

# 2015 年度 九州大学 前期 生物

## 〔1〕 ラクトースオペロン

出題範囲	遺伝子発現, 酵素
難易度	★★★★☆
所要時間	14分
傾向と対策	ラクトースオペロンを主眼とし, 遺伝子の発現調節や突然変異, 酵素反応といった幅広い分野からの出題であった。教科書に載っているラクトースオペロンの話を理解していれば解きやすかっただろう。問1から問5までは特別難しい問題はないが, 実験の条件がやや煩雑なためもったいないミスをしないうに気をつけよう。問6は酵素反応に関する問題で少し難しいかもしれない。問6にしっかり時間をかけるためにも, 問1から問5のような難しくはないけれどミスが起こりやすい問題をスムーズに解答できるようにしよう。

### 解答

- 問1. [ア] オペロン [イ] RNAポリメラーゼ [ウ] プロモーター [エ] リプレッサー  
[オ] オペレーター
- 問2. エ
- 問3. [カ] + [キ] +
- 問4. オ
- 問5. [ク] - [ケ] +
- 問6. D

理由: Dの酵素は基質濃度が高くなると野生株のものと同程度の活性を示すので, 結合した基質を分解する能力は野生株のものと同しく, 基質と結合する能力が低いと考えられるから。(80字)

### 解説

#### 問1. 難易度: ★★★★★

問題文にもあるようにラクトースの分解には3つの酵素がかかわっており, それぞれの酵素に対応する遺伝子はゲノム上で隣接して存在する。3つの遺伝子は同じ調節領域によって転写調節されており, 1つのmRNAとして転写される。このような遺伝子群を**オペロン**とよぶ。ラクトースの分解にかかわる3つの遺伝子は**ラクトースオペロン**とよばれている。

ラクトースオペロンの遺伝子上流には, 調節領域として遺伝子に近い側から**オペレーター**とよばれる領域と**プロモーター**とよばれる領域が存在する。ラクトースが存在しない環境ではオペレーターに**リプレッサー**が結合し, プロモーターに**RNAポリメラーゼ**が結合できず転写が行われないうでラクトースの分解にかかわる酵素の発現は抑制される。一方, ラクトースが存在する環境ではリプレッサーにラクトースの誘導体が結合し, リプレ

リプレッサーの立体構造が変化する。これによりリプレッサーはオペレーターに結合できなくなるので、RNA ポリメラーゼはプロモーターに結合し転写が行われてラクトースの分解にかかわる酵素が発現する。

よって、解答は、〔ア〕 オペロン、〔イ〕 RNA ポリメラーゼ、〔ウ〕 プロモーター、〔エ〕 リプレッサー、〔オ〕 オペレーターである。

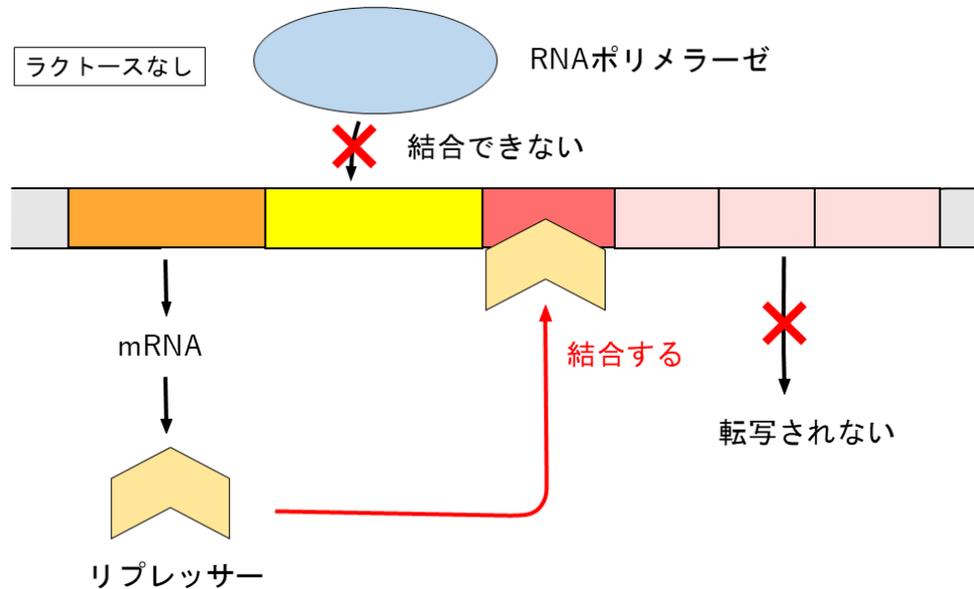


図 A ラクトースオペロンの発現調節

#### ◆Check!!

##### 遺伝子発現調節にかかわる用語集

遺伝子発現調節にかかわる用語は似たようなものも多く、苦手を感じる受験生も多いと思うのでそれぞれの用語ごとについて解説する。

- ・ **調節遺伝子**…他の遺伝子の発現の調節にかかわる遺伝子。問1で出題されたようなリプレッサーをコードしている遺伝子は調節遺伝子にあたる。
- ・ **構造遺伝子**…調節遺伝子による調節を受ける側の、遺伝子発現調節以外にはたらく遺伝子。問1のラクトースの分解にかかわる酵素の遺伝子は構造遺伝子である。

ここから説明する用語は真核生物の転写にのみ関係しているものである。

- ・ **基本転写因子**…RNA ポリメラーゼとともに複合体を形成し、プロモーターに結合するタンパク質。
- ・ **転写調節領域**…プロモーターから離れた位置に存在し、転写調節にかかわっているゲノム上の領域。
- ・ **転写調節因子**…転写調節領域に結合したうえで基本転写因子と RNA ポリメラーゼの複合体に作用して転写を調節するタンパク質。

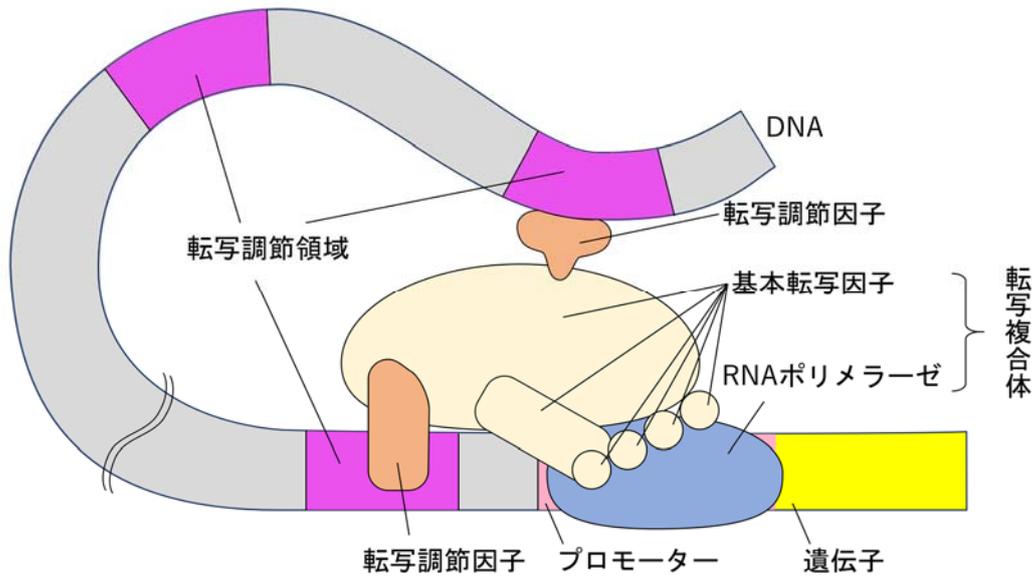


図 B 真核生物の遺伝子発現調節

ここに挙げた用語と問 1 で出題された用語は頻出なのでしっかり覚えておこう。

## 問 2. 難易度：★★★★☆

変異株 A がどの機能を失ったかについて考察する問題である。〔実験 1〕から、変異株 A はラクトースと似た構造をもつ人工誘導体 X を加えなくても高い  $\beta$ -ガラクトシダーゼ活性を示すが、人工誘導体 X を加えても  $\beta$ -ガラクトシダーゼ活性は変化しないということがわかっている。

