

生 物

I 次の文章を読んで、問1～5に答えなさい。

20世紀における生物学最大の発見は、遺伝子の実体解明であったといっても過言ではないだろう。1953年のワトソンとクリックによるDNAの二重らせんモデルの発表は、その後驚異的な発展を遂げることになる分子生物学の幕開けを告げるものとなった。ワトソンとクリックが提唱したDNAのモデルが持つ様々な特徴の中で、最も重要なものは特定の塩基間の弱い結合である。アデニンと 、シトシンと は互いに結合して対をなすが、他の組み合わせではうまく結合できない。このため、二重らせんを構成する2本のヌクレオチド鎖は 的になり、一方の鎖の塩基配列が決まれば、他方の塩基配列も一意的に決まる。ワトソンとクリックによるDNAモデルの優れた点は、その分子構造を正確にとらえていただけではなく、当時ほとんど分かっていなかったDNA複製のメカニズムを予言していたことである。

二重らせん構造を持つ分子の複製機構には、以下のような3通りの可能性が考えられる。(1)半保存的複製：複製後のDNA分子(娘分子)はもとのヌクレオチド鎖と新たに合成されたヌクレオチド鎖からなる(図1 a)。(2)保存的複製：一方の娘分子がもとの分子のヌクレオチド鎖を2本とも持っていて、他方の娘分子は、新たに合成されたヌクレオチド鎖だけを2本持っている(図1 b)。(3)分散的複製：娘分子のそれぞれの鎖は、一部はもとの分子のヌクレオチド鎖であり、一部は新たに合成されたヌクレオチド鎖からなっている(図1 c)。

1958年、カリフォルニア工科大学のメセルソンとスタールは、DNA複製が半保存的に起こることを次に示すような実験で証明した。この結果をもとに、上の3つの可能性を検証してみた。

1) 大腸菌を窒素 ^{14}N の同位体である重窒素 ^{15}N をもつ塩化アンモニウム ($^{15}\text{NH}_4\text{Cl}$) を唯一の窒素源とする培地で何代にもわたって培養し、DNAの窒素がすべて ^{15}N である大腸菌を得た。 ^{15}N をもつDNA分子(以下 ^{15}N -DNA とよぶ)は塩化セシウム溶液中で長時間遠心分離することにより、 ^{14}N をもつDNA分子(^{14}N -DNA とよぶ)と区別することができる。これは ^{15}N -DNA が、 ^{14}N -DNA よりも高い密度を持つため、遠心分離によって形成される塩化

セシウムの密度勾配において、図2のようにより高い密度の位置にバンドを形成するからである。

2) つぎに、この大腸菌を ^{14}N をもつ塩化アンモニウム ($^{14}\text{NH}_4\text{Cl}$) を唯一の窒素源とする培地に移して、さらに培養を続けた。図3は大腸菌の細胞数を時間を追って測定した結果を示している。

