

[illegible]

野澤 義則（岐阜大学名誉教授・東海学院大学名誉教授・医学博士）

表紙デザイン：Othello



まえがき

『あなたが食べたご飯は体の中でどのように変化し、どのような役割を果たし、そしてどこから排泄されますか？』というような問題を、化学的に説明しようとするのが生化学である。私たち自身の体の仕組みを解き明かす学問であるがゆえに、いろいろな分野の人に興味をもって学んでほしいが、特に栄養士や看護師など医療に関連する職業を志す人には、どうしても理解してもらわねばならない学問である。

化学的に生体を解明するために聞き慣れない用語が次々に現われたり、化学構造式が頻繁に現われたり、さらに化学という言葉のみで食べず嫌いになってしまうことなどから、生化学は難しい学問であると敬遠されてきた。

そこで本書は、

- ① 本文はできるだけ平易な言葉で簡潔にし、図を眺めて理解できるように工夫した。
- ② 各章で学ぶ概要を把握しやすくするために、その章の初めにイラストと短文で内容を紹介した。
- ③ 本文は理解しやすいように記述したが、各栄養素や体成分の詳しい代謝、化学構造式などは付表にまとめて記した。

なお本書では、『学術用語集—化学編』にしたがって、蛋白質や燐酸あるいは葡萄糖などを、タンパク質、リン酸あるいはブドウ糖のように片仮名で表現した。これらの化学用語は外来語ではないが、日本生化学会で通常用いられている表現である。

私たちの体の仕組みはとても巧妙である。知れば知るほどその巧妙さに感心する。本書によって生体を化学的に理解し、興味をもって学んでくれることができれば、筆者らの望外の喜びである。

各章の初めのイラストの原案は南谷昌弘氏によるものである。ご助力に対し深謝申し上げます。また、本書の企画、出版に際し多大なご助力をいただいた東京教学社社長鳥飼好男氏に心から感謝を申し上げる次第である。

1993 年 夏 著者一同

第1章 人体の仕組み

- 1 体は積み木細工 … 2
- 2 心臓は1日に7000リットルもの血液を送り出す … 3
- 3 人の体にはどんな組織があるか … 4
- 4 体の基本—細胞— … 5
- 5 私たちの体を構成する大きな分子 … 8
- 6 私たちの体を構成する小さな分子 … 9
- 7 人体を元素にするとこんなに単純 … 9
- 8 摂取した栄養素の体内での変化 … 10

第2章 タンパク質の構造とはたらき

- 1 タンパク質とは … 14
- 2 タンパク質を構成するアミノ酸 … 16
- 3 数えきれないほどのタンパク質は20種類のアミノ酸の組合せ … 20
- 4 タンパク質の不思議な性質 … 24
- 5 タンパク質とアミノ酸の体の中での運命 … 26

第3章 糖質の構造とはたらき

- 1 糖質とは … 34
- 2 糖質の構造と性質をさぐる … 34
- 3 糖質からどのようにしてエネルギーができるか … 39
- 4 エネルギーの貯金通帳—グリコーゲンの合成と分解— … 48
- 5 身を削ってグルコースをつくる—糖新生— … 49

第4章 脂質の構造とはたらき

- 1 脂質とは … 52
- 2 さまざまな脂質 … 52
- 3 脂質のはたらき … 56
- 4 体内での脂質の運搬 … 60

第5章 核酸の構造とはたらき

- 1 核酸とは … 64
- 2 核酸の種類と構造およびそのはたらき … 65
- 3 どのようにして同じ核酸をつくり出すか … 68
- 4 核酸の情報でタンパク質はつくられる … 70
- 5 ご用済となった核酸はどのようにして処分されるか … 72
- 6 遺伝情報の欠陥はどんな病気をもたらすか … 72
- 7 細菌を使ってヒトのインスリンをつくるー遺伝子を操作するー … 73

第6章 酵素の性質とはたらき

- 1 酵素とは … 78
- 2 酵素のはたらき方 … 78
- 3 酵素反応のさまざまな性質 … 80
- 4 酵素の変わった側面 … 84
- 5 酵素の命名と分類 … 87

第7章 ビタミンの種類とはたらき

- 1 ビタミンとは … 90
- 2 脂溶性ビタミンのはたらき … 90
- 3 水溶性ビタミンのはたらき … 95

第8章 水・無機質のはたらき

- 1 水の重要さ … 102
- 2 無機質の重要さ … 106
- 3 さまざまな無機質のはたらき … 109

第9章 栄養素の消化・吸収

- 1 消化・吸収とは … 116
- 2 消化の本質をさぐってみよう … 116
- 3 栄養素は消化管の細胞膜をどのように通過して、どこへいくのか … 119

