



東京大学名誉教授
お茶の水女子大学名誉教授

◎藤巻 正生

MASAO FUJIMAKI

「食肉と健康に関するフォーラム」委員会が財団法人日本食肉消費総合センターの活動の一環として1987年に設置されて以来、毎年食肉と健康に関する科学叢書を発行してまいりました。「ストレスを探る」、「脂肪を探る」にひき続き本冊子は「探る」シリーズの第3作として刊行されますが、本委員会は過去7カ年にわたり食肉の摂取をめぐる諸問題を取りあげ、最新の科学的情報と知識を通じてその理解を深めていただくことを念願してまいりました。

現在の日本人の長寿に食生活の改善が大きく関与してきたことは申すまでもございませんが、なかでも動物性タンパク質の摂取量増加が格段に寄与してきたことは、広く科学の認めるところであります。

地球上には、さまざまな生物が多様な生活をしており、人間もその一部に他なりません。どんなに複雑にみえる生命現象も、所詮は生物体中に存在している物質間の相互作用に基づいています。その主役がタンパク質であることは論を要しません。

人類は古くからタンパク質の供給源として、動物の体組織や器官を食料として利用してきました。私たちの体を構成する成分としてタンパク質は水に次ぐ含有量で、必須アミノ酸を豊富にバランスよく含有する

食肉の摂取は、従来からいわれている栄養上からばかりでなく最近解明されつつある生理学的機能からも、人体で果すであろう役割を考えると、その価値の認識が強く求められる時代と感じられます。

本冊子では、副題にあります生命や健康を担う基本物質としてタンパク質について多角的に解説していただいております。すなわち、人体におけるタンパク質摂取の意義と必要性、各種タンパク質の多彩な役割と機能、作用機構、タンパク質分子の構造と生合成、さらにタンパク質による循環器系、とくに脳血管障害を中心とした疾病の予防、免疫系疾患とタンパク質の関わりなどの記述が主な内容となっております。

本冊子が「食肉と健康に関するフォーラム」委員会が目的としている国民の健康増進、健やかな長寿社会の達成に多少とも貢献できますなら望外の喜びであります。

多くの貴重なご教示とご示唆をいただいた福場博保、荒井綜一、家森幸男、上野川修一、柴田博の諸先生に厚く御礼申し上げます。

また、本冊子の企画並びに刊行にご尽力下された財団法人の日本食肉消費総合センター太田康二理事長はじめ関係各位に深甚な謝意を表します。

1

タンパク質を上手に食べる

LECTURE

なぜタンパク質を食べなければいけないのか—⑩
生命を維持する主役・タンパク質

- 1| 体内のタンパク質は常に新しく生まれかわっている
● タンパク質のターンオーバー ● ⑩
- 2| 食べたタンパク質はどのように利用・排泄される?
● タンパク質の消化・吸収 ● ⑩
- 3| タンパク質をうまくとるには何をたべたらいい?
● 必須アミノ酸と非必須アミノ酸 ● ⑩
- 4| タンパク質はどんな世代にも必要な栄養素です
● 年齢・ライフスタイル別タンパク質の食べ方 ● ⑩

COLUMN ■ 健やかシニアの栄養学 ⑩

タンパク質は
いろいろな仕事をしている

LECTURE

体を動かす。ものを考える。
生命現象のすべてはタンパク質が主役—⑪
タンパク質は働き者

2

- 1| タンパク質の研究は酵素から始まった
● 天然の触媒「酵素」の働きI ● ⑪
- 2| ヒトの体はまるで巨大な化学工場のように
● 天然の触媒「酵素」の働きII ● ⑪
- 3| しなやかな体、しなやかな動きをつくるタンパク質
● 体を動かす収縮タンパク質I ● ⑪
- 4| 筋肉を動かすエネルギーはどこからくるの?
● 体を動かす収縮タンパク質II ● ⑪
- 5| 酸素を運ぶヘモグロビンも実はタンパク質です
● 生体になくてはならない運搬・結合タンパク質 ● ⑪
- 6| 免疫システムとタンパク質の気になる関係
● 体を守る防御タンパク質 ● ⑪
- 7| 体をつくるタンパク質と維持するタンパク質
● 成長・体力とタンパク質の関係 ● ⑪
- 8| 光・味・匂いを感じるタンパク質
● 感覚とレセプターの関係 ● ⑪

3

タンパク質と病気の気になる関係

LECTURE 動物性タンパク質の摂取量もたらしたものの①
タンパク質と健康の関係は？

- 1| 脳卒中の原因は血管の栄養不足にある
● 脳血管障害が起こる理由 ● ①
- 2| 脳血管障害の予防は血圧のコントロールがカギ
● 高血圧とタンパク質 ● ②
- 3| よりよいタンパク質の摂取もたらす血管の健康
● タンパク質の脳血管障害への予防効果 ● ③

COLUMN ■血液中の成分で健康度をはかる ④

LECTURE 体を予防する免疫システムとタンパク質のかかわり①
タンパク質と免疫機構

- 4| 体中をパトロールするタンパク質・免疫グロブリン
● 免疫のしくみ/抗原と抗体 ● ④
- 5| アレルギーと深くかかわるタンパク質
● アレルギーの増加と食品 ● ⑤
- 6| 腸管とタンパク質の消化とアレルギー
● アレルギーは免疫系疾患 ● ⑥

COLUMN ■長生きの条件はあるか？ ⑦

のぞいてみよう タンパク質の巨大な宇宙

4

- 1| タンパク質はアミノ酸の集まりでできている
● ネックレスのようなタンパク質の構造 ● ①
- 2| アミノ酸のつながり方にはルールがある
● アミノ酸を数珠つなぎにするペプチド結合 ● ②
- 3| タンパク質の機能を決定するのは何か？
● タンパク質の立体構造 ● ③

COLUMN ■鉄とタンパク質 ④

LECTURE 生命活動のもとタンパク質をつくる不思議なしくみ①
遺伝子とタンパク質の生合成

- 4| タンパク質を正しく生み出す暗号の秘密
● 遺伝子本体DNA ● ④
- 5| DNAからタンパク質が生まれるプロセス
● 遺伝子暗号の翻訳とタンパク質の合成 ● ⑤
- 6| タンパク質の発現を調節するシステム
● タンパク質の完成と遺伝 ● ⑥

EPILOGUE 上質なタンパク質がささえる健康で豊かな生活①



●体を守る働きをする

防御タンパク質

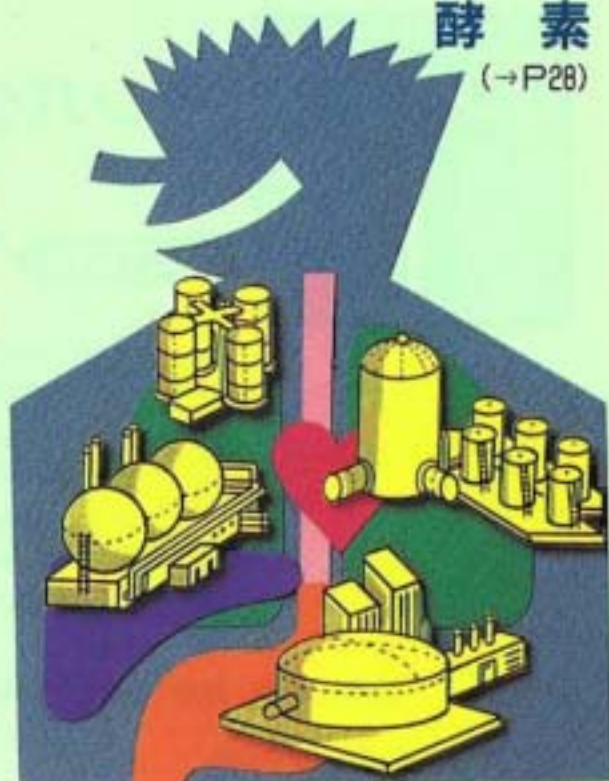
(→P38)

タンパク質は
ヒトの体のなかで
いろいろな仕事を
しています。

●体のなかの化学反応をすみやかに行う

酵素

(→P28)



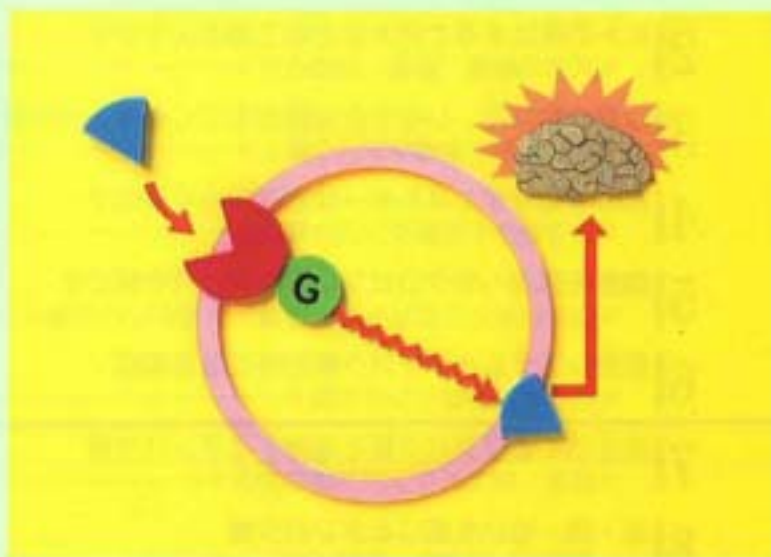
ヒトには、およそ10万種類ものタンパク質があり、
体のなかで実に多くの役割を演じています。
主なものをいくつかあげると……



●酸素を運ぶヘモグロビンに代表される

運搬タンパク質

(→P36)



●光・味・匂いを感じる

情報伝達タンパク質

(→P42)

生命を支える 基本の物質、 それがタンパク質です。

(→P12)

肉や卵、大豆などに含まれている
タンパク質は、食物として非常に大切な栄養素です。

しかしそれ以上に、タンパク質は
ヒトなどの生物が生きていくうえで
たいへん重要な役割を果たしている物質なのです。

地球上のあらゆる生物はすべて、
タンパク質をつくるための計画書DNAを持っています。
そして、それぞれの生物に必要なタンパク質をつくりだしています。

自然は進化を通して、
タンパク質を少しずつ改良してふやしてきたのです。



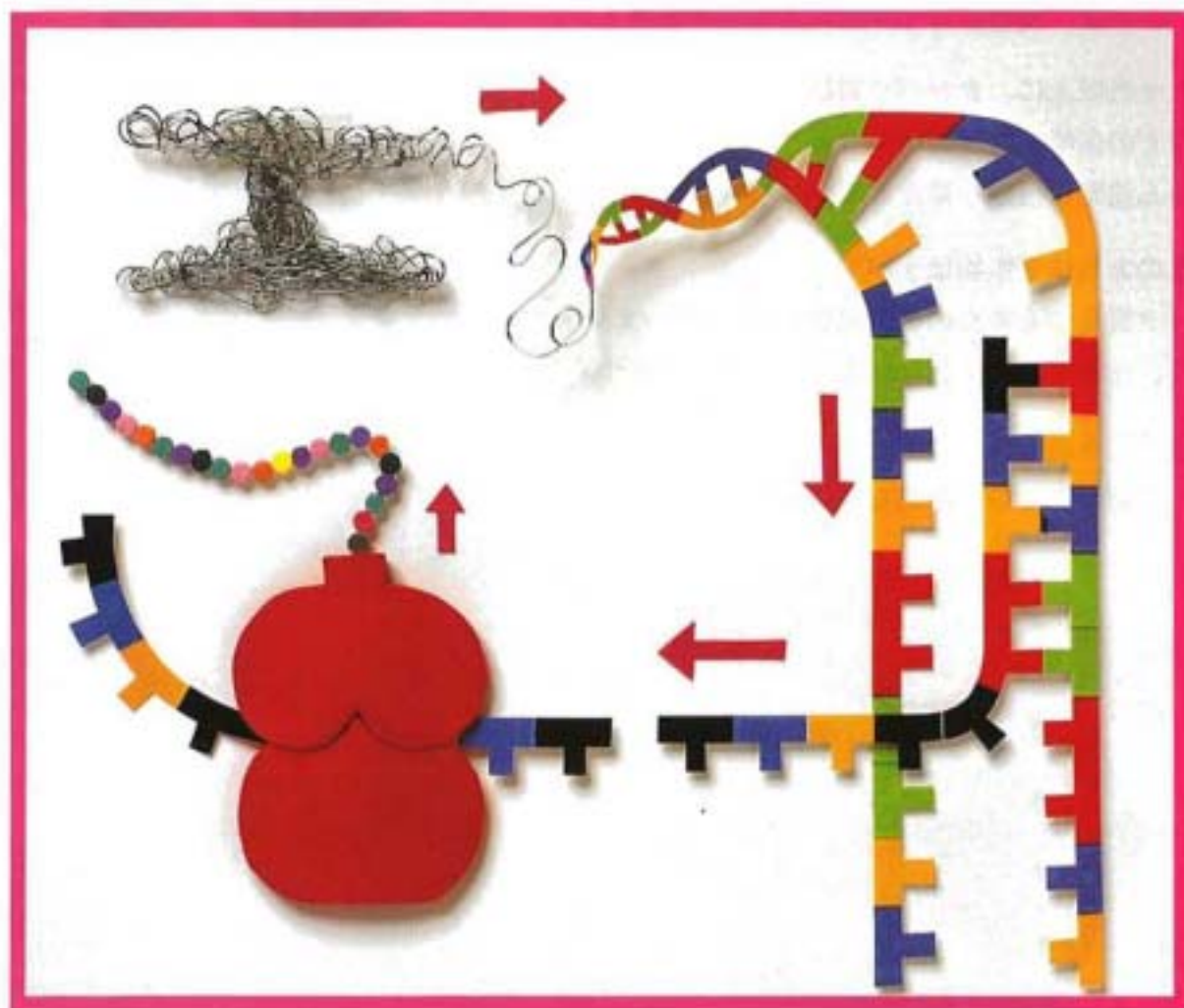
- しなやかな動きをつくり、体を動かす

収縮タンパク質

(→P32)



DNAは タンパク質をつくるための 暗号を持つ設計図です。



DNAは縄ばしごがよじれたような形をしています。
2本の鎖に分かれ、4つの塩基A、T、C、Gが並んでいます。

このATCGの並び方がアミノ酸を決め、
タンパク質をつくる暗号なのです。

DNAはタンパク質が必要になると
RNAという物質にATCGの暗号をコピーします。

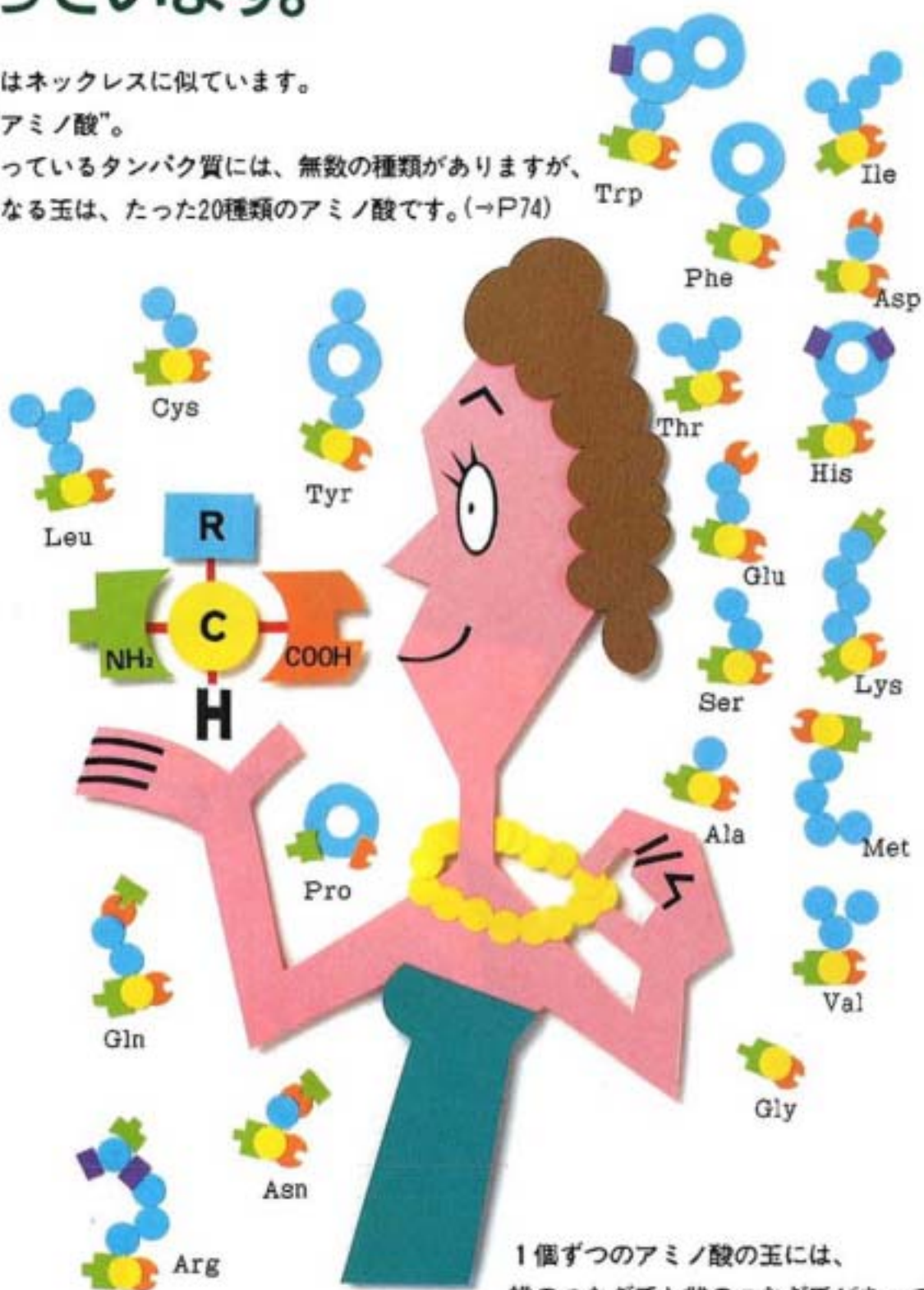
次にRNAはリボゾームという
タンパク質合成工場で、
暗号にしたがって、タンパク質をつくるのです。(→P82)

たった20種類のアミノ酸が無限の種類のタンパク質をつくっています。

タンパク質はネックレスに似ています。

その玉は“アミノ酸”。

生物をつくっているタンパク質には、無数の種類がありますが、その材料となる玉は、たった20種類のアミノ酸です。(→P74)



アミノ酸のネックレスは、折れ曲がったり、らせんに巻きついたり、なん本かからまったりして、球や棒の形をつくっています。(→P78)

1個ずつのアミノ酸の玉には、雄のつなぎ手と雌のつなぎ手があって、それぞれの玉が雄と雌をつなぎ合せてネックレス(タンパク質)をつくっています。

タンパク質と健康には ふかーい関係があります。

良質なタンパク質を食べることが、
血管を健康にし、
高血圧や脳血管障害、循環器疾患を予防します。(→P46)

動物性タンパク質をたくさんとるようになって
結核やB型肝炎などの
感染症にかかる人が激減しました。(→P60)

でも、ちょっぴり気になるのは、
アレルギー。
免疫のしくみにも、
タンパク質は深く関わっています。(→P62)

タンパク質を
うまく食べる
ことが元気の
基本です。



●SECTION●

1

タンパク質を
上手に食べる

●福場 博保

なぜタンパク質を 食べなければ いけないのか

生命を維持する主役・タンパク質

タンパク質というと、あなたは何を思いうかべますか？

「体になくはならない栄養素」

「血や筋肉のもとになるもの」「焼肉やステーキ、卵や牛乳」「ダイエット用のプロテインドリンク」などいろいろな答えが思いうかぶでしょう。

「ほら、きちんとお肉も食べなさい。タンパク質が足りないと体が大きくなりなさいわよ」と母親にいわれた人も多いのではないのでしょうか。

「タンパク質が体になくはならない栄養素であることは、誰でも知っています。学校でも、タンパク質は血や肉など体の元となる栄養素、

と習いましたよね」

昭和女子大学短期大学部学長、お茶の水女子大学名誉教授である福場博保先生は、栄養学の立場からタンパク質の重要性を説明されます。

「けれども、なぜタンパク質を食べなければいけないのか、私たちはあまり考えない。そこで、タンパク質が私たちにとってなぜ必要なのか考えてみましょう」

タンパク質は 体を構成し生命を維持する

「私たちの体を構成する成分のうちもっとも多いのは水分で全体の約

70パーセント近くを占めています。

しかし、水を除けばもっとも多い成分はタンパク質で、15〜20パーセントを占めています」

水、タンパク質の次に糖質、脂質そして核酸が続きます。

「一方、元素という視点から見ると体を構成するのに不可欠な元素は27種類。中でも炭素、酸素、水素、窒素が細胞の全質量の99パーセントを占めています。タンパク質はこれら4つの元素の他に、硫黄を含んだ物質です」

タンパク質の中にはリン、鉄、亜鉛、銅を含むものも存在しているそ



●ふくば・ひろやす

昭和女子大学短期大学部学長、お茶の水女子大学名誉教授。大正10年生まれ。東京帝国大学農学部卒。農学博士。お茶の水女子大学教授を経て現職に。応用生物化学、栄養化学を専攻し、脂質代謝の研究などをすすめてきた。現在の興味テーマはビタミンEの生理活性など。

うです。

「ところで、体を構成する皮膚、筋肉、内臓、髪、そして骨や歯も実は3万〜10万種類にもおよぶさまざまなタンパク質からできています。その他、運動したり、物を考えたり、泣いたり、怒ったり、そして笑ったりといったすべての生命現象を営むのに、タンパク質は深く関連している物質なのです」

さらに、「次世代を生む生命の継承という役割もタンパク質が主役を演じます」

このように、体を構成する、動かす、あるいは血液となって酸素や栄養を運ぶ、食べ物の消化・吸収、ホルモンの分泌、体を守る免疫機構など、ありとあらゆる生命現象は、実はタンパク質の働きによって営まれていることになりました。

タンパク質は 体内で代謝する

体内に、ざっと10万種もあるタンパク質。さまざまなタンパク質が役

割を分担し、これら多彩な働きを担っていると考えられます。

「日本人は栄養学的にタンパク質を、1日体重1kgあたり1gを食事として食べなければいけないとされています。また成長期にある子供や妊娠あるいは授乳中の女性は、さらに多くのタンパク質が必要です(21ページ)。

しかし、いくらタンパク質が重要であっても、体の中に常に存在するものであれば、外から食事として補う必要はないように思えます。

「けれども、実際は、体の中のタンパク質は分解と合成を繰り返しているのです。そして、その過程である一定の目減りは避けられない。ですから目減りした分のタンパク質を食事で補ってやらなければならぬのです」。

なるほど、分解・合成の過程でなくなったタンパク質を補うために、タンパク質を食べることが私たちに必要なのです。

「タンパク質は体の中でたえず壊

される一方、新しくつくられて入れ代わりがおきています。この現象をタンパク質のターンオーバー、あるいは代謝回転と呼んでいます」。

人の場合は大人で1日200〜300gのタンパク質が分解されており、そのうち約70gが尿として排泄されたり、垢、汗、髪の毛、爪、その他として使われます。そこで、この約70gのタンパク質が、私たちが食事から摂取しなければいけない最低量となるのです。

「ですから、毎日どのように食事から良質のタンパク質を補うかは、私たちの体を維持し、健康的な生活を行ううえでたいへん大切な問題といえるでしょう」

健康にいきいきと毎日を過ごすには、いかにタンパク質を上手にとるかがキーポイント、と福場先生は強調されました。



タンパク質のターンオーバー

体内のタンパク質は常に新しく生まれかわっている

タンパク質は入れ代わっている

古くなった、あるいは不要になったタンパク質は分解され、新しく合成されたタンパク質がこれに代わります。この現象をタンパク質の「ターンオーバー」、または「代謝回転」と呼んでいます。

タンパク質の寿命によるターンオーバーは、タンパク質の種類によって異なります。たとえば肝臓のタンパク質は約2週間で半分が入れ代わります。赤血球は120日、筋肉のタンパク質は180日です。ある時

点に存在していたタンパク質が分解によって半分にまで減る時期を半減期と呼んでいます。

肝臓、腎臓、心臓の大部分のタンパク質は非常に早いスピードでターンオーバーし、タンパク質が入れ代わっています。一方、皮膚や筋肉、骨などは半減期が長く、タンパク質の入れ代わりはゆっくりと行われます。また、一般に大きな動物ほどターンオーバーの速度は遅くなり、筋肉のタンパク質で較べると、ネズミの半減期は11日、人間は180日となっています。これはネズミの寿命が約2年、人間は約80年ということ

普通、私たちの体の中にあるタンパク質は常に一定の量に保たれています。ところが体にあるタンパク質の量は同じでも、細胞内のタンパク質の中身は常に入れ代わっているのです。それは、体内に10万種ほどあるタンパク質それぞれに寿命があり、体の中で様々な働きをするうちに、その構造が変化したり、あるいは汚れてしまったりして、本来の機能を果たせなくなるからです。

とも関係があるのかもしれませんが、では、なぜタンパク質は分解と合成を繰り返すのでしょうか。

タンパク質の中には常に一定量が必要なものと、そうでないものがあります。例えば、皮膚や筋肉、骨などは常にある量がないと体を維持できません。逆に、体の中の様々な化学反応の触媒となるタンパク質・酵素(28ページ)は、ある時は必要ですが、他の時は不要になったりします。食べ物の消化・吸収に関する酵素を例にとれば、食事のあとには多く必要ですが空腹時には不要です。体中の酵素の量は実は24時間の周

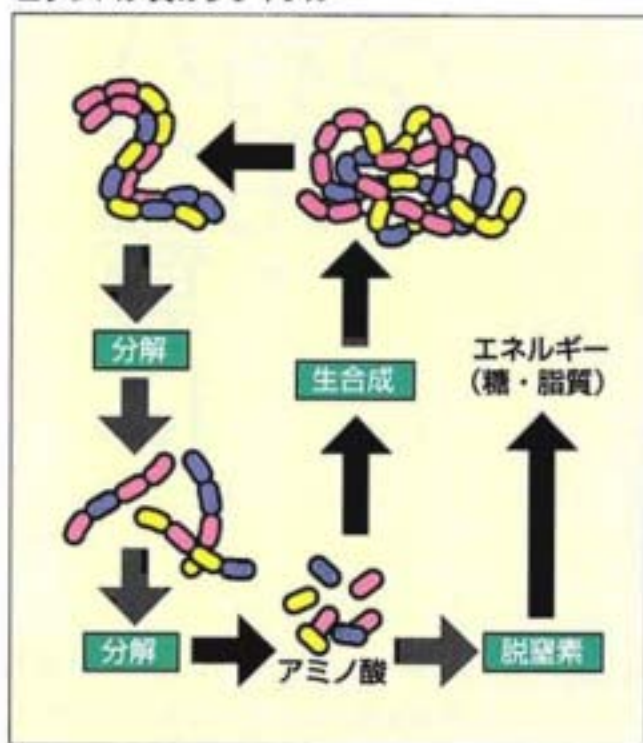
期で減ったり増えたりしています。酵素の量に変動があるということは酵素をつくるタンパク質が、速やかに壊れ、あるいは速やかに合成されているということになります。

また、あるタンパク質は役目が済むとすぐ消えていってしまいます。たとえばある情報を細胞に伝達するタンパク質は、細胞に情報を伝えたあと、じゃまにならないようただちに消滅しなければなりません。いわば使い捨てタンパク質です。しかし

一方、また必要なときにすぐ新しいタンパク質が合成できる仕組みになっているのです。

もうひとつタンオーバーが必要なる理由に、タンパク質の汚れや立体構造の変化があります。体の中で役目を果している間に、それぞれのタンパク質は時間とともに立体構造が変わったり、あるいは汚れてしまったりします。すると、本来の役目を果たせなくなり、新しいものと交代しなければなりません。

■タンパク質のリサイクル



こうしてタンパク質は周期的に体内で分解・合成を繰り返す必要があるのです。

タンパク質のリサイクル

タンオーバーで第一線を退いたタンパク質は図のようにいったん小さく分断されアミノ酸となります。もともとタンパク質は約20種類のアミノ酸がネックレスの玉のようにつながってできたもの(76ページ)。

細胞内のリボゾームという物質によりタンパク質から分解されたアミノ酸は、再び新しいタンパク質の合成材料としてリサイクルされます。また、アミノ酸の窒素部分が外れたあと糖や脂質に作り代えられ、エネルギー源としても使われます。

このように、体内のタンパク質は実に効率よくリサイクルされるのですが、それでも一定の目減りは避けられません。

したがって、この目減り分を食事として補う必要があります。

タンパク質の消化・吸収

食べたタンパク質は どのように利用・ 排泄されるの？

タンパク質は アミノ酸に分解される

食事を通して摂取されたタンパク質は、まず胃に運ばれます。胃の中は内容物の腐敗や発酵を防ぐため塩酸が分泌されており、pH2くらいの強い酸性状態になっています。この酸性状態のもとでは、多くのタンパク質は変性して、立体構造が壊れてしまいます。

タンパク質はアミノ酸がいくつもつながったネックレスのような形をしており、さらにそのアミノ酸のネックレスがらせんになったり折りた

私たちの体を構成し、生命活動を維持するのに不可欠なタンパク質。タンパク質は体内で常に分解と合成を繰り返していますが、古くなったり使えなくなってしまったタンパク質の目減り分を補うため、成人1日あたり約70gのタンパク質を食事から補う必要があります。

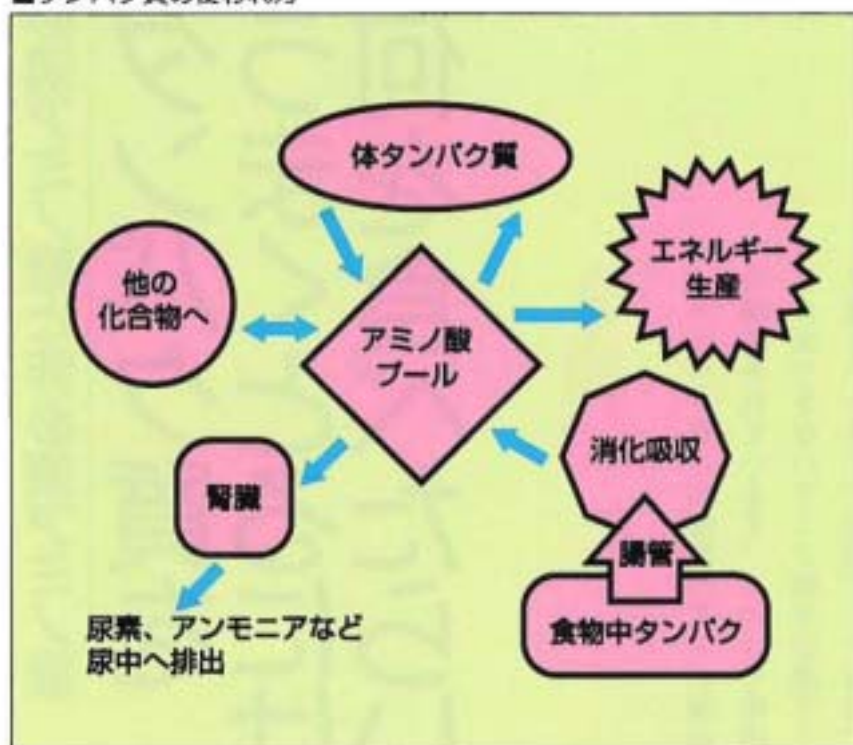
たまれたりして立体構造をとっています(77ページ)。胃の中で強い酸に合うと、この立体構造が壊れ、消化酵素の作用を受けやすくなります。胃の中で働くのはペプシンという消化酵素ですが、ペプシンは普通の酵素と違い酸性の中でもっともよく働く酵素です。酸性状態で立体構造が壊れ、酵素の作用を受けやすくなったタンパク質は、酸性状態で活性化したペプシンの作用を受けやすくなります。

