

1 次の教員と学生との会話を読んで、以下の問い（問1～5）に答えなさい。

千葉君： 生体内の化学反応が進む方向は自由エネルギーにより予測できると聞きました。その通りでしょうか？

教員： その通り。 ΔG (自由エネルギー変化) が負 (-) のときに、化学反応が自発的に進行するのだよ。そして、 ΔG° (標準自由エネルギー変化) がわかっている反応において、 25°C , 1 気圧のときの ΔG を求めることができるのだよ。

千葉君： どういうことですか？

教員： ΔG° は標準状態 (温度が 25°C , 圧力が 1 気圧, すべての反応物と生成物の濃度が 1 M) における ΔG を示している。そして、多くの反応において ΔG° の値はわかっているのだよ。しかし、実際の反応において、反応物と生成物の濃度がすべて 1 M であることはほぼないよね。その場合でも反応物と生成物の濃度と ΔG° から 25°C , 1 気圧のときの ΔG が計算できるのだよ。

教員： 例えば、 $A + B \rightarrow C + D$ の反応を考えてみよう。 $\Delta G = \Delta G^\circ + 5.7 \log ([C][D]/[A][B])$ (kJ/mol) の関係にあるので ([A]は A の濃度を表している), ΔG° と, A, B, C, D の濃度により ΔG は計算できる。(a)このことは、反応時に存在している反応物と生成物の濃度で ΔG の値が変わることも意味しており、さらに、反応が正方向 ($A + B \rightarrow C + D$) か逆方向 ($A + B \leftarrow C + D$) のどちらかに進むのかも変わってくることを示している。

(注：上記の文の \log の底は 10 である。すなわち、 $\log 10 = 1$, $\log 100 = 2$, $\log 0.1 = -1$)

教員： また、(b) ΔG° の値が未知であっても、反応が平衡になったときの反応物と生成物の濃度から ΔG° が計算できるのだよ。

教員： ΔG は反応の進む方向を教えてくれるだけでなく、反応により産生する最大エネルギーも教えてくれる。細胞呼吸におけるグルコースの酸化分解反応の ΔG° は $-2,870$ kJ/mol なので、1 mol のグルコースあたり $2,870$ kJ のエネ

ルギーが産生されるのだよ。そして、⑥このエネルギーを使い、細胞呼吸において1分子のグルコースあたり38分子のATPが作られる。ちなみに、ATPがADPとリン酸に分解されるときの ΔG° は -30.5 kJ/mol なので、ATP分解により標準状態で最大 30.5 kJ/mol のエネルギーが産生され、これが諸々の生体活動に使われている。

千葉君： グルコースのどこにそんなエネルギーが蓄えられているのでしょうか？

教員： グルコース分子内のC-CおよびC-Hの化学結合だよ。CとHはどちらも電気陰性度（電子を引き付ける性質）は低く、Oは電気陰性度が高い。そのため、C-O、およびH-Oの共有結合においては、O側に電子が引き寄せられており、これらの共有結合は非常に安定な形となっている。一方、C-CおよびC-Hの共有結合では、CとHはどちらも電子をあまり持ちたくないに関わらず、電子を約半分持っている。したがって、C-CおよびC-Hの共有結合はC-O、およびH-Oの共有結合と比べて不安定といえる。伸ばしたゴムは不安定であり、安定な状態に縮み、縮むときに仕事するよね。⑦同様に、グルコースも不安定であり、細胞呼吸によるグルコースの酸化分解で大きなエネルギーが放出されるのだよ。

千葉君： ΔG が負であり、その絶対値が大きければ大きいほど、その反応はより速く進むのですね？

幕張さん： それは違うのでは。グルコース燃焼反応の ΔG は負であり、しかもその絶対値はかなり大きいけど、お皿の上に置いたグルコースが酸素と反応して二酸化炭素と水になる反応は何十年たっても起きないし。

教員： その通り。反応物と生成物の自由エネルギーの差である ΔG は反応が進む方向を教えてくれるけど、反応速度は教えてくれない。反応速度は反応物と の自由エネルギーとの差、すなわち で決まるのだよ。

問1 下線部(a)において ΔG° を -6 kJ/mol とする。A, B, C, D の濃度がそれぞれ以下の濃度のとき反応が正方向 ($A+B \rightarrow C+D$) か逆方向 ($A+B \leftarrow C+D$) に進むのか、計算式とともに答えなさい。

(i) A, B, C, D すべて $10 \mu\text{M}$ のとき。

(ii) A, B が $10 \mu\text{M}$, C, D が $1 \mu\text{M}$ のとき。

(iii) A, B が $1 \mu\text{M}$, C, D が $10 \mu\text{M}$ のとき。

問2 下線部(b)について, $E+F \rightarrow G+H$ の反応を考える。反応が平衡に達したときの, E, F, G, H の濃度がそれぞれ, $1 \mu\text{M}$, $1 \mu\text{M}$, $100 \mu\text{M}$, $100 \mu\text{M}$ とする。このときの, $E+F \rightarrow G+H$ における ΔG° を, 本文を参考にして求めなさい。また, どのようにして解答を導き出したかを計算式を含めて書くこと。なお, 反応は温度が 25°C , 圧力が1気圧で起きていることとする。

問3 下線部(c)に関して, 以下の (i)~(iii)に答えなさい。

(i) 細胞呼吸でグルコース分解から ATP を合成するときのエネルギー効率を文中の数値を用いて計算しなさい。なお, 解答は有効数字3桁で答え, また解答に至る計算過程も書くこと。

