

総

説

肉の熟成について

荒 川 信 彦*

はじめに

私どもが食用に供している肉は骨格筋とよばれる筋肉の部分で、動物の屠殺後数日間、場合によってはさらに長期間貯蔵してから食べるのが普通であります。現在の流通機構から考えても屠殺直後の肉を食べることはできませんし、また、屠殺後の肉が必ず経過する死後硬直期の肉を食べても肉質がかたくて肉汁の分離が多く、食味の悪いことが知られております。そこで、死後硬直後におこる肉の軟化をまって食べるのが一般的であります。このような軟化現象を肉の硬直の解除とか解硬という言葉で呼んでおりますが、その機構についてはまだはっきりしたことがわかっておりません。これらの過程に筋肉中に存在している各種の酵素によって自己消化が起り、肉の風味がよくなり、調理材料としても適した状態に変化しますが、このような全過程を“肉の熟成”と呼んでおります。

死後変化の生化学

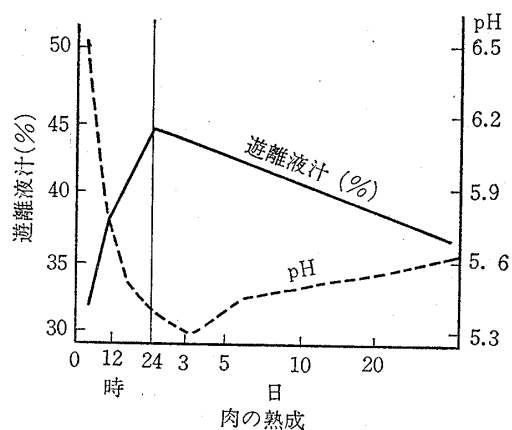
屠殺後の筋肉における最も大きな変化は好氣的状態から嫌氣的状態への移行である。血液の循環停止によって組織内への酸素の供給が絶たれ、酸素を必要とする生化学的反応が停止される。しかし、その他の反応はこれに関与する酵素が失活したり、基質が消費されない限り進行されるため、屠殺後の筋肉は生筋とは異なる状態に変化してゆく。

1. グリコーゲンの減少と pH の低下

筋肉中には運動に対するエネルギー貯蔵体としてグリコーゲンが比較的多量に含まれている。その含量は動物

第1表 筋肉中のグリコーゲンの死後変化 (mg%)

肉の種類 貯蔵時間 (0~4°C)	馬 肉	豚 肉	鶏 肉
0	2,200	765	110
2	2,175	312	0
4	2,119	180	
6	2,142	—	
8	2,157	171	
24	1,960	141	
48	1,805	80	
72	—	61	
168	1,720		

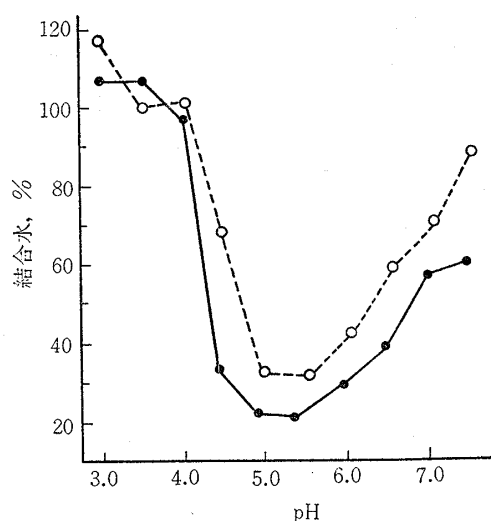


第1図 肉の熟成とpHおよび保水力の変化

の種類、筋肉の部位などによって異なるが、第1表に示されているように1%以上も含まれる場合も多く、馬肉にはとくに多い。このグリコーゲンは前述のように屠殺後の嫌氣的条件下では解糖により乳酸を生成し、肉のpHの低下を惹起する。この乳酸生成量とpH低下の関係はほぼ直線関係にあり、筋肉 1g あたり 50 μ M の乳酸生成によって約1単位のpHが低下する。しかし、多くの場合肉

* お茶の水女子大学食物学科

肉の熟成について



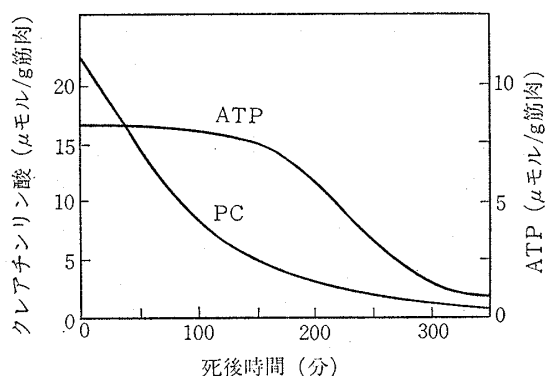
第2図 死後1日目(●)および7日目(○)の牛の筋肉の各pHにおける保水力

のpHは5.4付近より低くなることは少なく、死後の筋肉の示す最も低いpHは極限pH(ultimate pH)と呼ばれる。グリコーゲンが残存する場合にも極限pHが5.4付近でとどまるのは解糖に関する酵素系の不活性化によるものである。肉の加工あるいは肉のテクスチャーに関係が深いとされている肉の保水性は第1図にみられるように屠殺後一時的に減少してくる¹⁾。第2図に肉の保水性と肉のpHとの関係のモデル試験の結果を示したが、生肉の保持するpH7.0から極限pHに至るpH5.5~5.0にかけて、肉の保水性は著しく減少する²⁾。このように屠殺後の肉の保水性の減少は肉のpH低下がその主な原因と考えられている。その後、熟成中の肉のpHは僅かに上昇してくるが、このpH変化だけでは熟成肉の保水性の増加を説明することは出来ず、筋原繊維タンパク質の何らかの変化あるいはこれらのタンパク質が構成する高次の立体構造の変化が関与するものと考えられている。

