

2025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 4月入学
生物学

試験時間 9:30～11:30

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。

2025 April enrollment

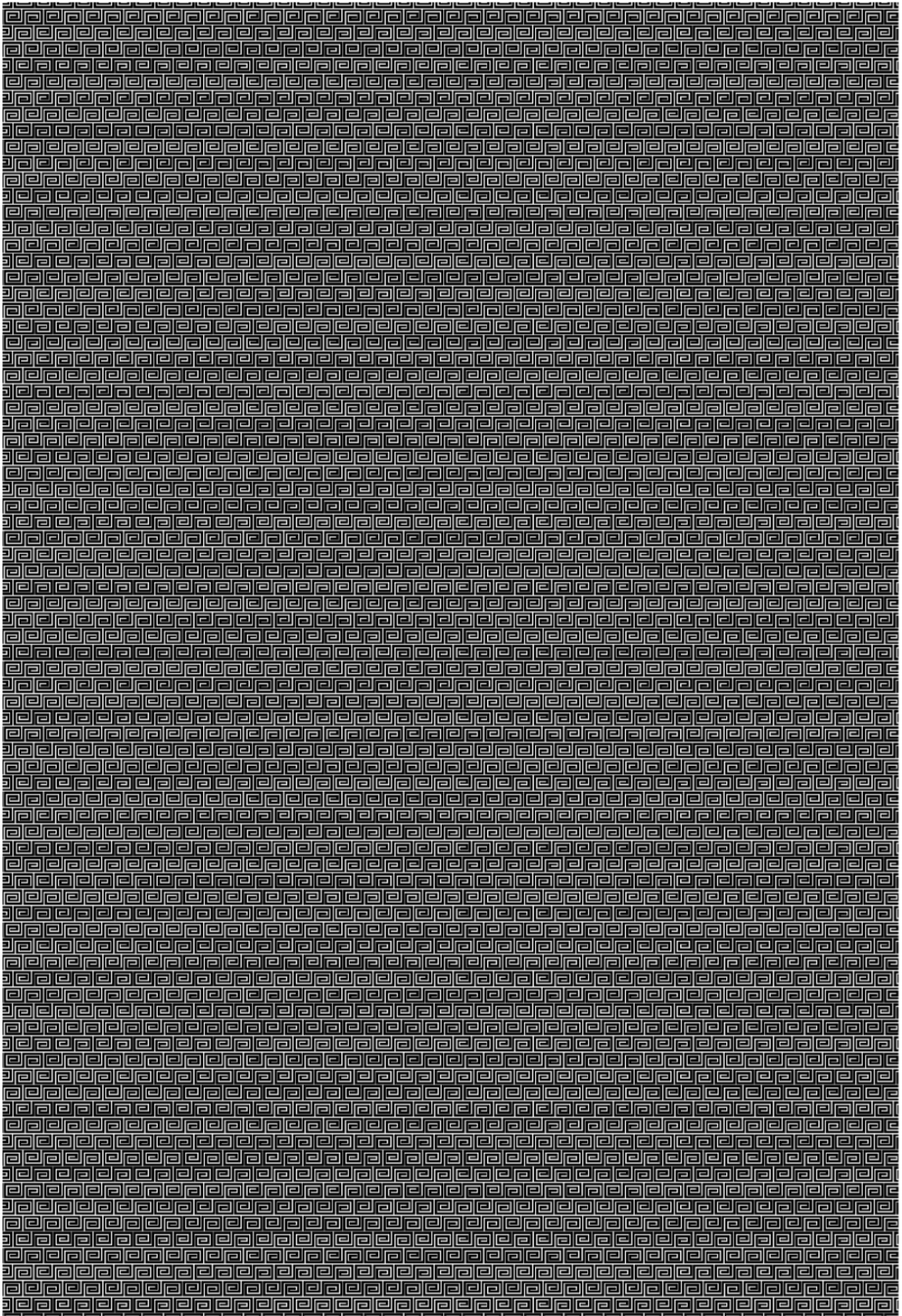
Tokyo Metropolitan University

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、各項目で提示されている語句すべてを用いて15行程度の小論文を作成しなさい。

- (1) 種間関係 系統樹
- (2) 島嶼 適応 系統樹
- (3) 日本列島 地理的遺伝構造
- (4) 維管束植物 網状進化

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 以下の図1はイヌにみられる疾患 α の遺伝について調査したイヌの家系図である。この疾患に関する次の(1)~(3)の小問すべてに答えなさい。

- (1) 疾患 α は常染色体の単一遺伝子によって引き起こされる遺伝病であり、この遺伝子座には二つのアレル (S と s) が存在する。疾患 α を引き起こすアレルは完全顕性 (優性) または完全潜性 (劣性) である。疾患 α は顕性と潜性のアレルどちらによって引き起こされるか理由とともに5行程度で説明しなさい。
- (2) 疾患 α はイヌの原種であるオオカミにもみられるが、集団中の疾患 α の発症頻度はイヌに比べてはるかに低い。このような違いが生じるのはなぜか、考えられる理由をイヌの家畜化の過程を踏まえて7行程度で説明しなさい。なお、オオカミにおいても疾患 α はイヌと相同な単一遺伝子座の遺伝子によって引き起こされ、浸透度はイヌと同等である。
- (3) 疾患 α のように、さまざまな表現型は遺伝的要因によって決定される。イヌ以外の生物も含め、表現型変異をつかさどるゲノム中の責任領域を絞り込むための手法を一つあげ、その手法と原理を7行程度で説明しなさい。

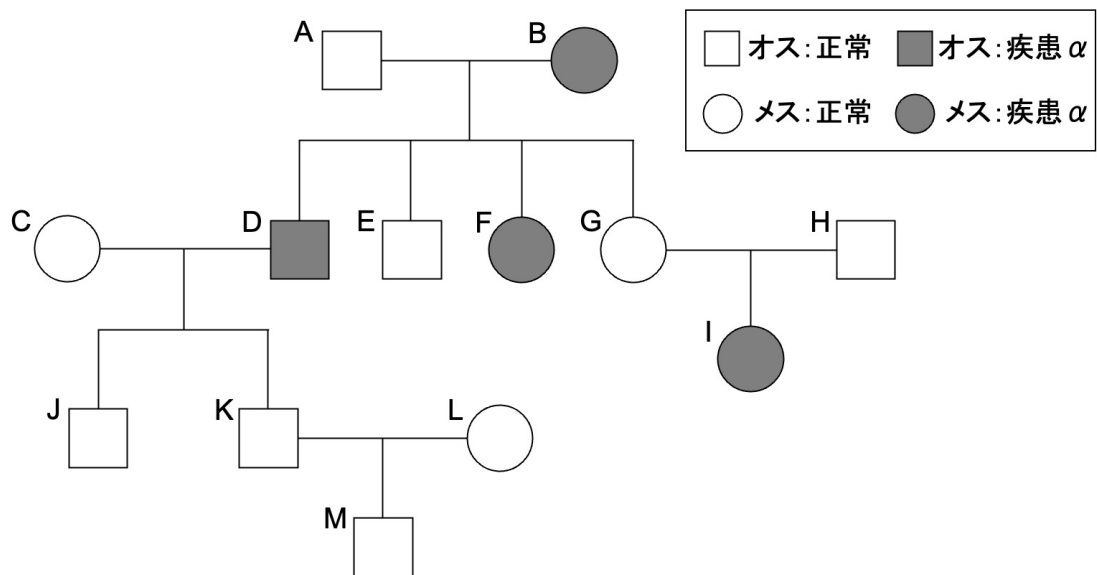


図1. 疾患 α に関するイヌの家系図

問 2 動物の性比に関する以下の(1)～(3)の小問すべてに答えなさい。

- (1) 繁殖個体の性比が 1:1 である生物集団において、個体ごとの繁殖成功度を考えた時、一般にそのばらつきが大きいのはどちらの性であるか、またこのようなばらつきの違いはどのような形質の進化と関連性が高いか、例をあげて 7 行程度で説明しなさい。
- (2) ある種内で、常に繁殖個体の性比が 1:1 から大きくずれている集団 A と繁殖個体の性比が 1:1 からずれていない集団 B がある。これらの集団内の繁殖個体数が同じであった場合に、ゲノム全体の遺伝的変異はどちらが大きくなると考えられるか、そう考えられる理由とともに 7 行程度で説明しなさい。
- (3) 細胞内共生微生物の中には、宿主の生殖細胞を操作して次世代の性比を雌に偏らせる種がいる。このような操作が共生微生物にもたらしうる利点を、7 行程度で説明しなさい。

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 次の英文を読み、これに関する以下の(1)、(2)の小問すべてに、それぞれ10~15行で答えなさい。

While examining a population of invasive birds on an oceanic island, you discover that the beaks of the birds are considerably longer than in the original source population on the mainland. On the island, you find that this species has no direct competitors, while the mainland population is known to coexist with several congeneric species. Previous surveys indicate that the island population is around 40 years old. The introduction of the species occurred only once, and there is no gene flow between the island and the mainland.