(ii) 細胞呼吸におけるグルコース分解から ATP 合成におけるエネルギー効率は100%から大きく外れている。その外れた分の大部分がどこに使われるのか, もしくは, どのように消費されているのか, 簡潔に答えなさい。

(iii) ある細胞内の ATP, ADP, およびリン酸イオンの濃度は, それぞれ 1 mM , 0.1 mM , 0.1 mM である。細胞内で ATP 分解により産生するエネルギーを求めなさい。なお, $\Delta G = \Delta G^\circ + 5.7 \log ([\text{ADP}][\text{リン酸}] / [\text{ATP}]) \text{ (kJ/mol)}$ の関係がある。また, この細胞内の温度, 圧力はそれぞれ 25°C , 1気圧と考えること。

問4 以下の (i), (ii)に答えなさい。

(i) 下線部(d)について, 細胞呼吸によるグルコースの酸化分解により何故, エネルギーが産生されるのかを上記の会話を参考にして答えなさい。

(ii) 同じ重さの糖と脂肪酸を比べたとき, 分解でより大きなエネルギーを産生するのはどちらか, その理由とともに答えなさい。

問5 ア, イにあてはまる適切な語句を答えなさい。

2 次の文章を読み、以下の問い（問1～5）に答えなさい。

閉鎖的な血管を有する動物において細胞外液は間質液と血漿に大別される。血漿に含まれる⁽¹⁾炭酸 (H_2CO_3) と炭酸水素イオン (HCO_3^-) による緩衝作用は に含まれる炭酸脱水素酵素によりもたらされる。通常、気体の二酸化炭素は水和することで H_2CO_3 となるが、炭酸脱水素酵素はこの反応を数万倍も促進する。 H_2CO_3 の電離により HCO_3^- と H^+ を生成して平衡に至ると、緩衝作用を生じる。この緩衝作用は に含まれるヘモグロビンによる酸素の運搬にも密接に関わる。炭酸脱水素酵素はサンゴにおいても発見されており、サンゴ礁での光合成に関与している。サンゴの炭酸脱水素酵素にはもう一つの役割があり、⁽²⁾硬い骨格を形成する石灰化という現象に関わっている。

問1 に当てはまる細胞の名称を答えなさい。

問2 下線部(1)の原理をもとに、哺乳類細胞の培養において培地の pH を一定にする方法を説明しなさい。培養環境と培地の成分それぞれに言及すること。

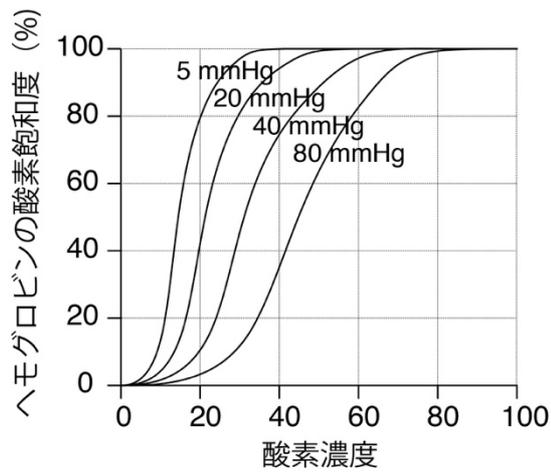
問3 下線部(2)に関して、以下の(I), (II)に答えなさい。

(I) サンゴの骨格と脊椎動物の骨の石灰質の主成分は異なる。それぞれの主成分を答えなさい。

(II) 石灰質の主成分がサンゴの骨格とは異なるものを下の語群から1つ選びなさい。

語群： 貝殻、ニワトリの卵殻、魚の鱗、ヒト半規管の耳石

問4 図1は酸素と結合したヘモグロビンの割合（ヘモグロビンの酸素飽和度）に及ぼす二酸化炭素の影響を示している。このグラフから、平静時に比べ呼吸が盛んに起こる持久性運動時にヘモグロビンから骨格筋に供給される酸素の量はどのように変化するか答えなさい。また、その仕組みを答えなさい。

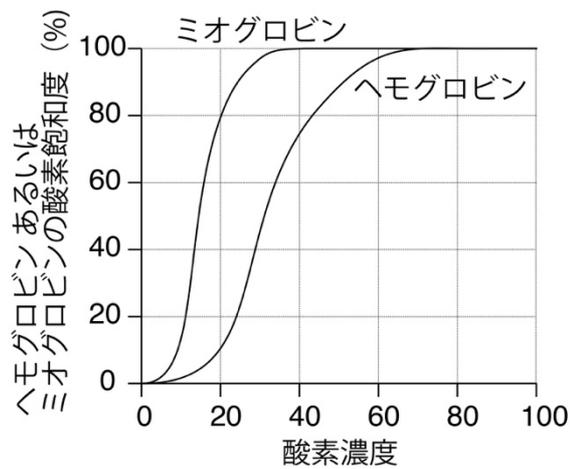


(肺胞での濃度を 100 とした時の相対値)

図1 ヘモグロビンの酸素飽和度に及ぼす二酸化炭素の影響

(注) 二酸化炭素の量は分圧 (mmHg) として示している

問5 骨格筋に存在するミオグロビンはヘモグロビンに似た性質を示す。図2は骨格筋におけるヘモグロビンとミオグロビンの酸素解離曲線である。ミオグロビンが骨格筋に存在する利点について、図2を踏まえて説明しなさい。



(肺胞での濃度を 100 とした時の相対値)

