

試験問題(記述式) — 理 科(生物)

(注意) 解答はすべて別紙解答用紙の定められた欄に書くこと。

1 次の文章を読んで以下の設問に答えよ。

ヒトのシナプスはおもに化学シナプスである (図1左)。シナプス前膜には多数のカルシウムチャンネルが含まれていて、活動電位によってシナプス前膜が脱分極すると、カルシウムチャンネルが開口して多数の Ca^{2+} が神経終末内部に流入する。流入した Ca^{2+} はシナプス前膜の放出部位を開口させ、シナプス小胞中に含まれる神経伝達物質がシナプス間隙に放出される。放出された神経伝達物質はシナプス後膜上のイオンチャンネル型受容体に結合してチャンネル部分を開口させる。また、化学シナプスには、興奮性シナプスと抑制性シナプスがあり、後者は情報伝達を抑制する。

シナプスの一部には電気シナプスと呼ばれる種類のものもある (図1右)。これは、隣り合った細胞同士の細胞質がギャップジャンクションと呼ばれるイオンチャンネルを通じて直接つながっており、その間をイオンが自由に行き来できる。

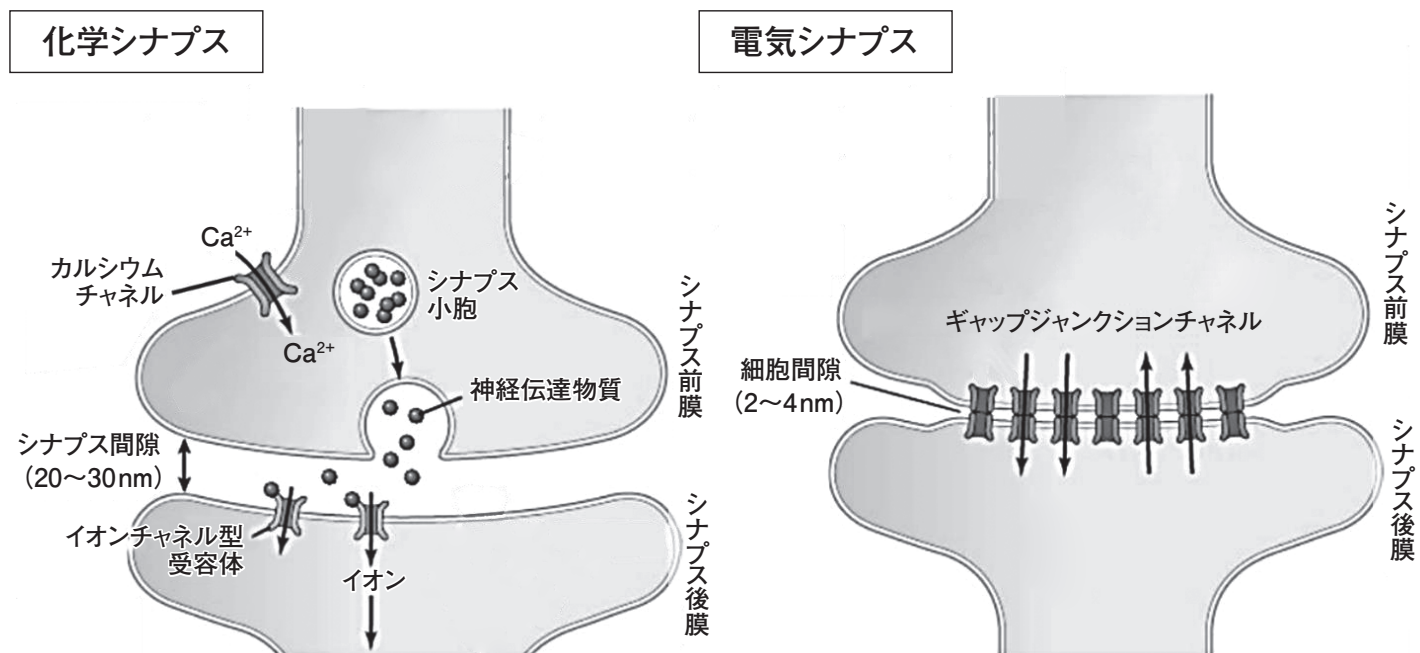


図1. 化学シナプスと電気シナプス
(ガイトン生理学 原著13版より引用・改変)

