

令和 2 年度前期日程入学試験学力検査問題

令和 2 年 2 月 25 日

理 科

物 理…… 4 ～23ページ, 化 学……24～47ページ

生 物……48～71ページ, 地 学……72～81ページ

志 望 学 部	試 験 科 目	試 験 時 間
経済学部(理系) 理 学 部 農 学 部	物理, 化学, 生物, 地学のうちから 2 科目選択	13 : 30～16 : 00 (150 分)
医 学 部 歯 学 部	物理, 化学, 生物のうちから 2 科目選択	
薬 学 部 工 学 部	物理(指定), 化学(指定)	

注 意 事 項

1. 試験開始の合図があるまで, この問題冊子, 解答用紙を開いてはいけない。
2. この問題冊子は, 81 ページである。問題冊子の白紙のページや問題の余白は草案のために使用してよい。ただし, 冊子の留め金を外したり, ページを切り離しては使用しないこと。なお, ページの脱落, 印刷不鮮明の箇所などがあった場合には申し出ること。
3. 解答は, 必ず黒鉛筆(シャープペンシルも可)で記入し, ボールペン・万年筆などを使用してはいけない。
4. 解答用紙の受験記号番号欄(1 枚につき 2 か所)には, 忘れずに受験票と同じ受験記号番号をはっきりと判読できるように記入すること。
5. 解答は, 必ず選択した科目の解答用紙の指定された箇所に記入すること。
6. 解答用紙を持ち帰ってはいけない。
7. 試験終了後, この問題冊子は持ち帰ること。

生 物

解答に字数の指定がある場合、字数には句読点、数字、アルファベット、および記号も1字として数えよ。

1 次の〔Ⅰ〕、〔Ⅱ〕の文章を読み、以下の問(1)～(7)に答えよ。

〔Ⅰ〕 陸上植物は主に土壌や大気から無機窒素化合物を獲得し、有機窒素化合物を合成することができる。

土壌からおもに吸収される無機窒素化合物は硝酸イオンとアンモニウムイオンである。^(a)好気的な土壌では によってアンモニウムイオンは を経て硝酸イオンとなる。植物に吸収された硝酸イオンは酵素1により されて に、さらに酵素2により されてアンモニウムイオンとなる。アンモニウムイオンとグルタミン酸から、グルタミン合成酵素によりグルタミンが合成される。グルタミンと から2分子のグルタミン酸が合成され、 のはたらきによってグルタミン酸とさまざまな有機酸からアミノ酸がつくられていく。その後さまざまな有機窒素化合物が合成される。除草剤にはグルタミン合成酵素を特異的に阻害するグルホシネートという化合物を主成分とするものがあり、海外ではグルホシネート耐性を付与した遺伝子組換え作物が広く栽培されている。

植物はおもに無機窒素化合物を根から吸収するが、有機窒素化合物も直接根から吸収できることが知られている。低温や日照不足の条件において、^(d)イネでは無機窒素化合物よりもグルタミンをほどこすことで生育が促進されることがある。

問(1) ～ に適切な語句を記せ。

問(2) 下線部(a)について、土壤に乾土 100 g 当たり 2.8 mg の窒素が含まれており、その窒素の 80 % が硝酸イオンであるとする。5 平方メートル、地表 15 cm の土壤から植物に供給されうる硝酸イオンの重さ(g)を有効数字 2 桁で記せ。土壤の仮比重(土壤 1 cm³ に含まれる乾燥重量)は 0.8 g/cm³、原子量は N = 14, O = 16 とする。

問(3) 下線部(b)について、植物において合成される有機窒素化合物を下記の中からすべて選び、番号を記せ。

- | | | |
|----------|-------|-------------|
| ① 硝酸イオン | ② 脂肪 | ③ グルタミン合成酵素 |
| ④ クエン酸 | ⑤ RNA | ⑥ グルコース |
| ⑦ フィトクロム | | |

問(4) 下線部(c)にあるように除草剤に含まれるグルホシネートが植物を枯死させる原因として考えられる要因について、 ~ に適切な語句を記せ。

要因 1 : 植物に高濃度の が するため。

要因 2 : 窒素 産物が するため。

問(5) グルタミン酸とグルタミンの化学式を下記の中からそれぞれ選んで番号を および に記せ。

- | | | |
|---|--|--|
| ① (NH ₄) ₂ CO ₃ | ② C ₅ H ₁₀ N ₂ O ₃ | ③ C ₆ H ₁₄ N ₄ O ₂ |
| ④ C ₆ H ₁₂ O ₆ | ⑤ C ₄ H ₆ O ₅ | ⑥ C ₅ H ₉ NO ₄ |
| ⑦ C ₂ H ₅ NO ₂ | | |

グルタミン酸: , グルタミン:

