

生物難問攻略

manavee 生物会編
2014 年作成
©manavee 生物会



はじめに

この講座では、国公立二次および私立入試の難問を突破し、他の受験生に生物でアドバンテージを取ることができるよう、「日頃から思考負荷の高い問題に触れておく」ことを最大の目標としている。1問でも多く他の受験生よりも問題を多く解けるように厳しめの制限時間を各問題に設けて解くスピードをアップさせることも目標の1つとしている。日頃から難問に触れておくことで、入試本番に多少複雑な思考を必要とする問題が出題されても、動揺せずに平常心で立ち向かえるようになってほしいという願いを込めてある。

そのため、夏までに各予備校などが実施している記述式の模擬試験（各大学に特化したものは除く）で生物の偏差値が60を超えてくる受験生を主な対象とする。つまり、非常に生物が得意な受験生に受講してほしい。というのも、この講義で扱う演習問題は、各予備校等がやや難～難の判定を下した問題の中から、この問題集の編者がいい題材だと思った問題や、難しいと感じた問題のみで構成されているため、生物が得意でない受験生が受講すると、難しすぎてモチベーションの低下につながる危険性があるからである。そのあたりを十分に理解して受講してほしい。

この講義で扱う演習問題はすべて2014年に出题された入試問題によって構成されている。原本そのままの問題や、一部抜粋した問題、改題にすることによって難問に変えた問題が含まれている。問題の難易度に多少のばらつきはあるが、やや難程度の問題は、どこかの大学で焼き直しが発生する可能性のある問題を選んだつもりなので、少し簡単だと感じる問題は、実験の内容などの理解に努めてほしい。

授業に先立って予習してもらおうのだが、継続的に難問に触れるために、**1週間に1問**の問題演習を**受験年度の9月初**から行ってほしい。また、各演習問題に対して制限時間を（ ）書きで問題の横に付してあるので、**制限時間内に解き切る**こと。演習問題内に時間内に解けなかった設問が発生した場合は、その部分の設問は解かずに授業の受講を開始し、解けたところまで解説授業を見て、そのあとに時間内に解けなかった設問を解くようにすること。

授業のあと、なるべく早いうちに**しっかり復習**すること。予習の段階で時間が足りなかった人は、思考の経路を初めからたどりながらもう一度問題を解いてみること。

本講座・テキストを十二分に活用することにより、諸君の入試対策に大いに役立つことを願っている。

受講する人はまず、何月何日に各演習問題の予習を行うかの予定を立てておこう。習慣化するために、毎週同じ曜日に行うのが望ましい。さらに、復習も何月何日に行うかを決めておこう。また、解き終わった際に、時間内に解けたかどうかを○×で記入する欄もあるので、活用してほしい。9月初めから11月終わりまで13週しかないが、演習問題自体は14題用意した。これは、解いたことのある問題だった場合に、その問題を飛ばして次の問題に行くことを可能にするためである。さらに、それでも足りない場合に備えて、補充問題を2題追加しておいた。

演習問題14，補充問題はできれば解いてほしいが強制はしない。

問題	予習 (曜日)	制限時間	復習 (曜日)
演習問題 1	/		/
演習問題 2	/		/
演習問題 3	/		/
演習問題 4	/		/
演習問題 5	/		/
演習問題 6	/		/
演習問題 7	/		/
演習問題 8	/		/
演習問題 9	/		/
演習問題 10	/		/
演習問題 11	/		/
演習問題 12	/		/
演習問題 13	/		/
演習問題 14	/		/
補充問題 1	/		/
補充問題 2	/		/

演習問題 1 2014・順天堂大・第2問 (25分)

ハーディ・ワインベルグの法則を満たす集団では、遺伝子頻度は世代を超えて一定である。これをハーディ・ワインベルグの平衡という。しかし、この平衡が自然界で成り立っていることは少ない。①ハーディ・ワインベルグの平衡を乱す要因の一つに自然選択や淘汰がある。

ここでは、ハーディ・ワインベルグの法則を満たしていた集団が、表現型ごとに異なる度合いで自然選択を受ける環境に置かれた場合について考える※。

※ 以下では、さまざまな条件における遺伝子型頻度および遺伝子頻度などを数式を交えて考察していくが、式3~8は解説にしたがって各自での導出が必要である。ただし、記述式解答用紙に解答が必要なのは式4の空欄【イ】および式8の空欄【カ】のみなので、それ以外数式の変形や整理の仕方などは各自で考えやすいものを用いて構わない。また、ここでは伴性遺伝する遺伝子については考えないこととし、さらに異なる世代間での交配は生じないものとする。

まず、ある世代の対立遺伝子 A および a の遺伝子頻度を p および q (ただし A は a に対して優性。p+q=1) とする。次に、遺伝子型 AA, Aa, aa がこの環境で生き残って子孫を残す確率を、それぞれ W₀, W₁, W₂ とする (ただし、ここでは子孫を残す確率が上昇する場合は考えないことにして、0 ≤ W₀ ≤ 1, 0 ≤ W₁ ≤ 1, 0 ≤ W₂ ≤ 1 とする)。すると、次世代での遺伝子型頻度は表の最下行のようにあらわされる。

遺伝子型	AA	Aa	aa	合計
自然選択前の頻度	p ²	2pq	q ²	1
子孫を残す確率	W ₀	W ₁	W ₂	
自然選択後の頻度	$\frac{p^2 W_0}{p^2 W_0 + 2pqW_1 + q^2 W_2}$	$\frac{2pqW_1}{p^2 W_0 + 2pqW_1 + q^2 W_2}$	$\frac{q^2 W_2}{p^2 W_0 + 2pqW_1 + q^2 W_2}$	1

よって、自然選択後の a の遺伝子頻度を q' とすると、q' は p, q, W₀, W₁, W₂ を用いて

$$[式1] \quad q' = \frac{pqW_1 + q^2W_2}{p^2W_0 + 2pqW_1 + q^2W_2} = \frac{q(pW_1 + qW_2)}{p^2W_0 + 2pqW_1 + q^2W_2}$$

となる。q' と q の差は、1回の自然選択による a の遺伝子頻度の変化をあらわしている。これを Δq' として、p, q, W₀, W₁, W₂ を用いてあらわし、さらに p=1-q を考慮して整理すると、

$$\begin{aligned}
 [式2] \quad \Delta q' &= q' - q \\
 &= \frac{q(pW_1 + qW_2)}{p^2W_0 + 2pqW_1 + q^2W_2} - \frac{q(p^2W_1 + 2pqW_1 + q^2W_2)}{p^2W_0 + 2pqW_1 + q^2W_2} \\
 &= \frac{q(pW_1 + qW_2 - p^2W_1 - 2pqW_1 - q^2W_2)}{p^2W_0 + 2pqW_1 + q^2W_2} \\
 &= \frac{pq\{q(W_2 - W_1) + p(W_1 - W_0)\}}{p^2W_0 + 2pqW_1 + q^2W_2}
 \end{aligned}$$

となる。

式2に関して、まず W₀=W₁=W₂ の場合を考えると Δq' = 0 になる。これは、自然選択や淘汰がない場合に相当し、ハーディ・ワインベルグの平衡そのものを示している。

次に、aa のみで子孫を残す確率が低下する場合を考える。 $W_0=W_1=1$, $W_2=1-s$ ($0<s\leq 1$) として、これを式 2 に代入し、

$$[\text{式 3}] \quad \Delta q' = [\text{ア}]$$

が得られる。特に aa が致死の場合は式 3 に $s=1$ を代入し、さらに $p=1-q$ を考慮して整理すると、

$$[\text{式 4}] \quad \Delta q' = [\text{イ}]$$

が導かれる。式 4 が必ず負になることから、a の遺伝子頻度は世代ごとに減少していくことがわかる。しかし、式 4 のままでは世代経過にしたがった a の遺伝子頻度の変化の傾向をとらえにくい。そこで、ハーディ・ワインベルグの平衡が成立していた世代（自然選択を受ける直前の世代）を第 0 世代、自然選択後に初めて生じた世代を第 1 世代とし、世代ごとの a の遺伝子頻度を順次 $q_0, q_1, q_2, q_3, \dots$ とおいてみる。最初の自然選択の効果は $\Delta q' = q_1 - q_0$ となるので、式 4 から、

$$[\text{式 5}] \quad q_1 = [\text{ウ}]$$

が導かれる。同様にして、 q_2, q_3, \dots も q_0 を使ってあらわすことができ、一般的に第 n 世代 (n は 0 もしくは自然数) の q_n は q_0 と n を使って、

$$[\text{式 6}] \quad q_n = [\text{エ}]$$

となる。式 6 をグラフに表すことで世代経過に従った a の遺伝子頻度の変化が読み取れる。

続いて、優性の対立遺伝子 A が子孫を残す確率を低下させる場合を考える。AA と Aa で子孫を残す確率の低下が等しい場合、 $W_0=W_1=1-t$ ($0<t\leq 1$), $W_2=1$ として、式 2 に代入すると、自然選択後には a の遺伝子頻度が増えることがわかる。

最後に、Aa が子孫を残す確率は一定で、AA と aa では子孫を残す確率が異なる場合を考える。上記にならって $W_0=1-t$, $W_1=1$, $W_2=1-s$ として式 2 に代入し、 $p=1-q$ を利用して整理すると、

$$[\text{式 7}] \quad \Delta q' = \frac{pq([\text{オ}])}{1-tp^2-sq^2}$$

となる。分母は必ず正なので、 $\Delta q'$ の正負は [オ] の正負で決まり、

[オ] > 0 ならば $\Delta q' > 0$ となり、a の頻度は増加

[オ] < 0 ならば $\Delta q' < 0$ となり、a の頻度は減少

[オ] = 0 ならば $\Delta q' = 0$ となり、a の頻度は一定

と導き出される。a の頻度が一定になる場合、q は s と t をもちいて

$$[\text{式 8}] \quad q = [\text{カ}]$$

とあらわされる。式 8 が成立する条件では、a がきわめて有害な遺伝子で強い淘汰を受けても、a は集団内に一定の頻度で保たれる。これをヘテロ接合優勢とよぶ。

問 1 下線部①について下の表はハーディ・ワインベルグの法則が成り立つための 5 つの条件を、それぞれの条件が成り立たなくなった場合の集団への影響という面から分類したものである。表の空欄 [あ] ~ [う] に入るハーディ・ワインベルグの法則が成り立つための条件を、それぞれ 10 文字以内で答えよ、句読点は文字数に含めない。

ハーディ・ワインベルグの法則が成り立つための条件	該当する条件が成り立たなくなった場合の集団への影響
突然変異が生じない	遺伝子頻度を一定の方向に変化させる
自然選択や淘汰が起きない	
あ	
い	遺伝子頻度を変化させるが、その方向性は偶然によって左右される
う	遺伝子型頻度を変化させるが、遺伝子頻度には影響しない

問2 空欄[イ], [カ] にそれぞれ最も適切な数式を入れよ。

問3 下線部②について、a が劣性致死の場合、a の遺伝子頻度は世代経過にしたがってどのように変化するか。グラフの概形を解答用紙に実線で書き込んで示せ。

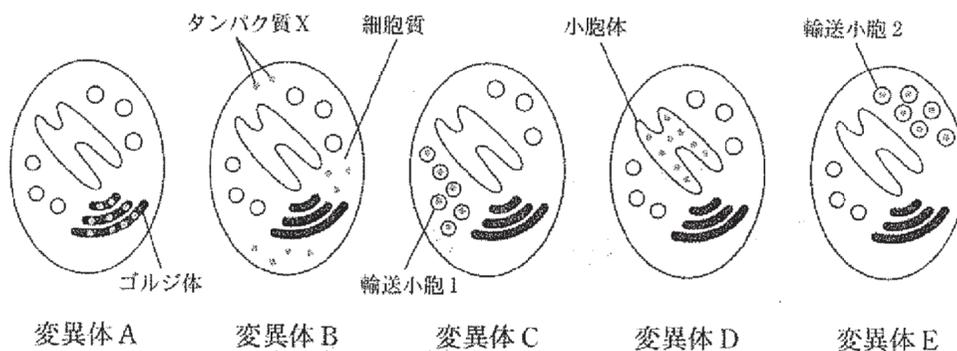
問4 あるヘモグロビン変異をホモで持つヒトのほとんどは、子孫を残す前に鎌状赤血球貧血症で死んでしまうが、正常型とのヘテロ個体は生存や生殖は正常で、マラリアにも感染しにくい。一方、正常型のホモ個体がマラリアに感染すると子孫を残す確率が低下する。これを参考にして、以下の(1)、(2)の問いに答えよ。

(1) あるマラリア流行地帯の集団では、このヘモグロビン変異の遺伝子頻度は世代を超えて 10% で一定しており、ヘテロ接合優勢の典型例であると考えられる。ヘテロ個体が子孫を残す確率を 1 とする時、式 8 を利用して、この地帯での正常型ホモ個体が子孫を残す確率を分数で答えよ。

(2) 問 4 (1) の地帯でマラリアが完全になくなった場合、この集団での鎌状赤血球貧血症の出現率が現在の $\frac{1}{9}$ になるのは何世代後か、式 6 を利用して計算せよ。ただし、マラリアがなくなった後に初めて生まれた世代を第 1 世代 (つまり q_1) とし、マラリアの有無以外の環境条件には変化がないものとする。

演習問題 ② 2014・東京理科大・第2問 (25分)

タンパク質の細胞外への分泌のしくみは、ほとんどの真核生物で類似していることが分かっている。酵母 (*Saccharomyces cerevisiae*) を用いて、細胞内で合成されたタンパク質 X が、どのようにして細胞外へ分泌されるかを調べた。正常な酵母 (野生型の酵母) に突然変異を起こさせて、増殖にとって最適な温度である 25℃ で培養したときはよく生育し、タンパク質 X を分泌するが、高温 (37℃) にすると生育が止まり、タンパク質 X を分泌することができない性質を持つ数種類の突然変異体 (以下、変異体とよぶ) を得た。このような変異体の性質を温度感受性とよぶ。これらの変異体内では、25℃ から 37℃ に移して培養したときに、突然変異により障害が生じているところでタンパク質 X の輸送が停止し、タンパク質 X が蓄積することが分かった。これらの温度感受性の変異体においてタンパク質 X が蓄積している場所を調べた結果、図 2 のように変異体 A～E に分類された。これらの各変異体ではタンパク質 X の生産に関する遺伝子には突然変異は生じていなかった。また、タンパク質 X の遺伝子自身にも突然変異は生じていなかった。これらのことをもとに、以下の設問に答えなさい。



変異体 A : タンパク質 X は主にゴルジ体に蓄積

変異体 B : タンパク質 X は主に細胞質に蓄積

変異体 C : タンパク質 X は主に輸送小胞 1 に蓄積

変異体 D : タンパク質 X は主に小胞体に蓄積

変異体 E : タンパク質 X は主に輸送小胞 2 に蓄積

図 2 タンパク質 X の分泌に異常がみられた変異体の種類

問 1 下線部について、細胞内で合成されたタンパク質 X の細胞外への分泌を調べるために以下の実験を行った。図 3 に示す実験結果をもとに、設問(1)～(3)に答えなさい。

実験 1

野生型の酵母を、2%グルコースを含む培養液で 25℃ で一晩培養した後、0.01%から 0.5%までのさまざまな濃度のグルコースを含む培養液に移し、さらに 40 分間培養した。タンパク質 X の分泌量を調べたと

ころ、図 3(A)に示す結果が得られた。また、培養液のグルコース濃度を 2%にしたときにはタンパク質 X の分泌量はさらに減少した。

実験 2

野生型の酵母を、2%グルコースを含む培養液で 25℃で一晩培養した後、0.01%グルコースを含む培養液に移した。その後、5 分ごとに培養液の一部を採取して時間経過にともなう培養液中に含まれるタンパク質 X の分泌量を調べたところ、図 3(B)の白丸 (○—○) で示す結果が得られた。また、同様に 2%グルコースを含む培養液で 25℃で一晩培養した野生型の酵母を、0.01%グルコースを含む培養液に移し、さらにその 15 分後にタンパク質の合成阻害剤を添加して培養したところ、図 3(B)の黒丸 (●…●) で示す結果が得られた。

実験 3

酵母の変異体 A を、2%グルコースを含む培養液で 25℃で一晩培養した後、0.01%グルコースを含む培養液に移した。その後、5 分ごとに培養液の一部を採取して時間経過にともなうタンパク質 X の分泌量を調べたところ、図 3(C)の白丸 (○—○) で示す結果が得られた。また、同様に 2%グルコースを含む培養液で 25℃で一晩培養した変異体 A を、0.01%グルコースを含む培養液に移し、さらにその 15 分後に培養液の温度を 37℃に変更したところ、図 3(C)の黒丸 (●…●) で示す結果が得られた。

実験 4

酵母の変異体 A を、2%グルコースを含む培養液で 25℃で一晩培養した後、0.01%グルコースを含む培養液に移した。15 分間培養後に培養液の温度を 37℃に変更し、さらに 15 分間培養した後、タンパク質合成阻害剤を加え、タンパク質 X が細胞内のどの部分に蓄積しているかを調べたところ、図 3(D)の結果が得られた。

