

生物科学専攻

専門科目

[注意事項]

1. 試験開始の合図があるまで、この問題冊子を開いてはならない。
2. 解答には、必ず黒色鉛筆（または黒色シャープペンシル）を使用すること。

[以下、特に重要]

3. 問題冊子1冊と答案用紙3枚が配られているか確かめること。過不足がある場合は挙手して監督者に知らせること。
4. 問題は全部で5問ある。問題の内訳と選択解答の方法は以下の通りである。
  - 第1問～第4問：分子生物学・生化学（2問）、細胞生物学、遺伝学の問題。
  - 第5問：生物化学・生物情報科学、動物学、植物学、人類学、進化・自然誌学分野に関する5つの小問。

**第1問～第4問から、任意の2問を選んで解答すること。**  
**また、第5問の5つの小問から、任意の1つを選択して解答すること。**
5. **第1問～第4問から選択した2問と、第5問から選択した1問の解答を、それぞれ答案用紙1枚ずつに分けて、合計3枚に記入すること。**
6. 各答案用紙の所定欄に受験番号および氏名を必ず記入すること。
7. 第1問～第4問については、各答案用紙の問題番号欄に問題番号をひとつだけ記入すること。第5問については、「5小問 X（Xは小問の問題番号）」のように記入すること。
8. 答案用紙の科目名の欄には、「専門科目」と記入すること。
9. 答案用紙の裏面も使用する場合は、表面にその旨明示すること。ただし、答案用紙は上部区切り線で綴じられるので、区切り線より上部は使用しないこと。
10. 答案用紙には、解答に関係のない文字、記号、符号などを記入してはならない。
11. 解答しない場合でも答案用紙には受験番号、氏名、および問題番号を記入して提出すること。
12. 答案用紙を草稿用紙として絶対使用しないこと。草稿用紙は問題冊子にあるが、切り離さないで用いること。また問題冊子の余白は自由に使ってよい。
13. 試験時間は2時間30分とする。原則として試験終了時間まで席を離れることは許されない。

この問題冊子は試験終了後に回収する。以下の欄に受験番号と氏名を記入すること。

受験番号		氏名	
------	--	----	--

# 草稿用紙

草稿用紙

## [第1問]

次の文1と文2を読み、以下の問1～6に答えよ。

### <文1>

真核細胞のゲノムのDNA配列には、何万種類ものタンパク質やRNA分子を作るための情報が含まれている。しかし、多細胞生物の細胞は通常、その遺伝子の一部しか発現しておらず、細胞がそれぞれ異なる遺伝子セットを発現し、これらに由来するRNAやタンパク質分子を合成・蓄積することで、互いに異なる種類の細胞になると考えられる。

これらの多様な細胞において、(a)共通の細胞機能に関わるタンパク質はどの細胞にも一定量が存在する。一方、特殊な細胞にのみ多く存在し、他の細胞では検出されないタンパク質も少なくない。ある遺伝子に由来するタンパク質の量が細胞タイプごとに違うのは、DNAからタンパク質に至る経路のさまざまなステップが制御を受けるためである。とりわけRNA転写開始はほとんどの遺伝子において最も重要な制御ステップであるが、他に(b)RNAプロセッシングやmRNA分解、翻訳なども制御を受ける。

さらに、多細胞生物の細胞のほとんどは、他の細胞からのシグナルなど、細胞外の環境変化に応じて、発現する遺伝子セットのパターンを変えることができる。例えば、肝細胞が(c)グルココルチコイドホルモンに曝露されると、いくつかの特定のタンパク質の産生が劇的に増加する。

問1. 下線部(a)について。動物の体を構成するほとんどの細胞で発現する遺伝子として、アクチン遺伝子があげられる。アクチンが形成する構造として適切なものを次の用語の中から選び、全て記せ。

核ラミナ、収縮環、接着結合、繊毛、中心体、デスモソーム、葉状仮足

問2. 下線部(b)について。このような転写後調節には、タンパク質をコードしない非翻訳RNA(noncoding RNA)も関与する。以下の(1)～(3)に答えよ。

(1) このような非翻訳RNAの例としてmiRNAがあげられる。miRNAはどのような構造的特徴をもつか。また、転写後調節においてmiRNAはどのような役割をもつことが知られているか。合わせて2行程度で述べよ。

- (2) miRNA は、元になる転写産物からどのような仕組みで成熟して機能を発揮するか。次の用語を全て用いて 3 行程度で説明せよ。

pre-miRNA、pri-miRNA、Dicer、核内、細胞質、RISC 複合体

- (3) 非翻訳 RNA の中には、転写後調節を含め、さまざまな機能を担う分子が存在する。miRNA 以外の非翻訳 RNA の名称を 2 つ記せ。

問 3. 下線部 (c) について。肝細胞において、あるタンパク質の産生量がグルココルチコイドホルモンに応答してどのように変化するかを調べたい。以下の (1) と (2) に答えよ。

- (1) 特定タンパク質の量の変化を調べるには、どのような実験を行えばよいか。3 行程度で述べよ。
- (2) 異なる試料間で特定タンパク質の量を比較するとき、細胞数や抽出効率など、試料調製の条件がほぼ一定であることを検証したい。そのためには (1) にどのような実験を追加すればよいか。2 行程度で述べよ。

問 4. 肝細胞のグルココルチコイド応答に関わる受容体 (GR) は転写因子であり、Zn フィンガー型の DNA 結合モチーフをもつ。転写因子がもつ DNA 結合モチーフとして、これ以外に知られているものを 2 つ挙げよ。

