

- 第2章 生食のおいしさとは
- 第1節 生肉・非加熱食肉のおいしさとは

第1項

食肉の熟成に伴うテクスチャー変化

酪農学園大学 石下 真人

1. 筋肉から食肉へ

食肉のもととは家畜の筋肉である。生きている家畜（動物）の筋肉は収縮・弛緩を繰り返すことで体を動かしている。この収縮・弛緩の引き金となっているのは、筋小胞体から放出されるカルシウムである。カルシウムは死後の筋肉の変化（熟成）にも関与している。脳からの刺激によって筋小胞体がカルシウムを放出（収縮）および取り込む（弛緩）ことにより、筋肉は収縮・弛緩を繰り返すことができる。そして実際に収縮しているのは、束となって筋肉中に存在する筋原線維である（図1）。筋原線維には2種類のタンパク質（ミオシンとアクチン）が存在し、それぞれ太い線維（主にミオシンから成る）と細い線維（主にアクチンから成る）を形成している。カルシウムが存在するとミオシンとアクチンの相互作用により、それぞれの線維の位置のずれ（すべり）が生じ、筋肉は収縮する（図2）。またカルシウムが筋小胞体に取り込まれると、相互作用は解消されて筋肉は弛緩する。このように筋肉が収縮・弛緩を繰り返して、動物の体は動いている。

家畜の筋肉を食用とするためには、家畜をと殺しなければならない。と殺にあたっては食肉の安全性を確保するために、検査が義務付けられている。また死後筋肉では、最初に死後硬直が起こり、筋肉は硬くなる。その後さらに熟成過程を経て、筋肉は食肉となる。熟成過程においては筋肉中でさまざまな変化が起こり、筋肉は軟らかくそしておいしくなって、食肉となる。

2. 食肉の安全と家畜の検査

食肉の生産は家畜をと殺することから始まる。と殺においては食品衛生法の第九条で「疾病にかかった獣畜の肉等の販売等の禁止」が掲げられている。またこれに関連して、と畜場法第十四条「獣畜のと殺又は解体の検査」において検査が義務付けられている。さらにその第三条「定義」

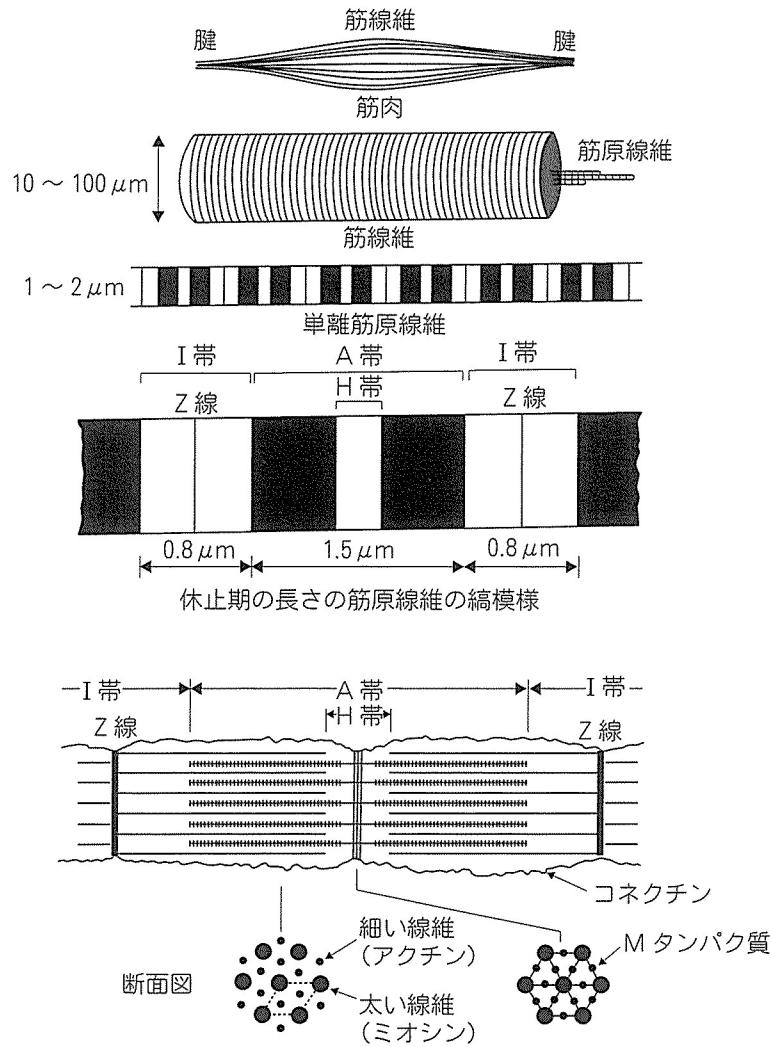
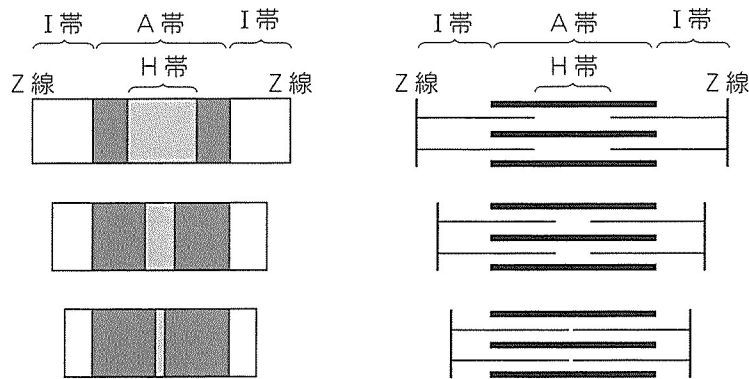


