

DNAの正確な複製

講師

渡邊 正治

今回学ぶこと

キーボードを使って文字を入力するとき、10億文字に1文字しか間違えないという目標を立てたら、それを実現できるでしょうか。ほとんどの人は不可能だと思うでしょう。複製を終えたDNAのエラー率は10億塩基に1塩基程度と推定され、限りなく100%に近い正確さで複製されています。この驚異的な正確さはどのようなしくみで達成されるのか、学んでいきましょう。

調べておこう、覚えておこう

DNAの複製, ヌクレオチド, DNAポリメラーゼ,
塩基の相補性, 半保存的複製

DNAの複製

ヒトからはヒトが生まれる。この当たり前のように続く営みは、親から子へとヒトの遺伝子が正確に引きつがれることに支えられている。ヒトゲノムには、およそ22,000の遺伝子があると推定されており、体のどの部分の細胞にも全ての遺伝子が含まれている。このことは、体細胞分裂の過程でDNAが正確に複製および分配されることを意味している。ヒトゲノムは約30億塩基対からなるが、両親から引き継いだ2組のゲノムをもつ体細胞では、60億塩基対のDNAが、分裂に先立って正確に複製されている。

DNAの複製に必要なもの

DNAを複製するためには、その構成単位である4種類の**ヌクレオチド**が多量に必要で、核や細胞質の中に蓄えられている。**DNAの複製**は、**DNAポリメラーゼ**という酵素が行う。この酵素は、DNAの片側の鎖の塩基に対して相補的な塩基を持つヌクレオチドを連続的に繋いで複製を進めるが、この反応の開始点には、**プライマー**と呼ばれる短いヌクレオチド鎖が、足場として必要である。プライマーは別の酵素によってつくられる。

現在、これらの材料があれば、試験管内でポリメラーゼによるヌクレオチド鎖の合成反応を連鎖的に繰り返させ、DNAの特定の領域を短時間で増やすことが可能になっている。この方法をPCR法という。PCRはポリメラーゼ連鎖反応 (polymerase chain reaction) の略称である。

細胞内におけるDNAの複製は、極めて高い確率で成功する。それは**塩基の相補性**によるところが大きいですが、エラーに対処する優れたしくみもある。DNAポリメラーゼは、まるで消しゴム付き鉛筆のように、誤ったヌクレオチドが入ってきたときに、それを外して正しいヌクレオチドに付け替えるという校正機能をもっている。さらに、校正をすり抜けてしまったり、紫外線などの外部要因により損傷したりしたDNAの領域を修復する機構もある。DNAの修復は、複製のときとは別の種類のDNAポリメラーゼが担当する。このような、校正や修復のしくみにより、10億塩基に1塩基程度しか間違えないという、高い精度での複製が可能になるのである。

半保存的複製

DNAでは、アデニンとチミン、グアニンとシトシンがそれぞれ特異的に結合するという塩基の相補性が成り立っている。DNAの2本鎖が解離し、それぞれの鎖を鋳型にして、そこに相補的な塩基をもつヌクレオチドが次々に結合すれば、全く同じ塩基配列をもつ2本のDNAができる。ワトソンとクリックはDNAが二重らせん構造であることを発表したとき、すでにこのことに気づいていた。

1本のDNAが複製されて2本になったとき、それぞれのDNAを構成する2本のヌクレオチド鎖のうち、1本は鋳型となった元の鎖、もう1本は新しく合成された鎖になっている。このような複製様式を**半保存的複製**という。半保存的複製により、何度でも全く同じDNAがつけられることになる。

意思のない分子間の相互作用で進むDNA複製のエラー率は、前述のしくみにより限りなくゼロに近いが、完全にゼロにはならない。これが突然変異に繋がる。突然変異は細胞のがん化など、生命の維持に不都合な結果をもたらすこともあるが、突然変異により生物の進化が起こるのである。正確な複製により種の存続が保たれながらも、長期的に見ると、ほんのわずかなエラーが進化をもたらす。この神がかり的な絶妙のさじ加減が、生命の連続性の中で多様性を生み出すのである。

