

『はじめて学ぶ 生命科学の基礎』

章末問題 解答例

1 章

1-1 RNA は DNA と同様、遺伝情報を保持したりコピーしたりすることが可能であるとともに、リボザイムのように特定の立体構造をもって触媒活性を発揮することもできることから、原始地球において、自己増殖能をもつ生命体を構成する最初の物質であった可能性が考えられる。一方、タンパク質は RNA より効率的な触媒反応を行うことができることや、ミラーの実験で数種類のアミノ酸が生成したことなどから、タンパク質の方が最初の生命体を構成する中心物質であった可能性もある。ただしこの場合は、どのように遺伝情報を保持していたかという問題が残る。

1-2 真核生物、真正細菌、古細菌は、遺伝情報 (DNA や RNA の塩基配列) の類似性から明確に区別される。特に、共通してもっているリボソーム RNA の塩基配列を比較することによりこれらの分類が明らかになった。

1-3 進化は、生物集団の中で遺伝形質の多様性を生み出す突然変異が蓄積されるとともに、それらが自然選択などの過程で広まっていくことにより進んでいくものと考えられる。従って、生物集団の中で遺伝子の突然変異が生じることが進化が起こるためには必要である。

1-4 ウイルスは宿主細胞中に寄生するとともに、自分自身の遺伝子 (DNA や RNA) の一部を宿主細胞中で複製したり、宿主のゲノムに挿入したりする性質をもつ。したがって、この性質を利用することによって、異常をもつ

遺伝子の代わりに正常な遺伝子をウイルスのゲノムに組み込んで細胞の中に効率的に導入することが可能である。

1-5 原核細胞と真核細胞の構造的相違点は、まず細胞の大きさが異なる点であり、原核細胞は真核細胞に比べ極めて小さく、細胞内部構造も単純で、膜で仕切られた特別な細胞内小器官 (オルガネラ) が無い。これに対して、真核細胞は核やその他の細胞内小器官を有し、より複雑な内部構造を有している。単純に言えば、核があるのが真核細胞で、ないのが原核細胞である。

1-6 細胞膜の基本構造は脂質二重層からできており、極めて薄い膜ではあるが、柔軟性に富み低分子物質も容易には通さないバリア (障壁) として機能している。この脂質二重層には多くのタンパク質 (膜タンパク質) が存在しており、あるものは、ポンプやチャネルとして機能し、細胞内外の物質のやり取りを担っている。また、ある膜タンパク質は受容体として、細胞外からの刺激やシグナルを受け取り、細胞内部にその指令を伝達する働きをしている。従って、細胞膜のさまざまな機能は脂質二重層に存在する膜タンパク質によって行われていると言える。

1-7 植物細胞と動物細胞は共に真核細胞であり、多くの類似点がある一方、いくつかの相違点がある。特に植物細胞に特有の細胞内小器官として、細胞壁、葉緑体、液胞があり、これらはいずれも動物細胞には存在しない。

植物細胞は動物細胞に比べ堅く、これは細胞壁が存在するからである。また、植物細胞は葉緑体によって、光のエネルギーを利用する事ができる（光合成）。また、サラダで野菜などを食べるときに、しばしばみずみずしく感ずることがあるが、これは細胞内の液胞に多くの水分を貯めているからである。

1-8 動物細胞の細胞膜は低分子物質をも容易には通過できないバリアとして機能しているため、細胞外の高分子タンパク質や不溶性の微粒子などは細胞内に容易には侵入できない。しかし、細胞膜のダイナミックな動きにより、これらの高分子物質などを包み込むようにして取り込む仕組みがあり、この過程をエンドサイトーシスと呼ぶ。また、この過程とは逆に、新たに合成されたタンパク質の細胞外への分泌のように、細胞内の高分子が細胞外に分泌される仕組みもあり、この過程をエキソサイトーシスと呼ぶ（図 1.11 参照）。ちなみに、エンドサイトーシスの仕組みは原始的細胞にも備わっていたと考えられており、ミトコンドリアや葉緑体はこの仕組みで取り込まれ、共生関係ができ、やがて小器官へと進化したと考えられている。

