

### 生物 問題 I

生体で見られる化学反応は酵素と呼ばれる触媒によって穏やかな条件においても速やかに進行する。酵素は主にアミノ酸が多数つながったポリペプチドで構成されている。ポリペプチドはアミノ酸のアミノ基と他のアミノ酸のカルボキシル基が結合し（ア）で表されるペプチド結合でつながっている。ポリペプチドが形成されたのち、アミノ酸間の相互作用によりポリペプチドが折りたたまれ固有の立体構造をとる。また、硫黄を含むアミノ酸であるシステインどうしは（イ）結合により強く結びつけられ立体構造の維持に重要な働きをする。酵素にはその活性に（ウ）と呼ばれる比較的遊離しやすい低分子物質やATPのエネルギーが必要なものもある。酵素を構成するポリペプチドの一次構造は遺伝子にコードされている。そのため、バイオテクノロジーを使って、遺伝子に変異を加え、任意のアミノ酸を別のアミノ酸に変えることが可能である。そこで、この手法を用いてアミノ酸を変化させ、酵素の活性がどのように変化するか、野生型の酵素Zと変異酵素Z1、Z2、Z3を用いて下記の実験1～4を行った。ただし、酵素Zは物質Aから物質Bを合成するために必須の酵素であり、それ以外に物質Bを合成する経路はないものとする。また、野生型の遺伝子z、変異を加えた変異遺伝子z1、z2、z3からはそれぞれ遺伝子産物である野生型の酵素Z、変異酵素Z1、Z2、Z3が合成される。

[実験1] 酵素Zの機能を詳しく調べるため、バイオテクノロジーを使って変異を加えた変異酵素遺伝子z1、z2、z3を作製した。変異酵素Z1は240番目のアミノ酸を、Z2は75番目のアミノ酸をそれぞれ別のアミノ酸に変え、Z3は155番目のアミノ酸に対応したコドンを終止コドンに変えた。（図1）

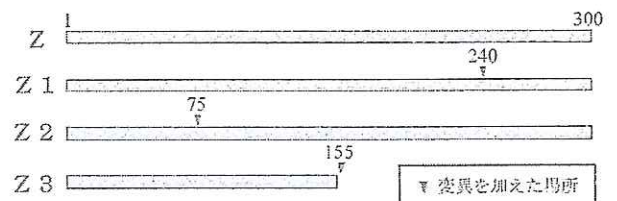


図1 酵素Zと変異酵素Z1、Z2、Z3

[実験2] 酵素Zを欠損した大腸菌に野生型の遺伝子zおよび変異遺伝子z1、z2、z3を導入し、得られたクローンからそれぞれ野生型の酵素Zおよび変異酵素Z1、Z2、Z3を精製し、同じモル濃度になるよう調整した。得られた酵素Zおよび変異酵素Z1、Z2、Z3をそれぞれ同量ずつ使って、物質Aの濃度と酵素反応速度の関係を調べたところ、図2のグラフが得られた。ただし、酵素Zと変異酵素Z3は同じ結果が得られたため、一本の実線で表してある。

[実験3] 実験2で得られた同量の酵素Zおよび変異酵素Z3に物質Aを加えて反応時間と物質Bの生成量の関係をそれぞれ調べたところ、酵素Zと変異酵素Z3との間に差はなく、図3の破線のグラフになった。

[実験4] 実験3と同じ条件で、さらに酵素Yを加えて実験を行い、反応時間と物質Bの生成量の関係をそれぞれ調べたところ、図3の実線の結果が得られた。ただし、酵素Yは物質Bを物質Cに変える酵素であり、酵素Z、Yは酵素の特異性が異なり互いに直接影響を及ぼさないものとする。

