

牛肉の理化学的分析値に対する主成分分析

関川三男¹・三上正幸¹・三浦弘之¹

(受理: 1991年11月29日)

Principal component analysis of physicochemical measures of bovine Longissimus thoracis

Mitsuo SEKIKAWA¹, Masayuki MIKAMI¹ and Hiroyuki MIURA¹

摘 要

4品種合計161個体の牛から得られた胸最長筋の理化学的分析値8項目に対して主成分分析を行い以下の結果を得た。

主成分分析の結果、固有値1.0以上の主成分は第3主成分までで、その累積寄与率は64.1%であった。第1主成分において固有ベクトルの絶対値の大きな項目は、明度を除く色調に関連するものであり、第1主成分は、主に牛肉の色調を表す因子と考えられる。第2主成分では、脂肪融点とクッキングロスが負で比較的大きな固有ベクトルで、第2主成分は主にこの両者の大きさを表すものと考えられる。第3主成分では、pHと筋線維の太さの固有ベクトルが大きな値であるが、符号が異なる。このため、第3主成分は、この両分析値が対立するような変動を示すものと考えられる。

第1主成分の得点は、いずれの品種間においても有意差が認められず、第1主成分の表す色調に関しては、品種の違いにかかわらず牛肉全般に認められる特徴と考えられる。一方、第2および第3主成分では、多くの品種間で有意差が認められた。

格付け成績と主成分得点との相関係数においては、第2主成分で有意な相関が得られた。第2主成分の表す脂肪の融点およびクッキングロスの大きさはともに食感に対する寄与が高いと考えられ、枝肉の格付け成績と正の相関関係にあることは興味深い。一方、主に色調の変動を示す第1主成分においては有意な相関は認められなかった。すなわち、色調の理化学的分析値と肉の色沢を評価項目に含む格付け成績とは、あまり密接な関係にないことが推察された。

キーワード : 牛肉, 肉質, 理化学的分析値, 色調, 主成分分析

¹ 生物資源利用学講座

¹ Department of Bioresource Chemistry, Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine, Hokkaido 080, Japan

緒 言

牛肉の肉質に関しては、これまでに多くの研究が行われて膨大な知見が蓄積されてきた。これらのデータは、牛肉の格付け規格を設定する際の資料として用いられたばかりではなく^{1,2)}、加工品製造における基礎的な理論を提供してきた^{2, 9, 10)}。しかし、肉質の評価に関しては、古くから理化学的な分析値から客観的に評価する方法が望まれていたにもかかわらず一般化された総合的な方法はない。このことは、肉質に関する理化学的な分析値を用いて、官能的な評価や格付け成績を精度良く推定することが難しいためと考えられる。すなわち、個々の理化学的分析値と格付けの成績や官能検査などのやや主観的な総合の評価値との間では、いくつかの例外、例えば脂肪交雑評点と脂肪含量、剪断値と柔らかさ等を除いて強い相関関係は見られないことや^{1,2)}、牛肉の理化学的分析値が、同一個体内においては筋肉の解剖学的な位置やその機能、あるいは個体間では品種、性、飼養条件、さらに屠殺方法や枝肉の扱い方あるいは熟成方法など、多くの要因によって影響を受けていることが主な原因と考えられる。

本研究では、過去10数年にわたって蓄積された牛肉の理化学的分析値に対して主成分分析を行い、理化学的分析値間の相互の関係を検討した。さらに、これらの分析値の総合特性値として主成分得点を求め、この値から品種間での差を比較した。また、あわせて枝肉格付け成績と主成分得点との関係を相関係数から検討した。

材料および方法

北海道立新得畜産試験場で、1985年から1990年にかけて肥育試験に供された去勢牛および雄牛281頭の胸最長筋（第5～第6肋骨部分）に対して、畜肉保蔵学研究室において分析された理化学的分析値を資料とした。計算には、この中から、欠損値や明らかに異常値と考えられる分析値のある個体を除いた161個体を用いた。

