

計測機器による測定結果を用いた食感の評価方法の開発

品質マネジメント研究

5218F025-0

古堅厚大

指導教員

棟近雅彦

Development of an evaluation method of texture using measurement results by measuring instruments

FURUGEN Kodai

1. 研究背景と研究目的

食感の評価する手段として、従来、物理的・化学的な特性を把握するための、計測機器による測定が行われてきた。その一方、最終的な品質を評価するのは人間であることから、人間の「単感覚」を用いての品質評価を実施することが必要不可欠となっている。

しかし、人間による評価は訓練されているパネラーでない限り、結果の妥当性・再現性に問題が生じる可能性がある。一方、計測機器による測定に関しても、測定結果と人間による評価結果が対応しているかは不明であり、得られた測定結果を直接的に食感の評価結果とするのには問題がある。そこで、従来、人間による評価と計測機器による測定の両方を行い、相関関係を探索して両者を結びつけることで、食感の評価の一助とする試みが実施されてはいる。しかし、検討は不十分であり、現時点では、食感の明確な評価方法は確立されていない。

そこで、本研究では、かまぼこ製造会社である M 社の笹かまぼこの食感を対象に、まず、食感がどのような評価要素から構成され、それぞれがどのような関係性で結びついているかを明らかにする。次に、人間による単感覚での評価結果と計測機器から得られた測定結果との関係性を重回帰分析によって明らかにする。そして、得られた重回帰式から求めた単感覚での評価結果を評価することで、計測機器から得られた測定結果を用いた食感の評価を行う。この一連の手順をまとめたものを、「計測機器による測定結果を用いた食感の評価方法手順」として提案する。

2. 従来研究と研究方法

丹波[1]は、かまぼこの食感を評価する際に、レオメーターと呼ばれる計測機器を用いた押し込み試験を実施し、かまぼこが破断する瞬間にかまぼこがプランジャーを押し返した力(以下、「破断強度」)はかまぼこの「硬さ」と相関があり、破断するまでに押し込んだ距離はかまぼこの「しなやかさ」と相関があることを示した。そして、これら2つの測定結果を用いることが、かまぼこの食感の評価において有効であるとした。

しかし、一般に食感は「硬さ」や「しなやかさ」だけでなく、「弾力」「歯切れ」「きめ」などの、その他の様々な評価要素も複雑に絡み合っておりと考えられる。したがって、丹波が取り上げた2つの評価要素が、食感の評価する上で十分であるかどうかは不明であり、また、各評価要素が食感に対してどのような影響を与えているかも把握できていない。

そこで、本研究では、まず、棟近ら[2]の方法を用いて、

認知・知覚モデルにもとづいた階層(「単感覚」「複合感覚」「心理的反応」)に属する評価用語を抽出する。次に、抽出した評価用語を用いてサンプル調査を実施する。この際、人間による評価と計測機器による測定の両方を行う。そして、サンプル調査から得られた評価結果に羽生田ら[3]の方法を用いることで、感性品質における個人差の観点から、評価者を層別した上での感性評価構造を把握する。これによって、食感の構成を明らかにし、各評価要素が食感に与える影響を定量的に把握する。

ここで、羽生田らを取り上げた個人差とその定義を以下に示す。

- 1) 嗜好の個人差…どの対象を好む、あるいは好まないかという総合的な評価の評価者による個人差
- 2) 項目の個人差…総合評価を下すのにどの項目を重視するのか、項目がどのような値のときにより評価を下すのかの評価者による個人差
- 3) 弁別の個人差…各項目について各対象を弁別する際の、弁別結果の評価者による個人差

ただし、羽生田らの方法では、弁別の個人差に関しては十分に考慮することができておらず、得られる感性評価構造の信頼性に問題が生じる可能性がある。したがって、本研究では、弁別能力を定義し、弁別の個人差を考慮した上で感性評価構造を把握する。ただし、嗜好の個人差と項目の個人差に関しては、データ数の都合上、本研究では取り扱わないこととする。

最後に、単感覚での評価結果と計測機器から得られた測定結果の関係性を重回帰分析により明らかにし、得られた重回帰式から求めた単感覚の評価結果を評価することで、計測機器から得られた測定結果による食感の評価を行う。