問1 下線部(a)に関連して、神経終末内部への Ca^{2+} 流入量を減少させる薬剤を投与したとき、神経伝達物質の放出量はどうなるか述べよ。

問2 下線部(b)に関連して、以下の設問①②に答えよ。

- ① 神経伝達物質にはどのようなものがあるか、名称を1つ記せ。
- ② シナプス間隙に放出された神経伝達物質は酵素によって分解される。この酵素の働きを阻害すると、シナプス間隙における神経伝達物質の濃度はどうなるか述べよ。

問3 化学シナプスに関して、以下の設問①②に答えよ。

シナプス前細胞に対して高頻度の繰り返し刺激を行った際にはシナプス前細胞内の神経伝達物質は枯渇する。その結果として、

- ① 生起すると考えられる現象を述べよ。(30字以内)
- ② シナプス後細胞の活動電位の発生頻度はどうなると予想されるか述べよ。

問4 下線部(c)に関連して、図2に示すように抑制性シナプスは2通りある。ひとつは、抑制性ニューロンがシナプス前細胞の神経終末に結合するタイプ（シナプス前抑制）で、もうひとつは抑制性ニューロンがシナプス後細胞の細胞体に結合するタイプ（シナプス後抑制）である。図中のA、Bがともに興奮性ニューロンの神経終末であるとき、Aから来る興奮性信号とBから来る興奮性信号のシナプス後細胞への伝達は、シナプス前抑制とシナプス後抑制でどのように異なるか述べてよ。（100字以内）

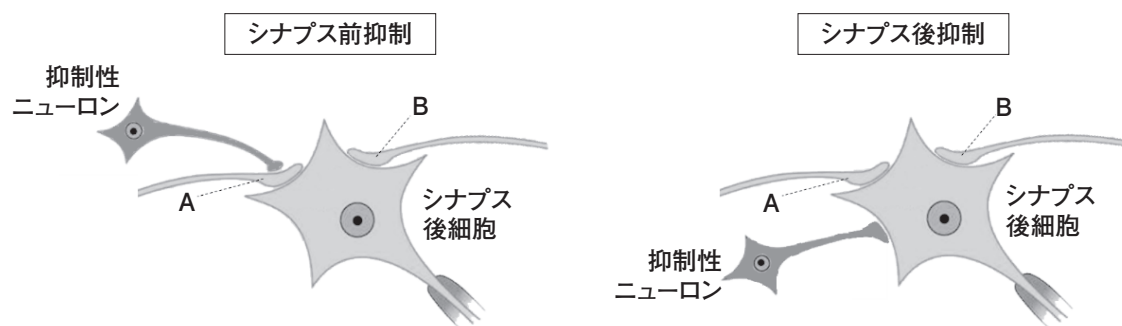


図2. シナプス前抑制とシナプス後抑制

問5 下線部(d)について、以下の設問①②に答えよ。

- ① 電気シナプスはどのようなタイプの情報伝達に適していると考えられるか述べてよ。（40字以内）
- ② 電気シナプスとの比較において、化学シナプスによる情報伝達上の特異性について考えられることを述べてよ。（20字以内）

2 次の文章を読んで以下の設問に答えよ。

ヒトの消化管は全長8mにもおよぶ長い管である。口から肛門にいたるこの管は曲がりくねった一本のトンネルのようでもあるが、実際には枝分かれがいくつもある。

消化管の上皮は発生学的には主に (A) 胚葉由来であるが、消化管内に消化液を分泌する唾液腺や (B)、さらには呼吸器官である (C) などの上皮も同様に (A) 胚葉由来で、この消化管から枝分かれして発生するものである。

