

生物工学 II

次の[II - 1]~[II - 3]の3題を、それぞれ別の解答用紙に答えよ。

[II - 1] (生物)

遺伝子 X の発現様式や機能を調べるために、以下の実験を行った。まず、遺伝子 X の発現分布を調べるために、成体マウスの様々な身体部分から mRNA を抽出し、ノーザンブロットを行った。すなわち、それぞれの部位から得た mRNA をゲル電気泳動後、ナイロン膜に写しとり、遺伝子 X の ORF (open reading frame、タンパク質をコードしている部位) の一部 (ORF 全体の 10 分の 1 程度の長さ) に対する相補的な放射性標識 DNA プローブを用いて、ナイロン膜上での放射能分布を調べると図 1 のようになった。一方、マウスの細胞からゲノムを抽出し、適当な制限酵素で断片化した後、上と同じプローブを用いてサザンブロットを行ったところ (RNA の代わりにゲノム DNA を電気泳動する)、今度は図 2 のような結果が得られた。

次に、遺伝子 X の脳形成における役割を明らかにすることを目的として、本来遺伝子 X が発現していない神経細胞群 (マウス胎児脳) にそれを強制的に発現させ、強制発現させた細胞の挙動を調べることにした。まず、強制発現実験の妥当性を検討するために、マウス胎児の脳室に蛍光タンパク質をコードする遺伝子 (gfp) を含むプラスミドを注入し、子宮の外側から 2 つの電極で電気パルスを加えることによって、特定の細胞群に GFP が発現するかを調べた (図 3)。数時間後にその胎児脳から脳切片を作製し、蛍光顕微鏡で観察したところ、蛍光を発する細胞が図 4 のように分布していた。さらに、 gfp 導入 3 日後に観察すると図 5 のようになった。次に gfp プラスミドと共に遺伝子 X 含むプラスミド溶液を注入し、同様にして遺伝子を導入した。3 日後に観察したところ、蛍光像は図 6 のようになった。

以下の問いに答えよ。ただし、遺伝子 X と gfp プラスミドの混合溶液で遺伝子導入した場合、遺伝子導入された細胞には必ず両方のプラスミドが入るものとする。

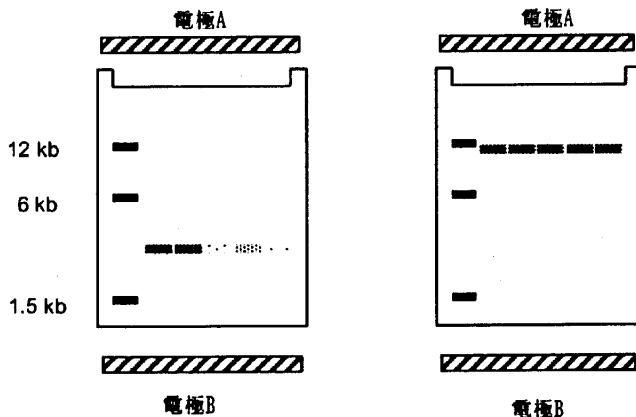


図 1

図 2

図 1、2 では左のレーンからマーカー、脳、肺、肝臓、腸、筋肉から調整した mRNA あるいはゲノム DNA が電気泳動され、ノーザンブロット、サザンブロットが行われた。

- (問 1) (a) 図 1 の結果から mRNA のサイズ (塩基数) を推定せよ。
 (b) (a) からタンパク質 X の分子の大きさについてわかることを述べよ。

(次のページにつづく)

- (問 2) (a) 図 1 と図 2 では、バンドの位置が異なるが、これは何を意味しているか。
 (b) 図 1 ではバンドの強度が異なるが、図 2 では同じである。これから何が言えるか。
- (問 3) 図 1 の電気泳動と図 3 の遺伝子導入実験で、電極 A と電極 C はそれぞれ陽極か陰極か。理由を付けて述べよ。
- (問 4) *gfp* プラスミドが細胞内に取り込まれてから、蛍光を発するようになるまでの過程（プラスミドから蛍光タンパク質が合成される過程）を述べよ。
- (問 5) (a) 脳は神経細胞とグリア細胞から構築されるが、図 4 - 6 では両方のタイプの細胞が蛍光を発した。蛍光タンパク質を神経細胞だけで発現させるためには、プラスミドで *gfp* の上流にどのような DNA を付加すれば良いか。
 (b) 逆に、細胞種に関係なく蛍光が観察される場合には、*gfp* の上流にどのような DNA が挿入されていると考えられるか。
- (問 6) GFP だけを発現させた場合と GFP とタンパク質 X とを一緒に発現させた場合との違いを説明し、遺伝子 *x* の働きについて論ぜよ。
- (問 7) 問 6 によって得られた結果をさらに確かめるためにはどのような実験を行えばよいか。

