

2024年度  
東京都立大学大学院  
理学研究科博士前期課程  
生命科学専攻 夏季入試  
生物学  
試験時間 9 : 3 0 ~ 1 1 : 3 0

注意事項

- ◎ 受験生は試験開始の合図があるまで、頁をめくって問題を見てはいけません。
- ◎ 問題冊子（1部）と答案用紙（2枚）が配布されていることを確認してください。問題冊子と答案用紙のすべてがそろっていない場合には申し出てください。
- ◎ 各自の受験番号および氏名を答案用紙の所定の欄に記入してください。
- ◎ 問題は14題（第1問から第14問）あります。2題を選択し、それぞれの問題の指示に従って解答してください。
- ◎ 選択した問題ごとに別々の答案用紙を用い、問題番号欄に、選択した問題番号を記入してください。

**2024**

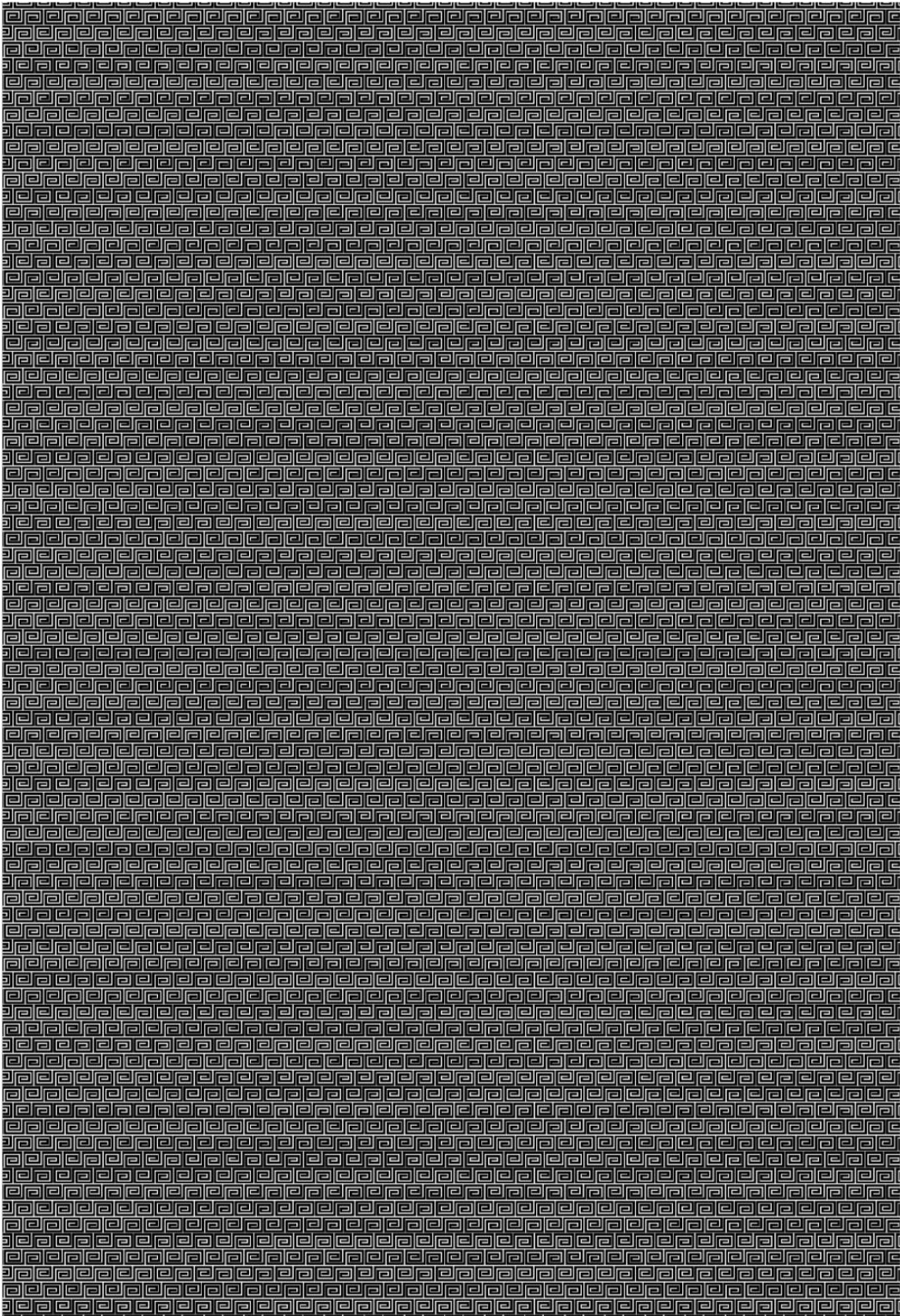
**Tokyo Metropolitan University**

**Graduate School of Science, Department of Biological Sciences**

**--Biology--**

9:30 – 11:30

- Do not open this document until notified.
- Confirm that you are supplied with two answer sheets along with this document.
- There are 14 sections. Choose and answer two sections. Follow the instructions for each section.
- Use one answer sheet for each section. Write the section number in the “Question No.” column at the top of each answer sheet.



