

(令和2年度)

AO入試 (生命理工学院)

総合問題 (筆記)

90分

注意事項

1. 試験開始の合図まで、この冊子を開かないこと。
2. 本問題冊子は合計12ページ(表紙1ページ、問題11ページ)、答案用紙は6ページである。
3. 問題1、問題2、問題3すべてに解答すること。
4. 答案用紙のすべてのページに受験番号を記入すること。
5. 解答はすべて答案用紙の所定欄に記入すること。裏面は使用しないこと。
6. 答案用紙の冊子は切りはなさないこと。

問題 1

次の文章を読み、以下の問1～問4に答えよ。

DNAにコードされた遺伝情報は、mRNAに転写されたのちにタンパク質へと翻訳され、様々な生命機能を果たしている。細菌に感染するウイルスであるバクテリオファージ(ファージ)が増殖する際には、ウイルスに含まれるDNA(RNA型ファージではRNA)だけが細菌細胞の中に注入される。図1にDNA型ファージの細菌細胞への感染と、感染初期に起こる遺伝子発現を模式的に示す。ファージは細菌表面の特異的受容体タンパク質を介して細菌細胞に吸着し、細菌内部に自身のDNAを注入する。注入されたDNAにコードされる遺伝子は、細菌のRNA合成酵素により転写され、細菌のリボソームやtRNAなどの働きでタンパク質に翻訳されてファージの増殖を引き起こす。

大腸菌に感染して増殖するDNA型ファージの遺伝子の働きを調べるために、以下の実験1～実験3を行った。ただし、これらの実験ではファージ間での遺伝子組換えや、本文中で述べた突然変異以外は生じなかったものとする。

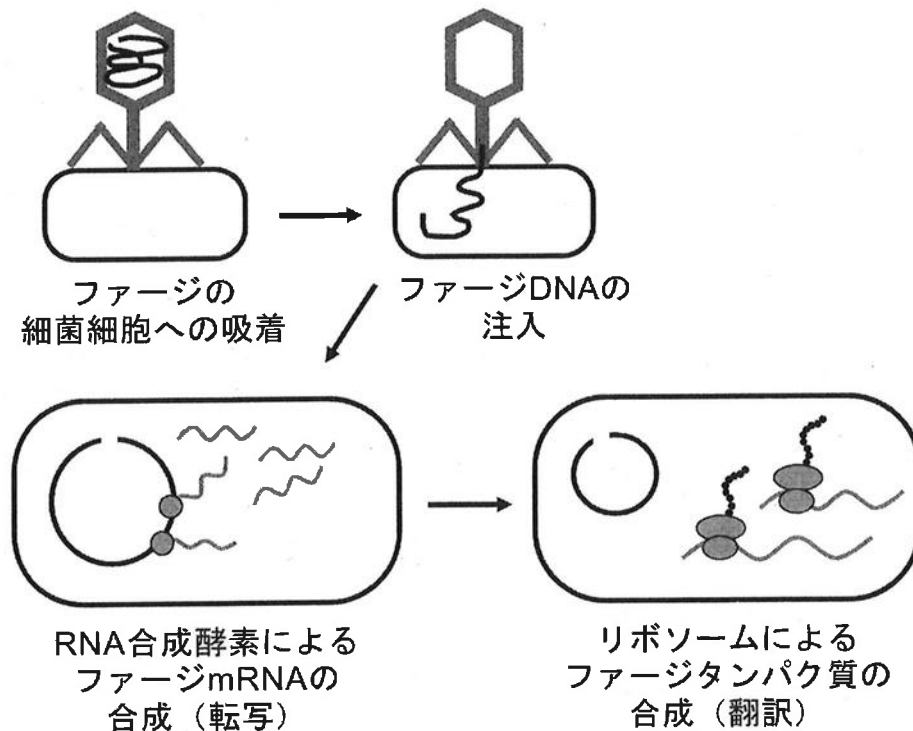


図1 DNA型ファージの細菌細胞への感染と、感染初期に起こる遺伝子発現の模式図

(次ページに続く)