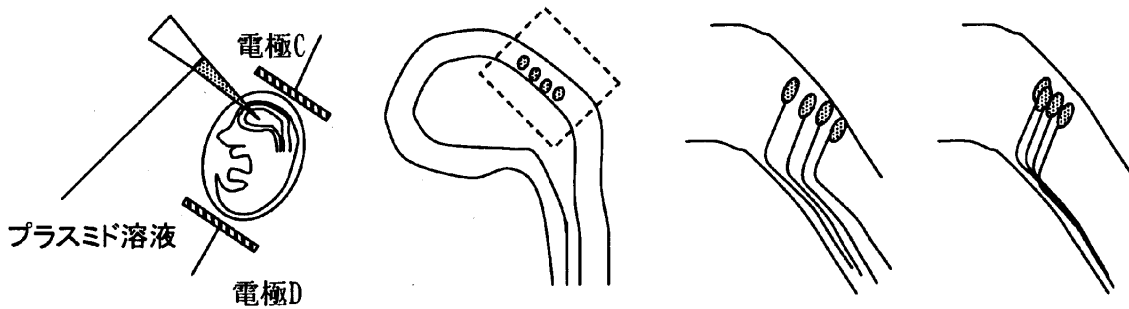


図 3

図 4

図 5

図 6

図 5、6 は図 4 の矩形（破線）の領域を拡大した。楕円形は個々の神経細胞を表し、それらの楕円からの実線は軸索を表すものとする。

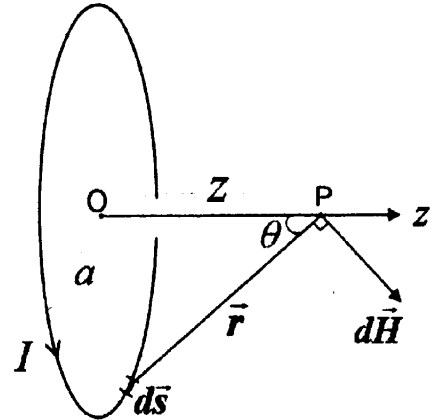
[II - 2] (物理)

(問 1) 電流 I の流れている導線の微小線要素 $d\vec{s}$ から \vec{r} だけ離れた点 P に生ずる磁場はビオ・サバー

ルの法則に従い、 $d\vec{H} = \frac{I d\vec{s} \times \vec{r}}{4\pi r^3}$ で表される。

ここではコイルの中心を通り、コイルがつくる面と直交する軸を中心軸と呼ぶ。以降この中心軸を z 軸とする。

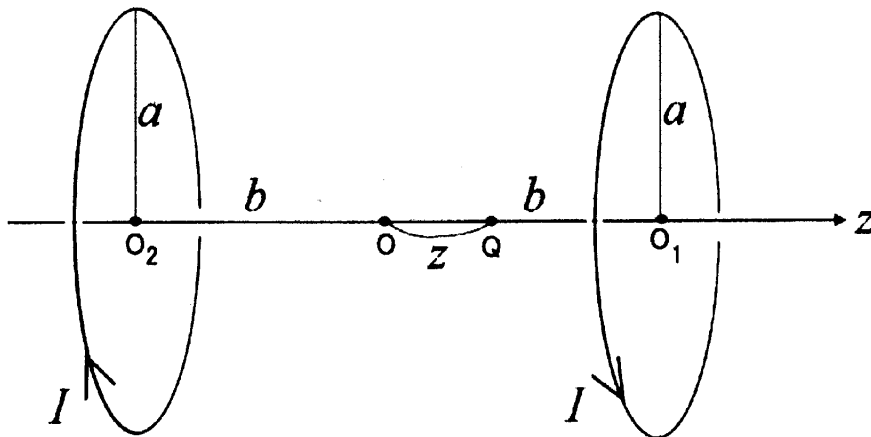
いま、図のような半径 a の円形電流を考える (電流の強さを I とする)。このコイルの中心軸上の点 P (コイルの中心から距離 z にある点) の磁場の強さを求めなさい。



(問 2)

図に示すように、同一の中心軸を持つ半径 a の 2 つの円形コイルが平行に置かれている。

このコイル対のコイル間距離 ($O_1 - O_2$) は $2b$ である。このコイル対にはそれぞれ反対向きの電流 I が流れている。中心軸上のコイル対の中点を O とする (O を原点とする)。



