

テクスチャーを測る

京都大学食糧科学研究所 森 友彦

咀嚼時に感じる“かたい”、“やわらかい”、“弾力性のあるなし”、“歯ごたえ”、“脆い”などの食感（テクスチャー）は、味・香・色とともに食品の美味しさ（あるいは好み・嗜好性）に関わりを有し、また、食品によってはテクスチャーに特徴があるというものが多く見受けられることから食品のタイプの区別にも役立っている。最近では、さらに、咀嚼運動の能力や精神・神経機能へのテクスチャーの影響が研究されるようになり、テクスチャーの新たな役割が明らかにされつつある。

テクスチャーに限らず、味・香・色・触感など五感で感知される性質のものを評価する手法としては、一般に官能検査が知られている。この方法はヒトが直接評価するという点で間違いがなくてわかりやすいという長所を有しているが、いわゆる物差しや天秤で測る場合のような定量的な評価にはならないという欠点をもっている。テクスチャーの場合には、さらに、同一タイプのものについて比較評価はなされるけれども、タイプの異なるものについてその違いを説明するのは難しい。たとえば、カマボコとトウフの場合、“カマボコのような”と“トウフのような”という表現になるものと思われる。“テクスチャーを測る”ということは、たとえばこのカマボコとトウフの違いを何らかの共通の基準を用いて区別し説明するという意味である。

テクスチャーに寄与する要素は、味・香・色に比べてかなり複雑である。まず、物質レベルの要素として成分組成および各々の化学的・構造的性質があり、ついで物理的なマイクロおよびマクロの組織構造があげられる。また、レオロジーや力学の面からは、粘性、弾性および種々の力学的特性が要素として考えられる。このような種々の要素のうちのいずれかを使ってテクスチャーを表現できないものかとこれまで多くの研究が行われている。米国ゼネラルフード社のセスニアクは圧縮試験機（テクスチュロメータ）によりHardness（かたさ）、Cohesiveness（凝集性）、Springiness（弾力性）、Adhesiveness（付着性）、Fracturability（脆さ）、Chewiness（噛みにくさ）、Gumminess（ガム性）の物性特性値を測定し、これら物性特性値に基づいてテクスチャーを評価する手法を提唱した（テクス

チャープロフィール分析法)。この方法は、官能検査に代わる評価・分析法としてはじめてのものであり、現在でも広く用いられている。

テクスチャープロフィール法では、しかし、テクスチャーのタイプの違うものを必ずしも適切に区別できない場合があることから、基準に用いる物性特性値をさらに探索する余地があるものと思われる。このようなことから、私達は、テクスチャープロフィール法の場合（7種類の物性特性値）よりも多くの物性特性値（16種類の力学的特性値）を用いることによりテクスチャーの違いを詳細かつ適切に区別する方法を創案した。この方法は、3次元グラフでテクスチャーの違いを表示するものであり、私達はテクスチャーマッピング法と呼んでいる。3次元グラフの中でテクスチャーのタイプの異なるものはそれぞれ異なる位置にクラスターとして表示され、各クラスターの中でさらにテクスチャーの微妙な違いが位置の違いとして表示される。この方法によると、官能検査では扱いが困難と思われるダイズやホエーのタンパク質ゲル、各種のデンプンゲルなどのテクスチャーについても評価することが可能である。

このようなテクスチャーの評価・分析法は、上述のテクスチャーに寄与する各種の要素とテクスチャーとの関連を明らかにしていく場合にも応用できるものと期待される。

特集・テクスチャーと味

テクスチャーの数量化の手法と豆腐のテクスチャー

京都大学食糧科学研究科教授

森友彦

豆腐は日本人にとって大変なじみ深い食品である。また、大豆を材料に用いて作られる食品として代表格のものといつてよく、一般に、よい豆腐ができる大豆は上級品との評価を得ている場合が多く見受けられる。豆腐は現在も日本人の愛好する伝統食品の一つであるが、一方、世界的規模で大豆の食品への加工利用を強力に進めようとする気運がある中で、豆腐ができるメカニズムや豆腐の物性といった点が諸外国において注目されてきているように思われる。

一つには、日本におけるような豆腐なしいしはそれに少し変化が加わったようなものも含めた、いわゆる豆腐ゲルの形態が日本以外の国々においても受け容れられるのではなからうかとの期待からである。もう一つには、豆腐づくりに適した大豆は他の食品加工用途にも適用性が高いであろうとの観点から、豆腐加工性の

良し悪しが大豆の評価や等級付けの指標として使えるのではないかということからである。豆腐ができあがるうえで大豆に含まれるタンパク質が密接に関連していること、特にグロブリン成分のゲル化能や乳化能が重要な役割を果たしていることが知られており、本誌でもすでにそれらの点について解説されている。