唾液腺と (B) はともに外分泌腺であるが、(B) は血糖値を調節するホルモンを血液中に分泌することから、内分泌腺の機能をもあわせもった器官といえる。
(a)

消化管は食物を消化して吸収する器官であるが、消化としては物理的な消化と化学的な消化が行われる。前者は口で咀嚼したり腸管が蠕動運動したりすることにより食物がすりつぶされることであり、後者は酵素による分解である。炭水化物は (D) などの酵素によって単糖類に分解され、タンパク質は (E) などの酵素によってアミノ酸に分解されて腸の上皮から吸収される。吸収された糖類やアミノ酸は腸管壁の毛細血管に取り込まれ、(F) に流れ込んで肝臓に運ばれる。
(b)

消化管壁には免疫に関与する細胞も多数存在しており、食物に混ざって異物や病原体が侵入することに備えている。

問1 脊椎動物の初期の胚は3つの胚葉に分かれているが、消化管の上皮はどの胚葉に由来するか、(A)に入る漢字一文字を記せ。

問2 (B)、(C)にあてはまる器官の名称を記せ。

問3 消化器官・呼吸器官以外の(A)胚葉由来の器官を1つ記せ。

問4 下線部(a)に関して、器官(B)から分泌される血糖値を調節するホルモンの名称を2つ記せ。

問5 (D)と(E)に入る酵素のうち、器官(B)からの分泌に由来するものの名称を記せ。

問6 血管(F)の名称を記せ。

問7 アミノ酸の中には人体に必須ではあるが人体中で作ることのできないものがあり、必須アミノ酸と呼ばれる。図にアミノ酸の一般構造を示した。解答欄に必須アミノ酸の名称を1つ記し、その構造を、図を参考にして描け。

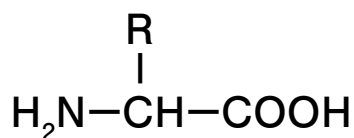


図 アミノ酸の一般構造 (Rは側鎖)

問8 下線部(b)に関して、消化管からの血流がまず肝臓に運ばれることの生体にとっての利点を1つ挙げよ。(50字以内)

3 次の文章を読んで以下の設問に答えよ。

自然界には自ら光を発する発光生物や蛍光を発する生物が多く生息する。その中でも発光生物の分類は幅広い系統にまたがっている。代表的な発光生物にはウミエラ（刺胞動物）、ツバサゴカイ（環形動物）、カモメガイ（軟体動物）、ホタル（節足動物）、ヒカリキンメダイ（脊索動物）、ツキヨタケなどが知られている。これらには、自ら発光物質を産生する生物もいるが、発光器官の中に発光バクテリアを共生させている種もいて、発光の様式も様々である。これら光る生物に魅了された研究者たちにより、生物発光と生物蛍光の原理が研究され、現在ではバイオテクノロジーを支える大事な分野へと発展している。

オワンクラゲは生物発光と生物蛍光の研究の進展に大きく役立った生物である。下村脩博士とフランク・ジョンソン博士は大量のオワンクラゲからイクオリンという発光タンパク質を精製した。精製実験がうまく進まなかったときに流しに捨てたサンプルと海水中のカルシウムイオンが反応して突然青く発光したという逸話がある。生物の発光物質は化学エネルギーを光のエネルギーに変換して放出する性質をもつ。下村博士はイクオリン精製の過程で、青い光を吸収して緑色の蛍光を発するタンパク質（GFP）を発見した。その後、GFP 遺伝子はクローニングされアミノ酸配列と立体構造が詳しく解析された。GFP は、タンパク質の一部のアミノ酸が構造変化を起こして蛍光発色団を形成することが知られている。GFP 遺伝子に変異を導入し、蛍光発色団近傍に位置するアミノ酸配列を改変することで様々な色や性質をもった改変型 GFP が開発され、現在も多くの生命科学の研究に利用されている。