(a) 中心軸上の原点 O から距離 z だけ離れた点 Q での磁場の強さを (問 1) の結果を用いて求めなさい。

(b) コイル対の中心 (原点 O) における磁場の強さはどうなるか。

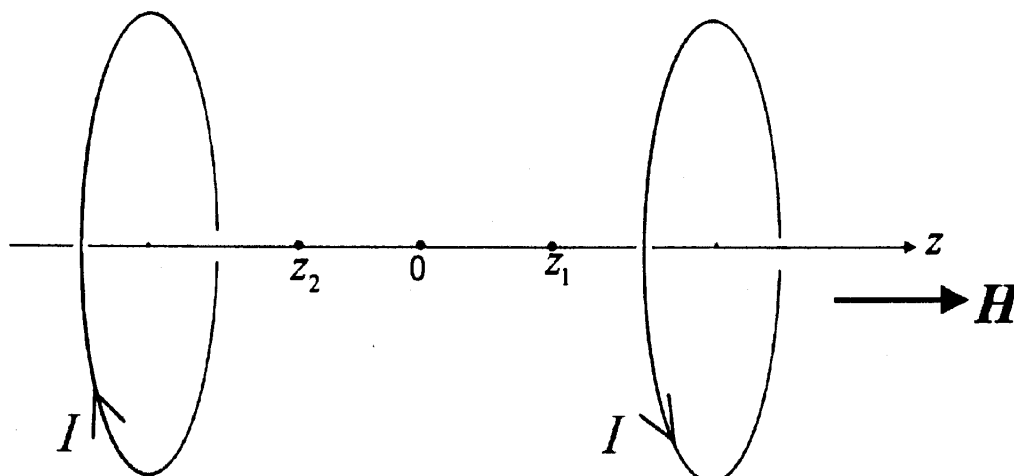
(c) (a) の結果を原点 O 近傍の z の小さい範囲で級数展開すると、磁場 $H(z)$ は $h_1 z + h_3 z^3 + \dots$ と表され

る。この式には z の奇数乗の項しか表れていない。級数展開の計算の結果と電流の向きが反対方向であることから直ちにわかる。また、 $2b = \sqrt{3}a$ のとき、 z^3 の項の係数がゼロになる。そこで、この条件を満たすコイル対を用いたとき、 $b \gg z$ として磁場の強さ $H(z)$ (即ち、 $h_1 z$) を電流 I とコイルの半径 a および z を使って記しなさい。 ($3^{3/2} \approx 5.2$, $7^{5/2} \approx 130$ を使ってよい。)

(d) 前問の結果より磁場勾配 $\frac{\partial H(z)}{\partial z}$ を求めなさい。

(次のページにつづく)

(問 3)



スピン量子数 $S = 1/2$ の等方的な電子スピンの中心軸上の点 z_1 および点 z_2 に存在する。ここで、点 z_1 および点 z_2 は原点 O からそれぞれ距離 z_1 および z_2 だけ離れた点である。

均一な磁場内では2つのスピンの位置がどの位置であろうと、電子スピン共鳴 (ESR) を起こす磁場 H_0 は $h\nu = g\beta H_0$ を満たす。ここで、 h はプランク定数、 ν は使用するマイクロ波の振動数 (通常の ESR 実験では周波数 ν は一定に保たれる)、 g は g 因子、 β はボーア磁子である。

さて、図に示すように、 z 方向に均一な磁場 H がかけられており、問 2 で得られたような磁場の強さが直線的に変化する磁場 (傾斜磁場) を重ね合わせた場合を考える。

(a) まず、 z 軸方向に磁場勾配 k をもつコイル対の原点 O から中心軸上に z だけ離れた位置に $S = 1/2$ の電子スピン 1 個が置かれている場合を考える。 z 方向の均一な磁場 H を少しずつ変化させて (磁場を挿引する)、点 z にある電子スピンの ESR 共鳴を起こさせる実験を行った。ESR 共鳴が観測されるときに磁場 H を k 、 z および H_0 で記しなさい。

(b) 次に、 $S = 1/2$ の電子スピン 2 個が図に示すように、点 z_1 および点 z_2 に置かれている。点 z_1 および点 z_2 にあるこれらの電子スピンの ESR 共鳴を起こすとき、それぞれの共鳴磁場 H_1 および H_2 を求めなさい。

(c) 均一な磁場に直線的に強さが変化する磁場を重ね合わせるによりスピンの空間位置が推定できることがわかった。点 z_1 および点 z_2 にある2つの電子スピンの共鳴磁場 H_1 と H_2 の分離幅を求めなさい。

(d) 2つのスペクトルが分離できる分離幅 (共鳴磁場 H_1 と H_2 の分離幅) はスペクトルの半値幅程度が必要であるとする。いま、ESR スペクトルの線幅 (半値幅) が 0.1 mT (T はテスラ) であるとして、磁場勾配 k が 10 mT/cm である傾斜磁場を用いると、点 z_1 と点 z_2 の位置に関する分解能 (空間分解能) はどの程度になるか。

