

生 物

以下の文をよく読んで、設問に答えなさい。解答は解答用紙の指定された欄に記入しなさい。

大きい・・・

幕張メッセで開かれている恐竜博 2002 へ行ってきた。発掘現場のジオラマから次の区画であるジュラ紀の森へ入ると、一段下がった広い場所に何体もの大型恐竜の骨格化石が並んでいた。一番奥にセイモサウルスが立っていた。とにかく大きかった。全長が 35 m もあり、尾と首がものすごく長いのだ。見上げるような大きさというのではないが、頭の前から尻尾の前まで、学校のプールの長さよりもずっと長いにはおどろいてしまった。こんな巨大な生き物がかつて地球上にいたのだ。そして絶滅した。

パネルの説明によると、セイモサウルスは竜盤目ディプロドクス科に属する恐竜で、全身復元骨格としては世界で始めて公開されたものだそうだ。1979 年に、アメリカニューメキシコ州で発見され全身の約 30 % が発掘されているらしい。目だとか科だとかは生物で習ったが、竜盤目というのは聞いたことがない。

この他にも、恐竜の大きな骨格標本がたくさん並んでいた。¹⁾ 広い会場を歩き回って疲れたが、大きさに圧倒され、新鮮な感動を味わった。いったい、どうしてこんなに大きな生物が過去に存在して、いなくなってしまったのだろうか。疑問がたくさんわいてきた。展示の説明の中にも何回も出てきたが、進化というのがキーワードらしい。

「進化」という言葉は生物でももちろん習った。でもそのときはあまり実感として理解したわけではなかった。ダーウィンという名前とガラパゴス諸島での観察というのを覚えているが、その後のダーウィンの考え方と旧来の考え方の対立、社会的な影響といったどちらかという生物学的ではないほうに興味をそそられ、生物学的意味のほうはあまり覚えていない。

進化の証拠

この地球上に存在する生物は多かれ少なかれ親戚みたいなもので、先祖をたどればどこかでつながっているのであって、聖書に書かれているようにそれぞれ独立につくり出されたものではない、というのがダーウィンの進化の考え方だと、授業のとき先生がおっしゃっていた。ダーウィンはどうして、進化ということを考え始めたのだろうか。少し調べてみよう、あきら君は市立図書館に行くことにした。

図書館には『種の起源』が置かれていたのではと見えた。難しそうだったので、あきら君はまず百科事典や一般の解説書を読んで、ダーウィンがどうして進化の考えにたどり着いたかを理解しようと考えた。

ダーウィンが研究を始めた 1830 年代に、多くの人が信じていたのは聖書に書かれた天地創造説だった。創造説では、あらゆる生物は 1) それぞれが独立に作られ、2) 不変で、3) 比較的最近になって作られた、と主張する。比較的最近というのは紀元前 4004 年 10 月 26 日の午前 9 時にヒトが作られたというぐらいの新しさである。

ダーウィン以前には誰も進化について語らなかったというわけではない。ビュホンや、ダーウィンの祖父であるエラスムス・ダーウィン、あるいはラマルクが進化の考え方を述べている。ただ、ダーウィンはそれまでの説や新しい知見を一つ一つ検証して、生物の進化について詳細に述べたのである。それが 1859 年に出版された『種の起源』である。

比較解剖学と比較発生学が 1800 年代の初頭に進歩したおかげで、外見は違って見える鳥の翼と人間の腕、ウマの前肢あるいはアザラシの前肢が、骨格を調べてみると骨の配置や数など、とてもよく似ていることが明らかにされた。大英博物館のオーエン²⁾やパリ大学のキュビエの貢献である。このことは確か、絵入りで教科書に書かれていた。ダーウィンはこのような現象は、それぞれの生物が独立に作られたというのでは説明できず、共通の祖先から少しずつ進化してきたと考えるのが自然だと論じた。もしもエンジニアに、穴を掘る道具、飛ぶための翼、泳ぐための櫂を作れと頼んだら、きっと彼は最適なパーツを選んでそれぞれの機能に最適なものを作り、お互いに共通のパーツで作ろうということはないだろう、ダーウィンは論じている。

