

第1章

細胞の構造と 機能

達成目標

- 生体を構成する細胞の種類の特徴、基本構造を理解する。
- 細胞内小器官（核、小胞体、リボソーム、ゴルジ体、ミトコンドリア、リソソーム、ペルオキシソーム、中心体）や細胞骨格（アクチンフィラメント、中間径フィラメント、微小管フィラメント）の構造と機能について理解する。
- 細胞膜の構造と機能、細胞膜を介した輸送（受動輸送、能動輸送、膜動輸送）について理解する。
- 食事による栄養素の摂取量と栄養素が生体で占める割合について理解する。

1 細胞の構造

1.1 ヒトの細胞数と種類

ヒトの体を構成する細胞の数は、さまざまな細胞の体積と細胞数から推計して 37 兆 2 千億個といわれている。そのうち約 80%は、赤血球である。

ヒトの細胞は約 270 種類あると考えられ、それぞれ特殊な形態を有する (図 1.1)。1 つの受精卵が分裂して多数の細胞になり個体になる。発生したばかりの細胞は形態・機能的に同一であるが、幹細胞を経て特有の形態・機能を有する細胞に変化してさまざまな生命活動を支える組織 (上皮細胞、支持組織 [結合組織、軟骨組織、骨組織、血液・リンパ]、筋組織、神経組織) になり、組織が組み合わさって特定の機能を営む器官系 (神経系、骨格系、筋系、感覚器系、内分泌系、循環器系、呼吸器系、消化器系、泌尿器系、生殖器系) となり、個体となる。この細胞の変化を分化という。細胞には核のない赤血球、血小板や多数の核がある多核細胞もある。多核細胞には、骨格筋細胞、破骨細胞、肝細胞、移行上皮細胞の表層にある細胞、合胞体栄養細胞などがある。

細胞は基本的に共通の構造である細胞膜、細胞質 (細胞膜と核膜の間の領域)、細胞内小器官 (細胞内部の分化した形態や機能を持つ構造体)、細胞質ゾル (細胞内小器官を囲む細胞質の液状部分)、細胞の形状や運動にかかわる細胞骨格を持っている (図 1.2)。細胞質ゾルには栄養素、酵素、電解質が含まれ、多くの代謝反応が行わ

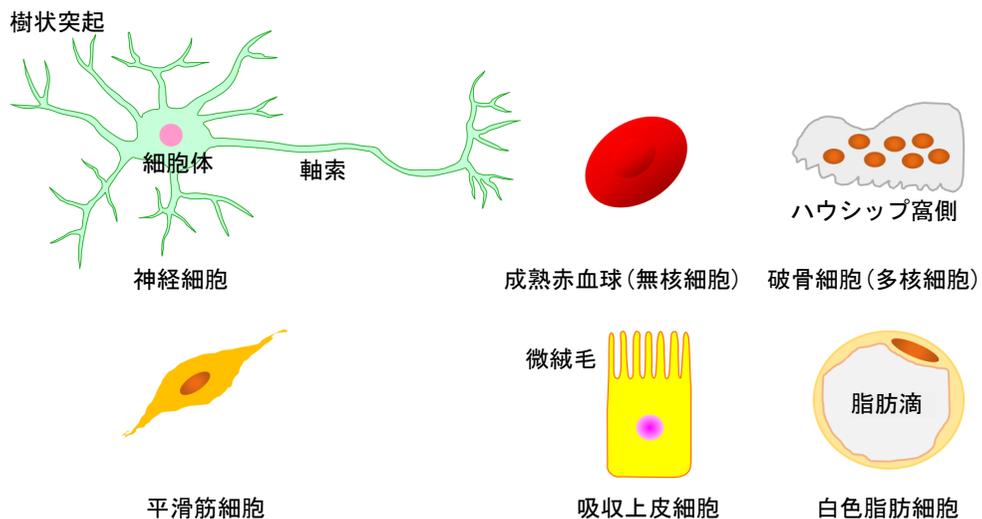


図 1.1 細胞の多様な形態

れている。これらにはグルコースをピルビン酸や乳酸まで分解する解糖系、ペントースリン酸経路、グルクロン酸経路、グリコーゲンの合成・分解系や飽和脂肪酸であるパルミチン酸の合成系などが含まれる。

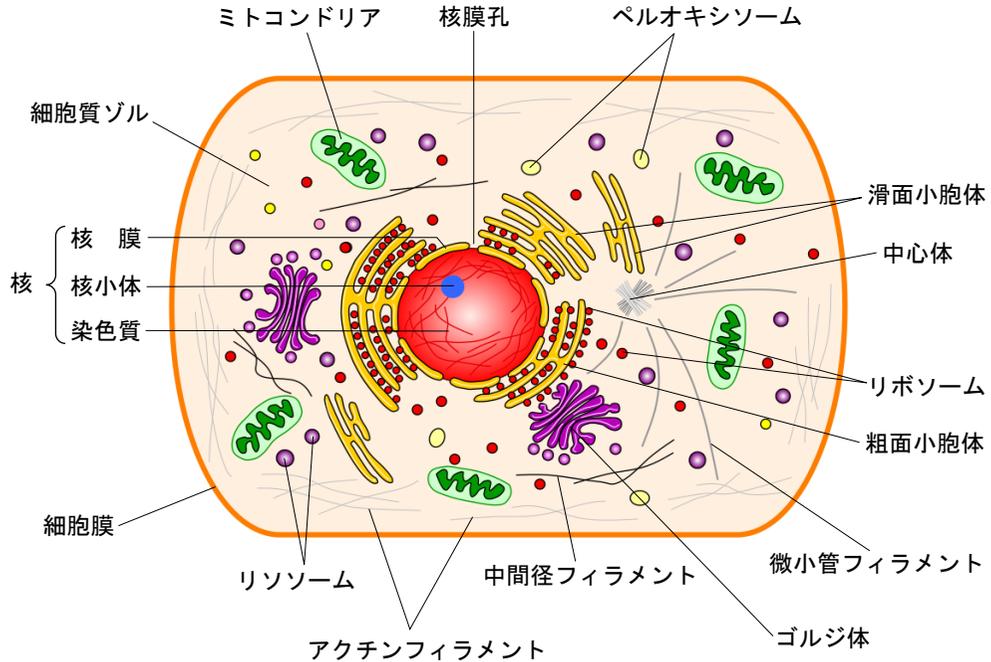


図 1.2 細胞の基本構造と細胞内小器官

例題 1 細胞に関する記述である。正しいものの組み合わせはどれか。1つ選べ。

1. すべての細胞には、核がある。
2. 核は、細胞質の中にある。
3. 細胞質の中に細胞内小器官がある。
4. 多分化能を持つ幹細胞が特有の形態・機能を有する細胞に変化することを分化という。
5. 解糖系の反応は、核で行われる。

(1) 1と2 (2) 2と3 (3) 1と3 (4) 3と4 (5) 4と5

解説 1. 赤血球や血小板には核はない。 2. 細胞質は、細胞膜と核膜の間の領域である。 5. 解糖系の反応は細胞質ゾルで行われる。

解答 (4)

1.2 細胞内小器官とそのはたらき

(1) 核

内膜と外膜からなる二重の脂質二重層構造からなる**核膜**で覆われ、体細胞では遺伝情報を支配する DNA が 60 億塩基対含まれている。DNA はヒストンたんぱく質と結合して折り畳まれて染色質（クロマチン）という複合体を形成している（第 15 章）。DNA から転写された mRNA（メッセンジャー RNA）は核膜にある**核膜孔**とよばれる小孔を通して細胞質に移動する。核内にある**核小体**は、rRNA（リボソーム RNA）の転写や 4 種類の rRNA と 79 種類のリボソームたんぱく質からなるたんぱく質合成装置であるリボソームの構築が行われているところで**仁**ともいわれる。核膜の外膜は小胞体と連結している。

(2) 小胞体

小胞体は細胞内に張り巡らされたチューブ状の網目構造を持ち、たんぱく質合成を行うリボソームが表面に付着している粗面小胞体と結合していない滑面小胞体がある。

粗面小胞体では、①核膜孔から出てきた mRNA の情報をもとに膜表面のリボソームで分泌たんぱく質や膜たんぱく質の合成が行われる。②リボソームで合成されたたんぱく質は、小胞体内で糖鎖の付加などの化学修飾が行われる。③リボソームで合成されたたんぱく質を正しく折り畳んで立体構造の形成を行う。ジスルフィド結合の形成も行われる。正しく折り畳めなかったたんぱく質に**シャペロンたんぱく質**が結合して小胞体内に留め、正しい構造がとれるようにする。できなければそのたんぱく質は分解される。④多くのたんぱく質は輸送小胞に包まれ、ゴルジ体へ運搬される。

滑面小胞体では、ステロイドホルモンや脂質の合成、細胞質ゾルで合成された脂肪酸パルミチン酸の鎖長の延長や二重結合の付加、薬物の水酸化（-OH）やグルクロン酸抱合（結合することで親水性にして体外に排出させやすくする）などの解毒反応が行われる。またシグナル伝達に重要な細胞内 Ca^{2+} の貯蔵・放出を行う。

