

2023年度千葉大学大学院融合理工学府博士前期課程
選抜試験学力検査問題

(先進理化学専攻 生物学コース)

令和4年8月4日

【生物学】

検査時間 120分

<注意事項>

1. この冊子は全部で17ページあります。
2. 監督者から解答を始めるように合図があるまでは開かないこと。
3. 解答用紙の上部に受験番号を正確に記入すること。(氏名は記入しない)

1

次の文章を読み、以下の問い（問1～5）に答えなさい。

生物の系統関係を示す樹形図を系統樹という。複数の対象分類群(OTU)の系統関係を示す場合、考える樹形の数 N は OTU の数 n で決まってくる。多分岐を考えない有根系統樹の場合、外群を除く OTU の数が 2OTU なら樹形の数 N は 1、4OTU なら樹形の数 N は 15 となる。有根系統樹の外群を除く OTU の数 n が 2 以上の時、 n と考える樹形の数 N との間には下の式が成り立つ。

$$N = (2n-3)!!$$

式内の「!!」は二重階乗といい、与えられた自然数に対し、1 からその自然数まで、同じ偶奇性をもつものだけを全て掛けた積を表す。

OTU の数が増えると、樹形の数 N は爆発的に増加する。この多数の樹形の中からより良い系統樹を推定するには様々な方法があり、最節約法（最大節約法）はその一つである。例えば下の表のような形質マトリックスがあった場合、最節約法で簡単に一つの系統樹を選ぶことができる。

表. 外群および対象分類群の形質マトリックス（外群の形質を「0」としている）

OTU \ 形質	運動性(1)	多細胞性(2)	細胞壁(3)	多核細胞(4)	精子・遊走子(5)	卵(6)	光合成(7)
外群	0	0	0	0	0	0	0
アブラナ	1	1	0	0	1	1	0
シイタケ	1	1	0	1	1	0	1
ペンギン	0	1	1	0	0	1	1

問1 外群を除く OTU の数が 5 OTU と 7OTU の時にできうる有根系統樹の数 N をそれぞれ答えなさい。

問2 最節約法以外の系統樹の推定方法の名称を二つ答え、それぞれについてどのような系統樹が選ばれるか一行程度で簡単に説明しなさい。

問3 表の OTU に基づき、考える全ての樹形の系統樹を描きなさい。さらに、表の形質マトリックスに基づき、すべての形質の転換点を形質の数字を用いて書き入れなさい。ただし、多分岐の系統樹は考えないこと。

問4 問3で作った系統樹に基づき、最節約系統樹を決めなさい。決める過程を含め、具体的に説明しなさい。

問5 問4で選ばれた系統関係と分子系統解析による系統関係は同じであるか異なるか答えなさい。異なる場合、どのように異なるか説明しなさい。

2

以下の問い（問1～3）に答えなさい

問1 ある動物 A 種の餌場がパッチ状に分布している（各餌場はランダムに分布）。A 種は餌場内で餌の探索と摂食を繰り返し、ある条件になると他の餌場へと移動する（図1）。

① 餌場内での探索と摂食行動について、探索時間（ x ）と累積摂食回数（ y ）の関係はどのようなグラフになるか書きなさい。餌場内の餌は有限でランダム分布し、消費された餌は補填されないとする。また、餌場内に滞在中は常時探索行動をおこなうとする。

② 餌場間の平均移動時間を T とした時、単位時間当たり（餌場間の移動時間と餌場内での探索時間を合わせた）の累積摂食回数が最大になる餌場内での探索時間（ x ）を求める方法を ① で答えたグラフを用いて説明しなさい。また、餌場間の平均移動時間が長くなると（ $T1$ ）、餌場内での最適探索時間はどのように変化するか、同様にグラフを用いて説明しなさい。採餌行動に関わる各種条件は ① と同じとする。

② の答えは、① で書いたグラフに直接加筆しても、改めて書き直してもどちらでも構わない。

問2 観察容器内において、ある動物 B 種に 3 つの異なるサイズの餌（大，中，小）を同じ比率（1：1：1）で密度を変えて（低，高）与え、一定時間自由に探索と摂食を行わせた。この動物 B 種は観察容器内をランダムウォークし、餌に遭遇すると、その餌を摂食するかどうか決定する。実験の結果、図2のようなグラフが得られた。この結果から推測される動物 B 種の摂食行動の特性について説明しなさい。サイズの違いによって餌の目立ちやすさは変化しないとする。

問3 個体の最適採餌戦略は餌場内に存在する餌の密度や分布によって変化する。同様に、個体もしくは集団レベルの性質も個体群密度や個体群サイズの影響を受ける。次の 3 つの現象についてそれぞれ 50 字程度で説明しなさい。

