札幌医科大学

2023 年度　前期日程　生物

1 ァモーガンは白眼や朱色眼などのショウジョウバエのさまざまな眼色変異体を見つけ出したが，突然変異によって眼色が変わるしくみについてはまったく謎であった。

モーガンのもとで研究を開始したビードルは，発生学者のエフルッシとともに，眼色変異体の幼虫の複眼原基[注]を別の幼虫に移植することで成体の腹部に 3 番目の眼すなわち腹部眼を発達させる実験手法を開発した。眼色変異体の複眼原基を野生型を含む他の眼色変異体の幼虫に移植すると，ほとんどの場合，腹部眼の眼色は元の変異体と同じ色を示したが，朱色眼の突然変異体の複眼原基を野生型の幼虫に移植した場合は，腹部眼の眼色は野生型眼色を示した。この結果は，ィ朱色眼変異体の眼色がハエの体液に含まれる何らかの物質に依存することを示している。

そこでビードルは化学者であるテータムを研究チームに加え，野生型幼虫の抽出物を朱色眼の幼虫に与え，眼色を正常にする物質を探索した。その結果，この物質がトリプトファンの代謝産物であることが判明したが，それを特定する前にドイツ人化学者のブテナントが，その物質がキヌレニンであることを突き止め発表してしまった。ブテナントはその頃，昆虫のトリプトファン代謝の研究をしていたため，ビードルらの研究を知ってすぐに，トリプトファンの分解産物として同定されていたキヌレニンが朱色眼変異体の眼色を回復させることを実証できたのである。

ビードルらは，先を越されてしまったことを悔やみつつも，朱色眼変異体においてはキヌレニンの生成に必要な［ 1 ］が機能しないことに気づいていた。これは，遺伝子が［ 1 ］の機能に影響することを意味しており，後の［ 2 ］説につながる極めて重要な発想であった。そこでこれを実証するため，子嚢(しのう)菌の一種である［ 3 ］を使った研究を開始した。

注：発生の過程で生じる将来複眼になる細胞塊のこと。

問 1. 下線部アで，モーガンはどのような科学的業績を残した人物か，以下の選択肢から選び，記号で答えなさい。

① 優性の法則，分離の法則，独立の法則の遺伝の 3 法則を発見した。
② 種の起源を著し生物進化のしくみを解明した。
③ 染色体地図をつくり染色体説を実証した。
④ 遺伝子の本体が DNA であることを実証した。
⑤ 遺伝暗号を解読しコドン表を完成させた。
⑥ セントラルドグマを提唱した。

問 2. 下線部イで，朱色眼変異体の眼色がハエの体液に含まれる何らかの物質に依存すると考えられるのはなぜか，説明しなさい。

問 3. ［ 1 ］～［ 3 ］に入る語を書きなさい。また，［ 3 ］の 1 つの子嚢(しのう)内には子嚢(しのう)胞子がいくつ含まれるか，答えなさい。

問 4. ［ 2 ］説を実証するためにショウジョウバエではなく［ 3 ］を用いたのはなぜか，簡単に説明しなさい。

問 5. [3] の変異体Ⅰ～Ⅲはそれぞれ，アミノ酸 X の代謝に関わる 3 つの遺伝子のどれか 1 つに突然変異を生じた変異体である。これらの変異体を，最少培地および最少培地にアミノ酸 X やその代謝経路で生じる物質 A または B を添加した培地で培養したところ，表に示す結果となった。以下の問いに答えなさい。

表　最少培地に添加する物質の影響

	添加物なし	物質 A	物質 B	アミノ酸 X
変異体Ⅰ	増殖しない	増殖しない	増殖しない	増殖した
変異体Ⅱ	増殖しない	増殖した	増殖しない	増殖した
変異体Ⅲ	増殖しない	増殖した	増殖した	増殖した
野生型	増殖した	増殖した	増殖した	増殖した

1)　変異体Ⅰでは，どのような遺伝子に突然変異が生じたか，説明しなさい。

2)　変異体Ⅰと変異体Ⅱが持つ変異遺伝子が別の染色体上にあるとき，ⅠとⅡを接合させて生じる次世代の胞子のうち最少培地で増殖できるものの割合を計算し，分数で答えなさい。

