

大阪大学大学院情報科学研究科  
博士前期課程

バイオ情報工学専攻

- ・代謝情報工学講座
- ・バイオ情報計測学講座

**【生物情報】**

参考問題

## 問題

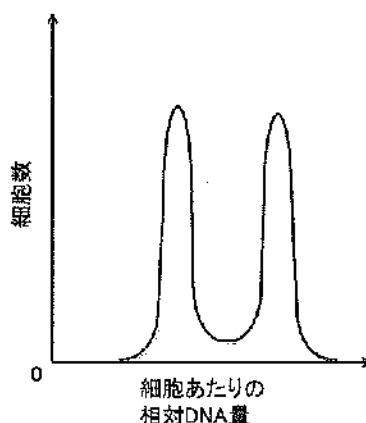
次の問いに答えなさい。

1) 1個の細胞は決まった順序で起きる細胞周期によってその中身を倍加し、二分して増える。ある細胞について、増殖中の細胞集団から細胞を取り、蛍光色素で染色を行い蛍光強度に細胞内 DNA 量が反映するようにした。ついで、フローサイトメーターで細胞の蛍光強度を1つずつ測定したところ DNA 量と、細胞数の関係が、下図のようになった。各期の長さが実験データに合致するように解答用紙の細胞周期図に G1 期、G2 期、S 期の期間をそれぞれ記入せよ。ただし M 期はすでに記入してある。

2) 下記のイベントが起きる時期を、1) で作成した解答用紙の細胞周期図に記入せよ。例として有糸分裂開始時期は解答に記入してある。

- ・ DNA 複製開始
- ・ 複製前複合体形成
- ・ 細胞質分裂開始
- ・ G1 チェックポイント
- ・ G2 チェックポイント
- ・ 有糸分裂チェックポイント

3) G1 チェックポイントではどのようなチェックが行われるか、p53 とよばれるタンパク質の役割と関連させて、100字程度で説明せよ。ただし厳密な字数は問わない。



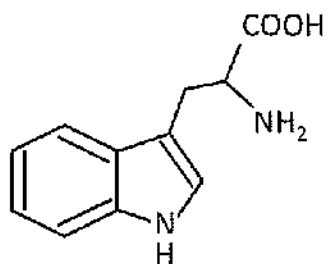
## 問題

次の問いに答えなさい。

1) 次のアミノ酸をア) 塩基性アミノ酸、イ) 酸性アミノ酸、ウ) 非荷電で極性を持つアミノ酸に分類し、ア) -ウ) の記号で記せ。さらに、その構造を下に示す(例) にならって示しなさい。ただし、立体異性体の区別はしなくて良い。

- A. リシン
- B. グルタミン酸
- C. トレオニン

(例)



2) アラニンとセリンがペプチド結合する反応を化学式で示しなさい。化合物の構造は1) の例に従って示しなさい。ただし、生成した化合物はN末端がアラニンであるとする。

3) タンパク質を同定する方法としてトリプシン消化を用いる方法がある。次の用語の中で、必要と考えられるものだけを用いてタンパク質が同定できる原理に注意しながら実験方法を説明しなさい。200字から300字程度で解答しなさい。ただし厳密な字数は問わない。

- ア) 二次元電気泳動
- イ) グルコシダーゼ
- ウ) デンプン
- エ) データベース
- オ) アミノ酸配列情報
- カ) 密度勾配遠心分離
- キ) 抗原抗体反応
- ク) アルギニン
- ケ) リシン
- コ) グリシン

4) タンパク質の構造について一次構造、二次構造、三次構造、四次構造とは何か、それぞれ説明せよ。あわせて200字から300字程度で解答しなさい。ただし厳密な字数は問わない。



## 問題

次の語句について関係性を示しながら 150-250 字程度で説明せよ。必要であれば、図を用いてもよい。(図中の文字数は字数に含めない)

- 1) RNAi と遺伝子機能解析
- 2) ジデオキシ法と PCR 法
- 3) 化学平衡と酵素反応
- 4) エピジェネティックな遺伝と DNA メチル化
- 5) 電子伝達系と ATP 合成酵素