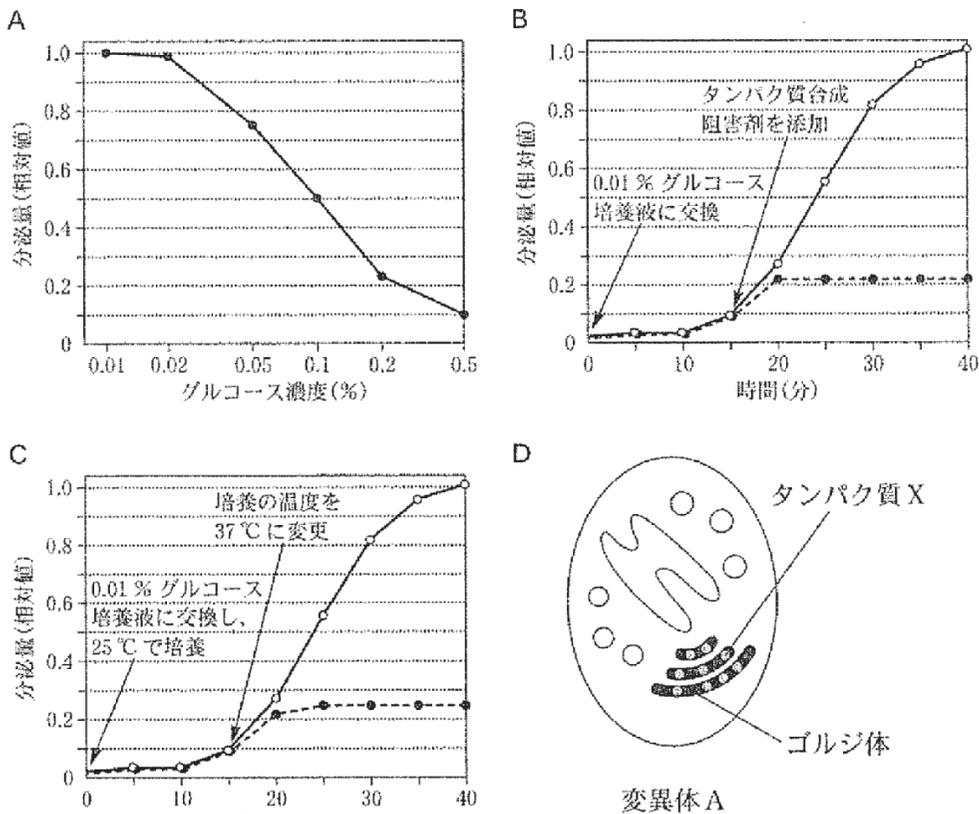


図 3 (A)野生型の酵母におけるグルコース濃度とタンパク質 X の分泌量の関係を示すグラフ。(B)野生型の酵母におけるタンパク質 X の分泌量とタンパク質合成阻害剤の影響を示すグラフ。(C)変異体 A における 25℃ もしくは 37℃ でのタンパク質 X の分泌量。各グラフにおけるタンパク質 X の分泌量はグラフ(A)の 0.01% グルコース濃度における分泌量を 1.0 とした相対値で示してある。(D)変異体 A において、タンパク質 X が蓄積する部位を調べた実験結果の模式図。タンパク質 X はゴルジ体に蓄積していた。

- (1) 以下の①～④の記述は、実験 1～4 で得られた結果にもとづいた考察である。内容的に正しいもの、誤りを含むもの、どちらともいえないものに分類せよ。
- ① タンパク質 X の分泌量は、酵母をグルコース濃度の低い培養液で培養することにより高めることができると考えられる。
 - ② 変異体 A は 0.01%グルコースを含む培養液で、25℃および 37℃のどちらの温度で培養した場合も、タンパク質 X の細胞外への分泌に異常があると考えられる。
 - ③ 25℃で一晩培養した野生型の酵母を、0.01%グルコースを含む培養液に移して培養を開始すると、タンパク質合成阻害剤の有無にかかわらず 15 分後あたりからタンパク質 X の分泌量が増加し続ける。
 - ④ 25℃で一晩培養した変異体 A を、0.01%グルコースを含む培養液に移し、15 分間に培養後に培養液

の温度を 37°C に移しても、タンパク質合成阻害剤を加えなければ、タンパク質 X はゴルジ体に蓄積せずに細胞外へ分泌すると考えられる。

- (2) 野生型の酵母を、2% グルコースを含む培養液で 25°C で一晚培養した後、0.1% グルコースを含む培養液に移し、その後の時間経過にともなう培養液中に含まれるタンパク質 X の分泌量を、実験 2 のタンパク質の合成阻害剤を加えない場合の実験と同様の方法で調べた。予想される結果を示すグラフを、図 3 を参考にして図 4 に描きなさい。

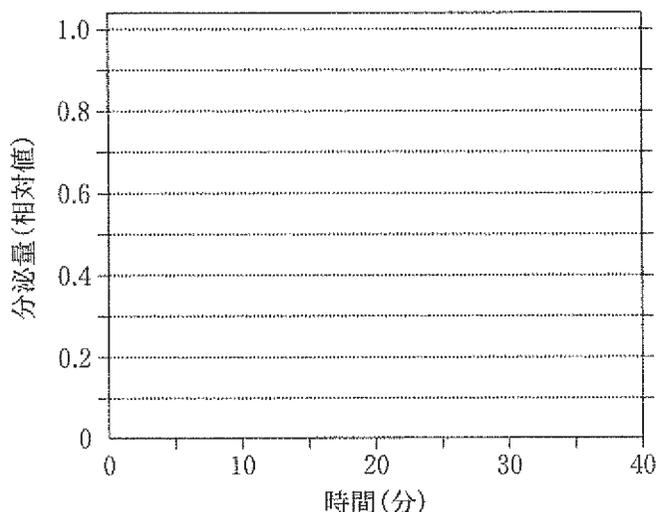


図 4 タンパク質 X の分泌量

横軸は培養時間(分)を、縦軸はタンパク質 X の分泌量を示すものとする。縦軸は図 3 グラフ(A)の 0.01% グルコース濃度におけるタンパク質 X の分泌量を 1.0 とした相対値とする。

- (3) 変異体 A では、なぜタンパク質 X がゴルジ体にたまと考えられるか。その理由として可能性があると考えられるもの、可能性がないと考えられるもの、どちらもいえないものに分類せよ。
- ① 変異体 A は輸送小胞をゴルジ体に輸送することができない。
 - ② 変異体 A のタンパク質 X に対する、mRNA はリボソームに結合することができない。
 - ③ 変異体 A はゴルジ体から輸送小胞を出芽することができない。
 - ④ 変異体 A のゴルジ体は輸送小胞と融合することができない。
 - ⑤ 変異体 A は小胞体から輸送小胞を作ることができない。
 - ⑥ 変異体 A はゴルジ体から輸送小胞にタンパク質を運び込むことができない。

問 2 変異体 B について詳細に調べたところ、タンパク質 Y の先頭のメチオニンから 7 番目のアミノ酸を指定する mRNA のコドンの中の 2 番目の塩基がアデニンからウラシルに置換していた。さらに、タンパク質 Y

の全アミノ酸配列を調べたが、この7番目のアミノ酸以外の部分には変異はみられなかった。タンパク質の合成は一般的にメチオニン（開始コドン）からはじまり、終止コドンで終わる。図5は変異体Bのタンパク質Yの1番目のメチオニンを含む先頭付近のアミノ酸配列を指定する mRNA の配列を示している。表1のコドン表を参考にして、設問(1)、(2)に答えなさい。

タンパク質の合成の方向→

...UUCAAGGAUGCUAUGUUAUGUUAAGUGGGGACAUCCC...

図5 変異体Bにおけるタンパク質Yの mRNA 配列の一部

		第2文字								
		U	C	A	G					
第1文字	U	UUU	UCU } UCC } UCA } UCG }	UAU } UAC } UAA } UAG }	UGU } UGC } UGA } UGG }	U } C } A } G }	フェニルアラニン セリン (終止) トリプトファン			
		UUC						}ロイシン	}チロシン (終止)	}システイン (終止) トリプトファン
		UUA								
		UUG								
	C	CUU	CCU } CCC } CCA } CCG }	CAU } CAC } CAA } CAG }	CGU } CGC } CGA } CGG }	U } C } A } G }	ロイシン プロリン グルタミン			
		CUC						}ヒスチジン グルタミン	}アルギニン	
		CUA								
		CUG								
	A	AUU	ACU } ACC } ACA } ACG }	AAU } AAC } AAA } AAG }	AGU } AGC } AGA } AGG }	U } C } A } G }	イソロイシン トレオニン メチオニン (開始)			
		AUC						}アスパラギン リシン	}セリン アルギニン	
		AUA								
		AUG								
	G	GUU	GCU } GCC } GCA } GCG }	GAU } GAC } GAA } GAG }	GGU } GGC } GGA } GGG }	U } C } A } G }	バリン アラニン アスパラギン酸 グルタミン酸 グリシン			
		GUC						}アスパラギン酸 グルタミン酸	}グリシン	
		GUA								
		GUG								

表1 mRNA のコドンに対応するアミノ酸の種類

(1) mRNA にはアミノ酸に翻訳される部分とされない部分があり、開始コドンの前にある塩基配列は、アミノ酸には翻訳されない。図5に示す mRNA の配列の中で、タンパク質Yに翻訳されない配列として最も適切なものを下の中から選べ。

- ① ...UUCAAGG ② ...UUCAAGGA ③ ...UUCAAGGAU ④ ...UUCAAGGAUG
- ⑤ ...UUCAAGGAGC ⑥ ...UUCAAGGAUGC ⑦ ...UUCAAGGAUGCUAUGUUA
- ⑧ ...UUCAAGGAUGCUAUGUUAUGUUAAGUGGGGAC

(2) 突然変異により、タンパク質 Y の 7 番目のアミノ酸は何から何に変わったと考えられるか。下の空欄 [a] と [b] を埋めるのに最も適切なアミノ酸を下の中から選べ。

[a] から [b] に変わった。

- ① アラニン ① システイン ② グリシン ③ アスパラギン酸 ④ ヒスチジン
- ⑤ リシン ⑥ ロイシン ⑦ グルタミン酸 ⑧ メチオニン ⑨ プロリン
- ⑩ セリン ⑪ イソロイシン ⑫ アルギニン ⑬ バリン ⑭ チロシン
- ⑮ フェニルアラニン ⑯ アスパラギン ⑰ トレオニン ⑱ グルタミン
- ⑲ トリプトファン

問 3 合成されたタンパク質がどのような経路をたどって細胞外へと分泌されるかを調べるために、2 種類の変異体の変異をあわせ持つ二重変異体を用いて以下の実験を行なった。変異体 A と変異体 D の変異をあわせ持つ酵母を用いて、培養液の温度を 25℃ から 37℃ に移して培養したときにタンパク質 X が主にどこに蓄積するかを調べたところ、タンパク質 X は小胞体に蓄積した。このようにして変異を二重にもつ変異体のすべての組み合わせを用意して、タンパク質 X が主にどこに蓄積するかを調べたところ、表 2 のような結果が得られた。

(1) 表 2 中の (a) と (b) にあてはまるものとして、最も適切なもの下の中から選べ。

- ① ゴルジ体 ① 細胞質 ② 輸送小胞 1 ③ 小胞体 ④ 輸送小胞 2

表 2 二重変異体におけるタンパク質 X が主に蓄積する場所

	A	B	C	D	E
A		細胞質	ゴルジ体	小胞体	輸送小胞 2
B			細胞質	細胞質	(a)
C				(b)	輸送小胞 2
D					小胞体
E					

A～E は図 2 の変異体 A～E に対応する変異を持つことを示し、表中の両者の交点はこれらの二重変異体でのタンパク質 X が蓄積する場所を表す。

(2) 実験の結果からタンパク質 X が細胞質で合成された後、細胞膜を経て細胞外へと分泌されるまで、どのような経路をたどるかについて考え、図示を試みた。図 6 はタンパク質 X が細胞質から「あ」「い」「う」「え」で示す小器官を通して、細胞膜へ輸送されることを示している。表 2 の結果と、図 6 の模式図の例にならって、タンパク質 X の細胞質から細胞膜までのもっとも適切な輸送経路を、解答用紙の該当する部分に矢印を記入しなさい。

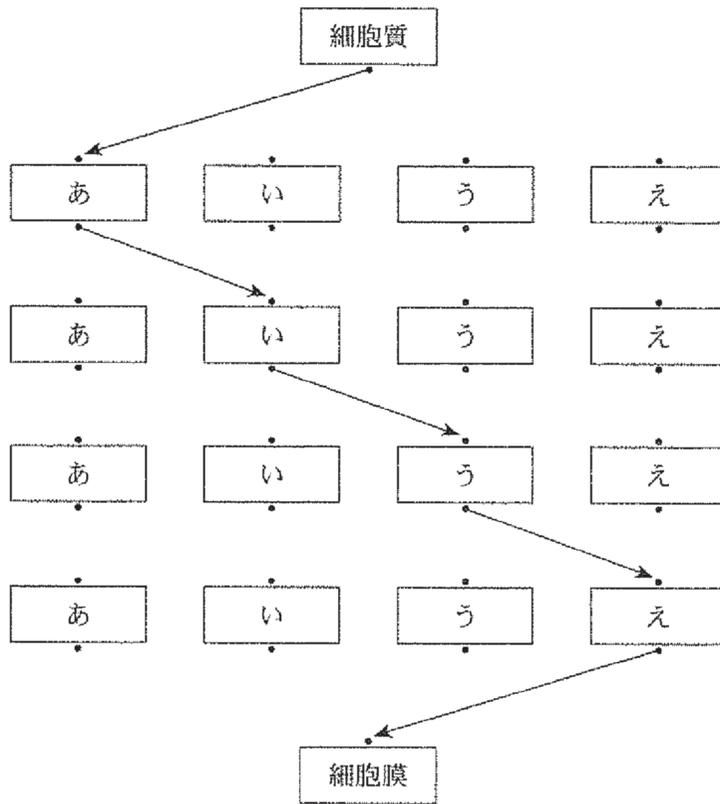


図6 タンパク質 X の細胞質から細胞膜への輸送経路を示す模式図

演習問題 ③ 2014・大阪大・第1問 (25分)

心臓は絶えず収縮と拡張を繰り返すことにより、全身に血液を送り出しているが、その受け皿となる血管も収縮と拡張を行うことによって、血液の循環を調節している。この血管の働きを調べるために以下のような実験を行った。

ウサギの動脈を取り出して、図1に示すようにリング状に切り取り、リングの2か所に糸をかけ、一方の端を固定し、もう一方の端を、張力を感知する検出器につないだ。最初に張った糸にたるみのない状態を「張力=0」とし、血管の収縮を張力の変化として測定した。切り取った動脈は、長い時間にわたって生きた状態で保つておくために、酸素を吹き込んだ37℃の「溶液」に浸してさまざまな薬剤の効果を検討した。

なお、実験に用いた動脈血管は、収縮・弛緩を行う血管平滑筋細胞からなる筋層と、その内側にある、それ自身は収縮・弛緩を行わない血管内皮細胞の層から構成されている(図2)。

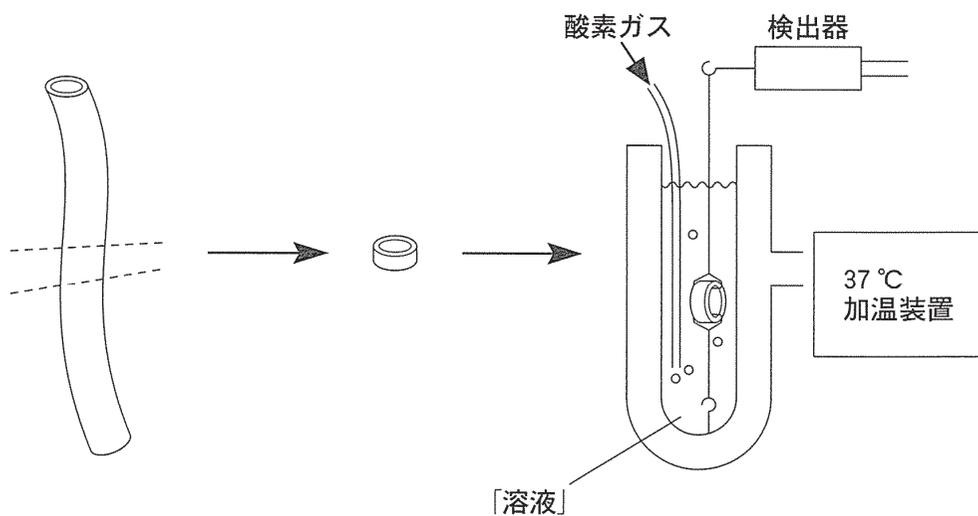


図1

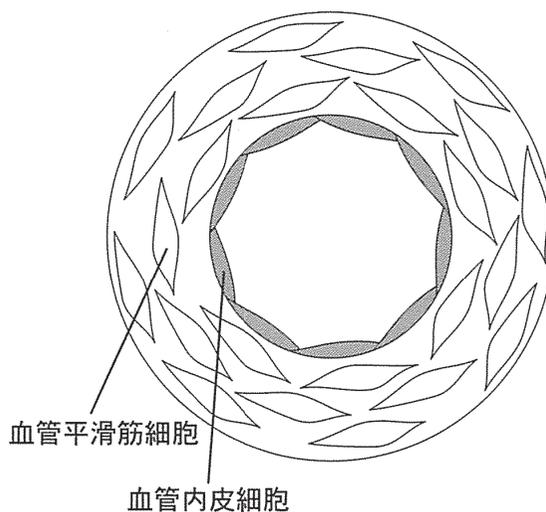


図2

問4 血圧は、動脈を流れている血液が血管壁に加える圧力として定義される。自律神経の働きによって心臓の拍動と動脈血管の収縮・拡張が協調的に制御されることで、血圧は変化する。脊椎動物の循環系が閉鎖血管系であることに言及しつつ、自律神経が心臓・血管の双方にどのように作用することにより血圧上昇が起きるのか、80字以内で述べよ。

問5 血管内皮細胞を除去した動脈標本を用いて、実験Ⅰと同様の実験（実験Ⅱ）を行ったところ、図4のような結果となった。この結果より、アセチルコリンの添加時における血管内皮細胞の働きについて75字以内で述べよ。

