

生物

生命の起源と進化

【法政大】

生命が誕生する前の地球の大気には、〔ア〕が多量に含まれていたが、酸素はほとんど含まれていなかったと考えられている。(i)光合成細菌の誕生から、シアノバクテリア、藻類、陸上植物へと至る光合成生物の進化と繁栄は、地球の大気組成に大きな影響を与えてきた。

原始的な光合成生物は他の原始的な生物と同様に海中で誕生したと考えられている。最初に〔ア〕と硫化水素などを光合成に利用する光合成細菌が出現し、次に〔ア〕と(ii)水を光合成に利用するシアノバクテリアが出現した。シアノバクテリアは分布範囲を拡大し、その繁栄の痕跡は〔イ〕とよばれる層状構造をもった岩石として残っている。一部の光合成細菌は光合成色素として〔ウ〕をもち光合成の過程で酸素を発生しないが、(iii)シアノバクテリアは陸上植物と同じ光合成色素である〔エ〕をもち光合成の過程で酸素を発生する。シアノバクテリアによって放出された酸素は、はじめのうち、〔オ〕イオンと結合して酸化〔オ〕になり海底に沈殿したが、しだいに水中や大気中に蓄積し始めた。一方、大気中の〔ア〕は光合成による有機物への固定などによって減少した。〔ア〕の減少の影響で、地表の温度は徐々に〔カ〕した。シアノバクテリアに続いて、藻類が出現し、大気中の酸素濃度はさらに増加した。(iv)この酸素濃度の増加は、生物の生活可能な環境を陸上に形成するのに役だったと考えられている。

問1 空欄〔ア〕～〔カ〕に入る最も適切な語句を記せ。

問2 下線部(i)の光合成細菌、シアノバクテリア、藻類のそれぞれが共通してもつ特徴を以下の(a)～(g)からすべて選び、記号で記せ。

- (a) 核膜をもつ (b) 細胞膜をもつ (c) ミトコンドリアをもつ
- (d) 葉緑体をもつ (e) リボソームをもつ (f) 光化学系Iをもつ
- (g) カルビン回路(カルビン・ベンソン回路)をもつ

問3 下線部(i)のシアノバクテリアが出現した地質時代を、以下の(a)～(f)から1つ選び、記号で記せ。

- (a) 新生代 (b) 古生代 (c) 中生代
- (d) 先カンブリア時代 (e) カンブリア紀 (f) 石炭紀

問4 下線部(ii)の、水を利用する光合成を行う能力をシアノバクテリアが獲得したことが、その分布範囲の拡大につながったと考えられている。なぜそのように考えられるか、簡潔に述べよ。

問5 下線部(iii)に関連する記述として正しいものを、以下の(a)～(f)からすべて選び、記号で記せ。

- (a) 光合成では、酸素はおもに光化学系の反応過程で発生する。
- (b) 光合成の酸素発生反応を担う酵素はリブロース-1,5-二リン酸カルボキシラーゼ/オキシゲナーゼ(ルビスコ)である。
- (c) 光合成の酸素発生反応は $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$ と表すことができる。
- (d) 光合成の酸素発生反応の結果、チラコイド膜の外側は内側に比べ酸性になる。
- (e) 赤色光、緑色光、青色光のうち、光合成の酸素発生反応を駆動するために最も有効な光は緑色光である。
- (f) シアノバクテリアは陸上植物とほぼ同じ光合成電子伝達系をもつ。

問6 下線部(iv)について、どのような過程を経て生物の生活が可能な環境が陸上に形成されたか。「紫外線」という語を用いて、簡潔に述べよ。

問7 光合成生物が水中から陸上に進出するときに、「クチクラ層」と「維管束」はそれぞれどのような役割を果たしたか。「クチクラ層」と「維管束」についてそれぞれ簡潔に述べよ。

【早稲田大】

以下の文章を読み、問いに答えよ。

現存する生物がもつ⁽ⁱ⁾ゲノム配列を比較することにより、生物進化の道筋が明らかになってきた。まず⁽ⁱⁱ⁾祖先となる原核生物から^あと^いが誕生し、続いて細胞内^うが起き、真核生物が進化したと考えられている。この細胞内^うの過程で取りこまれた^あが、現在の真核生物に存在する^えの由来である。細胞内^うはその後の進化でも起きており、例えば植物細胞の進化を引き起こした。植物細胞は光合成を行うが、⁽ⁱⁱⁱ⁾光合成のしくみが成立したのは植物細胞が誕生するよりも前に起こった出来事であった。

問1 ^あから^えに当てはまる語句を答えよ。

問2 下線部(i)に関して、幅広い生物種間の系統関係を同時に比較する際には、ゲノムのうちリボソームRNA(rRNA)遺伝子の変化に着目することが多い。この理由として適切と考えられる記述を以下の中からすべて選べ。

- a. rRNA遺伝子は現存するすべての生物がもっているため。
- b. rRNA遺伝子は現存するすべての生物が共有している唯一の遺伝子であるため。
- c. rRNA遺伝子の配列は進化によって変化するが、その速度はrRNA遺伝子以外の遺伝子配列と比べて比較的速いため。
- d. rRNA遺伝子の配列は進化によって変化するが、その速度はrRNA遺伝子以外の遺伝子配列と比べて比較的遅いため

