

🗣️ 話題 ハーシーとチェイスの実験

ハーシーとチェイスは放射性同位元素を用いた研究で、DNAのマーカ―として<sup>32</sup>P、タンパク質のマーカ―として<sup>35</sup>Sを用いて、細菌の中に浸入するのは<sup>32</sup>P、つまりDNAだけであることを証明した。P(リン)はタンパク質には含まれず、S(硫黄)はアミノ酸のシステインとメチオニンには含まれているが、DNAには含まれない元素であるから、好都合であった。

標識したファージを大腸菌に感染させて数分後、ミキサーで攪拌すると、大腸菌に侵入していなかったファージの殻が引きはがされる。その後、遠心分離器を使うと、大腸菌に感染していなかった分の軽いファージは「上澄み」液に吸収され、重い大腸菌は「沈殿物」として分離された。二人は、<sup>35</sup>Sはほとんどが上澄み液に含まれ、<sup>32</sup>Pはほとんどが大腸菌内に留まっていることを確認した。この結果からファージから大腸菌に移動したのはDNAであることがはっきりした。

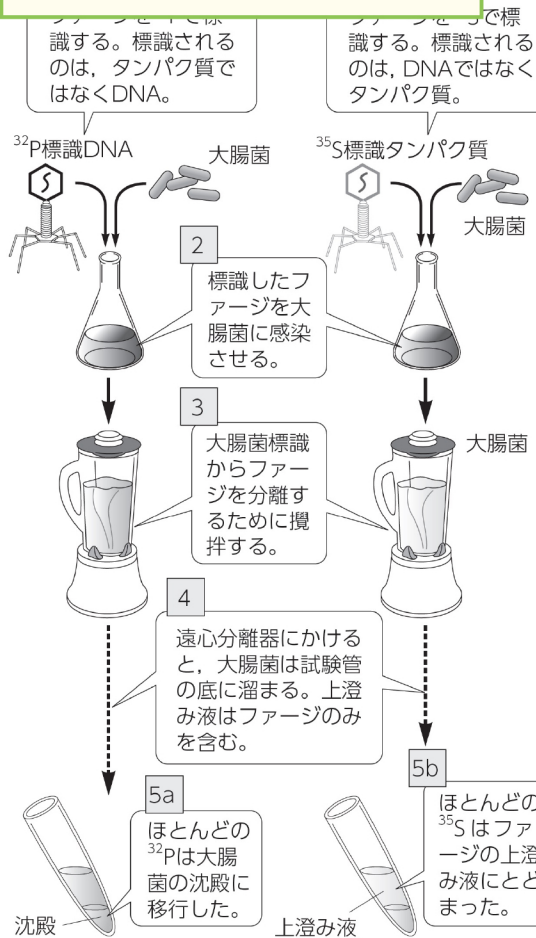
ハーシーとチェイスはさらにファージの子孫世代を回収する長い期間の実験も行った。子孫のファージは元の<sup>35</sup>Sをほとんど含んでおらず、親由来のタンパク質を有していなかった。しかしながら、元の<sup>32</sup>Pの約3分の1を含んでいた。

1952年のパリの国際生化学会議での2人の発表は大きなニュースになった。つまり遺伝子の本体はDNAだったのである。

取り付いたファージの殻を細菌からはがすのに偶然使われた道具は家庭用のミキサー(米国名はワーリング・ブレンダー)だった。同僚の女性マーガレット・マクドナルドの助言で使ったミキサーが実験を成功させたのである。このミキサーはいまもコールド・スプリング・ハーバーの遺伝学研究所の宝として保管されている。

🗣️ 話題

授業で使える小ネタや話題を掲載しています。



結論：ファージが大腸菌に感染するとき、タンパク質ではなくDNAが大腸菌に入って、新しいファージの増殖を提示した。

🗣️ 【発問例】 大腸菌は、条件がよいと20分で1回分裂する。ファージは、感染後約30分で100個から200個の子ファージを形成する。ファージは大腸菌に比べて、どうして速く増殖できるのだろうか。

🗣️ 答 ファージは感染後、大腸菌のRNAポリメラーゼ、リボソームを使い、ファージの構成要素を合成し、その構成要素を組み立てることでファージを構築し、感染細胞から出るからである。

大腸菌は増殖に必要なRNAポリメラーゼ、リボソーム、細胞分裂に必要な物質などを自ら合成し、それを用い、細胞分裂によって増殖する。

🗣️ つまずき対策 放射性同位体の<sup>32</sup>P、放射性同位体の<sup>35</sup>S、それぞれの元素でファージを標識すると、ファージの何が標識されるだろうか。