第1問 (Section 1) ; 系統分類学

次の問いに答えなさい。

問 次の(1)～(4)の項目から三つを選び、それぞれについて、各項目の二つの語句を関連づけて15行程度の小論文を作成しなさい。

- (1) シダ植物の生活環 減数分裂
- (2) リンネ式分類体系 系統樹
- (3) 被子植物 動物と植物の共進化
- (4) 同所的種分化 食植性昆虫

第2問 (Section 2) ; 進化生物学

次の問1、問2すべてに答えなさい。

問1 図1はヒトの $\alpha$ グロビン遺伝子 *human a*とマウスの $\alpha$ グロビン遺伝子 *mouse a1*と *mouse ya3*の系統関係を示したものである。また、表1は図1の系統樹上における各枝、各コドンポジションでの塩基座あたりの塩基置換数を示したものである。*human a*と *mouse a1*は機能遺伝子であるのに対し、*mouse ya3*は遺伝子重複によって生じた後、機能を失った偽遺伝子である。これら $\alpha$ グロビン遺伝子について、以下の(1)~(3)すべてに答えなさい。

(1)  $\alpha$ グロビン遺伝子を含むタンパク質コード遺伝子において、自然選択の影響を最も受けにくいのは一般にコドンの第1、第2、第3番目のいずれの塩基座であると考えられるか。理由とともに答えなさい。

(2) 図1のA、B、Cのうち、*mouse ya3*はどれであると考えられるか。理由と共に答えなさい。

(3) 図1のAとBは約何年前に分岐したと考えられるか、計算過程と共に答えなさい。ただし、中立塩基座位の塩基置換速度は $3 \times 10^{-9}$ /塩基/年であるとする。

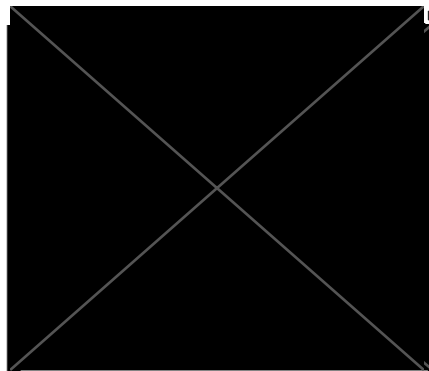


図1. グロビン遺伝子 (*human a*, *mouse a1*, *mouse ya3*) の系統関係。  
A、B、C、O、Xは各ノードを表す。Li et al. (1981 Nature) を改変。

表1. 図1の各枝、各コドンポジションにおける塩基置換率 (一塩基あたりの塩基置換数)

Li et al. (1981 Nature) を改変。

問2 ある地域で野外採集したキイロショウジョウバエの雌100個体について、1個体ずつ培地の入った容器に入れて産卵させ、単一雌由来の系統を樹立した。更にこれら100系統に

ついて、20世代の間、毎世代1対の雌雄で交配させ、近交系の樹立を試みた。樹立した各近交系から1個体ずつサンプリングし、形質Aと形質Bの表現型を定量した。図2(a)、(b)にそれらの結果のヒストグラムを示す。この実験に関する、以下の(1)、(2)すべてに答えなさい。

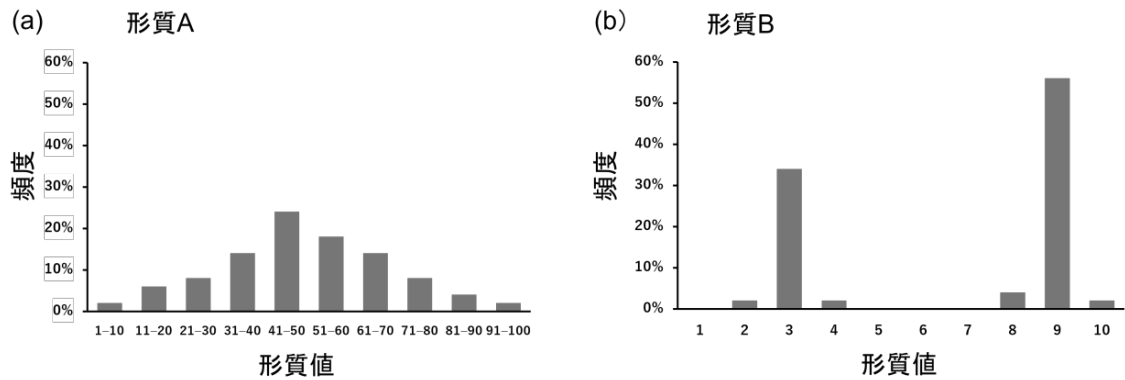


図2. 野外採集個体由来の近交系における形質A(a)及びB(b)の表現型分布

(1) 形質 A と形質 B は、それぞれの表現型の分布を決定している遺伝子座数が多い形質であると考えられるか少ない形質であると考えられるか、理由とともに説明しなさい。

(2) 形質 A について、別の地域より野外採集した個体から同様の実験により樹立された近交系を用いて計測した結果、図3のような分布となった。図2(a)と図3の違いが、それぞれの地域の集団にかかる自然選択の違いが原因で生じているとすると、それはどのような違いであると考えられるか、具体的な形質の例をあげて説明しなさい。

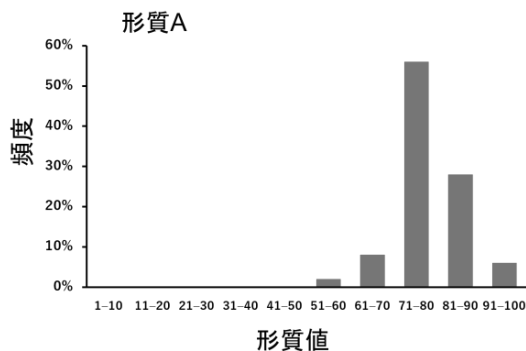


図3. 別の地域由来の近交系における形質Aの表現型分布

第3問 (Section 3) ; 動物生態学

次の問1～問2すべてに答えなさい。

問1 以下の文章を読み(1)、(2)すべてに答えなさい。

自分自身の適応度を下げ、他個体の適応度を上げる行動は利他行動と呼ばれる。利他行動は、それを行う個体自身とその受益者の間の血縁度が i 場合に進化しやすい。ある形質が、それを持つ個体自身ではなく血縁者の適応度を上げることで働く選択圧は ii と呼ばれる。利他行動が進化する条件は、利他行動のコストを  $a$ 、受益者の利益を  $b$ 、自身と受益者の間の血縁度を  $r$  として iii という不等式で表すことができる。