図1 筋肉(骨格筋)の構造を示す模式図⁶⁾



細い線維は太い線維の中心方向に滑り込むことにより、筋肉は収縮する(右図)。左図はこのときのA、IおよびH帯の変化を示す。収縮の前後でそれぞれの線維の長さは変わらない。

図2 筋肉の収縮(すべり説)による太い線維と細い線維の位置関係を表す模式図⁶⁾

には獣畜の定義(牛, 馬, 豚, めん羊および山羊)があり, ここには家きんは含まれていない。家きんに関しては, 1990年に食鳥処理の事業の規制及び食鳥検査に関する法律が制定され, 1992年から検査が実施されるようになった。家きんの検査についてはこの法律の第十五条「食鳥検査」に定められている。家畜の検査は獣医師の資格を持つ検査員が行い, 生体検査, 解体前検査と解体後検査(家きんでは生体検査, 脱羽後検査と内臓摘出後検査)の1個体につき3回の検査が行われる。また摘出した内臓や頭部も検査の対象となる。これらの検査に合格した枝肉が, 食肉として販売を認められる。

家畜の筋肉は本来無菌であるが, と殺処理の過程で微生物に汚染されていく。家畜の腸管内には多くの微生物が存在し, 特に牛においては腸管出血性大腸菌が検出されることは珍しくない。と殺に際しては, 腸管の内容物がと体に付着しないよう細心の注意が払われている。しかしながら, 2011年に牛生肉(ユッケ)を原因とする腸管出血性大腸菌による食中毒が発生した(死者5人)ことを受け, 2011年9月に生食用食肉(牛肉)の規格基準が設けられた。その概要は以下の通りである。

- (1) 腸内細菌科菌群は陰性でなければならない。
- (2) 加工および調理は, 専用の設備を整えた衛生的な場所で, 専用の器具を用いて行わなければならない。
- (3) 肉塊の表面から深さ1 cm以上の部分までを60°Cで2分間以上加熱する方法またはこれと同等以上の効果を有する方法で加熱殺菌しなければならない(肉塊の表面に菌が付着して, その後内部に浸透していくため, 表面を加熱殺菌して, トリミングして食用に供することになる)。
- (4) 加工および調理は, 生食用食肉(牛肉)の安全確保に必要な知識を習得した者が行わなければならない。

同じような基準は1998年にすでに生食用食肉の衛生基準として設けられていたが, 牛肉による重大な食中毒事件の発生から, 表面を加熱殺菌することが盛り込まれ, 罰則を伴う強制力のある規格基準が策定された。

