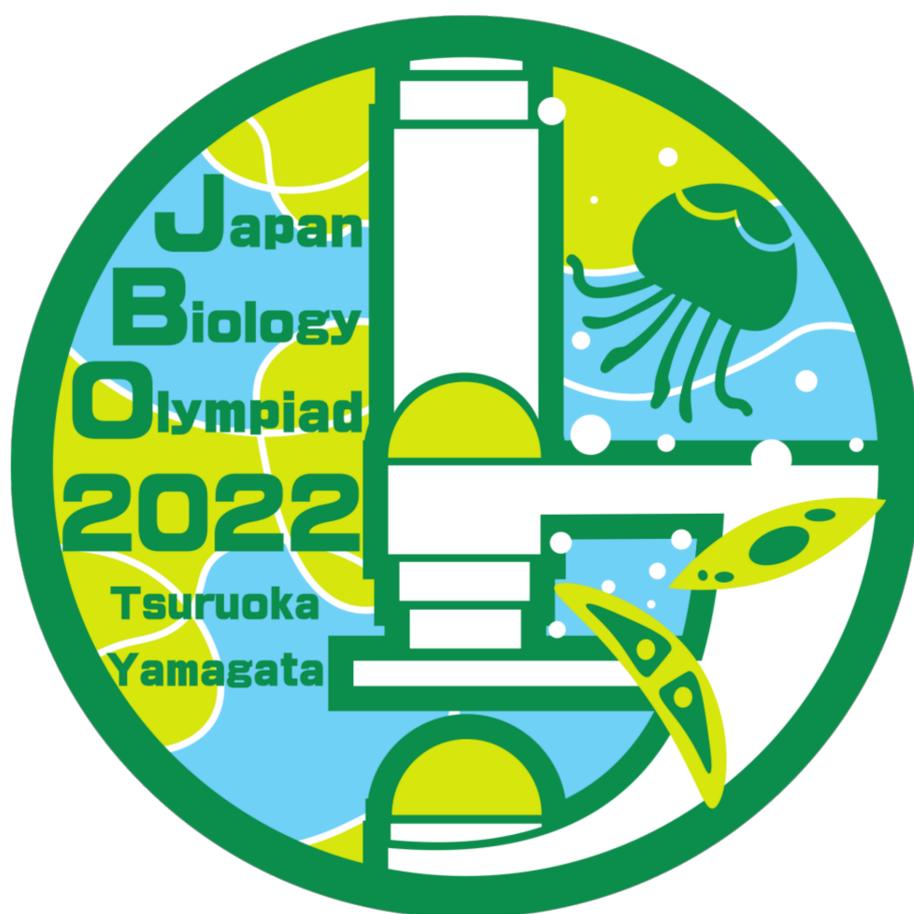


日本生物学オリンピック本選2022

鶴岡大会（山形）



理論試験

## 諸注意

1. 試験中に緊急事態が発生した場合には、試験監督の指示に従ってください。
2. 以下のことを守らない場合は、不正行為となることがあります。不正行為と認められた場合、その時点で失格とし、試験終了まで自席で待機してもらいます。
  - (a) いつでも受験者本人の確認ができるよう、名札は首にかけるか、机の上に置いてください。
  - (b) 電子機器類の扱いについて、試験監督の指示に従ってください。具体的には以下のように対応して頂きます。
    - (i) まず、スマートフォン、携帯電話、その他通信可能な機器をすべて机の上に出してください。そしてそれらの電源を切ってください。マナーモードに設定していても、必ず電源を切ってください。これらの機器を試験中に使用することはできません。
    - (ii) 次に、電源を切ったスマートフォン、携帯電話、その他通信可能な機器を、かばんなどにしまってください。
    - (iii) かばんの中でスマートフォン、携帯電話が鳴った場合は、試験監督は本人の了解を得ずにかばんを預かります。
    - (iv) 腕時計のアラームを設定している人は解除してください。
  - (c) 机の上に置けるものは、鉛筆かシャープペンシル、消しゴム、鉛筆削り、時計、眼鏡、ポケットティッシュ、名札、配布された飲料です。これ以外のものはかばんにしまい、机や椅子の足元に置いてください。通路を邪魔することの無いようご注意ください。
3. これから試験が終わるまで、試験室を出てはいけません。途中で気分が悪くなった人や、トイレに行きたくなった人は手を高く挙げて試験監督に知らせてください。
4. 試験中の水分補給は各自の裁量に委ねます。その都度の試験監督の許可は必要としませんが、周囲の迷惑にならないようご注意ください。
5. 貴重品の管理は、各自で行ってください。
6. 各問題について、解答用紙の該当する解答欄に正しくマークしてください。正しくマークされていない場合は、事故答案となって採点できないことがあります。
7. 問題冊子に印刷の不鮮明なページや乱丁・落丁があったり、解答用紙に汚れなどがあった場合には、手を高く挙げて試験監督に知らせてください。
8. 問題冊子の余白をメモ用紙や計算用紙として利用して構いませんが、ページは切り離さずに使用してください。
9. 問題内容に関する質問は受け付けません。試験進行に関する質問があれば、手を高く挙げて試験監督に知らせてください。
10. 試験終了後、問題冊子は持ち帰ってください。
11. この諸注意に書かれていない事象が生じた場合、すべて試験監督が判断を下します。
12. この試験では、同一の解答欄に複数の選択肢をマークする場合があります。問題ごとの指示に従い、注意して解答してください。

# The IBO Oath

国際生物学オリンピック（国際大会）では、開会式の際に、選手全員で以下の英文を読み上げ、宣誓します。

We, competitors of this International Biology Olympiad solemnly swear that we will answer the theoretical and practical competition questions in the most responsible way and we will compete honestly according to the principles of "Fair Play".

それに従い、この試験を受ける皆さんは、以下の文章を黙読し、心の中で宣誓を行ってください。

## 宣誓

我々は日本生物学オリンピック本選 2022 鶴岡大会 (山形) 理論試験において、フェアプレーの精神に則り、誠実かつ正々堂々と試験に臨むことを誓います。

# 次のページから 問題が始まります

試験時間は 90 分です。

この試験の問題数は 13 問で、解答欄の数は 73 個です。  
また、満点は 107 点です。

この試験では、同一の解答欄に複数の選択肢を  
マークする場合があります。  
問題ごとの指示に従い、注意して解答してください。

# 第1問

(7点)

ヒト細胞内で機能するさまざまな有機化合物の化学的構造や物性、機能に関する(ア)から(キ)の記述について、当てはまる有機化合物(1)-(9)の番号をマークしなさい。当てはまる化合物が複数存在するときはそのすべての番号をマークし、当てはまる化合物がない場合は(0)をマークしなさい。なお、図1-1は有機化合物(1)-(9)のいずれかの構造式である。

- (ア) 推定される分子量が最も大きい 解答欄は
- (イ) 含有炭素数が最も少ない 解答欄は
- (ウ) 炭素、酸素、水素、窒素以外の元素が含まれる 解答欄は
- (エ) 細胞膜のリン脂質成分に含まれる 解答欄は
- (オ) 細胞内では生育に必要な量が合成されない 解答欄は
- (カ) DNA鎖の構成成分である 解答欄は
- (キ) RNA鎖の構成成分である 解答欄は

- (1) リボース      (2) スクロース      (3) ホスファチジルコリン      (4) コレステロール      (5) リノール酸  
 (6) メチオニン      (7) グリシン      (8) ウリジル酸      (9) アデノシン三リン酸

