

問題冊子

| 教 科 | 科 目 | ページ数 |
|-----|-----|------|
| 理 科 | 生 物 | 13 |

試験開始の合図があるまで、問題冊子を開かないこと。

解答の書き方

1. 解答は、すべて別紙解答用紙の所定欄に、はっきりと記入すること。
2. 解答を訂正する場合には、きれいに消してから記入すること。
3. 解答用紙には、解答と選択した選択問題の番号、志望学部及び受験番号のほかは、いっさい記入しないこと。
4. 問題〔4〕、〔5〕は選択問題である。どちらか一方のみを解答すること。両方を解答してはいけない。選択問題〔4〕、〔5〕のうち、選択した問題の番号を解答用紙(その4)の所定の枠内に記入すること。

注 意 事 項

1. 試験開始の合図の後、すべて(5枚)の解答用紙に志望学部及び受験番号を必ず記入すること。
2. 理科の選択科目は、出願時に選択したものと異なるものについて解答してはいけない。
3. 下書き用紙は、片面だけ使用すること。
4. 試験終了時には、解答用紙を必ずページ順に重ね、机の上に置くこと。解答用紙は、解答していないものも含め、すべて(5枚)を回収する。
5. 試験終了後、問題冊子及び下書き用紙は持ち帰ること。

[1] 次の文章を読み、以下の問い(問 1 ~ 4)に答えよ。

動物のからだを構成する全ての細胞は1個の受精卵から増えたものであり、同じ遺伝情報を持っている。しかし、それぞれの細胞において発現する遺伝子は異なり、異なるはたらきを持つ細胞に分化している。この細胞の分化には遺伝子の発現調節が重要な役割を担っている。

真核生物の核内に存在するDNAは というタンパク質に結合して を形成している。 が数珠状につながった構造は と呼ばれ、この構造がゆるんだ状態になると遺伝子の転写が促進され、折りたたまれた状態では遺伝子の発現が抑制される。このようなDNAの塩基配列の変化を伴わない遺伝子発現の機構を研究する学問を と呼ぶ。

問 1 文章中の ~ に適切な語句を記入せよ。

問 2 下線部①について、受精卵の胚盤胞から取り出した細胞を特殊な条件下で培養して得られるES細胞や、皮膚などの細胞に遺伝子を導入することにより人工的につくられるiPS細胞(人工多能性幹細胞)といった幹細胞が持つ特徴を2つ答えよ。

問 4 下線部③について、 の大きさ N が、 $N = M \times n/m$ と推定される理由を答えよ。

問 5 によって の大きさを推定するには、いくつかの条件が満たされる必要があるが、それらをできるだけ多く答えよ。

〔選択問題〕

〔5〕 次の文章を読み、以下の問い(問1～5)に答えよ。

ある草原のシマウマの集団やある池のフナ^①の集団など、一定地域で生活する同種個体の集まりを **a** と呼ぶ。**a** の大きさは、**a** を構成する個体数によってあらわされ、一定面積や一定体積など単位空間あたりの個体数のことを **b** と呼ぶ。生物の個体数は、生活空間や食物などの資源に制限がなく、他の生物による捕食や病気などがない場合、つまり、個体数を抑制する要因がない場合には、時間とともに急速に増加する。しかし、自然条件下では個体数が増加して **b** が高くなると、限られた資源をめぐる個体間の競争が激しくなり、さらには排泄物が蓄積するなど生活環境が悪化する。そのため、出生率が低下したり死亡率が増加したりして **a** の成長が妨げられ、**a** の大きさは一定の値を示すようになる。^②このように、**b** の変化に伴って、**a** にさまざまな影響が及ぶことを **c** と呼ぶ。

a の大きさを調査する方法の一つに **d** と呼ばれる方法がある。これは、ある **a** から一部の個体を採集して印を付けて放した後、しばらく時間をおいてから2回目の採集を行い、2回目に採集された個体中にある印の付いた個体の割合から **a** の大きさを推定する方法である。^③最初の採集で印をつけて放した個体数を M 、2回目に採集された個体数を n 、その中にいる印の付いた個体数を m とすると、**a** の大きさ N は、 $N = M \times n/m$ と推定される。