3. 熟成

食肉の源は家畜の筋肉である。筋肉は家畜のと殺後, 冷蔵で一定の期間保持されて食用に供される。この間に筋肉中ではさまざまな変化が起こり, 軟らかく, しかもおいしい食肉となる。この行程は熟成と呼ばれ, 食肉生産においては必ず行われる。私たちが購入する店頭で陳列されている食肉は, 熟成が完了したものである。

3.1 死後硬直

と殺後の枝肉は冷蔵庫で冷却され, このときに最初に起こる現象は死後硬直である。死後硬直とは, 生体の場合と同じ筋肉の収縮のことである。ただし筋小胞体はカルシウムを保持する機能を失い, カルシウムが漏れ出すことによって不可逆的な収縮となる。死後硬直を起こした筋肉は

硬く、また保水性も低いため食用には適さない。死後硬直に至る時間は畜種や筋肉部位などによって異なるが、鶏でと殺後約2時間、豚で12時間、牛で24～48時間である。

3.2 軟化とうま味

死後硬直後さらに時間が経過すると、筋肉は再び軟らかくなり、またうま味成分が増加しておいしい食肉となる。熟成期間は死後硬直と同じように、畜種や筋肉部位などによって異なるが、一般的には鶏でと殺後12～24時間、豚で4～6日、牛で8～10日程度である。

3.2.1 死後硬直の解除（軟化）

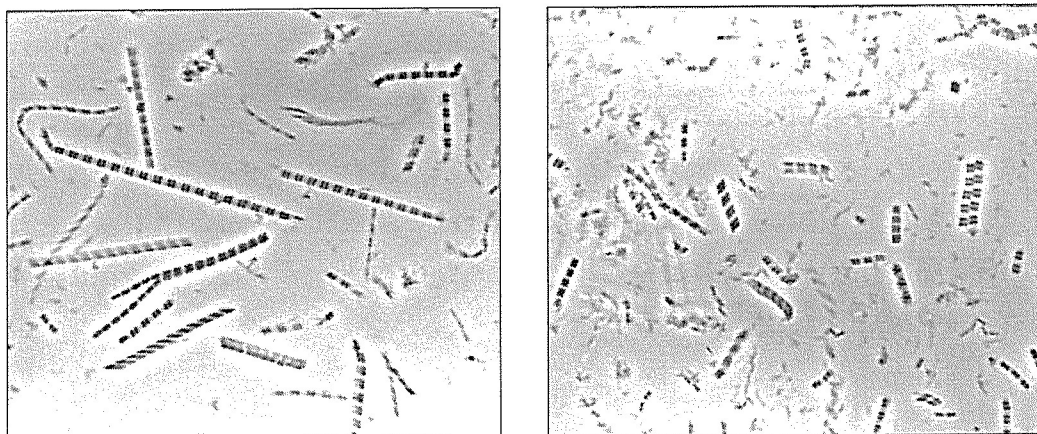
死後硬直で硬くなった筋肉が軟らかくなることを、死後硬直の解除（解硬）と呼ぶ。解硬の主な理由として4つの要因が挙げられている。

(1) 筋原線維の小片化と呼ばれる現象¹⁾

筋原線維を調製する際、と殺直後の筋肉から調製すると長い筋原線維が得られるが、熟成が完了した筋肉では短く切れた（小片化した）筋原線維になってしまう（図3）。この原因は、熟成中に筋原線維のZ線が脆弱化するため、筋原線維を調製するために筋肉をホモジナイズすることによる物理的衝撃で切れてしまうからである。これは食肉を口に入れ咀嚼したときの噛むという物理的力によって筋原線維が容易に切れて、軟らかく感じることを示す。Z線が脆弱化する原因には、カルパイン（筋小胞体から放出されたカルシウムによって活性化されるプロテアーゼ）によるZ線構成タンパク質の分解あるいはカルシウムがZ線に直接作用することが示唆されている。

