

平成 21 年度
前期日程
理科問題

〔注 意〕

1. 問題冊子及び解答用冊子は、試験開始の合図があるまで開いてはいけない。
2. 問題冊子は、物理、化学、生物の順序で1冊にまとめてある。

問題は $\left\{ \begin{array}{l} \text{物理} \quad 2 \text{ ページから } 11 \text{ ページ} \\ \text{化学} \quad 12 \text{ ページから } 25 \text{ ページ} \\ \text{生物} \quad 26 \text{ ページから } 36 \text{ ページ} \end{array} \right\}$ にある。

ページの脱落があれば直ちに申し出ること。

3. 解答用紙は、物理3枚、化学4枚、生物4枚が一緒に折り込まれている。受験する科目の解答用紙をミシン目に従って切り離すこと。
4. 受験番号は、受験する科目の解答用紙の受験番号欄に1枚ずつ正確に記入すること。
5. 解答は、1ページの「理科の解答についての注意」の指示に従い、解答用紙の指定されたところに記入すること。
6. 問題冊子の余白は、適宜下書きに使用してもよい。
7. 配付した解答用紙は持ち帰ってはいけない。
8. 問題冊子は持ち帰ること。

「理科の解答についての注意」

理学部志願者

- 数学科，化学科，生物科学科生物科学コースを志望する者は，物理，化学，生物の3科目のうちから2科目を選んで解答すること。
- 物理学科を志望する者は，物理を必須科目とし，そのほかに化学または生物のうちから1科目を選んで解答すること(計2科目)。
- 生物科学科生命理学コースを志望する者は，物理と化学の2科目を解答すること。

医学部医学科・医学部保健学科(放射線技術科学専攻・検査技術科学専攻)・歯学部・薬学部志願者

物理，化学，生物の3科目のうちから2科目を選んで解答すること。

医学部保健学科(看護学専攻)志願者

物理，化学，生物の3科目のうちから1科目を選んで解答すること。

工学部・基礎工学部志願者

物理を必須科目とし，そのほかに化学または生物のうちから1科目を選んで解答すること(計2科目)。

生物問題

(解答はすべて生物解答用紙に記入すること)

- 〔1〕 花粉の形成に関する以下の文章を読み，【実験1】～【実験3】についてのそれぞれの問に答えよ。

冷害はイネなどの穀物に深刻な被害をもたらす。N品種のイネは，花をつくる時期に低温にさらされると種子(コメ)の収量が著しく落ちる。その原因を明らかにするために，以下の実験を行なった。

【実験1】

N品種を開花の10日前から3日間低温にさらした。この処理によって開花の時期は変わらなかったが，収量は大きく落ちることがわかった。以後，この処理を低温処理と呼び，低温処理しない場合を未処理と呼ぶことにする。低温処理したN品種の開花後の葯(やく)から採取した花粉を，未処理のN品種の開花後のめしべにつけると，収量が落ちた。これに対して，未処理のN品種の開花後の葯から採取した花粉を，低温処理したN品種の開花後のめしべにつけても収量は落ちなかった。

- 問1 【実験1】の結果から，低温処理によってN品種の収量が落ちる原因についてわかることを40字以内で述べよ。

【実験2】

未処理および低温処理したN品種の開花後の葯からそれぞれ花粉を採取し，未処理のN品種の開花後のめしべにつけて観察したところ，未処理の花粉は大多数が花粉管を伸ばした。それらの花粉はヨウ素溶液で染色すると青紫色に染色された。これに対して，低温処理の花粉の半数程度は花粉管を伸ばさず，これらの花粉はヨウ素溶液で青紫色に染色されなかった。

問 2 【実験 2】においてヨウ素溶液で青紫色に染色される花粉の中の物質は何か。また、花粉管が伸びるときにその物質が果たす役割はどのようなことであると考えられるか、2つの可能性をあげよ。

【実験 3】

イネが花をつくる時期には、光合成産物であるスクロースが師管を通して葯へ大量に運ばれる。図はイネの葯の内部を模式的に表している。スクロースは師管の細胞内から葯壁細胞の細胞壁内へいったん輸送され、最終的にグルコースとして未熟な花粉内へ取り込まれて、花粉の成熟のために利用される。葯(花粉を含む)に含まれるすべての炭水化物は、師管から輸送されるスクロースによって供給されたものである。そこで、炭水化物の代謝に関連して働き、花粉の成熟のために必須の役割を果たす4種類のタンパク質 P, Q, R, S について、開花直前の N 品種の葯における存在場所を調べた(図参照)。タンパク質 P は師管の細胞内から葯壁細胞の細胞壁内へスクロースを輸送するタンパク質であり、師管細胞の細胞膜に存在していた。タンパク質 Q は葯壁細胞の細胞壁に、タンパク質 R は花粉の細胞膜に、タンパク質 S は花粉の細胞質に存在していた。