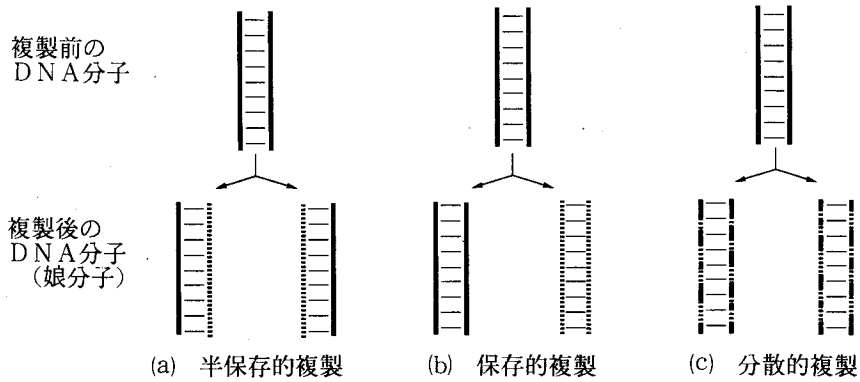


図1 DNA分子の複製のしかたに関する3つのモデル
は新たに作られたヌクレオチド鎖を示す

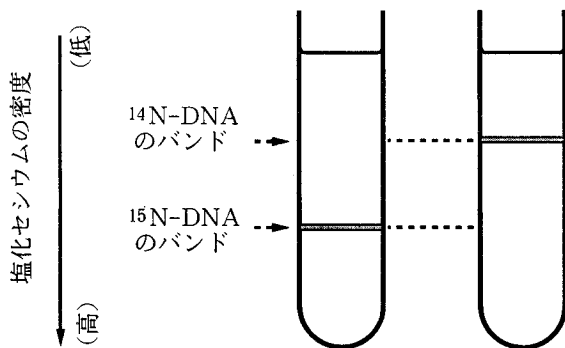


図2 抽出したDNAを塩化セシウム溶液中で遠心分離した後のDNAバンドの位置

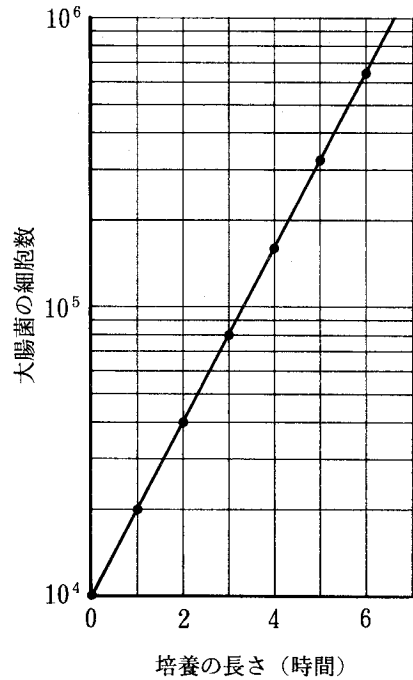


図3 培養液中の大腸菌の数

3) このような培養液から、各代ごとに菌を一部取り出し、DNAを抽出して塩化セシウム溶液中で長時間遠心分離した。その結果は図4に示したとおりである。 $^{15}\text{NH}_4\text{Cl}$ の培地から $^{14}\text{NH}_4\text{Cl}$ の培地に移した後、大腸菌を1回だけ細胞分裂させると、この菌が持つDNAは ^{15}N -DNAと ^{14}N -DNAのそれぞれが現れると予想される密度の中間の位置に1本のバンドとして現れた。このことから上に述べたDNA複製に関する3通りの可能性のうち⁽¹⁾の保存的複製のモデルを否定することができた。2回目の分裂をさせると2本のバンドが現れ、1本は1回だけ分裂させた場合と同じ位置に、もう1本は ^{14}N -DNAの分子に対応する位置に見られた。これは半保存的複製の仮説から期待される結果と完全に一致していたと同時に、分散的複製の可能性を否定するものであった。⁽²⁾

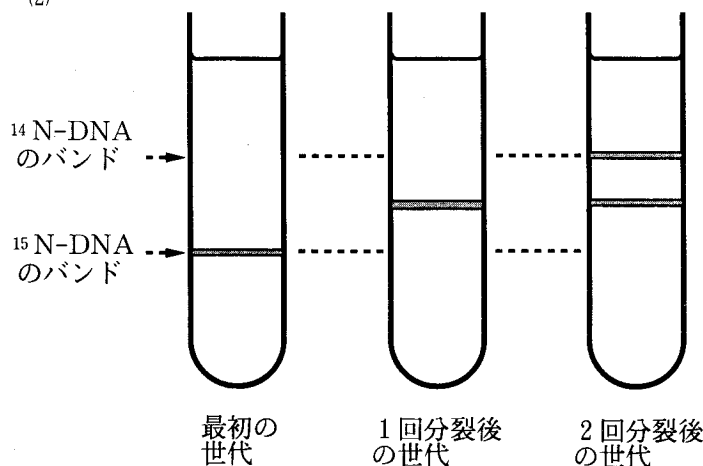


図4 各世代から抽出したDNAを塩化セシウム溶液中で遠心分離した後のDNAバンドの位置

問1 空欄 ~ に適当な語句を記入しなさい。

問2 この実験では、大腸菌の細胞分裂が起こる周期を正確に把握することが大切である。図3から、この培養条件において、大腸菌が1回の細胞分裂に要する時間を求めなさい。

