

# 2026 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 7 年 8 月 7 日

[ 専門科目 ]

検査時間 120 分

#### 注意事項

- 1) 監督者から解答を始めるよう合図があるまではこの冊子を開かないこと。
- 2) 解答用紙が **4 枚** 配られたことを確認すること。
- 3) **問題は全 7 問あります。全員が必ず大問 1 を解答すること。**  
**残りの 6 問（大問 2～7）から 3 問を選択して解答すること。**  
**大問毎に別々の解答用紙を使用すること。**
- 4) 解答ははじめの合図があったら、すべての解答用紙にコース名と受験番号を必ず記入すること（氏名は記入しないでください）。
- 5) 各解答用紙の答案の最初に必ず大問番号を記入すること。
- 6) この冊子の本文は 18 ページあります。解答開始の合図後、乱丁や落丁などを発見した場合はすぐに申し出てください。

1

ミクロおよびマクロ生物学に関する、以下の問い（問1～18）に答えなさい。

問1. 真核細胞の細胞分裂において、有糸分裂直後の細胞（G1期終了時と同等のDNA量をもつ）の核に含まれるDNA量が10ピコグラム(pg)であるとする。この細胞がS期を経てG2期に入り有糸分裂の前期にあるとき、その細胞に含まれるDNA量はどれになるか答えなさい。

- A) 5 pg    B) 10 pg    C) 20 pg    D) 40 pg

問2. 真核生物における翻訳に関する以下の語句のうち、翻訳開始複合体（translation initiation complex）を形成する構造をすべて答えなさい。

- A) プロモーター    B) tRNA    C) 5'キャップ    D) 終止コドン

問3. 大腸菌に関する現象として、適当でないものをすべて答えなさい。

- A) 形質導入 (Transduction)    B) 接合 (Conjugation)  
C) 突然変異 (Mutation)    D) 減数分裂 (Meiosis)

問4. 大腸菌に当てはまる特徴をすべて答えなさい。

- A) 細胞壁が主にペプチドグリカンでできている。  
B) 細胞核をもたない。  
C) プラスミドをもたない。  
D) 100°Cを超える高温環境で生存できる。

問5. ベータ酸化は以下のどの分子の異化を通じて細胞呼吸の基質となる分子を生成するかすべて答えなさい。

- A) グルコース    B) グリコーゲン    C) タンパク質    D) 脂肪酸

問6. 真核細胞のタンパク質翻訳の開始と伸長段階について、以下の記述のうち正しいものをすべて答えなさい。

- A) 翻訳は mRNA の開始コドンから始まる。  
B) ペプチジル tRNA 結合部位（P 部位）には成長中のポリペプチド鎖をもつ tRNA が結合する。  
C) 伸長因子はリボソームからの tRNA の放出を助ける。  
D) 新しいアミノアシル tRNA はリボソームの E 部位に結合する。

問 7. 細胞の構造と機能について、以下の記述のうち正しいものをすべて答えなさい。

- A) ミトコンドリアは光エネルギーを化学エネルギーに変換する主要な場である。
- B) 植物細胞の細胞壁は主にキチンで構成される。
- C) 小胞体ではタンパク質や脂質の合成が行われる。
- D) 酸化的リン酸化はミトコンドリアで起こり ATP 合成に関わる。

問 8. 動物の生殖に関して、ヒトの女性の卵巣周期において黄体形成ホルモン (LH) の血中濃度がピークに達するのは卵巣周期のどの期間かすべて答えなさい。

- A) 月経期      B) 排卵直前期      C) 卵胞期の始まり      D) 分泌期

問 9. 同じ遺伝子型をもつアジサイの株を異なる土壌に植えたところ花の色が青やピンクに分かれた。原因として考えられる最も適切な理由を以下から一つ答えなさい。

- A) 複数の対立遺伝子が花の色決定に関与している。
- B) 青いアジサイの対立遺伝子がピンクの対立遺伝子に対して完全に顕性である。
- C) 光の強さが直接的に花の色の变化を引き起こす。
- D) 土壌 pH などの環境要因が表現型に影響を与えている。

問 10. 植物の光合成における明反応に関して、光合成の電子伝達系によって生成される主要な物質を答えなさい。

- A)  $\text{CO}_2$  と  $\text{H}_2\text{O}$       B) ATP と NADH      C) ATP と NADPH      D) ADP と  $\text{NADP}^+$

問 11. 初期の陸上植物が出現したころ、約 4 億 5 千万年前の地球の陸上景観は以下のどの特徴をよく備えていたと考えられるかすべて答えなさい。

- A) シダ植物が優占種となり、鬱蒼とした森林を形成
- B) シアノバクテリアや原生生物を含む小さな水たまりがあるほぼむき出しの岩石
- C) 大規模な砂漠が広がり、乾燥に強い多肉植物が繁栄
- D) 扁平な非維管束の緑色植物により形成される岩の上の緑色のマット