理化学的分析は、筋線維の太さ、pH、ヘマチン量、脂肪融点、クッキングロス、色調L*値（明度）、a*値（赤色度）およびb*値（黄色度）の合計8項目である。

筋線維の太さは、屠殺後2日目に筋線維の長軸方向に対して平行に筋肉を切り取り、落射暗視野型顕微鏡

を用いて、接眼マイクロメーターを用いて計測した（倍率15×10）。計測は30ヶ所行い、その平均値を計測値とした。pHは、屠殺後2日目に脂肪層や筋膜をできるかぎり除去した赤肉を挽き肉（4.5mmプレート2度挽き）にし、この5gに蒸留水45mlを加え良く攪拌した後、pHメーターで測定した。ヘマチン量は、Hornseyの方法³⁾に準じて求めた。色調（CIE三刺激値）L*、a*および、b*は、屠殺後2日目の試料に対して泉本の方法で^{5, 7)}測定した。脂肪融点は、挽き肉約20gにジエチルエーテルを加え3日間冷蔵庫内（1±2℃）で中性脂肪を抽出し、得られたエーテル層に無水硫酸ナトリウムを加え脱水した後、エーテルを蒸発させて脂肪を得、これを微小融点測定装置（柳本製作所製）で透明融点を測定した。クッキングロスは、屠殺後2日目にロース芯を筋線維に直角に厚さ約2cmに切り取り、ポリ塩化ビニリデン系のフィルムに包み、冷蔵庫（1±2℃）内で熟成させ、屠殺後7日目に250℃のオーブンで片面5分間づつ加熱して、加熱前後の重量の損失を百分率で表した。

理化学的分析値8項目、161個体分を集計し、一般統計、相関係数を計算した。さらに、相関行列から主成分分析を行い、得られた結果から主成分得点の平均値を品種別に求めた。平均値の差の検定は、危険率1%のt-検定で行ったが、分散比が有意なときにはコクランコックス法を用いた。計算は、すべてseto/B（共立出版）を用いて行った。

結果および考察

今回、分析した161頭の牛肉の理化学的分析値の平均値、標準偏差、変動係数をTable 1に示した。各平均値は、これまでに報告された値と大きな差はない^{1, 8, 14, 15)}。変動係数はクッキングロスが最大で、ヘマチン含量がこれに続いた。一方、最も小さい変動係数を示したのはpHであった。

pHは、筋肉における屠殺後の解糖作用によるグリコーゲンの消費と乳酸の蓄積などの化学的な状態を良く反映するために重要な測定項目であり、さらに計測が容易なため筋肉の理化学的な分析に当たってはまず調べる必要がある。今回の材料は、pHの平均値が5.51、変動係数が2.57%、範囲が5.02から5.75で、これは牛肉の正常なpH範囲を示している¹⁷⁾。従って、今回用いた試料の屠殺後の経過は、ほとんど問題のない正常なものと推察される。

pHとL*値を除く項目の変動係数は、すべて10%以上の値で各分析値の変動が大きいことを示す。このことは、測定上の誤差も要因であるが、筋組織が多成分系からなることや、屠殺後測定までに複雑な生化学的反応を経過すること^{2, 9, 10)}、さらに個々の試料の変異が大きいことなどが主要因と考えられる。これまでに報告された計測値で、特に水分に関連するものでは変動係数が30%以上を示すものが多いことなどはその典型的な例である⁹⁾。

Table 2は、理化学的分析値の平均値を品種別にまとめたもので、月齢、生体重および枝肉格付け成績の平均値もあわせて示した。なお、格付けは1988年に規格が改正されたので、旧規格の成績は新規格に変換して計算した¹²⁾。

Table 1 Mean and SD of physicochemical measurements on bovine Longissimus thoracis

	mean	SD	CV(%)
1. myofibrillar diameter (um)	69.22	12.12	17.51
2. pH	5.51	0.14	2.57
3. total pigment (ppm)	121.55	39.05	32.13
4. fat melting point (°C)	45.23	4.80	10.61
5. cooking loss (%)	14.44	6.80	47.10
6. L*	41.78	3.81	9.13
7. a*	17.47	4.35	24.90
8. b*	13.05	3.08	23.59