## 問題

以下の文章を読んで、設問に解答せよ。

文中の用語を定義する必要がある場合は、自ら定義して解答せよ。

生物の自然変異率はとても低い(約  $10^9$  の塩基の複製あたり1個)。このように低い変異率を測定するために、大腸菌ではヒスチジン生合成に必要な遺伝子の変異株を用いる。この株にはヒスチジン生合成に必要な遺伝子中の Trp コドンの変異(TGG → TGA)により、ヒスチジンを含まない培地ではコロニーを形成できないが、もし上記の変異部位に復帰変異が入るとコロニーを形成できるようになる。この変異株をヒスチジンを含まない培地に一定数塗布し、生じたコロニー数を数えることによって変異率を求めることができる。

1)この方法で変異率を求めることの問題点を指摘せよ(複数回答可)。

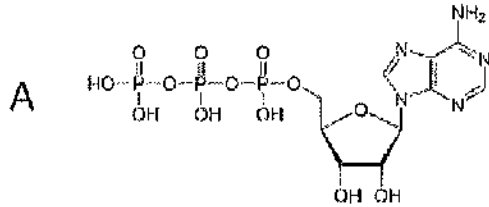
2)より正しい変異率を求めるための方法を3種類考案せよ。



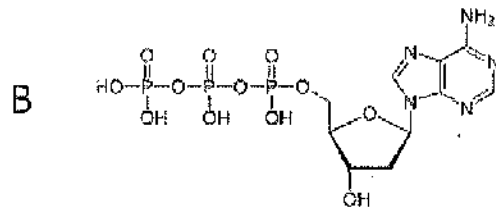
## 問題

次の問いに答えなさい。

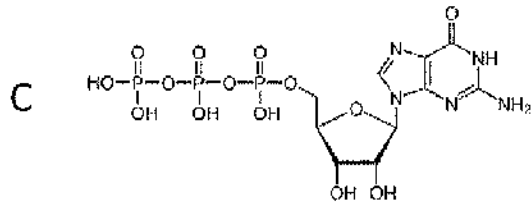
1) 右に示す化合物 A、B、C の正式名称を答えよ。



2) A、B、C それぞれについて細胞内での役割を全て答えよ。



3) 細胞内には rRNA や tRNA など異なる役割を持つ複数の RNA が存在する。これらの RNA を全て列挙し、その機能をそれぞれ 20 字程度で説明せよ。



4) 以下に示す DNA 配列が転写されたときの RNA 配列を答えよ。5' 末端を明記すること。

転写開始部位



5'-TATATTCTCAATAGGTCCACGCTGGCGGCATTTAACTTTCT  
3'-ATATAAGAGTTATCCAGGTGCGACCGCCGTAAATTGAAAGA

↑  
転写終結部位



## 問題

次の問いに答えなさい。

1) ミトコンドリアの機能を次のキーワードをすべて用いて 200 文字程度で説明せよ。

ATP、クエン酸、電子伝達系、プロトン、ユビキノン、酸素

2) ミトコンドリアは真核生物の祖先にバクテリアが共生してできたと考えられている。しかし、ヒトのミトコンドリアゲノムには rRNA が 2 個、tRNA が 22 個、電子伝達を担う複合体タンパク質 13 個の計 37 遺伝子しかコードされていない。共生関係が確立する過程で、もともとのゲノムにコードされていた遺伝子の大部分が核ゲノムへと移行したと考えられている。その理由についてミトコンドリアの機能と関連させて 100 文字程度でのべよ。

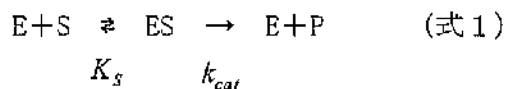
3) 1 細胞あたりミトコンドリアゲノムは 1000 コピー以上存在する。一方、ヒトの受精卵が形成される過程でミトコンドリアゲノムが数コピーまで減少したのち、再び 1000 コピー程度まで素早く増加する現象が知られている。この現象がもつ役割について 150 文字程度でのべよ。

4) 核ゲノムにコードされる遺伝子には、ミトコンドリアから移行したものが含まれていると考えられている。核ゲノムにコードされるある遺伝子がミトコンドリアから移行したのか調べるにはどのような解析を行えばよいか 200 文字程度でのべよ。

## 問題

以下の文章を読み、設問に答えよ。

ミカエリス・メンテンの考えに基づき酵素反応の数式記述を行う。酵素反応が下記のように2段階で進むと考える。1段階目は、酵素 E と基質 S が結合して酵素-基質複合体 ES を作る。この1段階目の反応は、速く可逆的で化学的変化は何も起こらず平衡に達していると考え。第2段階目は、一次速度定数  $k_{cat}$  で化学反応が起こり、生成物 P が生成する。このとき、酵素は遊離状態 E に戻ると考える。