<文 2>

ヒト肝細胞由来の培養細胞 H には遺伝子 A が発現する。この細胞にステロイドの一種であるデキサメタゾン (DEX) を投与すると、グルココルチコイド受容体 (GR) が DEX と結合して活性化し、その結果、遺伝子 A の発現レベルが上昇することが知られている。大学院生の G さんは、GR による遺伝子制御を調べるため、培養細胞 H を用いて以下の実験 I を行った。但し、この実験においては、リガンドに依存しない GR の活性はないものとする。

[実験 I]

遺伝子 A の上流配列 1550 塩基対 (bp) を単離し、これをレポーター遺伝子 (Luc) に連結したレポータープラスミド #1 を構築した (図 1 の左の構造図)。培養細胞 H にこのプラスミドを導入し、Luc 発現量を測定した。培養液に DEX を加えて 10 時間培養したところ、培養細胞 H における Luc 発現量が、DEX を投与しない場合に比べて増加した。そこで次に、レポータープラスミド #1 の遺伝子 A 上流配列の一部を削った #2~#5 を用いたところ、図 1 の右のグラフのような結果になった。

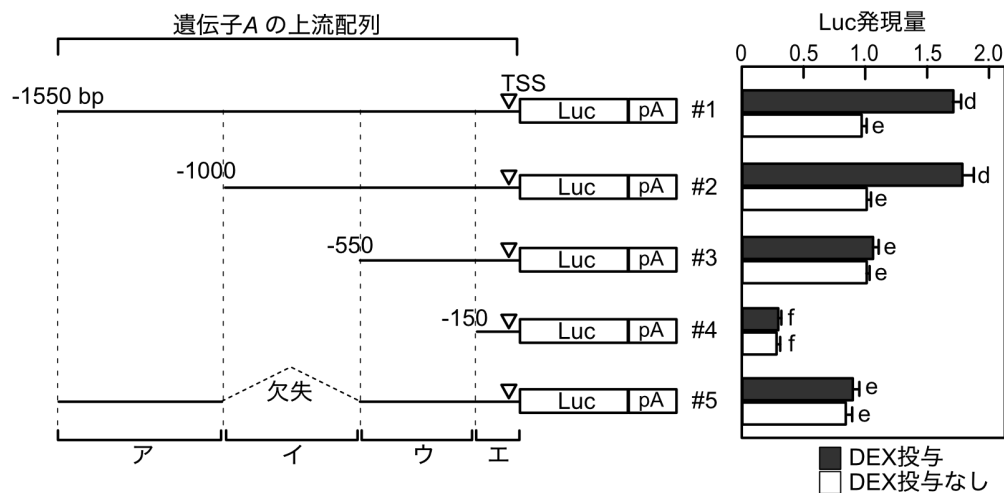


図 1. 遺伝子 A 上流配列による Luc 発現誘導と DEX 投与による効果

培養細胞 H にレポータープラスミドを導入し、DEX を投与して 10 時間後のレポーター遺伝子 Luc の発現量を測定した。Luc 発現量は、レポータープラスミド #1 を用いて「DEX 投与なし」で行った実験での発現量を 1 とし、相対値を示した。多重統計検定の結果を記号 d~f として各グラフの横に示した (異なる記号が付されたデータ間には有意差があることを表す)。TSS は転写開始点、pA はポリ A 付加配列を示す。

問 5. 実験 I について、以下の (1) ~ (5) に答えよ。

- (1) DEX 投与による発現促進に必要な領域を、図 1 のア~エから選んで記せ。
- (2) (1) で答えた領域が DEX 投与による発現促進に十分であることを検証するためには、どのような実験を行えばよいか。2 行程度で述べよ。
- (3) DEX 投与による発現促進に必要な領域を 30 bp 程度まで絞り込むためには、どのような実験を行えばよいか。2 行程度で述べよ。

- (4) (3) で絞り込んだ領域には GR が直接結合する可能性がある。この領域へ GR が直接結合し、かつその結合が配列特異的であることを検証するためには、どのような実験を行えばよいか。4 行程度で述べよ。
- (5) 別の可能性として、GR はこの領域へ直接結合せず、GR とは異なる転写因子 B がこの領域に直接結合する場合を考える。DEX 依存的な遺伝子 A の発現促進には、GR と転写因子 B がともに必要であるとして、遺伝子 A の発現は両者によりどのように制御されるか。考えられるメカニズムを 2 つ挙げ、それぞれ 2 行程度で説明せよ。

問 6. 実験 I と同様に、培養細胞 H にレポータープラスミド #1 を導入し、Luc 発現量を測定した。培養液に DEX を加える際、同時に別の化合物 C あるいは D をさまざまな濃度で添加したところ、Luc 発現量は図 2 のように濃度依存的に低下した。以下の (1) と (2) に答えよ。

- (1) この実験条件で Luc 発現量をより効果的に抑制するのは、化合物 C と D のうちどちらか。そう判断する理由とともに 1 行程度で述べよ。
- (2) G さんは化合物 C や D が GR に結合して DEX 依存的な発現誘導を抑制すると推測したが、一方、GR を介さない作用によって Luc 発現量の低下を引き起こす可能性もある。この可能性を検討するためには、どのような実験をすればよいか。2 行程度で述べよ。