ダーウィンはフォン・ベールが研究した脊椎動物の発生の比較にも言及している。

魚類から哺乳類まで発生の過程を調べてみると、初めのほうの過程は非常によく似ている。これらのことは、生物種が独立して作られたという創造説とは合わないことを示していると論じている。

こうした証拠をもとに、ダーウィンは現在の系統樹のもととなるツリー(木)構造による系統関係を描いている。

「不変であること」に対しても多くの例を挙げて反論している。たとえば痕跡器官がある。ヒトにはもう外見的には尾は無いが、発生の初期には尾がつくられ、やがて退化するが、脊椎骨の末端には尾骨が残っている。このような器官を痕跡器官といい、他にもたくさんの例がある。たとえば洞穴性のイモリは外見的には眼が無くなって盲目となっているが、眼球が痕跡器官として残っている。これらの痕跡器官は、全能の神がそれぞれ独立に創造したとしたら、いかにも無駄なことをしていることを示している。それよりも使われなくなったために、退化してしまったと考えた方が自然である。

表現型における痕跡器官と同じような現象は、遺伝子の中にも見ることができる。たとえばヘモグロビンの遺伝子とよく似た塩基配列を持った部位が、同じ染色体の隣あった部位にいくつも見つ³⁾かっている。これらは偽遺伝子と名づけられているが、いわば遺伝子の痕跡器官のようなもので、多くの場合、過去には実際に発現していたのだが、あるとき別の部位に機能が移行したために痕跡となってしまった遺伝子なのである。

このようなことが可能となるためには、DNA⁴⁾量が増える必要があると考えられる。ヒトのDNA量は大腸菌のおよそ1000倍で、確かに増えている。これは遺伝子重複という過程によって増えたと考えられている。この増えた分がすべて遺伝子となっているかという必ずしもそうではない。染色体の端から端までのDNAの塩基の配列すべてに遺伝子がびっしり並んでいるわけではないのである。

1つの細胞あたりのDNA量が増えるといろいろな不都合が起こるので、これを回避するための装置や仕組みが付け加わった。原核生物⁵⁾ではDNAは特別に区画されていないが、真核生物になるとDNAは核膜で周りが囲まれ、細胞質基質と分けられている。DNAも分子のままでは絡み合ってしまうので、染色体という構造にしてまとめてある。突然変異がおこる確率も相対的に高くなるが、有性生殖⁶⁾という新しい個体

のつくり方を導入し、同じ遺伝子を2セットもつようにした。こうすればどちらか一方が機能を失っても、もう片方の遺伝子が正常であれば十分機能を発揮することができると思われる。

DNA量を2倍にし、さらに遺伝子重複によって余分なDNAを付け加えることにより、DNAを混ぜ合わせることができるようになった。減数分裂の時に、相同染色体は交叉し、組み換えを起こして、DNAを混ぜ合わせる。イントロンのような無駄に見える部分も、遺伝子間の組み換えを起こすには都合のよい構造である。こうしてDNA量が増え、それを混ぜ合わせる機構が付け加わることによって、DNAの多様性、ひいては生物の多様性が生まれる素地が作られたのである。

進化のもう一つの例として化石がある。今回の恐竜展の展示はすべて化石なのだが、ダーウィンの時代にも化石は見つかった。化石は創造説を唱える人にとっては、ノアの洪水によって滅びた動物たちだ、ということになるが、化石をよく調べてみると、現在見られる動物と似たような動物を見つけることができる。独立した種が洪水によって滅びたというよりは、現生の種と連続した変異が認められるので、むしろ進化がおこったと考えた方が自然である。

ダーウィンが研究を始めた頃、地球の歴史は高々6000年だろうと考えていた天地創造説に対して、まだ若い学問であった地質学が少しずつ反論を提出し始めていた。ハットンやライエルは、鉱物生成に必要な時間や地層の研究から、地球の歴史が6000年よりもずっと昔にさかのぼることができることを示した。現在ではアイソトープ年代測定法により、地球の歴史は46億年だろうと見積もられている。

