

根菜の面圧分布測定条件の検討

井上 竜一

Examination of Stress Distribution Measurement Conditions for Root Crops

Ryuichi Inoue

Effective food texture control technologies are needed to meet the increasing demand for nursing care and alternative food products. Detailed information, including that on the textures of different food parts, is necessary to develop such technologies. Therefore, we consider to examine the surface stress distribution in different food products. In this article, we describe our findings on the pressure distribution measurement conditions for burdock root and carrot.

Thickness should be uniform in all samples as differences in thickness affect the stress distribution measurements. A microtome blade or similar tool with a sharp thin blade was used to cut the samples. Notably, stress distribution in each part was effectively evaluated, even for food samples with thickness < 5 mm. Thickness was set to 2.5 mm to evaluate the stress distribution in the burdock root microstructures with different textures. It is suggested that comparison of stress distribution in samples with different cutting directions may provide important information on the three-dimensional structure of food.

Key words: Burdock root, carrot, stress distribution, texture

1. 背景・目的

テクスチャーは、食品の美味しさを決める重要な要素の1つである。したがって、古くから好ましいテクスチャーとするための調理方法や品種などが開発されてきた。加工食品においては、加熱による食品の軟化を防ぐことが主に求められていたが、近年は介護食品の需要の高まりを受け、凍結含浸法など舌でつぶすことが可能なレベルまで食品を軟化させる技術も注目されている（坂本ら 2004）。また、SDGs への意識の高まりから、代替食品の需要も高まっており、食感再現のための技術が求められている。このようなテクスチャー制御技術の開発において、食品内のテクスチャーの異なる部位などの詳細なテクスチャー情報を取得することが必要と考えられるが、既存のテクスチャーアナライザーを用いた方法では不十分と考えられた（神山 2023）。

機器分析によるテクスチャーの評価方法として、神山らは面圧分布測定システムを用いた方法について報告しており、食感評価に利用することを提唱している（Kohyamaら 1997）。この方法は、一定の距離で圧力素子が配置されたセンサーの上にサンプルを置き圧縮することで、食品の立体構造や組織構造に起因した圧力分布を測定するものである。本システムを用い、寒天などのゲル、パン、ニンジン、キュウリなどの食感を評価した研究が行われ（Kohyama *et al.* 2003; Dan *et al.* 2004; 中馬ら 2021）、

さらに得られた圧力分布から構造を推定する技術も確立されている（Dan *et al.* 2007）。このように、複雑な食感の評価を目的として面圧分布測定システムを利用した研究について多く報告されている一方で、野菜等の食品内における組織構造に由来するテクスチャーの異なる部位の調査に使用する報告は少ない。このようなデータを蓄積することで、新しい食品の軟化技術や食感の再現技術の開発の一助となると考えている。

本報告では、テクスチャーの異なる部位の調査のため、根菜を対象とした面圧分布の測定条件を検討した結果について述べる。

2. 実験材料および方法

2-1. 実験材料・使用装置

材料は市販のゴボウ、ニンジンを用いた。ゴボウは剥皮後に厚さ 2.5 mm もしくは 5 mm で輪切りしたものを垂直品とした（Fig. 1）。ニンジンは、輪切り後に長辺が直径の 2/3 となるようトリミングし、厚さ 2.5 mm にカットしたものを垂直品とした（Fig. 2）。ゴボウ、ニンジン共に厚さ約 1.5 cm の垂直品を作成し、Fig. 1、Fig. 2 に示すカット部分で切断したものを水平品とした。

面圧測定は面圧分布測定システム HIGH SPEED I-SCAN（ニッタ製）および #5027 センサー（ニッタ製、感圧部面積 27.9 × 27.9 mm、分解能 0.65 mm、最大測

定圧力 34.5 N/cm² を、サンプルの圧縮にはテクスチャーアナライザー TA.XT plusC (Stable Micro Systems 製) を使用した。