(3) ゴルジ体

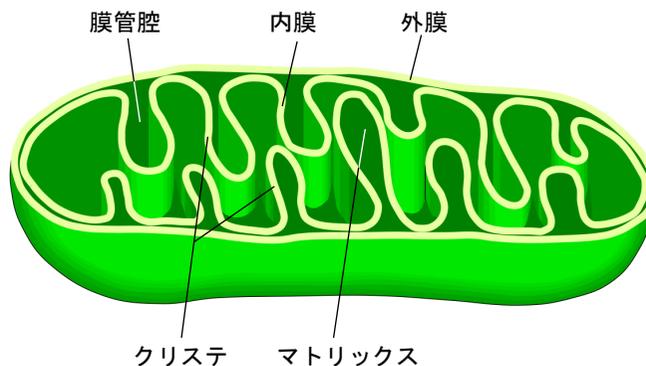
円形の扁平な袋が重なった構造をしている。粗面小胞体で作られたたんぱく質にさらに高度な糖鎖や脂質の付加、リン酸化修飾をする。たんぱく質を濃縮し、袋の端がちぎれてゴルジ小胞を形成しゴルジ体から放出され（**出芽**）、細胞膜、細胞内小器官などそれぞれの目的地へ輸送する。物質を膜に包み込んでゴルジ小胞となり細胞外に放出する仕組みを**エキソサイトーシス**という。例えばホルモンなどを含んだ分泌小胞が細胞膜と融合してホルモンが細胞外に分泌される。

(4) 遊離リボソーム

小胞体に結合せず、細胞質ゾルに浮かんでいるリボソームで、主に細胞質ゾルで働くたんぱく質を合成している。

(5) ミトコンドリア

二種類の膜（外膜と内膜）に覆われており、好氣的な（酸素を用いた）反応により、栄養素のエネルギーを ATP のエネルギーに変換する場所で、1つの細胞内に数百～数千個のミトコンドリアが存在する。外膜はポリリンという脂質二重膜を貫通する輸送たんぱく質が多数含まれており、5 kDa 以下の分子を通過させるふるいとして働く。これより大きな分子は、特異的な膜輸送たんぱく質により膜間腔に通過させる。内膜は呼吸鎖（電子伝達系）反応が行われる場で ATP 合成酵素が含まれる。内膜はクリステとよばれるひだ状構造をしているので表面積は非常に大きくなり、ここに多くの呼吸鎖反応にかかわる分子を配置することができる。内膜内側の空間をマトリックスとよび、数百種類の酵素が濃縮されて混在しており、クエン酸回路、脂肪酸の β 酸化、グルタミン酸の酸化的脱アミノ反応（アンモニアの生成）にかかわる酵素などが含まれている（[図 1.3](#)）。ミトコンドリアは、遊離リボソームや粗面小胞体のリボソームとは異なる独自のリボソームを持ち、たんぱく質合成が行われている。また自己複製できる独自の環状 DNA を持ち、約 16,000 塩基対に 37 個の遺伝子がコードされている。受精の際には、父親由来のミトコンドリアは卵に持ち込まれないため、ミトコンドリアは母親由来である。



内膜は呼吸鎖反応が行われる場で ATP 合成酵素が含まれる。クリステは内膜のひだ状構造のことをいう。マトリックスではクエン酸回路、脂肪酸の β 酸化などが行われる。膜管腔は H^+ 濃度が高く H^+ の電気化学ポテンシャルエネルギーを用いて物質輸送が行われる。

図 1.3 ミトコンドリア

(6) リソソーム

リソソームは、膜で囲まれた小胞で酸性 (pH5.0) の内部にはたんぱく質、糖質、脂質、核酸などを加水分解する 40 種類以上の酵素を含み、エンドサイトーシスで細胞に取り込まれた小胞と融合して分解する。また不要となった細胞内小器官を隔離膜小胞で取り囲んだオートファゴソームと融合して分解 (自食作用オートファジー) を行う。

(7) ペルオキシソーム

膜に包まれた球状の構造で内部には多様な物質の酸化反応を行う酸化酵素が含まれている。酸化反応の際に生じる有害な過酸化水素を即座にカタラーゼによって分解し、無毒な水と酸素にする。通常、ミトコンドリアで脂肪酸の β 酸化 (脂肪酸を分解してエネルギー源となるアセチル CoA を生成) が行われるが、ペルオキシソームでは、ミトコンドリアでは分解されない極長鎖脂肪酸 (炭素数 22 以上) の β 酸化も行っている。また肝臓や腎臓では、ペルオキシソームでアミノ酸オキシダーゼによるアミノ酸の酸化的脱アミノ反応も行われている。この際に生じる有毒な過酸化水素もカタラーゼで水に変える。

(8) 細胞骨格

細胞質に広がるたんぱく質からなる線維で複雑な網目構造をしている。細胞が構成成分を細胞内に秩序正しく配置したり、多様な形をとったり、外部環境と機械的に相互作用して細胞を所定の位置に固定したり、調和のとれた運動をしたりするのに必要である。太さの異なる 3 種類の細胞骨格が存在する。

アクチンフィラメント (直径約 5~9 nm) は球状たんぱく質のアクチン (G-アクチン) が重合して線維状 (F-アクチン) になり、この 2 本の線維が螺旋状の線維を形成している。細胞全体やその一部の運動 (筋収縮、細胞分裂) を助けるとともに、細胞の形を決定し安定させている。**中間径フィラメント** (直径約 10 nm) は、3 種類の細胞骨格のうち、最も丈夫で耐久力が強い。少なくとも 50 種類の細胞特異性のある中間径フィラメントが存在している (ケラチンフィラメント、ニューロフィラメント、デスミン、ビメンチン、神経膠細胞線維性酸性たんぱく質 [GFAP] など)。**微小管フィラメント** (直径約 25 nm) は、2 種類のチューブリンというたんぱく質から構成され、長い中空のシリンダー構造をしている。微小管の短縮により染色体が動く。また微小管は小胞の物質輸送に関与している。

(9) 中心体

植物細胞には認められない。中心体は、核の近くに配置し、細胞周期の DNA 合成期 (S 期) 頃より複製されて有糸分裂期 (M 期) には核の両片側に分かれる。中心体

から微小管が外側に向かって放線状に伸びており、成長したり、退縮あるいは消失したりする。紡錘糸形成に重要な役割をする。

例題 2 細胞小器官とそれらの機能の組み合わせである。正しいのはどれか。

1. 中心体 — 細胞質の異物を分解処理する。
2. ゴルジ装置 — 細胞分裂の際に染色体を移動させる。
3. ミトコンドリア — ATP を合成する。
4. 粗面小胞体 — 細胞骨格を構成する。
5. リソソーム — たんぱく質合成の場となる。

解説 1. 紡錘糸の形成に重要な役割を果たす。 2. たんぱく質の高度な糖鎖修飾や部分的分解、たんぱく質を濃縮して小胞に詰めてそれぞれが働く場所に輸送される。 4. たんぱく質の合成が行われる。 5. 細胞内の不要なものや細胞に取り込んだものを加水分解する。

解答 3

2 生体膜の構造と機能

細胞表面の細胞膜（原形質膜）や細胞内小器官の膜を含めて生体膜という。生体膜の95%は細胞内小器官を取り巻く膜である。生体膜は共通の構造を持っていて内部環境を外界から隔てる役割を果たしながら、物質の出入りの調節、膜にある酵素による物質代謝、膜にある受容体を介した細胞内や細胞内小器官内への情報伝達を行っている。

2.1 生体膜の構造

細胞膜は主として脂質とたんぱく質からなるが、外界と隔てる役割を果たしているのは主として二重層を形成したリン脂質で疎水性の炭化水素を互いに向けあい、親水性の極性を持つリン酸基を外側に配置した5~10 nmの膜構造を持つ（[図 1.4](#)）。このリン脂質の隙間を埋めて生体膜の強度を保つのがコレステロールで生体膜にはコレステロールが必須である。物質の出入りの調節にはたんぱく質が関与している。生体膜のリン脂質は側方拡散する為、生体膜は流動性を持ち、膜に浮かんだ膜たんぱく質も移動し得る（流動モザイクモデル）。

