

## 【 1 】 解答例

- (ア) 極
- (イ) グリコシド
- (ウ) ペプチド
- (エ) 脱水
- (オ) 加水
- (カ) イオン結合
- (キ) 水素結合
- (ク) ファンデルワースル (引) 力  
(カ、キ、ク) は順不同
- (ケ) 平衡
- (コ) アロステリック
- (サ)  $C \times L$
- (シ) モル吸光係数
- (ス) 同
- (セ) アスパラギン酸
- (ソ) 内
- (タ) マトリックス
- (チ) 膜間腔
- (ツ) チラコイド
- (テ) ストロマ
- (ト) カルビン・ベンソン
- (ナ) 基質レベル
- (ニ) 酸化的
- (ヌ) 光
- (ネ) 親和
- (ノ) 小 さ
- (ハ) 還元
- (ヒ) RNA
- (フ) 脂質
- (ヘ) リソソーム
- (ホ) オートファジー
- (マ) カルシウム
- (ミ) オペロン
- (ム) 視
- (メ) ロドプシン
- (モ) レチナール
- (ヤ) エチレン
- (ユ) 中立的
- (ヨ) 同義

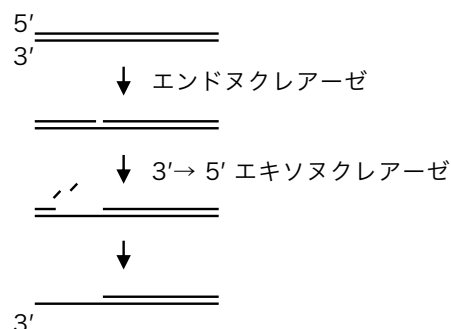
## 【2】

- 問1 (ア) 非相同末端結合  
(イ) 相同組換え  
(ウ) DNA ライゲース  
(エ) 変異  
(オ) 塩基配列  
(カ) G1

問2 通常、DNA ポリメラーゼは、5'末端から DNA 合成を行うことができない。そのため、DNA 2本鎖を探索しても DNA 切断末端からの DNA 合成ができない。

問3 Mre11 が、3'→5'方向のエキソヌクレアーゼ活性により2本鎖切断の DNA 末端を分解すると、5'末端を持つ単鎖 DNA 領域が形成するため。

問4 Mre11 複合体が、エンドヌクレアーゼ活性により、2本鎖切断部位の5'末端から数十塩基離れた位置にニックを入れる。次に、3'→5'方向のエキソヌクレアーゼ活性により、ニックから5'末端まで DNA 鎖を分解する。



問5 (ア)  
免疫グロブリン (Ig) と T 細胞受容体 (TCR) の多様性を、それぞれ複数種類ある V、(D)、J 遺伝子断片を繋ぎ合わせて増大させる。

問6 (イ)

- 相同染色体間で2本鎖切断の修復を行うことにより、相同染色体間の対合を確立する。これにより、微小管による張力に対抗できるようになり、減数第一分裂での相同染色体の分離が正確に起きるようになる。
- DNA 配列が完全には同じではない相同染色体間で2本鎖切断の修復を行うことにより、減数分裂を経て形成する配偶子の遺伝的多様性が増大する。遺伝的多様性が増すことで、様々な環境に適応できる個体が生じ、種が維持される可能性が高まる。

## 【3】解答例

問 1

(正解 1, 5)

問 2

(正解 2, 3)

問 3

(正解 2, 3)

問 4

(正解 1, 6)

問 5

(正解 3, 5)

問 6

解答例：

代謝酵素（代謝経路の活動を制御するタンパク質であることが記述できれば可）  
細胞骨格制御因子（細胞骨格の状態を制御するタンパク質であることが記述できれば可）

問 7

解答例：

- 1) ある一定以上の強度を持つ細胞外シグナルを、正のフィードバックにより増幅させて応答する。
- 2) 下流のシグナル分子の活性化に複数の上流シグナル分子の活性化を必要とする方法。具体的には、PKA の活性化には cAMP が PKA に結合することが必須であるが、cAMP 1 分子では活性化には不十分で、4 分子同時に結合する必要があることや、細胞内シグナル分子の活性化に複数部位のリン酸化が必要（弱い入力で誘導される一箇所のリン酸化では活性化に不十分）なこと、などが挙げられる。
- 3) 標的とする細胞応答を促進する一方で、同時にその応答の逆反応を阻害するやり方。具

