

# 生物 学年末試験問題(?)

範囲：既習範囲全て

試験時間のめやす：60分

問題は【1】～【4】まであります。

それぞれ(1)から(6)まであり、最後まで解くと各大問、学びになる  
ことがあるはずです。

解答はご自分の紙に書いて提出してください。提出された方にのみ解答  
をお渡しいたします。

2 年 組 番 名前

【1】ある植物の集団において、2つの遺伝子座(第1座と第2座)に注目する。この集団は個体数が極めて小さく、次世代に引き継がれる遺伝子は常に「現世代の遺伝子プールから無作為に抽出された2個の配偶子」のみによって構成されるものとする。まず、第1座の対立遺伝子 $A, a$ にのみ注目する。第 $n$ 世代が保有する2個の遺伝子のうち、 $A$ の個数を $X_n$  ( $X_n=0,1,2$ ) とする。次世代( $n+1$ 世代)の2個の遺伝子は、第 $n$ 世代の2個の遺伝子からそれぞれ独立に $\frac{1}{2}$ の確率で選ばれるものとする。

(1)第 $n$ 世代で $X_n = 1$ であるとき、次世代で $X_{n+1} = 1$ となる確率  $P(X_{n+1} = 1)$ を求めよ  
(2)第 $n$ 世代で $X_n = 1$ である確率を $\alpha_n$ とする。第0世代が $A, a$ を1個ずつ持つ( $X_0=1$ )とき、 $\alpha_n$ を $n$ を用いて表せ。

(3)  $\lim_{n \rightarrow \infty} \alpha_n$ を求めよ。また、その生物学的意味を「多様性」という言葉を用いて簡潔に説明せよ。

次に、第2座の対立遺伝子 $B, b$ を含めた「配偶子の型」を考える。第0世代は $AaBb$ のヘテロ接合体であるとする。

(4)2つの遺伝子が独立である場合、この個体から生じる配偶子の分離比を求めよ。

(5)2つの遺伝子座が完全連鎖で、対立遺伝子が染色体上で $AB$ と $ab$ の組み合わせで存在する場合を考える。第0世代がこの個体1個のみからなり、上の問題同様「2個の配偶子を選んで次世代を作る」ものとする。この時、第1世代において $A$ と $a$ 、 $B$ と $b$ の両方の多様性が同時に維持される確率を求めよ。

(6)2つの遺伝子座の間に組換え(組換え価 0.1)が起こる場合、(5)で求めた「2つの多様性が同時に維持される確率」は、完全連鎖の場合と比較して高くなるか、それとも低くなるか。計算過程を示して答えよ。

---

【2】動物の体表に見られる縞模様や斑点模様は、特定の化学物質の濃度分布によって決定されると考えられている。1952 年、アラン・チューリングは、均一な状態から自発的に模様が生じる仕組みを、2 つの物質の「反応」と「拡散」で説明する数理モデルを提唱した。これをチューリング・モデルと呼ぶ。

今、細胞の並びを 1 次元の直線と仮定し、そこに分布する 2 つの物質、活性化因子 A と抑制因子 I を考える。それぞれの濃度を  $a, i$  とすると、それらの時間変化は以下の簡略化された反応拡散方程式で表される。

$$\frac{da}{dt} = (C_1 a - C_2 i + C_3) + D_a \frac{d^2 a}{dx^2}$$

$$\frac{di}{dt} = (C_4 a - C_5 i + C_6) + D_i \frac{d^2 i}{dx^2}$$

ここで  $C_1 \sim C_6$  は正の定数であり、括弧内は物質間の相互作用(反応)を、後半の項は物質の広がり(拡散)を表す。 $D_a, D_i$  はそれぞれの拡散係数である。

問 1 活性化因子 A には「自身の合成を促進する」および「抑制因子 I の合成を促進する」という性質がある。また、抑制因子 I には「活性化因子 A の働きを阻害する」という性質がある。この性質と矛盾しない定数の組み合わせを、次の(ア)～(エ)から選べ。

- |                                 |                                 |
|---------------------------------|---------------------------------|
| (ア) $C_1 > 0, C_4 > 0, C_2 > 0$ | (オ) $C_1 > 0, C_4 > 0, C_2 < 0$ |
| (イ) $C_1 < 0, C_4 < 0, C_2 > 0$ | (カ) $C_1 < 0, C_4 < 0, C_2 < 0$ |
| (ウ) $C_1 > 0, C_4 < 0, C_2 < 0$ | (キ) $C_1 > 0, C_4 < 0, C_2 > 0$ |
| (エ) $C_1 < 0, C_4 > 0, C_2 < 0$ | (ク) $C_1 < 0, C_4 > 0, C_2 > 0$ |

