

食肉パワーで 健康長寿



食べておいしく
栄養たっぷり！
日々の暮らしを
支えます



食肉と健康を考えるフォーラム委員会

座長

- ・ 清水 誠 東京大学名誉教授／東京農業大学客員教授

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
- ・ 品川邦汎 岩手大学名誉教授
- ・ 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
- ・ 新開省二 女子栄養大学教授
- ・ 西村敏英 広島大学名誉教授／女子栄養大学名誉教授
公益財団法人 日本食肉消費総合センター研究員
- ・ 久恒辰博 東京大学大学院新領域創成科学研究科先端生命科学専攻
細胞応答化学分野准教授
- ・ 廣岡博之 京都大学名誉教授
- ・ 福岡秀興 千葉大学予防医学センター客員教授
早稲田大学ナノ・ライフ創新研究機構招聘研究員
- ・ 南 直治郎 京都大学名誉教授
- ・ 吉川泰弘 東京大学名誉教授／岡山理科大学名誉教授
共和化工 環境微生物学研究所所長

(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、食肉に関するさまざまな情報を科学的根拠に基づいて消費者の皆様を提供しております。

日本人の食肉の消費量を見ると、平成23年には牛肉・豚肉・鶏肉合計の1人当たり消費量が魚介類を上回り、令和6年度には34kg/年となっています。

こうした食肉の摂取は、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ものと考えられます。

当センターにおきましては、従来から「食肉と健康を考えるフォーラム委員会」を開催し、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き、食肉の栄養的価値や健康とのかかわりに関するテーマについて検討・協議を進め、その内容を冊子として取りまとめてまいりました。

今年度は、食肉の需要が伸び悩む中であって生産コストの価格転嫁の議論が進められている状況を踏まえ、この機会に改めて食肉のおいしさ、保健機能、健康維持・増進への重要性を科学的根拠に基づき情報提供することに主眼を置きました。

まず、和牛肉のおいしさの特徴である「和牛香」の寄与成分並びにその生成メカニズムに関する研究成果が報告されました。

また、健康維持・増進に関しては、平均寿命に比べて伸びていない健康寿命の差を縮めていく上での食肉によるたんぱく質摂取の重要性、食肉に多く含まれる機能性成分・イミダゾールジペプチドによる高齢者の脳機能の維持・改善、老化を遅らせ健康寿命を延伸させる効果などについての大規模介入研究の成果が紹介されました。

さらに、食肉が進化史的に人類の健康と社会形成に果たしてきた役割や、高齢者のサルコペニア、フレイル予防のための有用性などについて報告されました。

本冊子の読者の皆様が、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に存じます。

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・ご後援を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。

2026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

1

和牛肉の甘い香りの生成機構

中性脂肪内で生成された遊離脂肪酸から
ラクトンへ至る反応経路の詳細な解明を目指す

神戸大学大学院農学研究科 動物資源利用化学分野准教授 上田 修司 5

2

食肉摂取の健康寿命延伸における重要性

食肉はたんぱく質をはじめ栄養の宝庫
病気予防や脳機能を維持する機能性成分も豊富です

広島大学名誉教授/女子栄養大学名誉教授
公益財団法人日本食肉消費総合センター研究員 西村 敏英 17





3

食肉摂取による高齢者の脳機能維持に関するスマートヘルス研究

デジタル技術を取り入れた食生活の改善指導で
脳機能を維持し健康長寿に結び付く食育を広めたい

東京大学大学院新領域創成科学研究科 先端生命科学専攻准教授 久恒 辰博 …………… 32

4

進化生態医学的観点から見た食肉と健康

食肉のたんぱく質は筋肉の維持・合成(サルコペニア予防)
免疫機能、ホルモン産生に極めて効率的です

桜美林大学大学院健康福祉学群教授 渡辺 修一郎 …………… 45



食肉と健康を考えるフォーラム委員会

●本冊子は、2025年9月3日
(水) および 同年9月17日
(水)、東京都港区アジミック
ビル7階会議室で開催された
「食肉と健康を考えるフォー
ラム委員会」における講演を
収録し、作成しました。

牛肉をはじめ、豚肉、鶏肉は、それぞれ固有のおいしさで、食卓に欠かせません。食肉は、たんぱく質をはじめ栄養の宝庫であると多くの方がご存じのはずです。しかし、西村敏英先生ご指摘の、日本人の平均寿命と健康寿命の差が縮まらないのは、食に関する情報が正しく受け止められていないことの反映ではないでしょうか。改めて、食肉のおいしさの所以、健康維持や脳機能の維持に力を発揮する成分が豊富であるなど、健康食材としての魅力の奥深さに焦点を当てました。人生100年時代にその益が大であると信じて……。

和牛肉のおいしさを、「霜降りの美しさ、肉の軟らかさ、脂の口溶けの良さ、特有の甘い香り」と表現する上田修司先生。所属する神戸大学六甲台キャンパスの畜産加工工場や農学部の附属の農場で化学分析をされています。「この和牛肉のおいしさはどんな成分からなり、そのおいしさの特徴は何かを科学的に分析し言語化できれば、輸出促進につながり、新しい食文化の科学的な解説ができると期待しています」と、畜産学と分子生物学を融合したハイブリッドな手法でアプローチした研究成果を語ります。

平均寿命と健康寿命の差を縮めるには「たんぱく質をはじめ食肉の栄養をいま一度見直すことです」と西村敏英先生。たんぱく質が少ない食事では筋力の低下や筋肉減少に陥り、フレイルになりやすいが、食肉の摂取で回復したという介入研究を紹介。さらに、病気予防や認知症予防効果のある機能性成分が食肉には豊富に含まれるなど、まさに縦横無尽に食肉の健康パワーを語っていただきました。

高齢者の脳機能維持に朗報です！食肉には健康増進に結び付く機能性成分があると考え、イミダゾールジペプチドというアミノ酸で構成される成分を永らく研究されてきた久恒辰博先生。最新のデジタル技術も取り入れた「食生活と脳機能維持に関する高齢者コホート研究」の結果を報告されました。「動物性たんぱく質を多く摂取している方はもちろん、和牛肉に多く含まれる脂肪酸をとっている方は、認知機能がかなり維持できていました」。

渡辺修一郎先生は、人類の進化の過程で食肉が果たしてきた役割を理解し、現代社会で食肉とどう向き合えば健康長寿につながるかを進化的視点から考察されています。欠食を避け、油脂や動物性たんぱく質をとるよう指導した有料老人ホーム入居者と地域高齢者全体を対象にした介入試験では、栄養の指標となるアルブミン値、血清HDLコレステロール値などが軒並み改善。「適切な摂取、調理法の工夫、ライフステージに応じた活用で、食肉は健康に資する重要な資源だと確信しています」。

中性脂肪内で生成された遊離脂肪酸からラクトンへ至る反応経路の詳細な解明を目指す

神戸大学大学院農学研究科 動物資源利用化学分野准教授 上田 修司



● 私たち神戸大学は他の大学とは多少異なった研究環境にあります。関西は牛肉文化圏ですので食肉センター（と畜場）が兵庫県内にたくさんあります。各食肉センターとは日頃から連絡を密に取り合い、と畜直後の和牛のサンプルを採取してもらい、そのサンプルを使って肉のおいしさに関する研究も進めています。今回は食肉のおいしさや香りについて簡単に解説した後、私たちが取り組んでいる和牛香の生成機構について、畜産学と分子生物学の両方の立場から、ハイブリッドな手法でアプローチした研究成果をお話しします。

和牛を加熱調理すると出る日本の食文化特有の甘い風味

神戸大学の研究体制で、畜産利用学（旧研究室）や動物資源利用化学は、以前はあまり目立たない研究分野でしたが、最近は和牛の海外輸出を促進する動きも活発で、話題に事欠かない分野になってきています。大学からの積極的な助言も得て、研究室同士でのコラボレーションや共同研究も増えています。今では六甲台キャンパスの畜産加工工場の研究分析を行って、農学部の附属農場では和牛（黒毛和種）の生産をしていて、生産された牛の肉の化学分析をするといった体制が確立されつつあります（図1／次ページ）。

（一社）日本畜産物輸出促進協会が発行しているパンフレットによると、「黒毛和種という和牛は、100年以上の改良の取り組みを経て完成しました。日本国内で『和牛』とは、その種の血統を守る純血種のことをいいます」と定義され、海外の食通からも日本の和牛肉は非常においしくて、希少性の高い食材として認知されています。

図 1 現在の食肉に関する研究体制



6 和牛肉のおいしさを説明すると、まず見た目の霜降りの美しさがあります。さらにその霜降りの効果による肉の軟らかさだったり、脂の口溶けの良さだったりもします。また、和牛肉は加熱調理すると特有の甘い風味が出ます。この風味自体は日本の食文化に非常に関係が深く、海外ではそういった調理方法や

和牛肉のメニューはそれほどありません。

この和牛肉のおいしさはどのような成分からなり、そのおいしさの特徴は何かなどを科学的に調べて言語化することができれば、輸出促進にも使えますし、そこから新しい調理提案や食文化の科学的な解説ができるのではないかと考えて研究に取り組んでいます。

香り成分は主に3つのメカニズムにより生成される

まず、食肉の香りです。皆さんもふだんから感じているように、加熱調理した後の香りは畜種によって全然違います。実際にそれぞれの畜種の香り成分を科学的に分析すると、その成分にかなり隔たりがあることがわかります。

この香り成分が生成されるメカニズムは、大きな化学反応としては3つ考えられます。1つはメイラード反応といわれる糖とアミノ

酸が反応して、表面が茶褐色に変わる褐変反応によってできるさまざまなアルデヒドを中心とした化合物。次が、メイラード反応でできた化合物が、さらなる加熱によるストレッカー反応で分解した低分子の化合物。そして最後が、脂質が酸化されることでできるアルデヒド類になります。

これらの大きな化学反応が同時に肉の表面

で起こり、肉に含まれている栄養成分の違いや化学反応の速度の違いによって、また、材料によって最終的に出てくる化合物が変わり、香りの質の違いを生んでいると考えられます。

実際に肉を加熱調理すると、さまざまな化合物が肉の表面から生じます。一番香りに寄与していると考えられるのがアルデヒドなどの香り成分です。ほかにも酸系のものもありますし、アルコール系のものもありますが、こういったものが複雑に複合臭として私たちは香りとして感じるすることができます。そのような化合物をそれぞれ化学分析して、どういった畜種にはどういった成分が多いのかを日頃から研究をしています。

この肉の複雑な香りについて考える時、肉にはほかの食材にはあまりない2つの特徴があります。1つは、肉は、もともと生体組織に由来した筋肉が、と畜後に低温貯蔵される

ことで食肉に変わります。その際に熟成という過程を経て、筋肉のたんぱく質が分解され、あるいは有機酸が代謝されることでさまざまな栄養成分が変化します。これは動物性の食材の特徴だと思いますが、ここで非常にバラエティに富んだ栄養成分の変化が見られます。

もう1つは、調理方法が多様なことです。そのため、肉は調理方法によって出てくる香り成分が変わります。例えば大豆ミートなどではここまでの栄養成分の変化、熟成あるいは加熱調理によって変化するとは考えられませんが、食肉の特徴として低温熟成による肉質の変化、そしてさまざまな加熱温度によって変化する香りや肉の質の変化は容易に挙げられます。このあたりに注目して掘り起こしていけば、食文化とともに食肉の価値や重要性はこれからも高まっていくと思われます。

濃度の数値と香りの感覚を統計学的に照らし合わせて成分を調べる

私たちの大学を含めいろいろな研究機関で香りの研究が行われていますが、主流となる研究について説明します。

現在は検出機器の性能も向上し、主に質量分析計が接続された機器が多く使用されていて、その質量分析の精度は飛躍的に上がっています。栄養成分や香り成分などをさまざまな機器を使って分離し、質量分析で調べる研究が、今は主流になっています。

このような分析機器を使って食材の加熱調理後の香り成分を分離し、時には分離した香

り成分を実際に嗅いで、香ばしい香り、甘い香り、果実風の香りなど、どのような特徴の成分なのか感覚的に調べます。肉の香り成分を機器にかけて分離していくと、肉の匂いとは全く関係のないような、非常にフルーティな香り成分が分離されたりもします。

複合臭は、さまざまな香りを持つ匂い物質によってつくられています。匂い物質の単品自体は化合物ですので、その化合物の特有の香りが得られます。私たちは、複合臭に含まれる個々の匂い物質の香りを記述し、機器

分析で得られた匂い物質の濃度の数値と香りの感覚を統計学的に照らし合わせて、それぞれの香りに関係している成分、化合物を調べていくことを繰り返しています。

私たちはこのような分析方法で和牛肉の甘い香りのいろいろな生成機構を研究していますが、おいしさや嗜好性は人それぞれ違うので、これからはより感覚に近いところでさまざまな食材の関係を研究できたらいいと考えて、今は、さらに新しい研究手法を模索しているところです。

和牛肉の特徴としては、繰り返しになりますが、見た目のマーブリングの美しさと味のおいしさ、香りがあります。こういった特徴をよりわかりやすい形で記述できれば、輸出を伸ばすことに役立てられるのではないかと考えています。黒毛和牛肉の海外輸出の昨今の状況は、コロナ禍で少し頭打ちになりまし

たが、今は順調に回復しています。米国への輸出は両国間の関税問題でどうなるかわかりませんが、東南アジアを中心に輸出が回復しています。

ここでちょっと脱線しますが、表1は海外輸出によって価格の下支え効果があることを示しています。海外輸出をすることで、輸出しないよりも輸出したほうが和牛の枝肉の価格が1kg当たり339円ほど高くなっているのがわかります。またロイン系の牛肉は、いま国内では非常に高価なために買い控えがありますが、高級食材を輸出することで、需要供給のバランスが改善して枝肉の価格が少し上がる、下支え効果があるということです。輸出促進はGDPにも影響がありますので、和牛肉の香りやおいしさを明文化してマーケティングやPRに生かすことは非常に重要になります。

8

表 1 牛肉輸出による価格の下支え効果

推定結果 (2023年)				
牛肉全体	ベンチマーク(基準値)	牛肉全体が輸出ゼロの場合	変化量	変化率
国内枝肉卸売価格	2445.8円/kg	2106.0円/kg	339.9円/kg	13.90%
生産量	20万9174トン	19万3026トン	1万6148トン	7.70%
生産額	5116億859万円	4065億903万円	1050億9956万円	20.50%
ロイン系	ベンチマーク(基準値)	ロイン系が輸出ゼロの場合	変化量	変化率
国内枝肉卸売価格	2445.8円/kg	2257.0円/kg	188.9円/kg	7.70%

※国内枝肉卸売価格は、農林水産省「畜産物流通統計」の東京市場のA3～A5ランクの牛肉めす・去勢について、取引成立頭数(頭)をウェイトに加重平均した価格。生産量は、牛肉めす・去勢について、農林水産省「食肉流通統計」の全国の枝肉生産量に、東京市場のA3～A5ランクの頭数が全ランクの頭数に占める割合を乗じたもの。

2023年の和牛輸出により、以下の効果を確認

- 全体で **339.9円/kg** の国内枝肉卸売価格の下支え効果
- 輸出による価格の下支えにより、**1万6148トン** の生産量が増加
- うち、**ロイン系輸出により188.9円/kg** の下支え効果を確認
- **1050億9956万円** の生産額の増加効果

真空蒸留法により牛肉から香り成分を抽出して濃縮

ここから黒毛和牛の牛肉の香りについて、私たちの研究成果を説明します。まずは質量分析計を用いてさまざまな栄養成分や香り成分などを網羅的に解析し、取れた香り成分について説明します。

そして、牛肉に含まれる成分は、筋肉や筋肉の中にある脂肪細胞、筋内脂肪の代謝によってできるものですから、そのような香り成分やその材料がどのようにして牛肉の中でつくられるのか、また、そのようなものをつくる反応の触媒活性を持つたんぱく質である酵素の探索を行っています。

まず、香り成分の分析ですが、先ほどお話したように質量分析計は非常に高性能になってきていますが、いかに高性能な分析計を用いても、香り成分をきちんと抽出できないと機器で検出することができません。

従来はさまざまな方法で香り成分が抽出されていましたが、加熱しないと香り成分ができないので、多くの場合、長時間加熱をして香り成分をたくさんつくって、それを有機溶媒で取り出すという方法が一般的でした。

私たちも、効率の良い香り分析をしようと試行錯誤していましたが、飲料メーカーに勤めている研究員の方から、ビールや発泡酒の研究では真空蒸留法という方法を用いて香り成分を分析していると聞きました。香り成分は揮発性が高いので、普通ですと加熱調理中にどんどん飛んでいってしまいますが、真空蒸留法で真空にして、さらに液体窒素で限界まで冷やした状態で香り成分を取り出すことができれば、漏れてなくなってしまう成分が減少するので、非常に揮発性の高い成分も分析できると助言をいただきました。そこで真空蒸留器で牛肉から香り成分を抽出して濃縮することにしました。

これは、実験自体はそれ程難しくないのですが、実際にやってみるとホップなど飲料系の香り分析には非常に有利ですが、脂肪分の多い牛肉を真空蒸留器にかけている際には、脂肪が析出し、洗浄に長時間を要するため、決して容易でない分析だとすぐにわかりました。こういった今までとは違う方法も試して、和牛香の香り成分を取り出しました。

揮発性の高い低分子のエステル化合物ラクトンの抽出に成功

サンプルは、今国内で流通している和牛肉です。和牛は、大雑把に分けると2種類あります。極力体重を増加させ、コスト面で利益率が高い増体系といわれる黒毛和種と、生産性自体はよくないのですが、肉質が非常に良

くておいしさの点で高く売られる、高級ブランドに多い肉質系の黒毛和種があります。私たちは、この増体系と肉質系の和牛と、そしてコントロールとして赤身系のホルスタインを用いることにしました。

分析する前に、香りの官能評価として、脂っばい、甘い、肉様の匂いがするなどの項目ごとに匂い嗅ぎ分析を行います。例えば増体系は、ちょっと肉々しい匂いとしてビーフフレーバーが有意に高くなります。一方肉質系は、ホルスタインや増体系に比べてちょっと脂っばい、あるいはちょっと甘い香りが強く出ることがわかります。また、和牛香といわれるちょっと甘い香りと脂っばい香りが合わさったような、すき焼きをした時の2日目の鍋の香り、そういった香りが非常に強く出ることがわかります。実験では同じ黒毛和種の肉で、同じ方法で調理しているのですが、肉質系と増体系でかなり香りの質が違います(図2)。

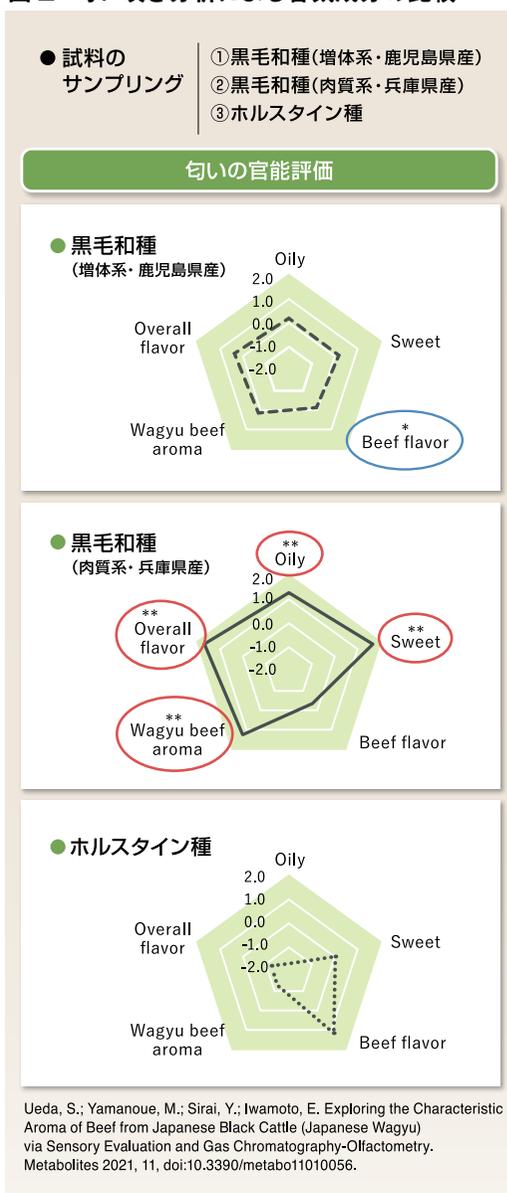
10

こういった違いのある牛肉サンプルから香り成分を抽出して質量分析にかけました。私たちは真空蒸留法で漏れなく分析したつもりでしたので、これまで検出されなかったユニークな成分など、複数の新しい成分を見つけることができました。

