

問題【1】解答例

ア：活性化（自由）エネルギー

イ：NAD, FAD, CoA

ウ：ウェスタンブロット(法)、イムノブロット（法）など

エ：ヘテロクロマチン

オ：ユークロマチン

カ：相同組換え

キ：イントロン

ク：スプライシング

ケ：rRNA、RNA

コ：RNA

サ：DNA

シ：グルコース

ス：疎水、水溶、極など

セ：グルタミン酸、Glu

ソ：グリシン、Gly

タ：ATP

チ：水素、H、なお、厳密には不正解だが H^+ 、プロトンでも可。

ツ、テ：ミトコンドリア、葉緑体、(順不動)

ト：キネシン

ナ：サイクリン

ニ：組換え、交差

ヌ：アポトーシス

ネ：ネクローシス

ノ：動原体

ハ：基底膜

ヒ：シグナル配列、移行シグナル、選別シグナル、局在（化）シグナル

問題【2】解答例

問1

- (ア) 核
- (イ) DNA (ゲノムも可)
- (ウ) RNA ポリメラーゼ
- (エ) RNA
- (オ) スプライシング (RNA エディティングも可)
- (カ) 3'末端のポリアダニル化
- (キ) 5'末端のキャップ形成 (注) オ～キは順不同
- (ク) 核膜孔 (核膜孔複合体も可)
- (ケ) 細胞質
- (コ) リボゾーム
- (サ) タンパク質 (ペプチド鎖も可)

問2

- (1) 塩基 (チミンとウラシル)、糖 (デオキシリボースとリボース)
- (2) 2本鎖 RNA の分子量 : $320 \times 742 \times 2 = 474,880$
 $474,880 \times (60,000/6 \times 10^{23}) = 4.7 \times 10^{-14} \text{ g}$
- (3) 注入した RNA が数分子。一方、unc-22 の mRNA は数千コピー存在する。
よって、注入した RNA が触媒的に機能することが考えられる。また、注入した RNA が複製・増幅される可能性も考えられる。
- (4) イントロンは核内でスプライシングにより除去されている。そのようなイントロンの配列では効果がなかったことから、RNAi による発現抑制は細胞質で起きると考えられる。
- (5) 2本鎖 RNA が Argonaute タンパク質などと結合した後、片方の RNA 鎖が除かれる。残った RNA 鎖 (ガイド RNA) が相補的塩基対を形成することで標的 mRNA を識別する。
- (6) Argonaute の RNase 活性により標的 mRNA が分解される。あるいは、RNA と Argonaute 複合体が標的 mRNA に結合することで、その mRNA の翻訳が阻害される。など

問題【3】解答例

問1

ア) ○ ; イ) × (理由: 解離液②で解離させた細胞Aは、懸濁液に CaCl_2 が含まれる時には細胞同士が接着し、凝集塊を形成するが、懸濁液に CaCl_2 が含まれない時は細胞同士の接着がおこらない) ; ウ) ○ ; エ) ○

問2

(1) タンパク質Xは CaCl_2 を含まない解離液①では分解され、 CaCl_2 を含む解離液②では分解されずに活性が保持されることから、 Ca^{2+} イオンの存在下では構造が安定化してトリプシンで分解され難くなると考えられる。(配点2点)

(2) CaCl_2 を含む PBS に懸濁したときは細胞同士が接着するが、 CaCl_2 を含まない PBS に懸濁したときは接着がおこらないことから、タンパク質Xの活性発現には Ca^{2+} イオンが必要であると考えられる。

問3

細胞Aと細胞Bはどちらも Ca^{2+} イオンの存在下で接着し、凝集塊を形成するが、それぞれ別々の凝集塊を形成して混じり合わないことから、タンパク質Xを発現する細胞はタンパク質Xを発現する細胞と選択的に接着し、タンパク質Yを発現する細胞はタンパク質Yを発現する細胞と選択的に接着すると考えられる。このことから、タンパク質Xとタンパク質Yは Ca^{2+} イオンの存在下で同種結合により細胞同士を接着させるタンパク質であると考えられる。

