

R 3 物理 R 4 化学 R 5 生物

この冊子は、**物理**、**化学** および **生物** の問題を 1 冊にまとめてあります。

物理学科は物理指定

応用生物科学科と経営工学科は、物理・化学・生物のいずれかを選択

物理の問題は、1 ページより 24 ページまであります。
化学の問題は、25 ページより 36 ページまであります。
生物の問題は、37 ページより 65 ページまであります。

(注 意)

- (1) 試験開始の指示があるまで、この冊子を開いてはいけません。
- (2) 監督者から受験番号等記入の指示があったら、解答用マークシートに受験番号と氏名を記入し、さらに受験番号と志望学科をマークしてください。
- (3) 解答は、所定の解答用マークシートにマークしたものだけが採点されます。
- (4) 解答用マークシートについて
 - ① 解答用マークシートは、絶対に折り曲げてはいけません。
 - ② マークには黒鉛筆(HBまたはB)を使用してください。指定の黒鉛筆以外でマークした場合、採点できないことがあります。
 - ③ 誤ってマークした場合は、消しゴムで丁寧に消し、消しくずを完全に取り除いたうえ、新たにマークしてください。
 - ④ 解答欄のマークは、横 1 行について 1 箇所に限ります。2 箇所以上マークすると採点されません。あいまいなマークは無効となるので、はっきりマークしてください。
 - ⑤ 解答用マークシート上部に記載されている解答上の注意事項を、必ず読んでから解答してください。
- (5) 試験開始の指示があったら、初めに問題冊子のページ数を確認してください。
ページの落丁・乱丁、印刷不鮮明等に気づいた場合は、手を挙げて監督者に知らせてください。
- (6) 問題冊子は、試験終了後、持ち帰ってください。

生 物

- 1 植物に関する問題(1)から(3)に答えなさい。解答はそれぞれの指示に従って解答用マークシートの所定欄にマークしなさい。(25 点)

- (1) 次の文章の空欄(ア)～(キ)に入る最も適切な語句を解答群 A から選び、その番号をマークしなさい(番号の中の 0 という数字もかならずマークすること)。同じ語句を複数回用いてもよい。

植物細胞の成長方向は、細胞壁のセルロース繊維の方向で決まる。新しく作られるセルロース繊維は細胞の伸長方向(長軸方向)に対して直角に配向しており、ジベレリンが作用すると、セルロース繊維は細胞の伸長方向に対して に合成されて、オーキシンの作用によって に細胞が成長する。これらの植物ホルモンは果実の成育にも関与する。ジベレリン溶液をブドウのつぼみと花に 2 回浸すことで種なしブドウを作成することができる。これは開花前のブドウのつぼみをジベレリン溶液に浸すと、正常な が阻害され、開花後にもう一度ジベレリン溶液に浸すと の発達が促進されるからである。また、果実が落果するとき、果柄の基部に離層ができる。これは、離層付近の細胞のオーキシン濃度が し、エチレン濃度が することにより、 が分解されるからである。

解答群 A

00 縦方向	01 横方向	02 受 精	03 配偶子形成
04 胚発生	05 胚 珠	06 子 房	07 卵細胞
08 胚 乳	09 側 芽	10 減 少	11 増 加
12 液 胞	13 葉緑体	14 細胞壁	15 糊粉層

右のページは白紙です。

- (2) 次の文章の空欄(ク)～(セ)に入る最も適切な語句を解答群Bから選び、その番号をマークしなさい(番号の中の0という数字もかならずマークすること)。

オーキシンの作用にはそれぞれ器官や組織によって最適な濃度があり、オーキシンは成長を促進することも阻害することもある。植物Xの根と茎に与えたオーキシン水溶液の濃度の相対値(横軸)と成長促進・抑制(縦軸)の強さとの関係を調べグラフにした(図1)。点線で示された曲線Aが (ク) に、実線で示された曲線Bが (ケ) にオーキシン水溶液を与えたときのグラフを示す。

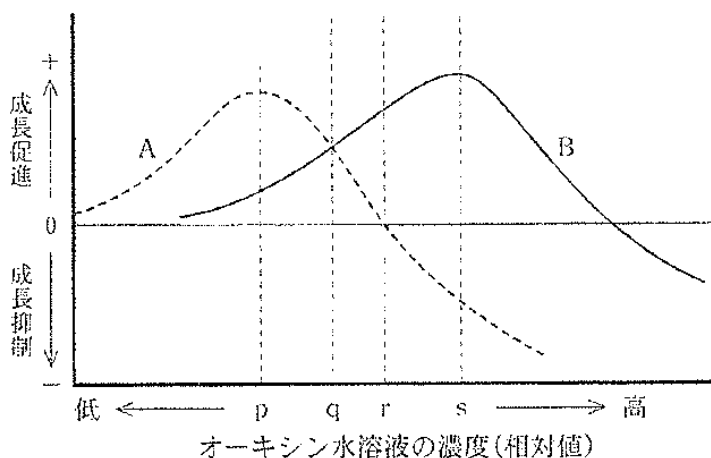


図1

光を透過しない水平な板の上に、子葉を広げた植物Xを乗せて十分に水分を与えながら、図2の左図の (コ) の方向から光を照射した。1時間後、上から観察すると、図2の右図のように植物Xの茎と根が曲がっていた。

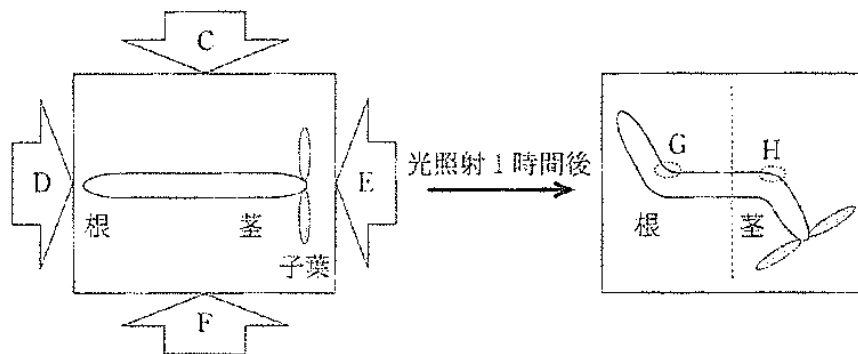


図 2

このように光の方向に対して決まった成長運動をすることを光屈性と呼ぶ。光屈性を起こした根の G の部分と茎の H の部分(図 2 の点線部分)のオーキシンの濃度を測定すると、G と H は図 1 の横軸の (サ) で示される濃度であった。

光屈性の原因は光によるオーキシンの移動である。植物体内のオーキシンの移動は、細胞膜上のオーキシシン輸送タンパク質が関与している。青色光受容体の (シ) により光を感知した後、オーキシシン輸送タンパク質の分布が変化してオーキシンの移動が促進される。 (シ) は気孔の開閉も調節している。青色光の刺激を受けた孔辺細胞の浸透圧は高まり、膨圧が (ス) して、気孔が開く。一方、植物が乾燥状態になると、 (セ) が孔辺細胞に作用して気孔が閉じる。

解答群 B

- | | | | | | |
|------------|--------------|------------|-------|------|------|
| 00 根 | 01 茎 | 02 上昇 | 03 低下 | 04 C | 05 D |
| 06 E | 07 F | 08 p | 09 q | 10 r | 11 s |
| 12 アブシシン酸 | 13 エチレン | 14 カブサイシン | | | |
| 15 クロロフィル | 16 サイトカイニン | 17 フィトクロム | | | |
| 18 フォトリトピン | 19 ブラシノステロイド | 20 アミロプラスト | | | |

