

総合論文

食肉の品質特性の解析と応用

泉本 勝利

(応用動物科学コース)

Analysis and application of meat quality characteristics

Masatoshi Izumimoto

(Course of Applied Animal Science)

The quality of food has always been evaluated by the five senses of human. It is possible for a sensory evaluation with no special device for anyone anywhere anytime. The evaluation is only result information, but it is not possible by evaluation to obtain cause information for quality control. Among evaluation information by the five senses for the food, sight has been developed most as the scientific method. The next development is texture, and then taste, odor and hearing are just developing. Deterioration of food becomes economic loss then results in environment load, so quality control is important. Instrumental analyses of the qualities of taste and flavor have not been very developed. Actually, the sensory evaluations for sight, odor, taste, hearing and texture examination are performed by the senses, but it is only evaluation.

The evaluation is results information and there is a limit to know cause information. Sensory evaluation is subjective, vague and may become arbitrary. Quality control is difficult by non experts with knowledge and experience. Therefore, cause information for scientific quality control was integrated with result information as evaluation. Objective cause information for the quality control is obtained by computer connected with the instrument having sensory sensor.

In this report, first, differences of evaluation and quality control for meat quality are explained. Successively, automatic analysis of characteristics of color quality and quality control, human interface of texture quality, inhibition of cells DNA damage by heme protein, the method of color development without nitrous acid and inhibition with fig protease against ACE, angiotensin-I converting enzyme were described.

Key words : meat, computer analysis, evaluation, quality control, color, texture, DNA damage, fig protease, ACE

序 文

食肉生産はコストと労力がかかり、比較的高価な食品素材である。食肉は栄養的価値のみならず嗜好的にも優れ、人気の高い食品素材である。明治時代以降、肉食禁止令が廃止され、政府も奨励した結果、消費量が増加した。近年、飽食、グルメ時代といわれる一方、自給率低下など日本の危うい食事情について危惧されている。食品の選択は栄養価などよりも、まず嗜好性、美味しさが最優先されていることからも、食品は量的確保のみならず品質の良いことが要求される。品質劣化で廃棄されれば負の生産になってしまう。

食品は嗜好性、栄養分、安全性、経済性などが総合的に判断されて消費者に選択される。「これらのうち嗜好性が最も受諾性(acceptability)に影響する。」といわれる

が、日本に限らず世界史は食糧難の歴史であり、つい最近まで供給側が経済的に有利であった。この状況では量が優先され、消費者は粗悪品でも甘受せざるを得なく、品質の向上について意識的に取り組まなくても済んでいた。近年、少なくとも先進国では食料の生産性、保存技術の飛躍的進展によって、量の確保は十分に行えるようになった。すると、需給関係は逆転し、経済的に消費側が有利になっており、際限なく品質への要求が高くなっている。本稿は食品とくに食肉の品質について述べる。一方、経済的格差によって、世界的に発展途上国、そして先進国といわれる日本でも貧困から栄養失調や餓死に至ることすらある状況を忘れてはならないだろう。したがって、農学には日本の食料生産に寄与するだけでなく、

Received October 1, 2009

全世界的に国際協力によって食料の安定供給への貢献が期待されている。

食品の品質はヒトの五感によって評価される。感覚評価は何時でも何処でも誰でも特別な装置なしでできるが、客観性がなく、曖昧で、記録性に乏しく、恣意的な余地があり、あまり科学的とはいえない。よく、評価・管理はセットでいわれるが、明確に区別する必要があり、品質評価でもって品質管理している錯覚は避けるべきである。評価はあくまで結果情報であり、誰でもヒトでなくともできるが、品質の原因情報を要する品質管理足り得ない。食品に対する五感による評価情報のうち、科学的取り扱いは視覚が最も発展している。次に発展しているのがテクスチャーで、味覚、嗅覚、聴覚は発展途上である。

生物資源を素材とする食品は品質がしだいに劣化する。この質的变化は経済的な損失となり、また廃棄に至れば負の生産になってしまう。食品の嗜好性はヒトの身体センサーである五官によって、視（4：し）覚、聴（兆：ちょう）覚、嗅（きゅう）覚、味（み）覚、触（449：しょく）覚である五感で評価される。偶然にも五感は括弧内の数値の読みと同じで、外国人学生にも丸覚えしていただいた。なお、これらの感覚の順に感知され、評価される順序もある。また、食品の品質はヒトが感知できる情報によって評価されるわけであるので、五官によって受諾できれば、良好な品質といえ、これら嗜好的品質は狭義の品質といえる。また、食品の品質の劣化防止のみならず、風味やテクスチャー（食感）などのより良好な嗜好性を目指して生産から流通において努力されている。

一方、栄養分、安全性などはヒトの五官で感知できないが重要な品質項目であり、これらを含めて広義の品質といえる。よく食品の安全・安心をセットで使われるが前者は食品衛生法等の法律上のことで、後者は個人の心の問題と考えれば分りやすい。「安心できないので安全でない。」とはいえない。

近年では栄養分の機能性が注目され、食品に元来備わっている未知な機能の発見や食品に処理を加えて健康性、保存性など機能性を付加することが行われている。メディアの影響かもしれないが機能性に着目あるいは重視するあまりに五大栄養素（タンパク質、糖質、脂質、ミネラル、ビタミン）に無関心な傾向は好ましくない。最近、機能性食品やサプリメントに健康を害する成分が見出されるなど、ヒトの感受性にもよるが、過信して摂取することが問題視されている。

本稿では食肉の品質について焦点をあて、まず、評価と管理について説明する。続いて、色調品質の特性解析と管理の自動化、テクスチャー品質のヒューマンインターフェース、安全性に関わる事項のヘムタンパク質による細胞DNA損傷の抑制、機能的品質に関わる亜硝酸を

使わない発色およびACE（アンジオテンシンI-変換酵素）阻害活性について述べる。

食品の品質評価と管理

食品の品質劣化は生産側の経済的損失、廃棄すれば環境負荷をもたらし、品質管理が重要である。評価は五官による感性情報であり、消費者、赤ん坊、イヌ、ネコも評価している。食品の受諾性は品質評価によって行われるから、感覚的な品質評価で品質管理ができると事足りるとよく勘違いされている。感覚では分からぬ、たとえば、栄養成分、微生物や添加物などの安全性について、機器分析による管理を当然としながらも、嗜好的品質の機器分析はあまり意識されてこなかった。実際、視覚、嗅覚、味覚、聴覚、触覚（テクスチャー）の感覚による検査である官能検査が行われているが、好みの評価にすぎない。評価はあくまで結果情報であって、劣化などの原因情報を知るには限界がある（Fig. 1）。しかも、感覚は主観的（subjective）、曖昧（vague）であり、恣意的になる可能性がある。食品の品質評価は誰でもできるが、その管理は知識と経験のある専門家でなければ難しい。そこで、評価の結果情報をもたらす原因の情報を統合化（integration）することによって科学的な品質管理ができるといえる。