大豆タンパク質のゲル化能や乳化能は、さらに、分離大豆タンパクの加工利用性の面にも関係している。このことは、豆腐への加工性というものがもう一方で分離タンパク製品の利用性の評価につながるのと、観点からも注目されてよいことを示していると思われる。また、豆腐の物性面については、我々日本人を中心とした嗜好性の問題としてとりあげるだけでなく異食文化圏の人々にまで対象を広げた場合にどのような問題がありそうなのかという点にも目を向ける必要がある。

以上のような背景と位置づけから豆腐というものを見てみると、豆腐について理化学的ないし科学的な面での情報が十分ではないことに気付かされる。そこで、本稿では、特に豆腐の物性に関するそのような情報の一端を提供するつもりで、筆者らの行っている豆腐のテクスチャー分析について述べることにする。

機器測定による

テクスチャー評価法

テクスチャーは別の表現として食感と呼ぶ場合も多く、両者はほとんど区別されないで使われている。また、テクスチャーは感覚的な内容を対象とするものであり、食品によってそのテクスチャーを表現するのに色々な用語が使われることになる。このようにテクスチャーが言葉

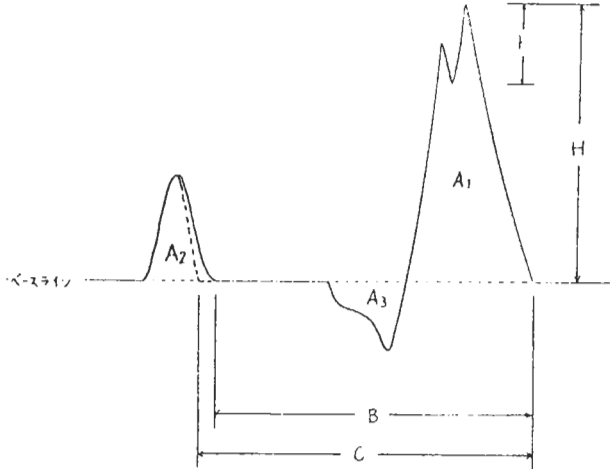
かりやすいようであるが、食品工学とか食品化学の立場からするとそれは定量的に取り扱えないという難しさがある。つまり、タイプの異なる色々なテクスチャーを表現する場合にある共通の基準を使って数値的に表わすことができれば、テクスチャーを定量的に扱うことができるようになる。このため、物性の測定からテクスチャーを表わそうという研究が多くなされてきた。テクスチャーを定量的に扱うということの概要を理解する意味も含めて、これまでの研究のうちで代表的なものとして知られている Szczesniak のテクスチャープロフィール法⁽¹⁾について紹介する。

テクスチャープロフィール法は、官能的に認識される多様なテクスチャーの内容をいくつかのグループに分けるとともに、各グループに対応する客観的な測定可能な物性的特性を設定して、それら特性

表1 テクスチャープロフィール法の内容

特性	客観的測定値		官能的評価内容
	1次	2次	
力学的特性	かたさ 耐壊性	もろさ 咀嚼性 ガム性	やわらかい、かたい くだけやすい、バリバリ、もろい やわらかい、シコシコ、こわい 固の多い、崩壊性、歯状の ツライ、シラシラした、粘りのある、ネバネバ、 堅性的な、弾力のある ネバネバした、ベタベタした、ネバつく
視覚的 特性	粒子の形状 粒子の形跡		崩壊性、つぶつぶした、ザラつく せんい質の、粒状の、結晶質の
その他	水分含量 脂肪含量	オイル状 グリース状	乾いた、湿った、水気のある、水っぽい 油っこい 腐っこい

を測定するというものである。これらの内容のまとめを表1に示した。表中の客観的測定値のうち一般的にテクスチャー評価に使われるのは、かたさ、凝集性、弾力性、付着性、もろさ、咀嚼性、ガム性である。これらの物性的特性はテクスチュロメータ（あるいは圧縮式の物性試験機）を使用して測定される。官能評価の内容の全体を表現するためには、このほか表1に示した幾何特性と水分・脂肪含量の測定も加えることになっているが、保形性のある食品の場合、特に豆腐をはじめ各種ゲル状食品については、テクスチュロメータのデータだけでもテクスチャー特性をかなり示すことができる。図1に示したのはテクスチュロメータ



による測定の結果を模式的に描いたものである。この図形から図の下に示したような客観的測定値が算出される。このように物性の測定から得られる数値によりテクスチャーを表現するというところでテクスチャープロフィール法は各方面でテクスチャーの評価に使われている。表2にはテクスチャープロフィール法を応用して各種食品をタイプ分けした例を示した。テクスチュロメータにより測定したかたさ、凝集性、弾力性、付着性の数値に基づいて多種類の食品がグループ分けされている。

この表によると各グループに属する食品についてさらに微妙なテクスチャーの差を表現することは難しいようであるが、各食品について歯ごたえが弱いか強いかといったテクスチャーの特徴を知ることができ、テクスチャープロフィール法の有用性を示すものと思われる。

