テクスチャによる固形食品の分類*

戸田 準, 和田 武夫

(武田薬品工業株式会社食品研究所)

昭和 47 年 8 月 8 日 受 理

Classification of Solid Foods Based on Textural Quality

By Jun TODA and Takeo WADA

Food Research Laboratories, Takeda Chemical Industries, Ltd., Osaka

Texture is one of the sensory attributes of foods and usually evaluated both subjectively and objectively. In order to establish the systematic subjective method for textural evaluation, it is necessary to find out the fundamental characteristics of textural quality. As fundamental textural characteristics seem to be different from food to food, classification of solid foods has been examined on the basis of textural quality, in advance of studies on fundamental characteristics.

Classification and matching procedures were used. In classification procedure, solid foods were classified based on conceptual similarity of texture of foods, and, in matching procedure, solid foods were clustered by subjective judgments on correspondence of tactile sensation for actual foods with conceptual texture. By both procedures, mathematical treatment resulted in that solid foods used in these experiments can be classified into three categories; gel, sponge and porous rigid foods. (Received August 8, 1972)

緒 言

食品のテクスチャはその外観, 匂い, 味などとともに食品の属性の 1 つであり, 本来感覚的な概念であるが, これまでの食品のテクスチャに関する研究の多くは, 食品の物理的性質としての力学的性質, あるいはレオロジー的性質に関するものが多い。しかし, まだ物質としての食品のレオロジー的性質から, 食品のテクスチャを十分に記述できる段階には至っていない。そのため, 食品のテクスチャを感覚的に検討することも行なわれており, テクスチャが感覚的な概念であることを考えれば, 感覚的測定すなわち官能検査によっても, 有用な情報が得られるはずである。

テクスチャの感覚的評価については, たとえば Szczesniak の texture profile method⁽¹⁾, Sherman の modified texture profile⁽²⁾ などがあるが, テクスチャの評価に意味のある特性は, 食品の種類によって異なるものと考えられる。そこで, テクスチャに関する基本特

* 固形食品のテクスチャに関する研究 (第 1 報)。

性を検討するに先立って, 一般に固形食品といわれるものを対象として, テクスチャに関する概念および感覚から, これらをいくつかのカテゴリに分類することを検討した。

試料および方法

1. 試料 その食品の特性として, テクスチャが重要な意味を持つこと, 比較的均一な試料が入手できること, 機器測定のための試験片の調製に支障をきたさないことなどを考慮して, 次の 22 種の固形食品をえらんだ。

(1) 蒸しようかん, (2) ソーセージ, (3) ゆで卵の白身, (4) 卵豆腐, (5) 水ようかん, (6) ういろう, (7) こんにゃく, (8) かまぼこ, (9) チーズ, (10) 練りようかん, (11) ゼリー, (12) 凍豆腐, (13) カステラ, (14) 食パン, (15) パウンドケーキ, (16) ソフトビスケット, (17) ハードビスケット, (18) クラッカー, (19) 米菓, (20) 瓦せんべい, (21) 粟おこし, (22) チョコレート。

これらのうち, ゆで卵の白身および卵豆腐以外は, すべて市販品を購入して用いた。また凍豆腐は, 水和した

ものを用いた。

ゆで卵の白身：卵をそのまま使用すると、形状が他の試料と異なるため、乾燥卵白を用いて次のように調製した。乾燥卵白 15：水 85（重量比）を均一に混合し、折り径 8cm のケーシングに充填したものを沸騰水浴中に浸漬し、95°C に達した後さらに 30 分間加熱する。加熱凝固したものを冷却した後、1 夜冷蔵庫に保存して試料とした。

卵豆腐：鶏卵 50：水 50：食塩 1 の割合で均一に混合し、17×14×4cm のステンレス流し箱に入れたものを蒸し器（約 80°C）に入れ、30 分間加熱凝固させた。加熱後、1 夜冷蔵庫に保存したものを試料とした。

2. 方 法

(1) 分類法⁽³⁾ 概念としてのテクスチャによる分類：被験者に、試料の項に示した 22 種の食品の名称を無作為順に記入した用紙を配布し、それぞれの被験者が概念として持っているテクスチャにもとづいて、テクスチャが似ていると思われる食品を同じグループに入れるようにして、これらの食品をあらかじめ指定した数のグループに分類することを求めた。あらかじめ指定したグループの数 (g) は、(1) $g=3$ および (2) $g=2\sim 10$ の任意の 2 つの場合について実験を行なった。