相変異、環境収容力、創始者効果

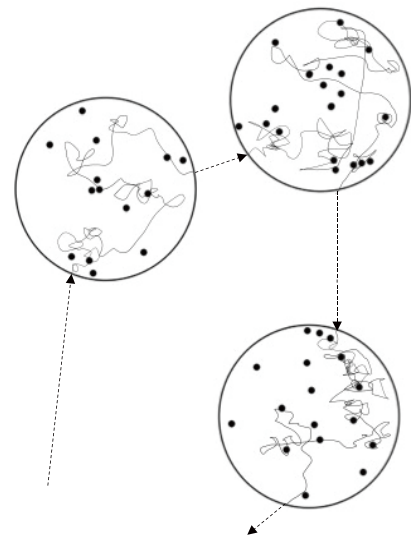


図1. 動物種 A は餌場内の探索と摂食（実線）、餌場間の移動（点線）を繰り返しながら採餌を行う。黒丸が餌、大きな円は餌場を表す。

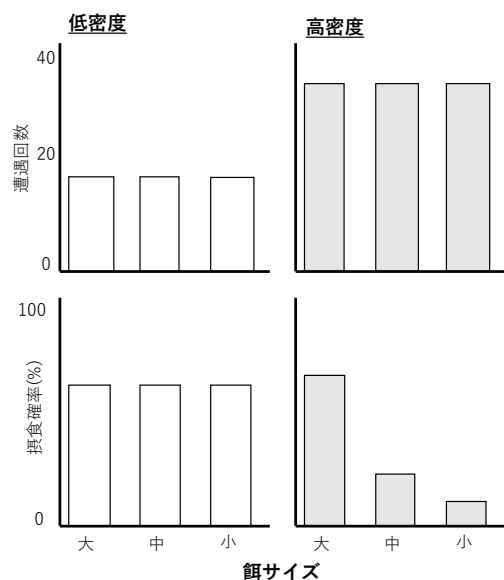


図2

3

次の文章を読み、以下の問い（問1～3）に答えなさい。

雌雄両全性で自家和合性の被子植物の、種 X の自家受粉率を推定しよう。A と B という二つのアレルをもつ遺伝子座を分子マーカーとして用いる。遺伝子型 AA の親個体から種子を採取し、その種子の胚の遺伝子型を決定する場合を考える。自家受粉を行う場合、種子胚の遺伝子型は AA のみである。ランダムに他家受粉を行う場合、A と B の遺伝子頻度をそれぞれ p と q とすると、種子胚では AA が p 、AB が q の頻度となる。他家受粉が t 、自家受粉が $s (=1-t)$ の割合で起こるとすると、種子胚の各遺伝子型の頻度は表 1 のようになると想定される。このように、実際に遺伝子型の分かった個体から種子を採取して、その種子胚の遺伝子型を決定すれば、 s を推定することができる。

種 X のある集団について、開花個体と、開花個体から偏りなく採取した種子の胚の遺伝子型頻度を調べたところ表 2 のようになった。なお、この集団において開花個体の各遺伝子型は空間的に偏りなく分布しており、用いた分子マーカーは中立である。

表 1. 遺伝子型 AA 個体の種子胚の遺伝子型頻度

種子胚の遺伝子型	他家受粉時 (t) の 遺伝子型頻度	自家受粉時 (s) の 遺伝子型頻度	各遺伝子型の頻度 ($t + s = 1$)
AA	p	1	$tp + s$
AB	q	-	tq
BB	-	-	0

表 2. 開花個体と実生個体における遺伝子型頻度

遺伝子型	開花個体	種子胚
AA	0.384	0.452
AB	0.432	0.296
BB	0.184	0.252

問 1. これらの条件のもとで、遺伝子型 AB の個体から採取した種子について考えてみる。表 1 にならって、「遺伝子型 AB 個体の種子胚の遺伝子型頻度」を示す表を t, s, p, q を用いて作りなさい。

問 2. 下線部の集団（表 2）の複数の遺伝子型 BB 個体から偏りなく種子を採取し、種子胚の遺伝子型を決定したところ、平均すると BB が 82%、AB が 18% となった。自家受粉率 (s) を推定しなさい。計算過程も示すこと。

問 3. 自殖のレベルを定量化するために、近交係数 (F) を用いる。近交係数は、 $F = 1 - \frac{H_{obs}}{H_{exp}}$ の式を用いて計算できる。ここで H_{obs} と H_{exp} はそれぞれ、ヘテロ個体の頻度の観察値とランダムな他殖のもとでの期待値である。表 2 に示した結果から、開花個体集団と種子胚集団それぞれについて、近交係数を計算しなさい。計算過程も示し、有効数字 2 ケタで答えること。また、両集団で近交係数に違いが生じた原因について考察しなさい。

4

次の文章を読み、以下の問い（問1～5）に答えなさい。

多くの生物で集団の性比が 1:1 になっている理由は、ゲーム理論を用いて次のように説明されている。雌親が産む子の性比は性決定様式に関係なく雌の遺伝子型によって決まり、全ての雌は生涯に 1 度だけ交配して、1 個体あたり N 個体の子を産むとする。集団の大多数を占める野生型の雌 1 個体が産む娘の数を D とすると、野生型の雌 1 個体が産む息子の数は $N - D$ である。この集団に 1 個体あたり D' の娘を産む突然変異型が現れたとすると、この突然変異型が産む息子の数は $N - D'$ である。雄 1 個体あたりが交配できる雌の期待数 R はこの集団における雄の数に対する雌の数の比率（雌の数/雄の数）になる。雌 1 個体が産む子の数は一定（ N 個体）と仮定しているの、適応度は孫の数である。野生型と突然変異型の適応度は、それぞれ以下ようになる。

$$\text{野生型の適応度 } (W_W) = N \times D + R \times N \times (N - D) \quad \text{①}$$

$$\text{突然変異型の適応度 } (W_M) = N \times D' + R \times N \times (N - D') \quad \text{②}$$

