

遺伝子と進化

赤坂甲治

東京大学大学院理学系研究科教授 附属臨海実験所 所長

遺伝子とは生命活動にかかわる DNA の文字情報の単位である。遺伝子には、タンパク質の情報（タンパク質のアミノ酸配列の情報）をもつ領域（ヒトでは全ゲノム配列の約 3%しかない）もあれば、発現調節領域、すなわち、RNA への情報の転写開始点や終結点の目印情報、RNA の転写量や、転写時期、転写する細胞・組織の特異性を決める領域、RNA の分解速度や細胞内での局在性を決める情報もつ領域もあり、27%になる。DNA には他に、繰り返し配列や、情報がないと思われる領域も約 70%あるが、生命活動に無意味ではない。これらの各領域に起こる変異と表現型の関連について具体例をあげて議論する。また、DNA 上にランダムに起こる変異と、進化の関係について議論する。DNA 配列の変異が進化の推進力となっているが、ランダムな突然変異と自然選択だけでは、生命誕生から現在に至る短い時間で、複雑で高度な組織や器官を生み出すことはできないと考えられてきた。いわゆるダーウィンのジレンマである。さまざまな生物のゲノムが解析され、ウニのように単純な動物からヒトに至るまで遺伝子の種類や数はほとんど同じであり、ヒトですら遺伝子の数は約 2 万 3 千個と、思いがけないほど少ない数で高度な生命体をつくり上げていることがわかってきた。では、ヒトとウニの違いはどのように生じるのだろうか。遺伝子は、特定のタンパク質の量（濃度）を調節的に決めるに過ぎない。タンパク質は、多種類のタンパク質、DNA、RNA などの分子と弱い力で相互作用し、濃度と分子の種類によって自律的に機能単位を形成し、細胞を構成する。それを可能にするのが、1 秒間に 100 万回も回転し、1 秒間に細胞の端から端まで移動するような熱運動の世界で起こる多種類のタンパク質分子同士のめまぐるしい会合解離である。多くのタンパク質の立体構造は、相互に変換可能な 2 つの状態を取りえる。このタンパク質の二状態性が、動的平衡の中で、機能ある構造を組み立てる連鎖反応と、情報伝達の基盤となる。タンパク質が構成する細胞も、自律的に他の細胞と折り合いをつけながら組織と器官を形成する。タンパク質と細胞の高度に適応的な性質が、遺伝的変異による致死性を著しく下げ、変異をゲノムに蓄積させるとともに、ランダムな遺伝的変異はランダムな表現型とはならず進化が促進される。複雑そうに見える表現型の発現は、遺伝子による教示的な指令によるのではなく、単純な一連のタンパク質の連係（保存されたコアプロセス）の組合せに代表されるタンパク質・細胞のロバストな許容的応答性がもたらす。これらについて具体例を示しながら遺伝的変異と進化について議論する。