(3) 植物の組織培養実験に関する次の文章を読み、問題(a)~(d)に答えなさい。

植物の組織を切り出して、栄養分や植物ホルモンを含む培地で培養すると、未分化に近い状態に戻り、細胞分裂を再開する。この増殖した細胞の塊をカルスと呼ぶ。オーキシンとサイトカイニンの濃度が異なる培地(栄養分を含む)の上に植物 X の茎の一部をおき、光を照射しながら 4 週間培養した後に、分化状態を調べて表 1 にまとめた。培地によって、カルスの他に、根、茎、葉が分化していた。

表 1

培 地	1	2	3	4	5	6
サイトカイニン濃度(mg/L)	0	0	0	0.3	1.0	1.0
オーキシン濃度(mg/L)	0	0.1	3.0	0.3	0.3	1.0
4 週間後の分化状態	A	B	D	B	C	C

A：カルスは形成されず、根、茎、葉の分化は見られなかった。

B：カルスが形成され、そこから根が分化していた。

C：カルスが形成され、そこから茎と葉が分化していた。

D：カルスが形成されたが、根、茎、葉の分化は見られなかった。

このように、植物は一度分化して細胞分裂をしなくなった組織の細胞分裂を再開させることができる。さらに、カルス由来の組織とは別の組織に分化する能力を保持していることがわかる。ある遺伝子が発現しなくなった変異体 Y についても X と同じように茎の一部を培養して、4 週間後の分化状態を調べた。その結果、調べたすべての培地における分化状態は、表 1 の結果と差異が認められなかった。そこで、次に培地 3、培地 4、培地 5 について、組織の重量を培養日数ごとに測定してグラフにした(図 3)。

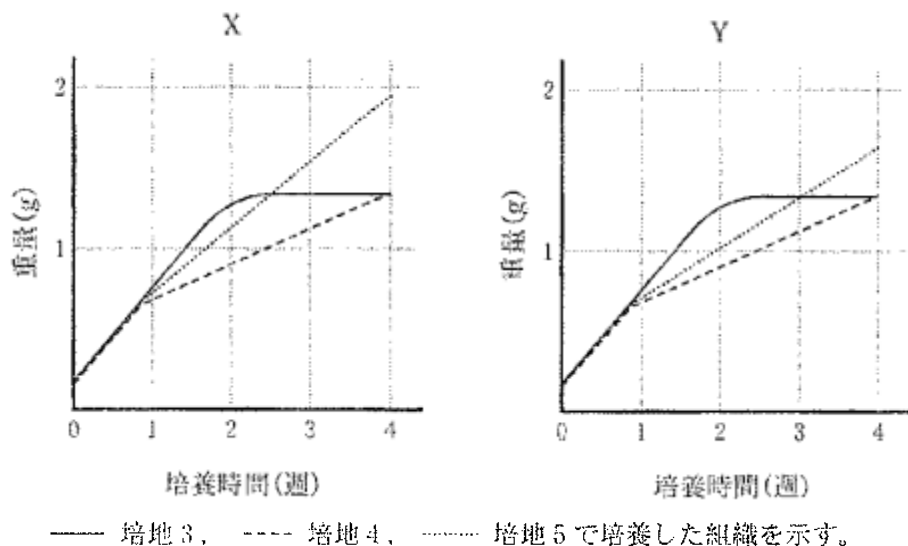


図3

(a) 表1の結果に関して、適切な文章をすべて含んだものを解答群Cから選び、その番号をマークしなさい。(番号の中の0という数字もかならずマークすること)

- ① 培地中のオーキシン濃度が高いと、カルスから根が分化しやすい。
- ② カルスから茎と葉が分化する時に、高い濃度のサイトカイニンが必要である。
- ③ オーキシンとサイトカイニンの両方が培地に含まれると、カルスから根が分化しない。
- ④ オーキシンが培地中に含まれると、カルスから茎と葉が分化しない。
- ⑤ 分化した茎にカルスが形成されるためには、オーキシンとサイトカイニンの両方のホルモンが必要である。

解答群C

- | | | | | |
|----------|----------|----------|--------|--------|
| 00 ① | 01 ② | 02 ③ | 03 ④ | 04 ⑤ |
| 05 ①と② | 06 ①と③ | 07 ①と④ | 08 ①と⑤ | 09 ②と③ |
| 10 ②と④ | 11 ②と⑤ | 12 ③と④ | 13 ③と⑤ | 14 ④と⑤ |
| 15 ①と②と③ | 16 ①と②と④ | 17 ①と②と⑤ | | |
| 18 ②と③と④ | 19 ②と③と⑤ | 20 ③と④と⑤ | | |

(b) 変異体 Y の原因遺伝子の働きとして考えられる、適切な文章をすべて含んだものを解答群 D から選び、その番号をマークしなさい(番号の中の 0 という数字もかならずマークすること)。

- ① 根の細胞分裂回数を増やす。
- ② 茎と葉の細胞分裂回数を増やす。
- ③ 光合成を促進する。
- ④ カルスの細胞分裂回数を増やす。
- ⑤ カルスを根に分化させる。

解答群 D

00 ①	01 ②	02 ③	03 ④	04 ⑤
05 ①と②	06 ①と③	07 ①と④	08 ①と⑤	09 ②と③
10 ②と④	11 ②と⑤	12 ③と④	13 ③と⑤	14 ④と⑤

(c) カルスから茎や葉を分化させる遺伝子が発現しなくなった変異体を単離したい。培地 4 と培地 6 に茎の一部をおいて、4 週間後にどのような分化状態を示す変異体を単離すれば良いか。表 1 の 4 週間後の分化状態の最も適切な組み合わせを解答群 E から選び、その番号をマークしなさい(番号の中の 0 という数字もかならずマークすること)。

解答群 E

	培地 4	培地 6		培地 4	培地 6		培地 4	培地 6
00	A	A	01	A	C	02	A	D
03	B	A	04	B	C	05	B	D
06	C	A	07	C	C	08	C	D
09	D	A	10	D	C	11	D	D

- (d) (c)の変異体の原因遺伝子として、最も適切なものを解答群Fから選び、その番号をマークしなさい。

解答群F

- 0 カルスの細胞分裂を促進する因子
- 1 カルスの細胞分裂を抑制する因子
- 2 オーキシンの生合成をおこなう酵素
- 3 サイトカイニンの生合成をおこなう酵素
- 4 オーキシンの受容体
- 5 サイトカイニンの受容体

- 2 組織幹細胞と悪性黒色腫に関する問題(1)と(2)に答えなさい。解答はそれぞれの指示に従って解答用マークシートの所定欄にマークしなさい。(25点)

- (1) 次の文章の空欄(ア)～(カ)を埋めるのに最も適切な語句を解答群Aより選びその番号を解答用マークシートの指定された欄にマークしなさい(番号の中の0という数字もかならずマークすること)。

動物の成体における腸や肝臓、皮膚などの各組織には、組織を構成する(ア)した細胞だけでなく、それらの組織構成細胞を作り出す(イ)を持つ(ウ)な組織幹細胞が存在しており、組織が傷害されるたびに正常な組織を再びつくる(エ)を繰り返している。組織幹細胞は(イ)を持つだけでなく、自身と全く同じ性質を持つ細胞に分裂増殖できる(オ)も持つことが特徴である。組織幹細胞は、通常、細胞周期の(カ)に存在しており、増殖を停止しているが、必要なときにのみ増殖し(エ)がおこる。このように組織幹細胞は増殖可能な性質を持つが、組織幹細胞にある種の遺伝子変化が起こると、増殖が止まらなくなる悪性のがん細胞へと変化する場合があります。ことが知られている。