3)　変異体Ⅱと変異体Ⅲが持つ変異遺伝子の遺伝子座が同じ染色体上にありそれらの組換え価が 13.7% であるとき，ⅡとⅢを接合させて生じる次世代の胞子のうち何 % が最少培地で増殖できるか，計算しなさい。ただし，小数第二位を四捨五入した数値を答えること。

2 環状の DNA であるァプラスミドを大腸菌に導入して培養すると，そのプラスミドを大量に増やすことができる。目的の遺伝子をプラスミドに組み込む場合，ィ特定の塩基配列を認識して DNA を切断する酵素とゥ DNA の末端同士をつなぐ酵素が必要となる。

問 1. 下線部アについて正しい記述をすべて選び，記号で答えなさい。

① プラスミドの複製は，多数の位置から始まる。

② プラスミドは，大腸菌自体の DNA より短い。

③ 大腸菌内で環状のプラスミドの 1 カ所が切れ，線状になることで複製が行われる。

④ プラスミドは，それ自体が持つ酵素のはたらきで複製する。

⑤ プラスミドのはたらきで宿主大腸菌に薬剤耐性をもたらすことができる。

問 2. 下線部イとウの酵素を何というか，それぞれ答えなさい。

問 3. ヒトの細胞からゲノム DNA を抽出し，図 1 に示すような下線部イに属する 2 種類の酵素 X，または Y を反応させ，電気泳動を行った。どのような結果が予想されるか，図 2 の a〜h から選び記号で答えなさい。なお，一番左の列には 125，564，2027，2322，4361，6557，9416，23130 bp（塩基対）の DNA 断片を泳動した。

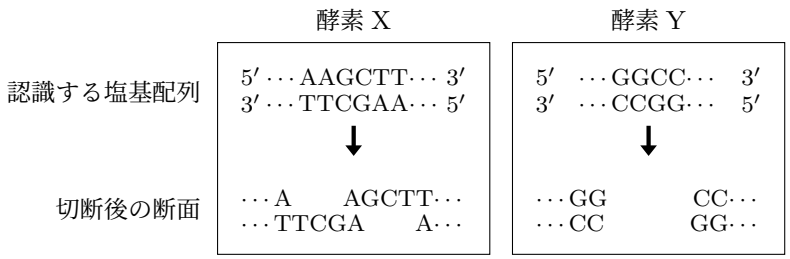


図 1　酵素 X と Y のはたらき

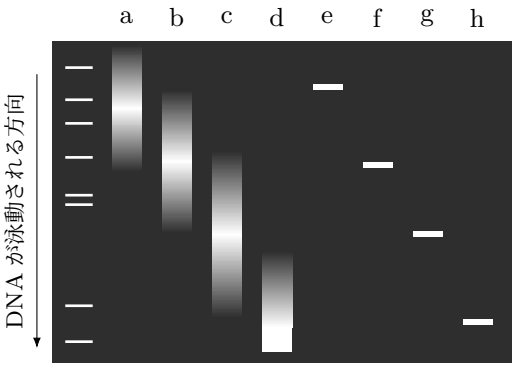


図 2　電気泳動の結果

問 4. 問 3 の反応を行う場合，反応時間を極端に短くするとどのような結果となるか説明しなさい。

問 5. プラスミドに組み込まれた遺伝子の塩基配列をサンガー法で確認したい。この際，DNA 合成の材料となる通常のヌクレオチドの他に特殊なヌクレオチドを加える必要があるが，その理由を答えなさい。

問 6. 真核生物では，図 3 のように 1 つの遺伝子から配列が異なる複数種類の mRNA が生成されることがある。このような現象を何というか。また，このような現象が起こるしくみと，その結果どのようなことが起こるか説明しなさい。