図2 ヘモグロビンとミオグロビンの酸素解離曲線

3

次の文章を読み、以下の問い（問1～4）に答えなさい。

千葉研ではヒトのあるガン組織とその周辺の正常組織で ^(a)mRNA 発現量の異なる遺伝子を実験的に探索して、未だ機能が解析されていない遺伝子を同定した。この遺伝子がコードするタンパク質を chibanin と命名し、chibanin の全長 mRNA 配列を決定して、^(b)7 つの exon にコードされる事を確認した。また、chibanin の mRNA から推定されるアミノ酸配列をドメイン予測プログラム InterPro で解析すると A、B、C の3種のドメインが見つかった。exon のつなぎ目とドメインとの関係を図1に示す。

ヒトでは図2のように chibanin に類似したタンパク質 chibanin-like1 と chibanin-like2 が存在し、スプライシングではなく別々の遺伝子に由来する事も明らかとなった。また、ショウジョウバエやカイメンなどの無脊椎動物では chibanin invertebrate type の1つだけが見つかった。

ドメイン C は微小管結合タンパク質に多く見いだされるので、chibanin を ^(c)大腸菌の組換えタンパク質として発現させて ^(d)微小管結合活性を調べた。また、^(e) chibanin の cDNA を挿入した蛍光タンパク質ベクターと chibanin に対する抗体を作製して、ヒト培養細胞内の chibanin と微小管の局在を観察した。



図1 chibanin のドメイン構造と exon の切れ目の位置。塗り潰し部分は予測されたドメインを示し、ボックスの仕切りは exon のつなぎ目を指す。

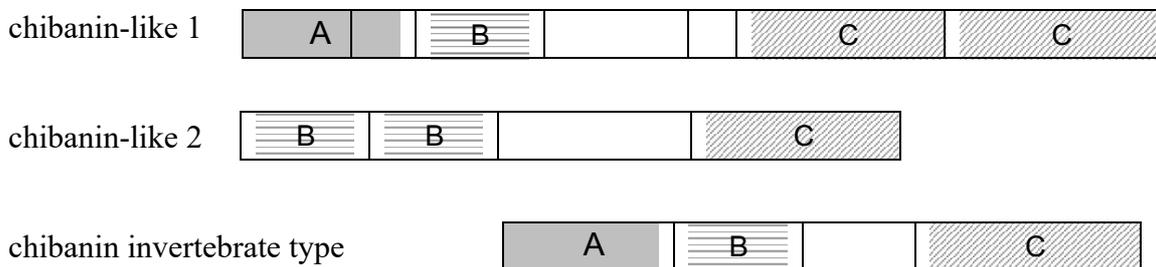


図2 ヒトの chibanin-like 1 と chibanin-like 2, およびカイメンの chibanin invertebrate type のドメイン構造と exon の切れ目の位置。

問1 下線部(a)に関して、2種のサンプル間の1) mRNA 発現量、および2) タンパク質発現量を実験的に比較する手法を1つずつ挙げ、発現量の差を推定する原理について簡潔に説明しなさい。

問2 下線部(b)に関して、ヒトの遺伝子の exon の数はどのような解析で分かるのか説明しなさい。

問3 図1と図2のように、無脊椎動物で1つしか見つからない遺伝子はヒトでは類似した遺伝子が2~4つ存在する事が多い。また、類似した遺伝子がコードするアミノ酸配列から推定されるドメイン構造は少しずつ異なる事が多い。この理由について、以下の用語を用いて説明しなさい。

「全ゲノム重複」「機能分化」「組換え」

問4 下線部(c)に関して、大腸菌でタグ付き組換えタンパク質を発現する以下のプラスミドベクター（図3）の、6×His（ヒスチジンをコードするコドンが6回繰り返される）と Ampicillin^r の役割を説明しなさい。

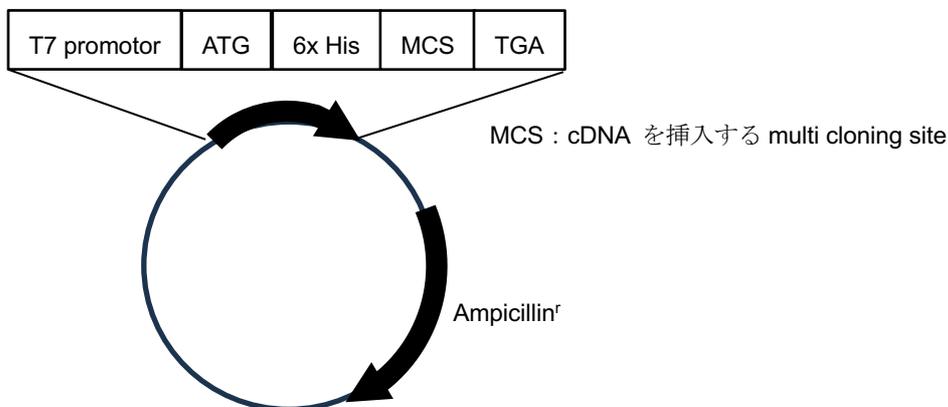


図3 組換えタンパク質を産生するためのプラスミドベクター。矢印の向きは遺伝子の向きを表す。

問5 下線部(d)に関して、大腸菌の組換えタンパク質が、組織から精製したタンパク質と同じ活性を持たない場合がある。その理由を二つ述べなさい。

問6 下線部(e)に関して、蛍光ベクターの導入と抗体による免疫染色では異なる局在を示す場合がある。その理由を二つ述べなさい。

4 次の文章を読み、以下の問い（問1～6）に答えなさい。

アフリカツメガエルの変態は、甲状腺ホルモンによって誘導される。甲状腺ホルモンとして強い活性を示すトリヨードチロニン (T_3) の構造を図1に示す。その作用を詳しく調べるために以下の実験アと実験イを行った。