🗣️ 答 DNAはリン酸を含むので、<sup>32</sup>PではDNAが標識される。ヌクレオチド、DNAの構造を確認すること。

DNAはSを含まない。Sはアミノ酸のシステインとメチオニンの側鎖がもつ。<sup>35</sup>Sではタンパク質が標識される。

**B DNAの複製**

**課題** DNAはどのように複製されるのだろうか。

細胞は分裂によってふえる。体を構成する細胞はすべて同じ遺伝情報を含むDNAをもつ。DNA複製は正確に行われ、細胞が分裂するとき、正確に分配される(図5)。探究2-2で、DNAがどのように複製されるかについて考えよう。



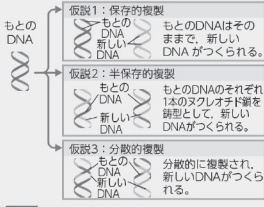
図5 DNA複製

**探究2-2 DNA複製の様子**

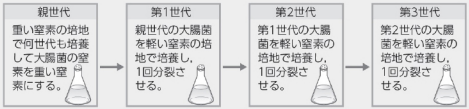
**目的** 実験結果から、DNA複製の仮説について考える。

**仮説** DNA複製の過程を説明する3つの仮説が考えられていた(図a)。

**実験** 通常よりも重い窒素原子からなるヌクレオチドで大腸菌を培養した。その後、軽い窒素原子からなるヌクレオチドで培養し、細胞分裂に合わせて、それぞれ二本鎖DNAを抽出し、その重さを分析した(図b)。



図a 複製の仮説



図b DNA複製の実験のようす

**結果** 3種類の重さの二本鎖DNAが得られた。二本鎖DNA中の窒素原子がすべて重い窒素原子に置き換わったものを重いDNA鎖、すべて軽い窒素原子に置き換わったものを軽いDNA鎖とする。

	親世代	1回目の細胞分裂後	2回目の細胞分裂後	3回目の細胞分裂後
軽いDNA鎖	0	0	1	3
中間の重さのDNA鎖	0	1	1	1
重いDNA鎖	1	0	0	0

表中の数字は対数

A鎖が得

A鎖がど

**B**  
**C**  
**D**  
69

**導入例**

単元の冒頭に、授業の導入例を掲載しています。

**第1章 遺伝情報とDNA**

**B DNAの複製 (配当時間 1時間)**

◆**導入例** 教科書p.69の図5のDNA量の変化に着目すると母細胞が持つDNA量と娘細胞が持つDNA量は等しい。分裂前にDNAの複製が起こっているからである。

DNAはどのように複製されるのだろうか。疑問をもたせる。

複製は英語でレプリケーション(replication)という。コピー(copy)ではない。

◆**指導上の要点・留意点**

- ・塩基の相補的な構造が複製の際に重要な機能を果たすことに気づかせ理解させること。

**探究の流れ**

**探究2-2 DNA複製の様子**

**A 見通し**

◆ DNAが合成されるしくみを取り上げ、相補的な塩基の組み合わせに着目し、DNAがどのように複製されるのか自らの仮説を立てさせる。

☑ **評価の場面** 主体 知・技

**B 活動**

◆ 資料(仮説・実験・結果)に基づいて、塩基の相補性とDNAが複製されるしくみと関連付けて、考察させる。

☑ **評価の場面** 知・技

**C 整理・考察**

◆ 資料と分析に基づいて、DNAが複製される様子を図示させる。

指導書DVD収録 探究2-2 ワークシート

☑ **評価の場面** 思・判・表

**D 振り返り**

◆ 【導入】～【整理・考察】を振り返り、自己評価を行わせる。・指導書DVD収録 探究2-2 ワークシート

☑ **評価の場面** 主体

**E 学習内容の理解**

◆ DNAが複製される様子について説明する。

☑ **評価の場面** 知・技

**探究の流れ**

探究の流れと評価を行う場面を整理して確認できるようにしました。

DVD-ROM収録の「探究の指導と評価の計画例」と対応しています。

**1 DNAの複製** 核分裂の際、染色体は縦に2つに分かれて、それぞれが2つの娘核に入るが、DNAは分裂前に合成されて倍加している。このとき、DNAは単に量が2倍になるだけでなく、正しく複製されている。

DNAが複製される際は、まずAとT、GとCの間の結合が切れて、2つのらせんが離れる。それぞれのらせんに新しいらせんが加わって、2組の二重らせんが作られる。このとき、もとのAのところにはT、TのところにはA、GのところにはC、CのところにはGをもつヌクレオチドが結合する。したがって、新しく合成されたDNAの構造(塩基の配列順序)は、もとのDNAの構造と全く同じである。

1953年に提案された「二重らせん」構造は複製の際に、片方の鎖が新しく合成される鎖の鋳型になるという半保存的複製を示唆してはいたものの、実験によって確認されてはいなかった。たとえばマックス・デルブリュックはファスナーのように開いたら綺麗に分かれずにこんがらがってしまうのではないかと心配していた。

