

食肉の栄養・機能と健康 2022

新しい食の潮流

食の多様化で再確認される
食肉摂取の重要性



食肉情報等普及・啓発事業企画委員会

座長

- ・上野川修一 東京大学名誉教授

委員

- ・板倉弘重 茨城キリスト教大学名誉教授
- ・喜田 宏 北海道大学人獣共通感染症国際共同研究所
特別招聘教授・統括
- ・柴田 博 桜美林大学名誉教授
- ・島田和宏 元国立研究開発法人
農業・食品産業技術総合研究機構 畜産研究部門長
- ・清水 誠 東京農業大学客員教授／東京大学名誉教授
- ・西村敏英 女子栄養大学教授／広島大学名誉教授
- ・宮崎 昭 京都大学名誉教授
- ・吉川泰弘 岡山理科大学獣医学部長・教授／東京大学名誉教授

(五十音順／敬称略)

はじめに

公益財団法人 日本食肉消費総合センターは、食肉に関する総合的な情報センターとしての役割を果たすため、消費者の皆様へ「食肉の栄養・機能と健康」に関する情報を提供してまいりました。

令和3年度の日本人の牛肉・豚肉・鶏肉の合計の1人当たりの消費量は33.8kg/年となり、過去最高を更新しました。食肉の摂取は、国民の栄養状態を改善し、免疫力を高め、日本が世界に冠たる長寿国となるのに寄与してきたと考えられています。

今年度、医学、獣医学・畜産学、食品科学・栄養学などの専門家の方々に参画いただいた「食肉と健康を考えるフォーラム委員会」において、食肉の栄養的価値や健康にかかわる研究成果などを基に、食肉摂取の重要性を再認識することを主眼に検討・協議を進めました。

その結果、中年から高齢者ではBMI21～27が最も死亡リスクが低く、高齢期には特に、やせている人や標準域の人の体重の減少がリスクにつながることで、メタボ予防のためにエネルギーを制限した中年期の食事からフレイル、サルコペニアを予防する高たんぱくを中心としたバランスの良い高齢期の食事へのシフトが重要であること、粗食が長寿をもたらすという思い込み(粗食長寿信奉)を変える必要があることなどが報告されました。

一方、世界人口の増加に伴って近い将来のこととして予測されている「たんぱく質危機」に向けて取り組まれている昆虫の食料・飼料利用に関する研究の動向、複雑に絡み合った和牛肉のおいしさ要因の多様性とおいしい牛肉の選択方法や調理方法についての提案、食肉に豊富なたんぱく質、脂質、ビタミンなどがどのようにして腸管で吸収されるのかについての最新の研究成果が報告されました。

読者の皆様へ、食肉を食する時にそのおいしさに加え、健康の維持・向上にも役立つことに思いを馳せていただければ幸いです。

最後になりましたが、「食肉と健康を考えるフォーラム委員会」にご参画いただいた諸先生方、ご指導・ご後援いただいた農林水産省畜産局、および本誌の編集・出版に助成いただいた公益社団法人 日本食肉協議会の関係各位に厚く御礼申し上げます。

2023年3月

公益財団法人 日本食肉消費総合センター
理事長 田家邦明

はじめに 公益財団法人 日本食肉消費総合センター理事長 田家邦明 1
Prologue プロローグ 4

Section.

1

高齢者の健康と食生活

1 食肉のフレイル予防効果

女子栄養大学 地域保健・老年学研究室教授 新開省二 6

高齢期に肉類をしっかりとることは
フレイルを遠ざける可能性があります

2 老化・老年病予防のための栄養疫学研究

国立研究開発法人 国立長寿医療研究センター研究所
老年学・社会科学研究所 老化疫学研究部長 大塚 礼 15

バランスの良い食事で心身への栄養補給を行うことが
健康寿命を延ばす上でとても大切なことなのです



Section.

2

食の多様性

1 日本人の粗食長寿信奉 — その系譜と超克への試み —

応用老年学会会長／桜美林大学名誉教授 柴田 博 …………… 26

世界トップレベルの日本人の平均寿命が
いずれ凋落するほど日本の低栄養状態は深刻です

2 昆虫の食料・飼料利用に関する研究動向

元国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 畜産研究部門長 島田和宏 …… 34

地球上の人口急増に伴う食料不足の解決に
昆虫の生産が注目を集めています

Section.

3

食肉のおいしさと消化・吸収

1 国産和牛肉のおいしさ要因の多様性

女子栄養大学栄養学部教授／広島大学名誉教授 西村敏英 …………… 42

国産和牛肉は適切に選択、調理し
しっかり噛んで味わうことが肝要です

2 腸の消化・吸収・代謝機能に関する研究の新展開

東京大学名誉教授・東京農業大学客員教授 清水 誠 …………… 54

腸は賢い！複雑な機能メカニズムで
必要な栄養を選別し、体に取り込むのです

健康寿命への関心はいや増すばかり。『80歳の壁』どころか、“100歳まで健康に生きる”ための指南書が続々と出版されていますが、結局のところ、正しい食事と適度な運動、良質の睡眠、そしてストレスを溜めないことに尽きるようです。本書では、食をめぐる新しい潮流を探り、特に食肉摂取の重要性にスポットを当てました。

高齢期は、やせている人や、標準域の人でも、体重の減少が健康リスクを高めることが大規模コホート研究で判明。「食が細くなり、低栄養からフレイルになりやすい高齢者は、肉類の摂取頻度が高いほど、フレイル出現リスクを下げることもわかりました」と新開省二先生。

「要介護リスクを高める一番の原因が低栄養です」と大塚礼先生も続きます。「多様性があり、バランスの良い食事は認知症予防にも効果的です。縦断研究でも、たんぱく質と脂質の摂取量が多い人ほど、フレイルの発症予防効果が認められています」。

柴田博先生も低栄養について深く憂えています。「日本には、粗食が長寿をもたらすという思い込みが根強く残っている。とんでもない。若い女性のやせ願望もあり、日本は今、終戦直後を下回る低栄養状態です。動物性たんぱく質や脂肪の摂取が急務です」。

体に必須のたんぱく質ですが、地球上の人口急増に伴って、不足が予測されており、その解決策として昆虫の生産が注目されています。「温室効果ガスの排出も、土地や水の使用量も非常に少ない。すでにココロギのクッキー、ラーメンも登場しています」と、島田和宏先生。

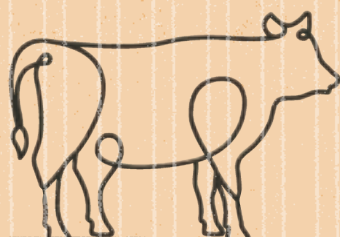
栄養的に優れていても、おいしくなければ身につけません。おいしさは誰もが認める国産和牛肉ですが、おいしさの要因は多岐にわたります。西村敏英先生は「風味とうま味を強く感じる脂肪含量や甘い香り、軟らかさ、多汁性など選び方や調理方法のこつを提案します」。

食肉に豊富なたんぱく質、脂質などがどのようにして体に吸収されるのか。その鍵が腸管の上皮細胞にある栄養素の輸送たんぱく質・トランスポーターです。清水誠先生は「近年の研究で、必要な栄養を選別して体に取り込む複雑な機能メカニズムがわかってきました」。

平均寿命の延伸と出生率の低下で、人口高齢化は地球規模で進行しているそうです。65歳以上の高齢化率は日本が1位、イタリアが2位、ポルトガルが3位となっています(2021年)。フレイルに陥らないためにせせと食肉を摂取して健康寿命を謳歌する。その一方で、世界の食の事情やSDGs(持続可能な開発目標)にも配慮する。難しい選択が必要な時代ですね。

Section. 1

◆
高齢者の
健康と食生活



高齢期に肉類をしっかりとることは フレイルを遠ざける可能性があります

女子栄養大学地域保健・老年学研究室教授

新開省二



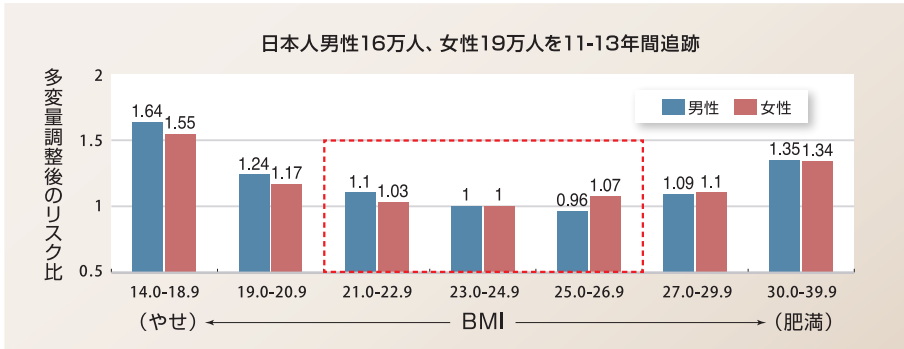
やせのほうで死亡率が高いと 大規模コホート研究で判明

情報化社会では、さまざまな情報が飛び交っており、真偽のほどがわからないまま、一人歩きしてしまうものもあります。健康を維持する目安の1つとして、日本人の適正な体重あるいは体格を知るのは大事なことです。例えばBMI^{*1}は誤った捉え方がされているように思います。BMI 22が最も健康的な標準体重とされていて、一般には、この22という数値をいつもイメージして、あと何kg減らさないといけないとか、太らないために食肉の摂取を減らそうなどという風潮がありますが、これがいかに根拠のないものであるか。健康指標というのは、かなり幅があると思っています。このあたりも正しい情報を提供していくことが必要だと痛感しています。

そこで、体格と死亡率の関係について、国立がん研究センターの笹月静先生たちが、国内の大規模コホート調査^{*2}を統合解析した結果をお伝えします。年齢40～70歳の日本人男性16万人、女性19万人を11～13年間追跡した非常に大規模な統合コホート調査で

大規模コホート研究では、中年から高齢者ではBMI 21～27が最も死亡リスクが低く、高齢期は特に、やせている人や標準域の人の体重の減少がリスクにつながることを判明しています。血清コレステロール値も高齢者では低いほどリスクが高くなります。食が細くなり、低栄養からフレイルになりやすい高齢者にとって、“肉類の摂取は予防効果があるのか”という大命題に新開省二先生が果敢に立ち向かわれました。

図1 体格 (BMI) と死亡率



資料: Sasazuki S, et al. J Epidemiol 2011; 21:417-430をもとに新開が作成

す(図1)。

グラフの縦は総死亡のリスク比、横はBMIで表されています。非常にやせているBMI 14.0~20.9、それから21.0~30.0に向かってとなっていますが、見てわかるとおり、死亡リスクが最も低いのが21.0~26.9の範囲です。これは男女とも変わりません。統計的

に差がないのはここなんです。

さらに言うと、27.0~29.9もほとんど統計的に有意差はありません。つまりこのグループも総死亡リスクはそれほど高くないのです。緩やかな言い方をすると、BMI 21~30くらいは、体格が大きく予後を左右する指標ではないことがわかります。

* 1 BMI: 肥満度を表す指標として用いられる体格指数。体重 [kg] ÷ 身長 [m] の2乗で算出される。

* 2 コホート調査: 年齢や居住地などある一定の条件を満たす集団をコホートといい、これを長期追跡したデータをコホート調査という。

BMIが高めで高齢期に体重を維持しているグループが最も健康度が高い

私たちは、BMIと同時に、65歳以降に体重がどう変化するかも加味して、「体重の変化および変化パターンと総死亡リスクとの関係」について分析を行っています。2015年に米国の疫学雑誌に報告したのですが、1987年から、当時の東京都老人総合研究所(現・東京都健康長寿医療センター研究所)が中心になり、東京大学、米国・ミシガン大学、国内のほかの大学の研究者が共同で実施してきた「全国高齢者パネル調査データ」です。

日本全国の60歳以上(後に65歳以上)のシ

ニアの方4869名の無作為なサンプリングで、非常に高い代表性があります。1987年に第1回のコホートが設定され、3年後、少し人数が減ったところで新しいコホートを追加。こうして新しい年齢の人を追加していきます。1996年の第4回はCのコホートを付け加え、1999年はDという新たなコホートを付け加えています。原則、最初の人はずっと追跡し、新たに加わった人もその後追跡していくというパネル調査^{*3}です。

この研究では、1987年から2006年まで

* 3 パネル調査: 同じ対象に同じ質問を一定期間に何回も行う調査方法。

の第1回から第7回、19年間のデータを使い、この間、BMIの変化が3年後、6年後、9年後……最長19年間追跡されており、これを前向きにずっとつなぎ合わせていくと、65歳以降、どのように体重が変化するかをパターン化できるのです。

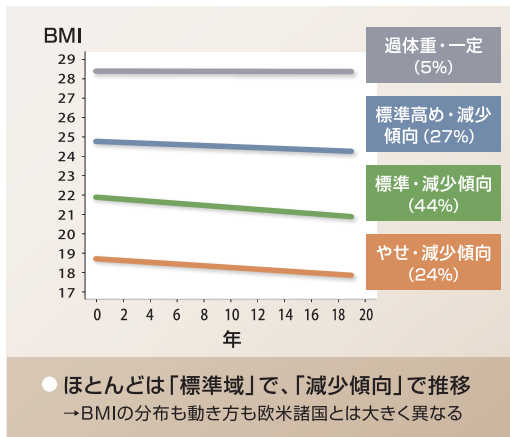
この集団では4パターンに分類できました(図2)。横軸の0は65歳くらいと考えていいのですが、その後、20年近くの間、このようにBMIが変化することがわかります。

最も多いのは、日本人ですから標準体重のところ。ブルーとグリーンのラインで、27%と44%を占めます。いずれもやや減少してきます。総じて65歳以上はBMIが減少するということです。これがメジャーなパターンですが、一番上のグレーのグループは、65歳時点でBMIが28.0とかなり高いのですが、その後体重を維持している人が5%います。一番下のオレンジは65歳時点でやせのグループで、その後も体重が減少する人が24%です。

全体的にはほとんどが標準域で、65歳以降は減少傾向の人が多くことがわかり、これは欧米とは全く異なることを示したのです。

この4パターンと死亡率との関係も見てい

図2 BMIの変化パターンの類型化



Murayama H et al. American Journal of Epidemiology, 182 (7), 597-506, 2015

ます。最も死亡率が高いのが「やせで体重が減少していく傾向にある人」で、24%が該当しますが、交絡要因の影響を除いても、死亡リスクが非常に高いことがわかりました。「BMI標準・体重減少傾向」のグループを1とすると、「BMI標準高め・体重減少傾向」が0.82でリスクが減少します。さらに、総死亡リスクが最も低いのが「過体重・一定」のグループで、0.72でした。

つまり、高齢期のBMIは高め、かつ高齢期を通じて体重を維持しているグループが、死亡リスクという側面から、最も健康度が高いとわかりました。「やせ」と「過体重」のグループの間には50%近くの差があり、これは大きな差ではないかと思っています。

日本人特有の高齢期でのBMI変化パターンが存在

一方で、欧米の65歳以降の人たちによる大規模コホートの追跡研究では、6パターンが描き出されましたが、歳を重ねるに従って、BMIは全体的に右肩上がりです。体重

が増えていくのです。もちろん、ノーマルあるいは減少傾向の人もありますが、総じて増加傾向にあります。

そして、上の3グループはBMI30.0以上

のObesity（肥満）です。欧米の高齢者には、すでに65歳時点で肥満であって、かつ、その後も体重が増えていく人がかなりいることが示されました。

これは日本と全く違います。体格および体重の変化という点でも、日本人特有の高齢期

の変化パターンが存在することがわかったのです。こうした日本人特有の高齢期のBMIあるいは体重の変化があって、それぞれが死亡との関連があることをしっかり踏まえた上で、いろいろなことを考えていく必要があると思っています。

高齢期の体重変化はリスク。増加より減少が要注意

最近、東京都健康長寿医療センター研究所の村山洋史らが、短期・中期・長期の体重変化と死亡リスクを分析して米国の老年学雑誌に報告しています。

対象データは同じもので、さらに追跡を増やし、2017年の第9回調査までのデータを使っています。この間、体重が短期の3年間に5%以上変化したか、中期の6～7年あるいは長期の10年以上の間、5%変化したか、それと死亡のリスクとの関係を見ていったものです。

第1回の1987年に参加した人は、短期の3年後、1990年のデータが使えますし、1993年まで延ばすと、6年後の中期の体重変化、さらに1999年の長期の10～12年の変化がわかります。この時に参加した人はこの後のデータが使えますし、1990年の参加者は後でデータが使えます。1996年の人は中期までのデータが使えるということで、全体では4869名のデータが全部使えたのですが、このうち3302名の方が亡くなっており、初回調査で得られた喫煙や運動頻度などさまざまな変数の影響も踏まえて、体重変化と死亡

リスクとの独立した関係を追っています。

結果の1つですが、体重変化がほとんどなかった群の死亡リスクを1とすると、短期の3年で5%以上体重が増加した群は少しリスクが高くなる傾向がありましたが、中期・長期の体重増加はほとんど死亡のリスクに影響はありませんでした。半面、体重が減少したグループは、短期でも中期でも長期であっても、死亡のリスクを統計的に有意に上げることがわかりました。

やせている人（BMI18.5以下）、標準の人（BMI18.5～24.9）、過体重の人（BMI25.0以上）で、体重の変化が「5%以上減少」と「5%増加」では、それぞれの死亡リスクがどう変化するかも見ています。結果は、5%以上の体重の減少は、変化の期間が短期・中期・長期にかかわらず、またBMIのレベルによらず死亡リスクが高かったのです。これはすべての群でそうでした。

ただ、短期・中期では、過体重の人が5%以上体重が増加するとリスクになってはいますが、より重要なのは、体重の減少が共通してリスクになっているということです。

最近、私たちは高齢者の健康指導で介入研究を行っていますが、“この人は体重を増やしたほうがいい”というような個人ごとの介入もしています。体重が増えた人は除脂肪体重も

増えるし、歩行速度も筋力もアップします。何が何でも体脂肪を減らせばいいのではなく、こうした健康づくりの提案も今後行っていく必要があると考えています。

血清総コレステロール値は高齢者では低いほうがリスクが高い

高齢者の血清総コレステロール値と総死亡リスクとの関係が非常に明確にわかってきました。私たちが2010年から2017年にかけて群馬県草津町と埼玉県鳩山町で2003名の方を平均7年追跡したコホート研究の成果です。

男女ともに、血清総コレステロール値と総死亡リスクとの間には、逆J字型の量・反応関係が見られました。男性では総コレステロールが200を下回ると、総死亡リスクが統計的に有意に上がりました。女性でも200～

240を下回ると総死亡リスクが上がりました。血清総コレステロールが低いほど、死亡リスクは増大しましたが、高い群での死亡リスクの増大は観察されなかったのです。

これは草津町と鳩山町という2つのエリアの高齢者の傾向ではありますが、食肉はコレステロール値を上げるから控えろと思込んでいる人もいますので、コレステロール値はむしろ低いほうが問題であるということ、日本の高齢者の常識として知っておくべきでしょう。

肉類の摂取量が多いとフレイルの出現リスクが低い

高齢者は食が細くなり、買い物や食事づくりも困難になって低栄養になりがちで、それがフレイルの引き金になります。私はフレイルを「元気」と「要介護」の中間的な状態と考えていますが、いかにして健康寿命を延ばせるか、栄養の観点から行った3つの研究データをご紹介します。

先の鳩山町と草津町の2つのコホートを統合したものから、肉類の摂取量とフレイルの有無との関連が明らかになっています。簡易型自記式食事歴法質問票(BDHQ)という80

項目の質問票からなる食事頻度調査で、通常の食品から習慣的に摂取している栄養素量を調べることができます。肉類に関しては表1のような質問で、これらの情報から準定量的なデータを求めていきます。

現在、高齢期の食生活については、いろいろな食品からバランスよく食事をとろうという「食品摂取の多様性」が非常に推奨されています。私たちの研究所が1990年前後に開発した「食品摂取の多様性スコア(DVS)」を使いますが、これは魚介類、肉類、卵など

10の食品群があり、それぞれ、「ほぼ毎日」、「2日に1回」、「週に1~2回」、「ほとんど食べない」の4択で答えてもらいます。スコア化する時は「ほぼ毎日」のみを1点とし、その他を0点とします。10の食品群をすべてほぼ毎日食べていると10点満点になります。現在、各種の研究から、7点以上だと高齢期のいろいろな健康指標との関連で好ましいことがわかってきています。この多様性スコアを使い、肉類を除く9の食品群のDVSを調査変数とし、肉類との独立した関係性を見てもよよいというものです。

この対象集団は2つですが、「食品群別のたんぱく質摂取量および寄与率」は、1日にとるたんぱく質の中で、肉類が寄与するのは大体15%です。このパーセントは世代によってかなり変わります。若い人に比べ、高齢者はそれほど肉を食べません。むしろ魚介類から30%前後のたんぱく質をとっています。意外なのは、穀類から17%くらいのたんぱく質をとっていることで、米などがたんぱく源となっているのです。肉類は3番目で、あとは豆類、乳類、卵類が続きます。