(n=161)

Table 2 Means of physicochemical measurers of 4 breeds

	Holstein n=71		Ab. Angus n=39		Hereford n=39		Jap. Black n=12	
	mean	SD	mean	SD	mean	SD	mean	SD
1.	70.01	12.99	68.01	13.93	70.10	9.52	65.63	8.14
2.	5.44	0.18 ^{a,b,c}	5.56	0.07 ^a	5.58	0.06 ^b	5.54	0.06 ^c
3.	109.33	32.89 ^a	146.99	36.94 ^{a,b,c}	117.38	45.12 ^b	124.67	18.81 ^c
4.	46.78	4.80 ^{a,b}	43.16	4.48 ^a	45.32	4.63	42.50	2.89 ^a
5.	13.26	6.20 ^{a,b}	15.08	6.09 ^c	18.21	7.21 ^{a,b}	7.13	2.33 ^{b,c,d}
6.	42.72	4.75 ^a	41.84	2.24 ^b	39.46	2.33 ^{a,b,c}	43.54	2.28 ^c
7.	18.10	4.30	16.83	4.32	16.39	4.61	19.31	3.09
8.	12.73	4.08 ^a	13.10	2.40 ^b	13.01	1.52 ^c	14.93	0.62 ^{a,b,c}
age	19.69	2.89 ^{a,b}	19.99	3.19 ^{a,d}	23.30	2.50 ^{a,c,e}	26.90	0.00 ^{b,d,e}
W	641.48	48.18 ^{a,b,c}	614.89	69.81 ^a	604.54	62.50 ^b	593.17	40.01 ^c
R	2.70	0.60 ^a	2.80	0.47 ^b	2.28	0.79 ^{a,b}	2.83	0.39

n: sample size, age (month), W: live weight (kg), R: rank variable numbers are the same as in table 1.

Superscripts indicate significant mean differences among 4 breeds.

枝肉の格付けは歩留り等級と肉質等級によって評価されて、歩留り等級は、枝肉の第6-7肋骨間の切断面にける胸最長筋の面積、皮下脂肪、バラの厚さおよび冷枝肉重量から巨尾式を用いて数量的に求められて

いる。一方、肉質等級は、歩留り等級の判定と同様に胸最長筋断面の脂肪交雑、肉の色沢、肉のきめと締りおよび脂肪の質と色沢の4項目を判定して5段階の評価を与えている。この中で、きめと締りを除く3項目

については、基準模型が設定されており、これを用いて客観的に判定するように配慮されている。なお、肉質は、これら4項目について個々に判定した後、この中で最低の判定値を最終的な肉質等級とすると規定されている¹¹⁾。

各平均値の品種間での差は、筋線維の太さとa*値を除いていくつかの組み合わせにおいて有意な差が認められた。特に、クッキングロスの平均値は、黒毛和種が他の3品種に比べ有意に小さい値である。クッキングロス、肉中の遊離水分量を代表し、保水性と負の相関関係にあり、肉質という観点からは少ないことが望ましい。また、肉中の水分量は、脂肪含量と負の相関を示し、筋間の脂肪含量は肥育程度に依存することが知られている。今回用いた4品種の中では、黒毛和種が最も月齢が高いが、このことがクッキングロスの少ないこと的主要原因ではないと考えられる。すなわち、肉中の水分量は、脂肪量に対して代償的ではなく、脂肪含量を除外して水分量を計算すると品種による差はほとんどなく、ほぼ一定の値であると考えられており¹⁶⁾、黒毛和種のクッキングロスの平均値が他に比べて少ないことは、この品種における肉自体の水分保持能力が高いために遊離水が少ないものと推察される。黒毛和種は、肉の保水性に関して他の3品種と異なる特性をもつものと推察される。