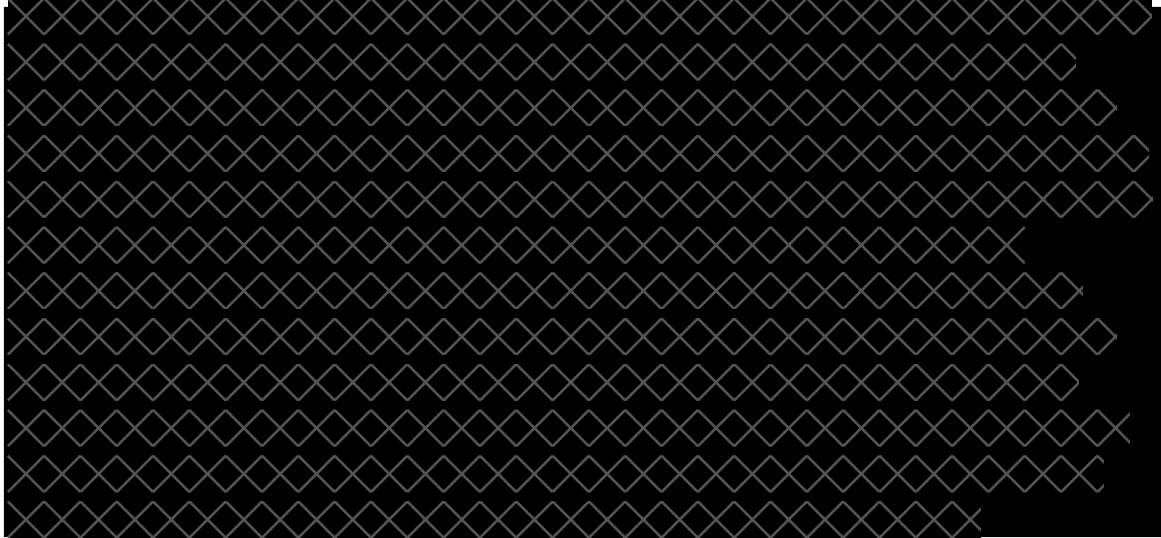
(1) 空欄 i ~ iii に入る適切な語句、数式を答えなさい。

(2) 血縁者間の利他行動の事例を一つ挙げ、その行動の適応的意義について8行程度で説明しなさい。

問2 種Aと種Bという二種の絶滅した哺乳類の化石について、種Aではオスのほうがメスよりも明らかに大きいことがわかった。一方、種Bではオスとメスでサイズに明瞭な差は見られなかった。この化石に見られる特徴から、二種の行動や生態について推測できることを8行から20行で説明しなさい。

第4問 (Section 4) ; 植物生態学

次の英文 (Van Dyke et al. (2022) Nature 611: 507–511 より、一部改変) を読み、これに関する以下の問 1～問 4 すべてに答えなさい。



問 1 下線部 (i) *niche* とは何かを、6 行以内で説明しなさい。

問 2 下線部 (ii) *fitness* とは何かを、3 行以内で説明しなさい。

問 3 下線部 (iii) と考えられる理由を、5 行以内で説明しなさい。

問 4 下線部 (iv) の内容を 6 行以内で説明しなさい。

第5問 (Section 5) ; 微生物学

次の問1、問2すべてに答えなさい。

問1 原核生物の代謝や生理に関する次の(1)~(7)の項目から三つを選び、それぞれについて5行程度で説明しなさい。

- (1) cyclic di-guanosine monophosphate (c-di-GMP) による制御 (Regulation by c-di-GMP)
- (2) 窒素同化 (Nitrogen assimilation)
- (3) 転写制御におけるオペロンとレギュロン (Operons and regulons in transcriptional regulation)
- (4) クオラムセンシング (Quorum sensing)
- (5) ロドプシン型光合成 (Rhodopsin-based phototrophy)
- (6) 膜小胞 (Membrane vesicle)
- (7) 細胞外電子伝達 (Extracellular electron transfer)

問2 1950年代に植物の炭酸固定経路として Calvin-Benson-Bassham (CBB) cycle が報告された。その後、独立栄養性原核生物で CBB cycle 以外の炭酸固定経路も発見されてきている。次の語を参考に、独立栄養性原核生物の生理的多様性や系統的多様性について論じなさい。

Calvin-Benson-Bassham (CBB) cycle, reductive citric acid (rTCA) cycle, reductive acetyl-CoA pathway (Wood-Ljungdahl pathway), 3-hydroxypropionate (3HP) bicycle, 3-hydroxypropionate/4-hydroxybutyrate (3HP/4HB) cycle, dicarboxylate/4-hydroxybutyrate (DC/HB) cycle, ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase (RuBisCO), carboxysome, photoautotroph, chemolithoautotroph, aerobic respiration, anaerobic respiration, ATP, reducing power, NADPH, NADH, ferredoxin, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S, CH<sub>4</sub>

第6問 (Section 6) ; 生化学

次の問1、問2すべてに答えなさい。

問1 次の生化学に関する項目(1)~(5) から三つを選び、それぞれ3~5行で説明しなさい。

- (1)  $\alpha$ -グルカンと  $\beta$ -グルカン
- (2)  $\omega$ -3 脂肪酸
- (3) 酵素反応における非競合阻害と不競合阻害
- (4) 免疫沈降法
- (5) ランベルト・ベール (Lambert-Beer) の法則