この肉類の摂取量を密度法（総エネルギー摂取量1000kcal当たりで調整する方法）で表し、「低摂取」、「中摂取」、「高摂取」の3群とフレイルの有無との関連を見ました。その際、フレイルと関連があった性、年齢、BMI、喫煙習慣、飲酒習慣、身体活動、既往歴といった調査変数も同時に検討して、肉の摂取頻度を除いた食品摂取の多様性を見ることもできました。

表1 肉類の摂取頻度

【食肉の種類】4項目

- 鶏肉頻度
- 豚肉・牛肉(ひき肉含む)頻度
- 肉加工品頻度
- レバー頻度

【肉を使った料理】5項目

- 焼肉・ステーキ・グリル頻度
- ハンバーグ・カレー・ミートソースなど頻度
- 肉の揚げ物・天ぷら頻度
- 肉を使った炒め物頻度
- 肉を使った煮物・鍋物・丼・汁など頻度

「毎日2回以上」「毎日1回」「週4~6回」
「週2~3回」「週1回」「週1回未満」の6択で回答

その結果、肉類の摂取量が少ない1日27g未満の群は、フレイルの出現リスクが2.44倍で、これは統計的に有意に高いものでした。1日27~38gの中摂取では有意に高くはありませんが、若干高い。食品摂取の多様性自体もそれほど高くはなく、この横断的な研究^{*4}では、肉類の摂取量が多いとフレイルの出現リスクが低いことがわかったのです。

残差法(集団の平均値を出して、その値との差から設定したエネルギー量に対してどのくらいの栄養素をとったかを予測する方法)でも同じような傾向でしたが、統計的な有意水準は少し高めでした。この横断的な研究から、高齢期のフレイルの有無と肉類の習慣的な摂取との間に有意な関連性があり、肉類を多めにとることが、フレイルの出現を抑制する可能性が示唆されました。

* 4 横断的研究：年齢の異なる複数の実験群に同時にアンケートを行って、各年齢層の実態や状態を一度に調べる研究手法。

肉類の摂取頻度とフレイル発症は深く関係しています

以上はあくまで横断的な研究ですが、フレイルに近づくとも食事のとり方が変わってくるという因果の逆転もあるはずです。そこで、追跡調査をして、フレイルではなかった人の中からフレイルが発生した場合、その発生との関連、肉類の摂取状況はどう変化したのかを探りました。東京・大田区の住民のデータです。

12 人口が非常に多い大田区は18の行政区に分かれています。うち3つをモデル地域に指定して、フレイル予防の公衆衛生的な活動を行政と共に行う「大田区元気シニア・プロジェクト」を展開しています。この地区からサンプリングを多めに、ほかの地域からは少なめに、要介護認定を受けていない65～84歳の男女合計1万5500名を対象に、初回調査を2016年に行いました。2年後の2018年に追跡調査をしたので、この研究では横断的な初回調査のデータでの追跡と、2年後の追跡調査で新規の発生との関連を見ることができました。これほどの規模で大都市部住民のデータが得られたのは貴重な研究だと自負しております。

詳しい食事調査はできないため、肉類をどれくらいとるのかという摂取頻度とフレイルの新規発症との縦断的な関係^{*5}に注目して分析しました。性別、年齢、BMI、学歴、所得、飲酒、喫煙、高血圧、心臓病、骨・関節疾患などの調整変数も加味し、できるだけ肉類摂取単独の影響を見たものです。

横断的な分析では、肉類の摂取頻度が多くなるほど、フレイルの出現リスクが減少することがはっきりわかりました。

フレイルでなかった人がフレイルになるという新規の発生は、2割くらいの方に見られたのですが、ベースラインの時の肉類の摂取頻度との関係を見たところ、傾向性は統計的に有意でした。つまり、肉類の摂取頻度が増えると、フレイルの新規発症リスクは減少することがわかりました。

この研究では、フレイルになりやすい人の特徴がわかっています(表2)。疫学的な交絡要因を調整しても、肉類の摂取頻度が低いほど、フレイルの出現率や2年後のフレイル新規発症のリスクは有意に高いことがわかりました。高齢期に肉類をしっかり摂取することが、フレイルの出現を抑制する可能性が示されたのです。

では、地域が違えば傾向は変わるのかを調べるために、2019年に宮城県の気仙沼市で「気仙沼スタディ」を行いました。被災地ですから、復興や地域の創生に向けた健康へのまちづくりを目指して、いろいろな共同研究を進めています。大田区のベースラインのデータと同じような形で、肉類の摂取頻度とフレイルの有無について横断的に分析しました。

気仙沼は港町で、カツオの漁獲高は日本1です。サンマは以前に比べてかなり減少していますが、海産物は非常に豊富で皆さんよく食べますし、山間部でも種々の野菜や山菜類

*5 縦断的研究：特定の個人や共通の特徴を有する小集団に対して、一定以上の期間にわたって継続的な追跡調査を行い、同じ参加者から繰り返しデータを収集する研究デザインのこと。

も採れます。それらを上手に使った郷土料理もよく食べられています。こうしたところでは、肉はあまり食べられないのですが、どんな傾向が見られるのか非常に興味があるところです。

大田区と気仙沼市でどのような食品群をとる傾向があるのかを、食品摂取の多様性スコアを構成する10の食品群で比較しています。大田区のほうが高い食品群は肉類、油脂類です。気仙沼市のほうが高いのは魚介類、卵、大豆製品、海藻、いもで、見事に地域性が現れていました。

気仙沼市では、被災後、転居して、災害復興住宅に住んでいる方が非常に多いのです。復興住宅に住む人にフレイルの高齢者が多いため、現在、そうした方たちの健康づくりの取り組みを、市側と協議しながら行っています。

16地区ごとに無作為抽出をし、要介護認定を受けていない65歳～84歳の男女9754名を対象に、肉類の摂取頻度とフレイルの有無との横断的な関係を、大田区のベースラインの調査と同じように分析しました。

肉類の摂取頻度とフレイルの出現リスクについての分析は、大田区のデータと同じです。肉類を「ほとんど食べない」人では、フレイルの出現リスクは1.78倍で、統計的に有意でした。「2日に1回」、「1週間に1～2回」という群と、「ほぼ毎日」の群とは差がありませんでした。

また、肉類を「ほぼ毎日」とる群に比べ、「ほとんど食べない」群ではフレイルの出現リ

表2 研究2のまとめ

大田区で実施した地域代表性のある大規模標本調査において、肉類の摂取頻度が少ない高齢者の特徴として、

- 男性
- BMIが高い
- 独居者
- 学歴が低い
- 等価所得が低い
- 飲酒をやめた
- 喫煙している
- 高血圧や糖尿病の既往あり
- 食品摂取の多様性が少ない

があった。

スクが有意に高いことがわかりました。しかし、繰り返しになりますが、「2日に1回」や「週に1～2回」の群との間に有意差はなく、肉類の摂取頻度による傾向性は認められませんでした。

この背景として、気仙沼市では魚介類、卵、大豆製品などの摂取頻度が高いことが1つ挙げられます。ほかの食品群を投入して、フレイルの出現リスクとの関連を分析すると、魚介類、牛乳・乳製品、緑黄色野菜、いも類、果物などが出現リスクと関連することがわかっています。大田区では、肉類、緑黄色野菜、海藻、果物などが出現リスクと関連するので、フレイル予防に寄与する食品群は地域で異なる可能性があります。

3つの研究をまとめると、結論としてはまず、高齢期は肉類を多く摂取することがフレイルの出現リスクを下げ、健康余命を延伸すると考えられること。また、肉類を多く摂取

する高齢者は、食品摂取の多様性も高いという特徴があります。肉類の効果はほかの食品群の摂取によって修飾される可能性が高いと思われます。地域を問わず、緑黄色野菜や果物は肉類の効果を高めますが、漁業の盛んな沿岸地域では、魚、牛乳・乳製品、卵、大豆製品なども、フレイル予防という意味で、効果的な食品ではないかと思われます。

食文化が異なると、肉類をとることの影響も若干変わってくるということですが、草津町、鳩山町、大田区では、肉類を量的にも頻

度的にも多くとっていることが、フレイルの出現リスクと発生リスクを、いずれも抑制する効果が見られました。

フレイルの予防にはたんぱく質の摂取が欠かせないといわれていますが、ほかの食品の影響ももちろんあります。食肉以外のたんぱく質が豊富な食品も大事です。また、加齢とともにたんぱく同化抵抗性^{*6}が高まるので、それを減弱するビタミン、ミネラルなどを豊富に含む緑黄色野菜や果物なども重要な食品であると考えています。

*6 たんぱく同化抵抗性：加齢とともに筋肉でのたんぱく合成能は低下し、同量のアミノ酸が血中に存在したとしても、高齢者の筋肉ではたんぱく同化反応は抑制されている。これをたんぱく同化抵抗性という。

討議の抜粋

(敬称略)

- 西村** 5%以上の体重減少は死亡リスクを高めるとのお話でしたが、疾患を原因とする体重減少は考慮されているのでしょうか。
- 新開** 「調整済みハザード比」の中に、既往歴の調整が含まれています。さらに通院中か治療薬を服用中か本人回答を得ています。何らかの疾患を有する高齢者は本当に多いので、その影響はそこそこあろうかと思いますが、全体的な体重の変化は身体活動と食事の摂取によるものと考えています。
- 西村** 食肉摂取の頻度がフレイルの予防につながるのお話の中で、最終的な結果に運動習慣との関係は反映されているのでしょうか。
- 新開** この調査はIPAQという、身体活動を半定量的に把握する設問も含まれていますので、身体活動量は調整されています。

● しんかい・しょうじ

1980年愛媛大学医学部卒業（医師）、1984年同大学大学院医学研究科博士課程修了（医学博士）。1990年文部省在外研究員としてカナダ・トロント大学医学部に留学。1992年愛媛大学医学部助教授を経て、1998年東京都老人総合研究所研究室長。2005年東京都健康長寿医療センター研究所研究部長、2015年同副所長。2020年女子栄養大学栄養学部教授、現在に至る。日本応用老年学会理事、日本公衆衛生学会理事、日本老年社会学会理事、日本体力医学会理事、厚生労働省「次期健康日本21策定検討委員会」専門委員など歴任。日本公衆衛生学会奨励賞、都知事賞（2回）などを受賞。

バランスの良い食事で心身への栄養補給を行うことが健康寿命を延ばす上でとても大切なことなのです

国立研究開発法人 国立長寿医療研究センター研究所
老年学・社会科学研究センター 老化疫学研究部長

大塚 礼



健康寿命の延伸には、要介護のリスクが高いフレイル、認知症、骨関節疾患などの疾患を予防することが大切です。これらの疾患は低栄養と関連しており、高齢期はカロリー摂取に関する考え方の「ギアチェンジ」が推奨されています。メタボ予防のためにエネルギーを制限した中年期から、フレイル、サルコペニアを予防する高たんぱくを中心にしたバランスの良い高齢期の食事へのシフトの重要性が強調されました。

要介護の発症リスクを高める 主な疾患の原因は低栄養

日本人の平均寿命は、縄文時代から今日まで目覚ましい勢いで延びています。古病理学の権威である鈴木隆雄教授（桜美林大学老年学総合研究所所長）らの文献によれば、発掘された骨の長さから各時代の平均寿命を推定すると、縄文時代から室町時代まではわずか15歳だったようです。その平均寿命が、江戸時代から昭和初期にかけて約50歳になり、戦後になると男女ともに急速に延びて、現在は80歳を超えています。人口上、大きな特徴は、75歳以上の後期高齢者の数が急速に伸びている点です。日本の全人口数が既に下降傾向にあるにもかかわらず、現状では75歳以上の高齢者数が増えています。

現在の高齢者保健における最重要課題の1つは、健康寿命の延伸です。健康寿命とは、健康上の問題で日常生活が制限されることなく生活できる期間を指しています。平均寿命と健康寿命の差を不健康寿命といいます。不健康寿命は日常生活に制約のある「健康で

はない期間」を意味し、その期間は男性では約8.8年、女性では約12.4年です。不健康寿命は要介護の期間とは少し異なります。ちなみに、要介護期間は男性で約1.5年、女性で約3年です。現在は不健康寿命の期間を縮め、生物学的な寿命いっぱいまで、健康寿命を近づけることが重点化されています。

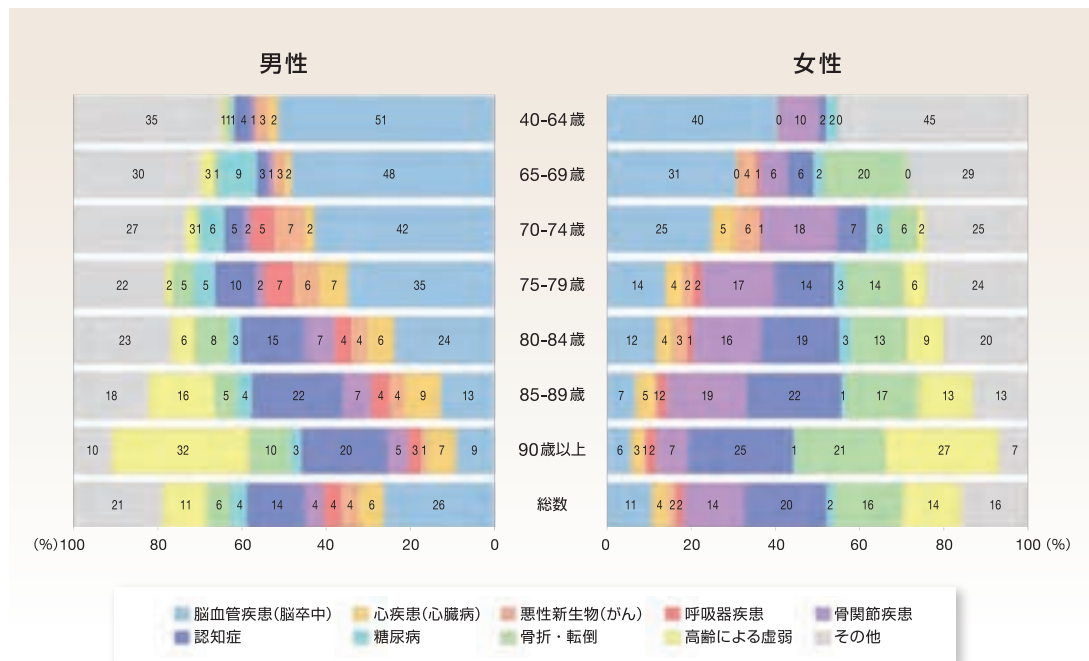
健康寿命延伸のためには、要介護期間を短くすることが重要です。図1は男性と女性の性・年代別の要介護原因疾患を表しています。総数としては、当然高齢者のほうが要介護の発症人数は多くなりますが、年代ごとにパーセントで見ると、中年期までは薄い青色で示した脳卒中による要介護発症が多いです。しかし高齢期になるとその様相が変わり、女性

では骨関節疾患が多くなります。そして、男女ともに高齢による虚弱、いわゆるフレイルが増え、認知症による要介護の発症リスクが高くなる傾向が見られます。年代によって要介護の原因となる疾患が大きく変わってくるわけです。現在、高齢期に多くなるフレイル、認知症、骨関節疾患といった疾患に対する予防策が重点的に進められています。

フレイル、サルコペニア、認知症、骨折・転倒、骨関節疾患などの疾患は、基本的にはマルニュートリション（malnutrition＝栄養失調・栄養不良）やアンダーニュートリション（undernutrition＝低栄養状態・低栄養・栄養不足）が共通した原因で、現在では体重減少や低栄養が要介護の危険因子と認識されています。

16

図1 性・年代別の要介護原因疾患



高齢期の大きな不安要素は認知症とフレイル

2014年度に全国の60歳以上の男女6000人に対して内閣府が行った『高齢者の日常生活に関する意識調査』によれば、「将来の日常生活についてどんなことが不安か」という問いに対する答えは、1.「自分や配偶者の健康や病気のこと」(67.6%)、2.「自分や配偶者が寝たきりや身体が不自由になり介護が必要な状態になること」(59.9%)、3.「生活のための収入のこと」(33.7%)でした。また、「健康や病気に対する不安の具体的な内容にはどんなものがあるか」という問いに対しては、1.「体力の衰え」(62.2%)、2.「認知症」(55.0%)、3.「がん」(45.5%)、4.「高血圧」(43.7%)でした。恐らく、2020年からは上記に加えて新型コロナウイルス感染症も入っていると思います。

こうした調査を見ても、認知症やフレイルが高齢者にとって大きな不安要素であることが想像できます。ここでは国立長寿医療研究センターがこれまで行ってきた、地域住民を対象としたコホート研究の一端を紹介します。

初めに認知症についてお話しいたします。認知症の定義は、「生後いったん正常に発達した種々の精神機能が慢性的に減退・消失することで、日常生活や社会生活に支障が生じている状態」です。認知症の有病率は今のところ定かではありませんが、2025年には高齢者の5人に1人が発症していると予測されています。認知症の発症リスクが後期高齢期以降急速に増えることや、後期高齢者の数

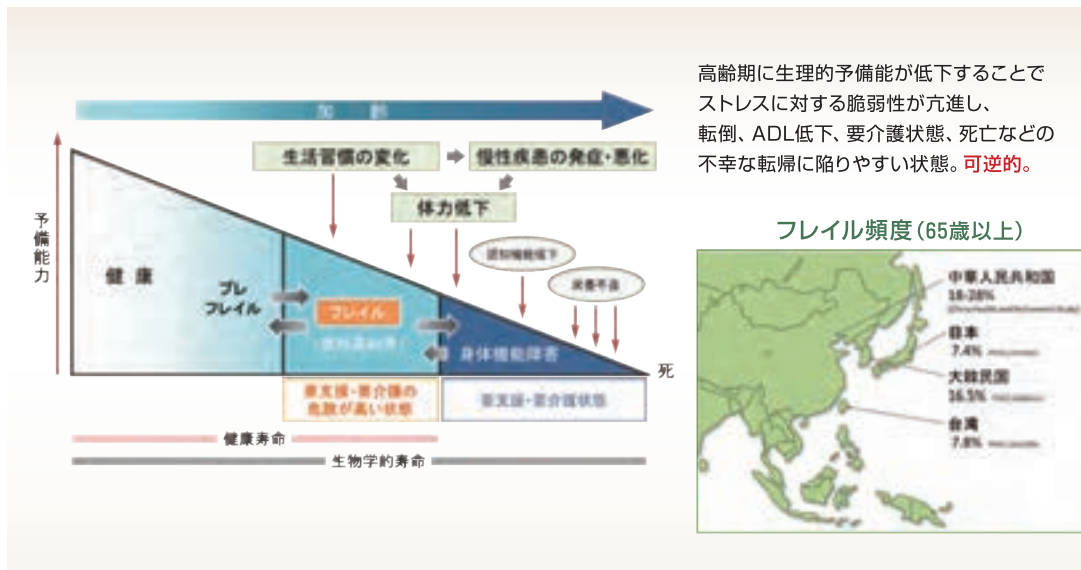
が増えていることが、有病率の増加に拍車をかけます。さらに、MCI(軽度認知機能障害)も増加が見込まれます。

余談ですが、フレイルについては、先日こんなことがありました。フレイルについてある媒体に記事を書いたところ、新聞記者の方から「フレイルって何ですか」と聞かれたのです。フレイルは既にメジャーな言葉かと思っていたので驚きました。フレイルは、海外の老年医学の分野で使われている英語の「Frailty」が語源です。日本語に訳すと、「虚弱・老衰・脆弱」などを意味する言葉で、これを受けて日本老年医学会が、2014年5月に「フレイル」という言葉を造りました。

フレイルの意味合いとしては、高齢期になると健康な状態から最終的には死に至るわけですが、死の前には一般的には要介護状態にあることが多いわけです。この、健康と要介護状態の間のやや弱った状態を「フレイル」と定義づけています。フレイルのもう1つの特徴的な解釈としては、可逆的であるということです。すなわち、フレイルの状態の時に適切な介入を行えば健常に戻ることができる。そういった意味合いを込めて「フレイル」という状態を定義づけています。ただ、フレイルは疾患ではないため、定義も曖昧です。それでも、要介護を予防するという意味でフレイルの予防が重点化されてきています。

フレイルの頻度は、定義は曖昧ですが、65歳以上のさまざまな研究の成果をまとめる

図2 フレイル (Frailty)



18

と、日本では7.4%くらい、データによっては10%を超える研究もあります。多分日本人の高齢者では10%弱くらいの方が該当しているのではないかと思います。ただ、フレイル