$\beta$ -ガラクトシダーゼが発現していることから  $\beta$ -ガラクトシダーゼの遺伝子そのもの、転写にかかわるプロモーターや RNA ポリメラーゼは正常に機能している。したがって、変異株 A では  $\beta$ -ガラクトシダーゼの発現調節に関するリプレッサーやオペレーターに変異が起こり機能が失われたと考えられる。また、問 2 の設問文中で「突然変異はゲノム中の一ヶ所に起こったものとする」とあるので、突然変異が起こったのはリプレッサーかオペレーターのどちらかである。

〔実験 2〕において、リプレッサーを発現するプラスミドを変異株 A に導入したところ、変異株 A は人工誘導体 X を加えない場合は  $\beta$ -ガラクトシダーゼ活性を示さず、人工誘導体 X を加えると  $\beta$ -ガラクトシダーゼ活性を示すようになった。この実験から、変異株 A では正常なりプレッサーが発現するようになれば、野生型と同様の遺伝子調節を行うことができるということがわかる。

したがって、突然変異が起こり機能が失われたのはリプレッサーであると考えられるので、解答はエとなる。

**問 3. 難易度：★★★★☆**

〔実験 3〕は、野生株に由来するプロモーターとオペレーターの下流にオワンクラゲの緑色蛍光タンパク質遺伝子をつないだプラスミドを野生株、変異株 A, B に導入する実験である。野生株にプラスミドを導入した実験では、X を添加しない場合は緑色蛍光はみられなかったが、X を添加すると緑色蛍光が観察された。この結果から、導入されたプラスミドのオペレーターに対して大腸菌がもつリプレッサーが結合し緑色蛍光タンパク質遺伝子の発現が抑制されていることがわかる。

しかし、問 2 からわかるように、変異株 A ではリプレッサーに突然変異が起こり機能が失われているので、プラスミドのオペレーターに対してリプレッサーが結合せず遺伝子発現も抑制されない。

したがって、X の存在の有無にかかわらず緑色蛍光は観察されると考えられ、解答は【カ】＋、【キ】＋となる。

**問 4. 難易度：★★★★☆**

問 2 と同様の問題であり、変異株 B ではリプレッサーかオペレーターのどちらに突然変異が起こったかについて考察すればよい。

〔実験 2〕において、リプレッサーを発現するプラスミドを変異株 B に導入したところ、変異株 B は X の有無にかかわらず高い $\beta$ -ガラクトシダーゼ活性を示した。この実験から、変異株 B では正常なリプレッサーが発現しても、野生型と同様の遺伝子調節を行うことができないということがわかる。よって、突然変異によって機能が失われたのはリプレッサーではなく、オペレーターであると考えられる。

したがって、解答はオとなる。

**問 5. 難易度：★★★★☆**

こちらは問 3 と同様の問題である。問 4 から、変異株 B ではオペレーターに突然変異が起こり機能が失われているが、リプレッサーは機能を保持していると考えられる。したがって、X が存在しない場合は導入されたプラスミドのオペレーターに変異株のリプレッサーが結合し緑色蛍光タンパク質の発現が抑制され、X が存在する場合には X によってリプレッサーの構造が変化し緑色蛍光タンパク質が発現すると予想される。

よって、解答は、【ク】－、【ケ】＋となる。

**問 6. 難易度：★★★★☆**

酵素は基質と結合していないと基質を分解することはできない。基質濃度を高めると酵素の反応速度が上がるのは、基質と結合して基質を分解できる状態である**酵素—基質複合体**が増えるからである。そして、ある程度まで基質濃度が上昇すると反応速度が上昇しなくなる。この状態は酵素に対して基質が飽和しており、ほぼすべての酵素が酵素基質複合体となっている状態である。

問題は変異株 C と D のどちらの $\beta$ -ガラクトシダーゼで基質との親和性が低下したかというものである。 $\beta$

—ガラクトシダーゼと基質の親和性が低下すると、同じ基質濃度において酵素—基質複合体を形成する $\beta$ —ガラクトシダーゼが野生株の $\beta$ —ガラクトシダーゼよりも少なくなる。よって、野生株のものよりも基質との親和性が低下した $\beta$ —ガラクトシダーゼの反応速度は遅くなる。

また、基質との親和性が低いということは、すべての $\beta$ —ガラクトシダーゼが酵素基質複合体を形成するために必要な基質濃度が野生株のものよりも高いということである。したがって、基質との親和性が低下した $\beta$ —ガラクトシダーゼの反応速度が最大となる基質濃度は野生株のものにおいて反応速度が最大となる基質濃度よりも高いと考えられる。

表 2 において、野生株と変異株 C, D の $\beta$ —ガラクトシダーゼの反応速度を同じ基質濃度で比較すると、変異株 C, D のほうが遅いことがわかる。また、野生株と変異株 C ではラクトース濃度が 50mM 程度で反応速度が上昇しなくなっているが、変異株 D ではラクトース濃度が 200mM 程度にならなければ反応速度の上昇が止まらない。

これらのことから、基質との親和性が低下したのは変異株 D の $\beta$ —ガラクトシダーゼであることがわかる。表 2 を見ると、基質濃度が 200mM 以上になると変異株 D の $\beta$ —ガラクトシダーゼは野生株のものと同程度の反応速度となっている。つまり、変異株 D の $\beta$ —ガラクトシダーゼは基質との親和性は低く酵素—基質複合体を形成しにくいですが、結合した基質を分解する能力は低下しておらず基質を十分に加えると野生株のものと同じように基質を分解できる。

変異株 C の $\beta$ —ガラクトシダーゼは野生株のものと同様にラクトース濃度が 50mM 程度で反応速度が上昇しなくなっており野生株のものより反応速度が低いことから、基質と結合する能力は野生株のものと同じだが結合した基質を分解する能力が野生株のものに比べて低いと考えられる。

よって、解答は D。D を選ぶ理由についての解答例は以下のとおりである。

#### 解答例

理由：D の酵素は基質濃度が高くなると野生株のものと同程度の活性を示すので、結合した基質を分解する能力は野生株のものと同しく、基質と結合する能力が低いと考えられるから。(80 字)

(北川健斗, 西浦佑香, 安藤さくら, 大橋陽樹)

## 2015年度 九州大学 前期 生物

### 〔2〕 動物の生殖と細胞接着

出題範囲	動物の配偶子形成, 細胞間結合
難易度	★★☆☆☆
所要時間	14分
傾向と対策	カドヘリンと類似した性質の分子に関する実験という前置きがあり, カドヘリンについて知っていると取り組みやすかったかもしれない。問1は〔ク〕がわかる人は少ないかもしれないがそれ以外は正答してほしい。問2も簡単な考察問題なので確実に正答してほしい。差がついたのは問3と問4だろう。問3はポイントを落とさずにまとめるのが難しく, 問4はあたえられた実験だけではさまざまな考察が可能であり, 矛盾しないものを選ぶという慣れない形式で戸惑ったかもしれない。いずれも難しい問題ではないので落ち着いて考えてほしい。

#### 解答

- 問1. 〔ア〕 精母細胞 〔イ〕 精細胞 〔ウ〕 卵母細胞 〔エ〕 第一極体 〔オ〕 第二極体 〔カ〕 表層粒  
〔キ〕 表層 〔ク〕 30
- 問2.  $Ca^{2+}$ を含む培養液で培養すると細胞どうしが接着したが, 含まない培養液で培養すると細胞接着はまったく起こらなかった。細胞接着には  $Ca^{2+}$ が必要である。(77字)
- 問3. タンパク質分解酵素であるトリプシンで細胞を解離させると  $Ca^{2+}$ を含む培養液で培養しても細胞接着が起こらない。よって, 胚胞の細胞接着分子は細胞の表面に存在して  $Ca^{2+}$ 存在下で機能するタンパク質である。(99字)
- 問4. (3), (4), (5)

