

博士學位論文

内容の要旨

及び

審査の結果の要旨

第 11 集

平成 25 年度
(2013 年度)

実践女子大学

は し が き

本篇は、学位規則（昭和28年4月1日文部省令第9号）第8条による公表を目的として、平成26年3月20日日本学において学位を授与した者の、論文内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を収録したものである。

学位記番号に付した甲は、学位規則第4条第1項（いわゆる課程博士）によるものであることを示す。

目 次

課程の修了によるもの（課程博士）

甲第5号 博士(食物栄養学) 佐藤幸子 3

うどんのコシのレオロジー

課程の修了によるもの
(課程博士)

氏名（本籍）	佐藤 幸子（東京都）
学位の種類	博士（食物栄養学）
学位記番号	甲第 5 号
学位所授与年月日	平成 26 年 3 月 20 日
学位授与の条件	学位規則第 4 条第 1 項 該当
論文題目	うどんのコシのレオロジー
論文審査委員	主査 教授 四 宮 陽 子 副査 教授 田 島 眞 副査 熊 谷 仁（共立女子大学 家政学部 教授）

内容の要旨

緒言

麺類の食味は、小麦に由来する風味も大切であるが、口に入れた時のつるつる感、噛み始めから噛み終わるまでの硬さの不均一性による噛みごたえの変化、また飲み込む時ののどの通りなどの物理的要因が大切である。これらの口中における物理的な性質はうどんに限らず冷麺^{1)~3)}、スパゲッティ⁴⁾⁵⁾などの麺類でも重要である。うどんの美味しさについては三木がまとめている⁶⁾。特にうどんでは、咀嚼過程の噛み始めから噛み終わるまでの食感を「コシ」と表現している。柴田^{7)~9)}はうどんの「コシ」には、かたさの量である硬軟、硬さの質を表わす粘弾性、麺線の中心が硬く表面が軟らかいという硬さの不均一性などを含む、と述べている。

このようにうどんの「コシ」では、麺の粘弾性が重要であり、三木ら¹⁰⁾¹¹⁾はクリープで、渡辺ら¹²⁾、三木ら¹³⁾は応力緩和で測定した。しかし、彼らの測定法は麺線の両端をはさむ引張りによる方法だったので、得られた粘弾性は麺線全体の平均値であった。また、噛む過程の食感を測定するために引張り試験¹⁴⁾¹⁵⁾、破断試験¹⁴⁾⁻¹⁸⁾、テクスチュロメータ¹⁹⁾、曲げ強度¹⁶⁾、などが測定された。新しい方法として咀嚼筋活動量の測定²⁰⁾、多点シートセンサシステム²¹⁾²²⁾、麺の表面状態の測定²³⁾²⁴⁾などもある。しかし、これらの多くの測定では、麺の噛み始めから噛み終わるまでの硬さの不均一性の解明は不十分である。試みとしては四宮¹⁷⁾と三木¹⁸⁾²⁵⁾が破断曲線を使用して、硬さの不均一性について一部述べているが詳細では無い。

一方、小麦デンプンとグルテンの特性とゆで麺のテクスチャーへの影響²⁶⁾、また麺表面から中心へかけてのでんぷんやグルテンの微細構造の不均一性は、麺の調製条件と関係づけて、かなり調べられている¹⁵⁾¹⁸⁾²³⁾²⁷⁾²⁸⁾²⁹⁾。また、麺類や飯粒などのゆでる過程からゆで後にかけて、水分が表面から中心部へ移動する状態は、実体顕微鏡³⁰⁾やMRIで調べられている^{31)~37)}。

以上のように組織学的には、麺表面から中心へかけての微細構造や水分の不均一性は解明されているが、粘弾性の測定が不十分である。理由は、ゆでた麺線1本の表面から中心へかけての粘弾性分布は、時間とともに急速に変化するために、この条件を克服して測定することが困難なためと考えられる。米飯のテクスチャー測定も同様に測定の迅速化や多面化が求められている。米飯物性を迅速に多面的かつ詳細に捉えるために、辻はテンシプレッサーを用いた2点測定法で³⁸⁾、岡留らは圧縮率可変設定可能なテンシプレッサーを用いて、米飯1粒に対して圧縮試験を行った³⁹⁾⁴⁰⁾。そこで我々は、ゆで麺の圧縮によるクリープ測定をモデル化して、麺表面から中心へかけての粘弾性分布を測定することを試みた。

第I部 実験方法

第1章 麺表面から中心部への粘弾性分布測定モデル化

クリープ測定は、粘弾性の構造が変化しない程度の微小変形を与えて行う。麺は水分分布があるため^{30)~37)}、微小変形では麺表面付近の水分の多い部分の測定を行うことになる。しかし、麺の噛みごたえには、麺表面よりその内側の粘弾性の影響が大きいと考えられることから、麺内側のクリープ測定モデル化を次のように考えた。まず、麺表面付近の水分の多い部分は取り除けないため圧縮してつぶす。圧縮によって発生する内部蓄積応力にバランスする荷重を与えつつ、さらに荷重を与えてクリープを測定する。

実際の測定手順としては、図1に示すように、①荷重を与え麺を圧縮する。②歪みが安定したところで歪みを固定し、内部蓄積応力の変化を測定する。③内部蓄積応力とバランスする荷重を与えつつ、さらに荷重をかけてクリープを測定する。④内部蓄積応力とバランスする荷重は残し、加えた荷重のみを除重する。この測定結果を圧縮ポイントの粘弾性とする。圧縮により麺は変形して接触面積が拡大するが、圧縮前の麺の厚さ、幅、長さを測定して体積を算出し、圧縮後の試料の厚さで除して、底面積を算出して校正を行った。このモデル化により、短時間の測定で麺内側の粘弾性が測定可能と考えた。

図 1-1 クリープ測定モデル化

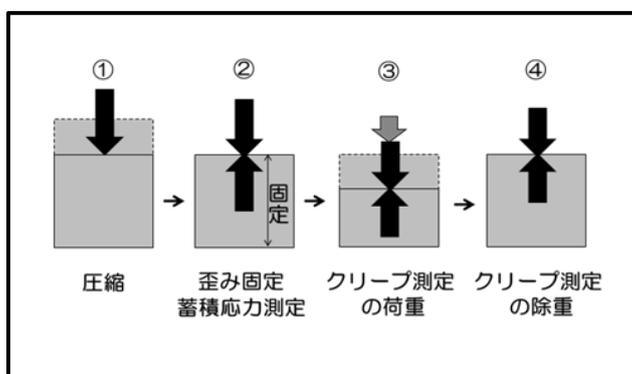


図 1-2 クリープ測定装置



図 1. 圧縮によるクリープ測定モデル化

第2章 試料麺の調製

試料は冷凍ゆで麺（さぬきうどん、テーブルマーク製）、形状は横 5.2 ± 0.2 mm、縦 3.3 ± 0.2 mmの角柱状を用い、目的に応じて以下のように調製した。