問1 文章中の **a** ～ **d** に適切な語句を記入せよ。

問2 下線部①について、生物の個体数はそれを抑制する要因がない場合には、時間とともにどのように増加するか、図示せよ。

問3 下線部②について、**a** の大きさが一定になる値を何と呼ぶか答えよ。

問3 下線部②について、以下の問いに答えよ。

- (1) DNA から RNA が転写され、RNA からタンパク質が翻訳される一連の流れを何というか答えよ。
- (2) DNA から RNA が転写される仕組みとその制御の仕組みを説明せよ。
- (3) RNA ウイルスは遺伝物質として RNA を持っており、RNA を鋳型として DNA を合成するものがある。この RNA から DNA を合成する酵素を何というか答えよ。また、RNA から合成された DNA の名称を答えよ。
- (4) 下記の文章中の **e** ～ **h** に適切な語句を記入せよ。

真核生物の DNA の塩基配列には、タンパク質に翻訳される領域の **e** と、翻訳されない領域の **f** が存在する。核内において、mRNA 前駆体から **f** が取り除かれて、**e** の部分がつなぎ合わされて mRNA が完成する。この過程を **g** という。発生の段階や細胞の種類によっては、単一の遺伝子から異なる **e** や **f** が除かれることにより複数種類の mRNA がつくられ、異なるタンパク質が発現する。この複数種類の mRNA がつくられる仕組みを **h** と呼ぶ。

問4 下線部③について、以下の問いに答えよ。

- (1) RNA を介した転写後の遺伝子発現の抑制機構である RNA 干渉(RNAi)では2本鎖 RNA が作られることが重要である。この RNAi の仕組みを以下の語句をすべて用いて説明せよ。
(複合体, 分解, 相補的, 2本鎖 RNA)
- (2) ある RNA の配列は 5'-ACGGUAACCUUAUGGAC-3' である。この RNA と結合できる相補的な RNA を以下の中から選んで解答欄にアルファベットで記せ。
(a) 5'-UGCCAUUGGAAUACCUUG-3'
(b) 5'-GUCCAUAAGGUUACCGU-3'
(c) 5'-ACGGUAACCUUAUGGAC-3'
(d) 5'-CAGGUAUCCAAUGGCA-3'

〔2〕 次の文章を読み、以下の問い(問1～5)に答えよ。

被子植物では、1個の花粉母細胞から減数分裂を経て通常 個の花粉が形成される。胚のうも胚のう母細胞から減数分裂を経て形成され、1個の胚のう母細胞から形成される成熟して受精能力がある胚のうは通常 個である。花粉がめしべの柱頭で発芽すると、花粉管を伸ばし、その先端が胚のうに達した後に被子植物特有の受精が行われる。受精後の胚珠は、子葉、幼芽、幼根などをもち を内部にもつ種子になっていく。

ところで、ここに無性生殖と自家受精[※]による有性生殖の両方が可能な被子植物^②があるとする。通常、この植物の染色体には多数の遺伝子が存在している。ある遺伝子が染色体に占める位置のことを といい、ある に複数の形質に対応する遺伝子が存在し得る場合、これらの遺伝子を対立遺伝子という。この被子植物においても配偶子の形成に減数分裂が関与しており、母細胞で対をなしていた相同染色体は別々の配偶子に分配される。その際、同じ染色体に複数の遺伝子が存在していた場合、その複数の遺伝子は染色体の挙動に合わせて行動する。すなわち、同じ染色体上にある複数の遺伝子は、染色体が切れない限り、そろって同じ配偶子に分配される。このように複数の遺伝子が同一染色体上に存在している状態を遺伝子が しているという。この被子植物において対立遺伝子 A と a 、 B と b が存在し、遺伝子 A と B 、遺伝子 a と b がそれぞれ同じ染色体に存在しているとする。染色体の乗換えによる遺伝子の ^③ が起こらなかった場合、遺伝子型 $AaBb$ の個体から生じる配偶子の遺伝子型の比は、 $AB:Ab:aB:ab = 1:0:0:1$ となる。しかし、実際には遺伝子の ^④ が起こり、前述のような遺伝子型の比にならない場合も多い。

