

---

## 解 説

---

# 食品のテクスチャー測定における 咀嚼曲線の解析

岡 部 巍\*

Analysis of Mastication Curve in the Measurement of Food Texture

Takashi Okabe

### I はじめに

食品のテクスチャーは食品の嗜好的な品質評価上重要な要素となっている。食品のテクスチャーは元来人間の感覚によって知覚されるものであるが、種々の測定機を用いた客観的測定も可成り行なわれており、それが食品の品質判定にも広く利用されている。その中でも比較的よく用いられているのが咀嚼型測定器である。普通これによって測定を行なった時に得られた咀嚼曲線からテクスチャーの特性値を求めるのであるが、通常、機器の使用説明書などに一応記載されている方法をそのまま利用していることが多い。しかしこれらの中にはいろんな問題点を含んでいるものもあり、中には誤解を招く可能性のあるものも見られる。筆者は近年、主として咀嚼型測定機による食品のテクスチャーの測定を手がけてきたが、その時に得た知見に基いて咀嚼曲線からテクスチャーに関する正しいできるだけ多くの情報が得られるよう、咀嚼曲線の成因からその解析の仕方についてなるべく平易に解説を進めると共に、特性値を求める問題点についても考えてゆきたい。

### II テクスチャーとその測定

テクスチャーの意義やその測定法などについて解説書や、総説なども多く見られ、その概要については筆者も先に食品の物性第1輯の中で述べている<sup>1)</sup>。したがって、ここではそれらについては簡単に触れる程度にとどめておく。

食品のテクスチャーの意義については多少の異論をとなえている者があるにしても、Matz<sup>2)</sup>がその著書の中で述べている。“食品のテクスチャーとは、温度感を除いた食品の物理的性状で、主に口の中の皮膚や筋肉の感触によって決定されるもの”と云うのが妥当な所であろう。

食品のテクスチャーの測定には液状食品の粘性などを含める場合もあるが、ここでは主としてそしゃく型測定器で問題となる固形状ないし半固形状食品のテクスチャー測定に限ることとする。これらの食品のテクスチャーの機器測定の手段としては、試料を変形させたときの力と変形の間接関係を、要すれば時間の因子と関連して調べることであり、根本的にはレオロジー測定と変わらない。ただしレオロジー測定が主として試料の小変形領域における挙動を分析してその物質構造を探索しようとするのに対し、テクスチャー測定は、試料の破壊ないしは大変形領域における挙動から、感覚的な評価との対応や品質に関連する特性を追求することに目的がおかれている。

テクスチャー測定での試料に対する変形の与え方には、圧縮、せん断、切断、引っ張り、せん断圧縮、貫入、曲げなどいろいろあるが、咀嚼型のテクスチャー測定機器では主に圧縮、貫入あるいはそれらを複合したと考えられる方法がとられている。

また変形を与える時も、既知の力を加えてその時の変形を検出するのか、既知の変形を与えてその時に要した力を検出するのかなどの方法があり、その与え方も一定、一定速度変化、周期的速度変化、変化速度不定などの別によりいろいろの測定機器があるが、咀嚼

---

\* 家庭機械研究室

やく形のテクスチャー測定機は、周期的変形を付与する変形既知一力検出形の測定機であると云える。

### Ⅲ そしゃく形テクスチャー測定器の出現

咀しゃく形テクスチャー測定機は1955年 Proctorら<sup>3)</sup>が歯形をした試料咀しゃく部分を持ち、それを動かす腕にストレインゲージを取りつけ、且つオシロスコープで記録さす方式の測定機を開発したのに初まる。その後ゼネラルフーズの Szczesniak ら<sup>4)</sup>が改良を加え、歯形の咀しゃく部分は、ストレインゲージを持った一本の腕で支えられている試料台と、その上に乗せた試料に対し円弧上に正弦運動をして変形を与えるプランジャーに変わり、記録方式も普通の電気式記録計に変更され、現在のテクスチュロメーターに近いものが生まれた。現在市販されているのは、これを改良した写真1のようなものである。

一方昭和45年飯尾電機から基本原理はテクスチュロメーターに準じた写真2のようなレオノロメーターが発売された。レオノロメーターはプランジャーが垂直に上下し、試料台も円周上の三点で支持されていて垂直に変位するので、測定機の解析を行ないやすい可能性がある。また試料温度の調整も可能である。

テクスチュロメーターとレオノロメーターの比較についても、筆者が前述の文献<sup>1)</sup>に記載している。

筆者もこれを簡易化したそしゃく型のテクスチャー

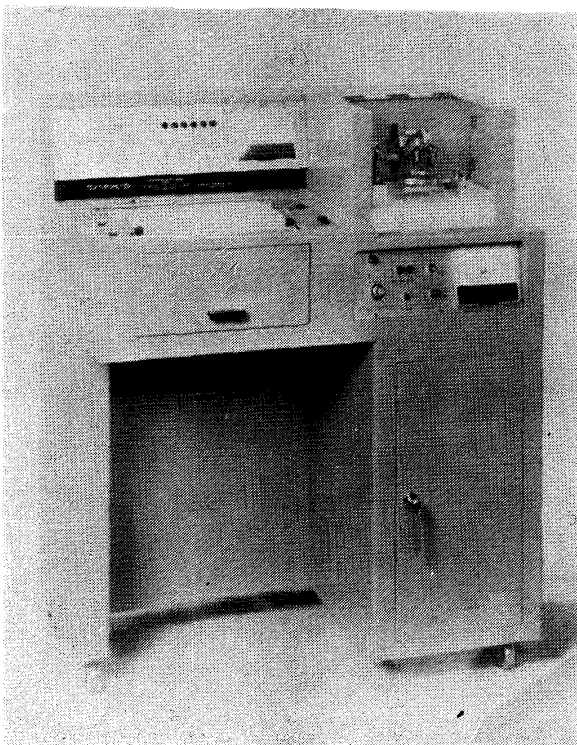


写真1 テクスチュロメーター

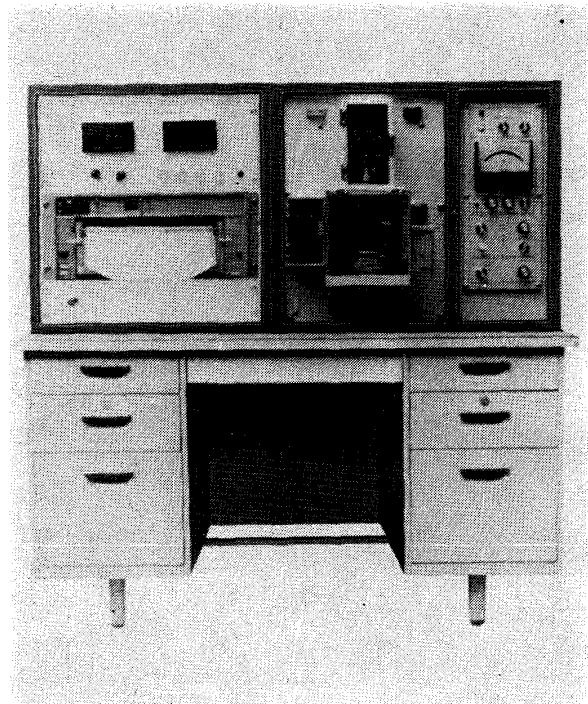


写真2 レオロメーター

測定器を自作して<sup>5)</sup>使用しているが(写真3参照)、ほかにもこの種の測定機をつくり使用しているものも見られ<sup>6)</sup>テクスチャー測定機としての咀しゃく形測定機の占める割合はかなり大きい。