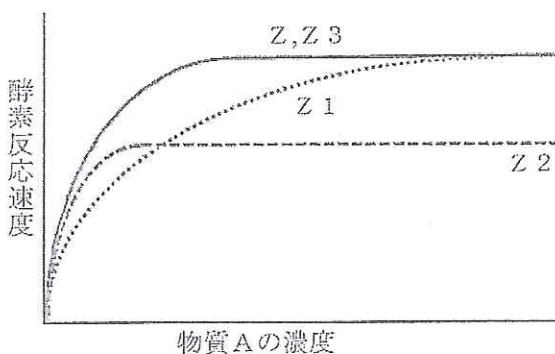


図2 物質Aの濃度と酵素反応速度の関係

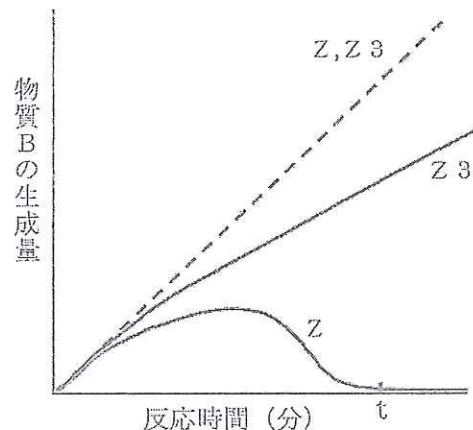
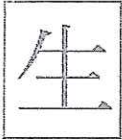


図3 反応時間と物質Bの生成量の関係



## 生 物

問1. 本文中の (ア) ~ (ウ) に最も適切な化学式 (構造式) または語句を入れよ。

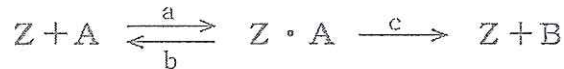
問2. タンパク質について次の (1) ~ (5) の記述うち、正しいものをすべて選び、番号で答えよ。

- (1) ヒトは全アミノ酸のうち8種類のアミノ酸は体内で合成できないため食物から摂取する必要がある
- (2) タンパク質の機能はタンパク質に含まれるアミノ酸の種類とその割合によって決まる
- (3) すべてのタンパク質は約90℃の熱で変性してしまい、そのあと温度を下げてもその活性はもどらない
- (4) タンパク質を構成しているアミノ酸は20種類あり、その種類は側鎖によって決まる
- (5) ポリペプチドの一部がらせん状になったり、平行に並んでジグザグ状になったりする構造を三次構造という

問3. 本文中の下線部について次の (1) ~ (5) の記述のうち、正しいものをすべて選び、番号で答えよ。

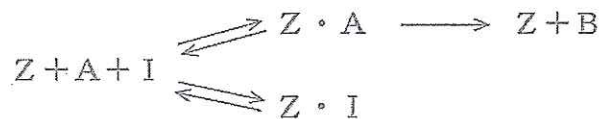
- (1) あるアミノ酸に対応しているコドンの3つの塩基に1つだけ別の塩基を加えると、その部分のアミノ酸だけが変わる
- (2) あるアミノ酸に対応しているコドンの3つの塩基のうち1つだけ除くと、その部分のアミノ酸だけが変わる
- (3) あるアミノ酸に対応しているコドンの3つの塩基のうち2つ以上の塩基を変えないとアミノ酸は変わらない
- (4) あるアミノ酸に対応しているコドンの3つの塩基のうち2番目の塩基を変えても終止コドンにはならない
- (5) あるアミノ酸に対応しているコドンの3つの塩基のうち3番目の塩基を変えてもアミノ酸が変わらない場合がある

問4. 酵素Zが物質Aを物質Bに変える反応式は以下のように表すことができる。



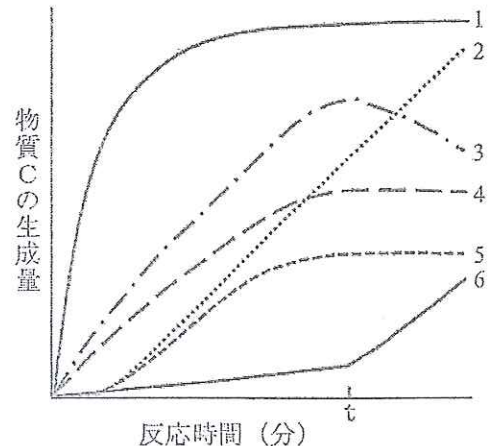
- (1) Z・Aは酵素Zと物質Aが結合していることを表している。Z・Aは何と呼ばれているか、名称を記せ。
- (2) 図2のグラフから、変異酵素Z1とZ2のそれぞれの変異が酵素活性に与えた影響は反応式中のどの反応か。a~cの中から1つずつ選び記号で答えよ。また、その変化について適切な説明を(ア)~(カ)より選び記号で答えよ。  
(ア) ZとAが結合できなくなった (イ) ZとAとの結合速度が遅くなった  
(ウ) Z・AからZとAに解離できなくなった (エ) Z・AからZとAへの解離速度が遅くなった  
(オ) Z・AからZとBへの反応速度が速くなった (カ) Z・AからZとBへの反応速度が遅くなった