問4-1

カドヘリン

問4-2

〔実験2〕の結果より、細胞Cには細胞Aに発現している細胞同士を接着させるタンパク質が発現していないと考えられる。この点に着目し、このタンパク質の完全長 cDNA を細胞Cに導入して、このタンパク質を高発現する細胞Cを作製する。この細胞を解離液①と解離液②でそれぞれ解離させ、 CaCl_2 を含む PBS および含まない PBS に懸濁したのち、培養皿に移して〔実験1〕と同様に 37°C

で 30 分間、旋回培養する。この分子量 12 万のタンパク質が細胞 A に発現しているタンパク質 X であれば、CaCl₂ を含む PBS に懸濁したときに細胞が接着し、凝集塊が形成される。

問題【4】解答例

問1

カエルの卵細胞から核を抜き取り、そこにオタマジャクシや成体から得た分化した細胞の細胞核を移植した。すると、核移植された卵細胞は正常なカエルに育った。

問2

初期化とは、細胞の能力を発生初期、すなわち受精卵や内部細胞塊の状態にまで戻し、個体の全種類の細胞になりうる能力を持った細胞に改変すること。

問3

転写因子（「DNA 結合タンパク質」なども部分点）。

問4

改変 iPS 細胞を着床前の胚盤胞の腔所に注入し、子宮に戻して着床・発生させる。生まれてきたキメラマウスを野生型マウスと掛け合わせ F1 世代を作り、改変遺伝子を持っている F1 世代マウスを選ぶ。これで、体の全細胞で片側の対立遺伝子に導入遺伝子を持ったヘテロ変異マウスが得られる。これらのヘテロ変異マウス同士を掛け合わせて F2 世代を作ると、体の全細胞の両方の対立遺伝子に導入遺伝子を持つホモ変異マウスが 4 分の 1 の確率で得られる。

問5

- ・ ES 細胞はヒト胚から作らなければならないため材料の入手が困難であるが、iPS 細胞は成体の細胞から作ることができるため材料の入手が比較的容易である。
 - ・山中因子を導入することにより成体細胞から作る iPS 細胞は、患者自身の細胞から作ることができるので、ES 細胞と違い移植片拒絶の問題を回避できる。
 - ・ヒト iPS 細胞の作成においてはヒト胚を破壊しなくてよいので、ヒト胚の使用に関する倫理的問題を回避できる。
- など

問題【5】解答例

問1

- (1) : カルビンあるいはカルビン・ベンソンあるいはC₃
- (2) : TCAあるいはクエン酸あるいはクレブス
- (3) : 篩管あるいは篩管

問2

外包膜、内包膜、チラコイド膜の3重膜で構成され、2枚の包膜で囲まれた区画は膜間部、内包膜で囲まれた区画はストロマ、チラコイド膜で囲まれた区画はルーメン(内腔)と呼ぶ。炭酸同化反応はストロマで行われる。

問3

ATPはミトコンドリア内膜のATP/ADPキャリアー(交換輸送体)によりサイトゾル側のADPと対向輸送される。

問4

酵素A:スクロースリン酸合成酵素、酵素B:インベルターゼ(スクラーゼは同じ反応を触媒するが別酵素、部分点を与える)、産物A:スクロース6-リン酸、産物Bと産物C:グルコースとフルクトース(順序入れ替え可)。

問5

欠損株ではスクロースの分泌が減弱し、その結果、デンプンからスクロースへの変換が抑えられ蜜腺柔組織特異的にデンプンが蓄積する。このデンプン蓄積はヨウ素デンプン反応で観察できる。他の器官・組織には目立った表現型は観察されない。

問題【6】解答例

問1

体重 20g のスズメが 10m の高さまで飛び上がる時に必要なエネルギーは、
 $(20 \times 10^{-3} \text{ kg}) \times (9.81 \text{ m s}^{-2}) \times (10 \text{ m}) = 2.0 \times 9.81 \times 1.0 \times 10^{-1} \text{ J}$