実験Ⅱ

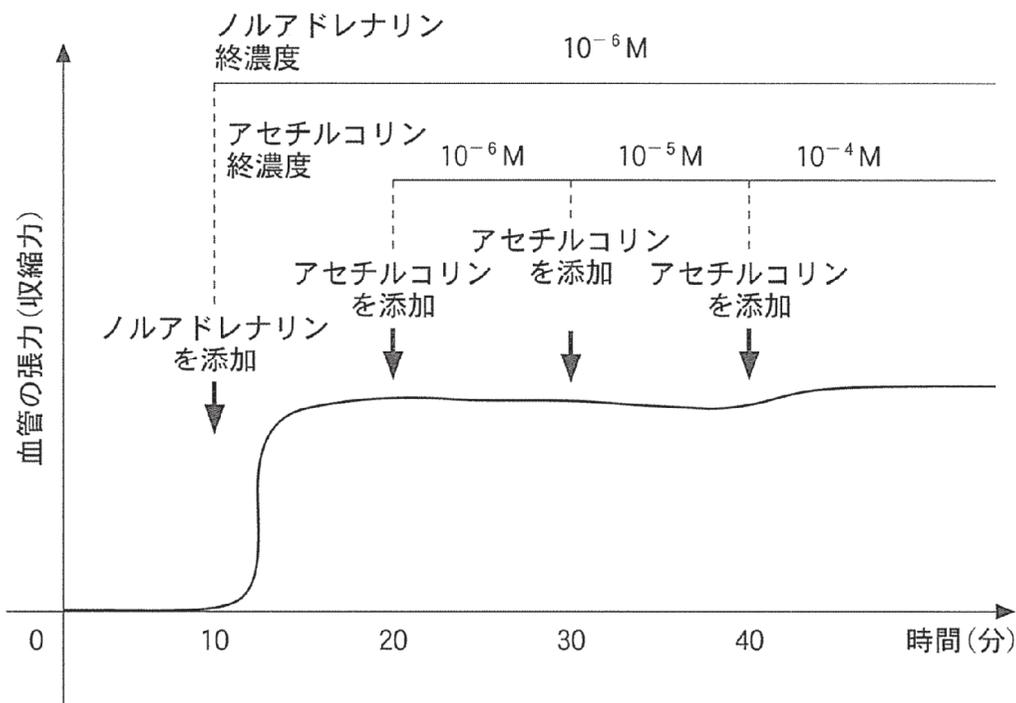


図4

問6 血管内皮細胞を除去した動脈標本を用いて、ノルアドレナリンを加えずにアセチルコリンのみを投与したところ（実験Ⅲ）、図5のような結果になった。なお、血管内皮細胞を除去しない動脈標本でアセチルコリンのみを投与する実験（実験Ⅳ）を行ったところ、図6のような結果となった。

- (1) 実験Ⅲにおいて高濃度のアセチルコリンを投与すると血管は収縮したが、考えられる理由について60字以内で答えよ。
- (2) 実験Ⅳにおいて血管収縮が見られない理由について75字以内で考察せよ。

実験Ⅲ

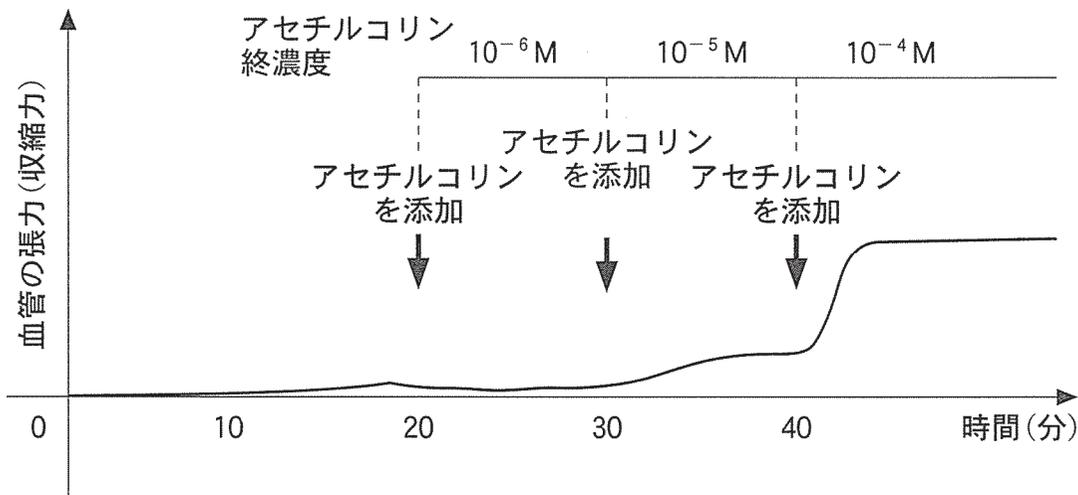


図 5

実験Ⅳ

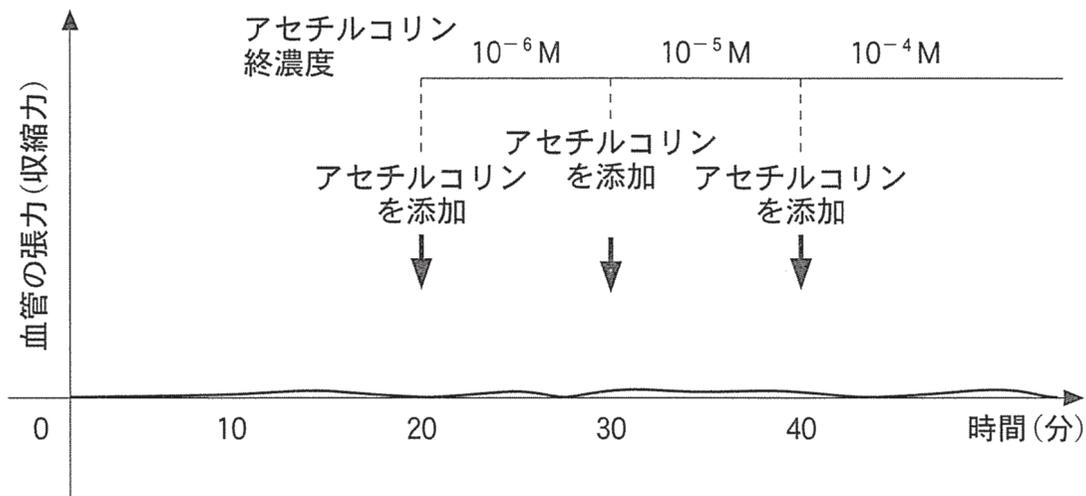


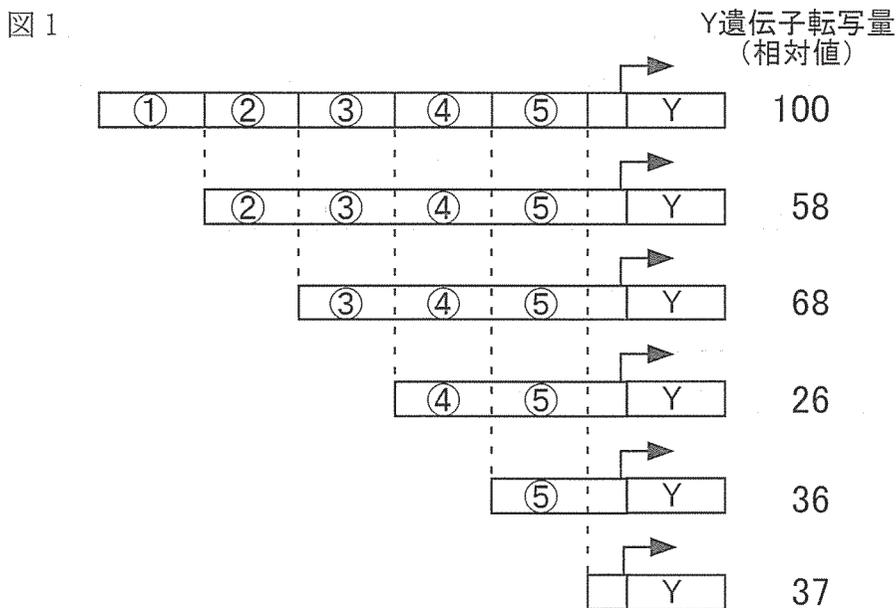
図 6

演習問題 ④ 2014・大阪大・第3問 (20分)

真核細胞における転写は、遺伝子の転写開始部位近くに存在する[ア]と呼ばれる DNA 配列に、DNA 鎖をほどくなどの役割を持つ基本転写因子や、[イ]が結合することで開始される。転写の量や時期などの調節には、[ア]とは異なる領域に存在する転写調節配列と、そこに結合する核内の転写調節タンパク質が重要な役割を担っている。これらの調節配列や調節タンパク質をみつける方法として、細胞を用いた遺伝子転写量の測定実験や、電気泳動法を用いた DNA とタンパク質の結合解析実験などがあげられる。ヒト肝臓の細胞(肝細胞)に発現する X 遺伝子の転写調節の仕組みを明らかにするために、以下の2つの実験を行った。

【実験1】

X 遺伝子の転写調節配列をみつけるために、X 遺伝子の転写調節に関わると予想される塩基配列を段階的に短くし、肝細胞には発現していない Y 遺伝子と連結させた DNA を作製した(図1)。得られた DNA を肝細胞に導入し、Y 遺伝子が転写される量を測定したところ図1のような結果となった。この結果から、①～⑤の領域のうち X 遺伝子の転写を促進する領域は[ウ]であることがわかった。



【実験2】

実験1で明らかになった転写促進領域にタンパク質が結合しているかを調べるため、この領域と同じ塩基配列を持つ2本鎖DNA(表1、配列W)の末端を放射性同位体で標識した標識配列Wと、肝細胞の核抽出液(核に存在する複数のタンパク質を含む)を準備した。この標識配列Wのみ、もしくは標識配列Wと核抽出液の混合物を、電気泳動した。ただし、今回の電気泳動では、分子や分子複合体のサイズが小さいほど泳動方向に移動しやすくなる。泳動後、X線フィルムを用いて放射性同位体の存在位置を調べたところ、aとbのバンドが検出された(図2列1、列2)。このことから、①核抽出液中に、転写促進領域に結合するタンパク質が存在することがわかった。

次に、転写促進領域とタンパク質との結合に必要な塩基配列を調べる実験を行った。標識配列Wと核抽出液の混合物に、②標識をしていない配列Wを過剰に加えるとaのバンドのみが検出され(図2列3)、配列

W の一部の塩基を置換した配列を持つ標識をしていない 2 本鎖 DNA (表 1, 配列 M) を過剰に加えた場合には a, b のバンドが検出された (図 2 列 4)。

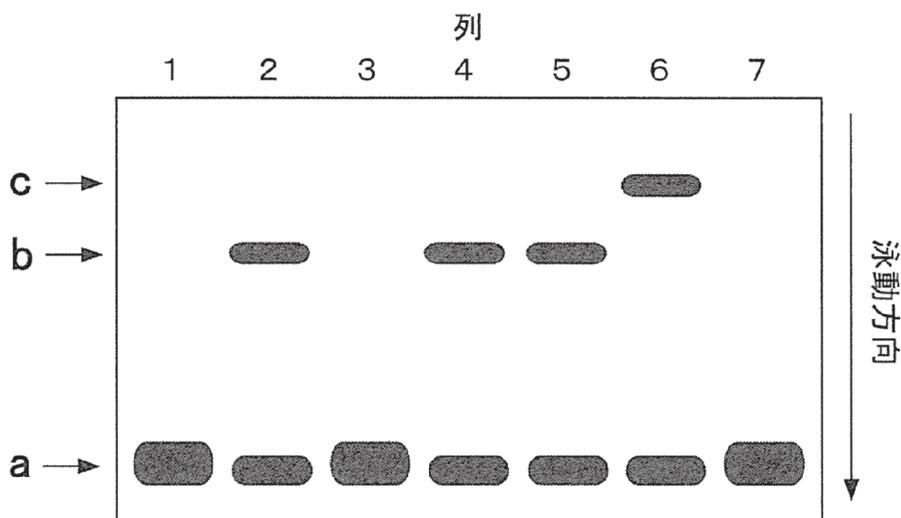
最後に、転写促進領域に結合するタンパク質が何であるかを調べる実験を行った。標識配列 W と核抽出液の混合物に、抗体 1 (核抽出液中のタンパク質と結合しない) を加えたところ a と b のバンドが検出された (図 2 列 5)、^③抗体 2 (タンパク質 Q の特定の amino 酸配列に結合) を加えた場合には a と c のバンドが検出された (図 2 列 6)。また、^④抗体 3 (タンパク質 Q の特定の amino 酸配列に結合するが、抗体 2 とは異なる配列に結合) を加えた場合には a のバンドのみが検出された (図 2 列 7)。これらの結果から転写促進領域にはタンパク質 Q が結合していることがわかった。

表 1

配列 W	TAG TCT CAG CTG CTG ACC TCA
配列 M	TAG TCT TGA GAC CTG ACC TCA

(DNA の片側の鎖のみ示す)

図 2



- 列 1 : 標識配列 W
- 列 2 : 標識配列 W + 核抽出液
- 列 3 : 標識配列 W + 核抽出液 + 非標識配列 W
- 列 4 : 標識配列 W + 核抽出液 + 非標識配列 M
- 列 5 : 標識配列 W + 核抽出液 + 抗体 1
- 列 6 : 標識配列 W + 核抽出液 + 抗体 2
- 列 7 : 標識配列 W + 核抽出液 + 抗体 3

- 問1 文中の空欄[ア], [イ]に適切な語句を入れよ。また, 空欄[ウ]にあてはまる数字①～⑤をすべて記入せよ。
- 問2 下線部(1)の結論が導かれることに着目して, 図2の a, b がそれぞれ何に由来するバンドかを答えよ。
- 問3 下線部(2)の結果からどのような結論が得られるか。塩基配列を記載しながら 50 字以内で説明せよ。(塩基配列の記載は 1 塩基 1 文字とする。)
- 問4 下線部(3)について, 抗体 2 を添加した際に c のバンドが検出された理由を 40 字以内で述べよ。
- 問5 下線部(4)について, 抗体 3 を添加した際に a 以外のバンドがみられなくなった理由を 70 字以内で述べよ。

演習問題 5 2014・北海道大・第2問(改) (15分)

野生型のマウスの毛色（以下、野生色とよぶ）は、灰色がかったように見える。毛の中で、メラニン色素である黒色のユーメラニン（黒色素）と黄色のフェオメラニン（黄色色素）の両方が存在しているからであるつまり、ユーメラニンとフェオメラニンが存在すると毛色は野生色に、ユーメラニンのみが存在すると毛色は黒色に、フェオメラニンのみが存在すると毛色は黄色に、ユーメラニンもフェオメラニンも存在しないときは毛色が白色になる。なお、黒色素と黄色色素は、ともにドーパキノンから産生される。また、ドーパキノンは、チロシナーゼという酵素によりチロシンから産生される。

黒色系統とある白色系統（以下、白色系統はこの白色の系統を指すものとする）とを交配して得られた F_1 の表現型はすべて野生色であった。さらに、この F_1 どうしを交配して得られた F_2 の表現型の分離比は、野生色：黒色：白色＝9：3：4 であった。また、①白色系統の雌と黄色系統の雄とを交配して得られた F_1 どうしを交配して得られた F_2 の表現型の分離比は雌雄で異なった。

白色系統から得られた受精卵に、正常なチロシナーゼ遺伝子を含む DNA 断片（以下、DNA 断片 A とよぶ）を注入したところ、DNA 断片 A が X 染色体に組込まれ、②チロシナーゼ遺伝子を発現する雌個体が得られた。

マウスの細胞中に存在する X 染色体の数は雌雄で異なっており、雄では 1 本、雌では 2 本である。しかし、雌マウスの細胞では胚発生の過程で、2 本の染色体のうちどちらか一方が不活性化され、その染色体からの遺伝子発現が起こらなくなる。その結果、いずれの体細胞においても、X 染色体上に存在する遺伝子の発現量は雌雄間でほぼ等しくなっている。2 本の染色体のうち、どちらが不活性化されるかは偶然に決まる。また、一度不活性化された体細胞の X 染色体は生涯を通じて不活性な状態が続き、細胞分裂時に複製と分配が行われた後も不活性のままである。したがって、下線部②における雌マウスの体表では、DNA 断片 A が組込まれた X 染色体が不活性化されずにチロシナーゼを発現している細胞群と、DNA 断片 A が組込まれた X 染色体が不活性化されたためにチロシナーゼを発現できない細胞群が、まだらとなって混在しているのである。なお、配偶子形成時の卵原細胞で、一方の X 染色体における不活性化状態が消去され、再び X 染色体は 2 本とも活性化の状態に戻る。したがって、次世代にそのまま X 染色体の不活性化の状態が伝わるわけではない。

問 1 下線部①の交配によって得られた子どもの表現型とその分離比を雌雄に分けて答えよ。

問 2 下線部②の個体と白色系統の個体を交配した。以下の(1)、(2)に答えよ。

- (1) この交配によって得られた F_1 の表現型とその分離比を答えよ。
- (2) この交配によって得られた、まだら模様の雌個体になるはずだった初期胚（初期胚では X 染色体の不活化は起こっていないものとする）の内部細胞塊から細胞を一部取り出して、白色系統の雌の胚盤胞内に移植した。次の①、②に答えよ。
 - ① この雌個体の表現型を答えよ。
 - ② この雌個体と白色系統の雄個体とを交配して得られる子どもの表現型とその分離比を答えよ。ただし、初期胚を移植した雌個体では、移植した細胞と移植先の細胞がともに 50%の確率で生殖大坊になるものとする。

演習問題 6 2014・京都大・第1問 (15分)