1段階目の反応の平衡定数を

$$K_s = \frac{[E][S]}{[ES]} \quad (\text{式2})$$

と書く。[ ] で囲まれた記述は濃度を示す。2段階目の化学反応速度を

$$v = k_{cat}[ES] \quad (\text{式3})$$

と記述する。酵素の全濃度  $E_{total}$  は遊離の酵素 E と複合体 ES の各濃度  $[E]$ 、 $[ES]$  の和で表される。

1) 酵素反応速度式 (ミカエリス・メンテン式、基質濃度  $[S]$  と反応速度  $v$  の関係)

$$v = \frac{k_{cat}E_{total}[S]}{K_s + [S]}$$

を導出せよ。導出過程の記述がないものは得点を与えない。ただし、基質が酵素に比べて大過剰に存在し、遊離の基質濃度は複合体の濃度にかかわらず  $[S]$  で一定とする。

次のページに続く

2) 5つの異なる基質濃度  $[S]$  の溶液に対して、同じ酵素濃度  $E_{total}$  になるよう酵素液を添加することによって反応を開始させ、反応速度  $v$  をそれぞれの条件で測定した。

2-1) 5つの基質濃度  $[S]$  を横軸、反応速度  $v$  を縦軸にとると、どのような形になると予想されるか。予想されるグラフを解答欄に記入せよ。プロットを○の記号で記入し、概形を実線で示せ。

2-2) 2-1で示した図中に最大反応速度  $V_{max}$  と  $K_s$  を書き込み、 $V_{max}$  と  $K_s$  の関係を解答欄に記述せよ。

2-3) 5つの基質濃度  $[S]$  の逆数を横軸、反応速度  $v$  の逆数を縦軸にとると、どのような形になると予想されるか。予想されるグラフを解答欄に記入せよ。プロットを○の記号で記入し、概形を実線で示せ。

2-4) 2-3のプロットから  $K_s$  と  $k_{cat}$  を求める方法について100字程度で説明せよ。

2-5) Eに対してSと競合的に働くが、反応は起こらない分子  $S'$  がSに加えて含まれている溶液を考える。この溶液中では

$$E + S' \rightleftharpoons ES' \quad (\text{式4})$$

$$K'_s$$

という平衡反応が存在する。この平衡定数を  $K'_s$

$$K'_s = \frac{[E][S']}{[ES']} \quad (\text{式5})$$

と書く。このとき、酵素反応速度を表す式を導出せよ。また、 $S'$  が存在しない場合と比較してどのような概形になるか、2-1、2-3の図中にそれぞれ破線で示せ。

## 問題

次の語句について関係性を示しながら 150-250 字程度で説明せよ。

- 1) エンドサイトーシスとマクロファージ
- 2) イオンチャネルとニューロンの活動電位
- 3) 細胞分化とエピジェネティックな遺伝
- 4) 相同組換えと DNA 修復機構
- 5) 等電点と分子量とポリアクリルアミドゲル電気泳動

## 問題

近年、太陽系外の恒星系から生命の誕生可能な環境を持つ可能性がある惑星が多数見ついている。あなたは地球から 4.4 光年離れたプロキシマ・ケンタウリ星に見つかった地球型惑星への探査機の開発に関わっている。探査機は出発してから 55 年後に地球型惑星に着陸し、その後地表に生命の痕跡があるか自動で調査する。地球から遠隔操作をすることは不可能である。さらに長期間の恒星間移動を行うため生物を運搬することもできない。

探査機に搭載する分析機器を3つ挙げ、それぞれ地球型惑星の何を、どのような原理で分析するのかのべよ。またどのような結果が得られれば生命が存在する証拠となるかも書け。