### Ⅳ 咀しゃく曲線の成因とその性質

前述の如く、試料のテクスチャーを知るため測定を行ない、記録紙上に現われた咀しゃく曲線からテクスチャーの特性値やその他の情報を得なければならないが、できるだけ多くの知見を得るためには、咀しゃく曲線の成因を理解しておくのが早道である。

自動台秤の上に一定の高さ(例えば 1 cm)の試料をおくと、秤の針は試料の重量を示すだけ動くが、ここで針指のゼロ調節をするか、後でその分だけ差し引くようにする。(図1(a))そして、試料に箸を若干(例

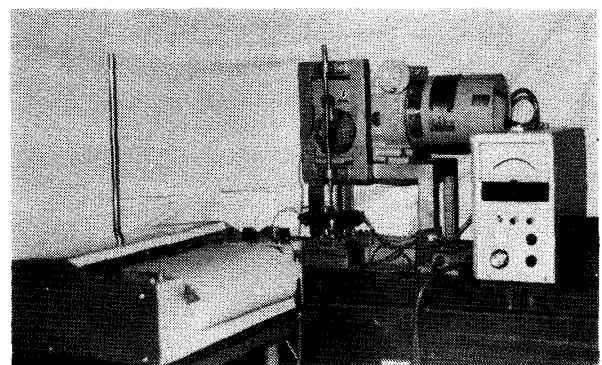


写真3 自作の咀しゃく型測定器

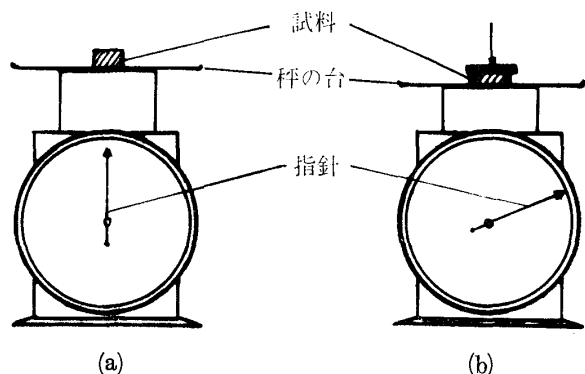
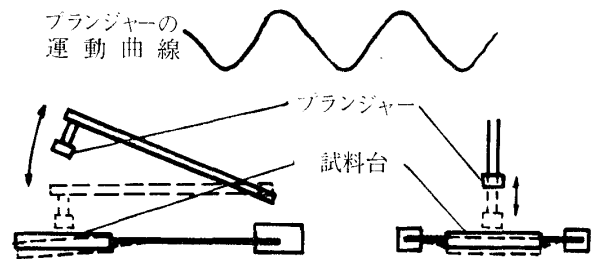


図1 自動秤を用いたテクスチャーの測定

例えば 2 mm分) つきさすか、小さい板で押えて見る。当然秤の台は下がり、これにつれて秤の針は廻るが、(図1 (b)), 試料ができたての食パンのようなものか、古くなった食パンのようなものか、あるいは生の馬鈴薯であるか、または煮た馬鈴薯であるかによって、指針の動きは異なる。もっと大きく押え込んで見ると(例えば4mm, 6 mm, 8 mmというように) 針は更に廻るが、中には試料がつぶれて針が元に戻ろうとするのもでて来るだろう。このように針の動きが異なるのは、試料を同じように(高さ方向の距離で)押えても、試料によって応力の生成の仕方が異なり、それによって試料が秤の台を押す力が異なって来るためである。この時の試料の押え込み方と秤の目盛の関係をプロットしていけば一つのグラフが得られる。

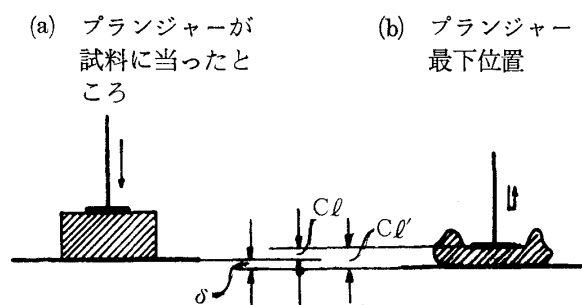
咀しゃく形のテクスチャー測定機も結局、プランジャー(試料に直接変形を与える部分、上述の箸や板に相当)によって試料の受けた規定の周期的変形の結果、試料が試料台に及ぼす力を検出してその変化を時間的に記録しようとするものである。秤の場合試料を押え込んで行くのに秤の台が降下していても、秤の台と箸の先や板を次第に小さくして行けば(例えば 10mmから 8, 6, 4, 2 mm というように)よかった。しかし、咀しゃく形の測定機ではプランジャーの動きや試料台の変位は図2のようで、プランジャーは同じ高



(a) テクスチュロメーター (b) レオロノメーター  
図2 テクスチュロメーターとレオロノメーターのプランジャーの動きと試料台の変位

さの範囲を上下に周期的な正弦運動をしているだけなので、試料台が大きく変位してしまえば試料の押え込み寸法がわからぬので困る。かと云って変位しないのでは試料台にかかった力の検出ができない。というのは咀しゃく形試験器では通常試料台に力がかかるとそれに応じて試料台が変位し、その変位をその腕に取りつけたストレインゲージによって検出し、それを記録紙上の基本線からの縦方向の距離として表わしているからである。

咀しゃく形の測定機では使用時プランジャーが直接試料台にあたらぬようその間に少しの隙間を設ける。この隙間をクリアランスといい、試料へのプランジャーの最大押込量に関係してくるが、これは試料高などとともに測定条件として重要なものである。試料台の変位が大きいと図3のようにクリアランスも大きく変わり、クリアランスを設定した意味がなくなってしまう。しかし変位が小さいと一般には力の検出精度が下るので測定機を精巧にすることが必要となる。



Cl...設定クリアランス Cl'...実際のクリアランス  
 $\delta$ ...試料台の変位

図3 設定クリアランスと実際のクリアランス

咀しゃく曲線も秤の時に得られた試料の押え込み量と押える力の関係のグラフに似ているが、咀しゃく曲線の横軸は設定した記録紙送り速度に対応する時間軸である。プランジャーの移動は不規則な運動でなく、周期的な正弦運動であるから、横軸は直線的ではないが、当然試料の変形量に対応するはずである。ところが一般の咀しゃく形のテクスチャー測定機ではその基準点がどこもない。試料高が定まっている場合、プランジャーが試料に当たり、曲線が基準線から立上ったところを基準点としてもよいはずであるが、試料によっては立上りがなだらかで開始点が不明瞭なものである。基準点としては適当とはいえない。まして試料高が異なれば、プランジャーが試料に当たる速度も異なるので全く意味をなさない。テクスチャー測定のような物性測定では、試料に与えた変形とそれに要した力の関係(あるいは加えた力とそれによる変形

の関係)が重要であるのに一般の咀嚼形測定機では単にプランジャーが試料に当たってからの試料に変形を与えるための力と経過時間の関係を示しているに過ぎず、変形量とそれに要した力の関係に関する知見が得られない。これは一般の咀嚼形テクスチャー測定機の最大欠点である。

そこで筆者は自作の咀嚼形測定機に記録紙上にプランジャー最下点を指示する装置を付加し<sup>7)</sup> 横軸を時間軸としてだけでなく、計算または図式解法によって変形量と対応させることができるようにしている。こ

の方法を用いればそしゃく曲線から力-変形曲線を求めることができるが、このようにして求めた食品やその他数種の試料の力-変形曲線と、これも自作の加重装置に鎖を使った静的な測定機で、同じ試料について求めた力-変形曲線を比較した数例を示すと図4のようになり、圧縮コイルばねのような完全弾性体ではほとんど完全に一致するが、その他のものでは必ずしも完全に一致しない。しかし、かなりの近似性も見られ、そしゃく形の測定器でも、咀嚼曲線から力と変形の関係を知ることは有益であるように思われる。