このエネルギーを作り出すために必要なグルコースのモル数 n は、

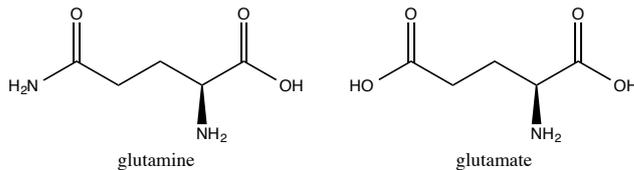
$$n = (2.0 \times 9.81 \times 1.0 \times 10^{-1}) / (2.808 \times 10^6) = (2.0 \times 9.81 \times 1.0 \times 10^{-7}) / 2.808 \text{ mol}$$

グルコースの分子量は 180 g mol^{-1} であるので、必要なグルコースの量(m)は、

$$m = nM = (2.0 \times 9.81 \times 1.0 \times 10^{-7}) / 2.808 \times 180 = 1.3 \times 10^{-4} \text{ g}$$

問2

a)



b) 吸熱反応

$$c) \Delta_r C_p^\ominus = \{ C_{p,m}^\ominus(\text{Gln, aq}) + C_{p,m}^\ominus(\text{H}_2\text{O, l}) \} - \{ C_{p,m}^\ominus(\text{Glu, aq}) + C_{p,m}^\ominus(\text{NH}_4^+, \text{aq}) \}$$

$$= +5.4 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} = +5.4 \times 10^{-3} \text{ kJ K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

$$T' - T = +35 \text{ K}$$

$$\Delta_r H^\ominus(333\text{K}) = (+21.8 \text{ kJ mol}^{-1}) + (5.4 \times 10^{-3} \text{ kJ K}^{-1} \text{ mol}^{-1}) \times (35 \text{ K})$$

$$= +22.0 \text{ kJ mol}^{-1}$$

(上記の回答は、標準定圧モル熱容量を 25°C での値として求めているが、 60°C あるいは 0 K での値として計算しても正解とする)

d) 0.46

問3

a) 「規則正しいらせん構造」

b) 「らせん構造の周期性とピッチ」

c) 「塩基の周期性とピッチ」

問題【7】解答例

問1

欠失や挿入変異

問2

$$L \geq \quad \geq$$

問3

同じサイトに複数回置換が生じたり復帰置換が生じるため。

問4

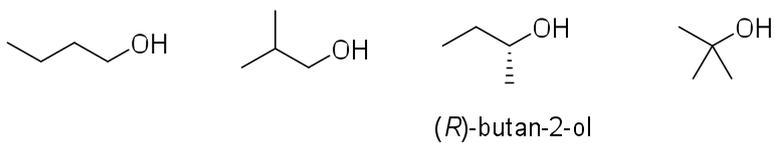
- 1) $k = -\log(1-d)$ を d で微分すると $1/(1-d)$ なので $d=0$ の時は1となる。
- 2) $d=1$

問5

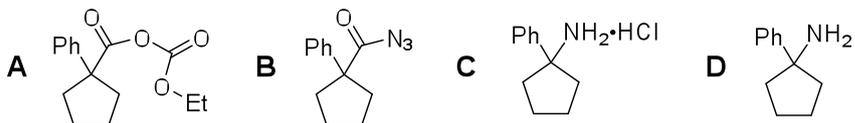
- 1) サイトあたりのアミノ酸置換数
- 2) 共通祖先から種 A が分岐して T 年、種 B も共通祖先から分岐して T 年経過しており、 k は種 A と種 B 間のサイトあたりのアミノ酸置換数なので年あたりにするためには $2T$ で割る必要がある。もしくは共通祖先から種 A (もしくは種 B) までの置換数は $k/2$ なので T で割ると $k/2T$ となる。