解答群A：

- | | | |
|---------|---------------|----------|
| 00 分裂期 | 01 休止期(静止期) | 02 合成期 |
| 03 複製期 | 04 細胞死 | 05 細胞老化 |
| 06 組織再生 | 07 組織壊死 | 08 分化 |
| 09 発生 | 10 自己複製能(分裂能) | 11 胚性幹細胞 |
| 12 分化能 | 13 全能性 | 14 未分化 |
| 15 二倍体 | 16 表現型 | |

(2) 次の文章を読み問題(a)～(c)に答えなさい。

ヒトの皮膚には組織幹細胞の一種である色素幹細胞が常在し、皮膚や毛髪が色付く要因となっていることが知られている。しかし、色素幹細胞が悪性のがん細胞に変化すると、悪性黒色腫という、がん(悪性腫瘍)を形成するようになると考えられている。悪性黒色腫を家族性に発症する家系が知られているが、その原因遺伝子を調べたところ、図1に示す遺伝子座に変異が生じていることが明らかになった。

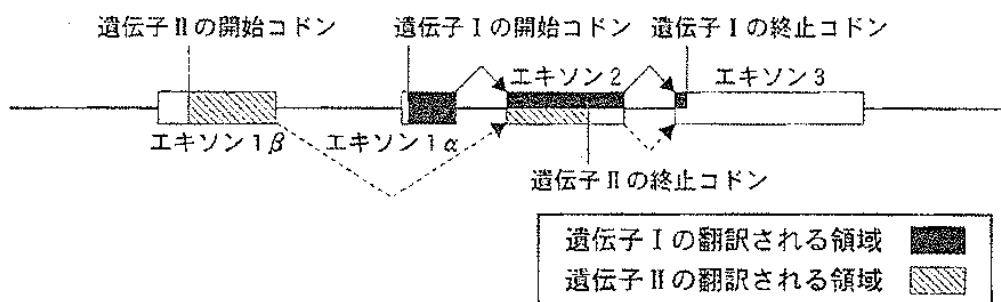


図1

図1に示す遺伝子座には、黒で示す部分が翻訳される遺伝子Ⅰ(実線の矢印でつないだエキソン1α、エキソン2、エキソン3がつながったmRNAが合成される)と、斜線で示す部分が翻訳される遺伝子Ⅱ(点線の矢印でつないだエキソン1β、エキソン2、エキソン3がつながったmRNAが合成される)の二つ遺伝子が、エキソン2と3を共有する形で存在する。しかし、この二つの遺伝子から翻訳されるとき、それらの読み枠は1塩基ずれているため、エキソン2と3を共有しながらも、遺伝子Ⅰと遺伝子Ⅱからはまったく異なるアミノ酸配列を持ったタンパク質が合成される。

図2には遺伝子Ⅰおよび遺伝子ⅡのゲノムDNAの塩基配列の一部を示す。アミノ酸に翻訳される塩基配列は大文字で示してあり、アミノ酸に翻訳されない塩基配列は小文字で示してある。また共有しているエキソン2と3の塩基配列部分は線で囲ってある。開始コドンには下線が、終止コドンには二重下線がそれぞれ施してある。

家族性悪性黒色腫の家系Xでは図2における①に示す部位のグアニンがシトシンに変化する変異が遺伝していた。家族性悪性黒色腫の家系Yでは②に示す部位のチミンがアデニンに変化する変異が遺伝していた。

遺伝子 I

...gcagcATGG AGCCGGCGGC GGGGAGCAGC ATGGAGCCTT CGGCTGACTG GCTGGCCACG
 GCCGCGGCCC GGGGTTCGGT AGAGGAGGTG CGGGCGCTGC TGGAGGCGGG GCGCTGCCC
 AACGCACCGA ATAGTTACGG TCGGAGGCCG ATCcaggtgg gtagagggtc tgcagcggga
約 3.4 Kb 省略.....tctgaccatt ctgtttcttc tggCAGGTCA

TGATGATGGG	CAGCGCCCGA	GTGGCGGAGC	TGCTGCTGCT	CCACGGCGCG	GAGCCCAACT
①GCGCCGACCC	CGCCACTCTC	ACCCGACCCG	TGCACGACGC	TGCCCCGGAG	GGCTTCCTGG
ACACGCTGGT	GGTGCTGCAC	CGGGCCGGGG	CGCGGCTGGA	CGTGC CGAT	GCCTGGGGCC
GTCTGCCCCG	GGACCTGGCT	GAGGAGCTGG	GCCATCGCGA	TGTCGACGG	TACCTGCGCG
CGGCTGCGGG	GGGCACCAGA	GGCAGTAACC	ATGCCCGCAT	AGATGCCCGG	GAAGGTCCCT

caggtgagga ctgatgatct約 2.6 Kb 省略..... tgtttttctt
 ctgcctctg CAGACATCCC CGATTGAAag aaccagagag gctctgagaa ... 以下略...

遺伝子 II

...gcagcgget gccgagctcg gccctggagg cggcgagaa ATGGTGCCA GGTTCCTTGGT
 GACCTCCGG ATTTCGGCGG CGTCGGGCCC GCGCGAGTG AGGGTTTTCG TGGTTCACAT
 CCCGCGGCTC ACGGGGGAAT GGGCAGCGCC AGGGGCGCCC GCGCTGTGG CCTCTGTGCT
 GATGCTACTG AGGAGCCAGC GTCTAGGGCA GCAGCCGCTT CCTAGAAGAC caggtaggaa
 aggcctctga.....約 23.0 Kb 省略.....gaccattctg ttctctctgg

CAGGTCATGA	TGATGGGCAG	CGCCCGAGTG	GCGGAGCTGC	TGCTGCTCCA	CGGCGCGGAG
①CCCAACTGCG	CCGACCCCGC	CACTCTCACC	CGACCCGTGC	ACGACGCTGC	CCGGGAGGGC
TTCCTGGACA	CGCTGGTGGT	GCTGCACCGG	GCGGGGCGCG	GGCTGGACGT	GCGCGATGCC
TGGGGCCGTC	TGCCCCGTGA	CCTGGCTGAG	gagctgggcc	atcgcgatg	cgcaagggtac
ctgcgcgagg	ctgcgggggg	caccagaggg	agtaaccatg	ccgcgataga	tgccgcggaa

ggteccctag gtagggaactg atgatct約 2.6 Kb 省略..... tgtttttctt
 ctgcctctg cagacatccc cgattgaaag aaccagagag gctctgagaa ... 以下略...