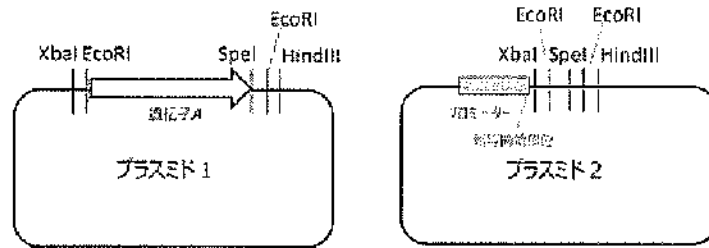


## 問題

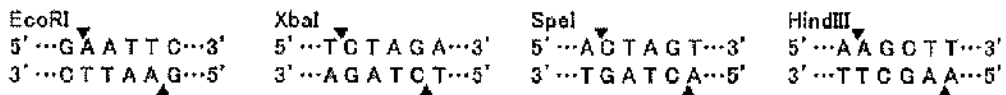
以下の文章を読んで次の問いに答えなさい。

大腸菌で蛍光タンパク質 A を発現する実験を実施している。実験室のストックからは、下記のプラスミド 1 とプラスミド 2 が見つかった。プラスミド 1 の蛍光タンパク質 A をコードする遺伝子 A の断片を、発現プラスミド 2 に挿入した新たなプラスミドを作成し、これを用いて蛍光タンパク質 A を大腸菌で発現させることを目的とする。そこで、プラスミド上の制限酵素サイトを用いることにした。

プラスミド 1 とプラスミド 2 には EcoRI、XbaI、SpeI、HindIII の認識配列は図示したもの以外は存在しないとする。また、各制限酵素の認識配列及び切断部位を下記に示した。



遺伝子の矢印はEcoRIの向きを表す。

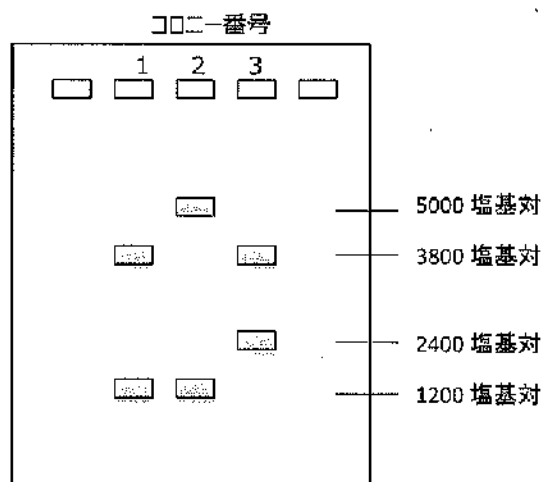


1) 制限酵素 EcoRI を用いてプラスミド 1 を切断し、遺伝子 A を含む断片を得た。また、EcoRI を用いてプラスミド 2 を切断し、プロモーターを含む断片を得た。2 つの断片を結合するために用いる酵素の名称と、生体内での本来の機能を述べよ。

2) この実験の目的を達成するうえで、上記の方法で得た 2 つの断片を結合して作成したプラスミドの問題点を述べよ。

3) 4 種の制限酵素のうち、ある 2 種の制限酵素の組み合わせを用いて、プラスミド 1 と 2 を切断し、遺伝子 A を含む断片(約 1200 塩基対)と、プロモーターを含む断片(約 3800 塩基対)を結合したプラスミドを作成した。これを大腸菌に形

質転換して得られた複数のコロニーから、形質転換体のクローンを複数得た。プラスミドが設計通り構築されたかを確認するため、得られた形質転換体の3コロニー由来のクローンをそれぞれ培養し、プラスミドを抽出し、同じ2種の制限酵素の組み合わせを用いて、制限酵素処理を行った。切断後の電気泳動結果を見ると下図のような結果が得られた。この実験に用いた2種の制限酵素の組み合わせを同定し、このような結果となった原因について述べよ。



4) 3) のように複数種類のプラスミドができないようにするには、どの制限酵素の組み合わせを用いるのがよいか述べよ。



## 問題

次の問いに答えなさい。

1) 下に示すのは、パッチクランプ法により膜パッチを通過する電流を測定し、時間に対して記録した図である。この膜パッチにはアセチルコリンの受容体が含まれており、実験者は微小電極の内側にアセチルコリンを加え、膜を通過する電流量を記録した。この記録からアセチルコリン受容体の性質について読み取れることを列挙し、それぞれについて根拠を述べよ。

Essential 細胞生物学 第4版 P403 問12-4の図を参照せよ

2) 動物細胞の静止膜電位は $-20$  から $-200$  mV の値をとるが、この値はどのような分子機構で決まっているのか、以下の用語を用いて200字程度で説明せよ。

ナトリウムポンプ  
カリウムチャネル  
ネルンストの式  
濃度勾配

3) ニューロンの膜電位は刺激を受けると静止膜電位から $+40$  mV まで急速に変化し、 $1$  ms 程度で元に戻る。この変化を可能にする分子機構について200字程度で説明せよ。