(1) 海洋島の個体群で、より長い嘴(くちばし)が観察された理由を説明する仮説を二つ考え、説明しなさい。

(2) 上の小問(1)で提案した二つの仮説を検証するための実験や解析とそれらからどのような結果が得られると予想されるかを、それぞれの仮説について説明しなさい。

問2 次の英文を読み、これに関する以下の(1)、(2)の小問すべてに、それぞれ10~15行で答えなさい。

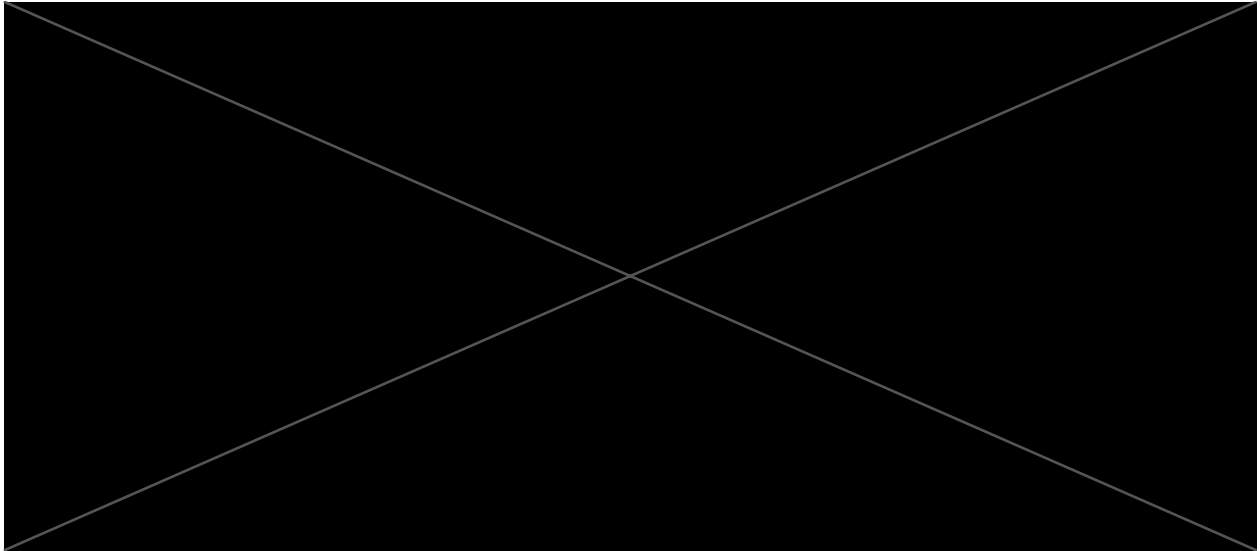
Generally speaking, the optimal level of parental investment in offspring is expected to be determined by the balance of costs and benefits. Benefits are derived from the increased fitness of the current offspring resulting from higher energy investment (e.g., increased size). Costs are proportional to the resources invested and therefore unavailable for other offspring. Costs can be expected to rise as a linear function of investment in a given offspring, while benefits will be a saturating function of that investment (i.e., once a certain size is reached, there is no benefit from further investment).

(1) どの程度の投資量が親にとって最適だと考えられるかを説明しなさい。説明には図を用いてもよい。

(2) すでに子を持つ親が、それ以上に繁殖して子を残す可能性がない場合、最適な投資は子を残す可能性があるときに比べ、どのように変化するかを説明しなさい。

第4問 (Section 4) ; 植物生態学

次の英文 (Delavaux et al., (2024), Nature 627: 335–339 より一部改変) を読み、これに関する以下の問 1 ~ 問 5 すべてに答えなさい。



*elusive: difficult to find, catch, or achieve

問 1 上文中の空欄 (X) にあてはまる最も適切な英単語一語を答えなさい。

問 2 下線部(i) 'the latitudinal diversity gradient (LDG)' とは何かを、6 行以内で説明しなさい。

問 3 下線部(ii) 'traditional physical drivers of island biogeography' とは何かを、12 行以内で説明しなさい。

問 4 下線部(iii) 'plant species with mutualists'にある mutualistic relationships の例を二つあげ、8 行以内で説明しなさい。

問 5 下線部(iv) 'plant mutualist filters on species richness' の効果を確認するために、東京都の島嶼部にて行う実証的な研究計画を 15 行以内で提案・説明しなさい。なお、東京都には、周囲長 0.1 km 以上の島が 600 島以上あり、その本州からの距離は、ごく近いものから南東海上沖 1900 km 離れたものまで様々である。これらの中で、最も大きな島の面積は約 69 km² である。

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

- (1) 翻訳開始機構 Mechanisms of translation initiation
- (2) トランスポゾン Transposon
- (3) アミノ酸要求性 Amino acid auxotrophy
- (4) 酸化ストレス応答 Oxidative stress response
- (5) 細菌の化学受容体 Bacterial chemoreceptor
- (6) IV型線毛 Type IV pilus
- (7) 内生菌 Endophyte

問2 川底に発達するバイオフィルムからある原核生物を分離した。この原核生物のエネルギー代謝様式として考えられる様式を三つあげ、どの様式が使われているか検証する実験を説明しなさい。あわせて20～30行程度にまとめること。

第6問 (Section 6) ; 生化学

次の問1、問2すべてに答えなさい。

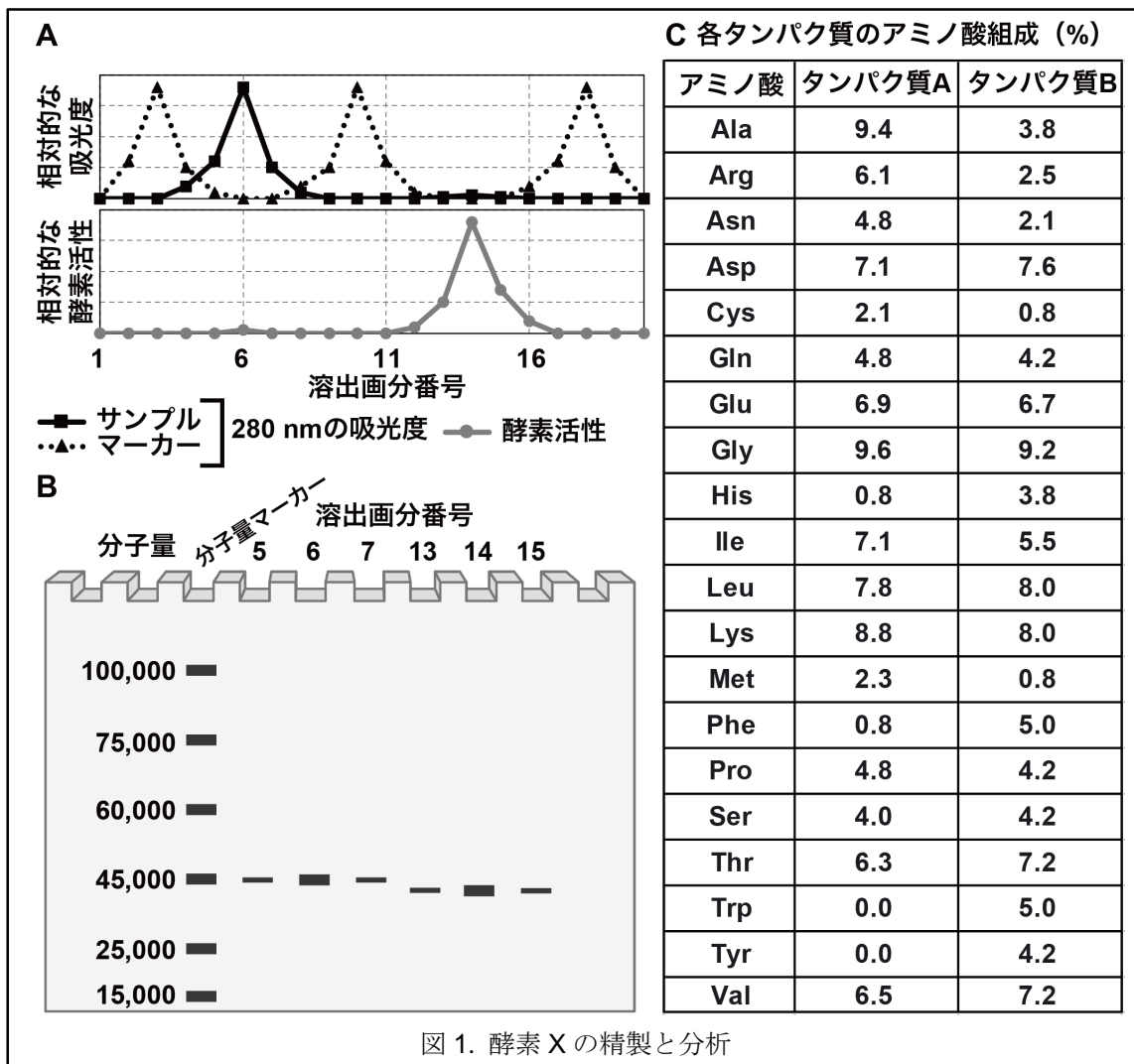
問1 次の生化学に関する(1)～(5)の項目から三つを選び、それぞれ3～5行で説明しなさい。