記入を終った用紙を回収した後、全被験者を通じて食品 i と j を同じグループに分類した被験者の数 n_{ij} ($n_{ij} = n_{ji}$) を集計し、これを同時出現頻度として 22×22 の対称行列にまとめた。また、これらを全被験者数 n で除して、同時出現率 $p_{ij} = n_{ij}/n$ を計算した。この同時出現率 p_{ij} は、食品 i と食品 j の概念としてのテクスチャの類似性を示す指標の 1 つと考えることができるものである。すなわち p_{ij} が大きいときは、食品 i と食品 j のテクスチャは似ており、 p_{ij} が小さいときは食品 i と j のテクスチャは似ていないと考えられる。このことは、この 22 種の食品を、空間の中でテクスチャの似ているものは互いに近い位置に、テクスチャの似ていないものは離れた位置に配置することを考えれば、この空間における食品 i と食品 j の間の距離 d_{ij} と p_{ij} の間には単調関係があり、 p_{ij} が大きくなると d_{ij} が小さくなることと対応する。このような条件を満たすような次の 3 つの変換を行なった。

$$\left. \begin{aligned} d_{ij}^{(1)} &= 1 - p_{ij} \\ d_{ij}^{(2)} &= (1 - p_{ij})^{1/2} \\ d_{ij}^{(3)} &= (1 - p_{ij})^2 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

これらをユークリッド空間における距離と考え、Torgerson の多次元尺度構成法⁽⁴⁾ を適用して、各食品の空間における配置を得た。

(2) 配偶法 実際の食品のテクスチャと概念としての食品のテクスチャの対応：あらかじめ被験者に、試料の項に示した 22 種の食品名のリストを示しておく。一方、これらの食品名と先験的に対応する実際の食品を、できるだけ $3 \times 3 \times 1$ cm の大きさに成型したものを試験片として用意し、視覚の関与しない状態で 1 種ずつ被験者に提出する。被験者には、指先のみによる触覚で試料のテクスチャを吟味し、それから推測される食品名をさきのリストの中からえらび出すことを求めた。したがって実験としては、実際の食品のテクスチャと概念としての食品のテクスチャとの配偶を行なったことになる。実験は 4 セッションにわたって行ない、各セッションに 4~6 種の試料を無作為にわりつけた。

全実験終了後、試料として与えた食品 i を概念として与えた食品 j と配偶させた被験者の数 m_{ij} を集計し 22×22 の行列にまとめた。ここでは一般に、 m_{ij} と m_{ji} は等しくない。ここで、試料として与えた食品 A_i に x_i 、概念として与えた食品 B_j に y_j という数値を与えることにすると、 A_i と B_j を配偶させたということは x_i と y_j の差、すなわち $(x_i - y_j)^2$ が小さいと判断したことにもとづくものと考えられる。そこで、これをすべての試行について和をとり、これを最小にするような x_i , y_j を求めると、 x_i と y_j はある意味で食品のテクスチャをあらわす数量となる。最小とすべき和は、次式であらわされる。

$$Q = \sum_i \sum_j m_{ij} (x_i - y_j)^2 \quad (2)$$

なお分類法、配偶法とも被験者は、すべて武田薬品工業（株）食品研究所在籍の者である。

(3) 機器測定 配偶法において試料として用いた食品について、Texturometer Model GTX-2 [(株) 全研] および Autograph Model IM-100 [(株) 島津製作所] による測定を行なった。測定時の試料温度は 20°C、とくに言及しない限り、2 回の測定の平均値をとった。

Texturometer による測定：各試料について、たて、よこ各 3cm、厚さ h cm (第 3 表) の試験片を調製し、既報⁽⁵⁾ の条件で測定した。

Autograph による測定：圧縮弾性率； $2 \times 2 \times 2$ cm の試験片について、CC 式圧縮試験装置を用いて測定し、

変形-荷重曲線における 2mm 変形時の勾配から弾性率を求めた。

Punch test: たて, よこ各 3cm, 厚さ h cm (第3表) の試験片に, 球状のプランジャー ($\phi=5$ mm) を押し込み, 破断点における荷重を求めた。

Bending test: punch test の試験片と同じ大きさのものについて, CC 式曲げ試験装置による破断点における荷重を求めた。この測定においては変動が大きいため, 各試料とも 10 回の測定を行ない, その平均値を採用した。