かたさ = $H / \text{入力電圧}$
 耐壊性 = A_1 / A_2
 弾力性 = $C - B$ (Cは粘土のような弾力性のないものを測定した際のBに対応するもの)
 付着性 = $A_1 / \text{入力電圧} \times V$
 もろさ = $F / \text{入力電圧}$
 咀嚼性 = かたさ \times 耐壊性 \times 弾力性
 ガム性 = かたさ \times 耐壊性

図1 テクスチュロメータによる測定結果の模式図と物性値の算出

一定の時間間隔で2度圧縮を行った際のパターンで、右から左へ記録される。

テクスチャーに寄与する要素はかなり複雑であり、食品中の化学成分の種類や

テクスチャーマップピング法⁽³⁾

官能検査が主観的で煩雑であるということから、このような物性的特性の測定値によってテクスチャーを表わす手法の必要性は高まる傾向にある。さらに、感覚のレベルで定性的に取り扱われている内容のものを定量的に表現するという立場から、テクスチャーを数量化して示すための手法、たとえば表2に示した各食品のテクスチャーをグループ分けからさらに個々を区別できるようにするための手法、の開発が望まれている。そこで、食品の個々についてそれぞれのテクスチャーを数値的に表現する手法として、筆者らの進めているテクスチャーマップピング法を次に紹介する。

まず、テクスチャーの異なる種々のタイプの試料を次のように用意した。市販食品からウイロー、カマボコ、魚肉ソーセージ、コンニャク、チーズ、ヨーカン、豆腐のそれぞれについて各種類のものを入手した。動物性、植物性のタンパク質素材および多糖類素材からゼラチン、乳清タンパク、卵白、分離大豆タンパクおよびカンテン、各種デンプンを選びそれぞれについてゲル標品を調製した。また、これらの試料について1mm、2mm、3mmの三種の厚さのものを作製した。以上により合計一四種類のテクスチャーの異なる試料を揃えた。

組成、それらの化学的・構造的性質（たとえば豆腐ではタンパク質、脂質など）、ついで物理的なマクロおよびミクロの組織構造、そしてレオロジーや力学の面からは粘弾性構造や力学の構造、などである。テクスチャーを定量的に取り扱うには、前述のようにテクスチャーの異なる種々の食品を対象としてある共通の基準を設定してそれに基づいて数値的に表現するということをしなければならぬ。

テクスチャーマップピング法は、食品のテクスチャーに最も関連の深そうな要素として力学的構造に注目するのが適当であろうとの考えから、圧縮試験により力学的特性を測定しそれを基準にしてテクスチャーを数値的に表わそうというものである。テクスチャーマップピング法に含まれる主な作業、操作は試料の取揃え、力学的特性の測定、測定データの因子分析、試料の三次元グラフ表示であり、これらについて以下に順次述べる。

表2 物性による食品のグループ分け

グループ	物 性 値				食物種 (*ゆでたもの)
	かたさ kg	凝集性 T. U.	弾力性 T. U.	付着性 T. U.	
基本型	0.24	0.17	4.91		かぶ* 大根* 人参* 白菜* アスパラ缶 トマト スイカ メロン イチゴ 白桃缶 黄桃缶 みかん缶 パイナップル缶
I型-1	0.30	0.31	7.29		ぶり焼 うなぎ ぶり刺身 鮭刺身 まぐろ刺身 銀ダラ焼 肉だんご 枝豆* 大豆缶 納豆 グリンピース* だしまき卵 卵焼 ゆで卵黄 蒸しなす
I-2	1.26	0.47	8.57		まぐろ焼 かつお刺身 塩鮭焼 モンゴイカ* ほたて貝* かつお角煮 えび* チャーシュー フライドポテト なす マッシュルーム缶 しいたけ*
I-3	2.07	0.54	11.71		身欠にしん いか刺身 酢だこ なまりぶし いわしづくだ煮 レバーソテー 蒸し鶏 鶏ももソテー ミンチステーキソテー 凍豆腐 油あげ びざ皮 干ぶどう
I-4	5.56	0.73	17.81		豚ヒレソテー 豚もも* 牛ももソテー さきいか みりん干し
II型-1	0.61	0.25	4.48		バタークッキー ふがし ウエハース クラッカー ポテトチップ 玉ねぎ* なし りんご えびせん スナック菓子 ソフトせんべい ビーナツ ふき*
II-2	1.67	0.24	5.31		ごぼう* 長いも わかめ さやいんげん* ほうれん草* もやし* アスパラ* きゅうりピクルス カブ さやえんどう* カブつけもの たけのこ* コーン缶
II-3	3.19	0.27	5.66		きゅうり レタス 白菜 きゅうりつけもの ビーマンソテー 大根 らっきょう甘酢 白菜つけもの うど アーモンド かりん糖
II-4	4.49	-	-		酢レンコン キャベツ セロリ にんじん たくあん カンパン
付着型-1	0.23	0.20	4.80	0.23	さつま芋* マッシュポテト かぼちゃ* ジャが芋* 里芋* スイートポテト バナナ うずら豆* コーンビーフ クリームチーズ
付着-2	0.69	0.31	8.47	0.58	ういろろ 甘納豆 プロセスチーズ 羊かん うどん 即席めん プルーン ごはん
付着-3	0.70	0.53	15.20	6.27	白玉だんご 串だんご スパゲティー もち
ゲル型-1	0.10	-	8.59		絹ごし豆腐 木綿豆腐 卵豆腐 プリンゼリー 水羊かん 寒天缶
ゲル-2	0.68	-	10.77		ロースハム ソーセージ ゆで卵白 魚肉ソーセージ さつまあげ プレスハム つみれ
ゲル-3	1.67	-	15.00		コンニャク ちくわ かまぼこ
スポンジ型	0.21	0.50	17.34		スポンジケーキ カステラ 食パン

