

生 物

解答用紙の所定の欄に記入すること。

- I 以下の文章は横紋筋の構造と機能について述べている。下線をつけた部分についての間に順次、答えなさい。

動物の運動に不可欠な骨格筋は横紋筋とも呼ばれ、ほ乳類では直径 $50\mu\text{m}$ から $100\mu\text{m}$ 、長さ数 cm の巨大な筋細胞⁽¹⁾ からできている。この細胞の内部には筋原繊維とよばれる円筒状の構造が多数、束になって縦方向に走っている。筋原繊維は、長さ約 $3\mu\text{m}$ のサルコメアとよばれる単位がくり返し縦方向につながってできている。このため、筋原繊維を光学顕微鏡で観察すると、縞模様が見える。

- 問1 このように大きいのは、筋細胞の発生過程に原因がある。何が起きて大きくなったのか。

サルコメアのひとつひとつには、フィラメントとよばれる細長いタンパク質が2種類（それぞれ太いフィラメント、細いフィラメント⁽²⁾ という）含まれ、規則的に配列している。サルコメアの両端はある種のタンパク質を含むZ膜で境されて、隣のサルコメアにつながる。細いフィラメントはZ膜から両方向へ伸びている。細いフィラメントは太いフィラメントと互いに入り込んでいて、入り込んだ部分はサルコメアのなかで最も密度が高いA帯(暗帯)を作る。A帯の中央には太いフィラメントだけが含まれる部分があり、H帯と呼ばれる。1つのサルコメアのA帯と隣のサルコメアのA帯との間は、I帯(明帯)と呼ばれる。⁽³⁾

- 問2 これらのフィラメントを構成する主要なタンパク質を、太いフィラメント (a)、細いフィラメント (b)、それぞれについて1つあげなさい。

- 問3 この説明文に対応させて、2種類のフィラメントがサルコメアのなかでI帯、A帯、H帯を構成しているようすを図示しなさい。また、1つのサルコメアの両端につながるサルコメアも一部分描き、Z膜の配置を明確にすること。細いフィラメントは少なくとも3本示し、図中のどこからどこまでがI帯、A帯、H帯、Z膜なのか、それぞれI、A、H、Zの記号をつけるなど工夫して示すこと。2種類のフィラメントの違いは、太さの違いで視覚的に分るように表現しなさい。

筋肉が収縮や弛緩すると、筋肉の長さの変化に対応してサルコメアも長さを変える。1個のサルコメアの変化を正確に測定することのできる光学顕微鏡で収縮時の横紋筋を観察すると、A帯の長さを変えずにサルコメアが短くなる一方、I帯は狭くなっている。これらの観察から、収縮時には

細いフィラメントは太いフィラメントの脇を滑るように動いていくと考えられている。サルコメア 1 個の収縮が $0.1\mu\text{m}$ であれば、1000 個のサルコメアがつながってできている筋原繊維では、全体の収縮の長さは $100\mu\text{m}$ になる。⁽⁴⁾

問 4 では、この筋原繊維の収縮速度はどれだけか。1 個のサルコメアのなかで太いフィラメントと細いフィラメントとが並んでいる部分を観察すると、太いフィラメントの脇を滑る細いフィラメントの移動速度が $10\mu\text{m/s}$ と測定されたとして、単位に注意して答えなさい。

骨格筋の収縮の機構を実験的に調べるため、さまざまな筋の標本が作られてきた。骨格筋を 50% のグリセリン水溶液に漬けて 1～2 日 冷蔵する (グリセリン処理)。このようにしてできたグリセリン筋では、ATP を含む溶液を加えると収縮⁽⁵⁾ が観察される (ただし、この実験観察は高等学校で普通に行なわれるレベルの技術で行なわれるものとする)。一方、生きた骨格筋から筋原繊維をとり出し、細胞膜だけを機械的にとり除く処理を施した標本 (skinned fiber という) も作られている。skinned fiber では ATP を加えただけでは収縮はおこらず、カルシウムイオン (Ca^{2+}) も加える必要^{(6),(7)} がある。次に、上記 2 つのような処理を加えずに骨格筋の標本を作り、電気的な刺激を与えると収縮がおこった⁽⁸⁾。この収縮をおこすためには、外から ATP もカルシウムイオンも加える必要はなかった。