次に食物は、十二指腸に送られます。ここで膵臓から出される膵液と混ぜられます。膵臓は胃のうしろに

ある長さ15cm、幅5cmほどの細長い器官で、そこから1日1ℓ以上出される膵液は消化液中ももっとも強力といわれます。膵液中には重曹が含まれ、これが胃の塩酸によって酸性化した食物を中和します。また、トリプシン、キモトリプシン、カルボキシペプターゼなど、中性下で働くタンパク質分解酵素も含まれています。

食物はさらに回腸に進みますが、この間にタンパク質はさらに細かく切断され、アミノ酸がごく小さなペプチド(アミノ酸がいくつかつながったもの。76ページ)になります。回腸・空腸でもペプチドは分解さ

■タンパク質の使い方



れ、アミノ酸となって、小腸の粘膜から吸収され血液とまじり肝臓へと運ばれます。

肝臓は人体最大の代謝活動の中心で約2500億の肝細胞をもっています。肝臓に含まれる酵素はおよそ2千種。それらの酵素が瞬時に500種にもほる化学反応を行って

ます。肝細胞1個が、1分間に作り出す新しいタンパク質は60万〜100万個といわれます。

すなわち、食物として摂取したタンパク質は消化管を通り、消化酵素の働きでアミノ酸に分解され、小腸粘膜から吸収されて血液と混じって肝臓へ運ばれ、そこで再び体に必要なタンパク質へと形を代えて生まれかわるのです。

アミノ酸が分解する過程

こうして体内に必要な形になったタンパク質は、15ページで述べたように分解と合成を繰り返しながら、ある一定量を体内で保ちそれぞれの役目を果たしています。

タンパク質は分解されると再びアミノ酸になり、一部はリサイクルされ、再びタンパク質の合成材料となりますが、一部はアミノ酸の窒素部分だけがはずれ、炭素部分は脂肪や糖質に作りかえられ、エネルギーとなります。ここでははずされた窒素部分は

尿素に代えられ排泄されます。

アミノ酸が分解する過程を少し詳しく説明すると、まずアミノ酸に含まれる炭素と水素は二酸化炭素(CO₂)と水(H₂O)に分解されます。残ったアミノ基(-NH₂)は生体にとって有毒なアンモニア(NH₃)に変化。この一部は無害なものに変化しますが大部分は肝臓に送られ、無害で水に溶けやすい尿素になり、腎臓を経て排泄されます。

ここでも肝臓は大きな役割を果たしています。

健康な人では摂取したタンパク質中の窒素の量と、尿として失われる窒素の量は等しいとされ、これを「窒素平衡」と呼んでいます。

窒素平衡を維持するには成人の場合には体重1kgあたり1日平均0.6gのタンパク質が必要とされ、タンパク質の所要量はこの必要量にストレス、個体差、タンパク質の相対的利用効率などの安全を見込んで1日体重1kgあたり1.08gとされています。

必須アミノ酸と非必須アミノ酸

タンパク質を うまくとるには 何を食べたらいい？

9種類ある 必須アミノ酸

タンパク質は20種類のアミノ酸から構成されています。このうち体内で合成できないアミノ酸を必須アミノ酸といいます。必須アミノ酸の種類は動物によって異なりますが、人間の場合9種類がこれにあたります。トリプトファン、メチオニン、リジン、フェニルアラニン、ロイシン、イソロイシン、バリン、スレオニン、そしてヒスチジンが必須アミノ酸です。

これらのうち1種類でも欠けると

体内に摂取した窒素量と排泄される窒素量のバランス（窒素平衡）が崩れ、重大な栄養障害を起こします。

それ以外のアミノ酸は体内で合成することができますが、必須アミノ酸は、常に食品から摂取しなければなりません。したがって、タンパク質を上手に食べるといことは、とりもなおさず、必須アミノ酸をバランスよく含んだ食品を食べることに なります。

その点食肉は、これら9種類の必須アミノ酸をバランスよく、しかも豊富に含んだタンパク質といえるでしょう。しかも植物性タンパク質に

食事で食べたタンパク質は基本的にアミノ酸に分解されてから体内で利用されます。ですから食品として本当に必要なのはタンパク質というよりもアミノ酸かもしれません。

比べ、食肉などの動物性タンパク質は吸収率がよく、前者が吸収率84%に対し、後者は97%と優れています。

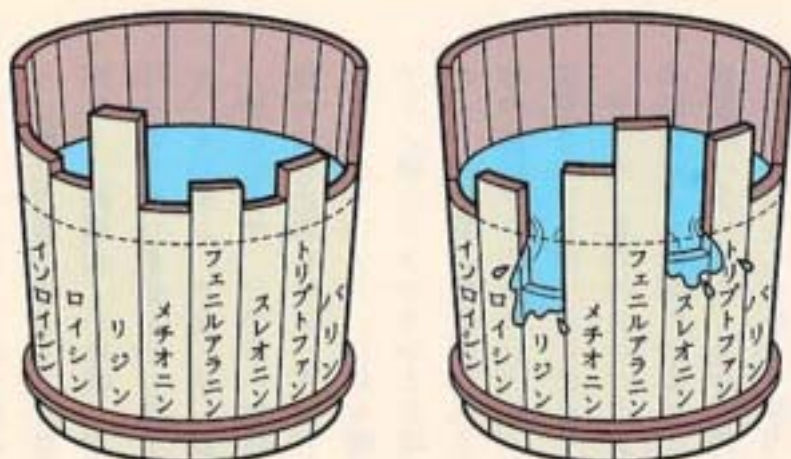
必須アミノ酸は 生体に不可欠

ところで、必須アミノ酸をとらないと、いったいどんなことが私たちの体に起きるのでしょうか。

体重100〜120gの若いネズミに小麦粉の主なタンパク質であるグルテンを唯一のタンパク質源として与えます。餌には十分な量のビタミンや塩類を添加します。しかし、ネズミはいっこうに成長しません。

■タンパク質の栄養価くらべ

タンパク質は必須アミノ酸でできた桶のようなもの。一つでも基準に満たないアミノ酸があると、そこから栄養がもれ出してしまう、栄養価が低くなってしまいます。



豚肉
アミノ酸スコア100

精白米
アミノ酸スコア64

■必須アミノ酸と略号

トリプトファン	Trp
メチオニン	Met
リジン	Lys
フェニルアラニン	Phe
ロイシン	Leu
イソロイシン	Ile
バリン	Val
スレオニン	Thr
ヒスチジン	His

なぜなら、小麦のタンパク質であるグルテンには、必須アミノ酸であるリジンとスレオニンが不足しているからです。

では今度はこのネズミに牛乳の主なタンパク質であるカゼインをグルテンの時と同量与えてみましょう。すると、ネズミはよく成長します。

牛乳のタンパク質カゼインの中には必須アミノ酸のリジンとスレオニンも十分含まれているからです。

さて、次にネズミに最初と同じように小麦タンパク質であるグルテンを与えます。ただし、このグルテンには、カゼインと同じレベルまで必須アミノ酸であるリジンとスレオニンを強化しています。すると、ネズミは牛乳のタンパク質カゼインを与えたときと同様に成長します。

必須アミノ酸はこのように、生体に欠かすことのできない重要な栄養素で、常に一定量を食事で摂取しなければならぬものです。

もっとも必須アミノ酸以外のアミノ酸も、まったく不要というわけでは

はありません。実は必須アミノ酸だけでは動物はうまく成長できないのです。というのは、必須アミノ酸から非必須アミノ酸をつくる速さはそれほど早くないからです。したがって非必須アミノ酸もある程度食品から補給する必要があります。

タンパク質の
評価方法

生体になくならないタンパク質の栄養価はどのようにして決められるのでしょうか。簡単に説明すれば、タンパク質の栄養価は必須アミノ酸の含有量とバランスによって決まるといえます。

すでに述べてきたように、タンパク質の栄養価は、この中に含まれる必須アミノ酸の絶対量によって支配されますが、また同時にその相対比率によっても大きく支配されています。このため数多くの実験が行われ、理想的な必須アミノ酸相対比率が求められています。この比率を基準として各種の食品中の相対値が

計算できません。

たとえばあるタンパク質の必須アミノ酸含有量を測定し、理想的な必須アミノ酸組成とを比較して含有比率の最も低い数値を示したアミノ酸を、そのタンパク質の第一制限アミノ酸とします。この第一制限アミノ酸の含有比率をタンパク質とします。

このようにタンパク質を構成するアミノ酸にバラツキがある場合、そのタンパク質の栄養価は最も相対比率の低いアミノ酸のレベルによって規定されてしまうことになります。

その点、食肉のタンパク質の最大の特徴は、9種類の必須アミノ酸を豊富にバランスよく含み、調理による損失もほとんどなく、体内での利用効率も良くなっています。逆に必須アミノ酸のバランスが悪く、含有量の少ないタンパク質は、生体の構成成分や酵素、防御タンパク質やホルモンなどの生合成に十分活用されることなく、ただエネルギーとして燃焼するだけ、あるいは尿として排泄されてしまいます。この点も食肉

■一種類の食品をタンパク源とすると…



のタンパク質は、生体内でタンパク質ならではの活動をするのに適したアミノ酸バランスと消化吸収のよさを持ち合わせ、ムダが少ないといえるでしょう。

また、図は一種類の食品だけで、

1日に必要なタンパク質の量を満たすにはどれだけ食べればいいのかを示したものです。この図からも食肉は効率のよいタンパク質源のひとつといえます。

年齢・ライフスタイル別タンパク質の食べ方

タンパク質は どんな世代にも 必要な栄養素です

成長と タンパク質

第一の成長期である生後1年間はタンパク質の蓄積の時期です。このとき成長ホルモンが重要な役割を演じます。成長ホルモンは直接タンパク質の合成を促進する他、糖質の代謝を調節することにより間接的にもタンパク質の合成を促します。

この時期乳児は、普通母乳で育ちます。出産直後分泌される初乳は免疫力が強く、細菌の細胞膜を破壊するリゾチームや、抗菌作用を持つラクトフェリン、IgA抗体などが含

まれています。人工栄養児より母乳栄養児が病気にかかりにくいのはここに理由があります。また、母乳で育てたほうが、あきらかにアレルギー症状が現れにくくなっています（66ページ）。

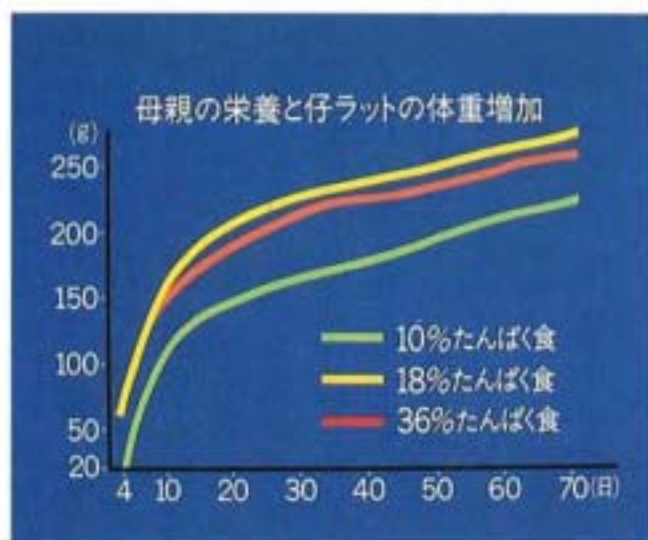
したがって、授乳中は母乳を分泌するためにも、母体の回復のためにも十分なタンパク質の摂取が必要です。母乳の1日の平均分泌量は850ml。そのうちタンパク質の含有量を1・1%とすると、授乳によって1日平均9・4gのタンパク質が母体から失われています。授乳期は1日あたり20gほど余分にタンパク質

1個の受精卵から出発した私たちの体は、およそ60兆個の細胞から構成されており、それらの主要な成分は水とタンパク質です。たった1個の受精卵から、健やかに成長し、健康な日々を送るためにも、タンパク質の摂取はたいへん重要です。

をとる必要があります。

一方、成長の初期段階で、タンパク質が不足するとその後の成長に大きく影響があります。ラットの実験では妊娠期・授乳期を通して低タンパク質で育てた場合、22ページのグラフのように体重が少なくなるばかりか、短命で脳のDNAの総量、脳細胞数が少ないことがわかりました。脳の発育には胎生期から幼児期の栄養が重要で、とりわけ、妊娠中の十分なタンパク質の摂取が問題となります。

妊娠中に低タンパクであると、離乳後にいくら高タンパクで育てても



妊娠中の栄養障害は取り戻せないとの報告もあります。

思春期とタンパク質

思春期は第二成長期で、性ホルモンの働きが盛んになります。また、以前日本人の体格が欧米人に較べて劣っていたのは、この第二成長期における成長が少ないことが原因でした。最近では食肉をはじめとする良

質なタンパク質を摂取することで、栄養状態が向上、徐々に体位の差が縮まっています。

国民栄養調査によると1992年の14歳の男女平均身長は男子164.0 cm、女子156.6 cm。ちなみに戦後すぐの1946年には男子150 cm、女子148 cmでした。この年の動物性タンパク質の摂取量は約11 g、1992年には42.5 gと飛躍的に伸びています。良質なタンパク質の摂取は思春期の体位の向上と深い関係があるといえるでしょう。

ストレスとタンパク質

このように生体の成長に良質のタンパク質は不可欠ですが、また一方でストレス社会を生きる現代人にとっても、タンパク質の摂取はたいへん重要なファクターです。

健康に関する総理府の調査によると、全国20歳以上の2463人の3分の2が「疲れを覚えたことがある」と答え、このうち一晩寝ると疲れが

とれると答えた人は、6割足らずでした。OA化に伴うコンピュータを中心とした労働は、精神的緊張と静かな筋肉作業の持続が必要で、それが蓄積疲労を招く大きな理由の一つになっています。

また、混雑した電車に立ったまま往復2時間の通勤に費やすエネルギーは約400 Kcalで、事務系の仕事に8時間費やすエネルギー約740 Kcalの半分以上になります。このような疲労が慢性化すると、外からの刺激、いわゆるストレスに対応ができにくくなり、疲れきって適応力を失い、場合によっては疾病に陥りやすくなります。

寒さや騒音、不安、感染、緊張、疲労などのさまざまなストレスは現代社会にはつきものであるが、こうしたストレスにさらされると、私たちの体の基礎代謝は普段より30~40%も高まり、それだけエネルギーが余計に使われることとなります。すると、体はそのエネルギーを体内貯蔵のタンパク質からも補充します。た

たとえば、外傷を受けたときに損失するタンパク質の量は1日15〜25gにのぼると報告されています。

また、最近ではストレス時に、体内のタンパク質の合成を促したり、タンパク質の輸送を早めたりして生体防御をサポートする一群のタンパク質が見つかっています。このことから、ストレス社会を生きぬく働き盛りの人は、とくに十分なタンパク質の摂取を常にこころがけなければならぬといえるでしょう。

健やかな熟年期とタンパク質

戦後、日本人の寿命は飛躍的に伸び、1984年には男女とも世界一の長寿国となりました。しかし、平均寿命が50歳を越したのは1947年のこと。欧米諸国と約50年もの差がありました。平均寿命の伸びを抑えていたのは乳児死亡率の高さと、結核などの感染症による死亡率です。しかし、戦後感染症による死亡は激減し、死亡原因の1位であった結核

にとつてかわった脳卒中も次第に減少しています。

こうした変化の原因は、いうまでもなく食生活の変化にあります。明治末期から大正にかけて、日本人の油脂摂取量は13g、動物性タンパク質はたった3gです。ところが1992年（平成4年）には、油脂の摂取量は約4・5倍の58g、動物性タンパク質はなんと約14倍の42・5gにも達しています。

このように、動物性タンパク質の摂取量と寿命の伸び、あるいは感染

症の減少は密接な関係にあります。

米などの穀物と野菜を中心にした塩分の多い食事から、動物性タンパク質を加えた副菜を多くとるようになったことが、戦後日本人の感染症を減らし、世界一の長寿国へ導いたといってもよいでしょう。

従来野菜と穀類中心の食事に加え、食肉などの良質の動物性タンパク質と適度な脂肪をとり入れたバランスのよい食事が、健やかで、エネルギー豊富な熟年世代を形成するものになっているのです。



健やかシニアの栄養学

東京都老人総合研究所
柴田博先生に聞く

世界一の長寿国となった日本。

高齢化社会を迎えて、今いかに健やかに、楽しくシニアを送るかが予防医学の大きなテーマのひとつになっていきます。東京都老人総合研究所副所長で、地域保健研究部長をなさっている柴田博先生は「元気に長生きするするには栄養豊かな食事が不可欠」と強調されます。

「粗食が長生きのコツというのは間違いですよ。現に100歳以上の老人は、しっかり肉など動物性食品を毎日のように食

べています」(クラフ)。

「歴史的にも地理的にも菜食中心では長生きができません。日本でも戦後動物性の食品摂取が増えたことで、結核などの感染症が減り、ついで脳卒中が減っています」

けれども、タンパク質や脂肪をとりすぎると心臓病が増えるときいています…。

「心臓病を増やすほどの肉の過剰摂取は、まず普通の日本人の食生活にはないでしょう。タンパク質の動物性と植物性の摂取比率を見ると、日本が1対1。

これに対して欧米では6対4の割合です。逆に東南アジアでは3対7と植物性食品が多くなっています。世界一の長寿を日本にもたらしたのは、実はこの東南アジア型の食事に偏った食事に、肉などの動物性タンパク質、脂肪を加え、動物性と植物性の摂取比率が同じになったところ

にあるのではと、世界中から注目されているくらいです」

もし、日本が菜食中心の食生活に戻れば

「日本人の寿命もまた短くなってしまおうでしょうね」

と、柴田先生。

「年をとったから肉など食べる必要がない、摂取カロリーも落とすべきというのは間違いですよ。老人会の活動やゲートボールなどのスポーツ、ボランティアなどで元気に活動している人は、若いときとさほど食事の内容を変えする必要はありません。栄養素の中にはむしろ若いときより割合を増やした方がいいものもあるとか。

「たとえばタンパク質、エネルギー量に占める割合からいくと20歳より70歳の方が多くなっています」

ビタミンやミネラルも割合でいくと若いころより多くなつて

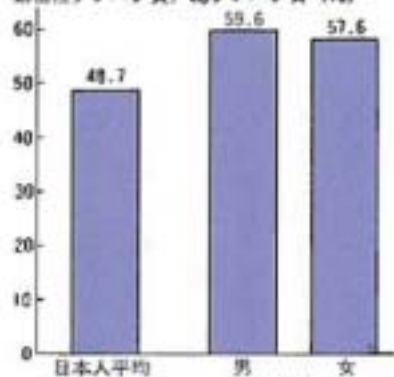
います。

「東京都小金井市の調査では70歳以上の老人の観察から年をとるにつれ動物性食品の摂取頻度はむしろ多くなっています。年をとるにつれ栄養の消化吸収率や利用率は落ちてきます。そこへ、さらに栄養素の摂取量を減らせば、

「いきいき暮らすためのエネルギーは不足してしまいます」年をとったからこそ、より栄養に気をつけて、良質で消化・吸収のよいタンパク質や脂肪をきちんと食べる長寿のコツはこのへんにありそうです。

●100歳老人(1972~73)と日本人平均(1972)の動物性タンパク質摂取比率の比較

動物性タンパク質/総タンパク質 (%)



出典・柴田博：現代医療32, 12, 1991年



東京都老人総合研究所
副所長 柴田博先生

●SECTION●

2 タンパク質は いろいろな仕事をしている

●荒井 綜一

体を動かす。ものを考えろ。 生命現象のすべては タンパク質が主役

タンパク質は働き者

私たちは「タンパク質」がヒトの体にとって、いかに大切なものであるかを、小さいときから知っています。

「タンパク質が足りないと背が高くならない」、「タンパク質を食べないと丈夫にならない」、あるいは「タンパク質が足りない」と、頭がよくならない?」などといわれて、タンパク質の多い肉や卵、牛乳などを一生懸命食べたの思い出す人も多いことでしょう。でも、「なぜ、人間にはタンパク質という栄養素が必要なの

のか」、「タンパク質は人間の体でどのような役割をしているのか」については、あまり深く教わってきていないのではないのでしょうか?

タンパク質は 生命そのもの

毎日の食べ物から栄養素としてとったタンパク質が、体の中で、ものを考える時に役立ったり、背が伸びるのを助けたり、あるいは病気にならないような丈夫な体を作るのはなぜなのか、考えてみれば

不思議なことです。

「ええ、考えてみればタンパク質が、これだけ私たちの体の中で重要な働きをしているのは不思議なことですよ。なにしろ、タンパク質は「生命」そのものといってもいいくらいで、生物の一生に、そして子孫の生産にも欠かせない役割を担っているんです」

東京大学大学院農学生命科学研究科教授の荒井綾一先生は、タンパク質が、生命現象のすべての主役だと解説されます。

「タンパク質は二存じのように英語ではProteinといいますが、プロテインとはギリシャ語の「第一人者」という言葉に由来しています。つまり、生命現象の第一人者という意味がプロテインという言葉に込められているといっています」

このプロテインという言葉は、学術用語としてはかなり古く1838年、今から150年以上も前から、用いられてきたそうです。生物の中にはタンパク質が含まれている



●あらい・そういち

東京大学大学院農学生命科学研究科教授、農学博士。昭和10年生まれ。東京大学農学部農芸化学科卒。東京大学大学院農学系研究科修士課程修了。研究テーマは食品のさまざまな機能の解析と設計など。動物、植物、微生物由来の食品のタンパク質を対象に、酵素学的方法や分子生物学的方法を駆使して研究している。この研究で平成6年度日本農芸化学会賞を受けた。

こと、そして生物の営みにたいへん重要な物質であることが昔から知られていたのです。

ところで、私たちヒトにかぎらず、全ての生物は細胞が集まってできています。細胞は生物が生物として生きていく上での、最少単位です。ヒトの細胞は全部で60兆個あるといえます。その60兆個もある細胞の一つ一つが、それぞれ生命の営みに欠かせない三つの能力を備えています。

一つは自己増殖。つまり自分とそっくり同じ細胞を作る能力。もう一つは栄養分をとり入れ新陳代謝を行う能力。そして最後に外界の変化に合わせて自分の内部環境を調節する能力です。

細胞を構成するタンパク質

細胞を構成する物質で最も多いのが水で、全重量の約70

%を占めています。では、その次に多いのは何かというとタンパク質です。細胞を構成する分子の15%を占めています。これに糖質、脂質、そして核酸が続きます。

ヒトの細胞を構成するタンパク質の種類は3万〜10万種といわれています。これに比べ、単細胞生物である大腸菌のタンパク質は3千種ほど。生命体が複雑になるほど、それを構成するタンパク質の種類も増える、と荒井先生は解説します。

「人間のよう的高等な生物になると、ひとくちに細胞といってもいろいろな種類の細胞を持っています。たとえば肝臓には肝臓特有の、筋肉には筋肉特有の細胞があります。ヒトの細胞は約200の種類の種類があるといえます。細胞の種類が違えば、その中に存在するタンパク質の種類も違って

くるわけで、したがって人間の体のタンパク質は3万〜10万種にもものぼるわけです」

体の中にある膨大な種類のタンパク質は、生命活動の実際の担い手となって日夜働いています。

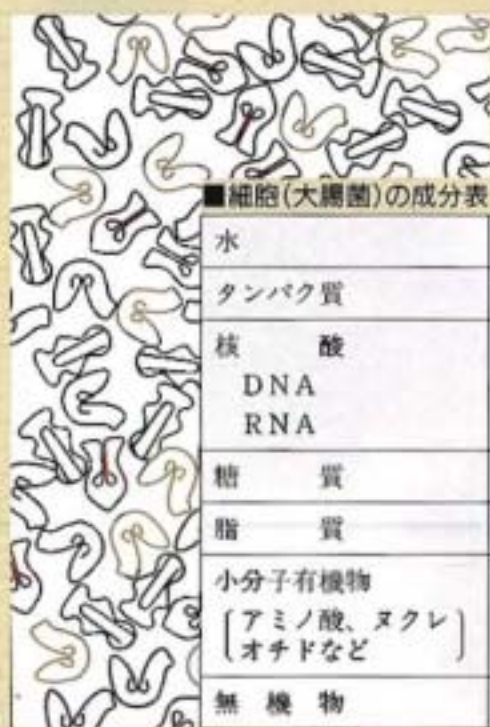
「物を食べて消化する、それを栄養として吸収し、体の隅々まで運ぶ、それをエネルギーにして体を動かす。これは、すべてタンパク質の働きによります」

また、ヒトの体の大部分は

タンパク質からできていることも忘れてはなりません。髪の毛、目、皮膚、筋肉、そして骨や歯、血液などの体液にもたくさんタンパク質が含まれています。

さらに、体の中で起こる様々な化学反応の触媒の役目をする酵素も、実はタンパク質でできています。

このように多彩な働きを持ったタンパク質は、まさに私たちの生命を支える主役といえるでしょう。



■細胞(大腸菌)の成分表(%)

水	70
タンパク質	15
核酸	
DNA	1
RNA	6
糖質	3
脂質	2
小分子有機物 [アミノ酸、ヌクレ オチドなど]	2
無機物	1

天然の触媒「酵素」の働きⅠ

タンパク質の研究は 酵素から始まった

春は桜に酔い、初夏は新緑の野山に遊び、秋に紅葉を狩り、冬は雪を愛でる。私たち日本人は四季のうつろいととも文化を育んできました。ところで、豊かな自然を彩る草花も、実はタンパク質によってその生命を育み、美しい花を咲かせます。

植物も微生物も生き物である以上、その生命現象の担手はタンパク質。桜の花が開くのも、木々が成長するのもタンパク質の働きがあればこそ、なのです。

タンパク質の種類のうち、

主なものをあげてみましょう。

- ① 運搬タンパク質……酸素を運ぶヘモグロビンなど。
- ② 収縮タンパク質……筋肉など体を動かす。
- ③ 防御タンパク質……抗体など外部からの異物から生体を守る。
- ④ ホルモン……生命活動を調整し生体の恒常性を維持。
- ⑤ 構造タンパク質……身体の形、骨組をつくる。
- ⑥ 酵素……生体内の化学反応をすみやかに行わせる。

タンパク質研究の 始まり

ところで、これほど重要なタンパク質の研究はいつごろ始まったのでしょうか。

タンパク質が、純粋な形でとりだされたのは、今から120年以上も昔のこと。1867年、血液中の血色素——

ヘモグロビンの結晶としてとりだされました。さらに、それから60年後の1926年ウレアーゼという酵素タンパク質の結晶が、ナタマメからとりだされました。これにより



酵素がタンパク質であることが証明されました。

タンパク質の構造が後で述べるように(74ページ)、アミノ酸の分子がネックレスのようにつながってできていることが具体的にわかったのは、戦後のこと。けれども、酵素がタンパク質だと証明されたことで、タンパク質の研究は発展したといえるでしょう。

それは、「酵素」が、ほかのタンパク質にはない、大きな特徴を持ったためです。

酵素の持つ特異性

酵素はタンパク質の中で、最も多くの種類を持ち、その数は2千種にもおよぶといわれます。これだけ多くの種類がありながら、酵素には、「ひとつひとつの酵素が、それぞれ特別な物質にだけ作用する」という性質があります。

これを酵素の特異性と呼ん

でいます。

つまり、それぞれの酵素はそれぞれ反応する相手「基質」を選び分けて、特定の物質とだけ反応するのです。しかも、酵素自身はこわれたり形を変えないことなく、何万倍、何百万倍もの分子を変化させます。

酵素はその表面に特定の物質とだけ結合する凹凸を持っていて、この凹凸で結合できる特定の相手を認識します。ここで触媒作用が働き、化学反応によって相手を変化させます。ひとつの種類の酵素は常に一定の相手とだけ反応し、一種類の化学反応だけを行います。

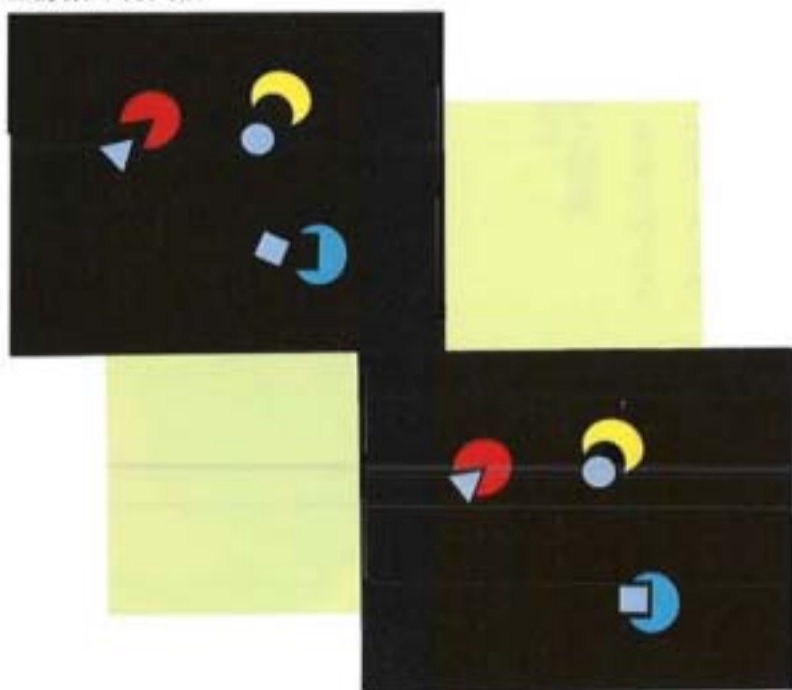
一方、絹や毛、あるいは卵などのタンパク質は、酵素のように種類も多くなく、比較的単純なかたちで存在しています。こうしたタンパク質をとりだして研究する方が簡単に見えますが、逆に化学的な

特徴が少なく、タンパク質同士がしっかりからみあっているので、水に溶けにくく、精製してとりだすことが難しいのです。

酵素は、特定の相手とだけ結合し、しかも酵素自身は変わらないという性質を持って

いるので、ひとつの酵素だけを精製することが、他のタンパク質に比べて容易です。この点が注目され、タンパク質の研究は酵素により発展していったのです。

■酵素の特異性



天然の触媒「酵素」の働き II

ヒトの体は まるで巨大な 化学工場のようなんです

「酵素」は英語ではエンザイム(enzyme)。「酵母の中にあるもの」という意味です。酵母は微生物の一種で、パンやみそ、酒などは、酵母により発酵させて作ります。

たとえばアルコールは酵母が糖質を分解して生まれます。酵母はブドウ糖に作用し、発酵が始まり、ついにはアルコールとなりますが、この過程で、12種類もの酵素が必要で

学反応に携わり、12段階もの過程を経て、アルコールが作られるわけです。そして、12種類の酵素はすべて酵母の中から純粋なタンパク質としてとりだされています。

酵母のように小さな微生物ですら、このように12段階もの化学反応のプロセスを経るわけです。これをヒトの体に置き換えてみると、いかに多くの化学反応が膨大な数の酵素によって、行われているかが、おわかりいただけるでしょう。

穏やかなのに 整然と働く酵素

ヒトの体は、まるで巨大な化学工場のようなです。ヒトの体内では生きていくために何千種類もの化学反応が同時に進行しています。この巨大な化学工場の中で、酵素は何千種類もの化学反応を円滑に進めるために、日夜働いているのです。

化学反応というと、私たちは、ピーカーやフラスコに熱を加えたり、急激に冷やしたり、あるいは酸やアルカリを

加えたりといったシーンを思い出します。実験室では、時には試験管が爆発して、ケガをしたり、一つの化学反応ができるまで何日も辛抱強く待ちたり、あるいは実験そのものが見当はずれだったりすることもあります。