次に、KES-FB圧縮試験機(カトーテック(株製))を用いて円筒型プランジャ(断面積が 0.5cm^2 あるいは 0.25cm^2)を $1.2\text{mm}/\text{min}$ の速度で上下運動することによって圧縮・回復試験を行い各試料の力学的特性を測定した。本測定から得られる圧縮・回復における荷重

による圧縮・回復試験、中変形段階より小変形から破断の四通りの圧縮・回復試験の各々について圧縮仕事量(WC)、回復仕事量(WC')、圧縮率(EMC)、回復率(RC)、回復率(RC)、圧縮率(EMC)、L

変形曲線を図2に模式的に示すとともに、この曲線から求められる力学的特性値を付記した。また、圧縮・回復試験を

図3に示すように破断および破断にいたるまでの三段階の変形状態、すなわち、小変形段階(破断時の荷重の一五%の荷

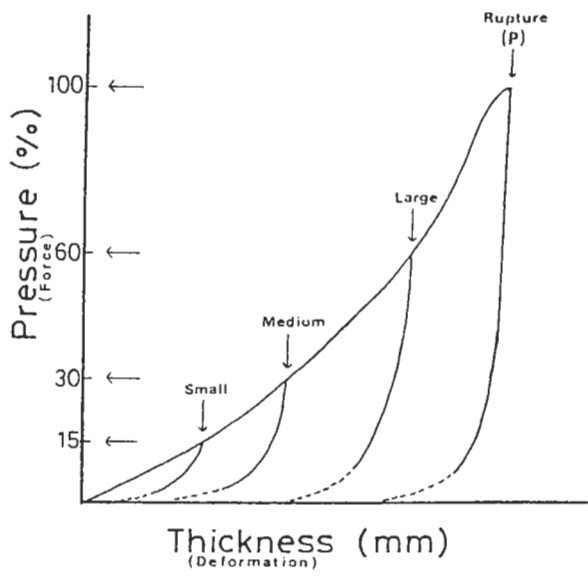
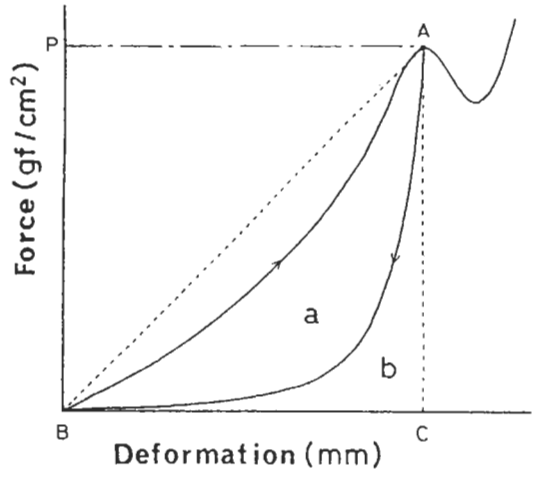


図3 破断および破断にいたる途中の変形段階についての圧縮・回復試験



WC : $a+b$ (gfcm/cm²) E : $\frac{\text{Pressure}}{\frac{BC}{T}}$
 WC' : b (gfcm/cm²) (gf/cm²)
 RC : $\frac{wc'}{wc} \times 100$ (%) P (gf/cm²)
 LC : $\frac{WC}{woc}$ (non), woc : $\triangle ABC$ (gfcm/cm²)
 EMC : $\frac{BC}{T} \times 100$ (%), T: sample thickness

図2 圧縮・回復試験の荷重-変形曲線の模式図と力学的特性値の算出

弾性率(E)、および荷重(P)の七種類の力学的特性値が測定され、全部で二八種類の物性値が求められる。

さて、前述した圧縮試験による力学的特性の測定から得られたデータ(一一四種類の試料についての二八種類の物性特性に関する測定値)によって各試料がどのようにに區別されるかは説明できるのか(すなわち、テキストチャーの違いがどのようにに数値的に表現できるのか)ということが次に問題となってくるが、筆者らはこれにアプローチする手段として測定データについて因子分析を行うことにした。