問3 下線部(1)で、保存的複製の可能性を否定した理由を60字以内で述べなさい。

問 4 下線部(2)で、分散的複製の可能性が否定される理由を 45 字以内で説明しなさい。ただし、ここでいう分散的複製のモデルでは、親世代のヌクレオチドが均等に(それぞれ 50 %ずつ)それぞれの娘分子に伝わるものとする。

問 5 DNAの複製が問 4 のような分散的複製のモデルにしたがうと仮定した場合(均等分散)、大腸菌を $^{15}\text{NH}_4\text{Cl}$ の培地から $^{14}\text{NH}_4\text{Cl}$ の培地に移して、1 回から 4 回まで分裂させた後に、それぞれ予想される DNA バンドの位置を図 4 にならって図示し、そのように図示した理由を 45 字以内で説明しなさい。ただし、塩化セシウム溶液中での DNA 分子の移動距離は DNA 分子の密度に正比例するものとする。

II 雄の配偶子の形成過程に関する次の記述を読み、問1～6に答えなさい。

ほ乳類の雄の胎児の始原生殖細胞は、将来、精巣に分化する場所にたどり着いて精原細胞へと分化し、分裂をくり返して増殖する。精原細胞の一部は、動物が出生し、性成熟期に近づくと、一次精母細胞へと成熟して減数分裂を開始し、最終的に雄の配偶子が形成される。減数分裂は以下の順に進行する。

- a) 染色体が複製される。
- b) 父方と母方に由来する相同染色体が対合する。
- c) 核膜と核小体が消失し、紡錘体が形成される。
- d) 対合した相同染色体が紡錘体の赤道面に並ぶ。
- e) 対合した相同染色体が分かれ、紡錘体の両極に移動する。
- f) 細胞質分裂が起こり、各相同染色体の一方をもった娘細胞が2個できる。⁽¹⁾
- g) 染色体が紡錘体の赤道面に並ぶ。
- h) 各染色体は縦に2つに裂け、紡錘体の両極に移動する。
- i) 細胞質分裂が起こる。

この減数分裂の過程でX、Y性染色体は分離し、また染色体の乗り換えや相同染色体のランダムな分配が起こることによって、遺伝的に多様な配偶子が形成される。1個の一次精母細胞から最終的にできあがった4個の細胞は、その後、細胞質のほとんどを失い、変形して鞭毛をもった細胞になる。⁽⁴⁾この細胞は鞭毛運動によって泳ぐことができるが、鞭毛運動には、細胞小器官のミトコンドリアによって生産された がリン酸と に分解される際に放出されるエネルギーが用いられる。

問1 下線部(1)、(4)、(5)の各細胞の名称を記入しなさい。また、分裂中期の精原細胞のDNA量を2とした場合の各細胞のDNA量を記入しなさい。

問2 下線部(2)と(3)が起こるのは、上記のa)～i)のいずれの段階か、それぞれ解答欄に記入しなさい。

問 3 下線部(5)の細胞を解答欄に図示し、核およびミトコンドリアの位置を示しなさい。

問 4 空欄 , に適当な語句を記入しなさい。

問 5 上記の a)～ i)のうち減数分裂で特異的に起こる変化を 4 つ選びなさい。

問 6 上記の f)において卵形成過程の場合にはどのような分裂が起こるか 15 字以内で記述しなさい。また、分裂してできる 2 種の娘細胞の名称を記入しなさい。

Ⅲ 次の文章を読んで、問1～5に答えなさい。

ラットの座骨神経束(多数の神経軸索からなる)を用いて神経活動の性質を調べる。乾燥を防ぐよう神経束を保湿箱の中に入れ、図1のように刺激用として一对の金属電極を左側に、記録用として別の一对の金属電極を右側に置いた。いずれの電極も神経束の表面に接触させただけの「外部電極」である。刺激用電極は電気刺激装置の+、-出力端子へ、記録用電極はオシロスコープの+、-入力端子に図のように接続した。この場合、オシロスコープは+、-入力端子の電位差を測定し、+端子側が-端子側よりも電位が高い時、オシロスコープ上の点が上側へと移動する。

刺激電極間に短時間通電を行い、記録電極間の電位変化をオシロスコープで観察すると図2のような波形が見られた(ここでaは刺激を与えたことを示す信号、b、cは波形の上下ピーク)。オシロスコープ上でこのような波形が観測できるのは、刺激電極の位置に発現した **ア** が記録電極の位置まで **イ** し、記録電極間の電位差を生じさせたためである。**ウ** と **エ** 間の距離をオシロスコープ上の波形の **オ** と **カ** の間の時間で割ると座骨神経のおおまかな **キ** が求まることになる。