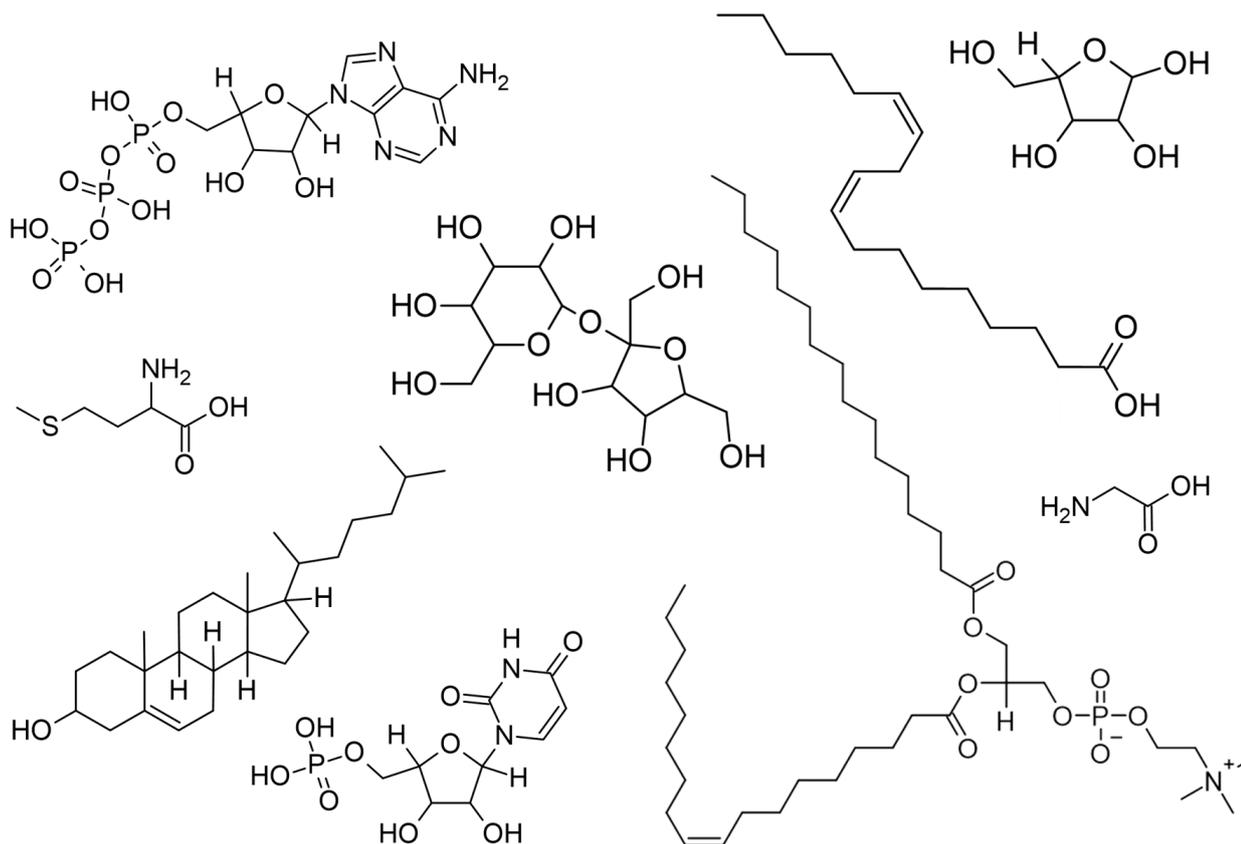


図 1-1. 有機化合物 (1)-(9) の構造式

## 第2問

(7点)

ヒトの末梢血に含まれるリンパ球細胞（末梢血リンパ球細胞）は、ほとんど細胞分裂をおこさない。一方で、ヒトリンパ腫（血液がんのひとつ）細胞では、リンパ球ががん化しており、細胞分裂を繰り返す。

細胞周期の特定の時点でのデータを取るために、一定量の細胞を回収し、エタノールで固定したのちに、DNA に結合する蛍光化学物質で処理し、次に個々の細胞の蛍光強度を記録する機器であるフローサイトメーターに通した。解析の結果を図2-1 のヒストグラム A から C に示す。横軸は蛍光強度すなわち DNA の相対量を表し、縦軸はその蛍光強度にカウントされた細胞数をヒストグラムで表している。

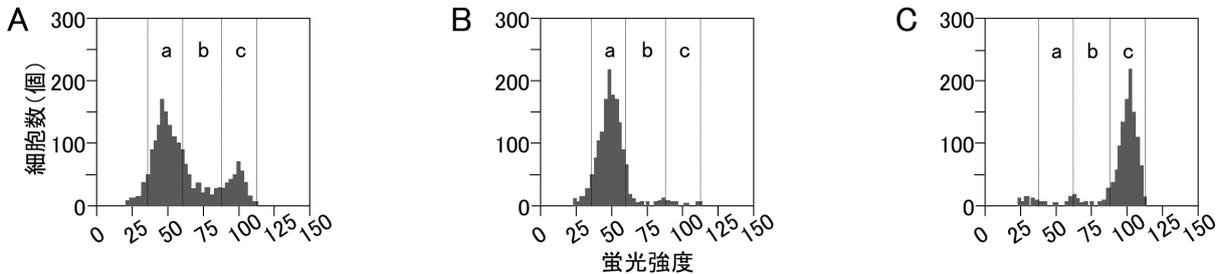


図 2-1. フローサイトメーターによる解析結果. すべてのグラフにおいて、横軸は蛍光強度、縦軸は細胞数を表す。

### 問 1

図 2-1 で縦線で区切った各領域 (a、b、c) に含まれる細胞集団はそれぞれ細胞周期のどの時期にあたるか、選択肢 (1)–(3) からひとつずつ選び、選んだ選択肢の番号を解答欄にマークしなさい。また末梢血リンパ球細胞とヒトリンパ腫細胞を測定した結果として適切なものはそれぞれ図 2-1 A から C のどれか、選択肢 (4)–(6) からひとつずつ選び、選んだ選択肢の番号を解答欄にマークしなさい。領域 a の解答欄は 、領域 b の解答欄は 、領域 c の解答欄は 、末梢血リンパ球細胞の解答欄は 、ヒトリンパ腫細胞の解答欄は

(1) G<sub>1</sub> 期 (2) S 期 (3) G<sub>2</sub>/M 期 (4) A (5) B (6) C

### 問 2

次に、抗がん剤として使用されている薬剤 A から D をヒトリンパ腫細胞を培養している液体培地に加えて、薬剤の効果が現れるまでの適切な時間、それぞれ培養した。細胞を回収する 1 時間前から『dTTP の類似物質であり、DNA 合成時に塩基として取り込まれる蛍光化学物質 X』を培地に加えておき、細胞回収後、DNA に結合する蛍光化学物質 Y で細胞を処理した。蛍光化学物質 X と蛍光化学物質 Y の検出波長は互いに異なるため、DNA の相対量と蛍光化学物質 X の相対的取り込み量はフローサイトメーターで区別できる。図 2-2 に、薬剤処理をしていない結果と薬剤処理をした結果 (a から d) を示す。横軸は蛍光化学物質 Y の蛍光強度を表し、縦軸は蛍光化学物質 X の蛍光強度を表している。なお、蛍光化学物質 X が DNA の複製を阻害することは無い。

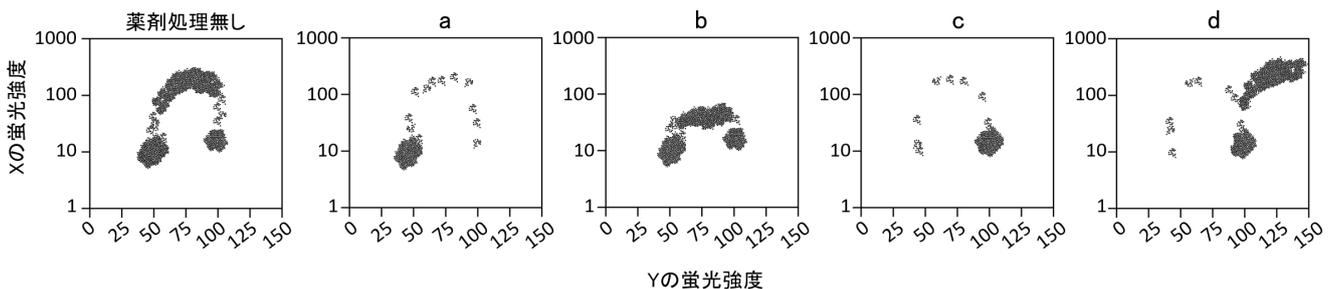


図 2-2. フローサイトメーターによる解析結果. すべてのグラフにおいて、横軸は蛍光化学物質 Y の蛍光強度、縦軸は蛍光化学物質 X の蛍光強度を表す。各条件で数千個の細胞を計測しており、各細胞の結果はドット（小さい点）で表示されている。

下に示す薬剤 A から D の作用機序から考えて、図 2-2 の a から d の結果をもたらしたと考えられる薬剤はどれか。それぞれ選択肢 (1)–(4) から正しいと考えられるものをひとつずつ選び、選んだ選択肢の番号を解答欄にマークしなさい。なお、使用した細胞では投与した薬剤が作用機序通りに作用するものとする。結果 a の解答欄は 、結果 b の解答欄は 、結果 c の解答欄は 、結果 d の解答欄は

- (1) 薬剤 A : G<sub>1</sub> 期チェックポイントでの進行シグナルとして重要なサイクリンの阻害剤
- (2) 薬剤 B : 複製に伴って DNA を損傷させて S 期チェックポイントを活性化する薬剤
- (3) 薬剤 C : 微小管の脱重合を妨げて、紡錘体を固定する薬剤
- (4) 薬剤 D : DNA 合成の後、細胞分裂を経ずに DNA 合成を起こす薬剤

### 第3問

(10点)

一般的な PCR で設定する三段階の反応温度において、十分高い温度でもアニーリングが起こるプライマーであれば、アニーリングと伸長反応の温度を一致させることで温度設定を二段階に減らすことができる。

また一方で、PCR で最適なアニーリング温度を設定するには、鋳型 DNA とプライマー同士が等しく解離と会合の平衡状態となる温度が基準となっている。つまり、二本鎖 DNA が完全に変性する温度を経ずとも、理論的にはアニーリングが起こるような温度で鋳型 DNA の二重らせん構造が解離と会合の平衡状態となり、そこで片方の DNA 鎖とすり替わるような形で鋳型 DNA とプライマーのアニーリングが起こりうる。

これらのことを踏まえると、人工的な DNA 増幅反応において DNA 熱変性の段階さえ減らし、全体の温度設定を一段階のみに固定出来る可能性が生じる。ただし、DNA ポリメラーゼが図 3-1 (A) に示すような性質のときには、仮にプライマーが鋳型 DNA に結合しても、その先に DNA 伸長反応を妨げる鎖が既に結合している状態では、DNA 伸長反応が進まない（つまり、PCR における DNA 熱変性の段階のように、DNA が明らかに一本鎖となる段階を経ないと DNA 伸長反応が進まない）。一方で 3-1 (B) の性質の DNA ポリメラーゼでは、既に存在する DNA 鎖を解離させながら DNA 伸長反応が続ける。この図 3-1 (B) のような性質の DNA ポリメラーゼを鎖置換型 DNA ポリメラーゼと呼ぶが、一般的な PCR で用いられる DNA ポリメラーゼのほとんどは図 3-1 (A) の性質のものである。