#### 解説

#### 問1. 難易度：★★☆☆☆

ヒトやアフリカツメガエルなどの動物において, 配偶子の起源となる細胞は**始原生殖細胞**である。始原生殖細胞は発生の早い時期に形成され, 成熟していない生殖器官まで胚の中を移動する。生殖器官が雄では精巣, 雌では卵巣に分化すると, 始原生殖細胞はそれぞれ**精原細胞**と**卵原細胞**に分化する。

精原細胞の一部は体細胞分裂を経て**一次精母細胞**となり, 減数分裂をすることで**二次精母細胞**となる。さらに減数分裂が進み, 1つの二次精母細胞から2つの**精細胞**ができる。精細胞が成長すると**精子**となり, ゴルジ体からは**先体**, 中心体からは**鞭毛**が形成され, ミトコンドリアは精子の中片に集められる。よって, 〔ア〕には精母細胞, 〔イ〕には精細胞が入る。

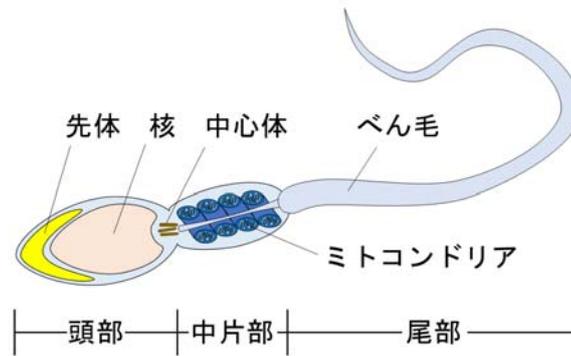


図 A 精子

卵原細胞も精原細胞と同様に体細胞分裂を経て一次卵母細胞となり、減数分裂によって二次卵母細胞と第一極体ができる。二次卵母細胞はさらに分裂し卵細胞と第二極体となる。卵細胞の形成過程でできる第一・第二極体は卵細胞に比べて小さく、退化・消滅する。よって、[ウ]には卵母細胞、[エ]には第一極体、[オ]には第二極体が入る。

このようにして形成された精子と卵が接合する現象は受精とよばれる。受精時に卵内に複数の精子が侵入することを防ぐために多精拒否というしくみがある。まず、受精が起こると卵細胞が脱分極して精子の侵入を防ぐ。この反応は受精後すぐに起こるので「早い多精拒否」とよばれている。その後、卵細胞が精子と結合した点から卵膜と卵の細胞膜の間に表層粒の内容物が放出され、卵膜は受精膜となり他の精子の侵入を防ぐようになる。こちらの反応は受精後少したってから起こるので「遅い多精拒否」とよばれている。よって、[カ]には表層粒が入る。

また、問題文中で扱われているアフリカツメガエルでは、受精時に精子の侵入点に向かって約  $30^\circ$  表層が回転することで胚の背腹軸が決定され精子の侵入点側が腹になる。よって、[キ]には表層、[ク]には30が入る。

以上より、解答は、[ア] 精母細胞、[イ] 精細胞、[ウ] 卵母細胞、[エ] 第一極体、[オ] 第二極体、[カ] 表層粒、[キ] 表層、[ク] 30 である。

## 問2. 難易度：★★★★☆

図1を見ると、解離した細胞を  $\text{Ca}^{2+}$  を含む培養液で培養すると  $N_t/N_0$  が90分で0.4まで低下し細胞接着が進行しているが、 $\text{Ca}^{2+}$  を含まない培養液で培養すると  $N_t/N_0$  は1.0のまま細胞接着が進行していない。したがって、細胞接着が起こるためには  $\text{Ca}^{2+}$  が必要であることがわかる。この内容をまとめて記述すればいい。

解答例は以下のとおりである。

### 解答例

$\text{Ca}^{2+}$  を含む培養液で培養すると細胞どうしが接着したが、含まない培養液で培養すると細胞接着はまったく起こらなかったの、細胞接着には  $\text{Ca}^{2+}$  が必要である。(77字)

## 問3. 難易度：★★★★☆

図1と図2から、EDTAのみで処理した細胞では $\text{Ca}^{2+}$ を含む培養液で培養すると細胞接着が進行したが、トリプシンで処理した細胞では $\text{Ca}^{2+}$ を含む培養液で培養しても細胞接着は進行しなかったことがわかる。タンパク質分解酵素であるトリプシンの処理を加えることによって細胞接着が起こらなくなるということから、細胞接着にはタンパク質が必要であり、細胞接着分子の本体はタンパク質であると考えられる。

また、トリプシンの処理によって分解されるタンパク質は細胞の表面に存在するタンパク質のみである。したがって、細胞接着分子であるタンパク質は細胞の表面に存在すると考えられる。

さらに、問2より細胞接着には $\text{Ca}^{2+}$ が必要ながわっている。トリプシンで処理した細胞では $\text{Ca}^{2+}$ を含む培養液で培養しても細胞接着は進行しなかったということから、 $\text{Ca}^{2+}$ が必要である細胞接着の機構と細胞接着分子による細胞接着の機構は同じものであることがわかる。このことから、細胞接着分子が機能するためには $\text{Ca}^{2+}$ が必要であることがわかる。

以上、「細胞接着分子はタンパク質であること」、「細胞接着分子は細胞の表面に存在すること」、「細胞接着分子が機能するためには $\text{Ca}^{2+}$ が必要であること」の3点をまとめればよい。解答例は以下のとおりである。

## 解答例

タンパク質分解酵素であるトリプシンで細胞を解離させると $\text{Ca}^{2+}$ を含む培養液で培養しても細胞接着が起こらない。よって、胚胞の細胞接着分子は細胞の表面に存在して $\text{Ca}^{2+}$ 存在下で機能するタンパク質である。(99字)

## ◆Check!!

## 酵素

問3以降はトリプシンがどのような酵素か知っていると解答できない。以下の表で覚えておくべき酵素をまとめる。

表A 酵素の種類

	酵素の名前	酵素のはたらき
消化にかかわる酵素	アミラーゼ	デンプンをマルトースに分解する
	ペプシン	タンパク質を分解する
	トリプシン	タンパク質を分解する
	リパーゼ	脂肪をグリセリンと脂肪酸に分解する
DNAの複製やバイオテクノロジーにかかわる酵素	DNAポリメラーゼ	鋳型に合わせてDNA鎖を伸長させる
	RNAポリメラーゼ	鋳型に合わせてRNA鎖を伸長させる
	DNAリガーゼ	DNAの断片どうしをつなぐ



	制限酵素	特定の塩基配列の DNA 鎖を切断する
代謝にかかわる酵素	ATP 合成酵素	ATP を合成する
	ルビスコ	カルビン・ベンソン回路における 二酸化炭素の取り込みにかかわる
	ニトロゲナーゼ	窒素固定にかかわる