問1 下線部(a)の生物と同じ動物門の生物を選択肢から選び記号で答えよ。

- (あ) 巨大発光ミミズ（オクトキータス） (い) ホタルイカ (う) オキアミ
(え) チョウチンアンコウ (お) オワンクラゲ

問2 下線部(b)について、以下の設問①②に答えよ。

- ① ハワイのダンゴイカ (*Sepiola birostrada*) は発光により捕食者をだます巧みな防御法を身に付けている。一方、発光バクテリアは、ダンゴイカの発光器官内にすむことで安定して栄養が供給されると考えられている。このような共生関係を何と呼ぶか。
② 発光バクテリアは、海水中では一切発光しないが、ダンゴイカの発光器官に入り込み一定の密度以上に増殖すると初めて発光するようになる。発光バクテリア自身が小分子の発光誘起物質を分泌するとして、密度依存的発光のメカニズムとその利点を推察せよ。(50字以内)

問3 下線部(c)の生物発光と生物蛍光の違いを簡潔に説明せよ。

問4 下線部(d)について、ホタルの発光では図1のような反応で酸化された物質Lから光が放出される。発光物質Lと、この反応に化学エネルギーを与える物質Xはそれぞれ何か。

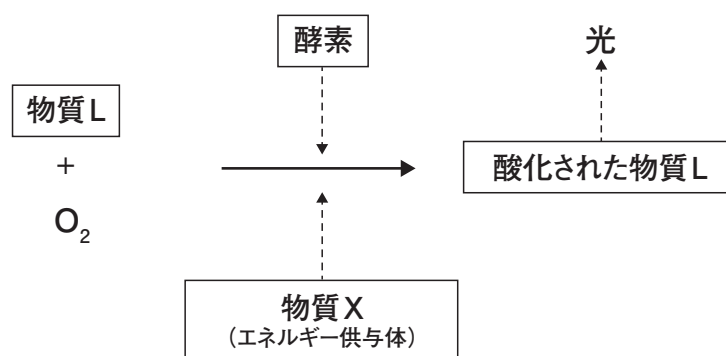


図1. ホタルの発光反応

問5 下線部(e)について、GFP の cDNA 全長を含む DNA 断片を用いて高校の実習で GFP を大腸菌に発現させたい。以下の設問①～③に答えよ。

- ① 一般に大腸菌に動物の遺伝子を発現させるには、ゲノム DNA から切り出したイントロンを含む DNA ではなく cDNA を使用する必要がある。理由を簡潔に述べよ。
- ② 使用する GFP の DNA 断片の両端には制限酵素 *EcoRI* で切断される塩基配列 (図 2 A) があり、発現用の pUC19 プラスミド (図 2 B) にも *EcoRI* で切断される塩基配列がある。*EcoRI* と DNA リガーゼを使用して pUC19 プラスミドに GFP の DNA 断片を組み込むための作業の概略を述べよ。
- ③ ②の作業をした後、プラスミド DNA を大腸菌に取り込ませて、アンピシリンと IPTG を含む寒天培地に薄く広げ 37℃ で一晚培養した。翌日、寒天培地には複数のコロニーはあったが、青色の強い光を照射しても緑色に光るコロニーはなかった。考えられる原因を 2 つ列挙せよ。