体的には、骨格筋細胞はアドレナリン刺激を受けるとその細胞内でグリコゲン分解を促進するが、この際、グリコゲン分解酵素を活性化すると同時にグリコゲン合成酵素を阻害することで、急激なグリコゲンの減少を引き起こすことが可能になる。

#### 問 8

解答例：低レベルの雑音（ノイズ）シグナルに対するフィルターとして働き、不適切な応答を防いでいる。

（設問から考えられうる解答であれば、これ以外の大膽な解答も可とする）

## 【4】 解答例

問 1 モルフォジェンはソースとなる細胞から分泌され、濃度勾配を形成する。周囲のモルフォジェンを受容する細胞は、モルフォジェン濃度を感知する情報伝達系を持っており、モルフォジェンの濃度に応じてソースの細胞からの相対的な位置情報を得る。

問 2

(1) 神経細胞の単離の際に、神経前駆細胞以外に分化した細胞も混入するが、継代培養することで、増殖しない分化細胞に比して、増殖する神経前駆細胞を濃縮して単離することができる。

(2) 背側神経前駆細胞は *Gsx2*、*Pax6*、*Emx1* を特異的に高く発現し、腹側神経前駆細胞は *Nkx2.1*、*Ptch1*、*Gli1* を特異的に高く発現していることが観察された。これらのことから、*Gsx2*、*Pax6*、*Emx1* は背側神経前駆細胞のマーカー遺伝子となること、*Nkx2.1*、*Ptch1*、*Gli1* は腹側神経前駆細胞のマーカー遺伝子となることが分かった。

問 3

(1) *Shh* の情報伝達系における *Ptch1* と *Gli1* の発現が *Shh* 阻害剤によって有意に低下していることから、*Shh* の阻害剤は機能していることが分かる。

(2) 胎生期の腹側神経前駆細胞の *Nkx2.1* の発現の誘導に *Shh* は必要であるが、生後 6 日における腹側神経前駆細胞の *Nkx2.1* の発現の維持に *Shh* は必要でない。

問 4

*Mi11* の阻害剤があれば、それを腹側神経前駆細胞の継代培養系に添加し、遺伝子発現を検証する。*Mi11* 阻害剤によって、*Nkx2.1* の発現が有意に低下すれば、*Mi11* が生後 6 日目の腹側神経前駆細胞の *Nkx2.1* の発現維持に必要であることが分かる。

## 【5】 解答例

問1 (ア) 膜結合 (イ) 遊離 (ウ) シグナル配列  
(エ) 核膜孔、(オ) 小胞 (カ) 被覆小胞

問2 (a)ミトコンドリア (b)小胞体 (c)核

問3 細胞質で Ran は結合している GTP を加水分解し、Ran-GDP になり核内搬入受容体とは結合できない。核内搬入受容体は積み荷タンパク質と結合し、核内に移行する。核内では、Ran は GTP 型で存在しており、Ran-GTP が核内搬入受容体と結合することにより、積み荷が放出される。そして Ran-核内搬入受容体複合体は細胞質に送られる。そのため、積み荷が再び細胞質に輸送されることはない。

問4 複雑な構造のオリゴ糖鎖を正しく修飾していくためには、複数の酵素が特定の順番で機能していく必要があり、その順番に従ってシスゴルジ囊からトランスゴルジ囊にそれぞれの酵素が局在している。そのため、タンパク質がゴルジ体を通過していくことで、正確にオリゴ糖鎖が修飾されていく。

問5 微小管が短縮と伸長を繰り返す振る舞いは動的不安定性と呼ばれる。

伸長している微小管のプラス端付近では新たに結合した GTP をもつチューブリン二量体から構成される。そして、微小管に結合したチューブリン二量体もつ GTP は速やかに加水分解され、GDP になる。したがって伸長している微小管では、プラス端付近は GTP、それ以外は GDP をもつチューブリン二量体から構成される。

