

豆腐の堅さ簡易測定法の提案*

伊藤 良仁**

豆腐の品質管理における重要な項目の一つに「堅さ」がある。これまでの評価（数値化）方法は、高価な物性測定装置を用いるものがほとんどであった。そこで、安価なプッシュプルゲージを利用し、製造現場でも気軽に測定できる手法を考案した。

キーワード：豆腐、堅さ測定

Easy Measurement Method of “Tofu” Hardness

ITO Yoshihito

“Hardness” is one of important parameters to determine the quality of tofu-gel. Usually measurements of the hardness were carried out using a costly machine Texturometer. In this paper, the author proposes an easy method using inexpensive push-pull gauge.

key words : *tofu*, hardness, measurement

1 緒 言

盛岡市が消費量日本一となるなど、岩手県民の豆腐への関心度は高く、原料となる大豆の育種なども自治体を中心となって進められている。一方、豆腐加工業者においては、年々厳しくなる消費者やバイヤーの要求に応えるため、新製品の開発とともに、品質管理が重要度を増している。

豆腐における品質管理のための評価は、納豆の場合¹⁾のように共通手法が提唱されておらず、学術研究の場合でもメーカーの場合でも各者様々な方法^{2~5)}で行われているのが現状である。豆腐の品質に大きな影響を与えるのが風味と物性（堅さ）である。風味については、糖成分などの分析を行う場合もあるが、通常、官能検査によって評価することが多い。一方、物性については、官能検査とともにテクスチャーメーターによる測定を行い数値化する場合がある。サンプルをステージに乗せれば後は自動で測定を行う装置が数社から販売されており、試験研究機関や大手企業で導入されている。しかし、中小企業では、要望は高いものの高価格のため採用しているところは非常に少ない。また、測定値として採用されているのは官能評価と相関が高い「破断強度(最大応力)」⁵⁾であり、連続測定されている2次元のチャートは利用されない例がほとんどである。

そこで、入手するデータを最大応力だけに絞り込めば、より安価な製造現場でも気軽に測定（数値化）できるシステムの構築が可能ではないかと考えた。本報では、工業部品などの強度測定に使われているプッシュ・プルゲージ（デジタルフォースゲージ）を転用した豆腐の簡易堅さ測定法を考案したので報告する。

2 実験方法および結果

2-1 使用機材

測定器本体には、経済性と測定範囲および分解能から汎用型デジタルフォースゲージ：FGC-0.2B（日本電産シンポ(株)）（写真1）を選択した。最大測定値は200g、分解能0.1gである。計測アダプタ（プランジヤー）には付属部品として提供される延長棒(L:92)および出張り形状用（山形70°）（同社）（写真2）を設定した。通常、テクスチャーメーターによる測定では径の大きい（10～20mm）の円筒形プランジヤーを用いるが、今回は経済性を優先し、付属品から選ぶこととした。また、「歯で噛む」ことを想定した設定でもある。



写真1 デジタルフォースゲージ



写真2 計測アダプタ

測定器を固定し上下動を行うためのスタンドに、手動式簡易試験スタンド（レバー式）：FGS-50L（同社）を、さらに、クリアランスを調整するためジャッキ、ステンレストレー（汎用品）を加え、測定装置一式とした。テクスチャーメーターと比較して1/20～1/10の価格で購入することができる。

* 基盤的・先導的技術研究開発事業

** 食品技術部（現 食品醸造技術部）

2-2 手動誤差の確認

今回設定を試みた測定システムの中で、最も誤差を生み出す可能性があるものは「手動によるストローク」である。そこで、実際に豆腐測定する前に、シリコセン C-55 (信越ポリマー (株)) をダミーとして用い、100g 程度の最大応力になるよう設定し、誤差を測定した。

500 回の測定結果、測定値平均 104.7g で標準偏差が 0.901、変動係数は 0.0086 であり、100 回の測定中 99 回は $\pm 2g$ 以内に収まる精度であった。

2-3 測定サンプルのセットを含む測定条件

通常、テクスチャーメーターでは、サンプルの形状を円筒形とし、それよりも小さい径の円筒状プランジャーを用いて測定^{2)~5)}する。その場合、数値が小さいサンプルが「柔らかいため貫入した」のか、「脆いため割れた」のかを 2 次元チャートで判断する。

今回設定したシステムでは、得られるデータが最大応力のみであるため、この点の判断ができない。そこで、プラスチックセル (内径 30・高さ 45mm の円筒、底に空気穴 (市販フィルムケース転用)) で打ち抜くことにより充填し、そのまま測定に供する方法を採用した。従って、「割れ」を防ぐことにより、「割れやすさ」の評価はできなくなるが、「柔らかさ (堅さ)」を指標として多種類の豆腐を同じ尺度 (条件) で比較できると考えられる。



写真3 サンプルの充填

測定条件は、ストローク : 50mm、貫入速度 : 50mm/1sec (手動)、貫入長 : 30mm、試料 : プラスチックセルに充填 (1 丁につき 5 点調製)、測定温度 : 外気温 = 室温、試料温度 = 4~10℃と設定した。(写真 4)