近年、エレクトロニクスの五官に代わるセンサーの発展により、ヒトの多くの感覚項目が精度良く電気信号に変換されるようになった。評価の結果情報と管理のための原因情報の統合化は、これら原因と結果の相互関係の解析がリアルタイムにできる。従来から情報をより分かりやすくするために、数値データを表にまとめ、統いてグラフによって視認性を高めてきた。しかし、その解釈はあくまでヒトの判断で行くために、知識と経験を必要とし、迅速でなく、判断を誤る可能性があった。そこで、原因と結果を統合化のコンピュータ処理によって、知識の学習によるAI処理を行うことなどの、解釈を言語表現するヒューマンインターフェースへと発展してきている。これにより、大量かつ迅速処理、特性能による予想と対策、科学的管理、品質情報の記録と高い精度など多くの利点があり、客観的（objective）で科学的な品質の評価・管理がますます発展すると期待されている。

以前は分光スペクトルがチャートで得られても、その目盛をヒトが読み取って、データ処理を行ってきた。これでは研究上は仕方がなくとも、実用性、応用性については限界があるといえる。最近では、測定データの電気信号値はヒトの感覚値と対応させることができるとともに解釈の知識を組み込んだコンピュータで人工知能的に「原因情報と結果情報の相互関係の解析」による、より迅速、正確な品質管理のヒューマンインターフェースが発展している。しかし、その便利さゆえに、原理原則を理解することなく、信頼できないデータを得ることが

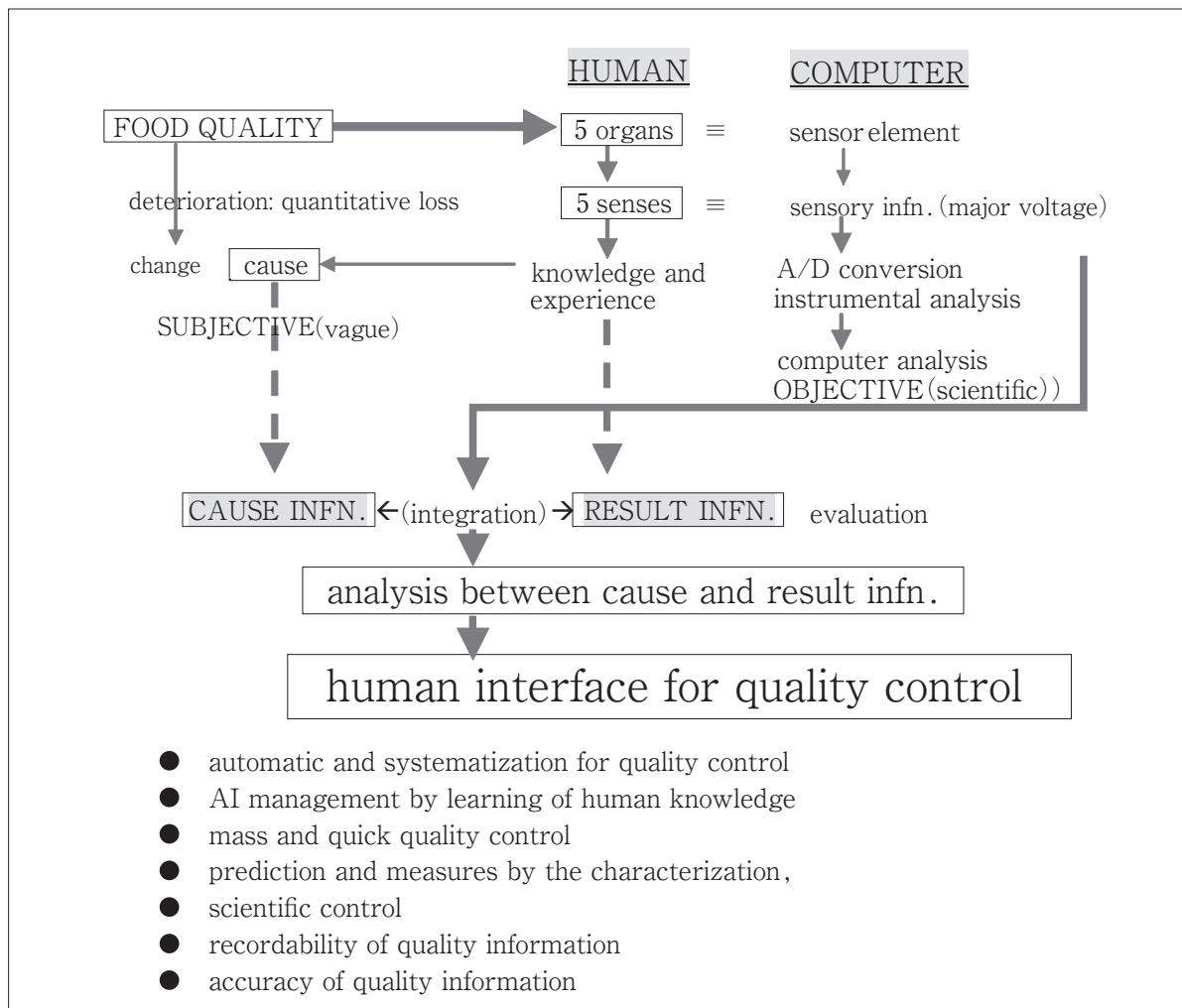


Fig. 1 Schematic explanation of sensory analysis and the control for food quality.

The sensory evaluation is subjective, vague and may become arbitrary. The quality control is difficult by non expert with knowledge and experience. Therefore, cause information for scientific quality control was integrated with result information as evaluation. Objective cause information for the quality control is obtained by computer connected with the instrument having sensory sensor.

ないように、スイッチを押せば答が出るブラックボックスの仕組みを理解することは重要であろう。

色調品質の特性解析と管理の自動化

枝肉格付における肉質の判定項目のうち、とくに色調は流通過程で変化し、消費者による食肉の受諾性に影響する。食肉の色調は典型的な鮮紅色がもっとも好まれる。一方、濃い色調は老齢家畜の硬い食肉の印象があり、また褐色の食肉はたとえ新鮮でも時間が経過したものとみなされ、好まれない。色調は視覚的に評価され、選択のための重要な初期情報である。色調評価の客観化や色調現象の変化の原因の解明などの科学的な品質管理のためには、色調を測定機によって数値化し、その情報を解析することが必須である。

ミオグロビンと食肉の分光スペクトル

ミオグロビン (Mb) 誘導形態間の色調が異なるのは、分光スペクトルの特徴的な相違に起因している。と殺後の生肉の Mb 誘導形態の経時的变化は、濃赤色の還元型 Mb (red) から、これに酸素の結合で鮮紅色の酸素型 Mb (oxy)，最終的に褐色のメト型 Mb (met) に変化する。Mb 溶液の光透過性に由来する分子吸光度スペクトルを Fig. 2 に示す。幸いにも Mb には三種の誘導形態に共通する isosbestic point が525nm付近にみられ、スペクトルの相違から、各誘導形態の割合を測定できる。今ある Mb 溶液の誘導形態の割合は正確に測定できる。しかし、食肉の色調品質の管理のためには吸光度法には致命的な問題がある。それは食肉から Mb 溶液を調製する過程で空気中の酸素との接触が避けられず、還元型 Mb は酸素型

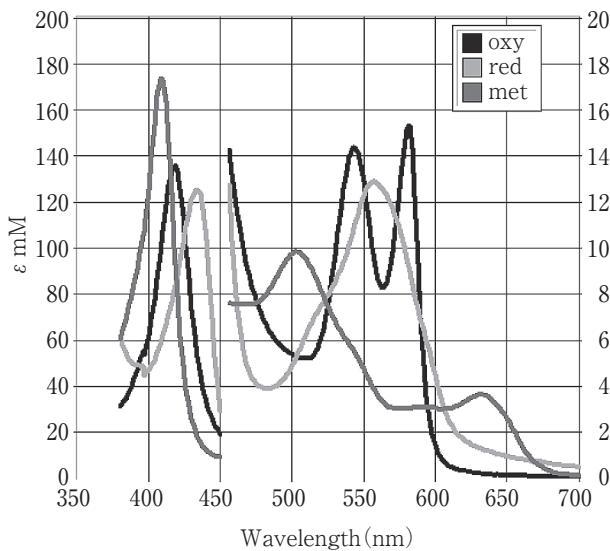


Fig. 2 Molar extinction coefficient spectrum for three myoglobin derivatives.