問(6) 下線部(d)が起こる原因について、「ATP」という語句を用いて 100 字以内で記せ。

〔Ⅱ〕 マメ科植物と根粒菌は共生し、根に根粒を形成する。根粒中の根粒菌は大気中の窒素を固定し、アンモニウムイオンを宿主であるマメ科植物に供給する。根粒着生数は地上部によっても制御されている。また、ダイズの超根粒着生変異体^(e)(*nts*)では、同じ根粒菌を感染させても野生型よりも根粒が過剰に形成されることが知られている。

問(7) 下線部(e)のダイズの超根粒着生変異体(*nts*)は地上部による根粒着生数の制御機構が失われた変異体である。このことを明らかにするために、接ぎ木を用いた実験を考案し、実験手法と結果を合わせて100字以内で記せ。なお、接ぎ木とは、台木となる個体と穂木となる個体を、人為的に切断し、切断面を接着することで、1つの個体とすることである。また、台木と穂木を栽培する土壌は滅菌処理したものをを用いる。

——このページは白紙——

次の〔I〕から〔IV〕の文章を読み、以下の問(1)~(10)に答えよ。

〔I〕 それぞれの種に特徴のある形態や性質をまとめて形質という。メンデルは、親の形質が子に受け継がれる現象(遺伝)のもとになる要素を遺伝子として仮定してその法則性を合理的に説明した。それから約100年を経て、染色体に含まれるDNAが遺伝子の本体であることが明らかにされた。

問(1) ヒトの細胞の1個あたりのDNA量について考える。血液中のリンパ球のDNA量を2としたとき、下に示す細胞の相対的なDNA量を整数で記せ。ただし、ミトコンドリアDNAは除外する。

(ア) 赤血球 (イ) 精細胞 (ウ) 神経細胞 (エ) 肝細胞

問(2) RNAは、DNAの遺伝情報を形質として発現する過程で重要な役割を果たしている。RNAもヌクレオチドを構成単位とするが、DNAと比較して、細胞内でのおもな存在場所、および、ヌクレオチドの基本構成成分が異なっている。

(イ) RNAがおもに存在する場所はどこか記せ。

(ロ) DNAに見られないRNAに特徴的なヌクレオチドの構成成分を2つ記せ。

〔II〕 ゲノムDNAには、CACACA…のように同じ塩基配列を繰返している領域がありマウスの系統によって繰返し配列の回数が異なる。この様な配列が多数存在することから、繰返し配列を挟む位置にあるプライマーをもちいてPCR法でDNAを増幅させると系統特有の長さのDNA断片が得られる。図1は、同一の常染色体上に近接するA、BおよびC対立遺伝子座位について、繰返し配列のPCR産物の長さにより電気泳動を用いてマウスX系統とY系統を識別できること、さらにその雑種第1代交配F₁世代による電気泳動像を示している。図2は、雑種第1代のオスとX系統のメスを交配させて得られた200匹の子孫が示した6群(G1-G6)に分類されるPCR産物の電気泳動像と各群の匹数を表している。ただし、同一染色体上の組換えは1箇所でのみ生じるものとし、G2の群では各遺伝子座位間での組換えはない。