3. 計測機器の妥当性の検証

本研究では、笹かまぼこの物性を測定する計測機器として、テクスチャー試験機(以下、計測機器)を用いる。これは、Szczesniak[4]が提唱した、Texture Profile Analysis(以下、TPA)と呼ばれる分析方法を用い、2回の繰り返し圧縮による荷重-時間の特性曲線を考慮することで、測定結果を算出している。

ここで、得られる測定結果とその定義を以下に示す

- 1) 硬さ…食物に負荷を加えたときの最大試験力
- 2) 凝集性…食物に負荷を連続2回加えたときの、1回目と2回目のエネルギーの比
- 3) 弾力性…食物に連続2回の負荷を加え、その「くぼみ、変位」の比
- 4) 咀嚼…硬さと弾力性と凝集性を乗じたもの

5) ゴム性…硬さと凝集性を乗じたもの

前提条件として、計測機器から得られる測定結果が妥当なものであるかを検証する必要があるため、計測機器から得られる測定結果が、従来のかまぼこ物性に関する研究結果と一致するか否かを確認することで、計測機器の妥当性の検証を行った。

かまぼこの製造工程において、すり身を高温で加熱する前に一度、「坐り」と呼ばれる低温加熱工程を踏むことが一般的である。北川ら[5]によると、坐りにおいて 5℃～35℃までの温度域でかまぼこの破断強度は経時的に増加することが示されている。なお、北川らが用いた破断強度は、計測機器による硬さと単位は異なるが、測定している物性は同じである。

M 社の坐り工程も、同様の温度域で行われており、また、その工程の性質上、1つのロットにおいて、最初の方に流れてくるサンプルよりも、最後の方に流れてくるサンプルの方が坐り時間が長くなることがわかっている。すなわち、最後の方のサンプルの方が、硬くなるのが、計測機器の測定結果からも把握できれば、計測機器から得られる測定結果の妥当性は高いと考えられる。

そこで、ロットの最初と最後で 13 枚ずつサンプルを取得し、計測機器による硬さの測定を行い、得られたデータに対して、2つの母平均の差に関する検定を行ったところ、有意水準 1%で最後の方のサンプルが硬くなることがわかった。これより、計測機器から得られる測定結果の妥当性は高いと考えられる。

4. 笹かまぼこの感性評価構造の把握

4.1. 評価用語の抽出

感性評価構造を把握するためには、複数のサンプルに対してアンケート調査を行う必要がある。そこで、棟近らの方法を用いて、サンプル調査に用いる評価用語を抽出した。その結果を表 1 に示す。

表 1. 評価用語

階層	評価用語
単感覚	柔らかい—硬い
	弾力がない—ある
複合感覚	ざらざらした—つるつるした
	ごつごつした—ふつくらした
	ぼきぼきした—もちもちした
	こしががない—ある
	歯ごたえがない—ある
心理的反応	きめが粗い—細かい
	のど越しがわるい—よい
	口触りがわるい—よい
	歯切れがわるい—よい
総合感性	中身と皮のバランスがわるい—よい
	食感がわるい—よい

表 1 に示すように、総合感性に対して、12 組の評価用語が抽出できた。

4.2. サンプル調査の実施

3.1 節で抽出した評価用語を用いて、一般消費者を対象にサンプル調査を実施した。調査の概要を以下に示す。

調査対象：20～70 代の男女 30 名
サンプル：笹かまぼこ 9 種類

調査方法：SD 法(7 点法)、計測機器による測定(TPA)

調査の結果、計 270 組の評価結果と測定結果を取得することができた。取得したデータ(一部)を表 2 に示す。

表 2. 人間と計測機器によるデータ(一部)

人間による評価結果			計測機器による測定結果			
硬さ	弾力	つるつる	凝集性	弾力性	咀嚼	ゴム性
4	4	4	0.718	0.953	65760	69000
3	3	4	0.718	0.942	57890	61460
3	5	4	0.744	0.96	42150	42910
2	2	2	0.759	0.958	45050	47020
3	3	3	0.789	0.887	35230	39720
4	3	3	0.736	0.92	44830	48720
2	2	2	0.673	0.933	90020	96490
5	5	5	0.703	0.941	71810	76310
5	4	3	0.654	0.945	77500	82110