野生型の適応度と突然変異型の適応度を比べるために、野生型の適応度から突然変異型の適応度を引くと以下ようになる。

$$W_W - W_M = N \times (R - 1)(D' - D) \quad \text{③}$$

この式 ③ の値は、 $R > 1$ ならば、 $D' < D$ のときに負となる。一方、 $R < 1$ ならば、 $D' > D$ のとき負となる。

問1 ゲーム理論とはどのような特徴をもつ理論か答えなさい。

問2 多くの生物で集団の性比が 1:1 になっていることを説明する上記の理論は特に何と呼ばれているか答えなさい。

問3 下線部の結果に基づいて、1:1 の性比の集団が進化的に安定である理由を説明しなさい。

問4 進化的に安定な 1:1 の性比の集団では、産む子の性比がすべての雌個体で 1:1 であることが唯一の進化的な帰結であるか？式③に着目して理由とともに説明しなさい。

問5 昆虫では *Wolbachia* (細胞内共生細菌) によって雄が雌に性転換させられ、性比が雌に偏る例が知られている。なぜこのような戦略が *Wolbachia* の適応度を高めるのか究極（進化的）要因を答えなさい。

5

次の文章を読み、以下の問い（問1～5）に答えなさい。

太平洋のハイアイアイ群島は、白亜紀後期に大陸から分離した大陸島群である。東西に約 60 km、南北に約 80 km の範囲に数十の島が点在している（図 1A）。ここには数多くの固有種が存在している。鼻行類（鼻行目, Rhinogradentia）は、本島群に固有で、極度に特異な構造をもつ哺乳類の 1 目である。本目は、単鼻類と多鼻類に大別でき（図 1B）、これらに共通する特徴は鼻が特殊な構造をしていることにある。多鼻類では、胎児の発生初期には多鼻形成が起き、複数の機能的な鼻が成立する（図 1C）。

特殊化した鼻は、種間で著しい形態的多様化を示し、跳躍器官や歩行器官、摂餌器官、固着器官へと機能分化している（図 2A-C）。なかには、⁽¹⁾ 鼻を花に擬態させ、昆虫類を誘引し、捕食する種も存在する。本島群では、14 科 189 種の鼻行類動物が記載されており、原始的な哺乳類（トガリネズミの一種）を祖先とし、⁽²⁾ 島群内で著しい多様化を果たしたと考えられる。ただし、これらの分類は形態的特徴によって行なわれたものである。一方で、鼻行目は、発育環境に誘導される高い表現型可塑性の能力を有することも知られている。したがって、⁽³⁾ これまでに報告されている種間の形態的差異が遺伝的であるのかは不明である。

跳鼻類のトビハナアルキ科では、完全な飛行能力を獲得した種も存在する（図 2C）。本科は、鳥類や翼竜類、コウモリ類、昆虫類とは別に飛行能力を獲得した第 5 の飛翔性動物のグループである。後肢は退化し、飛翔に特化している。飛行能力をもつ種では、島間で移動することも少なくない。すなわち、島群内で⁽⁴⁾ メタ個体群構造を形成している場合がある。

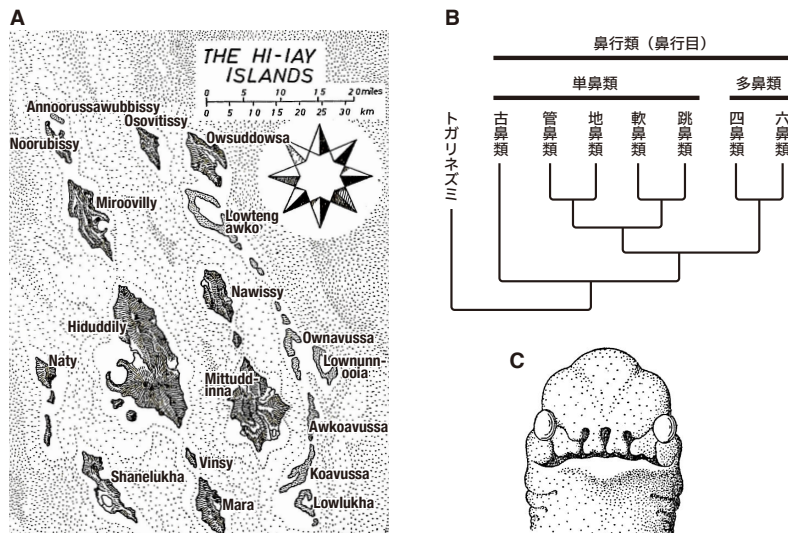


図 1. ハイアイアイ群島 (A) で多様化した鼻行類は、単鼻類と多鼻類に大別される (B)。単鼻類は側系統群である。多鼻類では、胎児発生の初期に多鼻化が始まる (C)。C は、胎児の頭部。中央が鼻部。