※ この被子植物では、同じ花や同一個体の花の間で受粉・受精が起こる現象のことを指す。

問3 中耳には耳小骨とともに咽頭^{いんとう}と連絡する管が存在する。

- (1) この管の名称を記せ。
- (2) この管は聴覚の受容においてどのような役割を有しているか、説明せよ。

問4 下線部①について、以下の問いに答えよ。

- (1) ヒトの耳小骨の役割について説明せよ。
- (2) ヒトとニワトリにおける耳小骨の違いが、ニワトリの聴覚にどのような影響を及ぼすと考えられるか、記せ。

問5 ヒトと同じつち骨・きぬた骨・あぶみ骨を有するマウスでは、遺伝子 X がつち骨ときぬた骨の形成に関与していることが知られている。また、遺伝子 X を発現しないようにしたマウスでは、つち骨ときぬた骨が形成されなくなることも知られている。さらに、ニワトリにおいても遺伝子 X は存在することがわかっている。これらのことから、ヒトやマウスとニワトリが異なる構造の耳小骨を形成する上で、遺伝子 X はどのように働いていると考えられるか、記せ。

〔選択問題〕

〔4〕 次の文章を読み、以下の問い(問1～5)に答えよ。

私たちを含む動物は、環境からの情報を集める眼・耳・鼻などの受容器を有している。また、同じ受容器でも種によって構造には違いが見られる。ここでは音を感知するための器官である耳について、ヒトとニワトリを比較してみよう。

ヒトの耳は、外耳・中耳・内耳の3つの部分からなる。まず、外耳から入ってきた音は鼓膜を振動させる。鼓膜の振動は、中耳において耳小骨(つち骨・きぬた骨・あぶみ骨)によって卵円窓を直接揺さぶり、内のリンパ液へ効率よく伝えられる。リンパ液の振動は、内のを振動させる。これによって上にあるの聴細胞の感覚毛が動かされ、聴細胞が刺激される。この情報が聴神経を経て大脳の聴覚野に伝わる。

一方、ニワトリでは、中耳の耳小骨に相当する1つの骨(耳小柱)によって卵円窓が直接揺さぶられ、内耳を経由して音が知覚される。このように、ヒトでは3種の耳小骨が存在するが、ニワトリではあぶみ骨に相当する1種のみである。

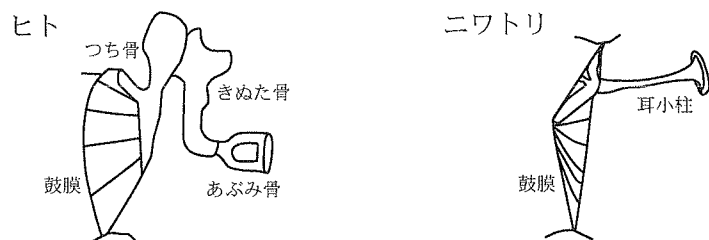


図 ヒトとニワトリの鼓膜と骨の構造を示している

問1 文章中の～に適切な語を記入せよ。

問2 音には高低・強弱の情報が含まれる。これらの情報はどのように識別されているか、説明せよ。

問1 文中の～に最も適切な語句または数値を記入せよ。

問2 下線部①の「被子植物特有の受精」の名称を記入せよ。また、どのような点が被子植物特有の受精であるか、70字以内で説明せよ。

問3 下線部②の被子植物の遺伝子型が $CCDd$ であった場合、無性生殖と自家受精では通常どのような遺伝子型の子が生じる可能性があるか、それぞれについて可能性があるすべての遺伝子型を記入せよ。ただし、遺伝子 C と遺伝子 D または d は異なる染色体上にあり、染色体や遺伝子に突然変異は生じなかったものとする。