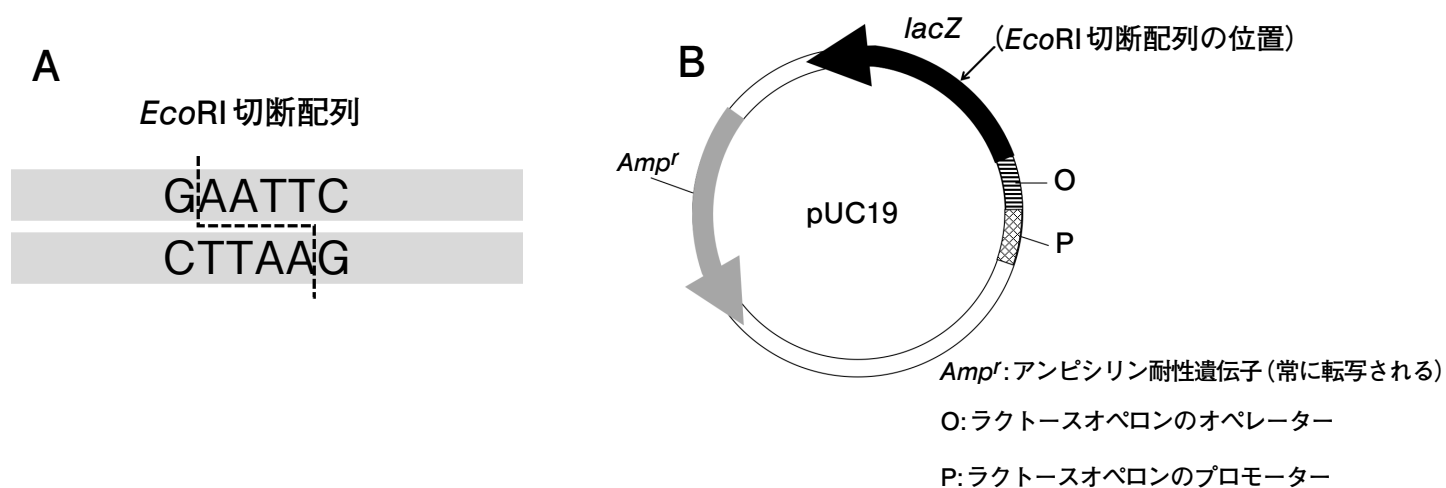


図 2. GFP 発現に必要な pUC19 プラスミドの概略

問6 下線部(f)について、以下の設問①②に答えよ。

- ① ある遺伝子と GFP 遺伝子の融合遺伝子を作成しヒト培養細胞で発現させた。この細胞を蛍光観察して調べられることを簡潔に述べよ。
- ② GFP を改変した EYFP (黄色) と ECFP (青色) の 2 色の蛍光タンパク質を活用した、トランスジェニック生物を使用した実験を考案せよ。(60字以内)

4 次の文章を読んで以下の設問に答えよ。

現在、地球上には180万近くの生物種が記載されている。このような種の多様性はどのようにして生み出されてきたのだろうか。ビーグル号による世界一周の旅から帰ったダーウィンはガラパゴス諸島から持ち帰った標本の中に、これまで見たことがない形の鳥類標本を見つけた。さらに彼はそれらの標本が少しずつ異なっていることにも気が付いた。当時の農業では、同じ品種の中から特徴のある個体を選別して受粉・受精を繰り返すことで、少しずつ表現形質が変化させられることが知られていた。そこでダーウィンは、自然界の種も不変なものではなく、共通祖先の一部が自然選択を経て現在の姿に変化してきたという説を唱えた。