1-9 多くのオルガネラが一層の膜でできているのに対して、ミトコンドリアや葉緑体は共通して内外 2 層の膜で出来ており、しかも内部にそれぞれに独立した DNA やリボソームを有する点も両者に共通した特徴である。さらに両オルガネラに存在するリボソームは、真核細胞のリボソームに比べサイズが小さく、原核細胞のリボソームのサイズに近いことがわかっている。機能面においても、ミトコンドリアは電子伝達系、葉緑体は光合成系を有

しており、仕組みは異なるがいずれもエネルギー獲得に関与するオルガネラである点も共通している。これらの点から、ミトコンドリアや葉緑体はもともと独立した原核生物として存在していたが、原始的真核細胞内に共生し、やがてオルガネラとなり、現在の真核細胞へと進化して行ったと考えられている。

2 章

2-1. アミノ酸は側鎖の性質で様々な種類に分類される。側鎖にカルボン酸をもつアミノ酸は酸性アミノ酸、アミノ基やグアニジノ基、イミダゾール基をもつアミノ酸は塩基性アミノ酸と呼ばれる。

2-2. エドマン分解法によりペプチド鎖のアミノ末端より配列分析が可能になる。具体的には、フェニルイソチオシアネート (PITC) でペプチドを処理すると、N 末端アミノ酸のアミノ基と反応し、最終的にフェニルチオヒダントイン化アミノ酸 (PTH-アミノ酸) としてこの末端アミノ酸を遊離させることができる。これを高速液体クロマトグラフィーで同定する。残るペプチド鎖に対して、エドマン分解と遊離アミノ酸の同定を繰り返すことで、アミノ酸配列を決定できる。

2-3. タンパク質の高次構造は、一次構造、二次構造、三次構造、および四次構造の四つのレベルに分類できる。一次構造はアミノ酸配列のことで、 α ヘリックスや β シート構造といったペプチド鎖の局所的な立体構造を二次構造という。一本のポリペプチド鎖が形成する三次元構造は三次構造とよばれ、四次構造とは二つ以上のポリペプチドからなるオリゴ

マータンパク質のサブユニットが形成する構造のことをさす。

2-4. タンパク質の二次構造はペプチド鎖のキララな構造に由来する円二色性スペクトル測定で解析できる。αヘリックスやβシート構造に特徴的なスペクトルが知られており、その存在割合も計算することができる。また、赤外スペクトル測定において、アミド結合の伸縮振動に由来するバンドのスペクトル形状からも評価できる。

2-5. ファンデルワールス力、疎水性相互作用、イオン結合、水素結合、ジスルフィド結合があり、タンパク質の三次構造形成に関わる重要な相互作用である。

2-6. 酸やアルカリはペプチド間のイオン結合を壊し、また、カオトロピック試薬は水分子のつくる構造を乱し、疎水性相互作用を弱める働きがある。その結果、タンパク質は構造を保つことができなくなり、変性する。

2-7. 糖の構造に違いがある。RNA はリボースから構成されており、2' 位に水酸基があるが、DNA はデオキシリボースで構成され、2' 位に水酸基はない。そのため、DNA はアルカリ性溶液中では安定であるが、RNA はリン酸ジエステル結合が加水分解される。

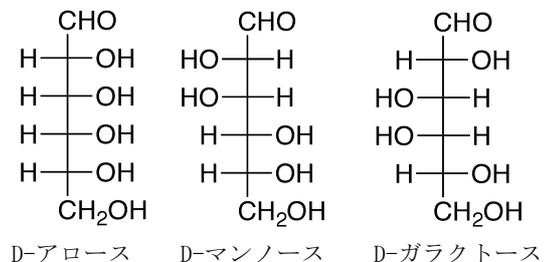
2-8. DNA の二重らせん構造は主に A 型、B 型、Z 型に分類される。A 型と B 型は右巻きで、Z 型は左巻きのらせん構造をもつ。また、らせんの直径や 1 回転あたりの回転数、1 残基あたりのらせん回転角、らせんのピッチは各構造に特有の値をもつ。