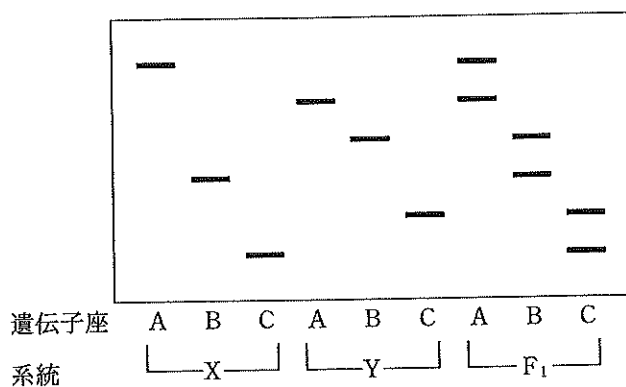


図 1

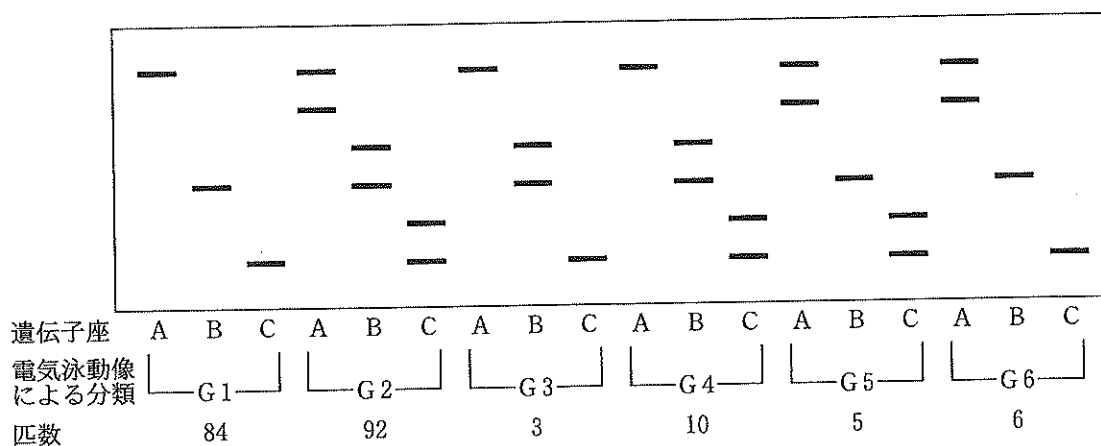


図 2

問(3) 電気泳動像により分類された各群の匹数をもとに遺伝子座位間の組換え価を算出し、A、BおよびC遺伝子座位の染色体地図(図3)を完成させよ。ただし、A遺伝子座位は(ク)に記入できない。

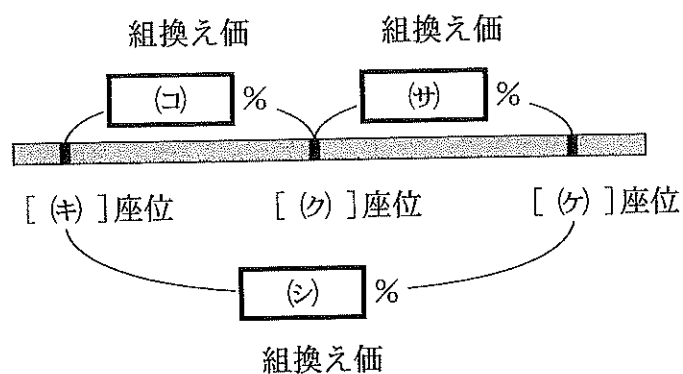


図 3

(Ⅲ) 突然変異によりヒトの病気に似た症状を示す実験動物は、疾患モデルとして、病因の解明あるいは診断法や治療・予防法の開発の目的で研究に用いられる。ある研究室で、銅の代謝に異常を示すマウスの系統が発見された。この系統の雄は胎児期に死亡する一方、雌はまだら模様の毛色を呈し繁殖力を維持しているものの成長遅延を示す。(a) ゲノム DNA の塩基配列を解析したところ、銅輸送タンパク質遺伝子のイントロン 12 からエキソン 13 にわたる領域が連続的に欠失する変異が同定された。(b) この変異により正常なスプライシングが行われなくなった結果、合成されるタンパク質が銅を輸送する機能を失う、という事実が示唆された。

問(4) 下線部 (a) の症状から銅輸送タンパク質遺伝子はどの染色体に存在する可能性が高いか記せ。

問(5) 隣接するエキソンをつなぐだけでなく、いくつかのエキソンを越えて、特定のエキソンをつなぐ選択的スプライシングがある。この現象の意義を 60 字以内で記せ。

問(6) 下線部 (b) に関して、「エキソン 12 の 3' 末端から 5' 末端側へ 37 番目の塩基」を A、また、「エキソン 13 の 5' 末端から 3' 末端側へ X 番目の塩基」を B と仮定し、野生型並びに変異型遺伝子のゲノム DNA、および伝令 RNA (mRNA) を鋳型として合成された相補的 DNA の A-B 間の領域の長さ(塩基対の数)を調べた。野生型は、1623 塩基対および 881 塩基対、一方、変異型遺伝子のゲノム DNA は 263 塩基対であった。また、変異型遺伝子のイントロン 12 は、5' 末端から 3' 末端側へ 166 番目以降の塩基が欠失していた。

(ア) 野生型のイントロン 12 を構成する塩基対の数を記せ。

(イ) イントロン 12 の欠失領域を塩基対の数で記せ。

(ウ) エキソン 13 の欠失領域を塩基対の数で記せ。

——このページは白紙——

(IV) 胚性幹細胞に遺伝子操作をおこなうことにより、発生工学的技術を組み合わせて特定の遺伝子に目的の変異を導入したマウスを作製することができる。次の実験では、あるタンパク質の遺伝子に変異を導入したマウスの作製を試みた。図4にその mRNA の鋳型となる DNA に相補的な DNA の塩基配列、タンパク質を構成しているペプチド鎖の N 末端から 43 番目～50 番目のコドンを示した。

	43	44	45	46	47	48	49	50	
5'	CAT	-TTG-	ATC-	GTT-	CAT-	CAT-	GAG-	TCG	3'

図 4

問(7) 表1「遺伝暗号表」に従って、図4のDNA配列が指定するペプチドのアミノ酸配列を記せ。

問(8) 1塩基を挿入あるいは削除、置換することにより、他の部分を変えることなく49番目のアミノ酸だけをリシンに置き換えたい。どのような変異操作を加えるか、「変異操作をおこなうコドンの位置(x番目)」および「変異操作後の塩基配列(XYZ)」について「x:XYZ」のように記せ。