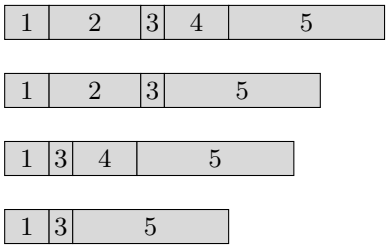


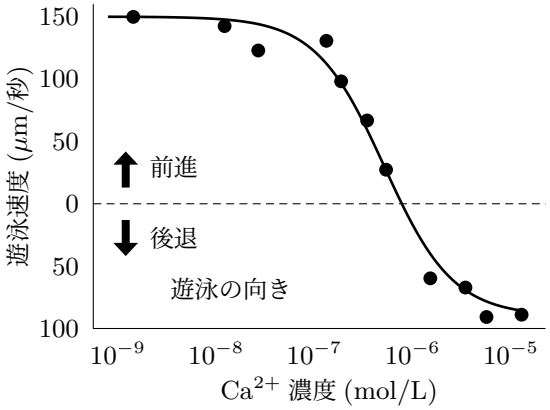
図 3　1 つの遺伝子から生じた複数種類の mRNA の例

番号が同じ区域は同一の塩基配列である。

3 (1) ゾウリムシは体表の繊毛(せんもう)の運動により水中で活発に運動する。ゾウリムシは遊泳中に障害物に衝突すると後退し，しばらくすると前進を再開することが知られている。ゾウリムシのこの反応のしくみを調べるために，下記の実験を行った。

実験

- ゾウリムシを飼育溶液中で膜電位を測定しながら，ガラス針でつつくことで物理的刺激を加えると，活動電位が生じた。
- ゾウリムシを化学薬品で処理し，細胞膜上に多数の小さい穴をあけた。このゾウリムシを様々な濃度のカルシウムイオンを含む溶液に入れて，遊泳の向きと速度の変化を調べ，その結果を右のグラフに示した。



問 1. ゾウリムシの繊毛(せんもう)の運動にかかわる細胞骨格は何か，名称を書きなさい。

問 2. ゾウリムシの細胞膜には物理的刺激に応答するカルシウムチャネルが存在するが，そのはたらきはどのようなものと考えられるか簡単に説明しなさい。

問 3. 実験結果を参考にして，ゾウリムシが衝突して後退するとき，および，前進を再開するときの膜電位の変化とそのように変化する理由について，簡単に説明しなさい。

(2) イモリやプラナリアなどのある種の生物では，個体がからだの一部を失ってもそれを修復してもとの状態に戻る高い再生能をもつ。再生が起こるときには，損傷した部位に未分化な細胞が集まって増殖し，[1]と呼ばれる細胞集団をつくる。それらが分化し，失った部分を修復する。

イモリは，四肢や眼球の水晶体を再生することができる。水晶体を除去すると，次ページの図 1 に示す虹彩先端部の細胞は色素が抜けて虹彩の特徴を失い，未分化な状態に戻る。この現象を[2]という。その後，この未分化な細胞は増殖して[1]を形成し，[1]が再度分化することでァ水晶体が再生される。

プラナリアは，からだを細かく切断してもそのおのおのの断片が元通りの 1 つの個体となり，頭尾を形成する不思議な生物である。プラナリアの高い再生能は，主に 2 つのメカニズムに起因する。1 つは，全身に散在する[3]の存在で，それらが分化して必要な細胞や組織をつくりだし，失った部分を修復する。もう 1 つは，ERK と β-カテニンという 2 種類のタンパク質の作用である。ERK は頭尾などの特定の細胞に分化するために必要であるが，頭尾でその作用の強さが異なる。一方，β-カテニンは ERK の作用を阻害する。プラナリアの再生においては，ィこの 2 種類のタンパク質が協調して作用することにより，未分化な細胞が頭部や尾部を形成する細胞におのおの分化し，組織を構築する。

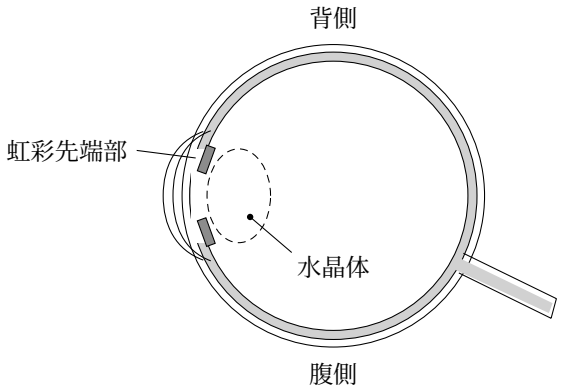


図 1　イモリの眼球の断面

問 1. [1] ～ [3] に入る適切な語句を書きなさい。

問 2. 下線部アについて，さらに虹彩先端部の細胞の反応を詳しく調べるために，下の図 2 左に示す A～D の 4 つの区画からおのおの採取した移植片を，図 2 右に示す水晶体と虹彩を除去した別のイモリの眼球に移植する実験を行った。この際，移植する部位は虹彩背側部あるいは腹側部のいずれかとした。移植実験の結果を下の表に示す。移植片の採取区画の違い，および移植する部位の違いが水晶体の再生にどのように影響するか，簡単に説明しなさい。