問3 下線部(ii)に関して、^あと^いはさまざまな特徴を共有していることから、独立に生まれたのではなく、共通の祖先から進化したと考えられている。真核生物と同様に、^あと^いに共通して見られる物質や特徴を以下の中からすべて選べ。

- a. DNAやRNAを構成する主要な核酸塩基5種類
- b. タンパク質を構成する主要なアミノ酸20種類
- c. 細胞膜を構成する主要なリン脂質の種類
- d. DNA→RNA→タンパク質という遺伝情報の流れ

問4 下線部(iii)に関して、以下の問いに答えよ。

(1)地球上で最初に誕生した光合成は非酸素発生型であり、その後、植物細胞も行うような酸素発生型光合成が進化したと考えられている。非酸素発生型光合成で酸素が発生しない理由を、有機物以外の主たる電子供与体(電子を供与する物質)を1つあげたうえで答えよ。なお、一部の生物はポンプとよばれる膜タンパク質によって、光エネルギーを利用して直接的に細胞膜ごとにプロトン(H⁺)を輸送できるが、ここではこの現象は光合成に含めないとする。

(2)地球上で最初に誕生した非酸素発生型光合成は1種類の光化学系のみを利用していましたが、その後、2種類の光化学系を組み合わせるように進化したことで、酸素発生型光合成が可能になったと考えられている。このとき、1種類の光化学系では利用できなかった電子供与体を利用して、非酸素発生型光合成の場合と同じエネルギー物質を得られるようになった。この理由について酸素発生型光合成における電子供与体をあげたうえで、「酸化」という言葉を含めて考察しなさい。

【神奈川大】

生物は同種であっても、個体間にさまざまな形質の違いがある。A生息環境で有利な形質を備えている個体は生き残り、その形質をもつ個体の割合は世代を経ると集団内で増えていく。この過程が長く継続すると、集団内の形質はしだいに淘汰されていくように思われるが、B実際の集団では多様性が維持されている。また、C突然の事件により個体数が激減して集団が小さくなったとき、生息環境で有利な形質であっても、その割合を大きく減らすことがある。突然の事件がなくとも、長い時代を経た後、D祖先にとって有利であつた形質が子孫では失われることもある。

問1 下線部Aについて(1)この形質は環境変異の1つといえるか。理由を付して簡潔に答えよ。また、(2)ある形質が生存上有利にもかかわらず、世代を経て集団内で増えない場合、どのような要因が考えられるか。簡潔に答えよ。

問2 下線部Bの要因として、新たな形質が集団内に生じることがある。それにはどのような場合が考えられるか。簡潔に答えよ。

問3 下線部Cについて(1)このようなことが起こる理由を説明せよ。また(2)このようにして生じる遺伝子頻度の変化を何とよぶか。

問4 下線部Dについて、(1)どのような要因が考えられるか。簡潔に答えよ。また、(2)直接関係があるものを次の(a)～(f)から2つ選び、記号で答えよ。

- | | | |
|---------|----------|---------|
| (a)適応放散 | (b)生殖的隔離 | (c)相似器官 |
| (d)痕跡器官 | (e)中立説 | (f)用不用説 |

【富山大】

ヒトの赤血球は血液の主要な構成成分で、酸素を〔イ〕から全身の細胞に送り届け、不要になった〔ロ〕を〔イ〕に届けるはたらきをもつ。ヒト赤血球は、他の細胞でみられる〔ハ〕がないこと、鉄を含む色素成分と4本のポリペプチド鎖(2本の α 鎖と2本の β 鎖)からなる〔二〕とよばれるタンパク質を多く含むことがその大きな特徴である。

鎌状赤血球症は、〔二〕の β 鎖の6番目のグルタミン酸がバリンに変異することによって引き起こされる。正常な β 鎖遺伝子をA、変異した β 鎖遺伝子をSとすると、遺伝子型SSの人の赤血球は鎌状に変形する。この鎌状赤血球は壊れやすく血管に詰まりやすいため、多くの人が貧血によって成人前に死亡する。一方、遺伝子型ASの人は、ほぼ正常な生活を営める。日本ではこの変異遺伝子の保有者がほとんど見られないのに対し、アフリカの一部地域では20%を超える人がこの変異遺伝子を有している。

マラリアは、現在でも死に至る可能性が高い感染症である。その原因となるマラリア原虫は、赤血球を破壊しながら増殖をくり返すため、重症化した場合には感染者は死に至る。しかし、遺伝子型ASの人の赤血球内ではマラリア原虫が増殖しにくいため、マラリアに対して抵抗性をもつ。そのため、マラリアが流行するアフリカ地域において、この変異遺伝子は高頻度に維持されていると考えられる。