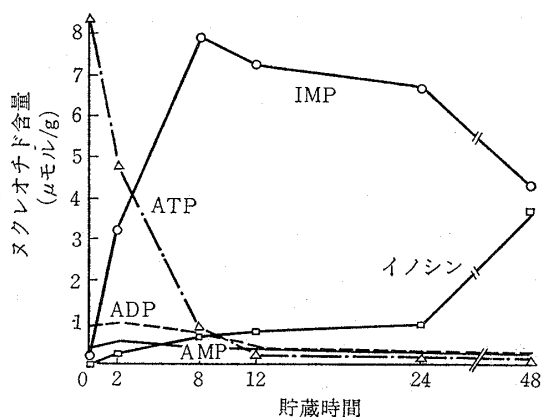
2. ATPの分解

屠殺後の筋肉中に存在するATPは各種のATP加水分解酵素(ATPアーゼ)により、ADPと無機リン酸に分解されエネルギーを放出する。この場合すべてのエネルギーが化学的な反応に使われるのではなく、その多くは熱として放出される。したがって、屠殺後の筋肉では呼吸による放熱がないため、屠体の体温が上昇し、硬直熱が発生する。

筋肉中にはATP以外にエネルギーの一時的貯蔵体としてクレアチンリン酸が比較的多量に含まれている。クレアチンリン酸は高エネルギーリン酸化合物で、クレアチンキナーゼの作用によりADPとの間にリン酸基の受授を行ってATPを生成する。



第3図 38°Cにおける家兎の筋肉のクレアチンリン酸とATPの変化

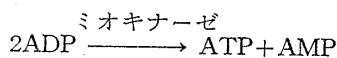
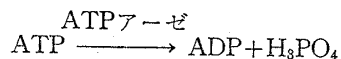


第4図 ニワトリ胸筋のヌクレオチド含量の変化(4°Cにおける)

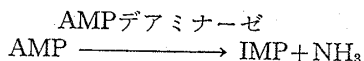


したがって、第3図にみられるように屠殺後の筋肉ではATPの減少に先だってクレアチンリン酸の減少が起り、クレアチンリン酸の消失後、ATPの減少が起る³⁾。

ATPの減少にともなってイノシン酸(IMP)が増加することが知られている。その1例として鶏胸筋の死後変化にともなうヌクレオチド類の消長を第4図に示した⁴⁾。この図からも明らかなようにATPの減少とほぼ等モル関係でIMPが増加するのにADPおよびAMPは少量でしかもほとんど変化しないのがわかる。これは以下に示すようにATPの分解によって生成されたADPがミオキナーゼの作用によりAMPを生じ、AMPがさらにAMPデアミナーゼの作用によってIMPを生ずるためである。



(上段と同様の基質となる)



ADPやAMPが増加しないのはミオキナーゼやAMP

デアミナーゼの活性が ATP アーゼのそれよりも高いためである。

IMPは御承知のとおり旨味をもったヌクレオチドで肉の風味の向上に關与する。IMPは長期の貯蔵によって漸減し、旨味をもたないイノシン、さらには苦味を呈するヒポキサンチンへと分解していく。鶏肉以外の他の動物肉でもこれとほぼ同様の傾向がみられるが、大動物ではIMP含量の最も高くなる時間経過が、鶏肉の場合よりいくぶん遅いことが知られている。

3. 遊離金属イオンの変化

pHの変化とともに筋肉タンパク質と結合している金属イオンの増減も肉の保水性に影響することが知られている。第2表に示されているように熟成中に水抽出液中の金属としてNaとCaが増加し、Kが減少する傾向がみられる⁵⁾。筋細胞中ではNaとKはほとんど遊離の型で存在し、Caは筋小胞体、ミトコンドリア、トロポニン、アクチンなどと結合しているが、熟成中に筋小胞体などの崩壊によってその一部が遊離してくるものと考えられる。筋肉タンパク質に結合しているCaやZnなどの2価カチオンが除去されると肉の保水性が高くなることが報告されており、タンパク質の網状構造中に水が保持されやすくなるためとされている。

第2表 牛筋肉の水抽出液および加熱遊離液汁中の金属量の変化

貯蔵日数	ナトリウム	カリウム	マグネシウム	カルシウム	遊離液汁量(%)
水抽出液					
3(日)	0.457	2.42	0.368	0.059	—
13	0.587	2.14	0.369	0.068	—
加熱による遊離液汁					
3	2.67	14.78	2.11	0.255	39.2
13	3.39	13.42	2.10	0.317	36.3

(100ml中のミリ当量)

4. 非タンパク態窒素の増加

熟成中にプロテオリシスが進行し、非タンパク態窒素化合物の増加することが知られている。

Sharp⁶⁾らは家兎と牛の筋肉を無菌的に37°Cで貯蔵した場合、トリクロル酢酸可溶の非タンパク態窒素がそれぞれ筋肉1gあたり、1日に20.7μモル、10.3μモル増加したことを報告しており、Davey⁷⁾らも牛筋肉を2°Cで30日間貯蔵した場合、筋肉1gあたり45μモルの非タンパク態窒素の増加を報告している。第3表に鈴木らの家兎筋肉についての実験例を示しておく⁸⁾。7日間の低温熟成中すべての遊離アミノ酸が増加し、低分子化合物への分解が進行していることを示している。また、トリクロル酢酸可溶物質をさらに塩酸で加水分解した場合とし