(1) 試料A(ゆで直後麺)

冷凍ゆで麺 50g を20の熱湯で75秒間ゆで、水を3回換えて約50秒水洗後、水温 3°C の冷水に90秒間浸漬した。麺表面の水分をろ紙で取り除き、3cmの長さに切った。官能検査の場合は、このまま提供した。麺は膨潤して、横 5.3 ± 0.2 mm、縦 3.9 ± 0.3 mmの角柱状となった。水温は予備実験で嗜好性が増した 3°C に設定した。

(2) 試料B(ゆで後24時間麺)

試料 A と同様に調製した麺を、乾燥を防ぐために 1 本ずつ食品包装用ラップフィルムで包み、プラスチック製容器に入れ、冷蔵庫で 24 時間保蔵した。官能検査の場合は、提供 30 分前に冷蔵庫から出して、室温で提供した。

(3) クリープ測定用試料

試料 A は、麺の乾燥を防ぐと同時に温度コントロールを容易にするために、直径 40 mm ステンレスシャーレにシリコンオイル 3ml を入れた中に 1 本ずつ浸漬した。試料 B は冷蔵庫から出して 30 分経過したものを同様にした。クリープはシリコンオイルに浸漬した状態で測定した。シリコンオイルの量は麺が浮いて動くことを防ぐために、ひたひたに浸漬する量(今回は 3ml)とした。したがって、プランジャーはシリコンオイル内に浸ることはなく、麺表面のオイルに接触する程度である。(図 I-2 参照)

第 3 章 クリープ測定方法

クリープメーター (RE2-33005B(株山電))と解析ソフト(クリープ粘弾性解析 Windows Ver. 1.3(CAS-3305)(株山電))を用い、測定温度は電子恒温システム(ETC-3305-1(株山電))で、設定温度 26°C(麺中心温度 26°C)とした。プランジャー直径 30mm 円筒形、測定時間 120 秒、測定速度 1mm/s、荷重は 0.70~1.00N で、クリープの歪みは平均すると 10~23%であった。図 1-2 に示すように、電子恒温システム上にシリコンオイルに浸漬した試料が入ったシャーレを置き、温度が安定する 10 分後に測定した。麺を圧縮する荷重は、試料 A は 0.80N, 2.00N, 3.92N, 試料 B は 0.80N, 3.00N, 4.70N で、表面から中心にかけて 3 段階の圧縮を行い、クリープモードで歪みを読み取った。歪みを固定して内部蓄積応力の変化を測定する時は、モードを応力測定モードに切り換えた。

第 4 章 官能評価

官能評価は試料 A と B のテクスチャーの違いを言葉で表現するために、テクスチャー用語リスト⁴⁾から選択した 20 語(こしが強い・こしが弱い・弾力がある・弾力がない・粘つきがある・粘つきがない・適度な粘りがある・つるつるする・ざらざらしている・もちもちしている・ポソポソしている・もそもそする・もろい・かたい・やわらかい・噛み切りやすい・噛み切りにくい・かむとぐにゆつとする・均一な噛みごたえ・不均一な噛みごたえ)より、パネルに特徴をあらわす言葉を 5 つ選択してもらった。試料 A と B はそれぞれ別の日に、汁をつけずに麺のみを提供した。

パネルは実践女子大学食生活科学科 3・4 年生および教職員延べ 41 名である。

第 II 部 実験結果

第 1 章 圧縮によるクリープ試験のモデル化の検討

はじめに、クリープ測定のモデル化について試料 A を用いて検討した。図 2 には、試料 A に一定荷重 0.80N(n=15), 2.00N(n=10), 3.92N(n=12)を与えた時の歪率の経時変化の平均値を示す。いずれも 3 秒以内に大きく歪み、その後は緩慢に変化した。したがって、圧縮は一定荷重を与えた初めの数秒でほぼ完了すると考えられる。歪率がほぼ安定した 10 秒後には、荷重 0.80 N の歪率平均は 22%, 荷重 2.00 N の歪率平均は 33%, 荷重 3.92 N の歪率平均は 44%であった。

そこで、次に歪率が安定した 10 秒後で歪みを固定して、圧縮によって発生した内部応力変化を測定して図 3 に示す。測定繰り返し数は、歪率 22% (n=5)、歪率 33% (n=5)、歪率 44% (n=8) である。

図 3 から、内部応力は当初の 0.80N、2.00N、3.92N から徐々に緩和し続けるが、歪率が大きい 44% でも、10 秒後には緩和が落ち着いてくるのがわかった。そこで、歪み固定 10 秒後の内部応力を基準にクリープ測定を行うことにした。それぞれ基準にした内部応力は歪率 22% (0.74N)、歪率 33% (1.87N)、歪率 44% (3.43N) である。

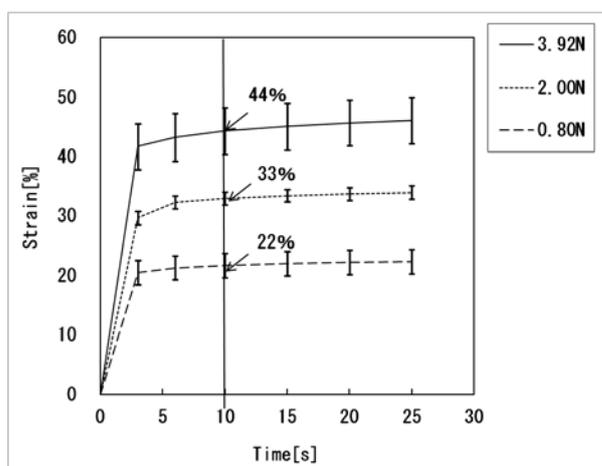


図 2 一定荷重による試料ゆで麺 A の歪率変化
(麺中心温度 26°C)