(2) 短縮した筋節長の復元（図4）

と殺直後の筋節の長さ（Z線から次のZ線までの距離）は $2.4\mu\text{m}$ である。これが死後硬直（収縮）によって $1.6\mu\text{m}$ 程度まで短縮する。さらに時間が経過すると、短縮した筋節長が $2.2\mu\text{m}$ にまで伸びることが認められている。筋肉の収縮が硬さの原因であるので、これが伸びることは再



熟成前

熟成後の筋肉から調製した筋原線維

図3 熟成による筋原線維の小片化を示す顕微鏡写真⁷⁾

(撮影：独農業・食品産業技術総合研究機構東北農業研究センター 渡邊 彰)

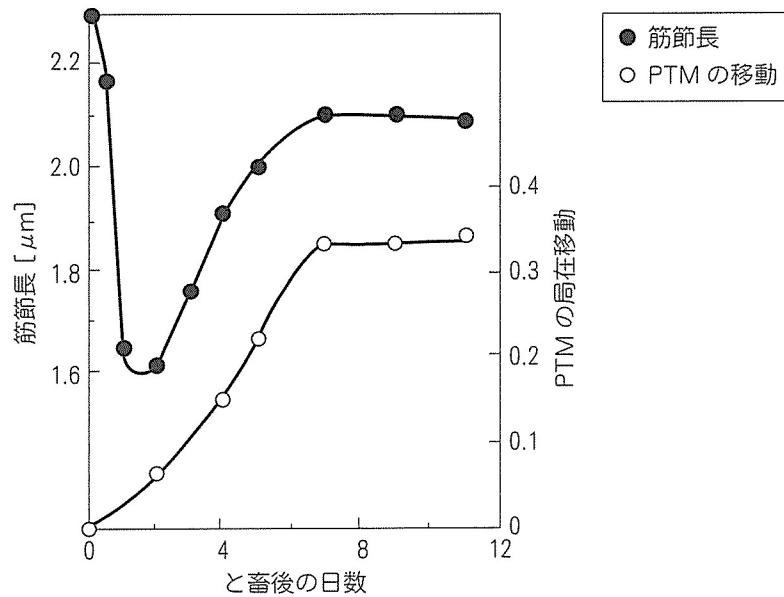


図4 と殺後の筋節長の変化とパラトロポミオシン (PTM) の局在移動⁷⁾

び軟らかくなることを意味する。筋節長が復元する原因として、パラトロポミオシンの作用が考えられている。パラトロポミオシンはミオシンとアクチンの相互作用（収縮）を阻害する作用を有している。と殺直後ではパラトロポミオシンはA帯とI帯の接合部に局在しているが、熟成が進むとともに、筋原線維全体に移動する。その結果収縮が阻害されて、筋節長が復元すると考えられている²⁾。

(3) 筋肉の構造を支えるタンパク質の分解

筋原線維にはコネクチン（分子量280万）、ネブリン（分子量80万）といった巨大なタンパク質が存在し、筋原線維の構造を支えている。熟成中にこれらのタンパク質が分解されることが示されている^{3),4)}。

(4) 結合組織の分解

食肉の硬さの要因には、筋肉の収縮の程度と結合組織（主成分はコラーゲン）がある。筋原線維は束となって、ハチの巣のような構造の結合組織の膜に包まれている。このハチの巣構造もまた熟成中に崩壊する⁵⁾。

3.2.2 うま味成分の生成

熟成によって筋肉が軟らかくなるとともに、おいしくなる。うま味成分であるアミノ酸、ペプチドさらには核酸系のうま味成分であるイノシンなどが熟成中に増加する。アミノ酸やペプチドは筋肉タンパク質由来で、筋肉中のさまざまなタンパク質分解酵素の作用によりタンパク質が分解されて生成する。核酸系のイノシンは、収縮のエネルギー源であるアデノシン三リン酸（ATP）から生成する。やはりさまざまな酵素の作用により、ATPはADP、AMP、IMPそしてイノシンへと変換されていく。

