

## 生物問題

(解答はすべて生物解答用紙に記入すること)

〔1〕 神経細胞どうしがつながっていく仕組みを明らかにするための実験を行った。

以下の文章を読み、問1～3に答えよ。

生体内で神経細胞は一般に特定の神経細胞とつながっている。たとえば、ニワトリの網膜の耳側にある神経細胞は、脳の視蓋<sup>がい</sup>という部分の前半部とつながっており、網膜の鼻側にある神経細胞は、視蓋の後半部とつながっている(図A)。

この仕組みを知る目的で、次のような実験を行った。図Bのように、網膜の耳側にある神経細胞を取り出して容器の左端におく。容器のそれ以外の部分には視蓋の前半部と後半部の組織をそれぞれすりつぶした成分を、帯状に塗っておく。この状態で1週間(軸索が充分伸びるのに必要な期間)培養した後、軸索の伸び具合を顕微鏡で観察した。

〔実験1〕 容器に何も塗らなかつたところ、耳側神経細胞は軸索を伸ばさなかつた(図B1)。

〔実験2〕 容器に視蓋前半部成分を塗った帯と、何も塗らない帯とを作つたところ、耳側神経細胞は視蓋前半部成分を塗った帯に軸索を伸ばした(図B2)。

〔実験3〕 容器に視蓋後半部成分を塗った帯と、何も塗らない帯とを作つたところ、耳側神経細胞は視蓋後半部成分を塗った帯に軸索を伸ばした(図B3)。

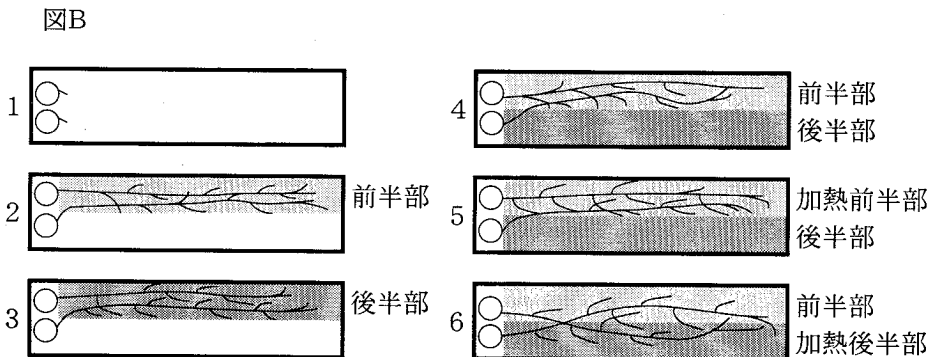
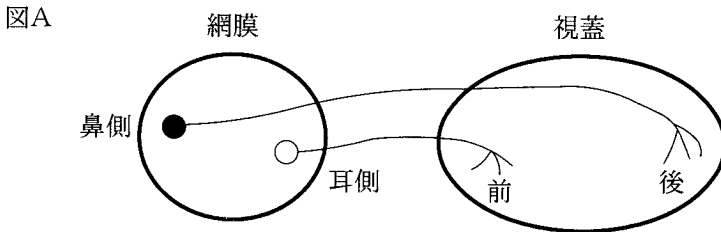
〔実験4〕 容器に視蓋前半部成分を塗った帯と、視蓋後半部成分を塗った帯とを作つたところ、耳側神経細胞は視蓋前半部成分を塗った帯を選択し、軸索を伸ばした(図B4)。

〔実験5〕 容器に視蓋前半部成分を100℃で加熱してから塗った帯と、視蓋後半部成分を塗った帯とを作つたところ、耳側神経細胞は視蓋前半部加熱後成分を塗った帯を選択し、軸索を伸ばした(図B5)。

〔実験6〕 容器に視蓋前半部成分を塗った帯と、視蓋後半部成分を100℃で加熱してから塗った帯とを作ったところ、耳側神経細胞はどちらの帯にも軸索を伸ばした(図B6)。