問 5 新鮮な骨格筋を動物から取り出して ATP 溶液を与えても収縮はおこらない。しかし、グリセリン筋ではおこるのはなぜか。

問 6 skinned fiber に電気的な刺激を与えると、カルシウムイオンを特に加えなくても収縮がおこる。なぜか。

問 7 これとは対照的に、グリセリン筋を用いた実験 (下線 5) ではカルシウムイオンを加える必要がなかった。その理由の 1 つは、グリセリン処理によって、骨格筋から“あるもの”が失われていたためである。あるものとはどのようなものか、考えられるものを以下の語群より 1 つ選びなさい (問 7-1)。さらに、その機能はどのようなものか推測しなさい (問 7-2)。

[語群：水、炭水化物、脂質、タンパク質、核酸]

問 8 収縮後、標本に含まれる ATP の量を測定し、電気的刺激を加えなかった標本中の ATP と比較した。すると、2 つの標本の間で ATP 量にはほとんど差がなかった。なぜか。2 つの標本の間には刺激を加えたか否か以外の違いはないものとする。

Ⅱ 以下の文章を読み、下線をつけた部分についての問1－10に答えなさい。

有性生殖を行う動物の性は、多くの場合遺伝によって決まる（遺伝性決定）。この決定に関わる染色体を性染色体と呼び、X染色体・Y染色体・Z染色体・W染色体の4種類がある。これらの染色体の組み合わせによる性の決定様式は2つに大別される。第一の様式では、雌は相同なX染色体の対を持つ（XX型）こと、雄はX染色体とY染色体を持つ（XY型）あるいは対にならないX染色体のみを持つ（XO型）ことで、それぞれの性が決まる₍₁₎。第二の様式では、雄は相同なZ染色体の対を持つ（ZZ型）こと、雌はZ染色体とW染色体を持つ（ZW型）あるいは対にならないZ染色体のみを持つ（ZO型）ことで、それぞれの性が決まる₍₂₎。性染色体の性決定能力は、種によって様々である。例えば、ヒトとキイロショウジョウバエはともにXY型であるが、前者ではY染色体上の特定の遺伝子が働くことによって性を決定するのに対し、後者ではY染色体に性決定能力は無いに等しく、X染色体数と常染色体セット数（常染色体をAで表すと通常1対なので2Aとなる）の比によって性決定がなされ、2A+XXならば雌、2A+XYならば雄となる。例えば、ヒトではまれに性染色体の数が異常な個体が現れることがあり、それが性染色体の一本多いXXYという組合せならば、その個体の特徴は通常（ ）₍₃₎である。一方、キイロショウジョウバエでは、この組合せが生じたときその個体の特徴は通常（ ）₍₄₎となる。またキイロショウジョウバエでは、ヒトとは違って雌雄は細胞ごとに決まっている。雌のキイロショウジョウバエになる受精卵（XX）が卵割する際、ごくまれに一部の細胞で染色体の分配が失敗し、一方の娘細胞でX染色体が1つ脱落してXOになることがある。その娘細胞に由来する組織は全て（ ）₍₅₎の形質を持つ。

