

生物工学 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。

[I - 1] (生物)

(問1) 下の文章の()の中に適当な語句を入れよ。

タンパク質はアミノ酸が(ア)結合によって鎖状に配列したポリペプチド鎖で、この配列は(イ)構造とよばれる。図1にタンパク質の一部をリボン表示したものを示した。ここで、(a)は(ウ)で(b)は(エ)である。また、(c)は(オ)とよばれる。ポリペプチド鎖のアミノ酸残基間の規則的な(カ)結合によってできる(ウ)や(エ)は(キ)構造とよばれる。(ウ)や(エ)が組み合わさってできるポリペプチド鎖の全体的な立体構造を(ク)構造という。さらに、(ケ)結合で会合したいくつかのポリペプチド鎖(多量体タンパク質)は(コ)構造を作っているといわれる。

タンパク質を構成しているアミノ酸は(サ)以外は、その α 炭素が不斉原子なので鏡像異性体が存在する。しかし、タンパク質はすべて(シ)体からできている。

アミノ酸には側鎖に解離基をもつ(ス)性のものや、炭化水素鎖をもつ(セ)性のものがある。省略形 Asp, Glu で表わされるアミノ酸はその側鎖に(ソ)基を持つので(タ)性アミノ酸であり、Lys は側鎖に(チ)基を持つので(ツ)性アミノ酸である。したがって、相対的に Asp や Glu の多いタンパク質を等電点電気泳動にかけると、pH の(テ)方向に移動する。つぎに、芳香族側鎖をもつ Tyr あるいは Trp は(ト) nm 付近に強い光吸収極大をもつので、これら残基のタンパク質中での数が知れている時は溶液中のタンパク質濃度を求めるのに用いられる。

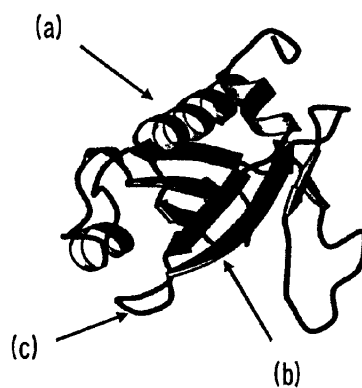


図1 Pleckstrin ホモロジドメイン

(次のページに続く)

(問 2) 以下の問に答えよ。

- (a) 膜貫通タンパク質と水溶性球状タンパク質との構造の違いについて、それぞれを構成するアミノ酸の配置を考慮して説明せよ。
- (b) 膜貫通タンパク質を精製する上で、水溶性タンパク質の場合と異なる方法が必要になるが、それはどのようなことか。
- (c) タンパク質を精製するには液体クロマトグラフィーは有力な方法である。以下の 3 種類のカラム液体クロマトグラフィーの原理と特性について簡潔に述べよ。
 - (ア) ゲルろ過クロマトグラフィー
 - (イ) イオン交換クロマトグラフィー
 - (ウ) 抗体アフィニティークロマトグラフィー

(問 3) 下記の文章は脊椎動物の桿体視細胞において、視物質ロドプシンが光を受容してから細胞に膜電位が発生するまでの酵素過程について述べたものである。下から適当な語句を選んで () の中に番号で入れよ。

ヒトの視物質ロドプシンは波長が (ア) 付近の光を受容してメタロドプシン II (活性状態) になると (イ) を結合するようになる。その後 (イ) は結合していた (ウ) を離し (エ) を結合する (つまり、(ウ) と (エ) の交換が起こる)。次に、(イ) の α サブユニットは $\beta\gamma$ サブユニットから解離し、(オ) の γ サブユニットに結合する。(イ) の α サブユニットが結合した (オ) の γ サブユニットは (オ) の $\alpha\beta$ サブユニットから離れる。その結果、(オ) の $\alpha\beta$ サブユニットは活性状態になり (カ) を (キ) に変える。(カ) の濃度が減少すると、(カ) 依存性チャンネルが (ク) ナトリウムイオン透過性が (ケ)、(コ) の膜電位が発生する。

- (1) GMP (グアノシン 1 リン酸)、 (2) GDP (グアノシン 2 リン酸)、 (3) GTP (グアノシン 3 リン酸)、 (4) cGMP (3', 5'-サイクリック GMP)、 (5) G-タンパク質 (GTP 結合タンパク質)、 (6) PDE (cGMP ホスホジエステラーゼ)、 (7) 過分極性、 (8) 脱分極性、 (9) 開いて、 (10) 閉じて、 (11) 増加し、 (12) 減少し、 (13) 350nm、 (14) 500nm、 (15) 650nm

[I - 2] (物理)