問4 下線部③の「染色体の乗換え」は、いつどのようにして起こるのか、60字以内で説明せよ。

問5 下線部④に関して、この被子植物においても遺伝子 A と B 、遺伝子 a と b がそれぞれ同じ染色体に存在していたが、遺伝子型 $AaBb$ の個体から生じる配偶子の遺伝子型の比が $AB:Ab:aB:ab = 19:1:1:19$ であったとする。また、遺伝子 E および e も、それぞれ遺伝子 A および a と同じ染色体上にあったが、これらの遺伝子に着目した遺伝子型 $AaEe$ の個体から生じる配偶子の遺伝子型の比は $AE:Ae:aE:ae = 9:1:1:9$ であったとする。

このとき、当然遺伝子 A と B と E は同じ染色体上に存在していたのだが、前述の結果からその染色体上での遺伝子 A と B の距離と遺伝子 A と E の距離ではどちらが離れて存在していると考えられるか、その理由も含めて説明せよ。

[3] 次の文章を読み、以下の問い(問 1 ~ 3)に答えよ。

我々の身体の多くは特定の役割を有する機能分化した細胞から構成されている。こうした細胞のうち、脳の神経や腸管の内面を覆っている上皮(腸管上皮)のように高度に機能分化が進んだ細胞は、細胞分裂をすることはない。しかしながら、こうした細胞の寿命は組織に応じて様々であり、脳内の神経細胞のように個体の寿命と同等のものもあれば、小腸の腸管上皮細胞のように3~5日間のものもある。腸管上皮が数日で崩壊してしまわないのは、分裂して腸管上皮細胞となる前駆細胞から、新たな腸管上皮細胞が常に供給され続けているからである。役目を終えて退場する細胞と新たに供給される細胞とのバランスが適切に保たれることで、組織はメンバーを入れ替えながら一定の形態を維持しつつ機能することができる。

問 1 増殖する前駆細胞と増殖を止めて分化した機能細胞よりなる組織の解析には、特定の時期に DNA 合成をおこなっていた細胞を標識して検出し、観察をおこなう実験手法が有用である。

(1) この目的のために5-プロモデオキシウリジン(以下 BrdU と略記する)が用いられる。BrdU は5-プロモウラシル(図 1)にデオキシリボースが結合した化合物であり、細胞に速やかに取り込まれてリン酸化され、細胞が S 期にあり DNA 複製がおこなわれていると、DNA ポリメラーゼによって特定の塩基に対合して複製中の DNA に組み込まれる。なお、この時のデオキシリボースとの結合は、チミンやシトシン(図 1)がデオキシリボースに結合したヌクレオシド*と同様の結合である。BrdU が対合する塩基を推測し、その名称を記せ。

※ 糖と塩基が結合したものをヌクレオシドといい、ヌクレオシドにリン酸が結合したものをヌクレオチドという。

(2) BrdU が組み込まれた DNA を検出するために、BrdU に特異的に結合する抗体(抗 BrdU 抗体)を用いる。抗

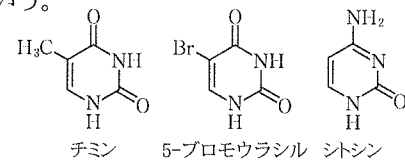


図 1

試験問題は次に続く。

の細胞の核に BrdU 染色は認められたが、2 日目では検出されにくくなり、3 日目には認められなくなった。なぜ日を追って核の BrdU 染色が認められなくなっていったのか、説明せよ。

- (ii) BrdU 投与停止後 1 日目・3 日目・5 日目にそれぞれの群のマウスから小腸を回収して BrdU 染色をおこなった。それぞれのマウスの絨毛部の腸管上皮細胞のうち、その核が BrdU 染色で染まる細胞が存在するとすればどこにどれくらい存在すると推定されるだろうか。解答欄の絨毛の細胞のうち、核が染色されていると推定される細胞を塗りつぶすことによって示し、その理由を記せ。また、推定に当たって仮定・前提を必要とするならば、問題文の記載に反しない範囲で随意に仮定・前提を設定しても構わない。