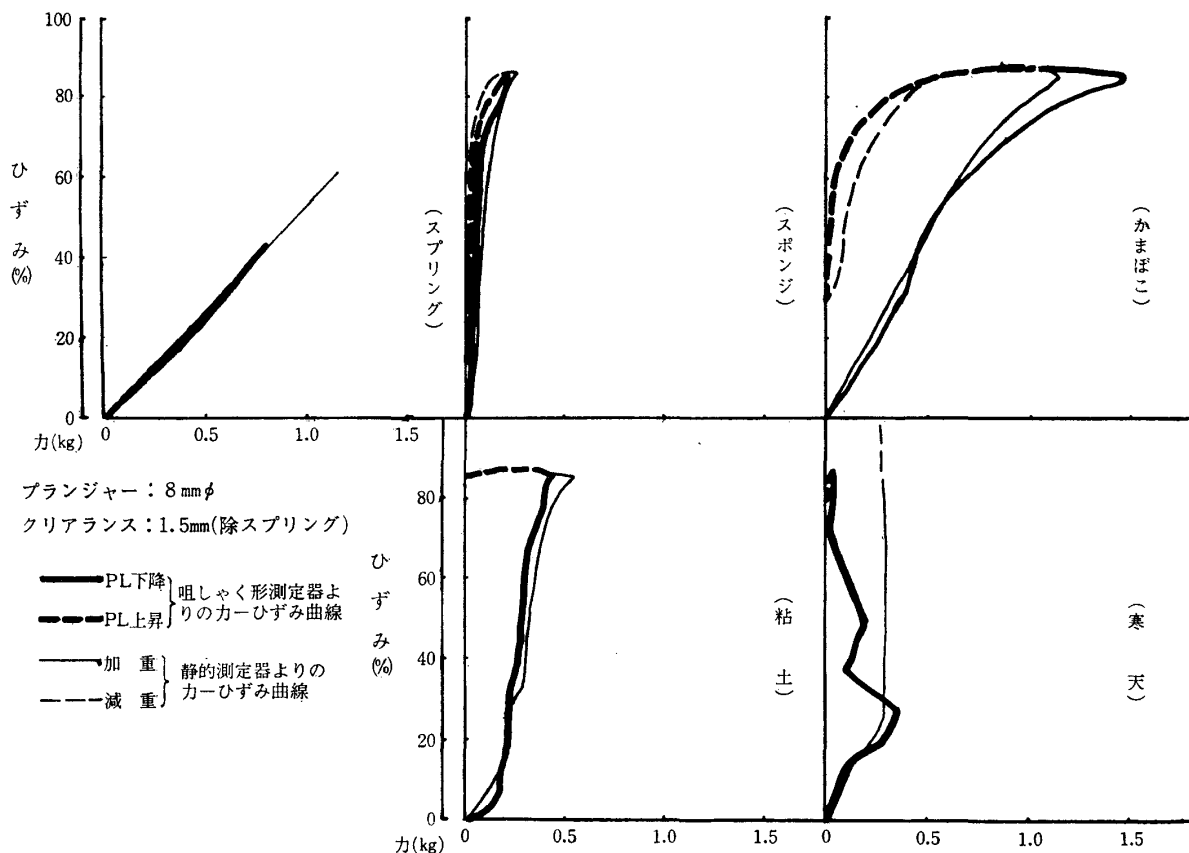


図4 咀嚼形および静的測定機で求めた力-変形曲線

### V 咀嚼曲線の解法

咀嚼形のテクスチャー測定機では通常試料を2回咀嚼した時にできた2つの山をもつ咀嚼曲線からいろいろのテクスチャー特性値を求めるようにしている。その求め方は概ね Szczesniak 一派が1963年に提案したテクスチャープロファイル法を準用している。各測定機メーカーの使用説明書に示されたテクスチャー特性値の求め方も大体これにならっている。<sup>8)9)</sup>

何の測定でもそうであるが咀嚼形テクスチャー

測定機でも測定条件を明確にしておくことが大切で、同一試料でも測定条件が変われば咀嚼曲線も当然変わり、測定条件によってはこれが同一試料の結果かと疑いたくなるような咀嚼曲線が得られることもある。測定にあたっては、試料の調整条件は勿論、大きさ・形状や測定機器の設定条件を明確にしておく必要がある。測定機メーカーの使用説明書などに見られるテクスチャー特性値を求めるための説明用の咀嚼曲線(図5)について Szczesniak らが提唱した特性値の求め方の方の例は次のようである。(今後特性値を表わす硬さなどには「硬さ」というように〔 〕

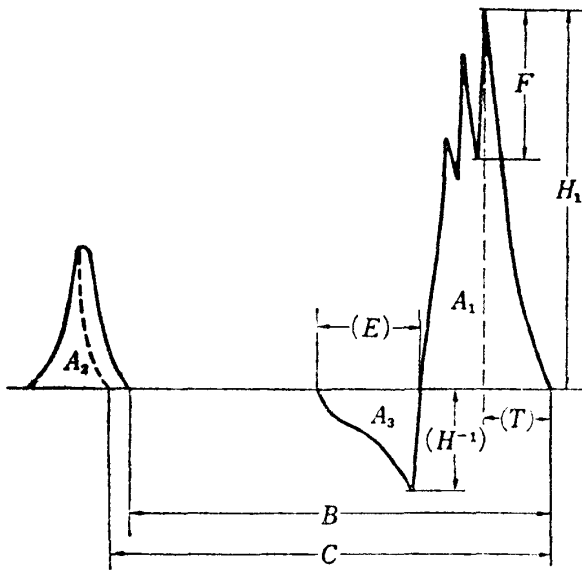


図5 テクスチュロメータなどの説明用咀嚼曲線例

を付し、一般にいう硬さなどと区別する。)

- 〔硬さ〕 (Hardness) =  $H$  / 入力電圧
- 〔凝集性〕 (Cohesiveness) =  $A_2 / A_1$
- 〔弾力性〕 (Elasticity) =  $C - B$  Cは弾力性のない試料で測定したときのB
- 〔付着性〕 (Adhesiveness) =  $A_3$
- 〔脆さ〕 (Britleness) =  $F$
- 〔そしゃく性〕 (Chewiness) = 硬さ × 凝集性 × 弾力性 (固形食品)
- 〔ガム性〕 (Gumminess) = 硬さ × 凝集性 (半固形状食品)

その他テクスチュロメーターパンフレットでは〔柔軟性〕としてのT, 〔伸び〕としてのE, 〔侵透力〕としての $A_1$ , 〔付着力の最大値〕としての $H_1$ などの特性値を示している。

テクスチュロメーターを使ってその他にもいろいろの独特な特性値を求めることが行なわれている。福島の〔感応性〕<sup>10)</sup>, 山野らの〔硬さ/付着性〕<sup>11)</sup>や全研の岡部<sup>12)</sup>の〔撓み性〕辻の多点測定法<sup>13)</sup>や10bite比<sup>14)</sup>などがその例である。筆者は自作のそしゃく形測定機で図6示すようなものを求めている。勿論、これより Szczesniak らのテクスチャープロファイル法と同様に〔硬さ〕〔凝集性〕などの特性値を求めることは勿論可能であるが、3回咀嚼した咀嚼曲線に、プランジャー最下点位置が指示されていることも利用して種々の試料を測定したそしゃく曲線が①理想弾性形、②完全回復遅延弾性形、③不完全回復遅延弾性形、④塑性流動形、⑤脆性破壊形の5つの形に分類できることを提唱した<sup>7)</sup>