2-9. 2 本鎖 DNA に熱を加えたり、アルカリで処理することで、相補的塩基対の水素結合が切れ、1 本鎖に解離させることができる。このように 1 本鎖に解離すると塩基に由来する波長 260 nm 付近の吸収が増加する。この変化により DNA を状態を評価できる。

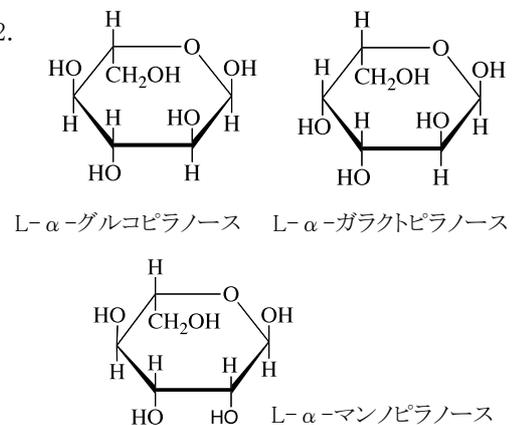
2-10. 一般的に RNA 鎖は DNA 鎖のように常に相補鎖と二重らせん構造を形成しているわけではなく、1 本鎖で存在することが多い。そのため、分子内での水素結合や疎水結合により、特有の構造を示す。したがって、タンパク質の構造と同様に、一次構造から三次構造といった構造を有し、その構造により、生体内で遺伝情報の読み出しや、様々な化学反応にかかわっている。

3 章

3-1.



3-2.



3-3. α -D-グルコピラノースでは C1 に結合する OH 基がアキシアル, β -D-グルコピラノースでは全ての OH 基がエクアトリアルであるので, 立体構造としては β -D-グルコピラノースが安定である。一方, D-マンノピラノースでは, C2 に結合する OH 基がアキシアルなので, C1 に結合する OH 基はアキシアルに結合した方が, 全体構造として安定化する。したがって, α -D-マンノピラノースの方が β -D-マンノピラノースよりも安定化する。

3-4. 関節にはヒアルロン酸が存在し, 潤滑剤として関節の動きを助けている。高齢者の膝の痛みはこのヒアルロン酸が不足することによって, 膝関節の動きに負荷がかかるために生じることが多い。一方, ヒアルロン酸は, グルクロン酸とキチン成分である N-アセチル-D-グルコサミンから構成されている。したがって, N-アセチル-D-グルコサミンを経口摂取で補うことで, ヒアルロン酸生合成の促進を期待しているのであろう。

3-5. インフルエンザウイルスは, 細胞表面のシアル酸含有糖鎖に結合することで感染を開始する。従って, 感染にとってはシアル酸の存在が重要である。しかしながら, 細胞内に侵入して増殖したウイルスが細胞外へ脱出する際には, シアル酸が存在していると同じ細胞への再侵入を繰り返すことになる。そこで, ウイルスはシアリダーゼによりシアル酸とガラクトース間のグリコシド結合を加水分解することで, 感染細胞からの脱出を図る。一方, タミフルはウイルス シアリダーゼを阻害するため, インフルエンザウイルスは感染細胞内に封じ込められ, 感染拡大がくい止められる。

3-6. →P. 57, 図 3.9 を参照。

3-7. 不飽和脂肪酸が存在すると, シス型の二重結合が存在することになり, 炭化水素鎖はねじれる。このため, 細胞膜中に不飽和脂肪酸が多く存在すると, 完全に飽和した(二重結合が存在しない)炭化水素鎖を持つ脂肪酸同士に比べ, ファンデルワールス力による相互作用が弱まり, 流動性が増す。

3-8. アラキドン酸はリノール酸から, エイコサペンタエン酸とドコサヘキサエン酸は α -リノレン酸から生合成されるためである。しかし, 生合成される量だけでは必要量を満たすことができないとも考えられるため, 広義には必須脂肪酸と見なされることがある。