## 【6】解答例

問1

式  $D = RT/(6\pi a\eta N_A)$  に  $R/N_A$ 、 $T$ 、 $a$ 、 $\eta$ 、などの数値を代入して計算する。

$$\frac{1.38 \times 10^{-23} (m^2 kg s^{-2} K^{-1}) \times 310 (K)}{6 \times 3.14 \times 5 \times 10^{-9} (m) \times 0.002 (kg m^{-1} s^{-1})}$$

$$0.02 (g cm^{-1} s^{-1}) = 0.02 \times 0.001 \times 100 = 0.002 (kg m^{-1} s^{-1})$$

直径 10 nm のタンパク質分子の拡散係数

$$D = 2270 \times 10^{-14} m^2 s^{-1} = 22.7 \mu m^2 s^{-1}$$

問2

$$t = \frac{x^2}{2D}$$

$$t = \frac{1}{2 \times 22.7} = 0.02 \text{ (秒)}$$

$$t = \frac{100}{2 \times 22.7} = 2.2 \text{ (秒)}$$

$$t = \frac{1000000}{2 \times 22.7} = 2200 \text{ (秒)}$$

6 (時間)

問3

細胞の端から端まで移動するのに要する時間は10倍になる

(以下は計算メモ)

タンパク質分子の直径が10倍になると $D$ は1/10になる。

直径 100 nm のタンパク質分子の拡散係数は  $2.3 \mu m^2 s^{-1}$

$$t = \frac{1}{2 \times 2.3} = 0.22 \text{ (秒)}$$

$$t = \frac{100}{2 \times 2.3} = 22 \text{ (秒)}$$

$$t = \frac{1000000}{2 \times 2.3} = 220000 \text{ (秒)}$$

61 (時間)

問4

拡散による移動は小さい粒子の短い距離の移動には有効であるが、大きい粒子

の長距離の移動には莫大な時間が必要となるので、大きい粒子の長距離移動には例えば ATP のエネルギーを使ったモータータンパク質分子による輸送のようなくみが必要である。