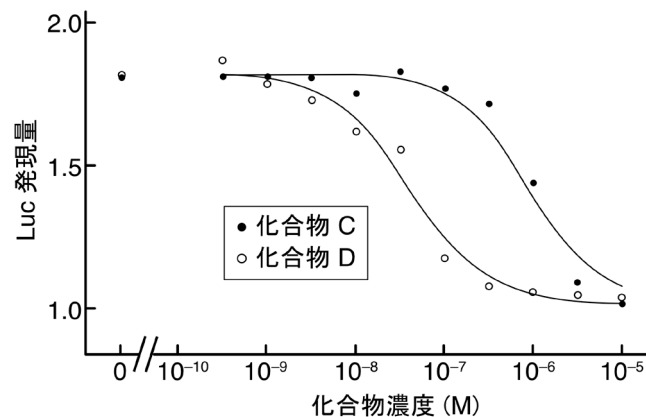


図 2. DEX 投与による Luc 発現誘導に対する化合物 C および D の効果

図 1 と同様、培養細胞 H にレポータープラスミド #1 を導入し、化合物 C または D と 10 nM DEX とを投与して 10 時間後のレポーター遺伝子 Luc の発現量を測定した。Luc 発現量は、DEX、化合物 C、D のいずれも投与しないで行った実験での発現量を 1 として、相対値を示した。

## [第2問]

次の文1～文3を読み、以下の問1～9に答えよ。

### <文1>

近年の DNA 塩基配列決定法 (DNA シーケンシング) の技術革新は、生物学の転換点となった。生化学者の  はダイデオキシリボヌクレオチド塩基配列決定法 (ダイデオキシ法) と呼ばれる技術の開発により 1980 年にノーベル賞を受賞している。この手法では、(a)配列を決定したい DNA 断片の一方の鎖を鋳型に、デオキシリボヌクレオシド三リン酸 (dNTP) とダイデオキシリボヌクレオシド三リン酸 (ddNTP) を基質に用いて、DNA 複製反応を行う。その後、反応産物を  によってサイズ別に分離する。最短の断片から最長の断片まで、各断片の末端塩基を順に並べることで、塩基配列を決定する。

- 問1.  と  のそれぞれに入る適切な人名または用語を記せ。
- 問2. 下線部 (a) について、dNTP と ddNTP ではどのような反応の違いが生じ、シーケンスを決定できるのか。3 行程度で説明せよ。
- 問3. ダイデオキシ法においては ddNTP と dNTP の混合比を慎重に設定する必要がある。その理由を 2 行程度で述べよ。

### <文2>

次世代シーケンシングは、ダイデオキシ法から発展した、ハイスループットかつ高速に DNA の塩基配列を決定できる手法である。家族性のてんかんの発症機構を解明するために、次世代シーケンシングを用いたゲノム解析による、以下の実験 I・II を行った。

#### [実験 I]

この疾患の原因遺伝子は第 8 番染色体長腕に存在することが知られていたため、次世代シーケンシングのパイロシーケンス法 (図 1) を用いて当該領域のエキソンとイントロンを含む全遺伝子の詳細な解析を行った。しかし、予想に反して (b)原因となる遺伝子変異は検出されなかった。

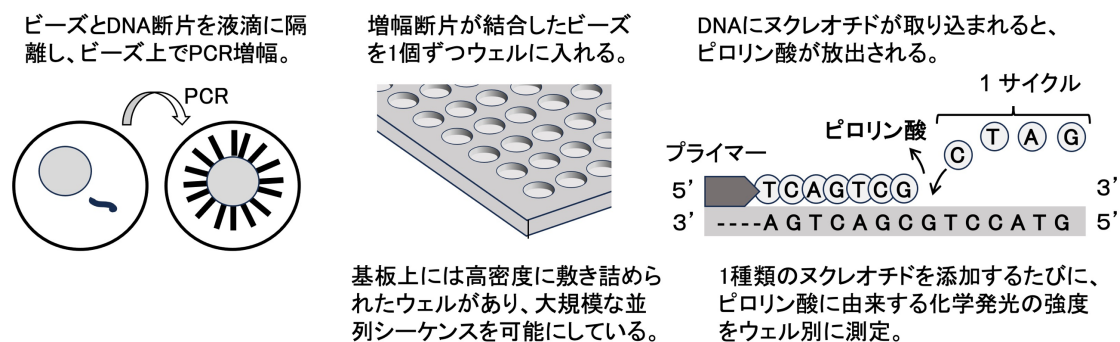


図 1. パイロシーケンス法のご概念図

パイロシーケンス法はショートリードシーケンシングの一つ。ゲノム DNA の断片化後、約 300 塩基対の断片を選抜し、断片 1 個をビーズ 1 個とともに液滴に隔離し、ビーズ上で断片の PCR 増幅を行う。その後、マルチウェル基板の各ウェルに増幅断片結合ビーズを 1 個ずつ入れる。DNA 複製反応では 4 種類のヌクレオチドを dCTP→dTTP→dATP→dGTP の順に 1 種類ずつウェルに添加し、その都度、発光を確認し、溶液を洗い流す。この一連の工程を繰り返し、DNA 塩基配列を決定する。

問 4. 次の図 2 は、パイロシーケンス法で行ったシグナル検出の例である。この場合、dATP を添加したときの発光強度が、dTTP や dGTP を添加したときに比べて 3 倍になっている。それはなぜか。2 行程度で説明せよ。