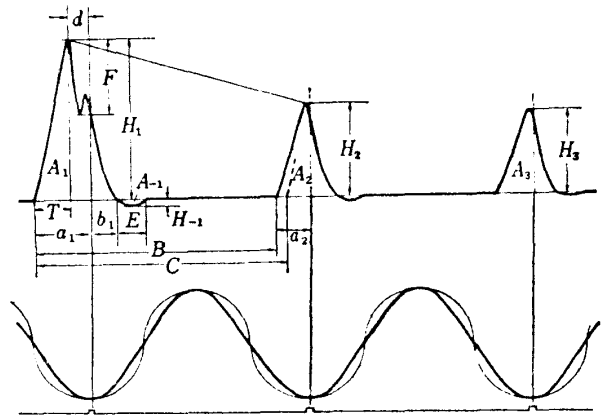


図6 自作測定機の咀嚼曲線例

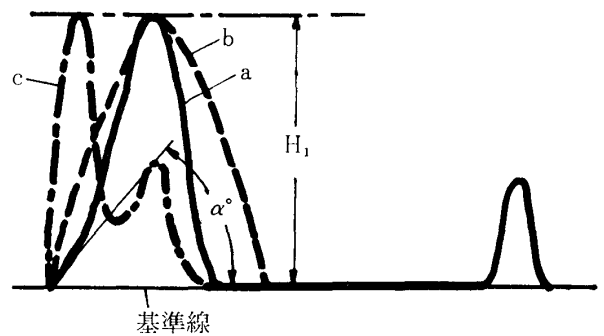
## VI 咀嚼形測定機によるテクスチャー測定の問題点

前述の Szczesniak の求め方(テクスチャープロファイル法)は、その後広く利用されているが、かなり問題点もあるので、基本的に用いられている特性値を中心にその問題点を考えて見たい。

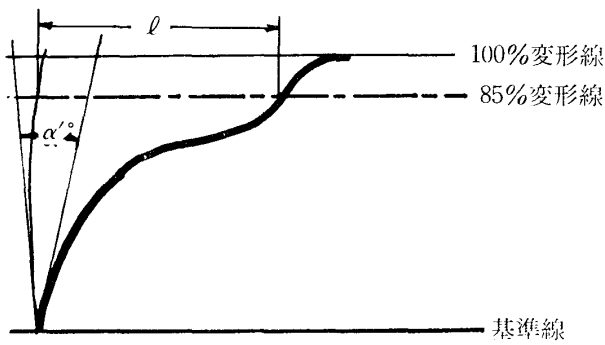
### 1 〔硬さ〕

食品が『かたい』とか『やわらかい』とかいうのはテクスチャー表現用語の中でも最もよく用いられている語句である。そしゃく形測定機でテクスチャー特性値を求める場合もまず第1に取り上げているのが〔硬さ〕である。Szczesniakら<sup>4)</sup>は硬さを“一定の変形をさすのに必要な力”と定義しているがテクスチュロメーターやレオロノメーターでの〔硬さ〕は(第1の山の高さ/入力電圧)で求めるようになっている。したがって図7(a)のa, b, c曲線のように同じ電圧ではかった3つの咀嚼曲線が同じ高さになった場合勿論〔硬さ〕は同じになる。

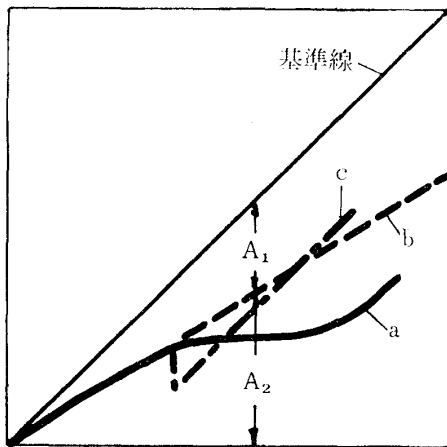
しかし、このような各曲線で示される試料が果して感覚的に同じように感じるであろうか。Szczesniakらは〔硬さ〕のみならず〔咀嚼性〕, 〔ガム性〕,



(a) 咀嚼形測定機  
 $H_1$ ……〔硬さ〕  
 $\alpha^\circ$ ……立上り角度



(b) 静的測定機  
 $l$  ……85%変形荷重対応  
 $\alpha'$  ……立上り角度



(c) カードメータ  
 $\frac{A_2 \cdot K}{A_1 \cdot L}$  dyne/cm<sup>2</sup>… [硬さ]  
 たゞし K…装置定数  
 L…プランジャー円周

図7 各種測定機による硬さ関係特性値の測定

〔付着性〕などの特性値が官能的な評価と相関が高かったと云っているが<sup>15)</sup>、これはすべてが同じ条件で測定されたのではなく、プランジャーなど食品毎に適当なものを選んでいる。食品の‘かたさ’は決して一つの物理量で意義づけられているのではなく、いろいろなことをただ1つの用語でかたづけしてしまっているようで、中坊<sup>16)</sup>が卒論で調査や官能検査を行った結果でも食品の‘かたさ’を一つの尺度上にならべることは困難

であることを認めている。日本語でも‘かたい’には硬、堅、固などいろいろの文字が使われており、英語でも‘hardness’や‘firmness’という言葉に若干の困乱があるようで、Szezesniak はテクスチャー分類時は〔hardness〕を用いていたが、Shermanの批判<sup>17)</sup>もあつて最近では firmness を使っている<sup>18)</sup>。

筆者は前に10種余りの試料について自作の咀嚼形測定機での〔硬さ〕と他の測定機についての〔硬さ〕とを比較した<sup>19)</sup>。即ち、寒天ゲル、粘土、ゼラチンゲル、かまぼこ4種、凍豆腐、洗浄用スポンジ新品、同使用済品、いろいろを試料として自作の測定機で咀嚼形の〔硬さ〕のほか第1の山の立上り角度と、カードメータでの〔硬さ〕、および自作の静的測定機での85%変形加重と立上り角度を図7のような方法で求め、それらの関係を相関係数を求めて比較した<sup>19)</sup>。なお、カードメータの硬さは飯尾の方法<sup>20)</sup>によった。各々の試料の咀嚼形の〔硬さ〕および〔第1の山の立上り角度〕と他の測定機での特性値との相関関係を示すと表1になる。表に見られるように、咀嚼形の測定機での〔硬さ〕は静的測定機での85%変形加重に1番よく対応し、カードメータでの〔硬さ〕や、静的な立上り角度に近いのはむしろ咀嚼形測定機での第1の山の立上り角度である。しかし、咀嚼形の測定機での立上りの角度の測定はそう精度のよいものではない。更に5試料について目をつぶって手指で軽く触れたときと、ぐっと押えこんだときの感覚的な硬さの順位をしらべ、これと測定機での測定による〔硬さ〕の順位とを比較した簡単なテストでの結果は表2のようになり、咀嚼形測定機での〔硬さ〕は試料を手指で押え込んだときの感じに対応し、手指で触れたときの感触は、カードメータの〔硬さ〕や咀嚼形測定機での立上り角度に近いことがわかった。

このように、咀嚼形測定機での〔硬さ〕はあくまでその機器ではかった特性値としての〔硬さ〕であ

表1 咀嚼形の〔硬さ〕〔立上り角度〕と他の測定機での特性値との相関

プランジャー径 (mm φ)	そしゆく形 特 性 値	静 的 〔85%変形加重〕	静 的 〔立上り角度〕	カードメータ 〔硬  さ〕
2.8 {咀嚼形的 静 3……カードメータ	〔硬  さ〕	0.92**	0.47	0.65*
	〔立上り角度〕	0.29	0.75**	0.81**
8 {咀嚼形的 静 カードメータ	〔硬  さ〕	0.97**	0.47	0.43
	〔立上り角度〕	0.56	0.68*	0.80**