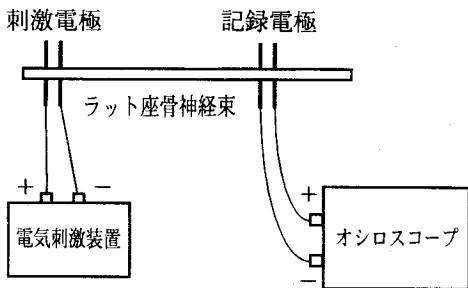


図1

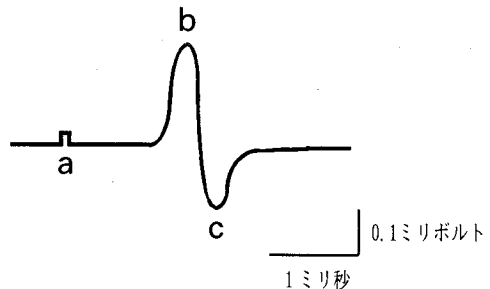


図2

問 1 上の文章の空欄 ア ～ キ に適当な語句を入れなさい。

問 2 このように細胞外に置いた記録電極を用いて神経活動を記録できるのは、細胞外で活動部位とその周囲に電氣的にどのような差が生じるためか。40 字以内で述べなさい。

問 3 記録電極の両端の間隔は変えずに記録電極をより右側へ移動させると、オシロスコープ上の a から波形ピーク b までの間隔が変わった。この時、オシロスコープの波形はどうなるか。座骨神経束は十分に長いものとして、次のア～ウの中から正しいと思われる文章を選びなさい。また、これは神経のどのような性質を反映しているか、20 字以内で述べなさい。

- ア) ほとんど変わらない。
- イ) 上下とも振幅が極端に小さくなる。
- ウ) 上下とも振幅が極端に大きくなる。

問 4 記録用電極からオシロスコープの +, - 入力端子への接続を逆にすると波形にどのような変化が見られるか。次のア～ウの中から選びなさい。

- ア) ほとんど変わらない。
- イ) 刺激ノイズから波形ピークまでの位置が変わる。
- ウ) 上下逆転する。

問 5 一对の記録電極の右側だけを移動させて電極の間隔を大きくし、通電刺激を行った。オシロスコープの波形はどうなるか。座骨神経束は十分長いものとして次のア～オの中から選びなさい。

- ア) ほとんど変わらない。
- イ) 振幅が極端に小さくなる。
- ウ) ピーク b だけとなる。
- エ) ピーク b とピーク c が分離し、ピーク b が前へずれる。
- オ) ピーク b とピーク c が分離し、ピーク c が後ろへずれる。

IV 次の文章を読んで、問1～6に答えなさい。

地球上の多くの生物種が、開発による生息・生育環境の消滅や密猟などによって絶滅の危機に瀕している。日本でも既に絶滅したり、絶滅寸前に追い込まれた動物や植物が少なくない。トキやコウノトリは、もっともよく知られた例であろう。かつて日本各地に見られたトキやコウノトリの個体数は、開発による営巣場所の減少と密猟に加え、毒性の強い農薬の使用によって激減したと考えられている。

生物界はさまざまな生物が食う一食われる関係で結ばれている。このような一連の関係を [ア] と呼ぶ。有害物質は低濃度であっても、それを取り込んだ植物や小動物を魚、カエルなどが食べ、さらにそれを鳥たちが餌として食べると、 [イ] ごとに有害成分が濃縮され、高次の [ウ] の体内には外界とは比較にならないほど高濃度の有害物質が蓄積される。トキやコウノトリの消滅は、餌となる小動物の減少とともに、 [ア] を通じた有害物質の [エ] によって、正常な繁殖が不可能になったことが大きな原因であった。幸い、コウノトリの場合は人工的な増殖計画が成功し、野生復帰の試みが始まろうとしている。このような試みを成功させるためには、コウノトリの習性を知るだけでなく [オ] の成り立ちを正しく理解することが重要であろう。