- (1) タンパク質の等電点
- (2) トリプシンの触媒三残基 (Catalytic triad)
- (3) ペプチジル tRNA とアミノアシル tRNA
- (4) トリアシルグリセロール
- (5) 硫酸アンモニウム沈殿 (硫酸沈殿)

問2 次の実験に関する(1)～(3)の小問すべてに答えなさい。

[実験] ある酵素 X を、その活性を指標に微生物 A から複数のステップで精製した。その最後のステップとしてゲルろ過クロマトグラフィーを行い、それぞれの溶出画分について、紫外光である 280 nm の吸光度と目的の酵素活性を測定した結果を図 1A に、SDS-PAGE による電気泳動後、クマシーブリリアントブルー染色した結果を図 1B に示す。さらに、画分 6 と画分 14 のタンパク質バンドを切り出して質量分析に供し、微生物 A のゲノム情報から各タンパク質のアミノ酸配列を同定した。ゲノム配列に基づいたアミノ酸組成を図 1C に示す。これらの結果から、画分 14 で得られたタンパク質が目的の酵素 X であり、高い純度で精製できたと結論づけた。

- (1) タンパク質を検出するために 280 nm の波長の吸光度を測定したが、高い酵素活性を示す画分 14 において 280 nm の吸収はほとんど検出されなかった (図 1A)。しかしながら電気泳動後のゲルのクマシーブリリアントブルー染色の結果から、画分 14 には、画分 6 と同程度の濃度のタンパク質が含まれていた (図 1B)。以上の結果と図 1C のタンパク質 A とタンパク質 B のアミノ酸組成を基に、タンパク質 A とタンパク質 B のどちらが画分 14 に相当するか理由とともに 5 行程度で説明しなさい。
- (2) 質量分析によるタンパク質配列同定においては、ペプチドマスフィンガープリンティング法を用いた。この手法の原理を 5 行程度で説明しなさい。
- (3) 電気泳動の結果から、画分 6 のタンパク質と画分 14 のタンパク質の分子量はほとんど一緒であった。それにもかかわらず、ゲルろ過クロマトグラフィーでは、それぞれの溶出時間に大きな差異が生じている (小さい数字の画分の方が、溶出時間が短い)。この差異が生じた要因を考察して説明しなさい。また、考察した要因を検証するための実験を二種類考案しなさい。説明には図を用いてもよい。差異が生じた要因の考察と実証のために考案した実験について、あわせて 20 行程度にまとめること。マーカーとしてクロマトグラフィーに供した三つの分子は、それぞれ 20,000、70,000、110,000 の分子量である。



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、それぞれを5行程度で説明しなさい。

- (1) DNAメチル化
- (2) リボスイッチ (riboswitch) による遺伝子発現制御
- (3) ラギング鎖におけるDNA複製機構

問2 ある細菌Pにおいて、遺伝子aにコードされるタンパク質Aは、化合物Cと結合し、遺伝子bの転写を制御する転写制御因子である。細菌Pの培養液に化合物Cを添加すると、遺伝子bのmRNA量は増加する。遺伝子bの転写制御において、タンパク質Aは、転写活性化因子(アクチベーター)あるいは転写抑制因子(リプレッサー)として機能している可能性がある。タンパク質Aがどちらの因子として機能しているのかを調べる実験を二つ考え、予想される結果を含めて説明しなさい。説明は合わせて15行程度とすること。

問3 細菌の複製開始機構を調べるため、化合物xを添加すると細菌X由来のヘリカーゼの発現が誘導され、化合物yを添加すると細菌Y由来のヘリカーゼの発現が誘導されるプラスミドを作製した。このプラスミドを細菌Xと細菌Yとに導入した後、それぞれの細菌のゲノム上のヘリカーゼを欠損させた株X'と株Y'を作製した。株X'と株Y'を用いて、各化合物添加後1時間におけるDNA複製活性を測定した結果を図1に示す。この結果から、複製開始段階におけるDNAヘリカーゼとヘリカーゼローダーとの関係について、どのような仮説が考えられるか説明しなさい。また、その仮説を証明するためにはどのような実験をすればよいか説明しなさい。説明はあわせて15行程度とすること。

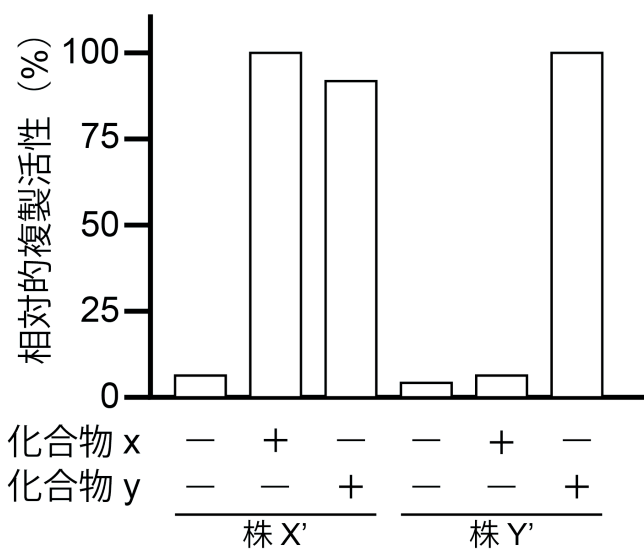


図1. 株X'と株Y'におけるDNA複製活性

+はそれぞれの化合物が添加されていることを、-は添加されていないことを示す。縦軸は、それぞれの株における最大の複製活性を100%とした時の相対値を示す。

第8問 (Section 8) ; 細胞生物学

次の問1、問2すべてに答えなさい。

問1 細胞周期に関する次の(1)、(2)の小問すべてに答えなさい。

(1) 真核生物の細胞周期の進行におけるサイクリンとサイクリン依存性キナーゼ (CDK) の役割を8行程度で説明しなさい。

(2) 細胞周期をG2期で停止させる新規化合物を発見したとする。この化合物の標的候補タンパク質をあげ、さらにこの化合物がどのように細胞周期の停止を誘導したと考えられるかを、その標的候補タンパク質の機能と関連づけて8行程度で説明しなさい。

問2 次の文章を読み、以下の(1)、(2)の小問すべてに答えなさい。

動原体は、細胞分裂の際に染色体の分離に関与する重要なタンパク質複合体である。細胞分裂の中期には染色体は赤道面に沿って並び、対向する紡錘体極から伸びた微小管が染色体の動原体に結合する。

(1) 細胞分裂の終期には、動原体は染色体の分配に重要な役割をはたす。動原体は微小管とどのように相互作用し、染色体の移動を制御しているか、その仕組みを8行程度で説明しなさい。