ただし、コドンXYZを例にとると、1塩基を置き換える場合は“XXZ”，あるいは、1塩基を削除する場合は“XZ”，さらに1塩基を付加する場合は“XYYZ”などのように塩基配列を答えよ。いずれの塩基でも良い場合はNで表すものとする。

問(9) 1塩基を挿入することによって45番目のコドンATCをATCAに変異させた。このDNA配列から合成されるペプチドのアミノ酸配列を記せ。

問(10) 図4のDNA配列の中に1塩基の挿入あるいは削除、置換などの操作をおこない、もっとも短いペプチドを合成させたい。考えられるいくつかの変異操作のうち、2通りについて、問(8)と同様に(タ)および(チ)に記せ。

表1 遺伝暗号表

		2 番 目 の 塩 基					
		U	C	A	G		
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	3 番 目 の 塩 基
		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	アスパラギン	セリン	U	
		イソロイシン	トレオニン	アスパラギン	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(開始)	トレオニン	リシン	アルギニン	G	
	G	バリン	アラニン	アスパラギン酸	グリシン	U	
		バリン	アラニン	アスパラギン酸	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	

3

次の〔I〕～〔IV〕の文章を読み、以下の問(1)～(8)に答えよ。

〔I〕 カエルの背腹軸は、精子の進入位置によって決まる。受精で精子が卵細胞内に入ると、その中心体から微小管が、表層の直下を伸びて植物極に達し、さらに動物極に向かって伸びる。このとき微小管の伸長にともなって、動物極と植物極を結ぶ軸に対して表層が約 30 度回転する。これが表層回転である。これにともない、微小管をつたって、卵の植物極側に局在するディシエベルドタンパク質と呼ばれる母性因子が、将来の背側で灰色三日月環のできる領域に移動する(図 1 B)。これとは別の母性因子で β カテニンと呼ばれるタンパク質は、未受精卵では卵全体に存在するが、表層回転の後に将来背側となる領域の細胞質に蓄積される(図 1 D)。卵割が進むと、背側の細胞質に蓄積された β カテニンは核に移動し、調節タンパク質としてはたらくようになる。そして背側に特徴的なさまざまな遺伝子の発現を促す。

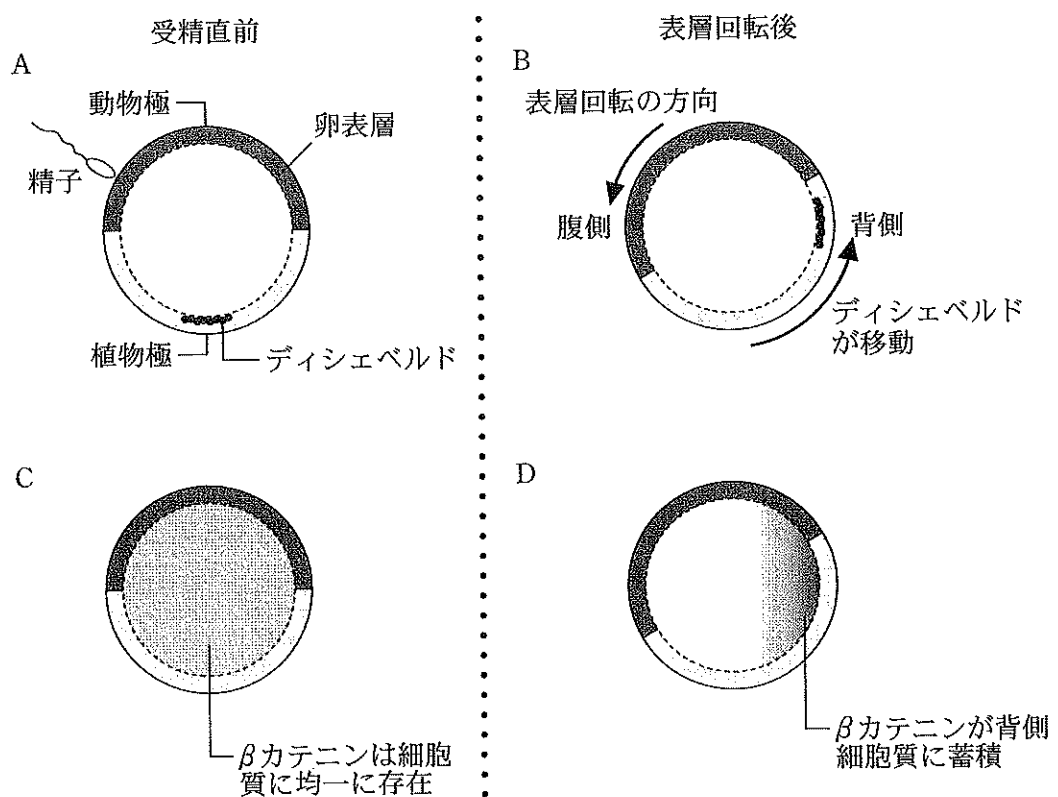


図 1 表層回転とディシエベルド, β カテニンタンパク質

問(1) 受精卵に紫外線を照射することによって、微小管の伸長を阻害することができる。この実験の結果どのようなことが起こるか、以下の①～⑦から正しいものを選び、起こる順番に左から並べて記せ。なお β カテニンタンパク質は合成されては分解されるため、ほぼ一定の量で未受精卵の細胞質に存在しているとする。またディシェベルドには β カテニンの分解を抑える働きがある。