けれども、ヒトの体で起こる化学反応は、非常に穏やかに、正確に、しかも素早く行われています。これも酵素という天然の触媒の持つすばらしい特徴のおかげといえるでしょう。



生体内での化学反応は、体温程度の温度と大気圧のもとで、強い酸もアルカリも使わずに進行します。

温度摂氏約37度、pHは中性付近という、ごく温和な条件の下で、生体内の化学反応は常に行われているのです。

たとえば、胃の中で肉を消化するプロセスを考えてみましょう。肉のタンパク質は胃や小腸の中でアミノ酸に分解されます。はじめに胃の中でペプシンという消化酵素によって、タンパク質はおおまかに分解されます。

次に小腸では、膵臓から分泌される複数の酵素——トリプシン、キモトリプシン、エラスターゼ、カルボキシペプチターゼなど——の作用でアミノ酸や、2〜3個のアミノ酸の結合体(オリゴペプチド)になります。こうしてアミノ酸や、オリゴペプチドとなっ

たタンパク質は、小腸の粘膜から吸収されます。

肉のタンパク質が、胃や腸で数々の消化酵素が触媒として働くことにより分解されて、体内に吸収されていく過程がおわかりいただけたと思います。

酵素は素早く、 酵素的に働く

ところで、この消化・吸収のプロセスを、酵素の助けなしに行ったらどうなるでしょうか。実験室では、まず肉を強い塩酸につけ、そのまま100度以上の熱を、24時間の間かけ続ける必要があります。酵素はこれを熱も酸も加えずに、ヒトの体内で素早くやっつけてくれるのですから驚きです。

生体内の化学反応は、酵素なしの場合と比べ、10の7乗から10乗の速さで行われるといます。また、酵素が1分

間に合成または分解する分子の数はおよそ1000〜1万にものほり、中には4億ノもの新しい物質をつくりだす酵素もあるといえます。

しかも、酵素はある特定の物質にしか反応しないという特異性を持っています。そのため、体の中に数千という酵素が存在しても、それぞれの酵素がひとつひとつ反応の相

手物質(基質)を選び分けるので、生体内で起こる複雑な化学反応も、混乱せずに整然と行われるのです。

この酵素の特異性は生体の維持の複雑さを見事に解き明かす驚くべき特性で、人間は今、この酵素の素晴らしい特性を真似て、バイオテクノロジーの分野に利用しようと研究が進んでいます。



体を動かす収縮タンパク質 I

しなやかな体、
しなやかな動きを
つくるタンパク質

スポーツ選手たちの躍動す

る筋肉としなやかな動きは、私たちにさわやかな感動を呼び起こします。彼らの健康的な美しさは、しなやかな筋肉の動きによるものです。

しかし、筋肉の本当の役割は、動物の根源的な特徴にあります。動物のもっとも大きな特徴は「自分で動く」ことです。「自分で動く」ことを支えているのは、筋肉です。伸びたり縮んだりして生体を動かす筋肉も、実は収縮タンパク質というタンパク質から成

り立っています。

私たちの体の表面は皮膚と脂肪層に覆われています。筋肉は皮膚と脂肪層の内側であり、筋線維が結合組織で束ねられたものを指します。

筋線維とは、長さが数センチにもおよぶ細長い円柱状の細胞で、その中に筋原線維という収縮性の線維タンパク質が詰まったものです。筋線維には、横縞がある横紋筋と、縞がない平滑筋の2種類があります。

身に分布しています。体の形成に役立つ、骨格筋も横紋筋です。これによって起こる動きは、自分の意志でコントロール可能なために随意筋とも呼ばれます。

一方、横縞のない平滑筋は自分の意志でコントロールできないため、不随意筋と呼ばれています。内臓や血管の壁を形成する筋肉は、すべて不随意筋である平滑筋です。ただし、心臓は横紋筋でできていますが、自分の意志で動きをコントロールできないため、めとくに心筋と呼んでいます。

筋肉を構成する
筋タンパク質

筋肉を構成する細長い円柱形の細胞——筋線維の中には、収縮性の線維タンパク——筋原線維があります。電子顕微鏡では、フィラメントという微細な線維が規則的に配列されているのが見えます。フィラメントには、太いものと細いものがあります。太いフィラメントはミオシン、細いフィラメントは、アクチンというタンパク質が主体です。この2つが筋肉中のタンパク質の80%を占めています。

ところで、私たちが食べる食肉ですが、豚や牛など種類を問わず、普通は動物の筋肉部分を食べています。つまり筋肉中のタンパク質——ミオシンとアクチンを摂取していることとなります。二つのタンパク質は栄養源としても大切なものです。

さらにミオシンとアクチンは、私たちの筋肉を動かす、様々な動作をつかさどる主役のタンパク質でもあります。

筋肉が動く仕組み

走る、跳ぶなどの運動や、立ち上がる、座るなどの動作は、神経の刺激が筋肉に伝わり、その筋肉が収縮と弛緩を繰り返すことで起こります。

運動や動作にかかわる筋肉は横紋筋で、脳脊髄神経の支配下に、平滑筋と心筋は自律神経により支配されます。神経系は筋肉を構成する筋線維に網の目のように張りめぐらされています。

神経から刺激が伝わると、筋原線維を構成する太いフィラメントの間に、細いフィラメントが引き寄せられ、滑り込むような形で筋肉を収縮させます(図)。細いフィラメントは球状のアクチンというタ

ンパク質が線状に配列したものの集合です。一方、太いフィラメントは、ミオシンというタンパク質の分子の集まりで、表面には多数の突起が出ています。

1個のミオシン分子の大きさはアクチンの10倍で、「矢」のような形をしています。そして、ミオシンの集合体である太いフィラメントの表面の突起は矢羽根の部分にあたり、イメージして下さい。

一説によると筋肉の収縮は、この太いフィラメントの表面突起、つまり矢羽根部分が、細いフィラメントのアクチンと結合することから始まるといいます。

アクチンと結合した突起部分は、すぐに矢羽根の角度を変え、細いフィラメントを内側にたぐりよせます。細いフィラメントのアクチンとの結合部分は、引っ張られて切れ

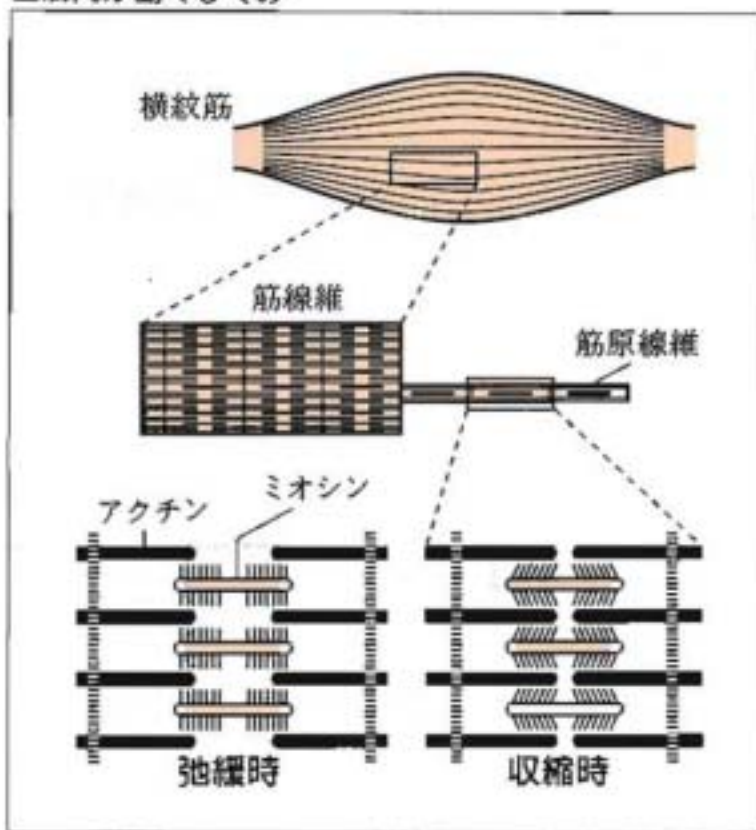
突起部分は再びもとの位置にもどります。この運動を素早く繰り返すことで、細いフィラメントを滑らし、筋肉が収縮すると考えれば、わかりやすいかと思えます。

ボートに例えれば、太いフィラメントを構成するタンパク質、ミオシンの突起がオールです。筋肉の収縮が起こる

のは、オールを動かすことで、水——すなわち細いフィラメントを構成するアクチン——をひきよせてボートを前進させるのに似ています。

もちろん、実際はさらに精妙な仕組みがタンパク質ミオシンとアクチンの間で働いていると考えられます。

■筋肉が動くしくみ



体を動かす収縮タンパク質 II

筋肉を動かす
エネルギーはどこからくるのか？

体の燃料となるATP

筋肉を動かすのは、アクチンとミオシンという「収縮タンパク質」の働きで、ミオシンの突起をオールに見立てると、ホートを漕ぐのに似た動きになると説明しました。

しかし、ホートを漕ぐのにエネルギーが必要なように、筋肉を動かすにもエネルギーが不可欠です。それでは、筋肉を動かすエネルギー源はいったいどこからくるのでしょうか。

ここに生命が生きていく上で絶対不可欠の物質を紹介しましょう。「アデノシン三リン酸」、略してATPと呼ばれる物質です。

ATPは細胞がエネルギーを必要とする仕事をするときに必要な物質です。ATPは人間社会にたとえれば、貯金のようなもの。お金で欲しいものが買えますが、そのため私たちが日々働いて貯金をしなければなりません。



同様に細胞は活動し続けるために、糖質その他の栄養素を分解するときに行えるエネルギーを使って、常にATPを合成し続けなければなりません。生存のためのどんな活動にも、ATPが必要です。

ATPは生体の貯蔵燃料のようなものといえます。

さて、私たちは食べ物を食べてエネルギー源としています。食物は口から入り、胃や腸などの消化器官を経て、吸収・代謝され、最後にはその代謝物が二酸化炭素や水、尿

素として排出されます。この過程で、いくつかのATPが合成されます。

ATPは、分解するときたいへん大きなエネルギーを放出します（1モルあたり8Kcal）。これが、細胞がエネルギーを必要とするときに燃料として働きます。

話を筋肉の収縮にもどしましょう。筋肉が収縮するときもATPが関与します。

筋肉の収縮はアクチンとミオシンによりですが、この二つのタンパク質の結合体にATPを加えると、収縮と似た現象が起こることが示されています。

筋原線維を構成する太いフィラメントの収縮タンパク質であるミオシンの突起部分は実はATPを分解する働きを持っています。筋肉が収縮するとき、ATPがミオシン突起部で分解され、エネルギー

が発生します。このエネルギーが、細いフィラメントを滑らせることに使用されます。

ATPの分解によって生じた化学エネルギーが、筋肉の収縮に必要な機械エネルギーに変換したわけです。変換のエネルギー効率は約60%。ガソリンがエンジンを動かす機械エネルギーに変換する効率が10〜20%ですから超高効率の変換といえます。

カルシウムと筋肉の収縮

ところで、筋肉を縮めたり伸ばしたりという指令は神経からどのように伝わるか見てみましょう。

筋肉の細いフィラメントには実はアクチンばかりでなく、他のタンパク質もあることがわかりました。トロポニンというタンパク質で、アクチン7分子につき1分子の割りで存在しています。トロポニン

は筋肉を縮めたり、伸ばしたりという指令を伝達する役目をしています。

まず、筋肉収縮を起こさせたいという情報が神経から筋肉に刺激として伝わります。刺激は筋肉の細胞を構成する収縮性の線維タンパク質、筋原線維に伝わり、この表面を覆っている筋小胞体という袋状の膜に届きます。

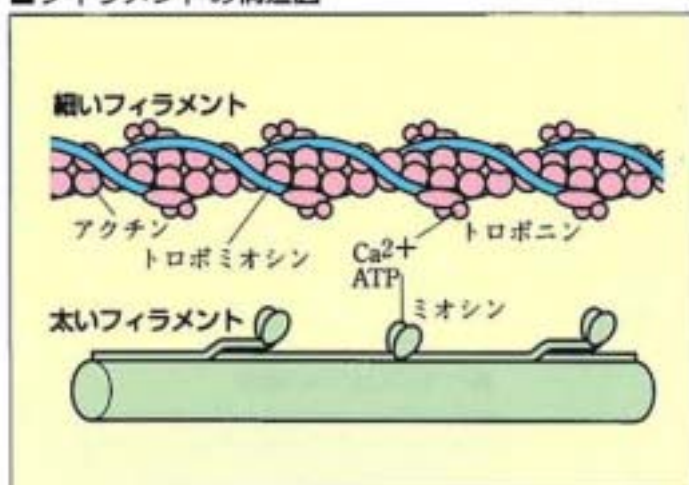
筋小胞体はカルシウムイオン(Ca^{2+})を蓄えています。神経からの刺激により、筋小胞体はカルシウムイオンを放出します。放出されたカルシウムイオンは、細いフィラメントにあるトロポニンと結合。その結果トロポニンの構造に変化が起き、その変化が同じ細いフィラメントにあるアクチンに伝わります。

変化を受けたアクチンは太いフィラメントのミオシンの突起部を活性化させ、これに

よってATPが分解します。この時できるエネルギーが、細いフィラメントを滑らせることに使われ、結果として、筋肉が収縮します。

このように体の筋肉は、指先の微妙な動きからスポーツのようにダイナミックな動きまで、収縮タンパク質の精密なシステムにより営まれているのです。

■フィラメントの構造図



生体になくってはならない運搬・結合タンパク質

酸素を運ぶ ヘモグロビンも 実はタンパク質です

疲れたとき、眠たいときに

私たちは自然に深い呼吸をします。これは体が酸素を欲しがっている証拠。口や鼻から

入った酸素は肺に送られ、そこから体の各部分へ血液によ

って運ばれていきます。

ところで、この酸素を運ぶのは、血液中のヘモグロビンという運搬タンパク質です。

ヘモグロビンは、1867年に地球上に100億から1兆

あるタンパク質のうち、はじめて純粋な結晶の形でとり出されたタンパクで、美しい赤

い色をしています。

酸素の運び屋 ヘモグロビン

ヘモグロビンは血液中の赤

血球の約30%を占めています。肺で酸素と結合したヘモグロビンは、体のすみずみの組織

にそれを運び、酸素を必要とする組織につくと、酸素を放出します。ヘモグロビンは酸素の運び屋タンパク質といえるでしょう。

ところで、いったいどのくらいの量の酸素をヘモグロビンは運ぶのでしょうか。

ここにおもしろいデータがあります。血液から赤血球を除くと血清が残ります。血清にはヘモグロビンは含まれていないこととなります。この

血清100mlに酸素を溶かそうとすると、溶液の1000分の3、0.3mlしか溶かせません。

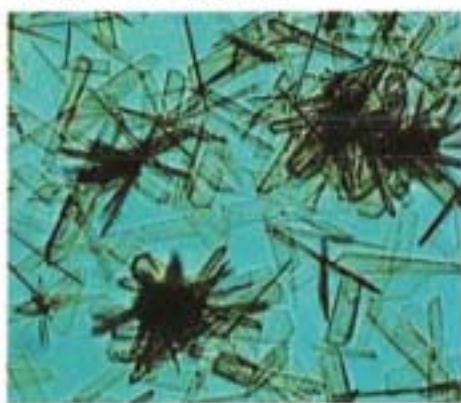
正常の血液、つまり赤血球を含んだ血液では同じく100mlに酸素を溶かすと、溶液の5分の1まで、20mlも溶かすことができます。

私たちの血液は赤血球中の

ヘモグロビンという運搬タンパク質のおかげで、大量の酸素を含み、体の各部分に運ぶことができるのです。ヘモグロビン1gは1.35mlの酸素と結合することができます。100mlの血液は約15gのヘモグロビンを運べます。人間の血液全体(約6ℓ)で換算すると、約1.2ℓの酸素を持つ能力があることとなります。

ヘモグロビン(hemoglobin)の「ヘモ」は血を表し、「グロビン」はタンパク質の一種を指し日本語では血色素と

■ヘモグロビンの結晶





いいです。肺で酸素と結合すると鮮紅色となりますが、体内各組織で酸素を放出すると紫紅色となって、再び肺に戻ります。動脈血が鮮やかな赤い色をしているのに対し、静脈血が赤黒い色をしているのは、実は、赤血球中のヘモグ

ロピンが酸素を含んでいるかいないかによるわけです。

カルシウムと結合タンパク質

の無機イオンを、細胞内から体液へくみ出す作用をしています。

ムイオン受容タンパク質ともいわれ、カルモジュリンはその代表的なものです。

血液中のヘモグロピンが酸素と結合するのに対し、カルシウムイオンとだけ結合するタンパク質があります。カルシウム結合タンパク質と呼ばれる多くの種類があります。35ページで見たように筋肉にあるトロポニンや細胞内のカルシウムバランスを調整するカルモジュリンも、結合タンパク質です。カルモジュリンは1971年に日本とアメリカでほぼ同時に発見されました。

ところが、ホルモンなどの化学伝達物質や、外界からの刺激など神経伝達物質が細胞膜を刺激すると、細胞膜の表面にある受容体に結合して、カルシウムイオンチャンネルというカルシウムの通路が開き、細胞内のカルシウム濃度は一気に100倍も上昇してしまいます。

カルシウムイオン濃度が高いとカルシウムイオンと結合し、その構造を変え、ある種の酵素を活性化しますが、カルシウムイオン濃度が低くなると結合していたカルシウムイオンを手放すと同時に、酵素から離れ、酵素を不活性化状態にもどします。

カルシウムは細胞の動きを微妙に制御する働きを持っています。普通、細胞内のカルシウム濃度は非常に低く保たれています。これは細胞膜にイオンポンプというものがあ

ると、細胞内にあるカルシウム結合タンパク質は細胞内に流れこんできたカルシウムイオンと結合し、それ自体の性質を変えて、ある種の酵素と結合するようになります。酵素はそれによって活性化して動きを増し、細胞の代謝に変化を起こします。

つまりカルシウムと結合したり、離れたりすることで酵素の制御作用を果たしているといえるでしょう。

り、カルシウムやカリウム、塩素、水素、ナトリウムなど

カルシウム結合タンパク質はカルシウムイオンとだけ特定にくっつくので、カルシウ

カルモジュリンの相手となる酵素にはたくさんの種類があります。カルモジュリンをはじめカルシウム結合タンパク質は、これら代謝系の酵素を活性化させ、細胞内の代謝を変化させているのがわかっています。

体を守る防御タンパク質

免疫システムと タンパク質の 気になる関係



私たちの体では、生命を守るために、実にいろいろな仕組みが働いています。とくに外傷や、外敵——たとえば細菌やウイルスなど——から体を防御するための仕組みにはすばらしいものがあります。

ちよつと転んでケガをしたり、包丁でうっかり指を切ったりして血がでて、すぐに血が固まってしまふ大事にいたりません。こうした血液の凝固作用も、体を守る防御システムのひとつ。酵素タンパク質が複雑に連鎖反応を起こ

して、血液を固まらせ、それ以上の出血を防ぐのです。

タンパク質は血液凝固に係るだけではなく、もっと積極的に私たちの体を守るシステムとして働いています。それは免疫と呼ばれるシステムです。

はしかに二度 はかからない理由

天然痘は1980年にWHO（世界保健機関）が絶滅宣言を出し、今や過去の病気になるりました。これはジェンナーが種痘という方法を発明し

たことによります。一度、病原菌やウイルスに感染すると

体の中にその病原菌やウイルスに抵抗できるもの（ワクチン）が生まれることを利用して、ジェンナーは種痘を考えだしたのですが、この仕組みが免疫と呼ばれるものです。

また、ほとんどの人は一度ハシカにかかると二度とはかかりません。これは体がハシカの病原体を覚えていて、同じ病原体が侵入すると、たちどころに殺してしまうからです。ハシカは免疫の働きの身

近な例ですが、免疫の担い手は血液中にあります。

免疫の主体は抗体と呼ばれるタンパク質です。免疫の仕組みを説明するために、外から体内に侵入するものを抗原と呼びます。抗原は細菌やウイルスなど私たちの体にとって異物となるものの総称と考えてよいでしょう。

抗原と抗体の関係

抗原が侵入すると、体の中では防御タンパク質のひとつ抗体がつくられます。抗体を



つくりだすのは体の中のリンパ球。リンパ球は骨髄や、胸腺、腸管内で作られ血管やリンパ管をぐるぐるまわり、外敵の侵入にそなえています。ひとたび、細菌などの外敵

が侵入すると、リンパ球はここの外敵を見分けることのできる抗体を用意します。この抗体は免疫グロブリンというタンパク質です。タンパク質は血液やリンパ液などの体液や

細胞液に溶けた状態で存在します。抗体である免疫グロブリンも体液中に存在し、体外から侵入した異物を排除しようと働きます（62ページ）。

免疫グロブリンは非常に大きなタンパク質で5つの種類があります（免疫グロブリンG、M、A、D、E）。中でも最も量が多いのは免疫グロブリンG（IgG）です。この抗体——免疫グロブリンGは、Y字型をしたタンパク質で、Y字の腕の部分で抗原を捕えます。この腕の部分が抗原の形、つまり異物の分子の特徴を記憶します。免疫グロブリンは、抗原の種類によって、この腕の部分の形を変化させます。

ですからインフルエンザのウイルスにはインフルエンザウイルス用の、肝炎には肝炎ウイルス用の形にY字の2本の腕の部分が変化した抗体が

つくりだされるのです。一つの抗体は体に侵入した外敵に対し、その外敵だけを抑える働きをします。抗体は酵素や結合タンパク質などと同様に、特定の相手を認識して、特定の相手だけに働く特徴を持っているのです。

ところで、体を外敵から守る防衛タンパク質も、ときにはやっかいな働きをすることがあります。臓器の移植が困難な理由のひとつは、免疫機構が体に入った異物を外に出そうとするためです。また、病的に自分の体内でできるタンパク質や核酸に対して抗体ができた（自己免疫疾患）あるいは、外からの異物に対して敏感過ぎるためにアレルギー反応が起こることがあります。これは免疫の持つ性質が、人間にとって不都合に出たケースといえるでしょう。

成長・体力とタンパク質の関係

体をつくるタンパク質と 体を維持する タンパク質

成長期には、肉・魚・乳製

品など良質のタンパク質をた

っぷり食べなければいけない

ことは誰もが知っています。

それは、私たちの体を構成

する60兆個もの細胞が主に、

水とタンパク質でできている

からです。

1個の受精卵から出発した

命が成長をし、健康でいきい

きとした人生を送るにはタン

パク質は不可欠です。とくに

成長期はタンパク質が大きな

役割を果たします。

成長ホルモンの役割

人間の第一の成長期は出生

後1年間です。この時期には

成長ホルモンが重要な働きを

果たします。成長ホルモンは

タンパク質の合成を促進し、

また同時に糖質代謝を促進す

ることで、間接的にもタンパ

ク質の合成を助けます。

成長ホルモンは脳にある下

垂体前葉という器官から分泌

されます。そしてこのホルモ

ンは、アミノ酸191個からな

るタンパク質です。

骨を中心に脳以外の全組

織・器官の成長を促進させる

成長ホルモンは、体内のすべ

ての細胞に、タンパク質の原

料となるアミノ酸がとり込ま

れるのを促し、細胞内のタン

パク質合成を盛んにして体を

発育させます。

タンパク質の合成には多く

のエネルギーが必要なので、

成長ホルモンは同時に細胞内

での糖の利用や脂肪の分解を

進めて、エネルギー源の確保

も行います。また、骨が伸び

るのは、成長ホルモンが肝臓

などに働きかけてつくらせる
ソマトメジンというホルモン
の働きによるものです。ソマ
トメジンは筋肉組織に直接働
き、タンパク質の合成も促し
ています。

成長期に成長ホルモンが不
足すると背が伸びず小人症に
、反対に多すぎると巨人症や末
端肥大症になります。

出生後1年間がこのホルモ
ンのピークですが、成人して
からもごく微量が一生つくら
れ続け、切り傷や骨折などの
回復、肝臓の再生に関与して
います。

脳の下垂体から出る成長ホ
ルモンに対し、のどぼとけの
下あたりにある甲状腺からで
る甲状腺ホルモンも骨格の成
長に関与しています。

甲状腺ホルモン（チロキシ
ンまたはサイロキシン）は、
全身の細胞に働いて、酸素の
消費量を高め、発熱作用を促

して全身の基礎代謝を活発にし、タンパク質の合成を盛んにし、成長を促進します。

第二の成長期、いわゆる思春期には男らしさ、女らしさがはっきりと現れてきます。

この時期には性ホルモンの働きが盛んになります。男子は睾丸から出る男性ホルモン（アンドロゲン）、女子は副腎から分泌される男性ホルモン様物質が、タンパク質の合成を盛んにします。また女性は卵巣から分泌される女性ホルモンが脂肪の合成を盛んにします。

これらのホルモンはコレステロールからつくられるステロイド系の有機化合物。これに対し成長ホルモンや甲状腺ホルモンはタンパク質やペプチド（アミノ酸が数個〜数十個つながった分子）からつくられています。

日本人の体位が劣っていた

のは、第二の成長期に十分に成長できなかったため（22ベージ）。最近では食肉などの良質なタンパク質を摂取することで、栄養状態がよく、体位も欧米並に向上しています。

体を構成するタンパク質

皮膚や筋肉、髪の毛、爪、そして歯、骨などもタンパク質でできています。27ページで述べました。こうした人間の体を構成するタンパク質でとくに重要なのは、線維タンパク質です。

体は皮膚で保護されていますが、内側には内臓や筋肉などの器官や組織が詰まっています。皮膚と器官や組織の間には、「結合組織」という部分があります。

結合組織で最も一般的なのが膠原線維という特殊な線維タンパク質です。線維タンパク質は、皮膚の下全体に存在

しますが、腱や靭帯部分に特に多くなっています。

驚いたことに骨や歯も、実は線維タンパク質からできています。固い石のように見える骨や歯は、線維タンパク質のまわりに、リン酸カルシウムが沈着したものです。ですから線維タンパク質こそが、人間の体を構成しているタンパク質の主役といえましょう。

線維タンパク質の主な成分はコラーゲンです。コラーゲンは細長いタンパク質で、一個の分子の長さは太さの約200倍あります。

哺乳動物はもちろん、魚や蛇、貝などほとんどの動物にコラーゲンは存在しますが、植物や細菌には発見されていません。

人間では皮膚、骨、腱などの他、角膜、内臓、血管など細胞のあるところには必ずコラーゲンが存在し、体全体の

タンパク質量の3分の1を占めています。

また魚の煮こりや、ゼリーをつくる時に用いるゼラチンは、コラーゲンから生成します。周囲の組織となじみやすいコラーゲンの性質を利用して、人工の皮膚や角膜の材料の一部にも使われています。



感覚とレセプターの関係

光・味・匂いを
感じる
タンパク質

体を構成する、体を防御する、酸素を運ぶ、体内の化学反応の触媒となるなど、タンパク質は私たちの生命そのものといってもよいほど多くの役割を担っています。ここでもうひとつ、タンパク質がしている重要な仕事を紹介しましょう。

刺激を受けつける
刺タンパク質

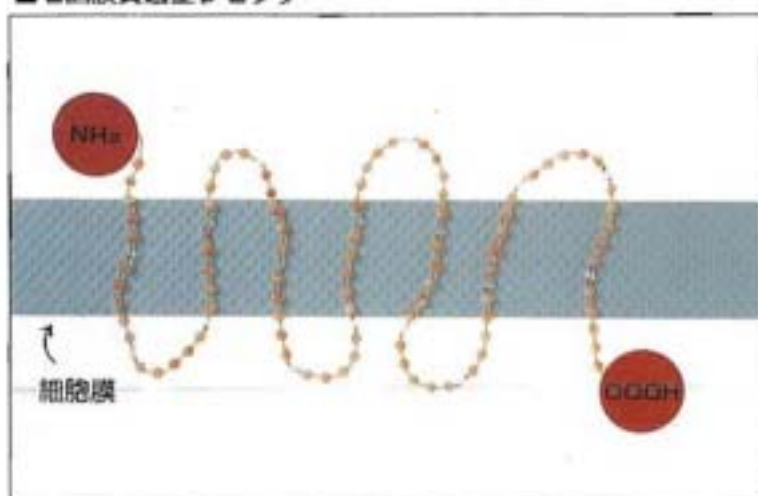
ここにリングがあります。私たちはこのリングを、まず目で色や形を見ます。その次に匂いをかいでみます。そして

最後に口に入れ、おいしいかどうかを判断します。形や味、匂いを感じるという一見あたりまえのようなこの行為にも、実はタンパク質の重要な役割が隠れているのです。視覚、嗅覚、味覚は「レセプター」というタンパク質の働きによります。レセプターは細胞の表面にあり、味や匂い、光など外からの情報（シグナル）を受けつけます。眼にはロドプシンというレセプターが存在することが知られています。数年前には鼻

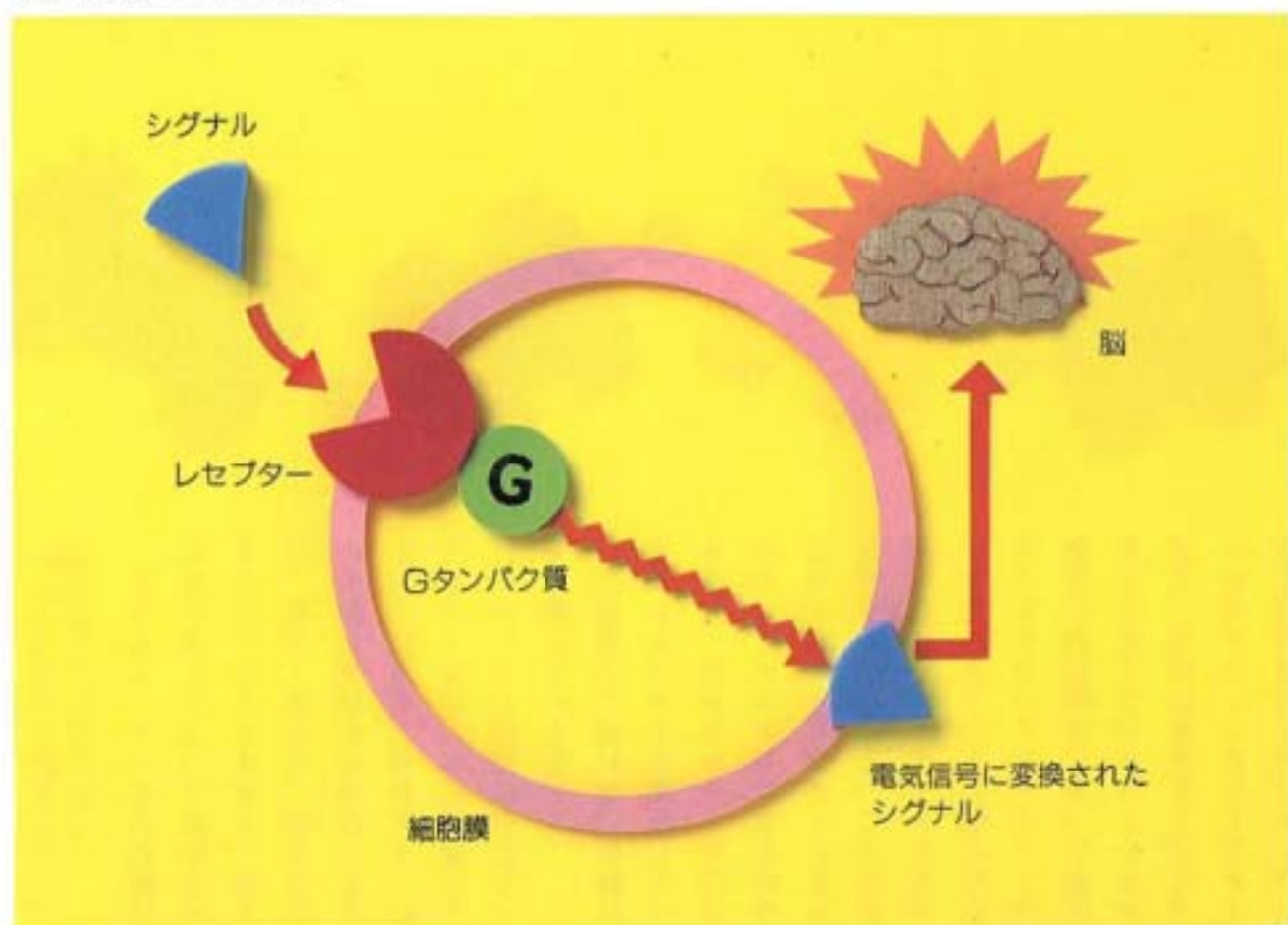
に嗅覚レセプターがあることが明らかになりました。そして最近、舌にも味覚レセプターがあることが判明しました。一般に外からくる情報——味や匂い、光などをシグナルと呼びます。細胞の表面にはこのシグナルを受けつけるレセプターが存在します。細胞の表面は脂質でできた