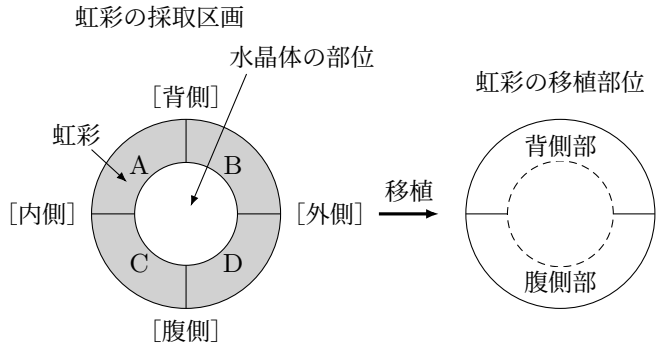


図 2　イモリの眼球を正面から見たところ

表　移植実験の結果

虹彩の採取区画	移植実験の例数	水晶体再生の例数／移植数	
		背側部への移植	腹側部への移植
A	18	8 ／ 9	7 ／ 9
B	20	10 ／ 11	9 ／ 9
C	20	0 ／ 11	0 ／ 9
D	17	0 ／ 8	0 ／ 9

問 3. 下線部イについて，尾部になるはずの部位で人為的に β-カテニンの作用を阻害すると，頭部ができる。これを踏まえて，切断されたプラナリアが正しく再生されるには，ERK と β-カテニンの作用の強さはおのおの頭尾でどうなるか，簡単に説明しなさい。

4 生物は 38〜40 億年前に誕生したと考えられている。水を分解して酸素発生型の光合成を行った最初の生物は［ 1 ］である。［ 1 ］のはたらきにより形成された岩石はストロマトライトと呼ばれる。大気中に酸素が蓄積して，ァオゾン層が約 5 億年前に形成された。このため，陸上に生物が生存できる環境となった。先カンブリア時代末にあたる約 6 億年前になると多細胞生物群が見られるようになり，オーストラリアのエディアカラで見つかった生物群は代表的なものである。エディアカラ生物群の例としては，トリブラキディウムや［ a ］などが知られている。カンブリア紀ではカナダの［ 2 ］動物群や中国のチェンジャン動物群が有名である。これらの動物群では，三葉虫や［ b ］，ハルキゲニアなどの化石が見つかっている。

過去 5 億年の間に生物の大量絶滅が 5 回あったと考えられている。最大の絶滅は古生代の［ 3 ］末に起きた絶滅で，古生代と中生代の境界にあたる。ィ白亜紀末の絶滅では恐竜などが絶滅した。これは白亜紀と古第三紀の境界にあたる。絶滅は，ある生物群にとってはゥ環境や生活に適した形態や機能を持ち，ニッチを埋めて多くの種に分かれることになり，進化の元になる。ヒトを含む哺乳類も恐竜が絶滅した後で多様化した。卵を産む哺乳類として単孔類がおり，ハリモグラと［ 4 ］がいる。古い地質時代の地層から化石として発見された生物が，現在でも生息している場合がある。現在でも祖先の特徴を保ち続けている生物を［ 5 ］という。植物ではイチョウや［ c ］など，動物ではシーラカンス，カブトガニ，［ d ］，ゴキブリなどがいる。

問 1. ［ 1 ］〜［ 5 ］に入る語を書きなさい。

問 2. ［ a ］〜［ d ］に入る語を下記から選びなさい。
アンモナイト　アノマロカリス　オウムガイ　クックソニア　ディッキンソニア
メタセコイア　リンボク　コウモリ　イクチオステガ

問 3. 下線部アについて，オゾン層が形成されるとなぜ陸上に生物が生存できるのか，簡単に説明しなさい。

問 4. 下線部イの白亜紀末の絶滅の原因として有力な説は何か。

問 5. 下線部ウのことを何というか，答えなさい。

問 6. 真核生物に見られるミトコンドリアと葉緑体の形成は，細胞内共生説により説明されている。細胞内共生説の根拠を 1 つ書きなさい。