こうしてダーウィンは、創造説の根本である、種は独立に(神によって)創造され、不変で、創造されたのはそれほど古いことではない、という考えをことごとく論破したのである。そのかわりとして、種は長い地球の歴史の中で、共通の祖先から少しずつ変化し、多くの種が生じたのだと主張した。

進化の実験室

それでは生物はどのように進化してきたのだろうか。進化の原動力となったのはなんなのだろうか。ダーウィンは4つの仮定をまず立てて進化が起こることを説明したが、それぞれの仮定を実験的に証明することはできなかった。

それでは、これらの仮定は実験によって検証することができるのだろうか。プリンストン大学のピーターとローズマリー・グラント夫妻およびその共同研究者たちは、ダーウィンの記述したガラパゴス諸島のダーウィンフィンチを調べて、ダーウィンの仮定は正しいことを実験的に示した。

A)
ガラパゴス諸島には、ダーウィンフィンチ 13 種とその近縁種 1 種がいるが、これら 14 種は姿かたちはお互いよく似ているが、^{くちばし}嘴の形態と大きさに著しい違いがある。もちろん嘴の形と大きさは、彼らの食性を反映している。細くて長い嘴は、昆虫やクモを食べるのに適しているし、太くて大きな嘴は、固い種子を割って食べるのに適している。

彼らは 1973 年からガラパゴス諸島でダーウィンフィンチ類を調べ、ダフネー島に住む *Geospiza fortis* が研究対象として最適であると結論した。その理由は、この島が孤立していて他の島との移動がほとんど見られないこと、集団の数が 1200 個体と適当な数であることである。1977 年に彼らは、この鳥のほぼ半数を捕獲し、足輪をつけて個体識別をした。1980 年には全個体に足輪をつけることに成功した。

このフィンチの嘴は中程度の大きさで、種子を食べる。種子を嘴の根元で割って中身を出して食べるのである。種子食のダーウィンフィンチの嘴の大きさは、食べる種子の大きさと比例していて、大きな嘴のフィンチは大きな種子を食べ、小さな嘴のフィンチは小さな種子を食う。その結果、異なる大きさの嘴の種が、それぞれすみ分けることが可能なのである。

グラントらは、このフィンチを捕獲して体重、翼長、嘴の長さ、高さ、幅などを測定した。結果のうち、嘴の高さだけを図 1 のグラフに示す。このグラフからわかるように、嘴の高さには大きな個体変異があり、連続した分布を示す。嘴の高さという形質は、生物学で習ったメンデルの遺伝の法則にでてきた形質とはだいぶ違う。これは嘴の大きさという形質にはエンドウの花の色のように単一の遺伝子ではなく、複数の遺伝子が関与しているためである。