使用したプログラムはマイクロシステムズ社の多変量解析プログラムであり、計算の手順の概略を図4に示す。因子分析を行うと試料を區別あるいは説明するための因子が想定され、この因子は力学的特性と関連づけられる性格のものであることから、種々のタイプの異なる試料を判別、評価する(すなわち、テキストチャーの違いを表現する)うえでの共通の基準が設定されることになる。また、想定された因子について因子得点が各試料に与えられるので、試料は因子得点により表わされることになり、したがって各

試料の性質すなわちテキストチャーが数値的に表現されるわけである。

一一四種試料の測定データについて因子分析を行うことにより三つの因子が想定されることがわかった。このことから、各因子を座標軸として因子得点をプロットすることにより試料を三次元グラフに表示することが可能となる。

以上がテキストチャーマッピング法の手順の概略であり、つぎに結果の主な点について述べていくことにする。因子分析の過程で得られるバリマックス回転後の因子負荷量(図4の手順の後半部)は想定された因子と力学的特性値との関係を示すものである。今回の測定データについての因子分析の結果を表3に示した。表中で数値が〇・七二二以上のものにマークを付けてあるが、数値が大きい因子と力学的特性値との関連性が強いことすなわち因子イコール力学的特性値とみなすことができることを意味している。

この表から、第1因子にはWC(小変形)、第2因子にはEMC(小変形)、第3因子にはRC(小変形)がそれぞれ強く関連していることがわかる。なお、第4因子(およびそれ以上の因子)

では強く関連する力学的特性値が存在しないことから、今回用いた各試料の判別、評価には第1因子、第2因子、第3因子の三つの因子を採択すれば良いことがわかる。次に、因子分析の最終段階において各試料に因子得点が与えられる。一一四種類の試料のうち特徴的なテキストチャーを示すものを選んで(いずれも厚さは2mmのもの)、それらの因子得点を表4に示した。この表には第1因子から第4因子までの因子得点が示されているが、第4因子は前述したように省略することになる。第1因子から第3因子の因子得点で試料が區別されることになる。ここで、各因子がどのような内容のものなのかについて触れておきたい。

これは表3に示した因子負荷量の結果から因子の性格を推定するわけであるが、第1因子はWCとPが強く関連していることからテキストチャー要素のうちの「かたさ」に相当するものと考えることができ、第2因子はEMCとの関連性から「くずれにくさ(あるいは「もろさ」の逆)」に相当し、第3因子はRCとの関連性から「弾力性」に相当するものと解釈できる。したがって、表4の因子得点は各試料を「かたさ」、「くずれにくさ」、「弾力性」を基準として数値的に表現していることとみなすことができる。そこで、表4の結果をさらにわかりやすく表現する手段として第1因子から第3因子を座標軸とする三次元グラフ表示を行い、それを図5に示した。

この図では第1因子を1軸(X座標軸)、第2因子を2軸(Z座標軸)、第3因子

を3軸(Y座標軸)にとっており、細線のマス目の間隔は因子得点の値±〇・二に相当する。実線あるいは点線のマルは試料が2軸と3軸から成る平面の上部あるいは下部に位置することを示す。また、各試料はマル中の番号で示してある。番号2、4はカンテンゲル標品(一・二五、一・五、一・七五%)、7はゼラチンゲル標品、10は卵白ゲル標品、12はワイロ、14はヨークカン、16と29は各種チーズ、18と47、53は魚肉ソーセージの各種類のもの、20はコンニャク、22と56は64はカマボコ各種、23と24は乳清タンパクのPH七・五と六・五のゲル標品の老

はデンブ(ジャガイモ)ゲル標品の老

表3 因子負荷量 (バリマックス回転後)

Mechanical Parameters	Factor			
	#1	#2	#3	#4
WC-S	0.738	0.528	-0.067	0.344
-M	0.832	0.451	-0.195	0.211
-L	0.916	0.281	-0.189	-0.039
-R	0.896	-0.025	-0.277	-0.253
RC-S	-0.194	-0.104	0.922	-0.191
-M	-0.260	-0.333	0.873	-0.026
-L	-0.297	-0.393	0.827	0.120
-R	-0.270	-0.367	0.799	0.298
EMC-S	0.202	0.916	-0.217	0.170
-M	0.230	0.934	-0.247	0.049
-L	0.254	0.894	-0.329	-0.125
-R	0.280	0.772	-0.480	-0.287
P-S	0.937	0.202	-0.241	-0.007
-M	0.937	0.202	-0.241	-0.007
-L	0.937	0.202	-0.241	-0.007
-R	0.937	0.202	-0.241	-0.007