【実験ア】

アフリカツメガエルを 23°C で飼育すると受精後約3週間以降に変態が進むのに対し、甲状腺ホルモンの生合成を抑制する薬剤であるメチマゾールを水槽に添加した場合には受精後3週間以上経過しても変態が起らなかった。

メチマゾールを添加した水槽で幼生を受精後7日間飼育したのちにさらに水槽に T_3 を添加して飼育を続け、7日後に観察したところ、変態が進行していた。 T_3 の代わりに、 T_3 と似た構造を持ち甲状腺ホルモン受容体 (TR) に結合する分子A (図1) を添加した場合にも、同様に変態が進行した。

T_3 や分子Aの代わりに、やはりTRに結合する分子B (図1) を添加した場合には、7日経っても変態が起らなかった。(1) T_3 と過剰量の分子Bを共に添加した場合にも、7日経っても変態が起らなかった。

アフリカツメガエルのTRはすでにクローニングされ、リガンド結合ドメイン (LBD) が特定されていた。内在性のTRはそのままに、(2)LBDを欠いた形のTR (TR Δ LBD)を全身で発現する系統を作製した。この系統の幼生を受精7日後から T_3 を添加した水槽で飼育し、その7日後に観察したが、変態は起こっていなかった。

【実験イ】

メチマゾールを添加した水槽で飼育した幼生を受精7日後に二つのグループ(a), (b)に分け、グループ(a)はそのままメチマゾールのみを添加した水槽で飼育し続け、グループ(b)はメチマゾールと T_3 を添加した水槽に移して飼育した。4日後

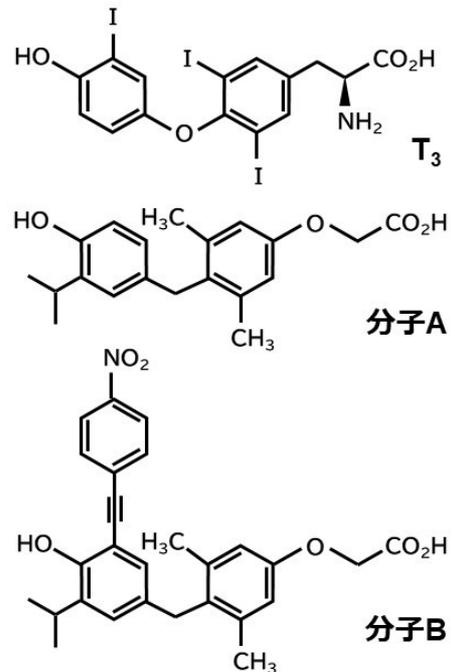


図1 T_3 , 分子A, 分子Bの構造

に以下 2 つのアッセイを行った。

アッセイ 1: 各グループの幼生を固定して凍結切片を作製した。切片に対して、蛍光色素 FITC で標識したデオキシウリジン三リン酸 (FITC-dUTP) と、DNA の 3'-OH 末端に鋳型非依存的にデオキシヌクレオチドを付加する酵素であるターミナルデオキシヌクレオチジルトランスフェラーゼ (TdT) を加えて反応させた。洗浄した後に蛍光顕微鏡で観察したところ、体の特定の部位で、グループ(a)よりも(b)のサンプルのほうが著しく高レベルの FITC シグナルを示した。

アッセイ 2: 水槽にブロモデオキシウリジン (BrdU, 図 2) を加え、12 時間後に幼生を固定し凍結切片を作製した。切片に対して、マウス抗 BrdU 抗体を一次抗体、FITC 標識ヤギ抗マウス IgG を二次抗体とした免疫染色を行い、蛍光顕微鏡で観察した。すると、体の特定の部位で、グループ(a)よりも(b)のサンプルのほうが著しく高レベルの FITC シグナルを示した。

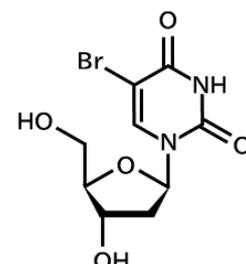


図2 BrdUの構造

問 1 下線部(1)について、分子 B を T_3 とともに添加した場合に変態が誘導されなかった理由を説明しなさい。

問 2 下線部(2)について、TRALBD が T_3 の作用を阻害するドミナントネガティブ体として働く機構について考えられることを述べなさい。

問 3 アッセイ 1 は細胞のどのような現象を検出するものか、検出原理とともに説明しなさい。

問 4 アッセイ 1 について、幼生の体のどの部位において、グループ(a)よりも(b)が高いレベルの FITC シグナルを示すと予想されるか、一つ答えなさい。

問 5 アッセイ 2 は細胞のどのような現象を検出するものか、検出原理とともに説明しなさい。

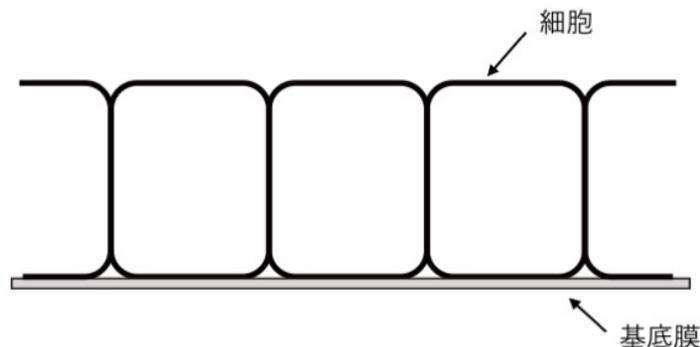
問 6 アッセイ 2 について、幼生の体のどの部位において、グループ(a)よりも(b)が高いレベルの FITC シグナルを示すと予想されるか、一つ答えなさい。