CONTENTS

4 三大栄養素の消化と吸収 … 121

5 食物アレルギー … 124

第10章 生体の恒常性を保つシステム

1 生体の恒常性を保つシステムとは … 128

2 個体レベルでの代謝調節—情報の連絡網— … 128

3 ホルモン作用による細胞レベルでの代謝調節 … 133

第11章 エネルギーの消費と供給

1 生体のエネルギーとは … 138

2 エネルギー代謝 … 138

3 日常生活におけるエネルギー代謝 … 142

4 食べすぎた食物の行方 … 148

第12章 生体の防御システム—免疫—

1 免疫とは … 152

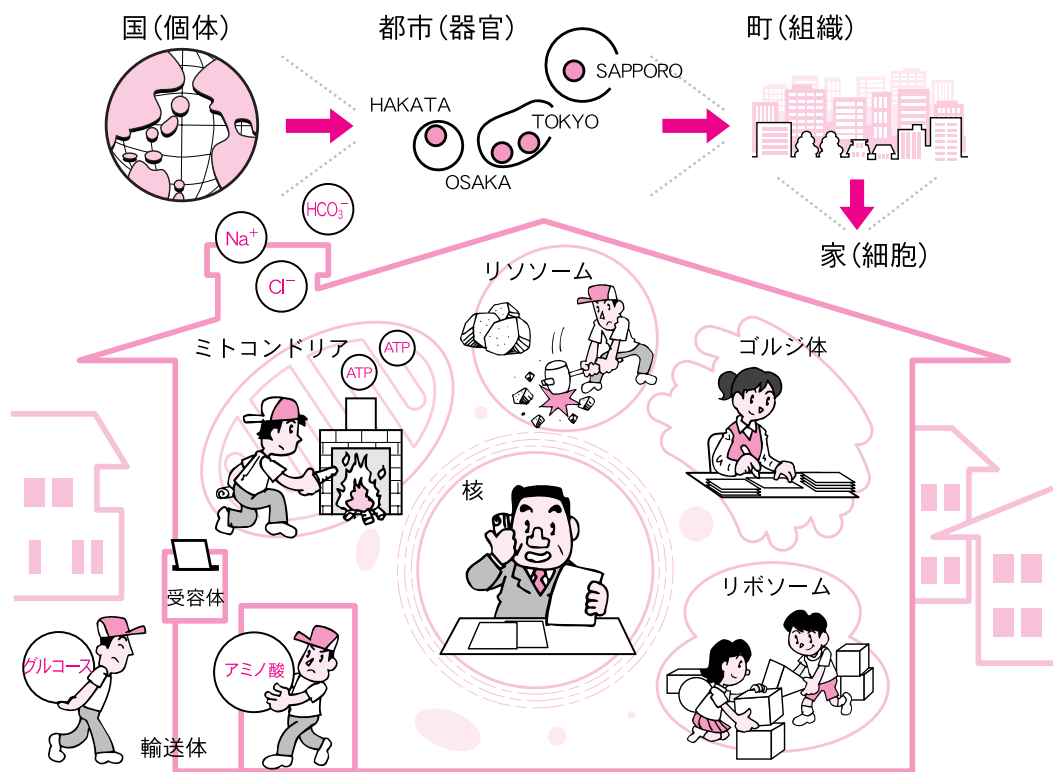
2 免疫の担い手—生体の多彩な防御システム— … 152

3 体内に侵入した異物の消滅までの仕組み … 155

4 免疫が関係する病気 … 156

付図・付表 … 159

索引 … 171



第1章 人体の仕組み

この世の中に存在するすべての物質は元素（水素、酸素、炭素など）で構成されています。その元素がいくつか集まって低分子化合物になります。たとえば、水は水素2個と酸素1個（ H_2O ）から、ブドウ糖は炭素6個、水素12個、酸素6個（ $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ）からできています。さらにこの低分子化合物が多数集まって高分子化合物、たとえばブドウ糖からグリコーゲンが、アミノ酸からタンパク質がつくられます。このような高分子や低分子化合物が整然と寄せ集まり、互いに協調して私たちの体の最小構成単位である細胞を形成します。

細胞の中にはいろいろなはたらきをする小器官があります。たとえば、細胞を1軒の家に例えると次のようになります。家の中と外を区切る壁（細胞膜）で囲まれた家には、人が出入りする玄関（輸送体）や郵便物を受け取るポスト（受容体）、そして屋根には煙突（イオンが出入りする通路）があります。一方、家の中（細胞内）には、積み木（タンパク質）遊びをする子供部屋（リボソーム）や手紙に宛名書きする書斎（ゴルジ装置）、あれこれ指示を出す主人（DNA）がいる部屋（核）あるいは薪（糖質や脂質）を燃やしてエネルギー（ATP）をつくり出す暖炉のある部屋（ミトコンドリア）もありますね。

このような最低限の生活ができる家（細胞）が多数集まって1つの町（組織）をつくり、その町がいくつか集まって1つの都市（心臓や肝臓などの器官）ができ、さらに都市が集まって国（個体）をつくります。各々の都市（器官）は電話（神経）や手紙（ホルモン）を介して互いに密接に連絡しあい、全体としてうまく協調しています。各都市の機能が異なるように、各臓器の役割やその臓器を構成する細胞の機能も、異なります。しかし、体のすべての細胞のもととは、1個の受精卵ですので、各細胞の基本的な性質は共通です。

この章では、人体を構成する代表的な臓器とはたらき、およびその臓器をつくっている基本構成単位の細胞、さらに細胞を構成する元素までを簡単に学びます。

では、さっそく始めることにしましょう。

1▷体は積み木細工

たった1個の受精卵からスタートした**細胞**は、数えきれないほどの細胞分裂と増殖および分化を繰り返し、成人では60兆個以上に達するといわれている。すなわち、私たちの体は、細胞の寄せ集まりである。