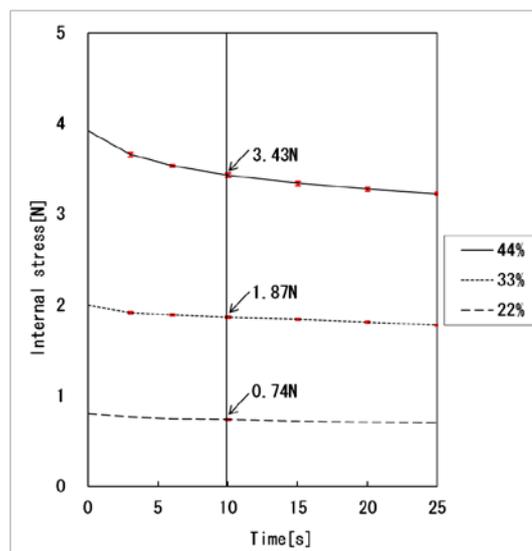


図 3 試料ゆで麺 A の歪み固定後の内部応力変化
(麺中心温度 26°C)

表 1 に試料 A のクリープ測定条件をまとめた。クリープ測定ポイントは、表面の歪率 0% と 3 段階の圧縮による 22%、33%、44% の 4 点である。それぞれ歪み固定 10 秒後の内部応力を基準に、荷重をかけてクリープ測定を行った。今回はクリープの荷重は 4 点ともに 1.00N としたので、表 1 のクリープ測定条件の荷重は、歪み固定 10 秒後の内部応力に 1.00N の荷重を加えた値となっている。

表 1 試料 A のクリープ測定条件

荷重 (N)	圧縮 10 秒後の 歪率 (%)	歪み固定 10 秒後 の内部応力 (N)	クリープ測定条件	
			荷重 (N)	除重後 (N)
0.00	0	0.00	1.00	0.00
0.80	22	0.74	1.74	0.74
2.00	33	1.87	2.87	1.87
3.92	44	3.43	4.43	3.43

図 4 に圧縮による歪率 0% (n=32)、22% (n=48)、33% (n=34)、44% (n=39) におけるクリープ曲線の平均値を示す。いずれの歪率も典型的なクリープ曲線を描いた。歪率 0% すな

わち表面におけるクリープの歪みが他と比較して大きくなったのは、麺表面の水分が多く柔らかいためと考えられる。しかし、いずれも典型的なクリープ曲線を描き、解析可能であったので、以後この方法によって麺内部の粘弾性分布測定を行った

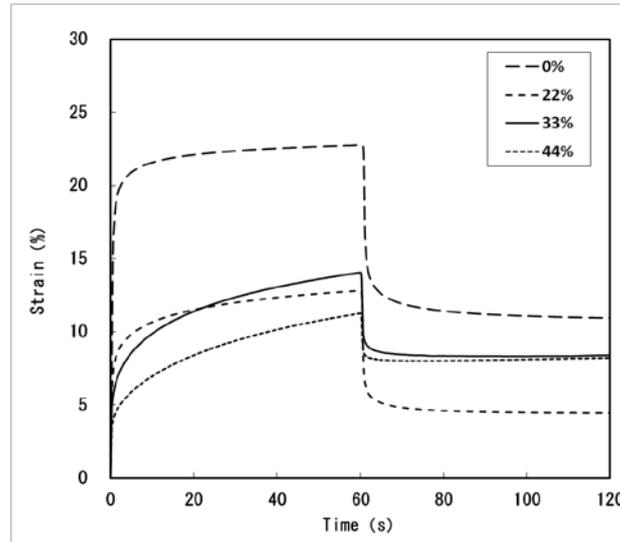


図4 試料Aの麺内部の位置によるクリープ曲線
(麺中心温度 26°C)

第2章 試料Aの麺内部の位置による粘弾性分布

図4のクリープ曲線を解析した結果、試料Aは6要素または8要素に解析された。粘弾性要素モデルを図5-1に示す。麺内部の位置によってそれぞれの要素の出現頻度に傾向が見られたので図5-2に示す。麺表面歪率0%から、22%、33%と麺内部になるほど8要素の出現頻度は低くなり、6要素の出現頻度が高くなった。歪率44%ではすべてが6要素であった。

図5-1 粘弾性要素モデル

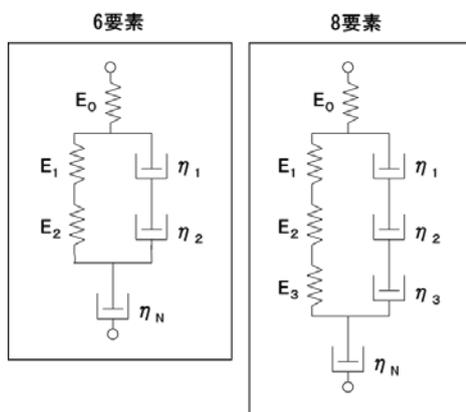


図5-2 麺内部の位置による出現頻度(試料A)

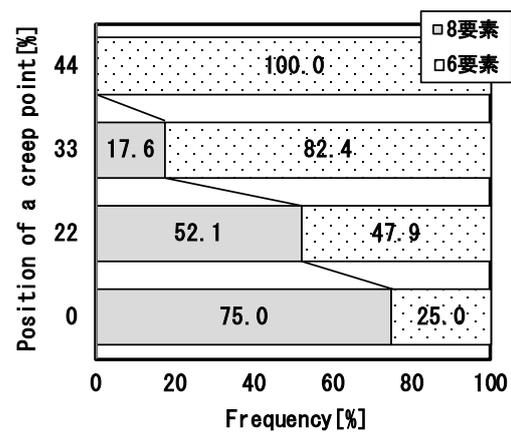


図5. 麺内部の位置による粘弾性
(麺中心温度 26°C)

図6に試料Aの麺表面から内部への歪率0%, 22%, 33%, 44%の粘弾性分布を示す。図6-1は弾性率を要素ごとに示したもので、瞬間変形部に関する E_0 は $10^4 \sim 10^5$ Paで値は小さいが、中心部にいくほど順次高くなった。遅延変形部に関する E_1, E_2, E_3 は $10^5 \sim 10^6$ Paで、 E_1 は中心部まであまり大きく変化しなかった。 E_2 は歪率44%で急に高くなるが、 E_3 を吸収したと考えられる。図6-2は粘性率を要素ごとに示したものである。定常粘性部に関する η_N は 10^7 Pa·sと値は大きい、中心部にいくほど低くなった。遅延変形部に関する η_1, η_2, η_3 は $10^4 \sim 10^6$ Pa·sで、 η_N の1/10~1/1000と小さく、麺内部の位置による変化もあまりなかった。歪率44%の η_3 は η_2 に吸収されたと考えられる。