## 問題

以下の文章を読んで次の問いに答えなさい。

ヒトの生殖細胞系列の DNA の複製は正確で、1 回の細胞分裂で変化するのは 60 億塩基のうち平均して約 0.6 個である。この変化のほとんどは選択的に中立になる。2 人の現代人を無作為に選ぶと、10000 塩基ごとに約 10 個の塩基配列の違いが見つかる。

1) われわれがすべて、遺伝的に同一でホモ接合（各染色体が相同染色体と同一）の、アダムとイブという男女 1 組の祖先の系統をひくとしよう。生殖系列に生じる変異のすべてが子孫に保存されていると仮定して、無作為に選んだ 2 人の現代人に、10000 塩基につき 10 個の違いが蓄積されるまで細胞が何回分裂したか計算せよ。

2) ヒトの 1 世代は、生殖細胞系列では平均して 200 細胞分裂周期に相当すると仮定し、ヒトの世代交代は 30 年とすると、この祖先の男女は何年前に生きていたか推定せよ。

3) 種々の証拠とあわせると、ヒト創始者集団は 15 万年前に存在していたと考えられている。問題 2) の推定値との違いの原因の一つに、アダムとイブが遺伝的に同一であるという仮定が誤っている可能性がある。そこで、問題 1) および問題 2) の他の仮定がすべて成り立つとするとアダムとイブの生殖細胞系列の DNA には 10000 塩基につき何個の違いがあったか推定せよ。

4) 生物には世代交代までの期間が短い生物も多い。ある類人猿はゲノムサイズと、生殖細胞系列の DNA の複製で変化が生じる頻度が、ヒトとほぼ同一であるが、世代交代が 15 年であり、生殖細胞系列が平均して 100 細胞分裂周期に相当すると仮定する。この類人猿には、ヒトに比べて種としてどのような利点と欠点があるか述べよ。

## 問題

次の問いに答えなさい。字数は150字程度とするが厳密な字数は問わない。

- 1) ストップフロー装置を用いた酵素反応速度の測定原理について説明せよ。
- 2) モノクローナル抗体の大量入手方法について説明せよ。
- 3) プロテアソームの役割をユビキチンを関連付けて説明せよ。
- 4) RNA-Seqによるトランスクリプトームの解析について説明せよ。
- 5) ES細胞を使った遺伝子ノックアウトマウスの作成について説明せよ。
- 6) カルモジュリン、構造変化、シグナル伝達を関連付けて説明せよ。
- 7) 細菌の転写制御における $\sigma$ 因子の役割について説明せよ。

## 問題

1) 生物の生殖様式には有性生殖と無性生殖がある。この違いについて 200 字程度で説明せよ。

2) それぞれの利点と欠点について具体例を挙げて答えよ。

3) 自然界で有性生殖する生物のほとんどは、雄と雌という 2 種類の性を持つ。なぜ性の数が 2 より大きい生物はほとんどいないのだろうか。あなたの考えを述べよ。図、数式等を使ってもよい。



**問題**

**問 1-1**

上皮細胞中の細胞骨格をつくる主要な繊維構造をアクチンフィラメント以外に2種類答えよ。

**問 1-2**

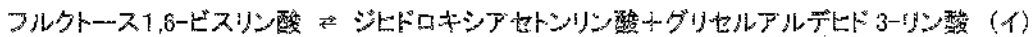
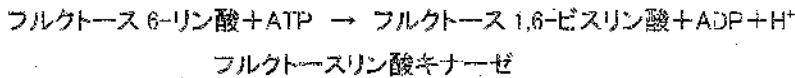
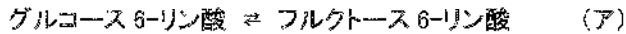
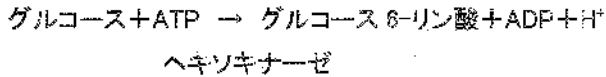
問 1-1 で答えた 2 種類の繊維構造とアクチンフィラメントそれぞれについて、解答欄に示す上皮細胞中で主にどこに存在するかを図示せよ。

**問 1-3**

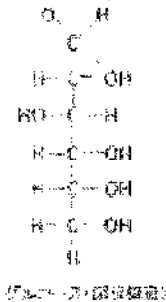
アクチンフィラメントについては筋肉でも使われている。筋収縮が起こるメカニズムを 200 文字程度で説明せよ。