4. 食肉のおいしさ

食肉のおいしさの要因はさまざまであるが、特に重要視されているのは軟らかさと多汁性である。食肉には70%程度の水分(肉汁)が含まれており、この水には食肉のうま味成分が溶解している。多汁性とは食肉を噛んだときに出てくるほど良く感じる肉汁のことで、さらにはそれに含まれるうま味成分との相乗効果によりおいしく感じる。多汁性に関する食肉の特性として保水性がある。その名のとおり、食肉の水分を保持する性質のことである。保水性を左右する因子はpHと繊維のキメと締まりである。保水性はpH5付近で最も低い。このpHは食肉タンパク質の等電点に近いからである。保水性が低いと噛んだときに肉汁が一度に出てしまい、その後は繊維だけが残ってしまう。また、高いと噛んでも肉汁が出ず、うま味が感じられない。通常の食肉のpHは6付近であるので、噛むほどにほど良く肉汁が出てくる。さらに食肉の格付けには、肉の繊維のキメと締まりという項目がある。すなわち繊維が細く(キメが細かい)しっかりと詰まっている状態が良いとされる。これは毛細管現象により水が保持されていることに関係している。

5. 生肉と加熱肉

食肉は加熱して食べられることがほとんどである。生肉は軟らかく、柔軟性があるが、加熱することによって硬くなる。これはタンパク質が熱変性を起こして、凝固するからである。特に焼いた場合、筋肉を包む結合組織(主成分はコラーゲン)の膜が収縮するため、食肉はさらに硬くなる。ステーキのような、焼いて調理する場合の食肉の部位はロースやモモ肉などのスジ(結合組織)の少ない部位であるが、焼きすぎるとは食肉を硬くするとともに、収縮により肉汁が出てしまうことになる。これに対して煮るという調理方法の場合、3本鎖のヘリックス構造のコラーゲン分子はほぐれることによって(ゼラチン化)、食肉は軟らかくなる。したがって、スジが多く硬い食肉部位(スネ肉など)は、煮込む調理に適している。

脂肪もまた食肉の味や風味に大きく影響する。畜肉脂肪は常温で固体であるが、畜種によって脂肪の融点が異なる。牛やめん羊のような反芻家畜の脂肪の融点が最も高く(40~55℃)、続いて豚(33~46℃)、鶏(30~32℃)の順である。豚の脂肪の融点は人の体温に近く、口に入れたときにほど良く溶けて滑らかさを感じることができる。

6. おわりに

畜肉を生食することは、加熱した場合とは異なる独特の食感や味わいがある。ただし鮮魚(刺身)とは違い、一定の熟成期間を経て食肉となるため、この間に有害菌が増殖、内部へ浸透して食中毒を起こす危険性がある。特に牛肉の場合には配慮が必要である。厚生労働省が定めた「生食用食肉の衛生基準」に適合したものとして牛肉、牛レバーの出荷実績はこれまでなかった(2008年度実績)。出荷されているのは馬肉と馬レバーだけである。したがって、今後は牛肉についても生食用食肉の規格基準を守ることは当然である。これ以外にも畜肉として豚肉と鶏肉が

あるが、これらはこの基準の対象外である。豚肉については生食の習慣がなく、鶏肉については今後検討することになっている。いずれにせよ、子どもや高齢者のような免疫力の低い人は、生食は避けた方が良くであろう。

参考・引用文献

- 1) K. Takahashi, T. Fukazawa, T. Yasui : *J. Food Sci.*, 32, p.409 (1967).
- 2) K. Takahashi, A. Hattori, H. Kuroyanagi : *Meat Sci.*, 40, p.413 (1995).
- 3) K. Takahashi, H. Saito : *J. Biochem.*, 85, p.1539 (1979).
- 4) R. Tatsumi, K. Takahashi : *J. Biochem.*, 112, p.775 (1992).
- 5) T. Nishimura, A. Hattori, K. Takahashi : *Meat Sci.*, 81, p.127 (2010).
- 6) 山本啓一, 丸山工作 : 筋肉, 化学同人 (1986).
- 7) 伊藤敏敏, 渡邊乾二, 伊藤良 : 動物資源利用学, 文永堂出版 (1998).
- 8) 沖谷明紘編 : 肉の科学, 朝倉書店 (1996).