生体膜におけるたんぱく質の占める割合は細胞種や細胞内小器官により異なり、重量比で平均して約50%を占めるが、ミトコンドリア内膜では75%にも達する。し

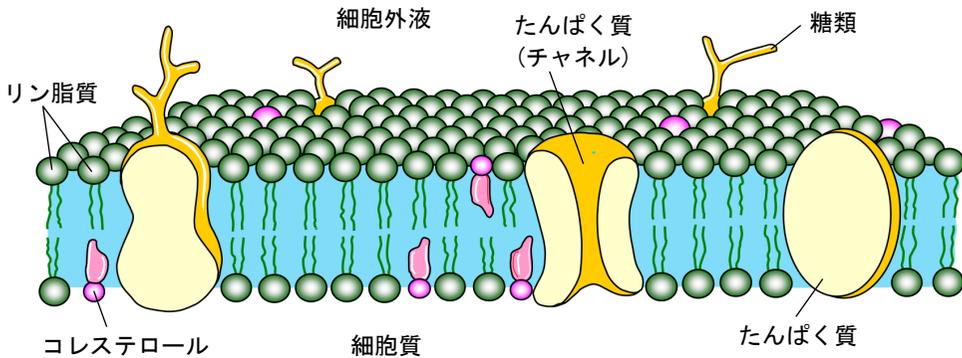


図 1.4 生体膜の構造

しかし、リン脂質は分子量が小さいため、数にすると生体膜には平均してリン脂質 50 分子当たりたんぱく質が約 1 分子存在することになる。また生体膜の全脂質に対するコレステロールの重量比は小胞体で約 6%、ミトコンドリアで約 3%であるが、赤血球では約 20%と高い。また細胞膜は糖質を含んでいる。糖質は膜の外側に位置して他の細胞や分子に対する認識部位として機能する。

2.2 物質輸送

酸素、窒素、二酸化炭素などの気体や脂溶性ビタミン、ステロイドホルモンなどの脂溶性分子は生体膜の疎水性領域を直接通って**単純拡散**する。また水や尿素のような小型で電荷のない極性分子はかなり遅い速度だが脂質二重層を越えて拡散することができる。しかし、細胞に必要なイオン、アミノ酸、糖やこれより大きい分子は通さない。これらの分子の取り込みには特別な機構が存在する。

(1) 受動輸送と能動輸送

生体膜を介した輸送には、単純拡散する分子より大きかったり、脂溶性を示さない物質を膜たんぱく質の働きを介して濃度勾配に従って輸送する方法がある。これを**促進拡散**という。単純拡散も促進拡散もエネルギーを利用する輸送方法であり**受動輸送**という。特定のイオンを濃度勾配に従って通過させる膜たんぱく質を**チャネル**という。肝臓では、グルコースは特異的な輸送体(トランスポーター)である GLUT2 を膜内に持ち、摂食後は、血中から GLUT2 を用いてグルコースを選択的に肝細胞に取り込む。

濃度勾配に逆らってエネルギーを利用して輸送する方法を**能動輸送**という。利用するエネルギーには ATP、電気化学ポテンシャルなどがある。細胞は、細胞内の Na^+ 濃度 (10 mM) を低く、 K^+ 濃度 (140 mM) を高く、細胞外の Na^+ 濃度 (145 mM) を高く、 K^+ 濃度 (5 mM) を低く保っている。細胞膜では Na^+ の電気化学ポテンシャルを利用し

て物質の輸送をしている。Na⁺が電気化学的勾配に従って移動することで別の分子を濃度勾配に逆らって移動させることができる。このような輸送を**共役輸送**という。2つの分子が膜を同じ方向に輸送される場合を**共輸送 (symport)**、逆の方向に輸送される場合を**対向輸送 (antiport)**という (図 1.5)。

物質輸送で細胞内に取り込まれたNa⁺を細胞外に吐き出すために細胞は、ATPのエネルギーを利用して**Na⁺/K⁺-ATPase (Na⁺ポンプ)**で汲み出している (図 1.5)。

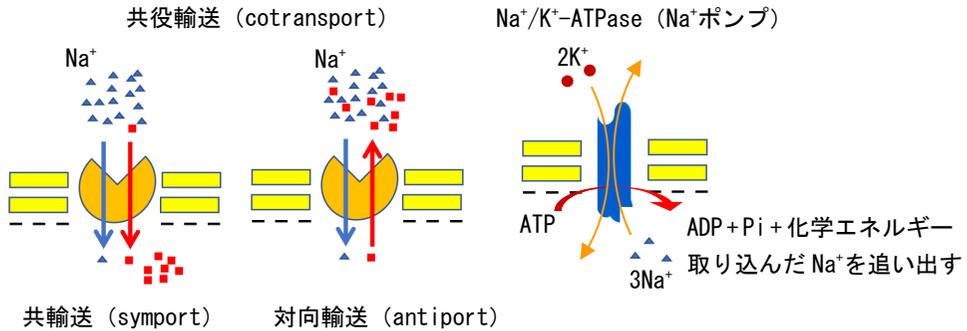


図 1.5 共役輸送体と Na⁺ポンプ

(2) 膜動輸送

ホルモンや分泌たんぱく質などを膜に包み込んで細胞外に放出する仕組みをエキソサイトーシスというが、反対に物質を膜に包み込んで細胞内に取り込む仕組みをエンドサイトーシスという。また、白血球やマクロファージ等が細菌を取り込むことを食作用 (ファゴサイトーシス)、一般の細胞に見られる比較的小さな粒子や液体を取り込むことを飲作用 (ピノサイトーシス) という。これらの小胞の形成による**膜動輸送**は、ATPの加水分解エネルギーを必要とする能動輸送である (図 1.6、詳しくは図 11.1 (A) 参照)

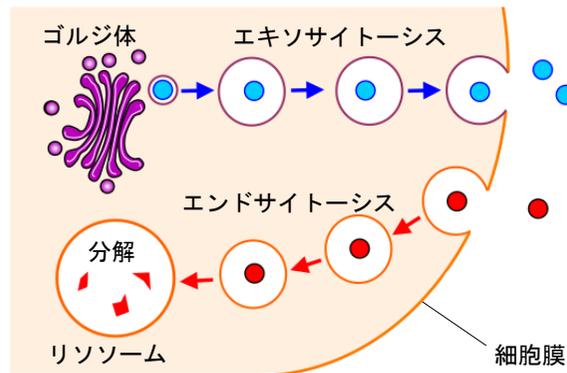


図 1.6 エキソサイトーシスとエンドサイトーシス

例題 3 生体膜の構造や機能に関する記述である。正しいのはどれか。

1. 生体膜の基本構造は、トリアシルグリセロールの二重層である。
2. 生体膜の強度を保つために、コレステロールは必要である。
3. 水溶性の情報伝達物質は、細胞膜に存在する受容体には結合しない。
4. 細胞膜には、 Na^+ イオンを細胞外に能動輸送する酵素が存在する。
5. 分泌たんぱく質は、エンドサイトーシスによって細胞外に放出される。

解説 1. リン脂質の二重層である。 3. インスリンやグルカゴンなどの多くの水溶性ホルモンの受容体が細胞膜に存在する。 5. エキソサイトーシスによって細胞外に放出される。 解答 2、4

3 ヒトの生体成分

ヒトの生体成分で重量比が最も多いのは水で、年齢、性、肥満度によって異なるが、新生児の約80%、乳児の約70%、男子成人の約60%、女子成人の約50%、高齢男性の約50%、高齢女性の約45%を占める。女性は体脂肪率が高いので男性より水分量が少なくなっている。成人では生体の水分の2/3（体重の約40%）は細胞内液で、1/3（体重の約20%）は組織の間に存在する組織液、消化液、血漿、リンパ液、脳脊髄液などの細胞外液である。水以外の生体成分の多くは有機物で乾燥重量の96%を占め、残りの約4%は無機物である。

有機成分にはたんぱく質、脂質、炭水化物（糖質と食物繊維）、核酸などがあり、たんぱく質が約20%、脂質が約15%を占めるが、炭水化物は1%にも満たない。一方、令和元年国民健康・栄養調査結果の概要によると、調査した全男女年齢層のたんぱく質、脂質、炭水化物、ミネラルの摂取割合は、たんぱく質18%、脂質15%、炭水化物65%（糖質61%）、ミネラル2%であった。炭水化物が栄養摂取量としては最も多いが、主要なエネルギー源として利用され、肝臓、筋肉にグリコーゲンとしてわずかに貯蔵されるに過ぎない。肝臓にはその重量の5%の約100g、筋肉には同様に1%の約250gが貯蔵されている。

糖質は水酸基（-OH）を多く持ち、この水酸基が、水分子と水素結合して水和するので体積が増し、貯蔵には向いていない。過剰に摂取された糖質は中性脂肪に変換されて脂肪細胞に貯蔵される。また最も摂取量の多いミネラルはナトリウムであるが、生体含量の最も多いのはカルシウムで1.4%を占める。その99%は骨と歯にヒドロキシアパタイトとして存在している。

例題 4 人体を構成する成分についての記述である。正しいのはどれか。

1. 最も含量の多い人体構成成分は水である。
2. 糖質は2番目に多い人体構成成分である。
3. 人体に含まれるミネラルの割合は、食事として摂取したミネラルの割合とほぼ等しい。
4. 体内のカルシウムの90%以上が、細胞内に存在している。
5. 過剰な糖質を摂取している場合、体内のグリコーゲン量は体重の30%を超える。

解説 2. 1番多いのはたんぱく質で次は脂質である。 3. 人体で最も多いミネラルはカルシウムだが、最も摂取するのはナトリウムである。 4. 骨に存在している。 5. 過剰な糖質は中性脂肪として貯蔵される。体内のグリコーゲン量は体重の1%にも満たない。