問題

次に示す反応は、解糖の一連の反応の一部を示したものである。



次の問いに答えよ。糖類は右に示す鎖状構造で示せ。



問 2-1

反応(ア)を化学式で示せ。反応(ア)を触媒する酵素名称をかけ。

問 2-2

反応(イ)を化学式で示せ。反応(イ)を触媒する酵素名称をかけ。

問 2-3

解糖では1分子のグルコースから2分子のピルビン酸を生成する。反応(イ)では、2種類の分子を生成するが、この後どのような経路でピルビン酸を生成するのか説明せよ。

問 2-4

解糖(エムデン・マイヤーホフ経路)では、グルコース1分子から2分子のピルビン酸を生成する過程でATPとNADHを正味何分子生成するか述べよ。これらのエネルギーや還元力はどのような生命活動に使われるか述べよ。

問 2-5

生成したピルビン酸が異化代謝される経路には、酸素を利用する好氣的微生物と酸素を利用しない嫌氣的微生物で、どのような違いがあるか理由を付して述べよ。

## 問題

### 問 3-1

10 分毎に分裂する細菌を考える。時間ゼロにおける細胞数を  $N_0$  として、時間  $t$  分における細胞数  $N$  を求めよ。

### 問 3-2

20 分ごとに分裂をする細菌を 64 個から 5 時間培養した。このときの細菌数の時間変化を解答欄のグラフに実線で記せ。ただし増殖速度は培養中に変化しないものとする。

### 問 3-3

20 分ごとに分裂をする細菌を 64 個から 5 時間培養した。培養開始 1 時間後に 3 回目の分裂を終えた細菌から 1 個だけ 10 分毎に分裂する変異体が出現したとする。この変異体の数が野生型の数を追い抜くのは培養開始から何時間後になるか求めよ。ただし増殖速度は培養中に変化しないものとする。

また変異体の細胞数の時間変化を問 3-2 の解答欄のグラフ上に破線で記せ。

### 問 3-4

実際に、ある細菌を使って 20 分毎に分裂する 64 個の野生型と 10 分毎に分裂する 1 個の変異型を混合して培養する実験を行ったところ、何時間経っても変異型の数は野生型を超えなかった。考えられる理由を 2 つ述べよ。



問題

次の語句を関連付け、100字から200字程度で説明せよ。ただし厳密な字数は問わない。

問 4-1

膜貫通型タンパク質と  $\alpha$ ヘリックス構造

問 4-2

miRNA による遺伝子の発現調節機構と RNAi による RNA ウイルス侵入阻止

問 4-3

モノクローナル抗体と腫瘍細胞

問 4-4

コンホメーションとプリオン病

問 4-5

Gタンパク共役型受容体と環状 AMP

**問題**

次の文章を読み、ハエジゴクという植物を材料にした3つの異なる研究を提案せよ。3つの研究は、得られる結果の意義、用いる手法が異なるように設計せよ。

Essential 細胞生物学第4版(南江堂)の p398 図 12-20 の説明文を参照してください。

**問 5-1**

研究のタイトルを3つ挙げよ。

**問 5-2**

得られる研究結果の意義について述べよ。

**問 5-3**

目的を達成するためにどのような研究を実施するのか、計画を具体的にかけ。



## 問題

### 問 1-1

あるタンパク質を大量に得るため、このタンパク質を過剰発現する大腸菌を培養した。この細胞の抽出液から目的タンパク質を精製するため、カラムクロマトグラフィーを行う。下図に示す 3 種類の充填剤を使ったクロマトグラフィーについて、それぞれの名称と原理を記述せよ。

Essential 細胞生物学 第 4 版 P. 166 のパネル 4-4 の図を参照ください。

### 問 1-2

問 1-1 の精製の結果得たタンパク質の純度を確認するため、右図に示す装置を使ってドデシル硫酸ナトリウム (SDS) ポリアクリルアミドゲル電気泳動を行う。タンパク質を含む溶液に電場をかける際、陽極と陰極をどの向きに設定すればよいか。図中の (ア) と (イ) に対応する極を答えよ。

Essential 細胞生物学 第 4 版 P. 167 のパネル 4-5 の図を参照ください。

### 問 1-3

この SDS ポリアクリルアミドゲル電気泳動に供するタンパク質を含むサンプルは SDS およびメルカプトエタノールの存在下で加熱処理する。SDS とメルカプトエタノールを加える理由を述べよ。