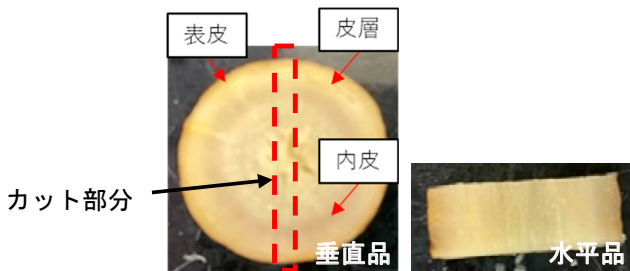


Fig. 1 ゴボウの面圧分布測定用サンプル外観



Fig. 2 ニンジンの面圧分布測定用サンプル外観

2-2. 面圧分布測定条件

テクスチャーの異なる部位を評価するため、固定したセンサーシート上にサンプルを置き (Fig. 3)、全体を圧縮可能なサイズであるφ 30 mmの円盤型プランジャーを用いた。圧縮速度が早い場合サンプルの破断が見られたため、速度 0.1 mm/sec という低速で圧縮した。

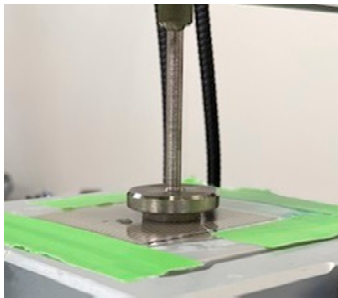


Fig. 3 測定風景

3. 結果と考察

3-1. サンプルの調製

ゴボウの垂直品 (厚さ 5 mm) について圧力分布を測定した結果を Fig. 4 に示す。サンプルが均一な厚みでカットできていないため、圧縮初期に部分的に感圧する部位が存在し、圧縮後期では初期に感圧した部位の圧力が高くなっていった。このことから、面圧分布測定時にはサンプルの厚みを均一にする必要があることがわかった。包丁は刃に厚みがあり、均一な厚さにカットすることが難しいこと

から、切れ味が良く、薄い、マイクローム用の刃を使用した。我々は Feather 製の Microtome Blade N35 を 2 枚使い、ボルトを用いて連結した治具を作成してサンプル調製に使用することとした (Fig. 5)。調製したいサンプルの厚みに応じて刃の間のナットおよびワッシャーの量を調節した。ただし、薄いマイクローム用の刃はたわみ易く、サンプルカット時に刃が押し広げられ、均一な厚みとならない場合があるため、カットする際は注意が必要である。

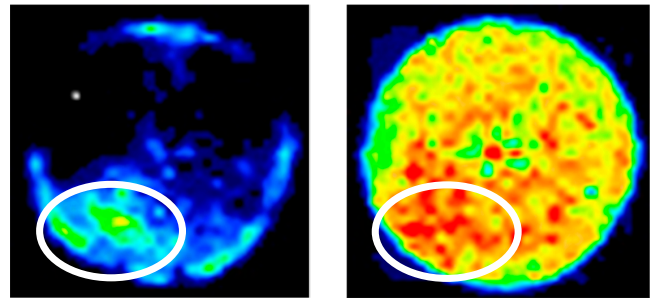


Fig. 4 厚さ不均一なゴボウ (垂直品) の面圧分布
左: 10% 圧縮時 右: 50% 圧縮時

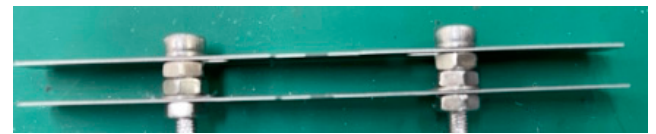


Fig. 5 サンプルカット用治具

3-2. サンプルの厚み

面圧分布測定システムを用いた食感評価の研究では、サンプルの厚みは 10 ~ 40 mm で行われていることが多い (Kohyama *et al.* 2003, Dan *et al.* 2004, 中馬ら 2021)。これは、食感評価を行うため、実際に食べる際の大きさを考慮した上でのサイズと推測される。ただし、厚くなることで様々な組織がサンプルに混在することとなり、それらが圧力に反映されるため部位毎の硬さの違いを評価する上では不適と考えられる。そこで、厚みの薄いサンプルを用いた評価を行った。

センサーの最大測定圧力も考慮し、厚みを 2.5 mm および 5 mm としたゴボウの水平品を圧縮した結果を Fig. 6 に示す。ゴボウは中心部に硬い部位が存在するが、5 mm のサンプルでは 50% 圧縮時と比較した際に中心部の組織の圧力を検知できなかった。50% 以上に圧縮率を高くすることで検知可能にはなるが、サンプルが破断する確率が高くなるため部位毎の圧力の違いを評価する上では好ましくないと考えた。2.5 mm のサンプルでは検知可能であったことから、以後は厚さ 2.5 mm で評価することとした。