5 次の文章を読み、以下の問い（問1～5）に答えなさい。

ヒトの皮膚は外から内に向かって、表皮、真皮、皮下組織という3種類の異なる組織が積み重なって作られている。表皮を構成する細胞は主に角化細胞であり、その他には色素細胞やランゲルハンス細胞などがある。角化細胞は重層扁平上皮に分類され、基底膜側から基底細胞層、有棘細胞層、顆粒細胞層、角質細胞層（角層）と呼ばれる。真皮は細胞外基質を豊富に含む結合組織で、表皮を物理的に支えるだけでなく、表皮との間で活発な物質交換を行っている。

問1 角質細胞層の細胞の特徴と機能の特徴を答えなさい。

問2 基底細胞において細胞を強固に支える（機械的に支持する）細胞骨格の名称と接着装置の名称を答えなさい。また、下図に倣って、基底細胞間におけるそれらの配置を模式的に描きなさい。



問3 問2で答えた細胞骨格のフィラメントの構造と骨格筋細胞のII型ミオシンフィラメントの構造とを比較し、両者の主な類似点と相違点を説明しなさい。また、その構造の違いが機能にどのように関連しているかも説明しなさい。

問4 真皮の細胞外基質に豊富に認められる繊維状タンパク質の名称を二つ答え、その機能を簡単に説明しなさい。

問5 真皮の細胞外基質にはグリコサミノグリカンが豊富に存在する。グリコサミノグリカンの生理的役割と、それをもたらす仕組みを説明しなさい。

6 次の文章を読み、以下の問い（問1～5）に答えなさい。

デンプン量の少ないジャガイモを開発するため、JG16系統のジャガイモを用いて、塊茎（イモの部分）でのみ発現することが知られている *demp* 遺伝子をターゲットとしたゲノム編集を行なった。その結果、当該遺伝子のコード領域に1塩基の欠失が生じたノックアウト株（以下、JG16-*demp*^{em} 系統）を得ることができた。研究員のAさんは、JG16系統と JG16-*demp*^{em} 系統を用いて以下の3つの実験および解析を行なった。

【実験1】

JG16系統と JG16-*demp*^{em} 系統におけるデンプン含有量を比較するため、各系統から種芋（個体）5個をランダムに選定し、同一環境に植え付けて育てたのち、それぞれの株（個体）から十分に成長した塊茎を無作為に一つずつ選び、デンプン含有量を測定した。なお、このとき、各塊茎の6～14箇所から組織を1gずつ採取し、JG16と JG16-*demp*^{em} のそれぞれでサンプル数が合計50になるようにサンプルを集めている。その結果、⁽¹⁾サンプル間でばらつきがあったものの、JG16-*demp*^{em} 系統のデンプン含有量の⁽²⁾平均値は JG16系統のデンプン含有量の平均値よりも小さく、*t*検定によりそれらの間には統計的に有意な差が認められた（ $P=0.023$ 、図1）。Aさんは、これらの結果をもとに、*demp* 遺伝子が塊茎内でのデンプン蓄積に関与すると結論づけた。

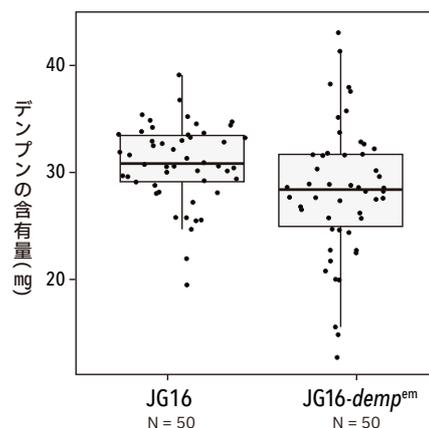


図1

【実験 2】

demp 遺伝子のノックアウトが塊茎でのデンプン蓄積以外に与える影響を調べるため、JG16 と JG16-*demp*^{em} のそれぞれ 30 の種芋をランダムに選定して実験圃場に植え付けて育てたのち、互いに独立した 20 の形質（形質 1～形質 20）について表現型を測定した（それぞれ N=30）。その結果、形質 11 と形質 16 について、有意水準 5%未満 ($\alpha < 0.05$) で JG16 と JG16-*demp*^{em} の間で有意な差が認められた（形質 11: $P = 0.039$; 形質 16: $P = 0.042$ ）（図 2）。Aさんは、この結果にもとづき、*demp* 遺伝子が形質 11 と 16 の表現型の決定にも関与していると結論づけた。