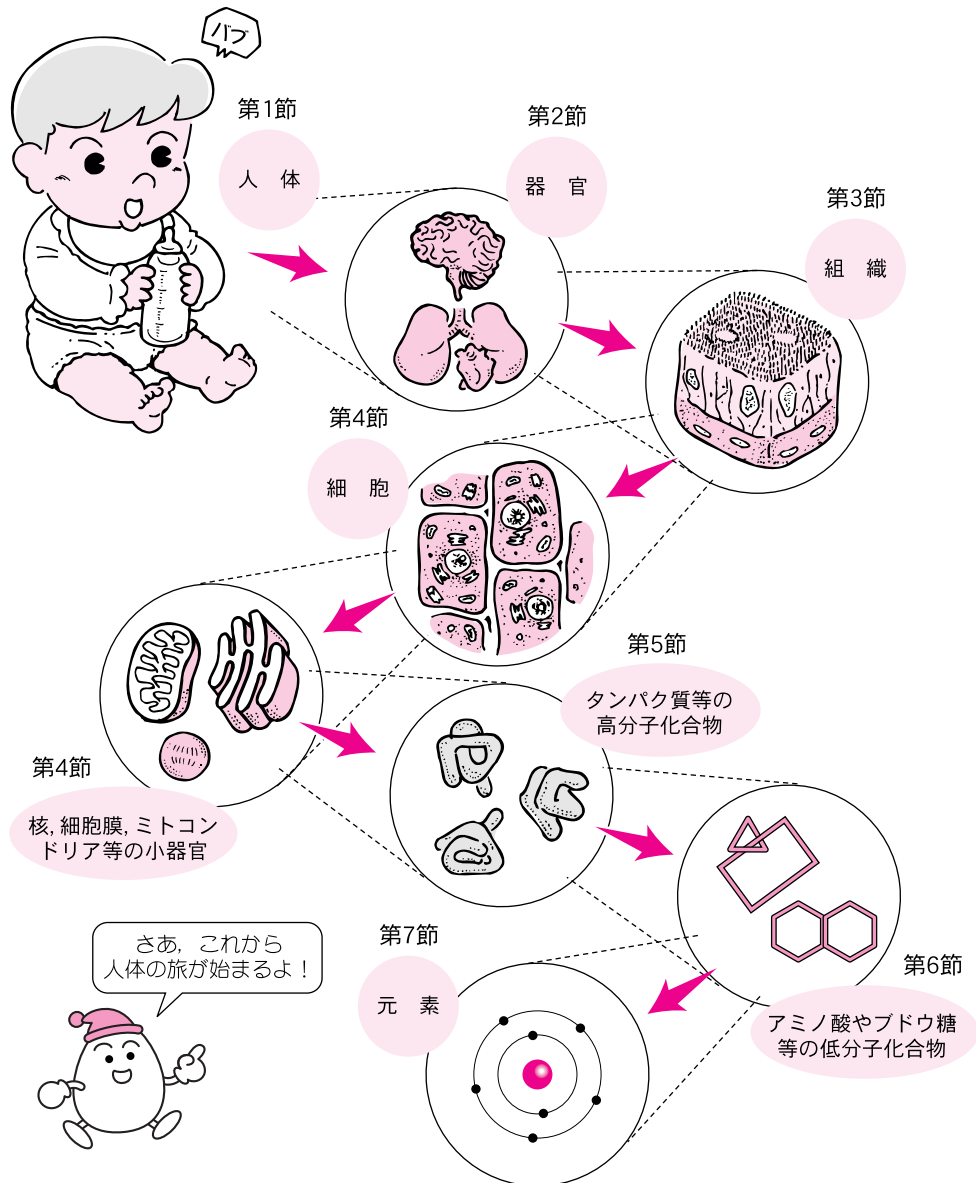


図1-1 人体の構成（個体から元素まで）

2▷ 心臓は1日に7000リットルもの血液を送り出す

同じようなはたらきを示す**器官**（臓器を含む）をまとめて器官系と呼ぶ。人体には表1-1に示すようなはたらきをする器官系がある。器官系に含まれる主な器官や**組織**の特徴とはたらきを表1-2に示す。

表1-1 器官の種類と機能

主なはたらき	器官系	主な器官
食物の消化と吸収	消化器系	口腔，胃，小腸，大腸，肝臓，膵臓
酸素と二酸化炭素の交換	呼吸器系	肺臓
血液とリンパ液の循環	循環器系	心臓，血管，リンパ管
水と老廃物の排泄	泌尿器系	腎臓，膀胱，尿道
種族保存のための生殖	生殖器系	生殖器，輸精管，輸卵管，子宮
ホルモンの合成と分泌	内分泌系	脳下垂体，甲状腺，副腎，膵臓，性腺
刺激の伝達と調節	神経系	脳，延髄，脊髓，自律神経，体性神経
刺激の受容	感覚器系	目，耳，鼻，舌，皮膚
体支持，運動，造血	筋骨格系	筋肉，骨格，関節