問1 視蓋には耳側神経細胞の軸索の伸長を助ける物質が含まれていると判断してよいか。以下の選択肢から正しいものを1つ選べ。

- (1) 視蓋の前半部と後半部いずれにも神経細胞の軸索の伸長を助ける物質があり、それは100℃の加熱によって働きを失う。
- (2) 視蓋の前半部と後半部いずれにも神経細胞の軸索の伸長を助ける物質があり、それは100℃の加熱によって働きを失わない。
- (3) 視蓋には神経細胞の軸索の伸長を助ける物質はない。
- (4) 視蓋前半部にのみ神経細胞の軸索の伸長を助ける物質があり、それは100℃の加熱によって働きを失う。
- (5) 視蓋後半部にのみ神経細胞の軸索の伸長を助ける物質があり、それは100℃の加熱によって働きを失わない。



白丸は網膜耳側神経細胞の神経細胞体

問 2 網膜耳側神経細胞の軸索に視蓋前半部を選択させる物質は、視蓋のどこに含まれていると考えられるか。また、その物質のどのような働きによって、選択が起こると考えられるか。簡潔に記せ。

問 3 容器に視蓋前半部成分を 100℃ で加熱してから塗った帯と、視蓋後半部成分を 100℃ で加熱してから塗った帯とを作った場合、網膜耳側神経細胞はどのように軸索を伸ばすと予想されるか。解答用紙の図の中に、一週間後の軸索の伸び具合を描け。

〔2〕 細胞分画に関する以下の文章と実験を読み、問1～3に答えよ。

動物の細胞を電子顕微鏡で観察すると、様々な細胞内構造体が存在していることがわかる。これらの構造体は、大きさや密度の違いにより順次分離することができる。この分離操作を細胞分画と言う。

〔実験1〕 ラットの肝臓を等張のショ糖液中でよくすりつぶした後、ガーゼでろ過し、ろ液をプラスチック製試験管に移した。遠心分離器に試験管をセットし、まず、毎分2,000回転で10分間遠心すると、ろ液は図1に示したように上澄と沈殿に分離した。次に、この上澄を新たな試験管に移し、毎分12,000回転で10分間遠心し、ふたたび上澄と沈殿を得た。2回目の上澄を毎分30,000回転で60分間遠心し、さらに上澄と沈殿を得た。3回の遠心操作で得た沈殿(1回目から順に沈殿1～3と呼ぶ)と最終回の上澄(上澄3)について、成分を分析するとともに酵素活性を測定し、表1にまとめた。

問1 表1の結果から考え、実験1で分離した沈殿1と沈殿2に含まれる主要な構造体の名称を1つ書け。また、沈殿3に含まれる2種の主要な構造体の名称を書け。

問2 実験1の細胞分画は、4℃で行った。なぜ、低温で行わなければならないと思うか。酵素やタンパク質の性質をもとに考え理由を述べよ。

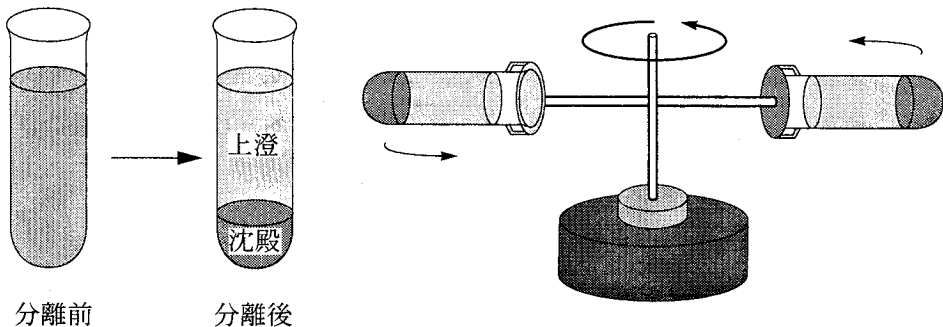


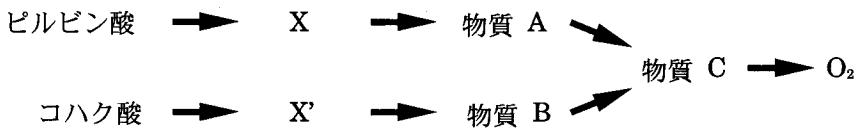
図1 遠心分離器により上澄と沈殿に分離している様子

表1 細胞分画によって得た沈殿と上澄の分析結果(%)

	DNA 量	RNA 量	グルコースの分解活性	コハク酸脱水素酵素の活性	タンパク質の合成活性
沈殿 1	99	10	10	14	7
沈殿 2	1	4	—	79	8
沈殿 3	—	67	—	2	69
上澄 3	—	19	90	5	16