<実験 1>

遺伝子 A は、ファージの増殖に必須なタンパク質をコードするファージの遺伝子である。ファージ DNA が細菌内に注入されたのち、遺伝子 A は mRNA に転写され、開始コドン (AUG) から終止コドンまでの配列 (読み枠) が翻訳されてタンパク質 α が合成される。ここで、150 アミノ酸からなるタンパク質 α の読み枠のうち、70 番目のチロシンコドンに相当する DNA 配列 TAC が、終止コドンに相当する TAG 配列に変異した変異体ファージ (I) が単離された。この変異体ファージ (I) では、タンパク質 α の翻訳が 69 番目のアミノ酸までの途中で終結してしまい、大腸菌内で増殖することができなかった。しかし、チロシン tRNA をコードする遺伝子に特定の突然変異をもつ大腸菌に感染した場合には、この変異体ファージ (I) は増殖することができた。

<実験 2>

遺伝子 A と同様に、遺伝子 B と遺伝子 C もファージの増殖に必須なタンパク質をコードするファージの遺伝子である。実験 1 と同様の解析から、遺伝子 B の読み枠の中途のチロシンコドンに相当する DNA 配列 TAC が終止コドンに相当する TAG に変異した変異体ファージ (II)、および遺伝子 C の読み枠の中途のチロシンコドンに相当する DNA 配列 TAC が終止コドンに相当する TAG に変異した変異体ファージ (III) が単離された。これら変異体ファージの増殖も、実験 1 と同じチロシン tRNA 変異をもつ大腸菌に感染した場合でのみ可能であった。しかし図 2 に例を示すように、変異体ファージ (I)、(II)、(III) のうち 2 種類を同一の大腸菌に同時感染させると、チロシン tRNA 変異をもたない大腸菌であっても、どの変異体ファージの組み合わせでも増殖して子ファージを生じた。

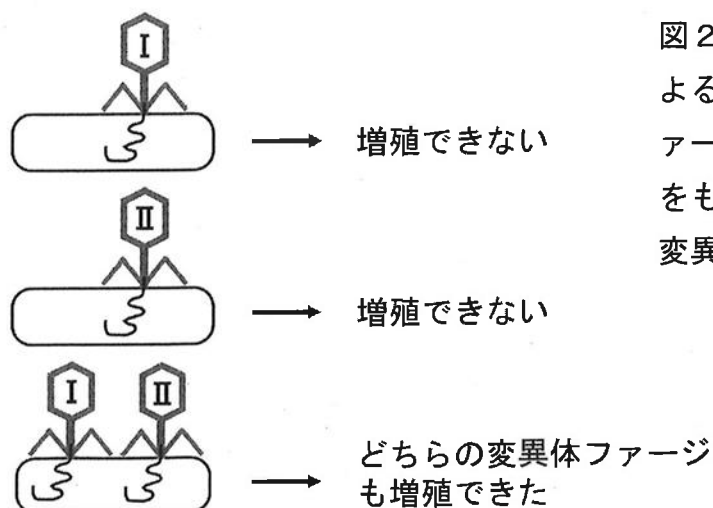


図 2 2 種類の変異体ファージによる同時感染実験の例：変異体ファージ (I) と (II) を tRNA 変異をもたない大腸菌に同時感染させ、変異体ファージの増殖を観察した。

(次ページに続く)

<実験3>

次に、3種の変異体ファージ(Ⅳ)、(Ⅴ)、(Ⅵ)をあらたに取得して解析を行った。その結果、これら3種の変異体ファージ、および上記の変異体ファージ(Ⅰ)、(Ⅱ)、(Ⅲ)では、互いにすべて異なる位置に1塩基の置換突然変異が起きていることがわかった。また、これらの変異体ファージでは、増殖に必要な遺伝子A、B、Cのいずれかの読み枠の途中で、チロシンコドンに対応するDNA配列TACが終止コドンに相当するTAG配列に変異していた。また、それぞれの変異体ファージが増殖するためには実験1と同様にチロシン tRNA 遺伝子変異をもつ大腸菌が必要であった。ここで、tRNA 変異をもたない大腸菌に対して、変異体ファージ(Ⅰ)～(Ⅵ)をすべての組み合わせで2種類ずつ同時に感染させたところ、増殖できる組み合わせと、増殖できない組み合わせが観察された。実験2と実験3の結果を次の表に示す。