問2 以下の文章を読み(1)~(4)すべてに答えなさい。

タンパク質は、アミノ酸が(i)ペプチド結合により重合してできた高分子重合体である。(ii)アミノ酸の重合はリボソームにより触媒されるが、リボソームを構成する核酸あるいはタンパク質サブユニットのいずれが(iii)触媒活性中心を担っているかは明らかではなかった。その後、リボソーム RNA が触媒活性中心を担う(iv)リボザイムであるという、非常に重要な発見がなされた。

- (1) 下線部(i)に関して、ペプチド結合はタンパク質が二次構造を形成するうえで重要な役割をはたしている。 $\alpha$ -ヘリックス構造の形成にペプチド結合がどのように寄与するかについて論述しなさい。
- (2) 下線部(ii)に関して、真核生物のリボソーム上でおこなわれるペプチド伸長反応の過程を模式的に示した上で、10行程度で説明しなさい。
- (3) 下線部(iii)に関して、リボソームの触媒活性中心の位置を推定するためにはどのような実験的アプローチが有効であるか考え、その実験の概要を説明しなさい。
- (4) 下線部(iv)に関して、RNA が触媒活性を持つ事例は DNA が触媒活性を持つ事例に比して多くある。RNA を構成するヌクレオチドの特徴から、RNA が触媒活性を持ちうる理由を考察し3行程度で説明しなさい。

第7問 (Section 7) ; 分子生物学

次の問1～問3すべてに答えなさい。

問1 次の(1)～(3)の項目から二つを選び、それぞれに関して3～5行で説明しなさい。

- (1) 核様体
- (2) 分子シャペロン
- (3) 基本転写因子とシグマ因子

問2 mRNA量を測定する手法を二つあげて、それぞれの原理を説明しなさい。また、二つの手法を比較し、それぞれの特徴(長所・短所など)を説明しなさい。説明には図を用いても構わない。

問3 原核生物において、トキシン(毒素)-アンチトキシンシステムという生育および細胞死を制御するシステムが知られている。トキシタンパク質には様々な機能を持つものが存在するが、その一つとしてRNAの特異的な配列を認識して切断するリボヌクレアーゼが知られている。このシステムにおいては、アンチトキシンとトキシンの遺伝子がオペロンを形成しているため発現は同時に起こるが、アンチトキシタンパク質がトキシタンパク質と複合体を形成することで、トキシタンパク質の機能が抑制されている。一方、ある条件下においては、トキシタンパク質が機能できるようになり、生育の停止や細胞死が誘導される。このトキシタンパク質が、ある条件下では機能を発揮することができるようになる分子機構について仮説を立て、その仮説を検証する実験を説明しなさい。説明には図を用いても構わない。

第8問 (Section 8) ; 細胞生物学

次の問1～問3すべてに答えなさい。

問1 細胞周期のM期の長さはどのように制御されているか、10行程度で説明しなさい。

問2 細胞分裂に際して、染色体を分裂装置の中央に整列させ、その後娘細胞へと分配する仕組みについて、15行程度で説明しなさい。

問3 上皮細胞間にみられる3種類の細胞間結合から一つを選び、その役割と構造について10行程度で説明しなさい。

第9問 (Section 9) ; 遺伝学

次の文章を読み、以下の問1～問4すべてに答えなさい。

翅を切除したキイロショウジョウバエ (以下ハエと略す) の成虫を 44°C のホットプレート上に置くと、熱源から逃れるためにジャンプする。この行動は、ハエ成虫の熱刺激に対する反応を調べる際に利用されている。P 因子 (DNA 型トランスポゾン) がゲノム中にランダムに挿入された複数系統の中から、熱刺激に対する反応が低下する二つの突然変異系統、系統 A と系統 B を同定した。系統 A と系統 B の反応の強さに差は見られなかった。系統 A では第 2 染色体上に存在する遺伝子 *a* のタンパク質コード領域に P 因子が挿入されていた。遺伝子 *a* が発現しているニューロンを詳細に調べた結果、ハエ成虫の脚に存在する感覚毛で主に発現していた。次に、P 因子を再転移させてゲノム中から P 因子が抜けた二つの系統、系統 A-1 と系統 A-2 を得た。系統 A-1 と系統 A-2 の熱刺激に対する反応を調べたところ、①系統 A-1 は野生型系統程度に回復していたが、系統 A-2 は熱刺激に対する反応が低下したままであった。一方、系統 B の P 因子の挿入場所を調べたところ、X 染色体上に存在する遺伝子 *b* の転写開始点の上流 100bp に挿入されていた。さらに、②系統 B の遺伝子 *b* の発現レベルを野生型系統と比較したところ、野生型系統よりも著しく低下していた。

問1 下線部(i)について、系統 A-1 と系統 A-2 はいずれも P 因子が抜けたにもかかわらず、熱刺激に対する反応が大きく異なるのはなぜか、その理由として考えられることを 5 行程度で説明しなさい。

問2 下線部(ii)について、遺伝子 *b* の発現量が野生型系統よりも低下したのはなぜか、考えられる理由を 5 行程度で説明しなさい。

問3 野生型系統の第 2 染色体と X 染色体を、系統 A の第 2 染色体と系統 B の X 染色体にそれぞれ置き換えた系統 C を作製した。系統 A や系統 B と比較して系統 C の熱刺激に対する反応はどのように変化するか予想しなさい。二つの可能性をあげて、そのように考えた理由とともに 15 行以内で説明しなさい。

