

食品のテクスチャーの測定に関する研究 (第6報)

クリアランスの変化が硬さの測定値に及ぼす影響について

岡 部 巍*

Studies on the Measurements of food Texture (Part 6)

On the effects of the Variation in Clearance about Hardness Value

Takashi Okabe

I. ま え が き

最近、テクスチュロメーターやその他の咀嚼型の測定器による食品のテクスチャーの測定がよく行なわれるようになって来ているが、その中にはそれらの測定器での測定結果から食品の咀嚼感を客観的にあらわそうという目的だけでなく、より拡大した形で利用して食品の品質評価などに役立てようとする試みも見られるようになって来た。¹⁾²⁾³⁾⁴⁾

その中で、福島はかまぼこの足の評価にテクスチュロメーターでクリアランスを0.5cmと0.15cmの2種類に変えて硬さを測定し、その比をとって感応性と名付け、これがよい指標になることを推定しており、戸田⁴⁾らはゲル状食品の測定にクリアランスなどを変えて大変形条件と小変形条件で測定し、弾性体に近い試料では小変形に於ける硬さが比較的小さく、大変形に於ける硬さが大きいことを報告している。

このようにクリアランスを変えて硬さを測定することは食品のテクスチャーの判定に有用であると思われるので、著者は試料をかまぼこやゲル状食品に限らず、種々の食品についてクリアランスを変えて測定し、その時の硬さがどのように変化して行くかをしらべ、その変化の度合が前に著者が報告したそしゃく曲線の型と関係がないかどうかをさぐって見た。

II. 実 験 方 法

II. 1 試 料

試料としてはレオロジー的性質が比較的明らかな粘

土や洗浄用スポンジのほか、寒天ゲルやかまぼこ類など数種の一般食品を用いた。実験に供した試料と図表の中で使用する略号などは Table 1 のようである。

Talle 1 Samples for Test

Sample	Symbol	Note
Clay	Cl	
Sponge, new	Sn	
Sponge, worn-out	Sw	
Agar-gel	Ag	
Gelatin-gel	Ge	
Soybean-curd, congealed	Sc	Boiled
Konnyaku	Ko	Boiled
Kamaboko-1	K-1	Market
Kamaboko-2	K-2	Uwajima
Kamaboko-3	K-3	Bōfu
Kamaboko-4	K-4	Odawara
Apple	Ap	
Banana	Ba	

II. 2 測定装置

測定器は前に報告したプランジャー最下点時期がわかるように改良した自作の咀嚼型の測定器を用いた。⁵⁾

II. 3 測定条件

測定条件は次のように定めた。

試 料 形 状：断面直径16mm、高さ10mmの円柱形

クリアランス：4mm、2.5mm、1.5mmの3種

（以下 Cl-4、Cl-2.5、Cl-1.5と略記）

咀嚼速度：6回/分

* 本学食品加工研究室

ストローク：2 cm

プランジャー：先端直径 2.8mm, 8 mm, 22mmの3種
(以下 pl-2.8φ, pl-8φ, pl-22φ または 2.8φ, 8φ, 22φ と略記)

咀嚼回数：3回

荷重検出器：ストレインゲージを貼った1 mmの黄銅板

希 釈 率：通常 $\times 1$, 検出器のひずみの大きい時は $\times 1/3$, または $\times 1/10$

紙送り速度：180mm/min

Ⅱ. 4 硬さの測定

硬さの測定は Friedman⁶⁾ らのテクスチャープロファイル法に準じ、一回目の咀嚼時の山の高さより求めた。

本実験においては、クリアランスを変えたときの硬さの変化の割合をしらべるのが主目的であり、また検出器も1種しか用いてないので、硬さは記録紙上の山の高さに希釈率の逆数を掛ければ一応事足りるのであるが、検出器を変えた場合でも結果が比較出来るよう、次のような方法で山の高さ Hcm を試料台にかかる荷重に換算して求めた。

Fig 1 のように、試料台兼荷重の検出器をその保持具ごと測定器本体からはずし、これを適当な上皿自動秤上に乗せ、これをブリッジボックスを通じて動ひずみ測定器、記録計に接続し、その重量を測って W_0 とする。次に試料台の中央を先端に丸みのある棒で押えてゆき、その時々重量 W を求め、測定時の荷量に対応する $W - W_0$ と各希釈率での記録紙上の高さとの関