従来ですと揮発してなくなっていた揮発性の高い低分子のエステル化合物、ラクトンを見いだすことができました。ラクトンはもともと甘い香りのする香り成分で、ナッツやピーチ、ココナッツ、ミルクなどを感じさせるさまざまなラクトンが実際存在しています。

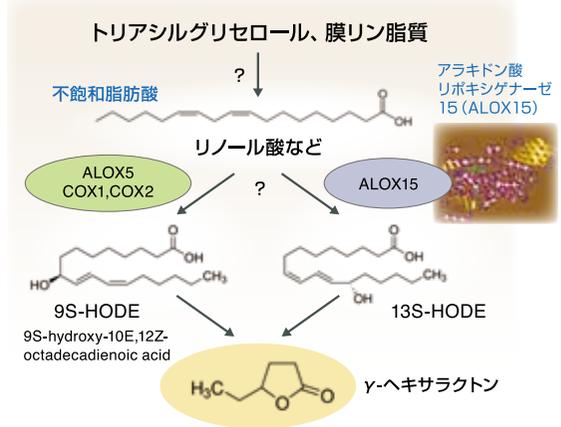
私たちはこのラクトンと調理方法とおいしさの感じ方について研究しています。低分子のラクトンは、最初に加熱調理した時に出てくる香りに寄与していることが多く、高分子のラクトンは、長時間の調理になるほど甘ったるい香りに変わってきて、30分くらい煮込

図2 匂い嗅ぎ分析による香気成分の比較



系のほうが低分子のラクトンを多く含み、高分子のラクトンはまちまちで、場合によっては差のないものも多く見られました。私たちは肉質系で特に顕著だった低分子のガンマーヘキサラクトンをおいしい和牛香の指標にできないかと考えて、牛肉中でどのように低分子のラクトン生成が起こっているのかを1つのラクトンの合成モデルとして研究することにしました(図3)。

図3 和牛の香りの生成メカニズム(仮説)



不飽和脂肪酸から熟成と酵素の働きでラクトンを生成

まず、ラクトンの材料は何か、非常に興味があったので、この分析を行ったサンプルを同時に脂質分析にかけました。牛肉中に含まれている中性脂肪トリアシルグリセリド——これは筋内脂肪の中の白い脂肪の主成分ですが、この中に含まれている脂肪酸はパルミチン酸とオレイン酸が組み合わさったものが約30%、パルミチン酸が2つ入ったオレイン酸が約10%、このようなパルミチン酸とオレイン酸をミックスしたようなトリアシルグリセリドが大半で、10種類くらいのトリアシルグリセリドで約90%の脂肪酸の組成を決めていることがわかりました。このトリアシルグリセリドが牛肉の脂質の大半を占めているのです。生成してくるラクトンと関係する脂肪酸組成を検討すると、リノール酸で少し相関が見られました。肉のおいしさに関係するといわれていたオレイン酸ではなく、リノール酸でした。

このリノール酸は、2つの二重結合を持つ

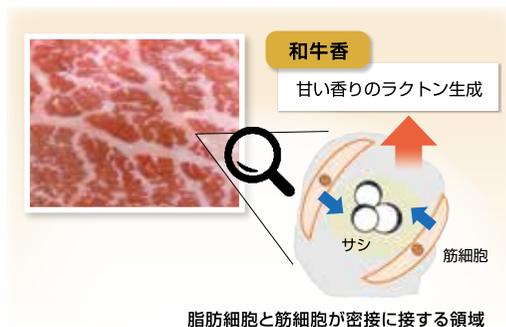
特殊な不飽和脂肪酸です。このような構造を持つ不飽和脂肪酸があると融点が低くなるので、オレイン酸同様、リノール酸が多い脂は融点が低くて軟らかい脂になります。このリノール酸と相関が見られたのがガンマーヘキサラクトンだったので、リノール酸が何かしら酸化されてラクトンを形成するのではないかと考えました。

当時リノール酸を酸化することができる酵素をいろいろ調べたところ、アラキドン酸リポキシゲナーゼ (ALOX) やシクロオキシゲナーゼ (COX) など、脂質を酸化する酵素が見つかりました。牛肉中の皮下脂肪、筋内脂肪、赤身の筋組織でそれぞれサンプルを取ってきて、たんぱく質の抗体で、それらの酵素のたんぱく質量を検討したところ、筋内脂肪と筋組織でかなり特徴的に分布していることがわかりました。

例えば、炎症にかかわる酵素であるシクロオキシゲナーゼ2 (COX2) は赤身の組織に存

在し、一方、アラキドン酸リポキシゲナーゼ15 (ALOX15)やシクロオキシゲナーゼ1 (COX1) は筋内脂肪でも検出されることがわかりました。そこで、もう一度黒毛和牛の筋組織を見てみると、和牛肉には非常に細かいサシが多く含まれています。大きなサシでは皮下脂肪と筋肉のように、あまり影響し合わないかもしれませんが、和牛肉の場合は赤身の中に専門用語で「コザシ」という細かい筋内脂肪があります。この筋内脂肪の周辺では、トリアシルグリセリドが多く含まれているサシと赤身の中

図4 黒毛和種牛肉のラクトンの前駆物質の探求



でたくさんの酸化酵素が発現していますので、ここが、と畜後の熟成肉で酵素と基質が混ざり合う場所ではないかと考えました(図4)。

熟成により増加する遊離脂肪酸はオレイン酸、リノール酸が多い

12

また少し脱線しますが、私は全国食肉事業協同組合連合会が発行する『お肉で元気!』という冊子で、消費者向けにいろいろな肉の需要を促進する取り組みを、科学的に証明するという企画に参画しています。そこで依頼を受けて交雑牛、黒毛和牛、乳用牛のそれぞれで、と畜直後から40日後まで冷蔵保管させた肉で栄養成分にどのような変化があるか、データを分析、解析する研究を行ったことがあります。

熟成するとアミノ酸が非常に増えるというのは有名な話ですが、この事業でいろいろな成分分析をしていてわかったことは、トリアシルグリセリドがリパーゼによって分解されて、牛肉中で遊離脂肪酸がたくさん蓄積しているということでした。

図5は、縦軸が総遊離脂肪酸濃度で、横軸に各畜種と熟成日数を挙げたものです。トリ

アシルグリセリドなどからリパーゼによって分解された総遊離脂肪酸は、と畜直後のホルスタイン種の肉と黒毛和牛肉で比べると、黒毛和牛肉のほうが非常に多く含まれているのがわかります。また、この総遊離脂肪酸は熟成とともに増加することがわかりました。

さらに、この遊離脂肪酸の組成をそれぞれの脂肪酸で分析したところ、非常に驚いたことに、オレイン酸、リノール酸が黒毛和牛のロイン系とウチモモの赤身系で非常に多く存在していて、一番多い遊離脂肪酸がオレイン酸で、次にパルミチン酸でした。

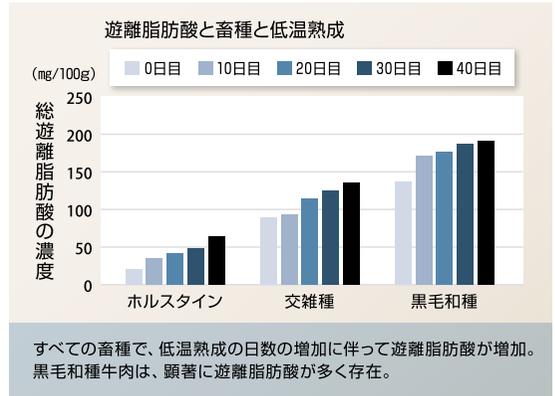
トリアシルグリセリドから分解するので、脂肪酸組成の多い順で遊離脂肪酸が多く出てきますが、和牛の場合、ロイン系でもリノール酸が最初から多く含まれていて、ウチモモについては低温熟成の影響を受けることがわかりました。また、遊離脂肪酸の組成が畜種に

よっても異なっていて、さらに部位や低温熟成の条件によって変わることもわかりました。

遊離脂肪酸はいろいろな食材において香り成分になることがわかっています。牛肉中で増加した遊離脂肪酸がさまざまな酵素や、いろいろな化学反応の基質となって香り成分になっていると思われます。

遊離脂肪酸が出てくるメカニズムを推定してみました。トリアシルグリセリドを貯蔵している筋内脂肪と周辺の赤身の筋組織で脂肪酸の組成が異なります。筋内脂肪では大量のトリアシルグリセリドがあって、中性脂肪特有のリパーゼが存在していて、ここからオレイン酸などの中性脂肪に多い遊離脂肪酸が出てきます。一方で、筋組織の場合、トリアシルグリセリドの貯蔵は少ないのですが、膜リン脂質系はたくさん貯蔵されているので、リパーゼ系が働いて、赤身のウチモモではリノール酸などが熟成とともに増加しているので

図5 遊離脂肪酸量の変化の畜種間の比較



はないかと考えました。

リノール酸は非常に酸化されやすいのですが、オレイン酸自体は酸化されにくい脂になっています。黒毛和牛肉の中に大量に含まれているオレイン酸がどのような香りやおいしさに寄与しているのかについてはわかっていないのですが、今後オレイン酸の役割を明らかにすることができれば、他の遊離脂肪酸も大量に含まれているので、和牛肉の特徴を何かしら形づくっている可能性は高いと思われます。

中性脂肪から遊離脂肪酸生成に果たすリパーゼの役割

牛肉の筋内脂肪には、トリアシルグリセリドの分解にかかわるリパーゼE やさまざまなリパーゼが含まれています。一方で、赤身系の筋組織には、別の脂肪分解酵素であるホスホリパーゼA2 (PLA2) が含まれています。トリアシルグリセリドのリパーゼには、ATGL (Adipose Triglyceride Lipase)、HS (Hormone-Sensitive Lipase)、MGLL (Monoacylglycerol Lipase)の3種類がありますが、それぞれ分解できる脂肪が異なり、中性脂肪をさまざまな

形で分解して遊離脂肪酸を生成しています。筋組織系ではPLA2が働いて遊離脂肪酸を生成しています。ともに非常に複雑なメカニズムですが、こうした働きで香りの材料になる遊離脂肪酸ができているのだと思われます。

低温貯蔵中の牛肉にリパーゼが働き、トリアシルグリセリドから遊離脂肪酸が生成されますが、この遊離脂肪酸のオレイン酸濃度やラクトン生成のメカニズムも含め、遊離脂肪酸の組成は、牛肉個体だけではなく、と畜後

の枝肉やブロック肉の管理によっても変わってくると思いますが、お肉の香りだけでなく、おいしさにも直接関係してくるのではないかと思います。

いろいろなリパーゼについて、私たちは、これがおいしさに関係する遺伝子ではないかと考えていて、遺伝子発現解析を進めています。と畜直後の枝肉からネック、胸鎖乳突筋、ブリスケットは胸筋、ラウンドは内転筋で、それぞれの筋内脂肪や筋線維タイプの違う組織を取ってきて、1つひとつ細胞に分けて機器にかけ、細胞ごとにどういう遺伝子が働いているかを分析しようと思いました。

14

1個ずつの細胞の情報を調べることができるので研究成果が期待されましたが、実際にやろうとすると、技術的、根本的なところでトラブルがあることがわかりました。そこで、それぞれの細胞から核を抽出して、その中からRNA(リボ核酸)を取って遺伝子解析をすることにしました。それぞれの筋線維や脂肪細胞で何が働いているかがわかります。

それぞれの細胞組織でどのようにリパーゼが働いているのでしょうか。筋内脂肪ではト

リアシルグリセリドを分解する酵素がたくさん存在していて、筋組織ではリパーゼが多く発現しています。また、この脂肪酸を酸化する酵素についても解析を行ったところ、アラキドン酸リポキシゲナーゼ15(ALOX15)は本来筋組織に多いものですが、筋組織の中でも赤色筋線維のType1で特にアラキドン酸リポキシゲナーゼが多いことがわかりました。このアラキドン酸リポキシゲナーゼは、元々は炎症にかかわる酵素ですが、アラキドン酸リポキシゲナーゼのType5は免疫細胞に多いことがわかりました。

リポキシゲナーゼがどのようなメカニズムでラクトンの生成に関係しているか研究しているところですが、筋線維のタイプによって風味が違うと考えられるので、脂質酸化酵素の違いが関係しているかもしれません。また、炎症に関係する分子もあるので、牛の健康状態が風味に関係する現象が1つかかわっているのかもしれませんが、これは推測に過ぎませんが、肉の状態や筋線維の状態がおいしさに関係していて、それには酵素のようなものが関係しているのかもしれません。

おいしい肉をつくるメカニズムの1つは酵素による特定の脂質酸化

私たちの仮説ですが、牛肉を低温熟成すると、その熟成過程にさまざまな生体組織の変化が起こります。たんぱく質が分解されてアミノ酸になったり、脂質も、膜リン脂質などは脆弱になって分解されやすい状態になります。こういった状態でリパーゼが働い

て、膜リン脂質を一部分解したリゾホスファチジルコリン酸に変えて遊離脂肪酸をつくっていく、こういった作用が働いているものと思われる。

こうしてできた遊離脂肪酸に脂質酸化酵素が働いて、それぞれの脂質酸化酵素は不飽和

結合を酸化しますが、どの位置を酸化するかは酵素ごとに決まっています。脂肪を放置しておく、自然に起こる酸化でランダムに起こるのですが、酵素的酸化は酵素ごとに酸化する場所がはっきりと決まっています、酵素酸化によって特定の脂質酸化が行われ、香り成分が偏ってできます。これがおいしい肉をつくるメカニズムの1つではないかと考えられます。

私たちは、リノール酸で酸化する酵素をある程度特定して、今阻害実験をしているところです。最初の段階の酵素反応までは明らかにできたのですが、脂質酸化された後にラクトンになるまでにはまだまだいろいろな化学反応を必要とします。脂質のままですと非常に大きく揮発しにくいということもあって、恐らく加熱調理中に脂肪酸が分解して断片化してしまうことも起こり得るので、その辺りについては全くわかりません。また、オレイン酸についても、オレイン酸を酸化する酵素はあまり知られていませんので、その辺りもわかりません。

最後になりますが、和牛肉の甘い香り生成の課題を列挙します。

酵素学的な課題では、リパーゼやシクロオキシゲナーゼ、アラキドン酸リポキシゲナーゼがラクトン形成の律速*段階として関与するかを明らかにすることが重要です。特に、和牛肉に多く含まれる遊離脂肪酸であるオレイン酸に由来する代謝反応は、全く不明です。オレイン酸の経路がわからない理由として、オレイン酸がヒドロキシ化されたものは非常

に不安定で、世界中どこにも、このオレイン酸の酸化物は販売されていません。標準品がないと私たちは手が出せません。オレイン酸由来のヒドロキシ脂肪酸からラクトンへ至る反応経路の詳細な解明が求められています。

調理方法と和牛香に関する課題では、生成されたラクトン前駆体が加熱調理条件（pH、温度、酸素濃度、メイラード反応生成物など）でどのように変化し、ラクトンへと変換されるのかは不明です。最適な調理方法の理解は、和牛肉の付加価値を高め、優れた和食文化の継承の発展に資することが期待されるため、調理条件と和牛香の関係の詳細を明らかにすることが期待されています。

和牛の生産にかかわる課題では、ラクトン前駆体形成に関与する酵素の遺伝的多型や品種差が不明です。今後、分子レベルではSNP解析（Single Nucleotide Polymorphism：ゲノム上の一塩基多型を網羅的に検出し、形質差や遺伝的背景との関連を明らかにするための解析）、eQTL解析（expression Quantitative Trait Locus：遺伝子発現量の個人差がどのゲノム領域の遺伝的変異によって規定されているかを同定し、発現制御機構や機能的遺伝子を解明するための解析）を通じて、ラクトン生成経路に関与する候補酵素の遺伝的多型とその発現制御の違いを明らかにすることが期待されています。

今後さらに研究を進め、これまでの和牛肉とは違う風味を持った肉をつくりだすなど、そういったことも将来的にできるようになれば需要促進につながるのではないかと個人的に考えています。

* 律速：化学で、全体の反応の速度を決める要因。

討議の抜粋

(敬称略)

- 西村** 和牛肉はオレイン酸が非常に豊富で、甘い香りはそこから出ていると考えられていますが、そのメカニズムが解明されることを期待しています。現時点でわかっていることがあれば、教えてください。
- 上田** オレイン酸もリノール酸同様、添加するとデルターラクトンのような特定のラクトンが増えてくるので、何らかの酵素が働いていると思いますが、それ以外のものがオレイン酸の酸化に働いてラクトンをつくっている可能性はありそうです。詳細は不明ですが、黒毛和種牛肉にはオレイン酸が豊富に含まれていますので、今後、そのようなオレイン酸を基質としたラクトン形成の機構が報告されることを期待しています。
- 西村** オレイン酸量と甘い香りの強さは必ずしも相関せず、むしろ脂肪交雑の高い肉のほうが甘い香りが出やすいというデータもありますが、どちらの寄与が大きいと思われるでしょうか。
- 上田** オレイン酸量と甘い香りの強さについては、不明点も多いです。例えば、飽和脂肪酸の多い海外産牛肉でも分析するとラクトン自体は検出されます。ホルスタイン牛肉のデータを見てもラクトンは生成されますので、必ずしも和牛肉だけがラクトンをつくるのではないと思います。ただ、ラクトンの組成値はかなり異なっていますので、私たち自身もまだ完全には明らかにできていません。ラクトンの組み合わせによって香りが変わってくるので、恐らく嗅覚受容体にラクトンが作用する時にラクトン自身の相互作用のようなものがあって、その香りが嗅覚受容体につかなくなったり、あるいはつきやすくなったりしているところがあるような気がします。
- 西村** 黒豚のしゃぶしゃぶ肉を食べた時、甘い香りを感じました。豚肉のほうが恐らくリノール酸が多いのでラクトンが出やすいのでしょうか。ただ、加熱し過ぎると、その甘い香りを感じなくなりました。
- 上田** リノール酸が多いので、豚肉のほうが酸化された脂肪酸は多く含まれていると思います。ただ、酵素的酸化と自然に起こる酸化はちょっと違います。有意特異的に酸化するのは酵素的酸化で、ランダムに起こるのが自然な酸化なので、それによって出てくる香り物質が酸化されていくと低分子のアルデヒドなどが出てくるので、どうしても獣臭につながりやすいと思います。
- 清水** 「甘い香り」という言葉が最初から出てきます。また、ナッツ類、ピーチ、ココナッツ、ミルクなどが香りのサンプルとして挙げられていますが、そもそも「甘い」という言葉はどういうものを意味しているのでしょうか。
- 上田** 食肉業界に官能評価のガイドラインがありまして、そこで「甘い」、「脂っぽい」などいくつかの項目が決まっています。「甘い」の細かい定義はありませんが、基準は官能評価のパネリストの中で共通しています。
- 清水** 味覚の場合は、甘み受容体が同定されています。嗅覚の場合は、香り受容体は何百もあって、味覚よりもさらに複雑な世界のようなのですが、受容体からのアプローチは進んでいるのでしょうか。
- 上田** ラクトンに対してどのような香り受容体が反応するかという研究を進めていまして、ナッツ様、ココナッツ様、ピーチ様などいろいろな香りが用いられていますが、この差を違う受容体が認識していることは、私たちもすでに確認できています。

● うえだ・しゅうじ

神戸大学大学院自然科学研究科修了後、同大学医学系博士課程第二生理学研究室に入り、大学院医学系研究科の博士課程修了、医学博士(医学)。神戸大学大学院医学研究科で21世紀COE 研究員として勤務。その後、神戸大学大学院農学研究科の助教に就任。現在は同大学院農学研究科動物資源利用化学分野の准教授。

食肉はたんぱく質をはじめ栄養の宝庫 病気予防や脳機能を維持する 機能性成分も豊富です

広島大学名誉教授／女子栄養大学名誉教授
公益財団法人日本食肉消費総合センター研究員

西村 敏英



● 平均寿命に比して、伸びていない健康寿命。この差を縮めるには、「たんぱく質をはじめ食肉の栄養をいま一度見直したい」と西村敏英先生。たんぱく質が少ない食事では筋力の低下や筋肉減少に陥り、フレイルを招きやすいが、食肉の摂取で回復したという実験をはじめ、病気予防や認知症予防効果のある機能性成分などにも言及。まさに縦横斜めから、食肉の健康パワーを語ってくださいます。