問4 遺伝子 *b* が発現しているニューロンを同定するためには、どのような実験を行えばよいか 15 行以内で説明しなさい。

第10問 (Section 10) ; 発生生物学

次の問いに答えなさい。

問 多くの動物の胚発生において、受精直後に卵内の物質が移動し、卵内の様々な領域に局在する現象が知られている。このような現象の例を一つあげ、胚発生における役割と、物質が卵内の様々な領域に局在する機構とをあわせて30行程度で説明しなさい。

第 1 1 問 (Section 11) ; 植物生理学  
次の問 1、問 2 すべてに答えなさい。

問 1 次の用語(1)~(8)すべてについて、被子植物の生理学・発生生物学・生化学・分子生物学に関連させて、それぞれ 3 行程度で説明しなさい。

- (1) C<sub>4</sub> 光合成
- (2) 雄性配偶体
- (3) 多核細胞
- (4) 種子形成
- (5) 細胞板
- (6) 光呼吸
- (7) 極性輸送
- (8) 光屈性反応

問 2 次の(1)、(2)のうちから一つを選んで 20~25 行で答えなさい。

(1) 花粉管の伸長から花粉管ガイダンス、雌雄配偶子(精細胞と卵細胞)の融合、受精卵中における核の合一に至る一連の被子植物の生殖過程を、細胞間相互作用および細胞骨格の観点から説明しなさい。

(2) シロイヌナズナのフィトクロムによる光発芽は、ジベレリンとアブシジン酸が関与することが示されている。この光発芽はどのような機構により調節されると考えられるか説明しなさい。

第12問 (Section 12) ; 組織・解剖・生理学

次の問1～問3すべてに答えなさい。

問1 脊椎動物のアクアポリンについて、構造と機能を説明しなさい。また、アクアポリンが重要な働きをしている臓器を一つあげ、その臓器におけるアクアポリンの働きを説明しなさい。あわせて15行程度で記述しなさい。

問2 細胞骨格は細胞の機能を支える重要な構造物である。以下の細胞機能に細胞骨格がどのように関わっているか、それぞれ10行程度で説明しなさい。

- (1) 脊椎動物の骨格筋における筋繊維（筋細胞）の収縮
- (2) 哺乳類のニューロンにおける細胞内輸送

問3 伸張反射において、四肢の筋収縮を協調させる仕組みについて、協調を支えるニューロンに言及しつつ10行程度で説明しなさい。

第13問 (Section 13) ; 生物物理学

次の問いに答えなさい。

問 物理学・化学に関するさまざまな発見が、生命科学研究を発展させてきた。次の(1)~(4)から二つを選び、それぞれについて説明するとともに生命科学分野における重要性について論じなさい。選んだ二つそれぞれへの解答は、10~20行程度とすること。

- (1) 蛍光消光 (Fluorescence Quenching)
- (2) X線吸収微細構造 (X-ray Absorption Fine Structure, XAFS)
- (3) 一分子リアルタイム DNA シーケンシング (Single-Molecule Real-Time DNA Sequencing, SMRT DNA Sequencing)
- (4) 高速原子間力顕微鏡 (High-Speed Atomic Force Microscopy, HS-AFM)

第 14 問 (Section 14) ; 生物統計学

以下の問 1、問 2 すべてに答えなさい。

問 1 結果を統計分析するためには、実験を反復することが重要な理由を 10 ~ 20 行で説明しなさい。

問 2 実験や観察で得られる数量データの多くが示す確率分布は正規分布であることが知られている。正規分布以外の確率分布の例を一つあげ、この確率分布を示す数量データの例をあげなさい。また、この数量データの分析に適切な統計解析方法を記述し、その方法が適切である理由も説明しなさい。 解答は 10 ~ 20 行にまとめなさい。

Section 1: Systematics

Answer the question below.

Question: Choose three of the following four pairs of words/phrases and write an essay in approximately 20 lines in each case. Be sure to explain the relationship between the words/phrases.

- (1) Life-cycle of ferns, meiosis
- (2) Linnean classification system, phylogenetic tree
- (3) Angiosperms (flowering plants), co-evolution of animals and plants
- (4) Sympatric speciation, herbivorous insects

Section 2: Evolutionary Biology

Answer both question 1 and question 2.

Question 1: Figure 1 shows the phylogenetic relationship among three  $\alpha$  globin genes, *human  $\alpha$*  in humans and *mouse  $\alpha 1$*  and *mouse  $\psi\alpha 3$*  in mice. Table 1 shows the number of nucleotide substitutions per site at each codon position for each branch on the phylogenetic tree in Figure 1. While *human  $\alpha$*  and *mouse  $\alpha 1$*  are functional genes, *mouse  $\psi\alpha 3$*  is a pseudogene that lost its function after gene duplication. Regarding these  $\alpha$  globin genes, answer the following questions (1), (2), and (3).

(1) Which of the 1st, 2nd, or 3rd codon positions in protein-coding genes, including  $\alpha$  globin genes, is generally expected to be under the weakest effect of natural selection? Explain your reasoning.

(2) Which of A, B, or C in Figure 1 is likely to be *mouse  $\psi\alpha 3$* ? Explain your reasoning.

(3) Calculate the approximate divergence time of A and B in Figure 1. Show your working. Assume the rate of neutral nucleotide substitution to be  $3 \times 10^{-9}$ /site/year.