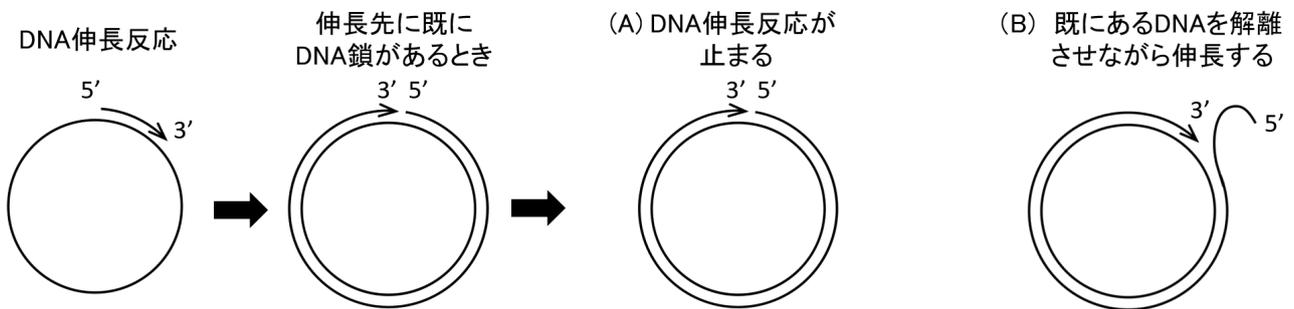


図 3-1. 2 種類の DNA ポリメラーゼ. (A) 伸長先に既に DNA 鎖があるとき、DNA 伸長反応が止まる性質の DNA ポリメラーゼ. (B) 伸長先に既に存在する DNA 鎖を解離させながら伸長反応が進む性質の DNA ポリメラーゼ.

図は[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rolling\\_circle.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rolling_circle.svg)を改変

またプライマーの配列によっては、鋳型 DNA とプライマーが図 3-2 のように部分的にアニーリングを起こす状態も起こりうる。

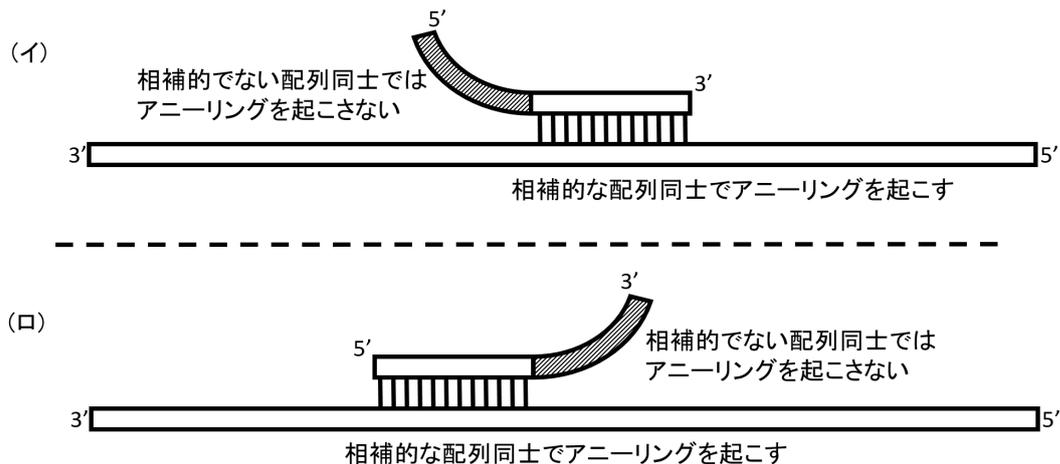


図 3-2. プライマーと鋳型 DNA の会合の例. この図のように、鋳型 DNA に対してプライマーのすべての配列がアニーリングせず、部分的にアニーリングすることも起こりうる。

**問 1**

反応溶液内で図 3-2 (イ) のような部分的なアニーリングが生じた際、ここを起点に DNA 伸長反応が起こるかどうか判断し、解答として最も適切な選択肢の番号を解答欄にマークしなさい。同様に図 3-2 (ロ) のような部分的なアニーリングが生じたさい、ここを起点に DNA 伸長反応が起こるかどうか判断し、解答として最も適切な選択肢の番号を解答欄にマークしなさい。同じ記号を何度用いても良い。ただし、反応溶液には一般的な DNA 伸長反応に必要な条件が全て揃っているものとし、反応溶液内の DNA ポリメラーゼにはエキソヌクレアーゼ活性が無いものとする。(イ) の解答欄は 、(ロ) の解答欄は

- (1) 伸長反応が起こる      (2) 伸長反応が起こらない

**問 2**

ここで図 3-3 A に示した鋳型 DNA と図 3-3 B に示した 4 種類のプライマーを同じ試験管に加え、さらに図 3-1 (B) のような鎖置換型 DNA ポリメラーゼを加えたのちに 65 °C で 5 分保温したところ、何段階かのアニーリングと伸長反応を経て図 3-3 C のような構造の一本鎖 DNA が生成していた。

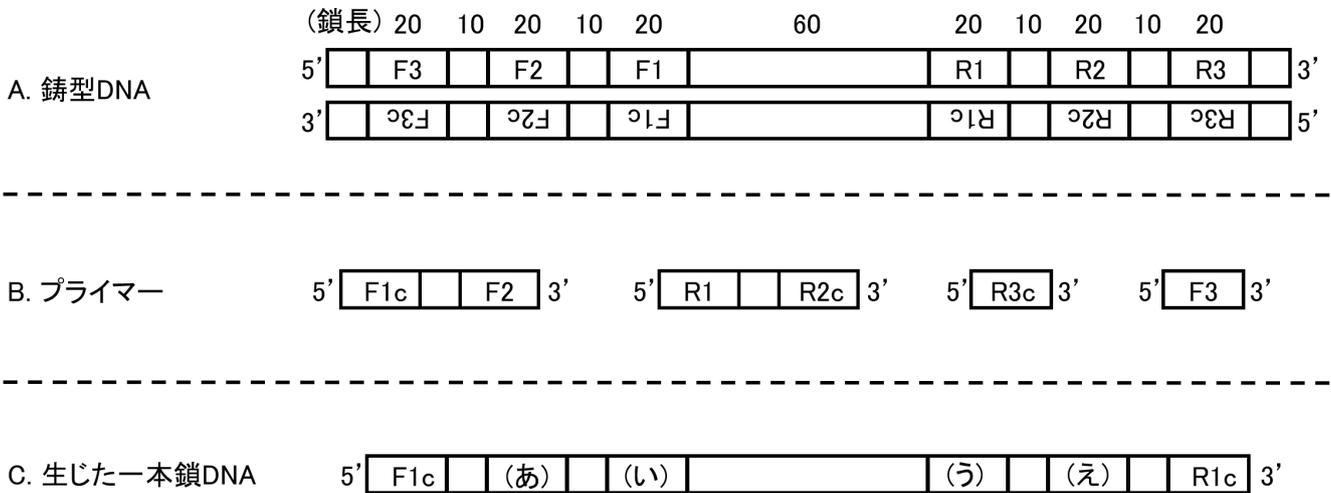


図 3-3. 今回の実験に用いた鋳型 DNA、プライマーおよび、生成した一本鎖 DNA の模式図。A の鋳型 DNA は二本鎖を表しているが、B のプライマーと C の生成物は一本鎖である。なお、A の鋳型 DNA の模式図より自明であるが、例えば F1 と F1c は互いに相補的な配列の関係になっている。他の配列も同様である。

生成した一本鎖 DNA に関して、図 3-3 C の (あ) から (え) にあてはまる配列を以下の選択肢から選び、選んだ選択肢の番号を解答欄にマークしなさい。選択肢が (12) であれば、(1) と (2) の両方の番号を同一解答欄にマークしなさい。同じ選択肢を何度用いても良い。(あ) の解答欄は 、(い) の解答欄は 、(う) の解答欄は 、(え) の解答欄は

- |         |         |         |          |          |          |
|---------|---------|---------|----------|----------|----------|
| (12) F1 | (13) F2 | (14) F3 | (15) F1c | (16) F2c | (17) F3c |
| (18) R1 | (19) R2 | (23) R3 | (24) R1c | (25) R2c | (26) R3c |

**問 3**

問 2 の一本鎖 DNA が生じてから更にそのまま 65 °C で反応チューブを 50 分放置し、その後、酵素を失活させてから反応チューブ内の溶液をアガロースゲル電気泳動に供した。この電気泳動結果で想定されるバンドパターンを解答欄に記入しなさい。解答欄は別紙

## 第4問

(8点)

生物集団において、無作為抽出の効果によって対立遺伝子頻度が世代を経て変化していくことを遺伝的浮動と呼ぶ。とくに、ごく少数の個体から新しい集団が形成されるときに、遺伝的浮動により遺伝子頻度が元の集団から大きく変化することがあり、これを創始者効果と呼ぶ。