第3表 低温貯蔵した家兎背最長筋中における非タンパク態窒素化合物中の遊離および結合型アミノ酸含量の変化⁸⁾

アミノ酸	含量(μモル/100g 筋肉)					
	と殺後の時間					
	0日		3日		7日	
	加水分解前	加水分解後	加水分解前	加水分解後	加水分解前	加水分解後
Lys		19.8		38.4		65.6
His	1040.0	2205.0	1089.0	2766.0	1253.0	2800.0
Arg	1.6	5.1	4.7	10.1	15.1	29.9
Asp		38.9		42.4	18.1	102.3
Thr		19.1		25.8		64.6
Ser	*	30.6	*	43.8	*	96.5
Glu		324.5	8.9	255.0	29.0	359.5
Pro	*	30.0	6.4	47.1	25.1	80.8
Gly	113.8	960.0***	123.4	908.3***	162.0	1020.0***
Ala	89.5	137.8	87.5	138.2	128.2	204.2
Cys**		24.2		39.2		25.7
Val	21.5	20.8	16.8	30.6	32.9	80.9
Met**	6.5		7.8		22.6	6.9
Ileu	9.4	8.5	10.9	17.2	20.6	39.2
Leu	12.6	15.0	17.2	27.6	34.4	62.9
Tyr**	6.9	1.8	8.2	8.6	17.1	17.4
Phe	6.2	6.3	7.5	9.1	15.3	30.8
β-Ala	28.4	2998.0	19.5	3238.0	26.4	3398.0
Taurine		83.8		44.2		51.2

* ピークの重なりで分離不完全。

** 加水分解時に一部分解する。

*** ヌクレオチド分解物のグリシンも含まれる。

ない場合との比較も行っているが、ヒスチジン、グルタミン酸、アラニン、β-アラニン、ロイシン、バリンなどのアミノ酸が加水分解によって著しく増加してくることが示されており、これらはペプチドとして存在するものと解される。以上のような遊離アミノ酸、ペプチドの増加はイノシン酸の増加と相俟って熟成による風味の増加に關与するものと考えられている。

これらのプロテオリシスに關与する酵素としては筋肉中に存在する酸性プロテアーゼ、中性プロテアーゼを挙げることができる。

筋肉中に存在する酸性プロテアーゼは一般に次のように分類されている。

エンドペプチダーゼ類

カテプシンB₁

カテプシンD

カルボキシペプチダーゼ類

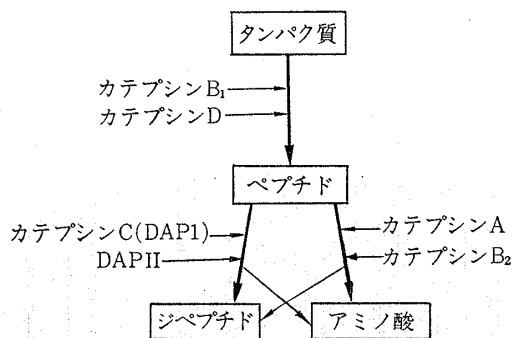
カテプシンA

カテプシンB₂

アミノペプチダーゼ類

カテプシンC

肉の熟成について



第5図 蛋白質分解プロセスの想定図

ジペプチジルアミノペプチダーゼⅡ

また、これらの酵素によるタンパク質分解のプロセスは第5図の通りである。はじめにエンドペプチダーゼであるカテプシンD、あるいはカテプシンB₁が作用してペプチドを生成し、これにカテプシンAあるいはカテプシンB₂が作用してC末端からアミノ酸を1つずつ加水分解していく。また一方、カテプシンCあるいはジペプチジルアミノペプチダーゼⅡ(DAPⅡ)がN末端よりアミノ酸を2個ずつ切っていくことが知られている。

また、中性プロテアーゼとしては次のような酵素が知られている。

エンドペプチダーゼ類

Ca²⁺-活性化サーコフラズミック因子

(calcium activated neutral protease, CAF)

アミノペプチダーゼ類

ジペプチジルアミノペプチダーゼⅢ

ジペプチジルアミノペプチダーゼⅣ

ロイシンアミノペプチダーゼ

アミノトリペプチダーゼ

プロリンイミノペプチダーゼ

ピロリドニルペプチダーゼ

ジペプチダーゼ類

前記のグリコーゲンの分解の項で明らかなように屠殺後の筋肉はかなりの速さで ultimate pH に達するので酸性プロテアーゼの寄与が大きいと考えられる。中性プロテアーゼによる分解系も酸性プロテアーゼによる分解系と独立に存在することが明らかにされている。また、後述するように中性エンドペプチダーゼである calcium activated neutral protease (CAF) も筋原繊維のZ線の崩壊に特異的に関与することが知られている¹⁸⁾¹⁹⁾。

この他、筋肉中には pH9~10 付近に至適pHを有するアルカリプロテアーゼの存在することも知られているが、食肉のpHから考えて、熟成肉のプロテオリシスには関与しないものと考えられる。

死後硬直と解硬

筋肉の死後硬直と解硬の現象を理解するには筋肉および筋原繊維の立体構造を知っておく必要がある。また、その前に筋肉蛋白質についても若干の知識を必要とするので以下簡単に略述する。