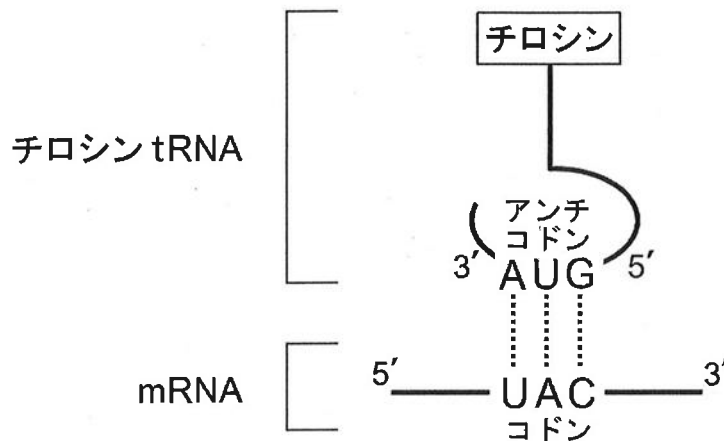
表 tRNA 変異をもたない大腸菌に、2種類の変異体ファージを同時感染させた際のファージ増殖実験の結果

変異体 ファージ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ
Ⅰ						
Ⅱ	○					
Ⅲ	○	○				
Ⅳ	○	×	○			
Ⅴ	○	×	○	(ア)		
Ⅵ	×	○	○	(イ)	(ウ)	

増殖した組み合わせを「○」で、増殖しなかった組み合わせを「×」で示す。

(次ページに続く)

- 問1 実験1において、下線部の大腸菌ではチロシンに対応するtRNAをコードする遺伝子に1塩基の置換突然変異が起きていた。下の模式図にならい、予想される変異型チロシンtRNAの構造の模式図を示しなさい。また、その変異により変異体ファージの増殖が可能となった理由を75字以内で説明せよ。



チロシンtRNA アンチコドンと mRNA コドンの対合の模式図

- 問2 実験2において、2種類の変異体ファージの同時感染により、tRNA変異をもたない大腸菌でも変異体ファージ増殖が可能であった理由を150字以内で説明せよ。
- 問3 実験3において、変異体ファージ(IV)は遺伝子A、B、Cのうちどの遺伝子に突然変異をもつと考えられるか、答えよ。また、表に示した結果から、そのように考えた理由を90字以内で説明せよ。
- 問4 表に示された結果から、変異体ファージ(IV)～(VI)の間での同時感染実験の結果を推定し、表の(ア)～(ウ)欄の結果として最も適切な組み合わせを次の選択肢①～⑧のうちから1つ選んで答えよ。

- | | |
|---------------------|---------------------|
| ① (ア) ○ (イ) ○ (ウ) ○ | ② (ア) ○ (イ) ○ (ウ) × |
| ③ (ア) ○ (イ) × (ウ) ○ | ④ (ア) ○ (イ) × (ウ) × |
| ⑤ (ア) × (イ) ○ (ウ) ○ | ⑥ (ア) × (イ) ○ (ウ) × |
| ⑦ (ア) × (イ) × (ウ) ○ | ⑧ (ア) × (イ) × (ウ) × |

問題 2

次の文章を読み、以下の問 1～問 5 に答えよ。

脊椎動物は外界から情報を取得し、その変化に対して適切に反応するためのシステムを獲得している。外界から情報を得るための器官を受容器といい、受容器からの情報は電気的な信号に変換され、(ア)と(イ)から構成される中枢神経系に伝達される。中枢神経系で処理された情報は、筋肉などの効果器に伝達され個体に適切な応答を引き起こす。

ここで、骨格筋を効果器とする場合を考える。外界からの入力に対する中枢神経系からの出力には、意識的に行われる随意運動や無意識的に行われる反射がある。後者の例として、座った状態でひざ関節のすぐ下の部分を前から軽くたたかれると思わず足が前に跳ね上がる現象がよく知られている。この反射(しつがい腱反射)の中枢は(イ)にあることが分かっている。すなわち、ひざ関節を伸展する作用のある筋肉(伸筋)の中に存在する受容器に発生した電気信号は、感覚神経を経て(イ)に伝達される。さらに、運動神経を経てひざ関節の伸筋に伝達され、伸筋が収縮する。ひざ関節まわりには、ひざ関節を屈曲する作用のある筋肉(屈筋)もある。