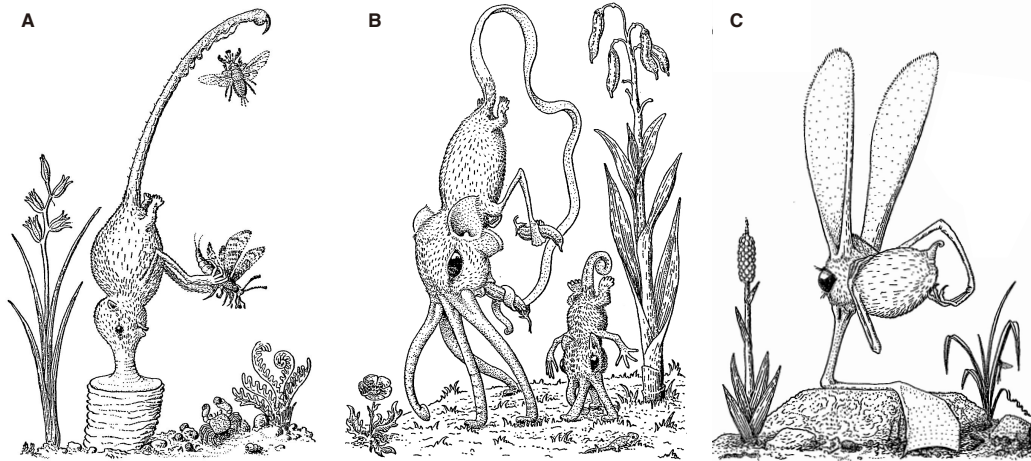


図2. 鼻行類は島群内で著しい多様化を遂げており、固着生活する種 (A) や鼻で歩行する種 (B) や飛翔能力をもつ種 (C) などがいる。

問1 下線部 (1) について、単鼻類の *Orchidiopsis rapax* と多鼻類の *Corbulongasus longicauda* では、いずれも花に擬態した鼻を有し、昆虫類を誘引して捕食している (図 3A,B)。単鼻類と多鼻類 (図 1B 参照) では、*Orchidiopsis* 属と *Corbulongasus* 属を除き、花に擬態した鼻をもつ種はない。したがって、*Orchidiopsis* 属と *Corbulongasus* 属では、独立に花への擬態が進化したと考えられる。このような進化プロセスは何と呼ばれるか？



図3. *Orchidiopsis rapax* (A) と *Corbulongasus longicauda* (B) はいずれも花に擬態する。

問2 下線部 (2) について、鼻行類は、原始的な哺乳類であるトガリネズミを除き、群島内の唯一の哺乳類であり、群島内の多様な空きニッチに適応し、多様化してきたと考えられる。このような多様化プロセスは何と呼ばれるか？

問3 下線部(3)について、たとえば、標高の高い山がある Mara 島にのみ生息するトビハナアルキ属の *Hopsorrhinus aureus* と、比較的平坦な Koavussa 島にのみ生息する同属の *H. mercator* とでは、口の構造や歯の有無、前肢の発達に程度に差異がある(図4A,B)。種間でのこのような形態的差異が遺伝的であることを検証するためにはどのような実験を行ない、どのような結果が得られればよいか、70字程度で答えなさい。なお、母性効果などの継承性の非遺伝的効果はないものとする。

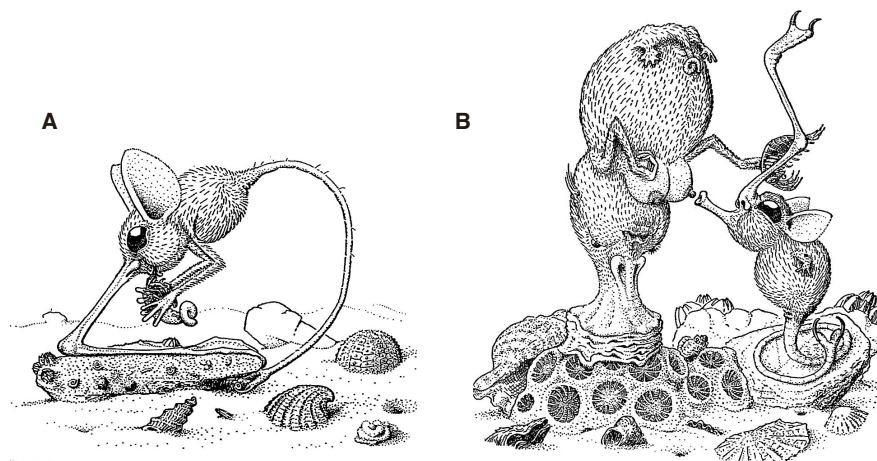


図4. *Hopsorrhinus aureus* (A) と *H. mercator* (Bの右側) はいくつかの形質に差異が見られる。

問4 下線部(4)について、各島が独立した個体群になっている場合と、島間が個体の移動で緩やかにつながってメタ個体群を形成している場合では、各島、および当島群全体における個体数の動態に差が生じる。一般にどのような差が生じるか、理由とともに150字程度で説明しなさい。なお、飛行能力以外の形質には差がないものとする。