いずれも cross head speed は, 80mm/min とした。

結 果

1. 分類法

分類法によって得た同時出現頻度を第1表に示す。被験者の数 (n) は $g=3$ の場合は 51, $g=2\sim 10$ の場合は 52 であった。もし, すべての被験者が同じような分類を行なったとすれば, n_{ij} は 0 または n のいずれかの値をとることになるが, 実際には第1表にみられるように, n_{ij} として種々の値が得られている。このことは, ここでとりあげた 22 種の固形食品をテクスチャによ

て分類するということが, それほど自明の結果を与えるものではないことを示している。

$g=3$ の場合には, 全被験者が (18) クラッカーと (19) 米菓を同じグループに分類したが, $g=2\sim 10$ の場合にはこのような対はみられず, 一般に n_{ij} が小さくなる。 $g=2\sim 10$ としたとき, 実際に被験者が用いたグループの数は 3~10 に分布し, 平均は約 8 であった。

$g=3$ の結果について, (1) 式にしたがい $d^{(1)}$, $d^{(2)}$, $d^{(8)}$ を計算し, Torgerson の多次元尺度構成法を適用すると $d^{(1)}$, $d^{(8)}$ では負の固有値があらわれた。以下, $d^{(2)}$ による結果を述べる。 $d^{(2)}$ を用いたときの内積行列の固有値は (和を 100 としたとき), 大きい方から 41.12, 20.34, 9.33, 5.52, ……であった。はじめの 2 つの固有値が大きいから, これらに対応する 2 軸をとって食品の位置を示すと, 第1図のようになる。すなわち, (1) 蒸しろうかん~(11) ゼリーのグループ, (12) 凍豆腐~(15) パウンドケーキのグループ, および (17) ハードビスケット~(21) 栗おこしのグループがそれぞれ 1 群を形成し, (16) ソフトビスケットおよび (22) チョコレートは, これらのグループの中間に位置する。 $g=2\sim 10$ の場合について, 最終的な配置のみを示すと第2図のようにな

第1表 分類法による同時出現頻度 (n_{ij})

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1. むしろうかん		37	30	26	33	41	33	40	35	47	38	24	15	15	15	12	3	0	0	1	0	14
2. ソーセイジ	13		25	23	25	35	32	44	37	37	28	25	19	20	18	12	4	3	3	1	2	19
3. ゆで卵のしろみ	12	9		42	42	32	36	29	26	30	39	18	10	10	4	5	0	0	0	1	0	12
4. 卵どろふ	12	5	33		42	31	33	22	25	26	37	16	8	8	4	2	1	2	2	1	1	15
5. みずようかん	16	3	22	28		33	37	28	28	33	40	11	6	6	4	1	0	0	0	0	0	12
6. ういろろ	33	5	12	12	16		38	32	32	43	40	20	12	12	13	8	3	1	1	0	1	14
7. こんにゃく	5	8	13	8	8	12		36	24	35	38	19	12	12	9	6	3	0	0	0	0	12
8. かまぼこ	10	32	9	4	2	7	19		36	38	33	24	17	17	15	12	4	1	1	1	0	16
9. チーズ	19	15	6	4	3	16	3	15		37	29	16	15	14	10	10	7	6	6	6	5	26
10. ねりようかん	31	15	11	9	12	27	6	11	27		38	19	15	15	13	10	4	0	0	1	0	16
11. ゼリー	17	4	24	17	26	20	20	8	9	20		18	9	9	8	5	1	1	1	1	0	12
12. 凍豆腐	2	4	3	8	1	2	1	2	0	2	1		37	37	32	19	6	4	4	4	3	6
13. カステラ	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	24		49	39	23	11	7	7	8	7	11
14. 食パン	0	2	0	2	0	0	0	1	0	0	0	29	44		39	24	10	7	7	8	7	10
15. パウンドケーキ	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	20	34	34		24	17	15	15	15	16	15
16. ソフトビスケット	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	3	8	9	12		29	31	31	32	31	21
17. ハードビスケット	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	7	22		46	46	46	47	27
18. クラッカー	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3	33	36		51	49	50	30
19. 米菓	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	17	31	31		49	50	30
20. 瓦せんべい	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	17	34	30	40		50	29
21. あわおこし	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	13	25	22	39	38		29
22. チョコレート	4	2	2	1	3	4	3	3	13	5	4	0	0	0	2	8	9	9	6	9	8	