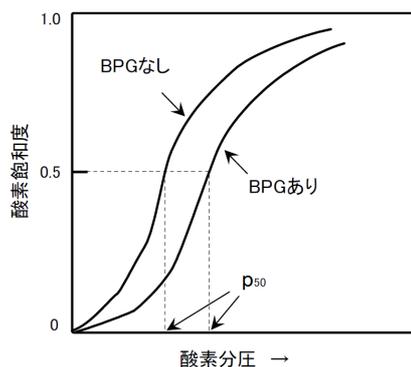
3-9. アラキドン酸およびエイコサペンタエン酸からは, プロスタグランジン, トロンボキサン, ロイコトリエンなどのエイコサノイドが生合成され, これらのエイコサノイドは細胞間のシグナル伝達でセカンドメッセンジャー分子として機能する。ドコサヘキサエン酸(DHA)は脳, 網膜などのリン脂質を構成する脂肪酸の主要成分であり, 血中の中性脂肪(トリグリセライド)量を減少させることで心臓疾患を軽減させる。また, アルツハイマーやうつ病に対しても DHA の摂取は有効であるといわれている。

3-10. →P. 61~63 を参照。

4章

4-1. タンパク質が機能を果たすためには、たとえば酵素の活性部位のように特定の立体構造を保つことが重要である。そのために、似た機能をもつタンパク質は立体構造が類似している場合が多い。また、アミノ酸には性質が似たものがあり、それらの間で置換が起こっても活性を維持できる場合が多く、必ずしも同一のアミノ酸配列でなくてもタンパク質の立体構造や活性を維持することが可能である。

4-2. 下図に示すように、BPG がヘモグロビンに結合すると p_{50} は大きくなり、酸素との親和性は低下する。



4-3. 通常のタンパク質の三次構造を保つ力と同様、疎水的相互作用、水素結合、イオン結合（静電的相互作用）、ファンデルワールス力などの非共有結合の他に、ジスルフィド結合のような共有結合が存在する場合もある。

4-4. 基質特異性とは、酵素が反応する化学物質（基質）を厳密に認識することを示しており、反応特異性とは、反応後に生成される化学物質（生成物）が特定のもののみで副生成物をほとんど生じないことを意味

している。

4-5. →P78 表 4.1 を参照。

4-6. 酵素反応には、解離基をもつアミノ酸残基が大きく寄与している。解離基とは pH 条件によって $-COOH$ であったり $-COO^-$ となったり変化するもののことである。どちらか特定の状態の時に酵素機能を発揮するので、酵素反応は pH に大きく依存する。そのため、最も高い酵素反応を示す pH、すなわち最適 pH を持つ。

4-7. 酵素反応速度を基質濃度に対して図示すると p80 の図 4.15 のようになる。その時の反応初速度が最大反応初速度の半分となる基質濃度が K_m 値となる。この値はミカエリス定数と呼ばれ、酵素と基質の親和性（どれだけの強さで結合するか）を示す。 K_m 値が小さいほど親和性が高い。

4-8. アロステリック制御とは酵素に基質や調節物質が結合することにより構造が変化し、活性が調節されることである。その構造変化によって、同じ基質濃度であっても酵素反応速度が大きく変化する（P81、図 4.16）。

4-9. 筋肉の収縮は滑り込み運動と呼ばれており、タンパク質であるアクチン・ミオシンと ATP のエネルギーによって起こる。まず ATP がミオシンヘッドに結合することによって、ミオシンがアクチン繊維から離れる。その後、ATP の加水分解によってヘッドの一部が構造変化し、繊維に対する角度が変化する。次に加水分解によって生じ

たリン酸がミオシンヘッドから離れると、ミオシンは再びアクチン繊維に結合する。最後に ADP が離れると、再び構造変化が起こり、ミオシンヘッドがアクチン繊維を引き寄せ滑り込み運動が起こる (P83、図 4.18)。

5 章

5-1 →P91、図 5.3 参照

5-2 2 分子

5-3

フィードバック阻害：多段階反応の最終生成物が十分に存在するときに、その最終生成物が一連の反応の初期の反応を阻害すること。

アロステリック制御：酵素に基質や調節物質が結合することにより構造が変化し、活性が調節されることである。その構造変化によって、同じ基質濃度であっても酵素反応速度が大きく変化する。