図 2

- (a) ①または②の部位に塩基の置換が生じて、遺伝子Ⅰ、遺伝子Ⅱよりタンパク質が合成されるとき、そのアミノ酸はどのように変化するか、表1を参考に(ア)から(ク)に当てはまる正しい語句を解答欄Bより選び、その番号を解答用マークシートの指定された欄にマークしなさい(番号の中の0という数字もかならずマークすること)。

	遺伝子Ⅰ		遺伝子Ⅱ	
	正 常	変異後	正 常	変異後
変異部位①	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)
変異部位②	(オ)	(カ)	(キ)	(ク)

解答欄B

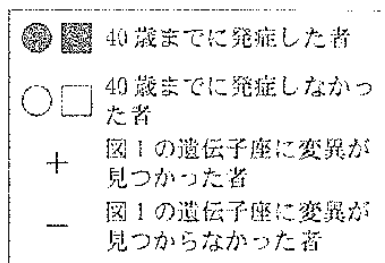
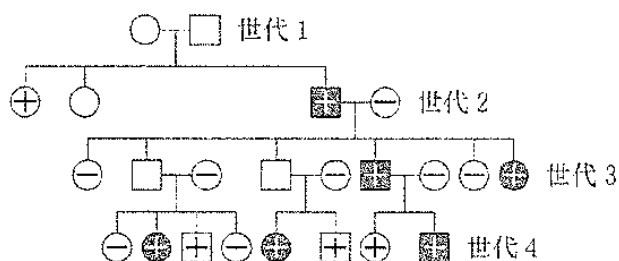
- | | | |
|-----------|-------------|----------------|
| 00 アスバラギン | 01 アスバラギン酸 | 02 アラニン |
| 03 アルギニン | 04 イソロイシン | 05 グリシン |
| 06 グルタミン | 07 グルタミン酸 | 08 システイン |
| 09 セリン | 10 チロシン | 11 トリプトファン |
| 12 トレオニン | 13 メチオニン | 14 バリン |
| 15 ヒスチジン | 16 フェニルアラニン | 17 プロリン |
| 18 リシン | 19 ロイシン | 20 アミノ酸に翻訳されない |

表1 コドン表

		第2番目の塩基				
		U	C	A	G	
第1番目の塩基	U	フェニルアラニン	セリン	チロシン	システイン	U
		フェニルアラニン	セリン	チロシン	システイン	C
		ロイシン	セリン	(終止)	(終止)	A
		ロイシン	セリン	(終止)	トリプトファン	G
	C	ロイシン	プロリン	ヒスチジン	アルギニン	U
		ロイシン	プロリン	ヒスチジン	アルギニン	C
		ロイシン	プロリン	グルタミン	アルギニン	A
		ロイシン	プロリン	グルタミン	アルギニン	G
	A	イソロイシン	トレオニン	アスバラギン	セリン	U
		イソロイシン	トレオニン	アスバラギン	セリン	C
		イソロイシン	トレオニン	リシン	アルギニン	A
		メチオニン	トレオニン	リシン	アルギニン	G
	G	バリン	アラニン	アスバラギン酸	グリシン	U
		バリン	アラニン	アスバラギン酸	グリシン	C
		バリン	アラニン	グルタミン酸	グリシン	A
		バリン	アラニン	グルタミン酸	グリシン	G

図3は家系Xと家系Yについての家系図を示す。丸は女性、四角は男性を表している。今回、家系Xでは世代2、世代3、世代4を対象に、また、家系Yでは世代3、世代4、世代5を対象に全員の遺伝子変異の調査を行った。グレーに塗りつぶしている者は40歳までに悪性黒色腫を発症した者を示す。また、図1で示した遺伝子座に変異を持つ者は「+」を記載し、変異を持たない者は「-」を記載している。ただし遺伝はメンデルの遺伝の法則にしたがうとし、さらなる突然変異は起こらないものとする。

家系X



家系Y

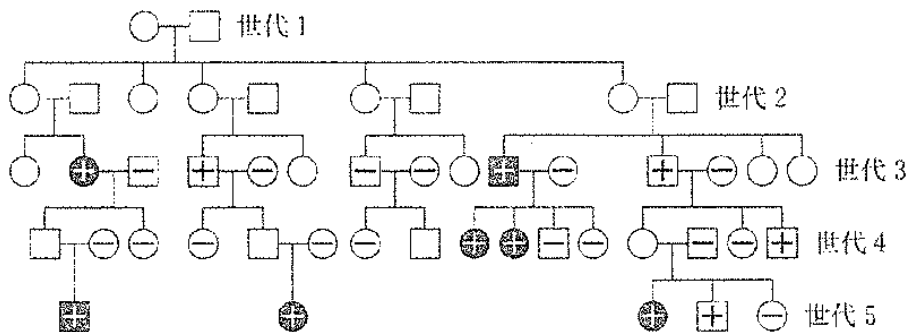


図3

図1に示す遺伝子座に変異が存在する遺伝性悪性黒色腫は常染色体優性遺伝をすることが知られているが、図3の家系図に示した調査結果から、この遺伝子座に変異を持ちながらも、40歳までに悪性黒色腫を発症していない者も存在することがわかる。疾患の原因となる同じ遺伝子変異を持つ者の中で、疾患を発症する割合を「浸透率」というが、この場合、浸透率が100%ではないことを示している。

- (b) 図3の家系図に示した調査結果では、40歳までに遺伝性悪性黒色腫を発症する浸透率はそれぞれの家系で何%か。ただし家系Xについては世代3および世代4において、また家系Yについては世代4および世代5において、図3の家系図に示された情報から、遺伝子型については家系図における空欄を埋めて浸透率を計算し、(ア)から(カ)に当てはまる0から9の数字をマークしなさい。有効数字は3桁とする。

家系 X	(ア)	(イ)	.	(ウ)	%
家系 Y	(エ)	(オ)	.	(カ)	%
			↑		
			小数点		

- (c) 以上の解析から、遺伝子Ⅰ、遺伝子Ⅱの変異はどちらがより大きく悪性黒色腫の発症に寄与したと推察されるか。もっとも適切な記述を解答群Cから選び、その番号をマークしなさい。ただし、変異①を含む遺伝子Ⅰから合成されるタンパク質と変異②を含む遺伝子Ⅰから合成されるタンパク質の機能に差異はないとし、また、変異①や変異②が生じても遺伝子Ⅰ、遺伝子Ⅱから合成されるタンパク質の量は、変異がない場合と比べて変わらないものとする。

解答群C

- 0 遺伝子Ⅰの変異がより大きく寄与したと考えられる。
- 1 遺伝子Ⅱの変異がより大きく寄与したと考えられる。
- 2 どちらの遺伝子変異も寄与しないと考えられる。

- 3 酸素濃度と生物進化の関係についての問題(1)～(3)に答えなさい。解答はそれぞれの指示に従って解答用マークシートの所定欄にマークしなさい。(25点)

- (1) 次の文章の空欄(ア～ケ)にもっとも適切なものを解答群Aから選び、その番号をマークしなさい。(番号の中の0という数字もかならずマークすること)

原始地球には遊離した酸素はほとんど存在していなかった。しかし、酸素は年代とともに図1の上側に示すように増加してきた。水を使い酸素を放出する光合成を最初に行った生物がシアノバクテリアである。水は地球上に広く分布するため、シアノバクテリアは急速に地球上に広がり繁栄した。その後、シアノバクテリアは他の生物に取り込まれ共生を始めることによって、藻類の葉緑体となった。⁽ⁱ⁾藻類の光合成によっても海水中の酸素が増加し、やがて大気中の酸素も増加した。その結果、上空にオゾン層が形成され紫外線が吸収され、生物が陸上に進出することが可能になった。最初に陸上に進出したのは植物であり、陸上植物の光合成によっても大気中の酸素が増加した。

図1に矢印で示したように、約2億5千万年前に酸素濃度の減少が見られる。ちょうどこの頃、海棲生物のうち最大で96%の種が絶滅したとの推定もされている地球の歴史上最大の大量絶滅が起こった。フズリナや **(ア)** が絶滅し、代わって **(イ)** や **(ウ)** が絶滅後の約1.8億年の間に繁栄することになった。