(2) 染色体異数性が生じる原因を三つあげて説明し、異数性が細胞に有害である理由として考えうる仮説を15行程度で論じなさい。

第9問 (Section 9) ; 遺伝学

次の文章を読み、以下の問1～問5すべてに答えなさい。

キイロショウジョウバエ *Drosophila melanogaster* (*D. melanogaster*) では、(i)遺伝子変異を誘発するさまざまな技術が確立されている。ゲノム中の DNA 塩基配列にランダムに突然変異 (以下、変異) を誘発した変異系統を作製し、それらの中から睡眠に異常を示す変異体を単離して *nemuranai* 変異体と命名した。*nemuranai* 変異体は野生型と比べて著しく睡眠時間が減少していた。その後の研究により *nemuranai* 変異体はドーパミントランスポーター (DAT) をコードする遺伝子の(ii)ヌル変異 (null mutation) をもつこと、そして、睡眠時間に関しては、*nemuranai* 変異は潜性 (劣性) であることが分かった。DAT は軸索末端の細胞膜上に存在するトランスポーターであり、細胞外に放出された神経伝達物質ドーパミンを細胞内に再取り込みする役割を担っている。

問1 下線部(i)に関して、遺伝子変異誘発法を二つあげ、その原理について違いを含めて5行程度で説明しなさい。

問2 下線部(ii)に関して、ヌル変異 (null mutation) とはどのような遺伝子変異のことか簡潔に説明し、確実にヌル変異を起こすためには DNA 塩基配列上にどのような変化が生じればよいか、二種類の例をあげ、合わせて5行程度で説明しなさい。

問3 神経伝達物質ドーパミンは *D. melanogaster* の睡眠に対してどのような制御を行っていると考えられるか、上記の情報をもとにして理由とともに5行程度で説明しなさい。

問4 薬剤を利用して睡眠に対するドーパミンの作用を調べるためには、野生型の *D. melanogaster* に対してどのような作用を及ぼす薬剤を用いればよいか、その理由とともに10行程度で答えなさい。

問5 *D. melanogaster* の遺伝子 *x* のハイポモルフ変異 (遺伝子 *x* の発現量が減少する変異体) と *nemuranai* 変異を組み合わせた二重ホモ変異体を作製した。これらの二重変異体の睡眠時間は野生型と同程度に回復していた。遺伝子 *x* がどのようなタンパク質をコードしていると予想されるか二つの可能性を考え、それぞれどのようにして睡眠時間が回復したと考えられるか15行程度で説明しなさい。

第10問 (Section 10) ; 発生生物学

次の問いに答えなさい。

問 原腸陥入または神経形成を例に、一細胞レベルでの形態変化が胚の形態形成に貢献する過程を説明しなさい。解答には細胞の形態変化に関わる分子機構の記述を含めなさい。30～40行程度にまとめること。説明には図を用いてもよい。

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(1)~(8)の項目すべてについて、被子植物の生理学・発生生物学・生化学・分子生物学に関連づけて、それぞれ 3 行程度で説明しなさい。

- (1) 核の合一
- (2) 原形質間連絡
- (3) 卵細胞の活性化
- (4) 異質倍数体
- (5) フィトクロム
- (6) 胚軸伸長抑制
- (7) T-DNA 挿入変異
- (8) 光周性

問 2 次の小問(1)、(2)から一つを選んで 20 ~ 30 行で答えなさい。

- (1) 被子植物 A と被子植物 B の交配実験を行ったところ、被子植物 A の花粉が被子植物 B の柱頭で発芽したのち、花粉管が花柱内を伸長したが、胚のう内に達していなかったことから、双方の植物の間には花粉管ガイダンスに何らかの違いがあることが考えられた。これまでに明らかにされている花粉管ガイダンスの仕組みについて説明したうえで、被子植物 A の花粉管が被子植物 B の胚のう内に達しなかった原因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。
- (2) 植物の生理応答調節機構の一つに、DNA や RNA などの核酸の修飾やクロマチンの再編成による遺伝子発現調節がある。これらに関わる植物の生理応答調節の例を一つあげ、その分子機構を説明しなさい。

第12問 (Section 12) ; 組織・解剖・生理学

次の問1、問2すべてに答えなさい。

問1 次の文章を読み、以下の(1)～(3)の小問すべてに答えなさい。

哺乳動物の体表付近においてはしばしば動脈と静脈の並走構造が認められる。ある遺伝子Xの変異により、この並走構造が失われた個体においては、体温の恒常性の維持が破綻した。この個体を低温（気温 5℃）に晒して1時間後の血液の温度を測定した結果を図1に、深部体温の継時的変化を測定した結果を表1に示す。また、野生型の個体を低温（気温 5℃）および高温（気温 44℃）に晒したところ、図2に示すように、体表付近における血流の量が変化した。

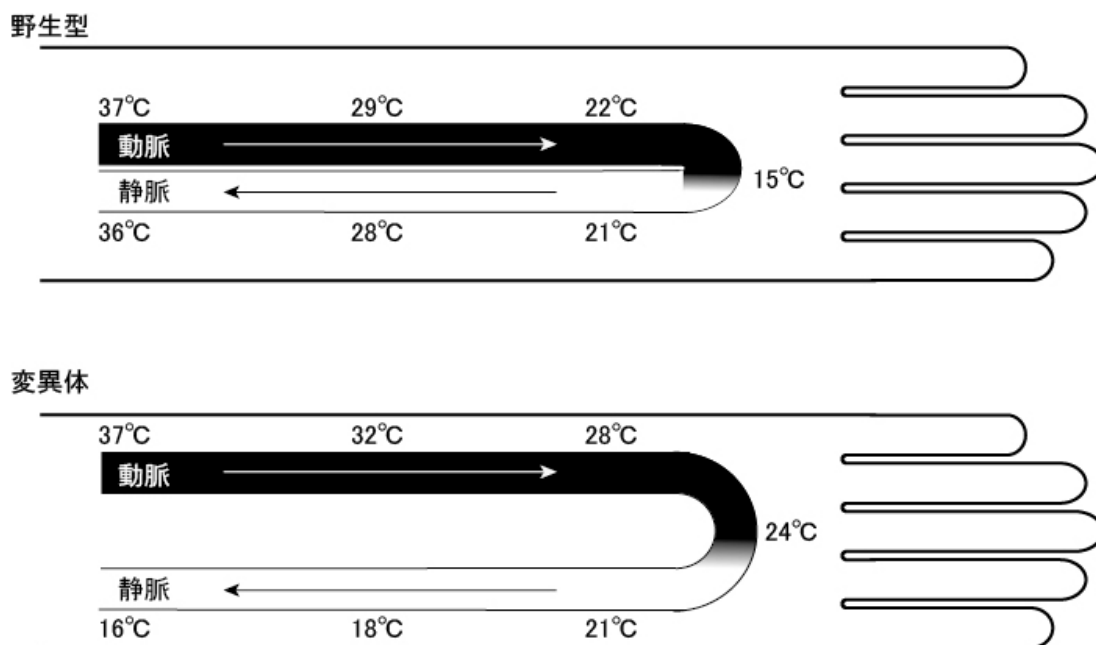


図1. 体表付近における動脈と静脈の並走構造と血液の温度

野生型個体では体表付近において動脈と静脈が隣り合って並走している。変異体ではこの並走構造が失われ、動脈と静脈が離れてしまっている。矢印：血流の向き；温度：低温（気温 5℃）に晒して1時間後の血液の温度。

表1. 低温に晒した際の深部体温の変化

低温（気温 5℃）に晒した際の深部体温を、直腸に温度計を挿入し、1時間おきに測定した。

体温 (°C)	0 hour	1 hour	2 hour	3 hour	4 hour	5 hour	6 hour
野生型	38.1	36.5	36.2	36.4	36.4	36.3	36.2
変異体	38.1	36.3	34.8	34.6	34.2	34.0	33.5

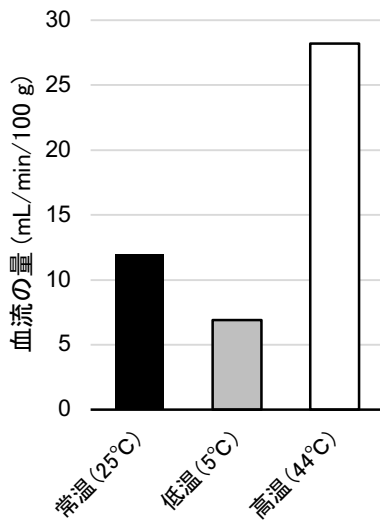


図 2. 低温および高温に晒した際の体表付近における血流の量の変化

野生型の個体を低温（気温 5°C）および高温（気温 44°C）に晒した際の体表付近における血流の量を測定した。血流の量は 1 分間に 100 g の組織を流れた血液の量をあらわす。