1. 筋肉タンパク質

筋肉タンパク質は組織内における存在部位とか各種塩溶液に対する溶解度によって、筋漿タンパク質 (sarco-plasmic protein)、筋原繊維タンパク質 (myofibrillar protein)、肉基質タンパク質 (stroma protein) に大別される。その含量比は全タンパク質に対して筋原繊維タンパク質はほぼ50%、筋漿タンパク質30%、肉基質タンパク質20%である。

a. 筋漿タンパク質：筋原繊維間の筋漿中に溶けた状態で存在するタンパク質で、古くはミオゲンあるいはグロブリンXという名称で分類されていたタンパク質である。水または希薄な塩溶液で抽出され、55~65°C 付近で熱凝固する。この区分には解糖に関与する酵素、リン酸転移酵素などの各種酵素類、ミクロゾーム、弛緩因子、ミオグロビン、ヘモグロビンなども含まれる。

b. 肉基質タンパク質：肉基質タンパク質としては硬タンパク質に属するコラーゲン (collagen)、エラスチン (elastin)、レチキュリン (reticulin) が知られており、結合組織を構成する。これらのタンパク質は肉のもつ固有のかたさに関係が深く、また、動物の年齢によって著しくその含量が異なる。たとえば老牛の肉は仔牛肉に比べてコラーゲンが多く、肉もかたくなる。

c. 筋原繊維タンパク質：筋原繊維を構成しているタンパク質で肉基質タンパク質とともに筋肉構造タンパク質ともよばれる。ミオシン (myosin)、アクチン (actin)、トロポミオシン (tropomyosin) がそのおもなタンパク質で、このほか α-アクチニン (α-actinin)、β-アクチニン (β-actinin)、トロポニン (troponin)、M-タンパク質、

第4表 筋原繊維の構成タンパク質

タンパク質	含量 (%)	所 在
ミオシン	60	太いフィラメント
アクチン	20	細いフィラメント
10Sα-アクチニン	5	細いフィラメント
トロポミオシン	4.5	細いフィラメント
トロポニン	4	細いフィラメント
α-アクチニン	0.5	Z膜
β-アクチニン	0.1	細いフィラメント
M-タンパク質	~0.5	M線
C-タンパク質	0.5	太いフィラメント
コネクチン	—	—

C-タンパク質、コネクチンなどより成る。全筋原繊維タンパク質に対するそれぞれのタンパク質の構成割合は第4表のとおりである。

ミオシンは筋原繊維中の太いフィラメントに、アクチン、トロポミオシンは細いフィラメント上に存在し、筋肉の収縮弛緩に直接関与する。また、トロポニン、第12図にみられるように細いフィラメント上の特定の場所に局在し、Caイオンと結合してミオシンとアクチンの相互作用に変化を与える。 α -アクチニン、 β -アクチニンはZ線またはその近傍に局在し、アクトミオシン ATPアーゼ活性度の増大およびアクトミオシンの超沈澱速度の促進などの性質が明らかにされており、細いフィラメントのZ線への接合に関与するものと考えられている。 β -アクチニンは細いフィラメントの定長化に関係があることが明らかにされている。

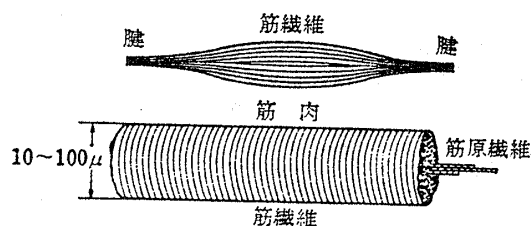
2. 筋肉の構造

筋肉は形態上、横紋筋、心筋、平滑筋に分けられ、それぞれ異なった機能と構造をもっている。しかし食肉は生体の約30~40%を占める横紋筋の部分で、一般にはこの部分だけが肉とよばれている。横紋筋は骨格筋または随意筋ともよばれ、収縮と弛緩をくり返すことにより運動を行ない、同時に化学的エネルギーを機械的エネルギーに転換する器官である。

筋肉の組織は多数の筋繊維が集まっている筋束、脂肪組織、腱、血管、神経繊維、リンパ節、リンパ腺などからできており、十分に肥育した動物の筋肉組織には脂肪細胞が沈着して、いわゆる「霜降り肉」となる。

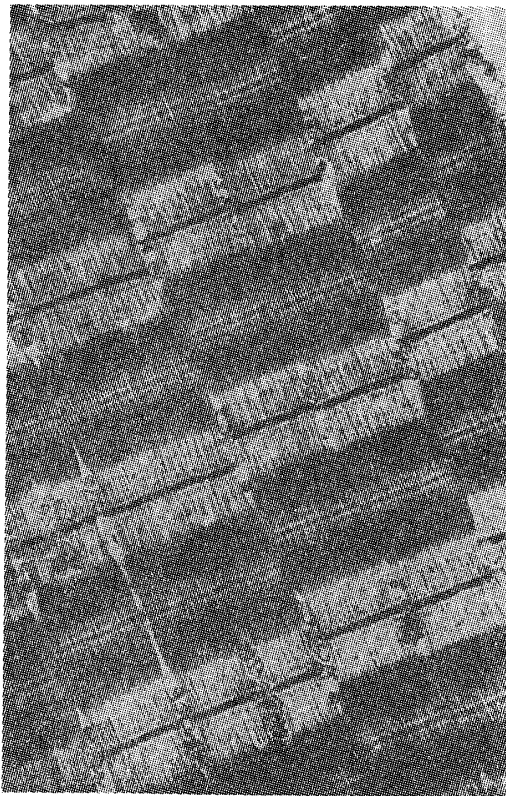
筋繊維は1個の細胞に相当し、第6図にみられるように細長い円柱状で直径10~100 μ 、長さ数cm、なかには十数cmに達するものもある。この筋繊維は筋鞘とよばれる細胞膜で包まれ、その中にはゾル状の成分である筋漿とゲル状の成分である筋原繊維が詰まっており、繊維方向に明るい部分と暗い部分を交互にもった規則正しい横紋構造をもっている。筋原繊維のこの紋様構造は第7図の電子顕微鏡図のようであるが、その超微細構造のモデルは第8図の通りである。