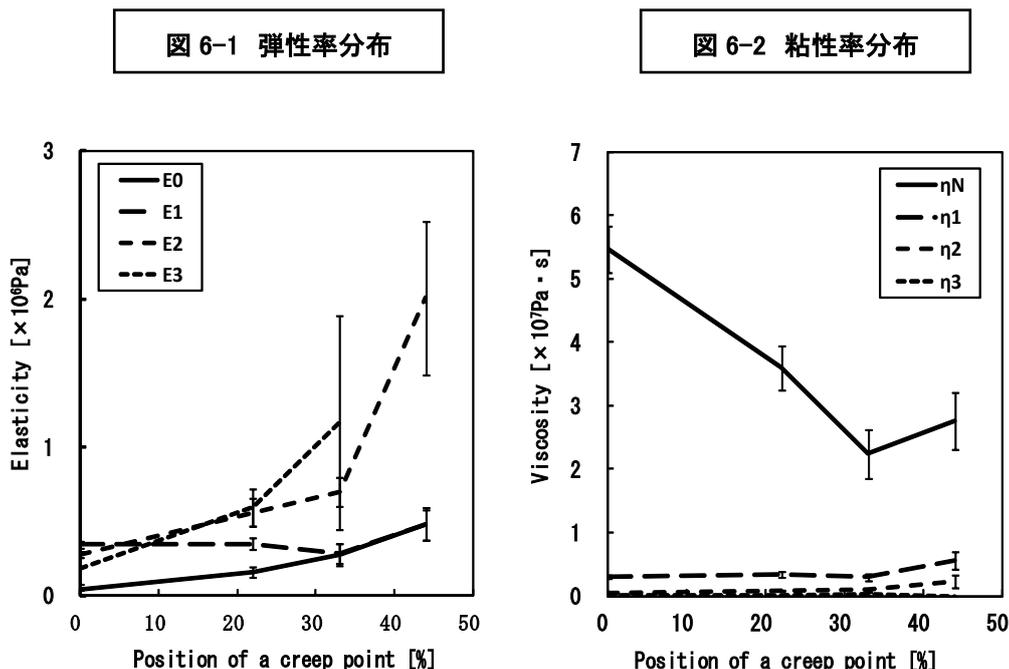


図6 試料Aの麺内部の位置による粘弾性分布(麺中心温度26°C)

第3章 試料Bの麺内部の位置による粘弾性分布

次に試料Aと同様に調製した後に、冷蔵庫で24時間保蔵した試料Bについて、上と同様の方法で麺内部のクリープ測定を行った。試料Bのクリープ測定条件を表2に示す。試料Aと同様に、荷重をかけて外側をつぶし、歪率が安定した10秒後に、歪みを固定して内部応力を測定し、クリープ測定条件を決めた。

表2. 試料Bのクリープ測定条件

荷重 (N)	圧縮10秒後の歪率 (%)	歪み固定10秒後の内部応力 (N)	クリープ測定条件	
			荷重 (N)	除重後 (N)
0.00	0	0.00	0.70	0.00
0.80	16	0.75	1.75	0.75
3.00	28	2.81	3.81	2.81
4.70	39	4.15	5.15	4.15

図 7-1 に圧縮による歪率 0% (n=37), 16% (n=34), 28% (n=34), 39% (n=32) におけるクリープ曲線の平均値を示す。いずれの歪率も典型的なクリープ曲線を描いたので、粘弾性要素の解析を行った。試料 B も試料 A と同様に 6 要素または 8 要素に解析されたので、それぞれの要素の出現頻度を図 7-2 に示す。試料 B は試料 A と比較すると、8 要素の割合が減少し、6 要素の割合が増加した。

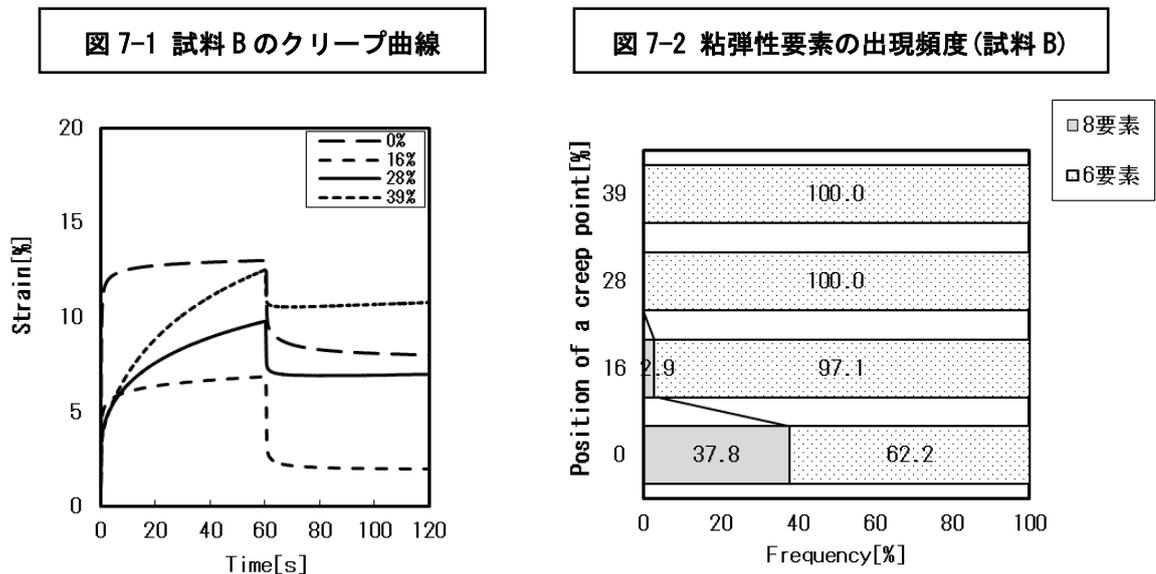


図 7. 試料 B の麺内部の位置によるクリープ曲線
(麺中心温度 26°C)