DNA に突然変異を誘発する化学物質 Q をショウジョウバエに与えたのち、その子孫に現れる表現型や、その表現型の原因となる遺伝子を以下のように解析した。まず、雄のショウジョウバエ成虫に化学物質 Q を与えた後、野生型の雌と交配させて多数の子（第一世代）を得た。これら第一世代それぞれを野生型と交配させ、次世代（第二世代）を得た。さらに、親が同じである第二世代どうしを交配させ、その次の世代（第三世代）を得た。各世代のショウジョウバエ個体を、羽に注目して解析したところ、第一世代で羽の一部が欠けていた個体が見つかった。一方、第一世代、第二世代では正常な羽であったが、第三世代で羽のサイズが極端に大きくなる個体が出現する系統が見つかった。

問1 化学物質 Q を与えた個体ではなく、その子孫に羽の異常の表現型が現れたのはなぜか。「体細胞」「生殖細胞」という言葉を用いて、解答欄の枠の範囲内で記せ。

問2 いずれの系統でも第二世代で初めて表現型が現れることはなかった。表現型が初めて現れる世代が第一世代か第三世代かに別れた理由を、解答欄の枠の範囲内で記せ。

問3 化学物質 Q は、DNA を構成する塩基の 1 つであるグアニンに結合してその性質を変化させる。化学物質 Q が結合したグアニンは、シトシンではなくチミンと塩基対を形成する。羽のサイズが極端に大きくなった個体の DNA を解析した結果、遺伝子 Y 上の 1 つの塩基が変化する突然変異が起こり、遺伝子 Y から作られるタンパク質の後半部分が欠損し、機能がなくなっていた。この突然変異はどのアミノ酸をコードする配列上に起きていたと考えられるか。表 1 の遺伝暗号表を参考にしながら、可能性のあるアミノ酸のうち 1 つを解答欄 (1) に記入し、その理由を解答欄 (2) の枠の範囲内で記せ。ただし、突然変異は全ゲノム中に 1 カ所だけ起こったものとする。

表1

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

演習問題 7 2014・京都大・第2問 (25分)

細胞には、ゲノム DNA が外的あるいは内的要因によって損傷を受けた場合、そうした傷を修復する仕組みがある。例えば、太陽光に含まれる紫外線によってゲノム DNA が損傷することが知られている。紫外線による DNA 損傷は、多種類の酵素が働くことによって正確に修復される。ここで、遺伝学の研究に多用される出芽酵母を用いて、DNA 損傷の修復にかかわる遺伝子を単離して解析する実験について考えてみる。出芽酵母は単細胞真核生物であり、一倍体（核相 n ）、二倍体（核相 $2n$ ）いずれの状態でも増殖することができる。また、異なる性の一倍体細胞が接合する有性生殖を行うことがある。

実験 1：一倍体の酵母細胞を変異原性の化学物質で処理して人為的に遺伝子の突然変異を誘発した。これらの変異細胞の中から、紫外線照射によって細胞増殖ができずに死んでしまう 2 つの変異株（X、Y 株）を得た。

問 1 変異株を得るときに一倍体細胞を使用した理由を解答欄の枠の範囲内で記せ。

実験 2：X、Y 株の原因遺伝子（変異原性の化学物質処理により変異が起こった遺伝子）を同定する目的で次の実験を行った。まず、野生株の出芽酵母ゲノム DNA を平均長数千ヌクレオチドに断片化し、プラスミドに組み込んだ。こうしてできたプラスミドの集まりをゲノムライブラリーという。このライブラリープラスミドを X 株に導入して、紫外線を照射したのち寒天培地上で培養した。この時、導入されたプラスミドは 1 細胞あたり 1 種類であり、導入後は細胞内で安定に保持され、紫外線照射によって細胞には新たな変異は起きないものとする。

その結果、寒天培地上で 3 つのコロニーが形成された。この 3 つのコロニーからプラスミド DNA を回収し、塩基配列を解析した。その結果、図 1 に示すようにプラスミドの挿入 DNA 断片上にいくつかの遺伝子が見つかった。斜線部分は遺伝子を示す。

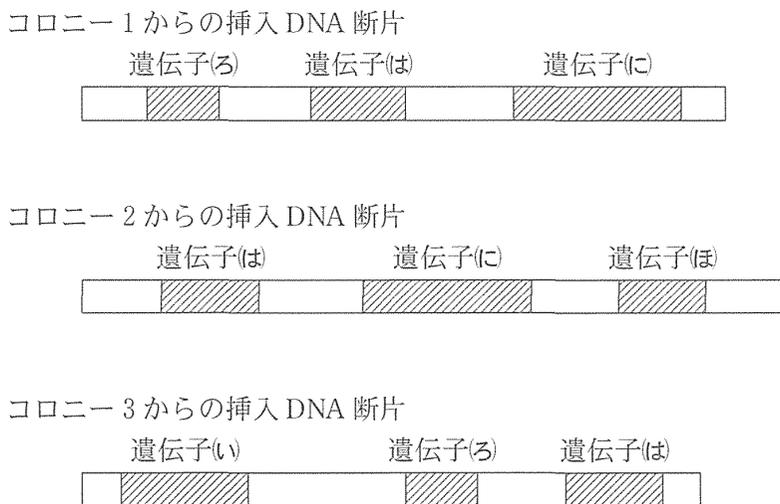


図 1

問 2 図 1 の遺伝子(い)～(ほ)のうち、X 株の原因遺伝子の候補として最も可能性が高いものを 1 つ選び、解答欄に記号で答えよ。

実験3：Y株については実験2の方法ではコロニーが生じなかったため、2つ以上の遺伝子に変異があり、いずれの遺伝子に変異しても紫外線抵抗性を失うと解釈した。そこで、図2の上段に示すように、Y株の細胞と野生型の細胞を有性的に接合させ二倍体細胞を作製し、これらを飢餓状態にして減数分裂を誘導した。なお、出芽酵母は動物や植物と同様の減数分裂を行い、二倍体細胞に由来する孢子嚢の中に4つの一倍体細胞（ア～エ）を作る。

孢子嚢に含まれる4つの一倍体細胞を1つずつ培養し、コロニーを形成させた。それぞれのコロニーの一部を新しい寒天培地に植え継ぎ、紫外線を照射して培養した。紫外線抵抗性を示す細胞は増殖し、紫外線抵抗性を示さない細胞は増殖できない。図2の下段には6つの孢子嚢（1～6）を用いた結果を模式的に示しているが、実際は多数の孢子嚢を用いた。

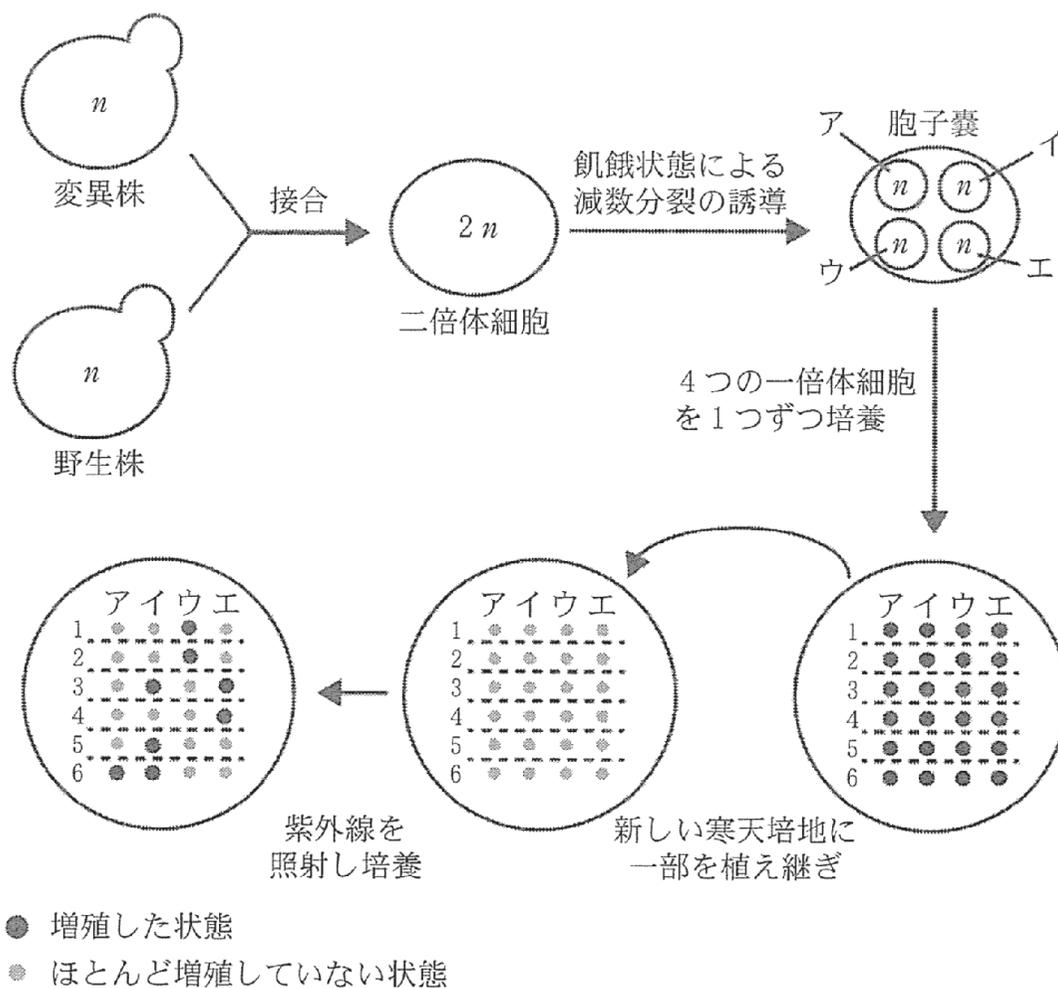


図2

問3 実験3と同様な操作をX株の細胞を用いて行った。1つの孢子嚢の中の4つの一倍体細胞において、(紫外線抵抗性を示す細胞数) : (紫外線抵抗性を示さない細胞数) の分離比はどのようになるか。次の(あ)～(お)の中から1つ選んで解答欄に記せ。

- (あ) 0 : 4 (い) 1 : 3 (う) 2 : 2 (え) 3 : 1 (お) 4 : 0

問4 Y株の細胞を用いて実験3を行った。2つの原因遺伝子が異なる染色体に存在し、減数分裂の際に原因遺伝子を含む染色体領域がいずれも相同染色体と乗換えないとする。このとき4つの一倍体細胞において、(紫外線抵抗性を示す細胞数) : (紫外線抵抗性を示さない細胞数) の分離比は孢子囊によって異なる。多数の孢子囊で分離比を調べると、各分離比の出現割合(%)はどのようなになるか。解答欄の(あ)~(お)に数字で記せ。

分離比	0 : 4	1 : 3	2 : 2	3 : 1	4 : 0
出現割合(%)	(あ)	(い)	(う)	(え)	(お)

問5 Y株の細胞を用いて実験3を行った。2つの原因遺伝子が異なる染色体に存在し、減数分裂の際に相同染色体間の乗換えが起こる場合、(紫外線抵抗性を示す細胞数) : (紫外線抵抗性を示さない細胞数) の分離比の出現割合は問4の場合と異なる。出現割合が増加する分離比を、次の(あ)~(お)の中から1つ選んで解答欄に記せ。

(あ) 0 : 4 (い) 1 : 3 (う) 2 : 2 (え) 3 : 1 (お) 4 : 0

問6 Y株の2つの原因遺伝子が異なる染色体に存在していると仮定する。実験2と実験3の手法を組み合わせ、原因遺伝子の候補を絞り込みたい。その方法を解答欄の枠の範囲内で記せ。

演習問題 8 2014・東京大・第1問 (25分)

〔文1〕

カモノハシなどの単孔類やコアラなどの有袋類を除く大部分のほ乳類では、胎仔は胎盤を介して母体から供給される栄養分と酸素に依存して発育する。そのため、胎盤に深刻な異常が生じると、胎仔の発育は停止し死に至る。胎盤で母体の血液が胎仔血管に流れ込むことはなく、赤血球が母体の肺から胎仔の末梢組織へ酸素を直接届けることはできない。胎盤で胎仔が酸素を受け取ることができるのは、(ア)母体のもつ成体型ヘモグロビンと胎仔赤血球に含まれる胎仔型ヘモグロビンの酸素結合能が異なるおかげである。

〔文2〕

マウスの初期胚発生では、胚盤胞期に胞胚腔が形成され、それを囲む栄養外胚葉と、内側に存在する内部細胞塊の、2つの細胞集団が現れる(図1-1)。成熟した胚盤胞が子宮の内壁に着床すると、栄養外胚葉の細胞は胎盤や胎膜を形成するが、胎仔の体細胞や生殖細胞には分化しない。一方、内部細胞塊からは胎盤細胞への分化は起こらず、胎仔の体をつくる三胚葉が派生する。さらに、中胚葉の一部の細胞が生殖細胞へと分化する。胚性幹細胞(ES細胞)は内部細胞塊から樹立され、その分化能をよく保持している。また、マウスでは、2つの8細胞期胚を合わせて1つの胚にしたり、8細胞期胚とES細胞を合わせて胚にES細胞を取り込ませたりすることによって、遺伝的に異なる細胞が混在する個体(キメラとよばれる)をつくることができる。キメラにおける細胞の分布様式は、表1-1に示すように、用いる細胞の組合せによって異なる。

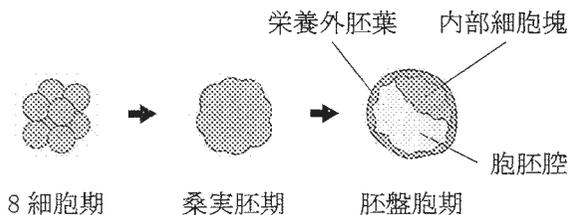
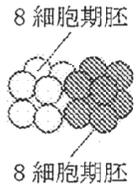
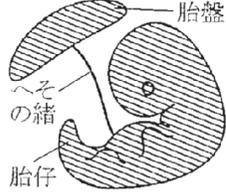
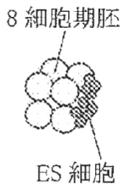
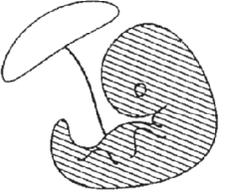
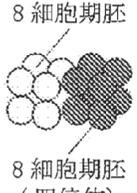


図1-1 マウスの8細胞期から胚盤胞期までの発生を示した模式図

桑実胚期には割球の境界が不明瞭になる。胚盤胞は内部構造を表すために、その断面図を示した。

表1—1 異なる細胞の組合せで作製されるキメラ

組合せ	細胞の分布 ^(注1)	説明
 <p>8細胞期胚 8細胞期胚</p>	 <p>胎盤 その緒 胎仔</p>	<p>2つの8細胞期胚を1つに合わせて作製するキメラ。胎盤と胎仔の両方で遺伝的に異なる細胞が混在する。</p>
 <p>8細胞期胚 ES細胞</p>		<p>8細胞期胚とES細胞を合わせて作製するキメラ。内部細胞塊に由来するES細胞は胎盤の細胞に分化しないため、胎仔のみで細胞が混在する。</p>
 <p>8細胞期胚 8細胞期胚 (四倍体)</p>		<p>2つの8細胞期胚の一方に四倍体胚^(注2)を用いて作製するキメラ。四倍体細胞は胎盤に分布して正常に機能するが、胎仔には分布しない。</p>

(注1) 斜線部分が遺伝的に異なる2種類の細胞からなる。

(注2) 2細胞期胚の割球を人工的に融合して四倍体化した胚を発生させたもの。

[文3]

ほとんどの動物は、精子に由来する父由来染色体と卵に由来する母由来染色体をもつ二倍体であり、多くの場合、どちらの染色体上の対立遺伝子もともに発現し得る。しかし、ほ乳類では、父由来染色体と母由来染色体は機能的に等価ではないことが知られている。たとえばある遺伝子座では、常に父由来染色体上の対立遺伝子のみが発現し、母由来の相同染色体上の対立遺伝子は不活性化されて発現しない（この逆のケースもある）。この現象は、親の始原生殖細胞において、その性に応じてオス型あるいはメス型の印が染色体上につけられるために起こるもので、「ゲノム刷り込み」とよばれている。(1)ゲノム刷り込みのため、ほ乳類の正常な個体発生には、父由来と母由来双方の染色体が必要となる。

ここで、胎盤と胎仔の両方で発現する遺伝子Aに注目し、その個体発生における機能を知るためにキメラ作製を含む以下の実験を行った。なお、遺伝子機能の欠損によってある種類の細胞が正常につくられず組織の形成と機能に異常が生じる場合、正常細胞が混在したキメラを作製すると、失われるはずの細胞種を正常細胞が補い、組織は正常に形成されその機能も回復する。

実験1 まず、バイオテクノロジーの手法を用いて遺伝子型AaのES細胞を作製し（Aは野生型、aは機能を完全に欠失させた対立遺伝子とする）、このES細胞と野生型8細胞期胚を用いてキメラ個体を作製

した。そのうちの1匹のオスと野生型メスマウスをかけあわせたところ、得られた⁽⁹⁾第1世代(F1)マウスの10%が遺伝子型 Aa の個体であった。さらに、Aa 個体 (F1) と野生型個体のかけあわせから、表1-2の結果が得られた。

表1-2 Aa 個体(F1)と野生型個体のかけあわせで得られたF2胎子の表現型

かけあわせ	F2胎子の遺伝子型	
	AA	Aa
♀AA × ♂Aa	正常	正常
♀Aa × ♂AA	正常	妊娠中期に発生が停止

実験2 実験1の結果を受け、受精卵の移植実験を行った。F1個体のかけあわせで得られる受精卵を体外に取り出し、異なる遺伝子型のメスマウス(レシピエントとよぶ)に移植して胎子を発生させたところ、表1-3の結果が得られた。なお、レシピエント自身の卵は受精しないため、それに由来する胎子は存在しない。また、胚操作によるダメージの影響はないものとする。