すなわち、繊維方向にそって複屈折の強い暗いしま目の部分のA帯(A-band, anisotropic band)と、複屈折の

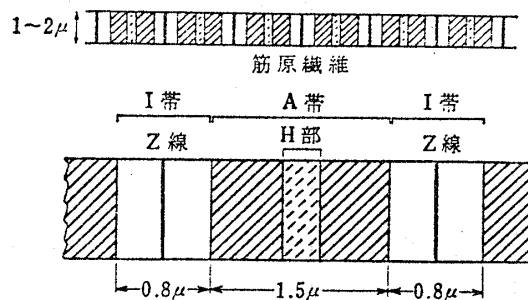


第6図 筋繊維と筋原繊維のモデル

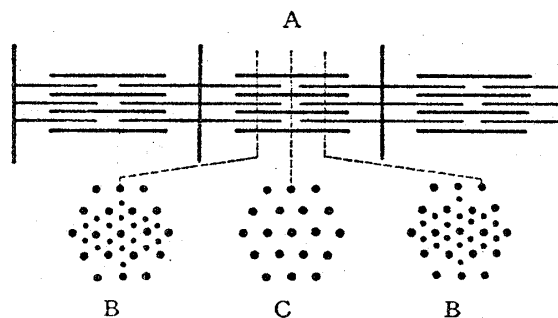
弱い明るいしま目のI帯(I-band, isotropic band)がみられる。A帯の中央部にH部(H-zone)とよばれるやや明るい部分と、I帯の中心部にZ線(Z-line)とよばれる密度の高い部分がみられる。Z線からZ線までが筋節



第7図 家兎筋肉のフィラメント構造を示す電子顕微鏡図



第8図 骨格筋の構造モデル（休止筋）



第9図 骨格筋の筋原繊維の立体構造モデル

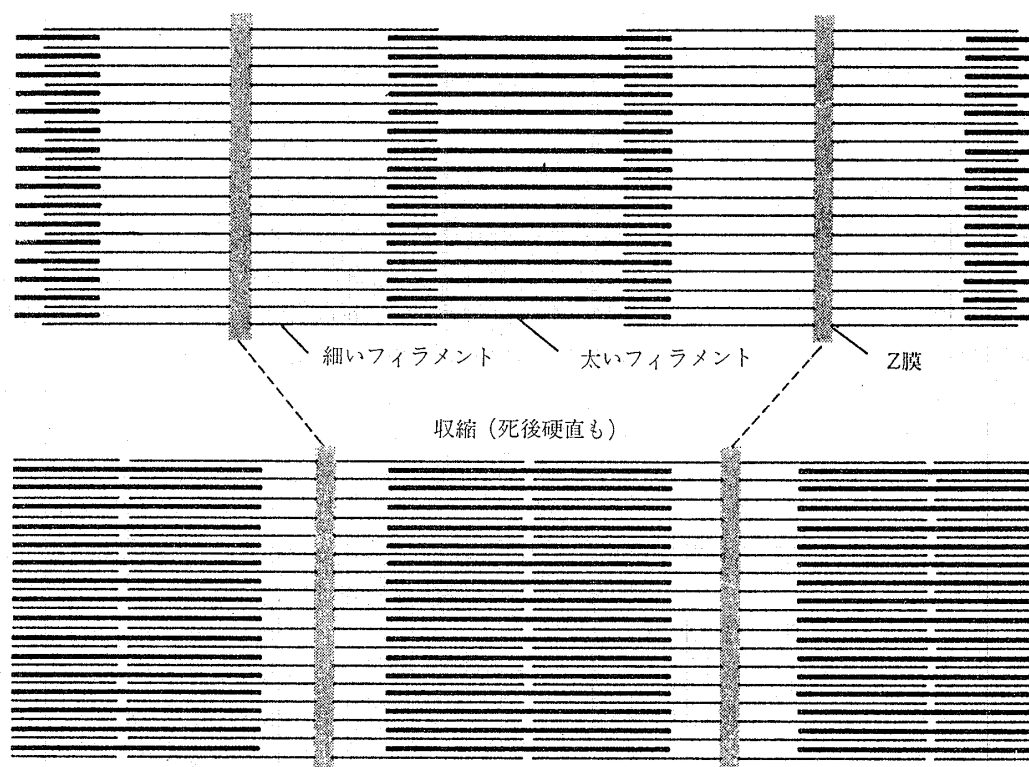
A: 縦断面, B: 横断面 (A帯の重なり合った部分の), C: 横断面 (H部の)

肉の熟成について

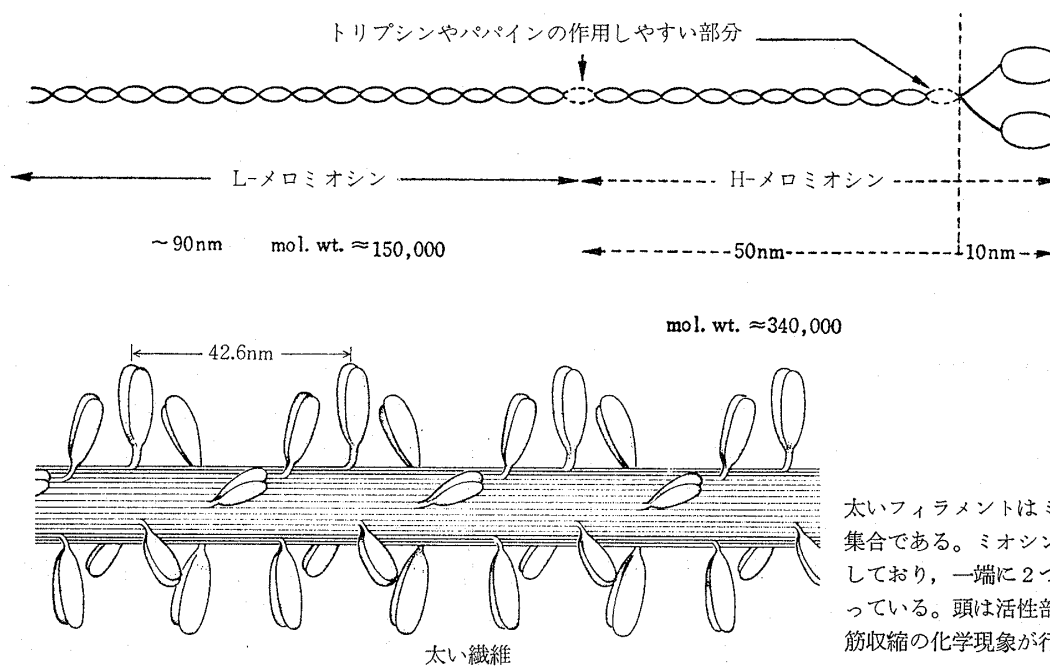
(sarcomere) とよばれる一つの単位になっており、このくり返しで筋原繊維ができています。筋原繊維の空間的な立体配置は第9図の通りである。繊維方向に太いフィラメントと細いフィラメントが交互に走っており、6本の細いフィラメントの真中に1本の太いフィラメントが規則正しく配列されている。太いフィラメントはA帯だけ