細胞膜でおおわれています。一方、レセプターはタンパク質ですから、アミノ酸がネットワークのようにつながっています(74ページ参照)。レセプターは、細胞膜の表面をアミノ酸のネットワークが7回出入り入ったりして、しっかりとらみついています(図)。このレセプターの構造は視覚レセ

■七回膜貫通型レセプター



■レセプターとGタンパク質



プター、嗅覚レセプター、味覚レセプターとも共通で「七回膜貫通型レセプター」と呼んでいます。

Gタンパク質とレセプター

さて、光や匂い、味などがシグナルとして、細胞膜表面にからみつくように存在するレセプターに、受け容れられたとします。すると今度は、レセプターが受け容れたシグナルを電気信号に変換するタンパク質が登場します。

これがGタンパク質です。Gタンパク質は、レセプターが受け容れた信号を電気信号に変換し、神経に伝達する働きをします（1994年のノーベル賞の授賞対象になりました）。神経は受け取ったシグナルを脳に伝え、脳は、おいしいとかきれいだとかを知覚します。

味覚を例にとってみてみま

しょう。

舌の表面には乳頭突起というデコボコがあります。ここに味蕾という組織があります。味蕾の組織細胞が味覚レセプターを持っています。

砂糖をなめると、味蕾の細胞に「甘い」という信号がいきます。細胞表面の味覚レセプターは「甘い」という信号を受けつけます。これを細胞内のGタンパク質が電気信号に変換します。電気信号に変換された「甘い」というシグナルは神経に伝えられます。このシグナルが神経を伝わり脳まで伝達されます。最終的に脳ではこれを、好きとか嫌いとか判断します。

常に細胞内のGタンパク質と共に働くこのような七回膜貫通型レセプターは、Gタンパク質共役型レセプターとも呼ばれています。



さまざまな働きをするレセプター

もちろん、すべての刺激はレセプターによって感知されるわけではありません。例えば、寒さ・暑さや、痛みなどの刺激は神経が直接感じるとされています。けれども、レセプターは私たちの想像以上にいろいろな細胞に存在し、日夜働いています。

栄養素の代謝には、肝臓にあるレセプターが関与していますし、成長ホルモンや性ホルモン、インスリンなどのホルモンも、レセプターによるシグナル伝達によって分泌が調整されています。エネルギーを生み出すことに関与するアドレナジックレセプターや血管の表面細胞にあつて血圧を下げるブラジキニンレセプター、反対に血圧を上げるアンジオテンシンIIレセプターなどさまざまなレセプタータン

パク質が存在します。

これらのレセプターに共通なのは七回膜貫通型という構造と、Gタンパク質共役型であるという点です。しかしアミノ酸の配列は各レセプターごとに違っており、それによって外からのどんなシグナルを受けつけるかが違ってくるのです。

レセプターは魚などにも発見されていることから、多くのセキツイ動物、あるいは高等動物に存在すると考えられ、植物や細菌などの微生物には存在しないことがわかっています。

ところで、生まれつき匂いや味を感じない人というのはおそらく遺伝子の異常によりあるレセプターが発現できないためと思われます。また、味や匂いなどに生まれつきとくに敏感な人はレセプターの種類が多いか、またはレセプ



ターの量が生まれつき多いのではないかと考えられます。

このようにレセプターは高等動物のさまざまな器官にあり、外からのさまざまなシグナル——光や味、匂い、ホルモン、毒素や神経伝達物質、血圧調節物質、薬剤など——を受けつけ、生体のシグナル伝達に関係するGタンパク質と共に働き、私たちの体を円滑に機能させる重要な役割を担っているタンパク質なのです。

●SECTION●

3 タンパク質と病気の 気になる関係

●家森 幸男 ●上野川修一

動物性タンパク質の 摂取量増加が もたらしたもの

タンパク質と健康の関係は？

タンパク質は私たちヒトはもちろんのこと、この地球上のありとあらゆる生命の根源となる物質であることは疑う余地がありません。体の細胞をつくり、生命現象にかかわる基本機能を司り、成長と体力の源であるタンパク質。このセクションでは、タンパク質がどのようにヒトの健康あるいは病気とかわりあっているかを見ていきます。

とくに日本人は戦後、驚異的にその平均寿命を延ばし、現在では世界一の長寿国民となったことで知られています。この寿命の急激な伸びの大きな理由のひとつは、タンパク質、

とりわけ動物性タンパク質の摂取増と密接な関係があります。

脳血管障害と タンパク質

しかしながら、いまだに日本人として解決しなければならぬ問題のひとつに脳卒中や脳血管性痴呆などの脳血管障害があります。そしてこうした脳血管障害の問題は日本人の国民的な症状ともいえる高血圧と深く結びついています。厚生省の調査によれば60歳以上の日本人では準高血圧ともいえる境界域高血圧も含めると、なんと3人に2人は高血圧症



●やもり・ゆきお

京都大学大学院人間・環境学研究科教授、島根医科大学名誉教授。昭和12年生まれ。京都大学医学部卒、同大学院修了。高血圧の成因の研究から、脳卒中モデルラットの開発に成功。脳卒中の予知・予防の研究をすすめる。「WHO循環器疾患と栄養・国際共同研究」の提唱者。

といわれます。そして、とりもなおさず高血圧症は血管を傷め、脳血管障害の原因になっているのです。

これらの脳血管障害を予知、予防するために私たちは努力しなければなりません。実はこうした脳血管障害の予防には動物性のタンパク質がたいへん有効であることがわかってきました。

京都大学大学院教授、世界保健機関(WHO)循環器疾患専門委員の家森幸男先生は、良質な動物性タンパク質が高血圧、および脳血管障害の予防に優れた効果を発揮することを強調されます。



「動物性タンパク質は血圧を下げる
ことが、まずラットで証明され、
ヒトでもその効果が明らかになっ
てきました」

家森先生が中心になって行ってい
るWHO国際共同研究センターの
「高血圧、主要循環器疾患の栄養因
子—食事による予防のための国際比
較」によれば、世界的に見ても動物
性タンパク質を十分にとっているこ
ろは、血圧が低いという結論に達
しています。

「ええ、そうなんです。高血圧とい

うとすぐに塩分のとりすぎが問題に
なります。また、昔はタンパク質は
血圧に悪いといわれていました。も
ちろん塩分は抑えたほうがいい。け
れども動物性タンパク質の摂取はむ
しろ逆に塩分のとりすぎの害を防ぎ
ます。同時に、高血圧を予防し、ま
た血管自体を丈夫にすることがわか
ったのです」

食事と

循環器疾患の関係は?

調査にあたっては、世界中の人々
の食事と血圧、および循環器疾患の
割合を調べるため、まず尿を全部採
取してその中の尿素窒素（UN）の
量を調べます。尿素窒素は、タンバ
ク質をとるとその代謝物として尿中
に排出されますので、その人がどれ
だけタンパク質を食べたかがわかる
のです。

「驚いたことに、尿素窒素の量と血
圧はきれいに逆相関の関係になるの
です」

また、尿中にでるメチルヒスチジ

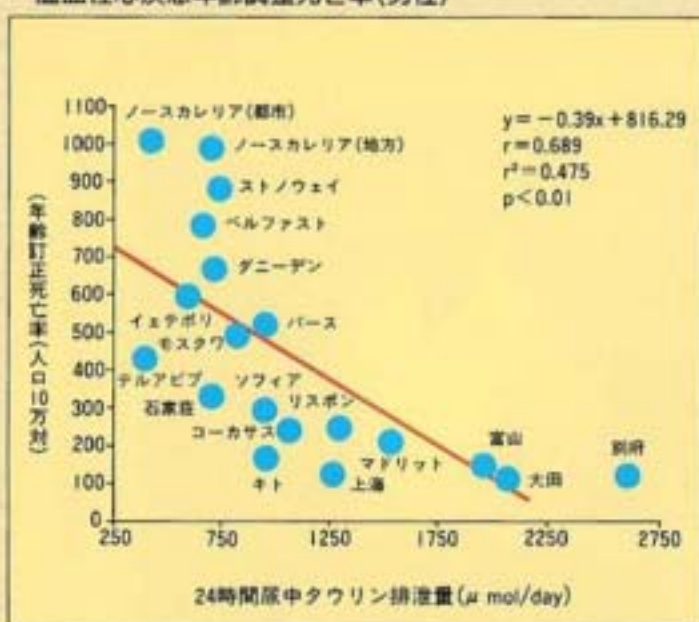
ンが多いほど血圧は低いこともわか
りました。メチルヒスチジンは筋肉
の成分であり、尿中にこれが多いと
肉を食べているという証拠になりま
す。尿素窒素同様、メチルヒスチジ
ンとタウリンの尿中の量を調べるこ
とにより、動物性タンパク質の摂取
量を評価するわけです。

ところで、動物性タンパク質と高
血圧、あるいは脳卒中などの循環器
疾患の関係はすでにラットでは証明
済でした。高血圧の動物モデル、高
血圧自然発症ラット（SHR）や脳
卒中ラット（SHRSP）の実験成
績では、高血圧や脳卒中などの典型
的な循環器疾患が、遺伝および環境
の相関関係によって発症することが
わかっています。

しかし同時に、遺伝的な要因が強
くても食餌などの環境因子をコント
ロールすることにより、予防が可能
なことが証明されました。とくに食
べ物の摂取の仕方により高血圧や循
環器疾患は大きく影響されます。

それも以前からいわれていた食事

■24時間尿中タウリン排泄量と
虚血性心疾患年齢調整死亡率(男性)



中のナトリウムとカリウムの比率(53ページ)だけではなく、タンパク質の摂取も大いに関係があることがわかりました。中でも、含硫アミノ酸の多い動物性タンパク質は、高血圧の発症を抑制して、脳卒中を予防することが実証されています。

「含硫アミノ酸」というのは、魚介類に多く含まれているタウリンなどがあるわけです。お肉の場合ですとメチオニンというアミノ酸です。メ

チオニンは体内でタウリンになります」。

「私たちのフィールドワークで、タンパク質の摂取と高血圧、循環器疾患の関係を調べたところ、図のようにタウリンの摂取が多いところは、とくに心筋梗塞が少ないことが明らかになりました。タウリンの摂取量が一番多いのは日本で、次に多いのがスペインなど地中海食のところ、そして意外にフランスが多いんですね。心筋梗塞の割合はこのように見事にタウリンの摂取量と逆相関を描いています」

動物性タンパク質が長寿のもと

日本は海に囲まれていて魚の摂取量が多いこと、そして地中海も同様に魚介類が多く食べられています。けれども海のない、したがって動物性タンパク質を魚からとりにくいフランスが心筋梗塞が少ないというのは不思議な気がします。

「フランスでは海の幸の少ない内

陸部で調査をしたのですが、彼らは動物の内臓をきちんと料理して食べているのです。市場にいくと動物の内臓がまるごと売っていて、主婦がそれらをきちんと料理して食べているのですね。心臓や腎臓、肝臓など動物の内臓には、とりわけタウリンが多いのでこのような結果になったのでしょうか」

タウリン、すなわち動物性タンパク質の特色である含硫アミノ酸の作用は大きくふたつあります。

ひとつは交感神経を抑えてストレスに対する反応—血圧の上昇や心拍数の急激な増加など—を抑える働きをします。

もうひとつは動脈硬化の原因となるコレステロールの排出を助ける働きです。

「コレステロールは肝臓から排出されますが、その時にコレステロールだけで勝手にでていくものではありません。コレステロールは胆汁酸にならないければ肝臓から出ていきません。実は肝臓にはタウリンが多いのです

が、それはコレステロールが含硫アミノ酸すなわちタウリンと結合して排出されるためなのです」

含硫アミノ酸をとっているほど、つまり動物性のタンパク質を食べているほどコレステロールの害が少なく、心筋梗塞が起こりにくいのは、こういうわけだったので。

「もちろん肉自体にコレステロールが含まれていますから、調理の工夫は必要です。たとえばポイルしたり焼肉にして余分なコレステロールを落とす。あるいは一緒に野菜をたくさん食べてコレステロールの吸収を抑える。世界的にみて長寿の国といわれるところはこういった調理の工夫をしながら、たくさんお肉を食べています」

たとえば世界的な長寿地域である沖縄。繊維質である昆布と一緒に煮てコレステロールの吸収を抑えながら、豚肉を中心に動物性タンパク質は昔からたっぷり食べています。

また、ロシアのコーカサス地方では、肉をポイルしたものにたっぷり

の野菜を添えて食べます。こうして動物性のタンパク質をたっぷりとることが、今後の日本人の食生活に大切と、家森先生は説明します。

日本型の痴呆を 解消する方法

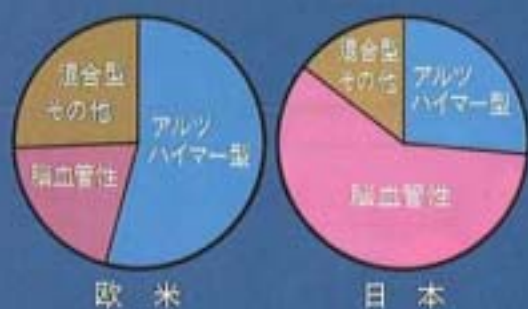
「日本人には脳卒中が減ってきたといっても、いまだに脳血管障害による痴呆はきわめて多いのです。アルツハイマー型の痴呆より、脳の血管性痴呆が多い。その原因は脳の血管がもろいためです」

もともと脳の中の血管は解剖学的に内部に栄養がいきにくい（54ページ）特色があります。これが高血圧になると、ますます血流が悪くなり、脳の血管はもろくなります。

「MRI（☆）による水上博士（千葉脳神経外科）のデータでは脳の血管がつまって穴があいている人が、全く症状のない人でも50代で4分の1、60代で3分の1、70代では2分の1にもなります。これは当然、脳血管性痴呆につながっていきます」

これを防ぐには「まずタンパク質をきちんと食べること」です。タンパク質は血管を丈夫にし、血管の壁が栄養障害になってどんどん壊れていく「動脈壊死」を防いでくれるからです。

老人性痴呆症の割合



☆MRI
核磁気共鳴断層造影法。生体組織の化学的変化、機能の変化までを検出し、映像化できる。

食塩の害を

防ぐタンパク質

「もちろん日本人としてはもうひとつナトリウム—食塩のとりすぎに注意しなければなりません」

しかし、この食塩のとりすぎの害を防ぐのにもタンパク質が寄与していることが注目されます。

「食塩、すなわちナトリウムは体内に蓄積すると、血圧調節のメカニズムを壊し、高血圧を招きやすくします。ところがタンパク質はこのナトリウムを尿中にほとんど出す作用を持っています」

タンパク質は血管を守り、塩分のとりすぎの害を防ぐ栄養素でもあるといえます。

「また、リジンの多いタンパク質は血圧はあまり下げないけれども血管を丈夫にするようですし、タンパク質を構成するアミノ酸のうち、アルギニンは、血管の内膜の細胞で変化して、一酸化窒素（NO）となり、これが血管を拡張、脳の血管を詰ま

らせる血栓症を防ぐ作用を持つことも最近わかってきました」

アルギニンというアミノ酸が一酸化窒素になるには、ある酵素が必要です。生後8週間のラットを使った実験で、この特定の酵素の働きを阻害してやります。アルギニンから一酸化窒素が産生されない状態にして2週間後、すべてのラットは脳卒中になってしまいました。

「ええ。また、アルギニンから一酸化窒素になる過程をもっとゆっくり阻害してやると、今度はラットの血管が詰まって脳血管性痴呆の原因になる脳病変を起こしてきます」

つまり、タンパク質を構成するアルギニンというアミノ酸は、脳卒中や脳血管障害による痴呆を防ぐうえでたいへん大きな役割を果たしているのです。

「もちろん、タンパク質は体をつくる上でなくてはならないものですが、成長期にはたくさん食べなければなりません。しかし、若い人だけでなく、働き盛りやあるいはお年寄



りにとってもなくてはならない栄養素なのです。むしろ食塩の害を防ぐ、血管を丈夫にする、心筋梗塞、脳血管梗塞を予防するなど、成人病を防ぐという観点から、ほとんど積極的にタンパク質、とりわけ動物性のタンパク質をもっと食べていきたいものです」

脳血管障害が起る理由

脳卒中の原因は
血管の
栄養不足にあるタンパク質と
高血圧

最新の医学的見地からは、脳血管障害の大きな原因のひとつに、脳血管の栄養障害をあげています。

脳血管自体が必要とする、アミノ酸、脂肪酸などの栄養素や酸素が、脳血管の特殊性ゆえに供給されにくく、高血圧がその状況をさらに悪化させているためです。

とくに高齢者になるとタンパク質の摂取量が減り、脳血管の栄養不足が促進されます。またタンパク質の摂取が足りないと、体内に取り込ん

だナトリウムがうまく排出されず、高血圧になりやすいのです。そこで脳の栄養不足を防ぐために積極的にタンパク質を食べることがたいへん重要になってきます。

脳卒中が
起る理由

今まで長い間、脳卒中が起る理由は解明されませんでした。しかし1963年に京都大学で開発された高血圧自然発症ラット（SHR）の中から、脳卒中を起こしやすいものだけを何世代も交配し、ほぼ100%の確率で脳卒中を自然発症する遺

世界でもトップレベルの長寿国となった日本ですが、高齢化にともない脳血管障害、とりわけ脳卒中や脳血管性痴呆をいかに予防するかが大きな問題となっています。とくに日本では準高血圧ともいべき境界域高血圧の人も含めると60歳以上では、なんと3人に2人は高血圧症（厚生省）。高血圧が日本人の脳血管障害に拍車をかけていることはまちがいありません。

伝的なモデル、脳卒中ラット（SHRSP）が開発され、それまでベールにつつまれていた脳卒中の謎を細胞レベルで解き明かすきっかけとなりました。遺伝的な素因と環境要因とりわけ食べ物の摂取によって、脳卒中は大きく影響される病気であることが判明したのです。

脳卒中は、脳の血管が硬くなり、もろくなって破れたり詰まったりして、それをきっかけに血管から栄養や酸素が脳細胞に行かなくなり起る病気です。

脳卒中には、脳の血管が破れて出血を起こす「脳出血」と、脳の血管

が詰まる「脳梗塞」があります。欧米では脳梗塞が脳出血に較べ圧倒的に多く、しかも脳梗塞で詰まる血管も、かなり太い動脈の場合が多いのです。これは、高脂肪食の結果、血管の壁が粥状硬化を起こすため、こうした脳卒中を「粥状硬化—血栓形成性脳卒中」と呼んでいます。

これに対し、私たち日本人の場合は長期に持続する高血圧のため、脳の中の細小動脈壁に壊死が起こり、壁が破綻して出血する脳出血が比較的に多く、脳梗塞でも高血圧により動脈壊死が起き、その結果血栓ができる「動脈壊死—血栓形成性脳卒中」になりやすいのがわかっています。

日本人の場合は、高血圧に由来した脳卒中が大多数を占めています。

脳の血管の特徴と脳卒中

脳は私たちの体の中で最も血液を必要とする臓器です。1日に必要な血液は2000ml以上。これは心臓の毎分拍出量の6分の1、酸素消費

量は全身の約2割にも達します。これだけ多くの血液、そして酸素が必要なのは、脳はきわめて高密度に毛細血管が集まっているためです。しかも、脳が必要とするエネルギーはブドウ糖のみで1日500Kcalを消費します。したがって、常時血液による酸素と栄養の補給が不可欠です。

普通、血管は血液の流れに沿って枝分かれしています。ところが、脳の大脳基底核や大脳皮質では、血管が図のように血流に直角、または逆方向に枝分かれしています（逆行性分岐）。こうした血管では、赤血球の比重が大きいため、枝分かれた血管に入りにくくなります。

ここに脳血管障害が起きやすい原因があります。血管の逆行性分岐により、脳内には酸素供給がしにくく栄養障害も起きやすいのです。そこに高血圧が加わると、脳血管障害はさらに起きやすくなります。

また、脳内の小動脈には脳血管関門があり、脳の働きを守るため、神経細胞が必要とする物質以外（例え

■逆行性分岐



ばグルコースなど）は、栄養として入りにくくなっています。そこで、脳の血管自体が必要とする栄養（例えばアミノ酸や脂肪酸）は常に不足しやすい状態にあります。

そのような条件下で、高血圧が続くと、血流が落ち、脳の小動脈を構成する平滑筋は栄養不良に陥り、動脈壁が壊死を起こし破綻して出血したり、血栓が形成され脳梗塞になります。このように脳の血管の栄養障害が、血管に障害を生じ、脳卒中が起こることになります。

高血圧とタンパク質

脳血管障害の
予防は血圧の
コントロールがカギナトリウムは血管に
どう影響するか

まず、ここで血管の構造を見てみましょう(図)。

血管は内膜、中膜、外膜の3層からなります。血液と接する内膜の最内部は内皮細胞が並んでいます。中膜には平滑筋が多く、自律神経の作用を受けて収縮と緊張を繰り返します。各膜と膜の間には伸び縮みができる線維でできた弾性板が層となっています。

ところで、血管壁を構成している平滑筋細胞のひとつひとつは、外側

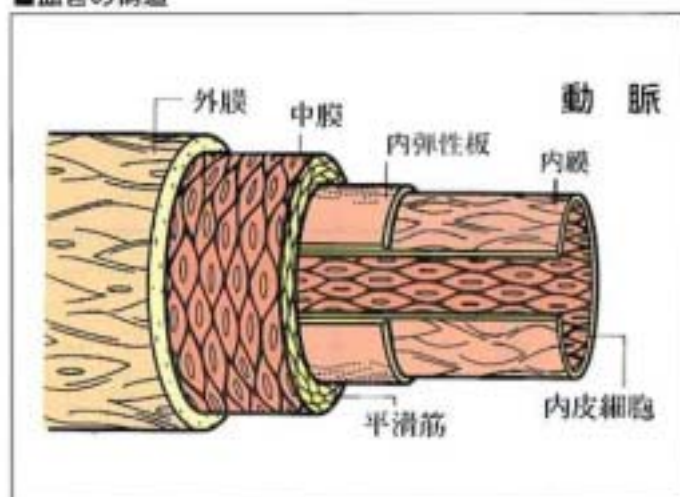
にナトリウム(Na⁺)、内側にカリウム(K⁺)が多い状態でイオンのバランスが保たれています。

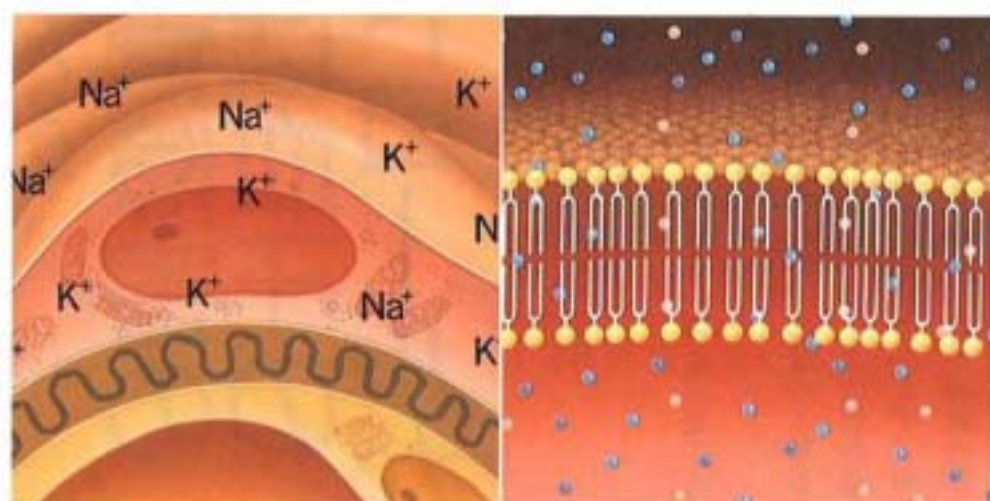
そのために、細胞膜には細胞内外のイオンのバランスを保つために、ナトリウムを汲み出して、カリウムを汲み入れるポンプがあり、細胞内外のイオン濃度の適度な差が維持されるのです(ナトリウムポンプ)。

ところが、脳卒中ラットでは細胞膜に異常があり、ナトリウムは入りやすく、カリウムは漏れやすいという遺伝的な欠陥があります。人間におきかえると、脳卒中になりやすい家系の人ということになります。

脳卒中のリスクファクターのひとつに高血圧があげられます。高血圧を引き起こすもので、もっとも気になるのが食塩。タンパク質にはナトリウムの排出を促す作用があるので、食塩による高血圧を予防する働きがあります。

■血管の構造





その遺伝的な欠陥を補うため、細胞膜のポンプは余計に働かなければなりません。ポンプには無理がかかり疲労し、力が落ちてきます。すると、細胞内のナトリウムは汲み出せずに増加します。

細胞内のナトリウム濃度が高まると、それだけで水分が引き寄せられ細胞は膨らみ、血管壁は厚くなります。さらに、細胞内に溜まったナトリウムを出すために、カルシウムと交換され、細胞の中にカルシウムイオンが増え、これが血管壁をさらに厚くしたり、収縮させたりすることになります。

ここで、血管の内径が1割だけ狭くなったと考えてみましょう。この中を血液が同じように流れるには、1・5倍の圧力が必要です。つまり100の血圧なら150まで上昇しないと以前と同じだけの血液が流れないのです。

このように、わずかに血管壁が厚くなるだけで、血管内の圧力を上げ高血圧を起こし、固定化していくこ

とになります。

そして、その原因は血管壁の細胞に蓄積するナトリウムにあり、脳卒中の家系の人はナトリウムが溜まりやすいという遺伝的な素因を持っているわけです。したがって、高血圧、ひいては脳卒中を予防するには、いかにナトリウムの蓄積を防ぐかがポイントになってきます。

タンパク質の ナトリウム排泄効果

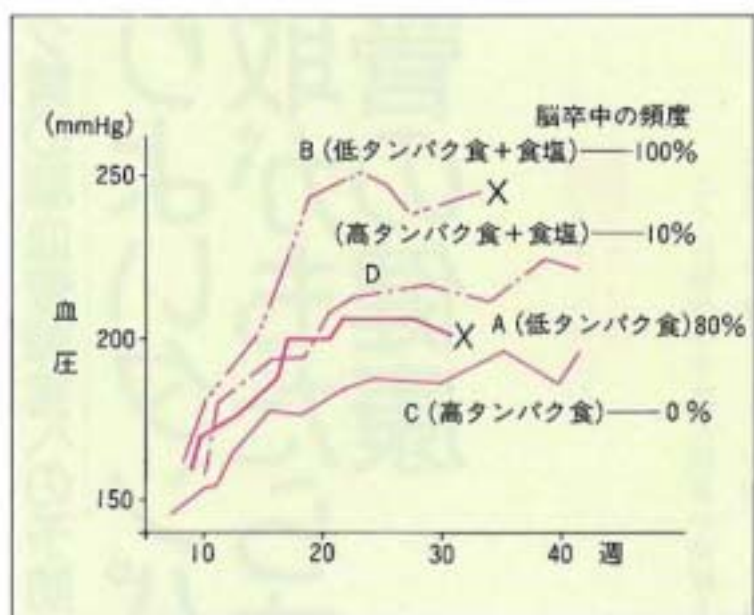
さて、もう一度脳卒中ラットに話を戻しましょう。遺伝的に起こりやすい脳卒中を予防するために、脳卒中ラットにさまざまな食餌を与えて実験したところ、タンパク質が大きく貢献することがわかりました。

脳卒中ラットをA・B・C・Dの4つのグループに分け、Aには低タンパク食、Bには低タンパク食プラス食塩、Cには高タンパク食、Dには高タンパク食プラス食塩を与えます。4つのグループのラットはどれも100%脳卒中を自然発症する脳

卒中ラットです。

実験開始から30週後、Bの低タンパク食プラス食塩のラットは100%脳卒中になり、死亡しました。しかし、Dの高タンパク食プラス食塩の場合は10%しか脳卒中を起こしませんでした。

さて、食塩を与えていないグループはどうでしょうか？ Aの低タンパク食ラットは、食塩を与えてい



いにも関わらず、なんと80%が脳卒中になりました。Cの高タンパク食のラットは、遺伝的素因を持ちながら100%が天寿を全うするくらい長生きしました。

これをヒトにあてはめてみるとどうでしょう。高血圧や脳卒中の家系に生まれた人でも、高タンパクの食事をとることによって、脳卒中の危険から逃れることができるということになります。つまり、脳卒中は食事ですべて予防が可能なのです。

実はタンパク質にはナトリウムの排出を促す作用があります。タンパク質の代謝産物である尿素が、腎臓からナトリウムの排出を促進し、食塩の害を防ぐことができるのです。

島根医科大学のボランティアによる臨床実験では、高塩食(26g/日)を負荷し、同時に動物性タンパク質110gを与えると、高血圧の遺伝的素因を持った人でも、血圧の上昇を防げることがわかりました。

この時、ナトリウムの尿への排泄はきわめて早く、高タンパク食のグ

ループは2日目にナトリウム排泄のピークがくるのに対し、低タンパク食のグループでは3日目がピークとなっています。つまり、十分なタンパク質の摂取があれば、食塩をとり過ぎていても、体外への排泄はスピーディーに行われます。したがって、ナトリウムの体内への蓄積が防げ、高血圧を予防し、ひいては脳卒中の予防にもつながります。



タンパク質の脳血管障害への予防効果

よりよいタンパク質の 摂取がもたらす 血管の健康

脳卒中に有効な
アミノ酸

とくに脳卒中予防に効果が発揮されるアミノ酸として、含硫アミノ酸（硫黄を含むアミノ酸、動物性タンパク質に含まれる）のメチオニン、タウリンが、含硫アミノ酸以外では、アルギニンとリジンがあげられます。メチオニンやタウリンなどの含硫アミノ酸は、飲料水に1・5〜3%添加して、脳卒中ラットに与えるだけで、脳卒中の発症を3分の1に抑えることができ、血圧の降下作用もみられました。これはアミノ酸の交

感神経抑制効果と考えられます。

私たちは、とくにストレス下では交感神経が刺激され、心臓の働きを盛んにしたり、血圧をあげて外部の刺激と戦う準備をします。この時ストレスと戦うために、血管を支配する神経の末端からノルエピネフリンが出ます。また、副腎の髄質からエピネフリンが分泌されます。そしてこういう反応が過剰な人、つまりストレスへの感受性が強い人は、こうしたホルモンがたくさん出やすく、高血圧になりやすいといえます。さらに、ノルエピネフリン、エピネフリンなど総称してカテコルアミ

タンパク質はこれまで見たようにナトリウムの排泄を促進し、高血圧を予防する効果を持っています。しかし、タンパク質がもたらす脳血管障害への予防効果はこれにとどまりません。さらにタンパク質をつくっているアミノ酸の中には、血圧降下に効果があるものが発見されました。