5-4 好氣的条件下：ピルビン酸デヒドロゲナーゼによって補酵素 A とともに酸化されてアセチル CoA となる。

嫌氣的条件下：酵母などの微生物は、ピルビン酸から CO₂ を取り出した後、NADH を用いてこれを還元し、エタノールを生成する。激しい運動中の筋肉、赤血球などの細胞では、直接 NADH で還元されて乳酸が生じる。

5-5 NADH、QH₂ (ユビキノール)

5-6 2-オキソグルタル酸はアミノ酸であるグルタミン酸、オキサロ酢酸はアミノ酸で

あるアスパラギン酸、クエン酸は脂肪酸・ステロイドの合成や分解と関係がある。

5-7 還元型補酵素は細胞内の膜に埋め込まれている電子伝達系と呼ばれる一群の酸化還元酵素複合体で再酸化され、その結果生じた電子の移動に共役してプロトン (H⁺) が膜の内外で輸送し、膜を境にしたプロトン濃度勾配が形成される。このプロトン濃度勾配によって生み出されたエネルギーを利用して、ATP シンターゼ (合成酵素) が ATP を産生する。

5-8 どちらも ATP を生成するが、プロトン濃度勾配をつくり ATP シンターゼによって生産する点が似ている。

5-9 β 酸化の反応は、一連の反応を繰り返していくらせん状の経路として表すことができる (P105、図 5.18)。まず脂肪酸の第一の酸化が起こり、その結果 QH₂ を生じる。次に水和反応を経て、第 2 の酸化が起きる。その時に NADH を生じる。その後、α 位と β 位の炭素の間の結合が開裂し脂肪酸は炭素数が 2 個短い脂肪酸とアセチル CoA を生じる。短くなった脂肪酸は同じ反応を繰り返して徐々に短くなっていく。その際に酸化される炭素原子が β 位にあるので β 酸化と呼ばれる。

5-10 解糖系：細胞質ゾル，電子伝達系：ミトコンドリア，光合成：葉緑体，β 酸化：ミトコンドリアとペルオキシソーム。

7章

7-1 体細胞分裂は、例えばヒトの体を構成している多くの組織の細胞が分裂して増える仕組みで、分裂しようとする細胞の染色体 DNA ($2n$) はまず複製により倍化して $4n$ となった後、分裂により元の細胞と同じ $2n$ の細胞が2つできる。これに対して、減数分裂は精子や卵などの配偶子と呼ばれる生殖細胞にみられる分裂様式で、連続して2回分裂する事で n の細胞が4つできる細胞分裂である。さらに、減数分裂における第1回目の分裂(体細胞分裂に類似)で生じた相同染色体同士が重なった2価染色体形成時に、遺伝子の組み替え(交差)が起こり、元の細胞とは異なる染色体が生ずる可能性があり、遺伝的多様性を生み出す生物の戦略の1つと考えられる(図7.4参照)。

7-2 細胞の増殖は、基本的には1個の細胞が分裂によって2個の細胞に増える過程であり、この過程を細胞周期と呼ぶ。細胞周期はまさに細胞が分裂する分裂期 M 期 (mitotic phase) と分裂が終了してから次の分裂が開始されるまでの間期(interphase)からなる。さらに、間期は DNA の合成が行われる S 期(synthetic phase)、M 期の終わりから S 期までの間である G_1 期、S 期の終了から次の分裂開始までの G_2 期に分けられる。細胞周期は細胞により大きく異なり、ヒトの細胞が細胞周期を1周するには約30時間かかる。その時間配分はおよそ G_1 (6~12時間)、S (6~8時間)、 G_2 (3~4時間)、M (0.5~1時間) である。一般にがん細胞は細胞周期が短く、約20時間で1周するものもある。

7-3 動物細胞と植物細胞の細胞分裂の主な相違点は、細胞質分裂の過程に見られる。動物細胞では内部から収縮環が形成され、くびれができて分裂が進行する。一方、植物細胞ではかたい細胞壁があるため、分裂する細胞間に新たに細胞壁(細胞板)が形成されて進行する。

