

タンパク質とは何か

山本啓一

Yamamoto Keiichi

まえがき

ある飲み会で、「卵の黄身と白身のどちらにタンパク質が多く含まれるのですか？」と聞かれて、「そりゃ、もちろん白身です」と答えました。細胞生物学者である私にとってはおく当たり前のことなので、このように答えてこの話題はそこで終わってしまいました。ですが、あとから「そもそもタンパク質という言葉は、卵の白身から来ているのですよ」と蘊蓄^{うんちく}を傾けておけばよかったと、素っ気ない返事をしてしまったことを残念に思いました。このタンパク質の語源については本文に譲り、ここでは、この本を書くに至った理由を述べたいと思います。

飲み会でも話題となるように、この十数年で「タンパク質」という言葉をよく耳にするようになりました。雑誌では「タンパク質で元氣とキレイを手に入れる」「タンパク質を

摂って一生健康」などのタンパク質の特集記事が生まれ、スーパーに行くと、パッケージに「高タンパク」「プロテイン」の文字が入った飲料やヨーグルト、菓子、カップ麺、冷凍餃子などの商品がさまざまに並んでいます。まさにタンパク質ブームの様相です。

しかし、「タンパク質は重要」ということを、なんとなく分かつてはいても、その実体については、ほとんどの人がご存じないかと思っています。そのため、よく誤解もされています。たとえば、「コラーゲン（タンパク質の一種）を食べたら肌がプルンプルンになる」と広く言われていますが、これは科学的根拠に欠けています。そこで、タンパク質についての教育・研究に長年携わってきた経験をもとに、タンパク質について分かりやすく解説し、多くの人にその全体像を知っていただく本を書いてみようと思いました。

まず初めに、なぜタンパク質は身体の中でいろいろな働きができるのかについて説明します。タンパク質は、ごく簡単に言うと、アミノ酸が結合した高分子化合物ですが、性質の異なる20種類のアミノ酸を適切につなぎ合わせると、さまざまな機能を持つ構造が作れるのです。

次に、私たちの生活におけるタンパク質の重要性を理解していただくために、タンパク

質がおこなっているさまざまな働きを身体の構造にかかわるものと化学変化や運動にかかわるものに分けて紹介します。直感的に理解していただけるように多くの図を使って説明しました。

さらに「タンパク質」や「プロテイン」という言葉の成り立ちについての話を通じて、タンパク質がどのように研究され、理解されてきたのかという歴史的背景を解説します。そのあと、最新の知見をもとに、タンパク質が細胞の中でどのように作られ、どのように所定の場所に運ばれ、そこでどのように機能を調節されながら働き、最終的にはどのように分解されるのか「タンパク質の一生」について説明します。

最後に、それらの知識を踏まえて、タンパク質を日常どれくらい摂取することが必要かについて説明します。とくに高齢者はあつさりしたものを好むのでタンパク質不足になりがちです。老化に伴うサルコペニアやフレイルといった肉体的衰えや認知症とタンパク質摂取量の関係についてのデータをもとに必要なタンパク質量を示し、どのような食事をとるとそれを摂取できるか具体的な食事メニューで知っていただきます。

一般の方にも分かっていたできるように書いたので、細かいことは省いていますが、タ

ンパク質に関することをほぼ網羅した知識が得られます。この本を読み、タンパク質のさまざまな働きを知ることによって、自分の身体の仕組みについて興味を持ち、それを健やかな生活を送ることにつながっていただけたら望外の喜びです。

目次

まえがき

第1章 タンパク質は自由自在

抗体と酵素——からだを守り、動かすタンパク質／「コラム」ワクチンとタンパク質／タンパク質の構造／細胞膜とタンパク質

13

第2章

からだを形づくるタンパク質

——構造タンパク質

(1) 構造を作るタンパク質

コラーゲンの力／細胞をくっつける／「コラム」ビタミンCとコラーゲン／骨では鉄筋に、軟骨ではクッションに／「コラム」食べたものはそのまま身体に入って同じものになるのか／皮膚とコラーゲンの関係／プルプル肌を連想する理由／ゼラチン／コラーゲンの

23

3

第3章

働き者のタンパク質——機能タンパク質

(1) 酵素による分解劇

消化酵素／タンパク質の消化／タンパク質分解酵素のいろいろ／酵素が触媒として働く仕組み／基質特異性／助酵素とビタミン／金属イオンを含む酵素／酵素を食べるという健康法について／ヘモグロビン／「コラム」赤い血、青い血、緑の血