問 2 拡散が起こらない条件 ( $D_a = D_i = 0$ ) において、物質 A と I の濃度が時間的に変化せず安定している「平衡状態」を考える。このとき、ある場所で A の濃度がわずかに増加したとする。直後に I の濃度が速やかに上昇して A の増加を抑え込み、再び元の平衡状態に戻るためには、物質 A と I の強さ(定数  $C_1$  と  $C_5$ ) にどのような関係が必要か。簡潔に説明せよ。

問 3 チューリング・モデルにおいて、均一な状態から模様(濃度の波)が生じるためには、2 つの物質の拡散速度に差が必要である。模様が形成されるために必要な条件として正しいものを次から選べ。

- (ア)  $D_a = D_i$   
 (イ)  $D_a > D_i$   
 (ウ)  $D_a < D_i$

問 4 問 3 の現象は「局所的な自己活性化」と「長距離の抑制」という言葉で説明される。この仕組みによって、なぜ特定の場所に A の濃度が高い領域(斑点)が維持されるのか。拡散の範囲に注目して 100 字程度で説明せよ。

問 5 実際の生物において、この理論を裏付ける実験が行われている。ナミダフグの幼魚の体表模様を観察すると、成長に伴って縞の間隔が維持されるように、既存の縞の間に新しい縞が割り込む現象が見られた。この現象がチューリング・モデルと整合する理由を、「波長(縞の間隔)」という言葉を用いて説明せよ。

問 6 近年、哺乳類の指の形成にもこのモデルが関与していることが、シグナル分子である*BMP*(骨形成タンパク質)や*Wnt*、そしてそれらの阻害因子の解析から明らかになった。

(1) 発生過程において、指となる部分(指線)と指の間(指間部)では、活性化因子の濃度が高いのはどちらと考えられるか。

(2) 指の数を決める要因として、反応拡散系の「波長」以外に、どのような物理的要因が考えられるか。数式内の変数や状況から推測して答えよ。



↑ ナミダフグ

---

【3】生物の体のサイズ(体重)と、特定の器官の大きさや生理的な活性(代謝量など)の間には、単純な比例関係ではなく、べき関数を用いた関係が見られることが多い。これをアロメトリー(相対成長)と呼ぶ。

個体の体重を $W$ 、ある形質の大きさ(または代謝量)を $y$ とすると、両者の関係は一般に次の「アロメトリー式」で表される。

$$y = bW^a \cdots (\text{式 1})$$

ここで、 $a$ は相対成長係数、 $b$ は定数である。

以下の設問に答えよ。

(1) 式 1 の両辺について、常用対数(10 を底とする対数)をとった式を、 $\log_{10} y$  を縦軸、 $\log_{10} W$  を横軸とする直線の式(一次関数)の形で表せ。

(2) 様々な哺乳類の体重 $W(\text{kg})$ と、それらが安静時に消費する 1 日あたりの酸素消費量(基礎代謝量)  $M(\text{L/日})$  の関係を、両対数グラフで示したとき、グラフ中の直線の傾きが 0.75、グラフが原点を通るとき、基礎代謝量  $M$  と体重  $W$  の関係を、式 1 の形式で表せ(定数として  $b$  を用いよ)。

(3) 体重が 10 倍、1000 倍になったとき、(2)で求めた基礎代謝量  $M$  はそれぞれ何倍になるか。 $10^{0.75} = 5.6$  ( $\log_{10} 5.6 = 0.75$ ) として計算せよ。

(4) 単位体重あたりの代謝量( $M/W$ )を「比代謝」と呼ぶ。体重  $W$  が大きくなるにつれて、比代謝はどのように変化するか。数式  $\frac{M}{W} = bW^k$  における指数  $k$  の値を求め、簡潔に説明せよ。

(5) ネズミ(体重 20g)とゾウ(体重  $2\text{t} = 2,000,000\text{g}$ )を比較したとき、心拍数はネズミの方が圧倒的に多い。これは、比代謝が高いほど、全身の細胞へ酸素を供給するために血流を速める必要があるためである。心拍数もアロメトリー式に従うと仮定し、(4)の結果を踏まえると、体重  $W$  と心拍数  $f$  の関係を示すグラフとして最も適切なものを次から選べ。