酸素はその強力な酸化作用のため、生物にとって有毒である。しかし、一部の生物(好気性細菌)は酸素を使って有機物を分解する呼吸という仕組みを手に入れた。呼吸によるエネルギー変換効率は高く、1分子のグルコースから得られるエネルギーは酸素がない場合に比べると、最大で約 **(エ)** 倍になる。この高い効率のために、好気性細菌は他の細胞に取り込まれ、宿主細胞と共生を始め、ミトコンドリアとよばれる細胞内小器官となった。⁽ⁱⁱ⁾

もっとも古い生物化石は35億年前の岩石に見つかっている。図1の下側には、化石に残る生物体の中で最大の大きさ(体積)を年代に対してプロットしている。この図は、35億年前から20億年前までの体積増加は数倍しかない

が、20 億年前と 6 億年前ごろに体積の 10^5 倍程度的大幅な増加が 2 回あったことを示している。一方、酸素濃度を見ると 20 億年前ごろから徐々に増加し、6 億年前ごろにほぼ現在のレベルに達している。この 2 回の急激な体積増加は次のように解釈できる。

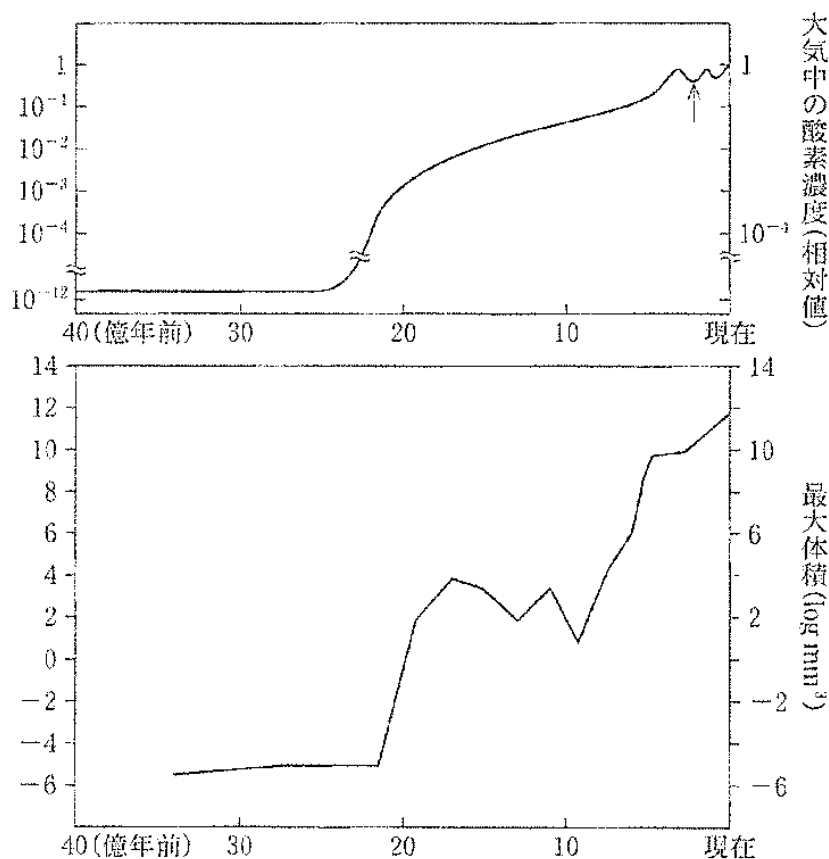


図 1

酸素濃度が増大すると、呼吸により大きなエネルギーが得られ、大きな体(細胞)を維持することが可能になる。そして、好気性細菌やシアノバクテリアを細胞内に共生体として抱え込むようになった、つまり、最初の急激な体積増加は現在の真核生物の誕生を意味している。細胞の表面から酸素や栄養物を取り込む場合には、細胞の大きさの増加には制限が課せられる。一つの細胞の大

きさ(球形の細胞ならその半径)が10倍になると、表面積は (オ) 倍、体積は (カ) 倍になり、細胞内の酸素や栄養物の濃度は (キ) になる。
 また、拡散による移動距離は移動に要する時間の平方根に比例するので、細胞の大きさ(球形の細胞ならその半径)が10倍になると細胞表面からその中心まで拡散によって酸素や栄養物が移動するのに要する時間は (ク) 倍になる。
 この問題を解消するのが、多細胞化である。多細胞であっても扁平な体の構造をしていれば、体の表面積は大きくなり、酸素や栄養物を多く取り込むことが可能である。また、体表からの酸素や栄養物の移動時間も少なくてすむ。
 実際、このような構造の多細胞生物の化石が約6億年前のエディアカラ紀の地層に見つかっている。2回目の急激な体積増加はこのような解釈が可能である。エディアカラ生物群はかたい殻をもっていないことや運動能力は低いと考えられるので、その頃には捕食動物はいなかったらしい。その後のカンブリア紀には、組織や器官への分化によって、かたい殻を持ち、感覚器官や運動器官などを発達させた (ケ) のような大型の捕食動物が出現した。

解答群A

00 $\frac{1}{10000}$	01 $\frac{1}{1000}$	02 $\frac{1}{100}$	03 $\frac{1}{10}$	04 1
05 10	06 20	07 40	08 80	09 100
10 1000	11 10000	12 アンモナイト		
13 三葉虫	14 マンモス	15 被子植物	16 裸子植物	
17 グリバニア	18 ディキンソニア	19 アノマロカリス		

- (a) 下線部①のプロセスは一次共生とよばれ、葉緑体の DNA やチラコイドは 2 枚の膜で囲まれている。藻類のあるグループには 4 枚の膜で囲まれた葉緑体が存在する場合があります。葉緑体を持った真核生物が別の真核生物に取り込まれたこと(二次共生とよばれる)が示唆される。二次共生により多様な藻類が出現したと考えられている。二次共生が開始したとき、共生体となる真核生物の核は宿主細胞のどの領域に存在するか。解答群 B から最も適切なものを選び、その番号をマークしなさい。

解答群 B

- 0 葉緑体を包む内側の 2 枚の膜で囲まれる領域
- 1 葉緑体を包む 2 枚の膜とその外側の 2 枚の膜で囲まれる領域
- 2 核膜内
- 3 細胞質基質内
- 4 共生の仕方により存在場所は一定にならない

(b) 下線部(ii)のミトコンドリアの祖先となった細菌をゲノム上の遺伝子の並び順の比較から推定してみよう。消失や核への移動によってミトコンドリアの遺伝子数は細菌に比べて、2桁程度少なく、一般には遺伝子順序は両者で大幅に異なっている。ところが次のような遺伝子配置が見つかったとする。ミトコンドリアのゲノムでは遺伝子 x は遺伝子 a と遺伝子 b の間に存在し、これらから離れた位置に遺伝子 c と遺伝子 d が隣接して存在している ($a-x-b/c-d$ と表す) が、細菌 1 では遺伝子 a と b の間にはなく、遺伝子 c と遺伝子 d の間にある ($a-b/c-x-d$) とする。5 個の遺伝子 x, a, b, c, d の遺伝子配置を他の細菌 2, 3 と比較すると図 2 のようになった。ここで、細菌 1 は細菌 2 と 3 およびこのミトコンドリアが分かれる前に分岐したことが分かっているとすると、可能な系統樹は図 3 の①~③に示した 3 通りしかない。系統樹①, ②, ③の各々において、遺伝子 x は最低何回移動したことになるか。その回数をマークしなさい。ただし、回数が 10 以上の場合には 10 をマークしなさい。