問5 メタ個体群における個体群数の動態は、各局所個体群の絶滅と空きパッチへの定着確率などによって記述することができる。すなわち、ある時点での占領パッチ率を N 、空きパッチ率を $1-N$ とし、さらに、局所個体群あたりの空きパッチへの侵入(定着)確率を c 、局所個体群あたりの絶滅確率を e とした場合、個体数の増加速度は、

$$\frac{dN}{dt} = cN(1-N) - eN$$

となる。メタ個体群全体が絶滅に向かわないためには、どのような条件が必要か。上述のパラメータにもとづき、30字程度で説明しなさい。

出典：ハラルト・シュテュンブケ(1999) 鼻行類 新しく発見された哺乳類の構造と生活。平凡社。なお、出題に際して、一部の内容を改変している。

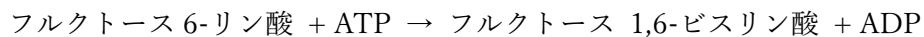
6

次の文章 I, II を読み、以下の問い（問 1～5）に答えなさい。

- I. 細胞には ATP 濃度を一定に保つしくみがあり、エネルギー産生に関わる代謝系に障害がおきても細胞内 ATP 濃度は 20~30%程度しか変動しない。そのしくみのひとつとして、以下の反応を司るアデニル酸キナーゼにより、細胞内に蓄積した ADP から ATP を合成する過程が知られている。



- II. 哺乳類細胞の大部分では、解糖系でグルコースから生成されるピルビン酸はミトコンドリアに運ばれて代謝反応に利用される。一方、がん細胞では解糖系の活性が高まっており、ピルビン酸はミトコンドリアで使われずに乳酸へと変換される。このようながん特有の代謝変化はワールブルグ効果として知られ、解糖系の特定の酵素の活性化によりもたらされている。がん細胞で活性化している酵素の 1 つとして、フルクトース 6-リン酸からフルクトース-1,6-ビスリン酸を合成する酵素 A がある。酵素 A は以下の反応を触媒する。この酵素は触媒部位以外に複数のアデニンヌクレオチド結合部位を有する。



問 1 酵素を細胞から精製するための実験は、一般に低温条件で行われる。操作が低温で行われなかった場合、得られる酵素の収量と比活性にそれぞれどのような影響があるか、その理由とともに答えなさい。

問 2 精製した酵素 A を保存するための溶液として緩衝液 B を作製した。緩衝液 B は、50 mM Tris-HCl (pH 7.5) と 10% (vol/vol) グリセロールを含んでいる。

- ① 調整済みの 1 M Tris-HCl (pH 7.5) 溶液（ストック溶液）を希釈して緩衝液 B を 5 mL 作製する場合に、必要となるストック溶液の容量を答えなさい。ただし、計算の過程も示すこと。
- ② 緩衝液 B を 5 mL 作製するときに必要となるグリセロールの重量を答えなさい。ただし、グリセロールの分子量は 92.1、比重は 1.26 とする。ただし、計算の過程も示すこと。

問3 図1は、4 mM フルクトース 6-リン酸条件における ATP 濃度と酵素 A の活性（反応速度）との関係、およびその際の 1 mM AMP 添加の効果調べた結果である。

① この結果からわかる、酵素 A の活性に対する ATP の効果と、その効果がおこるメカニズムを答えなさい。

② この結果からわかる、酵素 A の活性に対する AMP の効果と、その効果がおこるメカニズムを答えなさい。

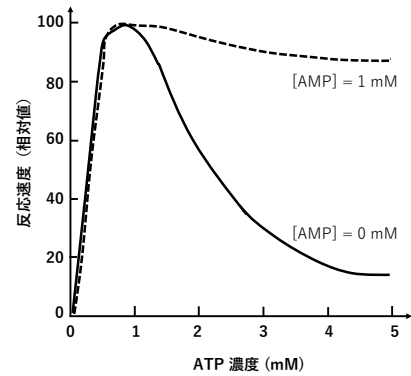


図1

問4 細胞内の各アデニンヌクレオチドの存在量は、それらをイオン交換クロマトグラフィーで分離した後、プリン環の 260 nm 付近の紫外線を吸収する性質を利用して調べることができる(図2において各物質に相当する画分の紫外吸収の量が相対的な存在量を示す)。H⁺のイオノフォア(生体膜に作用し特定のイオンを選択的に透過させる低分子化合物)である 2,4-ジニトロフェノール(DNP)は、酸化的リン酸化に必要な H⁺の濃度勾配を消失させる効果をもつ。図2は通常時と DNP 添加時の、ヒト培養細胞中のアデニンヌクレオチドの存在量を比較したものである。

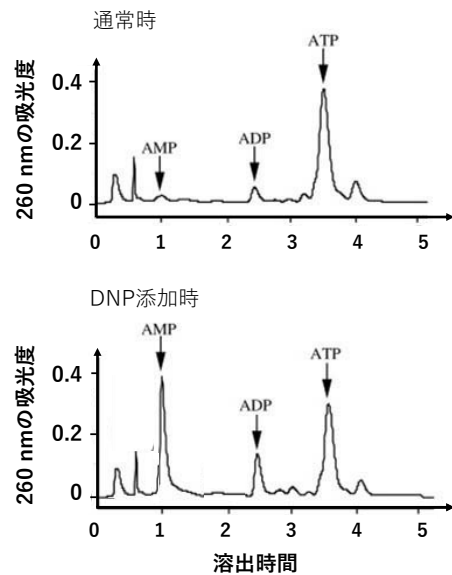


図2

① DNP の添加によって細胞内の各アデニンヌクレオチド量はどのように変化するか、図2の結果から答えなさい。

② 図1,2の結果を踏まえ、酵素 A の活性が細胞の ATP 産生能力に応じてどのように調節されていると考えられるか述べなさい。なお、通常状態での細胞内 ATP 濃度は 4~5 mM 程度である。