問1 〔イ〕～〔二〕に当てはまる用語をそれぞれ答えよ。

問2 下線部1の血液のおもな構成成分には、赤血球以外に白血球と血小板という2種類の有形成分も含まれる。それぞれのおもな機能を答えよ。

問3 下線部2について以下の問いに答えよ。

(a) 遺伝子型ASの人の赤血球の中には、どのような構成からなる〔二〕が含まれるか。 α 鎖を α 、正常 β 鎖を β_A 、変異 β 鎖を β_S として、すべての組み合わせを示せ。また、遺伝子型ASの人におけるそれらの理論上の存在比を答えよ。

(b) 遺伝子型ASの人は、遺伝子型SSの人に比べて赤血球が鎌状になりにくく、ほぼ正常な生活を営める。その理由を(a)で得られた(二)の α 鎖と β 鎖の構成を考慮して答えよ。

問4 アフリカのある地域では、生まれた直後の遺伝子型SSをもつ子どもの割合は9%である。この地域では成人になるまでに、遺伝子型SSの子どもがすべて死亡し、遺伝子型AAの人の10%がマラリア感染で死亡するが、遺伝子型ASの人は死亡しないものとして、以下の問い(a), (b), (c)について答えよ。ただし、この集団ではハーディ・ワインベルグの法則が成立し、マラリア原虫感染以外の自然選択圧は無視でき、他の突然変異は起こらず、遺伝子流動もないものとする。

(a) この地域で生まれた子どもにおける、遺伝子Aの遺伝子頻度と、遺伝子Sの遺伝子頻度 q をそれぞれ求めよ。

(b) この地域で生まれた子どもたちが成人に達したときの遺伝子Sの遺伝子頻度 q' を求めよ。ただし、数値は小数第3位を四捨五入して表せ。

(c) マラリア特効薬の開発によって、ある時点から生まれた子どもたちがマラリアで死亡しなくなった場合、その時点で生まれた子どもたちの成人時の遺伝子Sの遺伝子頻度 q'' を求めよ。ただし、数値は小数第3位を四捨五入して表せ。

【新潟大】

ヒトでは、常染色体上に存在する遺伝子Pの遺伝情報をもとに酵素Pがつくられるが、遺伝子PのDNA塩基配列の違いにより、酵素Pの活性が変化する。ハーディ・ワインベルグの法則が成りたっているヒトの集団Jについて、遺伝子Pを調べたところ、2つの対立遺伝子 a^x と a^y があった。 a^x と a^y の組み合わせによる遺伝子型と酵素Pの活性の間には関係があり、例えば、ある人は対立遺伝子 a^x のホモ接合で、酵素Pの活性は15.9であった。また、別のある人では酵素Pの活性は0.1であり、この人の両親では酵素Pの活性は7.9と8.1であった。

一方、ハーディ・ワインベルグの法則が成りたっている別のヒト集団Uについて、遺伝子Pを調べたところ、集団Jに見られる2つの対立遺伝子 a^x と a^y 以外に、集団Uにのみ見られる対立遺伝子 a^z もあることがわかった。さらに詳しく調べるため、集団Jと集団Uからそれぞれ1000人ずつを無作為に抽出し、酵素Pの活性を測定した結果を表1に示す。表1は、例えば、酵素Pの活性が15.5以上16.5未満の人は、集団Jでは1000人中810人、集団Uでは1000人中360人であったことを示している。

表1によると、集団Jでは、すべての人の酵素Pの活性が、0.0, 8.0, 16.0のいずれかに近い値であるのに対し、集団Uでは、それら以外に5.0, 10.0, 13.0に近い値を示す人もいることがわかる。集団Uに存在する対立遺伝子は、 a^x , a^y , a^z であることから、酵素Pの活性が5.0, 10.0, 13.0に近い値を示す人の遺伝子型は、それぞれ , , であると推定される。

表 1

酵素Pの活性	集団J (人)	集団U (人)
0.0- 0.5	10	10
0.5- 1.5	0	0
1.5- 2.5	0	0
2.5- 3.5	0	0
3.5- 4.5	0	0
4.5- 5.5	0	60
5.5- 6.5	0	0
6.5- 7.5	0	0
7.5- 8.5	180	120
8.5- 9.5	0	0
9.5-10.5	0	90
10.5-11.5	0	0
11.5-12.5	0	0
12.5-13.5	0	360
13.5-14.5	0	0
14.5-15.5	0	0
15.5-16.5	810	360
16.5-17.0	0	0
計	1000	1000

なお、文章中および表1中の酵素Pの活性の値は相対値である。

問1 文章中の ~ に適切な遺伝子型を入れよ。

問2 下線部の法則が、ある動物集団で成りたつために、①きわめて多数の同種の個体からなる、②集団内の雌雄が自由に交配する、③突然変異が起こらない、④集団内のどの個体にも生存力や繁殖力に差がない、という条件に加えて、その他に満たさなければならない条件を、30字以内で説明せよ。

問3 集団Jにおける対立遺伝子 a^x と a^y の遺伝子頻度をそれぞれ p, q (ただし、 $p + q = 1$)とすると、配偶子が a^x をもつ確率は p, a^y をもつ確率は q である。集団Jでの遺伝子型 $a^x a^x, a^y a^y, a^x a^y$ の頻度を p, q を用いて、それぞれ答えよ。また、表1の結果を参考にして、集団Jでの対立遺伝子 a^y の遺伝子頻度 q を答えよ。