表1-2 主な器官とそのはたらき

器官	主なはたらきと特徴
肝臓	重さ1200～1400 gで人体最大の臓器。糖質，タンパク質，脂質の合成・分解・貯蔵や，アンモニアなどの有害物質の無毒化など人体の大化学工場。胆汁を作り，十二指腸へ分泌。半分切除してももとにもどる再生力を備えている。
肺臓	酸素と二酸化炭素のガス交換を行なう。空気の通る気管支はガス交換を行なう肺胞まで平均16回の2分岐を繰り返す。肺胞数は両肺で約6億，その表面積は約60 m ² にのぼり，この肺胞を毛細血管が網のようにおおっている。
心臓	握りこぶし大の大きさで，酸素や栄養素，ホルモンなどの運搬に必要な血液を，規則正しい収縮と弛緩により全身に送り出す。身長160 cm 体重50 kgの場合，1回に約70 mL，1日に約7000 Lの血液を送り出す。
腎臓	握りこぶし大で，ソラマメのような形をした一対の器官。血液中の老廃物を濾過し，尿をつくる排水処理工場。原尿は1日に180 Lつくられるが，尿細管で必要な栄養素や水を再吸収し，1日に約1.5 Lを排泄する。
膵臓	タンパク質，脂質，糖質を分解する各種消化酵素を製造し，炭酸イオンを含む膵液とともに十二指腸へ分泌する（外分泌）。また，血糖量を調節するインスリンやグルカゴンを合成し，分泌する（内分泌）。