問 12. 動物の多様性に関して、初期の四肢動物(四足動物)の特徴としてもっとも可能性が高いものはどれか？

- A) 頑丈な四肢の骨格に指があった。
- B) 体が羽毛で覆われていた。
- C) 完全に水生の魚類と同じヒレをもっていた。
- D) 陸上での産卵に適した羊膜卵をもっていた。

問 13. 原生生物の SAR クレードに属する渦鞭毛藻類 (Dinoflagellates) の一般的な特徴を以下のうちからすべて答えなさい。

- A) ガラス質の殻 (valve) をもつ。
- B) 強化された糸状仮足をもち食作用を行うことがある。
- C) 通常 2 本の鞭毛をもつ。
- D) 多核性の細胞をもつ。

問 14. ティンバーゲンは、動物の行動を理解するとき、以下の四つの疑問に答えることが重要であると述べています。四つのうち究極要因にあたるものをすべて答えなさい。

- A) 注目する行動が進化の歴史の中でどのように生じてきたか。
- B) 注目する行動が個体の発生の過程でどのように獲得されてるか。
- C) 注目する行動がどのような刺激によって解発されるか。
- D) 注目する行動にはどのような機能があるか。

問 15. ある湖のクニマスの個体数を推定するため、研究者は最初に 500 匹のクニマスを捕獲し、その後、印をつけてから湖に戻した。数日後研究者は再び 200 匹のクニマスを捕獲したところそのうち 50 匹に印がついていた。この標識再捕獲法によるクニマスの個体群サイズの推定値として最も近いのはどれか答えなさい。

- A) 800 匹
- B) 1600 匹
- C) 2000 匹
- D) 4000 匹

問 16. 行動における学習に関して、迷路をゴールしたら報酬を得られるという操作を繰り返し行なうことにより、ラットが迷路を正しく解くことができるようになった。このようなラットの行動の発達は以下のどの学習メカニズムの例として適切か答えなさい。

- A) オペラント条件付け
- B) 生得的行動
- C) 刷り込み
- D) 古典的条件付け

問 17. ある個体群の個体数がロジスティック増加する場合、増殖速度は以下の式で表現される。このとき、パラメータ[x]は何を表すか以下から選んで答えなさい。

$$\frac{dx}{dt} = yx \left( \frac{z - x}{z} \right)$$

- A) 内的自然増加率
- B) 密度依存性
- C) 環境収容力
- D) 個体数

問 18. Isopropyl-β-D(-)-thiogalactopyranoside (IPTG) (分子量 238.30) を 100 mg 購入した。100 mg すべてを滅菌水に溶解して 1M のストック溶液を作製する。100 mg を滅菌水に溶解して何 ml になれば 1 M となるか途中の計算式も含めて答えなさい。小数点第 3 位まで記載すること。

2

次の文章を読み、以下の問い（問1～5）に答えなさい。

アフリカツメガエルの初期原腸胚の外胚葉は、表皮予定領域と神経予定領域とに分けられる。表皮予定領域では①Bone Morphogenetic Protein 4 (BMP-4) の働きによって BMP 受容体が活性化し、その下流で②表皮の分化に必要なさまざまな遺伝子の転写が促進される。これに対して神経予定領域では、③BMP 受容体の活性化を阻害するタンパク質 X の働きによって、表皮への分化が抑制される。

問1. 下線部①について、BMP-4 が BMP 受容体（1 型受容体と 2 型受容体のヘテロ 4 量体）に結合すると、1 型受容体がリン酸化される。このときリン酸化されるアミノ酸残基の側鎖の構造として最も適切なものを図1の(a)～(f)の中から一つ選び、記号で答えなさい。

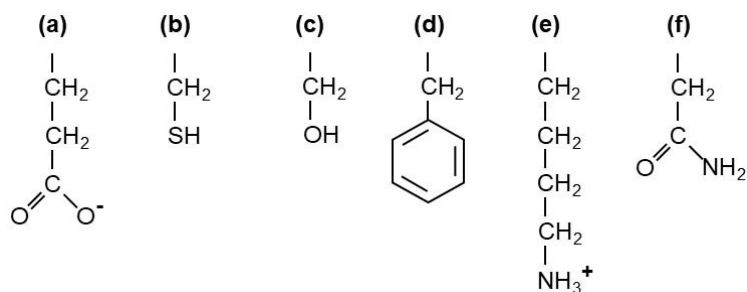


図1. アミノ酸の側鎖の構造

問2. 1 型 BMP 受容体の構造の模式図を図2に示す。問1で記したリン酸化されるアミノ酸残基の位置として最も適切なものを図2の(a)～(c)の中から一つ選び、記号で答えなさい。