[ア] のほかにも、生物はお互いにさまざまなつながりをもって生活している。その中にはお互いの存在を不可欠とする、広い意味での [カ] 関係が健全に保たれていることが、種の存続にとっては重要である。その関係が崩壊すると、絶滅への道を歩むことになる。生態系における [カ] 関係の重要性を、絶滅危惧植物サクラソウを例にとって考えてみよう。

まず、自然豊かな環境に生育するサクラソウと周囲が開発され孤立したサクラソウの群落を比べると、後者では種子があまり生産されないことが見いだされた。サクラソウは栄養繁殖によっても群落を維持できるが、有性生殖による種子からの芽生えの定着がない場合、⁽¹⁾長期的には群落の存続に深刻な影響が及ぶと危惧されている。

そこで、孤立した群落において種子が十分に生産されない理由を明らかにするために、サクラソウの結実の特性について調査を行った。サクラソウの花は虫媒花

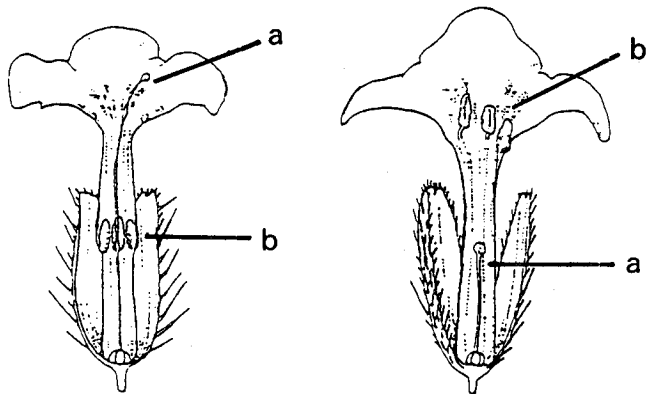


図1 サクラソウの花の二型
 (左) 長花柱花,
 (右) 短花柱花
 a. 雌しべ, b. 雄しべ

(昆虫が花粉を運ぶ)であり、図1に示したような2つの花型(長花柱花と短花柱花)があることが知られている。この二型の花を用いて受粉(授粉)実験を行った。

〔実験1〕花粉を人工的に添加した後、袋をかけて昆虫が訪花できない状態にして結実を待った。その結果を表1に示す。

表1 人工受粉実験の結果

数字は結実率(種子数/総胚珠数, %)を示す。

	自家受粉	短花柱花の花粉を添加	長花柱花の花粉を添加
短花柱花	0	0	96
長花柱花	0	94	0

〔仮説の設定〕この群落には長花柱花と短花柱花の両方が存在することが確認され、また花を訪れる昆虫がたいへん少ないことが疑われた。そこでこのサクラソウ群落において十分な種子生産が行われない理由として次のふたつの仮説を立てた。

仮説1：周辺環境の悪化により何らかの理由で植物体の種子生産能力そのものが障害を受けている。

仮説2：

〔実験2〕これら2つの仮説を検証するために現地において人工的に花粉を添加する受粉実験を行った。短花柱花と長花柱花の柱頭に、それぞれ短花柱花の花粉と長

花柱花の花粉を添加してから自然状態に放置した場合と、人為的操作を何もせずに自然状態に放置した場合の結実率を比較した。その結果を表2に示す。なお、繁殖が正常に行われている群落における結実率は80%を超えていた。

表2 人工的に花粉を添加した場合の結実率(%)

	放置(対照)	短花柱花の花粉を添加	長花柱花の花粉を添加
短花柱花	7	5	98
長花柱花	2	96	3

問1 空欄 ～ に適当な生態学上の語句を入れなさい。

問2 下線(1)のような栄養繁殖によって維持される群落は、有性生殖を行う群落と比べて、どのような特徴があるか答えなさい。

問3 表1の結果から結論できるサクラソウが結実するための条件について30字以内で答えなさい。

問4 仮説2とは、どのようなものであったと考えられるか。35字以内で答えなさい。

問5 表2の結果は、仮説1、仮説2のいずれを支持すると考えられるか。その理由とともに50字以内で答えなさい。

問6 トキ、コウノトリ、サクラソウの事例から、種を絶滅から守る保全の取り組みにおいてはどのような視点が重要か、考えるところを述べなさい。