このように、硬さの異なる微小な部位が存在する食品を評価する場合は、微小部位のサイズに合わせた厚みのサンプルで評価する必要があると考えられた。

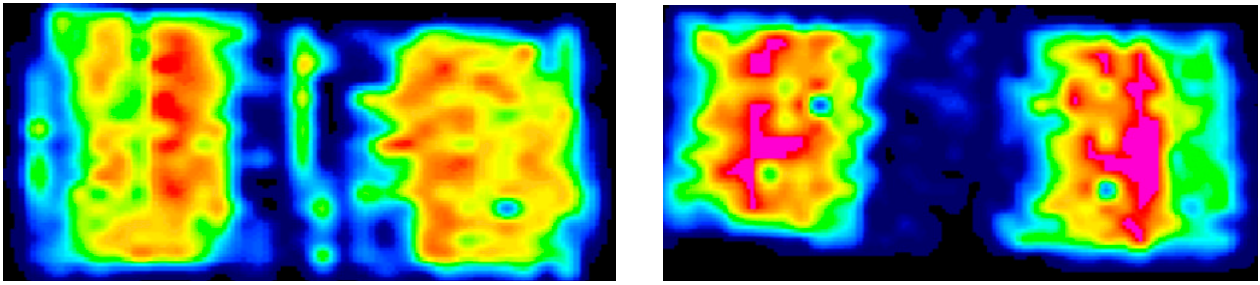


Fig. 6 厚みの異なるゴボウ（水平品）の50%圧縮時の圧力分布
 左：厚さ2.5 mm 右：厚さ5 mm

3-3. サンプルの切断方向

食材中の物性に関する組織構造の配置、繊維の異方性などによって、サンプルを圧縮する方向の違いで圧力分布に差が出るのが推測される。そこで、切断方向を変えた場合の圧力分布の違いを調べた。

Fig. 7 にサンプルの切断方向を変えた場合のゴボウ、ニンジンの圧力分布を示す。

ゴボウの垂直品では、中心付近を除き比較的均一に圧力が分布しており、中心付近も均一ではないものの圧力分布が確認できた。一方、水平品では中心付近にはほぼ圧力分布は見られなかった。中心付近は篩管、道管といった組織が分布する部位であり、筋状の直線的な構造であると推測されることから、圧縮方向の違いで強度に差が出たと考えられる。また、水平品では、内皮付近で圧力が低い直線状の部位（赤矢印部）が見られた。ゴボウは内皮の内外で分離し易く、そのことが圧力分布に現れたと推測される。

ニンジンの垂直品では、ゴボウと異なり中心付近で圧力が高く、内皮付近で低くなっており、水平品では中心付近

や内皮付近も均一に圧力が加わっていた。同じ根菜ではあるが、ゴボウとニンジンでも圧力分布の傾向は異なっており、組織構造が異なることが推測された。

これら結果から、切断方向を変えたサンプルを用いて圧力分布を測定することで、組織の3次元構造の推定の一助となる情報を取得可能であることが示唆された。

4. まとめ

面圧分布測定システムを用いた根菜の部位毎の圧力分布の違いの測定条件について検討した。まず前提としてサンプルは均一な厚みにカットしなければならない。食感を評価する上では、実際に喫食するサイズに近いサンプルサイズを設定する必要があると考えられるが、部位毎の圧力分布を評価する目的であれば5 mm以下の薄いサンプルで評価は可能である。食品内には微小ながら硬さの異なる部位も存在することから、対象食品の組織構造に合わせて厚みを設定することが重要であると考えられた。また、食品