- ① 表層回転が起こらなくなるが、灰色三日月環は形成される。
- ② 背側に特長的な遺伝子の発現が起きず、胚全体で腹側に特徴的な遺伝子が発現する。
- ③ 背側だけで β カテニンの核への移動が起こる。
- ④ 原腸形成が起きる。
- ⑤ ディシェベルドが植物極にとどまる。
- ⑥ 背側での β カテニンの蓄積が起こらなくなる。
- ⑦ β カテニンの分解が胚全体で抑えられる。

問(2) 受精卵に紫外線を照射しても、照射後すぐの第1卵割の開始前に重力の方向に対して90°傾けて、16細胞期までそのままの角度に保つと、ほとんどの受精卵で正常に発生が進んだ。また背側の組織は元の植物極側に形成された。なお卵を傾ける方向は、精子の侵入点とは無関係に決めて実験を行なっている。また卵を傾けると、卵表層の植物極であった箇所は卵の側方へ移動するが、卵内部の植物半球には重い大卵黄顆粒があるために、内部の細胞質は重力の方向へ戻ろうとして、卵表層と内部細胞質のずれが生じる。

紫外線照射の影響を打ち消すことができたこの実験の結果と、問(1)の実験の結果を比べて言えることは何か。以下の①～⑤から当てはまるものをすべて選んで記せ。

- ① 精子の侵入点は微小管の伸長が始まる場所を決めるとともに、背側の組織ができる場所を直接決めている。
- ② 卵内部の細胞質と卵表層とが相対的に変位することが、将来の背側を決めるために必要である。
- ③ 紫外線を照射した受精卵を傾けても、卵内部の細胞質は正常な受精卵のように再配置するので、元々細胞質に均一に存在する β カテニンが、局所的に蓄積することはない。
- ④ 精子の侵入点に関わらず、ディシェベルドが運ばれた場所が将来の胚の背側となる。
- ⑤ 受精前の卵にすでにある植物極と動物極の極性は、背腹軸の決定には影響を及ぼさない。

——このページは白紙——

〔Ⅱ〕 動物の発生を理解する上で重要な概念に「誘導」という考え方がある。この概念が生まれる元となった実験の一つが、メキシコサンショウウオの胚を使ったニューコープの実験である。胞胚期中期のアニマルキャップと呼ばれる動物極周辺の予定外胚葉域と植物極にある予定内胚葉領域を取り出して別々に培養したところ、各部分はそれぞれ外胚葉性、内胚葉性の組織に分化した。しかし、アニマルキャップに予定内胚葉の部分进行着させて培養すると、アニマルキャップの中の予定内胚葉が接している部分に、中胚葉性と考えられる組織が形成された。このことから、予定内胚葉域が予定外胚葉域を中胚葉性の組織に誘導することが明らかになった。

この実験をさらに進めて、図2に示すようにアニマルキャップと予定内胚葉の間に小さな孔をもつ膜(フィルター)を挟んで、両方の細胞が直接接することがないようにした。フィルターとして、(i)タンパク質などの高分子は通さず、低分子やイオンのみを透過させるフィルター、(ii)タンパク質などの高分子も透過させるフィルターの2種類を用いて、それぞれの効果を比較した。その結果、(i)ではアニマルキャップと予定内胚葉をそれぞれ単独で培養したのと同じ結果となり、(ii)ではフィルターを挟まないで接着させた場合と同じ結果となった。