問5. 酵素の働きを阻害する物質 (阻害剤) にはさまざまな種類がある。以下の反応式で表すことができる阻害剤はどのように酵素Zの活性を阻害しているのか説明せよ。ただし、阻害剤はIで表記されている。



問6. 実験3と実験4の結果 (図3) をもとに下記の問に答えよ。

- (1) 実験4において、酵素Zおよび変異酵素Z3を用いた時の反応時間と物質Cの生成量の関係のグラフを作成するとどのようになると考えられるか。右の図中の1~6から適切なものをそれぞれ1つずつ選び番号で答えよ。
- (2) 実験3では酵素Zと変異酵素Z3の物質Bの生成量は同じであったにも関わらず、実験4では酵素Zを用いた場合はt分後に物質Bがなくなっていた。物質Bがなくなってしまった理由を酵素Zの性質を考慮して記せ。
- (3) 実験の結果から変異酵素Z3が欠失している部分 (155~300番目のアミノ酸で構成されている部分) は、酵素Zではどのような役割をしていると考えられるか、記せ。

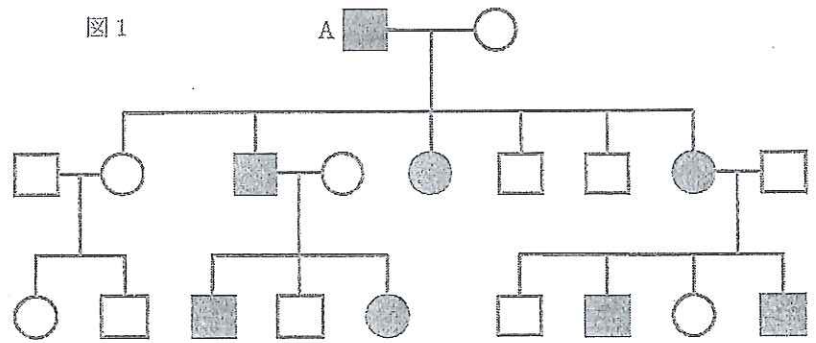




生物 問題 II

突然変異について、次の【A】と【B】に答えよ。

【A】 図1は遺伝性の難聴の家系を示し、男性は四角、女性は丸で、健常者は白ぬき、難聴の人は黒ぬきで示してある。図1のAで示す男性の両親は健常者で、その2人のいずれかの生殖腺（精巣または卵巣）で配偶子が形成された際に、難聴を引き起こす突然変異が生じ、それがこの家系の始まりとなった。次の（ア）～（キ）の文の中から、最も適切なものを2つ選び記号で記せ。



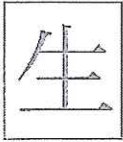
- （ア）この突然変異は優性である
- （イ）この突然変異は劣性である
- （ウ）この突然変異は優性とも劣性とも言えない
- （エ）この突然変異は常染色体上に起こった
- （オ）この突然変異はX染色体上に起こった
- （カ）この突然変異はY染色体上に起こった
- （キ）この突然変異はミトコンドリアDNA上に起こった