表中の“—”は検出されなかったことを表す。

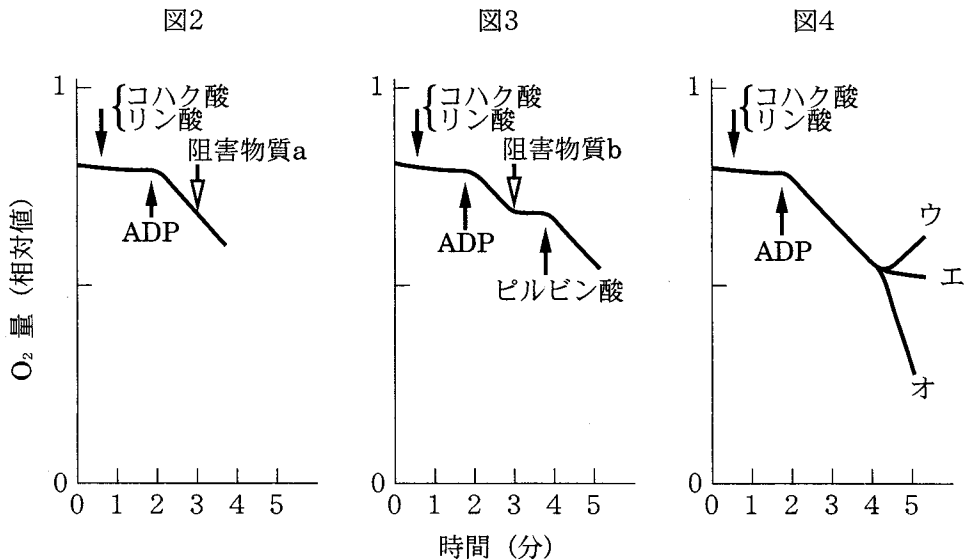
〔実験2〕 沈殿2を等張の緩衝液中でよくかき混ぜ、構造体を均一に懸濁した後、この液を酸素(O<sub>2</sub>)測定用の小容器に入れた。少し時間が経ってから、ともに十分量のコハク酸とリン酸を図2～4の黒矢印のところで加えた。次に少量のアデノシン二リン酸(ADP)を黒矢印のところで加えた。空気中のO<sub>2</sub>が混入しないようにして、溶液中のO<sub>2</sub>量が時間の経過とともにどのように変化するかを測定すると、ADPを加えた時にO<sub>2</sub>量が著しく減少した。これは、次の



2つの経路のうちで、コハク酸から始まる経路を通して、水素(H)が伝達され易くなるためである。ピルビン酸やコハク酸に脱水素酵素が作用して生じた水素(H)は、アであるXやX'にまず結合し、続いて物質A～Cに受け渡され、最終的にO<sub>2</sub>と結合しイを生じる。この水素伝達の間エネルギーが取り出される。

図2と図3は、物質A～Cのいずれかに作用して水素伝達を阻害する異なる阻害物質 a および阻害物質 b を、白抜き矢印のところそれぞれ十分量加えて O<sub>2</sub> 量をさらに測定した結果である。図3では続いてピルビン酸を加えた効果も調べた。図4は、ADPを加えてからそのまま継続して測定を行った結果である。

なお、測定は 20℃ で行い、図2～4の黒矢印と白抜き矢印のところに加えた物質は短時間でよく混じり合うようにした。また、実験中に構造体がこわれたりすることはないものとする。



問 3 実験 2 の説明を読み、以下の(1)～(4)に答えよ。

- (1)  と  に適切な語句を入れよ。
- (2) 水素伝達の間に取り出されたエネルギーは、ある化合物に蓄えられる。  
この化合物の名称を記せ。
- (3) 図2と図3の結果から、阻害物質 a と阻害物質 b は、それぞれ A, B, C のうちのどの物質に作用するか答えよ。
- (4) 図4において、O<sub>2</sub> 量はどのように変化すると考えられるか。図中の3つの実線ウ～オから一つ選び、理由とともに答えよ。

〔3〕 マウス交配実験に関する以下の文章を読み、問1～3に答えよ。

クローン病とは、腸での慢性の炎症のため下痢や血便などの症状を起こす原因不明の病気である。以前よりこの病気の原因については、遺伝的要因があることが知られていたが、最近ヒト第16番染色体にこの病気にかかりやすくしている遺伝子が存在することが分ってきた。