図 8 に試料 B の麺表面から内部にかけての歪率 0%, 16%, 28%, 39% の粘弾性分布を示す。図 8-1 弾性率分布の瞬間変形部に関する E_0 は、試料 A と同様に $10^4 \sim 10^5$ Pa で値は小さいが、中心部にいくほど順次高くなり、値は試料 A の約 2 倍になった。遅延変形部に関する E_1, E_2, E_3 は $10^5 \sim 10^6$ Pa で、歪率 16% までは 3 要素ともに増加した。内部にいくに従って E_1 は減少し、 E_2 は増加し、 E_3 は出現せず E_2 に吸収されたと考えられる。図 8-2 粘性率分布の定常粘性部に関する η_N は $10^7 \sim 10^8$ Pa \cdot s で、試料 A の約 2 倍を示したが、内部の歪率 28%, 39% で減少して、試料 A と同程度になった。遅延変形部に関する η_1 は $10^6 \sim 10^7$ Pa \cdot s, η_2 は $10^5 \sim 10^6$ Pa \cdot s, η_3 は η_2 に吸収されたと考えられる。いずれも η_N と比較すると非常に小さく、麺内部の位置による変化もあまりなかった。

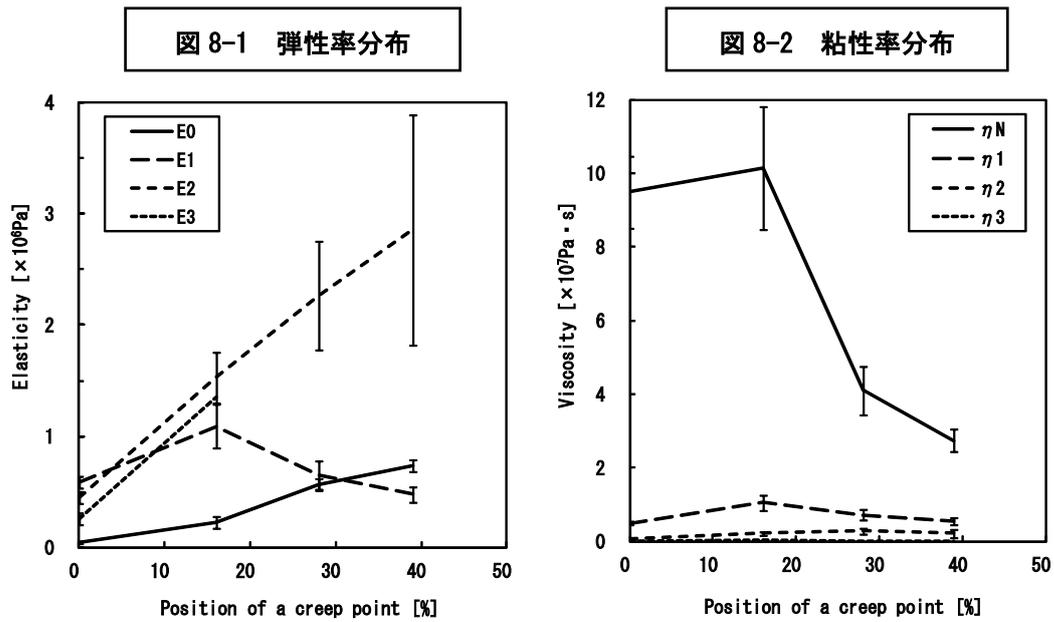


図 8 試料 B の麺内部の位置による粘弾性分布 (麺中心温度 26°C)

第 4 章 ゆで麺の官能評価

試料 A と B の官能評価を行い、パネルにそれぞれの試料につき 5 つのテクスチャー用語を選択させた。回収した [5×人数] のテクスチャー用語の中で、それぞれのテクスチャー用語が占める出現割合を図 9 に示す。

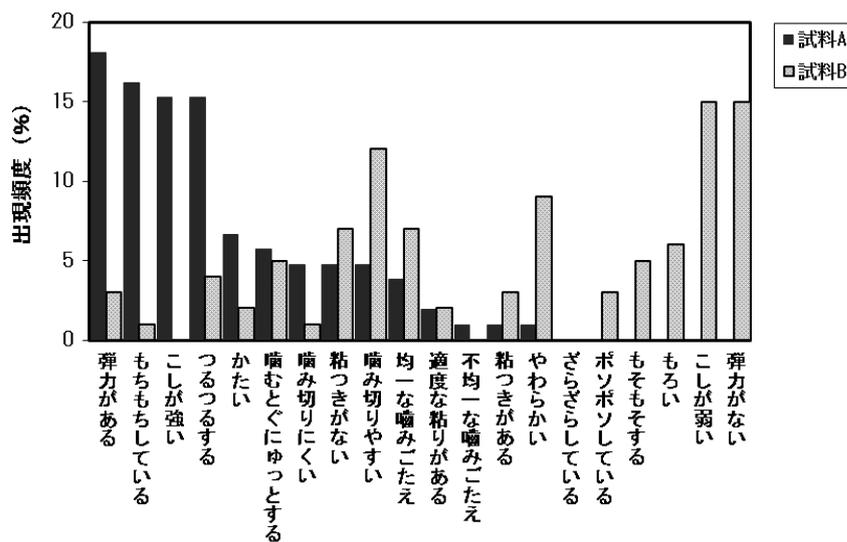


図 9 ゆで麺の官能評価

図9の横軸は、試料Aを基準に出現割合が高いテクスチャー用語を降順に並べた。試料Aの特徴を表す代表的な用語は、上位4つの「弾力がある」、「もちもちしている」、「こしが強い」、「つるつるする」であった。グラフの右へ進むにつれて、試料Aの出現割合は減少し、試料Bの出現割合が増加した。試料Bの特徴を表す代表的な用語は、「弾力がない」、「こしが弱い」、「噛み切りやすい」、「やわらかい」の4語となり、両者の特徴はまったく異なっていた。

試料Aは一般的なゆで麺の調製を行ったので、茹で立ての麺の特徴が表れていると考えられる。試料Bは市販冷凍ゆで麺をゆでた後、冷蔵庫で24時間保蔵した。試食した感じは麺表面から中心にかけての硬さが均一で、弾力がなく、もろくてやわらかく噛み切りやすい、少し柔らかめの板ガムのようなであった。したがって、選択されたテクスチャー用語は、試料Bの特徴をよく表わしていると考えられる。

第Ⅲ部 考察

第1章 粘弾性要素の2要素への単純化

ここでは、測定された試料Aと試料Bの粘弾性分布(図6および図8)について考察する。図6-2および図8-2の粘性率分布を見ると、両者とも η_N は $10^7 \sim 10^8 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ だが、 η_1 、 η_2 、 η_3 は $10^4 \sim 10^6 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ と小さく、麺内部にかけての変化も見られないことから、 η_N に対して無視できると考えられる。 η_1 、 η_2 、 η_3 を無視すると、麺内部の粘弾性要素は図10に示すように2要素に単純化される。