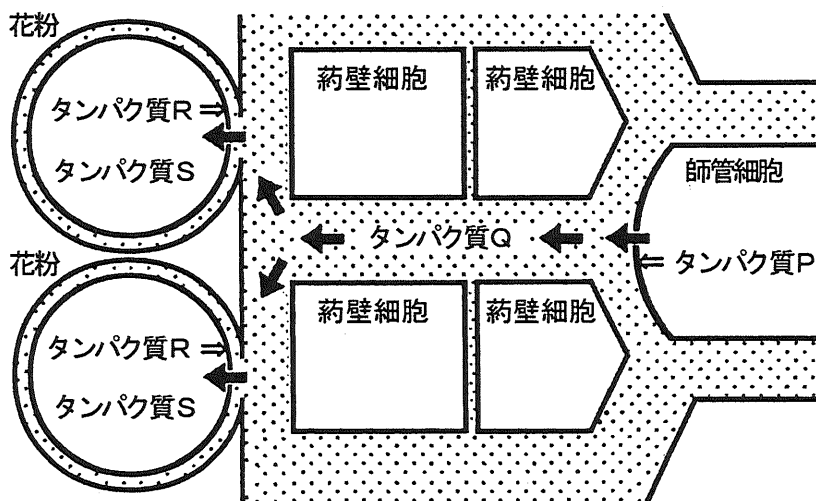


図 イネの葯内部の模式図

(点の部分は細胞壁を示す。花粉、葯壁細胞、師管細胞の細胞壁は連続している。なお、花粉が成熟すると、花粉の細胞壁と葯壁細胞の細胞壁は分離する。太い黒矢印は炭水化物の輸送経路を示す。)

次に、未処理および低温処理した N 品種からそれぞれ開花直前の葯(花粉を含む)を採取し、葯 1 個に含まれる炭水化物の総重量、炭水化物のうちスクロースおよびグルコースの重量を測定した。低温処理によって、葯 1 個に含まれる炭水化物の総重量は変わらなかったが、スクロースおよびグルコースの重量は増加していた。ただし、N 品種 1 個体あたりの葯の数は低温処理によって変わらなかった。また、4 種類のタンパク質の働きを調べたところ、低温処理によって、タンパク質 Q および R の働きは低下していたが、タンパク質 P および S の働きは変わらなかった。

問 3 【実験 3】においてタンパク質 Q, R, S は、花粉の成熟のために炭水化物の代謝に関連してどのような役割を果たすと予想されるか。それぞれについて、解答用紙に記されたタンパク質 P の例にならって簡潔に述べよ。

問 4 【実験 1】～【実験 3】の結果に基づき、以下の a～f について、冷害によって N 品種の収量が落ちる原因と考えられることに○、原因とは考えられないことに×、判断できないことに△をつけよ。

- a. 低温により、光合成によってつくられる 1 個体あたりの炭水化物の量が減少する。
- b. 低温により、師管から葯壁細胞の細胞壁内へ輸送されるスクロースの量が減少する。
- c. 低温により、師管から葯壁細胞の細胞壁内へ輸送されるスクロースの量が増加する。
- d. 低温により、未熟な花粉に取り込まれるグルコースの量が減少する。
- e. 低温により、雄性配偶子に異常が起きて受精できなくなる。
- f. 低温により、雌性配偶子に異常が起きて受精できなくなる。

〔2〕 以下の文章を読み、それぞれの間に答えよ。

生物の形、色などの(ア)は遺伝子によって決定されるが、ヒトの病気にも遺伝性の病気があることが知られている。たとえば、血液の凝固異常を引き起こす病気である血友病は、性染色体であるX染色体に変異遺伝子が存在している(イ)遺伝性の疾患である。劣性遺伝性の病気は変異遺伝子の(ウ)接合体が病気を発症し、優性遺伝性の病気は一般に変異遺伝子を1つ持つ(エ)接合体で病気を発症する。