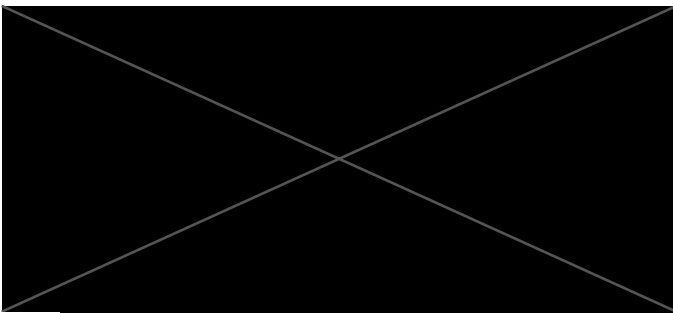


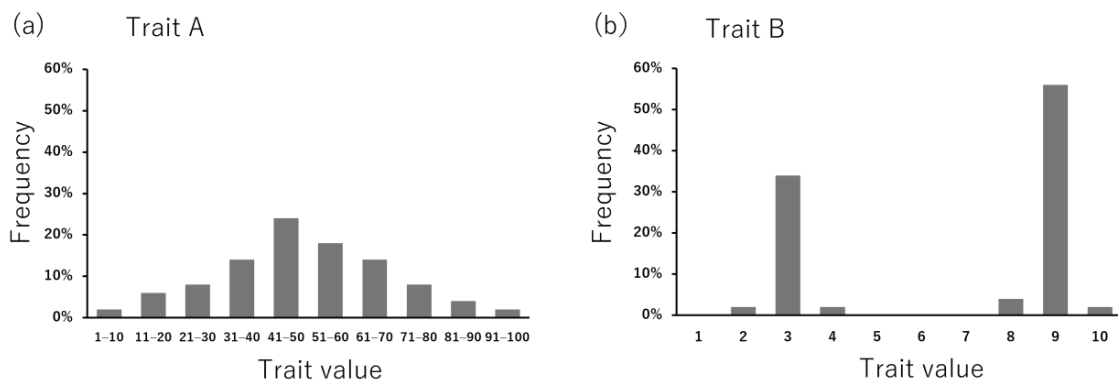
Figure 1. Phylogenetic relationship among three  $\alpha$  globin genes (*human  $\alpha$* , *mouse  $\alpha 1$* , and *mouse  $\psi\alpha 3$* ). A, B, and C represent each of the three genes. O and X indicate divergence points of ancestral sequences. Modified from Li et al. (1981 Nature).

Table 1. The number of nucleotide substitutions per site at each codon position for each branch on the phylogenetic tree in Figure 1.

Modified from Li et al. (1981 Nature).

Question 2: One hundred female *Drosophila melanogaster* were collected in the field from a particular location. They were placed individually in vials containing medium to allow egg-

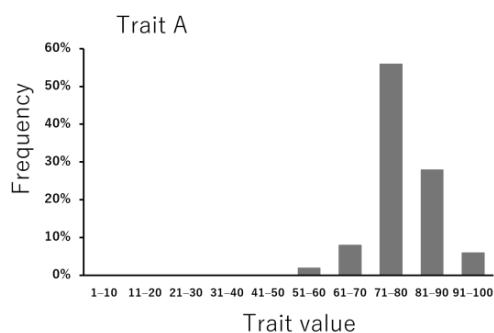
laying to establish lines derived from single females. Each of these 100 lines was then inbred by crossing a pair of female and male individuals from the same tube for 20 generations. One individual was sampled from each established inbred line, and the phenotypes of trait A and B were examined. Histograms of the phenotypic values are shown in Figure 2 (a) and (b). Answer the following questions (1) and (2) regarding this experiment.



**Figure 2.** Phenotype distribution of trait A (a) and B (b) of the inbred lines derived from the field.

(1) Discuss whether the phenotype distribution of each trait (trait A and B) is likely to be determined by a large or a small number of loci. Include the reasoning for your answer.

(2) Figure 3 shows the distribution of trait A of individuals sampled from the inbred lines established from those collected from a different location by the same procedure as above. Assuming that the differences between Figure 2 (a) and Figure 3 are due to the differences in natural selection between these populations, provide an explanation of the kind of selective pressures that could bring about the differential distribution of this trait using a specific trait as an example.



**Figure 3.** Phenotype distribution of trait A from the inbred lines derived from a different location.

### Section 3: Animal Ecology

Answer both question 1 and question 2.

Question 1: Read the paragraph below and answer (1) and (2).

A behavior that decreases the fitness of the actor but increases the fitness of others is called altruism. Altruistic behavior tends to evolve when the relatedness of the actor and receiver is   i  . Selection that acts via the fitness advantage to kin, but not the trait holder itself, is called   ii  . If the cost of altruistic behavior is  $c$ , the benefit to the receiver  $b$ , and the relatedness between actor and receiver  $r$ , altruistic behavior can evolve when these parameters fulfill the inequality   iii  .

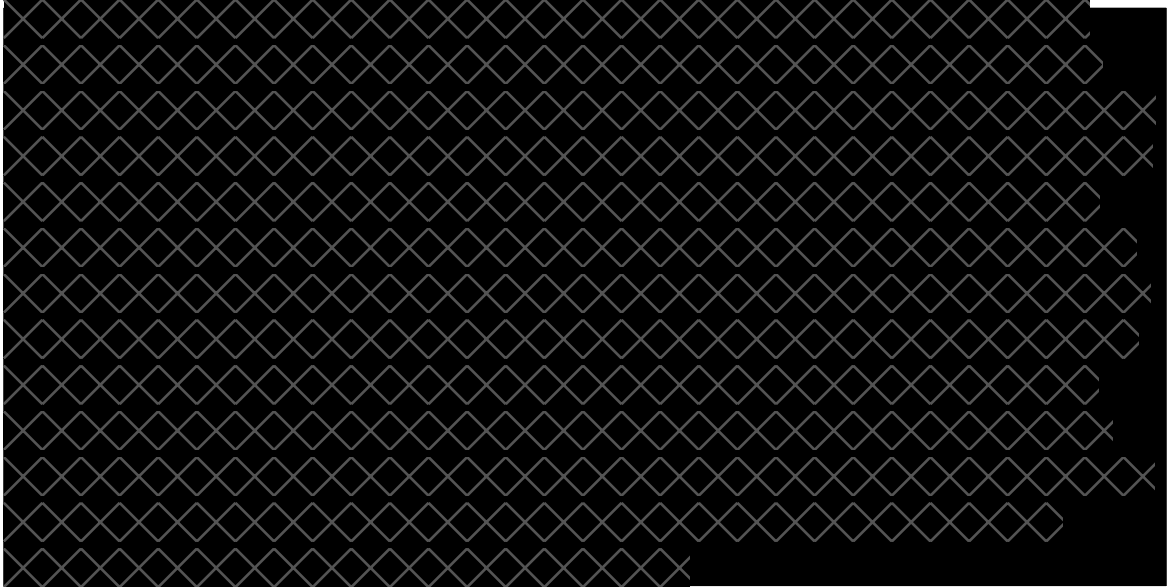
(1) List terms or expressions to replace the blanks indicated by   i   to   iii   in the sentences above.