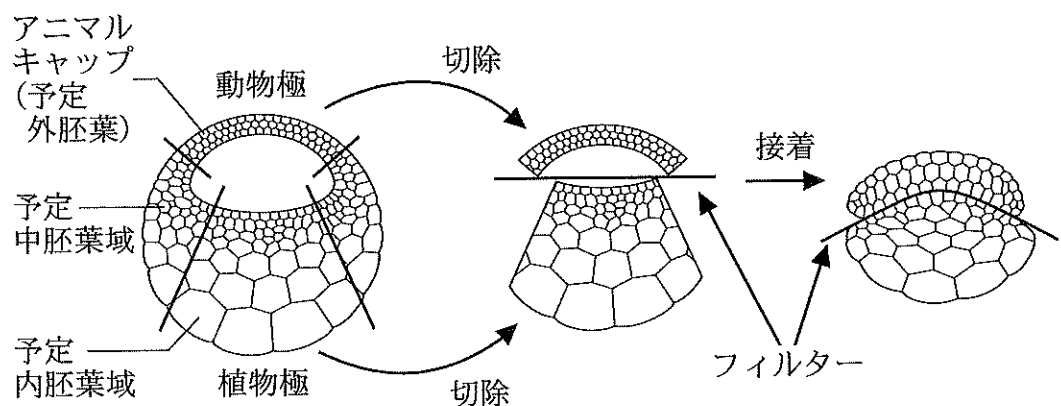


図2 ニューコープの実験の発展

問(3) 下線部(a)について、この実験の結果から誘導に関して言えることは何か。以下の①～⑤から当てはまるものをすべて選んで記せ。

- ① アニマルキャップと予定内胚葉域の細胞には単独で分化する能力はない。
- ② アニマルキャップの細胞には誘導に応答する能力がある。
- ③ 予定内胚葉域細胞とアニマルキャップの細胞の膜どうしの直接の接触は誘導には必要でない。
- ④ 予定外胚葉域の細胞から分泌されてフィルターを通過できる物質が誘導に関わる。
- ⑤ 誘導には高分子の物質に関わる。

〔Ⅲ〕 胚葉が分化したのち、さまざまな器官の形成では、種々の誘導作用が働いてあう。また器官形成は、形成体のもつ誘導する能力だけでなく、誘導を受ける部位が誘導物質を受容し、それに反応する能力(反応能)がないと進行しない。

ニワトリの消化管は内胚葉由来の消化管上皮と中胚葉由来の^{かんじゅうしき}間充^{のう}織からなる。ヒトなどの哺乳類の消化管との大きな違いは、前胃と砂囊という2つの胃が存在する事である。口に近い側には前胃が分化して、人の胃と同様に上皮が胃腺を形成し、胃腺の細胞は消化酵素ペプシンの前駆体であるペプシノーゲンや塩酸を分泌し化学的消化に関わっている。いっぽう、後方の砂囊は消化酵素を分泌する腺を持たないが、平滑筋を発達させ機械的消化を担う。

孵卵6日目のニワトリ胚の消化管の前胃と砂囊を上皮と間充織に分け、上皮だけを単独で培養すると、それぞれの予定運命にしたがって分化する。ところが、上皮と間充織を交換して本来とは異なる組み合わせで接着させて培養すると、以下のような結果となった。前胃の間充織と砂囊の上皮を組み合わせ^(b)た場合、腺形成とペプシノーゲン発現が誘導された。また、砂囊の間充織と前胃の上皮を組み合わせた場合は、腺形成とペプシノーゲン発現が抑制された(図3)。

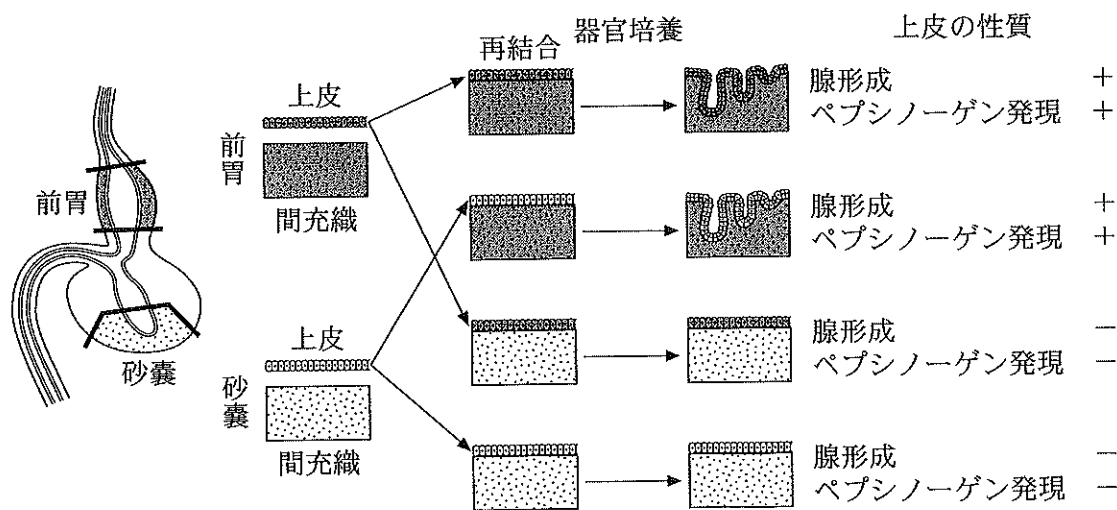


図3 消化管の再結合実験

これと似た実験に、ニワトリの皮膚の再結合実験がある。ニワトリの皮膚は外胚葉由来の表皮と中胚葉由来の真皮からなり、背中や腹部の皮膚は羽毛を、^{あし}肢の皮膚はうろこを形成している。孵卵5日目および8日目のニワトリ胚からは背中^(c)の表皮を、10日目、13日目、15日目のニワトリ胚からは肢の真皮を切り出し、複数の組み合わせをつくって培養した。その結果、5日目の胚からの表皮を13日目、15日目の胚からの真皮に結合すると、表皮は真皮からの誘導作用に反応してうろこへと分化した。いっぽう、8日目の胚からの表皮を13日目、15日目からの真皮に結合すると、表皮は真皮からの誘導作用に反応せず、予定運命通り羽毛へと分化した(図4)。