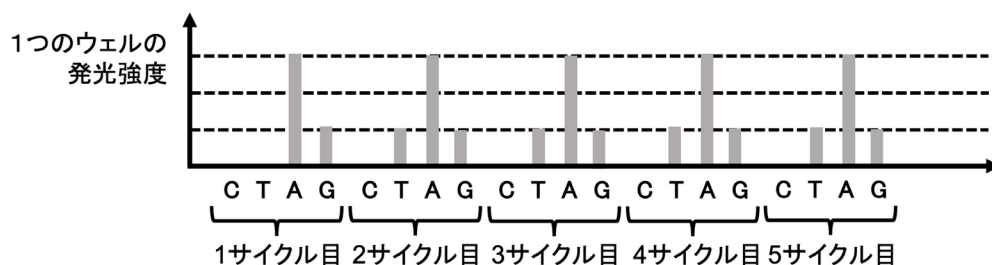


図 2. パイロシーケンス法によるシグナル検出の例

問 5. 図 2 のデータから、ここで鋳型にした DNA には同じ塩基配列パターンが繰り返されていることがわかる。その繰り返しの 1 つのユニットについて、どのような塩基配列か、データから読み取って答えよ。なお、各末端には 5'か 3'を付記し、向きがわかるようにすること。

問 6. 個々の DNA 断片をビーズとともに液滴に隔離して、ビーズ上で PCR 増幅を行う工程について。増幅の必要性和隔離の必要性和を、それぞれ 1 行程度で述べよ。

## [実験 II]

原因遺伝子存在領域の DNA の塩基配列に変異が検出されなかったため、断片化が不要でロングリードが可能なナノポアシーケンシング (注) を用いて、当該領域の塩基配列の再解析を行い、てんかん患者と非てんかん患者とで比較したところ、(c)てんかん患者では遺伝子 X のイントロン内の繰り返し配列のリピート回数が著しく増えていることがわかった。

(注) 1 本鎖 DNA を膜上のナノサイズの孔 (ポア) に通過させ、その間に各々の DNA 上の塩基がイオン電流をさえぎるパターンを取得する。そのパターンを解析し、各塩基を同定していく。この方法では DNA を断片化させる必要がなく、非常に長い DNA 鎖も塩基配列をそのまま決定することができる。

問 7. 下線部 (c) について。この塩基配列の違いは、実験 I の下線部 (b) のように、ショートリードシーケンシングでは検出できなかった。それはなぜか。その理由を 3 行程度で述べよ。

### <文 3>

実験 II の結果をふまえ、遺伝子 X が転写された後、どのような過程を経て疾患を発症するのかを調べるために (d)さらなる解析が行われた結果、てんかん患者でのみ神経細胞の核内に遺伝子 X の転写産物が凝集していたことがわかった。 また、遺伝子 X がコードしているタンパク質 (タンパク質 X) の蓄積量を非てんかん患者とてんかん患者の神経細胞で比較したところ、(e)患者の細胞ではタンパク質 X の蓄積量が減少していることもわかった。

問 8. 下線部 (d) について。一般に転写産物の細胞内局在を知るには、どのような解析が有効か。解析方法を 3 行程度で説明せよ。

問 9. 下線部 (e) について。遺伝子 X の転写産物の凝集がタンパク質 X の蓄積量を減少させるのは、どのような理由によるか。考えられる可能性の 1 つを 2 行程度で述べよ。

草稿用紙

### [第3問]

次の文1と文2を読み、以下の問1～9に答えよ。

#### <文1>

哺乳類の細胞内では、さまざまな膜構造をもつオルガネラが特定の機能を分担している。例えば、小胞体はタンパク質の折りたたみやカルシウムイオンの貯蔵を担い、ゴルジ体はタンパク質の修飾および仕分けに関与する。特にリソソームは、細胞内で高分子の消化を担うオルガネラであり、多くの加水分解酵素を含んでいる。これらの酵素の至適 pH は  程度であり、この pH はリソソーム膜に存在する  によって維持されている。リソソーム特異的に局在する酵素の選別には、翻訳後修飾の一種である  付加が重要である。また、細胞は栄養飢餓などのストレスに応答して  を誘導し、細胞自身の有機物を分解・リサイクルするが、この過程においてもリソソームが重要な役割を果たしている。

これら多彩なオルガネラ間の物質輸送は、被覆小胞によって担われており、(a)COPI、COPII、およびクラスリン被覆小胞がそれぞれ異なる輸送経路に関与している。また、これら被覆小胞の細胞内輸送には、細胞骨格も寄与しており、特に (b)微小管とモータータンパク質が被覆小胞の移動を支える基盤として機能している。

問1.  ～  に入る適切な数字または用語を、次の語群から選んで答えよ。

#### 【語群】

5、7、8、 $\text{Na}^+/\text{K}^+$ ポンプ、V型プロトンポンプ、 $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$ アンチポーター、ポリユビキチン鎖、マンノース-6-リン酸、ポリADPリボース、アミロイド変性、アポトーシス、オートファジー

問2. 下線部 (a) について。小胞体とゴルジ体間の小胞輸送のうち、COPI 被覆小胞が関与する経路と、その経路の生物学的な意義について、合わせて4行程度で説明せよ。

問 3. 下線部 (b) について。微小管上を移動して被覆小胞やオルガネラを輸送するモータータンパク質は、主に 2 種類に分類される。そのうち 1 つの名称を挙げ、そのタンパク質が微小管のどちらの方向に輸送するかを答えよ。

<文 2>

哺乳類細胞の細胞増殖は、増殖因子などの外部刺激に応答して誘導される。また、放射線照射などのストレス刺激を被った細胞では、増殖抑制などの応答が引き起こされる。これらの現象に関与する細胞内シグナル伝達機構の解析を目的として、実験 I および実験 II を行った。

[実験 I]

血清を除去した培養液中で 24 時間放置した (c)ヒト皮膚培養細胞 (ケラチノサイト) を上皮増殖因子 (EGF) で刺激した後、経時的に細胞抽出液を調製して、抗 retinoblastoma (Rb) 抗体を用いたウエスタンブロット解析を行い、Rb タンパク質を検出した (図 1A; レーン 1~3)。また、EGF 刺激を与える前に、MEK (ERK-MAP キナーゼ経路の MAP キナーゼキナーゼ) に対する特異的阻害剤 (MEK 阻害剤) を培養液中に添加して、同様の解析を実施した (図 1A; レーン 4・5)。