表1-3 胚移植実験で得られたF2胎子の表現型

受精卵を得た かけあわせ	レシピエント の遺伝子型	F2胎子の遺伝子型	
		AA	Aa
♀AA × ♂Aa	AA	正常	正常
♀AA × ♂Aa	Aa	正常	正常
♀Aa × ♂AA	AA	正常	妊娠中期に発生が停止
♀Aa × ♂AA	Aa	正常	妊娠中期に発生が停止

実験3 実験1, 2において発生が停止したF2個体を精査したところ、そのすべてにおいて、胎盤の形態に顕著な異常が見られた。一方、発生が停止する直前の時期の胎子には形態的な異常が認められなかった。このことから、「発生停止は胎盤の機能が不十分なために起こる二次的な表現型である」との仮説を立て、その検証のためのキメラ作製実験を計画した。キメラ作製実験でこの仮説を検証するには、⁽¹⁰⁾発生が停止するはずの遺伝子型の個体において、胎盤のみに正常に機能する細胞を分布させて胎盤の機能を補完した場合の胎子の表現型を見ればよい。

問1 下線部(ア)について。図1-2は、胎盤における二酸化炭素分圧のときの、成体型ヘモグロビンと胎子型ヘモグロビンの酸素解離曲線である。胎盤では成体型ヘモグロビンの40%が酸素結合型(酸素ヘモグロビン)であり、胎子末梢組織における酸素分圧が10mmHgであるとする、胎子末梢組織では血液100mL

あたり何 mL の酸素が放出されるか答えよ。ただし、酸素ヘモグロビン 100%の状態の血液がすべての酸素を放出した場合、血液 100mL から 20mL の酸素が放出されるものとする。また、胎盤と胎仔末梢組織における二酸化炭素分圧の差、胎盤から胎仔末梢組織に達するまでの酸素の放出、および血漿に溶解している酸素は無視できるものとする。

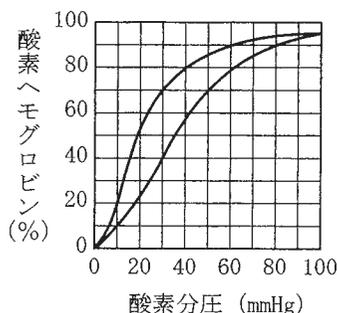


図 1—2 ヘモグロビンの酸素解離曲線

2本の曲線のいずれか一方が成体型ヘモグロビンの、他方が胎児型ヘモグロビンの酸素解離曲線を表す。

問2 文2および文3について、以下の小問に答えよ。

- (1) ES細胞と四倍体8細胞期胚を合わせてキメラを作製した場合、どのような細胞の分布が期待されるか。表1-1を参考に、1行程度で答えよ。
- (2) 下線部(イ)について。マウスでは、二倍体である体細胞の核をもちいた核移植により、正常なクローン個体を得ることができる。しかし、精原細胞の核を移植してクローン胚を作製した場合には、精原細胞も二倍体であるにもかかわらず正常な個体まで発生するものはまったく得られない。その理由を3行程度で答えよ。
- (3) 下線部(ウ)について。以下は、Aa個体がF1世代の10%であったことに関する考察である。空欄3, 4に適切な語を入れよ。なお、遺伝子Aの機能は生殖細胞の分化や機能に必要なものとする。
考察：かけあわせに用いたオスキメラ個体において、[3]の[4]%は野生型8細胞期胚に由来する細胞であった。
- (4) 実験2により、Aaの表現型を決定する条件について、何が否定されたか。1行程度で答えよ。
- (5) どちらも遺伝子型がAaのメス個体とオス個体をかけあわせて得られた遺伝子型aaの個体は、すべてが妊娠中期に発生を停止し胎生致死の表現型を示した。このかけあわせで得られる遺伝子型Aaの個体に予想される表現型と、その理由を、それぞれ1行程度で答えよ。

- (6) 下線部(エ)について。表 1-1 を参考に、このキメラ作製実験に関する次の考察の空欄 5~9 に当てはまる語の組合せで正しいものを以下の表からすべて選び、①~⑧の番号で答えよ。ただし、四倍体胚の遺伝子型も、便宜上それらが由来する二倍体胚の遺伝子型を用いて表すものとする。

考察：遺伝子型 [5] のメスと遺伝子型 [6] のオスとのかけあわせから得られる 8 細胞期胚 ([7] 倍体) と遺伝子型 AA の 8 細胞期胚 ([8] 倍体) を用いてキメラを作製する。妊娠後期まで生き残ったキメラの遺伝子型を解析し、遺伝子型 [9] の細胞だけからなる正常な胎仔が確認されれば、胎仔の形態形成や体細胞の生存には遺伝子 A は直接必要ではないことがわかる。

	5	6	7	8	9
①	Aa	Aa	二	四	Aa
②	Aa	Aa	二	四	aa
③	AA	Aa	四	四	Aa
④	AA	Aa	四	二	Aa
⑤	AA	Aa	四	二	aa
⑥	Aa	AA	二	二	aa
⑦	Aa	AA	二	四	Aa
⑧	Aa	AA	四	二	aa

演習問題 9 2014・名古屋大・第3問+2014・東北大・第2問 (30分)

文1

ポリメラーゼ連鎖反応 (PCR) 法は、通常、以下のような条件で実施される。反応液は、増幅したい少量の二本鎖 DNA (鋳型)、各々約 25 ヌクレオチドからなり増幅部分両端に対応する 2 種類の一本鎖 DNA (プライマー)、4 種類のデオキシリボヌクレオチド、耐熱性の[ア]などを含む。また温度処理として、①まず 90°C 以上に数十秒間保ち、次に 55~60°C に数十秒間保ち、最後に約 70°C に数十秒間ないし数分間保つ。このサイクルを 1 回、2 回、3 回、… と繰り返せば、プライマーに挟まれた領域の二本鎖 DNA が 2 倍、4 倍、8 倍、… と増幅される。

緑色蛍光タンパク質 (GFP) は[イ]から見いだされた 238 アミノ酸からなるポリペプチドであり、そのうち連続した 3 つのアミノ酸が発色団を形成し、紫色ないし青色の励起光にあたる緑色の蛍光を発する。ただし、[イ]ゲノムの GFP 遺伝子では、②4 つの[ウ]が互いに離れて存在しているので、この形では種々の生物での発現に適さない。そこで、GFP 遺伝子の開始コドンの位置からはじまるプライマー-F と終止コドンの相補配列からはじまるプライマー-R を用い、GFP 産生に必要な遺伝子領域を以下のように PCR で増幅した。まず、[イ]から抽出した mRNA (伝令 RNA) にプライマー-R と 4 種類のデオキシリボヌクレオチドを加え、③逆転写酵素 (RNA 依存性[ア]) を作用させて GFP 遺伝子の相補的 DNA (cDNA) だけを合成した (図 1)。④この一本鎖 cDNA を鋳型としてプライマー-F とプライマー-R を用いて上記と同じ条件で行った PCR により、GFP 遺伝子の [ウ] だけが連なった二本鎖 cDNA を増幅した。

このように調製された GFP 遺伝子は五界説のどの界に分類される生物の細胞にも導入された。その塩基配列が導入後も変化しない場合は、⑤いずれの生物の細胞においても産生される GFP のアミノ酸配列にも変化はなく、同様に緑色蛍光を発する。

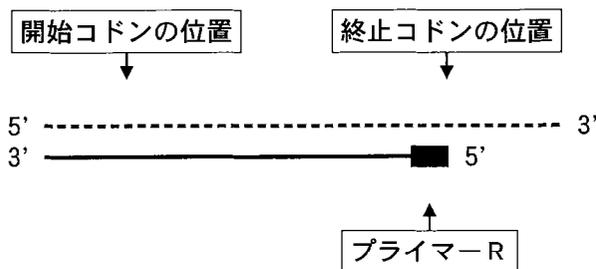


図1 逆転写反応の模式図

破線は RNA 鎖、実線は DNA 鎖を表す。プライマー R (黒四角) の特異性により、GFP 遺伝子の mRNA のみが逆転写される。なお、5' と 3' は分子の方向性を示し、ポリヌクレオチド鎖は酵素反応により 5' から 3' 方向に伸長する。

問1 空欄[ア]~[ウ]に最も適切な用語または生物名を答えよ。

問2 下線部①の各段階で何が起こるか、それぞれ簡潔に説明せよ。

問3 下線部②のような遺伝子を大腸菌に導入して発現させたところ、mRNA が合成されたが GFP 蛍光は検出されなかった。この理由を説明せよ。

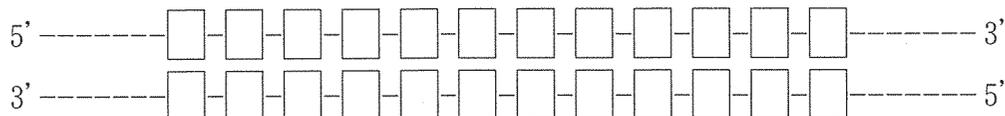
問4 ヒトのインスリンを作る mRNA の塩基配列の一部を以下に示した。この配列から予測される cDNA 配列の塩基を A, T, G, C と略して枠内に記せ。なお、3' と 5' はホスホジエステル結合する五炭糖の 3 位と 5 位をそれぞれ示し、一般的に DNA と mRNA の塩基配列は、頭部である 5' 側から尾部である 3' 側に向かって記す。

mRNA



↓ 逆転写酵素 + DNA ポリメラーゼ

相補的 DNA



問5 mRNA を材料として GFP 遺伝子を増幅するために、なぜ下線部③の操作が必要か。PCR に用いる酵素の性質に留意しつつ説明せよ。

問6 下線部④の逆転写反応後の PCR において、1 回目のサイクルで形成される二本鎖 GFPcDNA 数を n とすると、引き続き反応によって cDNA 数が $n \times 10^6$, $n \times 10^7$ を越えるのはそれぞれ何回目のサイクルが終了した後か。ただし、この間の酵素反応は理想的に進み、速度に変化はないものとする。また、必要なら、 $\log_{10}2 = 0.301$ の値を用いてもよい。

問7 下線部⑤の結果から、二本鎖 GFPcDNA が導入された種々の生物に関してどのようなことが推察されるか、「コドン」と「祖先」の 2 語を少なくとも一度ずつ用いて説明せよ。

文 2

植物は、からだの一部に病原菌が感染した場合に、その場で多様な防御応答を行う。この応答を発揮するための重要な過程のひとつに、感染部位におけるサリチル酸合成がある。それに加えて植物は、病原菌のさらなる攻撃に備えて全身にシグナルを送り、感染部位以外でもサリチル酸を合成・蓄積する。このような性質は、栽培イネにイもち病菌（子のう菌類）や白葉枯病菌（細菌類）が感染した場合にも引き起こされる。イネの調節遺伝子 X は、サリチル酸によって発現し、転写を促進する調節タンパク質 X を産生することにより対病原菌防御機構に重要な役割を果たす。また、⑥ X はサリチル酸に化学構造が類似した薬剤の噴霧によっても発現する（図 2）。ただし、調節タンパク質 X が産生されるだけでは応答は起こらず、病原菌が実際にイネの表皮に接触して初めて何百もの防御関連遺伝子群が素早く発現する。調節遺伝子 X の発現に必要なプロモーター領域（調節配列）に続けて GFP 遺伝子の二本鎖 cDNA をつなぎ、できた人工遺伝子を導入したトランスジェニックイネを実験的に作出した。その結果、上記の薬剤を噴霧した部位の細胞においては、⑦細胞質基質をはじめ広い範囲で GFP 蛍光が認められた（図 3A）。次に、同じ調節遺伝子 X のプロモーター領域から調節タンパク質 X のカルボキシル末端（カルボキシ末端）に対応する位置までのゲノム領域に続けて GFP 遺伝子の二本鎖 cDNA を正しい向きにつないだ人工遺伝子を用い、図 4 のような融合タンパク質を産生するトランスジェニックイネを作出した。その結果、薬剤を噴霧した細胞では、⑧核のみが GFP 蛍光を発していた（図 3B）。

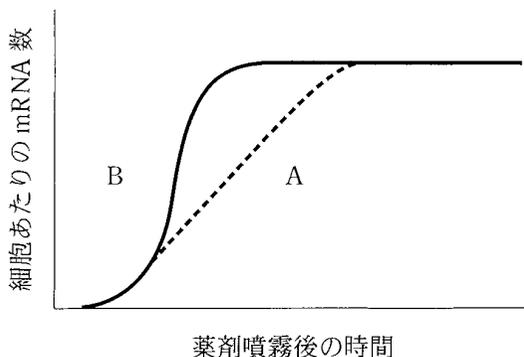


図 2 調節遺伝子 mRNA 蓄積の模式図

A(破線)は通常の遺伝子発現。B(実線)は調節遺伝子 X の発現。

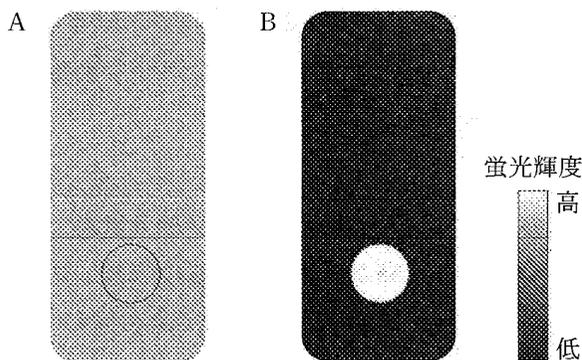


図 3 GFP 蛍光の細胞内における分布

A は細胞全体に蛍光が分散している様子。B は蛍光が核に局在している様子。

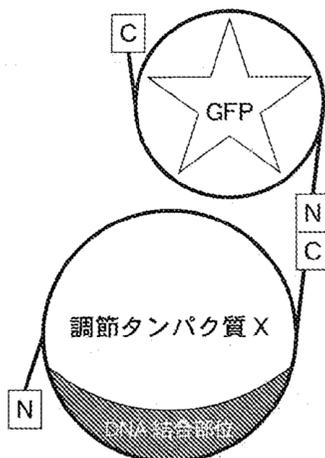


図4 融合タンパク質の模式図

NとCは、調節タンパク質XとGFPのアミノ末端とカルボキシル末端(カルボキシ末端)をそれぞれ表す。翻訳の際、ポリペプチド鎖はアミノ末端からカルボキシル末端へと伸長する。

問8 下線部⑥において、通常の遺伝子発現(図2A)とは異なり、調節遺伝子Xの発現初期にはmRNA蓄積が急速に起こる(図2B)。次の文のうち、図2Bのような初期発現が起こる説明として適切なものをすべて選び、a~eの記号で答えよ。

- a) ある種の正のフィードバックが起こった。
- b) ある種の負のフィードバックが起こった。
- c) 調節タンパク質XがDNA結合能を失った。
- d) 調節タンパク質Xが元の調節遺伝子Xのプロモーター領域に結合した。
- e) 調節タンパク質Xが翻訳も活性化するようになった。

問9 下線部⑦、⑧に関連して、GFP蛍光が核に局在するようになった理由を説明せよ。

演習問題 10 2014・九州大・第3問 (15分)

光は植物にとって、[ア]のためのエネルギー源としてだけではなく、周辺環境を知るための情報源としても重要である。植物は、主にフィトクロムと呼ばれる色素タンパク質を用いて、情報としての光を受容し、利用している。

フィトクロムは植物体全体に発現し、受容された光情報は基本的に細胞ごとに処理される。個々の植物細胞内において、フィトクロムが赤色光を受容して活性型となると、その情報が、様々な形の信号に変換されながら、他のタンパク質性の因子に次々と伝達される。そして最終的に、遺伝子発現のパターンが変化するなどして、発芽の促進や、芽生えの茎の伸長抑制などの様々な反応が光依存的に引き起こされる。フィトクロムは細胞内でどのように信号伝達を行うのか、そのしくみを明らかにするために、2倍体のモデル植物であるシロイヌナズナを用いて次の2つの実験を行った。

〔実験1〕

図1に示すように、フィトクロム遺伝子と、オワンクラゲから単離された緑色蛍光タンパク質 (GFP) 遺伝子と、プロモーターA配列から成るDNA断片を、遺伝子組換え操作により作製した。その際、フィトクロム遺伝子の[イ]を取り除くことで、フィトクロムとGFPのポリペプチドが連結して翻訳されるように設計した。

次に、[ウ]と呼ばれる細菌の働きにより、上記DNA断片を、フィトクロムをまったく合成できない突然変異体 (フィトクロム変異体) に導入し、トランスジェニック植物を作製した。プロモーターAの働きにより、フィトクロム-GFP連結タンパク質はこの植物体の全体で発現を示した。そして、自家受精を繰り返して[エ]としたトランスジェニック植物の芽生えを、野生株、フィトクロム変異体の芽生えとともに、暗条件と赤色光条件の2条件で育て、茎の長さをそれぞれ測定した。その結果を表1に示す。そしてトランスジェニック植物の芽生えで顕微鏡観察を行い、GFPが発する緑色の蛍光が細胞内のどの部位に局在するのかを調べた。その結果を図2に示す。