近年のゲノム科学の飛躍的進展から、ヒト集団における遺伝的多様性と地理的分布との関係について、ふたつの重要な知見が明らかになってきた。1点目は、アフリカからの距離が遠い集団ほど遺伝的多様性が低いということである。2点目は、アフリカからの距離が遠い集団ほど、有害な突然変異を多く蓄積しているということである。これらの傾向は、ヒト集団の移住の過程で生じる遺伝的浮動と自然選択の影響を反映していると考えられる。この点を踏まえ、以下の問1・問2に答えなさい。

### 問1

遺伝的多様性と遺伝的浮動に関する以下の文(1)-(6)について、正しいものをすべて選び、選んだ選択肢の番号をすべて解答欄にマークしなさい。なお、すべての記述が正しいと判断した場合は(9)だけをマークし、正しい記述が無いと判断した場合は(0)だけをマークしなさい。解答欄は

- (1) 一般に、遺伝的浮動は集団内の遺伝的多様性を増加させる
- (2) 様々な集団からの移入により、アフリカ集団の遺伝的多様性が高まった
- (3) ヒトはアフリカから世界中に拡散し、その過程で繰り返し創始者効果が起きてきた
- (4) アフリカからの距離が遠い集団ほど、ヘテロ接合個体の頻度は減少する
- (5) ヘテロ接合・ホモ接合の頻度と遺伝的多様性は関係がない
- (6) 近縁種であるチンパンジーを基準と考えたときの祖先型対立遺伝子の頻度は、アフリカ集団よりもアジア集団の方が高い

### 問2

自然選択と遺伝的浮動に関する以下の文(1)-(6)について、正しいものをすべて選び、選んだ選択肢の番号をすべて解答欄にマークしなさい。なお、すべての記述が正しいと判断した場合は(9)だけをマークし、正しい記述が無いと判断した場合は(0)だけをマークしなさい。解答欄は

- (1) 大集団より小集団のほうが、自然選択が有効に働くことで有害な突然変異が除去されやすい
- (2) 削除
- (3) 様々な集団との移入・移出により、アフリカ集団では有害な突然変異が蓄積しにくかった
- (4) アフリカからの距離が遠い集団ほど有害な突然変異を多く蓄積しているのは、小集団では自然選択が有効に働かないのが理由である
- (5) アフリカから距離の遠い集団ほど有害な突然変異をホモ接合でもち、効果がより現れやすいと考えられる
- (6) ハーディー・ワインベルグ平衡は、突然変異が十分に供給されることを仮定しているため、創始者効果が起きるような集団には適用できない

# 第5問

(8点)

あるタンパク質をさまざまな生物種間で比較し、種間におけるアミノ酸の置換数と、化石の出土年代から推定した種の分岐年代をプロットすると、それらがおおよそ直線上に乗ることが分かっており、これは分子時計と呼ばれている。この分子時計に関する以下の問いに答えよ。

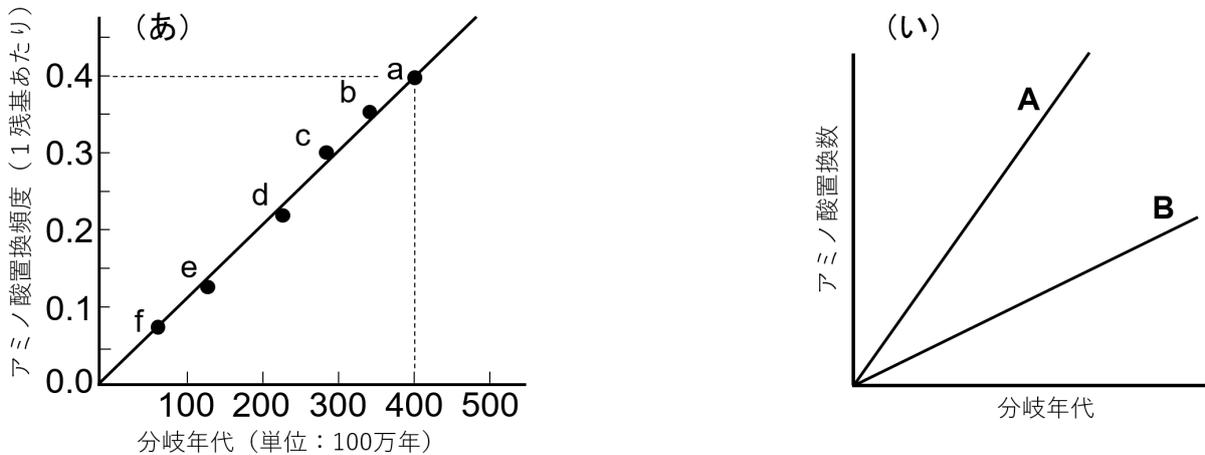


図 5-1. (あ) 横軸は化石記録から推定した 2 種の分岐年代. 縦軸はタンパク質の種間のアミノ酸置換頻度 (1 残基あたり). a は化石の出土年代から推定したメダカとヒトの分岐年代と、アミノ酸置換頻度 (1 残基あたり) のプロット. (い) あるタンパク質 A、B に関して、それぞれのプロットを直線で示したもの.

## 問 1

図 5-1 (あ) のタンパク質の分子進化速度 (1 残基あたりの置換頻度/年) を有効数字 1 桁で計算し、以下の空欄

に該当する数字をマークしなさい。

$$\text{分子進化速度 (1 残基あたりの置換頻度/年)} = \text{25} \times 10^{-\text{26}}$$

## 問 2

図 5-1 (あ) のプロット b、c、d、e、f は、以下の選択肢 (1)–(5) の種間比較のどれかに対応している。それぞれの種間比較に対応しているかを選び、選択肢の番号を解答欄にマークしなさい。b の解答欄は 、c の解答欄は 、d の解答欄は 、e の解答欄は 、f の解答欄は

- (1) コアラ – ヒト    (2) ニワトリ – ヘビ    (3) サル – ウシ    (4) マウス – ダチョウ    (5) カエル – ヒト

## 問 3

由来不明の肉片に関して、図 5-1 (あ) のタンパク質の配列を決定し、ヒトと比較したところ、アミノ酸の置換頻度 (1 残基あたり) は 0.3 に近かった。この肉片はどの種と予想されるか。もっとも適切なものを (1)–(4) から選び、選んだ選択肢の番号を解答欄にマークしなさい。解答欄は

- (1) シーラカンス    (2) イモリ    (3) コモドドラゴン    (4) アリゲーターガー

## 問 4

分子進化速度はタンパク質ごとに異なる。図 5-1 (い) の A、B の直線はどのタンパク質を比較した場合か、表 5-1 の (1)–(4) からすべて選び、選んだ選択肢の番号をすべて解答欄にマークしなさい。なお、すべての記述があてはまると判断した場合は (9) だけをマークし、あてはまる選択肢がひとつも無いと考えられた場合は (0) だけをマークしなさい。解答欄は

表 5-1. 問 4 の選択肢

	A	B
(1)	ヒストン	ヘモグロビン
(2)	フィブリン	シトクロム c
(3)	免疫グロブリン	ヒストン
(4)	アクチン	インスリン

## 第6問

(7点)

頂芽の存在する植物の地上部では、頂芽が腋芽の発達を抑制する頂芽優勢がみられる。頂芽優勢はオーキシン、サイトカニン、ストリゴラクトンという三つの植物ホルモンと糖によって制御されている。シロイヌナズナにおける頂芽優勢に対するストリゴラクトンのはたらきを調べるために、カロテノイドからストリゴラクトンを合成する過程ではたらく酵素 A、酵素 B、酵素 C それぞれの機能が失われ、同程度に頂芽優勢が打破された形質を示す突然変異体（以下、それぞれ変異体 a、変異体 b、変異体 c とする）および、酵素 A・酵素 B・酵素 C すべての機能が失われた突然変異体（以下、三重変異体 t とする）を用いて次の実験 1 を行った。なお、三重変異体 t における腋芽の数は、変異体 a、変異体 b、変異体 c のいずれとも差は無いものとする。

実験 1：野生型、変異体 a、変異体 b、変異体 c、三重変異体 t の根に対して、野生型および変異体 a、変異体 b、変異体 c、三重変異体 t の地上部を接ぎ木し、生育させた地上部の形態を比較したところ、表 6-1 の結果が得られた。

表 6-1. 実験の結果。 | 頂芽優勢が維持された ♡ 頂芽優勢が打破されていた

		穂木（地上部）に用いた系統				
		野生型	変異体 a	変異体 b	変異体 c	三重変異体 t
台木（根） に用いた 系統	野生型					
	変異体 a		♡			♡
	変異体 b		♡	♡	♡	♡
	変異体 c		♡	♡	♡	♡
	三重変異体 t		♡	♡	♡	♡

### 問 1

実験 1 の結果のみから導かれる考察として適切なものを次の (1)–(5) からすべて選び、選んだ選択肢の番号をすべて解答欄にマークしなさい。なお、すべての記述が適切だと判断した場合は (9) だけをマークし、適切な考察がひとつも無いと考えられた場合は (0) だけをマークしなさい。解答欄は