ンと呼ばれるホルモンは、動脈硬化自体を促進する物質であることがわかりました。

現代のようなストレス社会では、カテコルアミンなどのストレスに対応するために分泌されるホルモンにより、高血圧だけではなく、動脈硬化も促進されやすいのです。

そこで、注目されるのが交感神経を抑制するタウリンやメチオニンなど、含硫アミノ酸。すなわち動物性のタンパク質を十分に摂取することが重要になってきます。

食肉などのタンパク質に含まれている含硫アミノ酸は、細胞内に増え



やすくなるカルシウムイオンを抑える働きもあるようです。さらに、動物の内臓や魚介類に多く含まれるタウリンは、胆汁酸の形でコレステロールと結合し、肝臓からコレステロールの排泄を促します。

含硫アミノ酸ではありませんが、リジンには血圧降下作用はあまりな

かったものの、脳卒中ラットの試験で脳卒中が14%までに抑制されました。アルギニンは、血管内皮細胞でつくられる血管拡張因子、一酸化窒素(NO)の基となり、これがつくられなくなると、血圧が上昇し、血管が詰まりやすくなります。リジンやアルギニンは食肉などの動物性タンパク質、大豆などの植物性タンパク質ともに含まれているアミノ酸です。

タンパク質は血管自体を丈夫にする

脳卒中ラットを使った実験では、もうひとつ重要なタンパク質の効果がありました。普通食で飼育した脳卒中ラットと、高タンパク食で飼育した脳卒中ラットでは明らかに血管の丈夫さが違うのです。

生体の血圧調節作用には、血管の弾力性も関係します。高血圧が持続すると、全身の血管は結合繊なども増え、硬くもろくなります。脳内の血管でもこのようにして動脈硬化がすすみ、血液の循環が悪くなり脳卒

中の原因となります。

普通食を与えた脳卒中ラットは100%脳卒中になりますが、8ヵ月もすると血管がもろくなり、弾力を失い、大動脈の長さを2倍ぐらいのばすと伸展負荷に耐えられず切れちゃいます。

一方、高タンパク食の脳卒中ラットは高血圧がある場合でも脳卒中を発生しません。血管はしなやかで伸展負荷に耐え、倍にのばしても切れないのです。タンパク質は年をとっても血管壁に作用して、血管をしなやかに保つことがわかります。

また、脳卒中の強い素因があっても、成長の盛んな若いときから意識的にタンパク質をとることで、脳卒中発症のリスクを下げるということがわかっています。

したがって、ストレスの多い働き盛りにも、年をとってからも、そして成長期にも、良質のタンパク質は高血圧、脳卒中や脳血管性痴呆などの血管の病気を予防するのに、なくてはならない栄養といえるでしょう。

血液中の成分で健康度をはかる

血液は、ご存知のように体の各部分に栄養をおくりとどける働きをしています。そこで血液中の成分を測ることによって、私たちの栄養状態をある程度知ることが出来ます。

とくに有効なのは①アルブミン②コレステロール③血色素(ヘモグロビン)です。

① アルブミンは血液中のタン

パク質で、栄養状態が良いと血液1000ミリリットル中に4.5%含まれます。これが3.5%を切るようであれば、ガンや肝硬変、腎臓病などの病気が、極端な栄養失調、老衰が考えられます。さらに2.5%前後では生死の分かれ目といわれています。

ます。

東京都老人総合研究所副所長の柴田博先生が行った小金井市の70歳のお年寄りの調査では、地域で元気に生活していた人たちのアルブミン値は男性で平均4.4%、女性で平均4.5%でした。一般にアルブミンの量が多いほど長生きする傾向があ

り、アルブミンが少ないほど病気が老化が進んでいるといえます(図①)。

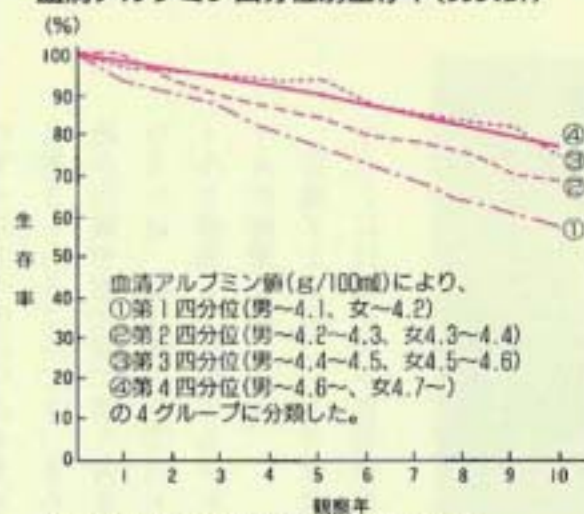
また、アルブミンはタンパク質なので、当然タンパク質の摂取量によって数値が変化します。肉をよく食べる地域のお年寄りのアルブミン濃度は、肉をあまり食べない地域のお年寄りに比べて高い数値を示し、寿命も長くなっています。

② コレステロールはその値が高すぎれば栄養過多、低すぎれば栄養失調といえます。

コレステロールは細胞膜を作る物質の一つで、これがなくては細胞は生きていきません。コレステロールは脂肪から作られるので、その血中濃度は脂肪分摂取のよい指標となります。血液100ミリリットル中、200ミリグラム程度が良好といわれ、160ミリグラム以下なら脂肪とくに動物性脂肪不足です。

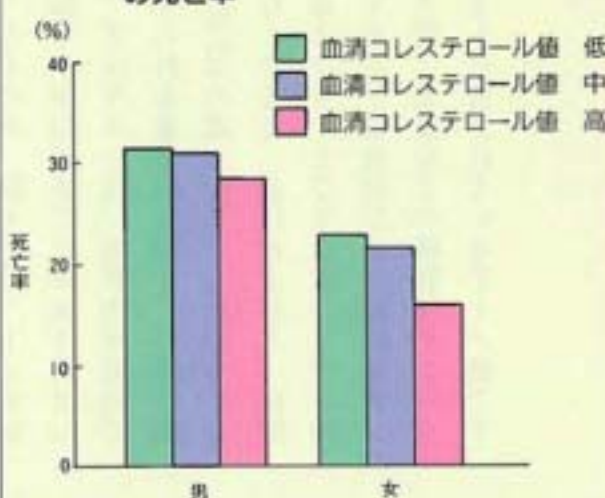
先的小金井市の70歳老人の10年間に追跡調査では、血液中のコレステロール値の低い人にや

●図① 小金井市在住の70歳老人の血清アルブミン四分位別生存率(男女計)



出典：Shibata H et al: Age Ageing 20: 417, 1991.

●図② 70歳時のコレステロール値別10年間の死亡率



東京都老人総合研究所：小金井市70歳老人の総合健康調査第2報・10年間の追跡調査より。

や死亡率が高い傾向が見られます(図②)。ちなみに小金井市の70歳老人のコレステロールの平均値は、血液100ミリリットルあたり男性で195・8ミリグラム、女性で220・8ミリグラムと高めになっています。小金井市は全国の市の中で長寿1〜2位ですが、同様に長寿者の多い沖縄県大宜味村の65歳以上全体の調査でも男性は200を少し下回り、女性は少し上回っていました。

逆にコレステロールが180を下回る地域では寿命が短いのが普通です。

「コレステロールは高血圧や脳卒中につながるもので、低ければ低いほどいい、と考えるのはとんでもない誤解です。重大な働きを評価すべきです」と、柴田博先生はいわれます。

むしろ日本人の脳卒中はコレステロール値の低い人に多いそうです。また、ハワイにすむ日系中高年男性8000人の調査

では動脈硬化による心臓病ではコレステロール値が高いほど死亡率が高いのですが、ガンではコレステロールが低いほど死亡率が高くなっています(図③)。

以上のようなことから、総コレステロール値は、100ミリリットルあたり200ミリグラムくらいに保つのがよいといえましょう。

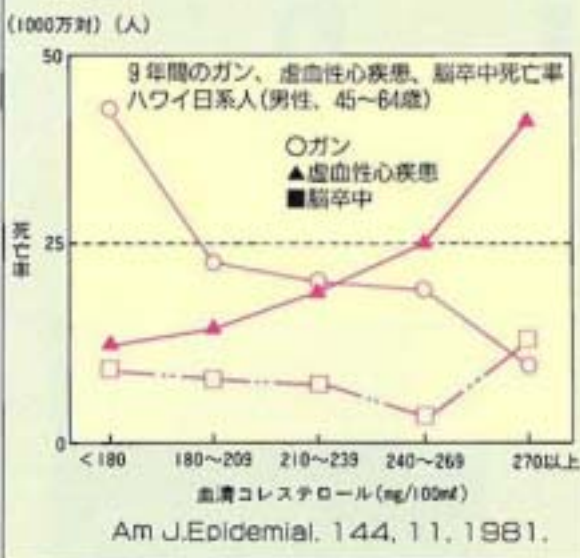
③ 血色素・ヘモグロビンは赤血球に含まれていて、体中に酸素を運んでいます。小金井市

の70歳老人の研究によると男性ではヘモグロビンの低いグループの10年間の死亡率が有意に高い結果がでています。一方、女性では最初のヘモグロビン量とその後死亡率に相関関係はありませんでした。

女性は閉経前は月経による出血があり、女性ホルモンによってヘモグロビンが少ない状態になりやすいのに対し、男性の場合特殊な病気や過度の栄養失調、老化以外貧血になりにくいのです。したがって、貧血ができたときには男性の場合出血性の病気や栄養障害を疑うことができます。

男性のヘモグロビン量は血液100ミリリットルあたり14〜18g、女性は12〜16gです。小金井市の70歳老人では男性が同13・8g、女性が同12・5gで、85歳になってもその数値が変わっていないところから、十分な栄養がとれていることがうかがわれます。

●図③ 病気にかかっていないときの健康診断での血清コレステロール別9年間の成人病死亡率



体を予防する 免疫システムと タンパク質のかかわり

タンパク質と免疫機構

私たちの体は、体を外部から守り、病気になるため、生体防御機構と呼ばれるすばらしい働きを持っています。生体防御機構にはさまざまなものがあります。

例えば、体の表面で外敵をはね返す皮膚、涙による殺菌作用、鼻や口の粘膜、呼吸器系ではくしゃみによる異物の排除、気管支の分泌物に含まれる物質、気道の絨毛、また消化器官では胃酸、腸の乳酸菌などの常住菌など。こうしたものによって、常に私たちの体は外部の異物から守られています。

免疫とは いったい何か

生体防御システムの中で、とりわけ重要なものが、免疫です。免疫とは、役割を免れるという意味で、はじめは感染症から回復した人が二度と同じ病気にかからないという経験的な事実から名づけられました。ジェンナーの種痘に始まるワクチンの接種は、生体の持つ免疫機構を利用し、感染症を未然に防ぐ方法です。

現在、免疫の研究は飛躍的に進歩し、それに伴い免疫の概念も変化してきました。

「狭い意味では侵入する病原菌やウイルスを迎え撃ち、これらを排除して病気になるようにする働きのこと。最近では体の中の調節、すなわち脳、神経、血管、リンパ系、これらはみな免疫系と関係があり、免疫が体中の生体機構をコントロールしているという、免疫生物学という考え方もあります。一般には、自己と非自己を識別し、非自己を排除する反応を総称して免疫と呼びます」

食品生化学・分子免疫学および分子アレルギー学を研究しておられる東京大学教授・上野川修一先生は説



●かみのがわ・しゅういち
東京大学大学院農学生命科学研究科教授、農学博士。昭和17年生まれ。東京大学農学部農芸化学科卒。食品と免疫系に関する境界領域の現象を細胞レベル・分子レベルで研究している。専門は食品生化学・分子免疫学および分子アレルギー学。著書に「食品アレルギー」などがある。

明されます。

「免疫系が働かないと、私たちの体はいろいろな病原菌やウイルスに占領され、ダメージを受け、ついには死にいたってしまいます。免疫がおかされる病気で代表的なものは、エイズ（AIDS）後天性免疫不全症候群）ですね。エイズは完全に免疫系を破壊してしまふ。健康なら通常はなんでもないような無害な菌も日和見感染といって、体中にはびこってしまうようになります」

免疫系はこのように外部から入った病原菌などの異物を排除するとともに、ガンなど私たちの体の内部でつくられた異常物質を排除し、体を保持する働きも持っています。

「もし私たちの体が免疫を持たなかったとしたら、ガン細胞などは体内でどんどん増殖してしまいます。ガン細胞は自己の細胞に近いけれども、やはり非自己であるわけですから。そこで、非自己を排除するという免疫の仕組みが働いて、ガン細胞を抑制している。ですから免疫系の

働きが弱まると、ガン細胞は増殖しやすいのです」

低栄養やストレスは免疫力を弱める

ストレスがあるとガンになりやすいというのは、

「免疫系の働きがストレスによって弱まるからです」。

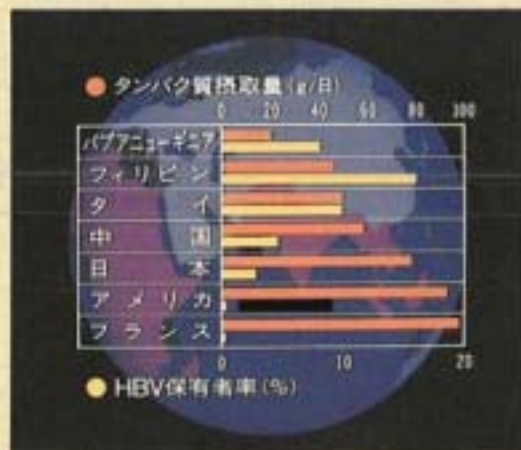
また、ストレス同様、低栄養状態も免疫力を低下させます。

「終戦直後、多くの人が結核にかかり、亡くなったのは、低栄養で免疫力が極端に弱まったから」と、上野川先生。

「体の栄養状態が低下すると、免疫を始めとする生体防御機構が低下し感染症にかかりやすく、症状も悪化します」

日本人が戦後飛躍的に寿命を延ばしたのは、結核などの感染症による死亡が減ったためですが、これは食肉など良質なタンパク質の摂取が増え、栄養状態が向上したことが大きな原因です。

一方、開発途上国ではとくにタンパク質とカロリーの摂取不足から、低栄養状態の子供のはしきや、結核の重症化が問題になっています。また、各国のタンパク質の摂取量とB型肝炎ウイルスの保有者数を比べると、低タンパク質状態の国ほどB型肝炎にかかりやすいのがわかります。細菌やウイルスから体を守るために、免疫系はなくてはならない働きをしているわけですが、免疫の力を高めるためには、タンパク質を始めとする栄養の摂取がいかに重要かわかりただけだと思います。



免疫のしくみ／抗原と抗体

体中をパトロールする タンパク質・ 免疫グロブリン

自然免疫と 獲得免疫

自然免疫には、皮膚、粘膜、そして粘膜表面を覆う体液による物理化学的防御、好中球、マクロファージなど食細胞による防御、そして食細胞の働きを助ける補体や、ナチュラルキラーセル（NK細胞）による免疫監視機構などがあります。自然免疫は体の中に常に存在し、体に入ってきた弱い病原菌はこれで防御されます。これに対し、獲得免疫は自然免疫では防ぎきれなかった侵入物をその場その場で識別し、それにあつた対

応をします。

外からの侵入物を抗原と呼ぶのですが、獲得免疫ではこの抗原にあつたオーダーメイドのミサイルをつつて対抗します。このミサイルのことを抗体といいます。

細菌やウイルスの感染で、獲得免疫は誘導され、できた免疫はその病原体だけに特異的で、長期間にわたり生体に保持されます。はしかなど一度かかった病気に二度とかかりにくくなるのは、このためです。

獲得免疫が、抗原に特異的で、感染したときの記憶が長期に保持されて、再感染に対する抵抗力が高まる

体を防御する最も重要な機構、免疫はその成り立ちによって二つに分けられます。ひとつは体の中に本来ぞなわっている自然免疫。もうひとつは生後、外來の刺激により獲得される獲得免疫です。

のに対し、自然免疫は相手の病原菌が何であれ働き、しかしその記憶は保持されません。

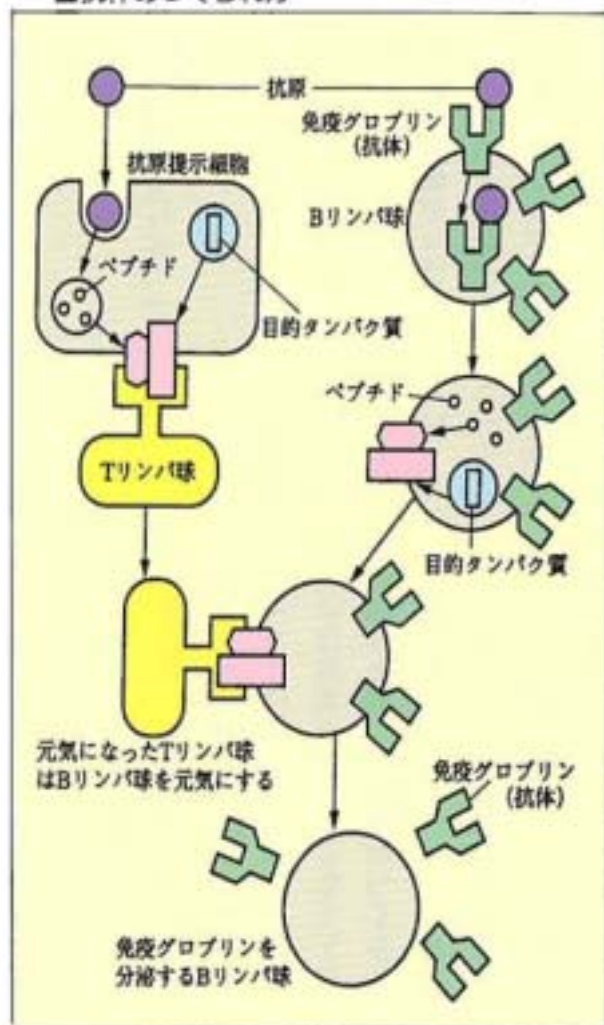
もつとも、自然免疫と獲得免疫は独立して機能するのではなく、緊密に協力して体を異物から防御しています。

抗原侵入から 抗体ができるまで

免疫は自己と違うものを識別し、この非自己を排除する働きですが、いったいどのようなプロセスを経て機能するのでしょうか。

微生物や病原菌が体の中に入って

■抗体のつくられ方



きたとします。普通は皮膚とか粘膜とかが健康であれば、病原菌は入ってこれません。けれども、そこに傷口があったり、体調が悪いと、病原菌は侵入してきます。

細菌やウイルス、あるいは食べ物やダニ、花粉などアレルギーの原因になるものも実はそうなのですが、体にとって異物、非自己であるものを抗原と呼びます。

抗原が体内に入ると、まずそれを抗原提示細胞というのが認識します。抗原提示細胞の代表的なものはマクロファージ。

マクロファージは白血球の一種で

好中球と同じように、外から入った微生物や体内の変性細胞、化学物質片などを貪食します。同時に抗原が持っている独特の目印を見つけ、これをマクロファージ自身の目印と合体させ複合体になります。この複合体が細胞膜表面に提示されます。

するとリンパ球の一部である、Tリンパ球が、抗原提示細胞であるマクロファージの目印と抗原の目印の複合体を見つけます。Tリンパ球の表面にあるタンパク質が、この複合体と結合、Tリンパ球は活性化します。

一方、Bリンパ球というものがあ

り、表面に免疫グロブリンというタンパク質を持っています。体に入った抗原はBリンパ球表面の免疫グロブリンに結合します。

結合した抗原はBリンパ球の中心に取り込まれ、タンパク質分解酵素でペプチドに分解されます。抗原に結合したBリンパ球に、活性化したTリンパ球が近づき、Bリンパ球を刺激。Bリンパ球は抗体をつくりだす細胞に変化します。

たとえば抗体は抗原を撃つミサイル、Bリンパ球はそのミサイル(抗体)をつくる工場、Tリンパ球と抗原提示細胞は工場(Bリンパ球)を制御する司令塔と考えられます。

抗原が侵入すると、マクロファージなど抗原提示細胞が、抗原(多くはタンパク質)の分子を細かくしてペプチドにし、その中に含まれる重要な情報をTリンパ球に示します。Tリンパ球はBリンパ球の働きを助け、それによってBリンパ球は抗原を打ち落とすミサイル——抗体を生産するというわけです。

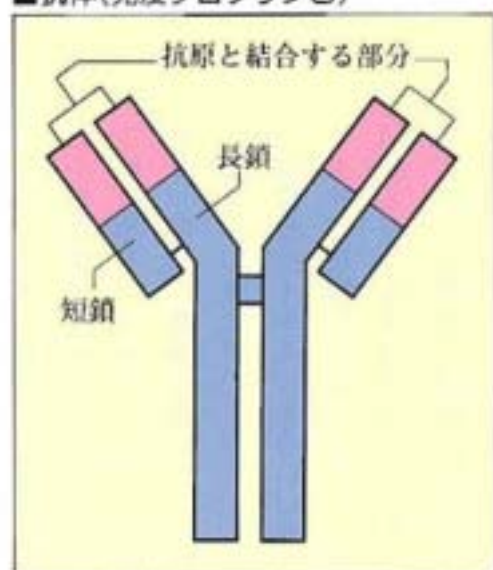
抗体は抗原によって違う

抗原を打ち落とすミサイル・抗体は血液に存在し、免疫グロブリンと呼ばれるタンパク質でできています。

抗体には免疫グロブリンG、M、A、D、Eの5種類があり、このうちEは食品アレルギーに関する抗体です。ともあれ、抗原は免疫系にスイッチを入れる役目をしているともいえるでしょう。

抗体は図のようにY字型をしています。Y字の両腕の部分が抗原と結

■抗体(免疫グロブリンG)



合する部分で、よく見るとこの部分が抗原によって形が少しずつ違ってきます。つまり、インフルエンザのウイルスにはインフルエンザ用の、肝炎には肝炎ウイルスに合うY字の腕の部分を持った抗体がつくられているのです。

このようにして、私たちの体は入ってきた外敵に対し、その外敵だけを抑える抗体をつくっています。これを抗体の「抗原特異性」と呼んでいます。

抗体の産生に重要なTリンパ球とBリンパ球は、私たちの体の骨の中にある骨髄でつくられる白血球のうちリンパ球の一部です。骨髄はリンパ球を生産する工場であり、そこでつくられたリンパ球の一部が胸部にある胸腺に移動、変化してTリンパ球になります。また、残りは胎生期（母親の胎内にいる期間）には、肝臓にあり、その後骨髄に移行してBリンパ球になります。

こうして生産されたTリンパ球やBリンパ球は血管やリンパ管に送ら



れ、その中をぐるぐる回って外敵の侵入に備えます。そのようすは、パトロールをしている兵士にたとえられます。なぜなら、いつでも外から侵入する敵に対し、抗体というミサイルを射てるよう準備をしているからです。

このように、私たちの体の免疫機構では、抗体というタンパク質が、大きな役割を担い、生体を常に防御しているのです。タンパク質はここでも重要な役割を演じているといえるでしょう。

アレルギーの増加と食品

アレルギーと深くかかわるタンパク質

食品アレルギーは増加している

1992年、厚生省の調査によると症状の軽いものまで含めれば、日本人の3人に1人はアレルギーにかかっているといわれます。また、特に都市部の子供たちの間では2人に1人がアレルギー症状を持つとまでいわれます。

最近よく耳にするアトピー性皮膚炎というものも、実はアレルギーが原因で、顔をはじめとした皮膚に湿疹ができる病気です。しかも、この原因は卵や牛乳などの食品が圧倒的

に多いのです。

アレルギーを起こす物質をアレルゲンといいます。アレルゲンの種類は年齢により偏りがあります。0〜2歳は卵や牛乳、2歳をすぎると花粉やダニが増えてきます。

興味深いことに、アレルギーの現れ方も年齢とともに変化することがわかってきました。0〜2歳はアトピー性皮膚炎が圧倒的に多く、次に気管支喘息、そしてアレルギー性鼻炎と順次発症していきます。すなわち、一度、小児期に食品アレルギーを起こすと、それが原因でダニや花粉などを原因とする皮膚炎、喘息、

戦後、極端な栄養不良から結核など感染症で亡くなる人が多かったのですが、昭和40年代に入ると、栄養状態の向上により、感染症にかかる人は激減しました。ところで一方、別の問題が生まれてきました。それはアレルギー疾患の増加です。

鼻炎などの症状を引き起こしてしまふことが多いのです。

アレルギーを起こす食品は……

小児期に食品でアレルギーを起こすと、成長に伴ってダニや花粉など別の物質でもアレルギーを起こすケースがある——これをアレルギーマーチと呼んでいます。これを防ぐにはいかに小児期に食品アレルギーにならないかがポイントになってきます。いったいどんな食品がアレルギーを起こしやすいのでしょうか。表を見てください。卵、牛乳、大豆など、

タンパク質を主体とする食品が多いことに気づかれるでしょう。おそらく生後すぐに母乳を飲ませず、栄養価の高い食品を子供に食べさせた結果アレルギーが発症したと考えられます。

食品アレルギーは急増しています。ギリシャ時代の文献にも「One's food is another man's poison」（ある人の食べ物は他の人には毒）と記載があり、これは今日のアレルギーのことを指していると考えられています。アレルギーとはギリシャ語の「異なる」(allos)と「反応」(ergon)を組み合わせたもの。通常と違う生体の反応を示すことから名づけられました。

なるほど、普通、私たちは卵やエビ、ソバや牛乳などを食べてもまったく平気ですが、中にはこれらの食品でじんま疹がでたり、喘息を起す人がいます。通常は栄養に富んだ食品が、ある人にとっては生体が異常に反応する原因物質(アレルゲン)になってしまうのです。

■アレルギーの原因となる食品

原因食物	症例数	臨床症状			
		消化器	呼吸器	皮膚	その他
鶏卵	118 (34.6%)	68	32	42	3
卵白	42 (12.3%)	28	16	25	
牛乳	62 (18.2%)	29	11	42	2
牛肉	13 (3.8%)	9	4	3	
鶏肉	24 (7.0%)	19	3	11	
豚肉	11 (3.2%)	8	4	2	
鹿肉	2 (0.6%)		1	2	
アイスクリーム	16 (4.7%)	3	9	9	
米	2		1	2	
小麦	4		2	2	
大豆	9 (7.3%)	3	1	6	
日本そば	6	3	2		3
ピーナッツ	3		2	1	
カツオ	5	2		3	
カニ	5		1	4	
サバ	4 (6.0%)			4	
マグロ	3			3	
エビ	3			3	
キウイ	2			2	
パルパイヤ	1			1	
ピーマン	2 (2.3%)			2	
オレンジ	2			2	
ほうれんそう	1		1	1	
計	341例	172例 (50.4%)	90例 (26.4%)	172例 (50.4%)	8例 (2.3%)

(馬場らの報告による)

アレルギーが急増した理由

しかし、最近とくにアレルギーが急増しているのは、なぜでしょう。原因として①母乳栄養児が減り、人工乳栄養児が増えた②動物性食品とくに動物性タンパク質摂取の増加③食品添加物など食品以外の摂取が増加したことなどがあげられます。

アレルギーは自分と違う成分が体に入ったときに起こりやすくなります。母乳は赤ちゃんにとり、自己の成分と同じようなものですからアレルギーは起こりません。ところが人工乳は牛の乳からつくられています。もともと人の子供に与えるためのものではなく、赤ちゃんにとっては明らかに自己の成分と違います。ですから牛乳からつくられた人工乳はア



レルギーの原因になりやすいのです。一方、動物性食品の摂取の増加は私たちに、以前は最も死亡率の高かった結核など感染症の激減をもたらしました。ここ30〜40年の間に日本人の寿命が伸びたのも、動物性食品、とりわけ動物性タンパク質の摂取が体の免疫系を強化し、感染症にかか

りにくいよう抵抗力を高めたためです。ところが、免疫系のしくみがうまく働いていない人にとっては食品アレルギーの増加をもたらす結果となったのです。さらに、食品添加物や農薬など食品以外の物質がアレルギー増加の原因と関連するのではともいわれます。

こうした食品摂取の変化以外に、私たちをとりまく環境の変化も大きくアレルギーと関係するとも考えられます。鼻や気管などの粘膜を傷める大気汚染、免疫系に大きく影響するストレスの増加なども、アレルギーを起こしやすくする一因かも知れません。

しかし、免疫系の研究の急速な進歩とともに、今まで不明な部分の多かったアレルギーについても説明が進んでいます。同時に予防や治療の研究も進んできました。

アレルギーは、本来は私たちの体を防御する免疫系が、逆に自分自身の方に向かって攻撃してしまった結果起こる病気です。食べ物と生体のマッチングによって、アレルギーは起きたり起きなかつたりする複雑な病気なのです。

うれしいことに最近の分子生物学では、アレルギーを起こす体の条件も、遺伝子レベルで研究されています。アレルギーが解明される日も遠くないかもしれません。

アレルギーは免疫系疾患

腸管と タンパク質の消化と アレルギー

食品のタンパク質は 腸管でアミノ酸になる

食品アレルギーは、卵や牛乳や大豆など食品を抗原とします。アレルギーの場合は抗原をアレルゲンと呼んでいます。アレルゲンが体に侵入すると、体の免疫系にスイッチが入り抗体がつけられ、この抗体が自身自身の体を攻撃してしまう体の機構を動かします。

しかし、普通は牛乳や卵などが体に入っても免疫系のスイッチは入らず、抗体がつけられることはありません。ところが、免疫系が過敏であ

ったり、異常があったりするとアレルギー反応が起きてしまいます。

ところで、免疫系は体の中に自己と違うものが入ったときにそれを排除する仕組みとして働きます（60ページ）。では、食品の場合はどうでしょうか。確かに卵や牛乳は自己と違う物質であり、抗原となってもおかしくはないと考えられます。

しかしながら、食品は私たちの体を維持し、構成し、動かすためになくてはならない物質です。食品は体内で消化され、吸収され、生命を維持するために使われますが、その過程をタンパク質を例にとって見てみ

免疫は、私たちの体を外部からの異物（抗原）から守るために働く、生体防御機構です。ところが、免疫反応に狂いが生じて、細菌やウイルスを壊すと同時に体を傷つけてしまうのがアレルギーです。これが食品で起こるのが食品アレルギーです。

みましょう。

タンパク質はまず胃でペプシンが作用、腸では膵臓からのトリプシン、キモトリプシンという消化酵素により、アミノ酸やペプチドに分解されます。アミノ酸はそのまま、ペプチドは腸管の上皮で再度アミノ酸に分解され吸収されます。

こうして吸収されたアミノ酸はそのまま、または変化を受け、体を構成するタンパク質につくりかえられたり、運動するためにエネルギーとして利用されます。

ところで、タンパク質が直接血管やリンパ管に入ったらどうなるでし



よう。マウスの実験では急激なアレルギー反応を起こしてショック死してしまいます。もちろんヒトにも同じことがいえます。

ところが、タンパク質をアミノ酸に分解してやると、こうした急激なアレルギー反応は起きません。病院で点滴するときの輸液にはアミノ酸が入っています。患者の血管の中にアミノ酸の入った液を入れてもショックは起こらないからです。

ヒトの体の中では腸管が、タンパク質をアミノ酸に分解する作用をしています。腸管で分泌される消化酵素が、アレルゲンであるタンパク質を分解することにより、アレルギー反応を起こさせる活性を失わせています。

ですから、本来はアレルゲンとなるタンパク質を食べても、ヒトはそれを体に有用な栄養素として利用するのみで、自己と違う物質を排除する免疫系のスイッチは入らずに、アレルギー反応は起こらないというわけです。

腸管特有の免疫系と働き

消化吸収で大きな役割を果たす腸管では、消化酵素により、抗原であるタンパク質は低分子のペプチドやアミノ酸に分解されます。抗原がアレルギー反応を起こすにはある程度の分子の大きさが必要です。