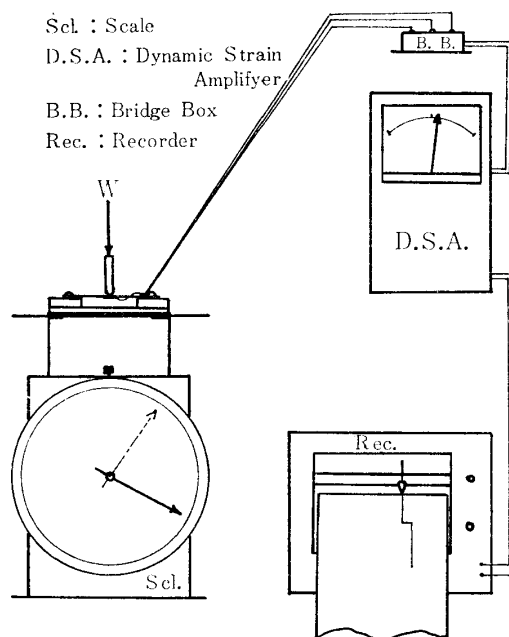


図1 Measurement of Relation between Hand Load

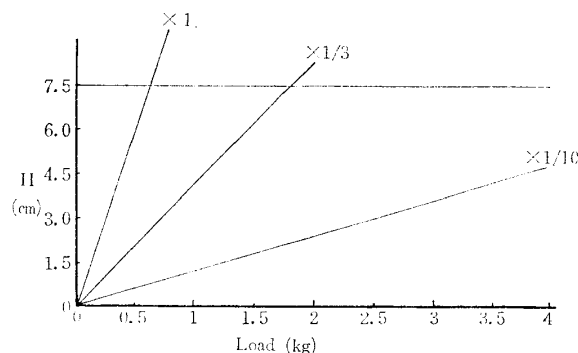


図2 Relation between H and Load

係をしらべる。その結果は Fig 2 のようになり、希釈率も満足出来る範囲にあり、希釈率1/10の中程までは直線性が得られた。

Ⅱ. 5 硬さの比率の算出

各試料をおののの条件で3回ずつ咀嚼し、その第1の山の頂点の高さを荷重に変換して表わし、その条件における硬さとする。Cl-4 の時の硬さ（以後 H_4 と略記）を基準として Cl-2.5, Cl-1.5 のときの硬さ（以後それぞれ $H_{2.5}$, $H_{1.5}$ と略記）をそれぞれ $H_{2.5}/H_4$, $H_{1.5}/H_4$ とする。（一般にクリアランス j のときの硬さに対するクリアランス i のときの硬さを表わすときは H_i/H_j とする）。

Ⅱ. 6 咀嚼曲線のタイプ (T. M. C.) の判定

各試料を3回咀嚼したときの咀嚼曲線より、第4報の方法で次の5つのタイプに分類した。

完全弾性型：以後1型または1と略記

完全回復遅延弾性型：以後2型または2と略記

不完全回復遅延弾性型：以後3型または3と略記

塑性流動型：以後4型または4と略記

脆性破壊型：以後5型または5と略記

本実験では試料に圧縮コイルばねを用いなかったの
で、1型に属するものはなかった。

Ⅲ. 実験結果

各試料を3種のプランジャーでクリアランスを変えて硬さを測定したときの H_4 を基準にした比率や、基準にした H_4 の値を荷重値で表わすと第3図のようになる。

硬さは、各試料ともプランジャーの直径が大きくなる程大きくなるが、その程度は試料によって大分異なる。

硬さの比率は、多くの試料ではクリアランスが小さくなると多少にかかわらず大きくなる傾向にあるが、中には殆んど変らないか、あるいは反対に僅かに小さくなるものもある。大きくなる時はプランジャーが小さい場合はその変化も小さいが、プランジャーが大き