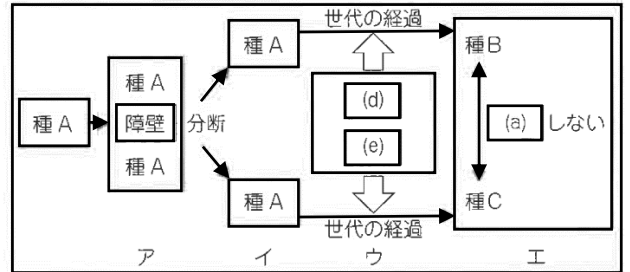
問4 集団Uにおける対立遺伝子 a^x, a^y, a^z の遺伝子頻度をそれぞれ r, s, t (ただし $r + s + t = 1$)とする。表1の結果を参考にして、 r, s, t を答えよ。

【香川大】

生物はそれぞれ種という基本単位で分類されている。種とは、形態生理・生態などにおいて共通の特徴をもつ個体の集団であると同時に、個体どうしが (a) によって (b) 能力をもつ子孫を残すことができる集団でもある。したがって、何らかの原因によって (a) を行うことができないか、あるいはそれができたとしても、 (b) 能力をもつ子孫が残せない個体どうしは異なる種に属しているといえよう。集団間で子孫が残せない場合、これらの集団は (c) の状態にあるとよばれる。

問1 文章中の (a) ~ (c) に適切な語句を記入せよ。

問2 ある生物種から新たな種が誕生することを種分化という。右の模式図は異所的種分化のしくみ(ア~エ)を表している。これを参考にして、次の文章中の (d) ~ (f) に適切な語句を記入せよ。なお、(d) と (e) に入る語句の順番は問わない。また、(a)と(c)には、問1と同じ語句が入る。



ア) 種Aの生息地に海や山などの障壁ができる。

イ) (1)障壁によって種Aが2つの集団に分断される。

ウ) 各集団で突然変異が起こり、(d) や (e) によって、集団間の (f) 的な差異が世代を経るごとに大きくなり、形態生理生態などの特徴が徐々に異なってくる。

エ) やがて、障壁が解消され、分断されていた2つの集団が出会ったとしても、(a) しない。つまり、この2つの集団は (c) の状態にあり、種Aは種Bと種Cに種分化したと考えられる。

問3 下線部(1)について、海や山などの障壁によって集団が2つに分断されることを何とよぶか答えよ。

問4 中米のパンマ地峡周辺の海域に生息するテッポウエビ属は、DNAの塩基配列に基づいて4つの系統(C1, C2, P1, P2)に分類できる。C1とC2はパンマ地峡のカリブ海側に生息し、P1とP2は太平洋側に生息している(図1)。

カリブ海側のC1は同所的に生息するC2よりもパンマ地峡を隔てた太平洋側のP1と近縁であり、太平洋側のP2は同所的に生息するP1よりもパンマ地峡を隔てたカリブ海側のC2と近縁である(図2)。飼育実験を行ったところ、系統間で (a) は行われず、4つの系統はそれぞれ種として確立していることがわかった。ところで、地質学的研究から、300万年前までは中米付近のカリブ海と太平洋は現在のように分断されておらず、クレブラ海峡とアトラト海路によってつながっていたことがわかっている(図3)。

以上のことから、同所的に生息する種どうしよりも、異所的に生息する種どうしのほうが近縁となりえる進化的経緯を、問2の異所的種分化のしくみを参考にして200字以内で説明せよ。なお、(a) には問1と同じ語句が入る。

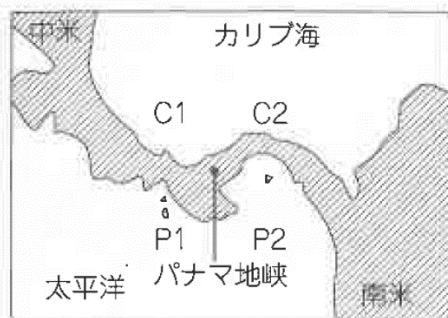


図1 パナマ地峡周辺の海域に生息するテッポウエビ属4系統の分布図

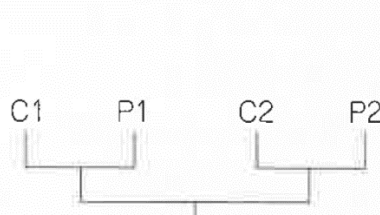


図2 テッポウエビ属4系統の系統樹



図3 300万年前の中米付近の地図

【大学入学共通テスト】

次の文章を読み、後の問い(問1～3)に答えよ。ヒトの近縁種の系統関係を調べるため、チンパンジー、ゴリラ、オランウータン、およびニホンザルのそれぞれについて、遺伝子Aからつくられるタンパク質Aのアミノ酸配列を調べたところ、互いに異なっているアミノ酸の割合は、表1の通りであった。