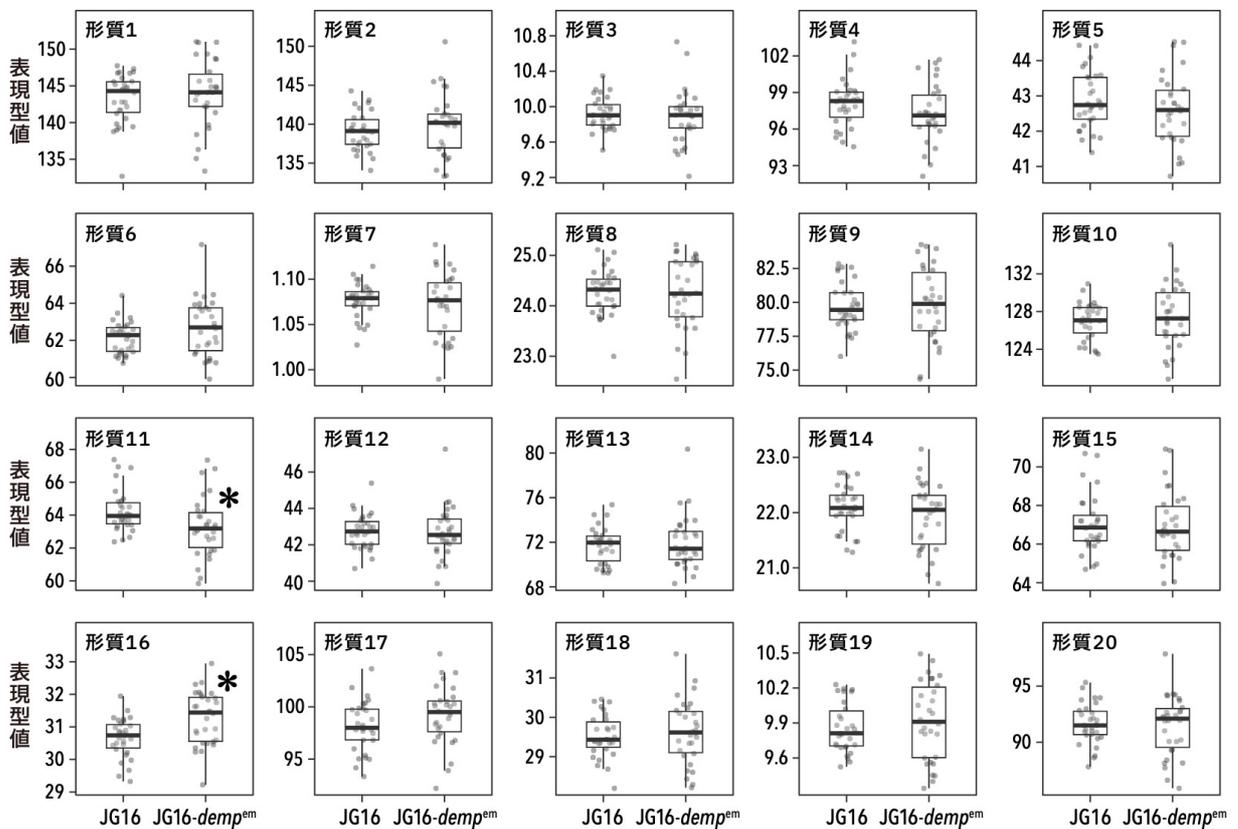


図 2. 形質 1～20 の表現型の測定結果. 図中のアスタリスクは系統間で有意差があることを示す.

【実験3】

JG16の100個の種芋を屋外の圃場に植えて育てたのち、すべての株（個体）について食害率と葉の硬さを測定した。土壌環境や日照などの微環境が異なったため、葉の硬さと食害率の値はいずれも株間（個体間）でばらつきが認められた。得られたデータをもとに相関分析を行なったところ、葉の硬さと食害率との間に有意な負の相関があった（ $P=0.0021$ ）。

問1 下線部(1)について、下の文を読み、 ～ に入る適切な語句を下語群から選んで答えなさい。

データのばらつきの程度を表す統計量にはいくつかの種類がある。「各データの値と平均値の差」の2乗の平均は「分散」と呼ばれる。分散の平方根をとった値は と呼ばれる。また、 を平均値で割った値は と呼ばれ、平均値の異なるデータ間でばらつきの程度を比較するとき用いられる。一方、 をサンプル数の平方根で割った値は と呼ばれる値であり、この値は標本平均の誤差範囲を表す。 はサンプル数が大きくなるほど小さくなるので、データのばらつき具合を表す統計量でないことに注意が必要である。

語群：平均値、四分位数、変動係数、測定誤差、標準偏差、標準誤差、信頼区間、信用区間

問2 下線部(2)について、以下の文章を読み、 ～ に入る適切な語句を答えなさい。

データを特徴づける値（代表値）にはいくつかの種類がある。単純にすべての値を足し合わせて値の個数で割ることで算出されるのが である。これに似た値に「幾何平均」や「調和平均」がある。また、データを大きさの順に並べ替えたとき、ちょうど順番が真ん中になる値は と呼ばれる代表値である。さらに、すべてデータの中でもっとも高い頻度で現れる値の区分は と呼ばれる。データが 分布している場合などには が適切な代表値となるが、データの分布が極端に非対称な場合（ベキ乗分布やポアソン分布）は や のほうが適切な代表値となる。

問3 実験1においてAさんの行なったサンプリングの方法あるいは統計解析には問題がある。どのような問題点があるか60字程度で答えなさい。

問4 実験2においてAさんの行なった統計解析には問題がある。どのような問題点があるか60字程度で答えなさい。

問5 実験3の統計解析の解釈として生物統計学的にもっとも妥当なものを以下のA~Dから一つ選びなさい。

- A. 食害率が高くなることによって、葉が柔らかくなる。
- B. 葉が硬くなることによって、食害率が低くなる。
- C. 食害率と葉の硬さの間には相関関係があるものの、直接的な因果関係があるかはわからない。
- D. 因果の方向性は断定できないものの、食害率と葉の硬さの間には因果関係はあるといえる。