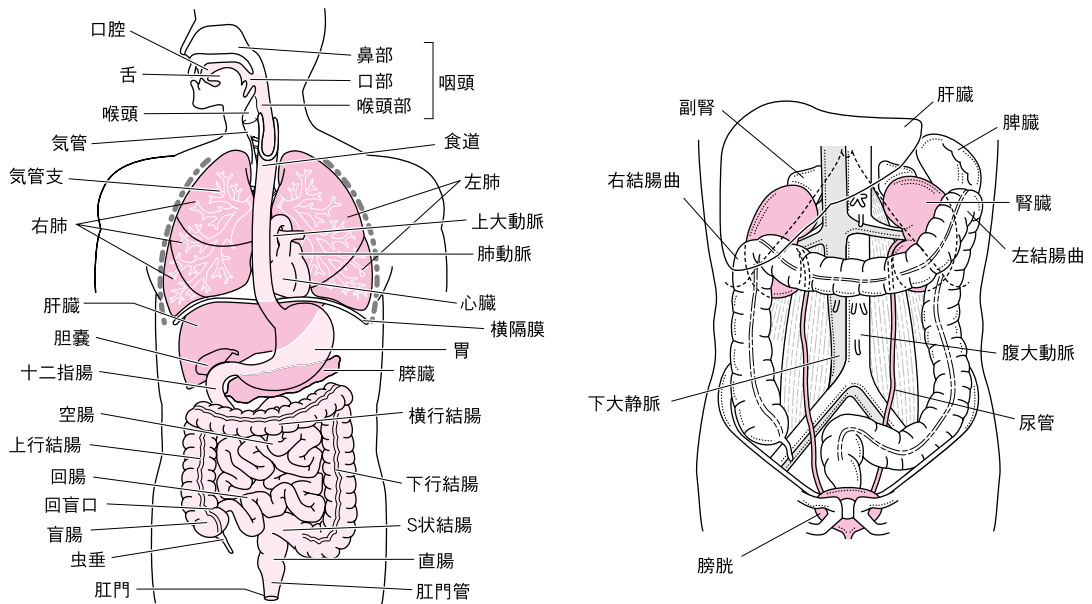


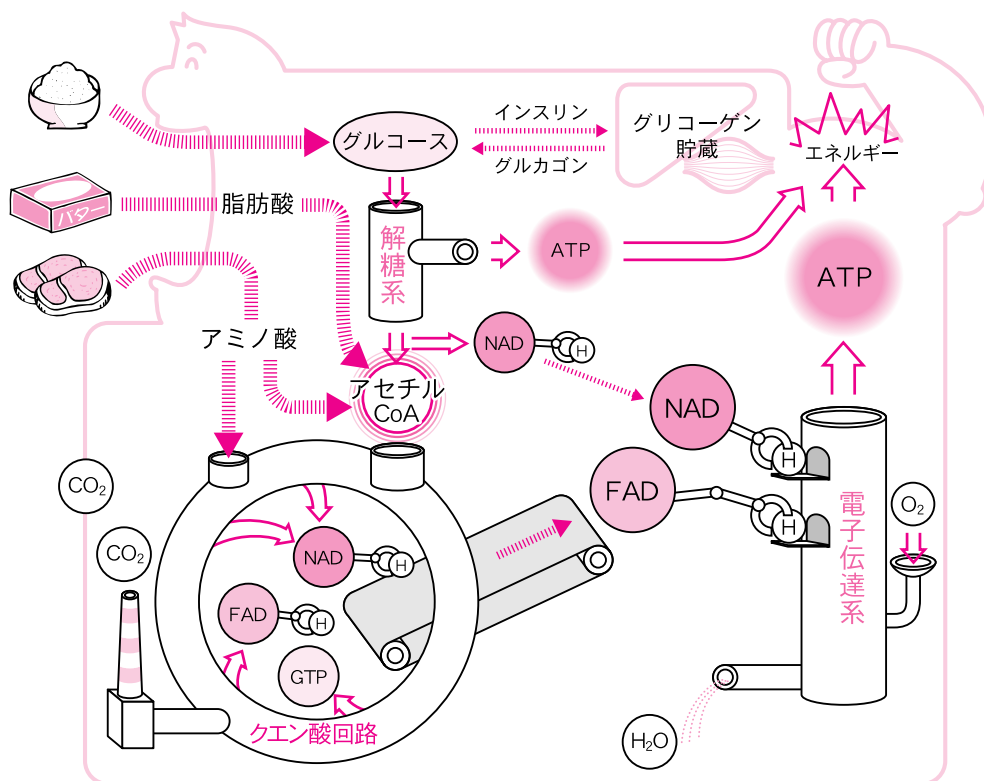
図1-2 主な器官の体内分布

3▷ 人の体にはどんな組織があるか

組織 = 同じはたらきを示す細胞の集団

表1-3 いろいろな組織とはたらき

組 織	分 布 と は た ら き
上皮組織	体の外表面や消化器などの内表面をおおう細胞集団。細胞が密に接着し、細胞間のすきまが少ない。体表の保護、分泌、吸収、感覚などの機能を有する。
支持組織	
結合組織	組織や器官の間にあって、それらを連結させたり、隔離したりする。細胞間のすきまが多く、そこに多量の水分や塩分を保持。
軟骨組織	結合組織と同様に細胞間のすきまが多く、そこには繊維性タンパク質のコラーゲンとカルシウムを多く含み、外圧に対してすぐれた抵抗力を示す。
骨組織	細胞間のすきまにはコラーゲンの他、カルシウムと親和性が高いタンパク質とともにリン酸カルシウムを多く含み、骨格系の主体をなす。
筋組織	細長い筋細胞からなる組織で、収縮能力をもつ。繊維性タンパク質のアクチン、ミオシンを含む。
神経組織	神経系を構成し、興奮を伝える性質が発達した組織。神経細胞は核を含む神経細胞体と神経突起よりなり、まとめてニューロンと呼ぶ。



第3章

糖質の構造とはたらき

私たちが毎日食べているご飯やパンは、真珠のネックレスにたとえることができます。真珠のネックレスは1個1個の真珠が糸で結ばれていますが、糸を切ればバラバラの真珠になります。ご飯やパンのでんぷんは、真珠の代わりにグルコースという玉がたくさんつながった形をしています。これをつないでいる糸は、はさみの役割をする消化酵素（ α -アミラーゼ）で切断され、1個1個のグルコースになり吸収されます。吸収されたグルコースがあまりにも血液中に増えすぎると、腎臓から漏れてしまい糖尿となってしまいます。しかし、漏れる前にインスリンというホルモンのはたらきかけにより、肝臓や筋肉の細胞内に血液中からグルコースを取り込んで再びグリコーゲンと呼ばれるネックレスにつなぎ合わせて保存します。食事後の時間が経過して血液中のグルコースが少なくなると、肝臓に保存していたグリコーゲンから1個1個のグルコースとして切り出して血液中に放り出し、常に血液中のグルコース濃度を一定に維持しています。うまい仕組みになっていると思いませんか。

炭素6、水素12 および酸素6よりなるグルコース ($C_6H_{12}O_6$) の体内での役割はエネルギーを供給することです。私たちが日常使用している紙（セルロース）もグルコースが集まってできていますが、この紙に火をつけると、空気中の酸素を使いながら激しく燃えて熱を発生します。ご飯やパンのグルコースも私たちの体の中で酸素と反応して燃えますが、紙に火をつけた場合と異なり、酵素の作用を受けながら酸化され、熱エネルギーの代わりにATPという化学エネルギーを供給します。すなわち、細胞内に取り込まれたグルコースは、化学エネルギーをつくり出しながら次々に自身の姿を変え、最終的にグルコースの炭素は酸素と結合して二酸化炭素 (CO_2) と水になります。つまり、口から入ったご飯やパンはトイレに出ていくのではなく、あなたがいま吸った空気中の酸素と結合して、ほとんど鼻から排泄されることになります。

では、詳しく説明することにしましょう、

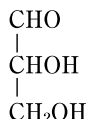
1▷糖質とは

糖質は、私たちの体の**主要なエネルギー源**である。また、糖質の誘導体は組織や細胞の構成成分として、いろいろなはたらきもしている。糖質の多くは炭素、水素、酸素の3つの元素を $C_n(H_2O)_n$ の割合で含んでいることが多いため、**炭水化物**とも呼ばれる。糖は、2個以上の水酸基(OH)とともに、**アルデヒド基**(CHO)または**ケトン基**(C=O)を有するものと定義されているが、そのうちアルデヒド基を有する糖を**アルドース**、ケトン基を有するものを**クトース**という。このような糖が2個からなるものを二糖、数個からなるものをオリゴ糖、多数からなるものを多糖と分類している。