ルといっても健康状態には非常に幅があり、いろいろなタイプの人が含まれます。後期高齢期になるとその割合はぐっと上がります(図2)。

日本人の認知症予防に有効な食事パターン

認知症とフレイルについて食事の面からお話します。認知症予防に有効と考えられている食事パターンの代表的なものは地中海食です。地中海食は地中海沿岸の人々が食べている伝統的な料理で、オリーブオイル、全粒粉穀物、魚、野菜、それに赤ワインを少ししたしなむような食スタイルを指しています。このような食が欧米地域で行われた疫学調査において、その成果や結果が認知症予防に効果的であると、非常に多くの論文で発表されたのです。

「DASH (Dietary Approaches to Stop

Hypertension) ダイエット」は高血圧予防のための食事ですが、認知症予防にもいいという成果が出ています。「MIND (Mediterranean-DASH Intervention for Neurodegenerative Delay) ダイエット」は地中海食とDASH食をベースに認知症予防のために開発された食事です。全粒粉穀物、野菜、ベリー類、ナッツ類を食べようという食事です。これらの食生活を眺めると、肉類は控えめにする傾向があります。

ただしこれらは主に海外での研究成果で、強調したいのは日本人の食事です。日本人は

世界から見るとすごくユニークな食文化を持った民族といえます。私たちは米飯を主食に、魚や肉の主菜、汁物、野菜などの副菜を足す非常に特徴的な食文化を持っています。

日本人の食と栄養学上の特徴としては、肥満者割合が低い。赤身肉、特に飽和脂肪酸の摂取量が少ない。さらに、魚類や豆類、砂糖を入れない茶類の摂取が多いという特徴が

あります。半面、塩分摂取量や魚介類摂取量は近年減少傾向にあるものの、世界の中ではトップレベルに属しています。

このように世界でも独自の食文化を持つ日本人ですから、日本人の食と認知機能や認知症予防に有効と考えられている食事パターンについて知るためには、日本人でのエビデンスを探す研究が必要と考えます。

コホート研究で老化の様相を経時的に観察し記録

国立長寿医療研究センターでは、1997年から老化に関する長期縦断疫学研究、NILS-LSAというコホート研究を行っています。このコホート研究は老化の進行過程を経時的に観察し記録するもので、特定の病気の予防を目的に行うものではなく、日本人の老化の様相を記録しようという目的で立ち上がったものです。1997年から現在に至るまで、愛知県の大府市と知多郡東浦町の方に多大なるご協力をいただき、住民基本台帳から性・年代別に層化無作為抽出をした40～79歳の方を対象に調査を行っています。

後ほど紹介いたしますが、医学、栄養学、運動学などさまざまな調査を同じ方に繰り返し行うスタイルをとっており、この中で老化の様相を収集していくというスタイルで、継続して調査を行っています。経時的に観察することがコホートの第一目的ですが、途中で病気になったり加齢とともに老化現象が起きたりします。ですから副次的目的として、老化や老年病の発症要因、予防策を見つけ出す

といった研究も行っています。

NILS-LSAの主な調査項目は、生活習慣や病歴などを尋ねる医学分野、体力測定や身体活動量を把握する運動学分野、食事や食習慣を尋ねる栄養学分野、認知機能や心の健康を調べる心理学分野など学際的な調査を行っています。1997～2012年にかけて、第1～7次調査まで行いました。

2018～2022年に行った第9次調査では対象者の方が高齢化しており、人間ドックのような1日がかりの調査の実施が厳しくなってきました。そこで現在は少し内容をコンパクトにした3～4時間で終わるような調査スタイルに規模を縮小しています。項目は厳選し、MRI(磁気共鳴画像)や歩行速度などをフォローアップしています。

栄養については、第1～7次で3日間の食事秤量記録調査を行いました。どうして3日間かというと、NILS-LSAが始まった1997年当時は、国が実施する国民健康・栄養調査も3日間の食事秤量記録調査を行っていた時

期で、私たちも国民健康・栄養調査と同じ調査方法を導入しようと始めました。この間、国民健康・栄養調査は3日間から1日の調査に変わってしまいましたが、私どもは3日間の調査を続けてきました。

対象者の方に3日間に食べたものをすべて記録していただくのは負担の重い調査です。私たち調査側にとっても栄養計算が大変です。食事調査に先立ち、管理栄養士が3日間の食事秤量記録調査の方法を説明しますが、男性、特に自分で料理をつくらない方は、食べたものの詳細が書けないということがありました。皆さんも、例えば昨日の夜に食べたものを調味料も含めてグラム単位で書けと言われても、かなり難しいと思います。つ

くっている人でも難しいのですから、自分でつくらない男性は、奥さんかお嫁さんか娘さんの協力を得て食べたものすべてを記録していただきました。

これらの記録とは別に、インスタントカメラをお配りして3日間にわたり食事前後の写真を撮っていただきました。限られた日数ではありますが、口に入ったものをすべて調査するというのを長年進めてきました。これらの記録を基に管理栄養士がコーディングして栄養を計算します。

そのほか、サプリメントや嗜好飲料の頻度調査も進めていますが、ここでは特に、食事調査から得られたデータについての研究成果をご紹介します。

20

食の多様性が高いほど認知機能の低下リスクが下がる

認知機能の保護効果を認めた食や栄養学的要因について、これまで見いだした成果についてお話ししましょう。私たちが最初に注目したのは脳の脂肪酸構成です。私たちの脳は乾燥させると半分くらいが脂質で構成されています。中でもDHA(ドコサヘキサエン酸)の濃度が高いので、DHAに注目しました。これにより、血中のDHA濃度が低いことが認知機能低下のリスクであることがわかりました。また豆と豆製品、緑茶や一部のアミノ酸の摂取は認知機能の保護効果を認めています。

加えて短鎖や中鎖脂肪酸などにも注目した解析を行いました。私たちの食べている脂肪

酸は、ほとんどが長鎖脂肪酸です。しかし短鎖や中鎖脂肪酸には、長鎖脂肪酸には認められない認知機能の保護効果が示されました。短鎖脂肪酸は乳類・乳製品に特異的に含まれています。

私たちは穀類や乳類、野菜や肉、魚などさまざまな食品群を食べますが、食品群別摂取量と認知機能との関連を見ると、穀類の摂取量が多いほど認知機能の低下リスクが上昇する結果が出ました。一方、乳製品については摂取量が多いほど認知機能が維持される傾向がありました。穀類の中でも私たちが一番食べているのは米ですが、穀類を米やパンや麺などに分類し、細かく解析したところ、これ

らの穀類は認知機能と有意な関連性はありませんでした。ただ穀類の中でも小麦ベースの麺類の摂取量だけは、認知機能低下のリスクを上げていました。これは、小麦の摂取量が認知機能を低下させるというよりは、恐らく小麦ベースの麺類であるうどんやそうめんは単品だけで食事が成り立つので、うどんだけ、そうめんだけ、といったおかずの少ない

食事が認知機能低下のリスクにつながっているのではないかと考えました。

この結果をもとに始めたのが食の多様性と認知機能に関する研究です。いろいろな種類の食品群を食べているほどスコアが高くなるといった指標を使って認知機能との関連を見てみると、食の多様性が高いほど認知機能低下リスクが下がる結果を得ました。

バランスの良い食事が認知症の発症予防に効果的

なぜ食の多様性が高いほど認知機能が維持されているのでしょうか。

その理由として、食の多様性が高い人の栄養素摂取量を調べると、食事摂取基準で策定されている栄養素の推定必要量や推奨量を満たす人の割合が高かったため、良好な栄養素の摂取を介して脳の機能維持が保たれていたと考えられました。逆に多様性が低くなるほど、栄養素の推定必要量や推奨量の摂取が低い傾向を認めました。

他の理由として、多様性の高い食事をとるための食行動が考えられます。献立を考えたり、食材を用意したり、料理したりする。こういった健康への配慮が心身の健康を介して認知機能にいい影響を与えていた可能性があります。

国内ではまだ認知症予防に関する長期の疫学調査は多くありませんが、代表的な調査研究に久山町コホート（九州大学）が挙げられます。このコホートからは豆類や大豆製品、野菜、海藻類、乳類や乳製品を多く含み、穀類

は少なめの食事に認知症発症予防効果があるという成果が出ています。

大崎コホート（東北大学）では要介護認定情報から認知症を判定していますが、このコホートでは魚類、野菜類、きのこ類、海藻類、漬物、大豆製品、緑茶摂取を多く含む日本型の食事に認知症予防効果があることを認めています。

私ども国立長寿医療研究センターでは、ご紹介したとおり、穀類だけではなく、いろいろな食品から構成される食事が認知症発症予防にいいという結果を得ています。

これまで私どもが行ってきた研究、あるいは国内の研究成果を総合的に考慮すると、穀類も大事ですが、プラスさまざまな食材を用いた栄養バランスの良い食事が認知機能の維持にいいと考えられます。また、この食品がいいということではなく、いろいろなものを組み合わせることが相乗効果をもたらす、食事のバランスの良さが認知症発症予防に効果的なのではないかと考えているところです。

たんぱく質と脂質の摂取でフレイルを予防する

フレイルに関しては、残念ながら栄養学的な研究成果が少ないのが現状です。しかし私たちの2年間の縦断研究で、ベースライン（観察開始時）でフレイルでなかった人が2年後にフレイルになる確率を、ベースラインの各種栄養素の摂取量との関連で見たとところ、エネルギーの摂取量が多いことと、たんぱく質・脂質の摂取量が多い人ではフレイルになりにくい。すなわちたんぱく質や脂質をたくさんとっている人にはフレイルの発症予防効果が認められました。

食品群別摂取量とフレイルとの関連性を検討したところ、肉類の摂取量が多い人ほど、また乳類の摂取量が多い人ほど、2年間のフレイルの発症リスクが低いという結果が見いだされ、中でも肉類に強い効果が認められました（図3）。

一例として67歳男性の3日間の食事をお示します。この方は一見いろいろなものを食べていてよさそうですが、エネルギーは1日1900kcal、たんぱく質の摂取量は51gで、日本人の食事摂取基準の60gには届かず、

22

図3 身体的フレイルを予防する食・栄養的要因



不足しています。

しかし、ここに牛乳、卵、肉または魚を加えると、1日当たり30gくらいの動物性たんぱく質がとれます。ご飯や納豆、豆腐などを

組み合わせると植物性たんぱく質もとれるので、これくらいの量を目安にすると、1日にとりたいたんぱく質の最低ラインを超えることができます。

心身への栄養補給が健康寿命の延伸をもたらす

現在、国立長寿医療研究センターを含む老年医学の分野では、高齢期の低栄養予防に力を入れています。具体的な方策の1つとして、摂取カロリーに対する考え方の「ギアチェンジ」を推進しています。

若中年期はメタボ予防が重要であることは変わりません。しかし、高齢期以降は低栄養予防に留意して、フレイル予防に努めることが重要です。このため、過栄養から低栄養の予防へのギアチェンジが求められます。このタイミングは難しいのですが、意図しない体重減少が始まる頃がギアチェンジのタイミングと考えます。

認知症の有病率は後期高齢期、特に80代後半になるとぐっと上がります。認知症やフレイル、サルコペニアを予防する観点からも、低栄養予防は重要です。高齢者の中には、メタボ予防を意識して、たくさん食べることを控える傾向、肉類や乳製品など動物性たんぱく質の摂取を控える人もいますので、「ギアチェンジ」の考え方の普及は大事です。

冒頭で、一般高齢者の「健康や病気に対する不安の具体的な内容」に、体力の衰え、認知症、がん、高血圧が挙げられることを紹介しました。私ども国立長寿医療研究センター

では現在、国立がんセンターや国立循環器病センターなど6つのナショナルセンターが共同し、国民全体に向けた健康寿命延伸のための指針づくりを進めています。

実際のところ、私たちは認知症にもがんにも循環器病にもフレイルにもなりたくありませんし、できれば予防したいと思っています。これらの健康障害には日ごろの生活習慣が大きく影響するため、中年期は肥満をはじめとする生活習慣病の予防が大事です。しかし、高齢期では栄養不足のリスクが高くなるので、メタボ予防から低栄養予防へのシフトが必要となります。

ありきたりではありますが、特に高齢期には四季折々の野菜・果物・豆類を食べ、肉も魚も乳製品も食べる。そして塩分摂取には気を付ける。こうした日本食が、恐らく老化・老年病予防には最も望ましいのではないかと考えております。

ふだん意識することはありませんが、食事は視覚、聴覚、触覚、味覚、嗅覚の五感をフル活用する生活習慣です。高齢期では食事は日常生活の楽しみの上位に入っています。現在、コロナ禍で外出が制限され、在宅を余儀なくされた高齢者が増えており、以前に増

して、食事は楽しみの1つになっているかもしれません。

食生活に潤いを持たせることは心の健康にも直結します。食事は栄養補給だけでなく、他者とのコミュニケーションを円滑にします。心のこもった食事は精神的な満足度につなが

り、逆に粗雑に出されると心が寂しくなることもあります。

つまり、毎日の食事は人としての尊厳を感じる場でもあります。食生活を通して心身の栄養補給を行うことが、健康寿命延伸にはとても大切なことなのです。

討議の抜粋

(敬称略)

24

西村 フレイル予防には、食事と併せて身体運動も効果があると思われませんが、身体運動は考慮されているのでしょうか。

大塚 私たちの研究では、食事とフレイルの関連を検討する際、身体活動量は調整要因として扱っており、身体活動単独のフレイル予防効果は検討できていません。ただ私どもの調査は施設型調査のため、参加者はある程度身体活動量が保たれている集団です。もし地域にお住まいのすべての高齢者まで調査対象を広げることができれば、当然、身体活動量が高い方のほうが、低い方よりフレイル予防効果が高いと思います。

西村 栄養のバランスは四群点数法に基づいて考案しますが、やはり食材の重量測定は難しいですね。調査時には写真を撮られているとのことですが、一般の人にもわかりやすく重さを測定する方法はありますか。

大塚 食事調査で食事の量を適正に把握するのはかなり難しいです。このため、私たちは食事の量の適正さを評価する際は、体重チェックをお勧めしています。正常体重域の方であれば、体重が維持されていればエネルギー摂取量は適正と考えられます。

西村 日本人は飽和脂肪酸の摂取量が少ないとのことでしたが、適正な摂取量は何を基準に考えればよろしいでしょうか。

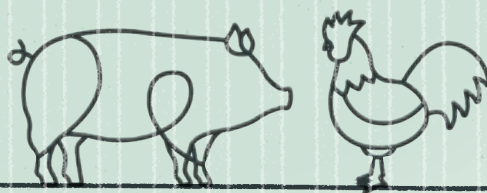
大塚 『日本人の食事摂取基準』は、5年に1回の改定に伴って最新のエビデンスを集めて作成されているので、一番いい指標ではないでしょうか。わからないことはわからないと書いてあるので、ある程度信頼がおけるとは思っています。

● おおつか・れい

医学博士。1998年、東京水産大学（現・東京海洋大学）卒業後、食品メーカーで食品衛生管理者として品質管理に従事。その後、公衆衛生学を学ぶために名古屋大学大学院に進学、2004年、名古屋大学大学院医学系研究科修士課程修了。2007年、同博士課程修了。日本学術振興会特別研究員を経て、2009年、国立長寿医療研究センター研究所疫学研究部栄養疫学研究室長に。2010年、国立長寿医療研究センター研究所予防栄養研究室長を経て、現職。

Section. 2

食の多様性



世界トップレベルの日本人の平均寿命が いずれ凋落するほど 日本の低栄養状態は深刻です

応用老年学会会長／桜美林大学名誉教授

柴田 博



1200年におよぶ度重なる 肉食禁止令で粗食信奉が定着

日本には、歴史的に根付いてきた「粗食長寿信奉の系譜」があります。これをさかのぼりますとまず675年、天武天皇により発布された最初の肉食禁止令があります。これは538年に伝来した仏教の殺生禁止の教えを反映したとされていますが、真の目的は、大和朝廷が統一国家建設のために必要な、米の増産による財政基盤の確立にあったと考えられます。牛、犬、鶏、猿の殺生のみを禁止し、鹿や猪は食べてもよいとされたのは、役に立つ動物の殺生のみを禁止するご都合主義でした。

肉食禁止令はその後も繰り返し発令され、肉食の抑圧と米を中心とする食が日本の歴史をずっと支配してきました。特にそれがはっきりしてきたのは石高制社会の江戸時代で、二代将軍徳川秀忠は1611年牛肉の売買を禁止し、1613年のキリシタンの禁止令、1635年の鎖国令と続きます。

日本には粗食が長寿をもたらすという思い込みが未だに根強く残っています。日本人の総摂取熱量は1970年以来低い水準で推移し、2010年には終戦直後の1946年を下回りました。今日の日本は深刻な低栄養化に陥っている状態です。若い女性のやせ志向はますます強まり、低出生体重児は30年間で倍増しています。原因となった粗食長寿信奉がどのように形成され、いかにして超克すべきか、柴田博先生にお話をうかがいました。

1871年（明治4年）に肉食禁止令が解かれるまでの1200年間、日本では肉食タブーが続いたのです。動物性たんぱく質や脂肪をとらず、カロリーを低く抑える食の管理がこの間に定着してきました。日本人の体格は、縄文時代と比べても江戸時代が一番小さいのですね。長年にわたって国民の生活を支配してきた粗食長寿信奉は、その完成形が江戸時代にあるということになるかと思えます。

1880年代になると、陸軍軍医総監の森林太郎（鷗外）と慈恵医大の創始者でもある海軍軍医総監の高木兼寛の間で、脚気論争が始まりました。明治時代、脚気は結核と並んで2

大国民病とされていて、心不全の原因ともなり致命率も高いものでした。高木は食物中の窒素（N）が多い食事を与えると脚気になりづらいことを知り、海軍の兵士に肉と麦（あるいはパン）を与えることにより脚気を予防しました。

しかし、森はこれに反対し、兵士に白米を与え続けたため、陸軍では脚気を減らすことができなかったのです。森鷗外の失策は、肉食のタブーが解禁になって間もない明治の初期のことであり、長年にわたる粗食信奉の呪縛を打破できなかったことなどに起因していたのでしょう。

日本の粗食長寿信奉を助長した海外からの影響

日本より半世紀も早く平均寿命50歳の壁を超えた欧米諸国は、20世紀の前半から総カロリーと食肉の過剰摂取に対する警戒が強まり、人口学の未熟さと相まって、独特の粗食長寿説が生まれました。

特に米国では1930年以降肥満対策に関する研究が盛んになり、カロリー制限したラットは普通のラットより長生きするとしたC. McCayの実験なども注目を集めていました。メトロポリタン生命保険会社は、その後修正されますが、「やせている人ほど長生きで、ベルトの穴が1つ伸びると寿命が○年縮まります」といった保険のセールスキャンペーンを展開していました。

当時の粗食長寿説の象徴とされたのが、世界3大長寿地域伝説です。南米・エクアドル

のビルカバンバ、パキスタンのフンザ、旧ソ連邦のコーカサス地方の3地域です。その後の調査の進展に伴い、3地域とも長寿地域ではなく単なる過疎地であることが明らかにされますが、それまでは、これらの地域の穀物や野菜を中心とした粗食が長寿社会をもたらしたと、世界的に知れ渡ったのです。

われわれにとって特に関心が深かったのは、コレステロールバイ菌説です。米国では1948年頃から、フラミンガム研究を皮切りにいろいろな研究グループが競い合ってコレステロールを悪者にし始めました。有名なキャッチフレーズに、「高コレステロールが人を殺すのではなくて、コレステロールが人を殺すのだ」というくらいですから、コレステロールは低ければ低いほどいいとされていました。

しかしこの説は実は歴史的に破綻しました。1980年代に入ると、30余年におよぶフラミンガム研究は完全に自己批判し、過ちを認めました。ところがどういうわけか、日本はその頃からコレステロール対策を強化し、

220mg/dlを超えたら年齢にかかわらず投薬することを始めたわけです。日本は、内にある粗食信奉と、外国から攻め立てられた粗食信奉の両方に影響を受けて、今日の悲劇的な状況にあるのだと思います。

日本は飢餓状態といわれた終戦直後を下回る低栄養状態に

粗食は、「摂取熱量が少なく、動物性たんぱく質と脂肪の少ない食事」と定義されます。英語では plain diet あるいは poor diet と言われ、やや批判的なニュアンスを持っています。しかし、日本では未だに粗食が長寿をもたらすとの思い込みが根強く、栄養価の乏しい食事内容、極端な女性のやせ志向、出生時体重の低下をもたらしています。現在の日本人の栄養状態に、飽食あるいは欧米化というレッテルを貼ることが流行していますが、実態は低栄養状態なのです。

私は2018年、ドイツの出版社から『Malnutrition in Japan Threatens Longevity (日本の低栄養が長寿を脅かす)』を出版しました。その1年前に書いた論文では未来形を使いましたが、この本では現在形を使っています。それほど日本の栄養状態は悪化しているのです。表1は世界各国の総熱量供給量の推移を示しています。