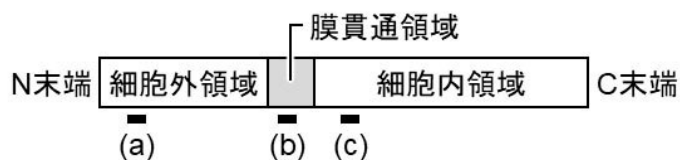


図2. 1 型 BMP 受容体の構造

問3. 下線部②のうち遺伝子  $y$  と遺伝子  $z$  について、転写が促進される機構を調べるために以下の実験を行った。

胞胚の動物極付近の組織を切り出して細胞を解離し、(a) 培地のみ、(b) BMP-4 を添加した培地、(c) BMP-4 とシクロヘキシミド（翻訳阻害剤）を添加した培地、のそれぞれで一定時間培養したのちに細胞中の遺伝子  $y$ 、 $z$  の mRNA を定量した。その結果を図3に示す。この結果をもとに、BMP-4 が  $y$ 、 $z$  それぞれの発現をどのように制御すると考えられるか、違いを明らかにしながら説明しなさい。ただし、以下のすべての図においてアスタリスク(\*)は統計学的に有意な差があることを、n.s.は無いことを示す。

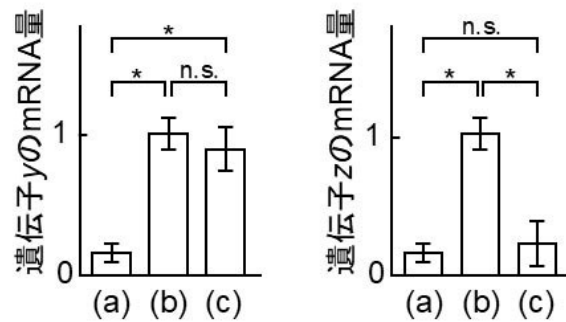


図 3. 遺伝子 y, z の mRNA 量 (相対値)

問 4. 下線部③について、タンパク質 X をコードする遺伝子 x は外胚葉で発現しておらず、中胚葉の一部だけで発現していることが分かった。タンパク質 X の性質や働きを詳しく調べるために行われた三つの実験の概要と結果を以下に示す。それぞれの実験結果からタンパク質 X のどのような性質が示されたか。実験ごとに簡潔に説明しなさい。

[実験 1]

生きた初期原腸胚から遺伝子 x を発現する領域を切り出して培地中で一定時間培養したのち、細胞が混入しないように培地だけを試料として抗 X 抗体による Western blot を行ったところ、タンパク質 X が検出された。

[実験 2]

BMP-4 および X をそれぞれ精製したのちに、バッファー中で混合して一定時間インキュベーションした。ここに抗 BMP-4 抗体を結合させたビーズを加えてさらにインキュベーションしてからビーズを回収した。ビーズ結合画分に対して抗 X 抗体による Western blot を行ったところ、タンパク質 X が検出された。

[実験 3]

HA タグで標識した BMP 受容体を培養細胞に発現させ、この細胞を(a) 培地のみ、(b) BMP-4 を添加した培地、(c) BMP-4 と X を添加した培地、のそれぞれで一定時間培養した。培地を十分に洗い流してから細胞を回収して可溶化し、抗 HA タグ抗体を結合させたビーズを加えてさらにインキュベーションしてからビーズを回収した。ビーズ結合画分に含まれる BMP-4 を定量したところ、図 4 の結果が得られた。

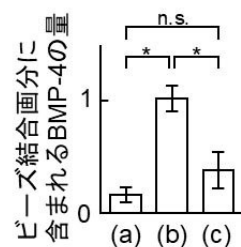


図 4. ビーズ結合画分に含まれる BMP-4 の量 (相対値)

問5. 外胚葉のうち神経予定領域は遺伝子 $x$ の発現領域に近く、表皮予定領域は遺伝子 $x$ の発現領域から遠い(図5)。遺伝子 $x$ の発現領域に近い細胞で表皮への分化が抑制され、遠い細胞では抑制されないのはなぜだと考えられるか。問4の実験1～3の結果をふまえて説明しなさい。