表 2 手指での感覚的な硬さの順位と測定機での硬さの順位

試料						パネル	試料					
粘土	ゼラチンゲル	スポンジ(新)	かまぼこ(並)	かまぼこ(上)	粘土		ゼラチンゲル	スポンジ(新)	かまぼこ(並)	かまぼこ(上)		
咀しゃく形 同 順位	80 2	43 5	44 4	83 1	77 3	咀しゃく形 [硬さ(g)] 同 順位	750 3	495 4	240 5	1480 1	1195 2	
カードメータ[硬さ] 同 順位	30 2	10 4.5	10 4.5	49 1	28 3		1 4	4 3	5 5	2 1	3 2	
手指で触れたときの 感覚的な硬さの順位 W=0.64**	1	4	5	2	3	手指で押え込んだ ときの感覚的な硬 さの順位 W=0.77**	1	4	5	2	3	
	3	5	4	1	2		4	3	5	1	2	
	4	5	3	1	2		5	3	4	1	2	
	3	5	1	2	4		4	3	5	1	2	
	2	4	5	1	3		4	3	5	1	2	
	4	3	5	1	2		4	2	5	1	3	
	2	4	5	1	3		4	3	5	1	2	
	1	4	5	2	3		2	4	5	1	3	
	3	5	4	1	2		3	4	5	2	1	
	2	5	4	1	3		3	4	5	1	2	
順位計	25	44	41	13	27	順位計	34	33	49	12	22	
同 順位	2	5	4	1	3	同 順位	4	3	5	1	2	

って、それは破壊に要した力であったり、一定の変形を与えるため必要な力であったり、実際の感覚とは異質のものを表わしていることに注意すべきであろう。

2 [弾力性]

Szczesniakら<sup>4)</sup>は弾力性を“外力によって変形したものが、力を取り去ったとき元に回復する程度を表はす”と定義している。図8のように $h_1$ の高さのものが $h_2$ まで変形させられ、それが $h_2$ まで戻ったとすると変形量は $\Delta h$ 、回復量は $\Delta h_r$ で表わされるから弾力性は、 $\Delta h_r / \Delta h$ で表わすべきものである。ところが一般の咀しゃく形測定機では前述のごとくSzczesniakら<sup>4)</sup>テクスチャープロファイル法を使用し、図9のように試料の第1の山の立上りから第2の山の立上りまでの距離Bを、粘土のような弾性のないものについて測ったBに相当する距離Cから差し引いて求めている。これは、(i) 粘土様のものは変形が回復しない。

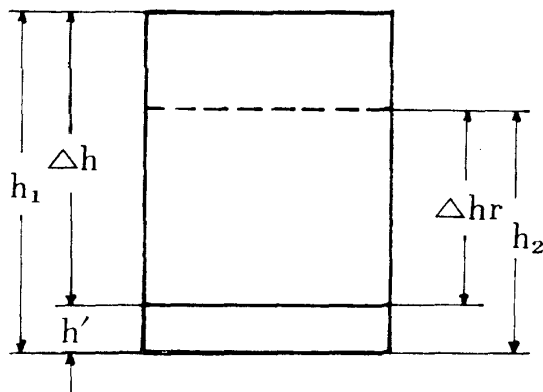


図8 弾力性の定義

(ii) そのため第2の山の立上りは第1の山の立上りから最も遠くなる。という2つの考え方に基づいているが、これは大きな誤りである。何故なら粘土様のものでも大抵僅かながら回復はするし、それを無視するにしても第2の山の立上りは第1回目のそしゃく時の試料台の降下量、ひいてはプランジャー最下点(この時試料の高さは最も低くなっている)での山の高さに関係してくる。即ち第2回目の咀しゃくの時には試料台は元に戻っているので弾力性の全くない試料でも、プランジャーは第1回目のそしゃくで試料台が降下した分だけ試料を押え、第2の山が立上り、また山形の曲線ができるようになる。したがってやや面倒になるが、正しい弾力性は、プランジャー最下点に分っていれば図10の咀しゃく曲線の第1の山より $\Delta h$ を、第2の山より $\Delta h_r$ を求め、これより $\Delta h_r / \Delta h$ を計算で求めるのがよい<sup>2)</sup>。表3に計算方法と図10についての計算例を示す。

このように計算によって弾力性を求めることはやや面倒であるが、図11(b)のように予めプランジャーの動きより試料の高さ $h$ ( $\delta$ を除外した)との関係を作図

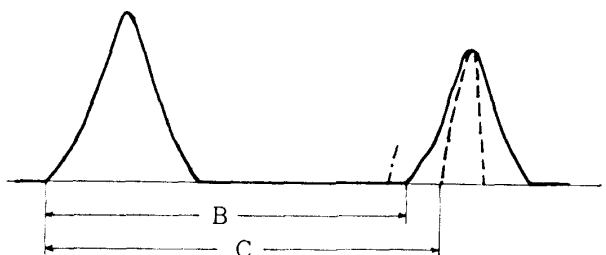


図9 テクスチャープロファイル法の[弾力性]

表3 計算による弾力性の求め方

算出基礎値	記号および計算式	実施例	備考
◇実験条件から			
咀しゃく速度(毎分咀しゃく回数)	N (min <sup>-1</sup> )	6/min	
ストローク (プランジャー上下動行程)	St. (mm)	20mm	
クリアランス	Cl (mm)	1.5mm	
稀 積 率	Att.	× 1/2,	ほかに× 1 × 1/6
記録紙送り速度	Ch. Sp (mm/min)	600mm/min	
◇予め求めておくもの			
曲線の高度と試料台の変位の関係	H-δ d iagram	(図16(a) H, δ)	注*
◇咀しゃく曲線より求めるもの			
プランジャー最下点時期の山の高さ	H <sub>L</sub> (測定機単位)		
図上の咀しゃく間隔	l=(Ch. Sp)/N	100mm	
プランジャー最下点から山の立上りまでの距離	a <sub>1</sub> , a <sub>2</sub> (mm)	a <sub>1</sub> =23.0mm a <sub>2</sub> =18.5mm	
プランジャー最下点から山が基準に戻るまでの距離	b (mm)	17.2mm	
◇グラフより求めるもの			
プランジャー最下点の試料台の変位	H <sub>L</sub> に対応するδ	0.05mm	図16(a)より
◇計算によって求めるもの			
a <sub>1</sub> , a <sub>2</sub> に相当する回転角	$\theta_1 = 90^\circ \times (1 - \frac{a_1}{l/4})$	$\theta_1 = 7.2^\circ$ $\theta_2 = 23.4^\circ$ $\theta'_1, \theta'_2 = 0^\circ$	$\theta'_1$ は $a_1 > b/4$ のときのみ他は $\theta'_1 = 0$
bに相当する回転角	$\theta_b = 90^\circ \times (1 - \frac{b}{l/4})$	28.08°	
咀しゃく曲線の立上り時の試料高	$h_1 = \frac{St}{2} \times \left\{ \sin \theta'_1 + (1 - \sin \theta_1) \right\} + Cl$ (mm)	h <sub>1</sub> =10.25mm h <sub>2</sub> =7.53mm	
咀しゃく曲線が基準に戻った時の試料高	$h_b = \frac{St}{2} \times (1 - \sin \theta_b)$ (mm)	6.79mm	
プランジャー最下点時期の試料高	h' = Cl + δ (mm)	1.55mm	
試料の変形高	Δh = h <sub>1</sub> - h' (mm)	8.70mm	
2回目そしっくまでの回復高	Δh <sub>r</sub> = h <sub>2</sub> - h' (mm)	5.98mm	
咀しゃく曲線が基準に戻るまでの回復高	Δh <sub>br</sub> = h <sub>b</sub> - h' (mm)	5.24mm	
非弾力性と仮定した時の2回目の立上り点のプランジャー最下点からの回転角と距離	$\theta_d = \cos^{-1}(1 - \frac{\sigma}{St/2})^\circ$ d = l/4 × (θ <sub>d</sub> /90)	5.732° 1.59mm	注**