2013年の日本の摂取量は、アメリカのそれよりも1000kcal近くすなわち約26%も少なく、東アジアで日本より少ないのは北朝鮮だけ、1992年から2013年までの20年間に減少しているのも日本と北朝鮮のみです。こ

うした正確なデータがあるにもかかわらず、日本の食生活は欧米化した、過剰栄養だ、肥満が増加などと絶えずマスコミに喧伝されるのはどうしたわけでしょうか。

表1 世界各国の総熱量(供給量)の推移

国	年	
	1992	2013
● 日本	2,943	2,726
● 韓国	3,001	3,334
● 北朝鮮	2,222	2,094
● 中国	2,468	3,108
● 香港	3,093	3,290
● 台湾	2,974	2,997
● マレーシア	2,767	2,916
● インドネシア	2,416	2,777
● タイ	2,271	2,784
● ベトナム	1,923	2,745
● ガーナ	2,118	3,016
● ルワンダ	1,891	2,228
● アメリカ	3,559	3,682
● イギリス	3,271	3,424
● フランス	3,549	3,482

(1人1日当たり: kcal)

表 2 日本人の総熱量摂取量の推移

年	1946	1960	1970	1980	1990	2000	2010	2019
総熱量(kcal)	1,903	2,104	2,210	2,085	2,026	1,948	1,849	1,903

出典：国民栄養調査より

表 2は第二次世界大戦後の日本人の総熱量摂取量の推移です。国民栄養調査が始まった1946年は1903kcal。少しずつ増えてきて1970年には2210kcalに達しますが、その後どんどん減ってきて2010年には1849kcalと、飢餓状態といわれた終戦直後のレベルを下回ります。

新生児の出生体重も1980年代までは増加しましたが、その後減少に転じ、2500g以

下の低出生体重児の割合は1980年の5.18%から、2015年には9.47%へとほぼ倍増しました。

低出生体重児は成人後、高血圧、糖尿病、虚血性心疾患などの罹患リスクが高まることを示す報告が増えた1990年代に入り、妊婦に対するカロリー制限をより厳しくした日本の方策は、愚かというか、皮肉というべきでしょうか。

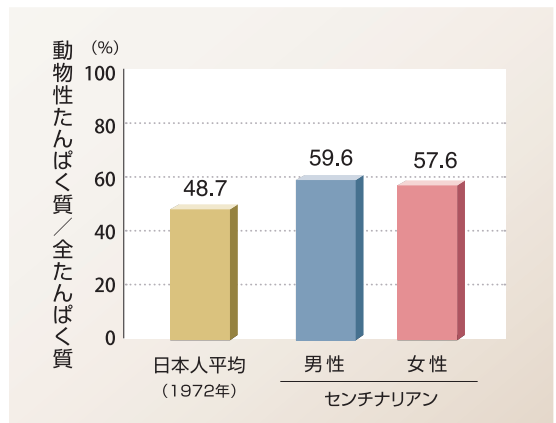
動物性たんぱく質の摂取を増やすことが粗食超克の鍵に

今からちょうど半世紀前の1972年、私が定年まで勤務していた東京都老人総合研究所（現・東京都健康長寿医療センター研究所）が創設され、最初に取り組んだのが百寿者（センチナリアン）の調査でした。当時センチナリアンは全国で400余名しかいませんでしたが、そのうち117名の方を家庭訪問して調べました。

その結果、摂取総熱量に占めるたんぱく質の割合が、日本人の平均（国民栄養調査）を上回っていることがわかりました。さらに驚いたことに、摂取たんぱく質に占める動物性たんぱく質の割合が、現在は約54%、当時はまだ50%未満でしたが、男女ともそれ

ぞれ59.6%、57.6%と現在の日本人の平均をはるかに上回っていたのです（図1）。目からうろこという俗な表現もありますが、われ

図 1 センチナリアンの総たんぱく質に占める動物性たんぱく質の割合



出典：Shibata H. et al. Nutr health 1992;8:165-175.

われはこれで粗食長寿説の超克に資する確たるデータを得たとの手応えを感じました。その後、国立の研究所も似たような調査を行い、同様の結論が出ています。

このようにして入手した知見を確認するため、われわれは有料老人ホームにおける介入研究の手法を確立し、地域住民を対象とした食生活改善のための介入研究を実施しました。観察前半の4年間に65歳以上の対象者

の血清アルブミン値は低下しましたが、食生活改善に介入した後半4年間で、肉を食べ動物性たんぱく質の摂取が増えた群は血清アルブミン値が上昇したのです。

アルブミンは余命のみならず、生活機能の維持にも影響する中高年に最も大切な指標の1つであり、食生活の改善によりこれを上昇させることができるという、心強い結果が得られたのです。

動物性たんぱく質や脂肪の摂取は脳血管疾患を防ぐ

日本人の死因のトップは、1954年から1979年まで脳血管疾患でした。脳血管疾患を予防するための食生活や栄養のあり方を模索することは日本の研究者の喫緊の課題でした。日本では、脳血管疾患が動物性たんぱく質の摂取量が少ない東北地方などに多いことが、先駆的な疫学研究で示されてきました。日本の脳血管疾患は脳梗塞であっても、動物性たんぱく質や脂肪の不足に起因することが多い、細い血管に起こるラクナ梗塞だからです。

日本における脳梗塞が動物性たんぱく質や脂肪分の不足によることは、地域比較の研究のみならず、日本の中では栄養状態のよい地域の追跡研究でも示されています。Sauvagetらは、広島県の3731名(35~89歳)を17年間追跡調査し、スタート時点の栄養状態とその後の脳梗塞死亡率に対する関連を観察しました。その結果、動物性たんぱく質、動物性脂肪、コレステロールの摂取が多いほど脳梗

塞死亡率は低く、植物性たんぱく質や植物性脂肪は動物性と異なり有意な関連を示しませんでした。最近マーケットにはコレステロールゼロをうたい文句にしている植物油を多く見かけますが、誠に有害な商品というべきです。

このような日本人の特徴は、移民研究によっても確認されました。ハワイとサンフランシスコに移民した2世、3世の比較研究がNIH(National Institutes of Health/米国立衛生研究所)の主導で進められました。ハワイの日系人の栄養状態は、日本に住む日本人と米国人の中間にあり、当時世界1の長寿を誇っていて、米国人全般に対する食生活指針にも多大な影響を与えていました。

表3は、日本(広島県)に住む日本人とハワイの日系人の栄養の違いをまとめたものです。1965年の日本の死因の第1位は脳血管疾患、1985年には死因のトップは悪性新生物に替わっていました。いずれの時点でもハ

表3 広島日本人とハワイ日系人の栄養比較（男 1965年時年齢45-69歳）

調査年	日本		ハワイ	
	1965	1985	1965	1985
対象者(人)	199	148	1,305	781
総熱量(kcal)	1,998	1,890	1,962	1,972
たんぱく質(g)	64.5	72.3	81.2	80.1
うち 動物性たんぱく質(g)	28.5	38.1	58.1	51.3
(%)	(44.2)	(52.7)	(71.6)	(61.0)
脂肪(g)	30.9	47.0	68.4	70.1
脂肪熱量/総熱量(%)	13.9	22.4	30.9	31.3

出典：加藤寛夫, 早淵仁美. 栄養学雑誌 1989; 47: 121-130.

ワイの日系人の平均寿命は世界1で、日本に住む日本人を上回っていました。

特徴的なことは、ハワイの日系人のほうが動物性たんぱく質と脂肪の摂取が多いことです。脂肪熱量の総熱量に占める割合はハワ

イの日系人では30%であり、日本1を誇っていた頃の沖縄県民と同じであることは興味深い点です。脂肪熱量の割合は、25%以下でよしとする研究者や医療従事者が日本には多くいますが、全く根拠がないことです。

過ちを認め謝罪したフラミンガム研究の責任者

欧米の脳血管疾患は、太い動脈の粥状硬化に起因することが多いので、肥満や高脂肪食がリスクとなります。それゆえに、当初は欧米の研究者は、日本の研究報告を信用しませんでした。当時、フラミンガム研究に關与している人たちだけでなく欧米の研究者は、とにかく高コレステロール値がすべて悪く、脳卒中も心臓病も、がんまでコレステロール値が高いから起きるなどという説も出たくらいです。われわれが反論すると英語も下手だし、

「君たちは戦争に負けてろくな医療器具もまだないんだろうな」とばかにされていました。

ところが、フラミンガム研究から17年遅れて広島県在住の日本人とハワイの日系人の比較研究が始まると、状況が一変します。1982年ですから今からおよそ40年前の話ですが、モスクワで4年に1度の世界心臓会議が開催されました。その席上、フラミンガム研究の研究局長を務めていた Kannel 博士が、「私たちが発表してきたデータは、すべてが正しく

なかったかもしれない」と謝罪を申し入れてきました。

モスクワ会議の1年前に画期的なデータが出たというのです。コレステロールと死亡率の関連を見ると、虚血性心疾患はコレステロール値が高いほうが死亡が多い。しかし、がんはそれと逆である。それから、脳卒中はコレステロールがかなり高いところまでは死亡率が減り、その後少し増える。恐らくこれはタイプがラクナ型から粥状硬化型に変化する結節点なのだろうというのです(図2)。

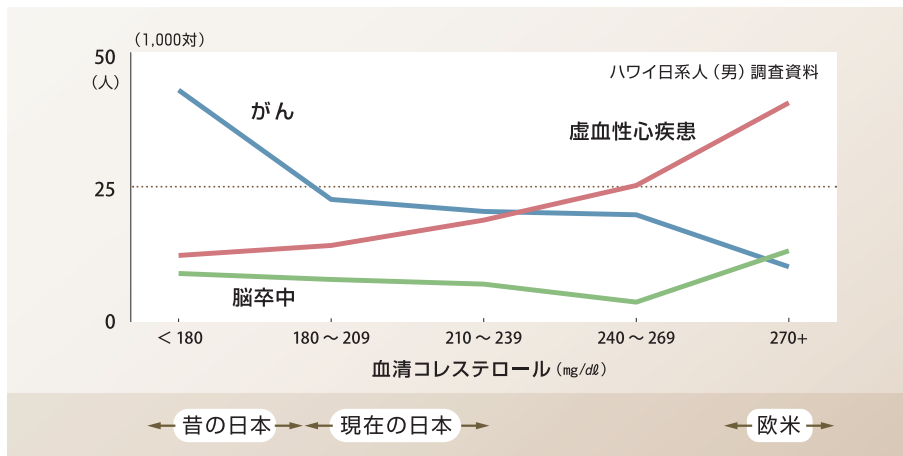
1993年、フラミンガム研究はコレステロールの摂取基準を正式に撤廃しました。先ほども申し上げましたが、まさにその年から日本動脈硬化学会は、220mg/dl以上の人に年齢にかかわらず一律に投薬する方針を打ち出しているのです。米国が捨てたものを拾わされているようで、日本の医学界が何をやろうとしているのかよくわかりません。

21世紀に入ってから、終戦直後の飢餓状態であった1946年を下回るカロリー摂取量になったことを知っている医師はほとんどいないようです。日本は慢性的な低栄養状態ですが、トレンドを見ると高齢者だけは栄養が悪化していません。日本人の年間死者数はおよそ130万人ですが、ほとんどは70歳以上で死ぬわけですから、高齢者の栄養がよければ死亡率はすぐに上がることはありません。

日本の平均寿命が、伸びが止まったとはいえず未だに世界のトップレベルを維持していることを理由に、日本の栄養状態はそれほど悪くないなどと、ジェンダーもエイジも無視して主張するなど無理解のそしりを免れません。いずれ日本の平均寿命が凋落する時期がやってくるのではないのでしょうか。反社会的な宗教的カルトがこれだけ跋扈する国に、健康思想だけが健全に育つわけもないかなと、最近はやっと諦めの境地でございます。

32

図2 年齢標準化血清コレステロール値別死亡率



討議の抜粋

(敬称略)

- 板倉** 現在の日本では、糖尿病の患者が増えているとのことですが、食生活に何か問題でもあるのでしょうか。
- 柴田** 高齢者は空腹時血糖値は正常でも、75gブドウ糖負荷試験の数値は上がりやすくなります。私は2つの地域で高齢者の健康状態の定点観測を続けていますが、2カ所とも空腹時血糖値、ヘモグロビンA1cはともに増えていません。
- 新開** 国民健康栄養調査で一時期、特に高齢者で増えていたのは確かです。最近は横ばいか減少気味だと思います。糖尿病の基準は現在どの年齢層にも同じように適用されていますが、年齢を考慮した新たな基準を早く設定しないと、高齢者の糖尿病がますます増えるのではないのでしょうか。
- 福岡** 日本では糖尿病患者の増加が危惧される状況にあります。その背景には、低出生体重児は、男女ともに糖尿病発症リスクが高いこと、さらに低出生体重で生まれた女性が妊娠すると、正常な出生体重で生まれた母親に比べて5～6倍も妊娠糖尿病リスクが高いこと、妊娠糖尿病の母親から生まれた子は将来糖尿病発症リスクが高く、妊婦自身も糖尿病発症リスクが極めて高いことなどが、明らかとなっています。実際、妊婦の約10%が妊娠糖尿病を発症しており、母子の糖尿病発症リスク群が著しく増加しています。これだけ低出生体重児頻度が多い国は、先進工業国の中で日本のみです。今後著しい糖尿病の増加が危惧されています。
- 柴田** このエピジェネティクスの問題は、1990年代から急速に学会で取り上げられるようになりましたが、防止の方策を検討するのではなく、妊娠中毒症を予防するために体重を減らしたほうがいいとの方針を打ち出します。日本の低出生体重児の増加はまさにこの時期から始まっています。
- 福岡** 2019年産婦人科学会理事長が、妊娠中毒症(妊娠高血圧症候群)予防に有効とされてきた妊娠中の体重増加制限の指針には根拠がないと報告し、著しい体重増加制限に注意を喚起しました。現在、医療現場では厳しい体重増加制限は行われなくなりつつあります。一方で妊婦自らがやっている栄養摂取制限も考慮すべき大きな問題としてあります。
- 清水** 粗食長寿の信奉が、実は具体的に非常に大きな問題を生み出していて、エピジェネティクスの問題まで関わってくるのが今の議論でも明確になったと思います。

● しばた・ひろし

1965年北海道大学医学部卒業。医学博士。東京大学医学部第四内科を経て、東京都老人総合研究所(現・東京都健康長寿医療センター研究所)副所長(現在名誉所員)。桜美林大学大学院老年学研究科教授(現在名誉教授)、人間総合科学大学保健医療学部長を歴任。日本応用老年学会会長。『中高齢の健康常識を疑う』(講談社)、『ここがおかしい日本人の栄養常識』(技術評論社)、『肉を食べる人は長生きする』(PHP研究所)、『長寿の嘘』(ブクマン社)など著書多数。

地球上の人口急増に伴う食料不足の解決に 昆虫の生産が注目を集めています

元国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構
畜産研究部門長

島田和宏



地球上で少なくとも20億人が 1900種以上の昆虫を食べています

現在、世界的に見て、畜産への逆風が吹いています。それを端的に示しているのはFAO（国際連合食糧農業機関）のレポート『Livestock Long Shadow（家畜の長い影・2006）』で、416ページにわたって畜産がいかに地球環境に負荷を与えているか、地理的変遷や気候変動・大気汚染、水質資源、生物多様性などさまざまな観点から研究情報が取りまとめられています。その報告では「世界的に見て畜産部門の土地利用面積は大きく、39億haを超え、世界の地表面積の約30%を占めている。39億haのうち、5億haは飼料作物生産、14億haは集約的な牧草地、残りの20億haは粗放的な牧草地」ということで、「養豚・養鶏などの飼育自体はそれほど土地面積を要しないが、飼料生産部門も考慮する必要がある」といったことが記述されています。つまり、「畜産部門は農地の約78%、穀物の作付面積の33%を占めている」ということです。

内閣府が主導するムーンショット型研究開発プロジェクトでは、生物系特定産業技術研究支援センターが担当する課題の1つとして、お茶の水女子大学の由良敬教授をプロジェクトマネージャーとして昆虫の食料・飼料利用に関する研究を進めています。昆虫の食料・飼料利用のメリットは「飼料変換効率が牛や豚、鶏より良い」、「環境負荷の低減につながる」、「土地や水の使用量が大幅に少ない」などが挙げられます。特に世界人口の増加に伴って、近い将来のこととして予測されている「たんぱく質危機」に向けて、国内外の研究動向や生産の取り組みについてお話をうかがいました。

このような状況の中で、昆虫の食料利用に関する研究が急速に伸びる発端になったのは、2013年にFAOが発行した食用昆虫の報告書『Edible insects ~ Future prospects for food and feed security (食用昆虫類：未来の食料と飼料への展望)』です。この報告以前にも、昆虫食なり昆虫生産なりの研究発表は国際学会などでなされてはいましたが、どちらかという、生態的な研究が多かったように思います。食用にフォーカスした本格的なレポートはこれが最初で、その後の昆虫利用論文の増加の発端になっています。

また、それを機会に昆虫食の記事が全国紙などマスコミでも取り上げられる機会が増え、私も意識はしていましたが、内閣府が主導するムーンショットのプロジェクトで食料、飼料としての昆虫生産が課題化されるに当たって、情報収集を開始したのは2020年の春頃でした。

FAOの報告書では2050年頃に世界人口が90億人に達すると予測しています。ムーンショットの昆虫プロジェクト研究でも同様に、その課題設計に当たっては、2010年の人口は約70億人でしたから、20億人分の食料を増産しなければならない計算になります。増えるのは20億人でも、食料生産は2倍にする必要があるといわれています。というのは、今十分に食べられていない人たちも暮らしが良くなって、押しなべて必要な栄養量を確保するためには、2倍の食料生産が必要になるからです。

一方で食料生産に適する土地は実質的には



FAOの食用昆虫レポート

すでに利用され尽くしているの、これ以上の農地拡大は難しい。たとえできたとしても、砂漠のようなところしかないの、生産効率を考えるとそれほど期待はできません。つまり、家畜用飼料の増産には限界があるということです。

現状を見ると、地球上で20億人が1900種以上の昆虫を伝統的な食生活の中で食べていると報告されています。

昆虫の食料・飼料利用の利点としては、飼料変換効率が牛、豚や鶏よりも良いこと、それから、農業残渣、食品残渣などの未利用有機資源などを利用して飼育できること、温室効果ガス排出などの環境負荷が少ない、臭気物質であるアンモニア排出も少ない、土地とか水の使用量も大幅に少なくて済むなどが挙げられます。現状の2倍の食料、特にたんぱく質を確保するに当たっては、昆虫が最有力候補になっています。

食用、飼料用昆虫の生産状況と研究論文の動向

ムーンショットのプロジェクト研究が始まる前の年、2019年に出された調査報告書によると、世界の昆虫種別生産量はコオロギが一番多くて約2万2600トン。世界の牛肉生産量は、2021年のFAO調査では、枝肉ベースで7160万トンですから桁が全然違う、現時点では吹けば飛ぶような生産量です。

次いでアメリカミズアブ、ミールワームの順です。アメリカミズアブはほとんどが飼料利用ですが、コオロギやゴミムシの仲間の幼虫であるミールワーム、バッファローなどは、



フタホシコオロギ(グリラス社提供)

人の食べ物としても流通しています。コオロギ、アメリカミズアブ、ミールワーム、この3種とも生産量はタイが突出して多く、2番目に多いのは米国、3番目がラテンアメリカです。この調査報告書の予測では、2019～2024年では1年当たり27%、それ以降2030年までは、1年当たり30%の勢いで生産規模が増加すると見込んでいます。

また、2015年には学術雑誌『Journal of Insects as Food and Feed (食料、飼料としての昆虫雑誌)』が創刊され、初年度は年4回の発行が、2020年には年5回、2021年には年8回、最近では月刊になっています。食料、飼料としての昆虫種に関する論文数も、この雑誌が発行された2015年以降は加速度的に増えています。

当初、一般的な食用昆虫の論文が多かったのですが、最近はアメリカミズアブの論文が増えています。

昆虫生産の一番のメリットは土地利用効率

飼料という観点からこれらの昆虫の栄養成分を見ると、昆虫は高たんぱく質です。現在、高たんぱく質の飼料原料としては主として魚粉が用いられていますが、その漁獲量には限界があり、価格も高止まりしています。アメリカミズアブの幼虫は魚粉の代替原料として期待されています。昆虫はいずれにせよ、人が食べるにしても栄養成分の分析方法

は一緒ですから、人の食料としての栄養価と置き換えることもできると思います。

飼料としての昆虫研究の論文が多いのもアメリカミズアブで、次がミールワームです。ミールワームはゴミムシダマシの幼虫です。そのほか蚕、イエバエなどが飼料原料として研究されています。コオロギは食用としての研究が多いので、飼料用としての論文はそれ