南米大陸にいたダーウィンフィンチの祖先が200~300万年前にガラパゴス諸島へ移りすんだ時、競合する鳥類が不在だったため、より多様な生態的地位に進出することができた。その後、祖先種と同じような種子食だけでなく昆虫食や花食など様々な食性に対応した結果、様々な嘴形態を有する14種に進化してきた。彼らの進化は現在も続いているのだろうか。グラント夫妻らはガラパゴス諸島の大ダフネ島でダーウィンフィンチを調査し続けた結果、この島のガラパゴスフィンチ (*Geospiza fortis*) という種の個体群で40年間で少なくとも3回嘴の厚みが大きく変化していたことを見出した(図1)。元々この島のガラパゴスフィンチ個体群内には、大きく分けて厚く大きな嘴タイプ(以下「大型嘴タイプ」と小さな嘴タイプ(「小型嘴タイプ」)の2つのタイプが混在していた。1977年の大干ばつの時に島の軟らかい種子をつくる木が激減し、乾燥に強い堅い殻の種子をつくる木が残った。すると堅い殻を割ることができる大型嘴タイプは生き残ることができたが、小型嘴タイプの多くが餓死した。嘴は遺伝されやすい形質のため次世代には大型嘴タイプの個体が残りに、個体群全体の嘴の厚みの平均値は大きくなった(図1(ア))。次に1982~83年のエルニーニョ現象による大雨の結果、小さく軟らかい種子をつくる木が増えると、これを食べていた小型嘴タイプの数が回復した(図1(イ))。続いて別の島から体が大きい別種のフィンチ (*Geospiza magnirostris*) が移入してくると、彼らとガラパゴスフィンチの大型嘴タイプとの間で同じ堅い種子をめぐる種間競合が起こった。争いに敗れた大型嘴タイプが2005年頃に数を減らしたため、この個体群で嘴の厚みの平均は再び大きく低下した(図1(ウ))。

ガラパゴス諸島には種子食以外にもサボテン食や昆虫食のダーウィンフィンチが存在し、それぞれが食物に適応した特異的な嘴の形態をもつ。アブシャノフらは嘴の成長方向と量を決める主な遺伝子を同定してこのようなダーウィンフィンチの多様な嘴形態を生み出す発生機序を明らかにした(図2)。

一方、嘴は摂食以外にも重要な機能があることが分かっている。ポドスらは共鳴器官である嘴の形態の違いがダーウィンフィンチの配偶者選択に影響を与えている可能性を示した(図3, 4)。鳥類における嘴のその他の機能としては、タッタソルらが放熱器官としての役割を指摘している。