BrdU 抗体は、マウスに BrdU を含んだ物質を投与することにより調製することができる。しかしながら、チミンにデオキシリボースが結合したヌクレオシドを含んだ物質やシトシンにデオキシリボースが結合したヌクレオシドを含んだ物質を BrdU と同様にマウスに投与しても、マウスはこれらヌクレオシドに対する抗体を産生しない。

- (i) なぜ抗 BrdU 抗体は産生されるのに、これらヌクレオシドに対する抗体は産生されないのか、こうした現象を表す漢字 4 文字の語句を用いて説明せよ。
- (ii) 上記(問 1 (2) (i)) の現象はどのようにして生じるのか、説明せよ。

問 2 抗 BrdU 抗体を用いた検出を、活発に細胞分裂する NB という培養細胞(以下 NB 細胞と呼ぶ)を用いて、NB 細胞が十分に増殖を継続できる条件で以下のおこなった。まず、NB 細胞を 2 群に分け、ひとつの群はそのまま、もうひとつの群には培養液に BrdU を添加して 1 時間培養した。その後、それぞれの NB 細胞から培養液を取り除き、等張の緩衝液で洗浄後、生体反応を停止させる処理等を行った後、抗 BrdU 抗体を加えて反応させた。その後緩衝液で洗浄し、適切な方法で抗 BrdU 抗体が結合している領域が着色されるようにした(図 2)。この手技を以下 BrdU 染色と呼ぶこととする。培養液に BrdU を添加しなかった群では細胞は染色されなかったが、BrdU を加えて 1 時間培養した群では、その一部の細胞の核が染色された(図 2)。同様の実験を BrdU の添加時間を 12 時間にしておこなうと、より多くの細胞の核がより強く染色されるとともに、核以外の領域に複数の染色が認められた(図 2)。同様の実験を、細胞分裂をおこなわない神経細胞を用いて行くと、核の染色はほとんど認められなかったが、核以外の領域の複数の染色は NB 細胞と同様に観察された(図 2)。

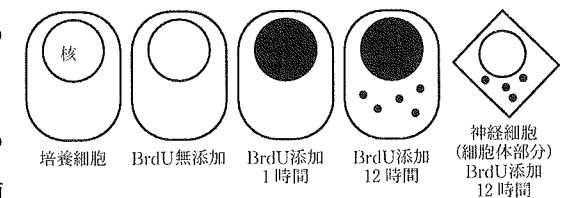


図 2 細胞の BrdU 染色像の模式図
染色された領域を黒塗り以示す(輪郭を除く)。
染色の濃淡は表現していない。

(1) BrdU を添加しない NB 細胞を用いた実験は、無駄のように見えるが、正しい推論を導くために必要な実験である。

(i) このような種類の実験を一般に何と呼ぶか、記せ。

(ii) BrdU を添加しない NB 細胞を用いた実験はなぜ必要か、記せ。

(2) BrdU 添加時間をどこまで短くできるかを同様の実験をおこなって調べた。すると、添加時間が 30 分なら核の染色が認められる細胞が添加時間 1 時間のときよりやや少ない程度の割合で認められたが、それより短くすると染色は認められなくなった。また、別の解析をおこなったところ、NB 細胞の 1 回の細胞周期に要する時間は 20 時間で、増殖が継続している状態では 70% の細胞が G1 期に、20% の細胞が S 期に、10% の細胞が G2/M 期にあることがわかった。