この表にある酵素の名前や機能は頻出である。必ず覚えておこう。

#### 問 4. 難易度：★★★★☆

それぞれの選択肢について解説する。

- (1) E-解離胚細胞に  $\text{Ca}^{2+}$  が存在しない条件下で細胞を接着させることができる細胞接着分子が存在するのであれば、実験 1 で  $\text{Ca}^{2+}$  を含まない培養液で培養した場合でも細胞接着が起こるはずであり、事実と矛盾する。
- (2) 細胞接着分子を分解しても細胞に  $\text{Ca}^{2+}$  を加えることによって細胞接着分子が再合成されるのであれば、実験 2 で  $\text{Ca}^{2+}$  を含む培養液で培養した場合に細胞接着分子が再合成され細胞接着が起こるはずであり、事実と矛盾する。
- (3) 細胞接着分子は 1mM の  $\text{Ca}^{2+}$  の存在下ではトリプシン感受性がなくなるとすると、実験 3 において 1mM の  $\text{Ca}^{2+}$  の存在下でトリプシンを作用させても細胞接着分子を分解することはできないので、実験 3 の結果は実験 1 と同じになると考えられる。実際に実験 3 の実験結果は実験 1 と同じであり、(3)の仮説は事実と矛盾しない。
- (4) 1mM の  $\text{Ca}^{2+}$  の存在下では細胞接着分子を保護する物質が分泌されるとすると、実験 3 において 1mM の  $\text{Ca}^{2+}$  の存在下でトリプシンを作用させても細胞接着分子を分解することはできないので、実験 3 の結果は実験 1 と同じになると考えられる。実際に実験 3 の実験結果は実験 1 と同じであり、(4)の仮説は事実と矛盾しない。
- (5) 1mM の  $\text{Ca}^{2+}$  の存在下ではトリプシンの活性が阻害されるとすると、実験 3 において 1mM の  $\text{Ca}^{2+}$  の存在下でトリプシンを作用させてもトリプシンは機能せず細胞接着分子を分解することはできないので、実験 3 の結果は実験 1 と同じになると考えられる。実際に実験 3 の実験結果は実験 1 と同じであり、(5)の仮説は事実と矛盾しない。

したがって、解答は、(3)、(4)、(5)となる。

(北川健斗, 安藤さくら, 西川尚吾, 大橋陽樹)

## 2015 年度 九州大学 前期 生物

### 〔3〕 免疫，胸腺を移植した場合の拒絶反応

出題範囲	免疫
難易度	★★★★☆
所要時間	14分
傾向と対策	九州大で頻出の免疫に関する問題であった。問1から問3は知識問題であるが、問2は知識の応用、問3は細かい知識と、それを簡潔に表現することを求められており、差の出る問題となっている。問4から問6は胸腺移植の実験に関する問題であり、このような実験が初見であると難しかったかもしれない。正確な知識と丁寧な考察が必要とされた。十分な知識が身につけてきたら、このような問題で知識を応用する力をつけていこう。また、多くの演習を積むと、定番の実験が出題された場合にスムーズに解答することができる。

#### 解答

- 問1. 〔ア〕拒絶反応 〔イ〕MHC（主要組織適合抗原，主要組織適合性複合体） 〔ウ〕細胞 〔エ〕体液
- 問2. (b)
- 問3. 凝集素と凝集原が起こす抗原抗体反応（17字）
- 問4. 親から子：○ 子から親：×
- 問5. a：× b：○ c：○
- 問6. マウスC由来の胸腺で成熟したT細胞はマウスA系統のMHC分子をもつ細胞を非自己と認識する。そのため、T細胞がマウスAの胸腺以外のすべての細胞を攻撃する。（76字）

#### 解説

##### 問1. 難易度：★★★★☆

〔ア〕には拒絶反応，〔イ〕にはMHC（主要組織適合抗原，主要組織適合性複合体）が入る。MHC分子とは、細胞膜にあり、個体に固有のタンパク質のことである。個体によって異なるので、このタンパク質によって自己と非自己を見分けることができる。ヒトのMHCはHLA（ヒト白血球型抗原）とよばれる。ドナーとレシピエントのMHCが一致していない場合、ドナー由来の移植片は、T細胞に非自己と認識され拒絶反応が起こり、排除される。なお、MHCには多くの型が存在するので、一致することはかなりまれである。臓器移植をする際には、HLAの型ができるだけ似たドナーから移植する必要がある。また、抗原提示にもMHC分子が関与する。ウイルスに感染した細胞や、非自己物質を取り込んだ抗原提示細胞は、断片化した非自己物質をMHC分子の上に提示する（抗原提示）。T細胞にはT細胞レセプター（TCR，T細胞受容体）というものがあり、それがMHC分子と抗原の複合体を認識する。それによって、免疫のシステムがはたらいていく。

〔ウ〕には細胞，〔エ〕には体液が入る。細胞性免疫，体液性免疫ともに特定の病原体などの異物に特異的に

はたらく獲得免疫（適応免疫）である。**細胞性免疫**とは、キラーT細胞が感染細胞やがん細胞を見つけたら直接攻撃し破壊するしくみ、**体液性免疫**とは、B細胞がつくる抗体によって抗原を取り除くしくみである。詳しくは後述のCheck!!で説明する。

よって、解答は、[ア] 拒絶反応, [イ] MHC (主要組織適合抗原, 主要組織適合性複合体), [ウ] 細胞, [エ] 体液になる。

#### ◆Check!!

#### 細胞性免疫と体液性免疫

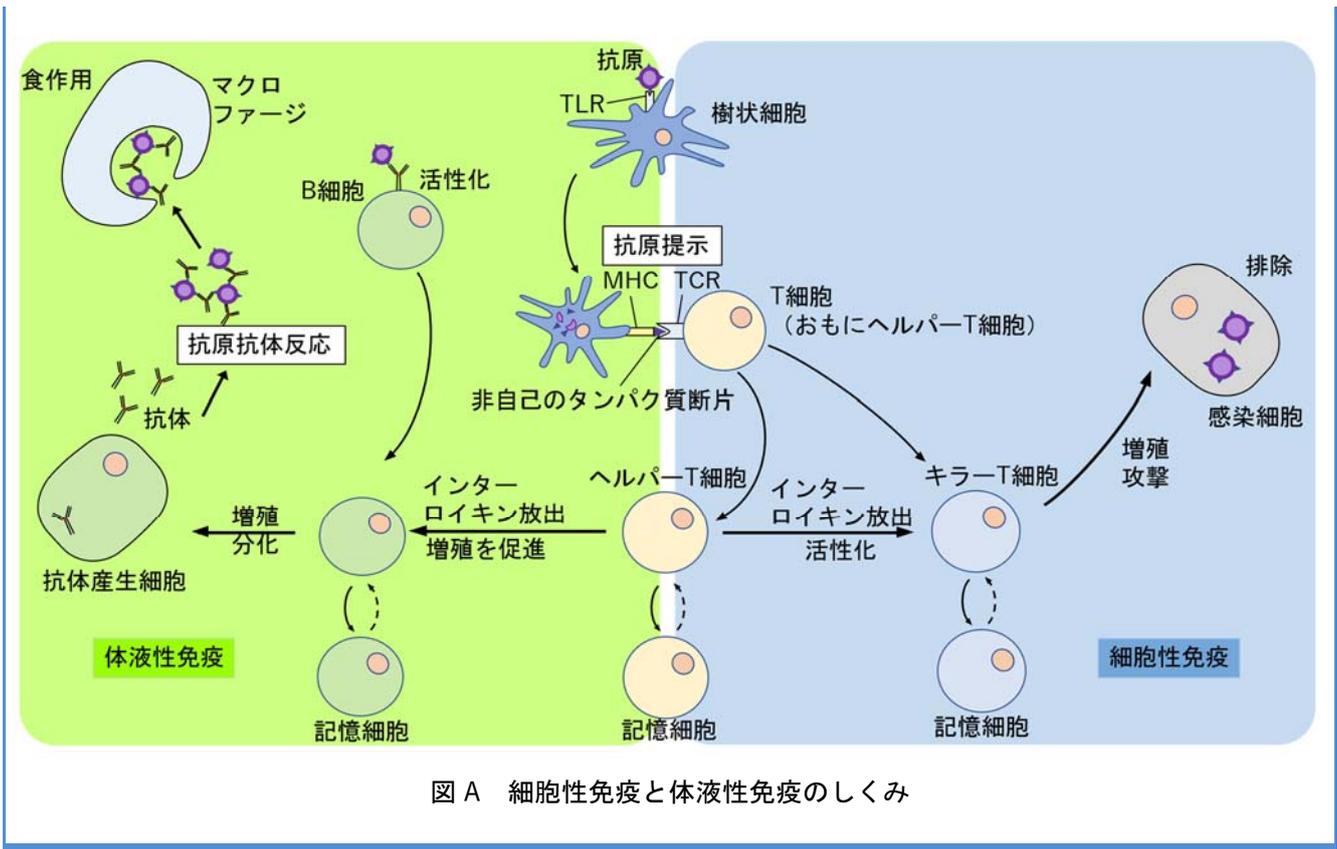
**獲得免疫**は、適応免疫ともよばれ、生後に体内に病原体などの異物が侵入することによって誘導される抵抗性のことである。具体的には、**体液性免疫**と**細胞性免疫**に分けられる。