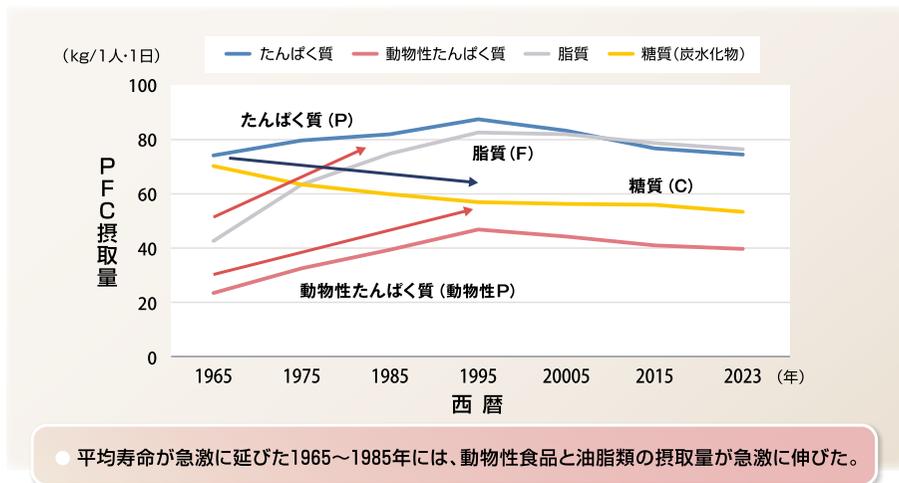
平均寿命は動物性たんぱく質と脂質の摂取量の急増で延びた

日本人の平均寿命は戦後、急速に延びました。平均寿命というのは、前年度の死亡率から、その年に生まれた人が残り何年生きられるかを推定したもので、毎年7月末に発表されます。2025年7月25日に発表された最新のデータでは、男性で81.1歳、女性で87.1歳でした。女性に関しては20年以上ずっと世界1位が続いていますが、男性は6位でした。

男女ともに平均寿命が50歳未満だった終戦直後から、男女ともに60歳に達しない低寿命期、男女ともに70歳に達しない中寿命期を経て、1970年代以降、平均寿命が大きく延びた理由としては、よく言われているのが、動物性食品のたんぱく質と脂肪の摂取量が増えたこと、それによって世界に例のない長寿国を生み出しているということです。

図1（次ページ）は、日本人の1人1年当たりのProtein（たんぱく質）、Fat（脂質）、Carbohydrate（糖質または炭水化物）、この

図1 日本人の1人・1年当たりPFC摂取量の推移



18 頭文字を取った PFC の摂取量の推移を 1965 年から最近まで見たものです。平均寿命が延びていった 1965 年から 1985 年、1995 年。この時期は、黄色の線で示した糖質の摂取量がどんどん減っています。しかし、赤で示した動物性のたんぱく質が増えています。グレーの線で示した脂質も増えています。このように、動物性のたんぱく質と脂質の摂取量が増えたことが、平均寿命の伸びを大きく押し

上げた要因です。

具体的にどのような食品の摂取量に変化があったのかを見ると、糖質の摂取量が減っているのは、穀類の摂取量の減少です。それに対して、動物性食品の肉類、卵、牛乳・乳製品、魚介類、油脂類の摂取量が増えました。日本人の平均寿命の延伸には、もちろん医療技術の進歩もありましたが、食生活ではこうしたことが重要であったとされています。

食生活の改善と適度な運動で健康寿命は維持できる

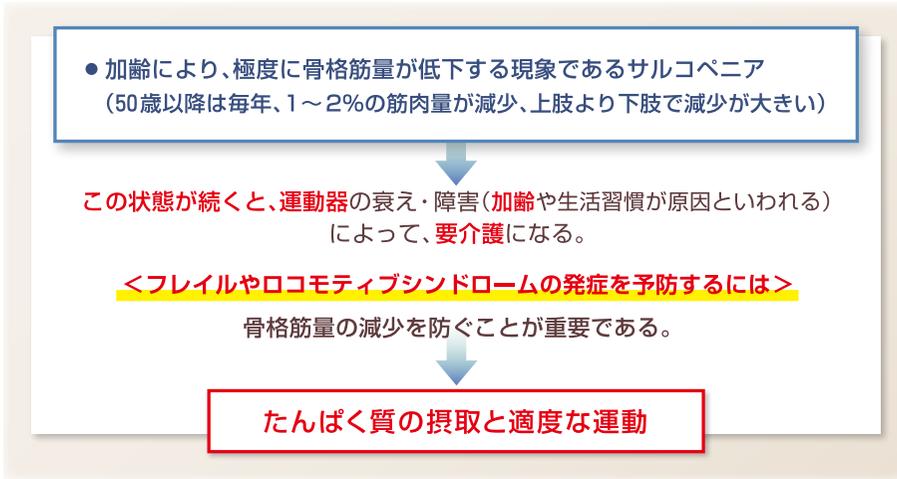
2000 年代に入っても日本人の平均寿命は延びています。しかし、冒頭で触れたように、介護を必要としない健康寿命については、平均寿命とかなり開きがあるのです。2022 年のデータでは、男性の平均寿命は 81.1 歳、女性は 87.1 歳。それに対して健康寿命は男性が 72.6 歳、女性が 75.5 歳です。その結果、平均寿命と健康寿命の差が男性で 8.5 年間、

女性で 11.6 年間もあります。

健康寿命とは、フレイルが進行し、ロコモティブシンドローム（運動器の障害によって、立つ、歩くなど移動機能が低下した状態のこと）になり、要介護になった時の年齢です。健康な状態から要介護になるまでに、フレイルという状態があります。

フレイルには、筋力や身体的機能が低下す

表1 ロコモティブシンドロームの発症リスクとその予防



るサルコペニアと呼ばれるフレイルと、認知症など脳機能低下によるフレイルがあります。また疲労感や持久力の低下も伴います。フレイルの状態は、早めに食生活を改善し、運動をすることによって健康な状態に戻すことができます。しかし、フレイル状態が長く続くと要介護になって、健康寿命が終わってしまいます。

加齢によって骨格筋量は低下します。50歳以降は筋肉量が毎年1～2%減少するといわ

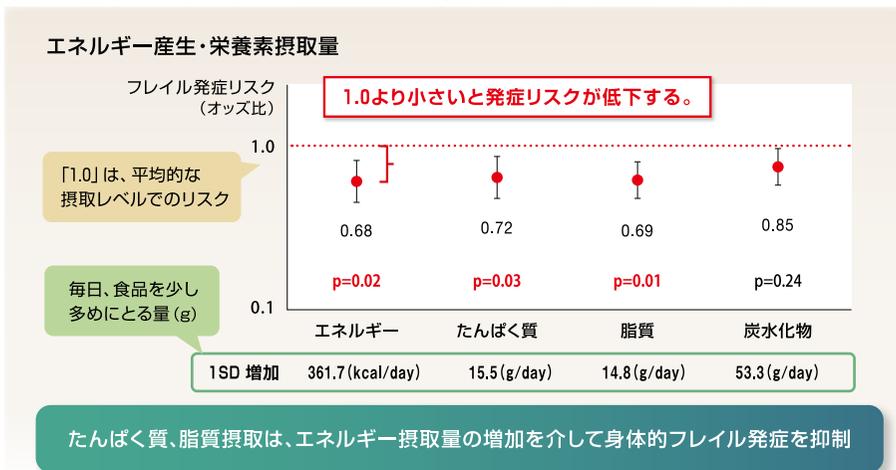
れています。何もしないとどんどん筋肉が小さくなっていき、サルコペニアになりやすくなります。特に上肢、腕より下肢、脚の筋肉が減少しやすいようです。これらのことから、運動機能の衰えや障害によって要介護になるリスク、ロコモティブシンドロームのリスクが高まります。そこで、表1に示したように、骨格筋量の減少を防ぐことが非常に重要で、良質なたんぱく質の摂取と適度な運動が推奨されています。

たんぱく質と脂質の多めの摂取でフレイル発症リスクが低下

では、どのような食生活をすれば、フレイルやロコモティブシンドロームの予防につながるのでしょうか。図2(次ページ)は、食事のエネルギーやたんぱく質、脂質、炭水化物、これら栄養素の摂取とフレイル発症リスクとの関連性を示したものです。縦軸の1.0が、平均的な摂取レベルの時のフレイルの発症リ

スクで、1.0より小さいとフレイルになりやすいことを表しています。1SD(標準偏差)は食品を少し多めにとること。すなわち、1日にエネルギーでは大体300kcalくらい、たんぱく質では15.5g、脂質では14.8g、炭水化物では53.3gと少し多めに食べた時に、フレイルの発症リスクがどう変わるかを見ています。

図2 食事のエネルギー・栄養素摂取と身体的フレイル発症リスクの関係



(Otsuka et al. J Nutr Health Aging (2019)より作成)

20

エネルギーは多めにとったほうが0.68とフレイルの発症リスクは下がります。たんぱく質も0.72、脂質も少し多めにとることで0.69まで下がりました。ただし、炭水化物だけは少し多めにとっても発症リスクは有意には低下しないことがわかりました。

このように、エネルギー摂取量を増やし、たんぱく質や脂質の摂取量を増やすことで、身体的なフレイルの発症を抑制できることが明らかになっています。炭水化物の摂取増は効果がなかったのです。

食品群別に、どういう食べ物を多めに食べると、身体的なフレイル、サルコペニアの発症リスクが下がるかを調べたデータもあります。穀類、豆類、野菜類、果実類、魚介類、肉類、卵類、乳類などを、毎日少し多めにとります。肉類なら1日当たり38.1g多めに、乳類は114.3g多めにとります。その結果、食品の中でも肉類や乳類など、動物性のたんぱく質が豊富な食材を多めにとることで、フ

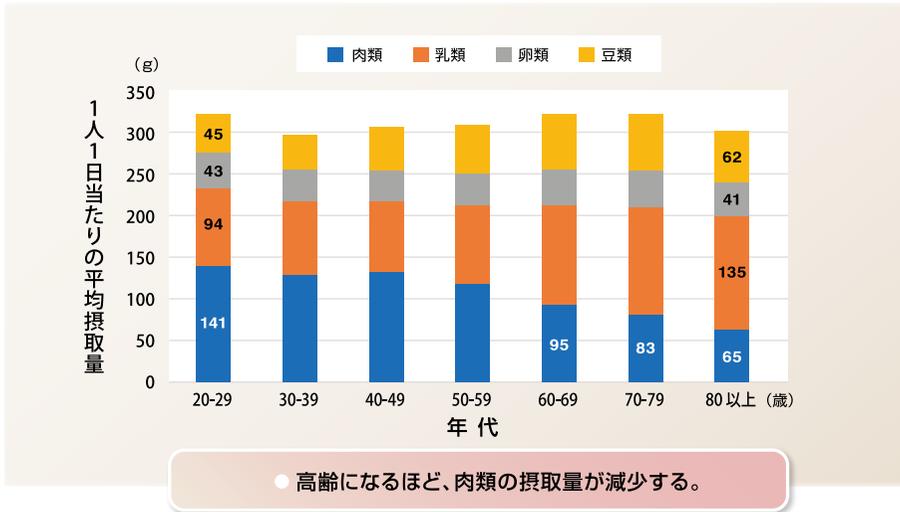
レイルの発症リスクを抑えられることが示されました。

では、日本人が実際に年代別に食品をどれくらいとっているかを調べたデータがあるので、ご紹介します。図3は最新のものです。年代別に1日当たりの肉類、乳類、卵類、豆類の摂取量の違いを示したものです。一番左が20歳代、一番右側が80歳以上です。

青いバーで示した肉類は、若い人は結構食べているのに、年齢が上がるに従って、どんどん減っています。60歳代で若い人の3分の2くらい、80歳を超えた高齢者では65gしかとっていません。若い人の半分以下しかとっていないことになります。乳類の摂取量は若い人たちより多いのですが、乳のたんぱく質量は肉と比べたらかなり低いので、フレイル予防にならない可能性があります。

戦後、平均寿命は延びてきているわけですが、これでは逆に健康状態に支障を来すのではないかと危惧しています。

図3 日本人の主な食品群別摂取量



食べ物100g当たりのたんぱく質量は食肉が断然多い

これから少し物質レベルの話をしていただきます。肉はたんぱく質の重要な供給源ですが、なぜ私たちは毎日たんぱく質をとる必要があるのかということからお話しします。

私たちの体は、1万種類以上のたんぱく質からできています。消化酵素、それから筋肉や脳や内臓すべてそうですが、その1万種類以上あるたんぱく質の約30分の1が代謝・分解されて、毎日新しいものにつくり替えられています。これが新陳代謝と呼ばれるものです。

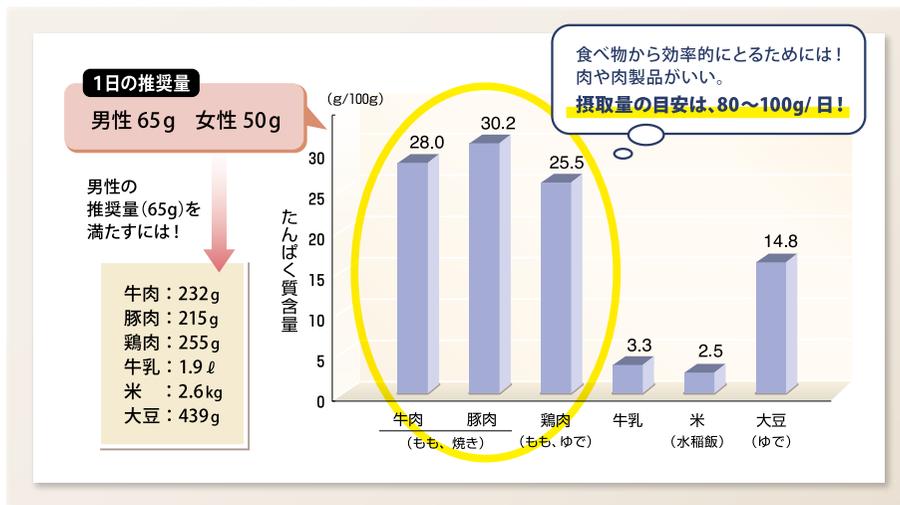
自動車だと車検の時に悪い部品だけを取り替えればそれで走ってOKになりますが、私たちの体はそうではなく、常に健康な状態でいられるように、体の中のたんぱく質が機能していても、壊しては新しいものをつくる新陳代謝をしているわけです。

新しいたんぱく質を体内でつくろうとした

時に、ジグソーパズルのように、分解したアミノ酸をそのまま組み立てればいいと思いますが、実際には、壊れたたんぱく質のアミノ酸は他のものに利用される、あるいは分解されて排せつされてしまいます。新陳代謝は、私たちが毎日食べ物からとるたんぱく質を消化して、吸収したアミノ酸を使って新しいたんぱく質をつくっています。もし私たちが食べ物から日々たんぱく質をとらなければ、新しいたんぱく質がつかれないため、生体の機能低下が起こります。

食べ物100g当たりに含まれるたんぱく質量を比較したデータがあります(図4/次ページ)。牛肉、豚肉、鶏肉は加熱するので、脂肪や水分が抜ける分、生の状態よりもたんぱく質量が増えます。そのため調理した肉のたんぱく質量は100g当たり25~30gくらいあります。それに対して牛乳は100mlで

図4 食べ物100g当たりのたんぱく質含量



(五訂増補版日本食品標準成分表より引用)

22

3.3g、お米だと炊いたご飯で2.5g、畑の肉といわれる大豆をゆでたものは14.8gで、肉類の半分くらいしかたんぱく質がとれません。

1日にどれくらいたんぱく質をとればいいのかという推奨量が文部科学省から出されています。男性で65g、女性で50gです。では、男性の推奨量65gを満たすために、今ご紹介したこれらの食品をどれくらい食べればいいのかですが、牛肉では230gくらい、豚肉では

210g、鶏肉では250gくらいです。

それに対して牛乳では1.9ℓ。ご飯だと2.6kgです。お茶碗にご飯1杯は80gくらいですから、30杯以上食べないと必要なたんぱく質がとれません。大豆でも肉の倍くらいの439gを食べなければ推奨量を満たせません。このように比較すると、食肉というのは非常に効率的にたんぱく質をとれる食材であることがわかります。

異なるたんぱく質給餌実験で牛肉だけがマウスの持久力を維持

先ほど高齢者は食肉の摂取量が少ないと言いましたが、高齢者でなくても、病気で入院していると、食欲がなくなって、食べ物を食べられないことがあります。そうすると、低栄養に陥ります。特にたんぱく質とエネルギーが十分にとれていない状態をPEM (Protein Energy Malnutrition)、たんぱく質・エネルギー栄養障害と言います。お腹だけが大きく出

ているアフリカの子どもの写真を見たことがあると思いますが、そのような症状が起きるのです。たんぱく質をしっかりとることが大切です。

異なるたんぱく質を3%という低摂取量で与えた時、生体内でどう影響するかを調べたマウスの実験があります(図5)。3%のたんぱく質量はPEM状態にはなりませんが、十

分にたんぱく質をとっているという量ではありません。与えるたんぱく質はカゼイン（牛乳やチーズなどに含まれるリンたんぱくの種類）、脱脂豚肉、脱脂牛肉、脱脂大豆の4種類です。コントロール群にはカゼインを14%与えました。

このような食餌で2週間飼育した時の、食餌摂取量、体重、血清アルブミン値、運動能力（持久力）を測定しました。さらに測定終了時に、マウスの筋肉重量や遺伝子の変化を調べています。いずれの食餌でも、摂取量に差はありませんでした。

体重については、コントロール群（カゼイン14%）は40g前後で推移し、2週間大きな違いはありません。一方、たんぱく質3%の摂取では、どの群も体重が減少していきました。

血清アルブミン値はたんぱく質が足りているかを測る指標ですが、牛肉を摂取した群のみ、コントロール群と差がありませんでした。

持久力については、回転カゴでどれだけ走るかを調べました。実験前に測り、試験食を食べ始めて1週間後、2週間後、それぞれ測定しました。1週間目は、牛肉と豚肉の摂取群は他の群より持久力が高いことがわかりました。しかし、2週間後になると、牛肉と豚肉に差が出ます。牛肉摂取群は有意に持久力が高かったのです。この理由は明確ではありませんが、1つには、牛肉に含まれている脂肪酸燃焼促進作用を持つカルニチンがかかわっている可能性が考えられます。カルニチンについては、後ほど触れさせていただきます。

2週間後に解剖して、筋肉量がどう変わっ

図5 異なるたんぱく質の低摂取量による生体内の変化



ているか、筋肉中の遺伝子がどう変化しているかも調べています。測定した筋肉は、長趾伸筋とヒラメ筋です。

長趾伸筋は足の筋肉で、速筋と呼ばれる瞬発力を要する筋肉です。牛肉たんぱく質摂取群では、コントロール群に対してだけでなく、カゼイン群、豚肉たんぱく質群、大豆たんぱく質群と比べて有意に、筋肉重量比が高いことが明らかになりました。牛肉摂取には、筋肉重量の低下を抑制する成分が含まれている可能性があります。

ヒラメ筋は遅筋と呼ばれ、持久力を必要とする筋肉です。牛肉たんぱく質摂取群の持久力は、コントロール群と比べても高い傾向にありました。また、大豆たんぱく質群と比べて、有意に高いことも明らかになりました。

牛肉を食べ続けると筋肉たんぱく質が維持できることが明らかに

では、なぜ牛肉をとった時に有意に持久力が高いのか、筋肉量が減らないのか、その理由を知るために、それぞれの筋肉のいろいろなたんぱく質の遺伝子解析を行いました。

その結果、アトロジン1 (Atrojin 1) というたんぱく質の遺伝子の発現量が、コントロール群やカゼイン群と比べて有意に低いことがわかりました。大豆たんぱく質摂取群と比べても低い傾向が出ました。

アトロジン1は、筋肉たんぱく質分解の中心的役割を担っているたんぱく質です。このたんぱく質分解系システムであるプロテアソーム系のたんぱく質分解酵素の発現が抑えられることで、アトロジン1が少なくなり、筋肉たんぱく質の分解が抑制されたからだと考えられています。たんぱく質量が少ないので分解が抑制されているわけです。低たんぱく質でも筋肉量が下がらなかった理由の1つは、アトロジン1の発現量が低かったことがかかわっていると考えられます。

同様に、マーフ1 (MURF 1) というたんぱく質の遺伝子の発現量が、牛肉摂取群は大豆たんぱく質群と比べて有意に低いことがわか

りました。マーフ1は、筋肉たんぱく質分解系で主要な役割を担っているたんぱく質の1つで、筋萎縮時に発現量が^{こうしん}昂進します。このことから、牛肉たんぱく質摂取群では、筋肉たんぱく質の分解が抑制されていると推察されました。