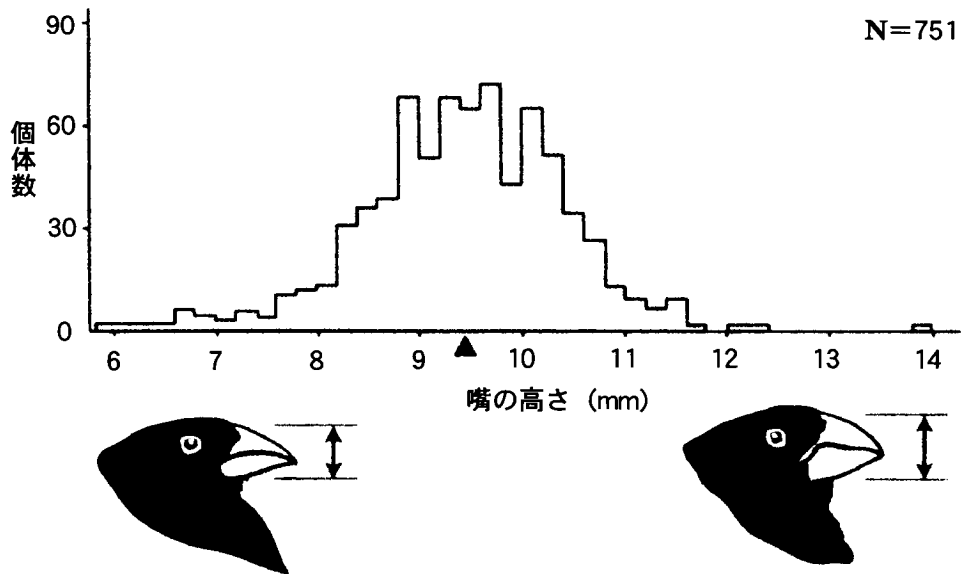


図1 ダフネー島のフィンチの嘴の高さのヒストグラム。観察した全個体数は751で、▲は平均を示す。

それぞれの個体には足輪をつけているので、親子関係は把握できている。そこで子供が成長した後に嘴の高さを測り、その両親にあたる雌雄の嘴の高さを調べてみた。横軸に両親の嘴の高さの平均をとり、縦軸に子供の嘴の高さを測定した結果が図2のグラフである。

図3は、1975年から1978年までのダフネー島にいた、このフィンチの個体数の変動を示している。1975年から1976年の6月までは、だいたい1200から1400羽で大きな変動はない。このフィンチは2から4個の卵を産むが、環境の収容力は1200羽ほどなのである。グラントらが観察を続けている間に、1976年の夏(南半球の)から1977年の冬におこったエルニーニョ現象のためにダフネー島で早魃かんばつがおこり、島の植生に大きな影響を及ぼした。このフィンチの餌となる実をつける植物の生育が悪く、餌の量が激減したのである。その結果、図3のように、1977年に彼らの観察していたフィンチの数が激減した。その結果、興味あることがおこったことが明らかとなった。

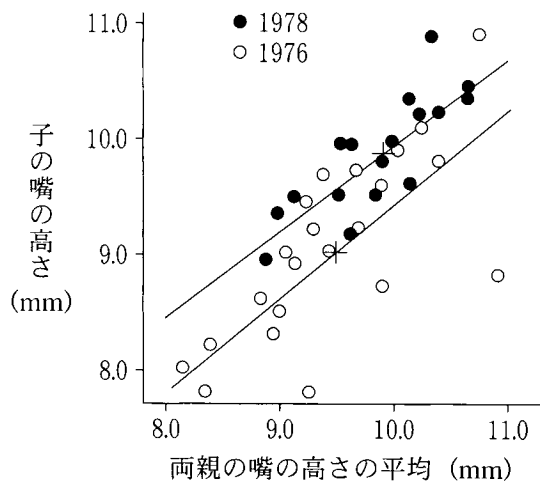


図2 両親の嘴の高さの平均と、子の嘴の高さを示す相関図。十字は平均値。

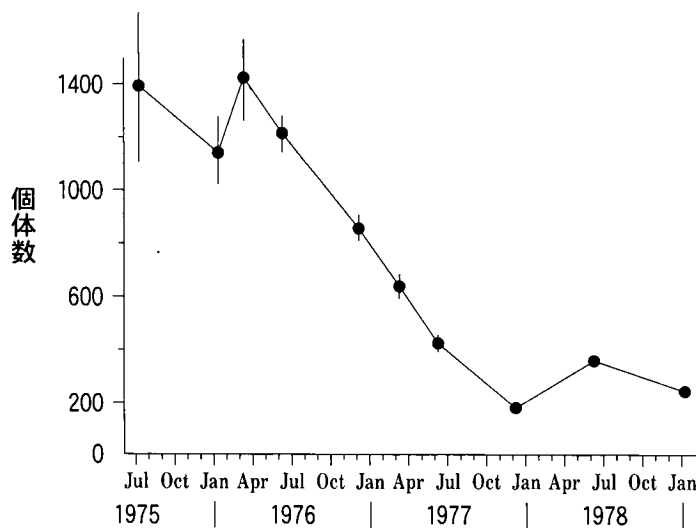


図3 ダフネー島のフィンチの個体数の変動。●は複数回おこなった観察の平均値で、縦棒はバラツキをあらわす。

早魃によって、小さくやわらかい実をつける植物は大きな影響を受けたが、やや大きめで果皮が固いものは影響が少なかった。生き残ることができた次世代の嘴の高さを調べてみた結果をグラフで示したのが図4である。