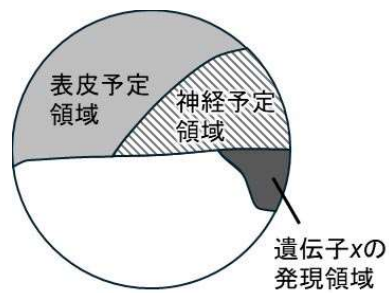


図5. 初期原腸胚の模式図



3

次の文章を読み、以下の問い（問1～5）に答えなさい。

ゲノム DNA の複製を担う DNA ポリメラーゼは、デオキシヌクレオシド三リン酸 (dNTP) を取り込み、プライマーの 3'末端と共有結合を形成する。この反応では、DNA ポリメラーゼによって取り込まれた dNTP から  が遊離することで、DNA 合成に必要なエネルギーが供給される。DNA リガーゼは、アデノシン三リン酸を補因子として活性中心のリシン残基にアデニル酸をホスホアミド結合させることで活性化される。この酵素は、5'末端に  基、3'末端に  基をもつ二本の DNA を連結する役割を果たし、細胞のゲノム DNA 修復や複製の過程だけでなくウイルス感染に伴う組換えや修復にも関与することがある。ヒトに感染するヒト免疫不全ウイルス (HIV) は、 本鎖の RNA をゲノムとしてもつウイルスである。HIV に対する抗ウイルス薬として、逆転写酵素阻害剤 (nucleoside reverse transcriptase inhibitor: NRTI) に分類されるヌクレオシド類似化合物が使用されており、NRTI は HIV の逆転写酵素の機能を阻害することでウイルスの複製を抑制する。<sup>(1)</sup>NRTI はまた、ヒト細胞においてミトコンドリア機能障害を引き起こすことが報告されている。バクテリアに感染するウイルスであるファージにはさまざまな種類があり、 $\lambda$  ファージは大腸菌への感染後、<sup>(2)</sup>環境に応じて二つの生活環(感染サイクル)を選択する。また、M13 ファージは一本鎖 DNA をゲノムとしてもち、大腸菌の  に付着して感染する。多くのバクテリアはウイルス感染に対し、<sup>(3)</sup>制限酵素や<sup>(4)</sup>RNA-タンパク質複合体によって外来 DNA の二本鎖切断を誘導することで自己防衛している。

問1. 文章中の  ～  にあてはまる語句を答えなさい。

問2. 下線部1について、NRTI がミトコンドリア機能障害を引き起こす原因として最も妥当な仕組みを、次の語句の中から適切なものを三つもちいて簡潔に説明しなさい。

[ミトコンドリア DNA, RNA ポリメラーゼ, DNA ポリメラーゼ, ペプチジル転移酵素, 補因子, 基質, 補酵素, ユビキチン化, SUMO 化]

問3. 下線部2について、 $\lambda$  ファージの生活環の名称を二つあげ、それぞれの特徴を説明しなさい。

問4. 下線部3についての以下の文章を読み、①～②に答えなさい。

$\lambda$  ファージの塩基配列を模倣して化学合成した全長 48,500 bp の直鎖状平滑二本鎖 DNA (以下,  $\lambda$ -dsDNA とする) を基質として, 制限酵素 *EcoRI* による消化実験を行った。実験では,  $\lambda$ -dsDNA を *EcoRI* 反応用の適切なバッファーに溶解し, *EcoRI* 酵素液を添加した後の反応液全体の体積が 100  $\mu$ L, かつ  $\lambda$ -dsDNA の最終濃度が 100 ng/ $\mu$ L となるように調製し, 37°C で 2 時間反応させた。なお, *EcoRI* の酵素活性は, 1 ユニット (1 U) で 1  $\mu$ g の  $\lambda$ -dsDNA を 37°C・1 時間の反応で完全に切断できる量と定義されており, この実験のために購入した *EcoRI* 酵素液の濃度は 20 U/ $\mu$ L であった。

① 実験にもちいた反応溶液中の  $\lambda$ -dsDNA の濃度 (mol/L) を求め, 有効数字三桁で答えなさい。なお, DNA のヌクレオチド (ヌクレオシドーリン酸) 1 個あたりの平均分子量は 330 として計算し, 計算過程も記すこと。

② この実験において,  $\lambda$ -dsDNA を完全に切断するために理論上最低限必要な *EcoRI* 酵素液の反応液への添加量 ( $\mu$ L) を求めなさい。なお, 添加する酵素の活性と反応時間は比例関係にあり, 反応中に酵素の失活は起こらず,  $\lambda$ -dsDNA は完全に切断可能な状態に均一に存在しているものとする。

問5. 下線部4についての以下の文章を読み、①～②に答えなさい。

外来 DNA の切断は, 標的配列に相補的な短鎖 RNA と, DNA を切断するタンパク質からなる RNA-タンパク質複合体 (ribonucleoprotein: RNP) によって行われる。あるバクテリア由来の RNP を試験管内で調製し, 標的配列を 1 か所含む 5.0 kb のスーパーコイル状プラスミド DNA に反応させた。その後, 反応混合液から DNA のみを精製し, 未処理のプラスミド DNA とともにアガロースゲル電気泳動により解析した。