(ア) 体重が増えると、心拍数は直線的に増加する。

(イ) 体重が増えると、心拍数は一定値に近づく。

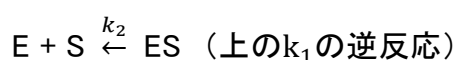
(ウ) 体重が増えると、心拍数は減少する。

(6) 一般に、恒温動物において「一生の間に打つ総心拍数」は動物種によらずほぼ一定(約 20 億回)であることが知られている。一方で、(4)で考えた「比代謝」は、体表面積と体積の比( $\frac{S}{V}$  比)と密接に関係している。体重が小さい動物ほど寿命が短くなる理由を、「体表面積」「熱放散」「代謝」の 3 つのキーワードを用いて 100 字程度で説明せよ。

---

【4】多くの生体内化学反応は、酵素という触媒によって制御されている。酵素反応の速度 $v$ は、基質濃度 $[S]$ を高めていくと無限に速くなるわけではなく、ある一定の値に近づく「飽和」という現象を示す。これは、酵素の総量に限界があるという物理的制約に起因する。以下の誘導に従い、この現象が描く「双曲線」の性質と、その生物学的意義を考察せよ。

酵素を $E$ 、基質を $S$ 、酵素基質複合体を $ES$ 、生成物を $P$ とすると、反応式は以下のように表される。



( $k_1, k_2, k_3$  は各反応の速度定数である)

ここで、反応の初期段階において、生成物 $P$ から $ES$ への逆反応は無視できるものとする。また、全酵素濃度を $[E]_0$ 、遊離している酵素の濃度を $[E]$ とすると、

$$[E]_0 = [E] + [ES]$$

が成立する。

(1) 反応が定常状態( $ES$ の生成速度と分解速度が等しい状態)にあるとき、次式が成り立つ。

$$k_1[E][S] = (k_2 + k_3)[ES]$$

この式と

$$[E]_0 = [E] + [ES]$$

を用いて、

$[ES]$ を $[E]_0, [S], K_m$  (ミカエリス定数  $K_m = \frac{k_2 + k_3}{k_1}$ )を用いて表せ。

(2) 反応速度 $v$ は、

$$v = k_3[ES]$$

で定義される。また、最大反応速度を

$$V_{max} = k_3[E]_0$$

とすると、ミカエリス・メンテン式

$$v = \frac{V_{max}[S]}{K_m + [S]}$$

を導け。

(3) ミカエリス・メンテン式において、 $[S]$ を変数 $x$ 、 $v$ を変数 $y$ と見なすと、この関数は「直角双曲線」の一部となる。このグラフの漸近線を、 $x$ 軸方向および $y$ 軸方向のそれぞれについて答えよ。

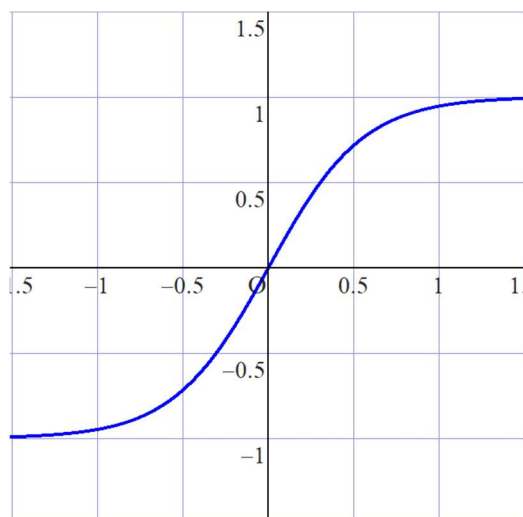
(4)

$$v = \frac{1}{2}V_{max}$$

となる時の基質濃度 $[S]$ は、ミカエリス定数 $K_m$ とどのような関係にあるか、簡潔に述べよ。

(5) 基質濃度 $[S]$ が $K_m$ に比べて十分に大きいとき $([S] \gg K_m)$ 、反応速度 $v$ はどのような値に収束するか。また、なぜ基質をそれ以上増やしても反応速度が上がらなくなるのか、酵素の状態に着目して 60 字以内で説明せよ。

(6) ミカエリス・メンテン型のグラフ(双曲線)では、 $[S]$ が $K_m$ 付近にあるとき、 $[S]$ の変化に対して $v$ が敏感に変化する。一方、生体内には「アロステリック酵素」のように、S 字状(シグモイド型)の曲線を描くものがある。双曲線と比較して、S 字状の曲線を持つ酵素には、生体内の反応調節においてどのような利点があるか。「低濃度」および「閾値(いきなり反応が立ち上がる点)」という言葉を用いて説明せよ



←シグモイド曲線の例

$$y = \frac{e^{ax} - e^{(-ax)}}{e^{ax} + e^{ax}}$$

$a = 1.8$  の場合

---

(問題は以上です、一題 4 点、25 問で 100 点満点)