このように遺伝子 x の移動回数は系統樹の樹形によって異なるが、一般に遺伝子 x の移動が頻繁に起こることはないと考えることができるので、最少の移動回数を与える系統樹がもっともらしいことになり、ミトコンドリアと近縁な細菌種を同定することができたことになる。このように、ゲノム上の遺伝子の並び順を比較することからミトコンドリアの起源を推定することも可能である。

ミトコンドリア	$a-x-b/c-d$
細菌 1	$a-b/c-x-d$
細菌 2	$a-b/c-x-d$
細菌 3	$a-x-b/c-d$

図 2

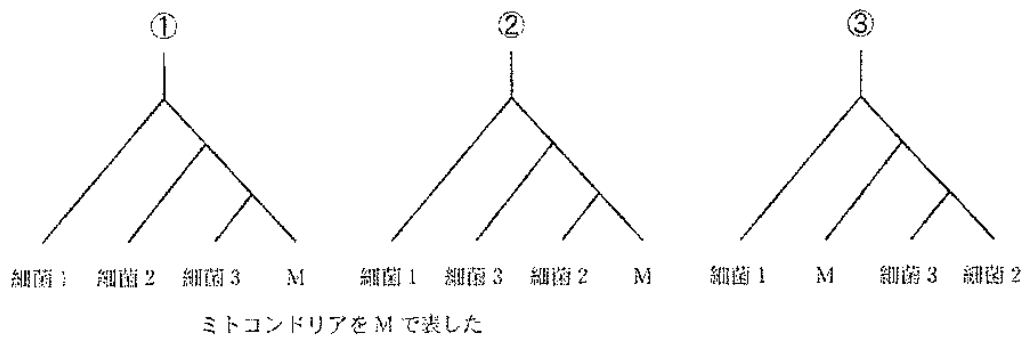


図 3

(2) ヒトの血液中にはヘモグロビン(Hb)というタンパク質が含まれている。Hbは酸素を結合して細胞呼吸を行う体細胞まで血流に乗って運搬する。タコやザリガニではHbの代わりに、ヘモシアニン(Hc)とよばれるタンパク質によって酸素が運搬されている。HbやHcの酸素解離度が50%になる酸素分圧はP-50とよばれる。水中の酸素含有量は空気中と比べるとごくわずかであることを考慮して、次の(a)と(b)の動物における酸素解離曲線(酸素飽和曲線)のP-50をヒト成人のそれとの比較をしてみよう。P-50がより高酸素側にあると考えるなら0、より低酸素側にあると考えるなら1をマークしなさい。

(a) タコやザリガニ

(b) ヒトの胎児

(3) ヒトのHbは胎児のときには α 鎖が二つ、 γ 鎖が二つから成る4量体であるが、成人になると α 鎖はそのままであるが、 γ 鎖は β 鎖に置き換わっている。 γ 鎖と β 鎖のアミノ酸配列を比較すると、偶然生じたとは思えないほど似ているので、両鎖は一つの遺伝子が重複することにより生じたと考えられる。 β 鎖と γ 鎖の遺伝子と祖先を共有する遺伝子として、 β' 、 ϵ 、 δ が知られている。図4には、これらの一つの共通祖先遺伝子由来のタンパク質群(β 、 β' 、 γ 、 ϵ 、 δ の各鎖)の遺伝子についての系統樹を示した。この系統樹について、次の(a)と(b)の問題に答えなさい。

(a) 遺伝子重複は何回起きたか。回数をマークしなさい。

(b) 種の分化は何回起きたか。回数をマークしなさい。

ただし、10回以上の場合には10をマークしなさい。

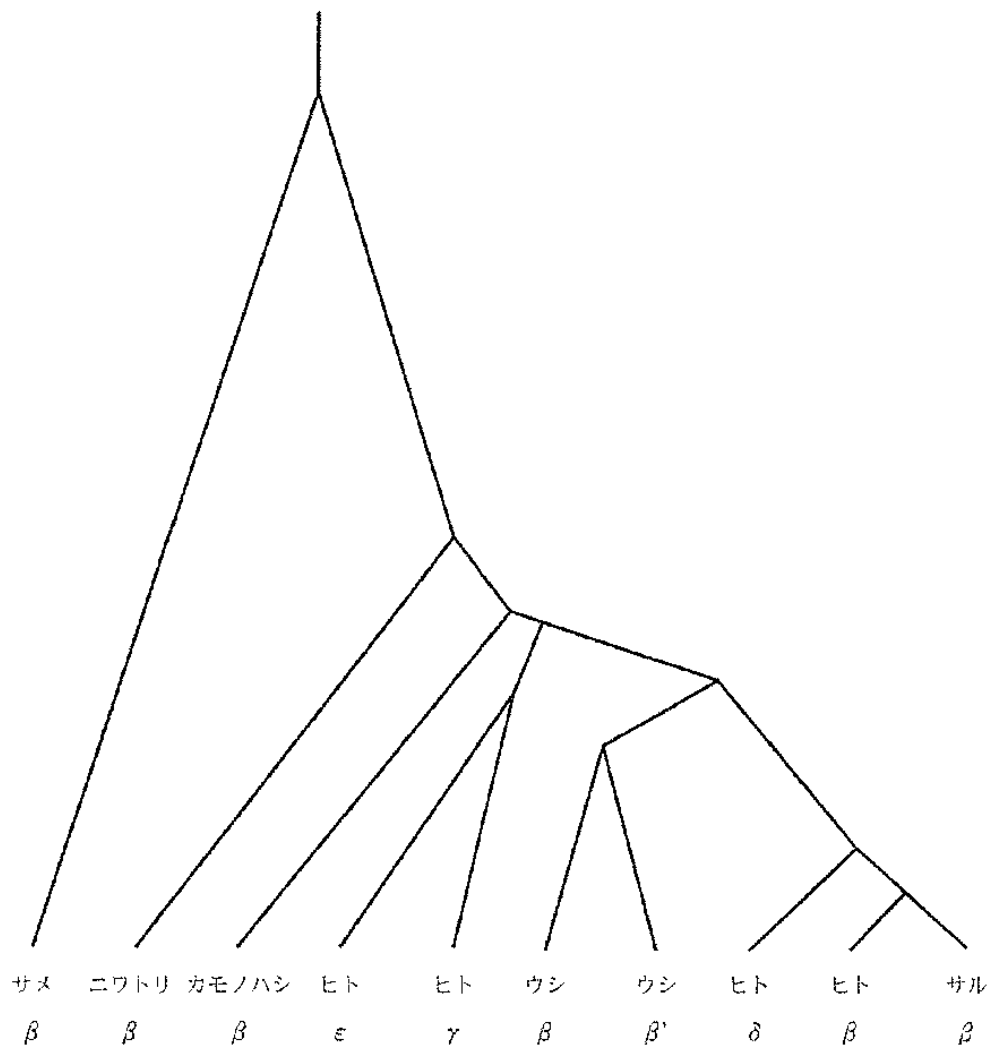


図 4

右のページは白紙です。

- 4 アデノシン三リン酸(ATP)を加水分解してはたらくタンパク質に関する問題(1)と(2)に答えなさい。解答はそれぞれの指示に従って解答用マークシートの所定欄にマークしなさい。(25点)