7-4 相同染色体間での交差により、母方と父方由来の染色体の混合が起こり、新たな遺伝子の組み合わせができることになり、結果として遺伝的多様性が生ずることになる。

7-5 ホメオティック遺伝子とは生物の体の構造形成を司る遺伝子群であり、体のある部分が本来有るべき部分とは異なる部分が形成されてしまう変異をホメオティック変異とよび、その変異の元になる遺伝子がホメオティック遺伝子である。

7-6 アポトーシスとはプログラム細胞死ともよばれ、自らが死んで行く仕組みである。多細胞生物が正常に発生して行く過程において、不要となった細胞がこの仕組みで消滅して行く。従って、正常な生物個体の形成には必要な細胞死の仕組みと言える。また、種々の外部要因により、遺伝子が損傷を受けた際にもアポトーシスが誘導されるが、遺伝子損傷を受けた細胞が生存し続けるとがん細胞へと変化する可能性があり、その様な細胞はアポトーシスにより自ら消滅していくことで、個体生存の為の防御の仕組みでもある。

7-7 良性腫瘍及び悪性腫瘍はその元にな

る細胞は、いずれも変異が生じた細胞であるが、良性腫瘍は局所に留まるのに対して、悪性腫瘍では局所から離脱して、他の組織に移行し、そこで新たな腫瘍を形成する転移能力を有する。

7-8 がんは遺伝子の変異に寄って起こる病気であることから、その原因をできるだけ排除する事が効果的予防につながる。その為には食生活に注意を払う事や禁煙が効果的である。タバコの発がん性については多くの指摘があり、禁煙ががんの最大の予防とも言われている。

7-9 クローン生物とは遺伝的に均一な生物集団を意味する。人為的に作られるクローン生物の他、自然界でも無性生殖で生まれる個体の集団や一卵性双生児もクローン生物の一種といえる。

8章

8-1 細胞膜上に存在するホルモン受容体はホルモンを特異的に受け止め（ホルモンの受容体への結合）、その指令を細胞内部に伝達する役割を担っている（細胞内シグナル伝達）。この場合、基本的にはホルモン自身は細胞内に入って行かない。ホルモンが作用する標的細胞の膜上にはホルモンを特異的に認識する受容体が存在し、この事によりホルモン作用の特異性が生ずる。

8-2 ホルモンを分泌（産生）する細胞とホルモンが作用する標的細胞の関係はさまざまであるが、パラクリン型での関係では、ホルモンを産生する細胞とその近傍に存在

し、それを受け止める標的細胞とが異なる場合である。一方、オートクリン型では自己分泌型とも呼ばれ、ホルモンを分泌した細胞自身がそのホルモン作用を受け止める仕組みであり、増殖因子に多く見られる。

8-3 ホルモンと神経伝達物質でのシグナル伝達の大きな相違点は情報伝達のあるといえる。基本的に神経系のシグナル伝達では神経細胞を介して、電気的インパルス（活動電位）によって行われるため、伝達が早く正確である。一方、ホルモンは分泌された後、場合によっては血流に乗って標的細胞に運ばれた後、標的細胞にたどり着いて作用する為、分泌から作用するまでに時間を要する。

8-4 アドレナリンが肝細胞の受容体に結合すると、その受容体の内側に存在する Gタンパク質を介してアデニル酸シクラーゼが活性化され、cAMP が形成される。このcAMP はキナーゼと呼ばれる酵素を活性化し、さらに活性化キナーゼが別のキナーゼを活性化し、徐々に活性化反応が増大して行いく（リン酸化カスケード）。最終的にグリコーゲンが分解され血中グルコースの上昇に繋がる（図 8.4 参照）。

8-5 cAMP などの二次メッセンジャーはホルモン刺激を細胞内部に伝達する役割を担っている（図 8.4 参照）。代表的な二次メッセンジャーは cAMP であり、アデニル酸シクラーゼによって作られる。