表1 暗条件または赤色光条件で育てた芽生えの茎の長さ

	野生株	フィトクロム変異体	トランスジェニック植物
暗条件	長い	長い	長い
赤色光条件	短い	長い	短い

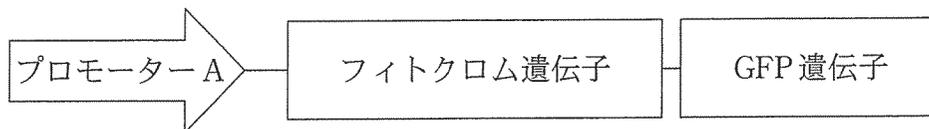


図1 作製した組換えDNA断片の構造

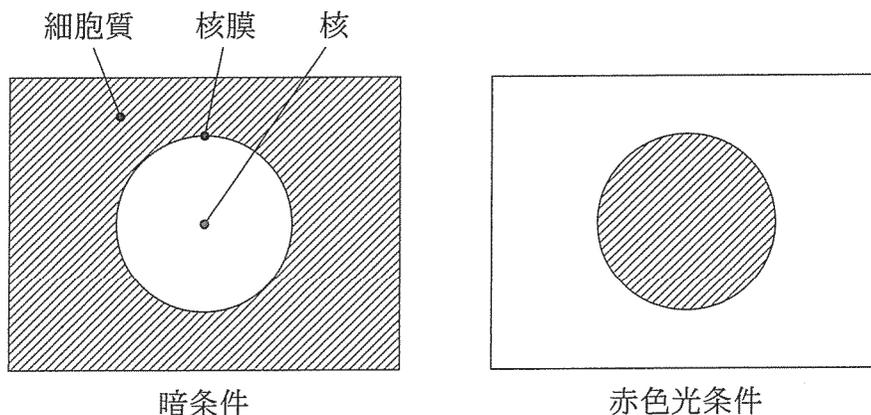


図2 トランスジェニック植物の細胞内における緑色蛍光の局在パターン

(注) 緑色蛍光が観察された部位を斜線で示す。

問1 上の文章中の[ア]~[エ]に入る最も適切な語句を記入しなさい。

問2 フィトクロムの信号伝達活性と細胞内局在について、上記〔実験1〕の結果からどのようなことが結論づけられるか。次の(1)~(6)から適切なものをすべて選びなさい。

- (1) 活性型のフィトクロムは核内に局在する。
- (2) 活性型のフィトクロムは細胞質に局在する。
- (3) 不活性型のフィトクロムは核内に局在する。
- (4) 不活性型のフィトクロムは細胞質に局在する。
- (5) GFP の連結によりフィトクロムの信号伝達活性は失われているので、ここで GFP の蛍光を観察しても無意味である。
- (6) GFP の連結によりフィトクロムの信号伝達活性は恒常的に活性化されており、その結果、核内に局在したと考えられる。

〔実験2〕

実験1で作製したトランスジェニック植物系統では、図1に示す組換え DNA 断片が、核のゲノム内のある1ヶ所に1つだけ挿入されており、また、フィトクロム—GFP 連結タンパク質の発現量は、野生株でのフィトクロムタンパク質の発現量と比べて、少なくとも2倍以上であった。このトランスジェニック植物系統を親株として、そこに化学物質を処理して1塩基の置換による突然変異を誘発し、その子孫の芽生えを赤色光条件で大量に育てた中から、茎が長く伸びてしまう突然変異体を多数単離した。これらの変異体と親株を掛け合わせた雑種第一代 (F₁) の芽生えは、いずれも赤色光条件で親株と同様に短い茎を示した。また、各変異体におけるフィトクロム—GFP 連結タンパク質の発現量と観察される緑色蛍光の強さは、いずれも親株と同じレベルであった。茎が長く伸びてしまう原因となる突然変異がゲノム上のどこに存在するかによって、これらの変異体を2つのクラスに分けることができる。1つは、フィトクロム—GFP 連結遺伝子内に突然変異が存在する変異体(クラス1変異体)で、もう1つは、フィトクロム—GFP 連結遺伝子以外のゲノム領域に突然変異が存在する変異

体（クラス 2 変異体）である。このクラス分けを行うために、各変異体をフィトクロム変異体と交配し、 F_1 の芽生えを赤色光条件で育てたときの茎の長さを調べた。ここで、 F_1 がすべて [A] い茎を示したものはクラス 1 変異体由来であり、一方、 F_1 がすべて [B] い茎を示したものはクラス 2 変異体由来であると考えられる。ただし、クラス 2 変異体において、フィトクロム-GFP 連結遺伝子と、変異表現型の原因となる突然変異は、完全に独立に分離するものとする。

問 3 上の文章中の [A] と [B] には、「長」もしくは「短」のいずれかの文字が 1 つずつ入る。それぞれ適切な文字を選んで記入しなさい。

問 4 クラス 1 変異体とクラス 2 変異体において、変異表現型の原因となる突然変異を同定・解析することで、何を明らかにすることができると考えられるか。それぞれのクラスの変異体について、次の(1)～(6)から最も適切なものを 1 つずつ選びなさい。

- (1) フィトクロムタンパク質内で、信号伝達に十分な領域を同定できる。
- (2) フィトクロムタンパク質内で、信号伝達に必要な領域を同定できる。
- (3) フィトクロムの発現量の制御に関わるゲノム上の領域を同定できる。
- (4) フィトクロムの発現量の制御に関わるタンパク質性の因子を同定できる。
- (5) フィトクロムからの信号伝達に必要なタンパク質性の因子を同定できる。
- (6) フィトクロムからの信号伝達を阻害するタンパク質性の因子を同定できる。

問 5 クラス 1 変異体とクラス 2 変異体について、フィトクロム変異体との交配で得た F_1 を自家受精させ、その結果生ずる雑種第二代 (F_2) では、赤色光条件での茎が長い個体と短い個体がどのような分離比で現れるか。それぞれのクラスの変異体について答えなさい。

演習問題 11 2014・筑波大・第2問 (10分)

植物は、(a)太陽光エネルギーを利用して二酸化炭素と水から有機物を合成し、このとき副産物として酸素が生じる。このいわゆる光合成をおこなう能力は、最初にラン藻が獲得した。それ以前の大気環境には酸素は含まれていなかったが、ラン藻の光合成により発生した酸素により大気は徐々に酸化的になり、(b)地球の環境は大きく変化した。

陸上植物の葉は、光合成を効率よくおこなうために特化した器官で、さまざまな組織から成り点っている。図1はある植物の葉組織の断面図である。一般に葉の柔組織は、葉の表側の細胞が詰まった[1]組織と、葉の裏側の細胞間に空間が多い[2]組織から構成される。蒸散やガス交換を行う[3]が葉の裏側に多いことから、[2]組織の細胞間隙がそれを効率よくおこなうのに役立つと考えられている。

一方、以下の2つの実験により、2種類の柔組織が存在する意義が新たに明らかにされた。これらの実験は、葉を透過する光の量(光量)を調べた実験である。葉サンプルに照射された光の一部は葉の表面で反射され、葉内に入った光は屈折や反射により散乱されながらクロロフィル等の色素により吸収される。吸収されなかった光は葉を透過する。

【実験1】 図2のような測定装置を作製し、さまざまな波長の光を小さな穴を通して葉の表側から照射し、葉サンプルを透過する光量を調べた。光源から垂直の位置Aに光検出器を置き、葉を真っ直ぐに透過する光量を測定し、60° ずらした位置Bにも光検出器を置き、葉内で散乱した光量の一部を測定した。AとBの位置は、ともに葉サンプルから50mm 離れており、それぞれの点で測定した光量の比を図3に示した。葉サンプルは、オリーブオイルを細胞間隙に染みこませたものと、オリーブオイルを染みこませていない無処理のものを用いた。オリーブオイルを細胞間隙に染みこませると、いずれの波長の光においても、その比は小さくなった。

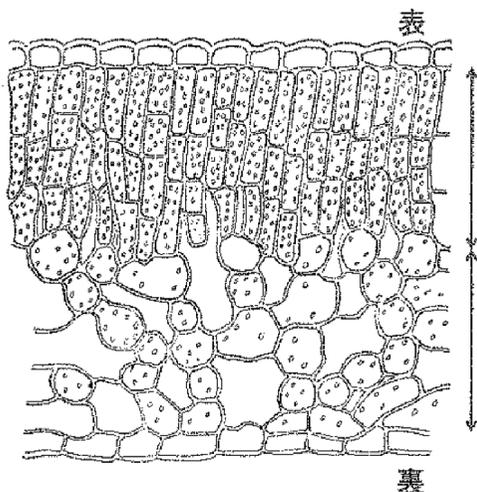


図1

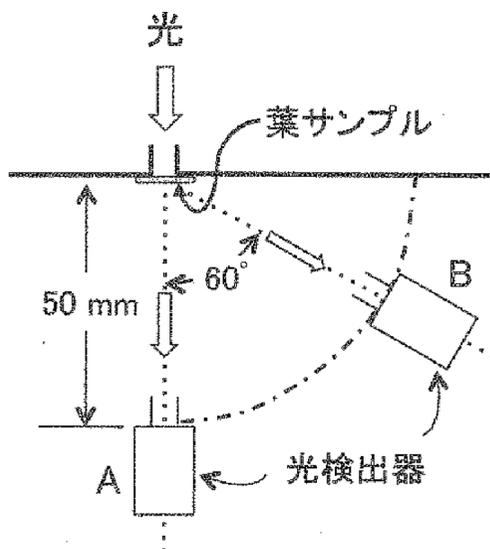


図2

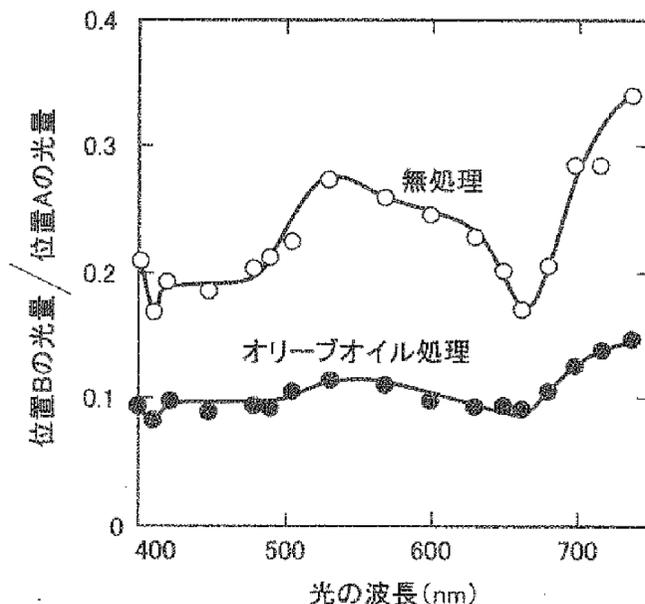


図3 光の波長と葉を通過する光の関係

nm(ナノメートル)は長さの単位で、1 nm は 10^9 分の 1 m である。

【実験2】 1枚の葉の裏側から柔組織を削り取って、図4の模式図(①~⑥)に示すように、葉の表側の表皮と柔組織の一部をもつまざまな厚みの断片・を調製した。その葉の断片に表側から光を当てて透過した光量を計測し、光の透過率を求めた。光の透過率は、葉サンプルを置かないで測定した時の光量に対する、葉サンプルを通して測定したときの光量の割合で示した。図4のグラフは、用いた葉断片の面積あたりのクロロフィル量と光の透過率の関係を示したものである。その結果、②組織を含む断片の方が、クロロフィル量の増加に対する光の透過率の低下が大きくなる、すなわち光の吸収量が大きくなることがわかった。それぞれの柔組織が、光の吸収にどの程度関与したかを調べるため、上記と同様に様々な厚みのサンプルを用意し、葉内での光の散乱、葉の表面での光の反射等を測定した。これらの結果をふまえ、葉の組織を同じ量のクロロフィルをもつ10層に区分したとき、各層の光の吸収率を算出すると、図5のようになった。

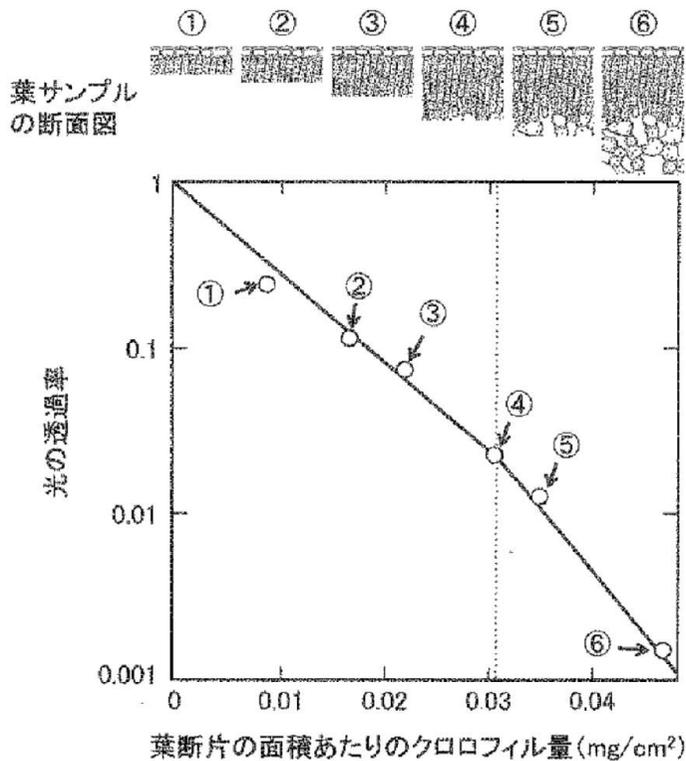


図4 葉断片の面積あたりのクロロフィル量と光の透過率の関係
 葉サンプルの断面図の①～⑥はグラフの各点に対応する。グラフ中の点線は、1 組織と 2 組織の境界を示す。

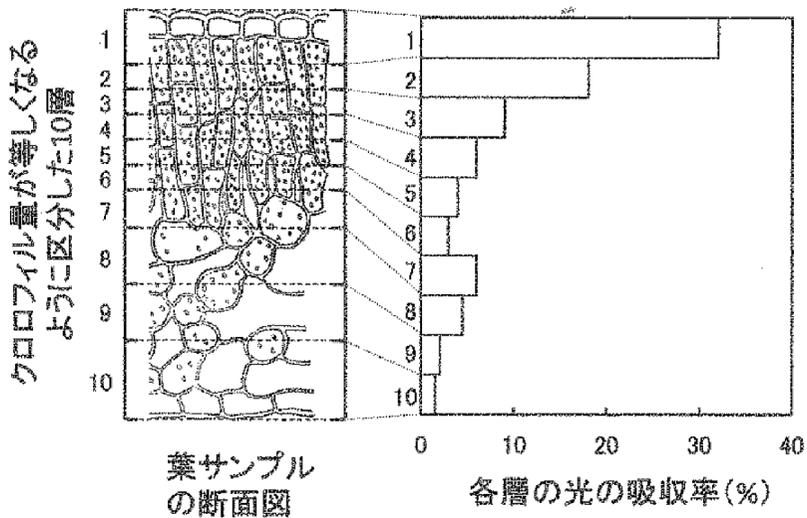


図5 各層の光の吸収率

問1 空欄[1]～[3]に当てはまる最も適切な語を記せ。

問2 下線部(a)に関連して。二酸化炭素と水から1分子のグルコース ($C_6H_{12}O_6$) が合成されるとすると、何分子の二酸化炭素が固定され、何分子の酸素分子が発生するか記せ。

問3 下線部(B)に関連して、光合成生物の誕生により地球上に起こったと考えられるできごとを、以下のア～エからすべて選び、記号で記せ。

- ア. 無酸素環境で生育する生物は全て死滅した。
- イ. 海洋が酸性化した。
- ウ. ミトコンドリアをもつ真核細胞が誕生した。
- エ. 生物の陸上への進出が可能になった。

問4 下線部(c)のようになった理由を、実験1の結果である図3にもとづいて、30字以内で記せ。

問5 実験2の結果から、図1のような2種類の柔組織の配置が、光合成に適していると考えられる理由を60字以内で記せ。

演習問題 12 2014・千葉大・第1問 (20分)

図1は、両生類のイモリの胞胚を第1卵剖面と一致する面で切った時の断面の模式図である。

外周を10分割した時の各部位をア～コで示した。アとカはそれぞれ真上と真下に位置し、ウとケは胞胚腔の底面の延長線と外周とが交差する点とほぼ一致している。

胞胚腔の壁を観察したところ、天井部分(図1の太線)にだけフィブロネクチン(FN)と呼ばれるタンパク質が細胞外に存在していた。原腸が形成される時のFNの役割を調べるため、次の実験1～3をおこなった。

実験1: 陥入した原腸の組織を取り出し、単細胞になるまで解離し、この細胞を培養液と共にシャーレに加えた。細胞は底に沈み、1時間後には底面と接着し、シャーレを揺すってもはがれることはなかった。その後10時間まで経過観察したところ、細胞は底面と接着したままほとんど動かなかった。

実験2: 底面をあらかじめFNでコートしたシャーレを用意し、実験1と同様の操作をした。細胞は底に沈み、1時間後には底面と接着し、シャーレを揺すってもはがれることはなかった。その後10時間まで経過観察したところ、糸状胞は底面と接着しつつ盛んに動きまわった。

実験3: 底面をあらかじめ血清タンパク質のアルブミンでコートしたシャーレを用意し、実験1と同様の操作をした。細胞は底に沈んだが、1時間後になっても底面と接着せず、シャーレを揺すると一緒に揺れ動いた。その後10時間まで経過観察したところ、細胞は底面と接着するようになったが、ほとんど動かなかった。

実験1～3の結果から、陥入した細胞は移動する際にFNを足場として利用することが判明した。

問1 図1のアとカの名称として最も適切な語句をそれぞれ答えなさい。

問2 図1のウとケを結ぶ線よりア側の組織とカ側の組織とを比較すると、構成する細胞に性質や特徴の違いが見られる。その違いを述べた次の文の中から、正しいものをすべて選び、記号で答えなさい。

- (a) 染色体数は、ア側の細胞を $2n$ とすると、カ側の大部分の細胞では $3n$ である。
- (b) 翻訳は、ア側の細胞ではおこなわれているが、カ側の大部分の細胞ではおこなわれていない。
- (c) 細胞のサイズの平均値は、ア側よりカ側の方が大きい。
- (d) 細胞が含む卵黄量の平均値は、ア側よりカ側の方が大きい。
- (e) 血管系は、ア側には存在しないが、カ側では発達している。