- (1) 血管の並走構造が体温の恒常性維持にどのように寄与するか 8 行程度で説明しなさい。
- (2) 野生型の個体を低温あるいは高温に晒したところ、図 2 のように体表付近における血流の量に変化した。この血流の量の変化はどのような仕組みによって起こると考えられるか、またこの変化は体温の恒常性維持にどのように寄与すると考えられるか。図 1・表 1 の結果もふまえて、あわせて 12 行程度で説明しなさい。
- (3) 動物において内部環境の恒常性を保つ仕組みについて、体温調節以外の具体例をあげて 5 行程度で説明しなさい。

問 2 脊椎動物の網膜の神経回路が光刺激の情報を伝達する仕組みについて、以下の用語をすべて用いて 20 行程度で説明しなさい。説明には図を用いてもよい。

光受容細胞、双極細胞、水平細胞、網膜神経節細胞、グルタミン酸、過分極、脱分極、ON 型、OFF 型、受容野、側方抑制

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)の項目から二つを選び、それぞれを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の解答は、15～20行程度とすること。説明には図を用いてもよい。

- (1) カルシウムイメージング (Calcium imaging)
- (2) 膜小胞の人工合成 (Artificial synthesis of membrane vesicle)
- (3) アップヒル型励起エネルギー移動 (Uphill excitation energy transfer)
- (4) 微分干渉顕微鏡 (Differential interference contrast microscope)

第14問 (Section 14) ; 数理統計学

次の問いに答えなさい。

問

ヒトの ABO 式血液型の表現型には A 型、B 型、O 型、AB 型の 4 種類があり、その遺伝機構は 1 遺伝子座 3 アレル仮説で説明される。すなわち、一つの遺伝子座に A 、 B 、 O の 3 種類のアレルがあり、 A 、 B が共に O に対して顕性 (優性)、 A と B は共顕性でヘテロ接合体の表現型が AB 型になるというものである。しかし、二つの遺伝子座 I、II にそれぞれ A 、 a と B 、 b の 2 アレルがあり、A 型の遺伝子型は $AAbb$ と $Aabb$ 、B 型の遺伝子型は $aaBB$ と $aaBb$ 、O 型の遺伝子型は $aabb$ 、その他の遺伝子型は AB 型になるという 2 遺伝子座 2 アレル仮説でも説明できる。これらの二つの仮説のどちらが妥当であるかを検証するため、100 人の日本人の血液型を調べてみたところ、A 型 39 人、O 型 36 人、B 型 18 人、AB 型 7 人という結果を得た。この結果から上記の 2 仮説の検証過程を示した、以下の(1) ~ (6)の小問すべてに答えなさい。なお、ハーディー・ワインバーグの法則は成り立っていると仮定する。

- (1) 1 遺伝子座 3 アレル仮説に基づいて、アレル A 、 B 、 O の頻度をそれぞれ p_A 、 p_B 、 p_O であらわすとする。A 型、B 型、O 型、AB 型の 4 種類の表現型の頻度を、それぞれ p_A 、 p_B 、 p_O を使ってあらわしなさい。
- (2) 100 人の日本人の血液型を調べた結果から、 p_A 、 p_B 、 p_O それぞれの値を求め、計算過程を含めて答えなさい。
- (3) 得られた p_A 、 p_B 、 p_O の値を用いて 100 人の日本人から観察される A 型、B 型、O 型、AB 型の人数の期待値を求め、観察値と合うかどうかを χ^2 自乗法によって検定しなさい。なお、有意水準は 5%、対応する χ^2 の値は 3.841 とする。
- (4) 2 遺伝子座 2 アレル仮説に基づいて、遺伝子座 I におけるアレル a の頻度を p_a 、遺伝子座 II におけるアレル b の頻度を p_b であらわすとする。遺伝子座 I と II は別々の染色体上にあるとする。A 型、B 型、O 型、AB 型の 4 種類の表現型の頻度を、それぞれ p_a^2 、 p_b^2 を使ってあらわしなさい。
- (5) 100 人の日本人の血液型を調べた結果から、 p_a^2 、 p_b^2 それぞれの値を求め、計算過程を含めて答えなさい。
- (6) 得られた p_a^2 、 p_b^2 の値から 100 人の日本人から観察される A 型、B 型、O 型、AB 型の人数の期待値を求め、観察値と合うかどうかを χ^2 自乗法によって検定しなさい。なお、有意水準は 5%、対応する χ^2 の値は 3.841 とする。

Section 1; Taxonomy and Systematics

Answer the following question.

Question Choose three topics from the following (1) to (4) and write a short essay of approximately 15 lines for each by relating all of words/phrases.

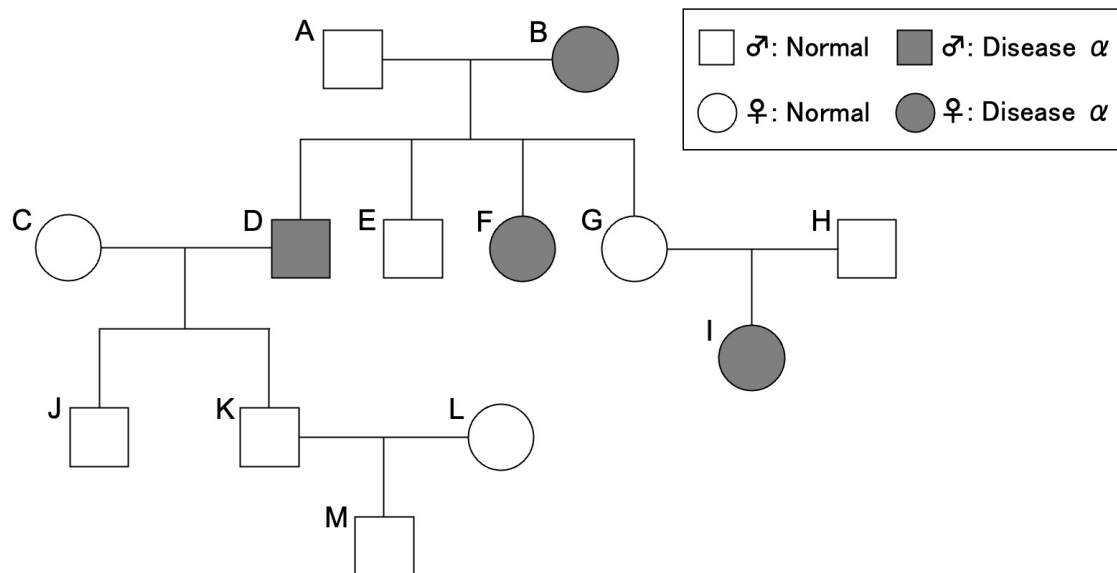
- (1) interspecific relationship, phylogenetic tree
- (2) islands, adaptation, phylogenetic tree
- (3) Japanese archipelago, geographic genetic structure
- (4) vascular plants, reticulate evolution

Section 2: Evolutionary Biology

Answer both question 1 and question 2.

Question 1: Figure 1 is a family tree of dogs showing the pattern of inheritance of disease α found in dogs. Regarding this disease, answer the following (1) to (3).

- (1) Disease α is a genetic disease caused by a single autosomal gene; there are two alleles (S and s) at this locus, and the allele causing disease α shows either complete dominance or complete recessiveness. Answer whether the disease α is caused by a dominant or recessive allele with reasons in approximately six lines.
- (2) Disease α is also found in wolves, the progenitor of dogs, but the frequency of the incidence in wolf populations is much lower than that in dogs. Explain the possible reasons for this difference by considering the domestication process of dogs in approximately nine lines. Note that disease α is caused by the homologous single gene locus in wolves as in dogs with similar penetrance.
- (3) Various phenotypes, such as disease α , are determined by genetic factors. Choose one method that has been used for narrowing down the genomic region responsible for phenotypic variation in various organisms such as dogs, and explain how it works in approximately nine lines.



Question 2: Answer the following (1) to (3) below regarding animal sex ratios.

- (1) In a population in which the sex ratio of breeding individuals is 1:1, which sex generally has a larger variation in reproductive success, and what kind of traits are associated with the evolution of such differences in variation? Explain with at least one example in approximately nine lines.
- (2) There are two populations of the same species: population A, in which the sex ratio of breeding individuals constantly deviates to a large extent from 1:1, and population B, in which the sex ratio of breeding individuals does not deviate from 1:1. If the number of breeding individuals within these populations is the same, which of them is expected to exhibit higher genetic diversity in the genomes of its constituent individuals? Explain your reasoning in approximately nine lines.
- (3) Some intracellular symbionts manipulate host germ cells to bias the sex ratio of the next generation towards more females. Explain the possible advantage of such manipulation to the symbiont in approximately nine lines.