問題【8】解答例

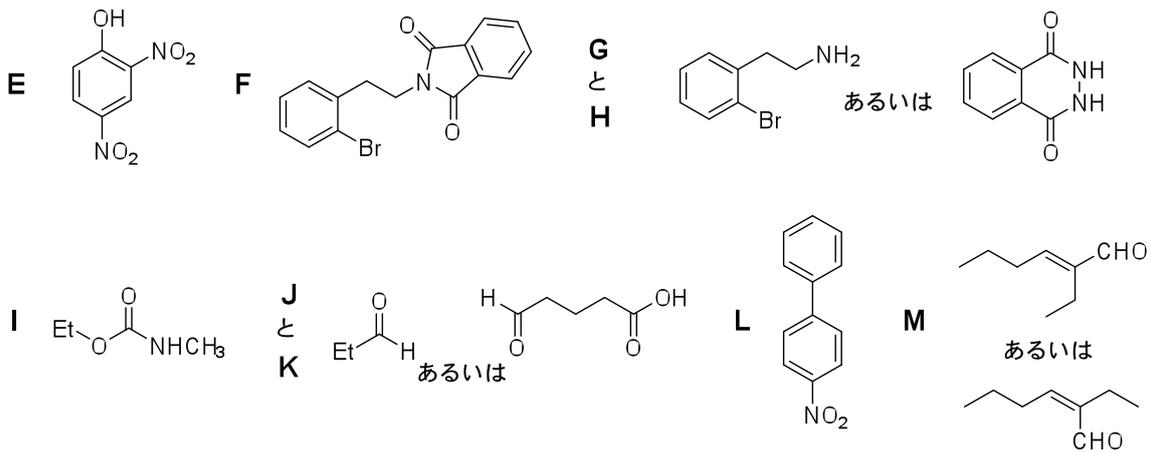
問1



問2



問3



問題【9】解答例

問1

式(1)を v を用いて書き直すと、

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{\gamma}{m}v - \frac{k}{m}x$$

これと、 v の定義式をあわせると、

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = v \\ \frac{dv}{dt} = -\frac{\gamma}{m}v - \frac{k}{m}x \end{cases}$$

すなわち、

$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} x \\ v \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{k}{m} & -\frac{\gamma}{m} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ v \end{pmatrix}$$

$$\therefore A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{k}{m} & -\frac{\gamma}{m} \end{pmatrix}.$$

固有値を λ とすると

$$\begin{vmatrix} -\lambda & 1 \\ -\frac{k}{m} & -\frac{\gamma}{m} - \lambda \end{vmatrix} = 0$$

すなわち、

$$\lambda \left(\frac{\gamma}{m} + \lambda \right) + \frac{k}{m} = 0$$

$$\therefore \lambda = \frac{-\frac{\gamma}{m} \pm \sqrt{\left(\frac{\gamma}{m}\right)^2 - 4\frac{k}{m}}}{2}.$$

問2

$m = 1, \gamma = 3, k = 2$ を問1の答えに代入すると、

$$\lambda = \frac{-3 \pm 1}{2} = -2, -1$$

$\lambda_1 = -1$, $\lambda_2 = -2$ とおくと、それぞれの固有ベクトルは、

$$\vec{e}_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \end{pmatrix}, \vec{e}_2 = \begin{pmatrix} 1 \\ -2 \end{pmatrix}.$$

よって、

$$\begin{cases} x(t) = C_1 \exp(-t) + C_2 \exp(-2t) \\ v(t) = -C_1 \exp(-t) - 2C_2 \exp(-2t) \end{cases}$$

初期条件 $\begin{pmatrix} x \\ v \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$ を代入して、 C_1, C_2 を求めると、 $C_1 = 2, C_2 = -1$.

$$\therefore \begin{cases} x(t) = 2 \exp(-t) - \exp(-2t) \\ v(t) = -2 \exp(-t) + 2 \exp(-2t). \end{cases}$$

問 3

固有値が複素数になる場合に x は減衰振動を示す。複素数になる条件は、固有値のルートの中が負になる、すなわち、

$$\therefore \left(\frac{\gamma}{m}\right)^2 - 4\frac{k}{m} < 0.$$

あるいは、

$$\therefore \gamma^2 - 4km < 0.$$

補足説明： 問 1 で求めた 2 つの固有値を λ_1, λ_2 とすると、 x の時間発展は、

$$x(t) = C_1 e^{\lambda_1 t} + C_2 e^{\lambda_2 t}$$

となる。 C_1, C_2 は定数。 λ_1, λ_2 がどちらも実数なら、 x の時間発展は指数関数になる。一方で、複素数($\lambda = a \pm bi$)であれば、以下のように振動成分も含む。

$$x(t) = C_1 e^{(a+bi)t} + C_2 e^{(a-bi)t}$$

オイラーの公式 $e^{ibt} = \cos bt + i \sin bt$ をつかえば

$$x(t) = (C_1 + C_2)e^{at} \cos(bt) + i(C_1 - C_2)e^{at} \sin(bt)$$

問 4

非対称分裂をした場合に、幹細胞の数 X は増えることも減ることもないから。加えて、分化細胞から幹細胞が生じることも考慮していないから。

問 5

$$B = \begin{pmatrix} \beta_{sym} & 0 \\ \beta_{asym} & \beta_y - \alpha \end{pmatrix}$$

