研究

包丁の感覚切味の定量化*

鴨 下 隆 志** 矢 野 宏** 田 中 健 一**

Quantification of Sensuous Sharpness of Kitchen Knives

Takashi KAMOSHITA, Hiroshi YANO, Kenichi TANAKA

A quantification of the sensuous sharpness and mechanical sharpness of kitchen knives is investigated and the followings are revealed.

(1) The sharpness based on a man's sensibility can be quantified by the method of paired comparison based on the sensuous sharpness evaluated by cutting sweet potatoes.

(2) A significant correlation is recognized between the sharpness measured by the new sharpness testing device and determined that by the above described sensibility. Therefore, the sharpness measured by the sharpness testing device almost agrees with the sensuous sharpness.

(3) There are two criteria for men to judge the sharpness of any given kitchen knife - one is the initial resistance force to be felt at the time when the kitchen knife is applied to the material to be cut and the other is the resistance force to be felt in cutting through the material.

(4) The mechanical characteristics of the knives that affect the sharpness are the angle of cutting edge, the non-uniformity of thickness and the surface roughness of the cutting edge.

Key words: sensuous sharpness, kitchen knives, sharpness testing, multidimensional scaling, cutting edge.

1. はじめに

刃物の切味は人間の感覚によって判断されるものであるが、判断の主観性、個人差等から多様化するもので、従来定量化しにくいものとされてきた¹⁾。そのため、刃物の切味の研究は、刃物の加工技術の研究が中心で、刃物の使用状態の研究が乏しかった。従って、工業的には切味を機械的特性に置き換えて評価する研究が中心となり、切味試験機等の試作²⁾が行われたが、この場合にもその結果を人間の感覚と対応させる部分が欠落する傾向にあった。

本論文においては、厨房用刃物（以下包丁のみに限定する）について人間の感覚に基づく切味（以下感覚切味と呼ぶ）の定量化を行い、これを新たに試作した試験機による機械的特性としての切味（以下機械切味と呼ぶ）との対応を試みた。さらにこれらの切味の基礎となる包丁の刃先角等の形状特性を求め、形状特性が切味に対して与える影響の程度を求めた。

感覚切味の定量化は次の方法で行った。包丁を使い一対比較法により甘藷を切断した時の切味感を求め、サーストンの比較判断の法則により尺度化した。その結果、尺度の一次元性が否定されたため、さらに多次元尺度構

成を試みた。

機械切味を定量化するにあたっては、人間の包丁の操作過程をシミュレートし、甘藷切断時の抵抗力、あるいは仕事量を求められる試験機を試作した。結果的にはこれによって得られる機械切味が、感覚切味と対応することを示した。

機械的特性の測定にあたっては、刃先形状の非破壊的な測定方法を開発し、従来困難であった刃先形状の測定を容易に行い、さらに刃先表面粗さ、刃幅、刃厚のむら、質量を測定し、これらの特性のいくつかが切味と相関関係にあることを明らかにした。なお被切断試料として甘藷を選定した理由は、各種野菜の硬さを求めて切味感度の比較を行ったところ、甘藷が適切であることが明らかになったためである。

2. 機械切味の測定方法

2.1 シミュレーションによる機械切味の定量化

人間が包丁を用いて試料を切断する場合、一般に押し切り、引き切りと呼ばれる二つの過程が存在する。この場合の感覚切味は、包丁を試料に切込ませた時の垂直ならびに水平方向の抵抗力に関係すると思われる。実際に人間はこの二つの力を合成したものを切味と感じるはずであるが、合成した力と感覚切味とを対応させる方法として、試料切断時の仕事量を用いることにした。

押し切りの力 F_x 、引き切りの力 F_y の合成した抵抗力

* 原稿受付 昭和54年3月8日。昭和46年度精機学会秋季大会学術講演会（昭和46年11月7日）にて発表。

** 正会員 計量研究所（東京都板橋区加賀1-10-4）

図1 野菜の硬さと切味の比較

を F , 包丁が試料を切込む微小な変位を ds とすれば, 仕事量 d_w は

$$d_w = F \cdot ds \quad (1)$$

となり, 従って変位を $s_0 \rightarrow s_1$ と与えた場合の仕事量 W は

$$W = \int_{s_0}^{s_1} F \cdot ds \quad (2)$$

となる. 機械切味としてこれらの特性を求めた時, 感覚切味と対応したとすれば, 機械切味のシミュレーションは行われたと判断する.