次の文章中の空欄に入れるのに適切な数式等を解答用紙に記せ。

ある種の半透膜で隔てられた 2 つの室にイオン溶液が満たされた閉じた系を考える。このような熱力学系の Gibbs の自由エネルギー G は示量変数であり、系のサイズに比例して増加する。しかし常に系のサイズを考慮に入れるのは大変なので、しばしば G の代わりに電気化学ポテンシャル μ_i が用いられる。 μ_i は系を構成する i 種の要素 (例えばイオン) 1 モルの自由エネルギー G への寄与である。したがって、系に全部で m 種の要素があり、 i 種の要素が n_i モルあるとすると、系の自由エネルギーは

$$G = \sum_{i=1}^m \boxed{\text{(a)}}$$

となる。また、この式から、

$$\frac{\partial G}{\partial n_i} = \boxed{\text{(b)}}$$

となる。電気化学ポテンシャルは、系の要素 (物質) が細胞膜のような物質拡散のバリアを超えて移動 (拡散) するときの駆動力となる。イオンの移動に伴う自由エネルギーの変化を議論するために、少し準備をする。Gibbs の自由エネルギーは、

$$G = U + PV - TS$$

で定義される。ここで、 U 、 P 、 V 、 T 、 S はそれぞれ系の内部エネルギー、圧力、体積、温度、エントロピーである。これらすべてを独立変数と考えて全微分をとると、 G の微小変化は、

$$dG = \boxed{\text{(c)}} \cdots \text{式(1)}$$

となる。 ΔQ と ΔW を系に加えた熱および仕事とすると $dU = \Delta Q + \Delta W$ であることを利用して式(1)を並べ替えると、

$$dG - VdP + SdT = \boxed{\text{(d)}}$$

さらに、 $dS \geq \Delta Q/T$ (熱力学の第 2 法則) から、

$$dG - VdP + SdT \leq \boxed{\text{(e)}} \cdots \text{式(2)}$$

が成立する。膜を介したイオンの輸送を考える本問では、系の圧力と温度は一定であり、 $dP = dT = 0$ とする。また、式(2)の右辺(e)に現れる PdV は系が環境にした仕事であるが、一方、 ΔW には、系が環境からされた体積変化による仕事 $-PdV$ が含まれる。したがって、 $\Delta W' = \boxed{\text{(e)}}$ とすると、結局 $\Delta W'$ は体積変化による仕事を除く、環境が系にした仕事であり、この $\Delta W'$ と dG の間に $dG \leq \Delta W'$ の関係があることになる。膜を介したイオン輸送の場合は $\Delta W' = 0$ であるので、

$$dG \leq 0 \cdots \text{式(3)}$$

さて、図 1 に示す状況を考える。2 つの室を隔てる膜は、 M^+ イオン、 X^- イオンを透し、 R^- イオン

(次のページに続く)

を透さない半透膜とする. 2つの室の一方 (I) に濃度 x_1^0 の M^+X^- 水溶液を, 他方の (II) に濃度 x_2^0 の M^+R^- 水溶液をそれぞれ 1ℓずつ入れる. よって, x_1^0 と x_2^0 はそれぞれのイオンのモル数となる. 半透膜を透して M^+ , X^- イオンの拡散が行われ, 新しい平衡に達したときの, I 室および II 室の M^+X^- の濃度と, 各室の電位を $\phi^{(I)}$ と $\phi^{(II)}$ として両室間の電位差を求めたい. ただし, M^+X^- および M^+R^- は, 完全に解離しており, 溶液は十分希薄であるとする. I および II 室における M^+ の濃度をそれぞれ $x_M^{(I)}$, $x_M^{(II)}$, 同様に X^- の濃度を $x_X^{(I)}$, $x_X^{(II)}$ とする. II 室の R^- の濃度は常に (f) である.

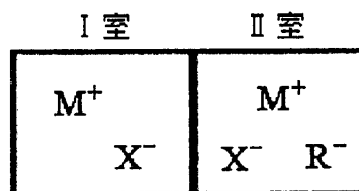


図 1 : 半透膜に隔てられたイオン溶液の系

常に各室の溶液における電気的中性が成り立つから,

$$x_M^{(I)} = (g), \quad x_M^{(II)} = (h) \quad \dots \text{式(4)}$$

となる. また, イオンの移動拡散後もイオンの総数は変化しないので,

$$x_M^{(I)} + x_M^{(II)} = (i), \quad x_X^{(I)} + x_X^{(II)} = (j) \quad \dots \text{式(5)}$$

各室の M^+ (1 モル当たり) に関する電気化学ポテンシャルを $\mu_M^{(I)}$ および $\mu_M^{(II)}$, X^- に関するそれを $\mu_X^{(I)}$

および $\mu_X^{(II)}$ とする. 系全体の自由エネルギーに対する M^+ および X^- の寄与は, それぞれ,

$$G_M = (k), \quad G_X = (l)$$

となる. 今, 例えば, M^+ が少量 $dx > 0$ だけ, I 室から II 室に移動したとする. このとき, I および

II 室の自由エネルギー変化はそれぞれ (m) および (n) である. このときの G_M の変化は,

$$dG_M = (m) + (n)$$

となる.