### 問 1-4

精製して得られたタンパク質が持つ折りたたみ構造を調べるための方法を 1 つ挙げ、その原理を説明せよ。

## 問題

次の文章を読んで、問 2-1、2、3 に答えよ。

細胞表面受容体はいずれも細胞外シグナル分子が結合すると、その情報を 1 つあるいは複数の細胞内シグナル分子に変換して細胞の振る舞いを変える。

### 問 2-1

ほとんどの受容体は、変換機構の異なる 3 つの大きなグループのどれか 1 つに属する。3 つのグループを挙げ、その変換機構をそれぞれ述べよ。(それぞれ 100~200 字程度。厳密な字数は問わない。必要なら図を用いて説明してもよい。)

### 問 2-2

細胞内シグナル伝達経路は多段階であることが多い。各段階はフィードバック制御によって調節を受ける。正のフィードバック調節と負のフィードバック調節が可能とする応答について説明せよ。(それぞれ 100~200 字程度。厳密な字数は問わない。必要なら図を用いて説明してもよい。)

### 問 2-3

細胞内シグナル伝達経路は、たがいに結合するタンパク質に依存している。このような直接的な接触を見つける実験方法を 1 つ挙げ、その概要を述べよ。

## 問題

### 問 3-1

1つの分子が標準自由エネルギー $G^\ominus$ の異なる2つの形態間で相互変換する  
 $A \rightleftharpoons A^*$ という反応がある。この反応の $\Delta G$ は

$$\Delta G = \Delta G^\ominus + RT \ln([A^*]/[A])$$

として記述することができる。ただし、 $[A]$ と $[A^*]$ はそれぞれ A と  $A^*$ の濃度、 $R$ は気体定数、 $T$ は絶対温度とする。

この反応において、 $G^\ominus$ は  $A^*$ のほうが  $4.26 \text{ kcal mol}^{-1}$  高い。 $37^\circ\text{C}$ の平衡時には  $A^*$ 状態にある分子と  $A$  状態にある分子の比率を答えよ。 $37^\circ\text{C}$ では  $RT = 0.616 \text{ kcal mol}^{-1}$ となる。必要であれば  $\log_{10}e = 0.434$  として計算せよ。

### 問 3-2

A と B、2つの反応物が結合して1つの生成物 AB ができる反応  $A + B \rightleftharpoons AB$  がある。A の濃度が  $1 \times 10^{-6} \text{ M}$ 、B の濃度が  $2 \times 10^{-6} \text{ M}$ 、AB の濃度が  $2 \times 10^{-6} \text{ M}$  において平衡状態にある。この反応の平衡定数  $K$ を求めよ。

### 問 3-3

問 3-2 の平衡状態にある水溶液 1 リットルに、A を  $3 \times 10^{-6} \text{ mol}$  加えた。反応が平衡状態に到達したとき A、B、AB の濃度を求めよ。ただし、A を加えたことによる溶液の体積変化は無視できるものとする。

#### 問題4

次の語句を関連付け、200字程度で説明せよ。ただし厳密な字数は問わない。

##### 問 4-1

アロステリック酵素とコンフォメーション変化

##### 問 4-2

小胞輸送、アダプチン、クラスリン、積み荷受容体

##### 問 4-3

接着帯とカドヘリン

##### 問 4-4

アポトーシスとカスパーゼ

##### 問 4-5

密度勾配遠心法と分離精製

##### 問 4-6

トランスポザーゼと動く遺伝因子

##### 問 4-7

アミノアシル tRNA 合成酵素とコドン

##### 問 4-8

ミトコンドリア内膜、電子伝達系、酸化的リン酸化

## 問題

次の文章を読み、メタン酸化菌である *Methanococcus* を材料にした3つの異なる研究を提案せよ。3つの研究は、得られる結果の意義、用いる手法が異なるように設計せよ。

メタン酸化菌である *Methanococcus* は深海底の熱水噴出孔に生息しており、その温度は沸騰水に近い。この菌は熱水噴出孔から噴き出す水素、二酸化炭素、窒素という無機性ガスだけを栄養として生息している。この菌は地球の歴史の早い時期に存在した生物の見本であると考えられている。

### 問 5-1

研究のタイトルを3つ挙げよ。

### 問 5-2

得られる研究結果の意義について述べよ。

### 問 5-3

目的を達成するためにどのような研究を実施するのか、計画を具体的にかかけ。必要ならば図を使って説明してもよい。