この際, 切味に影響を与える特性としては, 従来の経験に基づいて刃先角度 A , 刃先表面粗さ R , 刃厚 T , 刃厚のむら B , 刃物の質量 M 等が予想される. 一対比較法で感覚切味を求める場合には, 刃幅, 柄の外観を共通にし切味の判断に包丁の形状の効果が入らないよう注意した. その結果として上に述べた A, R, T, B, M と切味との相関関係を求めた.

2.2 被切断試料の選定

従来, 機械的な切味試験と呼ばれるものは, テグスあるいは紙等を被切断試料として使用してきた. これらの試料が使用された理由は定量化の容易さに基づくと思われる. しかし, 実際の感覚的な切味とは必ずしも対応しないことが, 経験的に述べられている.

対応しない理由については従来の方法が実際に包丁を使う過程を十分シミュレートしてないことと, 感覚的な切味を定量化する方法を持たなかったことに基づくと思われる. 本実験においては被切断試料としては, 現実使用される野菜を対象として選定を行った. 被切断試料の選定の基準としては, 切断の際の抵抗力が感覚で判断できる程度に大きく, しかも材質が均一なことである. そこで図1に示すように幾つかの野菜類を対象に, 硬さと

表1 被切断試料の優劣の比較
(単位: (硬度)²)

被切断試料	甘 藷		馬 鈴 薯	
要 因	自由度	不偏分散	自由度	不偏分散
繊維と直角方向	7	9.6	5	29.0
繊維方向	2	11.1	2	21.5
交互作用	14	4.1	10	13.9
残 差	48	3.0	36	3.2
SN 比 η	-6.12 dB		-9.22 dB	

後述する機械切味との対応を求めた. 硬さの測定には JIS の加硫ゴムの物理試験法に採用されている硬さ試験機³⁾を用いた. 試料の方向性も考慮すれば馬鈴薯, 甘藷が適切であることが明らかとなったので, さらにこの二つの試料の優劣を比較するため, 試験, 測定における SN 比⁴⁾により, 切味の検出力の良否を求めた結果が表1である. 馬鈴薯に比べ甘藷の SN 比が高く優れていることから, 被切断試料として甘藷を選定した. 甘藷は種類によらずほぼ均質であるので, 実験で必要とする大きさの確保できる金時とした.

3. 機械的特性の測定

3.1 形状特性の測定

1) 刃先角度の測定

刃先角度を測定する場合, 包丁を切断しその切断面を投影器あるいは顕微鏡等で拡大するのが普通である. しかし, 包丁を破壊するため刃先角度を測定した後, 再び切味を測定することは不可能である. 一般に包丁は刃厚の不均一性のため, 刃角測定の際に刃の両面の形状を輪郭測定器で求めた後に合成するという手段がとりにくい. そこで包丁を破壊することなく刃角測定を可能にするレプリカ法を考案した. 厚さ約 0.2 mm の鉄板に U 字の切込みを設け, この切込み部分を溶融パラフィンに浸した後, 空気中で冷却すると U 字型の切込み部分にパラフィン製の薄膜が構成される. このパラフィン製の薄膜に対して直角に包丁を数 mm 切込ませると, 刃先部分のレプリカが得られる. レプリカを投影器等で拡大すれば従来の方法と同様に刃角測定が可能となる. なお, レプリカ法については安全カミソリを測定対象としてレプリカを作成し, 実物の刃断面とレプリカとの刃角の対応を求めた結果, 30° 以内で一致することを明らかにした.

レプリカ法によって得られた刃先の形状を図2に示す. 包丁の刃先形状から明らかなように刃先は曲率を有する. このため刃角は一義的に決まらないので, 刃角を3通りの方法で表示する. 刃先から 0.1 mm までの平均

図2 刃角の定義と包丁の形状

刃角を α , 0.5 mm までの平均角を β , 0.5 mm の位置の接線を γ とし, これを刃角とした. 測定場所は包丁全体を3等分し, 各々1か所ずつの計3か所とし, 平均値を求めた.

2) 刃先表面粗さの測定

表面粗さとしては, 刃先の先端と側面の粗さが考えられる. しかし, 先端の粗さは試料切断の過程の初期に消失するため, 切味に与える影響は小さいと考えられるので, 表面粗さは刃先側面を測定した. 測定方向は刃付けを考慮し, 刃と平行とした. 測定位置は切味に影響すると考えられる刃先から0.1~0.2 mmとし, 表面粗さ測定器で測定した. 表示は中心線平均粗さ R_a で, 測定箇所は刃角と同様の3か所とした.