- (1) ストリゴラクトンは地上部では合成されない。
- (2) 根から地上部へは、ストリゴラクトンだけではなく、ストリゴラクトン合成過程で作られる物質も輸送される
- (3) ストリゴラクトンの合成において、タンパク質 A はタンパク質 B より後の段階ではたらく
- (4) ストリゴラクトンの合成において、タンパク質 A はタンパク質 C より後の段階ではたらく
- (5) ストリゴラクトンの合成において、タンパク質 B はタンパク質 C より後の段階ではたらく

### 問 2

野生型と三重変異体 t に加え、ストリゴラクトンに反応できない突然変異体 d（以下、変異体 d とする）をそれぞれ台木、穂木として用いて接ぎ木をすると、どのような結果になると予想されるか。表 6-2 の (M)、(N)、(O)、(P) それぞれに入る結果として最も適切なものを以下の (1)–(3) よりそれぞれ選び、ともに解答欄にマークしなさい。(M) の解答欄は

、(N) の解答欄は

、(O) の解答欄は

、(P) の解答欄は

表 6-2. 実験の結果。 | 頂芽優勢が維持された ♡ 頂芽優勢が打破されていた

		穂木（地上部）に用いた系統		
		野生型	三重変異体 t	変異体 d
台木（根） に用いた 系統	野生型			(M)
	三重変異体 t		♡	(N)
	変異体 d	(O)	(P)	♡

- (1) 頂芽優勢が維持される
- (2) 頂芽優勢が打破される
- (3) 実験 1 の結果からでは頂芽優勢が維持されるかどうかを判断できない

## 第7問

(7点)

キュウリ、メロンなどのウリ科植物の芽生えでは、胚軸と根の境界領域にペグと呼ばれる突起が形成される(図7-1 a)。これらの植物の種子は扁平な形をしており、地上において、ペグは重力方向下側にひとつ形成される。このペグは、子葉が種皮から抜け出るのに役立っている。ペグがひとつだけ形成されるしくみを調べるため、次の実験1から3を行った。

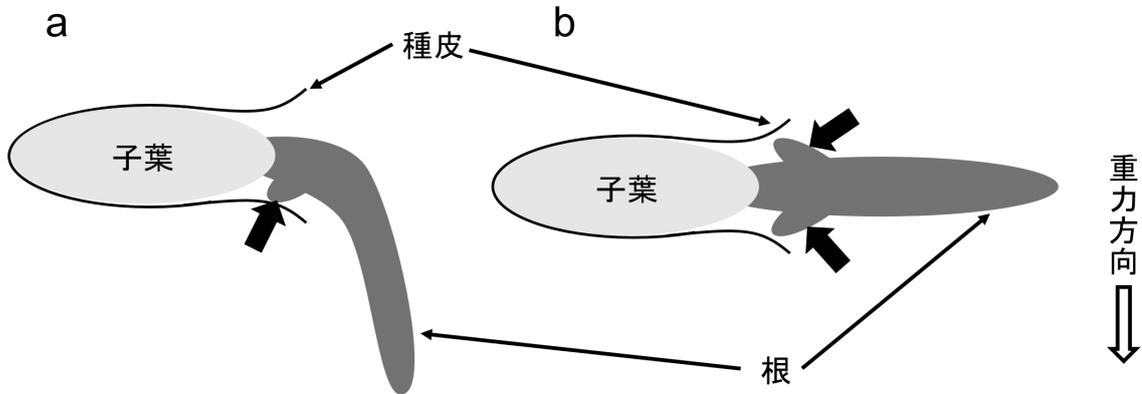


図7-1. 地上重力下において何も処理せず発芽させたキュウリ芽生え(a)とオーキシンを処理して発芽させたキュウリ、またはオーキシン極性輸送阻害剤を処理して発芽させたキュウリ芽生え(b)を横から見た図。黒い矢印はペグを示し、白抜き矢印は重力方向を示す。

実験1: 地上重力下で、発芽直後のキュウリの境界領域にオーキシンを処理したところ、ペグは図7-1 bのようにふたつ形成された。

実験2: 地上重力下で、発芽直後のキュウリの境界領域にオーキシン極性輸送(極性移動)の阻害剤を処理したところ、ペグは図7-1 bのようにふたつ形成された。

実験3: 宇宙空間などの微小重力環境でキュウリ種子を発芽させたところ、ペグは図7-1 bのようにふたつ形成された。

### 問1

実験1から3の結果から考えられることとして適切なものを下の選択肢(1)-(7)よりすべて選び、選んだ選択肢の番号をすべて解答欄にマークしなさい。なお、適切な記述が無いと判断した場合は(0)だけをマークしなさい。解答欄は

- (1) オーキシンの極性輸送は境界領域下側へのペグの形成を促進する
- (2) オーキシンの極性輸送は境界領域上側へのペグの形成を抑制する
- (3) 地上重力下で発芽させた芽生えにおける境界領域上側の細胞におけるオーキシン濃度は下側の細胞より高い
- (4) 地上重力下で発芽させた芽生えにおける境界領域上側の細胞におけるオーキシン濃度は下側の細胞より低い
- (5) 境界領域上側と下側の細胞では、オーキシン濃度に差はない
- (6) 重力方向への応答は、境界領域下側へのペグの形成を促進する
- (7) 重力方向への応答は、境界領域上側へのペグの形成を抑制する

### 問2

実験1から3の結果を踏まえ、実験的にペグが形成されない芽生えを作成しようとしたとき、どのような実験を行えばよいと考えられるか。適切と考えられる実験についての記述を下の選択肢(1)-(4)よりすべて選び、選んだ選択肢の番号をすべて解答欄にマークしなさい。なお、すべての記述が適切だと判断した場合は(9)だけをマークし、適切な記述が無いと判断した場合は(0)だけをマークしなさい。解答欄は

- (1) 境界領域全体に対してオーキシン応答の阻害剤を処理する
- (2) 境界領域の下側だけに、実験1で用いた濃度より薄い濃度でオーキシンを処理する
- (3) 境界領域の下側だけに、実験1で用いた濃度より薄い濃度でオーキシン極性輸送阻害剤を処理する
- (4) 下方向に過重力が付加されるように遠心機による過重力環境で芽生えを育成する

# 第8問

(8点)

酸素 ( $O_2$ ) は呼吸に使われる一方で、他の反応を阻害することがある。光合成生物における、酸素による活性阻害に関する以下の問いに答えなさい。

## 問1

窒素固定反応を担う酵素であるニトロゲナーゼは、 $O_2$  存在下では失活してしまうため、 $O_2$  のある環境では窒素固定反応が進まない。アナベナ属のシアノバクテリアでは、細胞が数珠状に連なっており、そのほとんどの細胞 (栄養細胞) で光合成を行うため、 $O_2$  が発生する。しかし、環境中に窒素源が欠乏すると、その一部をヘテロシストと呼ばれる細胞へと分化させ、窒素固定反応を行なう。つまり、空間的に窒素固定の場と  $O_2$  を分けている。アナベナ属のシアノバクテリアが光合成と窒素固定を両立させている仕組みの記述として間違っていると判断されるものを下の選択肢 (1)-(5) よりすべて選び、選んだ選択肢の番号をすべて解答欄にマークしなさい。なお、すべての記述が間違っていると判断した場合は (9) だけをマークし、すべての記述が間違っていないと判断した場合は (0) だけをマークしなさい。解答欄は

- (1) ヘテロシストの外側にバリア層を形成し、外からの酸素の流入を防ぐ
- (2) ヘテロシスト内の呼吸活性を上昇させ、酸素を消費する
- (3) 栄養細胞の光合成を抑制し、酸素の発生を抑える
- (4) ヘテロシスト内の光合成を抑制し、酸素の発生を抑える
- (5) 光の届かないところで生育し、窒素固定を行う

## 問2

光合成では Rubisco と呼ばれる酵素によって炭酸固定反応が行われるが、Rubisco は二酸化炭素 ( $CO_2$ ) だけでなく、一定の割合で  $O_2$  も基質としてしまい、光合成の効率が低下する。そのため、相対的に環境中の  $CO_2$  濃度が低く、 $O_2$  濃度が高い場合、 $CO_2$  に代わって多くの  $O_2$  を取り込んでしまう。図 8-1 は現在の大気圧で、ある  $C_3$  植物の光合成速度 ( $CO_2$  吸収速度) と光強度の関係を示している。もし、 $CO_2$  濃度が上昇した場合、このグラフはどのように変化すると考えられるか、図 8-2 の選択肢 (1)-(6) から選び、解答欄にマークしなさい。ただし、 $O_2$  濃度は変わらないものとする。解答欄は