【B】 キイロシヨウジョウバエの野生型（正常型）の眼の色はレンガ色である。これに対して、遺伝子の突然変異によって生じた変異体に、白色の眼のハエがある。これはモーガンによって最初に発見されたが、その後の研究により、中間の色の眼をもつ変異体が多数みつき、深紅色、ルビー色、朱色、サンゴ色、アンズ色、淡黄褐色、淡紅色と呼ばれる。白色も含めたこれら8つの表現型は、すべて劣性である。つまり突然変異が生じた遺伝子についてホモ接合体である場合に限って、眼の色がレンガ色以外の色になる。これらの突然変異が同一の遺伝子座に起こったものか、それとも違う遺伝子座に起こったものかを調べるために、8つの変異体のホモ接合体どうしを相互に交雑して、子（雑種第一代 F<sub>1</sub>）の眼の色を調べた。結果は表1に、野生型のレンガ色の眼は（+）で、それ以外の色の眼は（-）で示してある。以下の間に答えよ。ただし、親の雌雄の表現型を入れ替えることは結果に影響を与えず、また、子（F<sub>1</sub>）や孫（F<sub>2</sub>）の表現型には雌雄で差がないものと仮定する。

表1

	白色	深紅色	ルビー色	朱色	サンゴ色	アンズ色	淡黄褐色	淡紅色
白色	-	+	+	+	-	-	-	+
深紅色		-	+	+	+	+	+	+
ルビー色			-	+	+	+	+	+
朱色				-	+	+	+	+
サンゴ色					-	-	-	+
アンズ色						-	-	+
淡黄褐色							-	+
淡紅色								-

問1. 白色の眼のハエとサンゴ色の眼のハエを交雑させたところ、レンガ色の眼をもつ子（F<sub>1</sub>）は生じなかった。子（F<sub>1</sub>）どうしをかけあわせたとき、孫（F<sub>2</sub>）にあらわれる表現型の分離比をもとめよ。ただし、分離比は（レンガ色）：（レンガ色以外）で答えよ。



## 生 物

- 問2. 白色の眼の原因となる突然変異が生じた遺伝子を遺伝子 W とする。このとき、遺伝子 W に突然変異が生じたことによって起こった眼の色の表現型は白色を除いて全部で何種類あるか。
- 問3. 眼の色を決める遺伝子座は全部で何種類あるか。ただし、白色の眼の原因となる突然変異が生じた遺伝子を遺伝子 W として、遺伝子 W を含めたすべての遺伝子座の数を記せ。
- 問4. あらたにサクランボ色の眼のハエが見つかり、それは表1に示した変異体と同じく劣性であった。サクランボ色の眼のハエを白色の眼のハエと交雑させたところ、レンガ色の眼をもつ子 (F<sub>1</sub>) は生じなかった。サクランボ色の眼のハエを表2に示すハエとそれぞれ交雑させた場合、その子 (F<sub>1</sub>) はどのような色の眼をもつか。次の表2の (ア) ~ (カ) に、レンガ色の眼は (+) で、それ以外の色の眼は (-) で示し、表を完成させよ。

表2

	深紅色	ルビー色	朱色	サンゴ色	アズ色	淡黄褐色
サクランボ色	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)	(オ)	(カ)