3) 刃厚の測定

角度測定用レプリカにより, 切味に関係すると考えられる刃先から5 mmの位置の刃厚を測定した. 測定箇所は刃角と同様の3か所で, 平均値を求めた.

4) 刃厚のむらの測定

刃先から5 mmの位置の真直度を真直度測定器で測定した. 包丁の全刃渡りについて表裏を測定し, 両者を重ね合わせた結果の一例を図3に示す. 図3より重ね合わせた真直度の差を5か所求めてこれを刃厚のむらとした.

5) 質量の測定

包丁の質量は直示天びんにより測定した. 最小読取りは人間の質量に対する弁別域から考えて実用上十分と考えられる0.1 gまでとした.

3.2 機械切味の測定

図3 刃厚のむらの測定例

1) 仕事量の測定

人間の操作過程をシミュレートする機械的切味試験として, 図4に示す構造の切味試験機を試作した. 試料台と刃物取付部の送りは独立に制御可能とし, 前者は水平方向に, 後者は垂直方向に移動する. 測定の手順は, まず包丁に垂直方向の送りを与える. 包丁が降下し試料に接触すると試料は水平方向に移動を開始する. この過程は実際に人間が試料を切断する押し切りと引き切りの操作にほぼ対応している. ばらつきの小さい機械切味を得るための測定条件として, 水平方向の送り速度10 mm/s, 垂直方向の送り速度1 mm/sに設定した.

包丁で試料を切断する際に発生する抵抗力の大きさはひずみゲージで検出した. 一例を示すと図5の通りで, 縦軸は抵抗力, 横軸は切込み深さを示す. 仕事量を求めるためには, あらかじめ定めた深さを切るのに要した力, つまり切味試験における図5の斜線で示した部分の積分値を計算した.

2) 抵抗力の測定

切味試験機を用いて試料切断時の抵抗力を, 次の2通りの方法で測定した. 試料切断の際に, あらかじめ一定の深さまで包丁に切込みを与えた後, 水平方向の送りだけで抵抗力を検出する. もう一つは, 垂直方向の送りだけで試料を切断し抵抗力を検出する方法で, 前者を抵抗力水平, 後者を抵抗力垂直と呼ぶことにする. 抵抗力垂直の場合の抵抗力と包丁の移動量との関係は図6に示す通りである. 包丁の垂直方向の移動に伴い抵抗力は単調増加の傾向を示すが, やがて抵抗力は急激に減少した後, 再び上昇し定常状態となる. そこで抵抗力が減少する直前のピークをA点とし, 抵抗力が定常状態を示す位置をB点とする. A点までは主として甘藷の弾性的変形の過程であり, A点をすぎると包丁は甘藷にき裂を生じさせるため, 包丁に加わっていた抵抗力は一旦解放される. 更に垂直方向の送りを続けると包丁は甘藷を切断し始め, 抵抗力はほぼ一定の値に達する. 抵抗力垂直の特性としては, A点およびB点の抵抗力を測定し, 前者を

切味試験機の特性

静特性	直線性	2% 以内
	静誤差	0.5% 以内
動特性	立上がり時間	0.1 s 以内
	行き過ぎ量	1% 以内
	整定時間	0.2 s 以内

図 4 試作した切味試験機

図 5 切味試験機で検出した抵抗力

図 6 抵抗力垂直の場合の包丁の移動量と抵抗力の関係

抵抗力垂直 I, 後者を抵抗力垂直 II と呼ぶ。

一方, 抵抗力水平の場合にはあらかじめ与えておく切込み深さにより抵抗力は変化するので, 切込み深さはすべての包丁に対して 5 mm にそろえた。

4. 感覚的切味の測定と定量化

4.1 一対比較法による一次元尺度の構成

すでに機械的特性を測定した 7 本の包丁を用いて, 一対比較による切味の測定を行った。包丁はすべて同一形状であり, 1 人の被験者が $\tau C_2=21$ 組の切味の比較判断に要する時間は約 15 min である。一対の包丁 j, k の切味の比較において, j に対して k が切れると判断した場合を 1, 切れないと判断した場合を 0 とし, 18 人の被験者が切味を判断した結果が表 2 である。