ヒトには多様なガンを引き起こす遺伝性の病気も知られている。ガンは身体を構成する数多くの細胞の1個に突然変異が生じ、その細胞の機能や増殖が制御されなくなって、無限に増殖するようになることで生じる病気である。疾患ZはA遺伝子の変異によって引き起こされる、多様なガンを生じる常染色体優性遺伝性の病気である。A遺伝子によって作り出されるAタンパク質は、いくつかのタンパク質で構成される複合体の構成成分の1つであり、そのタンパク質複合体は酵素として働いている。

疾患Zの特徴は、家系によって、生じるガンの種類に偏(かたよ)りがあることである。そこで、疾患Zで生じるガンの中のPガン、Qガンの2つについて調べてみることにした。まず、疾患Zの家系を調査したところ、Pガンが生じる家系ではQガンが生じないこと、Qガンが生じる家系ではPガンが生じないことが分かった。次に、Pガンを生じる家系Pと、Qガンを生じる家系QのA遺伝子のDNAの塩基配列を調べたところ、いずれの家系のA遺伝子にも、タンパク質に翻訳される領域である(オ)に1塩基置換型の変異が見出され、異なった塩基が置換されていた。いずれの家系のAタンパク質もアミノ酸の変異を伴っているが、変異しているアミノ酸は異なっていた。すなわち、A遺伝子の変異の種類によって、生じるガンに違いがあると考えられた。

そこで、家系P、家系Q由来の変異Aタンパク質を含むタンパク質複合体の酵素の活性を調べたところ、家系P由来の変異Aタンパク質を含む複合体の酵素活性は完全に消失していたが、家系Q由来の変異Aタンパク質を含む複合体は、変異のないAタンパク質を含む複合体の $\frac{1}{10}$ の酵素活性を示した。す

なわち、アミノ酸の変異があってもタンパク質の機能が完全に消失するとは限らない^(b)ことが分かった。

Pガンは疾患Zではないヒトにも生じる。そこで、疾患Zではないヒトに生じたPガンを調べてみたところ、ほとんどのPガンで2つの相同染色体上のA遺伝子に変異していた。このことから、PガンはAタンパク質を含むタンパク質複合体の酵素活性が完全に消失することで生じると考えられる。すなわち、A遺伝子は細胞がガン化することを防いでいるので、A遺伝子はPガンの(カ)であると考えられる。

問 1 (ア)～(カ)に適切な語句を記入せよ。

問 2 タンパク質の構造には一次構造から四次構造と呼ばれている構造があり、
下線(a)のようにいくつかの構成単位からなるタンパク質複合体の立体構造は四次構造と呼ばれている。一次構造から三次構造について解答用紙の枠内に収まるように説明せよ。

問 3 タンパク質の機能は立体構造と密接に関わっている。タンパク質は原則的に20種類のアミノ酸から構成されており、20種類のアミノ酸は塩基性のアミノ酸、酸性のアミノ酸など性質の似たものに類別することができる。以上を踏まえ、下線(b)のような現象が生じる理由を100字以内で説明せよ。

問 4 疾患Zは常染色体優性遺伝性の疾患であり、相同染色体の一方に変異したA遺伝子を持っていることで発症する。Pガンを生じるA遺伝子の変異を持つ疾患Zの家系のヒトがPガンを生じる頻度は、健常なヒトに比べて非常に高いことが知られている。その理由について200字以内で説明せよ。

〔3〕 以下の【A】～【C】の文章を読み、それぞれの問に答えよ。

【A】 ヒトでは体重の約8%を占める血液は、体内を循環して細胞にいろいろな物質を供給したり不要になった物質を取り除いたりする。これにより、からだの細胞や器官が直接接している内部環境は安定する。このように内部環境を一定に保とうとする働きを(ア)と呼ぶ。血液の重さの約55%は(イ)と呼ばれる液体で、その90%は水分でありそれ以外にタンパク質、無機塩類、グルコースなどが含まれている。残りの有形成分は、血液の凝固に関与する(ウ)、病原菌などの異物に対する免疫作用や食作用に関与する(エ)、そしてヘモグロビンを含み酸素を運搬する赤血球からなる。これらの3つの系統の血球は骨髄で産生される。

問1 上記本文中の(ア)～(エ)に適切な語句を入れよ。

【B】 血球のもととなる細胞の遺伝子に異常が生じ、それにより無制限に増殖する異常な細胞が発生することがある。その結果、異常細胞が血球の産生のある骨髄で増殖し、正常な血球の産生が抑制される。この異常細胞で、遺伝子異常をおこし、それが細胞の無制限な増殖に関与している可能性のある遺伝子S(450アミノ酸のタンパク質をコードする)について、塩基配列のうちタンパク質をコードする配列をPCR法により増幅した。正常細胞および異常細胞における遺伝子SのmRNAの塩基配列を次に示す。