Symbols oxy, red and met are myoglobin derivatives of oxygenated, reduced and met, respectively.

Mbになってしまい、還元型Mbが測定できなく、品質管理に適用できることである。

固体物の光反射は光吸収が大きいほど小さい。すなわち、食肉の反射率スペクトルはMbの透過率スペクトルが反映している。反射率は食肉を何ら処理することなく、瞬時に測定できる。そこで、反射率スペクトルによって、三種の各誘導形態の割合を測定することを試みた。しかし、色素、食肉ではMbの含量と反射率との関係にはBeerの法則は成立しない。しかも、食肉の無色素と仮想される素地は実在しない。かなり時間を費やしたが、種々解析の結果、以下のことが明らかにされた。

- 吸収係数/散乱係数(K/S)は色素含量との間に直線関係が成立する。
- K/Sは非線形で解析が困難であるが、K/S関数の主成分である反射率の逆数(Ra)と実質的に同等に扱えることが明らかになった。これによって、素地のRaスペクトル(Ra_0)が明らかにされた。 Ra_0 スペクトルはMieが理論的に解明した粉体関数(Mie G., Beiträge zur Optic trüber Medien, speziell kolloidaler Metallösungen. *Annalen der Physik*, **25**, 377-445, 1908.)によく従った。粉体関数は反射率の波長の4乗の逆数との間に直線関係を示す。したがって、

$$RaH = Ra - Ra_0 \text{ とおけば}$$

RaH は色素含量と比例関係を示すことになる。

- すなわち、 RaH は溶液の吸光度のように取り扱うことができる。また、先に述べた525 nmのisosbestic pointは三種の誘導形態で同等であり、isosbestic pointの RaH を RaH_{iso} とおいて、

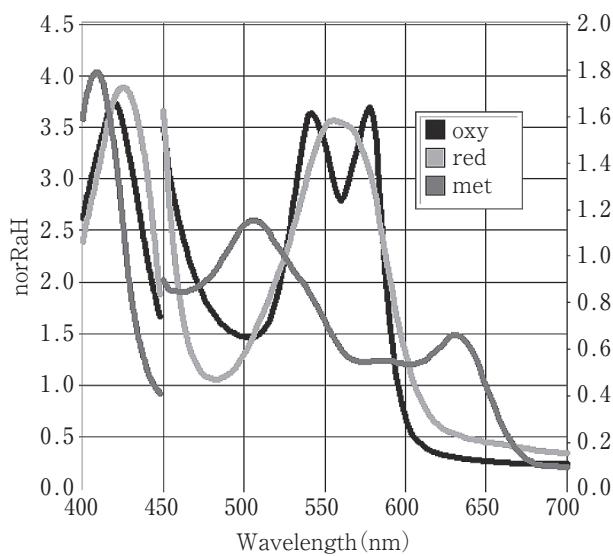


Fig. 3 The norRaH spectrum of myoglobin in beef.

The spectra derived from reflectance were corresponded to the extinction coefficient spectrum as shown in Fig. 2. Therefore, the norRaH spectrum derived from reflectance fitted it by the theory of the Beer's law, and analysis of the myoglobin would be possible.

$$norRaH = RaH/RaH_{iso}$$

と規格化されたnorRaHは吸光度法の分子吸光係数に相当し、Mb含量に依存しない。norRaHスペクトル(Fig. 3)によって、特徴ある波長の値を使ってMb誘導形態の割合を算出する式の一例を示す。

$$\begin{pmatrix} norRaH_o(480) & norRaH_r(480) & norRaH_m(480) \\ norRaH_o(560) & norRaH_r(560) & norRaH_m(560) \\ norRaH_o(580) & norRaH_r(580) & norRaH_m(580) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} o \\ r \\ m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} norRaH(480) \\ norRaH(560) \\ norRaH(580) \end{pmatrix}$$

ここに示すnorRaHは測定値を、norRaHの添え字O, R, Mおよびo, r, mは酸素型Mb, 還元型Mb, メト型Mbであり、各々基準誘導形態のnorRaHの値および混在する誘導形態の割合である。MMbの誘導形態が混在するので反射率スペクトルは複雑になる。また、多くの測定データの複雑な演算には以前は甚大な労力を必要とし、研究レベルではともかく、実用性は困難であったが、パーソナルなコンピュータの普及により測定から解析まで連続的に行えるので、色調品質と評価と管理はリアルタイムで可能になったといえる。Fig. 4は食肉色調とMb誘導形態の評価のためのコンピュータ画面の例である。プログラムによって、コンピュータが測定機が制御し、反射率スペクトルを測定し、データを解析し、色調値を演算し、色調品質を評価し、蓄積記録データを活用することができる。

反射率スペクトルのパターンから色調を直感で想定することはほとんど不可能であるが、反射率スペクトルか

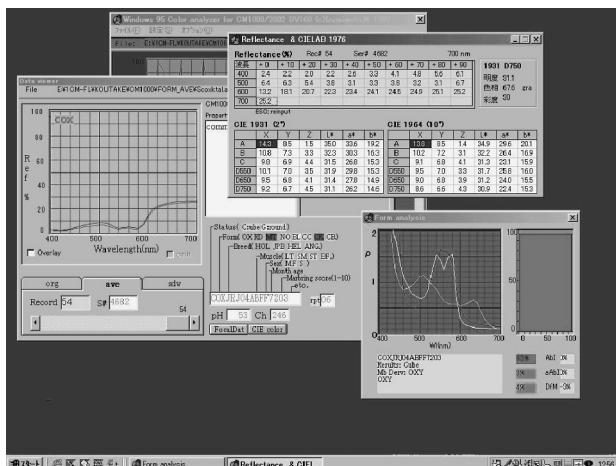


Fig. 4 Example of computer screen for the evaluation of meat color and myoglobin derivatives.

The program performs sequential job using; computer controls spectrophotometer, measures reflectance, analyzes the data, calculates the color value, evaluates color quality and calls stored data.