① プラスミド DNA に RNP を反応させた場合, 未処理のプラスミド DNA と比較して, 電気泳動でどのようなバンドパターンの変化が見られるか, 理由とともに説明しなさい。なお, 標的配列以外には RNP は作用しないものとする。

② ヒト大腸がん細胞株において, ゲノム DNA 中の 1 か所を標的配列とする RNP を導入して数日間培養したところ, 標的配列付近に突然変異が生じた。この現象はどのような分子機構によるものか, 具体的に説明しなさい。

4

次の文章を読み、以下の問い（問1～7）に答えなさい。

多細胞生物の発生に関する遺伝基盤の研究には、Morgan らが開発した（ア）動物門のショウジョウバエ（*Drosophila melanogaster*）の変異体が長く使われてきたが、Brenner は（イ）動物門の（A）線虫（*Caenorhabditis elegans*）で多数の変異体を作成したことを 1970 年代に発表した。線虫の雌雄同体（図1）の細胞数は 959 個で、神経、筋肉、消化管などの組織もち、卵子と精子をもつ雌雄同体の成虫は自家生殖を行う。

Brenner は孵化した直後の L1 幼虫に変異原の EMS（Ethyl methanesulfonate）を投与し、（B）雌雄同体まで成長した個体から自家生殖によって生じた F1 から形態や行動に異常を示す変異体を得た。さらに F1 の自家生殖によって生じた F2 から変異体を得た。このように変異体を作成して表現型を確定してから原因遺伝子を特定する流れを順遺伝学（forward genetics）と呼ぶ。2000 年代に様々な生物の全ゲノム配列が解読されてからは、（C）逆遺伝学（reverse genetics）による解析も行われるようになった。

Brenner は運動に異常をもつ変異体に *unc*（uncoordinated mutants）と命名したが、後になって（D）運動に影響を及ぼす遺伝子は 100 以上が存在し、その中には筋細胞の収縮だけでなく神経細胞の興奮やネットワーク形成に関わるタンパク質も含まれることが明らかとなった。線虫の神経細胞は 302 個と少ないため、神経ネットワークを網羅的に解析する（E）コネクトームプロジェクトが 1980 年代から始まっている。

図1は著作権保護の観点より公表しない

図1：線虫の雌雄同体の解剖学図 Dorsal nerve cord (DNC) と ventral nerve cord (VNC) と中枢神経に相当する神経環（nerve ring）をもち、体壁筋（body wall muscle）で運動する。卵子（oocyte）が貯精嚢（spermatheca）を通過する時に受精が起き、陰門（vulva）から初期発生期の胚を生む。

引用元：www.wormatlas.org

問 1. (ア) と (イ) に当てはまる動物の門を示す用語を入れなさい

問 2. 下線部 A に関して、これまで様々なモデル生物が確立されているが、モデル生物として好ましい条件について 2 つ挙げなさい。ただし、問題文で線虫について言及している、変異体が生産できる、自家生殖ができる、組織分化が観察できる、細胞数が少ないという条件以外で述べなさい。

問 3. 線虫は一時的に高温で飼育すると配偶子の性染色体の分配に問題が起きて一部に雄が出現する。雄の性染色体が 1 本であることから考えられる性決定様式は XY・XO・ZW・ZO のどれか？

問 4. 下線部 B に関して、F1 と F2 の両方から変異体を探索すべき理由をそれぞれ 100 字以内で述べなさい。

問 5. 下線部 C に関して、人為的な遺伝子発現抑制の手法として siRNA (RNA 干渉) がもちいられることが多い。siRNA に類似した機構が生体内にも存在するが、その機構の名称を答えなさい。

問 6. 下線部 D に関して以下の問いに答えなさい。

a) *unc-54* の原因遺伝子は myosin heavy chain であることが分かっているが、この変異が運動の異常につながる機構について 100 文字以内で述べなさい。

b) *unc-6* の原因遺伝子は神経細胞の軸索誘導因子である netrin-1 であることが分かっているが、この変異が運動の異常につながる機構について 100 文字以内で述べなさい。

c) netrin-1 以外に神経細胞における遺伝子の変異が運動の異常につながるとされるタンパク質を 1 つ挙げ、そのタンパク質の神経細胞における機能について 100 文字以内で述べなさい。線虫の変異体として実在しなくても論理的に合致していれば良い。

問7. 神経細胞は軸索や樹状突起が広い領域の細胞と相互作用しているため、神経ネットワークを解析するのが難しい。このため、コネクトームプロジェクトでは神経細胞の位置関係や興奮状態、脳の領域ごとの機能を様々な手法で調べている。このうち、

i) brainbow

および

ii) fMRI (functional magnetic resonance imaging)