Section 3; Animal Ecology

Answer both question 1 and question 2.

Question 1: Based on the following paragraph, answer both (1) and (2) in 10 to 15 lines each.

While examining a population of invasive birds on an oceanic island, you discover that the beaks of the birds are considerably longer than in the original source population on the mainland. On the island, you find that this species has no direct competitors, while the mainland population is known to coexist with several congeneric species. Previous surveys indicate that the island population is around 40 years old. The introduction of the species occurred only once, and there is no gene flow between the island and the mainland.

- (1) Provide two possible hypotheses to explain the reasons why the longer beaks are observed in the island population.
- (2) Describe experiments and/or analyses you might use to test each of your hypotheses, and the anticipated results.

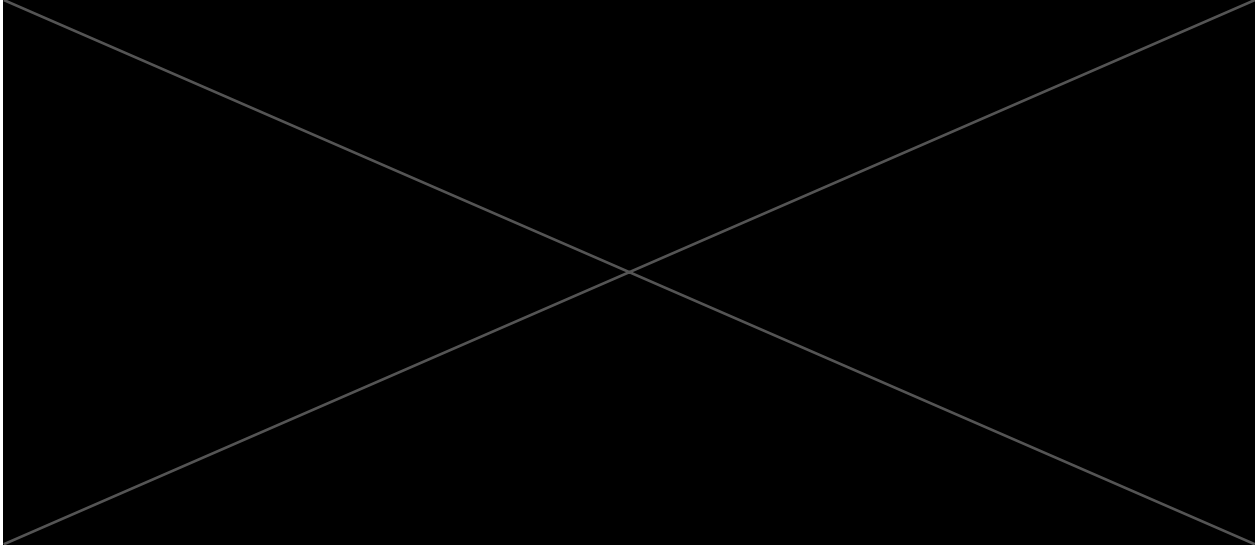
Question 2: Based on the following paragraph, answer both (1) and (2) in 10 to 15 lines each.

Generally speaking, the optimal level of parental investment in offspring is expected to be determined by the balance of costs and benefits. Benefits are derived from the increased fitness of the current offspring resulting from higher energy investment (e.g., increased size). Costs are proportional to the resources invested and therefore unavailable for other offspring. Costs can be expected to rise as a linear function of investment in a given offspring, while benefits will be a saturating function of that investment (i.e., once a certain size is reached, there is no benefit from further investment).

- (1) From the perspective of the parent, at what level of investment will the optimal point be found? You can use diagrams in your answer.
- (2) If the parent has no chance to produce any additional offspring, how will this change the optimal level of investment compared to when the parent can produce additional offspring?

Section 4; Plant Ecology

Read the following paragraph modified from Delavaux et al., (2024, Nature 627: 335–339) and answer all of the following questions 1 to 5.



*elusive: difficult to find, catch, or achieve

Question 1: Fill in the word best suited to (X).

Question 2: Describe within eight lines what 'the latitudinal diversity gradient (LDG)' (underlined (i)) is.

Question 3: Describe within 15 lines what 'traditional physical drivers of island biogeography' (underlined (ii)) are.

Question 4: Provide two examples of mutualistic relationships with 'plant species with mutualists' (underlined (iii)) within eight lines.

Question 5: Provide an empirical research plan to determine the effect of 'plant mutualist filters on species richness' (underlined (iv)) using islands in Tokyo within 20 lines. In Tokyo, there are more than 600 islands with a circumference of 0.1 km or more, distributed at various distances from very close to Honshu to approximately 1,900 km to the southeast. The largest island in Tokyo has an area of approximately 69 km².

Section 5; Microbiology

Answer both question 1 and question 2.

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

- (1) Mechanisms of translation initiation
- (2) Transposon
- (3) Amino acid auxotrophy
- (4) Oxidative stress response
- (5) Bacterial chemoreceptor
- (6) Type IV pilus
- (7) Endophyte

Question 2:

A prokaryote was isolated from epilithic* biofilm from a river bottom. Describe three possible types of energy metabolism in this prokaryote, and describe experiments that could be used to verify each possibility. Your answer should be 20 to 30 lines in total.

*epilithic: growing on the surface of a rock.

Section 6: Biochemistry

Answer both question 1 and question 2.

Question 1: Choose three topics from the following (1) to (5) and explain each topic in five to seven lines.

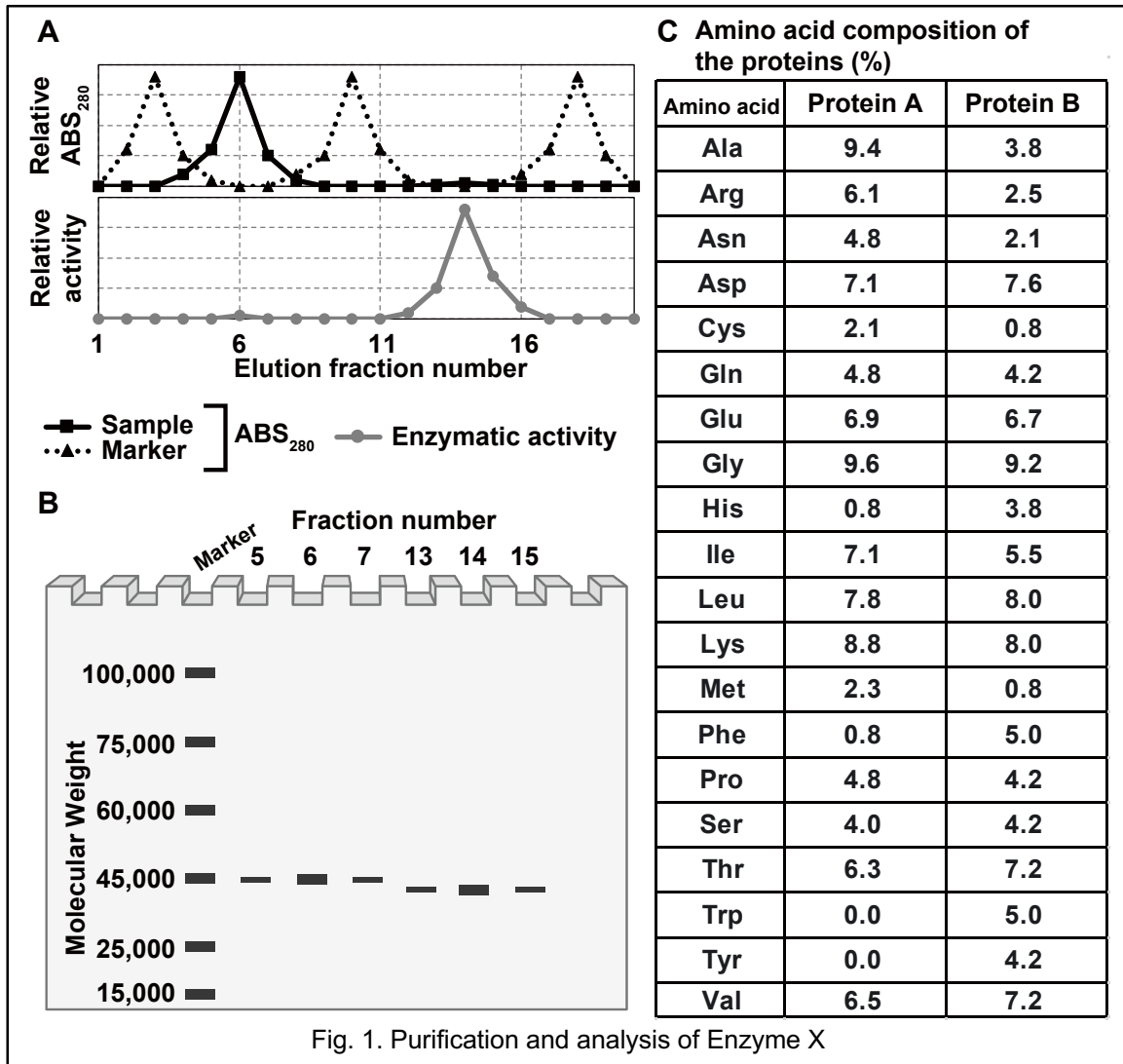
- (1) Protein isoelectric point
- (2) Catalytic triad of trypsin
- (3) Peptidyl-tRNA and aminoacyl-tRNA
- (4) Triacylglycerol
- (5) Ammonium sulfate precipitation

Question 2: Answer (1) to (3) below regarding the following experiments.