に存在し、長さ 1.5μ 、幅約 $100\text{\AA}$ である。また、細いフィラメントはI帯とA帯のH部を除いた部分に存在してZ線に連なっており、長さ $1\mu \times 2$ 、幅約 $50\text{\AA}$ である。H部はI帯からA帯に入りこんでいる細いフィラメントがA帯の中央部で切れている部分で密度がやや低くなっている。1筋節間の長さは $2\sim 3\mu$ で筋肉の収縮弛緩にともな

弛緩（引き伸ばされている）

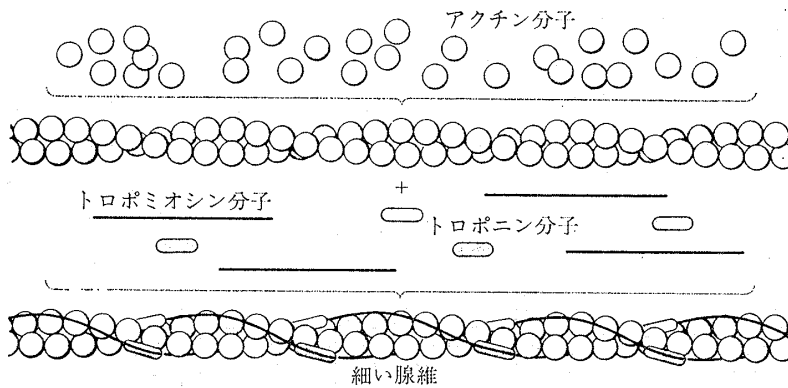


第10図 筋原繊維の収縮弛緩を示した横紋構造



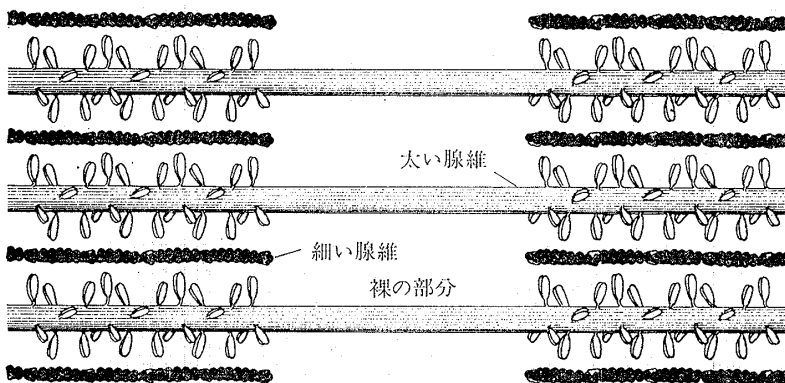
第11図 太いフィラメント

太いフィラメントはミオシン分子の集合である。ミオシンは長い棒状をしており、一端に2つの“頭”をもっている。頭は活性部位であって、筋収縮の化学現象が行なわれる。



第12図 細いフィラメント

細いフィラメントはアクトチン、トロポミオシン、トロポニン分子の複合重合体である。



第13図 太いフィラメントと細いフィラメントの配列

太いフィラメントと細いフィラメントは互いに入り込んだ秩序ある配列により筋原繊維を形成している。この配列では、太いフィラメントのミオシンの頭は架橋として働き、細いフィラメントのアクトチン分子と結合したり、離れたりする。

って、第10図にみられるように太いフィラメントも細いフィラメントもその長さが変わることなく、その相対的な位置のずれによって、I帯の見かけ上の長さだけに変化がみられる。太いフィラメントと細いフィラメントをさらにわかりやすくモデル化してみると、太いフィラメントは第11図にみられるように頭部をつきだしたミオシンの規則正しい重合体からできている。また、細いフィラメントは第12図にみられるようにアクトチン、トロポミオシンおよびトロポニンの複合重合体からできている。この両者の巧妙な配列のモデルを第13図に示す。

3. 死後硬直と伸長性の消失

屠殺直後の筋肉は生筋と同じように伸長性を示すが、屠殺後の時間の経過とともに伸長性を消失してしまう。伸長性とは筋肉に荷重をかけたときの伸長と復元を示す性質をいい、肉の弾力性と相関する。屠殺直後の筋肉がこのような伸長性を示すのは相当量のATPを有し、 Ca^{++} は筋小胞体に回収された状態にあるためである。このような場合にはミオシンとアクトチンの間の結合は抑えられており、第14図の1に示す状態にある。刺激によって筋

収縮が起る場合は筋小胞体から Ca^{++} が放出され、トロポニン-トロポミオシン系を通して、ミオシンとアクトチン間の相互作用が強まり、第14図の2および3に示す状態にみられるように、ミオシンの頭部と細いフィラメントの結合が起り、ATPのエネルギーを利用して、きめられた方向へのフィラメントの相対的移動を起す。 Ca^{++} の筋小胞体への回収によって弛緩が起り、フィラメントはもとの相対的位置にもどる。