ヘマチン含量の平均値は、アンガスが他の3品種に比べ有意に大きい値である。ヘマチン含量は、一般に加齢に伴い増加することが知られているが、今回の供試肉ではアンガスの屠殺時の月齢はホルスタインに次いで低い。ヘマチン含量と月齢との関係は、主に品種内において指摘されていることで、品種間では今回の結果から判断すると適用されないものと考えられる。

各分析値間の相関係数はTable 3に示した通りである。相関係数で正で最も大きな値を示したのは、色調のa*値とb*値との0.63で、負のものはヘマチン含量と脂肪融点との間-0.49である。相関行列の全体的な特徴は、色調の3項目(項目番号6-8)間では、すべて有意な相関(d.f.=150, p>0.01, 0.208)が得られ、また、これ以外の項目間(項目番号1-5)においても有意な相関が半数(5/10)に認められるが、しかし、この2グループの間には有意な相関(1/15)が少ないことである。すなわち、色調3項目とこれ以外の分析項目とは互いに独立な傾向を示すものと考えられる。色調3項目間の相関が全て有意であることは、

ホルスタイン種364頭について研究した伊藤ら⁹⁾の結果と類似している。

Table 3 Correlation matrix of physicochemical measurements

1.								
2.	-0.24							
3.	0.03	0.08						
4.	0.25	0.01	0.49					
5.	0.17	0.32	-0.20	0.28				
6.	0.16	0.03	-0.06	0.17	0.04			
7.	-0.04	-0.04	-0.16	-0.10	-0.24	-0.29		
8.	-0.01	0.11	-0.29	0.11	0.11	-0.31	0.63	
	1	2	3	4	5	6	7	8

Variable numbers are the same as in Table 1.

相関行列の特徴は、主成分分析の結果に良く表れている。Table 4は、主成分分析の結果で、固有値、固有ベクトルおよび寄与率を示したものである。主成分分析は、4品種をこみにした合計161個体の分析値の相関行列から行い、固有値1.0以上の主成分は第3主成分までで、その累積寄与率は64.1%であった。

Table 4 Eigenvectors of correlation matrix of physicochemical measurements

	Z 1	Z 2	Z 3
1.	0.01	-0.31	-0.50
2.	0.14	-0.12	0.71
3.	-0.43	0.34	0.08
4.	0.24	-0.54	-0.19
5.	0.17	-0.44	0.38
6.	-0.28	-0.36	-0.14
7.	0.49	0.38	-0.20
8.	0.62	0.14	-0.03
eigenvalue	1.95	1.85	1.34
prop.	0.24	0.23	0.17
cum. prop.	0.24	0.47	0.64

prop.: proportion, cum. prop.: cumulative proportion
Z1-Z3: principal component 1 to 3, respectively
variable numbers are the same as in Table 1.

第1主成分の固有ベクトルはa*値およびb*値のものが正で0.4以上の値で比較的大きく、負ではヘマチ

ンのものが大きい。すなわち、第1主成分において固有ベクトルの絶対値の大きな項目は、L*値を除く色調に関連するものであり、第1主成分は、主に牛肉の色調を示す因子と考えられる。第2主成分では、脂肪融点とクッキングロスが負で比較的大きな固有ベクトルで、第2主成分は主にこの両者の大きさを表すものと考えられる。第3主成分では、pHと筋線維の太さの固有ベクトルが大きな値であるが、符号が異なる。このため、第3主成分は、この両分析値が対立するような変動を示すものと考えられる。

今回得られた第1主成分においては、ヘマチン含量が少なく彩度(a*値・b*値平面上の原点からの距離)の高い個体は主成分得点が高くなる。食肉のL*値はヘマチン含量によって変化し、ヘマチン含量が高くなるにつれて、含量変化による色調の変動は急激に減少する。食肉のヘマチン含量は、一般に20-200 ppm

程度⁵⁾であり、牛肉は羊肉と並んで豚肉や鶏肉よりも高い。今回用いた4品種共にヘマチン含量の平均値は100 ppm以上と比較的高い値であり、第1主成分の固有ベクトルの特徴を考え合わせると、今回用いた牛肉において、ヘマチン含量が食肉の色調、特にL*値におよぼす影響は比較的小さいものと推察される。