の説明として最も適切な解説を以下の数字から選びなさい。

- ① 興奮している神経細胞をカルシウム蛍光試薬の色の变化で標識する手法
- ② 活動している脳の領域を血流から推定する手法
- ③ 活動している脳の領域を放射性同位体の集積から推定する手法
- ④ ガラス電極を神経細胞の細胞に密着させて電位の変化を測定する手法
- ⑤ 細胞内で発現させる蛍光タンパク質の組み合わせによって神経細胞を1つずつ識別する手法
- ⑥ 二種の蛍光タンパク質が近接した時に波長が変化する性質を利用して神経細胞間の距離を推定する手法

5

次の文章を読み、以下の問い（問1～6）に答えなさい。

遺伝子多様度( $H$ )は、生物集団のもつ遺伝的多様性を定量化する指標としてよく使われている。2倍体で有性生殖を行う生物種  $X$  のある集団について、ある遺伝子座の遺伝的多様性を解析した結果、 $n$  種類のアレルが見つかった。 $i$  番目のアレルの頻度を  $p_i$  とした場合、その遺伝子座の遺伝子多様度( $H$ )は、

$$H = 1 - \sum_{i=1}^n (p_i)^2$$

という式①で表すことができる。

また、S. Wright の固定指数 ( $F_{ST}$ ) は、集団間の遺伝的分化を定量化する指標としてよく使われている。ある生物種が複数の集団から構成されている場合、種全体の遺伝子多様度を  $H_T$ 、それぞれの集団の遺伝子多様度の平均を  $H_S$  とした場合、固定指数 ( $F_{ST}$ ) は、

$$F_{ST} = 1 - \frac{H_S}{H_T}$$

という式②で表すことができる。

進化を引き起こす要因には4つある。突然変異 、 及び  である。集団間の遺伝的分化は、 によって進行するが、 によって抑制される。 は、遺伝的分化を促進する場合も、抑制する場合もある。

遺伝子多様度 ( $H$ ) や固定指数 ( $F_{ST}$ ) をもちいて集団の遺伝的構造を把握するためには、実際には表1のような遺伝子型のデータを得る必要がある。

表1 生物種  $X$  の集団1と2における遺伝子座  $Y$  の各遺伝子型の観察個体数

	$AA$	$AB$	$BB$
集団1	49	42	9
集団2	1	18	81

問1. 式①が集団内の遺伝的多様性を表すためにもちいられる根拠を、この式の第2項  $\sum_{i=1}^n (p_i)^2$  が何を意味するのかを検討することによって説明しなさい。

問2. 固定指数 ( $F_{ST}$ ) が1である状態とは、どういう遺伝的構造を意味するのか？解析した遺伝子座のアレルの頻度の観点から説明しなさい。

問3. ・・ に最もあてはまる用語を、それぞれ答えなさい。

問4. どのような ア が働いた場合、集団間の遺伝的分化は抑制されるか？この ア を示す用語を一つ答えると共に、その用語を簡単に説明しなさい。

問5. 表1の集団1と集団2のアレル  $A$  と  $B$  の頻度を計算して答えなさい。有効数字2桁で示すこと。

問6. 表1の集団1と集団2の間の固定指数 ( $F_{ST}$ ) を計算して答えなさい。ただし有効数字2桁で示し、計算過程も記すこと。

6

次の文章を読み、以下の問い（問1～5）に答えなさい。

地球全体の炭素循環は、大気、地表、海洋、地殻、生物などの異なる空間の間で、炭素がさまざまな化合物として移動する一連のプロセスである。生物地球化学的炭素循環モデルの概念図を図1に示す。ボックス（四角の囲み）は炭素を貯留している各リザーバー（reservoir）を示している。ボックス内の数字は各リザーバーに貯留されている炭素の質量を Gt（ギガトン： $10^{15}\text{g}$ ）の単位で示したものである。

矢印はリザーバー間の炭素の移動方向を示し、フラックス（flux）と呼ばれる。矢印の横の数字は一年間の移動量を Gt の単位で示したものである。図の中の実線の矢印は自然環境下での定常状態でのフラックスを示している。一方、点線の矢印は人為的な影響による正味のフラックスを意味しており、大気リザーバーの炭素の増加の原因となっている。大気リザーバーの炭素の増加は、表層海水や陸上生物へのフラックスの増加により緩和されるが、その効果は十分ではなく、その結果大気リザーバーに貯留される炭素は年々増加し、地球温暖化や海水の pH の変化など環境への大きな影響をもたらしている。