問5 解糖系の反応の大部分は可逆的であるが、酵素 A による反応を含めたいくつかの反応は不可逆的である。酵素 A のような酵素の存在が、代謝を制御するうえでどのように役立っているか、答えなさい。

7

次の文章を読み、以下の問い（問1～3）に答えなさい。

アフリカツメガエルの受精卵が胞胚期に到達した時点でアニマルキャップを切り出して培養する実験を行った。切り出したアニマルキャップを通常の培養液中で培養を続けると外胚葉性の細胞塊となったが、その培養液に FGF を加えておくと腹側中胚葉を形成した。一方、受精卵の動物極側に Noggin の mRNA を注入し、胞胚期になった時点でアニマルキャップを切り出して培養すると、神経組織が形成された。次に、この Noggin mRNA が注入されているアニマルキャップを、FGF を加えた培養液で培養すると、背側中胚葉と神経組織が形成された。

問1 この実験から、Noggin は中胚葉および神経組織の形成にどのように作用すると考えられるか、説明しなさい。

問2 FGF は受容体型チロシンキナーゼである FGF 受容体に結合して細胞内シグナル伝達を引き起こす。そこで、アニマルキャップの細胞に存在している FGF 受容体の機能を抑制するために、ドミナントネガティブ変異体を用いることにした。以下の ①～④ に答えなさい。

- ① FGF 受容体はどのようなドメイン構造からなるか、ドメインの担う機能とともに答えなさい。
- ② FGF 受容体の活性化機構を説明しなさい。
- ③ FGF 受容体はどのドメインを、どのように改変すればドミナントネガティブ変異体となるか、答えなさい。
- ④ 発現したドミナントネガティブ変異体が、内在の FGF 受容体のシグナル伝達を抑制するしくみを説明しなさい。

問3 FGF 受容体のドミナントネガティブ変異体の mRNA を Noggin の mRNA と共に受精卵の動物極側に注入した。胞胚期にそのアニマルキャップを切り出して、FGF を加えた培養液で培養すると、どのような組織が形成されると考えられるか、理由とともに説明しなさい。

8

以下の問い（問1～3）に答えなさい。

問1 次の文章を読んで①～③に答えなさい。

私たちヒトの核ゲノムは、両親から受け継いだ常染色体セットと一对の（1）からなる。常染色体は雌雄でほとんど違いはないが、（1）のうち（2）染色体は（3）染色体より大きくて、細胞の生存に不可欠な遺伝子などおよそ（ア）個の遺伝子がコードされている。一方、（3）染色体には形質発現に関わる遺伝子がおおよそ数十個コードされている。

生物の生存には、遺伝子を適正量発現する必要がある。哺乳類ではX染色体の本数の違いによる雌雄間の遺伝子量の差を補正する（4）とよばれるしくみが雌の細胞に備わっている。

（4）のしくみは、マウスのX染色体上にある毛の色の遺伝子と哺乳類の雌の細胞核に限って、Barr body とよばれる凝集した染色体が観察されることから仮説が立てられて後に実証された。Barr body ではヒストンアセチル化のレベルが（5）く、DNAのメチル化レベルが（6）い（7）クロマチンの特徴が認められる。

- ① 上の文の空欄1～7に適切な語句を記入しなさい。
- ② 空欄アに最も適切な数を選択肢(a)～(d)の中から選びなさい。
(a) 10 (b) 100 (c) 1000 (d) 10000
- ③ 下線部のしくみを具体的に説明しなさい。さらに受精後の発生・分化過程でどのように（4）のしくみが確立されるか説明しなさい。

問2 哺乳類と同様に、ショウジョウバエも雄はX染色体とY染色体をもち、雌はX染色体を2本もつ。ショウジョウバエの眼を濃い赤にする *white* 遺伝子はX染色体上にあり、その変異アレル w^a は低次形態 (hypomorph) で不完全ではあるが眼を均一に赤くする色素を合成する。X染色体上の全ての *white* 遺伝子が w^a に置き換わった雌および雄のショウジョウバエにおいて、*white* 遺伝子の重複や欠損によって w^a のコピー数の違いが生じる。それぞれの個体における w^a のコピー数と眼の色の関係を調べて下の図にまとめた。この結果を見て、①、②に答えなさい。




		眼の色		
		薄い赤	赤	濃い赤
w^a のコピー数	メス	  1コピー	  2コピー	/
	オス	/	 1コピー	

図. X染色体上の *white* 遺伝子の変異アレル w^a のコピー数と眼の色の関係

- ① 雌あるいは雄の同一の性において w^+ のコピー数と眼の赤色の程度にはどのような関係が見られるか答えなさい。
- ② 異性間において w^+ のコピー数と眼の赤色の程度にどのような関係が見出されるか答えなさい。さらに、その結果から導かれるショウジョウバエにおける遺伝子量補償のしくみを説明しなさい。ただし眼の色はモザイクではなく均一な色を示す。