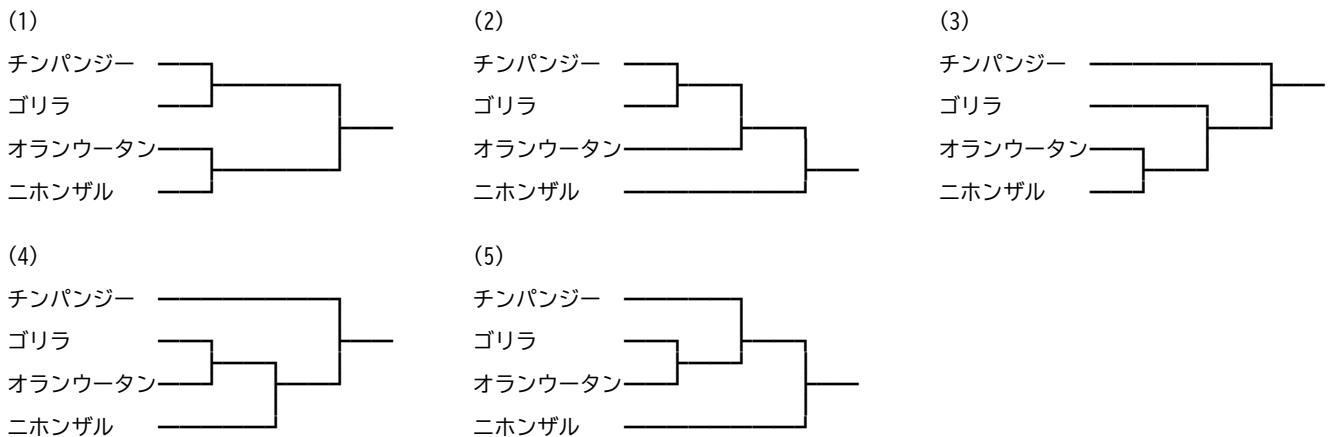
表1	チンパンジー	ゴリラ	オランウータン
ゴリラ	0.90%	—	—
オランウータン	1.93%	1.77%	—
ニホンザル	4.90%	4.83%	4.85%

問1 下線部について、ヒトがもつ次の特徴(a)～(d)のうち、直立二足歩行に伴って獲得した特徴はどれか。その組み合わせとして最も適当なものを、(1)～(6)のうちから一つ選べ。

- (a)手には、親指が他の指と独立に動く、拇指(母指)対向性がある。
- (b)大後頭孔が頭骨の底面に位置し、真下を向いている。
- (c)眼が前方についている。
- (d)骨盤は幅が広く、上下に短くなっている。

- (1)(a), (b) (2)(a), (c) (3)(a), (d)
- (4)(b), (c) (5)(b), (d) (6)(c), (d)

問2 表1の結果から得られる系統樹として最も適当なものを、次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。



問3 チンパンジーの祖先とオランウータンの祖先が分岐した年代が1300万年前、ヒトの祖先とチンパンジーの祖先が分岐した年代が600万年前とすると、分子時計の考え方により、表1を用いてヒトーチンパンジー間のタンパク質Aにおけるアミノ酸配列の違いを予測できる。ところが、タンパク質Aにおけるヒトーチンパンジー間のアミノ酸配列の違いを実際に調べた値は、分子時計の考え方による予測値よりも小さかった。次の数値(e)～(g)のうち、分子時計の考え方による予測値はどれか。また、後の記述I～IIIのうち、実際に調べた値が予測値よりも小さくなった原因に関する考察として適当なものはどれか。それぞれ最も適当なものを一つずつ選べ。

- (e)0.42% (f)0.89% (g)4.18%

- I. 遺伝的浮動により、ヒトの集団内で、突然変異によって遺伝子Aに生じた新たな対立遺伝子の頻度が上がったため。
- II. ヒトにおいて生存のためのタンパク質Aの重要度が上がり、タンパク質Aの機能に重要なアミノ酸の数が増えたことで、突然変異によりタンパク質Aの機能を損ないやすくなったため。
- III. 医療の発達により、ヒトでは突然変異によってタンパク質Aの機能を損なっても、生存に影響しにくくなったため。

【滋賀医科大】

初期の人類は猿人とよばれ、最古のものは中央アフリカで発見された¹で、およそ700万年前に出現したと考えられている。エチオピアのおよそ440万年前の地層から発見された²の一種であるラムダス猿人の化石からは、⁽¹⁾初期の人類が直立二足歩行をしていたと推定される。400万年前から200万年前にかけて人類の多様性は劇的に増加し、この時期の多くの種はまとめて³類とよばれる。⁽²⁾これらの初期人類は、類人猿と異なる特徴をもっている。およそ200万年前になると、ホモ・エレクトスなどの原人が出現した。

80万年ほど前には、より脳の発達した旧人が出現し、その中から30万年前ごろにネアンデルタール人が出現した。ネアンデルタール人は現生人類と同じくらい大きな脳をもち、狩猟のための道具もつくっていた。彼らはヨーロッパから西アジア、中央アジア、南シベリアへと広がったが、約3万年前に絶滅したと考えられている。現生人類であるホモ・サピエンスは、⁽³⁾およそ20万年前にアフリカで出現し、5万～10万年ほど前にアフリカを出た集団が全世界に広がったと考えられている。