まず樹状細胞やマクロファージは細胞の表面にある**トル様受容体 (TLR)**という受容体で、病原菌など非自己の物質を認識し、それらを取り込む。取り込み分解したあと、樹状細胞やマクロファージは自らのMHC分子に分解した非自己のタンパク質断片を結合させる (**抗原提示**)。T細胞の表面には非自己のタンパク質断片と結合させたMHC分子のみと反応する**T細胞レセプター (TCR, T細胞受容体)**が存在し、そこで抗原を認識する。抗原を認識するT細胞はおもに**ヘルパーT細胞**である。抗原を認識したT細胞は**インターロイキン**という**サイトカイン**の1種である情報伝達物質を放出する。

細胞性免疫では、インターロイキンの放出を受けて、リンパ球の1種である**キラーT細胞**が活性化され、増殖する。このキラーT細胞は、病原体に感染した細胞やがん細胞などを直接攻撃して排除する。

体液性免疫では、抗原の結合により活性化した**B細胞**がインターロイキンの放出を受けて増殖、分化し**抗体産生細胞**となる。この抗体産生細胞は、抗原と特異的に結合する**抗体**を分泌する。この抗体が抗原と結合 (**抗原抗体反応**) することにより、抗原を無毒化する。それらがマクロファージに取り込まれることによって、排除される。

これらの獲得免疫の過程で増殖したT細胞やB細胞の一部は記憶細胞として残る。そのため、2度目以降の感染に対して獲得免疫は素早くかつ強力にはたらく (**二次応答**)。



## 問 2. 難易度：★★★★☆

自己のものと異なる MHC 分子をもつ細胞は非自己と認識され、T 細胞の攻撃を受ける。しかし、T 細胞などの免疫担当細胞と遭遇することがなければ、非自己と認識されて攻撃されるようなことがないので、拒絶反応は起こらない。免疫担当細胞は血管の中に存在し、血流に沿って全身を移動している。免疫がはたらくときには、血管から出て組織ではたらく。したがって、免疫担当細胞の移動通路である血管がない場所では、拒絶反応が起こりにくい。角膜は外界と接する部分であり、レンズの役割を果たす水晶体よりも外側にある。もしここに血管が通っていたら外の世界を鮮明に見ることは不可能であることからわかるように、水晶体と同様に角膜には血管がない。

よって、解答は(b)である。

水晶体と角膜は血流によって栄養を受け取ることができないため、房水とよばれる眼中的の水分からの染み込みによって栄養を得ている。ちなみに、角膜のように、免疫系から隔絶されていたり臓器の機能維持のために免疫システムを自己制御していたりすることによって、免疫応答や炎症反応が起こりにくい性質を免疫特権という。

## 問 3. 難易度：★★★★☆

血しょう中には凝集素である糖タンパク質 ( $\alpha$  と  $\beta$ )、赤血球の表面には凝集原 (A 型糖鎖と B 型糖鎖と H 型糖鎖) が存在している。もっている凝集素と凝集原の組み合わせの違いによって血液を分類したものが血液型である。すなわち、ABO 式血液型によって凝集素と凝集原の組み合わせ (図 B) が異なる。A 型糖鎖は H 型糖鎖

に N-アセチルガラクトサミンが 1 つついたもの、B 型糖鎖はガラクトースが 1 つついたものである。

表 A 凝集素と凝集原の組み合わせ

	A 型	B 型	O 型	AB 型
凝集素	$\beta$	$\alpha$	$\alpha, \beta$	なし
凝集原 (糖鎖)	A型糖鎖  N-アセチル ガラクトサミン	B型糖鎖  ガラクトース	H型糖鎖  赤血球	A型糖鎖, B型糖鎖  赤血球

凝集素の  $\alpha$  と  $\beta$  はそれぞれ、凝集原の A 型糖鎖と B 型糖鎖と反応することで血液の凝集を起こす。すなわち、凝集素が抗体として、凝集原が抗原としてはたらき、抗原抗体反応を示してしまうということである。通常なら、凝集を起こす凝集素と凝集原の組み合わせが血液に含まれることはない。しかし、輸血によって本来はもっていない凝集素、凝集原が血液内に流入すると、凝集を起こしてしまう。たとえば、A 型のレシピエントに B 型のドナーの血液を輸血すると、凝集素  $\alpha$  が流入しレシピエントがもつ A 型糖鎖と作用、B 型糖鎖が流入しレシピエントがもつ凝集素  $\beta$  と作用することで、血液の凝集が起こってしまう。

よって、解答例は次のとおり。

#### 解答例

#### 凝集素と凝集原が起こす抗原抗体反応 (17 字)

#### 問 4. 難易度：★★★★☆

問題文を確認していこう。まず「各実験開始時に準備するマウスは MHC 分子をコードする遺伝子を含めてほとんどの遺伝子が同じ対立遺伝子を持つホモ接合体となっており…」とあることから、実験に用いた親マウスの MHC 分子をコードする遺伝子はホモ接合体であるとわかる。また、その次の文に「…、遺伝的に異なる系統のマウス間での皮膚移植では…移植片が生着することはない」と書かれている。

では〔実験 1〕について見ていこう。遺伝的に異なる 2 系統のマウスを用いたことから、雄親、雌親の MHC 分子をコードする遺伝子型をそれぞれ aa, bb とおくことができる。この場合、子マウスの MHC 分子をコードする遺伝子型は ab になる。

#### 【親から子へ移植した場合】

親マウスの MHC 分子をコードする遺伝子型は aa または bb のどちらかである。親マウスの遺伝子型が aa の

場合は対立遺伝子 a 由来の MHC 分子, bb の場合は対立遺伝子 b 由来の MHC 分子がそれぞれ移植片に存在している。子マウスの MHC 分子をコードする遺伝子型は ab であるために, 対立遺伝子 a 由来の MHC 分子も対立遺伝子 b 由来の MHC 分子も子マウスは自己として認識する。したがって, 子マウスが親マウスからの移植片を非自己と判断して拒絶反応を示すことはない。したがって, 皮膚移植片は生着する。

【子から親へ移植した場合】

子マウスの MHC 分子をコードする遺伝子型は ab である。したがって子マウスからの移植片には, 対立遺伝子 a 由来の MHC 分子と対立遺伝子 b 由来の MHC 分子両方が存在している。遺伝子型 aa の雄親マウスは子マウスからの移植片に存在する対立遺伝子 b 由来の MHC 分子を非自己と認識し, 遺伝子型 bb の雌親マウスは移植片に存在する対立遺伝子 a 由来の MHC 分子を非自己と認識する。よって, 雄親雌親どちらの親マウスも子マウスからの皮膚移植片を非自己と認識し拒絶反応が起こる。したがって, 皮膚移植片は生着しない。

よって, 解答は, **親から子 : ○, 子から親 : ×**である。

問 5. 難易度 : ★★★★★

【実験 2】について見ていこう。それぞれのマウスの特徴を表に示した。×は欠失していること, ○は欠失していないことを表す。

表 B 実験 2 で用いたマウス

	マウス A	マウス B	マウス C
胸腺	×	○	○
MHC 分子	○	×	○

マウス A にマウス C の胸腺を移植すると, マウス A は胸腺が欠失していることから, マウス A の胸腺はマウス C 由来の胸腺になる。胸腺というのは, リンパ球の成熟が行われる場所である。骨髄で生成されたリンパ球は胸腺へと移動する。そこで T 細胞が自己成分と反応してしまうものなどは淘汰され, 完全な機能をもった T 細胞だけが胸腺の外へ出て免疫システムの中ではたらく。そのため, マウス C 由来の胸腺において成熟し, 体内ではたらく T 細胞はマウス C 系統の MHC をもつ細胞を自己成分として認識するものである。