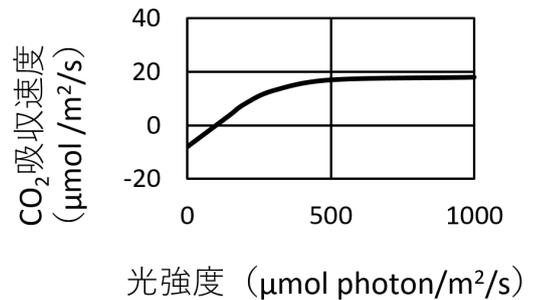


図 8-1. 現在の大気圧における光合成速度と光強度の関係

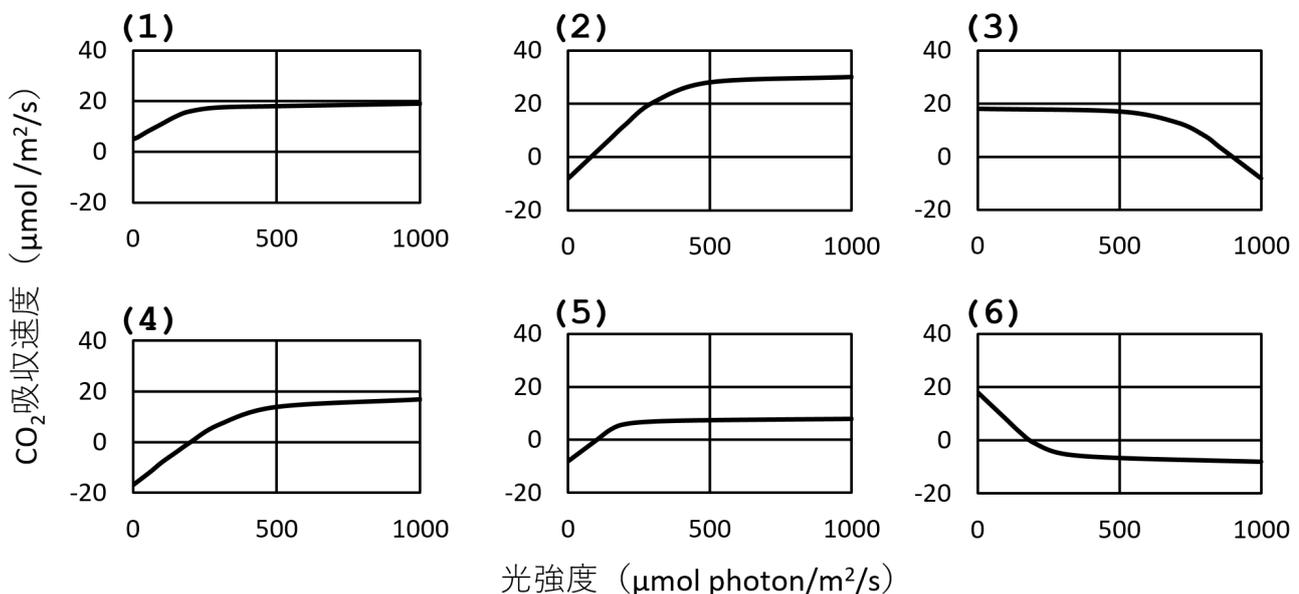


図 8-2. 問2の選択肢

## 第9問

(10点)

植物の葉は様々な形をしている。針のように尖っているものもあれば、薄く広がったものもある。こうした葉の形が環境への適応にどのような意義を持っているのだろうか。ここでは典型的な葉を、細長い円柱と薄い直方体に単純化して考えることにする。

### 問1

次の図 9-1 の左側は円柱の断面の直径であり、右側は直方体の断面の長辺である。



図 9-1. 円柱 (左) と直方体 (右).

円柱の直径を  $d$  とし、直方体の長辺を  $4d$  とする。両者の断面積が等しいとき、直方体の断面における外周の長さは円柱における断面の外周の長さのおよそ何倍となるか。下の (1)–(4) のうちから最も適切なものをひとつ選び、選んだ選択肢の番号を解答欄にマークしなさい。解答欄は

- (1) 1.3      (2) 1.8      (3) 2.2      (4) 2.7

### 問2

断面積を葉肉細胞の量と考え、外周の長さを表皮の長さとする。葉は気孔を閉じた場合でも表皮から蒸散がわずかながらおき、徐々に水が失われていく。これをクチクラ蒸散といい、表皮の長さに比例する。断面で見れば、クチクラ蒸散は表皮の長さに比例することになる。

問1で計算したように、円柱状の形状を持った葉は、薄い葉よりも、葉肉細胞の単位量あたりのクチクラ蒸散量が抑えられる。こうした視点からみて円柱状の葉を持った植物はどのような環境に適応していると考えられるか。次の (1)–(5) のうちから適切と思われるものをすべて選び、選んだ選択肢の番号をすべて解答欄にマークしなさい。なお、すべての記述が正解だと判断した場合は (9) だけをマークし、正解が無いと判断した場合は (0) だけをマークしなさい。解答欄は

- (1) 湿原      (2) 海岸近くの砂地      (3) 岩の多い尾根      (4) 熱帯多雨林      (5) 照葉樹林

### 問3

円柱状の葉をもつ植物の多くは陽生植物であり、それは光合成の特性から理解できる。水平に配置された葉に上から光が照射されたとき、光飽和点の高い円柱状の葉が行う光合成に関する次の記述 (1)–(5) のうちから最も適切と思われるものをひとつ選び、選んだ選択肢の番号を解答欄にマークしなさい。解答欄は

- (1) 林冠の強い光のもとでは、上層の葉肉細胞のみが高い光合成速度をもつ  
(2) 林冠の強い光のもとでは、下層の葉肉細胞のみが高い光合成速度をもつ  
(3) 林床の弱い光のもとでは、上層の葉肉細胞のみが高い光合成速度をもつ  
(4) 林床の弱い光のもとでは、下層の葉肉細胞のみが高い光合成速度をもつ  
(5) どのような光のもとでも、すべての葉肉細胞が高い光合成速度をもつ

### 問4

円柱に近い形の葉を持った植物にはどのようなものがあるか。次の (1)–(5) のうちから、あてはまると思われるものをひとつ選び、選んだ選択肢の番号を解答欄にマークしなさい。解答欄は

- (1) アカマツ      (2) スダジイ      (3) ブナ      (4) コナラ      (5) ヨシ

## 第10問

(10点)

ある男性不妊症の患者の精子を調べたところ、鞭毛が動かないか、動いても不規則で精子が遊泳運動をしないことから、繊毛に関連する遺伝子の先天的変異による原発性繊毛運動不全症 (primary ciliary dyskinesia) であるカルタゲナ症候群であることが疑われた。そこでこの男性の遺伝子解析をしたところ、鞭毛・繊毛運動にかかわるある遺伝子に変異があった。また電子顕微鏡による精子の鞭毛の観察では、ダブルレット周辺微小管に付着しているダイニン腕の形態に異常が認められた。またこの患者を調べたところ、精子だけでなく、 $\gamma$ 様々な症状がみられることが分かった。

正常な精子の場合、鞭毛が規則的な屈曲運動を行う。それを観察するためには顕微鏡の光源に規則的な頻度で発光するストロボを用いるとよい。頭部のみが固定され、鞭毛運動を持続させている精子を観察しながら、 $\gamma$ 発光頻度を変えていくと、鞭毛があたかも静止しているかのように見えたり、そこから少し発光頻度をずらすとゆっくり屈曲波が動いて見えるので、鞭毛の波形や、振動が規則的かどうかを調べることができる。この顕微鏡装置で観察すると、正常な精子では規則的な屈曲波が観察されたが、患者のものでは振幅も振動数も不規則であることが確かめられた。

このストロボ装置を用いてウニの精子を観察することにした。生きているウニ精子の鞭毛が示す屈曲波はほぼ平面波でサイン波に近く、一定の条件では非常に規則的な振動をすることが確かめられた。次にウニの精子を、細胞質とほぼ等しい組成を持つ溶液中で、界面活性剤を用いて細胞膜を除去し、それを観察したところ、鞭毛は運動を停止したままだった。しかしそこに ATP を加えると、生きている精子の鞭毛に非常によく似た波形で周期的な屈曲運動を行うこと、また ATP 濃度を変えると振動数は変化するが、波形はほとんど変わらないことが分かった。

鞭毛では、ダイニン腕が ATP を加水分解するとき生じるエネルギーで微小管同士を滑らせ、そのときに生じるずれが屈曲を生むと考えられている。その場合、ATP が加水分解される反応速度は微小管の滑り速度にほぼ比例し、それは波形が変わらなければ鞭毛の振動数にほぼ比例すると推測される。すると下記のような反応式で表されるはずだからミハエリス・メンテンの式が成立すると考えられる。



ここで D はダイニン腕、 $P_i$  は無機リン酸を表し、k は反応速度定数である。D・ATP はダイニン腕と ATP の複合体を表している。なお、ダイニン腕と微小管の反応はここでは考えない。

この反応が起こっていれば、鞭毛の振動数 f を反応速度に見立て、ATP 濃度を [ATP] として表すと、次のように振動数 f と ATP 濃度の関係があるはずである。

$$f = \frac{k_{+2}([D] + [D \cdot ATP]) [ATP]}{\frac{k_{-1} + k_{+2}}{k_{+1}} + [ATP]}$$

ここで

$$f_m (\text{最大振動数}) = k_{+2}([D] + [D \cdot ATP])$$

$$K_m (\text{ミハエリス定数}) = \frac{k_{-1} + k_{+2}}{k_{+1}}$$

とおくと、

$$f = \frac{f_m [ATP]}{K_m + [ATP]} \quad (\text{ミハエリス・メンテンの式})$$

この式を変形すると、振動数 f の逆数である  $\frac{1}{f}$  が、ATP 濃度の逆数である  $\frac{1}{[ATP]}$  の一次関数として以下のように表わされる。

$$\frac{1}{f} = \frac{K_m}{f_m} \cdot \frac{1}{[ATP]} + \frac{1}{f_m}$$

そこでこれを確かめる目的で、細胞膜を除去し ATP で活性化したウニ精子をストロボ照明で観察し、ATP 濃度を変えて鞭毛の振動数を測定した。ATP 濃度を変えても、鞭毛の波形はほとんど変わらず、振動数が ATP の濃度に依存して変化したので、振動数を記録し、 $\frac{1}{f}$  を縦軸に  $\frac{1}{[ATP]}$  を横軸にとった結果が図 10-1 である。