- (1) モータータンパク質ミオシンVに関する次の文章を読み、問題(a)～(g)に答えなさい。

細胞内にはATPをアデノシン二リン酸(ADP)とリン酸に加水分解してはたらくモータータンパク質と呼ばれるタンパク質群が存在する。その一種であるミオシンVは細胞内で物質を運ぶ役割を果たしており、このためにアクチンフィラメントと呼ばれるレール状に重合したタンパク質の上を移動することが知られている。このタンパク質は人間の2本脚のような形をしており、図1のように同等な2本の脚で構成されている。それぞれの脚の先端部分にある『ヘッド』でのATP加水分解によってアクチンフィラメントとの結合・解離を繰り返し、一方向に移動していく。

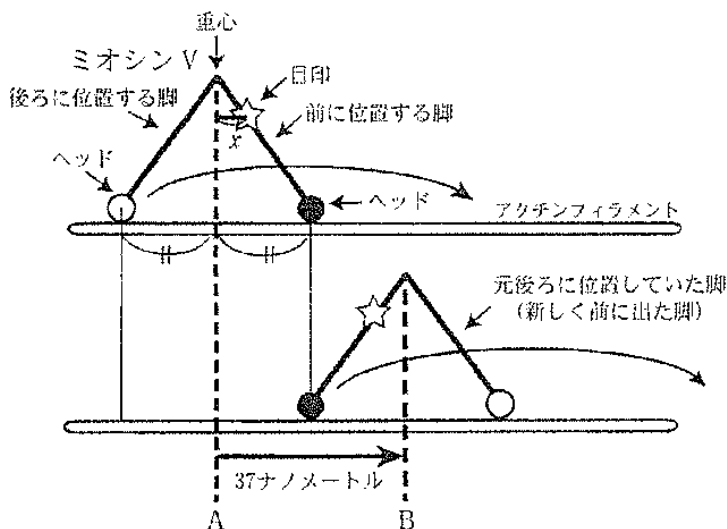


図1



図2



図3

2本脚がつながっている付け根の部分を『重心』と呼ぶ。脚が開いた状態で2つのヘッドが両方とも同時にアクチンフィラメントに結合しているとき、重心から下した垂線とアクチンフィラメントが交差する位置は両ヘッドがアクチンフィラメントに結合する部位の中間地点に一致する。

光学顕微鏡では、タンパク質1個を観察することはむずかしい。しかし、図1～3の☆印のように特殊な目印を結合すると、タンパク質の動きを目印の動きとして観察することができるようになる。図2のようにミオシンVの重心に目印を結合して1個ずつ顕微鏡で観察すると、ミオシンVの運動は連続的ではなく、アクチンフィラメント上をAからBに 37×10^{-9} メートル(37ナノメートル)ずつ前進する動きを繰り返して進むことがわかっている。この重心の37ナノメートルの動き1回分を『ステップ』と定義する。多数回(例えば数千回)のステップを踏んで進んだ1個のミオシンVの合計移動距離を、その間にそのミオシンVが加水分解したATPの個数で割ると、1個のミオシンV全体としては1個のATPの加水分解あたり1ステップ進む計算になることがわかった。図1☆印のように目印の結合位置を変えて前に位置する脚もしくは後ろに位置する脚の途中に結合すると、片方の脚の動きを観察することができる。近年、この観察方法により、ミオシンVは図1のように片方のヘッドを支点として脚が回転し、片方ずつ脚を前に踏み出して歩く人間の2足歩行のようなメカニズムで前進することが明らかになった。アクチンフィラメントには方向性があるため2つのヘッドは1方向にしか移動せず、脚は曲がったり伸びたりするような変形は起こさず、1個のミオシンVの両脚が同時にアクチンフィラメントから外れることはないものとする。また、このタンパク質はATPの加水分解をともしない歩行はせず、ATPを結合すると必ずATP加水分解反応に伴った歩行運動を起こすものとする。

- (a) 図3のように片側のヘッドに目印を結合した1個のミオシンVが移動する場合、各回のステップによる目印の移動距離はどのように推移するか。前述のステップの定義に注意し、もっとも適切なものを解答群Aから選べ。ただし、距離の単位はナノメートルとする。

解答群 A

- | | |
|--------------------|----------------------|
| 0 37 と 0 を交互に繰り返す | 1 74 と 0 を交互に繰り返す |
| 2 37 と 74 を交互に繰り返す | 3 毎回 74 を繰り返す |
| 4 毎回 37 を繰り返す | 5 18.5 と 0 を交互に繰り返す |
| 6 毎回 18.5 を繰り返す | 7 37 と 18.5 を交互に繰り返す |

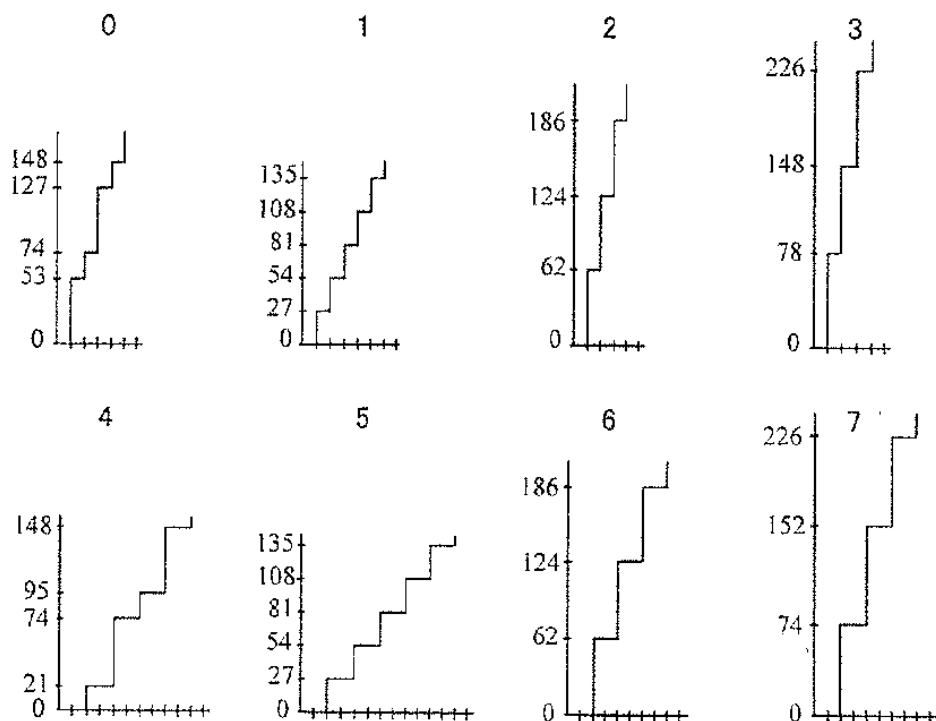
(b) 図 1 のように、ミオシン V 上の目印結合位置が重心から進行方向に x ナノメートル離れていた場合、各回のステップによる目印の移動距離はどのように推移するか。もっとも適切なものを解答群 B から選べ。ただし、距離の単位はナノメートルとする。

解答群 B

- 0 $37 - x$ と 0 を交互に繰り返す
- 1 $37 - 2x$ と 0 を交互に繰り返す
- 2 $74 - x$ と 0 を交互に繰り返す
- 3 $74 - 2x$ と 0 を交互に繰り返す
- 4 $(37 - x)$ と $(37 + x)$ を交互に繰り返す
- 5 $(37 - 2x)$ と $(37 + 2x)$ を交互に繰り返す
- 6 $(74 - x)$ と $(74 + x)$ を交互に繰り返す
- 7 $(74 - 2x)$ と $(74 + 2x)$ を交互に繰り返す