さらに、EGF で刺激していない細胞 (EGF 刺激時間=0 h)、および EGF で 8 時間または 16 時間刺激した細胞に、ブロモデオキシウリジン (BrdU: チミジン類似体) を投与して一定時間インキュベーションした後、細胞を固定して抗 BrdU 抗体を用いた免疫染色を行った。蛍光顕微鏡下で BrdU 陽性細胞を検出して、その割合を算出した結果、図 1B に示すグラフが得られた。

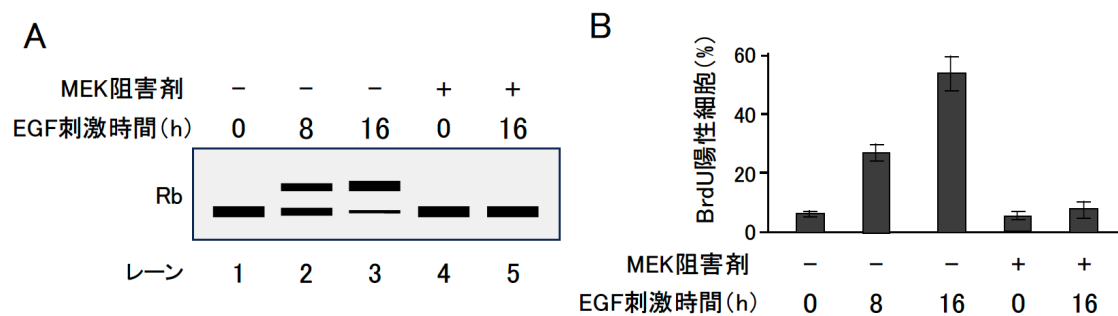


図 1. Rb タンパク質のウエスタンブロット解析 (A) および BrdU 取り込み試験結果 (B) 棒グラフ (B) のエラーバーは標準誤差 (n = 3)。

問 4. 下線部 (c) について。細胞を EGF で刺激した際に起こる細胞内シグナル伝達経路のうち、ERK の活性化に至るまでの過程について記した次の文の  オ  ～  ケ  に入る適切な語を後の語群から選んで答えよ。

EGF を受け取った受容体は  オ  し、細胞内ドメインの  カ  が自己リン酸化される。これに Grb2 の  キ  ドメインが結合し、SOS を細胞膜の近くにリクルートする。SOS は  ク  に作用して GDP を GTP に置換することで活性化し、活性化された  ク  は  ケ  を介して ERK の活性化を導く。

【語群】

メチル化、2 量体化、SUMO 化、セリン残基、チロシン残基、トレオニン残基、SH2 (Src homology 2)、FHA (Forkhead-associated)、PH (Pleckstrin-homology)、Raf、Ras、Cdc42、p53、Akt、Ran

問 5. 図 1A の結果から、EGF 刺激によって Rb タンパク質にどのような変化が生じていると考えられるか。また、それを証明するためには、どのような実験を行えば良いか、特に電気泳動法を活用した実験手法を考え、4 行程度で具体的に説明せよ。

問 6. 図 1B は BrdU 取り込み試験の結果である。BrdU 陽性となった細胞はどのような細胞か、答えよ。また、その理由を BrdU の性質に基づいて 2 行程度で説明せよ。

問 7. MEK 阻害剤を添加した場合に BrdU 陽性細胞の割合が低下しているのはなぜか。次の用語を全て用いて、4 行程度で説明せよ。

サイクリン D、CDK、Rb、E2F

[実験 II]

増殖中のヒト皮膚培養細胞に放射線 ( $\gamma$  線) を照射し、0、12、24 時間後に細胞を回収して、核 DNA を標識する蛍光色素のヨウ化プロピジウム (Propidium Iodide : PI) で染色を行った。染色した細胞の DNA 含量をフローサイトメトリーで解析した結果を図 2 に示す。

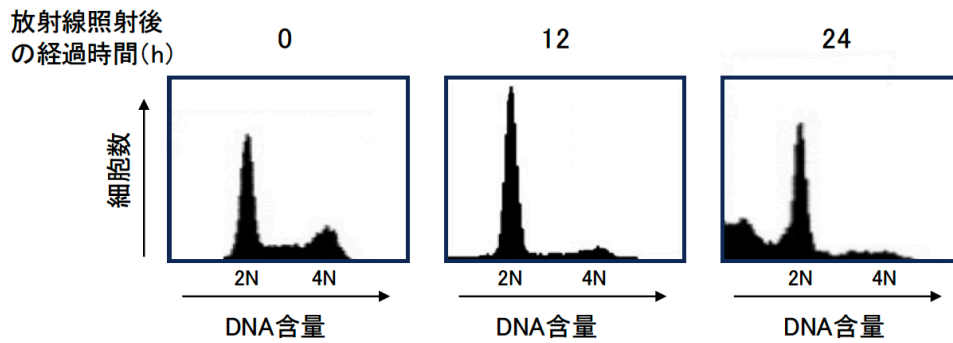


図 2. 放射線照射細胞のフローサイトメトリー解析結果

- 問 8. 図 2 の結果から、時間経過に伴い細胞集団にどのような変化が生じているかを、根拠を挙げて 3 行程度で説明せよ。
- 問 9. 放射線照射 24 時間後の細胞において、刺激依存的にミトコンドリアから放出される分子を 1 つ挙げ、その分子がミトコンドリア外に放出された際の機能を 2 行程度で簡潔に説明せよ。また、この分子の放出を検出するためにどのような実験を行えばよいか、2 行程度で述べよ。