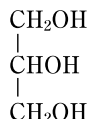
2▷糖質の構造と性質をさぐる

1 これが元祖“糖”

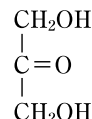
糖の定義にしたがって自然界を見ると、**グリセルアルデヒド**と**ジヒドロキシアセトン**が糖の最も基本的なもので、グリセロールが糖の未分化状態のものとなる。



グリセルアルデヒド



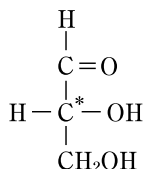
グリセロール



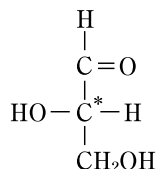
ジヒドロキシアセトン

図3-1 最も簡単な糖のグリセルアルデヒドとジヒドロキシアセトン

この元祖“糖”のうち、グリセルアルデヒドの構造式を図3-2に示す。図に示すように、*印の炭素の4本の手に結合している基がすべて異なる。このような場合、*印の炭素を**不斉炭素**と呼び、この炭素を中心として2通りの構造式が描ける。D-グリセルアルデヒドを鏡に写したときの鏡像となるL-グリセルアルデヒドを**光学異性体**という(図2-4参照)。実際に2つの構造の糖が存在するが、天然に存在する糖の多くは**D型**である。



D-グリセルアルデヒド



L-グリセルアルデヒド

図3-2 グリセルアルデヒドの光学異性体

光学異性体の構造は、炭素数が多くなればなるほど複雑になる。その複雑な糖をやはり、D- または L- に分類するために1つの規則が作成されている。その規則によればアルデヒド基またはケトン基から最も遠い不斉炭素の構造がD- またはL-グリセルアルデヒドのどちらかに一致するかにより、そのまま同じ記号を用いることになっている。

2 グルコースの奇妙な性質

D-グルコースの構造を立体的に調べてみると、図3-3に示すように、実は2つの環状構造が存在する。これは、炭素に結合している4本の手はいずれも正四面体の頂点の方向

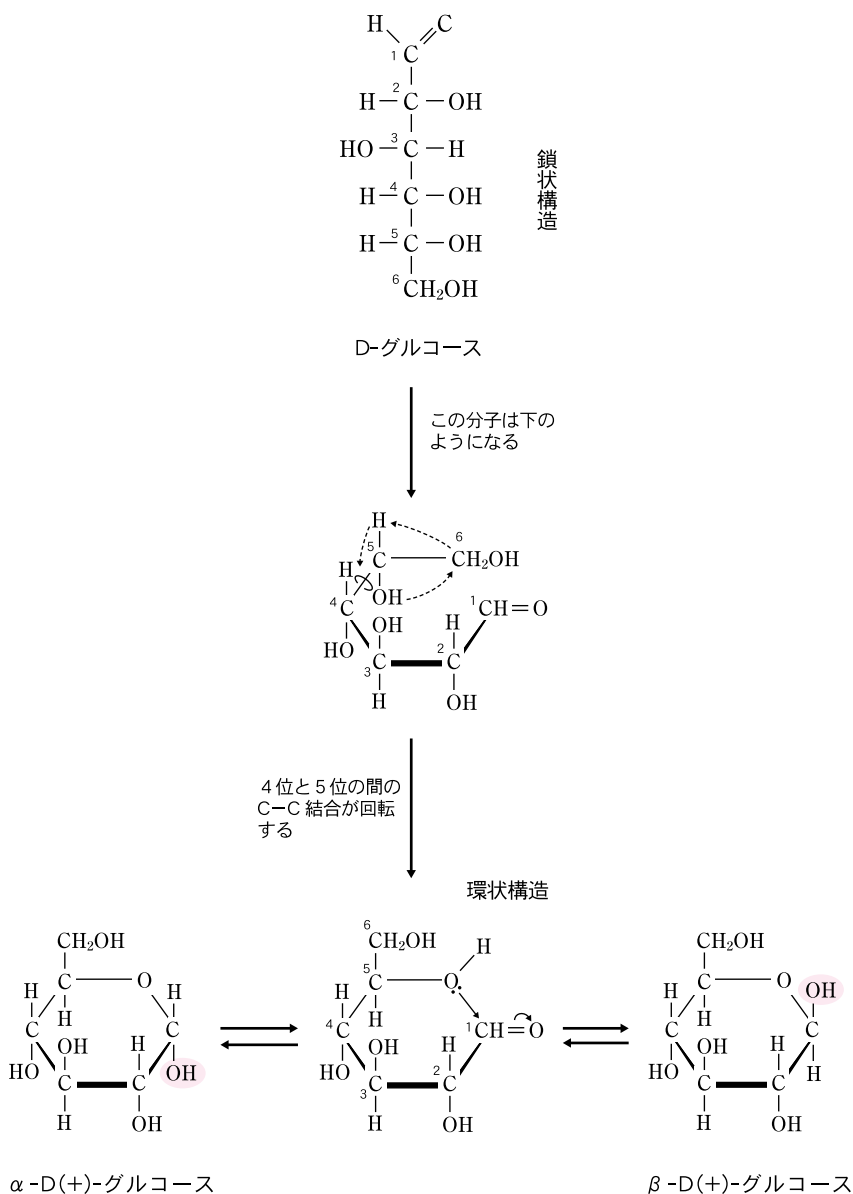
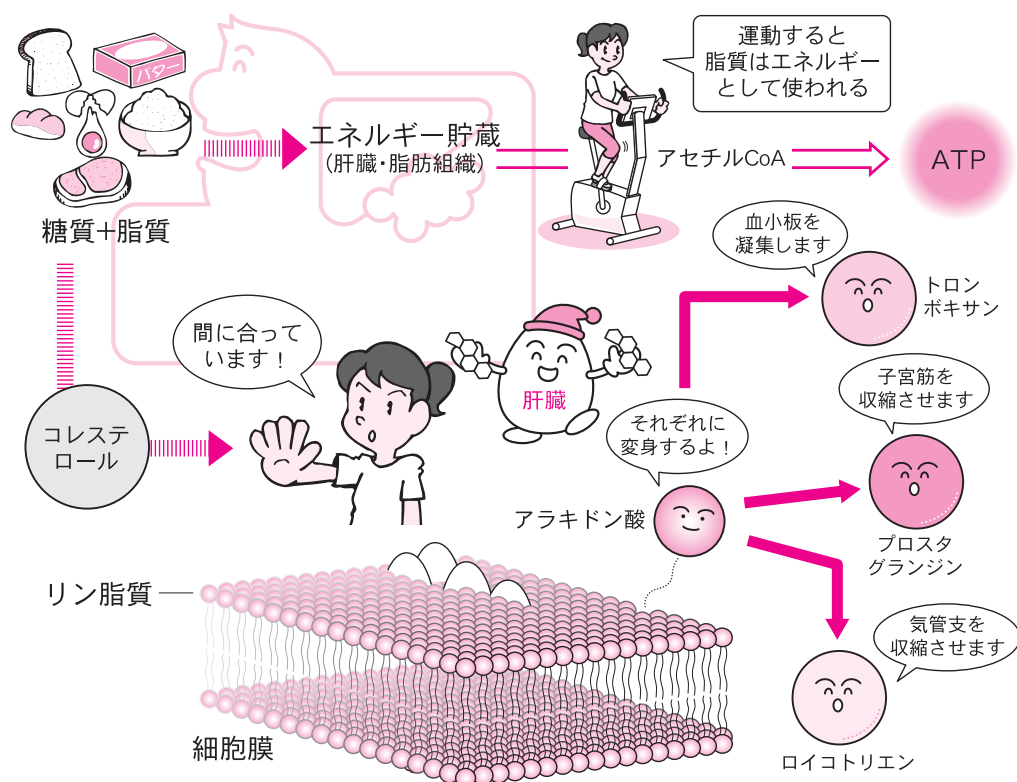