しつがい腱反射の神経回路と機能を調べるために次の思考実験を考える。

<思考実験>

ひざ関節の伸筋もしくは屈筋に受容器を持つ感覚神経の軸索を各々分離し、電気刺激を行う。これらの刺激の伸筋を支配する運動神経に対する効果を明らかにするため、運動神経の細胞体内部に電極を刺入し、電位変化を計測する(図 1)。電位計測においては、電気刺激の影響を受けない部位の電位を基準電位とする。

電気刺激の強度を適切に調整して図 1 の部位 a を刺激すると、図 2 A に示す運動神経の電位変化が得られるとする。このとき、感覚神経からの興奮は、シナプスを 1 つだけ経由して運動神経に伝達されたことを確認している。次に、図 1 の部位 b を刺激し、刺激から電位応答までの時間が最短になる刺激条件下で計測したところ、図 2 B に示す運動神経の電位変化が得られるとする。

(次ページに続く)

ただし、この思考実験では次の【1】～【3】を仮定する。【1】図1の刺激部位 a もしくは b で活動電位が発生した部位から電位変化を計測している部位までの距離は等しく、各々の感覚神経および介在神経が興奮を伝える伝導速度は同一である。【2】シナプ스에서信号を伝達するのに要する時間は0.70 ミリ秒である。【3】感覚神経の興奮の頻度は筋肉の長さに正比例する。

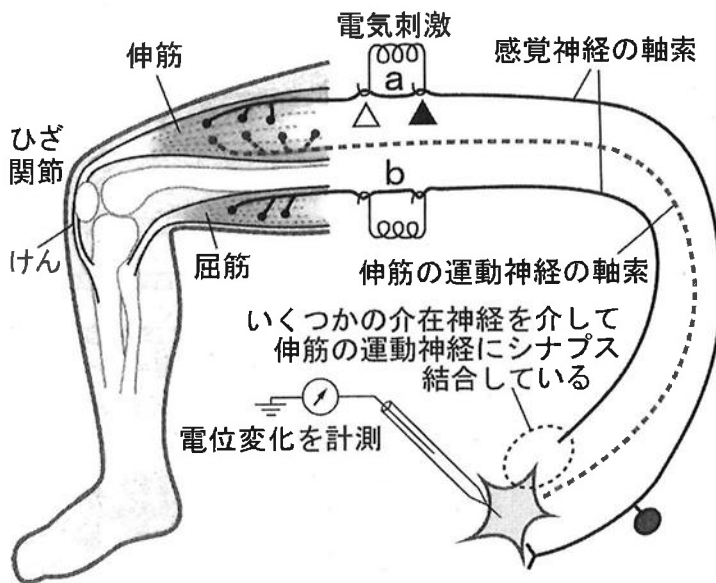


図1 思考実験の模式図

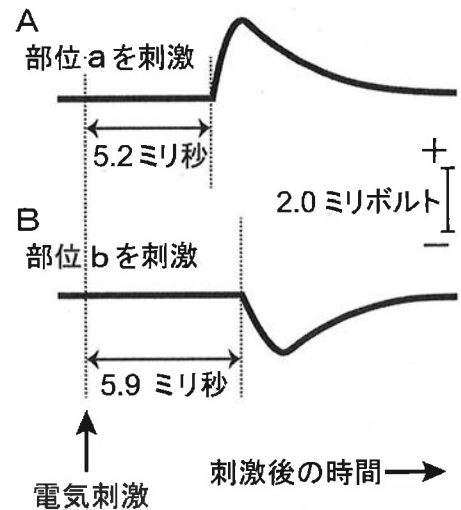


図2 計測される電位の時間変化

- 問1 上の文章中の（ア）と（イ）にあてはまる最も適切な語句を記せ。
- 問2 電気刺激は図1のように感覚神経の軸索を2本の電極に引っ掛けて行う。刺激により部位 a の黒三角印（▲）部位で活動電位を発生させることを考える。そのためには黒三角印部位の電極を白三角印（△）部位の電極に対して正極にするべきか負極にするべきかその極性を答えよ。また、その理由を120字以内で説明せよ。
- 問3 実験の結果をもとに、ひざ関節の伸筋に受容器を持つ感覚神経の伝導速度を有効数字2桁で求めよ。ただし、電気刺激により活動電位が発生した部位から計測部位までの距離は36 cm とする。計算過程も記すこと。
- 問4 実験の結果をもとに、ひざ関節の屈筋の中に存在する受容器からの情報はいくつかのシナプスを介して伸筋を支配している運動神経に入力するか、その数を答えよ。