- 問5. 問4で、サクランボ色の眼のハエを白色の眼のハエと交雑させたところ、子 (F<sub>1</sub>) はすべてサクランボ色の眼であった。このとき次の (ア) ~ (ス) の文の中から、考え方として適切なものを4つ選び記号で記せ。
- (ア) 白色の眼の遺伝子からつくられるタンパク質は、酵素活性を持っていない
  - (イ) サクランボ色の眼の遺伝子からつくられるタンパク質は、酵素活性を持っていない
  - (ウ) 白色の眼の遺伝子からつくられるタンパク質は、眼を白くする酵素活性を持っている
  - (エ) 白色は、サクランボ色に対して劣性である
  - (オ) サクランボ色は、白色に対して劣性である
  - (カ) サクランボ色と白色のあいだには、優性と劣性の関係は存在しない
  - (キ) 子 (F<sub>1</sub>) どうしをかけあわせると、孫 (F<sub>2</sub>) はすべてサクランボ色である
  - (ク) 子 (F<sub>1</sub>) どうしをかけあわせると、孫 (F<sub>2</sub>) の総数の約 16 分の 1 は白色である
  - (ケ) 子 (F<sub>1</sub>) どうしをかけあわせると、孫 (F<sub>2</sub>) の総数の約 16 分の 7 は白色である
  - (コ) 子 (F<sub>1</sub>) どうしをかけあわせると、孫 (F<sub>2</sub>) の総数の約 4 分の 1 は白色である
  - (サ) サクランボ色の眼の遺伝子と白色の眼の遺伝子は、同じ染色体上に連鎖して存在する
  - (シ) サクランボ色の眼の遺伝子と白色の眼の遺伝子は、異なる染色体上に存在する
  - (ス) サクランボ色の眼の遺伝子と白色の眼の遺伝子は、互いに対立遺伝子である
- 問6. 問4で、サクランボ色の眼のハエと淡紅色の眼のハエを交雑させたところ、子 (F<sub>1</sub>) はすべてレンガ色の眼であった。子 (F<sub>1</sub>) どうしをかけあわせたとき、孫 (F<sub>2</sub>) にあらわれる表現型の分離比をもとめよ。ただし、遺伝子間の位置関係により表現型の分離比は2通り予想できる。分離比は (レンガ色) : (レンガ色以外) として2通りの分離比をもとめよ。また、染色体の間の乗換え (交差) による遺伝子の組換えは起こらないものと仮定する。

生物 問題 III

動物の浸透圧調節について、次の【A】と【B】に答えよ。

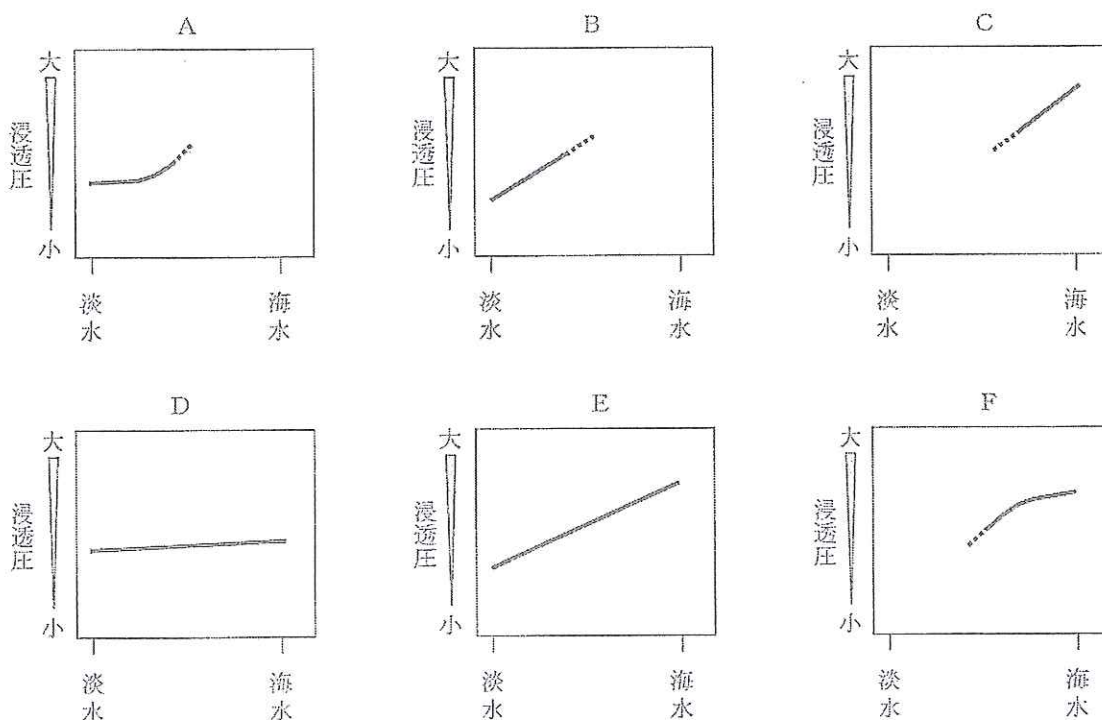
【A】生物は海で誕生し、生活環境を水中から陸上へと広げ、体制も単細胞から多細胞へと複雑にしてきた。それとともに体内の細胞を取りまく環境を一定に保つ仕組みを獲得した。体内の細胞は体液に浸されていて、環境から直接の影響を受けにくいようになっている。下のグラフは種々の動物の外界の浸透圧の変化に対する、体液の浸透圧の変化を表したものである。グラフを参考にして以下の各問に答えよ。