注\* 試料台に力を加え、その時の記録紙上の基準線からの高さHとダイヤルゲージで測定した試料台の変位 δ との関係をも、各種積率毎に求めグラフに画く。

注\*\* 図は説明用のため d は実際より大きく画かれている。

弾力性 : Δh<sub>r</sub>/Δh = 0.687, 瞬間弾力性 : Δh<sub>br</sub>/Δh = 0.602

参 考 : a<sup>2</sup>/a<sup>1</sup> = 0.790    b'/a<sup>1</sup> = 0.729

ただし a<sup>1</sup> = a<sub>1</sub> - d = 21.41, a<sup>2</sup> = a<sub>2</sub> - d = 16.91, b' = b - d = 15.61



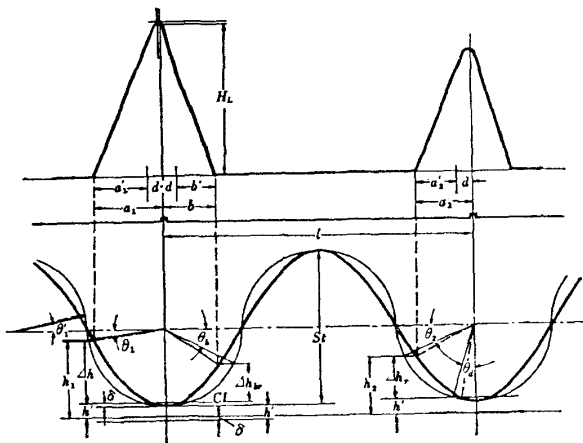


図10 弾力性の計算解法

しておくと図11(a)と併用して  $a_1, b$  などが分ればディバイダなどを使って簡単に弾力性を求めることができる。(図11(b)はクリアランスが 1.5mm 用につくられている) 図11(b)の  $a_1, b$  (mm) に測定した  $a_1, b$  ととり、0の縦軸に平行線とプランジャー運動曲線との交点が  $h_1, h_2$  の試料の高さになる。一方  $h'$  はクリアランスに  $\sigma$  (図11, a の10倍したグラフより図上で求める) を加えればよいので、これより  $\Delta h, \Delta h_r, \Delta h_{br}$  などは簡単に求められこれより弾力性が計算できる。簡易法として  $a'_2/a'_1$  を求める方法があるが、試料によっては正確に求めたものとかなり差がでる。図12のよ

うな咀しゃく曲線例からこの方法で求めた〔弾力性〕は表4のようで、Szczesniak らのテクスチャープロファイルの法での〔弾力性〕や、第1の山が基準線にもどった位置から算出した〔瞬間弾力性〕としての  $\Delta h_{br}/\Delta h$  の値も付記する。プランジャー最下点の分からぬ一般の咀しゃく測定機ではこのような方法とはれないが試料高を完全に正確にとればそれよりプランジャー最下点を求め、この方法で弾力性を求めることも可能である。

要するに咀しゃく形測定機による従来の〔弾力性〕の求め方は改善する必要がある。ここでもプランジャー最下点指示の必要性が痛感される。

### 3 〔凝集性〕

凝集性は“食品を形づくっている内部結合力”と定義されている。テクスチャープロファイル法では図13(a)のように第2の山の面積  $A_2$  を第1の山の面積  $A_1$  で割って求める。この場合  $A_1, A_2$  などはプランジャーが下降中、上昇中を含めて測っていることになるがプランジャー上昇中の面積まで入れるのは問題で、やはり同図(b)のようにプランジャーが下降して試料を押し込み始めてからプランジャーが最下点に達するまでの面積に基づいた面積比を計算すべきであり、これもプランジャーの最下点がわかれば容易に求められる。図12について求めた両方法による凝集性は表5のようで

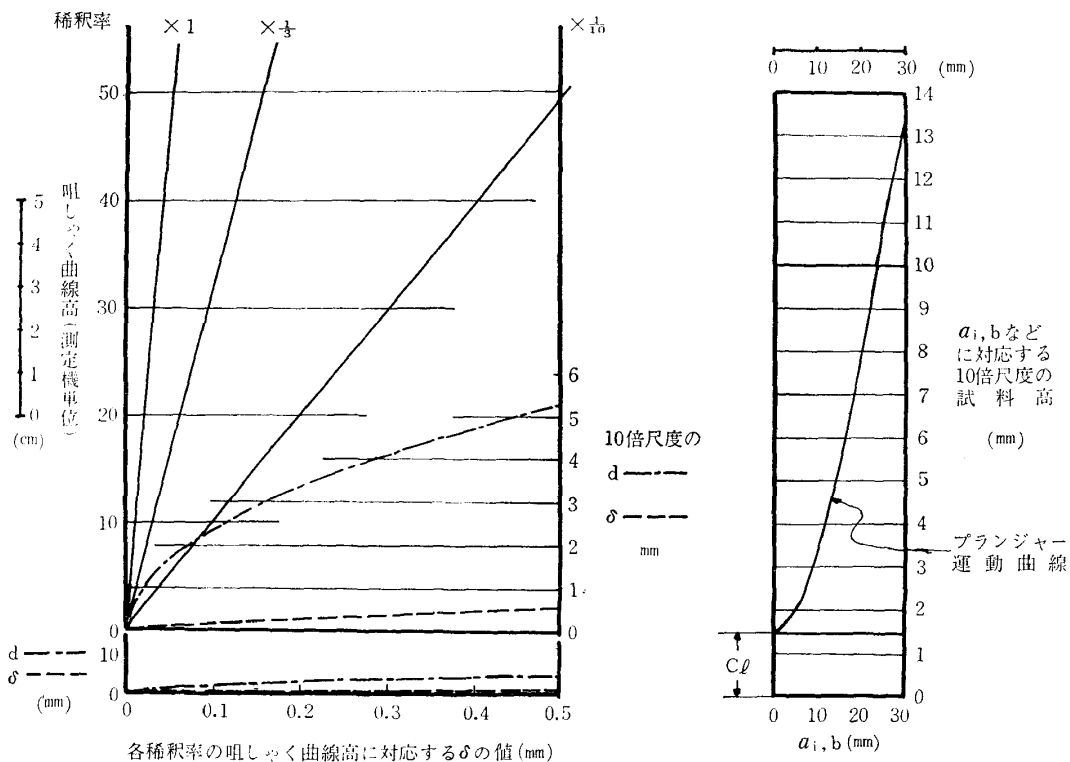
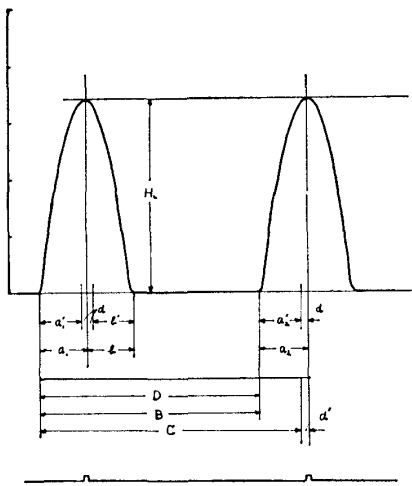
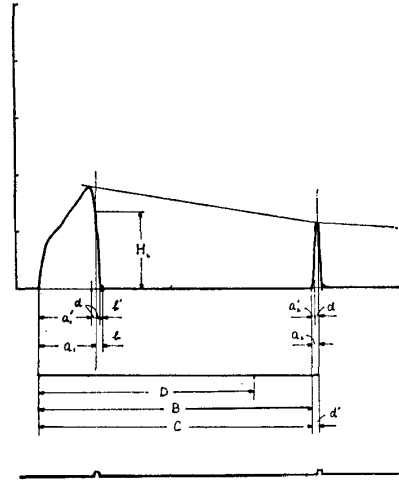