	1	170	180	190
正常細胞	AUG・……	AAUGUC	GUUGUCACUU	GAGGACAAUA
異常細胞	AUG・……	AAUGUC	CUUGCCACUC	UGAGGACAAU

* 塩基配列の上の数字は遺伝子の翻訳開始位置から何塩基目であるかを示す。

問2 異常細胞では、正常細胞においてみられる遺伝子Sの何番目の塩基がどう変化しているのかを、置換、欠失、挿入のいずれかの言葉を用いて述べよ。遺伝子の異常が複数見られる場合は、すべてについて箇条書きで述べよ。

(例) ○番目のアデニンがウラシルに置換している。○番目のアデニンが欠失している。○番目にアデニンが挿入されている。

問 3 塩基配列の変化により、遺伝子 S でコードされるタンパク質のアミノ酸配列に変化が生じるかどうかについて、変化が生じない場合はなぜ生じないかを、また、変化が生じる場合はどう変わるのかを、表 1 のコドン表を参考にして「○番目のフェニルアラニンがセリンに変化する」というように述べよ。遺伝子の異常が複数見られる場合は、それぞれについて箇条書きで述べよ。さらに、これらの変化の結果、タンパク質の長さ(アミノ酸の数)が変化する場合には、変化してできるタンパク質の長さをアミノ酸の数で答えよ。

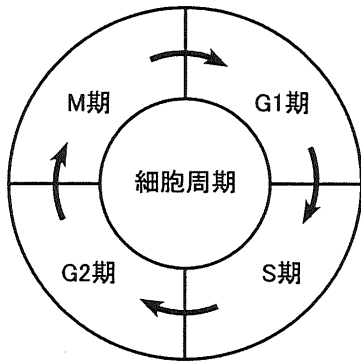
表 1 mRNA の遺伝暗号(コドン)表

U	UUU	フェニルアラニン	UCU	セリン	UAU	チロシン	UGU	システイン
	UUC	フェニルアラニン	UCC	セリン	UAC	チロシン	UGC	システイン
	UUA	ロイシン	UCA	セリン	UAA	終 止	UGA	終 止
	UUG	ロイシン	UCG	セリン	UAG	終 止	UGG	トリプトファン
C	CUU	ロイシン	CCU	プロリン	CAU	ヒスチジン	CGU	アルギニン
	CUC	ロイシン	CCC	プロリン	CAC	ヒスチジン	CGC	アルギニン
	CUA	ロイシン	CCA	プロリン	CAA	グルタミン	CGA	アルギニン
	CUG	ロイシン	CCG	プロリン	CAG	グルタミン	CGG	アルギニン
A	AUU	イソロイシン	ACU	トレオニン	AAU	アスパラギン	AGU	セリン
	AUC	イソロイシン	ACC	トレオニン	AAC	アスパラギン	AGC	セリン
	AUA	イソロイシン	ACA	トレオニン	AAA	リジン	AGA	アルギニン
	AUG	メチオニン(開始)	ACG	トレオニン	AAG	リジン	AGG	アルギニン
G	GUU	バリン	GCU	アラニン	GAU	アスパラギン酸	GGU	グリシン
	GUC	バリン	GCC	アラニン	GAC	アスパラギン酸	GGC	グリシン
	GUA	バリン	GCA	アラニン	GAA	グルタミン酸	GGA	グリシン
	GUG	バリン	GCG	アラニン	GAG	グルタミン酸	GGG	グリシン

【C】 細胞が増殖する際にはゲノム DNA を複製し、核分裂した後に細胞質分裂する、というサイクルを繰り返す。このサイクルを細胞周期と呼ぶ(図 1)。ヒトの異常細胞の増殖について詳しく調べるために以下の実験を行った。

【実験 1】 異常細胞の増殖の時間経過を調べ、図 2 に示す結果を得た。

問 4 この結果から、この細胞の細胞周期の長さが何時間であるのか答えよ。ただし観察するいずれの細胞も細胞分裂を同じ速度で行い、個々の細胞はそれぞれ独立して分裂しているものとする。