[Experiments] Enzyme X was purified from microbe A in multiple steps using its activity as an indicator. In the final step, gel filtration chromatography was performed, and the absorbance at 280 nm wavelength, and the target enzyme activity were measured for each eluted fraction (Fig. 1A). The fractions 5–7 and 13–15 were subjected to SDS-PAGE followed by Coomassie Brilliant Blue staining (Fig. 1B). In addition, the protein bands of fractions 6 and 14 were excised and subjected to mass spectrometry to identify the amino acid sequence of each protein based on the genomic information of microbe A. The amino acid composition of each protein based on the genome information is shown in Fig. 1C. From these results, we concluded that the protein obtained in fraction 14 was the target enzyme X and was successfully purified.

- (1) Although the absorbance at 280 nm wavelength was measured to detect proteins, almost no absorption at 280 nm was detected in fraction 14, which exhibited high enzymatic activity (Fig. 1A). Conversely, Coomassie Brilliant Blue staining of the gel after electrophoresis showed that fraction 14 contained almost the same concentration of protein as fraction 6 (Fig. 1B). Based on the above results and the amino acid composition of protein A and B, explain in approximately seven lines whether protein A or protein B in Fig. 1C corresponds to fraction 14. Include your reasoning.
- (2) The peptide mass fingerprinting method was used for protein sequence identification by mass spectrometry. Explain the principle of this method in approximately seven lines.
- (3) Electrophoresis results suggested that the molecular weights of the proteins in fractions 6 and 14 are almost the same. Nevertheless, gel filtration chromatography showed a large difference in their elution times (the fraction with the smaller number

had a shorter elution time). Explain what may have caused this difference and design two experiments that can be used to examine the influence of the factors you identified. You can use diagrams in your answer. Your entire answer should comprise approximately 25 lines. The three molecules used in the chromatography as markers have molecular weights of 20,000, 70,000, and 110,000, respectively.



Section 7; Molecular Biology

Answer all of the following questions 1 to 3.

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

- (1) DNA methylation
- (2) Regulation of gene expression by riboswitch
- (3) DNA replication mechanism in the lagging strand

Question 2: In a certain bacterium P, protein A encoded by gene *a* is a transcriptional regulator that binds to compound C and controls transcription of gene *b*. When compound C is added to a culture of bacterium P, the mRNA level of gene *b* increases. In the transcriptional regulation of gene *b*, protein A may function as a transcriptional activator or a transcriptional repressor. Describe two experiments to determine whether protein A functions as either an activator or a repressor, including the expected results. Your answer should be approximately 20 lines in total.

Question 3: To investigate the mechanism of replication initiation in bacteria, a plasmid was created that expresses a helicase of bacterium X in response to compound x and expresses a helicase of bacterium Y in response to compound y. After introducing this plasmid into bacteria X and Y, strains X' and Y' were generated by deleting the helicase from the genome of the respective bacteria. Figure 1 shows the results of the measurement of DNA replication activity 1 hour after the addition of each inducer. Based on these results, propose a hypothesis to explain the relationship between the DNA helicase and the helicase loader during the replication initiation step. Describe experiments to test your hypothesis. Your answer should be approximately 20 lines in total.

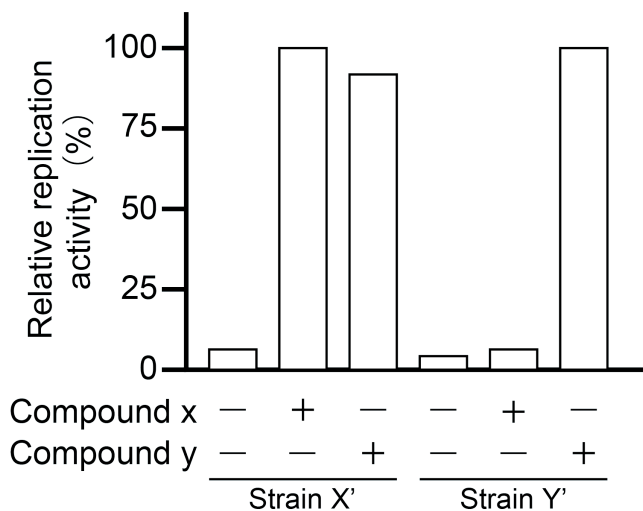


Fig. 1. DNA replication activity in strains X' and Y'.

(+) indicates that the respective compound is added, (-) indicates that it is not added. The vertical axis shows the relative value of replication activity in each strain, with the maximum replication activity in each strain as 100%.

Section 8: Cell Biology

Answer both question 1 and question 2.

Question 1. Answer the following (1) and (2) regarding the cell cycle.

- (1) Explain the role of cyclins and cyclin-dependent kinases (CDKs) in the progression of the eukaryotic cell cycle in approximately 10 lines.
- (2) Suppose you discovered a novel chemical compound that induced cell cycle arrest at the G2 stage. Suggest a potential molecular target of this compound and propose a hypothesis to explain how this compound induced cell cycle arrest with regard to the function of this potential target molecule in approximately 10 lines.

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

The kinetochore is a key protein complex involved in chromosome segregation during cell division. During metaphase, the chromosomes align along the metaphase plate, and microtubules extending from opposite spindle poles attach to the kinetochores of sister chromatids.

- (1) During anaphase, the kinetochores play important roles in chromosome segregation. Explain how the kinetochores interact with the microtubules and regulate chromosome movement in approximately 10 lines.
- (2) Explain three potential causes of aneuploidy, and discuss the reason why aneuploidy could be harmful to cells in approximately 20 lines.

Section 9; Genetics

Read the following paragraph and answer all of the following questions 1 to 5.

In the fruit fly *Drosophila melanogaster* (*D. melanogaster*), (i) various techniques have been established to induce gene mutations. A mutant named *nemuranai*, which showed abnormality in sleep, was isolated from the mutant lines constructed by inducing random mutations in the genomic DNA sequences. *nemuranai* mutant flies showed significantly reduced sleeping time compared to the wild-type *D. melanogaster*. Subsequent studies showed that *nemuranai* mutants had (ii) a null mutation in the gene encoding the dopamine transporter (DAT), and were recessive for the sleep phenotype. DAT is a transporter located on the plasma membrane at axon terminals and is responsible for the reuptake of the neurotransmitter dopamine from outside the cell.

Question 1: For the underlined (i), describe two methods for mutagenesis and explain their principles and the differences between them in approximately seven lines.

Question 2: For the underlined (ii), briefly explain what kind of mutation a null mutation is, and describe two types of changes in DNA that can induce a null mutation. Your entire explanation should be approximately seven lines.

Question 3: Explain in approximately seven lines how dopamine regulates sleep in *D. melanogaster*, given the information above.

Question 4: Describe what kinds of effects are desirable in drugs which can be used to study the effects of dopamine on sleep in wild-type *D. melanogaster* and explain why these drugs are suitable for this purpose in approximately 15 lines.

Question 5: A double homozygous mutant of *D. melanogaster* was created by combining a hypomorphic mutation (a mutant with reduced expression) of another gene, gene *x*, and the *nemuranai* mutation. The sleep of this double mutant was restored to the same level as that of the wild type. Describe two possible proteins the *x* gene encodes, and explain in approximately 20 lines how you think sleep was restored by each of these proteins.

Section 10; Developmental Biology

Answer the following question.