さらに、カテプシンB (CathepsinB) というたんぱく質の遺伝子の発現量が、コントロール群と比べて低い傾向にありました。カテプシンBは、リソソーム (真核生物が持つ細胞小器官の1つ。哺乳類では赤血球を除くすべての細胞に存在している) 系の筋肉たんぱく質分解系で主要な役割を担っているたんぱく質です。牛肉たんぱく質摂取群のカテプシンB発現量は、コントロール群より低い傾向にあることがわかりました。

以上のように、牛肉たんぱく質摂取群では、筋肉たんぱく質の分解が抑制されていると考えられます。今後は、筋肉たんぱく質の分解を抑制する物質が明らかになることが期待されます。牛肉を食べ続けることで、ある程度筋肉たんぱく質が維持できる、あるいは持久力が落ちないことが明らかになったのです。

小さくなった筋肉が動物性たんぱく質の摂取で大きく回復

もう1つ動物実験を紹介します。病気などで食事が食べられなくなり、ベッドで長く寝ていると、筋肉が小さくなっていきます。経験された方もいらっしゃるでしょう。たんぱ

く質の摂取量が少なくなると筋肉量が減ってしまいます、食べられるようになった時に、どういったたんぱく質をとったら、細く小さくなった筋肉が元どおりに回復ができるのかを

知りたくて調べた実験です。

実際にたんぱく質の摂取量を1%にすると、先ほどお話したPEM状態になります。そこで、1%のたんぱく質食の給餌でPEM状態にしたマウスに、種類の異なる20%たんぱく質を摂取させると、PEM状態が回復するかどうかを調べました。回復食に用いたたんぱく質は大豆たんぱく質、豚肉たんぱく質、カゼインです。

最初の2週間で体重は大きく減少し、PEM状態になりました。10週目から、20%の大豆たんぱく質、豚肉たんぱく質、カゼインを与えました。通常量のたんぱく質を摂取することで、動物性の豚肉たんぱく質群とカゼインたんぱく質群の体重は、コントロール群と同じにまで戻りました。しかし、大豆たんぱく質群は、2週間では十分に回復しませんでした。さらに2週間の摂取でようやく他の群と同様の体重まで回復しました。動物性と植物性のたんぱく質の違いがあると推察されます。

豚肉たんぱく質の必須アミノ酸バランスは利用効率がいい

アミノ酸組成の違いを知るために、大豆由来のたんぱく質と豚肉由来のたんぱく質の必須アミノ酸量を比較したのが図6(次ページ)です。たんぱく質1g当たりの必須アミノ酸量は、青色で示した豚肉たんぱく質ではLys(リシン)やHis(ヒスチジン)といった塩基性のアミノ酸やSAA(含硫アミノ酸)が多く、逆に、AAA(芳香族アミノ酸)とLeu(ロイシン)、Val(バリン)が少ないことがわかりました。

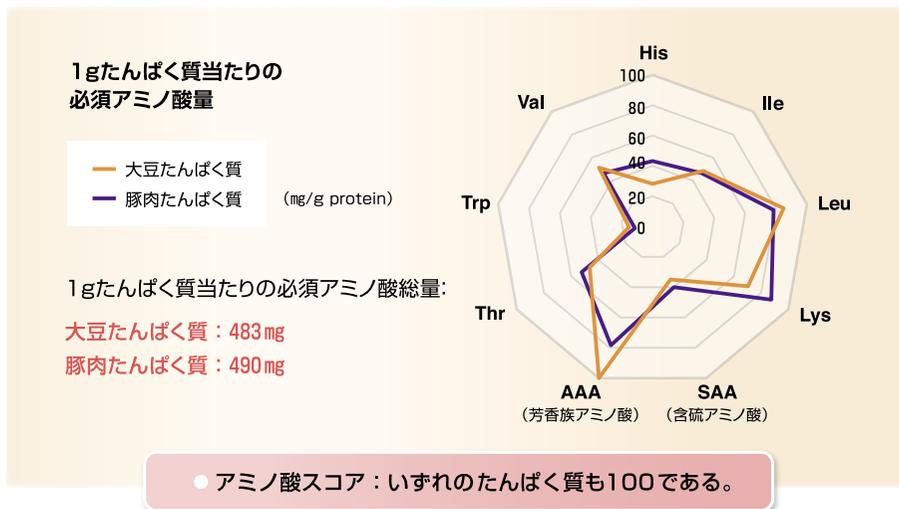
肝臓の疾病にかかわるマーカーとして、アスパラギン酸アミノトランスフェラーゼ(AST)、アラニンアミノトランスフェラーゼ(ALT)、アルカリホスファターゼ(ALP)がありますが、これら酵素の値は、肝臓の機能が低下すると上がります。高いと肝臓に疾患があるということです。低たんぱく質群のマウスでは、それぞれのマーカーの値が高くなりました。つまり、肝機能障害を起こしていると判定されました。

次に、PEM状態後、回復食を与えた時に肝機能マーカーがどのように変化したかですが、ASTとALTでは、群間で差がありませんでした。しかし、ALPについては、大豆たんぱく質群が豚肉たんぱく質群より有意に高い値を示したのです。肝機能の回復が遅かったこともわかっています。これらの差が出た原因を明確にすることはできていませんが、1つはたんぱく質のアミノ酸組成の違いがかかわっていると考えられます。

それに対して、オレンジ色で示した大豆たんぱく質では、分岐鎖アミノ酸(BCAA)であるVal、Leu、Ile(イソロイシン)や、芳香族のアミノ酸(AAA)が多いことがわかりました。

これらの違いが、ヒトを含めた動物の代謝に影響を与えている可能性が考えられます。私たちが食べ物をとる時、ヒトの生体を構成するたんぱく質のアミノ酸組成に近いものほ

図6 大豆並びに豚肉由来たんぱく質の必須アミノ酸量の比較



26

ど回復力を高めやすいのではないかと思います。豚肉由来のたんぱく質にヒスチジンやリシンが高いのは何か意味があるのではないのでしょうか。

肉はたんぱく質をとる上で非常に大切なたんぱく質源であると同時に、必須アミノ酸のバランスも非常に利用効率のいいものだと考えられます。

食肉にはカリウムが野菜と同じくらい含まれている

食肉は、良質のたんぱく質を含んでいますが、それ以外の栄養素にも特徴的な物質が含まれています。

ミネラルでは味覚障害を予防する亜鉛や、意外に思われるかもしれませんが、血圧の上昇を抑制するカリウムが肉に多く含まれています。血圧が高い人は野菜をしっかりとりましょうと、よくいわれます。野菜に多く含まれるカリウムをとることで、ナトリウムを排泄でき、血圧上昇を抑制できるとされているからです。ところが肉に含まれるカリウム量は、大豆やほうれん草などの植物食材に匹敵する量なのです。

カリウムが肉に多く含まれていて血圧上昇抑制にかかわっていることは重要な知見であり、一般の方にお知らせしたいと強く思っています。

鉄分は赤い肉に多いですが、特に牛肉には消化管からの吸収率が高いヘム鉄が豊富に含まれており、貧血予防になります。

また、動物種の違いで、筋肉に含まれるビタミンの種類も違います。豚肉にはビタミンB₁が、鶏肉にはビタミンAが含まれています。こうした違いを知って、牛肉、豚肉、鶏肉をバランス良く食べることが健康維持に最も大切なことだと思います。

脳の機能維持などにつながる機能性成分も豊富

食肉には栄養素以外に、病気を予防する機能性成分も豊富に含まれており、研究成果が蓄積されています。動物性たんぱく質に多く含まれる必須アミノ酸のトリプトファンは、セロトニンの前駆体になり、脳の機能維持に重要な成分です。また、ロイシンも含まれており、筋肉の増強・分解抑制効果があるので、運動すれば、筋肉が増えて太りにくい体づくりができると考えられています。

あとで詳しく触れますが、一価不飽和脂肪酸のオレイン酸が牛肉には多いのですが、これはLDLコレステロールを低下させる作用があり、動脈硬化の予防に役立つとされています。

また、すべての肉に共通するものとして、肉を食べた時にできるペプチド(アミノ酸が2個以上結合した物質の総称で、さまざまな生理活性や抗生物質の役割を持つ)に、抗酸化作用があることがわかっています。

さらに、畜種によってそれぞれ特徴のある機能性成分があります。牛肉では、脂肪燃焼促進作用があるカルニチンや、先ほど触れた貧血予防効果があるヘム鉄が豊富に含まれています。豚肉にはビタミンB₁、鶏肉にはカルノシン、アンセリンといったイミダゾールジペプチド(2個のアミノ酸が結合した成分)が含まれており、抗酸化作用や脳機能低下を抑制する作用が期待されています。

エネルギー産生を活性化させるカルニチンは高齢者にこそ必要

いま触れたカルニチンは、動物の筋肉に多く含まれており、私たちの体の中でも、肝臓で必須アミノ酸であるリシンとメチオニンから生合成される物質です。

ただし、高齢になると生合成量が低下するので、食肉から積極的にとってほしい栄養素です。食肉では牛肉、豚肉、鶏肉に含まれており、特に牛肉に多く含まれています。野菜には全く、大豆、卵にもほとんど含まれていません。

カルニチンがどのような働きをしているかというと、脂肪の燃焼を促進させ、エネルギー産生を活性化してくれます。運動などでエ

ネルギーが必要になった時、リパーゼ(脂質の分解や吸収にかかわる酵素)が脂肪を分解し、脂肪酸を生成します。脂肪酸からエネルギーをつくり出すには、ミトコンドリア(真核細胞の中にある細胞小器官でエネルギー産生や熱産生などを担っている)に送らなければなりませんが、その際に必要な物質がカルニチンで、ミトコンドリアに入る通行手形のような役割を果たしています。

このようにカルニチンはエネルギー代謝に深くかかわる重要な栄養素で、欠乏するとQOL(生活の質)の低下をきたします。この脂肪酸を運搬する働きは、他の栄養素では代替

できないため、しっかりと補う必要があるといわれています。

先ほどのラットの実験で、少量でも牛肉を

食べると持久力が落ちないのは、もしかしたら牛肉にカルニチンが多いことと関係があるのではないかと考えられます。

牛肉に多いオレイン酸はLDLコレステロール値を下げる

黒毛和牛肉にはオレイン酸が多く含まれており、そのおいしさや健康機能が注目されていますが、すでに1980年代に、地中海食が健康にいいのは、料理に使われるオリーブオイルにオレイン酸が多く含まれており、それによってLDLコレステロールを下げるができることと文献に載っています。

オレイン酸の病気の予防効果ですが、従来はリノール酸や α -リノレン酸に血中のLDL

コレステロールを低下させる働きがあるとされていましたが、オレイン酸にもそうした効果があることがわかってきています。

もう1つ大事なことは、HDLコレステロールはLDLコレステロールが溜まらないようにするための非常に重要な役割をしていますが、オレイン酸はHDLコレステロールを下げず、LDLコレステロールを下げるので、健康維持にいいとされているのです。

28

食肉由来の生理活性ペプチドには抗酸化作用がある

食肉にはたんぱく質が非常に多く含まれているという話をしました。私たちが食肉を食べると、消化されてペプチドが体内にできます。それらに、次のような病気を予防する効果があることが期待されています。

- 血圧上昇抑制ペプチド
- カルシウム吸収促進ペプチド
- 抗酸化ペプチド
- 中性脂肪上昇抑制ペプチド
- 血中コレステロール低下ペプチド

この5つの機能を持つペプチドがありますが、ここでは抗酸化作用に絞ってお話します。

私たちの健康を害する大きな要因にストレスがあります。これが体内で活性酸素やラジカルを生成し、生体の組織などにダメージを与え、病気を引き起こすのです。例えば細胞をやっつけてがん細胞にしてしまうとか、たんぱく質にアタックしてたんぱく質を分解し、機能性を低下させる、あるいは血管の中に酸化物質ができるとLDLコレステロールが酸化されて、それが動脈硬化の原因になるなどです。

これら酸化物質ができないようにする、もしくはできてもすぐに除去できれば、生体へのダメージを防ぐことができます。

私はストレス性胃潰瘍に着目し、ペプチドの摂取がそれを抑制できる可能性を調べまし

た。ストレスを感じると、胃壁で次亜塩素酸ラジカルが生じると同時に、胃酸が過剰に分泌されてストレス性胃潰瘍になってしまいます。しかし、ペプチドを用いることで、潰瘍形成を和らげられるのではないかと考えたのです。

具体的には、7週齢のオスのラットを23℃のお湯につけます。人間にとっては全く平気な温度ですが、ラットにはすごくストレスがかかって胃潰瘍を起こします。ラットの1つのグループは何もしないでそのままお湯につけて、潰瘍を起こさせました。別のグループは、豚筋肉たんぱく質をパパイインというたんぱく質分解酵素で分解したペプチドを1ラット当たり100mg投与しました。

ラットをお湯につける前に1回目の投与、お湯につけて1時間半後に2回目を投与し、また水槽に浸潤させて、その1時間後にお腹を開腹して潰瘍形成の様子を調べました。

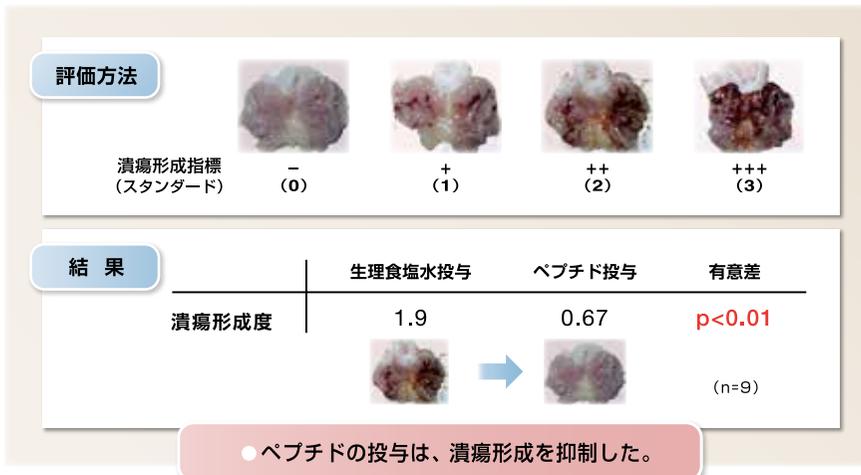
図7は、潰瘍の形成度合いを評価するスタ

ンダードです。ストレスなしだと(0)のようにきれいな胃壁ですが、ストレスがだんだんかかり、一番ストレスがかかった+++ (3)になると、中に潰瘍ができて出血が起こっています。こうした潰瘍形成指標をつくり評価しました。ペプチドが入っていない生理食塩水だけを投与すると潰瘍形成度が1.9ですが、ペプチドを投与したラットでは0.67で、ほとんど潰瘍形成が起こっていない状態でした。

この結果から、たとえストレスがかかったとしても、たんぱく質やペプチドをとることで酸化物質を除去してしまえるのではないかと考えています。

その意味では、酸化を抑制する抗酸化物質、例えばお茶やワインに含まれるポリフェノールやビタミンC、ビタミンE、それから鶏肉のカルノシンやアンセリンなども、摂取することによって酸化物質を取り除けば、こうしたストレス性の病気の予防につながります。非常に大事なことだと思っています。

図7 ペプチドによるストレス性胃潰瘍抑制作用



「博多地どり」が認知症予防効果で機能性表示食品に

最近、肉の機能性についてかなり注目されるようになりました。先ほどお話しした鶏のむね肉に特にたくさん含まれているカルノシン、アンセリンというイミダゾールジペプチドについて、その効果を示す量が報告されました。抗疲労効果は400mg/日で、鶏むね肉では50gを食べることで満たすことができます。

高齢者の認知症予防効果では、1000mg/日を食べ続けると改善されることが知られています。地鶏のむね肉を食べる場合には、100gの摂取が必要ですが、この量であれば、毎日の摂取は可能ですね。

2019年ですから5年ほど前になりますが、このような条件を満たす鶏肉の機能性表示食

品が受理されました。福岡県の「博多地どりむね肉」です。鶏肉に関しての第1号になります。地鶏のむね肉にはアンセリン、カルノシンが多いことがわかっています。鶏肉は、健康維持に優れた食材といえるでしょう。

豚肉では「枝豚肉氷温熟成氷室豚^{ひむろ} 14日熟成」という生鮮食品が機能性表示食品として受理されました。イミダゾールジペプチドが40g当たり200mg含まれており、一過性の疲労感を軽減する機能があると報告されています。また、この肉を200g食べるとイミダゾールジペプチド1000mgをとれることになり、これを食べ続ければ中高年の加齢に伴って低下する記憶力を維持できると報告されています。



最後にまとめます。まず食肉の機能です。食肉はおいしいのが当たり前とされていますが、栄養的にも非常に優れていますし、病気の予防効果もあります。ただ、おいしいと食べ過ぎてしまってよくないので、適量をとることによって、特に高齢の方は現在、食肉の摂取量が少ないのですが、必要量をしっかり食べて、フレイル予防に努めていただきたい

と思います。

肉の話をする、肉ばかりと思われる方もおいででしょうが、一番いいのは「バランスのよい食生活」、これに尽きると私は思っています。食肉についても、牛肉だけではなく、豚肉、鶏肉をバランスよくとることが、健康維持につながるの思いをますます強くしています。

討議の抜粋

(敬称略)

- 品川** 異なったたんぱく質を給餌する動物実験では、牛肉、豚肉、大豆、カゼインが用いられていましたが、魚は比較の対象にはならないのでしょうか。
- 西村** 比較対象になると思います。魚肉のアミノ酸組成は食肉のものとは多少違うかもしれませんが、同じ筋原線維たんぱく質ですので似ていると思います。また、魚を100g食べれば、たんぱく質は20g前後摂取できますので、畜肉より若干少ないだけだと思います。
- 吉川** 魚類をはじめとする海生動物は、たんぱく質組成としては同じかもしれませんが、陸生の動物たちに比べると、プランクトンの先から食べ上がってくる食物連鎖網がすごく発達しています。EPAやDHAも多いですし、たんぱく質はそれほど変わらないかもしれないけれど、ミネラルや機能性成分など、いろいろな栄養素を体の中に蓄える能力を持っているかもしれないですね。あるいは軟体動物のたんぱく質もかなり独特かもしれないという気がしてきました。誰かが本気で調べたら、総論的には面白いかもしれないですね。
- 西村** 1回調べてみると面白いかもしれないですね。それにより、食肉と魚肉の栄養・機能特性の違いが明確になり、それぞれの良さを知ることができるかもしれません。
- 清水** 肉のアドバンテージを明確に示すことが、昨今難しくなってきたような気がします。必須アミノ酸で比べれば大豆も肉と大した差はないですよ。イミダゾールジペプチドなどは、ある意味特殊な形で肉の長所を示すものかもしれませんが、肉を食べるとほかの食品たんぱく質とは違うものがあると、そういう何かははっきりしたアドバンテージをこれからは今までと違う形で示していく必要があるのかなと思います。
- 西村** 確かに大豆のアミノ酸バランスは食肉と大差ありませんが、私はやはり絶対量が重要かと思っています。同じ100gをとった場合、肉と大豆ではたんぱく質をとれる量が全然違います。少量食べてたんぱく質をしっかりとれるのが、やはり食肉の一番大きなメリットではないかと私は常に思っています。
- 清水** 大豆に関して言えば、最近は大豆ミートや代替肉のような形で開発が急速に進んでいますよね。
- 西村** 現時点で食肉のアドバンテージとして挙げられるもう1つの点は、おいしさの部分ではないでしょうか。おいしさに関しては個人によって違いがあるので、もし生まれた時から大豆ミートによる代替肉を食べて育てば、そっこのほうがおいしいと思うように食嗜好が変わるかもしれません。そういう意味ではお肉をずっと食べ続けてもらうために、機能性の部分でずば抜けた特徴をアピールするなど、何か次の手を考えなければいけないのかなと思います。

● にしむら・としひで

東京大学農学部農芸化学科卒業、同大学院農学系研究科博士課程を修了。東京大学農学部助手、広島大学生物生産学部助教授、教授、同大学院生物圏科学研究科教授、日本獣医生命科学大学応用生命科学部教授を経て、2017年女子栄養大学教授。2025年より公益財団法人日本食肉消費総合センター研究員。研究分野は「食肉と健康」、「食べ物とおいしさ」など。