ら色調値を計算することができる。したがって、反射率スペクトルは Mb 誘導形態の反映でもあるので、このスペクトルは色調品質とその原因である Mb 誘導形態の両情報をあわせ持つ有用な情報といえる。

食肉色調の非破壊管理システム

色調の客観的評価や科学的管理のために、色調を人の感覚とよくマッチするように数値化して表現する「表色」が進展している。従来、色の計算が煩雑なため敬遠されていたが、プログラム計算によれば簡単である。明るさ(明度)、鮮やかさ(彩度)、色あい(色相)は色の三属性といわれ、これらは数値化することができる。最も普及している表色法は L^* , a^* , b^* 値によるものである。これは CIELAB 1976 といわれ、JIS でも採用されている。食肉は $a^* > 0$, $b^* > 0$ となる赤・黄系である。食肉の色調特性は、備前焼で作った、Fig. 5 の写真に示すような立体のオブジェにすると閉鎖空間の色調特性の全体像がよく分かる。このオブジェを備前焼窯元で修行して作製したのは遠い過去の思い出である。最上部の素地は色素 Mb が存在しないので、誘導体で共通の値で、最も明るい。食肉の色調特性によると、最も鮮やかなのは酸素型 Mb (oxy) であるときの牛ロース芯に相当する。同時に牛ロース芯では酸素型 Mb から還元型 Mb (red) やメト型 Mb (met) への誘導形態の変化による暗色化や褐色化が最も著しいという特徴がある。一方、淡い色調の豚ロース芯などは明度変化が著しく、白色化が目立つという特徴が明かになった。

このシステムは非破壊で、包装状態のままで測定でき、保存品質の管理・測定に有効であり、実用化されている。

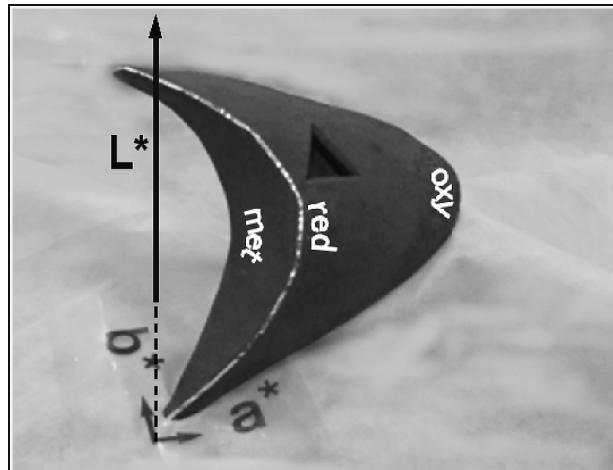


Fig. 5 The regional shape of meat color to occupy in $L^*a^*b^*$ color space.

メト化による品質劣化は酸素型 Mb を経由して進行する。色調品質の高いブルーミングといわれる酸素型 Mb の発現はもっとも好まれないメト化の前兆であることに注意が必要である。したがって、無酸素包装によって還元型 Mb にすれば、メト化は進行しない。還元型は熱安定性も極めて高く、続いて酸素型で、メト型は変性が速い。購入時の鮮紅色を重視するのは日本の特徴であるが、諸外国のように塊肉での流通が主流になれば、色調品質の安定化を図ることができるであろう。

非破壊法の色調品質のコンピュータ管理は多くの応用に実用化できる。抽出するために包装肉を開封しなければならない従来法に比べ、包装肉のままでリアルタイムに測定できる。次にその包装肉への応用を示す。

包装した焼き肉に‘たれ’漬けのものがあり、よく褐色化している。この原因は必須の‘にんにく’が原因であった。Hill 定数に大きな差が見られなかったことから、‘にんにく’はペプチドに作用せず、ヘムを酸化させていることが明らかになった。‘にんにく’を刻む前に加熱すると Hb 酸化力が著しく低下し、ジアリルシスルフィド (DADS) には酸化力が認められなかったことから、アリシンが酸化原因物質であることが認められた。そのメカニズムを Fig. 6 に示す。‘たれ’に含まれる 6% ‘にんにく’の酸化力には、1.5% 2-ブタノンオキシム、0.002% フェリシアノン化カリウムが相当し、ヘムとのモル比が 1 : 1 の亜硝酸ナトリウムに相当する‘にんにく’は約 3 % であった。

褐色化防止のために、1% アスコルビン酸ナトリウムを加えると、1 時間で 6% ‘にんにく’の存在下で Mb の酸化は抑えられた。

還元型 Mb からメト型への直接の反応は起こらない。還元剤無添加で無酸素包装することによって、‘にんにく’が存在していても、還元型 Mb に保持することで、

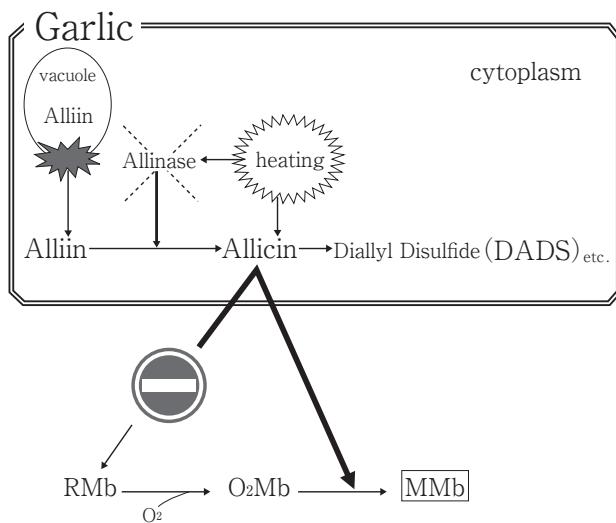


Fig. 6 The mechanism of MMb formation by the allicin production with garlic.

Mb酸化は起こらないことが、上記の管理システムでモニターでき、良好な色調を保つことが認められた。

食肉のテクスチャーのヒューマンインターフェース

食品には様々な物理的強度がある。この強度は摂取したときの軟らかさなどの食感であるテクスチャーに反映する。食肉はとくにテクスチャーで“おいしさ”が大きく異なり、品質評価や品質管理の重要な項目の一つである。食肉の美味しさの要因としてテクスチャー（食感）が第一に支配している。数百頭の飼育試験における牛肉の官能検査を行ったところ、味や風味には大差がないが、軟らかさの差は確実に認められ、美味しさの総合評価の主要因はテクスチャーであることが明らかになった。すなわち、一般に軟らかければ美味しい肉ということになる。従来からテクスチャーの品質評価や品質管理のために官能検査が行われているが、主観的、曖昧で、記録性に乏しい。

客観的かつ科学的取り扱いのために食肉ではよくWarner-Blatzler測定器によるSFV (shear force value, せん断力値) が測定されている。この装置はせん断力の最大値しか測定できないので、SFVがどのようにヒトの感覚に対応しているか知るには不十分である。

一方、テンシプレッサーといわれる多くのテクスチャーパラメータを測定できる装置があるが、高価かつ大型であるので研究レベルに止まっている。そこで、せん断過程の応力の連続したプロフィールの測定機を開発した (Fig. 7)。

開発した装置はFig. 1に示すようなコンセプトのもとに、コンピュータで測定機を制御し、測定データを取得・解析し、テクスチャーを測定するヒューマンインターフェースに容易に発展できる装置である。

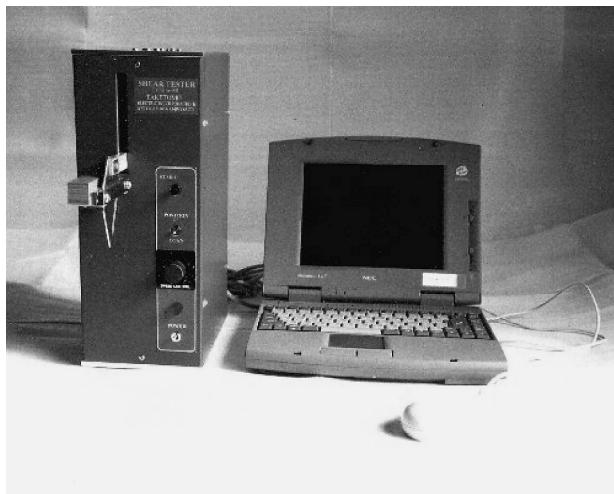


Fig. 7 Shear tester controlled by small computer.