一時は、多くの古人類学者は、ネアンデルタール人が原人からホモ・サピエンスへの進化の1つの段階であると考えたが、⁽⁴⁾ミトコンドリアDNAの分析の結果からは別の系統であると考えられた。一方、ネアンデルタール人の骨片由来DNAから全ゲノム配列が解読された。その結果、⁽⁵⁾ヨーロッパとアジアの現生人類のゲノム配列の2%程度はネアンデルタール人に由来していることがわかった。ホモ・サピエンスがアフリカを出た後にネアンデルタール人と交雑し、世界の各地域に移動したと考えられる。

問1 文中の¹～³に当てはまる語句を以下の(a)～(f)からそれぞれ1つ選べ。

- (a)アウストラロピテクス (b)サヘラントロプス (c)パレントロプス
(d)アルディピテクス (e)オロリン (f)ケニアントロプス

問2 下線部(1)について、直立二足歩行の根拠となる骨の特徴を2つ記せ。

問3 下線部(2)について、直立二足歩行以外の特徴を2つ述べよ。

問4 下線部(3)に関連して、2017年にアフリカでおよそ30万年前のものと思われる初期のホモ・サピエンスの化石が発見されたとの報告があった。化石の年代はどのように測定するか。方法を1つあげて説明せよ。

問5 下線部(4)について、ミトコンドリアDNAは核DNAより分析しやすい。その理由を説明せよ。

問6 下線部(5)について、ネアンデルタール人由来ゲノムは、現代人の核ゲノムのさまざまな場所に短い領域として存在する。一方、4万5000年前ごろのホモ・サピエンスの化石の核ゲノムの解析では、ネアンデルタール人由来ゲノム領域の個々の長さは現代人に見られるものより長かった。このことから考えられることを述べよ。

【岡山大】

地球上で生物が進化してきた道筋は系統とよばれる。複数の生物間での系統関係を推定するため、近年ではDNAの塩基配列やタンパク質のアミノ酸配列などの分子データを比較して系統樹を作成する方法が用いられるようになってきた。ある特定の遺伝子の塩基配列やアミノ酸配列を生物間で比較すると、(a)種間で異なる塩基やアミノ酸の数は分岐後の経過時間に比例して増加する傾向がある。このことは生物が共通祖先から分岐してどれくらい時間が経っているかの指標として用いることができる。これに、化石から推定される祖先種の生息年代を合わせ、分岐年代を推測することも可能である。また、木村資生が提唱した(ア)説によると、DNA配列に起こる突然変異は自然選択に対して、①有利なもの、②不利なもの、③どちらでもないもののうち、(イ)が大部分で、このような突然変異は(ウ)によって集団全体に広がることがあると考えられている。

問1 空欄(ア)、(ウ)に入る適切な語句と、空欄(イ)に①~③のどれが当てはまるかを答えよ。
 問2 塩基配列が変化する速度にはいくつかの傾向が見られる。例えば、アミノ酸の種類の変化を伴わない同義置換率とアミノ酸の変化を伴う非同義置換率はタンパク質の種類によって異なる。表1はヒトとマウスで比較したヒストンサブユニットの1つと成長ホルモンの同義置換率と非同義置換率(1塩基当たり10億年当たり)である。

- (1)どちらの分子においても同義置換率のほうが非同義置換率より高い理由を、空欄(ア)と(ウ)に入れた単語を用いて、100字程度で答えよ。
- (2)ヒストンサブユニットはDNAを巻きつけて核内に収納する役割がある。一方、成長ホルモンは標的細胞の受容体に結合することで作用する。これらの分子で非同義置換率が異なる理由を100字程度で答えよ。

表1 タンパク分子の置換率

	非同義置換率	同義置換率
ヒストンサブユニットの1つ	0.0	3.9
成長ホルモン	1.3	3.8

問3 120アミノ酸からなるタンパク質Xのアミノ酸配列を比較したところ、4種の動物間でのアミノ酸の置換数は表2のようになった。例えば、ヒトとネコで2種間のタンパク質Xのアミノ酸配列を比べたとき、18箇所の座位でアミノ酸が異なっていた。下線部(a)が成り立つと考え、以下の問いに答えよ。なお、有効数字2桁とする。

- (1)ヒトとネコがその共通祖先から分岐したのが約9500万年前と考えられている。タンパク質Xのアミノ酸座位1個に置換が起こる率は1000万年当たりでどれくらいか。
- (2)ヒトとカエルがその共通祖先から分岐したのは今から何億年前と考えられるか。ヒト、ネコ、カエル間のアミノ酸の置換数の平均から計算し、答えよ。