(e) スピン分布の空間分解能を高めるにはどうすればよいか記しなさい。

[II-3] (情報・システム)

超音波送受波子と物体が一樣な音速 C を有する水中にある。以下の問に答えよ。

- (問1) 図 1(a) に示すように時刻 $t=0$ で周期が T である一波長の正弦波超音波ビームを送波すると、 $t=t_0$ で物体からの反射波を受波した。計測される超音波送受波子-物体間距離 d を求めよ。
- (問2) 音の反射はなぜ起こるかを述べよ。
- (問3) 問 1 で述べたような距離計測において、距離分解能を決めるパラメータを答えよ。また、 $C = 1,500\text{m/sec}$, $T = 1\mu\text{sec}$ であるときのパラメータ値を求めよ。
- (問4) 図 1(b) に示すように、一定時間間隔 T_R で超音波送波を行ったときの最大計測深度 D を求めよ。また、 $D + \delta$ ($\delta > 0$) に物体がある場合、計測される距離はいくらになるかを答えよ。
- (問5) 図 1(c) に示すように超音波送受波子の位置を変えながら、 T_R 周期で超音波ビーム送波を行い網掛けされた 2 次元場を画像計測した。画像計測のために N 回の超音波送波を行ったときの画像のフレームレート f_r を求めよ。
- (問6) 問 5 の画像計測において反射波を標本化周期 T_s , 量子化数 256 で AD 変換した後に、画像配信を行った。1 秒間に発生する画像容量を求めよ。

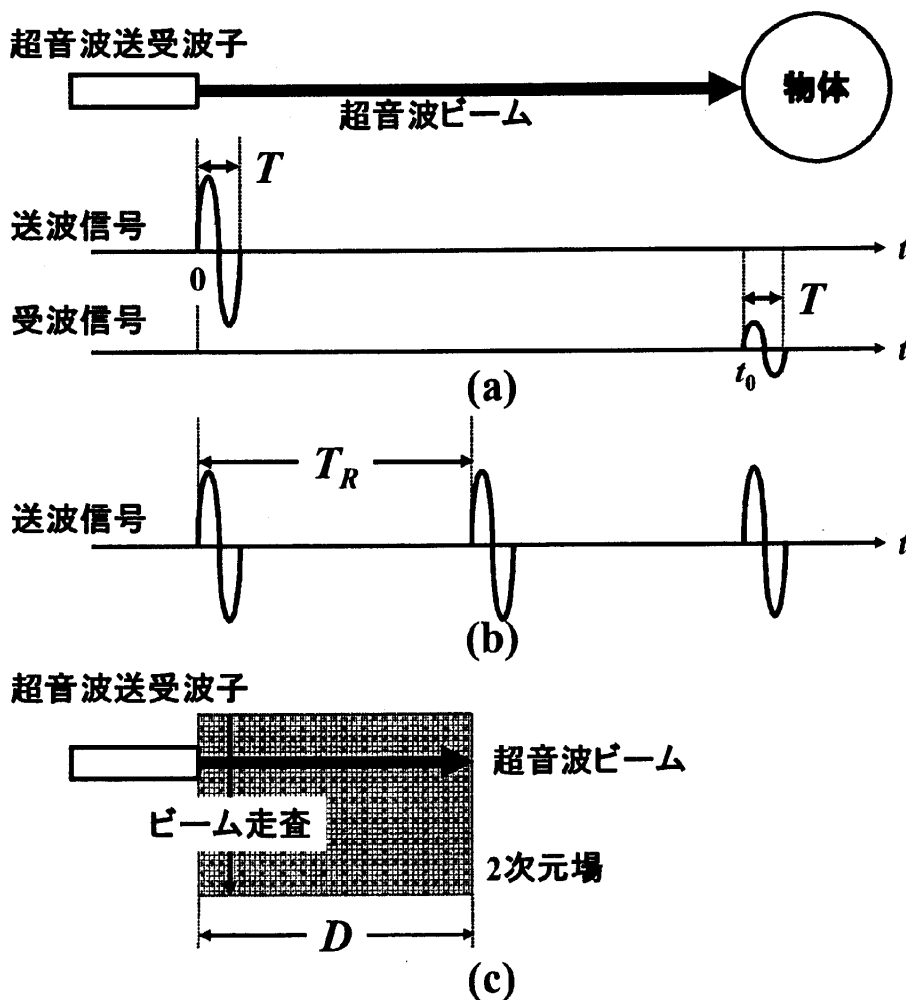


図 1