【a (マウス A と同系統のマウスからの皮膚移植片) の場合】

マウス A の体内にある胸腺ではマウス C 系統の MHC 分子をもつ細胞を自己成分として認識する T 細胞がつかわれているのだから, その T 細胞はマウス A 系統の MHC をもつ皮膚を非自己と認識する。したがって拒絶反応が起こり, 移植片は生着しない。

【b (マウス B からの皮膚移植片) の場合】

異なる系統でのマウス間での皮膚移植だと移植片が生着することはないのだが, マウス B は MHC 分子をもたないために, T 細胞に非自己と認識されることがない。したがって拒絶反応は起こらず, 移植片は生着する。

## 【c (マウス C からの皮膚移植片) の場合】

T 細胞はマウス C 系統の MHC 分子をもつ細胞を自己成分として認識するのだから、拒絶反応は起こらない。したがって、移植片は生着する。

よって、解答は、a : ×, b : ○, c : ○である。

## 問 6. 難易度 : ★★★★★

問 5 で解説したとおり、マウス C から移植された胸腺では、マウス C 系統の MHC 分子をもつ細胞を自己成分として認識する T 細胞がつくられる。マウス A において MHC 分子は欠失していないのだから、その T 細胞にとってマウス A の胸腺 (マウス C 由来) 以外のすべての細胞が非自己成分である。非自己と認識された細胞は、T 細胞によって攻撃を受け排除される。したがって皮膚移植片に限らず、全身の細胞に免疫反応が現れて死に至るのである。

よって、解答例は次のとおり。

## 解答例

マウス C 由来の胸腺で成熟した T 細胞はマウス A 系統の MHC 分子をもつ細胞を非自己と認識する。そのため、T 細胞がマウス A の胸腺以外のすべての細胞を攻撃する。(76 字)

(西浦佑香, 熊井勇介, 神戸朱琉, 大橋陽樹)

## 2015 年度 九州大学 前期 生物

### 〔4〕 光環境と発芽やギャップ形成

出題範囲	種子の発芽
難易度	★★★★☆
所要時間	12分
傾向と対策	植物に関する問題。この分野は頻出なのできちんと対策しておこう。難しい考察はなく、やさしめの大問であった。差がつくのは問2と問3だろう。問2は正確な知識がなければ間違いの選択肢に惑わされて時間をかけてしまう可能性がある。問3は限られた選択肢から矛盾しないものを選ぶもので、慣れない形式かもしれない。大問〔2〕でもこのような形式の設問があり、対策が必要だ。そのほかの小問については基本的な知識が身につけていれば容易に解けるはずであるので、この大問は素早くこなしたい。

#### 解答

- 問1. 〔ア〕光発芽種子 〔イ〕暗発芽種子 〔ウ〕赤色 〔エ〕遠赤色
- 問2. (4)
- 問3. (4)
- 問4. ジベレリン
- 問5. 33℃のとき、発芽を促進するはたらきをもつ植物ホルモン B の合成が抑制されているが、光照射によってその合成が促進され、種子の発芽が促進されたから。(72字)

#### 解説

##### 問1. 難易度：★★★★☆

光によって発芽が促進される種子を**光発芽種子**といい、代表的な植物としてレタスやシロイヌナズナが挙げられる。逆に光によって発芽が抑制される種子を**暗発芽種子**といい、キュウリやカボチャなどがある。

光発芽種子の発芽には**フィトクロム**という光受容体タンパク質がかかわっている。フィトクロムは赤色光を吸収する  $P_R$  型（赤色光吸収型）と遠赤色光を吸収する  $P_{FR}$  型（遠赤色光吸収型）の2種類の立体構造が異なる異性体がある。 $P_{FR}$  型のフィトクロムが遠赤色光を吸収すると  $P_R$  型に、 $P_R$  型のフィトクロムが遠赤色光を吸収すると  $P_{FR}$  型に変化し、この変化は可逆的である。未発芽の種子が赤色光を多く吸収すると、種子中で  $P_{FR}$  型のフィトクロムが増加する。その結果、種子の休眠を打破するはたらきをもつ植物ホルモンである**ジベレリン**の合成が誘導されて光発芽種子の発芽が促進される。よって、赤色光が多くなる、つまり赤色光/遠赤色光の比が高くなるほど、発芽に必要な光環境が改善されるといえる。これは光合成と関係している。クロロフィルを含む植物の葉は赤色光をよく吸収する。種子が発芽したとき、もし上方に他の植物が生い茂っていたら、赤色光はそれらによって吸収されてしまい、芽生えに届く光に含まれる赤色光の量は少なくなってしまう。これでは芽生えは十



分に光合成を行い成長することができないため、光発芽種子はフィトクロムの型の変化によって赤色光が十分あることを確認してから発芽するのだと考えられる。

よって、解答は、〔ア〕光発芽種子、〔イ〕暗発芽種子、〔ウ〕赤色、〔エ〕遠赤色。比を考慮する必要があるので〔ウ〕、〔エ〕は順不同ではないことに気をつけよう。

## 問 2. 難易度：★★★★☆

選択肢を順に検証していこう。

- (1) 誤り。種子が小さいと同じエネルギーを使ったときに大きな種子をつくるより多くの種子をつくることができ、また種子が遠くまで運ばれやすいため、小さな種子は遷移初期に出現することが多い。
- (2) 誤り。低い赤色/遠赤色比でも発芽するような植物はギャップ形成が起こらなくても発芽する。また、ギャップ形成後は光が林床まで届くため光環境はそもそもよいはずであるので、この点も誤りである。
- (3) 誤り。光発芽種子が地中深くに埋まった場合、赤色光を十分に吸収することができず発芽しない。
- (4) 正しい。植物が発芽し、十分に光合成を行って生存するために必要な光の量は種によって異なる。よって、生存するために必要な光の量が多い植物は大きなギャップが形成されないと発芽しないし、逆に生存するために必要な光の量が少ない植物は形成されたギャップが小さくても発芽する。

したがって、解答は(4)。

## 問 3. 難易度：★★★★☆

表 1 の 28°C の場合の結果に着目して考えよう。まず、水のみの場合には種子は発芽しない。次に、植物ホルモン A の生合成を阻害すると種子は発芽するという結果が得られる。これより、植物ホルモン A は発芽を抑制していると考えられる。

処理 a, b, c のうち、植物ホルモン A の生合成阻害剤の添加がないのは処理 c のみであるから、処理 c における種子中のホルモン A 量は処理 a, b に比べて多いと考えられる。これを満たす選択肢は(3)と(4)である。また、②のグラフでは時間が経過するとホルモン A 量が増加しているが、ホルモン A の生合成を阻害している処理 a, b ではホルモン A 量の増加が起こるとは考えにくい。

したがって、解答は(4)。

## 問 4. 難易度：★★★★☆

実験で処理 c を行って植物ホルモン B を添加すると水のみの場合では発芽しなかった 28°C の場合でも発芽がみられることから植物ホルモン B は発芽を促進していると考えられる。発芽を促進するはたらきをもつ植物ホルモンはジベレリンである。

よって、解答はジベレリン。

## ◆Check!!

## ジベレリン

ジベレリンは、種子の発芽を促進するはたらきのほか、植物体の伸長成長の促進や子房の成長促進のはたらきももつ。

このうち子房の成長促進のはたらきを利用しているのが種なしブドウの生産である。デラウェア種やトンプソン種などを開花前後にジベレリンで処理することで、受粉しなくても子房が肥大成長する**単為結実**が促進され、種なしブドウができるのである。