ATPが存在しない場合には Ca^{++} の有無にかかわらず、ミオシンとアクトチンは結合する。したがって、このような条件下では、第14図の5のような状態で、ミオシンの頭部は細いフィラメントと架橋をつくるものと想定される。死後の筋肉では細いフィラメントが太いフィラメントの間に滑り込んだ状態のままで、ATPが次第に消失してしまい、死後硬直に至るものとされている。この両フィラメント間の架橋はいたるところで形成されて、死後硬直筋は伸長性を失い、硬い肉質を呈するものと考えられる。

4. 解硬とその機構

解硬には筋漿タンパク質および肉基質タンパク質はそれほど影響しないことが知られており、筋原繊維タンパク質の変化にそ

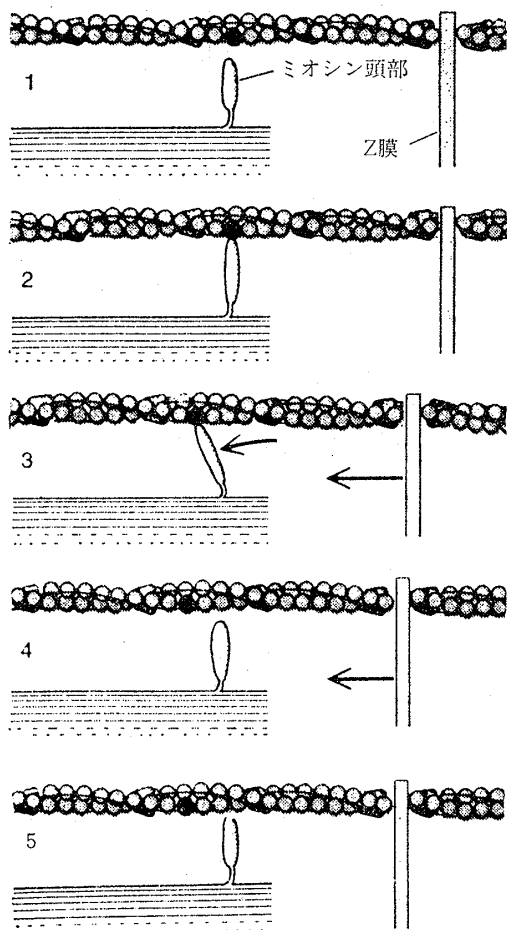
の要因をもとめなければならない。

解硬期の肉ではすでにグリコーゲンの分解によるATPの再生産は起らなくなっているの、生筋の弛緩に相当する過程は起らない。したがって、これらと全く異なる要因がもめられるが、ミオシン-アクトチン間の相互作用の弱化⁹⁾とZ線の崩壊¹⁰⁾¹¹⁾という事実からこの解硬現象の一部が説明できるのではないかと期待されている。前者は第15図にみられるように、屠殺直後、硬直期、解硬期の筋肉より抽出したアクトミオシンのATPによるアクトチンとミオシンへの解離性が熟成によって増加するという結果によるもので、事実、解硬期の筋肉から得られる筋原繊維の筋節の長さや、I帯の長さが、硬直期の筋肉から得られるそれよりも長いと報告されている¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾。

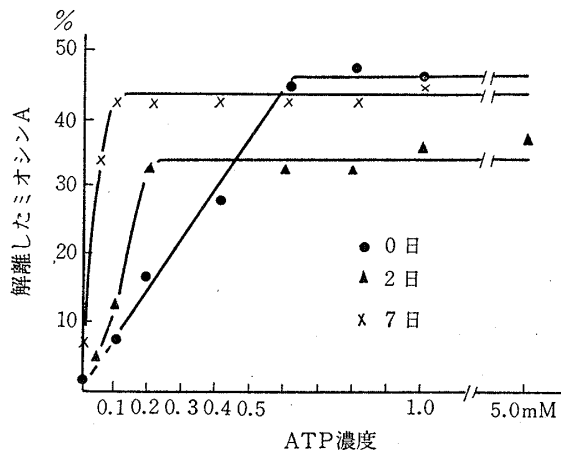
また、後者に関しては第16図の写真にみられるように解硬期の筋肉から得られる筋原繊維の一部にZ線の消滅した像が得られ、熟成にともなって筋原繊維の小片化が増えてくることから推論されている。これによって熟成にともなう筋繊維の引っ張り強度の減少を説明できるし、アクトチンの抽出性の増加も説明できる。

肉の熟成について

ところで、このような現象がどのような機構によって起るのかということに関してはまだ推論の域を出ていない。ミオシン-アクチン間の相互作用の弱化は両フィラメント間の架橋の切断または弱化を意味するので、細いフィラメントの相対的なすべり出しを意味し、解硬を説明するのに甚だ都合がよい。しかし、アクチンとミオシンの結合が ATP の不在下でどうして弱まるのであろう