デジタル技術を取り入れた 食生活の改善指導で脳機能を維持し 健康長寿に結び付く食育を広めたい

東京大学大学院新領域創成科学研究科 先端生命科学専攻准教授 久恒 辰博



●食肉に多く含まれるカルノシン、アンセリンなどのイミダゾールジペプチドは、これまでに抗酸化作用や抗疲労作用などの生理作用を示すことが明らかになっています。久恒辰博先生はこれらの成分が高齢者の脳機能の維持、改善につながる可能性があり、老化を遅らせ健康寿命の延伸を図れると、最新のデジタル技術も取り入れた大規模介入研究や食の改善に取り組んでいます。その一端をお届けします。

肉には健康増進に結び付く 機能性成分があると信じて研究続行

人生100年時代、老化を遅らせ健康寿命を延伸させるヘルスサービスが求められています。私たちは、モデル動物を用いた脳の老化研究を四半世紀にわたって続けてきましたが、その知見を生かし、最近急速に発展するデジタル技術も取り入れて、幅広い分野と連携し、より良く、より長く、健康を享受できる社会の実現を目指しています。比較的大規模で行った介入研究の結果がまとまってきたので、ご紹介したいと思います。

私は食品分野の研究者なので、食肉には健康増進に結び付く機能性成分があるのではないかと考え、永らくイミダゾールジペプチドに着目し、研究してきました。イミダゾールジペプチドはアミノ酸で構成される成分で、中でもアンセリンとカルノシンは動物の筋肉中に多く含まれており、私たちヒトの筋肉の中にもあるものです。

近年、遺伝子研究が進化を続け、高速液体クロマトグラフィー（HPLC）*1に質量分析装置を組み合わせると超高速の分析が可能に

なったため、このイミダゾールジペプチドがヒトの脳内にもかなりの量あるという試験結果も出てきています。

肉を食べることが、特に高齢者の健康維持に寄与すると信じて、続けている研究の一端をご紹介します。

高齢者1人ひとりに最適化したヘルスケアを目指して

私たちは「スマートヘルス」という考え方のもと、デジタルセンシング*2 技術を使って個人個人の健康状態を把握し、生活習慣の改善指導などを通じて高齢者のフレイルを予防し、認知症リスクを低下させるなど、個人に最適化したヘルスケアサービスを提供することを目指しています。

千葉県柏市に「健康研究所あ・し・た」という三井不動産が運営を担う健康研究所があり、私たちが進める「スマートヘルス」の考え方に賛同いただき、協力して下さって、食生活と脳老化の関係など、さまざまな研究を行っています。不動産会社の運営ですが、営利ではなく、近隣の住民の方たちの健康をサポートする施設で、65歳以上の会員2500名の方たちにいつもご協力いただいています。

これまでに2019年、2021年、2023年と3回、約1000名の方に参加していただいて、

「食生活と脳機能維持に関する高齢者コホート研究」を行っています。食生活についてはBDHQ（簡易型自記式食事歴法質問票）というアンケート調査、認知機能についてはMoCA（モントリオール認知評価）*3 検査を使って行ったのですが、動物性のたんぱく質を多く摂取している方はもちろんですが、脂肪酸をとっている方は認知機能がかかり維持できているという結果でした。それを分析していくと、オレイン酸に行き着いたのです。一価不飽和脂肪酸であるオレイン酸を比較的多くとっている方のMoCAの点数が良かったということです。オレイン酸は言葉の由来からしてもオリーブオイルからとれる脂肪酸ですが、脳機能にプラスに働くことがわかりました。

脂質をほどよくとり、たんぱく質やビタミンをバランスよくとる食生活が、脳と心の働きを支えるために大切なことがわかってきました。

*2 デジタルセンシング：センサーを用いて物理的、化学的、生物的特性を測定し、数値化する技術。リアルタイムでのデータ取得が可能となり、さまざまな分野での応用が期待されている。

*3 MoCA：モントリオール認知評価と言い、軽度認知障害（MCI）をスクリーニングするための認知機能検査。

AIを活用した健康アプリで楽しみながらの食育につなげたい

共同研究をしている柏市は人口約45万人ですが、2025年度の集計で要支援、要介護

の方を合わせた人数は、5%に相当する約2万3000人。認知症で日常生活に支援を必要と

する介護度2以上の方が約1万2000人で、近年増える傾向にあるようです。市としては8年ほど前から「柏市高齢者いきいきプラン21」を推進してきており、新しい試みとして2025年から日本電気株式会社（NEC）のAIを活用した健康ポイントサービスアプリ「WoLN」を導入し、運用を開始しています。食事記録や歩数、ラジオ体操、社会参加など日々の活動にポイントが付き、電子マネーなどと交換できる仕組みです。

市の担当者の方にうかがったところによると歩数はほとんどの人がつけてくれていて、驚くことに、食事の記録を毎日3食つけている人が半分くらいもいらっしゃるそうです。これらのデータはNECのコンピュータに集約

され、それぞれの人の朝・昼・晩に摂取したたんぱく質の量までわかるのです。

ちなみに、この柏市の健康アプリのダウンロード率が、45万人のうちの5%といえますから、かなりの方が関心を寄せていることがわかります。

このように、楽しみながら知らず知らずのうちに健康を増進できる、こうした仕掛けをうまく活用して、デジタルとともに食育の実現を目指した活動も続けています。これまでの調査結果から、脂質をほどよくとり、特にたんぱく質やビタミンをバランスよくとる食生活が、脳と心の働きを支えるために大切であることなどをポスターで掲示し、地域の方々への健康支援につなげたいと考えています。

カルノシンがアルツハイマーマウスの認知機能減退を有意に抑制

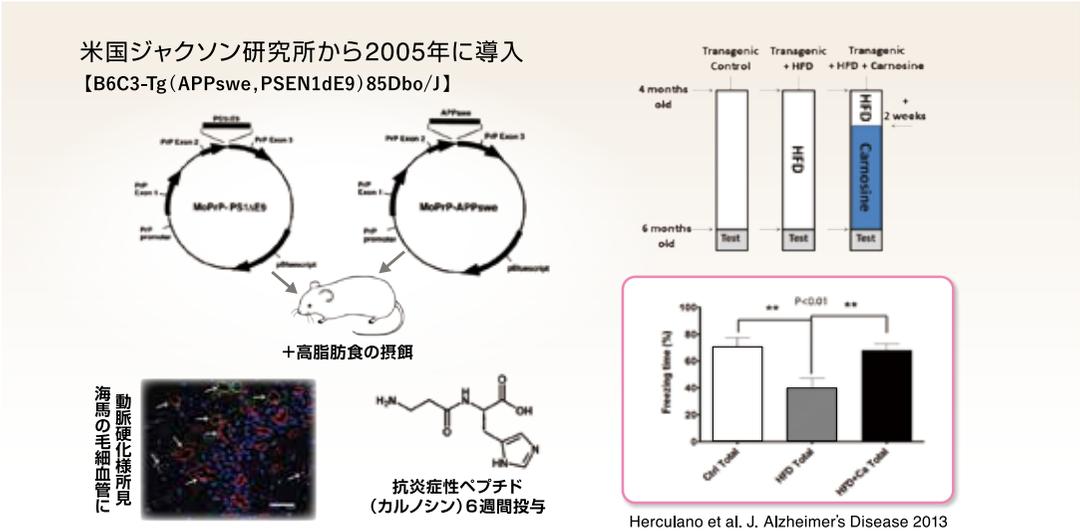
この25年ほどは、特に食べ物と脳の間をマウスの実験などを含めてずっと研究してきましたが、最終的に要介護者の約半数近くは、脳に関係する病気（認知症と脳卒中）によることから、脳の病気を防ぐことができれば、健康寿命を延ばすことができるはずでした。

認知症の7割以上を占めているのがアルツハイマー型認知症です。リスク因子としては、欧米の研究ではどちらかというと肥満がよくないとされていますが、日本の場合はフレイル（加齢により心身が衰えた状態のこと）の人がなりやすいという逆のパターンで、たんぱく質や脂質をむしろ多くとったほうが良いことが、多くの疫学研究から見えてきています。

私はもともと基礎研究をやっていた人間なので、マウスや分子の研究がどちらかというと得意ですが、マウスの研究とヒトでの研究を行ったり来たりしながら、ここ10年間で少しずつ前進できたのではないかと考えています。2012年までには、2つのマウスモデルの研究で、神経の炎症が脳の老化の原因である可能性を見いだしていました。

まずは前述したイミダゾールジペプチドのカルノシンが認知機能にどう作用するかを見ることから研究を開始しました。カルノシンをアルツハイマーマウスに、といっても少し変わったアルツハイマーマウスで、高脂肪食を摂餌したために脳の海馬の血管が非常に動

図1 アルツハイマー病マウスの高脂肪食モデルにて抗炎症性ペプチドの認知機能保護作用を確認



脈硬化様の所見になっているマウスに与えた実験です。図1の顕微鏡写真画像をごらんください。初めて見た時は非常に驚きました。マウスの海馬の毛細血管に、いろいろなごみのようなものが溜まって広がってしまってい

るのです。このため記憶機能が大幅に減退していました。しかし、カルノシンをマウス1匹当たり1日に10mgを6週間投与すると、これらがほとんどなくなり、記憶機能の減退を有意に抑制できることがわかったのです。

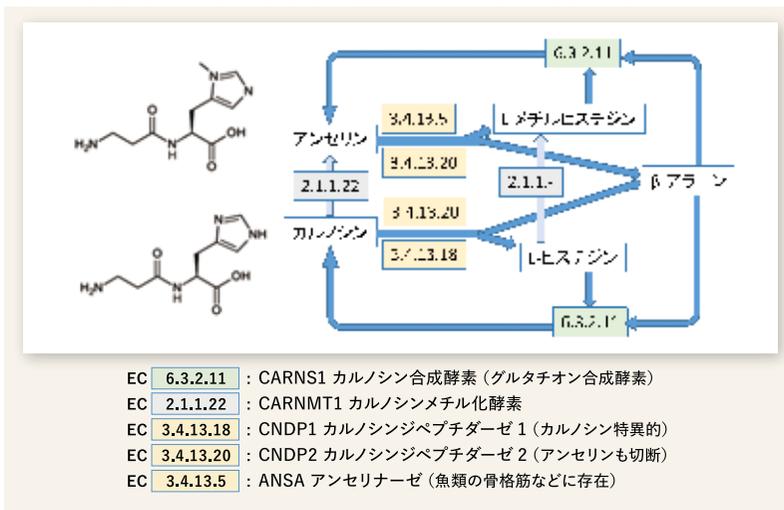
カルノシンは4つ足動物に、アンセリンは鳥類に多い

ここで、カルノシンとアンセリンの違いに触れておきたいと思います。イミダゾールジペプチドはイミダゾール基を持つアミノ酸からなるジペプチド(アミノ酸が2つつながったもの)の総称で、カルノシンもアンセリンもその仲間です。図2(次ページ)でおわかりのように、カルノシンはβアラニンとL-ヒスチジンがペプチド結合したジペプチドで、1900年に肉のエキスから発見されました。アンセリンはカルノシンのL-ヒスチジン残基にメチル基が結合しているもので、アラニル-3-メチル-L-ヒスチジンです。1929年にガチョウ

の筋肉から発見されました。

このイミダゾール環がメチル化されているか否かという違いだけで、カルノシンはどちらかというとなら4つ足の動物、アンセリンは鳥あるいはサーモンなど渡り行動をするものに多いとされています。カルノシンの合成酵素は脊椎動物にしかないと言われていたのですが、いろいろ調べたところ、この酵素は別名「グルタチオン合成酵素」といい、動物に限ったものではなく、植物にもあるとわかったのです。ごく最近、何とアンセリンを藻類からつくったという論文も見つけました。しか

図2 イミダゾールジペプチドの代謝：アンセリンとカルノシン



し、濃度としてはやはり断然、食肉に多いことは確かです。

36

さらに、カルノシンだけに作用するCNDP1^{*4}はカルノシンジペプチダーゼ1という酵素をつくる遺伝子で、人間の体内で特定のペプチドを分解する働きがあります。このほかに、アンセリンも切断できる主に2種類の酵素があるということです。また、マウスとヒトでは遺伝子の発現がかなり違うことも最近わかってきています。

*4 CNDP1: カルノシンジペプチダーゼと呼ばれる酵素をつくる遺伝子で、人間の体内で特定のジペプチド(アミノ酸が2つつながったもの)を分解する働きがある。主にカルノシンを分解する。

ヒトでは、脳内にカルノシンの分解酵素は結構あるとわかっていましたが、合成酵素もあることがごく最近、証明されました。脳内に合成酵素があるということは、1つひとつの部品が血液中から脳内に、例えばヒスチジンやβ-アラニンが輸送されていれば、そこでも合成されているということです。

しかし、この酵素は年をとると、かなり減ってくるという遺伝子発現を調べた論文もあります。

脳脊髄液の中ではアンセリンの濃度が高く血中と脳内の濃度はほぼ同じ

2025年に発表された論文で、LC/MS/MS(液体クロマトグラフ質量分析法)^{*5}という、最初に触れた高速液体クロマトグラフィーと質量分析計を組み合わせた非常に高度な分析技術で分析したところ、脳脊髄液(CSF)の中では、カルノシンよりアンセリンの濃度が高く、

アンセリンは血中と脳内の濃度が等しいことがわかったのです。これは、今までの常識を大きく覆すものでした。

カルノシンの場合は血清(血液の液体部分)に多くあり、脳の中はおよそ10分の1以下ですが、アンセリンはほとんど同じ濃度で維持

されていて、脳の中にもたくさんあるということなんです。

この論文では、てんかん患者は脳内のアンセリンの濃度が2倍以上あることも見つけたのですが、てんかんの治療の一環で脳脊髄液を取ったことから、この素晴らしい結果が得

られたのです。食べ物というより、もう完全にアンセリンは生体成分だという気がしてきました。ですから、この生体成分を食べ物で少し補給してあげれば、若くハツラツとした体になれるのではないかということ、この論文は示唆していると思われます。

*5 LC/MS/MS：液体クロマトグラフ質量分析法といい、液体クロマトグラフィーと質量分析を組み合わせた高度な分析技術のこと。複雑な混合物中の成分を分離し、質量によって分析できる。特に有機化合物の分析に優れており、分子量と構造の特定に役立つ。食品、医薬品、環境分析など、さまざまな分野で広く利用されている。

軽度認知症者へのイミダゾールジペプチド投与でCDRが劇的に改善

私たちはこれまでに国立精神・神経センターとともに高齢者ボランティアによる「アンセリン摂取による脳老化の制御」という介入研究も行っており、アンセリンの記憶機能改善効果が明らかになっています。

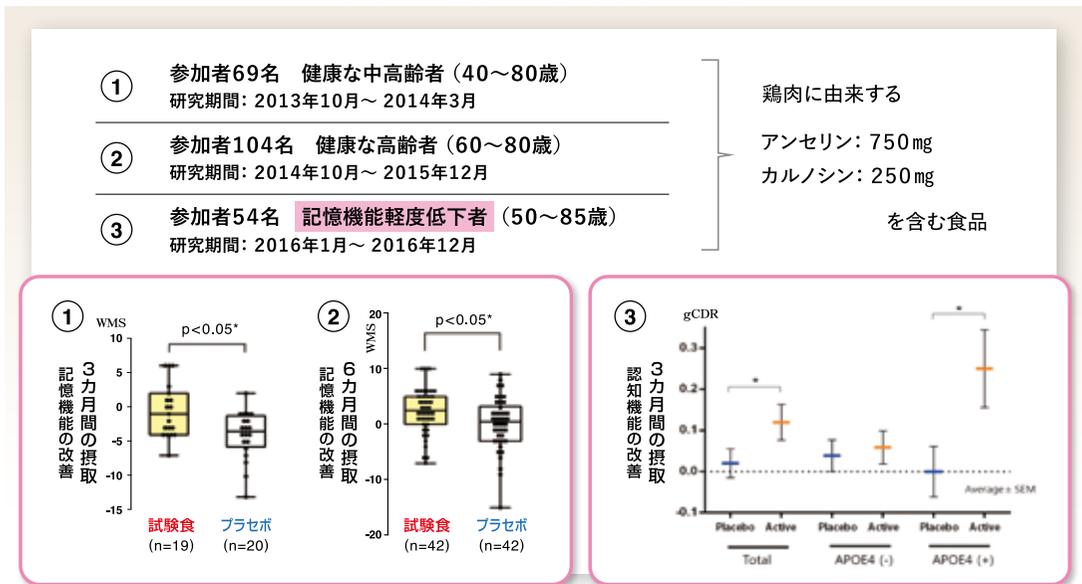
また、20～60歳代までの健康ボランティアでMRI画像検査を行い、実は脳の老化が40

歳代から始まっていることを見いだしました。

そこで、研究対象を40歳代以上の健康な中・高齢者と、50歳以上の記憶機能が軽度低下している人とし、イミダゾールジペプチドの摂取が認知症の改善に資するかどうかの実験も行っています(図3)。

試験食品は日本ハム(株)にお願いし、鶏肉

図3 イミダゾールジペプチド介入試験(合計での研究参加者227名)



Hisatsune et al. (2016) J Alzheimer Disease

Masuoka et al. (2019) Nutrients

に由来するアンセリンを750mg、カルノシンを250mg含む顆粒状のもので行いました。CDR (Clinical Dementia Rating) という認知症臨床尺度があるのですが、わずか3カ月摂

取ただけで大きく改善したのです。驚いたことに、ApoE4という認知症になりやすい遺伝子を持った方に選択的に効いていることもわかりました。

ApoE4遺伝子の保有者は認知症にかかるリスクがかなり高い

ApoE4という遺伝子は、アルツハイマー型認知症と密接なかわりがあるとされており、認知症のリスク検査では、これを計測します。Apoはアポリipoproteinとあって、脂質の代謝に関与するたんぱく質で、ApoEには4型、3型、2型がありますが、それぞれアミノ酸が1つずつ違うだけです。ApoE4の遺伝子を持っている人は、かなり認知症になりやすいとされており、日本人では人口の15%くらい、認知症患者では5割強といわれています。

では、どのくらいの方が認知症になるのかですが、ApoE4の遺伝子の保有と認知症発症の関係を調べたデータによると、2つ持っている70歳になる前に約半数以上が認知症

を発症しています。1つでもかなり発症しやすいことは、30年以上前にわかっていました。

別の論文でも、日本人ではApoE4 3/3というのが一般的な遺伝子アレル(対立遺伝子)ですが、1つ持っている人でも約5倍、ApoE4 4/4の人は33倍認知症になりやすいということです。いろいろな人種での調査でも、日本人が一番このApoE4のリスクを背負っているとされており、海外の学会でも日本人はこのリスクに対する感受性が本当に高いといわれているところでは。

しかし、いろいろな方にお聞きすると、ApoE4という遺伝子について知らない方が圧倒的に多いことがわかりました。多くの人にどう周知するかが課題です。

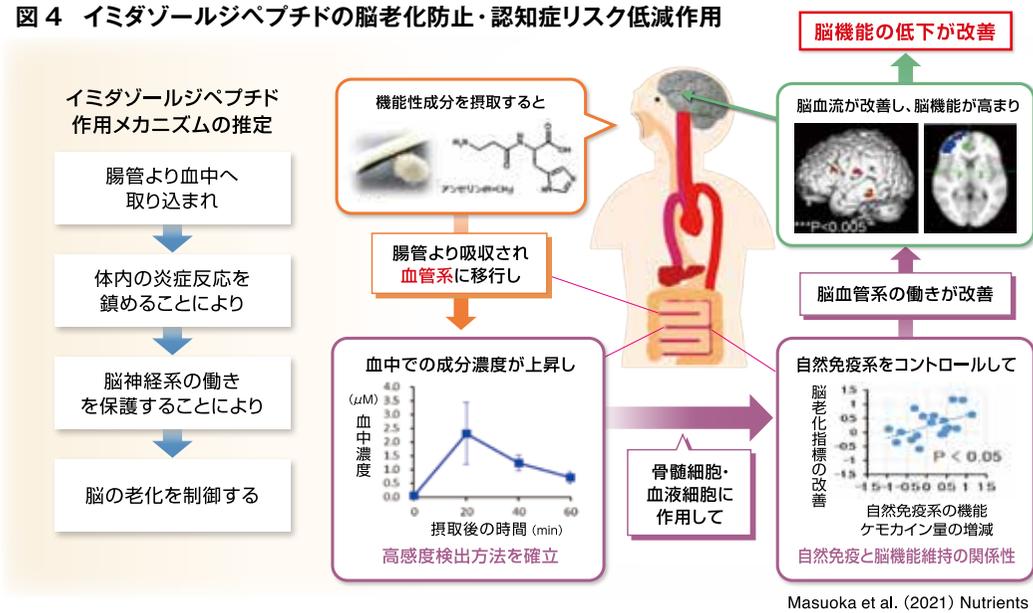
アンセリンを含む食べ物で軽度認知障害者の認知機能が有意にアップ

ヒトの場合は、カルノシンの分解酵素が血液中にあって、カルノシンの濃度をキープすることが難しいため、アンセリンのほうが効いているのではないかと、自分なりの知的好奇心から、アンセリンだけを含むものを用意していただいて、18カ月齢のアルツハイマー病マウスで実験しました。すると、アン