表1 昆虫の栄養成分 (%DM)

	粗たんぱく質	粗脂肪	粗繊維	灰分
• アメリカミズアブ	57.7	11.8	16.1	13.5
• イエバエ	59.9	19.6	7.1	7.1
• コオロギ	71.7	10.4	4.6	5.4
• ミールワーム	57.8	25.5	6.9	3.5
• 魚粉	70.7	10.0	-	18.2

川崎浄教 日畜会報 92 (3) : 265-278, 2021

アメリカミズアブの幼虫
(霜田東京大教授提供)

ほど多くありません。

家畜や昆虫の生産効率は一般的に生体重当たりの飼料要求率で見ます。1kg増体させるのに牛は9倍の飼料を食べます。枝肉の歩留まりを考えると食べられる部分のパーセンテージは牛の場合40%で、肉に換算すると、1kgの肉をつくるのに約25kgの飼料が必要になります。

コオロギの可食部割合は80%で、1kg増やすのに約2kgの飼料で済みます。牛に比べれば圧倒的に少ないのですが、豚や家禽に比べれば桁違いというほどではありません。コオロギに与える飼料の栄養価によっては飼料要求率がかなり変動しますので、あくまでコオ

ロギに鶏などと同等の栄養価の飼料を給与した際の比較ということです。

ミールワーム生産に関する環境影響評価報告によると、肉牛と鶏、豚、それと牛乳生産に要するエネルギー消費については、ミールワームを育てるには室温を一定に維持しなければならないので、生産地の気候によってはそれほどメリットがないということです。温室効果ガスの視点からすると、ほかの畜産物に比べると少なくなっています。

一番メリットになるのが土地利用効率です。昆虫生産は単位面積当たりについては立体的にすればするほど土地利用は少なくて済むので、これは非常に大事な利点だと思います。

昆虫に糞尿を処理させれば資源の循環が可能に

アメリカミズアブや雑食性のコオロギなどは、家畜の糞尿や食品産業から出る残渣、農業の生産現場で捨てられる植物の茎の部分など、さまざまな有機性廃棄物を飼料として生産できます。サバクトビバッタや、日本でも研究されているトノサマバッタなどのバッタ類は、草を餌とする点で大量生産には課題が

あります。各種の残渣等で飼育できるコオロギについても、現状では利用しやすい作物・食品残渣などは、すでに既存の家畜で利用されている点は考慮が必要です。

そういう意味では、アメリカミズアブは家畜糞尿で飼育できるため、ミズアブに糞尿処理をさせれば資源循環の度合いが高まること

になります。海外の論文によるとアメリカミズアブやイエバエの幼虫は、乳牛の糞尿を58%削減、豚の糞尿を56%削減します。

今、家畜糞尿から発生する温室効果ガスも非常に問題になっています。アメリカミズアブは1カ月くらいで幼虫からサナギになるので、適正な量のミズアブに糞尿処理させれば、1カ月で温室効果ガスが出る鶏糞がなくなるので、今後、非常に重要な研究シーズになると思われます。もう1つのメリットは、幼虫からたんぱく質を含めいろいろな物質が採取でき、有用な製品に変換することができることです。キチン*の生産にも将来的には使える可能性があります。

38

日本でも最近、環境省の大きなプロジェクトとして、ミズアブの研究が実施されました。未利用バイオマス資源でアメリカミズアブを生産して、魚の養殖用や家畜飼料にしようというもので、2018年の農業技術10大ニュースに選ばれています。ただ、この時点での研究の中心は大都市の生ごみをいかに利用するかという視点でなされています。ムーンショットでは、まずは鶏糞を利用して畜産の

中で循環させる研究ということになっています。

このようなバイオマスの研究は、バイオマスを集めるコストがネックになって、個別に開発された技術としては非常に素晴らしいものができていても、実用化されない成果が多いのが現状です。私としては、養鶏農家が自身の農場内で、鶏舎から出てきた鶏糞を使って生産したミズアブを鶏のたんぱく質源として還元するような、オンサイトの利用が一番重要ではないかと思っています。

2021年の春ごろ、科学情報誌『WIRED』に「家畜の糞を餌に育った昆虫が、家畜の飼料になる日がやってくる」という記事が掲載されました。これは基本的にはムーンショットプロジェクト研究の構想と同じですが、この記事では「家畜の糞を使った研究が済んだら、今度は人の排泄物に取りかかる」としています。現在、人のし尿処理は浄化して放流していますが、浄化には多大な費用とエネルギーが使用されています。畜産で培った基礎的データを応用すれば、人のし尿処理にまで発展できる可能性が示されています。

* キチン：甲殻類の殻だけでなく、節足動物の外皮、貝殻、そしてきのこにも含まれている天然の素材。地球上で合成される量は1年間で 10^{10} ～ 10^{11} トンと推測されている生物資源。

昆虫に関するムーンショットプロジェクト研究

内閣府が主導するムーンショット型研究開発プロジェクトでは、お茶の水女子大学の由良敬教授をプロジェクトマネージャーとして昆虫の食料・飼料利用に関する研究を進めて

います。主要な目的の1つはコオロギ、ミズアブなどを安定的に生産するために家畜化することです。

研究の構成は図1のとおりです。コオロ

図1 昆虫のプロジェクト研究



ギ、ミズアブの品種改良や安定生産、食料、飼料としての利用性に関する研究、林地残材を使ってシロアリを飼料として生産するという研究も含まれています。



シロアリを食べる鶏
(松浦京都大教授提供)

「たんぱく質危機」を乗り越えるために実用化が進む昆虫食品

地球上の人口増でたんぱく質が不足するのが2025～2030年という説があり、「たんぱく質危機」といわれています。

世界的に見れば、昆虫関連の企業は数多く存在します。飼料や食品としてアメリカミズアブ、コオロギが使われていて、日本でも、タイ、東南アジアの農家でコオロギを委託生産してもらい食品に加工して販売する会社や、国内でベンチャー企業がコオロギを生産して製品化している例もあります。

徳島大学のベンチャーであるグリラス社はコオロギ生産に取り組んでいます。良品計画

などと共同でコオロギ製品を出すとともに、自社ブランドのクッキーやプロテイン・バーなどの商品も売り出しています。そのような状況にあって、現在、コオロギ生産は需要に供給が追いつかず、徳島県内で廃校になっている小学校を利用して積極的に生産を増やしているようです。

また、昆虫食を提供するレストランも出始めています。都内にあるANTCICADAという店では、フタホシコオロギなどを原材料にしたコオロギラーメンを提供しています。コオロギのだしにコオロギの醤油、麺にもコオ

ロギが練り込んであって、素揚げのコオロギがトッピング、コオロギの油も使っていて、まさにコオロギづくしのラーメンになっています。コオロギ以外の昆虫を使った料理も提供しています。

韓国ではすでに2019年7月に、ミールワームやカブトムシの幼虫など14種の昆虫が、畜産法で家畜として定義されています。アメリカミズアブだけは外来生物として除外されたようです。日本でも2022年7月に「コオロギの食品および飼料原料としての利用における安全確保のための生産ガイドライン」が策定されました。農林水産省が事務局を担うフードテック官民協議会における昆虫ビジネ

ス研究開発ワーキングチームにおいて、食品および飼料としてのコオロギ生産が遵守すべき内容を検討し、昆虫ビジネス研究開発プラットフォームが取りまとめたものです。これを機会にコオロギ生産が加速され、現在はイナゴとハチノコの缶詰が掲載されている食品成分表にコオロギが追加されるとともに、各種の昆虫種が法律上の家畜として定義されることを期待しています。



コオロギ粉末を使った製品（グリラス社提供）

討議の抜粋

（敬称略）

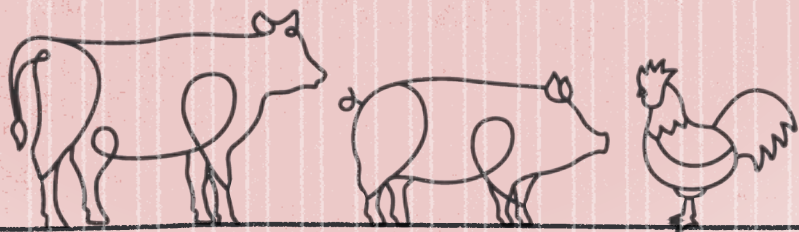
- 品川** 日本の昆虫食の現状は、物珍しさが先行しているように感じられますが、普及させるには今後どのような取り組みが必要でしょうか。
- 島田** コオロギについては徳島大学以外にも、多くのベンチャー企業が生産や商品開発に取り組んでいて、ムーンショットのプロジェクト研究では主要課題の1つとして家畜としての品種改良を取り上げており、徳島大学ではゲノム編集を使って、食品としてより食べやすいように、コオロギの外骨格を軟らかくしたり、体色を薄くしたりする研究に取り組んでいます。
- 板倉** 安全性について、昆虫が持っているウイルスなど微生物と感染症に関する研究は、どうなっているのでしょうか。
- 島田** 昆虫でも蚊などは病気を媒介しますが、最近の研究を見ると、コオロギについては人獣共通の病原は今のところ見つかっていないので、既存の家畜を飼うよりも安全とする論文もあります。

● しまだ・かずひろ

北海道大学卒、農学博士。1980年、農林水産省 畜産試験場企画連絡室 研究員。2000年、農林水産省 畜産試験場飼養環境部 研究室長。2001年、独立行政法人 農研機構 畜産草地研究所畜産環境部 研究室長。2007年、(独)農研機構 北海道農業研究センター企画管理部 業務推進室長。2016年、(独)農研機構 畜産研究部門 部門長。2019年4月～2022年3月、(独)農研機構 生研支援センター 研究開発監。2021年7月～現在、(独)家畜改良センター 理事(非常勤)。

Section. 3

食肉のおいしさと
消化・吸収



国産和牛肉は適切に選択、調理し しっかり噛んで味わうことが肝要です

女子栄養大学栄養学部教授／広島大学名誉教授

西村敏英



日本人の国産和牛肉の消費量と そのイメージ

2021年に日本食肉消費総合センターが発表した「食肉に関する意識調査（国産和牛肉の購入頻度）」によると、牛肉を週に1日以上購入する家庭は、国産和牛肉が23.5%、和牛以外の国産牛肉が19.9%、米国産牛肉が14.3%、オーストラリア産牛肉が14.2%の順に多かったそうです。つまり、国産和牛肉の購入頻度が一番多かったのです。

では、和牛肉を買った人は国産和牛肉にどのようなイメージを持っているのでしょうか。同センターが2015～2021年までの7年間にまとめた資料によれば、食感は「軟らかい」、部位は「霜降り」というイメージを持つ人の割合が多かったことがわかりました。また、2015年から2021年にかけて軟らかいと感じる割合が増えており、霜降りのイメージを持つ人の割合も高くなっています。実際にこのような肉が出回っている可能性はあるかもしれませんが、とはいえ牛肉に霜降りのイメージを持つ人が増えているのに、脂身が多いとはあまり感じていないのが意外でした。

また、味と風味に関しては、「おいしい」と

ひと口に「国産和牛肉のおいしさ」といっても、おいしさの感じ方は人それぞれ違います。とりわけ牛肉のおいしさはそれほど単純なものではなく、肉の処理、熟成期間、軟らかさ、香り、調理方法など、おいしさの要因が複雑に絡み合った食材です。そうした複雑に絡み合ったおいしさ要因の多様性をお伝えすると同時に、おいしい牛肉、特に和牛肉の選択方法と、その調理方法について提案させていただきます。

いう漠然としたイメージを持つ人が最も多く、二番目には「旨みがある」というイメージを持つ人が多かったようです。では、「おいしい」とか「旨みがある」という評価は、一体何

を根拠にしているのでしょうか。資料からは見えてきませんが、それこそが、実は「おいしさの決定要因が1つではない」ことを表しているのかもしれない。

国産和牛肉のおいしさの決定要因

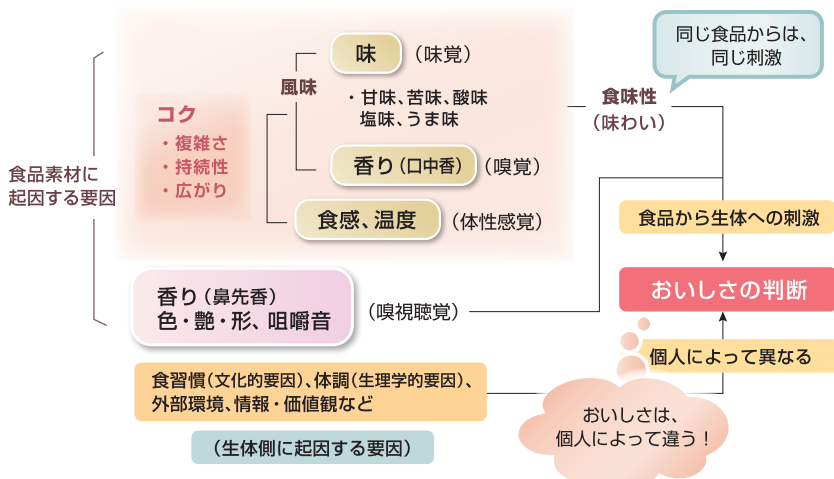
図1は、国産和牛肉を含めた「食品のおいしさを決めている要因」を表した図です。ご注目いただきたいのは紫色でまとめた欄で、私たちが口の中に入れる前後に嗅視聴覚で感じるおいしさ要因を表したものです。ここには鼻先香と呼ばれる食品が放つ香り、食品の色・艶・形、口の中に入れて咀嚼している時に感じる咀嚼音などが入ります。ピンク色でまとめた欄は、口の中に入れて後に感じるおいしさ要因を表したものです。味覚で感じる味には甘味、苦味、酸味、塩味、うま味の五味があります。また、嗅覚で感じる香りは口中香と呼ばれるものです。体性感覚で感じる

食感や温度も重要です。私たちが食品を口の中に入れて時に感じるこうした感覚を、食味性、あるいは味わいと言います。

ここで皆さんに、あらかじめお配りしたキャンディを使って実験を行いたいと思います。まずパッケージを開けていただき、中のキャンディを鼻に近づけて香りを軽く吸っていただきます。恐らく、ほのかに果物の香りを感じることができると思います。この香りが、口の中に入れる前に感じる鼻先香です。

次に、指で鼻をつまみ、口の中にキャンディを入れてください。今、皆さんが鼻をつまんだ状態で食べているキャンディの感覚が

図1 食品のおいしさを決めている要因



味覚による「味」です。指を離して、鼻をパツと開放してみてください。感じ方が全く変わると思います。これが、味と口の中のキャンディが放つ香り（口中香）を同時に感じている状態です。牛肉を口の中に入れた時に感じる味わいと同様の感覚です。再び鼻をつまむと、香り（口中香）が失せて味しか感じなくなりますね。キャンディの場合だと甘酸っぱい味しか感じないと思います。世の中の多くは、この状態を「味がなくておいしくない」と表現しています。しかし、実際になくなったのは「香り（口中香）」であり、味は感じているのです。

このことから、本来の味わいやおいしさを感じるには「香り（口中香）」が重要な役割を果たしていることを忘れてはなりません。このように、味と香り（口中香）が相まって生み出されるのが「味わい」です。

キャンディのパッケージを開けて香りを嗅

いだ時に感じた匂いは「鼻先香」と呼ばれるもので、キャンディからわずかに出ている香り物質が鼻の奥にある嗅上皮と結合し、どんな果物の香りであるかを認知します。香りの情報は、以前に嗅いだ経験があれば脳に記憶されていて、キャンディを食べた時の感覚とマッチングして何を食べたかがわかる仕組みとなっています。

先ほど、鼻をつまんだ状態で食べたキャンディの感覚は、風邪を引いて鼻が詰まると食べ物がおいしくなかったり、何を食べているのかわからなかったりする状態の感覚と同じなのです。コロナに感染して何を食べてもおいしく感じないのは、味覚障害が原因の場合もありますが、嗅覚障害が原因の場合もあるかもしれません。

このように、私たちは、「鼻先香」と「口中香」の2種類の香りを感じて食べ物を食べており、どちらの香りも非常に重要な感覚です。

霜降り度合いで決まる軟らかさとジューシーさ

黒毛和牛のお肉は、霜降りの度合いによって軟らかさとジューシーさが決まります。霜降りの度合いについてはBMSで表されます。BMSとは「Beef Marbling Score」の略称で、脂肪交雑度を表します。BMSはNo.1～12までランク分けされており、数字が大きいほどサシ（脂肪交雑度）が多いことを示しています。脂肪は軟らかさやジューシーさに寄与しており、BMS2よりBMS10のほうが軟らかくジューシーです。

牛肉の等級はA5、A4、B5のように「アルファベット+数字」の形で表記されます。日本食肉格付協会が、農林水産省から承認を受けた牛枝肉取引規格に基づいて等級を決定しています。牛肉の格付けを表す中では5等級というのが最も重宝されており、皆さん「おいしい」とおっしゃいます。しかし本当にそうでしょうか。今一度考えていただきたいと思います。

図2は脂肪交雑度と等級の関係を表した表

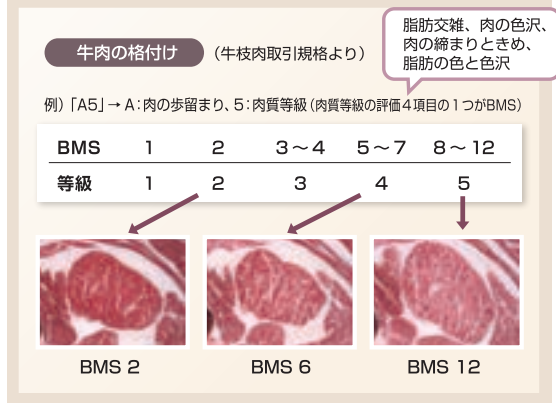
です。A5でもB5でもいいですが、この場合の5等級には脂肪交雑の度合いで見ると8～12の段階があります。霜降りは5等級には間違いありませんが、脂肪交雑度合はこんなに幅が広い。同様に4等級の脂肪交雑度合は5～7、3等級の脂肪交雑度合は3～4と、こちらも幅が広いわけです。とはいえ国産和牛肉の場合は脂肪交雑度合が高いので、恐らくほとんどの牛肉が4等級か5等級に入ってしまいます。

では、実際には4と5のどちらがおいしいのでしょうか。4と5はどこが違うのでしょうか。当然、5等級のほうが軟らかくてジューシーであることは容易に想像できます。

図3は私が日本女子大の先生と一緒に共同研究したものです。横軸が脂肪含量で、左の図の縦軸が軟らかさ、右の図の縦軸がジューシーさを表しています。2つの図を見ると、明らかに脂肪含量が多ければ軟らかくジューシーであるということがわかります。

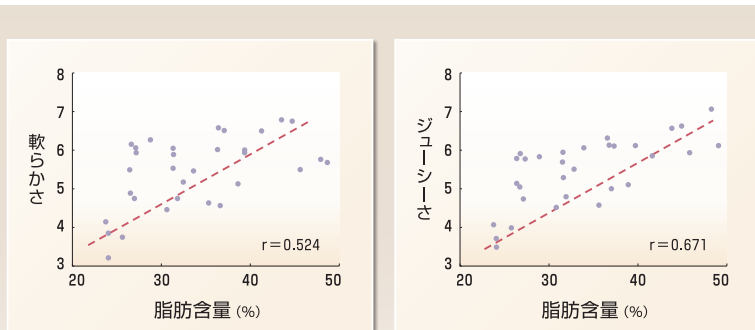
農研機構のHPに、黒毛和種、交雑種、ホ

図2 牛肉の脂肪交雑度（BMS）と等級



ルスタイン種の3種類の、品種の違いによる背脂肪融点の違いを比較したグラフが掲載されています。私が学生の頃は「牛肉の脂肪融点は約40℃でベタつく」と習いました。しかし実際の測定値は、20度前後とかなり低い。体温よりもずっと低いので、私たちが和牛肉を咀嚼して脂肪細胞が破れれば、それは液体として舌の上をツーツと流れていくような、そういう脂肪になっています。それこそが肉のジューシーさの理由です。脂肪融点の低さが、軟らかさ、舌触り、ジューシーさに大きく影響を及ぼしているわけです。

図3 和牛肉の脂質含量が軟らかさとジューシーさに及ぼす影響



- 脂肪は軟らかさやジューシーさに寄与している。

但馬牛に見る脂質含量と風味・うま味の関係

ここで但馬牛についてお話ししましょう。但馬牛とは日本の黒毛和牛の素牛で、種牛に使われる和牛です。例えば特産松阪牛は種雄が但馬の牛でなければいけないという条件が付いています。その但馬牛の脂肪に関して調べた結果、脂肪交雑は6.5だったので、等級でいくと4に相当します。融点も低い。