因子得点 #1: 6.894 #2: 4.240 #3: 3.721 #4: 0.498

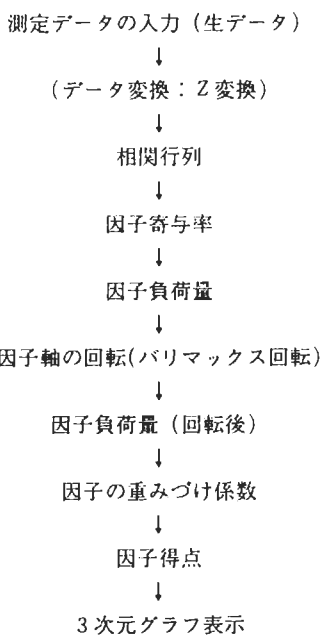


図4 因子分析の手順と試料の3次元グラフ表示との関係

表4 特徴的なテクスチャーを備える試料についての因子得点

Samples	Factor			
	#1	#2	#3	#4
2	-0.243	-0.654	1.131	-0.116
3	-0.166	-0.628	1.464	-0.014
4	-0.101	-0.707	1.228	-0.345
7	-0.507	0.845	0.752	-1.675
10	-0.838	1.122	-0.967	-0.449
12	-0.445	-0.609	0.268	0.562
14	-0.631	-1.142	-2.305	1.524
16	-0.225	-1.323	-1.148	1.152
18	-0.018	0.037	-0.218	-1.347
20	0.264	1.675	-0.906	1.230
22	2.138	1.326	-0.778	2.377
23	-0.806	2.272	0.563	-0.866
24	-0.679	1.242	0.292	-0.942
29	0.049	-1.106	-1.043	-0.411
31	0.931	-0.850	-1.038	-1.356
33	1.587	-1.250	-0.793	-1.182
35	0.275	-1.221	-1.073	0.241
37	-0.538	-0.702	-1.647	-0.180
39	0.553	-1.674	-1.235	-0.291
41	0.211	-1.637	-1.489	0.441
43	-0.051	-1.670	-1.310	1.187
45	2.904	-1.021	-0.536	-2.602
47	0.414	-0.125	-0.162	-0.890
48	0.419	-0.168	-0.055	-0.557
49	0.714	-0.644	0.096	-1.240
50	0.748	-0.879	0.469	-0.663
51	0.233	-0.307	0.248	-0.848
52	0.645	-0.744	0.418	-0.717
53	0.217	-0.032	-0.555	-0.021
56	1.747	1.788	0.034	1.772
59	1.185	1.255	-0.121	-0.098
62	1.556	1.420	-0.238	0.556
64	1.643	1.133	-0.525	1.020
84	0.497	-0.378	2.913	-0.364
111	-1.099	0.121	-1.319	0.087
112	-0.989	0.363	-0.450	-0.433
113	-0.994	-0.106	-1.343	0.315
114	-0.953	-0.263	-1.690	0.343

化したもの（五℃で一か月保存）、IIIは豆腐の各種のもの、である。

図中の各試料の分布内容を見ると、チーズ類、魚肉ソーセージ類、カマボコ類、豆腐、カンテングルなどはそれぞれ異なる位置にまとまって分布していることがわかる。ヨーカン、デンブングルも他とは区別できる位置に分布している。ウイローは魚肉ソーセージ類に接近する位置に、卵白ゲルは豆腐にや近い位置に、コンニャクはカマボコ類に接近する位置に、それぞれ分布している。また、チーズ類（16はプロセス、29、35はゴーダ、37はモツアレラ、39、43はチェダー、45はスキム）についてはその種類ごとにサブクラスター様の分布がみられ、カマボコ類については56の上級品とその他の等級のものとの区別が明確に認められる。

このような各試料の分布のしかたから、本三次元グラフ表示により試料の種類すなわちテクスチャーの違いが表現できているのではないかと思われる。また、グラフの座標軸は想定された因子であるとともにそれらは力学的特性値との間に関係式が成り立つ関係にあるので、力学的特性値を基準として数値的に表現されているともいえる。さらに、各座標軸すなわち各因子は前述したようにテクスチャー要素の「かたさ（1軸）」、「くずれにくさ（2軸）」、「弾力性（3軸）」の性格を備えるものと推定されることから、本三次元グラフ表示はテクスチャーが定量的に表現されたとしたらこのようになるというものであるとも考えられる。そのような意味において、筆者らはこの三次元グラフ表示法をテクスチャーマ

ッピング法と名付けている。なお、図5の試料の分布状況から各試料の区別（あるいは特徴づけ）が2軸と3軸の平面上でなされていることがわかる。このことは「くずれにくさ」と「弾力性」がテクスチャーの特徴を表わすうえで重要であり、「かたさ」はテクスチャーの違いを表現するうえで二次的な要素として位置づけられることを示している。