## [第4問]

次の文1と文2を読み、以下の問1～9に答えよ。

### <文1>

哺乳類やショウジョウバエでは X-Y システムの染色体性決定システムが知られている。哺乳類においては、Y 染色体上の *SRY* 遺伝子が、精巢の発生などオスの形質に関与する。一方、(a)鳥類では Z-W システム、バッタやゴキブリなどでは X-O システムの染色体性決定がなされており、生物種間で多様性が見られる。性染色体に座乗する遺伝子は、子孫の雌雄を区別して考えたとき、通常のメンデル遺伝とは異なる振る舞いを示す。このような遺伝様式を  と呼ぶ。このような遺伝子にはヒトの疾患に関連するものも知られており、(b)血友病は X 染色体に座乗する遺伝子の潜性（劣性）変異によって引き起こされる。

一方、性染色体上にない遺伝子でも、標準的なメンデル遺伝とは異なる遺伝様式を示す場合がある。たとえば、アレル（対立遺伝子）をオス親とメス親のどちらから受け継ぐかに依存して表現型が変わることがあり、これを  と呼ぶ。常染色体上にある遺伝子 *G* において父親由来の遺伝子のみが発現することが知られているとき、*G* の機能欠損型アレル *g* をヘテロにもつ個体どうしの交配では、正常な表現型を示す子と、*g* に起因する異常な表現型を示す子が、およそ  :  の割合で現れると考えられる。

問1.  ～  に適切な用語または数字を入れよ。なお、数字は整数とすること。

問2. 下線部 (a) の Z-W システムの性決定様式と X-O システムの性決定様式について、それぞれ2行程度で説明せよ。

問 3. 下線部 (b) の血友病に関して、図 1 のような家系を考える。

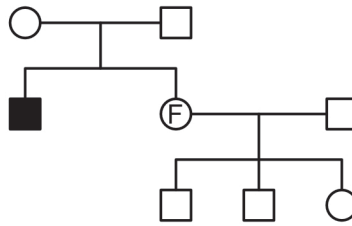


図 1. 女性 F の家系図

○は女性、□は男性を表す。白は健常者、黒は血友病発症者を表す。

このとき、血友病発症の有無は遺伝子型と完全に相関し、新規の変異の出現も考えないものとして、以下の (1) と (2) に答えよ。なお、条件付き確率の計算には下記のベイズの定理をもちいてもよい。

- (1) 女性 F が保因者である条件付き確率は何%か。
- (2) 女性 F にこれ以上子供が生まれなかった場合、今後どのようなケースが観測されれば、家系の情報のみから女性 F が保因者であることが確定するか、1 つ答えよ。

参考) ベイズの定理は以下の式で表すことができる。

$$P(B | A) = \frac{P(A | B) \cdot P(B)}{P(A | B) \cdot P(B) + P(A | \neg B) \cdot P(\neg B)}$$

$P(B | A)$ : A であるとき B の条件付き確率

$P(B)$ : B である確率

$P(\neg B)$ : B ではない確率

問 4. 哺乳類のある種では、近縁種の Y 染色体に相当する染色体が確認されず、進化の過程で Y 染色体全体が消失したと推定されるが、雌雄は他の種と同様に存在し、有性生殖は維持されている。このような状況ではどのように性が決定されているだろうか。考えられる可能性の 1 つを 3 行程度で具体的に述べよ。

<文 2>

被子植物の多くは、1つの花の中に雌ずいと雄ずい両方をもつ両性花をつけるが、進化の過程で、雌ずいだけを持つ雌花や、雄ずいだけをもつ雄花のような単性花が複数回生じてきた。さらに単性花をもつ植物の中には、個体ごとに性が決まり、各個体が雌花あるいは雄花のみをつける、雌雄異株の種が存在する。ある雌雄異株の被子植物 P の性が、どのように決定されているのかを調べるため以下の実験を行った。なお、核型の研究から、P が X-Y システムの染色体性決定様式であることはわかっている。

[実験 I]

植物 P には完全なゲノム情報が存在しなかったため、ゲノム解析を行った。まず、P のメス株 1 個体とオス株 1 個体を交配し、その子株を多数得た。子株からメスとオスをそれぞれ 20 個体ずつ選び、ショットガンゲノムシーケンスによって、図 2 を得た。図 2 では、任意の連続した 35 塩基長 (35-mer) 配列が、メス個体のゲノムとオス個体のゲノムから、それぞれ何回ずつ検出されたかがプロットされている。

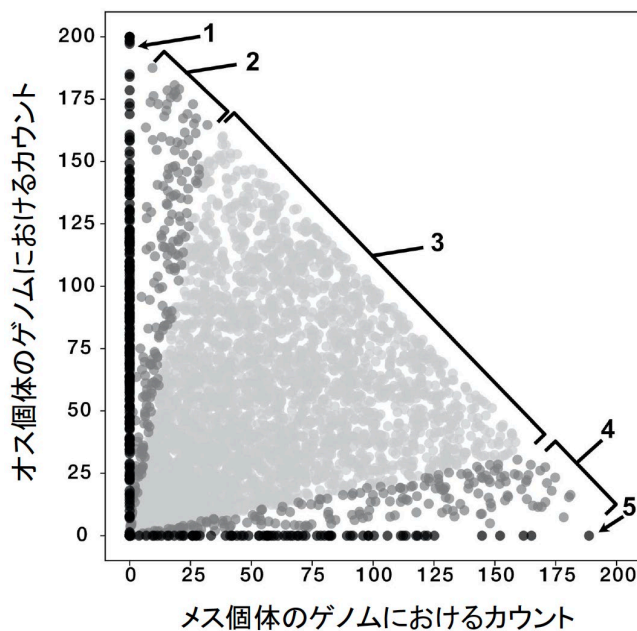


図 2. 35-mer 配列のメス個体のゲノムとオス個体のゲノムにおける検出回数

1つの点はある 1 種類の 35-mer 配列を表す。メス個体とオス個体の総カウント数が 200 を超えるものは除かれている。点は雌雄のカウントの割合に応じて、ある基準で 5 つに区分けしてある。