問3 胞胚から原腸胚へと発生が進むと、特定の部位に原口が形成される。しかし、問題文で与えられている情報だけでは、原口が形成されると予想される部位を図1の1か所に限定することはできない。

- (1) 原口が最初に形成されると予想される全ての部位を図1の記号ア～コで答えなさい。
- (2) ある事象が胞胚期以前の胚のどこで起こったかの情報があると、原口が形成される部位を図1の1か所に限定することができる。どの発生段階のどのような事象の位置情報か、20字以内で答えなさい。

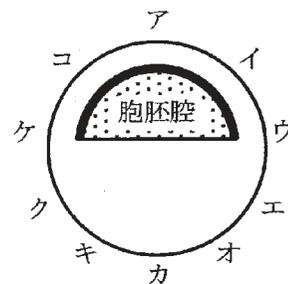


図1 胞胚の断面の模式図

問4 イモリの発生について述べた次の文の中から、正しいものをすべて選び、記号で答えなさい。

- (a) 胞胚腔は、内部の細胞がプログラムされた細胞死をおこなうことによって形成される。
- (b) 胞胚腔は成体まで維持され、成体では体腔と呼ばれる。
- (c) 陥入した原腸の組織はすべて内胚葉へと分化し、接した組織を中胚葉へと分化させる。
- (d) 原口に形成される卵黄栓は、卵黄が原口からもれ出すのを防いでいる。
- (e) 原口は、成体では肛門の領域となる。

問5 FN はアミノ酸約 2200 個からなる分子で、そのアミノ酸配列情報も判明している。その情報をもとに、FN のある部分と配列が一致するアミノ酸 15 個からなるペプチド A と、その部分からアミノ酸数で約 50 個離れた部分と配列が一致するアミノ酸 15 個からなるペプチド B とを合成した。また、FN のどの部分とも配列が一致しないアミノ酸 15 個からなるペプチド C を合成した。充分量のペプチド A を胞胚腔へ注入し経過観察したところ、原腸の陥入は起こらず、原口の形成予定域には陥入できなかった細胞の塊が形成された。同量のペプチド B とペプチド C とをそれぞれ個別に別な胚の胞胚腔へ注入したところ、どちらの場合も原腸の形成は正常に進行した。なお、合成したペプチド A、B と同じ配列はそれぞれ FN 上に 1 か所のみ存在し、アミノ酸 1 個が置換したような類似した配列も存在しなかった。

次に、ペプチド A、B、C を抗原としてそれぞれ個別にウサギに注射し、ペプチド A に対する抗体 A、ペプチド B に対する抗体 B、ペプチド C に対する抗体 C を得た。充分量の抗体 A を胞胚腔へ注入し経過観察したところ、原腸の陥入は起こらず、原口の形成予定域には陥入できなかった細胞の塊が形成された。同量の抗体 B と抗体 C とをそれぞれ個別に別な胚の胞胚腔へ注入したところ、抗体 B の場合は抗体 A の結果と同じになったが、抗体 C の場合には原腸の形成は正常に進行した。なお、ここで用いた 3 種の抗体はどれもアミノ酸約 1300 個からできており、抗体どうしが互いに結合することはなかった。

また、「充分量の」とは、ペプチド A または抗体 A を実験 2 の培養液に加えた時に細胞の移動が十分に阻害される濃度を決め、胞胚腔内での最終的濃度がその濃度になるような量を注入したことを意味する。

- (1) ペプチド A はどのような仕組みで原腸の陥入を阻害したと考えられるか、40 字以内で答えなさい。
- (2) ペプチド A、B の場合と異なり、抗体 A、B の注入実験では結果が同じになった。それぞれの抗体はどのように作用して同じ効果を発揮したと考えられるか、120 字以内で答えなさい。

演習問題 13 2014・神戸大・第1問 (15分)

DNA複製はDNA上のある決まった点(複製起点)から開始され、両方向に進行する。原核細胞のDNAが複製起点を一か所持つものに対して、真核細胞ではそれぞれのDNA上に複数の複製起点が存在する。真核細胞のDNAはヒストンというタンパク質と結合してヌクレオソーム構造を取っており、分裂期になると各DNA分子が高度に凝縮することにより染色体が形成される。

物質Xと物質Yはいずれもチミンの類似体であり、これらの物質を増殖中のヒト細胞の培地に加えると、複製により新たに合成されている途中のDNAの鎖にチミンの代わりに取り込まれる。物質Xと物質Yはそれぞれと反応する試薬によって別の色に染め分けることができ、この方法を使ってDNA中でこれらの物質が取り込まれた位置を光学顕微鏡で区別して観察することができる。物質Xや物質Yを培地に加えなければ、細胞は通常のチミンを含むDNAを合成する。

物質Xも物質Yも含まない通常の培地中で増殖しているヒト細胞を使って、以下の実験を行った。まず培地に物質Xを加えて10分間培養し、その直後に物質Xを洗い流した。このような操作を行うことで、この10分間に合成されたDNA鎖にのみ物質Xを取り込ませることができる。その後すぐに物質Yを含む培地を加えてさらに10分間培養した。次に物質Yを洗い流し、物質Xも物質Yも含まない培地でさらに一定時間培養を続けた。この細胞からDNAを取り出し、スライドガラス上に引きのばして観察することができる。物質Xと物質Yをそれぞれと反応する試薬で染色し、顕微鏡で観察したところ図2のような像が見られた。なお、ここで物質Xも物質Yも含まないDNAを直接観察することはできないが、図2では白線の部分にも二本鎖DNAがのびているものとする。

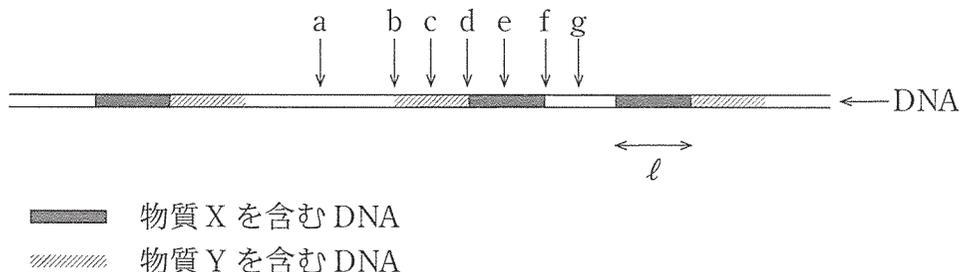


図2

問1 複製起点は、図2のa~gのうちどこであると考えられるか。一つ選び記号で答えなさい。

問2 図2のlの距離を測定したところ 1.7×10^{-5} メートルであった。このことから、ヒト細胞のDNA複製を行う酵素が鎖を伸長する速度(単位:ヌクレオチド/秒)を求めなさい。なお、DNAの二重らせん一回転の長さは 3.4×10^{-9} メートルで、その中に10.4塩基対が含まれるものとする。

問3 制限酵素は特定の短い塩基配列を認識して二本鎖DNAを切断することができる。例えば、ある制限酵素Pは図3のような6塩基対から成る配列を認識して矢印の位置でDNA鎖を切断する。

複製途中のDNAを制限酵素で切断すると、さまざまな形のDNA断片が生じる可能性がある。DNA合

成期 (S 期) のヒト細胞から DNA を取り出して制限酵素 P で完全に切断したとき, 図 4 の A~E の中で通常は生じない形の断片はどれか。一つ選んで記号で答え, その理由を 60 字以内で説明しなさい。なお, ここで実線は連続した一本の DNA の鎖を示し, 二重線は DNA が二重らせん構造を取っている部分を示している。

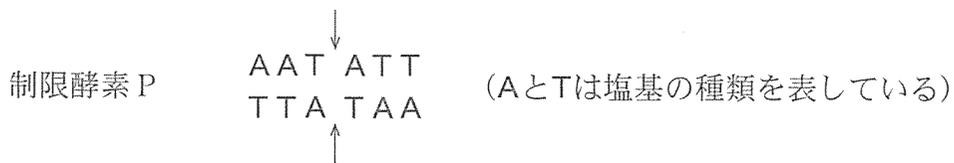


図 3

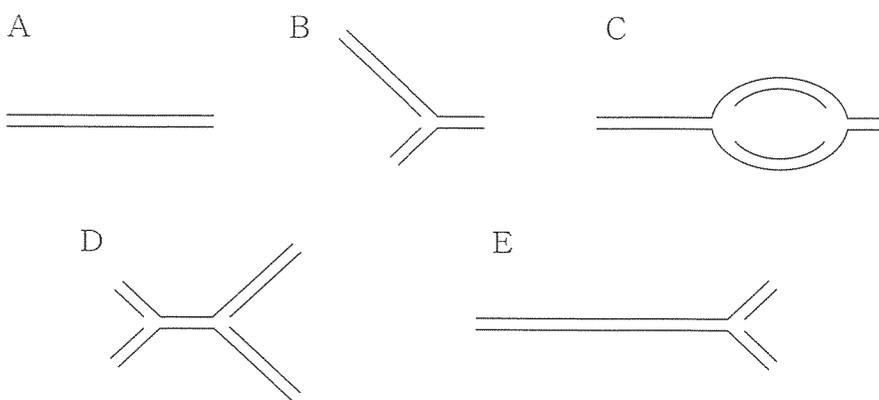


図 4

演習問題 14 2014・京都大・第4問+2014・広島大・第4問 (30分)

(A) ミドリムシは、光合成による独立栄養での生育（以降、光独立栄養とする）と、暗所での従属栄養による生育（以降、従属栄養とする）が可能である。今回の実験で用いるミドリムシ A とミドリムシ B は主に無性的に2細胞に分かれて増殖する。これらのミドリムシは、相互に大きさや細胞形態がよく似ているものの、光学顕微鏡で区別することは可能である。光独立栄養では、光照射下で培養し、従属栄養では、光独立栄養と同じ培地に炭素源として乳酸とグルタミン酸を加えて、暗所で培養した。図1は、ミドリムシ A とミドリムシ B の光独立栄養と従属栄養での生育状況を示したもので、横軸に培養時間、縦軸に細胞密度を示している。細胞密度は、培養液の濁り具合（濁度）から算出した値を対数表示している。細胞数が2倍になると濁度も2倍になる。図1の光独立栄養、従属栄養の直線の傾きは、ミドリムシ A でそれぞれ 0.018/時間、0.018/時間、ミドリムシ B でそれぞれ 0.032/時間、0.011/時間であった。

また、図2は、ミドリムシ A とミドリムシ B、およびクロレラ C の酸素発生速度と光強度の関係を示したものであり、クロレラは光独立栄養のみで生育する。なお、3種の生物の呼吸速度は、ほぼ同等であった。

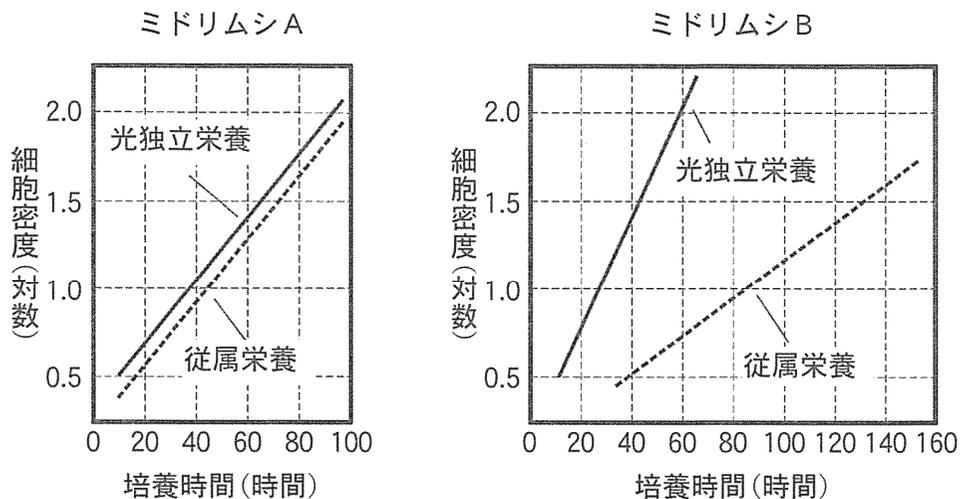


図1

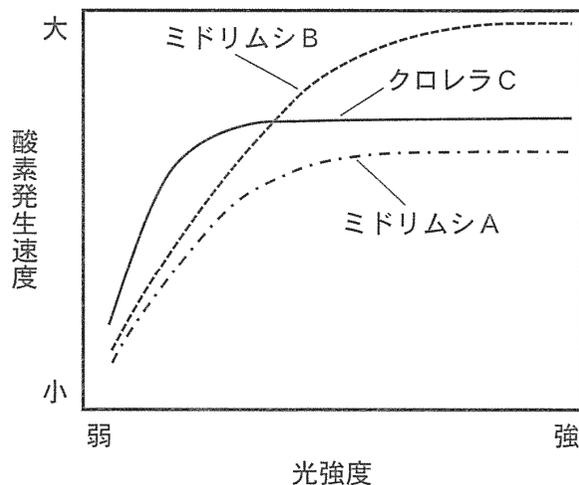


図2

問1 光独立栄養条件下のミドリムシAとミドリムシBの培養液（図1における細胞密度1.0）からそれぞれ同量をとって混合し、光独立栄養条件で2日間培養した。培養液1mL中に含まれているミドリムシAとミドリムシBの細胞数は、どちらの方が多くなっていると考えられるか、解答欄アに記せ。

また、従属栄養条件下のミドリムシAとミドリムシBの培養液（図1における細胞密度1.0）からそれぞれ同量をとって混合し、従属栄養条件で2日間培養した。培養液1mL中に含まれているミドリムシAとミドリムシBの細胞数は、どちらの方が多くなっていると考えられるか、解答欄イに記せ。なお、いずれの培養においても、2つの生物は相互の生育に影響を及ぼさないものとする。

問2 ミドリムシBの光独立栄養において、細胞分裂が終了してから、次の分裂が終了するまでにおよそ何時間かかっているか。下から選んで解答欄に記せ。ただし、 $\log_{10}2 \approx 0.3$ である。

10時間 20時間 30時間 40時間 50時間 60時間

問3 ミドリムシAとミドリムシBが富栄養化した浅い湖沼に同時に生育している場合、両者が分布する水深は少し異なると考えられる。より浅い場所に多く分布すると考えられるミドリムシ種を解答欄ウに、より深い場所に分布すると考えられるミドリムシ種を解答欄エに記し、その理由を解答欄オの枠の範囲内で説明せよ。

問4 ミドリムシA、ミドリムシB、クロレラCの3つの生物が混合された細胞懸濁液がある。この細胞懸濁液においてクロレラCが最も早く生育するための適切な工夫とその理由を解答欄の枠の範囲内で説明せよ。ただし、3つの生物は、相互の生育に影響を及ぼさないものとする。

(B) 図3は、温帯に位置するある湖の表層における、水温、無機養分濃度、植物プランクトン密度の年間変動を模式図として示している。この湖では、表層と深層の水の混合が冬に起こる。なお、この湖には動物プランクトンや魚類も生息する。

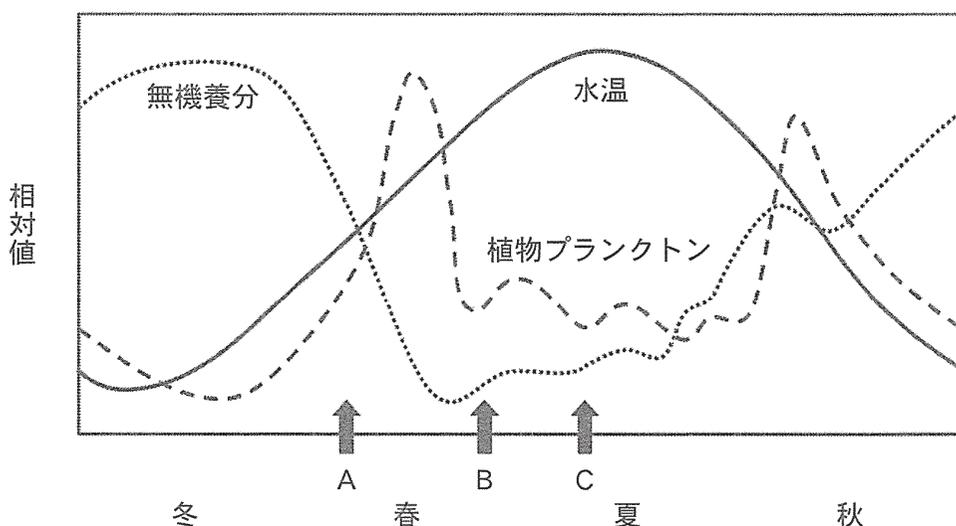


図3

問5 初春（矢印 A）には、水温および光量が上昇するのに伴い、植物プランクトンの増殖が盛んになる。
この時期に優占する植物プランクトンは、どのような特性をもつ種と考えられるか。解答欄の枠の範囲内で記せ。

問6 図3には動物プランクトンの増減が示されていないが、初春から夏の時期における動物プランクトンの増減パターンはどのようになると考えられるか。解答欄の枠の範囲内で記せ。

問7 夏期には、植物プランクトンの密度は低く抑えられている。この時期（矢印 C）に優占する植物プランクトンは、どのような特性をもつ種と考えられるか。食物連鎖の観点から考え、解答欄の枠の範囲内で記せ。

問8 この湖で、小魚を食べる魚を大量に捕獲したことにより、動物プランクトンを主に食べる小魚が初春（矢印 A）に大量に増えたとする。初春（矢印 A）から晩春（矢印 B）の期間における植物プランクトン密度は、図3で示されている植物プランクトン密度と比較して、高くなるか、低くなるか。食物連鎖の観点から、予想される変化を選び、解答欄カに記せ。また、その理由を、解答欄キの枠の範囲内で記せ。