4.3. 弁別の個人差による評価者の層別方法

4.3.1 弁別能力の評価基準

官能検査ハンドブック[6]では、「人間の能力には、純粋な意味の感受性のほかに、訓練や経験によって獲得した技術、あるいは意欲・忍耐力などといったテストに対する適性など様々な要因が含まれていて、その要因のすべてを取り出すことによって能力の内容を思弁的に明らかにすることは困難であり、また実際の意味が少ない」と述べられている。そこで、人間の能力を識別能力、判断基準の安定性の 2つの観点から取り上げている。これより、本研究でも、弁別能力を識別能力と判断基準の安定性の 2つで定義し、これら 2つの観点から評価者を層別する。

そこで、まず、以下に、各観点で用いる測度を示す。

(1) 識別能力の測度

MEULLENET[7]によると、TPA によって求められた測定結果と人間による評価結果の間には 相関があることが示されている。MEULLENET は、この研究の中で、21 種類の食品を 7 人の訓練されたパネラーに評価させることで、人間が評価した硬さと TPA にもとづいて算出した硬さには $r=0.76$ の相関があり、人間が評価した弾力と TPA にもとづいて算出した凝集性には $r=0.93$ の相関があることを示している。

これより、本研究における識別能力の測度としても、単感覚での評価による硬さと測定機器から得られた硬さの相関係数、単感覚での評価による弾力と測定機器から得られた凝集性の相関係数の、2つを取り上げることとする。

(2) 判断基準の安定性の測度

判断基準の安定性の測度に関しては、硬さと弾力について、複数のサンプルを繰り返し評価させ、その結果を分散分析して得られる、繰り返しの母分散の推定値を取り上げるのが一般的である。しかし、本研究においては、サンプルの繰り返しの評価は行っていないため、このままでは、繰り返しの母分散を推定することができない。

そこで、本研究では、評価者が評価した 9 種類のサンプルから測定された 5 つの測定結果を変数として、クラスタ分析を適用することで、測定結果が近いサンプルをクラスタリングした。これによって、同じクラスターに分類されたサンプルを同一のサンプルと考え、それらの評価結果を繰り返しの評価ととらえることで、硬さに関する評価の繰り返しの母分散、弾力に関する評価の繰り返しの母分散

をそれぞれ評価者ごとに推定した。

4.3.2 評価者の層別

各評価者における上記2つの観点の測度(一部)を表3に示す。これより、求めた各測度を変数として、クラスター分析を適用することで、弁別の個人差による評価者の層別が可能となる。

表3. 各評価者における測度(一部)

評価者	識別能力		判断基準の安定性	
	硬さ(相関)	弾力(相関)	E(Ve硬さ)	E(Ve弾力)
No.1	0.24	-0.14	1.75	2.13
No.2	0.56	0.40	1.75	0.75
No.3	-0.61	0.19	0.29	0.29
No.4	0.19	0.66	2.50	0.50
No.5	0.33	0.84	1.30	1.70
No.6	0.77	0.90	1.70	0.30
No.7	0.39	0.28	10.25	5.70
No.8	0.15	0.28	1.69	0.75
No.9	0.36	0.49	0.39	0.22
No.10	-0.02	0.07	0.19	0.17

以上の分析を、弁別の個人差による評価者の層別方法の手順としてまとめると、以下のようになる。

- Step1. 識別能力の測度の算出**

 - 対応関係があると考えられる単感覚での評価結果と計測機器による測定結果の相関係数を算出する

Step2. 判断基準の安定性の測度の算出

 - 分散分析を行い、繰り返しの母分散の推定値を算出する。

Step3. 評価者の層別

 - Step1, 2で算出した各測度を変数として、クラスター分析を行うことで、弁別の個人差による評価者の層別を行う。

評価者30名を、弁別の個人差で層別した結果を表4に示す。クラスター分析の結果、7つのセグメントに評価者を層別することができた

表4. 弁別の個人差による評価者の層別結果

セグメント	評価者
1	No.1,10,13,14,15,20
2	No.17,18
3	No.7,30
4	No.2,5,6,9,16,25
5	No.19,26
6	No.3
7	No.4,8,11,12,21,22,23,24,27,28,29

このとき、各セグメントに属する評価者の各測度の平均値と全評価者での平均値を比較することで、各セグメントのおおまかな特徴を把握することができる。例えば、セグメント4に属する評価者からは、「全ての能力が全体的に高い」という特徴が得られた。