[実験 II]

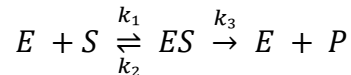
植物 P のゲノム解析を進めた結果、オスのゲノムにのみ存在する遺伝子  $M$  を発見した。遺伝子  $M$  の発現を調べたところ、雄花での発現が認められた。遺伝子  $M$  の機能解析の結果、 $M$  の産物は、雌雄どちらのゲノムにも存在する別の遺伝子  $N$  の発現を抑える働きがあることがわかり、実際に  $N$  の産物は雌花でのみ検出された。

- 問 5. 植物において、雌雄異株であることにはどのような適応的な意義があると考えられるか、2 行程度で述べよ。
- 問 6. 実験 I では、親のメス個体、オス個体ではなく、それらを交配して得られた子のメスとオスについてゲノムシーケンスを行った。どうしてか。その意図を考察し、4 行程度で説明せよ。
- 問 7. 実験 I の結果をもとにオスの性決定に関わる染色体領域を特定したい。図 2 において、特に着目して解析すべき区画は 1~5 のうちどれか、1 つ答えよ。また、その理由も 2 行程度で答えよ。
- 問 8. 実験 II の結果から、遺伝子  $N$  はどのような役割のある遺伝子と考えられるか。選択肢 (ア) ~ (エ) より適当な仮説を全て選んで答えよ。
- (ア) 遺伝子  $N$  は雌ずいの発生に必要である。
  - (イ) 遺伝子  $N$  は雄ずいの発生に必要である。
  - (ウ) 遺伝子  $N$  は雌ずいの発生を抑制する。
  - (エ) 遺伝子  $N$  は雄ずいの発生を抑制する。
- 問 9. 問 8 で選んだ仮説を検証するための実験を考え、5 行程度で述べよ。どのような実験結果が得られれば、どのように仮説が検証できるかについても記述すること。

[第5問]

【小問1】(生物化学・生物情報科学分野)

生体内の反応は、自発的には進みにくい反応を、酵素を用いて促進する。一般に酵素反応は、以下の化学反応式にしたがうとされている。



ここで、 $[E]$ 、 $[S]$ 、 $[ES]$ 、 $[P]$  は、それぞれ酵素  $E$ 、基質  $S$ 、酵素基質複合体  $ES$ 、生成物  $P$  の濃度をあらわす。 $k_1$ 、 $k_2$ 、 $k_3$  はそれぞれの反応の速度定数をあらわす。以下の(1)～(4)に答えよ。

- (1) 上記の酵素反応の化学反応式について。 $[ES]$  の時間変化率  $\frac{d[ES]}{dt}$  を  $[E]$ 、 $[S]$ 、 $[ES]$  を用いてあらわせ。
- (2) 生成物  $[P]$  の時間変化率  $\frac{d[P]}{dt}$ 、すなわち反応速度  $v$  を  $[ES]$  を用いてあらわせ。
- (3) 開始時刻  $t = 0$  で  $E$  と  $S$  を加えて反応を開始させると、 $[ES]$  が上昇して最大値に達したのち減少に転じる。 $[ES]$  が最大値に達するときの状態は  $\frac{d[ES]}{dt} = 0$  となるため、疑似定常状態と呼ばれる。疑似定常状態における反応速度  $v$  は以下の式で与えられることを導け。

$$v = k_3 \frac{[E_0][S]}{K_m + [S]}$$

ただし、 $[E_0] = [E] + [ES]$ 、 $K_m = \frac{k_2 + k_3}{k_1}$  とする。

- (4) ヒトの肝臓と骨格筋では、細胞内に取り込まれたグルコースはグルコース-6-リン酸に変換されてから利用される。肝臓では、この変換反応を触媒する酵素はグルコキナーゼであり、グルコースに対する  $K_m$  値は 7 mM である。骨格筋での酵素はヘキソキナーゼであり、グルコースに対する  $K_m$  値は 0.1 mM である。細胞内のグルコースはどちらの臓器においても生理的には 5 mM から 10 mM の間で変動するとする。グルコース濃度と  $K_m$  値の比較から、各臓器におけるグルコース利用の特徴をそれぞれ 2 行程度で述べよ。

【小問2】（動物学分野）

次の文を読み、以下の（1）～（4）に答えよ。

有性生殖を行う哺乳類では、オスの (a)配偶子である精子は、オスの  である精巣の中にある  でつくられる。その後、精子は  へ移動し運動能を獲得する。 能を獲得するためには、メスの生殖系の化学的環境による刺激が必要である。(b)雌性配偶子である卵はメスの  の中で成長し、ホルモン刺激により排卵され  能をもつ成熟した卵になる。(c)成熟した雌雄の配偶子が融合し  が形成されることで、動物の個体発生が始まる。この過程は  と呼ばれ、精子が卵に結合し侵入することから開始し、それぞれに由来する核が融合することで完了する。