表2 アミノ酸置換数

	ヒト	ネコ	カエル
ネコ	18		
カエル	60	58	
メダカ	64	68	66

【京都大】

生物種間の共進化は、さまざまなタイプの種間相互作用に見られる。例えば、被子植物の花の形態と送粉昆虫の口器の形態の間には、特定の種間に対応が見られることがあり、共進化の結果と考えられている。ある長い筒状の花をつける植物の一種(以下、植物)は、長い口器をもつ昆虫の一種(以下、昆虫)によって受粉される(図1)。この昆虫は空中に停止(ホバリング)した状態で口器を花筒に差しこんで蜜を吸うが、その際に、毛におおわれた頭部が葯に接触すると花粉が定着する。花粉が付着した昆虫が他の花を訪れた際に柱頭に接触することにより、受粉が起こる。花筒の長さ(花筒長)と口器の長さ(口器長)のそれぞれの平均値は、地域ごとに互いに類似した値を示すことが多いため、2つの形質は自然選択によって共進化してきたと考えられる。

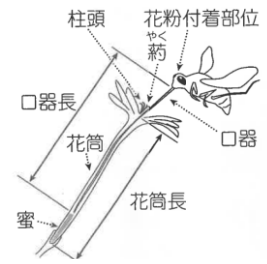


図1 植物と昆虫の模式図

花筒長と口器長に変異が存在する地域において、2つの形質に相互にはたらく自然選択を明らかにするため、実験を行った。この実験では、柱頭に花粉が付いていない花を、花筒長を測定した後、頭部に花粉を付けた昆虫がいる野外に設置した。昆虫が訪花した後に、摂取された蜜の量と柱頭に付着した花粉の個数を数えた。また訪花した昆虫は捕獲し、その口器長を測定した。測定結果から、さまざまな花筒長と口器長の組み合わせ

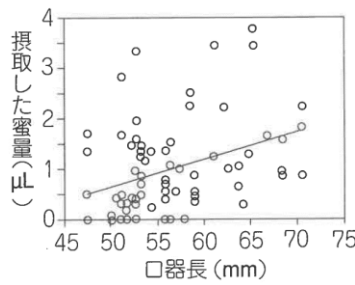


図2 訪花した昆虫の口器長と摂取した蜜量の関係

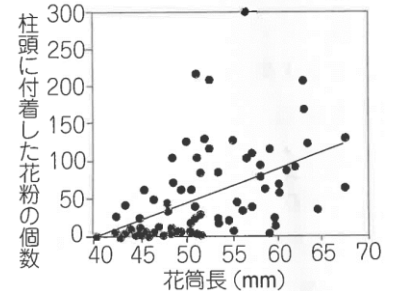


図3 花筒長と柱頭に付着した花粉の個数の関係

での、昆虫の蜜摂取量と花の柱頭への花粉の付着数を調べた。図2は訪花した昆虫の口器長と摂取した蜜量の関係、図3は昆虫が訪れた花の花筒長と柱頭に付着した花粉の個数の関係を表す。図4は、口器長と花筒長の差に対する、昆虫が摂取した蜜量の割合と柱頭に付着した花粉の個数の関係を表す。なお、昆虫が訪花した際、その花の花粉が同じ花の柱頭に付着する可能性は無視できる。

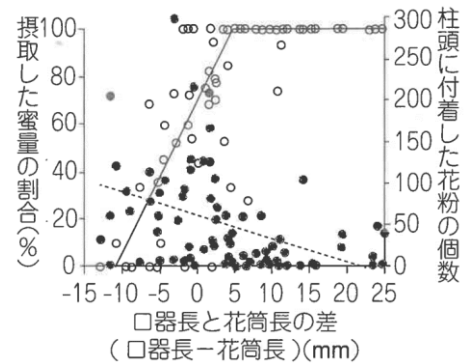


図4 訪花した昆虫の口器長と花の花筒長の差と、昆虫が摂取した蜜量の割合(訪花前の蜜量に対する百分率、白丸、実線)、柱頭に付着した花粉の個数(黒丸、破線)の関係

問1 昆虫による送粉を受けるために、この植物が開花中に費やす主要なコストを1つ記せ。

問2 この昆虫の口器長には、どのような自然選択がはたらいていると考えられるか。実験結果から推定できることを、その理由と根拠とした図を記し、説明せよ。

問3 この植物の花筒長には、どのような自然選択がはたらいていると考えられるか。実験結果から推定できることを、その理由と根拠とした図を記し、説明せよ。

問4 この植物と昆虫において、花筒長と口器長の共進化が起こるためには、それらの形質に見られる個体間の変異に関して、この実験では示されていない条件が必要である。それはどのような条件か説明せよ。

【滋賀医科大】

ガラパゴス諸島は、南米エクアドルの沖合1000kmの海上に浮かぶ小群島である。ここには、ダーウィンフィンチ類とよばれる小型の野鳥がおおよそ14種生息している。それらは、南米大陸から渡ってきた祖先集団が⁽¹⁾海によって自由な交配を行えなくなった結果、⁽²⁾それぞれの島の環境の違いにより多様化し、複数の種に分かれていったものと考えられている。ダーウィンフィンチ類は、種によって食物が異なり、それに応じてくちばしの形と大きさが少しずつ異なっている。種子を食物とするフィンチ類は、くちばしが大きくいと大きい種子を、小さいと小さい種子を食べるのに適している。また、同種内でも、くちばしの形と大きさの個体差が大きい。ダーウィンフィンチ類のうち、ガラパゴスフィンチとよばれる種は、ガラパゴス諸島内の大ダフネ島に生息し、通常、中くらいの大きさの種子を食べている。図1は、⁽³⁾ガラパゴスフィンチの親のくちばしの厚みと、その子のくちばしの厚み(成熟時)を調べた結果を示している。