(2) Describe one example of altruistic behavior among kin and explain the adaptive significance of this behavior in about 10 lines.

Question 2: Among a collection of fossils from two species of extinct mammal, you discover that males in species A are clearly larger than females, whereas there is no obvious size difference between the sexes in species B. Explain what can you infer about the behavior and ecology of these two species based on this fossil evidence in 10 to 25 lines.

Section 4: Plant Ecology

Read the following paragraph modified from Van Dyke et al., (2022, Nature 611:507-511) and answer question 1 to question 4.



Question 1: Describe what is meant by ‘niche’ ((i)) in five to 10 lines.

Question 2: Describe what is meant by ‘fitness’ ((ii)) within five lines.

Question 3: Explain the reasons why stabilizing niche differences must exceed fitness differences for a pair of species to coexist ((iii)) in five to 10 lines.

Question 4: Provide an explanation for (iv) in five to 10 lines.

Section 5: Microbiology

Answer both question 1 and question 2.

Question 1: Choose three topics from the following (1) to (7). Explain the topic with regard to prokaryotic metabolism and physiology in approximately five lines in each case.

- (1) Regulation by cyclic di-guanosine monophosphate (c-di-GMP)
- (2) Nitrogen assimilation
- (3) Operons and regulons in transcriptional regulation
- (4) Quorum sensing
- (5) Rhodopsin-based phototrophy
- (6) Membrane vesicle
- (7) Extracellular electron transfer

Question 2: In the 1950's, the Calvin-Benson-Bassham (CBB) cycle was reported as the CO<sub>2</sub> fixation pathway in plants. Following this, other CO<sub>2</sub> fixation pathways have been discovered in autotrophic prokaryotes. After reviewing the list of terms below, write an essay on physiological diversity and/or phylogenetic diversity of autotrophic prokaryotes.

Calvin-Benson-Bassham (CBB) cycle, reductive citric acid (rTCA) cycle, reductive acetyl-CoA pathway (Wood-Ljungdahl pathway), 3-hydroxypropionate (3HP) bicycle, 3-hydroxypropionate/4-hydroxybutyrate (3HP/4HB) cycle, dicarboxylate/4-hydroxybutyrate (DC/HB) cycle, ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase (RuBisCO), carboxysome, photoautotroph, chemolithoautotroph, aerobic respiration, anaerobic respiration, ATP, reducing power, NADPH, NADH, ferredoxin, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S, CH<sub>4</sub>.

Section 6: Biochemistry

Answer both question 1 and question 2.

Question 1: Choose three biochemical terms from (1) to (5) listed below and explain in three to five lines each.

- (1)  $\alpha$ -glucan and  $\beta$ -glucan
- (2)  $\omega$ -3 fatty acids
- (3) Non-competitive inhibition and uncompetitive inhibition in enzymatic reactions
- (4) Immunoprecipitation
- (5) Lambert-Beer law

Question 2: Read the paragraph below and answer (1) to (4) below.

Proteins are assembled from a set of amino acids, which are linked together by (i) peptide bonds. (ii) Peptide bond formation is catalyzed by the ribosome, a ribonucleo-protein complex. However, it was not determined until recently which of the ribosomal components, RNAs or proteins, form the (iii) catalytic center during peptide synthesis. It was an important recent discovery that ribosome RNA forms the catalytic center and belongs to the “(iv) ribozyme” family.

- (1) Regarding underline (i), peptide bonds play a critical role in secondary structure formation. Explain how peptide bonds contribute to the formation of the alpha-helix structure.
- (2) Regarding underline (ii), describe the process of peptide elongation in the eukaryotic ribosome in about 10 lines. Include explanatory figures.
- (3) Regarding underline (iii), we wish to determine the position of the catalytic center within the ribosomes. Describe experiments we can use to address this issue.
- (4) Regarding underline (iv), more examples of RNA forming the catalytic center have been discovered to date than DNA doing so. Focusing on the structure of the ribonucleotide, explain the high catalytic potential of RNA compared to DNA in about three lines.

## Section 7: Molecular Biology

Answer question 1 to question 3 below.

Question 1: Choose two topics from the following (1) to (3) and explain the meaning of the topics in approximately five lines in each case.

- (1) Nucleoid
- (2) Molecular chaperone
- (3) General transcription factor and sigma factor

Question 2: Describe two methods for analyzing mRNA abundance. In your answer, compare the two methods and explain the characteristics (advantages, disadvantages, etc.) of each. You may use diagrams in your answer.