Question: Describe in 40 to 45 lines how morphological changes at the single-cell level contribute to embryonic morphogenesis during gastrulation or neurulation. Include descriptions on the molecular mechanism that regulates the cellular morphological changes in your answer. You can use diagrams in your answer.

Section 11; Plant Physiology

Answer both question 1 and question 2.

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

- (1) karyogamy
- (2) plasmodesmata
- (3) egg cell activation
- (4) allopolyploid
- (5) phytochrome
- (6) inhibition of hypocotyl elongation
- (7) T-DNA insertional mutation
- (8) photoperiodism

Question 2: Choose one from the following (1) and (2) and answer in approximately 25 lines.

(1) In a cross between a certain angiosperm A and angiosperm B, the pollen grains of plant A germinated on the stigma of plant B, and the pollen tubes elongated in the style, but the pollen tubes did not reach the embryo sac. These findings suggest that there is a difference in the pollen tube guidance mechanism between the two plants. Explain the reported mechanisms for pollen tube guidance, and provide a hypothesis to explain why pollen tubes derived from the plant A pollen grain did not reach the embryo sac of plant B. Describe an experiment to test your hypothesis.

(2) One of the mechanisms for regulating physiological responses in plants is the regulation of gene expression through modification of nucleic acids such as DNA and RNA and chromatin remodeling. Choose an example of plant physiological response regulation involving such a mechanism and explain how this mechanism works.

Section 12: Histology, Anatomy, and Animal Physiology

Answer both question 1 and question 2.

Question 1: Read the following paragraph and answer (1) to (3).

Arteries and veins often run in parallel to each other beneath the body surface of mammals. In a mammal with a mutation in gene X, this parallel organization of arteries and veins was disorganized, and the body temperature homeostasis was disrupted. Figure 1 shows the results of blood temperature measurements in wild-type mammals and the mutants for gene X when the mammals were exposed for 1 hour to low ambient temperature (5°C). Table 1 shows the results of the measurements of core body temperature in the same mammals. Furthermore, wild-type mammals were exposed to low (5°C) or high (44°C) ambient temperatures, and the blood flow beneath the body surface changed as shown in Figure 2.

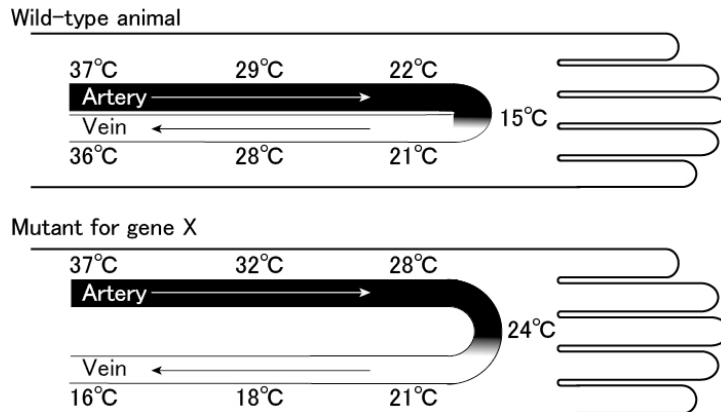


Figure 1. Parallel organization of arteries and veins and blood temperature

In wild-type mammals, arteries and veins run in parallel to each other beneath the body surface. In the mutant mammal, this parallel organization was disorganized, and the arteries and veins were distant from each other. Arrows: direction of blood flow; temperature: blood temperature after exposure to low ambient temperature (5°C) for 1 hour.

Table 1. Core body temperature changes upon exposure to low ambient temperature

Mammals were exposed to low ambient temperature (5°C) starting from 0 hour, and the core body temperature was measured every 1 hour by inserting a thermometer into the colon.

Core body temperature(°C)	0 hour	1 hour	2 hour	3 hour	4 hour	5 hour	6 hour
Wild-type	38.1	36.5	36.2	36.4	36.4	36.3	36.2
Mutant	38.1	36.3	34.8	34.6	34.2	34.0	33.5

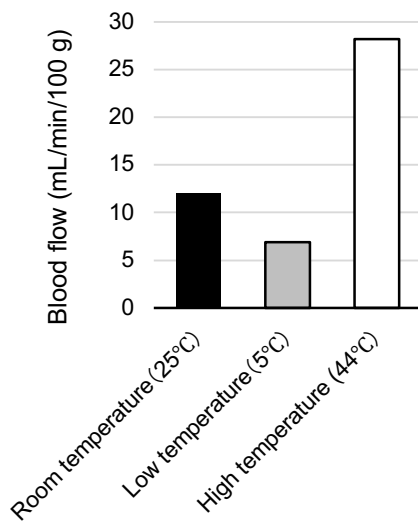


Figure 2. Blood flow changes after exposure to low or high ambient temperature

Wild-type mammals were exposed to low (5°C) or high (44°C) ambient temperature, and the blood flow beneath the body surface was measured.

- (1) Discuss how the parallel organization of arteries and veins contributes to body temperature homeostasis in 10 lines.
- (2) When wild-type mammals were exposed to low (5°C) or high (44°C) ambient temperature, the blood flow beneath the body surface changed as shown in Figure 2. Taking into account the results shown in Figure 1 and Table 1, explain how the blood flow change may have occurred, and how the change in blood flow contributes to body temperature homeostasis in approximately 15 lines.
- (3) Explain how homeostasis is maintained in animals using an example other than body temperature control in approximately five lines.

Question 2: Explain how the vertebrate retinal neural circuit processes light information using all of the following terms in approximately 25 lines. You can use diagrams in your answer.

Photoreceptor cells, bipolar cells, horizontal cells, retinal ganglion cells, glutamate, hyperpolarization, depolarization, ON-type, OFF-type, receptive field, lateral inhibition

Section 13; Biophysics

Answer the following question.

Question: Various discoveries in physics and chemistry have advanced life science research. Choose two topics from the following (1) to (4). In each case, explain the topic and discuss its importance to life science in 20 to 25 lines. You can use diagrams in your answers.

- (1) Calcium imaging
- (2) Artificial synthesis of membrane vesicle
- (3) Uphill excitation energy transfer
- (4) Differential interference contrast microscope

Section 14: Mathematical Statistics

Answer the following question.

Question: Read the following paragraph and answer (1) to (6).

There are four ABO blood phenotypes in humans: types A, B, O, and AB, and the mechanism of inheritance can be explained by the one-locus and three-allele hypothesis. That is, there are three alleles, A , B , and O , at one locus, and both A and B are dominant over O . A and B are co-dominant, and the phenotype of their heterozygote is type AB. However, the mechanism of inheritance can also be explained by the two-locus and two-allele hypothesis, in which there are two alleles, A , a and B , b , at two loci I and II, respectively, and the genotypes of type A are $AAbb$ and $Aabb$, the genotypes of type B are $aaBB$ and $aaBb$, the genotype of type O is $aabb$, and the other genotypes are for type AB. To test which of these two hypotheses is more plausible, we examined the blood phenotypes of 100 Japanese people and found that 39 were type A, 36 were type O, 18 were type B, and 7 were type AB. Based on these results, answer all of the following (1) to (6), which reflect the process of testing the above two hypotheses. Note that we are assuming that the Hardy-Weinberg law holds.

- (1) Based on the one-locus and three-allele hypothesis, let the frequencies of alleles A , B , and O be represented by p_A , p_B , and p_O , respectively. Using this notation, represent the frequencies of the four phenotypes of type A, B, O, and AB.
- (2) Based on the results of the blood groups of the 100 Japanese people, calculate the values of p_A , p_B , and p_O , respectively. Include your calculation process.
- (3) Using the values of p_A , p_B , and p_O , obtained, calculate the expected values of type A, B, O, and AB individuals in the 100 Japanese people, and test whether the observed values fit the expected values using the χ^2 method. Use the 5% significance level and the corresponding χ^2 value of 3.841.
- (4) Based on the two-locus and two-allele hypothesis, let p_a be the frequency of allele a at locus I and p_b be the frequency of allele b at locus II. Assume that loci I and II are located on separate chromosomes. Represent the frequencies of the four phenotypes, type A, type B, type O, and type AB, respectively, using p_a^2 and p_b^2 .
- (5) Based on the results of the blood groups of the 100 Japanese people, calculate the values of p_a^2 and p_b^2 , respectively. Include your calculation process.

- (6) From the values of p_a^2 and p_b^2 obtained, calculate the expected values of type A, B, O, and AB individuals in the 100 Japanese people, and test whether the observed values fit the expected values using the χ^2 method. Use the 5% significance level and the corresponding χ^2 value of 3.841.