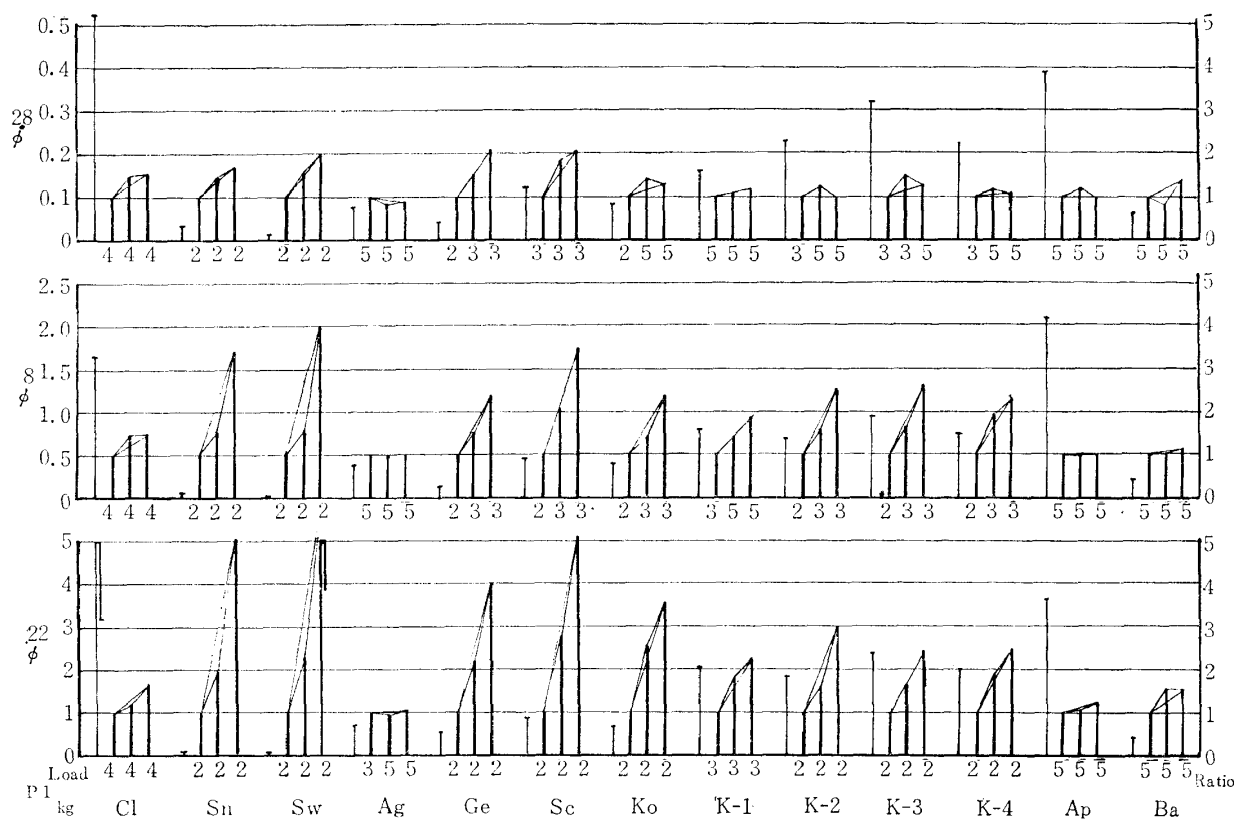


図3 Hardness, Effect of Variation in Clearance

くなるとその変化も大きくなる。しかし、これも試料によって大分異なる。

咀しゃく曲線のタイプはクリアランスを小さく変えていった時変らないこともあるが、変るものでは概ね2型→3型→5型という方向に変る。

概観すると、一般に咀しゃく曲線のタイプの記号の数字が大きいく程、クリアランスを小さくしたときの硬さの増加が少ないように見える。

IV. 考 察

前述のようにクリアランスを小さく変えた場合の硬

さの比率は、咀しゃく曲線のタイプと関連があるように思われるので、先づこの点について考えて見た。

本実験では試料高はすべて10mmとしたので、クリアランスを4, 2.5, 1.5mmにとった場合、試料台の変形を無視すれば試料の最大変形はそれぞれ6, 7.5, 8.5 mmとなる。そこで荷重と変形が常に比例する理想的な弾性体を仮想し、しかも荷重がプランジャの真下の部分に垂直方向のみに作用すると考えれば、 $H_{2.5}/H_4$, $H_{1.5}/H_4$ の理論値はそれぞれ1.25, 1.42となる。しかし一般の試料ではこのような比率になるものは殆んどない。そこで各試料の H_i/H_j が理論値から大よそど