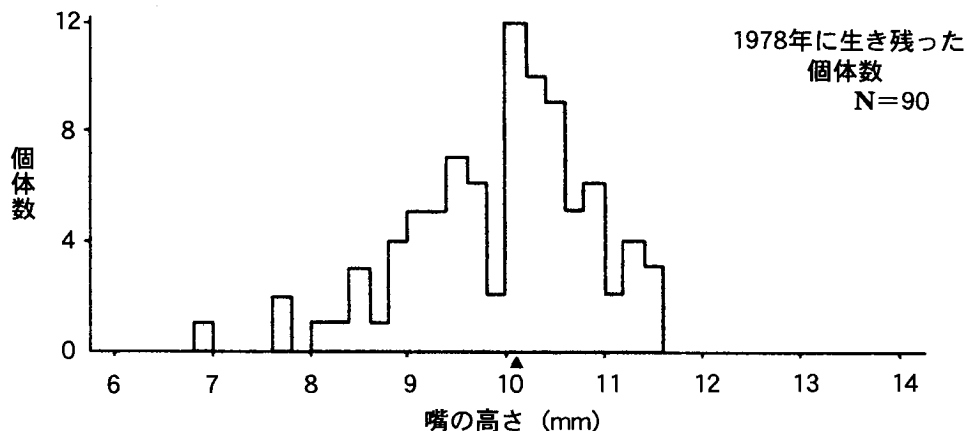


図4 早魃の後に生き残った個体の嘴の高さのヒストグラム。観察した全個体数は90で、▲は平均を示す。

このように生き残って次代を残せるのは、その個体に新たな環境へのフィットネス (fitness)が高まったからだと考えて、フィットネスという語に新しい意味が付与された。フィットネスというときら君はすぐにフィットネスクラブのことを思い出してしまっただが、それとは違う意味である。日本語では適応度という訳語を当てている。これが自然選択の過程でおこることである。その結果、ある世代から次の世代へ移る間に、集団の形質が変化する。個々の個体の適応度が高まるからである。個体の適応度が高まった結果、集団は全体として環境により適応 (adaptation) したものとなる。ダーウィンはこうして自然選択によって、種は進化することができる考えた。ダーウィンは突然変異⁸⁾のことも遺伝のことも知らなかったもので、どうして変異がおこり、それが次の世代に伝わるかについては説明できなかったのだが。

恐竜のこと、骨のこと

前の章で述べたようにして進化が起こり、この地球上には多様な生物が生じた。恐竜もそのような生物の一員だったが、あるときおこった環境の変化には適応できずに絶滅した。それにしても、どうしてこんなに大きな生き物が生じ、生息できたのだろうか。セイスモサウルスは植物食だということだが、その食べる量はばく大なものになるだろう。展示の中に、ジュラ紀には二酸化炭素の濃度は今よりも高く、温暖だったので、植物が光合成をするには有利な条件が整っていた。そのため、植物の生長は早く、多量の植物資源があったと考えられている、と書かれていた。⁹⁾

恐竜は多量の植物資源をバリバリと食べて、成長していったのだろう。あまり動かずに広い範囲の植物を口にするためには、長い首の方が有利なので、首が長くなる方向に進化したのだろうと、説明には書かれていた。豊富な植物資源を利用して成長に必要なエネルギーを得ていたのだろう。^{B)}