Table 5は、第3主成分までの主成分得点の平均値を品種別に示したものである。第1主成分の得点は、いずれの品種間においても有意差が認められず、第1主成分の示す色調に関しては、品種の違いにかかわらず牛肉全般に認められる特徴と考えられる。主成分分析における各主成分は独立であり、従って第1主成分の表す色調は、これ以外の主成分とは独立である。色調がこの様に他の分析項目値と独立な傾向にあることは、相関行列の特徴からも推察されたことである。

Table 5 Mean differences of component score among 4 breeds

	Holstein		Ab. Angus		Hereford		Jap. Black	
	mean	SD	mean	SD	mean	SD	mean	SD
Z 1	0.05	1.74	0.25	0.95	-0.39	1.18	0.13	0.57
Z 2	-0.21	1.58 ^{a,c}	-0.25	1.32 ^{b,d}	0.34	0.86 ^{a,b}	0.95	0.67 ^{c,d}
Z 3	-0.06	1.27 ^{a,b}	0.65	0.74 ^{a,c,d}	0.49	0.81 ^b	-0.17	0.58 ^{c,d}

Superscripts indicate significant mean differences among 4 breeds. Z1-Z3: principal component 1 to 3, respectively

一方、第2および第3主成分では、多くの品種間で有意差が認められた。すなわち、第2主成分では、ホルスタインとアンガス間およびホルスタインと黒毛和種間を除いて、第3主成分ではヘレホードと黒毛和種間およびヘレホードとアンガス間を除いて、いずれの品種の組み合わせにおいても有意差が認められた。

格付け成績と各主成分得点との相関係数においては、第2主成分で有意な相関(0.36)が得られたが、第1および第3主成分では有意な相関(0.06, 0.04)は認められなかった。このことは、第1主成分が色調を、第2主成分が主に脂肪融点とクッキングロスを表す因子と考えられるので、格付け成績と色調とは関連性は少ないが、脂肪融点とクッキングロスとは何らかの関連を有することを示唆しているものと思われる。食肉において脂肪の融点およびクッキングロスは、ともに食感に対する寄与が高いと考えられ、これを主と

する第2主成分と枝肉の格付け成績が正の相関関係にあることは興味深い。一方、枝肉格付けにおける肉質の評価項目の一つである色調と格付け成績との間には有意な相関は得られなかった。このことは、理化学的分析における色調が反射率から計算される3次元的な座標値、すなわち明度、赤色度および黄色度の3つの数値で表現されるのに対して、格付けにおける色調判定は基準模型を用いて、その肉眼的な比較から決定されるという、方法の違いによるものかもしれない。色調は、主成分分析において第1主成分に抽出され、肉質の理化学的分析値においても最も大きな変動を示すため、重要な測定項目である。このことが格付け判定項目に色調が取り入れられていることの一つの理由であろう。牛肉の色調は、ミオグロビンの含量とその誘導体の構成比および牛肉素地の色調でほぼ決定されるが、これらに影響を与える要因は種類が多く複雑な関

係にある。例えば、pHの相違は、タンパク質と水との親和性に影響をあたえて、結果として素地の光散乱性を変えると指摘されている⁷⁾。また、脂肪交雑は、赤肉の全体的な色調を測定する際には妨害となる。

肉質を評価する主観的な項目は、味覚、臭覚、視覚、触覚などによるものであるが、いずれも感覚量であり定性・定量化することは難しい。この中で、視覚(色調)は物理的現象として基礎的な理論がほぼ確立され、測定方法も規格化されている。さらに今回示したように色調の変動の様相は、品種間での差が少なく牛肉全体にはほぼ共通のものと考えられるため、これと肉質との関係を究明することは、肉質の客観的な評価にとって、視覚以外の感覚量の定量化とともに今後重要な課題と考えられる。