About this system, see explanation of Fig. 1 and Fig. 4.

理想均質試料の特性

円筒状を保持した状態で変形なくせん断される理想均質試料モデルでは、SFVは接触刃長（刃が試料と接している長さ）に比例する。これをFig. 8に示す。理論的には試料半径1のとき、接触刃長をL、測定ストロークをsとすると

$$\begin{cases} 0 \leq s < 1 \text{ のとき } L = \sqrt{4 - s^2} \\ 1 \leq s \leq 3 \text{ のとき } L = \sqrt{\frac{1}{2} (s^2 - s\sqrt{12 - 3s^2} + 2)} \end{cases}$$

となり、半径の3倍のストロークでせん断が終了する。また、接触刃長は直径に比例するのでSFVは試料の直径に比例することになる。

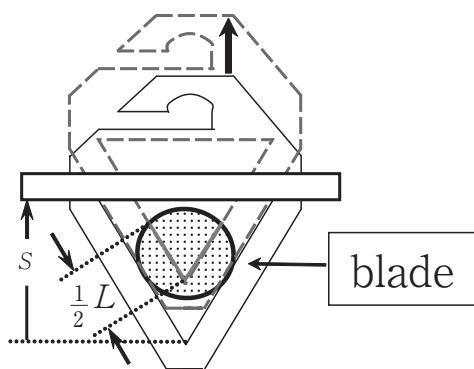


Fig. 8 Legend of shearing sample and the hypothesis of SFV.

The blade of the triangular hole moves up and the sample is sheared. SFV could be predicted in proportion to the diameter for ideal homogeneous sample. The symbols of L and s in figure show blade length contacted with sample to shear and stroke as a variable, respectively. The changes in L value depend on only s value as described in the text.

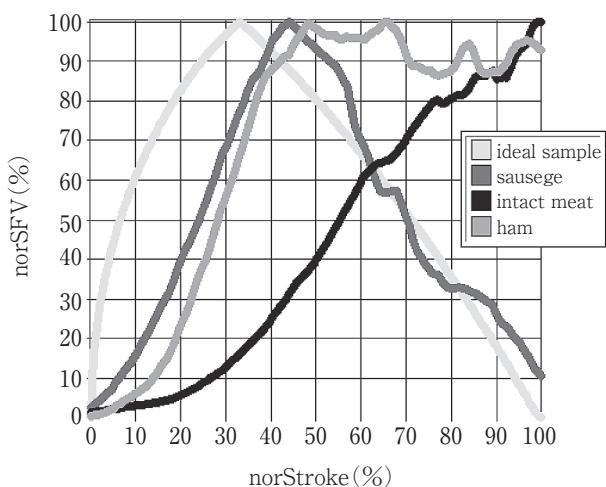


Fig. 9 Comparison of SFV profiles in the normalized diagram. Vertical norSFV means normalized SFV as the percentage against SFV_{max}. Horizontal norStroke means normalized stroke as the percentage against whole stroke. The profiles of intact meat and meat products and the peak positions were difference in each other. Profiles indicate the characteristics of 1: predicted ideal sample, 2: sausage, 3: ham and 4: intact meat. Profile of sausage compared with ideal sample delayed, but they showed similarity. Connective tissue in intact meat might be dragged up to final stroke without shearing, resulting SFV was accumulated then the profile only increased.

上記の式により導かれた理想均質試料 (ideal sample) の SFV プロフィールを Fig. 9 に示す。また、図のように、ソーセージ、ハム、生肉で異なるプロフィールを示す。縦軸は SFV_{max} に対する SFV の割合を、横軸はせん断の開始から終了までの全ストロークに対する測定ストロークをそれぞれ百分率 (0 ~ 100%) によって規格化したものである。生肉では単調増加であるが、ハム、ソーセージのように均質化するほど、理想均質試料に類似していく。理想均質試料よりもソーセージの SFV プロフィールが遅延するのは、非切断変形によるものである。生肉の大きな遅延は非切断変形が著しいことを示している。プロフィール前側の遅延は変形による歯ごたえの低下を示している。

SFV プロフィール特性

Fig. 10 のような、アナログである SFV プロフィールのすべてのデータはコンピュータにとり込まれるもの、コンピュータに解析処理と解釈させるのは困難である。そこで、デジタル表現のモザイクマトリクスによる抽象化した全体像を表現した。モザイクマトリクスは一種の等高線グラフで、図は白黒であるが、中央下は山を、そして右上は谷を示している。これにより、山のモザイクは歯ごたえを、谷は歯切れのレベルを示している。

加熱温度一時間一せん断力プロフィール特性

食肉のテクスチャーは加熱によって変化するが、その規則性についてはほとんど明らかにされていない。このテクスチャーを温度一時間一 SFV (shear force value, せん断力) プロフィール、一般式では

$$SFV = f(\text{temp}, \text{time})$$

によって整理した。

加熱によって筋線維の硬化で硬くなることと結合組織の脆弱化で軟らかくなることが同時に進行していると考えられた。この対立する現象はテクスチャーの SFV₅₀ および SFV₁₀₀ についての温度一時間一 SFV の 3 元グラフまたは等高線グラフによって認められ、矛盾なく説明できた。加熱が高温・長時間ほどストローク中点の SFV₅₀ は増加し、逆にストローク終点の SFV₁₀₀ は減少した。Fig. 11 は生肉に対する SFV₅₀ によって歯ごたえの食感を示している。

SFV₁₀₀/SFV₅₀ は歯切れの食感の指標となる (Fig. 12)。ギャップの 0.2 は統計的有意差のある平均値から求めた。高温と長時間は、結合組織の脆弱化による SFV₁₀₀/SFV₅₀ の減少することに対応した。SFV₁₀₀/SFV₅₀ が 1 のとき、嗜好性が最も高いことが官能検査で明らかになった。通常の食肉製品の加熱のパストリゼーションの条件は意外にも最良のテクスチャーであった。

食肉の SFV と咀嚼筋電位および咬合力の関係

食肉は主要なタンパク質源であり、比較的強靭さのある食品である。近年、介護食の質的向上が望まれているが、対応した食肉のテクスチャーはあまり考慮されていない。そこで、SFV の食感的対応を解析した。咀嚼では