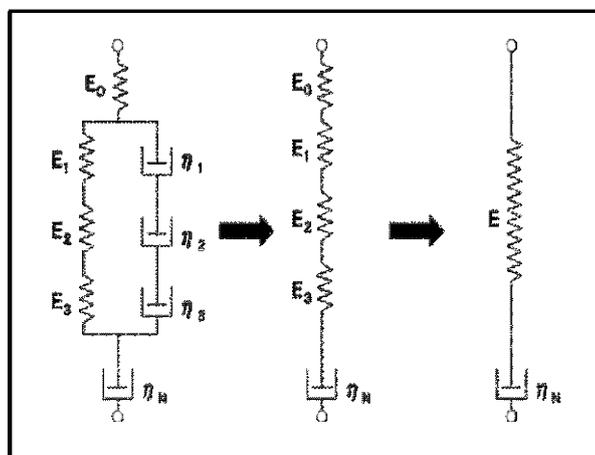


図10 粘弾性要素の単純化

図11には粘性は η_N 、弾性は E_0 、 E_1 、 E_2 、 E_3 を合計した E を用いて2要素に単純化した試料Aと試料Bの粘弾性分布を示す。図11-1の弾性率 E の分布を見ると、試料Aは麺表面から内部にかけて徐々に増加したが、試料Bは歪率16%で大きく増加し、その後は大きな変化が無かった。一方、図11-2の粘性率分布は、両者とも表面の方が高く内部ほど低下したが、その度合いは試料Bの方が大きかった。

図 11-1 弾性率(E)分布

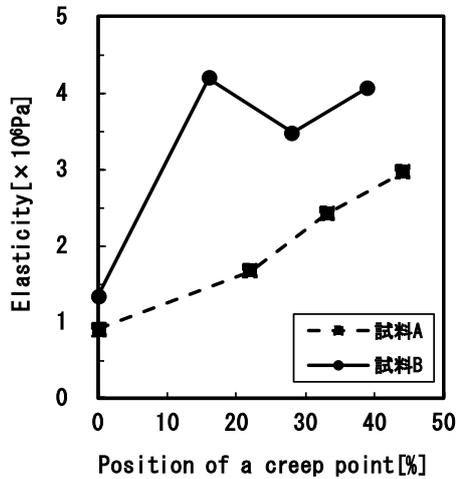


図 11-2 粘性率(η_N)分布

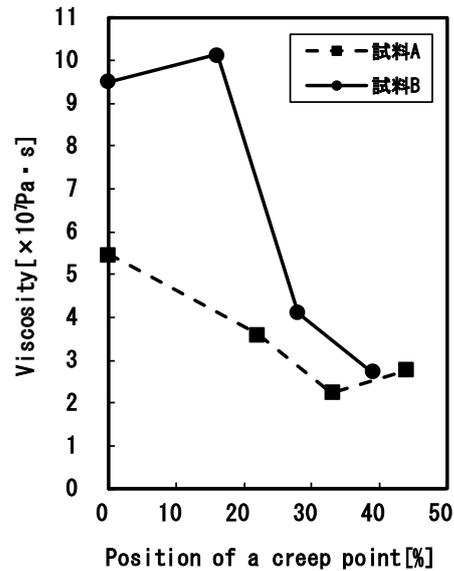


図 11 試料 A と試料 B の 2 要素に単純化した粘弾性分布

第 2 章 緩和時間

図 11 に示された粘弾性分布と食感との関係を見るために、次式にしたがって緩和時間を計算した。結果を表 3 に示す。

$$\tau = \eta_N / E \quad (1)$$

ただし、 τ : 緩和時間[s], η_N : 粘性率[Pa·s], E : 弾性率[Pa]である。

表 3 試料 A と試料 B の緩和時間

試料	麵内部の位置(%)	弾性率E ($\times 10^6$ Pa)	粘性率 η_N ($\times 10^7$ Pa·s)	緩和時間 (sec)
A	0	0.90	5.47	60.6
	22	1.66	3.60	21.6
	33	2.42	2.25	9.3
	44	2.96	2.77	9.3
B	0	1.34	9.50	71.1
	16	4.20	10.14	24.2
	28	3.48	4.10	11.8
	39	4.07	2.74	6.7

緩和時間は試料 A, B とともに、表面付近は約 1 分で内部へかけて減少し、中心付近は 10 秒以下であった。しかし、これらの緩和時間は、ゆで麵の咀嚼時間の 1 秒以下のタイムスケールと比較するとかなり長い。したがってゆで麵の咀嚼においては、特に噛み始めの部分は

弾性要素の影響が強く出現すると考えられる。

そこで、図 11-1 の弾性率分布を見ると、試料 A は表面から内部へかけて弾性率が徐々に増加し、内部へ噛む程に弾性率が強くなる「コシが強い」食感を表していると考えられる。試料 B は噛み始めに弾性が増加するが、その後はやや下がる傾向で、噛んだ後はほとんど力を入れないで噛み終わる、弾力の無いのびた麺の食感を表していると考えられる。これらの結果は、図 9 の官能評価の結果ともよく一致していると考えられる。ただし、ゆで麺のテクスチャーには粘性率の影響もあり、噛み終わる前のグニューと組織がゆっくり流れる感覚には、粘性率が影響していると考えられる。

第 3 章 うどんのコシのレオロジー解析結果

以上のゆで麺の表面から内部の粘弾性分布測定の解析結果から、今回行った圧縮によるクリープ試験のモデル化により、麺内部の粘弾性分布のアウトラインは解明できたと考えられる。麺の硬さの不均一性については前述のように四宮¹⁷⁾と三木¹⁸⁾²⁵⁾が破断曲線を使用して一部述べているが、粘性部分についてはふれることができなかった。今回の測定により、ゆで麺の物性は粘性が大きく、そのために緩和時間が長くなり、結果として「コシ」という独特のテクスチャーを生じたと考えられる。緩和時間の解析によりうどんを噛む速度とうどんの粘弾性の応答との関係が明確になり、官能検査結果も説明された。特に表面に近い部分の粘性が大きいことは水分の分布状態^{30)~37)}やグルテンやでんぷんの微細構造の報告¹⁵⁾¹⁸⁾²³⁾²⁷⁾²⁸⁾²⁹⁾などからも裏付けられると考えられる。