また、あの骨の量を維持するためにも多量のミネラルが必要だったのではないだろうか。骨にも興味湧いてきた。骨は固いもので、化石のように石みたいなものだと思っていたが、どうやらそうではなさそうだ。百科事典の骨の項を見ると、骨はいつも一方で壊され、一方では作られていると書かれていた。たとえば成長期のヒト大腿骨では骨組織が古いものから新しいものに交代するのに2年とかからず、成人の場合でも全骨格の3から5%は常に置き換わっているらしい。骨については教科書にはほとんど書かれていなかったのだから、いろいろ調べてみた。古くなったり傷んだ骨は破骨細胞という細胞で壊され、壊したあとは骨芽細胞という細胞が元に戻していき、破壊と新生のバランスが常にバランスよくおこなわれるように調節されている。

骨芽細胞は未分化な間葉(間充織)細胞に由来し、コラーゲンを合成する能力を獲得した骨芽細胞の前駆細胞に分化した後、骨基質に張り付きコラーゲンを分泌し、リン酸とカルシウムを濃縮した結晶をこれに付け足し骨質を形成する。

破骨細胞は白血球などの血液細胞の親戚で、前駆細胞から成熟して破骨細胞になる。前駆細胞は骨表面に誘導されて定着し、多核化して破骨細胞となる。前駆細胞から破骨細胞が作られる過程には、骨芽細胞が重要な役割を演じていることがしだいに明らかになってきた。^{C)}

生体にとってカルシウムは最も重要なミネラルの一つであり、細胞内でさまざまな

はたらきをしている。たとえば筋肉の収縮の引き金を引くのもカルシウムイオンであり、細胞内部での情報伝達の役割も担っている。そのため、細胞内部のカルシウムイオン濃度は常に低い濃度に維持されている。余分なカルシウムイオンは積極的に細胞外へ排出され、また細胞内の貯蔵部へ取り込まれる。

細胞外液である血液中のカルシウムイオン濃度も一定の範囲内におさまるように調節されている。細胞外液のカルシウムの貯蔵庫として骨はきわめて重要で、血中カルシウム濃度が下がるとただちにカルシウムが骨から血中へ動員され、血中カルシウムが上がりすぎると余分なカルシウムは骨に蓄えられる。

恐竜展の会場には、足跡の化石も展示されていた。骨の化石のような実際にあるものが化石となった場合と異なり、このような化石を生痕化石という。足跡の化石もその例である。足跡の化石は、当時の恐竜の生活を示してくれる。また、歩幅と足の向きからどのような歩き方をしていたか、どのくらいのスピードだったかなどを推測することができる。

いろいろ調べてみたが、まだまだ奥が深いようだった。地球上に展開した進化と、その結果生まれた生物多様性にあらためて心を打たれて、あきら君は図書館を後にした。

問 1 上の文の下線を引いて番号を振った箇所に関する次の問いに答えよ。

- 1) 種より上位の分類群を順に書け。
- 2) このような事象を生物用語でなんと呼ぶか。
- 3) ヘモグロビンはヒトの体のどこに存在し、どのようなはたらきをするか答えよ。
- 4) DNA を構成している塩基を略称ですべて書け。
- 5) 原核生物と真核生物の主な違いを2つ述べよ。
- 6) 有性生殖が無性生殖よりも有利な点を述べよ。
- 7) 交叉による遺伝子の組み換えは、減数分裂の過程のどこでおこるか。
- 8) 突然変異が個体の変異の要因だが、種が進化して別種が生じるためには、どのような過程が必要か単語で答えよ。

- 9) 光合成の過程は、光エネルギーの吸収とその後の化学反応の過程に分けることができる。この2つの過程はどのような反応であるか、またそれぞれの過程は葉緑体のどこでおこっているか、それぞれ簡単に述べよ。
- 10) ヒトの場合、血中のカルシウムイオン濃度を調節するホルモンを分泌する内分泌器官は、甲状腺ともう一つある、その名称を書け。

問 2 下線A)に関する次の問いに答えよ。

ダーウィンの立てた4つの仮定はどのようなもので、それはグラントらがおこなったどのような観察から明らかになるのか、例にならって残りの3つについてグラフ(図1～図4)を引用しながら述べよ。