表 2 の比較判断の結果を定量化する方法として, サーストンの比較判断の法則⁵⁾を示す。2 本の包丁の切味 s_j, s_k の差は

$$s_j - s_k = z_{jk} \sqrt{\sigma_j^2 + \sigma_k^2} - 2r_{jk} \sigma_j \sigma_k \quad (3)$$

z_{jk} : 比較する 2 本の包丁の切味の判断の比率に相当する標準正規分布の σ の値

σ_j : 包丁 s_j に対する感覚切味のばらつき

σ_k : 包丁 s_k に対する感覚切味のばらつき

表2 18名の被験者の比較判断の結果

	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇
S ₁		8	17	14	14	12	14
S ₂	10		12	16	16	17	15
S ₃	1	6		10	6	10	8
S ₄	4	2	8		3	4	4
S ₅	4	2	12	15		10	4
S ₆	6	1	8	14	8		7
S ₇	4	3	10	14	14	11	

r_{jk} : S_j, S_k の弁別偏差の相関係数

によって求めることができる。これはケース I と呼ばれる定量化の式であるが、このままでは解が得られないので幾つかの仮定を導入したケース II~V までの式がある。まず、ケース V により尺度構成を行った後、正規性および尺度の一次元性の検定⁶⁾を次式により行った。

$$\chi_0^2 = \sum (\theta - \theta')^2 \cdot N / 821 = 28.6 \quad (4)$$

$\theta - \theta'$: 弁別偏差のちらばりの差

$\chi^2(15, 0.05) = 25.0 < \chi_0^2$ となり、正規性および尺度の一次元性は否定されたので、さらにケース III による尺度を構成し、尺度の一次元性の検定を行った。ケース III についても式(4)により χ^2 を計算した結果、 $\chi_0^2(9.005) = 19.6 < \chi^2 = 21.3$ となり、ここでもケース III の仮定が否定され、尺度の一次元性が否定された。このため多次元的な尺度構成が必要となる。

4.2 多次元尺度構成

切味の判定における感覚の多次元的な現象を解明するため、クラスカルの多次元尺度構成⁷⁾を行った。表2の一对比較結果より判断の比率 p_{jk} を求める。 p_{jk} が1に近い場合は包丁 S_j より k の切味が良く、 p_{jk} が0に近い場合は逆に包丁 S_k より j の切味が良いことを示している。従って $p_{jk} = 0.5$ のとき両者の切味は等しいはずである。そこで

$$d_{jk} = |p_{jk} - 0.5| \quad (5)$$

なる d_{jk} を考えれば、これは一对の包丁 j, k の切味の類似度を示すことになる。すなわち、 d_{jk} が0に近い程一对の包丁 j と k の切味は類似し、0.5に近づくにつれて j, k の切味が相違する。 d_{jk} は、このままでは $n=7$ 次元空間における各包丁間の刺激配置を示すにすぎないが、多次元尺度構成では個々の包丁間の距離を損なうことなく、 n より小さい m 次元空間における包丁の刺激配置を求めることにある。そこで、 d_{jk} を基礎データとし、この d_{jk} に最も良く一致する m 次元での $\hat{d}_{jk}$ を求める。対象とする j と k の点間距離 $\hat{d}_{jk}$ は

$$\hat{d}_{jk} = \left(\sum_l^m |d_{jl} - d_{kl}|^p \right)^{1/p} \quad (6)$$

数字は包丁の番号を示す

図7 多次元尺度構成法による包丁間の2次元平面上的距離

によって示される。 $p=2$ はユークリッド空間、 $p=1$ は市街地モデルとなる。また、多次元空間での $\hat{d}_{jk}$ の当てはまりの良さの指標はストレス S によって判断する。

$$S = \sqrt{S^* / T^*} \quad (7)$$

$$S^* = \sum_j \sum_k (d_{jk} - \bar{d}_{jk})^2 \quad (8)$$

$$T^* = \sum_j \sum_k d_{jk}^2 \quad (9)$$

7本の包丁について人間の感覚で切味の良否を判断させた表2の結果より多次元尺度構成を適用した。その結果、ストレスの大きさが1次元では0.099, 2次元では0.036, 3次元以上の空間では完全な当てはまりを示し、2次元では満足、1次元ではやや満足すべき状態⁷⁾と判断できる。次元の小さい方が好ましいのでストレスの大きさから判断して、包丁の配置は2次元平面で表すことができるかと判断した。そこで、2次元平面上に包丁間の距離 $\hat{d}_{jk}$ を示すと図7が得られる。この結果、人間が切味の良否を判断する基準は2種あると推定され、図7にはそれぞれの基準に従って構成された7本の包丁の関連性が示されている。従って2次元平面上的I軸およびII軸の内容を以下に検討する。