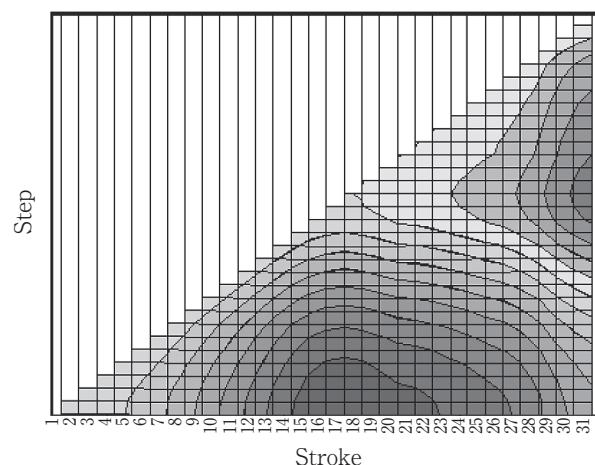
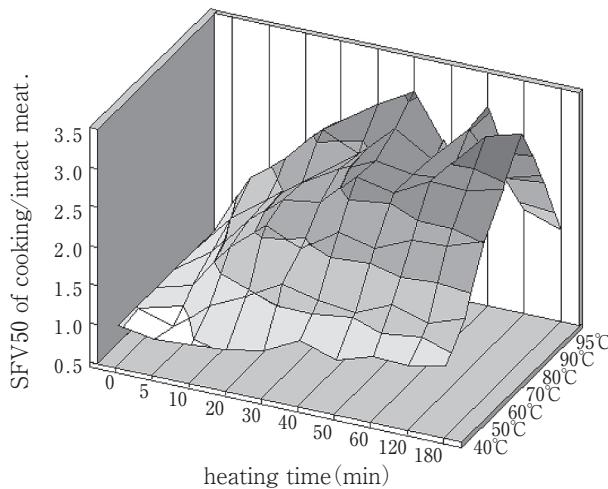


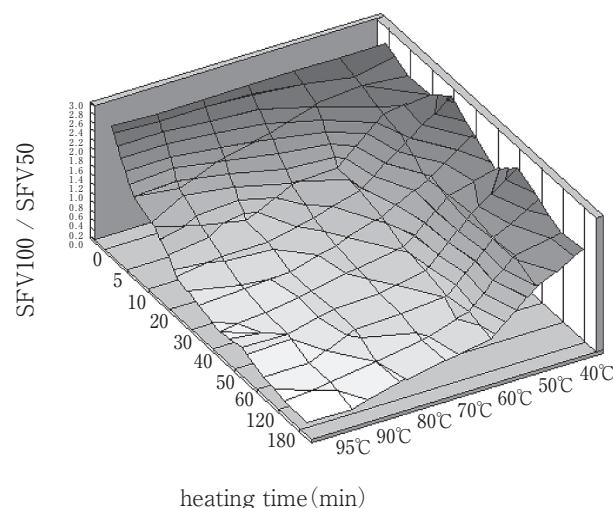
Fig. 10 Mosaic matrix of texture of meat.

The mosaic matrix is a kind of contour line graph, and the figure is monochrome, but, the central bottom and the top right corner show a mountain and a valley, respectively. The mosaic of the mountain shows resistance to teeth and the valley shows a level of shear-easiness.

Fig. 11 SFV₅₀ ratio-temperature-time diagram.

SFV₅₀ indicates SFV at center of the stroke. SFV₅₀ ratio is the SFV₅₀ ratio against pre-heating sample of the average 1505 g ($sd = \pm 367$, $n = 43$). The gap of 0.3 is statistically different on average. SFV₅₀ corresponded to chewing resistance. Below 80 °C, SFV₅₀ increased as long as heating time, the maximum was reached under 80 °C. It is considered that the increasing of SFV₅₀ coursed from firmness of muscle fiber and shrinkage of perimysium.

100·50 比-3D-aBWiz.CHF

Fig. 12 SFV₁₀₀ / SFV₅₀ ratio-temperature-time diagram.

SFV₁₀₀ / SFV₅₀ indicates SFV at end of the stroke. The gap of 0.2 is statistically different on average. SFV₁₀₀ / SFV₅₀ corresponded to cutting resistance. High temperature and long time resulted in decreasing of SFV₁₀₀ / SFV₅₀ by the weakening of connective tissue.

咬合力（BF）による食肉の応力が知覚される。BFは試料咀嚼と同時に測定できないが、筋電位（EMG）は咀嚼の筋活動をリアルタイムに測定できる。

食肉のSFV、EMG、BFの相互関係を知ることにより、SFVとヒトの感覚・咀嚼能力の定量的な関係を解明した。食肉のSFVと咀嚼のEMGおよびBFには定量的な相互関係が認められた。これらの関係はFig. 13に示すとおりである。EMG最大振幅はBFと直線関係が認められた。食肉を咀嚼した時、EMG最大振幅により求めたBFとSFVの間にも直線関係が認められた。また、BFとEMGは男性より女性の方が小さく、さらに高齢者で小さくなつた。

これらの機器測定によるテクスチャー評価値は介護食への食肉の特性表示や咀嚼や嚥下能力に対応するクラス分け表示ができるので、介護食の規格化への発展が期待される。加齢や歯科疾患などで咬合力が低下し、介護食が必要になる。食肉の介護食では挽肉がよく使われたが、誤嚥で肺疾患の原因となり、問題視されている。このような観点から、高齢化社会が進行している現状において、嗜好的、栄養的価値の高い食肉を高齢者に無理なく提供できる研究がさらに重要になってくるだろう。介護食のための食肉の脆弱化や軟化を誤嚥の可能性の高い挽肉や嗜好性が低下する高温長時間の加熱は最良の方法ではない。

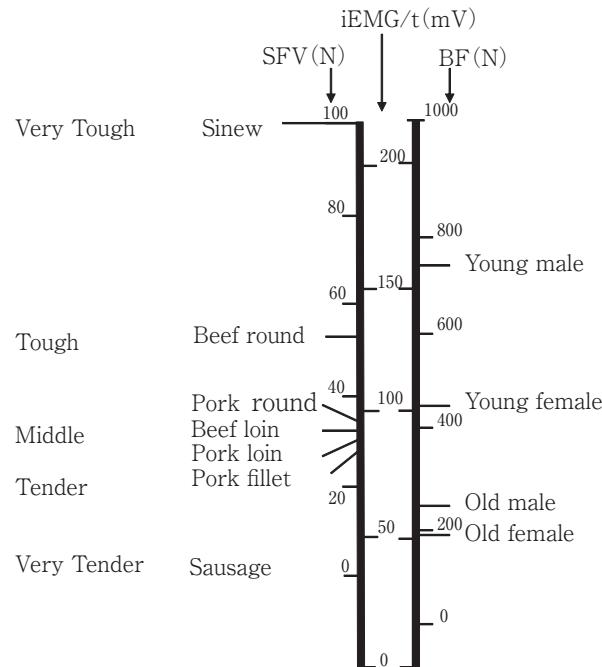


Fig. 13 Classified tenderness of meat characteristics using SFV value corresponding to ability for chewing of human.

The left is toughness with SFV of meat. Physical value of SFV and sensory value of iEMG/t and/or BF were corresponded each others. For example, the young male had ability to crunch all meat enough. For the old female, it was guessed most meat were tough. Many types of tenderness for meat and meat products were demanded to select as the care food.