問1 このような性の決定様式を何と呼ぶか。

問2 このような性の決定様式を何と呼ぶか（問2－1）。また、そのような様式をとる動物を下から選択し、記号で答えなさい（問2－2）。

a. トノサマバッタ b. カイコガ c. ネズミ d. ニワトリ e. モグラ

問3 空欄を、雄か雌、どちらかふさわしい語で埋めなさい。

問4 空欄を、雄か雌、どちらかふさわしい語で埋めなさい。

問5 空欄を、雄か雌、どちらかふさわしい語で埋めなさい。

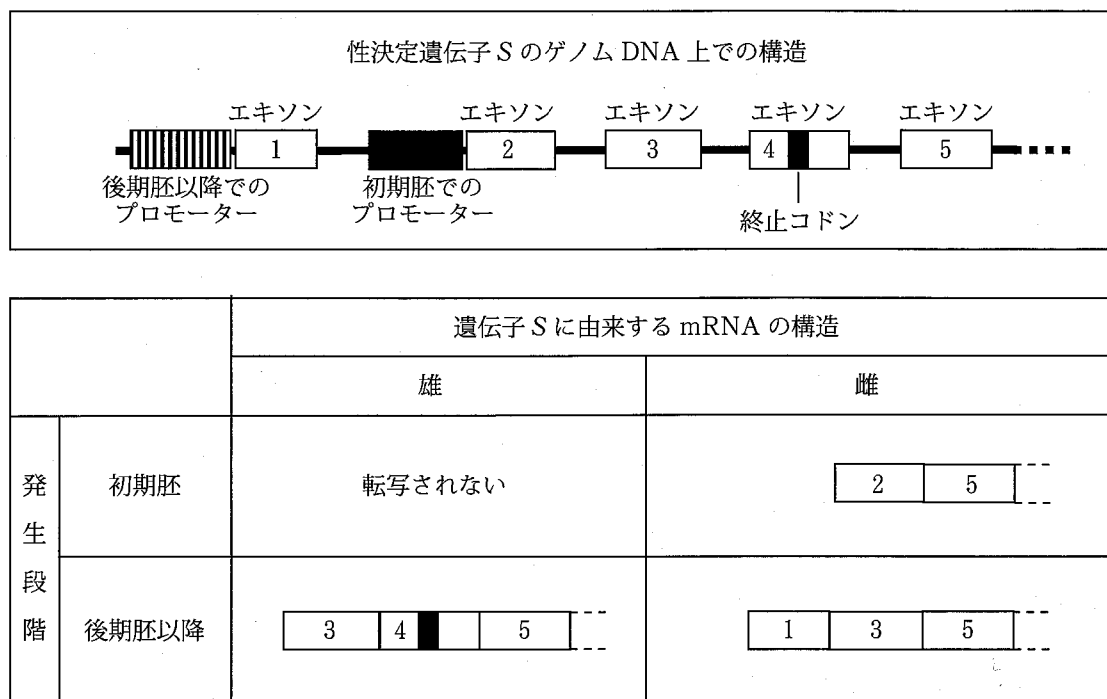


図1. 上段：キイロショウジョウバエの性決定遺伝子 S の構造，下段：発生段階および雌雄によって違ったmRNAができるようす。上段の図で番号のついた白四角はエキソンを表し，それぞれ mRNA の構造の模式図における白四角および番号と対応している。エキソン 4 中の黒四角は終止コドン进行意味している。エキソン 6 以降は雄と雌の mRNA で共通しており省略した。

キイロショウジョウバエでは，染色体の組合わせが $2A + XX$ ならば，図1に示すように，X 染色体上の性決定遺伝子の1つである S の発現が，初期胚のみで働く特異的調節部位（プロモーター）⁽⁶⁾ を介して誘導され，特異的なタンパク質をつくることにより雌になることが決定される。この S 遺伝子は発生後期には雌雄で共通に働くプロモーターを介して雄でも発現が始まり，成虫でも発現しているが，雌雄で相違したエキソンを利用することによって相違した mRNA を生産する⁽⁷⁾。雄で特異的に利用されるエキソン 4 には，途中で終止コドンが存在しており，その mRNA から翻訳されるタンパク質は不完全であり性決定に影響を与えない。雌の S 遺伝子の産物である S タンパク質は，常染色体上に存在する別の性決定遺伝子 T からの雌特異的な mRNA の合成に必要であり，この雌特異的な mRNA を雄の脳に強制的に発現させると，この雄は雌に対する求愛行動を行わない。このことから，キイロショウジョウバエの性行動は性決定に関連した遺伝子の，脳における発現様式によって規定されていることが分かる。そこで，ショウジョウバエの性行動を制御している遺伝子を新たに同定するために，放射線照射による遺伝子突然変異の誘発⁽⁸⁾ によって性行動異常を示す変異体系統をいくつか作った。その1つでは，雄が雌型の性行動をとるという表現型が劣性遺伝していたが，雌の性行動は常に正常であった。この系統のショウジョウバエの性行動に関わる劣性遺伝子を f とし，対立する遺伝子を F とした^{(9), (10)}。