(2) 運動にかかわるタンパク質

構造とアミノ酸組成／「コラム」コラーゲンの栄養価／ケラチン／角質層／「コラム」ビタミンCとフケ／爪と毛髪に含まれるシステインとは／キューティクルとクチクラ層／ケラチンという名前

(2) 膜タンパク質——命を守る細胞の「城壁」

膜を丈夫にするためのタンパク質／膜に埋め込まれるタンパク質の特徴／「コラム」七回膜貫通型受容体／栄養素を細胞に取り込むタンパク質／チャネルタンパク質／開閉式イオンチャネル／輸送体タンパク質／エネルギーを使った輸送／共輸送／「コラム」補水飲料／アクアポリン

第4章

細胞内物質輸送／モータータンパク質／細胞内の交通網／軸索輸送／微小管とキネシン／アクチンケープルとミオシン／「コラム」毛の色とミオシン／逆行性輸送とダイニン／ビッグイベント、細胞分裂／筋収縮／「コラム」筋収縮の制御／動物の速い運動／植物のミオシン／車軸藻ミオシン／鞭毛・纖毛運動／回転モーター／「コラム」細菌の運動方向と鞭毛の動き

タンパク質なのか、プロテインなのか

——言葉から歴史をたどる

(1) タンパク質の名付け親たち

「コラム」タンパク質の白濁／日本語への翻訳／学術書での使用／蘭和辞書／「コラム」卵生神話／『訳鍵』／「コラム」料理書に出てくる蛋／蛋白質／「コラム」超好熱菌

(2) プロテインという言葉の物語

19世紀ヨーロッパでの大論争へ／ムルダー／プロテイン基／ホルトルマンの講義録／リービッヒ／『動物化学』／プロテインとエネルギー／「コラム」リービッヒはアントレプレナー／プロテイン説の終焉／プロテインという言葉は生き残った／プロトン

第5章 タンパク質の一生——生まれて、働いて、死ぬまで

(1) タンパク質の誕生

DNAの構造と遺伝／DNAに書き込まれたアミノ酸配列情報／「コラム」遺伝子のミスコピーから生まれるがん／メッセンジャーRNA／メッセンジャーRNAはどう作られる？／リボソームという合成工場／アミノ酸配列とタンパク質の機能／「コラム」タンパク質構成アミノ酸

(2) タンパク質合成の調節

遺伝子読み取りの調節／ヒストン／プロモーター／マイクロRNA

(3) 細胞内での仕分け

分泌経路／小胞輸送／ミトコンドリアと葉緑体のタンパク質／内部共生説／核に送り込まれるタンパク質

(4) タンパク質の機能調節

タンパク質分解酵素の活性化／フィードバック調節／インテリジェント分子

(5) タンパク質の死

リソソームによる分解／リソソーム酵素の活性化／「コラム」リソソームと肉の熟成／プロテアソームによる分解

第6章

タンパク質を食べる——健やかなからだのために

タンパク質はどれくらい生きている？／「コラム」筋肉を作るリズム／なぜ、アミノ酸の補給が必要なのか／「コラム」血液検査でおなじみ「GPT」とは？／老後の元気を左右するタンパク質の力／72グラムの壁を突破する！ 一日のモデル献立／「コラム」脳と記憶を支えるDHA／卵と牛乳から始めよう／「コラム」プロテイン粉末／ステーク100グラムでどれくらい摂れる？／植物と動物のタンパク質、何が違う？／タンパク質の過剰摂取／プロテイン粉末と腎臓疾患／痩せたい人ほどタンパク質を減らしてはいけない

あとがき

第1章 タンパク質は自由自在

私たちの身体を構成している物質で一番多いのが約60%を占める水で、次に脂質（約20%）、タンパク質（約16%）、ミネラル（主に骨で約4%）、炭水化物（約1%）と続きます。このうち脂質と炭水化物の主要な役割はエネルギーの供給ですが、そのエネルギーをさまざまな生命活動に変換する重要な働きをしているのがタンパク質です。

自動車に例えると骨は車体、脂質や炭水化物はガソリンやオイルであり、それを使って自動車を動かすシステム、すなわち動力を発生するエンジン、電気系統、タイヤ、それをコントロールするハンドルといった、自動車が実用的な移動手段となるために必要な部品のほとんどがタンパク質で作られているのです。なぜタンパク質はいろいろな部品となりさまざまな働きができるのでしょうか。それについてまず説明します。

抗体と酵素——からだを守り、動かすタンパク質

タンパク質が人間の身体の中でいろいろな働きをすることができるのは、さまざまな状況に対応して自由自在に構造を作ることができるからです。状況に応じてそれに合った構造のタンパク質を作る良い例が「免疫抗体タンパク質」です。一度、病原菌やウイルスに