但馬牛の融点が低い理由としては、ミリストレイン酸、パルミトレイン酸、オレイン酸といった一価の不飽和脂肪酸の含有量が非常に多いことが挙げられます。同じく一価の不飽和脂肪酸であるモノ不飽和脂肪酸の含有量も58～59%と非常に多い。これが実は、軟らかさ、ジューシーさをもたらす大きな理由であると考えられています。

こうしたデータを踏まえ、現在、鳥取県、大分県、長野県の3つの県ではオレイン酸の含量の多さを謳ったブランド牛の認定を設け

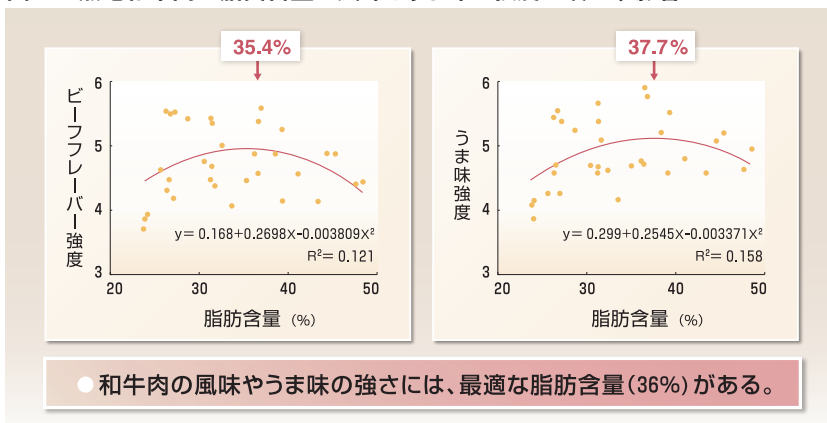
ています。オレイン酸の含量が55%以上であることを、ブランド牛の認定に用いているのです。大分県では3等級以上でオレイン酸含有率が55%のものを「豊味(うまい)の証」と銘打ったブランド牛にしています。

長野県はもう少し細かい分類を行い、オレイン酸の含有率が58%以上で脂肪交雑が5以上の4等級牛肉、オレイン酸の含有量が55%以上で脂肪交雑が7以上の4等級牛肉、オレイン酸の含有量は52%以上と多少低くても脂肪交雑が8以上の5等級牛肉、これらを「信州プレミアム牛肉」というブランド牛として売り出しています。長野県の場合はオレイン酸やモノ不飽和脂肪酸の含有量と脂肪交雑を合わせた形でブランド牛の認定をしているわけです。

では、脂質含量が多ければ風味やうま味の強度は本当に強いのでしょうか。図4は実際

46

図4 黒毛和牛肉の脂質含量が風味とうま味の強度に及ぼす影響



(Iida, F. et al, *Animal Sci. J.*, 86, 707-715 (2015) より引用)

に「黒毛和牛肉の脂質含量が風味とうま味の強度に及ぼす影響」を調べたものです。横軸が脂肪含量で、向かって左の図の縦軸はビーフフレーバー強度、右の図の縦軸がうま味強度を表しています。

脂肪含量が50%以上という非常に高いものもありますが、それが同時にビーフフレーバーやうま味強度も強いのかというと、必ずしもそうとは限りません。実際は、ビーフフレーバーは脂肪含量が35.4%のものが一番強く、うま味強度も脂肪含量が37.7%のものが一番強く感じられるということが明らかになりました。この図は、脂肪含量が高ければ高いほどビーフフレーバーやうま味を強く

感じるわけではなく、ビーフフレーバーやうま味を強く感じるためには最適な脂肪含量があるのだということを表しています。実際、私の場合も牛肉を選ぶ時は、5等級よりも4等級か3等級くらいの黒毛和牛を買うようにしています。

5等級の和牛は確かに軟らかいのですが、すごくいいお肉を買ったとしても二噛みくらいで飲み込めてしまうので、結局はタレの味わいしか味わっていない。むしろ4等級か3等級の和牛を買って赤身と脂の部分をしっかり噛むほうが、黒毛和牛独特の味わい、すなわち和牛の味と口中香を存分に味わうことができるからです。

「うま味」と「旨み(旨味)」使い分けに注意

よく、お肉のおいしさは「うま味である」といわれますが、それは本当でしょうか？ 実は「うまみ」には2つの意味があります。平仮名で書く「うま味」と、漢字で書く「旨み(旨味)」です。今から20年ほど前に、この2つは意味を区別する必要が生じました。しかし多くの人たちは、いまだにこの2つを混同し誤った使い方をしています。

2002年、人の舌の表面にうま味物質の受容体たんぱくが見つかりました。それまで、平仮名の「うま味」と漢字の「旨み(旨味)」を使い分ける必要はありませんでしたが、うま味物質の受容体たんぱくが見つかったことで、「うま味」という感覚が酸味や苦味や塩味や甘味と同じ基本味の1つになったのです。

そして、これまで「おいしい」という意味で使っていた「うまみ」は漢字の「旨み(旨味)」を使って表す。このような区別ができてしまったのです。

しかし、以前から外国の人たちは区別をしており、平仮名の「うま味」を「umami」と表現していました。例えば外国で売られているうま味調味料には、「umami」と記されています。hanabiやtsunamiと同じように、日本語の発音をそのまま使っているわけです。一方、漢字のほうの「旨み」は「deliciousness」だったり「palatability」と訳して使っています。

外国人が区別して使っているのに、日本人が混乱しているのです。NPO法人「UMAMI

INFORMATION CENTER」では、「うま味」と「旨み(旨味)」を正しく区別して使ってもらおうと、マスコミや各種機関に働きかけを

行っています。最近では、テレビ局によって「うま味」と「旨み」を使い分けるところも増えてきました。

熟成とうま味 vs 鮮度と酸化臭の兼ね合い

私は、大学生の頃からお肉のうま味物質の研究をしてまいりました。うま味物質は黒毛和牛の熟成に伴い、肉の中でどう変化していくのでしょうか。図5は、国産和牛肉の熟成に伴う遊離アミノ酸の増加のパターンを表したグラフで、と畜後4日目の肉と、と畜後40日目の肉を使い、各種遊離アミノ酸量を調べたものです。このグラフが示すとおり、グルタミン酸量は40日熟成することにより明らかに増えています。

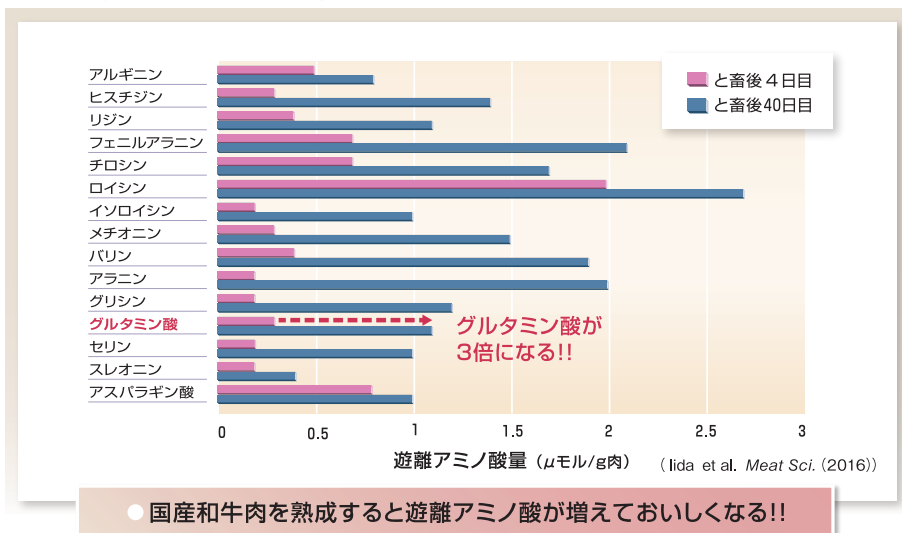
同じ黒毛和牛で、熟成に伴うイノシン酸量の変化も認められました。黒毛和牛を熟成するとATP (Adenosine Tri-Phosphate : アデ

ノシン三リン酸) が分解されてIMP (イノシン酸) が急激に増加します。その後はどんどん減少するわけですが、増加したグルタミン酸との間で「うま味の相乗効果」が生じ、熟成期間40日目くらいが官能的にはうま味の強度が最も強いということがわかりました。

このような理由から熟成には意味があるわけですが、日数を置くと肉の脂がどうしても酸化してしまいます。三重県松阪市にある和田金という有名なお肉屋さん、新鮮な牛肉を出しているとおっしゃっていました。私は、あまり長く熟成すると脂の酸化臭がつくからなのではないかと思っています。脂が酸

48

図5 国産和牛肉の熟成に伴う遊離アミノ酸の増加



化する匂いは、実はいい面もあるのですが、強すぎると非常に臭いにおいになってしまいます。

鮮度が良過ぎて脂が酸化していないと、何の肉を食べているかがわからないということもあります。魚でも、取れたてのものは鮮度がいいので匂いが全くしません。せっかくのマグロも、お刺身にしたらお醤油の味しか感じなかったということもよく聞く話です。しかし1日以上経った魚は香りがしてくるので、そこでようやく「マグロを食べているな」という感じになります。そういう意味で、香りは食べる時の最も重要な要素だといえます。

食肉科学の研究者が、ホルスタイン種を7日熟成したものを基準にして、黒毛和種を7日熟成したもの、14日熟成したもの、21日熟成したもの、4種類それぞれの肉汁を味覚センサーで測り、黒毛和牛肉のうま味を評価しました。その結果、長く熟成させたからといってホルスタインよりもうま味が強くなるわけではないことがわかりました。それどころか、むしろ苦味や雑味がホルスタイン種よりも強くなることがわかったのです。

そもそも「うま味」という味を感じることは非常に難しいと思います。なぜなら塩味や甘みと比べ、うま味の感覚は非常に弱いからです。うま味物質の効果は塩や砂糖のように直接的に表面に出てくる味ではなく、口の中で感じる香り、すなわち口中香を強める役割をしていると考えていただければと思います。

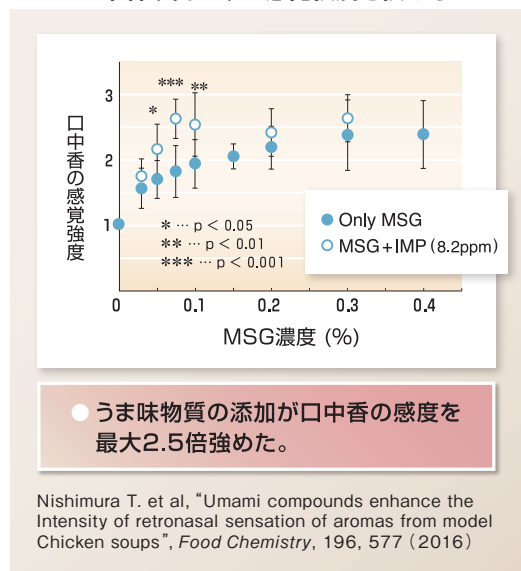
図6は各種食品にうま味物質(MSG)を添加した時のおいしさを表したデータです。チキ

ンエキスを連想させる香り成分4種類を水に溶かしてチキン水をつくり、そこにうま味物質であるグルタミン酸ナトリウム (Monosodium glutamate) を少しずつ加えていきます。イノシン酸との相乗効果を見るために、横軸にはグルタミン酸ナトリウムとイノシン酸を一緒にしたものを添加していきます。

すると、MSGを少し入れることで口中香を約2.5倍強く感じるようになります。イノシン酸があるとうま味物質の効果が高くなるので、低濃度でも十分に口中香が強くなるということがわかっています。

ここで気をつけなければならないのは、0.3%以上入ると匂いの区別ができなくなってしまうことです。なぜなら塩を入れ過ぎると塩味だけが強くなったり、砂糖を入れ過ぎると甘過ぎてしまったりしておいしくなくなる状態と同様に、うま味物質を入れすぎると

図6 うま味物質(MSG)の添加が口中香(味わい)の感覚強度を強める!



ま味が強くなりおいしくなくなってしまうからです。この状態を、私は勝手に「うま味過ぎる」と言っていますが、それはおいしくないことを意味しています。

よく、中華レストランでMSGをたくさん入れている人がいますが、それをおいしく感じるか、くどいと感じるか、そのあたりの違いだと思います。和食の料理人は、うま味物質

を味わい全体が一番おいしく感じるまで少しずつ添加していくと言っています。

ある研究者の実験データによれば、すまし汁やお味噌汁でも同様の結果が表れました。少量ならおいしいのに、入れ過ぎたらおいしくなくなりました。これが「うま味過ぎる」という現象です。適量添加がすごく大事なのです。

和牛香と呼ばれる甘い香りはBMSと強い相関があります

ここで、私が最も重要だと考える「香り」についてお話いたします。図4(p46)のとおり、私たちがおいしく感じる和牛肉の風味やうま味の強さには、最適な脂肪含量があります。和牛肉の軟らかさにウエートを置くのであれば、脂肪含量が高ければ高いほど軟らかいのでそういうお肉を選べばいい。けれども牛肉としての香りも楽しみたいなら、脂肪含量が36%くらいのお肉を選ぶと、和牛肉をよりおいしく感じるができそうです。

と畜直後の肉はアミノ酸が少なくローストした時の香りも弱いのですが、熟成肉はアミノ酸が増え、アミノ酸と糖の加熱によるメイラード反応でローストした時の香りが強くなります。熟成に伴う遊離アミノ酸の増加が、加熱香気成分を増加させるからです。

脂肪による肉の香りも重要です。甘い和牛香(ラクトンと呼ばれる化合物)は、脂肪があることによって生成されるからです。反面、熟成により脂肪の酸化が生じ、不快臭が出ることもあります。不快臭は、いい場合もあるし

悪い場合もあります。この臭いがないとおいしくないと感じる人もいるからです。ですから、このあたりがおいしさの判断の分かれ目になるかもしれません(図7)。

また、餌によっても脂肪の香りは変わってきます。例えばグラスフェッド(牧草飼育)と濃厚飼料では牛肉の香りが変わってきます。従って、自分好みの肉を選ぶ際には餌の情報も必要になってくるでしょう。

ちなみに、和牛とオーストラリア産牛肉の香り成分を比較すると、和牛のラクトン量が多いことがわかっています。ラクトンは桃やココナッツにも存在する甘い香りの成分です。もちろんラクトンだけが和牛肉の特徴になっているわけではなく、バターなどで感じるジアセチルやアセトイン、ノネナール、オクテナール、グリーンの香りなどがトータルで和牛肉の香りをつくり出しています。

人間にとって「甘い」という感覚は、おいしさ判断の上で非常に大きな要因です。黒毛和牛のおいしさの要因の1つは、やはり甘

い香りかもしれません。では、和牛香と呼ばれる甘い香りは、お肉の肉質の何と関わっているのでしょうか。いろいろな研究の結果、和牛香の強さ、軟らかさ、多汁性、脂肪のなめらかさはBMSと非常に強い相関性のあることがわかりました。オレイン酸との関係も調べましたが、相関は弱いものでした。ですから軟らかくて和牛の甘い香りを楽しむのだったら、BMSナンバーの高い和牛を選ぶといいと思います。

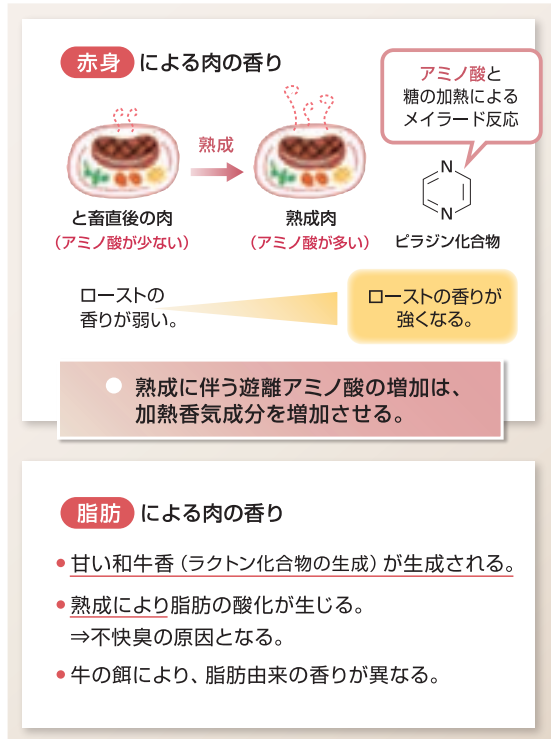
コクの研究においても、脂がいろいろな香りを保持できることがわかっています。よく、脂があるとなぜおいしいかということが話題になりますが、それは脂がいろいろな香りを保持しているからです。例えばラーメンスープの上に浮いている脂の玉も、ラーメン独特のおいしい香りがあの中にくっついていて、スープを飲むとその香りが口の中で一気に広がるからです。

では、どんな脂質でも香りを保持することができるのでしょうか。トリオレイン(中性脂肪)、コレステロール、レシチンなどといった脂質に、どのような匂い成分が結合できるかを調べてみました。

おいしい牛肉の選択方法と調理方法の提案

自分に合う「国産和牛肉のおいしさ」を探すには、一体どうしたらいいでしょう。一般に、肉のおいしさを決める要因には軟らかさ、味、香りがありますが、とはいえ、それらはあくまでも主観的なもので、おいしさの基準

図7 肉の熟成に伴う加熱香気の改善



コレステロールやレシチンにはいろいろな匂い成分が結合します。トリオレインにもカリオフィレンやメチルオイゲノールなど、一部の匂い成分が結合しています。ただ、すべての脂質が香りを保持するかというと、そうとは限らないようです。脂肪と結合しない香気成分もあり、この部分を明確にすることが今後の研究課題だと思います。

は個人によって違います。ですから自分がおいしいと思う肉の客観的な特徴を理解し、それを探して肉選びをすればいいのではないのでしょうか。

これまでお話ししたとおり、軟らかさの違

いはBMSや等級など脂肪交雑の程度で選ぶことが可能です。黒毛和牛の肉がそれ以外の和牛の肉かも目安になります。

脂が嫌だという人にはホルスタインの去勢牛でもいいし、あるいは外国産のお肉でもいいでしょう。

鮮度がいいものか、それとも熟成したものに よっても判断することができます。鮮度は私たち買う側ではなかなかわかりにくいのですが、脂の酸化臭がしてくるものは少し熟成が進み過ぎていると思えばいいでしょう。懇意のお肉屋さんで融通が利くようなら「鮮度のいいものをください」という買い方ができるかもしれません。

52

調理方法も非常に重要です。高いお肉はどのように焼いてもおいしいので、焼き方にそれほど気を付けなくてもいいかもしれません。一方、安いお肉でもおいしく食べられる調理方法があります。例えば熊本の和牛「くまもとあか牛」は赤身が多く、等級は2等級か3等級ですが、おいしい牛肉です。では、どうやって焼けばさらにおいしく食べることができるでしょうか。

肉を焼くと筋原線維たんぱく質や膜のコラーゲンは65～70℃で収縮し、硬くなりますので、硬いお肉を食べたくないのであれば、肉の芯温(肉の中心温度)をここまで上げないようにする工夫が必要になってきます。ある先生のデータによると、ステーキ肉はその種類によって焼き方を変えるのがおいしい肉に焼き上げるポイントだそうです。

ステーキ肉の場合、レアの芯温は約50℃、

ミディアムの芯温は約60℃、ウェルダンの芯温は約70℃です。従って、赤身の肉を軟らかく焼いて食べたいと思ったら、表面は当然硬くなるものの、中心はレアかミディアムに抑える。脂肪交雑が多い肉は脂があるので、ウェルダンでも十分軟らかく焼き上げることができます。

肉の種類に合わせた「たれ」の使い方も重要です。脂肪交雑の多い黒毛和牛は脂が甘い和牛香を放つので、あえて甘味をつける必要はありません。むしろ甘味を引き立たせるために少し酸味のある甘くないたれを使用すると、黒毛和牛の脂の甘さが一層引き立つので、そういうたれを使います。逆に和牛以外の国産牛肉であれば甘味が少ないので、甘いたれを使えばいいでしょう。

自分に合うおいしい和牛肉を選ぶ自信がないという方のために、GI(Geographical Indication: 地理的表示)制度をご紹介します。GI制度の対象となる特定農林水産物とは、特定の場所、地域または国を生産地とするもので、品質や社会的評価、その他の確立した特性が、上記の生産地に主として帰属されるものであることが条件です。

GI登録された牛肉は、2022年8月現在10製品あります。但馬牛、神戸ビーフ、特産松阪牛、米沢牛、前沢牛、宮崎牛、近江牛、鹿児島黒牛、くまもとあか牛、比婆牛です。くまもとあか牛だけが黒毛和種ではなく褐毛和種です。このようなGI登録された牛肉を選ぶという方法もおいしく食べられる選び方かもしれません。