G1期: DNA合成準備期
 S期: DNA合成期
 G2期: 分裂準備期
 M期: 分裂期

図 1

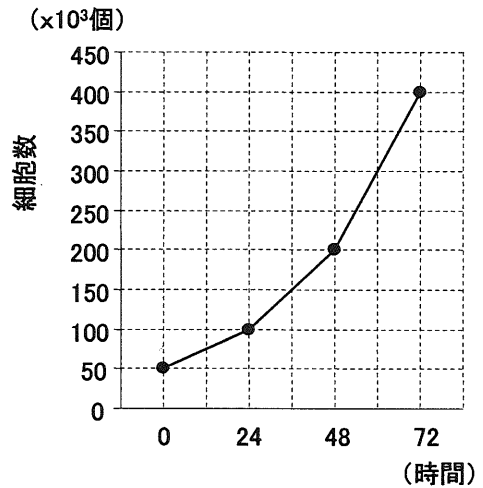


図 2

【実験 2】

これらの細胞 1 個当たりの DNA 量を測定したところ、観察した細胞の中で DNA 合成準備期(G1 期)にある細胞は全体の 32.5%，その 2 倍の DNA 量を持つ細胞は全体の 22.8% であった(図 3)。

問 5 図 2 と図 3 の結果から、1 個の細胞において、G1 期の 2 倍の DNA 量を持つ時期の開始から終了までに要する時間は何時間であるのか計算し、小数点以下第二位を四捨五入して第一位まで答えよ。また、細胞が G1 期の 2 倍の DNA 量を持つ時期は図 1 のどこであるのか答えよ。

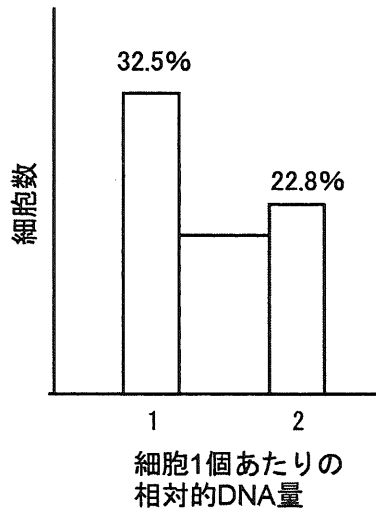


図 3

〔4〕 神経に関する以下の文章を読み、それぞれの間に答えよ。

神経細胞が刺激を受けて興奮すると、その興奮はいくつかの神経細胞を伝わっていく。神経細胞は細胞体と、そこから伸びる多数の突起からなり、枝分かれした短い突起を樹状突起、長く伸びた突起を軸索という。軸索はまわりに髓鞘があるものと、髓鞘がないものの2つに分類することができる。^(a)

刺激を受けた神経細胞はどのようにして興奮を発生し、他の神経細胞に伝えているのだろうか。神経細胞には、細胞の外側と内側で電位差があり、刺激を受けていない時は、電位は内側の方が外側に比べて低くなっている。細胞の外側の電位を0 mV とすると、細胞内は- 50 mV~- 90 mV であり、この電位を静止電位という。^(b)神経細胞に刺激が加えられると、刺激された部位で細胞膜の内側と外側の電位が瞬間的に逆転する。^(c)この時の電位変化を活動電位といい、このような活動電位の発生を興奮という。^(d)発生した興奮はさらに静止状態にある周囲の細胞膜を興奮させ、さらに次の隣接部が興奮するというようにして、興奮が軸索を伝わっていく。興奮が終わった直後の部位では、ごくわずかのあいだ刺激に反応できない状態となるため、興奮は逆戻りすることなく軸索終末まで到達し、さらに近接する別の細胞に興奮が伝達される。^(e)

問 1 下線部(a)について以下の設問に答えよ。

髓鞘がある軸索と髓鞘のない軸索では興奮の伝導速度に違いがある。どちらの軸索の方が伝導速度は速いか。どちらか一方を選んで丸で囲み、その理由を説明せよ。

問 2 下線部(b)の静止電位に関して以下の設問に答えよ。

(1) 神経細胞の静止電位は、各種イオンの神経細胞内外の濃度比と細胞膜におけるイオンの透過性により決定される。イオン(X)を透過させるイオンチャネルにおいて、イオンの移動が見かけの上で停止する電位を平衡電位と呼び、この電位 E_x (単位はミリボルト ; mV) は次の式で表される。

$$E_x (\text{mV}) = 58 \log_{10} \frac{[X]_o}{[X]_i}$$

$[X]_o$ と $[X]_i$ はそれぞれ細胞外および細胞内のイオン濃度 (mM) を示す。

細胞膜ではナトリウムイオンよりもカリウムイオンの透過性が高いことが知られており、静止状態の細胞膜は、カリウムイオンをほぼ選択的に透過させているとみなすことができる。カリウムチャンネルだけが開いている場合の膜電位 (mV) を計算し、小数点第一位を四捨五入して整数で答えよ。細胞膜にはナトリウムチャンネルとカリウムチャンネルが存在し、神経細胞内外のイオン組成は表 1 の通りであると仮定する。なお、計算に必要ならば、 $\log_{10} 2 = 0.30$, $\log_{10} 3 = 0.48$ を使用せよ。