4.4. 感性評価構造の把握

4.3節より、評価者を弁別の個人差で層別し、各セグメントの特徴を把握することができた。ここで、層別した各セグメントに属する評価者の評価結果に対しグラフィカルモデリングを適用することで、弁別の個人差を考慮した感性評価構造を把握することが可能になる。

一般に、評価者の感性を把握するだけであれば、感性に

正解・不正解はないため、どちらの感性評価構造が正しく、どちらの感性評価構造が誤りといった議論に意味はない。しかし、品質評価や製品設計のために感性評価構造を用いるのであれば、評価者の弁別能力の有無を十分に考慮する必要がある。

例えば、弁別能力の低い評価者の感性評価構造は、調査のたびにその構造が変化してしまう可能性があり、信頼性に乏しいものとなってしまふ。この場合、得られた感性評価構造を品質評価や製品設計に用いることは危険である。つまり、品質評価や製品設計のために感性評価構造を用いる場合は、弁別の個人差で評価者を層別し、弁別能力が高い評価者の感性評価構造を把握する必要がある。

したがって、本研究では、弁別能力が全体的に高いセグメント4の評価者の感性評価構造を、筐かまぼこの食感の感性評価構造と位置付けることにする。セグメント4の感性評価構造を、図1に示す。

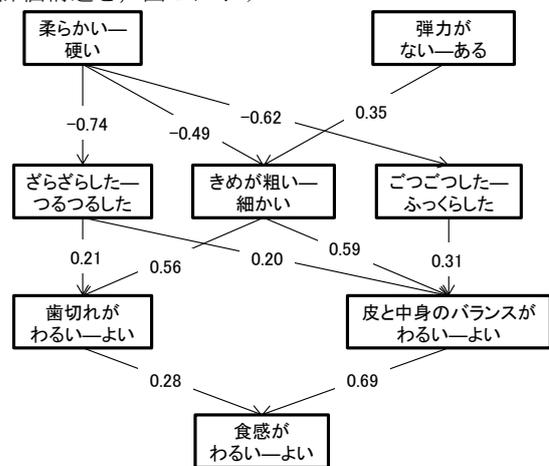


図1. セグメント4の感性評価構造

図1より、例えば、「食感のよさ」には「皮と中身のバランス」が最も効いていることがわかる。また、その「皮と中身のバランス」には「きめ」が最も効いており、さらに、「きめ」には「硬さ」と「弾力」が効いていることがわかる。

このとき、硬さと弾力の偏相関係数をみると、硬さの偏相関係数は負の値となり、弾力では正の値となっている。つまり、「柔らかくかつ弾力がある」ということが、最終的に食感のよさにつながるということがわかった。したがって、総合感性に最終的に結びつく単感覚である硬さと弾力を評価することで、食感のよさを評価することが可能となる。

5. 単感覚の評価方法の構築

5.1. 評価基準の設定

4.4節より、柔らかくかつ弾力があることが食感のよさにつながるということがわかった。しかし、どの程度柔らかく、どの程度弾力があればよいかは明らかでない。そこで、セグメント4に属する6名の評価者が、食感がよいと判断したときの硬さと弾力の評価結果を理想的な値と定め、評価基準とした。

具体的には、6名の評価者が食感を5点(ややよい)、6点(とてもよい)、7点(非常によい)のいずれかと評価した際の、硬さと弾力の評価結果の平均値を取ることで、理想的

な値とした。その結果、6名の評価者の硬さの平均値は3.2、弾力の平均値は5.2となり、この値のときに最も食感がよいと判断されることがわかった。

5.2. 重回帰式の把握

4.4節により、食感の評価要素とその関係性が明らかとなった。また、4.5節により、単感覚である硬さと弾力を評価する上での評価基準が明らかとなった。

これより、計測機器による測定結果から硬さと弾力の評価結果を求め、それを4.4節で定めた評価基準をもとに評価することによって、人間による評価と計測機器による測定の両者を結びつけた食感の評価が可能になる。