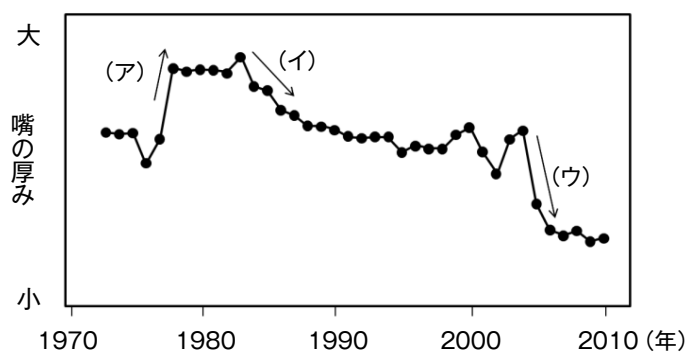


図1. 大ダフネ島に生息するガラパゴスフィンチの嘴の厚みの平均の変化

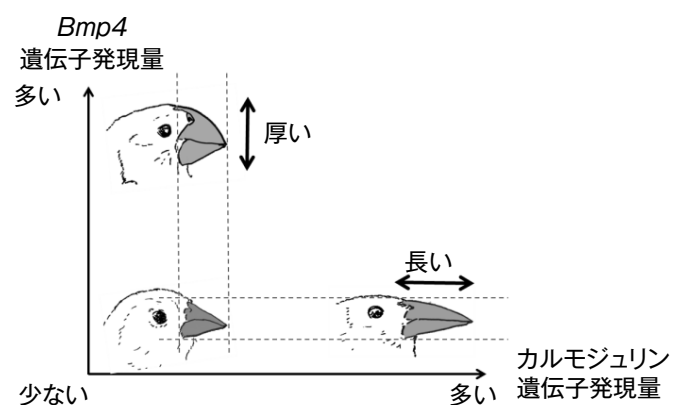


図2. 形態形成遺伝子 (Bmp4/カルモジュリン) 発現量とダーウィンフィンチ嘴形態の関係

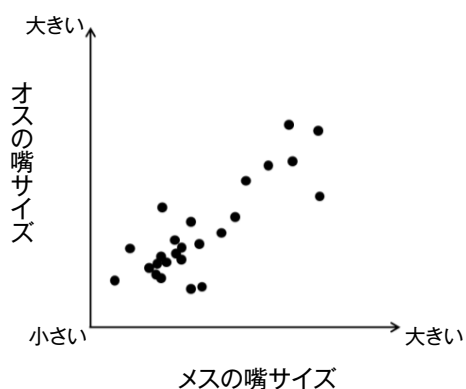


図3. 配偶者間の嘴サイズの関係

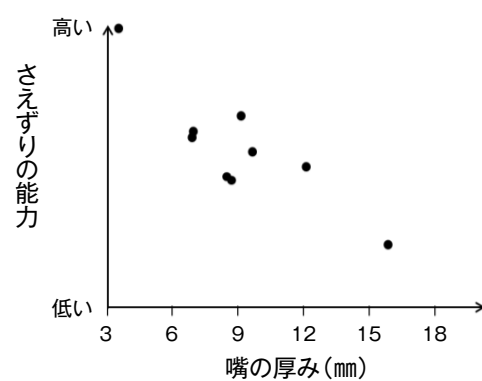


図4. 嘴の厚みとさえずり能力の関係

問1 下線部(a)の考えを表したダーウィンの主著を何というか。

問2 下線部(b)について、個体数が増える選択を正の選択、個体数が減る選択を負の選択とする。

(ア)～(ウ)の中で小型嘴タイプへの正の選択にあたると考えられるのはどれか。

問3 下線部(c)のように生態的地位が重なる2種間での競合の結果、どちらかあるいは両種における形態変化が起こり、それまでより大きな形質差が生じる進化現象を何というか。

問4 下線部(d)について、サボテン食のダーウィンフィンチがサボテンの葉肉を食べる様子を下図に示す。表面に発達した防御用の棘をもつサボテンの葉肉を食べるために、この種が獲得した嘴形態の特徴とその利点を考えて記述せよ。(40字以内)



問5 下線部(e)について、アブシャノフらはダーウィンフィンチの嘴形態形成に *Bmp4* 遺伝子とカルモジュリン遺伝子という2つの遺伝子が関わっており、その発現量により彼らの嘴形態多様性が説明できることを示した(図2)。大ダフネ島のガラパゴスフィンチの中で、1977年の干ばつで生き残った個体の嘴の形成には、餓死した個体に比べて、どのような遺伝子発現上の特徴があったと考えられるか。1つ選べ。

(ア) *Bmp4* 遺伝子発現量がより多かった。

(イ) *Bmp4* 遺伝子発現量がより少なかった。

(ウ) カルモジュリン遺伝子発現量がより多かった。

(エ) カルモジュリン遺伝子発現量がより少なかった。

問6 下線部(f)について、以下の設問①②に答えよ。

① 図3はあるダーウィンフィンチの配偶者間の嘴サイズの関係を示している。ここではメスがどのような特徴のオスを選んでいるのか述べよ。(30字以内)

② 配偶者選択において、ダーウィンフィンチのメスはオスのさえずりを聞いて相手を選んでいる。図4はそのさえずり能力が、嘴形態によって変わることを示している。嘴形態の違いが同じ島にすむ近縁なダーウィンフィンチ同士の生殖隔離にどのような役割を担っているか述べよ。(80字以内)

問7 下線部(g)の役割に関して、一般に体の大きな生物は体積に対する表面積が少ないことから寒冷域における体温維持に優れるが、放熱に不利であることが分かっている。気温が高く体温が上がりやすい熱帯域に生息する大型の鳥たちはどのような嘴をもつことで体温調節を行っているか述べよ。(20字以内)