問1. 動物の進化過程において、水中生活から陸上生活に移り変わるときに、動物が直面したいくつかの困難な問題点がある。それは、( a ), ( b ), ( c ), 浸透圧調節能力の獲得, 老廃物の処理方法の改変, 重力の作用の増大に対する体の支持構造の確立, 急激な温度の変化に対する対応などである。a, b, cに入れるべき事柄は何か、それぞれ簡潔に記せ。

問2. 問1の下線部の老廃物の処理方法の改変について、両生類(カエル)の個体発生と関連させて述べよ。

問3. 次の(a)～(e)の説明に該当するグラフを下のA～Fから1つずつ選び記号で記せ。

- (a) 高塩濃度では浸透圧を調節しなくても生きられるが、淡水中では生きられない
- (b) 低塩濃度では浸透圧調節ができるが、海水中では生きられない
- (c) 高塩濃度では浸透圧調節ができるが、淡水中では生きられない
- (d) 低塩濃度では浸透圧を調節しなくても生きられるが、海水中では生きられない
- (e) 淡水から海水までの塩濃度の変化に対して浸透圧調節ができる





問4. 次の(1)～(10)の記述のうち、海水魚だけに当てはまり、淡水魚には当てはまらないのはどれか、すべて選び番号で記せ。

- (1) 周囲の水分を飲まない
- (2) 周囲の水分を飲んで取り入れる
- (3) えらから無機塩類を積極的に取り込む
- (4) えらから無機塩類を積極的に排出する
- (5) 腎臓では水の再吸収が抑制され、無機塩類の再吸収が促進される
- (6) 腎臓では水の再吸収が抑制され、無機塩類の再吸収も抑制される
- (7) 腎臓では水の再吸収が促進され、体液よりも低張の多量の尿が排出される
- (8) 腎臓では水の再吸収が促進され、体液よりも低張の少量の尿が排出される
- (9) 腎臓では水の再吸収が促進され、体液と等張の少量の尿が排出される
- (10) 腎臓では水の再吸収が促進され、体液と等張の多量の尿が排出される

【B】ヒトの腎臓は背側に一対あり、血液中から老廃物をろ過して尿をつくるはたらきをしている。ろ過は腎小体で行われる。腎小体の糸球体の毛細血管に腎動脈から血液が送り込まれ、血しょう中の一部の成分を除いた残りがボーマン嚢へとろ過されて原尿となる。原尿中の必要な成分は細尿管(腎細管)を通る間に再吸収される。水や無機塩類はろ過された後に大部分が再吸収されるが、再吸収される量はいつも一定ではない。ナトリウムの再吸収は(1)から分泌される(2)により調節されており、水の再吸収は(3)から分泌される(4)により調節されている。なお、下の表はヒトの血しょう、原尿、尿の成分を比較したものである。以下の各問に答えよ。ただし、計算問題の答えは小数点以下を切り捨てて示せ。

問1. 上の文中の(1)～(4)に適切な語句を入れよ。

問2. 下の表からみて、尿の成分で最も濃縮された物質について、その濃縮率をもとめよ。

問3. 下の表からカリウムの再吸収の割合(%)をもとめよ。ただし、クレアチニンは再吸収されないものとする。

表

成分	血しょう	原尿	尿
グルコース	0.1	0.1	0
ナトリウム	0.32	0.32	0.35
カリウム	0.02	0.02	0.15
尿素	0.03	0.03	2
クレアチニン	0.001	0.001	0.075