解答 1

章末問題

1 ミトコンドリアに関する記述である。正しいものの組み合わせはどれか。

1. 自己複製することができる。
 2. 成熟赤血球は、ミトコンドリアを持つ。
 3. 外膜は、クリステを形成している。
 4. ミトコンドリア DNA は、母親由来である。
- (a) 1と2 (b) 1と3 (c) 1と4 (d) 2と3 (e) 3と4 (第24回国家試験21問)

解説 1. 正しい。ミトコンドリアは、独自の環状DNAを持つ。 2. 成熟赤血球は、核、ミトコンドリア、リボゾーム、ゴルジ体、小胞体を持たない酸素の輸送に特化した細胞。 3. クリステは内膜の襞状構造のこと。 4. 正しい。受精の際、父親由来のミトコンドリアは消失する。

解答 (c)

2 リソソームの機能に関する記述である。正しいのはどれか。

1. ATPの産生
 2. 紡錘系の形成
 3. たんぱく質の合成
 4. 細胞内異物の処理
 5. ステロイドホルモンの合成
- (第25回国家試験21問)

解説 1. ATPの産生は、細胞質ゾルとミトコンドリア内膜である。 2. 紡錘系の形成は、中心体が重要な役割を果たす。 3. たんぱく質の合成は、リソソームで行われる。 5. ステロイドホルモンの合成は滑面小胞体で行われる。

解答 4

3 ヒトの細胞に関する記述である。正しいのはどれか。1つ選べ。

1. リソソームでは、ATPの合成が行われる。
2. 細胞膜のリン脂質は、親水性部分が向き合って二重層をつくる。
3. ゴルジ体では、遺伝情報の転写が行われる。
4. 滑面小胞体では、脂質の代謝が行われる。
5. 細胞内液のNa⁺濃度は、細胞外液より高い。

(第26回国家試験 21問)

解説 1. 取り込んだ物質の分解が行われる。ATPの合成が行われるのは、細胞質ゾルとミトコンドリア内膜。 2. 疎水性部分が向き合って二重層をつくる。 3. たんぱく質の高度な糖鎖修飾や濃縮が行われる。遺伝情報の転写が行われるのは核である。 5. 細胞外液より低い。 解答 4

4 ヒトの細胞の構造と機能に関する記述である。正しいのはどれか。1つ選べ。

1. 細胞膜は、リン脂質の二重層からなる。
2. 赤血球には、ミトコンドリアが存在する。
3. リソソームでは、たんぱく質の合成が行われる。
4. 滑面小胞体では、グリコーゲン合成が行われる。
5. iPS細胞（人工多能性幹細胞）は、受精卵を使用する。

(第28回国家試験 21問)

解説 2. 成熟赤血球は核、ミトコンドリア、リポソーム、ゴルジ体、小胞体を持たない酸素の輸送に特化した細胞である。 3. リソソームでは、不要物の処理が行われる。 4. 脂質の合成が行われる。グリコーゲン合成が行われるのは細胞質ゾルである。 5. iPS細胞は体細胞を使用し、受精卵を使用するのはES細胞（胚性幹細胞）である。 解答 1

5 ヒトの細胞の構造と機能に関する記述である。正しいのはどれか。1つ選べ。

1. ミトコンドリアでは、解糖系の反応が進行する。
2. 粗面小胞体では、ステロイドホルモンの合成が行われる。
3. ゴルジ体では、脂肪酸の分解が行われる。
4. リソソームでは、糖新生が行われる。
5. iPS細胞（人工多能性幹細胞）は、神経細胞に分化できる。

(第29回国家試験 21問)

解説 1. クエン酸回路、電子伝達系、β酸化などの反応が進行する。解糖系の反応は細胞質ゾルで進行する。 2. たんぱく質の合成が行われる。ステロイドホルモンの合成が行われるのは滑面小胞体である。 3. たんぱく質の高度な糖鎖修飾や濃縮が行われる。脂肪酸の分解（β酸化）が行われるのはミトコンドリアのマトリックスである。 4. 細胞内物質や細胞外から取り込んだ物質を分解する。糖新生が行われるのは細胞質ゾルとミトコンドリアである。 解答 5

6 細胞内での代謝とそれが行われる部位の組み合わせである。正しいのはどれか。1つ選べ。

- | | |
|----------------------|--------------------|
| 1. クエン酸回路 — 細胞質ゾル | 4. 電子伝達系 — ミトコンドリア |
| 2. β酸化 — リポソーム | 5. 解糖 — ゴルジ体 |
| 3. たんぱく質合成 — プロテアソーム | |

(第32回国家試験 18問)

解説 1. クエン酸回路は、ミトコンドリア内で行われる。 2. β 酸化は、ミトコンドリア内で行われる。 3. たんぱく質合成は粗面小胞体に付着したリボソームや遊離リボソームで行われる。 5. 解糖は細胞質ゾルで行われる。 解答 4

7 ヒトの細胞の構造と機能に関する記述である。最も適当なのはどれか。1つ選べ。

1. 細胞膜には、コレステロールが含まれる。
2. 核では、遺伝情報の翻訳が行われる。
3. プロテアソームでは、たんぱく質の合成が行われる。
4. リボソームでは、グリコーゲンの合成が行われる。
5. ゴルジ体では、酸化的リン酸化が行われる。

(第35回国家試験 17回)

解説 2. mRNA前駆体(hnRNA)を合成する転写が行われ、スプライシングにより成熟mRNAになる。翻訳が行われるのはリボソームである。 3. たんぱく質の分解が行われる。 4. たんぱく質の合成が行われる。グリコーゲンの合成が行われるのは細胞質ゾルである。 5. たんぱく質の高度な糖鎖修飾や濃縮が行われる。酸化的リン酸化が行われるのはミトコンドリアである。 解答 1

8 生体膜の構造や機能に関する記述である。正しいのはどれか。

1. 生体膜の基本構造は、ジアシルグリセロールの二重層である。
2. 水素イオンの濃度勾配を利用して、ATPを合成する酵素は、ミトコンドリア内膜に存在する。
3. ATPのエネルギーを利用して、 Na^+ イオンを細胞内に能動輸送する酵素は、細胞膜に存在する。
4. 不飽和脂肪酸は、生体膜を構成する脂質には含まれていない。
5. コレステロールは、正常な細胞膜には含まれていない。

(第18回国家試験 106問)

解説 1. リン脂質の二重層である。 3. Na^+ イオンを細胞外に能動輸送する酵素(ナトリウム-カリウムATPaseまたはナトリウム-カリウムポンプ)は、細胞膜に存在する。 4. 不飽和脂肪酸は、生体膜を構成する脂質に含まれている。 5. 含まれている。 解答 2

第2章

糖質

達成目標

- 単糖の基本的な化学構造、およびアルドースとケトースの違いを理解する。
- 三炭糖、五炭糖、六炭糖の代表的な例を覚える。
- 単糖同士の結合であるグリコシド結合とはどのようなものであるかを理解する。
- 少糖類の代表的な例とそれらの構成単糖を覚える。
- ホモ多糖とヘテロ多糖の違いを理解する。
- 多糖であるでんぶんの基本構造と種類、セルロースとの違いを理解する。

1 糖質とは

糖質は、生物に広く存在する有機化合物である。食事として摂取した糖質には消化されるものと消化されないものがある。消化される糖はヒトの主要なエネルギー源となり、消化できないものは**食物繊維**といわれる。糖質は、基本的に組成式 $C_xH_{2y}O_y$ で表せるが、 $C_x(H_2O)_y$ とも書けるため、水が付加した炭素という意味で**炭水化物**という馴染みのある名前でもよばれてきた。

糖質の基本単位はD-グルコースなどの**単糖類**であり、この単糖が2個から10個程度結合（重合）した**少糖類**、さらに多数の単糖が結合した**多糖類**がある。食品において消化される主要な少糖類は、ショ糖（砂糖）や乳糖などの二糖類であり、多糖類としてはでんぷんである。

例題 1 糖質に関する記述である。正しいのはどれか。1つ選べ。

1. 食事として摂取されたすべての糖質（炭水化物）は、消化される。
2. 糖質の基本単位は、単糖である。
3. 糖質は、その分子内のアルデヒド基やケトン基に基づく強い酸化作用を持つ。
4. 単糖が2個以上結合したものを多糖類とよぶ。
5. でんぷんは、少糖類である。

解説 1. 食事中の多くの種類の多糖は、消化されない食物繊維である。 3. アルデヒド基やケトン基は、強い還元性を持つ。 4. 単糖が数個結合したものは、少糖類である。 5. でんぷんは、多糖類である。 **解答 2**