セリンそのものにも、認知機能に対する効果、脳の神経炎症に対する効果があることが判明したのです。

そこで、前述の柏市の研究所会員の方たちに「アンセリンだけを含んだ食べ物で、やっていただけないでしょうか」とお願いしたところ、引き受けてくださいました。認知機能に

図4 イミダゾールジペプチドの脳老化防止・認知症リスク低減作用



心配がある方に声をかけ、実際にMCI（軽度認知障害）かどうかを確認して、その方たちだけの試験を行いました。アンセリンを毎回0.5g、3カ月間とった人では、認知機能が対象群と比べて有意に良くなっていました。

中には血中のCRP濃度（c反応性たんぱく質濃度。体内の炎症の指標で、0.3mg/dL未満が正常値）が結構高い人もいたので、追加研究を行いました。1カ月同じものをとっていただき、

その後血液検査を行ったところ、このCRPがぐっと下がっていました。ですから、体の炎症反応にも、この後、お見せしますが、脳の炎症反応にも直に効くという作用があるようです。

まだまだ証明していかなければならない段階ですが、何しろ体の中にある成分で、化学構造もシンプルな物質なので、いろいろなたんぱく質に相互作用していると考えられます。効き目が出て当然だという気もしています（図4）。

認知症モデルマウスの研究でアンセリンが脳の老化を抑制

ごく最近の研究が、マウスのアルツハイマー研究からさらに進み、前頭側頭葉型認知症マウスにアンセリンがどの程度良い作用を及ぼすのかを調べたものです（図5/次ページ）。

一般にマウスの寿命は2～3年とされていますが、このマウスは背中が大きく丸まっております。普通はこの状態になると1週間ほどで

死んでしまいます。ヒトでもこの病気の方は30代くらいで亡くなる方が多いとされています。

このマウスにアンセリンを投与したところ、寿命が延び、認知機能も向上し、半分ほどだった握力も回復していたのです。

モデルマウスを使った研究から、脳の老化

図5 アンセリンによる認知症モデルマウスの寿命延伸

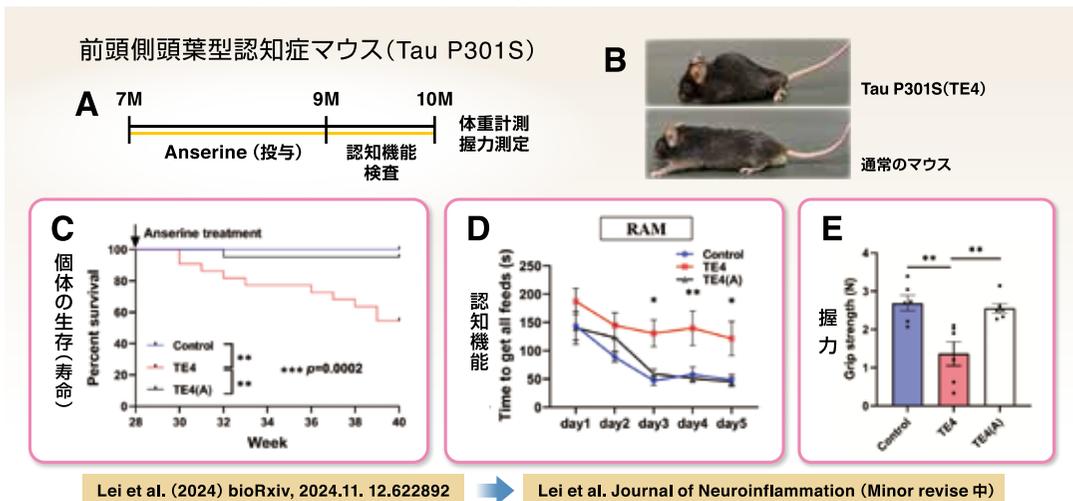
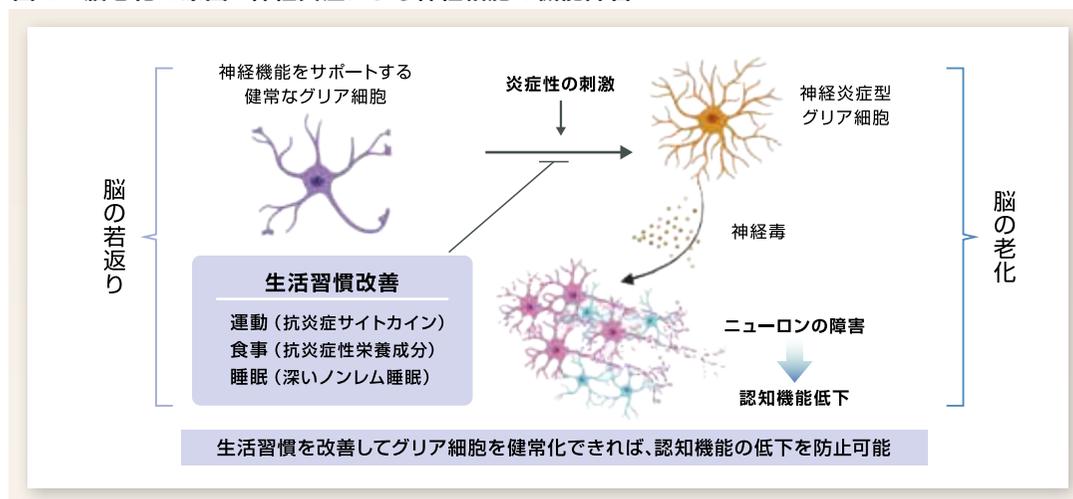


図6 脳老化の原因：神経炎症による神経細胞の機能障害



40

の原因は、脳内にあるグリア細胞（情報の伝達を担う神経細胞をサポートする細胞の一群）の炎症化であることなどを突き止めました。私たちの脳内には、1000億個のニューロン（神経細胞）と、その10倍ものグリア細胞があるといわれています。炎症化したグリア細胞が出す神経毒によって、ニューロンが障害されることが、認知機能低下の原因であり、脳の老

化の正体というわけです。

このマウスの研究から、運動・栄養・睡眠の3つに集約される生活習慣を改善すると、血液を通じてグリア細胞を健全化させることがわかりました。つまり、崩れてしまった生活習慣を改善することが、認知機能の低下を予防し、結果的に脳を若返らせていると考えられるのです(図6)。

高齢者の心と体の健康維持にデジタルヘルス介入した結果は……

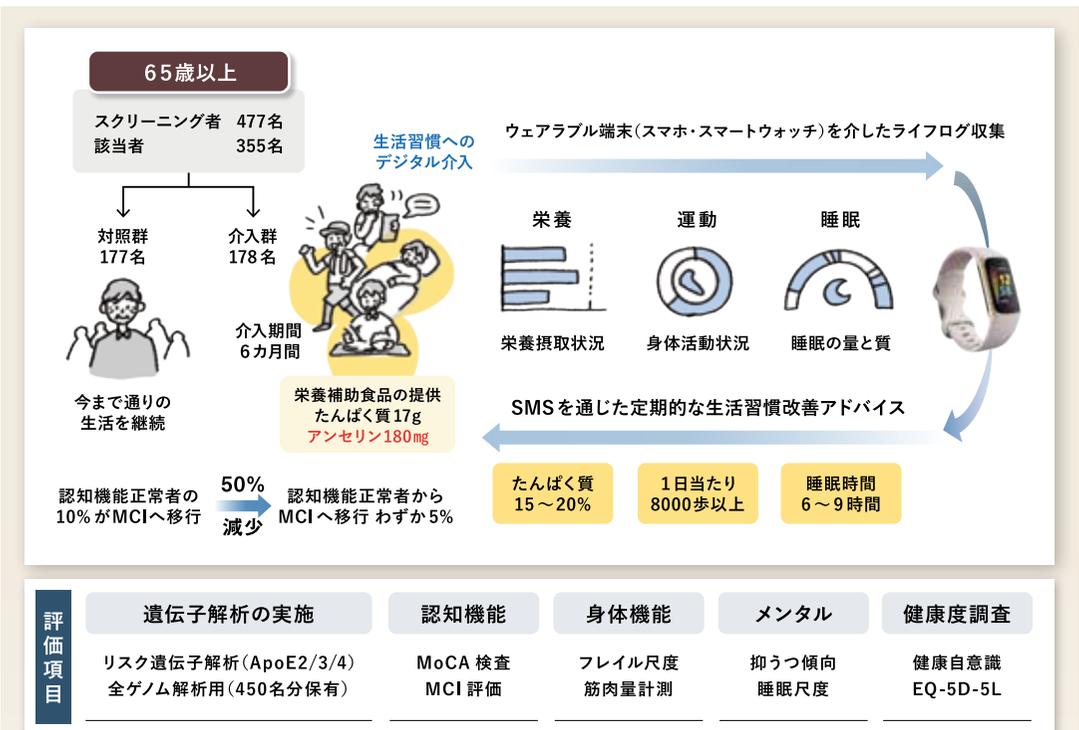
イミダゾールジペプチドを中心とした食事
でグリア細胞の悪い反応を止めれば、健康状態を上向きにできるのではないかと考えて研究を続けていますが、健康の維持・向上という意味では、改善しやすいのは運動や睡眠であると気づきました。そのため、フレイル的な身体機能や、うつなどメンタルの部分についてもデータを蓄積しています。

柏市で普通に生活されている方たちでも、調べてみると、どこかで健康不調な方がかなりの割合でいらっしゃいました。そこで、「高

齢者の心身の健康維持に関するデジタルヘルス介入研究」を実施したのです(図7)。

健康状態の改善ということで、住民の方に Google から提供いただいたスマートウォッチなどのウェアラブル端末をつけていただき、栄養摂取状況、身体活動状況、睡眠の量と質などデータを収集します。ミートボールにした栄養補助食品をお配りし、6カ月間の研究を行いました。1日当たりできるだけ8000歩以上歩いていただき、歩数が少ない人には「もう少し歩いてください」などスマホのSMS

図7 高齢者の心身健康維持に関するデジタルヘルス介入研究



東京大学と、日本ハム株式会社・グーグル合同会社・三井不動産株式会社との1学3社共同研究

を通じて定期的にアドバイスもしています。

食事習慣をお聞きすると、たんぱく質は1日60g、多い人は100gくらいとったほうがいいと、頭にしっかり刻んでいる方が多いのですが、朝や昼にも20g以上とっている人はかなり少なく、夜の食事を中心にとっている人が非常に多いことがわかったのです。血中のアミノ酸の量を考えると、1日中同じくらいの量をキープしたほうがいいという研究データもあるので、朝と昼もたんぱく質をとってくださいとお願いしました。

この朝・昼・晩にとったたんぱく質摂取量などもすべて、スマートホンのアプリを通じて送っていただいていたので、「朝や昼にもう少したんぱく質をとってください」というアドバイスもスマートホン経由でできます。そのあたりが「スマートヘルス研究」という名称にした理由です。

たんぱく質の1日の摂取量は、成人男性で60～65g、成人女性で50gくらいがいいとされています。ただし、よく運動している人では、運動して消費したエネルギー分は多めにとらないと必要エネルギーに満たないことになります。運動熱心な方は日に2万歩も歩いていて、そうすると1日の必要エネルギーが3000kcalにもなるので、「よく運動しているけど、毎日疲れている」という訴えにつながってしまいます。体を動かす運動量によって、カロリーもたんぱく質も余計にとらないといけない場合もあると知っていただきたい1つの例です。

介入前に、参加者の方にたんぱく質が大切

な理由を以下のように説明しました。

健康でいるためには、「体を動かす機能」と「脳で理解し、判断などを行う認知機能」、この2つの健康を保つことが必要で、たんぱく質はこの2つを支える栄養素であること。

また、歩く、荷物を持つなど「体を動かす」ためには、筋肉が必要ですが、筋肉は「壊す」と「つくる」を繰り返し、毎日生まれ変わっているので、材料となるたんぱく質は毎日、不足なく食べることが大切だということ。

ところが、年齢を重ねると筋肉を「つくる」働きが弱くなるので、この弱くなった「つくる」働きを助けるためにも、特にシニア世代ではたんぱく質をしっかり取る必要があること。

認知機能についても、私たちの研究室で行った、肉や魚のたんぱく質をしっかり食べている方は、米や麺、パンなど炭水化物に偏った食生活の方よりも認知機能得点が良好だったという調査結果もお伝えしました。

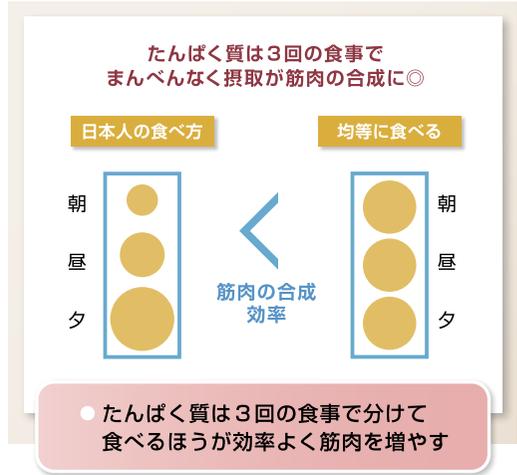
具体的に「たんぱく質を食べるポイント」も挙げています。より効率よく食べるポイントは2つあって、①1日の必要量を食べる、②朝・昼・夕食で分けて食べる。3回の食事に分けて食べるほうが効率よく筋肉を増やせるからです(図8)。

研究では生活に対して介入を行う介入群と普段通りの生活をしていただく対照群に分かれていただき、実施しました。介入グループの方には栄養補助食品としてハイブリッドミートボールをお渡ししました。いつもの食事に加えて、1日6個(100g)食べるとたんぱく質を16.2g摂取でき、アンセリン179.6mg、

カルノシン55.9mgをとっていただくことができます。電子レンジで温めるだけという簡便なもので、和洋中、どんな料理にも合わせやすいという特徴があります。

朝・昼・晩と3食食べていただきますが、朝食は、一般的にはハムやウインナーソーセージになりがちです。昼は比較的バランスがよいようでしたが、朝食にミートボールを3個、昼食にも3個プラスで召し上がるというアドバイスして、できるだけ1日に6個食べていただくようにしました。

図8 たんぱく質を食べるポイント



(日本人の健康な男子学生を対象、The Journal of Nutrition 2020)

たんぱく質主体の食事・運動・睡眠で認知機能に好結果

最初のスクリーニング検査でフレイル気味の人を選び、最終的には合計で215名の方からデータを集めることができました。介入グループの方115名、コントロールグループは100名です。6カ月間の複合介入研究でしたが、介入群のMoCA（認知機能）スコアは平均+1.0点で、対照群の+0.3点に比べて、有意に改善していることがわかりました。

ハイリスク者の認知機能に生活習慣の改善がどう効果を及ぼすかについても調べました。ミートボールの摂取によってたんぱく質や脂質の摂取量が確実に増えていることがわかりました。そのほか、運動や睡眠についても、アドバイスをしていたこともあり、運動については歩数の増加や運動時間の増加に対してかなりのインパクトがあり、睡眠においても睡眠時間が伸びる傾向にあることがわかりました。

ApoE4遺伝子を持っている方のMoCA値も上がっており、生活習慣の改善が認知機能維持に効果的であることを再認識できました。

多くのリスク因子を持っている方を対象にして栄養摂取と認知機能の関係を調べる重回帰分析をしてみると、たんぱく質摂取の量が増えた方は、認知機能の状態を示すMoCAの点数が増える傾向にあることがわかりました。次いで脂質の摂取もいい影響があったことがわかったのです。

こうした認知機能とフレイルとの関係や、睡眠、GDS（老年期うつ病評価尺度）、国の健康調査で調べる健康状態や心の健康問題をはじめ、食べ物の栄養素についても、全ビタミン、全脂質、全アミノ酸などすべてのデータが収集できていますので、健康増進につながる研究成果をまたご紹介できると幸いです。

討議の抜粋

(敬称略)

島田 アルツハイマー病マウスの高脂肪食モデルに、抗炎症性ペプチドのカルノシンを投与したところ、海馬の毛細血管の動脈硬化様所見が軽減されたとのことですが、予防効果だけでなく改善の効果も期待できるのでしょうか。

久恒 アルツハイマー病マウスに高脂肪食をしばらく摂餌すると、頭の中が糖尿病とアルツハイマーの両方を発症しているような状態になります。アルツハイマー病のリスク因子の一番は糖尿病ともいわれていて、糖尿病の場合はいろいろな部位で動脈硬化が起こるようです。体の炎症反応が単純なシグナル伝達の阻害だとすると、抗炎症性ペプチドは免疫系や血管系などの慢性炎症にも、効く可能性があるのではないかと考えています。予防上効くのはある程度わかるけど、改善はなかなか難しいとはよくいわれるところで、今のところ神経の再生についてのエビデンスは取れていません。

島田 たんぱく質は3回の食事に分けて食べるほうが効率よく筋肉を増やす、とのことですが、1日に必要なたんぱく質を1回の食事とするのは、よくないのでしょうか。

久恒 たんぱく質は、夜食べたとしても運動をしなければ、夜間に血中のアミノ酸濃度が上がるだけです。たんぱく質が運動により分解、合成されるのは昼間なので、むしろ昼間に食べたほうがフレイルの予防には効果的です。1日の必要量60gを1回の食事とするよりも、朝・昼・晩20gずつとるように心がけてくださいとお勧めしています。

島田 最後に1つお願いします。「脳機能維持のために摂取が推奨される栄養素」のお話に出てきたオレイン酸を、オリーブオイルからとれるオイルと説明していましたが、オレイン酸は和牛肉に多く含まれていてブランドにもなっています。これからは、ぜひ和牛肉の健康効果についてもアピールをしてください。

久恒 わかりました。確かにそうですね。失礼しました。

新開 この研究のゴールをどのように想定されていますか。サプリメントへの適用などもお考えですか。

久恒 ゴールというと、社会実装のような話ですね。これは大事な問題で、せっかく見つけたことを皆さんの健康維持に役立てていただくため、社会的なシステムを整えるところまでやればゴールなのかもしれませんが、まだまだ相当時間がかかるような気がいたします。そういう意味で、社会的な貢献という面から「イノベーション創出に向けたネットワーキング」をつくって、いろいろな方との連携を模索する活動も行っています。

清水 エビデンスがさらに明確になれば、トクホへの適用も当然あり得るわけですね。トクホのミートボールは、別の機能ですけれど既にありますし、ヒトの試験データがきちんと整理されれば、介入研究で用いたハイブリッドミートボールのような、カルノシン・アンセリン入りのトクホが即、日本ハムさんから出てきてもおかしくないと思います。

久恒 日本ハムさんのお話ですと、現状は機能を謳ったミートボールを販売することは難しく、アンセリン、たんぱく質高含有のミートボールを開発しても付加価値を示すことができない状況で、単独でのビジネスにすることは難しく、行動変容を促すなどのサービスとの連携から新たなビジネスを目指すのではないかとこの意見のようです。

清水 高齢化が社会的に非常に大きな問題になれば、ミートボールを食べると国の補助金で補填されるなど、問題解決をサポートしていくシステムができないとも限りませんね。

44

● ひさつね・たつひろ

1987年東京大学農学部農芸化学科を卒業後、東京大学大学院農学系研究科農芸化学専攻修士課程を修了。同博士課程を経て、1991年東京大学農学部助手。その後、1993年東京大学より博士（農学）を取得。1994年より日本学術会議海外特別研究員として米国 NIH 脳疾患研究所に2年間留学。帰国後、1999年東京大学大学院新領域創成科学研究科 先端生命科学専攻助教授。2007年同准教授。東京大学大学院新領域創成科学研究科 スマートヘルス・スクールのスクール長を併任。