(C) 日本のある沿岸海域において、水温、栄養塩濃度、光の強さ、植物プランクトンの量を、海面から水深10mの海底まで調べた。その結果を図4に示す。このとき植物プランクトンとしてケイ藻類がおもに観察された。また、生産層は水深0~7mであり、全水深にわたって植物プランクトンの増殖に適した水温の範囲内にあった。

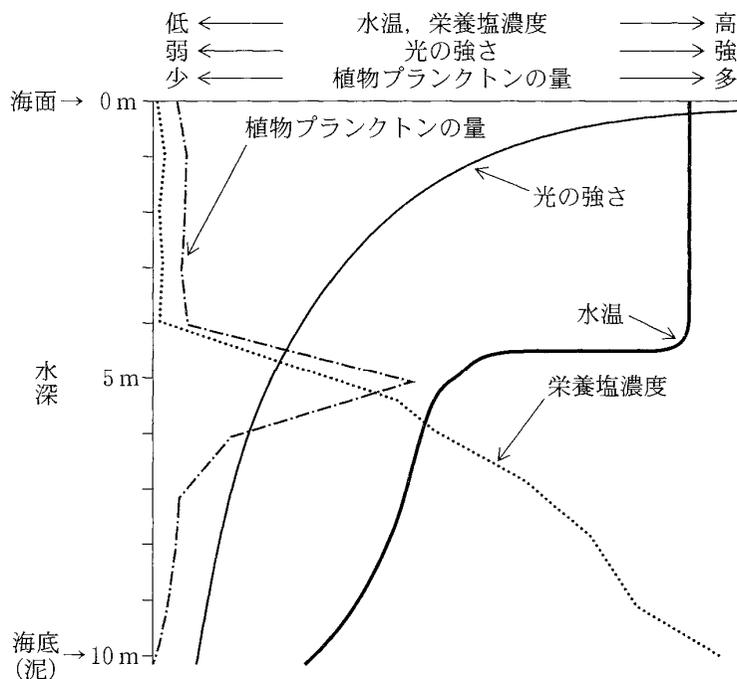


図4

- 問9 この調査結果に関連して、以下の(ア)～(カ)の記述のうち適当なものをすべて選び記号で答えよ。
- (ア) 図4は春もしくは秋にみられる典型的な結果である。
 - (イ) 水深0～4mでは、光の強さは十分であったが、栄養塩がほぼ枯渇していたため、植物プランクトンの量が少なかったと考えられる。
 - (ウ) 水深5mにおいて植物プランクトンの量が増加したのは、豊富な栄養塩と十分な光を利用して増殖したからだと考えられる。
 - (エ) 水深6mにおいて植物プランクトンの量が急に減少したのは、この水深の光の強さでは植物プランクトンの呼吸量が光合成量を上まわったからだと考えられる。
 - (オ) 深い層で栄養塩濃度が高かったのは、植物プランクトンによって栄養塩が消費されなかったことに加え、遺体や排泄物等の分解や海底からの栄養塩の供給があったからだと考えられる。
 - (カ) 河川水は、沿岸海域に流れ込んだ場合、海水と同じ水温であれば深い層に流入するので、海底付近の栄養塩濃度が高くなると考えられる。
- 問10 この調査を実施した直後、強い風と波が数日間続き、植物プランクトンの大増殖が起きた。強い風と波によってどのような環境の変化が生じ、植物プランクトンが大増殖したと考えられるか、50字以内で述べよ。

補充問題 1 2014・大阪大・第4問

生体における代謝は、単純な構成成分が複雑な高分子へ変化する同化作用と、その逆の[ア]作用に大別される。前者の例としては、アミノ酸が[イ]結合により多数連結されタンパク質となる合成過程がある。一方、後者の例としては、ヒトの胃液中の[ウ]や、[エ]から分泌されるトリプシンをはじめとするさまざまなタンパク質分解酵素の働きにより食料として摂取したタンパク質の[イ]結合が加水分解され、アミノ酸へ変換されるタンパク質分解がある。

細胞内には数千から数万種のタンパク質が存在し、常に合成と分解が繰り返されている。分解の速度は、ある特定の時に存在したタンパク質の総量が分解により半分となるまでの時間、半減期として定義される。タンパク質の総量は分解と合成のバランスにより決まるため、あるタンパク質の半減期を知るためには、それらを区別して調べる必要がある。その半減期は、数分間のものから数ヶ月間にわたるものまで多様であり、また環境条件などによっても変動する。タンパク質の半減期は、どのような機構で分解されるのかが大きく影響していると考えられている。様々な細胞内タンパク質分解機構とタンパク質の半減期の関係を調べる目的で以下の実験を行った。

【実験1】 ヒト上皮細胞中に存在する2種類のタンパク質AとBの半減期を以下に述べる方法で測定した。ヒト上皮細胞が培養されているシャーレ中のX培地に、硫黄原子が放射性同位体で置き換えられたシステインとメチオニンの混合溶液を加え、10分間培養した。これらのシステインとメチオニンの一部は、この間あらたに合成されたタンパク質に取り込まれた。その培地を捨て、新たなX培地で細胞を洗浄した後、非放射性のシステインとメチオニンを大量に加えたX培地で細胞を培養した。この時点から複数の時点で、一定数の細胞に含まれるタンパク質AとBを全て回収し、それらが示す放射活性を測定した。各時点での放射活性をもとにそれぞれのタンパク質の半減期を計算したところAは10分、Bは96時間となった。

【実験2】 実験1と同様の実験を培地中にタンパク質分解酵素Pの阻害剤を加えて行ったところ、タンパク質AとBの半減期はともに96時間となった。

【実験3】 400個のアミノ酸からなるタンパク質Aの翻訳開始アミノ酸〔アミノ基側〕から50番目までを失わせたタンパク質C、およびAの翻訳開始アミノ酸1番目から50番目までを、380個のアミノ酸からなるタンパク質Bの翻訳開始アミノ酸の直前に連結させたタンパク質Dをコードする遺伝子を作製した(図1)。これらの遺伝子をそれぞれ別のヒト上皮細胞に発現させ、実験1と同様に調べたところ、タンパク質CとDの半減期はそれぞれ96時間および10分となった。

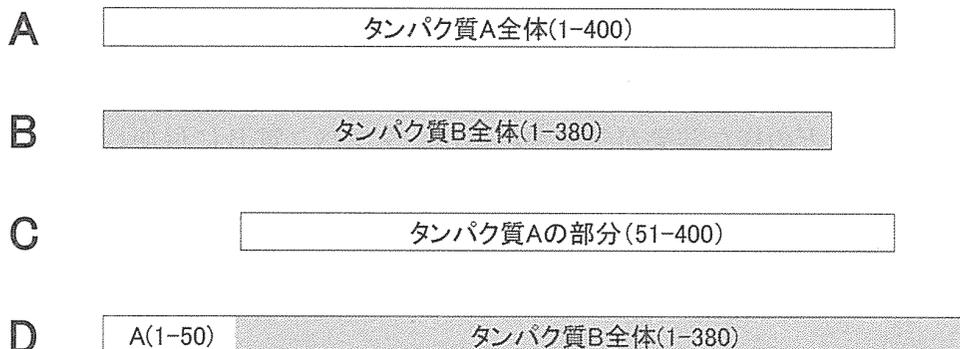


図1

【実験4】 実験1の下線部においてX培地の代わりに、X培地から栄養源を抜いた培地を用い同様の実験を行ったところ、タンパク質Bの放射活性の値は指数関数的に減少し、その半減期は23時間となった。このときオートファジーと呼ばれるタンパク質分解現象が誘導され、タンパク質Bはオートファジーのみにより分解された。

問1 空欄[ア]～[エ]に適切な語句を記入せよ。

問2 実験1においてタンパク質Aの放射活性の値は指数関数的に減少することから、その最初の値を A_0 、 t 分後の量を A_t とおくと、次の式が成立する。

$$\log_{10} \left(\frac{A_0}{A_t} \right) = \frac{k_A \times t}{2.3}$$

ここで k_A はAの分解のしやすさを示す定数である。このときタンパク質Aの半減期を k_A や対数を含む式の形で答えよ。解答の単位は分とする。

問3 半減期を測定するうえで、実験1の下線部の操作を行う理由を100字以内で記せ。

問4 実験3で用いたタンパク質Dに対して、実験2と同様の実験を行った場合、どのような結果が予想されるか。タンパク質Bに付加したタンパク質Aの50番目までのアミノ酸の役割に言及しつつ、理由とともに160字以内で述べよ。

問5 オートファジーでは細胞質基質の一部分を包みこんだ膜構造体が多数作られ、それが細胞内小器官リソソームへと融合することで、その内容物がリソソームの内部へ運び込まれ、リソソームに存在するタンパク質分解酵素により分解される。この現象をモデル化するため、細胞を全体が細胞質基質で占められた半径5.0マイクロメートルの球体と仮定する。また、オートファジーで形成される膜構造体は半径0.50マイクロメートルの球体とし、T分間に1個ずつ作られ、ただちにその内容物が分解されるものとする。実験4で得られた結果にもとづき、Tの値を算出する計算過程と得られた答えを有効数字2桁で記せ。なお計算に必要なならば、 $\log_{10}2=0.30$ 、 $\log_{10}999=2.99956$ の値を使用せよ。

補充問題② 2014・大阪大・第2問

植物ホルモンとは、植物体のある部分で合成され、ごくわずかな量で植物の成長や反応を調節する物質の総称である。例えば、植物の屈性に関わるオーキシン、茎の伸長成長に関わる[ア], 気孔の開閉に関わる[イ]や[ウ], 果実の成熟を促進する[エ]などをあげることができる。なかでもオーキシンは、植物の成長から老化といった植物体の一生に密接に関わっており、古くから研究されている。例えば植物の切り取った枝から芽や根が出る位置には極性があり、本来、枝の先端側であった端からは芽が、基部側からは根が出る。この過程には、オーキシンが植物体の組織の極性に従って移動することが関わっているが、その仕組みは最近になってわかってきた。以下はオーキシンの移動と器官の形成の関係を調べるために行われた実験である。

【実験1】

通常の条件でシロイヌナズナを育てた場合、ある時期になると茎の先端に花芽が次々と形成される。しかし、オーキシンの移動を阻害する薬剤 X を含んだ培地 (X 培地) で植物を育てたところ、花芽の形成が阻害された。この茎の先端の限られた部分にオーキシンを塗布したところ、その部分から花芽が作られた。

【実験2】

植物体でのオーキシンの極性移動に関わる膜タンパク質 A をコードする遺伝子 A の機能が失われたシロイヌナズナの a 変異体では、通常の条件で育てた場合でも、野生型の植物を X 培地で育てた場合と同様に花芽の形成が阻害された。タンパク質 B をコードする遺伝子 B の機能が失われた b 変異体でも同様な阻害が見られた。そこで茎の先端にある細胞でのタンパク質 A の分布を通常の条件で育てた野生型と b 変異体で調べたところ、図 1 のようであった。図は茎の先端の縦断面を示している。なお図中の破線は、茎の先端部の最外部の細胞の輪郭を、太線は、タンパク質 A の存在部位を示しており、矢じりは、花芽が形成される部分を示している。

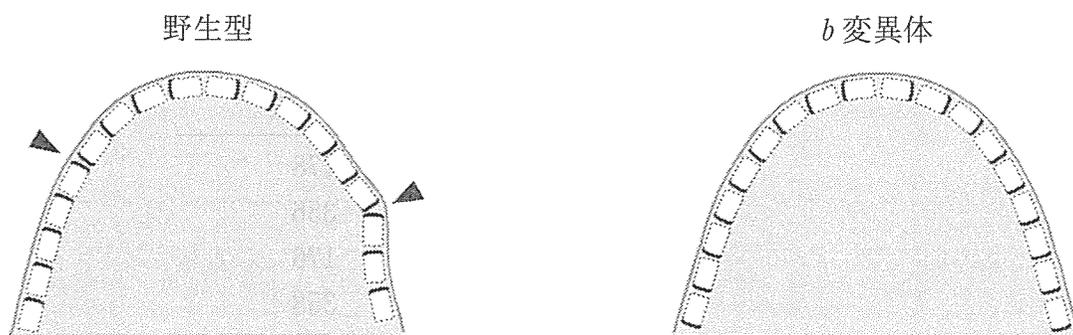


図 1

【実験3】

植物の根でタンパク質 A は、維管束に多く存在しており、細胞の下側 (根の先端側) の細胞膜に偏って存在していた。しかし、タンパク質 B を根の細胞で過剰に作らせたところ、タンパク質 A は維管束細胞の地上部側に偏って分布し、やがて根の成長は阻害された。タンパク質 C をコードする遺伝子 C の機能が低下した c 変異体でも根の成長が阻害されており、タンパク質 A の分布はタンパク質 B を過剰に発現させたときと同様であった。

【実験 4】

シロイヌナズナのゲノムには C と良く似た D という遺伝子があった。遺伝子 D の機能がなくなったホモ変異体 (CCdd) を単離したところ、個体の形態は正常であった。そこで、遺伝子 C と遺伝子 D の機能を調べる目的で、交配実験と遺伝子型の解析を行った。まず、両方の変異をヘテロに持つ F₁ 個体 (CcDd) を選抜し、次にこの F₁ 個体を自家受粉させ、F₂ 世代でどのような遺伝子型の植物が出現するかを調べたところ、表 1 に示すような個体が観察された。なお遺伝子 C と遺伝子 D は、異なる染色体に位置することがわかっている。

表 1

遺伝子型	個体数
① CCDD	178
② CcDD	356
③ ccDD	176
④ CCDd	358
⑤ CcDd	353
⑥ ccDd	0
⑦ CCdd	179
⑧ Ccdd	0
⑨ ccdd	0
合 計	1600

問 1 文中の空欄[ア]から[エ]に適切な語句を記せ。

問 2 実験 1, 2 の結果をふまえて、タンパク質 A は花芽の形成にどのように関わっていると言えるか、70 字以内で述べよ。

問 3 b 変異体で花芽が形成されない理由を推定し、70 字以内で述べよ。

問 4 タンパク質 C が根の成長においてどのような機能を担っていると考えられるか、100 字以内で述べよ。

問 5 実験 4 の結果の説明と考察として適当な語句を以下の文章の空欄[オ]から[コ]にあてはめよ。表中の記号①～⑨を用いて解答しても良い。

[オ]の遺伝子型の[カ]が[キ]であると仮定すると、期待される分離比は、観察された F₂ 植物の分離比と良く一致する。従って、遺伝子 C と D は[カ]の形成または機能に重要な働きをしていると考えられる。この仮説を検証するためには、[ク]と[ケ]の遺伝子型の植物を交配させて、F₁ 世代で[コ]の遺伝子型の植物が出現するかどうかを調べれば良い。

manavee 生物演習シリーズ LINE UP

■7月までに受けてほしい講座

●分野別対策講座

分野別攻略Ⅰ（生命の連続性）

（by tomson）

▶ 生命の連続性の重要問題をチェック

分野別攻略Ⅱ（恒常性・調節）

（by tomson）

▶ 恒常性・調節の重要問題をチェック

分野別攻略Ⅲ（細胞・代謝・生態）

（by tomson）

▶ 細胞・代謝・生態の重要問題をチェック

■7～8月にかけて受けてほしい講座

●総合対策講座

総合実践攻略【夏の陣】

（by tomson）

▶ 2次力の強化を図る

パッと見えてくる計算問題

（by かりん先生）

▶ 生物の計算問題を総チェック

●分野別対策講座

遺伝の完全攻略 PARTⅠ・PARTⅡ

（by tomson）

▶ 遺伝の問題の解き方を学ぶ

●大学別対策講座

実験考察問題の解法ナビゲーション

（by とらますく先生）

▶ 東京大の過去問から実験考察問題へのアプローチを学ぶ

■9月～11月に受けてほしい講座

生物難問攻略

（by tomson）

▶ 難問演習で難問にめげない心を育てる
（生物が得意な人のみ受講推奨）

■11月下旬～12月上旬に受けてほしい講座

●総合対策講座

総合実践攻略【冬の陣】 PARTⅠ・PARTⅡ

（by tomson）

▶ 2次力の完成を目指す

■12月中旬～12月末に受けてほしい講座

●センター演習

マッハで演習するセンター生物第3問
(by あべちゃん先生)

▶ センター過去問を利用した遺伝の演習

■1月上旬～1月中旬に受けてほしい講座

●センター演習

センター生物基礎 FINAL CHECK
(by ヒゲ先生・かりん先生・tomson)

▶ インプット+アウトプットで
センターの準備を行う

センター生物 FINAL CHECK
(by ヒゲ先生・かりん先生・tomson)

▶ インプット+アウトプットで
センターの準備を行う

■1月下旬ごろに受けてほしい講座

●分野別対策講座

遺伝の究極攻略【二次への架け橋】
(by tomson)

▶ センターボケをぶっ飛ばして2次の脳に
切り替える

■1月下旬～2月にかけて受けてほしい講座

●大学別対策講座

攻略！！北大生物シリーズ
(by tomson)

▶ 北海道大の過去問を利用して制限時間以内に
解答を導けるように鍛える

I Can 生物
(by ヒゲ先生)

▶ 九州大の過去問を利用して記述問題の
解き方を学ぶ

はんなり稼ごう京大生物
(by かりん先生)

▶ 京都大の過去問を利用して問題および
その周辺知識を総チェック

●二次試験直前講座

難関大生物プレテスト
(by tomson)

▶ テスト演習形式で実践的な問題演習を
行う

(注意事項)

※国公立受験を軸にこの予定表は作られています。

※詳しくは各講座の授業の概要、イントロダクションをご覧ください。

※一部作成中・作成予定のカリキュラムを含みます。



manavee 生物陣のベストメンバーが、多彩な講座と充実した教材を用意して、

皆さんの受験突破のお手伝いをします！！