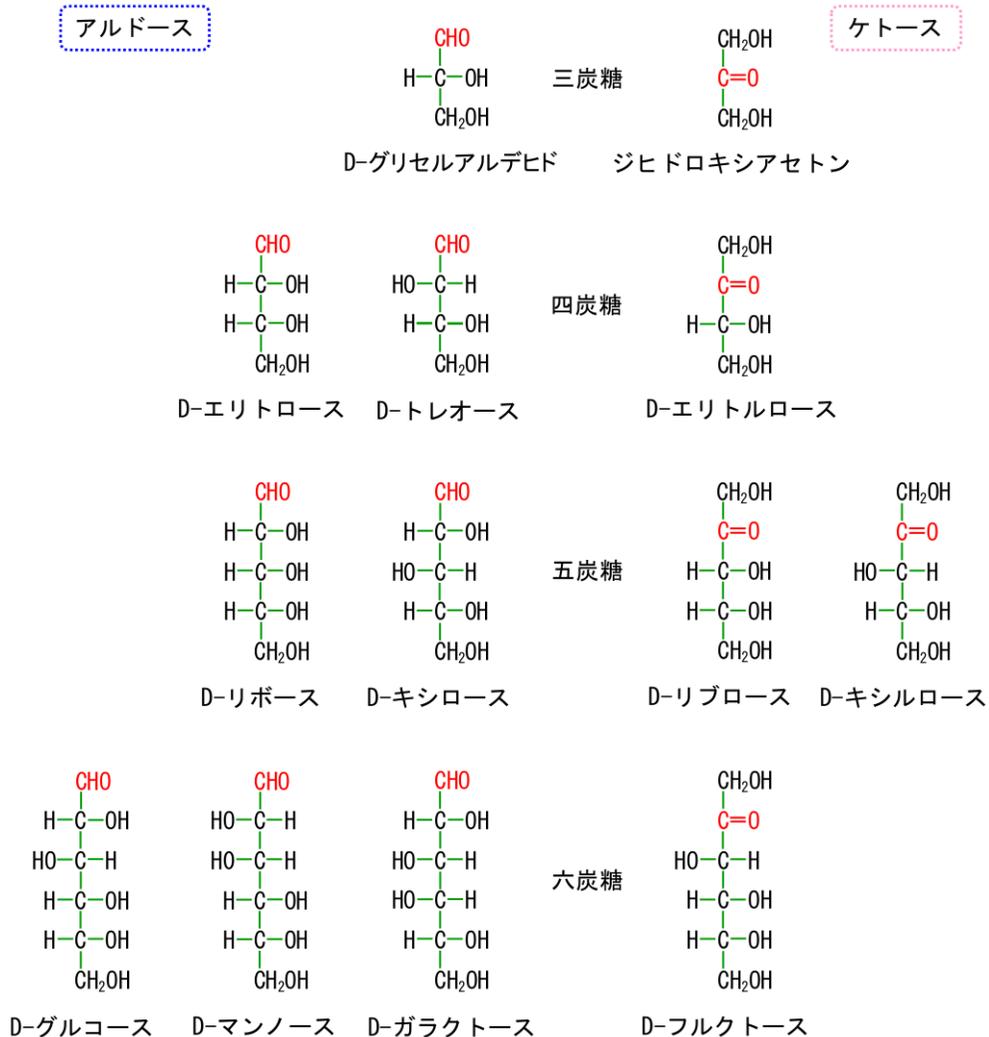
2 単糖

2.1 単糖とは

単糖は、これ以上は加水分解されない糖質の最小単位である。単糖は、含まれる炭素数により三炭糖（トリオース）、四炭糖（テトロース）、五炭糖（ペントース）、六炭糖（ヘキソース）、七炭糖（ヘプトース）に分類される。三炭糖以外の単糖は、結合している原子団が4つともすべて異なっている炭素原子（**不斉炭素原子**という）を持っている。糖を化合物名でよぶ場合、三炭糖以外の単糖の場合、語尾に「オース (ose)」がつく。

2.2 アルドースとケトース

単糖は、複数の水酸基 (-OH) と強い還元性を持つアルデヒド基 (-CHO) ないしケトン基 (-C=O) を有しており、これらの官能基が糖質の基本的な化学的性質を特徴づけている。アルデヒド基を持つ単糖をアルドース、ケトン基を持つ単糖をケトースという。三炭糖のアルドースはグリセルアルデヒドで、三炭糖のケトースはジヒドロキシアセトンである (図 2.1)。



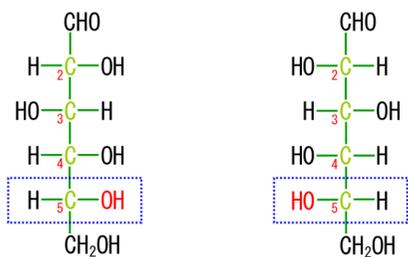
アルドースは1番炭素にアルデヒド基 (-CHO) を有する糖であり、ケトースは2番炭素にケトン基 (-C=O) を有する糖である。

図 2.1 アルドースとケトース

2.3 光学異性体 (D型とL型)

単糖を直鎖式で表したとき、アルデヒド基ないしケトン基から最も遠い不斉炭素原子に結合した水酸基 (-OH) が右にある場合を **D型**、左にある場合を **L型** という (図 2.2)。このように、右手と左手のような関係の構造体を **光学異性体** という。天然の糖は基本的には D型である。

D型の三炭糖から六炭糖までの主なアルドースとケトースを直鎖式で示した (図 2.1)。三炭糖のグリセルアルデヒドとジヒドロキシアセトンでは、グリセルアルデヒドのみ D型と L型が存在する。



D-グルコース **L-グルコース**

D型とL型を決定している部分を破線で囲っている。
緑字で示された炭素は不斉炭素を示す。

図 2.2 D型グルコースとL型グルコース

例題 2 単糖の分類に関する記述である。正しいのはどれか。1つ選べ。

1. 単糖には含まれる炭素数により、二炭糖から七炭糖まで存在する。
2. 単糖には、アルデヒド基を持つアルドースとケトン基を持つケトースがある。
3. D-グルコースはケトースで、D-フルクトースはアルドースである。
4. 核酸の成分である D-リボースは、六炭糖の代表的な例である。
5. 同じ炭素数のケトースでは、アルドースに比べてその種類が多い。

解説 1. 最も小さな単糖は三炭糖で、グリセルアルデヒドなどがある。 3. D-グルコースはアルドース、D-フルクトースはケトースである。 4. D-リボースは五炭糖である。 5. 六炭糖アルドースはD型で8種類 (2³個) あるのに対し、六炭糖ケトースのD型は4種類 (2²個) である。 **解答 2**

例題 3 単糖の光学異性体に関する記述である。正しいのはどれか。1つ選べ。

1. 単糖には不斉炭素が必ず2つ以上存在する。
2. 六炭糖には必ず不斉炭素が4個以上ある。
3. 糖のD型かL型かは、アルデヒド基ないしケトン基から最も遠い不斉炭素の立体配置で決定する。
4. 糖にはD型とL型があるが、生体内の糖の大部分はL型である。
5. D-グルコースとL-グルコースは、一箇所の不斉炭素で水酸基と水素の位置が異なっている。

解説 1. 最も小さな糖である三炭糖アルドースの不斉炭素は1つである。 2. 六炭糖ケトースの不斉炭素は3個である。 4. 生体内の糖の大部分はD型である。
5. D-グルコースとL-グルコースは、すべての不斉炭素で水酸基と水素の位置が逆になる鏡像体である。

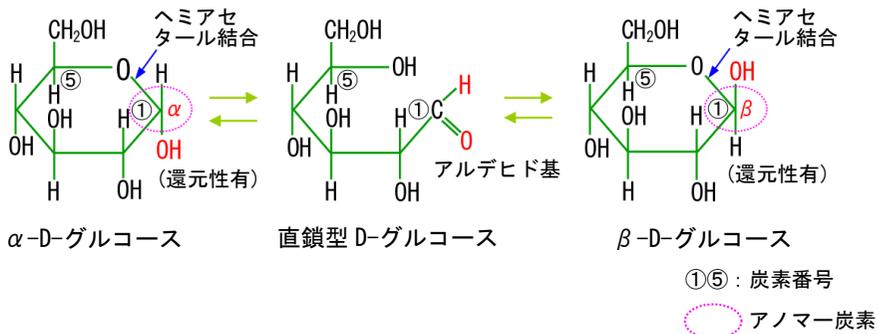
解答 3

2.4 アノマー (α 型と β 型)

前項では単糖を直鎖状分子として扱ってきたが、五炭糖以上ではアルデヒド基ないしケトン基が、同一分子内の水酸基と反応して共有結合を形成して環状構造をとる。D-グルコースの環状構造をハース投影式で示した(図2.3)。

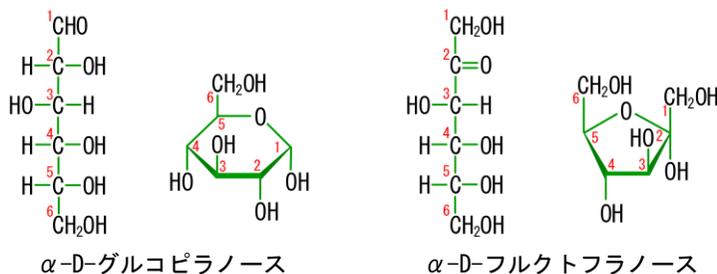
直鎖構造が環状構造になる際に、新たに形成される結合を**ヘミアセタール結合**といい、D-グルコースの1番炭素には新たな水酸基が形成され不斉炭素になる。この1番炭素に形成された立体異性体を**アノマー**という。新たに形成されたアルデヒド基由来の水酸基が、下に来た場合 α 型(α アノマー)、上に来た場合 β 型(β アノマー)として区別する。ヘミアセタール結合は断裂を繰り返すため α 型と β 型は相互変換している。