果実による食肉に軟化効果

食肉はプロテアーゼを含むパパイヤ、キュイー、イチジク果実によって非加熱で人工的軟化が可能である。Fig. 14はプロテアーゼ(ficin)を含有している少量のイチジクによる食肉に軟化効果の例である。中国地方ではイチジク生産も多いので、介護食としての畜産物への活用が期待できる。

食肉の安全性と機能性

ヘムタンパク質による細胞DNA損傷の抑制

Fenton反応によって、 Fe^{++} 、 Hem^{++} は過酸化水素の存在下でDNA損傷性の強い活性酸素のヒドロオキシラジカル($\cdot\text{OH}$)を生じ、発ガンをもたらすことが示唆されている。ヘムタンパク質からも $\cdot\text{OH}$ を生じることが類推されており、これが定説になれば短絡的に「ヘムタンパク質を多く含む食肉には発ガン性がある。」となりかねない。

まず、無機反応系に近いFenton反応での活性酸素の発現からのDNA損傷の類推ではなく、より生体に近い *in vitro* の培養細胞におけるDNA損傷検出のための実験系の確立を行った。細胞DNA損傷をコメットアッセイによって検出した。蛍光顕微鏡像をデジタル画像としてコンピュータの画像ファイルに記録した。ソフトウェアを用いて多くのパラメータの組み合わせによる細胞DNA損傷の評価法のうち、Rectangle(Length × Height)で画像解析するのが最良であることを明らかにし、コメットの形状および損傷レベルを的確に表すことができた。

ヘムタンパク質は細胞DNA損傷を促進するか検討した。ヘムタンパク質のヘモグロビンは H_2O_2 と共に存在すると、Fig. 15に示すように、Fenton反応などにより活

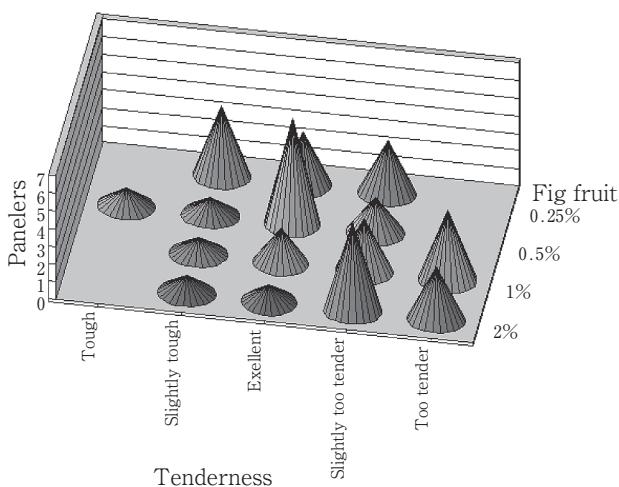


Fig. 14 Relationship between quantity of fig fruit and sensory tenderness.

Significant difference ($p < 0.02$) was found.

性酸素のヒドロオキシラジカル($\cdot\text{OH}$)、超酸化物のスーパーオキシドアニオン($\cdot\text{O}_2^-$)などを発生し、DNA損傷を引き起こすことが定説のようになっているが、コメットアッセイの結果、むしろ強力に H_2O_2 を分解し、DNA損傷を防御することが明らかになった。この損傷抑制作用には、ヘム単独あるいはネイティブなヘモグロビンの作用によることが示唆された。

タバコはDNAを破壊し発ガン性が認められている。同じく煙成分である燐煙が食肉製品をはじめ多くの食品に行われている。そこで、燐煙は細胞DNAを損傷させるか検討した。市販の紙巻タバコおよび無処理の乾燥タバコの煙によって細胞DNA損傷が認められた。市販の紙巻タバコは無処理の収穫乾燥タバコに比べて10倍の損傷が認められ、紙巻きタバコは添加香料等やその加熱副産物が細胞損傷を惹起しているものと示唆された。

牛肉抽出液の透析内液および透析外液の細胞DNA損傷におよぼす影響をFig. 16に示す。牛肉抽出液にDNA損傷抑制効果があることが確認されたので、牛肉抽出液のどの成分が損傷抑制に関わっているか検討した。牛肉抽出液を透析によって高分子と低分子成分に分画したところ、高分子画分の牛肉抽出液の透析内液にはタバコ煙によるDNA損傷抑制効果が明らかに認められたが、透析外液にはDNA損傷抑制効果は認められなかった。牛肉抽出液の透析内液はタバコ煙による細胞DNA損傷を防御したが、低分子画分である透析外液ではむしろ損傷を進行させた。すなわち、牛肉抽出液はタバコ煙によるDNA損傷を防御し、高分子画分に強力な防御効果が認められ、その効果が低分子画分の損傷作用を隠蔽していると考えられた。あるいは、透析過程で何らかの損傷成

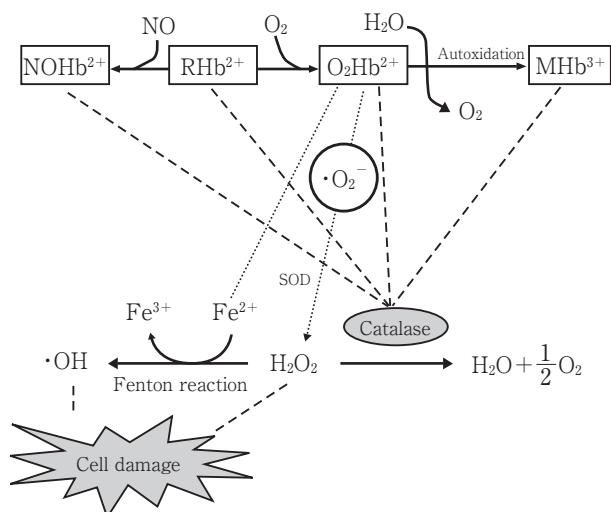


Fig. 15 Illustration of the mechanism of formation and decomposition reaction of active oxygen in relation to hemoglobin derivatives.

$\cdot\text{OH}$: hydroxyl radical, $\cdot\text{O}_2^-$: superoxide anion, SOD: superoxide dismutase.

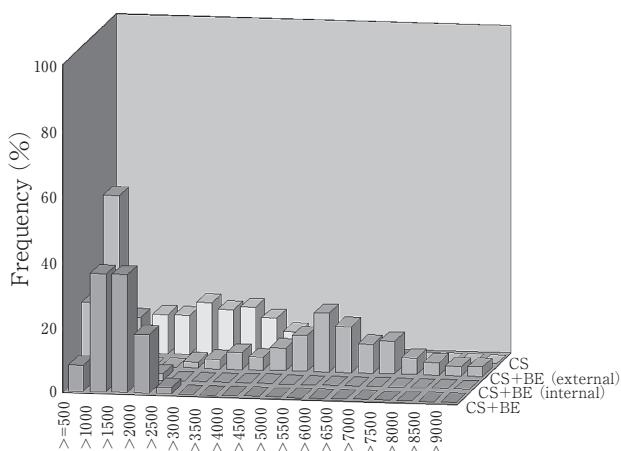


Fig. 16 Inhibitory effect of dialyzed beef extract on DNA damage induced by cigarette smoke components.

CS: cigarette smoke solution, BE: beef extract (10%), BE (internal): non-dialyzable beef extract, BE (external): dialyzable beef extract. One hundred cells were analyzed for each sample.