Table 2 Divison of H_i/H_4

Multiples against Theoretical value	$H_{2.5}/H_4$ (1.25*)		$H_{1.5}/H_4$ (1.42*)	
	Symbol	Range	Symbol	Range
<1	a	<1.25	A	<1.42
$\geq 1 \sim <1.20$	b	$\geq 1.25 \sim <1.50$	B	$\geq 1.42 \sim <1.70$
$\geq 1.20 \sim <1.50$	c	$\geq 1.50 \sim <1.88$	C	$\geq 1.70 \sim <2.13$
$\geq 1.50 \sim <2.00$	d	$\geq 1.88 \sim <2.50$	D	$\geq 2.13 \sim <2.84$
$\geq 2.00 \sim <3.00$	e	$\geq 2.50 \sim <3.75$	E	$\geq 2.84 \sim <4.26$
≥ 3.00	f	≥ 3.75	F	≥ 4.26

* Theoretical Value

Table 3 Relation between H_i/H_4 and T.M.C.

Sample	Symbol $H_{1.5}/H_4$	H_i/H_4						T.M.C								
		PI-		8 ϕ		2.8 ϕ		22 ϕ			8 ϕ			2.8 ϕ		
		8 ϕ	CI-					4	2.5	1.5	4	2.5	1.5	4	2.5	1.5
Ag	0.97	a	A	a	A	a	A	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Ap	0.98	a	A	a	A	a	A	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Ba	1.10	c	B	a	A	a	A	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Cl	1.52	b	B	b	B	b	B	4	4	4	4	4	4	4	4	4
K1	1.91	a	D	b	C	a	A	3	3	3	3	5	5	5	5	5
K2	2.33	d	D	d	D	a	A	2	2	2	2	3	3	3	5	5
Ko	2.39	e	E	b	D	b	A	2	2	2	2	3	3	2	5	5
Ge	2.41	d	E	c	D	c	C	2	2	2	2	3	3	2	3	3
K3	2.57	c	E	c	D	b	A	2	2	2	2	3	3	3	5	5
K4	2.68	c	D	c	D	b	A	2	2	2	2	3	3	3	3	5
Sn	3.45	d	F	c	E	b	C	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Sc	3.46	e	F	d	E	a	D	2	2	2	2	3	3	3	3	3
Sw	4.00	d	F	c	E	c	C	2	2	2	2	2	2	2	2	2

の程度はずれているかを見るため、第2表のような基準で分類して見た。

この分類を用いて、各試料の H_i/H_j と咀嚼曲線のタイプの関係を整理すると Table 3 のようになる。試料の配列順序は PI-8 の $H_{1.5}/H_4$ の小さいものから順番にならべた。またこれらの条件に関係のある記号は表中ゴシックで示した。PI-8 は試料の測定に1番よく使うプランジャーであり、CI-1.5 は一般の測定時に標準的に用いるクリアランスである。

このような順序に試料や測定条件を配列すると、 H_i/H_4 の記号は右上方に A や a で示されるものが多く見られ、左下方には E, F や d, e で示されるものが出現してくる。一方咀嚼曲線のタイプの方も、右上方は 5 型で示されるものが多く、左下方には 2 型で示されるものが多い。特にゴシック体で示した記号を見ると、凍どうふの一例を除いては H_i/H_4 の記号と咀嚼曲線のタイプの記号は整然とならんでおり、他の条件で行った結果も概ねこれに近い傾向が見られる。このように H_i/H_4 と咀嚼曲線との間に関係があることは次のような理由によるものであろう。

一般に材料を圧縮して行くとき、多くの材料は次のような段階で変形して行くのが多いと考えられる。

- ① 変形は荷重に比例して進行する。
- ② 変形は荷重の増加により加速度的に増加して行き、遂に荷重を殆んど増加しなくても変形が進行して行くようになる。
- ③ 変形は極度に達し、材料は破壊に到る。