固有値を λ とすると、

$$\begin{vmatrix} \beta_{sym} - \lambda & 0 \\ \beta_{asym} & \beta_y - \alpha - \lambda \end{vmatrix} = 0.$$

すなわち

$$(\beta_{sym} - \lambda)(\beta_y - \alpha - \lambda) = 0.$$

$$\therefore \lambda = \beta_{sym}, \beta_y - \alpha$$

問 6

問 2 と同様に、固有値と固有ベクトルを用いて、時間発展を求める。

$\beta_{sym} = 2, \beta_{asym} = 0, \beta_y = 1, \alpha = 0$ の場合 :

問 5 の答えに各パラメータの値を代入すると、固有値は、 $\lambda = 1, 2$

$\lambda_1 = 1, \lambda_2 = 2$ とおくと、それぞれの固有ベクトルは、

$$\vec{e}_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \vec{e}_2 = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}.$$

$$\begin{cases} X(t) = C_2 \exp(2t) \\ Y(t) = C_1 \exp(t) \end{cases}$$

初期条件 $\begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$ を代入すると

$$\therefore \begin{cases} X(t) = \exp(2t) \\ Y(t) = 0 \end{cases}.$$

$\beta_{sym} = 0, \beta_{asym} = 2, \beta_y = 1, \alpha = 0$ の場合 :

問 5 の答えに各パラメータの値を代入すると、固有値は、 $\lambda = 0, 1$

$\lambda_1 = 0, \lambda_2 = 1$ とおくと、それぞれの固有ベクトルは、

$$\vec{e}_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ -2 \end{pmatrix}, \vec{e}_2 = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}.$$

$$\begin{cases} X(t) = C_1 \\ Y(t) = -2C_1 + C_2 \exp(t) \end{cases}$$

初期条件 $\begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$ を代入すると

$$\therefore \begin{cases} X(t) = 1 \\ Y(t) = -2 + 2 \exp(t). \end{cases}$$

問 7

グラフにおいて、この時間より前の時間では、幹細胞が増えても分裂細胞の数がほぼ一定である。この性質は、問 6 では $b_{sym} = 2, b_{asym} = 0$ の場合に見られる。この時間より後の時間では、幹細胞の数はほぼ一定に対して分化細胞は増える。この性質は、問 6 では $b_{sym} = 0, b_{asym} = 2$ の場合に見られる。

よって、①。

即ち、対称分裂のみをして幹細胞のみが増える状態から、非対称分裂をして、分裂細胞のみが増える状態へ切り替わった。

参考：

$t \leq 2$ での時間発展は、問 6 の $b_{sym} = 2, b_{asym} = 0, b_y = 1, \alpha = 0$ の場合になる。

$$\begin{cases} X(t) = \exp(2t) \\ Y(t) = 0 \end{cases}$$

$t \geq 2$ での時間発展は、問 6 の $b_{sym} = 2, b_{asym} = 0, b_y = 1, \alpha = 0$ の場合の以下の式に、

$$\begin{cases} X(t) = C_1 \\ Y(t) = -2C_1 + C_2 \exp(t) \end{cases}$$

$t < 2$ の場合の式へ $t=2$ の X, Y を代入して、 C_1, C_2 を求める。

即ち、 $t=2$ では、 $X(2)=\exp(4), Y(2)=0$.

これより、 $C_1 = \exp(4), C_2 = 2\exp(2)$

$$\begin{cases} X(t) = \exp(4) \\ Y(t) = -2\exp(4) + 2\exp(t+2) \end{cases}$$