7 以下の問い（問1～2）に答えなさい。

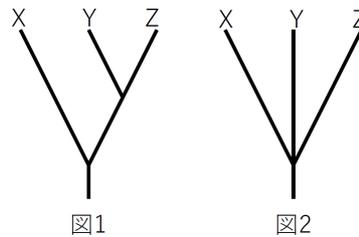
問1. 次の文章を読み、以下の①・②に答えなさい。

分岐分類学（cladistics）における分岐分析とは、同じ派生形質状態を示すものを単系統としてグルーピングしていく手法である。表1の形質1の場合、分類群YとZが派生的形質状態を共有するので図1の系統樹を作ることができる。一方、形質2の場合は派生形質状態を示すのは一つのカテゴリのみである。したがって系統的情報を持たない。形質2のみから推測される系統樹は、図2のようになる。

表1

分類群	形質1	形質2
X	0	0
Y	1	0
Z	1	1

0が祖先的、1が派生的形質状態



- ① 以下に示した形質A～Gそれぞれについて、当てはまれば1、当てはまらないなら0とコードし、表2を完成させなさい（解答用紙に書き写すこと）。
- ② 完成させた表2のデータをもとにして、分岐分析の手法を用いて系統樹を作成しなさい。0は祖先形質状態、1は派生形質状態である。解答の際には、形質A～Gそれぞれについて系統樹を作りなさい。系統関係が定まらない部分については図2のように多分岐で表すこと。さらに、それら個々の系統樹を全て統合することで、最終的な系統樹を構築しなさい。

形質A：維管束を持つ

形質B：胚珠を持ち、胚珠が心皮に覆われている

形質C：孢子体世代がある

形質D：種子を作る

形質E：クロロフィルaとbの両方を持つ

形質F：孢子体世代を持ち、孢子体が個体あたり複数の孢子嚢を作る

形質G：重複受精を行う

表 2

種	形質 A	形質 B	形質 C	形質 D	形質 E	形質 F	形質 G
シャジクモ							
スギ							
イネ							
ゼニゴケ							
アブラナ							
ワラビ							

問2. 以下の①・②に答えなさい。

- ① 種間で、ある相同な遺伝子の配列を比較してみる。進化速度が一定であると考えると、種間で固定した突然変異の数は、図3の点線のように種が分岐してから時間に比例すると期待される。しかし、配列間で異なっている塩基座位の観察値は、図3の実線のようになる。観察値が点線よりも低い値になる理由を述べなさい。

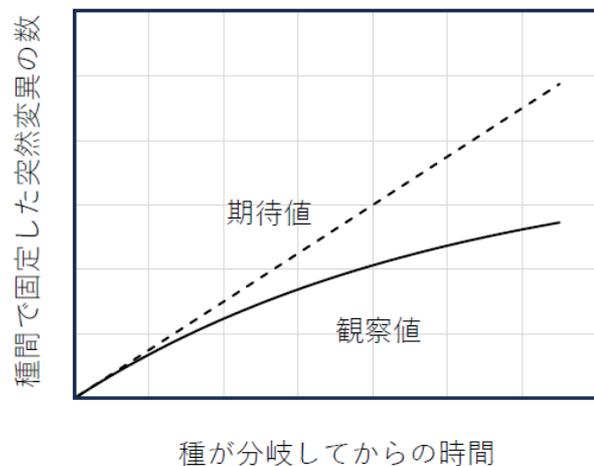


図 3

- ② あるグループを遺伝子配列情報によって系統解析する場合、そのグループの分類群間の進化的距離を考慮して、適切な分子マーカーを用いる必要がある。この分子マーカーの選択基準について述べなさい。図3に示される分子進化の特性も考慮に入れること。

8 次の文章を読み、以下の問い（問1～3）に答えなさい

2022年のノーベル医学・生理学賞は、「絶滅した化石人類のゲノムと人類の進化に関する発見」の功績により、Svante Pääbo氏が受賞した。Pääbo氏は、人類の絶滅種である⁽¹⁾ネアンデルタール人のゲノム解読という、一見不可能と思われることを成し遂げた。さらに、これまで知られていなかった化石人類「デニソワ人」を発見し、センセーショナルな話題を呼んだ。またPääbo氏は、⁽²⁾アフリカから世界中に分布を拡げた現代人に、絶滅したこれらの化石人類から遺伝子が受け継がれていることも突き止めた。この受け継がれた遺伝子は、例えば、感染症に対する免疫系の反応の変化などの原因にもなっている。

問1 下線部(1)に関して、化石からDNAを抽出してシーケンスを行うことは非常に困難であったが、Pääbo氏は、4万年前の1個体のネアンデルタール人の骨からDNAを抽出し、①100bp程度の短いDNA断片を増幅するプライマーセットを用いたことや、②国の異なる複数のラボで同じ結果が得られることを確認することなどにより、ネアンデルタール人のミトコンドリアDNAの塩基配列の決定に初めて成功した。①と②はそれぞれ、人類の化石のDNAの解析に関するどのような問題点を解決するために行ったか答えなさい。

問2 下線部(2)について、Pääbo氏は、アフリカの現代人には化石人類のゲノムの痕跡は無く、アフリカ以外の地域の現代人のゲノムの2%程度がネアンデルタール人に由来することをつきとめた。さらに、オセアニア地域の現代人のみ、ゲノムの6%程度がデニソワ人に由来することを明らかにした。

①これらのことから、現代人の拡散の過程でどのようなことが起きたと考えられるか答えなさい。

②デニソワ人と世界各地の現代人および複数のチンパンジーとの間で、核ゲノムの多数の相同な領域の塩基置換率（塩基置換数/全塩基数）を比較したところ、チンパンジーと現代人の平均塩基置換率を100とした場合、現代人の個体間の相対置換率は6～9、デニソワ人とアフリカの現代人の間の相対置換率は12であった。現代人とチンパンジーの分岐年代を650万年前として、現代人とデニソワ人の分岐年代を計算しなさい。ただし、デニソワ人のサンプルが8万年前のものであることを考慮し、塩基置換速度（時間当たりの塩基置換数）を一定