(次のページに続く)

式(3)から, $\mu_M^{(I)}$ (o) $\mu_M^{(II)}$ が成り立つ. つまり, イオンの移動は, 電気化学ポテンシャルの高い方から低い方に起こり, $dG_M = 0$, すなわち, $\mu_M^{(I)} = \mu_M^{(II)}$ のとき, M^+ の正味の流れは零になり, M^+ イオンに関する平衡状態となる. I および II 室の M^+ と X^- イオンに関する電気化学ポテンシャルは, それぞれ,

$$\mu_M^{(I)} = \mu_M^0 + RT \ln x_M^{(I)} + F\phi^{(I)}, \quad \mu_M^{(II)} = \mu_M^0 + RT \ln x_M^{(II)} + F\phi^{(II)}$$

$$\mu_X^{(I)} = \mu_X^0 + RT \ln x_X^{(I)} - F\phi^{(I)}, \quad \mu_X^{(II)} = \mu_X^0 + RT \ln x_X^{(II)} - F\phi^{(II)}$$

とかける. ここで, R はガス定数, F はファラデー定数, μ_M^0 と μ_X^0 はそれぞれのイオンに関する標準化学ポテンシャルで I 室と II 室で等しい. 平衡状態では, それぞれのイオンの電気化学ポテンシャルが等しいことから, 平衡状態における I および II 室における M^+ の濃度をそれぞれ $\bar{x}_M^{(I)}$, $\bar{x}_M^{(II)}$, 同様に X^- の濃度を $\bar{x}_X^{(I)}$, $\bar{x}_X^{(II)}$ とすると,

$$\bar{x}_M^{(I)} \bar{x}_X^{(I)} = \text{ (p) } \cdots \text{式(6)}$$

式(4), (5), (6)から,

$$\bar{x}_X^{(I)} = \text{ (q) }, \quad \bar{x}_X^{(II)} = \text{ (r) }$$

となり, 平衡状態における I および II 室の X^- の濃度が, 初期濃度 x_1^0 , x_2^0 で表すことができた. さらに,

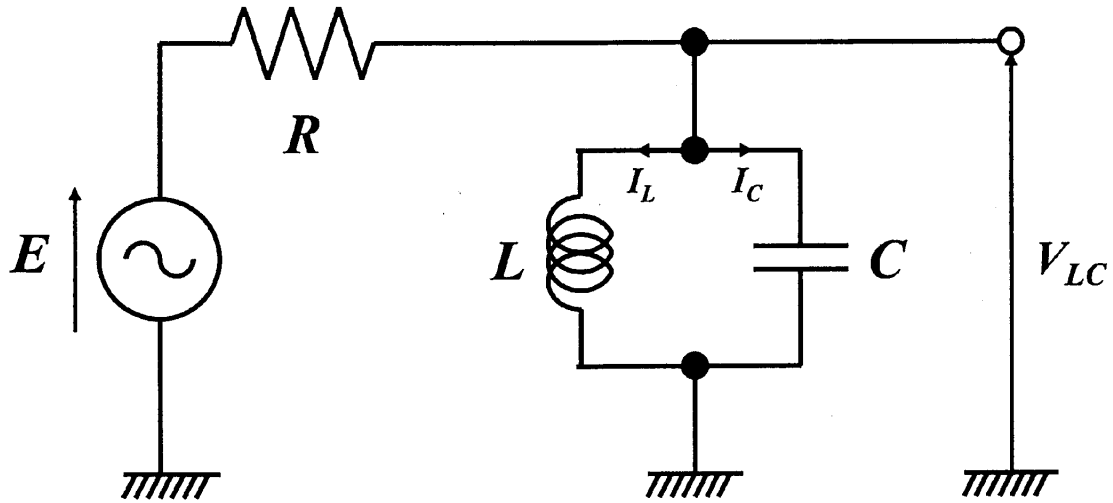
$\Delta\phi = \phi^{(I)} - \phi^{(II)}$ とすると, 平衡状態では,

$$\Delta\phi = \text{ (s) }$$

となる.

[I - 3] (情報・システム工学)

図に示すような起電力 E_0 、角周波数 ω_0 の正弦波電圧源 E 、抵抗 R 、コイル L 、コンデンサ C から構成される回路がある。以下の問いに答えよ。



図：LCR 交流回路

(問1) 並列接続している L と C の両端の電圧 V_{LC} を求めよ。 V_{LC} は図の正弦波電圧源を $E_0 \exp(j\omega_0 t)$ と考えたときの複素電圧振幅である。

(問2) L と C を流れる電流 I_L 、 I_C を求めよ。 I_L 、 I_C は複素電流振幅である。

(問3) $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ であるとき、 L と C の並列接続の合成インピーダンス Z_{LC} を求めよ。

(問4) $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ であるとき、 L と C を流れる電流とそれらの和の時間波形を図示せよ。