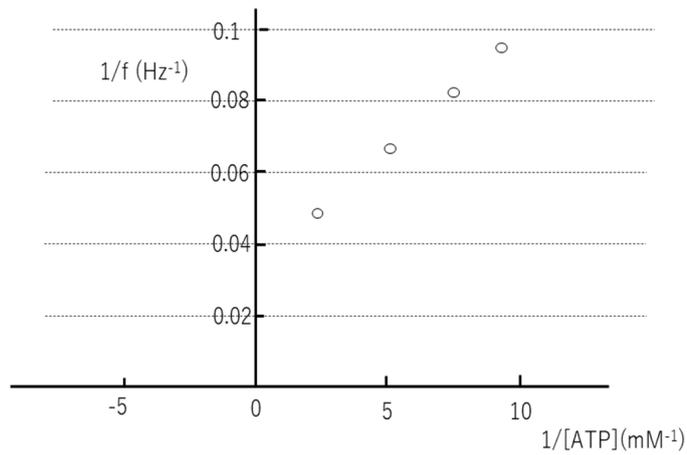


図 10-1. ATP 濃度を変えた時の鞭毛振動数の測定結果。ここでグラフ横軸の単位 mM は mmol/L のことである。M で mol/L を意味し、molar (モラー) と読む。また縦軸の単位 Hz は 1 秒あたりの周波数 (振動数) を表し、hertz (ヘルツ) と読む。

**問 1**

下線部アの症状で最も多いと思われるものを次の (1)-(5) から選び、選んだ選択肢の番号を解答欄にマークしなさい。

解答欄は

- (1) 脱毛症      (2) 尿道結石      (3) 喘息      (4) 頻尿      (5) 高血圧

**問 2**

下線部イについて、図 10-2 のように鞭毛が見えるのはストロボの 1 秒あたりの発光頻度が鞭毛の振動数  $f$  (Hz) とどのような関係がある場合か。次の (1)-(7) からすべて選び、選んだ選択肢の番号をすべて解答欄にマークしなさい。なお、すべての選択肢が正しいと判断した場合は (9) だけをマークし、適切な選択肢がひとつも無いと考えられた場合は (0) だけをマークしなさい。

解答欄は

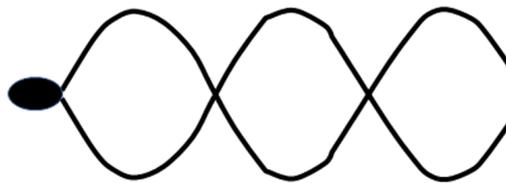


図 10-2. ストロボで観察された精子鞭毛像

- (1)  $\frac{1}{4}f$       (2)  $\frac{1}{3}f$       (3)  $\frac{1}{2}f$       (4)  $\frac{2}{3}f$       (5)  $f$       (6)  $2f$       (7)  $4f$

**問 3**

図 10-1 に示された測定結果を踏まえ、以下の文章の空欄  -  に入る最も適切な数字を該当する解答欄にマークしなさい。また、空欄  に入る最も適切な値を以下の (1)-(5) から選び、選んだ選択肢の番号を該当する解答欄にマークしなさい。

図 10-1 の結果から、この実験における  $K_m$  の値は   $\times 10^{-1}$  (mM) である。また  $[ATP] = K_m$  のときの振動数  $f$  は  $f_m$  の  /  であることから、最大振動数  $f_m$  の  /  の値は  (Hz) である。

- (1) 60      (2) 30      (3) 20      (4) 15      (5) 10

# 第11問

(8点)

イモリなどの再生能力の高い両生類の幼生の四肢を切断すると、ほぼ元どおりに再生する。このとき、指の構造のように非対称で方向性のある構造は、再生組織が正しく方向性の情報を受け取る事で元と同じ方向性を保って再生する(図 11-1 (あ))。しかし自然発生的に、あるいは人為的な操作によって、ひとつの損傷部にふたつ以上の再生肢が形成されることがある(過剰肢)。例えば、図 11-1 (い) のように、本来ひとつで良い構造がふたつ形成されてしまう際に、このふたつの構造の方向性(例えば、親指→小指)は理論上は相同(親指→小指、親指→小指)あるいは鏡像(親指→小指、小指→親指)になりうる。

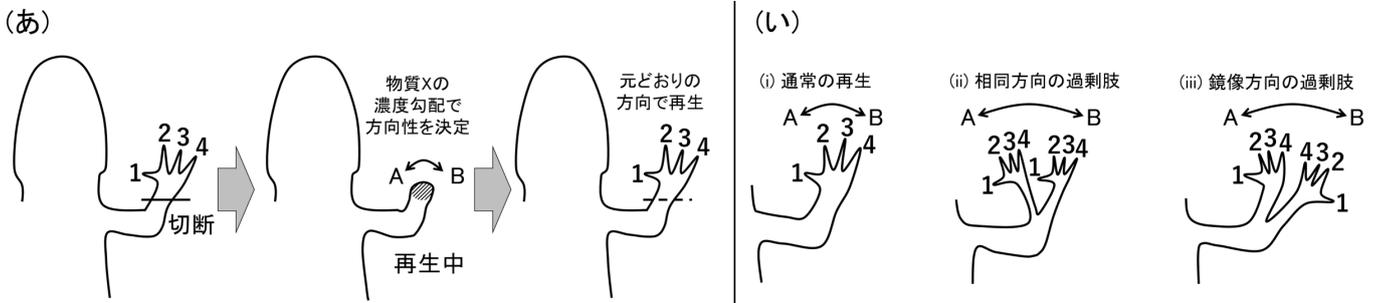


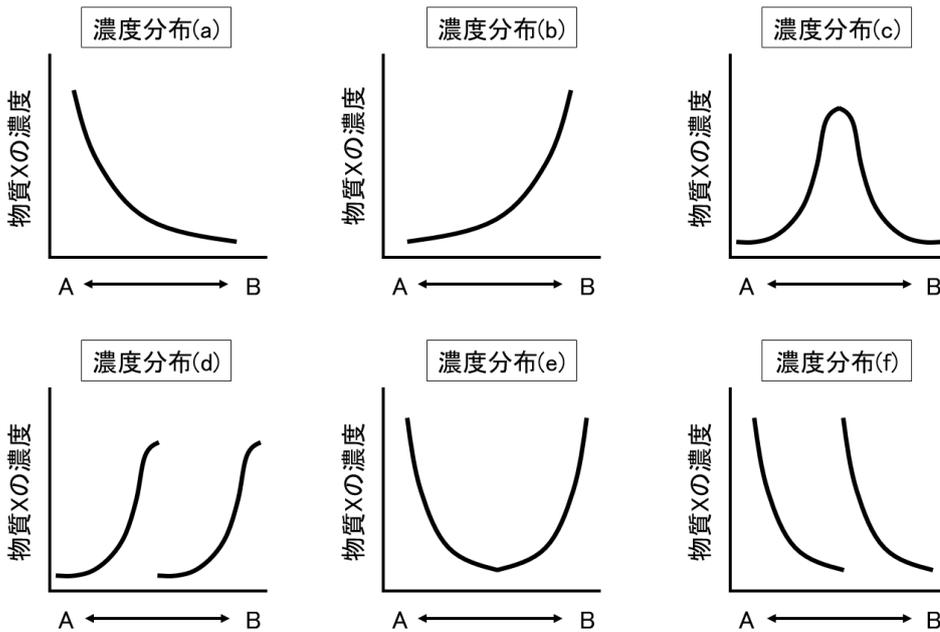
図 11-1. (あ) 両生類の四肢再生時の指の方向性の維持機構。(い) 両生類の四肢再生時の過剰肢形成

## 問 1

図 11-1 (あ)(い) の A⇔B 間で物質 X が取りうる濃度分布を図 11-2 に示す。ここで両生類の四肢の親指 → 小指の方向性が物質 X の濃度勾配によって制御され、また物質 X の濃度勾配は一度形成された後で変化はしないと仮定した場合、損傷部の再生において

- (イ) 構造がひとつ形成される場合
- (ロ) ふたつの構造が相同な向きで形成される場合
- (ハ) ふたつの構造が鏡像向きに形成される場合

の物質 X の濃度分布として予想されるものの組み合わせを表 11-1 の (1)-(6) からすべて選び、選んだ選択肢の番号をすべて解答欄にマークしなさい。なお、すべての選択肢が正しいと判断した場合は (9) だけをマークし、適切な選択肢がひとつも無いと考えられた場合は (0) だけをマークしなさい。解答欄は 53