皆さん、松坂牛には特産松阪牛と松阪牛があるのをご存じですか。特産松阪牛は、先ほどお話ししたように但馬牛が素牛で肥育されたものです。一方の松阪牛は必ずしも但馬の系統の血筋が入っているわけではないので、

価格も全く違うと思います。そのあたりもご注意いただき、肉の選択をしてほしいと思います。

最後に、まとめとして国産和牛肉のおいしさを楽しむためのポイントをご紹介します。

- 国産和牛肉のおいしさを決定する要因には、軟らかさ、味、香りがあり、特に軟らかさと香りが重要である。
- 自分に合う国産和牛肉を選択し、適切に調理する。
- 国産和牛肉はもちろんですが、食品は、10回以上噛んで食べる。これをしないと本来の味わいを楽しむことができません。良い肉でも、たれの味わいだけを味わって終わるのはお金の無駄です。ぜひしっかり噛んで食べていただきたいと思います。

討議の抜粋

(敬称略)

板倉 脂肪の酸化とは、具体的にどのような現象なのでしょうか。

西村 脂肪の酸化が起こりやすいのは、脂肪の構成脂肪酸のうち、リノール酸やリノレン酸あるいはお肉だとアラキドン酸など、二重結合があるものです。これらの脂肪酸が空気の中で酸化されるとアルデヒドやケトンが生じて、それが不快な臭いを出します。

島田 かつてスーパーの食肉売り場店頭では吸水パッドなどにドリップがよく見られましたが、最近のステーキ肉売り場ではほとんど見かけません。ジューシーさとドリップには何らかの関連があるのでしょうか。

西村 脂肪は、脂肪細胞内に液体状で取り込まれているので、融点が低くてもそのままでは出てきません。咀嚼することによって出てきて、私たちはジューシーさを感じることができるのです。一方の赤いドリップは、血の色ではなく、筋肉細胞内の細胞液に溶けているミオグロビンという赤い色素たんぱく質によるもので、筋肉細胞が破れて出てきた細胞液のことです。ジューシーさとドリップは全く関係がありません。

● にしむら・としひで

東京大学農学部農芸科学科卒業。農学博士。東京大学農学部助手。米国州立アリゾナ大学留学。広島大学生物生産学部助教授、教授、同大学院教授を経て、2008年日本獣医生命科学大学応用生命科学部教授就任。広島大学名誉教授。2017年より女子栄養大学栄養学部教授。日本家禽学会技術賞、日本農芸化学会英文誌優秀論文賞、日本畜産学会英文誌優秀論文賞などを受賞。著書多数。

腸は賢い！ 複雑な機能メカニズムで 必要な栄養を選別し、体に取り込むのです

東京大学名誉教授・東京農業大学客員教授

清水 誠



小腸の上皮細胞によって 食べたものを瞬時に吸収

腸、特に小腸は吸収の場として重要ですが、腸管の内側は上皮細胞という細胞の層で覆われています。この上皮細胞にはいろいろな機能を持った複数の細胞が含まれていますが、その95%くらいは吸収上皮細胞という吸収機能をつかさどる細胞です。

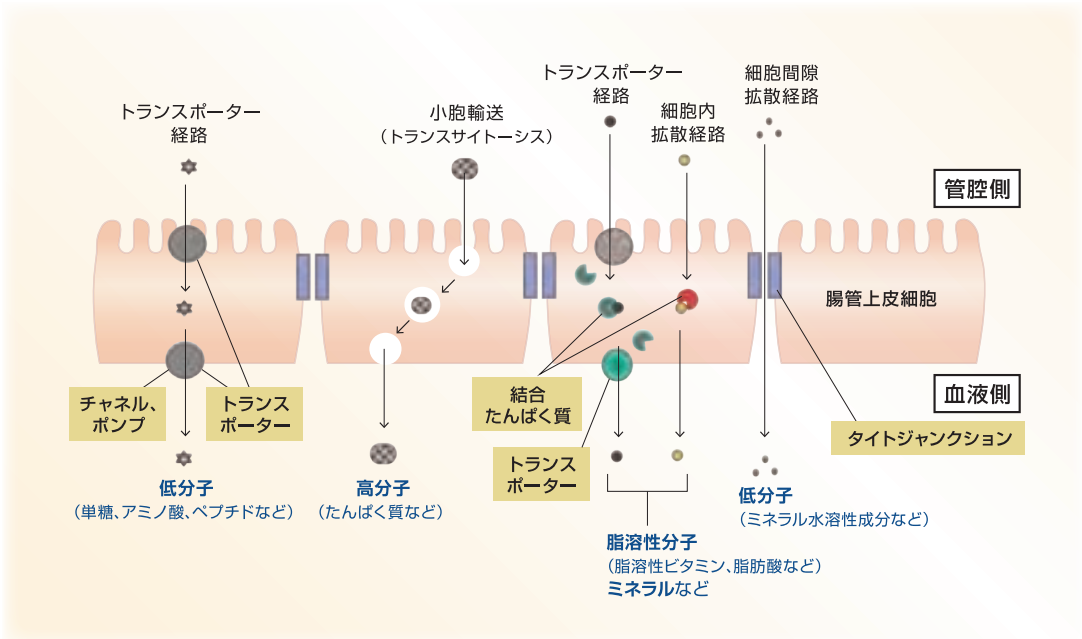
吸収上皮細胞はタイトジャンクションのような接着装置で互いにつながって腸管内部の表面を覆っています。この細胞層の表面積はヒトの場合、凹凸がありますが、合計するとテニスコート1～2面分になります。その広大な面積を使って、私たちは食べた食品中の栄養素を瞬時に吸収するというわけです。

この「食品成分が体外（腸管の中）から体内（血管のある側）に入る吸収のプロセス」に、いろいろな仕組みが関わっていることは、私が腸管の仕事を始めた30年くらい前のある程度わかっていました。

例えば、腸の上皮細胞にはトランスポータ

腸の消化・吸収・代謝の機構は非常に精緻にできており、さまざまな要因・因子によって制御されています。中でも栄養素の輸送たんぱく質であるトランスポーターは、食べたものが体に必要か否かを取捨選択するスグレモノであることが近年わかってきているそうです。食肉に豊富なたんぱく質、脂質、ビタミンなどがどのようにして腸管で吸収されるのか、清水誠先生に最新の研究成果をおうかがいしました。

図1 腸管上皮の物質輸送経路 (現在の理解)



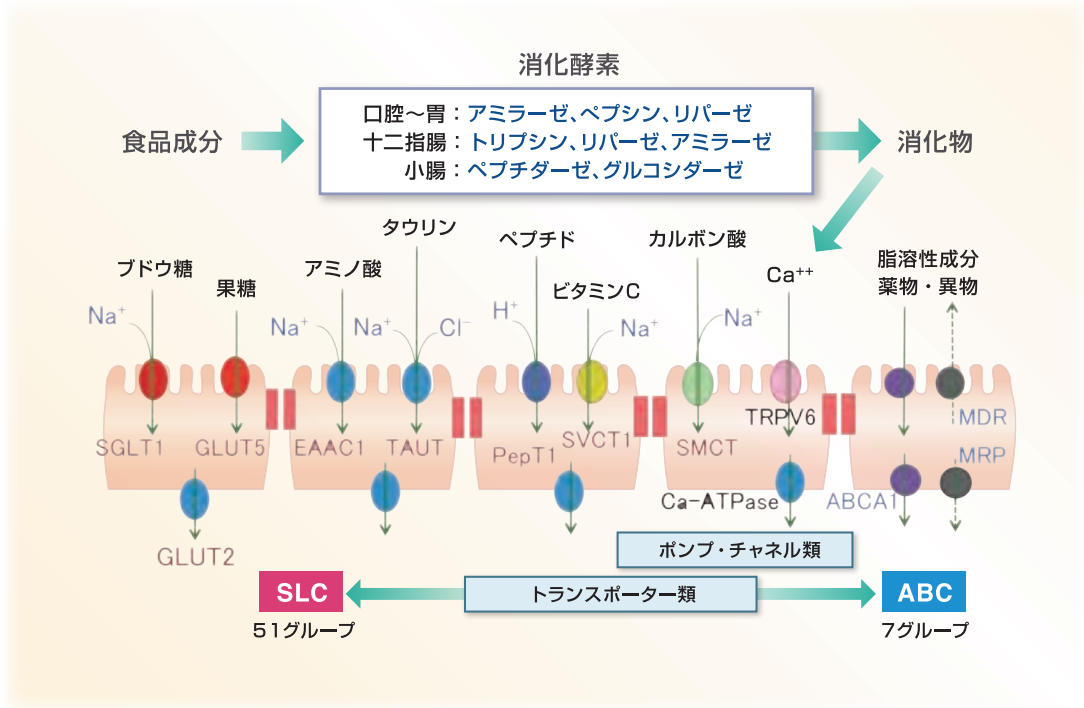
ーという輸送たんぱく質があって、糖質、アミノ酸、ペプチドなどを運ぶ。また、大きな物質であるたんぱく質を取り込む小胞輸送(トランスサイトosis)という仕組みもあることが知られていました。一方、脂溶性の分子は油脂に溶けやすいので、脂質でできている細胞膜に取り込まれやすく、吸収される効率が非常に高いともいわれていました。

その後、タイトジャンクションという、細胞と細胞をつないでいる装置の研究が進み、その構造が非常に複雑であることもわかってきます。タイトジャンクションの部分には間隙(すき間)があり、1nm(ナノメートル)以下の分子は容易にここを通過できるので、水溶性のミネラルなど低分子のものは、濃度の高い管腔内からこのすき間を抜けて体内に吸収されます。このように腸管吸収にはいくつか

の経路があること、濃度の高いほうから低いほうに移動していく「受動輸送」という拡散型のものと、トランスポーターのような道具・エネルギーを使って運ぶ「能動輸送」の大きく2つの輸送経路があることなどもわかってきました(図1)。

21世紀になると学問はさらに進化し、もう少し複雑な話が出てきます。トランスポーターにもいろいろ新しいものが見つかり、さらに、トランスポーター以外にも、チャネルやポンプなど、いろいろなたんぱく質(装置)が腸での物質輸送に関わることがわかってきました。脂溶性のものは膜に取り込みやすから吸収されやすい、という単純すぎる考え方も見直され、脂溶性成分の吸収に関わるいろいろな結合たんぱく質やトランスポーターも見つかってきました。

図2 消化吸収の流れと腸管の多様なトランスポーター



56

2種類の輸送経路を利用し必要な栄養素を必要な量だけ運ぶ

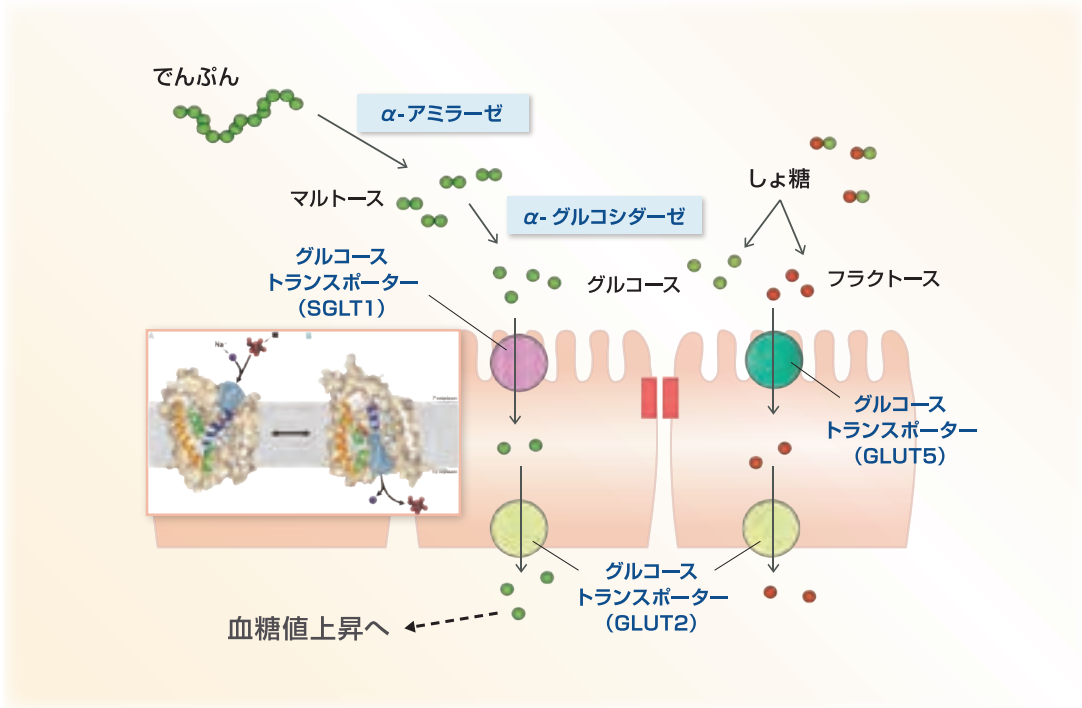
トランスポーターは非常に重要なたんぱく質で、腸管のみならずいろいろな組織・細胞に存在しています。腸管のトランスポーターにもいろいろあって、糖、アミノ酸、タウリン、ペプチド、あるいはビタミン、カルボン酸、ミネラル、場合によっては薬物などを運ぶ時にも働いています(図2)。

私自身は最初にタウリンを輸送するトランスポーター(TAUT)の研究に携わり、「TAUTがねえ」などと研究者同士で話していたのですが、トランスポーターの数がどんどん増えてきた結果、現在はトランスポーターを共通して分類する方法が主に使われています。

トランスポーターには2種類のグループがあります。「SLC(solute carrierたんぱく)」というグループは51あり、1グループに数種類のトランスポーターがあるので、全部で数百種類のトランスポーターが見つかっています。もう1つの「ABC」は、ATP Binding CassetteというATPのエネルギーを使って運ぶトランスポーターですが、こちらが7グループあって、これも1グループに何種類かあるので、全部で50種類くらいのABCトランスポーターがあります。もう頭では全部覚え切れないという状況になっています。

トランスポーターは、とても面白い機能を

図3 トランスポーターを介した糖質の吸収メカニズム



持っているたんぱく質です。糖質の吸収で説明すると、全体像がわかりやすいかもしれません(図3)。

私たちが食べるでんぷんですが、そのままでは吸収はされません。吸収されるためには、いくつかの酵素がこれを分解することが必要です。 α -アミラーゼという唾液や膵液中に含まれる酵素は、でんぷんをブドウ糖(グルコース)が2個つながったマルトースに分解します。しかし、このマルトースのような二糖類も、腸にあるトランスポーターは運ばないんですね。砂糖(しょ糖)はグルコースとフラクトースがつながった二糖類ですが、これにも腸管のトランスポーターは見向きもしません。

では、どうすれば体内に入るのかというと、二糖類が α -グルコシダーゼという酵素によって分解され、グルコースやフラクトースのような単糖になって初めて運ばれるのです。SGLT1というグルコーストランスポーターが、グルコースやガラクトースを運びます。その動きにはナトリウムが必要です。ナトリウムが結合するとSGLT1の構造が変わり、出来た隙間にグルコースがパッと入る。すると、構造がガチャンと変わり、ブドウ糖とナトリウムを細胞の中へ送り込むのです。これがトランスポーターの典型的な動きです。

一方、しょ糖は分解されるとグルコースとフラクトースになります。前述のようにグルコースはSGLT1で運ばれますが、フラクトー

スは運ばれません。フラクトースを運ぶトランスポーターは別に用意されていて、それは GLUT5 です。

このように、私たちは食べたものをかなり細かく分解して、さらにそれを選別し、必要なものを体の中に取り込むという、そういう作業を毎日やっているということですね。また、細胞内に取り込んでも、次はそれを血液中に運んでいかななくてはいけないのですが、細胞内から血液中に運ぶためにはまた別のトランスポーターがあるのです。例えば、GLUT2 はグルコースやフラクトースを運び出すトランスポーターです。

要するに、私たちは食べたものを決してそのままでは吸収できない。必ず分解し、安全なものにして、さらに必要なものを選別して運ぶという作業をしているのです。

このトランスポーターの特徴の1つは、今ご説明したように、「特異的に、選択的に輸送する」というものです。あるきちんとした一定の構造のものしか運ばないという性質があるので。

それと同時に、運ぶ量も調節します。運ぶ栄養素の濃度が低い時はそれを急速に取り込むのですが、この濃度がある程度高くなってくると、それ以上は取り込まないという吸収のパターンを示します。

一方、輸送量に制御がかからない「拡散輸送」は、濃度が高いほうから低いほうへ運びますから、直線的にどんどん吸収していきます。こうした2種類の輸送システムを利用して、私たちは必要な栄養だけ、必要な量を取り込んでいるのです。これが腸での物質吸収の真実なのです。

食肉に含まれるヘム鉄もトランスポーターによって運ばれる

トランスポーターについては、21世紀になってさらに研究が加速しています。新しいトランスポーターが発見され、また、トランスポーターの働きが、さまざまな外部要素によって制御されていることもわかってきました。ここでは食肉の栄養素に焦点を当て、食肉がほかの食材に比べて供給源として勝っている鉄や亜鉛のようなミネラル、豚肉に多いビタミンB₁、さらには脂質やコレステロール、脂溶性ビタミン、そしてたんぱく質が、どのようにして腸管吸収されるのかについてご説明します。

まずミネラルです。栄養学では「鉄は必要」、「鉄は食品からとりましょう」といわれますが、一般に「食品からの鉄の吸収率は低い」とされています。その理由は、植物性の食品中に含まれる鉄の多くが三価鉄 (Fe³⁺) なのに、腸にある鉄のトランスポーター「DMT1」は二価鉄 (Fe²⁺) でないと運ばないからです。

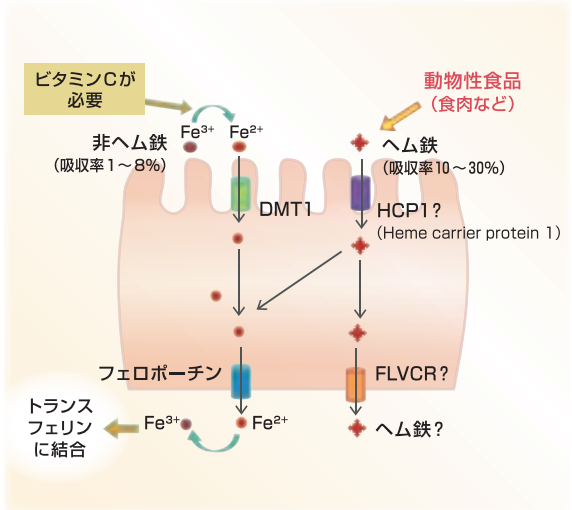
二価鉄は DMT1 を介して細胞内に入り、フェロポーチンというトランスポーターで血液側に輸送されていきます。そして血液中では三価になって、これがトランスフェリンと

いう鉄の代謝を支えるたんぱく質に結合して血液中をめぐる。あるいはフェリチンというたんぱく質に結合して体内に蓄積するという流れになっています。それで、三価鉄の多い野菜などからの鉄の吸収率は数%程度と非常に低いのです。しかしビタミンCは鉄を三価から二価に変える作用をしますから、ビタミンCの多い食事では鉄の吸収がある程度上がって、8%くらいまで行くこともあるといわれています。

食肉が鉄の供給源として非常に優れている理由は、ヘム鉄という存在です。動物性食品の中の鉄は、ヘム鉄という形で存在しており、その吸収率は10～30%と非常に高いです。ヘム鉄は「HCP1 (Heme carrier protein 1)」というたんぱく質の働きで比較的容易に細胞内に入り、中で分解されて鉄だけになると、トランスポーターのフェロポーチンを紹介して血液側に出ていくと考えられています。さらに、ヘム鉄のまま血液の中に入っていく経路もあるとされています。

鉄の吸収については、いろいろと調節されていることがわかっています。例えば、鉄が欠乏している状態の時には、ヘム鉄を運ぶ「HCP1」や二価鉄を運ぶ「DMT1」のような

図4 腸管における鉄吸収に関わるトランスポーター



トランスポーターが、腸の上皮細胞の上にたくさん出てきて、ヘム鉄や二価鉄をしきりと運びます。しかし、鉄をしっかり摂取して鉄が満ち足りている時は、これらのトランスポーター類はすべて細胞内に引き込まれて表面から姿を消すことがわかってきています。つまり、鉄分が足りている時は、あえて鉄を取り込もうとしないという合目的な動きを腸はしているのです。ただ鉄をとればよいということではなくて、あまりとり過ぎると、それはそのまま腸の中を透過して糞便に出ていくことになります。そういう調節が起こっているということです。

トランスポーターの機能を制御する食品の役割

不足すると味覚障害や免疫不全を引き起こす亜鉛についても、同じようなことがわかってきています。京都大学の神戸大朋先生の研究によると、亜鉛の「ZIP-4」というトラン