食肉のたんぱく質は 筋肉の維持・合成(サルコペニア予防) 免疫機能、ホルモン産生に極めて効率的です

桜美林大学大学院健康福祉学群教授 渡辺 修一郎



● 私は、2002年まで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）で、主に元気で長生きするための条件に関する研究に取り組んでいました。2002年に桜美林大学に日本で最初の老年学の大学院が設置されることとなり、大学院の老年学研究科で主に中高年者の健康の保持増進に関する教育、研究、実践活動に携わっています。近年は、特に高齢者の就業と健康について力を入れて研究していますが、今日は「進化生態医学的観点から見た食肉と健康」をもとに、食肉摂取の高齢者への効能についてお話しします。

人類の進化の過程で 食肉が果たしてきた役割

私たちの身体は、約260万年前に始まり、その後数百万年かけて形成された「旧石器時代の遺伝子」をいまだ強く引きずっていることがわかりました。

一方で現代の生活環境、特に「食環境」は、旧石器時代の食料の確保が困難で、平均寿命が15歳程度とされる時代からは激変したとされています。しかし、私たちの生理機能、代謝、遺伝子はそれに完全には適応できていないと考えられていて、この「ミスマッチ」が多くの生活習慣病の根源にあるとする考え方があります。

現代社会において、食肉は栄養供給源としてだけでなく、食文化や楽しみの象徴として私たちの食生活に深く根付いています。メディアでは、いまだに「肉は体に良い」という情報と「肉は体に悪い」という情報が混在し、消費者は混乱している状況に置かれています。

2022年のノーベル生理学・医学賞を受賞した、独マックス・プランク進化人類学研究所のペーボ（Svante Pääbo）教授による、絶

滅したヒト族のゲノム解析と人類進化の解明における研究は非常に興味深いものです。ハーボ教授は、世界各地から出土した古代の骨に含まれるミトコンドリアのゲノム配列を解析し、現代の人類のゲノムと比較し、私たちのゲノムには、すでに絶滅したヒト族であるネアンデルタール人や、最近新たに発見されたデニソワ人の遺伝子が残っていることを発見しました。ホモ・サピエンスは、ネアンデルタール人やデニソワ人よりも古い時代から棲息していたこともわかってきています。

絶滅したヒト族から受け継いだ遺伝子は、現在の私たちの健康にも影響を与えています。

例えば高地に住むチベット人には、低酸素状態への適応に関係するEPAS1という遺伝子に、デニソワ人由来の変異が入っていることがわかっています。ほかにも病原微生物に対する応答やアレルギーに関連するTol様受

容体の一部の遺伝子でも、ネアンデルタール人由来の変異が見つかっているようです。

このような状況のもと、食肉を単純に「善」か「悪」かで判断するのではなく、人類の進化の過程で食肉が果たしてきた役割を理解し、現代社会において食肉とどう向き合えば健康長寿につながるのかを、進化的視点から考え提言したいと思います。

まず、私たちの祖先は何を食べ、食肉がどのような影響を与えたかを振り返り、人類の進化史における食肉の役割を考えます。次いで、進化の過程で「選択されてきた」栄養素を振り返り、食肉の栄養学的価値は何かを考えます。さらに、現代における食肉と健康との関連を、エビデンスに基づく利益とリスクから考察します。これらを通して、持続可能な健康のための食肉の位置付けをまとめてみようと思います。

46

進化医学と生態学の統合的視点から医学的応用を目指す

医学の領域の1つに、ダーウィン医学とも呼ばれる進化医学という分野があります。進化医学とは単に病気を治療するのではなく、病気の究極的な原因を、進化の過程から理解することの重要性を強調し、医療行為を再考し、新たな診断・治療ツールを開発するための概念と手法を提供する科学とされます。進化生態医学とは、この進化医学と生態学の統合的視点から疾病や健康状態を理解し、医学的応用を目指す学問分野をいいます。

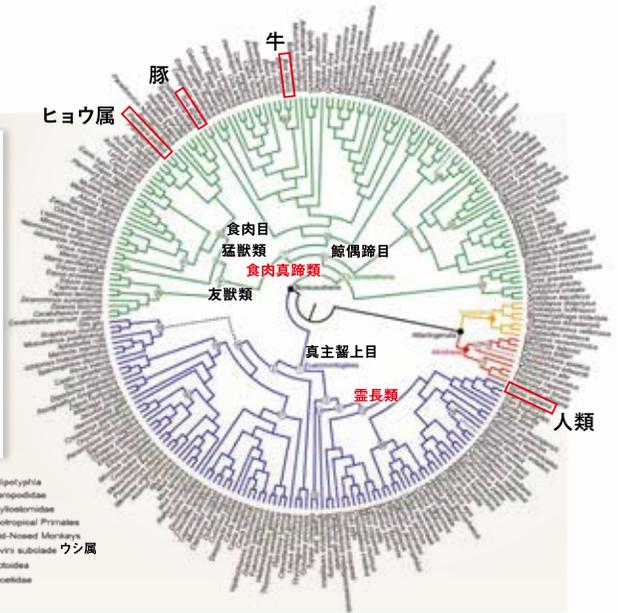
2023年の『サイエンス』誌に有胎盤哺乳類

の進化系統樹に関する興味深い論文が発表されました。要約すると、有胎盤哺乳類は約1億200万年前に発生し、種の多様化は、アフリカ大陸ではなく、ユーラシア大陸などで圧倒的に分化・多様化が進行したことが示されています。また、従来種の多様化は恐竜絶滅後と考えられていましたが、「目」より上位の分類群の多様化は、約1億1000万年前以降の白亜紀のパンゲア大陸からの大陸断片化と、8160万年前から7360万年前に生じた海水準変動に生じた可能性が高いということです。

図1 有胎盤哺乳類の進化系統樹

1. 有胎盤哺乳類は約1億200万年前に発生。
2. ユーラシア大陸で進化した北方獣類（右図の緑「ローランシア獣類」と青「真主齧(しんしゅげつ)類」）は圧倒的に分化・多様化が進行。
3. 「目」より上位の分類群の多様化は、白亜紀における約1億1000万年前以降のバンゲアからの大陸断片化と8160万年前から7360万年前の海水準変動に生じた可能性が高い。
4. ジャレド・ダイヤモンドは、人類はユーラシア大陸で社会・文化を発達させるのが先行し世界で優位に立つようになったが、その理由の1つに、**ユーラシア大陸では家畜にできる哺乳類の種類が多かったことを挙げている。**

① Euarthrogales	④ Ferae 猛獣類	⑩ Hystriomorpha	⑭ Eulipotyglia
② Gales	⑤ Albonasacivora	⑪ Myomorpha	⑮ Phenacodidae
③ Euantheria	⑥ Albonasacivora	⑫ Sciuromergia	⑯ Phyllostomidae
④ Promastomorphia	⑦ Paucungulata	⑬ Perissodactyla	⑰ Neotropical Primates
⑤ Laurasiatheria	⑧ Primates 霊長類	⑭ Pholidota	⑱ Odd-Nosed Monkeys
⑥ Scrotellera	⑨ Dermoptera	⑮ Carnivora 食肉目	⑲ Bovini subclade ウシ属
⑦ Feraungulata 食肉真蹄類	⑩ Scandentia	⑯ Cetartiodactyla	⑳ Artiodactyla
⑧ Zeomatale 友獣類	⑪ Rodentia	⑰ Chiroptera	㉑ Crocodylia



A genomic timescale for placental mammal evolution. Foley et al., Science 380, 365 (2023)

また、ジャレド・ダイヤモンドはその著書『銃・病原菌・鉄』において、人類はユーラシア大陸で社会・文化を発達させるのに先行し、世界で優位に立つようになったが、その理由の1つに、ユーラシア大陸では家畜にできる哺乳類の種類が多かったことをあげています。今日多様な食肉に恵まれているのは、進化の過程で食肉真蹄類の太古からの種の多様化が背景となっているのです(図1)。

人類の進化の過程で食性も進化してきました。約700万年前に現れた猿人は、現代人より歯と顎が大きく、特に臼歯が発達しており、果実や葉、根茎を食べるのに適した構造でした。しかし、約250万年前、気候変動により

森林が減少し、サバンナへ進出する中で、人類は食性の転換を迫られ、本格的に動物の肉や骨髄を食べるようになったとされています。それでも進化の過程で、全体的には犬歯、臼歯および顎のサイズの縮小傾向が見られます。

この要因としては、威嚇や闘争の役割の減少、火による調理や、石器の使用により、硬いものを噛み砕く必要性が減ったことが考えられています。現人類の歯列は、鋭い犬歯と平坦な臼歯を両方備えています。これは動植物双方を効率的に処理するための雑食性の証の1つです。人類が雑食であることを示すことは人体の他のさまざまな系統の構造と機能からも裏付けられます。

ヒトの消化器系、歯、眼の構造と特徴を他の動物と比較

次に、ヒトと肉食動物のライオン、草食動物のウシの消化器系の構造と機能を比較してみます(表1/次ページ)。消化管の長さの比

較については、イメージを想像するために、体重を65kgとした場合の長さを算出しています。ヒトの歯については切歯、犬歯、小臼

表 1 体重65kgと仮定し算出した、ヒト、ライオン、ウシの消化管、消化腺の特徴

種	ヒト (雑食・単胃)	ライオン (肉食・単胃)	ウシ (草食・反芻)
歯の形態	切歯、犬歯、小臼歯、大臼歯	小さい切歯、 長大な犬歯 、 刃状の前臼歯 、臼歯	上顎の切歯の欠如、切歯上の犬歯、広い面積の臼歯
歯の機能	多様な食材の破砕、混和	能動的捕食と短時間の致死	反芻と長時間採食・被食回避
体重65kgの個体の状態	成人	若獣(約1歳)	子牛
体重65kgの個体の消化管長	約9m	約5m	約20~25m
主要消化様式	前腸加水分解+軽度後腸発酵	前腸強酸加水分解(発酵ほぼなし)	前胃発酵(反芻)+真胃加水分解
胃	単室、強酸~中酸	単室、強酸性・肉用	4室(ルーメンなど)
腸管長(体長比)	中等度~やや長い	短い	非常に長い
唾液	アミラーゼあり 、 緩衝は中等度	アミラーゼほぼなし	大量・強緩衝(pH維持)
主エネルギー源	炭水化物+脂質+たんぱく質の混合	たんぱく・脂質中心	VFA(酢酸・プロピオン酸・酪酸)
盲腸・大腸	小~中、SCFA(短鎖脂肪酸)の貢献は限定	小、発酵小	中、前胃主役・後腸は補助
伝播時間	中等度	短時間	長時間(反芻・滞留)
適応の要点	多様食資源の汎用処理。調理・加工により前処理された食物をとるため、前腸での加水分解・吸収を中心に最適化	能動的捕食者として、獲物を迅速に食い、病原体多い生肉・骨を迅速処理できるよう最適化	草原という広大なセルロース資源の微生物共生による有効活用

48

歯、大臼歯がそろっており、雑食に適したものと なっています。

ライオンにも臼歯はありますが、刃物様の形態となっ ています。ライオンの歯は長大な犬歯が特徴的で、能動的捕食と獲物を短時間で致死させるのに最適化されています。眼窩上縁や頬骨弓が発達して いて、頭骨が頑強となっています。これは、捕食時の頭部の安定性と咬筋の付着に寄与しています。

肉食のライオンには唾液アミラーゼはほとんどなく、エネルギー源としてはたんぱく質、脂質がほぼ半々を占めています。獲物を迅速に食い、病原体が多い生肉・骨を迅速処理できる よう最適化された短い消化管からなる消化器系が特徴です。

ウシのエネルギー源は7割が糖質ですが、ウシは自分自身では植物を直接消化することができず第一胃の微生物が糖質を分解し生成された揮発性脂肪酸を主なエネルギー源とし

ています。そのため非常に長い消化管が特徴的 です。

ヒトのエネルギー源の構成は、炭水化物が約60%、脂質が約25%、たんぱく質が約15%で、すべてを消化することができます。動物、植物何でも食べられる雑食に最適化された消化器系となっ ています。

同様に眼を比較します。生態系の最上位に位置するヒトやライオンは前方定位と呼ばれる顔の前面に眼が配置されています。獲物を捕らえるため距離感を測るのに適した構造となっ ています。一方、被食者のウシをはじめとする草食動物の眼は側面につく側方定位であり、ウシの視野角は約340度と捕食者を早期に察知するのに最適化されています。

ヒトの眼の前方定位以外の特徴としては、白眼の部分が大きく、他者の視線を読み取れるようになっていることが挙げられます。視線による目配せなどの非言語的コミュニケー

ションに有利なものとなっています。これは協働して獲物を捕らえるのにも有利な構造と機能となっています。またヒトは、高解像度、良好な色覚を有していますが、これは、果実選択や料理・加工などの精密作業に適しています。

ライオンの前方定位以外の眼の特徴としては、眼窩上縁や頬骨弓が発達しており、頭骨が頑強となっています。これは、捕食時の頭

部の安定性と咬筋の付着に寄与しています。また、網膜は光の強弱を甘受する杆状体細胞が優位で、暗所視に強い網膜となっていて、薄暗いところでの狩りに適したものとなっています。

生態学的地位によって、歯の構造と機能、消化器系の構造と機能、眼の構造と機能、それぞれが生態学的地位に最適化されるよう進化していることがわかります。

人類の脳容量の急激な増大を可能にした食肉の関与

これまで、歯、消化器、眼からヒトが雑食である証しを見てきましたが、次に脳の進化と食肉との関係を見てみようと思います。

約250万年前以降、人類の脳容量は飛躍的に増大しました。脳の重さは体重の約2%に過ぎませんが、基礎代謝の約20%を消費します。巨大でエネルギー消費の大きい脳を発達させるためには、高カロリーで高密度なエネルギー源、特に動物性脂肪とたんぱく質が必須条件でした。植物性食品のみでは、これを賄うことは不可能です。

それを可能にしたのが、植物に比べ消化が容易で、栄養価が凝縮された食肉でした。食肉は、脳の構成要素であるDHA（ドコサヘキサエン酸）や、神経伝達物質の合成に必要なビタミンB₁₂、赤血球の材料となるヘム鉄、細胞の成長に不可欠な亜鉛など、植物からは得にくい、あるいは得られない栄養素を豊富に含んでいるからです。

これまで見てきたように私たちの直接の祖

先ホモ・サピエンスは、優れた狩猟者でした。狩猟は、集団の連携、高度な道具の使用、通信手段である言語の発達、食料の分配を促し、知性を飛躍的に高めました。この時代の食生活は、現代の「パレオダイエット」とは異なり多様であり、獲物が得られた時には、肉、内臓、骨髄を余すところなく摂取し、貴重な栄養源としていたようです。

パレオダイエットという言葉は、初めて耳にされた方もいらっしゃるかもしれません。この考え方は、原始時代の人類が食べていたと考えられる食品、すなわち、肉、魚、卵、野菜、果物、ナッツ、種子類、健康的な油などを中心に摂取し、農耕開始以後登場したと考えられる、穀物、豆類、乳製品、さらに現代の加工食品や精製された砂糖などを避ける食事が代表的な考え方です。今回のテーマからすると、ヒトが肉食をするように進化し、また雑食になったことを考慮しない誤った考え方と私は考えています。

食肉は必須アミノ酸をバランス良く含む良質なたんぱく質供給源

ヒトが食肉をとるよう進化した主なメリットをまとめてみます。筋肉、器官、酵素など体の構成要素の材料となる高品質のたんぱく質を多く含むこと、脳神経組織の発達と機能維持に不可欠な長鎖脂肪酸であるDHAを多く含むこと、ヘム鉄を多く含む貧血予防と全身への酸素供給に寄与すること。ただし、植物に多く含まれるビタミンCとの相乗効果があるので、これは雑食のメリットとも言えます。そして植物性食品ではほとんど摂取不可能である神経機能とDNA合成に必須のビタミンB12を含むこと。免疫機能、酵素反応に必須の亜鉛などの微量元素を多く含むことなどが挙げられます。

この優れた食肉の栄養学的価値を進化の視点からとらえ直すと、まず、食肉のたんぱく質は、人体が必要とするすべての必須アミノ酸をバランス良く含む良質なたんぱく質供給源です。これは、筋肉の維持・合成（サルコペニア予防）、免疫機能、ホルモン産生に極めて効率的です。

進化の過程でミネラルの生体利用率も向上しています。肉食の割合が増加したことで吸

収率が高いヘム鉄が多くとれるようになりました。また、亜鉛は植物に多いフィチン酸により吸収が阻害されますが、肉食化により効率的に摂取できるようになりました。動物性食品由来の鉄・亜鉛利用率が高まったことで、限られた食料環境においてもエネルギーと微量元素の供給が安定し、脳進化を支える基盤となったと考えられます。

また、現代の食肉とその「部位」の重要性にも注目すべきです。進化上、人類が摂取してきたのは「赤身肉」と「内臓」が中心で脂肪分の多い部位は限定的でした。したがって、栄養学的に評価すべきは「脂身」ではなく、たんぱく質、鉄、亜鉛、ビタミンB群が集中している「赤身肉」の部分がより重要といえます。

現代における食肉と健康に関するエビデンスを俯瞰するとまず、世の中には「肉は健康に悪い」という情報と「肉は必要」という情報が混在し混乱している状況があります。この混乱は、交絡因子の影響を十分に取り除けない観察研究の限界や、「食肉」の定義の曖昧さに起因することが多いと考えられます。

食肉単体ではなく全体の食事パターンの中で捉えることが重要

では肉と健康の結果を左右する交絡要因（原因にも結果にも関係する要因）とは何か、以下に挙げます。

(1) 社会経済的要因：所得水準・教育水準

⇒高所得・高学歴層は、肉の質（赤身肉 vs 加工肉）や調理法（焼きすぎ・揚げ物 vs 蒸す・煮る）に差があり、医療や栄養情報へのアクセスも異なります。居住地域・文化背景⇒農

村 vs 都市、西洋型 vs アジア型の食習慣など、肉の位置づけや他食品との組み合わせが健康影響を左右します。

(2) 生活習慣因子：喫煙・飲酒習慣⇒肉の多食は飲酒や喫煙と相関することがあり、真の原因がタバコや酒である可能性があります。身体活動量では、肉を多く食べる人は運動量が多い場合も少ない場合もあり、活動量の差が健康指標を左右します。睡眠習慣・ストレス⇒肉食とこれらが同時に変動している場合、因果関係を錯覚させます。

(3) 食事パターン全体：加工肉 vs 非加工肉⇒ハム・ソーセージなどの加工肉は添加物や塩分が多い一方、赤身肉や魚と組み合わせるパターンでは栄養バランスが良い。野菜・果物摂取量では、肉摂取が多い人は野菜摂取が少ない傾向があり、疾患リスクは肉ではなく野菜不足に由来する可能性があります。総エネルギー摂取量では、肉摂取量が多い人は全体のカロリー摂取量も多い傾向があり、肥

満を介して疾患リスクが上昇する可能性があります。

(4) 生物学的・遺伝的要因：性別・年齢⇒男女で鉄や脂質の必要量や影響が異なります。遺伝的背景⇒脂質代謝や鉄吸収の効率は遺伝的に異なり、一様に論じられません。持病⇒高血圧、糖尿病、脂質異常症などがあると医師に肉を控えるよう指導されることで、肉摂取量が健康状態の結果である場合もあります。

(5) 調理・加工方法：焼き加減・調理温度⇒高温調理で発生するヘテロサイクリックアミンや多環芳香族炭化水素が発がんリスクを高める可能性があるという報告されましたが、日本人の摂取量では問題がないと言われています。

適量の肉と野菜、全粒穀物、食物繊維を組み合わせた「バランス食」の一部としての食肉は、健康に貢献すると考えられます。例えば、豚肉などに多いビタミンB₁はニラや玉ねぎ中のアリシンと結合することで吸収率は格段に向上します。

たんぱく質供給源の食肉は高齢者のQOL維持にきわめて重要

進化との関係で見ると、現在の人生100歳時代のようなことは過去に例がないため、特に高齢者における食肉は、進化との関連では説明できません。ただし多くの先行研究から高齢者にとっても食肉は肯定的役割を果たすことがいくつかわかっています。

まず、今日的課題であるサルコペニア、フレイルの予防に関して見ると、食肉は筋肉量維持のための十分なたんぱく質供給源で、特

に、筋肉の合成を促進、分解を抑制する分岐鎖アミノ酸であるBCAAが豊富に含まれており、高齢者のQOL (Quality of Life = 生活の質) 維持に極めて重要といえます。また、肉に含まれる必須アミノ酸の一種トリプトファンは、精神を安定させる脳内物質セロトニンの原料となり、気分障害を防ぐことに寄与すると考えられます。