問 3 DNA の塩基配列の変化を伴わずに細胞世代を超えて継承される遺伝子発現の変化はクロマチン構造変換を介してなされている。このエピジェネティックな遺伝子発現制御の根底にある、クロマチン構造を変化させる機構としてヒストン修飾及び DNA メチル化以外に 2 つあげ、以下のヒストン修飾の例を参考に具体的に説明しなさい。

例：ヒストン修飾：クロマチンの主要タンパク質であるヒストンは、翻訳後、アセチル化や、メチル化、リン酸化やユビキチン化などさまざまな化学修飾を受ける。ヒストン修飾を担うヒストン修飾酵素と修飾を読み取る転写制御因子、さらに修飾を除去する酵素の働きでヘテロクロマチンやユークロマチンへとクロマチン構造を変化させて転写を制御する。

9

以下の問い（問1～3）に答えなさい。

問1

- ① 真核生物の核遺伝子において、開始コドンがコードするアミノ酸を答えなさい。
- ② 終止コドンを3つ答えなさい。コドンはRNAで答えなさい。
- ③ 以下の一本鎖DNAを鋳型として、下線で示したTの位置からRNAが合成された際に、最終的に合成されるRNAの配列を答えなさい。RNAの配列は5'末端と3'末端が分かるように記すこと。

5'-GACCTTATTG-3'

問2

- ① ヒトの男性ホルモンと女性ホルモンの名称をひとつずつ答えなさい。
- ② ヒトにおいて1個の一次精母細胞から精子が生じる過程の模式図を描きなさい。模式図にはそれぞれの細胞の名称を書き、さらに一次精母細胞の核相を $2n$ として各細胞の核相を示すこと。

問3 チョウはヒトと異なる性決定システムをもつ。チョウの性染色体はWとZであり、オスは2本以上のZ染色体をもち、メスはWZあるいはZOである。チョウの性決定においては細胞ごとに性が決まることが知られており、自然界ではチョウの雌雄モザイク個体のごくまれに見出される。

- ① チョウの雌雄モザイクは、細胞分裂時にどのような染色体不分離がおこることにより生じるか説明しなさい。
- ② チョウの雌雄モザイク個体でよく知られているものは、正中線に沿って左右で雌雄が分かれた個体である。さらに、右半分がオスの個体と左半分がオスの個体はどちらも同じ頻度で報告されている。これらのことから予測されるチョウの初期発生の特徴について説明しなさい。

10

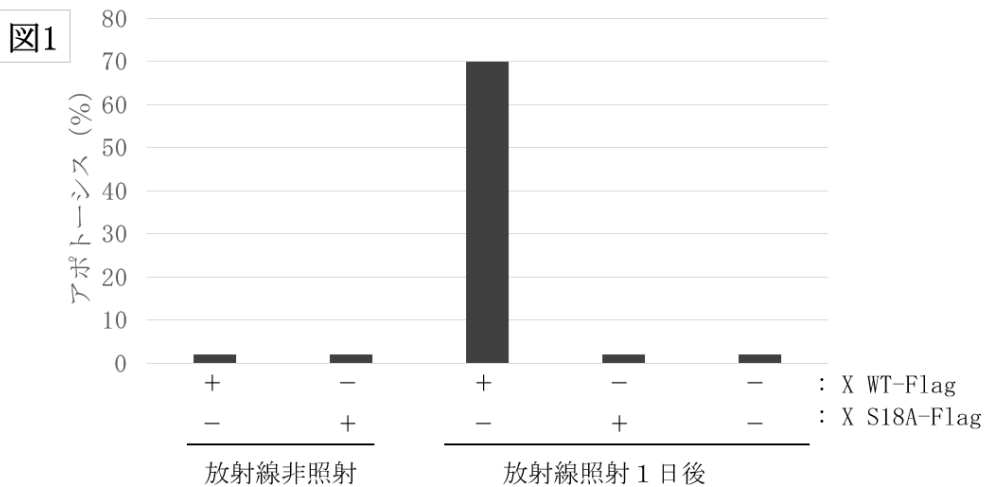
次の文章を読み、以下の問い（問1～6）に答えなさい。

タンパク質 X とタンパク質 Y は DNA 損傷応答において重要な機能を果たしている。H1299 細胞はタンパク質 Y を発現しているが、タンパク質 X の遺伝子は欠損している。H1299 細胞を使用して、X と Y の機能を調べた。

タンパク質 X の Wild-type (WT) をコードする遺伝子、もしくはタンパク質 X の 18 番目にあたるセリンをアラニンに置換した変異体 S18A をコードする遺伝子にそれぞれ Flag タグ配列を付加した、発現プラスミド XWT-Flag と XS18A-Flag を作製した。これらのプラスミドを、H1299 培養細胞にトランスフェクションにより導入し、3 日間培養した。トランスフェクションした H1299 細胞をそれぞれ 2 群に分け、一方に 20 Gray の放射線を照射し、実験 A と実験 B を行った。

[実験 A]