1957年、メセルソンとスタールによって半保存的複製が証明された。当時開発されたばかりの超遠心機を用いて高分子を比重によって分離する密度勾配遠心法を使っていた。「生物学でもっとも美しい実験」とジョン・ケアンズ(当時コールド・スプリング・ハーバー研究所長)は評価した。

他にも

**つまずき対策** (よくある質問と回答)

などのコーナーを設けた、充実の解説書となっています。

◆ 半保存的複製

もとのDNAと同じDNAがつくられることを、DNA複製という。

DNA複製するとき、まず、2本鎖DNAの塩基どうしの結合が切れて1本鎖にほどこける。ほどこけた2組の1本鎖のそれぞれを鋳型として、ヌクレオチドが結合して新しい鎖がつくれ2組の2本鎖になる。

鋳型となる1本鎖の塩基がAならば新しい鎖の塩基はT、GならばCというように、それぞれ相補的な塩基対が形成される。このように、塩基の相補性にもとづき、DNA複製される。できた2組のDNAの塩基配列は、もとのDNAの塩基配列と全く同じになる。

探究2-2でも考えたように、DNA複製は、一方はもとの鎖のまま、もう一方は新しく合成される。この複製の仕方を半保存的複製という。

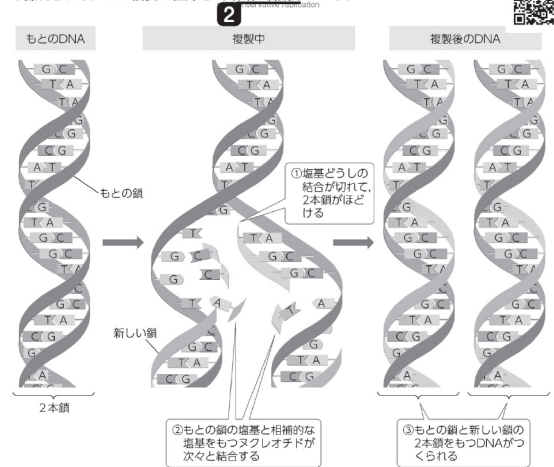


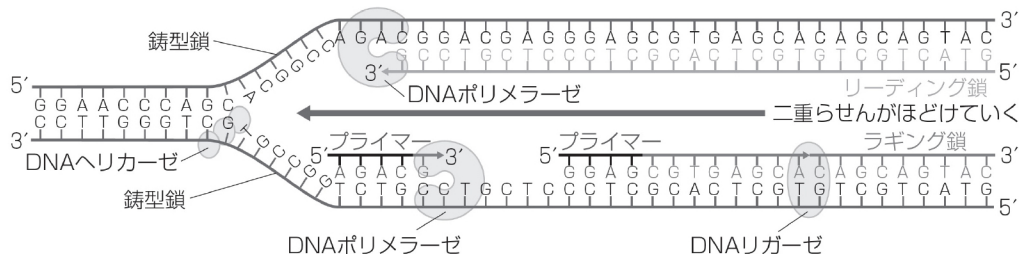
図6 半保存的複製のようす

※ 複製 DNA複製には、DNAポリメラーゼ(DNA合成酵素)などの多くの酵素が働いている。

まとめ DNA複製のしくみ：2本鎖DNAの塩基どうしの結合が切れて、一方のDNA鎖の塩基配列をもとに、相補的な塩基対が形成されて、新しいヌクレオチド鎖がつくられる。

重要用語 □ DNA複製

**2 半保存的複製** 窒素の同位体には重い窒素<sup>15</sup>Nと軽い窒素<sup>14</sup>Nがある。1代目を重い窒素を含む溶液中で培養した大腸菌のDNAを抽出し、2代目以降を軽い窒素で育てた。密度の違いで分離するのは塩化セシウム溶液が適当だった。2代目はすべて重い窒素と軽い窒素が等量ずつ混ざった中間の重さのDNAだけとなった。3代目は中間の重さのDNAと軽いDNAができていた。みごとに半保存的複製が証明されていた。