また、伸長成長の促進のはたらきが顕著に現れるものとしてイネ馬鹿苗病が挙げられる。これはある種の菌類がジベレリンを分泌してイネの茎を過剰に成長させる病気である。

## 問5. 難易度：★★★★☆

処理 a では植物ホルモン A の生合成が阻害されているため、ここでは植物ホルモン A の発芽抑制作用について考える必要はない。また、処理 a と処理 b の 33°C の場合を比較すると、植物ホルモン B、つまりジベレリンが添加された処理 b の場合は発芽が起こっていることから、種子は正常にジベレリンを受容するとわかる。よって、処理 a の 33°C の場合ではジベレリンがはたらいっていないのではなくそもそも合成されていないのだと考えられる。そして設問文より処理 a の 33°C の場合において光照射を行うと発芽が認められたとあるので、以上より 33°C のときはジベレリンの合成が抑制されているが光照射によって促進されたと考えるのが適当である。

よって、解答例は以下のとおり。

## 解答例

33°C のとき、発芽を促進するはたらきをもつ植物ホルモン B の合成が抑制されているが、光照射によってその合成が促進され、種子の発芽が促進されたから。(72 字)

(安藤さくら, 北川健斗, 西川尚吾, 大橋陽樹)

## 2015年度 九州大学 前期 生物

## 〔5〕 遺伝子頻度の計算

出題範囲	進化
難易度	★☆☆☆☆
所要時間	12分
傾向と対策	ハーディ・ワインベルグの法則に関する問題。定番の形を少し応用しているが、この程度なら難なく解いてほしい。この年で一番容易な大問だっただろう。ただし、この大問が5番目であることから、前から順に解いていた人は時間がなくなってしまうたり、焦ってミスをしてしまったりするかもしれない。大問の順番にとらわれず、解けそうな問題から解いていけるようになるとういだろう。計算をする問題でもつたいないミスが起こりやすいので気をつけてほしい。特に気をつけるべきは問3と問4であり、時間には気を配りつつも落ち着いて解くようにしよう。

## 解答

問1. 〔ア〕環境 〔イ〕遺伝的 〔ウ〕自然選択 〔エ〕遺伝的浮動

問2.  $AA:Aa:aa=p^2:2pq:q^2$   $p'=p$

問3.  $AA:Aa:aa=1:2:0$   $p'=0.67$

問4.  $p'=0.00:1/16$   $p'=0.25:1/4$   $p'=0.50:3/8$   $p'=0.75:1/4$   $p'=1.00:1/16$

問5. 突然変異の多くは生存に不利でも有利でもなく、このような遺伝子は自然選択ではなく遺伝的浮動によって集団内に広まっていき、集団内の遺伝子の構成が変化することで進化が起こる。(84字)

## 解説

問1. 難易度：★☆☆☆☆

同種の個体間にみられる形質の違いは変異とよばれ、親から子に伝わらない変異は環境変異、親から子に伝わる変異は遺伝的変異とよばれる。環境変異は、生物が周囲の環境の影響を受けた結果起こるものが多い。例えば、同じ種の個体であっても栄養状態の差によって太った個体とやせた個体ができるのは環境変異であるといえる。遺伝的変異は生殖細胞で発生した突然変異によって引き起こされる。体細胞でも突然変異は起こるが、生殖にかかわらない体細胞の突然変異が子孫に伝わることはない。

生存・生殖に有利な突然変異をもつ個体は他の個体に比べて子孫を残しやすくなり、世代を経るにつれて生存・生殖に有利な突然変異をもつ個体が多くなる。この過程を自然選択という。一方、生存や生殖に不利な変異や有利でも不利でもないような変異も、遺伝的浮動、つまり偶然によって集団内に広まる場合がある。遺伝的浮動の影響は集団のサイズが小さくなるほど大きくなる。

したがって、解答は、〔ア〕環境、〔イ〕遺伝的、〔ウ〕自然選択、〔エ〕遺伝的浮動となる。

## ◆Check!!

## 隔離と種分化

種分化の過程には集団間での遺伝的交流が分断する**隔離**という現象が深くかかわっている。この Check!!では隔離と種分化の過程について整理する。

種分化について解説するためには、まず「種とは何か？」を明確にしなければいけないが、実は「種」を定義することは非常に難しい。この解説の中では「生殖可能な生物の集団」を生物の種として定義するが、ほかにもさまざまな定義が存在することは覚えておいてほしい。

「種」が「生殖可能な生物の集団」であるのであれば「種分化」は「生殖可能な生物の集団が2つ以上のそれぞれ生殖不可能な集団に分裂すること」である。「それぞれ生殖不可能」というのはたとえ同じ場所に生息していても生殖行動や生理学的特性の違いなどによって生殖不可能な状態を指し、これを**生殖的隔離（生殖隔離）**とよぶ。したがって、生殖的隔離が起これば種分化が起こったといえる。ここからは生殖的隔離が起こる過程を説明していく。

集団間で海峡や山脈などの地理的な要因によって遺伝的交流が分断される現象を**地理的隔離**という。地理的隔離は種子を拡散させる能力が低い植物や、移動能力が低い動物で起こりやすい。

地理的隔離によって集団が分断されると、地理的に隔離された地域では気候やその他の環境が大きく異なりそれぞれの地域特有の自然選択を受ける可能性や、異なる突然変異の発生や遺伝的浮動の影響を受ける可能性があり、分断された集団は異なる進化をする。その結果、生殖行動や生理学的特性などが変化し生殖的隔離が起こる。このようにして地理的隔離によって引き起こされる種分化を**異所的種分化**という。

また、同じ場所に生息している集団内で生殖的隔離が起こることもある。例えば、ある集団で倍数化が起こった場合、4倍体と2倍体の交雑によってできた子孫は3倍体であり正常に生育しないので、4倍体と2倍体の集団は生殖的に隔離される。また、利用する資源や微細な生息地の分化によって一見同じ場所に生息しているように見えても生息地や活動時間が重複しなくなり生殖的隔離につながることもある。このような種分化の過程を**同所的種分化**という。

似たような用語が多く、混乱する人もいるかと思うが、用語と用語の関係性をしっかり理解していこう。

## 問2. 難易度：★★★★☆

問題文の(a)から(e)までの条件が満たされているような集団を**メンデル集団**とよび、メンデル集団では**ハーディ・ワインベルグの法則**が成り立っている。メンデル集団の大きな特徴は世代を重ねても遺伝子の頻度が変化しないことである。この問題の設定を用いて世代間で遺伝子頻度が変化しないことを確認していこう。

問題で扱われているある生物の遺伝子  $A$  (以下では簡略化のため  $A$  とする) の遺伝子頻度は  $p$ 、 $A$  の対立遺伝

子である遺伝子  $a$  (以下では簡略化のため  $a$  とする) の遺伝子頻度は  $q$  である。次世代の遺伝子頻度を確認するためには、その前の世代の配偶子の遺伝子型の比や配偶子の組み合わせの結果できる遺伝子型とその遺伝子型をもつ個体の生残率を考える必要がある。

まず、問題文の条件(e)から、 $AA, Aa, aa$  のどの遺伝子型でも生存や生殖に大きな影響はなく配偶子を形成し生殖に参加することができる。また、条件(a)や条件(b)から交配はまったくランダムに行われ、偶然によって遺伝子型の頻度に変化する遺伝的浮動の影響も無視できること、条件(c)や条件(d)から集団内で突然変異は起こらず集団外から生物が流入することもないことがそれぞれわかる。これらのことより、 $A$  の遺伝子頻度が  $p$ 、 $a$  の遺伝子頻度が  $q$  である集団がつくる配偶子の遺伝子型の比は  $A : a = p : q$  である。このような配偶子によってできる次の世代の遺伝子型とその存在比は、以下の表 A のようになる。