表 1 神経細胞内外のイオン組成

イオン	細胞内濃度 (mM)	細胞外濃度 (mM)
ナトリウム	15	135
カリウム	120	4

- (2) 実験的に静止電位を求めたところ、(1)で求めた膜電位よりも少し 0 に近い負の値を示していた。それはどのような理由によると考えられるか説明せよ。

問 3 下線部(c)の活動電位の発生に関して以下の設問に答えよ。

1本の軸索および多数の軸索からなる神経(軸索の束)に強さの異なる電気刺激(S1, S2)を与えて興奮の大きさを測定した。1本の軸索に電気刺激(S1, S2)を与えたところ、図1左のような応答が得られた。また、軸索の束に同様な電気刺激を与えたところ、電気刺激S1では図1右のような応答が得られた。この時、電気刺激S2ではどのような応答が得られたと考えられるか。電気刺激S2で生じた応答を図に示し、その理由を簡潔に説明せよ。ただし、実験で使用した全ての軸索が髄鞘を有し、電気刺激S1は軸索の束の興奮を引き起こす閾値であったと仮定する。

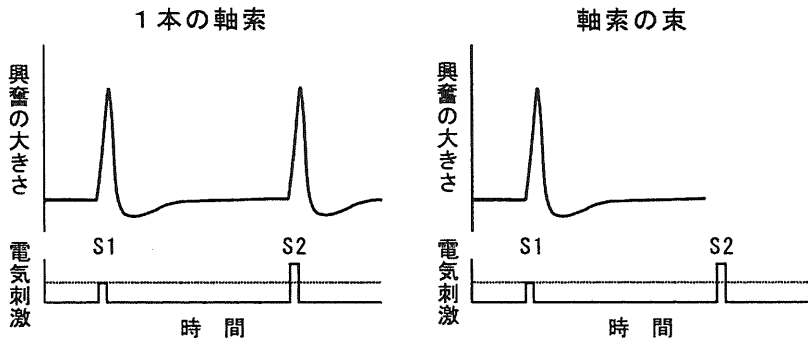


図 1

問 4 下線部(d)の興奮の伝導に関して以下の設問に答えよ。

実験的に取り出した1本の軸索において、離れた2カ所を刺激してそれぞれの場所で活動電位を発生させると、刺激点の中間点で出会った2つの活動電位はどのように考えられるか。その理由を含めて120字以内で説明せよ。

問 5 下線部(e)について以下の設問に答えよ。

- (1) その部位の構造を何というか、記せ。
- (2) (1)によって複数の神経細胞からなるネットワークが構成される。図2のA点を人工的に電気刺激して生じさせた興奮は、B点では図3の(ア)のように観察された。ではC, D, E点ではそれぞれどのように観察されるか。図3の(イ)~(オ)の中から1つずつ選び、その理由を簡潔に説明せよ。なお全ての伝達は興奮性である。

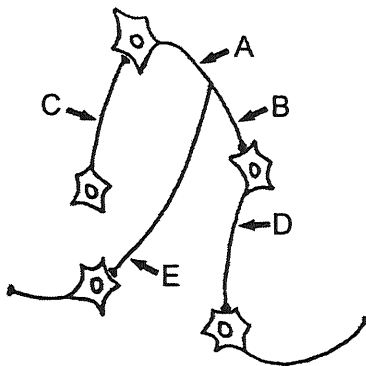


図 2

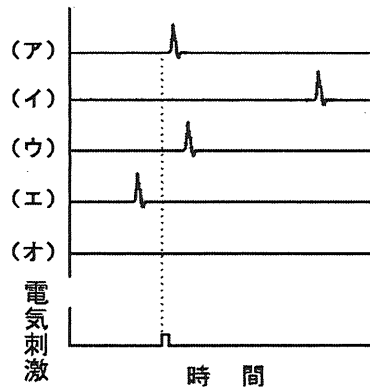


図 3