（次ページに続く）

問5 立った状態(図3A)のヒトに背後から不意に両ひざ関節に外力を加え(図3B) そのヒトの両ひざ関節を急に図3Cの位置まで屈曲させると、その直後にどのような応答が生じると考えられるか。上記の思考実験結果をふまえて、以下の選択肢①~⑤のうちから最も適切なものを1つ答えよ。また、その理由を100字以内で説明せよ。

- ① 主にひざ関節の伸筋が弛緩する。
- ② 主にひざ関節の屈筋が弛緩する。
- ③ 主にひざ関節の伸筋が収縮する。
- ④ 主にひざ関節の屈筋が収縮する。
- ⑤ ひざ関節の伸筋と屈筋には何も変化は生じない。

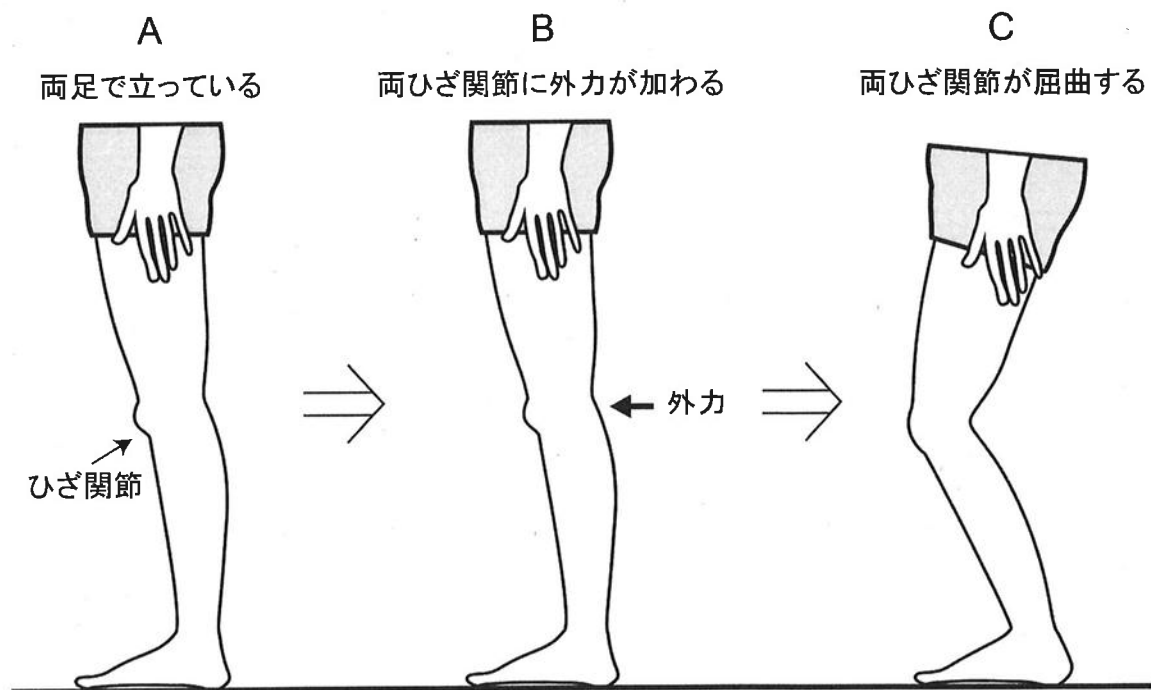


図3 両ひざ関節を不意に急に屈曲させる実験

問題 3

次の文章を読み、以下の問 1～問 4 に答えよ。

多くの動物の初期発生では、母親から与えられて卵細胞に蓄えられた mRNA やタンパク質などの母性因子が重要な役割を果たす。硬骨魚類のゼブラフィッシュや両生類のアフリカツメガエルなどでは、受精後、(1)胞胚中期までの胚発生は母性因子に依存して進行するが、その後は、主に(2)胚自身の遺伝子から作られた mRNA やタンパク質の働きによって胚発生が進む。