あるリザーバーに貯留されている物質が平均して過ごす時間を滞留時間（residence time）と呼び、そのリザーバーが貯留している炭素の質量を、そのリザーバーに流入するフラックスの合計、または流出するフラックスの合計で除することで計算できる。例えば大気の炭素の滞留時間は人為的なフラックスを除外した場合は  $750/200=3.75$  年となる。

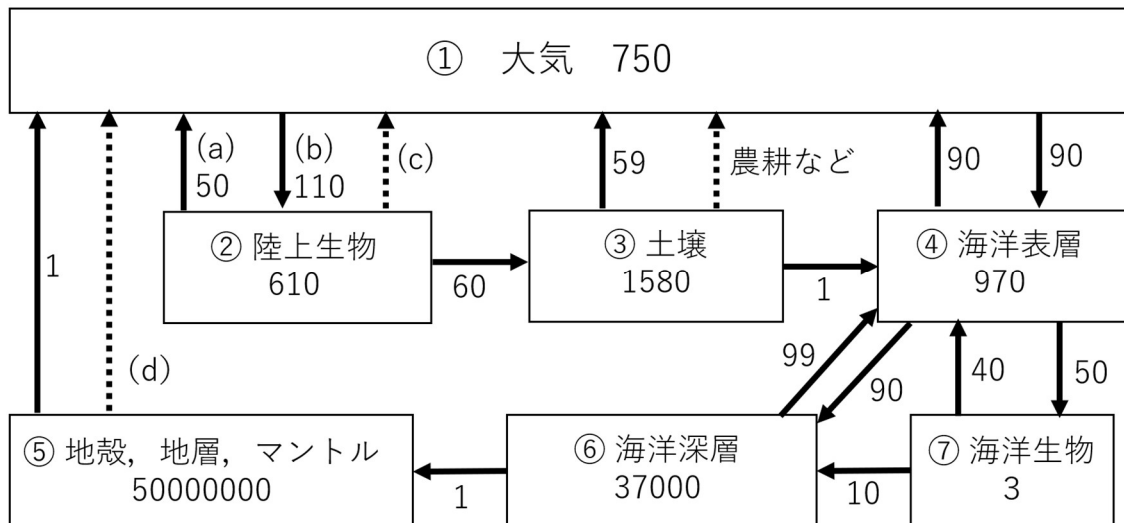


図1. 地球の炭素循環における主要なリザーバーとフラックス



問1. 図1の(a), (b), (c), (d)のフラックスは、主にどのような事象が関係するか、それぞれの事象の名称を答えなさい。

問2. ②, ③, ④, ⑤, ⑥, ⑦の各リザーバーの滞留時間を計算し、最も近い値を下の選択肢から選び答えなさい。ただし、人為的なフラックスは考慮しないこと。

(選択肢)      A 0.06 年      B 4.22 年      C 5.55 年      D 26.34 年  
                 E 370 年      F 50000000 年

問3. 陸上生物や海洋生物が貯留する炭素の増加は、地球温暖化の対策に効果があると考えられる。その中でも、近年は海洋生物の効果が特に注目されている。海洋生物が貯留する炭素の効果が特に注目される理由を、陸上生物との比較を含め、問2で計算した滞留時間を考慮しながら説明しなさい。

問4. (d) のフラックスにより産業革命以降の累計で 300Gt 以上の炭素が大気に放出されていると見積もられている。(d)により放出された炭素の影響は長期にわたり続き、元に戻るには時間がかかるため、(d)を減らすことが重要である。(d)に関する以下の問い(i)と(ii)に答えなさい。

(i) (d)により放出された炭素の影響が長期にわたり続き、元に戻るのに時間がかかる理由を、図1の⑤リザーバーに流入するフラックスの値を考慮して説明しなさい

(ii) (d)に代わるエネルギー源として再生可能エネルギーの利用を増やすことが求められている。発電に利用できる再生可能エネルギーにはどのようなものがあるか、その名称を4つ答えなさい。

問5. 大気中の炭素の増加は、海洋表層の無機炭素の増加を招き、海水の pH の変化の原因になると考えられている。この pH の変化は、貝殻やサンゴの骨格を形成する炭酸カルシウムの形成を制限し、貝やサンゴの成長を抑制したり、珊瑚礁の消滅をもたらす懸念がある。海洋表層の無機炭素の増加により、海水の pH がどのように変化するか答え、なぜそのような pH の変化がおこるのか、説明しなさい。