このような病気の原因を調べるためには、しばしばこの病気と同様の症状を示すモデル動物を見つけ、このモデル動物を使って研究していくことが重要になる。ある研究室ではヒトのクローン病によく似た下痢や血便などの症状を起こし、腸の組織に慢性の炎症像を示すマウスの集団を見いだした。そこで、このマウスどうしの交配を重ねて、純系のX系統マウスを樹立した<sup>(注)</sup>。

[実験1] このX系統のマウスと病気を起こさない他の純系マウス(Y系統)を交配させたところ、F1は全て下痢・血便を起こさなかった。ついでF1マウスどうしを交配させたF2マウスでは、約4分の1が下痢・血便を起こした。このような症状が出現する頻度にオス・メスの性差はなかった。

X系統マウスに病気を起こす原因となっている遺伝子の位置を、遺伝子の連鎖を解析することによって決定することにした。マウスの第8番染色体は、ヒト第16番染色体によく似た部分がある。マウス第8番染色体に存在する2つの遺伝子、C、Dを用いると、それぞれの遺伝子に関する表現型はX系統：c1、d1型、Y系統：c2、d2型となる。X系統とY系統マウスを交配したF1マウスでは、どちらの遺伝子に関してもY系統マウスと同じ表現型(c2、d2型)であった。

[実験2] X系統マウスとY系統マウスとの交配によって得られたF1マウスどうしを交配して、多数のF2マウスを得た。このF2マウスに関して、遺伝子C、遺伝子Dに支配される表現型と、下痢・血便などの症状の有無を解析したところ、表1、表2の結果が得られた。

最終的に同定された病気の原因遺伝子は、細胞が細菌の成分と反応するためのタンパク質をつくっている遺伝子であることが分った。Y系統マウスや他の正常マウスの遺伝子とX系統マウスのそれを比較すると、X系統マウスにおいては、突然変異によってDNA塩基配列の1つの塩基が置換していることが明らかとなった。X系統マウスにおいては、変化したDNA配列に対応するタンパク質のアミノ酸も変化していた。この変化のために、細胞が腸内細菌の成分と異常な反応をするようになり、慢性的な炎症を繰り返すようになることが推測された。

注) ここでは例としてモデル動物を設定しただけで、ここで述べたものと全く同じ症状や遺伝様式を示すマウスは現在見つかっていない。

表 1

世代	遺伝子 C に関する表現型	下痢・血便などの症状	個体数
F 1	c 2	(-)	8
F 2	c 2	(-)	97
	c 2	(+)	11
	c 1	(-)	11
	c 1	(+)	25

表 2

世代	遺伝子 D に関する表現型	下痢・血便などの症状	個体数
F 1	d 2	(-)	6
F 2	d 2	(-)	66
	d 2	(+)	9
	d 1	(-)	9
	d 1	(+)	16

問 1 下線①の交配実験の結果をもとに、下記の文の空欄を埋めよ。

X系統マウスに病気を起こす原因となっている遺伝子は、染色体上にあり、Y系統の対立遺伝子に対して性である。

問 2 下線②の交配実験の結果を読みとり、以下の問に答えよ。

- (1) 表1、表2のデータをもとに、遺伝子C及び遺伝子Dと病気の原因遺伝子との間のそれぞれの組換え価(%)を求めよ。答えは小数点以下を四捨五入せよ。
- (2) 遺伝子Cと遺伝子Dとでは、どちらが染色体上において病気の原因遺伝子に近いと考えられるか。またその理由も答えよ。

問 3 下線③に関連して以下の問に答えよ。

- (1) DNAの塩基配列の1つの塩基が置換しても、その部分のDNA配列に対応するアミノ酸が変化するとは限らない。その理由を答えよ。
- (2) 1つの塩基が突然変異によって置換することで起こるヒトの遺伝病を1つあげ、その突然変異がどのような原因で病気を起こすのかを答えよ。

〔4〕 シダの胞子の発芽に関する以下の文章を読み、問1～3に答えよ。

Aさん、Bさん、Cさんは、シダの胞子の発芽について調べることにした。シダの胞子は、水溶液に入れると直ちに吸水する。シダ植物の多くの種において、吸水した胞子は、赤色光を受けることによって発芽する。また、胞子が発芽するためには、土に含まれているカルシウムが必要であるといわれている。