胚の背側組織の形成にはたらく遺伝子について調べるために、ゼブラフィッシュを用いて次の実験 1～実験 5 を行った。

<実験 1> 遺伝子 A は、初期発生における背側組織（頭部や脊索）の形成に必要である。この遺伝子 A の突然変異 a は劣性（潜性）である。ヘテロ接合体 A/a の魚を、別の系統の野生型と交配した場合、産まれてくる子の 50% はヘテロ接合体 A/a であると期待される（第一世代）。

しかし、第一世代の魚同士を多数交配してみたが、得られた胚には異常はみられず、胚の生存率も正常であった（第二世代）。さらに、第二世代のオス 3 匹（オス①～③）、メス 3 匹（メス①～③）を選んで交配すると、1 日後、背側組織の形成が低下した胚（図 1）が出現した（第三世代）。第三世代において、背側組織の形成が低下した胚の数の割合を表 1 に示す。

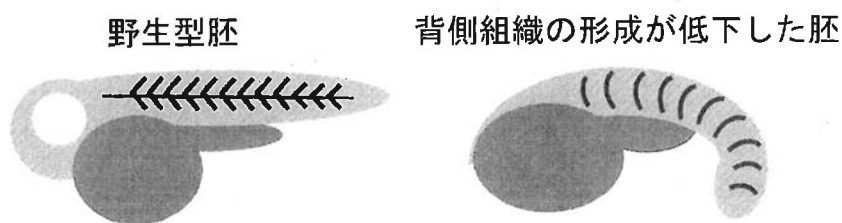


図 1 野生型胚と背側組織の形成が低下した胚

表 1 背側組織の形成が低下した胚の数の割合 (%)

	メス①	メス②	メス③
オス①	0	(イ)	(エ)
オス②	(ア)	(ウ)	0
オス③	0	100	0

(次ページに続く)

<実験2> 遺伝子 A のゲノム上の位置を調べるために、次の実験を行った。背側組織の形成が低下した胚を産んだ第二世代のメスを多数集め、それぞれからヒレの一部を切り取って、ゲノム DNA を抽出した。これらの DNA から、ゲノム上の短い領域 X, Y, Z を PCR 法によって増幅し、電気泳動を行って DNA の多型を調べたところ、表 2 に示す結果が得られた。なお、X と x, Y と y, Z と z は、それぞれわずかに長さが異なる多型であり、第一世代の魚は、すべて X/x, Y/y, Z/z とする。

表 2 それぞれの DNA 多型をもつ魚の割合

DNA 多型	X/X	X/x	x/x	Y/Y	Y/y	y/y	Z/Z	Z/z	z/z
割合 (%)	26	51	23	97	3	0	85	15	0

<実験3> 遺伝子 A に加え、遺伝子 B および遺伝子 C も背側組織の形成に必要であることがわかっている。遺伝子 A~C の関係性を調べるため、表 1 のメス②とオス③の交配から得られる受精卵に、遺伝子 A, B または C のいずれかの mRNA を微量注入して、1 日後、胚の観察を行った。

遺伝子 A または C の mRNA を注入した場合は、頭部や脊索が形成された胚が多数観察された。遺伝子 B の mRNA または水を注入した場合は、頭部や脊索が形成された胚は観察されなかった。

<実験4> 遺伝子 D の突然変異 d でも、ホモ接合体胚（以下、変異体胚とよぶ）では脊索が欠損する。この変異 d は通常のメンデルの法則に従って遺伝し、胞胚期以降にはたらくと考えられている。発生 1 日目の変異体胚を調べると、脊索の位置に筋肉が生じていることがわかった（図 2）。さらに、原腸胚期に予定脊索域を色素で標識して細胞の運命を追跡すると、変異体胚では、脊索になる予定の細胞が筋肉になっていた。