感染すると、身体の中にはそれらの表面にあるタンパク質と強く結合する抗体タンパク質ができ、次に病原菌やウイルスが侵入してきた時に取り囲んで細胞内に侵入できないようにします。この抗体タンパク質には特別な目印がついていて、身体の中をパトロールしている白血球がその目印のついた細菌やウイルスを発見すると、飲み込んで分解するようになっているので、私たちは感染症から守られます。これが「免疫ができた」ということなのです。

病原菌やウイルスにはさまざまな種類のものがあり、ウイルスはコロナウイルスのように刻々と遺伝子変異を繰り返して変化していきます。そうした新しいものが体内に入ってくるたびに、私たちの身体はすぐにそれに対応した構造を持つ抗体タンパク質を作り、さらなる感染を防いでいます。

そのほかに、いろいろな構造を作るタンパク質の例として「酵素」が挙げられます。酵素は化学反応の進行を促す触媒として働くタンパク質です。酵素の働き方については第3章で説明しますが、化学反応を触媒するにはまずその化合物と密接に結合しなくてはなりません。一つの酵素は、ほとんどの場合一つの化合物とだけ密接に結合し触媒として働く

ので、化合物と酵素の関係は鍵と鍵穴に例えられます。私たちの身体の中では1000以上の異なる化学反応がおこなわれており、反応している化合物の構造は実にさまざまです。タンパク質はこれらすべての化合物と密着する構造（酵素）を作ることができるのです。

こうした免疫抗体タンパク質や酵素タンパク質の働き方についてはこの後で述べることにして、ここではタンパク質がどうしてさまざまな構造を作れるのか、そうした構造の作り方の原理について説明します。

コラム ワクチンとタンパク質

重篤な病状をもたらす場合もあるので、いちいち感染しないと免疫を得られないのでは身体がいくつあっても足りません。そこで、特殊な処理をして病原性を失わせた細菌やウイルスを体内に入れて抗体タンパク質を作らせるとというのが「ワクチン注

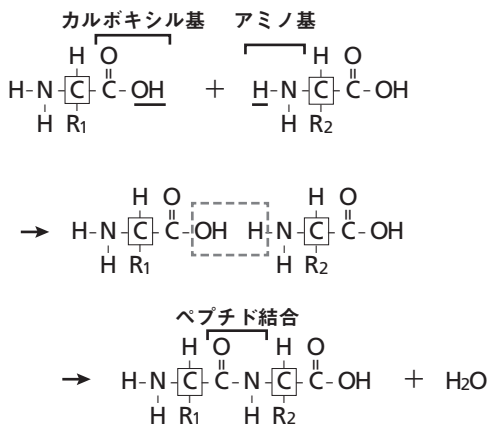
射」です。皆さんの受けた新型コロナウイルスのRNAワクチンはさらに進んだもので、コロナウイルスが細胞に侵入する時に使うスパイクタンパク質と呼ばれる部分の遺伝子を私たちの細胞に注入し、細胞内でスパイクタンパク質を合成させ、それに対して抗体タンパク質を作らせるようにしたものです。スパイクタンパク質は細胞への侵入に使われるタンパク質で、感染力の強さを決める重要な部分ですが、それだけではウイルスとしての機能はありません。だから安全で、もしそれに対する抗体タンパク質ができているとウイルスの細胞への侵入を防ぐことができ、免疫効果は絶大です。ウイルスは頻繁に突然変異を起しますが、一度ウイルスの遺伝子を精製しておくと、その一部を改変して、変異したウイルスと同じにすることも容易です。今回、新型コロナウイルスのパンデミックを短期間で鎮圧できたのは、このRNAワクチンのおかげでした。そのため、RNAワクチンの開発に貢献したカタリン・カリコ博士とドリュ・ワイスマン博士は2023年にノーベル生理学・医学賞を受賞しています。

タンパク質の構造

タンパク質はアミノ酸が多数つながったものです。アミノ酸の中心には「炭素原子」があり（図中の□部分）、それに「アミノ基」と「カルボキシル基」がついています。アミノ基は他のアミノ酸のカルボキシル基と反応して「ペプチド結合」と呼ばれる結合を作るので、アミノ酸が次々とつながってタンパク質ができて上がるのです（図1-1）。