次の文章を読み、以下の問い（問1～5）に答えなさい

南西諸島に生息するシロオビアゲハの雌には、毒蝶であるベニモンアゲハに擬態する擬態型（ベイツ型擬態）と非擬態型の2型が存在する。島間でシロオビアゲハ個体群の擬態型の割合を調査すると、島によって大きく変動していた。ベイツ型擬態は、天敵である鳥などの捕食者の（ A ）を介した自然選択により進化すると考えられている。この（ A ）には、捕食者が「ある特定の形質をもつ個体は不味い」と記憶し捕食を避けるという行動が含まれ、この行動が選択されるかどうかは信号の信頼性に依存する。ベイツ型擬態において、（ B ）の個体数が相対的に多ければ信号の信頼性が高くなる一方、（ C ）が相対的に増えすぎるともはやその信号はもちいらなくなるだろう。このように F) 信号の信頼性すなわち擬態型の有利性は（ D ）依存性を示す。

動物が利用する信号の信頼性に関する問題は、（ E ）選択の場面でも生じる。配偶行動において、配偶相手の質を正しく評価し、どの配偶相手を選択するかが適応度に影響する。しかし、直接的に配偶相手の質を評価するのは一般に困難なため、質を反映すると考えられる信号（形質）の利用が進化している。例えば、ある種の鳥において羽に目玉模様をもつことが、雄個体の高い質を反映するのであれば、羽の目玉模様が雌にとって選択時の信号として有効になる。しかしながら、今度はこの信号を逆手にとって質の低い雄も羽に目玉模様をもち雌を騙そうとするため、このままでは信号の信頼性が低下し利用されなくなる。そのため、雄の質を正しく反映する信号（この場合は目玉模様の有無）が利用されるには、信号の信頼性が担保されるメカニズムが必要となる。そのメカニズムの一つにハンディキャップ仮説があるが、これは、G) 1) ある情報を伝える信号（例えば目玉模様）を作るにはコストが生じ、2) その相対的成本は雄の質によってばらつきがあり、3) 質の低い雄では信号をもつコストが利益を上回るため進化せず、信号をもつ＝高い質の雄という情報の信頼性が維持されるというものである。

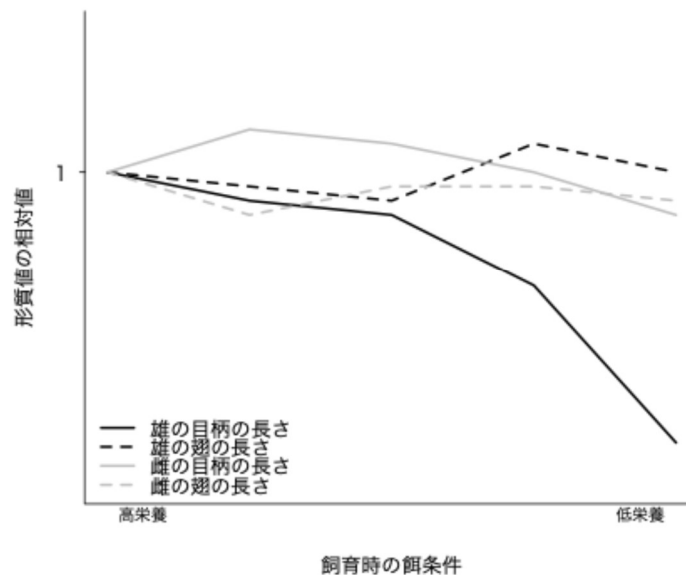
問1. 文章中の空欄 A～E に適切な語句をいれなさい。

問2. 下線 F) の捕食者からみた信号（＝有毒）の信頼性を求める式として最も適正なものを以下の4つの中から選びなさい

- 1：モデル個体数/（擬態型個体数＋非擬態型個体数）
- 2：モデル個体数/（擬態型個体数＋モデル個体数）
- 3：擬態型個体数/（モデル個体数＋非擬態型個体数）
- 4：モデル個体数/（モデル個体数＋擬態型個体数＋非擬態型個体数）

問3. 下線 G)をもとに、雄の質と信号生産コストや信号をもつことの利益の関係についてグラフで示せ。ここでは信号をもつことの利益は雄の質によらず一定と仮定する。

問4. 配偶時に眼柄の長い雄ほど雌に選択されることが確認されているシュモクバエを、餌条件を変えてシュモクバエを飼育したところ雌雄の形質と餌条件の関係は下図のようになった。このデータは、眼柄の長さの変化がハンディキャップ仮説（ある情報を伝える信号を作るにはコストが生じ、そのコストは雄の質によって変化）によって説明できることを示している。このデータのどの部分がハンディキャップ仮説を支持するか、その根拠と共にすべて述べなさい。



問5. 以下の語句から4つ選び、それぞれについて50字以内で説明しなさい

[近交弱勢, ウルトラディアンリズム, 真社会性, 半倍数性, ネクトン, スパイト行動, 雌雄異熟, キーストーン種, 外来種, 相変異, アレロパシー, 間接効果]