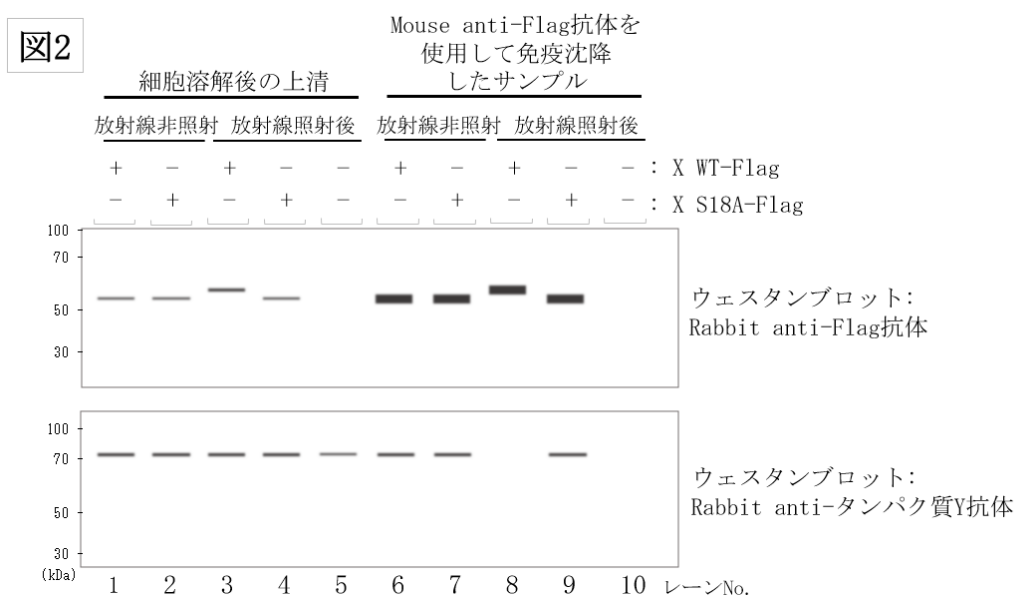
放射線照射を行った 1 日後に、細胞のアポトーシスの割合を調べた。得られた結果を図 1 に示す。それぞれ、全細胞のうちアポトーシスを生じた細胞の割合を表している。導入したプラスミドを「+」で、導入していない場合は「-」で示した。



[実験 B]

以下のプロトコールに従って免疫沈降実験を行った。

- 放射線非照射および放射線照射 1 時間後の細胞を、細胞溶解液に溶解し、1.5 ml チューブに移した。遠心を 22,000 g で 10 分間行った。
- 細胞溶解後の上清 (lysate) を新しい 1.5 ml チューブに移し、一部を SDS-PAGE 用に別のチューブに移した。
- 残りの lysate に mouse anti-Flag 抗体と^(a)プロテイン G セファロースビーズを加え、4°C で 1 時間攪拌した。
- A: 洗浄液を 500 μ l 加えた。B: 遠心を 3,000 g で 1 分間行った。C: 上清を吸引除去した。A~C の操作を 4 回繰り返した。
- チューブ内のセファロースビーズに SDS サンプルバッファーを加えた。
- 100°C で 5 分間インキュベートした。
- アクリルアミドゲル 2 枚を用いて SDS-PAGE を行った。
- 泳動後、2 枚のゲルをそれぞれ PVDF 膜 (メンブレン) に転写した。
- ^(b)メンブレンを 5% スキムミルク/PBST で 1 時間インキュベートした。
- Rabbit anti-Flag 抗体または rabbit anti-タンパク質 Y 抗体で、それぞれのメンブレンを 1 時間インキュベートした。
- それぞれのメンブレンを新しい PBST を加えたトレーに浸して 5 分間振盪した。この操作を 3 回繰り返した。
- Goat anti-rabbit IgG 抗体 (HRP conjugate) で、メンブレンを 1 時間インキュベートした。
- それぞれのメンブレンを新しい PBST を加えたトレーに浸して 5 分間振盪した。この操作を 3 回繰り返した。
- 化学発光法によって、メンブレン上のバンドを検出し、図 2 の結果を得た。導入したプラスミドを「+」で、導入していない場合は「-」で示した。



問1 下線部(a)に関して、免疫沈降実験にプロテイン G を使用する適切な理由を説明しなさい。

問2 下線部(b)に関して、メンブレンをスキムミルクを含む溶液でインキュベートする適切な理由を説明しなさい。

問3 実験 A の結果から、タンパク質 X の WT は DNA 損傷後の細胞においてどのような機能をもつと考えられるか、その根拠とともに説明しなさい。

問4 図 2 のレーン 3 と 8 で検出されたタンパク質 X の移動度の変化は翻訳後修飾が関与すると考えられた。タンパク質 X はどのような翻訳後修飾を受けたと考えられるか答えなさい。

問5 実験 A と B の結果から、タンパク質 X の活性が放射線に応答してどのように制御されるのかを 5 行程度で説明しなさい。

問6 H1299 細胞および X WT-Flag を導入した H1299 細胞に、タンパク質 Y の発現をノックダウンする処理を行った。それぞれの細胞について放射線非照射条件でアポトーシスの割合を測定した場合どのような結果になると考えられるか、適切な予想を答えなさい。