問 3 下線B)に関する次の問いに答えよ。

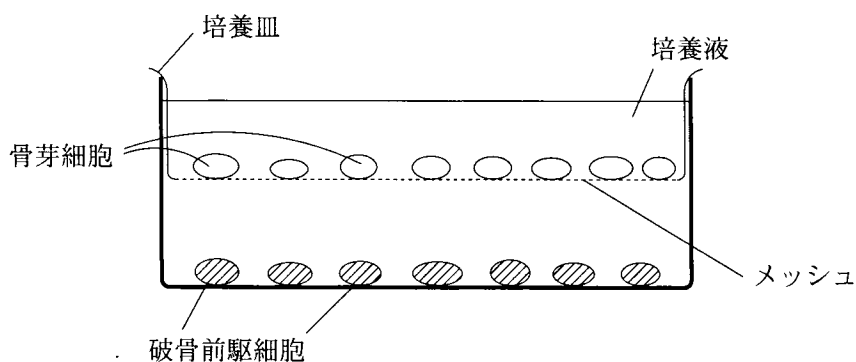
真核生物が、有機的な環境下でエネルギー供給分子であるATPを生成する過程を、細胞の模式図に細胞小器官をくわえ、引き出し線で各部の名称を書き込み、どこでどのような過程がおこっているかをわかるように述べよ。

問 4 下線C)に関する次の問いに答えよ。

破骨細胞の分化を骨芽細胞が誘導する過程をさらに調べてみたところ、次のような実験が載っていた。

- 1) 骨芽細胞は適当な基質で覆った培養皿で培養でき、骨芽細胞を刺激する因子群(以下、刺激因子群)を作用させると、骨芽細胞は可溶性分子(M)を培養液中に分泌するとともに、細胞膜表面に結合した分子(O)を作る。
- 2) 破骨細胞の前駆細胞(以下、破骨前駆細胞)は、細胞表面にMを受容する受容体と、Oと結合できる受容体をもち、同様な条件で培養できる。
- 3) 培養皿に骨芽細胞と破骨前駆細胞をいっしょに入れ、刺激因子群を作用させたところ、破骨前駆細胞でC遺伝子とN遺伝子の転写がおこり、破骨細胞に分化した。
- 4) 骨芽細胞のみを培養して刺激因子群で刺激した後、その培養液を破骨前駆細胞のみを培養した培養皿に加えたところ、C遺伝子の転写はおこったがN遺伝子の転写はおこらなかった。

- 5) 骨芽細胞と破骨前駆細胞を下図のように細胞は通り抜けられないメッシュで分けて培養し、刺激因子群を加えたところ、破骨前駆細胞でC遺伝子の転写はおこったがN遺伝子の転写はおこらなかった。
- 6) 培養皿に骨芽細胞と破骨前駆細胞をいっしょに入れ、培養液にO分子に対する抗体を入れて、完全にこの分子が作用できないようにして刺激因子群を作用させたところ、破骨前駆細胞でC遺伝子の転写のみがおこり、破骨細胞への分化はおこらなかった。



以上の実験から、破骨前駆細胞から破骨細胞が分化するとき、骨芽細胞がどのようにかかわっていると考えられるか、上記の実験に出てきた記号を使いながら述べよ。

問 5 下線D)に関する次の問いに答えよ。

ある場所で、次の図のような恐竜Aの足跡と思われる足跡化石①と恐竜Bの足跡と思われる足跡化石②が見つかった。この足跡化石の近くには、恐竜Aの歯型と思われる傷のついた恐竜Bの化石の一部も発見されている。A、Bそれぞれの恐竜に関して次の設問に答えよ。

- 1) 恐竜Aの①と②は同一個体の足跡化石であると思われる。①と②の足跡を比較して当時の恐竜Aの行動を推測せよ。またその根拠を述べよ。
- 2) ②の足跡から、恐竜Bの当時の行動や生態に関して、推測できることを2つ述べよ。