表 A 次の世代の遺伝子型とその存在比

	遺伝子 $A$ $p$	遺伝子 $a$ $q$
遺伝子 $A$ $p$	$AA$ $p^2$	$Aa$ $pq$
遺伝子 $a$ $q$	$Aa$ $pq$	$aa$ $q^2$

表 A から、次世代の遺伝子型の比は  $AA : Aa : aa = p^2 : 2pq : q^2$  となる。この集団内での  $A$  と  $a$  の頻度について考えてみると、 $A$  を 2 つもつ  $AA$  の個体の頻度が  $p^2$ 、 $A$  を 1 つもつ  $Aa$  の個体の頻度が  $2pq$  であることから  $A$  の頻度は  $p^2 + 2pq$  となる。同様に  $a$  の頻度について考えると、 $a$  の頻度は  $q^2 + 2pq$  となる。したがって、次世代の遺伝子頻度は  $A : a = p^2 + 2pq : q^2 + 2pq$  となり、これを簡単にすると  $A : a = p : q$  となるので 1 世代前の集団と遺伝子頻度に変化していないことが確認できた。

問題の解答は  $AA : Aa : aa = p^2 : 2pq : q^2$ 、 $p' = p$  である。

ここでは出題されていないが、ハーディ・ワインベルグの法則が成り立つ条件を問う問題も多い。その場合は「世代間の遺伝子頻度に変化しない集団とはどんな集団か」ということを考えてみよう。

**問 3. 難易度：★★★★☆**

まず、問 2 の設問文で「常染色体上の 1 つの遺伝子座に 2 つの対立遺伝子  $A, a$  がある」と説明されており、この遺伝子座には  $A$  や  $a$  以外の対立遺伝子は存在しないと考えられる。したがって、ある世代の成体集団において  $A$  の頻度が 0.5 なのであれば、 $a$  の頻度は  $1 - 0.5 = 0.5$  となる。この集団の個体は成体なのですべての個体が生殖に参加すると考えられること、条件(a)から条件(d)は成り立っていることから、この集団の成体がつくる配偶子の遺伝子型の比は  $A : a = 0.5 : 0.5$  となる。

問 2 と同様に考えると、次世代の個体の遺伝子型の比は  $AA : Aa : aa = 0.25 : 0.5 : 0.25$  となるはずだが、問

題文から  $aa$  の個体はすべて成体になるまでに死滅すると仮定されているので、次世代の成体集団での遺伝子型の比は  $AA : Aa : aa = 0.25 : 0.5 : 0 = 1 : 2 : 0$  となる。また、この集団における  $A$  の頻度  $p'$  は  $2/3$  である。

したがって、解答は、 $AA : Aa : aa = 1 : 2 : 0$ 、 $p' = 0.67$  となる。

#### 問 4. 難易度：★★★★☆

次世代成体集団の大きさが  $N=2$  であることから、「遺伝子型が  $Aa$  であるオスとメスが交配することで生まれる 2 個体における  $A$  の遺伝子頻度」について考えればよいということがわかる。遺伝子型が  $Aa$  であるオスとメスが交配することで生まれる個体の遺伝子型は  $AA$ 、 $Aa$ 、 $aa$  のうちのどれかであるが、それぞれの遺伝子型の個体が生まれる確率は  $AA : Aa : aa = 1/4 : 1/2 : 1/4$  である。

$A$  の頻度  $p'$  がそれぞれの値をとるとき、次世代の成体集団がどのような遺伝子型をもつ個体から構成されているかについて表でまとめて考えてみよう。表 B は次世代成体集団に含まれる 2 個体の遺伝子型の組み合わせの確率とそれぞれの組み合わせにおける  $p'$  を示している。

表 B 次世代成体集団に含まれる 2 個体の遺伝子型の組み合わせの確率とそれぞれの組み合わせにおける  $p'$

	$AA$ (確率 : $1/4$ )	$Aa$ (確率 : $1/2$ )	$aa$ (確率 : $1/4$ )
$AA$ (確率 : $1/4$ )	$p' = 1.00$ 確率 : $1/16$	$p' = 0.75$ 確率 : $1/8$	$p' = 0.5$ 確率 : $1/16$
$Aa$ (確率 : $1/2$ )	$p' = 0.75$ 確率 : $1/8$	$p' = 0.5$ 確率 : $1/4$	$p' = 0.25$ 確率 : $1/8$
$aa$ (確率 : $1/4$ )	$p' = 0.5$ 確率 : $1/16$	$p' = 0.25$ 確率 : $1/8$	$p' = 0.00$ 確率 : $1/16$

表 B について少し解説していきたい。例えば、 $p' = 1$ 、確率 :  $1/16$  となっている左上のマスを見てみよう。ここでは 2 個体の遺伝子型はどちらも  $AA$  となっており  $A$  の頻度は 1 であるので  $p' = 1$  となっている。また、 $AA$  の個体が生れる確率は  $1/4$  なので、2 個体の遺伝子型が  $AA$ 、 $AA$  となる確率は  $1/4 \times 1/4 = 1/16$  である。ほかのマスも同様に埋めていくと表 B が完成する。あとは表 B をもとに  $p'$  がそれぞれの値をとる確率を計算すればよい。

解答は  $p' = 0.00 : 1/16$ 、 $p' = 0.25 : 1/4$ 、 $p' = 0.50 : 3/8$ 、 $p' = 0.75 : 1/4$ 、 $p' = 1.00 : 1/16$  である。

この問題は数学の確率のように解答することも可能ではあるが、このように表をつくって解答すると組み合わせの誤りを防ぐことができるので、表をつくる練習はぜひやってみてほしい。また、この問題はすべての事象の確率を解答する必要があるため確率の合計は必ず 1 になる。問題を解き終わった後で自分が解答した確率の合計が 1 になるかどうか確認しておくことでミスを防ぐこともできるため、このようなチェックをこまめに行うように心掛けよう。

**問 5. 難易度：★★★★☆**

分子レベルで起こる進化とは「集団の遺伝子の構成が変化すること」を指す。そのため、集団のある個体で DNA の突然変異が起こり、その突然変異が集団内に広まるということだけではなく、遺伝的浮動によって遺伝子頻度が変化することも分子レベルの進化といえる。

突然変異の多くは生存や生殖に有利でも不利でもない変異である。例えば、タンパク質をコードしておらずほかの遺伝子の発現調節にもかかわっていないような領域で突然変異が起こっても生存には影響を及ぼさないと考えられる。また、アミノ酸を指定する領域で変異が起こっても 1 つのアミノ酸に対応する複数のコドンがある場合にはアミノ酸が変化しないこともある。

このような生存や生殖にかかわらないような突然変異は遺伝的浮動の影響を受け、いくつかの突然変異は集団内に広まっていくことで集団内の遺伝子の構成が変化し進化が起こる。このように「ほとんどの突然変異は生存に有利でも不利でもないため、自然選択ではなく遺伝的浮動の影響を受けて集団内に広まっていく」とする説を **中立説** という。中立説は日本人の遺伝学者である **木村資生** によって提唱された。

ただし、1 カ所の塩基置換によってタンパク質の機能が大きく変化することもある。例としては鎌状赤血球貧血症があげられる。鎌状赤血球貧血症の患者のヘモグロビン  $\beta$  鎖の遺伝子は 1 カ所で塩基の置換が起こっており、146 個のアミノ酸のうち 6 番目のアミノ酸がグルタミン酸からバリンに変化している。この 1 カ所のアミノ酸の変化によってヘモグロビンの立体構造や赤血球の構造が変化し貧血症が引き起こされる。

解答例は以下のとおり。

**解答例**

突然変異の多くは生存に不利でも有利でもなく、このような遺伝子は自然選択ではなく遺伝的浮動によって集団内に広まっていき、集団内の遺伝子の構成が変化することで進化が起こる。(84 字)

(北川健斗, 西川尚吾, 熊井勇介, 大橋陽樹)