糖分子は大半が環状構造で存在しており、D-グルコースなど六炭糖アルドースの場合六員環構造をとり、**ピラノース**とよばれ、D-リボースなど五炭糖アルドースは五員環構造をとり、**フラノース**とよばれる(六角形の有機化合物「ピラン」と五角形の「フラン」が語源)(図2.4)。D-フルクトースなど六炭糖ケトースの場合、2番炭素がケトン基となっているため、五員環のフラノース構造をとることが多い。



アルデヒド基(-CHO)は強い還元性を持ち反応性が高いため、D-グルコースの場合⑤番の炭素の水酸基(-OH)と分子内縮合(ヘミアセタール結合という)して環状構造をとる。このとき、新しく水酸基(-OH)ができ、水酸基が下の場合を α 型、上の場合を β 型とよぶ。

図 2.3 D-グルコースのアノマー

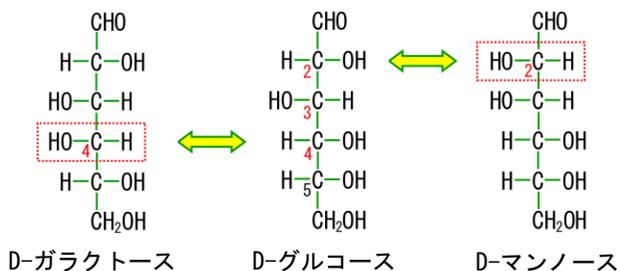


D-グルコースに六角形の構造を持つ糖の総称である「ピラノース」をつけた α -D-グルコピラノースとD-フルクトースに五角形の構造を持つ糖の総称である「フラノース」をつけた α -D-フルクトフラノースを示している。

図 2.4 ピラノースとフラノース

2.5 エピマーとは

単糖のD型とL型を決定している不斉炭素原子以外の不斉炭素原子において、一箇所だけ水酸基の立体配置が異なる単糖を**エピマー**とよぶ。D-グルコースの場合、4番炭素の立体配置が異なるD-ガラクトースや2番炭素の立体配置が異なるD-マンノースがD-グルコースのエピマーとなる(図 2.5)。アノマーである α -D-グルコースと β -D-グルコースは一番炭素の立体配置のみが異なるため、エピマーの一種である。



D-グルコースの水酸基(-OH)と水素(-H)が、不斉炭素原子のうち4番炭素のみで入れ替わったものがD-ガラクトース、2番炭素のみで入れ替わったものがD-マンノースである。

図 2.5 エピマー

例題 4 単糖の構造に関する記述である。正しいのはどれか。1つ選べ。

1. アノマーとは単糖が環状構造をとる際に、新たに形成される立体異性体のことである。
2. 単糖は直鎖状と環状の構造があり、これらは相互変換するが大部分は直鎖構造をとっている。
3. D-グルコース1番炭素の水酸基が上に来た場合を α 、下を β として区別する。
4. 二糖ではすべての場合で、アノマーである α 型か β 型が両方の糖において固定されている。
5. D-マンノースとD-ガラクトースは、不斉炭素の立体配置が2箇所異なるエピマーである。

解説 2. 単糖の大部分は環状構造をとっている。 3. 水酸基が下にきた場合が α 、上にきた場合が β である。 4. 二糖では、片方ないし両方の単糖のアノマー (α 型か β 型) が固定される。 5. 1箇所のみ不斉炭素の立体配置が異なる糖がエピマーである。

解答 1

2.6 主な単糖類

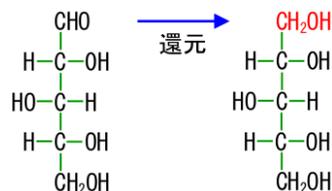
ヒトや動物のエネルギー源としては、六炭糖であるD-グルコース (アルドース)、D-ガラクトース (アルドース)、D-フルクトース (ケトース) が重要である。五炭糖としては、核酸の成分であるD-リボースやD-デオキシリボースが重要である。また、五炭糖のキシロースや七炭糖のセトヘプツロースのリン酸エステルはペントースリン酸経路の中間体である。

2.7 誘導糖

単糖類の一部の構造が変化したものを**誘導糖**という。

(1) 糖アルコール

単糖のアルデヒド基 (-CHO) が還元され水酸基 (-OH) になったものを、**糖アルコール**という。単糖由来の糖アルコールは反応性の高いカルボニル基を持たないため、環状構造をとらない。五炭糖のD-キシロースが還元されたものが、キシリトールである (図 2.6)。単糖および二糖由来の代表的な糖アルコールを、その原料の糖とともに表 2.1 に示した。



D-キシロース D-キシリトール

D-キシリトールはD-キシロースを還元して生成される。

図 2.6 糖アルコール (D-キシリトール) の生成

表 2.1 いろいろな糖アルコールとその原料

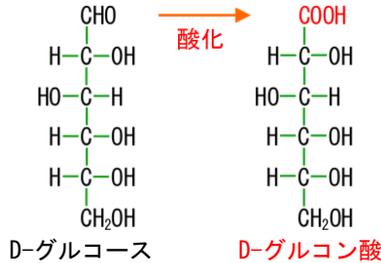
原料の糖	糖アルコール
D グルコース	→ ソルビトール
D-エリトロース (四炭糖)	→ エリスリトール
D-キシロース (五炭糖)	→ キシリトール
マルトース (麦芽糖: 二糖類)	→ マルチトール
ラクトース (乳糖: 二糖類)	→ ラクチトール

これらは主に、甘味料として用いられている

(2) アルドン酸とウロン酸

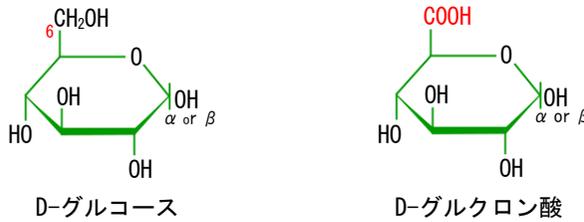
アルドースの1番炭素を含むアルデヒド基 (-CHO) が酸化され、カルボキシ基 (-COOH) になったものを**アルドン酸**とよぶ。D-グルコースの場合はD-グルコン酸と

なる (図 2.7)。一方、単糖末端の炭素 (六炭糖の場合 6 番炭素) を含むヒドロキシメチル基 (-CH₂OH) が酸化され、カルボキシ基 (-COOH) になったものはウロン酸とよぶ。D-グルコースの場合は D-グルクロン酸となる (図 2.8)。



D-グルコースのアルデヒド基 (-CHO) が酸化されてカルボキシ基 (-COOH) となり、D-グルコン酸となる。

図 2.7 D-グルコースの酸化反応による D-グルクロン酸 (アルドン酸) の生成

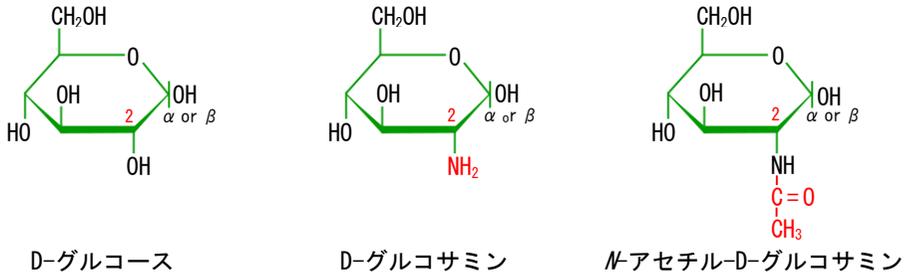


D-グルコース末端の 6 番炭素を含むヒドロキシメチル基 (-CH₂OH) が酸化されてカルボキシ基 (-COOH) となり、D-グルクロン酸となる。

図 2.8 D-グルコースからの D-グルクロン酸 (ウロン酸) 生成

(3) アミノ糖

六炭糖の 2 番炭素の水酸基 (-OH) がアミノ基 (-NH₂) に置換したものをアミノ糖とよぶ。例えば、D-グルコースは D-グルコサミン、D-ガラクトースでは D-ガラクトサミンとなる (図 2.9)。さらに、D-グルコサミンや D-ガラクトサミンのアミノ基にアセチル基 (酢酸) が結合すると、*N*-アセチル-D-グルコサミンや *N*-アセチル-D-ガラクトサミンとなる。



D-グルコース 2 番炭素の水酸基が、アミノ基に置換した糖が D-グルコサミンとなり、D-グルコサミンのアミノ基にアセチル基 (酢酸) がアミド結合したものが、*N*-アセチル-D-グルコサミンとなる。

図 2.9 アミノ糖

例題 5 誘導糖に関する記述である。正しいはどれか。1つ選べ。

1. 糖アルコールとは、アルデヒド基ないしケトン基が酸化されたものである。
2. D-グルクロン酸とは、D-グルコースの1番炭素が酸化されたウロン酸である。
3. アミノ糖の一種であるD-グルコサミンは、D-グルコースの水酸基がニトロ基で置換されている。
4. ソルビトールは、D-グルコースから作られる糖アルコールである。
5. 単糖同士の結合をペプチド結合という。