うどんと同様、あるいはそれ以上に米飯のテクスチャーも測定の迅速化や多面化が求められており、辻はテンシプレッサーを用いた 2 点測定法で³⁸⁾、岡留らは圧縮率可変設定可能なテンシプレッサーを用いて³⁹⁾⁴⁰⁾、米飯 1 粒に対して圧縮試験を行った。我々も測定の迅速化とレオロジーの多面的測定を目指して、圧縮によるクリープ試験のモデル化を行い、ある程度の精度でこのような厚さのある試料の粘弾性分布の解明ができた。

この方法は、ゆで麺、パスタ類、飯粒のように水分分布があり、グルテンやでんぷんの状態等組織的に不均質な物質の噛み初めから噛み終わりまでの、複雑な食感に対する粘弾性の影響を調べる場合に有効と考えられる。

第 IV 部 要約

うどんのコシの特徴である硬さの不均一性を物理的に解明するために、圧縮によるクリープ測定をモデル化し、ゆで麺表面から中心部への粘弾性分布を測定することを試みた。結果は次の通りである。

1. 測定方法のモデル化により、ゆで麺表面から中心部にかけての 4 点において典型的なクリープ曲線が得られ、試料 A (ゆで直後麺) と試料 B (ゆで後 24 時間麺) の各部位は、6 要素と 8 要素に解析された。
2. 粘弾性の解析結果、試料 A と B の粘性率 η_N は $10^7 \sim 10^8 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ だが、 η_1 、 η_2 、 η_3 は $10^4 \sim 10^6 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ と小さく、麺内部へかけての変化も見られないことから、 η_N に対して無視できると考え、粘弾性を 2 要素に単純化した。
3. 2 要素に単純化した試料 A と B の緩和時間を計算した結果、A と B 共に表面付近は約 1

分で内部へかけて減少し、中心付近は10秒以下であり、ゆで麺の咀嚼時間1秒以下と比較するとかなり長かった。したがって、ゆで麺の咀嚼では弾性要素の影響が強いと考えられる。

4. 試料Aの弾性率は表面から内部にかけて徐々に増加し、「コシが強い」状態を表していた。試料Bは歪率16%で増加して、その後やや減少傾向で、弾力の無い伸びた麺の状態を表していた。
5. 官能評価で選択された麺の特徴を表す代表的な用語は、Aは「弾力がある」、「もちもちしている」、「こしが強い」、「つるつるする」、Bは「弾力がない」、「こしが弱い」、「噛み切りやすい」、「やわらかい」であり、クリープの測定結果とよく一致した。

第V部 参考文献

- 1) 李敬姫, 郭恩廷, 畑江敬子, 島田淳子, 冷麺のテクスチャーに対する日本人と韓国人の嗜好の比較, 日本家政学会誌, **48(7)**, 633~636(1997).
- 2) 遠山良, 三浦靖, 種谷真一, 冷麺の食味特性におよぼすでんぷん原料の影響, 日本調理科学会誌, **30**, 213-225(1997).
- 3) 遠山良, 種田真一, 冷麺の官能検査値とテンシプレッサーによる分析値の違い, 日本食品科学工学会誌, **46**, 155-164(1999).
- 4) 「味公爵 パン・麺・パスタ」, (講談社, 東京), pp. 164-169(1979).
- 5) 塚本守, パスタの話(III), 日本調理科学会誌, **17**, 221-228(1984).
- 6) 三木英三, 讃岐うどん—その美味しさ, 化学と工業, **60(12)**, 1167-1170(2007).
- 7) 柴田茂久, 麺の品質と製造技術の進歩, 食の科学, **113**, 24-29(1987).
- 8) 柴田茂久, めん類の物性と品質について, 「食品の物性(第5集)」, 松本幸雄編, (食品資材研究会, 東京), pp. 169-182(1979).
- 9) 柴田茂久, めんの品質と食味, 食品工業, 1988年9月15日号, 44-48(1988).
- 10) 三木英三, 福井義明, 山野善正, めんのレオロジー的性質に及ぼす小麦粉生地のおかしの影響, 日本食品工業学会誌, **29**, 168-174(1982).
- 11) 三木英三, 平田紀子, 難藤晴美, 山野善正, 茹めんのテクスチャー評価, 香川大学農学部学術報告, **47**, 133-142(1995).
- 12) 渡辺幸夫, 永沢信, 応力緩和測定によるメんの粘弾性の検討, 日本食品工業学会誌, **15**, 466-468(1968).
- 13) 三木英三, 山野善正, めんの応力緩和, 日本食品工業学会誌, **38**, 323-328(1991).
- 14) 三木英三, 仲田陽子, 山野善正, 乾燥によるめんの性状変化, 日本食品工業学会誌, **39**, 1123-1127(1992).
- 15) 岡田久美子, 市川朝子, 下村道子, 手打ちうどんの物性と食味に及ぼす澱粉・活性グルテン添加の影響, 日本調理科学会誌, **41**, 327-336(2008).
- 16) 三木英三, 栗坂貴之, 山野善正, 乾燥中のめんの物理的性質に及ぼす加工条件の影響, 日本食品科学工学会誌, **43**, 562-568(1996).