分が生成されたのかもしれない。

一方、緩衝液 1 mLあたりに燐煙材 2 g/を燃焼させて補足した高濃度燐液でも細胞 DNA 損傷が認められなかつた。ベーコン表面 1 cm²に付着した燐煙量は 90 mg の燐煙材を燃焼したときに発生する煙量に相当し、高濃度燐液 1 mL はベーコン表面約 20 cm²に相当した。そこで、ヒトの血液 5 L が高濃度燐液を含むと試算したところ、ベーコン 10 m² すなわち約 14 頭分のベーコンとなり、安全が懸念されるほどの食肉燐製品を摂取することはあり得ないと考えられた。

食肉は細胞 DNA 損傷を抑制するか試験した。多種多様な損傷成分を含むタバコによる DNA 損傷は食肉抽出液で抑制され、吸着作用によるものではなかつた。その DNA 損傷の抑制効果は透析内液のミオグロビンに顕著に認められ、ヘムタンパク質は DNA 損傷を防御することが示唆された。

以上のように、ヘムタンパク質は発ガンを誘起する DNA 損傷を防御し、ヒトの健康に有用な機能をもつことが明らかにされた。また、発ガン性のある諸成分を含むタバコは DNA を損傷するが、タバコを含む培養液に食肉抽出液あるいはミオグロビンを加えると明らかに DNA 損傷が防御された。これはミオグロビンによる H₂O₂ の分解と予想されたが、この系では DNA を損傷するほど H₂O₂ が存在しないので、タバコの DNA 損傷成分に未知な作用が示唆された。以上、食肉とその構成成分のヘムタンパク質は発ガンを誘起する DNA 損傷を防御し、ヒトの健康に有用な機能をもつことが明らかにされた。

野菜抽出液による塩漬肉の発色法の開発

非天然の亜硝酸 (NO₂) による発色は消費者によっては安心できないことが指摘されている。非天然の亜硝酸の代わりに野菜の利用を試みた。NOMb の形成による発色は 10 ppm NO₂ 以上から認められた。食肉に大根汁など野菜抽出液を加えただけでは 10 日以上の長期間の冷却保存をする必要があり実用的でなかつた。そこで、食肉を野菜抽出液と硝酸還元菌スター培養液で塩漬し、典型的な塩漬肉の色調に発色した。野菜による塩漬肉は貯蔵中および加熱後も典型的な赤色を呈し、安心な食肉製品の発色法に有用であろう。また、野菜抽出液中の残存 NO₂ は処理時間にともない増加するが、半日程度でかなり少なくなるので安全・安心の側面から優れていた。

GABA の生成

栄養価も嗜好性も優れている食肉にさらに機能性を付与することを試みた。イチジク果実のプロテアーゼ作用により、タンパク質からペプチドを遊離するとともに食肉の軟化が認められ、苦味ペプチドの生成は認められなかつた。食肉に対する果実プロテアーゼの最適温度は高温で約 80°C であった。この高温であることの原因として、基質である食肉タンパクの加熱による脆弱化の可能性は酵素反応前に加熱した基質の食肉を用いても遊離ペプチドに差がなかつたので否定された。

イチジク果実中に含まれるグルタミン酸脱炭酸酵素 (GAD) によって、グルタミン酸 (Glu) から γ -アミノ酪酸 (GABA) を生成する。GABA は血圧上昇抑制作用、ストレス低減作用などの健康機能性が注目されている。GABA 生成のイチジク処理食肉の 50 g は既存の特定保健食品の GABA 含量と同等の保健効果が期待された。

ACE 阻害活性

食肉をイチジク果実プロテアーゼ処理で遊離したペプチドは高血圧抑制のアンジオテンシン I 変換酵素 (ACE) 阻害作用が認められた。ACE 阻害活性は 20 °C から 100 °C まで広い範囲で高い阻害活性がみられ、加工肉製造の熱処理でも ACE 阻害活性が残存することが認められた。Fig. 17 に示すように、ACE 阻害活性は 20 °C から 100 °C まで広い範囲で高い阻害活性が見られた。実際に食肉製品製造の熱処理でも ACE 阻害活性が失活しないので有用であると考えられた。

以上の研究課題の他に、東南アジア伝統発酵肉の保藏品質、食肉品質への飼料中乳酸菌培養濃縮液の効果、黒毛和種の肉質等級における諸要因の解析、生ハムの品質向上に寄与する有用細菌、ヘムタンパク質の凍結安定性や加熱安定性の反応速度論的比較などが研究された。

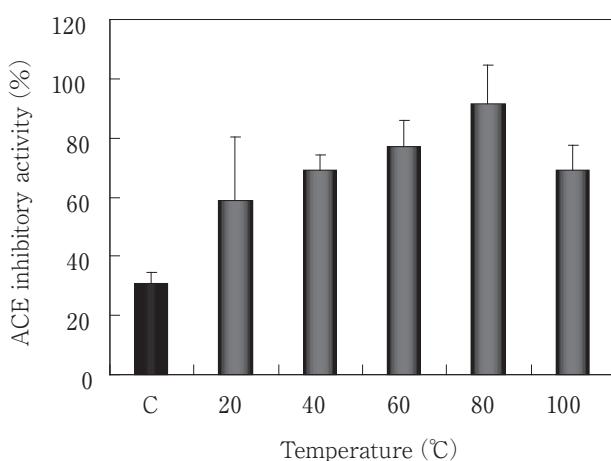


Fig. 17 Comparison of heating on ACE inhibitory activity.
Mixtures were heated at the range of 20 to 100 °C for 30 min.
n = 5 each, C: control (non heating)

跋文

本稿に記載した研究や紙面の制約で紹介できなかった研究には多くの皆さんにお世話になった。学部学生、研究生、研究員、大学院生、オハイオ州立大学、チェコ化学工学大学および大連大学の諸先生、多くの企業、本学ならびに学会関係諸先生に記して謝意を表したい。大学での教育・研究生活もあとわずかになってきた。まだ、私が若いときの大学院修了にあたり、アカデミアを追及して止まない恩師よりいただいた色紙の「盛年老い易く学成り難し」は、老いた今にして実感が湧いてくる。お

よそ40年間、飽きもしなかったのは研究するほど解決すべき課題が次々に表われ、無能が無謀にもチャレンジした結果、飽きる暇もなかつたからだと思われるが、まとめきれていない成果も多く「学成り難し」になっている。この間、私とだが、とくに家庭を気にすることなく研究してこられたのは良き伴侶に恵まれたからである。定年にあたり役目を済ませたように去り、これから余生に何もしてあげられなく申し訳なく、ただ感謝の念でいっぱいである。

さて、40年前と比べ、分析機、計算機などの研究環境は著しく進歩した。しかし、測定機やプログラム等がブラックボックス化して、信頼できるか検証することなく発表するのは疑問に思うことがある。原理原則を理解するには多くの時間がかかるが、学生が敬遠しようと今以上に基礎を体系的に教育すべきである。このことを抜きにやたら専門講義を志向する傾向があるのは否めない。効率的と思うかもしれないが、早晚枯れる美しい切り花のような気がする。このような基礎の知識の上に応用や専門があるという先行基礎の考えが昔からあるが、無駄な基礎かもしれないし、専門内容を意識して基礎を教授しているとは限らない。これでは確かに効率がよくない。アトラクティブな専門教育を先にして、それに必要な基礎を確実に「索引化」して、その基礎を後でフォローすることを保証することで、基礎の目的が明確になり、モチベーションが高まるかもしれない。以前は研究機器そのものも手作りすることが少なくなかった気がするが、連綿と続けてきた「世代交代」を自覚し、「時代の流れ」を受容するのが肝心とのもう一人の自分の囁きが聞こえる。