①は弾性変形の領域で、荷重を除けば変形は完全に

元の状態に戻る。上の分類では時間のファクターが入っていないが、これには変形やその回復が瞬間的に起るものと、時間的に遅れて来るものがある。②は弾性変形に漸時塑性流動が混入し、終に塑性流動だけになる。この領域での変形は漸時元に戻りにくくなり、終にこの部分の変形は全然元に戻らなくなる。③は脆性破壊点である。

材料がどの程度の変形でどの領域に入るかは材料の種類によって異なり、大きな変形でも①の領域にあるものもあれば、極く僅かの変形でも③の領域に入り破壊してしまうものもある。各領域の割合もまた材料によって異なる。

咀嚼曲線が 1 型や 2 型の試料はその測定条件までは①の領域のものであり、3 型のものはその測定条件で②の領域に入っているものである。また理想的な 4 型の試料は変形の初めから②の終局部の領域に入っているもので、5 型のものはその測定条件で既に③の領域に入ってしまったものである。

このように荷重と変形の関係が進むとすれば、荷重が増加した時の変形の進行は①の領域で 1 番多く、②の前期、②の後期になるに随い少くなり、③に達すれば変化がないことになる。したがってクリアランスを小さく変えていったとき、その後の咀嚼曲線も 2 型のままであれば硬さの増加率は最も大きく、その前の咀嚼曲線の型が既に 5 型の場合は全く増加しないことになる。

しかし、実際の食品はこのルールから若干はずれるものや、咀嚼曲線の型が同じでも H_i/H_j が相当

異なるものもある。この原因は荷重と変形の関係が前述の経過からはずれるものや、破壊後の二次的な組織が原因であると考えられる。例えばスポンジや凍豆腐は初期の変形が主として包蔵する空気や水分の排除によって行なわれるので、この間の硬さの増加は緩徐であるが、それらの排除後は材料を形成している実質の圧縮となり、硬さは飛躍的に増加する。このことはプランジャー径の大きい PI-22φ で特に顕著に見られる。バナナも各測定条件とも全部5型であるのに PI-22φ の H_i/H_4 は1より相当大きい。これはバナナがやわらかく、破壊が緩徐であるために二次的に構成された組織を押える時の硬さが著われたものである。

このように一般に H_i/H_j はその材料のもつレオロジカルな性質に密接な関係を有しており、したがって当然その試料の咀しゃく曲線の型とも関連がある。したがって H_i/H_j は材料のレオロジカルな性質を判定する一つのパラメーターとして有効であるが、 H_i/H_j には種々の原因が交絡して来るので、これのみで材料の機械的特性を云々することは無理である。

V. 要 約

咀しゃく型の測定器でいろいろな食品をクリアランスを変えて硬さを測定したとき、硬さがどのように変化して行くか、更にそれが先に著者が分類したそしゃく曲線の型に関係があるかどうかをしらべた。その結果次のようなことが分った。

- 1) クリアランスを小さく変えたときの試料の硬さの変化の割合は試料毎に異なるが、それは試料のもつ

レオロジ的な性質に関係する。

- 2) クリアランスを変えたときの硬さの変化の割合と咀しゃく曲線の型の間には密接な関係がある。
- 3) クリアランスを小さく変えたときの硬さの変化の割合は、クリアランスを小さくとした測定条件のそしゃく曲線の型が完全回復型の遅延弾性であれば大きく現われ、クリアランスの大きい方の測定条件に於けるそしゃく曲線の型が脆性破壊型であれば殆んど変化しない。
- 4) クリアランスを変える前後の測定条件に於けるそしゃく曲線の型が不完全回復型や塑性流動型であるときは、硬さの変化の割合は3)の中間にあり、漸時小さくなる。
- 5) クリアランスを変えた時の硬さの変化はいろいろの条件が交絡してくるので、これのみで材料の機械的な特性を評価することには無理がある。

参 考 文 献

- 1) 福島 清：食品工業，11，No.16，37（1968）
- 2) 岡部元雄：食品工業，13，No.18，37（1970）
- 3) 山野善生，高川美智子，福井義明：食品工誌，19，280（1972）
- 4) 戸田 準，和田武夫，藤沢邦子：日農化 47，95（1973）
- 5) 岡部 巍：調理科学，4，232（1971）
- 6) H. H. Friedman *et al.*：J. Food Sci.，28，390（1963）