高齢者の重要な課題である認知機能への

影響を見ると、肉に含まれるアラキドン酸は、脳の細胞膜に多く含まれており、学習能力や記憶力といった脳の働きに重要な役割を果たすと考えられます。

さらにヘム鉄の補給源である肉は、若年女性や高齢者で生じやすい栄養性貧血の予防に重要です。また、動物性たんぱく質は、がん細胞などを攻撃するナチュラルキラー細胞の働きを高めるなど免疫機能の維持にも貢献します。筋肉の維持は転倒リスクを減らし、結

果的に骨折の予防にもつながります。肉に含まれる必須アミノ酸であるメチオニンは、血圧の上昇を抑える働きがあるとされています。

コロナ禍以降、誤嚥性肺炎の急増が問題となっていますが、食肉の摂取の際には、他の食材より、噛む力を強く、噛む回数を多くする必要があるので、咀嚼・嚥下機能を強化し、摂取可能な食材の種類を保ち、誤嚥性肺炎の予防や、う歯（虫歯）の予防、会話機能の低下予防にも寄与すると考えられます。

有料老人ホーム入居者と地域高齢者全体を対象とした介入試験

ここで、高齢者に対して肉をしっかりとるよう指導した30年ほど前に私たちが行った介入研究の結果をいくつか紹介します。

まず、有料老人ホーム入居者に対する介入試験の結果を紹介します。生活が自立している有料老人ホーム入居者を対象として、老化遅延を目的として、2年間にわたり学際的介入を実施したものです。介入群と性、年齢をマッチした東京都K市在住の男性33人、女性100人を対照群としました。

プログラムの内容は栄養だけではなく、医学、心理、体育、社会生活や教養など幅広い分野にわたりました。初回調査において肉や卵の摂取頻度が少なく低栄養の危険性の高い対象が多かったため、栄養改善プログラムでは「肉や卵は健康によくない」とする誤解を解くよう努めました。

食生活指針では、欠食を避けること、油脂類や動物性たんぱく質を十分とること、魚と

肉の摂取は1対1程度にすることなどの食事の内容から、調理法、会食、義歯の手入れなど幅広い内容を盛り込みました（表2）。

結果は肉類、卵、果物類、油脂類の摂取頻度が有意に増加しました（図2）。栄養の指標となる血清アルブミン濃度は、介入群では有意に増加しました（図3）。血清総コレステロール濃度の増加は見られませんでした（図4）。HDLコレステロールは介入群、対照群とも増加し、その増加の度合いは介入群のほうが大きく、介入群の血清脂質構成は改善しました（図5）。BMI（Body Mass Index）も対照群の平均BMIは2年間で低下しましたが、介入群のBMIは逆に有意に増加しました（図6）。

これらの介入試験の成果を踏まえ、地域高齢者全体を対象とした介入試験を計画、実施しました。介入対象は、秋田県旧南外村の生活機能が自立した在宅高齢者とし、1996年のベースライン調査に参加した、平均年齢

表2 有料老人ホームにおける介入プログラムで用いた食生活指針

- ① 3食のバランスをよくとり、欠食は絶対避ける。
- ② 油脂類の摂取が不十分にならないように注意する。
- ③ 動物性たんぱく質を十分摂取する。
- ④ 魚と肉の摂取は1:1程度にする。
- ⑤ 肉は、さまざまな種類を摂取し、偏らないようにする。
- ⑥ 牛乳は、毎日200ml以上飲むようにする。
- ⑦ 野菜は、緑黄色野菜、根野菜など豊富な種類を毎日食べる。加熱調理し、摂取量を確保する。
- ⑧ 食欲がない時は特におかずを先に食べごはんを残す。
- ⑨ 食材の調理法や保存法に習熟する。
- ⑩ 酢、香辛料、香り野菜を十分に取り入れる。
- ⑪ 味見してから調味料を使う。
- ⑫ 和風、中華、洋風とさまざまな料理を取り入れる。
- ⑬ 会食の機会を豊富につくる。
- ⑭ 噛む力を維持するため義歯は定期的に点検を受ける。
- ⑮ 健康情報を積極的に取り入れる。

図2 介入により摂取頻度が有意に増加した食品群

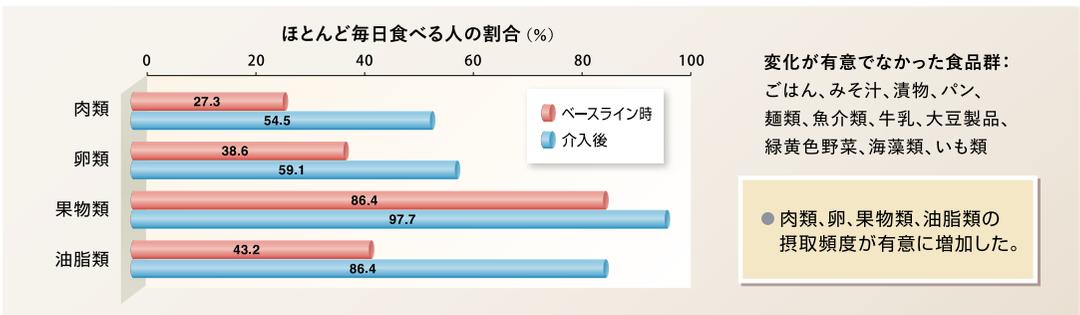


図3 介入による血清アルブミン濃度の変化

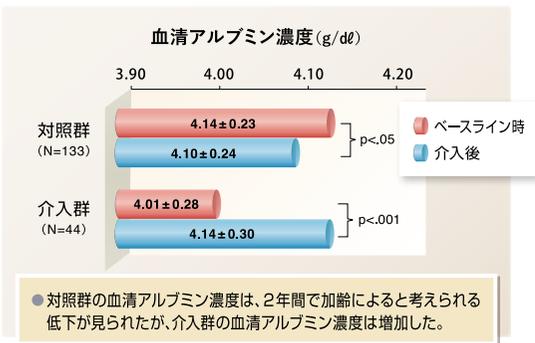


図4 介入による血清総コレステロール濃度の変化

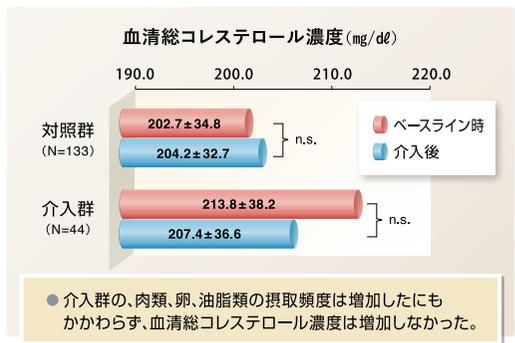


図5 介入による血清HDLコレステロール濃度の変化

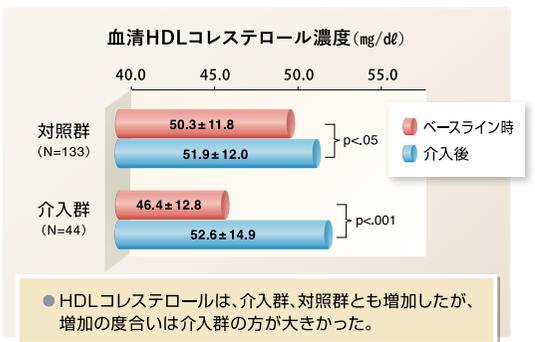
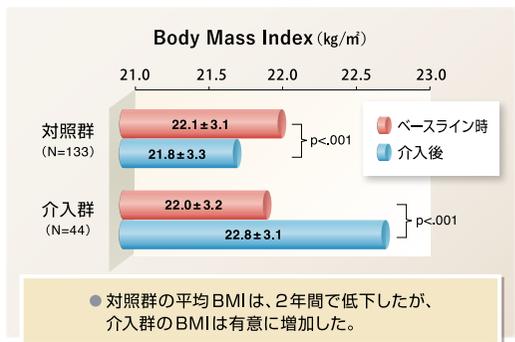


図6 介入によるBMIの変化



【図2～6】熊谷他：日本公衛誌，46：1003-12，1999．より作図）

70.8歳の男性448人、平均年齢71.1歳の女性657人としました。同時期に同地域で対照群を設定できませんでしたので、1992年から1996年の間の同年齢層の地域住民を設定しました。

1996年に対象地域において会場招待型の健康診断および訪問診査を行い、在宅高齢者の総合的移動能力を悉皆的に把握しました。訪問診査は会場健診を受診しなかった約80名を対象に、10日間かけて実施しました。実施時には、鈴木隆雄先生にもご尽力いただきました。終盤には医師団のほうが疲労困憊で寝たきりに近くなっていたことを思い出します。寝たきりの対象は地域在宅高齢者の約4%で、女性のほうに移動能力が低下した者の割合が多く見られました。

ベースライン調査時の総合的移動能力と血清アルブミン濃度との関係を見ると、血清アルブミン濃度は女性より男性のほうが有意に低値を示し、総合的移動能力が低下するに伴い低下しました。特に寝たきり群では、男性平均3.33g/dL、女性平均3.6g/dLと低栄養が顕著でした。一方、会場健診受診群の平均血清アルブミン濃度も男性3.98g/dL、女性4.08g/dLとあまり高くありませんでした。

介入は、地域在宅高齢者の老化遅延のための健康施策の開発を目的に、地域高齢者全体を対象として、行政による健康教室や各種の実習、実技指導などを4年間実施しました。介入プログラムの具体例として、栄養に関しては、村の食生活と栄養の特徴の理解、低栄養予防の食生活、歯の健康づくりなどの学習

や指導を中心に行いました。

介入プログラムは、まず、行政のすべての事業をリストアップし、介入プログラムを挿入できる余地がある事業すべてにかかわりました。行政の企画調整、保健、福祉、社会教育の各部局、住民組織、関連団体なども介入対象とし、調整会議や研修会を持ち、地域全体の協力体制のもとに介入を実施しました。

介入期には、肉類、緑黄色野菜、油脂類の摂取頻度が有意に増加しました。一方、果物類の摂取頻度は有意に低下しました。栄養状態の指標として、血清アルブミン濃度の変化を示しました。青線が観察期の4年間の推移、赤線が介入期の推移を示したものです。観察期には血清アルブミン濃度は男女とも有意に低下していましたが、介入期には男女とも血清アルブミン濃度は有意に増加しました(図7)。

血清脂質の4年間の変化を示しました。観察期には男女とも血清総コレステロールの有

図7 血清アルブミン濃度の変化

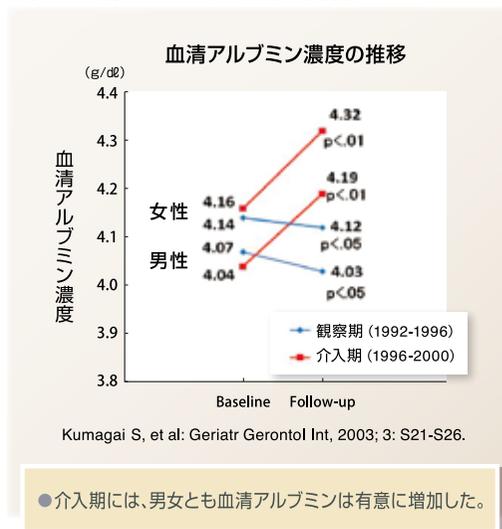
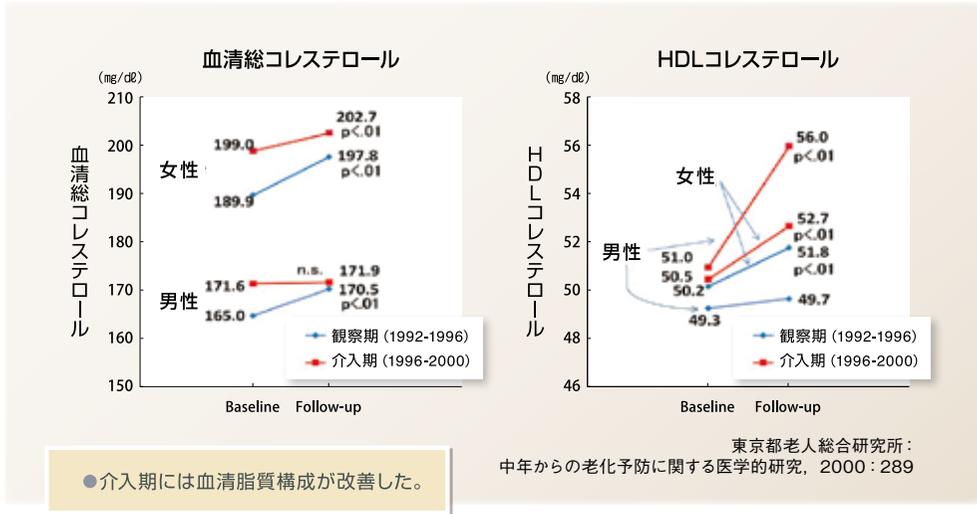


図8 血清総コレステロールおよびHDLコレステロールの変化



意な増加が見られました。一方介入期には女性のみに血清総コレステロールの有意な増加が見られましたが、その増加の程度は観察期に見られた増加より小さくなっていました。

HDLコレステロールは観察期、介入期とも増加が見られましたが、その増加の程度は、観察期よりも介入期の方が大きく、介入期においてより血清脂質構成が改善していました(図8)。

健康を維持向上していくための食肉との付き合い方

以上、進化的に人類の健康と社会形成に深くかかわってきた食肉とヒトとの関連をまとめます。

- ①人類は進化的に「雑食性」で、高品質な動物性栄養素を効率的に利用するように設計されています。
- ②食肉は、人類が知性を発展させ、繁栄を築く進化上の鍵でした。
- ③食肉は「共食文化」の中心にあり、社会的つながりを強化する役割も担っています。
- ④食肉の摂取は、心身の健康の維持向上に寄与するさまざまな効果があります。健康を維持していくための食肉との付き合い

い方についてまとめると、健康問題の多くは、「進化的ミスマッチ」として生じている進化生態医学的要素が大きく、適切な摂取、調理法の工夫、ライフステージに応じた活用により、食肉は健康に資する重要な資源となります。食肉の適切な摂取量については、『日本人の食事摂取基準 2025年版』が目安となると思います。人類は雑食に最適化されており、野菜と適量の食肉を組み合わせた主菜づくりを心がけること。そして、ライフステージに応じて食肉を活用することで、特に成長期、妊娠期、高齢期など、たんぱく質需要が高い時期には、その役割が大きくなります。

討議の抜粋

(敬称略)

西村 バランスよく食べることは非常にいいことですが、どのくらいのスパンで栄養のバランスを考えればいいのでしょうか。例えば、病人食では毎食の栄養素摂取量がきちんと計算されていると思いますが、一般の健康な人の場合、3日くらいのスパンで栄養バランスを考えれば良いとの説もありますが、いかがでしょうか。

渡辺 人間にはいろいろな生体リズムがあります。その中でサーカセプタンリズムという7日周期の生体リズムがあることが知られています。これは個人的な考えですが、例えば免疫機能などを考慮すると、1週間くらいを目途に見るのがいいのではないかと思います。ただ、バランスということで言うと、便通は毎日あったほうがいいので、その便通を毎日来すようなところを考えると、3日くらいのスパンでいろいろなものを食べて便通を確保することは大事だと思います。

西村 私たちは今、朝・昼・晩と1日3食ですけど、進化の過程で、なぜ3食になったかということと、3食でないといけない理由があるのでしょうか。

渡辺 以前私が大学院生だった時、大学病院のある婦長さんから「私は40年くらい朝食を食べていない。それでもこうして元気に生きていられる」と聞きました。もともと人類は朝から食べることはなかったのではないかと、というのが、その婦長さんのお考えだったのです。それは一理あると思います。確かに昔は、野菜なら保存できますが、肉類は保存が難しく、朝から肉を食べることは難しかったので、朝を食べなくても1日のバランスが取れていけば問題ないと思います。ただ、現在では朝食を食べていない人と食べている人を比較すると、朝食を食べていない人は圧倒的にカロリーが足りない、栄養バランスがとれていないので、今の人類を考えると朝食は食べたほうがいいのではないかと私自身は考えています。

久恒 年代的には少し古い研究とおっしゃいましたが、私は介入試験のお話が大変興味深く、「有料老人ホームにおける介入プログラムで用いた食生活指針」は具体的で本当にわかりやすいと思いました。この指針を具体的にはどなたに説明し、どのように実施していったのでしょうか。

渡辺 1990年代初頭は、高齢者は脂や卵はなるべく避けたほうがいいのか、肉は豚肉や牛肉より鶏肉のほうがいいのかというような非常に偏った考え方が一般的でしたので、繰り返しの再教育が必要でした。有料老人ホームに入居している高齢者にはこの15項目を徹底的に講義しました。さらに、個別の栄養、健康相談も行いました。また、当時同僚で後に人間総合科学大学教授を務められた管理栄養士の熊谷修先生が中心となり、調理士や栄養士、職員に対し高齢期の食生活のあり方について繰り返し研修会を実施しました。

久恒 この指針に基づいた指導で、食肉の摂取量はどのくらい増え、それによりどのような効果が表れたのでしょうか。

渡辺 私どもは頻度だけしか調べていませんでしたので、頻度に応じた分、摂取量は増えたのではないかと考えてはいます。正確な増加量はわかりませんが、介入前の1.5～2倍くらいにはなっていたでしょう。高齢期の健康のパロメーターでいうと、BMIが高くなり、アルブミン値や血清コレステロール値も増加しました。

● わたなべ・しゅういちろう

1986年、愛媛大学医学部医学科を卒業後、同大学院医学研究科生態系専攻、1990年、医学博士。1986年から愛媛大学医学部附属病院に勤務、1993年、東京都老人総合研究所地域保健学部門の主任研究員。2002年桜美林大学の大学院老年学専攻の准教授、教授を歴任。日本応用老年学会、日本老年社会科学会など、多数の学会に所属し活躍。主な研究分野は中高年の健康の保持・増進あるいは生活習慣病と老年症候群の予防と管理で、研究・教育に従事。

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**
一痩せ、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**
日本獣生命科学大学応用生命科学部講師 江草(維賢) 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 大樹陽一
- **機能性表示と食肉の成分**
東京大学名誉教授/東京農業大学客員教授 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畜産保健衛生課 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

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
- **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・社会科学部研究センター 老化疫学研究部長 大塚 礼
- **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
- **昆虫の食料・飼料利用に関する研究動向**
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
- **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
- **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

食肉の栄養・機能と健康

2023



たんぱく質・脂質は「おいしい!」

生命維持の主役、健康な暮らしを支える栄養素

- **アミノ酸シグナルを利用した高品質食資源の開発**
東京大学大学院農学生命科学研究科 応用動物科学専攻/応用生命化学専攻 動物細胞制御学研究室教授 高橋伸一郎
- **サルコペニア予防に対する栄養と運動の複合効果**
早稲田大学スポーツ科学学術院教授 宮地元彦
- **脂質の量と質から見た生活習慣病戦略 — 健康における脂肪酸の役割 —**
筑波大学医学医療系内分泌代謝・糖尿病内科教授 島野 仁
- **和牛肉のおいしさを引き出すオレイン酸の役割**
女子栄養大学栄養学部教授/広島大学名誉教授 西村敏英
- **肉の加熱処理技術**
— おいしさをつくる熱の科学 —
日本獣生命科学大学客員教授・栄養士 佐藤秀美
- **畜産物の価値とそれを支える生産システム**
京都大学農学研究科 応用生物科学専攻 畜産資源学分野教授 廣岡博之

食肉の栄養・機能と健康

2024



低栄養に警鐘!

おいしく食べてさまざまな健康障害を防ごう

- **一般高齢者の早期低栄養リスクを評価する簡易アセスメントツールの開発と応用**
女子栄養大学教授 新開省二
- **胎生期低栄養環境と脂質代謝異常 — DOHaD 説から考える —**
福島県立医科大学特任教授/千葉大学客員教授 福岡秀興
- **高齢者の健康概念からみた健康寿命指標の評価**
桜美林大学名誉教授/東京都健康長寿医療センター 研究所名誉所員 柴田 博
- **健康寿命延伸のための栄養と筋力の相互作用**
早稲田大学スポーツ科学学術院教授 宮地元彦
- **消化管における味物質の認識・受容の仕組み**
東京農業大学応用生物科学部食品安全健康学科学 教授 岩槻 健
- **食肉のおいしさの客観的な理解と消費者が感じる好ましさ**
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 食肉用家畜研究領域 食肉品質グループ長 佐々木啓介

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 <https://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 <https://www.lin.gr.jp>

令和7年度 食肉情報等普及・啓発事業

後援／公益社団法人 日本食肉協議会

制作／株式会社 エディターハウス