豆腐のテクスチャー分析

豆腐のテクスチャーとはどのようなものかという問いに対する答の一つが図5

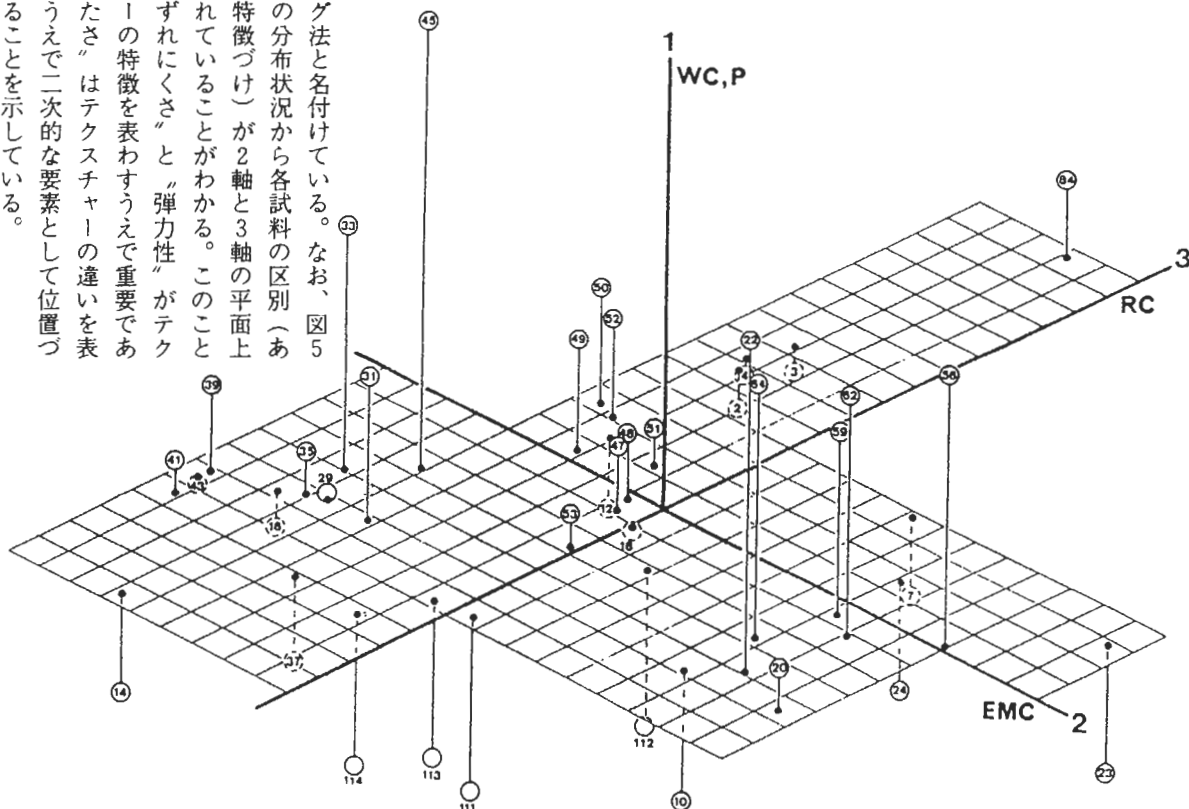
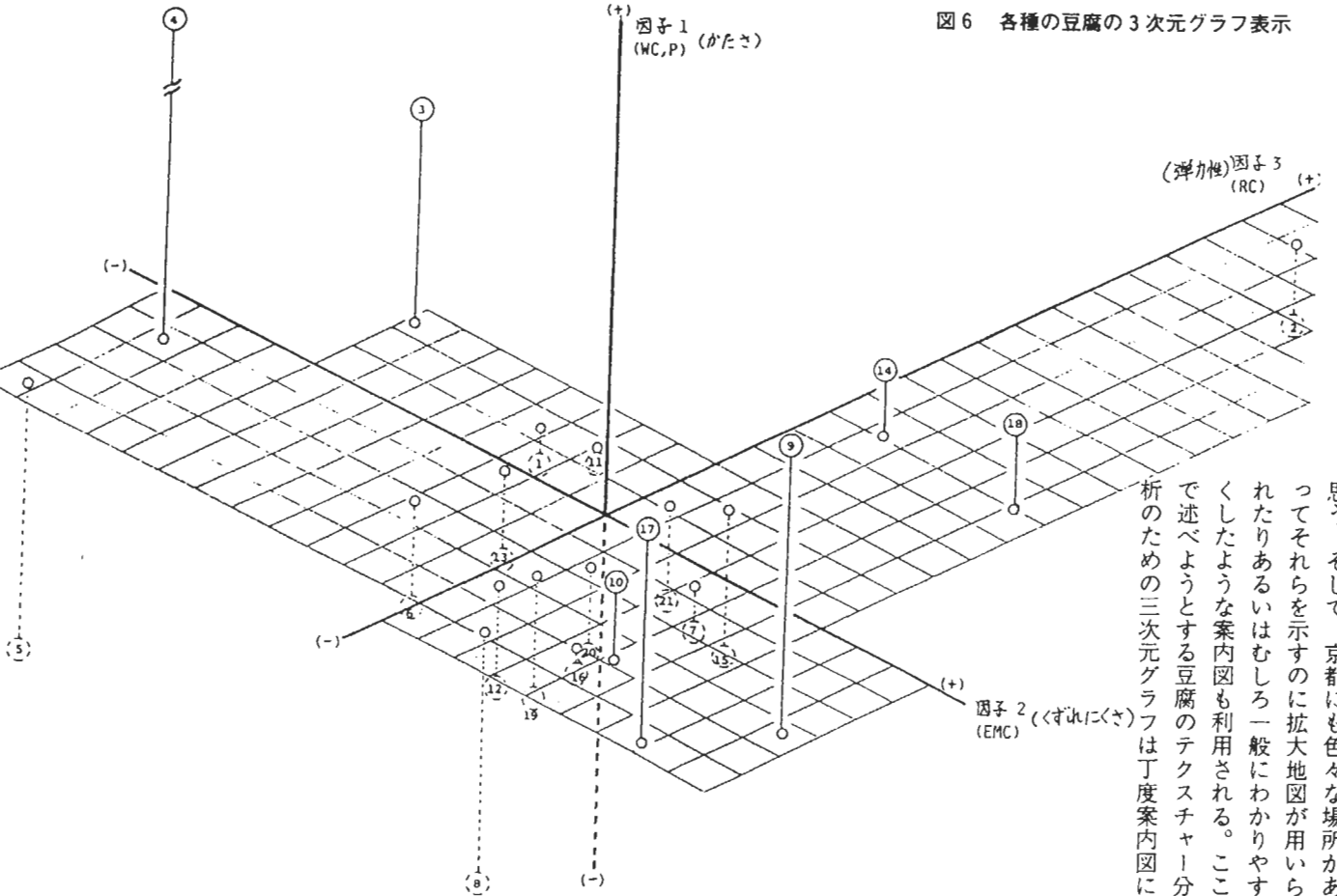