図3-3 α-D-グルコースとβ-D-グルコースの構造



第4章 脂質の構造とはたらき

水とは決して混ざり合わない天ぷら油、動脈硬化を引き起こすとして嫌われもののコレステロール、細胞膜をつくるためになくてはならないリン脂質、これらをひっくるめて脂質と呼びます。このような脂質類は食物からも体の中に取り込まれますが、食べたご飯やパンなどの炭水化物からも体内でつくられます。特に、コレステロールは細胞膜の成分となったり、胆汁酸やホルモンをつくったりでとても大切なはたらきをするものですから、食物として体の中に入る量よりも、むしろ体内で合成するほうが数倍多いのです。また、いくら食べすぎによる過剰なエネルギーといえども、食べられないときのことを考え、余分なエネルギーは脂肪に変えて体内に蓄積されます。ということは、肥満の原因である皮下脂肪は、脂肪を食べすぎたから増えたのではなく、食べすぎたご飯やパンが体内で脂肪に変身した結果だということになります。山で遭難し、水しか飲まない日が数日続いても生命に支障がないのは、蓄積しておいた脂肪を分解してエネルギーを供給するからなのです。

すでに第1章で学んだように、私たちの体を構成する細胞の膜は、リン脂質やコレステロールなどの脂質とタンパク質が基本となっています。ところが、リン脂質は細胞膜をつくるためにだけあるのではなく、細胞膜の外側に届いたインスリンなどのペプチドホルモンの情報を内側へ伝えたり、あるいは自分の体の一部分（脂肪酸）を切り出したのち変身し、微量でありながら大切な生理作用を示すホルモンのようなはたらきをさせたりで、いろいろな機能をもち合わせています。

ところで、水とまったく混ざり合わない油が、なぜ水を主体とする血液の中を流れることができるのでしょうか。不思議ですね。

では、詳しく説明することにしましょう。

1▷ 脂質とは

脂質とは、水にはほとんど溶けず、クロロホルムやエーテルなどの有機溶媒に溶ける炭素と水素を中心とした有機物の総称である。脂質の中には、体の中でエネルギーを貯蔵する**中性脂肪**，細胞膜の構成成分である**リン脂質**，糖脂質，**コレステロール**などがある。