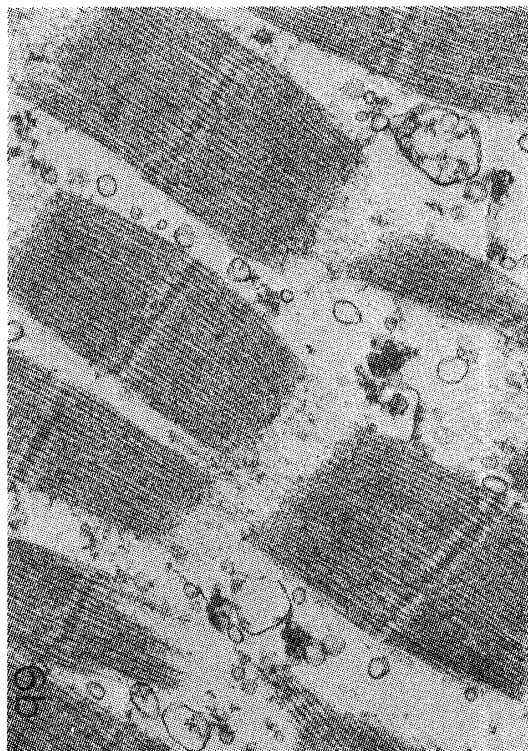


第14図 両フィラメント間の架橋の生成と相対的移動



第15図 家兎背長筋貯蔵中アクトミオシンのATPによる解離性の変化

か、pHの低下にともなうタンパク質の酸変性、あるいは熱変性だけによって、はたして結合部位に変化が起るのであろうかという疑問が残る。これらと異なる可能性として私どもは、筋肉中に存在するエンドペプチダーゼによる作用を期待している。すなわち、第11図の上図にみられるようにミオシンはトリプシンなどの作用を受けやすいほどけた部位を2ヶ所もっており、カテプシンDの作用を受けるはずである。アクチンとミオシンの結合部位に変化が起らなくてもミオシン架橋の芯の部分で切れてしまわないだろうか。このような発想から熟成肉から調製した筋原繊維の電気泳動パターン中にミオシン分解物である H-メロミオシンあるいは S-1 フラグメントをもとめたが、低温貯蔵ではこれらの分解物はほとんど生成されていなかった¹⁵⁾。無菌処理をして高温貯蔵をしたときにのみ、これらの分解物の生成を認めることができたが、一般の肉の熟成には適さない条件である¹⁵⁾。しかし、面白いことにマリネ処理を行った肉では低温でもミオシンの分解が起り、肉の軟化がみられる¹⁶⁾¹⁷⁾。マリネ処理によるpH低下がカテプシン群の至適pH値と一致するためこのような軟化が起るものと私どもは考えている。このようにタンパク質のプロテオリシスを強調すると、もう一つの問題にしなければならないのがトロポニンの分解である。トロポニンはトリプシンの分解を受けやすく、このような性質がトロポニンの発見の起源になった



第16図 家兎熟成肉の筋原繊維の電顕図 (Z線の消失がみられる)

ほどであるが、低温貯蔵した筋肉中にはトロポニンの分解物がみられる。Ca感受性を失ったトロポニンが、アクチン-ミオシン間の相互作用にどのような影響を及ぼすかも興味ある問題の一つである。

Z線の崩壊に関してはこれに特異的に関与する酵素が発見されている¹⁸⁾¹⁹⁾。この酵素は中性域において Ca^{++} によって活性化をうけるプロテアーゼ(calcium activated neutral protease)で、筋ジストロフィーとも関係があるのではないかと興味をもたれている。しかしこの酵素の最大活性を示すCa濃度は1mMを要するので、屠殺後の筋肉において、たとえ筋小胞体の破壊が起ったとしてもこのような高濃度にはなり得ないであろうという疑問も出されている。また、CAFが存在しなくても Ca^{++} だけで筋原繊維の小片化が起るといふ報告も出されており²⁰⁾、この問題についてももう少しばらく結論を待たなければならぬ。

おわりに

以上のように肉の熟成に関する研究は古くて新しい問題といえるかもしれません。筋肉に関する生化学、組織学の著しい進歩にあわせて、食肉に関する情報量も急速に増えてきております。これらの中から調理に関する面白い問題が掘り出せるのではないかと期待しております。

文 献

- 1) Wierbicki, E. et al. ; Food Technol., **10**, 80 (1956)
- 2) Hamm, R. ; Z. Lebensm. Unters. Forsch., **109**, 227 (1959)
- 3) Bendall, J. R. ; The Structure and Function of Muscle, Vol.2 Academic Press Inc., (1973)
- 4) Terasaki, M. et al. ; Agric. Biol. Chem., **29**, 208 (1965)
- 5) Arnold, N. et al. ; Food Technol., **10**, 245 (1956)
- 6) Sharp, J. G. ; J. Sci. Food Agric., **14**, 468 (1963)
- 7) Davey, C. L. et al. ; J. Food Sci., **31**, 135 (1966)
- 8) Suzuki, A. et al. ; Agric. Biol. Chem., **31**, 953 (1967)
- 9) Fujimaki, M. et al. ; J. Food Sci., **30**, 937 (1965)
- 10) Busch, W. A. et al. ; J. Cell Biol., **52**, 367 (1972)
- 11) Olson, D. G. et al. ; J. Food Sci., **42**, 117 (1977)
- 12) Gothard, R. H. et al. ; J. Food Sci., **31**, 825 (1966)
- 13) Takahashi, K. et al. ; J. Food Sci., **32**, 409 (1967)
- 14) Hay, J. D. et al. ; J. Food Sci., **38**, 981 (1973)
- 15) Arakawa, N. et al. ; Agric. Biol. Chem., **40**, 1445 (1976)
- 16) 妻鹿絢子ら ; 家政誌, **29**, 425 (1978)
- 17) 妻鹿絢子ら ; 家政誌, **30**, 618 (1979)
- 18) Dayton, W. R. et al. ; Biochemistry, **15**, 2150 (1976)
- 19) Dayton, W. R. et al. ; Biochemistry, **15**, 2159 (1976)
- 20) Hattori, A. et al. ; J. Biochem., **85**, 47 (1979)

投稿募集

研究報告の投稿をお願い致します。調理科学に関係のある、未発表の論文を投稿規定に従ってお送り下さい。

なお、今後質疑応答のページを作りたいと思いますので、調理科学に関係のある事項、あるいは、それらの実験法等につきまして、ご質問をお送り下さい。それぞれ適当と思われる方をお願いしてお答えし、あるいは講座のテーマにとりあげていきたいと思っておりますので大いにこの欄の活用をお願いいたします。