g/100ml

生物 問題 IV

【A】 イカは生物界でも最大級の神経繊維をもつ。イカの巨大軸索は長さ10cmにおよび、直径は哺乳類の軸索の100倍以上、鉛筆の芯ほどもある(1)。1930年代に、科学者は神経細胞の電気生理学的な研究にイカの巨大軸索を利用し始めた。比較的大きいおかげで軸索中に電極が挿入でき、電気的活動の測定や、活動電位の記録ができたからである。活動電位の発生と伝導にはどんなイオンが重要なのか、活動電位が通過するとき膜の透過性はどうか、この膜電位の変化がどのようにしてイオンの透過性を調節するのかなど、ニューロンの膜の電気伝導性についてのさまざまな問題に、この実験系を使って取り組むことができた。イカの軸索は非常に大きくて丈夫なので、練り歯磨きをチューブから押し出すようにして細胞質を軸索から取り除き、空になった軸索を $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ などの純粋溶液で満たすこと(灌流、かんりゅう)ができる。外液のイオンは灌流液にはかかわりなくさまざまに変えられる。一連の実験によって、 $\text{Na}^+$ と $\text{K}^+$ の濃度が細胞内外の自然の濃度に近いとき(2)に限って、軸索は正常な活動電位を生じることが発見された。図1はその1つで、外液の $\text{Na}^+$ の濃度と活動電位の関係を示す実験結果である。こうして、活動電位に必要な要素は、細胞膜、 $\text{Na}^+$ と $\text{K}^+$ 、膜をはさんだこれらのイオンの濃度勾配だと分かった。一方、外液の $\text{K}^+$ 濃度を変えることにより静止状態の膜電位は $\text{K}^+$ の平衡電位に近いこと、つまり静止状態の膜は $\text{K}^+$ に対して透過性があり、 $\text{K}^+$ は膜のチャネルを通り抜けて漏れていることが明らかになった。なお、これらの実験系では代謝エネルギー源など、ほかの要素はすべて灌流によって除かれている(3)。以下の各問に答えよ。

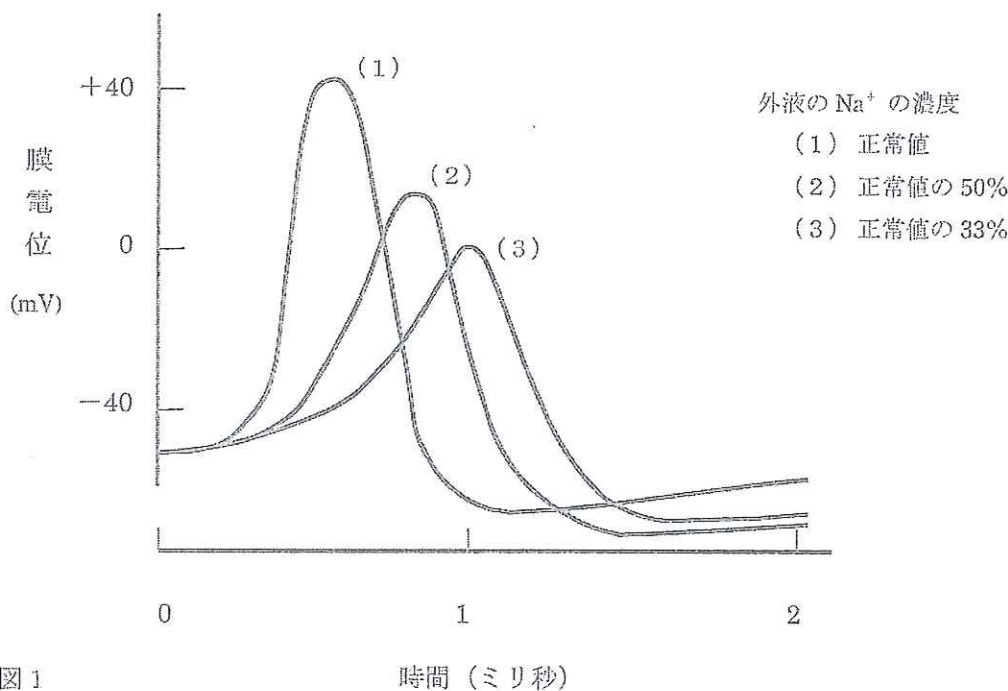


図1 時間 (ミリ秒)

