならない理由を、ATP 合成の反応機構を基礎として答えよ。解答には化学反応における化学量論が何故成り立たないかについても言及せよ。(数行から半ページ程度)