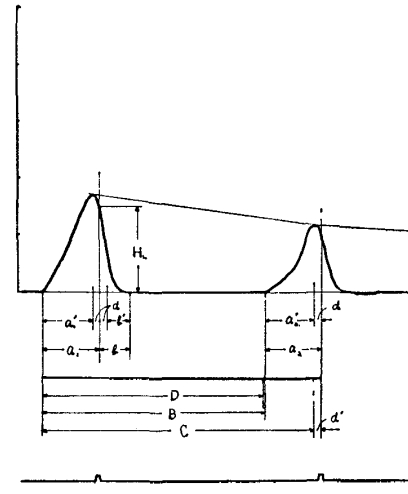
図11 弾力性の図式解法



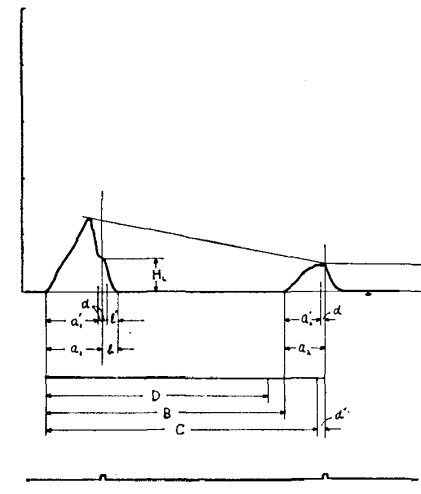
スプリング : Cl 9.0, Att×1



粘 : Cl 1.5, Att×1/2

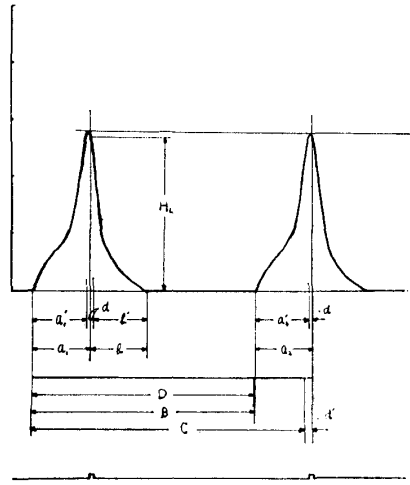


かまぼこ 1 : Cl 1.5, Att×1/2

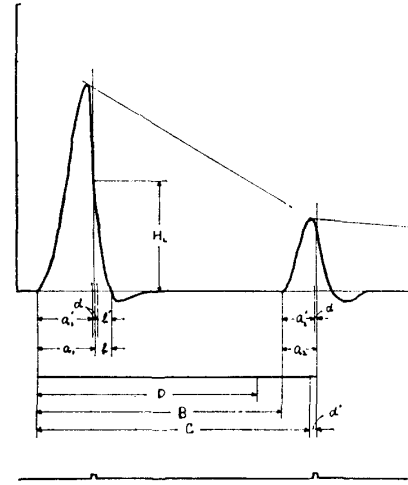


かまぼこ 2 : Cl 1.5, Att×1/2

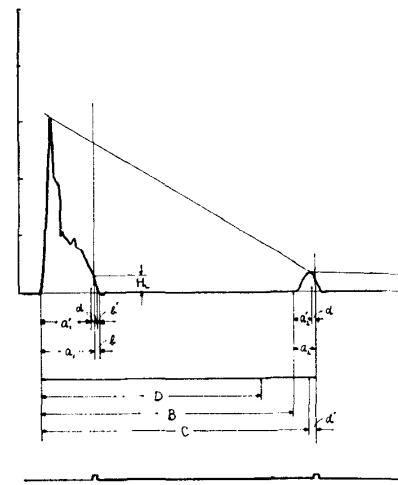
図12 咀嚼曲線例



スポンジ : Cl 1.5, Att×1



ゼラチンゲル : Cl 1.5, Att×1



寒天ゲル : Cl 1.5, Att×1

表4 弾 力 性 測 定 例

試 料	曲線の型	〔弾 力 性〕					
		C-B (mm)	(C-B)/(C-D) (%)	$\Delta h_r/\Delta h$ (%)	$a'_2/a'_1$ (%)	$\Delta h_{br}/\Delta h$ (%)	$h'/a'$ (%)
スプリング	①	18.3*	100	100	100	100	100
粘 土	④	0.0	0.0	1.2	5.8	0.6	4.6
スポンジ	②	22.6	97.84	97.95	96.92	97.98	97.18
かまぼこ 1	③	22.3	96.5	96.0	31.2	96.6	45.3
ゼラチンゲル	③	12.6	55.5	42.2	59.1	9.1	15.8
かまぼこ 2	⑤	14.8	66.7	55.0	68.4	7.9	8.5
寒 天	⑤	6.8	32.7	17.9	0.6	37.8	3.6

\* クリアランスが他と異なるので他のC-Bと比較はできない。

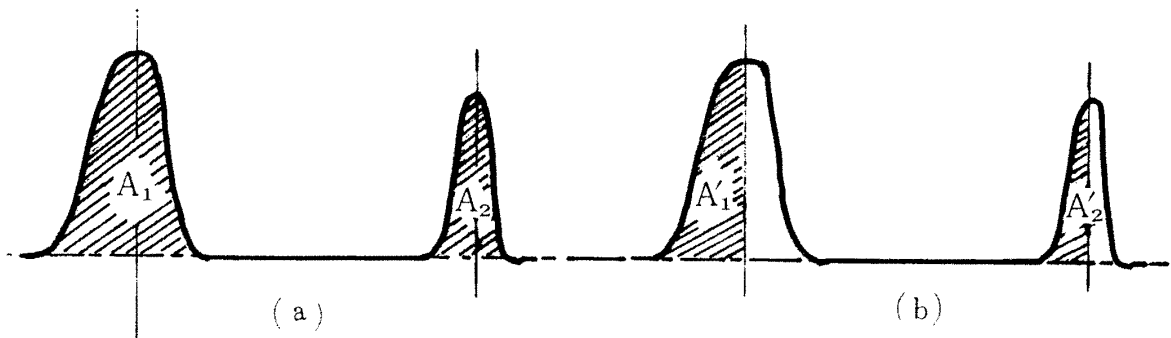


図13 凝 集 性

ある。なおテクスチロメーターでは第1の山の面積を侵透力としているが、力は山の高さに対応するものであり、面積に対応するのは咀嚼のための仕事量またはエネルギーとするのがよい。これもやはりプランジャー最下点までにすべきである。

4 〔付 着 性〕

付着性は“食品表面とそれに接している他の物を引

表5 凝 集 性 例

試 料	$A_2/A_1$	$A'_2/A'_1$	$\frac{A'_2/A'_1}{A_2/A_1}$ (%)
スプリング	1.00	1.00	1.00
粘 土	0.107	0.087	81.3
スポンジ	0.966	0.966	100
かまぼこ 1	0.599	0.605	107
ゼラチンゲル	0.285	0.256	89.8
かまぼこ 2	0.345	0.285	82.6
寒 天ゲル	0.049	0.039	79.6