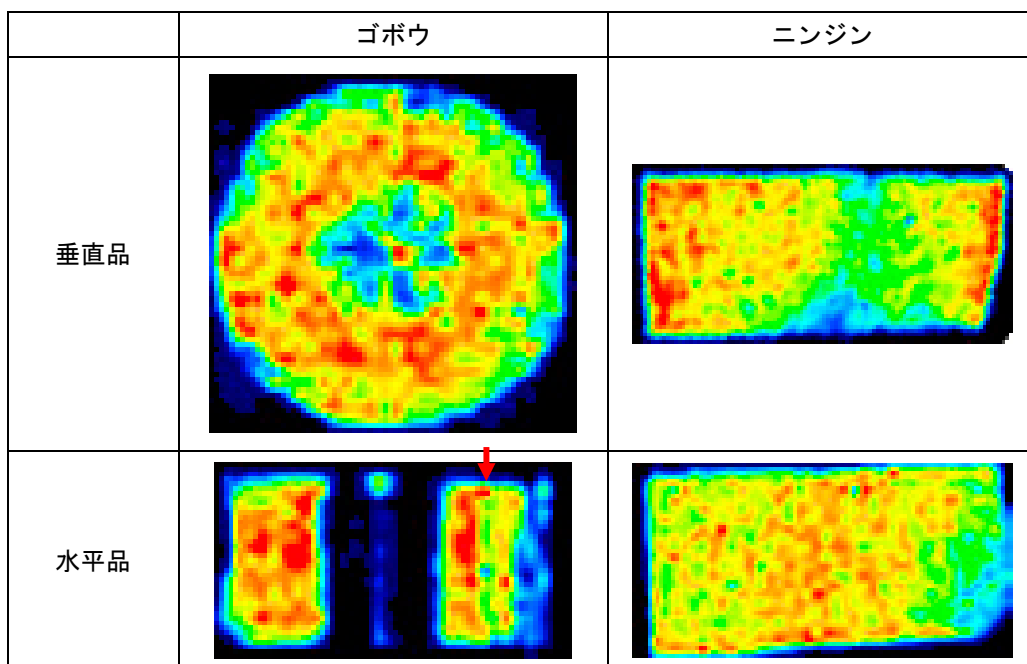


Fig. 7 異なる切断方向でカットした根菜の50%圧縮時の圧力分布

の3次元構造に関わる情報が取得できる可能性があることから、切断方向を変えたサンプルの測定も重要であると考えられた。

食品は加熱されるものも多く、加熱に伴うテクスチャーの変化が起こる。その際、全体が均一に軟化するわけではなく、部位毎に加熱軟化性に違いがあると予想している。今後は、今報告で決定した条件を用いて加熱に伴う圧力分布の変化を測定し、各種根菜における加熱軟化耐性を示す部位の有無を評価する予定である。

5. 参考文献

- Dan, H.; Okuhara, K.; Kohyama, K., 2004, Visualization of planar stress distributions in cucumber cultivars using a multiple-point sheet sensor., *J. Sci. Food Agric.*, **84**(10), p.1091-1096. DOI: 10.1002/jsfa.1788.
- Dan, H.; Azuma, T.; Kohyama, K., 2007, Characterization of spatiotemporal stress distribution during food fracture by image texture analysis methods. , *J. Food Eng.*, **81**(2), p.429-436. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2006.11.021.
- Kohyama, K.; Nishi, M.; Suzuki, T., 1997, Measuring Texture of Crackers with a Multiple-point Sheet Sensor. , *J. Food Sci.*, **62**(5), p.922-925. DOI: 10.1111/j.1365-2621.1997.tb15007.x.
- Kohyama, K.; Sasaki, T.; Dan, H., 2003, Active Stress during Compression Testing of Various Foods Measured Using a Multiple-point Sheet Sensor., *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **67**(7), p.1492-1498. DOI: 10.1271/bbb.67.1492.
- 神山 かおる, 2023, 不均一な食品のテクスチャー評価法に関する研究., *日食工誌*, **24**(4), p.85-91. DOI: 10.11301/jsfe.23634.
- 中馬 誠; 池上 聡; 船見 孝博; 柴田 暁秀; 東森 充, 2021, フィルム式多点圧力センサーを用いたゲル状食品の食感推定., *食科工誌*, **68**(2), p.55-64. DOI: 10.3136/nskkk.68.55.
- 坂本 宏司; 石原 理子; 柴田 賢哉; 井上 敦彦, 2004, 凍結減圧酵素含浸による植物組織の軟化および単細胞化., *食科工誌*, **51**(8), p.395-400. DOI: 10.3136/nskkk.51.395.