- 17) 四宮陽子, 破断試験によるゆで麺のテクスチャーの特徴と官能評価との関係, 日本調理科学会誌, **33**, 198-203(2000).
- 18) 三木英三, うどんのテクスチャー, 日本バイオレオロジー学会誌(B&R), **20**, 82-89(2006).
- 19) 三木英三, 福井義明, めん類に関する研究Ⅱテクスチュロメーターによるめん物の物性測定, 香川大学農学部学術報告, **26**, 142-150(1975).
- 20) 柳沢幸江, 田村厚子, 寺元芳子, 咀嚼筋活動量とテクスチュロメーター特性値の相関性, 日本家政学会誌, **40**, 1011-1016(1989).
- 21) 檀はるか, 神山かおる, 多点シートセンサを用いた咀嚼解析, *Foods&food Ingrid. J. Jpn.*, **212**, 583-594(2007).
- 22) 神山かおる, 多点シートセンサシステムで解析した食品の咀嚼性と力学特性, 食糧その科学と技術, **49**, 85-108(2011).
- 23) 三木英三, 若林滋, 山野善正, 茹めんの表面状態の評価, 日本食品科学工学会誌, **43**, 480-487(1996).
- 24) 渡邊洋一, 第2章第5節クリープメータによる測定, 「進化する食品テクスチャー研究」, 山野善正監修, ((社)おいしさの科学研究所, 東京), pp. 74-76(2011).
- 25) 三木英三, 第6章第2節麺類, 「進化する食品テクスチャー研究」, 山野善正監修, ((社)おいしさの科学研究所, 東京), pp. 277-279(2011).
- 26) 谷藤健, 金子成延, 松倉潮, 小麦のデンプンおよびグルテンの特性がゆでめんのテクスチャーに及ぼす影響, 日本食品科学工学会誌, **50(8)**, 333~338(2003).
- 27) 関根正裕, 原田勝利, ゆで工程におけるめんの諸特性及び微細構造の観察, 日本食品工業学会誌, **37**, 454-457(1990).
- 28) 木村利昭, 藤原正弘, 小川敬子, 藤野良子, 相良康重, 神武正信, 井筒雅, 中島一郎, 走査電子顕微鏡による茹でうどんの構造観察, 日本農芸化学会誌, **70**, 1343-1350(1996).
- 29) 佐藤暁子, 松田智明, 伊藤誠治, 星野次汪, ゆで過程におけるゆでめん微細構造の観察, 日本食品科学工学会誌, **46**, 89-93(1999).
- 30) 中町敦子, 中村恵子, 四宮陽子, ゆで過程におけるスパゲッティの芯の状態変化とアルデンテの評価, 日本調理科学会誌, **37(2)**, 151-158(2004).
- 31) 小島登貴子, 関根正裕, 鈴木敏正, 堀金明美, 永田忠博, ゆで麺のテクスチャーに対する水分分布の影響, 日本食品科学工学会誌, **47**, 142-147(2000).
- 32) 小島登貴子, 食品の製造工程管理へのNMRの応用—MRIによるゆで麺の水分と麺のテクスチャー—, 埼玉県工業技術センター研究報告, **3**, 242-246(2001).
- 33) 小島登貴子, ゆで麺の水分分布とテクスチャー, 農業技術, **60(2)**, 30-33(2005).
- 34) Irie, K., Horigane, A. K., Naito, S., Motoi, H. and Yoshida, M., Moisture distribution and texture of various types of cooked spaghetti. *Cereal Chem.*, **81**, 350-355(2004).
- 35) Horigane, A. K., Kawabuchi, M., Uchijima, S. and Yoshida, M., Effects of seasonings on physical properties and MRI T₂ map of cooked spaghetti. *Food Res. Int.*, **42**, 41-50(2009).
- 36) Maeda, I., Horigane, A. k., Yoshida, M. and Aikawa, Y., Water diffusion in buckwheat noodle and wheat noodles during boiling and holding as determined from MRI and

- rectangular cylinder diffusion model, *Food Sci. Technol. Res.*, **15**, 107-116 (2009).
- 37) 吉田充, 食品の物性に影響を与える水分分布をMRIで観る, 日本食品科学工学会誌, **59**, 478-483 (2012).
- 38) 辻昭二郎, 米飯のテクスチャーの米粒レベルでの2点測定法と食味と関連するパラメーター, 日本食品工業学会誌, **27**, 265-269 (1980).
- 39) 岡留博司, 豊島英親, 大坪研一, 単一装置による米飯物性の多目的評価, 日本食品科学工学会誌, **43(9)**, 1004-1011 (1996).
- 40) 岡留博司, 豊島英親, 須藤充, 安東郁男, 沼口憲治, 堀末登, 大坪研一, 米飯1粒の多面的物性測定に基づく米の食味評価, 日本食品科学工学会誌, **45(7)**, 398-407 (1998).
- 41) 早川文代, 官能評価と用語, 「食の官能評価入門」, 大越ひろ, 神宮英夫編著, (光生館, 東京), pp. 25-27 (2009).

関連する業績

<学会発表>

- ・佐藤幸子, 四宮陽子, 麺中心部のクリープ測定, 日本調理科学会平成23年度大会 (2011年8月).
- ・佐藤幸子, 四宮陽子, クリープによる麺表面から中心部への粘弾性分布測定, 日本調理科学会平成24年度大会 (2012年8月).

<発表論文>

- ・佐藤幸子, 寿名賀友子, 四宮陽子, クリープ試験によるゆで麺の表面から中心部への粘弾性分布測定, 日本食品科学工学会誌, **61(3)**, 108-116 (2014).

審査の結果の要旨

本論文は、我が国の伝統的食品でもあり、日常食としても多用されている「うどん」の、代表的な嗜好性である「コシ」といわれる歯ごたえの、物理的特性と官能的な感覚との関係を明らかにしようとしたものである。

うどんのコシは、弾力性、粘り、付着性、噛み切りにくさなどのいくつかの物理的な要素が複合した食感であるが、中でも麺の表面から中心へかけての、噛む過程の硬さの不均質性が大きな要因であると言われている。この咀嚼過程を解明するために、引っ張り試験、テクスチャー試験、破断試験、曲げ強度などの多くの測定がなされ、噛む過程の応力とひずみの関係が測定されている。しかし、これらの大変形領域の測定では麺内部の粘弾性構造が不明なために、官能的な食感との関係が不明瞭であった。

一方、粘弾性を明らかにするための微小変形領域の測定は、物理的な理論に則った条件を整える必要があり、うどんの噛みごたえのように時間とともに急速に変化する試料では困難であった。

本研究では、微小変形領域のクリープ試験を「一定歪みを与えた上で、そこからさらに応力を加えてのクリープ試験」というモデル化を行うことによって、迅速で多面的な測定を可能にし、麺内部の表面から中心へかけての4点で粘弾性分布の解析を行った。その結果、レオロジー特性である弾性的要素（瞬間的変形）と粘性的要素（流動性）を分離することができ、「うどん」の物性には今まで注目されていた弾性的要素よりも、むしろ粘性的要素の影響が大きいことが解明された。さらに測定された粘弾性から緩和時間を算出したところ、同時に行われた官能評価結果をよく説明するものであった。

このように新しいアイデアによる研究方法を試み、今まで不明確な点が多かった「うどんのコシのレオロジー」をある程度解明することができた論文である。

本論文の知見は、多くの食品の嗜好性を左右するテクスチャーを解明する分野の研究に貢献するところが大きい。よって本論文は博士論文として評価できると判断する。

博士学位論文 内容の要旨及び審査の結果の要旨 第11集 平成25年度

2014年 4月 1日

編集・発行 実践女子大学大学院
東京都日野市大坂上4-1-1
〒191-8510 Tel 042(585)8817

機関リポジトリにより公表