スポーターも、亜鉛が不足している時は細胞表面にたくさん出てくるけれど、亜鉛が十分だと細胞の中に引っ込むようです。

亜鉛は非常に重要な栄養素ですが、摂取し

にくいので、何とか食事の中で取り込みをアップできないかと神戸先生は考え、いろいろな食品抽出物を腸の細胞に加えて、亜鉛のトランスポーターがたくさんつくられる状況を探し出す実験も行っています。その結果、大豆の抽出物の中にZIP-4の出現を誘導する物質があることが判明しました。大豆に含まれるサポニンという成分にその活性があり、それを加えると細胞内の亜鉛レベルが高まるというデータも出されています。さらに、シナモン、桂皮、ターメリックなどの香辛料が、このトランスポーターの量を増やすことも見つけておられます。

このように、食品というのは、腸のトランスポーターの機能にさまざまな影響を及ぼしているようなのです。

豚肉に多く含まれているビタミンB₁のトランスポーターも腸にはあります。腸管上皮細胞の粘膜側には「THTR2」、血液側には「THTR1」というトランスポーターがあり、食

べたビタミンB₁はTHTR2で細胞に取り込まれ、THTR1で血液中に移動します。

しかし、いくつかの食材、例えば鯉や鮎などの淡水魚、アサリやハマグリなどの二枚貝、ワラビやゼンマイ、それからある種の腸内細菌には、チアミナーゼというビタミンB₁を分解する酵素があって、これらを一緒に食べると、せっかくのビタミンB₁が分解されてしまいます。

ところが、ニンニク、タマネギ、ニラに含まれる含硫化合物のアリシンは、ビタミンB₁に結合してアリチアミンという物質をつくります。そうすると先ほどのビタミンB₁分解酵素では分解できなくなります。

しかも、それによってビタミンB₁の脂溶性が高くなるので、腸管上皮細胞に吸収されやすくなります。ビタミンB₁が含まれる食肉などを食べる時には、ニンニクなどを一緒に食べるといいといわれるのは、こうした機序からです。

脂質の要・不要をトランスポーターが判断することも

脂質（脂肪酸、コレステロール、脂溶性ビタミンなど）は細胞膜に取り込まれやすく、単純に吸収されると思ったら大間違いで、その挙動は非常に複雑であることがわかってきました。私たちの食事に含まれる油脂のほとんどは、グリセロールに脂肪酸が3つ結合したトリグリセライドという成分です。まず、これが膵臓から分泌される消化酵素リパーゼによって分解されて、脂肪酸が1つだけ結合した2-モ

ノグリセライドと遊離した脂肪酸になります。これらが胆汁酸やリン脂質などでつくられた混合ミセルという小さい粒子に取り込まれて、小腸の内壁に近づき、上皮細胞内に取り込まれます。上皮細胞に入ったものは、改めてトリグリセライドに合成され、今度は特殊なたんぱく質と結合してカイロミクロンという大きなリポたんぱく質をつくります。これが細胞から出て行ってリンパに乗り、全身へ

と運ばれるという流れがわかってきました。

この脂肪酸の動きにしても、結合たんぱく「FABP」が細胞内を運んでいくとか、分子量の小さい中鎖脂肪酸はカイロミクロンに入らず、そのまま門脈に運ばれていくという細かい動きの違いもわかってきています。

脂溶性のビタミンAもこの混合ミセルを介して上皮細胞内へ入るのですが、この時には、「レチノールバイディングプロテイン(RBP)」という結合たんぱく質が細胞内を運んでいってカイロミクロンへ送り込みます。

コレステロールも脂溶性なので単純に腸管吸収されると思われていましたが、最近、「NPC1L1(Niemann-Pick C1-Like protein1)」というトランスポーターが見つかっています。これはビタミンEやKのような脂溶性ビタミンの吸収にも関わっていることが明らかになってきています。

アミノ酸、ペプチドはさまざまな生理機能をもたらします

肉の主成分であるたんぱく質は非常に重要な栄養素で、吸収についてかなり以前から研究が進められてきましたが、近年さらにいろいろなことがわかってきています。

たんぱく質は、前述のでんぷんと同じで、そのままでは吸収されません。まず分解してバラバラにし、アミノ酸が1個、あるいは2個か3個つながった小さいペプチド*1になると、初めてトランスポーターによって吸収されます。このアミノ酸2~3個からなるペプチドは「PEPT1」というペプチドトランスポー

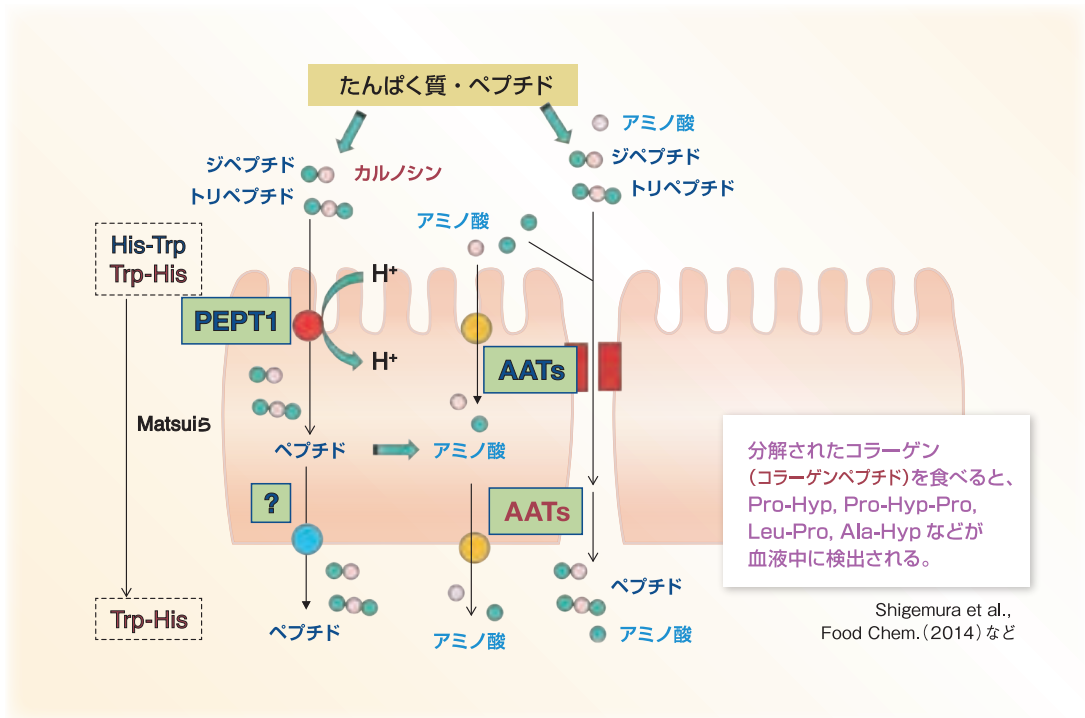
興味深いのは、私たちが食べる食品の中に含まれる動物性のコレステロールと植物性のステロールの挙動の違いです。腸管内ではどちらも同じように混合ミセルに取り込まれるのですが、腸の上皮細胞は、この植物ステロールは不要なものと判断するかのよう、「ABCG5」、「ABCG8」というトランスポーターによって、また腸管腔側に排出する(戻す)のです。つまり、ステロールの中でも、コレステロールは身体に必要なから吸収する、植物ステロールはどうも私たちにとってあまり役に立たないから排出するという分別作業をしていることもわかってきました。

コレステロールをとることが大事だからこういう仕組みがあるということを考えると、“コレステロールは体によくない”などという議論が全くナンセンスであることがわかるでしょう。

ターによって、またアミノ酸はさまざまなアミノ酸トランスポーターによって細胞に取り込まれます。取り込まれた2個のジペプチド、3個のトリペプチドは、細胞内のペプチダーゼで分解され、アミノ酸となってから血液側に輸送されます。たんぱく質の吸収の仕組みは、かつては大体こんなイメージでした。

しかし最近では、アミノ酸トランスポーターにさらに多様な種類があることがわかってきました。腸管上皮細胞の管腔側にも、血液側にも、いろいろなトランスポーターがあっ

図5 たんぱく質の分解物と腸管吸収の流れ



て、どういふアミノ酸がどのトランスポーターを通過していくのかが解明されています。

京都大学の佐藤健司先生によると、コラーゲンの分解物を食べると、私たちの血液中にハイドロキシプロリン*2を含むジペプチド、トリペプチドが検出され、これが皮膚の改善などいろいろな生理機能を持っているそうです。私たちが肉を食べると、アミノ酸だけでなく、いろいろなペプチドも腸で吸収されて、それらがいろいろな生理機能を示すことも分子レベルでわかってきています(図5)。

さて、ペプチドトランスポーターの輸送活

性は酪酸という物質によって高められるという報告があります。酪酸を多く含む食品の代表例は納豆やヨーグルトですが、私たちの腸内に棲息する一部の乳酸菌も、食べた食物繊維やオリゴ糖から酪酸を生成します。そして、これを取り込むトランスポーターも腸にあることがわかりました。腸内細菌が働いている小腸下部や大腸の上皮細胞層に、酪酸を運ぶ「アニオントランスポーター」があることが明らかになっているのです。こうして取り込まれた酪酸がペプチドトランスポーターの活性を高めると予想されます。

*1 ペプチド：たんぱく質が消化酵素で分解されて、アミノ酸が複数結合した状態のこと。たんぱく質に比べて分子量が小さく、吸収がスムーズに進むという利点がある。
*2 ハイドロキシプロリン：生体内でコラーゲン中に特異的に存在するアミノ酸の一種。

さまざまな物質の消化吸収に関して分子レベルでの解明が進む

最近、いろいろな物質が腸で吸収されることがわかってきました。最後にこれについてお話しします。トランスポーターは低分子の栄養素などの輸送に関わる装置ですが、腸には例えば抗体のようなたんぱく質を輸送するシステムもあるのです。なぜ抗体のような大きな分子を運べるのかですが、実は腸管上皮細胞の膜には、抗体 (IgG) を結合するレセプターがあって、そこに結合した IgG は細胞内を小胞に包まれた状態で運ばれていきます。そして小胞が血液側の膜に融合することによって血液側に放出される、というトランスサイトシス (小胞輸送) と名付けられた仕組みによることがわかりました。

ナノ粒子の吸収も大きなテーマになっています。数ナノメートル (nm) くらいの超微細粒子は容易に体内に入っていて、場合によっては脳まで届くといわれています。どのようにして吸収されるのでしょうか。うまく細胞膜に結合して、そのままスッと細胞内に入ってしまうのか。あるいは、普通は 1nm 以下の分子しか通れない細胞間隙が何らかの刺激で開き、数 nm くらいの粒子を通してしまうのかもしれませんが。ナノ技術が進展している今、これは重要な課題でしょう。

腸オルガノイド (生きた小さな臓器を意味する) という、腸の細胞・組織の培養法の研究も始まっています。その研究で注目された武部貴則教授 (東京医科歯科大学・横浜市立大学他) が最近行った興味深い研究を最後に紹介

しましょう。

ご存じのように、新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) で重症化した患者には、人工呼吸器や人工肺 ECMO による集中治療が行われましたが、装置が足りなくなるという事態が起きました。そうした状況で武部先生が考えついたのが「腸呼吸」です。

ドジョウが低酸素環境下で腸呼吸をすることはわかっています。それなら、哺乳類も腸呼吸ができるのではないかと考えて、豚、マウス、ラットを使って、肛門から腸に酸素ガスを入れ、血液中の酸素度を高めることができなにか検討しました。

結果だけお伝えしますが、腸粘膜の一部を剥離して肛門からガスを送り込んだ個体では生存率が明らかに高くなりました。また、酸素がよく溶けるパーフルオロカーボン (PFC) という液体に酸素を入れてお尻から注入 (浣腸) すると、明らかに個体の酸素飽和度が高まり、動脈血や心臓の酸素分圧が上昇したということです。この方法が使えれば、ECMO が間に合わない時の緊急避難的な処置法となるかもしれません。

こうした気体の吸収も腸の研究の1つのターゲットになると思い、ご紹介しました。

☆

腸の吸収メカニズムの研究が何に役立つかということ、栄養分野では、さまざまな栄養素の吸収効率の向上や過剰吸収の阻止に貢献します。食品の機能性分野では、機能性食品

成分の吸収性を高める手法を考える上で役立つでしょう。今回はお話ししませんでした。実は腸には解毒酵素系や異物排出トランスポーターがあります。これらは食品中の有害物質の体内への侵入を阻止するのに関わっているため、安全性の分野にも貢献します。その他、創薬医療分野では、薬物の吸収効率

を考える上での基盤となります。

ヒトや動物が持つ非常に精緻な腸管の吸収機能を利用して、機能性の透過膜を開発しようという工学的な発想もあります。こうした基礎研究から予想を超えた成果が生まれた例はいろいろあるので、今後の展開を楽しみにしましょう。

討議の抜粋

(敬称略)

- 柴田** 2000年代に入り、コレステロールの血中濃度とコレステロール摂取との関係で見ると、大体卵2個分くらいで飽和状態になることがわかってきました。コレステロールの吸収にかかわるトランスポーターのお話がありましたが、関連性はありますか。
- 清水** 生体の制御により上限値が定まるとすれば、コレステロール吸収トランスポーターNPC1L1が何らかの形で制御に働いているのではないかと考えられます。
- 柴田** 日本人は乳製品摂取が少なく、欧米に比べカルシウムが不足気味といわれてきましたが、何らかの改善の方法はございますか。
- 清水** カルシウムの吸収には、ポンプやトランスポーターを介した経路と、細胞間のタイトジャンクションにある隙間を拡散で通過する経路がありますが、どちらもカルシウムが水溶性(イオンの形)でないと機能しません。胃液の分泌を促進したり、腸内細菌叢を改善して腸内のpHを下げることで、カルシウムの吸収率は上昇すると考えられています。
- 柴田** コラーゲンはペプチドで吸収されるとのことですが、体内での合成はどうなっているのでしょうか。
- 清水** ペプチドで吸収されるのは確かだと思いますが、経口摂取したペプチドが体内でどのように生理機能を発揮しているかは結構微妙なところですね。体内にはコラーゲンを合成する細胞があり、周辺に遊離のペプチドが流れてくると、細胞は体内のコラーゲンが分解されたことを認識(誤解)して合成を高めるといった仕組みがあります。つまり、吸収されたペプチドが、コラーゲンを合成する誘導剤として働いている可能性はあるでしょう。

● しみず・まこと

1972年東京大学農学部農芸化学科卒業。1977年同大学大学院農学系研究科博士課程修了。農学博士。東大農学部助手、静岡県立大学助教授、東大農学部助教授を経て、1996年東大大学院農学生命科学研究科教授。2013年定年退職。同年東大大学院農学生命科学研究科特任教授(食の安全研究センター)、東京農業大学応用生物科学部教授を経て、現職。日本学術会議会員、内閣府食品安全委員会専門委員(座長)、消費者委員会専門委員、IUFOST(国際食品科学工学連合)-Japan 理事長、日本農芸化学会会長、日本食品免疫学会会長などを歴任。

食肉の栄養・機能と健康
2016



「国産食肉」に決めた! おいしさの魅力には勝てません

- **和牛肉のおいしさと「コク」**
日本獣医生命科学大学教授／広島大学名誉教授 西村敏英
- **国産牛肉、特に乳用種牛肉と輸入牛肉の違い**
農研機構 畜産研究部門 食肉品質ユニット長 佐々木啓介
- **国産食肉の優位性**
—「食肉に関する意識調査」より
亜細亜大学教授 茂木信太郎
- **日本人の食肉消費の歴史**
—食肉を食材に育て上げた162年の歩み—
京都大学名誉教授 宮崎 昭
- **「インターバル速歩＋牛乳」で暑さに強い体をつくろう**
信州大学教授 能勢 博
- **高齢者の栄養と活動**
徳島大学名誉教授／徳島健康福祉専門学校校長 武田英二

食肉の栄養・機能と健康
2017



「豚肉」礼讃! おいしくて栄養・機能たっぷり、健康・長寿に役立っています

- **霜降り豚肉の開発について**
家畜改良センター理事長 入江正和
- **食肉加工品（加工肉）**
—食肉製品・成型肉（牛脂注入肉）—
元日本食肉研究会会長／北海道大学名誉教授 服部昭仁
- **ビタミンB₁による生体防御メカニズムと健康科学への展開**
国立研究開発法人 医薬基盤・健康・栄養研究所 プロジェクトリーダー 國澤 純
- **イミダゾールジペプチドの認知機能低下回避作用について**
東京大学大学院新領域創成科学研究科准教授 久辰辰博
- **日本人の世界トップレベルの長寿は陰っていく**
桜美林大学名誉教授・招聘教授／日本応用老年学会理事長 柴田 博
- **BMIと寿命・健康寿命**
東北大学大学院医学系研究科教授 辻 一郎

食肉の栄養・機能と健康
2018



食肉パワーで目指せ! 「健康長寿」 栄養のとり方、食べ方の工夫でもっと長生き

- **食肉で健康寿命をのばす**
茨城キリスト教大学名誉教授 板倉弘重
- **食肉に含まれるコラーゲンペプチドの「アンチエイジング」効果**
京都大学大学院農学研究科教授 佐藤健司
- **時間栄養学**
国立研究開発法人 産業技術総合研究所 バイオメディカル研究部門 生物時計研究グループ長 大石勝隆
- **栄養成分、特に食肉成分と精神疾患について**
国立精神・神経医療研究センター 神経研究所疾病研究第三部長 気分障害先端治療センター長 功刀 浩
- **食事パターンと死亡リスク**
福岡女子大学国際文理学部 食・健康学科学准教授 南里明子
- **長寿の真実**
桜美林大学名誉教授・招聘教授 柴田 博

食肉の栄養・機能と健康
2019



再確認! 食肉の力 食肉の栄養・機能はあらゆるライフステージで役立っています

- **健康寿命と栄養**
—痩せ、低栄養、脂質異常症—
東京都健康長寿医療センター研究所副所長 新開省二
- **脳卒中、サルコペニアの防止と食肉摂取**
茨城キリスト教大学名誉教授 板倉弘重
- **胎内環境が糖尿病リスクを決める**
—小さく産んで大きく育てる危険性—
早稲田大学ナノ・ライフ創新研究機構招聘研究員 福岡秀興
- **食肉の栄養的価値**
日本獣医生命科学大学応用生命科学部講師 江草(雅賀) 愛
- **食品機能からの食肉脂質の評価**
—脂肪と健康的な食生活との共存を目指して—
宮崎大学農学部応用生物科学科教授 河原 聡
- **牛肉の生産・消費における日米比較**
京都大学名誉教授 宮崎 昭

食肉の栄養・機能と健康
2020



食肉でいつまでも元気! おいしくて、健康長寿に貢献しています

- **高齢者の健康概念とその測定**
桜美林大学名誉教授 柴田 博
- **健康寿命延伸に対する栄養と運動の相乗効果**
国立研究開発法人 医薬基盤・健康・栄養研究所 身体活動研究部長 宮地元彦
- **認知症と栄養**
帝京大学医学部精神神経科学講座教授 功刀 浩
- **たんぱく質の栄養**
東京大学大学院 農学生命科学研究科 特任教授 加藤久典
- **筋肉内イミダゾールジペプチドの生理作用とは?**
—KOマウスを用いた解析—
女子栄養大学教授／広島大学名誉教授 西村敏英
- **矛盾だらけのコレステロール仮説**
東海大学名誉教授 大槲陽一
- **機能性表示と食肉の成分**
東京農業大学客員教授／東京大学名誉教授 清水 誠

食肉の栄養・機能と健康
2021



健やかに生きる! 食肉は日々の健康ライフに役立っています

- **フレイル予防のための食・栄養**
女子栄養大学栄養学部 地域保健・老年学研究室教授 新開省二
- **脂肪酸と生活習慣病**
—最近の脂肪酸研究から—
茨城キリスト教大学名誉教授 板倉弘重
- **胎生期環境と骨粗鬆症**
福島県立医科大学特任教授 福岡秀興
- **腸内細菌の多様性および宿主の脳神経系への作用**
東京大学名誉教授 上野川修一
- **和牛肉のメタボローム解析**
山形県置賜総合支庁産業経済部家畜保健衛生課 技術主査 小松智彦
- **肉質を決める筋線維の構造**
麻布大学獣医学部動物応用科学科 准教授 水野谷 航

公益財団法人 日本食肉消費総合センター

〒107-0052 東京都港区赤坂 6-13-16 アジミックビル5F
ホームページ <http://www.jmi.or.jp>

ご相談・お問い合わせ

e-mail : consumer@jmi.or.jp

FAX : 03-3584-6865

資料請求 : info@jmi.or.jp



畜産情報ネットワーク <http://www.lin.gr.jp>

令和4年度 食肉情報等普及・啓発事業

後援／公益財団法人 日本食肉協議会

制作／株式会社 エディターハウス