（次ページに続く）

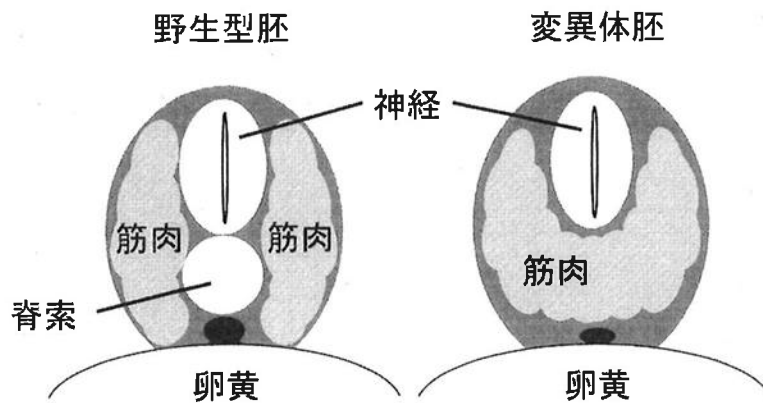


図2 野生型胚と変異体胚の胴部での横断切片

<実験5> 野生型または変異体 d のホモ接合体の受精卵に、蛍光色素を注入して胚全体を標識し、さらに、胞胚期に微小ピペットを使って、胚（ドナー）の予定脊索領域から細胞を少数吸取り、野生型の胞胚（ホスト）の同じ領域に移植した（図3）。1日後に、移植細胞が、脊索または筋肉に分化しているか調べたところ、表3に示す結果が得られた。なお、魚類の卵は盤割を行い、細胞塊が卵黄表面を覆っていくように発生する。

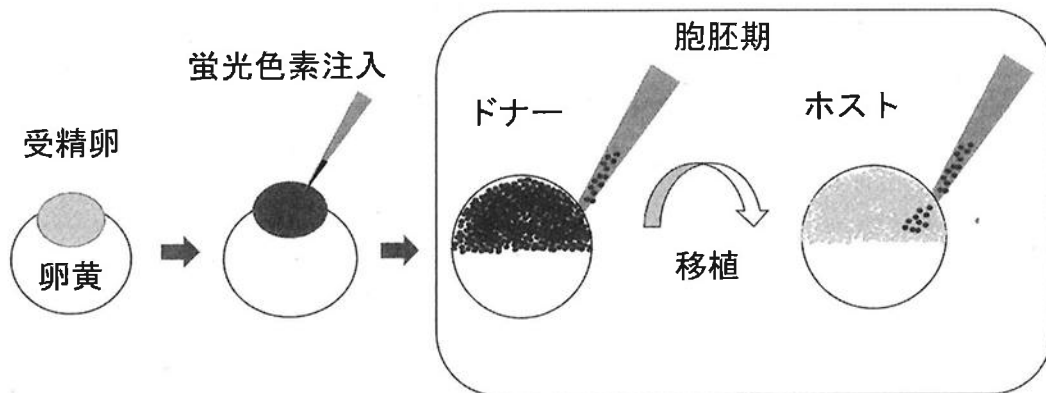


図3 胞胚における細胞移植の方法

表3 移植された細胞が脊索または筋肉へ分化した胚の数の割合（％）

ドナー	ホスト	移植細胞が脊索のみに分化	移植細胞が脊索および筋肉に分化	移植細胞が筋肉のみに分化
野生型	野生型	70	30	0
変異体	野生型	45	22	33

（次ページに続く）

問1 下線部(1)に関連して、実験1の結果をもとに、表1の(ア)～(エ)にあてはまる最も適切な数字を答えよ。また、メス②の遺伝子型を答えよ。ただし、野生型遺伝子をA、変異型遺伝子をaとする。

問2 実験2の結果をもとに、ゲノム上の領域X、Y、Zのうち、どの領域が遺伝子Aに最も近いか答えよ。また、その理由を80字以内で説明せよ。

問3 遺伝子A～Cがはたらく順序は、以下の選択肢①～⑥のいずれかであることがわかっている。実験3の結果をもとに、遺伝子A～Cがはたらく順序として最も適切なものを、以下の選択肢のうちから1つ選んで答えよ。また、その理由を80字以内で説明せよ。

① A→B→C

② A→C→B

③ B→A→C

④ B→C→A

⑤ C→A→B

⑥ C→B→A

問4 下線部(2)に関連して、実験4および実験5の結果から、脊索の分化と遺伝子Dの働きについて120字以内で考察せよ。