3人はまず、胞子が吸水してから、どのような時間経過で発芽するのかを調べた。カルシウムを含む液(以下、+Ca液と呼ぶ)の中で50個の胞子を吸水させ、赤色光の連続照射下に置いた。10時間ごとに発芽率(「発芽胞子数/吸水胞子数」を百分率で示す)を調べたところ、表1のような結果になった。+Ca液の中で胞子を吸水させ、暗黒下に置いた場合、胞子は全く発芽しなかった。また、カルシウムを含まない液(以下、-Ca液と呼ぶ)の中で吸水させ、赤色光の連続照射下に置いた場合も、胞子は全く発芽しなかった。

表1

吸水後の時間	発芽率
10時間	0%
20	0
30	0
40	0
50	0
60	0
70	0
80	0
90	46
100	100
110	100

AさんとBさんは、「胞子が吸水してから発芽するまでの間、カルシウムは常に必要なのだろうか」と考え、以下のような実験をした。Aさんは、50個の胞子を10グループ準備し、+Ca液の中で吸水させ、赤色光の連続照射下に置いた。10時間ごとに1グループずつ順々に、胞子を-Ca液に移した。10グルー

プ全てについて、吸水後 110 時間の時点で発芽率を調べたところ、表 2 の左側のような結果になった。一方、Bさんは、50 個の胞子を 10 グループ準備し、 $-Ca$  液の中で吸水させ、赤色光の連続照射下に置いた。10 時間ごとに 1 グループずつ順々に、胞子を  $+Ca$  液に移した。10 グループ全てについて、吸水後 110 時間の時点で発芽率を調べたところ、表 2 の右側のような結果になった。

表 2

グループ	Aさんの実験		Bさんの実験	
	+Ca 液から $-Ca$ 液に移した時点	110 時間後の発芽率	$-Ca$ 液から $+Ca$ 液に移した時点	110 時間後の発芽率
1	10 時間後	0%	10 時間後	100%
2	20	0	20	100
3	30	0	30	100
4	40	0	40	100
5	50	0	50	60
6	60	0	60	0
7	70	48	70	0
8	80	100	80	0
9	90	100	90	0
10	100	100	100	0

問 1 2 人の実験結果に基づき、吸水後、赤色光の連続照射下に置いた胞子について、以下の記述から、正しくないものを 2 つ 選べ。

- ア 「吸水後 40 時間までは、発芽のためにカルシウムが必要である」
- イ 「吸水後 40 時間より後に、発芽のためにカルシウムを必要とする時期がある」
- ウ 「吸水後 60 時間までは、発芽のためにカルシウムは不要である」
- エ 「吸水後 60 時間では、発芽のためにカルシウムが必要である」
- オ 「吸水後 80 時間までに、発芽のためにカルシウムを必要とする時期がある」
- カ 「吸水後 80 時間より後は、発芽のためにカルシウムは不要である」

2人の実験結果を見たCさんは、「孢子が吸水してから発芽するまでの間、赤色光は常に必要なのだろうか」と考えた。科学雑誌で、「植物の種子のなかには、光を短時間あてるだけで発芽するものがある」という記事を読んだことがあったので、以下のような実験をした。50個の孢子を10グループ準備し、+Ca液の中で吸水させ、暗黒下に置いた。10時間ごとに1グループずつ順々に、赤色光を10分間あて、その後はまた暗黒下に置いた。10グループ全てについて、吸水後110時間の時点で発芽率を調べたところ、表3のような結果になった。

表3

グループ	赤色光を10分間あて始めた時点	110時間後の発芽率
1	10時間後	0%
2	20	0
3	30	54
4	40	100
5	50	50
6	60	0
7	70	0
8	80	0
9	90	0
10	100	0

問2 3人の実験結果より、吸水した孢子は、どのような順序で次の3つの時期を経て発芽すると思われるか。例を参考に、空欄に記入せよ。

[必要]：発芽のためにカルシウムが必要である時期

[不要]：発芽のためにカルシウムは不要である時期

[受容]：発芽のために光を受けとる時期

例：吸水→[必要]→[不要]→[必要]→[受容]→発芽

問3 表3の結果から3人は、「吸水後、暗黒下で40時間を過ぎると、孢子は、赤色光を受けて発芽するという能力を徐々に失う」と結論した。これを聞いたD先輩は、「吸水後110時間よりも後の時点でも発芽率を調べるべきだ」と助言した。D先輩がこのような助言をした理由を述べよ。