食品アレルギーが0〜2歳の幼児期に起きるのは、腸がまだ完成していないため、抗原であるタンパク質が、アミノ酸やペプチドに分解されぬまま腸管を通過するためと考えられています。

成人でもアレルギー反応が起こるのは、食品抗原が完全に分解されずに、一部が腸管を通して血中に移行するためともいえます。

腸管には腸管独特の腸管免疫系があります。ここではアレルゲンの侵入を抑える免疫グロブリンAが働きます。

免疫グロブリンAは次のページの図のように腸管粘膜上皮細胞にあり、

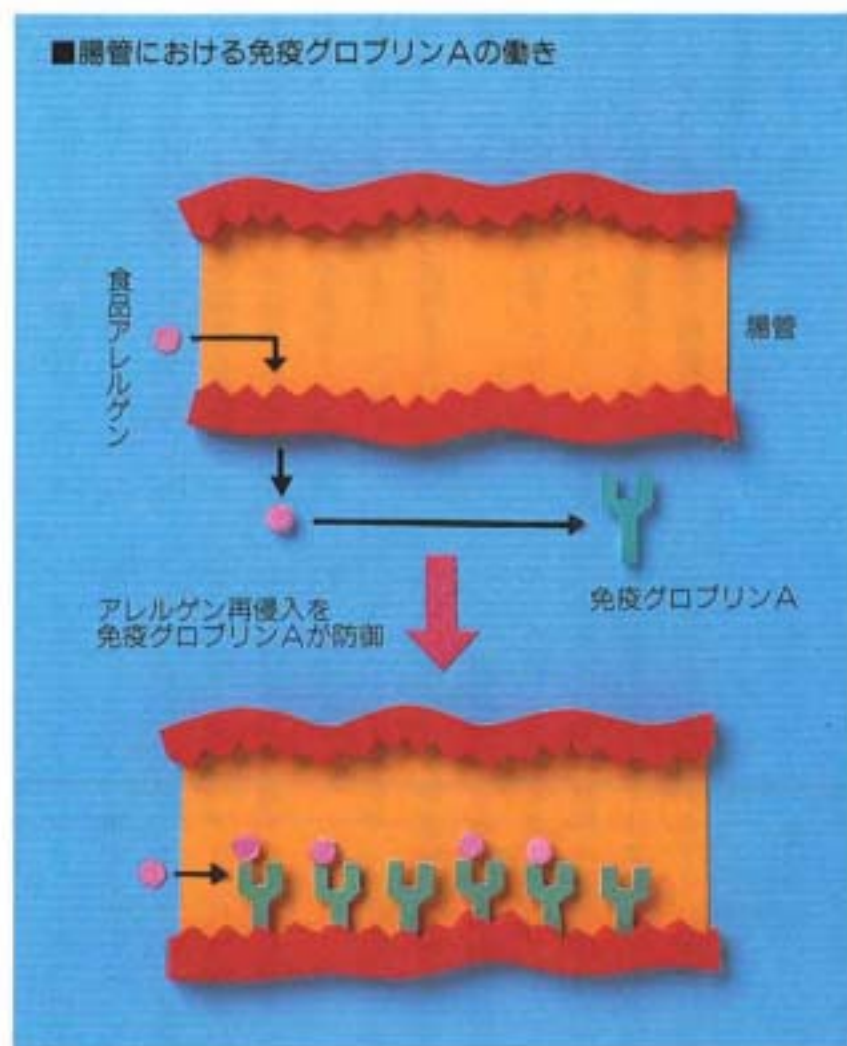
食品抗原をはじめ外来抗原が腸壁から直接体内に侵入するのを防ぎます。免疫グロブリンAを持たない免疫グロブリン欠損症の人には、食品アレルギーを示す人が多く見られます。

また腸管免疫系の主役、小腸粘膜にある15mm×10mm位の長楕円形、計20〜30個で構成されるリンパ小節の集合体、パイエル板からは、アレルギーの原因となる抗体（免疫グロブリンE、G）を抑制するリンパ球が動員されます。

このように腸管では、

- ①タンパク質の分子を消化酵素によりアミノ酸またはペプチドに変える
 - ②腸管にある免疫グロブリンAが外来抗体を腸壁から直接体内に入らないようにする
 - ③腸管免疫系の主役パイエル板がアレルギーの原因となる抗体免疫グロブリンE、Gを抑制するリンパ球をだす働きをしています。
- 本来は自己にとって異物である食品に対し、アレルギー反応を起こさずにすむようにしているのです。

■腸管における免疫グロブリンAの働き



抗原を食べてアレルギーを抑制する経口免疫寛容

中国では「漆職人の子は漆にかぶれない。それは幼いときから子供にうるしを食べさせ、かぶれを防いでいるから」といわれています。本当に実践されていたかどうかは定かでない。

はありませんが、アレルギー現象を防ぐため、あらかじめアレルギーのもとになる物質（アレルギー）を食べさせて、反応を防ぐことを「経口免疫寛容」といいます。

マウスの実験ではアレルギーの一種であるカゼインをAのマウス群には飼料に混ぜて食べさせ、Bのマウ

ス群には与えないでおきます。しばらくしてカゼインをA、B群のマウスの腹腔に注射します。するとカゼイン食を与えてないB群のマウスでは抗体がつけられませんが、カゼイン食を与えたA群のマウスは抗体がつけられません。

つまり、口からカゼインを与えたマウスに、後から血管を通してカゼインを抗原として与えた場合、免疫グロブリンG、免疫グロブリンE抗体がつけられるのを抑制する機構が働くのです。これに対し、アレルギーを抑制する側に働く免疫グロブリンA抗体は抑制されません。

この経口免疫寛容は、あらかじめアレルギーとなる抗原を食べさせると、アレルギー反応が抑制されることを示します。しかし、実際に臨床的に応用するには、抗原の量と時期が問題になります。現在では花粉を腸管でとけるカプセルに入れ、患者に飲ませ、アレルギーの原因となる免疫グロブリンEの産生を抑えることが実験的には成功しています。

これらの経口免疫寛容によるアレルギー治療とは別に、タンパク質の分子を細かく切ってアミノ酸やペプチドにし、腸管でアレルギー反応が起らないようにあらかじめ加工した人工乳も市販されています。両親ともにアレルギーがあり、しかも母乳で育てられない場合など、こうした低アレルギー性の人工乳を利用することで、乳幼児期のアレルギーをある程度予防できます。

最近、イギリスで、アレルギーを起す人は免疫グロブリン産生に関する遺伝子に異常があることがわかりました。ですから両親がそろってアレルギーの場合は、腸管の機能が成熟するまで母乳をできるだけ与え、アレルギーとなる物質を除去するなどの工夫が必要でしょう。

アレルギーとなる食品は卵や牛乳など成長に欠かせない良質なタンパク質を含むので、これらの食品に含まれるアミノ酸を他の食品でバランスよく補う工夫が大切です。



長生きの条件はあるか？



どんな人が長生きするのか調べた調査はあまりありません。老化の予防や進行をくい止めることは平均寿命の更新におおき

な意味がありますが老化の進行に影響する要因を見極めるのはなかなか難しいといえましょう。東京都老人総合研究所の調査

主な要因が15年後の生死にどのような影響したかをみたものです。

概して、栄養状態がよく、活動性の高い人が長生きをしていることがわかります。一時はやせている人が長生きするといわれましたが、むしろ中程度の人のほうが長生きといえそうです。また、沖縄県の大宜味村と秋田県の南外村の高齢者の健康度の調査では、ADL (Activities of Daily Living) = 日常生活動作能力により生活の自立度を通してお年寄りの健康をみています。これによると、やはりタンパク質・油脂とも、より多くとっている大宜味村の人のほうが健康度では勝っているといえましょう。

では、小金井市の70歳以上の人を15年間追跡調査した結果、老化の要因そのものには至りませんが、寿命(余命)に影響する

要因をリストアップすることができました(表)。最初の調査(70歳)のときにその人を取り巻いていたさまざまな

「肉や卵、牛乳などの動物性食品はとり過ぎをもち、心筋梗塞のもとになるので、年をとったら食べない方がよい」というのは、ここでも正しくないことがわかります。動物性食品を減らした方がいいというのは、

1日にステーキを320gも食べるアメリカ人には当てはまっても、1日あたり動物性タンパク質全体で41・7gしかとらない平均的な日本人にはあてはまりません。

むしろ、必須アミノ酸をまんべんなく含む、食肉など動物性タンパク質を積極的にとることが、元氣な熟年生活のポイントといえるでしょう。

●長生きの条件11カ条

第1条 血清中のアルブミン(タンパク質)が多い	第6条 スポーツの習慣がある
第2条 血色素が多い	第7条 たばこを吸わない
第3条 太りかたは中くらい	第8条 お酒をすこし飲む
第4条 握力が強い	第9条 社会活動性が高い
第5条 短期の記憶力がよい	第10条 牛乳を飲む
	第11条 油脂の料理をよくとる

注・5、10、15年間の余命に影響した70歳時点(ベースライン)の要因(小金井研究より)。

●SECTION●

4

のぞいてみよう

.....
タンパク質の巨大な宇宙

●荒井 綜一

ネックレスのようなタンパク質の構造

タンパク質は アミノ酸の集まりで できている

地球上の生物が有するタンパク質は実に100億〜1兆種類にのぼるといわれます。

生物は細胞から成り立っていますが、たとえば大腸菌のような単細胞生物でも、細胞内には約3千種ものタンパク質が含まれています。ヒトの体には約60兆個もの細胞があり、タンパク質の種類は、なんと10万種類にも及びます。

この膨大な数のタンパク質も元をたただせば、たった20種類のアミノ酸からできているのですから驚きです。タンパ

ク質はこの20種類のアミノ酸が、数十個から数千個つながった物質なのです。

アミノ酸の形と種類

タンパク質の分子を眺めてみましょう。それは「大分子」といわれ、分子量で較べると水18、酸素32、炭酸ガス44、砂糖342に対し、最も小さいタンパク質で50000くら

い。普通は数万〜数十万、大きなものでは何百万の分子量を持っています。巨大といってもタンパク質の分子を顕微

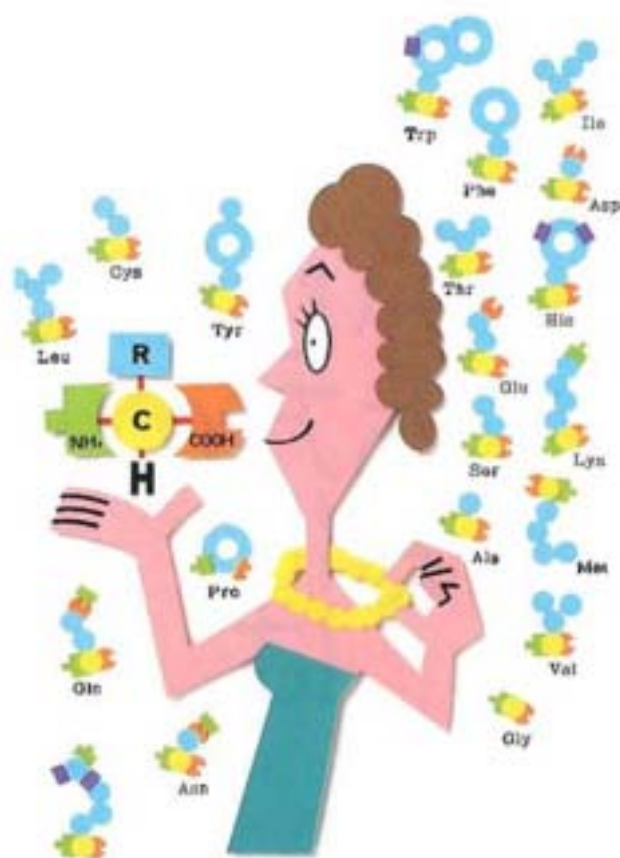
鏡で見るとはできません。

普通の大きさとタンパク質は直径が数ナノメートルくらい、1ナノメートルは1ミリメートルの100万分の1。タンパク質の構造は、やはりミクロの世界のお話です。

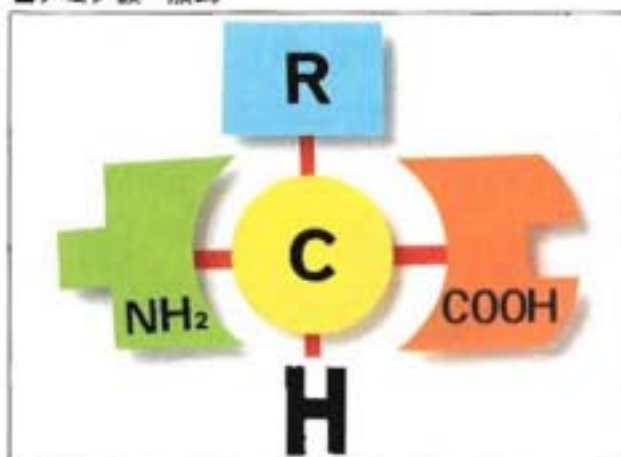
タンパク質の分子の形はさまざまです。筋肉を構成する収縮タンパク質のひとつミオシン(32ペーシ)や、構造タンパク質の代表コラーゲン(41ペーシ)は、細長い棒のような形。一方、酵素(29ペーシ)の多くは球状です。



各アミノ酸は3文字記号で示してあります



■アミノ酸一般式



この棒状や球状のタンパク質をよく見ると、1本または数本の「ひも」からできているのに気づきます。このひもが折れ曲がったり、らせん状に巻きついたり互いにかままるようにして、球や棒の形をつくっています。これが「アミノ酸の鎖」です。

タンパク質は、20種類のアミノ酸が玉のように、数十個から数千個つながっているネットワークレスと考えられます。ところで、すべてのアミノ酸は、炭素Cを中心に、アミノ基-NH₂とカルボキシル基-COOHという原子団が結合した基本構造を持ちます(図)。それぞれのアミノ酸は、Rの部分が違ってきます。

このR部分は側鎖(side chain)といわれます。ただし、プロリン(Pro)だけは、アミノ基と側鎖がつながって環をつくっています。

いろいろあるアミノ酸の性質

体の約7割は水です。タンパク質はその水に溶けているか、水に接して存在します。そこでタンパク質を構成するアミノ酸の性質は、水とのなじみや大きさが大きな意味を持つてきます。

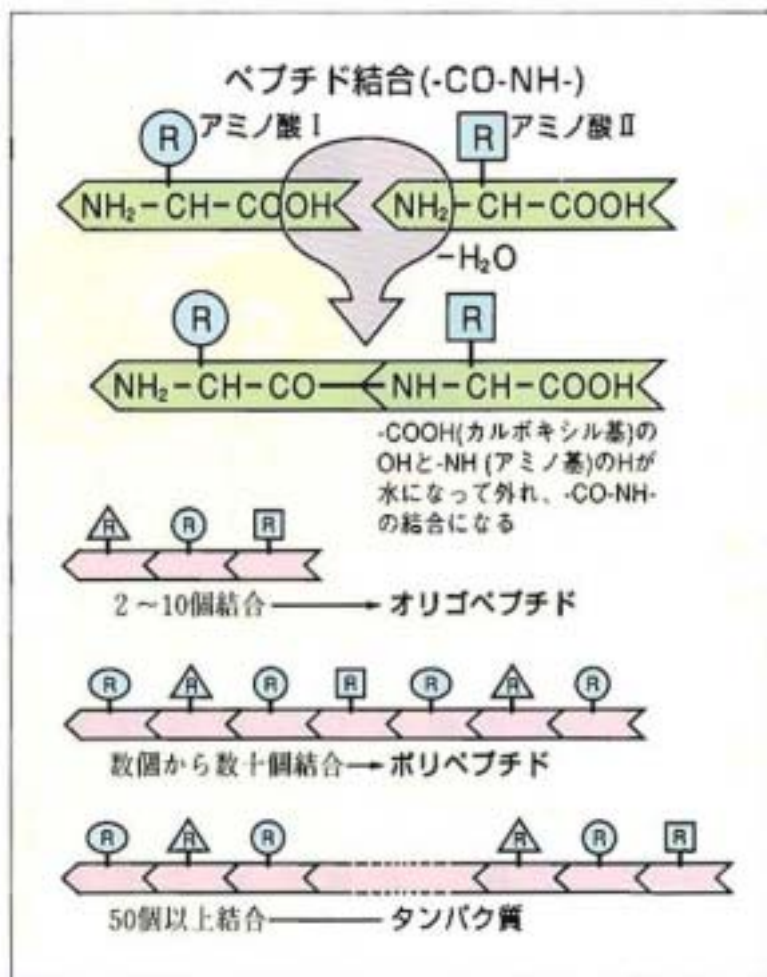
アミノ酸自体は、共通にアミノ基とカルボキシル基を持つため親水性ですが、アミノ酸の側鎖には、親水性のものと、水になじみにくい疎水性のものがあります。タンパク質中では、アミノ酸のアミノ基とカルボキシル基はペプチド結合(78ページ)に使われます。側鎖が親水性か疎水性かはタンパク質の立体構造に影響を与えます(80ページ)。

アミノ基とカルボキシル基を持つ

アミノ酸自体は、共通にアミノ基とカルボキシル基を持つ

アミノ酸を数珠つなぎにする。ペプチド結合

アミノ酸の つながり方には ルールがある



アミノ酸をネックレスの玉に例えると、タンパク質はいくつかの玉がつながったネックレスと述べました。ここではネックレスの玉、すなわちアミノ酸がどうつながっているかを見てみましょう。

アミノ酸の種類は全部で20ですが、そのつながり方により数えきれない種類のタンパク質が生まれます。けれどもアミノ酸とアミノ酸をつなぐ方法は一定で、これをペプチド結合と呼びます。

アミノ酸から タンパク質へ

アミノ酸は、図でみるように炭素Cを中心に水素Hとアミノ基-NH₂とカルボキシル基-COOHを共通部分に、側鎖(R)がそれぞれに特有な部分となっています。

あるアミノ酸のアミノ基部分-NH₂と、別のアミノ酸のカルボキシル基-COOHが反応し、1分子の水H₂Oがとれてアミノ酸が結合していきます。これが「ペプチド結合」です。

タンパク質の分子は何百個のアミノ酸が、ペプチド結合でネックレスのようにつながり構成されています。

アミノ酸が2〜10個つながったものを「オリゴペプチド」、それより多くつながったものを「ポリペプチド」といいます。

ポリペプチドはアミノ酸が50個まで、それ以上つながるとタンパク質といわれます。したがってペプチドはタンパク質の弟のような存在です。

タンパク質の構造とアミノ酸

仮にアミノ酸を1個のネックレスの玉と考えれば、本物のネックレスの玉と決定的に違う性質があります。

普通のネックレスは、玉と玉の間に特別に引き合う力など存在しません。しかしタンパク質は、鎖のつなぎ目の部分——つまりペプチド結合部

分や玉の飾り——側鎖部分が、それぞれのアミノ酸の種類によって特徴ある粘着力を持っています。力は磁石のように一定ではなく、玉の結合部（ペプチド結合部）や、玉の飾り部分（側鎖）には、さまざまな種類と、さまざまな強さの力があるのです。

タンパク質は、それぞれのペプチド結合や側鎖部分が持つ特殊な粘着力によって、折りたたまれたり、らせん状になったり、球状になったりし、立体的な形をしています。これを、タンパク質の立体構造（二次構造・三次構造）と呼びます（図）。

一方、タンパク質のネックレスの玉の並び方、すなわちアミノ酸の配列の仕方をタンパク質の一次構造といっています（図）。

また、一次構造のタンパク質が立体になる過程で、アミ

ノ酸のネックレスが一定方向に規則正しく並んで、 α らせんや β 構造（78ページ）という化学的に安定した形をとります。この構造をタンパク質の二次構造と呼んでいます（図）。

20種類のアミノ酸から、膨大な種類のタンパク質が生まれる理由はアミノ酸の配列と立体構造の違いにあります。使われているアミノ酸の種類や数は一緒でも、アミノ酸の配列、すなわち一次構造が違うだけで、できあがるタンパク質の形——立体構造が変わってしまう。また、形は変わらなくてもタンパク質の性質や働きは大きく変わってしまうのです。

タンパク質は、小さな分子の中になんとも不思議で、巨大な宇宙を感じさせる構造を持っているのですね。



タンパク質の立体構造

タンパク質の機能を決めるのは何か？



普通タンパク質は、アミノ

酸が並んだポリペプチド鎖が折られたまかれた立体構造をしています。立体構造をとることでタンパク質は、独自の役割を果たしています。そこでポリペプチド鎖はどのように立体構造をとるのかみてみましょう。実はポリペプチド鎖が好んでとる姿勢は、いくつかに限定されています。

αらせんとβ構造

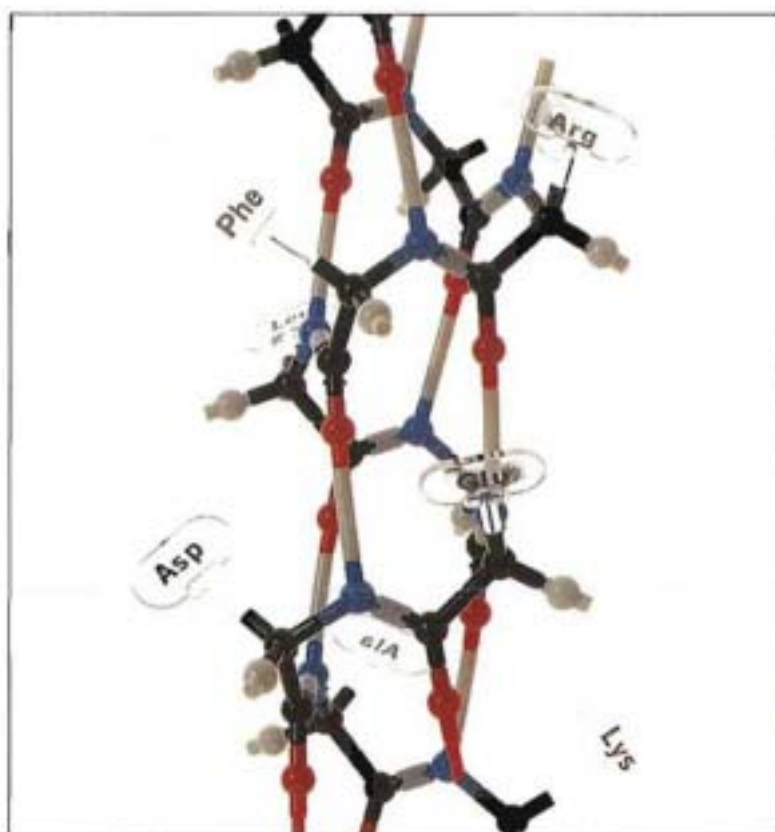
図を見てください。これがαらせんといわれるタンパク

質の二次構造です。ちょうど

鉛筆を芯にして、そのまわりに針金を巻き付けてできるらせん形のようなです。一次構造のタンパク質であるポリペプチド鎖は、このαらせん構造で最も安定します。

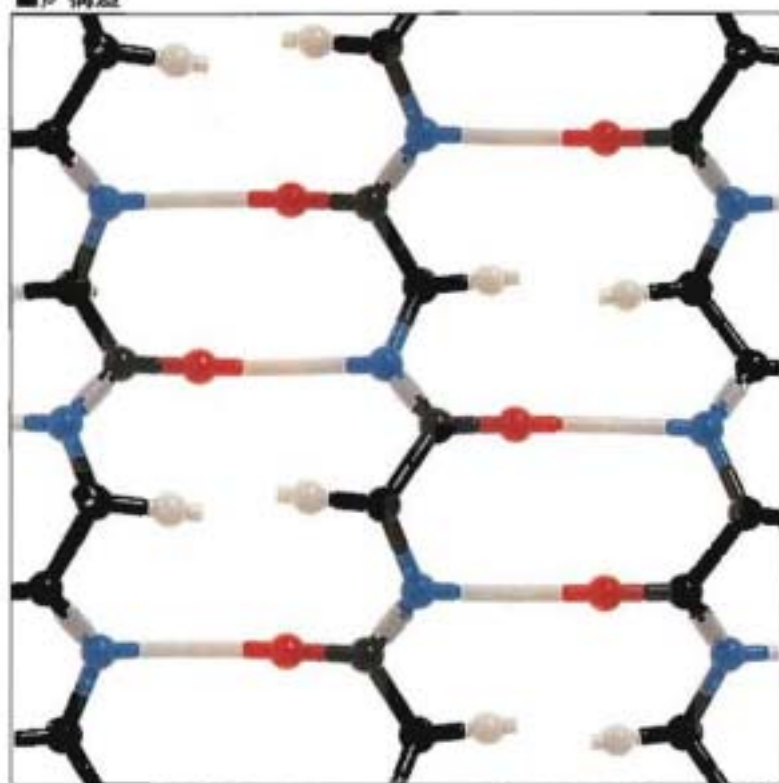
図はαらせんをつくるポリペプチドの一部です。側鎖はタンパク質の種類により異なる飾り部分にあたります。

ペプチド結合部分に注目すると中央の炭素原子Cを中心に、前後のペプチド結合—C—O—N—Hは、回転が自由に



■αらせん

■β構造



きそうに見えます。しかし、炭素Cを中心としてペプチド結合C—O—N—Hを振り回そうとすると、ペプチド結合部分が大きすぎ前後でかさばり、様々な部分に衝突が起きます。するとペプチド結合部分の動きは限定され、とれる姿勢は決まってしまう。

一対ずつあるNHとCOは、それぞれ上と下を向き互いに

最も遠い位置。このため中央の炭素Cとつながっている水素Hと側鎖Rは障害のない空間に位置します。この姿勢でアミノ酸がつながり、右回りのαらせんができます。

αらせんでは、あるアミノ酸のペプチド結合をつくるNHとそこから4つ離れたところにCOがあらわれ、ほぼ一直線上に並びます。OとNはHを仲立ちに弱く結合します（水素結合）。水素結合が次々形成されると、αらせんは安定した姿勢をとれるのです。

身近なタンパク質でαらせん構造を持つのは毛髪や羊毛です。これらはαらせん構造を持つポリペプチドが何本もからみあい束をつくり、それがさらに束になって丈夫な繊維をつくっています。

さて、羊毛や髪の毛に蒸気を吹きつけ、ゆっくり引っぱってみると、意外なほど延ば

すことができます。X線で見ると、ポリペプチド鎖が引き延ばされ、互いに向かいあった状態になり鎖と鎖の間には水素結合ができて固められ、αらせんが別の構造に変化したのがわかります。

これをβ構造と呼びます。β構造はさまざまなタンパク質に見られ、αらせん同様、個々のアミノ酸が無理なく安定した構造です。

**立体構造を持つ
タンパク質**

体を形成する線維状のタンパク質は、アミノ酸のポリペプチド鎖がαらせん構造やβ構造をとり、それらが束になり構成されます。しかし、酵素やヘモグロビンのように多くのタンパク質は球状です。これらは、ポリペプチド鎖がαらせんやβ構造をつくり、さらに折りたたまれ球のような立体構造になっています。



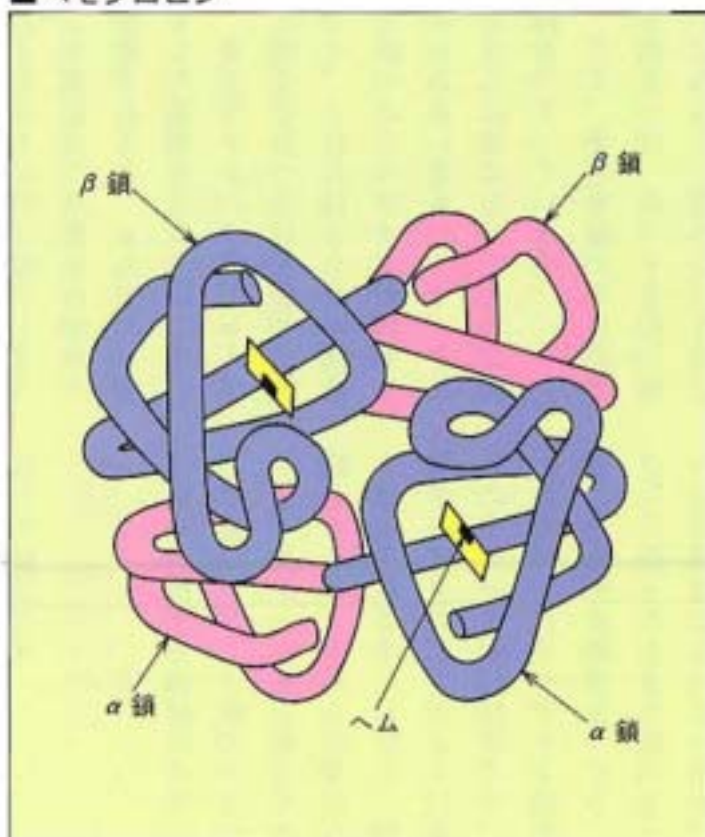
立体構造をつくる情報はアミノ酸の配列順序にすでにインプットされています。 α らせんや β 構造が集まり、さらにまとまった構造になるのは、アミノ酸の側鎖部分の性質と別の側鎖の部分の性質の相互作用によっています。

たとえば塩基性の側鎖はプラスの電荷、酸性の側鎖はマイナスの電荷を持っているため、側鎖間のプラスやマイナスの電荷作用で、互いに引き合ったり反発したりします。

アミノ酸の側鎖が、親水性か疎水性かもタンパク質の立体構造を決定する要因です。疎水性の側鎖は水を嫌って集まり、できるだけ内部に潜りこもうとするからです。

球状のタンパク質（三次構造）が一つの単位（サブユニット）になって複数集まり、さらに大きな構造になるのが四次構造。代表は運搬タンパ

■ヘモグロビン



ク質のヘモグロビンです。

ヘモグロビンは4個のサブユニットが集まった球状をしています。各サブユニットは150個のアミノ酸からなりその中央に鉄イオンを含むヘム分子を抱えています。ヘムは酸素と結合して体中に酸素を運ぶ役目をします。

タンパク質が特定の相手を認識したり、結合したりする

には立体構造が不可欠です。

たとえば、酵素に熱や酸、尿素などを加えるとアミノ酸同士の間は変わりますが、立体構造に変化がおき、酵素としての働きは失われます。

このようにタンパク質は立体構造を持つことで、はじめてその独自の機能が発揮できるといえるでしょう。

鉄とタンパク質

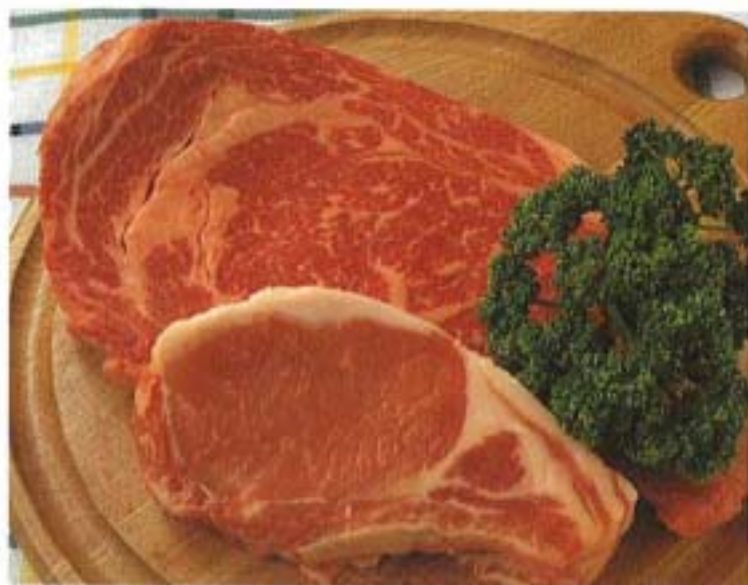
体の中で酸素を運ぶ色素・ヘモグロビンは、骨髄の中で産生されるタンパク質の一種です。ヘモグロビンは赤血球の内容物の約30パーセントを占め、骨髄の貯蔵鉄を利用して作られます。