問 5

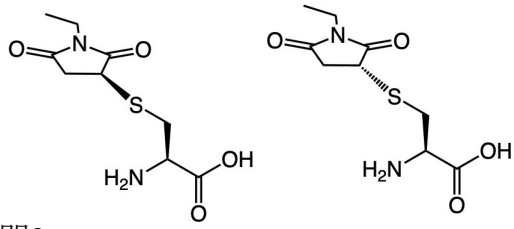
1 分 60  $\mu\text{m}$     1 時間 3.6 mm

1 m 移動するために要する時間は 278 時間

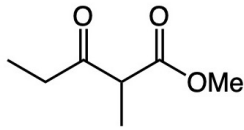


【7】 解答例

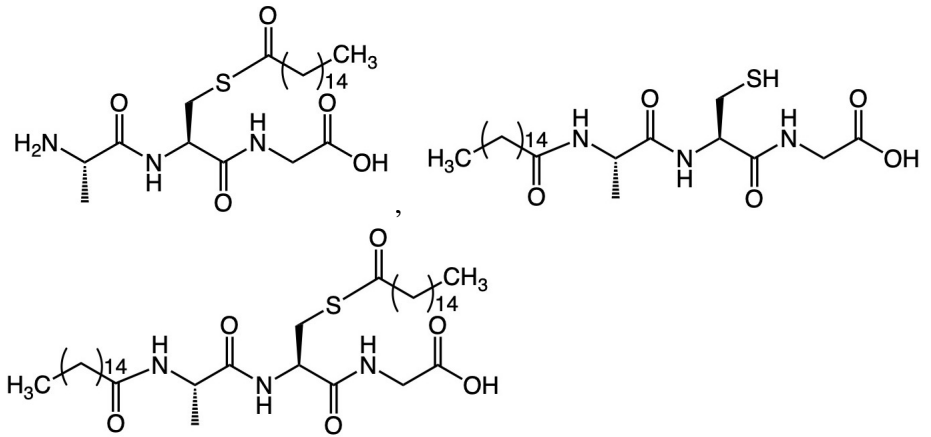
問1



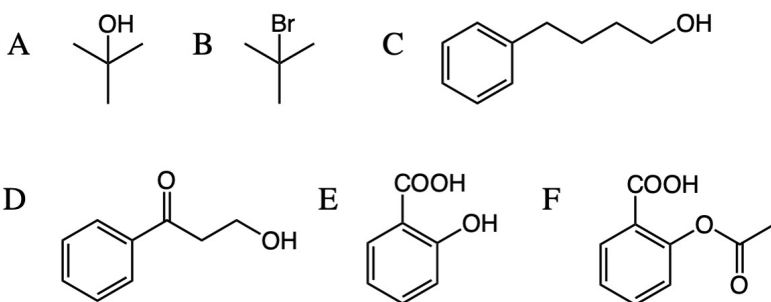
問2



問3



問4



## 【8】 解答例

問1

$$\frac{\partial S^+}{\partial P_i} = -\ln P_i - 1 - \lambda - \beta E_i = 0 \text{ より}$$

$$\ln P_i = -1 - \lambda - \beta E_i$$

$$P_i = e^{-1-\lambda} e^{-\beta E_i}$$

規格化条件  $\sum_i P_i = 1$  から

$$e^{-1-\lambda} \sum_i e^{-\beta E_i} = 1,$$

$$e^{-1-\lambda} = \frac{1}{\sum_i e^{-\beta E_i}}$$

したがって、

$$P_i = \frac{e^{-\beta E_i}}{\sum_i e^{-\beta E_i}}$$

ここで分母は分配関数である。

問2

$$\mathcal{H} = \sum_{j=1}^N \frac{p_j^2}{2m}$$

( $j$  runs for the number of particles)

問3

$N = 1$  case:

$$Z_1 = \sum_{\text{全状態}} e^{-\beta \frac{p^2}{2m}}$$

ここで運動量  $p$  はあらゆる値を連続的にとれるから、総和の代わりに積分を用い、

$$Z_1 = \frac{1}{h} \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^L e^{-\beta \frac{p^2}{2m}} dx dp = \frac{L}{h} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\beta \frac{p^2}{2m}} dp = \frac{L}{h} \left( \frac{2\pi m}{\beta} \right)^{\frac{1}{2}}$$

問4

$N$  粒子の場合

$$Z_N = \frac{Z_1^N}{N!} = \frac{L^N}{h^N N!} \left( \frac{2\pi m}{\beta} \right)^{\frac{N}{2}}$$

問5

$$\begin{aligned}\langle E \rangle &= -\frac{\partial}{\partial \beta} \ln Z_N = -\frac{\partial}{\partial \beta} \left\{ \ln \left( \left( \frac{\beta}{2\pi m} \right)^{-\frac{N}{2}} \right) + \ln \left( \frac{L^N}{h^N N!} \right) \right\} = \frac{N}{2} \frac{\partial}{\partial \beta} \ln \left( \frac{\beta}{2\pi m} \right) \\ &= \frac{N}{2} \frac{2\pi m}{\beta} \frac{1}{2\pi m} = \frac{N}{2\beta}\end{aligned}$$

以下のように導いても可：

$$\langle E \rangle = \sum_i E_i P_i = \frac{\sum_i E_i e^{-\beta E_i}}{Z_N} = \frac{\sum_i -\frac{\partial}{\partial \beta} e^{-\beta E_i}}{Z_N} = \frac{-\frac{\partial}{\partial \beta} Z_N}{Z_N} = -\frac{\partial}{\partial \beta} \ln Z_N$$

問6

$$\frac{N}{2\beta} = N \frac{k_B T}{2} \text{より } \beta k_B T = 1$$

$$\therefore \beta = \frac{1}{k_B T}$$

$$\text{結局、確率分布は } P_i = \frac{e^{-\frac{E_i}{k_B T}}}{\sum_i e^{-\frac{E_i}{k_B T}}}$$