アミノ基とカルボキシル基はすべてのアミノ酸に共通です。しかし、中心の炭素にはもう一つ別の構造物が結合していて（図中の R_1 、 R_2 ）、その大きさや電気的性質がいろいろと違うので、タンパク質を作るアミノ酸は20種類あります。それらは水に溶けにくいもの、水に溶けやすいもの、そしてちょっと特殊なものに大きく分けられます。アミノ酸がつながってタンパク質となった時、水に溶けにくいアミノ酸はタンパク質内部に隠れて水を避け、水に溶けやすいアミノ酸はタンパク質の表面に出る傾向があります。また、プラスの電荷を持つアミノ酸はマイナスの電荷を持つアミノ酸と引き合います。アミノ酸がつながってできたタンパク質の表面はこうした力によってさまざまな曲面構造を作れるので、ウイルス表面の凹凸および電気的性質にぴたりと合うようにできるのです。

〔図1-1〕 アミノ酸からタンパク質へ



〔図1-2〕 ウイルスとアミノ酸

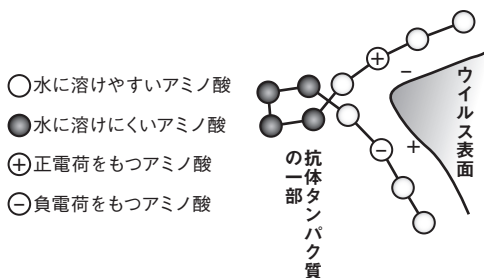


図1-2は仮想的なものです、水に溶けにくいアミノ酸が内部に潜り込むことによってウイルス表面の形状に合ったくぼみを作り、ウイルス表面の電荷とちょうど反対の電荷

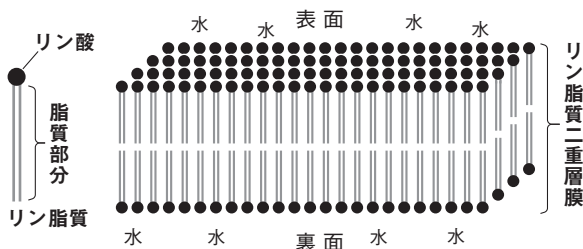
を持つアミノ酸を表面に配置することで電氣的にも引き合うようにできることを示してみました。

細胞膜とタンパク質

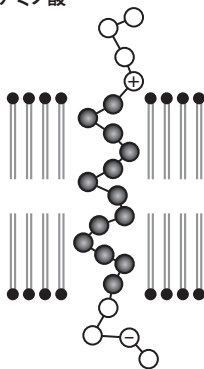
タンパク質は細胞を包む膜の中にも入り込んでいます。細胞の膜はリン酸と脂質が結合した「リン脂質」という物質から作られています(図1-3左)。リン酸は水に溶けやすいが脂質は水に溶けないので、リン脂質を水の中に入れるとリン酸部分は水と接する面に露出し脂質部分は水を避けて内部に隠れます。細胞膜ではこの図に示すようにリン脂質が表と裏に一層ずつ並び、リン酸部分は水に接するように表面に出て脂質部分は内部に隠れます。この構造を「リン脂質二重層」と呼びます。この細胞膜にタンパク質が入り込む時は水に溶けにくいアミノ酸が活躍します。水に溶けにくいということは油にはよく溶け込むということです。細胞膜内部の脂質部分は油そのものですから、細胞膜を貫通する部分に水に溶けにくいアミノ酸を持つてくると見事に細胞膜に入り込めるのです(図1-4)。

このようにタンパク質は20種類あるアミノ酸を適切に配列させることでさまざまな構造

〔図1-3〕リン脂質二重層



〔図1-4〕細胞膜に入り込む
アミノ酸



を作り出すことができます。このことを利用して、今まで存在しなかった新しい構造を持つ有益なタンパク質を設計し作り上げたデイビッド・ベーカー博士は2024年度のノーベル化学賞を受賞しました。また逆に、アミノ酸の並び方がわかると、どのような立体構造を作るのか予測することもできるはずです。これまでに立体構造がわかっているタンパク質のアミノ酸配列をA I（人工知能）に学習させ、わかっているタンパク質のアミノ酸配列から立体構造を予測させることに成功したデミ

ス・ハサビス博士と
ジョン・ジャンパー博士も2024年度のノーベル化学賞を受賞しています。

タンパク質は身体の中のさまざまなところで活躍しています。その活躍ぶりを知っていただくために、次の二つの章ではタンパク質を働き方で分類し、それぞれの代表的なものについて説明します。

タンパク質とは何か

山本啓一

発 行：集英社インターナショナル（発売：集英社）

定 価：1,067 円 (10%税込)

発売日：2025 年 12 月 5 日

I S B N：978-4-7976-8167-3

ネット書店でのご予約・ご注文は [こちらからどうぞ！](#)