上側三角行列は $g=3$ ($n=51$), 下側三角行列は $g=2\sim 10$ ($n=52$) の場合を示す。

り, $g=3$ の場合と本質的にかわらない配置が得られた。

以上の結果から, 今回の実験に用いた固形食品を3つのカテゴリに分類するのが妥当であることがわかる。これらのカテゴリは, ゲル状食品 [(1)~(11)], スポンジ状食品 [(12)~(15)] および多孔性固体食品 [(16)~(21)] であり, (22) チョコレートはいずれのカテゴリにも属さない。

第1図 分類法による食品の配置 (1)

$g=3$, $d=(1-p)^{1/2}$. 図中の数字は, 表に示した食品に付した数字と対応する。

2. 配偶法

配偶法を行なった被験者の数は, 42であった。 m_{ij} を第2表に示す。被験者のすべてが, 先験的な対応と一致する判断をしたとすれば, 第2表の主対角要素がすべて42, 他はすべて0となるはずであるが, 実際には指先による触覚のみでは, このような判断が得にくいことがわかる。先験的な対応と一致する判断がもっとも多かった

第2図 分類法による食品の配置 (2)

$g=2 \sim 10$, $d=(1-p)^{1/2}$. 第1図脚注参照。

第2表 配偶データ (m_{ij})

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1. むしろうかん	11									15	16											
2. ソーページ	7	10	3		2	1	1	7		7	4											
3. ゆで卵のしろみ	3		7	2	20	2				4	4											
4. 卵どうふ			13	12	10	1				6												
5. みずようかん	5			1	29	1				6												
6. ういろう	2		1		1	31				4	3											
7. こんにゃく	1		2		1		36			2												
8. かまぼこ		1				1	5	32	1	2												
9. チーズ	5					2		2	23	9												1
10. ねりようかん	3					1			17	21												
11. ゼリー	5		3		7	4		1		7	15											
12. 凍どうふ			3				6					32	1									
13. カステラ	2									1	4	21	14									
14. 食パン										1	4	7	23	2								
15. パウンドケーキ	1					1						2	20	11	7							
16. ソフトビスケット																14	14	2	4	3	5	
17. ハードビスケット																2	12		5	21	2	
18. クラッカー																1	2	3	27	7	2	
19. 米菓																	2	7	8	19	5	1
20. 瓦せんべい																	1	7	2	9	22	1
21. あわおこし																		2				40
22. チョコレート	1							8														33

空欄は0を意味する。

のは, (21) 菓おこしについてであった。

第2表にもとづいて, (2) 式で与えた基準を最小にするように数量化し, 第2軸までとると第3図のようになる。すなわち, (22) チョコレートを除いて試料として与えた食品からみても, 概念として与えた食品からみても, 分類法における結果と一致するカテゴリが得られ

た。このことは, もととなった第2表において同一カテゴリ内では混同されることがあっても, 異なるカテゴリの間では混同されることが, まれであることと対応している。

3. 機器測定

配偶法に用いた試料の機器測定値を第3表に示す。Texturometer による測定においては, (21) 菓おこしおよび (22) チョコレートは, かたすぎるため測定不能であった。また多孔性固体食品においては, 1 回目のそしゃくで試料が破碎するため, 2 回目のそしゃくが関与する cohesiveness および springiness については, 意味のある測定値が得られなかった。

Autograph による測定では, ゲル状食品およびスポンジ状食品について, 圧縮弾性率が得られた。(13) カステラおよび (14) 食パンにおいては, punch test による破断点が明確に得られなかった。また多孔性固体食品および (22) チョコレートにおいては, punch test による測定は変動が大きいため, bending test による破断力を測定した。