5. 感覚切味と機械的特性との対応

5.1 感覚切味の判断基準の推定

人間が切味の良否を判断するための2種の判断基準を推定する。多次元尺度構成のI軸およびII軸における包丁の射影値と、包丁の機械的特性との対応を求め、表3の相関係数表を得た。I軸と機械切味については抵抗力垂直I、形状特性では刃角との相関が高い。またII軸は機械切味の抵抗力垂直II、形状特性では刃厚のむらとの相関が高い。

2種の判断基準と刃物の機械的特性との対応関係から、感覚切味の判断基準を推定すると、一つは包丁を甘

表3 感覚切味と機械切味との相関係数表

感覚切味 機械的特性		多次元尺度		一次元 尺度
		I 軸	II 軸	
形状特性	刃角 α	0.650	0.227	0.795*
	$\times \beta$	0.685	0.189	0.552
	$\times \gamma$	0.823*	0.024	0.542
	表面粗さ	0.484	0.298	0.434
	刃 厚	0.003	0.434	0.577
機械切味	刃厚のむら	0.454	0.855	0.114
	質 量	0.511	0.259	0.062
	抵抗力垂直 I	0.882*	0.292	0.721
	$\times$ II	0.450	0.781*	0.532
	抵抗力水平	0.372	0.540	0.688
	仕事量	0.216	0.565	0.771*

* 危険率 5% 有意

諸に接触させてから、切込んでいく際の最初に切込みが発生するまでのきわめて初期的な抵抗力であり、刃角に関係し、もう一つは刃物が甘藷の中にすでに入り込んだ後で、甘藷を切断していく抵抗力で刃厚のむらに関係すると考えられる、

5.2 一次元尺度と機械的特性との対応

すでに述べたように、人間の感覚による切味の判断は2次元で表現することが望ましい。しかし、ストレスの大きさから、一次元でもやや満足すべき結果が得られていること、および多次元尺度構成は計算が複雑であり、判断に若干の誤差が生じることを覚悟するなら、一次元の尺度構成も実用的には利用できる。なお、ケース III で求めた一次元尺度と多次元尺度構成の結果得られた一次元尺度は、ほとんど同じものとなった。

感覚切味と包丁の機械的特性との相関を求めた表3より、一次元の感覚切味と機械的特性とは有意な相関があり、抵抗力が感覚切味に影響していることが明らかである。また機械切味とも良い対応を示した。

6. お わ り に

包丁の切味に関して、機械および感覚切味の定量化、並びに人間が切味を判断する基準の解明を、包丁の品質

特性との対応関係から明らかにした。一方、試作した切味試験機については、機械切味の妥当性について検討した。

以上の結果についてまとめると、以下のことが明らかとなった。

- (1) 人間の感覚による包丁の切味は、甘藷を切断する一対比較法により定量化し得る。
- (2) 試作した切味試験機による機械切味は、感覚切味と良い一致を示す。
- (3) 人間が切味を判断する基準は二つあり、包丁で甘藷を切断する際の切込みを発生する初期的な抵抗力と、甘藷全体を切込む際の抵抗力と推定でき、刃角と刃の厚さむらに原因すると考えられる。

人間の疲労の影響を考慮し、包丁の数は7本にとどめたが、更に包丁の本数を増して結果の再現性について検討する必要がある。

多次元尺度構成にあたっては中央大学吉田正昭教授に、機械的特性の測定については明治大学山本健太郎教授の御指導を仰いだ。深く感謝の意を表す。研究を進めるにあたっては当時の計量研究所研究企画官奈良治郎宇都宮大学教授および飯塚幸三第3部長の研究上の配慮を頂いた。感謝の意を表す。また、包丁は岐阜県工業試験場の平田泰宏氏に提供していただいた。ここに謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) 吉田正昭: 応用実験心理学, 筑摩書房 (1970) 141.
- 2) 内田広頭: 刃物シリーズ No. 6, 刃物に関する諸測定法, 日本刃物工具新聞社 (1968) 36.
- 3) JIS K 6019: 硫化ゴムの物理試験法.
- 4) SN 比分会: SN 比 マニュアル, 日本規格協会 (1972) 26.
- 5) L. L. サーストンほか (吉田正昭訳編): 計量心理学リーディングス, 誠信書房 (1968) 137.
- 6) J. P. ギルホード (秋重義治ほか訳): 精神測定法, 培風館 (1968) 192.
- 7) J. B. Kruskal: Multidimensional Scaling by Optimizing Goodness of Fit to a Nonmetric Hypothesis, Psychometrika, 29, (1964) 1.