	(イ)	(ロ)	(ハ)
(1)	a	d	c
(2)	a	f	e
(3)	e	d	f
(4)	b	d	c
(5)	c	a	e
(6)	b	e	a

表 11-1: 本問の選択肢. 表中の a から f は、それぞれ図 11-2 の a から f に対応する。

図 11-2. 両生類の四肢再生時の物質 X の濃度分布

## 問 2

問 1 の条件とは異なり、イモリの四肢再生組織中で物質 X の濃度が近接する組織間で大きな違いがある場合、その差を埋めるように二次的に勾配が形成され、またその二次的な勾配も独立に肢の形成を誘導すると仮定すると、図 11-2 (d) や (f) のような X の濃度分布が生じた後で、最終的に形成される再生肢の形はどのようになると考えられるか、予想されるものを下の (1)-(6) から選び、選んだ選択肢の番号を解答欄にマークしなさい。解答欄は 

54
----

- (1) ふたつの相同な向きの再生肢が形成される
- (2) ふたつの鏡像関係の再生肢が形成される
- (3) 三つの相同な向きの再生肢が形成される
- (4) 三つの再生肢が形成され、そのうち中央のひとつだけ逆向きになる
- (5) 三つの再生肢が形成され、そのうち左側のひとつだけ逆向きになる
- (6) 三つの再生肢が形成され、そのうち右側のひとつだけ逆向きになる

# 第12問

(10点)

下の表 12-1 と図 12-1 は、2008 年にオランダとオーストリアの科学者が発表したもので<sup>\*1</sup>、体重の異なるさまざまな爬虫類、鳥類、有袋類、真獣類の代謝率 (BMR, FMR) と窒素要求量 (MNR) に関する先行研究を比較可能な形にまとめ、代謝率と窒素要求量の比をとって図示したものである。

- BMR (basal metabolic rate) : 基礎代謝率 (単位は  $\text{kJ day}^{-1}$ )。 (本問では外温動物の標準代謝率も BMR と表記する。)
- FMR (field metabolic rate) : 野生動物の野生条件下での代謝率 (単位は  $\text{kJ day}^{-1}$ )
- MNR (maintenance nitrogen requirements) : 最低限の恒常性維持に要する 1 日あたりの窒素量 (単位は  $\text{mg N day}^{-1}$ )

表 12-1. 体重と代謝量の関係 (アロメトリー).  $M$  は体重 (kg)

	爬虫類	鳥類	有袋類	真獣類
BMR	$27M^{0.77}$	$343M^{0.670}$	$200M^{0.74}$	$241M^{0.705}$
FMR	$91M^{0.889}$	$1159M^{0.681}$	$525M^{0.574}$	$872M^{0.772}$
MNR	$108M^{0.473}$	$359M^{0.825}$	$217M^{0.777}$	$411M^{0.863}$

図 12-1 ではこれに加えて、約 400 種類の陸上植物の葉から摂取できる窒素量と炭素量の比 (葉の N/C 値。窒素と炭素の含有量を同化効率で補正した値の比) を算出し (右縦軸の目盛)、5 から 95 パーセントイルがカバーする範囲がグレーで着色されている (陸上植物の 90% の葉の N/C 値はグレーの範囲に含まれる)。範囲中の白線は、葉の N/C 値の平均値を示す。

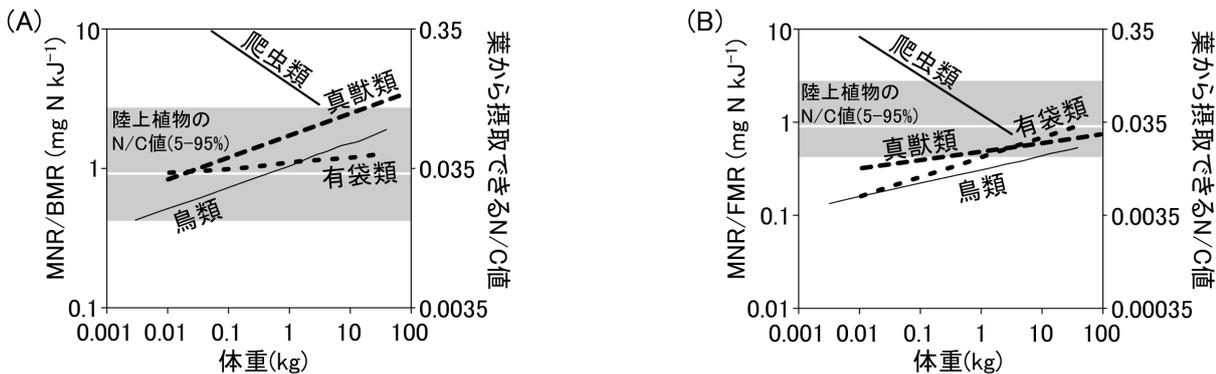


図 12-1. 脊椎動物の窒素・エネルギー要求の比と、植物の葉から摂取できる窒素・炭素量の比の関係

以下はこれに基づく議論である。空欄  -  を埋める適切な文言を選択肢から選び、選んだ選択肢の番号を該当する解答欄にマークしなさい。選択肢が (12) であれば、(1) と (2) の両方の番号を同一解答欄にマークしなさい。同じ選択肢を何度用いても良い。なお、番号のない空欄にも選択肢中の文言が入る (解答欄にはマークしない)。

タンパク質合成はエネルギーを要するため、MNR と BMR は不可分に関連している。 動物は体温の維持に多くのエネルギーを要する。表 12-1 より  動物は、 動物に比べ、食餌から  をより多く摂取する必要があると考えられる。そのため  動物が食物から摂取する N/C 値は  くなる傾向があると考えられる。

エネルギー要求量が最も高い  は、MNR/BMR と MNR/FMR の値が最も  くなる傾向が見られる。葉などの植物食に比べ、動物食で摂取できる N/C 値はおおむね  い。既知の  はすべて動物食だが、この知見は、図 12-1 と矛盾しない。今回のデータは、爬虫類については、体重が  い種ほど、動物食から植物食への移行が難しいことを示唆しているが、調査した生物種の数に限られているため、決定的とはいえない。

進化の過程で、動物食から植物食へと移行した動物は、恒常性維持に必要な  を摂取できるだけの食物を食べると  が余っただろう。この余剰な  の使い道として、  が進化したのかもしれない。

- |            |            |              |                 |          |
|------------|------------|--------------|-----------------|----------|
| (12) 「外温性」 | (16) 「リン」  | (23) 「有袋類」   | (27) 「ヘビ」       | (34) 「重」 |
| (13) 「内温性」 | (17) 「真獣類」 | (24) 「オポッサム」 | (28) 「大き」または「高」 | (35) 「軽」 |
| (14) 「炭素」  | (18) 「鳥類」  | (25) 「コウモリ」  | (29) 「小さ」または「低」 |          |
| (15) 「窒素」  | (19) 「爬虫類」 | (26) 「タカ」    |                 |          |

<sup>\*1</sup> Klaassen M, Nolet BA. *Ecol Lett.* 2008;11(8):785-92.

## 第13問

(7点)

次の文章を読み、以下の問いに答えなさい。

同種とされる生物であっても、その特徴には様々な集団間変異が見られる。例えば、を持つ昆虫の体サイズは生息地の年平均気温に応じて線形的に変化することがある。寒冷な環境に生息する集団では体サイズはなり、温暖な環境に生息する集団ではなる傾向を示す。

身体の発育は突き詰めると化学反応（酵素反応など）であり、一定以上の温度を必要とする。外温動物である昆虫は自身で熱を作れないため、発育に必要な熱エネルギーを外界（気温など）から得ている。体を発育させるには多くの熱量が必要となり、発育時間は長くなる。寒冷な環境では発育可能な温度に達する期間が短く、個体は成長が遅れるなど発育において不利になるため、自然淘汰によって個体が生存しやすく、より多く子孫（遺伝子）を残すことになる。ただし、この説明だけでは温暖な環境に個体がいても問題ないことになる。

次に注目すべきは、体サイズと産子数の関係である。昆虫のようにメスが一度に多くの卵を生産する分類群では、メスほど多くの卵を生産できる。温暖な環境に小さいメスと大きいメスがいた場合、メスのほうが産子数は多くなり、次世代により多くの遺伝子を残すと期待される。

まとめると、こうした体サイズの地理的変異パターンは、体サイズ変異が遺伝的基盤を持ち、発育可能な季節の中で産子数を最大にすることで生じると説明される。

### 問1

空欄に入るものを以下の(1)-(4)からすべて選び、選んだ選択肢の番号をすべて該当する解答欄にマークしなさい。なお、すべての記述が正解だと判断した場合は(9)だけをマークし、正解の記述がないと判断した場合は(0)だけをマークしなさい。

- (1) 一年一化性の生活史
- (2) 二年一化性の生活史
- (3) 化性の調節が可能な生活史
- (4) 発育期間の調節が可能な生活史

### 問2

空欄—にそれぞれ入る語句として正しいものを以下の(1)-(2)からひとつずつ選び、選んだ選択肢の番号をそれぞれ該当する解答欄にマークしなさい。同じ選択肢を何度用いても良い。

- (1) 小さく      (2) 大きく

### 問3

空欄—にそれぞれ入る語句として正しいものを以下の(1)-(2)からひとつずつ選び、選んだ選択肢の番号をそれぞれ該当する解答欄にマークしなさい。同じ選択肢を何度用いても良い。

- (1) 小さい      (2) 大きい

本選受験番号 \_\_\_\_\_

氏名 \_\_\_\_\_

以下の図中に解答を描き入れなさい

(bpはbase pair(s)の略)

塩基対(bp)  
Marker 今回の反応後  
サンプル