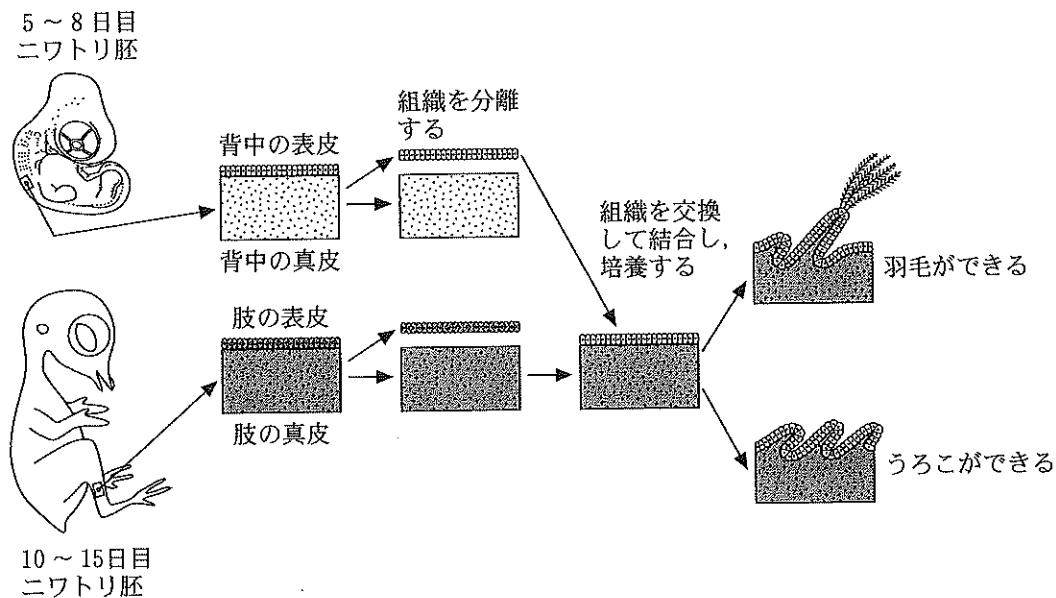


図4 皮膚の再結合実験

問(4) 下線部(b)の実験結果から導き出せる結論を35字以内で記せ。

問(5) 下線部(c)に関して、肢の真皮からの誘導作用に対する表皮の反応能についてわかることを40字以内で記せ。

〔IV〕 動物の発生の過程では、様々な遺伝子が正しい場所で正しい時期に発現して働くことが重要である。その発現が乱れたり機能を失ったりすると発生異常がおこる。ショウジョウバエがもつ、ある1つの遺伝子が突然変異して機能を失うことによって、本来触角であるべき場所に肢が形成されたり、本来は胸部に1対しかない^(d)翅が2対形成されることがある(図5)。このような変異をホメオティック変異とよぶ。また、このような変異の原因となる遺伝子^(e)をホメオティック遺伝子とよぶ。