解説 1. アルデヒド基ないしケトン基が還元されたものである。 2. D-グルクロン酸は、D-グルコースの6番炭素が酸化されたもの。D-グルクロン酸とD-グルコン酸は、酸化される炭素の位置が異なる。 3. D-グルコサミンは、ニトロ基ではなくアミノ基を持つ。 5. 単糖同士の結合は、グリコシド結合という。 **解答 4**

3 少糖類

3.1 少糖類とは

単糖において、ヘミアセタール結合を形成するアルデヒド基、ないしケトン基由来のアノマー炭素と水酸基は反応性が高い。単糖同士の間で、これらが互いに共有結合を形成して**二糖類**となる。単糖が、2~10個結合した分子を**少糖類**（オリゴ糖）という。この共有結合を**グリコシド結合**といい、これが繰り返されることで少糖類や多糖類を形成する。単糖同士が、 α アノマー炭素の水酸基と他の糖の4番炭素の水酸基の間で形成されたグリコシド結合は、 α -1,4結合、また、 α アノマー炭素の水酸基と他の糖の6番炭素の水酸基の間で形成されたグリコシド結合は、 α -1,6結合と表記される。同様に、 β アノマーの場合は β -1,4結合となる。

3.2 主な二糖類

栄養素成分として重要な消化・吸収される二糖類は、マルトース（麦芽糖）、スクロース（ショ糖）、ラクトース（乳糖）である。ヒトにおいては、それぞれの二糖に対応する小腸刷子縁膜上の消化酵素により単糖に消化された後、吸収されてエネルギー源となる。

(1) マルトース（麦芽糖）

D-グルコース1番炭素の α アノマー水酸基（カルボニル基由来の水酸基）と他のD-グルコース4番炭素の水酸基が α -1,4結合した二糖が**マルトース**（麦芽糖）である

(図 2.10)。麦の発芽時にでんぷんが分解されて生じる。小腸上皮細胞でマルターゼにより膜消化され、グルコースとなり吸収される。D-グルコースのみからなる二糖類には他にイソマルトースがあり、D-グルコース 1 番炭素の α アノマー水酸基と他の D-グルコース 6 番炭素の水酸基が結合 (α -1,6 結合) した二糖類である (図 2.10)。

(2) スクロース (ショ糖)

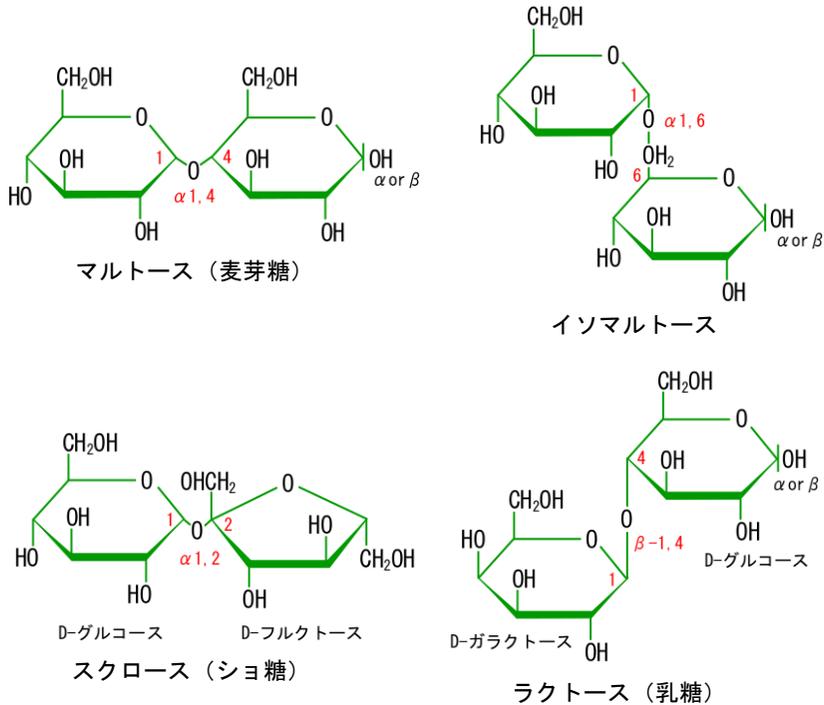
D-グルコースと D-フルクトースが α -1,2 結合した二糖類である (図 2.10)。ショ糖は、カルボニル基由来の水酸基同士が結合しているため還元性を持たない。水溶性に優れた、代表的な甘味料である。

小腸上皮細胞でスクラーゼにより膜消化され、構成糖となり吸収される。

(3) ラクトース (乳糖)

D-ガラクトースと D-グルコースが β -1,4 結合した二糖類である (図 2.10)。牛乳や母乳に含まれる糖質である。

小腸上皮細胞でラクターゼにより膜消化され、構成糖となり吸収される。乳糖不耐症では、ラクターゼ活性が低いために牛乳など乳製品を多く摂取すると下痢を引き起こす。



D-グルコース同士が α -1,4 結合したものがマルトース、 α -1,6 結合したものがイソマルトースである。スクロースは、D-グルコースと D-フルクトースが α -1,2 結合したもので、ラクトースは D-グルコースと D-ガラクトースが β -1,4 結合したものである。

図 2.10 主な二糖類の構造

(4) 二糖類由来の糖アルコール

麦芽糖（マルトース）を還元したマルチトールや、乳糖（ラクトース）を還元したラクチトールが知られている（表 2.1）。これら二糖類由来の糖アルコールはヒトの消化酵素では消化されない。

例題 6 少糖類に関する記述である。正しいのはどれか。1つ選べ。

1. 少糖類は、数個の単糖が結合した糖であるが、二糖類は少糖類には含まれない。
2. 少糖は、オリゴ糖より単糖の重合度が低い。
3. すべての少糖は、ヒトの消化酵素で消化される。
4. マルトースとイソマルトースは、すべてD-グルコースのみで構成される二糖類である。
5. すべての二糖類は、還元性を持つ。

解説 1. 二糖類は少糖類に含まれる。 2. 少糖とオリゴ糖は同義語である。
3. 多くの少糖は消化されず、これらを難消化性オリゴ糖とよぶ。 5. 還元性を持たない二糖にスクロースがある。スクロースは、両方の単糖のカルボニル基由来の水酸基がグリコシド結合に使われるためである。一方、マルトースやラクトースは、片方の単糖のカルボニル基由来の水酸基しか結合に使われないため、還元性を維持している。

解答 4

例題 7 少糖類に関する記述である。正しいのはどれか。1つ選べ。

1. スクロースは、D-グルコースとD-フルクトースが結合した二糖で還元性を持つ。
2. ラクトースは、D-ガラクトースとD-グルコースで構成される二糖類で消化されない。
3. マルトースは、D-グルコース同士が β -1,4結合した二糖である。
4. 多くの難消化性オリゴ糖は、腸内で病原菌の増殖を促進するため、プレバイオティクスである。
5. マルチトールは、麦芽糖を水素還元した糖アルコールで、甘味料として用いられている。

解説 1. スクロースは、還元性を持たない。 2. ラクトースは、牛乳に多く含まれる可消化性の二糖である。 3. α -1,4 結合である。 4. プレバイオティクスとしての難消化性オリゴ糖は、ビフィズス菌や乳酸菌などヒトの健康に有用な腸内菌を増やす作用がある。

解答 5

4 多糖類

4.1 多糖類とは

単糖が10個以上グリコシド結合した分子を多糖類という。また、単一の単糖のみで構成された多糖を**ホモ多糖**、2種類以上の単糖で構成されたものを**ヘテロ多糖**という。D-グルコースで構成されたホモ多糖には、でんぷんやグリコーゲン、セルロースが含まれる。生物界には非常に多くの種類の多糖が存在するが、でんぷんやグリコーゲン以外のホモ多糖やヘテロ多糖はヒトの消化酵素では消化できず、食品中ではすべて食物繊維となる。

4.2 ホモ多糖

(1) でんぷん

でんぷんは、 α アノマーのD-グルコースが主に α -1,4結合で重合した多糖で、消化されヒトの主要なエネルギー源となる。植物にとっては、エネルギー貯蔵体としての貯蔵多糖である。 α -1,4結合のみで直鎖状に重合したでんぷんを**アミロース**とよび、 α -1,4結合のD-グルコース鎖上に α -1,6結合による分岐構造を持つでんぷん分子を**アミロペクチン**とよぶ(図2.11)。

穀類や豆類など、でんぷんを多く含む食物では、アミロースとアミロペクチンは部分的に結晶構造をとって共存し、でんぷん粒を形成している。また、でんぷんを形成するD-グルコース間の α 1 \rightarrow 4結合は少し傾いているため、これが連なるとらせん構造をとる。