文 献

- 1) FREDEEN, H. T., MARTIN, A. H. and WEISS, G. M. : Changes in tenderness of beef longissimus dorsi as related to muscle color and pH. *J. Food Sci.*, 39 : 532-536, 1974.
- 2) 橋本吉雄(編著), 畜肉の科学と製造, 養賢堂, 東京, 149-161, 1965
- 3) HORNSEY, H. C., The colour of cooked cured pork. I. Estimation of the nitric oxide-haem pigments. *J. Sci. Food Agric.*, 7 : 534-540, 1956.
- 4) 伊藤 良, 有原主三, 近藤 洋, 松本武義, 樽見和幸, 田端経夫, 池田 登, ホルスタイン種去勢牛における枝肉の肉色評価に影響を及ぼす諸要因の解析. *日畜会報*, 60 : 321-329, 1989.
- 5) 泉本勝利, 分光測定自動化のためのハードウェアとソフトウェア. 帯広畜産大研報, 12 : 365-371, 1982.
- 6) 泉本勝利, 食肉の色調現象の背景と特性化. *日畜会報*, 55 : 703-715, 1984.
- 7) 泉本勝利, 川瀬慎二, 畜肉の色調現象におよぼすpHの影響. 帯広畜産大研報, 15 : 203-208, 1987
- 8) LI CHAN, E., NAKAI, E., and WOOD, D. F. : Muscle protein structure-function relationships and discrimination of functionality by multivariate analysis. *J. Food Sci.*, 52 : 31-41, 1987.
- 9) 三浦弘之, 食肉と肉製品, 畜産食品加工学. 川島書店, 東京, 92-118, 1990
- 10) 高橋興威, 食肉と食肉製品, 乳・肉・卵の科学, 弘学出版, 神奈川, 53-77, 1986.
- 11) 岡田光男(編著), 肥育のすすめ, チクサン出版, 東京, 167-184, 1991.
- 12) 小堤恭平, 牛肉の品質評価に関する研究. *日食工誌*, 36 : 857-866, 1989.
- 13) 小堤恭平, 小沢 忍, 千国幸一, 小石川常吉, 加藤貞雄, 中井博康, 池田敏雄, 安藤四郎, 吉武充, 牛筋肉のテンシブレッサーによる硬さの測定. *日畜会報*, 59 : 590-595, 1988.
- 14) PURCHAS, R. W., An assessment of the role of pH differences in determining the relative tenderness of meat from bulls and steers. *Meat Sci.*, 27 : 129-140, 1990.
- 15) SEIDEMAN, S. C., and KOOHMARAIE, M. : Factors associated tenderness in young beef. *Meat Sci.*, 20 : 281-291, 1987.
- 16) 田中彰治, 肉用牛の蓄積脂肪並びに筋肉脂質に関する科学的研究 第2報 牛枝肉の各種筋肉における脂肪含量の分布および水分含量による脂肪含量の推定. *日畜会報*, 34 : A27-A35, 1985.
- 17) YU, L. P., and LEE, Y. B., Effects of post mortem pH and temperature on bovine muscle structure and meat tenderness. *J. Food Sci.*, 51 : 774-780, 1986.

Abstract

The data used in the present study were 8 physicochemical measurements (myofibrillar diameter, pH, total pigment, fat melting point, cooking loss, and refractance : L*, a* and b*) of bovine longissimus thoracis from 161 carcasses consisting of 4 breeds (Holstein Friesian, Aberdeen Angus, Hereford, Japanese Black). Principal component analysis identified three components which accounted for over 64% of data variance. All breeds were similar for scores on component 1 which was concerned with variations in hematin content and chromaticity. The four breeds did not differ in their scores on this component, an indicator of fundamental variation of beef muscle physi-

cochemical characteristic. The Japanese black had heighest scores on component 2 indicating small cooking loss and low fat melting temperatuer among 4 breeds, whereas the Holstein had the lowest mean score on component 3, expressing the contrast of the diameter of myofibrils to pH. There was a significant correlation between component 2 and the quality grade of carcase. It was interesting that component 2 might be related to the eating quality of beef.