(c) 横軸を ATP 加水分解量、縦軸を目印の移動距離のグラフとして、問題(b)における目印の移動をプロットした場合、成立するものを解答群 C (図 4) のグラフの中から選べ。ただし、各グラフの縦軸はミオシン V に結合した目印の位置を、測定開始時の位置を原点としてナノメートル単位の距離で表したものである。また、横軸 1 目盛の増加は正味 1 個分の ATP の加水分解を示す。

解答群C (図4) ミオシンVに結合した目印の位置(縦軸)とその位置に移動するまでに加水分解したATPの個数(横軸)の関係



(d) 問題(c)の正解として選んだグラフを用いて、目印の結合位置がミオシンVの重心から進行方向に何ナノメートルずれているか(図1の x に相当する値は何ナノメートルか)を計算し、解答群Dからもっとも適切なものを選べ。

解答群D

- | | | |
|------------|------------|------------|
| 0 2ナノメートル | 1 4ナノメートル | 2 6ナノメートル |
| 3 8ナノメートル | 4 10ナノメートル | 5 12ナノメートル |
| 6 14ナノメートル | 7 16ナノメートル | |

- (e) ステップする前には、前に位置する脚のヘッドにはADPが結合しており、後ろに位置するミオシンVの脚のヘッドは空の状態にある。これを「ATP結合待ちの状態」と定義する。後ろに位置する脚のヘッドにATPが結合することによってATPの加水分解反応が始まる。歩行運動が進んでその脚がまた後ろに位置する状態になると、その脚のヘッドでの加水分解により生じたADPが解離し、そのATP1個の加水分解反応が完了する。そして、着目しているヘッドはこのとき再びATP結合待ちの状態にもどる。ある特定のヘッドに着目した場合、ATP結合待ちの状態から1回の加水分解反応を完了するまでの間に何ステップ進むか。もっとも適切なものを解答群Eから選べ。

解答群E

- | | | |
|------------|----------|----------|
| 0 0.5 ステップ | 1 1 ステップ | 2 2 ステップ |
| 3 3 ステップ | 4 4 ステップ | 5 5 ステップ |
| 6 6 ステップ | | |

- (f) ある1個のミオシンVについて、ATP結合待ちの状態から測定を開始すると、以後7個のATPの加水分解を完了した時点までに重心は何ナノメートル移動しているか。問題(e)の答えをふまえ、もっとも適切なものを解答群Fから選べ。なお、1個のミオシンVには脚が二つあることに注意し、測定を開始する前に結合したATPについては加水分解された個数としては数えないものとする。

解答群F

- | | |
|---------------|--------------|
| 0 74 ナノメートル | 1 148 ナノメートル |
| 2 168 ナノメートル | 3 296 ナノメートル |
| 4 424 ナノメートル | 5 592 ナノメートル |
| 6 1184 ナノメートル | |

- (8) 目印結合位置が重心から進行方向に4ナノメートル離れているとする。図1のようにこの脚が前に位置した状態でミオシンVがATP結合待ちのときから測定を開始すると、以後8個のATPの加水分解を完了した時点までに目印が進んでいる距離は何ナノメートルか。もっとも適切なものを解答群Gから選べ。なお、測定を開始する前に結合したATPについては加水分解された個数としては数えないものとする。

解答群G

- | | |
|--------------|--------------|
| 0 148 ナノメートル | 1 159 ナノメートル |
| 2 296 ナノメートル | 3 304 ナノメートル |
| 4 325 ナノメートル | 5 592 ナノメートル |
| 6 621 ナノメートル | |

- (2) モータータンパク質 F_1 -ATPase に関する次の文章を読み、問題(a)～(c)に答えなさい。

モータータンパク質のなかには、ミオシンのほかに ATP を加水分解して一方向に回転することのできる F_1 -ATPase というタンパク質も存在する。

F_1 -ATPase による ATP 加水分解速度 V は溶液中の ATP 濃度に影響を受け、下記の式 1 で表される。

$$V = \frac{A \times S}{B + S} \quad \text{式 1}$$

S : 溶液中の ATP 濃度 (単位 : mol/L)

V : ATP 濃度が S のときに 1 個の F_1 -ATPase が 1 秒間に加水分解する ATP の個数 (単位 : 個/秒)

A : ATP が高濃度になるにつれ近づく V の理論的な最大値の定数
(単位 : 個/秒)

B : A の半分の ATP 加水分解速度を示すときの溶液中の ATP 濃度の定数
(単位 : mol/L)

式 1 は $\frac{1}{S}$ と $\frac{1}{V}$ の関係を表す式に変形することもできる。そこで、さまざまな ATP 濃度における F_1 -ATPase による ATP の加水分解速度を調べる実験を行い、得られた値から計算した $\frac{1}{S}$ と $\frac{1}{V}$ の関係を黒丸(●)で記入したグラフを描いたところ、図 5 のように 1 本の直線で近似することができた。

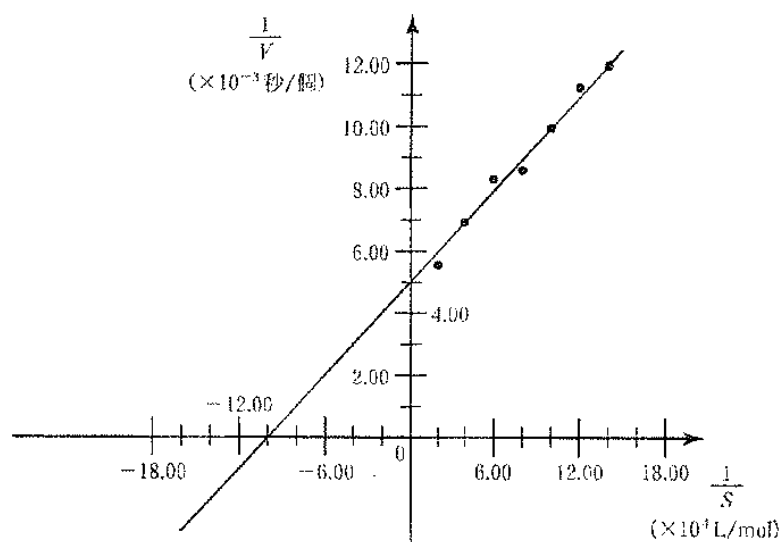


図5 F_1 -ATPase のATP加水分解速度における $\frac{1}{S}$ と $\frac{1}{V}$ の関係

- (a) 図5の直線に基づいて式1のAの値を計算し、小数第一位で四捨五入した整数値を1桁ずつ下記の形式で解答用マークシートの にマークしなさい。ただし、答えが1桁の場合には と の欄、2桁の場合には の欄に0をマークしなさい。

Aは 個/秒

- (b) 図5の直線に基づいて式1のBの値を計算し、答えを下記の形式で解答用マークシートの にマークしなさい。なお、答えは有効数字が2桁になるように3桁目を四捨五入し、 には指数の数字、 には指数の符号をマークすること。ただし、 が0の場合には は+にマークをすること。

Bは mol/L

↑ ↑
 小数点 正負の符号

- (c) 1個のF₁-ATPaseは1回転するたびに3個のATPを加水分解する。
ATP濃度が 15.0×10^{-6} mol/Lのときこの酵素1個は1秒間に何回転する
と考えられるか。答えを小数第1位で四捨五入して整数値を1桁ずつ下記の
形式で解答用マークシートの にマークしなさい。ただ
し、答えが1桁の場合には と に、2桁の場合には に0を
マークすること。

回転/秒

なお、逆方向への回転やATPを加水分解しないで起こる回転はないもの
とする。また、この問題に示されているATP加水分解以外には回転速度に
影響する要因はないものとする。