通常成人の体内には4〜5%の鉄があり、その70パーセント近くがヘモグロビンとして使われています。1日の排泄量は1日約1ミリグラムですが、ヘモグロビンの材料となる鉄は、体内で作れないため、常に外から供給する必要があります。供給が少ないと貯蔵鉄も減り、鉄欠乏性貧血になります。

ところで、鉄分を食事で効率よくとるには、食肉がうってつけなのをご存知ですか？

食品中の鉄には野菜などに含まれる非ヘム鉄と、食肉に含まれるヘム鉄があります。

野菜などの非ヘム鉄の腸管からの吸収率はわずからパーセン



ト、これに対し食肉に含まれるヘム鉄は25パーセントにもなりません。さらにヘム鉄には非ヘム鉄の吸収を促進させる作用があるので、ですから野菜と食肉を一緒に食べるのは、鉄を摂取するうえで大変重要なポイントになってきます。

タンパク質と鉄とは、実は密接な関係があります。食物としてとった鉄は、体内で血液の中

トランスフェリンというタンパク質に出会います。鉄の遊離状態は、不安定なものです。このタンパク質に出会うことで安定し、各組織の細胞に運ばれます。

細胞内には鉄を一時蓄えるフェリチンというタンパク質もあります。フェリチンは肝臓、脾臓、骨髄などに多く、体内に入った鉄の30パーセントはこうし

て貯蔵鉄となります。一方、骨髄に運ばれた鉄の大部分はポルフィリンという物質と結合し、ヘム鉄となり、さらにグロビンというタンパク質と結合、ヘモグロビンになります。このヘモグロビンが赤血球に含まれて酸素を運搬します。

また、ミオグロビンという筋肉のタンパク質は、ヘモグロビンと同様ヘム鉄と結合、酸素を蓄える働きをしています。

このように鉄は体内においてもタンパク質と切っても切れない関係にあります。食品として常時供給するためにも、タンパク質と一緒にとるのが効率のよい方法です。野菜、穀類、海藻などに含まれる非ヘム鉄も、食肉などヘム鉄とタンパク質の両方を含んだ食品、さらにビタミンCを同時にとることで、吸収率もアップし、貧血を防ぐことができます。

生命活動のもと タンパク質をつくる 不思議なしくみ

遺伝子とタンパク質の生合成

この世に生まれた生物でタンパク質を持っていない生物はいません。タンパク質は体の筋肉や皮膚、骨や内臓を構成するとともに、体を動かしたり、味や匂い、光を感じたり、体の免疫機構や消化・吸収、酸素の運搬など生命現象そのものにかかわる物質だということがおわかりいただけだと思います。

これほど多彩な働きをするタンパク質は、もとをたたせば、20種類はアミノ酸がネットワークのようにつながっている

て、そのアミノ酸のネットワークのつながり方と、そのネットワークがつくりだす形（タンパク質の構造）により、それぞれのタンパク質に固有の性質が生まれます。

地球上のタンパク質の種類はおよそ100億から1兆。これらがたった20種類のアミノ酸からできているのです。

生命を探る 分子生物学

「生物の種は地球上全体でおよそ150万。これらの生

物の生命活動をささえているのがタンパク質です。このタンパク質というきわめて小さな分子の世界から、生物自体を探っていくのが分子生物学という学問なのです」

東京大学大学院農学生命科学研究科の荒井綜一先生は生物とタンパク質の関係をこう説明します。

「こうして分子の世界から生命というものを探っていくと、不思議なことに、我われが原始の地球からどのような過程をたどって、ヒトという



高等生物に進化していったかがわかってきます」

生物や生命を分子の世界から解きあかす分子生物学の世界は日進月歩の速さで新しい事実を発見しています。とくに遺伝子工学の発達により、タンパク質の研究も次々新しい発見がなされています。

「10年ひと昔」といいますが、タンパク質の研究に関しては「3年ひと昔」といってもいいでしょう」

42ページで述べた味覚レセプターも、1993年に荒井先生たちのグループによりはつきり確認されたもの。このように、分子生物学の世界では、私たちの「生命」自体の仕組みが刻々と解明されつつあります。

遺伝子DNAと

タンパク質

タンパク質に話を戻すと、

たった20種類のアミノ酸から百億から一兆種類ものタンパク質がつくられるのはやはり不思議というしかありません。「それは、みなさんご存じの遺伝子の働きなのです」

遺伝子と聞くとすぐに「DNA」という言葉が思い浮かびます。

「ええ、遺伝子はDNAという分子量の大きな物質でできています。DNAはタンパク質の設計図と考えられます。

この設計図がないとアミノ酸はタンパク質になりません」

DNAの正式名はデオキシリボ核酸 (deoxyribonucleic acid)。ここには両親から受け継いだ遺伝情報が詰められています。カエルの子はカエル、ヒトの子はヒト、トンビがタカを生まないのはDNAの遺伝情報のおかげといえるでしょう。

「タンパク質を構成するア

ミノ酸と同じように、DNAもネックレスに似た構造を持っています。タンパク質がアミノ酸の20種類の玉で構成されるのに対し、DNAはたった4種類の玉から構成されます。アデニン(A)、チミン(T)、グアニン(G)、シトシン(C)がそれです。DNAの分子の中ではこの4つの玉の並び方が、遺伝子の暗号となっています」。

つまり、遺伝子DNAのネックレスには4つの種類の玉があり、この並び方がもうひとつのネックレス——タンパク質のアミノ酸の配列を決める仕組みになっています。

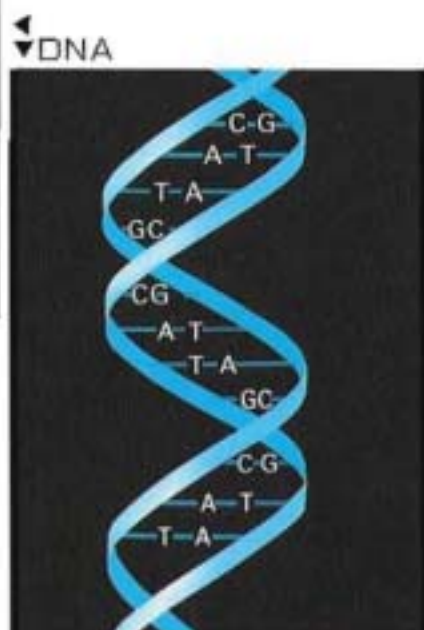
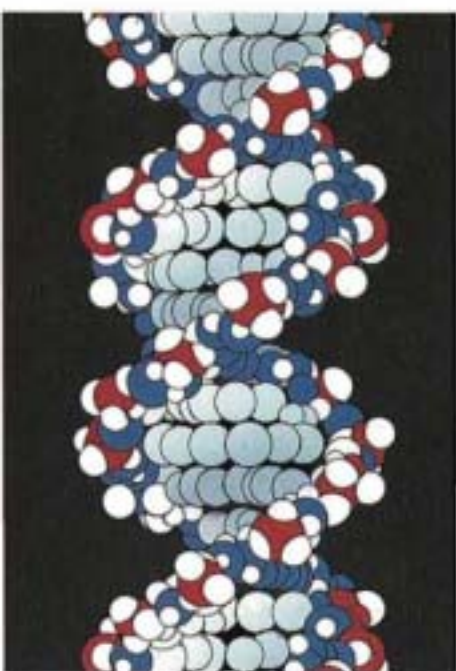
こうしてDNAの持つ遺伝情報により、私たちの体のタンパク質は必要な場所で、必要な量だけ合成されます。生命のもとがタンパク質なら、その生命を正確につくりだす暗号がDNAというわけです。

「DNAの情報に基づいて分子生物学では人類の遺伝や生物の進化の仕組みを研究します。驚くべきことにDNAの構造も、そこに収められている遺伝情報も、遺伝子の暗号記号も、すべての生物に共通であることが分子生物学で明らかにされました」

この事実は、地球上の全生物の起源は動物も植物もみな同じであることを示します。遺伝子の構造や仕組みが明らかになるにつれ、遺伝子工学(バイオテクノロジー)が医学や食品化学など多くの分野で注目されてきました。それは遺伝子DNAが生命のモットもいえるタンパク質のつくり方をかいた設計図だからなのです。

遺伝子本体DNA

タンパク質を
正しく生み出す
暗号の秘密



DNAの二重らせん構造

DNAは図でみるように縋ばしごがよじれたような形をしています。これをDNAの「二重らせん構造」と呼びます。生命活動を司るすべてのタンパク質をつくるのに必要な情報はこのDNAの二重らせんの示されています。

DNAの二重らせんは、糖(デオキシリボース)とリン酸が交互につながった鎖の上のちようど糖の部分に、4種類の塩基のどれかひとつがつ

き、長い鎖となったものが2本絡まるようにつながっています。

二重らせんのモデルが提唱されたのは1953年。ワトソン(J.D.Watson)とクリック(F.H.Crick)によりま

す。彼らは1962年にノーベル医学生理学賞を受賞しました。

DNAの構造を見ると、糖とリン酸でできたバックボーンの上に、4種類の塩基がきまった順序でつきだしています。この鎖が2本、それぞれバックボーンを外側にしてねじれ、らせん状になっています。したがって塩基の部分は二重らせんの内側につきだすような形になります。

4種類の塩基はアデニン(A)、チミン(T)、シトシン(C)、グアニン(G)で通常A、T、C、Gであらわされています(図)。

■遺伝子DNA暗号とアミノ酸の対応

AAA } Phe AAG } AAC } Len AAT }	AGA } AGG } Ser AGC } AGT }	ACA } Cys ACG } ACC Trp ACT (停止)	ATA } Tyr ATG } ATC } (停止) ATT }
GAA } GAG } Len GAC } GAT }	GGA } GGG } Pro GGC } GGT }	GCA } GCG } Arg GCC } GCT }	GTA } His GTG } GTC } Gln GTT }
CAA } CAG } Val CAC } CAT }	CGA } CGG } Ala CGC } CGT }	CCA } CCG } Gly CCC } CCT }	CTA } Asp CTG } CTC } Glu CTT }
TAA } Ile TAG } TAC Met(開始) TAT Ile	TGA } TGG } Thr TGC } TGT }	TCA } Ser TCG } TCC } Arg TCT }	TTA } Asn TTG } TTC } Lys TTT }

AはつねにTと、TはつねにAとつながります。CはGと、GはCとつねにつながります。そこで、二重らせんにおいては、一方の鎖の塩基がAであれば、もう一方の鎖の塩基はTに、一方がCであれば、もう一方はGということになります。

DNAを構成する2本の鎖は、写真のネガとポジに例えられます。片方の鎖の構造が

決まると、もう一方の鎖の構造も自然に決まるからです。

このDNAの二重らせん構造は、細胞が分裂して新しい細胞をつくるときに大きな役目を果たします。

DNAの暗号とアミノ酸

ところで、たった4種類の塩基が20種のアミノ酸を選び、膨大な種類のタンパク質を再生する秘密は何でしょう。

それは4つの塩基の組み合わせにあります。塩基の配列が、実はアミノ酸の配列の仕方を決めるのです。

アミノ酸の種類は20種、それに対し塩基はA、T、G、Cの四種。いったいどのような塩基はひとつひとつのタンパク質のアミノ酸配列を特定していくのでしょうか。

そこにはすばらしい仕組みがあります。遺伝子の玉、すなわちDNAの塩基が3個1

組となり、タンパク質の玉、

すなわちアミノ酸1個を決めているのです。4種類の玉3個の順列は4の3乗で64通り。この64通りの塩基による暗号により、アミノ酸の種類は正確に決定されます。

つまり、遺伝子DNAのネットワークの玉3個の配列によって、タンパク質を構成するアミノ酸の玉1個が特定できるのです。

ところで問題はDNAの暗号の玉をどこから読み始めるかによって、アミノ酸の種類が変わってしまうことです。

たとえば—TGC AACA—という配列は、TGCとAACAに区切ればTGCに対応するスレオニンというアミノ酸

とAACAに対応するロイシンになります。もしGCAとACAで区切れば、対応するアミノ酸はそれぞれアルギニンとシステインになります。

どこからDNAの暗号を読むかで、アミノ酸の種類が変わってしまうのでは正しいタンパク質を複製することはできません。

ところがすばらしいことに遺伝子の暗号中に、すでに暗号の読みはじめと終わりを指定するサインが入っているのです。3つの塩基が一組になったDNAの暗号(これをコドンと呼ぶ)64組のうち、61個はアミノ酸のどれかの暗号になっており、残りの3個はタンパク質の鎖の合成をストップさせる暗号です。またTACはメチオニンというアミノ酸の暗号であるとともに、タンパク質の合成を開始させる暗号でもあります。

このようにに精妙な仕組みでDNAの暗号は正しく解読され、必要なタンパク質を、必要だけ必要なときにつくることができます。

遺伝子暗号の翻訳とタンパク質の合成

DNAから
タンパク質が
生まれるプロセス

遺伝子の本体はDNAという物質で、DNAはタンパク質のつくり方を示す暗号であると述べました。次に、どこでタンパク質が生まれているのかを見てみましょう。

実際のところ、個々のタンパク質は、DNAがだす指令によって、細胞内で合成されています。

伝令RNAへの「転写」

Xというタンパク質を合成する場合を考えましょう。

まず、細胞の核の染色体上

にあるDNAの二重らせんのうち、Xというタンパク質の情報を持っている部分だけがほどこけます。すると、ほどこけたDNAの鎖の情報がRNAにより写しとられます。

RNAはDNAとタンパク質の間の情報の仲介をする物質で、リボ核酸 (ribonucleic acid) のこと。DNA同様に糖とリン酸と4種の塩基からできています。

4種の塩基のうちアデニン (A)、グアニン (G)、シトシン (C) の3つはDNAと

共通ですが、チミン (T) はウラシル (U) に置き変わっています。しかし、ウラシル (U) もチミン (T) と似た構造なので、DNAのようにアデニン (A) とペアを組めます。

つまり、DNA二重らせんがほどこけ、そのうちの1本の鎖の情報がAからU、CからG、GからC、TからAに写しとられます (相補作用)。この過程は「転写」と呼ばれます。

ここでDNAの情報を写しとるRNAを伝令RNA (mRNA、メッセンジャーRNA) と呼びます。

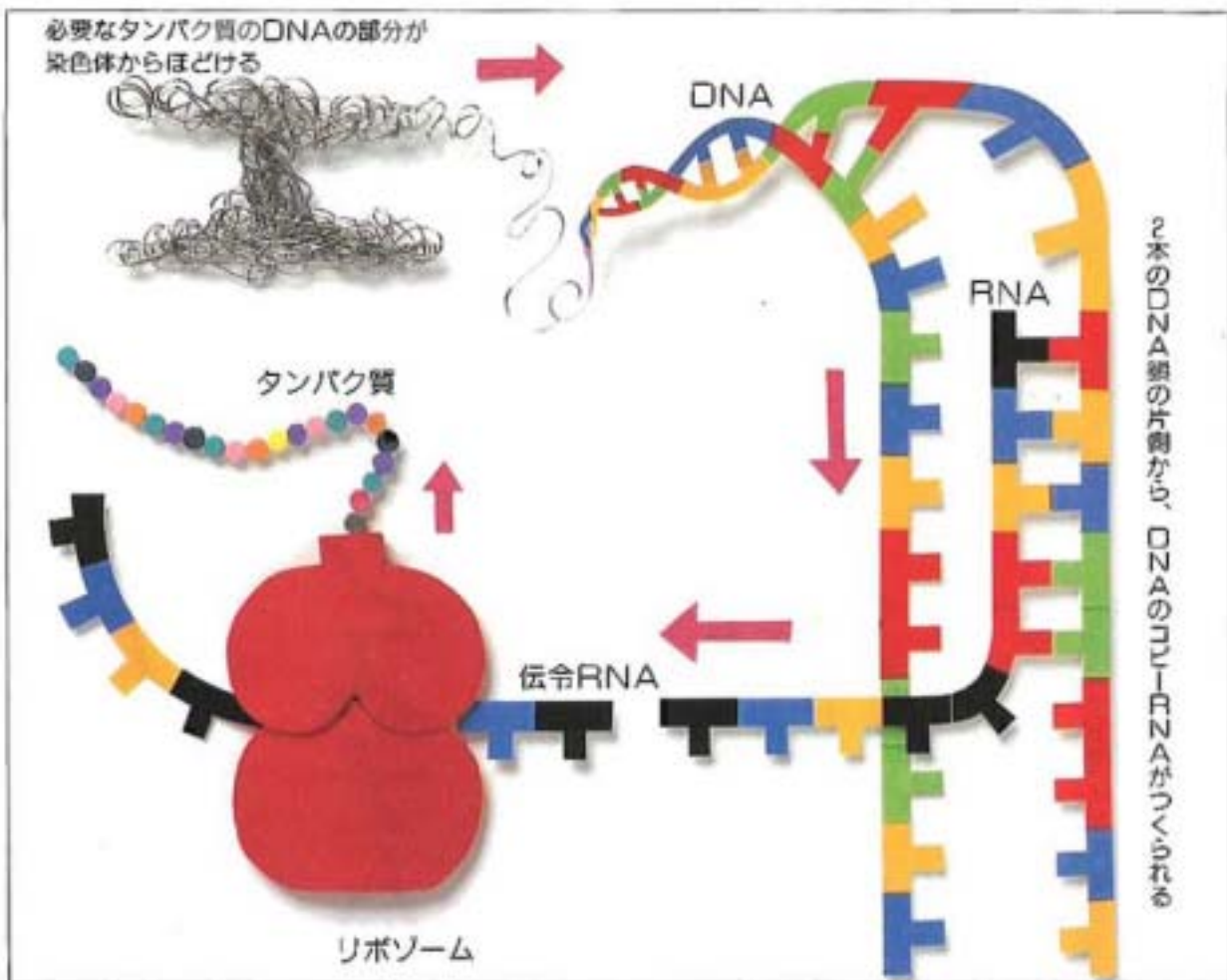
必要なタンパク質Xの情報をDNAから写した伝令RNAは、細胞の核の外にでて、細胞質のリボソームと呼ばれる粒子へたどりつきます。

リボソームは、RNAとたぐさんの種類のタンパク質か

らなる大小二つの粒子が結合した形をしており、タンパク質合成工場の役目を果たします。タンパク質の合成をしていないときには、リボソームの大小の粒子はバラバラに存在します。

細胞核の外にでた伝令RNAは、まず細胞質内のリボソームの小さな粒子と結合し、次に大きな粒子が結合して、タンパク質の合成が行われます。リボソーム内のRNAはリボソームRNA (rRNA) と呼ばれます。

伝令RNAがリボソームに付着すると、リボソームは伝令RNAの鎖に沿って移動しながら、伝令RNA上の三つの暗号——すなわちDNAから転写した塩基の配列——をアミノ酸の上に置き換えていきます。ここにもう一段階、ステップがあります。



運搬RNAからタンパク質へ

伝令RNAがリボソームという工場内でアミノ酸を合成するには、運搬RNA（転移RNA、tRNA）という物質が関与します。

運搬RNAは、頭部に伝令RNAが転写してきた塩基の暗号と結合できる塩基配列を持ち、尾の部分に特定のアミノ酸1個を持つことができる構造をしています。

つまり、運搬RNAは伝令RNAが持つ遺伝子の暗号と対応する塩基配列と、その遺伝子暗号に対応したアミノ酸を結合する部分を持っていることとなります。ここで20種類のアミノ酸が、運搬RNAの暗号に合わせてそれぞれ対応していくのは、一群の酵素の働きによります。

リボソームのタンパク質合成工場では、伝令RNAが指

定する遺伝情報の暗号の順序を運搬RNAにつなぎ、運搬RNAは遺伝情報の暗号の指示通りにアミノ酸を並べていきます。またリボソーム内では並べたアミノ酸同士を結合する仕事も行われます。

伝令RNAの持つ情報を、運搬RNAがアミノ酸につなげ、タンパク質の鎖をつくることを「翻訳」と呼んでいます。

生物の持つ情報はDNAに貯えられ、複製され子孫に伝えられます。一方、この情報が生体に現れる（発現する）ときは、DNAの情報はまず伝令RNAの形に転写され、つぎに運搬RNAによってタンパク質の形に表現（翻訳）されます（「発現」と「表現」は同じ意味）。

この一連の過程は地球上の生物に共通の基本的な性質といえるでしょう。

タンパク質の完成と遺伝

タンパク質の 発現を 調節するシステム

タンパク質の完成

遺伝子DNAの塩基配列が伝令RNAに転写され、次に運搬RNAによってタンパク質のアミノ酸配列順序に翻訳される——これがタンパク質合成の基本です。しかし、これだけではすべてのタンパク質の分子が完成しないことがわかってきました。

タンパク質の中には本来あるべき姿のタンパク質の鎖よりも副産の段階でできる鎖がずっと長くなってしまふもの

があります。

例としてあげられるのがインスリンです。インスリンは膵臓から分泌されるホルモンで、肝臓や筋肉でエネルギーのもととなるグリコーゲンの合成を促し、組織中でブドウ糖を酸化させる働きをします。分泌が少なくなると糖尿病になることで知られているホルモンです。

インスリンはA鎖、B鎖という2本のアミノ酸の鎖から構成されるタンパク質です。A鎖は21個、B鎖は30個のア



ミノ酸できています。ところでインスリンが合成される過程では81個のアミノ酸を持つ長い鎖（プロインスリン）がつくられます。プロインスリンの中にはA鎖もB鎖も含まれています。

インスリンの場合、運搬RNAによりアミノ酸の鎖に翻訳されるのは、プロインスリンというインスリンよりさらに長いアミノ酸の鎖を持ったタンパク質です。そこでプロインスリンは、次々にタンパク質分解酵素によって鎖内の

決まった場所を切断されやつと本来のインスリンとして完成するのです。

また、体を構成するタンパク質コラーゲン（41ページ）も本来の鎖より長いプロコラーゲンという形で合成され、あとで余分な鎖が切られる過程をとります。

このように遺伝情報にもとづいてつくられたアミノ酸の鎖が、酵素処理により本来の役目をもつタンパク質に完成する過程を加工（プロセッシング）と呼んでいます。

タンパク質の加工と酵素

タンパク質の加工は鎖の切り離しだけではなくさまざまな化学反応も含まれます。

これまで何度もアミノ酸の種類は20種と述べましたが、タンパク質によっては20種以上のアミノ酸が含まれています。それは遺伝子の持つ暗号

が、タンパク質に翻訳されたあと、あるいは翻訳に至る過程で、20種のアミノ酸がモテルチェーンジを起こすことがあるからです。これもやはり酵素の働きによります。

タンパク質の鎖ができてから、酵素の働きで鎖の中のアミノ酸が化学反応することを「翻訳後修飾」と呼んでいます。翻訳後修飾によってできる基本の20種以外のアミノ酸の種類は、1000を超えるといわれています。

遺伝子DNAからタンパク質を合成する過程で、このように酵素がさまざまな働きをするのがわかってきました。こうなると地球上の生命の最初はDNAのような核酸なのか、あるいは酵素のようなタンパク質なのか、ますます混沌としてきます。

生命の設計図DNAには膨大な遺伝情報が書き込まれて

います。ヒトのDNAの鎖の長さは約2mにも達し、これが折りたたまれて電子顕微鏡でしかみえない染色体の中に収納されています。DNAはこうした形で全部で46本の染色体にまとめられ、1個1個の細胞にもれなく収納されています。そして、必要なときだけ、必要な部分だけがほどかれ、DNAはタンパク質合成を行っています。

DNAとタンパク質。このミクロの世界の関係が、地球上のすべての生物の源です。電子顕微鏡でも見えない小さな分子の中でタンパク質とDNAは、巨大な生命のドラマを担っているのです。

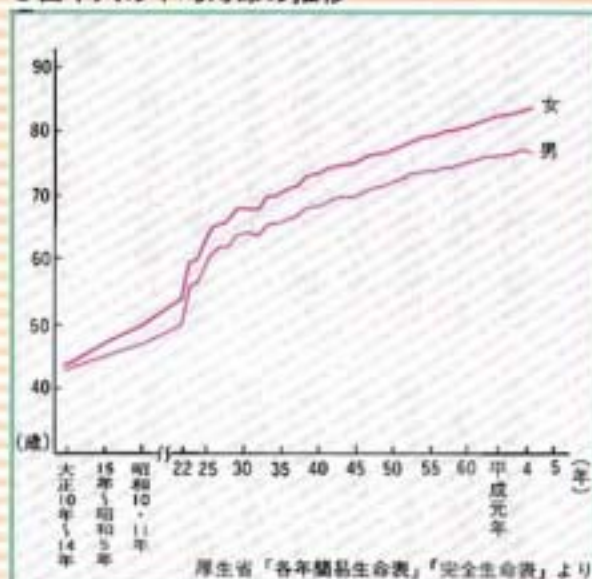


●平均寿命の推移

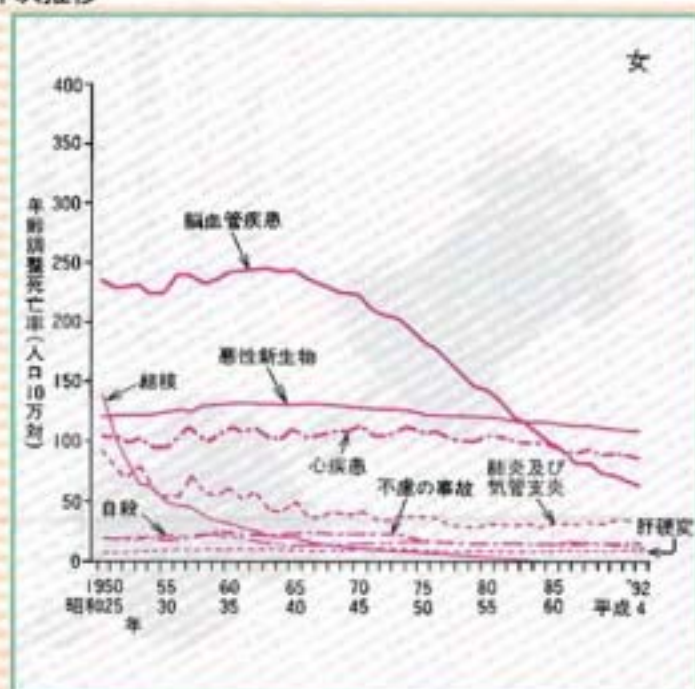
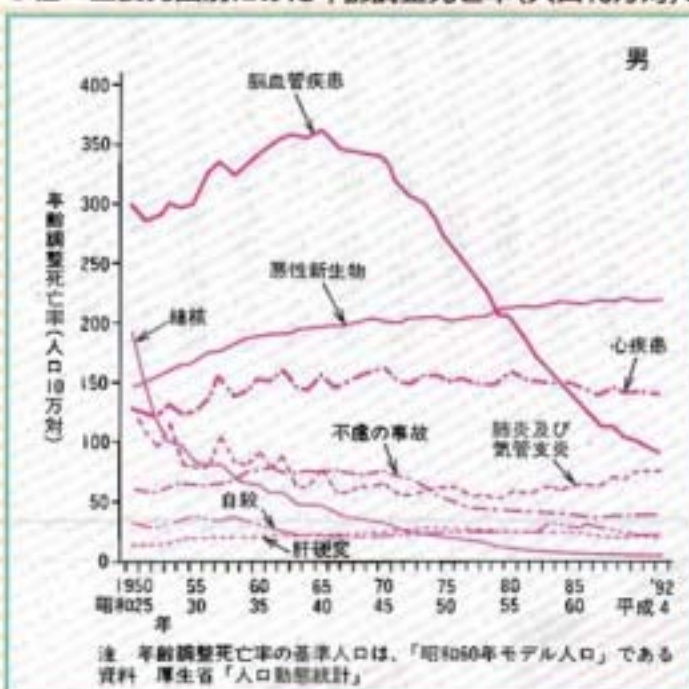
	男	女		男	女
大正10～14年* (1921～1925)	42.06	43.20	昭和44年('69)	69.18	74.67
15～昭和5年* (1926～1930)	44.82	46.54	45* ('70)	69.31	74.66
昭和10・11年* (1935～1936)	46.92	49.63	46 ('71)	70.17	75.58
22* ('47)	50.06	53.96	47 ('72)	70.50	75.94
23 ('48)	55.6	59.4	48 ('73)	70.70	76.02
24 ('49)	56.2	59.8	49 ('74)	71.16	76.31
25～27* (1950～1952)	59.57	62.97	50 ('75)	71.73	76.85
26 ('51)	60.8	64.9	51 ('76)	72.15	77.35
27 ('52)	61.9	65.5	52 ('77)	72.69	77.95
28 ('53)	61.9	65.7	53 ('78)	72.97	78.33
29 ('54)	63.41	67.69	54 ('79)	73.46	78.89
30* ('55)	63.60	67.75	55* ('80)	73.35	78.76
31 ('56)	63.59	67.54	56 ('81)	73.79	79.13
32 ('57)	63.24	67.60	57 ('82)	74.22	79.66
33 ('58)	64.98	69.61	58 ('83)	74.20	79.78
34 ('59)	65.21	69.88	59 ('84)	74.54	80.18
35* ('60)	65.32	70.19	60* ('85)	74.78	80.48
36 ('61)	66.03	70.79	61 ('86)	75.23	80.93
37 ('62)	66.32	71.16	62 ('87)	75.61	81.39
38 ('63)	67.21	72.34	63 ('88)	75.54	81.30
39 ('64)	67.67	72.87	平成元 ('89)	75.91	81.77
40* ('65)	67.74	72.92	2* ('90)	75.92	81.90
41 ('66)	68.35	73.61	3 ('91)	76.11	82.11
42 ('67)	68.91	74.15	4 ('92)	76.09	82.22
43 ('68)	69.05	74.30	5 ('93)	76.25	82.51

注 1) *印は完全生命表
 2) 第1回～第3回、昭和20年、昭和21年は、基礎資料が不備につき、本表より除いてある。
 3) 昭和47年以降は沖縄県を含めた値である。それ以前は沖縄県を除いた値である。
 資料 厚生省「各年齢別生命表」、「完全生命表」