(i) BrdU 添加時間 1 時間のときに核が染色された細胞の割合 (%) を推計し、そのように推計した理由と共に記せ。

(ii) BrdU 添加時間 12 時間のときに核が染色された細胞の割合 (%) を推計し、そのように推計した理由と共に記せ。

(iii) BrdU を 12 時間添加したときに現れる核以外の染色は、ある細胞内小器官に由来するものである。この細胞内小器官の名称を記せ。

問 3 次に、マウスの小腸を使って同様の実験をおこなった。小腸の内部は絨毛が密生しており、その表面を腸管上皮細胞が覆っている(図 3)。また、絨毛の基部にはくぼみがあり、ここに前駆細胞が位置している。前駆細胞は分裂して自己を複製すると共に、一部は分裂して腸管上皮細胞となって(図 4)絨毛部に位置するようになる。こうして

誕生した腸管上皮細胞は、前駆細胞からさらに生み出されてくる腸管上皮細胞に押し出されるようにして絨毛の先端部へと移動していき、先端部で細胞死を起こして脱落する(図 3)。マウス

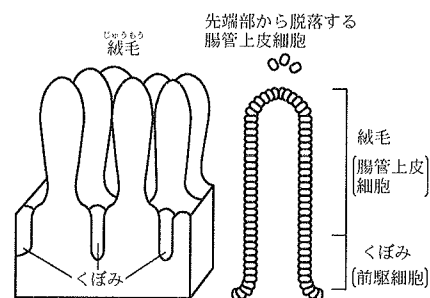


図 3

に BrdU を投与し、その体内濃度を 2 時間一定値に維持した後、定められた適切な方法で小腸を回収して BrdU 染色をおこなったところ、くぼみ部分に存在する、図 5 左・黒塗りで示した領域の細胞の一部の核に染色が認められ、図 5 左の黒塗りの部分に前駆細胞が位置していることが推定された。次に、同様の実験を、今度は 24 時間 BrdU の体内濃度を一定値に維持しておこなうと、くぼみ部分に加え絨毛部分の図 5 右・黒塗りで示した細胞において、その多くの核に染色が認められた。なお、BrdU を投与しなかったマウスで同様の実験をおこなっても染色は観察されなかった。また、この絨毛の腸管上皮細胞の寿命(前駆細胞が分裂して腸管上皮細胞となってから脱落するまで)は 4 日であり、絨毛やくぼみは問題用紙や解答欄に記された数の細胞により成り立っているとする。

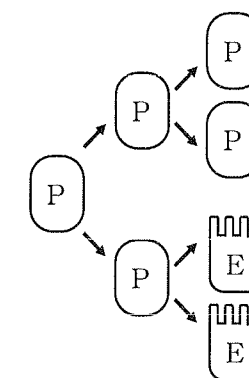


図 4

前駆細胞(P)は分裂して自己を複製しながら一部は分裂後増殖を止めて腸管上皮細胞(E)となり絨毛部へ移行する。

(1) 問 2 で見た神経細胞は分裂しない、すなわち核の DNA 合成をおこなわない細胞であるため、BrdU 染色では核は染色されなかった。しかしながら、この実験においては BrdU 24 時間投与後に、同じく分裂しない絨毛部の腸管上皮細胞の核に染色が認められている。それはなぜか、説明せよ。

(2) マウスを 4 群に分け、それぞれ BrdU の体内濃度を 24 時間一定値に維持したのち、投与を停止してその措置を止めた。BrdU は体内濃度を一定値に維持する措置を取らなければ、体内から速やかに消失する。投与停止後 1 日目に、4 群に分けたマウスのうちの 1 群から同様に小腸を回収し、BrdU 染色を行った。同様に投与停止後 2 日目・3 日目・5 日目に、それぞれの群のマウスから小腸を回収して BrdU 染色をおこなった。

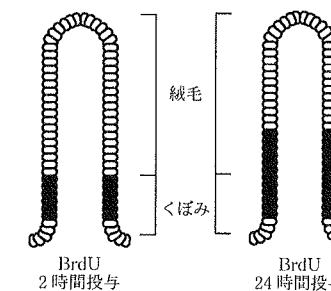


図 5

(i) 投与停止後 1 日目では「くぼみ」部分