Question 3: In prokaryotes, the toxin-antitoxin system is known to regulate growth and cell death. Toxin proteins have a variety of functions, one of which is known to be a ribonuclease activity that recognizes and cleaves specific sequences in RNA. In this system, the antitoxin and toxin genes form an operon, so their expression occurs simultaneously. The antitoxin protein forms a complex with the toxin protein, thereby suppressing the function of the toxin protein. However, under certain conditions, the toxin protein can arrest growth and induce cell death. Propose a hypothesis regarding the molecular mechanism by which this toxin protein becomes able to function under certain conditions. Explain an experiment to verify your hypothesis. You may use diagrams in your answer.

Section 8: Cell Biology

Answer question 1 to question 3 below.

Question 1: How is the duration of the M-phase in the cell cycle determined? Explain in about 10 lines.

Question 2: Explain the mechanisms that align chromosomes at the equator of the mitotic spindle and then distribute them to daughter cells in about 15 lines.

Question 3: There are three types of cell-cell junctions. Choose one of them and explain its structure and functions in about 10 lines.

## Section 9: Genetics

Answer question 1 to question 4 below.

When adult fruit flies (hereafter referred to as "flies") with their wings removed are placed on a hot plate at 44°C, they jump to escape from the heat source. This behavior can be used to measure the response of adult flies to thermal stimuli. Among many strains in which the P-element (a DNA-type transposon) was randomly inserted into the genome, we identified two mutant strains, strain A and strain B, with significantly reduced responses to thermal stimuli. The strength of the response was the same in strain A and strain B. In strain A, the P-element was inserted into the protein-coding region of gene *a* on the second chromosome. Gene *a* was expressed in sensory hairs on the legs of adult flies. Next, the P-element was remobilized to obtain two strains, strain A-1 and strain A-2, in which the P-element was removed from the genome. The response of strains A-1 and A-2 to thermal stimuli was examined. (i) The response of strain A-1 to thermal stimuli returned to the wild-type level, while that of strain A-2 remained reduced. The insertion site of the P-element in strain B was also examined, and it was determined that the P-element was inserted 100-bp upstream of the transcription start site of gene *b* on the X chromosome. Furthermore, when the expression level of gene *b* was compared between wild-type strain and strain B, (ii) the expression level of gene *b* in strain B was significantly lower than that in the wild-type strain.

Question 1: Explain your hypothesis why in underline (i), the responses of strain A-1 and strain A-2 to thermal stimuli are considerably different, even after the P-element was excised in both strains.

Question 2: Explain your hypothesis why in underline (ii), the expression level of gene *b* in strain B is lower than that in the wild-type strain.

Question 3: Strain C was generated from the wild-type strain by replacing the second chromosome and the X chromosome of the wild-type strain with the second chromosome of strain A and the X chromosome of strain B, respectively. Describe two possible outcomes if the response of strain C to thermal stimuli is compared to those of strain A and strain B. Explain your reasoning.

Question 4: Explain how you would conduct experiments to identify neurons expressing gene *b* in adult flies.

Section 10: Developmental Biology

Answer the question below.

Question: Describe one example of ooplasmic segregation wherein cytoplasmic components localize within the egg following fertilization. Describe the developmental role of this particular example and explain the mechanisms underlying ooplasmic segregation in this case in about 30 lines.

Section 11; Plant Physiology

Answer both question 1 and question 2.

Question 1: Explain the following terms (1) to (8) in about three lines each in the context of the physiology, developmental biology, biochemistry and molecular biology of angiosperms.

- (1) C<sub>4</sub> photosynthesis
- (2) Male gametophyte
- (3) Multinucleate cell
- (4) Seed formation
- (5) Cell plate
- (6) Photorespiration
- (7) Polar transport
- (8) Phototropism

Question 2: Choose one question from the following questions (1) and (2) and provide an answer in about 25 lines.

(1) Describe the physiological series of reproductive events in angiosperms, including pollen tube elongation, pollen tube guidance, gamete fusion and karyogamy within the fertilized egg. Your answer should emphasize cell-cell interaction among participating cells and cytoskeletal dynamics within the cells.

(2) It has been shown that phytochrome-mediated seed germination in *Arabidopsis* involves gibberellins and abscisic acid. Describe the mechanism by which germination in *Arabidopsis* is regulated.

Section 12: Animal Physiology

Answer question 1 to question 3 below.

Question 1: Describe the structure and function of aquaporin in vertebrates and give one example of its importance within an organ system in about 15 lines.

Question 2: The cytoskeleton supports many cellular functions. In about 10 lines each, describe the mechanisms by which cytoskeletal structures support (1) contraction of myofibers in vertebrate skeletal muscle, and (2) intracellular transport in mammalian neurons.

Question 3: Describe how muscle contraction in a limb is coordinated during the stretch reflex and the neurons that underlie this coordination in about 10 lines.

Section 13: Biophysics

Answer the question below.

Question: Discoveries in physics and chemistry have advanced life science research. Choose two keywords from the following (1) to (4), explain these terms, and discuss their importance in life science in about 10 to 20 lines each.

- (1) Fluorescence quenching
- (2) X-ray Absorption Fine Structure (XAFS)
- (3) Single-Molecule Real-Time (SMRT) DNA Sequencing
- (4) High-Speed Atomic Force Microscopy (HS-AFM)

Section 14: Statistics

Answer both question 1 and question 2.

Question 1: Describe in a short paragraph (10 to 20 lines) why replication of your experiment is important for effective statistical analyses.

Question 2: Many kinds of data can be expected to fit a 'normal' distribution. In a short paragraph (10 to 20 lines) describe one other form of data distribution. Provide examples of some kinds of data which could produce this kind of distribution. Describe a statistical method which could be used to analyze these data and explain why this test is suitable.