8-6 GTP 結合タンパク質（Gタンパク質）はホルモンなどのリガンドが特異的受容体

に結合した後、その刺激がアデニル酸シクラーゼの活性化に繋がる際の仲立ちをする役割を担っている（図 8.3 参照）。

8-7 チロシンキナーゼ結合型受容体では、受容体分子の一部にチロシンキナーゼを有しており、このチロシンキナーゼが細胞内シグナル伝達の役割を担っている。すなわち、ホルモンなどのリガンドが結合するとその刺激により、受容体自身のチロシンキナーゼが活性化し、自分自身のチロシン残基をリン酸化する。そのリン酸化された部分に細胞内分子が応答し、ホルモン刺激が細胞内部に伝達されていく。

8-8 ロドプシン分子内にはレチナールと呼ばれる光を吸収する色素分子が存在し、この分子は光が当たると立体構造が変化する。このレチナール分子の変化が種々の細胞内シグナル伝達を引き起こす結果、光刺激が最終的に神経細胞に伝達される。

8-9 抗原特異性の違いは、抗体の可変領域の構造（アミノ酸配列とそれに基づく立体構造）が異なることによって生み出されている（図 8.9 を参照）。これは、B 細胞における体細胞 DNA 再構成（図 8.13 を参照）によって、抗体遺伝子の可変領域をコードする部分に大きな変化を生じるためである。

8-10 細胞表面に存在する MHC タンパク質は、ウイルスなどの外来異物成分を提示するだけでなく、それぞれの個体を区別する目印にもなっており、T 細胞は両者を認識することによって免疫応答を制御している。

8-11 自然免疫においては、細菌の細胞壁に含まれるペプチドグリカンやリポ多糖などを認識することによって迅速に免疫応答を行う。一方、獲得免疫では、応答が始まるまでに時間はかかるが、特異性の高い抗体などを用いることによってより強力な防御機構をはたかせることができる。また、免疫記憶により、同じ抗原に対して 2 回目以降は迅速な対応が可能となっている。

9 章

9-1 自然選択によってある遺伝形質が生物集団内に広まるためには、もともと生物集団の中に遺伝的多様性が存在しなければならない。遺伝的多様性は、さまざまな遺伝子に変異が蓄積することによって生み出され、それが形質の多様性を生み出すことになる。環境に応じて特定の形質を有する個体がより多くの子孫を残していくと、その形質が集団内で増加し、進化へとつながっていく。

9-2 遺伝子に突然変異を引き起こす原因としては、放射線や化学物質などのように DNA に化学的な変化をもたらすものや、細胞の減数分裂やトランスポゾン、ウイルスなどによって生じる遺伝的組換えが挙げられる。前者の場合、DNA の修復過程において変異が生じる。また、後者においては、遺伝子の欠失、重複などの原因にもなっている。

9-3 類似した性質をもつアミノ酸への変異は、タンパク質の性質を大きく変えない

場合が多い。たとえば、同じ酸性アミノ酸であるグルタミン酸とアスパラギン酸の間での変異，疎水性のアルキル鎖をもつロイシンとバリンの間での変異，環状の芳香族アミノ酸であるチロシンとフェニルアラニンの間での変異などが挙げられる。

9-4 中立説は、個体にとって有利でも不利でもない中立的な変異が、進化の過程に大きな影響を与えているという説である。中立的な変異が積み重なった結果、遺伝子の多様性が集団内で蓄積され、表現型としてタンパク質のアミノ酸配列の違いを生じ、自然選択に基づく生物の進化が起こったと考えられる。DNAの塩基配列等の考え方がなかったダーウィンは、環境に応じて有利な形質を持つものが残っていく（適者生存）という、自然選択説を唱えた。選択に関して、環境に適したものが残っていく適者生存がダーウィンの説の主旨であったが、中立説では中立的な変異が大きく寄与している。そのため、中立説と自然選択の考え方は、その選択の違いが見られるが、両立できるそれぞれが独立した考え方として理解できる。

9-5 異なる種間で特定の遺伝子の塩基配列やタンパク質のアミノ酸配列を比較した場合、より昔に分かれた種どうしの方が違いがより大きくなる。これをもとに、種が分岐した年代を推定する方法。

(2011.07.25 作成)