問6 プロモーターに結合し遺伝子発現を制御するタンパク質は何と呼ばれているか。

問7 RNAが転写された後、必要なエキソンのみからなる mRNA が合成されるための過程を何と呼ぶか。

問8 放射線照射以外で人為的に遺伝子の突然変異を誘発させる方法を1つ例示せよ。

問9 遺伝子 F が存在する染色体を特定するために、紫色眼・過剰毛・欠失翅脈という劣性の形質（これらの形質に対応する遺伝子は、それぞれ第2, 3, 4染色体上にある）をもつ系統を用いた交雑実験を行い、表現型を観察した。その結果、 F_2 において、性行動異常の雄個体 (ff) の約25%が紫色眼で、また同じく約25%が欠失翅脈であり、過剰毛の個体は出現しなかった。また、この性行動異常は伴性遺伝しなかった。遺伝子 F の存在する染色体の番号を答え、その理由を一行程度で述べよ。なお、遺伝子 F と同じ染色体に存在する変異遺伝子との組換え価は50とする。また、キイロショウジョウバエにおいて組換えは雌でしか起らない。

問10 問9の交配実験により、遺伝子 F の存在する染色体が明らかとなったので、今度はその染色体上における位置を特定するために、同じ染色体上にある2つの遺伝子にそれぞれ変異があり、劣性でそれぞれオレンジ色眼か短剛毛となる系統と3点交雑 (F_1 を得た後に検定交雑)を行い、下記のような分離比を得た。遺伝子 F と2つの遺伝子との組換え価を求め、染色体上の位置関係 (染色体地図) を図示せよ。さらに、それぞれの交雑における F_2 の分離比も求めよ。なお、検定交雑に使用する F_1 は全て雌とし、分離比は雄のみで計算することとする。

(注：以下で正常、異常とはそれぞれ性行動の正常と異常を意味する)

(A) 性行動異常×オレンジ色眼

[正常・赤眼] : [正常・オレンジ色眼] : [異常・赤眼] : [異常・オレンジ色眼] =
17 : 83 : 83 : 17

(B) 性行動異常×短剛毛

[正常・正常剛毛] : [正常・短剛毛] : [異常・正常剛毛] : [異常・短剛毛] =
3 : 17 : 17 : 3

(C) オレンジ色眼×短剛毛

[赤眼・正常剛毛] : [赤眼・短剛毛] : [オレンジ色眼・正常剛毛] : [オレンジ色眼・短剛毛] =
8 : 17 : 17 : 8

Ⅲ 以下の問いに答えなさい。

問1 以下のグループ (A～J) に含まれる5項目について、その大きさや長さでの序列をグループごとに付け、上位から2番目にあたるものを選び、番号で答えよ。それぞれ標準的な大きさの個体、組織、細胞などを観察しているものとする。