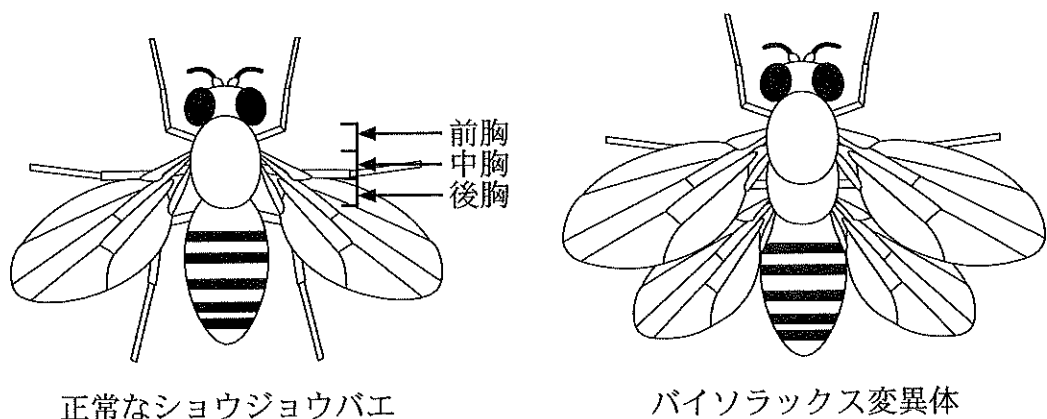


図5 正常なショウジョウバエとバイソラックス変異体

哺乳類であるマウスでも人工的にホメオティック変異をもつ個体を得ることが可能となった。例としてショウジョウバエのホメオティック遺伝子の1つである *AbdB* と相同なマウスの遺伝子について考える。ショウジョウバエの *AbdB* は腹部体節で発現しており、この遺伝子に変異がおきると、腹部第5～7体節がより前側の腹部第3～4体節の性質をもつような変異がおこる。*AbdB* 遺伝子に相当するマウスの遺伝子は *Hoxa10*, *Hoxc10*, *Hoxd10* の3つあり、それぞれ異なる染色体上に存在する。これらは進化の過程で染色体の重複により生じたと考えられている。ところで、マウスではこれら3つ^(f)のうちのどれか1つの遺伝子に変異をおこしてその機能を失わせても、椎骨の形態に劇的な変化は見られなかった。いっぽう、これら3つすべての遺伝子の機能を失ったマウスでは、腰の部分の椎骨がすべて胸部の椎骨の形態をとり、その近傍に本来は胸部にしかない^(g)肋骨のような骨が形成された。つまり腰の部分の骨を形成すべき細胞群が胸の部分の性質をもつようになる変異が観察された。

問(6) 下線部(d)の変異体はバイソラックス変異体と呼ばれる。この変異体では *Ubx* 遺伝子が機能を失った結果、3つある胸部体節のうちの後胸が中胸に変化して中胸がもつ翅をもう1対もつようになったと考えられる。しかし、*Ubx* が後胸の性質を付与する遺伝子だとしても、その機能が失われただけで *Ubx* が発現していた場所が中胸の性質をもつのはどうしてだろうか？ じつはこれには前胸や中胸の性質を付与して翅を形成する遺伝子 *Antp* が関わっている。図6に示した *Ubx* 遺伝子と *Antp* 遺伝子の発現領域の重なり具合から、なぜ *Ubx* 遺伝子の機能が失われると後胸が中胸の性質を示すようになったのかを、30字以内で記せ。なお、ホメオティック遺伝子の産物は調節タンパク質であり、遺伝子の発現を促進するものもあれば抑制するものもあることを考慮せよ。

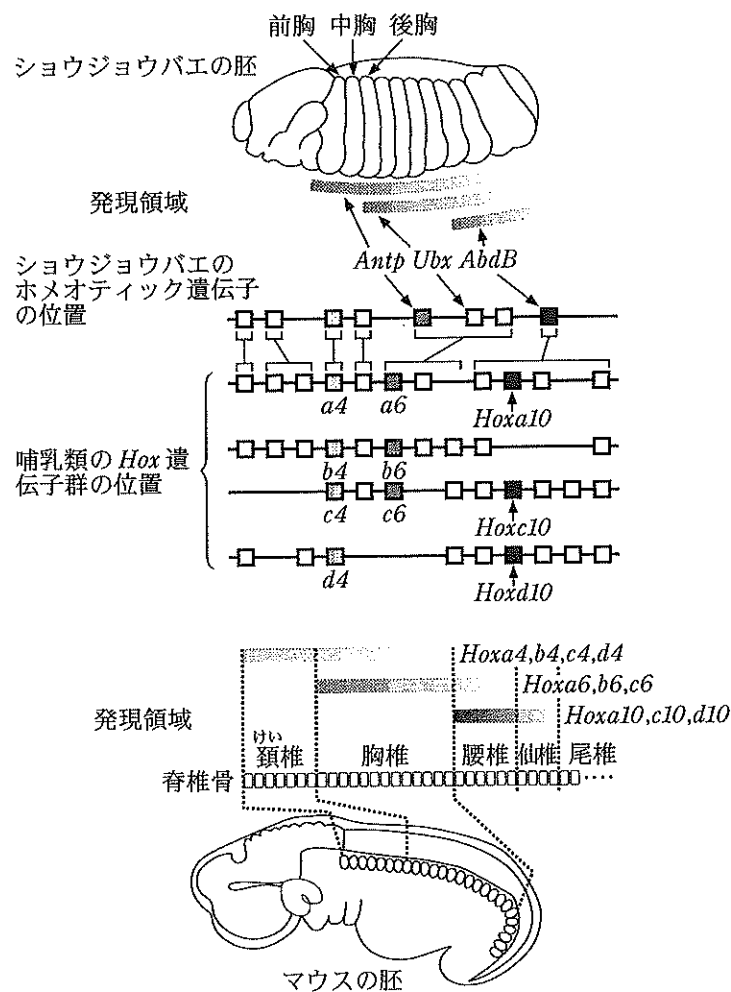


図6 ホメオティック遺伝子とその発現領域

問(7) 下線部(e)に関して、ホメオティック遺伝子が共通して持つ 180 塩基対の配列をなんとよぶか、その名称を記せ。

問(8) 下線部(f)に関して、なぜマウスでは1つの遺伝子の変異だけでは劇的な形態の変化が見られなかったのか。3つの遺伝子が重複によって生じ、それぞれがよく似た働きをもつと考えられている点を考慮して、その理由を 25 字以内で記せ。

——このページは白紙——

——このページは白紙——