と仮定して計算し，計算式と計算過程も示すこと。

問3 Pääbo氏は，デニソワ人1個体の高カバレッジのゲノム解析を行い，この個体のヘテロ接合度が，極めて小さいことを明らかにした。さらに，この個体にはホモ接合の長い領域が無いことから，極めて小さいヘテロ接合度が，近親交配によるものではないこともつきとめた。デニソワ人のヘテロ接合度が極めて小さいのは，どのような要因によるものか答えなさい。

9 次の文章を読み、以下の問い（問1～4）に答えなさい。

種数面積曲線は、生態学において定式化された数少ない関係のひとつである。図1は、ある地域の島々において鳥類の種数を調査した結果を示しており、典型的な生息地面積と種数との関係がみられる。

問1 横軸に島の面積 A ，縦軸に生息する生物種数 S をとることで、種数と面積の関係を表す。このとき一般的に、各軸の値を両対数で表したとき直線関係が得られる。 S と A の関係を、定数 c と定数 z を必ず使って記しなさい。 z は必ず0から1の間の値をとる。

問2 面積と種数の間に図1で示すような右上がりの関係が生じる生態学的な理由を説明しなさい。

問3 次に、これらの島々について島の孤立度（種プールとなる大陸からの距離）が各島の鳥類群集に与える影響を検討したところ、図2で示されるような入れ子関係が見られた。これらの島々において、どのような機構によって入れ子関係が生じたと考えられるか、簡単に説明しなさい。

問4 調査した地域の島々では、近年、捕食者である大型鳥類1種が絶滅した。図1の○と実線（平均値）は、この大型鳥類の絶滅前の結果を示しており、絶滅後（☒）は破線で示される種数面積曲線に変化した。捕食者の絶滅が被食者に与えた影響はどのようなものであったと考えられるか、被食者の種数に注目して説明しなさい。絶滅前の実線と絶滅後の破線で示される平均値は有意に異なるとして、種数の変化について説明すること。

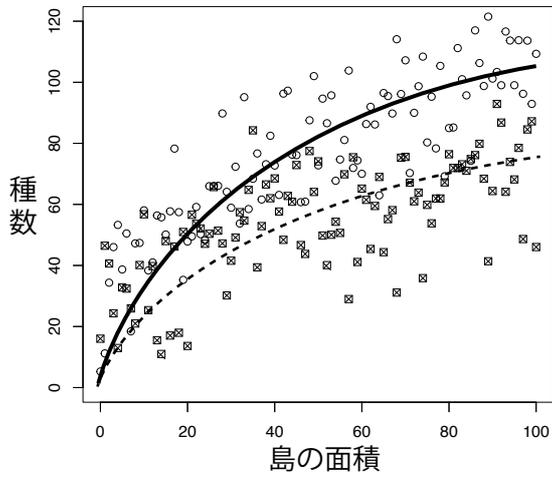


図1. 種数と面積の関係。○と実線は、それぞれ、捕食者である大型鳥類の絶滅前の島ごとの結果および平均の推定値を示し、☒と破線は絶滅後の結果を示す。

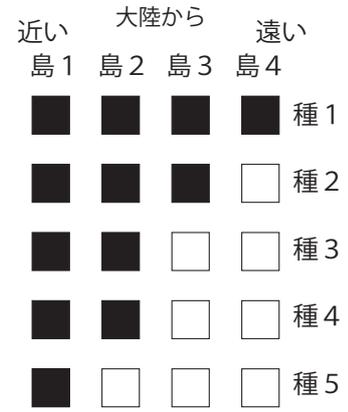


図2. 群集の入れ子構造を示す概念図。黒塗りはその島の存在を、白抜きは不在を示す。

10 次の文章を読み、以下の問い（問1～4）に答えなさい。

有性生殖を行う雌雄異体の多くの生物における進化的に安定な性比（集団中の雄個体と雌個体の比率）が1：1である理由は、フィッシャーの性比の理論によって説明されている。ところが、この理論によって説明できない性比を示す生物がいることも知られている。ハミルトンは、そのような生物の中には、交配時に1または少数の雌親から産まれた個体から成る小さな交配グループが形成されることで性比が偏るものがあることを理論的に示した。例として、（ ）科には、雌が寄主に複数の卵を産み付け、同一の寄主内で羽化した雌雄の間、すなわち、同一の交配グループ内でのみ交配が行われる種がある。このような種では、同じ母親から産まれた息子の中で雌をめぐる競争が起きる。交配を終えた交配グループは解散する。

問1 （ ）内に入る適切な科名を一つ答えよ。

問2 下線部のような競争は何と呼ばれているか？

問3 下線部のような競争があるとき、一つの交配グループあたりに産卵する雌の数と、雌1個体が産む子の雄比（全体を1とした雄個体の割合）との間にはどのような関係が生まれるかグラフで示しなさい。なお、横軸に一つの交配グループあたりに産卵する雌の数、縦軸に雌1個体が産む子の雄比をとったうえで、一つの交配グループあたりに産卵する雌の数が極めて少ない場合と逆にこれが十分に大きい場合に特に注意して描画しなさい。また、そのようになる理由を説明しなさい。

問4 性が遺伝的にではなく、生息場所の環境によって決められる生物について、例を一つ挙げて雌雄の性がそれぞれどのような環境によって決められるか具体的に説明しなさい。