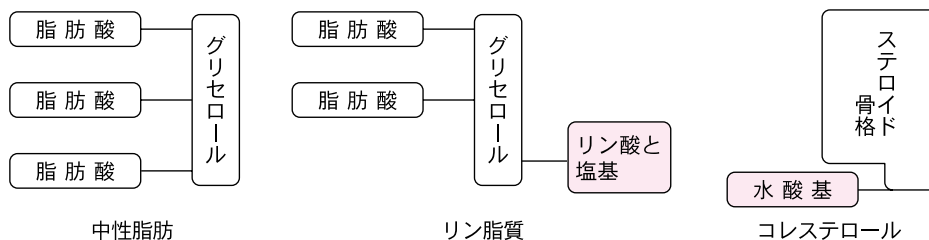
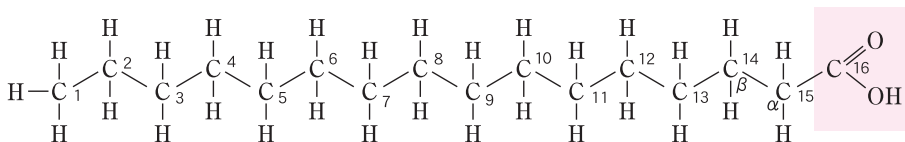


図4-1 生体内の代表的な脂質

2▷ さまざまな脂質

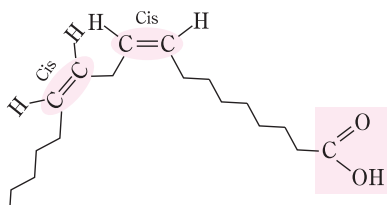
1 動物の油，植物の油，魚の油 —その違いは脂肪酸—

脂肪酸は、炭素と水素からなる炭化水素鎖にカルボキシ基 ($-\text{COOH}$) が結合したもので、炭素の数（ほとんどが偶数個）や二重結合の数によっていろいろな種類がある。**飽和脂肪酸**は炭化水素鎖に二重結合をもたないが、**不飽和脂肪酸**は二重結合をもつ。



パルミチン酸 ($\text{C}_{16}:0$) ……炭素数16で二重結合数0

(番号は、メチル基末端から付けるときは 1, 2 … と、カルボキシ基から付けるときはカルボキシ基のとなりの炭素から $\alpha, \beta \dots$ のようにすることが多い)



リノール酸 ($\text{C}_{18}:2$) ……炭素数18で二重結合数2個

折れ曲がっているところは炭素を示し、水素は省略して示すことがある。

二重結合を2個導入すると、水素が4個少なくなる。また、生体の脂肪酸はシス体なので、二重結合がある部分で鎖が折れ曲がる。

図4-2 飽和脂肪酸（パルミチン酸）と不飽和脂肪酸（リノール酸）の構造式

表4-1 いろいろな脂肪酸とそれらを多く含む食品

脂 肪 酸 名		炭素数*	二重結 合数	二重結合の始 まる位置**	比較的多く含む 食品
飽 和 脂 肪 酸	酪 酸	4	0	—	バター
	カブロン酸	6	0	—	バター
	カプリル酸	8	0	—	やし油
	カプリン酸	10	0	—	やし油
	ラウリン酸	12	0	—	やし油
	ミリスチン酸	14	0	—	バター, やし油
	パルミチン酸	16	0	—	動物油脂
	ステアリン酸	18	0	—	動物油脂
不 飽 和 脂 肪 酸	オレイン酸	18	1	9	オリーブ油
	リノール酸***	18	2	6	植物油
	α -リノレン酸***	18	3	3	しそ
	アラキドン酸***	20	4	6	肝油
	エイコサペンタエン酸 (EPA)	20	5	3	魚油
	ドコサヘキサエン酸 (DHA)	22	6	3	魚油

* 炭素数4～6を短鎖脂肪酸, 8～12を中鎖脂肪酸, それ以上を長鎖脂肪酸と呼ぶ。短鎖と中鎖脂肪酸は門脈から, 長鎖脂肪酸はリンパ管を経て吸収される。

** メチル基末端から数えての二重結合が始まる位置 (6から始まる脂肪酸をn-6 (n マイナス6と読む) 系列の脂肪酸, 3から始まる脂肪酸をn-3系列の脂肪酸と呼ぶ)。

*** **必須脂肪酸** (体内ではつくられず, 食物からのみ体内に供給される)。
エイコサとは20, ドコサとは22を示すギリシャ語である。しかし, 国際化学連合では20を“icosa”と呼ぶことに統一された。したがって, eicosapentaenoic acid から icosapentaenoic acid になり, その読み方はイコサペンタエン酸になるが, 本書では従来より親しまれているエイコサペンタエン酸 (EPA) と称することにする。エンは二重結合を指し, ペンタ, ヘキサは5, 6を示す。

2 肥満の原因である中性脂肪(トリグリセリド)

中性脂肪は, 効率よくエネルギーを体内に蓄えておくための貯蔵体である。

水に溶けない脂肪酸が
3つも結合しているので,
天ぷら油が水になじまな
いんだよね～



図4-3 トリグリセリドの構造と体内での役割

グリセロールに1分子の脂肪酸が結合したものを**モノグリセリド**, 2分子結合したものは**ジグリセリド**, 3分子結合したものは**トリグリセリド**と呼ぶ。