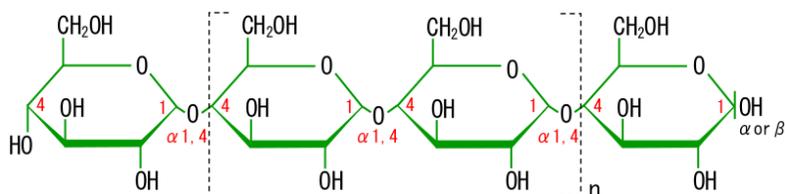
(2) グリコーゲン

グリコーゲンは、動物の肝臓や骨格筋に存在する**貯蔵多糖**である。グリコーゲンも、 α -1,4結合と α -1,6結合からなるD-グルコース重合体であるが、同様の構造を持つアミロペクチンより、分岐構造が多く直鎖部分が短い。

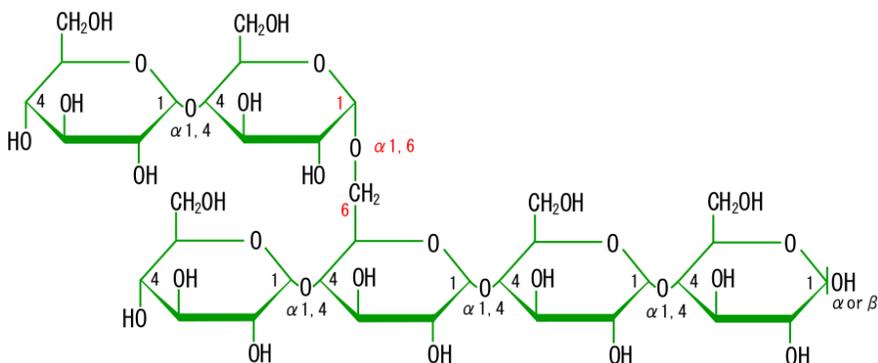
(3) セルロース

セルロースは β アノマーのD-グルコースが重合した**ホモ多糖**で、植物体を構成する主要な成分である。でんぷんが貯蔵多糖であるのに対して、セルロースは**構造多**

アミロース



アミロペクチン



アミロースは α -1,4結合のみからなる直鎖状のグルコース重合体であり、アミロペクチンは α -1,4結合からなる直鎖上に分岐構造（ α -1,6結合）を持つものである。

図 2.11 アミロースとアミロペクチンの構造

糖とよばれる。セルロースを構成する、D-グルコース間の β -1,4結合はヒトの消化酵素では加水分解されず、食品中では主要な食物繊維源となる。セルロースのD-グルコース間 β -1,4結合には、アミロースを構成する α -1,4結合のような傾きはないため、らせん構造はとらずに繊維を形成する。

例題 8 多糖とその代表例であるでんぷんとセルロースに関する記述である。正しいのはどれか。1つ選べ。

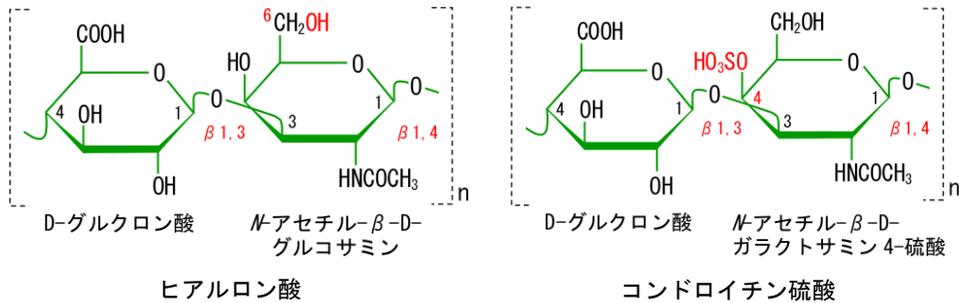
1. 多糖は、単糖が多数重合したもので、その重合度は多糖の種類が異なってもほぼ一定である。
2. すべての多糖は、一種類の単糖が重合したものである。
3. でんぷんは、D-グルコース重合体で、直鎖構造のアミロペクチンと分岐を持つアミロースがある。
4. アミロペクチンは、D-グルコースが α 1 \rightarrow 6結合で重合した主鎖上に、 α 1 \rightarrow 4結合による分岐を持つ。
5. セルロースは、でんぷん同様D-グルコースの重合体であるが、結合様式が異なるため消化されない。

解説 1. 多糖類の重合度には、種類により大きな違いがある。 2. 多糖の中には、2種類以上の単糖が重合したものがあり、ヘテロ多糖とよぶ。 3. アミロースは、直鎖状でアミロペクチンが分岐構造を持つ。 4. アミロペクチンの分岐構造は、 α 1 \rightarrow 6結合で形成される。 α 1 \rightarrow 4結合は、直鎖部の結合様式である。 **解答 5**

4.3 ヘテロ多糖

(1) ヒアルロン酸・コンドロイチン・コンドロイチン硫酸

ヒアルロン酸やコンドロイチン硫酸は、動物の軟骨に含まれている。ヒアルロン酸は、D-グルクロン酸と *N*-アセチル-D-グルコサミンが β -1,3結合した二糖を単位として、それが交互に多数 β -1,4結合した直鎖状分子である (図 2.12)。コンドロイチンは、D-グルクロン酸と *N*-アセチル-D-ガラクトサミンが β -1,3結合した二糖を単位として、それが交互に多数 β -1,4結合した直鎖状分子である。コンドロイチン硫酸は、コンドロイチンの硫酸エステルである (図 2.12)。



ヒアルロン酸は、D-グルクロン酸と *N*-アセチル-D-グルコサミンの二糖を、コンドロイチン硫酸は、D-グルクロン酸と *N*-アセチル-D-ガラクトサミンの二糖に硫酸基が結合したものを単位とし、それらが β -1,4結合している。

図 2.12 ヒアルロン酸とコンドロイチン硫酸の部分構造

(2) グルコマンナン

D-グルコースと D-マンノースで構成される代表的なヘテロ多糖で、主鎖は β -1,4結合で形成され、分岐は少ない。グルコマンナンはこんにやくに含まれる食物繊維として知られており、コンニャクマンナンともよばれる。

4.4 複合糖質

(1) 糖たんぱく質

たんぱく質に糖鎖がグリコシド結合したものを糖たんぱく質という。グリコシド結合には、単糖同士の結合と同様、糖鎖がたんぱく質の水酸基に結合した *O*-グリコ

シド結合と、窒素に結合した *N*-グリコシド結合がある。グルコサミン、ガラクトサミン、ガラクトース、マンノース、フコース、シアル酸などの単糖からなる糖鎖がたんぱく質結合している。

(2) プロテオグリカン

コンドロイチン硫酸などのヘテロ多糖が、コアタンパク質に多数の刷毛状に結合したものをプロテオグリカンとよぶ。軟骨は、プロテオグリカンがヒアルロン酸にリンクタンパク質を介して多数結合した、巨大な複合体で形成されている。

例題 9 多糖類に関する記述である。正しいのはどれか。1つ選べ。

1. 食品中には多種類の多糖が存在するが、でんぷん以外にも多くの消化できる多糖がある。
2. ヒアルロン酸やコンドロイチン硫酸は、植物体の成分である。
3. 複合多糖であるプロテオグリカンは、たんぱく質を中心にしてコンドロイチンが多数結合している。
4. こんにやくを構成する多糖は、D-グルコースとD-マンノースからなるヘテロ多糖である。
5. 食品中の多糖類である食物繊維の構成単糖は、すべて六炭糖である。

解説 1. 消化できる多糖はでんぷんのみである。ただし、食肉や貝類など動物性食品には少量のグリコーゲンが含まれている場合があり、でんぷん同様消化される。
2. ヒアルロン酸やコンドロイチン硫酸は、動物の軟骨の成分である。 3. コンドロイチン硫酸である。 5. 食物繊維の構成糖には五炭糖 (D-キシロースやL-アラビノースなど) も含まれる。

解答 4

章末問題

1 糖質に関する記述である。最も適当なのはどれか。1つ選べ。

1. ガラクトースは、非還元糖である。
2. フルクトースは、ケトン基を持つ。
3. スクロースは、グルコース 2 分子からなる。
4. アミロースは、分枝状構造を持つ。
5. グリコーゲンは、ヘテロ多糖である。

(第 36 回国家試験 18 問)

解説 1. ガラクトースは、還元糖である。 3. D-グルコースと D-フルクトースの 2 分子からなる。
4. アミロースは、直鎖状構造を持つ。 5. グリコーゲンは、ホモ多糖である。 解答 2

2 糖質と脂質に関する記述である。正しいのはどれか。1 つ選べ。

1. フルクトースは、アルドースである。
2. フルクトースは、五炭糖である。
3. グルコースは、ケトースである。
4. リボースは、RNA の構成糖である。
5. イノシトール 1,4,5-三リン酸は、糖脂質である。

(第 29 回国家試験 22 問)

解説 1. ケトースである。 2. 六炭糖である。 3. アルドースである。 5. リン脂質である。解答 4

参考文献

- 1) Kennelly PJ, Botham KM, McGuinness O, *et al.* “Harper’s Illustrated Biochemistry, 32nd ed” McGraw-Hill Education, 2023.