- (1)  ～  に入る適切な語をそれぞれ記せ。同じカタカナの空欄には同じ語が入る。
- (2) 下線部 (a) について。配偶子は減数分裂とよばれる特殊な細胞分裂によりつくられる。その特徴は、減数第一分裂における相同染色体の整列と分離である。相同染色体がどのように整列するかを次の用語をすべて用いて3行程度で説明せよ。

キアズマ、姉妹染色分体、コヒーシン、動原体、微小管

- (3) 下線部 (b) について。多くの動物において、雌性配偶子形成時に、減数分裂過程で2回細胞周期を停止する。ヒトの雌性配偶子形成の場合、2回の細胞周期停止は減数分裂のどの時期に起こるか、またそれらの停止の解除が、雌性生殖系のどの部位で起こるかをそれぞれ答えよ。
- (4) 下線部 (c) について。棘皮動物のウニでは、複数の精子が卵内に侵入すること（多精）を防ぐための機構として、「早い多精拒否」機構と「遅い多精拒否」機構が知られている。これら2つの機構を次の用語をすべて用いて合わせて3行程度で説明せよ。

Ca<sup>2+</sup>、Na<sup>+</sup>、脱分極、小胞体、表層顆粒

【小問3】(植物学分野)

次の文を読み、以下の(1)～(6)に答えよ。

形態学的に被子植物の体の基本構成(ボディプラン)は2つに大別できる。すなわち  と  である。一見それに見えない部位も、基本的にはこの2つに分類できる。例えば花は多くの花器官とそれを貫く軸からなる集合体であるが、 の特殊型として捉えられる。

- (1)  と  に入る適切な語をそれぞれ記せ。同じカタカナの空欄には同じ語が入る。
- (2)  を構成する2基本要素を記せ。
- (3) シロイヌナズナの雌ずいは上記2基本要素のうちどちらの器官に相同か。また雌ずい1本はその器官いくつに相当するか。それぞれ答えよ。
- (4) 上の問いについて、エンドウの場合は、雌ずい1本が相同器官いくつに相当するか答えよ。
- (5)  と  を形作るのは、それぞれの先端部にある頂端分裂組織である。これら頂端分裂組織は互いによく似てはいるが、形態学的に大きな違いを持つ。その違いのうち2つについて、それぞれ1行程度で説明せよ。
- (6)  の頂端分裂組織には、その永続的な活動を支える幹細胞が存在し、その量が大きく変動しないよう、フィードバック系を中心とした遺伝子ネットワークで制御されている。その仕組みについて、4行程度で答えよ。

【小問 4】（人類学分野）

人類の進化について、以下の (1) ~ (4) に答えよ。

- (1) 以下の化石人類を年代が古い順に並べ直し、その順番を記号で答えよ。
  - a アウストラロピテクス・アファレンシス (*Australopithecus afarensis*)
  - b アルディピテクス・ラミドゥス (*Ardipithecus ramidus*)
  - c パラントロプス・ボイゼイ (*Paranthropus boisei*)
  - d サヘラントロプス・チャデンシス (*Sahelanthropus tchadensis*)
  - e オロリン・ツゲネンシス (*Orrorin tugenensis*)
- (2) 現生人類（ホモ・サピエンス）の進化を説明する仮説として、「多地域進化説」と「アフリカ単一起源説」がある。各仮説についてそれぞれ 2 行程度で説明せよ。さらにどちらの仮説が現在支持されているか、その理由とともに 3 行程度で説明せよ。
- (3) ヒトでは、顕著な利他行動が見られる。利他行動の進化を説明する理論である「血縁選択」と「互惠的利他行動」について、両者の違いがわかるようにそれぞれ 3 行程度で説明せよ。
- (4) ネアンデルタール人のゲノム配列と現生人類の多型サイトの比較によって、現生人類のゲノムにはネアンデルタール人由来のゲノム断片が含まれており、両者の間で交雑があったことが示されている。なぜ、これが単に共通祖先から受け継いだゲノム断片ではなく、交雑によるものだと判断できるのか、5 行程度で説明せよ。

【小問 5】（進化・自然誌学分野）

次の文を読み、以下の（1）～（4）に答えよ。

マルハナバチには、同所的に生息する種間で体の色彩パターンが類似している例が世界各地で知られている。マルハナバチのメスは毒針をもつため、鳥類による捕食を受けにくい。オスは毒針をもたず、無毒である。捕食者である鳥類は学習により有毒なメスを避ける傾向があるとされている。

ある地域に生息する種 A と種 B の 2 種のマルハナバチは、メス同士が種間で互いによく似た色彩パターンをもつ。また、種 A のオスも、種 A や種 B のメスとよく似た色彩パターンをもつが、種 B のオスの色彩パターンはこれらとは大きく異なる。なお、この地域には捕食者となる鳥類が生息している。

- （1） 生物の体色には、捕食を避けるのに適応的なものがある。そのような体色である警告色と隠蔽色はそれぞれどのような体色であるか。両者の機能の違いに着目して、合わせて 3 行程度で説明せよ。
- （2） 種 A と種 B のメス同士、および種 A のメスとオスの関係は、ベイツ型擬態とミュラー型擬態のどちらであるか。ベイツ型擬態とミュラー型擬態の定義とともに、合わせて 5 行程度で説明せよ。
- （3） メスとオスの色彩パターンが種 A では似ており、種 B では似ていなかったことには種間のどのような生態の違いが関係していると考えられるか。考えられる理由を 2 通り、合わせて 5 行程度で説明せよ。

草稿用紙