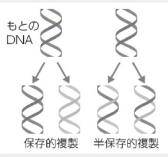
▲ DNA複製の分子メカニズム



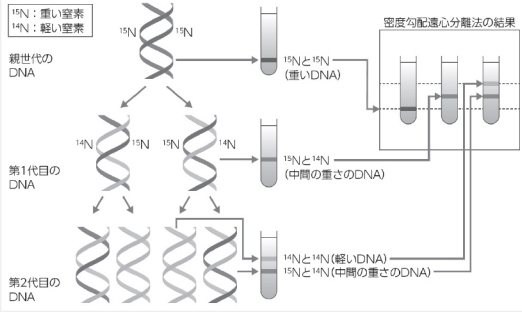
参考 半保存的複製の証明



DNAの複製が半保存的であることは、メセルソンとスタールの実験によって証明された(1958年, 図a)。窒素の同位体である<sup>15</sup>Nと<sup>14</sup>Nは、同じ窒素(N)だが質量が異なり、同じようにDNAを構成できる。まず、彼らは質量が大きいほうの<sup>15</sup>Nを含む培地で大腸菌を長期間培養すると、大腸菌内の窒素がすべて<sup>15</sup>Nに置き換わり、<sup>15</sup>Nからなる重いDNAができた。その後、質量が小さいほうの<sup>14</sup>Nを含む培地に移して大腸菌を複製させた。<sup>14</sup>Nの培地に移して1回複製させた大腸菌と2回複製させた大腸菌からそれぞれDNAを抽出し、もとの大腸菌のDNAと質量を密度勾配遠心分離法で比較した(図b)。その結果、1回複製させた大腸菌のDNAは、<sup>15</sup>Nの培地のみで増殖した大腸菌のDNAと<sup>14</sup>Nの培地のみで増殖した大腸菌のDNAの中間の質量のもの、<sup>14</sup>Nの培地のみで増殖した大腸菌のDNAと同じ質量のものが、1:1の割合で含まれていた。これはDNAが半保存的に複製されたことを表している。



図a DNAの複製の仮説  
元の二重らせんをそのままに全く新しい二重らせんができるという保存的複製の仮説などがあつたが、半保存的複製が正しいことが証明された。



図b DNAの半保存的複製を証明する実験  
①密度勾配遠心分離法: 塩化セシウムの濃い溶液を遠心管に入れ、高速で回転する遠心分離機で長時間遠心力をかけ続けると、塩化セシウムの密度は、底ほど高く、上部ほど低いという密度の勾配がで

**発問例**  
授業の中で生徒へ問いかけると効果的な発問例を掲載しています。授業展開のヒントに。

**板書例**  
効果的な説明図やまとめ方などの板書例を、黒板イラストで示しています。

アルを完成させた。彼曝が元で慢性骨髄性白血病で木国旅行中に44歳で急逝した。研究は夫人の岡崎恒子に引き継がれた。リーディング鎖には先導鎖、ラギング鎖には遅滞鎖と訳語が付されたことがある。

話題 DNA鎖の合成の方向

DNAポリメラーゼはDNAのヌクレオチドどうしを結合する際にはたらく酵素である。1956年にコーンバーグが発見した。

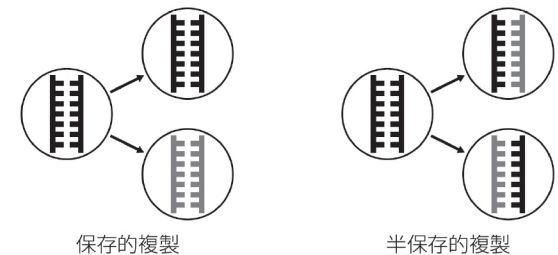
DNAポリメラーゼの触媒する重合は5'→3'の一方方向だった。名古屋大学の岡崎令治はDNAの鎖が逆並行なため、一方の鎖(リーディング鎖と呼ばれる)は開く先から新しい鎖が合成できるが、もう一方の鎖の合成は逆方向になるはずだとして研究を続け、不連続複製を証明した(1968年)。逆方向のDNA鎖(ラギング鎖と呼ばれる)上では短鎖(岡崎フラグメント)を不連続的に合成したのち、伸長しながら連結する。

**複製開始とプライマー** 複製起点ではプライマーが必要である。プライマーは数個のヌクレオチドが結合した短い鎖で、プライマーの3'末端にヌクレオチドが伸長していく。DNAのリーディング鎖の連続複製はいったん開始されると際限なしに続くが、ラギング鎖の不連続複製は4つのステップ、すなわちプライマー合成、伸長、プライマーの除去、ギャップの補填と連結のくり返しになる。

**発問例** DNA鎖の塩基配列が決まった場合、もう一方の鎖の塩基配列がどうなるかを書いてみよう。また、このDNAが複製するとき新しい鎖の塩基配列がどうなるかも書き記してみよう。

**板書例**

DNA鎖 A-G-T-T-A-G-C-T  
 もう一方 ○-○-○-○-○-○-○-○-○ 相補的な塩基が向かい合う  
 <複製> ↓  
 A-G-T-T-A-G-C-T .....  
 □-□-□-□-□-□-□-□ .....  
 △-△-△-△-△-△-△-△ .....  
 ○-○-○-○-○-○-○-○ .....  
 できた二重らせんの塩基配列はもとと同じ!



▲複製に関する3つの仮説