- A. (1) アフリカツメガエル卵 (2) ヒト卵細胞 (3) バフンウニ卵
(4) ニワトリ卵黄 (5) ヒト精子
- B. (1) 16細胞期の小割球 (2) 16細胞期の大き割球 (3) 4回目の卵割後の中割球
(4) 5回目の卵割後の動物極側の細胞 (5) 3回目の卵割後の動物極側の細胞
[注：バフンウニの初期発生を観察するものとする]
- C. (1) モンシロチョウの蛹 (2) ショウジョウバエの蛹
(3) アフリカツメガエルの孵化直後の幼生 (4) バフンウニのプルテウス幼生
(5) センチュウ (*C. elegans*) の幼虫
- D. (1) 鼓膜の直径 (2) 脊柱(脊椎)の長さ (3) 眼球の直径
(4) 体長 (5) 小腸の長さ
[注：ウシガエルの成体を観察するものとする]
- E. (1) プラナリア(ナミウズムシ) (2) ショウジョウバエ
(3) ワムシ (4) ミジンコ (5) ナメクジウオ
- F. (1) インフルエンザウイルス (2) 大腸菌
(3) バクテリオファージ (4) ゾウリムシ (5) ヒト赤血球
- G. (1) ゾウリムシの繊毛 (2) ミドリムシの鞭毛 (3) 成長したヒドラの触手
(4) クラミドモナスの眼点の長径 (5) クロレラの直径
[注：それぞれ長さを比べるものとする]
- H. (1) 核の直径 (2) 葉緑体の直径 (3) ミトコンドリアの長径
(4) 細胞壁の厚さ (5) 細胞の短径
[注：新鮮なおオカナダモを観察するものとする]
- I. (1) リボソームの長径 (2) 染色体の長さ (3) ヒストンの直径
(4) DNAの二重らせんの幅 (5) ゲノムDNAの全長
- J. (1) 10倍対物レンズの作動距離 (2) 40倍対物レンズの作動距離
(3) スライドガラスの長さ (4) カバーガラスの厚さ
(5) おオカナダモ細胞の長径
[注：作動距離とは、顕微鏡観察でピントを合わせた時の対物レンズ先端からカバーガラス表面までの距離]

問2 生物材料を光学顕微鏡で観察するときの操作に関する以下の問いに答えなさい。

- A. オオカナダモの葉を1枚とり、スライドガラスの中央に置き、さらにカバーガラスをかけ顕微鏡観察のためのプレパラートを作った。この葉の細胞の大きさを測定するために、必ず知っておかねばならないことは何か。この顕微鏡は初めて使用するものとする。レンズの倍率は表記されている。
- B. 図1のプレパラートは、カバーガラスの表面に「オオカナダモ」という微細な文字が印刷されているとする。これをこの向きで顕微鏡のステージに載せて10倍の対物レンズで観察したところ、図2の矢印の位置に一文字だけぼんやりと見えた。その文字にピントを合わせて観察した時のスケッチを解答欄に示しなさい。
- C. 前問Bでのプレパラートの文字を40倍の対物レンズで観察したい。図2の「ぼんやり見えている」状態からの観察手順を書きなさい。ただし、各手順には番号を付けて箇条書きにし、最初と最後の手順は、ともに「ピントを合わせる」という操作を含んだものとする。必要ならば、解答欄のスライドガラスの図を手順説明の中で使用しなさい。

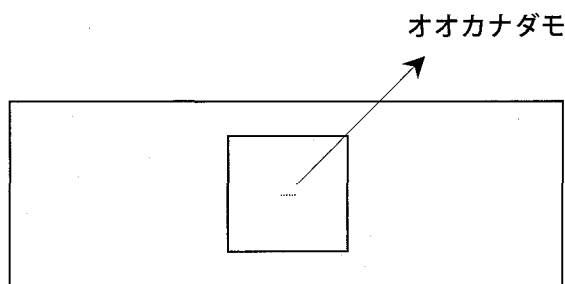


図1 微細な文字を観察するためのプレパラート

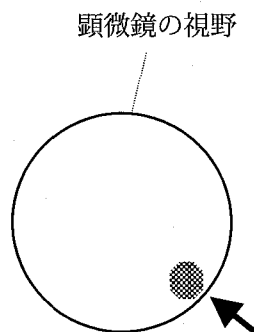


図2 文字が1つぼんやり見えているようす