図5 試料の3次元グラフ表示

に示した三次元グラフ上の豆腐の位置である。京都がどこにあるかと問われた場合に地図上で指し示すのと似た答え方であると考えていただくとわかりやすいと

図6 各種の豆腐の3次元グラフ表示



思う。そして、京都にも色々な場所がある。それらを示すのに拡大地図が用いられたりあるいはむしろ一般にわかりやすくしたような案内図も利用される。ここで述べようとする豆腐のテクスチャー分析のための3次元グラフは丁度案内図に

相当するものである。拡大地図と案内図が凡その位置関係は合っているが正確には一致していないのと似て図6に示した豆腐だけの3次元グラフは図5中の豆腐の分布と全く一致したものとはなっていないことを予めお断りしておきたい。

これは、測定データとして豆腐のデータのみについて因子分析を行っているからである。なお、想定される因子は図5の場合と同じであり、したがって、図6の座標軸は図5と同じものである。さて、この図の中で番号1～6は充填豆腐タイプのもの、7～21は各種の大豆品種についてそれぞれ単一の品種を使用して製造した手づくりタイプの豆腐である。各豆腐試料の分布から、豆腐によって「かたさ」はまちまちであること、充填タイプと手づくりタイプは第2因子と第3因子の座標軸から成る平面上で分布が異なり手づくり豆腐は第2因子軸のプラス側と第3因子のプラスおよびマイナス側の地域に比較的まとまって分布していることがわかる。手づくり豆腐は全体的にくずれにくい傾向があるといえる。また、手づくり豆腐の場合、用いる大豆の品種によって分布位置がそれぞれ異なり、それぞれ豆腐のテクスチャーに違いがあることを示唆している。番号9、14、17、18は手づくり豆腐の中で特徴的な位置に分布していると考えられるが、これらの品種が高く評価されているものであることと考え合わせると、「くずれにくさ」と「弾力性」のどちらか一方がすぐれている程度以上の「かたさ」を備える美味しく豆腐と感ぜられるのではないかと想像される。

相当するものである。拡大地図と案内図が凡その位置関係は合っているが正確には一致していないのと似て図6に示した豆腐だけの3次元グラフは図5中の豆腐の分布と全く一致したものとはなっていないことを予めお断りしておきたい。

豆腐のテクスチャー分析に際し単一の大豆品種を用いる豆腐試料の作製については(株)丸福食品、角屋食品(株)、味市食品(株)ならびに(株)丸正の大島信幸氏に多大の御協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表すものである。

- (もり・ともひこ)
- 引用文献
- (1) A. S. Szczesniak, Classification of textural characteristics, J. Food Sci., 28, 385 - 389 (1963)
 - (2) 柳沢幸江、田村厚子、寺元芳子、赤坂守人、食物の咀嚼筋活動量、及び食物分類に関する研究、小児歯科学雑誌、二七巻、一号、七四〜八四頁(一九八九)。
 - (3) 姜日峻、林由佳子、松村康生、森友彦, Characterization and discrimination of food texture on the basis of mechanical properties, 日本咀嚼学会雑誌、第一巻、第一号、三三〜三七頁(一九九一)。

I. J. Kang, Y. Matsumura and T. Mori, Characterization of texture and mechanical properties of heat-induced soy protein gels, J. Am. Oil Chemists Soc., 68, 339 - 345 (1991)