ストローク長は、スタンドの設定 (固定) に依存する。貫入速度は、手動でレバーを下げる際にブレが少なく、また、歯で噛む状況に近い 1 ストローク 1 秒とした。測定サンプルは、前述の通り、プラスチックセルで打ち抜くことにより調製する。堅さにバラツキが大きい木綿豆腐に対応するため、中央と四角の計 5 点をサンプリングする。必要数のセルを準備しておけば、多数の豆腐からサンプリングし、後でまとめて測定することも可能である。注意点としては、木綿豆腐の場合、通常、表面が最も堅いため、評価する目的によって、サンプル調製の際にセル上面に豆腐の表面を設置するか、削除して内部分を測定するかを予め決めておく必要がある。また、製品

によっては、セルの高さ (45mm) よりも薄いものがある。この場合は、打ち抜いた後、セル底面にサンプルが接触するように、優しく押し込み、ジャッキで台の高さを調整することにより貫入長 30mm を順守する。



写真4 測定装置全景

2-4 市販豆腐の測定

設定したシステムで複数の市販豆腐を測定した結果を表 1 と表 2 に示した。絹ごし豆腐、木綿豆腐のそれぞれ、4 メーカー (銘柄) を入手し、一部は製造日が異なる同じ製品も測定した (セルへの充填は豆腐表面部分を含めた)。

絹ごし豆腐の測定値は、各銘柄平均で 43.6g~66.8g であり、この数値範囲は、2-2 で求めた測定誤差よりも十分に大きいものであった。また、標準偏差は 2.1~3.0、標準偏差を平均値で割った変動係数は 0.039~0.056 であった。両方の値共に測定数 n (最低 5、最高 50) とは相関が無かった。

木綿豆腐の測定値は、各銘柄平均で 82.1g~121.6g であり (E 社 292.7g は、いわゆる岩豆腐であり、通常の木綿豆腐とは商品的に異なる)、絹ごし豆腐と同様に、数値範囲は、測定誤差よりも十分に大きいものであった。また、標準偏差は 10.5~17.0 (E 社を除く)、変動係数は 0.117~0.147 (E 社を除く) であった。両方の値共に測定数 n (最低 5、最高 60) とは相関が無かったが、絹ごしに比べ一丁の中でのバラツキも大きいため、実際に評価する場合には測定数値の平均だけではなく標準偏差も重要な項目となる。

得られた測定値をもとに、豆腐を食べ慣れている職員数名で官能試験を行った結果、絹ごし豆腐でも木綿豆腐でも、測定値がおおむね 20g 以上差がある場合に官能的な差を感じる事が示された。今回は、統計的な処理を行えるほど試験を繰り返していないので、精度に欠ける部分があるが、実測した数値、官能的な閾値、測定誤差それぞれに十分な差があることから、この測定手法は品質管理に活用できるものと思われる。

表 1 市販豆腐測定結果(絹ごし豆腐)

メーカー	A社			B社		C社	D社
測定日	H19.1.10	H19.1.19	H19.1.23	H19.1.10	H19.1.11	H19.1.23	H19.1.23
測定値平均(g)	59.8	43.6	52.6	61.1	66.8	46.7	57.0
標準偏差	2.4	2.4	2.1	2.6	2.9	2.6	3.0
変動係数	0.041	0.056	0.039	0.043	0.044	0.055	0.053
n	5	50	10	20	10	10	10

表 2 市販豆腐測定結果(木綿豆腐)

メーカー	A社			C社	D社		E社
測定日	H19.1.11	H19.1.19	H19.1.23	H19.1.23	H19.1.11	H19.1.23	H19.1.23
測定値平均(g)	121.6	111.0	109.5	84.2	82.1	90.3	292.7
標準偏差	17.0	15.1	15.1	12.4	11.4	10.5	21.4
変動係数	0.140	0.136	0.138	0.147	0.139	0.117	0.073
n	20	60	10	10	5	10	10

3 考 察

豆腐の堅さを安価でかつ現場で気軽に測定できるシステム構築を目的として、プッシュ・プルゲージを転用した簡易測定法を考案した。経済性を優先し、機能を最小限にとどめた装置を採用したため、細かいテクスチャーの解析などには利用できないが、実際に、各種の豆腐を測定した結果、官能試験の感度よりも測定誤差（バラツキ）が小さいことが示され、（官能試験と併用する）品質管理基準の一つとしての可能性を示すことができたものとする。

4 結 言

詳細な官能評価との相関性や、実際に製造現場で使った場合の有効性など、検討しなければならない部分が多いが、将来的に標準手法として採用されることになれば幸いと思っている。今後、製造業の方々との協議を進め、普及に努めたいと考えている。

文 献

- 1) 納豆試験法研究会：納豆試験法，12-13（1990）
- 2) 農産業振興奨励会：先端的技術等収集調査事業「リポキシゲナーゼ欠失大豆の需要開発事業実績報告書」，33-58（1993）
- 3) 中村善行、戸田恭子：平成 16 年度専門技術員専門研修テキスト「豆腐加工適正の評価技術」（2004）
- 4) 川井英雄ら：日食工，37，293-297（1990）
- 5) 三浦芳助、米安実：日食工，28，36-40（1981）