き放すのに必要な力”と定義され、〔付着性〕は図14のように一般に咀嚼曲線の第1回目の咀嚼後の基準線下の面積を電圧で割ったものであらわしている。したがって〔付着性〕は引き放す力に対応するのではなくその仕事に対応する。 $H_1$ は引き放す力に対応するが、これが大きいためには付着力・凝集力（特性値としての〔凝集性〕ではない。）が共に大きいことが必要である。Eはこれらの力で引張っている時間を示すが、Eの大きいものはある程度伸び易いことを示している。〔付着性〕や $H_1$ やEはプランジャーの動きが時間的にサインカーブに近似であることを考えると、引張り試験のようなはっきりした意義をもたないが、一応それらの比較の目安として利用することは可能である。

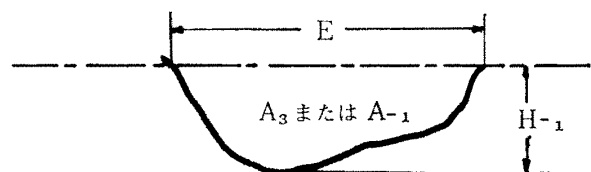


図14 付 着 性

### 5 [もろさ]

もろさは“食品を破壊するときの力で硬さと凝集性に関するもの”と定義している。咀嚼曲線から特性値を求める場合 Szczesniak らのテクスチャープロフィール法では“Brittleness は”1回目の咀嚼のときに多峰形として現われ、山の中で最初はっきりした破壊の高さ(谷の深さ)で性格づけられる”としている。これでいくと図15(a), (b)の  $F_a$  が相当するが、定義からいけば  $F_b$  の方がふさわしい。テクスチュロメーターの英文パンフレットでは Fracturability と称して  $F_a$  を採用し、その和文パンフレットやレオメーターの使用説明書なども  $F_a$  に相当するものが示されている。しかし後には Szczesniak<sup>22)</sup> も徐々に Crispness として  $F_b$  を採用している。

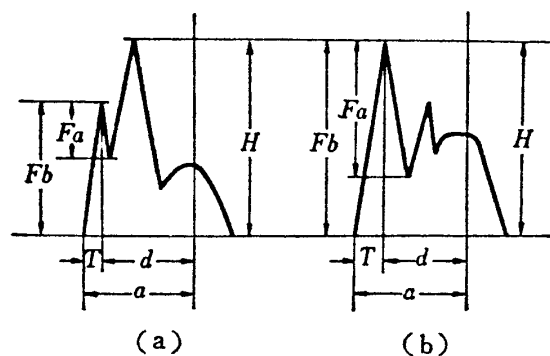


図15 もろさの求め方

$F_a$  と  $F_b$  とは全く異質のものであるが、 $F_a$  にしても  $F_b$  にしても食品のテクスチャーを判定するには必要な特性値であり、 $F_a$  は破碎した時のつぶれ方を表わし、 $F_b$  は破碎に要する力を表わしているの、目的に応じゆ適合する[もろさ]を求める必要があろう。

### 6 その他

プランジャーの最下点位置のわかる咀嚼形測定機を用いると、第1の山の最高点は、脆性破壊する試料の場合は勿論プランジャー最下点時期に先行するが、その他の試料の場合でも殆んど最下点時期より僅かに先行する。咀嚼形測定機では、プランジャーの最下点附近のプランジャーの上下の移動速度は極めて小さくなるので、応力緩和的な要素が影響しているものと考えられる。筆者はこの点についてもしらべ、ある程度これを裏づける結果を得たものの、完全な相関を得るには到らなかった<sup>23)</sup>。この点については更に検討が必要であるように思われる。

咀嚼曲線は、どこを取ってもそのおのおのの時期における試料が試料台に及ぼす力を表わしている。したがって、以上述べたような特性値だけでなく、そ

の曲線全体が試料の物性を微妙に現わしている。これは一つの特性値で表わすことはできないが、それらも参考にすればよりよいテクスチャーの判定が行なうことができる。

## VII ま と め

以上、食品のテクスチャー測定によく利用される咀嚼形測定機における咀嚼曲線の成因と、その一般的な解法について述べ、更に咀嚼曲線からテクスチャー特性値を求める場合の問題点を取り上げた。これらの機器を用いた測定では、一般に咀嚼曲線から特性値を求めてテクスチャーを表現する方法が行なわれているが、特性値の求め方には問題点が多い。したがって、単に漫然と特性値を算出するのではなく、その意義を理解して求める必要があり、特に間違っている特性値の求め方は早急に改める必要がある。また特性値が同じように算出された2つ以上の試料でも咀嚼曲線を比べると異なることがある。これはやはりそれらの試料のテクスチャーを示す物性が異なっているからである。

ある測定機のある条件で求めた特性値は、その機器のその条件における特性値であって、他の機器や他の条件で測定すれば、また異なった値を示す。それ故データには測定機機器や条件の明記を要し、各種の試料を比較する場合、同一機器で測定条件を一定にして行なうことが大切である。

テクスチャー測定はレオロジー測定と異なり、求めたものが明確な物理量を表わすことは殆んどない。テクスチャー測定では感覚量との対応が問題になるので、それはそれとして意義はあるが、だからといって定義と異なった特性値を求めることは許されない。要は咀嚼曲線の成因をよく考えて、より有意な特性値を求めるよう心掛けるべきである。

## 文 献

- 1) 岡部 巍：食品の物性第1集 1975, P79 東京
- 2) S. A. Matz : Food Texture 1962 p5 Avi Publ. Co. Westport.
- 3) B. E. Proctor, S. Davison, G. J. Malleki and A. P. Siedwell : Food Technol., 9 471 (1955)
- 4) H. H. Freidman, J. E. Whitney, and A. S. Szczesniak : J. Food Sci., 28 (1963)
- 5) 岡部 巍：調理科学, 4 106 (1971)
- 6) 丹羽 栄二, 小長 谷庸夫, 三宅 正人：日農化, 46 295 (1972)

- 7) 岡部巍：調理科学, **4**, 232 (1971)
- 8) 全研：テクスチュロメーター使用説明書
- 9) 飯尾電機：ノオロノメーター使用説明書
- 10) 福島清, 飯尾淑子：調理科学 **1**, 210 (1968)
- 11) 山野善正, 高川美智子, 福井義明：食品工誌 **19**, 280 (1972)
- 12) 岡部元雄：食品工業, **13**, (18), 37 (1970)
- 13) 辻昭二郎：日家政, **27**, 245 (1976)
- 14) 辻昭二郎：日家政関西第42回研究発表会要旨 (1974)
- 15) A. S. Szczesniak, M. A. Brandt and H. H. Freidman : J. Food Sci, **28**, 397 (1963)
- 16) 中坊由美子：昭和49年度京女大食物卒業研究論文
- 17) P. Sherman : J. Food Sci., **34**, 458 (1969)
- 18) A. S. Szczesniak and M. C. Bourne : J. Texture Studies, **1**, 52 (1969) など
- 19) 岡部巍：第1回調理科学研究会近畿支部研究発表会要旨 (1974)
- 20) 飯尾尚子：調理科学, **2**, 14 (1969)
- 21) 岡部巍：日家政第26回総会要旨 (1974)
- 22) A. S. Szczesniak and B. J. Smith : J. Texture Studies **1**, 65 (1969)
- 23) 岡部巍：日家政第28回総回要旨 (1976)