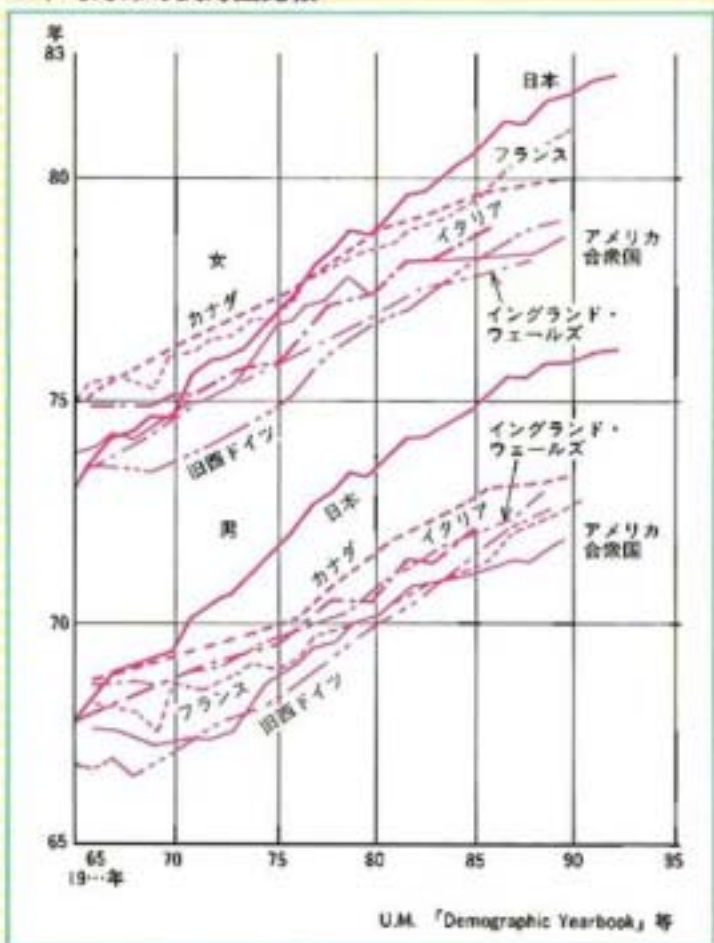
●日本人の平均寿命の推移



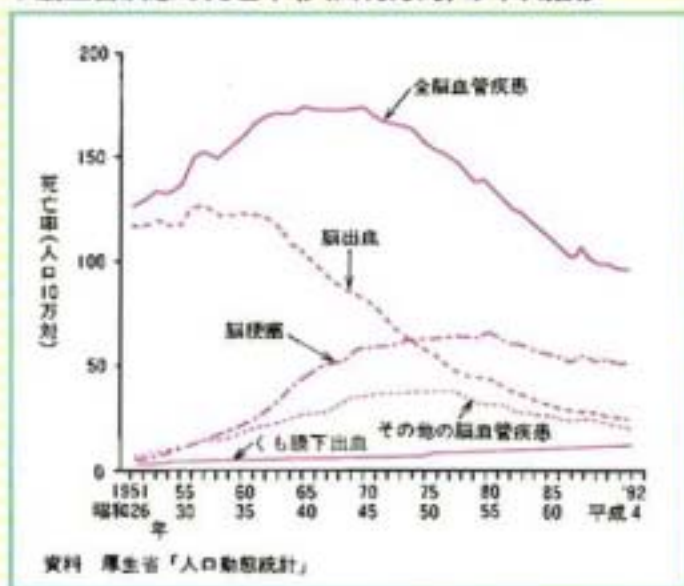
●性・主要死因別にみた年齢調整死亡率(人口10万対)の年次推移



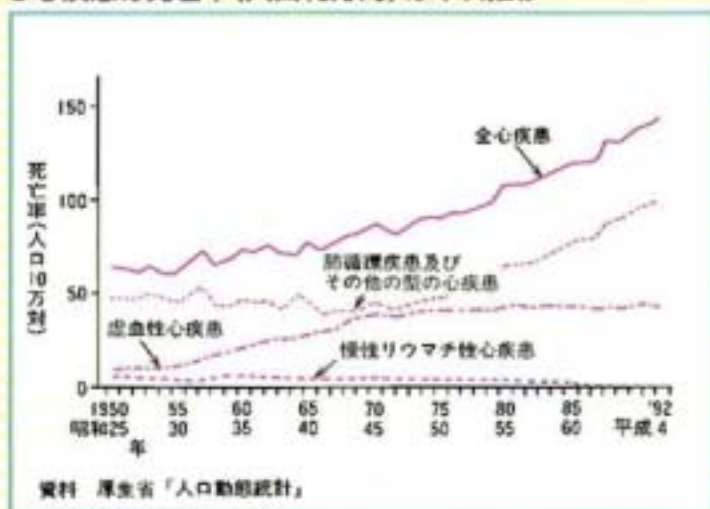
●平均寿命の長寿国比較



●脳血管疾患の死亡率(人口10万対)の年次推移



●心疾患の死亡率(人口10万対)の年次推移



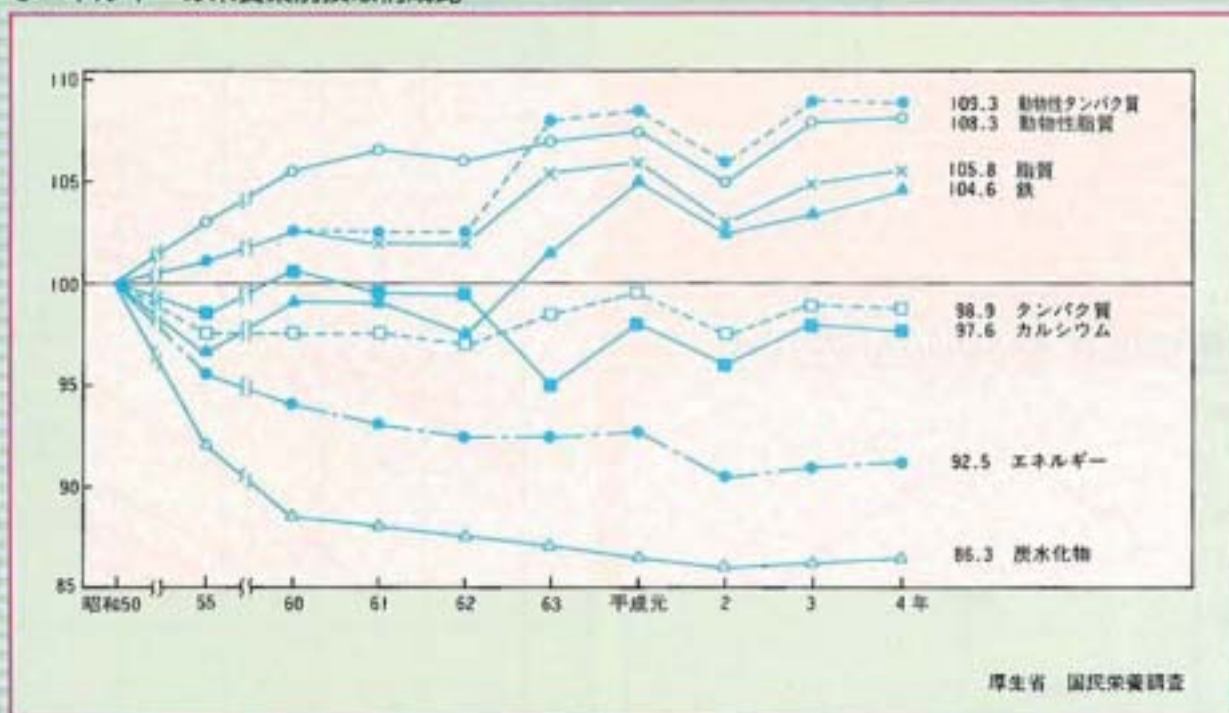
●心疾患の死亡率(人口10万対)と構成割合—国際比較

(1992年)

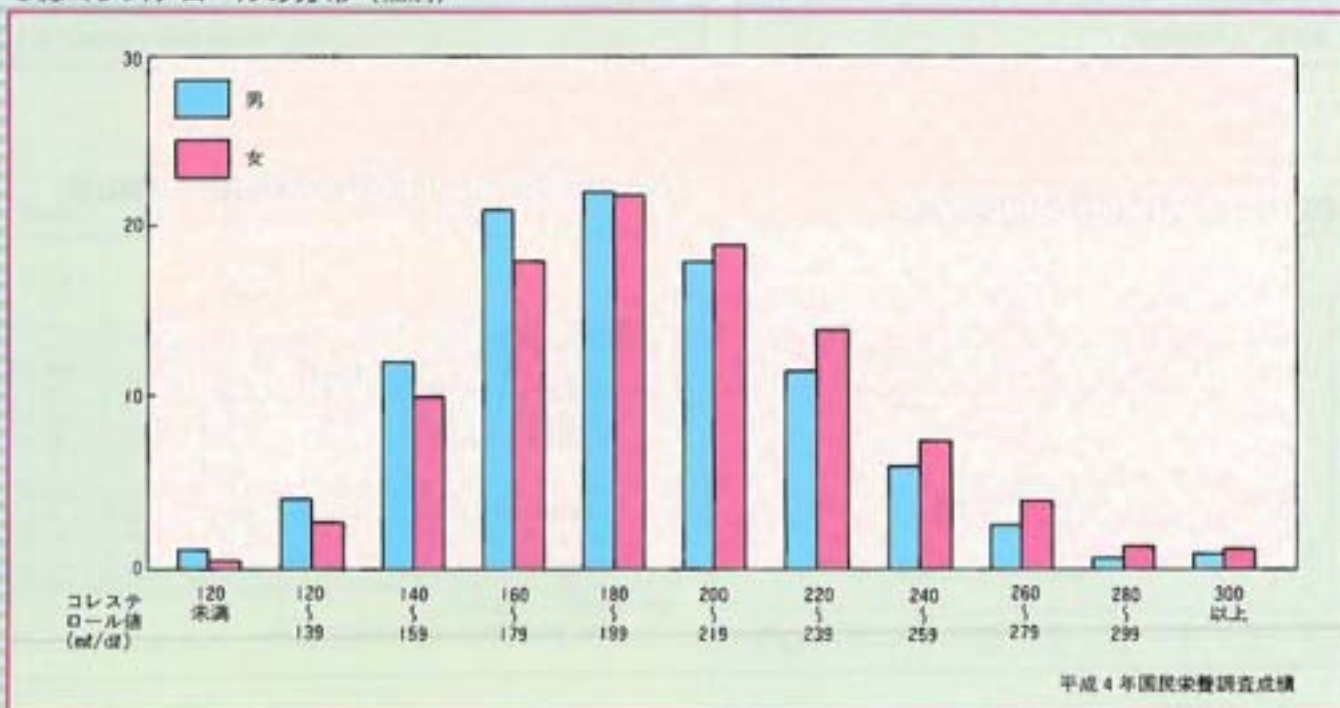
	日本	アメリカ合衆国	フランス	イギリス
死亡率(人口10万対)				
心疾患	142.2	280.1	184.9	328.3
慢性リウマチ性心疾患	1.0	2.4	1.9	4.1
虚血性心疾患	41.4	196.7	86.7	287.5
冠動脈疾患及びその他の心疾患	99.7	81.0	96.3	36.7
心疾患				
慢性リウマチ性心疾患	0.7	0.9	1.0	1.2
虚血性心疾患	29.1	70.2	46.9	87.6
冠動脈疾患及びその他の心疾患	70.2	28.9	52.1	11.2

資料 厚生省「人口動態統計」
WHO「World Health Statistics Annual 1993」

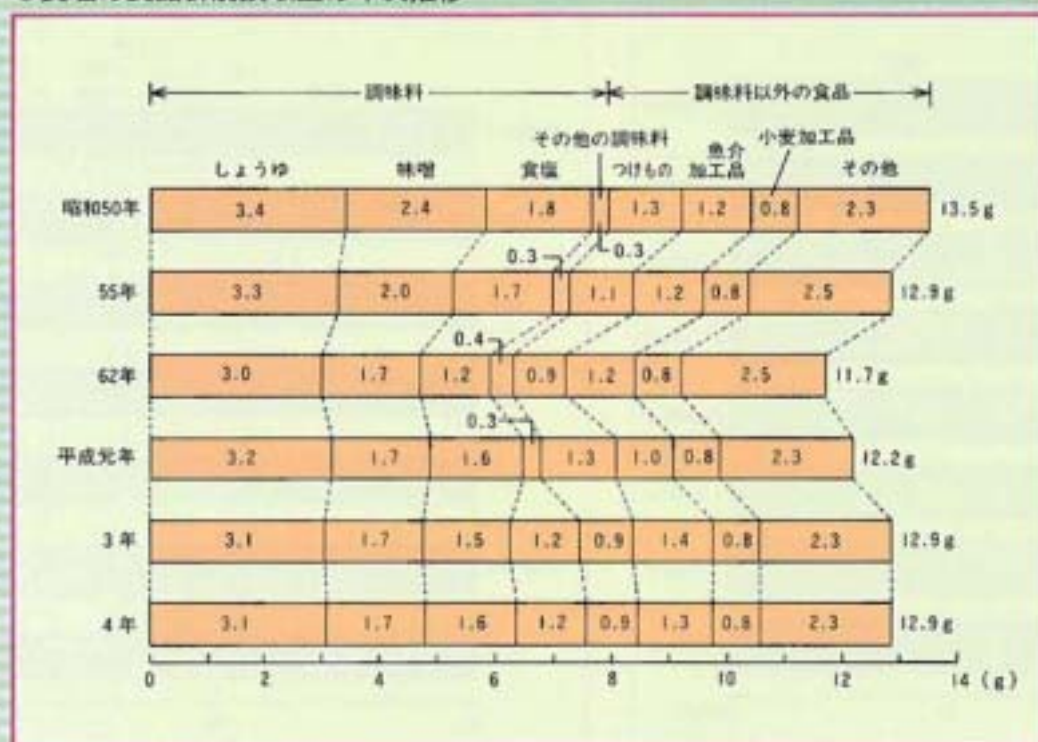
●エネルギーの栄養素別摂取構成比



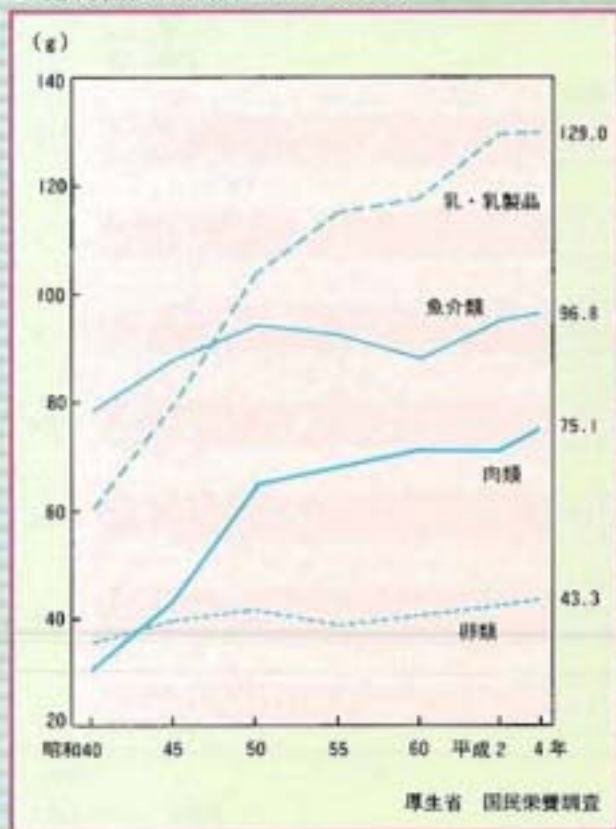
●総コレステロールの分布 (性別)



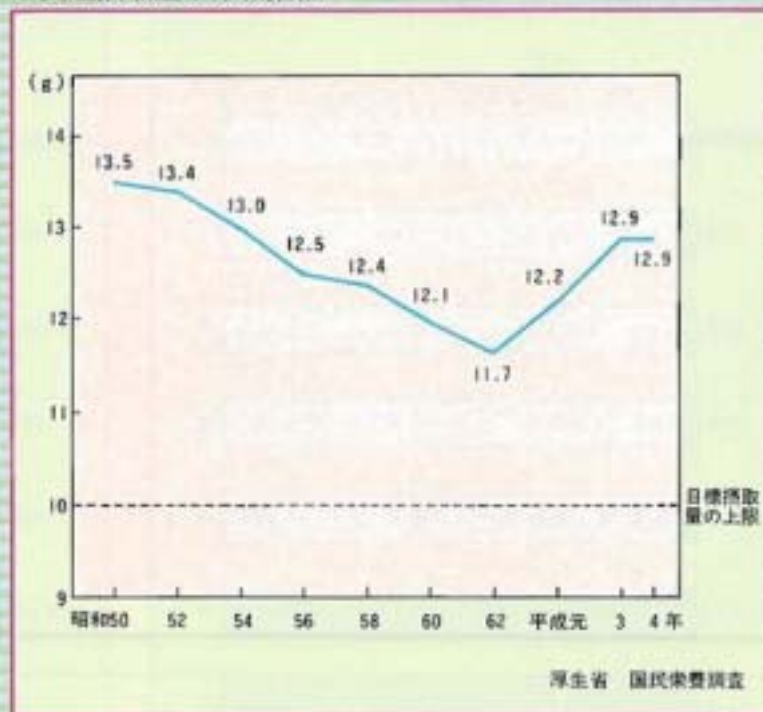
●食塩の食品群別摂取量の年次推移



●動物性食品摂取量の年次推移



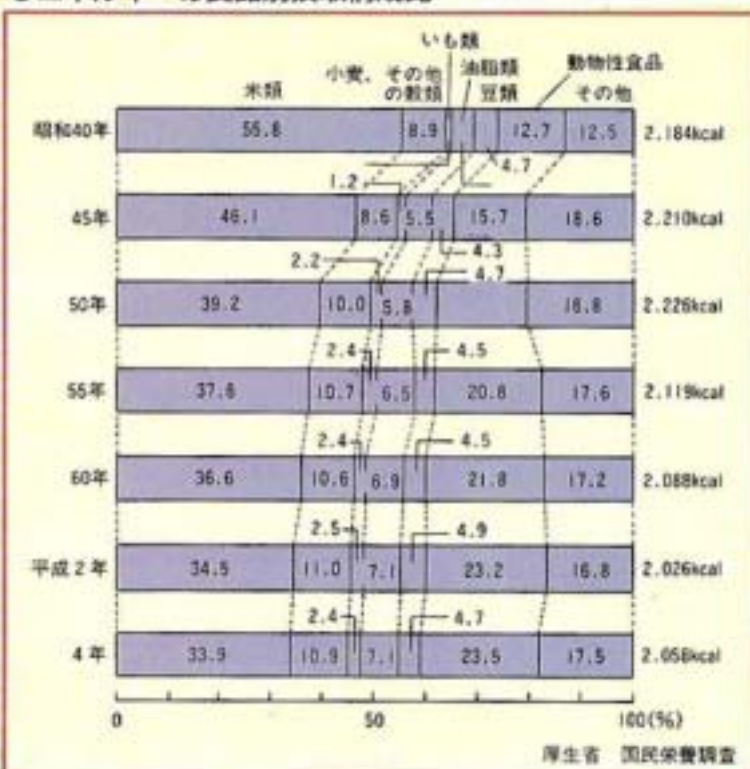
●食塩摂取量の年次推移



●エネルギーの栄養別摂取構成比



●エネルギーの食品別摂取構成比



●タンパク質の食品群別摂取構成



●脂質の食品群別摂取構成



付属資料

●成長期及び生活活動強度II（中等度）における栄養所要量

	身長推計基準値 (cm)		体重推計基準値 (kg)		エネルギー (kcal)		タンパク質 (g)		脂肪エネルギー比率 (%)	カルシウム (g)		鉄 (mg)		ビタミンA (IU)		ビタミンB ₁ (mg)		ビタミンB ₂ (mg)		ナイアシン (mg)		ビタミンC (mg)	ビタミンD (IU)	
	男	女	男	女	男	女	男	女		男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女			
0～(月)					120/kg		3.0/kg		45		0.5		6		1,300		0.2		0.3		4			
2～(月)					110/kg		2.4/kg		45		0.5		6		1,300		0.3		0.4		6			
6～(月)					100/kg		2.8/kg		30～40		0.5		6		1,000		0.4		0.5		6			
1歳	80.2	79.1	10.57	10.97	960	920	30	30					7	7	1,000	1,000	0.4	0.4	0.5	0.5	6	6		400
2	85.6	84.4	12.85	12.26	1,200	1,150	35	35					7	7	1,000	1,000	0.5	0.5	0.7	0.6	8	8		
3	91.6	90.4	15.00	14.57	1,400	1,350	40	40					8	8	1,000	1,000	0.5	0.5	0.8	0.7	9	9		
4	104.7	103.6	17.12	16.74	1,550	1,500	45	45					8	8	1,000	1,000	0.6	0.6	0.9	0.8	10	10		40
5	111.2	110.2	19.34	18.97	1,650	1,550	50	50			0.5	0.5	8	8	1,000	1,000	0.7	0.6	0.9	0.9	11	11		
6	117.2	116.2	21.70	21.25	1,700	1,600	55	55					9	9	1,200	1,200	0.7	0.6	0.9	0.9	11	11		
7	123.0	121.9	24.40	23.75	1,800	1,650	60	60					9	9	1,200	1,200	0.7	0.7	1.0	0.9	12	11		
8	128.6	127.5	27.42	26.60	1,900	1,750	65	60					9	9	1,200	1,200	0.8	0.7	1.0	1.0	13	12		
9	133.3	133.2	30.69	29.95	1,950	1,850	70	65					10	10	1,500	1,500	0.8	0.7	1.1	1.0	13	12		
10	139.2	139.7	34.34	34.23	2,050	1,950	75	70	25～30		0.6	0.6	10	10	1,500	1,500	0.8	0.8	1.1	1.1	14	13		
11	145.4	146.5	38.73	39.28	2,200	2,100	80	75					10	10	1,500	1,500	0.9	0.8	1.2	1.2	15	14		
12	153.0	151.6	44.31	43.92	2,350	2,250	85	75					12	12	1,500	1,500	0.9	0.9	1.3	1.2	16	15		
13	160.5	154.7	50.39	47.60	2,550	2,300	90	75					12	12	2,000	1,800	1.0	0.9	1.4	1.3	17	15		
14	166.0	156.5	55.69	50.38	2,650	2,300	90	75				0.7	12	12	2,000	1,800	1.1	0.9	1.5	1.3	17	15		
15	169.3	157.4	59.62	52.98	2,700	2,250	90	70					12	12	2,000	1,800	1.1	0.9	1.5	1.2	18	15		
16	171.0	158.0	61.93	52.92	2,750	2,200	80	65					12	12	2,000	1,800	1.1	0.9	1.5	1.2	18	15		
17	171.9	158.3	63.15	52.95	2,700	2,150	75	65					12	12	2,000	1,800	1.1	0.9	1.5	1.2	18	14		100
18	172.3	158.5	63.53	52.53	2,700	2,100	75	60					12	12	2,000	1,800	1.1	0.8	1.5	1.2	18	14		
19	172.3	158.4	63.53	51.93	2,600	2,050	70	60					12	12	2,000	1,800	1.0	0.8	1.4	1.1	17	14		50
20～29	171.3	158.1	64.69	51.31	2,550	2,000	70	60					10	12	2,000	1,800	1.0	0.8	1.4	1.1	17	13		
30～39	170.8	157.3	65.62	54.02	2,500	2,000	70	60					10	12	2,000	1,800	1.0	0.8	1.4	1.1	17	13		
40～49	168.8	155.9	65.19	55.49	2,400	1,950	70	60					10	12	2,000	1,800	1.0	0.8	1.3	1.1	16	13		
50～59	168.8	155.9	65.19	55.49	2,400	1,950	70	60					10	12	2,000	1,800	1.0	0.8	1.3	1.1	16	13		
60～64	165.9	153.0	63.66	53.95	2,300	1,850	70	60	20～25		0.6	0.6	10	12	2,000	1,800	0.9	0.7	1.3	1.0	15	12		
65～64	163.4	150.6	61.12	51.28	2,100	1,750	70	60					10	10	2,000	1,800	0.8	0.7	1.2	1.0	14	12		
65～69	162.1	149.1	59.28	49.53	2,100	1,700	70	60					10	10	2,000	1,800	0.8	0.7	1.2	1.0	14	12		
70～74	160.7	147.6	57.28	47.69	1,950	1,600	70	60					10	10	2,000	1,800	0.8	0.7	1.2	1.0	14	12		
75～79	159.3	146.1	55.30	45.83	1,800	1,500	65	55					10	10	2,000	1,800	0.8	0.7	1.2	1.0	14	12		
80歳以上	157.3	143.9	52.85	43.67	1,650	1,400	65	55					10	10	2,000	1,800	0.8	0.7	1.2	1.0	14	12		

●生活活動強度I（軽い）における栄養所要量

	エネルギー (kcal)		たんぱく質 (g)		脂肪エネルギー比率 (%)	カルシウム (g)		鉄 (mg)		ビタミンA (IU)		ビタミンB ₁ (mg)		ビタミンB ₂ (mg)		ナイアシン (mg)		ビタミンC (mg)	ビタミンD (IU)	
	男	女	男	女		男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女			
15歳	2,400	2,000	90	70	25～30	0.8		12	12	2,000	1,800	1.0	0.8	1.3	1.1	16	13			
16	2,400	1,950	80	65		0.8		12	12	2,000	1,800	1.0	0.8	1.3	1.1	16	13			
17	2,400	1,900	75	65		0.7	0.7	12	12	2,000	1,800	1.0	0.8	1.3	1.0	16	13			
18	2,400	1,850	75	60		0.7		12	12	2,000	1,800	1.0	0.7	1.3	1.0	16	12			
19	2,350	1,850	70	60		0.7		12	12	2,000	1,800	0.9	0.7	1.3	1.0	16	12			
20～29	2,250	1,800	70	60	20～25			10	12	2,000	1,800	0.9	0.7	1.2	1.0	15	12		50	
30～39	2,200	1,750	70	60				10	12	2,000	1,800	0.9	0.7	1.2	1.0	15	12		100	
40～49	2,150	1,700	70	60				10	12	2,000	1,800	0.9	0.7	1.2	0.9	14	11			
50～59	2,050	1,650	70	60		0.6	0.6	10	12	2,000	1,800	0.8	0.7	1.1	0.9	14	11			
60～64	1,900	1,550	70	60				10	10	2,000	1,800	0.8	0.6	1.0	0.9	13	10			
65～69	1,800	1,500	70	60			10	10	2,000	1,800	0.7	0.6	1.0	0.9	12	10				
70～74	1,700	1,400	70	60			10	10	2,000	1,800	0.7	0.6	0.9	0.9	12	10				
75～79	1,600	1,350	65	55			10	10	2,000	1,800	0.7	0.6	0.9	0.9	12	10				
80歳以上	1,520	1,250	65	55			10	10	2,000	1,800	0.7	0.6	0.9	0.9	12	10				
付加					25～30															
妊娠前半期		+150	+10			+0.3		+3		+0		+0.1		+0.1		+1	+10	+200		
妊娠後半期		+350	+20			+0.3		+8		+200		+0.2		+0.2		+2	+10	+300		
授乳期		+700	+20		+0.1		+8		+1,400		+0.3		+0.4		+5	+40	+300			

●参考表 日常生活からみた生活活動強度の区分(目安)

生活活動強度と指数	日常生活の例		日常生活の内容
	生活動作	時間	
I (軽い) 0.35	睡る 立つ 歩く	8 12 3 1	通勤、買物など1時間程度の歩行と軽い平作業や家事などによる立位のほかは大部分座位で事務、勉強、読書等をしている場合
II (中等度) 0.50	睡る 立つ 歩く	8 7 6 7 2	通勤、買物のほか仕事などで2時間程度の歩行と事務、読書、読誌による座位のほか機械操作、接客、家事等による立位時間の多い場合

良質のタンパク質が ささえる健康で豊かな生活

細胞の中には何千種もの タンパク質がある

私たちの体を形づくっているひとつひとつの細胞の中には、何千種類もの異なったタンパク質が含まれているといわれています。本書の中で述べたように、そのすべては遺伝子のひもの中に塩基の文字で記されており、塩基の暗号文字は必要に応じて20種類のアミノ酸のどれかに翻訳し出されます。アミノ酸は数珠つなぎになり、球状に折り畳まれたりシート状になったりして、タンパク質としての働きを発揮しています。

タンパク質のあるものは酵素として、体の中でおきているあらゆる化学反応の推進役を

果たしています。あるものは、臓器から臓器へ、血液中を特定の分子やイオンを運搬します。体の骨格を支える働きをしているタンパクもあります。あらゆる運動に必要な筋肉の伸び縮みを司るのもタンパク質です。アクチンとミオシンがこのグループの代表ですが、トロポニンというタンパク質が筋肉収縮の指令を伝達する役目をしています。

さらに、一群のタンパク質があらゆる病原因体の攻撃から体を守るために働いています。血管が傷ついたとき血液が漏れるのをすばやく防ぐにも、多くのタンパク質の働きが不可欠です。このように、タンパク質は体の中で起きるほとんどのすべての出来事に関わっています。

いうまでもなく、これはヒトだけでなく、すべての生物についていえることです。なぜ

なら、すべての生物の遺伝子には同じ塩基の文字が刻まれており、それらはヒトと同じく20種類のアミノ酸に翻訳されるからです。クモの糸の材料も、サイの角も、原生生物が動き回る推進力を生み出す鞭毛も、すべて同じ手続きに基づいて組み立てられたタンパク質です。まさに、タンパク質はすべての生命の基本の物質なのです。

体の中でタンパク質は たえず対話している

私たちの体の中では、膨大な数のタンパク質がたえず対話を交わし、情報のやりとりをしています。

病原体が侵入すると、体を守る特別な任務

を持った細胞が仲間の細胞に戦いの合図を発し、同時に仲間をどんだんふやすよう骨髄の細胞に働きかけます。これらの信号発信に使われているのが、サイトカインと呼ばれる多彩なタンパク質です。

ウイルスに感染した細胞はインターフェロンというタンパク質をつくり出します。インターフェロンはまだウイルスに侵されていない他の細胞へのシグナルになり、ウイルスに抵抗する武器になるタンパク質をつくらせてガードを固めるよう促します。

体内の情報伝達の手段として、古くから知られているのがホルモンです。そのいくつかはタンパク質であり、脳腺でつくられる成長ホルモンや下垂体でつくられる成長ホルモンが有名です。これらのホルモンはレセプターと呼ばれる細胞の専用窓口にくっつくことで、細胞の中に決まった反応を起こします。

私たちの細胞には、このホルモンレセプターのように、特定の物質とくっついて細胞にメッセージを伝える窓口や、イオンチャンネルと呼ばれるゲートがたくさんあります。イ

オンチャンネルは開いたり閉じたりして細胞の内と外のイオンの流れを調節し、細胞の働きをさまざまに変化させます。レセプターもイオンチャンネルも、タンパク質です。

このように、体の中で対話を交わし情報を交換し合って、細胞の働きを調節しているタンパク質はたくさん知られるようになってきており、研究が進んでいます。タンパク質による、けっして途絶えることのない驚くほど精密なミクロの対話こそ、生命の営みそのものと呼ぶにふさわしいものです。

良質なタンパク質が 日々の健康をささえる

自然界には、タンパク質の原料のひとつである窒素の巨大な流れがあります。

土の中には、空気中の窒素をつかまえてアンモニアに変えるたくさん細菌がいます。次に植物が、細菌がつくり出したアンモニアや、アンモニアがさらに形を変えた硝酸や亜

硝酸塩を吸収し、アミノ酸やタンパク質をつくり出します。それを動物が食べ、動物性タンパク質に変えます。最後にヒトが動物性タンパク質を摂取して、ヒトに必要なタンパク質につくり直します。こうしてフルに利用された窒素は、やがて排泄物や遺骸になってアンモニアとして土に還り、また土中の細菌によって硝酸や亜硝酸塩に変えられ、植物に吸収されています。

動物性タンパク質は、ヒトが体内でつけない必須アミノ酸をバランスよく含んだ、質のよいタンパク質です。それらを毎日十分に摂取することで、私たちはかけがえのない長寿と健康を保つ大きな足掛かりを得てきました。長い間日本人を誇かしてきた脳卒中、中でも脳の血管が破れて起きる脳出血は大幅に減り、多くの病源体にもそうやすやすと侵入を許さなくなっています。

巨大な自然界の恵みとしてもたらされ、細胞の働きを整え、生命を培うタンパク質。本書が、素晴らしいタンパク質の宇宙に思いを巡らすための窓口になれば幸いです。

おわりに

九州大学名誉教授

● 深沢 利行
TOSHIYUKI FUKAZAWA

平成元年に啓発の小冊子「食肉のたんぱく質・コレステロール—知っておきたい最新の医学知識—」が財団法人日本食肉消費総合センターによって刊行され、食肉摂取と人体の健康との関わりを中心として解説していただきました。

「食肉と健康に関するフォーラム」委員会の中心課題は、食肉摂取を通しての食生活による疾病予防、健やかな長寿達成などにありますが、本冊子では食肉のもつ栄養学的価値の確認はもとより、最新の情報と知識にもとづいてタンパク質に関して広範にご教示いただき、また内容も深めていただきました。

食肉など良質なタンパク質と生命・健康との密接な関係につきまして、一段のご理解が得られるものと願う次第です。

本冊子は「食肉と健康に関するフォーラム」委員会に設置された編集委員会によって編集されました。座長として本冊子の取りまとめにご尽力賜った藤巻正生先生をはじめ編集委員の先生方、財団法人日本食肉消費総合センターの関係各位に厚く御礼申し上げます。

平成7年3月