第3図 配偶法による食品の配置

(a) 概念, (b) 実際の食品。第1図解法参照。

第3表 機器測定

	Texturometer				Autograph		Sample height mm
	Hardness T. U.	Cohesiveness	Adhesiveness cm ²	Springiness* ¹ cm	Elastic modulus 10 ⁸ dyn/cm ²	Yield value 10 ⁸ dyn	
1. むしろうかん	3.99	0.15	0.33	14.4	47.86	10.29* ³	20
2. ソーセイジ	3.50	0.10	—	14.3	12.07	6.93* ³	20
3. ゆで卵のしろみ	1.45	0.16	—	14.0	4.67	3.41* ³	20
4. 卵どうふ	0.32	0.47	0.12	12.8	0.68	0.78* ³	20
5. みずようかん	1.00	0.15	0.17	13.6	8.71	1.82* ³	20
6. ういろう	3.30	0.49	0.85	13.1	4.60	4.26* ³	20
7. こんにゃく	4.37	0.45	—	13.2	3.71	6.15* ³	20
8. かまぼこ	9.89	0.63	—	12.8	12.90	19.48* ³	20
9. チーズ	5.55	0.14	+	14.4	38.98	11.01* ³	20
10. ねりようかん	6.98	0.15	1.15	13.6	35.78	10.47* ³	20
11. ゼリー	2.97	0.05	—	14.2	9.58	7.62* ³	20
12. 凍どうふ	6.17	0.62	—	12.9	1.82	7.11* ³	20
13. カステラ	3.14	0.70	—	13.3	1.64* ²		20
14. 食パン	3.53	0.75	—	13.3	0.81* ²		20
15. パウンドケーキ	4.39	0.40	—	13.7	8.14* ²	1.37* ³	20
16. ソフトビスケット	5.80					22.74* ⁴	8.5
17. ハードビスケット	9.54					28.28* ⁴	5.5
18. クラッカー	6.50					15.29* ⁴	5.0
19. 米菓	11.31					26.62* ⁴	9.0
20. 瓦せんべい	6.90					28.62* ⁴	5.5
21. あわおこし						96.69* ⁴	11.0
22. チョコレート						111.60* ⁴	10.0

*¹ Springiness は C-B (C: 機器定数) と定義されているが, ここでは B で示した。*² 試料の大きさ 3×3×2cm, 他の試料については本文参照。*³ punch test による yield value。*⁴ bending test による yield value。

考 察

テクスチャにより食品を分類するための基準はいくつかあるが, Matz は物理的構造と感覚的性質から, 次の9つのカテゴリに分類している⁽⁶⁾: 1) liquid, 2) gel, 3) fibrous food, 4) agglomerates of turgid cells, 5) unctuous foods, 6) friable structure, 7) glassy foods, 8) agglomerates of gas-filled vehicles, 9) combination of preceding structure. 本実験の対象とした固形食品は, Matz の分類にしたがえば, gel, unctuous foods, friable structure, agglomerates of gas-filled vehicles に属するものであるが, 今回の実験では分類法および配偶法のいずれによっても「ゲル状食品」, 「スポンジ状食品」および「多孔性固体食品」の3つのカテゴリに分類することができた。

食品のテクスチャには, 物質のレオロジー的性質とともに, 形状を含めた巨視的構造や表面の性質なども関与するものと思われる。たとえば配偶法(第2表)において, (22) チョコレートが(9) チーズと混同される率が多かったが, これは表面の性質の類似性によるものであろう。また同じく配偶法において, (21) 栗おこしに対する判断が先験的な対応ともっともよく一致しているが, これもその特異な表面特性によるものと思われる。

「ゲル状食品」および「スポンジ状食品」については, 圧縮弾性率の測定が可能であり, またこれらの大部分については, punch test による破断力も測定が可能であった。しかし「多孔性固体食品」については, 今回用いた測定装置の範囲では, 意味のある測定値としては bending test による破断力のみが得られた。Szczesniak and Bourne⁽⁷⁾ の観察によると, 被験者に任意の方法で

食品の「かたさ」(firmness) の評価を求めると, それぞれの食品に適当な変形形式を用い, やわらかいものには deformation, かたいものには puncture, さらにかたいものには flexure test を用いるものが多い。これらの変形形式が, 今回の機器測定の可能領域と対応していることは興味深い。

ここで用いた実験法および解析法は, 心理測定に用いられている方法であるが, 食品のように人間の感覚が関与することの多い分野では, 物理的または化学的方法による実験とともに, ここで示したような方法も有用である。

終りに, 本実験に被験者としてご協力いただいた方々に深謝する。

本報告の概要は昭和47年4月4日, 日本農芸化学学会大会において発表した。

- (1) A. S. Szczesniak : *J. Food Sci.*, **28**, 385 (1963).
- (2) P. Sherman : *ibid.*, **34**, 458 (1969).
- (3) M. Yoshida, R. Kinase, J. Kurokawa and S. Yashiro : *Jap. Psychol. Res.*, **12**, 45 (1970).
- (4) W. S. Torgerson : "Theory and Methods of Scaling," John Wiley and Sons, Inc., New York, N. Y., 1950, Chap. 11.
- (5) J. Toda, T. Wada, K. Yasumatsu and K. Ishii : *J. Texture Studies*, **2**, 207 (1971).
- (6) S. A. Matz : "Food Texture," The Avi Publishing Co., Inc., Westport, Connecticut, 1962, p.8.
- (7) A. S. Szczesniak and M. C. Bourne : *J. Texture Studies*, **1**, 52 (1969).