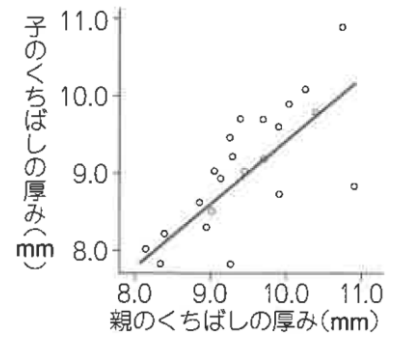


図1 ガラパゴスフィンチの親と子のくちばしの厚みの関係(親のくちばしの厚みは、つがいのくちばしの厚みの平均値)

大ダフネ島では、1977年に干ばつが起きて、食物となる種子の量が減り、残った種子も通常より大きくて堅いものが多かった。図2は、干ばつ前後の1976年と1978年に生まれた個体のくちばしの厚みを調べた結果を示している。この結果は、環境の変化によって食物の性質が変化すると、短期間に^①が強くはたらくことを示している。

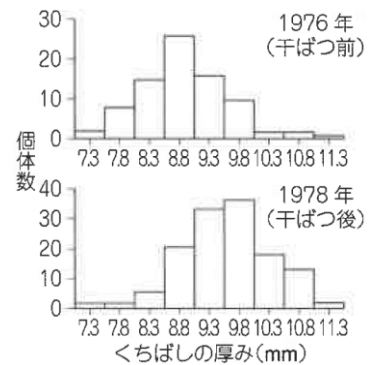


図2 干ばつ前後に生まれた個体のくちばしの厚みの分布

1982年から、大ダフネ島でオオガラパゴスフィンチとよばれる種が繁殖するようになった。この種も、種子を食物とするが、ガラパゴスフィンチより大きくくちばしをもつ。2003年から2004年に干ばつが起き、ガラパゴスフィンチもオオガラパゴスフィンチも個体数が激減した。図3は、これら2種のフィンチについて、干ばつで死んだ個体と生き残った個体のくちばしの厚みの分布を示している。⁽⁴⁾この干ばつ後に生まれたガラパゴスフィンチのくちばしの厚みは、干ばつ前と比べて大きく変化した。このことは、^②が進化の方向性に影響を与えることを示している。

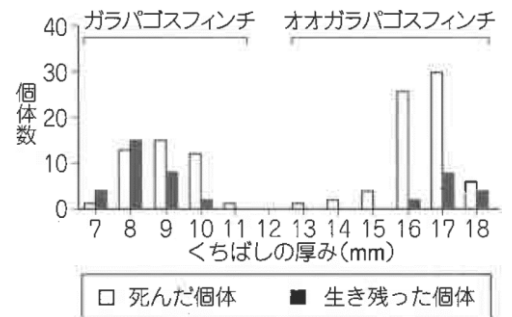


図3 干ばつ後のくちばしの厚みの分布

問1 文中の①と②に適切な語句を入れよ。

問2 下線部(1)と(2)の現象をそれぞれ何とよぶか。

問3 下線部(3)について、野外に生息する集団において、どのような方法で調査をしたと考えられるか述べよ。

問4 図1のグラフで、親と子のくちばしの厚みの関係を表す直線の傾きは0.82であった。この結果からどのようなことが推察されるか述べよ。

問5 図2の結果を説明し、その結果からどのようなことが推察されるか述べよ。

問6 文中の①とは無関係に、偶然に遺伝子頻度に変化することにより、進化が起こることがある。偶然の遺伝子頻度の変化を何とよぶか。また、これが進化に大きく影響するのはどのような場合か述べよ。

問7 下線部(4)について、ガラパゴスフィンチのくちばしの厚みはどのように変化したと考えられるか。また、その理由を、1977年の干ばつ前後の変化と比較して説明せよ。

問8 くちばしの厚みに影響する遺伝子の1つは、対立遺伝子BとPをもつ。表は、大ダフネ島に生息するガラパゴスフィンチの集団と、別の島Aのガラパゴスフィンチの集団について、それぞれの遺伝子型の頻度を調べた結果である。もし、2つの島がつながって、2つの集団が同等の大ききで完全に混じり合い、交配も自由に行われるようになったとすると、新しい2集団となった次の世代では、BB、BP、PPの遺伝子型の頻度はいくらになるか。

遺伝子型	BB	BP	PP
大ダフネ島	0.22	0.46	0.32
島A	0.56	0.38	0.06

新しい2集団となった次の世代では、BB、BP、PPの遺伝子型の頻度はいくらになるか。