そこで、セグメント4に属する評価者6名の計54個のデータを用いて、目的変数を単感覚での評価結果、説明変数を計測機器による測定結果とした重回帰分析を行った。得られた重回帰式を以下に示す。

$$y_1 = 1.176 + 4.000 \times 10^{-5} x_1 \quad (1)$$

y_1 : 硬さの評価結果, x_1 : ガム性

$$y_2 = -9.050 + 19.866 x_2 \quad (2)$$

y_2 : 弾力の評価結果, x_2 : 凝集性

得られた重回帰式を用いることで、計測機器による測定結果から、人間による硬さと弾力の評価結果を求めることが可能になった。

6. 計測機器から得られた測定結果を用いた食感の評価方法手順の提案

4.6節までの内容を、計測機器から得られた測定結果を用いた食感の評価方法の手順として、以下を提案する。

Step1. 評価用語の抽出
Step2. サンプル調査の実施
Step3. 弁別の個人差による評価者の層別
Step3-1. 識別能力の測度の算出
Step3-2. 判断の基準の安定性の測度の算出
Step3-3. 評価者の層別
Step4. 感性評価構造の把握
Step5. 評価基準の設定
Step6. 重回帰式の把握
Step6-1. 単感覚での評価結果の算出
Step6-2. Step5で設定した評価基準をもとにした単感覚での評価結果の評価

7. 考察

本研究では、計測機器による測定結果を用いた食感の評価方法を提案した。これによって、人間の単感覚を計測機器の測定結果で表現することができるようになり、計測機器による食感の評価が可能になった。

計測機器による代替評価が実施できるようになったことより、妥当性・再現性が担保された品質評価が可能になった。したがって、本研究で提案した方法を適用することで、訓練された優秀なパネラーや訓練のノウハウを保有していない場合でも、食感の品質評価が可能になるといえる。これは、人間の単感覚を用いての品質評価の実施の困難性

という面からも、非常に有用である。

また、従来、十分な検討がされていなかった弁別の個人差についての検討を行い、弁別の個人差による評価者の層別方法を提案した。これによって、弁別能力の低い評価者を層別できるようになり、品質評価や製品設計などに、より有用な感性評価構造を把握することが可能になる。さらに、本研究では、サンプル数が少数であったため、嗜好の個人差、項目の個人差での層別は行っていないが、よりサンプル数を増やすことで、3つの個人差で評価者を層別できるようになり、より詳細な感性評価構造を把握することが可能になる。

一方、食感のよさには真値が存在しないため、本研究をもとに製造したサンプルの食感が本当によいかどうかの厳密な検証は行えていない。これには、試作品の作成等が必要で本研究では行えていないが、今後、本研究で得られた重回帰式をもとに食感がよいと評価されたサンプルが、多くの一般消費者にとってよいものと評価されるかどうかの確認は行う必要がある。

また、本研究では、人間による評価は認知・知覚モデルにもとづいていると仮定したが、山野ら[8]によると、本来、食感は咀嚼過程などによって刺激が変化するものであると述べられている。よって、食感をより詳細に具体化するためには、咀嚼部位と時間経過に分解し調査を行う必要があると考えられる。

8. 結論と今後の課題

本研究では、弁別の個人差で評価者を層別し、感性評価構造を把握した。そして、得られた感性評価構造の単感覚の評価結果を計測機器による測定結果で表すことで、計測機器による測定結果を用いた食感の評価方法を提案した。

今後の課題としては、本研究の有用性の検証、および咀嚼過程を考慮した上での食感の具体化・評価方法の構築などが挙げられる。

参考文献

- [1] 丹波栄二(1987): 「水産食品のテクスチャー」, 恒星社厚生閣
- [2] 棟近雅彦, 三輪高志(2000): “感性品質の調査に用いる評価用語の選定の指針”, 「品質」, Vol.30, No.4, pp.96-108
- [3] 羽生田和志, 棟近雅彦(1996): “個人差を考慮した感性品質の評価方法に関する研究”, 「日本品質管理学会第26回年次大会研究発表要旨集」, pp.95-98
- [4] Szczesniak, A.S. (1963): “Objective measurements of food texture”, *Journal of Food Science*, Vol.28, pp.410-420
- [5] 北上誠一ら(2004): “スケトウダラ塩ざり身ゲル形成性とその加熱温度依存性”, 「日本水産学会誌」, Vol.70, No.3, pp.354-364
- [6] 相原義一ら(1973): 「官能検査ハンドブック」, 日科技連出版社
- [7] JEAN-FRANCOIS MEULLENET(1998): “RELATIONSHIP BETWEEN SENSORY AND INSTRUMENTAL TEXTURE PROFILE ATTRIBUTES” , *Journal of Sensory Studies*, Vol.13, pp.77-93
- [8] 山野善正ら(2016): 「油脂のおいしさと科学」, 株式会社 NTS