- 問1. 動物にとって太い軸索は細い軸索に比べてどのような利点があるか。
- 問2. 下線部(1)が示すように、哺乳類の軸索はイカの軸索に比べると格段に細いが、哺乳類は細い軸索の不利な側面をどのような方法で補っているか。
- 問3. 下線部(2)の $\text{Na}^+$ と $\text{K}^+$ の濃度が細胞内外の自然の濃度に近いときとは、どのような状態のことを指すのか。
- 問4. 図1で(A)外液の $\text{Na}^+$ 濃度を変えると変化するのとは何か。また(B)外液の $\text{Na}^+$ 濃度を変えても変化しないのとは何か。
- 問5. 下線部(3)が示すように、代謝エネルギー源がすべて除かれているにもかかわらず、活動電位が発生するのはなぜか。
- 問6. 興奮していない静止状態にある細胞で、細胞膜をはさんで内外に電位差が生じるのはなぜか。

【B】 イカの神経細胞内に  $^{22}\text{Na}$  (Na の放射性同位体) で標識した NaCl 溶液を注入し、時間を追って外液中の放射能の値を測定することにより、細胞内から細胞外へ輸送される  $\text{Na}^+$  の量を調べた。下の図 2 に示すように、外液に電子伝達系の阻害剤である KCN (シアン化カリウム、青酸カリ) を加えると、 $\text{Na}^+$  の輸送速度は著しく減少したが、細胞内に ATP を注入すると、 $\text{Na}^+$  の輸送速度が一時的に増加した。しかし、ATP を外液に加えた場合には  $\text{Na}^+$  の輸送速度の増加は起こらなかった。また、外液に添加する KCN の量を 2 倍に増やして同じように実験してみたところ、 $\text{Na}^+$  の輸送速度はやはり著しく減少したが、 $\text{Na}^+$  の輸送を完全に止めることはできなかった。

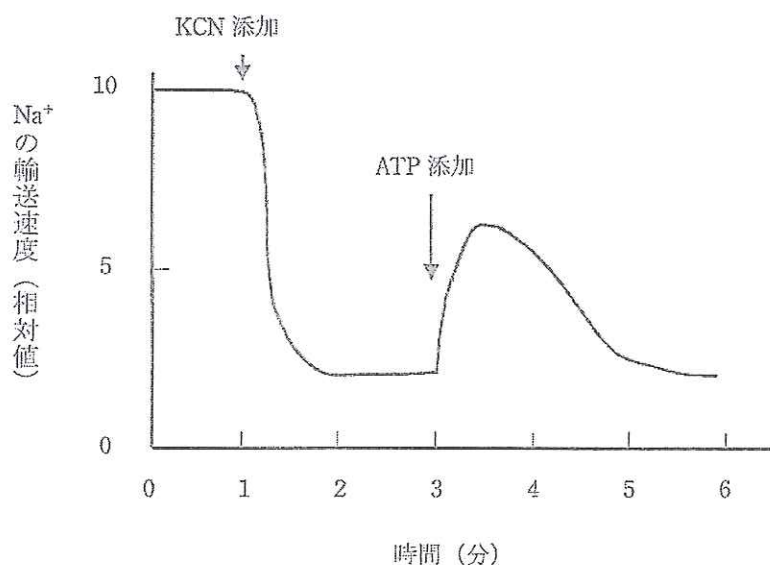


図 2

- 問 1. イカの神経細胞で細胞内から細胞外へ  $\text{Na}^+$  の輸送を行っているものは何か。
- 問 2. 問 1 のような輸送は一般に何と呼ばれているか。
- 問 3. イカの神経細胞で KCN を添加したことにより、 $\text{Na}^+$  の輸送速度が低下したのはなぜか。
- 問 4. イカの神経細胞で ATP を細胞内に注入すると  $\text{Na}^+$  の輸送速度が増加するが、外液に ATP を加えても増加しないのはなぜか。
- 問 5. イカの神経細胞で添加する KCN の量を増やしても、 $\text{Na}^+$  の輸送を完全に止めることができないのはなぜか。